

연안침식 방지기술 개발 연구
-최종년도 보고서-

2010. 11.



국토해양부

제 출 문

국토해양부장관 귀하

본 보고서를 2009년 11월 13일 귀 부와 계약 체결한 ‘연안침식방지기술개발 연구(V)’ 용역의 최종보고서로 제출합니다.

2010년 11월 7일

한국해양연구원 원장
강 정 극

요약문

1. 제 목

연안침식방지 기술개발 연구 (V)

2. 연구의 필요성 및 목적

◎ 연구의 필요성

- 해역별 수리·퇴적환경이 상이한 동·서·남해안에서 자연적 및 인위적 원인에 의한 연안침식이 우려수준임.
- 해양선진국은 연안침식을 국가 당면과제로 인식하고 자연과학·연안공학·사회과학적 연구를 오래 전부터 지속적으로 수행하고 있음과 아울러 지속가능한 연안공동체 발전을 위하여 연안침식을 명실상부한 연안통합관리 핵심 주제로 간주하고 관리체계를 1990년 이후 전 방위적으로 개편하고 있음.
- 연안침식·침수관리에서 해양선진국이 경험한 3대 시행착오는 ① 사후대응, ② 국지대응, ③ 구조물대응이었으며, 이에 의한 손실을 최소화하기 위해 현재 선진국이 지향하는 기본방향은 ① 분야와 행정단위를 아우르는 통합관리, ② 계획과 규제를 통한 예방관리, 그리고 ③ 하천과 연안모래관리를 포함하는 친환경경관관리임. 특히 관련 중앙기관과 지자체의 공조체계를 구축하여 모래자원을 효율적으로 관리하는 것은 침식관리 선진화의 척도임.
- 우리나라의 경우, 연안침식 법정관리 시행 10년을 맞이하였으나 유관부처와 다양한 이해관계자가 참여하는 관리체계가 정착되지 않았으며, 모니터링을 비롯한 관련기술의 선진화 여지가 아직 많음. 특히 '방지'의 사전적 의미는 '예방'임에도 연안침식방지기술을 침식발생 후 적용하는 공학기술로 제한함이 일반적인 경향이나 공학뿐 아니라 자연과학 및 인문사회과학 분야가 연계되는 '피드백 예방관리시스템'이 필요함.

◎ 연구의 목적

- 연안침식관리 선진화를 위해서는 다양한 분야가 관련되나 우리나라 실정에서 개선이 우선적으로 필요한 분야는 선진국 사례를 충분히 수집·분석하여 관리체계를 진화시키고, 지자체 연안침식·침수관리 실무자의 안목을 넓힘과 아울러 준전문가 및 전문가에게 모니터링, 수치모형, 대응공법과 관련한 최신의 정보를 제공하는 것임. 이를 위한 본 연구의 목적은 다음과 같음.

- 연안침식관리 선진국의 관리체계 발전과정을 종합적으로 분석하여, **국내 연안침식 관리체계 발전방향을 제시함.**
- 연안침식관리의 일선은 비전문 지역관리자임을 감안하여 연안침식관련사업 이행단계와 단계별 주요 관리내용을 제시하고, 관리능력 배양을 위해 연안수리·표사현상, 주요공법, 해역별 고려사항을 포함하는 **연안침식관리 가이드북**을 수립함.
- 연안침식관련 모니터링, 수치모형실험, 설계 분야 국내 전문가의 안목을 보다 넓히고 연안 녹색성장의 기술적 토대 강화를 위하여 **연안침식관련 조사 및 방지대책 설계 가이드북**을 수립함.

3. 연구내용

- 연안침식관리 선진화 방안 제시
- 연안침식관리 가이드북 수립 (지자체 관리자용)
- 연안침식 관련사업 모니터링 및 최적공법 선정·설계 가이드북 수립
- 국내 주요 연안침식방지사업 효과 검토
- 시범 현장조사 및 설계

4. 연구결과

가. 연안침식관리 선진화 방안

1) 관리선진화 10대 필수요소 달성방법

- 미국, 영국 등 11개국 연안침식·침수관리관련 법·제도를 수집·분석하여
- 관리선진화를 위한 10가지 필수요소를 선정하였으며,
- 각 요소에 대한 국외 대표사례를 소개함과 아울러
- 우리나라가 10가지 필수요소를 체계적으로 갖출 수 있는 방안을 제시하였음.

■ 연안침식관리 선진화 방안

연안침식관리 필수요소	선진화 방안
1. 연안통합관리와 해안선관리	<ul style="list-style-type: none"> ■ '관련분야를 포함하는 통합된 정책과 의사결정 절차 제공'을 연안통합관리의 최상위 목표로 설정 ■ 연안통합관리계획에 연안정비계획과 공유수면매립 계획을 포함시키고 계획수립 주기와 시기 동기화
2. 연안침식관리정책	<ul style="list-style-type: none"> ■ 연안통합관리계획에 관계부처 공동의 '연안보전정책'을 수립하고, 공유수면매립, 연안정비사업, 자연해안관리 및 침식예방관리, 관계기관 해안시설건설을 이 정책에 따라 시행 ■ 연안보전정책(안) <ul style="list-style-type: none"> ① 협동관리 (관계부처간) ② 맞춤형 중장기 관리 ③ 예방관리 ④ 친환경관리 ⑤ 적응형관리
3. 연안침식 지역관리계획	<ul style="list-style-type: none"> ■ 지역연안관리심의회 침식관리관련 소위원회 구성 ■ 소위원회가 '연안보전정책'에 따라 침식관리계획 수립 ■ 침식관리계획 및 차기 연안정비사업 추진계획을 '연안관리지역계획'에 포함 ■ 연안침식 지역모니터링은 지역전문기관 수행이 바람직
4. 관리예산	<ul style="list-style-type: none"> ■ 모니터링 확대·심화 필요 ■ 교육·훈련·홍보 정례화 및 예산 필요 → Sea Grant 사업 활용
5. 연안개발규제 및 보전구역지정	<ul style="list-style-type: none"> ■ 자연해안관리목표제 강화 ■ 타 관계법을 활용
6. 모래관리	<ul style="list-style-type: none"> ■ 해사채취 억제 ■ 하상 및 항내 준설토사를 이용하는 양빈활성화를 위해 하천정비계획, 어항정비계획, 연안정비계획이 연계되는 시범사업 시행
7. 국고지원사업 선정·진행절차	<ul style="list-style-type: none"> ■ 충분한 연안정비계획 수립기간 확보 ■ 연안관리지역계획에 포함된 사업 가산점 부여 ■ 공사비 일정규모 이상의 사업은 중앙정부 주관 '정밀타당성조사' 우선 시행 ■ 시공중 및 사후모니터링 의무화

■ 연안침식관리 선진화 방안 (계속)

연안침식관리 필수요소	선진화 방안
8. 성과평가	<ul style="list-style-type: none"> ■ 관리성과 : 연안보전정책 이행율이 높은 지자체에 가산점 부여 ■ 시공성과 : 지형변화 예측치와 사후모니터링 결과와의 비교·분석을 통해 국내 기술력 제고
9. 연구·개발	<ul style="list-style-type: none"> ■ 관련기술별 중장기 R&D Roadmap 수립·연차별 추진 <ul style="list-style-type: none"> ① 연안수리·표사 정밀현상 ② 연안수리·표사 거시현상 <ul style="list-style-type: none"> - 연안표사율 - 해사채취영향 - 기후변화영향 ③ 수치모형 ④ 모니터링 기법 및 장비개발 ■ 연안침식관리 특성화 대학 선정 등을 통하여 석박사 과정 지원
10. 정보생산·관리·보급	<ul style="list-style-type: none"> ■ 관리목표별 정보(관리변수) 차별화 <ul style="list-style-type: none"> ① 회복탄력성 유지·개선 ② 해안방호 ③ 레크리에이션 ■ 침식우심도별 정보생산주기 차등화 ■ 자료관리 일원화 : 국가모니터링 자료뿐 아니라 유관기관 관측성과 수집 ■ 이용자 폭 확대 : DB를 구축하고 필요시 원시자료 제공 ■ 일반정보 보급 : 비전문 지역관리자 및 지역주민의 현상 이해도 및 청지기 의식 제고를 위한 프로그램 상시운영 → Sea Grant 활용

2) 연안침식관리 기본정책과 추진전략

가) 협동관리

- ① 연안침식은 연안통합관리 구현의 척도이다. 지역사회발전을 위한 행정계획과 개발사업으로 인한 연안침식을 최소화하고, 연안탄력성 유지·개선과 친환경 관리를 위한 중요한 환경재산인 모래자원의 효과적인 관리를 위하여 관계기관과 연안

공동체가 능동적으로 참여하는 협동관리를 지향한다.

- ② 「연안관리법」 이외의 법률이 연안침식관리목표 달성에 도움이 되면 이를 활용한다.

나) 맞춤형 중장기관리

- ① 배후지의 경제·사회적 특성 및 중요도와 자연환경 및 문화재 등을 고려하고 이해관계자의 의견을 충분히 수렴하여 특별 관리가 필요한 해안에 대한 구간관리목표를 설정하고, 육상기준점에서 일정수심까지의 모래체적 혹은 백사장 폭 등 구간관리목표 달성도를 가늠할 수 있는 관리변수를 선정한다.
- ② 관리목표가 설정된 구간을 비롯한 관할해안의 중장기 침식관리계획을 '연안관리지역계획'에 포함한다.
- ③ 중요도가 높은 관리목표가 설정된 해안의 관리계획은 도시계획 혹은 토지이용계획 등에 반영되도록 하며, 목표달성을 위해 배후지 개발을 제한할 필요가 있을 경우에는 관계법을 이용하여 적절한 보전 혹은 관리지역·지구로 지정한다.

다) 예방관리

- ① 관리목표가 설정된 해안과 차기 연안정비계획 수요지구 중 주요해안의 관리변수를 주기적으로 조사하고, 지역사회발전과 환경보전 등의 이유로 중앙정부 특별관리가 필요한 해안에 대해서는 심도 있는 '전략모니터링'을 실시한다.
- ② 하천으로부터의 퇴적물 공급량 증감은 해안선 전진·후퇴에 직결된다. 일정량의 토사를 유출시키는 사방시설, 댐·보에 의한 퇴적토사와 하상준설토의 해안투입 등을 고려하여 하천정비·개발에 의한 토사 공급량 감소를 최소화한다.
- ③ 수심 20m 이내의 퇴적물은 연안의 방호기능 유지에 중요하다. 천해역에서의 해사채취 억제를 위하여 관계기관 및 지자체와 지속적으로 협의한다.
- ④ 기후변화는 다양한 현상경로를 통하여 연안침식·침수재해를 발생시킬 수 있다. 최신 자료를 이용하여 그 가능성을 예측하고 주요 해안에 대한 장기모니터링을 수행함과 아울러 적절한 시나리오에 대한 적응방안을 수립한다.

라) 친환경관리

- ① 신규침식이 발생하거나 침식이 지속중인 경우, 해당해안의 기능을 침식발생 이전의 수준으로 회복하거나 그 이상으로 개선하는 것이 일차적인 목표이다.
- ② 그러나 일차적인 목표를 반드시 해안선 후퇴 방지만으로 달성할 수 있는 것은

아니다. 일부구간 침식 후 새로운 평형상태에 도달한 자연해안의 기능이 해안선 연장, 공공접근성 혹은 조망 개선 등으로 향상될 수 있는 가능성을 검토한다.

- ③ 해안선 후퇴 방지와 이를 위한 공법적용이 불가피할 경우에는 충분한 사전조사를 바탕으로 가능한 한 친환경·고효율·저비용 공법을 우선적으로 고려한다.
- ④ 특히 어항, 하천 등 주기적으로 활용할 수 있는 주변 퇴사지가 확인되면 이를 이용하는 양빈을 계획한다.
- ⑤ 양빈모래 유실 최소화 등의 이유로 구조물 설치가 불가피할 경우에는 이로 인해 주변해안에 신규침식이 발생하지 않도록 설계한다.

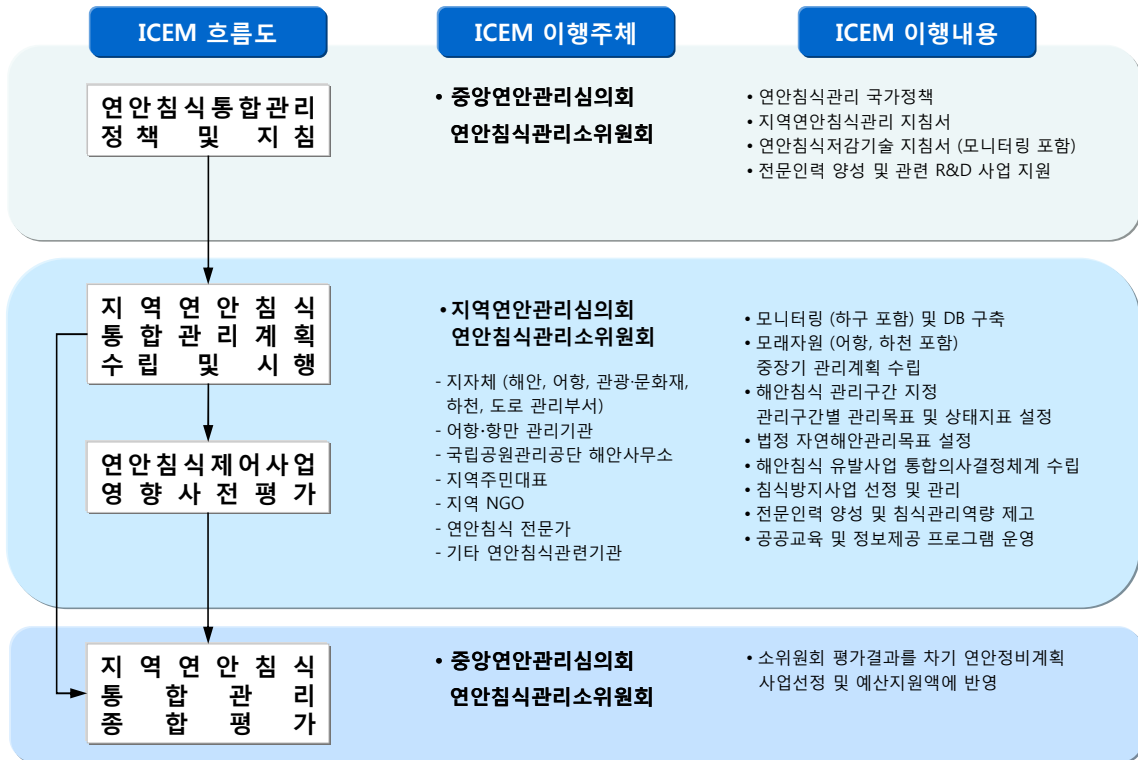
마) 적응형관리

- ① 연안침식 저감 혹은 방지를 위한 해안토목공사에 의해 예상치 못한 악영향이 발생할 경우 이를 신속하고 효과적으로 대응한다.
- ② 이를 위하여 공사 중 및 공사 후 일정기간 동안 해안선 및 수심측량을 포함한 사후모니터링을 실시한다.
- ③ 사업에 의한 해안선 및 해저지형변화가 설계시 예측과 상이할 경우에는 이를 비교·분석하여 국내 관련기술의 발전을 도모한다.

3) 연안침식통합관리

- 연안침식관리 선진화 달성을 위해서는 상기 5가지 정책 가운데 제1정책인 협동관리, 즉 연안침식통합관리의 구현이 가장 중요하다. 특히 우리나라의 경우, 사회적 주목을 받은 해안침식 대부분이 편익이 특정분야에 집중된 개발사업에 의해 발생하였기 때문에 해안시설 계획단계에서부터 침식가능성을 통합관리차원에서 검토하는 것이 필요하다. 특히 향후의 친환경 관리를 위해 필요한 모래자원관리는 관계기관간 공조 없이는 불가능하다.
- 분야간 공조를 통하여 편익집중에 따른 부작용을 방지하기 위해서는 소통을 제도화할 필요가 있다. 「연안관리법」 30조는 '중앙연안관리심의회는 필요한 경우에는 분야별 소위원회를 구성하여 운영할 수 있음'을 명시하고 있으므로 이를 발족·활성화하고, 연안지자체로 확산시키는 것이 현 법·제도에서 취할 수 있는 최선의 방법이다.
- 지속가능한 연안녹색성장을 위한 연안침식통합관리의 흐름과 중앙 및 지역소위원회가 이행하여야 할 내용은 다음의 흐름도와 같다.

■ 연안침식통합관리(Integrated Coastal Erosion Management) 흐름도



나. 연안침식관리 가이드북

- 지자체 연안정비사업 실무자를 위한 침식관리 가이드북 수립
- 구성내용
 - ① 연안침식관리
 - ② 연안수리현상과 주요침식원인
 - ③ 연안침식저감기술
 - ④ 해역별 최적공법 선정방법으로 구성
- 연안침식관리는 6단계로 구분하였으며, 단계별 관리방안을 상세히 제시하였음.
- 우리나라 침식방지사업의 주요 개선요망사항 중 하나는 충분한 사전조사 없이 구조물을 설계하는 것임. 이에 따른 문제점을 충분히 소개하고 특히 대규모 사업의 경우에는 현상의 과학적 이해와 최적인 선정을 위한 기초자료 확보를 위한 정밀타당성조사의 중요성을 강조하였음.
- 연안수리현상과 주요침식원인은 비전문관리자가 충분히 이해할 수 있도록 서술식으로 구성하였음.

□ 해역별 최적공법 선정방법은 모래자원관리와 친환경공법에 중점을 두었으며 구조물이 불가피할 경우 우선적으로 고려해야 할 사항을 제시하였음.

■ 연안침식 단계별 관리내용

단 계	주요 관리내용
1. 예방	① 관할해안 해안지형·수리·표사특성의 정성적 이해 ② 관할해안 침식이력 파악 및 국가모니터링 활용 ③ 해안침식 관련기관·부서와 공조 및 어항신설·확장, 해안도로 등 해안시설물 관련계획 파악 ④ 어항·항로준설, 하상준설, 해사채취 등 모래자원 관련계획 파악 및 활용방안 검토
2. 초기대응과 계획수립	① 초기대응 ② 개략진단 및 연안정비사업 추진계획
3. 정밀타당성조사	① 과업내용 구성 등 ② 공정 및 조사성과 관리 ③ 구조물 필요성 검토 ④ 후보대책 선정·검토 및 향후계획 수립
4. 설계관리	① 과업내용 구성 등 ② 이해관계자 의견 수렴 ③ 최적대책 선정·설계 ④ 사업비 산출 및 시공계획 수립 ⑤ 환경성 검토
5. 시공관리	① 모니터링·시공 피드백 ② 시공중 악영향 대응
6. 사후관리	① 사후모니터링 ② 사업성과 평가

* 사업규모 및 사전조사의 정도에 따라 3단계를 거치지 않을 수 있음.

다. 모니터링·수치모형실험·설계 가이드북

1) 단위사업 현장조사·수치모형실험 개선

□ 국토해양부, 농림수산식품부, 지자체 등의 관계기간이 해안침식, 어항매몰 등 연안퇴적환경 개선을 위한 다양한 사업을 시행하고 있으나 현장조사, 수치모형 실험 분야의 수행내용과 방법 및 활용성 측면에서 개선의 여지가 다분함.

가) 현장조사

- 다양한 조사항목을 포함하고 있으나 파랑관측과 수심·해빈측량을 제외한 대부분 관측성과의 과학적 가치와 활용성이 매우 저조함. 특히 파랑우세해역인 동해안에서 파랑에 의해 발생하는 해빈류를 파고 0.1m 이하의 정온시기에 관측하는 경우가 있음. 또한 주목할 만한 퇴적물이동·해안침식은 고파사상 동안에 발생함에도 부유사·소류사 이동량을 고전적인 방법을 사용하여 정온시기에 관측함으로써 침식관련현상을 정량적으로 파악할 수 없으며 자료를 해당사업에서 활용하지 않고 있음.
- 최근 관계기관의 의식개혁으로 3년 이상의 모니터링 용역이 시행되고 있으나 자료가치 제고를 위해 조사방법의 개선이 필요함. 수심측량의 경우, 2회/년×3년=6회 측량보다는 계절연속 6회와 유의수준의 고파사상이 발생할 경우 사상 통과직후 측량을 추가하는 바람직함.
- 파랑은 관련용역에서 가장 먼저 수행하는 관측 이전부터 마지막 관측 이후까지 연속적으로 관측하여야 함. 이는 파랑정보 없이는 나머지 항목 관측결과의 물리적 해석이 불가능하기 때문임. 예를 들어 2회의 측량결과, 해빈표고·수심변화가 크더라도 그 사이의 파랑정보가 없으면 변화를 현상학적으로 이해할 수 없으며 수치모형실험으로 재현할 수 없음.

나) 수치모형실험

- 현재 관련용역에서 사용하고 있는 수치모형은 파랑정보만으로 계산하는 '해안선변형모형'과 파랑, 해빈류, 표사량, 지형변화 계산이 연계되는 '영역모형'임.
- 해안선모형 적용과 관련하여 개선이 요망되는 사항은 두 가지 측면에서의 검증 신뢰성 제고임.

첫째, 우리나라의 경우 해안구조물 축조 등 주변에 특별한 인위적 원인이 없으면 해안선 변화가 크지 않음이 일반적임. 실제 해안선변화가 모형의 오차범위 이내인 기간을 검증기간으로 택하는 것은 바람직하지 않음. 사업지구의 이전정보가 부족하면 유사구조물을 설치하여 해안선변화가 크게 발생한 다른 해안을 검증해안으로 택하는 것이 바람직함.

둘째, 모형의 한계를 벗어나는 무리한 검증은 지양해야 함. 해안선모형은 고파사상 동안의 횡단표사에 의한 해안선변화는 장기적으로 평형을 이룬다고 가정하고 연안표사량의 연안방향 경사만으로 장기적인 해안선변화를 모의하는 모형임을 유의해야 함. 단기 고파사상 동안의 횡단표사에 의해 발생한 심한 해안선변화를 해안선모형을 사용하여 높은 정밀도로 검증하는 사례가 있음.

- 영역모형의 경우, 해안선변화를 모의할 수 없는 한계가 있으므로 모의결과가 구조물 형식·규모 선정 등 관련의사결정에 중요한 역할을 할 경우에는 모형이 재현할 수 없는 현상이 발생시킬 수 있는 문제를 충분히 검토하여야 함. 포말대(swash zone) 연안·횡단표사량을 포함함으로써 해안선변화까지 모의할 수 있는 영역모형이 최근 발표되고 있으므로 이의 적용·검증을 권장함.

모형실험시 일정 time step 마다 파랑과 해빈류를 계산하여야 함에도 초기에 계산한 해빈류를 1년 동안 적용하여 지형변화를 계산하는 경우도 있음. 이는 지형변화가 파랑장과 흐름장에 미치는 영향을 일체 반영하지 않음에 따라 비현실적인 국부 침식·퇴적을 발생시키는 방법이므로 지양해야 함.

2) 국가모니터링 개선

가) 연안침식 전국실태 정량적 파악

- 2003년부터 연안침식 국가모니터링을 실시하고 있으나 백사장 및 갯벌의 전국 면적과 그 변화율, 연간 해안선 후퇴율 등 해안침식 국가관리를 위해 필요한 거시정보를 생산하지 못하고 있음.
- 항공사진, 위성영상 등의 간접측량을 통하여 5~10년 주기 전국실태 파악이 필요함.

나) 해안특성별 관리목표와 관리변수 선정

- 우리나라 연안침식관리는 목표가 추상적임. 배후지역 특성과 연안환경, 도시계획 등을 반영하는 관리목표와 목표달성을 위한 변수를 선정·관리함이 필요함.
- 해안특성·침식우심도에 따른 침식관리목표 (예시)

관리목표	대상해안
해안 안정성 개선	어항방파제, 해안도로 등의 인공구조물 혹은 자연환경 변화에 의해 해빈과 표사한계수심 이내 퇴적물이 지속적으로 침식되어 인명·재산 피해와 보전가치가 높은 배후지 안정성 저하가 발생하거나 우려되는 해안
해안방호 개선	연간 모래수지는 평형을 이루지만 계절적 특성 및 이상고파 내습에 의한 침식이 인명·재산피해를 발생시키는 해안
해빈폭 확장	해안침식문제는 없으나 침식예방, 자연해안복원 혹은 이용객 수용을 위해 백사장 확장이 필요한 해안

□ 침식관리목표별 관리변수 (예시)

관리목표	관리변수
해안 안정성 개선	해빈 기준점(해안도로 혹은 사구 기저부)으로부터 표사한 계수심까지 평형단면시의 모래체적
해안방호 개선	육지방향 기준점(해안도로 혹은 사구 기저부)으로부터 저조선까지의 모래체적
해빈폭 확장	육지방향 기준점(해안도로 혹은 사구 기저부)으로부터 저조선까지의 해빈폭

라) 국가모니터링 마스터플랜 수립

□ 현행 연안침식 국가모니터링은 다방면에서 개선이 필요하며, 선진화를 위한 마스터플랜 수립이 필요함. 계획수립시 고려하여 할 사항은 크게 행정실무 활용성 제고와 자료의 과학·공학적 가치 제고 분야로 구분할 수 있음.

① 연안침식관리 행정실무 활용성 제고

- i) 모니터링 대상해안 선정 : 120개 해안에서 국가모니터링의 침식이력조사가 수행되고 있으나 '제2차 연안정비계획' 수립시 지자체의 연안보전사업 수요지구 354개에 포함된 해안이 22개소에 불과함. 현재 침식문제가 있거나 계획된 해안시설에 의해 향후 침식가능성이 있는 해안 중심의 모니터링이 바람직함.
- ii) 모니터링 우선순위·강도 : 차기 연안정비사업 수요순위가 높고 대규모 대책이 필요한 해안에 대해서는 설계용역 이전에 관련현상을 정량적으로 파악함과 아울러 우선공법을 제시할 수 있는 수준의 강도 높은 모니터링이 필요함.
- iii) 모니터링 결과 반영 : 연안정비사업 선정시 모니터링을 통하여 사업타당성이 과학적으로 입증된 해안 우선 반영

② 자료의 과학·공학적 가치 제고

- i) 연안과랑관측망 구성 : 과랑은 연안수리현상, 침식·침수현상 파악을 위한 가장 기초적인 외력정보임. 과학적인 연안침식대응을 비롯한 종합적이고 중장기적인 연안재해관리를 위해서는 연안과랑관측망 구축이 필수임.
- ii) 모니터링 시공간범위 타당성 확보 : 선진국의 대표적인 연안침식관리 시행착오는 국지적 대응이며, 이는 표사계 전체 거동을 파악하지 못한 결과임. 측선간격을 조절하는 경우가 있더라도 조사대상은 해당 표사계 전체를 포함하여야 함. 또한 조사시기는 관리목표를 고려하여 선정하여야 함. 예를 들어 레크리

에이션용 백사장 확장을 위해서는 성수기 직전 해변폭 측량이 최선의 시기임.
iii) 모니터링 항목·주기 차등화 : 관리목표와 침식의 정도에 따라 조사항목과 주기 차등화가 필요함.

iv) 비디오모니터링 활용도 개선 : 자료의 신뢰성을 확보하면 비디오모니터링은 매우 경제적인 해안선관리수단임. 세계적인 동향에 비추어 비디오모니터링 시스템이 설치·운영중인 해안이 월등히 많음에도 과학·공학적 활용성이 저조함. 침식문제 혹은 침식가능성이 없는 해안에 설치된 시스템을 철수하고 대규모 공사가 예정되었거나 시행중 혹은 시행직후 해안 등 해안선변화가 큰 해안에 집중함이 바람직함.

현재 모니터링 결과를 백사장 면적 중심으로 제시하고 있으나 면적정보만으로 침식을 현상학적으로 해석할 수 없으므로 해안선 위치 변동을 반드시 제시할 필요가 있음.

고파사상 관측결과도 면적계산에 포함하고 있으나 이는 비과학적임. 유의파고 1m 등 임계파고 이하인 정온시기 자료만 사용하여 해안선을 추출하고 해변 면적을 산출하여야 함.

3) 최적공법선정·설계

□ 우리나라 연안침식대책 설계시 개선이 요망되는 중요사항은 목표해빈폭, 모래 체적 등 공법적용의 목표 정량화가 부족한 것임. 연안수리현상 예측불확실성이 높기 때문에 정량화된 목표를 달성하지 못하는 경우가 많으며 이는 선진국도 크게 다르지 않지만 기술발전을 위해서는 목표정량화와 사후모니터링을 통한 분석이 필수적임.

□ 다양한 공법의 설계시 고려사항을 제시하였으며, 특히 향후 우회·순환양빈이 활성화될 것으로 예상하여 양빈분야를 특별히 강조하였음.

□ 설계시 우선적으로 고려하여야 할 사항은 다음과 같음.

- i) 가용모래자원 활용
- ii) 표사계 유출모래 차단
- iii) 모래가 풍부한 이웃 표사계 활용
- iv) 하천모래 활용
- v) 유사사례 수집·분석

라. 국내 연안침식방지사업 효과 검토

- 국내 주요사업에서 수행한 현장관측과 수치모형실험 개선방안을 제시하였음.
- 경북 울진군 구산-월송해안의 침식방지사업을 심도 있게 분석한 결과, 일본의 사례를 도입하여 설치한 크레스트형 잠제가 목표기능에 미치지 못하였음. 즉, 잠제는 배후 연육사주가 목적기능이 아님에도 계획된 2기 중 1기 완공직후 배후 해안선이 잠제에 이르렀음. 잔여 1기를 건설하지 않고 구산항내 및 항계내 퇴적모래를 활용하는 친환경대응방안을 제시하였음.
- 향후 양빈이 활성화될 것으로 예상됨에 따라 유지양빈 주기와 모래양 파악을 위한 모니터링의 중요성이 높아지고 있음. 제1차 연안정비사업의 성공사례로 평가받고 있는 부산 송도해수욕장의 사후모니터링과 추가로 수행한 수심측량성과를 분석함과 아울러 수리·퇴적현상 정밀관측을 단기간 실시하여 모래의 유출 경로를 파악하였음.
- 전남 신안군 백길해수욕장의 침식방지사업 관광자원화 계획을 검토하여 주변 해역의 부유퇴적물 농도로 미루어 구조물을 설치하면 해수욕장이 부분적으로 니질화되어 가치가 저하될 것을 지적하였음.

마. 시범 현장조사 및 설계

- 충남 태안군 만리포해수욕장에서 수행한 수리·퇴적현상 정밀모니터링을 비롯한 다양한 현장조사결과와 기타 연구결과를 종합하여 만리포 침식관련현상을 정밀하게 분석하였으며, 향후 대규모 해안침식방지사업 수행시 수행하여야 할 현장관측의 모형을 제시하였음.
- 경북 영덕군 고래불해수욕장에 하천모래 유실을 방지하고 이를 활용하여 주변 침식해안을 친환경적으로 복원할 수 있도록 송천 유출모래 포집시설을 설계하였음.
- 충남 태안군 백사장해수욕장 침식을 친환경적으로 대처하기 위한 시설을 개략적으로 설계하였음.

목 차

요 약 문	i
목 차	xv
그림목차	xix
표 목 차	xxvii
Box 목차	xxix
I. 서 론	1
1. 연구의 배경 및 필요성	3
가. 연안회복탄력성	3
나. 연안침식방지기술	5
다. 연안침식제어기술	6
라. 연안침식관리와 연안통합관리	9
마. 국외 연안침식 관리체도의 진화	11
바. 우리나라 연안침식	31
사. 우리나라 관리체계 진화의 필요성	71
2. 연구의 목적 및 내용	91
가. 연구목적	9
나. 연구내용	9
II. 연안침식관리체계	2
1. 최적관리 필수요소	42

2. 관리요소별 국외사례	52
가. 연안침식통합관리와 해안선관리	5 2
나. 연안침식관리정책	82
다. 연안침식 지역관리계획	03
라. 관리예산	0
마. 연안개발규제 및 보전구역지정	1 3
바. 모래관리	2
사. 국고지원 침식대책 선정·진행절차	4 3
아. 성과평가	6
자. 연구·개발	8
차. 정보생산·관리·보급	93
3. 국내 관리체계	14
가. 현황분석	4
나. 연안침식관리 선진화 방안	6 5
III. 국내사례 분석	95
1. 기술발전 요건	6
2. 현장조사 및 수치모형실험	4 6
가. 파랑관측	5
나. 해빈·수심측량	56
다. 해빈류	6
라. 표사량	6
마. 수치모형실험	76
3. 경북 울진군 구산-월송해안	3 7
가. 구산항 개발연혁 및 침식이력	3 7
나. 시행단계별 정량화와 단계간 연계성	7 7
다. 잠제 1기 효과	38
라. 사후모니터링	68
마. 최적관리방안 검토	98

4. 부산 송도해수욕장	49
가. 침식이력	5
나. 제1차 연안정비사업	0
다. 2004~2009년 모니터링	401
라. 2010년 해변·수심측량	91
마. 수리·표사현상 시험정밀관측	31
바. 종합분석	13
5. 전남 신안군 백길해수욕장	2
가. 침식이력	12
나. 기본계획 검토	14
다. 최적관리방안 검토	8
IV. 시범 현장조사 및 설계	139
1. 충남 태안군 만리포해수욕장	21
가. 침식원인과 현황	2
나. 한국해양연구소 1981-1982년 조사	6 4 1
다. 현장조사	18
라. 종합분석	14
2. 경북 영덕군 고래불해수욕장	81
가. 현 황	188
나. 설계 기본방향	9
다. 연안표사량 및 유사량 산정	9
라. 평면배치계획	9
마. 종단돌체	19
바. 우회양빈시스템	8
3. 충남 태안군 백사장해수욕장	72
가. 기본방향	27
나. 현 황	207
다. 평면배치계획	8
라. 개략공사비	21

참고문헌	213
부록 1 : 국외 관리제도	219
부록 2 : 한미 연안침식 공동 워크숍	309

그림목차

그림 1.1.1	지구온난화에 따른 우심피해 5대 분야 (IPCC 2007)	4
그림 1.1.2	일본이 「해안법」 개정에 즈음하여 권장한 해안침식대응 제1신기술	8
그림 1.1.3	경북 울진군 원남면 오산항 확장 초기 침식	4 1
그림 1.1.4	경북 울진군 오산항 (2010. 3.4, Naver)	4 1
그림 2.1.1	연안침식관리 진화를 위한 피드백 시스템: Taal et al.(2006)의 그림 재구성	3 2
그림 2.2.1	영국 바다골재채취량 추이 (2006년 내수 13.4Mt, 수출 6.7Mt, 양빈·매립 4.1Mt, BMPA 2007)	7 2
그림 2.2.2	일본 '해양기본계획' 제9정책인 '연안통합관리' 주요내용	2 3
그림 2.2.3	캘리포니아주 CSMW 홈 페이지	3 3
그림 2.2.4	네덜란드 동적보존정책 시행체계 (van Koningsveld and Mulder 2004)	7 3
그림 2.2.5	미국 육군공병단 현장실험시설	8 3
그림 2.2.6	수중양빈(좌) 및 모래돌체(우) 시험시공관련 네덜란드 델프트공대 석사논문	9 3
그림 2.2.7	미국 Sea Grant 프로그램 성과 사례	0 4
그림 2.3.1	경기만 남부해역 모래채취구역 (한국골재협회 인천지회 2002) : A 굴업도 사퇴, B 덕적도 사퇴, C 소야도 사퇴, D 소이작도 사퇴, E 하별천퇴, F 승봉도 사퇴, G 풍도사퇴, H 입파도 사퇴, I 국화도 사퇴, J 장안퇴	64
그림 2.3.2	2010년 장안퇴 수심 및 2006/2007년 수심과의 비교단면 (대산지방해양항만청, 수행중)	9 4
그림 2.3.3	장안퇴 침식우심구간 단면변화 (대산지방해양항만청, 수행중)	0 5
그림 2.3.4	장안퇴 및 배후 해수욕장 (대산지방해양항만청, 수행중)	1 5
그림 2.3.5	(a) 울진군이 행정심판소송에서 패소한 평해광산과 동해안에서 2006-2010년 동안 모래채취량이 가장 많았던(320만톤) 사동광산; (b) 사동광산에서의 모래채취 (2008. 4.29)	3 5
그림 3.1.1	속초항 방파제 연장에 따른 해안침식 기사 (중앙일보 1987.11.3) ...	2 6
그림 3.1.2	속초항 방파제 연장에 따른 해안선 변화	3 6

그림 3.2.1	강릉시 안목해안 해안선변화모형 검증결과 (강릉어항사무소 2008) 7	6
그림 3.2.2	안목해수욕장 침식 기사 (2007.9.7)	9 6
그림 3.2.3	안목해안 전면 하계 풍향·풍속·유의파고 (강릉어항사무소 2008) ...9	6
그림 3.2.4	사천진항 전면 하계 유의파고·파향 (강릉어항사무소 2009a)	9 6
그림 3.2.5	후포 왕돌초 2008년 8월 유의파고 및 첨두주기	0 7
그림 3.2.6	경북 울진군 평해읍 월송정 해안의 2008년 하계 침식 (2008. 8.24, 사진: 울진군 해양수산과 허재영)	0 7
그림 3.2.7	경북 울진군 봉평리 양빈해안 침식	0 7
그림 3.2.8	파랑상태에 따른 안목해수욕장	1 7
그림 3.2.9	강릉항 주변 수심변화 (강릉어항사무소 2009b)	2 7
그림 3.2.10	봉평지구 수정안 완공 후 해안선변화 예측결과 : (a) 하계 계산시점 2006년 7월 1일, (b) 동계 계산시점 2007년 12월 1일 (포항지방해양수산청 2008)	2 7
그림 3.3.1	경북 울진군 기성면 구산리 ~ 평해읍 월송리 해안 (2010. 8.20, Daum)	3 7
그림 3.3.2	구산리-월송리 1991~2005년 해안선 변화	4 7
그림 3.3.3	구산항 주변 2001~2005년 수심변화 (포항지방해양수산청 2005) ...6	7
그림 3.3.4	덕신리 해안선변화	6 7
그림 3.3.5	구산-월송해안 '침식원인 정량화 단계'에서 우선적으로 파악하여야 할 현상 (WWSZ: Winter Waves Shadow Zone)	8 7
그림 3.3.6	구산항 및 구산리 해안 침식방지시설 기본설계안 (해양수산부 2002)9	7
그림 3.3.7	구산리 해안 침식방지시설 실시설계안 (포항지방해양수산청 2005) 0	8
그림 3.3.8	구산리 해안 침식방지시설 조감도 (포항지방해양수산청 2005)	0 8
그림 3.3.9	오산항 주변 2001~2005년 수심변화 (포항지방해양수산청 2005) ...1	8
그림 3.3.10	구산항 전면 규사광업권 분포 (포항지방해양수산청 2005)	2 8
그림 3.3.11	구산리 해안 잠제 단면도 (포항지방해양수산청 2005)	3 8
그림 3.3.12	돛토리현 가이케 해안 Crest 형 잠제 단면도 (日野川河川事務所 2007)	3 8
그림 3.3.13	잠제 건설 5년 후 해안선변화 예측결과 (포항지방해양수산청 2005) 3	8
그림 3.3.14	구산리 해안 잠제 착공 이후 해안선 변화(a,c: daum, b: naver)	4 8
그림 3.3.15	가이케 해안 제3호 이안제 Crest형 잠제로의 개량전후 (日野川河川事務所 2007)	5 8
그림 3.3.16	가이케 해안 제5호 이안제 Crest형 잠제로 개량중 (Google Earth) 5	8
그림 3.3.17	수리모형실험을 통한 고과사상기인 잠제 배후 지형변화 재현 (宇多等 2009)	7 8

그림 3.3.18	(a)구산-월송해안 VMS Tower 위치와 카메라 앵글 및 (b) VMS Tower (국립해양조사원 2009)	8	8
그림 3.3.19	구산-월송해안 VMS 해빈폭 추출 기선 (국립해양조사원 2009)	8	8
그림 3.3.20	구산-월송해안 해빈면적 변화 (국립해양조사원 2009)	8	8
그림 3.3.21	구산항 건설이전(1971.8.23) 구산-월송해안 모래수지 결정 주요 표사율	9	8
그림 3.3.22	구산항 건설이후(2006.12.6) 구산-월송해안 모래수지 결정 주요 표사율	0	9
그림 3.3.23	잠제 건설전·중·후의 구산항 인근 해안선 변화 (a: Google Earth, b,d: daum, c: naver)	1	9
그림 3.3.24	(a) 현상태(2010. 8.20) 및 (b) 잔여잠제 설치 후 발생가능한 장래해안선	2	9
그림 3.4.1	부산 송도해수욕장 일원 (2008. 1.31, Daum)	4	9
그림 3.4.2	송도해수욕장 항공사진 (한국해양대학교 2009)	5	9
그림 3.4.3	연안정비사업 시행전 송도해역 수심도 (부산시 서구 2002) 및 예상 침식우심구간	6	9
그림 3.4.4	송도해역 해저퇴적물 중앙입경 분포 (부산시 서구 2002)	7	9
그림 3.4.5	해도비교에 따른 송도해수욕장 전면해역 수심변화 (한국해양대학교 2009)	8	9
그림 3.4.6	송도해역 대조기(2001.12.30) 조류 패턴 (부산시 서구 2002)	9	9
그림 3.4.7	과거 송도해수욕장 : (a) 1954 (photo by Cliff Strovers), (b) 2000년대초	9	9
그림 3.4.8	(a) 부산송도해수욕장 연안정비사업 계획평면도(부산시 서구 2002) 및 (b) 2009년 1월 상황(naver)	10	1
그림 3.4.9	연안정비사업 시행전 단면측선 (부산광역시 서구 2002)	2	0 1
그림 3.4.10	송도해수욕장 동서측 대표단면 변화 (2001.12~2002. 6) (단위 : m, 표고기준은 DL, 부산광역시 서구 2002)	3	0 1
그림 3.4.11	송도 양빈설계단면과 입경기준 평형단면경사 비교	3	0 1
그림 3.4.12	송도 모니터링 과량관측점 (한국해양대학교 2009)	5	0 1
그림 3.4.13	송도 모니터링 소류사 채취정점과 소류사 포사기 (한국해양대학교 2009)	6	1
그림 3.4.14	송도 해저퇴적물 채취정점 및 1차관측(2004. 6.25) 성과 (한국해양대학교 2009)	7	1
그림 3.4.15	송도 모니터링 모래체적변화 산정측선 (한국해양대학교 2009)	8	0 1
그림 3.4.16	송도해수욕장 잠제배후 주요단면 하계형상: 한국해양대학교(2009)에서 발취	9	0 1

그림 3.4.17	양빈 후 3년('05년 7월 8일~'08년 07월 09일) 동안의 수심변화 (김 등 2008)	1
그림 3.4.18	송도해수욕장 잠제배후 주요단면 동계형상: 한국해양대학교(2009)에서 발췌	111
그림 3.4.19	송도해수욕장 잠제배후 주요단면 최근 변화: 한국해양대학교(2009) 및 부산시 서구(2010) 자료로 구성	911
그림 3.4.20	송도 수리·표사현상 시험정밀관측 정점 (2009.5.19, Google Earth) 3···2	1
그림 3.4.21	정점 A1, A2에서의 파랑정보 시계열	4 2 1
그림 3.4.22	정점 A1에서의 조위, 유속·유향 연직분포 시계열	5 2 1
그림 3.4.23	정점 A1에서의 조위, 유속·유향 연직분포 시계열	6 2 1
그림 3.4.24	정점 A1, A2 저면상 1.1 m에서의 유속·유향 산포도	6 2 1
그림 3.4.25	정점 M2에서의 광후산란 탁도계(OBS) 검보정 결과	7 2 1
그림 3.4.26	정점 M1에서의 수리·표사특성 시계열	7 2 1
그림 3.4.27	(a) 정점 M1 저면상 0.5 m에서의 유속·유향 산포도 및 (b) 부유퇴적물 이동량	8
그림 3.4.28	정점 M2에서의 수리·표사특성 시계열	9 2 1
그림 3.4.29	(a) 정점 M2 저면상 0.5 m에서의 유속·유향 산포도 및 (b) 부유퇴적물 이동량	9
그림 3.4.30	정점 M3에서의 수리·표사특성 시계열	10 3 1
그림 3.4.21	(a) 정점 M3 저면상 0.5 m에서의 유속·유향 산포도 및 (b) 부유퇴적물 이동량	11
그림 3.5.1	전남 신안군 백길해수욕장(저조시) 일원 (naver)	2 3 1
그림 3.5.2	백길해수욕장 해안선변화(1976~2007): 신안군(2008) 자료로 구성 3···3	1
그림 3.5.3	고조시 백길해수욕장 (daum)	4 3 1
그림 3.5.4	백길해수욕장 기본계획 선정안 조감도 (신안군 2008)	5 3 1
그림 3.5.5	영국 남해중부 Elmer 해안 이안제군	5 3 1
그림 3.5.6	백길해수욕장 (a) 현상태 및 (b) 선정안 해변류 기인 지형변화 수치모형실험결과 : 최대유의파 24시간 적용 (신안군 2008)	6 3 1
그림 3.5.7	임자도와 자은도 (naver)	6 3 1
그림 3.5.8	(a) 1998년 9월 16일 14:56 황해 부유퇴적물 표층농도(SSSC, 인공위성 NOAA-14), (b) 1998년 9월 12일 인천-제주 세모페리호 항행경로 및 주요정점 SSSC, (c) 수온·염분, (d) SSSC 시공계열 (ND: 덕적도 인근, WA: 안마도 서측, SWI: 임자도 서측, CCT: 대흑산도와 진도 사이, SWC: 진도 남서측) (Jin et al. 2001)	7 3 1
그림 4.1.1	충남 태안군 만리포·천리포해수욕장 (2010, Daum)	2 4 1
그림 4.1.2	만리포해수욕장 개발 전후 (①,②,③ 미피복 사구)	3 4 1

그림 4.1.3	(a)~(c) 연안표사울 평형시 전사구 침식-복원 과정 및 (d) 대조차 사빈-사구체계 단면도 (French 2001)	3·4 1
그림 4.1.4	서해안 북서개방 만곡형 사빈-사구체계의 호안 건설 후 침식·퇴적 모식도	4
그림 4.1.5	고조폭풍에 의한 만리포해수욕장 호안전면 침식 (촬영일시 2007/05/21 09:58)	541
그림 4.1.6	2007년 5월 28·29일 양빈 전후	541
그림 4.1.7	만리포해수욕장 양빈형식	54
그림 4.1.8	한국해양연구소(1982) 관측정점	641
그림 4.1.9	만리포 해역 수심 MSL(-)10~20m 정점 잔차류 (한국해양연구소 1982)	6
그림 4.1.10	정점 S1, S2에서의 조위·유속·유향·부유사농도 시계열 (한국해양연구소 1982)	7
그림 4.1.11	만리포 동계(1981.11~1982.2) 수심변화(한국해양연구소 1982)	7·4 1
그림 4.1.12	조시별 창·낙조류 수심평균유속·유향 공간분포 (안흥고조 2009/04/14 18:22 521cm, 안흥저조 04/15 13:23 211cm, 안흥대조고조 04/11 04:46 658cm)	841
그림 4.1.13	만리포 주변 해빈·해저 표층퇴적물 평균입경분포	9 4 1
그림 4.1.14	만리포 수리·퇴적현상 정밀관측 및 기상관측 정점	0 5 1
그림 4.1.15	수리·퇴적현상 정밀관측시스템 SPHINX(a) 및 MAVS(b)	0·5 1
그림 4.1.16	정점 S1 수리·표사특성 및 정점 AWS 바람 시계열 (cmab: cm above the bed)	2
그림 4.1.17	(a)평상소조기 및 (b)고파소조기 수리·표사특성 비교 (유속·유향·농도: 40cmab)	3
그림 4.1.18	평상소조 최강창낙조시 부유퇴적물 순간플럭스 산포도 (1 burst, 40 cmab)	4
그림 4.1.19	고파소조 최강창낙조시 부유퇴적물 순간플럭스 산포도 (1 burst, 40 cmab)	4
그림 4.1.20	평상소조 및 고파소조 1일 동안의 방향별 부유퇴적물 이동량(40 cmab)	4
그림 4.1.21	정점 S1 2006년 동계(11/15~12/07) 저면상 40 cm 부유퇴적물 방향별 이동량	5
그림 4.1.22	정점 S2 2008년 동계관측시 (a) LISST 농도와 상부 OBS 출력전압 상관관계 및 (b) 상하부 OBS 농도와 동일층 반사음향강도 상관관계	6·5 1
그림 4.1.23	정점 S2 2008년 동계 Vector·OBS 8Hz Burst 관측 예	7·5 1
그림 4.1.24	정점 S2 2008년 동계관측 최고농도 발생시 부유퇴적물(38 cmab) 입경분포	8

그림 4.1.25	만리포 및 주변해역 고탁도 발생 예 (Daum, 2008. 2)	9·5 1
그림 4.1.26	정점 S2 2008년 동계 수리·표사특성 및 정점 AWS 바람 시계열	0·6 1
그림 4.1.27	정점 S2 2008년 동계 저층 유속·유향·농도 연직분포 시계열	4·6 1
그림 4.1.28	정점 S2 2008년 동계 (a)평상시 및 (b)고파사상 수리·표사특성 비교 (대조기 고조 12.13 16:22 693cm)	161
그림 4.1.29	정점 S2 2008년 동계 단일층 초음파 유속계(Nortek Vector)와 12.08- 초음파 유속 Profiler (Sontek PC-ADP) 관측치 비교	2·6 1
그림 4.1.30	정점 S2 2008년 동계(12/13~21) 저층(0~78cmab) 부유퇴적물 방향별 이동량	3
그림 4.1.31	근소만 일원해역 낙조시 (Naver)	461
그림 4.1.32	정점 S2 2009년 동계관측시 LISST 농도와 (a) 상부 OBS 출력전압 및 (b) 동일층 PC-ADP 반사음향강도 상관관계	5·6 1
그림 4.1.33	정점 S2 2009년 동계관측에서 최대 LISST 농도 발생시 부유퇴적물 입경분포	6
그림 4.1.34	정점 S2 2009년 동계 수리·표사특성 및 정점 AWS 바람 시계열	7·6 1
그림 4.1.35	정점 S2 2009년 동계 조위·파랑 및 저층 수리·표사특성 시계열	8
그림 4.1.36	정점 S2 2009년 동계 (a)평상시 및 (b)고파사상 수리·표사특성 비교 (대조기 고조 12.17 16:34 634cm)	9 6 1
그림 4.1.37	정점 S2 2009년 동계(12/08~23) 저층(0~72 cmab) 부유퇴적물 방향별 이동량	9
그림 4.1.38	정점 M1 OBS 탁도 검보정 결과	171
그림 4.1.39	정점 M1 2009년 동계 수리·표사특성 및 정점 AWS 바람 시계열 (25 cmab)	12
그림 4.1.40	정점 M1 2009년 동계(12/08~23) 저면상 25 cm 부유퇴적물 방향별 이동량	13
그림 4.1.41	정점 S3 2009년 하계 LISST 농도와 반사음향강도 상관관계	4·7 1
그림 4.1.42	정점 S3 2009년 하계 부유퇴적물 입경분포 예	4·7 1
그림 4.1.43	정점 S3 2009년 하계 수리·표사특성 및 정점 AWS 바람 시계열	6·7 1
그림 4.1.44	정점 S3 조위·파랑 및 저층 수리·표사특성 시계열	7·7 1
그림 4.1.45	정점 S3 (a)표층 및 (b)저층 유속·유향 산포도	7·7 1
그림 4.1.46	정점 S3 2009년 하계(07/08~08/05) 저층(0~81 cmab) 부유퇴적물 방향별 이동량	13
그림 4.1.47	만리포·천리포 해빈표고변화 (2007/01/24~06/27)	9·7 1
그림 4.1.48	만리포 해역 수심도	13
그림 4.1.49	만리포 수심변화 (1월-7월)	1 8 1

그림 4.1.50	만리포 수심변화 (7월-10월)	1·8 1
그림 4.1.51	만리포 해변표고 계절변화 (심 등 2010)	2·8 1
그림 4.1.52	만리포 양빈(2009. 7.24, 2,500m ³) 전후 표고변화	3·8 1
그림 4.1.53	만리포 양빈(2009. 7.24, 2,500m ³) 전후 표층퇴적물 평균입경변화	3·8 1
그림 4.1.54	만리포 수리·표사정밀관측 주요 관측결과와 모래의 .. 예상 공급경로(①) 및 공급·유출경로(②)	4
그림 4.1.55	한국해양연구소(1982)의 만리포 전면 파랑관측성과	5·8 1
그림 4.1.56	기상청의 파랑관측 등표(좌) 및 부이(우)	6·8 1
그림 4.1.57	만리포 해변 이상퇴적기간 동안의 안흥검조소 조위, 만리포 바람, 가대암 바람·파랑 시계열	8
그림 4.1.58	만리포 해변 이상퇴적기간 동안의 안흥검조소 조위, 만리포 바람, 덕적도 바람·파랑 시계열	8
그림 4.2.1	경북 영덕군 병곡면 병곡리 - 영해면 대진리 해안	8·8 1
그림 4.2.2	병곡-대진해안 해안선 변화	981
그림 4.2.3	고래불해수욕장 해변면적 변화 (국립해양조사원 2009)	9·8 1
그림 4.2.4	대진항-축산항 해안	091
그림 4.2.5	송천 모래유출 상황 (국립해양조사원 2009)	0·9 1
그림 4.2.6	백석항 남측 침식구간	01
그림 4.2.7	Hsu and Evans(1989) 평형해안선 경험식 적용결과	1·9 1
그림 4.2.8	고래불해수욕장 연안표사도	291
그림 4.2.9	평면배치안(제1안)	591
그림 4.2.10	평면배치안(제2안)	591
그림 4.2.11	평면배치안(제3안)	691
그림 4.2.12	돌제에 의한 연안표사 포착률	002
그림 4.2.13	돌제 설치 후 예측된 안정해안선	102
그림 4.3.1	백사장해수욕장 계획평면도	802
그림 4.3.2	방사잠제 및 호안표준단면도	902
그림 4.3.3	목책돌제 표준단면도	02

표목차

표 1.1.1	EC 전략환경평가 지령에 명시된 분야별 연안침식영향관련 계획/프로그램 (EC 2004)	9
표 1.1.2	선진국 해안침식 관리제도 진화 대표사례	2 1
표 1.1.3	제2차 연안정비계획(2010-2019) 사업내역 (국토해양부 2009a)	6..... 1
표 1.1.4	제2차 연안정비계획의 경성구조물과 양빈 계획량 : 국토해양부(2009a)에서 발췌·정리	6 1
표 2.2.1	연안침식 최적관리 필수요소	4 2
표 2.2.2	영국 「해양법 Marine and Coastal Access Act」 제정 과정	6... 2
표 2.2.3	연안통합관리 이행방법	8 2
표 2.2.4	연안침식관리정책 수록문건 종류	0 3
표 2.3.1	경기만 남부 및 아산만 해역의 해사 매장량, 가채량, 채취허용량 및 잔존량(한국골재협회 인천지회 2002)	7 4
표 2.3.2	2006/2007~2010년 장안퇴 침식·퇴적 (대산지방해양항만청, 수행중) 0.....	5
표 2.3.3	최근5년 강원도 규사채취량	2 5
표 2.3.4	최근5년 경상북도 규사채취량	2 5
표 2.3.5	국내 연안침식관리 선진화 방안	6 5
표 3.1.1	연안침식방지사업 시행단계별 정량정보	1 6
표 3.2.1	연간 2계절 파랑관측(1개월/계절) 및 수심측량시기 예	5... 6
표 3.2.2	안목해안 해빈폭 변화: 강릉어항사무소(2008)에서 발췌·정리	8... 6
표 3.3.1	구산항 개발연혁 및 주요공사	3 7
표 3.3.2	경북 울진군 기성면 구산리~평해읍 월송리 백사장 변화 (1971~2005)4.....	7
표 3.4.1	항공사진분석에 의한 송도해수욕장 해빈폭·면적변화 (부산시 서구 2002)	5 9
표 3.4.2	송도해역 대조기(2001.12.30) 부표 최대유속 (부산시 서구 2002) ...9.....	9
표 3.4.3	부산 송도 침식방지공사 설계시공비 (부산시 서구 2002)	0·0 1
표 3.4.4	부산 송도지구 1차 연안정비사업 내역 (해양수산부 2007b)	0·0 1

표 3.4.5	'송도연안정비사업 모니터링 조사구역'의 현장조사 항목 및 내용 (한국해양대학교 2009)	41
표 3.4.6	정점 SC1에서의 소류사 채취성과 (한국해양대학교 2009)	6·0 1
표 3.4.7	정점 SC2에서의 소류사 채취성과 (한국해양대학교 2009)	6·0 1
표 3.4.8	수심측량 시기·구간별 모래체적변화 : 한국해양대학교(2009) 보완	4·1 1
표 3.4.9	수심측량 기간·구간별 모래체적변화: 한국해양대학교(2009) 자료로 산출	511
표 3.4.10	수심측량 시기 및 구간별 모래체적변화: 한국해양대학교(2009) 및 부산시 서구(2010) 자료 보완·구성	121
표 3.4.11	수심측량 기간·구간별 모래체적변화: 한국해양대학교(2009) 및 부산시 서구(2010) 자료로 산출	221
표 3.4.12	송도 시험정밀관측 위치·기간 및 관측기기	421
표 3.4.13	송도 시험정밀관측 기기별 관측방법	421
표 4.1.1	만리포 2007년 5월 침식발생시 고조위 및 바람 특성	4·4 1
표 4.1.2	만리포 수리·퇴적현상 정밀관측 위치·수심·기간·고조위	1·5 1
표 4.1.3	정점 S1 2006년 동계(11/15~12/07) 저면상 40 cm 부유퇴적물 방향별 이동량 및 출현율	B
표 4.1.4	정점 S2 2008년 동계관측 최고농도 발생시 부유퇴적물(38 cmab) 입경별 비율	B
표 4.1.5	정점 S2 2008년 동계(12/13~21) 저층(0~78 cmab) 부유퇴적물 방향별 이동량 및 출현율	B
표 4.1.6	정점 S2 2009년 동계(12/08~23) 저층(0~72 cmab) 부유퇴적물 방향별 이동량 및 출현율	D
표 4.1.7	정점 M1 2009년 동계(12/08~23) 저면상 25 cm 부유퇴적물 방향별 이동량 및 출현율	B
표 4.1.8	정점 S3 2009년 하계(07/08~08/05) 저층(0~81 cmab) 부유퇴적물 방향별 이동량 및 출현율	B
표 4.1.9	만리포 해변 침식·퇴적 LiDAR 측량결과 (심 등 2010)	2·8 1
표 4.2.1	유사량 산정결과	9
표 4.2.2	평면배치계획	9
표 4.2.3	평면배치안별 비교표	9
표 4.2.4	연도별 연층 초과출현빈도 0.137%의 유의파고와 주기	7·9 1
표 4.2.5	장기파랑산출자료의 $H_{1/3}$, $T_{1/3}$	302
표 4.3.1	백사장해수욕장 평면배치계획	702

Box 목차

Box 1.1.1	연안회복탄력성 (RIKZ et al. 2004a)	3
Box 1.1.2	돌제 하류해안 침식재해 대표사례 : 미국 Village of West Hampton Dune	7
Box 1.1.3	동해안 해안도로 호안에 의한 침식 사례	5 1
Box 1.2.1	연구목적	91
Box 2.2.1	미국의 연안통합관리 방법	5 2
Box 2.2.2	호주 「연안보호·관리법」의 목적과 연안관리 이행방법	7 2
Box 2.2.3	미국 「연안역관리법」 중 연안침식관련 정책	9 2
Box 2.2.4	플로리다 마이애미 해안 양빈	5 3
Box 2.3.1	제1차 연안통합관리계획의 기본목표 (해양수산부 2000)	1 4
Box 2.3.2	'연안통합관리와 지속가능한 개발'의 목표 (Agenda 21 Chap. 17 17.5)	1 4
Box 2.3.3	'연안재해방지사업의 체계적 전개' 기본정책 (해양수산부 2000)	2 4
Box 2.3.4	선갑지적 2000-22009년 해사채취 실적 (한국골재협회 인천지회 2008, 충남골재협회 2010)	8 4
Box 2.3.5	「골재채취법」 중 지도·감독 조항	8 4
Box 2.3.6	「측량·수로조사 및 지적에 관한 법률」 중 해사채취-수심측량 조항	8 4
Box 2.3.7	「측량·수로조사 및 지적에 관한 법률 시행령」 중 수심측량 예외 조항	9 4
Box 2.3.8	울진군의 규사채취 공유수면 점·사용허가 불허에 대한 경북 행정심판위원회 판결 결과(좌) 및 그에 따른 점·사용 허가 공문(우)	3 5
Box 3.2.1	공현진항 해안선변화·항내매물 조사사업 공고	4 6
Box 3.3.1	오산항 시설에 대한 宇多 박사의 의견 (포항지방해양수산청 2005)	6 7
Box 3.3.2	宇多 박사의 오산항 침식방지사업 자문내용 일부 (포항지방해양수산청 2005)	1 8
Box 3.3.3	구산항 해안선·해빈변화 조사사업 공고	6 8

Box 3.4.1	'송도연안정비사업 모니터링 조사용역'의 목적 (한국해양대학교 2009)	41
Box 3.4.2	송도해수욕장 퇴적 기사	81
Box 3.4.3	'송도연안정비사업 모니터링 조사용역'의 체적변화 결론 (한국해양대학교 2009)	31
Box 3.4.4	'송도모니터링 용역'의 추가양빈 당위성 주장 근거 (한국해양대학교 2009)	71
Box 3.4.5	'송도모니터링 용역'이 근거자료로 인용한 NRC(1995) 67쪽 일부의 원문과 해석	71
Box 3.4.6	사우스캐롤라이나 「Beachfront Management Act」 290조 E항 (150 yd ³ /ft = 114.7 m ³ /ft = 376.2 m ³ /m, 5.5 miles = 8.85 km)	1

I

서론

I. 서 론

1. 연구의 배경 및 필요성

가. 연안회복탄력성

내륙과 해양의 전이역인 연안은 농수산업, 임해산업단지·발전소·항만 등 산업인프라, 관광 및 레크리에이션 등의 場으로서 다양한 편익을 제공하며 경제·사회·환경적 가치가 내륙보다 높다.

퇴적물이 활발하게 이동하는 천해역으로부터 사구 혹은 염습지 등 해수 영향권까지는 연안 중 핵심적인 벨트이며, 이 영역의 다양한 기능 유지에 퇴적물이 중요한 역할을 담당한다.

즉, 풍부한 연안퇴적물에 의한 사구·갯벌 및 넓은 천해역의 발달은 고파랑 내습시 인명·재산 보호뿐 아니라 다양한 이용기능과 종 다양성 향상 등 환경기능 유지에 필수적인 요소이므로 연안퇴적물관리는 연안회복탄력성(Box 1.1.1)¹⁾ 유지의 중추이며 지속가능한 연안녹색성장의 토대이다.

Box 1.1.1 연안회복탄력성 (RIKZ et al. 2004a)

- 연안회복탄력성(Coastal resilience)은 해수면 상승, 극치사상, 인위적 영향 등에 의한 변화를 수용하면서 장기적으로는 연안체계의 기능을 유지하는 연안 고유의 능력이다.
- 연안회복탄력성은 두 가지 핵심인자, 즉 퇴적물과 제 연안현상에 필요한 공간유무에 좌우되며, 다음에 의해 저하된다.
 1. 만성적인 퇴적물 결손
 2. 해안절벽과 퇴적체계의 후퇴
 3. 해안선 후퇴에 따른 퇴적물 재분배를 수용하기 위해 필요한 공간을 제한하는 시설과 행위 일체

1) 회복탄력성(Resilience)은 심리학, 생태학, 사회생태학 등 다양한 분야에 쓰이는 용어이며, 유럽 연안침식 실태 파악과 개선방안 강구를 위한 유럽연합 공동연구사업인 EUROSION에서 연안회복탄력성을 Box 1.1.1과 같이 정의하였음.

I. 서론

그러나 전 세계적으로 산업화·도시화에 따른 지표피복, 하천정비, 댐·보 건설 등에 의한 육상으로부터의 토사공급 감소, 항만·호안 등 해안구조물 증가에 따른 연안표사계 교란과 연안모래 채취 등 다양한 인위적 원인, 그리고 지표면 침식윤회, 해수면 상승 및 폭풍·해일 내습빈도·강도 증가를 유발하는 기후변화 등 자연적 원인에 의한 해안침식이 점증함과 함께 그에 따른 연안회복탄력성 저하가 심화되고 있다.

기후변화의 경우, 100년 후의 기온과 해수면 최대상승치를 각각 6.4 °C와 59 cm 로 전망한 IPCC 제4차 보고서는 기후변화에 의한 피해가 특별히 우려되는 5대 분야에 지리적 구분으로는 유일하게 연안을 포함하면서 연평균 해수면 상승률 4.2 mm/yr가 지속되면 연안재해가 증가하여 2080년에는 세계 연안습지의 30%가 소멸함과 아울러 매년 수백만 명이 침수재해를 겪을 수 있음을 경고하였다(그림 1.1.1).

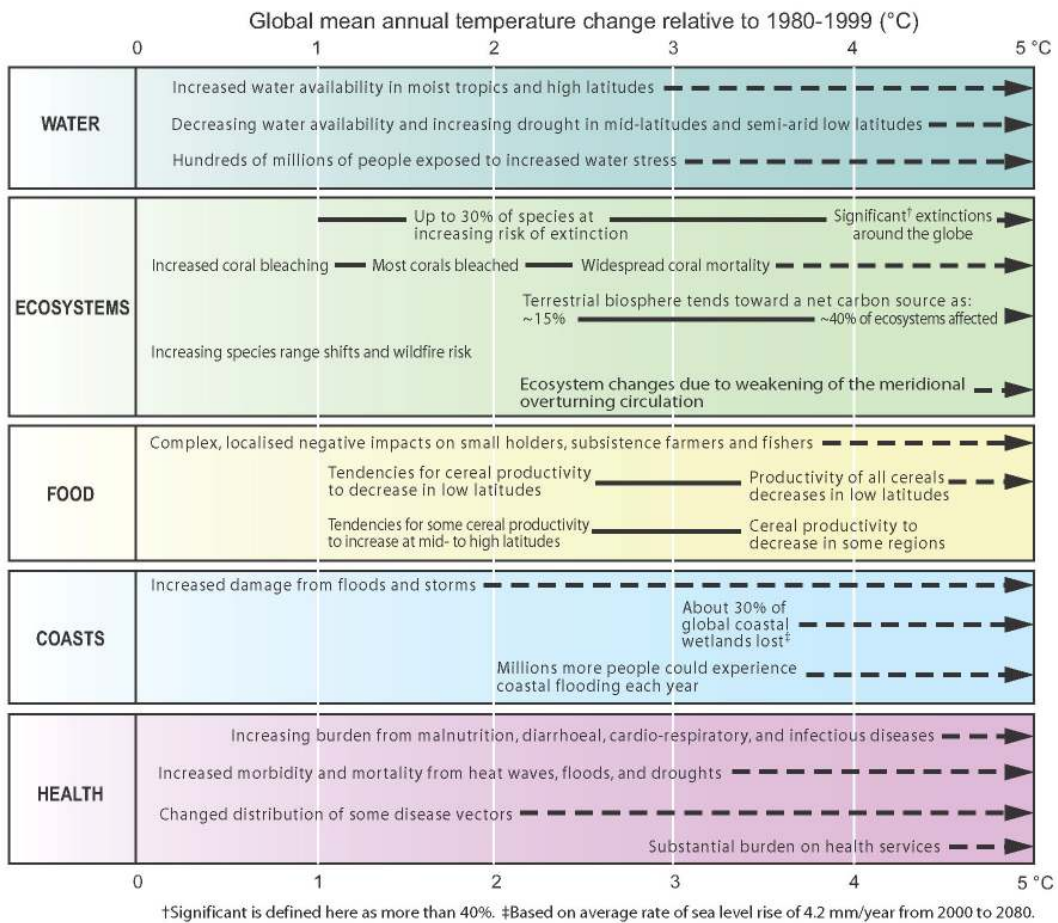


그림 1.1.1 지구온난화에 따른 우심피해 5대 분야 (IPCC 2007)

나. 연안침식방지기술

본 사업의 제목은 '연안침식방지기술 개발 연구'이며, 防止의 사전적 의미는 '어떤 일이나 현상이 일어나지 못하게 함'이다²⁾. 따라서 '어떤 일이나 현상'에 대한 정의에 따라 연구범위가 결정된다.

일반적으로 '침식방지기술'을 침식문제 발생 후에 적용하는 공학적인 기술로 제한하는 경향이 있으며, 이는 '어떤 일이나 현상'을 '연안침식 심화·확산'으로 정의하는 것이다. 그러나 연안회복탄력성을 저하시키고 사회적 주목을 받은 바 있는 해안침식 가운데 연안통합관리로 문제를 예방할 수 있었던 경우가 적지 않다. 따라서 연안침식분야에서의 방지대상인 '어떤 일이나 현상'은 침식문제의 '심화·확산'뿐 아니라 예방을 포함하는 것이 타당하며, 사실 방지의 사전적 의미는 예방이다.

방지기술을 공학분야에 국한하더라도 우리나라 삼면해안의 연안수리·표사특성은 각기 고유하며, 침식의 원인과 국지적 수리·표사특성의 다양함을 고려할 때 사업제목이 매우 포괄적임이 사실이다. 따라서 예방을 위해 필수적인 통합관리관련 법·제도, 모니터링, 침식심화·확산 최소화 방안 도출을 위한 수치모형실험, 그리고 대책안 경제성 평가 등이 포함되면 연구범위는 더욱 넓어지며, 연안회복탄력성의 지속을 위해서는 기후변화예측기술도 포함하여야 한다.

연안침식방지기술에 포함되는 각 분야의 독자적인 발전만으로는 효율적이고 효과적인 침식문제예방과 침식의 심화·확산 최소화가 어려우며, 이는 침식과 관련한 자연현상이 복잡함에 따라 대책효과 예측 신뢰도가 아직 충분히 만족스럽지 못함과 더불어 이해관계자가 다양하기 때문이다. 즉, 연안침식관리 선진화를 위해서는 방지기술이 포괄하는 다양한 분야의 발전과 함께 분야간 유기적인 연계체계의 구축과 이의 진화가 필수적이다.

정부는 10년 전부터 침식대책비용을 지원하고 있다. 그러나 침식방지시설의 설계 및 시공경험이 선진국에 비해 매우 부족하며, 침식피해 예방을 위해서는 모니터링과 관련법·제도를 개선할 필요가 있으며, 분야간 연계체계가 아직 구축되지 않는 등 포괄적인 연안침식방지기술의 발전여지가 아직 많으며, 무엇보다 우리나라 여건에 부합하는 연계체계의 중요성에 대한 인식과 연구가 부족하다.

연안침식방지기술은 공학적 기술뿐 아니라 모니터링, 침식방지사업 선정·시행절차와 무분별한 개발을 규제하는 법·제도를 포괄하는 일종의 체계기술임을 유념할 필요가 있다.

2) 국립국어원 표준국어대사전 <http://stdweb2.korean.go.kr/main.jsp>

다. 연안침식제어기술

고전역학 분야임에도 연안침식 제어기술은 불확실성이 높다. 선진국의 해안침식 대책 지원이 1940년대부터 시작되었고 관련연구가 지속되고 있음에도 침식문제 해결을 위한 공학기술이 아직 미흡하다. 이는 해안·해저경계면 수리·퇴적현상 규명이 불충분함과 함께 외력을 제어하기 어렵기 때문이다.

예를 들어 노출과 침수가 반복되는 포말대에서의 모래이동량이 상당하나 본격적인 연구가 최근에야 시작되었으며, 이에 대한 현상학적 이해 부족한 수치모형의 한계로 이어져 파-흐름-표사-지형변화를 계산하는 상용수치모형 가운데 해안선변화를 신뢰성 있게 계산할 수 있는 모형이 없는 실정이다(설계 가이드북 참조).

현상이해가 부족하지만 침식·침수관련 현안대응을 위한 공사는 계속 시행해야 하고, 시공효과에 대한 지속적인 R&D는 향후의 인명·재산피해 규모와 직결되며, 다양한 연구에 필요한 시설이 대규모임과 아울러 R&D와 국가지원 토목공사와의 유기적 피드백과 지역관리자를 위한 지속적인 정보제공이 필요하기 때문에 연안침식과 관련한 공학기술이 발전하기 위해서는 전문국가기관 설치가 바람직하다.

미국의 연안공학기술 발전은 연안방호와 관련한 자료를 생산하고 기술을 지원하기 위해 1930년 연방기관으로 설립된 민관합동 '해안침식위원회(Beach Erosion Board)'로부터 시작하며, 이를 1963년 설립된 육군공병단(USACE) '연안공학연구센터(Coastal Engineering Research Center)'가 계승하였다. 유럽의 경우, 영국의 HR Wallingford를 비롯한 유수의 민간회사들 모두 국가기관이었으며, 일본의 경우, 독립법인인 항만공학연구소(旧운수성 산하 항만기술연구소)와 국토교통성 산하 국토기술정책종합연구소가 연안공학분야 기술발전을 주도하고 있다.

그러나 이러한 노력에도 불구하고 현상에 대한 불충분한 이해에 근거한 공법 적용으로 선진국은 그 동안 다양한 피해를 경험하였다. 예로서 미국은 Katrina 내습 직전해인 2004년 8, 9월에 4회의 연속적인 허리케인 상륙으로 큰 피해를 입었으며, 이에 연안취약성 평가, 향후 해안방호설계, 그리고 'do nothing' 대비 당시 진행 중이던 해안방호사업 타당성 재평가가 시급한 사안으로 부각되자 1,100만불 예산의 '해안방호사업성과향상계획 S3P2I8³⁾' 수립을 착수하였으며, 육군공병단이 주도하는 S3P2I의 3가지 목표는 해안방호사업 성과평가, 설계개선, 그리고 해안지역피해 예측 신뢰도 향상을 위한 사구침식 수치모형(Roelvink 2009)의 개발이다⁴⁾.

3) Shore Protection Project Performance Improvement Initiative

4) <http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?Location=U2&doc=GetTRDoc.pdf&AD=ADA454089>

Box 1.1.2 돌제 하류해안 침식재해 대표사례 : 미국 Village of West Hampton Dune

- 뉴욕주 Suffolk County 롱아일랜드에 소재한 자치구로서 1950년대부터 침식 발생⁵⁾
- 1960년 육군공병단은 돌제 23기를 제안하였으나 의회는 돌제 50기와 양빈 의결⁶⁾
- 1962년 침식으로 파열된 방호섬 긴급복구로 60년 채택안 폐기
- 1965~1969년 동안 길이 146 m 돌제 15기 축조하였으나 돌제 하류부 침식 증가: 돌제 위치가 과학적 조사 없이 정치적으로 결정, 돌제 하류부 양빈 계획 예산부족으로 철회
- 1973년, 1984년 침식피해 주민소송 패소
- 1988년 전문가 워크숍을 개최하였으나 공법 장단점 논의에 그침
- 1989년 뉴욕주가 공병단에게 우선공법을 제안하였으나 미시행
- 1992년 대형폭풍으로 방호섬 파열(a)(b)⁷⁾ : 전체 가옥 246채 중 190채 파손
- 1993년 공병단이 파열부 복구(8,800만\$)
- 1993년 폭풍 내습으로 2억\$ 피해소송 제기⁸⁾ (피고: 뉴욕주, Suffolk County, 육군공병단)
- 1994년 합의
 - ① Suffolk County는 원고에게 400만\$ 지급하고 복구계획에 동의
 - ② 돌제 개선하고 40년 재현주기 폭풍에 견딜 수 있도록 350만 m³ 양빈
 - ③ 이후 30년간 3년마다 유지양빈
- 2007년 미국 해안보존협회 '최우수 복원해빈'으로 선정(c)⁹⁾
- 국민세금 남용과 생태학적 문제를 이유로 최악의 사례로 평가하는 전문가 다수



5) <http://www.csc.noaa.gov/beachnourishment/html/human/case.htm>
 6) Leatherman(1999)
 7) <http://www.nan.usace.army.mil/fimp/graphics/lghomes.jpg>
 8) <http://whdunes.org/content/News/View/117:field=documents;/content/Documents/File/168.pdf>
 9) <http://whdunes.org/content/Generic/View/16:field=documents;/content/Documents/File/170.JPG>

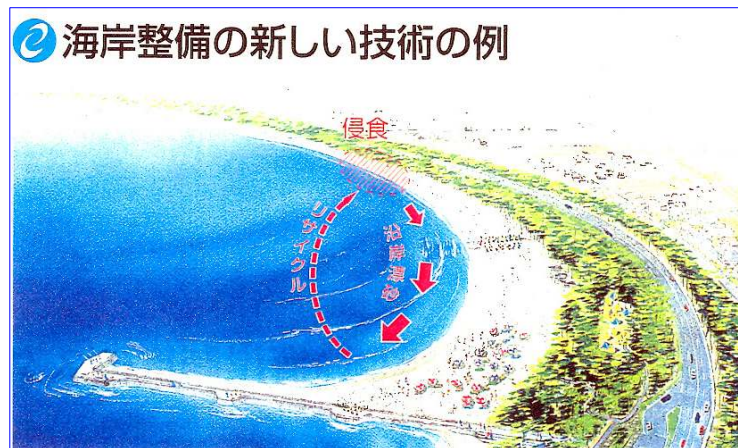


그림 1.1.2 일본이 「해안법」 개정에 즈음하여 권장한 해안침식대응 제1신기술¹⁰⁾

침식제어기술의 한계에 더하여 침식문제를 심화시킨 요인은 관리의 어려움이다. 연안퇴적물은 마치 강물과 같아서 흐름이 멈추면 그 영향이 하류에 곧 발생한다. 즉, 표사차단에 의해 하류해안에 침식이 발생하고 그 범위가 확산된다. 이러한 단순한 원리에도 불구하고 다양한 이유로 인해 침식대책이 국지적으로 시행되어 발생한 2차 침식 피해는 선진국이 겪은 대표적인 시행착오이다(Box 1.1.2).

또한 많은 경우의 침식은 모래 재배치로 해결할 수 있음에도 해안선관리가 기관별로 분할되어 침식과 퇴적문제를 독자적으로 해결하는 사례도 많다

침식대책으로서의 연안토목공사는 고비용임에도 공학기술의 한계로 항구적인 침식문제 해결이 어려우며 경성구조물은 해안의 환경·이용기능을 저하시킨다. 그림 1.1.2는 연안침식대응이 난제임을 상징한다. 일본은 1999년 「해안법」을 전면적으로 개정한 후 최우선적으로 필요한 신기술로서 순환양빈(sand recycle)을 권장하였다. 단순한 모래 재배치에 불과한 순환양빈을 '제1신기술'로 선정한 것은 효율적이고 친환경적인 침식대응이 지향해야 할 방향을 함축적으로 제시하는 것이다.

이상의 경과를 통하여 연안침식제어기술에 대한 개념이 전통적인 토목기술 이상으로 확장되었으며, 이와 관련된 대표적인 국가정책이 양빈을 연안방호공법으로 채택하여 1991년부터 시행하고 있는 네덜란드의 '동적보존', 하천과 연안모래를 통합적으로 관리하여 가용모래를 확보·활용하는 일본 旧건설성의 1998년 '유사계종합토사 관리정책', 그리고 준설수요와 양빈수요를 시의 적절히 연계하고 저사지 개발 등을 목적으로 2000년부터 시작된 미국 USACE의 '지역퇴적물관리프로그램'이며, 이들은 모두 퇴적물거동과 지형변화를 이해하고 예측하는 기술과 관리가 연계된 일종의 '융합기술'이다.

10) (사)전국해안협회. 새로운 해안제도의 스타트 (Pamphlet)

라. 연안침식관리와 연안통합관리

세계환경·개발위원회가 '지속가능한 개발¹¹⁾'의 중요성을 제기하고(WCED 1987), 리우선언 제3, 제4원칙이 이를 계승함과 함께 '의제 21'이 '연안통합관리'를 연안·해양의 합리적인 이용과 개발을 위한 제1필수요건으로 선정한 이후 통합관리를 위한 법률과 제도가 마련되기 시작하였으나 관련법에 특별한 지위가 부여되지 않으면 후발법의 한계로 인해 목적구현이 쉽지 않다. 이는 이상적인 연안통합관리는 분야간 공조와 필요시 편익의 양보를 요구하기 때문이다¹²⁾.

통합관리의 선봉은 침식관리이고, 통합관리 실현율이 저조할 때 나타나는 가장 가지적인 피해가 연안침식이다. 연안침식관리가 특별히 중요한 국가의 통합관리법 모태는 침식관리 관련법인 경우가 많으며, 이는 연안관리예산에서 침식·침수대응 분야가 가장 큰 비중을 차지하고 분야간 공조를 바탕으로 한 관리가 시행되지 않음에 따른 다양한 피해를 오랜 기간 경험하였기 때문이다.

연안침식통합관리가 벽찬 과제임은 침식률에 직간접적인 영향을 미치고, 침식의 영향을 받는 행정계획, 그리고 분야 연계성이 매우 다양함을 보여주는 표 1.1.1로부터 짐작할 수 있다.

표 1.1.1 EC 전략환경평가 지령에 명시된 분야별 연안침식영향관련 계획/프로그램 (EC 2004)

분야 (SEA지침 2조)	관련계획	연안침식에 의한 영향	연안침식률에 미치는 영향	타분야 연계성	사례
농업·임업(AF)	<ul style="list-style-type: none"> 지역토지 이용계획 산림관리 계획 지방경제 전략 	<ul style="list-style-type: none"> 연안조지침식 지하수 염분도 증가 연안산림 침식위험도 해빈으로의 퇴적물이동을 방해하는 연안수목 이식 	<ul style="list-style-type: none"> 사구/염습지 종다양성 및 자연방호물 변화 육상 liming을 위한 해빈모래 제거 	F; HD	Ainsdale forest 침식 (Lancashire 해안, 영국)
수산업(F)	<ul style="list-style-type: none"> 수산업 관리계획 지역토지 이용계획 	<ul style="list-style-type: none"> 해빈침식은 어선접안에 영향을 줄 수 있음 해식에 침식→탁도증가→수질악화 치어 서식처로 이용되는 연안사퇴 유실 어류 서식처에 영향을 미치는 바다골재채취 	<ul style="list-style-type: none"> 특정 어업행위 양식장 건설 	AF; HD, E	Culver 바다모래 채취(Severn 하구, 영국)
에너지(E)	<ul style="list-style-type: none"> 지역토지 이용계획 지방경제 전략 	<ul style="list-style-type: none"> 침식중인 해안에 입지시 개발위험도 외해 풍력터빈 설치 	<ul style="list-style-type: none"> 파랑장을 변화시키는 외해 개발(유정,파력발전소 등) 원유·가스 시추로 인한 육상침하 원자력발전소(항상보호) 	F; T; HD	영국 외해 신재생 에너지관련 DTI의 SEA 보고서

11) 미래 세대의 필요성을 충족시킬 가능성을 훼손하지 않으면서 현재 세대의 필요를 충족시키는 개발

12) EC(2007) : "서로 다른 기준을 갖는 다양한 분야를 넘나드는 업무조정과 공조는 감당하기 어려운 도전과제이지만 연안통합관리의 핵심이다."

I. 서론

표 1.1.1 (계속)

분야 (SEA지침 2조)	관련계획	연안침식에 의한 영향	연안침식률에 미치는 영향	타분야 연계성	사례
산업(I)	<ul style="list-style-type: none"> 지역토지 이용계획 지방경제 전략 		<ul style="list-style-type: none"> 준설(개발 및 유지) 해양골재채취 	E; T; F; SP; HD	
운송(T)	<ul style="list-style-type: none"> 지역토지 이용계획 지방경제 전략 	<ul style="list-style-type: none"> 침식해안 내 도로망 	<ul style="list-style-type: none"> 항만 개발 해안선 근접도로 건설 교량 건설 임해공항 건설 대형선박 항주파 	E; I; SP; HD	
통신(TC)		<ul style="list-style-type: none"> 침식해안에 매설된 통신 파이프 노출 	<ul style="list-style-type: none"> 해저케이블의 퇴적물 이동률 간섭 	I; T; E; HD	
공간계획 (지역 계획과 통합) (SP)	<ul style="list-style-type: none"> 지방공간 전략 지방경제 전략 	<ul style="list-style-type: none"> 해안주택개발 및 상가 계획에 미치는 영향 증가된 침식률로 제한된 해저면 이용 고극사상 발생시 범람위험도 증가 	<ul style="list-style-type: none"> 퇴적물 공급원이 되는 해안구간에 기간시설이 허용되면 해안선의 자연적인 진화를 방해함. 바다골재자원 채취정책 항만 확장정책 수립 	F; AF; I; T; E; TC; TO; WM; W; HD	네덜란드 국가공간전략 문건
관광(TO)	<ul style="list-style-type: none"> 지역토지 이용계획 지방경제 전략 관광 마스터플랜 	<ul style="list-style-type: none"> 주요 해빈리조트 해빈표고 저하의 경제적 영향 연안관광의 GDP 기여도 감소 관광자산 범람위험 증가 	<ul style="list-style-type: none"> 퇴적물이동을 방해하는 해양개발 해빈관광단지의 서투른 setback 정책은 퇴적물 이동을 방해함. 호텔은 해빈과 배후지 간의 비사를 방해할 수 있음(해빈침식 유발) 	SP; I; T; HD	Sotavento 해빈의 Fuerteventura 호텔 개발
폐기물관리 (WM)	<ul style="list-style-type: none"> 지방경제 전략 	<ul style="list-style-type: none"> 연안폐기물 매립지 선단 침식 인구증가에 따라 증가하는 연안 쓰레기처분장 수요 	<ul style="list-style-type: none"> 폐기물 재배치 대안이 제한적이어서 지속가능하지 않은 지역에 입지한 매립지를 보호함. 	SP; W; WM; E; I; HD	영국 Barrow BC, Walney 섬 연안 관리사업
물관리(W)	<ul style="list-style-type: none"> 하천유역 관리계획 집수역 홍수관리 계획 	<ul style="list-style-type: none"> 절벽 배수문제 Water Framework Directive 시행 	<ul style="list-style-type: none"> 해빈/해안절벽의 자연 배수 조건이 변하면 해빈축소 악화 하구/연안역 홍수 저수 정책 	HD	북서 잉글랜드, Ribble Pilot River Basin 관리계획
Habitats Directive 에 의거하여 적절한 평가가 요구되는 기타 계획/프로그램 (HD)	<ul style="list-style-type: none"> 종다양성 실행계획 하천유역 관리계획 집수역 홍수관리 계획 서식처 실행계획 	<ul style="list-style-type: none"> 해양 SAC 관리계획 국제적으로 중요한 서식처 유실을 다루기 위해 수립된 연안서식처 관리 계획 	n/a	F; AF; I; T; E; TC; TO; WM; W	
장래의 사업승인을 위한 기틀 마련을 위한 기타계획/프로그램이 중요한 환경영향을 유발할 것으로 예상되는 경우	<ul style="list-style-type: none"> 항만관리 계획 	<ul style="list-style-type: none"> 관광마스터플랜은 해안선 후퇴와 해빈표고 저하로 영향을 받을 수 있음. 	<ul style="list-style-type: none"> 항만관리계획은 특정 지역 준설전략에 영향을 주고 이는 퇴적물 수지를 바꿀 수 있음. 	F; AF; I; T; E; TC; TO; WM; W; HD	

마. 국외 연안침식 관리제도의 진화

표 1.1.1과 같이 연안침식에는 다양한 분야의 이해가 얽혀있으며, 표사상류 지자체의 침식방호가 표사하류 지자체의 침식을 발생시킴에 따른 지역갈등 유발 소지도 있는 등, 그 관리가 어렵다. 또한 관리제도 불완전에 따른 다양한 잠재적 문제는 순차적으로 시기를 두고 발생하므로 체계진화에 시간이 소요된다.

표 1.1.2는 선진국의 관리제도 진화여정을 10년 단위로 구분한 것이다. 1940년대 후반과 50년대 초 중앙정부 법정 예산지원을 시작한 이후 다양한 시행착오를 경험한 해안침식관리 선진국들은 80년대 후반부터 대응방향을 전면적으로 전환하기 시작하였으며, 이러한 방향전환은 2000년대 후반부터 고조·확산되고 있다. 선진국의 3대 시행착오는 다음과 같다.

- ① 사후대응
- ② 국지대응
- ③ 구조물대응

그러나 이러한 시행착오가 아직 멈춘 것은 아니어서 1986~2001년 동안의 유럽 신규침식 875 km 중 63%가 구조물에 의해 발생하였다(RIKZ et al. 2004a)¹³⁾.

시행착오 재발을 최소화하고 연안침식·침수재해 최적대응을 위해 선진국이 지향하는 기본방향은 다음과 같다.

- ① 분야와 행정단위를 아우르는 통합관리
- ② 계획과 규제를 통한 예방관리
- ③ 친환경관리 (하천·연안모래관리)

표 1.1.2에서 특별히 주목할 사항은, 해안선관리를 위한 창조적인 개념의 많은 부분은 지자체 관리의 산물이라는 점이다. 그것이 59년 텍사스의 保全地役權, 68년 퀸즐랜드의 EPA, 71년 플로리다의 CCSL¹⁴⁾, 그리고 86년 영국 남부해안을 시작으로 전국 해안으로 확산된 연안그룹이다.

수개의 연안지자체가 공동으로 결성하는 연안그룹은 관할해안 침식·침수방호 유관기관 협의체로서 중장기해안선관리계획을 수립한다. 연간 4회 정도의 회합을 갖는 연안그룹에는 어항관리기관과 환경관련기관도 물론 포함되며, 중앙정부 주무부처는 참관인으로 참여한다. 즉, 연안그룹은 지자체가 주도하는 연안침식통합관리의 모형이다.

13) 37%는 해수면상승이 원인

14) CCSL : Coastal Construction Setback Line, CCCL : Costal Construction Control Line

표 1.1.2 선진국 해안침식 관리제도 진화 대표사례

대표년도	관리진화 대표사례
1950	<ul style="list-style-type: none"> ■ 중앙정부 법정관리 및 지원 시작 <ul style="list-style-type: none"> - 1946년 미국 연방법 「P.L. 79-727」 - 1949년 영국 「해안방호법」 - 1954년 일본 「해안법」
1960	<ul style="list-style-type: none"> ■ 침식관리지역권 도입 : 미국 텍사스 <ul style="list-style-type: none"> - 1959년 「Open Beaches Act」 제정 (Fisher and Sunley 2007) - 시민의 연안접근권 확보 및 자연해안선 유지를 위해 고조선과 식생대 사이에 보전지역권 설정
1970	<ul style="list-style-type: none"> ■ 침식우심해안 법정관리 시작 <ul style="list-style-type: none"> - 1968년 호주 퀸즐랜드 「해빈보호법」 : 침식취약지구(Erosion Prone Area) - 1971년 플로리다 주법으로 연안건설후퇴선(CCSL) 법제화 (78년 CCCL로 개정)
1980	<ul style="list-style-type: none"> ■ 대규모 양빈사업 활성화 : 미국 플로리다 <ul style="list-style-type: none"> - 1978~1982년 마이애미 해안 양빈사업 - 사업지구 해안연장 17km, 양빈체적 920만m³ ■ 관계기관 공조체계 활성화 <ul style="list-style-type: none"> - 1976년 이후 미국 NOAA '연안역관리프로그램'의 '연방일관성' - 1986년 이후 영국 '연안그룹'
1990	<ul style="list-style-type: none"> ■ 대규모 양빈 국가정책으로 정착 : 네덜란드 <ul style="list-style-type: none"> - 1990년 '동적방호' 정책 채택 - 기준해안선(1990.1.1)보다 후퇴하면 양빈으로 복원(구조물이 불가피한 경우 제외) - 1991-2000년 연평균 양빈체적 600만 m³/yr, - 2001-2010년 1,200만 m³/yr
2000	<ul style="list-style-type: none"> ■ 모래자원관리 본격화 <ul style="list-style-type: none"> - 1998년 일본 건설성 '수계일관토사관리정책' - 1999년 일본 개정 「해안법」 : 연안관리자가 지정한 모래=해안보전시설 - 2000년 미국 육군공병단 '지역퇴적물관리프로그램' - 2004년 유럽연합 EUROSION 사업 : 전략저사지 개념 ■ 시공간 관리범위 확대 (기후변화영향 고려) <ul style="list-style-type: none"> - 1996~1999(1차), 2006~2010(2차) 영국 해안선관리계획(SMP) - 1999년 일본 개정 「해안법」 : 지자체의 '해안보전기본계획' 수립 의무화
2010	<ul style="list-style-type: none"> ■ 중앙정부관리 및 통합관리 강화 <ul style="list-style-type: none"> - 2008년 영국 '범람·해안침식 위험도 관리성과 척도' - 2008년 일본 '해양기본계획' : 해안침식을 연안통합관리 최우선 과제로 선정 - 2010년 미국 '연안역관리법 성과측정체계' 최종 가이드라인 수립 - 2010년 영국 연안·해양이용행위 인허가 통합관리기구(Marine Management Organization) 출범

바. 우리나라 연안침식

1) 해안지형특성

우리나라 해안지형은 오랜 지질학적 연대를 거치면서 침식에는 어느 정도 적응되어 자연적인 침식에 의한 피해사례와 유럽과 같이 고조해일에 의한 해안저지대 침수재해사례가 드물었다.

조석의 영향을 무시할 수 있는 파랑우세 동해안의 경우, 해안선이 북서-남동방향 이어서 동계 북동계열 고파랑에 의한 연안표사량이 상대적으로 적은 강원도 해안에는 5~10km에 이르는 백사장이 곳곳에 발달되어 있다. 전체적으로 남북방향인 경북 해안의 경우, 동계 연안표사량이 클 수 있으나 입사파에 직각이 되려는 적응과정 통해 형성된 연장 1~2km의 만곡형 해안이 특징이다. 물론 지형조건에 따라 경북의 형태가 강원도에도 산재하며, 경북 영덕군 고래불해수욕장은 4.5km에 이른다.

대조차 서해안의 대형하천 영향권과 반폐쇄성 해안에는 니질갯벌이, 하천의 영향이 적고 동계 고파랑에 직면하는 서해중부해안에는 사질갯벌이 잘 발달되어 있다. 파랑이 발생하는 대안거리가 짧고 지리적으로 고파랑 내습은 적으나 태풍의 영향을 가장 크게 받는 남해안의 경우, 다도해 내만에는 니질갯벌이, 외측 도서에는 경관이 수려한 해안절벽과 소규모 백사장이 발달되어 있다.

석회암 등 연암절벽이 지속적으로 후퇴하거나 연안표사에 의해 사빈-사구체계가 지속적으로 침식되는 영국, 네덜란드 등 국외 사례와는 달리 우리나라 해안절벽은 경북 일부를 제외한 대부분이 경암이고, 비록 고파사상(storm event) 동안 일시적으로 후퇴하는 백사장도 사상 통과 후 대부분 복원된다.

2) 연안침식특징

해역별 수리·퇴적환경과 지형이 다양함에도 특별한 침식문제 없이 높은 회복탄력성을 유지하던 우리나라 해안에 1980년대부터 침식이 발생하여 사회적인 주목을 받기 시작했다.

기반암이 경암이므로 침식이 발생하여도 새로운 안정해안선 도달에 필요한 후퇴거리가 길지 않을 수도 있으나 적응을 위한 후퇴가 허용되지 않는 경우가 많기 때문에 결국 재산피해 방지를 위한 구조물을 설치한다. 그러나 정적안정해안을 목표로 하지 않는 구조물은 대부분 국지적인 침식을 해결하는 대신 주변에 새로운 침식을 발생시키며, 이러한 사례가 국내에도 발생하기 시작하였다.

I. 서론

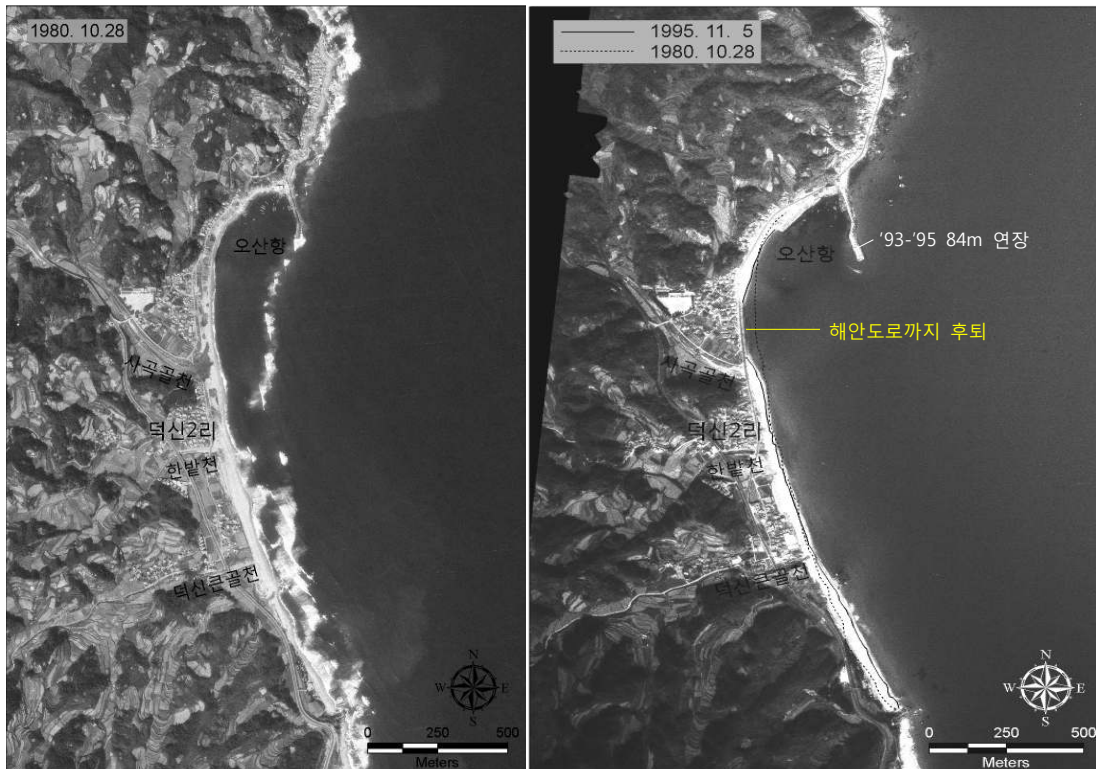


그림 1.1.3 경북 울진군 원남면 오산항 확장 초기 침식



그림 1.1.4 경북 울진군 오산항 (2010. 3. 4, Naver)

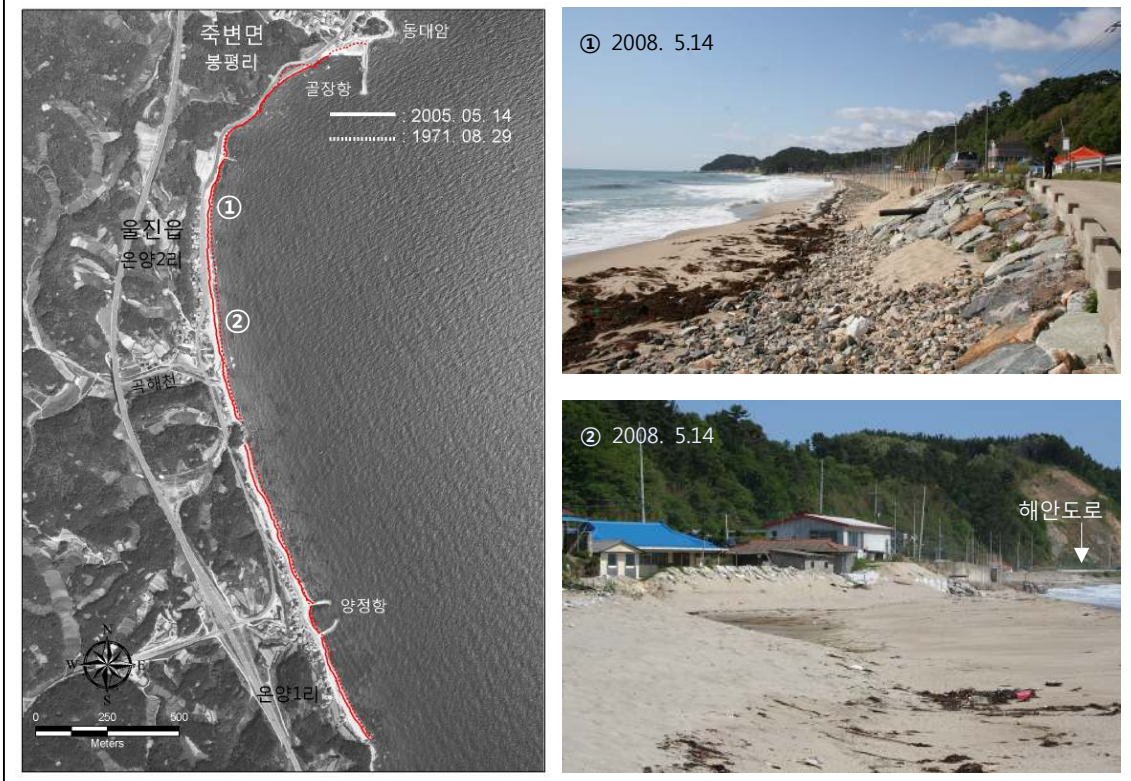
안타까운 경우는 이러한 침식이 지역사회 발전을 위한 시설에 의해 발생하며, 침식방지대책이 2차 침식을 야기하고 그로 인해 새로운 구조물이 불가피할 때이다. 경북 울진군 오산항의 경우, 어항방파제 84m 연장이 남측의 파랑장을 변화시켜 해안도로까지 침식된 바 있으며(그림 1.1.3), 1단계(1997-2002) 침식방지를 위한 L형 돌제 1기와 북측이안제 2기가 남측에 새로운 침식을 발생시키자 이안제 3기를 최근 추가하였다. 그러나 그림 1.1.4로부터 ①번 방파제 전면은 지속적으로 퇴적되고 ②번 영역으로부터의 모래공급이 차단되었으므로 ③번 구간도 곧 침식될 것임을 예상할 수 있다. 이는 동해안 침식의 전형적인 사례이다.

삼면해안에 공통적인 인위적 침식원인이 호안·옹벽이다. 배후지 보호가치가 높을 때 채택하는 해안방호 최후수단이 호안이지만, 우리나라의 경우는 해안방호 목적이 아니라 해안도로 건설과 함께 축조되는 호안(Box 1.1.3)이 침식을 발생시키고 있으며 그 범위가 점차 확산될 가능성이 높다.

한편, 아직 충분한 조사가 수행된 바 없어 정량적인 증거는 확보되지 않았으나 동·서해안에서의 침식원인으로 추정되는 것이 바다모래(골재, 규사) 채취이다. 덕적도 일원 도서해역에 발달한 모래천퇴와 그 주변에서 1993-2001년 동안 골재용으로 채취된 모래가 1.8억 m³에 달한다(한국골재협회 인천지회 2002). 또한 해안선이 포함된 동해안 지적에서 최근 5년(2006-2010) 동안 광물자원(규사) 명목으로 채취된 모래가 467만톤(강원 41만, 경북 426만)이었으며, 1940년에 등록된 광구¹⁵⁾가 있음을 감안하면 그 동안 동해안 해안선에 근접하여 채취된 모래가 상당할 것임을 짐작할 수 있다.

Box 1.1.3 동해안 해안도로 호안에 의한 침식 사례

- 경북 울진군 울진읍 온양2리
- ②번 구간은 해안도로가 건물 배후로 지나지만 호안기인 침식이 남진함에 따라 피해 발생



15) 지적번호 주문진 134외 3곳, 등록번호 27755, 등록면적 585ha, 등록일 1940.8.8

상기 원인들 모두 지역사회 발전을 위한 개발행위이다. 어항은 물론이고, 해안공유지를 이용하거나 매립을 통해 해안도로를 건설하면 토지보상비를 절감할 뿐 아니라 관광객 유치에 도움이 되며, 모래채취에 따른 공유수면 점·사용료가 열악한 지방재정에 조금이나마 도움이 되기 때문이다.

3) 현황과 대응

우리나라 연안침식 현황에 대한 전국적인 통계는 아직 조사된 바 없다. 그러나 비록 해안선 연간후퇴율, 백사장과 갯벌 면적 증감률, 그리고 모래채취 증감률에 대한 정보는 발표된 바 없지만, 침식이 점증할 가능성이 없지 않다.

우리나라는 1999년 제정된 「연안관리법」에 따라 10년 주기 '연안정비계획'을 수립하여 '연안정비사업'을 지원하고 있으며, 제1차 연안정비계획(2000-2009) 사업비 4,334억원(국비 2,546억)의 80%가 연안보전사업에 투자되었다¹⁶⁾.

제2차 계획(2010-2019)의 경우, 59개 지자체에 걸친 308개 선정지구의 74%가 침식·침수대응을 위한 연안보전사업지구이며(표 1.1.3), 호안 신설 70 km를 비롯하여 다양한 구조물이 건설될 예정이다(1.1.4).

표 1.1.3 제2차 연안정비계획(2010-2019) 사업내역 (국토해양부 2009a)

(단위: 개소, 백만원)

합계		연안보전사업		친수연안조성사업	
사업지구	사업비	사업지구	사업비	사업지구	사업비
308	1,099,571	229	710,705	79	388,866

표 1.1.4 제2차 연안정비계획의 경성구조물과 양빈 계획량^a : 국토해양부(2009a)에서 발췌·정리

	호안 ^b (m)		잠제 ^c (m)	이안제 (m)	돌제 ^d (m)	도류제 (m)	양빈 (m ³)
	보수	신설					
개소 합	89	97	35	3	17	2	31
규모 합	48,385	70,313	11,020	700	3,830	390	3,618,085

a 공법이 선정되지 않은 서귀포시 침식방지 900m(4건), 목포시 침수방지 1,928m(1건) 제외; b 친수연안조성사업 포함
c 방사잠제 300m(1건) 포함; d 헤드랜드 860m(2건)과 공법이 선정되지 않은 방사제 130m(1건) 포함

16) 계획예산 7,823억원, 사업비기준 추진율 55%

사. 우리나라 관리체계·기술 진화의 필요성

연안침식방지를 위한 관리체계와 기술은 관리절차를 포함하는 법·제도, 실태파악 및 예방과 현안최적대응에 필수적인 모니터링, 그리고 현안대응의 최적화를 도모할 수 있는 제어기술로 구성된다. 그러나 세 분야 사이의 유기적인 피드백이 없으면 관리효율과 효과를 향상시킬 수 없다. 예를 들어 예산부족이나 방법론상의 문제로 가용모래자원 분포를 파악하지 못하면, 법·제도가 친환경관리를 핵심정책으로 채택 하여도 이의 구현에 어려움이 따르거나 시일이 걸릴 것이다.

1) 법·제도

비록 후발법의 한계는 있으나 1999년 「연안관리법」은 세계적인 조류에 부응하는 선진화된 법률이다. 「연안관리법」의 기본골격은 1995년에 제정된 호주 퀸즐랜드주 「연안보호·관리법」(이하 CPMA¹⁷⁾)과 흡사하며, 침식관리는 일본 「해안법」이 역할모형이다.

그러나 1999년 2월 「연안관리법」이 제정된 직후인 동년 5월 「해안법」은 전면적으로 개정되었으며, 개정의 핵심적인 내용은 '연안정비계획'의 역할모형인 '해안정비계획'을 연안지자체가 의무적으로 수립해야 하는 '해안보전기본계획¹⁸⁾'으로 확대한 것이다. 이는 해안침식·침수 사후대응에서 환경과 이용측면까지 포함하여 해안을 중장기 계획으로 관리하겠다는 의지이다.

또한 우리의 10년 주기 '연안통합관리계획' 및 '연안관리지역계획'과 유사한 7년 주기 '주연안관리계획(State CMP)'과 '지역연안관리계획(Regional CMP)'을 포함하고 있는 퀸즐랜드 CPMA는 2003년 개정으로 「수로법」, 「항만법」, 그리고 「해빈보호법 BPA」의 평가·허가규정을 모두 흡수하였다. 이에 따라 CPMA는 1구획의 해안토지가 분할되어 소유주가 늘어나면 일정부분을 무상수용할 수 있으며, 토지소유자의 소송 제기가 법적으로 금지되어 있다.

두 나라의 법률적 진화와 함께 영국의 '해안선관리계획', 미국의 '연안역관리법 성과측정체계' 등 다양한 제도적 진화가 최근 완료되었거나 진행 중이다. 그 동안 우리의 「연안관리법」도 '자연해안관리목표제' 도입 등을 통하여 진화하였지만 다양한 국외사례를 참조하여 연안침식관리 선진화를 보다 앞당길 수 있는 가능성을 모색할 필요가 있다.

17) Coastal Protection and Management Act. 호주에서는 '연안법'으로 약칭함.

18) 관계기관 합동으로 수립한 '해안보전기본방침'에 따라 수립. 방침은 2000년 5월 16일 공포

2) 모니터링

관리대상에 대한 정보의 신뢰성 확보 여부는 관리의 성패를 좌우한다. 해안침식 관련 현장정보 생산을 위한 모니터링은 실태파악, 예방, 그리고 현상이해도 제고를 위한 정밀조사로 구분할 수 있다.

정부는 모니터링의 중요성을 인식하여 매년 모니터링을 실시하고 있으며, 정보 생산효율을 높이기 위해 비디오모니터링을 도입하는 등의 성과가 있었다. 그러나 전국 백사장 면적과 그 증감률, 해안선 후퇴율 등 국가 해안침식실태 파악을 위한 정량적인 거시정보를 아직 파악하지 못하고 있으며, 연안정비사업 실무활용성이 높지 않았다. 따라서 현재까지의 성과를 분석함과 아울러 국외사례를 참조하여 국가모니터링 효율·효과를 향상시킬 수 있는 방안을 다각도로 검토할 필요가 있다.

한편, 수심측량과 연안수리·표사관련 조사에는 비용이 많이 소요되므로 해안침식 및 어항매몰과 관련된 사업에 이러한 항목이 포함될 경우, 제한된 예산범위 내에서 자료가치를 높여야 한다. 관련사업에서 수행되고 있는 조사방법 등을 분석하여 개선 필요성 여부와 개선방안을 검토할 필요가 있다.

3) 제어기술

전술한 바와 같이 연안수리·퇴적현상은 그 메커니즘 규명이 불완전하며, 선진국도 현재까지 알려진 공법 외의 특별한 기술을 보유하고 있는 것은 아니다. 비록 선진국은 풍부한 시공경험을 바탕으로 공법 고유의 장단점을 우리보다 잘 파악하고 있지만 그럼에도 불구하고 시공 후 해안선 및 지형변화가 예측치와 다를 경우가 적지 않다.

수치모형실험이 제어기술에서 차지하는 비중이 높지만 다양한 수치모형 고유의 한계가 있기 때문에 실험 이전에 적용타당성을 검토하는 것이 중요하며, 특정 모형의 결과가 최종안 선정에서 중요한 역할을 할 경우에는 모형한계로 예측하지 못한 현상에 의한 문제가 발생할 가능성을 충분히 고려하여야 한다.

선진국 시공사례, 제1차 연안정비계획 중요사업의 시공성과, 수치모형의 최근 국외 연구성과 및 국내 적용사례, 그리고 실시설계가 완료되었거나 진행중인 중요 연안정비사업 및 기타 관련사업을 종합적으로 분석하여 국내 연안침식 저감기술발전의 계기를 마련할 필요가 있다.

2. 연구의 목적 및 내용

가. 연구목적

이상의 배경과 필요성에 따라 설정한 본 연구의 목적은 다음과 같다.

Box 1.2.1 연구 목적

- 연안침식관리 선진국의 관리체계 발전과정을 종합적으로 분석하여, **국내 연안침식 관리체계 발전방향을 제시함.**
- 연안침식관리의 일선은 비전문 지역관리자임을 감안하여 연안침식관련사업 이행단계와 단계별 주요 관리내용을 제시하고, 관리능력 배양을 위해 연안수리·표사현상, 주요공법, 해역별 고려사항을 포함하는 **연안침식관리 가이드북**을 수립함.
- 연안침식관련 모니터링, 수치모형실험, 설계 분야 국내 전문가의 안목을 보다 넓히고 연안 녹색성장의 기술적 토대 강화를 위하여 **연안침식관련 조사 및 방지대책 설계 가이드북**을 수립함.

나. 연구내용

1) 연안침식관리체계

- ① 연안침식관리에 필요한 법률적인 기본골격은 「연안관리법」에 포함되어 있으며, 이를 침식관리 측면에서 보완할 필요가 있다. 선진국 동향은 관리목표를 정량적으로 설정하고 목표를 효율·효과적으로 달성하기 위한 중장기계획을 수립하는 것이다. 우리나라의 경우, 연안침식·침수사업 지원액이 적지 않으나 연안정비계획과 연안통합관리계획이 분리되어 있다. 통합계획에 정비계획을 포함시키고 연안관리지역계획이 관할해안의 방호·환경·이용기능의 중장기적 관리계획을 포함하도록 함이 바람직하다. 국외 자료를 충분히 수집·분석하여 이의 실현방법을 제시한다.
- ② 연안통합관리는 관리대상 분야가 매우 다양함으로 인해 목표와 정책이 비교적 포괄적이다. 연안관리지역계획 중 방호분야가 지향해야 할 연안침식관리 목적과 기본정책을 수립한다.
- ③ 현 연안정비계획에서 선정되는 사업은 대부분 사후대응사업이다. 사후대응을 포함하여 예방관리가 가능하도록 확장하고 사업선정절차를 개선하며 사후평가를 도입한다.

2) 연안침식관리 가이드북 (별책)

- ① 지자체의 비전문 연안침식관련업무 담당자가 관련사업을 효과적으로 관리할 수 있고, 나아가 침식을 예방할 수 있도록 예방에서 사후관리까지를 적절하게 구분하고 각 단계에서 수행하여야 할 관리내용을 정리한다.
- ② 연안침식관리를 위한 기본배경지식인 연안수리현상, 연안침식원인과 유형, 주요공법, 그리고 공법 선정 시 해역별로 특별히 고려하여야 할 사항을 비전문 관리자가 쉽게 이해할 수 있도록 정성적인 내용으로 구성한다.

3) 설계 가이드북 (별책)

연안침식 대책수립을 위한 사업의 경우에는 설계에 대한 개념을 확장할 필요가 있다. 설계는 조사설계와 구조물설계로 구분할 수 있으며 연안침식의 경우 조사설계가 특별히 중요하다.

- ① 국내 연안침식 관련사업에서 수행된 현장조사의 방법과 내용을 분석하고 국가모니터링의 방법과 성과를 분석하여 개선방안을 제시한다.
- ② 수치모형실험의 적용사례와 최근 국외 연구성과를 분석하여 개선방안을 제시한다.
- ③ 연안침식대책 최적안 도출 시 고려사항을 제시한다.
- ④ 공법별 장단점과 설계 시 고려사항을 제시한다.

II

연안침식 관리체계

II. 연안침식 관리체계

연안침식 최적관리체계는 국가규모, 침식의 정도, 침식이 미치는 영향, 그리고 지자체의 행정·재정자립도에 따라 다를 것이다. 그러나 국가 혹은 지역 특성이 아무리 고유하더라도 최적관리를 위한 최우선과제는 통합관리이다.

통합관리의 場이 마련되면 관리정책을 수립하고 이를 이행하기 위해 필요한 예산을 확보하는 등 일련의 관리절차를 마련한다. 그러나 통합관리일지라도 연안침식은 현상규명이 불완전한 동적현상이고, 관련되는 다양한 분야의 여건이 지속적으로 변하므로 과학적인 자료를 바탕으로 정책은 진화하여야 한다.

그림 2.1.1은 연안침식 관리체계의 이상적인 진화과정을 함축적으로 표현하는 네덜란드의 '동적보존정책'의 발전 피드백이다. 그림으로부터 정책이행성과를 평가할 수 있는 모니터링을 수행하여야 하며, 지속적인 연구·개발이 필요하며, 성과평가를 위해서는 정량적인 목표를 설정하여야 함을 알 수 있다.

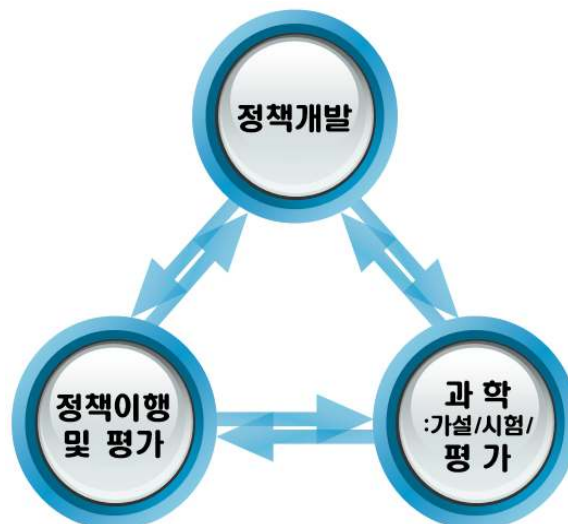


그림 2.1.1 연안침식관리 진화를 위한 피드백 시스템: Taal et al.(2006)의 그림 재구성

1. 최적관리 필수요소

표 2.1.1은 연안침식관리 선진국의 관리체계 분석을 통하여 도출한 법·제도 분야의 10가지 최적관리요소이다. 관리체계에는 법·제도, 모니터링 및 저감기술이 포함되나 모든 절차는 법·제도의 틀에서 이행되므로 표 2.2.1을 최적관리 필수요소로 간주할 수 있다. 표에서 알 수 있는 바와 같이 우리나라는 어느 요소에도 아직 충분히 만족스러운 수준에 이르지 못하였으며, 중간수준인 요소도 엄밀하게 평가하면 미흡인 경우가 있다.

사회과학분야 일부 전문가들은 우리의 연안관리 수준을, 1990년대 초반까지를 준비기, 2008년까지는 도입·구축기, 그리고 2009년 이후를 발전기로 구분하거나(남 2009), 1992-1999년을 도입기, 1999-2007년을 시행기, 2007-2009년을 개선기, 그리고 2009년 이후를 정착기로 간주하기도 한다(해양수산부 2007a). 그러나 침식관리의 경우에는 발전토대가 아직 충분하지 않다.

그림 2.1.1의 동적진화체계를 원활하게 가동하기 위해서는 사회과학분야와 자연과학·공학분야의 융합관리가 요구된다. 이는 관리성과 평가에 있어서도 마찬가지이다. 정량적인 관리성과가 뒷받침되지 않음에 따라 마련된 최근의 제도가 미국의 '연안역관리법 성과측정체계'이다(표 A1.7)

표 2.2.1 연안침식 최적관리 필수요소

필수요소	국의 대표사례 ^a	국내현황 ^b
① 연안통합관리와 해안선관리	미국 CZMA, 영국 MCA, 연안그룹, 일본 해안법, 호주 CPMA	△
② 연안침식관리정책	미국 CZMA, 일본 해안법, 호주 CPMA, 영국 SMP	△
③ 연안침식 지역관리계획	미국 CZMP, 영국 SMP, 호주 RCMP, 일본 해안보전기본계획 등	△
④ 관리예산 ^c	미국 CZMP	△
⑤ 연안개발규제 및 보전구역지정	미국 CCCL, CCSL, 호주 연안관리구역, 일본 해안보전구역	△
⑥ 모래관리	일본 종합토사관리정책, 미국 RSM, 영국 MMO	×
⑦ 국고지원 침식대책 선정·진행절차	영국 「해안방호법」, 미국 「수자원개발법」	△
⑧ 성과평가	네덜란드 동적보존, 미국 CZMAPMS, 영국 범람·침식관리성과척도	×
⑨ 연구·개발	미국 육군공병단, 네덜란드 석·박사 학위과정 지원	△
⑩ 정보생산·관리·보급	네덜란드 DONAR, 영국 CCO, 미국 Sea Grant	△

^a 부록 참조, ^b ○: 만족 △ 중간, ×: 미흡, ^c 자료생산·관리, 교육·훈련·홍보 예산 포함

2. 관리요소별 국외사례

가. 연안통합관리와 해안선관리

연안통합관리는 일방적인 관리가 아니라 소통의 관리이다. 그러나 자발적인 기관 간 협조가 현실적으로 어려움에 따라 선진국은 나름의 제도를 마련하였다.

Humphery et al.(2000)은 유럽의 최적 연안통합관리 방법을 모색하면서 미국의 「연안역관리법」 CZMA를 최초의 통합관리법으로 인정하였다. CZMA는 연안주가 신청하고 예산을 분담할 경우에만 연방예산을 지원하는 '연안역관리프로그램 CZMP'의 근거법이다. CZMP의 통합관리 관련내용은 다음과 같다.

Box 2.2.1 미국의 연안통합관리 방법

- CZMA에 명시된 관리정책을 따르지 않는 연안주 프로그램은 인정하지 않음.
- 연안주 CZMP가 승인되면, 연방기관을 포함한 모든 단체와 개인의 연안이용행위는 승인된 해당 연안주 CZMP가 허용하는 범위 내에서 이루어져야 하며, 해당 연안주가 검토 후 동의하지 않으면 시행할 수 없음.

상기 내용을 포함하고 있는 조항이 307조(연방일관성 요건)로서, 이는 CZMP에 연안통합관리를 주도할 수 있는 지위를 부여한 것이다. 그러나 이러한 지위를 얻기 위해서는 연안주 CZMP가 NOAA의 엄격한 심사를 거쳐야 한다. 예를 들어 CZMP를 시행하지 않는 마지막 州인 일리노이의 경우, 2009년 1월 연방 지원을 신청하였으나 아직 심의 중이며, 검토·조정을 거쳐 2011년 승인될 예정이다¹⁹⁾.

영국의 사례에는 연안침식통합관리 측면에서 교훈으로 삼을 사항이 많다. 연안지 자체는 1949년 「해안방호법」에 따라 중앙정부 지원을 받았으나 약 40년에 이르는 다양한 경험을 체득한 후 연안침식 지역통합관리조직에 해당하는 비법정 협의체인 '연안그룹'을 결성하였으며, 그 효시가 1986년의 SCOPAC이다²⁰⁾. 해안침식 주무부처 Defra²¹⁾는 전체 해안(6,000km, England+Wales)에 대한 향후 100년까지의 해안선관리정책을 수립하는 계획(SMP)을 1, 2차에 걸쳐 수립하였으며, 이에 연안그룹이 중요한 역할을 담당하였다(부록 참조).

그러나 Defra는 해안침식·침수관리를 포함한 중앙정부의 연안·해양통합관리의 필요성을 인식하고 2000년대 초부터 이를 실현할 수 있는 방법을 모색하기 시작하여 약 10년 후인 2010년 그 결실을 얻었다(표 2.2.2).

19) <http://coastalmanagement.noaa.gov/mystate/il.html>

20) Standing Conference on Problems Associated with Coastlines, <http://www.scopac.org.uk/scopac%20sediment%20db/index.htm>

21) Department of Environment, Food and Rural Affairs

II. 연안침식 관리체계

표 2.2.2 영국 「해양법 Marine and Coastal Access Act」 제정 과정²²⁾

연도	진행내용
2002	<ul style="list-style-type: none"> ▪ '해양환경비전'을 정리한 DEFRA 보고서 'Marine Stewardship Report' 발간 ▪ 이후 모든 해양활동을 관리하는 새로운 접근방법과, 이를 위한 법률이 필요함을 제안하는 다양한 보고서와 검토서 발간
2006	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 03월 '해양법안(Marine Bill)'의 목적과 적용범위에 관한 자문보고서 발간 ▪ 10월 자문결과에 대한 정부입장 요약보고서 발간
2007	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 03월 '해양법안백서' 발간 : 해양자원보전과 해양활동의 지속가능한 관리를 위한 새로운 방식을 도입하는 법적 기준 제안 ▪ 백서 주요내용 <ul style="list-style-type: none"> ① 새로운 '해양계획(Marine Planning)' 시스템 ② 새로운 해양개발 인허가 시스템 ③ 자연자원보전을 위한 탄력적 관리구조 ④ 해양수산물관리 변화 ⑤ 이상과 기타 해양관련업무 대행기관인 '해양관리기구(Marine Management Organization) 설립
2008	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 04월 해양법안 초안 발간 : 공공 및 의회 검토 ▪ 04월 3일 ~ 06월 26일 : 법안초안, 관련정책, 영향평가에 대한 공공검토 ▪ 07월 22일 : 하원 '환경·식품·농어촌위원회 23개안 권고 ▪ 07월 30일 : 상·하원 공동위원회 96개안 권고 ▪ 09월 25일 : 의회 권고사항 및 공공검토에 대한 반영보고서 발간
2009	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 11월 12일 : Marine and Coastal Access Act 국왕 제가
2010	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 04월 MMO 출범

거의 모든 연안·해양이용행위에 대한 인허가를 MMO로 일원화하는 법률을 제정함으로써 영국은 명실상부한 통합관리의 기틀을 마련하였으며, MMO의 업무는 크게 다음과 같이 세 분야로 구분할 수 있다.

- ① 경제 : 해사채취, 신재생에너지, 어항·항만·물류 등
- ② 환경 : 생태계 및 서식처, 수산자원, 수질 등
- ③ 사회 : 해안유적지, 해안침식·침수방호 등

인허가 대상에서 특별히 주목할 만한 분야는 해사채취이다. 영국의 바다골재는 왕립토지위원회(The Crown Estate) 소유이며, 일정 로열티를 지불하면 해사채취에 큰 어려움이 없어 골재 수출국일 정도로 해사채취²³⁾가 활발하였다(그림 2.2.1). 그러나 Defra는 MMO 인허가 대상에 바다골재를 포함시키는 「해양법안」과 관련하여 영국바다골재생산자협회(BPMA)와의 지속적인 의견조율과정을 거쳤으며, 최종적으로 BPMA도 적극적으로 동참하였다²⁴⁾.

22) http://www.legislation.gov.uk/ukpga/2009/23/pdfs/ukpgaen_20090023_en.pdf

23) 대부분의 바다골재 채취는 해안에서 25km 외해와 수심 18-35m에서 채취함 (BPMA 2007)

24) <http://www.bmapa.org/downloads/BMAPA%20Draft%20Marine%20Bill%20Response%2025%2006%2008%20FINAL.pdf>

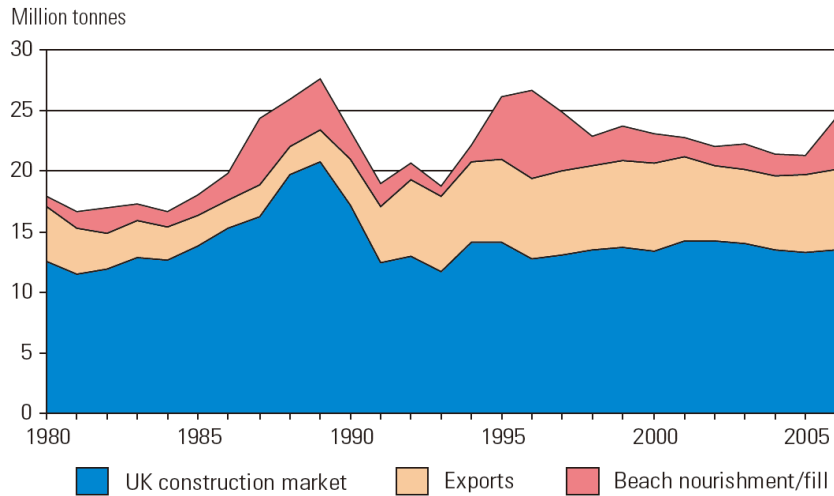


그림 2.2.1 영국 바다골재채취량 추이 (2006년 내수 13.4Mt, 수출 6.7Mt, 양빈·매립 4.1Mt, BMPA 2007)

일본의 「해안법」 개정은 우리나라 침식관리에서 있어서 의미가 크다. 우리나라 침식대책 지원제도인 '연안정비계획'은 일본의 '해안정비계획'이 모델이나 이는 「해안법」 개정을 통해 침식·침수뿐 아니라 환경과 이용측면을 포함함과 아울러 사후대응이 아니라 중장기 계획인 '해안보전기본계획'으로 확대되었다.

연안지자체가 수립해야 하는 '해안보전기본계획'은 관계성청 합동으로 수립한 '해안보전기본방침'에 따라야 하며, 관계성청에는 건설성, 농림수산성, 운수성, 환경청, 국토청, 그리고 문부성이 포함된다. 이를 통해 일본은 해안침식을 포함하는 중장기 '연안통합관리'의 기틀을 마련하였다.

Box 2.2.2 호주 「연안보호·관리법」의 목적과 연안관리 이행방법

Chapter 1 Preliminary

Part 2 목적과 연안관리구현 Objectives and Achievement of Coastal Management

3 목적 이 법의 주요목적은 다음과 같다.

- (a) 자원과 종 다양성을 포함한 연안역의 보호, 보전, 복원 및 관리
- (b) 연안이용 시 '생태적으로 지속가능한 발전을 위한 국가전략'의 목적, 핵심 세부목표 및 원칙 유념
- (c) 타 관계법과 연계하여 조정·통합된 관리 및 생태적으로 지속가능한 연안발전을 위한 행정체계 제공
- (d) 연안자원과 연안역에 영향을 미치는 인간 활동에 대한 지식 향상 고취

4 연안관리 이행방법 연안은 다음 사항을 포함하여 조정·통합된 계획과 의사결정을 통하여 관리되어야 한다.

- (a) 연안관리계획
 - 다음 사항을 만족하는 연안관리계획 수립
 - 연안관리원칙과 정책 포함
 - 중요 구간 및 자원의 장기적인 보호 또는 관리계획 수립
 - 원주민 전통 유념
- (b) 연안관리구역
 - 개발 조절 및 관리가 특별히 필요한 연안역을 연안관리구역(coastal management district)으로 지정
- (c) 타 법률 이용
 - 이 법의 목적 구현에 도움이 될 수 있는 타 법률 적용을 권장함. (이하 Box A6.1 참조)

II. 연안침식 관리체계

서론에서 소개한 바와 같이 우리나라 연안관리제도와 유사한 **호주 퀸즐랜드州** 「연안보호·관리법」 CPMA는 통합관리측면에서 주목할 만한 조항을 포함하고 있다. 즉, 후발법으로는 통합관리 이행에 한계가 있음을 인식하고 법의 목적과 연안관리 이행방법에 타 관계법의 활용을 명시하였다(Box 2.2.2).

이상의 사례에 따라 통합관리 이행방법을 다음과 4가지로 구분할 수 있다.

표 2.2.3 연안통합관리 이행방법

이행방법	법률 사례
① 관련 인허가기관 단일화	영국 MCAA
② 중앙 주무부처가 지원하는 관리계획에 통합관리 지위 부여	미국 CZMA
③ 중앙 관계기관 공동정책에 따라 수립하는 지역계획	일본 해안법
④ 주무부처 관리계획, 지역계획 및 타 법률 활용	호주 퀸즐랜드 CPMA

한편, 통합관리의 일선은 지자체이다. 인허가기관 단일화를 제외한 나머지 방법을 채택할 경우 통합관리의 성과는 지자체의 관리능력에 크게 좌우된다. 그러나 통합관리는 해안침식뿐 아니라 다양한 분야를 포괄하고 있으므로 통합관리계획에 대한 지자체의 이해도가 부족할 수 있다.

퀸즐랜드州가 이에 대한 좋은 사례로서, 계획시행 7년 후의 공공평가에 따르면 통합관리계획이 대체로 효과가 있는 것으로 평가한 응답자는 21%에 불과하였으며, 효과가 충분하다고 판단한 응답자는 없었다. 또한 계획을 이해하고 적용하는 것이 가능하다고 판단한 응답자가 35%에 불과하였다(부록 참조).

나. 연안침식관리정책

연안침식관리 주요 선진국들은 각기 고유한 침식관리정책을 선정하여 다양한 방식으로 이행하고 있다. 국가적 특수성이 반영된 가장 명확한 정책은 충분한 검토·논의를 거쳐 1990년 11월 **네덜란드** 의회가 채택한 '동적보존'이다(부록 참조).

미국 「연안역관리법」의 경우, 연안주 특성이 다양하므로 구체적인 관리방법을 명시하지 않았으나, 법 목적에 해당하는 제1정책을 제외한 나머지 정책 중 백사장 등 해안보호와 침식·침수관리를 최상위 정책으로 삼고 있다(Box 2.2.3). 침식관리가 중요한 州들의 관련법에는 구체적인 정책이 포함되어 있으며, 노스캐롤라이나는 양빈을 권장하고 특별한 경우가 아니면 침식방지구조물을 승인하지 않는다(Box A1.7).

Box 2.2.3 미국 「연안역관리법」 중 연안침식관련 정책**Section 303**

의회는 다음 사항을 국가정책으로 선언한다.

- (1) 현 세대와 후손을 위해 국가연안자원을 보존, 보호, 개발, 복원 혹은 개선함.
- (2) 연안주가, 경제발전뿐 아니라 생태, 문화, 역사 및 심미적 가치를 충분히 고려하면서 연안자원을 현명하게 이용할 수 있는 관리프로그램을 개발·이행함으로써 연안역에 대한 책임을 효과적으로 이행할 수 있도록 장려하고 지원함. 연안주 관리프로그램이 포함해야할 기본사항은 다음과 같음.
 - (A) 습지, 범람원, 하구, 백사장, 사구, 방호섬, 산호초, 어류와 야생생물 및 그 서식처 등 연안자원 보호
 - (B) 침식우심지역, 폭풍해일과 지질학적 재해 위험지역, 침식우심지역 및 해수면 상승, 지반침하, 해수침투 영향을 받는 지역에서의 부적절한 개발과, 백사장, 사구, 습지 및 방호섬과 같은 자연방호지형을 훼손함에 따른 생명과 재산 손실을 최소화하기 위한 연안개발관리 (이하 Box A1.1 참조)

일본은 「해안법」에 따라 관계성청 공동으로 수립한 '해안보전기본방침'에서 구조물이 불가피할 경우 양빈을 병행하는 소위 面的防護와, 가용모래를 활용하는 순환·우회양빈, 경사식호안, 그리고 하천·연안모래 연계관리를 권장하였다(Box A5.2).

퀸즐랜드의 경우, CPMA에 의거하여 수립하는 '연안관리계획'에 연안이용·개발, 연안물리현상 등 10개 분야에 대한 정책이 포함된다. 이 중 연안물리현상 분야는 5개 분야, 즉 ① 기후변화적응, ② 침식취약구역, ③ 해안선침식관리, ④ 연안재해, 그리고 ⑤ 해빈보호구조물 분야로 나뉜다. 구조물은, 공공이익 차원의 필요성이 인정되고, 심도 있는 조사가 수행되어 연안표사에 미치는 악영향이 없고, 주변에 연안재해를 증가시키지 않음이 확인될 경우에만 승인된다(상세내용 Box A6.2 참조).

영국의 정책은 비록 비법정계획인 '해안선관리계획' SMP를 통해 이행되나 보다 목표 지향적이다. 제1차(1996-1999) SMP에서, 네덜란드가 동적보존 논의과정에서 선정한 4가지 정책후보안인 해안선 후퇴, 선택적 보존, 1990년 해안선 보존, 해안선 확장과 유사한 5가지 정책인 무간섭, 후퇴방호, 현 해안선 유지, 해안선 전진, 그리고 소규모 대책을 선정하고, 전술한 연안그룹으로 하여금 관할해안 관리단위에 대한 50년 후까지의 관리방향을 5가지 정책 중에서 택일하도록 하였다. 또한 1차 SMP를 보완한 2차(2006-2010) SMP에서는 소규모 대책을 제외하였으며, 기후변화를 고려하여 정책의 時界(time horizon)를 100년으로 연장하고 하천계획과의 연계성을 강조하였다(부록 참조).

특별한 경우인 네덜란드를 제외한 4개국 정책이 수록된 문건은 표 2.2.3과 같이 각기 다르다. 법적효력을 갖는 문건이나 계획이 정책을 포함하는 경우에는 관련법 개정이 없이 필요시 정책을 변경할 수 있는 장점이 있다. 퀸즐랜드 연안관리계획의 법정 검토주기는 7년이며, 현재 진행 중인 시행성과 평가과정에서 침식취약지구 개발방지를 위한 정책 강화, 침식우심지구에 대한 지자체의 해안선침식관리계획 수립 의무화, 침식취약지구 지도 갱신 등에 관한 제안이 있었다(Box A6.3).

표 2.24 연안침식관리정책 수록문건 종류

관련법	법정정책문건	법정계획	비법정계획	사례국가
○				미국
	○			일본
		○		퀵즐랜드
			○	영국

다. 연안침식 지역관리계획

중앙정부의 관리의지가 확고하고, 법·제도가 충분히 구비되더라도 지방정부가 적극적으로 동참하지 않으면 효율·효과적인 침식관리가 어렵다. 관리선진국들은 지역 계획수립을 다양한 방식으로 지원하고 있으며, **미국**의 CZMP, **영국**의 SMP, **퀵즐랜드** 연안관리지역계획, 그리고 **일본**의 해안보전기본계획 등이 그 예이다. 퀵즐랜드의 경우는 연안관리계획과는 별도로 '해안선침식관리계획 SEMP'를 시행하고 있다(부록 참조). 미국 연안주의 연안건설후퇴선(CCSL)과 보전지역권은 지방정부가 능동적으로 운영하는 관리계획 이행수단이다(부록 참조).

한편 일본의 경우를 제외한 나머지 계획은 의무사항이 아니지만 지역계획을 수립하지 않은 상태에서 중앙정부로부터 침식대책사업 지원을 받기는 어렵다.

라. 관리예산

연안침식 최적대응을 위해서는 필요시 대책시설의 설계·시공비뿐 아니라 다양한 관리비용이 필요하다. 특히 적응형관리 및 광역에 걸친 중장기관리를 위해서는 정보 생산·관리, 교육·홍보를 위한 예산이 확보되어야 한다.

미국의 CZMP는 관리예산 지원 프로그램의 전형이다. 2009년 예산 127M\$(연방 69M\$, 연안주 58M\$) 중 연안재해분야 예산은 11.2M\$(연방 6.9M\$)이었다. 한편 정부기관간 업무조정·공조 및 시민참여 분야가 전체 예산 중 가장 높은 비중(25%)을 차지하는 것이 특징적이며, 이것이 바로 CZMP 주요업무가 통합관리임을 의미하는 것이다(Box A1.3).

대표적인 중장기 해안선위치 관리계획인 **영국** SMP의 경우 계획수립비용 전액을 중앙정부가 지원하며, **퀵즐랜드**는 SEMP(Box A6.4) 수립비용의 50%까지 지원한다.

마. 연안개발규제 및 보전구역지정

해안지역은 다양한 이용가치로 인해 개발압력이 높다. 각종 목적의 해안공·사유지 개발이 충분한 조사 없이 추진될 경우, 해안선 인공화는 물론이고 침식발생 가능성과 재해위험도가 높아진다. 이에 따라 주요 선진국은 다양한 방식으로 침식우심해안의 개발을 규제하거나 보전지구로 지정·관리하고 있다.

Bernd-Cohen and Gordon(1999)에 따르면 **미국**의 해안보호에 가장 효과적인 수단은 규제이고, 대표적인 규제가 1971년 플로리다를 시작으로 현재 연안주 2/3가 채택하고 있는 연안건설후퇴선(CCSL) 혹은 연안건설규제선(CCCL)이다(Box A1.10). 이는 해안선으로부터 침식률(m/년)×(30~60)년에 해당하는 폭 이내에서의 개발을 규제하는 것이며, 침식률 갱신을 위한 측량을 일정주기로 실시한다. 캘리포니아의 경우는 해안선에서 첫 번째 도로 사이 혹은 백사장에서부터 300ft 이내에서의 개발 등은 법정기관인 '캘리포니아연안위원회'의 승인을 얻어야 가능하다.

이와 아울러 地役權도 미국의 효율적인 자연해안 보호수단이다(Box A1.9). 가변지역권은 개발금지에 따른 소송이 제기될 수 있는 CCSL과 달리 개발을 제한하지 않으며, 구조물로 해안을 인공화하여 침식을 방해하지 않거나 시민접근을 막지 않는다면 토지소유주는 해안선에 근접한 건물이라도 지을 수 있다. 그러나 침식에 의해 해당 구조물이 위태로워지면 이를 이동시켜 침식을 허용하여야 한다.

권즐랜드 「연안보호·관리법」은 보호, 관리, 규제가 필요할 경우 해안선에서 최대 1km까지를 '연안관리구역'으로 지정할 수 있으며, 관리구역 내에 '연안건축선'을 설정할 수 있다. 또한 '침식취약지구(erosion prone area)'를 지정하여 완충대를 설정할 수 있으며, 서론에서 소개한 바와 같이 해안토지가 분할되어 소유주가 증가할 경우(land surrender condition)에는 일정면적을 무상수용할 수 있다(Box A6.1).

프랑스는 전체 해안의 1/3인 자연해안을 보전하기 위하여 1986년에 제정한 「해안법」으로 해안토목공사 규제를 강화하였으며, 예로서 미개발해안선으로부터 최소 100m 내에서의 건물신축을 규제한다. 또한 1995년의 Barmier Act에 따라 재해위험도가 높은 해안재산을 정부가 강제로 수용할 수 있다(부록 참조).

스페인은 1969년의 「해안법」을 1988년에 전면적으로 개정하여 중앙정부 관리를 강화하였으며, 해안공유재산 육지경계로부터 100m 이내에서의 건물신축을 금지하고 기존 건물을 적극적으로 매입·철거하고 있다(부록 참조).

일본의 경우, 침식·침수피해로부터의 보호를 위해 보호시설 설치 등의 관리가 필요할 경우 고조선으로부터 육측과 해측으로 각각 50m까지를 「해안법」에 따라 '해안보전구역'으로 지정할 수 있으며 필요할 경우 확장할 수 있다(부록 참조).

바. 모래관리

모래부족으로 인한 침식문제를 구조물로 대응함에는 한계가 있고, 항내·항로는 퇴적이 문제이므로 연안과 하천의 모래를 관리·활용하는 것은 친환경적이며 효율적인 침식관리방법이다.

일본 旧건설성 '하천심의회 종합토사관리소위원회'는 1998년 7월 유역·하구역·연안표사계를 통합적으로 관리하여 해안보전에 활용하는 '유사계 종합토사관리' 정책을 수립하였다. 이는, 해안 주요단면에서의 연간 총연안표사율을 구하고, 해당표사계로 유입되는 하천의 각 지천 및 하구에서의 유사량 산정치를 바탕으로 적절한 시기에 하상을 준설하여 연안표사율 결손구간에 투입하는 것이다. 하천모래가 부족할 경우에는 일정량의 토사를 통과시키도록 하천의 사방시설을 개선한다(山田 2007). 이러한 하천·연안모래 종합관리·이용은 2000년 '해안보전기본방침'에서 다시 한 번 강조되었다.

또한 '內閣官房總合海洋政策本部'는 12가지 정책으로 구성되는 '해양기본계획'²⁵⁾을 2008년 수립하였으며, 이 중 9번째 정책인 '연안통합관리'의 제1과제는 해안침식에 대처하기 위하여 육역·해역 토사를 종합적으로 관리하는 것이다(그림 2.2.2).

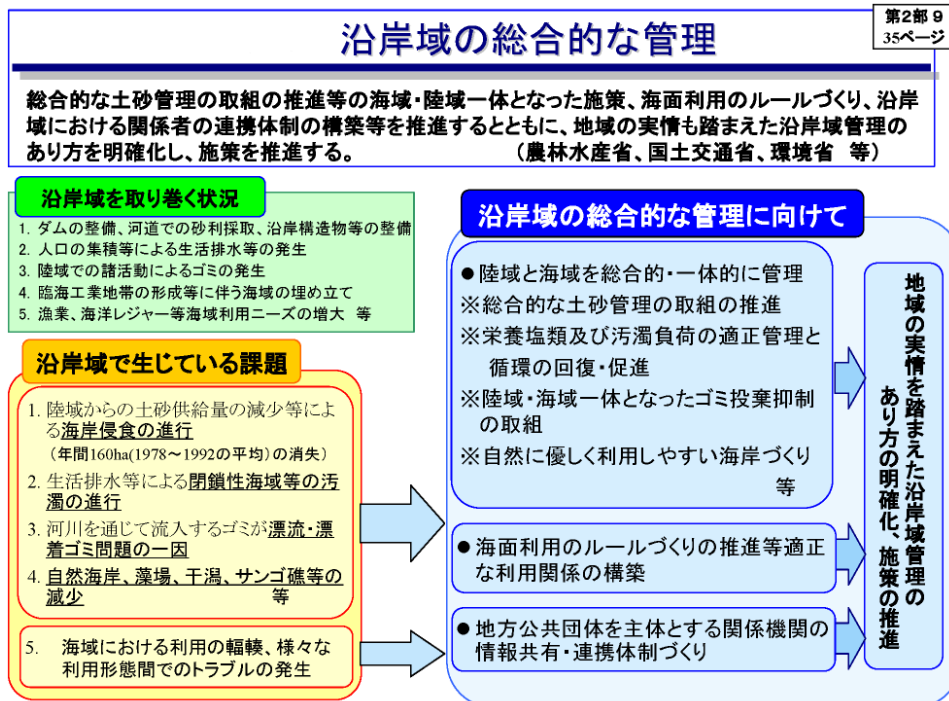


그림 2.2.2 일본 '해양기본계획' 중 제9정책인 '연안통합관리' 주요내용²⁶⁾

25) <http://www.kantei.go.jp/jp/singi/kaiyou/kihonkeikaku/080318kihonkeikaku.pdf>

26) <http://www.kantei.go.jp/jp/singi/kaiyou/kihonkeikaku/080318sisaku.pdf>

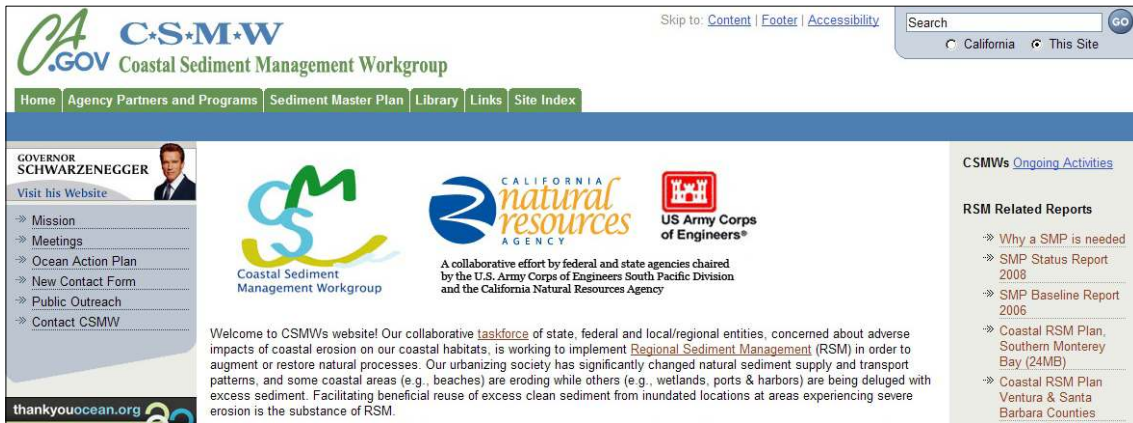


그림 2.2.3 캘리포니아주 CSMW 홈 페이지²⁷⁾

미국 육군공병단은 퇴적물을 지역경제와 환경의 활력을 향상시키는 자원으로 인식하고, 지역특성에 맞는 전략에 따라 퇴적물 관련문제의 해법을 찾는 체계기반프로그램인 RSM(Regional Sediment Management)을 2000년부터 시행하고 있으며, 관련 연방기관과 연안주 해안침식 관리부서와의 공조를 통해 상당한 성과를 거두고 있다²⁸⁾.

RSM은 광역·장기간에 걸친 퇴적물관리행위의 영향을 예측하는 해안·하구·하천 퇴적물 통합관리 프로그램으로서 퇴적물관리행위를 다음 4가지로 구분하였으며,

- ① 준설 및 투기
- ② 퇴적물 이동경로를 변화시키거나 퇴적물을 정체시키는 행위
- ③ 침식방지수단 또는 시설
- ④ 골재확보 및 기타 목적을 위한 모래 및 자갈 채취

다음 6가지 전략목표 달성을 위해 시행된다.

- ① 사업구역 내 퇴적물 수지 파악
- ② 항로 유지준설토 처리수요 수용 및 비교란 상태의 모래체적 유지
- ③ 적절한 양·질·시기를 고려한 모래 가용성과 수요 연계
- ④ 항로 유지와 백사장 양빈을 연계하고 저사지 제공
- ⑤ 모래 임시저장시설 개발
- ⑥ 육군공병단·관련기관·이해당사자 공조 제고

캘리포니아주 '연안퇴적물관리워크그룹'은 RSM과 연안주 퇴적물관리프로그램과의 대표적인 공조사례이다(그림 2.2.3).

27) <http://dbw.ca.gov/csmw/default.aspx>

28) <http://www.wes.army.mil/rsm/pubs/pdfs/RSM-V3N2.pdf>

유럽연합은 연안침식·침수 노출도(위험도) 정량평가기준을 마련하고(표 A.2.3), 이에 따라 구분되는 4개 노출등급별 관리방법을 제시하였다. 관리방법의 요지는 '연안 퇴적물관리계획'을 수립하고 실태에 대한 정량적인 평가의 주기를 노출도 등급별로 차등화하는 것이다(표 A.2.4).

영국이 바다골재 수출국(그림 2.2.1)이지만 모래와 자갈을 수심 18-35m에서 채취하며(Highley et al. 2007), 최대간조 기준수심 15m 이내에서의 채취는 거의 드물다²⁹⁾. 또한 **네덜란드**는 수심 20m 이상 및 해안으로부터 20km 이상의 외해 모래를 이용한 양빈으로 해안의 안정성을 높이고 있다(부록 참조).

사. 국고지원 침식대책 선정·진행절차

국토보존은 중앙정부의 책무임과 아울러 연안재해가 미치는 사회·경제적 파급효과가 크고, 특히 대규모 시설이 필요할 경우 비용을 지방정부가 감당하기 어려운 점 등으로 인해 대부분의 해양국가는 해안방호비용의 전액 혹은 일부를 지원한다. 그러나 국고지원효율을 높이기 위해서는 국가별 특성이 반영된 기준에 따라 지원여부 및 사업의 우선순위를 결정하는 것이 필요하다.

영국은 제2차 SMP 수립이 진행 중이던 2008년 '1949년 「해안방호법」에 의거한 시설승인과 예산지원에 관한 각서³⁰⁾'를 공포하였다. 이에 따라 방호시설사업 신청시 신청서와 함께 사업평가보고서(PAR: Project Appraisal Report)를 첨부하여야 하며, PAR는 규정된 목차에 따라 작성되어야 한다. PAR는 ① 요약문, ② 서론과 배경, ③ 문제점과 사업목적, ④ 침식관리후보안, ⑤ 후보안평가·비교, ⑥ 우선후보안 선정 및 상세내용, 그리고 ⑦ 시행계획으로 구성된다. 또한 각 장을 구성하는 절의 명칭, 필수적으로 포함하여야 하는 표의 제목과 형식, 그리고 부록에 수록하여야 하는 내용까지 구체적으로 규정되어 있다³¹⁾.

제3장 '문제점과 사업목적'에서는 '무간섭(do nothing)'을 채택할 경우의 영향을 정량적으로 파악하여야 하며, 후보안은 5가지, 즉 ① 기술, ② 환경영향, ③ 사회적 파급효과, ④ 비용, 그리고 ⑤ 편익 측면에서 비교하여야 한다.

이에 따라 해안선관리계획(SMP)에서 특정구간의 장기관리정책이 '현 해안선 유지'이고, 이를 위한 대책이 필요할 경우에는 사전타당성조사에 해당하는 PAR를 작성해야만 정부지원사업 심사대상이 된다.

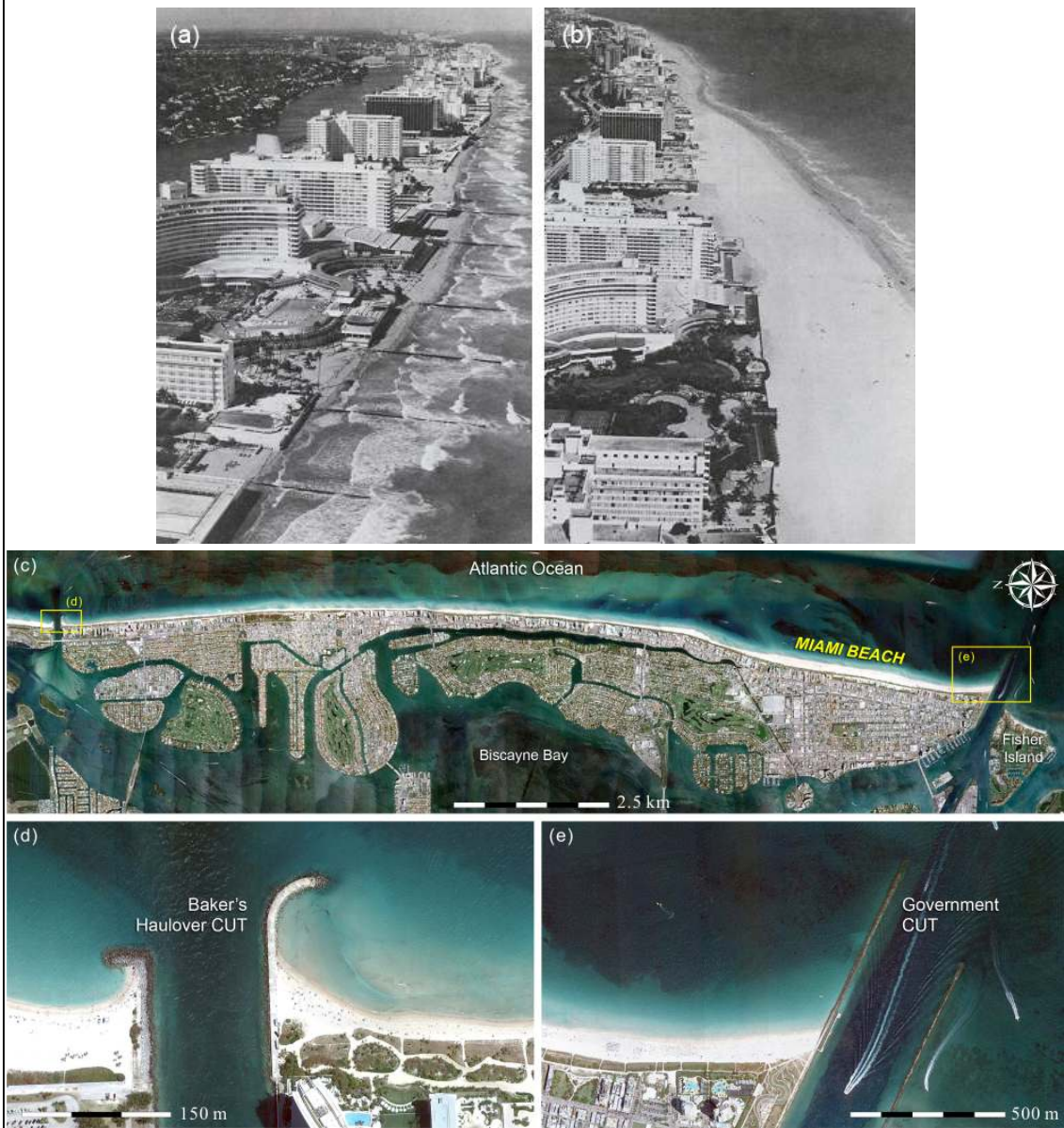
29) <http://sandpit.wdelft.nl/reportpage/right/NationalPracticesAndTables.pdf>

30) http://www.environment-agency.gov.uk/static/documents/Research/gmcp_1970582.pdf

31) <http://www.environment-agency.gov.uk/research/planning/33700.aspx>

Box 2.2.4 플로리다 마이애미 해안 양빈

- 대표적인 대규모 양빈 성공사례 : (a)(b)시공 전후³²⁾
- 1919년 Government CUT 복도류제(e) 축조 후 해빈 165 m로 확장
- 1920년대 배후지 개발, 호안 건설로 침식 증가
- 1925년 북측 Baker's Haulover(d) 파열, 1926년 허리케인으로 해빈 침식
- 돌제균 축조하였으나 북측 구조물 및 깊은 inlet 수심에 의해 남향표사 감소로 침식 가속 (Finkl 1981)
- 1968년 「범람제어법」으로 양빈시행 결정
- 1975~1982년 동안 전면 해사를 이용하여 920만³ 양빈 (비용 5,000만\$)
- 성공요인 (Campbell and Benedet 2006)
 - ① 긴 양빈거리(17km)
 - ② 비교적 낮은 파랑에너지와 높은 양빈밀도(543m³/m)
 - ③ 남북 도류제(d)(c)의 양빈모래 유실방지용 종단돌제 역할



32) <http://s3.media.quarespace.com/production/417112/4601849/wordpress/wp-content/uploads/mb-beach.jpg>

미국의 연방토목공사 주무부처는 육군공병단이다. 연안침식·침수방호시설 지원 관련법은 다양한 변천과정을 거쳤으며(표 A1.2), 현재는 「수자원개발법」, WRDA가 근거법이다. 연방지원사업에 반영되기 위해서는 약 2년 간격의 부정기적인 WRDA 갱신 시 의회의 승인을 얻어 법에 포함되어야 한다. 표 A1.3이 문제점 인지부터 사업시행까지의 단계별 시행내용이다.

한편, 연방예산이 3백만\$ 이상 투입되는 대규모 사업인 경우 50년 時界의 사업효과와 국가이익을 명확하게 기술해야 하며, 신청에서 시공까지 10년 이상이 소요될 수도 있다³³⁾. 공병단은 예비타당성조사 착수 후 타당성 조사를 거쳐 최종보고서를 워싱턴 사령부가 검토하기까지의 소요기간을 40개월로 설정하고 있다³⁴⁾.

표 A1.4는 최적대책 수립절차로서 후보안 선정 시 해빈폭 등 관리목표를 우선적으로 설정하며, 후보안들에 대한 경제·사회·환경영향을 고려함과 아울러 완벽성, 유효성, 효율성, 수용성 평가를 통하여 후보안을 탈락시키거나 재구성한다.

모든 사업의 최종안 후보안 중 제1안은 'Do Nothing'이다.

선호도가 가장 높은 연방지원 침식·침수대책은 대규모 양빈이며, 대표적인 성공 사례가 플로리다주 마이애미 해안이다(Box 2.2.4). Campbell and Benedet(2006)는 Stronge(2001)와 Douglas et al.(2003)의 자료를 참조하여 연방이 플로리다주 백사장으로부터 거두는 주민세와 법인세 1/2만으로도 미국의 백사장을 20세기 초의 수준으로 회복시킬 수 있다고 주장하였다.

그러나 1986년 WRDA 개정에서 양빈의 일차적인 목적을 허리케인·폭풍피해저감으로 제한하였으며, 백악관 행정예산관리국은 레크리에이션이 단일목적사업의 지원을 금지하며, 복수목적사업일 경우에는 재해저감편익이 50% 이상인 사업만 지원하는 예산 가이드라인을 수립하였다.

미국의 대규모사업 지원 결정권은 의회에 있기 때문에 선심성 사업의 문제점이 지속적으로 지적되고 있다.

아. 성과평가

관리성과를 향상시키기 위해서는 관리정책 혹은 체계의 진화가 필요하며, 이를 위해서는 과학적이고 체계적인 성과평가제도가 마련되어야 한다.

네덜란드의 '동적보존정책' 1단계 10년(1991-2000)은 그림 2.2.4의 체계에 따라 시행되었다. 전략목표와 1단계 운영목표는 다음과 같으며,

33) <http://www.csc.noaa.gov/beachnourishment/html/human/socio/shares.htm>

34) http://books.nap.edu/openbook.php?record_id=10468&page=34

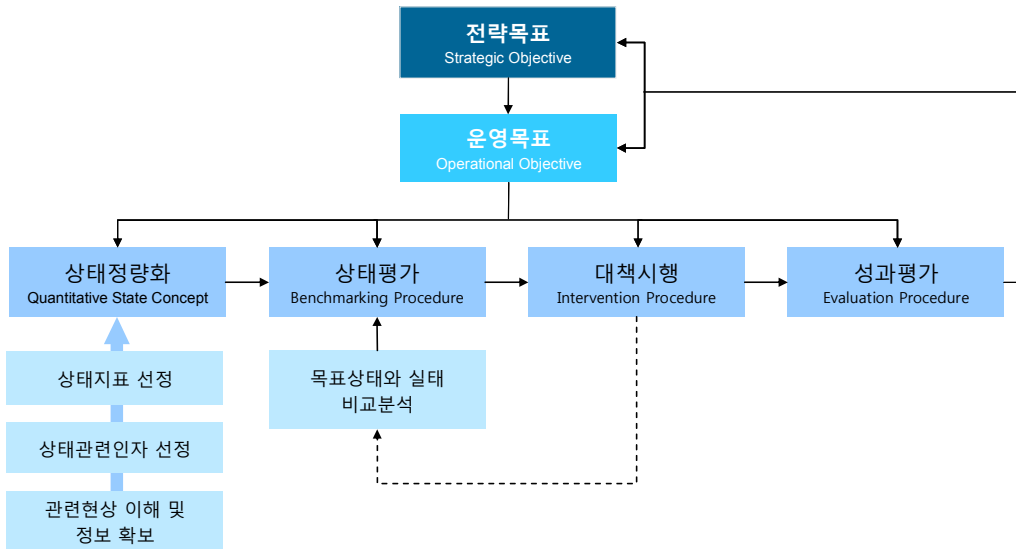


그림 2.2.4 네덜란드 동적보존정책 시행체계 (van Koningsveld and Mulder 2004)

- 전략목표 : 사구지역 안전수준의 지속적인 보장과 사구의 기능·가치 보존
- 운영목표 : 기준해안선(BCL) 유지

동적보존 시행에 앞서 정량적인 목표인 BCL을 설정하기 위해 새로운 개념의 해안선인 '일과해안선 MCL' (Momentary Coastline)을 고안하였다.

MCL은 MSL(+) 3m 와 MSL(-) 5m 사이의 모래체적을 대표하는 새로운 개념의 해안선(설계 가이드북 참조)이며, 1980~1989년 동안의 MCL 10년 경향선을 1990년 1월 1일로 외삽한 것이 동적보존의 기준해안선 BCL(Basal Coastline)이다.

한편 양빈은 TCL(Temporary Coastline)이 BCL 이하일 경우에 시행하며, TCL은 당해년도 이전 10년간의 MCL 경향선을 당해년으로 외삽하여 구한다.

즉, 그림 2.2.4에서 해안 안정성을 정량적으로 나타내는 상태지표가 MCL이며, 상태평가는 $TCL < BCL$ 여부 판단, 대책시행이 양빈이다. 1단계 동적보존정책을 시행한 결과, 해안선이 1990년보다 후퇴하지 않았으며, 일부는 해변폭이 증가하였다.

그러나 수심 20m까지의 모래체적 관측결과에 따라 1단계성과를 평가한 결과, ①1단계(1991~2000) 양빈설계로는 수심 20m 이내인 전체 연안체계에서 필요한 모래체적을 제대로 추정하지 못하며, 이에 따라 ② 1단계 연간양빈체적으로는 네덜란드 연안체계의 총 모래체적을 보존할 수 없으므로 ③1단계 '동적보존'은 보다 확장된 시공간 규모에서 지속가능한 정책이 아니었다고 결론지었다.

이에 운영목표를 1990년 해안선 유지에서 '연안체계 내의 총 모래체적 보존'으로 확장하고, 이의 달성을 위해 管理時界를 30~50년으로, 공간규모는 평균해면하 20m로 확장하였으며, 연간 양빈체적을 1단계 600만 m^3 에서 1200백만 m^3 로 증가시켰다.

II. 연안침식 관리체계

미국의 경우, 1990년대 중반부터 CZMA의 정량적 성과 부족이 지속적으로 지적됨에 따라 NOAA는 지난 10여년에 걸쳐 '연안역관리법 성과측정체계'를 수립하고 예비시행으로 수정·보완한 후 2010년 최종가이드라인을 확정하였다(NOAA 2010). 향후 연안주는 CZMP 수립 시 6개 분야, 즉 ① 기관 간 업무조정과 의사결정, ② 연안접근성, ③ 연안서식처, ④ 연안수질, ⑤ 연안재해, 그리고 ⑥ 연안이용 및 연안공동체 발전 분야에 대한 13개 성과척도를 구성하는 총 66개 세부척도의 목표치를 설정하고 그 성과와 예산집행내역을 매년 보고하여야 한다(부록 참조).

영국은 2008년부터 관리를 강화하였으며, 대책시설 국고지원금 신청 시 제출하는 타당성조사 보고서에 9개 항목에 관한 관리성과목표 포함하도록 하였다(표 A.3.2).

자. 연구·개발

주목할 만한 현상이 고파사상 동안 해안선에 근접하여 발생하므로 관측이 어려운 점 등으로 인해 해안침식을 지배하는 연안수리·표사현상에 대한 정량적인 규명이 아직 불충분하다. 또한 새로운 공법을 개발하기 위해서는 비용이 많이 소요되는 수리실험, 시범시공 등이 필요하다.



 <p>US Army Corps of Engineers Engineer Research and Development Center</p> <p>U.S. Army Corps of Engineers Field Research Facility, Duck, NC</p> <p>Purpose The U.S. Army Corps of Engineers (USACE) Field Research Facility (FRF) is one of the few places in the world that provides a dependable means of obtaining comprehensive measurements even during severe storms when significant coastal changes occur. Located in Duck, NC, the FRF was established by the USACE in 1977 to support its coastal engineering research requirements. Since its creation, the facility has maintained a comprehensive, long-term monitoring program of the coastal ocean including waves, tides, currents, local meteorology, and the resultant beach response. A small, highly skilled field staff and several unique vehicles support the monitoring program. Because the site is representative of many U.S. coastal locations, FRF data are used worldwide to help meet the need for field data to calibrate and verify analytical, numerical, and physical model predictions. In addition, the availability and high quality of FRF data make it ideal for use in ground-truthing a wide range of new oceanographic in situ and remote sensing sensors and techniques.</p> <p>Specifications The FRF is located on 712,000 square meters (176 acres) which includes 1,000 m (3,300 ft) of frontage along the Atlantic Ocean and the shallow brackish Currituck Sound. The facility consists of a 560-m (1,840-ft)-long research pier, a main office building, two field support buildings, and an observation tower. The research pier is a reinforced concrete structure supported on steel pilings. The pier deck is 6.1 m (20 ft) wide and extends to a nominal depth of 6 m (20 ft) at a height of 7.6 m (25 ft) above the National Geodetic Vertical Datum of 1929 (NGVD). The 40-m (130-ft) tall observation tower is climbable and designed to support video remote sensing observations and to hold radio antennas. FRF vehicles include the 10.70-m (35-ft) tall Coastal Research Amphibious Buggy (CRAB), used primarily for surveying and other tasks in the nearshore such as instrument deployments, sediment sampling and vibrocoring, cable laying, instrumented sled towing, and supporting diving operations. In addition, two 10.7-m (35-ft) long Lighter Amphibious Resupply Cargo (LARC-V) vehicles support operations in deeper water or remote from the FRF. These vehicles support diving operations, conduct hydrographic surveys, tow sidescan and sub-bottom seismic instruments, lay and retrieve cables, and deploy and maintain buoys and instruments. An Interferometric, phase measuring swath survey system, along with a terrestrial scanning lidar, and a X-band shore based radar provide the capability of obtaining 100% survey coverage of nearshore, beach, dune, and estuary areas.</p> <p>U.S. Army Engineer Research and Development Center September 2009 www.erd.usace.army.mil</p>	<p>Benefits Federal, state, university, and private sector researchers are encouraged to take advantage of the unique capabilities of the FRF. Users gain access to real-time and historic FRF data, the specialized vehicles, and logistic expertise. With nearly 200 years of corporate field experience, the FRF staff is known for their ability to design experiments that can survive the harsh conditions of the nearshore, whether caused by a passing northeaster or hurricane. In many instances the availability of the CRAB and LARCs has allowed experiments to be conducted that would not be possible elsewhere. As an example, the CRAB's ability to be accurately located and to remain in position, has been used to create large, precise arrays of bottom-mounted pressure sensors, current meters, and other oceanographic sensors that have provided new measures of ocean phenomena. Bathymetry collected by the CRAB and LARC provide detailed maps of the beach and ocean bottom, which are fundamental to most experiments. Since ambient conditions (waves, winds, tides, etc.) are constantly measured, visiting users only need to deploy their own sensors, reducing the cost and complexity of experimenting elsewhere. They can also use the FRF's long-term data summaries to select periods of the year when they are most likely to obtain desired conditions (calm, storm, changeable, etc). The FRF has a long history of supporting the experiments of others and these experiments, along with the other activities at the FRF, have resulted in a wealth of new coastal knowledge.</p>  <p>Success Stories Through its observations and research, and by hosting a series of multiagency, multi-investigator or major experiments, the Duck beach has become one of the most studied beaches anywhere. The major experiments were given clever names like "DUCK94", "SandyDuck" and "SuperDuck" and were sponsored by the Corps of Engineers, the Office of Naval Research, and the U.S. Geological Survey. These experiments have contributed significantly to our knowledge of the nearshore and have led to the discovery of important nearshore phenomena like "Shear Waves," along with the quantification of other processes such as wave transformation, sandbar morphology, and sediment transport. A wide variety of experiments continue to be conducted at the FRF to study topics such as: the remote sensing of waves, nearshore currents and bathymetry, underwater mine detection and burial, power generation by waves, the detection of atmospheric aerosols, wave slopes, bottom roughness, sandbar dynamics, coastal climate change and many others. Results have appeared in a growing number of published reports including approximately 400 journal articles, reports, and conference proceedings.</p> <p>For more information, visit the Field Research Facility at http://www.fr.usace.army.mil</p> <p>ERDC POC Dr. Jesse McNinch, U.S. Army Corps of Engineers, Field Research Facility, 1261 Duck Rd., Duck, NC 27949. Phone: 252.261.6840x243. Fax: 252.261.4432. Jesse.McNinch@usace.army.mil or Bill Birkemeier 252.261.6840x229 William.Birkemeier@usace.army.mil.</p>
--	--

그림 2.2.5 미국 육군공병단 현장실험시설(5)

35) http://www.erd.usace.army.mil/pls/erdcpub/www_fact_sheet.fac equip_page?ps_facEq_num=40819&tmp_Main_Topic=&page=BENEFI TS&page=PREVIOUS



그림 2.2.6 수중양빈(좌) 및 모래돌제(우) 시험시공관련 네덜란드 델프트공대 석사논문

연안수리학 발전을 위해서는 이처럼 고비용이 소요되는 지속적인 연구·개발이 필요함에 따라 선진국은 이를 담당하는 전문기관을 운영하고 있으며, 미국 육군공병단(그림 2.2.5), 일본 국토기술정책종합연구소, 항만공항연구소, 네덜란드 Deltares가 대표적이다.

또한 네덜란드 운수·토목·물관리부는 심도 있는 연구가 필요한 분야에 대한 석·박사 과정을 지원함으로써 관련기술 발전에 상당한 성과를 얻고 있다(그림 2.2.6).

차. 정보생산·관리·보급

연안침식 중장기관리를 위해서는 침식우심도별 관측항목·주기를 차등화한 모니터링이 필요하며, 생산된 자료를 관리에 활용하고 그 이용자 폭을 넓히기 위해서는 일원화된 자료관리체계가 필요하다.

네덜란드 '동적보존'은 매년 시행하는 전국적인 모니터링(JARKUS) 결과에 따라 이행되며, 관측자료는 운수·토목·물관리부의 데이터베이스시스템인 DONAR에 저장된다(van Heuvel et al. 1996).

II. 연안침식 관리체계

영국은 해빈모니터링을 1973년부터 지원하고 있으며(IACMST 2005), 전국적으로 확장하는 국가모니터링 프로그램 실시와 자료관리 일원화³⁶⁾는 2011년부터 착수할 예정이다(EA 2010). 한편 남해중부 연안그룹 SCOPAC은 침식·침수위험도 지도를 제작하였다(그림 A2.4).

미국은 해안침식 관련자료를 전국적으로 통합관리하지 않고 있으나, 국가연안·해양 통합관측시스템인 US IOOS (Integrated Ocean Observing System)³⁷⁾가 오리건주의 모니터링 자료를 해안선 측량 대표사례로 제공하고 있다(설계 가이드북 참조).

한편, CZMA 주무부처인 상무성 산하 NOAA는 32개 지역거점대학에 연안·해양 관련 연구·교육·훈련비를 지원하는 'Sea Grant College Program'을 40년 전부터 시행하여 지역사회의 해안보존의식을 크게 향상시켰다(Box A1.5).

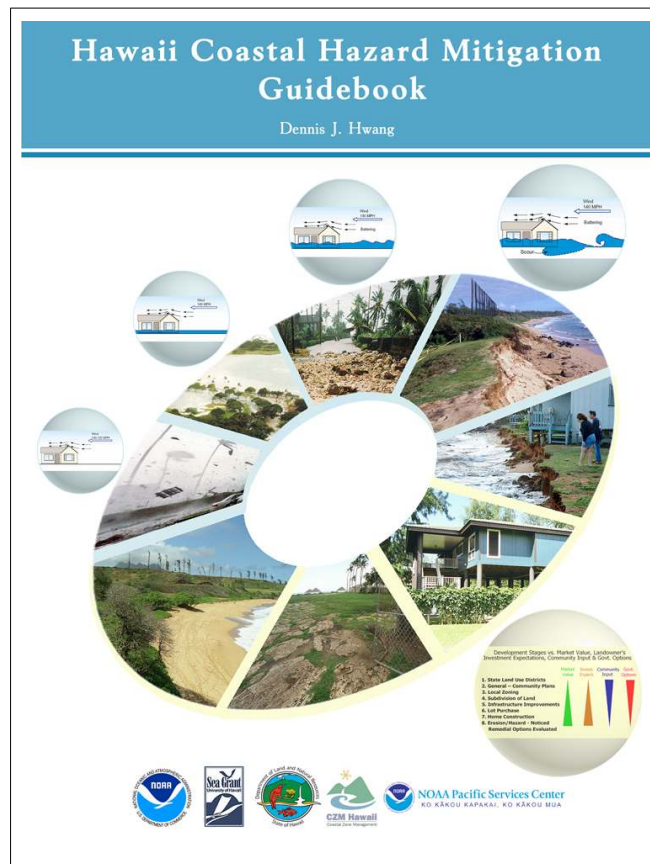


그림 2.2.7 미국 Sea Grant 프로그램 성과 사례

36) <http://www.channelcoast.org/>

37) <http://www.ioos.gov/>

3. 국내 관리체계

가. 현황분석

1) 연안통합관리

연안통합관리의 주요 관리대상이 연안회복탄력성을 좌우하는 해안선위치와 연안 퇴적물이다. 표 2.2.1의 10가지 필수요소 중 첫 번째인 이상적인 통합관리체계가 마련되면 나머지 9가지는 사실 달성이 어렵지 않은 부차적인 요소로 간주할 수 있다. 퀴즐랜드주와 유사한 우리의 통합관리 이행방법은 1999년 「연안관리법」에 의거하며, 2000년에 수립한 '제1차 연안통합관리계획'의 기본목표는 Box 2.3.1과 같다.

편익이 특정분야에 집중됨에 따른 문제가 발생하는 분할된 기존관리로는 '생명해안', '재해 없는 해안'의 유지, 그리고 '연안의존적 산업의 계획적 배치'가 어렵다는 인식이 바로 통합관리개념의 출현배경이다. 이에 따라 '의제 21'은 '관련분야를 포함하는 통합된 정책과 의사결정 절차 제공'을 통합관리 제1목표로 설정하였으며(Box 2.3.2), 전술한 바와 같이 미국 CZMP 예산 중 가장 높은 비중을 차지하고, 6개 성과평가항목 중 첫 번째인 분야가 기관간 업무조정과 의사결정인 것이다.

우리도 이를 마지막 목표로 포함하였지만 최상위 목표로 격상시키는 것이 바람직하다.

Box 2.3.1 제1차 연안통합관리계획의 기본목표 (해양수산부 2000)

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ① 생태적 균형을 이루는 생명해안 <ul style="list-style-type: none"> - 생태계 보호 및 생물다양성 증진을 통한 「환경의 질」 향상으로 건강한 연안 창출 ② 환경친화적 개발을 통한 생산해안 <ul style="list-style-type: none"> - 환경친화적 개발유도 및 연안의존적 산업의 계획적 배치로 풍요로운 연안창조 ③ 연안재해방지사업을 통한 재해 없는 해안 <ul style="list-style-type: none"> - 방재시설정비 및 과학적 재해예방대책 시행으로 재해에 강한 연안 창출 ④ 위락과 교육의 장으로서의 인간중심해안 <ul style="list-style-type: none"> - 다양한 친수연안공간 확대 및 연안접근권 보호를 통한 「환경의 질」 향상으로 쾌적한 연안 조성 ⑤ 이해관계자가 협력하는 통합연안 <ul style="list-style-type: none"> - 연안의 관리주체간 협력 및 주민의 노력이 함께하는 참여의 연안 구축 |
|--|

Box 2.3.2 '연안통합관리와 지속가능한 개발'의 목표 (Agenda 21 Chap. 17 17.5)

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ① 이용의 조화와 균형을 도모하기 위해 모든 관련분야를 포함하는 통합된 정책과 의사결정 절차 제공 ② 현재 및 계획된 연안이용을 파악하고, 이용의 상호작용 파악 ③ 연안관리와 관련하여 뚜렷하게 정의되는 주제에 집중 ④ 주요 사업의 악영향 사전평가와 체계적인 관측을 포함하여 계획의 수립과 이행을 예방차원에서 접근 ⑤ 오염, 해안침식, 자원손실 및 서식처 파괴 등 연안·해양이용에 의한 가치 변화를 반영하는 국가자원·환경 회계와 같은 방법의 개발·적용 ⑥ 계획수립과 의사결정의 적절한 단계에서 관련되는 개인, 그룹, 조직에게 관련정보와 참여기회 제공 |
|---|

한편, 선진국 대부분의 연안통합관리계획은 연안침식을 비롯한 제 분야의 계획을 포함하며, 그것이 명실상부한 통합관리이다. 우리의 경우, 비록 여건이 성숙하지는 않았지만 가능한 모든 연안계획은 통합계획의 틀에서 수립됨이 바람직하다. 이를 위해 관련계획을 통합계획의 하위계획으로 명문화하고 계획수립의 주기와 시기를 동기화할 필요가 있다. 우선적으로 고려할 수 있는 계획은 '연안정비계획', '공유수면매립계획', 그리고 갯벌복원계획 등 관계부서의 계획이다.

2) 연안침식관리정책

2000년 제1차 통합계획은 7가지 추진전략을 수립하고 그 네 번째인 '연안재해방지사업의 체계적 전개'의 기본정책을 Box 2.3.3과 같이 설정하였다. 연안침식·침수 재해의 관리경험이 부족했던 상황에서도 고려할 수 있는 사항들을 충분히 반영하였으나, 지난 10년 동안의 관리경험을 분석하여 보완하고, 특히 필요한 사항은 구체화시킬 필요가 있다.

우선적인 고려사항은 그 동안의 주목할 만한 해안침식 대부분이 어항, 해안도로 등 지역사회발전을 위한 기간시설에 의해 발생하였다는 점이다. 이를 최소화하기 위해서는 개발계획 수립단계에서 개발에 의한 침식가능성을 충분히 검토할 수 있는 기회가 해안선관리 관련부처·부서에게 제공되고, 유의할 만한 의견이 제기되면 이를 반영하기 위한 계획의 재검토 혹은 설계변경 등이 가능하여야 한다. 이는 2000년 계획이 제1정책으로 채택한 관계기관간 유기적인 연계체계가 구축되어야만 가능하나 아직 성과가 가시적이지 않다.

Box 2.3.3 '연안재해방지사업의 체계적 전개' 기본정책 (해양수산부 2000)

1. 연안재해 예방체계의 통합관리
 - ① 연안재해방지사업의 체계적·효과적 실현을 위해 **관계기관과의 유기적인 연계체계 구축**
 - 여러 기관에서 추진하는 연안재해방지사업을 연안정비계획에서 중복 및 경합사업을 사전에 총괄적으로 조정
 - 연안재해의 피해도·반복성·경제성 등을 고려하여 사업 우선순위 결정
 - ② 연안재해 피해를 최소화할 수 있는 재해예방 대비체제 구축 및 경보시스템 개발
 - ③ 해일·고조 기타 연안재해에 취약한 지구는 재해위험구역으로 지정·관리
 - 재해위험구역 안에서는 건축물의 건축금지 및 제한을 위해 지방자치단체 조례 제정
2. 복구위주에서 예방위주로 전환하여 해안보전시설 정비
 - ① 해안방조제 및 제방시설의 정비, 항만 및 어항시설의 정비, 침식해안의 보강, 침수지역의 정비, 비사지구방재 등으로 구분하여 단계적 정비
 - 연안정비 10개년계획 수립으로 사업의 우선순위 결정
 - ② 중복투자방지 및 재해예방효과를 높이기 위하여 개별사업 외에도 지역단위의 패키지 사업을 동시에 추진
3. 지속적 모니터링 및 과학적 재해방지대책 수립·시행
 - ① 원격탐사기술을 활용하여 해안선의 광역감시체계 구축 및 실태조사 실시
 - 해안선·해저지형·해양시설물 등의 변동상황 및 조수·조류 등의 변화상태를 주기적으로 조사·점검
 - ② 해안재해 예보기술을 비롯한 해안보호기술, 해양구조물 시공기술, 해양환경보전기술, 해양투기 및 투기물 관리기술 등 연안방재관련 조사와 기술개발 촉진

한편, 목표를 달성하기 위한 정책이 비록 중요하지만 유사정책이 많으면 집중도가 저하될 가능성이 있다. 따라서, 특정 주제에 대한 정책은 관계기관간 조정과정을 거쳐 단일화하는 것이 통합관리 제1목표를 달성하기 위해 바람직하다.

통합계획의 하위계획으로 간주할 수 있는 '연안정비계획'에서도 통합계획과 유사한 정책을 수립하고 있으나 통일성과 일관성 차원에서 정책은 통합계획이 담당함이 바람직하다. 현 제도에서는 정비계획에서 수립하는 정책의 지자체 이행효율을 기대하기 어렵다. 관리정책은 중앙정부의 관리방향이므로 이의 지자체 이행여부가 국고 지원 여부의 판단기준이 되어야 하고 지자체는 신규사업 신청시 정책 부합성을 고려하여야 한다. 그러나 정비계획의 정책은 신규사업 평가·선정과정에서 설정되고 정비사업 고시문건을 통해 발표되므로 지자체가 신규사업 신청과정에서 향후 10년 동안의 정부 정책을 참조할 수 없다.

따라서 재해방지사업의 체계적 추진 이전에 재해를 방지할 수 있는 공조체계 구축이 시급하며, 이를 통하여 관계부처가 모두 참여하는 '연안보전 공동정책'을 마련하는 것이 필요하다. 그리고 어항신설·확장 등 해안시설물 설치, 공유수면매립, 연안정비사업 선정, 자연해안선보전 및 해안침식예방관리 등은 이 공동정책에 따라 이행됨이 바람직하다.

3) 연안침식 지역관리계획

Box 2.3.3에서 알 수 있는 바와 같이 '연안재해피해를 최소화할 수 있는 예방체계 구축', '해안선·해저지형·해양시설물 등 변동상황 주기적 점검' 등 2000년 제1차 통합계획은 연안침식피해 예방을 위한 대부분의 수단을 정책에 포함하고 있다.

이러한 정책을 이행하기 위한 사업을 중앙정부가 주관하더라도 예방관리에 필수적인 정보의 누락을 방지하고 자료의 질을 높이기 위해서는 지자체의 능동적인 참여가 필요하며, 이를 지역관리계획에 포함하는 것이 바람직하다. 그러나 대부분의 연안관리지역계획은 해안침식 예방관리와 관련한 구체적인 내용을 포함하고 있지 않으며, 「연안관리법」의 규정에 따라 '연안정비사업'은 취급하고 있으나 차기계획을 준비하는 내용이 아니라 제1차 계획에서 선정된 사업지구를 나열함에 그치고 있다.

계획은 정보를 바탕으로 수립되어야 하므로 연안관리지역계획이 침식예방계획과 차기 연안정비사업을 준비하는 내용을 충실하게 포함하도록 유도할 수 있는 효과적인 방법 가운데 하나가 지역연안관리위원회에 침식관리를 위한 소위원회를 구성하고 관계기관을 동참시키는 것이다. 영국의 '연안그룹'이 좋은 사례이다.

또한 지방거점대학 등 지역전문기관을 연안침식모니터링에 참여시키는 것이 바람직하다. 지역관리자가 신규침식발생, 연안정비사업 준비·관리 등의 현안업무를 수행

함에 있어 어려움에 봉착하면 지역전문가의 자문을 구하는 것이 일반적이다. 지역전문기관이 모니터링을 수행한다는 것은 자료생산기관과 지역관계기관과의 소통기회가 많아짐을 의미하고 그에 따라 지자체가 부정기적으로 시행하는 양빈과 어항준설, 성수기 직전 해빈정지작업, 해사채취 등 침식관리에 있어서 중요한 유효정보 가득물이 높아질 수 있다. 또한 지역전문기관의 장점 중의 하나는 이상고파랑 등에 의한 돌발적인 침식 발생시 상황을 보다 신속하게 파악할 수 있는 것이다.

네덜란드를 제외한 선진국 대부분의 침식관리는 중앙정부의 정책이 반영된 지역관리계획을 중심으로 이행되고 있으며, 모니터링은 지역대학이 주도하고 있음을 참조할 필요가 있다.

4) 관리예산

예방관리를 위해서는 해저지형 측량 등을 위한 모니터링이 필요하며, 선진국 시행착오 중 많은 부분이 현상에 대한 몰이해에서 비롯되었으므로 이의 답습방지를 위한 지속적인 교육·홍보, 관계기관 협의체 운영 등 다양한 관리예산이 필요하다. 그러나 현재의 거의 모든 '연안정비사업'은 시설사업이며³⁸⁾, 미국의 CZMP와 같은 관리프로그램이 없는 실정이다.

다행히 최근 우리나라도 미국의 경우와 성격이 유사한 'Sea Grant' 사업을 출범시켰다. 주무부서와의 공조를 통하여 씨그라트 사업에 연안침식, 연안퇴적물관리관련내용을 필수항목으로 포함하고 예산을 지원하는 것이 바람직하다.

한편, 수심측량 등을 포함하여 예방관리정보의 질을 보다 향상하고 정비사업 사후관리 등을 위해 모니터링 예산을 증액할 필요가 있다.

5) 연안개발규제 및 보전지구지정

우리나라 통합관리 구조와 유사한 퀴즐랜드 연안관리계획 근거법인 CPMA 역시 1995년에 제정된 후발법이지만 1968년 「해빈보호법」의 인허가 규정을 모두 이양 받아 다양한 관리수단을 포함하고 있다. 그러나 우리의 「연안관리법」은 연안개발규제 측면에서 취약하다.

「연안관리법」은 2009년 3월 전면적으로 개정되어 연안용도해역을 지정·관리할 수 있게 되었다. 이 가운데 연안환경·자원 보호 등을 위해 설정할 수 있는 '보전연안해역'은 모래자원보전을 위해 효과적일 수 있지만, 「골재채취법」에 따른 골재채취단지와 「해저광물자원 개발법」에 따른 해저광구는 이미 '이용연안해역'으로 지정된 것으로 보기 때문에 「연안관리법」으로 해사채취를 규제할 수 없다.

38) 제2차 연안정비계획에 강원, 경북 모니터링 예산 반영

그러나 육역관리측면에서 긍정적인 '자연해안관리목표제'가 도입되어, 중앙정부는 향후 5년간의 개발계획을 고려한 5년 단위의 자연해안관리목표 제출을 지자체에게 요청할 수 있게 되었다. 이는 육역관리권이 없는 법률이 취할 수 있는 최선의 방안이고, 비록 지자체 이행이 의무조항은 아니지만 연안관련 국고지원을 고려할 때 중앙정부 요청을 거부하기가 사실상 어려우며, 정량적인 연안보전관리가 처음으로 시작되었다는 측면에서 의의가 매우 크다. 특히 관할해안 인공화 비율의 추이를 파악하는 것은 지역연안관리관련 의사결정에 큰 영향을 미칠 것이다.

지자체가 '자연해안관리목표'를 설정할 때 몇 가지 고려하여야 할 사항이 있다. 관리목표는 해안선의 길이, 해빈폭, 육상기준점에서 일정수심까지의 모래체적 등 배후지 특성과 중요도에 따라 다양하게 설정할 수 있으며, 목표별 목표달성도 파악을 위한 모니터링 방법도 다르다. 또한 「연안관리법」은 '자연해안'을 구조물이 없는 해안으로 정의하였으나 엄밀한 의미에서 양빈해안은 '자연해안'이 아니며, 자연적인 후퇴를 허용하는 것도 관리정책 중 하나이다.

관할해안 전체에 대한 관리목표를 '자연해안관리목표제'로 설정하였으나 국지구간 개발을 규제할 수 있는 실질적인 수단이 필요할 경우에는 퀸즐랜드 CPMA를 참조할 필요가 있다. 매우 이례적으로 CPMA는 법의 목적 구현에 도움이 되는 타 법률의 활용을 권장하였다. 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」, 「자연재해대책법」 등에는 침식우심해안을 보전지구 등으로 지정할 수 있는 조항이 충분하다.

보전지구로 지정함에 따른 장점은, 「환경정책기본법」에 의거하여 시행되고 있는 '사전환경성검토'의 일차적인 대상사업은 다양한 관계법에 따라 지정된 보전·보호지역·지구 내에서 계획된 개발사업이므로 침식발생 혹은 심화를 예방할 수 있는 가능성이 높아진다는 것이다.

6) 모래관리

「연안관리법」 제정 이후의 선진국 연안침식관리 동향에서 가장 교훈적인 분야가 모래관리이다. 그러나 이는 우리나라 침식관리의 후진성을 가장 극명하게 대변하는 요소로서 개선이 매우 시급하다. 현재의 무분별한 연안모래 채취를 방치하면 연안회복탄력성이 10년 내에 회복하기 어려운 수준으로 저하될 가능성이 있다.

그러나 대표적인 모래관리 모범사례국인 일본은 해안침식관리를 국토교통성 하천국이 담당하고 있으며, 미국의 경우에는 준설과 양빈 모두 육군공병단의 주요업무인 반면, 우리의 경우는 하천과 연안관리부서가 다르고, 어항과 해안침식관리부처가 다르며, 해사채취는 지자체가 승인함에 따라 모래를 효과적으로 관리할 수 있는 여건이 매우 불리하다.

그럼에도 불구하고 모래관리 없이는 연안침식관리 선진화에 도달하기 어려우며, 모래관리에 불리한 우리의 제반여건이 명실상부한 연안통합관리 구현의 도전과제임을 인식할 필요가 있다.

가) 서해안

우리나라에는 해사채취수심을 법률적으로 제한하지 않아 1993-2001년 동안 경기만 남부 천퇴(그림 2.3.1)에서 채취된 모래가 1.8억 m³(표 2.3.1), 2000~2009년 동안 선갑지적에서 채취된 양은 약 1.1억 m³(Box 2.3.4)로서, 3억 m³는 모래층 두께 1m 인 백사장을 조성할 경우 해운대해수욕장의 3,571배, 간조기준 만리포해수욕장의 522배에 해당하는 양이다³⁹⁾.

그러나 3억 m³는 골재협회가 제시하는 양이며, 채취체적의 승인체적 초과여부의 법적인 점검방법이 부족하다. 즉, 관련법과 시행령(Box 2.3.5~2.3.7)에 감독조항과 해사채취 후 수심측량을 실시하지 않아도 되는 예외조항을 포함하고 있으나 승인된 깊이 이상 채취하였는지를 객관적으로 점검할 수 있는 제도가 마련되어 있지 않다.

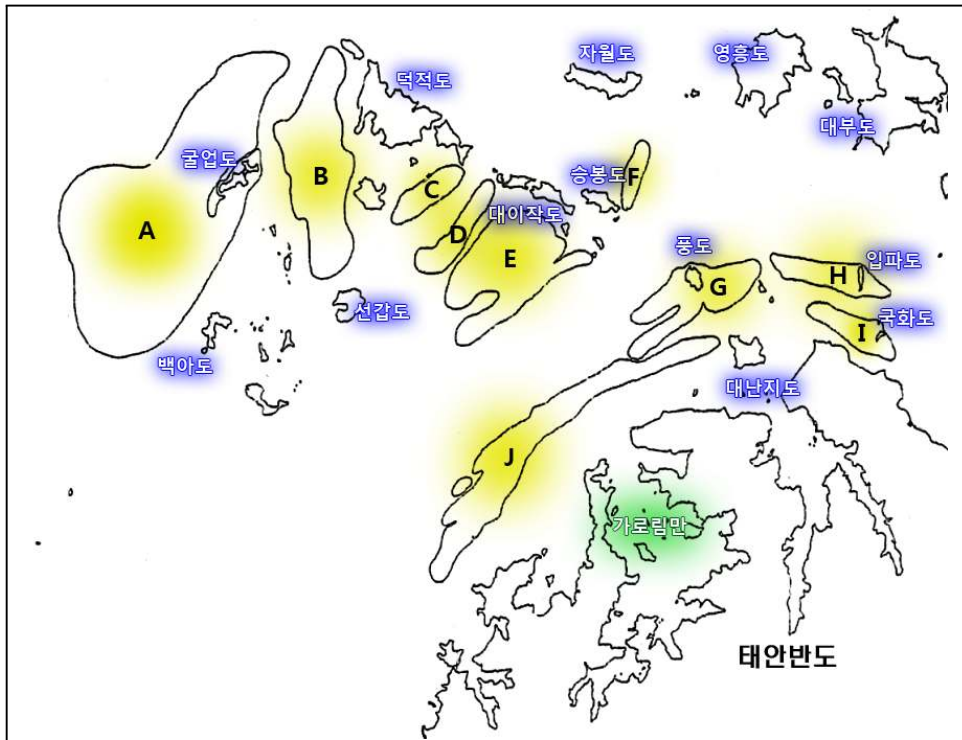


그림 2.3.1 경기만 남부해역 모래채취구역 (한국골재협회 인천지회 2002)
 : A 굴업도 사퇴, B 덕적도 사퇴, C 소야도 사퇴, D 소이작도 사퇴, E 하벌천퇴, F 승봉도 사퇴, G 풍도사퇴, H 입파도 사퇴, I 국화도 사퇴, J 장안퇴

39) 해운대 해변연장 1.4km, 폭 60m 기준, 만리포 해변연장 2.3km, 간조시 해변폭 250m 기준

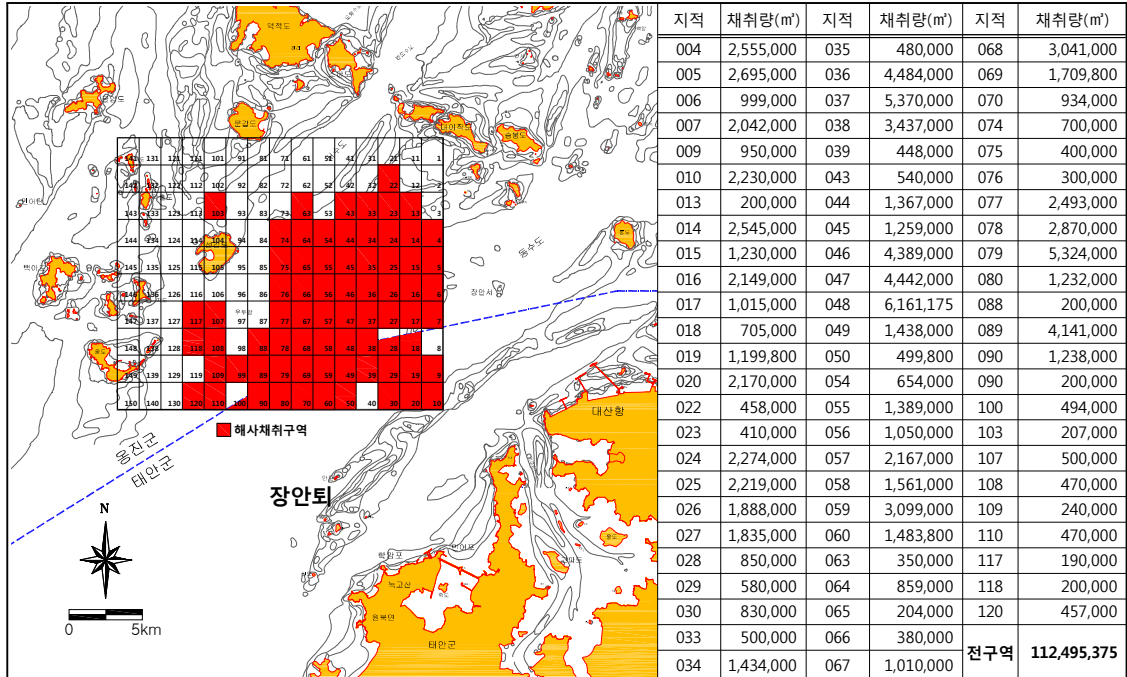
표 2.3.1 경기만 남부 및 아산만 해역의 해사 매장량, 가채량, 채취허용량 및 잔존량(한국걸재협회 인천지회 2002)

구역	사퇴명	모래층후(m)	매장량 (m ³)	가채량 (m ³)	채취허용률	채취허용량 (m ³)	기채취량-1 (1998-2001)	기채취량-2 (1993-1997)	잔존량 (m ³)	채취환경
A	굴업도 사퇴	11	682,443,200	241,400,000	0.8	193,120,000	6,069,000		187,051,000	○
B	덕적도 사퇴	11	325,360,000	195,904,000	1.0	195,904,000	105,000		195,799,000	△
C	소야도 사퇴	11	48,653,600	27,975,200	1.5	41,962,800	200,000		41,762,800	△
D	소이작도 사퇴	13	78,272,400	52,296,400	1.0	52,296,400	799,000		51,497,400	△
E	하벌전퇴	15	271,545,900	167,923,500	0.6	100,754,100	43,598,000		57,156,100	△
E-J	하벌전퇴-장안퇴	?	?	?	1.0	?	9,313,000		?	○
F	승봉도 사퇴	11	24,036,000	13,788,000	0.4	5,515,200	0		5,515,200	△
G	풍도 사퇴	15	144,420,000	94,500,000	0.5	47,250,000	1,500,000		45,750,000	△
G-J	풍도-대란지도	?	?	?	0.5	?	3,250,000		?	△
H	입파도 사퇴	11	47,712,000	27,072,000	0.2	5,414,400	0		5,414,400	X
I	국화도 사퇴	11	57,408,000	38,592,000	0.2	7,718,400	400,000		7,318,400	X
J	장안퇴	15	309,634,000	192,802,000	0.5	96,401,000	12,400,000		84,001,000	△
전구역		11-15	1,989,485,100	1,052,253,100	0.2-1.5	746,336,300	77,634,000	104,913,000	563,789,300	

- 매장량은 1994년(경기만남부) 및 1999년(아산만) 조사자료 기준 추정치
 - 가채량: 모래/펄 경계 상부 3m 이상부의 모래층만을 대상으로 산출
 - 채취허용률: 환경제한 요인 및 미확인 매장량을 고려한 추정치
 - 채취허용량 = 가채량 × 채취허용률
 - 기 채취량-2: 구역별 자료 미비

II. 연안침식 관리체계

Box 2.3.4 선갑지적 2000-2009년 해사채취 실적 (대산지방해양항만청, 수행중*)



* 자료출처 : 한국골재협회 인천지회(2008), 충남골재협회(2010)

Box 2.3.5 「골재채취법」 중 지도·감독 조항

제21조(지도·감독) ① 골재채취업자는 국토해양부령이 정하는 바에 의하여 골재채취구역마다 골재의 종류·채취량 등을 명기한 장부를 비치하여야 한다.

- ② 시장·군수 또는 구청장은 골재채취업 등록기준에의 적합 여부나 환경영향 저감대책 및 골재채취 현황 등 골재채취 관련 사항에 대한 확인이 필요하다고 인정되는 때에는 골재채취업자에 대하여 시설·장비·골재채취현황 등 그 업무에 관한 사항을 보고하게 하거나 소속공무원으로 하여금 시설·장비·서류 등을 검사하게 할 수 있다.
- ③ 제2항에 따라 검사를 실시하는 경우에는 검사 7일 전까지 검사의 일시·이유 및 내용을 골재채취업자에게 통지하여야 한다. 다만, 사전통지의 경우 증거인멸 등으로 검사목적 달성을 할 수 없다고 인정되는 경우에는 그러하지 아니하다.
- ④ 제2항의 규정에 의한 검사를 하는 공무원은 그 권한을 표시하는 증표를 지니고 이를 관계인에게 내보여야 한다.

Box 2.3.6 「측량·수로조사 및 지적에 관한 법률」 중 해사채취-수심측량 조항

제31조(수로조사의 실시 등) ② 국토해양부장관이 발행한 수로도서지의 내용을 변경하게 하는 행위로서 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 행위(이하 이 조에서 "공사등"이라 한다)를 하는 자(공사등을 도급받아 수행하는 자를 포함한다)는 그 공사등을 끝내면 수로조사를 하여야 한다. 다만, 대통령령으로 정하는 규모 이하의 공사등의 경우에는 그러하지 아니하다.

1. 항만공사(어항공사를 포함한다) 또는 항로준설(항로준설)
2. 해저에서 흙, 모래, 광물 등의 채취
3. 바다에 흙, 모래, 준설토(浚渫土) 등을 버리는 행위
4. 매립, 방파제·인공안벽(人工岸壁)의 설치나 철거 등으로 기존 해안선이 변경되는 공사
5. 해양에서 인공어초(人工魚礁) 등 구조물의 설치 또는 투입
6. 항로상의 교량 및 공중 전선 등의 설치 또는 변경

Box 2.3.7 「측량·수로조사 및 지적에 관한 법률 시행령」 중 수심측량 예외 조항

제27조(수로조사의 실시 등) ① 법 제31조제2항 각 호 외의 부분 단서에서 "대통령령으로 정하는 규모 이하의 공사등"이란 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 것을 말한다.

1. 국토해양부령으로 정하는 수심(水深) 30미터 미만의 해역에서 흙, 모래, 광물 등을 채취하거나 준설토(浚渫土) 등을 버리거나 인공어초 등 구조물을 설치 또는 투입하는 행위(그 결과 수심변화가 100분의 1 이하인 경우로 한정한다)
2. 국토해양부령으로 정하는 수심 30미터 이상의 해역에서 흙, 모래, 광물 등을 채취하거나 준설토 등을 버리거나 인공어초 등 구조물을 설치 또는 투입하는 행위(그 결과 수심 변화가 100분의 3 이하인 경우로 한정한다)

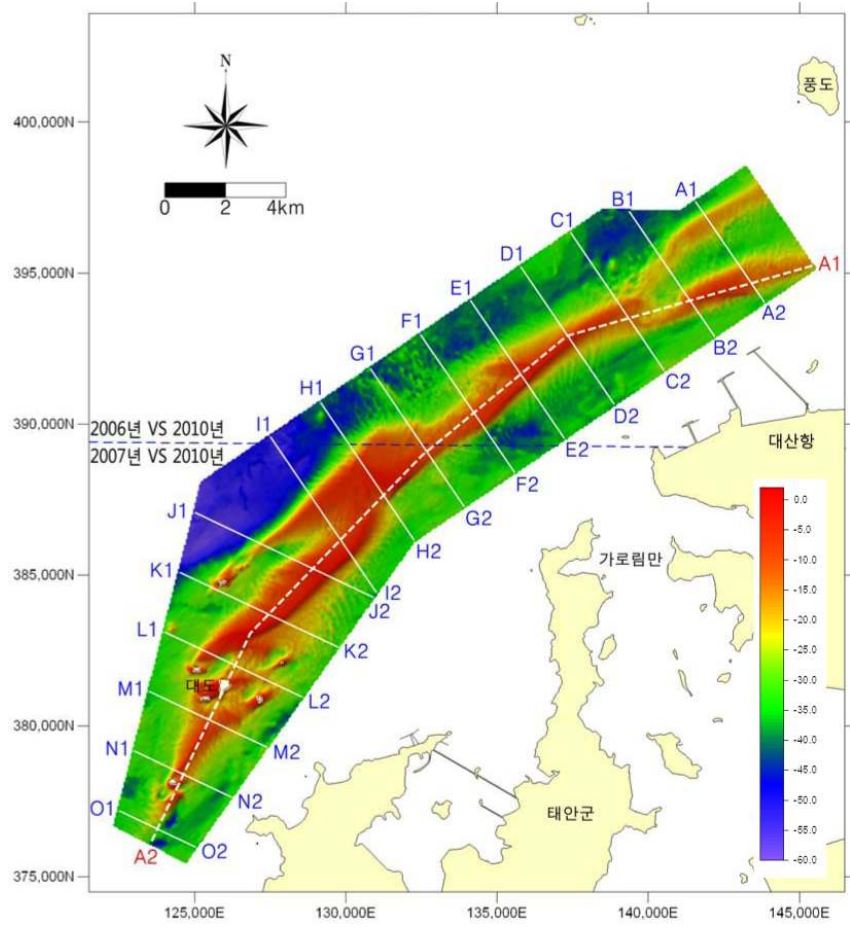


그림 2.3.2 2010년 장안퇴 수심 및 2006/2007년 수심과의 비교단면 (대산지방해양항만청, 수행중)

그동안 해사채취가 주변해역 혹은 해안지형에 미치는 영향에 관한 체계적이고 연구가 수행된 바 없으나 최근 대산지방해양항만청(수행중)의 조사에서 매우 우려스러운 결과가 도출되었다. 그림 2.3.2는 2010년 9-11월 동안 측량된 장안퇴 수심도와 2006/2007년 측량성과와의 비교단면이며, 그림 2.3.3은 15개 단면 중 변화가 심했던 3개 단면, 그리고 표 2.3.2는 전체 측량구역에서의 침식·퇴적량이다.

II. 연안침식 관리체계

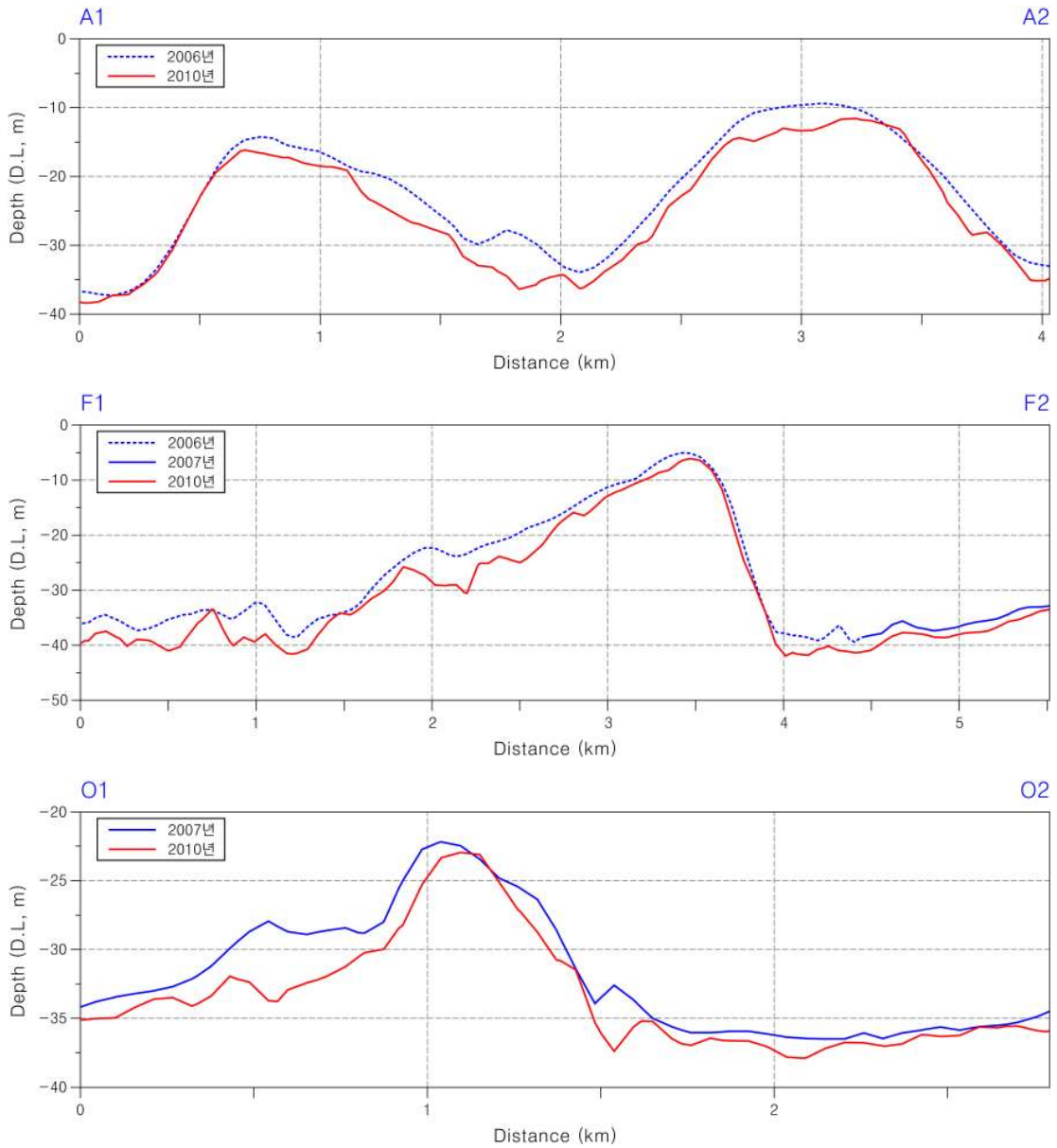


그림 2.3.3 장안퇴 침식우심구간 단면변화 (대산지방해양항만청, 수행중)

표 2.3.2 2006/2007~2010년 장안퇴 침식·퇴적 (대산지방해양항만청, 수행중)

	침 식	퇴 적	계
면 적 (m ²)	150,419,517	8,882,982	159,302,499
체 적 (m ³)	-324,889,718	7,770,693	-317,119,025
두 께 (m)	-2.16	+0.87	-1.99



그림 2.3.4 장안퇴 및 배후 해수욕장 (대산지방해양항만청, 수행중)

그림 2.3.3에서 알 수 있는 바와 같이 침식우심단면은 최대 5~10m 침식되었고, 장안퇴 전체에 걸쳐 약 3.2억 m^3 가 침식되었으며, 수심은 평균 2m 낮아졌다. 2000-2009년 동안의 해사채취 선갑지적 중 장안퇴에 접한 지적은 극히 일부(Box 2.3.1) 임을 감안하면, 1993-2009년 동안 그림 2.3.1과 Box 2.3.1에서 채취된 체적을 상회하는 모래가 장안퇴에서 최근 3,4년 동안 침식된 것은 매우 우려할만한 현상이다. 현재와 같은 침식률이 지속되면 장안퇴 전체가 유실될 가능성이 높다.

장안퇴에서 침식된 모래는 해사채취옹덩이 등 해사채취가 활발했던 서측수역과 항로 및 가로림만 등에 퇴적되고 일부는 해수욕장에 퇴적될 것이다. 그러나 장안퇴 소멸에 의한 파고증가는 대신항, 태안항 등의 가동률을 저하시킬 것이며, 지속적인 파고증가에 따라 해안침식이 심화될 것으로 예상된다(그림 2.3.4).

나) 동해안

서해안에서 골재자원 확보를 위한 해사채취가 활발한 반면, 동해안에서는 규사광물로서의 모래채취가 활발하다. 동해안 규사채취에서 우려스러운 사항은 어항 항계와의 조정과정에서 일부 영역이 축소되는 경우도 있으나 대부분의 광구가 해안선을 포함하는 지적에서 승인되어 육지와 매우 근접한 수역모래를 채취하는 것이다. 표 2.3.3과 2.3.4는 강원도와 경북의 최근 5년 규사채취량이다.

II. 연안침식 관리체계

표 2.3.3 최근5년 강원도 규사채취량⁴⁰⁾

지자체	광산명	등록번호	등록일	지적번호	채취량(톤 ^a)					
					2006	2007	2008	2009	2010	합계
강릉시	주문진규사	30013	1961-01-09	주문진 116	17,700	0	0	0	12,340	30,040
	주문진광산	70723	1999-12-30	강릉 35	34,700	31,040	52,762	65,496	49,747	233,745
	금호광산	59765	1986-02-19	주문진 125	31,789	26,134	14,021	6,895	6,467	85,306
양양군	동호규사	46730	1974-08-22	주문진 123	21,297	17,413	10,147	7,839	6,391	63,087
		27755	1940-08-08	주문진 124						
		"	"	주문진 125						
		"	"	주문진 134						
합계					105,486	74,587	76,930	80,230	74,945	412,178

^a conversion factor 1.5~1.7톤/m³

표 2.3.4 최근5년 경상북도 규사채취량⁴¹⁾

지자체	광산명	등록번호	등록일	지적번호	채취량(톤 ^a)					
					2006	2007	2008	2009	2010	합계
	대원광산	52194	1978-08-19	평해 18						
		58267	1983-10-05	평해 28						
		65016	1991-06-19	평해 19						
		65141	1991-07-30	평해 30	276,759	0	0	4,009	0	280,768
		66036	1992-06-10	평해 29						
		70676	1999-11-29	평해 20						
		77032	2008-06-17	평해 17						
	죽변광산	65765	1992-02-26	죽변 72						
		65766	1992-02-26	죽변 73						
		65767	1992-02-26	죽변 82	0	0	3,261	0	2,770	6,031
		67075	1993-11-08	죽변 81						
울진군	진북광산	54191	1980-05-16	울진 46						
		54414	1980-07-24	울진 56	0	0	4,057	148,663	0	152,720
		55495	1981-09-11	울진 47						
	현대광산	50166	1997-04-27	평해 23						
		52765	1978-12-16	평해 14						
		73717	2003-12-02	평해 15	370,070	0	0	4,415	0	374,485
		73718	2003-12-02	평해 16						
	사동광산	71219	2000-09-14	평해 22	342,862	1,751,667	868,809	0	228,300	3,191,638
		72659	2002-05-27	평해 21						
	평해광산	42895	1970-03-27	평해 31	0	33,276	0	4,269	3,550	41,095
포항시	세홍광산	76707	2008-01-15	포항 44	103,500	57,600	33,000	0	0	194,100
	세홍2광산	59002	1987-07-12	포항 44	5,850	7,110	3,750	0	0	16,710
합계					1,099,041	1,849,653	912,877	161,356	234,620	4,257,547

40) 강원도 제공

41) 울진군, 포항시 제공

Box 2.3.8 울진군의 규사채취 공유수면 점·사용허가 불허에 대한 경북 행정심판위원회 판결 결과(좌) 및 그에 따른 점·사용 허가 공문(우)

경상북도행정심판위원회 재 결	
① 사 건	경북행심 2009 - 438 공유수면 점·사용신청 불허통보 취소청구
청 구 인	② 성 명 주식회사 수양광업 대표이사 박성열
	③ 주 소 울산시 남구 맥암동 139-18번지
④ 피청구인	울진군수
⑤ 참가인	
⑥ 주 문	청구인의 청구를 인용한다.
⑦ 청구취지	피청구인이 2009. 11. 30. 청구인에 대하여 한 공유수면 점·사용허가 불허통보 처분은 이를 취소한다.
⑧ 이 유	별지 기재와 같음
⑨ 근거법조	「행정심판법」 제35조
주문과 같이 재결합니다. 2010. 2. 8.	
경상북도행정심판위	

울 진 군							
수신자	수신자 참조						
(경유)							
제목 공유수면 점·사용허가							
1. 귀 사의 무공한 발권을 기원합니다. 2. 귀 사에서 제출한 공유수면 점·사용허가 신청에 대하여는 공유수면 관리법 제5조제1항의 규정에 의거 다음과 같이 허가하였음을 통지하오니 허가조건을 준수하시기 바라며, 같은법 제8조 및 시행규칙 제6조 규정에 따라 사업 착수이전 실시계획 신고후 시행하시기 바랍니다. 가. 허가내역							
허가번호	허가취지	면적 (제취할)	목적	허가기간	점사용료 (원)	비허가과	비고
2010-02	기성면 사동리 산1번지전	38,500㎡ (198,080㎡)	사동2리 여장중립 결 규사광운채취 (5개월간)	2010. 3.29 ~ 2010. 8.28	16,582,270	울진광역시 남구 맥암동 139-18	수양광업(주) 대표 박성열
3. 프릿지방해양환경청장께서는 업무에 참고하시기 바랍니다. 4. 기획감사실장께서는 고시문을 군보에 게재 협조하여 주시기 바라며, 도시경관과 정겨서는 업무에 참고하시기 바랍니다.							
불임 1. 고시문 2. 공유수면 점·사용 허가증 3. 공유수면 점사용료 산출근거. 끝.							
울 진 군							

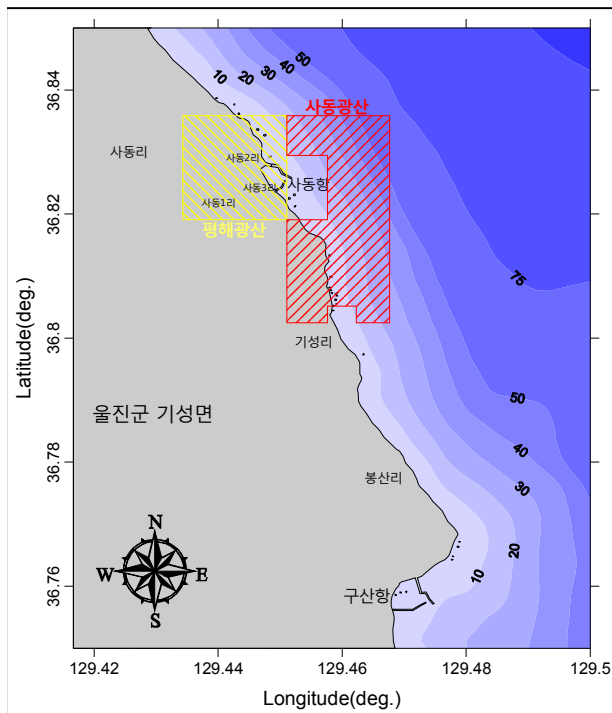


그림 2.3.5 (a) 울진군이 행정심판소송에서 패소한 평해광산과 동해안에서 2006-2010년 동안 모래채취량이 가장 많았던(320만톤) 사동광산; (b) 사동광산에서의 모래채취 (2008. 4.29, <http://local.daum.net>)

한편, 모래관리를 개발규제의 연장선에서 재론할 필요가 있다. 해사채취에 대한 지자체의 의식이 많이 개선되어 울진군은 규사채취를 위한 점·사용승인 신청을 불허한 바 있으나 광업권자가 제기한 행정심판소송에서 패소하였다(Box 2.3.8).

해안선에서 불과 500m 떨어진 표사한계수심(약 10m) 이내에서의 모래를 채취(그림 2.3.5)를 불허한 울진군의 행심패소 사례로부터 해사채취 규제는 지자체가 감당하기는 어려운 과제임을 알 수 있다. 모래가치를 연안회복탄력성, 연안방호차원에서 평가할 시기가 되었으며, 이를 위한 지속적인 연구와 관계부처 협의가 필요하다.

규사채취 억제와 더불어 동해안 모래관리에서 시급히 정착시켜야 할 과제가 항내를 포함한 어항 항계수역 내의 퇴적모래 활용이다. 어항정비계획에서 시행하는 준설을 연안정비계획의 양빈사업과 연계하는 공동시범사업을 추진함이 바람직하다.

7) 국고지원 침식대책 선정·진행절차

제2차 연안정비계획 수립 시 지자체의 신규사업 수요건수는 총 509건(연안보전사업 354건, 친수연안조성사업 155건)이었으며, 이를 평가·선정하는 용역기간은 1년이 었다(국토해양부 2009b). 사업신청건수에 비해 평가·선정기간이 충분하지 않으며, 신청양식이 사업규모별로 차별화되어 있지 않다.

전술한 바와 같이 영국이 2008년 이후 국고지원요건을 강화하여 '사업평가서' 첨부를 의무화하였으며, 미국의 경우 국고지원사업의 예비타당성 조사에 12-18개월, 타당성조사까지 40개월을 할애함을 참조할 필요가 있다.

물론 우리나라의 경우는 토사포락대책 등 소규모사업의 건수가 많기 때문에 모든 사업에 동일한 기준을 적용하는 것이 바람직하지 않지만 일정규모 이상의 사업은 본격적인 설계 이전에 충분한 사전조사를 포함하는 정밀타당성조사를 정비사업에서 우선 지원하는 것이 바람직하다. 이는 「연안관리법」과 그 시행령에서 규정하고 있는 '보완조사'에 해당한다. 또한 타당성조사의 객관성을 보다 충분히 확보하기 위해서는 미국 육군공병단과 같이 사업을 중앙정부가 주관하는 것이 바람직하다.

한편, 대규모 침식방지시설 시공경험이 부족한 우리나라의 관련기술 발전을 위해서는 공사중 및 완공후의 모니터링이 매우 중요하므로 이에 필요한 예산을 충분히 확보할 필요가 있다.

8) 성과평가

성과평가는 관리성과와 시공성과로 구분할 수 있다. 중앙정부의 정책을 적극적으로 이행하는 지자체에게는 혜택을 부여함이 바람직하며, 이는 타 지자체의 능동적인 정책동참을 유도할 수 있다. 따라서 관계기관 공조, 자연해안관리목표 달성도, 가용

모래자원 활용, 해사채취 규제⁴²⁾, 교육·홍보 적극성 등 다양한 정량평가항목 마련하고 그 결과를 국고지원에 반영하면 연안침식 지역관리능력을 배양하는 계기가 될 것으로 판단된다.

시공성과평가는 관련기술 발전뿐 아니라 대규모공사 시행착오 방지 차원에서 매우 중요하다. 예를 들어 설계에서 예측한 결과와 실제 지형변화가 크게 다르거나, 국외 신공법을 적용하였으나 우리나라의 결과는 국외와 다름에도 이를 분석하여 원인을 규명하지 않으면 국내 관련기술의 발전을 도모하기 어렵다.

그러나 현상의 복잡함으로 인해 설계시 예상치와 실제 결과와의 차이는 선진국에서도 빈번히 발생하므로 이로 인한 불이익을 특정기관에게 부여할 수는 없다. 그러나 시공성과를 분석하여 사례집에 축적하는 것이 국내기술발전을 위해 필요하다.

9) 연구·개발

연구·개발의 지속성을 유지하기 위해서는

- ① 관련현상 규명이 아직 충분하지 않음에 따라
- ② 국외 우수기관 상용수치모형도 해빈·해안선변화를 아직 신뢰성 있게 예측하기 어려우며,
- ③ 경제적이고 효과적인 예방관리를 위해서는 모니터링 기법과 장비의 개발이 필요하고,
- ④ 천해역 해사채취가 해안침식에 미치는 영향에 대한 심도 있는 조사가 수행된 바 없음과 아울러
- ⑤ 기후변화가 해안침식에 미치는 영향에 관한 본격적인 연구가 아직 착수되지 않았음을 인식할 필요가 있다.

따라서 분야별 중장기 연구·개발 로드맵을 수립하고, 이를 연차적으로 수행하기 위한 예산을 확보하여야 한다.

10) 정보생산·관리·보급

연안침식관리정보의 종류는 해당해안의 관리목표에 따라 결정된다. 배후지의 경제·사회·환경적 가치를 고려하여 관리목표와 관리변수를 설정할 필요가 있으며, 다음 3가지가 그 예이다.

- ① 회복탄력성 유지 : 육상기준점으로부터 표사한계수심까지의 모래체적
- ② 해안방호 : 육상기준점으로부터 저조선까지의 모래체적
- ③ 레크리에이션 공간 확보 : 육상기준점으로부터의 해빈폭

42) 울진군이 비록 행심에서 패소하였지만 점·사용승인신청 불허는 높게 평가받을 만한 모래자원 관리의지이다.

II. 연안침식 관리체계

정보생산 주기는 침식우심도에 따라 결정하며, 경우에 따라 항목을 추가할 수 있다.

또한 관리효율을 높이기 위해서는 어항설계 및 기타 용역에서 생산된 수심·해빈·해안선 측량성과, 파랑관측성과 등 관련자료 관리를 일원화할 필요가 있다.

연안침식·침수재해와 관련한 비전문 지역관리자, 지역주민 등의 현상이해도와 청지기의식 제고를 위한 교육·훈련·홍보는 현재 진행중인 '씨그라트' 사업이 담당함이 바람직하다.

나. 연안침식관리 선진화 방안

이상의 분석을 바탕으로 도출한 국내 연안침식관리 선진화 방안은 다음과 같다.

표 2.3.5 국내 연안침식관리 선진화 방안

연안침식관리 필수요소	선진화 방안
1. 연안통합관리와 해안선관리	<ul style="list-style-type: none"> ▪ '관련분야를 포함하는 통합된 정책과 의사결정 절차 제공'을 연안통합관리의 최상위 목표로 설정 ▪ 연안통합관리계획에 연안정비계획과 공유수면매립계획을 포함시키고 계획수립 주기와 시기 동기화
2. 연안침식관리정책	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 연안통합관리계획에 관계부처 공동의 '연안보전정책'을 수립하고, 공유수면매립, 연안정비사업, 자연해안관리 및 침식예방관리, 관계기관 해안시설건설을 이 정책에 따라 시행 ▪ 연안보전정책(안) <ul style="list-style-type: none"> ① 협동관리 (관계부처간) ② 맞춤형 중장기 관리 ③ 예방관리 ④ 친환경관리 ⑤ 적응형관리
3. 연안침식 지역관리계획	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 지역연안관리심의회 침식관리관련 소위원회 구성 ▪ 소위원회가 '연안보전정책'에 따라 침식관리계획 수립 ▪ 침식관리계획 및 차기 연안정비사업 추진계획을 '연안관리지역계획'에 포함 ▪ 연안침식 지역모니터링은 지역전문기관 수행이 바람직
4. 관리예산	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 모니터링 확대·심화 필요 ▪ 교육·훈련·홍보 정례화 및 예산 필요 → Sea Grant 사업 활용
5. 연안개발규제 및 보전구역지정	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 자연해안관리목표제 강화 ▪ 타 관계법률 활용

표 2.3.5 (계속)

연안침식관리 필수요소	선진화 방안
6. 모래관리	<ul style="list-style-type: none"> ■ 해사채취 억제 ■ 하상 및 항내 준설토사를 이용하는 양빈활성화를 위해 하천정비계획, 어항정비계획, 연안정비계획이 연계되는 시범사업 시행
7. 국고지원 침식대책 선정·진행절차	<ul style="list-style-type: none"> ■ 충분한 연안정비계획 수립기간 확보 ■ 연안관리지역계획에 포함된 사업 가산점 부여 ■ 공사비 일정규모 이상의 사업은 중앙정부 주관 하에 '정밀타당성조사' 우선 시행 ■ 시공중 및 사후모니터링 의무화
8. 성과평가	<ul style="list-style-type: none"> ■ 관리성과 : 연안보전정책 이행율이 높은 지자체에 가산점 부여 ■ 시공성과 : 지형변화 예측치와 사후모니터링 결과와의 비교·분석을 통해 국내 기술력 제고
9. 연구·개발	<ul style="list-style-type: none"> ■ 관련기술별 중장기 R&D Roadmap 수립·연차별 추진 <ul style="list-style-type: none"> ① 연안수리·표사 정밀현상 ② 연안수리·표사 거시현상 <ul style="list-style-type: none"> - 연안표사율 - 해사채취영향 - 기후변화영향 ③ 수치모형 ④ 모니터링 기법 및 장비개발 ■ 연안침식관리 특성화 대학 선정 등을 통하여 석박사 과정 지원
10. 정보생산·관리·보급	<ul style="list-style-type: none"> ■ 관리목표별 정보(관리변수) 차별화 <ul style="list-style-type: none"> ① 회복탄력성 유지·개선 ② 해안방호 ③ 레크리에이션 ■ 침식우심도별 정보생산주기 차등화 ■ 자료관리 일원화 : 국가모니터링 자료뿐 아니라 유관기관 관측성과 수집 ■ 이용자 폭 확대 : DB를 구축하고 필요시 원시자료 제공 ■ 일반정보 보급 : 비전문 지역관리자 및 지역주민의 현상 이해도 및 청지기 의식 제고를 위한 프로그램 상시운영 → Sea Grant 활용

III

국내사례 분석

III. 국내사례 분석

1. 기술발전의 요건

전장에서 연안침식관리 선진화를 위한 10가지 필수요소의 국외사례와 국내현황을 살펴보았다. 그러나 필수요소 충족을 위한 법·제도가 마련되더라도 관련기술이 발전하지 않으면 제도선진화의 효과를 현장에서 가시화시키기 어렵다.

다양한 해안침식방지공법 각각의 장단점과 정성적인 시공효과에 대해서는 어느 정도 알려져 있으며, 현 이해수준에 근거한 다양한 경험식이 설계에 활용되고 있다. 그러나 해안수리현상 규명의 불완전함, 외력의 불규칙성, 수치·수리모형실험의 한계 등으로 인해 해안침식방지사업 효과예측의 정량적인 신뢰도가 아직 불충분하다.

침식대책 최적설계가 여타 해안시설에 비해 어려움에 따라 사전조사·설계·시공 경험이 기술발전에 중요한 역할을 한다. 즉, 기술적인 측면에서 해안침식관리 선진국으로의 진입여부는 시공관련경험을 기술발전에 여하히 연계시키느냐에 달렸다.

경험을 바탕으로 기술이 발전하기 위해서는 ① 침식원인의 정량적인 파악, ② 정량적인 관리목표 설정, ③ 후보안·최종안 선정 및 설계, 그리고 ④ 시공 중·후 모니터링에 이르는 일련의 시행과정에서 생산되는 다양한 정량정보(표 3.1.1)를 사후에 면밀하게 분석하여야 한다.

표 3.1.1 연안침식방지사업 시행단계별 정량정보

단계	정량정보
1. 침식원인 정량화	<ul style="list-style-type: none"> ■ 침식문제 발생이전 표사계 구간별 퇴적물 수치 ■ 침식문제 발생이후 표사계 구간별 퇴적물 수치
2. 관리목표 정량화	<ul style="list-style-type: none"> ■ 경제·사회·환경을 고려하여 목표 정량화 (해빈폭, 모래체적 등) ■ 목표달성을 위한 표사율 제어구간 및 제어율 결정
3. 후보안·최종안 선정·설계	<ul style="list-style-type: none"> ■ 후보안 선정 및 평가 (수치·수리모형실험, 경제성 평가) ■ 최종안 선정 및 설계 (복합구조물일 경우 시공순서 영향 예측)
4. 시공중·후 모니터링	<ul style="list-style-type: none"> ■ 파랑관측 ■ 수심·해빈변화 관측

국내에서 처음으로 사회적 주목을 받은 방파제 연장에 따른 해안침식은 그림 3.1.1의 속초항 사례이다. 44 m이었던 기존방파제를 1976년부터 700 m로 연장함에 따라 전형적인 '파랑차폐역' 형성에 따른 침식⁴³⁾이 발생하였으며, 돌제 2기로 침식을 완화하였으나 청호동 백사장은 모두 유실되었다(그림 3.1.2).

속초항을 시작으로 90년대부터 어항 확장·신설에 의한 침식사례가 증가하고 「연안관리법」에 따른 '연안정비사업'이 시작됨에 따라 2000년대 초부터 어항관리부서 혹은 침식관리부서가 주관하는 중대규모 해안침식방지사업이 본격적으로 착수되기 시작하였다. 이의 대표적인 사례가 강원도 속초시 영랑동 해안, 경북 울진군 봉평리, 오산리 및 구산리 해안, 그리고 부산시 서구 송도 해수욕장이다.

그러나 2000년 이전까지는 체계적인 해안침식관리제도를 시행한 바 없으며, 관련 사업 시공경험과 기술발전요건에 대한 인식이 부족하여 현재까지 시행된 사업 대부분이 표 3.1.1의 단계별 정량정보를 충분히 생산하지 못하였다.

우리나라가 해안침식문제를 주목하기 이전 상당기간 동안 다양한 침식방호 시행착오를 경험한 선진국은 관련수리·표사현상별 대응공법에 대한 가이드라인을 수립하였음에도 기술발전을 위한 단계별 정량정보생산을 여전히 소홀히 여기지 않음을 유의할 필요가 있다.

표 1.1.4에 제시한 바와 같이 제2차 연안정비계획(2010~2019)의 특징은 잠제(35기 11km)와 양빈(31개소 362만 m³)의 증가이다. 잠제와 양빈은 조망을 확보할 수 있고 친환경적이라는 측면에서 바람직한 공법이지만 돌제와 이안제에 비해 시공효과의 불확실성이 높고 비용이 많이 들며 유지관리가 어려운 단점이 있다. 그러나 잠제와 양빈의 수요는 계속 증가할 것으로 예상되며, 특히 순환·우회양빈은 모래자원활용 차원에서 권장하여야 할 공법이다.



그림 3.1.1 속초항 방파제 연장에 따른 해안 침식 기사 (중앙일보 1987.11.3)

43) 기사는 '방파제 쌓은 후 조류방향 변한 탓'이라 보았으나 동해에서 조류의 영향은 무시할 수 있음. 방파제 연장에 의한 동계 파랑 파고·파향경사에 의한 해빈류 및 표사량 경사와 하계에 파랑차폐역으로 유입된 모래가 동계에 남하하지 못함이 침식원인임.



그림 3.1.2 속초항 방파제 연장에 따른 해안선 변화

본장에서는 국내 연안침식방지사업의 단계별 정량정보생산과 사후분석의 현황을 현장조사·수치모형실험 사례, 2개소의 시공사례 및 1개소의 기본계획수립사례 분석을 통하여 살펴보고, 향후 국내 관련기술 발전을 위한 개선방안을 제시한다.

2. 현장조사 및 수치모형실험

해안침식방지대책 수립절차에서 시설설치여부 등 중요한 의사결정은 모두 현장조사·분석 및 수치·수리모형실험 결과에 의존한다. 또한 모형실험의 신뢰성은 현황의 재현성에 좌우되므로 관련현상을 정량적인 자료에 기초하여 물리적으로 이해하는 것이 특히 중요하다.

우리나라의 경우, 과거에는 현장조사와 설계를 1년 용역으로 수행하거나 현황과 약을 우선목적으로 삼아야 할 타당성 조사에서부터 현장조사보다는 구조물 설치를 전제로 하고 모형실험에 중점을 두는 등 현상 정량화 단계의 중요성에 대한 인식이 낮았으나 최근 크게 개선되고 있다. 특히 농림수산식품부 동해어업지도사무소 강릉어항사무소는 사천진항과 강릉항의 매몰과 주변 해안선변화에 관한 3년에 걸친 조사용역을 시행한 바 있으며(강릉어항사무소 2009a,b), 최근에는 공현진항에 관한 유사용역을 착수하였다(Box 3.2.1).

Box 3.2.1 공현진항 해안선변화·항내매몰 조사사업 공고

동해어업지도사무소 공고 제 2010 - 029호

용역사업수행계획서(제안서) 제출안내 및 용역(협상) 전자입찰 공고(긴급)

1. 입찰에 부치는 사항

- 1.1. 입찰건명 : 공현진항 해안선 변화 및 매몰관련 모니터링조사용역
- 1.2. 입찰방법 : 일반(총액)입찰, 협상
- 1.3. 기초금액 : 450,000,000원(VAT 포함)
- 1.4. 용역기간 : 착수일로부터 36개월
- 1.5. 용역내용 : 공현진항 매몰관련 모니터링조사용역 1식

2. 주요 과업내용

- 2.1. 기초자료 조사 및 분석 : 1식 × 3년
- 2.2. 해안선 및 해빈조사 측량 : 3.2km × 2회 × 3년
- 2.3. 수심측량
 - 항내 수역 : 2.5km(25m pitch) × 2계절 × 3년
 - 항외 수역 : 32.0km(100m pitch) × 2계절 × 3년
- 2.4. 해양조사
 - 파랑관측 : 1개소 × 1개월 × 2계절 × 3년
 - 해빈류관측 : 4개소 × 2계절 × 3년
 - 연속조류관측 : 1개소 × 1개월 × 2계절 × 3년
 - 해저질조사 : 22점(육상 6점, 해상 16점) × 2계절 × 3년
- 2.5. 수치모형실험 : 파랑변형, 해빈류, 표사이동 및 해안선변형 수치모형실험 각 1식
- 2.6. 국내 자료, 매몰원인 및 종합분석 각 1식

그러나 해안침식모니터링은 기타 해양환경모니터링과는 목적과 개념이 다르므로 비용효율을 높이면서 관련현상의 정량적인 이해에 필수적인 정보를 확보하기 위해서는 조사방법의 개선이 필요하다.

가. 파랑관측

대조차 해역의 조류 특성을 크게 변화시키는 대규모 매립 등을 제외한 대부분의 연안개발사업이 발생시킨 침식의 현상학적 원인은 파랑장 변화이다. 특히 침식이 반드시 파고증가를 의미하는 것은 아님을 유의하여야 한다. 즉, 특정 구조물에 의해 파고는 감소하였더라도 구조물 설치 이전보다 해안을 따른 파고와 파향의 경사가 발생하면 이에 적응하는 과정에서 해안선이 후퇴하거나 전진한다.

해안침식·어항매몰 관련사업에서의 현장관측은 침식과 매몰을 지배하는 현상을 파악함을 목적으로 삼는 것이 당연하며, 그 현상을 지배하는 외력은 파랑이다. 즉, 파랑정보 없이는 다른 항목을 아무리 정밀하게 관측하더라도 물리적인 해석이 불가능하다. 예를 들어 파랑을 2년간 연간 2계절, 계절당 1개월로, 그리고 수심을 2년간 연간 2계절 측량하고 측량시기를 표 3.2.1와 같이 설정할 경우, 이웃하는 2회의 수심·해안선이 아무리 큰 차이를 보이더라도 5개월 동안의 파랑자료가 없기 때문에 지형변동을 물리적으로 해석하는 것이 불가능하다.

표 3.2.1 연간 2계절 파랑관측(1개월/계절) 및 수심측량시기 예

월 항목	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
파랑 관측		■						■						■							■			
수심 측량		■						■						■							■			

따라서 주변에 활용할 수 있는 파랑관측소가 없으면 파랑관측은, 파랑을 제외한 다른 항목 중 첫 번째 관측 이전부터 마지막 관측 이후까지 연속적으로 실시하여야 한다. 조석과 달리 이상고파랑은 예측할 수 없으며, 파랑자료가 없으면 다른 모든 자료의 물리적 의미가 상실되어 현황 정량화가 불가능하기 때문이다.

나. 해빈·수심측량

파랑을 연속적으로 관측함과 아울러 해빈과 수심의 측량주기를 가능한 한 짧게 설정할 필요가 있다. 즉, 2회(계절)/년×3년=6회의 측량보다는 계절연속(예: 추계-동

계-춘계-하계-추계-동계)으로 측량하고 이상고파 내습직후에 추가측량을 실시하는 것이 바람직하다. 이는, 예를 들어 표 3.2.1의 11월에 이상고파랑에 의해 지형이 크게 변화하였으나 익년 2월 측량시 11월의 변화가 모두 소멸될 가능성이 높기 때문이다. 즉, 장기관측도 중요하지만, 주목할 만한 해안선 후퇴는 고파사상 동안 발생하므로 이를 측량할 수 있는 기회를 상실할 가능성을 최대한 줄일 필요가 있다.

다. 해빈류

현행 현장조사에서 비용대비효율과 활용도가 가장 낮은 항목이 해빈류 관측이다. 퇴적물이동의 원동력인 해빈류는 파랑에 의해 발생하는 흐름이다. 따라서 해빈류 관측은 고파사상 동안 실시하는 것이 목적에 부합하는 것이며, 이러한 시기에는 대부분 선박항행이 불가능하다. 그러나 많은 사업에서 선박을 이용하여 투하한 부표를 추적하는 것으로 해빈류 관측을 대신하고 있으며, 고가장비를 설치하더라도 파고가 1m 이하인 정온시기에 관측된 미약한 흐름을 해빈류로 제시하고 있다(설계 가이드 북 참조). 또한 이와 같이 관측된 해빈류가 표사량 산정 등 현상 정량화나 수치모형 검증자료 혹은 시설설계 기초자료로 활용되는 사례도 매우 드물다.

공현진항(Box 3.2.1)의 경우, 해빈류 관측물량을 4개소×2계절×3년으로 설정하였다. 관측회수와 주기 지정에 앞서 관측의 목적과 현상 정량화에 활용할 수 있는 방안을 설정하는 것이 우선적으로 필요하다. 수심과 입력파랑이 주어지면 해빈류는 수치모형으로 신뢰성 있게 재현할 수 있으므로 새로운 수치모형을 개발하여 그 성능을 검증할 목적 혹은 지역적 특수성에 의해 해빈류 관측이 반드시 필요한 경우가 아니면 해빈류 관측의 필요성부터 검토하여야 한다. 국제적인 수준에 비추어 우리나라의 현행 해빈류 관측은 그 방법과 자료가치의 수준이 매우 낮은 실정임을 유념할 필요가 있다.

라. 표사량

공현진항의 경우에는 조사항목에서 배제되었으나 침식·매몰과 관련한 대부분의 사업이 부유사와 소류사 관측을 포함한다. 그러나 이 역시 해빈류와 비슷한 현상이어서 포사기를 설치하거나 탁도계를 이용하는 선박관측 등 정온시 관측에 머무르고 있으며, 채집된 모래를 파랑자료와 연계시키지 않는 등 물리적 해석이 소홀하다. 관측치가 현상 정량화에 활용될 가능성이 희박하고 정온시의 정성적 경향 파악에 만족할 수밖에 없는 수준의 관측은 재고할 필요가 있다.

마. 수치모형실험

해안침식관리 선진국은 최근 해안침식대책 수립시 경제, 환경, 사회적인 측면을 모두 고려하여 종합적인 편익을 면밀하게 검토하는 추세이며, 시설설치여부 판단의 첫 번째 기준은 'Do Nothing'이다.

우리나라의 경우, 침식방지시설에 대한 경제 및 환경편익 분석이 아직 불충분하며, 민원해결을 위해 사업을 시급히 추진하는 경우가 없지 않다. 이에 따라 사전조사가 불충분한 상태에서 수치모형실험이 의사결정에 중요한 역할을 차지하므로 모형 신뢰성을 확보하는 것이 매우 중요하지만 모형의 특성을 아직 충분히 파악하지 못하는 등 개선의 여지가 많다.

수치모형실험이란 현상을 물리적으로 설명할 수 있는 지배방정식을 구성하였으나 이의 비선형성으로 인해 해석적인 해를 구할 수 없거나 계산량이 방대할 경우에 사용하는 기법이다. 그러나 표사·지형변화에 관한 현상규명이 아직 불충분하기 때문에 다양한 지형변화 수치모형 모두 고유한 한계를 지니고 있다. 따라서 특정 수치모형 실험에 앞서 적용대상해안 지형변화의 주요 메커니즘이 모형이 모의하고자 하는 목적현상에 부합하는지를 판단하는 것이 중요하다.

그림 3.2.1은 약 20개월 동안의 해안선변화를 해안선변형모형을 이용하여 재현한 사례로서 모형의 한계에 비추어 현상재현율이 지나치게 높기 때문에 검토할 가치가 충분하다.

편의상 모래이동을 해안선 방향으로 이동하는 沿岸漂砂와 해안선에 직각방향으로 이동하는 橫斷漂砂로 구분하며, 해안선변형모형은 특정구간 양단경계에서 모래이동 한계수심까지의 연안표사율 차이를 해당구간의 해안선 전진·후퇴율로 대표시키며, 연안표사율은 해빈류를 계산하지 않고 파고와 파향만의 경험식으로 산정하는 비교적 단순한 모형이지만 공학적 활용도가 높다(설계 가이드북 참조).

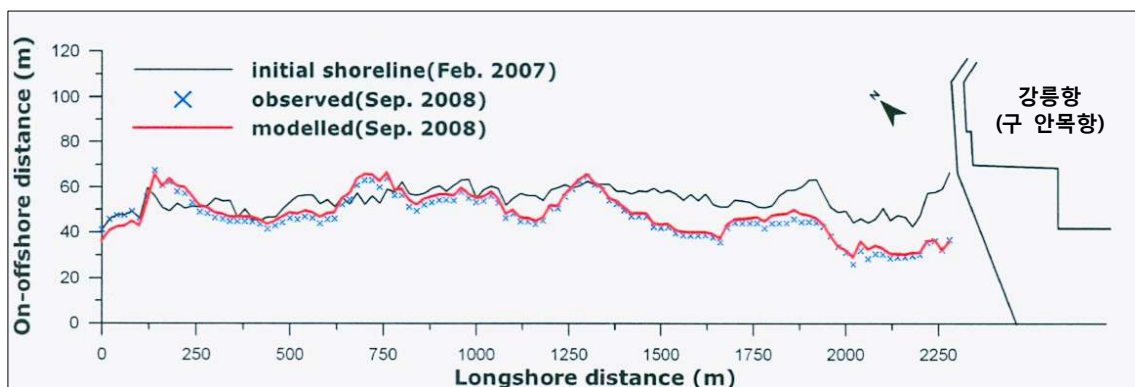


그림 3.2.1 강릉시 안목해안 해안선변화모형 검증결과 (강릉어항사무소 2008)

지배방정식에는 횡단표사 성분도 포함되지만 이는 연안표사율과 같이 외력과 연계된 현상기반 표사율산정식이 아니고 양빈이나 준설체적, 하천으로부터의 유입 등 기지의 값을 포함하기 위함이다. 즉, 고파사상 동안 파의 충격과 처내림에 의한 해안선 후퇴에 관한 방정식은 지배방정식에 포함되지 않는다.

따라서 해안선변형모형 적용의 일차적인 조건은 모형적용기간 동안 횡단표사는 평형을 이루기 때문에 그 영향을 무시할 수 있으며, 해안선변화는 연안표사율의 연안방향 경사에 의해서만 발생한다는 가정이다.

표 3.2.2는 2.2km에 이르는 안목해안 해빈폭을 50m 간격으로 측량한 성과로서 몇 가지 흥미로운 사실을 암시한다. 먼저 초가을 폭풍시(2007. 9.28) 최소·최대해빈폭이 크게 후퇴하나(그림 3.2.2) 동계절(2007.11.2~2008.2.15)에 모두 복원되며, 동계 고파사상시(2008.2.29)에는 높은 파고에도 불구하고 전체적으로 해빈폭이 증가한다. 강릉어항사무소(2008)는 특별히 언급하지 않았으나 2008년 8월 하순 최소·최대폭이 각각 10m 씩 후퇴한 것도 이상너울에 의한 것이다. 그림 3.2.3~3.2.5에서 알 수 있는 바와 같이 2008년 8월 21~24일 동안 동해안 전역에 이상너울이 발생하였으며, 그림 3.2.6과 3.2.7은 이 기간 동안에 발생한 경북 울진군 월송해안과 봉평해안의 침식이다.

이상으로부터 안목해안은 동계 고파랑에 퇴적되고 하계 고파랑에 침식되는 경향이 있음을 알 수 있으며, 이는 파향과 밀접한 관계가 있을 가능성이 높다. 즉, 동계 N~NE 계열 고파랑 내습시에는 활발한 연안표사에 의해 북측해안으로부터 모래를 공급받으나 하계에는 해안에 거의 직각으로 입사하는 고파랑에 의해 침식된 모래를 이안류가 외해방향으로 이동시킬 가능성이 있다.

표 3.2.2 안목해안 해빈폭 변화: 강릉어항사무소(2008)에서 발체·정리

측량일	해빈폭(m)			비고	
	최소	최대	평균		
2007	02.20~02.26	33.2	83.9	54.2	
	05.09~05.10	35.6	83.6	53.2	
	08.26~08.31	28.7	81.9	53.5	
	09.28	15.8	63.8	49.2	
	11.02	14.8	66.9	46.6	
2008	02.12~02.15	31.8	87.1	47.8	폭풍 후 09.06 H _{max} =3.2m, H _s =2.6m
	02.29	33.8	90.4	50.3	
	05.08~05.10	29.8	74.5	48.3	
	08.26~08.27	19.4	62.8	46.0	
	11.03~11.05	21.8	72.0	45.3	



그림 3.2.2 안목해수욕장 침식 기사 (2007. 9.7) <http://ownnews.co.kr/news/view.html?uid=5494>

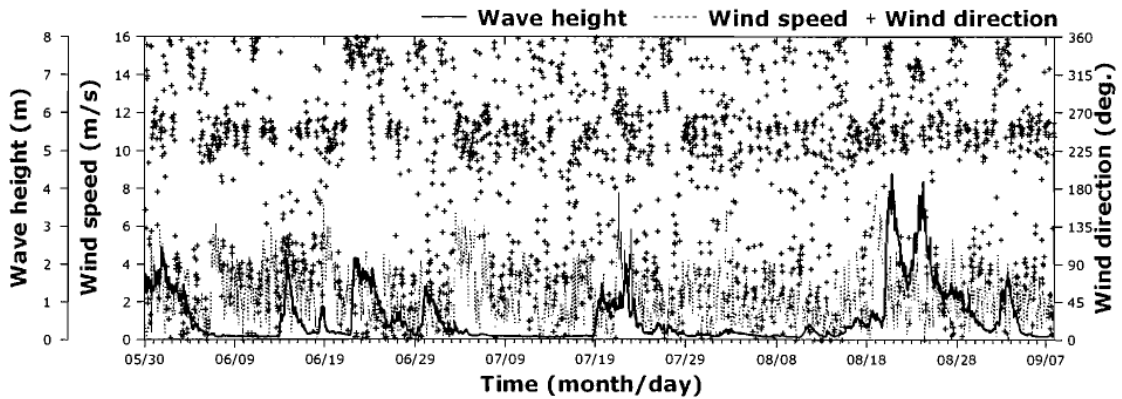


그림 3.2.3 안목해안 전면 하계 풍향·풍속·유의파고 (강릉어항사무소 2008)

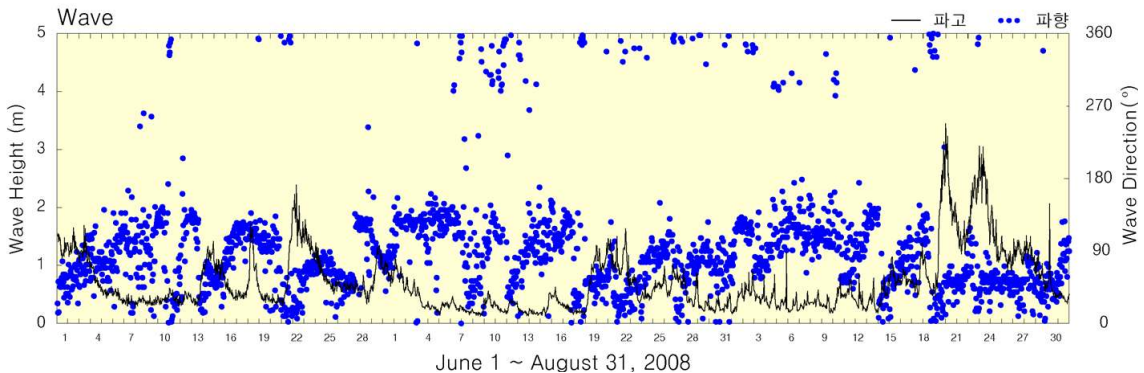


그림 3.2.4 사천진항 전면 하계 유의파고·파향 (강릉어항사무소 2009a)

III. 국내사례 분석

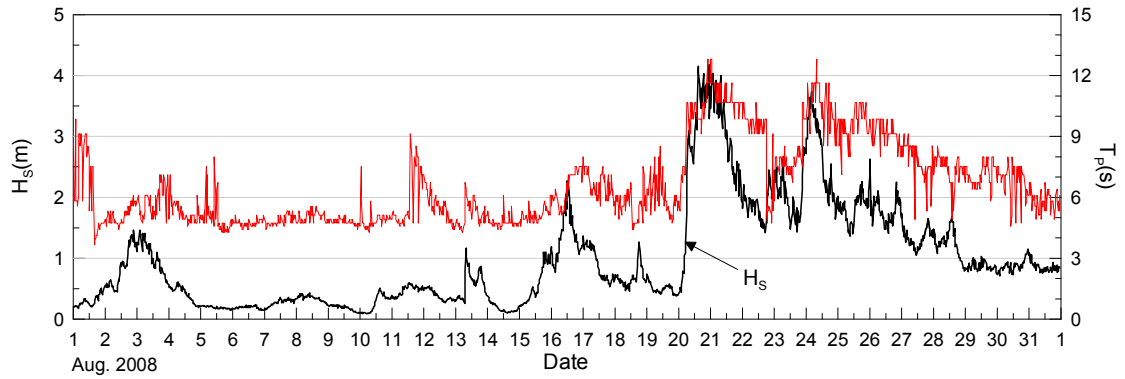


그림 3.2.5 후포 왕돌초 2008년 8월 유의파고 및 첨두주기



그림 3.2.6 경북 울진군 평해읍 월송정 해안의 2008년 하계 침식 (2008. 8.24, 사진: 울진군 해양수산과 허재영)



그림 3.2.7 경북 울진군 봉평리 양빈해안 침식



그림 3.2.8 파랑상태에 따른 안목해수욕장: (a) http://local.daum.net/map/index.jsp?t_nil_bestservice=map, (b) <http://map.naver.com/>

그림 3.2.8은 고파랑이 해안에 직각방향으로 내습할 때 이안류에 의한 외해방향으로의 모래유실 가능성을 시사한다. 안목해안 전면에는 호형사주가 발달되어 있으며, 사주의 해안선 연결부는 수심이 얇기 때문에 우선적으로 쇄파되며(그림 3.2.8a), 그 효과는 파고가 높을수록 증가하여(그림 3.2.8b) 호형사주 중심선 방향으로 쇄파되지 않은 고파랑이 진입함에 따라 충격과 처내림에 의한 침식이 증가하고 이를 저층 이안류가 외해방향으로 운반하는 것이다. @ 구간 침식이 특히 심한 것은 해안도로가 돌출됨에 따라 파랑에너지를 흡수할 해변폭이 좁기 때문인 것으로 판단된다.

그림 3.2.9는 외해방향 모래유실을 입증하는 측심결과이다. 수심변화의 외해방향 경계는 약 10 m이며, 이는 표사한계수심에 해당한다. 그 외측의 영역 ㉠의 수심은 주변에 비해 낮으며(설계 가이드북 참조) 퇴적과 침식이 발생하는 영역의 모래는 모두 호형사주 중앙부와 방파제를 따라 유실된 모래임을 추정할 수 있다.

이상으로부터 표 3.2.2의 2007년 9월과 2008년 8월의 침식은 해안선변화모형이 고려할 수 없는 횡단표사에 의한 외해방향 모래유실에 기인한 것으로 판단되며, 검증에 사용된 해안선은 2008년 8월 이상너울에 의한 횡단표사기인 침식발생 직후의 측량성과이므로 '모형적용기간 내의 횡단표사는 평형을 이룬다'는 해안선변형모형의 적용조건에 위배된다.

즉, 그림 3.2.1은 모형한계를 벗어난 무리한 검증이다. 검증시기를 2007년 2월에서 2008년 2월로 설정하는 것이 타당하다. 무엇보다 해안선모형으로 그림 3.2.1과 같이 요철이 심한 해안선변화를, 특히 검증기간에 해당하지 않는 파랑자료를 사용하여 검증한 사례는 세계적으로도 없음을 유념할 필요가 있다.

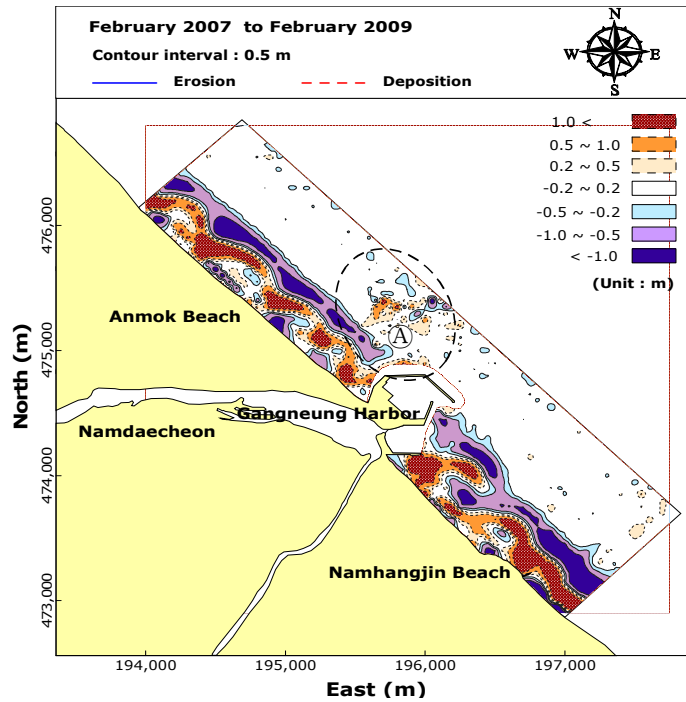


그림 3.2.9 강릉항 주변 수심변화 (강릉어항사무소 2009b)

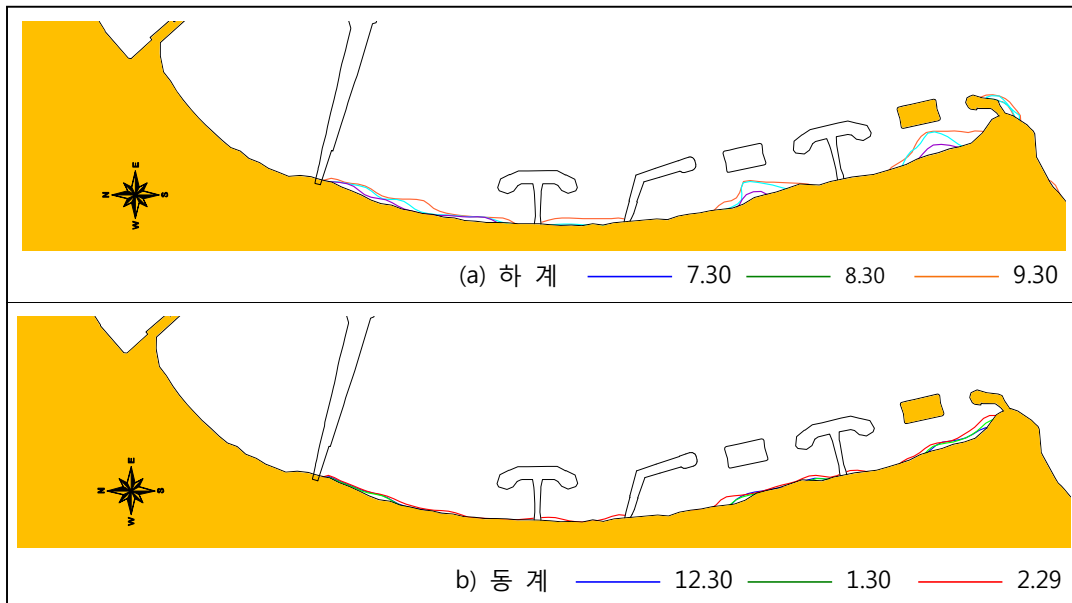


그림 3.2.10 봉평지구 수정안 완공 후 해안선변화 예측결과 : (a) 하계 계산시점 2006년 7월 1일, (b) 동계 계산시점 2007년 12월 1일 (포항지방해양항만청 2008)

그림 3.2.10은 개선이 필요한 또 하나의 사례로서 측면이 폐경계인 구간에서 후퇴구간 없이 해안선이 전진하기만 하는 상황은 외해로부터의 모래유입이나 양빈이 아니면 발생하기 어려운 현상이며, 이 두 가지를 모형에서 고려하지 않았다면 해안선변형모형에서 도출되기 힘든 결과이다. 질량보전법칙에 위배되기 때문이다.

3. 경북 울진군 구산-월송해안

경북 울진군 기성면 구산리에서 평해읍 월송리로 이어지는 연장 약 5 km의 해안은 남북방향으로 정렬한 두 곳 사이에 발달한 전형적인 만곡해안으로서 황보천과 남대천이 유입된다. 황보천이 기성면과 평해읍의 경계이며, 황보천 하구로부터 남측 450 m 지점에 관동팔경에 속하는 월송정이 위치한다(그림 3.3.1).

가. 구산항 개발연혁 및 침식이력

구산항의 개발연혁 및 주요공사 시행내용은 표 3.3.1과 같으며, 1971년, 1991년 및 2005년의 항공사진 분석결과는 그림 3.3.2와 표 3.3.2와 같다.

표 3.3.1 구산항 개발연혁 및 주요공사

연도	주요연혁	공사내역
1962	소규모 어항으로 개발	방파제 축조 시작
1972	지방어항(제2종어항) 지정	
1991	국가어항(제1종어항) 지정	
1992	기본조사·시설계획 수립	~ 2004년 북방파제 649 m 건설 1998~2006년 남방파제 567 m 건설
1996	항내매물 방지대책 수립	2000~2002년 이안제 240 m (80 m×3기) 건설
2002	해안침식 방지대책 기본설계	
2005	해안침식 방지대책 실시설계	2005~2007년 익제 100 m 건설 2007~2009년 잠제 1기 150 m 건설 (1기 장래)



그림 3.3.1 경북 울진군 기성면 구산리 ~ 평해읍 월송리 해안 (2010. 8.20, Daum)

III. 국내사례 분석

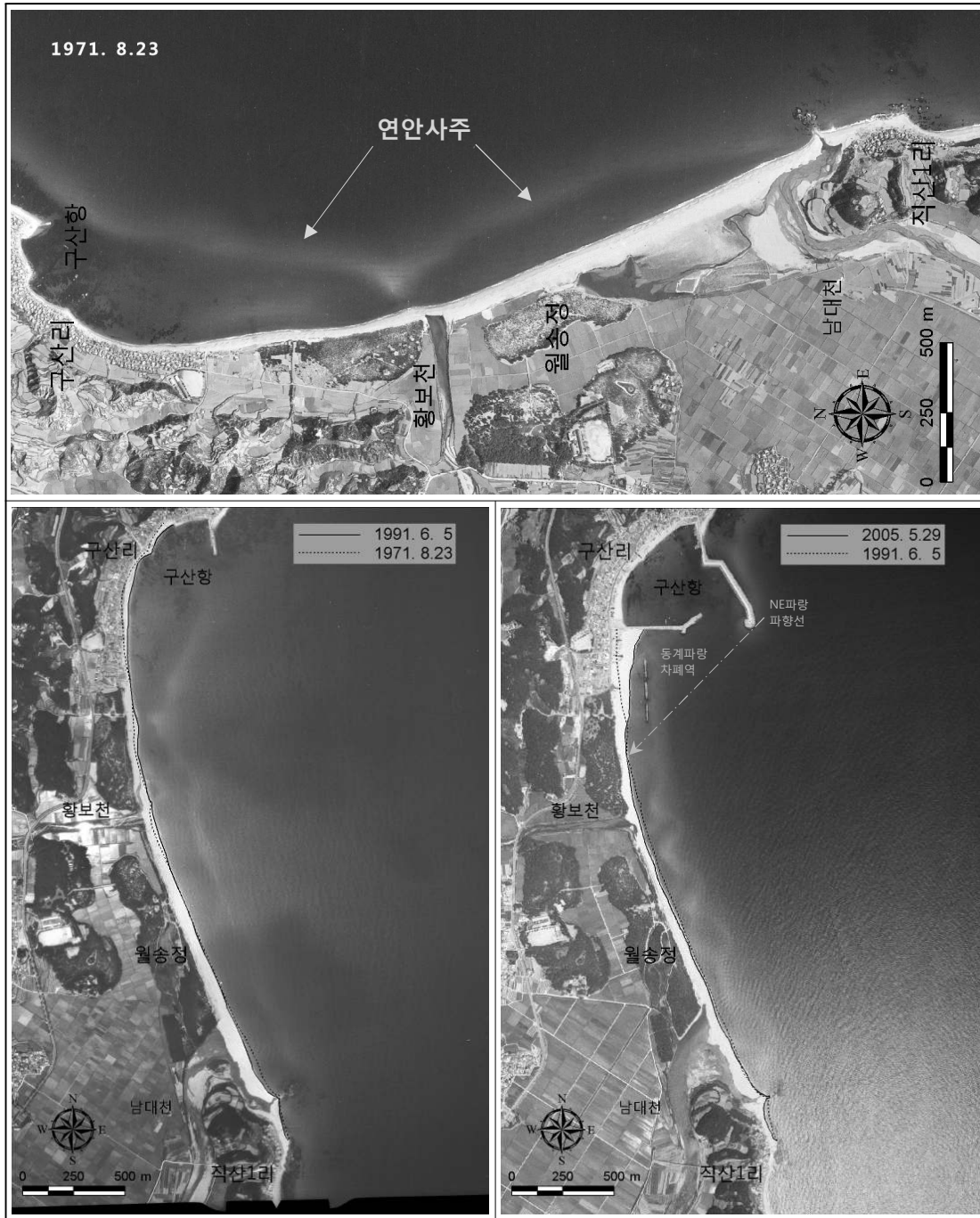


그림 3.3.2 구산리-월송리 1991~2005년 해안선 변화

표 3.3.2 경북 울진군 기성면 구산리~평해읍 월송리 백사장 변화 (1971~2005)

기간	퇴적			침식			면적변화율 (m ² /yr)
	면적(m ²)	길이(m)	폭(m)	면적(m ²)	길이(m)	폭(m)	
1971~1991	13,301	1,435	9.3	-12,584	1,193	-10.5	36.2
1991~2005	29,238	610	48.0	-33,590	1,939	-17.3	-312.7

방파제가 90m에서 180m로 연장된 1971~1991년 동안 백사장 면적이 720m² 증가하였다. 방파제 연장에 따른 두드러진 침식은 발생하지는 않았으나 구산리 해변폭이 증가하였다. 남대천 하구의 침식은 유량과 밀접한 관계가 있으므로 방파제의 영향으로 단정할 수는 없다.

이안제 3기(2000-2002)와 북방파제(2004)가 완공되었으며, 남방파제가 거의 완공되고 익제가 20m 건설된 2005년과 1991년의 해안선 비교로부터 동해안에서 전형적인 어항기인 침식·퇴적문제가 발생하였음을 알 수 있다. 즉, 방파제(남방파제)로부터 남측 약 600m까지의 구간은 백사장 폭이 평균 약 50m 증가하였으며, 그 남측 약 2km 해안은 평균 17m 후퇴하였다.

해안선 변화와 더불어 항공사진에서 주목할 사항은 사주이다. 1971년 사진에서 사주가 구산항 북측으로부터 남대천 하구까지 뚜렷하게 발달하였으며, 황보천과 남대천이 사주에 모래를 공급하고 있음을 알 수 있다. 1991년에는 비록 구산항 방파제 북측에서는 뚜렷하지 않지만 사주의 전체적인 형태는 유지하고 있었다. 그러나 이러한 사주는 2005년 사진에서 크게 변형되어 동계과랑차폐역 이남에는 4, 5개의 호형사주(crescentic bar)가 발달하였고, 차폐역 경계에서 방파제까지는 사주가 소멸하였으며 전체적으로 수심이 얕아졌다. 또한 방파제 전면 반사도로 미루어 구산항 북측의 모래가 방파제를 따라 남진함을 추측할 수 있다.

연안표사와 횡단표사가 적절히 균형을 이루어 동적평형상태인 해안에 평행하게 발달하는 선형사주는 고파사상에 의해 호형사주로 변형된 후 사상통과 후 다시 선형사주로 복원된다⁴⁴⁾. 2005년 5월 29일(그림 3.3.2)의 호형사주가 촬영일과 가까운 시기에 내습한 고파랑에 의해 형성된 것으로 볼 수도 있으나 8월에 촬영된 그림 3.3.1에도 호형사주가 발달한 것으로 미루어 황보천-남대천 구간이 구산항 건설에 의해 횡단표사 우세해안으로 바뀌었음을 추정할 수 있다.

황보천-남대천 구간의 연안표사량 결손은 두 가지 현상에 기인한다. 먼저 남동계열 과랑에 의해 황보천-남대천 구간으로부터 구산항 과랑차폐역으로 이동한 모래는 더 이상 동계 북동계열 과랑에 의해 남하할 수 없으며, 구산항 북쪽 해안으로부터 남하하던 모래도 황보천-남대천 구간 천해역으로 이동할 수 없다. 그림 3.3.3은 2001년과 2005년 수심의 차이로서(해양수산부 2002, 포항지방해양수산청 2005), 방파제 전면이 최대 9m까지 퇴적되었으며, 이는 모두 방파제가 건설되지 않았다면 황보천-남대천 해안으로 이동하였을 모래이다. 또한 그림 3.3.3에서 알 수 있는 황보천 하구 전면의 국지적 침식·퇴적은 선형사주가 호형사주로 변했음을 나타낸다. 구산항 내의 침식은 비관리청 준설에 의한 것이다.

44) <http://www.coastalresearch.nl/research/ongoing-projects/crescentic-sandbar-behaviour>



그림 3.3.3 구산항 주변 2001~2005년 수심변화 (포항지방해양수산청 2005)

한편, 구산항 이안제 3기는 침식방지시설이 아님을 유념할 필요가 있다. 즉, 이안제 위치는 방파제에 의해 형성되는 과랑차폐역 내부로서 이안제가 아니더라도 퇴적되는 구간이다. 개발연혁으로 미루어 이안제는 항내매몰대책이다. 이와 같은 시설 배치는 인근 오산항의 경우도 유사하여(그림 3.3.4) 일본의 해안침식전문가 宇多 박사는 Box 3.3.1과 같은 의견을 피력한 바 있으며, 이는 일본에서도 이안제를 구산항과 오산항의 경우와 같은 목적으로 설치하는 사례가 드물다는 것을 의미한다.

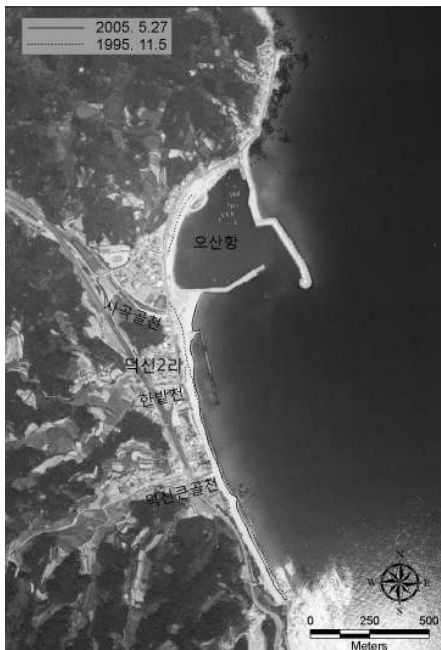


그림 3.3.4 덕신리 해안선변화

Box 3.3.1 오산항 시설에 대한 宇多 박사의 의견
(포항지방해양수산청 2005)

오산항 남측에 축조된 2기의 이안제와 L형 돌제는 항만의 방파제에 의한 차폐역에 완전히 포함되어 있으므로 방파제가 주변해역에 미치는 영향의 경감에 역할을 하지 않는다.

나. 시행단계별 정량화와 단계간 연계성

1) 침식원인 정량화

표 3.1.1의 시행 4단계 중 국내 관련사업에서 우선적으로 개선이 필요한 단계가 '침식원인 정량화'이다. 이처럼 대책수립에 앞서 주요현상에 대한 정량적 이해가 부족한 이유에는 과업기간과 예산, 그리고 관측장비 부족 등이 포함되지만 최소한의 관측으로 핵심적인 현상을 파악할 수 없는 것은 아니다.

해역을 막론하고 침식문제가 발생했을 때 우선적으로 파악해야 할 사항이 해당 표사계 퇴적물수지의 변화이다. 관련현상이 복잡하여 수지를 신뢰성 있게 파악하기 어려울 경우, 일부 불확실한 부분에 대해서는 가정을 도입하더라도 수지를 정량화할 필요가 있다. 물론 현상학적으로 설득력 있게 정량화된 수지와 수심측량성으로 산출한 모래체적 변화가 같은 order를 갖는 것이 이상적이지만, 알 수 없는 이유에 의해 정량적인 불일치가 발생하더라도 경향이 유사하면 계수를 사용하여 조정할 수 있다. 그러나 침식지역과 퇴적지역의 분포가 현격하게 차이가 나는 등 경향이 일치하지 않으면 수지정량화 방법과 측심성과를 재검토하여야 한다.

이러한 수지 정량화는 현상 이해뿐 아니라 대책의 정량적 목표 설정과 후보안 선정에 있어서 필수적인 정보이다. 즉 침식원인 정량화가 불충분하면 이후 절차의 과학적 타당성을 확보하기 어렵다. 표사율 등 사업초기에 도출한 정량정보가 추후 수정되는 경우가 있더라도 관련현상에 근거한 수지 정량화는 해안침식대책 시행절차의 첫 단계이다.

우리나라의 경우, 타당성조사, 기본 혹은 실시설계 수행시 파랑, 해빈류, 부유사, 소류사, 해저퇴적물 등의 현장조사를 실시하고 있으나, 관측결과가 퇴적물수지를 현상학적이고 정량적으로 설명하고 배치안 선정 등 설계에 활용되는 경우가 드물다.

구산-월송해안의 경우, 침식이 문제가 되는 동계파랑차폐역 경계 남측해안의 모래수지는 전술한 두 가지 현상에 의해 악화되었다. 따라서 구산항에 의한 연간 모래결손율을 정량화하기 위해서는 SE계열 파랑에 의해 차폐역으로 유입되는 모래와 방파제를 따라 남진하는 모래의 양을 파악하여야 하며, 이는 장기파랑산출집과 연안 표사율 산정식을 이용하면 구할 수 있는 정량정보이다.

또한 그림 1.1.3에 제시한 바와 같이 일반적으로 파랑차폐역 형성에 따른 침식이 가장 심한 구간이 파고·파향경사가 큰 차폐역 경계이므로 대책시설의 필요성 여부 판단과 필요시 시설위치 선정을 위해서는 차폐역 경계 부근의 표사율 경사를 파악하는 것이 중요하다(그림 3.3.5).



그림 3.3.5 구산-월송해안 '침식원인 정량화 단계'에서 우선적으로 파악해야할 정량정보 (WWSZ: Winter Waves Shadow Zone)

이러한 정보는 평상시 부표추적을 이용한 해빈류 관측이나 역시 평상시(특히 파랑자료와 연계되지 않은) 부유사 및 소류사 관측결과로는 파악할 수 없다.

2) 관리목표 정량화

우리나라 해안침식관리는 주체가 어느 기관이건 관리목표가 대부분 추상적이다. 거의 모든 사업이 목표해빈폭이나 목표모래체적을 설정하지 않은 채 후보안을 선정하고, 후보안 상대비교를 통해 최종안을 결정한다. 관리목표가 설정되지 않으면 구조물 설치 후 어떤 결과가 발생하더라도 성공·실패를 논할 수 없으며, 사후검토의 이유와 동기가 희박해짐에 따라 기술발전을 도모하기 어렵다.

그러나 현재와 같은 현장조사방식으로는 정량화된 관리목표를 설정하더라도 이의 달성가능성 여부를 판단하기 어렵다. 왜냐하면 가능성 판단은 충분한 조사를 통한 정량화된 현상정보에 근거하기 때문이다.

3) 후보안·최종안 선정과 설계

침식원인을 정량적으로 파악하지 않고, 해안침식방지의 정량적인 목표를 설정하지 않은 상태에서 기본설계에서 선정된 안이 잠제 3기와 헤드랜드 1기를 건설하는 그림 3.3.6이다.

우선적으로 지적할 수 있는 사항은

- ① 침식방지시설 설치 필요성과 위치 타당성을 정량적으로 검토하지 않았으며,
- ② 헤드랜드에 의해 새롭게 형성되는 동계과랑차폐역 내에 황보천 하구가 위치하므로 황보천으로부터 공급된 모래가 남측해안으로 이동할 수 없으며,
- ③ 헤드랜드 남측해안이 새로운 평형해안선으로 전이되는 과정에서 상당량의 침식이 불가피하나 이를 해안선변형모형이나 Hsu and Evans(1989)의 안정해안선 경험식으로 검토하지 않은 것이다.

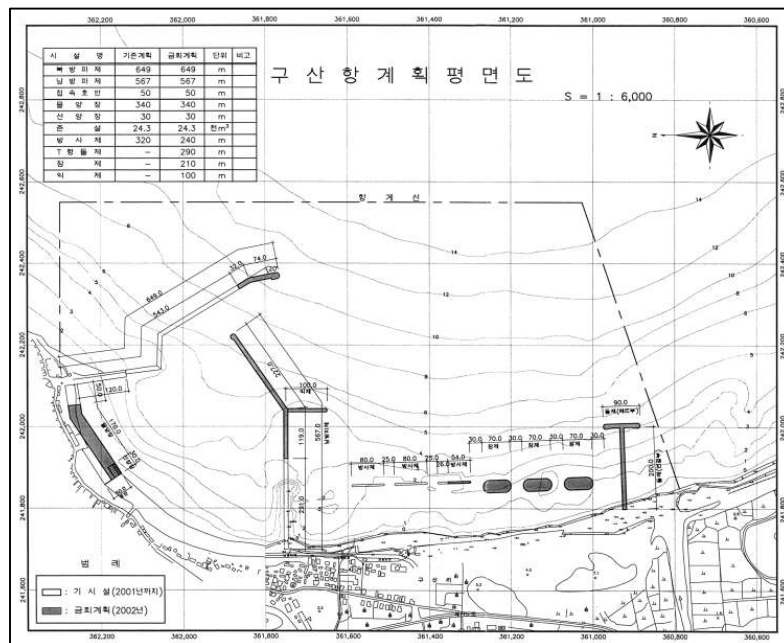


그림 3.3.6 구산항 및 구산리 해안 침식방지시설 기본설계안 (해양수산부 2002)

III. 국내사례 분석

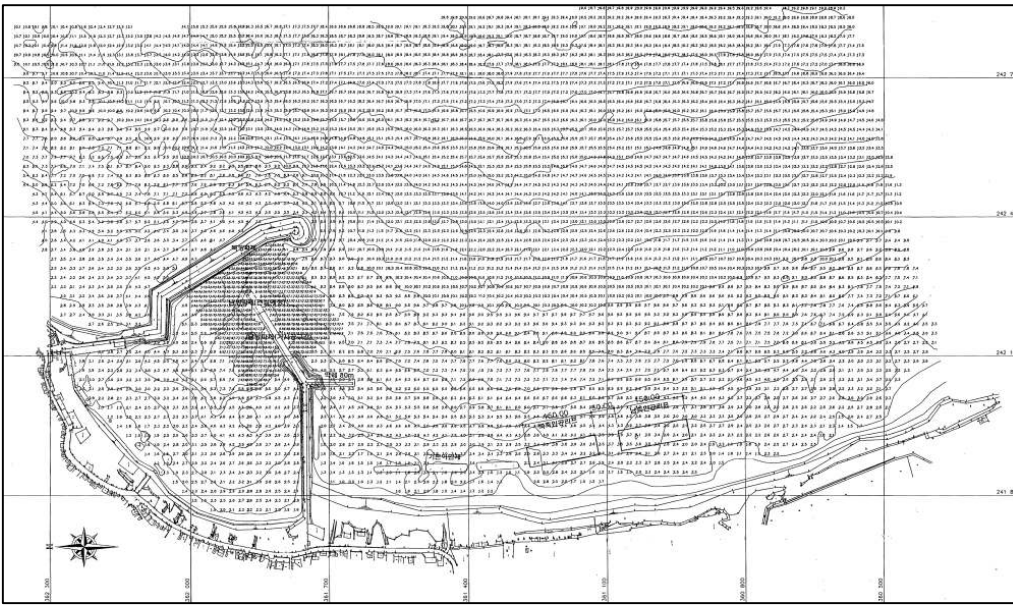


그림 3.3.7 구산리 해안 침식방지시설 실시설계안 (포항지방해양수산청 2005)



그림 3.3.8 구산리 해안 침식방지시설 조감도 (포항지방해양수산청 2005)

헤드랜드에 의한 남측해안의 침식가능성이 지적되자 이를 배제하고 길이 70m 잠제 3기를 150m 잠제 2기로 변경한 안이 실시설계에서 최종안으로 선정되었다(그림 3.3.7, 3.3.8).

실시설계용역에서도 파랑, 부유사, 소류사 등의 관측이 수행되었으나 현황을 정량적으로 파악할 수 있는 정보를 제공하지 못하였으며, 관측치가 최종안 선정이나 설계에서 활용되지 않았다.

국내 침식방지사업 접근시각의 한계가 표사계 개념의 부족이다. 구산-월송해안의 경우도 예외가 아니어서 그림 3.3.7에서부터 알 수 있는 바와 같이 수심측량구간이 항계에 국한됨에 따라 표사계 전체의 변화를 파악할 수 없으며, 그림 3.3.6과 3.3.8에서 알 수 있는 바와 같이 관심영역에 황보천 이남 해안을 포함하지 않았다.

제한적인 수심측량에도 불구하고 2001~2005년 동안의 수심변화(그림 3.3.3)는 문제해결에 있어서 활용가치가 매우 높은 정보를 제공하였다. 즉, 방과제 전면의 퇴적 모래를 이용한 우회양빈을 고려해볼 가치가 충분하였다. 宇多 박사는 오산항 자문에서 같은 내용을 언급하였다(Box 3.3.2, 그림 3.3.9).

실시설계에서 우회양빈 가능성을 전혀 고려하지 않은 것은 아니며, "광업권에 의한 sand bypass 공법 적용의 어려움, 고파랑 내습시 침식 배후 민가지역의 피해 우려 및 경제성을 종합적으로 검토한 결과 구조물에 의한 해안침식 방지공법을 채택한다"고 밝혔다(포항지방해양수산청 2005).

Box 3.3.2 宇多 박사의 오산항 침식방지사업 자문내용 일부 (포항지방해양수산청 2005)

■ 필자는 연안표사량(Q)와 한계수심(h_{cr}) 사이의 다음 관계식을 유도했다.

$$Q = 780h_{cr}^{5/2} \tag{1}$$

오산항 주변에서의 한계수심(h_{cr})은 DL(-)10m이므로, 이 값을 식 (1)에 대입하면 연안표사량 Q 는 약 25만 m^3 /yr가 된다. 이것은 상당히 양이 많고, 적어도 10만 m^3 /yr의 오더이다. 이것은 장기적으로 보아서 연안표사의 차단을 행하면 하측해안에서는 영향이 방대한 것을 의미한다. 따라서 Sand bypass와 침식방지 대책사업이 조합된 방식이 유효하다고 생각된다.

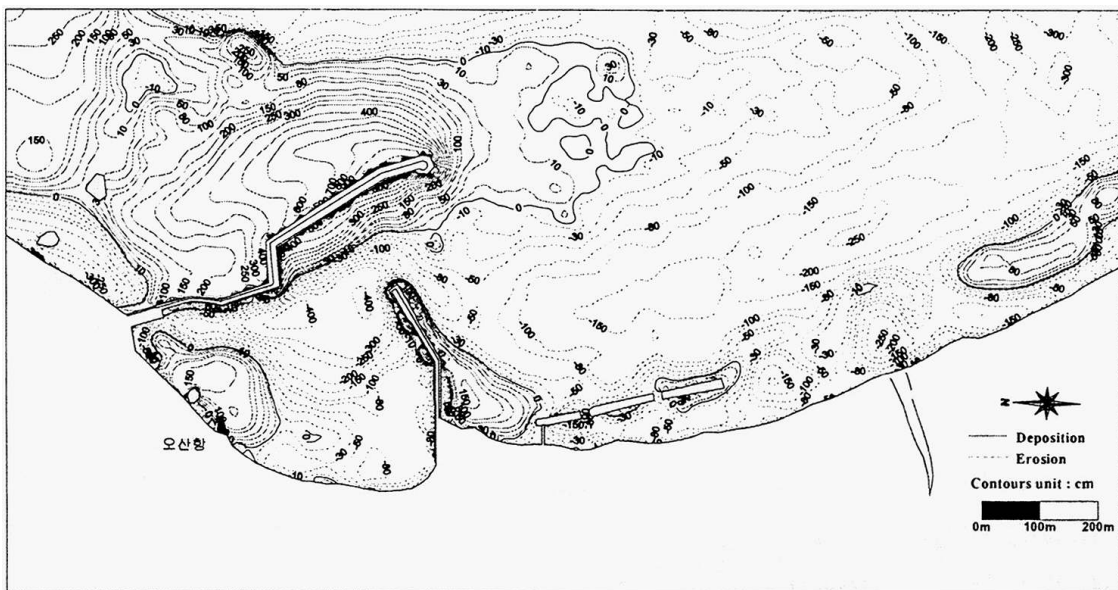


그림 3.3.9 오산항 주변 2001~2005년 수심변화 (포항지방해양수산청 2005)

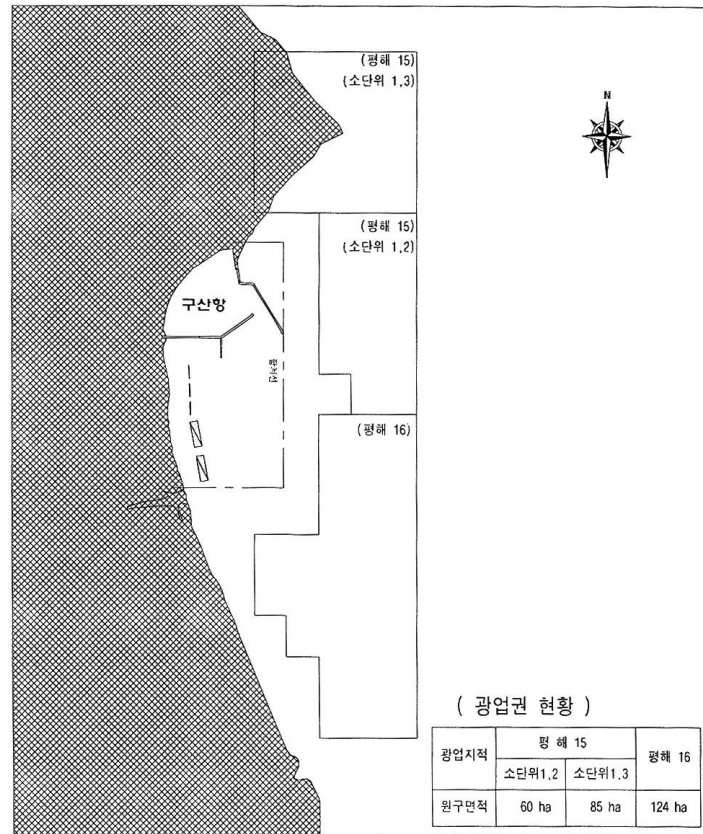


그림 3.3.10 구산항 전면 규사광업권 분포 (포항지방해양수산청 2005)

물론 2장에서 논한 바와 같이 해안선을 포함하는 동해안 지적에서의 규사채취가 문제이긴 하지만 구산항의 경우 그림 3.3.10에서 알 수 있는 바와 같이 방파제 전면 일정구간에는 광업권이 설정되어 있지 않으므로 그림 3.3.3의 퇴적모래를 모두 우회양빈에 활용할 수 있다. 또한 항내에서 준설한 모래도 상당하므로 이를 이용할 수도 있으며, 방사제(남방파제)에서 이안제 구간에 퇴적된 모래 역시 순환양빈(sand recycle)에 활용할 수 있는 것이다. 방파제 전면 퇴적모래는 방치하고, 항내 퇴적모래는 준설하여 별도의 목적으로 사용하고, 파랑차폐역의 퇴적지역은 신규토지로 간주하는 것은 선진형 친환경관리와는 거리가 있는 것이다. 또한 그림 3.3.1에서 알 수 있는 바와 같이 잠제로부터 남대천까지의 해안에는 민가가 없으며, 수저 퇴적물이 충분하면 고과사상동안의 일시적 후퇴도 사상통과 후 복원됨을 유념하여야 한다.

한편 실시설계에서 최종안으로 선정된 잠제의 단면은 그림 3.3.11과 같으며, 이는 일본 돗토리현 가이케 해안에 설치된 소위 Crest 형 잠제이다(그림 3.3.12).

그림 3.3.13은 잠제 건설 5년 후의 해안선변화 예측결과로서 잠제 배후의 해안선 변화가 거의 없음을 알 수 있다.

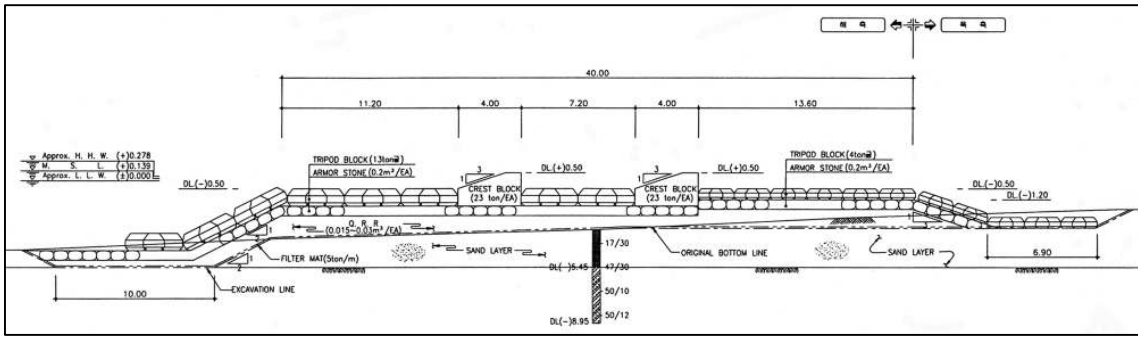


그림 3.3.11 구산리 해안 잠제 단면도 (포항지방해양수산청 2005)

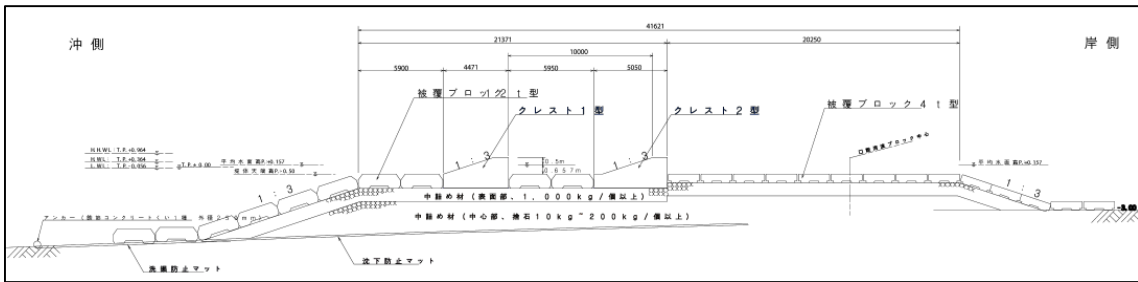


그림 3.3.12 돛토리현 가이케 해안 Crest 형 잠제 단면도 (日野川河川事務所 2007)

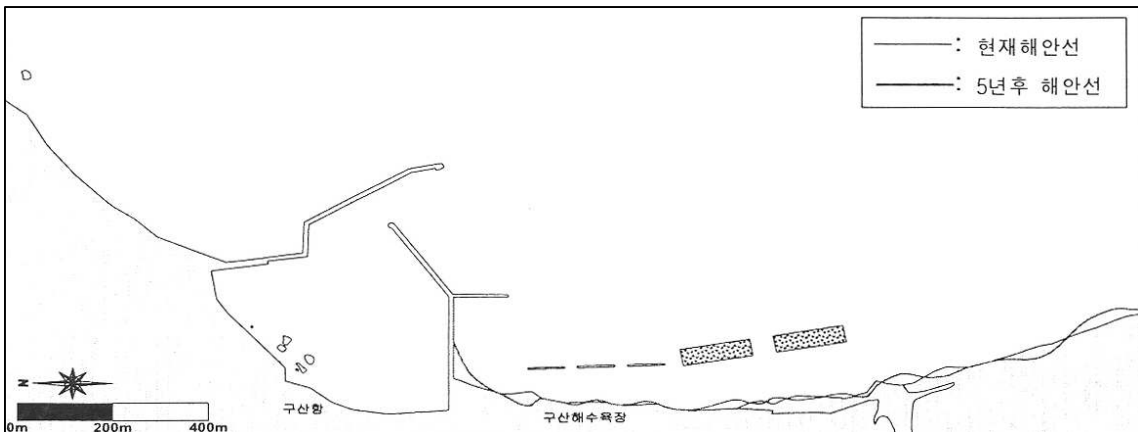


그림 3.3.13 잠제 건설 5년 후 해안선변화 예측결과 (포항지방해양수산청 2005)

다. 잠제 1기 시공효과

잠제 2기 완공 5년 경과 후에도 배후 해안선 변화가 거의 없을 것이라는 예측과 달리 50m 정도가 건설된 2008년 4월 29일 항공사진에서 해안선이 전진하였음을 알 수 있으며(그림 3.3.14a), 완공 약 1년 후인 2010년 3월에는 해안선이 잠제에 근접하였고(그림 3.3.14b), 8월에는 연육사주(tombolo)가 형성되었다(그림 3.3.14c). 그림에서의 침식면적 대부분은 황보천 이남 해안에서 발생한 것이다.

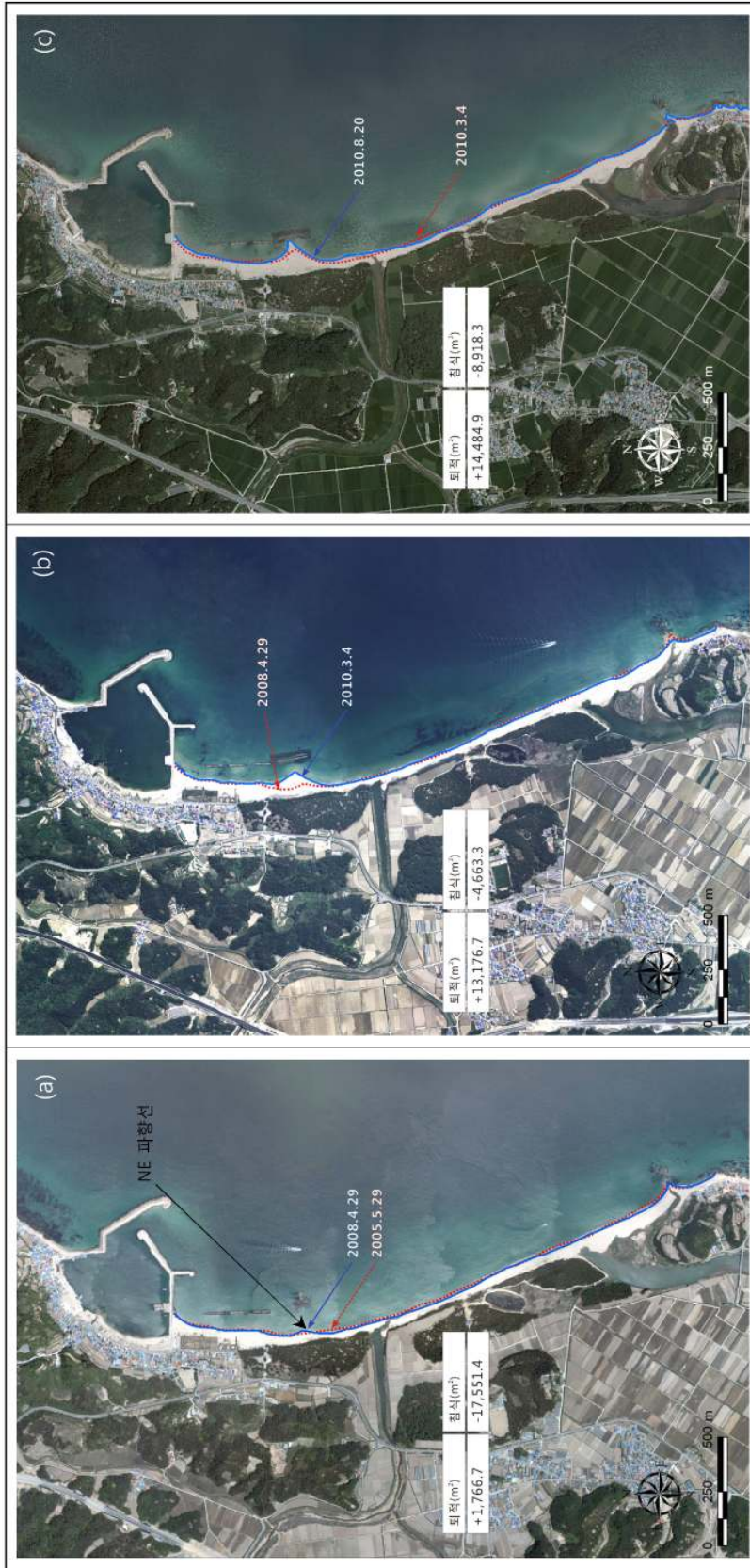


그림 3.3.14 구산리 해안 잠제 착공 이후 해안선 변화(a,c: daum, b: naver)

잠제의 주요기능은 일부 연안표사를 허용하면서 해안을 방호하는 것이다. 이를 통해 연육사주가 발달한 이안제 배후보다 백사장 면적은 감소하더라도 정선 구배가 완만해지고 조망을 확보함으로써 해변 이용률을 높일 수 있다.

구산항 잠제는 Crest 천단이 DL(+).0.5m이므로 조망측면에서 바람직한 공법은 아니다. 같은 형태의 잠제가 조망을 약간 희생하는 대신 파고투과율을 낮추려는 목적으로 일본 가이케 해안에 설치된 바 있으며(그림 3.3.15), 이안제 1기의 성공적인 개량에 이어 두 번째 개량작업을 시행중이다(그림 3.3.16).



그림 3.3.15 가이케 해안 제3호 이안제 Crest형 잠제로의 개량전후(日野川河川事務所 2007)

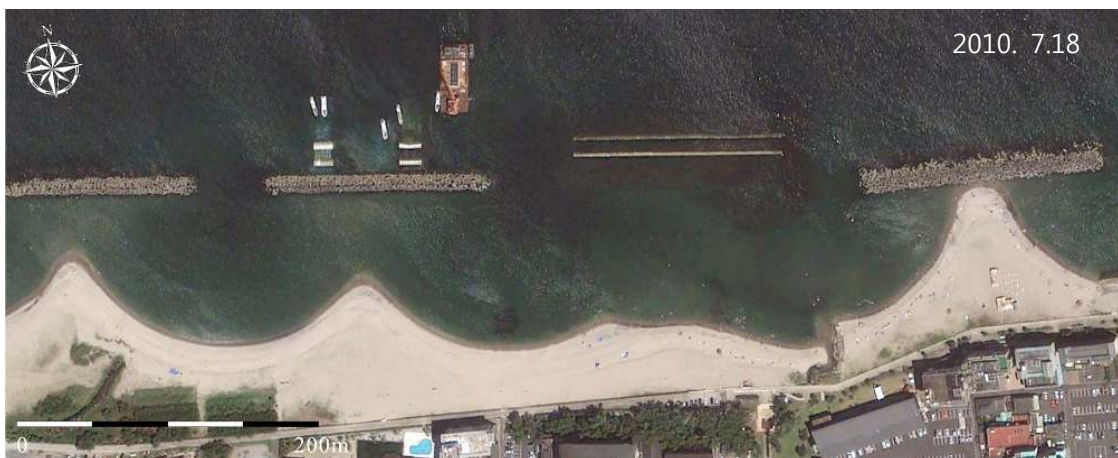


그림 3.3.16 가이케 해안 제5호 이안제 Crest형 잠제로 개량중 (Google Earth)

그림 3.3.16에서 3호기 개량으로 인해 서측의 5호기와 7호기 연육사주가 소멸한 반면, 동측 1호기 연육사주는 영향을 받지 않았음을 알 수 있으며, 이는 가이케 해안의 탁월파향이 NE이고 연안표사 순방향인 서향이기 때문이다.

결과적으로 일본은 Crest형 잠제를 설치하여 목적을 달성하였으나 구산항의 경우에는 이안제보다 시공비가 월등한 잠제를 설치하여 이안제 효과, 즉 연육사주를 형성하였다.

라. 사후모니터링

모니터링의 중요성을 인식하기 시작한 동해어업지도사무소의 행보는 구산항으로 이어져 Box 3.2.4의 용역을 발주하였으며, 과업의 목적은 "구산항 해안침식 방지시설 축조공사의 일환으로 인공리프를 건설함에 있어 주변 해안선의 침퇴적 경향을 모니터링으로 분석하여 2차 인공리프의 건설 여부 및 사업시기를 검토하여 합리적인 해안침식 방지시설을 수립코자 함"이다.

구산항 잠제의 모델인 가이케 해안의 경우, 3호기를 개량한 직후인 2005년 12월 잠제 전면 수심 8m에서의 최대파고가 7.5m(유의파고 4.5m, 주기 12초), 3m 이상인 고파랑이 30시간 지속된 고파사상이 발생하여 배후해안이 침식되었으며, 이에 국토교통성은 수리실험을 통하여 동일조건에서의 지형변화를 재현한 바 있다(그림 3.3.17). 3호기 개량성파에 따라 나머지 이안제 11기를 잠제로 개량할 계획이므로 잠제 효과를 정량적으로 파악하는 것이 매우 중요하며, 2005년 침식에 따라 이안제 ⇨잠제 개량을 실패로 간주하는 전문가도 있으나(설계 가이드북 참조) 국토교통성은 효과분석 후 그림 3.3.16에 제시한 바와 같이 추가 개량을 시행하고 있다.

Box 3.3.3 구산항 해안선·해빈변화 조사사업 공고

동해어업지도사무소 변경공고 제2010-71-1호

기술용역 전자입찰 변경공고(소액수익)

1. 입찰에 부치는 사항

가. 용역명 : 구산항 해안선변화 모니터링조사

나. 용역내용

- 기초자료 조사 및 분석 : 1식
- 해안선 및 해빈조사 측량 : 2.8km(200,000㎡) × 2계절 × 1년
- 수심측량 : 60km(25m pitch) × 1계절 × 1년
- 종합분석 및 건의 : 1식

다. 용역현장 : 경상북도 울진군 기성면 구산리 일원

라. 용역추정금액 : 50,000,000원(추정가격 45,454,546원 + 부가세 4,545,454원)

마. 용역기초금액 : 50,000,000원

바. 용역기간 : 착수일로부터 10개월간

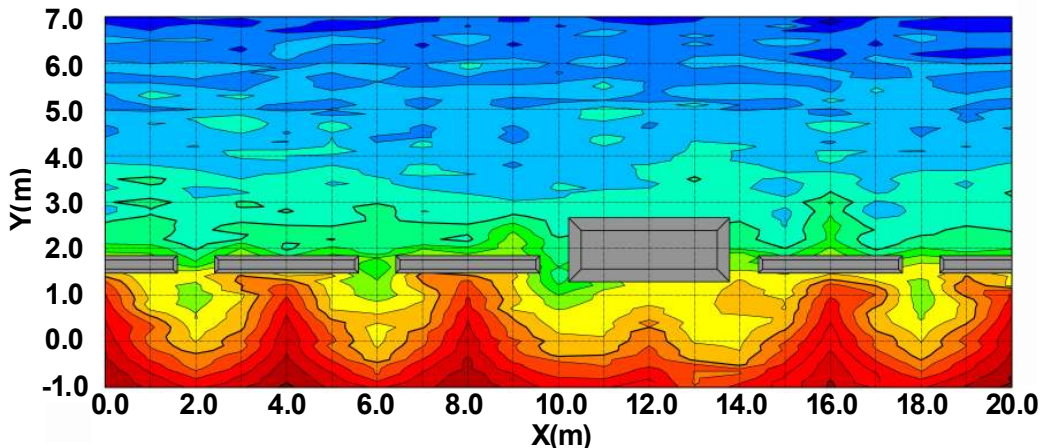


그림 3.3.17 수리모형실험을 통한 고파사상기인 잠제 배후 지형변화 재현 (宇多 等 2009)

가이케 해안의 경우처럼 언제 발생할지 알 수 없는 고파사상 동안의 외력과 그에 의한 지형변동을 파악하기 위해서는 파랑을 상시관측하고 고파랑 내습직후 수심측량을 실시하여야 한다. 구산항의 경우, 나머지 1기의 잠제 시공여부와 시기를 사후모니터링 결과로 판단하려는 의도는 매우 긍정적이지만 전술한 사천진항, 강릉항 및 공현진항에 비해 기간이 너무 짧고 수행내용이 제한적이며, 특히 파랑관측이 포함되지 않아 현상학적 해석이 쉽지 않을 것으로 예상된다.

현재 진행중인 Box 3.3.3 모니터링에 더하여 국립해양조사원이 시행하고 있는 비디오모니터링 결과를 이용하면 2009년 3월 이후 해안선변화를 짧은 시간간격으로 파악할 수 있다. 구산-월송해안에는 카메라 4대로 구성되는 VMS(Video Monitoring System)가 구축되어(그림 3.3.18), 방사제로부터 남대천 하구까지의 해안선 위치정보(그림 3.3.19)를 매시간 모니터링하고 있다. 그러나 현재 자료를 실시간으로 제공하고 있지 않으며, 매년의 보고서에도 전체 해빈면적변화 시계열만 제시하고 있으므로(그림 3.3.20) 해안선 위치정보를 파악하기 위해서는 국립해양조사원의 협조가 필요하다.

한편 파랑정보가 없는 것이 가장 큰 제약이다. 한국해양연구원이 운영하고 있는 후포 관측결과를 이용할 수도 있으나 이 역시 파향은 관측하지 않는다. 따라서 현 단계에서 파고·파향정보가 필요할 경우 파랑장을 이용한 수치모형실험에 의존할 수밖에 없다.

또한 구산항의 경우는 잠제와 근접한 황보천 유출토사량 정보가 매우 중요하다. 실시 설계용역에서 Englund and Hansen(1967)의 공식을 적용하여 황보천 유사량을 16,449 ton/yr로 산정하였으나 이의 재검토가 필요하며 남대천의 유사량도 파악하여야 한다.

III. 국내사례 분석

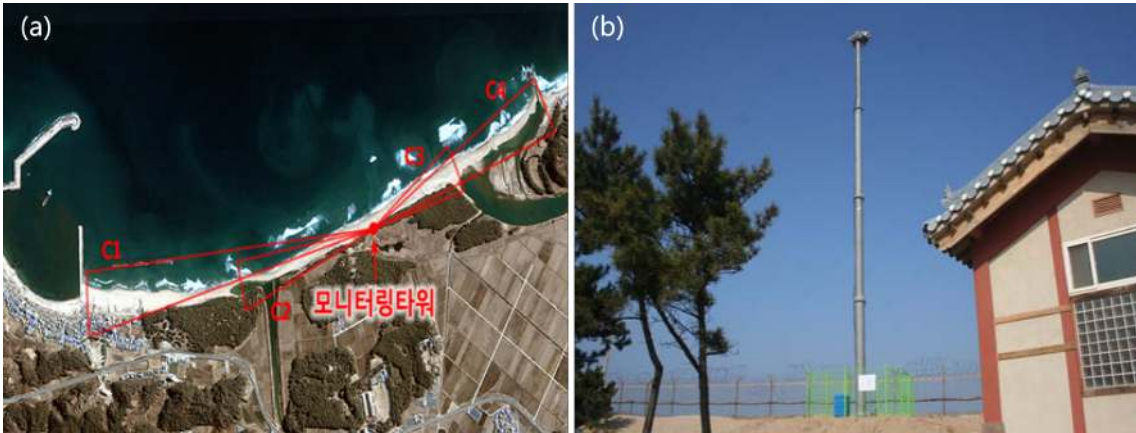


그림 3.3.18 (a)구산-월송해안 VMS Tower 위치와 카메라 앵글 및 (b) VMS Tower (국립해양조사원 2009)



그림 3.3.19 구산-월송해안 VMS 해변폭 추출 기선 (국립해양조사원 2009)

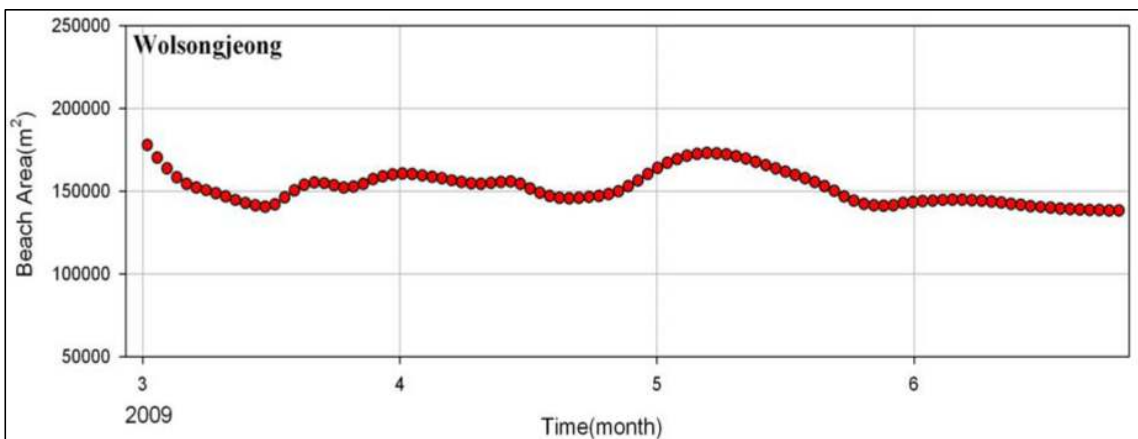


그림 3.3.20 구산-월송해안 해변면적 변화 (국립해양조사원 2009)

마. 최적관리방안 검토

실시설계에서 계획된 잠제 2기 중 1기가 완공된 현 단계에서 향후의 침식관리 최적방안을 검토해볼 필요가 있으며, 이를 위해서는 표사계 모래수지변화를 우선적으로 파악하여야 한다. 그림 3.3.21은 구산항 건설이전 구산-월송 단위표사계의 모래수지를 결정하는 모래공급단면 및 점에서의 공급률과 유실단면에서의 유실률이다. 동해안에서 연안표사의 연간순이동방향을 남향으로 설정하는 것은 무리가 없으므로 횡단표사량이 연간평형을 이룬다고 가정하면 구산항 건설이전의 구산-월송표사계는 다음 식을 만족하면서 동적평형을 유지하고 있었다.

$$Q_{SRC1} + Q_{SRC2} + Q_{SRC3} = Q_{SNK1} \quad (3.3.1)$$

여기서 Q_{SRC1} 는 표사계 북측경계면 A를 통해 유입되는 모래의 연간순공급률(annual net source rate), Q_{SRC2} 와 Q_{SRC3} 는 각각 황보천과 남대천으로부터의 연간공급률이며, Q_{SNK1} 은 남측경계단면 B를 통한 연간순유출률(annual net sink rate)이다.

표사계 밖으로의 유출뿐 아니라 모래가 특정구간에 지속적으로 퇴적·정체되는 경우에도 sink로 간주하며, 표사계 경계면·점으로부터의 공급량이 증가하지 않으면서 내부에 퇴적 sink가 발생하면 나머지 구간은 모래결손을 피할 수 없다.

구산항이 건설됨에 따라 내부에 2개 sink 영역이 형성되고 하나의 sink 경계면이 추가된다(그림 3.3.22). 첫 번째 sink 영역은 북측경계 A단면과 방파제 사이에 새로이 형성되는 포켓인 ①번 영역으로서 퇴적이 포화될 때까지의 한시적인 sink 영역이다. 이 영역이 어느 정도 포화되면 C 단면을 통해 유출된 모래의 일부(Q_I)는 남진한 후 일부(rQ_I)는 외해로 유실되고, 일부(Q_{SRC1})는 해안으로 이동한다.



그림 3.3.21 구산항 건설이전(1971.8.23) 구산-월송해안 모래수지 결정 주요 표사율

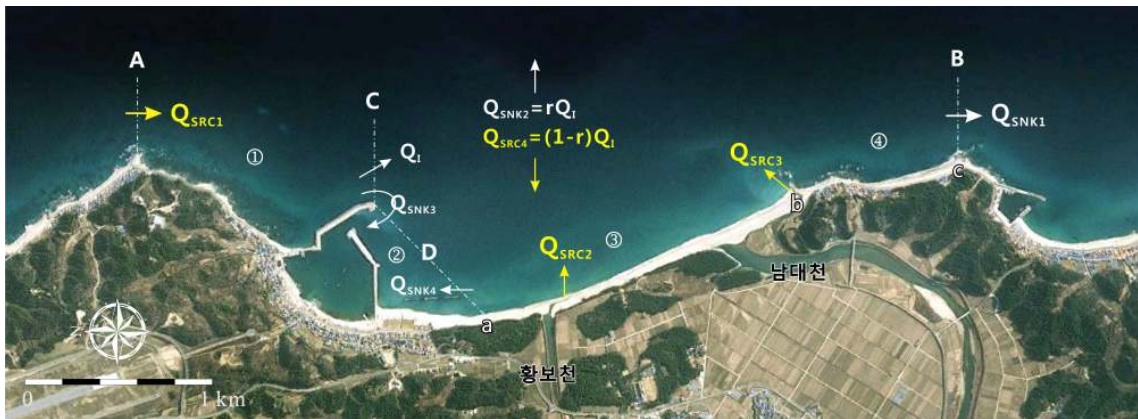


그림 3.3.22 구산항 건설이후(2006.12.6) 구산-월송해안 모래수지 결정 주요 표사율

두 번째 sink 영역은 항내를 포함하는 과량차폐역 ②로서 방파제를 따라 유입되는 Q_{SNK3} 와 ③번 영역으로부터 유입되는 Q_{SNK4} 에 의해 지속적으로 퇴적된다.

이에 따라 남측구간 ac의 연간표사율 결손은 $-(Q_{SRC1} - Q_{SRC1} + Q_{SNK4})$ 이며, 이의 영향으로 a 지점부터 시작되는 침식이 남진하는 것이 일반적이거나 황보천으로부터 공급되는 모래가 이를 완화시키고 있는 것으로 판단된다.

동해어업지도사무소는, 연안표사량 결손으로 발생하는 a 지점 남측해안의 침식을 구조물 1, 2기로는 해결할 수 없으며, 특히 황보천을 고려할 때 잠제 2기는 황보천 이남해안의 침식을 가속화시킬 수 있음을 유념할 필요가 있다.

가이케 해안과 거의 같은 잠제를 설치하였으나 가이케와 달리 잠제 설치목적이 아닌 연육사주가 발달한 것은 다음 두 가지 현상이 원인일 가능성이 크다.

첫째, 구산해안 Crest형 잠제는 파고를 과도하게 감쇠시킨다. 즉, 가이케 해안의 경우는 외해파가 잠제에 도달하기까지 천수변형과 굴절의 영향만을 받지만 구산리

잠제에 도달한 파는 구산항 방파제 선단에서 시작되는 회절에 의해 이미 파고가 감소된 상태이다. 이를 잠제(특히 Crest)가 더욱 감소시킨다.

둘째는 황보천으로부터의 모래공급이다. 그림 3.3.23에서 알 수 있는 바와 같이 잠제는 황보천에 너무 근접하여 있으며, 특히 하계에는 황보천 하구 유로가 잠제의 파랑차폐역으로 이어지므로 하계 유출모래 상당량이 잠제 배후에 포집된다.

잠제가 설치되기 전에는 그림 3.3.23(a)의 영역 @의 모래가 NE계열 파랑 내습시 남측해안으로 이동할 수 있었으나 잠제에 의해 모래이동 가능면적이 약 1/2로 감소하였으며, 잔여잠제 1기를 추가할 경우 영역 @ 대부분의 모래는 남진할 수 없으며 잔여잠제 배후에 발달할 연육사주가 황보천 모래유출을 방해함에 따라 하구폐색이 심해지고 경우에 따라 홍수시 하구가 범람할 수도 있다.

III. 국내사례 분석



그림 3.3.23 잠제 건설전·중·후의 구산항 인근 해안선 변화 (a: Google Earth, b,d: daum, c: naver)



그림 3.3.24 (a) 현상태(2010. 8.20) 및 (b) 잔여잡제 설치 후 발생가능한 장래해안선

한편, 일반적으로 연안표사를 차단하는 연육사주가 발달한 이안제 표사하류 선단 주변 즉, 그림 3.3.24(a)의 A 지점부터 침식이 시작되어 전파된다. 그러나 구산의 경우 그림 3.3.23(c)와 (d)의 비교에서 알 수 있는 바와 같이 A 지점의 침식이 하계 황보천 유출토사에 의해 복원된다. 그러나 그림 3.3.24(b)에 예시한 바와 같이 잔여잡제가 설치되어 황보천에서 B 지점으로의 모래공급이 감소하면 B 지점부터 시작되는 침식이 현재보다 증가하고 전파속도 역시 빨라지며, 특히 호형사주 중심선 해안의 침식이 심해질 것으로 예상된다.

따라서 현 단계는 잔여잡제 설치여부를 논할 때가 아니며, 일단 잔여잡제 추가를 유보하고 구산-월송표사계 전체를 고려하는 종합적인 침식관리방안을 우선적으로 수립하는 것이 바람직하다. 잔여잡제 설치유보는 황보천이 없을 경우에도 해당되는 사항이다.

고려할 수 있는 구산-월송해안 침식관리방안은 다음 4가지이다.

- ① Do Nothing : 침식은 변화된 수리조건에 해안선이 적응하면서 새로운 안정해안선으로 전이되는 현상이며, 국내 대부분의 침식해안 인근에는 퇴적이 발생한다. 'Do Nothing'은 최우선 후보안임과 아울러 타 관리방안 채택시 비교기준이다. 어느 방안을 채택하더라도 우선적으로 수행하여야 할 과제는 구산-월송해안이 궁극적으로 어떠한 형태로 안정화될 것인지를 파악하는 것이다.

② 동적보존 : 더 이상의 구조물 설치를 중단하고 주기적인 양빈으로 관리하는 방안이다. 구산-월송해안은, 복단 곳과 방과제 사이의 퇴적포켓, 항내퇴적, 발사제(남방과제)로부터 과량차폐역 경계까지의 퇴적, 2개 하천 유입 등 양빈에 활용할 수 있는 모래가 다른 표사계보다 풍부하다.

목표해빈폭을 우선 설정하고, 대부분 항계 내에 속하는 퇴적지역에서 채취할 수 있는 모래체적, 하천으로부터 공급되는 모래체적, 황보천 이남의 모래결손체적을 토대로 동적보존계획을 수립한다. 만일 가용모래로 목표해빈폭을 유지할 수 없을 경우에는 외부모래, 하상준설 등으로 모래를 추가하거나 목표해빈폭을 축소한다.

③ 정적보존 : 잠제群 혹은 헤드랜드群 등을 설치하여 황보천 이남 전체해안의 모래이동을 최소화함으로써 해안선 후퇴를 방지하는 방안이다. 이를 채택할 경우에는 공사기간이 길 수 있음 감안하고, 시공중 침식을 최소화하는 시공순서를 선정하는 것이 중요함을 유의하여야 한다.

④ 準동적보존 : 구조물 설치와 양빈을 병행하는 방안이다. 구조물은 월송정 등 보호가치가 높은 구간에 국한하여 설치하고 나머지 구간은 전술한 가용모래를 활용하여 주기적인 양빈을 시행한다.

포항지방해양수산청(2005)은 "잠제의 설치를 통해 지속적인 해안침식은 감소시킬 수 있으나, 완전한 해빈의 복원은 기대하기 어렵다. 구산항 남방과제 주변에 쌓여진 퇴적 토사 등을 Sand bypassing하여⁴⁵⁾ 잠제 설치후 잠제배후 해안에 양빈해야 만이 보다 큰 효과를 기대할 수 있을 것"으로 판단하였다.

순환양빈의 중요성을 인식한 것은 바람직하다. 그러나 연육사주가 형성됨으로써 잠제 배후 해빈은 과거보다 월등히 넓어졌으며, 무엇보다 구산항에 의한 황보천 이남 해안의 장래 침식을 정량적으로 검토하지 않았다.

어항관리기관이 유념하여야 할 사항은 동해안 침식 대부분은 어항 신설·확장에 의해 발생하였으나 항내매몰대책을 우선적으로 고려하고 침식을 검토할 경우에도 범위를 항계로 국한하는 경향이 있다는 것이다. 어항의 영향은 궁극적으로 어항이 속한 표사계 전체에 미치며, 방사제 주변의 해빈 확장은 남측해안 침식의 대가임을 인식할 필요가 있다. 또한 항내매몰을 외곽시설 확장을 통하여 해결하기보다는 주기적으로 준설하여 어항으로 인해 침식되었거나 침식될 가능성이 높은 해안으로 되돌리는 것을 최우선 대책으로 고려하는 것이 바람직하다.

45) 이는 우회양빈(sand bypassing)이 아니라 순환 혹은 되돌림양빈(sand recycle)임.

4. 부산 송도해수욕장

제1차 연안정비계획(2000~2009)으로 시행되었거나 아직 시공중인 연안정비사업 중 주목할 만한 대규모 사업이 속초시 영랑동과 울진군 봉평해안의 헤드랜드·잠제 설치와 잠제와 양빈을 병행시공한 부산광역시 서구 암남동 소재 송도해수욕장 해빈 확장이다.

특히 양빈과 구조물 설치를 병행하는 소위 面的工法이 국내에서 처음으로 시도 되어 제1차 연안정비계획의 대표적인 성공사례로 평가받고 있는 송도는 주변지형에 의해 입사파고·파향이 크게 제한되는 해안선 길이 약 800 m의 소규모 만입형 해안으로서, 백사장 정적안정을 위한 면적공법이 성공할 가능성이 매우 높은 입지조건을 갖췄다 (그림 3.4.1).

한편, 부산시 서구는 기존의 국내 단위사업 모니터링 관행과 달리 양빈시행 1년 전인 2004년 6월부터 2009년 1월까지의 장기모니터링 사업을 시행한 바 있으며, 사실 면적공법보다는 송도사업의 모니터링이 향후 국내 연안침식관리 선진화를 위해 중요한 가치를 갖는다. 이는 전술한 바와 같이 제2차 연안정비계획에서 면적공법 선호도가 증가하였고, 이러한 증가추세는 계속될 것으로 보이나 대규모 양빈의 경우에는 모니터링을 통하여 유지양빈양과 주기를 파악하는 것이 침식관리에 중요하기 때문이다.

송도해수욕장의 침식이력, 정비사업 실시설계안, 그리고 모니터링의 방법과 해석에 대해 살펴보고 개선방안을 제시한다.

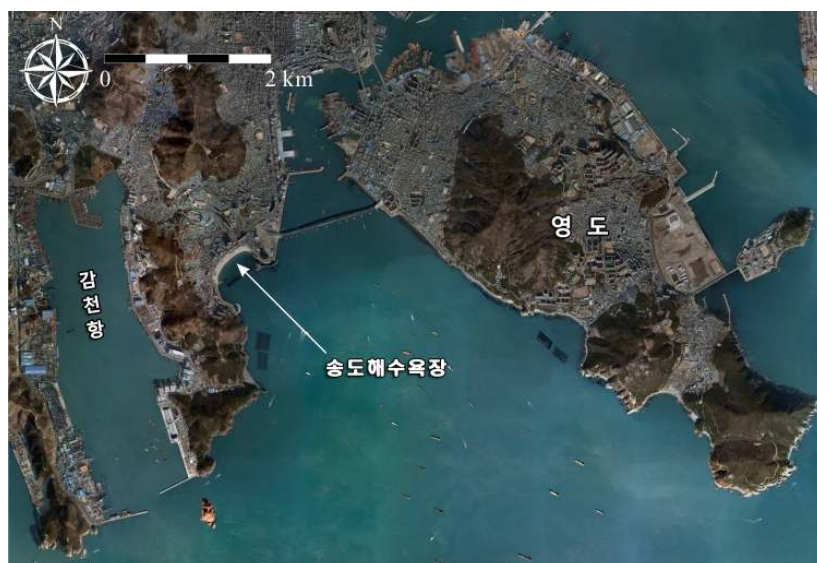


그림 3.4.1 부산 송도해수욕장 일원 (2008. 1.31, Daum)

가. 침식이력

송도가 비록 침식방지사업으로 추진되었지만 침식이력과 원인에 대한 과학적인 조사·분석은 충분하지 않았다. 실시설계시의 항공사진분석(표 3.4.1)에 따르면 1973년부터 2001년 사이에 동측 제1사장(그림 3.4.2)의 해빈폭이 35%, 서측 제2사장은 22% 감소하였으나 백사장 면적은 각각 35%와 50% 증가하였다. 따라서 면적변화만으로는 송도지구 연안정비사업의 침식방지사업으로서의 당위성은 부족하다. 해빈폭과 면적의 변화경향 불일치는 해빈의 길이변화로 설명될 수도 있으나 이를 설명하기에는 송도해수욕장의 길이가 짧은 것으로 판단된다.

표 3.4.1 항공사진분석에 의한 송도해수욕장 해빈폭·면적 변화 (부산시 서구 2002)

연도	해빈폭 (m)		해빈면적 (m ²)		
	제1사장	제2사장	제1사장	제2사장	합
1973.11.30	32.85	28.64	3,089.89	4,996.52	8,086.41
1979.11.09	25.79	28.88	2,497.57	5,757.85	8,255.42
1982.10.25	27.23	29.21	3,982.30	7,540.38	11,522.68
1986.11.03	29.35	28.45	2,189.64	5,806.68	7,996.32
1987.11.01	25.23	22.14	3,474.06	6,647.25	10,121.31
1992.05.20	23.32	23.35	2,068.45	5,107.91	7,176.36
1995.05.27	25.34	24.35	3,066.46	5,631.21	8,697.67
2001.01.21	21.26	22.35	4,445.85	7,649.13	12,094.98

1992년부터(2001년 제외) 매년 1,000m³ 양빈



그림 3.4.2 송도해수욕장 항공사진 (한국해양대학교 2009)

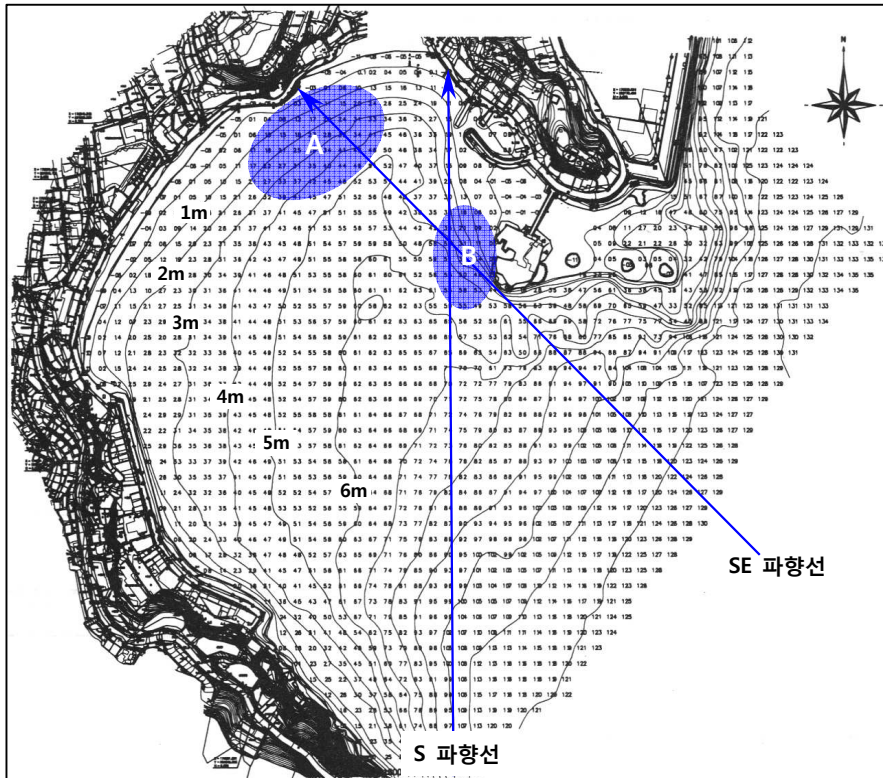


그림 3.4.3 연안정비사업 시행전 송도해역 수심도 (부산시 서구 2002) 및 예상 침식우심구간

그림 3.4.3은 송도 연안정비사업 기본·실시설계용역에서 수행된 2001년의 12월 수심측량성과와 지형·파향을 고려하여 추정한 침식우심구간이다. 송도해역은 그림 3.4.1에서 알 수 있는 바와 같이 영도에 의해 E계열 파랑으로부터 효과적으로 보호됨에 따라 동계 고파랑 대표파향을 SE로 간주할 수 있다. 수심도로 미루어 SE 파랑이 송도해안으로 진입하면서 동측으로 강하게 굴절되며, 거북선 전면에 에너지가 집중됨과 아울러 그 배후 수역에서는 회절이 발생할 것으로 판단된다. 이러한 회절은 파랑차폐역 경계 부근 쇄파대, 즉 그림의 영역 A에서의 연안방향 파고·파향경사를 유발하고 이는 결국 연안류와 표사량 경사가 발생함을 의미한다. 이는 방파제 연장에 따른 동해안 침식과 유사한 현상이다. S-SE 계열 파랑의 경우에는 회절에 의해 파향선 서측수역으로의 에너지 전파가 상당할 것이지만 고파랑 내습시에는 거북선 서측 천해역 영역 B를 침식시킬 가능성이 높다.

이와 같은 동측수역의 침식가능성은 그림 3.4.4의 해저퇴적물 중앙입경분포에도 어느 정도 나타나지만, 사실 그림 3.4.4는 최대조립질 1개 정점의 영향범위가 너무 큰 것이다. 1차 조사에서 이와 같은 결과를 얻었을 경우에는 입경 최대지점으로부터의 입경변화가 그림처럼 거의 균등할 것인지 아니면 해당 지점 부근에 국한된 국지특성여부 파악을 위한 추가지점 채취·분석이 반드시 필요하다.

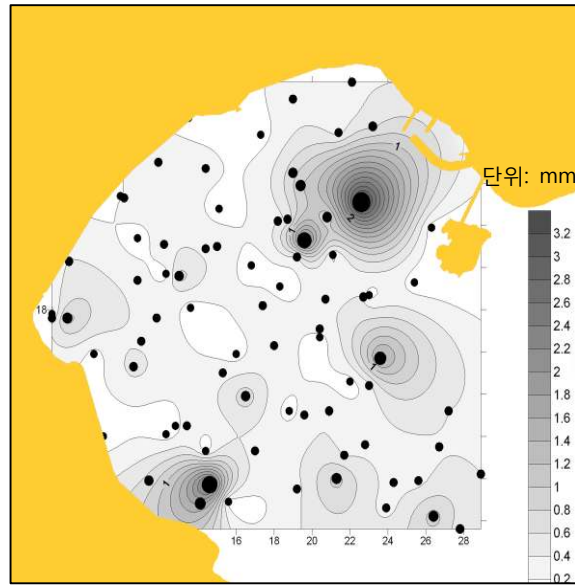


그림 3.4.4 송도해역 해저퇴적물 중앙입경 분포 (부산시 서구 2002)

그림 3.4.5는 한국해양대학교(2009)가 해도를 비교하여 구한 수심변화이다. 특정 해역 연간모래수지는 평형을 이루더라도 계절변동이 클 수 있으므로 계절이 일치하지 않는 해도수심을 비교할 경우에는 유의하여야 한다.

1978~1990년 동안 전체적으로 퇴적되었다. 12월을 침식시기, 6월을 퇴적시기로 간주하면 있을 수 있는 현상이지만 전체 해안선 전면이 1~2m 이상 퇴적된 것이 특징적이다. 이와는 반대로 1990~1995년 동안에는 전체적으로 침식되었으며, 역시 6월 퇴적시기로 3월은 동계침식 종료시기로 간주하면 수공할 수 있는 현상이다.

측량시기가 3월로 동일한 1995~1999년 동안의 변화로부터 송도지구 모래수지 추정이 가능하다. 전체적으로 침식이 우세하며 제2사장 전면 A 구간의 퇴적은 서측해안을 따라 유입된 모래 또는 제2사장에서 침식된 모래에 의한 것으로 판단된다. 제1사장과 제2사장 사이의 소규모 헤드랜드 H 지점 전면으로 침식이 이어지며 이는 이안류 혹은 조류방향과 관련이 있을 것으로 판단된다.

1999년과 2001년의 수심은 각각 동계침식 종료시기인 3월과 개시시기인 12월의 측량성과로서 해안선 부근 C, D 구간은 동계에 그림 3.4.5(c)의 A, B 구간에 퇴적된 모래가 춘계~추계 동안 해안으로 공급되어 퇴적되었을 가능성이 높다. 역시 침식은 헤드랜드 H 지점에서 시작하며 중심선은 동측해안이다.

수심비교에서 가장 뚜렷한 경향은 제1, 2사장 경계 헤드랜드로부터 거북섬으로 이어지는 동측 영역, 즉 그림 3.4.3의 영역 A와 B가 연결되는 구간에서의 지속적인 침식이다.

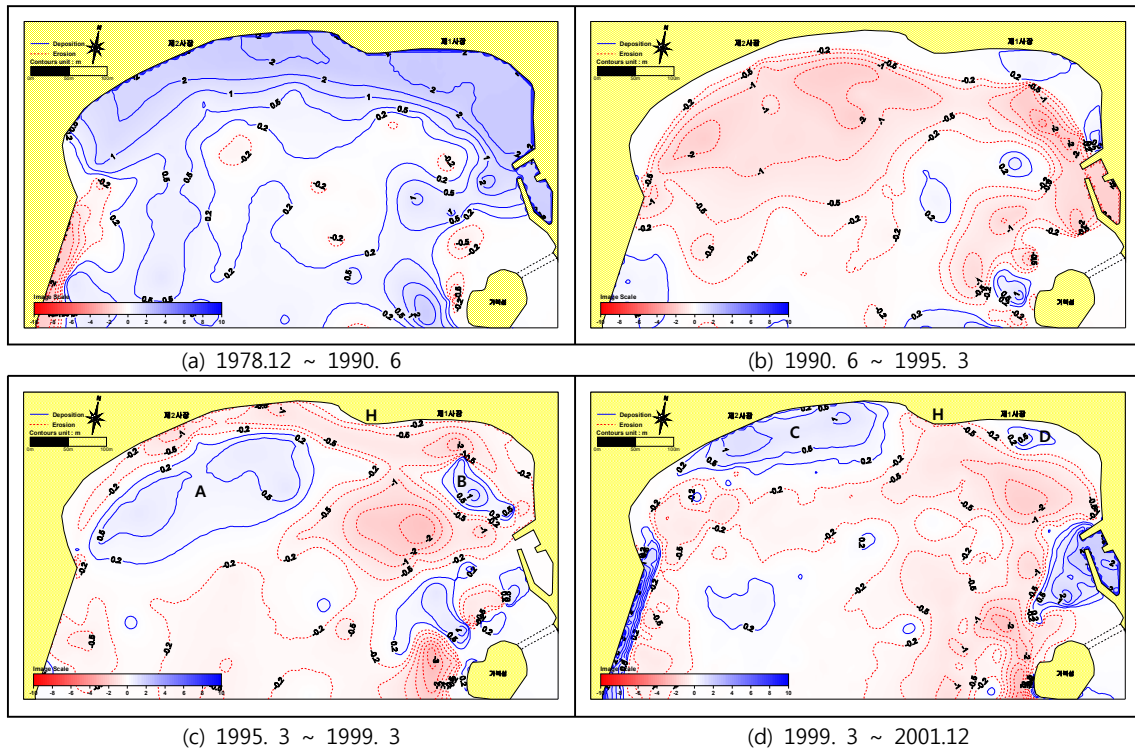


그림 3.4.5 해도비교에 따른 송도해수욕장 전면해역 수심변화 (한국해양대학교 2009)

모래의 이동방향은 탁월과향과 조류방향에 좌우된다. 그림 3.4.1에서 알 수 있는 바와 같이 송도는 영도에 의해 동계 E계열 고파랑에 효과적으로 차단되어 있으며, 그림 3.4.3의 수심도로 미루어 S~SE계열 고파랑 내습시 동향 연안류가 발생할 가능성이 높다. 또한 그림 3.4.6과 표 3.4.2에서 알 수 있는 바와 같이 최대 약 20 cm/s의 조류는 창낙조 공히 시계방향으로 순환한다. 이상으로부터 연안정비사업 이전의 송도해역의 모래는, 해변부의 경우 계절에 따른 침식과 복원이 반복되면서 전체적으로는 해역 동측을 따라 유실되고 있었던 것으로 판단된다. 그러나 이상은 모두 정성적인 추측일 뿐이다. 실시설계용역에서 파고가 낮은 시기에 포사기를 이용하는 소류사 관측도 실시하였으나 뚜렷한 경향을 파악하기 어렵다.

1970년대까지 부산 제1의 해수욕장이었던 송도는 80년대부터 쇠퇴하였다. 그러나 쇠퇴이유는 해안침식이 아니라 교통체증과 수질오염이었으며⁴⁶⁾, 그림 3.4.7(a)에서 알 수 있는 바와 같이 1954년에도 해변쪽은 그리 넓어보이지는 않는다. 단, 항공사진분석 등의 기존 조사에서는 검토한 바 없으나 해안도로(그림 3.4.7b)가 해변 일정부분을 잠식했을 가능성이 높으며, 호안이 해변을 침식을 유발했을 가능성도 높을 것으로 판단된다.

46) <http://news.naver.com/main/read.nhn?mode=LSD&mid=sec&sid1=102&oid=001&aid=0002189344>

III. 국내사례 분석

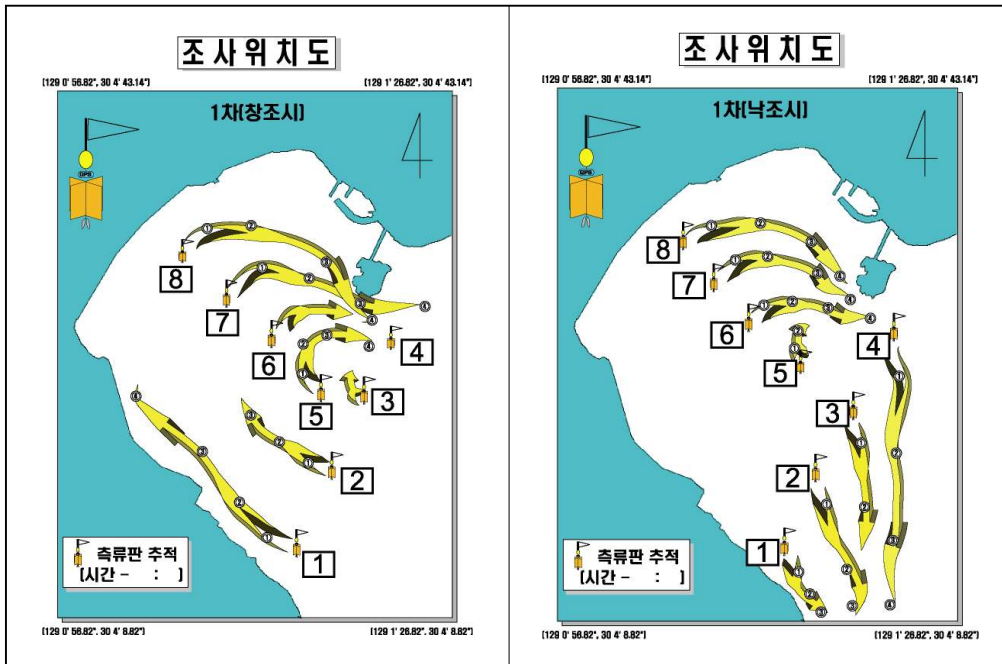


그림 3.4.6 송도해역 대조기(2001.12.30) 조류 패턴 (부산시 서구 2002)

표 3.4.2 송도해역 대조기(2001.12.30) 부표 최대유속 (부산시 서구 2002)

번호	최강창조(cm/s)	최강낙조(cm/s)
1	8.19	19.15
2	15.6	20.39
3	10.4	6.78
4	7.4	10.7
5	10.6	4.2
6	17.3	6.3
7	7.0	2.4
8	6.0	5.3



그림 3.4.7 과거 송도해수욕장 : (a) 1954 (사진 Cliff Strovers), (b) 2000년대초

나. 제1차 연안정비사업

송도일원 침식방지공사 기본·실시설계에서 결정한 공중내역은 표 3.4.3, 제1차 연안정비계획을 통하여 시행된 송도지구 연안정비사업 내역은 표 3.4.4와 같으며, 계획평면도와 완공 후인 2009년 1월 상황은 그림 3.4.8과 같다.

표에서 알 수 있는 바와 같이 송도지구 정비사업에는 다양한 시설이 포함되지만 핵심공종은 양빈을 통한 백사장 복원·확장과 파고감쇠와 직접적인 횡단포사 차단에 의해 양빈모래 유실을 최소화하기 위한 잠제 2기이다.

특히 대규모 양빈은 국내에서 처음으로 시도된 공법이므로 모니터링을 통하여 시공후의 변화를 현상학적으로 파악하고 설계 타당성을 검토하는 것은 향후 국내 관련기술발전과 유사한 후속 연안정비사업의 성공여부에 매우 중요하다.

양빈설계에서 일차적으로 고려하여야 할 사항은 수리·표사특성 파악으로서 포르투갈 Vale de Lobo 해안의 경우 302만 유로를 투입하여 79만 m³의 모래를 투입하였으나 수주일 후 모두 유실되었다(RIKZ et al. 2004). 정적양빈에 해당하는 송도의 경우는 태풍 내습시를 제외하면 수리에너지가 높은 환경은 아니지만 잠제가 모래를 완전히 차단할 수는 없으므로 백사장 관리를 위해 유실률·경로정보가 필요하다.

표 3.4.3 부산 송도 침식방지공사 설계시공비 (부산시 서구 2002)

공 종	수 량	공사비 (백만원)
1. 잠제	300 m	6,288
2. 양빈	연장 670 m, 면적 86,000 m ² , 양빈체적 362,500 m ³	8,182
3. 이안제	140 m	1,124
4. 거북섬 호안	100 m	147
5. 해안도로	1,500 m	10,039
계		25,780

표 3.4.4 부산 송도지구 1차 연안정비사업 내역 (해양수산부 2007b) (단위: 백만원)

구분		시행장소	연장(m)	사업비	국고보조액	예산지원년도
사업	시설					
연안보전	침식방지	잠제 등	513	10,530	5,265	2000~2003
연안보전	호안정비	송림공원 앞	200	670	335	2003
연안보전	침식방지	양빈	670	12,000	6,000	2004, 2005
연안보전	호안정비	거북섬	87	1,000	500	2005
계				24,200	12,100	

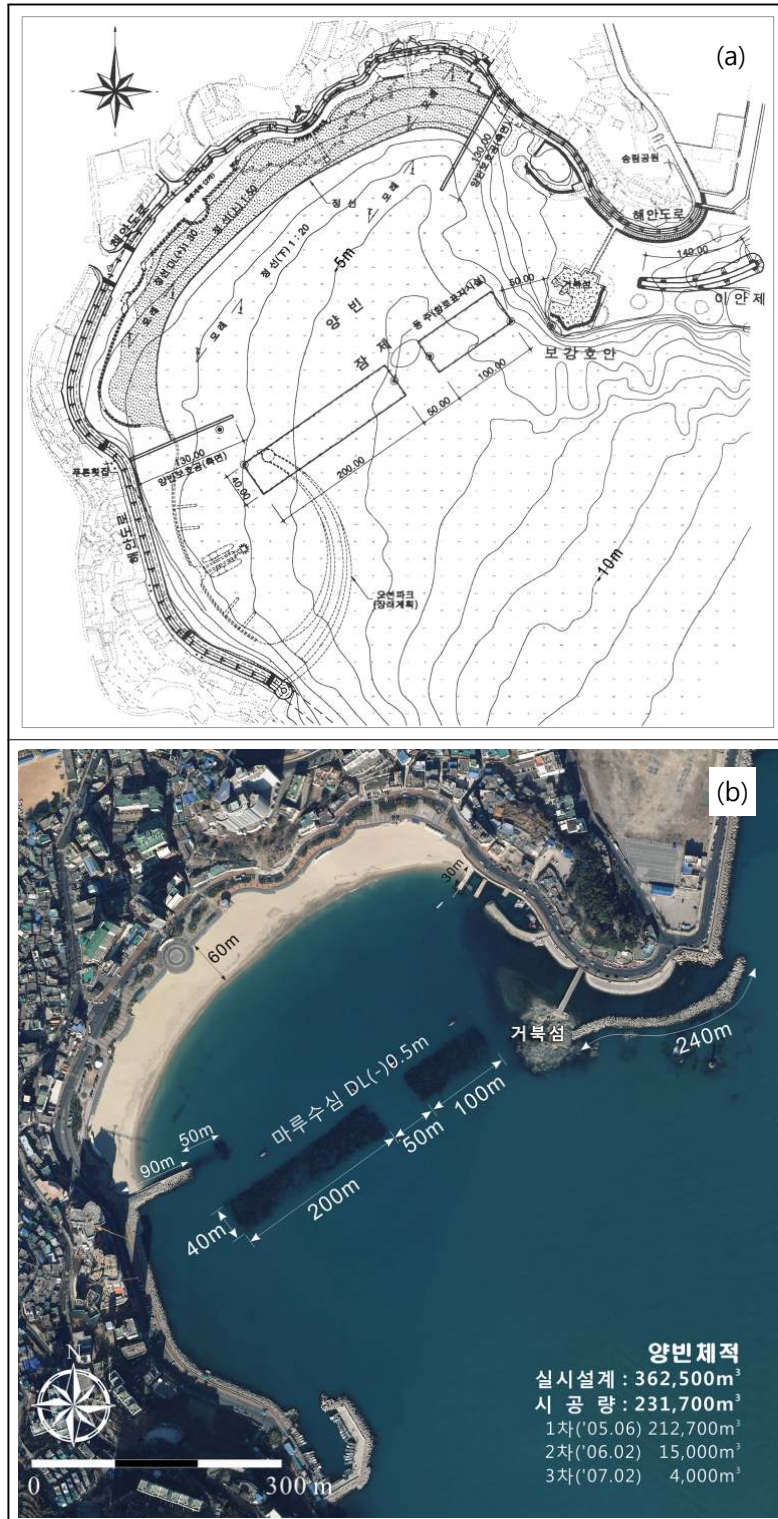


그림 3.4.8 (a) 부산 송도해수욕장 연안정비사업 계획평면도(부산시 서구 2002) 및 (b) 2009년 1월 상황(naver)

양빈체적은 수리에너지, 후빈폭과 높이, 평형단면구배 등에 의해 결정된다. 1923~2001년 동안 미국에서 시행된 주요양빈사업의 양빈밀도는 수리에너지에 따라 50~1,100 m³/m로 매우 다양하며, Campbell and Benedet(2006)는 이를 200 m³/m 이하, 200~400 m³/m, 400 m³/m 이상으로 구분하였다.

양빈체적 산정시 중요한 변수가 단면구배로서 동적양빈의 경우 많이 참조하는 평형단면식이 Bruun(1954)이 제안하고 Dean(1977)이 500여 해안의 현장자료로 실용성을 확증한 다음 식이다.

$$h(y) = Ay^{2/3} \quad (3.4.1)$$

여기서 h 는 수심, y 는 정선으로부터 외해방향 거리이며, A 는 입경으로 결정되는 매개변수이다(설계 가이드북 참조).

식 (3.4.1)은 자연해안으로부터 도출되었으므로 엄밀한 의미에서는 동적양빈 시행시 고려하여야 한다. 그러나 경사가 입경만의 함수이므로 정적양빈의 경우에도 참조할 가치가 높다. 송도의 경우, 사업시행전(2001.12~2002.6) 그림 3.4.9의 단면에서 4회의 측량을 실시한 바 있으며, S2와 S6 단면에서의 측량결과가 그림 3.4.10이다.

두 단면 모두 정선 부근을 제외한 나머지 부분에서의 변화가 작음을 알 수 있다. S2의 경우 평균해수면(DL+0.65 m)에서 수심 변곡점(약 DL-3.8 m)까지의 경사가 약 0.034이며(<MSL에서 수심변곡점까지의 거리 약 130 m, 경사=4.45/130), S6의 경우는 DL-5 m까지의 경사가 약 0.024이다(MSL에서 DL-5m까지의 거리 약 240 m, 경사=5.65/240).

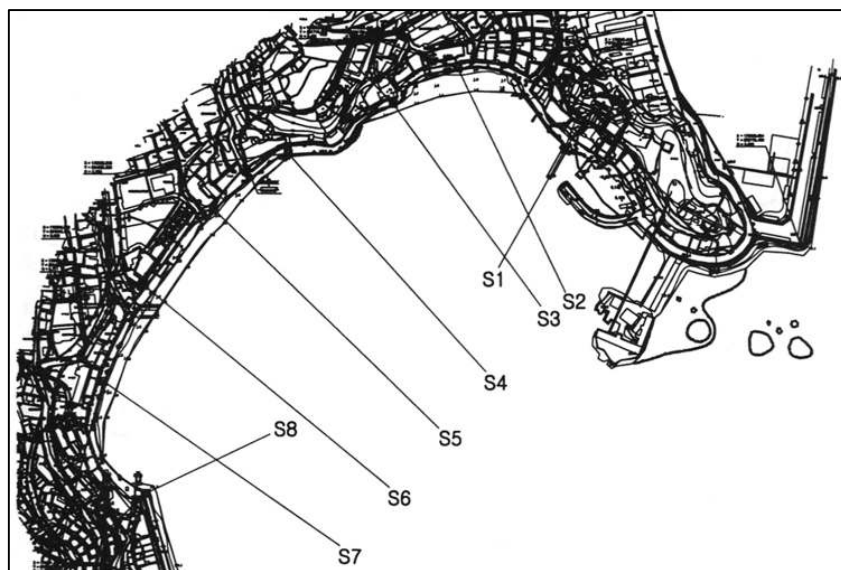


그림 3.4.9 연안정비사업 시행전 단면측선 (부산광역시 서구 2002)

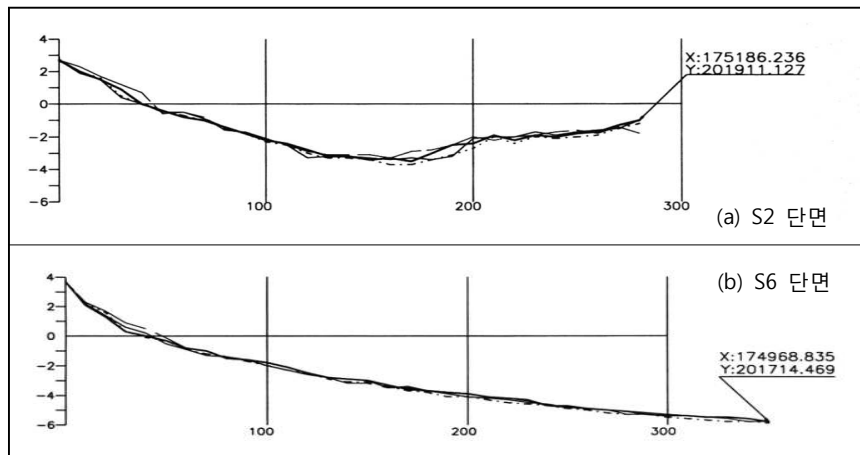


그림 3.4.10 송도해수욕장 동서측 대표단면 변화 (2001.12~2002. 6)
(단위 : m, 표고기준은 DL, 부산광역시 서구 2002)

부산시 서구(2002)에 따르면 시공전 모래입경은 0.3~0.6 mm 정도이고 동측이 조립질이므로 S2에 0.6 mm, S6에 0.3 mm를 적용하면 식 (3.4.1)에 의한 S2와 S6 단면의 경사는 각각 0.34와 0.019로서 측량결과와 유사하다. 따라서 모래입경으로 평형단면을 파악하는 식 (3.4.1)이 송도 양빈설계 시 참고할 가치가 충분하다.

송도의 경우, 약최고고조위인 DL(+1.3 m 이하에서는 0.05, 그 이상에서는 0.02의 경사로 설계하였으나 수중경사 1/20은 양빈모래 평균입경 0.38 mm를 식 (3.4.1)에 적용한 경사보다 급하다(그림 3.4.11). 단면경사가 평형경사보다 급하면 침식이 발생한다(설계 가이드북 참조). 특히 송도의 경우, 설계해빈폭은 감소시키지 않으면서 설계체적의 64%인 231,700 m³만 투입하였다. 이는 수중경사가 그림 3.4.11보다 급하다는 것의 의미하며, 침식이 발생할 가능성이 높음을 암시하는 것이다.

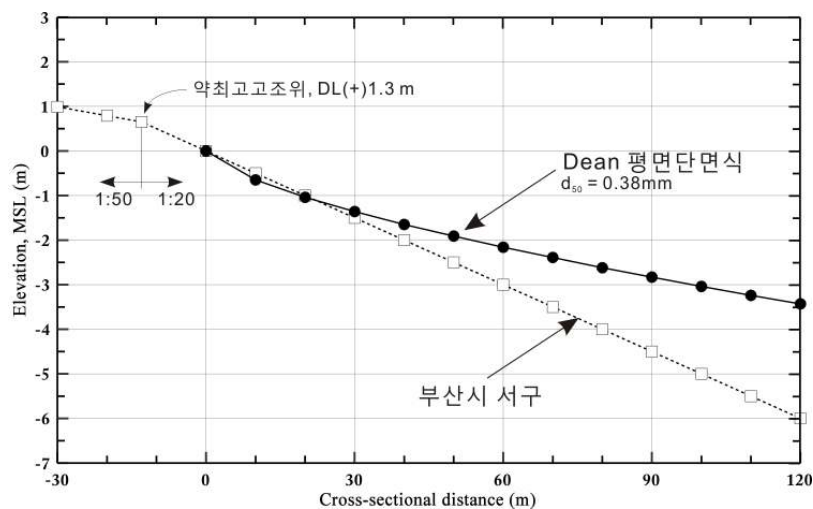


그림 3.4.11 송도 양빈설계단면과 입경기준 평형단면 비교

다. 2004~2009년 모니터링

전술한 바와 같이 송도에서는 국내 실정에 비추어 비교적 장기조사에 속하는 약 4.5년에 걸친 모니터링을 Box 3.4.1의 목적으로 시행하였으며, 조사항목과 내용은 표 3.4.5와 같다.

사업목적의 경우, 전체적인 내용이 일반적인 사후환경영향조사와 같이 환경영향 파악에 초점을 두고 있음을 알 수 있다. "태풍 등 자연재해로부터 해수욕장 사빈 유실방지"는 사실상 불가능한 목적이며, 투입모래가 유실되는 과정이 바로 양빈 기능임을 유념할 필요가 있다. 무엇보다 모래의 유실과정과 경로를 파악함으로써 유실량을 최소화할 수 있는 방안을 강구하고 적절한 유지양빈 주기와 체적을 산출하는 것이 양빈사업의 과학적인 관리임을 이해하여야 한다.

Box 3.4.1 '송도연안정비사업 모니터링 조사용역'의 목적 (한국해양대학교 2009)

- 본 과업은 송도연안정비사업 시행과 함께 장기적인 파랑 및 유황조사, 표사이동 및 해안선 변화 조사 등의 각종 해양조사와 수치모형실험을 수행하여 송도연안의 해안환경변화를 모니터링함으로써 공사시행 또는 시행 후, 공사로 인한 악영향을 사전에 예방하고 피해발생시 이를 최소화할 수 있는 대책을 수립하는 것이 목적이다.
- 또한, 모니터링 결과를 토대로 송도연안침식방지공사 시행에 따른 인근해역에 미치는 직·간접적 영향을 평가하여 설계시 예상하지 못했던 2차 피해를 사전에 예방하여 태풍 등 자연재해로부터 해수욕장 사빈 유실방지는 물론, 자연환경 보전 및 쾌적한 환경을 조성하는데 그 목적이 있다.

표 3.4.5 '송도연안정비사업 모니터링 조사용역' 현장조사 항목·내용 (한국해양대학교 2009)

조사항목	목적	물량	방법
파랑	■ 대상해역 내습파랑 특성 파악	2004. 6.25 ~ 2009. 1.19	■ 파고계에 의한 상시 파랑 관측 (부분결측)
유황	■ 대상해역 흐름 연직·수평분포 특성 파악	2개소×13시간 9회	■ 조석 1주기 동안 매시간 층별 유속 및 유황 관측
	■ Lagrange 방법으로 흐름양상 규명	6개소×10회	■ 부표와 측량기기를 이용한 부표 추적 조사
부유사	■ 부유사량 정량적 관측	2개소×13시간 9회	■ 조석 1주기 매시간 층별 부유사량 조사
	■ 부유사 이동특성 파악	1개소×9회	■ 포사기를 이용한 부유사의 이동특성 파악
소류사	■ 소류사 이동특성 파악	2개소×9회	■ 포사기를 이용한 소류사의 이동특성 파악
해저질	■ 대상해역 해저질 분포 특성 파악	12개소×9회	■ 해저질 채취용 Grab 및 다이버 이용
해안선	■ 송도해수욕장 전구간 해안선 변화특성 조사	38측선×21회	■ 각 측선별 단면측량에 의한 해안선 변화 관측
수심	■ 송도해안 전면해역 수심변화 분석	송도해수욕장 전면해역일대 ×9회	■ 해안침식방지시설 설치 후 수심변화 측정

1) 모니터링 성과 검토

표 3.4.5에서 알 수 있는 바와 같이 송도 모니터링은 연안수리·표사거동 파악에 필요한 거의 모든 항목을 포함하고 있다. 특히 파랑의 경우(그림 3.4.12), 비록 부분적인 결측이 있었으나 상시관측을 목표로 하였다는 것은 기존의 관측관행과 비교하여 매우 긍정적이며, 해빈측량을 21회, 수심측량을 9회 실시함으로써 양빈모래 거동파악을 위한 기본적인 자료는 확보하였다.

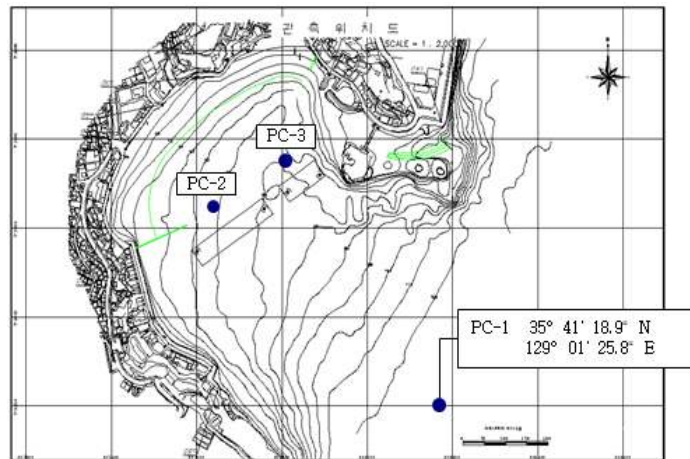


그림 3.4.12 송도 모니터링 파랑관측점 (한국해양대학교 2009)

그러나 모래이동과 지형변화를 정량적으로 해석하기 위한 수리·표사현상 파악을 위한 관측은 부족하다. 즉, 흐름과 표사량 조사는 모두 선박항행이 가능한 정온시기에 고전적인 방법으로 수행함으로써 모래이동량과 지형변동이 큰 고파랑 내습시의 정밀관측은 계획되지 않았다.

관측지점 선정도 양빈모래 관리차원에서 바람직하지 않다. 그림 3.4.13은 소류사 채취정점과 포사기이다. 잠재 내측의 양빈모래가 유실되는 경로는 동측잠제와 거북섬 사이, 잠제 사이, 그리고 서측방사제와 서측잠제 사이이다. 이 세 개구부를 통한 모래이동량은 유실최소화를 위해 가장 필요한 정보임에도 소류사와 부유사 관측 정점을 잠제 배후로 선정하였다.

표 3.4.6과 3.4.7은 두 정점에서의 소류사 채취성파로서 양빈 후인 2005년 8월부터의 관측치는 경향을 논하기에는 포사량이 너무 적다. 그러나 양빈 전 2005년 2월 성과는 대상해역의 평상동계 표사경향을 어느 정도 제시하여, 두 정점 모두 외해방향(SE, SW)으로 모래가 유출되고 있으며, 남서향보다는 남동향 표사가 우세함을 알 수 있다.

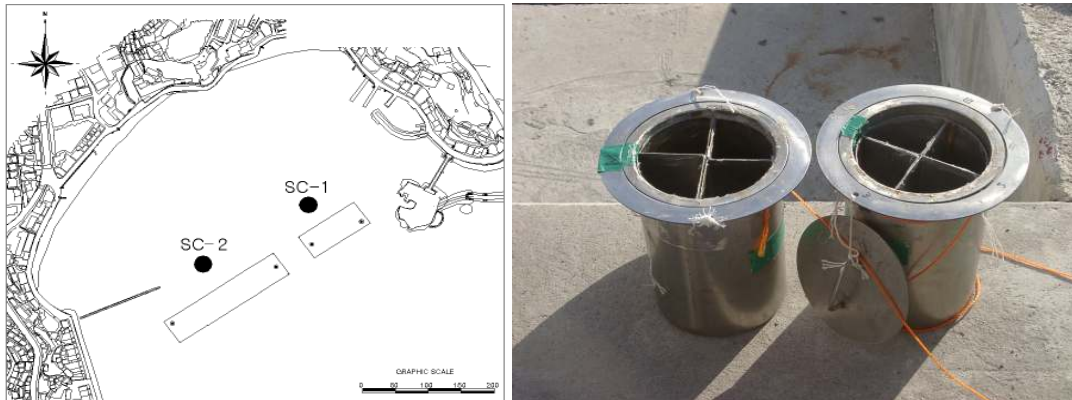


그림 3.4.13 송도 모니터링 소류사 채취정점과 소류사 포사기 (한국해양대학교 2009)

표 3.4.6 정점 SC1에서의 소류사 채취성과 (한국해양대학교 2009)

관측일(조석)	방향별 포사량 (g/hr)				총포사량 (g/hr)
	NE	SE	SW	NW	
'04.06.25 (소조)	0.105	0.152	0.270	0.126	0.653
'05.02.24 (대조)	2.480	6.250	2.790	2.760	14.280
'05.08.20 (소조)	0.408	0.858	1.517	3.000	5.783
'06.02.27 (대조)	0.359	0.250	2.100	0.278	2.984
'06.09.02 (소조)	5.810	1.380	0.840	1.290	9.320
'07.02.24 (소조)	1.970	1.640	1.310	1.560	6.470
'07.09.11 (대조)	-	-	-	-	-
'08.03.08 (대조)	-	-	-	-	-
'08.09.08 (소조)	-	-	-	-	-
평 균	1.855	1.755	1.471	1.502	6.583

표 3.4.7 정점 SC2에서의 소류사 채취성과 (한국해양대학교 2009)

관측일(조석)	방향별 포사량 (g/hr)				총포사량 (g/hr)
	NE	SE	SW	NW	
'04.06.25 (소조)	0.796	0.995	1.001	0.804	3.579
'05.02.24 (대조)	19.010	39.040	31.930	15.980	95.960
'05.08.20 (소조)	0.238	0.238	0.175	0.237	0.808
'06.02.27 (대조)	-	-	-	-	-
'06.09.02 (소조)	1.550	2.750	3.360	4.780	12.440
'07.02.24 (소조)	-	-	-	-	-
'07.09.11 (대조)	1.270	0.920	0.590	0.930	3.710
'08.03.08 (대조)	2.050	2.120	2.180	0.460	6.810
'08.09.08 (소조)	1.690	1.850	3.290	0.370	7.190
평 균	3.801	6.845	6.075	3.366	20.087

III. 국내사례 분석

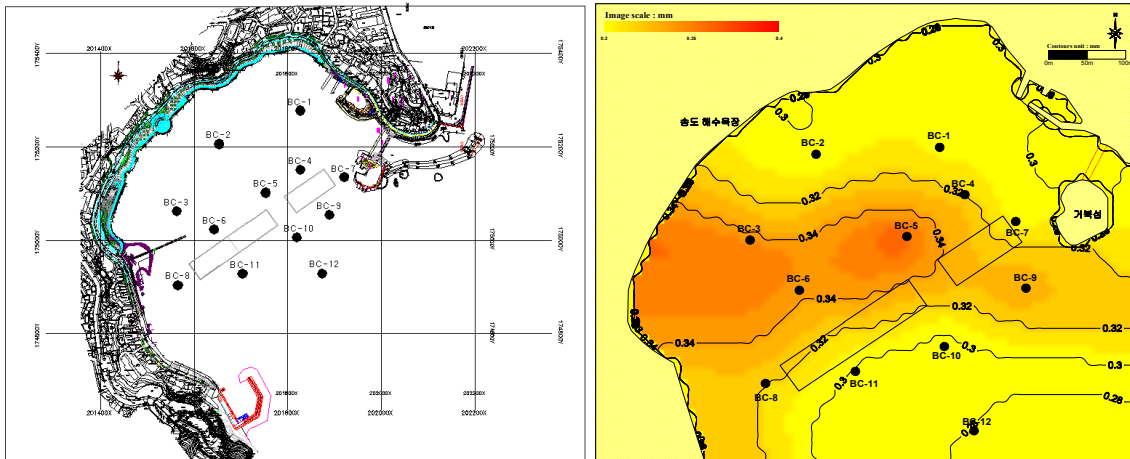


그림 3.4.14 송도 해저퇴적물 채취정점 및 1차관측(2004.6.25) 성과 (한국해양대학교 2009)

양빈사업에서의 해저퇴적물 입경변화는 정보는 표사거동과 평형단면 해석에 중요한 실마리를 제공하는 정보이다. 송도의 경우 9회에 걸쳐 입경분포를 조사하였으나 경향을 논하기에는 채취정점이 너무 적은 12개에 불과하였다. 또한 부족한 자료를 상용 등치선 프로그램에 입력하여 경향을 파악하려 함에 따라 정보가 전혀 없는 해안선 부근의 입경까지 무리하게 산출되는 결과를 낳았다(그림 3.4.14). 입경분포의 경향을 등치선 프로그램으로 파악할 때의 유의사항은 전술한 바 있다.

수심·해빈측량결과로부터 산출한 모래체적변화는 가치 있는 정보이지만 이를 위해서는 수리정보와 연계된 물리적 해석이 수반되어야 한다.

송도 모니터링의 경우, 9차례의 측심성과와 21차례 해빈측량결과로부터 26개 단면(그림 3.4.15)을 추출하고 수심 -6m를 기준으로 한 각 단면사이 모래체적변화를 산정하였다. 그러나 체적변화와 관련된 현상을 파랑자료와 연계하여 정량적이고 물리적으로 파악하지 못하고 경향을 단지 정성적으로 추측하였다.

특히 사업기간 중인 2007년 6월 해빈에 이상퇴적이 발생하였으나 이를 전혀 언급하지 않았다. 즉, Box 3.4.2의 기사에 따르면 전체 해빈 800m 중 400m에 걸쳐 높이 1~1.5m 퇴적되었음에도 퇴적구간 위치가 어디이며, 퇴적기간이 언제이며, 퇴적구간 전면 수심은 어떻게 변화하였으며, 당시의 파랑상태는 어떠한지 등 특이현상 해석에 필수적인 정보는 차치하고 현상 자체가 보고서에 언급되지 않았다.

이는 해안침식관련 모니터링을 일반적인 사후환경조사와 같은 방식으로 수행했기 때문에 발생한 결정적인 정보의 누락이다. 즉, 이상고파랑에 의한 침식이나 장주기 파에 의한 퇴적 등은 그 발생시기를 예측할 수 없으므로 정해진 시기의 관측뿐 아니라 이상현상 발생시 이를 즉시 조사하여야 한다.

또한 과업이 2004년 6월부터 시작되었음에도 양빈직전 수심을 측량하지 않고 기본·실시설계서의 측량수심으로 양빈전 수심을 대신하였다.

그림 3.4.16과 3.1.18은 측량성과 중 6개 단면의 변화를 하계와 동계로 구분하여 재구성한 것이다.



그림 3.4.15 송도 모니터링 모래체적변화 산정측선 (한국해양대학교 2009)

Box 3.4.2 송도해수욕장 퇴적 기사

<부산 송도해수욕장에 웬 모래언덕?>
 연합뉴스 | 기사입력 2007-06-20 14:51 | 최종수정 2007-06-20 15:13

(부산=연합뉴스) 오수희 기자 = "다른 해수욕장에서는 백사장 모래가 빠져 나가 매년 수천만원을 들여 모래를 퍼붓고 있는데 **송도해수욕장**에는 거꾸로 모래가 밀려드니 이상한 일입니다"

부산 서구 송도해수욕장 백사장에 거대한 모래언덕이 생겨 눈길을 끌고 있다.

20일 오후 찾아간 부산 서구 남남동 송도해수욕장.

다른 해수욕장과 다름 없이 다음달 1일 개장을 앞두고 준비에 분주한 모습이었으나 백사장 한가운데 거대한 모래언덕이 눈에 띄었다.

모래언덕은 길이가 800여m에 이르는 전체 백사장 가운데 400m 정도로 높이도 1~1.5m나 됐다.

부산 서구청은 중장비 2대를 동원, 백사장 평탄작업을 벌이고 있었으나 모래언덕이 너무 거대해 작업이 끝나는데 3~4일은 더 걸릴 것으로 보고 있다.

구청 측은 뜻하지 않았던 모래의 급습(?)으로 연간 1억여원 이상의 모래 구입비용을 아낄 수 있게 됐다며 흐뭇한 표정을 짓고 있다.

구청은 해수욕장 모래 유실을 막기 위해 2005년부터 지난해까지 43억원을 들여 인공모래 23만1천700㎥를 투입했기 때문에 바다에서 물러온 모래가 반가울 수밖에 없다.

부산 해운대와 광안리해수욕장 등 다른 해수욕장에서는 해마다 엄청난 양의 모래가 유실돼 수천만원의 예산을 들여 모래를 퍼붓고 있는데 왜 송도해수욕장은 모래언덕이 생길 정도로 모래가 많아진 걸까?

부산 서구청은 2005년 대규모 송도연안정비사업을 벌이면서 송도해수욕장 앞 바다에 설치한 잠재(거센 파도를 약화시키기 위해 바다 바닥에 설치된 구조물) 때문에 해수 흐름이 바뀌면서 생긴 현상으로 파악하고 있다.

구청 관계자는 "해수욕장에서 150~180m 앞바다에 설치한 잠재와 백사장 사이에 있던 바닷모래가 외해로 빠져나가지 않고 머물러 있다 빠른 해류를 타고 백사장 쪽으로 올라온 것으로 파악된다"며 "앞으로 10년간은 인공모래를 투입할 필요가 없어 연간 5천여만원 이상의 비용을 아낄 수 있게 됐다"고 말했다.

하계단면에서 가장 두드러진 현상은 동단 1번 단면에서의 퇴적과 침식이다. 급격한 퇴적은 양빈 후 약 5개월 사이에 발생한 것이며 일부 침식된 후 양빈 2년 후에 안정화되었다. 퇴적의 정도는 적으나 이와 같은 경향은 3번 단면도 마찬가지이다.

동측잠제 중앙부 배후인 7번, 잠제 개구부 배후인 11번, 서측잠제 동측배후인 15번 단면의 경우, 양빈직후 수심 -1m에서 -2~-3m 사이에 사주가 형성된 것이 특징적이며, 이는 곧 소멸하였다. 이들 3개 단면의 하계형상 역시 양빈 2년 후인 2007년 6월 안정화된 것으로 판단된다. 서측 21번 단면의 경우에도 양빈 1년 후 약간의 퇴적이 발생하였으나 2년 후에 양빈초기단면으로 복원된 후 3년 후인 2008년 7월에도 같은 형상을 유지하였다.

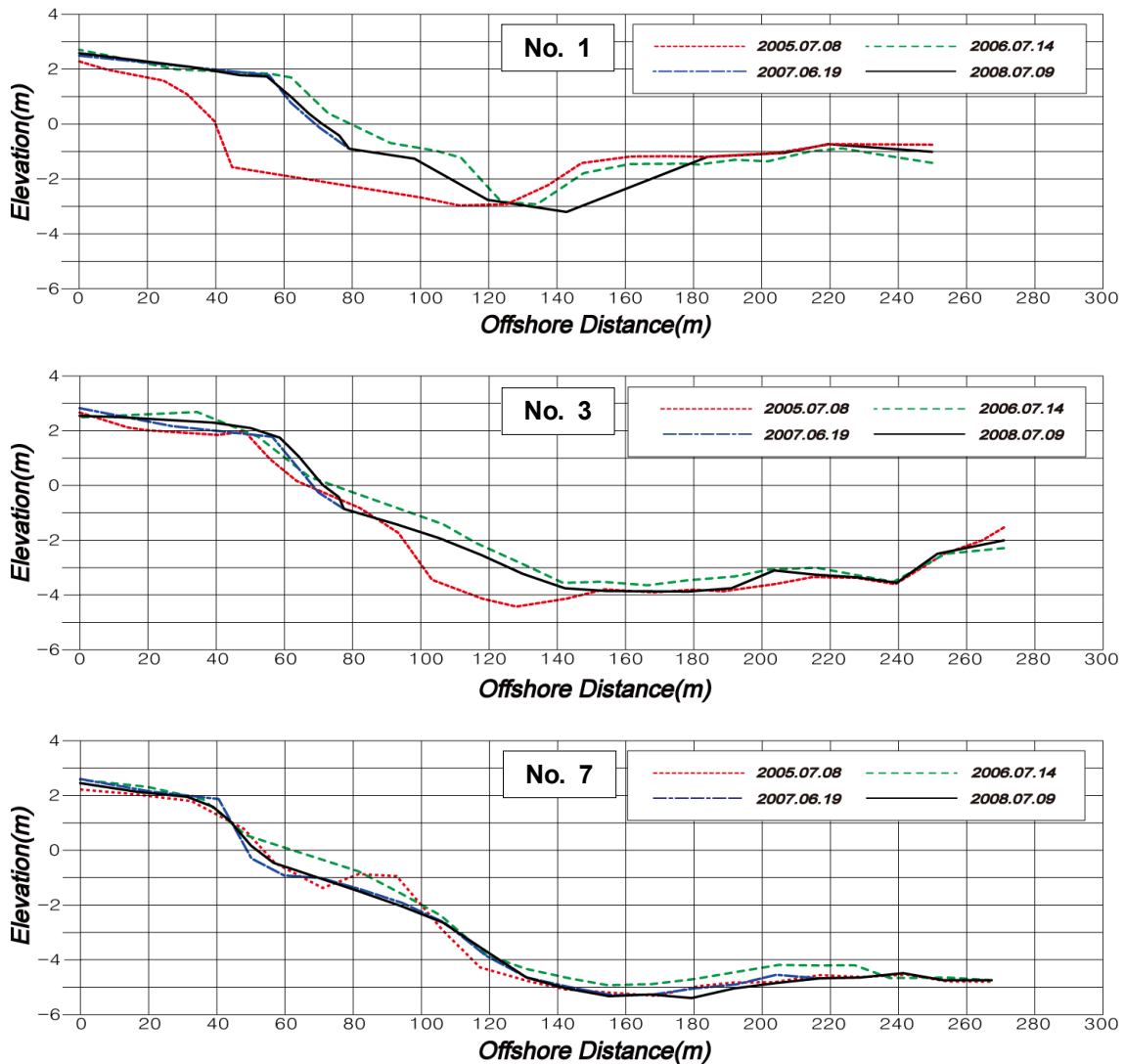


그림 3.4.16 송도해수욕장 잠제배후 주요단면 하계형상: 한국해양대학교(2009)에서 발췌

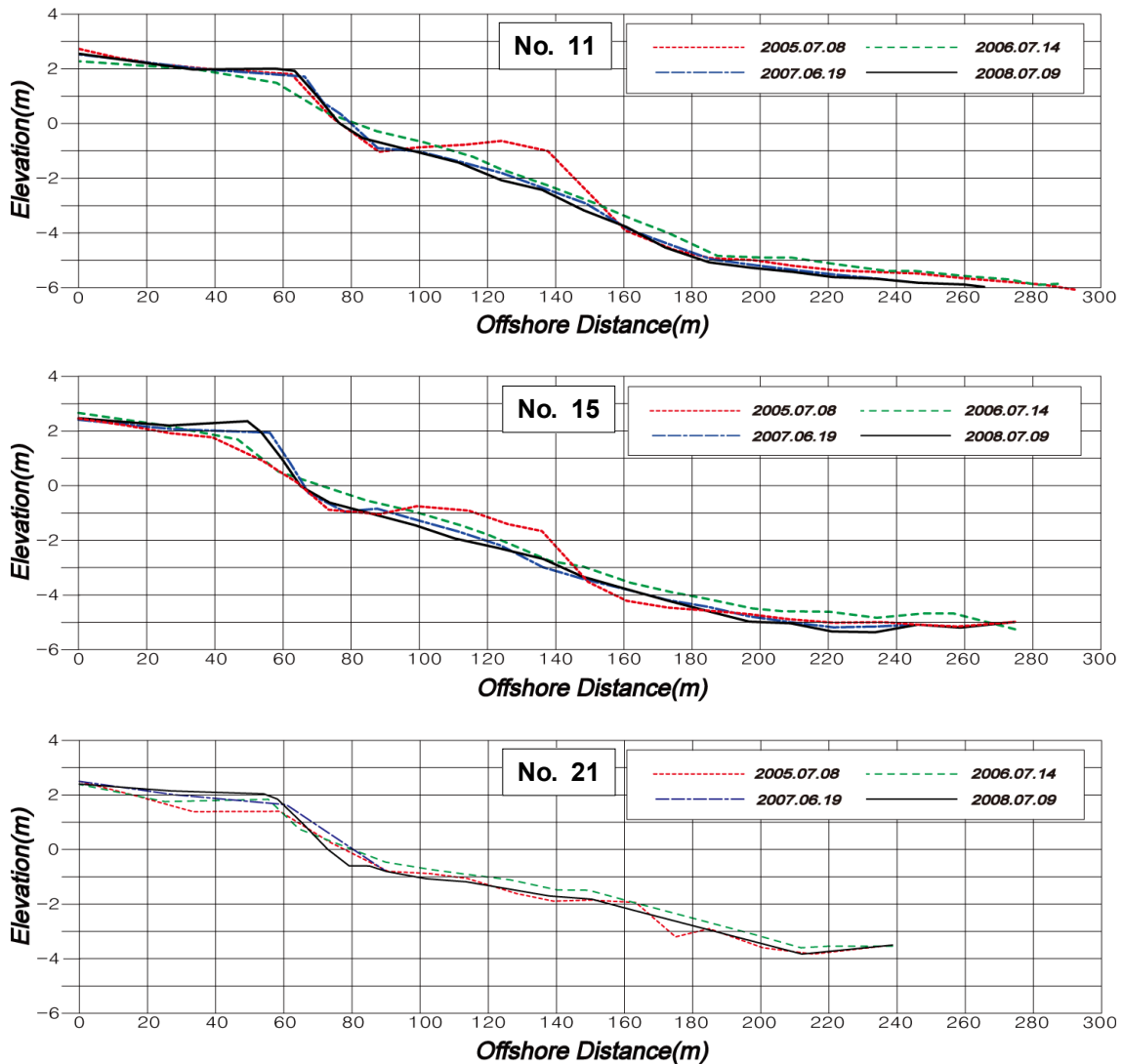


그림 3.4.16 (계속)

그림 3.4.17은 2005년 7월 8일부터 3년 후인 2008년 7월 9일까지의 수심변화로써 잠제배후의 침식은 서측잠제와 잠제 개구부 배후가 동측에 비해 심하고, 퇴적은 동측잠제 배후가 상대적으로 높음을 알 수 있다. 이러한 경향은 잠제 인접배후도 마찬가지여서 서측잠제와 개구부 및 동측잠제 서단까지 약 40 cm 이상 침식된 반면 동측잠제 중앙부 동측은 침식이 심하지 않으며 일부 퇴적되었다. 특징적인 현상은 파랑이 집중되는 거북섬 전면과 서측의 퇴적으로서 이는 잠제 배후에서 침식되어 이동된 모래에 의한 것으로 판단되며, 잠제배후의 침식·퇴적경향으로 미루어 잠제 개구부와 동측잠제~거북섬 개구부를 통해 유출된 것으로 추정할 수 있다.

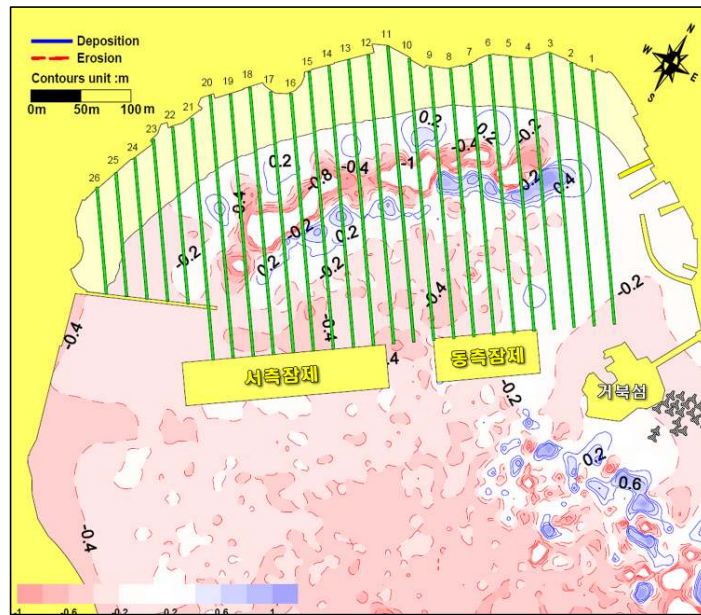


그림 3.4.17 양빈 후 3년('05년 7월 8일~'08년 07월 09일) 동안의 수심변화 (김 등 2008)

하계 단면형상이 양빈 2년 후 대체적으로 안정화된 것과는 달리 동계단면은 그림 3.4.18에서 알 수 있는 바와 같이 지속적으로 침식된다.

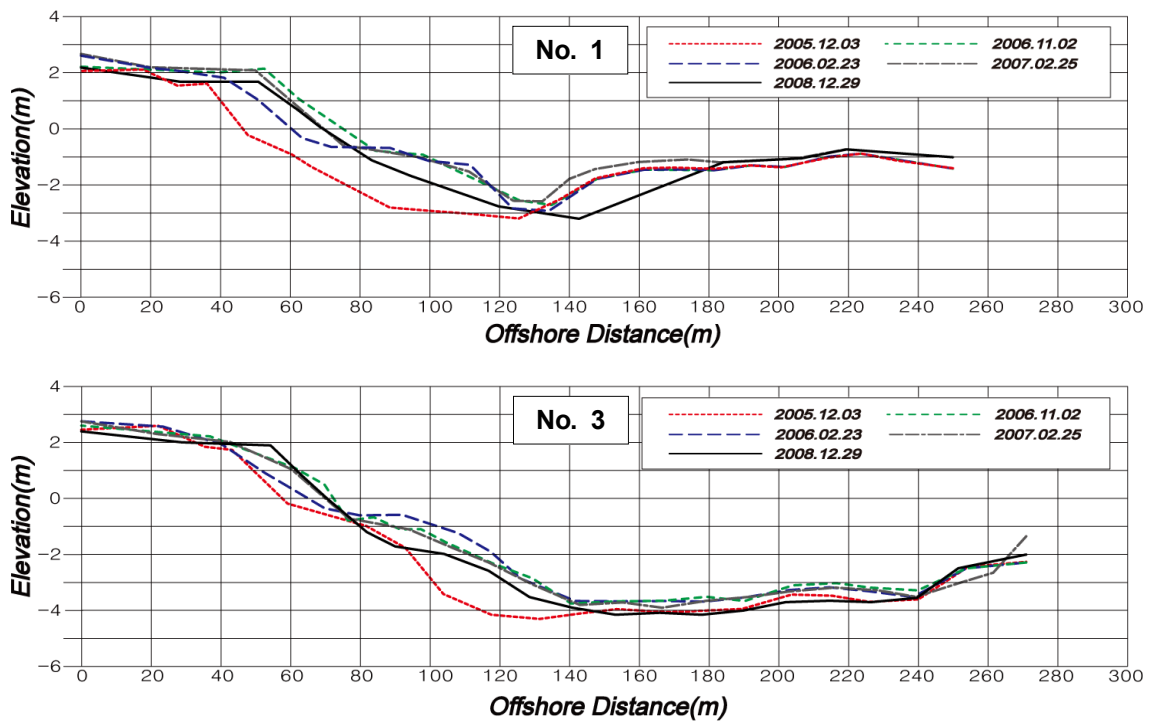


그림 3.4.18 송도해수욕장 잠제배후 주요단면 동계형상: 한국해양대학교(2009)에서 발췌

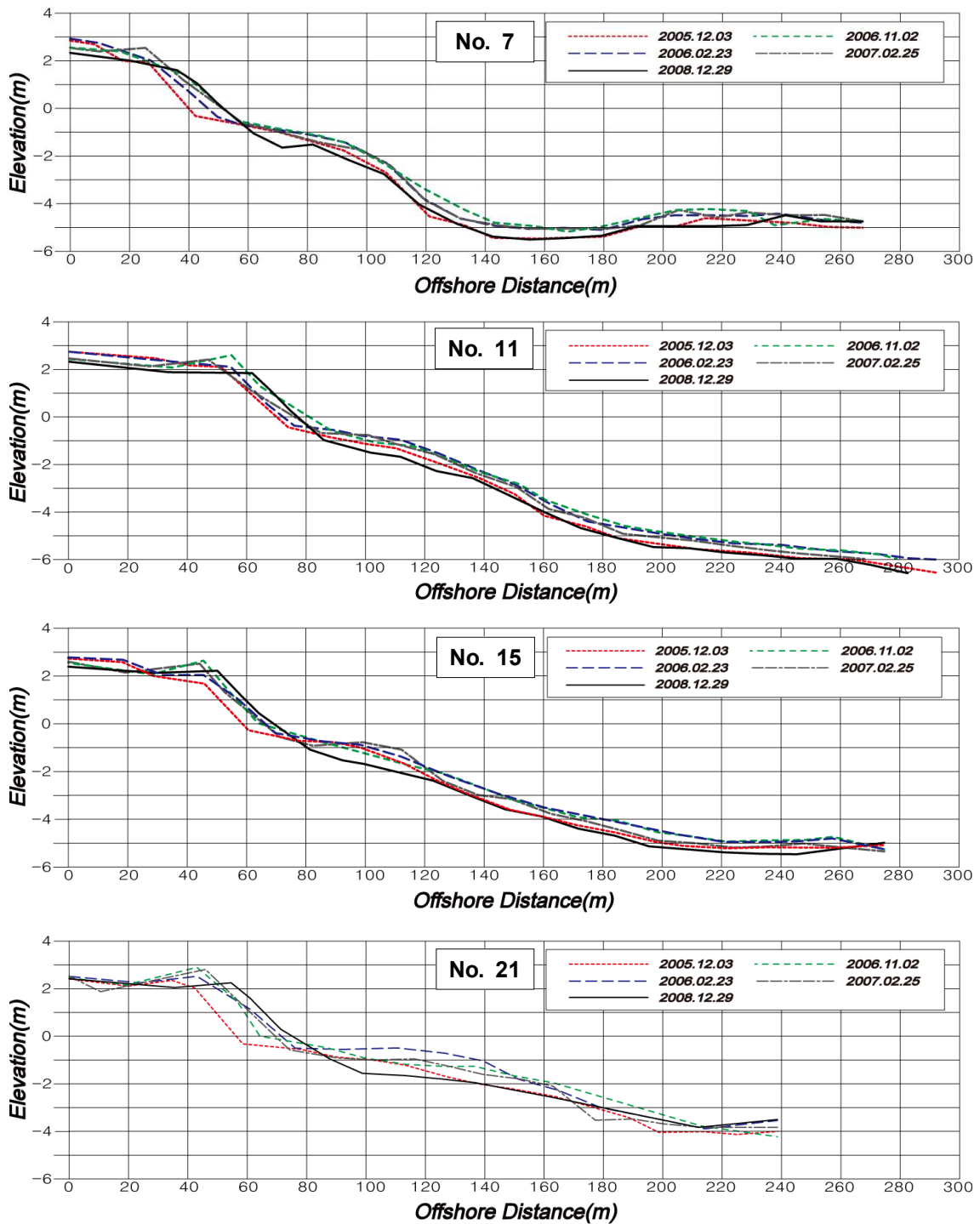


그림 3.4.18 (계속)

표 3.4.8은 수심측량 시기·구간별 모래체적이다. 1차 양빈체적으로부터 양빈직전 체적이 $301,767\text{ m}^3$ 임을 알 수 있으며, 이는 실시설계시 측량성과인 2001년 12월의 체적보다 $22,607\text{ m}^3$ 감소한 양이다. 계절의 차이 때문에 연간유실률을 논할 수는 없지만 단순계산으로는 연간 약 $6,500\text{ m}^3$ 의 모래가 정비사업 이전에 유실된 것이다.

2005년 7월과 2008년 12월의 체적 차이는 20,204 m³이다. 그러나 이는 2차와 3차 양빈체적 19,000 m³가 포함된 것이므로 결과적으로 이 시기 동안 잠제배후에서 유실된 모래체적은 39,204 m³이며, 이는 총 양빈체적 231,700 m³의 17%에 해당한다.

표 3.4.9는 주목할 만한 침식시기와 구간을 파악하기 위해 표 3.2.8로부터 산출한 기간·구간별 체적변화이다. '05년 7월~'08년 12월 동안 2,000 m³ 이상의 침식이 발생한 구간은 동측잠제 중앙부인 8번 단면에서 잠제 개구부인 12번 단면 사이이며, 지속적으로 침식되었으나 특히 동계절인 '06년 11월~2007년 2월 동안의 침식과 '08년 7월~12월 사이의 침식량이 컸다. 서측잠제 배후의 경우, 잠제 중앙구간에 해당하는 15~19번 단면배후가 상대적으로 침식량이 크며, 1,000 m³ 이상 침식되었다.

체적변화에서 특히 주목할 사항은 초기 5개월('05.07.08~12.03) 동안의 유실량이 25,000 m³로서 매우 높은 것이다. 이는 모든 구간에 거의 일정량의 모래를 투입하여 형성된 단면이 잠제에 의한 배후수역의 흐름장에 적응하는 과정에서 발생한 것으로 판단된다. 이러한 적응현상을 물리적으로 규명하는 것은 학문적인 가치가 높을 뿐 아니라 향후의 유사사업 양빈단면설계에 매우 중요한 정보이다. 이 시기 동안의 수심측량 회수를 늘리고 수리·표사현상 정밀관측을 수행하였다더라면 보다 가치 있는 정보를 얻을 수 있었을 것이다.

또 하나의 특이한 현상은 2005년 12월부터 2006년 2월까지의 침식이 가장 활발할 것으로 예상되는 동계이나 추가양빈 15,000 m³를 제외하더라도 6,500 m³가 퇴적되었다. 산술적으로는 초기 5개월 동안 유실된 모래가 모두 잠제 배후로 복원됨과 아울러 6,500 m³의 추가모래가 잠제 외측에서 내측으로 공급되어야 한다.

한편 용역수행팀은 모래체적변화를 Box 3.4.3과 같이 결론지었다. 그러나 2번째는 논리적으로 이해하기 어려운 결론이다. 표 3.4.8과 3.4.9는 19,000 m³를 추가적으로 투입했음에도 양빈 수심·해빈측량으로부터 산출한 유실량은 20,204 m³이므로 결론적으로 잠제 내측에서 유실된 총체적은 39,204 m³임을 의미하는 것이다.

Box 3.4.3 '송도연안정비사업 모니터링 조사용역'의 체적변화 결론 (한국해양대학교 2009)

- ① 총 양빈량(231,700 m³) 중 약 15%에 해당되는 39,204 m³가 침식, 유실된 것으로 나타나고 있다.
- ② 그러나, 양빈 후 최초 수심측량 결과(2005년 7월 8일)와 양빈량을 비교했을 때, 결과적으로 14,095 m³의 양빈사가 유실된 것으로 판단할 수 있으며, 이는 전체 양빈량의 약 6%의 모래가 유실되었다고 볼 수 있다.
- ③ 하지만, 잠제 내측에서는 해빈류의 변화에 따라 양빈사의 순환이 활발하게 발생하고 있으나, 양빈된 모래의 압밀효과 및 잠제 사이의 간극으로 이동된 양빈사의 양등을 고려한다면, 모니터링 기간 동안에 잠제 외해로 유실된 모래는 거의 없는 것으로 판단할 수 있다. 따라서 송도해수욕장에 설치된 잠제는 파랑제어 기능뿐 만 아니라, 양빈사의 외해 유출방지 효과 또한 탁월한 것으로 판단된다.

표 3.4.8 수심측량 시기·구간별 모래체적변화 : 한국해양대학교(2009) 보완

구 간	체 적 (m ³)														
	2001.12	2005.07.08	2005.12.03	2006.02.23	2006.07.14	2006.11.02	2007.02.25	2007.06.19	2008.07.09	2008.12.29					
NO.01 ~ 02	18,243	23,747	23,799	26,628	27,285	27,028	27,373	26,623	26,872	22,984					
NO.02 ~ 03	16,215	22,560	22,215	25,212	25,732	25,345	25,144	25,053	25,402	21,235					
NO.03 ~ 04	14,209	21,075	20,464	23,121	23,648	23,255	22,574	22,326	22,414	21,272					
NO.04 ~ 05	12,967	20,641	19,766	22,074	22,152	22,060	21,511	21,271	21,088	20,031					
NO.05 ~ 06	11,670	20,477	19,387	21,434	21,811	21,513	21,149	20,952	20,653	22,199					
NO.06 ~ 07	10,423	18,574	17,473	19,304	20,152	19,551	19,145	18,938	18,436	20,124					
NO.07 ~ 08	9,710	16,701	15,191	16,925	17,625	17,085	16,467	16,216	15,744	14,902					
NO.08 ~ 09	9,944	16,269	14,679	16,496	17,050	16,694	15,628	15,463	15,257	14,214					
NO.09 ~ 10	10,692	17,804	16,389	18,259	18,472	18,328	17,144	17,016	16,791	15,684					
NO.10 ~ 11	12,259	20,502	18,806	20,627	20,536	20,628	19,574	19,312	19,010	18,100					
NO.11 ~ 12	12,963	21,244	19,489	21,381	21,163	21,253	20,544	20,246	20,023	19,142					
NO.12 ~ 13	12,727	20,440	19,058	21,070	20,872	20,671	20,031	19,932	19,723	18,912					
NO.13 ~ 14	13,050	20,110	19,332	21,116	21,106	20,902	20,166	20,174	19,947	19,276					
NO.14 ~ 15	13,180	20,486	19,763	21,480	21,510	21,379	20,748	20,501	20,336	19,657					
NO.15 ~ 16	12,415	20,003	19,033	20,680	20,732	20,718	19,991	19,665	19,446	18,780					
NO.16 ~ 17	11,987	20,047	18,900	20,463	20,659	20,130	20,056	19,754	19,394	18,671					
NO.17 ~ 18	13,322	22,450	21,047	22,830	23,328	22,458	22,603	22,049	21,689	20,816					
NO.18 ~ 19	14,861	23,850	22,595	24,337	24,820	24,456	24,337	23,505	23,296	22,543					
NO.19 ~ 20	16,244	24,166	23,683	25,551	25,517	25,297	25,403	24,640	24,522	23,919					
NO.20 ~ 21	16,355	24,065	23,537	25,731	25,549	25,298	25,000	24,891	24,791	24,145					
NO.21 ~ 22	14,458	22,542	21,584	23,728	23,223	23,196	22,759	22,895	22,779	22,299					
NO.22 ~ 23	13,068	21,387	20,270	21,917	21,331	21,512	21,359	21,086	20,878	20,844					
NO.23 ~ 24	12,342	20,144	19,075	19,994	19,596	20,125	19,873	19,561	19,467	19,628					
NO.24 ~ 25	11,043	18,273	17,587	18,279	17,935	18,329	17,886	17,916	17,785	17,963					
NO.25 ~ 26	10,027	16,910	16,237	17,356	17,044	17,038	17,088	17,018	16,818	16,923					
합 계	324,374	514,467	489,359	535,993	538,848	534,249	523,553	517,003	512,561	494,263					
양	빈	212,700		15,000			4,000								
누적침식·퇴적(양빈제외)			-25,108	6,526	9,381	4,782	-9,914	-16,464	-20,906	-39,204					

표 3.4.9 수심측량 기간·구간별 모래체적변화: 한국해양대학교(2009) 자료로 산출

구 간	체 적 (m ³)											
	'01.12~'05.7	'05.7~'12	'05.12~'06.2	'06.2~7	'06.7~'11	'06.11~'07.2	'07.2~6	'07.6~'08.7	'08.7~'12	'05.7~'08.12		
NO.01 ~ 02	5,504	52	2,831	655	-257	345	-750	249	-3,888	-763		
NO.02 ~ 03	6,345	-345	2,999	518	-387	-201	-91	349	-4,167	-1,325		
NO.03 ~ 04	6,866	-611	2,657	527	-393	-681	-248	88	-1,142	197		
NO.04 ~ 05	7,674	-875	2,308	78	-92	-549	-240	-183	-1,057	-610		
NO.05 ~ 06	8,807	-1,090	2,047	377	-298	-364	-197	-299	1,546	1,722		
NO.06 ~ 07	8,151	-1,101	1,831	848	-601	-406	-207	-502	1,688	1,550		
NO.07 ~ 08	6,991	-1,510	1,734	700	-540	-618	-251	-472	-842	-1,799		
NO.08 ~ 09	6,325	-1,590	1,817	554	-356	-1,066	-165	-206	-1,043	-2,055		
NO.09 ~ 10	7,112	-1,415	1,870	213	-144	-1,184	-128	-225	-1,107	-2,120		
NO.10 ~ 11	8,243	-1,696	1,820	-90	92	-1,054	-262	-302	-910	-2,402		
NO.11 ~ 12	8,281	-1,755	1,891	-217	90	-709	-298	-223	-881	-2,102		
NO.12 ~ 13	7,713	-1,382	2,011	-197	-201	-640	-99	-209	-811	-1,528		
NO.13 ~ 14	7,060	-778	1,784	-10	-204	-736	8	-227	-671	-834		
NO.14 ~ 15	7,306	-723	1,717	30	-131	-631	-247	-165	-679	-829		
NO.15 ~ 16	7,588	-970	1,647	52	-14	-727	-326	-219	-666	-1,223		
NO.16 ~ 17	8,060	-1,147	1,563	196	-529	-74	-302	-360	-723	-1,376		
NO.17 ~ 18	9,128	-1,403	1,783	498	-870	145	-554	-360	-873	-1,634		
NO.18 ~ 19	8,989	-1,255	1,742	483	-364	-119	-832	-209	-753	-1,307		
NO.19 ~ 20	7,922	-483	1,868	-34	-220	106	-763	-118	-603	-248		
NO.20 ~ 21	7,710	-528	2,194	-182	-251	-298	-109	-100	-646	80		
NO.21 ~ 22	8,084	-958	2,145	-506	-27	-437	136	-116	-480	-243		
NO.22 ~ 23	8,319	-1,117	1,646	-585	181	-153	-273	-208	-34	-543		
NO.23 ~ 24	7,802	-1,069	919	-398	529	-252	-312	-94	161	-516		
NO.24 ~ 25	7,230	-686	692	-344	394	-443	30	-131	178	-310		
NO.25 ~ 26	6,883	-673	1,118	-311	-6	50	-70	-200	105	13		
합 계	190,093	-25,108	46,634	2,855	-4,599	-10,696	-6,550	-4,442	-18,298	-20,204		
양 빈	212,700		15,000			4,000				19,000		
누적침식·퇴적(양빈제외)		-25,108	6,526	9,381	4,782	-9,914	-16,464	-20,906	-39,204	-39,204		

결론 ②의 14,095m³은 3년 6개월 동안의 체적감소량 39,203m³에서 2005년 7월과 12월 사이의 감소량 25,108m³을 제외한 양이다. 이는 양빈모래 유실량 산정의 기준수심을 양빈 후 약 6개월이 경과한 2005년 12월 3일로 설정했다는 것, 즉 유실률이 가장 컸던 초기유실기간을 전체 유실기간에서 제외했다는 것을 의미한다.

2) 유지양빈량 산정의 문제점

송도는 제2차 연안정비계획에서 70,000m³의 유지양빈을 신청하였다. 전술한 바와 같이 양빈양이 과소하게 설계되었으며, 설계체적의 64%만 투입하였으며, 3년 6개월 동안 투입모래 17%가 유실된 점을 감안하여 부산시 서구의 신청이 승인되었다. 그러나 '송도 모니터링'의 유지양빈체적 산정방법은 과학적 근거가 전혀 없음을 유념하여야 한다.

송도 사례가 중요한 이유는 바로 연안정비사업으로 수행한 양빈사업의 유지양빈을 연안정비사업으로 지원하는 첫 번째 사례이기 때문이다. 유지양빈의 필요성을 인정하더라도 그 규모의 산정은 과학적이어야 할 것이다. 만일 산정근거가 비과학적이고 타당성이 희박하다면 이는 국내 관련기술 발전을 지체할 뿐 아니라 선례를 남기므로 송도의 유지양빈량 추정근거를 면밀하게 검토할 필요가 있다.

Box 3.4.4는 '송도 모니터링 용역' 최종보고서 277쪽 내용의 일부를 옮긴 것으로서 송도해수욕장 추가양빈 당위성을 주장하기 위해 인용한 근거자료와 계산내용이다, 그러나 자료인용이 타당하지 않다. 먼저, 인용한 서적은 미국 National Research Council의 Beach Nourishment and Protection 위원회가 집필한 것이지만 규정은 아니다.

특히 Box 3.4.5에 제시한 바와 같이 377 m³/m이라는 최소양빈밀도는 사우스캐롤라이나(이하 SC)의 특별한 경우, 즉 '침식기준선(erosion baseline)'을 바다 쪽으로 이동시키기 위함이 목적인 양빈이 만족시켜야 하는 여러 조건 중의 하나로서 SC 법률 제48-39-290조의 (E)항에 포함되어 있다(Box 3.4.6). 이는 SC가 연안건설후퇴선으로 개발을 규제함에 따라 토지소유자들이 양빈을 통하여 규제 기준선을 바다 쪽으로 확장시키고자 할 때 비계획적이고 안정적이지 않은 양빈을 방지하기 위해 도입된 조항이다.

Dean and Campbell(1999)이 플로리다주의 최소양빈밀도를 200 m³/m로 제안한 바 있지만 전술하였듯이 특정해안의 최적양빈밀도는 수리환경 등 다양한 인자의 영향을 받으므로 이를 고려하지 않고 특정국가의 양빈최소밀도를 규정하는 것은 있을 수 없음을 유념하여야 한다.

Box 3.4.4 '송도모니터링 용역'의 추가양빈 당위성 주장 근거 (한국해양대학교 2009)

○ 미국의 NAP(National Academies Press)에서 출판된 Beach Nourishment and Protection manual에서 양빈에 대한 최소 채움 밀도 (minimum fill density)를 제안하고 있으며 이 결과를 송도해수욕장의 양빈량과 비교한 결과를 아래에 나타내었다.

- 규정 : Minimum Fill Density = 115 m³/foot = 약 377 m³/m
- 송도 해수욕장 백사장 길이 : 약 800 m
- 규정 채움 밀도를 고려한 송도 백사장 최소 양빈량 : 301,847 m³
377 m³/m × 800 m = 301,847 m³
- 현재 송도 해수욕장 총 양빈량 = 231,700 m³
- 2008년 12월 해안선 및 수심측량을 기준으로 한 추가 동적 양빈량 : 70,147 m³

Box 3.4.5 '송도모니터링 용역'이 근거자료로 인용한 NRC(1995) 67쪽 일부의 원문과 해석

In contrast to calls for more stringent management of coastal floodplains to reduce erosion and storm damage risk, other public and political calls have been made to relax or eliminate regulatory and policy standards when storm hazards have been reduced through beach nourishment. There have also been calls to reduce other governmental restrictions or requirements based on erosion conditions that have been mitigated. Florida, South Carolina, New Jersey, and Michigan have adopted provisions to recognize beach nourishment in the calculation of erosion rates and establishment of baselines. For example, under the 1990 Beachfront Management Act of South Carolina, the **erosion baseline** is moved in a seaward direction based on the nourishment design after 3 years of satisfactory project performance. The design must meet comprehensive and prescriptive criteria addressing postfill erosion rate, profile equilibration, **minimum fill density (115 m³/foot alongshore)**, minimum length (9km), minimum design level (a storm with a 10-year recurrence interval), and design life. Additional requirements include monitoring, maintenance, and funding commitments.

침식과 폭풍해일 피해 위험도 저감을 위한 연안저지대의 보다 엄격한 관리와는 반대로 양빈을 통해 폭풍해일 위험이 저감되었을 때는 규제와 정책기준의 완화 또는 폐지를 주장하는 공공 및 정치적 요구가 있었다. 또한 침식상황이 개선되었을 경우에도 주정부 및 기초지자체의 규제를 완화하라는 요구가 있었다. 예를 들어 사우스캐롤라이나는 1990년의 해변관리법(Beachfront Management Act)에 근거하여 3년 동안의 양빈성과가 인정되면 **침식기준선**을 바다 쪽으로 이동시킨다. 이를 위한 양빈은 양빈 후 침식률에 대한 포괄적인 규정과 평형단면, 연안방향 **최소양빈밀도(376 m³/m)**, 최소양빈거리(9km), 최소설계표고(10년 재현주기 폭풍해일), 그리고 설계연한을 만족시켜야만 한다. 또한 모니터링, 유지관리 및 재원확보책임이 추가 요건이다.

Box 3.4.6 사우스캐롤라이나 「Beachfront Management Act」 290조 E항
(150 yd³/ft = 114.7 m³/ft = 376.2 m³/m, 5.5 miles = 8.85 km)

(E) The provisions of this section and Section 48-39-280 do not apply to an area in which the erosion of the beaches located in its jurisdiction is attributed to a federally authorized navigation project as documented by the findings of a Section 111 Study conducted under the authority of the federal Rivers and Harbors Act of 1968, as amended by the federal Water Resources Development Act of 1986, and approved by the United States Army Corps of Engineers. Nothing contained in this subsection makes this area ineligible for beach renourishment funds. The baseline determined by the local governing body and the department is the line of erosion control devices and structures and the department retains its jurisdiction seaward of the baseline. In addition, upon completion of a department approved beach renourishment project, including the completion of a sand transfer system if necessary for long-term stabilization, an area under a Section 111 Study becomes subject to all the provisions of this chapter. For the

<http://www.scstatehouse.gov/code/t48c039.htm> (24 / 28)

S.C. Code of Laws Title 48 Chapter 39 Coastal Tidelands And Wetlands - www.scstatehouse.gov/LPITS

purposes of this section, a beach nourishment project stabilizing the beach exists if a successful restoration project is completed consisting of at least one hundred fifty cubic yards a foot over a length of five and one-half miles, with a project design capable of withstanding a one-in-ten-year storm, as determined by department, and renourishment is conducted annually at a rate, agreed upon by the department and local governing body, equivalent to that which would occur naturally if the navigation project causing the erosion did not exist. If the two parties cannot agree, then the department must obtain the opinion of an independent third party. Any habitable structure located in an area in which the erosion of the beaches located in its jurisdiction is attributed to a federally authorized navigation project as documented by the findings of a Section 111 Study, which was in existence on September 21, 1989, and was over forty years old on that date and is designated by the local governing body as an historical landmark may be rebuilt seaward of the baseline if it is rebuilt to the exact specifications, dimensions, and exterior appearance of the structure as it existed on that date.

한국해양대학교(2009)는 2008년 12월 해안선 및 수심측량을 기준으로 한 추가 동적양빈양을 70,147 m³으로 산정하였다. 그러나 이 양은 단순히 377 m³/m를 적용한 301,847 m³에서 시행분 231,700 m³를 뺀 양이며, 2008년 12월 측량기준이 어떠한 의미를 갖는지 설명이 없다. 또한 이를 동적양빈양이라 했으나 잠제를 설치한 송도해수욕장의 경우는 목적상 정적양빈에 가까우며, 동적양빈이란 모래유실 방지를 위한 일체의 구조물을 설치하지 않는 경우이다.

무엇보다 21회의 해빈측량과 9회의 수심측량을 비롯한 다양한 현장조사와 아울러 각종의 수치모형실험을 수행한 4.5년의 모니터링에서 유지양빈양과 관련하여 도출한 최종결론이 근거가 타당하지 않은 국외자료 인용이라는 것은 우리나라 해안침식관리의 현주소를 대변하는 것으로서 시급히 개선되어야 할 사항이다.

다행히 송도의 경우는 측량자료가 충분하고 파랑관측을 장기간 실시하였으므로 고파사상동안의 수리·표사현상 정밀관측을 추가하고 모니터링 용역에서 획득한 자료를 보다 과학적으로 분석함과 아울러 해안선변화까지 고려할 수 있는 최근의 영역모형(설계 가이드북 참조)을 적용하면 과학적으로 보다 가치 있고 침식관리에 유용한 정보를 생산할 수 있을 것으로 판단된다.

라. 2010년 해빈·수심측량

부산시 서구(2010)는 송도일원의 2단계 연안정비 및 거북섬 주변 테마공간조성 타당성을 조사하고 기본계획을 수립하였으며, 이를 통해 2010년 1월 대상해역의 해빈·수심측량이 수행되었다.

그림 3.4.19는 그림 3.4.16과 같은 단면의 2008년 7월과 12월, 그리고 2010년 1월의 형상비교이며, 표 3.4.10과 3.4.11은 각각 표 3.4.7과 3.4.8을 2010년 1월까지 확장한 것이다.

그림과 표로부터 알 수 있는 바와 같이 2008년 12월부터 2010년 1월까지 약 2년 동안 동측 구간을 제외한 전체 구간이 침식되었으며, 2005년 7월~2010년 1월까지의 침식체적이 약 47,720 m³로 증가하였다.

측량결과에서 주목할 사항은 동단 2개 구간에서의 2008년 7~12월 사이의 침식과 2008년 12월 2010년 1월 사이의 퇴적이 지나치게 큰 것이며, 인위적인 교란여부를 파악할 필요가 있다. 2008년 12월의 급격한 감소가 문제일 수 있어 이를 제외하더라도 2005~2010년 동안의 전체 침식량은 변하지 않는다.

이상의 결과로부터 2005년 7월~2010년 1월까지 전체 양빈체적 231,700 m³의 약 21%가 침식되었다.

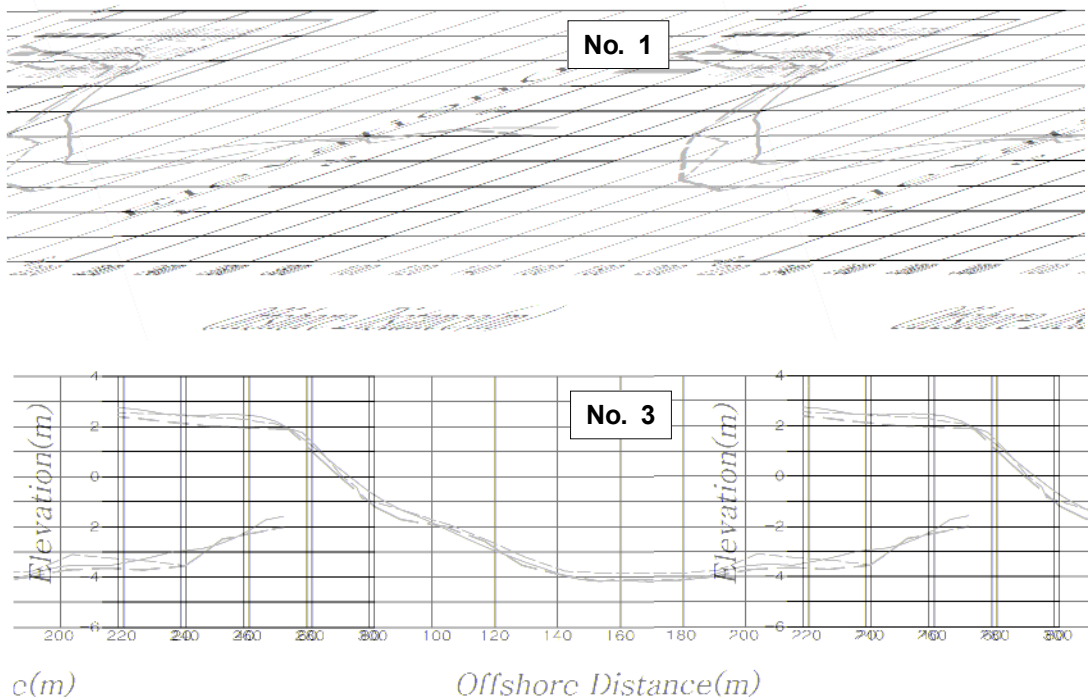
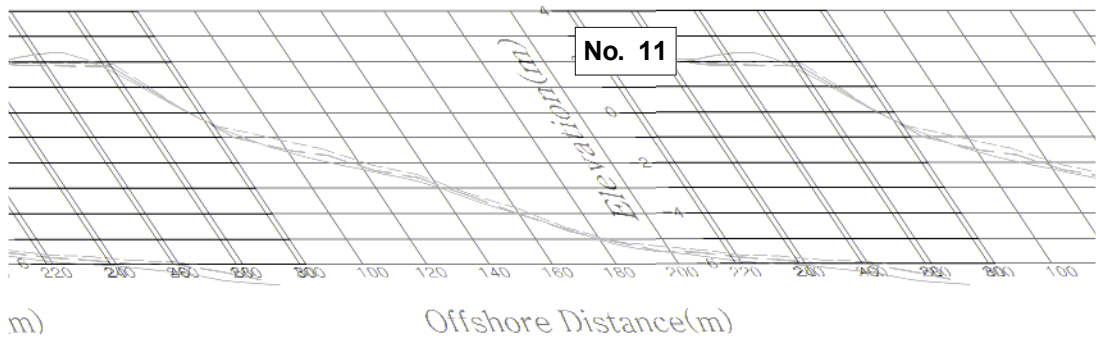
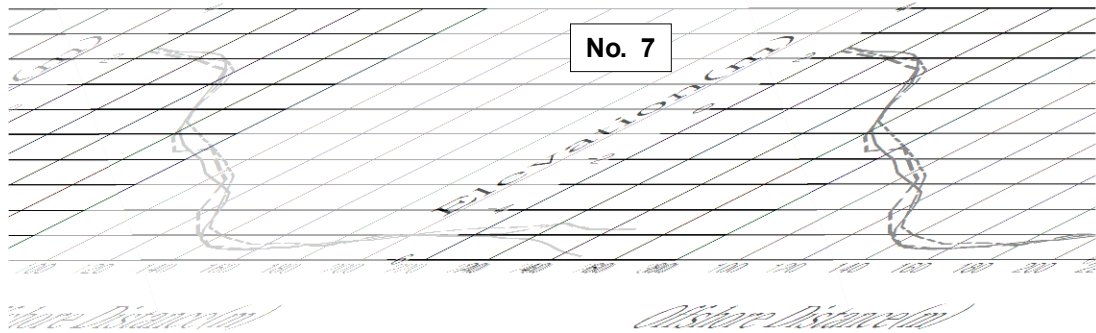


그림 3.4.19 송도해수욕장 잠제배후 주요단면 최근 변화: 한국해양대학교(2009) 및 부산시 서구(2010) 자료로 구성



m)

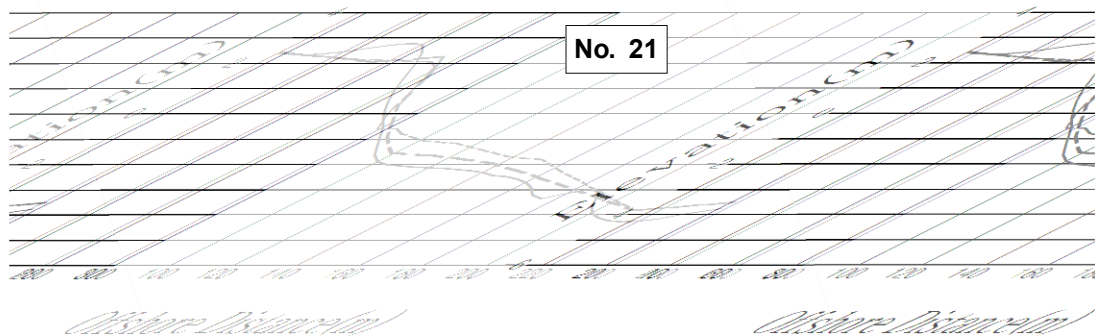
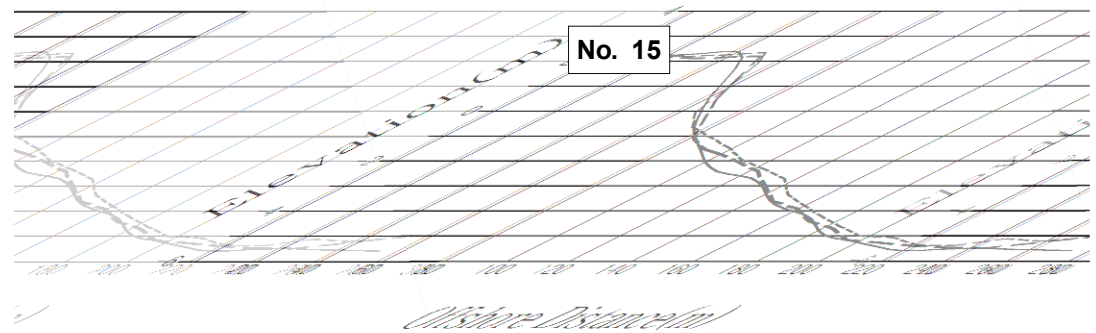


그림 3.4.19 (계속)

표 3.4.10 수심측량 시기·구간별 모래체적변화 : 한국해양대학교(2009) 및 부산시 서구(2010) 자료 보완·구성

구 간	체 적 (m ³)														
	2001.12	2005.07.08	2005.12.03	2006.02.23	2006.07.14	2006.11.02	2007.02.25	2007.06.19	2008.07.09	2008.12.29	2010.01.28				
NO.01 ~ 02	18,243	23,747	23,799	26,628	27,285	27,028	27,373	26,623	26,872	22,984	28,081				
NO.02 ~ 03	16,215	22,560	22,215	25,212	25,732	25,345	25,144	25,053	25,402	21,235	25,573				
NO.03 ~ 04	14,209	21,075	20,464	23,121	23,648	23,255	22,574	22,326	22,414	21,272	22,670				
NO.04 ~ 05	12,967	20,641	19,766	22,074	22,152	22,060	21,511	21,271	21,088	20,031	19,775				
NO.05 ~ 06	11,670	20,477	19,387	21,434	21,811	21,513	21,149	20,952	20,653	22,199	18,642				
NO.06 ~ 07	10,423	18,574	17,473	19,304	20,152	19,551	19,145	18,938	18,436	20,124	17,494				
NO.07 ~ 08	9,710	16,701	15,191	16,925	17,625	17,085	16,467	16,216	15,744	14,902	15,021				
NO.08 ~ 09	9,944	16,269	14,679	16,496	17,050	16,694	15,628	15,463	15,257	14,214	13,713				
NO.09 ~ 10	10,692	17,804	16,389	18,259	18,472	18,328	17,144	17,016	16,791	15,684	14,980				
NO.10 ~ 11	12,259	20,502	18,806	20,627	20,536	20,628	19,574	19,312	19,010	18,100	17,707				
NO.11 ~ 12	12,963	21,244	19,489	21,381	21,163	21,253	20,544	20,246	20,023	19,142	18,468				
NO.12 ~ 13	12,727	20,440	19,058	21,070	20,872	20,671	20,031	19,932	19,723	18,912	18,206				
NO.13 ~ 14	13,050	20,110	19,332	21,116	21,106	20,902	20,166	20,174	19,947	19,276	18,471				
NO.14 ~ 15	13,180	20,486	19,763	21,480	21,510	21,379	20,748	20,501	20,336	19,657	19,019				
NO.15 ~ 16	12,415	20,003	19,033	20,680	20,732	20,718	19,991	19,665	19,446	18,780	18,148				
NO.16 ~ 17	11,987	20,047	18,900	20,463	20,659	20,130	20,056	19,754	19,394	18,671	17,874				
NO.17 ~ 18	13,322	22,450	21,047	22,830	23,328	22,458	22,603	22,049	21,689	20,816	20,271				
NO.18 ~ 19	14,861	23,850	22,595	24,337	24,820	24,456	24,337	23,505	23,296	22,543	21,954				
NO.19 ~ 20	16,244	24,166	23,683	25,551	25,517	25,297	25,403	24,640	24,522	23,919	22,912				
NO.20 ~ 21	16,355	24,065	23,537	25,731	25,549	25,298	25,000	24,891	24,791	24,145	23,073				
NO.21 ~ 22	14,458	22,542	21,584	23,728	23,223	23,196	22,759	22,895	22,779	22,299	21,331				
NO.22 ~ 23	13,068	21,387	20,270	21,917	21,331	21,512	21,359	21,086	20,878	20,844	19,869				
NO.23 ~ 24	12,342	20,144	19,075	19,994	19,596	20,125	19,873	19,561	19,467	19,628	18,421				
NO.24 ~ 25	11,043	18,273	17,587	18,279	17,935	18,329	17,886	17,916	17,785	17,963	17,323				
NO.25 ~ 26	10,027	16,910	16,237	17,356	17,044	17,038	17,088	17,018	16,818	16,923	16,752				
합 계	324,374	514,467	489,359	535,993	538,848	534,249	523,553	517,003	512,561	494,263	485,747				
양	빈	212,700		15,000			4,000								
누적침식·퇴적(양빈제외)			-25,108	6,526	9,381	4,782	-9,914	-16,464	-20,906	-39,204	-47,720				

표 3.4.11 수심측량 기간·구간별 모래체적변화: 한국해양대학교(2009) 및 부산시 서구(2010) 자료로 산출

구 간	체 적 (m ³)											
	'01.11~'05.7	'05.7~'12	'05.12~'06.2	'06.2~'7	'06.7~'11	'06.11~'07.2	'07.2~'6	'07.6~'08.7	'08.7~'12	'08.12~'10.1	'05.7~'10.1	
NO.01 ~ 02	5,504	52	2,831	655	-257	345	-750	249	-3,888	5,097	4,334	
NO.02 ~ 03	6,345	-345	2,999	518	-387	-201	-91	349	-4,167	4,338	3,013	
NO.03 ~ 04	6,866	-611	2,657	527	-393	-681	-248	88	-1,142	1,398	1,595	
NO.04 ~ 05	7,674	-875	2,308	78	-92	-549	-240	-183	-1,057	-256	-866	
NO.05 ~ 06	8,807	-1,090	2,047	377	-298	-364	-197	-299	1,546	-3,557	-1,835	
NO.06 ~ 07	8,151	-1,101	1,831	848	-601	-406	-207	-502	1,688	-2,630	-1,080	
NO.07 ~ 08	6,991	-1,510	1,734	700	-540	-618	-251	-472	-842	119	-1,680	
NO.08 ~ 09	6,325	-1,590	1,817	554	-356	-1,066	-165	-206	-1,043	-501	-2,556	
NO.09 ~ 10	7,112	-1,415	1,870	213	-144	-1,184	-128	-225	-1,107	-704	-2,824	
NO.10 ~ 11	8,243	-1,696	1,820	-90	92	-1,054	-262	-302	-910	-393	-2,795	
NO.11 ~ 12	8,281	-1,755	1,891	-217	90	-709	-298	-223	-881	-674	-2,776	
NO.12 ~ 13	7,713	-1,382	2,011	-197	-201	-640	-99	-209	-811	-706	-2,234	
NO.13 ~ 14	7,060	-778	1,784	-10	-204	-736	8	-227	-671	-805	-1,639	
NO.14 ~ 15	7,306	-723	1,717	30	-131	-631	-247	-165	-679	-638	-1,467	
NO.15 ~ 16	7,588	-970	1,647	52	-14	-727	-326	-219	-666	-632	-1,855	
NO.16 ~ 17	8,060	-1,147	1,563	196	-529	-74	-302	-360	-723	-797	-2,173	
NO.17 ~ 18	9,128	-1,403	1,783	498	-870	145	-554	-360	-873	-545	-2,179	
NO.18 ~ 19	8,989	-1,255	1,742	483	-364	-119	-832	-209	-753	-589	-1,896	
NO.19 ~ 20	7,922	-483	1,868	-34	-220	106	-763	-118	-603	-1,007	-1,255	
NO.20 ~ 21	7,710	-528	2,194	-182	-251	-298	-109	-100	-646	-1,072	-992	
NO.21 ~ 22	8,084	-958	2,145	-506	-27	-437	136	-116	-480	-968	-1,211	
NO.22 ~ 23	8,319	-1,117	1,646	-585	181	-153	-273	-208	-34	-975	-1,518	
NO.23 ~ 24	7,802	-1,069	919	-398	529	-252	-312	-94	161	-1,207	-1,723	
NO.24 ~ 25	7,230	-686	692	-344	394	-443	30	-131	178	-640	-950	
NO.25 ~ 26	6,883	-673	1,118	-311	-6	50	-70	-200	105	-171	-158	
합 계	190,093	-25,108	46,634	2,855	-4,599	-10,696	-6,550	-4,442	-18,298	-8,516	-28,720	
양 빈	212,700		15,000			4,000					19,000	
누적침식·퇴적(양빈제외)		-25,108	6,526	9,381	4,782	-9,914	-16,464	-20,906	-39,204	-47,720	-47,720	

마. 수리·표사현상 시험정밀관측

송도해수욕장 표사거동과 잠제로 인해 형성된 3개 저층 개구부를 통한 모래 유실정도를 파악하기 위한 수리·표사현상 정밀관측을 시험적으로 실시하였다.

그림 3.4.20과 표 3.4.12에 나타난 바와 같이 잠제와 거북섬 및 서측 방사제로 형성되는 3개 개구부에 미국 MAVS 사의 파향·파고 및 초음파 유속계 MAVS-3와 D&A 사의 광후산란 탁도계 OBS를 설치하여 파고·파향, 저면상 50 cm 높이에서의 유속과 탁도를 관측하였으며, OBS 출력전압을 실제농도로 환산하는 검보정 자료 확보를 위하여 중앙개구부 M2에는 레이저를 이용하여 부유사 입경분포와 체적농도를 관측하는 미국 Sequoia 사의 LISST를 함께 설치하였다. 또한 잠제 내외측 정점 A1과 A2에는 파고·파향 및 유속·유향 연직분포 관측을 목적으로 RDI사의 ADCP를 설치하였다.

각 기기의 관측간격(sampling interval), 관측지속시간(burst interval) 및 관측주파수(sampling frequency)는 표 3.4.13과 같다.

그림 3.4.21은 정점 A1과 A2에서 관측된 파랑특성 비교이다. 잠제 외측 A1에서 관측된 최대 유의파고는 3월 31일 16:30의 0.94 m이었으며, A2에서는 동일시각의 0.75 m이었다. 관측기간이 짧고 파고가 크지 않아 잠제의 파고감쇠율은 논할 수 없다. 특징적인 현상은 파향으로서 A1에서 0.5 m 이상인 파랑은 거의 SEm방향에서 진입하였으나 A2에서는 E 방향이 적지 않게 관측되었으며, 이는 중앙개구부를 통해 진입한 파랑의 회절 때문인 것으로 판단된다.



그림 3.4.20 송도 수리·표사현상 시험정밀관측 정점 (2009.5.19, Google Earth)

표 3.4.12 송도 시험정밀관측 위치·기간 및 관측기기

정점	위치		관측기간	관측장비
	위경도	TM(X, Y)		
A1	35° 04' 23.5"	174906.9 201854.9	2010/03/31 ~ 04/03 (대조기 3일간)	ADCP 1200kHz
A2	35° 04' 28.9"	175073.2 201680.0		
M1	35° 04' 31.3"	175147.3 201913.1		MAVS-3 / OBS
M2	35° 04' 28.7"	175067.1 201778.8		MAVS-3 / OBS LISST-100
M3	35° 04' 25.2"	174959.2 201576.2		MAVS-3 / OBS

표 3.4.13 송도 시험정밀관측 기기별 관측방법

관측장비	저면상 관측위치 (cm)	관측간격 (분)	관측 지속시간 (초)	관측주파수 (Hz)	관측센서
ADCP	Profiler	30	512	2	초음파 1.2MHz
LISST-100	50	30	100	1	Laser
MAVS-3	50	30	128	8	초음파 6.0MHz
OBS	50	30	128	8	Infrared

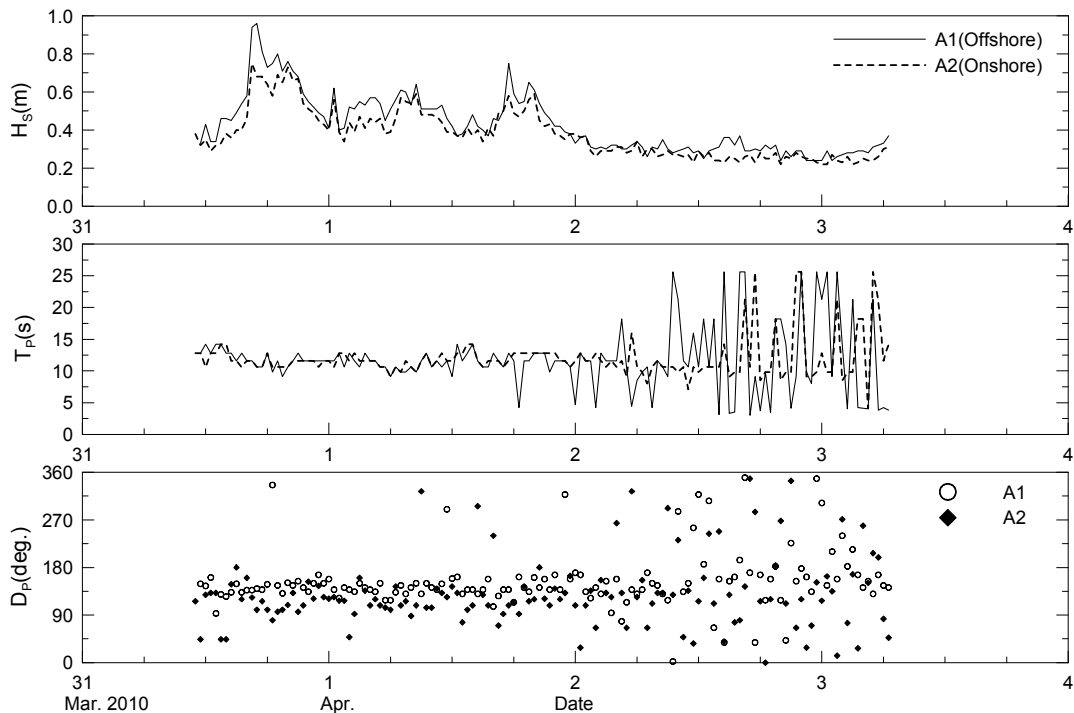


그림 3.4.21 정점 A1, A2에서의 파랑정보 시계열

그림 3.4.22와 3.4.23은 정점 A1, A2에서의 조위와 유속·유향 연직분포 시계열, 그림 3.4.24는 두 정점 저면상 1.1m에서의 유속·유향 산포도이다. A1의 경우 소조차 해안임에 따라 대조기임에도 유속은 크지 않으나 창낙조류의 특성은 뚜렷하다. 창조유속이 낙조유속보다 큼을 알 수 있다. 전반적으로 창조류는 북동향, 낙조류는 남서~북서향이나 표층의 경우에는 북동향 낙조류가 발생하기도 한다.

잠제 내측 정점 A2의 경우 대조기를 벗어나면 표층 이하 유속이 무시할 수 있을 정도로 작아진다. 특징적인 현상은 유속은 크지 않지만 동향류가 탁월하다는 것으로서 이는 서측잠제 배후 퇴적물 순이동방향이 동향일 가능성이 있음을 암시한다.

그림 3.4.25는 LISST를 이용한 광후산란 탁도계 OBS 출력전압의 농도 검보정 결과로서, 세로축은 LISST가 측정한 체적농도를 무게농도로 환산한 것이다.

그림 3.4.26은 동측 개구부 M1에서의 수리·표사특성 시계열이다. 관측된 파고가 0.87m에 불과하였지만 농도가 파고에 크게 지배됨을 알 수 있다. 창조시 유향은 NE, 낙조류 유향은 S로서 잠제 시공전 부표추적결과인 그림 3.4.6과는 반대이다. 부표는 표층흐름을 대표하고 M1 관측치는 저층흐름이므로 직접적인 비교는 불가능하지만 잠제와 주변 지형변화에 의해 흐름이 바뀌었을 가능성을 배제할 수 없다.

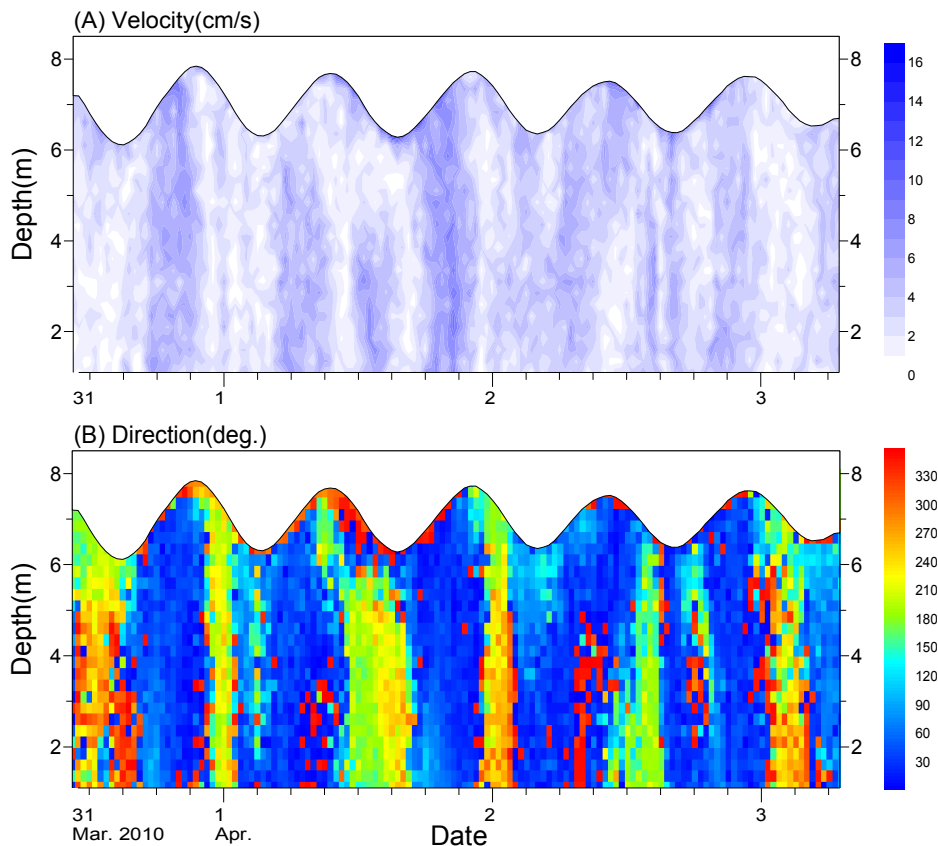


그림 3.4.22 정점 A1에서의 조위, 유속·유향 연직분포 시계열

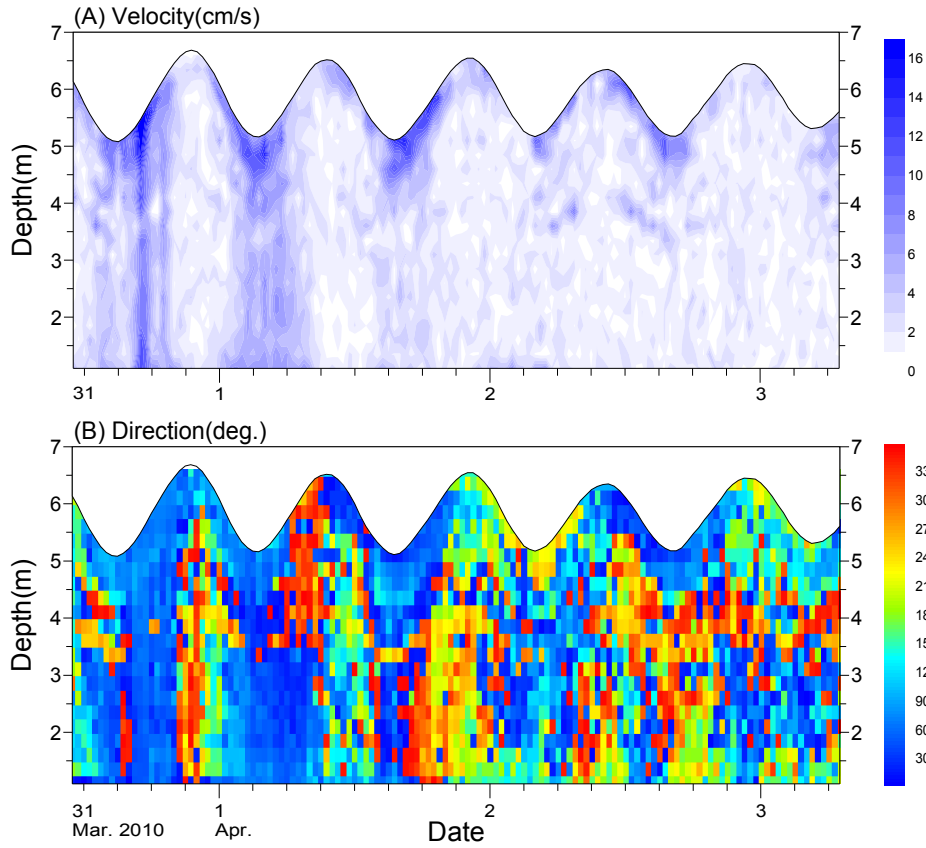


그림 3.4.23 정점 A2에서의 조위, 유속·유향 연직분포 시계열

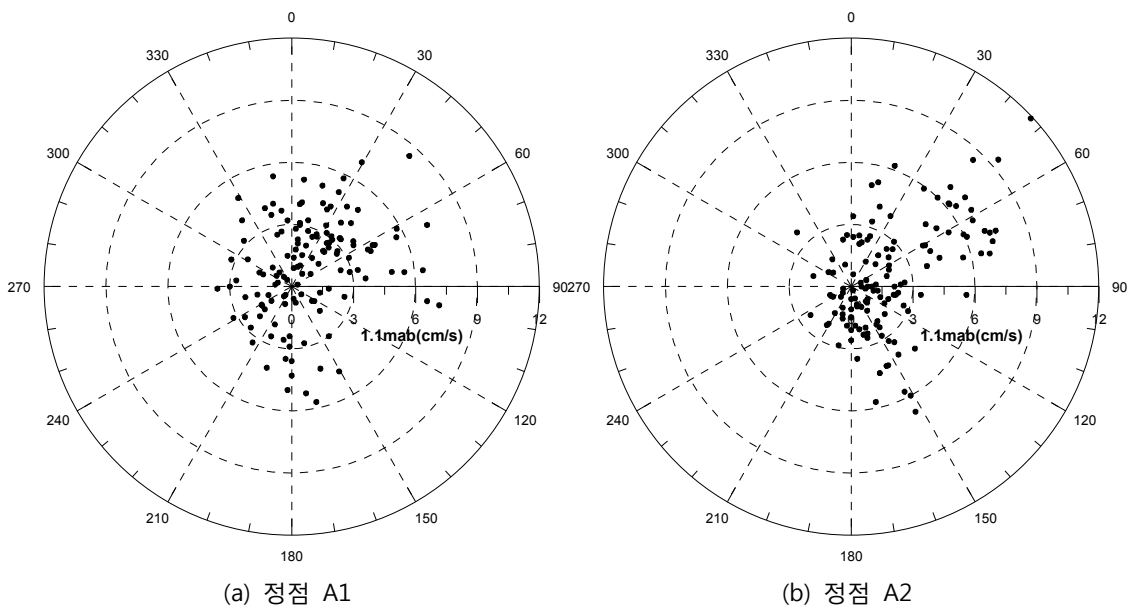


그림 3.4.24 정점 A1, A2 저면상 1.1 m에서의 유속·유향 산포도

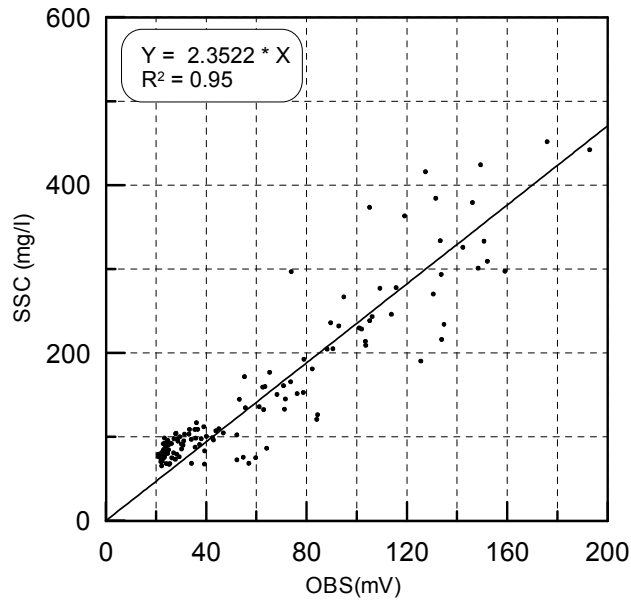


그림 3.4.25 정점 M2에서의 광후산란 탁도계(OBS) 검보정 결과

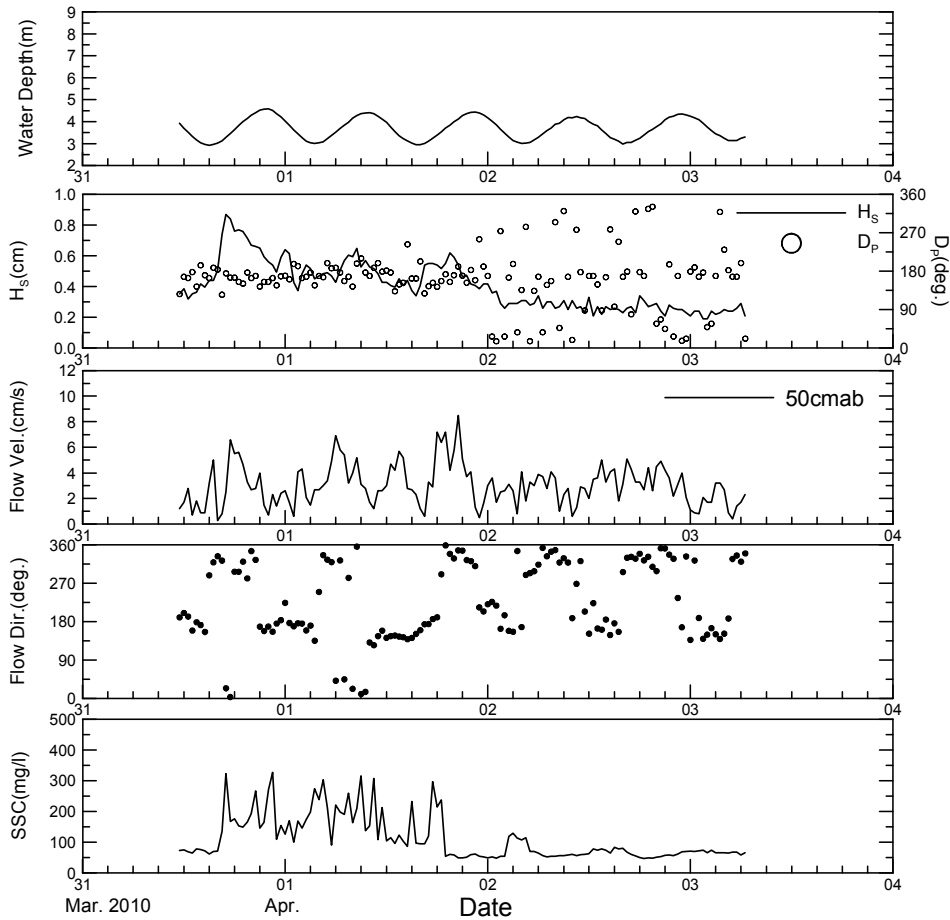


그림 3.4.26 정점 M1에서의 수리·표사특성 시계열

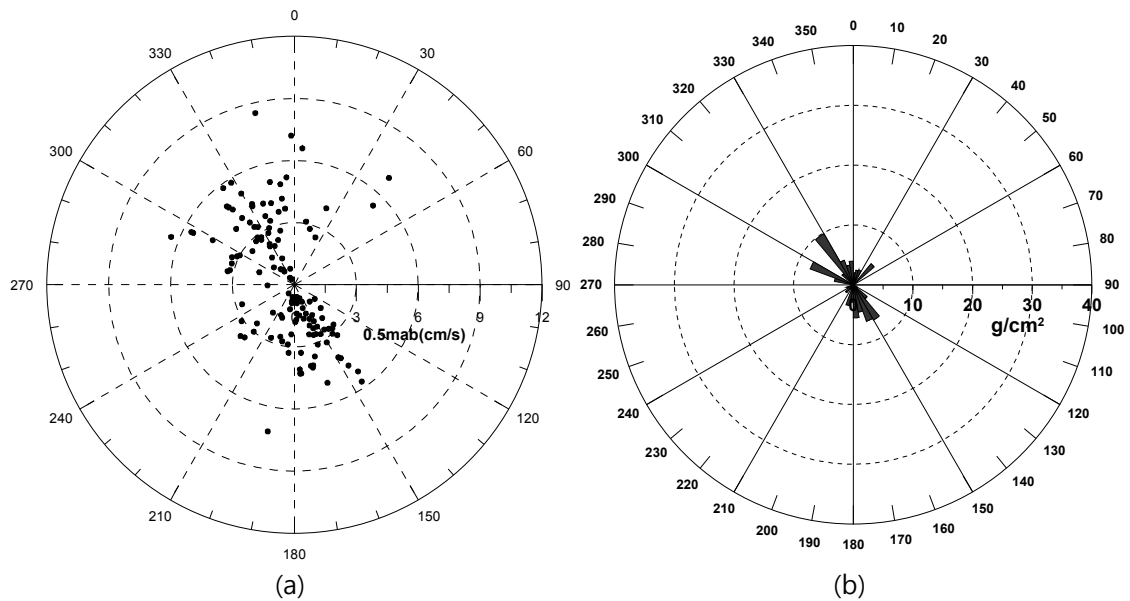


그림 3.4.27 (a) 정점 M1 저면상 0.5 m에서의 유속·유향 산포도 및 (b) 부유퇴적물 이동량

정점 M1 저면상 50 cm에서의 유속·유향 산포도와 관측기간 동안의 방향별 부유퇴적물이동량은 그림 3.4.27과 같다. 잠제 내측과 외측으로의 퇴적물 이동량은 각각 47.9 및 36.6 g/cm^2 으로 내측으로의 공급량이 약간 높다.

그림 3.4.28과 3.2.29는 각각 잠제 개구부 정점 M2에서의 수리·표사특성 시계열 및 저면상 50 cm에서의 유속·유향 산포도와 관측기간 동안의 방향별 부유퇴적물이동량이다. 전체적으로 창조류는 북북서향, 낙조류는 남남동향이지만 창낙조 모두 남남서향인 경우도 발생하며, 농도는 역시 파고에 지배된다. 모래이동량은 잠제 외측으로의 유실량이 66.1 g/cm^2 으로서 내측으로의 공급량 25.4 g/cm^2 보다 월등하다.

그림 3.4.30과 3.4.31은 정점 M3에서의 관측결과로서 창·낙조류가 북동-남서향이 며 3개 개구부 중 가장 높은 유속이 관측되었다. 부유퇴적물 이동량도 가장 높아 잠제 내측으로 109.5 g/cm^2 유입되었으며, 외측으로 68.2 g/cm^2 유출되었다.

이상의 관측결과로 미루어 파고 1 m 이내의 정온시기에는 중앙개구부를 통한 모래유출량과 서측개구부를 통한 유입량이 거의 평형을 이루는 것으로 판단된다. 동측개구부에서는 내측으로의 유입량이 약간 우세하지만 공급 혹은 유출경로로 단정하기는 어렵다.

보다 정량적인 해석을 위해서는 파고 2~3 m 이상인 고파사상 동안 저층 약 1 m 두께에서의 흐름과 표사량을 관측할 필요가 있다.

III. 국내사례 분석

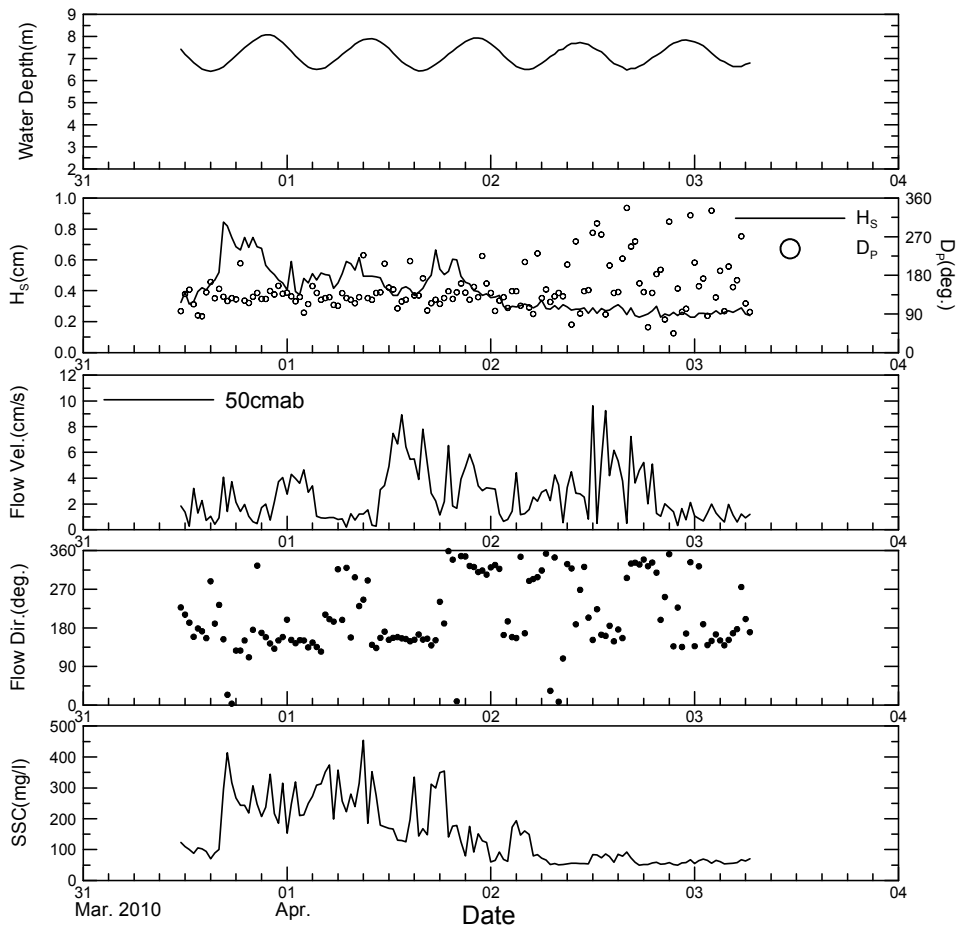


그림 3.4.28 정점 M2에서의 수리·표사특성 시계열

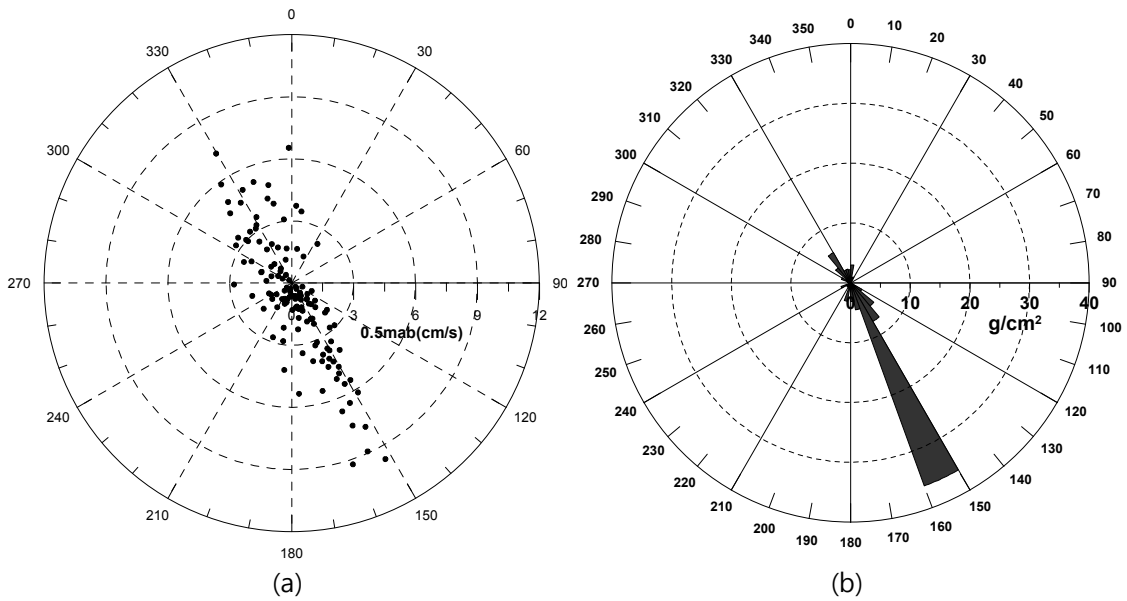


그림 3.4.29 (a) 정점 M2 저면상 0.5 m에서의 유속·유향 산포도 및 (b) 부유퇴적물 이동량

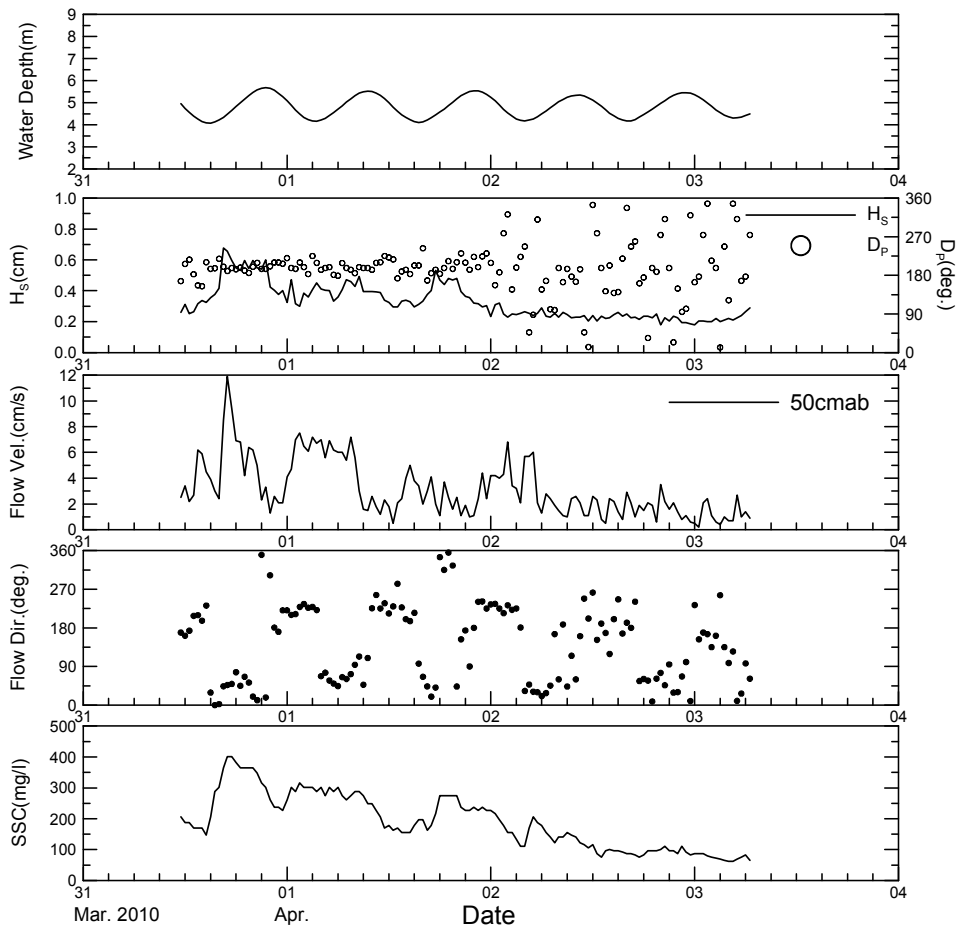


그림 3.4.30 정점 M3에서의 수리·표사특성 시계열

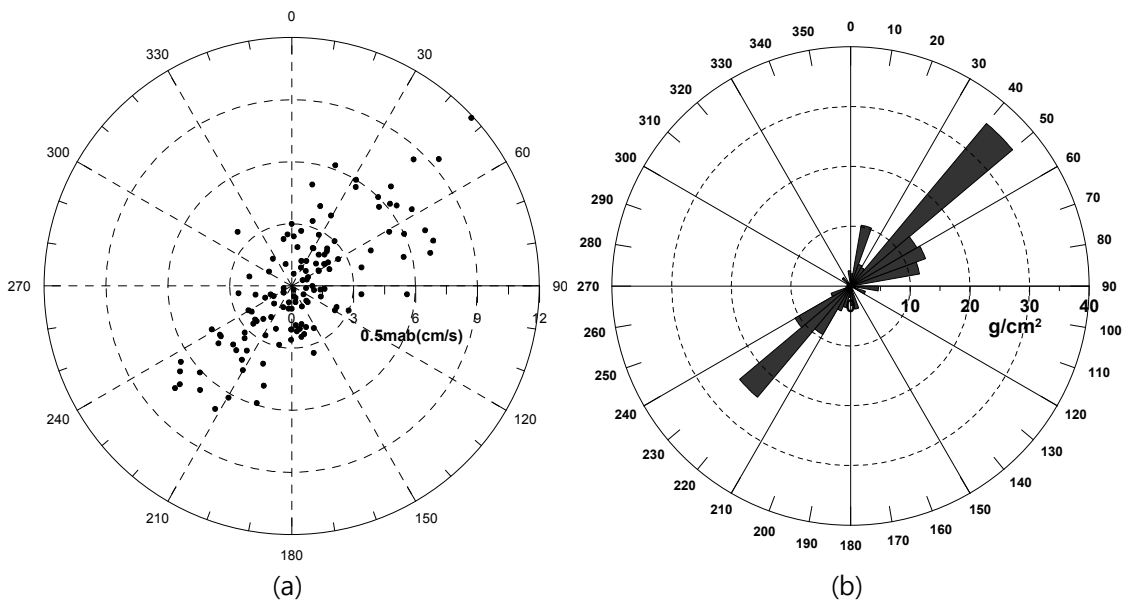


그림 3.4.31 (a) 정점 M3 저면상 0.5 m에서의 유속·유향 산포도 및 (b) 부유퇴적물 이동량

바. 종합분석

제1차 연안정비계획의 성공사례로 평가받는 송도해수욕장 面的工法의 양빈설계, 사후모니터링 방법, 유지양빈양 추정, 지형변화 경향을 살펴보았으며, 수리·표사현상 정밀관측을 시험적으로 실시하여 모래이동특성을 개략적으로 검토하였다.

송도는 백사장 길이는 짧지만 국내최초의 대규모 양빈을 통한 국내최초 해수욕장⁴⁷⁾의 부활, 다양한 사후조사 등 우리나라 연안침식관리에서 의미가 큰 사업지구이다. 그러나 사업의 설계·시공·사후관리 과정에서 얻은 기술적인 성과는 그리 크지 않다.

다행히 해변폭은 크게 변하지 않아 레크리에이션용 백사장 회복·확장의 목적은 달성한 것으로 판단되지만 양빈직후인 2005년 7월부터 2010년 1월까지 총양빈체적 231,700 m³의 약 21%인 47,720 m³가 침식되었다. 모래는 주로 서측잠제 중앙부 배후에서 동측잠제 중앙부 배후까지의 영역에서 침식되며, 잠제 개구부 배후가 가장 심하다. 침식모래는 주로 잠제 개구부를 통해 유실되는 것으로 판단된다. 일정량의 모래유실 후 안정화될 것인지, 아니면 지속적으로 침식될 것인지를 파악하고, 유지양빈이 필요할 시 적정주기와 양빈체적을 과학적으로 산출할 필요가 있다.

잠제 개구부 저면에 높이 1-2m 정도의 방사용 수중보를 설치하는 것이 모래유실을 최소화할 수 있는 방안일 수 있다.

대규모 양빈사업의 국내 최초사례임에 따라 유지양빈 관련정보 생산의 중요성을 인식하지 못할 수 있음을 감안하더라도 분야간 연계를 통한 관련현상의 물리적인 해석이 사후조사에서 전반적으로 부족하였다.

한편, 양빈이 비록 활성화시켜야 할 친환경공법이지만 우리나라 연안에는 다양한 양식장이 산재하므로 대규모 모래 투입중 부유사 확산범위 파악은 환경영향 측면에서 중요하다. 사후조사의 목적은 공사의 환경영향을 강조하고 있으나 시공중 부유사 확산범위 모니터링과 수치모형실험이 포함되지 않았다.

향후 주기적인 해빈·수심측량과 더불어 유지양빈시 부유사 확산, 고파사상시 수리표사현상 정밀관측, 잠제의 침하여부와 침하정도 등을 지속적으로 파악함으로써 보다 과학적인 관리를 도모함과 아울러 향후 유사사업이 참조할 수 있는 정보 생산할 필요가 있다.

47) 송도해수욕장은 일본 거류민이 松島遊園株式會社를 설립하고 1913년 송림공원 건너편에 있던 송도(현재의 거북섬)에 '水亭'이라는 휴게소를 설치한 후 해수욕장으로 개발되기 시작하였다.
<http://www.kookje.co.kr/mobile/view.asp?gbn=v&code=8800&key=20100415.88001152139>

5. 전남 신안군 백길해수욕장

본 보고서와 별책으로 발간되는 침식관리 가이드북 및 설계 가이드북에서 시중 일관 강조하는 사항은 침식방지사업은 설계 이전에 충분한 현장조사가 필수적이며, 이를 토대로 'Do Nothing'을 기준으로 다양한 후보안을 검토하고 구조물이 불가피할 경우, 그 타당성을 정량적으로 확보한 후 설계하여야 한다는 것이다.

연안정비사업으로의 시행을 계획중인 일부 침식방지사업의 경우, 침식방지보다는 친수공간조성을 통한 지역경제 활성화를 사업의 본래 목적으로 간주함이 타당하며, 계획한 시설이 오히려 침식을 유발하거나 해빈모래를 변화시켜 해안의 가치를 저하시킬 가능성이 높은 경우도 있다. 이와 관련하여 전남 신안군 자은면 유각리 소재 백길해수욕장의 '연안침식방지대책 및 관광자원화 방안 기본계획수립(신안군 2008)' 사례를 검토한다.

가. 침식이력

백길해안은 신안군 소재 군도의 서단 자은도 남단 끝의 서측해안에 위치하는 연장 약 750m의 사질해안으로서 중앙부 곳에 의해 450m 길이의 북측해안과 300m 길이의 남측해안으로 나뉘며, 저조시 남북해안 해빈폭은 각각 240m, 150m이다(그림 3.5.1).



그림 3.5.1 전남 신안군 백길해수욕장(저조시) 일원 (naver)



그림 3.5.2 백길해수욕장 해안선변화(1976~2007): 신안군(2008) 자료로 구성

백길해안은 연안침식 국가모니터링 대상해안이 아니며, 신안군(2008) 이전에 침식조사가 수행된 바 없다. 신안군(2008)의 경우도 침식여부와 정도 파악을 위한 체계적인 현장조사를 수행하지 않았으며, 단지 수심측량성과를 1976년 해도와 비교하여 백길해수욕장 북측단면 해안선이 11m, 남측단면이 58m 후퇴하였음을 확인하였다(그림 3.5.2). '해안선'의 정의상 이는 고조위선 후퇴이다.

그러나 역시 신안군(2008)의 탐문조사에 따르면, 고조·고파 중첩사상 발생시 사구기저부가 침식됨이 현지주면으로부터 지적되었으나, 인지할 수 있을 정도의 해수욕장 침식은 발생하지 않고 있다.

그림 3.5.2의 백사장 습윤도로 미루어 북측사장 북측 조간대 표고가 낮음을 알 수 있으며, 침식이 발생한다면 동계 고파랑 내습시 교란된 모래가 연안류·낙조류를 따라 남동진하다가 이안제 역할을 하는 성근도 배후 해안에 퇴적되고 일부는 계외로 유출될 것으로 판단된다. 그림의 @ 영역이 니질갯벌임으로부터 둔복금-신리섬 수로를 통한 모래공급은 무시할 수 있을 정도일 것임을 예상할 수 있다.

백길해안은, 신안군에서 활발했던 해사채취와 지형적 특성으로 미루어 침식이 발생할 수 있는 환경이며, 해변길이가 짧아 표사계(그림 3.5.3) 모래수지의 정량적 파악에 많은 예산이 소요되지 않는다.

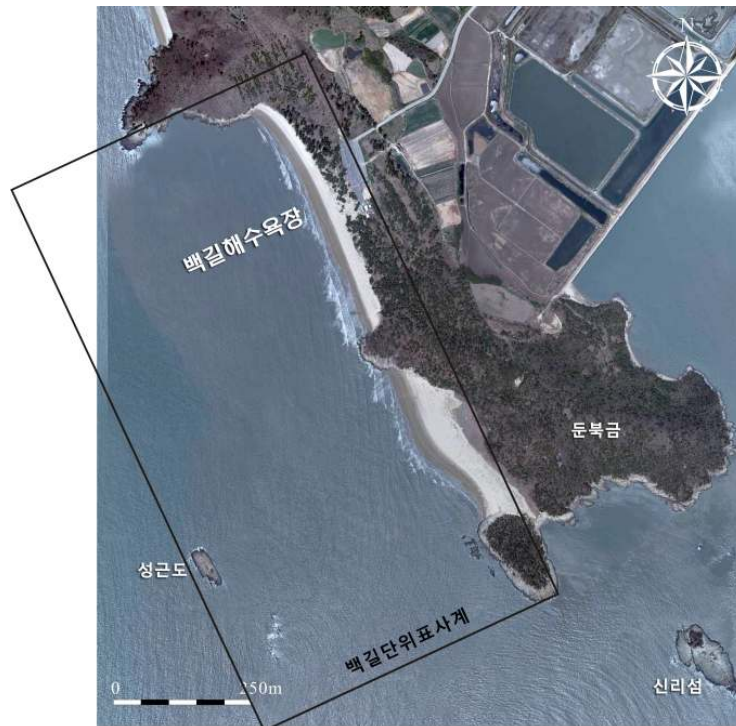


그림 3.5.3 고조시 백길해수욕장 (daum)

나. 기본계획 검토

'연안침식방지대책' 수립을 위한 기본계획이라면 침식여부·정도 규명과 구조물 필요성 여부 판단, 그리고 최적대책 선정을 위한 기초적인 정량정보 확보를 위한 현장조사를 수행함이 당연하다. 그러나 신안군(2008)은 수치모형실험만으로 구조물 설치를 결정하고, 선정안 설계까지 마쳤다.

그림 3.5.4가 관광자원화를 겸한 백길해수욕장 침식대책 선정안으로서, 양빈 9.8만 m^3 , 호안 280 m, 친수호안 120 m, 이안제 2기(360 m), 돌제 1기(150 m), 낚시잔교 3개소, 수변산책로 300 m로 구성되며, 부대시설을 포함하는 개략공사비는 328억 원이다.

침식현상 파악을 위한 현장조사 미시행, 기본계획수립 절차와 내용, 그리고 계획 시설로 미루어 엄밀한 의미에서 백길의 계획은 침식방지계획으로 보기는 어려우며, 친수공간사업으로 간주함이 타당한 것으로 판단된다.

침식방지사업으로 인정할 경우, 선정안의 타당성을 검토할 필요가 있다. 백길해수욕장은 평균대조차가 402 cm인 대조차 해안이며, 대조차 해안에서의 이안제는 시공사례가 많지 않다.



그림 3.5.4 백길해수욕장 기본계획 선정안 조감도 (신안군 2008)



그림 3.5.5 영국 남해중부 Elmer 해안 이안제군

그림 3.5.5는 대조차 해안에서는 보기 드문 이안제군 사례로서 평균대조차 5.3m 인 영국 남해중부 Elmer 해안이다. 배후 저지대 방호를 위하여 이안제 8기를 건설 하였다. 이안제의 천단고는 7,8호기가 평균해수면상 3m, 나머지는 4.5m이며, 길이는 80, 90 및 140m, 개구폭 44~140m, 고조위선으로부터 이격거리는 54~88m이다 (King et al. 2007).

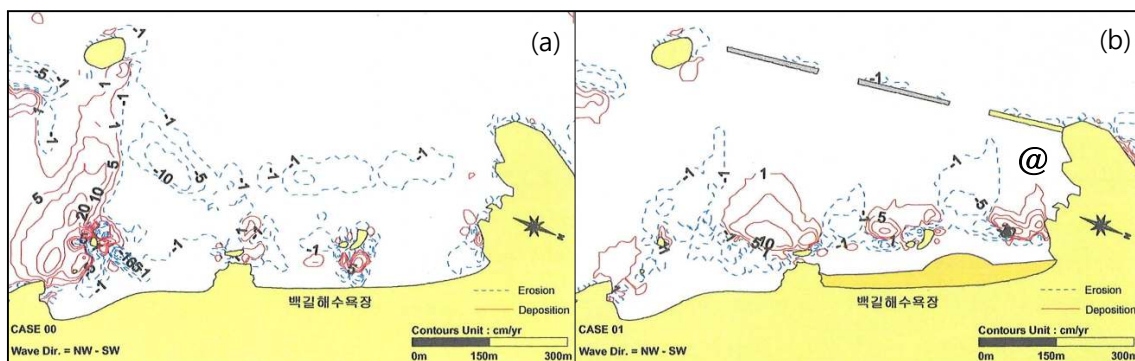


그림 3.5.6 백길해수욕장 (a) 현상태 및 (b) 선정안 시공 후 해빈류 기인 지형변화 수치모형 실험결과 : 최대유의파 24시간 적용 (신안군 2008)

이안제는 배후수역 정온화를 이용하는 전통적인 해안방호공법으로서 이안제 배후를 퇴적시키지만 개구부 배후는 침식되며, 정선 구배가 급해짐에 따라 이용률이 낮아짐과 아울러 조망을 저하시키는 단점이 있다.

신안군(2008)은 해빈류와 조류에 의한 지형변화를 별도로 계산하였으며, 그림 3.5.6은 해빈류에 의한 현상태와 선정안 시공후의 지형변화 경향이다. 현상태의 경우, 성근도 배후의 퇴적경향을 재현하였으며, 완공후의 경우에는 이안제 배후는 퇴적되고 개구부 배후는 침식되는 일반적인 경향을 재현하였다.

계산조건·방식, 기본적인 입력조건인 입경조사를 실시하지 않은 점 등으로 인해 실험결과의 정량적 의미는 없으므로 경향만으로 이안제와 돌제⁴⁸⁾ 설치 타당성을 판단할 때, 현지주민이 침식을 인지하지 못하는 해안에 구조물을 설치하여 해빈표고에 요철을 발생시킬 필요가 있는지를 재고할 필요가 있다.

특히 두 가지 지형변화모형 모두 주변 부유퇴적물의 영향을 고려하지 않았으나 자은도 주변해역은 우리나라 연안에서 연직혼합이 가장 활발하여 부유퇴적물 농도가 높다(그림 3.5.7, 3.5.8). 따라서 선정안 시공후 파고가 낮아지고 흐름이 정체되는 그림 3.5.6(b)의 영역 @부터 니질화되어 백길해수

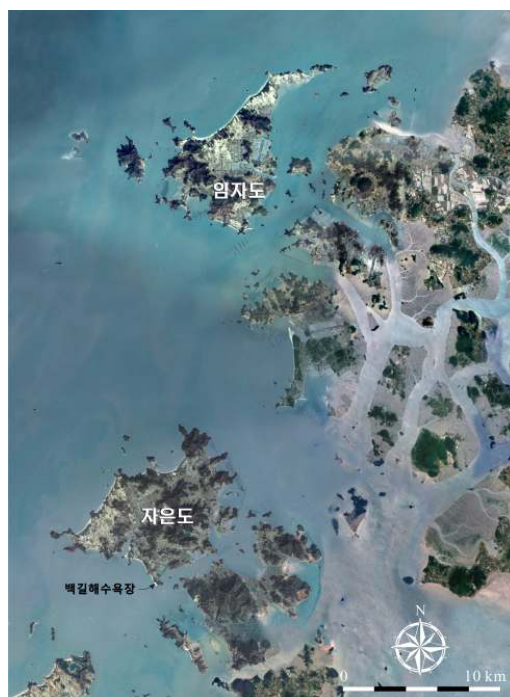


그림 3.5.7 임자도와 자은도 (naver)

48) 백길의 돌제는 돌제의 통상적인 의미와 다르며, 방파제로 칭함이 타당함.

III. 국내사례 분석

육장의 질이 저하될 가능성이 있다.

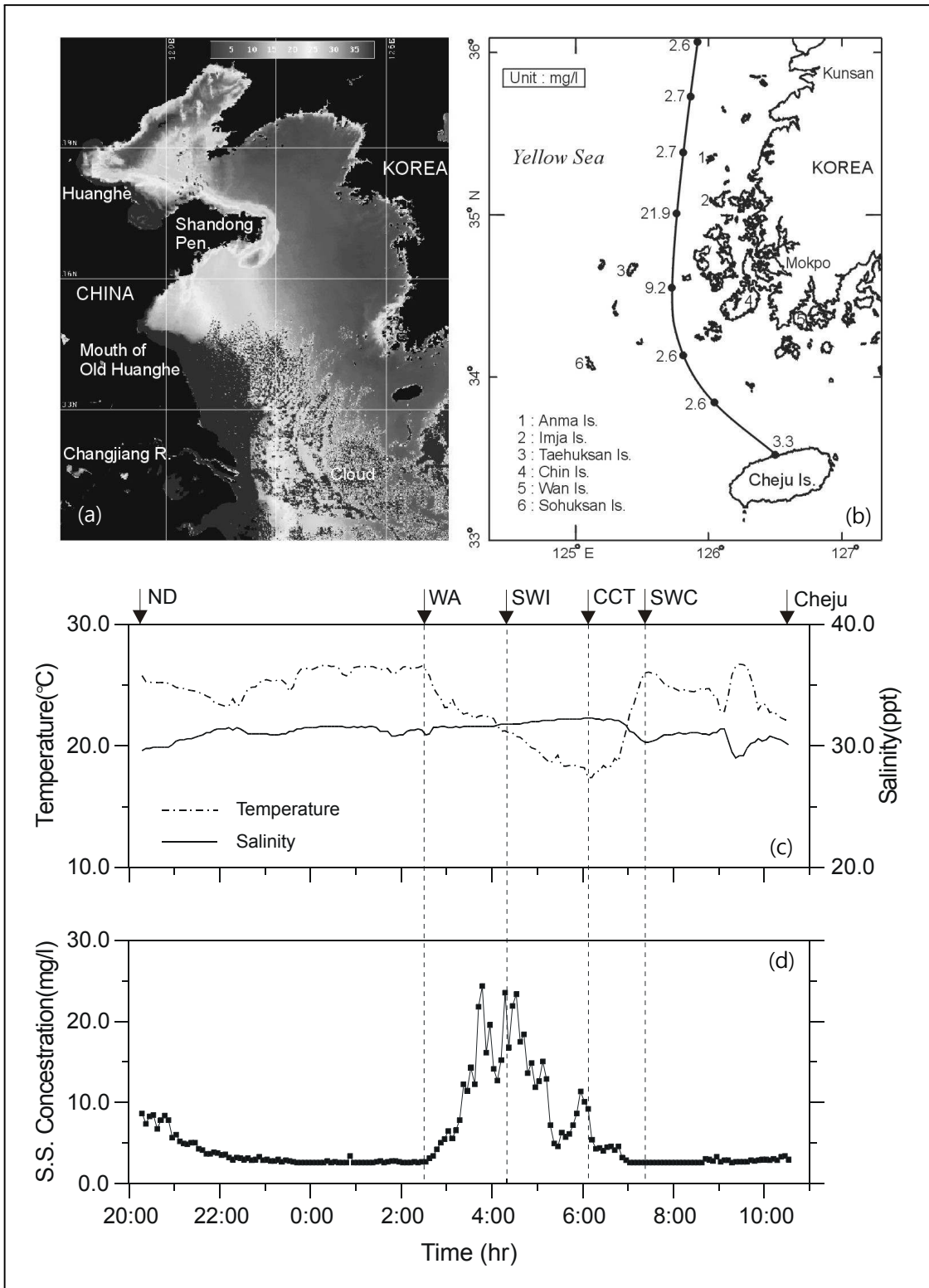


그림 3.5.8 (a) 1998년 9월 16일 14:56 황해 부유퇴적물 표층농도(SSSC, 인공위성 NOAA-14), (b) 1998년 9월 12일 인천-제주 세모페리호 항행경로 및 주요정점 SSSC, (c) 수온·염분 (d) SSSC 시공계열 (ND: 덕적도 인근, WA: 안마도 서측, SWI: 임자도 서측, CCT: 대흑산도와 진도 사이, SWC: 진도 남서측) (Jin et al. 2001)

다. 최적관리방안 검토

대책수립이 필요할 수준의 해안침식이 발생할 경우, 여건이 허락하여 침식대책과 친수공간조성을 동시에 추진하면 지역경제에 도움이 될 것이다. 그러나 이는 어디까지나 침식을 악화시키거나 해빈의 환경기능을 저하시키지 않는 방향으로 추진되어야 한다. 특히 내방객의 편의를 위한 구조물이 침식을 악화시킬 수 있는 가능성을 충분히 검토하여야 한다.

백길해수욕장 기본계획은 침식대책을 관광자원으로 활용할 수 있는 방향으로 수립함이 목적이다. 그러나 침식여부를 판단할 수 있는 과학적인 증거가 매우 희박함에도 불구하고 조사계획은 일체 포함시키지 않은 채 328억원 규모의 개발계획을 수립하였으며, 이 가운데 양빈예산은 27억원(9.8만³)이다. 관련현상을 과학적으로 파악하지 못하였음에도 기본계획수립 단계에서 경성구조물을 선정·설계함이 '연안정비사업'에서 시급히 개선되어야 할 사항임을 본서는 시종일관 지적하고 있다. 경우에 따라서는 타당성 조사에서 수리모형실험까지 수행하는 것이 국내 실정이다.

다행히 신안군은 '제2차 연안정비계획' 수요사업으로 방파제와 이안제를 제외하고 호안 400m와 수변산책로와 해안산책로 각각 300m와 820m를 신청하였다. 그러나 백길해수욕장에 해안방호 최후공법인 호안을 설치할 정도의 심각한 침식이 발생하는지에 대한 과학적 조사가 수행된 바 없으며, 배후지가 개발되지 않아 「연안관리법」이 권장하는 '자연해안으로 보존'할 필요가 있는 해안이다. 만일 현장조사를 통하여 사구방호 필요성이 인정되면 지오투브로 설치하고 상부를 모래로 포설하는 친환경 공법이 바람직할 것이다.

2차 정비계획은 기본계획에 포함된 양빈 9.8만³와 해변산책로 300m로 변경·승인하였으며, 환경친화적인 목재데크로 산책로를 조성하고, 양빈 후 모니터링을 실시함과 아울러 이를 토대로 해빈유지를 위한 장기계획을 수립할 것을 권장하였다.

모니터링에서는 백길해수욕장을 벗어난 양빈모래 중 성근도 이안제 효과에 의해 남측해안에 퇴적되는 양과 표사계 남단을 벗어나는 양을 정량적으로 파악하는 것이 필요하다. 계를 벗어나는 모래의 양이 크지 않다면 주기적으로 남측모래를 해수욕장으로 순환시키는 것이 바람직하다.

한편 백길해안에서 침식이 발생한다면 고조·고파사상 동안 침식된 사구모래가 남서진하여 표사계를 벗어나는 것이 주요 원일일 것이다. 이러한 해안에 가장 경제적인 공법이 표사계 남단에 모래유실방지를 위한 중단돌체를 설치하는 것이다.

백길은 침식방지를 위한 이안제나 방파제가 필요하지 않은 해안으로 판단되며, 방파제·이안제는 백사장을 니질갯벌로 변화시킬 가능성이 있음을 유념하여야 한다.

IV

시범 현장조사 및 설계

IV. 시범 현장조사 및 설계

우리나라 연안침식관리는 목표와 방법이 추상적이다. 관리선진화를 위해서는 해빈폭 또는 모래체적에 대한 정량적인 관리목표를 설정하는 것이 필요하다. 침식제어 기술 분야의 경우에는 설계 이전에 충분한 현장관측을 통해 관련현상을 과학적으로 이해하는 것이 필수적이며, 이를 토대로 가용모래자원을 충분히 활용함과 아울러 구조물 설치가 불가피할 경우에는 충분한 시공간 범위에서 그 영향을 검토하여 악영향 발생가능성을 최소화하여야 한다.

우리나라의 경우, 그 동안 대책이 필요한 규모의 해안침식은 모두 인위적 원인에 의해 발생하였다. 안목의 시공간 규모가 충분하지 않아 원인규명이 타당하지 않은 경우가 아직 없지 않지만 대부분의 인위적 해안침식과 관련한 현상을 정성적으로 추정하는 것은 어렵지 않다.

그러나 과학적인 관리와 최적설계를 위해서는 최소한 2-3년의 조사기간 동안 다양한 항목을 충분히 조사하여야 한다. 다행히 최근 현장조사의 중요성에 인식이 확산되고 있는 추세이며, 조사방법에 보완의 여지가 아직 있지만(설계 가이드북 참조) 농림수산식품부 동해어업지도소가 수행한 사천진항과 안목항 주변에 대한 조사가 대표적인 개선사례이다(강릉어항사무소 2009a,b).

국내의 경우, 침식제어시설 설계에서도 설계목적, 즉 목표해빈폭 혹은 모래체적 정량화가 부족하다. 아울러 보완·개선이 필요한 사항이 표사계에 미치는 구조물 영향을 정량적으로 파악하는 것이며, 이는 구조물에 의한 이차침식 발생여부·정도를 파악하는 것과 직결된다. 침식구간 배후지 중요도와 예산의 한계로 인해 국지적 대응이 우선적으로 필요하다더라도 구조물이 해당표사계는 물론 이웃 표사계에 미치는 영향을 정량적으로 파악하고 장래 계획을 수립하는 것이 선진화된 해안침식 제어시설 설계이다. 선진국의 대표적인 시행착오가 국지대응임을 유념할 필요가 있다.

본 장에서는 연안수리·표사현상 정밀관측의 예시로서 충남 태안군 만리포해수욕장에서 수행된 현장조사 결과와 해안침식을 모래자원관리차원에서 대응하는 방법의 예시로서 경북 영덕군 고래불해수욕장과 충남 태안군 백사장해수욕장 침식대책 개략설계안을 제시한다.

1. 충남 태안군 만리포해수욕장

가. 침식원인과 현황

대천, 변산과 함께 서해안 3대 해수욕장에 속하는⁴⁹⁾ 충남 태안군 소원면 모항리 소재 만리포해수욕장은 대조차 만곡사빈(대조평균조차 584.2 cm, 평균조차 422.2 cm, 소조평균조차 260.2 cm)으로서 해변연장은 약 2.4 km, 대조기 저조시 해변폭은 약 250 m이며, 돌제 역할을 하는 길이 약 370 m, 폭 약 150 m의 소규모 곳에 의해 천리포 해안과 나뉜다. 1964~1972년 동안 남단 선착장 150 m, 1970~1977년 동안 전체 해안에 호안이 축조되었다(그림 4.1.1).

동계 북서계절풍에 직면하고 사질조건대 폭이 넓은 만리포는 비사가 활발한 전형적인 대조차 사빈-사구체계이었으나(그림 4.1.2a), 전사구 기반부에 축조된 호안에 의해 사빈과 사구가 단절되었으며, 1976년경부터 침식으로 모래가 유실되어 자갈과 니질층이 노출되기 시작하였다(한국해양연구소 1982). 그림 4.1.2(b)에 따르면 남단 선착장에 의해 조간대 면적이 증가하였고, 항공사진 반사도로부터 남측해빈 표고가 높아졌을 것으로 예상됨에도 침식이 문제인 것이 만리포 해변변화의 특징이다.

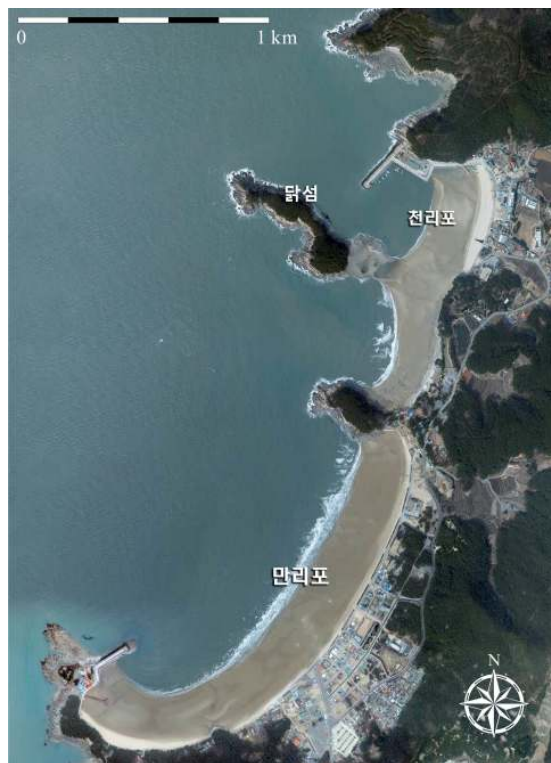


그림 4.1.1 충남 태안군 만리포·천리포해수욕장 (2010, Daum)

49) 관광개발연구회. 1990. 관광자원론. 기문사.

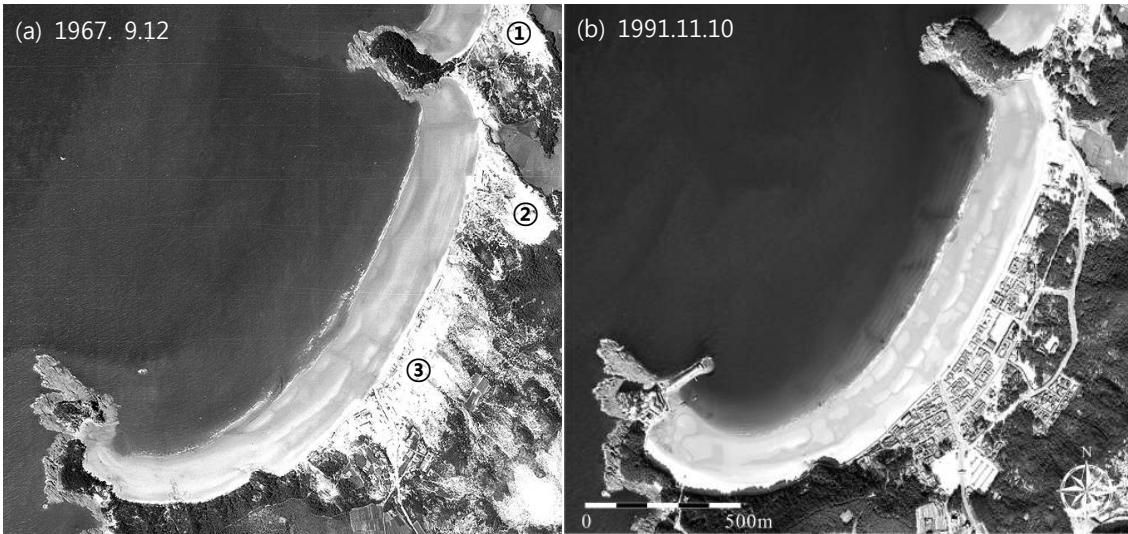


그림 4.1.2 만리포해수욕장 개발 전후 (①,②,③ 미피복 사구)

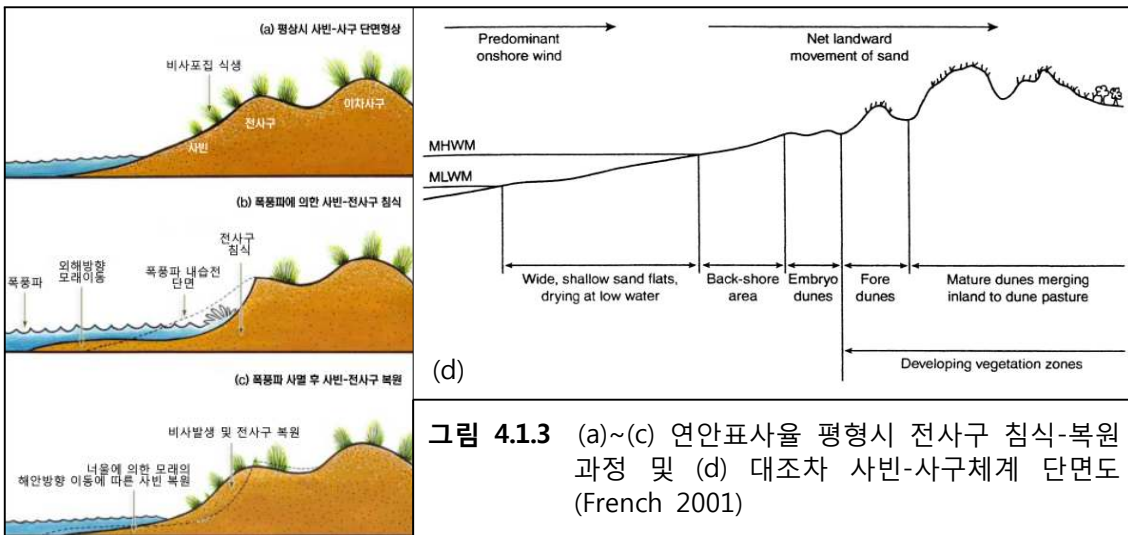


그림 4.1.3 (a)~(c) 연안표사를 평형시 전사구 침식-복원 과정 및 (d) 대조차 사빈-사구체계 단면도 (French 2001)

만리포 침식을 이해하기 위해서는 호안에 의해 대조차 사빈과 사구가 단절될 때 발생하는 현상을 살펴볼 필요가 있다. 연안표사가 연간평형을 이루는 사빈-사구체계에서 고파사상 동안의 전사구 침식과 사상 통과 후 복원과정은 그림 4.1.3(a)~(c)와 같다. 대조차 해안에서는 파랑에 의한 전사구 침식과 복원은 조위가 사구 기저부에 이르는 고조시에 발생하며, 조간대 노출시 육지방향으로의 활발한 비사가 전사구 복원에 기여한다(그림 4.1.3d). 따라서 고조·고파사상동안 전사구로부터의 침식량보다 고조시 파랑작용이나 조간대 노출시 비사에 의한 공급량이 적으면 사구는 점차 후퇴한다.

전사구 기저부에 호안이 축조되면 고파랑에 의한 호안전면 침식량이 사상 통과 후 복원량보다 큰 것이 일반적이며 시간이 지남에 따라 심화되는 침식에 대응하기 위하여 호안 기저부에 암석 혹은 TTP 세굴방지공을 설치한다(관리 가이드북 Box 4.3.5 참조).

IV. 시범 현장조사 및 설계

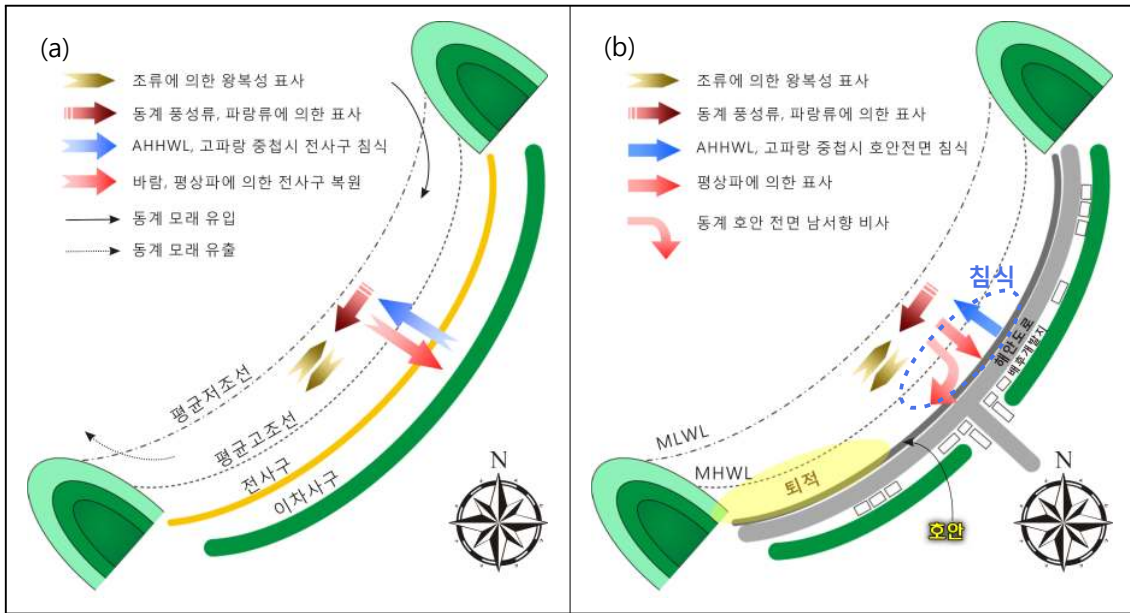


그림 4.1.4 서해안 북서개방 만곡형 사빈-사구체계의 호안 건설 후 침식·퇴적 모식도

또한 호안은 육지방향으로 이동하던 비사를 연안방향으로 유도하며, 이는 직립호안일 경우 심하다. 즉, 비사에 의한 복원력도 저하되는 것이다. 즉, 고조·고파사상에 의해 호안전면에서 침식된 모래가 사상 통과 후 복원되지 않는 것이 만리포 침식의 주요 메커니즘이며, 이의 모식도가 그림 4.1.4이다.

그림 4.1.5는 고조폭풍기인 만리포 침식의 일례로서, 약최고고조위(709cm)를 상회하는 고조와 6~10m/s의 강풍이 중첩된(표 4.1.1) 2007년 5월 17·18일 새벽에 호안전면이 1~1.5m 침식된 상황을 나타내며, 그림 4.1.6은 5월 28·29일의 양빈 5,000 m³ (폭 10m×높이 1m×거리 500m) 실시 후의 전경이다.

현재 세 가지 형식의 양빈이 만리포에서 부정기적으로 시행되고 있으며, 첫째는 육상 외부모래의 호안전면 투입(그림 4.1.7a,b), 둘째는 남측해빈 모래를 이용한 순환양빈(그림 4.1.8c), 그리고 마지막은 바지선을 이용한 외해모래 투입이다(그림 4.1.8d,e,f).

표 4.1.1 만리포 2007년 5월 침식발생시 고조위 및 바람 특성

안흥검조소 고조위	만리포 강풍 발생시간 및 풍속
5월 17일 03:59 711 cm	00:00 - 06:00 8-10 m/s
5월 18일 04:45 720 cm	08:20 - 09:10 6-7 m/s



그림 4.1.5 고조폭풍에 의한 만리포해수욕장 호안전면 침식 (촬영일시 2007/05/21 09:58)



그림 4.1.6 2007년 5월 28·29일 양빈 전후



그림 4.1.7 만리포해수욕장 양빈형식

나. 한국해양연구소 1981-1982년 조사

한국해양연구소(1982)는 동계 약 3.5개월(1981.10.21~1982.2.12) 동안 파랑, 조석, 조류, 부유퇴적물 이동량, 해저퇴적물 및 수심 등을 관측하였다(그림 4.1.8).

퇴적물이동 경향을 추측할 수 있는 관측결과는 남향 잔차류(그림 4.1.9)와 와류 가능성이 있다(그림 4.1.10). 평균해면하 9m인 정점 S1의 경우, 전층에서 남향류 발생 빈도가 높으며, 특히 낙조시 표·중층은 남향류와 북향류가 교번하나 창조시에는 전층에서 일관된 남향류를 보인다. 수심이 유사한 정점 S2에서도 낙조시에는 유향의 전층 일관성이 크지 않으나 창조시에는 전체적으로 서향의 경향을 보인다. 이로부터 답십 내측에서 모래가 시계방향으로 이동할 가능성이 있음을 추측할 수 있다.

그림 4.1.11은 동계(1981.11~1982.2) 수심변화로서 약 MSL(-)5~0m에 해당하는 ②번 영역 퇴적과 그 전면의 ③, ④번 영역 침식이 두드러진다. ③번 영역 C 지점, ④번의 D지점, ⑥번 영역의 A 지점의 침식깊이는 각각 1.2, 1.6 및 1.4m이다. ④번 영역 침식모래의 이동방향, ⑤번과 ⑦번 영역의 퇴적작용을 파악하는 것이 만리포 수리·퇴적현상 이해의 관건이다.

한국해양연구소(1982)는 방파제 외해쪽을 제외한 영역에서의 총퇴적량을 254,000 m³, 침식량을 330,000 m³로 추정하고 결손량 76,000 m³가 낙조류에 운반되어 방파제 외측에 퇴적되었을 것으로 보았으나 체적계산 경계선을 제시하지 않았다. 한편 해양연구소는 연간비사량을 5,000 m³로 추산하였다.

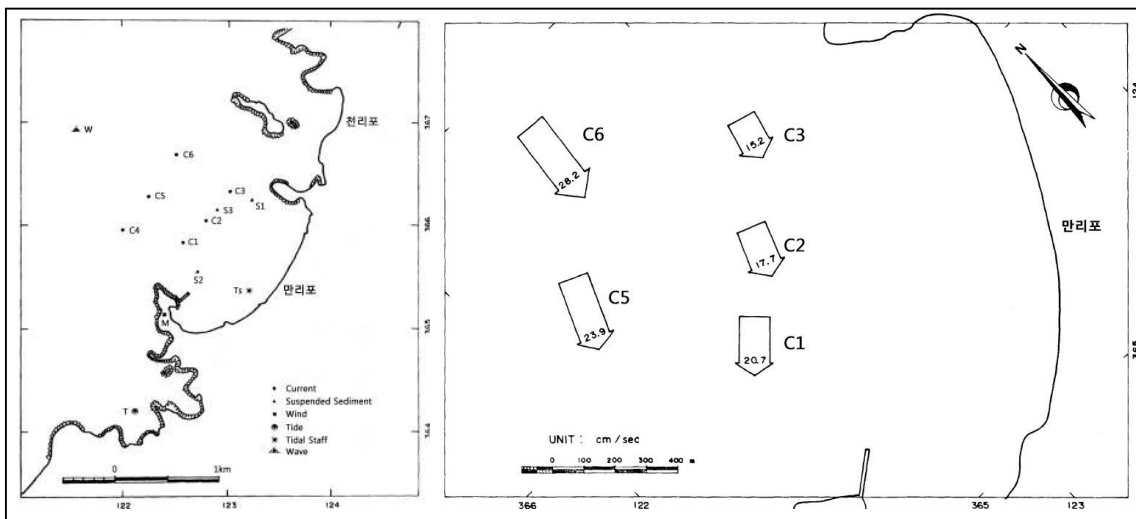


그림 4.1.8 한국해양연구소(1982) 관측정점

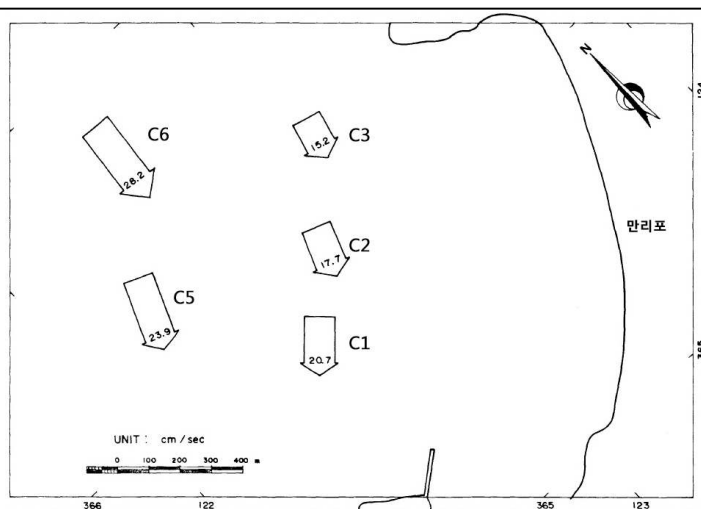


그림 4.1.9 만리포 해역 수심 MSL(-)10~20m 정점 잔차류 (한국해양연구소 1982)

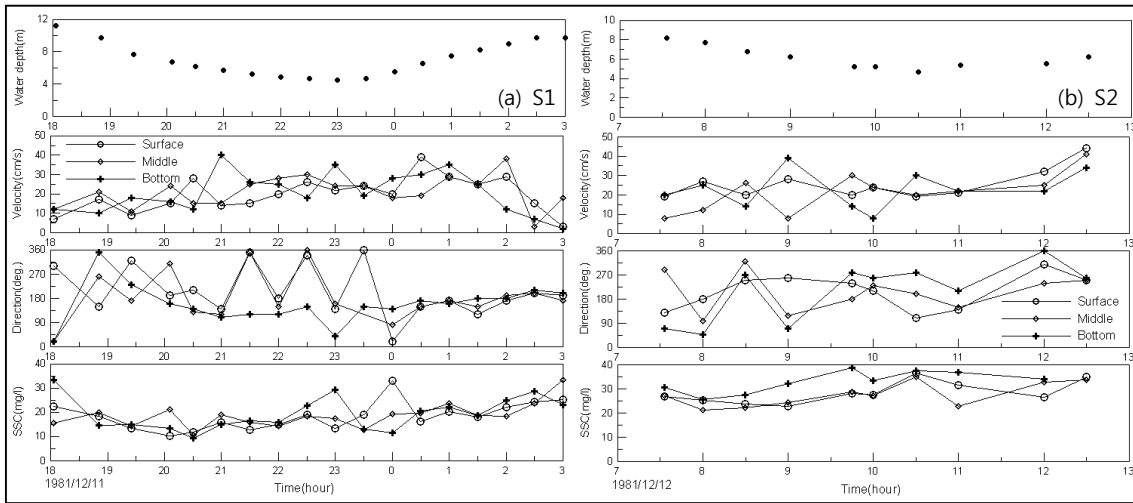


그림 4.1.10 정점 S1, S2에서의 조위·유속·유향·부유사농도 시계열 (한국해양연구소 1982)

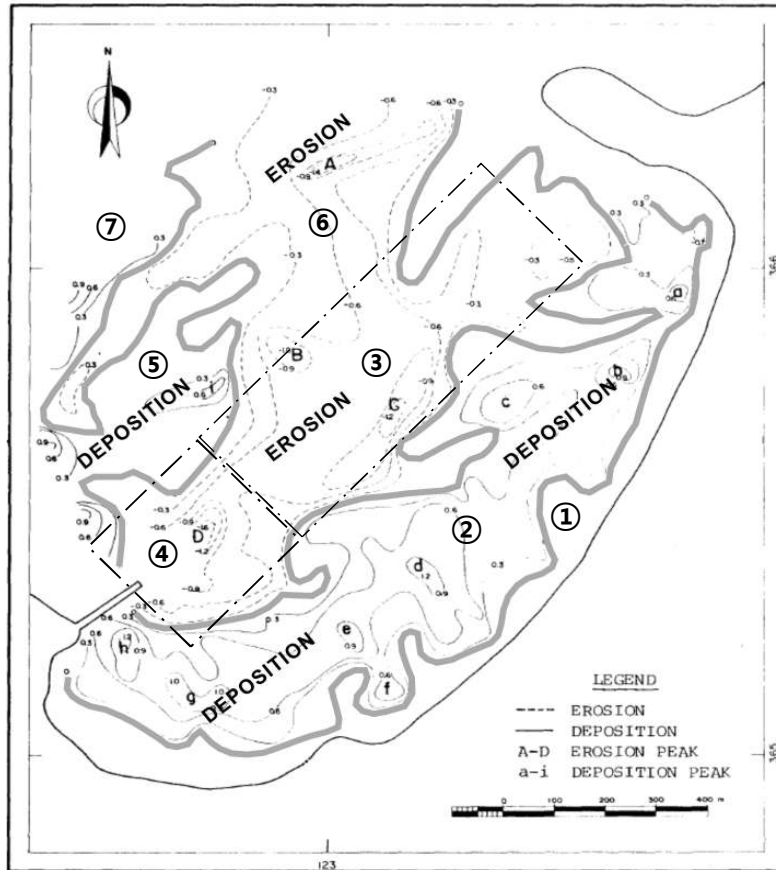


그림 4.1.11 만리포 동계(1981.11~1982.2) 수심변화(한국해양연구소 1982)

한국해양연구소(1982)의 조사는 침식해안에서 수행된 국내 최초의 종합적이고 심도 있는 관측이었음에 의의가 있다.

다. 현장조사

해빈연장이 그리 길지 않은 대조차 만곡해안인 만리포는 파랑의 영향을 크게 받으므로 파랑-흐름 상호작용 및 그에 의한 모래거동을 연구하기에 이상적이다. 또한 만리포에서는 매년 양빈을 시행되고 있어 서해안 최적양빈기법을 연구하기에 적합하다. 이에 본 연구에서는 서해안 연구지역으로 선정하고 2차년도인 2006년부터 수심·해빈측량, 바람, 해저퇴적물, 수리·표사정밀관측 등 다양한 항목을 관측하였다.

1) 와류

한국해양연구소(1982)의 정점 S1, S2 관측지에서 만리포 해역에서 발달가능성을 논한 와류를 2007년 7월 18일 최강창조시 만리포 중앙단면(수심 2~25m) ADCP 이동관측을 통하여 확인하였으며(국토해양부 2008), 와류를 포함한 창·낙조류 공간분포를 보다 넓게 파악하기 위해 실시한 ADCP 이동관측결과가 그림 4.1.12이다.

지형적인 영향으로 창조시 답섬 내측 해역에 와류가 뚜렷하게 발달함을 알 수 있다. 특별히 주목할 구간은 남단 선착장 전면영역(점선타원)으로 창조말기인 고조 0.7, 0.9시간 전에는 서향류이나 창조초기인 고조 4.2시간 전에는 동향류이다. 이는 이 구간이 조시와 파랑상태에 따라 퇴적물의 유입 및 유출경로가 될 수 있음을 의미한다. 낙조시에는 만리포 양단 곳 내측(점선타원)에 소규모 와류가 발달한다.

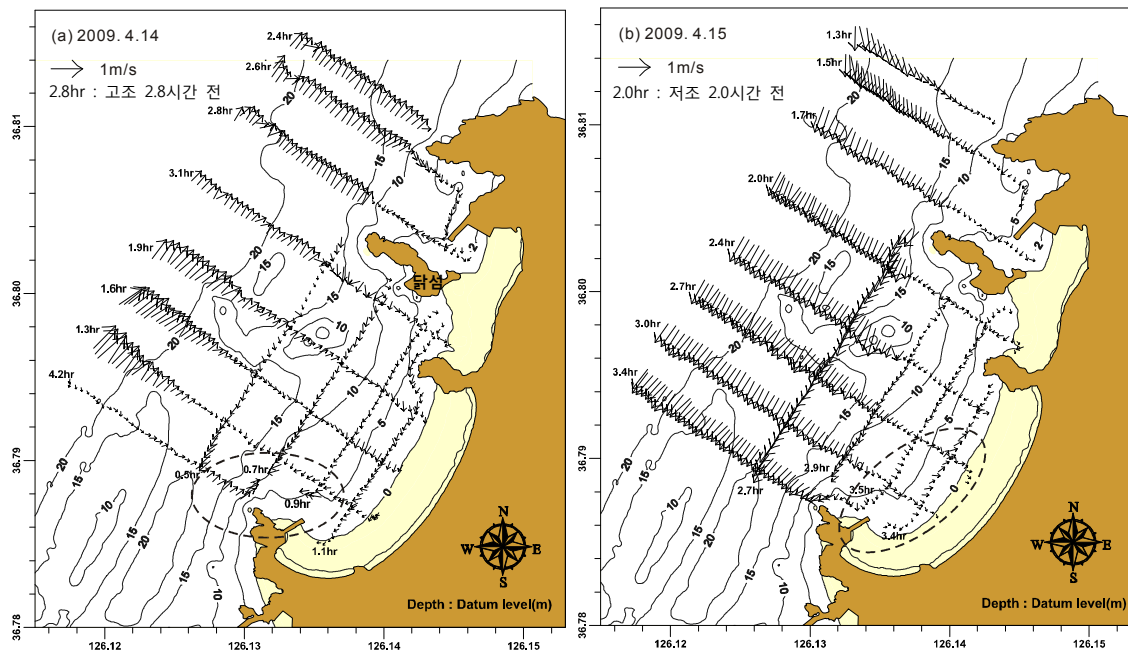


그림 4.1.12 조시별 창·낙조류 수심평균유속·유향 공간분포 (안흥고조 2009/04/14 18:22 521cm, 안흥저조 04/15 13:23 211cm, 안흥대조고조 04/11 04:46 658cm)

2) 해변·해저 표층퇴적물

만리포 및 주변 해변과 해저퇴적물 통계특성 파악을 위해 2007년 1월에 조간대 74개 지점, 동년 6·7월에 조간대 110점과 조하대 33개 지점의 표층퇴적물을 채취·분석하였으며, 평균입경분포는 그림 4.1.13과 같다. 평균입경이 표기되지 않은 조하대 정점은 수차례 시도하였으나 채취에 실패한 곳으로서 암반 혹은 역질일 가능성이 높다. 또한 조하대에서 입경등고선을 작성하지 않은 것은 조간대에 비해 정점간 거리가 멀어 등고선 신뢰도에 문제가 있다고 판단했기 때문이다.

조간대는 전체적으로 양호한 분급(<1)을 보이며, 평균입경은 계절 및 국지적으로 조립사(0-1 ϕ)인 경우도 있으나 대부분 중립사(1-2 ϕ , 250-500 μ m)이다.

동계 만리포의 경우, 비록 최대 및 최소입경의 차이는 크지 않지만 북측해안에서 중앙부에 이르기까지 뚜렷한 대상분포를 보이며, 이는 동계 악기상시 탁월한 서향 및 남서향 표사를 반영한다. 그러나 천리포의 경우는 만리포와 반대로 표고에 따른 대상분포를 보이며, 연육사주가 발달하는 닭섬 배후해빈이 상대적으로 세립질이어서 모래 이동방향 추측이 가능하다.

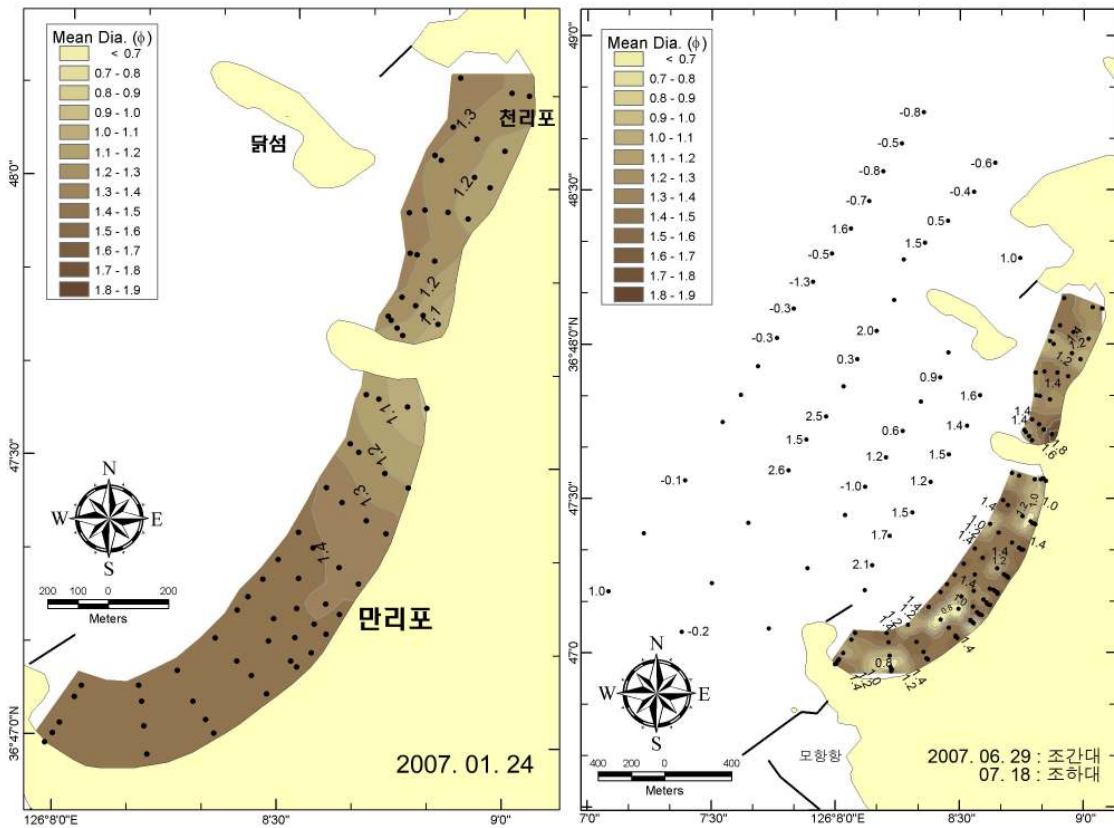


그림 4.1.13 만리포 주변 해변·해저 표층퇴적물 평균입경분포

하계의 경우, 만리포 해변의 조립질 패치가 특징적이다. 먼저 중앙부 평균해면 부근에서 호안으로 연결되는 패치는 파랑에너지가 낮은 하계에 모래가 남북으로 이동하기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 이러한 추론은 남북측 조립질 패치를 설명할 수 없는 어려움이 있다. 양단의 패치는 5월 침식에 의해 형성된 것으로 해석할 수 있으며, 양단 패치는 침식 후 양빈을 시행하지 않은 구간이다. 천리포의 경우 동계에는 보이지 않던 횡단방향 대상분포가 보이며, 특히 담섬 배후의 간조시 톱볼로 양측이 뚜렷하다. 이는 파랑에 의한 체질현상이 감소했기 때문으로 판단된다.

조하대의 경우, 최외곽 입경이 1-2mm 정도로 가장 조립하며 해안으로 접근할수록 세립화되어 내측 정점은 조간대와 같은 중립사이다. 외곽 입경이 북쪽으로 갈수록 조립해지는 것도 특징적인 분포이다.

3) 수리·퇴적현상 정밀관측

만리포 조간대 및 조하대 수리·퇴적작용을 보다 정량적으로 파악하기 위하여 그림 4.1.14의 5개 정점에서 정밀모니터링(표 4.1.2)을 실시함과 아울러 정점 AWS에서는 풍향·풍속을 연속적으로 관측하였다. 정점 S#는 ADCP 2대(상방, 하방), 고주파 초음파 유속계(Doppler 방식), 탁도계, 부유퇴적물 입경분포 관측기 등이 장착된 SPHINX 시스템(그림 4.1.15a, 상세내용 3차년도 보고서 참조)의 관측정점이며, M#는 고주파 초음파 유속계 MAVS-3(acoustic travel time 방식, 그림 4.1.15b)와 광후산란 탁도계(Seapoint OBS)로 구성된다(M2는 기기훼손으로 자료획득 실패).

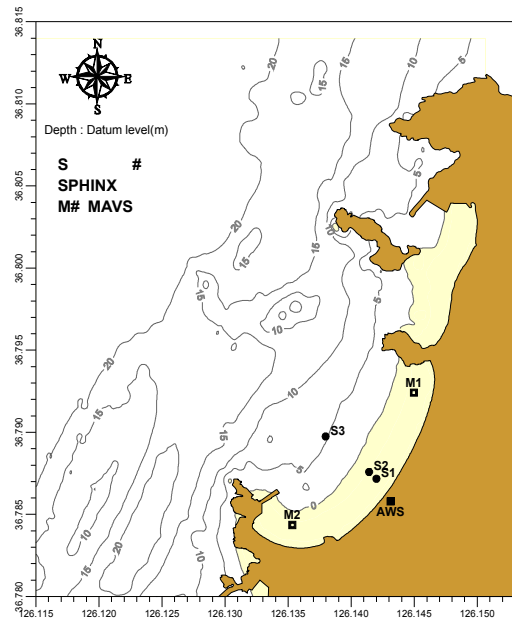


그림 4.1.14 만리포 수리·퇴적현상 정밀관측 및 기상관측 정점



그림 4.1.15 수리·퇴적현상 정밀관측시스템 SPHINX(a) 및 MAVS(b)

표 4.1.2 만리포 수리·퇴적현상 정밀관측 위치·수심·기간·고조위

정점	위치	수심(DL)	관측기간	안흥검조소* 고조위	관측시스템
S1	36° 47' 13.8" 126° 08' 31.2"	3.5m	2006/11/15~12/07	459~677cm	SPHINX
S2	36° 47' 15.3" 126° 08' 29.1"	2.2m	2008/12/13~12/21	493~693cm	
			2009/12/08~12/23	492~634cm	
S3	36° 47' 23.1" 126° 08' 16.7"	-5.2m	2009/07/08~08/07	455~727cm	MAVS
M1	36° 47' 32.7" 126° 08' 41.9"	3.4m	2009/12/08~12/23	492~634cm	
M2	36° 47' 03.7" 126° 08' 07.2"	3.2m			

* Z0 (MSL) = 355cm, 대조승(Spring Rise, Z0+Hm+Hs) = 650cm, 소조승(Neap Rise, Z0+Hm-Hs) = 480cm

가) 조간대 수리·표사특성

① 정점 S1 동계

호안으로부터의 이격거리가 150m이고 평균해수면에 해당하는 정점 S1 관측시기 수리 등의 사정으로 인하여 저층 유속·유향·탁도 정밀연직분포를 관측하는 미국 Sontek 사의 PC-ADP와 레이저를 이용하여 부유퇴적물 입경분포와 체적농도를 관측하는 Sequoia 사의 LISST를 장착하지 못하였으며, 고주파 초음파 유속계인 노르웨이 Nortek 사의 Vector, 미국 D&A 사의 탁도계 OBS, 그리고 국내에서 제작한 수위·파고·음향표고계가 주요관측을 담당하였다.

그림 4.1.16은 S1에서의 수리·표사특성과 정점 AWS에서의 풍속 시계열이다. 유속·유향 및 부유사 농도는 저면상 40cm 높이에서 20분마다 8Hz로 측정된 1,024개 자료의 평균치이다. 시계열로부터 알 수 있는 바와 같이 바람, 파고 및 부유퇴적물 농도가 높은 상관관계를 보이며, 관측된 최강유속은 58.4 cm/s이었다.

그림 4.1.17은 유사한 조석조건에서 강풍 유무에 따른 수리·표사특성을 비교한 것이다. 최대유속은 약 12 cm/s이고 농도는 30~50 mg/l인 평상소조기에서 주목할 사항은 유향으로서 창조시에는 남서향류가 지속되며, 낙조시에서 동향 혹은 북동향에서 북향으로 서서히 회전한다. 이는 외해와는 반대되는 흐름으로서 와류가 발달함을 의미한다. 그러나 이러한 고파랑 내습시에는 이러한 와류가 와해되어 그림 4.1.17(b)에서 알 수 있는 바와 같이 창조시에는 270~360° 방향, 낙조시에는 270° 방향으로 흐르며, 유속이 약 60 cm/s까지 증가한다. 창조시에 북서향류가 발생하는 것은 바람에 의한 서향류가 북서향 창조류의 영향을 받기 때문으로 판단된다. 고파사상 동안의 부유사 농도는 약 200~700 mg/l이다.

IV. 시범 현장조사 및 설계

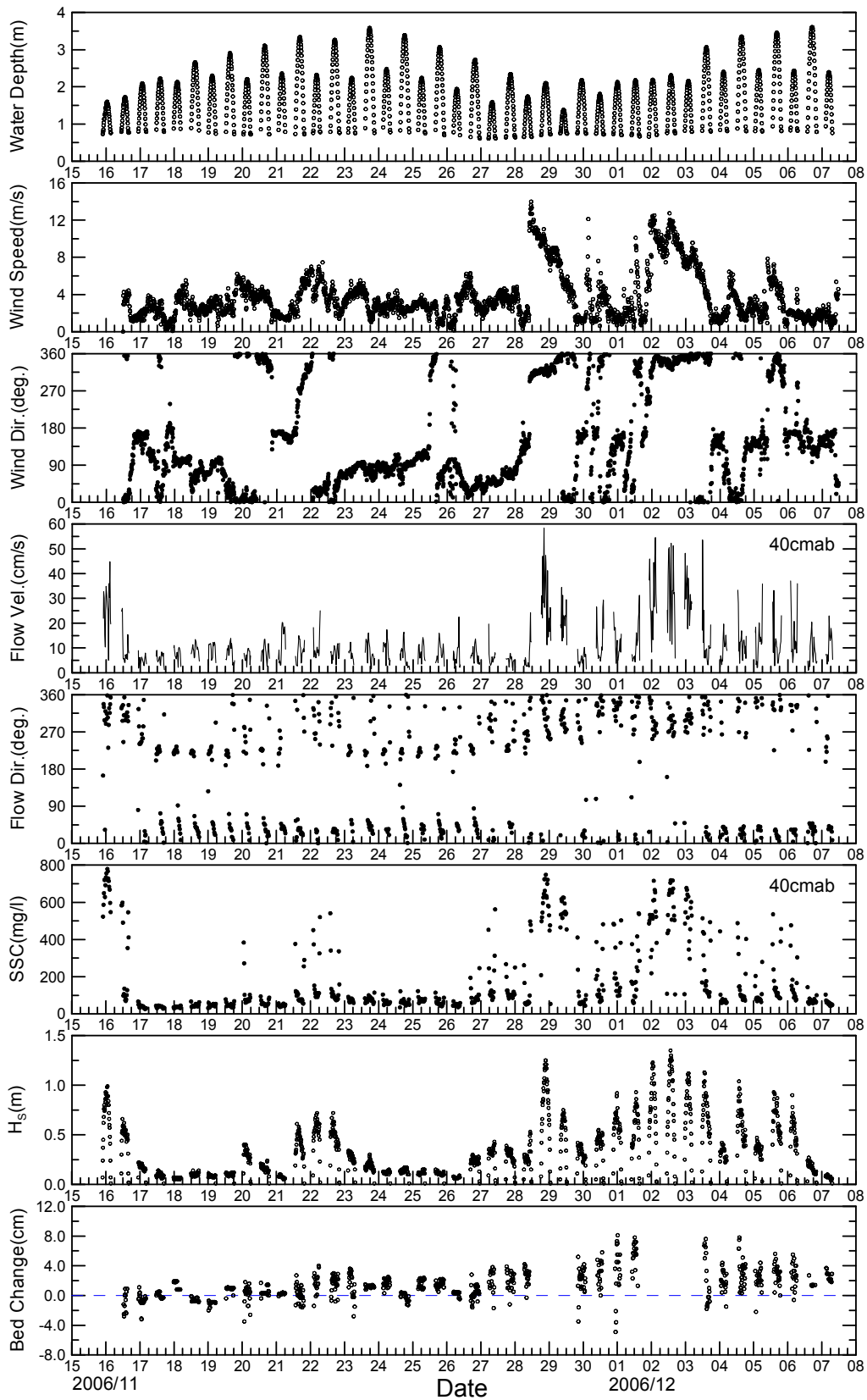


그림 4.1.16 정점 S1 수리·표사특성 및 정점 AWS 바람 시계열 (cmab: cm above the bed)

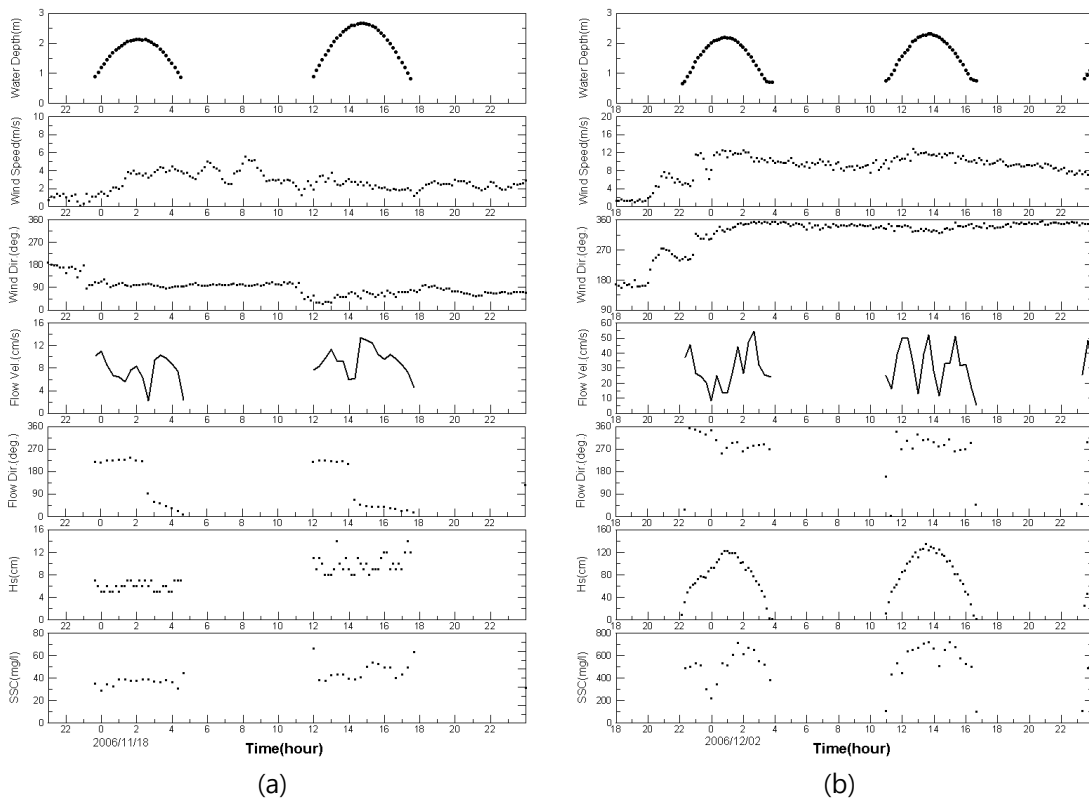


그림 4.1.17 (a)정상소조기 및 (b)고파소조기 수리·표사특성 비교(유속·유향·농도: 40cmab)

그림 4.1.18과 4.1.19는 각각 정상소조와 고파소조 최강창·낙조류 발생시기 1 burst(128초) 동안의 부유퇴적물 순간플럭스 산포도이다. 8Hz로 관측한 유속·유향과 농도로 산정하는 1,024개 순간플럭스를 누적하면 측정 burst 동안의 순이동량과 방향을 구할 수 있으며, 이를 정상소조기인 11월 18일과 고파소조기인 12월 2일에 적용한 결과가 그림 4.1.20이다. 그림 4.1.19(b)에 남동향 순간플럭스가 있으나 이들 대부분은 파랑에 의한 변동성분으로서 누적과정에서 상쇄된다. 11월 8일과 12월 2일의 총이동량은 각각 15 및 740 g/cm²로서 고파사상 동안의 이동량이 평상시의 49배이며, 관측높이가 저면상 40 cm임을 감안하면 전층 이동량의 차이는 훨씬 클 수 있음을 예상할 수 있다.

전체 관측기간에 걸친 461개 burst에 대하여 구하고 이를 방향별로 나타낸 것이 그림 4.1.21과 표 4.1.3이다. 이 경우에도 12월 2일과 같이 300~310° 방향으로의 이동량이 가장 높으며, 12월 2일의 이동량이 전체 이동량의 33%를 차지한다.

당초 만리포 해변 중앙부에서의 순이동방향은 남서향일 것으로 예상하였으나 고파사상을 포함하는 기간 동안 서향-북서향 이동이 탁월하였으며, 이는 주목할 만한 관측결과이다.

IV. 시범 현장조사 및 설계

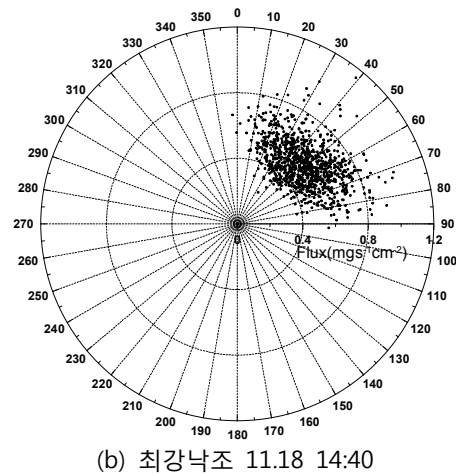
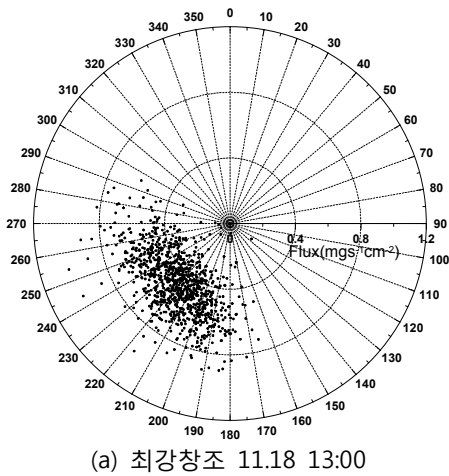


그림 4.1.18 정상소조 최강창낙조시 부유퇴적물 순간플럭스 산포도 (1 burst, 40 cmab)

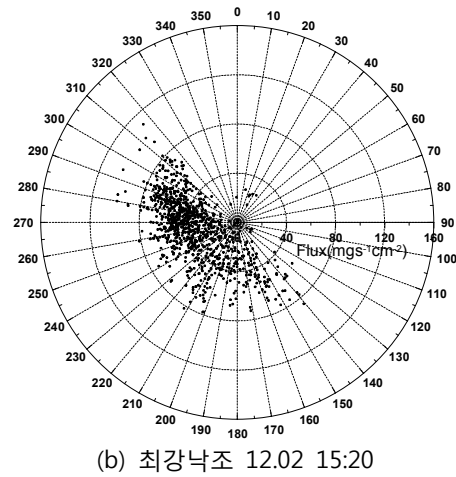
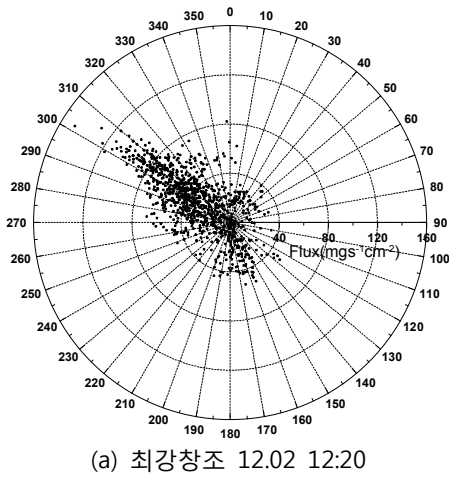


그림 4.1.19 고파소조 최강창낙조시 부유퇴적물 순간플럭스 산포도 (1 burst, 40 cmab)

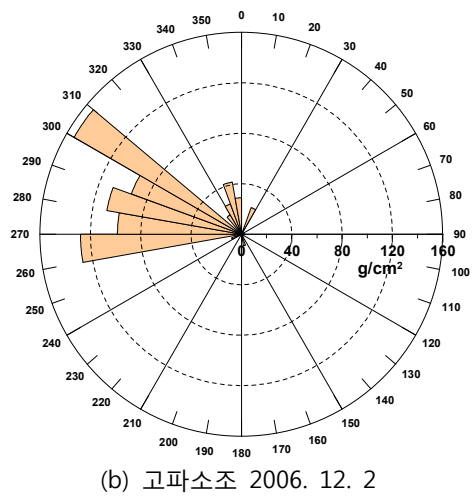
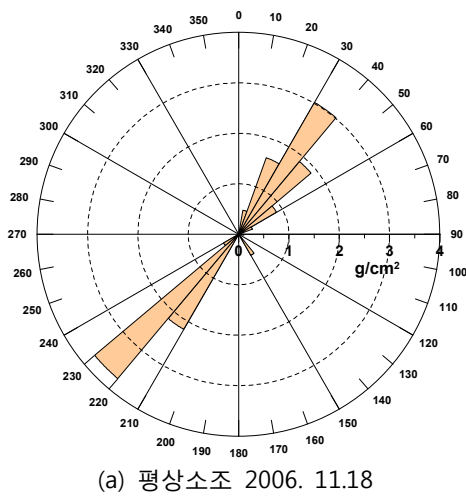


그림 4.1.20 정상소조 및 고파소조 1일 동안의 방향별 부유퇴적물 이동량(40 cmab)

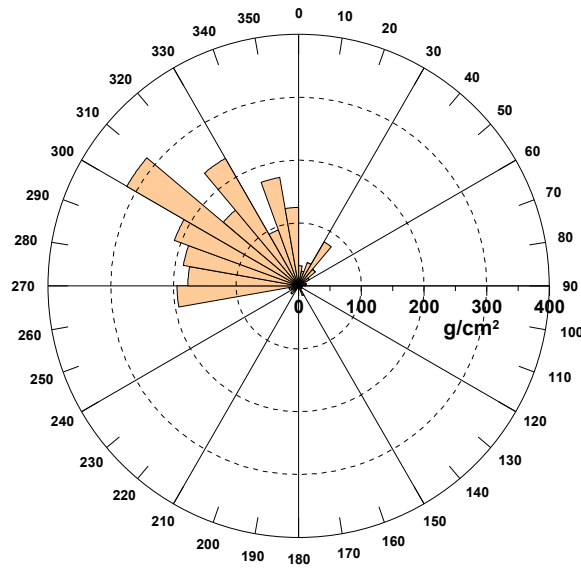


그림 4.1.21 정점 S1 2006년 동계(11/15~12/07) 저면상 40 cm 부유퇴적물 방향별 이동량

표 4.1.3 정점 S1 2006년 동계(11/15~12/07) 저면상 40 cm 부유퇴적물 방향별 이동량 및 출현율

이동방향	이동량(g/cm ²)	출현율(%)	이동방향	이동량(g/cm ²)	출현율(%)
0° ~ 10°	32.0	1.43	180° ~ 190°	0.6	0.03
10° ~ 20°	23.8	1.07	190° ~ 200°	1.1	0.05
20° ~ 30°	39.5	1.77	200° ~ 210°	1.8	0.08
30° ~ 40°	80.8	3.61	210° ~ 220°	8.4	0.37
40° ~ 50°	34.4	1.54	220° ~ 230°	16.5	0.74
50° ~ 60°	19.2	0.86	230° ~ 240°	7.8	0.35
60° ~ 70°	0.9	0.04	240° ~ 250°	12.0	0.54
70° ~ 80°	12.3	0.55	250° ~ 260°	15.7	0.70
80° ~ 90°	10.6	0.47	260° ~ 270°	194.2	8.68
90° ~ 100°	4.1	0.18	270° ~ 280°	176.9	7.91
100° ~ 110°	6.2	0.28	280° ~ 290°	187.0	8.36
110° ~ 120°	0.2	0.01	290° ~ 300°	211.2	9.45
120° ~ 130°	3.6	0.16	300° ~ 310°	316.7	14.16
130° ~ 140°	6.1	0.27	310° ~ 320°	157.2	7.03
140° ~ 150°	2.8	0.12	320° ~ 330°	234.1	10.47
150° ~ 160°	16.2	0.72	330° ~ 340°	94.6	4.23
160° ~ 170°	1.9	0.08	340° ~ 350°	175.1	7.83
170° ~ 180°	5.5	0.25	350° ~ 360°	124.8	5.58
계(g/cm ²)			2235.8		

② 정점 S2 2008년 동계

표고 DL(+).2.2 m, 호안으로부터의 거리 220 m 위치인 정점 S2에서 2008년과 2009년 동계관측을 실시하였다. S2 관측에서는 PC-ADP를 장착하여 약 1 m 두께인 저층의 유속·유향과 부유퇴적물 농도로 변환되는 반사음향강도 연직분포를 2 Hz로 관측하였으며, 관측간격은 3 cm이다. 또한 LISST는 저면으로부터 50 cm 높이의 부유퇴적물 입경분포와 체적농도를 측정한다.

관측기간(12.13~21) 9일 중 초기 2.5일 동안 노르웨이 Aanderaa 사의 기상관측 시스템 AWS 2700 이상으로 풍향·풍속이, 17일부터는 LISST 이상으로 부유퇴적물 농도와 입경분포가 결측되었다.

SPHINX에서 퇴적물 농도를 간접적으로 측정하는 기기는 고집적 적외선의 후산란강도를 측정하는 OBS와 음향 반사강도를 측정하는 Vector와 PC-ADP이며, 약 1 m 두께의 저층에서의 이동량 파악을 위해서는 PC-ADP가 연직 3 cm 간격으로 수신하는 반사음향 강도를 실제농도로 환산하는 것이 필요하다. 이를 위하여 LISST 체적농도로부터 구한 실제농도와 동일한 층에서의 음향강도와의 상관관계를 구할 수 있다. 그러나 2008년 동계의 경우 후반 5일 동안의 LISST 결측으로 인해 검보정 자료가 부족하여 LISST 농도와 상부 OBS (설치높이 50 cmab) 전압과의 상관식을 구한 후 동일한 식을 하부 OBS (설치높이 25 cmab)에 적용하여 구한 2개층 OBS 농도와 동일층 PC-ADP 음향강도와의 상관식을 구하는 2단계 검보정(그림 4.1.21)을 통하여 저층농도 연직분포를 구하였다.

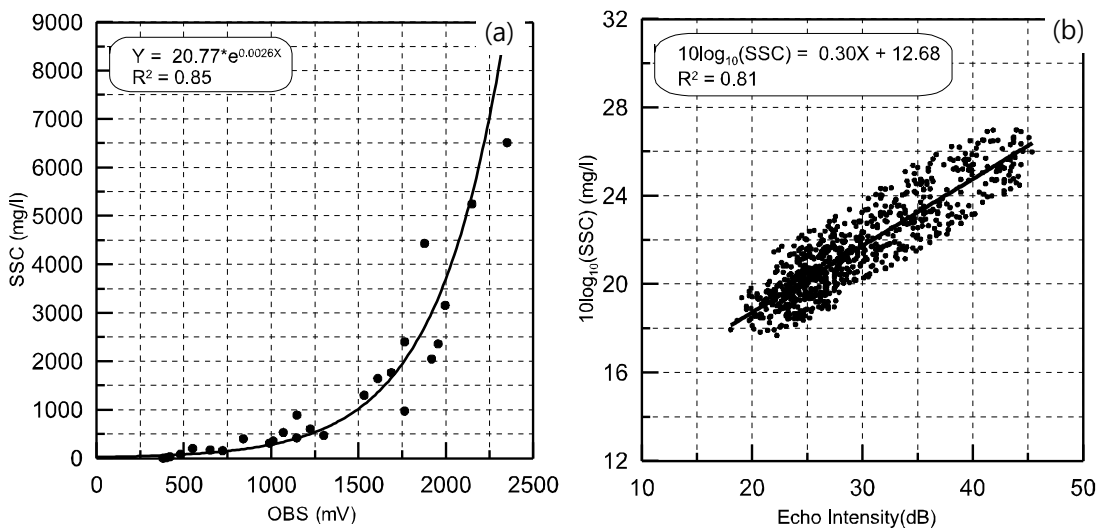


그림 4.1.22 정점 S2 2008년 동계관측시 (a) LISST 농도와 상부 OBS 출력전압 상관관계 및 (b) 상하부 OBS 농도와 동일층 반사음향강도 상관관계

그림 4.1.23은 상부 Vector·OBS의 burst 관측(1,024회, 8Hz) 예로서 관측위치가 퇴적 혹은 SPHINX 침하에 의해 설치초기의 저면상 50 cm에서 38 cm로 감소하였고 LISST 농도와 OBS burst 평균전압이 각각 6,520 mg/l와 2,352 mV로서 최고치를 기록한 시기이다(그림 4.1.21a).

Burst(128초) 평균흐름은 23.2 cm/s의 서향류(283.7°)이며, 수위에는 파동이 관측되지 않았으나 흐름은 주기 6~12초의 반시계방향 회전 특성을 보이며, 남동방향 흐름에서 북서 혹은 서향류로 회전하는 시간이 상대적으로 길다. 이러한 주기적인 회전류 특성은 정점 S2 전면에서의 쇄파에 의해 발달하는 해빈류, 조류, 그리고 파랑 처내림시 배후의 넓은 해빈으로부터의 공극수 공급 등 다양한 현상의 상호작용 때문인 것으로 판단된다.

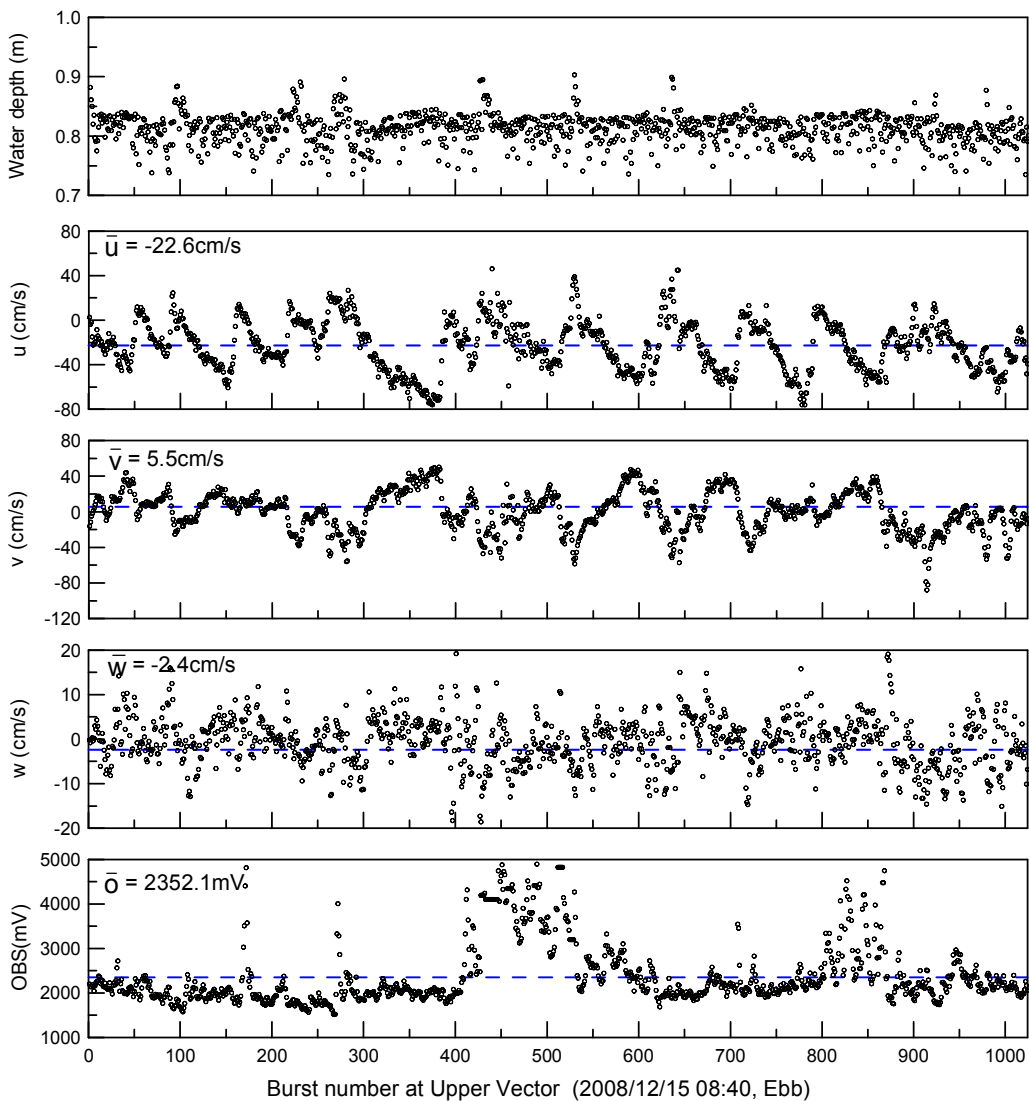


그림 4.1.23 정점 S2 2008년 동계 Vector·OBS Burst Sampling (8Hz) 예

IV. 시범 현장조사 및 설계

한편 수심이 약 0.8 m로 낮고 순간유속 변동폭, 즉 전단응력 ($\propto \sqrt{u'^2 + v'^2} w'$)이 크에 따라 OBS 출력전압, 즉 부유퇴적물 농도가 높으며, w' 이 $-20 \sim 20$ cm/s로 변할 때의 출력전압이 상한인 5 V에 근접한다. 사실환경에서 OBS 출력전압이 5 볼트에 근접하는 경우는 매우 드문 경우이며, 동일시간의 LISST 측정결과(그림 4.1.24, 표 4.1.4)에 따르면 부유퇴적물 중 입경이 $62.5 \sim 125 \mu\text{m}$ 인 세립사(very fine sand)가 87 %, 실트 이하가 11.5 %이다. 이러한 분포는 만리포 해변 및 조하대 표층퇴적물에 비해 세립질 함유비가 높은 것으로서 주변해역으로부터 세립퇴적물이 공급됨을 의미하며, 2008년 2월에 촬영된 그림 4.1.25와 S2 관측 거의 전체기간에 걸쳐 파고가 0.5 m 이상이였음으로부터 근소만 등 만리포 남측 니질조건대에서 부유된 세립질이 복상한 것으로 판단된다.

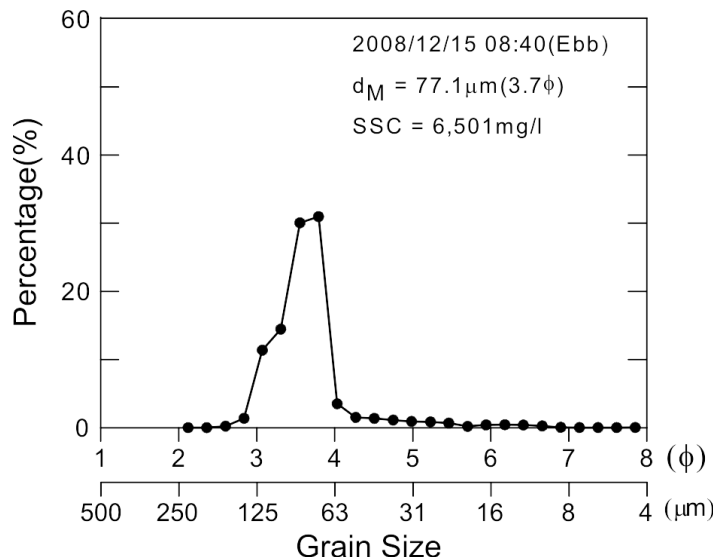


그림 4.1.24 정점 S2 2008년 동계관측 최고농도 발생시 부유퇴적물(38cmab) 입경분포

표 4.1.4 정점 S2 2008년 동계관측 최고농도 발생시 부유퇴적물(38cmab) 입경별 비율

φ	2.1	2.4	2.6	2.8	3.1	3.3	3.6	3.8
%	0.00	0.00	0.21	1.36	11.36	14.45	30.05	30.97
φ	4.0	4.3	4.5	4.7	5.0	5.2	5.5	5.7
%	3.51	1.51	1.35	1.10	0.91	0.84	0.66	0.19
φ	5.9	6.2	6.4	6.7	6.9	7.1	7.4	7.6
%	0.40	0.43	0.38	0.24	0.04	0.01	0.01	0.02
φ	7.9	8.1	8.3	8.6	8.8	9.0	9.3	9.5
%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00



그림 4.1.25 만리포 및 주변해역 고탁도 발생 예 (Daum, 2008. 2)

조사기간 동안의 주요변수 시계열이 그림 4.1.26이며, 유속·유향과 농도는 상하부 Vector와 OBS의 burst 평균값이다. SPHINX 침수시기 대부분(17회 중 14회)의 파고가 0.5 m 이상이였다. 최대파고 약 1m인 2번째 침수시기에 4~12 cm가 퇴적되었으며, 3번째 침수시기 이후 평균 약 10~14 cm의 퇴적을 유지하였다. 그러나 이는 SPHINX 침하일 수 있으므로 퇴적으로 단정할 수는 없다. 이러한 퇴적 혹은 침하에 의해 초기에 25 cmab와 50 cmab인 Vector·OBS Set의 2개층 측정높이와, 초기에 50 cmab인 LISST 측정높이도 변화였다.

유속은 파고와 높은 상관성을 보이며, 유향은 창조 침수초기와 낙조 침수말기에는 270~360°, 고조전후 일정시간 동안 0~45°인 것이 특징적이거나 소조기에는 이러한 경향이 소멸하여 20, 21일에 관측된 대부분의 유향은 225~360° 사이에 분포한다.

상부(35~50 cmab)와 하부(10~25 cmab) OBS의 최소농도는 각각 약 50 mg/l와 100 mg/l이나 최고농도는 두 층 모두 5,000 mg/l를 상회한다. 이러한 고농도 peak는 주로 센서 침수초기와 말기에 발생하며, 그 대표적인 예가 그림 4.1.22이다.

그림 4.1.27은 PC-ADP의 관측결과로서 두께 약 1m인 저층의 유속·유향·농도 연직분포 시계열이다.

유사한 조석조건에서 고파랑 유무에 따른 수리·표사특성을 상세하게 파악하기 위하여 관측결과를 확대한 것이 그림 4.1.28이다. 대부분의 관측기간 동안의 파고가 0.5 m 이상이어서 정점 S1의 경우와 같이 정온시의 유향특성을 파악할 수 없지만 파고가 낮을수록 고조 부근의 유속이 상대적으로 큰 반면 파고가 높으면 침수초기

■ IV. 시범 현장조사 및 설계

와 말기 유속이 증가하며, 북서향 흐름의 발생빈도가 높아지는 경향을 보인다.

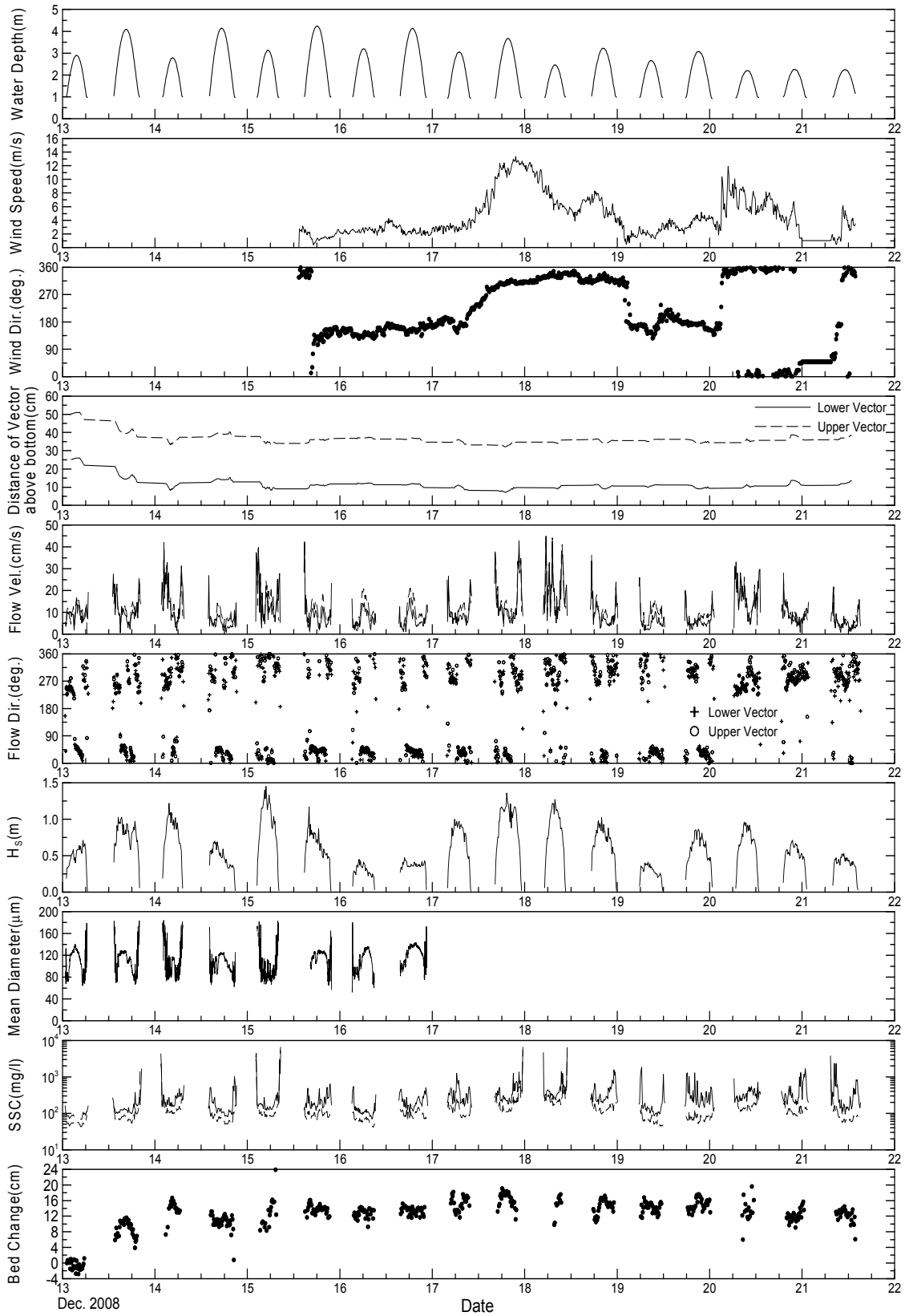


그림 4.1.26 정점 S2 2008년 동계 수리·표사특성 및 정점 AWS 바람 시계열

IV. 시범 현장조사 및 설계

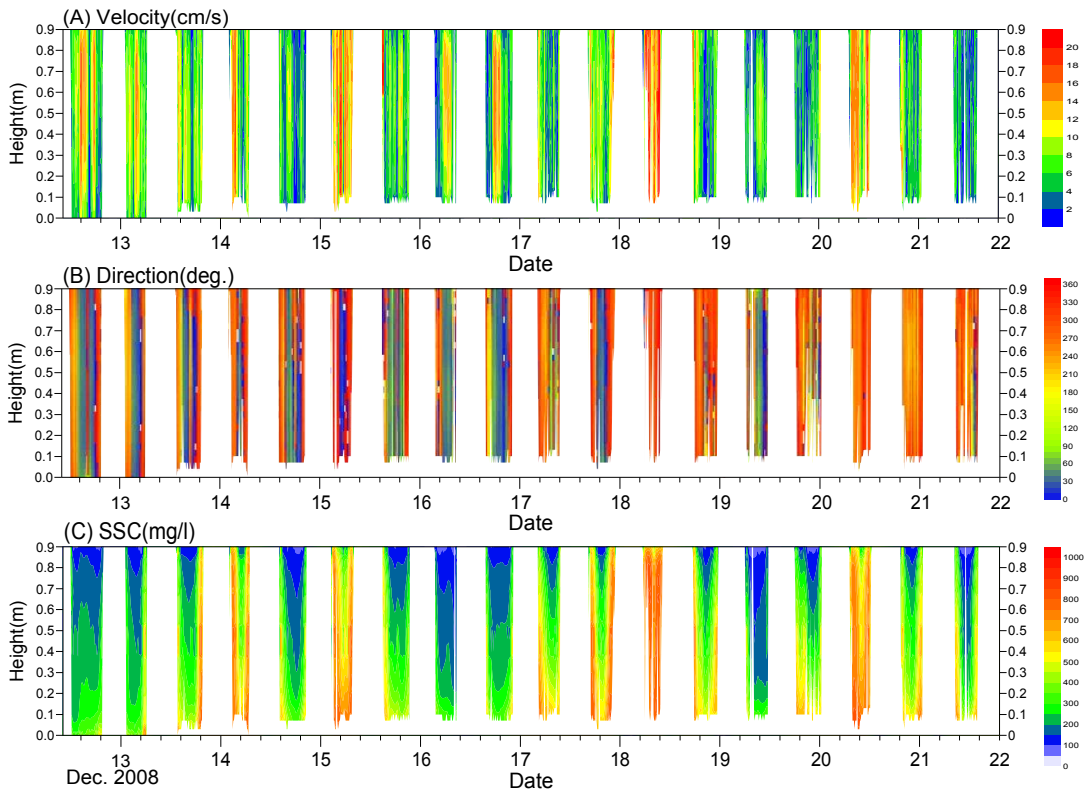


그림 4.127 정점 S2 2008년 동계 저층 유속·유향·농도 연직분포 시계열

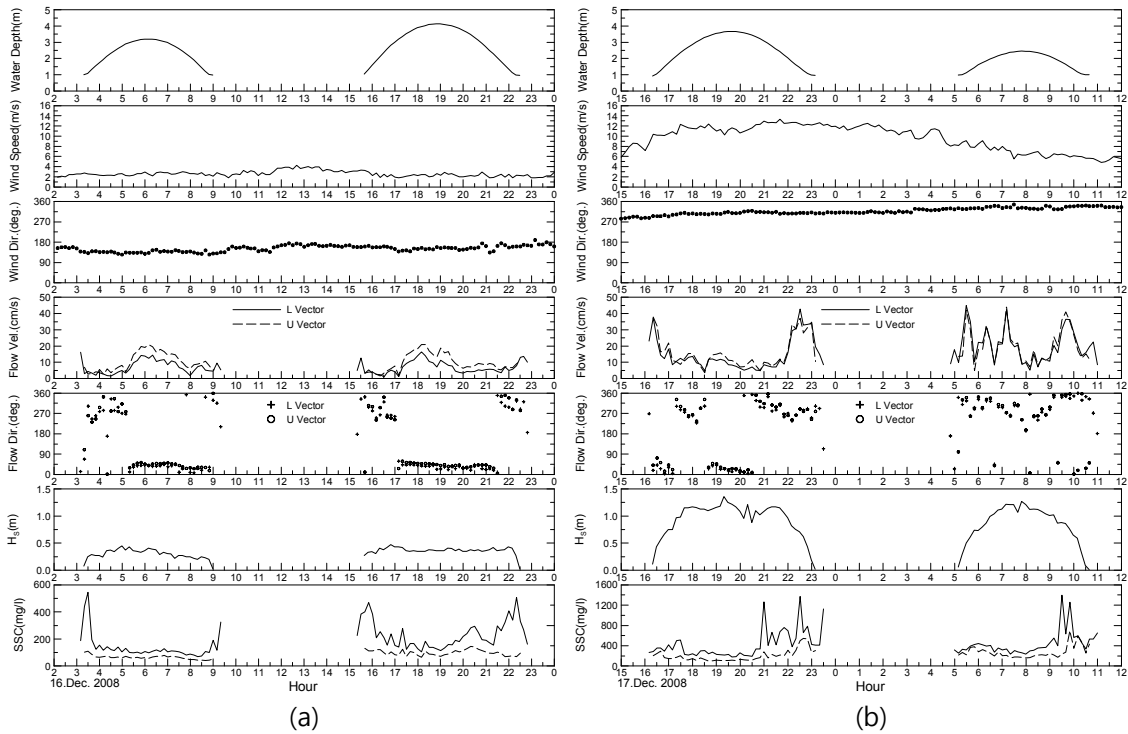


그림 4.128 정점 S2 2008년 동계 (a)평상시 및 (b)고파사상 수리·표사특성 비교 (대조기 고조 12.13 16:22 693cm)

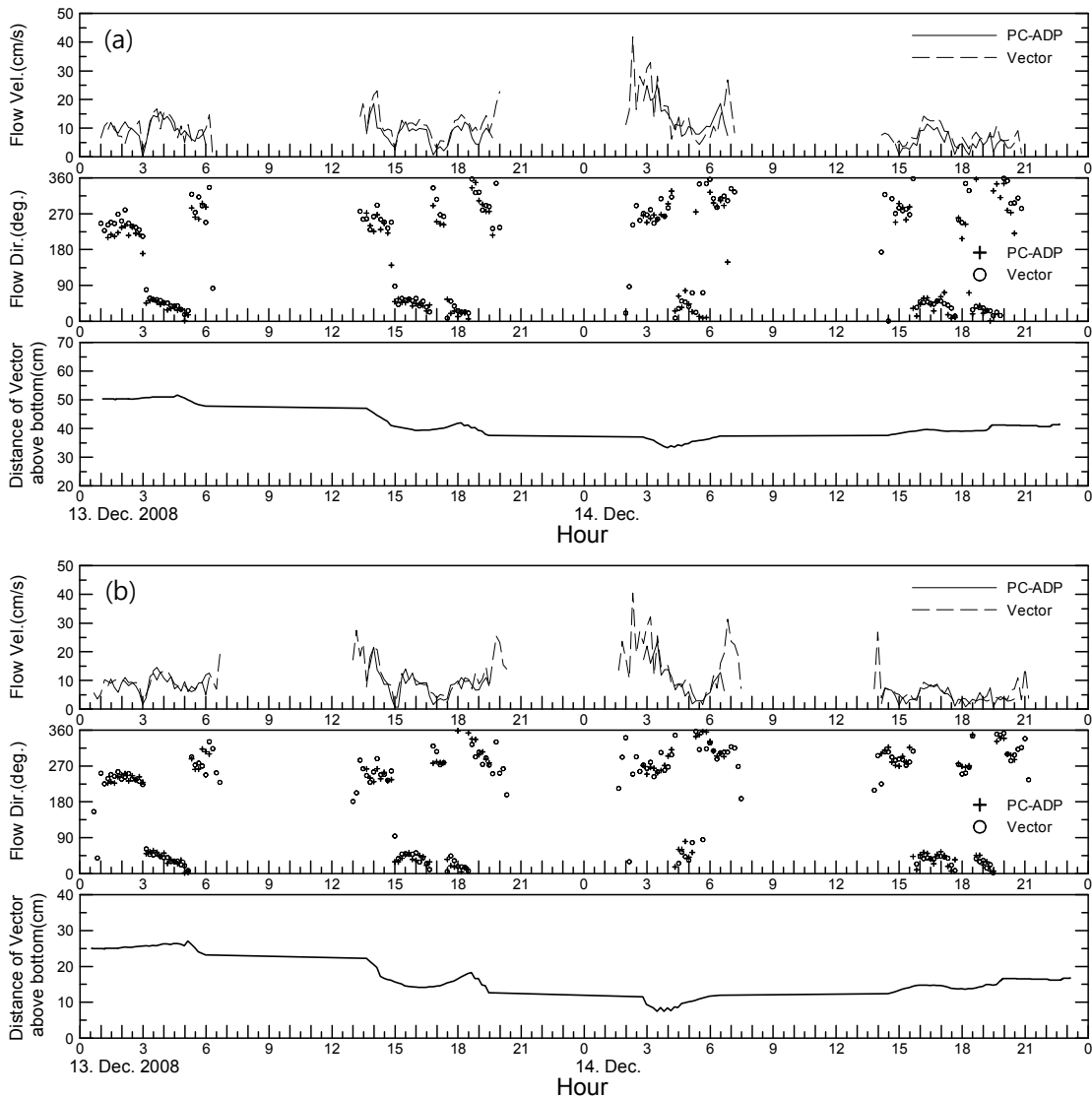


그림 4.1.29 정점 S2 2008년 동계 단일층 초음파 유속계(Nortek Vector)와 초음파 유속 Profiler (Sontek PC-ADP) 관측치 비교

한편 SPHINX에는 초음파의 Doppler 효과를 이용하는 단일층 고주파 유속계인 Nortek Vector 2대와 같은 방식을 이용하는 유속·유향 연직분포 관측기기인 Sontek PC-ADP 1대가 장착되므로 두 기기의 관측결과를 비교해볼 필요가 있다. 그림 4.1.29는 Vector 관측결과와 같은 층에서의 PC-ADP 관측결과를 비교한 것으로서 유속과 유향 경향이 유사함을 알 수 있다. 유속차가 일부 나타나는 것은 Vector의 경우는 8Hz로 2.13분 동안 관측한 1,024개 유속의 평균치이고, PC-ADP 유속은 2Hz로 8.5분 동안 관측한 1,024개 자료의 평균이기 때문이다. Vector의 관측 주파수가 높기 때문에 동일시간 동안 관측할 경우 Vector의 최대·최소값 차이가 PC-ADP보다 클 가능성이 높다.

IV. 시범 현장조사 및 설계

그림 4.1.29에서 퇴적물이동량 산정과 관련하여 주목할 사항은 기기의 설치 높이 차이 때문에 Vector 관측 커버리지가 길며, PC-ADP 관측이 불가능한 수위에서 Vector 측정유속이 침수시기 중 최대치일 경우가 많다는 것이다. 이는 PC-ADP만으로 퇴적물이동량을 산정할 경우 실제보다 과소평가할 가능성이 높음을 의미한다.

그림 4.1.30과 표 4.1.5는 퇴적(혹은 SPHINX 침하)을 감안하여 PC-ADP 관측결과로부터 구한 0~78 cmab까지의 저층 부유퇴적물의 방향별 이동량으로서 240~330° 방향으로의 이동량이 전체의 57%를 차지하였다.

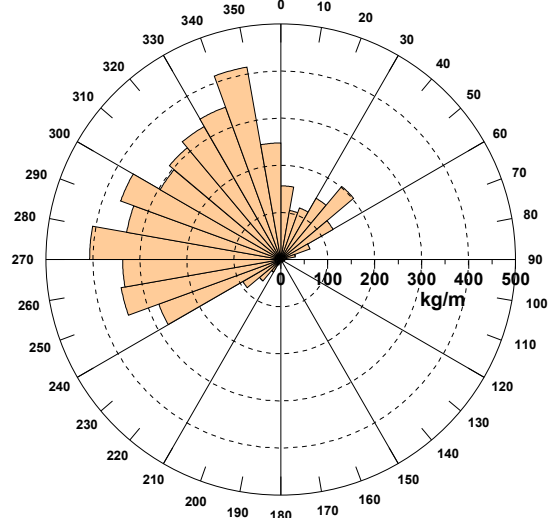


그림 4.1.30 정점 S2 2008년 동계(12/13~21) 저층(0~78 cmab) 부유퇴적물 방향별 이동량

표 4.1.5 정점 S2 2008년 동계(12/13~21) 저층(0~78 cmab) 부유퇴적물 방향별 이동량 및 출현율

이동방향	이동량(kg/m)	출현율(%)	이동방향	이동량(kg/m)	출현율(%)
0° ~ 10°	156.3	2.99	180° ~ 190°	5.7	0.11
10° ~ 20°	105.7	2.03	190° ~ 200°	5.7	0.11
20° ~ 30°	116.3	2.23	200° ~ 210°	12.4	0.24
30° ~ 40°	150.1	2.88	210° ~ 220°	30.8	0.59
40° ~ 50°	202.2	3.88	220° ~ 230°	59.2	1.13
50° ~ 60°	128.3	2.46	230° ~ 240°	93.0	1.78
60° ~ 70°	66.0	1.26	240° ~ 250°	276.4	5.30
70° ~ 80°	31.7	0.61	250° ~ 260°	344.9	6.61
80° ~ 90°	10.2	0.20	260° ~ 270°	336.7	6.45
90° ~ 100°	7.3	0.14	270° ~ 280°	406.9	7.80
100° ~ 110°	7.9	0.15	280° ~ 290°	333.0	6.38
110° ~ 120°	5.7	0.11	290° ~ 300°	362.8	6.95
120° ~ 130°	5.0	0.10	300° ~ 310°	296.5	5.68
130° ~ 140°	4.3	0.08	310° ~ 320°	309.6	5.93
140° ~ 150°	6.3	0.12	320° ~ 330°	325.8	6.24
150° ~ 160°	2.7	0.05	330° ~ 340°	344.1	6.59
160° ~ 170°	3.5	0.07	340° ~ 350°	414.4	7.94
170° ~ 180°	4.1	0.08	350° ~ 360°	247.3	4.74
계(kg/m)			5,218.9		

③ 정점 S2 2009년 동계

2008년의 이상고탁도 발생을 재검토하고 불충분한 관측(9일)을 보완하기 위하여 동일한 시스템을 설치하여 15일 관측을 2009년 12월 8~23일 동안 실시하였다(이하 08-관측, 09-관측).

09-관측에서는 08-관측의 경우와 같은 고농도가 발생하지 않았으며, 이는 관측기간 동안의 조위와 파고의 영향 때문으로 판단된다. 08-관측기간 동안의 인근 안흥검조소 최고조위는 693 cm인 반면 09-관측 최고조위는 60 cm가 낮은 634 cm이었다. 또한 08-관측의 경우 관측개시일이 최고조위 발생일이었으며, 전체기간에 걸쳐 유의 파고가 0.5~1.5 m이었던 반면, 09-관측의 경우에는 관측 2일째인 9일이 소조(안흥조위 508 cm)이었으며, 관측개시 5일 동안의 파고는 무시할 수 있을 정도였다. 즉, 조위와 파고를 고려할 때 관측기간 동안 근소만으로부터 시작하는 고탁도(그림 4.1.31)가 만리포에 미치는 영향은 08-관측기간 동안이 훨씬 크다.

09-관측에서 고탁도가 발생하지 않고 부유퇴적물 입경이 증가함에 따라 08-관측 농도환산식 도출에 유용하게 활용되었던 LISST의 측정범위 한계에 의한 것으로 판단되는, 향후 개선이 요망되는 탁도신호(광후산란 및 반사음향 강도) 검보정 문제가 발견되었다.



그림 4.1.31 근소만 일원해역 낙조시 (Naver)

IV. 시범 현장조사 및 설계

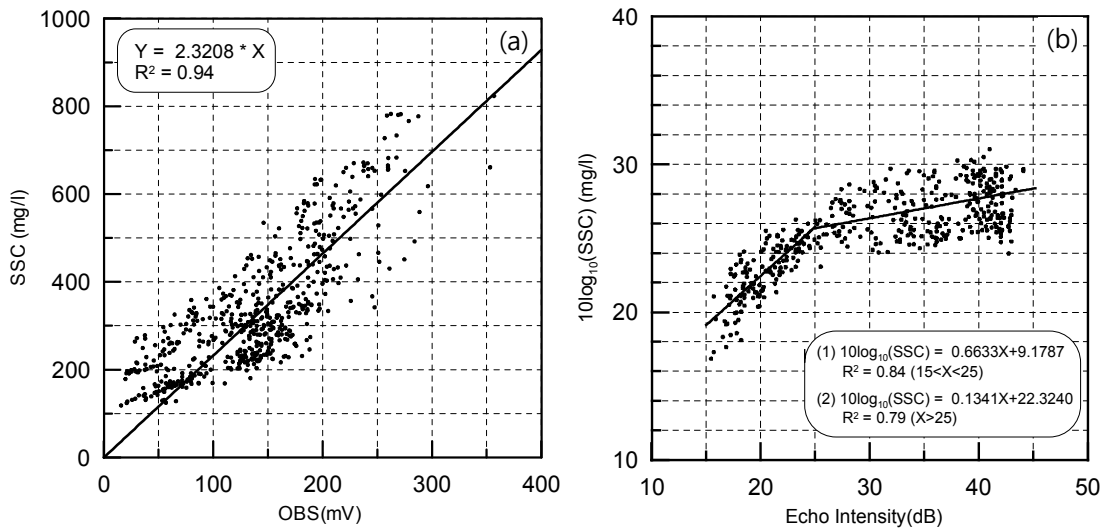


그림 4.1.32 정점 S2 2009년 동계관측시 LISST 농도와 (a) 상부 OBS 출력전압 및 (b) 동일층 PC-ADP 반사음향강도 상관관계

그림 4.1.32는 LISST와 동일층의 OBS와 PC-ADP 음향강도 상관관계이다. 먼저 OBS 출력전압은 부유퇴적물이 세립질이면 농도와 선형, 조립질이면 비선형 상관관계를 갖고, 음향반사강도와 대수농도의 상관관계는 선형인 것이 일반적이다. 따라서 그림 4.1.32(a)는 부유퇴적물 입경이 사질이면, (b)의 경우는 입경에 상관없이 일반적인 경향과는 다르다.

OBS와 PC-ADP의 부유퇴적물 농도 간접정보와 LISST로부터 구한 실제농도와의 상관관계가 이와 같이 일반적인 경향을 벗어나는 이유는 09-관측시 정점 S2 표층퇴적물은 사질이 99.8 %이고 평균입경이 중립사인 $351\mu\text{m}(1.51\phi)$ 로서 LISST 측정계는 $250\mu\text{m}$ 을 초과하기 때문일 가능성이 높으며, 대표적인 측정결과가 관측기간 중 LISST 농도가 최대일 때인 그림 4.1.33이다. 그림의 부유퇴적물 입경분포로부터 $250\mu\text{m}$ 이상의 입자들도 상당량 포함되어 있을 것으로 예상할 수 있으나 LISST 범위를 벗어남에 따라 농도에서 제외되었다. 따라서 고에너지 조건에서 부유될 입경 $250\mu\text{m}$ 이상의 입자가 농도에서 제외되지 않으면 그림 4.1.32(a),(b) 각각은 그림 4.1.22와 같이 비선형과 선형관계를 나타낼 것으로 판단된다.

레이저를 이용하는 미국 Sequoia 사의 LISST는 연안퇴적학 및 연안공학 분야에 활용도가 매우 높은 장비이지만 가격이 50,000US\$ 이상으로 고가이며, 이상과 같은 측정범위의 제약이 따르는 단점이 있다. 최근 측정상한을 $500\mu\text{m}(1\phi)$ 까지 확장한 모델이 출시되었으므로 SPHINX LISST를 개량하여 사질환경에서의 시스템 신뢰도를 높일 필요가 있다.

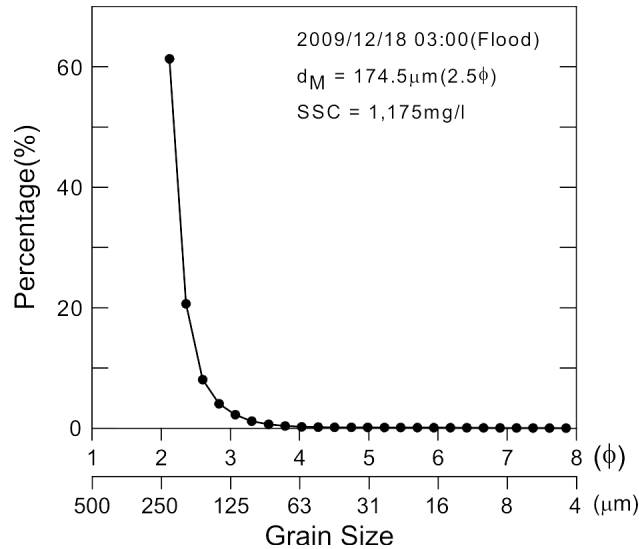


그림 4.1.33 정점 S2 2009년 동계관측에서 최대 LISST 농도 발생시 부유퇴적물 입경분포

그림 4.1.34는 09-관측 바람 및 수리·표사변수 시계열로서 관측초기의 평상·소조에서 조차가 커지고 파고가 높아지면서 서서히 퇴적(혹은 SPHINX 침하)되어 시스템 설치초기 50 cmab이었던 상부 Vector·OBS 시스템과 LISST의 측정높이가 38 cmab까지 감소하였다. 그림에서의 2개층 농도는 그림 4.1.32(a)의 환산식을 이용하여 산정한 것이므로 실제 농도보다 과소평가된 것이다.

저면상 38~50 cm 높이에서의 부유퇴적물 입경은 유속이 빠른 침수초기와 말기에 160~200 μm 정도로 크고 고조시에 100 μm 정도도 감소하여 수리특성을 잘 반영하고 있으나 이 역시 LISST의 측정한계로 과소평가된 것이다.

그림 4.1.35는 PC-ADP 측정범위 내의 유속·유향 및 부유퇴적물 농도 연직분포 시간변화를 조위, 바람, 파랑 변화와 함께 도시한 것이다. 농도의 경우, 그림 4.1.32(b)의 두 가지 환산식 중 25 dB 이하의 식을 사용하는 것이 타당할 것으로 판단되었으나 보다 정량적인 증거를 확보하지 못하였으므로 두 가지 환산식을 구분하여 적용한 것으로서 실제 농도보다 과소평가되었을 가능성이 높다.

그림 4.1.36은 유사한 조건에서 고파랑 유무에 따른 수리·표사특성 비교를 위해 12월 9·10일과 17·18일의 관측결과를 확대한 것으로서 특징적인 현상은 평상시의 유향이 2008년 동계 S2보다는 2006년 동계 S1의 패턴과 유사한 것으로서, 이는 2008년 평상시는 2009년보다 파고가 높았으며, 대조기였기 때문으로 판단되나 와류 분포와 특성 파악을 위해서는 신뢰성 있는 검증을 수반하는 정밀한 수치모형실험이 필요하다.

IV. 시범 현장조사 및 설계

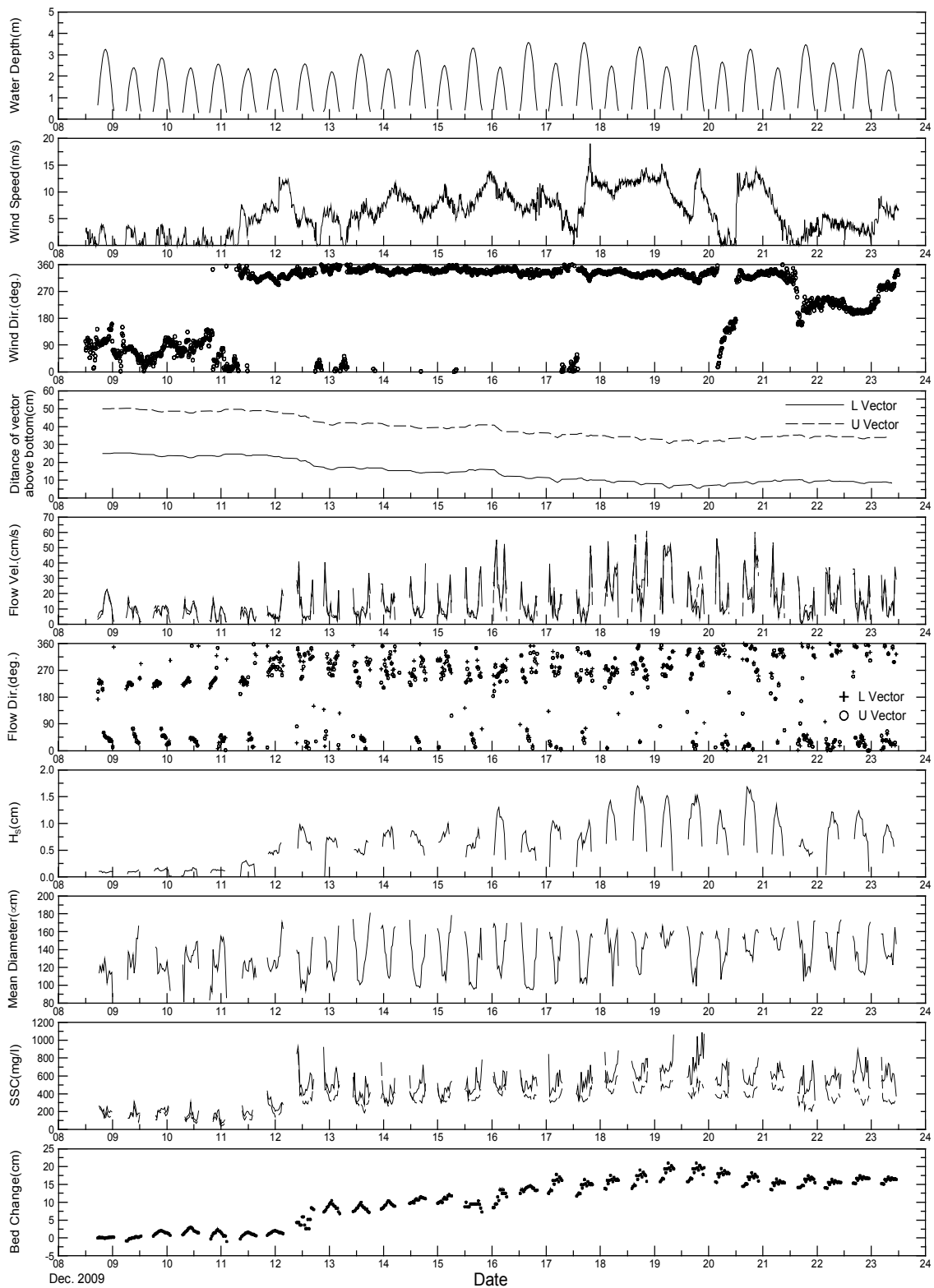


그림 4.1.34 정점 S2 2009년 동계 수리·표사특성 및 정점 AWS 바람 시계열

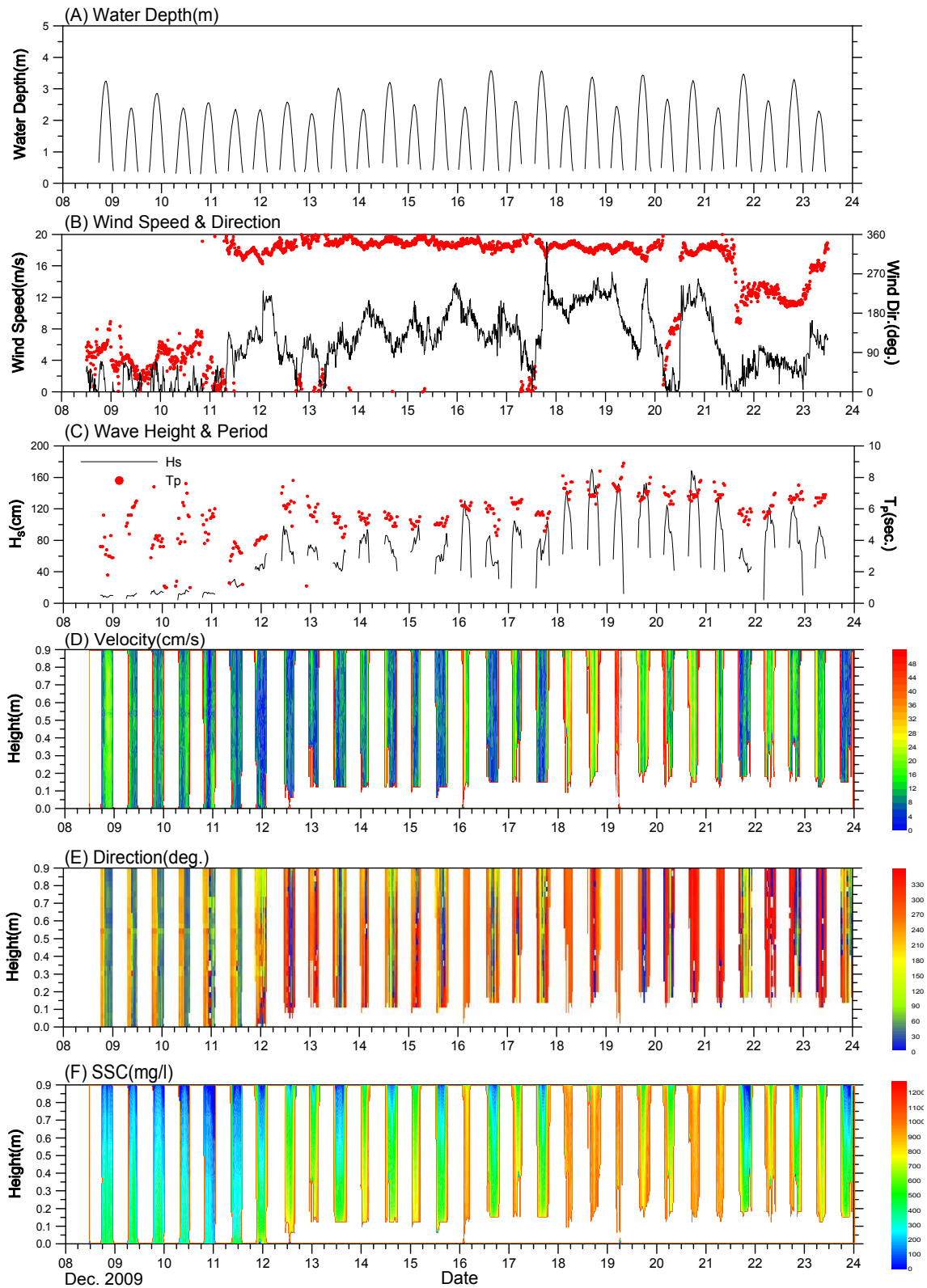


그림 4.1.35 정점 S2 2009년 동계 조위·바람·파랑 및 저층 수리·표사특성 시계열

IV. 시범 현장조사 및 설계

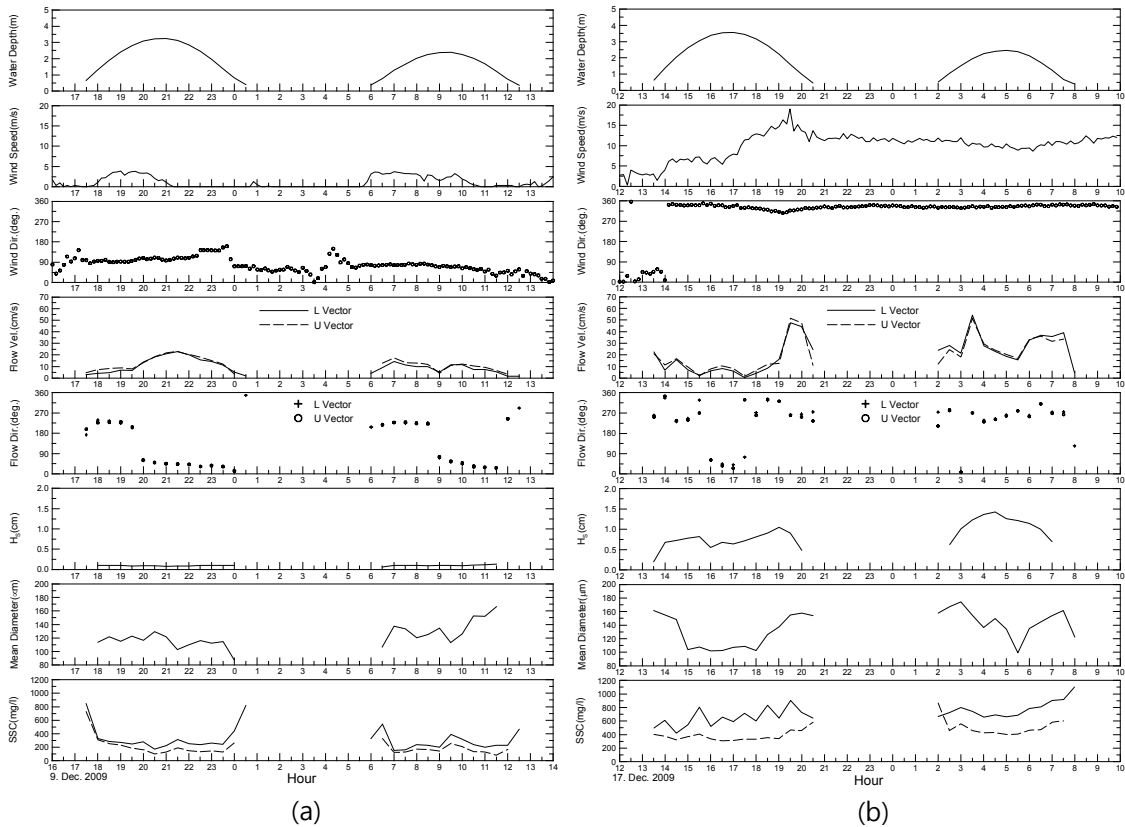


그림 4.1.36 정점 S2 2009년 동계 (a)평상시 및 (b)고파사상 수리·표사특성 비교 (대조기 고조 12.17 16:34 634cm)

그림 4.1.37과 표 4.1.6은 정점 S2 2009년 동계 15일 동안의 저층(0~72 cmab) 부유 퇴적물 방향별 이동량으로서 전체적인 경향은 08-관측결과와 유사하나 북서방향(300~330°) 비율이 18%에서 11%로 감소하였다.

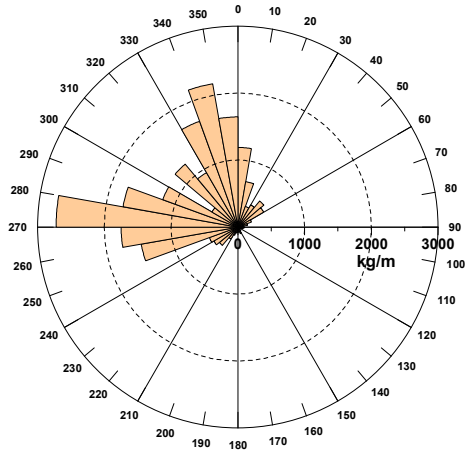


그림 4.1.37 정점 S2 2009년 동계(12/08~23) 저층(0~72 cmab) 부유퇴적물 방향별 이동량

표 4.1.6 정점 S2 2009년 동계(12/08~23) 저층(0~72 cmab) 부유퇴적물 방향별 이동량 및 출현율

이동방향	이동량(kg/m)	출현율(%)	이동방향	이동량(kg/m)	출현율(%)
0° ~ 10°	1188.5	5.09	180° ~ 190°	84.6	0.36
10° ~ 20°	687.3	2.95	190° ~ 200°	90.9	0.39
20° ~ 30°	328.1	1.41	200° ~ 210°	131.3	0.56
30° ~ 40°	383.9	1.64	210° ~ 220°	205.8	0.88
40° ~ 50°	507.4	2.17	220° ~ 230°	359.2	1.54
50° ~ 60°	446.7	1.91	230° ~ 240°	415.4	1.78
60° ~ 70°	217.5	0.93	240° ~ 250°	452.5	1.94
70° ~ 80°	147.0	0.63	250° ~ 260°	1468.8	6.29
80° ~ 90°	93.0	0.40	260° ~ 270°	1748.9	7.49
90° ~ 100°	96.0	0.41	270° ~ 280°	2722.4	11.67
100° ~ 110°	79.4	0.34	280° ~ 290°	1745.5	7.48
110° ~ 120°	41.7	0.18	290° ~ 300°	1195.6	5.12
120° ~ 130°	28.7	0.12	300° ~ 310°	447.6	1.92
130° ~ 140°	45.8	0.20	310° ~ 320°	1226.0	5.25
140° ~ 150°	69.7	0.30	320° ~ 330°	938.0	4.02
150° ~ 160°	106.2	0.46	330° ~ 340°	1679.5	7.20
160° ~ 170°	78.9	0.34	340° ~ 350°	2172.9	9.31
170° ~ 180°	61.6	0.26	350° ~ 360°	1644.1	7.05
계(kg/m)			23,336.4		

④ 정점 M1 2009년 동계

만리포 해변 중앙부 정점 S2와 함께 해변 양단에서의 수리·표사현상 파악을 위하여 음파의 속도차이를 이용하는 초음파 유속계와 탁도계를 2개 정점(그림 4.1.14, 정점 M#)에 설치하였으나 남단 정점 M2의 경우 기기 및 자료이상으로 분석에서 제외하였다.

그림 4.1.38은 저면상 25 cm에 설치한 OBS를 동일 높이에서 누적채취된 퇴적물을 이용하여 실험실에서 수행한 검보정 결과이다. 검보정 실험은 교반기를 이용하여 퇴적물의 부유시키면서 일정량의 퇴적물을 투입하여 OBS로 측정하는 방식으로 진행되나 니질 입자와 달리 사질은 교반에 의한 부유가 충분하지 않으므로 환산식이 실제 농도를 과소평가할 가능성이 높다.

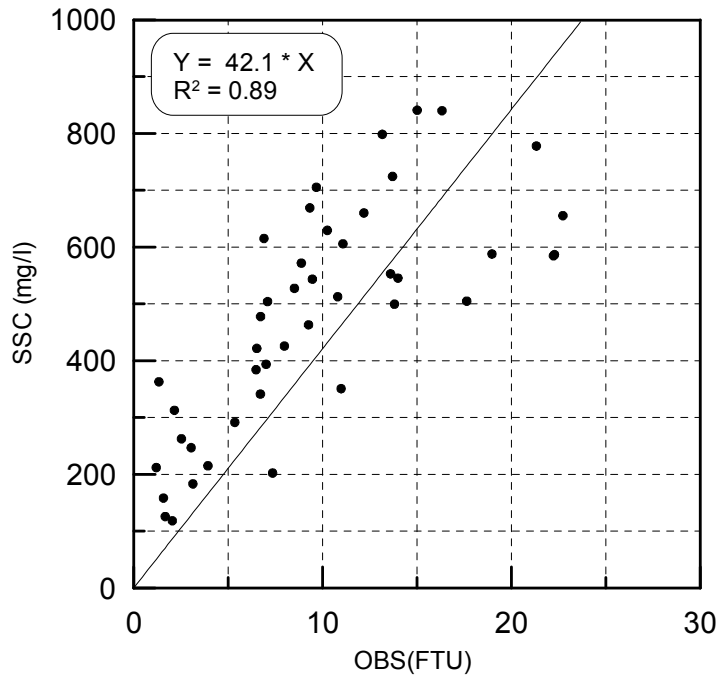


그림 4.1.38 정점 M1 OBS 탁도 검보정 결과

그림 4.1.39는 조위·바람·파랑정보와 함께 저면상 25 cm에서의 유속·유향과 부유퇴적물 시계열로서 침수직후와 노출직전의 유속이 60cm/s를 상회할 경우가 적지 않으며 관측된 최대유의파고는 21일의 1.7m이었다.

유향의 경우, 창조초기 서향류가 일시적인 북동향류를 거쳐 고조시 일시적으로 북·북서향으로 흐른 뒤 남서향으로 흐르며, 전체적으로 파고에 무관하게 남서향류가 우세하여 침식이 중앙 및 남측해빈보다 심할 것임을 예상할 수 있다.

부유퇴적물 농도는 최대 약 1,200 mg/l이나 검보정에서 논한 바와 같이 과소평가되었을 가능성이 높으며, 유속이 강화되는 침수직후와 노출직전의 농도가 높다.

그림 4.1.40과 표 4.1.7은 저면상 25 cm에서의 방향별 부유퇴적물 이동량으로서 유향에서 예상한 바와 같이 남남서향 이동량이 월등히 높아 200-230° 방향 이동량이 전체의 50.5%를 차지한다.

만리포 북측은 양빈이 시행되는 구간이 아니므로 M1에서의 지속적인 남서향 모래이동은 서측으로부터의 모래공급을 의미하며, 모래는 주로 고파랑과 동반하는 창조류를 따라 외해모래가 만리포 해빈으로 유입될 것으로 판단된다. 이를 정량적으로 파악하기 위해서는 정점 M1 전면 조하대에 SPHINX를 1개월 이상 설치하여 평상시와 고파사상 동안의 수리·표사현상을 관측하여야 한다.

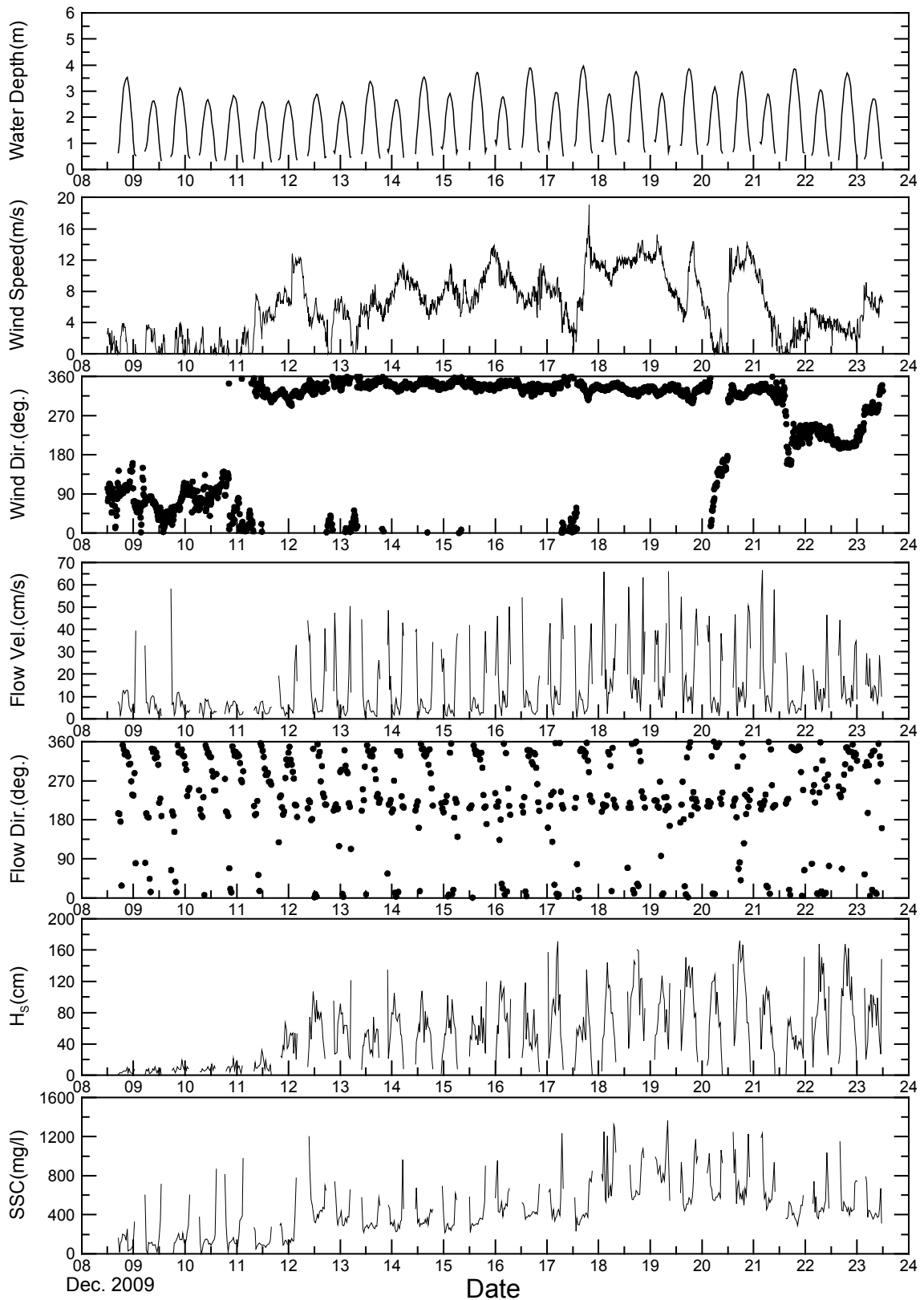


그림 4.1.39 정점 M1 수리·표사특성 및 정점 AWS 바람 시계열 (25 cmab)

IV. 시범 현장조사 및 설계

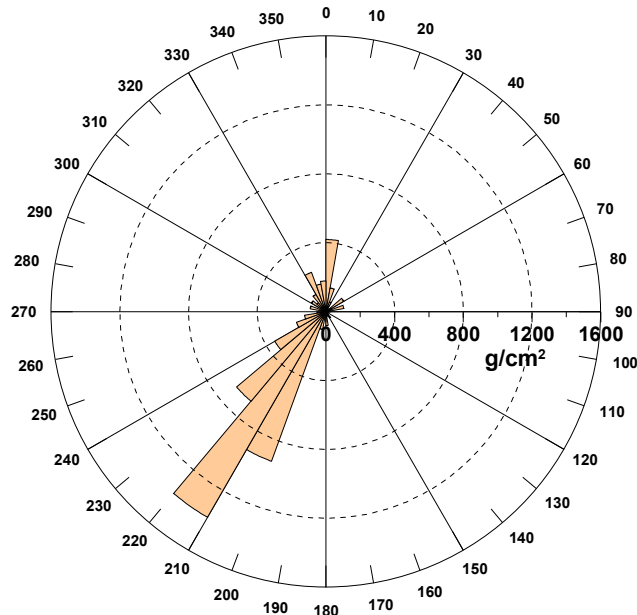


그림 4.1.40 정점 M1 2009년 동계(12/08~23) 저면상 25 cm 부유퇴적물 방향별 이동량

표 4.1.7 정점 M1 2009년 동계(11/15~12/07) 저면상 25 cm 부유퇴적물 방향별 이동량 및 출현율

이동방향	이동량(g/cm ²)	출현율(%)	이동방향	이동량(g/cm ²)	출현율(%)
0° ~ 10°	418.2	7.07	180° ~ 190°	20.9	0.35
10° ~ 20°	138.9	2.35	190° ~ 200°	104.9	1.77
20° ~ 30°	59.6	1.01	200° ~ 210°	924.7	15.64
30° ~ 40°	18.9	0.32	210° ~ 220°	1378.8	23.32
40° ~ 50°	14.4	0.24	220° ~ 230°	679.2	11.49
50° ~ 60°	119.5	2.02	230° ~ 240°	343.6	5.81
60° ~ 70°	36.8	0.62	240° ~ 250°	182.2	3.08
70° ~ 80°	105.0	1.78	250° ~ 260°	126.3	2.14
80° ~ 90°	7.7	0.13	260° ~ 270°	53.0	0.90
90° ~ 100°	5.8	0.10	270° ~ 280°	14.4	0.24
100° ~ 110°	0.0	0.00	280° ~ 290°	93.0	1.57
110° ~ 120°	13.1	0.22	290° ~ 300°	24.4	0.41
120° ~ 130°	12.7	0.22	300° ~ 310°	97.2	1.64
130° ~ 140°	4.6	0.08	310° ~ 320°	67.8	1.15
140° ~ 150°	41.1	0.70	320° ~ 330°	115.4	1.95
150° ~ 160°	0.3	0.01	330° ~ 340°	242.7	4.10
160° ~ 170°	27.3	0.46	340° ~ 350°	162.2	2.74
170° ~ 180°	80.7	1.36	350° ~ 360°	177.8	3.01
계(g/cm ²)			5913.2		

나) 조하대 수리·표사특성

만리포 조하대 수리·표사특성 파악을 위하여 수심이 DL(-)5.2m이고 해빈중앙부 호안 600 m 전면 정점인 S3에 2009년 하계 1개월간 SPHINX를 설치하였다.

그림 4.1.41은 LISST 농도와 PC-ADP 음향강도와의 상관관계로서 정점 S2 09-관 측에 비해 양호하지만 그림 4.1.42로 미루어 여전히 입경 250µm 이상인 입자들이 제외됨에 따른 불확실성을 안고 있다.

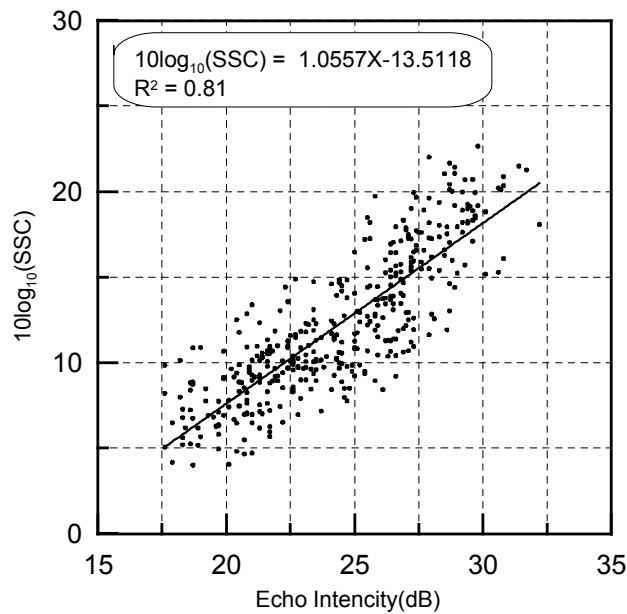


그림 4.1.41 정점 S3 2009년 하계 LISST 농도와 반사음향강도 상관관계

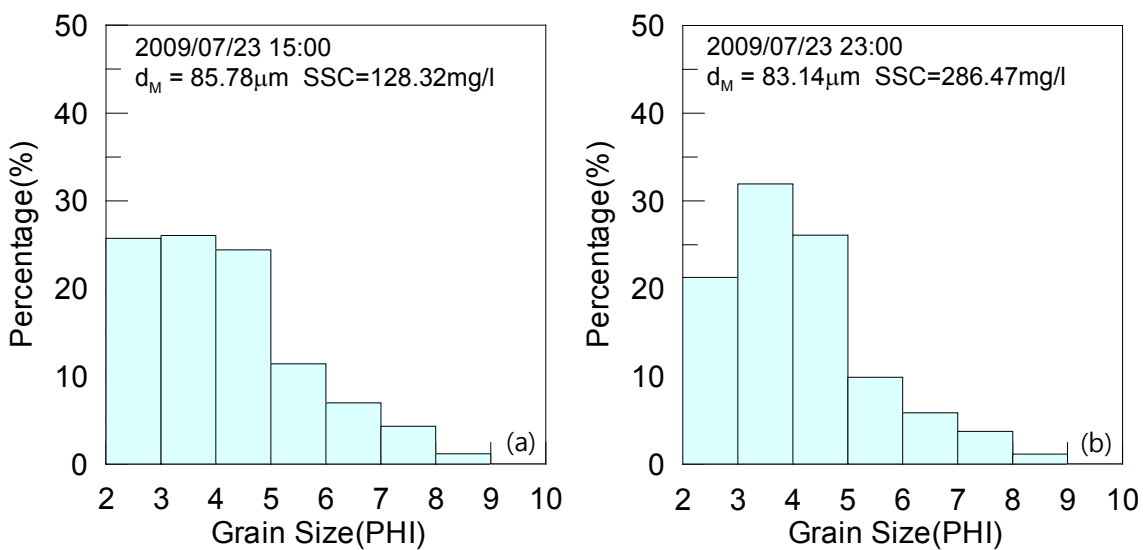


그림 4.1.42 정점 S3 2009년 하계 부유퇴적물 입경분포 예

그림 4.1.43은 관측 1개월 동안의 수리·표사변수 시계열로서 전반부에 4회의 고파사상이 발생하였으며, 안흥검조소 최고조위는 7월 24일 05:25의 727 cm로서 전술한 2007년 5월 침식의 경우보다 높았으나 고파랑이 동반되지는 않았다.

S3에서는 Vector·OBS Set를 저면상 25 cm 높이에만 설치하였으며, 관측초기 고파사상 동안 약 5 cm가 퇴적(혹은 SPHINX 침하)되어 대부분의 관측기간 동안 해저면으로부터 약 20 cm 높이의 특성을 측정하였다. S3의 저면상 20 cm에서의 최대유속은 약 40cm/s이다.

그림 4.1.43에서의 특징적인 현상은 부유퇴적물 입경으로서 전반부 고파사상 동안 80~130 μm 사이에서 변동하다가 파고가 작아지는 소조기에 약 60 μm 까지 낮아지고 대조기로 진행하면서 약 140 μm 까지 상승한 후 120 μm 를 중심으로 변동하며, 이는 소조기에도 감소하지 않는 것이다.

파고가 1.5 m 이상인 초기 3회의 고파사상 통과 후의 소조기에 입경이 감소하는 것은 타당하나 후반부 정온 소조기 입경이 고파사상 입정보다 큰 것은 해석이 어려운 현상이다. 이는 고파사상 동안 부유된 250 μm 이상의 조립질을 LISST가 측정에서 제외되었기 때문으로 해석할 수 있다. 그러나 이것만으로는 후반 소조기 입경이 감소하지 않는 것을 설명할 수는 없다. 최고조위 발생 후 입경이 감소하지 않는 것과 함께 20 cmab의 농도도 증가하는 것으로 미루어 전술한 근소만 기인 고탁도가 만리포까지 영향을 미쳤을 가능성도 없지 않으나 파고가 낮은 것이 해석상의 제약이다. 정온 소조기에 정점 S3에서 입경이 감소하지 않고 저층 농도가 증가하는 현상 규명을 위해서는 추후의 연구가 필요하다.

고파랑 내습 및 통과 후의 수리·표사특성 파악을 위해 결과를 확대한 것이 그림 4.1.44로서 수심이 깊음에 따라 유속은 파고의 영향을 받지 않으며, 낙조말기 동향류가 반시계 방향으로 회전하면서 저조시 일시적인 북쪽으로 흐른 후 다시 시계방향으로 회전하여 창조초기 동향 흐름을 보인 후 유속이 강한 창조중기와 낙조초기 동안 서향류가 유지된다.

농도의 경우, 물론 파고에 따라 이동량 차이가 있겠지만 주로 흐름이 남서향임(그림 4.1.45)에 따라 모래 순이동방향도 남서향이 월등하다(그림 4.1.46, 표 4.1.8).

고파사상이 4회 포함된 1개월 관측을 통하여 정점 S3가 만리포 해변 모래의 유출지점임을 파악하였다. 만리포 표사수지 파악을 위해서는 S3에서 북측 헤드랜드와 남측 선착장 방파제 선단까지의 단면을 통한 평상시와 악기상시의 유입량과 유출량을 정량적으로 파악하는 것이 필요하다. 만리포 포켓 내의 와류로 미루어 S3에서 북측 헤드랜드 사이에 유입구간이 있음이 확실할 것으로 예상되나 유출·유입 경계선을 파악하기 위한 조사와 수치모형실험이 필요하다.

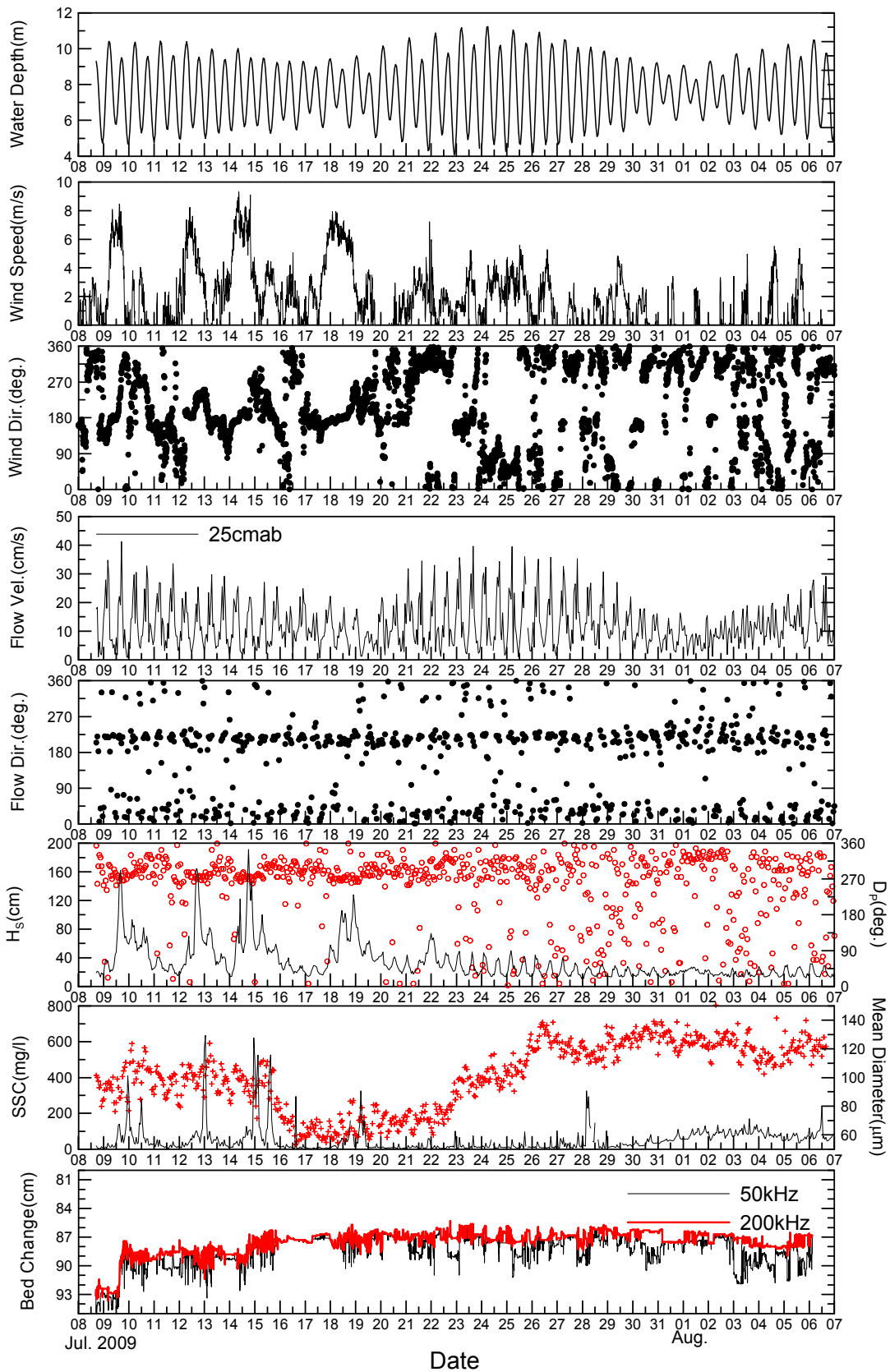


그림 4.1.43 정점 S3 수리·표사특성 및 정점 AWS 바람 시계열 (25 cmab)

IV. 시범 현장조사 및 설계

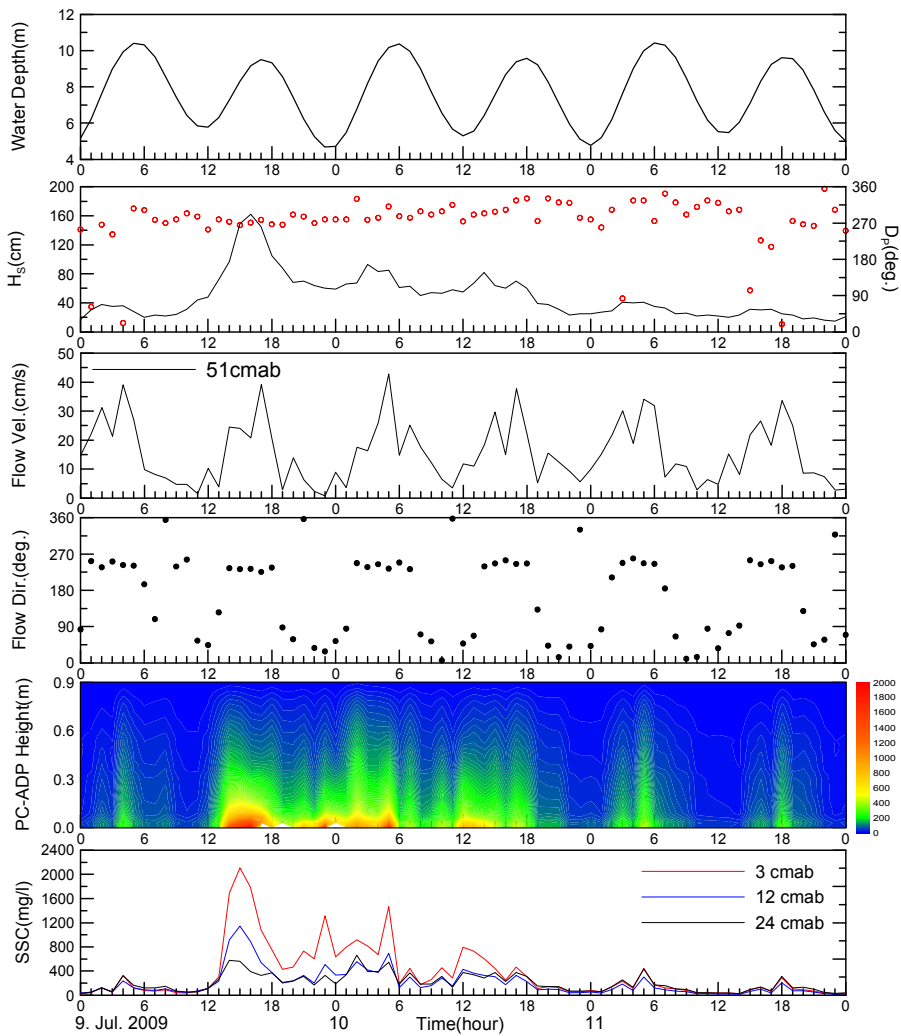


그림 4.1.44 정점 S3 조위·파랑 및 저층 수리·표사특성 시계열

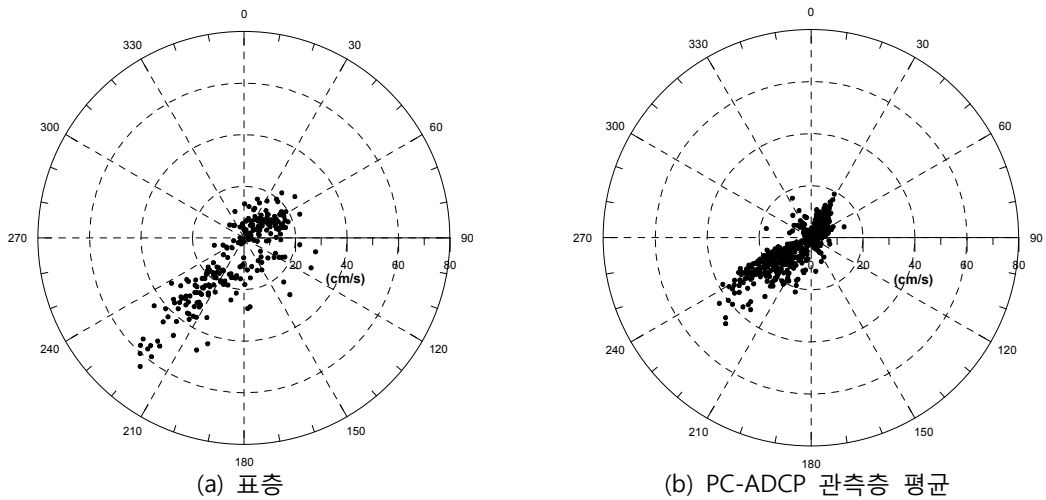


그림 4.1.45 정점 S3 (a)표층 및 (b)저층 유속·유향 산포도

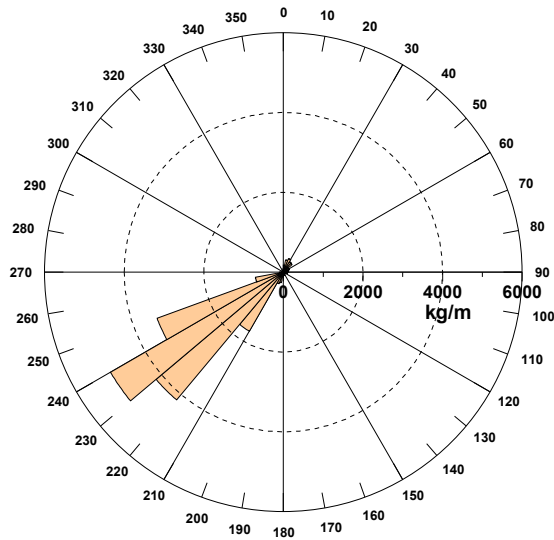


그림 4.1.46 정점 S3 2009년 하계(07/08~08/06) 부유퇴적물 방향별 이동량

표 4.1.8 정점 S3 2009년 하계(07/08~08/05) 저층(0~81 cmab) 부유퇴적물 방향별 이동량 및 출현율

이동방향	이동량(kg/m)	출현율(%)	이동방향	이동량(kg/m)	출현율(%)
0° ~ 10°	176.1	0.94	180° ~ 190°	124.1	0.67
10° ~ 20°	310.7	1.66	190° ~ 200°	274.1	1.47
20° ~ 30°	361.6	1.94	200° ~ 210°	305.7	1.64
30° ~ 40°	300.1	1.61	210° ~ 220°	1709.3	9.16
40° ~ 50°	284.3	1.52	220° ~ 230°	4175.3	22.37
50° ~ 60°	153.3	0.82	230° ~ 240°	5014.3	26.87
60° ~ 70°	163.9	0.88	240° ~ 250°	3378.1	18.10
70° ~ 80°	130.1	0.70	250° ~ 260°	714.4	3.83
80° ~ 90°	124.6	0.67	260° ~ 270°	99.3	0.53
90° ~ 100°	55.8	0.30	270° ~ 280°	23.6	0.13
100° ~ 110°	103.7	0.56	280° ~ 290°	10.9	0.06
110° ~ 120°	65.9	0.35	290° ~ 300°	12.0	0.06
120° ~ 130°	29.6	0.16	300° ~ 310°	19.1	0.10
130° ~ 140°	33.2	0.18	310° ~ 320°	26.5	0.14
140° ~ 150°	32.0	0.17	320° ~ 330°	41.8	0.22
150° ~ 160°	82.7	0.44	330° ~ 340°	39.3	0.21
160° ~ 170°	71.9	0.39	340° ~ 350°	46.8	0.25
170° ~ 180°	82.4	0.44	350° ~ 360°	85.2	0.46
계(kg/m)			18,661.8		

4) 수심·해빈표고 변화

해빈 표층퇴적물 입경분포와 수리·퇴적현상 정밀모니터링 결과로부터 만리포 침식현상을 어느 정도 파악하였다. 그러나 전술한 바와 같이 모래수지 파악을 위해 중요한 영역인 남단 방파제와 북단 헤드랜드 주변 현상은 정밀하게 조사된 바 없다. 그러나 비록 동력학적이지는 않지만 이를 수심변화로 추측할 수 있을 것이다.

그림 4.1.47은 본 연구에서 수행한 측량결과로부터 구한 해빈표고 변화이다. 비록 2007년 1월~6월 동안의 변화이지만 그림 4.1.5로부터 천리포와 만리포 북측의 침식을 5월 고조폭풍기인 침식의 흔적으로 해석하는 것이 타당하다. 5월의 호안전면 1~1.5m 침식 후의 양변이 만리포 중앙 500m 구간에 집중되었기 때문이다. 만리포 북측은 곳에 의해 파랑이 집중되며, 답섬과 천리포 방파제 사이로 진입한 파랑의 영향을 받는 천리포 중앙부는 그림 4.1.1에서 알 수 있듯이 후빈폭이 넓어 고조폭풍시 다량의 모래가 침식될 가능성이 높다.

중앙이남 해빈의 호안전면 퇴적은 5월의 양변, 표사·비사로 설명이 가능하지만 남단 하부조간대 침식은 5월 침식의 영향인지 동계침식 때문인지 명확하지 않다.

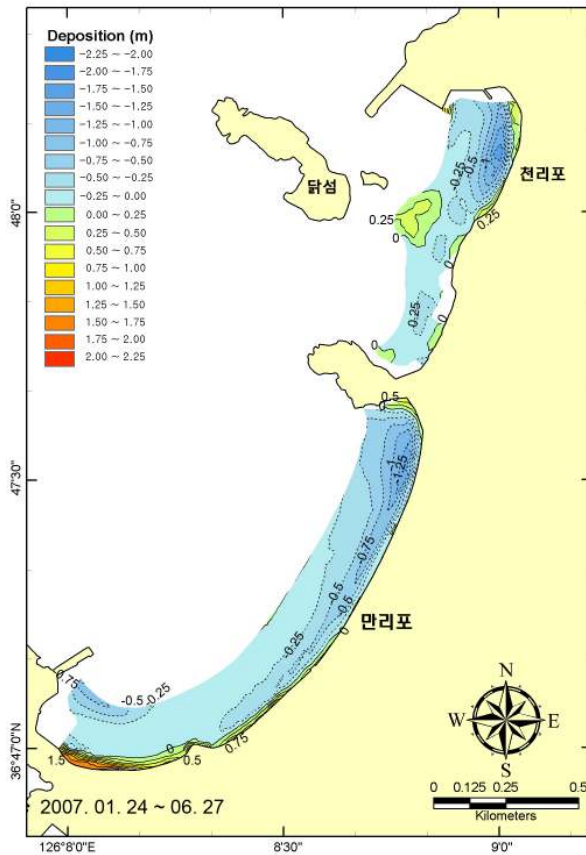


그림 4.1.47 만리포·천리포 해빈표고변화 (2007/01/24~06/27)

그림 4.1.48은 만리포 전면 해역의 수심도로서 모항항 전면의 사주와 닭섬 남서측의 암반층이 만리포 표사수지에 중요한 역할을 하는 해저지형이다. 남단 전면 수로를 따라 북상하는 창조류는 암반층을 기점으로 북향류와 북동향류로 분지할 것이며, 북동향류의 모래 함유량이 많으면 만리포 북단으로 모래가 유입될 것임을 예상할 수 있다.

그림 4.1.49는 동계~하계 수심변화이다. 남단곶 전면 수로가 퇴적된 반면 수로 서측 사주가 침식되었으며, 그림의 영역 @ 내의 수심변화는 한국해양연구소(그림 4.1.11)의 동계 3개월 변화와 유사하다. 단, 그림 4.1.49에서는 북단곶 전면과 해변에 침식구간이 있으나 이는 춘계~하계 동안에 발생한 것으로 판단된다.

그림 4.1.50은 하계 수심변화로서 남단곶 전면은 그림 4.1.49와 반대의 경향, 즉 사주는 퇴적되고 해안에서 수로까지가 침식되었다. 이로부터 백사장 변화의 일반적인 경향과는 반대로 만리포 해변은 하계에 침식되고 동계에 퇴적됨을 예상할 수 있으나 지속적인 양빈이 수행되고 있으므로 동계 공급량이 유실량에 미치지 못하는 것으로 판단된다.

한국해양연구원(심 등 2010)은 2008년 12월 29일부터 2010년 1월 31일까지 LiDAR를 이용하는 정밀측량을 6회 실시하였으며, 표 4.1.9에서 알 수 있는 바와 같이 전체기간 동안 7,505 m³이 침식되었다. 그러나 동계 약 40일 동안(2009.11.3~12.16)의 65,482m³ 퇴적이 매우 인상적이다. 또한 6월-9월 변화에서 남측은 퇴적되고 북측은 침식되었으면 중앙부 전면에는 열상사주 형태로 침식과 퇴적이 교호된다(그림 4.1.51). 특히 해변 전체가 퇴적된 동계에 가장 많이 퇴적된 구간이 북측해빈 임은 앞에서 정성적으로 기술한 모래유입방향이 타당함을 시사한다. 그러나 이러한 동계퇴적이 지속되지는 않으며, 2009년 12월 16일부터 2010년 3월까지 약 30,000 m³ 침식되었다.

따라서 만리포 모래수지 파악을 위해서는 어떠한 조건에서 퇴적이 발생하는지를 정량적으로 규명하여야 하며, 전면사주 침식량이 큰 고파사상 동안 상당량의 모래가 유입될 것으로 예상된다.

한편 2009년 7월 24일 외해모래를 이용한 2,500m³의 양빈이 중앙부 하부조건대에서 실시되었으며, 전후의 표고변화(그림 4.1.52)에 따르면 투입모래가 상부조건대로 공급되지 않고 남서진함에 따라 양빈효과가 저조함을 알 수 있으며, 양빈전후의 표층퇴적물 입경분포 변화에서도 양빈의 영향이 두드러지지 않는다(그림 4.1.53). 양빈전후 표고변화에서 주목할 사항은 양빈구간을 제외한 대부분의 구간에서 불과 며칠 사이에 침식이 발생함으로써 그림 4.1.50과 함께 하계침식이 만리포 침식의 주요 메커니즘임을 알 수 있다.

IV. 시범 현장조사 및 설계

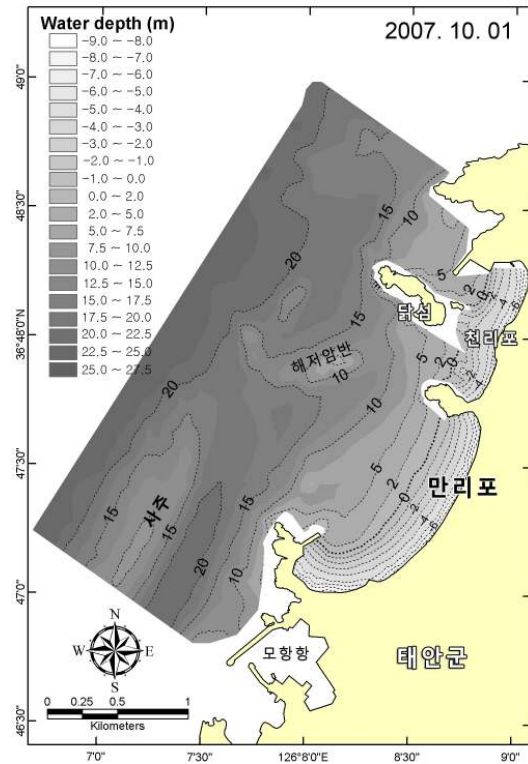


그림 4.148 만리포 해역 수심도

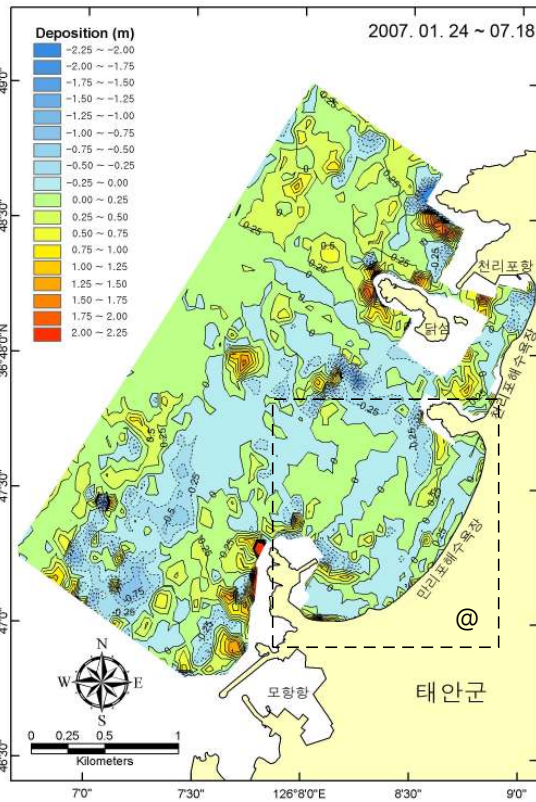


그림 4.149 만리포 수심변화 (1월-7월)

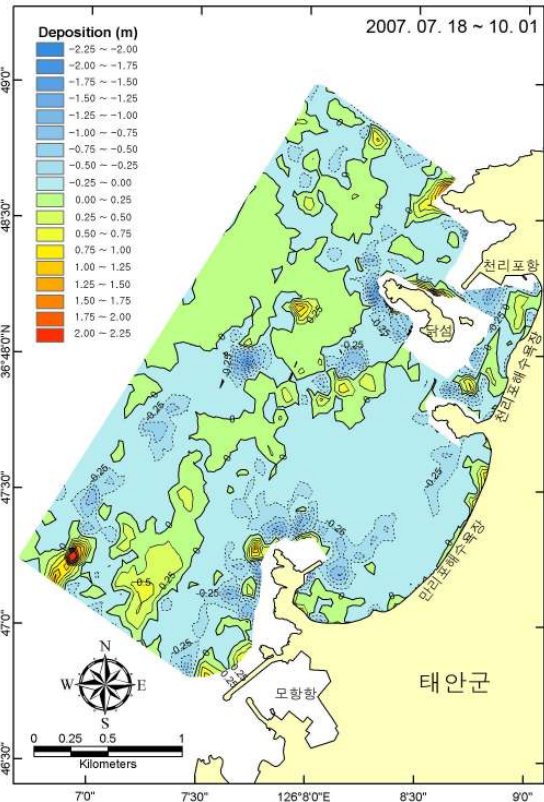


그림 4.150 만리포 수심 변화 (7월-10월)

표 4.1.9 만리포 해변 침식·퇴적 LiDAR 측량결과 (심 등 2010)

		081229-090312	090312-090623	090623-091103	091103-091216	091216-100131
area (m ²)	deposition	121,849	137,863	197,179	327,329	80,692
	erosion	267,367	251,353	192,037	61,887	308,524
	net	-145,518	-113,490	5,142	265,442	-227,832
volume (m ³)	deposition	12,218	16,076	26,922	69,637	6,473
	erosion	38,562	25,532	33,756	4,155	36,826
	net	-26,344	-9,456	-6,834	65,482	-30,353
change rate(m)	deposition	0.100272	0.116609	0.136536	0.212743	0.080219
	erosion	0.144229	0.101578	0.175779	0.067138	0.119362
	net	-0.067685	-0.024295	-0.017558	0.168241	-0.077985

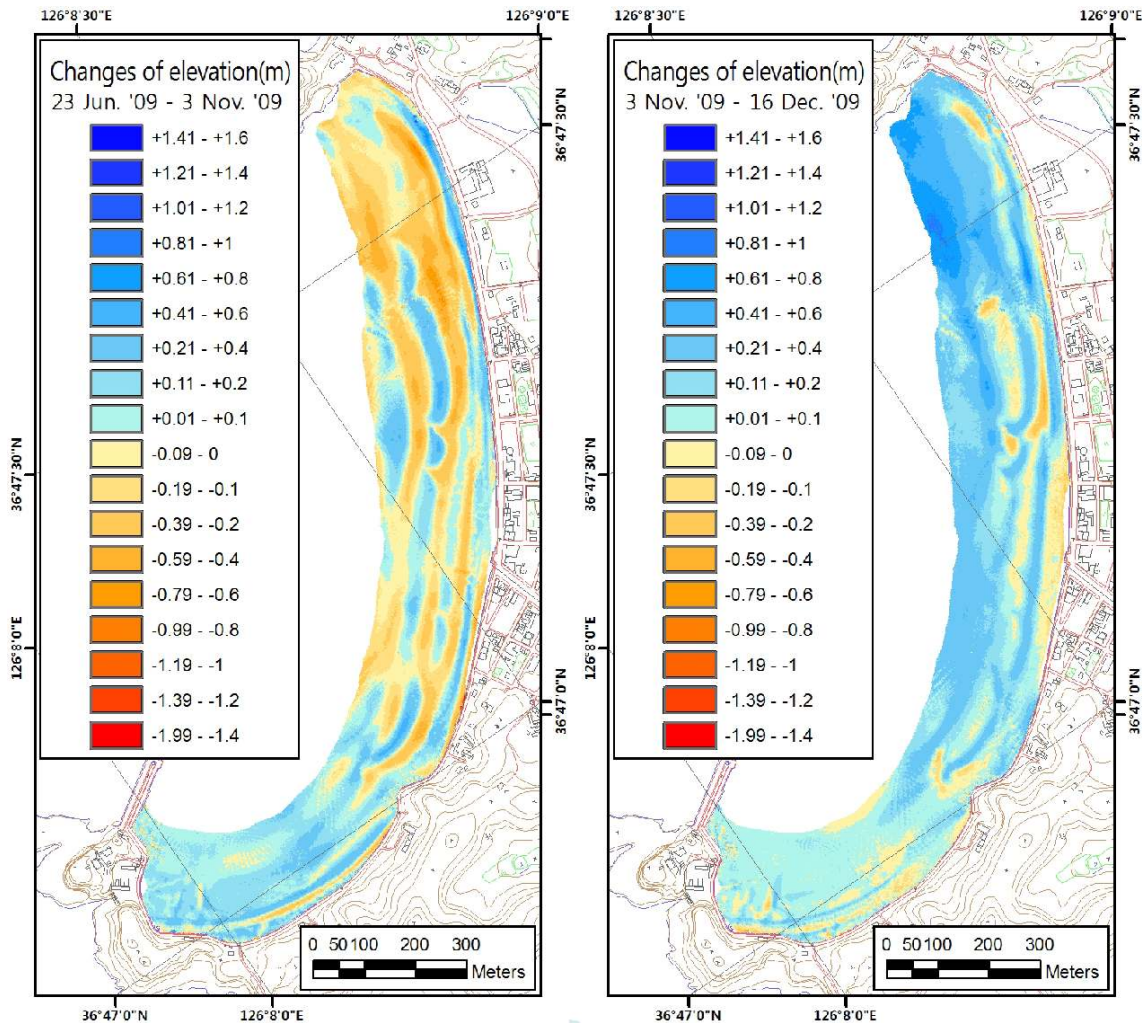


그림 4.1.51 만리포 해변표고 계절변화 (심 등 2010)

IV. 시범 현장조사 및 설계

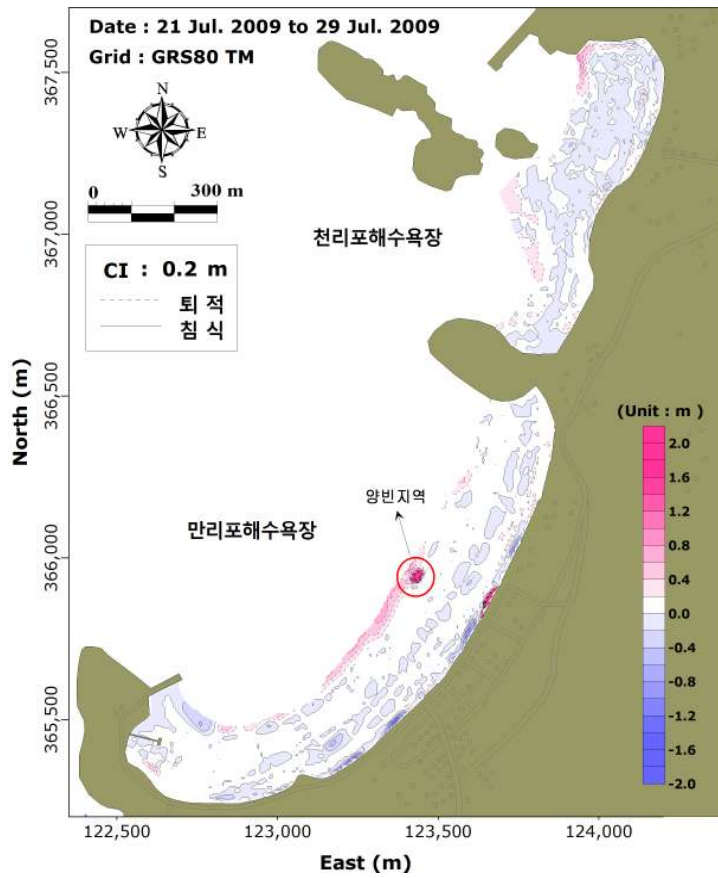


그림 4.1.52 만리포 양빈(2009. 7.24, 2,500m³) 전후 표고변화

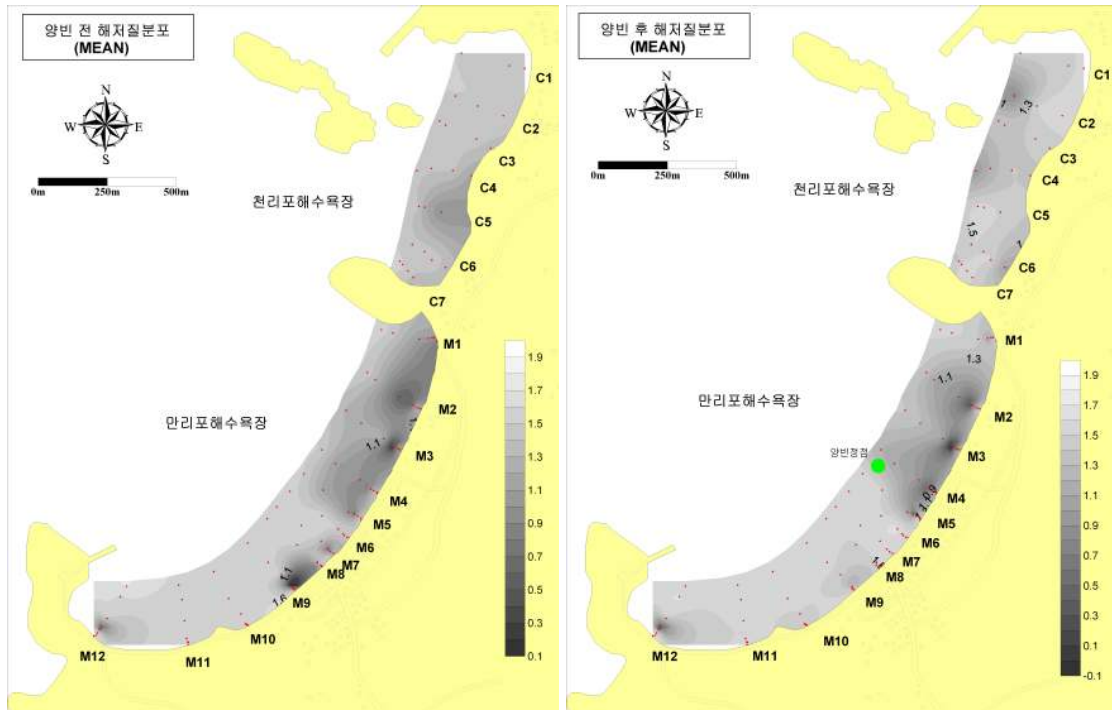


그림 4.1.53 만리포 양빈(2009. 7.24, 2,500m³) 전후 표층퇴적물 평균입경변화

라. 종합분석

조석과 파랑의 영향을 크게 받고 주기적인 양빈을 시행하고 있는 대조차 개방형 사질해안인 만리포는 파랑, 흐름, 파랑·흐름 복합작용과 퇴적역학 및 최적 침식대응 공법 등을 연구하기에 이상적인 해안이다. 이에 본 연구는 만리포에서의 수리·퇴적 작용 정밀관측을 수행함과 아울러 수치모형 파·흐름 복합작용을 고려할 수 있는 정밀수치모형을 수립·적용할 예정이었다. 그러나 제4차년도 연구내용이 제2차 연안 정비계획의 일환으로 지자체가 신청한 해안침식방지사업의 타당성과 최적공법 검토에 집중됨에 따라 수치모형실험을 수행할 수 없었다.

현재까지 수행된 기존와 본 연구에서 수행한 주요결과를 종합하면, 만리포는 지속적으로 침식되고 있지만 일화적 고파사상(episodic storm event)에 의해 상당량의 모래가 조간대로 공급되는 것으로 판단된다. 전면해역의 수심분포, 창조와류, 기존 및 본 연구에서의 수심·해빈측량성과, 표층퇴적물 입경분포, 그리고 SPHINX 관측결과로 미루어 모래는 1차적으로 그림 4.1.54의 ①번 경로를 따라 공급될 것으로 판단된다.

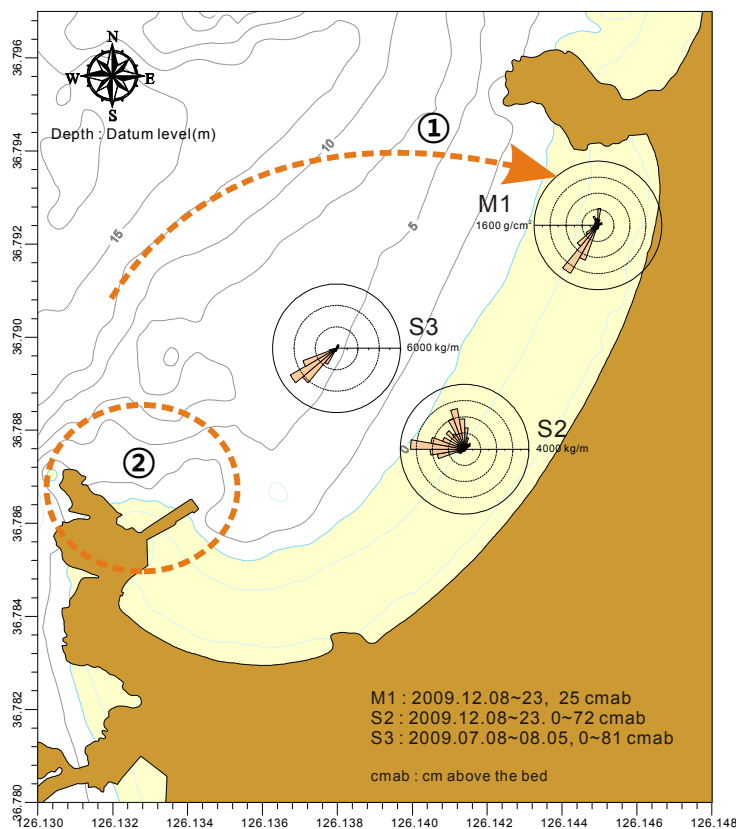


그림 4.1.54 만리포 수리·표사정밀관측 주요 관측결과와 모래의 예상 공급경로(①) 및 공급·유출경로(②)

IV. 시범 현장조사 및 설계

현재까지 남단 곳 전면의 영역 ②를 통하여 모래가 유입될 것인지는 불확실하지만 유속이 약한 창조초기에 고파랑이 내습하면 상당량의 모래가 연안류를 따라 유입될 가능성을 배제할 수 없다.

모래를 공급하는 일화고파사상의 임계파고를 파악하는 것이 만리포 모래수지 이해에 중요하다. 한국해양연구원(1982)의 동계 수심변화에 따르면 조간대 대부분이 퇴적되었으며, 전면수역 최대파고가 4 m를 초과하였다(그림 4.1.55).

고파사상 동안의 모래공급 가능성이 있지만 동계 44일 동안 조간대에 65,000m³ 퇴적된 심 등(2010)의 측량성과는 주목할 만한 가치가 높으며, 주변 파랑정보를 검토할 필요가 있다.

기상청이 운용하는 만리포 인근 파랑관측소는 가대암 등표와 덕적도 부이다(그림 4.1.46). 가대암의 경우 이상파고 발생 11월 3일에서 12월 16일 사이의 최대 및 유의파고는 12월 5일 18:00 7.7 m와 5.1 m이었으며(그림 4.1.57), 본 연구에서 관측한 만리포 풍속으로 미루어 11월 16일 주변의 가대암 결측기간에도 같은 규모의 사상이 발생했을 것으로 판단된다. 이는 덕적도 부의 경우(그림 4.1.58) 가대암 최대파고 발생시와 결측시기의 덕적도 최대파고는 각각 4.5 m와 11월 14일의 4.3 m이었다. 따라서 만리포 이상파고기간 동안 가대암 최대파고가 8 m에 근접하는 고파사상이 2회 발생하였다고 추측할 수 있다.

만리포 해변 30,000 m³가 침식된 12월 16~1월 31일 동안의 가대암 최대파고는 1월 5일의 5.7 m이다.

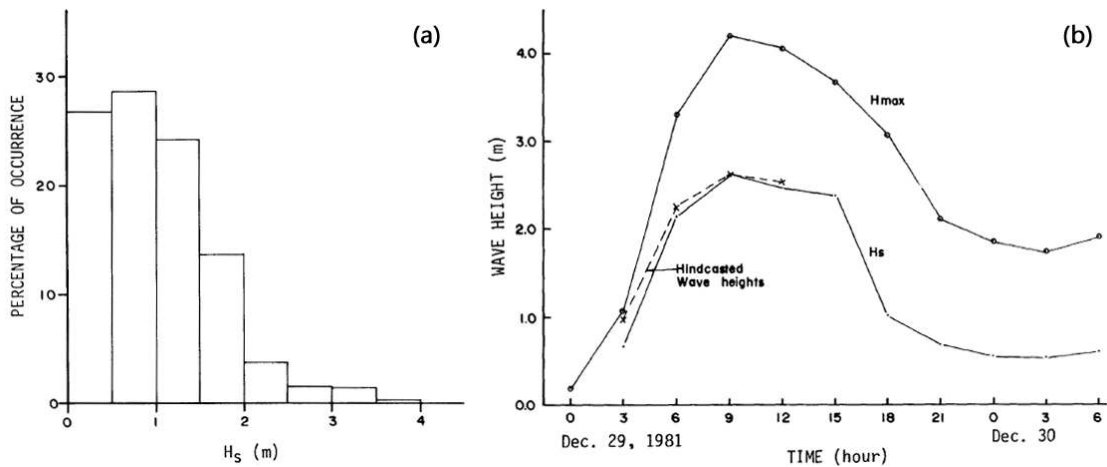


그림 4.1.55 한국해양연구소(1982)의 만리포 전면 파랑관측성과

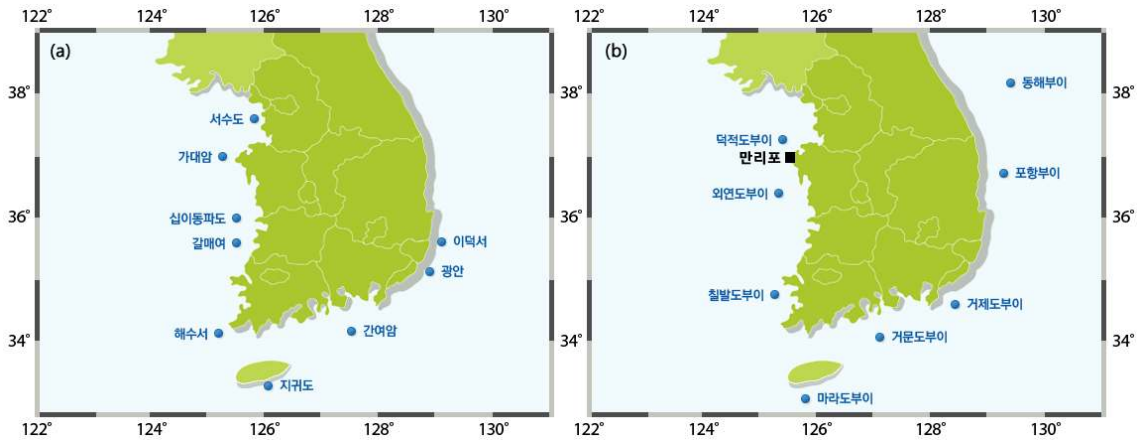


그림 4.1.56 기상청의 파랑관측 등표(좌) 및 부이(우)
http://www.kma.go.kr/weather/observation/marine_buoy.jsp

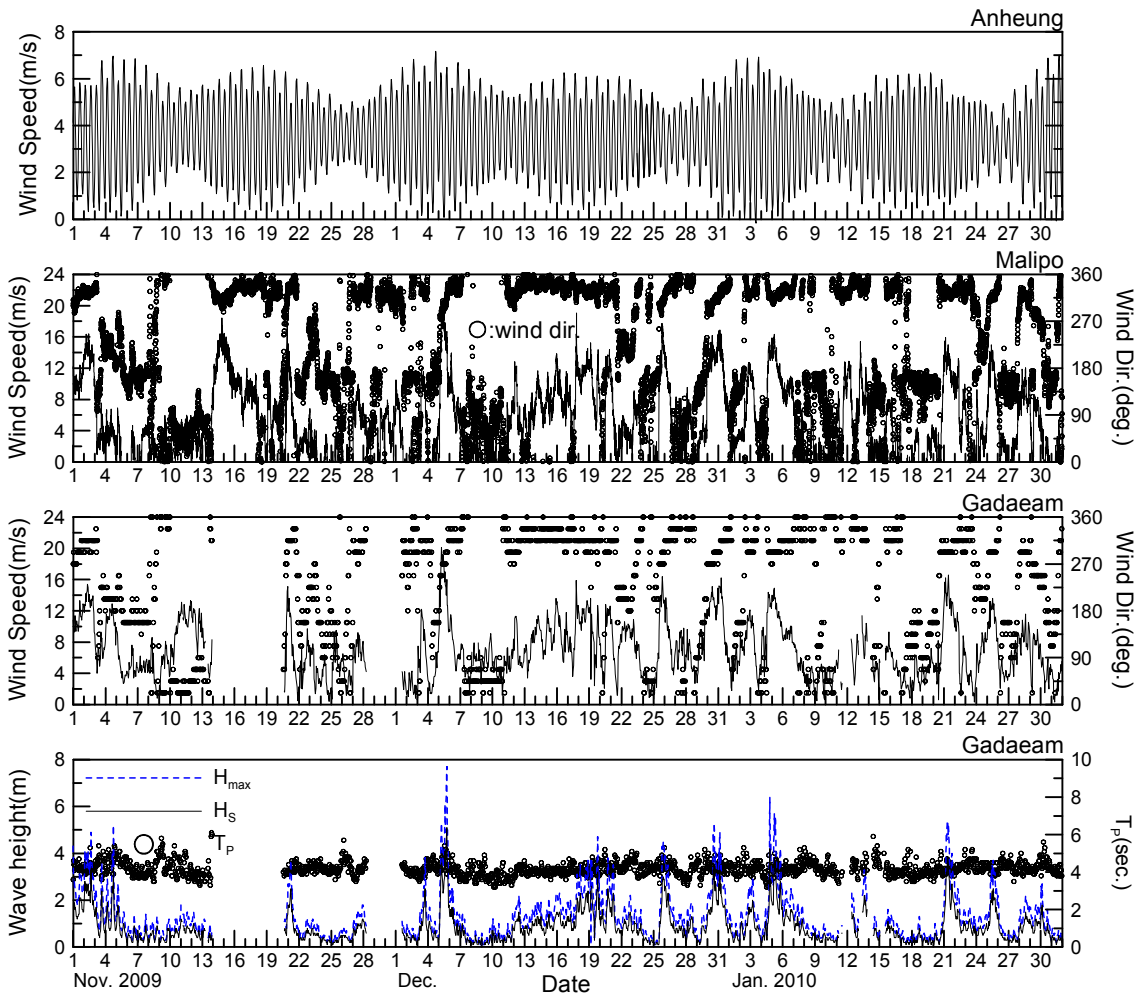


그림 4.1.57 만리포 해빈 이상퇴적기간 동안의 안흥검조소 조위, 만리포 바람, 가대암 바람·파랑 시계열

IV. 시범 현장조사 및 설계

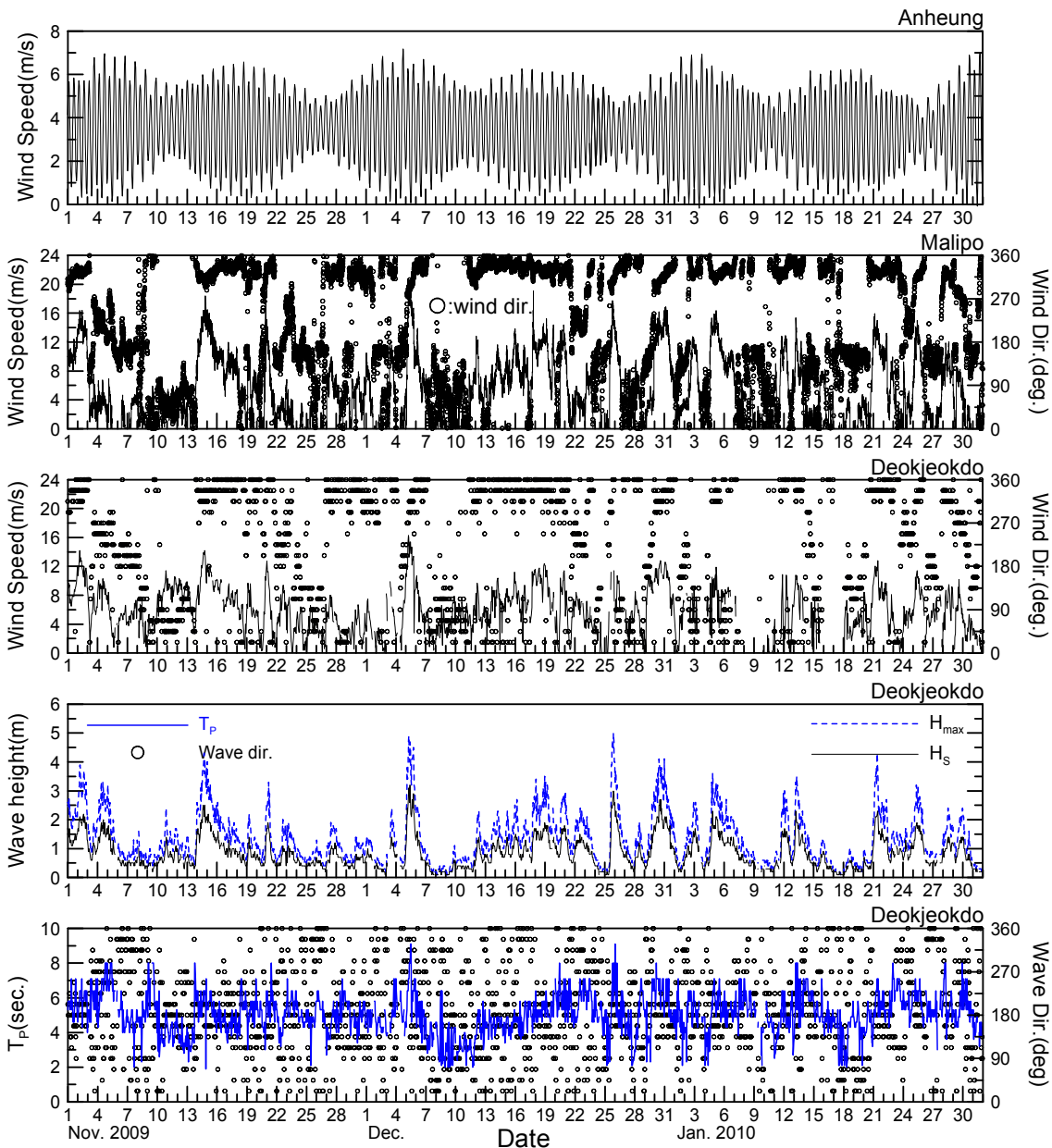


그림 4.158 만리포 해빈 이상퇴적기간 동안의 안흥검조소 조위, 만리포 바람, 덕적도 바람·파랑 시계열

이상과 같은 일화성 고파사상에 의한 만리포 해빈의 이상퇴적 재현을 위한 수치 모형실험이 필요하며, 조간대에 퇴적된 $65,000 \text{ m}^3$ 의 모래가 전면 조하대에서 침식된 모래인지 아니면 남단 곳 전면 사주로부터 공급된 것인지를 파악할 필요가 있다. 또한 전면 사주의 변동이 북측의 장안퇴와 어떤 관계가 있는지도 규명해야 할 과제이다.

2. 경북 영덕군 고래불해수욕장

가. 현황

경북 영덕군 병곡면 병곡리에서 영해면 대진리에 이르는 연장 4.5 km의 백사장으로서 송천을 포함한 4개 하천이 유입되며(그림 4.2.1), 1971~2005년 동안 백사장 면적이 약 80,000m² 증가하였다(그림 4.2.2). 또한 고래불은 연안침식 국가모니터링 대상해안으로서 비디오카메라 10대 설치되어 있으며, 2007년 이후 해변면적이 감소하지 않았다(그림 4.2.3). 병곡항 방파제(연장 244 m)에도 불구하고 두드러진 침식이 발생하지 않는 것은 방파제 연장이 비교적 짧고 동계파랑 차폐역 경계 부근으로 하천이 유입되기 때문이다. 방파제가 60 m 연장될 예정이지만(경상북도 2007) 그림 4.2.1에서 볼 수 있는 바와 같이 곡부연장이기 때문에 차폐역 확장에 의한 침식문제가 발생하지는 않을 것으로 예상된다.

한편 대진항으로부터 약 6 km 남쪽에 위치한 축산항까지는 모두 암반해안이며(그림 4.2.4), 이는 송천으로부터 유출된 모래(그림 4.2.5)가 남쪽으로 이동하면 해안방호 기여도가 매우 낮음을 의미한다. 따라서 송천 유출모래를 적절히 포집하여 효과적으로 유용할 수 있다.



그림 4.2.1 경북 영덕군 병곡면 병곡리 - 영해면 대진리 해안

IV. 시범 현장조사 및 설계



그림 4.2.2 병곡-대진해안 해안선 변화

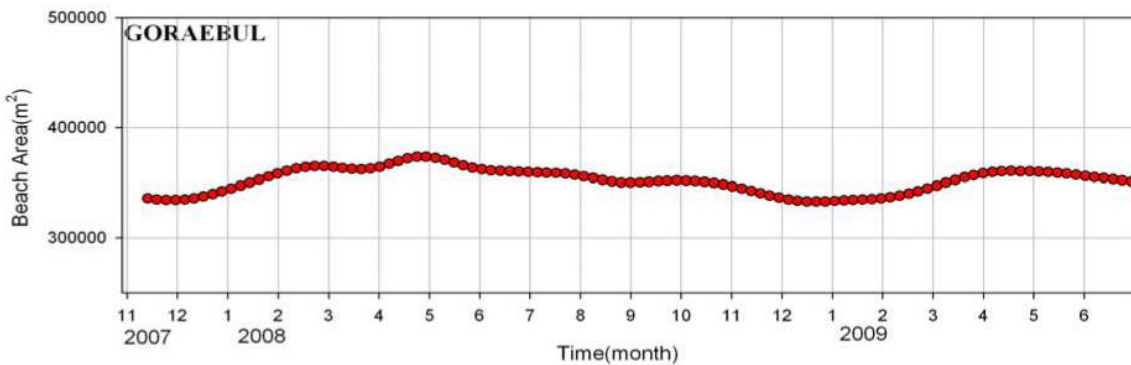


그림 4.2.3 고래불해수욕장 해빈면적 변화 (국립해양조사원 2009)

고래불은 2차 정비계획에서 순환양빈시스템과 산책로가 승인되었다. 그러나 양빈 시스템은 퇴적과 침식률이 높아 운전율이 높아야만 경제성이 있음과 아울러 전담운 영자도 2~3인이 필요하다. 고래불해수욕장은 이러한 시스템이 필요한 상황이 아닌 것으로 판단되므로 중단돌제 등으로 표사계를 빠져나가는 송천모래를 포집하고, 이를 백석리(그림 4.2.6) 등 침식해안에 양빈하여 연안회복탄력성을 높이는 것이 오히려 바람직하다.



그림 4.2.4 대진항-축산항 해안



그림 4.2.5 송천 모래유출 상황 (국립해양조사원 2009)



그림 4.2.6 백석항 남측 침식구간

나. 설계 기본방향

- 비록 동력학적 방정식은 아니지만 공학적 신뢰성을 확보하고 있는 Hsu and Evans(1989)의 정적안정해안선 경험식(설계 가이드북 참조)을 적용할 결과, 병곡항 방파제에 의한 추가 침식은 발생하지 않을 것으로 판단된다. 특히 고래불의 경우, 동계 파랑차폐역 경계수역으로 백록천이 유입되어 유리한 조건이다.

유의파고(m)	3.4	주기(sec)	8.8
파향	NE	평균수심(m)	3.0



그림 4.2.7 Hsu and Evans(1989) 평형해안선 경험식 적용결과

- 대책시설의 기능 및 경제성, 환경성을 종합적으로 검토하여 보다 합리적인 해안침식 저감대책 검토
- 하천모래 및 남향 연안표사를 제어하여 유실되는 모래 포집 및 모래자원의 재이용

다. 연안표사량 및 유사량 산정

1) 연안표사량

- 심해파랑 자료로부터 연안표사량 산정은 아래의 식을 이용하여 비교적 간단히 산정할 수 있다. 그러나 연안표사량 산정식은 해안선의 변화가 완만한 경우에 적용되는 식으로 복잡한 지형이나 구조물에 의한 파랑의 국지적인 변화는 고려되지 않

았으며, 국지적 변형으로 추정되는 표사량 과는 큰 차이를 보일 수 있다.

$$Q = \sum_{i=1}^n \frac{KH_{oi}^{2.4} g^{0.6} T_{oi}^{0.2} \cos^{1.2} \theta_o \sin \theta_o}{8(S-1)(1-P)2^{1.4} \pi^{0.2} \kappa^{0.4}}$$

여기서, H_{oi} : 파고

T_{oi} : 주기

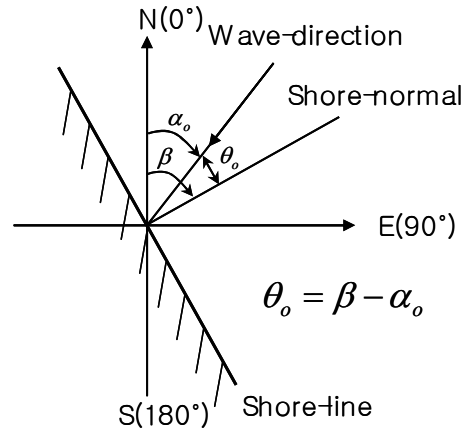
θ_o : 파향

S : 모래의 비중

P : 공극률(0.4 적용)

κ : 쇄파관정지수(=0.78)

K : 실험상수(=1.0)



- 장기파랑산출자료를 이용하여 연안표사량 산정결과 고래불해수욕장 연안표사는 북서측에서 남동측으로 이동하는 것으로 나타났다.
- 연안표사량은 해안선 각도와 파향의 영향이 크게 작용하므로, 고래불해수욕장의 연안표사량 산정은 평균 해안선 각도를 이용하여 연안표사량을 산정하였다.



그림 4.2.8 고래불해수욕장 연안표사도

2) 유사량 산정

- 유사량 산정은 하천에서 유사량을 실측하여 입경별 유량-유사량 관계 곡선을 이용하여 산정하는 방법이 가장 확실한 방법이나 측정비용과 많은 노력이 소요된다. 해당하천 구간의 흐름, 유사, 하천기하 자료를 유사량 공식에 대입하여 유사량을 산정하여 입경별 유량-유사량 관계를 구하는 방법은 실측에 비해 훨씬 간편하고 저렴하나, 유사량 공식에 의한 산정결과가 아직 충분한 신뢰를 주지 못하기 때문에 신중히 적용하여야 한다.
- 하천유사량의 추정방법은 유역면적의 크기에 따라 중규모 유역(200~2,000km²)과 소규모 유역(200km² 이하)으로 나누어 유사량을 산정한다.
- 한국건설기술연구원에서 우리나라 하천의 중규모 유역과 소규모 유역을 대상으로 연구 개발된 유사량 추정공식은 다음과 같다.

① 중규모 유역

- 유역면적 200~2,000km²인 중규모 유역을 대상으로 유역의 유사량[Yr(ton/km²/yr)]을 추정할 수 있는 경험공식은 다음과 같다.

$$Y_r = 972D^{1.039}M^{-0.825}$$

$$Y_r = 17.6D^{2.57}R^{0.847}M^{-0.938}$$

여기서, D : 하천밀도(km/km²)

M : 하상재료(mm)

R : 강우 침식도(J/ha)

② 소규모 유역

- 유역면적 200km² 이하인 국내 하천의 소규모 유역을 대상으로 유역의 유사량[Yr(ton/km²/yr)]을 추정할 수 있는 경험공식은 다음과 같다.

$$Y_r = 8,688A^{-0.896}$$

$$Y_r = 23.564A^{-1.341}A_f^{0.403}K^{0.582}$$

여기서, A : 유역면적(km²)

A_f : 임야면적(km²)

K : 토양 침식성(ton/J)

- 고래불해수욕장으로 유입하는 4개 하천에 대해 산정된 유사량은 표 4.2.1과 같다.

표 4.2.1 유사량 산정결과

하천명	유로연장(km)	유역면적(km ²)	유사량(ton/km ² /yr)	유사량(m ³ /yr)
백록천	7.14	15.51	745.0	7,222
아곡천	8.36	8.57	1267.6	6,790
각리천	8.85	13.47	845.3	7,116
송천	32.26	216.08	78.0	10,527

자료 : 송천 하천정비기본계획 보고서(1993, 경상북도)
 아곡천하천기본계획 보고서(2008, 경상북도)
 한국하천일람(http://www.river.go.kr/SepaTest/WebForm/sub_03/sub_03_01_07.aspx)

라. 평면배치계획

1) 기본구상

- 주변해안에 미치는 영향을 최소화 하는 공법
- 기능 및 경제성, 환경성을 종합적으로 검토하여 합리적인 해안침식 저감대책
- 하천 및 남향의 연안표사를 포집하여 필요구간에 양빈하는 순환양빈시스템

표 4.2.2 평면배치계획

평면배치안	시설내용	비고
제 1 안	중단돌제 200m + 우회양빈	
제 2 안	샌드트랩(A=6,000m ²) + 우회양빈	
제 3 안	송천 하구 준설(A=6,000m ²)+ 우회양빈	

- 제1안은 해수욕장 남측에 중단돌제를 설치하여 남측 암반해안으로 유실되는 표사를 북측해안 또는 필요구간에 양빈 하는 것으로 계획하였다.
- 제2안은 송천 전면해안에 샌드트랩을 설치하여 송천에서 공급되는 표사와 연안

IV. 시범 현장조사 및 설계

표사를 포집하여 필요시 복측해안 또는 필요구간 양빈으로 계획하였다.

- 제3안은 송천 하구에 포집된 표사를 주기적으로 준설하여 복측해안 또는 필요구간에 양빈 하는 것으로 계획하였다.

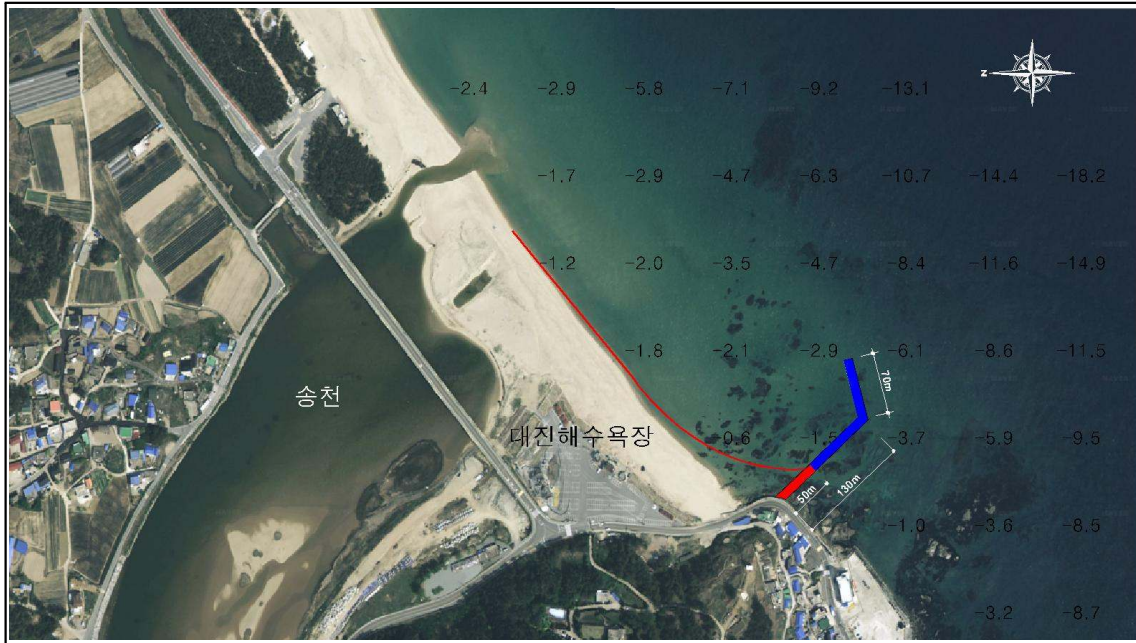


그림 4.2.9 평면배치계획(제1안)



그림 4.2.10 평면배치계획(제2안)



그림 4.2.11 평면배치계획(제3안)

표 4.2.3 평면배치안별 비교표

구분	제1안		제2안		제3안	
시설규모	<ul style="list-style-type: none"> · 종단(잠형)돌제 - 연장 : 200m - 퇴적면적 : 약7,000m² - 부피 : 20,000m³ - 육상준설, 우회양빈 		<ul style="list-style-type: none"> · SAND TRAP - 면적 : 6,075m² - 부피 : 20,000m³ - 양빈 		<ul style="list-style-type: none"> · 하구준설(DL(-)1.0m) - 면적 : 6,075m² - 부피 : 20,000m³ - 육상준설, 우회양빈 	
장·단점	<ul style="list-style-type: none"> · 구조물로 인해 연안표사 포집효과 좋음 · 공사 실적 많음 · 공사비 고가 · 어업권 보상에 따른 비용 증가 		<ul style="list-style-type: none"> · 해저에 설치하여 경관성이 좋음 · 국내 시공사례 없음 · 지속적인 유지관리 필요 · 준설에 의한 침식우려 · 설치수심이 낮은경우 비효율적 		<ul style="list-style-type: none"> · 경제적이며 공법 간단 · 입도 불량시 후처리 필요 · 지속적인 유지관리 필요 	
초기투자비 (억원)	구분	금액	구분	금액	-	
	시설	47억원	시설	24억원		
유지관리비 (억원)	준설, 양빈 (2km 가정)	1.8억원/회	양빈 (2km 가정)	1.0억원/회	준설, 양빈 (2km 가정)	1.8억원/회

마. 종단돌제

1) 종단돌제 개략 설계

가) 표사이동 한계수심 [Hallermeier(1988) 제안식]

- 표사이동한계수심은 개방해역서의 파랑통계자료로부터 산정하는 방법으로 Hallermeier (1988)가 제안한 식을 사용하여 표사이동한계수심을 추정하였다.

$$h_c = 2.28H_e - 68.5\left(\frac{H_e^2}{gT_e^2}\right)$$

여기서, H_e 와 T_e 는 연중 초과출현빈도 0.137%에 해당하는 파고와 주기

- 연중 초과출현빈도 0.137%에 해당하는 유의파고와 주기는 1979년~2002년 장기 파랑산출자료를 이용하여 산정한 하였다.
- 표 4.2.4에서 산정한 연중 초과출현빈도 0.137%에 해당하는 파고 3.87m, 주기 9.38sec로 산정된 표사이동한계수심(h_c)는 7.6m이다.

표 4.2.4 연도별 연중 초과출현빈도 0.137%의 유의파고와 주기

연도	파고(m)	주기(sec)	연도	파고(m)	주기(sec)
1979	3.69	9.58	1991	3.70	8.51
1980	3.58	9.63	1992	3.89	8.54
1981	3.24	8.48	1993	4.15	9.73
1982	3.78	7.91	1994	4.30	10.69
1983	4.34	10.15	1995	2.87	7.22
1984	3.73	8.79	1996	4.00	9.91
1985	4.23	8.84	1997	4.60	10.51
1986	3.16	10.18	1998	4.64	9.00
1987	3.83	9.85	1999	4.24	9.89
1988	3.36	10.50	2000	3.76	9.63
1989	3.52	10.64	2001	3.83	8.45
1990	3.58	8.58	2002	4.75	9.83
			평균	3.87	9.38

나) 쇄파대 수심 검토

(1) 항만 및 어항 설계기준(2005)의 방법

수심이 환산심해파고의 약 3배 이하의 지점에서의 쇄파에 의한 파고변화를 고려하여야 한다고 규정하고 있으며 파고의 변화는 Goda(1970)의 쇄파이론을 적용하여 산정.

$$\text{설계조위}(H_{1/3}) = DL(+)0.278 \text{ m(후포)}$$

$$\text{전면수심}(h) = \text{설계조위} + \text{수심} = DL(+)0.278 + 7.0 \approx 7.3 \text{ m}$$

$$\text{파장}(L_0) = 1.56T^2 = 1.56 \times 9.38^2 = 137.26 \text{ m}$$

$$\text{상대경사}(h/L_0) = 7.3/137.26 = 0.053$$

$$H/H_0' = 1.013 \text{ (S.P.M table C-1 참고)}$$

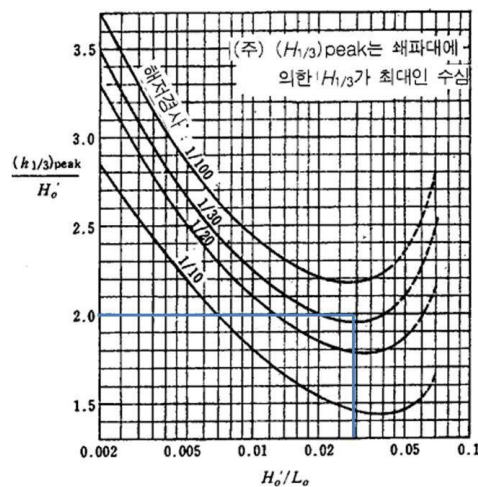
$$\therefore \text{환산심해파고}(H_0') = 3.87 / 1.013 = 3.82 \text{ m}$$

$$\text{파형경사}(H_0'/L_0) = 3.82 / 137.26 = 0.028$$

$$\text{해저경사} = 1/40$$

$$\text{쇄파수심} = \text{유의파고가 최대가 되는 수심} (h_{1/3})_{\text{peak}} = 2.00 \times 3.82 = 7.64 \text{ m}$$

$$\text{여기서, } (h_{1/3})_{\text{peak}}/H_0' = 2.00 \text{ (항설 상권 p.89, 4-20b)}$$



(2) S.P.M(1984)의 방법

① 쇄파고 : Goda(1970)가 제시한 방법에 따라 해저경사와 심해파의 파형경사(H_0'/L_0)를 이용, 상대쇄파고(H_b/H_0')를 S.P.M Fig. 7-3에 의해 구함.

- 쇄파고 (H_b)

$$\frac{H_0'}{gT^2} = \frac{3.82}{9.8 \times 9.38^2} = 0.0044 \text{ 이고, 해저경사 } m = 0.025 \text{ 일 때,}$$

IV. 시범 현장조사 및 설계

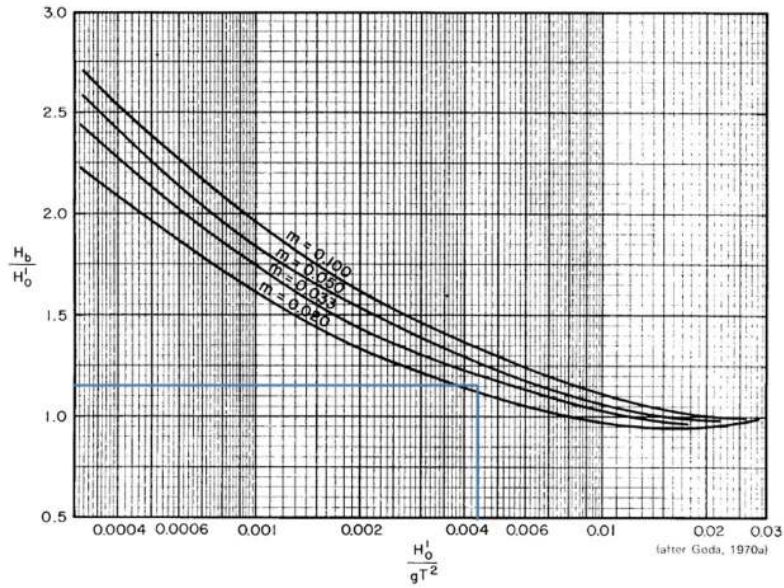


Figure 7-3. Breaker height index H_b/H'_o versus deepwater wave steepness H'_o/gT^2 .

$$\frac{H_b}{H'_o} = 1.15$$

따라서, $H_b = 1.15 \times 3.82 = 5.06 \text{ m}$

(3) 쇄파수심

Weggel(1972)이 제시한 방법에 따라 쇄파의 파형경사 H_b/L_o 를 이용하여 구조물의 영향을 고려한 상대쇄파수심 d_b/H_b 를 S.P.M Figure7-2에 의해 구함.

$$\frac{H_b}{gT^2} = \frac{5.06}{9.8 \times 9.38^2} = 0.0059 \text{ 이고, 해저경사 } m = 0.025 \text{ 일 때,}$$

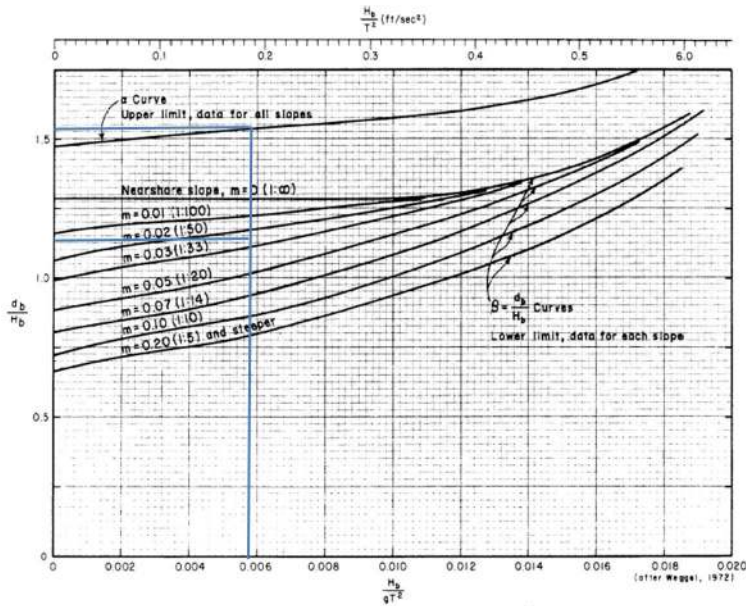


Figure 7-2. α and β versus H/gT^2 .

$$\alpha = (\text{db/Hb})_{\text{Upperlimit}} = 1.525$$

$$\beta = (\text{db/Hb})_{\text{Lowerlimit}} = 1.125$$

$$\therefore \text{최대쇄파수심}(\text{db max}) = \alpha \times 5.06 = 7.72 \text{ m}$$

$$\text{최소쇄파수심}(\text{db min}) = \beta \times 5.06 = 5.69 \text{ m}$$

설계 정수위에서의 쇄파대 범위 : 5.69 m ~ 7.72 m

(4) 판정결과

구 분	쇄파수심(DL(-))
항만 및 어항설계기준에 의한 방법(2005)	7.64 m
S.P.M에 의한 방법(1984)	5.69 m ~ 7.72 m

다) 연장 결정

- 樁木(1991)은 수리모형실험 결과를 토대로 돌제 주변의 상황, 해빈변형 및 연안표사를 검토하여 돌제에 의한 연안표사 포착률 산정방법을 제안하였다.
- 평면이동상실험에 의한 돌제 주변의 지형변화 및 수심변화량에 의해 구해진 연안표사량분포로서 조파(造波) 초기의 돌제에 의한 연안표사의 포착율 T_r 은 그림 4.2.12와 같다. 이에 따르면 연안표사 포착율 T_r 은 돌제의 무차원 길이 l_c^* 이 커짐에 따라 증가하며 돌제의 선단이 쇄파점 부근에 달하면 한계에 달해 거의 80% 정도의 연안표사를 포착할 수 있게 된다.
- 또한 일반적으로 연안표사량의 횡단분포의 경우, 파형구배가 작은 파는 해안선 부근에서 최대가 되고 파형구배가 큰 파는 쇄파점 부근에서 최대가 된다. 이와 같이 연안표사량의 회안분포는 내습파랑의 특성에 따라 변하기 때문에 연안표사량이 증가하는 고파랑시를 대상으로 하며, 연안유속의 횡단분포 및 쇄파대폭과 돌제의 길이와의 관계로부터 연안표사의 포착률을 추정하는 것도 가능하다.

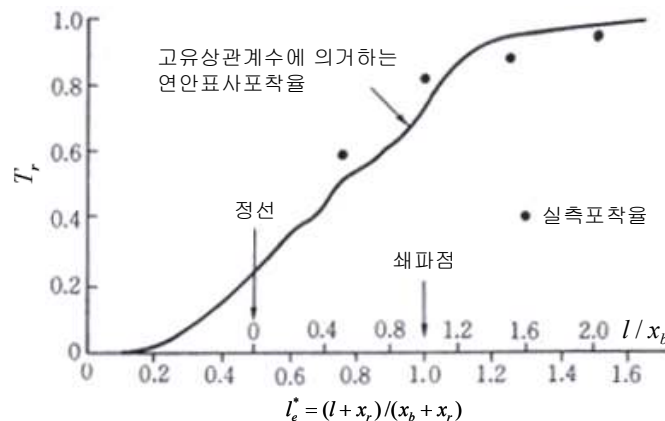


그림 4.2.12 돌제에 의한 연안표사의 포착률

IV. 시범 현장조사 및 설계

- 돌제의 육지측 수평부분 연장을 결정하기 위해 Hsu · Evans 공식을 적용하여 구조물 설치후 안정해안선을 검토하여 육지측 수평부분 연장을 결정하였다.
- 안정해안선의 검토결과 구조물에 의해 퇴적되어 늘어나는 해빈폭이 약 50m로 예측되었다.



그림 4.2.13 돌제 설치후 예측된 안정해안선

- 돌제의 연장은 200m로 결정하였으며 해측 150m는 DL(+).1.3m로 나머지 50m 구간은 DL(+).3.3m로 계획하였다.

라) 돌제 마루높이 검토

(1) 육지측

삭망평균만조위(H.W.L)에 대하여 년 수회 내습하는 고파랑(년중 0.137%에 해당하는 파고)의 처오름높이 산정결과를 토대로 결정

$$H_o' = 3.82m, T_o = 9.38sec$$

$$\frac{H_o'}{gT_o^2} = \frac{3.82}{9.8 \times 9.38^2} = 0.0044$$

$$d_s = 3.0m(\text{가정})$$

$$\frac{d_s}{H_o'} = \frac{3.0}{3.82} = 0.79 \text{ 일 때 } \frac{R}{H_o'} = 1.5 \text{ 이다.}$$

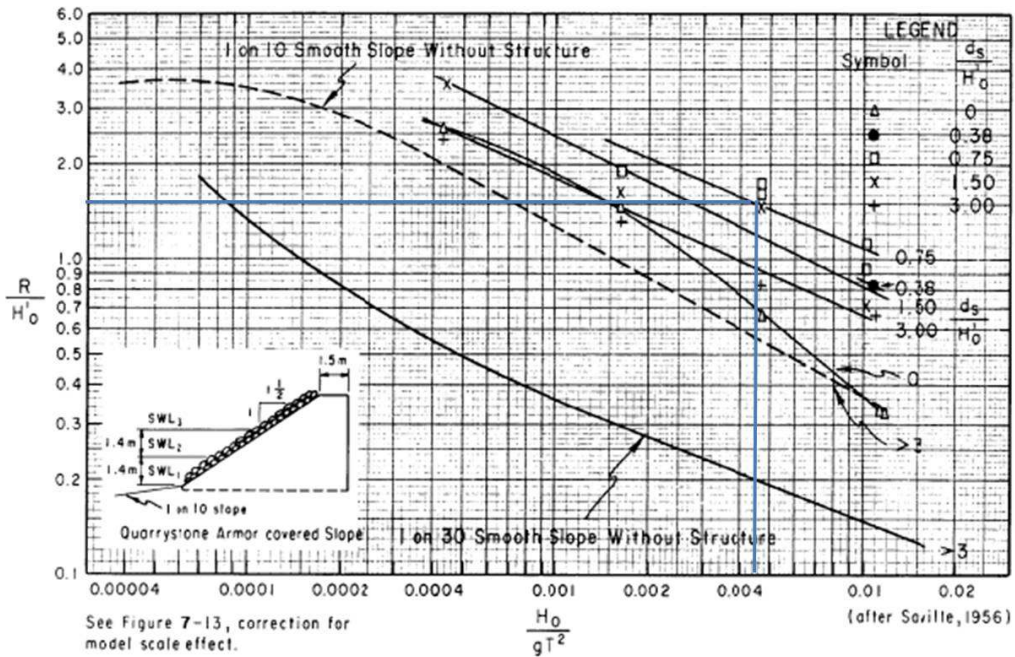


Figure 7-15. Wave runup on impermeable, quarrystone, 1:1.5 slope versus H_o'/gT^2 .

상대 처오름량($\frac{R}{H_o'}$)을 구하면

축척 조정계수(K)=1.03

조도 조정계수(γ)=0.5 를 적용하면

$$\therefore R = \frac{R}{H_o'} \times H_o' \times K \times \gamma = 2.951m$$

육지측 마루높이 = 2.951m + 0.278 = 3.3m

(2) 선단부

- 마루높이는 삭망평균만조위(H.W.L.)를 최저한도로 하고 평균조위(M.W.L.)에 에너지평균파의 처오름 높이를 더한 높이로 설정
- 에너지평균파를 구하기 위해 장기파랑산출자료를 이용하여 $H_{1/3}$ 과 $T_{1/3}$ 을 산정하여 아래의 식을 이용하여 에너지평균파를 추출하였다.

$$H_{1/3} = 1.60 \bar{H}$$

$$T_{1/3} = 1.2 \bar{T}$$

$$\therefore \bar{H} = 0.90m$$

$$\bar{T} = 5.54sec$$

IV. 시범 현장조사 및 설계

표 4.2.5 장기파랑산출자료의 $H_{1/3}$, $T_{1/3}$

연도	파고(m)	주기(sec)	연도	파고(m)	주기(sec)
1979	1.43	6.59	1991	1.49	6.64
1980	1.37	6.21	1992	1.48	6.59
1981	1.23	6.10	1993	1.38	6.46
1982	1.32	6.57	1994	1.72	7.23
1983	1.40	6.40	1995	1.27	6.69
1984	1.27	6.07	1996	1.33	6.74
1985	1.40	6.43	1997	1.57	7.41
1986	1.17	6.09	1998	1.70	7.12
1987	1.32	6.25	1999	1.55	7.12
1988	1.39	6.32	2000	1.49	7.20
1989	1.42	6.51	2001	1.74	7.14
1990	1.42	6.53	2002	1.74	7.14
			평균	1.44	6.645

$$\frac{H_o'}{gT^2} = \frac{0.9}{9.8 \times 5.54^2} = 0.0030$$

$$d_s = 8.0m$$

$$\frac{d_s}{H_o'} = \frac{8.0}{0.9} = 8.89 \text{ 일 때 } \frac{R}{H_o'} = 1.1 \text{ 이다.}$$

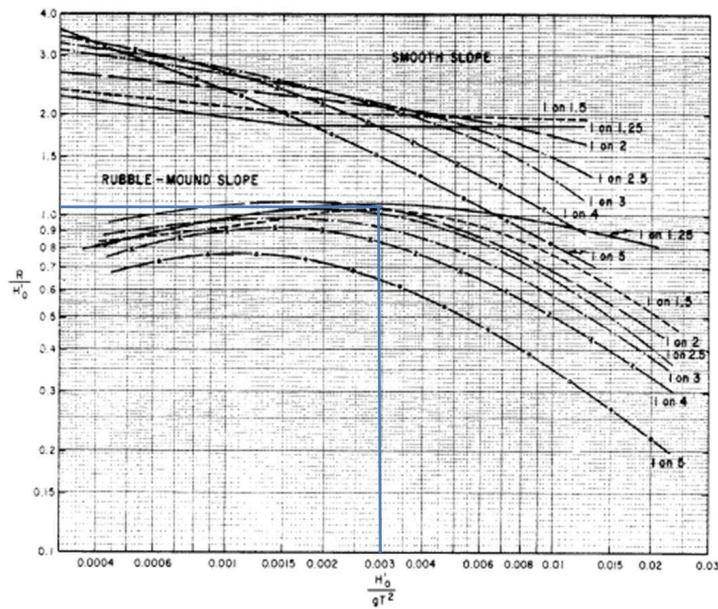
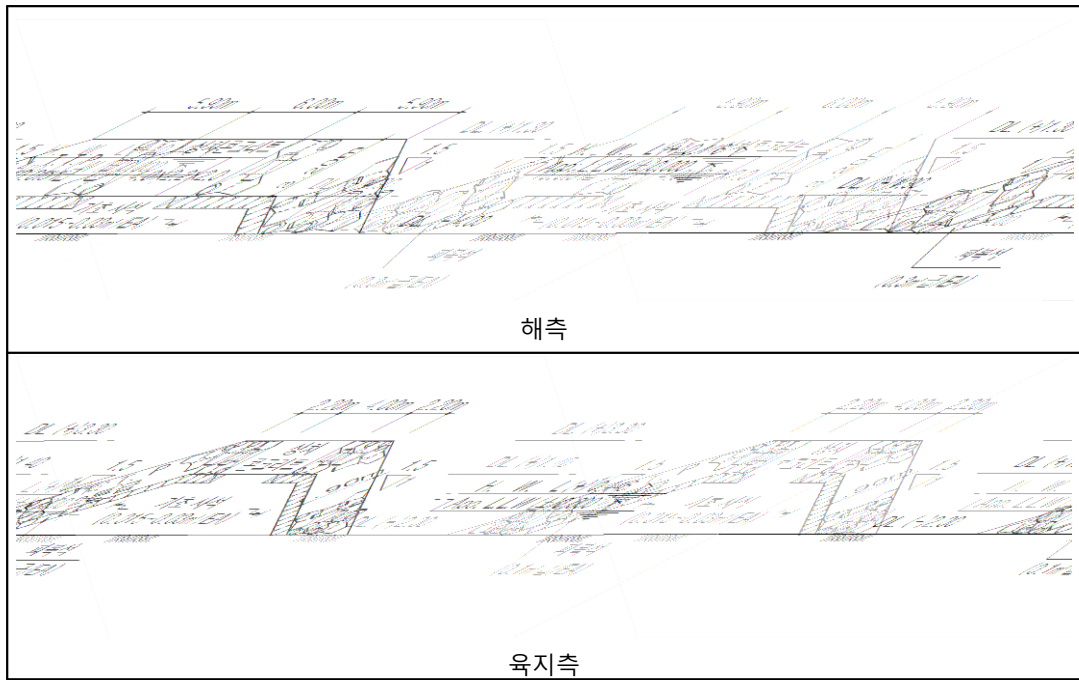


Figure 7-20. Comparison of wave runup on smooth slopes with runup on permeable rubble slopes (data for $d/H_o' > 3.0$).

$$\therefore R = 1.1 \times H_o' = 0.99m$$

$$\text{선단측 마루높이} = 0.99m + 0.278 = 1.3m$$

2) 종단돌제 표준 단면



바. 우회양빈시스템

1) 개요

- 송천 전면해안 해저에 우회양빈시스템을 설치하여 침사지를 만든 후 추후 일정량의 모래가 퇴적될 경우 이를 자동계측하여 퇴적된 모래를 펌핑 준설하여 필요한 곳에 양빈을 수행

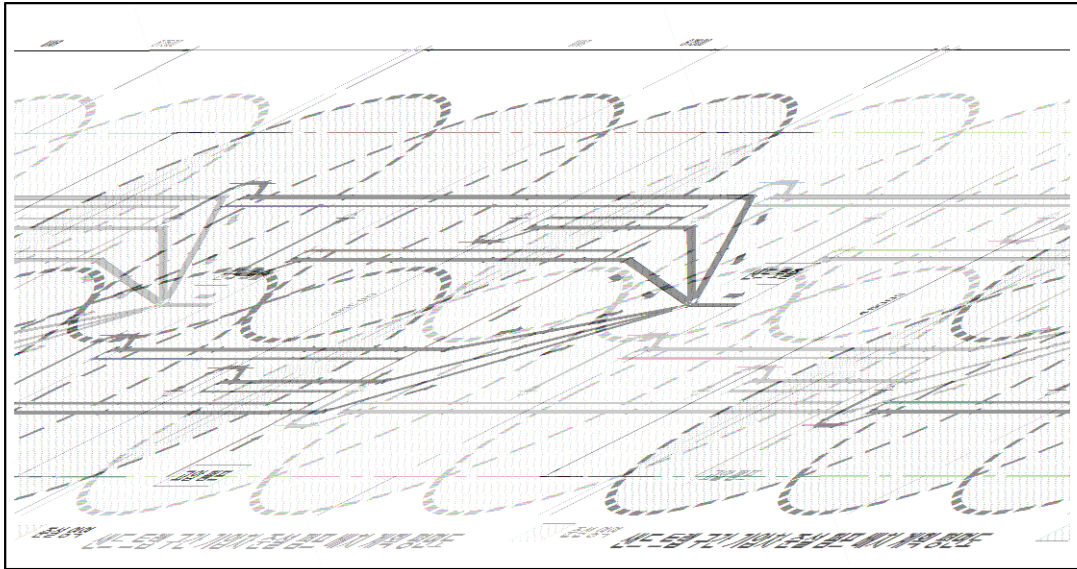
2) 작동원리

- 고압살수를 관에 유속을 발생시켜 해저의 모래를 교란시킨 후 모래를 해저와 육상의 기압차에 의해 해저의 모래를 준설

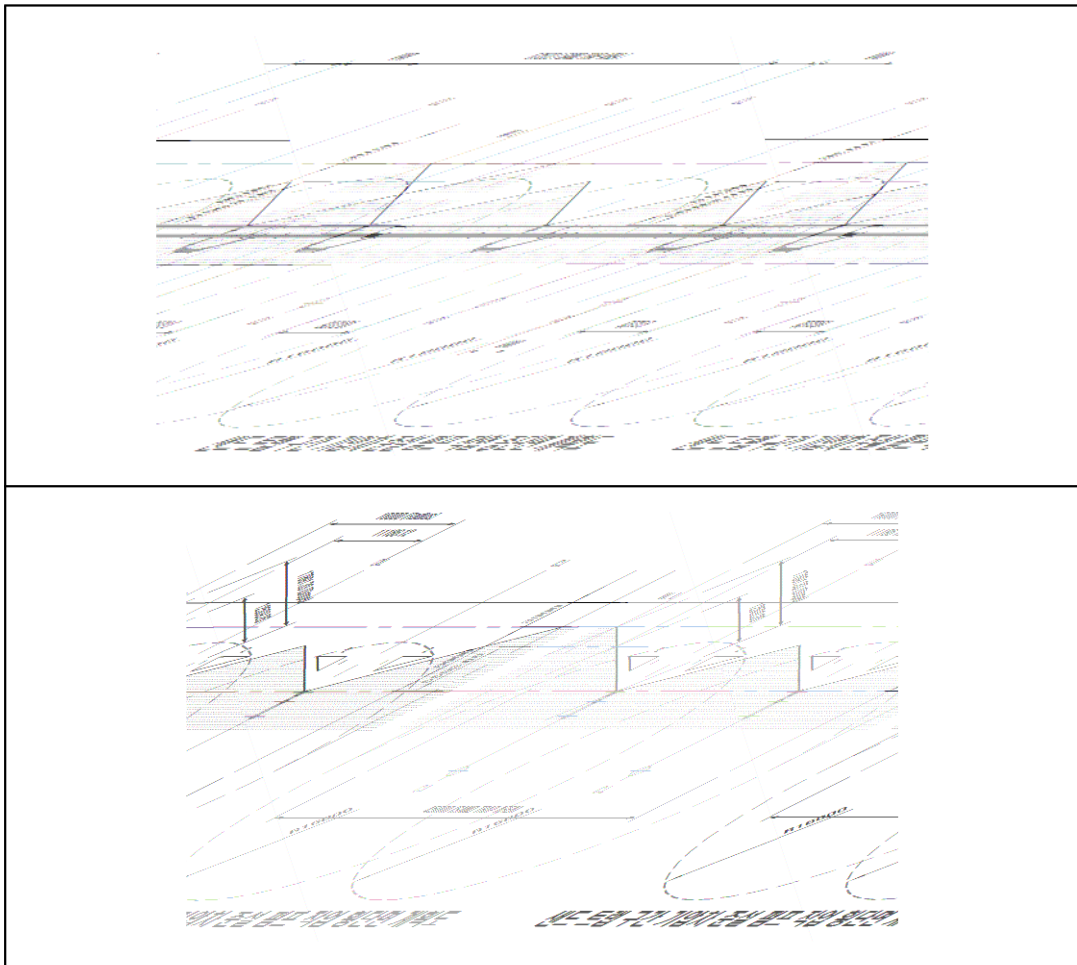
3) 계약 공사비

항목	내역	공사비(백만원)	비고
엔진	500hp	150	
기압차펌프	8"	360	
고압터빈펌프	흡입 200 x 토출 150	150	
설치봉	높이 7m x 직경 4"	64	
이송라인	8" x 6.5T x 6m	720	
배출라인	4" x 3T x 6m	144	
흡입마우스		72	
전자제어장치		120	
이송자동밸브	8"	96	
배출자동밸브	4"	72	
주입량조절장치	8"	48	
압력감지장치		20	
필터장치	50cm x 50cm	8	
하우스 제작		30	
기타자재		100	
부대비용		215	10%
합계		2,369	2154

4) 평면도



5) 단면도



3. 충남 태안군 백사장해수욕장

가. 기본방향

- 주변해안에 미치는 영향을 최소화 하는 공법 검토
- 침식방지시설의 기능 및 경제성, 환경성을 종합적으로 검토하여 보다 합리적인 해안침식 저감대책 검토
- 북향의 연안표사를 제어하여 유실되는 모래 포집 및 모래자원의 재이용

나. 현황

- 백사장해수욕장은 사빈-사구시스템이 발달하였으나 사구에 조성한 송림을 보호하기 위해 1998년 섬유대호안을 설치한 후 파랑에 의해 남측해안은 침식되고 북측해안은 퇴적
- 남측해안의 침식을 방지하기 위해 국립공원관리공단에서 2002년 돌무덤 헤드랜드, 2005년 돌망태 돌제등을 설치하여 북향표사를 억제하였으나 남측해안으로 모래공급원이 없어 자갈층이 점차 북상하고 있음
- 백사장해수욕장은 1998년부터 현재까지 지속적인 해안침식으로 배후 호안붕괴 및 응급조치를 반복하여 시행하고 있으며 그 피해 범위가 북쪽해안으로 확산
- 2010년 3월에 남측해안의 붕괴된 호안을 철거하고 지오투브를 적용하여 환경사 침식방지호안 설치

다. 평면배치계획

표 4.3.1 백사장해수욕장 평면배치계획

적용 공법	시설내용	기능
방사잠제	- 연장 = 300m - 높이 = DL(+)4.0m	조간대 상의 파고 저감하여 연안표사량 저감
Sandbypassing	- 양빈량 = 60,000m ³	침식량에 대응하는 모래공급하여 배후 해안보호
목책중단돌제	- 연장 = 200m	북측 연안표사량 저감 및 포집



그림 4.3.1 백사장해수욕장 계획평면도

IV. 시범 현장조사 및 설계

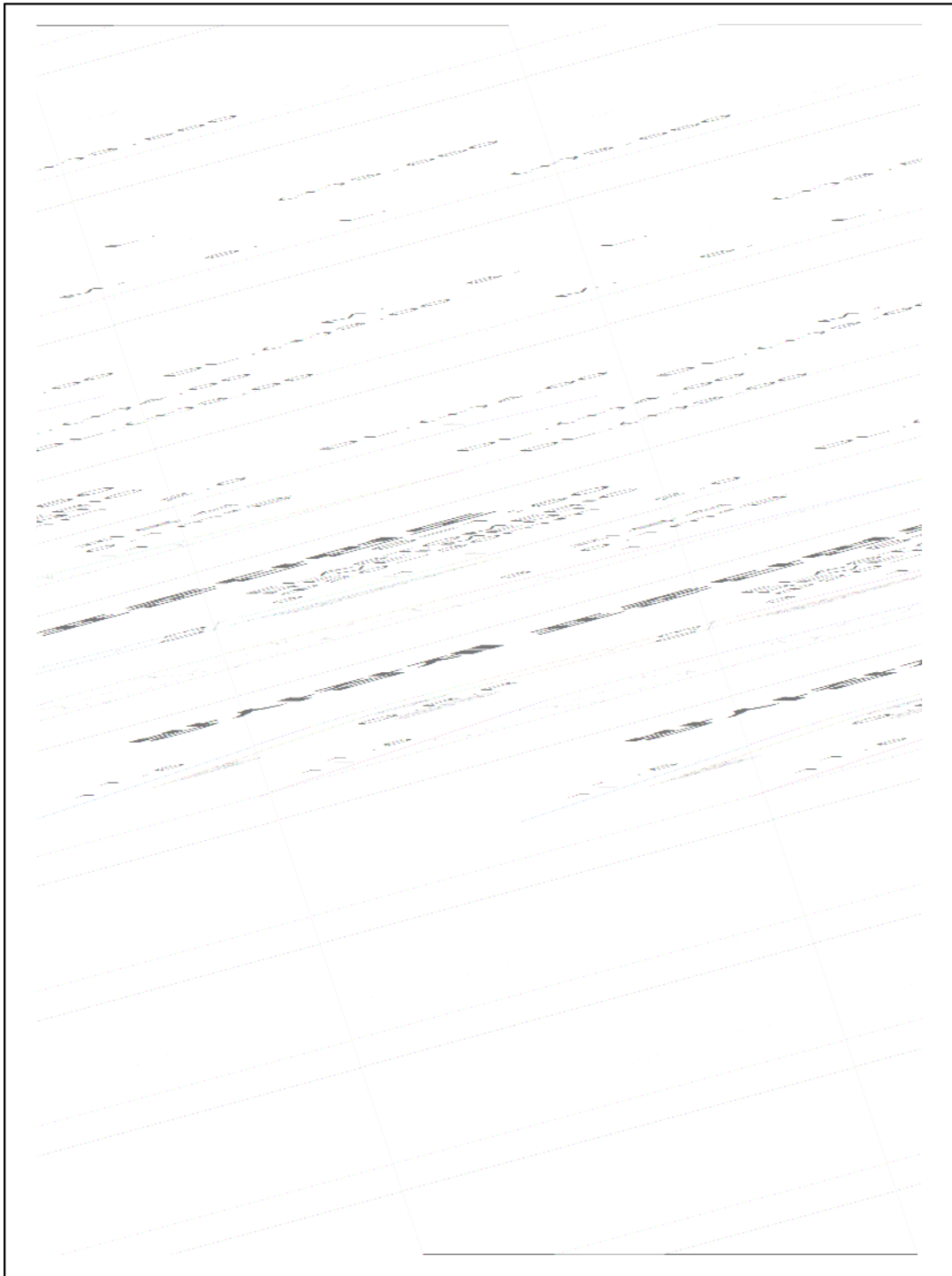


그림 4.3.2 방사잠제 및 호안표준단면도

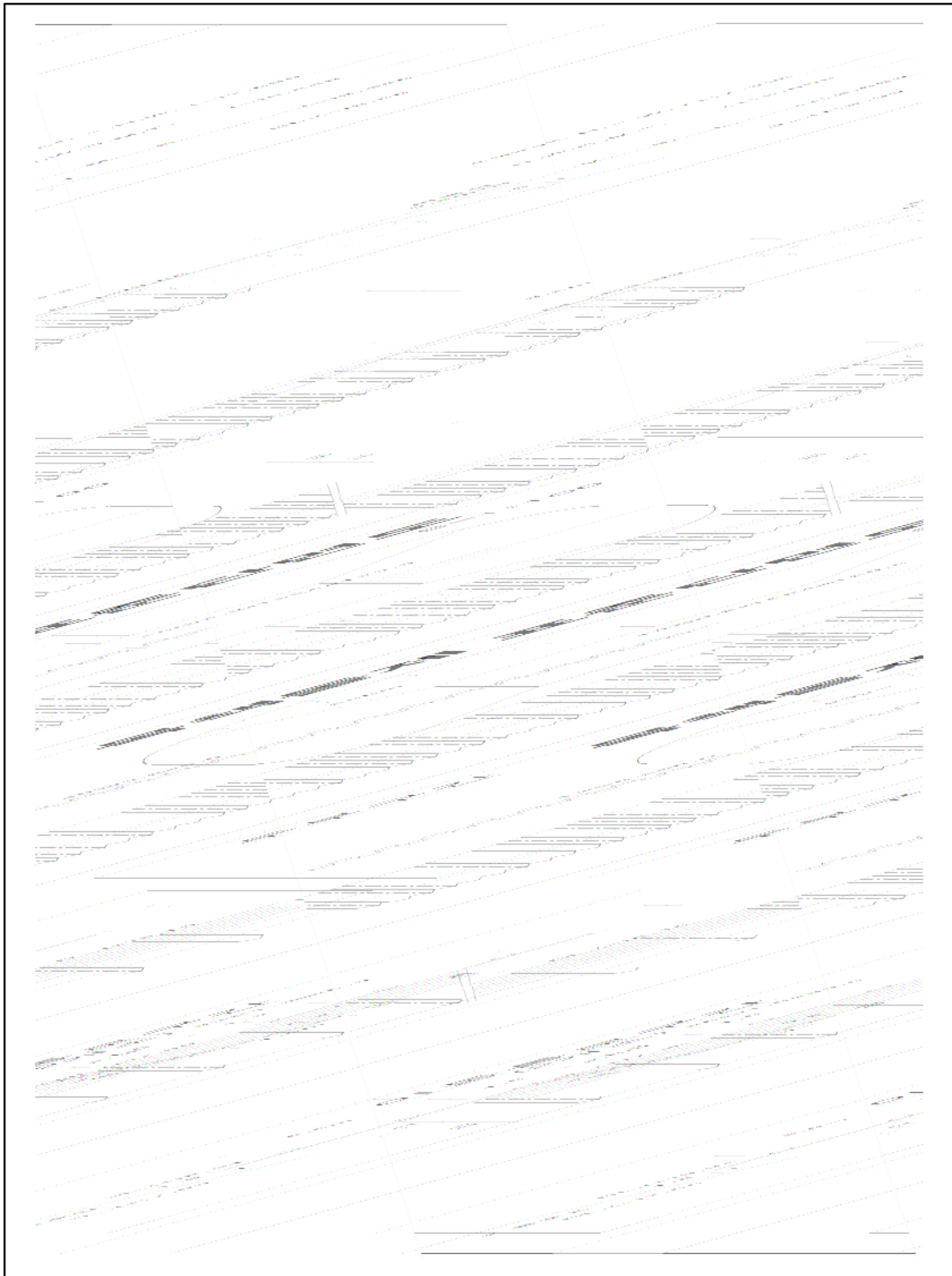


그림 4.3.3 목책돌제 표준단면도

IV. 시범 현장조사 및 설계

라. 개략공사비

항목	수량	공사비(백만원)	비고
목책돌제	200m	300	
양빈	60,000m ³	1,200	
방사잠제	300m	200	
부대비용	1식	198	10%
합계		1,898	

	참고문헌
--	------

참고문헌

- 강릉어항사무소. 2008. 국가어항(강릉항) 해안선변화 및 매몰관련 모니터링 조사 보고서(II).
- 강릉어항사무소. 2009a. 국가어항(사천진항) 해안선변화 및 매몰관련 모니터링 조사용역 보고서.
- 강릉어항사무소. 2009b. 국가어항(강릉항) 해안선변화 및 매몰관련 모니터링 조사 보고서(III).
- 경상북도. 2007. 병곡항 개발계획수립 사전환경성 검토서(초안)
- 국립해양조사원. 2009. 연안침식 모니터링 체계구축(VI) [경상북도].
- 국토해양부. 2008. 연안침식방지기술 개발 연구 제3차년도 보고서.
- 국토해양부. 2009a. 제2차 연안정비계획 2010-2019년.
- 국토해양부. 2009b. 제2차 연안정비계획 10개년 계획 연구.
- 김용현·윤종성·김명규·황용태. 2008. 송도해수욕장 잠제 설치에 따른 해안특성 변화에 관한 연구. 한국해안·해양공학회 학술발표논문집 17: 140-143.
- 남정호 등. 2009. 제3세대 연안관리정책과 기후변화. 2009 해양과학기술 공동학술대회 자료집.
- 대산지방해양항만청. 대산항 진입도로 기본·실시 설계 및 기타용역 중 장안퇴 조시 기본계획 수립 및 수리현황조사(수행중).
- 부산광역시 서구. 2002. 송도일원 침식방지공사 기본 및 실시설계 용역 보고서.
- 부산광역시 서구. 2010. 송도연안정비(2단계) 및 거북섬 주변 테마공간조성 타당성 조사 및 기본계획 수립용역 실시설계보고서.
- 신안군. 2008. 연안침식방지대책 및 관광자원화 방안 기본계획수립 연구용역 보고서.
- 심재설·박한산·김진아·김선정. 2010. 만리포 사빈의 3차원 지형변화분석. 2010년도 한국해양과학기술협의회 공동학술대회.
- 충남골재협회. 2010. 태안군 관할해역 골재채취사업 예정지 지정 고시를 위한 해역이용협의 요청서.

- 포항지방해양수산청. 2005. 오산항·구산항 해안침식 방지시설 실시설계용역 보고서.
- 포항지방해양항만청. 2008. 죽변면 봉평지구 연안정비사업 실시설계 재검토용역 보고서.
- 한국골재협회 인천지회. 2002. 경기만내 해사부존량 추정 및 해사채취에 따른 환경영향연구 최종보고서.
- 한국골재협회 인천지회. 2008. 옹진군 관할수역 해사채취 사업 해역이용영향평가서(최종본)
- 한국해양대학교 해양과학기술연구소. 2005. 송도연안정비사업 모니터링 조사 용역 1차년도 (2004-2005) 결과 보고서.
- 한국해양대학교 해양과학기술연구소. 2009. 송도연안정비사업 모니터링 조사 용역 최종 (2004.06- 2009.01) 결과 보고서.
- 한국해양연구소. 1982. 만리포 해변변화 및 침식방지대책에 관한 연구. BSPE:00038-57-2.
- 해양수산부. 2000. 연안통합관리계획.
- 해양수산부. 2002. 구산항 해안침식방지 기본설계 보고서.
- 해양수산부. 2007a. 연안관리 제도개선 연구 최종보고서.
- 해양수산부. 2007b. 연안정비사업 실무편람.
- 山田浩次. 2007. 日本が目指す海岸保全(流系一貫土砂管理). 第1回 KORDI- NILIM 日韓海岸侵食ワークショップ, 米子市.
- 宇多高明·森川数美·上橋 昇·大木孝志·芹沢真澄·神田康嗣·福本崇嗣. 2009. 皆生海岸のクレスト型人工リーフ周辺の地形変化実態とその予測. 土木学会論文集B2 (海岸工学) B2-65(1): 571-575.
- 日野川河川事務所. 2007. 皆生海岸事業箇所説明資料. 国土交通省.
- Bernd-Cohen, T. and M. Gordon. 1999. State coastal program effectiveness in protecting natural beaches, dunes, bluffs, and rocky shores. *Coastal Management*, 27: 187-217.
- Bruun, P. 1954. Coast erosion and the development of beach profiles. Technical Memorandum No. 44, Beach Erosion Board.
- Campbell, T.J. and L. Benedet. 2006. Beach nourishment managements and trends in the U.S. *J. Coastal Res.* SI39: 57-64.
- Dean, R.G. 1977. Equilibrium beach profiles: US Atlantic and Gulf Coasts. Dep. Civil Eng. Ocean Eng. Report No. 12, Univ. of Delaware, Newark, Delaware.
- Dean, R.G. and T.J. Campbell. 1999. Recommended beach nourishment guidelines for the Sates of Florida and unresolved related issues. UFL/COEL-99/022, Dept. of Civil and Coastal Engineering, University of Florida, Gainesville, FL.
- Douglas, S.L., A. Bobe and Q.J. Chen. 2003. The amount of sand removed from America's beaches by engineering work. Coastal Sediment '03, Clearwater, Florida.
- EA(Environmental Agency). 2010. The Coastal Handbook - A guide for all those working on the coast. UK.
- Engelund, F. and E. Hansen. 1967. Monograph on sediment transport in alluvial stream. Teknisk Forlag, Copenhagen V, Denmark.

- European Commission. 2004. Development of a guidance document on strategic environment assessment(SEA) and coastal erosion. Directorates-General Environment.
- Europe Commission. 2007. Communication from the Commission : An Evaluation of Integrated Coastal Zone Management (ICZM) in Europe. COM(2007) 308 final.
- Fisher, E.R. and A.L. Sunley. 2007. A line in the sand : Balancing the Texas Open Beaches Act and Coastal Development. 10th Annual Southern and Caribbean Regional Meeting, Nov. 5-8, Lafayette, Louisiana.
- Finkl, C.W. 1981. Beach nourishment, a practical method of erosion control. *Geo-Marine Letters* 1: 155-161.
- French, P.W. 2001. Coastal defences: Processes, problems and solutions. Routledge, Oxen, UK.
- Highley, D.H., L.E. Hetherington, T.J. Brown, D.J. Harrison and G.O. Jenkins. 2007. The Strategic Importance of the Marine Aggregate Industry to the UK. Research Report OR/07/019, British Geologic Survey.
- Hsu, J.R.C. and C. Evans. 1989. Parabolic bay shapes and applications. *Proc. Institution of Civil Engineers, London, England, Vol. 87(Paty 2): 556-570.*
- Humphery, S., P. Burbridge and C. Blaatch. 2000. US lessons for coastal management in the European Union. *Marine Policy*, 24: 275-286.
- Inter-Agency Committee on Marine Science and Technology (IACMST). 2005. Marine Processes and Climate. The 2nd of 5 reports produced to support Charting Progress - an Integrated Assessment of the State of UK Seas.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007a. Climate Change 2007: Synthesis Report - Summary for Policy-makers. IPCC Fourth Assessment Report. Cambridge University.
- Jin, J.-Y., D.-Y. Lee, J.S. Park, K.S. Park and K.D. Yum. 2001. Monitoring of suspended sediment concentration using vessels and remote sensing. In McNally and Mehta ed. *Coastal and Estuarine Fine Sediment Processes, Proceeding Marine Sciences No. 3*, Elsevier.
- King, D.M., N.J. Cooper, J.C. Morfett and D.J. Pope. 2007. Application of offshore breakwater to the UK: A case study at Elmer Beach. *J. Coastal Res.* 16(1): 172- 187.
- Leatherman, S.P. 1999. Sand rights: A case study of the Hampton's Beaches. p.245-253. In: *Sand Rights '99. Building Back the Beaches*, ed. by L. Ewing, O.T. Magoon and S. Robertson, ADCE.
- NOAA. 2010. Coastal Zone Management Act Performance Measurement System : Coastal Management Program Guidance.
- RIKZ et al. 2004. Living with coastal erosion in Europe: Sediment and space for sustainability. Part I - Major findings and policy recommendations of the EUROSION project.

- Roelvink, J.A., A. Reniers, A. van Dongeren, J. van Thiel de Vries, R. McCall and J. Lescinski. 2009. Modelling storm impacts on beaches, dunes and barrier islands. *Coastal Eng.* 56: 1113– 1152.
- Sano, M., M. Marchand and R. Medina. 2010. Coastal setbacks for the Mediterranean : a change for ICZM. *J. Coastal Conservation*, 14:33–39.
- Stronge, B. 2001. The economic value of our beaches. Proc. 14th Annual National Conf. Beach Preservation Technology, Orlando, Florida.
- Taal, M., J. Mulder, J. Cleveringa and D. Dunsbergen. 2006. 15 Years of Coastal Management in the Netherlands; Policy, Implementation and Knowledge. Ministry of Transport, Public Works and Water Management, the Netherlands.
- van Heuvel, T., F. de Kruik and H. Ebbing. 1996. Coastline management from coastal monitoring to sand nourishment. RIKZ, Rijkswaterstaat, the Hague, The Netherlands.
- van Koningsveld, M. and J.P.M. Mulder. 2004. Sustainable Coastal Policy Developments in the Netherlands. A Systematic Approach Revealed. *J. Coastal Res.* 20(2): 375–385.
- World Commission on Environment and Development. 1987. Our common future.

부록1

국외 관리제도

A1. 미국

- 육군공병단 조사¹⁾에 따르면, 미국의 해안선 연장은 약 135,600 km (84,240마일)이며, 알래스카주 76,100 km를 제외한 해안의 33 %가 백사장을 포함하고 있다. 전체의 24.3 %인 33,000 km 해안에서 유의할 만한 침식(significant erosion)이 발생하고 있으며, 알래스카주를 제외할 경우의 유의침식해안 비율은 41.7 %이다.

한편, USACE는 2020년까지의 인구증가와 연안토지 예상수요, 과거와 1970년 조사당시 침식이 환경에 미친 영향, 토지소유자 등을 감안하여 유의침식해안 중 침식이 심각하여(critical erosion) 방지사업이 필요한 해안 4,330 km를 구분하였으며(그림 A1.1), 이를 다시 4등급으로 구분한 결과(표 A1.1) 방지사업이 최우선적으로 필요한 300 km 중 인구밀도가 높은 메인주에서 버지니아주까지인 북대서양 지구가 210 km를 차지하였다. 4등급의 구분 기준과 등급별 길이는 다음과 같다.

표 A1.1 미국의 해안침식 심각해안¹⁾

Priority 1 (300 km)	계속되는 심각한 침식으로 인명과 공공재산이 5년 내 위험에 처할 수 있는 해안
Priority 2 (1,660 km)	계속되는 심각한 침식으로 재산과 야생동물 서식처, 역사적 혹은 자연적 가치가 높은 해안이 5년 내에 위험에 처할 수 있는 해안
Priority 3 (1,110 km)	계속되는 심각한 침식으로 인명과 공공재산, 야생동물 서식처, 역사적이나 자연적 가치가 높은 지역이 5-15년 내에 위험에 처할 수 있는 해안
Priority 4 (1,260 km)	심각한 침식이 계속되는 그 밖의 해안

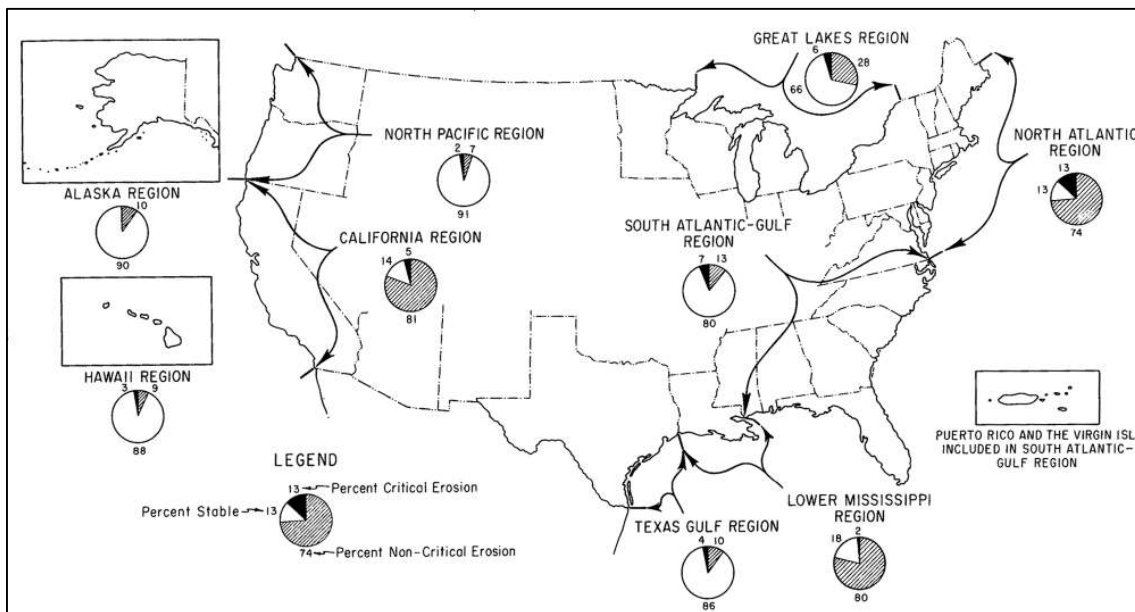


그림 A1.1 미국의 구간별 침식해안 비율¹⁾

¹⁾ US Army Corps of Engineers. 1971. Report on the National Shoreline Study.

USACE의 조사 이후 상당시간이 경과하였으나 전국 해안을 대상으로 한 추가 조사가 수행되지 않아 1970년 결과가 계속 인용되고 있으며²⁾, 이를 재검토한 USACE 2004년 보고서³⁾는 연방차원의 효율적인 침식관리를 위해서는 그 동안 축적된 정보를 이용하여 70년 결과를 갱신할 필요가 있음이 지적하였다.

- 미국의 연안침식관리는 크게 연방관리와 5대호 접경주와 미국령을 포함한 35개 연안주(Coastal States) 관리로 구분할 수 있다. 침식관리와 관련되는 연방기관은 육군공병단 USACE, 상무성 국가해양대기청(NOAA), 내무성 산하 지질조사국(USGS), 그리고 환경보호청(EPA) 등이며, 침식관리를 위한 지속적인 연방지원을 담당하고 있는 대표적인 기관은 USACE와 NOAA이다. 미국의 사례를 연방과 연안주 관리로 구분하여 살펴본다.

A1.1 연방관리

(1) 육군공병단 USACE

- USACE는 군사시설뿐 아니라 연방의 수문과 댐의 계획·설계·시공·관리, 침수범람, 수로·항로, 해안침식 등 물관련 토목공사 주관기관이다(그림 A1.2).



그림 A1.2 미국 육군공병단 지국(Division) 및 지부(District) 분포⁴⁾

²⁾ Bernd-Cohen, T. and M. Gordon. 1999. State coastal program effectiveness in protecting natural beaches, dunes, bluffs, and rocky shores. Coastal Management, 27: 187-217.

³⁾ Stauble, D.K. 2004. An assessment of the nation's shoreline change: A review of the 1971 National Shoreline Study. IWR Report 04-NSMS-3, Coastal and Hydraulics Laboratory, Engineer Research and Development Center, USACE, Vicksburg, MS.

⁴⁾ <http://www.usace.army.mil/about/pages/locations.aspx>

- **관계법** USACE는 각각 1899년과 1917년에 제정된 「하천·항만법 River & Harbor Act」와 「범람제어법 Flood Control Act」에 따라 해안침식·침수사업을 지원하였으며, 1974년 이후의 관련토목공사는 두 법을 합병한 「수자원개발법 Water Resources Development Act(WRDA)」에 근거한다(표 A1.2).

USACE는 「하천·항만법」의 1930년 개정을 통해 조사·연구의 법적 권한을 부여 받음으로써 해안사업을 시작하였으며, 동법의 1946년 개정을 통하여 시공비 지원이 시작되었다. 동법의 1956년 개정으로 양빈사업이 본격화하였으며, 1963년 개정에서는 공익을 위해 사용되는 사유지 보호를 위한 연구·시공비를 지원하기 시작하였다.

한편, 1968년 개정에 연방 항로공사에 의한 해안피해를 경감·방지하기 위한 조사와 공사시행이 규정됨에 따라(111조), 많은 사유재산 소유주들이 공병단 시행 공법의 타당성에 관한 조사를 요구하였으며, 법정소송이 제기되기도 하였다⁵⁾.

표 A1.2 해안침식 대응관련 연방법⁶⁾

1930	PL^a 71-520 River and Harbor Act of 1930
	<ul style="list-style-type: none"> ■ USACE에게 연안침식 조사·연구 권한 부여 (시공은 포함되지 않음) ■ 연안방호관련 자료생산과 기술지원을 위한 연방기관 Beach Erosion Board (BEB) 설립 ■ BEB 구성인원 : USACE 소속 4인, 민간인 3인
1936	PL 74-834 An Act for the Improvement and Protection of the Beaches along the Shore of the US
	<ul style="list-style-type: none"> ■ USACE에게 시공지원 권한 부여 (유지관리 제외) ■ 연안방호공사를 '연방이익'이 관련된 사업으로 정의되었으나 USACE는 이를 연방재산이 포함된 사업으로 해석하였으며 동법으로 시행된 사업은 거의 없음.
1945	PL 79-166 Shore Protection Studies
	<ul style="list-style-type: none"> ■ BEB에게 일반적인 조사·연구 수행 및 기술보고서 작성 권한 부여
1946	PL 79-727 Federal Participation in the Cost of Protecting Publicly Owned Property
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 해안공유지 침식방지사업 시공비 1/3 지원을 연방정책으로 채택 (유지비 제외)
1950 1954	PL 81-516 River and Harbor Act of 1950 PL 83-780 Flood Control Act of 1954
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 연안방호관련 연구 및 사업에 다양한 법이 연관될 때 두 법에 우선권한 부여
1956	PL 84-826 Beach Nourishment
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 연방역할 확대 ■ 해안방호·복원 지원 대상에 사유지 포함 : 사유지 방호·복원이 공유지의 경우와 동등한 효과를 갖거나 공익에 기여할 때 ■ 초기양빈뿐 아니라 유지양빈 지원 포함 ■ 유지양빈 지원기간은 USACE 사령관이 지정하며 보통 10년

^a Public Law

⁵⁾ <http://www.csc.noaa.gov/beachnourishment/html/human/law/index.htm>

⁶⁾ Hillyer, T.M. 2003. The Corps of Engineers and Shore Protection - History·Projects·Costs. IWR Report 03-NSMS-1, Institute for Water Resources, USACE, Alexandria, VA.

표 A1.2 (계속)

1962	PL 87-874 River and Harbor and Flood Control Act of 1962
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 해안침식, 해안방호사업 연방지원을 상향조정 <ul style="list-style-type: none"> - 공유지 혹은 공익목적으로 사용되는 사유지 해빈 50% - 해안공원과 소유 혹은 이용이 특정조건에 부합하는 보전지역 70% - 연방소유지 100% ■ 연구비 지원을 30%에서 100%로 상승 ■ 소규모 사업은 의회의 승인 없이 시행할 수 있는 재량권 USACE 사령관에게 부여
1963	PL 88-172 CERC Established
	<ul style="list-style-type: none"> ■ USACE에 '연안공학연구센터 (Coastal Engineering Research Center)' 설립^b ■ BEB 폐지하고 검토기능 'Board of Engineers for Rivers and Harbors'로 이양
1968	PL 90-483 River and Harbor and Flood Control Act of 1968
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 국가 해안선의 실태를 조사·연구하고 침식기인 피해를 최소화하기 위한 적절한 해안선 보호, 복원 및 관리수단 개발 책임을 USACE 사령관에게 부여 ■ 해안선 실태조사 1971년 종료 (조사보고서 12권) ■ 연방 항로공사가 야기한 피해 경감·방지를 위한 조사·시공사업 시행규정 포함
1972	PL 92-583 Coastal Zone Management Act
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 연안자원의 복원·개선, 보존·보호 및 개발을 국가정책으로 수립 ■ 연안자원의 지혜로운 이용을 위한 연안주 프로그램 개발·이행 요구 ■ 연안역에 직접적인 영향을 미치는 행위를 하는 모든 연방기관은 해당행위 혹은 사업이 연방이 승인한 연안주 연안관리프로그램과 일관성을 갖도록 규정
1974	PL 94-251 Water Resources Development Act of 1974
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 제54조 : 저비용 해안침식 방지·제어수단의 개발과 보급을 위한 프로그램인 「Shoreline Erosion Control Act」 마련 (USACE는 이에 대한 보고서를 1982년 의회 제출)
1976	PL 94-587 Water Resources Development Act of 1976
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 비용 증가분을 지역에서 부담할 경우, 준설모래를 이용한 백사장 양빈 허용 ■ 유지양빈 연방지원 기간 10년에서 15년으로 연장
1986	PL 99-662 Water Resources Development Act of 1986
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 연안침식방지사업 일차목적은 허리케인·폭풍피해저감(HSDR^c), 레크리에이션은 부가목적으로 한정 ■ HSDR 목적사업 연방지원을 65%, 레크리에이션 목적사업 지원을 50% (OMB^d는 레크리에이션 단일목적사업의 지원을 금지하며, 복수목적사업일 경우 HSDR 편익이 총 편익의 50% 이상일 경우에만 지원하는 예산 가이드라인 수립) ■ 유지양빈 연방지원 기간 50년으로 연장 ■ 준설모래를 이용한 백사장 양빈 시 추가비용 50% 연방지원
1992	PL 102-580 Water Resources Development Act of 1992
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 뉴욕주 모니터링사업 승인 : 롱아일랜드 남측 해안의 수리·표사특성 모니터링 및 분석


^b CERC와 Hydraulics Laboratory는 1998년 Coastal and Hydraulics Laboratory(CHL)로 병합⁷⁾

^c Hurricane and Storm Damage Reduction

^d Office of Management and Budget 백악관 행정관리예산국

⁷⁾ Morang, A. 2003. Regional coastal photograph archive of the Beach Erosion Board. Shore and Beach, 71(4): 17-21.

표 A1.2 (계속)

1996	PL 104-303 Water Resources Development Act of 1996
	<ul style="list-style-type: none"> ■ Nation Shoreline Erosion Control Development & Demonstration Program 승인 ■ 50년 유지양빈사업 8건 승인 ■ 행정부는 신규사업을 거부하였으나 레크리에이션 단일목적이 아니고 연방이 장기관리를 지원할 필요가 없는 사업에 한하여 사안별 승인
1999	PL 106-53 Water Resources Development Act of 1999
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 유지양빈 연방지원을 65%에서 50%로 하향조정 ■ 준설모래를 이용한 백사장 양빈 시 추가비용 연방지원을 65%로 상향조정 ■ 육군청장에게 미국 해안의 지구물리적 및 기후특성에 관한 데이터베이스 의회 제출 요구
2007	PL 110-114 Water Resources Development Act of 2007 ⁸⁾
	<ul style="list-style-type: none"> ■ 7년 만에 갱신됨에 따라 누적된 양빈수요 반영 ■ 부시 대통령은 양빈, 범람방호 등이 포함되는 2008년도 WRDA 예산 49억불 제한 ■ 의회 230억불로 증액 의결 ■ 부시 대통령 거부권 행사 ■ 의회 2/3 찬성으로 대통령 비토권 무효화
	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>A Bush Veto Is Overridden for the 1st Time With Action on Spending Bills, Hill Signals Fight With White House Over Priorities</p> <p><i>By Jonathan Weisman</i> Washington Post Staff Writer Friday, November 9, 2007; Page A04</p> <p>A year after Democrats won control of Capitol Hill, Congress delivered its clearest victory yet over President Bush yesterday, resoundingly overturning his veto of a \$23 billion water resources measure - the first veto override of Bush's presidency.</p> <p>The 79 to 14 vote in the Senate was followed last night by final passage of a huge, \$151 billion health, education and labor spending bill. House and Senate negotiators also reached agreement on a transportation and housing bill that increases spending on highway repair in the wake of the Minnesota bridge collapse and boosts foreclosure assistance in the midst of a housing crisis.</p> <p>Moreover, the House unveiled a four-month, \$50 billion Iraq war-funding bill that would give the president 60 days to present a plan to complete U.S. troop withdrawals by Dec. 15, 2008. The measure would limit the troops' mission to counterterrorism and the training of Iraqi forces and would extend a torture ban to the CIA.</p> <p>In short, the long-awaited battle between Congress and Bush over federal spending and the size and reach of government is now on.</p>  <p>VIDEO Senate Democrats Justify Overriding Bush's Veto</p> <p>http://www.washingtonpost.com/wp-dyn/content/article/2007/11/08/AR2007110801110.html?hpid=topnews&hpid=topnews&sid=ST2007110801342</p> </div>

- **사업시행절차** 해안침식·침수사업의 연방지원을 얻기 위해서는 사업필요성 인지, WRDA 갱신 시 포함, 예비타당성 및 타당성 조사와 환경영향평가, 백악관 검토 및 의회 승인을 포함하는 6단계의 절차(표 A1.3)를 거쳐야 하며⁹⁾, 타당성 조사 시에는 USACE의 토목공사 계획수립 6단계(표 A1.4)를 거친다.

⁸⁾ http://en.wikipedia.org/wiki/Water_Resources_Development_Act_of_2007

⁹⁾ 이를 보다 세분화하여 21단계로 나누기도 함. <http://www.usace.army.mil/CECW/PlanningCOP/Documents/library/cwocsummary.pdf>

표 A1.3 미국 육군공병단이 주관하는 연방지원 토목사업 진행 6단계¹⁰⁾

Step 1 문제점 인지	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 지역사회(주민, 사업체) 및/또는 기초지자체가 물 및 물과 관련한 토지자원 문제(예: 범람, 연안침식, 항로매몰 등)를 인지 또는 경험 ▪ 행정단위경계, 재원 또는 기술전문가 부족 등의 문제로 지역사회/기초지자체가 해당문제를 경감 또는 해결할 능력이 없으며, 중앙정부 지원으로 해결 가능
Step 2 연방지원 요청	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 지자체 담당공무원(이하 지역담당자)은 가능한 연방지원프로그램 모색을 위해 공병단과 협의, 기술지원 및 일부 소규모 사업은 의회 승인 없이 수행 가능 ▪ 관련연구수행 승인이 필요할 경우 지역담당자는 해당지역 하원의원과 접촉 ▪ 해당지역 하원의원은 상하원 해당위원회에 연구수행 승인을 요청
Step 3 연구 및 보고서 작성	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 연구는 해당지역을 담당하는 육군공병단 지부에서 수행 ▪ 예비타당성 조사(수행기간: 12-18개월) 비용을 대통령 예산에 포함 (100% 지원) ▪ 의회 소위원회 심의를 거쳐 공병단 세출 예산안 통과 ▪ 연구수행 및 예비타당성 조사보고서 작성 ▪ 공병단 사업은 대부분 비용분담과 환경문제가 포함되므로 사업 제안자는 사업에 호의적인 혹은 반대 입장인 공공 및 민간부문과 다양한 그룹 간 합의를 연구 초기에 도출해야 함. ▪ 예비타당성 이상의 타당성 연구를 수행하려면 비용분담에 동의하는 지역 후원자가 있어야 함. ▪ 타당성 연구는 수년이 소요될 수 있으며 비용분담률은 50:50 ▪ 연구, 설계, 시공단계까지 사업을 이끌 사업관리자를 예비연구 초기에 임명 ▪ 보고서 초안과 환경영향검토서(EIS) 초안 검토를 포함한 절차에 시민참여가 포함되어야 함. ▪ 연구는 지침서에 준하여 수행 ▪ 타당성 연구비는 매년 대통령 예산에 포함 ▪ 타당성 연구 보고서와 EIS 보고서를 Washington D.C. 공병단 사령부에 제출
Step 4 보고서 검토 및 백악관 승인	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 최종 EIS는 환경보호청에 등록되며, 일반인 열람 가능 ▪ 최종보고서와 최종 EIS를 해당사업으로 영향 받을 수 있는 관련 연방기관 장과 주지사에게 발송하여 의견 수렴 ▪ 공공의견 충분히 수렴 ▪ 최종보고서를 육군청 부청장(토목사업담당)을 거쳐 의회와 백악관 OMB에 제출 ▪ OMB는 보고서가 대통령 프로그램에 부합하는지 검토 ▪ 공병단은 타당성 보고서 제출 후 설계 등 시공 전 과정을 진행하며, 예산은 대통령 예산과 의회 세출법안에 포함 ▪ 공병단 사령관은 상·하원 위원회 회부용 보고서 작성
Step 5 의회 승인	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 토목사업은 일반적으로 위원회 청문회를 거쳐 '수자원개발법'으로 승인되지만 ▪ 공병단 제안서가 독립법안이나 다른 법률의 일부로 승인되기도 함.
Step 6 사업 시행	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 의회의 시공비 승인 후 육군청장은 적절한 연방 외 스폰서와 비용 분담을 포함한 합의서 체결 ▪ 시공은 민간업체가 대행하고 공병단이 관리 ▪ 공병단은 연방 이외의 스폰서가 약정한 운영 및 유지의무 시행 등 해당공사를 주기적으로 감독

¹⁰⁾ http://www.sac.usace.army.mil/?action=program.six_steps

표 A1.4 미국 육군공병단의 연방지원 토목사업 계획수립 6단계¹¹⁾

Step 1 문제와 기회 파악 Identifying Problems and Opportunities	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 계획수립에서 가장 중요한 단계 ▪ 문제점과 기회 파악 후 문제 해결과 기회 포착에 필요한 세부목표와 제약조건 정의
Step 2 상황파악 및 전망 Inventorying and Forecasting Conditions	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 정보수집단계 ▪ 문제점의 이력과 현황정보를 수집하여 목록 작성 ▪ 잠재적인 미래상황 정보 확보를 위해서는 예측 필요 ▪ 장래 상황은 해당사업을 수행하지 않을 경우(no action)에 대해 전망 ▪ 분야별 관련정보 구분 : 환경, 경제, 사회 ▪ 목적별 관련정보 구분 <ul style="list-style-type: none"> ① 문제점과 기회를 적절히 나타낼 수 있는 정보 ② 후보계획 평가에 중요한 정보
Step 3 후보계획 구성 Formulating Alternative Plans	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 계획수립에서 가장 창조적인 단계 ▪ 문제를 해결하고 기회를 현실화하기 위해 제약조건은 피하면서 목표를 달성할 수 있는 복수의 후보계획 구성 ▪ 문제의 해결은 관리기준으로 구성되는 후보계획들에 있음. ▪ 관리기준 Management measure <ul style="list-style-type: none"> - 특정위치에서 하나 이상의 계획수립 목표를 달성하기 위해 이행될 수 있는 특징 또는 행위 - 특징은 물리적 구조(예: 해변폭, 구조물 규모)이거나 행위일 수 있으며, - 관리기준이 후보계획들을 구성하는 요소임. ▪ 후보계획 : 특정 후보계획은 하나 이상의 목표를 달성하기 위한 하나 이상의 관리기준의 집합 ▪ 계획구성 : 다음 4단계에 따라 제약조건을 피하면서 목표를 달성할 수 있는 복수 후보계획 선정 <ul style="list-style-type: none"> ① 주어진 상황에 도움이 될 수 있는 모든 관리기준 파악 ② 기준들을 혼합하여 다양한 조합 구성 ③ 계획진행 추이에 따라 조합 재구성 ▪ 추가 고려사항 : 과거경험, 타 기관 계획, 전문가 자문 ▪ 좋은 계획의 기준 <ul style="list-style-type: none"> ① 치밀함, 효과적이고 효율적 ② 현 관리당국에 의해 제한받지 않을 것 ③ 제약조건을 위반하지 않으면서 전체적인 계획목표 달성에 기여
Step 4 후보계획별 평가 Evaluating Alternative Plans	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 각 후보계획을 고려대상에 계속 포함할 것인지를 다음 4단계 정량평가에 따라 결정 <ul style="list-style-type: none"> ① 각 후보계획 시행 시 발생가능상황 예측 ② No action 시와 각 안 시행에 따른 장래 상황을 동일한 중요 변수로 비교 ③ 효과 특성화 : 효과 특성치는 다음과 같음 <ul style="list-style-type: none"> - 정도·빈도 : 어느 정도로 얼마나 자주 영향을 미치는가? - 위치 : 어느 지점 혹은 어느 영역에 걸쳐 영향을 미치는가? - 시가·기간 : 언제 영향이 미치기 시작하고, 얼마나 지속되며, 얼마나 자주 발생하는가? - 평가 : 영향의 순기능성 혹은 역기능성 판단. 주관성 배제를 위해 법적, 과학적, 공익에 준함. ④ 1차 선정 : 최소한의 기준을 만족하지 않는 후보계획은 탈락시키거나 재구성 <ul style="list-style-type: none"> - 선정기준 <ul style="list-style-type: none"> ㉠ 완벽성 Completeness : 바람직한 결과를 위해 필요한 요소와 행위를 모두 포함하는가? ㉡ 유효성 Effectiveness : 목표 부합성의 정도와 제약조건 위반 정도 ㉢ 효율성 Efficiency : 비용 최소화, 비용효율성, 편익제공 여부 ㉣ 수용성 Acceptability : 계획의 수용가능성, 관련법 및 정책과의 부합 여부

11) http://www.usace.army.mil/CECW/PlanningCOP/Documents/library/Planning_Primer.pdf

표 A1.4 (계속)

- 평가대상 효과 : 계획 결정에 중요한 역할을 하는 모든 범위의 효과를 평가하며, 일반적인 평가 대상항목은 다음과 같음.
 - ① 추정비용 : 계획의 착수, 운영, 유지, 모니터링, 사업관리에 소요되는 비용 추정
 - ② 부동산 : 필요한 부동산 비용 평가
 - ③ 경제적 편익 : 침식·침수피해 경감 가치, 운송비용 절감 등 계량화
 - ④ 환경영향평가 : 어류 및 야생동물 서식처, 생태계, 문화·역사자원, 대기, 수질, 경관
 - ⑤ 사회적 영향 : 인구, 보건, 안전 등 지역공동체에 미치는 중요 요소 고려

Step 5 후보계획 비교 Comparing Alternatives Plans

- 최선안 도출을 위해 후보계획 비교
- 가장 중요한 효과들을 선정하고 후보계획 간 교차비교
- 후보계획 장단점 파악 및 우선순위 결정
- 비교대상 효과
 - ① 세부목표 달성도와 제약조건 준수 정도
 - ② 비용 및 편익
 - ③ 관련법 목적 구현과 관련정책 이행에 필요한 효과
 - ④ 이해당사자와 공익에 중요한 효과
- 비용-편익분석 : 모든 중요 효과를 화폐가치로 평가할 수 있으면 후보계획 간의 순 편익을 비교할 수 있으며, 이는 토목공사관련 계획 비교 시 가장 일반적인 방식임.
- 비용효율분석 : 환경관련 계획에는 화폐가치로 계량화할 수 없는 효과가 있을 수 있으나 사업의 주요 성과를 비화폐가치로 정량화하면 다양한 수준의 편익 달성을 위한 최소비용 해법을 찾을 수 있음.
- 상쇄효과분석 : 서로 다른 단위를 갖는 다양한 효과의 상쇄효과를 분석하는 것이 계획안 비교에 유용하나 이에는 축적된 숙련도와 경험, 지식이 필요함. 이를 위한 다양한 기법이 있으나 최종판단은 특정 효과에 대한 선호도에 좌우됨.

Step 6 최종안 선정 Selecting a Plan

- 최종안 후보안
 - ① 제1안 : 'do nothing'
 - ② 제2안 : 관련법 혹은 정책에서 요구되는 안
 - ③ 제3안 : 기타사항 기준
- 최종안 선택
 - ① 상향식 : 연구팀이 분석결과에 따라 최선안 1차 선정하고 의사결정자에게 조언
 - ② 하향식 :
 - 연구팀의 1차 선정 없이 상위 연방공무원이나 비용 스폰서가 선택.
 - 국가경제발전을 위한 연구팀의 권고사항에 반하는 안이 최종안으로 선택될 수 있음.
- 계획수립자의 임무는 최선안을 수립하고 조언하는 것이며, 최종안 선택은 의사결정자의 몫임.



- 현재의 신청사업 조건별 연방지원율과 1950~2002년 동안 73개 사업에 투자된 연방지원액은 각각 표 A1.5와 표 A1.6과 같다.

표 A1.5 해안침식·침수사업 연방지원율⁶⁾

토지구분	사업목적	연방지원율(%) 최대치	
		시공비 ^a	운영·유지
연방소유지	개발지역 HSDR	100	100
	미개발지역 HSDR	100	100
	레크리에이션 (부목적) ^b	100	100
공유지 및 공익목적으로 이용되는 사유지	개발지역 HSDR	65	0
	미개발지역 HSDR		
	- 공유지	50	0
	- 사유지	0	0
	레크리에이션 (부목적) ^b	50	0
공익목적으로 이용되지 않는 사유지	개발지역 HSDR	0	0
	미개발지역 HSDR	0	0
	레크리에이션 (부목적) ^b	0	0

^a 유지양빈포함. (유지양빈 지원율은 50%)

^b 육군정 정책은 레크리에이션이 부목적인 사업을 지원하는 토목공사는 제외하는 것임.

표 A1.6 1950-2002년 동안의 해안토목사업 연방지원액⁶⁾

공종	실제원가	비용 (×10 ³ \$) '02년 9월 기준원가
해빈복원 초기비용	522,193	1,164,661
유지양빈	524,297	806,476
구조물	146,576	397,344
긴급사업	20,095	33,316
총액	1,215,161	2,401,597

(2) 국가해양대기청 NOAA

- 연방은 세계 최초의 연안통합관리 법률로 인정받는¹²⁾ 「연안역관리법 CZMA」을 1972년 제정하였으며(Box A1.1), 동법에 의거하는 '연안관리프로그램(Coastal Zone Management Program, CZMP)'을 통해 연안주에게 연안역 관리비용의 50%, 중요한 연안개선사업비의 100%를 지원한다.

CZMP는 원하는 연안주만 지원하는 자발적 프로그램이며, 1976년 워싱턴주를 필두¹³⁾로 확산되어 현재 35개 연안주 중 34개 주에서 시행 중이다(그림 A1.3). CZMP 지원을 받기 위해서는 CZMA 정책구현을 위한 준비상황을 NOAA로부터 검증받아야 한다. 2009년 1월 CZMP를 신청한 일리노이주의 경우 NOAA의 심사를 거쳐 2011년경에 승인될 예정이다¹⁴⁾.

¹²⁾ Humphery, S., P. Burbridge and C. Blaatch. 2000. US lessons for coastal management in the European Union. Marine Policy, 24: 275-286.

¹³⁾ <http://www.ecy.wa.gov/programs/sea/czm/fed-consist.html>

¹⁴⁾ <http://coastalmanagement.noaa.gov/mystate/il.html>

Box A1.1 미국 「연안역관리법」 정책

Section 303

의회는 다음 사항을 국가정책으로 선언한다.

- (1) 현 세대와 후손을 위해 국가연안자원을 보존, 보호, 개발, 복원 혹은 개선함.
- (2) 연안주가, 경제발전뿐 아니라 생태, 문화, 역사 및 심미적 가치를 충분히 고려하면서 연안자원을 현명하게 이용할 수 있는 관리프로그램을 개발·이행함으로써 연안역에 대한 책임을 효과적으로 이행할 수 있도록 장려하고 지원함. 연안주 관리프로그램이 포함해야 할 기본사항은 다음과 같음.
 - (A) 습지, 범람원, 하구, 백사장, 사구, 방호섬, 산호초, 어류와 야생동물 및 그 서식처 등 연안자원 보호
 - (B) 침수우심지역, 폭풍해일과 지질학적 재해 위험지역, 침식우심지역 및 해수면 상승, 지반침하, 해수침투 영향을 받는 지역에서의 부적절한 개발과, 백사장, 사구, 습지 및 방호섬과 같은 자연방호지형을 훼손함에 따른 생명과 재산 손실을 최소화하기 위한 연안개발관리
 - (C) 연안수질을 개선, 보호, 복원하고, 자연자원과 현재의 연안수 이용 보호를 위한 연안개발관리
 - (D) 연안에서만 가능한 이용행위(Coastal dependent uses)에 대한 우선고려. 국방·에너지·수산업개발·레크리에이션·항만 및 운송과 관련한 주요 시설과 기개발지 내 및 그 주변의 새로운 상공업개발지역 위치를 결정하는 순차적인 절차
 - (E) 레크리에이션 목적의 연안접근성(Public Access)
 - (F) 악화중인 도시수변·항만 재개발과 신중을 요하는 연안의 역사적, 문화적, 심미적 특성 보존 지원
 - (G) 정부의 신속한 연안자원관리관련 의사결정을 위한 절차 간소화와 조정
 - (H) 연안관리에 의한 영향을 받는 연방기관과의 협의·공조와 해당기관 입장에서의 고려
 - (I) 연안관리 의사결정과정의 시의적절한 고시와 대중 및 지역정부의 참여기회 제공
 - (J) 연안역 내의 오염정화시설과 및 양식장시설 계획과 위치 선정을 포함한 해양생물자원 보존·관리 종합 계획수립 지원. 연방·연안주 연안역관리기관과 연안주 야생동물관리기관과의 공조 개선
 - (K) 연안토지 침하와 해수면 상승의 악영향을 파악하기 위한 계획에 관한 연구·개발
- (3) 중요 자원자원과 합리적인 연안의존 경제성장 보호의 전문성을 높이고, 위험구간에서의 인명·재산보호를 개선하며, 정부의 장래 의사결정 전망을 개선할 수 있도록 하는 특별지역관리계획 수립을 지원함.
- (4) 연안에 영향을 미치는 프로그램을 시행중인 연방기관뿐 아니라 대중, 주·지역정부, 다른 주와 지역기관의 참여와 공조를 장려함.
- (5) 미국의 연안·해양자원에 영향을 미치는 토지이용에 관한 연안주와 연방의 규제를 지원하기 위하여 연안 관리정보·연구결과·기술을 수집·분석·보급함에 있어서 적절한 연방·주·지역기관 및 국제기구와의 공조를 장려함.
- (6) 연안환경과 연안자원관리에 영향을 미치는 환경변화를 고려하도록 장려함으로써 이에 대처함.



그림 A1.3 CZMP 시행 34개 연안주 (일리노이주는 자격 심의 중)¹⁵⁾

15) <http://coastalmanagement.noaa.gov/mystate/welcome.html>

- 「연안역관리법」에는 소위 '연방일관성요건'이라 불리는 관계기관 간 업무조정과 공조에 관한 특별한 조항이 있다(Box A1.2). 즉, 법에 명시된 관리정책을 따르지 않는 연안주 프로그램은 승인하지 않되, 일단 승인하면 연방기관을 포함한 모든 단체와 개인의 연안이용행위는 승인된 해당 연안주 CZMP가 허용하는 범위 내에서 이루어져야 하며, 해당 연안주가 검토 후 동의하지 않으면 시행할 수 없다.

Box A1.2 미국 「연안역관리법」의 연방일관성요건 (Federal Consistency Requirement) 조항 일부

Section 307

(c)(1)(A) 연안역 내의 토지, 물 및 자연자원에 영향을 미치는 연방기관의 행위는 해당 연안주의 승인된 연안 관리프로그램의 구속력 있는 정책과 최대한 일치하는 방식으로 시행되어야 한다.

(c)(2) 특정 연안주의 연안역 내에서 임의의 개발사업을 수행하는 모든 연방기관은 그 사업이 해당 연안주의 승인된 연안관리프로그램의 구속력 있는 정책과 최대한 일관성을 갖도록 보장해야 한다.

(c)(3)(A) (전략) 연방기관은, 해당 연안주 혹은 연안주가 지정한 기관이 사업신청자의 보증에 동의하기 전에는 어떠한 인허가도 승인해서는 안 된다. (후략)

Box A1.3 2009년 회계 연도 연안관리프로그램(CZMP) 분야별 예산¹⁶⁾

Category	Percentage
Coastal Habitat	24%
Coastal Hazards	9%
Water Quality	15%
Public Access	8%
Community Development	7%
Coordination & Public Involvement	25%
State Program Management	12%

US National Coastal Zone Management Program Funding Summary 2009

69M\$: 연방, 58M\$: 연방 및 연안지자체

- 연안접근성 개선 (\$4.1M Federal; \$5.5M Matching)
CZMP는 새로운 해안 접근지점 및 오솔길 개발, 판자길 설치, 안전한 선착장 제공, 연안접근기회에 대한 교육 등을 통해 시민의 연안접근성을 증진시킨다.
- 연안공동체 발전을 위한 종합계획 수립 (\$5.4M Federal; \$4.0M Matching)
연안지역의 경쟁적 수요가 증감함에 따라 종합계획이 지속가능한 발전에 중요하게 되었다. CZMP는 연안지역의 지혜로운 이용을 위해 해안에 연하는 종합계획 수립을 지원한다. 계획에는 도시 수변공간 재개발과 마리나, 수산식품가공공장, 항만 등 연안이용 행위의 우선순위 선정이 포함된다.
- 정부기관 간 업무조정 및 공조와 시민참여 (\$18.9M Federal; \$13.5M Matching)
국가 CZMP의 중요한 도전과제가 복잡한 사회적, 경제적 및 과학적 난제 해결이다. 이를 위해서는 수평, 수직적으로 다양한 정부기관 간 업무조정 및 공조와 시민참여가 필수적이다.
- 연안주 프로그램 관리비 (\$9.0M Federal; \$6.2M Matching)
상기 6가지 주제에 관한 연안주의 CZMP 수행에 필요한 관리자 인건비와 일반관리비를 지원한다.

- 연안서식처 보호 및 복원 (\$17.0M Federal; \$13.8M Matching)
연안서식처는 지역 및 국가경제에 필수적이며 지속가능한 수산업, 레크리에이션 및 관광산업 유지에 중요한 부분이다. CZMP는 서식처 지도작성과 관리계획 수립, 수용, 복원 및 모니터링 사업을 수행함으로써 중요한 연안서식처를 보호한다.
- 연안재해 경감 (\$6.9M Federal; \$4.3M Matching)
연안은 폭풍해일, 침수, 침식 및 해수면상승 등 다양한 재해에 노출되어 있다. CZMP는 위험지구에서의 개발을 관리하고, 교육프로그램을 운영함과 아울러 연안주 및 지역연안계획을 지원함으로써 연안재해로부터 인명과 재산피해를 최소화한다.
- 연안수질 보호 (\$8.2M Federal; \$10.6M Matching)
육상으로부터의 오염수 유출은 국가 연안수질에 큰 위협이 된다. CZMP는 오염수 유출을 방지 또는 경감하는 최선의 관리실무 이행을 위해 강우처리에 관한 훈련과 기술정보를 제공하는 등 연안수질보호에 기여한다.

¹⁶⁾ <http://www.coastalmanagement.noaa.gov/program/czm.html>

- CZMP는 실질적인 연안관리비용을 지원한다. 즉, 대규모 해안방호사업은 「수자원개발법」 등에 의해 시행되므로 CZMP에서 연안재해 분야 예산이 차지하는 비중은 낮으며, 정부기관 간 업무조정·공조와 시민참여 부분이 가장 높음을 주목할 필요가 있다(Box A1.3).
 - 연안통합관리 차원에서의 세계적으로 선도적인 역할에도 불구하고 1990년대 중반부터 CZMA의 정량적 성과 부족이 지속적으로 지적됨에 따라 NOAA는 지난 10여년에 걸쳐 '연안역관리법 성과측정체계(CZMAPMS: CZMA Performance Measurement System)'를 수립하고 예비시행으로 수정·보완한 후 2010년 최종 가이드라인을 확정하였다¹⁷⁾. 향후 각 연안주는 CZMP 수립 시 6개 분야, 즉 ① 기관 간 업무조정과 의사결정, ② 연안접근성, ③ 연안서식처, ④ 연안수질, ⑤ 연안재해, ⑥ 연안이용 및 연안공동체 발전 분야에 대한 13개 성과척도를 구성하는 총 66개 세부척도의 목표치를 설정하고 그 성과와 예산집행내역을 매년 보고하여야 하며, ②, ③, ⑤번 분야는 별도로 5년마다 성과를 제출하여야 한다.
- 관계기관 간 업무조정이 최우선 성과척도임과 아울러 CZMP 예산에서 가장 큰 비중을 차지하며, 연방일관성 조항이 별도로 있음에 따라 연안통합관리 효율을 높일 수 있음을 예상할 수 있다.

표 A1.7 연안역관리법 성과측정체계 구성분야 및 성과척도¹⁷⁾

분야 1	정부기관 간 업무조정과 의사결정 Government Coordination & Decision Making
<ul style="list-style-type: none"> ■ 목적 CZMP의 중요한 목적은 이해당사자와 시민의 적극적인 참여를 지원하는 한편 정부기관 간 업무조율과 연안관리의 효율을 향상시키는 것임. 따라서 많은 CZMP의 업적은 각 연안주의 필요성과 관리구조에 근거한 절차의 개발·이행에 수반된 것임. 이러한 절차들은 CZMP의 다양한 측면들과 복잡하게 얽혀있기 때문에 CZMP 전략계획에서 본 분야에 관해 측정 가능한 목적이 설정되지 않았음. 아래 성과척도들은 정부기관 간 업무조정, 관리효율, 연방일관성 검토절차를 통한 시민참여, 교육, 훈련 및 공동체지원 분야를 개선함에 있어 CZMP의 유효성에 초점을 맞춘 것임. ■ 성과척도 <ol style="list-style-type: none"> 1. 사업신청서를 검토하여 해당 연안주 연안관리정책에 부합하도록 사업을 변경한 연방일관성 검토 사업의 비율 2. a) CZMP 교육활동 건수, b) 교육활동 중 정부기관 간 업무조정, 연안접근성, 연안서식처, 연안수질, 연안재해, 연안이용, 연안공동체 발전 분야 참여자 수 3. CZMP로 제공된 a) 훈련건수 및 참여자 수와 b) 업무조정 건수 및 참여자 수, 분야: 기관 간 업무조정, 연안접근성, 연안서식처, 연안수질, 연안재해, 연안이용, 연안공동체 발전 	
분야 2	연안접근성 Public Access
<ul style="list-style-type: none"> ■ CZMP 목적 : 활기차고 회복탄력성 높은 연안공동체 발전 ■ 연안접근성 목표 : 레크리에이션 목적의 시민 연안접근성 개선 및 확대 ■ 연안접근성 성과목표 : 연안인구 대비 레크리에이션 목적의 접근가능 해안 확대 ■ 성과척도 <ol style="list-style-type: none"> 4. 시민이 접근가능한 해안의 수; a) 토지구입 혹은 지역권 설정에 의한 증가건수, b) 자금 혹은 인력지원에 의해 개선된 건수 5. 시민이 접근가능한 해안의 수; a) 신규조성 건수, b) 연안관리규제에 의한 향상된 건수 	

¹⁷⁾ NOAA. 2010. Coastal Zone Management Act Performance Measurement System : Coastal Management Program Guidance.

표 A1.7 (계속)

분야 3	연안서식처 Coastal Habitats
<ul style="list-style-type: none"> ■ CZMP 목적 : 연안생태계 보호, 복원, 향상 ■ 연안서식처 목표 <ul style="list-style-type: none"> - 중요 자연자원 보전에 중요한 연안서식처 신규확보 - 어류, 야생동물 서식에 필수적이고 건강한 자연군집 재건 ■ 연안서식처 성과목표 <ul style="list-style-type: none"> - 연안서식처 신규면적 증가 - 연안서식처 복원면적 증가 ■ 연안서식처 구분 <ul style="list-style-type: none"> - 조류 (오대호) 습지 - 사반·사구 - 근빈 (Nearshore: 조간대 및 조하대) ■ 성과척도 <ul style="list-style-type: none"> 6. a) 토지매입 또는 지역권 설정, b) CZMP 자금 혹은 인력지원으로 증가된 서식처 면적 7. CZMP의 규제프로그램 대상행위 인허가 과정에 발생한 서식처 손실, 증가면적 추정치 8. a) CZMP 자금 혹은 인력지원으로 수행한 해양쓰레기 제거작업 건수, b) 제거된 쓰레기 무게 	
분야 4	연안수질 Coastal Water Quality
<ul style="list-style-type: none"> ■ CZMP 목적 : 연안생태계 보호, 복원, 향상 ■ 성과척도 <ul style="list-style-type: none"> 9. 'Clean Marina Program'을 a)지원하기로 약속하고, b)동 프로그램에서 지정된 마리나 수 10. CZMP 자금 혹은 인력지원으로 수질을 모니터링한 연안(오대호) 수괴(water body)의 수 11. a) 오염수 유출과 관련한 법령, 정책, 계획을 개발 혹은 갱신한 연안공동체의 수, b) CZMP 자금 혹은 인력지원으로 완료된 오염수 유출 관리프로그램 수 	
분야 5	연안재해 Coastal Hazards
<ul style="list-style-type: none"> ■ CZMP 목적 : 활기차고 회복탄력성 높은 연안공동체 발전 ■ 연안접근성 목표 : 연안재해에 의한 인명·재산 손실을 경감하고, 연안주 및 지역공동체의 연안재해 대응능력 향상 ■ 연안접근성 성과목표 : 자연재해에 대한 회복탄력성 개선을 위한 관리업무를 이행하는 연안공동체 수의 증가 ■ 성과척도 <ul style="list-style-type: none"> 12. a) 장래의 연안재해 피해를 경감하고, b) 재해에 대한 시민인식을 향상시키기 위해 CZMP 자금 혹은 인력지원으로 완료된 사업건수 	
분야 6	연안의존이용 및 공동체 발전 Coastal Dependent Uses and Community Development
<ul style="list-style-type: none"> ■ CZMP 목적 : 활기차고 회복탄력성 높은 연안공동체 발전 ■ 목표 <ul style="list-style-type: none"> - 연안의 성장·발전과 생태계와 삶의 질 보호의 균형을 도모하는 의사결정 능력 배양 - 연안의존이용을 우선적으로 고려하는 항만 또는 수변공간 재개발 능력 향상 ■ 성과목표 <ul style="list-style-type: none"> - 지속가능한 연안관리업무를 시행하는 연안공동체 비율 증가 - 항만·수변공간 재개발사업을 시행하는 연안공동체 수 증가 ■ 성과척도 <ul style="list-style-type: none"> 13. a) 지속가능한 발전관련 법령, 정책, 계획을 개발 또는 갱신한 공동체의 수, b) 지속가능한 발전계획 이행을 위한 사업을 완료된 공동체 수, c) 항만·수변공간 재개발관련 법령, 정책, 계획을 개발 또는 갱신한 공동체의 수, d) CZMP 자금 혹은 인력지원으로 완료된 항만·수변공간 재개발 이행을 위한 사업을 완료한 연안공동체의 수 	

- 한편 NOAA는 CZMP와는 별도로 다양한 해안보전프로그램을 지원하고 있으며, 연안주 지역대학을 지원하는 Sea Grant 프로그램을 통하여 해안보전 및 해안침식·침수대응에 가시적인 성과를 지속적으로 얻고 있다.

Box A1.4 미국 연안·하구토지보전프로그램(CELCP)¹⁸⁾

- NOAA는 CZMP 외에 주요 하구역 보전 프로그램인 NERR(National Estuarine Research Reserves)와 토지보전프로그램인 CELCP(Coastal and Estuarine Land Conservation Program)을 지원
- 2002년에 시작된 CELCP는 ①생태적, 레크리에이션, 역사적 혹은 경관적 가치가 높거나, ②자연상태 혹은 레크리에이션 용도에서 다른 용도로 전용될 위기에 처한 연안·하구역 토지를 보호하기 위한 프로그램
- 주 혹은 기초지자체의 중요한 연안·하구역 토지 혹은 해당 토지에 대한 보전지역권 매입예산 부담
- CELCP 기금으로 매입된 토지나 보전지역권(Box A1.8 참조)은 다음 세대를 위해 영구 보호
- 예산지원 요건
 - 특정 주나 미국령에 위치하고 연방이 승인한 CZMP 혹은 NERR에 포함될 것
 - CELCP 계획을 수립하고 NOAA의 승인을 받은 주에 위치할 것
 - CZMP, CELCP 혹은 적용 가능한 다른 계획을 포함하여 연방, 지역, 주 혹은 지구연안관리계획의 목표, 세부목표 및 시행계획을 보완, 향상시킬 것
 - 주정부기관, 지역정부 등의 공공단체와 공원관리청 등 타 관청의 승인을 받을 것
 - 영구히 (비연방) 공공소유로 할 것
 - 연방지원금과 비연방 현금 혹은 현물 부담률은 1:1
- 2002~2008년 동안 CELCP의 지원으로 보호된 토지는 45,000에이커 이상이며, 첫 번째 사업은 길이 3.9 mile, 면적 464에이커이고 백사장, 조간대와 습지, 해양삼림이 발달한 미시시피주 방호섬 Deer Island로서 주정부는 조류와 야생동물 서식처와 공공 레크리에이션 공간으로 보전하고 있다.
- CELCP 예산·사업건수·보전면적

	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
연방지원액(단위:백만불)	15.8	37.4	50.6	38.7	38.4	27.5	8.0	15.0
사업건수	22	18	35	28	32	17		
보전면적 (에이커)	556	806	13,593	7,034	3,411	9,259		

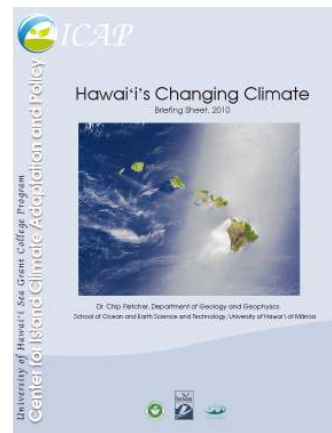
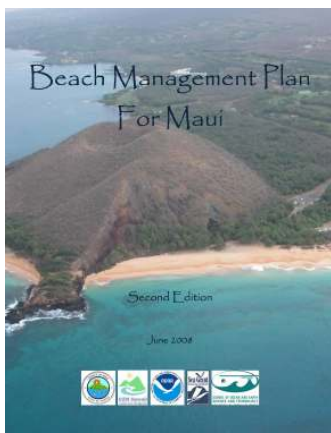
- 첫 번째 CELCP 시행지역인 미시시피주 Deer Island (Google Earth)



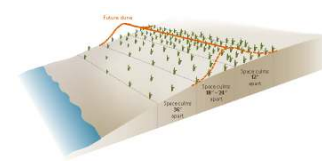
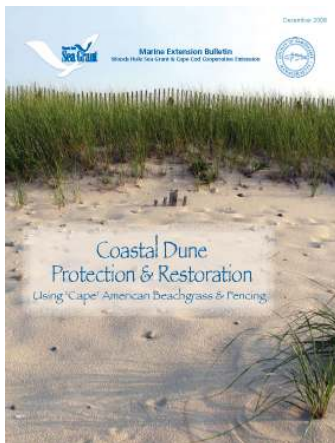
18) <http://www.coastalmanagement.noaa.gov/land/welcome.html>

Box A1.5 NOAA Sea Grant College Program

- NOAA는 환경 청지기의식 고양, 장기적인 연안경제발전, 연안자원의 책임 있는 이용을 위해서는 연안주 대학의 역할이 중요함을 인식하고 과학적 연구, 교육·훈련, 과학적 의사결정 확대 분야에 40년 이상 지원하고 있으며, 현재 32개 대학프로그램이 운영 중¹⁹⁾.
- 2009-2013년 5개년 계획의 전략목표는 ① 건강한 연안생태계, ② 지속가능한 연안발전, ③ 안전하고 지속가능한 수산식품 공급, ④ 연안재해 회복탄력성 높은 연안공동체이며,
- 2010년 예산은 6,300만\$²⁰⁾
- Sea Grant 대학들은 연안관리프로그램(CZMP), 해당 연안주와 공조하여 연안침식·침수재해 및 기후변화영향 분야에 대한 다양한 연구를 수행하고 있으며, 연안관리계획에 적극 참여함과 아울러 관련 지침서를 발간하고 있음.
- Hawaii 대학 Sea Grant College Program 성과물



- Woods Hole Sea Grant Program의 비사포집을 설치 지침서



19) <http://www.seagrants.noaa.gov/aboutsg/index.html>

20) NOAA. 2010, Budget estimates Fiscal Year 2011. Congressional Submission.

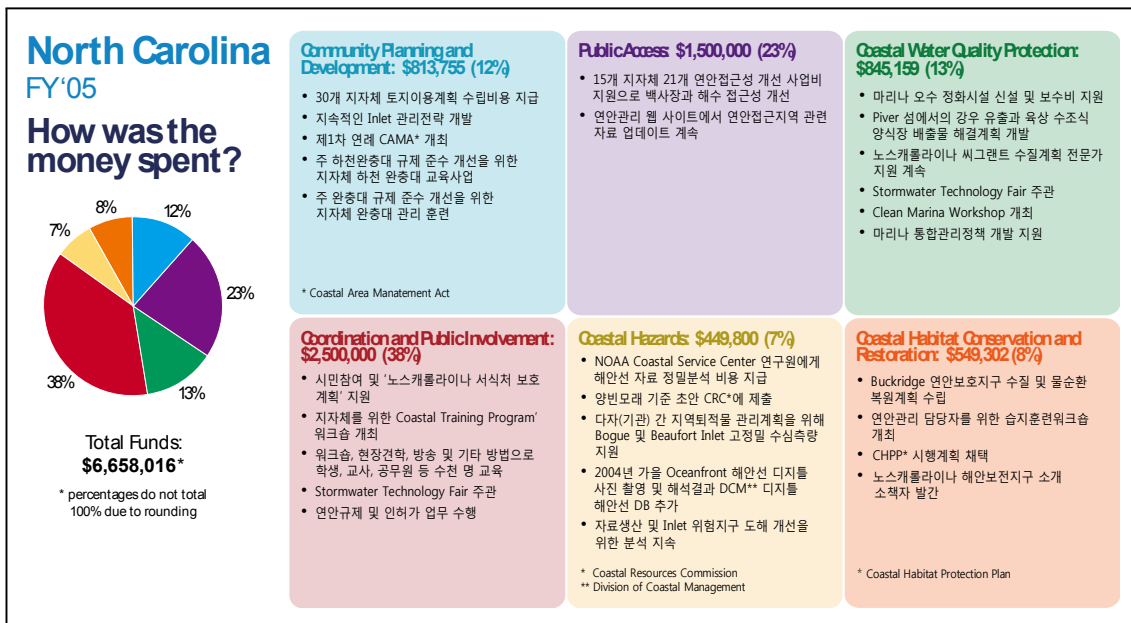
A1.2 연안주 관리

- 미국의 35개 연안주(5개 미국령 포함)는 다양한 연방지원 및 자체 프로그램으로 연안을 효과적으로 관리하고 있다. 먼저 전술한 바와 같이 1976년 워싱턴주를 시작으로 34개 연안주가 NOAA의 CZMP 지원을 받고 있으며, 마지막으로 2009년 프로그램 초안을 제출한 일리노이주는 심의를 거쳐 2011년 승인될 예정이다.

분야별 연방예산과 마찬가지로 연안주의 CZMP 예산에서도 부처 간 업무공조와 교육·훈련예산이 가장 큰 비중을 차지하고 있음을 연안통합관리 차원에서 주목할 필요가 있다(Box A1.6).

- 한편 대부분의 연안주는 연방 지원을 받는 데 그치지 않고 해안침식 관련법을 제정하였으며(Box A1.7), 1959년 텍사스주를 필두로⁴⁾ 지역권(Box A1.8, A1.9)을 적극 활용하고 있음과 아울러 해안침식과 그에 따른 피해 저감·예방을 위해 채택되고 있는 다양한 수단 가운데 가장 효과적인 것으로 밝혀진²⁾ 연안건설규제선 혹은 연안건설후퇴선을 1971년 플로리다주를 시작으로⁵⁾ 많은 연안주가 채택하고 있다. 이는 현재의 해안선 후퇴율에 30~60년을 곱한 해빈폭 내에서는 시설물 설치를 법률로 규제하는 것이다(Box A1.10).
- 또한 연안주 해당부서는 육군공병단의 연안퇴적물 관리프로그램과 공조체계를 구축하여 하천, 연안모래를 효과적으로 관리하여 해안보전사업에 효율적으로 활용하고 있다.

Box A1.6 2005년 회계 연도 노스캐롤라이나 CZMP 예산 분야별 집행내역²¹⁾



21) <http://www.coastalstates.org/>

Box A1.7 노스캐롤라이나州法の 해안침식정책 조항

SECTION .0200 - 해안침식정책 SHORELINE EROSION POLICY

15A NCAC 07M .0201 총칙 Declaration of General Policy

해양과 하구 해안선 개발은 공공복리를 위하여 생명과 재산 및 경관이 손실되지 않는 방향으로 진행되어야 한다. 또한 해안선을 레크리에이션 장으로 보호하는 것은 공공이익에 부합하여야 한다. 이러한 공공목적 달성을 위해서는 장래 토지이용계획, 합리적 규정, 그리고 공공지출이 연안재해에 의한 사유·공유재산 피해를 최소화할 수 있는 종합적인 방향으로 수립·시행되어야 한다.

15A NCAC 07M .0202 정책 Policy Statements

(a) 노스캐롤라이나州 헌법 제5절 제14조에 따라 해안침식대책 사업계획은 노스캐롤라이나 자연유산을 손실시키지 않도록 해야 하며, 하구 및 해양생산성에 악영향을 미치지 않을 대책을 파악하고 개발하기 위한 모든 방법을 사용하여야 한다. 해안 백사장을 이용할 시민의 권리는 보호되어야 한다. 보호이용권은 어업활동과 해안구조서비스를 위한 긴급출동뿐 아니라 전통적인 레크리에이션 활동(산책, 해수욕, 해변낚시, 일광욕 등)을 포함한다. 공공권리에 위배되지 않는 방식으로 재산을 보호할 권리를 포함하는 해변사유재산권은 보호되어야 한다.

(b) 사유·공유재산 피해 최소화를 위한 침식대책은 경제·사회·환경적인 타당성을 확보하여야 한다. 해안침식 우선대책으로서 토지이용계획, 용도지역구분, 건설후퇴선 설정, 건물 재배치, 식생관련 규제와 관리를 포함하여야 한다.

(c) 모래해안 모래보충은 해안을 폭풍파로부터 보호하며, 공공백사장의 질을 저하시키고 공공시설과 사유재산 손실을 야기할 위험이 되는 해안선 후퇴의 확실한 대책이다. 노스캐롤라이나를 비롯한 다른 연안주의 경험에 따르면 백사장복원사업은 해안개발지의 손실이나 대단위 재배치를 피할 수 있는 가능한 대안을 제공할 수 있다. 이러한 경험에 비추어 다음 조건을 만족하면 백사장복원과 양빈사업을 승인할 수 있다.

- (1) 침식에 의한 공공백사장의 질 저하와 공공·사유재산 피해가 우려될 때
- (2) 백사장복원 및 양빈 계획이 사회·경제적으로 가능하고 심각한 악영향을 미치지 않도록 수립될 때
- (3) 사업이 주의 해안침식 관련정책, 'Ocean Hazard' 및 'Public Trust Water' 지구에서의 이용기준, 그리고 연방과 주 검토기관의 관련규정과 지침에 부합하도록 수립될 때

이러한 조건이 만족되면 연안자원위원회(Coastal Resources Commission)는 예산 한도 내에서, 연방의 「수자원개발법(Water Resources Development Act 1986)」과 노스캐롤라이나州 수자원개발프로그램에 따라 연방정부와 피해를 입은 지자체가 비용을 부담하는 해변침식대책 및 허리케인방호(Beach Erosion Control and Hurricane Wave Protection) 사업을 통하여 재정을 부담·지원한다.

(d) 州정부가 백사장복원 및 양빈사업에 참여(재정지원 혹은 후원)하는 요건은 다음과 같다.

- (1) 해당 해변 중 복원된 부분은 영구히 공공소유이어야 한다.
- (2) 적절한 주차시설과 접근로, 복원된 해변을 공공 레크리에이션 장으로 이용하기 위한 서비스 제공은 지자체의 의무이다.

(e) 모래포대, 해변정지와 같은 해안침식 임시대책은 위험에 처한 시설물을 재배치하거나 단기침식사상이 끝날 때까지 등 재산을 보호하는 데 필요한 단기간에 한하여 승인되어야 한다. 모든 임시대책은 시민의 해변이용에 부합하여야 한다.

(f) 호안, 돌제, 해안선 고형화, 모래포집시설 및 기타 유사시설로 해안선 위치를 영구히 안정시키려는 노력은 해당사업이 15A NCAC 7H .0308에 명시된 예외조항에 부합하지 않을 경우에는 승인하지 아니한다.

(g) 노스캐롤라이나州는 효과적인 해안선 관리를 위하여 혁신적인 제도적 프로그램과 과학적 연구를 검토할 것이며, 침식의 영향을 저감, 둔화시키고 공공 백사장과 주변 재산에 미치는 악영향을 최소화하는 혁신적 대책 개발을 권장한다.

(h) 침식제어사업의 기획, 개발 및 수행에는 적절한 계획기관, 해당 지역정부 및 지역 이해당사자가 참여하며, 주정부는 사업목적과 관련되는 각 이해집단의 이해를 최대한 수용한다. 연안역에서의 지역·주·연방정부의 행위는 해안의 동적거동에 대한 이해에 기초하여야 한다. 정부의 정책은 해안침식 현안 해결뿐 아니라 장래 문제 최소화도 목표로 삼아야 한다. 해안침식문제 해결은 고비용이 소요된다. 침식경감대책에 필요한 직접 비용에 더하여 사업관리, 재해경감, 기간시설 보수 등 다양한 분야에 필요한 비용을 공공관련부서가 부담한다. 침식대응은 이러한 공공비용이 증가되지 않도록 설계되어야 한다.

(i) 주정부는 연안역의 동적현상과 끊임없이 변하는 해안선을 효과적으로 대응하는 방법에 대한 공공교육을 장려할 것이다.

Box A1.8 지역권(地役權)과 보전지역권

1 지역권 (Easement)

- 자기 토지의 편익을 위하여 남의 토지를 통행한다든가, 남의 토지로부터 물을 끌어오거나 남의 토지에 관망을 방해하는 공작물 등을 건조하지 못하게 하는 것과 같이, 일정한 목적을 위하여 남의 토지를 자기의 토지의 편익에 이용하는 것을 내용으로 하는 부동산용익물권(不動產用益物權)이다. 이와 같이 지역권은 타인의 토지를 자기 토지의 편익에 이용하여 사용가치를 증대시키는 권리인 점에서 반드시 두 개의 토지의 존재를 전제로 하며, 그중 편익을 얻는 토지를 '요역지(要役地)'라고 하고, 편익을 제공하는 토지를 '승역지(承役地)'라고 한다. 소득세법상(제21조제1항제9호) 지역권을 설정·대여하고 받은 금품을 기타소득으로 구분하고 있다²²⁾.
- 갑지(甲地)의 편익을 위하여 을지(乙地)를 일정한 방법으로 지배·이용하는 부동산용익물권(민법 291~302조). 편익을 받는 토지(갑지)를 요역지(要役地), 편익을 제공하는 토지(을지)를 승역지(承役地)라 한다. 지역권은 승역지를 적극적으로 이용하는 경우, 즉 통행지역권·인수(引水)지역권 또는 용수(用水)지역권이 대표적인 것이나 이에 한하지 않고, 승역지 소유자의 부작위의무부담, 예컨대 요역지의 관망(觀望)이나 일조(日照) 확보를 위하여 승역지에서의 공작물의 설치를 제한하는 관망지역권 또는 일조지역권 등을 설정할 수도 있다. 계약에 의하여 설정되는 것이 보통이나, 관습상의 지역권 또는 시효에 의하여 취득하는 지역권도 있다.
지역권의 설정을 등기하면 승역지의 소유자가 바뀌어도 지역권을 주장할 수 있다. 지역권은 지상권자도 취득할 수 있다. 어느 지역의 주민이 집합체의 관계로 각자가 타인의 토지에서 초목·야생물 및 토사(土砂)의 채취·방목(放牧) 기타의 수익(收益)을 하는 권리(특수지역권)가 있는 경우에는 관습에 의하는 외에 민법상의 지역권에 관한 규정이 준용된다(302조). 지역권은 요역지 소유권에 부종(附從)하여 이전하며, 요역지에 대한 소유권 이외의 권리의 목적이 되나 요역지와 분리하여 양도하거나 다른 권리의 목적으로 하지는 못한다(292조)²³⁾.
- 지역권은 특별한 목적으로 타인의 토지를 사용할 수 있는 법적 권리이다. 지역권은 토지소유주가 바뀌어도 지속된다. 토지 소유주는 지역권에 설정된 권리를 간섭할 수 없다²⁴⁾.

2 보전지역권 (Conservation Easement)²⁵⁾

보전지역권은 삼림, 경관, 레크리에이션, 역사적 유물, 문화유산 등을 보호하기 위해 토지소유주가 자발적으로 설정하는 관련 부동산이용 제한구역이다. 토지소유주가 소유권을 갖지만 지역권은 토지신탁회사나 정부기관 등 인증된 보전기관에 매매하거나 기부할 수 있으며, 장래의 관련재산 소유자는 지역권 규정에 따라야 한다. 보전지역권은 토지소유주가 자신의 토지가 바람직하지 않은 방법으로 개발되기를 원하지 않음과 동시에 소유권을 계속 유지하고 싶을 때 설정되며, 보전지역권을 설정한 토지소유주에게는 세제혜택이 주어진다.



Texas

22) <http://terms.naver.com/item.nhn?dirId=409&docId=1411>
 23) <http://100.naver.com/100.nhn?docId=142760>
 24) <http://www.legalmatch.com/law-library/article/easement-lawyers.html>
 25) <http://www.legalmatch.com/law-library/article/conservation-easement-lawyers.html>

Box A1.9 미국의 해안침식관리 지역권 및 관련사례²⁶⁾

1 개요

일종의 보전지역권인 '침식관리지역권(erosion control easement)'은 침식우심지역 개발제한에 관한 토지소유자와 토지신탁회사 혹은 행정기관 간 법률적 합의이다. 토지수용과는 달리, 지역권은 다른 목적의 토지사용을 제한하지 않으며, 사유재산권이 존속된다. 침식관리지역권은 해당지역 전체 혹은 해안선에 연한 토지에 제한적으로 적용할 수 있다. 지역권은 모든 개발을 금지하거나 건물의 크기와 밀집도에 따라 제한적으로 금지하도록 합의할 수 있다. 또한 지역권으로 경성구조물을 사용하는 해안선 인공화를 금지하거나 해안선 안정화 공법을 지정할 수 있다. 아울러 지역권은 해안선 완충대 내 자연식생의 훼손을 금지하거나, 침식을 촉진시키거나 자연현상에 악영향을 줄 수 있는 기타 토지이용 및 행위를 제한할 수 있다.

일반적으로 지역권은 영구히 설정되며, 새로운 소유자에게 이전된다. 그러나 25년, 50년 등 한시적으로 설정되는 경우도 있다. 해변 토지구획 전체 설정함으로써 표사계나 만내의 모든 토지소유자에게 동일한 지역권을 적용할 수도 있지만 대부분의 지역권은 개별 물권에 설정된다. 지역권의 매매 혹은 기부가 가능하며, 보전지역권을 기부하는 토지소유자는 연방재산세 감세혜택을 받는다.

침식관리지역권은, 자발적인 수단이라는 측면에서 '용도지정'과 같이 보다 규제적인 침식관리수단보다 매력적이다. 토지소유자는 지역권의 규제 정도를 탄력적으로 선택할 수 있다. 그러나 자발적인 참여도가 낮을 수 있기 때문에 지역권은 보통 건설후퇴선이나 용도구역 지정, 개발 혹은 침식방지구조물 형식 규제 등 보다 강한 규제수단에 비해 효과가 낮다. 지역권의 효과를 높이기 위해서는 부동산 소유자가 침식관리지역권을 제대로 이해하고 그 장점을 인식하도록 적극적인 교육과 캠페인을 병행하여야 한다.

2 가변지역권

가변지역권(Rolling easement)은 해안선에 연하여 설정되는 특별한 형식의 지역권으로서 토지소유주가 해수 거동을 방해하는 행위는 못 하지만 그 외의 토지이용이나 행위는 허용된다. 해안선이 후퇴함에 따라 해당 지역권도 자동으로 후퇴한다. 해안선 안정화를 위한 구조물을 설치할 수 없으므로 퇴적물 이동이 교란되지 않으며, 습지 및 기타 중요한 서식처가 자연스럽게 육지방향으로 이동할 수 있다. 또한 시민들이 접근하여 이용할 수 있는 조상대 및 조간대 토지가 항상 유지된다.

해안선 부근에서의 개발을 금지하여 재산권 수용소송이 제기될 수 있는 건설후퇴선과 달리 가변지역권은 개발을 제한하지 않으며, 경성구조물로 해안을 인공화하여 침식을 방해하지 않거나 시민 접근을 막지 않는다면 토지소유주는 해안선에 근접한 건물이라도 지을 수 있다. 만일 침식에 의해 해당 구조물이 위태로워진다면 토지소유자는 이를 이동시켜 침식을 허용하여야 한다.

공공신탁정책(Public Trust Doctrine)에 따라 시민은 사냥, 낚시 및 레크리에이션 목적으로 조간대에 접근할 권리를 가지므로 대부분의 연안주에서는 조간대가 공공토지이다. 사유권이 저조선까지 인정되는 저조선 연안주의 경우에도 시민이 조간대에 접근할 권리를 갖는다. 궁극적으로는 가변지역권의 목적을 위하여 해안이 계속 침식되면 사유재산이었던 구조물이 공공토지에 놓이게 될 것이다. 이때 사유재산권자는 해당 구조물을 내륙으로 이동시킬지를 결심할 수 있다. 대안으로서, 소유주는 건물이 침식에 의해 위태로워질 때까지 유지하면서 공공토지로 사용할 수 있도록 해당 연안주에게 임대할 수 있다.

토지이용에 대한 제약이 없기 때문에 가변지역권에 의한 재산가치 하락은 1% 내외로 매우 낮다²⁷⁾. 또한 가변지역권은 침식위험이 닥치기 수십 년 전에 설정되므로 수용소송 또한 제한적이다. 수용소송을 피하기 위하여 주 정부는 가변지역권을 매입할 수도 있다.

또한 연천가는 자신의 건물을 이동시킬 필요가 있다는 것을 소유주가 인식하기 때문에 가변지역권은 '후퇴관리정책(managed retreat policy)'과 같이 건물 규모를 줄이거나 쉽게 이동시킬 수 있는 건물을 짓도록 장려할 수 있다.

가변지역권은 일부 구간이 경성화된 해안에도 시민이 접근할 수 있도록 하기 위해 적용할 수 있다. 즉, 구조물 기저부가 침식되어 접근이 불가능한 구간에서는 시민이 구조물 배후로 통행하도록 하는 것이다. 이러한 경우, 시민 접근이 가능하도록 하는 가변지역권이 설정되어 있지 않으면 배후지가 사유지이기 때문에 침식에 의한 해수침투로 접근할 수 없는 호안 전면 구간을 지날 수 없다.

비록 가변지역권이 침식관리지역권과 같이 유용한 해안선관리수단이고 '후퇴관리정책' 시행에 효과적인 방법이지만, 건설후퇴선이나 해안을 따른 건설규제 등 다른 관리수단과 연계하여 적용하는 것이 보다 효과적이다.

3 장점

개발을 금지하지 않으면서 해안침식을 심화시킬 수 있는 행위 최소화에 기여함. 보통 보전지역권 설정에 합의하는 재산권자에 세제혜택을 부여함. 자연해안선을 유지함. 후퇴선에 비해 수용소송 제기를 최소화함. 해변

²⁶⁾ http://coastalmanagement.noaa.gov/initiatives/shoreline_ppr_easements.html

²⁷⁾ Titus, J. 1998. Rising seas, coastal erosion, and taking clause: How to save wetlands and beaches without hurting property owners. Maryland Law Review, 57:1279-1399.

건물 규모를 줄이거나 이동 가능한 건축물을 장려함. 건설후퇴선 등 여타 수단 이행에 필요한 정도의 과학적 자료와 비용이 필요하지 않음.

4 단점

이미 상당 부분 개발된 해안에는 효과적이지 않음. 건설제한이 지가를 하락시킬 수 있으므로 재산권자가 지역권 설정에 주저할 수 있음. 보통 토지소유권 경계가 표사계 또는 기타 환경관련 기준선과 일치하지 않음에 따라 한 구역에서 해안선 인공화 방지와 개발제한을 위한 지역권을 설정하더라도 같은 표사계 다른 지역에는 설정하지 않으면 경성화 및 개발된 해안의 표사하류 침식이 악화되어 보전지역권 편익이 무산될 수 있음. 지역권 설정 강제화가 어려움.

5 사례

■ **매릴랜드(MD) Worcester County 보전지역권**

MD 동부 해안에 속하며, Chincoteague 만에 면하는 중요 미개발 토지 보호를 위한 계획을 1997년 수립하였다. 이 계획은 'Worcester County Coastal Bays Rural Legacy Area'를 지정하고 수변토지 15,400 에이커(62.32 km²)와 미개발 해안선 16 마일(25.75 km)을 보호하기 위하여 보전지역권 설정과 소유권 매입을 병행하는 것이다. Chincoteague 만을 택한 이유는 카운티 내에서 수질이 가장 청정하며, 해안선의 경성화와 개발을 금지하여 습지의 자연적인 천이가 가능하도록 하기 위함이다. 많은 토지소유주들이 이 프로그램에 관심을 보였다.

계획 초기에 토지신탁회사와 함께 우편물, 개별면담 및 전화통화를 통하여 대상지역 내 토지소유주들과 접촉하였다. 아울러 가능한 다른 토지보호프로그램을 논의하기 위하여 총회나 전화통화를 통해 프로그램에 참여하지 않는 토지소유주들과 접촉하였다. 또한 카운티는 프로그램 촉진을 위해 프로그램에 참여해야 하는 이유에 대한 참여 토지소유주들의 언급을 포함하는 프로그램 안내책자를 발간하였다.

2005년 당시 카운티는 725만\$의 프로그램 예산을 확보하였으며, 6,000 에이커(24.3 km², 해안선 길이 13 km)에 대한 보전지역권 매입을 위해 40만\$을 투자하였으며, 아직 참여하지 않은 토지소유주들의 참여를 독려하고 있다.

■ **사우스캐롤라이나(SC) 가변지역권**

SC 연안협의회(Coastal Council)는 해안침식과 해수면상승 대책을 한 독립위원회²⁸⁾에 의뢰하였으며, 위원회 보고서에 따라 연안침식률에 40년을 곱한 건설후퇴선 설정을 규정하는 'SC Beachfront Management Act (BMA)'를 1988년 제정하였다. 후퇴선이 설정되자 몇몇 건물은 개발가능면적이 축소되었으며, 후퇴선에서 바다 쪽으로는 개발이 불가능하게 되었다.

후퇴선 설정에 따라 개발이 불가능해진 토지를 소유한 David Lucas는 연안협의회를 상대로 보상소송을 제기하였으며, 해안선관리 관련소송의 역사적 판례가 된 재판에서 승소하여 SC로부터 보상을 받았다.

루카스 소송과 함께 1989년 허리케인 Hugo 피해를 입자 SC는 1990년 후퇴선에서 바다 쪽 부동산 소유주로 부터의 소송을 피하기 위하여 가변지역권을 허용할 수 있도록 BMA를 개정하였다. 그 결과 후퇴선에서 바다 쪽 부동산을 개발할 수 있게 되었으나 재산보호를 위한 경성구조물은 사용할 수 없다. 그러나 양빈, 인공사구 조성, 소형 모래포대의 임시설치 등 연성공법은 가능하다. 가옥이 폭풍파에 의해 피해를 입을 경우, 지반이 높으면 재건축이 허용되지만 고조시 침수되면 보수가 승인되지 않는다.



Lucas Lot²⁹⁾

²⁸⁾ A blue ribbon committee : An independent and exclusive commission of nonpartisan statesmen and experts formed to investigate some important governmental issue) <http://wordnetweb.princeton.edu/perl/webwn?s=blue+ribbon+committee>

²⁹⁾ 부동산 업자인 루카스는 1986년 해안토지 두 구획을 97.5만\$에 구입하였다. SC는 이를 157.5만\$에 구입하여 되팔았으며, 1995년과 1998년에 주택이 신축되었다. http://dcm2.enr.state.nc.us/CRC/gayes_termgroins.pdf

Box A1.10 미국의 연안건설후퇴선 및 관련사례³⁰⁾**1** 개요

약 2/3의 연안주는 주법으로 규정하거나 기초지자체나 지역연안프로그램 주관부서에게 관련권한을 위임하여 수제선으로부터 일정거리 내에서의 개발을 규제하는 건설후퇴 혹은 건설규제선을 적용하고 있다.

후퇴선을 결정하는 방식과 수제선으로부터의 후퇴거리는 다양하며, 흔히 고조선, 고극조위선 또는 사구 식생대 등 해안의 특정한 특징으로부터의 거리로 결정된다.

일부 연안주는 임의거리를 적용한다. 이는 가장 쉬운 방법이지만 해안 인접 구조물에 가해지는 실제적인 침식 위험을 반영하지 않는다. 예를 들어 임의로 정한 후퇴거리 90 ft가 침식우심해안에서는 부족한 거리이지만 안정해안에서는 심한 규제일 수 있다. 따라서 노스캐롤라이나와 플로리다 등 많은 연안주는 연간침식률에 근거하는 후퇴선을 적용하고 있다. 하구 해안을 따른 침식 또한 문제가 될 수 있지만 침식률에 근거한 후퇴선을 설정하기에 충분할 정도의 연간침식률이 측정된 경우가 드물기 때문에 현재까지 하구역 해안선에 침식률에 근거한 후퇴선을 적용한 사례는 거의 없다.

침식률에 근거한 후퇴선이 현실적이지만, 설정을 위해서는 과거 해안선 변화에 대한 상당량의 자료가 필요하다. 그러나 전체 해안선에 관한 과거자료 확보가 불가능하거나 비용이 많이 소요되어 후퇴선 설정이 어려울 수 있다. 침식률은 시간에 따라 변화므로 후퇴선을 주기적으로 갱신해야 한다. 예를 들어 사우스캐롤라이나나 침식률과 후퇴선을 8-10년마다 갱신한다.

침식을 자료의 부족을 해결하기 위해 미네소타는 슈피리어湖 북측해안 후퇴선 설정에 복합방식을 적용하고 있다. '미네소타 북측해안 관리계획'은 과거자료 가용구간에는 (침식률×50년+25ft), 나머지 해안에는 125 ft를 적용한다.

가장 많이 채택되고 있는 후퇴거리는 연간침식률에 30년 혹은 50년을 곱한 거리이며, 이는 건물이 30년 만기 장기주택대출금을 상환할 기간 동안은 유지되어야 한다는 가정에 근거한 것이다. 그러나 30년 침식거리로 설정한 후퇴선도 불충분할 수 있으며, 이는 2005년 멕시코 만 해안을 강타한 허리케인 Katrina와 같은 재난폭풍 해일 인자는 후퇴선에 포함되지 않기 때문이다.

새로운 후퇴선이 건물을 지나거나 건물 배후에 설정되면 주나 기초지자체를 상대로 '보상소송'이 제기될 수 있다. 해당 건물이 존속하는 동안 폭풍파에 의해 상당한 피해를 입거나 파괴되어 재건축을 해야 할 경우에는 새로운 후퇴선을 준수하여야 한다. 만일 건물을 후퇴시킬 만한 충분한 토지가 후퇴선 배후에 없을 경우에도 역시 소송이 제기될 수 있다.

후퇴선 규정은, 폭풍파에 의한 돌발적인 침식이나 만성적인 침식에 의해 피해를 입은 건물의 재건축 허용 여부를 명시하여야 한다. 예를 들어 메인주의 경우, 보수비용이 건물가격의 50%를 초과하면 후퇴선 규정을 따라야 한다. 소송을 피할 수 있는 한 가지 방법은 해안선이 후퇴해도 건물 후퇴에 필요한 충분한 해안토지를 확보하는 것이며, 또 한 가지 방법은 '침식관리지역권'(Box A1.9)을 설정하는 것이다.

어느 경우에 건물 개수와 재건축이 가능하지에 관한 명확한 정책과 함께 연안주 또는 기초지자체 정부는 해빈이 자연적 혹은 인위적으로 퇴적될 때 후퇴선을 어떻게 이동시킬 수 있는지도 명시할 필요가 있다. 예를 들어 뉴저지 'Coastal Zone Management Rules'는 해빈이 퇴적되더라도 후퇴선을 변경하지 않으며, 퇴적되는 해빈의 후퇴선 내에서의 개발신청은 승인되지 않는다. 그러나 행정청문³¹⁾ 요청이 받아들여지고 침식방호에 충분할 정도로 퇴적되었다는 것을 입증할 수 있으면 개발신청자는 승인을 청원할 수 있다.

2 장점

친환경적이지 않은 고비용 침식방지구조물 필요성을 감소시키고 침식에 의한 재산피해 최소화. 동적인 자연해안선 유지. 시민접근성 유지

3 단점

효과적인 후퇴선 설정을 위해서는 충분한 과학적 자료가 필요함. 재건축을 불허하거나 건물규모를 심하게 규제하면 '재산권 수용'으로 비칠 수 있음. 해안선이 계속 후퇴하면 건물을 후퇴시키거나 해안을 안정화시킬 필요 있음.

4 사례

- 하와이 Maui County 신규 후퇴선 설정

³⁰⁾ http://coastalmanagement.noaa.gov/initiatives/shoreline_ppr_setbacks.html

³¹⁾ Administrative Hearing : 행정처분 및 기타 공권력을 행사하기 전에 미리 상대방 또는 이해관계인에게 사안을 알려 상대방·이해관계인들로 하여금 그 권익에 대하여 주장할 수 있는 기회를 주는 절차 <http://ko.wikipedia.org/wiki/%EC%B2%AD%EB%AC%B8>

2003년 이전에는, 폭 100 ft (30.5 m) 이하인 토지는 25 ft (7.6 m), 폭 100-160 ft (30.5-48.8 m)인 토지는 40 ft (12.2 m), 그리고 폭 160 ft (48.8 m) 이상인 토지에서의 건축 시에는 150 ft (45.6 m) 혹은 토지 폭 1/4의 후퇴 거리를 지켜야 하는 하와이주 후퇴선만을 준수하면 되었다. 그러나 마우이 카운티 Planning Department는 주의 기준이 해안선 개발을 침식으로부터 보호하거나 자연해안을 유지하기에는 부족함을 인식하였으며, 10년도 되지 않는 기간 동안 마우이 카운티의 백사장 8 km가 유실되었다. 또한 16%의 해안선에는 이미 구조물이 설치되었으며, 많은 주민들이 카운티 경계의 원동력인 관광수입에 악영향을 미치고 백사장 침식을 가속하는 구조물이 더 이상 설치되는 것을 원하지 않게 되었다.

2003년, 보다 나은 해안침식 해결책을 위하여 '마우이계획위원회'는 과거 침식률에 근거하는 새로운 건설후퇴선 기준을 통과시켰다. 새로운 조례는 (연간침식률×50년+61m)와 과거 후퇴거리 중 긴 거리를 후퇴선으로 설정하도록 규정하고 있다. 후퇴선에서 바다 쪽으로는 소규모 건물이나 이동 가능한 건물만 허용된다.

개발이 규제됨에 따라 해변 부동산 소유주들과 부동산업자들이 새로운 규정에 반대하였다. 건물 소유주들은 건물이 피해를 입더라도 후퇴선 안쪽에 위치하면 재건축이 불가하다는 것을 가장 걱정하였다. 이러한 우려를 달래기 위해 새로운 조례는 화재 혹은 연안재해 외의 사고에 의해 건물이 피해를 입을 경우에는 재건축을 허용하였다. 조례는 또한 전면의 후퇴거리 확보 외에도 건물 후퇴를 위해 30ft 폭의 건축가능 토지를 확보하는 규정을 포함하였으며, 이것이 불가능할 경우에는 소송을 피하기 위하여 건물이 후퇴선에서 바다 쪽으로 나가는 것을 허용하였다. 한편, 암반해안이나 경성구조물에 의해 이미 인공화된 해안의 경우에는 이전의 후퇴선을 적용하였다.

침식률기반 후퇴선은 하와이대학 연안지질학그룹(Coastal Geology Group)이 수립한 'Maui Shoreline Atlas'를 참조하여 설정된다. 이 지도는 해안선을 20m 간격의 단면으로 구분하고, 각 단면의 연간침식위험률 목록을 수록하고 있다.

■ 노스캐롤라이나와 사우스캐롤라이나 건설후퇴선 비교

항목	노스캐롤라이나	사우스캐롤라이나
관련법	Oceanfront Setback Law (1974)	Beachfront Management Act (1988)
적용해안	Ocean Hazard Areas : 연평균해안선후퇴율, 자연적인 특징, 개발계획을 고려하여 지정	주 해안선 전체
기준선	첫 번째 식생대 경계선이 기본	전사구 정상이 기본
후퇴선 갱신주기	5년 ³²⁾	8-10년
규제 폭 및 내용	최소: ARR*을 알 수 없거나 ARR<2ft/yr일 경우 60ft(~18m)와 30×ARR 중 긴 거리 면적 5,000ft ² 이하 : (60ft, 30ARR)** 면적 5,000~10,000ft ² : (120ft, 60ARR) 면적 10,000~20,000ft ² : (135ft, 65ARR) ⋮ 면적 100,000ft ² 이상 : (180ft, 90ARR)	모든 침식해안 : 40×ARR 후퇴율이 0이거나 퇴적해안은 20ft(~6m) 면적 5,000ft ² (465m ²) 이상인 모든 구조물은 기준선~후퇴선 구간 내에서 불허

* ARR : 연평균후퇴율(Average Annual Recession Rate, ft/년), ** (60ft, 30ARR) = 60ft와 30년×ARR 중 긴 거리

■ 캘리포니아 건설후퇴선³³⁾

연안법(Coastal Act 1976) Section 30603에 따라 다음 구역에서의 개발은 연안위원회 심의 필수

- ① 해안선과 그와 평행한 첫 번째 도로 사이, 백사장 또는 평균고조선(백사장이 없을 경우)으로부터 300ft
- ② ①에 포함되지 않은 습지, 하구, 하천으로부터 100ft, 해안절벽 정상 선단에서 300ft
- ③ ①과 ②에 해당하지 않으나 민감한 자연자원이 있는 경우

32) <http://dcm2.enr.state.nc.us/Hazards/erosion/htm>

33) <http://www.coastal.ca.gov/coastact.pdf>

A2. 유럽연합

- EU 집행위원회는 유럽 연안침식·침수관리, 연안통합관리, 기후변화적응을 위한 다양한 연구와 프로그램을 수행하고 있다.

A2.1 EUROSION

- 네덜란드 '국립연안·해양관리연구소' 등 7개 기관이 2002-2004년 동안 수행한 연구로서 EUROSION 이후 유럽연합 차원의 연안재해연구가 활성화되었다. 유럽 연안침식 현황³⁴⁾과 세 문제점을 파악하고(표 A2.1), 이의 개선을 위한 4가지 전략을 권고하면서(표 A2.2), 향후 양빈재로 활용할 수 있는 모래퇴적체의 개발을 법적으로 제한하는 전략저사지(strategic sediment reservoir) 개념을 도입하였으며, 연안침식 책임관리를 위한 9가지 준수사항(Box A2.1)을 수립함과 아울러 해안침식·침수 측면에서의 연안회복탄력성을 정의하였다(Box 1.1.1). 한편 연안침식·침수재해 위험도로 간주할 수 있는 노출도 작성기준을 제시하고(표 A2.3), 노출도 지도를 작성하였으며(그림 A2.1), 4개 등급의 노출도에 따른 관리주기와 방안을 제시하였다(표 A2.4).

표 A2.1 유럽 연안침식 문제점³⁴⁾

문제점	내용
1. 연안퇴적물·공간 부족에 따른 연안역 협소화	<ul style="list-style-type: none"> ■ 연안역 도시화로 인한 연안침식 심각성 점증 ■ 인위적으로 안정화된 해안이 자연해안 잠식 중 ■ 동적인 생태계와 미개발된 연안경관 점차 소멸 ■ 퇴적물 부족이 가장 큰 원인이며, 많은 지역에서 '연안역 협소화' 진행 중
2. 환경영향평가의 한계	<ul style="list-style-type: none"> ■ 환경영향평가는 특정개발 영역보다 넓은 연안에 미치는 영향평가에 불충분 ■ 이에 따라 연안재산 보호를 위한 침식저감비용 증가
3. 일반납세자의 연안침식 대처비용 부담	<ul style="list-style-type: none"> ■ 연안침식위험 저감비용을 중앙정부 또는 지자체 예산으로 충당 ■ 비용을 지역사회에 부담한 경우는 드물고, 위험에 처한 재산소유자나 침식 유발 당사자가 부담한 경우는 거의 전무 ■ 문제 원인은 지자체 의사결정과정에서 연안침식위험평가를 고려하지 않고 위험정보 공개가 불충분하기 때문
3. 전통적인 침식대책의 비효율성	<ul style="list-style-type: none"> ■ 지난 100년간 연안퇴적물 이동현상에 대한 지자체 지식부족으로 말미암아 부적절한 연안침식대책 시행 ■ 특정 침식대책으로 국부적인 연안침식을 해결했지만 수십 km 밖까지 침식 문제를 악화시키거나 다른 환경문제 야기하는 경우 많음.
5. 지식기반 의사결정 부족	<ul style="list-style-type: none"> ■ 가용자료가 엄청남에도 정보부족 지속 ■ 원시자료 생산에서 취합자료 보급에 이르는 연안정보관리의 많은 경우가 주요 정보 부족으로 곤란 ■ 지역 이해당사자들이 연안자료·정보·지식·경험 공유 의지 희박 ■ 연안개발 제기 시 지식을 충분히 이용하면 연안침식 저감대책을 포함한 기술 및 환경비용을 줄일 수 있으며 장래 경향과 위험 예측 가능

³⁴⁾ RIKZ et al. 2004 Living with coastal erosion in Europe: Sediment and space for sustainability. Part I – Major findings and policy recommendations of the EUROSION project
20% 해안(약 2,000km) 침식심각, 연간 15km² 해안 유실, 1986-2001년 동안 신규침식해안 875km 중 63%는 해안구조물, 37%는 해수면 상승이 원인

표 A2.2 EUROSION 사업이 권고한 유럽 연안침식문제 개선 전략³⁴⁾

전략	내용
1. 퇴적물균형 복원과 연안표사현상을 위한 공간 제공	<ul style="list-style-type: none"> ■ 훼손에 취약한 연안역의 지속가능한 개발과 종 다양성 보전을 위하여 보다 전략적이고 예방적 연안침식대응 필요 ■ 기후변화 관점에서 연안회복탄력성은 <ol style="list-style-type: none"> ① 퇴적물 균형을 복원하고 ② 자연적인 침식의 수용과 연안퇴적작용을 위한 공간을 할당하며 ③ 전략저사지를 지정함으로써 향상
2. 계획·투자결정단계에서 연안침식비용 및 위험도 내부화	<ul style="list-style-type: none"> ■ 인위적인 연안침식의 영향과 비용 및 위험은 계획·투자단계에서 연안침식관련 사항들을 보다 자세히 내부화함으로써 통제 ■ 연안침식위험에 대한 공공책임 제한 필요. 일부 위험에 대책 책임은 직접적인 수혜자와 투자자 부담 ■ 위험도 지도를 제작·평가하여 계획·투자정책에 반영
3. 연안침식책임관리	<ul style="list-style-type: none"> ■ 연안침식관리는, 위험가치에 대한 투자비용을 최적화하고 관리행위의 사회적 수용성을 증진함과 아울러 장래 선택사항들이 가용하도록 유지함으로써 지엽적인 해결을 지양하고 책임원칙에 근거하여 계획적으로 이행되어야 함.
4. 지식기반관리 및 계획수립 강화	<ul style="list-style-type: none"> ■ 정보관리전략을 수립하여 지식기반 연안침식관리·계획 강화 ■ 최적대책 선정 실무지침 배포, 사전예방 차원에서의 자료·정보관리방법 제공 ■ 지자체 차원의 제도적 지도력 강화

Box A2.1 EUROSION 연안침식 책임관리³⁴⁾

- (1) 한정된 시간규모 내에서 명시적 목표를 갖는다.
- (2) 다양한 감독단계에서 뚜렷한 책임을 규정한다.
- (3) 퇴적물 균형 및 장기경향에 대한 이해에 근거한다.
- (4) 중요한 환경가치 및 자연자원을 훼손하지 않는다.
- (5) 비용/편익분석에 근거한다.
- (6) 국지적 침식과 그 영향 대응에 필요한 재정뿐 아니라 투자와 유지관리를 위한 적절한 예산을 확보한다.
- (7) 목적에 부합함이 기술적으로 입증된 대책을 시행한다.
- (8) 사후영향모니터링을 포함한다.
- (9) 모든 사항에 대한 공개보고서 작성의무를 규정한다.

표 A2.3 유럽 연안침식·침수 노출도 평가기준³⁴⁾

노출인자	노출인자 점수별 특성치 범위		
	0점	1점	2점
■ 압박인자 (Pressure factors)			
① 상대해수면상승 : 100년 후 예상치가 좋음	< 0 cm	0~40 cm	> 40 cm
② 침식중인 해안선 비율	< 20%	20~60%	> 60%
③ 최근 2개 자료에 근거한 해안선 변화 비율 (안정해안에서 침식 혹은 퇴적해안으로)	< 10%	10~30%	> 30%
④ 최고수위	< 1.5 m	1.5~3.0m	> 3.0m
⑤ 연안도시면적 증가율 : '75~'04, 폭10km내	< 5%	5~10%	> 10%
⑥ 하천토사공급 감소율 : 유출된 유효체적과 댐이 없을 시의 이론적 유출체적의 비	> 80%	50~80%	< 50%
⑦ 지질학적 특징 : 침식불가능면적 비율	> 70%	40~70%	< 40%
⑧ 표고 5m 이하지역 면적	< 5%	5~10%	> 10%
⑨ 인공시설물 (방호구조물 포함)	< 5%	5~35%	> 35%
■ 피영향인자 (Impact factors)			
① RICE* 내 거주인구	< 50,000명	50,000~200,000명	> 200,000명
② 연안도시면적 증가율 : '75~'04, 폭 10km 이내	< 5%	5~10%	> 10%
③ RICE 내 도시 및 산업시설 면적비율	< 10%	10~40%	> 40%
④ RICE 내 생태가치 높은 지역 면적비율	< 5%	5~30%	> 30%

* RICE : Radius of Influence of Coastal Erosion

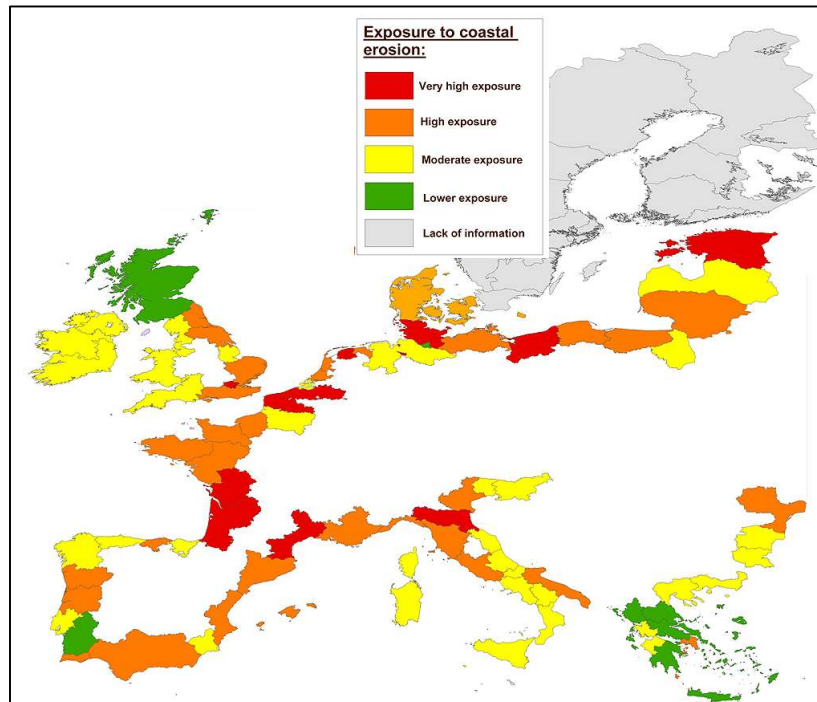


그림 A2.1 유럽 연안침식 노출도 분포³⁵⁾

³⁵⁾ RIKZ et al. 2004 Living with coastal erosion in Europe: Sediment and space for sustainability. Part II – Maps and statistics

표 A2.4 노출등급별 관리방법³⁴⁾

노출등급	노출지수 ^a	관 리 방 법
1등급	>55	<ul style="list-style-type: none"> ■ EU 집행위원회, 회원국 및 관련 지자체 관심 시급 ■ CSMP^b를 2006년 말까지 수립하고 성과 모니터링과 정량적 평가 1년 단위로 실시 ■ 유럽 차원에서 중요 : CSMP 추진을 위해 유럽과 회원국 관련부처로부터 금융·기술 지원 필요
2등급	40~55	<ul style="list-style-type: none"> ■ EU 집행위원회, 회원국 및 관련 지자체 관심 필요 ■ CSMP를 2008년 말까지 수립하고 성과 모니터링과 정량적 평가를 3년 단위로 실시 ■ 회원국 차원에서 중요 : 해안·퇴적물관리계획 추진을 위해 해당 회원국 관련부처로부터 금융·기술지원 필요
3등급	25~40	<ul style="list-style-type: none"> ■ EU 회원국과 지자체 관심 필요 ■ CSMP를 2008년 말까지 수립하고 성과 모니터링과 정량적 평가를 5년 단위로 실시
4등급	<25	<ul style="list-style-type: none"> ■ 연안침식과 관련하여 EU 집행위원회와 해당 회원국의 단기적인 관심은 불필요하나 ■ CSMP를 2010년 말까지 수립하고 성과를 모니터링하여 10년 단위로 평가

^a 압박지수합 × 피영향지수합, ^b CSMP : Coastal Sediment Management Plan

A2.2 RESPONSE

- 세계환경개발위원회³⁶⁾가 '지속가능한 발전'이란 용어를 도입한 이후 지구시스템 용량이 감당할 수 없을 정도의 환경훼손과 자연자원 남용으로는 미래를 보장할 수 없다는 인식이 확산되기 시작하였으며, 유엔환경개발회의³⁷⁾는 리우선언과 함께 채택한 실천강령에서 환경보전 없이 지속가능한 발전은 불가능함을 천명함과 아울러 지속가능한 연안 발전을 위해서는 연안통합관리가 필수임을 지적하였다.

미래 지구환경 변화에 대한 위기의식은 100년 후 해수면 최대 상승치를 88 cm로 전망한 IPCC 제3차 보고서³⁸⁾ 이후 고조되어 해양선진국들은 적응계획수립을 본격화하였다. IPCC 제4차 보고서는 기후변화에 따른 피해가 특별히 우려되는 5대 분야에 지리적 구분으로는 유일하게 연안을 포함하였으며, 이는 연안역이 기후변화영향을 삼중으로 받기 때문이다³⁹⁾(그림 A2.2).

- RESPONSE는 유럽 4개국 (영국, 프랑스, 이탈리아, 폴란드) 9개 기관이 2003~2009년 동안 수행한 기후변화에 의한 장래 연안재해 평가 및 적응방안에 관한 연구⁴⁰⁾로서 연안침식·침수재해 위험도 지도 작성 9단계를 수립(그림 A2.3, 표 A2.5)하고 예시하였으며(그림 A2.4), 5번째 단계에 영국에서 제안된 연안거동체계(coastal behavior system) 개념⁴¹⁾을 도입하였다(표 A2.6)⁴²⁾

³⁶⁾ World Commission on Environment and Development (WCED). 1987. Our Common Future.

³⁷⁾ The United Nations Conference on Environment and Development (UNCED). 1992. Earth Summit. Agenda 21. The United Nations Program for Action from Rio.

³⁸⁾ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2001. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the IPCC. Cambridge Univ.

³⁹⁾ IPCC. 2007b. Climate Change 2007: Impact, Adaption and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report, Cambridge University.

⁴⁰⁾ <http://www.coastalwight.gov.uk/response.html>

⁴¹⁾ Halcrow Group. 2001. Preparing the impacts of climate change - A strategy for long term planning and management of the shoreline in the context of climate change prediction. Summary Report, SCOPAC, UK.

⁴²⁾ McInnes, R. 2006. Responding to the risks from climate change in coastal zones - A good practice guide. Center for the Coastal Environment, Isle of Wight Council, UK.

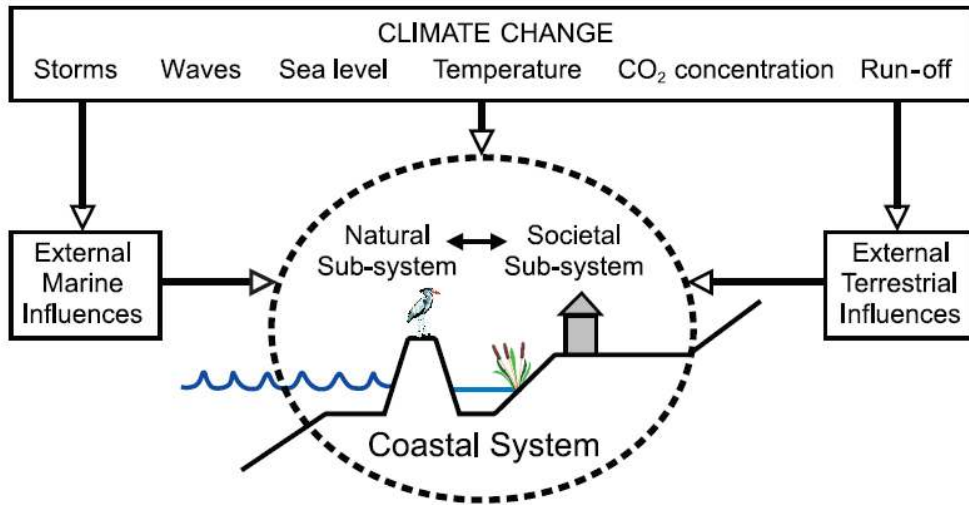


그림 A2.2 연안시스템에 미치는 기후변화 직간접 영향³⁸⁾ : 연안시스템은 연안역 내 기후 변화, 기후변화기인 내륙 강우량 변화, 외해파랑 변화 영향을 함께 받는다.

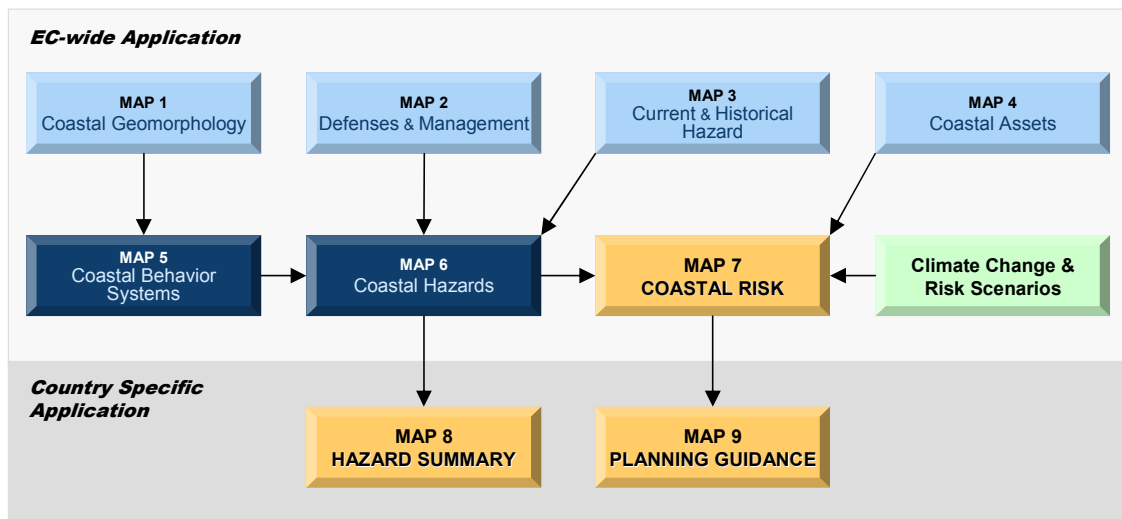


그림 A2.3 연안침식·침수재해 위험도 지도 작성 흐름도⁴²⁾ : Map 8과 Map 9는 회원국 비전문 의사결정자의 중장기 관련계획 수립 시 참고용

표 A2.5 연안침식·침수재해위험도 지도 작성 단계별 고려사항⁴²⁾

MAP 1	연안지형과 수리퇴적작용 Coastal Landforms and Coastal Processes
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 대상해역에 대한 연안지형정보도와 수리퇴적역학 정보도 ▪ 연안지형정보 : 해안선 유형 및 조성 특성, 해안사면의 지형 특성 (사주 및 기반암 분포), 후빈 및 배후지 형태 및 암석학적 특성, 사구, 고조위 등 표시 ▪ 수리퇴적역학정보 : 퇴적물 순이동 방향, 파랑에너지 분포, 침식/퇴적 발생 지역 표시
MAP 2	연안방호시설물 Coastal Defence Management Types and Practices
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 연안지형과 외력의 영향을 변화시키는 경성구조물과 양빈 시행위치를 작성하고 시설관리상황 DB화
MAP 3	과거와 현재의 연안자연재해 Current and Historic Coastal Natural Hazard
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 우심침수지역, 침식이 활발한 지역, 사태 발생 또는 우려지역 등 표시 ▪ 피해 발생일, 규모, 경제적 및 인적 피해 정도, 가능하면 과거와 현재 해안선 후퇴율 포함
MAP 4	연안재산과 인구 Coastal Assets and Population
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 인구분포 등급·용도지역 (농업, 산업, 관광 등), 국립 및 지역자연보호지역 분포, 도로 및 철도 등 교통망 등
MAP 5	연안거동체계 Coastal Behavior Systems (CBSs)
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 연안표사계(Coastal sediment cell) 규모의 대상해역을 외력요소에 대한 반응 차이에 근거하여 구분
MAP 6	연안잠재위험 Potential Coastal Hazards
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 기본적인 위험 종류를 침수, 침식, 사태로 구분하고 방호시설물이 없는 지역은 '현재위험'으로, 위험이 현 시설물 훼손정도에 따라 변하는 곳은 '잠재위험지역'으로 구분 ▪ Map 2,3,5를 중첩하여 등급화 : 침식의 경우 과거와 현재 침식률을 적용하여 구한 100년 후의 해안선 후퇴 정도에 따라 low, medium, high로 구분 ▪ 기후변화기인 침수, 침식 및 지반불안정성의 위험변화를 5등급으로 구분 : Dramatic decrease / Significant decrease / No significant change / Significant increase / Dramatic increase
MAP 7	연안잠재위험도 Potential Coastal Risks
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 연간침식률, 침수 및 사태 재현주기를 적용하여 각 잠재위험을 점수화하는 risk rating matrix로 잠재위험 정도를 계량화한 후 인구밀도를 고려한 위험도 분포도를 두 가지 시나리오에 대해 작성 (평상, 기후변화영향 최악) ▪ 각 인자에 대한 위험도는 주관적이므로 다른 인자의 위험도와와의 비교는 무의미 ▪ 위험도 등급화에는 충분한 전문성이 뒷받침되어야 함.
MAP 8	연안잠재위험 요약 Summary of Potential Coastal Hazards
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 비전문 연안계획 담당자들을 위한 현재·장래 위험분포도(hazard map) 요약 ▪ 각 인자에 대한 중간 이하의 위험은 제외 ▪ 현재와 장래 위험지역을 각각 적색과 청색으로 구분 표기
MAP 9	연안계획지침 Planning Guidance
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 연안계획 담당자 및 정책결정자에게 지침을 제공하기 위해 MAP 7을 기반으로 작성 ▪ 기후변화와 점잔적인 방호시설 훼손에 기인하는 위험도 증가 지역을 부각시키고 (****)로 표시 ▪ 심각한 해안선 후퇴, 빈번한 침수와 사태로 인해 개발이 어려운 장래 우심지역 표시

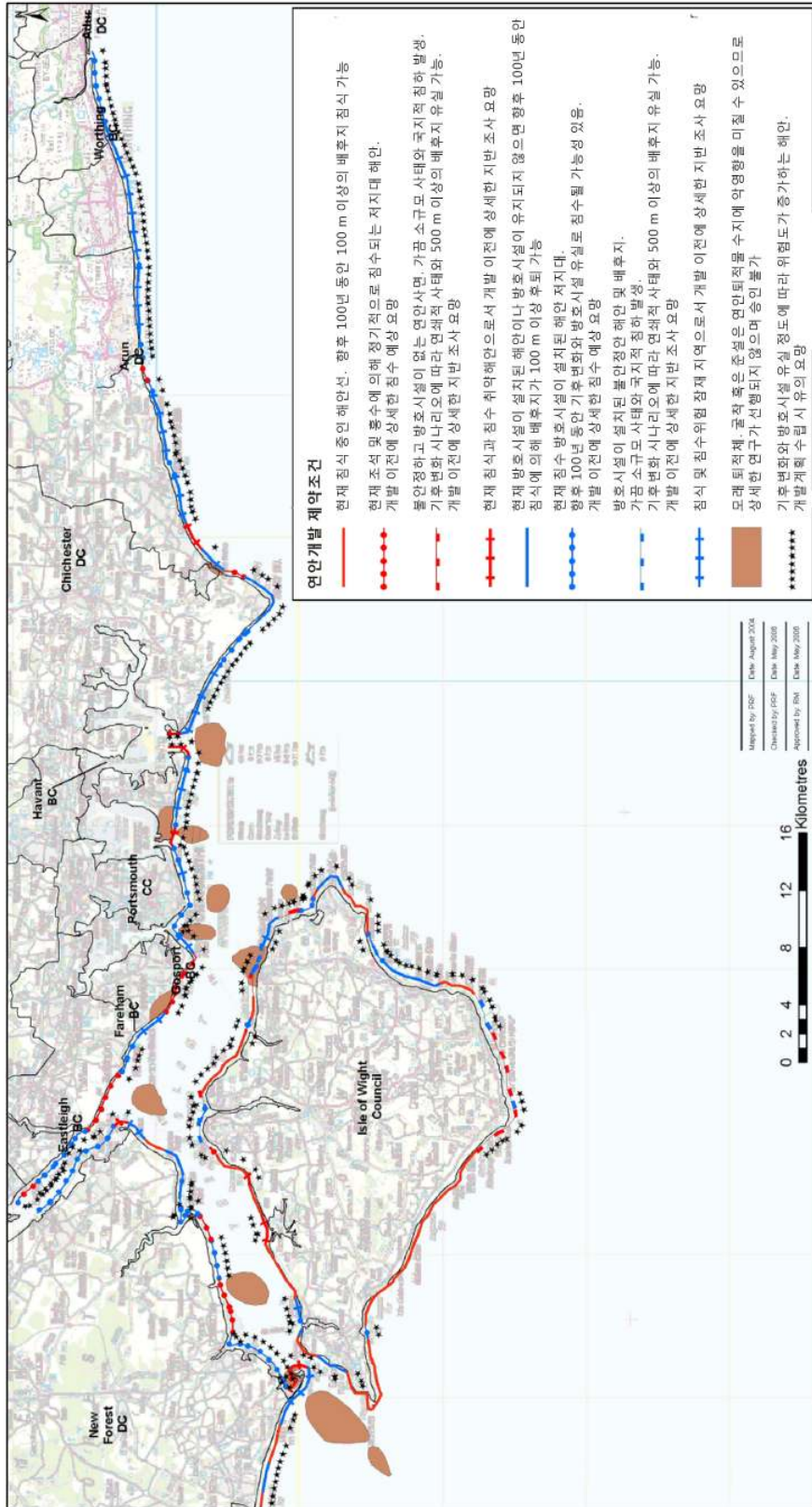





그림 A2.4 RESPONSE 사업의 MAP 9 예시 : 영국 남동해안⁽⁴²⁾

표 A2.6 연안거동체계(Coastal behavior system) 분류 예⁴²⁾

지형요소	경암절벽 Hard Cliff	연암절벽 Soft Cliff	저지대, 방호사빈 및 사구 Lowlands, Barrier Beaches and Dunes	사취, Inlet 및 조석기인 삼각주 Spits, Inlets and Tidal Deltas	하구 및 감조하천 Estuaries and Tidal Rivers	시질 및 역질해안 Rising Coastal Land
정선사면 (Shoreface)	급경사	완경사	완경사	완경사	완경사	완경사
정선 (Shoreline)	<ul style="list-style-type: none"> 역질해안 and/or Shore platform (rocky) 	<ul style="list-style-type: none"> 사질, 역질 또는 사력질해안 	<ul style="list-style-type: none"> 사질, 역질 또는 사력질해안 고립된 역질 barrier 사질 또는 역질 전방(fronting)해안 	<ul style="list-style-type: none"> Inlet Tidal Deltas 고립된 자갈해안 	<ul style="list-style-type: none"> 조간대 염습지 감조하천 	<ul style="list-style-type: none"> 사질, 역질 또는 사력질해안
후빈 (Backshore)	경암절벽	연암절벽	저지대	저지대	저지대	완만하게 상승
관리기술 Management Techniques	<ul style="list-style-type: none"> 없음 	<ul style="list-style-type: none"> 제어구조물 후퇴방지용 구조물 절벽 전체 안정화 침벽 보수(후퇴감소) 방호물 포기 	<ul style="list-style-type: none"> 퇴적물 관리 제어구조물 후퇴방지용 구조물 방호물 포기 	<ul style="list-style-type: none"> 퇴적물 관리 제어구조물 후퇴방지용 구조물 	<ul style="list-style-type: none"> 후퇴방지용 구조물 방호물 포기 또는 제거(잔류시 영향이 지속될 때) 	<ul style="list-style-type: none"> 후퇴방지용 구조물 또는 퇴적물 관리 and/or 제어구조물
예시 해안	 프랑스 Pyrenées orientales, Collioure	 영국 Isle of Wight, Chale	 영국 West Sussex, Lancing	 영국 West Sussex, Pagham Harbour	 영국 Isle of Wight, Western Yar River	 프랑스 Aquitaine

A3. 영국

- 「해안방호법(Coastal Protection Act 1949)」, 「수자원법(Water Resources Act 1991)」 등에 근거하여 88개 연안지자체 주도로 해안침식·침수 방지사업을 시행하였으나⁴³⁾ 단기적이고 지엽적인 대응으로 효율적이지 못하였다.

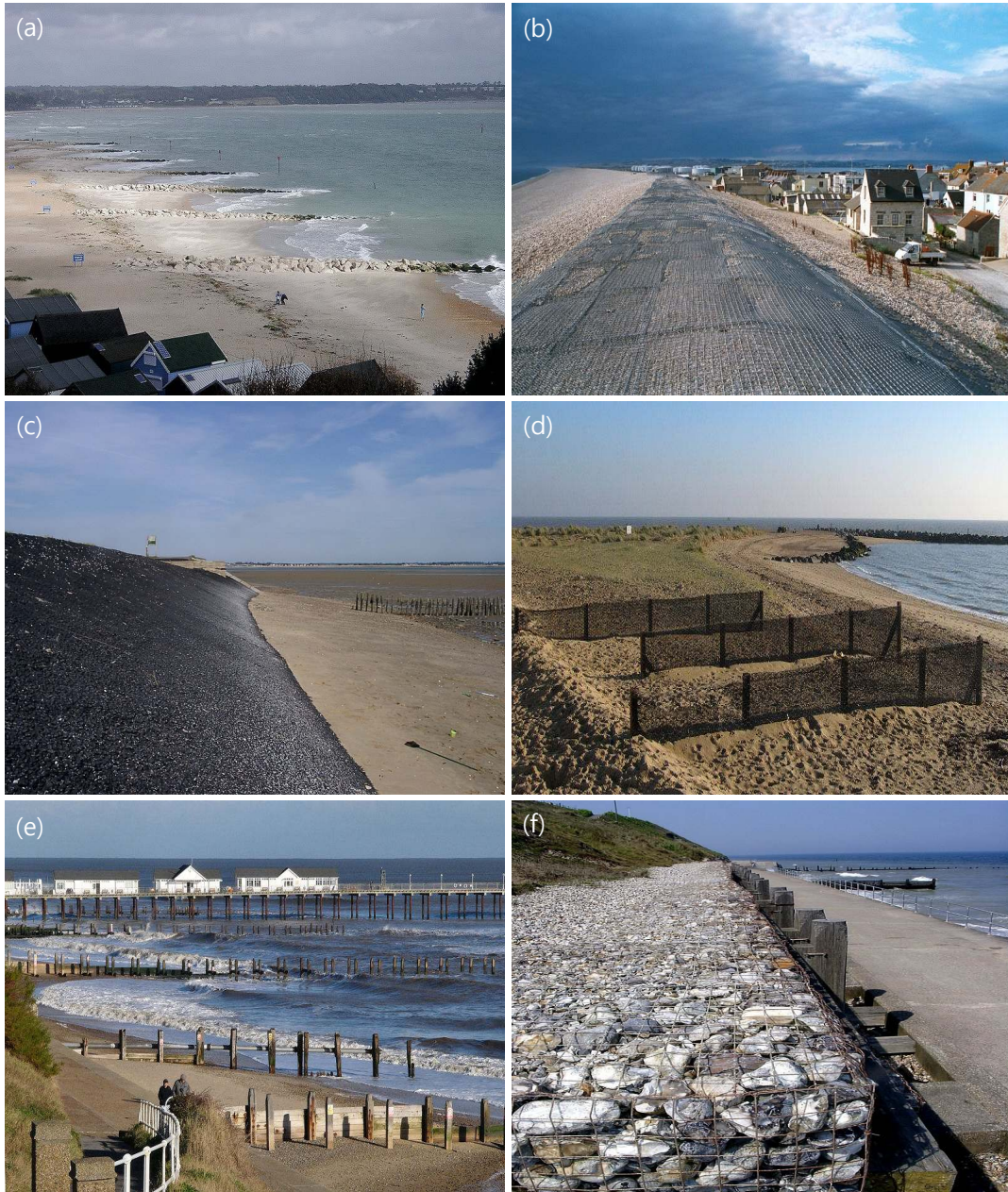


그림 A3.1 영국 연안지자체 주관 침식·침수방지시설 사례 : (a)소형암석돌제군(Hengistbury Head), (b)자갈해안 자갈망태(Chesil Beach), (c)호안사면 아스팔트 피복(Cudmore Glove Country Park), (d) 모래포집 그물망(Clacton), (e)목책돌제군(Easton Baytents), (f)사면기초부 돌망태(North Norfolk) (사진제공 : (주)지오시스템리서치)

⁴³⁾ 2006.04 이전에는 침수방지사업비 45%, 침식방지사업 35-75% 정부 지원. 현재는 모든 사업 100% 지원하며 중앙정부 감독 강화
<http://www.defra.gov.uk/enviro/fcd/policy/opauthsia.htm>

A3.1 연안그룹과 제1차 해안선관리계획 (SMP 1996~1999)

- 해안침식·침수대책의 비효율성이 지속되자 1980년대 중반부터 효율성 제고를 위한 자발적인 비공식 모임이 결성되기 시작하였으며⁴⁴⁾ 이를 연안그룹이라 통칭한다.

연안그룹은 보통 해당 연안지자체, 환경·식품·농어촌부(Defra)의 환경업무 대행 기관인 환경청(비정부기관), English Nature(정부기관), 웨일즈 지방위원회, 대형항만·어항 관리기관으로 구성되는 60% 인원이 정회원이며, 소형항만 관리기관, English Heritage, 지방토지소유자협회 등으로 구성되는 30%가 준회원, 그리고 10%는 Defra와 웨일즈 의회, 물관련 민간회사 등으로 구성되는 옵서버이다.

연안그룹의 공동목표⁴⁵⁾는 다음과 같다.

- ① 특정지자체 방호대책이 이웃 지자체에 미치는 악영향 경감·제거
- ② 표사계 내외 모두에 타당한 연안관리정책 개발
- ③ 정보·기술·경험 교환을 위한 포럼 개최

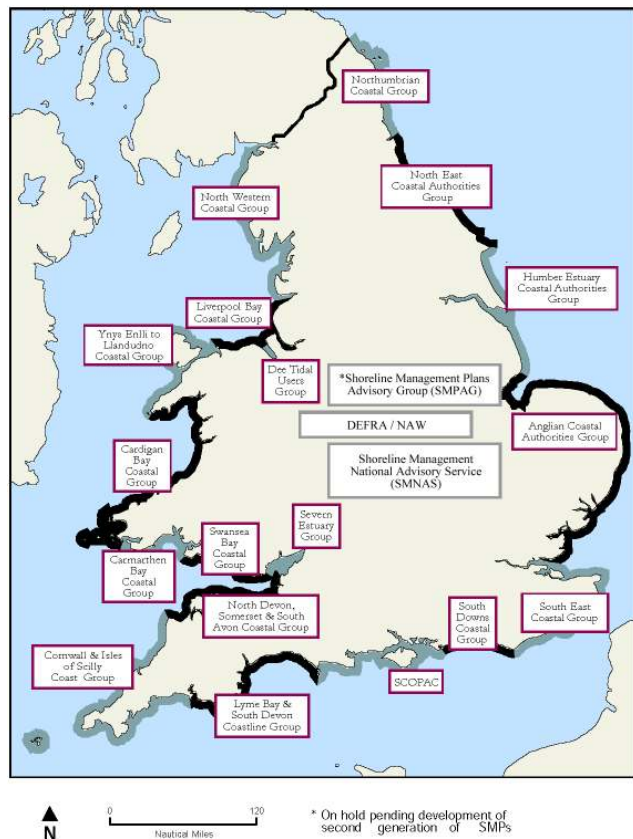


그림 A3.2 제1차 SMP(Shoreline Management Plan)를 주도한 18개 연안그룹⁴⁵⁾
 Defra: Department. of Environment, Food and Rural Affairs, NAW: National Assembly for Wales

44) 1986년 남해중부의 SCOPAC(Standing Conference on Problems Associated with the Coastline)이 최초

45) Ballinger et al. 2002. Managing coastal risk: Making the shared coastal responsibility work-Coastal planning and sharing management: a review of legislation and guidance.

- 연안그룹 활성화에도 불구하고 일관되지 않은 법률·행정체계 하에서의 지역적 대응에 의한 시행착오가 반복되자 Defra의 전신인 MAFF⁴⁶⁾는 1993년 ① 광역규모 악영향 가능사업 최소화, ② 50년 지속가능한 대책, ③ 연안관련 행위·제도 통합을 골자로 하는 국가전략⁴⁷⁾을 수립하였다.
- 이어 1995년 SMP 지침⁴⁸⁾을 수립한 후 연안지자체와 연안그룹의 적극적인 동참으로 1996~1999년 동안 제1차 해안선관리계획(SMP)을 수립하였다.

SMP는 6,000km (England+Wales) 해안을 11개 광역표사계로 구분하고 각 표사계는 3~7개의 단위표사계로, 각 단위표사계는 다수의 관리단위로 구성된다. 각각의 관리단위가 향후 50년까지의 계획으로서 그림 A3.3과 표 A3.1에 제시한 5개 정책⁴⁹⁾ 가운데 하나를 택하는 것이 SMP의 핵심이다.

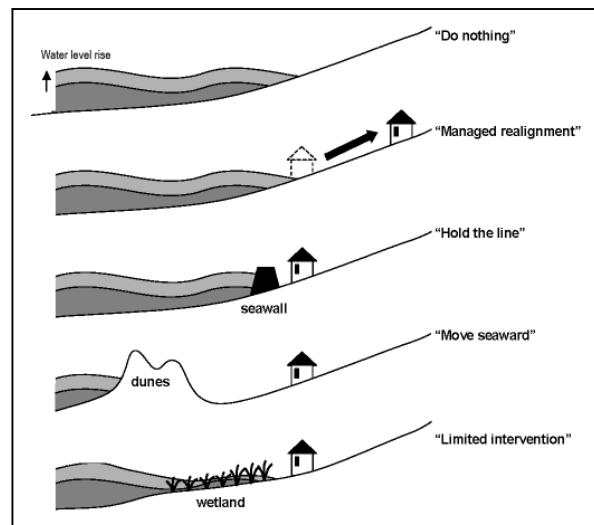


그림 A3.3 영국 제1차 SMP의 5개 관리정책⁴⁹⁾

표 A3.1 영국 제1차 SMP의 5개 관리정책

1. 무간섭 Do Nothing	<ul style="list-style-type: none"> ■ 방호시설 신설·유지 및 해안관리행위 없음. ■ 지속적인 모니터링과 관찰은 필요⁵⁰⁾ ■ 2차 SMP에서 'No Active Intervention'으로 명칭 변경
2. 후퇴방호 Managed Realignment	<ul style="list-style-type: none"> ■ 현 방호시설 육지쪽에 신규시설 설치로 해안선의 전진, 후퇴 허용 ■ 기존 명칭은 'Managed Retreat'
3. 유지방호 Hold the Line	<ul style="list-style-type: none"> ■ 현 방호시설 유지 또는 변경으로 현 방호선 유지 (양빈, 이안제 신설 등) ■ 2차 침수방호벽 설치 등 현 방호선 배후공사 포함
4. 전진방호 Move Seaward	<ul style="list-style-type: none"> ■ 바다 쪽 신규시설 설치 ■ 상당면적 매립을 고려해야만 하는 관리단위에 적용 ■ 2차 SMP에서 'Advanced the Existing Line'으로 명칭 변경
5. 소규모대책 Limited Intervention	<ul style="list-style-type: none"> ■ 자연적인 변화를 겪으면서 위험도를 저감할 수 있도록 자연현상 이용 ■ 2차 SMP에서 제외

46) Ministry of Agriculture, Fishery and Food

47) MAFF and Welsh Office. 1993. Strategy for flood and coastal defence in England and Wales. PB 1471.

48) MAFF and Welsh Office. 1995. Shoreline Management Plans : A Guide for Operating Authorities.

49) RIKZ et al. 2004 Living with coastal erosion in Europe: Sediment and space for sustainability - A guide to coastal erosion management practices in Europe.

50) Environmental Agency. 2010. The Coastal Handbook - A guide for all those working on coast. UK.

A3.2 제2차 해안선관리계획 (2006~2010)

- 제1차 SMP 완료 후 전문가 검토를 거쳐 '후퇴방호를 택한 해안의 개발을 제한' 하는 등 지침서를 개정하였으며⁵¹⁾, 해안선 장기거동 평가에 대한 새로운 연구 결과⁵²⁾를 수용함과 아울러 기후변화적응 전략수립을 위한 의견수렴결과⁵³⁾를 반영한 재개정⁵⁴⁾에서 다음 3가지 핵심사항을 비롯한 12가지를 강조하였다.
 - ① 기후변화와 연안변화의 장기적인(50~100년) 관계 파악
 - ② 연안침식·침수 위험도 지도 작성
 - ③ 하구를 고려하고 유역범람계획과 연계
- 2차 SMP에서는 1차에서 49개 단위표사계를 근간으로 수립한 총 41개 SMPs를 유역 중심의 22개로 개편·수립하였으며⁵⁵⁾, '관리단위'를 '정책단위'로 명칭변경하고, 각 정책단위는 계획수립시점~향후 20년, 향후 20~50년, 향후 50~100년으로 구분하여 관리정책을 선택하도록 하였다.

Box A3.1 침식해안 무간섭 관리정책 채택 예⁵⁶⁾

- 3b표사계(동해남부) 19, 20번째 정책단위는 현재 침식 중이며, 향후 100년 동안에도 침식이 지속될 것으로 예상되었으나 3단계 모두 방호대책을 수립하지 않고 현재의 목적돌제도 유지·보수하지 않는 무간섭 정책을 택하였음.
- 침식해안이 무간섭 정책을 택하는 이유는 배후지 가치에 비해 방호비용이 지나치게 높거나 침식된 퇴적물이 표사 하루 해안에 중요한 퇴적물 공급원이 되는 경우임.

Kelling to Lowestoft Ness Shoreline Management Plan
Policy Unit 3b19: Gorleston to Hopton

POLICY (FOR FULL DETAILS SEE RELEVANT POLICY STATEMENT)

From Present Day:	Medium-Term:	Long-Term:
Allow retreat through no active intervention	Allow retreat through no active intervention	Allow retreat through no active intervention

■ Indicative erosion zone up to 2025
 ■ Indicative erosion zone up to 2105
 Policy Unit boundary
■ Indicative erosion zone up to 2055
Environmental/Cultural Heritage
 National Nature Conservation Designation
 ● Important Heritage Sites
 International and National Nature Conservation Designation
 2003 Indicative Floodplain © Environment Agency

⁵¹⁾ Defra and Welsh Office. 2001. Shoreline Management Plans: A Guide for Operating Authorities. PB 5519.

⁵²⁾ Halcrow Ltd. 2002. Furturecoast. CD-ROM, produced for Defra.

⁵³⁾ Defra. 2005. Making Space for Water. PB 10516.

⁵⁴⁾ Defra. 2006. Shoreline Management Plan Guidance. PB 11726.

⁵⁵⁾ Defra. 2010. Adapting to Coastal Change : Developing a Policy Frame.

⁵⁶⁾ Halcrow. 2006. Kelling to Lowestoft Ness. Shoreline Management Plan First Review. Final Report.

A3.3 중앙정부 관리강화 (2008~)

- Defra는 보다 장기적이고 전문적인 관점에서의 지속적인 침식·침수관리를 위하여 2008년 초 관련 행정업무를 환경청(EA)에 위임하였으며, 이후 Defra와 EA는 중앙정부 관리를 본격적으로 강화하기 시작한다.

먼저 17개인 잉글랜드 연안그룹을 유역에 기반한 법정 하천관리계획⁵⁷⁾ 경계에 맞추어 7개로 줄이고⁵⁸⁾, 법정기구인 하천범람방호위원회⁵⁹⁾와 공조토록 하고 EA 자문기구로 삼았다⁶⁰⁾.

또한 비용을 중앙에서 지원하지만 법적 의무사항이 아닌 SMP의 참여율을 높이고 SMP에서 계획한 시설물 승인 및 국고지원금 신청 시 상세한 사전조사 보고서를 첨부토록 함(목차까지 지정)과 아울러 9개 항목(표 A3.2)에 대한 관리성과 목표를 포함하도록 하는 등 일련의 조치를 연이어 시행하였다⁶¹⁾⁶²⁾⁶³⁾⁶⁴⁾.

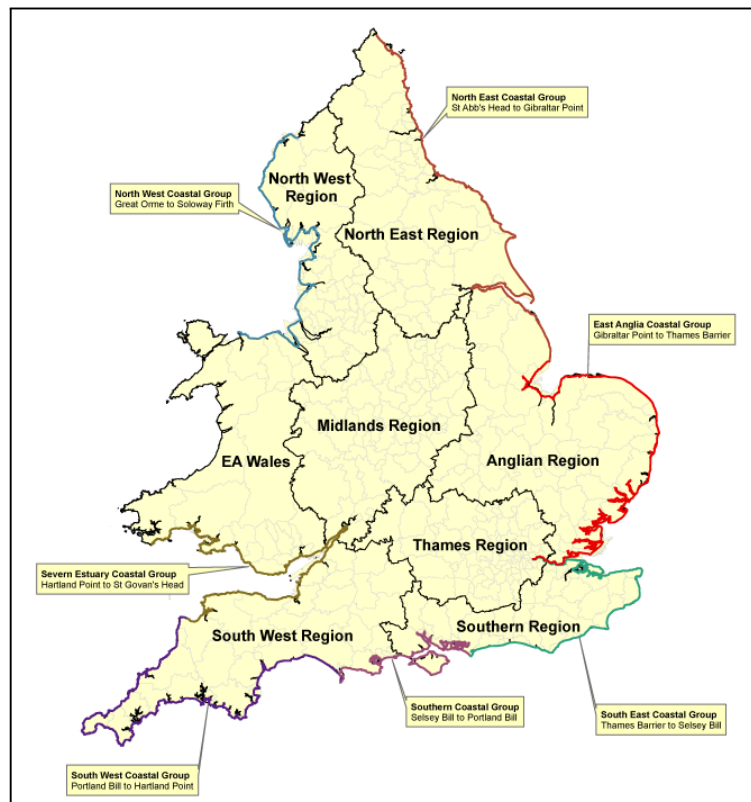


그림 A3.4 잉글랜드 유역기반 전략연안그룹⁵⁸⁾

57) River Basin Management Plan : 하천과 호소, 지하수뿐 아니라 하구와 저조선으로부터 1마일까지의 연안수 관리를 포함한다.

58) <http://www.defra.gov.uk/enviro/fcd/policy/coastalgroup.htm>

59) River Flood Defence Committee

60) Defra. 2008. Coastal Groups in England - The Environmental Agency Strategic Overview of Sea Flooding and Coastal Erosion Risk Management.

61) Environmental Agency. 2008. Memorandum Relating to Scheme Approvals and Grants to Local Authorities under The Coastal Protection Act 1949.

62) Defra. 2009. Appraisal of Flood and Coastal Erosion Risk Management. A Defra Policy Statement..

63) <http://www.environment-agency.gov.uk/research/planning/33700.aspx>

64) Environmental Agency. 2010. Flood and Coastal Erosion Risk Management Appraisal Guidance.

표 A3.2 영국 범람·연안침식위험도관리 성과척도⁶⁵⁾

<p>1. 종합편익 Overall benefits</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 범람·연안침식위험도 관리행위를 화폐가치로 제시 ■ 지역에 따라 자연환경·역사유적·사회적 편익 포함 ■ 종합편익과 함께 조만간 재산, 기반시설, 운송연계성 및 환경 보호 비용과 편익을 개별 평가 예정
<p>2. 위험가구수 Households at risk</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 범람 혹은 연안침식으로 위험에 처한 家口數를 성과척도로 제시 ■ 범람위험가구는 확률에 따라 i) 매우 심각, ii) 심각, iii) 보통 및 iv) 낮음으로 분류 ■ 침식위험가구의 경우, 침식으로 재산을 잃기 전까지 예상되는 시간으로 분류하며, 단기(예: 10년)부터 장기(예: 50-100년)까지를 4단계로 분류하고 각 단계에 포함되는 가구수 제시
<p>3. 위험빈곤층 Deprived households at risk</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 빈곤층 지역의 범람·침수위험도 저감 척도 ■ 수립된 빈곤지역 순위와 2번 척도 이용
<p>4. 중요 야생동식물 서식처 National important wildlife sites</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Natural England와 공조하여, 2010년까지 95%의 SSSI⁶⁶⁾를 양호한 상태로 조성하려는 정부의 목표에 기여 정도 기록 (먹이제공, 수위, 연안관리에 의한 복원 등)
<p>5. UKBAP⁶⁷⁾ 서식처 UK Biodiversity Action Plan habitats</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 범람·연안침식위험도 관리는 인명과 재산피해 저감뿐 아니라 자연환경도 개선시켜야 함. ■ 범람·연안침식위험도 관리를 통해 전체적으로 증가한 BAP 서식처 기록
<p>6. 범람경보 Flood warning (범람의 경우만)</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 위험도가 높은 가구와 사업체 중 범람경보를 직접적으로 받는 비율 ■ 침식의 해당사항 없음
<p>7. 우발사고 대응계획 Contingency Plan (범람의 경우만)</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ EA는 지역복원포럼에서 다른 단체와 함께 다양한 긴급사태 대응계획에 대해 공조하고 있음. ■ 범람위험도를 만족할만한 수준으로 대응하기 위해 EA가 고려하고 있는 계획의 비율이 척도
<p>8. 난개발 Inappropriate development</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 범람위험 차원에서 EA가 반대했음에도 불구하고 지역계획에 의해 개발 승인된 가구수 ■ 침식위험도 지도가 완성되면 침식의 경우도 적용 가능
<p>9. 장기정책과 시행계획 Long term policies and action plans</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 향후 수년 동안 범람과 연안침식위험도 대응을 위한 지속가능하고 수준 높은 계획을 수립하도록 할 것임. ■ EA 지역감독관이 SMP와 CFMP를 승인한 비율

65) <http://www.defra.gov.uk/environment/flooding/policy/strategy/outcomemeasures.htm>

66) Sites of Special Scientific Interest : Wildlife and Countryside Act(1981)에 지정된 자연유산

67) 중 다양성 보전과 생물자원의 지속가능한 이용을 위해 1994년 수립된 국가전략

- EA의 권한은 2010년 제정된 '범람 및 물관리법'에 의해서 강화된다⁶⁸⁾. 즉, 이전에는 침식·침수관련 예산을 Defra가 책정하고 EA는 집행만을 대행하였으나 향후 EA가 예산을 책정하게 되었다. 이로써 EA의 법적위상은 크게 높아졌으나 투자효과 책임도 부과됨에 따라 국고지원이 국가차원의 위험도 관리 부합여부에 중점을 둘 수밖에 없으며, 이에 따라 사업신청시 편익분석을 포함하는 과학적인 사전보고서의 중요도가 높아지게 되었다.
- 한편 최근 영국에서 주목할 만한 변화는 2009년에 제정된 해양법(Marine and Coastal Access Act)이다. Defra는 연안과 해양의 효과적인 관리를 위해서는 통합관리가 필요하나 이의 현실적인 어려움을 인식하고 2002년 'Marine Stewardship Report'를 발간하면서 해양활동을 관리하는 새로운 접근방법과 이를 위한 법률이 필요함을 지적하였으며, 2007년 해양환경보전과 해양활동의 지속가능한 관리를 위해 다음 사항을 강조하면서 새로운 법적 기준을 제안하는 '해양법안백서'를 발간하였다⁶⁹⁾.
 - ① 새로운 해양계획 시스템
 - ② 새로운 해양개발인허가 시스템
 - ③ 자연자원보전을 위한 탄력적 관리구조
 - ④ 해양수산물관리 강화
 - ⑤ 해양관련 업무 대행기관 '해양관리기구(MMO)' 설치
- 이후 관계기관협의와 의회검토를 거친 해양법은 2009년 11월 국왕의 재가를 받았으며, 범부처 해양관련업무 대행기관인 '해양관리기구(Marine Management Organisation)'가 2010년 4월 출범하였다.

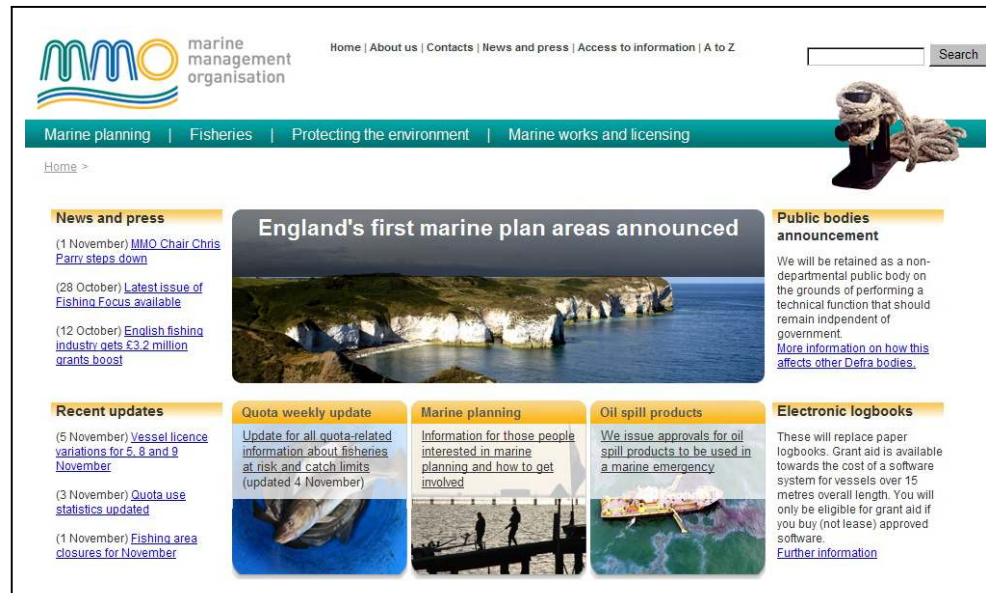


그림 A3.5 영국 해양관리기구(MMO) 홈페이지⁷⁰⁾

68) Defra. 2009. Flood and Water Management Bill: Impact assessment - Flood and coastal erosion risk management funding provisions

69) http://www.legislation.gov.uk/ukpga/2009/23/pdfs/ukpgaen_20090023_en.pdf

70) <http://www.marinemangement.org.uk/index.htm>

100 MW 이상인 해양신재생에너지 개발과 대형항만 건설을 제외한 해사채취 등 모든 해양행위는 최종적으로 MMO의 승인을 받아야 하며⁷¹⁾, 이는 EA가 주관하는 '하천관리계획'과 SMP도 예외가 아니다(그림 A3.6).

MMO의 업무를 경제, 환경, 사회적 측면으로 구분하면 다음과 같으며⁷²⁾,

- ① 경제 : 해사채취, 신재생에너지, 어항·항만 및 물류 등
- ② 환경 : 생태계 및 서식처, 수산자원, 수질 등
- ③ 사회 : 해안유적지, 해안침식·침수방호 등

이로써 영국은 명실상부한 연안과 해양의 통합관리 기틀을 마련하였다.

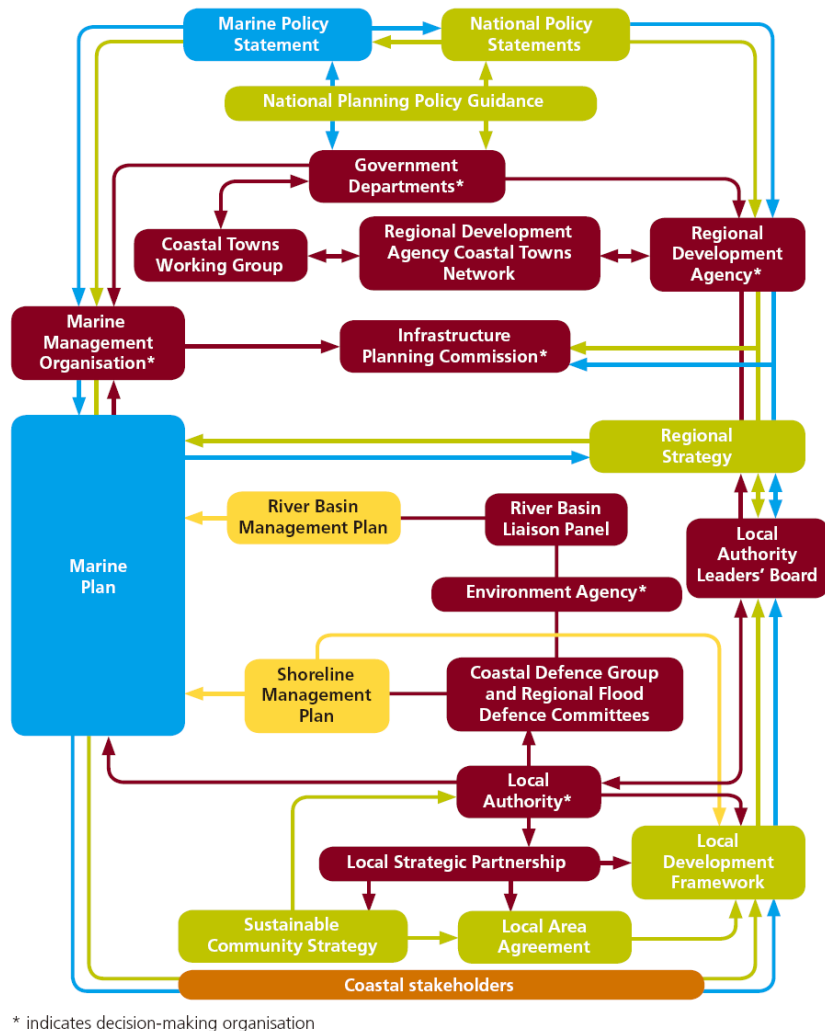


그림 A3.6 영국의 연안통합관리체계⁷³⁾

71) Defra. 2008. Managing Our Marine Resources - Licensing un the Marine Bill. PB 13186.

72) Defra. 2009. Managing Our Marine Resources - the Marine Management Organisation. PB 13186.

73) Defra. 2008. A Strategy Promoting an Integrated Approach to the Management of Coastal Areas in England. PB 13199.

A4. 네덜란드

- 인구 60%인 800만명이 평균해수면 이하 저지대에 거주하며 오랜 연안재해피해 및 방호역사를 지닌 네덜란드의 총 연장 350 km 해안은 지형적으로 조석의 영향을 많이 받는 남부 델타해안, 파랑우세 사질해안인 홀랜드해안, 그리고 방호섬(barrier island)으로 구성되는 북부 바덴해안으로 구분되며(그림 A4.1), 254 km가 사구해안이고 34 km 해안에 호안이 축조되어 있으며, 38 km가 넓은 사질조간대이다⁷⁴⁾.
- 가장 최근의 연안재해인 1953년 내습한 250년 재현주기 고조해일로 1,835명이 익사하고, GNP 14%에 해당하는 재산피해를 입은 후 침수방호를 위한 'Delta Project'를 1986년까지 수행하여 델타해안 대부분의 tidal inlet이 차단되었다⁷⁵⁾.

그림 A4.1 네덜란드 해안 구분 및 주요 해안지명⁷⁶⁾

⁷⁴⁾ Hillen, R. and P. Roelse. 1995. Dynamic preservation of the coastline in the Netherlands. J. Coastal Conservation, 1:17-28.

⁷⁵⁾ de Ronde, J.P.M. Mulder and R. Spanhoff. 2003. Morphological Development and Coastal Zone Management in the Netherlands. International Conference on Estuaries and Coast, Hangzhou, China.

⁷⁶⁾ Roelse, P. 2002. Water en Zand in Balans. Evaluatie zandsuppleties na 1990; een morfologische beschouwing. Report RIKZ-2002. 003, ISBN 90-36-369-3426-5 (in Dutch).

A4.1 동적보존

- 델타사업 종료 후, 심각한 해안침식에 대한 그 동안의 임시방편적 대응의 문제점과 새로운 방호정책의 필요성에 논의가 본격화되어 1989년 표 A4.1에 제시한 4가지 정책대안에 대한 '논의문건(Discussion Document)'이 작성되었으며, 각 대안에 대한 1990-2090년 동안의 편익/비용을 산출하였다⁷⁴⁾.

이를 토대로 1989년과 1990년 초까지 활발한 논의가 진행되었으며, 논의에 참여한 중앙정부, 지자체, 과학자, 환경론자 및 사구·사빈관련 이해당사자들이 거의 만장일치로 '보존' 정책을 선호하였다⁷⁴⁾.

이에 의회는 1990년 11월 '보존'을 국가정책으로 채택하였으며, 자연적인 동역학 및 사구 특성의 보전을 강조하기 위하여 '동적보존(dynamic preservation)'이라 부르기로 하였다⁷⁴⁾.

동적보존의 핵심은 예방차원의 양빈이다. 즉, 1990년 이전에 시행된 양빈은 대부분은 훼손된 사빈·사구를 복원하기 위함이었으나 1991년 이후에는 완충대 확보차원의 양빈을 시행하고 있다.

- 한편, 방조제와 호안에서의 동적보전은 구조물 안전성이 침식에 의해 저하되지 않도록 하는 것이며, 사질조간대(beach flat)에서는 모래이동 자유도를 높이는 것이고, 사구의 경우에는 어떠한 사안과도 타협할 수 없는 후퇴불가 기준해안선인 BCL (basal coastline)을 보전하는 것이다⁷⁷⁾.
- 네덜란드의 동적보존을 제대로 이해하기 위해서는 1963년부터 시행되고 있는 장기모니터링(JARKUS) 자료로부터 결정하는 BCL, MCL 및 TCL에 이해가 필수적이다(Box A2.1 참조).

표 A4.1 네덜란드 해안침식 대응방향 수립을 위한 4가지 정책대안⁷⁴⁾

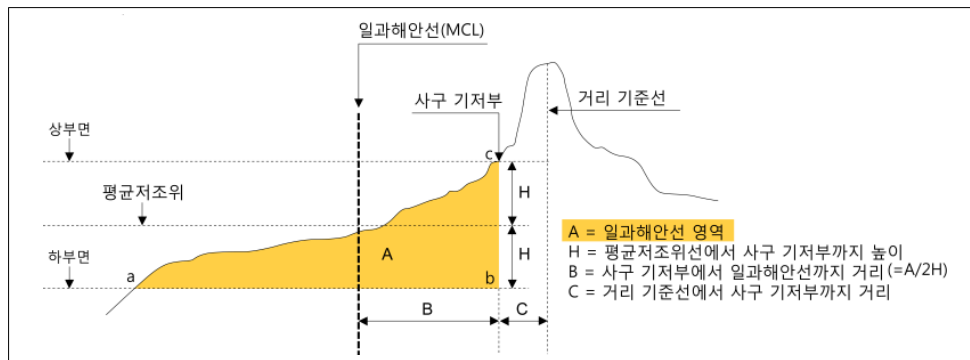
정책	내용
후퇴 Retreat	해안침식이 저지대 안전을 위협하지 않는 모든 해안선 후퇴 허용
선택적 보존 Selective preservation	저지대 안전을 위협하는 해안뿐 아니라 주요 사구·사빈 이익이 손실되는 해안 방호
보존 Preservation	모든 해안선을 1990년 위치로 보존
확장 Extension seaward	침식우심해안에 인공구조물을 바다 쪽으로 설치하여 침식을 멈추고 나머지 해안은 1990년 해안선 보존

⁷⁷⁾ van Duin, M.J.P. and N.R. Wiersma. 2002. Evaluation of the Egmond shoreface nourishment. Part I: Data analysis. Report No. Z3054/Z3148, Delft Hydraulics, Delft, the Netherlands.
 평균저조위 : 약 MSL(-)1m.

Box A2.1 네덜란드 MCL과 BCL

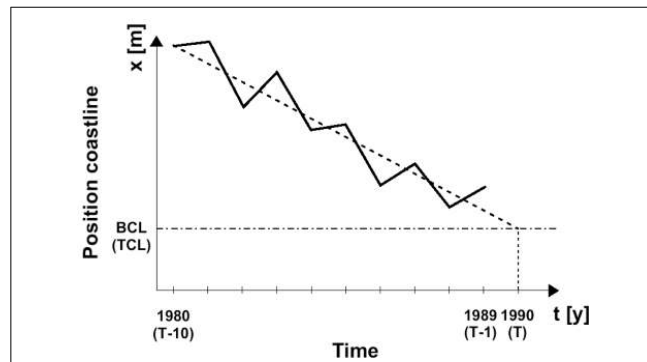
1 일과해안선(MCL)

- 동적보존은 1990년 1월 1일 해안선보다 후퇴할 것으로 예상될 경우 가능한 한 양빈으로 복원하는 정책임.
- 그러나 '90년 1월 1일 해안선의 동시측량은 현실적으로 불가능하며, 설사 위성영상으로 동일시각 해안선을 독취하더라도 조석 및 파랑조건이 특정 연도와 같을 수 없으므로 해안선 비교의 의미가 없음.
- 이러한 문제를 극복하기 위해 평균저조위선에서 사구 기저부까지 높이(H)의 2배인 선분 bc와 하부면 ab로 둘러싸인 면적 A를 2H로 나눈 거리 B를 일과성 해안선 MCL (momentary coastline)이라 정의하였음.
- 단면선분 ac가 직선이면 $B=ab/2H$ 이므로 B는 단면 abc의 면적(연안방향 단위폭당 모래체적), 다시 말해 단면 안정성을 대변하는 매우 유용한 개념임. 즉, 침식으로 저조위에서 사구 기저부 사이 표고가 낮아지더라도 침식된 양이 평균저조위와 하부면 사이에 잔존한다면 일과해안선은 같은 값을 가짐. 이처럼 일과해안선은 단면의 계절적 민감도를 반영하는 매우 유용한 개념임.
- 일반적으로 상부면은 MSL(+3m), 하부면은 MSL(-5m)⁷⁷⁾



2 기준해안선(BCL)

- 1980년부터 1989년까지 10년 동안의 MCL(아래 그림⁷⁸⁾ 실선)로부터 구한 선형 경향선(점선)을 1990년 1월 1일까지 외삽하여 구한 위치를 연안방향으로 연결한 해안선이 기준해안선 BCL(Basal Coastline)임.
- 특정 해안의 양빈 여부 결정을 위해서 특정 연도의 TCL (Temporary Coastline)을 구할 경우에도 과거 10년 MCL 자료를 이용하여 외삽함.
- 백사장이 없는 방조제와 댐, 그리고 넓은 조간대가 발달한 바덴해에는 BCL을 설정하지 않음.
- 이와 같은 방법으로 BCL을 결정하기 위해서는 최소한 과거 10년 동안의 측량자료가 필요함.
- 네덜란드는 1850년대부터 전 해안 200-250m 간격으로 기준말목 RSP(Rijks Strnad Palen)을 박고 사구 기저부, 고조위와 저조위를 매년 측량하였으며⁷⁴⁾, 1963년부터는 RSP에서 바다 쪽으로 800m, 육지 쪽으로 200m까지의 단면을 측량함과 아울러 3년에 한 번은 바다 쪽 측량거리를 2-3km로 확장함. 또한 1994년부터는 육지부 측량에 항공 LiDAR를 이용하고 있음⁷⁹⁾.



⁷⁸⁾ van Koningsveld, M. and J.P.M. Mulder. 2004. Sustainable Coastal Policy Developments in the Netherlands. A Systematic Approach Revealed. J. Coastal Research, 20(2): 375-385.

⁷⁹⁾ van Heuvel, T., F. de Kruik and H. Ebbing. 1996. Coastline management from coastal monitoring to sand nourishment. RIKZ, Rijkswaterstaat, the Hague, The Netherlands.

A4.2 제1단계 (1991-2000) 성과

- 양빈용 모래는 수심 20 m 이상 혹은 해안으로부터 20 km 이상 떨어진 외해에서 채취하며⁷⁷⁾, 1991-2000년 동안 연평균 양빈체적과 비용은 각각 600만 m³, 2,700만€이었으며, 해안 및 연도별 양빈체적은 그림 A4.3과 같다.

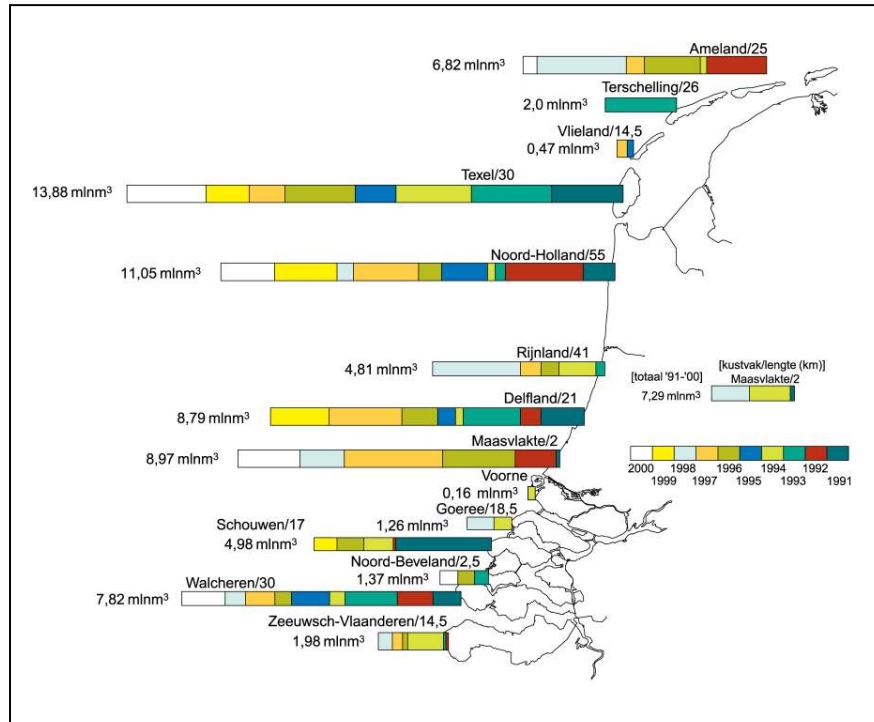


그림 A4.3 1991~2000년 동안의 해안별 · 연도별 양빈체적⁷⁶⁾



■ de Ruig(1995)⁸⁰⁾ 중간평가

-
- 1) 1990년 이후 네덜란드 해안의 구조적인 침식은 멈췄음.
 - 2) 네덜란드 해안 침식방지에 양빈이 효과적인 방법임이 입증되었음.
 - 3) 동적이고 자연적인 연안역 제 현상의 복원과 발전 가능성은 아직 충분히 활용되지 않았음.
 - 4) 연안역의 지속가능한 발전을 위해서는 해안선 보전을 지향하는 방법에서 관점을 보다 확장할 필요가 있음. 즉 해안선 관리보다는 연안역 관리가 바람직
-

■ Hillen & Roelse(1995)⁷⁴⁾ 중간평가

-
- 1) 동적인 네덜란드 해안에서 양빈은 방호 이외의 사구·사빈해안 기능을 이용할 수 있도록 하는 효과적인 방법임.
 - 2) 사구 기저부 전면의 완충대(그림 A2.5의 sand banquet) 양빈은 파랑에너지가 중간 정도이거나 해변 전면에 깊은 수로가 있을 경우에만 효과가 있음.
 - 3) 수십 년과 10 km에 이르는 보다 넓은 시공간 범위에서의 연안침식률은 연속적인 양빈에 의해 영향을 받지 않음. 그러나 각 양빈사업 개별규모에서는 양빈사 확산에 의해 양빈초기 침식이 증가함. 10개 양빈사업 평가결과, 초기침식증가 보상을 위해 초기양빈체적의 20%가 추가되었음.
 - 4) 경제적인 관점에서는 지속시간(lifetime) 10년 이상의 양빈보다는 5년 이하가 바람직. 그러나 생태 등 기타환경보전을 위해서는 교란저감 차원에서 지속시간을 길게 설계하는 것이 바람직할 수 있음.
 - 5) 양빈은 대상해안의 수리역학과 지형적인 조건을 고려하는 '맞춤형'이어야 함.
 - ① 돌제군이 설치된 해안에는 소규모 양빈 자주 시행
 - ② 모래 보지력이 약한 백사장 사구 기저부에는 완충대(banquet) 조성
 - ③ 파랑에너지가 높고 tidal inlet의 영향을 무시할 수 있는 해안에는 수중양빈
 - ④ 단기적인 지형변화영향을 예측할 수 없는 해안에는 소규모 양빈 자주 시행
 - 6) 개별사업의 양빈모래 채취와 투기가 미치는 생태학적 영향은 크지 않으며, 저서생물상은 수년 내에 복원되었음. 그러나 반복적인 양빈이 미치는 영향에 대해서는 알려진 것이 아직 부족하므로 지속적인 연구 필요
-

A4.3 제2단계 (2001-) : 시공간 관리범위 확장과 양빈체적 증가

- 제1단계 10년 동안 시행된 양빈의 가시적인 성과에도 불구하고 1965-1995년 동안 평균해면하 20m까지의 해역에서 모래가 연간 400만~1,000만 m³ 유실되었으며, 향후 100년간 20 cm의 해수면 상승에 의한 침식을 고려하면 연간 모래결손이 1,000만~1,600만 m³에 이를 것이라는 연구결과⁸¹⁾가 발표되자 네덜란드는 2001년부터 양빈체적을 연평균 1,200만 m³, 비용은 연평균 4,100만€로 증가시켰다(Box A4.2 참조).
- 한편 네덜란드 정부는 '델타위원회(Delta Committee)'에게 기후변화 장기적응대책 수립을 의뢰하였으며, 위원회는 급속한 기후변화에 대비하여 연간양빈체적을 4,000~8,500만 m³ 수준으로 증가시킬 것을 권고하였으며, 이에 4,000만 m³를 추가하면 향후 100년간 해안선이 1 km 전진할 것으로 전망하였다⁸²⁾.

⁸⁰⁾ de Ruig, J.H.M. 1995. DeKust in Breder Perspectief; Basisrapport Kustnota 1995. RIKZ report, The Hague. (in Dutch)

⁸¹⁾ Mulder, J.P.M. 2000. Zandverliezen in het Nederlandse kuststelsel; Advies voor Dynamisch Handhaven in de 21e eeuw. Report-2000.36, RIKZ (in Dutch).

A5. 일본

- 지리적으로 고과량과 쓰나미에 취약한 일본은 1954년 「해안법」을 제정하였으나 2차 세계대전 후 급속한 경제발전과 함께 해안침식이 심화되었다⁸³⁾.
 - ① 해안선 약 35,000 km, 국토면적 1 km²당 해안선 길이 91 m로 세계 2위
 - ② 사질·역질해안 후퇴율 16.8 cm/yr → 180년 후 백사장 완전 유실⁸⁴⁾
 - ③ 침식대책이 필요한 약 16,000 km 해안 중 9,400 km에 구조물 설치
 - ④ 1985년까지 제방, 호안, 돌제 등 선적방호(line defense) 중심이었으나 이후 양빈을 병행하는 면적방호(area defense)로 전환⁸⁵⁾
- 해안사업은 크게 4가지로 대별되며(그림 A5.1), 「해안법」에 따라 1970년부터 '해안정비사업'을 시행하고 있다(그림 A5.2).

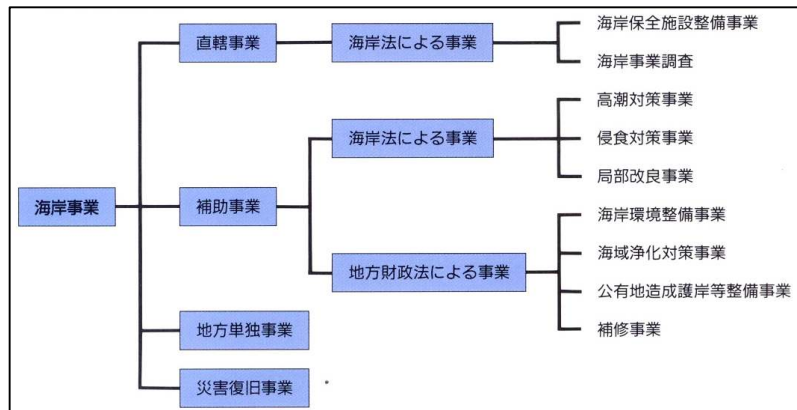


그림 A5.1 일본 해안사업 분류도⁸⁶⁾

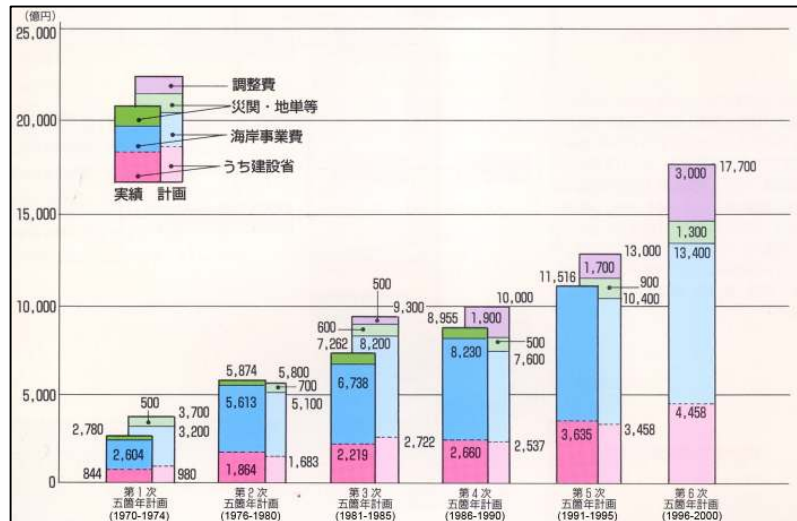


그림 A5.2 일본 해안정비5개년사업비 증액 추이⁸⁶⁾

82) Aarminkhof, S.G.J., J.A. van Dalfsen, J.P.M. Mulder and D. Rijks. 2010. Sustainable Development of Nourished Shorelines: Innovations in Project Design and Realisation. PIANC MMX Congress, Liverpool, UK.

83) Isobe, M. 1998. Toward integrated coastal zone management in Japan. ESENA Workshop, Tokyo, Japan.

84) Tanaka, S. et al. 1993. Changes in national coastline based on a comparative topographic maps. Papers on Coastal Eng., 40: 416-417.

85) http://www.mlit.go.jp/river/kaigan/main/kaigandukuri/pdf/02_01_2.pdf

86) 일본 건설성 하천국 방재·해안과 해안실. 1996. 我が國の海岸事業-21세기를 향한 풍요로운 해변의 창조

- 1998년, 선진국 가운데 가장 먼저 하천과 연안모래를 통합하여 관리하는 '종합 토사관리정책'을 채택하였으며,
- 1999년에는 방호 중심이었던 「해안법」의 목적을 '방호, 환경 및 이용의 조화'를 지향하는 방향으로 개정함으로써 해안침식·침수관리 선진국에 합류하였다.
- 한편 2008년 3월 내각 '종합해양정책본부'는 '해양기본계획'을 수립하였으며, 12 가지 정부시책 중 아홉 번째인 연안통합관리 분야의 최우선적 과제를 육역으로부터의 토사공급 감소에 따른 해안침식문제 해결로 선정하고, 이를 위해 연안육역과 해역을 통합·관리할 것을 목표로 삼았다⁸⁷⁾.

A5.1 수계일관토사관리정책

- 해안방호를 위해 수십 년 동안 투자하였음에도 경성구조물에 의한 2차 침식이 발생되고 무엇보다 댐, 보, 사방시설에 의해 하천으로부터의 모래공급량이 감소 되어 구조물에 의한 침식방지에는 한계가 있음을 인식한 건설성은 1998년 7월 하천과 연안의 모래를 통합하여 관리하는 '수계일관토사관리' 정책을 채택하고, 이를 통해 하천의 유사축진을 위해 사방시설을 슬릿형으로 개량하고, 하천모래를 이용한 침식해안 양빈을 적극적으로 시행하기 시작하였다⁸⁸⁾.
- 그림 A5.3은 돗토리현 가이케(皆生) 해안과 히노강(日野川)의 토사종합관리 사례로서 해안 주요단면에서의 모래이동률과 각 지천을 포함한 하천의 주요단면에서 해안에 도달할 수 있는 직경 0.1~0.2mm 모래의 연간유사량을 나타낸 것이다.

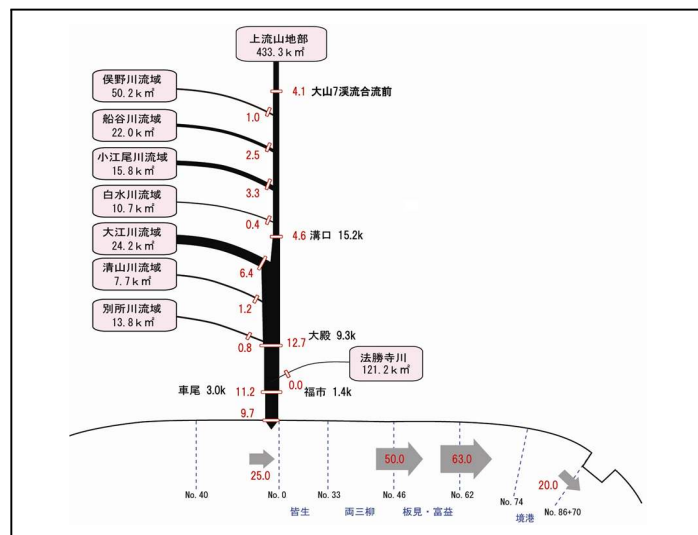


그림 A5.3 가이케 해안 연안표사율 및 하천 주요단면에서 해안 도달 가능 모래(직경 0.1-0.2mm) 유사율($\times 10^3 \text{m}^3/\text{yr}$)⁸⁸⁾

87) <http://www.kantei.go.jp/jp/singi/kaiyou/kihonkeikaku>

88) 山田浩次, 2007. 일본이 지향하는 해안보전(유계일관토사관리). 제1회 한일해안침식워크숍. 돗토리, 요나고.

A5.2 「해안법」 개정

- 건설성은 방호 중심의 지엽적 단위사업을 통한 해안보전에 한계가 있음을 인식함과 아울러 환경을 중시하는 세계적 흐름에 부응하고자 1999년 5월 「해안법」을 전면적으로 개정하였다(Box A5.1).
- 개정 「해안법」은 법의 목적을 방호 중심에서 방호·환경·이용의 균형으로 확장하였으며 해안방호시설 정의 조항에 침식대책으로 투입된 양빈모래를 해안보전 시설에 포함으로써 모래자원의 중요성을 강조하였다.
- 개정법의 핵심은 '해안정비기본계획'을 '해안보전기본계획'으로 확장한 것이다. 즉, 기존의 해안정비계획은 도도부현지사가 계획을 수립하여 중앙정부의 지원을 요청하는 체계였으나 개정법은 각 연안지자체가 확장된 법 목적 구현을 위하여 건설성, 농림수산성, 운수성 등 관계행정기관이 공동으로 수립한 '해안보전기본방침'에 따라 '해안보전기본계획'을 수립할 것을 규정하였다(그림 A5.4).
- 한편, 개정법은 '공공해안' 개념을 도입하여 「해안법」 관리해안을 14,000 km에서 28,000 km로 확대함과 아울러 지방분권화를 위해 기초지자체의 관리권한을 확대하였다(그림 A5.5).

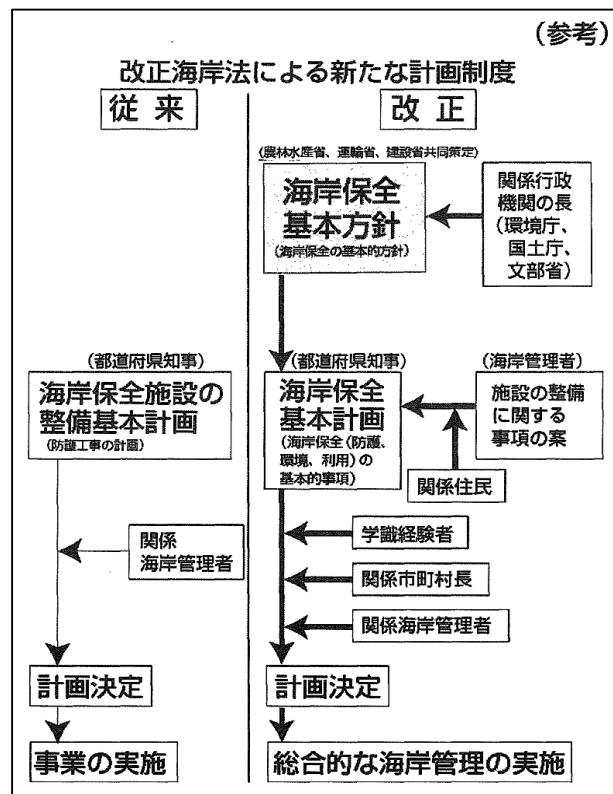


그림 A5.4 「해안법」 개정(1999. 5.28) 전후 해안관리체계 비교
(주무부처인 건설성은 '01년 1월 6일 운수성, 국토청, 홋카이도 개발청과 함께 국토교통성으로 통합)

Box A5.1 일본의 개정 「해안법」 주요 조항

제1조(목적) 이 법은 쓰나미, 폭풍해일, 고파 등 바다와 지반의 운동에 의한 피해로부터 해안을 보호함으로써 국토를 보전하고 해안환경을 개선·보전하며, 연안의 바람직한 공공이용을 촉진하는 데 도움을 주는 것을 목적으로 한다.

제2조(정의) 이 법에서 "해안보호시설"이라 함은 제3조에 따라 지정된 해안보전구역 내에 위치하고, 방조제, 호안, 돌제, 이안제 및 사빈(내습파랑 충격완화 등 해안보호기능을 유지하기 위해 연안관리자가 지정한 곳) 등 해수침입과 해수에 의한 침식방지를 위해 설계된 시설을 의미한다.

2. 이 법에서 "공공해안"이라 함은 중앙 또는 지방공공단체 소유지이고 공공목적에 의해 이용되고 있는 해안토지(지방공공단체 소유지이거나 공공목적으로 이용 중인 해안토지의 경우, 관련성청의 규정에 따라 도도부현지사가 지정, 고시한 토지에 한하며, 해안법 외의 법률에 의하여 관련성청이 특정시설관리자의 관리구역으로 지정한 토지는 제외함)와 해당 도도부현지사가 해당 해안토지와 불가분하여 함께 관리할 필요가 있다고 지정한 해역을 의미한다. "일반공공해안구역"이란 법 제3조에 의해 해안보전구역으로 지정된 구역 외의 공공해안을 의미한다. (제3항 생략)

제2-2조(해안보전기본방침) 주무성청 대신은 해안보전구역 등에서의 해안보전을 위한 기본방침을 수립하여야 한다.

2. 해안보전기본방침 수립에 앞서 주무성 대신은 관계행정기관의 장과 협의하여야 한다. (제3,4항 생략)

제2-3조(해안보전기본계획) 도도부현지사는 해안보전기본방침에 따라 해안보전구역 등에서의 해안보전을 위하여 해안보전기본계획을 수립하여야 한다.

2. 필요한 경우, 도도부현지사는 해안보전기본계획 수립에 앞서 학문적인 전문가와 협의하여야 한다.

3. 도도부현지사는 해안보전기본계획 수립에 앞서 관련지방자치단체 시정촌장 및 연안관리자와 협의하여야 한다. (제4-7항 생략)

제3조(해안보전구역의 지정) 1. 도도부현지사는 해수 혹은 지반 운동에 의한 피해로부터 보호하기 위해 해안 보호시설의 설치 등의 관리가 필요하다고 인정되는 해안을 해안보전구역으로 지정할 수 있다. (후략: 하천법, 산림법 등에 의한 지정불가지역 명시)

2. 1항의 규정에도 불구하고 해안보호의 목적을 위해 필요할 경우에는 도도부현지사가 농림수산상과 협의 후 보호산림의 전체 또는 일부, 또는 보호시설을 해안보전구역으로 지정할 수 있다.

3. 1항과 2항에 따른 지정은 이 법의 목적을 달성하기에 필요한 최소한의 지역에만 시행되어야 하며, 춘분 일 고조 정선으로부터 육지 쪽 50 m, 바다 쪽 50 m를 초과하지 않도록 한다. 다만, 지형, 지질, 조위 및 조류 등의 인자에 의해 불가피한 경우는 50 m 한계를 초과할 수 있다.

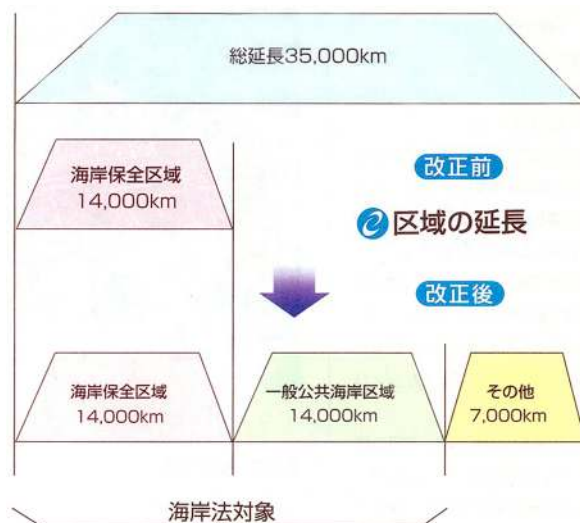


그림 A5.5 1999년 개정에 따른 「해안법」 관리해안 확장⁸⁹⁾

⁸⁹⁾ (사)전국해안협회. 새로운 해안제도의 스타트 (pamphlet)

A5.3 해안보전기본방침

- 「해안법」 개정 1년 후인 2000년 5월 건설성은 유관부처 합동으로 수립한 '해안보전기본방침'을 고시하였다.
- 해안침식과 관련하여서는 지엽적 대응을 지양하고 표사계 전체를 고려해야 하며 양빈 및 복합공법(양빈+구조물)을 권장하는 것을 기본사항으로 삼았으며,
- '해안보전계획' 수립 시 장기목표를 설정하고 안전수준과 방호목표를 정량화하며, 목표달성수단을 구체적으로 명시할 것을 규정하였다.

Box A5.2 일본의 '해안보전기본방침' 중 해안침식 관련내용

<p>I. 해안보전 기본방침</p> <p>1. 해안보전 기본목표 해안보전의 기본목표는 "아름답고, 안전하고, 생기 있는 해안"을 후손에게 공공재산으로 물려주는 것이다.</p> <p>2. 해안보전 기본사항 특히 안전뿐 아니라 환경과 이용 목적을 위한 높은 질의 공간 기능을 갖는 백사장을 보전하는 노력을 기울여야 한다.</p> <p>(1) 해안방호 기본사항 침식이 진행 중인 해안의 경우, 기본목표는 해안선을 보존하는 것이며, 필요할 경우에는 복원하는 것이 다음 목표이다. 연안표사의 연속성으로 인해 이 목표를 달성하기 위한 방법은 침식이 진행 중인 지역뿐 아니라 전체 표사계의 퇴적물 수지를 고려하면서 적절하게 설계되어야 한다.</p> <p>(2) 연안환경 창출 및 개선을 위한 기본사항 해안보호시설 설계 시 연안환경보전을 충분히 고려하여야 한다. 바람직한 연안환경 창출을 위해 필요한 경우에는 양빈과 식재와 같은 방법을 채택하여야 한다.</p> <p>(3) 해안의 공공이용을 위한 기본사항 시민의 접근이 불가능한 해안의 경우, 환경보전을 고려하면서 해당 백사장 접근이 가능하도록 해야 한다.</p> <p>(4) 해안보호시설 설치와 개선을 위한 기본사항</p> <p>(a) 안전한 해안 방호가 필요한 해안을 위한 시설의 체계적인 개선이 지속되어야 한다. 해안선에 단지 제방이나 콘크리트블록을 설치하는 선적방호공법에서 외해 시설과 백사장 및 해안구조물에 기타 시설을 추가하는 복합방호공법으로 전환하기 위해 많은 노력을 기울여야 한다. 복합공법은 방호뿐 아니라 친환경성과 이용 측면에서도 유리하다. 시설을 설치하고 개선하는 것뿐 아니라 퇴적지의 모래를 침식지로 옮기는 등 구조물을 사용하지 않는 방법을 침식대책에 포함하여야 한다.</p> <p>(b) 자연이 풍부한 해안 백사장은 재난방지에 기여하며 백사청송 같은 해안경관에 중요한 요소이다. 또한 백사장은 인간이 바다와 만날 수 있게 하고, 해수를 정화하며, 다양한 생물의 서식처를 제공한다. 따라서 백사장을 보존하고 보호하기 위한 새로운 노력을 기울여야 한다. 시설을 설치, 개선함에 있어서 조간대, 해초장을 포함한 자연환경보존에 주의함으로써 질 높은 자연경관이 훼손되지 않고 연안생물의 서식처와 산란장이 파괴되지 않도록 한다. 환경영향을 고려하면서 이안제, 잠제, 인공리프 등 다양한 생물의 서식처를 제공할 수 있는 시설을 설치하여야 한다.</p> <p>(c) 친수성 해안 특히 제방과 같은 구조물은, 계단을 추가하거나 계단형 혹은 경사식 호안을 채택하여 백사장을 단절시키지 않도록 설계해야 한다.</p> <p>(5) 해안보전관련 기타 중요 고려사항</p> <p>(a) 광범위하고 종합적인 시행 대책 해안침식은 공급과 유출의 불균형에 기인한다. 이 문제를 효과적으로 대처하기 위해서는 연안지형을 모니터링하고 연안표사 균형을 이루는 연안시설을 고안하는 것이 필요하다. 적절한 양의 토사가 연안으로 공급될 수 있도록 종합적인 하천토사관리와 연계시키는 등 해당관청과의 협조를 통하여 광범위하고 종합적인 대책을 마련해야 한다.</p>

Box A5.3 일본의 '해안보전기본방침' 중 '해안보전기본계획' 관련내용**Ⅲ. 해안보전기본계획 기본사항****1. 기본사항****(a) 해안보전 기본사항**

- ① 해안의 현황과 장래 보전방향
자연, 사회 및 기타 특성을 고려하여 연안역의 장기목표를 설정하여야 한다.
- ② 해안방호
방호대상 영역, 달성할 안전수준 등 방호목표, 목표를 달성하기 위한 수단을 명시하여야 한다.
- ③ 해안환경 개선 및 보전
해안환경을 개선 및 보전하기 위한 구체적인 수단을 명시하여야 한다.
- ④ 공공이용
해안의 공공이용을 장려하기 위한 방법을 명시하여야 한다.

(b) 해안방호시설 설치와 개선 기본사항

- ① 해안방호시설의 설치위치
일련의 해안방호시설이 설치될 위치를 지정한다.
- ② 해안방호시설의 형식, 규모 및 배치 등
①에서 지정한 각 위치의 해안방호시설의 형식, 규모, 배치 등을 명시한다.
- ③ 해안방호시설 수해지역과 수해지역 상황
해안방호시설 설치, 개선으로 쓰나미, 폭풍해일 및 해안침식 등으로부터 보호되는 지역과, 토지이용현황 등 해당지역의 상황을 기술하여야 한다.

2. 중요 고려사항**(a) 관련계획과의 일관성**

해안보전기본계획은, 토지이용·개발·보전계획, 환경보전계획 및 지역계획 등 관련계획과 일관성을 유지해야 한다.

(b) 관련행정기관과의 공조

해안보전기본계획은 해안관련 행정기관과 밀접하고 충분한 협의를 거쳐 수립해야 한다.

(c) 지역주민 참여와 정보공개

계획수립단계뿐 아니라 시행단계에서도 지역주민을 적절하게 참여시킴으로써 계획이 효과적이고 효율적으로 시행될 수 있도록 한다. 계획단계부터 계획시행으로 달성할 방호수준, 환경의 질 및 공공이용 정보 등 해안관련정보를 요구하는 대로 공개하여 사업 투명성을 높여야 한다.

(d) 계획의 검토

지역조건과 사회경제적 조건의 변화를 고려하여 해안방호시설의 기본 및 세부사항 등 계획의 내용을 검토하여야 한다.

A6. 호주

- 해안선 연장이 35,000 km이며, 약 2,000만 인구의 85%가 해안선으로부터 50 km 이내에 거주하는⁹⁰⁾ 호주는 대표적인 연안역 의존국가이다.

해안은 지질·지형 및 파랑·조석조건에 따라 4개 구간으로 구분되며(그림 A6.1, 표 A6.1), 각 구간이 고유한 가치와 기능을 갖는다. 한편, 약 10,000개 백사장 총 연장이 전체 해안선의 약 반을 차지한다.

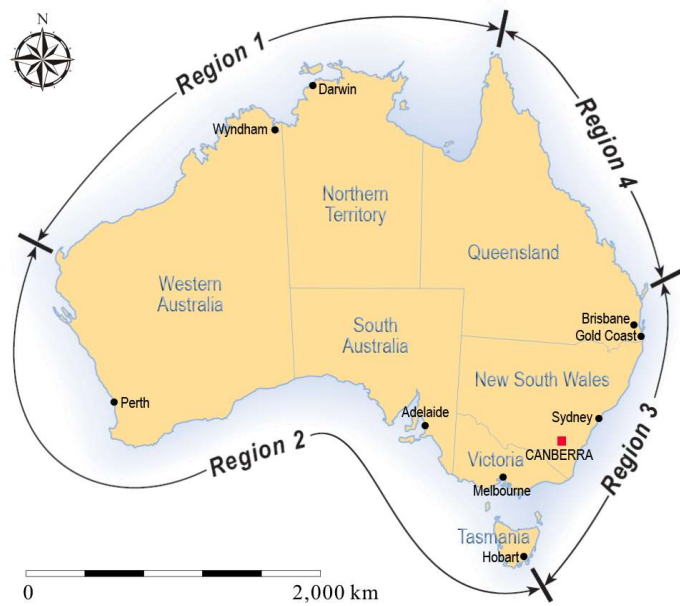


그림 A6.1 지형·수리조건에 따른 호주 해안선 4개 구간⁹⁰⁾

표 A6.1 호주 해안 구간별 특성⁹⁰⁾

구간	특징
1. 니질·니사질 북해안	<ul style="list-style-type: none"> ■ 니질 대조차 해안 : Wyndham~Darwin 해안의 조차 약 9 m⁹¹⁾ ■ 태풍(Cyclone)의 영향을 받음.
2. 석회암질 남·서해안	<ul style="list-style-type: none"> ■ 조차가 작고 고파랑과 강풍의 영향을 크게 받는 파랑우세해안 ■ 석회암 해안
3. 만곡형 동남해안	<ul style="list-style-type: none"> ■ 조차가 작고 파랑에너지는 중간정도 ■ 규질(quartz) 백사장 발달 ■ 만곡형 해안 및 소규모 반폐쇄형 만 발달
4. 방호초 동북해안	<ul style="list-style-type: none"> ■ 대보초(Great Barrier Reef) 발달 ■ 배후 육역은 저지대 암반지역

⁹⁰⁾ Department of Climate Change. 2009. Climate Change Risks to Australia's Coast - A First Pass National Assessment. Australia.

⁹¹⁾ http://www.cmar.csiro.au/datacentre/cmar_public/ocean_2004/maps/northern/max_tide.jpg

- 호주 광역지자체는 해안침식 영향 정도에 따라 관련법·제도가 다양한 반면, 미국의 경우와 같이 주목할 만한 연방 관련법 및 지원 프로그램은 없었다. 그러나 연안의존성이 높은 국가적 특성에 비추어 연안역 기후변화적응이 매우 중요함을 인식하여 2000년대 말부터 연방정부차원의 적응관련 포럼과 연구가 활성화되기 시작하였다.
- 최근까지의 진행된 기후변화적응 성과와 관련법·제도가 가장 선진화된 퀸즐랜드주의 해안침식관리 사례를 살펴본다.

A6.1 연방정부 기후변화적응

- 기후변화적응 및 에너지문제 해결을 위한 호주 연방부처(DCC)는 2007년 출범하였으며⁹²⁾, 연안기후변화적응 최우선 과제로서 핵심 분야별 및 지역별 위험도 1차평가를 2009년 완료하였으며⁹⁰⁾, 주요 내용은 다음 4가지로 구성된다.
 - ① 국가적으로 중요한 호주 연안에 미치는 기후변화영향을 연안 주거지역과 생태계를 중심으로 일차평가
 - ② 기후변화에 따른 고위험도 지역 파악
 - ③ 연안역 기후변화 악영향의 효과적 최소화 저해요소 파악
 - ④ 기후변화기인 연안역 위험도 적응을 위한 우선분야 선정
- 1차평가에 따르면, 해수면상승과 피해정도의 관계는 비선형성이 높으며(그림 A6.2), IPCC 4차 보고서는 2100년 해수면 최대 상승치를 79 cm로 전망하였으나 최근 연구결과에 따르면 이 보다 상회할 가능성이 매우 높음을 반영하여 해수면 1.1 m 상승을 가정하여 산정한 결과, 연안 주거용 건물 157,000~247,600 채가 침수되며(그림 A6.3) 건물 피해액만 630억\$에 달하였다⁹³⁾.

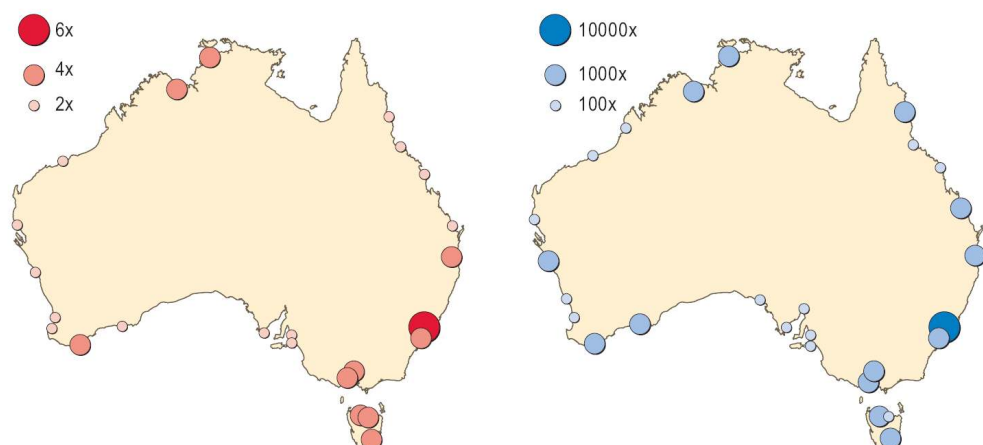


그림 A6.2 현상태 대비 해수면 10cm(좌) 및 50cm(우) 상승에 따른 고극수위(extreme sea level) 발생빈도 증가⁹⁰⁾

⁹²⁾ Department of Climate Change and Energy Efficiency <http://www.climatechange.gov.au/about.aspx>

⁹³⁾ Church et al. 2008. Sea-level rise. ACE CRC, Position Analysis: Climate changes, sea-level rise and extreme events: Impacts and adaptation issues.

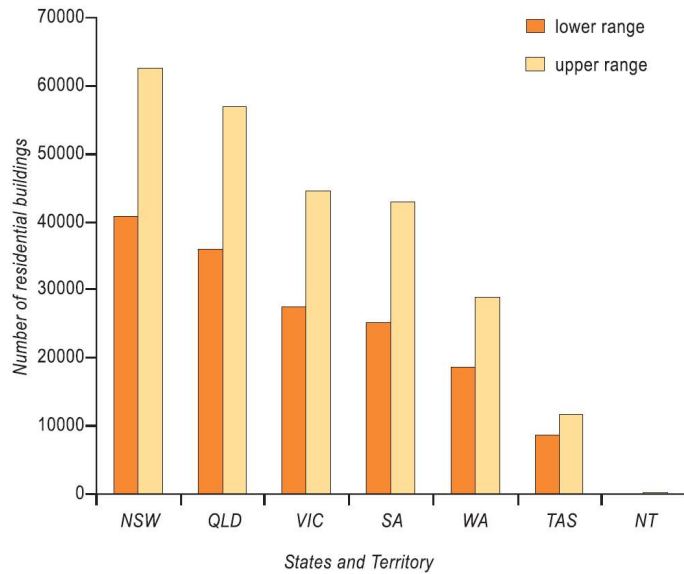


그림 A6.3 해수면 1.1 m 상승 시 침수가옥 수 (New South Wales, Victoria, Tasmania는 고조폭풍 내습, 다른 주는 고조 시)⁹⁰⁾

- 1차평가는, 이미 관련보험료가 3배 상승하거나 보험가입이 불가능한 경우도 발생하고 있으므로 ① 피해액은 기후변화적응 조치가 빠른 만큼 감소될 것이며, ② 향후 개발사업이나 분석이 미진한 진행사업의 경우 기후변화영향을 고려한 비용/편익분석을 심도 있게 수행함과 아울러 위험도가 높은 해안에서의 건물신축을 규제하여야 하며, ③ 지자체 위험도를 일차보다 상세하게 평가하여 토지이용계획 등에 반영하여야 하며, ④ 효율적인 적응을 위하여 연방정부에서 개인에 이르는 모든 이해당사자가 참여하여야 함을 지적하였다.
- 한편 DCC는 2009년 말 관련단체 및 이해당사자들과 연계하여 핵심적인 관련정책을 연방에 자문하는 것이 임무인 '연안·기후변화위원회'⁹⁴⁾를 구성하였으며, 위원회는 다음 사항을 연방에 권고하였다⁹⁵⁾.
 - ① 연방정부는 연안역 웰빙을 지속적으로 보장하기 위하여 기후변화기인 단기·중기·장기 위험도에 대처하기 위한 10년 단위 국가의제(national agenda)를 시급히 정의하고 그 후속조치를 시행할 것
 - ② 과학과 정보에 기반한 의사결정을 선도하기 위하여 위험도평가 국가기준을 수립하고, 국가적 일관성을 향상시킴과 아울러 법적 위험도를 경감하기 위해 관련법을 개정하며, 관련법에는 재산권자와 경제활동을 포함한 지역공동체에 미치는 기후변화 악영향 대응의 선봉인 지자체에 대한 기술지원 조항을 포함할 것
 - ③ 연방정부, 광역 및 기초지자체 관련기관 간 공조 필요성을 인식하고, 성과를 공유할 것. 이를 이행함에 있어 국가경제 개선, 사회적 형평성, 지역개발 및 인구 지속성 등을 고려하여 지역연안 기후적응을 조절할 것

⁹⁴⁾ Coastal and Climate Change Council

⁹⁵⁾ <http://www.climatechange.gov.au/government/initiatives/australias-coasts-and-climate-change/adapting/coasts-and-climate-change-council.aspx>

- 현재까지의 연방정부 기후변화적응 성과 중 특별히 주목할 사항은 GIS 기반 해안지질·지형정보체계인 "smartline"의 구축이다⁹⁶⁾. DCC는 연방기관 'Geoscience Australia'와 공동으로 기후변화에 의한 연안취약성 평가를 주도하면서 취약성 mapping 시스템 구축 용역(2007-2009)을 관련분야에서 가시적 관련성과를 보인 바 있는 Tasmania 대학에 위탁하였다.

Smartline은 산재된 기존정보를 수집하고 인공위성영상 분석을 추가하여 구축되었으며, 기존의 해안선관련 정보체계와의 차별성은 해안선 위치 등 지리·지형 정보뿐 아니라 지층 정보와 폭풍파와 해수면 상승시의 안정성 정보를 포함한 것으로서(그림 A6.4, A6.5). 이는 기후변화를 고려한 지자체의 토지이용계획 수립에 매우 유용하다. 한편 이는 전술한 영국과 유럽의 연안거동체계(표 A2.6) 개념을 진일보시킨 보다 세분화된 정보체계로 간주할 수 있다.

'National Coastal Geomorphic Mapping Tool' 혹은 'Coastal Erosion Mapping Tool'이라고 불리는 Smartline은 2009년 5월부터 인터넷으로 자료를 제공하고 있다(그림 A6.6).

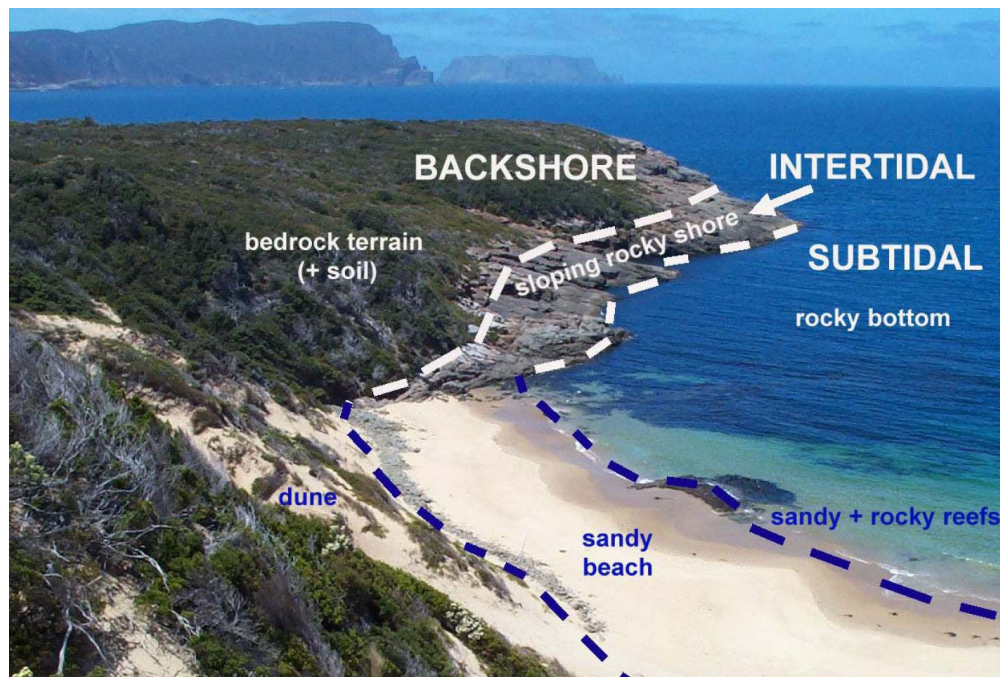


그림 A6.4 Smarline의 해안선 묘사 예⁹⁷⁾

⁹⁶⁾ Sharples, C. et al. 2009. The Australian Coastal Smartline Geomorphic and Stability Map Version 1: Project Report. School of Geography & Environmental Science (Spatial Sciences), University of Tasmania.

⁹⁷⁾ Sharples, C. et al. 2009. The Australian Coastal Smartline Geomorphic and Stability Map Version 1: Manual and Data Dictionary. School of Geography & Environmental Science (Spatial Sciences), University of Tasmania.

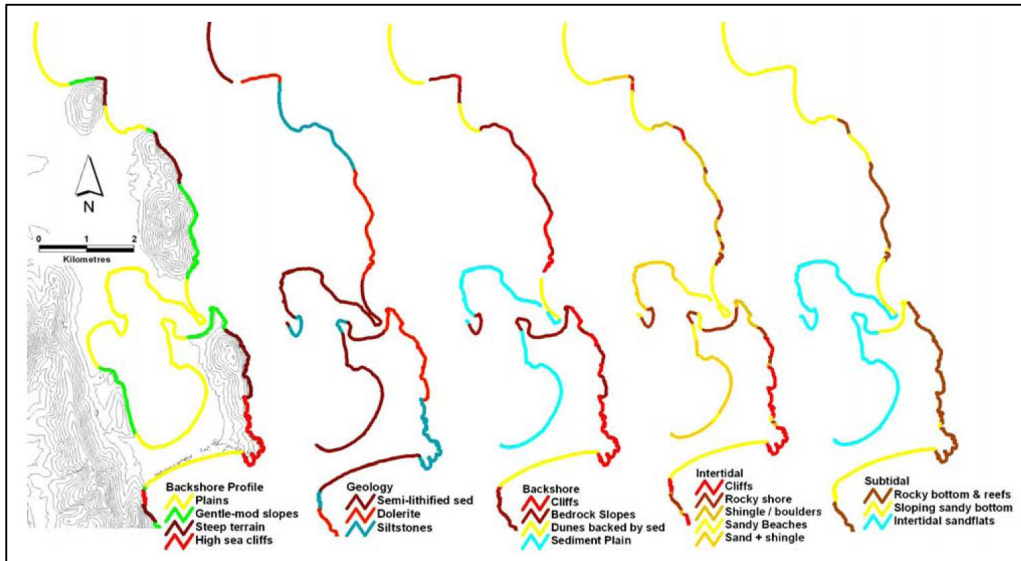


그림 A6.5 Smartline의 지도포맷 예⁹⁷⁾



그림 A6.6 Smartline 제공 사이트 <http://www.ozcoasts.org.au/coastal/smartline.jsp>

- 한편 연방정부는, 건강하고 보다 바람직하게 보호·관리되며, 회복탄력성을 유지함과 아울러 기후변화 중에도 필수적인 생태환경을 제공하는 환경을 유지하기 위하여 기초지자체를 지원⁹⁸⁾하는 5년 단위 프로그램인 'Caring for Our Country'를 2개 부처⁹⁹⁾가 주관하여 2008년부터 시행하고 있으며, 1차(2008-2013) 지원액 중 연안분야에 3.25억\$이 배정되었다¹⁰⁰⁾.

98) 5개 지원분야 : ① the National Reserve System ② biodiversity and natural icon ③ coastal environments and critical aquatic habitats ④ sustainable farm practices ⑤ natural resources management in northern and remote Australia ⑥ community skills, knowledge and engagement <http://www.nrm.gov.au/about/caring/index.html>

99) Department of the Environment, Heritage and Arts, Department of Agriculture, Fishery and Forestry

100) <http://www.climatechange.gov.au/government/initiatives/caring-for-coasts.aspx>

A6.2 퀸즐랜드 연안침식관리

- 퀸즐랜드 해안선 연장은 9,500 km이며, 연안역에 3개¹⁰¹⁾ 세계자연유산이 포함되어 있다. 인구 457만명¹⁰²⁾의 87%가 연안역에 거주하며¹⁰³⁾, 선샤인해안, 골드코스트해안 등 세계적으로 유명한 백사장이 발달되어 연안관광수입의 경제 기여도가 매우 높다. 골드코스트시의 경우, 일평균 방문객 28,900명의 92%가 외국인이며, 연간관광수입이 40억불이다¹⁸⁶⁾.

(1) 관련법 진화

- 연안의 중요성이 지대함에 따라 효율적인 연안관리를 위해서는 관련법 제정이 필요함을 퀸즐랜드는 오래전부터 인식하였으며, 이에 1955년 「항만법(Harbours Act)」, 1958년 「수로법(Canals Act)」을 제정하였다. 특히, 1968년에 제정한 「해빈보호법 Beach Protection Act(BPA)」은 1971년 플로리다를 시작으로 미국에서 활성화된 '연안건설후퇴선'과 유사한 개념인 '침식취약지구(Erosion Prone Area, (6)항 참조)'를 이미 포함하고 있다.
- 연안관련기관의 통합¹⁰⁴⁾ 이후 보다 포괄적인 접근이 필요하며, 21세기의 효과적인 연안관리를 위해서는 관련기관 간 공조에 바탕을 두는 연안통합관리를 이행하기 위한 새로운 관리체계가 요구됨을 인식한 주 정부는 관련연구에 착수하여 '연안보호전략-퀸즐랜드 연안관리를 위한 제안'이라는 녹색(green paper)을 1991년에 발간하였다¹⁰⁵⁾.

녹서는 미래지향적인 연안계획 수립을 위한 주정부, 지자체 및 연안공동체 간 공조와 관련법 제정 등을 포함하는 전략을 제안하였다. 이에 따라 「연안보호·관리법(Coastal Protection and Management Act, 호주에서는 '연안법'으로 약칭함. 이하 CPMA)」이 1995년에 제정되었으며, 2003년에 수로법과 항만법 및 해빈보호법의 평가·승인 규정을 수용하기 위해 개정되었다. CPMA가 퀸즐랜드주 연안관리의 근간이다.

- 그러나 CPMA는, BPA에 포함되어 있던 '연안관리·규제구역', '연안관리계획', '침식취약지구', '연안건축선', 그리고 '주총독의 해안토지 무상수용조건'과 관련한 조항들을 모두 계승하고 있다. 이는 퀸즐랜드 연안통합관리법 CPMA의 토대는 해안침식관리법인 BPA임을 의미한다.
- 한편, 해안침식관리 부분을 제외한 CPMA의 법률구조와 '주연안관리계획' 및 '연안관리지역계획' 관련내용은 우리의 「연안관리법」과 유사하므로 현재 진행 중인 퀸즐랜드 '연안관리계획'의 수정과정을 주시하여 참고할 필요가 있다.

101) Wet Tropics, Great Barrier Reef, Fraser Island

102) <http://www.oesr.qld.gov.au/products/briefs/aust-demographic-stats/qld-pop-counter.php>

103) http://www.derm.qld.gov.au/environmental_management/coast_and_oceans/coastal_management/index.html

104) Department of Environment and Heritage (Environmental Protection Agency로 변경 후 EPA와 Natural Resource and Water가 통합하여 현재 Department of Environment and Resource Management)

105) Edmonton, T. 2007. Queensland's coastal Management planning. Proc. of the Queensland Coastal Conference 2007.

(2) 연안보호·관리법

- CPMA(Box A6.1)는 목적에서 알 수 있는 바와 같이 모든 연안자원과 생태계가 대상이며, 관련분야와의 업무조정을 기초로 한 연안통합관리법이다.
- CPMA에는 세 가지 특징적인 조항이 있다. 그 첫째는 목적과 이행방법에서 타 법률과의 공조를 강조한 것이다. 연안통합관리는 분야 간 공조와 업무조정이 필수적이나 연안통합관리 개념이 1990년대에 등장하였기 때문에 **선행 법률에 의한 연안훼손을 효과적으로 관리할 수 없음이 현실적인 한계임을 감안할 때 바람직한 조항이다.**

Box A6.1 호주 「연안보호·관리법」 주요내용

<p>Chapter 1 Preliminary</p> <p>Part 2 목적과 연안관리구현 Objectives and Achievement of Coastal Management</p> <p>3 목적 이 법의 주요목적은 다음과 같다.</p> <p>(a) 자원과 종 다양성을 포함한 연안역의 보호, 보전, 복원 및 관리</p> <p>(b) 연안이용 시 '생태적으로 지속가능한 발전을 위한 국가전략'의 목적, 핵심 세부목표 및 원칙 유념</p> <p>(c) 타 관계법과 연계하여 조정·통합된 관리 및 생태적으로 지속가능한 연안발전을 위한 행정체계 제공</p> <p>(d) 연안자원과 연안역에 영향을 미치는 인간 활동에 대한 지식 향상 고취</p> <p>4 연안관리 이행방법 연안은 다음 사항을 포함하여 조정·통합된 계획과 의사결정을 통하여 관리되어야 한다.</p> <p>(a) 연안관리계획 다음 사항을 만족하는 연안관리계획 수립</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 연안관리원칙과 정책 포함 ■ 중요 구간 및 자원의 장기적인 보호 또는 관리계획 수립 ■ 원주민 전통 유념 <p>(b) 연안관리구역 개발 조절 및 관리가 특별히 필요한 연안역을 연안관리구역(coastal management district)으로 지정</p> <p>(c) 타 법률 이용 이 법의 목적 구현에 도움이 될 수 있는 타 법률 적용을 권장함.</p> <p>Chapter 2 연안관리</p> <p>Part 1 자문조직</p> <p>Division 1 연안보호자문위원회 Coastal Protection Advisory Council</p> <p>20 설립 연안보호자문위원회를 설립한다.</p> <p>21 자문위원회 기능</p> <p>(1) 자문위원회의 기능은 다음 사항을 포함한 연안관리에 대해 장관¹⁰⁶에게 자문하는 것이다.</p> <p>(a) 특별관리가 필요한 연안역</p> <p>(b) 연안계획들과 주 기관 또는 기초지자체가 연안역에 대해 수립한 다른 계획 간의 관계</p> <p>(c) 연안관리를 위한 적절한 보호·개선수단</p> <p>(d) 연안관리기술을 필요로 하는 기초지자체 및 기타 관리기관 지원</p> <p>(e) 연안관리를 위한 시민 및 공동체 프로그램 개발</p> <p>(f) 연안관련지식 향상 및 연안관리정보 확산을 위한 연구</p> <p>(g) 연안관리계획 접수</p> <p>(2) (1)(c)의 수단은 다음과 관련이 있을 수 있다.</p> <p>(a) 연안역에 수용할 수 없는 영향을 미치는 것을 방지</p> <p>(b) 침식·침수에 의한 재산피해 경감</p>

¹⁰⁶ 연안법 주관부처는 Department of Environment and Resources Management(DERM)이며, DERM에는 천연자원, 광물 및 에너지 담당 장관과 기후변화 및 지속가능성 담당 장관이 있음. 후자가 연안법 주무장관
<http://www.derm.gov.au/about/gorganisation/ministers.html> <http://www.derm.gov.au/about/legislationpolicy/legislation/act.html>

(3) 위원회는 기능을 이행하면서 가능한 한 다음 사항을 수행하여야 한다.

- (a) 연안관리의 통합 상황 모니터
- (b) 토착원주민 전통과 풍습 유념
- (c) 토착원주민과의 공조
- (d) 연안토지관련 사용권, 이해관계 및 권리 유념

22 위원회 회원

- (1) 위원회는 장관이 임명하는 관리책임자(chief executive)를 포함한 12명의 회원으로 구성된다.
- (2) 임명된 위원에는 연안관리의 지식과 경험이 인정된 단체의 대표자들을 포함하여야 한다.

23 위원장

관리책임자가 위원회의 위원장을 맡는다.

Part 2 연안관리계획

Division 1 州연안관리계획 State Coastal Management Plan

30 계획수립 장관은 연안역을 위해 州연안관리계획을 수립하여야 한다.

31 州계획의 내용

- (1) 州계획은 연안역의 관리방안을 포함하여야 한다.
- (2) 연안접근성을 반드시 고려하여야 한다.
- (3) 다음 사항을 포함할 수 있다.
 - (a) 연안역과 관련 지정구역의 관리원칙과 정책
 - (b) 연안자원정보를 제공하는 지도

Division 2 연안관리지역계획 Regional Coastal Management Plan

35 계획수립 장관은 실무적으로 가능한 빠른 기간 내에 연안관리지역계획을 수립하여야 한다.

36 지역계획의 내용

- (1) 지역계획은 해당지역의 관리방법을 포함하고 연안관리구역을 지정하여야 한다.
- (2) 지역계획은 다음 사항을 포함할 수 있다.
 - (a) 관리원칙, 정책 또는 규제
 - (b) 기초지자체, 항만관련기관 또는 기타 법정기관이 시행하는 연안관리관련 공사의 공법
 - (c) 특별관리가 필요한 구간
 - (d) 연안자원 정보를 제공하는 지도

Division 3 연안계획 개정 검토 Review of Coastal Plan

42 장관은 각 연안계획을 착수 7년 이내에 검토하여야 한다¹⁰⁷.

Part 3 연안관리구역 Coastal Management Districts

Division 1 연안관리구역의 지정·수정·병합·폐지

54 연안관리구역 지정

- (1) 다음에 의해 특정구역을 연안관리구역으로 지정할 수 있다.
 - (a) 지역계획에 포함되고 지역계획에 규제조항이 있을 경우
 - (b) 지역계획에 포함되지 않았지만 장관이 보호, 관리, 규제가 필요하다고 인정할 경우
- (2) 보호 또는 관리가 시급한 경우에는 장관이 서면으로 통지할 수 있다.
- (3) 이 서면통지는 법적효력을 갖으며 사전에 폐지하지 않으면 6개월간 지속된다.

55 지정가능구역

- (1) 연안관리구역은 다음 영역에 지정될 수 있다.
 - (a) 연안수역 전체
 - (b) 고조선과 저조선 사이 및 고조선으로부터 육지방향으로 최대 400 m까지
 - (c) 하구와 하구역 삼각주의 경우 고조선에서 육지방향으로 최대 1,000 m까지
 - (d) 감조하천, 염호(saltwater lake)의 경우 고조선에서 육지방향으로 최대 100 m까지
 - (e) 연안해역 내 도서
- (2) 그 외 연안습지, 사구체계 혹은 기타 중요지역의 경우 해당 지역으로부터 100 m까지

¹⁰⁷ 계획은 의견수렴, 수렴된 의견을 반영한 초안 수립, 초안 공시 및 공공검토 과정을 통해 수정됨

56 지정 시 고려사항 연안관리구역 지정 이전에 다음 사항을 고려하여야 한다.

- (a) 해수 혹은 바람에 의한 침식취약성
- (b) 연안 혹은 연안자원 유지 또는 개선을 위해 미개발 상태로 유지되어야만 하는지 여부
- (c) 시민의 연안접근성
- (d) 예상할 수 있는 인간 활동에 의한 피해와 자연재해
- (e) 토지 사용권, 이해관계, 기타 권리의 유무
- (f) 원주민 풍습
- (d) 관련계획과 개발관리

Division 3 연안관리구역 일반규정

66 연안건축선 Coastal Building Line

- (1) 관계법(Planning Act)에 신청된 건축 계획 평가 시 연안관리구역을 지정한 규정이나 고시에 따라 건축선을 지정할 수 있다.
- (2) 그러나 고시는 해당 연안관리구역을 지정하는 고시일 경우만 유효하다.

Part 4 침식취약구역 Erosion prone areas

70 침식취약지구의 지정

- (1) 관리책임자는 연안역 내 특정구역이 침식이나 침수에 취약할 경우 침식취약지구로 지정할 수 있다.

Part 6 평가대상개발 승인 Development Approvals for Assessable Development

Division 3 토지이양조건 Land Surrender Conditions

Subdivision 1 Preliminary L

109 적용범위 본 조건은 연안관리구역에 전체 혹은 일부가 포함되는 토지의 재설정(Reconfiguration)¹⁰⁸ 신청 시에 적용한다.

Subdivision 2 토지이양 Land Surrender

110 주 총독은 토지이양조건 포함을 승인할 수 있다

- (1) 114조에 해당하지 않는 경우, 관리책임자는 연안관리구역 내의 토지 일부를 연안관리를 위해 주에 이양해야만 하는 조건(토지이양조건)을 포함할 수 있다.
- (2) 단, (1)에 의해 연안관리를 위해 이양이 요구되는 토지는 다음의 경우에 한한다.
 - (a) 해당 토지가 연안관리를 위해 이행되어야 한다고 관리책임자가 인정할 때
 - (b) 토지가 (i)침식취약지구 내에 있거나 (ii)전반으로 40m 이내에 위치하고 (iii) 주 총독이 토지이양조건을 승인할 때

114 토지이양조건이 포함되지 않을 경우

다음의 경우에는 관리책임자가 토지이양조건을 포함할 수 없다.

- (a) 신청 토지가
 - (i) 개발신청 심사를 받은 다른 토지의 일부였거나
 - (ii) Local Government (Planning and Environment) Act(1990)에 따라 구획재정리(rezone)을 위한 신청서를 제출한 적이 있는 다른 토지의 일부였을 때
- (b) 이법의 토지이양조건 혹은 해변보호법 41C(6)항 및 45(7)항에 따라 이양된 토지의 일부일 때

115 토지이양조건관련 기타사항

- (1) 토지이양조건에 따른 보상금은 없다.
- (2) Planning Act 461(1)(b)항에도 불구하고 개발신청자는 토지이양조건에 불복하여 법정소송을 제기할 수 없다.
- (3) 의혹을 불식시키기 위해 토지이양조건은 Planning Act 345조¹⁰⁹를 준수함을 선언한다.

¹⁰⁸ 토지분할(subdividing), 10년 이상의 장기임대, 통행지역권(access easement) 설정
http://www.moretonbay.qld.gov.au/uploadedFiles/common/forms/planning/Sheet%2008%20-%20Reconfiguring%20a%20Lot%20_incl%20Subdivision.pdf

¹⁰⁹ CPMA에 인용된 Planning Act는 1997년 Integration Planning Act, 2009년에 Sustainable Planning Act로 개정된 호주 국토이용계획 최상위법으로서 345조는 인허가시 부과되는 조건은 타당하거나(relevant) 합리적(reasonable)이어야 함을 명시한 조항임.

- 둘째는 법의 구조이다. 특정분야 행정법의 일반적인 구조는 법 목적에 이어 목적 구현을 위해 필수적인 정책들을 나열한 후 정책 실현을 위해 필요한 계획관련 조항이 뒤따른다. 미국의 「연안역관리법」 303조(Box A1.1 참조)는 6가지 정책¹¹⁰⁾을 포함하고 있으며, 연안주 관리프로그램이 포함해야하는 11개 사항을 2번째 정책과 연계하여 규정하고 있다. 한편 일본 「해안법」은 정책에 해당하는 기본방침을 별도로 수립하고, 그 방침에 따라 지자체가 ‘해안보전기본계획’을 수립하도록 규정하고 있다(Box A5.1).

반면 호주의 CPMA는 미국과 일본과 달리 '연안관리계획'이 법의 정책까지 결정하며, 이 계획을 7년마다 검토하도록 규정하고 있다. 이러한 구조는 법률 개정 없이 정책을 주기적으로 개정할 수 있다는 장점이 있다.

- 마지막은 다른 나라 법에서는 사례를 찾기 힘든 '토지이양조건'으로서, 이는 주 정부가 보상을 지불하지 않으며, 법정소송까지 법적으로 불허한다는 측면에서 몰수에 해당하는 조건이다. 이양조건 배경은, 1구획의 토지가 5구획으로 분할되면(그림 A6.7) 개발권자 역시 5인으로 증가하며, 10년 이상 장기임대의 경우도 개발권자가 2인이 되는 것과 마찬가지로, 개발권이 증가하는 만큼 해안보호를 위해 일정부분 기여하여야 한다는 것이다. 통행지역권(access easement)도 해안훼손의 우려가 높다는 취지에서 같은 맥락이다.

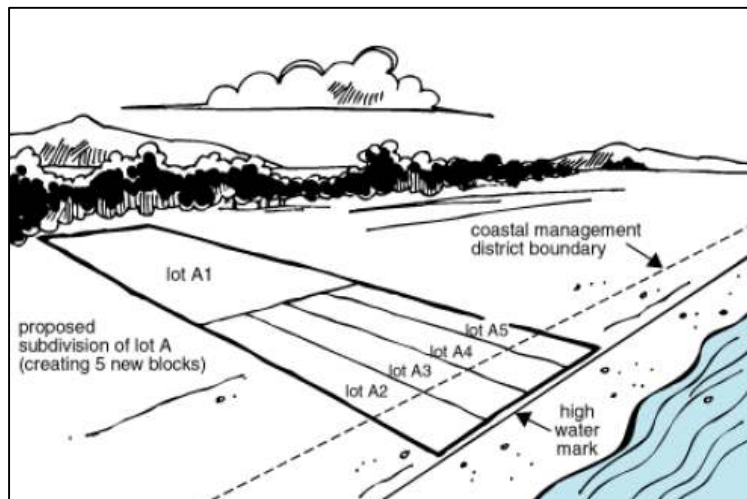


그림 A6.7 해안토지 재설정 : 토지 A가 5개 구획으로 분할될 경우¹¹¹⁾

(3) 연안관리계획

- CPMA가 1995년에 제정되었으나 법이 규정한 州연안관리계획은 2001년에 수립¹¹²⁾, 2002년부터 발효되었으며 동 계획에서 설정한 11개 지역연안(그림 A6.8) 중 4개 지역만이 연안관리지역계획(그림 A6.9)을 수립한 상태이다¹¹³⁾.

¹¹⁰⁾ 제1정책은 법의 목적에 해당

¹¹¹⁾ <http://www.derm.qld.gov.au/register/p00960aa.pdf>

¹¹²⁾ http://www.derm.qld.gov.au/environmental_management/coast_and_oceans/coastal_management/state_coastal_management_plan/

¹¹³⁾ 2003년 : Wet Tropical, Cardwell-Hinchinbrock, Curtis 2006년 : South-east Queensland
http://www.derm.qld.gov.au/environmental_management/coast_and_oceans/coastal_management/regional_coastal_management_plans/index.html

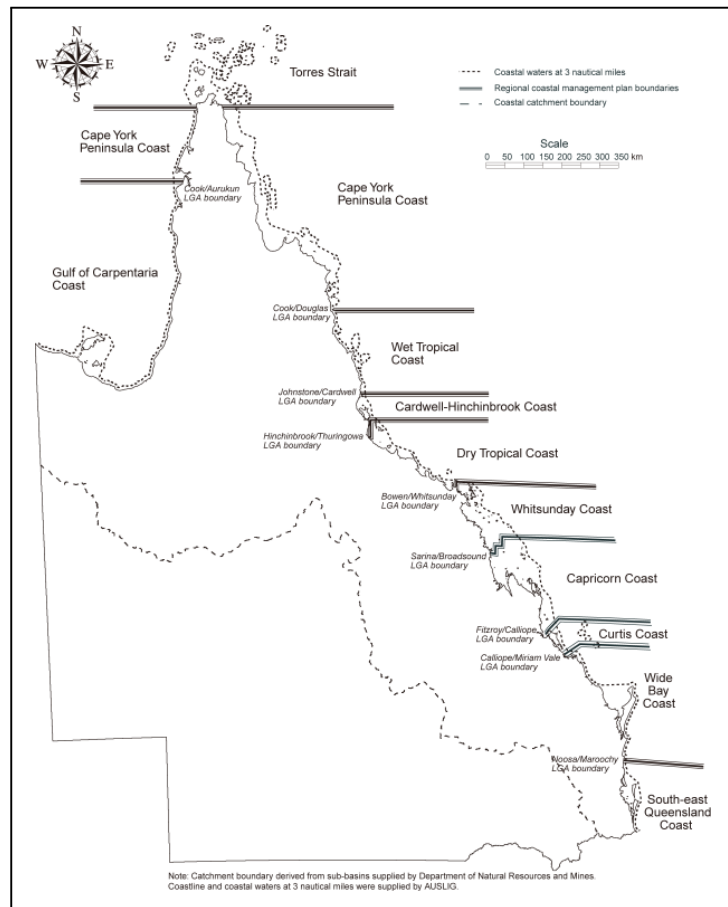


그림 A6.8 퀸즐랜드주 11개 지역연안¹¹²⁾

- 州연안관리계획은 비전과 목적을 기술하는 1장, 다음 10개 분야의 바람직한 상태를 반영하는 관리성과(outcome), 성과달성을 위한 방향인 원칙(principles), 그리고 원칙을 이행하기 위한 세부방향인 정책(policies)에 관한 2장과

- ① 연안이용 및 개발
- ② 연안물리현상
- ③ 연안접근성
- ④ 연안수질
- ⑤ 토착원주민 전통문화자원
- ⑥ 문화유산
- ⑦ 경관
- ⑧ 자연보전
- ⑨ 관계기관 간 조정관리
- ⑩ 연구 및 정보

관계기관 및 그룹별 역할에 관한 3장으로 구성되며, 10개 분야 중 해안침식·침수에 관한 연안물리현상 분야의 5개 세부분야별 정책은 Box A6.2와 같다.

Box A6.2 퀸즐랜드주 연안관리계획¹¹²⁾의 연안물리현상 분야 정책**연안관리성과 Coastal management outcome**

연안이 기후변화와 해수면 상승의 결과로 발생하는 모든 현상을 포함한 자연적인 변동을 허용하면서 인명과 재산을 보호할 수 있도록 관리된다.

원칙 Principles

- A 계획 수립 시 해수면 상승과 보다 광범위한 고조폭풍기인 범람을 포함하는 기후변화 경향과 그에 따른 피해를 고려한다.
- B 개방형 해안에 위치하거나 潮水路에 연한 침식취약지구의 안전을 확보하고 개발되지 않도록 한다.
- C 연안물리현상의 결과를 인식하고 그러한 현상이 자연적으로 발생할 수 있도록 일반적으로 허용한다.
- D 고조폭풍기인 범람과 사이클론의 영향을 포함하는 모든 재해위험도를 경감한다.
- E 주변지역을 침식으로부터 보호하는 연안사구체계의 자연시형과 물리적 특성을 지속가능한 생태계를 유지하며 보호하여야 한다.

정책 Policies**1 기후변화적응 Adaptation to Climate Change**

이 정책은 원칙 A를 달성하기 위함이다.

정책배경

최근의 과학적 연구는 온실효과 강화가 기후에 악영향을 미칠 것임을 지적하고 있다. 전 지구 평균해면 상승, 대기 및 해수온도의 보다 높은 평균치, 그리고 증가 가능한 기후변동을 포함한 변화 정도와 퀸즐랜드에 미치는 영향에 대한 평가가 진행 중이다. 연안역과 주거지역에 물리, 사회, 경제적 악영향이 미칠 것으로 전망되며, 그 예는 다음과 같다.

- 사빈-사구체계 취약성 증가에 따른 해안침식
- 해안선 후퇴
- 연안저지대 침수
- 고조폭풍범람의 빈도 및 강도 증가
- 하구역 및 대수층으로의 염수 침투
- 강우패턴 변화에 따른 연안지표 및 지하수 특성 변화
- 조수 범람에 따른 연안서식처 감소
- 백화현상을 포함한 산호초 취약성 및 사망률 증가
- 연안 및 하구현상 변화에 따른 연안퇴적물 분포 변화
- 해양 종다양성 변화와 연안습지 이동
- 연안인프라 피해 위험도 증가
- 연안하천 수질 저하
- 관광, 레크리에이션 및 운송기능 저하와 연안농경지 피해

해수면 상승과 보다 광범위한 고조폭풍범람을 포함하는 기후변화경향에 따라 점진적인 적응을 위한 전략계획 수립 이전에 악영향과 취약성 평가가 필요하게 되었다.

정책

비용효율적인 적응수단의 기초를 다지기 위하여 시민과 민간부분의 온실효과관련 주제와 기후변화영향에 대한 지식과 이해도를 증진시켜야 한다. 이를 위한 네 가지 목표분야는 취약지구 개발방지, 기후변화관련 지식과 이해도 향상, 기후변화영향 및 취약성 평가, 연안계획 및 관리관련 분야 간 적응전략 조정이다.

해안관련계획 수립 시 다음과 같은 접근체계에 입각하여 잠재적 기후변화 악영향을 반영하여야 한다.

- 도피(avoid) : 기후변화 악영향에 취약하지 않은 새로운 개발지 모색
- 계획적 후퇴(planned retreat) : 취약지역 내의 토지, 생태계 및 구조물의 체계적인 포기
- 수용(accommodate) : 연안근역(near-coastal area) 내 점유물을 존속시키지만 건물 설계변경 등으로 적응
- 보호(protect) : 취약지역, 인구밀집지역, 경제활동 중심지 및 연안자원 방호(defence)

2 침식취약구역 Erosion prone areas

이 정책은 원칙 B,C,D,E를 달성하기 위함이다.

정책배경

침식취약구역은 50년 계획주기 내에 침식과 해수침투에 취약한 구역으로서, 인명·재산 보호시설을 설치하지 않고 자연적인 변동을 허용하기 위한 육지와 해안 사이의 완충대이다. 해안선 위치변동과 주기적 범람은 연안의 자연적인 현상이다.

과거에는 침식에 취약한 해안이 개발되었으며, 많은 경우 이러한 개발에 개인 및 민간분야가 상당액을 투자하였다. 이와 같은 개발지역의 방호는 연안자원에 악영향을 미칠 수 있다.

정책

가능한 한 침식취약구역은 개발하지 않아야 한다(안전 및 레크리에이션 목적의 임시시설 예외).

침식취약구역에 건물이 있는 경우에는 향후의 이용정도가 현재 수준보다 높아질 수 없다. 이러한 구역의 재개발 혹은 이용도 증가는, 연안관리성과와 원칙을 훼손하지 않는다는 것이 명백할 경우에만 가능하다.

침식위험이 상존하는 영역에서는 침식취약구역으로부터의 후퇴전략이 바람직하지만, 이미 일정규모의 개발이 진행되어 후퇴가 불가능한 경우에는 토지이용과 기간시설 방호가 필요할 수 있다. 이러한 상황에서 건물을 신축하거나 시설을 확장할 경우 현재의 주변건물 위치보다 바다 쪽으로 나아갈 수 없다.

개발된 구역에서의 시설물 안정성 관련 공사는 침식에 의해 공공안전 혹은 확장할 수 없는 재산과 기간시설에 대한 위험이 임박했을 때 최후 수단으로만 시행될 수 있다. 공사위치, 설계 및 재질은 해당지역 연안자원에 중요한 악영향을 미치지 않을 뿐 아니라 해빈의 자연적인 침식·퇴적현상을 교란하지 않아야 한다.

3 해안선침식관리 Shoreline erosion management

이 정책은 원칙 B,C,D,E를 달성하기 위함이다.

정책배경

개발된 해안의 침식관리는 주 및 지방정부가 지속적으로 당면하는 과제이다. 연안재해 경감을 위해 호안, 돌제 및 인공백사장 조성 등의 대응공법을 적용할 수 있지만 호안과 돌제는 비용이 높으며 주변 해안에 악영향을 미칠 수 있다. 인공백사장 조성은 주변해안에 미치는 악영향이 비교적 적지만 백사장 유지를 위해서는 지속적 양빈과 이를 위한 비용이 필요하다.

정책

연안관리지역계획은 해안선침식 우선관리구간을 설정한다.

다음 사항을 고려할 때 침식관리구간을 참작한다.

- 연안 임차토지의 임차계약 갱신 혹은 전환 신청서
- 연안보호관련 공사의 승인
- 연안관리프로그램 사업비 신청서 평가

4 연안재해 Coastal hazards

이 정책은 원칙 C,D,E를 달성하기 위함이다.

정책배경

연안재해는 고조폭풍(Storm tides)과 사이클론 영향, 그에 의한 범람과 같은 사상을 포함한다. 퀸즐랜드에서는 위험수준의 범람을 발생시키는 고조폭풍이 드문 사상이 아니다. 이러한 사상들에 의한 연안역 인명과 재산의 위험도 수준은 호우에 의한 내륙 홍수 위험도 이상이다.

정책

연안역에서 새로운 도시용 토지이용을 결정할 때 연안재해에 의한 잠재적인 위험도 수준을 평가하여야 하며, 이 평가는 잠재적인 해수면 상승의 영향을 포함한 연안물리현상 고려에 추가한 고조폭풍 영역 mapping에 기초하여야 한다.

연안재해위험도가 있는 것으로 구분된 영역의 개발은 조심스럽게 고려하여야 하며, 가능하면 미개발 상태를 유지하여야 한다. 이미 개발된 고조폭풍 취약지역에서의 추가 개발 시에는 다음 사항을 해결하여야 한다.

- 해수면 상승과 고조폭풍기인 범람 취약성
- 대피로 지정 및 보호

이러한 영역의 연안재해대응을 위해 지자체는 적재적소의 대응계획을 수립하여야 한다.

5 해빈보호구조물 Beach protection structures

이 정책은 원칙 B,C를 달성하기 위함이다.

정책배경

호안, 돌제 및 잠제와 같은 해빈보호구조물은 침식과 연안표사와 같은 연안현상에 중요한 영향을 미칠 수 있다. 연안모래의 주요 공급원은 하천과 외해이다. 모래의 이동은 해빈과 전빈 유지에 결정적인 역할을 한다. 구조물들은 모래의 흐름을 멈추거나 방향을 전환시켜 해빈모래 결손, 해안선 후퇴, 전빈식생 유실 및 연안재해 위험도 증가의 원인이 된다.

정책

연안수역에서 해빈보호를 위한 구조물 축조는 다음의 경우에만 승인한다.

- (a) 공공이익 차원의 필요성이 인정될 때
- (b) 심도 있는 조사가 수행되어 다음 사항이 확인되었을 때
 - (i) 연안표사에 미치는 악영향이 없음
 - (ii) 주변 전빈영역의 연안재해를 증가시키지 않음.

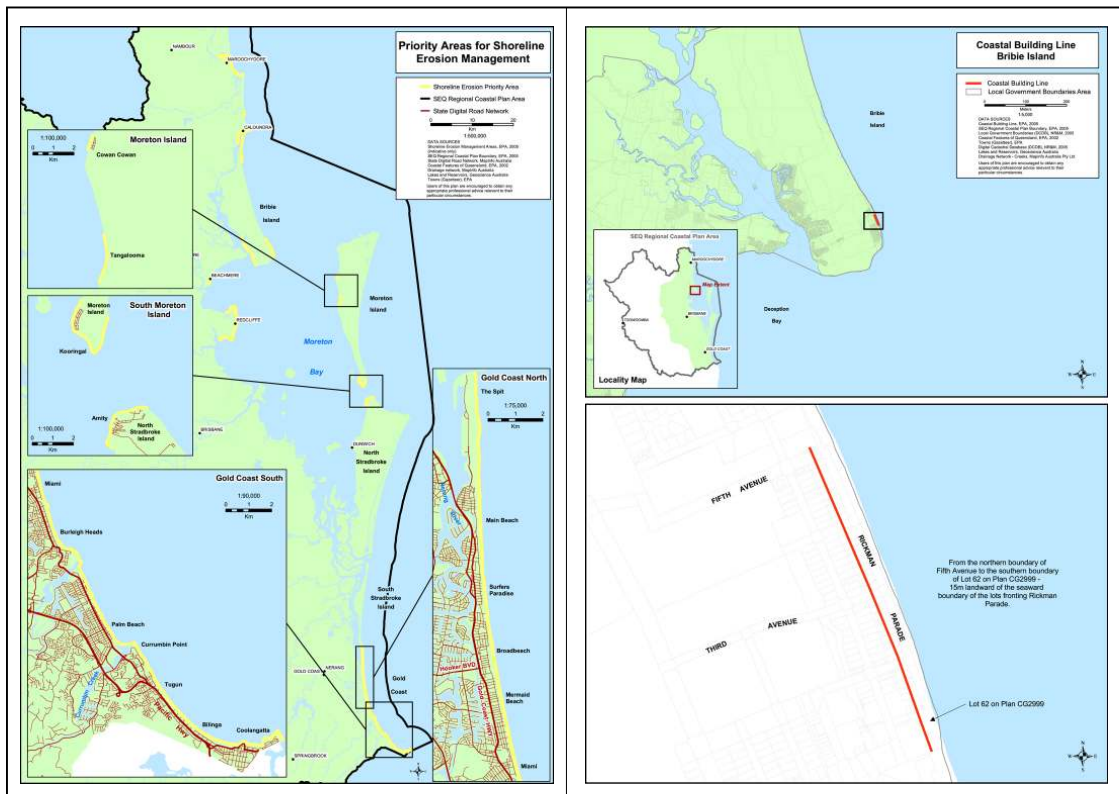


그림 A6.9 South-east Queensland 연안관리지역계획 중 해안선침식 우선관리구간(좌) 및 연안건축선(우)¹¹⁴⁾

114) http://www.derm.qld.gov.au/environmental_management/coast_and_oceans/coastal_management/regional_coastal_management_plans/southeast_queensland_coast/southeast_queensland_regional_coastal_management_plan.html

(4) 연안관리계획 수정

- 2002년 2월 발효된 연안관리계획에 대한 검토가 CPMA의 규정에 따라 2008년 1월부터 착수되었으며, 약 2개월의 공공의견 수렴과 2건의 위탁자문을 통하여 8가지 주제, 즉 ① 연안을 보호하고 관리함에 있어서의 계획의 유효성, ② 계획의 이해도와 이행정도, ③ 연안자원의 개발과 이용, ④ 레크리에이션과 관광, ⑤ 연안보전, ⑥ 연안재해, ⑦ 문화적 가치, ⑧ 연안보호와 관리책임에 대한 평가가 시행되었으며, 종합적인 평가결과는 계획을 개정할 시기가 되었다는 것이었다¹¹⁵⁾.
- 연안관리계획의 개정 및 개정계획이행 흐름도와 2009년 8월까지의 진행 상태는 그림 A6.10과 같다. 2002년 계획에 대한 공공검토 후 수립한 개정계획 초안의 공공검토가 2009년 8월 25일부터 11월 30일 동안 진행되었으며, 제기된 의견에 대한 DERM 내부검토가 2010년 4월 10일 종료된 상태이다¹¹⁶⁾.

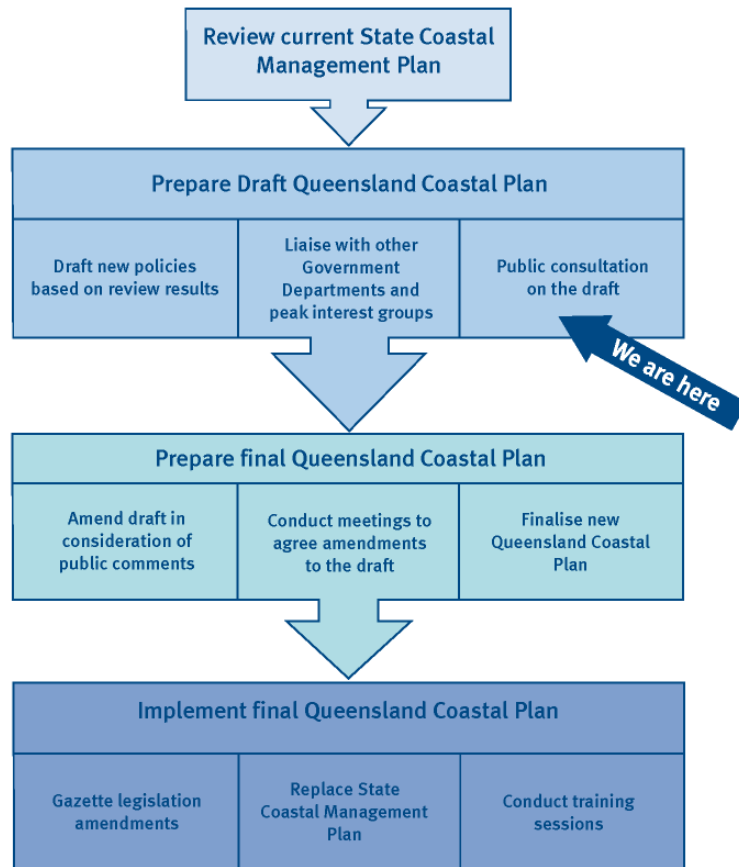


그림 A6.10 퀸즐랜드 연안관리계획 개정 흐름도¹¹⁷⁾

¹¹⁵⁾ DERM. 2009. Report on the Review of the State Coastal Management Plan. Queensland Government. <http://www.derm.qld.gov.au/register/p02796aa.pdf>

¹¹⁶⁾ http://www.derm.qld.gov.au/coastalplan/consultation_results.html

¹¹⁷⁾ DERM. 2009. Draft Queensland Coastal Plan 2009 Explanatory Notes. Queensland Government. http://www.derm.qld.gov.au/coastalplan/pdf/coastal_plan_explanatory_notes.pdf

- **2002년 연안관리계획 공공평가** : 계획이 연안보호·관리에 무용지물이라고 평정한 응답자가 무려 64%이었으며, 21%는 대체로 효과가 있는 것으로, 15%는 무응답, 효과가 충분하다고 판단한 응답자는 없었다. 응답자 대부분은 주정부와 기초지자체 간 공동의사결정 부족, 지자체 예산 및 관리능력 부족을 유효성 미달 이유로 지적하였다.

계획의 이해도와 시행성의 경우, 응답자 40%가 계획을 이행하고 적용하는 것이 너무 어렵다고 응답하였으며, 35%는 실행가능한 것으로, 25%는 무응답이었다.

연안재해 분야는 연안침식을 포함 3분야로 구분하여 의견을 수렴하였으며, 검토 내용은 Box A6.3과 같다.

- **2009년 연안관리계획 초안** : 개정계획 초안의 핵심적인 내용은 ① 특정계획과 개발에 대해 연안방호에 미치는 영향 고려 의무화, ② 신규개발에 의한 연안관리현상 교란 최소화, ③ 침식취약지구에서의 토지이용조건 강화 등이다.

Box A6.3 퀸즐랜드주 연안관리계획 시행성과 평가 중 연안재해 분야¹¹⁵⁾

1. 기후변화

모든 응답자가 기후변화의 장기적인 영향과 기후변화기인 도전과제의 해결 필요성을 인식하였다. 응답자 모두 연안재해와 기후변화와 관련한 현행 정책이 이행되고 있지 않음을 우려하였다. 기후변화는 연안에 위협을 가중 시킴이 지적되고 있음에도 범람이 예상되는 지역에서조차 인프라시설과 개발사업이 계속 승인되고 있음이 지적되었다. 응답자들은 수정된 계획에서는 기후변화를 핵심 주제로 삼고 각 분야마다 기후변화기인 악영향의 경감, 최소화 방안을 포함할 것을 제안하였다.

관련정책을 시행함에 있어서의 명확성 개선이 요청되었다. 이의 필요성은 기후변화기인 취약성 결정에 관한 연구와 주정부 차원의 업무조정과 정책이행을 통하여 어느 정도 인정된 것이다. 많은 한편 서면의견서가 침식취약 지구에 대한 기후변화정책의 필요성을 제기하였다.

2. 고조폭풍기인 침수·범람

응답자들은 침수취약지구와 폭풍해일지역에서의 개발을 크게 우려하였다. 응답자들은 이러한 지역에서의 개발은 위험도를 증가시키며 저지대 경관을 훼손함을 지적하였다. 최신의 수치모델링, 위험도지도 제작, 관측, 공동자원 비축 등이 연안공동체에게 최선의 관리성과를 제공할 수 있는 필요한 수단으로 고려되었다.

많은 응답자들이 개발규제정책과 계획에 포함되는 도피(avoid), 계획적 후퇴(planned retreat)와 같은 용어(Box A6.2) 적용은 상세한 위험도지도와 투명한 기준에 근거하여야만 기초지자체 정부가 지속적이지 않은 연안개발을 불허할 수 있음을 지적하였다.

3. 연안침식

응답자들은 연안침식을 확실하게 경감할 수 있는 수단이 부족함을 지적하였으며, 보다 활발한 연안침식대응이 필요함을 인식하였다. 이와는 반대의 관점에서 많은 응답자들이 자연현상을 교란하지 않아야 하며, 침식취약 지구를 개발한 토지소유주와 기초지자체는 그 결과를 감내하여야 한다고 믿었다.

참여자들은 현 연안계획은 연안환경의 차이(파랑 혹은 조석우세체계)를 충분히 고려하고 있지 않으며, 침식취약 지구 선정방법이 사행천의 영향을 받는 하천, 하구에는 적용가능하지 않음을 지적하였다.

수정계획에 반영하도록 제안된 내용은 다음과 같다.

- 침식취약지구 내에서의 개발방지를 위한 정책이 강화되어야 한다.
- 침식우심지역(Erosion hot spot)에 대한 지자체의 해안선침식관리계획(shoreline erosion management plan, SEMP) 수립을 법적으로 의무화하여야 한다.
- 침식취약지구 지도를 갱신하여야 한다.

(5) 해안선침식관리계획

- 2002년 연안관리계획 검토에서 수립의 법적 의무화가 필요하다는 지적이 있었던 '해안선침식관리계획 SEMP'는 DERM의 전신인 환경보호국(EPA)이 도입한 비법정계획이다. 수립을 기초지자체가 자발적으로 결정하는 계획인 SEPМ은 연안관리계획의 토대를 이룰 수 있으며, 다음의 세 가지 목적을 갖는다¹¹⁸⁾.
 - ① 지방정부가 州연안관리계획 및 연안관리지역계획(수립된 경우)의 정책에 부합하는 우선관리지역 내에서의 침식관리를 위한 계획을 순향적으로 수립
 - ② 연안침식 원인과 침식에 의한 장래 문제점을 지역수준에서 파악·해결
 - ③ 자연적인 연안현상과 연안자원을 유지하고 공동체의 요구사항을 고려하는 비용 효율적이고 지속가능한 침식관리전략 수립
- SEMP의 내용은 정형화되어 있지 않아 지방정부의 필요에 따라 구성할 수 있으나 Box A6.4에 제시한 내용이 권장되고 있다.
- 퀸즐랜드주는 SEMP 수립비용을 최대 50 %까지 지원한다¹¹⁹⁾.

Box A6.4 해안선침식관리계획 구성내용¹¹⁸⁾

1	침식 심각성 평가, 분석, 기술 및 침식이 공동체와 해당 해안 발전에 미치는 위험도
2	지역연안현상이 해당해안에 미치는 영향 : 하구, 수리동력학, 연안 및 외해 퇴적역학이 해당해안에 다양한 시간규모로 미치는 영향과 침식에 영향을 미치는 식생과 건물의 영향을 조사하여 명확하게 기술
3	침식의 원인, 지형체계반응, 장래 전망을 모든 이해관계자들이 이해할 수 있는 방식으로 파악, 기술
4	현 침식대응과 이행되고 있는 전략의 유효성과 타당성을 검토하고 정부정책과 일관성 여부 파악
5	해안선침식관리를 제한할 수 있는 정보부족 여부 파악
6	해안선침식 혹은 완충대 관리옵션별 기술적 측면 기술
7	환경, 사회, 경제적 비용/편익분석에 따른 관리옵션을 서열화하고, 다음 사항을 유념하여 우선순위 선정 <ul style="list-style-type: none"> ■ 연안현상과 종다양성에 미치는 악영향 최소화 ■ 국내 혹은 국제적으로 지정된 보전구역 보호 ■ 완충대 유지 또는 향상 (사구, 해초장, 하안식생) ■ 전빈 접근권, 레크리에이션 경관 유지 ■ 항구적 발전에 미치는 위험 최소화 ■ 고조폭풍 관리영역 내에서의 위험도 최소화
8	서열에 근거하여 우선관리전략 추천
9	우선관리전략의 개략공사비 및 자원 추정
10	우선관리전략이 사용해야 하는 양빈모래 혹은 호안용 암석의 잠재확보원과 비용 요약
11	침식 혹은 완충지역 관리공사 시행을 위한 프로그램 혹은 전략 수립
12	연방, 주, 지방정부 개발승인 절차 및 추천관리전략 시행에 필요한 요건 상세사항
13	CPMA, 州연안관리계획 관련정책, 퀸즐랜드 연안정책, 연안관리지역계획과의 부합성 요약

¹¹⁸⁾ Sultmann, S. and T. Edmonton. 2007. Shoreline erosion management plans - An effective tool for developing proactive shoreline erosion management strategies. Proc. of the Queensland Coastal Conference 2007.

¹¹⁹⁾ http://www.derm.qld.gov.au/environmental_management/coast_and_oceans/coastal_management/shoreline_erosion_management_planning.html

(6) 침식취약지구

- 1968년 퀸즐랜드 해빈보호국¹²⁰⁾에 의해 BPA에 도입된 침식취약지구는 호주 해안침식관리의 토대이다. 취약지구 지정 목적은 특정한 설계기간에 걸쳐 침식의 영향을 받을 수 있는 해안의 폭을 완충대로 확보하기 위함이다¹²¹⁾.
- 취약지구 지정은 취약한 폭, EPAW(Erosion prone area width)의 지정을 의미하며, 산정식은 다음과 같다.

$$E = [(N \times R) + C + G] \times (1 + F) + D$$

여기서, E=EPAW, N은 계획주기(yr), R은 장기침식률(m/yr), C와 G는 각각 설계파(고조해일의 경우 조위 포함)에 의한 단기침식량(m)과 기후변화에 의한 침식량(m), F는 장단기침식량 추정 안전율(safety factor), D는 포락에 의한 사구사면 침식성분이다.

계획주기를 이상적으로 결정하는 방법은 없지만, 너무 짧으면 장기침식에 의해 해빈이 완전히 유실되는 경우가 있으며, 너무 길면 완충대 폭이 비현실적으로 넓어진다. 퀸즐랜드는 보통 50년을 택한다.

장기침식률은 ① 지질학적 기록이나 현장조사 및 항공사진으로 입증된 자료로 추정된 과거 해안선변동을 외삽하거나, ② 현재의 퇴적물 수지로부터 구한 퇴적물 결손 혹은 과잉공급을 해안선 수평이동으로 환산하여 계획주기에 걸쳐 외삽하여 구할 수 있다. 그러나 두 경우 모두 신뢰도 확보를 위해 실측자료와의 검보정 과정을 거쳐야 한다.

단기침식량은 특정 설계파 매개변수(조위, 파고, 파향, 주기)를 구하고, 이에 의한 후퇴량을 산정한다(고조폭풍의 경우 결합확률 적용).

기후변화영향은 해수면 상승치와 Bruun Rule에 따라 구하며, EPAW 산정에 이용되는 50년 후 해수면 상승치는 30cm이다.

단기침식량은 연안표사를 고려하지 않는 등 불확실성이 많으므로 통상 공학적인 실무에서 사용하는 안전율을 적용하여야 한다. 퀸즐랜드의 경우 40%이다.

단기침식 계산에 의한 해안선후퇴 한계는 파의 쳐올림까지이다. 그 높이 이상의 모래가 무너지고 그에 기초한 구조물이 무너질 수 있도록 사구사면 성분을 포함하여야 한다.

그럼 A.6.11은 골드코스트 해안의 취약지구 폭으로서 구간마다 폭이 40~125m 사이에 분포하며 암반해안의 경우에는 설정하지 않음을 알 수 있다¹²²⁾.

¹²⁰⁾ Beach Protection Authority. 해빈보호법 제정년도인 1968년 법 제정에 앞서 법정기관으로 창설되었으며, 2003년 폐지
<http://www.archivessearch.qld.gov.au/search/AgencyDetails.aspx?AgencyId=10678>

¹²¹⁾ <http://www.derm.qld.gov.au/register/p01670aa.pdf>

¹²²⁾ http://www.derm.qld.gov.au/images/ecoaccess/coastal_development/SC_3363.pdf

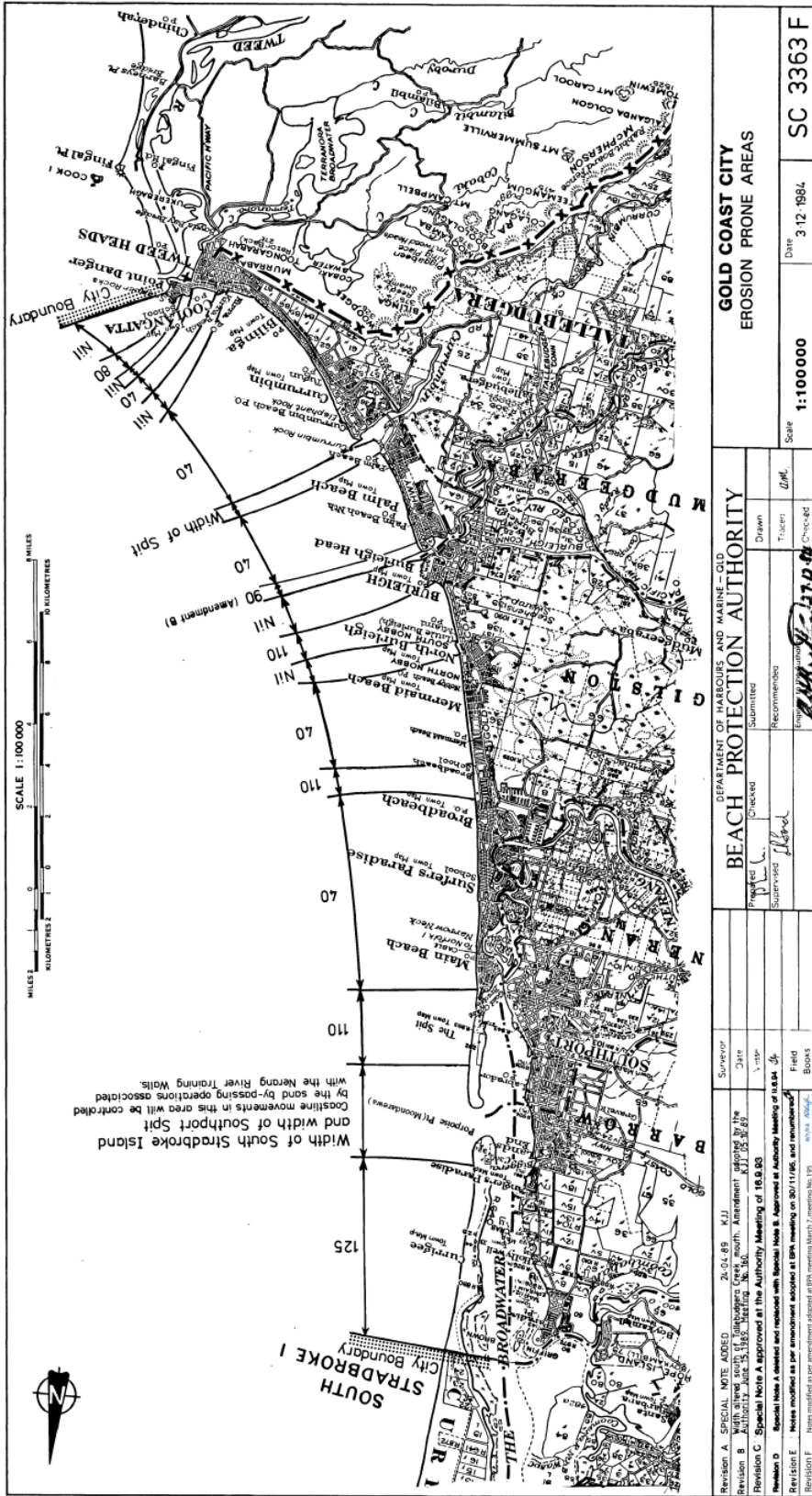


그림 A6.11 퀸즐랜드 골드코스트 해안 침식취약지구 구간별 완충대 폭

A7. 독일

- 북해 및 발트해와 접하고 있는 독일 해안선(그림 A7.1)의 길이는 1,900km이며, 1/3이 백사장이다. 북해와 접하는 육지 대부분에는 호안이 축조되어 있으며, 육지보호를 위한 자연적인 방호시설로 간주되는 east 및 north frisian 방호섬 침식방지를 위한 양빈이 활발하다¹²³⁾.

A7.1 중앙정부 및 연안주 관리

- 5개 연안주는 해안방호를 위한 규제를 법적으로 규정하고 있으며, 중앙정부는 연안주 해안방호사업을 위한 보조금을 지급한다.
- 1969년 헌법 91a조를 개정하면서 국가적으로 중요하거나, 삶의 질 개선에 필요한 분야를 중앙정부와 지방정부의 「공동과업(joint tasks)」으로 규정하였으며, 해안방호도 이 과업에 포함하였다. 이 조항에 따라 중앙정부의 해안방호사업 비용 보조율은 70 %이다¹²³⁾.
- 양빈의 경우, 1951년 east frisian 방호섬 중 하나인 Norderney에서 처음 실시된 후 점차 확산되어 1980년 이후에는 우선방호공법으로 채택되었다. 그러나 각 연안주마다 방호전략과 양빈사업의 목적은 서로 다르며, 이를 크게 5가지로 구분할 수 있다(표 A7.1).



그림 A7.1 독일 해안선 (바탕사진: Google Earth)

¹²³⁾ Hanson, H., A. Brampton, M. Capobianco, H.H. Dette, L. Hamm, C. Lastrup, A. Lechuga and R. Spanhoff. 2002. Beach nourishment projects, and objectives - a European overview. Coastal Eng., 47: 81-111.

표 A7.1 독일의 양빈목적별 대표사업¹²⁴⁾

목적	지역 및 내용
1 호안 전면 세굴 보상	<ul style="list-style-type: none"> 방호섬 Noederny, Sylt, Föhr, Amrum 해안에 1962-1996년 동안 1,150만 m³ 양빈
2 사빈·사구 안정성 강화	<ul style="list-style-type: none"> Sylt 섬 : 35년(1985-2020년) '해안방호특별마스터플랜'을 법률로 수립하였으며, 1983-1996년 동안 30 km 해안에 2,200만 m³ 양빈 Langeoog 섬 : 1971-1994년 동안 3 km 해안에 290만 m³ 양빈
3 침수·범람 방호	<ul style="list-style-type: none"> 발트 해안 : 36개소 144 km에 자연사구 최소폭 40-45m로 확장
4 침식저감	<ul style="list-style-type: none"> 발트 해안 : 20개소 50 km의 사빈확장, berm 표고 제고를 위해 780만 m³ 양빈 (1968-1994)
5 구조물 표사하류 침식 보상	<ul style="list-style-type: none"> Sylt 섬 : 2.5 km 해안에 200만 m³ 양빈 (1995-1997) 발트 해안 : 2.2 km 해안에 100만 m³ 양빈 (1972-1994, 유지양빈 9회)

A7.2 Sylt 섬 침식이력과 해안방호계획

- North frisian 방호섬 중 하나로서 독일 최북단에 위치하며(그림 A7.1), 남북방향 해안선 길이는 36 km이다. 대조차 2 m이며, 고조해일 내습 시 수위가 3.5 m 까지 상승한다.
- 북해 고파랑에 완전히 노출된 지리적 조건으로 침식이 심하며, 1865년 이후 돌제 등으로 방호였으나 성공적이 못하였다. 1907-1954년간 중앙부 3 km 구간(Westerland)에 호안을 설치하였고, 호안 기저부 보호를 위해 TTP 설치와 함께 지속적인 양빈이 시행되었다(그림 A7.2).
- 1870년부터 모니터링을 시작하였으며¹²⁴⁾, 1870-1950년 동안의 해안선 후퇴율은 0.9 m/yr이었으나, 1950년 이후 고조해일 내습이 잦아져 1950-1985년 동안의 후퇴율이 1.5 m/yr (모래유실률 150만 m³/yr; 1/3은 남단, 2/3는 북단으로 유실)에 이르자(그림 A6.4) 35년(1985-2020) 동안 운영할 「해안방호특별종합계획」을 수립하였다.
- 종합계획에서 기술·비용·환경측면을 고려하여 양빈을 우선공법으로 채택하였으며, 매년의 모래유실량을 양빈으로 보충하여 1992년 해안선을 유지하기로 하였다(해안선은 평균해면상 3.75 m인 사구기저부로 정의)¹²⁴⁾.
- 한편 종합계획은 해안선에서 100 m까지의 벨트를 개발하지 않고 자연상태로 유지하면 유지양빈 상당량을 감소시킬 수 있음을 강조하였다.
- 1985-1996년 동안 외해에서 채취한 모래를 이용한 양빈이 23회 실시되었으며, 투입모래 체적은 2,000만 m³이다.

¹²⁴⁾ Hamm, L., M. Capobianco, H.H. Dette, A. Lechuga, R. Spanhoff and M.J.F. Stive. 2002. A summary of European experience with shore nourishment. Coastal Eng., 47: 237-264

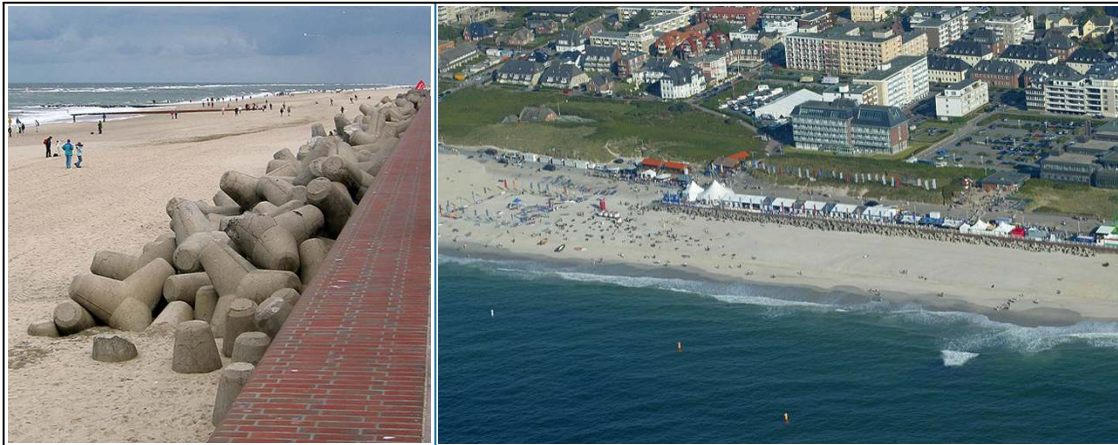


그림 A7.2 Westerland 호안 및 호안 기저부 세굴방지공(TTP)¹²⁵⁾

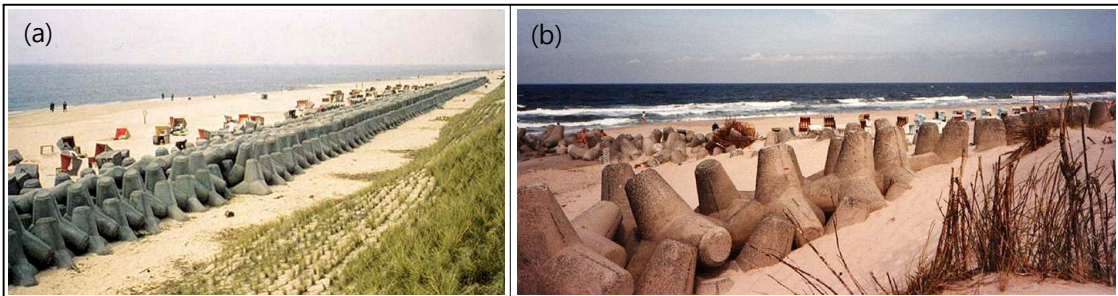


그림 A7.3 Sylt 섬 남부 TTP: (a) 사구 기저부¹²⁶⁾, (b) 돌제 및 사구 기저부¹²⁷⁾

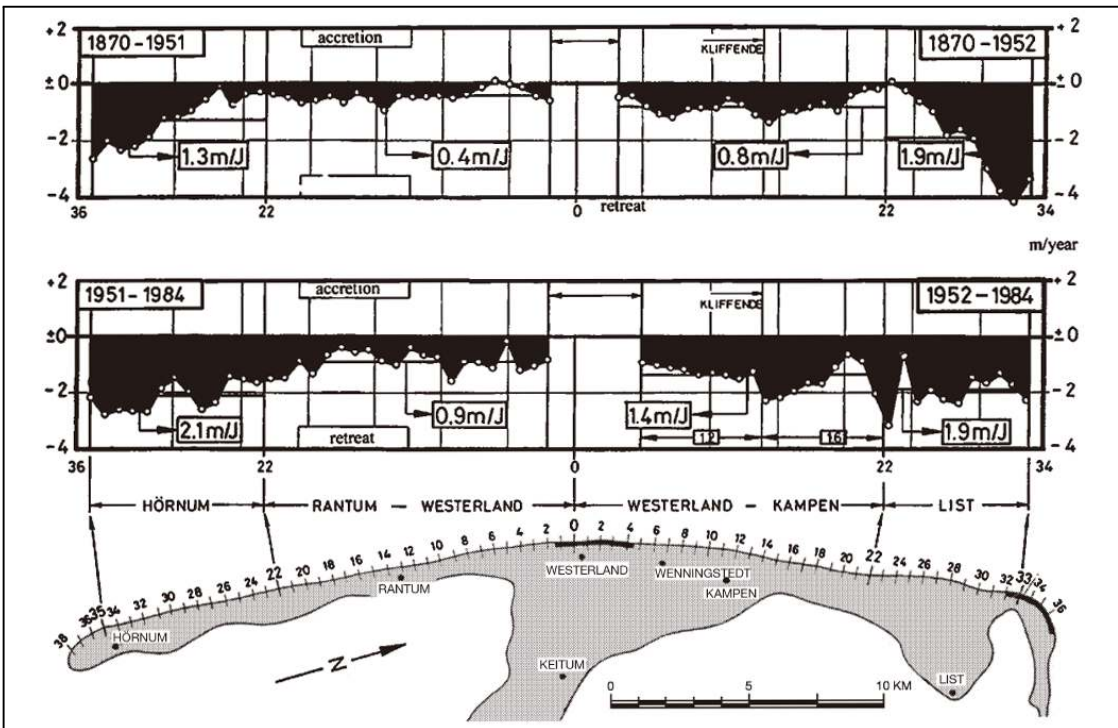


그림 A7.4 Sylt 섬 구간별 해안선 후퇴율¹²⁸⁾

¹²⁵⁾ <http://blog.theple.com/sd3946/capture/all.html?uid=41>

¹²⁶⁾ Sisternans, P. and O. Nieuwenhuis. 2004. EUROSION Case Study: Isle of Sylt. Isles Schleswig-Holstein (Germany).

¹²⁷⁾ Hedger, M.M. 2007. Climate change and water: the issues to tackle. EU Workshop on climate change and water, UNFCCC meeting, Bonn.

A7.3 모니터링

- 종합계획은 육상측량 및 해양관측에 대한 상세 모니터링 계획을 수립하였으며 관측점과 관측방법은 그림 A7.5와 표 A7.2와 같다¹²⁴⁾.

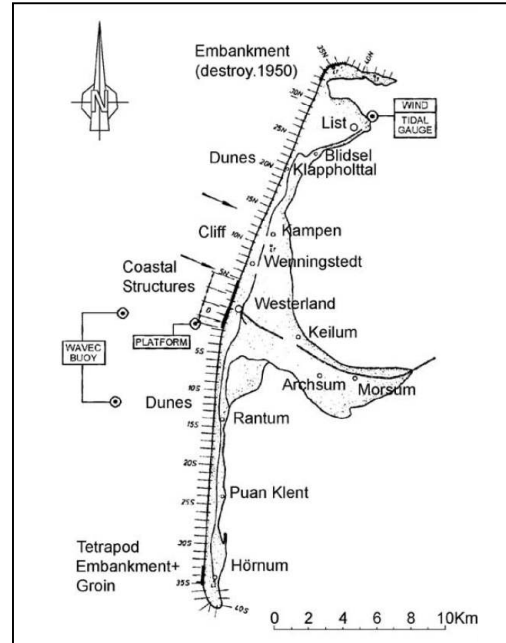


그림 A7.5 Sylt 섬 500m 간격 사빈·사구단면 측량선 및 파랑관측점⁶⁶⁾

표 A7.2 Sylt 섬 「해안방호종합계획」의 모니터링 계획¹²⁴⁾

항목	내용
1 사빈·사구 단면	<ul style="list-style-type: none"> ■ 500m 간격으로 설정된 70개 측선에서 연2회 측량
2 수심	<ul style="list-style-type: none"> ■ 양빈 시행 전·중·후 ■ 측선간격 기준 50 m ■ 측선간격 확장에 따른 체적산정 오차율 (50m 측선 기준) <ul style="list-style-type: none"> - 100 m 10%, 200 m 15%, 1,000 m 25~30% - 167m 이하 측선간격 권장
3 파랑 단기관측	<ul style="list-style-type: none"> ■ Wave rider buoy 7기 (2기는 파향·파고계, 관측수심 10-15m) <ul style="list-style-type: none"> - 파향·파고계 1기는 중앙부에서 기준 관측 - 나머지는 기준부이와 평행 또는 직각방향으로 이동관측
4 파랑·수위·해류·바람 장기관측	<ul style="list-style-type: none"> ■ 중앙부 전면 수심 10m에 설치된 관측타워에서 1950년부터 매시간 관측
5 북부·남부해안 현장관측	<ul style="list-style-type: none"> ■ 파랑·해류·퇴적물

¹²⁸⁾ Ahrendt, K. 2001. Expected effect of climate change on Sylt island: results from multidisciplinary German project. Climate Res., 18: 141-146.

A8. 프랑스

- 약 5,500 km의 해안선 중 백사장 연장은 1,960 km이다¹²³⁾. 해안은 영국해협과 접하고 있는 북해안, 비스케이灣을 통하여 대서양과 접하고 있는 서해안, 그리고 지중해 해안으로 구성된다(그림 A8.1).

북해안은 우세한 서풍에 의해 발달하는 W~NW 계열 파랑에 의해 동향 연안표사가 탁월하며, 평균대조차는 5.2~11.5 m로서 서측으로 갈수록 증가한다(그림 A8.2).

서해안의 경우, 서풍에 의해 비스케이만에서 발달하는 W 계열 풍파와 대서양으로부터 전파된 남서 혹은 북서계열 너울에 의해 지역에 따라 동향 혹은 남향 연안표사가 발달하며, 평균대조차는 4.5~8 m이다.

지중해 해안에서의 조차는 무시할 수 있으며, 남풍 혹은 남서풍에 의해 발달하는 파랑이 동향 연안표사를 발생시킨다¹²⁹⁾.



그림 A8.1 프랑스 및 지역해

129) Eric C.F. Bird (ed.), 2010. Encyclopedia of the World's Coastal Landforms, Springer.
Edited version of a chapter by Andre Guilcher in The World's Coastline (1985)



그림 A8.2 북해안 St. Michel 만 (평균대조차 10.7m) 사진: Google Earth



그림 A8.3 지중해 자갈해안 Nice¹³⁰⁾

A8.1 연안침식관리

- 전통적으로 모든 계획이 중앙집권적이다¹²³⁾. 1807년 법률에 따라 중앙정부가 해안방호 토목공사를 승인하지만 비용은 수혜자 몫이며, 편익 발생 시 정부가 보조금을 지원할 수 있지만 실제로는 지급사례가 드물었다. 또한 이 법은 공사시행과 유지관리에 대한 까다로운 의무조항이 있어 법의 실효성이 거의 없었다. 1970년 이후 지방정부가 해안도시 방호공사 비용의 10-30%를 기초지자체에 지원하고 있으나 지원건수가 많지 않다. 1973년 법률에 따라 공익이 위협에 처할 때를 대비한 기초지자체의 제도 마련이 허용되었다. 이와 같이 프랑스에는 중앙정부의 해안방호를 포함한 연안관리가 없으며, 광역지자체의 재정지원을 받아 기초지자체가 해안방호를 책임지고 있다.

¹³⁰⁾ <http://static.panoramio.com/photos/original/6317540.jpg>

자연보호 및 환경영향평가를 위한 법률이 1977년에 제정되었으며, 1979년에는 공공토지에 해안구조물을 건설할 때 승인을 받도록 하였다¹²³⁾.

- 1986년 「해안법」을 통하여 연안토목공사 규제강도를 강화하였다. 즉, 미개발 해안의 경우 최소 100m 내에서는 건물신축을 억제하고 15만유로 이상인 사업은 정부의 승인을 받도록 함과 아울러 인공해빈 개발을 금지하였다. 이 법의 목적은 전체 해안의 약 1/3인 미개발해안의 도시화를 억제하기 위함이다¹³¹⁾.
- 한편, 자연재해지도를 작성하고 위험도를 예측하기 위한 법률(Barnier Act)을 95년에 제정하였으며, 위험도가 높은 지역의 재산을 정부가 강제로 수용할 수 있는 조항을 동법에 포함하였다. 그림 A8.4는 노르망디 Criel sur Mer 해안으로서 Barnier Act을 처음으로 적용한 사례이다¹³²⁾.



그림 A8.4 북해안 Criel sur Mer¹³²⁾

A8.2 침식대응공법

- 아직도 경성공법을 선호하며 유럽 주요국 중 양변에 가장 소극적이다. 이는 중앙정부의 침식대응 장기전략이 없기 때문이다.
- 설계기술이 잘 발달되어 있으며, 일반적인 설계과정에는 설계수위와 설계파 결정, 수심과 해저퇴적물 분포 파악을 위한 현장관측, 지형역학(morphodynamics) 관점에서의 과거 및 현황 해석을 포함한다¹²³⁾.

그러나 국가장기전략과 국고지원 부재, 연안수리현상 예측의 불확실성 등으로 인해 설계오류 및 임기응변적 대응에 따른 경성구조물 시공납발의 경우도 없지 않다.

- 양변은 전통적으로 모래유실 방지를 위한 구조물을 병행축조하며, 중요 양변사업 대부분은 향로·향만 준설토 처리의 일환으로 시행되었다¹²³⁾.

¹³¹⁾ RIKZ et al. 2004 Living with coastal erosion in Europe: Sediment and space for sustainability – A guide to coastal erosion management practices in Europe.

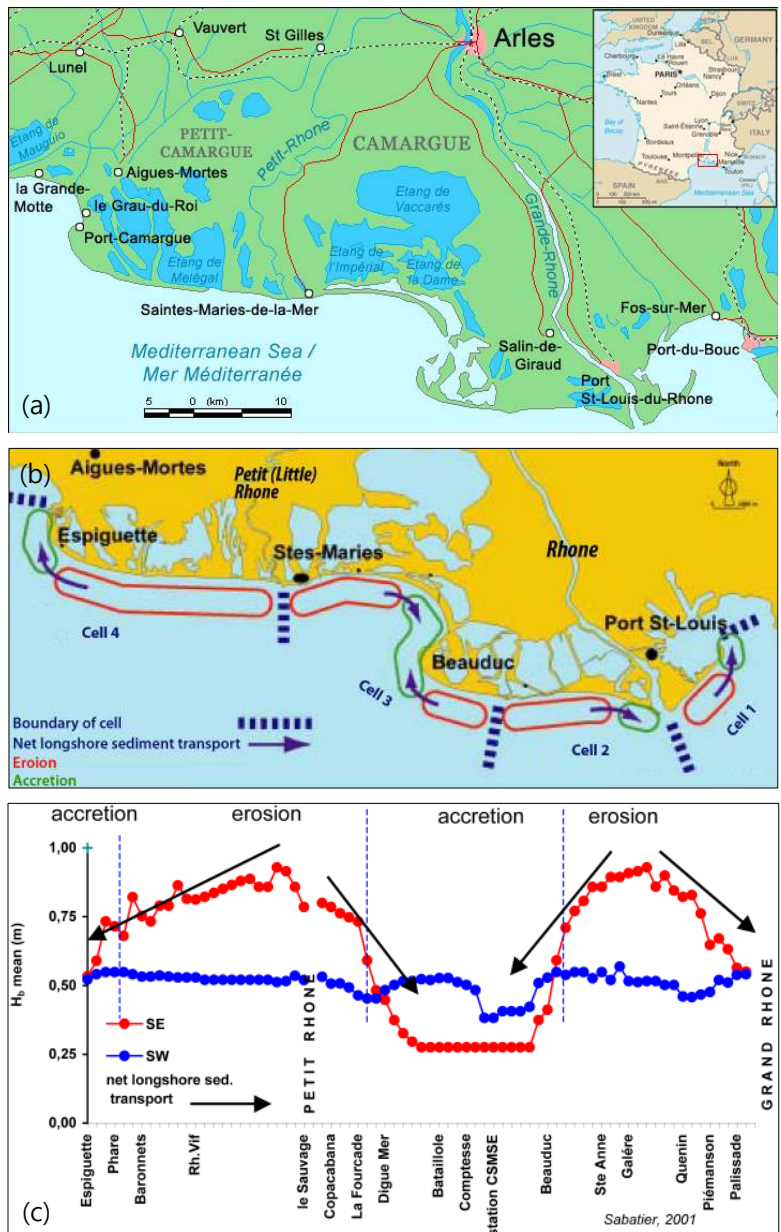
¹³²⁾ EC. 2004. Result from the EUROSION Study.

A8.3 시공사례

Box A8.1 Rhone Delta 해안¹³¹⁾

■ 개요

- 파랑우세 사질 삼각주 해안 (a)
- 연간침식률 : 1944-1989년 동안 170만m²/yr
- 전체 해안선 90 km의 85%에 침식방지시설 설치
- 침식원인 : ① 하천토사공급량 감소 (연간결손을 240만m³/yr)
 - ② 침식·퇴적 국지적 분포(b)는 파랑에너지 경사(c)가 원인
 - ③ 해수면 상승 (기여율 10%)
 - ④ 비사



2 Cell 3

- 방호시설 설치 전 Sainte-Maries-de-la-Mer 해안후퇴율 8 m/yr
- 1930년대 목책돌제 설치
- 1980년대부터 본격적인 사석시설(호안, 돌제, 이안제) 설치
- 2000년대초 호안시설비와 서단시설(이안제 2기, 'ㄱ'형 돌제) 제외한 비용 6,000만€
- 사구 비사방지 목책 설치
- 해안선 후퇴가 멈추었으나 구조물 영향권 이하 수심과 표사하류 침식 지속

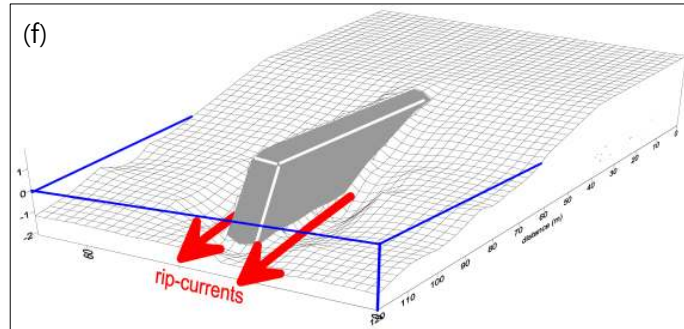


3 Cell 4

- 방호시설 설치 전 해안선 후퇴율 2-8 m/yr
- 1980년 이후 8 km 해안에 돌제 120기 축조 : 돌제 길이 75 m (해빈 25 m, 바다 50 m), 간격 200 m (e)
- 국부적으로 호안 병행 설치
- 배후 염습지를 이용하는 지역 제염회사가 설치비 중 460만€ 부담

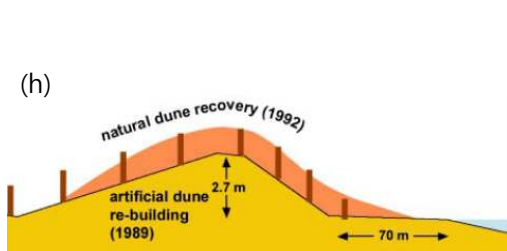


- 돌제 길이가 짧고, 간격이 넓으며, 모래공급량이 적음에 따라 해안선이 비교적 안정해진 90년대 중반 이후 침식 재개. 98년 전체 돌제의 길이를 연장하였으나 장기효과 확신 못함.
- 돌제에 의해 형성되는 backflow를 따라 모래가 유실되고(f), 지속적인 침식으로 해안선과 돌제가 분리됨(g).
- 이러한 문제와 함께 돌제가 표사하류 침식을 야기하지만 돌제가 해안선 후퇴를 3-10년 지연시킬 것으로 전망하고 있음.



4 비사포집을

- 비사포집에 따라 사구표고가 증가하였으나(h), 사구 안정화를 위하여 관광객 접근을 규제할 필요가 있음(i).
- 고파랑이 월류하여 배후에 소택지를 형성하는 경우도 있음.



A9. 스페인

- 이베리아반도의 85%를 차지하는 스페인의 국토면적은 약 50만km²이며, 해안선 길이는 4,964km이다. 국토의 평균표고가 700m로 높아 해안지역 경사가 크다¹³³⁾. 대서양과 지중해 연안특성이 판이하여, 조차 3~4m의 중조차 해안인 비스케이만과 1~3m인 남서 해안은 조류와 파랑의 영향을 크게 받으며, 지중해 해안은 조석의 영향이 거의 없으며(조차 20cm), 파랑에너지는 중간정도이다. 한편 비스케이만 해안에는 잘 발달한 암반해안에 만입사질해안 편재되어 있으며, 지중해 해안은 만곡형 사질해안으로 구성된다.

A9.1 연안침식관리

- 스페인은 프랑코 사망 3년 후인 1978년에 제정된 헌법에 따라 17개 자치지방(그림 A9.1)으로 구성되는 완전한 지방자치를 도입하여 연안역을 지자체의 도시계획, 토지이용계획으로 관리하였으나, 1969년에 제정한 「해안법 Shores Act」를 1988년 전면 개정하여 중앙정부 관리를 강화하였다.

「해안법」은 감조하천 제방과 염습지를 포함하여 조석과 파랑의 영향을 받는 육역부터 사구, 사빈에 이어 경계수역의 자원까지를 공공자원으로 정의하고, 이를 중앙에서 관리함과 아울러 해당구역에서의 행위도 관련 중앙부처에서 관리하도록 하였다¹³⁴⁾.



그림 A9.1 스페인 주변해 및 자치지구

¹³³⁾ Bird E. 2010. Spain. In Eric C.F. Bird ed. Encyclopedia of the World's Coastal Landforms, Springer.

¹³⁴⁾ Suárez de Vivero, J.L. 1992. The Spanish Shores Act and its implications for regional coastal management. Ocean & Coastal Management, 18: 307-317.

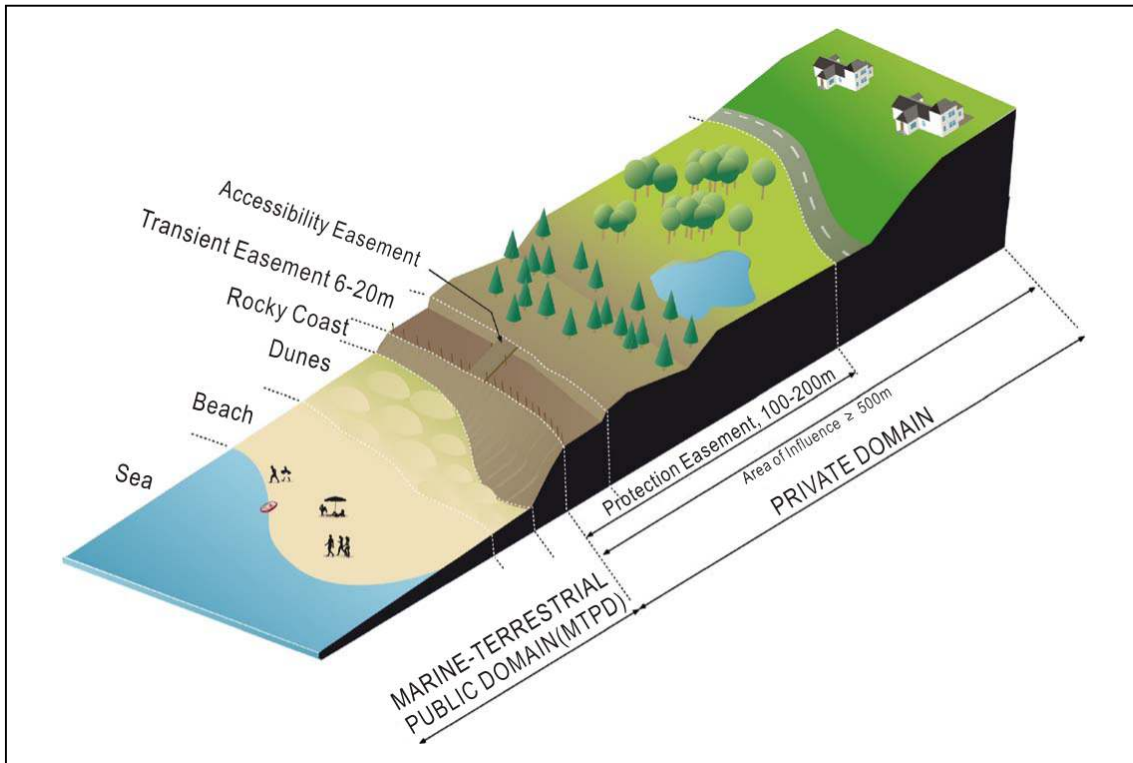


그림 A9.2 스페인 중앙정부 연안관리영역¹³⁵⁾

- 특히 「해안법」은 해안공공재산 육지측 경계로부터 100 m까지를 보호지역권(그림 A9.2)으로 지정하여 건물신축을 금지시켰으며, 해당 토지를 중앙정부가 적극적으로 매입함과 함께 사유지일 경우에는 불법건물을 철거하고 있다¹³⁵⁾. 또한 최대 500 m까지인 '영향권'을 설정하여 도시과밀과 개발의 완충대 기능을 하도록 하였다.

연안통합관리 개념이 정립되기 전에 제정된 「해안법」의 규제가 강력함에 따라 시행 초기에는 지자체가 반발하여 헌법소원이 제기되기도 하였으나 건설후퇴선 정착과 함께 연안통합관리의 토대가 되었다.

- 한편 「해안법」에 의해 연안공공재산의 관리책임이 중앙정부임에 따라 양빈 등 해안공사 대부분의 비용은 중앙에서 지원한다.

A9.2 양빈

- 스페인 해안침식의 원인은 댐 건설과 하천유역 도시화에 따른 하천공급모래 격감과 어항에 의해 표사차단이다. 과거에는 경성방호 중심이었으나 대서양 해안은 1985년부터, 지중해 해안은 1990년부터 양빈을 본격화하였다. 1985년부터 2000년까지의 양빈체적이 1억1천만 m³ 로서, 1970년부터 2000년까지 네덜란드

¹³⁵⁾ Sanóm M., P. Gonzalez-Riancho J. Areizaga and R. Medina. 2010. The strategy for coastal sustainability: A Spanish initiative for ICZM. Coastal Management, 38(1): 76-96.

에서 시행한 양과 같으나 시행해안이 40개소이며, 시행회수가 600회에 달하여 초기양빈과 유지양빈 모두 소규모로 시행되고 있음을 알 수 있다.

지중해 연안도시의 하계 관광수입 의존도가 높음에 따라 대부분의 양빈목적은 레크리에이션용 백사장 폭 60 m 이상을 성수기 이전에 확보하는 것이다¹²³⁾.

경우에 따라 이안제를 병행축조하지만 대부분은 구조물을 수반하지 않는 동적 양빈이다. 그러나 해안선관리에 관한 장기전략이 없으며, 몇몇 중요사업을 제외한 대부분의 사업 시행 전후에 조사를 수행하지 않는다. 관광수입 의존도가 높음에 따라 설계 시에도 수리특성이나 양빈 지속시간, 비용/편익분석보다는 환경 관련사항을 중요하게 여기지만 환경영향평가를 제대로 수행하지 않음에 따라 모래채취해역의 생태계를 훼손시키기도 한다.

- 90년대 10년 동안 카디즈灣 해안 400 km에 걸친 28개 해안에서 수행된 38회의 양빈을 분석한 결과¹³⁶⁾에 따르면 연평균 양빈비용과 체적은 각각 375만\$과 120 만 m³이었다. 단위길이당 연간비용은 7~350\$/m/yr로 편차가 매우 컸으며, 덤프 트럭을 이용할 경우가 가장 저렴하였다. 또한 매년 소규모로 시행하는 것이 수 년 주기의 대규모 양빈보다 경제적이었다.



그림 A9.3 Cadiz 만 위치

¹³⁶⁾ Muñoz-Perez, J.J. et al. 2001. Cost of beach maintenance in the Gulf of Cadiz (SW Spain). Coastal Eng., 42: 143-153.

A9.3 시공사례

Box A9.1 카탈로니아 Sitges 해안¹³⁷⁾¹³⁸⁾

- 바르셀로나 남서방 40 km에 위치한 관광·휴양도시
- 댐건설, 골재채취에 의한 동북방 Llobregat 강(a) 모래공급 감소와 어항, 마리나에 의한 표사차단으로 침식
- 연평균 표사량 60,000 m³/yr이나 해변유지에는 부족
- 중앙정부 관리정책은 '현 해안선 유지 (hold the line)'
- 1930-1984년 돌제, 호안, 이안제(1984 양빈병행) 중심의 경성방호 (b)
- 1984년부터 양빈위주 대응



(a)



(b)

연월	구간별 해변폭 (m)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1999. 07	33		37	75	39	12	25	12	40	10	45	12	10	45	30	9
2001. 11	23		29	72	32	8	12	2	19	0	4	0	0	25	31	7

¹³⁷⁾ Serra Raventos, J. 2004. Sitges (Spain). EuroSION Case Study. .

¹³⁸⁾ <http://geographyfieldwork.com/CoastalManagementSitges.htm>

A10. 이탈리아

- 이탈리아의 해안선 연장은 약 75,000 km이며, 반도 남서단을 제외한 지중해 연안 전체와 아드리아해 북측 해안이 침수에 취약하고, 전체 해안의 23%에서 침식이 진행 중이다¹³⁹⁾.

베니스 주변 해안으로부터 시실리에 이르기까지 이탈리아 백사장의 관광휴양지 가치는 매우 높다. 특히 베니스를 비롯한 아드리아해 북측 해안의 경우, 국내외 휴일 관광객이 9천만 명에 달하며, 백사장 1m²당 연간 관광수입이 3,200\$ 정도로서 이는 아파트 1m²당 가격에 해당한다¹²³⁾.

서풍이 우세하지만 따듯한 남풍(scirocco)과 차가운 북동풍(bora)에 의해 입사파향이 다양하다. 조석의 영향은 미약하여 대부분 해안의 조차가 0.2m 이하이다. 그러나 베니스를 포함한 아드리아해 북측 해안의 조차는 0.8m이며, 조석과 바람 및 기압경도력에 의한 고조해일이 저지대를 범람시키기도 한다¹⁴⁰⁾.



그림 A10.1 이탈리아 및 지역해

139) http://ec.europa.eu/maritimeaffairs/climate_change/italy_en.pdf

140) Ciavola, P. 2010. Italy. In Eric C.F. Bird ed. Encyclopedia of the World's Coastal Landforms, Springer.

A10.1 연안침식관리

- **중앙정부관리** 이탈리아의 백사장과 沿岸水는 국가소유이지만¹⁴¹⁾ 연안관리만을 위한 법률¹⁴¹⁾, 연안역에 관한 정의 및 연안관리계획이 없다¹⁴²⁾. 해안방호의 경우도 마찬가지로 침식·침수관리는 15개 연안자치지방의 책임이다.

중앙정부의 종합적인 해안침식·침수관리는 없지만 백사장이 국가소유임에 따라 방호사업의 초기비용은 중앙정부가, 유지관리비는 지방정부가 부담하며, 극치사상(extreme event)이 발생하는 등 비상사태가 발생하는 경우에는 유지비용을 중앙에서 지원하기도 한다.

1907년 법률에 따라 해안방호를 개발지역보호와 백사장 침식방지로 구분하였다. 전자의 경우, 보호책임이 지자체 주무부서에 있으나 경우에 따라 중앙정부의 재정지원을 받을 수 있으며, 후자의 경우는 기초지자체나 항만관리기관이 방호시설비용을 중앙정부에 신청할 수 있다.

비록 목적이 침식·침수관리가 아닌 경관보전이지만 중앙정부는 고조위선으로부터 300m까지의 개발을 제한하는 「법률 제431호」를 1985년에 제정하고 토지계획 및 경관계획 수립 시 이 영역을 규제하여 지속가능한 개발을 보장할 것을 지자체에게 요구하였다. 그러나 건설후퇴선으로서는 폭이 너무 넓은 구간을 자연유산으로 지정만 했을 뿐 연안토지 형질변경에 대한 지속적인 요구를 규제하거나 제한하는 실질적인 보호수단은 없다¹⁴³⁾.

- **지방정부관리** 중앙정부가 연안침식·침수를 포함한 연안관리에 소극적임에 반해 연안의 지속가능한 발전을 위해서는 연안통합관리가 필수적임을 인식한 지자체들은 관련법을 제정하여 통합관리를 시행하고 있다.

Marche(그림 A10.2)의 경우, 2004년 「지방법 제15호」를 통하여 연안통합관리계획을 수립하였으며, 계획의 6가지 목적 중 침식관리가 최우선이다¹⁴³⁾.

- ① 백사장 양빈과 해안침식 방호
- ② 해안절벽 재이용을 통한 해안구조물 최적화
- ③ 주민과 관광객의 이용 조화
- ④ 자연경관이 수려한 해안 보호 및 가치 극대화
- ⑤ 제 연안동력학 현상 및 자연생태계 모니터링
- ⑥ 주변 지자체와 공조 및 업무조율

Emilia-Romagna(그림 A10.2)도 「Council Act No. 645」에 따라 2005년 ICZM 지역 전략을 수립하였으며, 전략에는 연안의 경제·사회·환경적 지속가능성을 위한 모든 수단을 표현하고 있다. 또한 통합계획은 다음 9가지 주제에 대한 다방면적인 접근과 통합을 토대로 하며, 교육을 포함한다¹⁴³⁾.

- ① 연안물리체계와 해안방호
- ② 하천유역에 기반한 통합물관리
- ③ 항만, 운송 및 항로관련 위험도 관리
- ④ 자연서식처 확대와 종 다양성 개선

141) <http://www.pap-medclearinghous.org/eng/Zemlje.asp>

142) http://www.plancoast.eu/files/s.Pro_AdriaSynthesisReport.pdf

143) Raffaelli, K., M. Romani and V. Boragno. 2007. National report on current policy, procedure, legal basis and practice of marine spatial planning in Emilia-Romagna Region, Italy. PAP/PAC, Bologna.

- ⑤ 지속가능한 관광
- ⑥ 수산·양식
- ⑦ 지속가능한 농업
- ⑧ 에너지 정책
- ⑨ 연안도시화 및 운송



A10.2 광역지자체 Emilia-Romagna 및 Marche

A10.2 침식대응공법

- 이탈리아의 경우도 스페인과 같이 어항과 도류제에 의한 표사차단과 하천모래 공급 감소가 주요 침식원인이며, 경성방호를 선호하였다(그림 A10.3). 그러나 이안제를 다수 설치하여도 말단 이안제 하류는 침식을 피할 수 없으며(그림 A10.4), 경성방호에 의한 경관저하는 관광수입과 직결되므로 양빈과 저천단 방호시설로 전환하였다. 그러나 이탈리아의 해안침식대책 거의 대부분은 예방적이 아니라 사후대응이다.
- 한편, 대부분의 양빈은 모래유실 방지를 위한 구조물을 병행축조하며, 일정규모 이상이면 수리모형실험을 많이 이용하나 수치모형실험은 시행하지 않는다¹²³⁾.

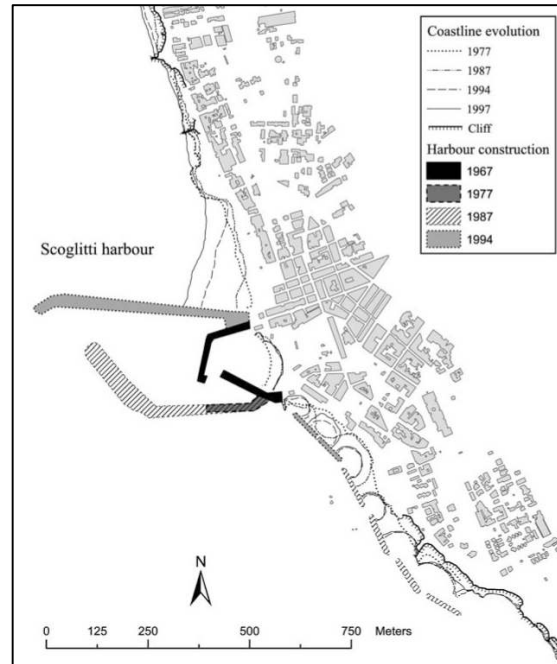


그림 A10.3 어항건설·확장에 따른 해안선 변화 예 : 시실리¹⁴⁴⁾



(a)



(b)

그림 A10.4 말단 이안제 표사하류해안 침식 예 (시실리) : (b)는 (a)의 말단 이안제 표사하류해안의 여름별장 침식¹⁴⁴⁾

¹⁴⁴⁾ Aufuso, G. and J.A. Martinez del Pozo. 2005. Towards management of coastal erosion problems and human structure impacts using GIS tools: case study in Ragusa Province, Siuthern Suciily, Italy. *Envrinmental Geology* 48: 646-659.

A11. 덴마크

- 덴마크 국토면적과 해안선 길이는 각각 43,394 km², 7,314 km로서 소규모 도서국을 제외한 국토면적당 해안선 길이(172m/km²)가 1 위이다¹⁴⁵⁾. 덴마크 해안은 크게 조류침수방지를 위해 호안이 설치되어 있는 해안, 고파랑에 노출되어 있는 Jutland 서해안, 그리고 침식노출도가 상대적으로 낮은 발트해 및 카테가트해협 해안으로 구분된다(그림 A11.1).

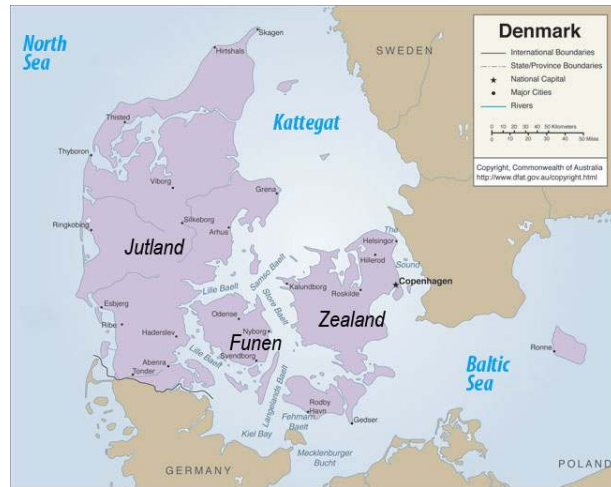


그림 A11.1 덴마크 및 지역해

조차는 0.3~0.8 m이며 사질인 Jutland 서해안에는 조석의 영향이 거의 없다. 연평균 파고와 주기는 2 m와 6초, 최대파고와 주기는 6 m와 10초이며, 파장은 350~1,000 m이다.

파랑우세 Jutland 서해안의 연간 순표사율은 50만~100만 m³/yr이며, 연평균 침식률은 3~4 m/yr이다. 대형 폭풍파가 내습한 1980년 11월에는, 해안선이 평균 10 m, 최대 30 m 후퇴하였다.

- 한편 약 100년 전에 사구 안정화를 위한 식재한 물대(marram grass), 항만 및 돌제에 의해 Jutland 서해안 표사하류 침식이 점차 심각해졌으며(그림 A11.2), 약 50 km 해안의 사구가 침식으로 유실되자 서해안 침식관리 주관기관은 1982년 연성공법 위주의 해안방호정책을 결정하였다¹⁴⁶⁾.



그림 A11.2 (a) 어항 접근항로 확보를 위한 도류제 표사하류 침식(Hvide Sande); (b) 사구식생(Vejers Strand)¹⁴⁷⁾

¹⁴⁵⁾ http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_length_of_coastline

¹⁴⁶⁾ Sijm, P. and O. Nieuwenhuis. 2004. Western Coast of Jutland (Denmark). EUROSION Case Study

A11.1 연안침식관리

- 네덜란드와는 달리 덴마크에는 호안과 사구 안정성에 관한 국가기준이 없으며, 침식관리를 위한 법정 기준선(basal coastline)도 없다. 국가규정이 없는 이유는 침식이 심한 서해안의 인구밀도가 낮고(50인/km²) 경제규모가 작아 침식·침수에 의한 피해가 토지에 국한되기 때문이다.
- 그러나 국가관리가 없는 것은 아니며, 운수성(Ministry of Transport) 산하 Danish Coastal Authority(DCA)가 Jutland 서해안의 방호시설 건설과 유지, 양빈, 항만 운영 및 준설을 담당하고 있다¹⁴⁸⁾. 관리는 DCA의 추천사항을 바탕으로 DCA와 지방정부의 합의에 따라 이행되며, 합의는 5년마다 갱신한다. 중앙정부의 방호사업비 지원 비율은 50-70%이며, 100% 지원하는 경우도 있다.
 한편, 지자체 기술력이 충분하지 못하므로 DCA는 발트해와 카테가트해협 지자체 관리계획 수립 및 방호사업과 관련한 기술을 지원한다. 그러나 예산을 지원하지 않음에 따라 개인 혹은 지자체가 모든 비용을 부담해야 한다. 이는 해안 방호는 지자체 책임이라는 1988년 법률에 근거한 것이다¹²³⁾.
- Jutland 서해안에 대해 1982년에 책정한 3가지 해안침식 관리정책과 전략은 표 A11.1과 같으며, 1982년 이후 연성공법으로 전향한 이유는 다음과 같다¹⁴⁶⁾.
 - ① 환경이슈에 대한 대중 및 정치인들의 인식이 높아짐.
 - ② 경성공법이 필요한 문제들이 해결됨.
 - ③ 예산이 크게 증가하여 연성공법이 경쟁력을 갖게 됨. 즉, 양빈체적이 적고 해안에 모래를 투입한 경험이 많지 않음에 따라 양빈 후 정지작업 비용이 많이 드는 등 단가가 높았음. 양빈체적이 늘고 경험이 쌓임에 따라 투입기술이 향상되었음. 현재 양빈방식은 해저면 강관파이프를 통한 송사, 레인보우 및 저개형 토크선(split barge) 덤핑

표 A11.1 Jutland 서해안 침식관리정책 및 전략

정책	전략
1 최소한 100년 재현주기 범람에 대응한 안전수준 확보	<ul style="list-style-type: none"> ■ 사구 안정성 강화 및 신규사구 조성 ■ 사구에서 배후 가옥 혹은 도로까지의 거리가 짧아 충분한 사구체적을 확보할 수 없을 경우에는 호안 축조
2 마을이 인접한 해빈 침식 중지	<ul style="list-style-type: none"> ■ 침식을 중지시켜야 할 구간에는 저천단 이안제와 양빈을 병행함. 이안제 건설의 첫째 이유는 지방 정치인들이 경성방호를 선호하기 때문이며, 또 다른 이유는 양빈비용이 높기 때문 ■ 양빈은 소규모로 시행하며, 그 이유는 양빈원리가 정치인들에게 낯설기 때문임. 즉, 폭풍 내습 시 양빈모래가 침식되는 것이 계획의 일부를 정치인들에게 납득시키기 어려움. 이에 따라 양빈체적은 적고 단가는 높으며, 이는 다시 이안제로 양빈모래 유실을 방지해야하는 이유가 됨.
3 100년 재현주기 범람 안전도를 가까운 장래에 저하시킬 침식 경감	

¹⁴⁷⁾ Aagaard, T. 2010. Denmark. In Eric C.F. Bird ed. Encyclopedia of the World's Coastal Landforms, Springer.

¹⁴⁸⁾ <http://www.kyst.dk/english.html>

부록2

한미 연안침식 공동워크숍

2010. 3.26



한국의 연안침식 대응

2010. 3. 26

진재울



목 차

I. 서론

II. 조사·연구사례

III. 설계사례

IV. 시공사례

V. 결론



I. 서론

- 바람직한 연안침식관리(SCEM*)는 연안역의 지속가능한 발전을 위한 연안통합관리에 중요한 역할을 담당함.
- 침식관리가 명실상부한 SCEM이 되기 위하여 다음과 같은 다양한 전제조건이 필수적임.



- ① 중앙 및 지방정부의 관련법률체계
- ② 국가정책 · 지침 수립
- ③ 관계기관간 관련업무 조정 및 공조
- ④ 단위사업 중심의 국소적 단기관리에서 벗어나 관리계획의 시공간 범위 확대
- ⑤ 주요 이해당사자와 전문가에게 개방된 의사결정과정
- ⑥ 모니터링 및 제 연안현상 이해도 증진
- ⑦ 신기술 연구개발 및 예측신뢰도 제고
- ⑧ 생태 및 사회경제학적 평가 도입
- ⑨ 교육 및 훈련

I. 서론

- 한국의 연안침식은 1990년 후반부터 사회적인 관심을 받기 시작하였으며, 주목할만한 침식문제 대부분은 어항 방파제와 호안 등 지역사회 발전을 위한 기간시설에 의해 발생하였음.
- 경북의 경우, 조사대상 30개 백사장의 83%에 침식문제가 있으며, 17개 백사장의 침식은 어항 확장 및 신설에 의해 발생하였음.



- 비록 '연안관리법'이 1999년에 제정되고, '연안정비계획'이 2000년부터 착수되었으나, 연안개발 규제와 관련기관간 조정 및 공조 등 한국의 연안 침식관리체계는 개선의 여지가 아직 많음.

(단위 : 개소/길이 km)

조사해안	침식해안	침식원인		
		어항	호안	기타
30 / 46.9	25 / 40.3	17 / 27.3	3 / 5.5	5 / 7.5

I. 서론

- 바람직한 연안침식관리(SCEM*)는 연안역의 지속가능한 발전을 위한 연안통합관리에 중요한 역할을 담당함.
- 침식관리가 명실상부한 SCEM이 되기 위하여 다음과 같은 다양한 전제조건이 필수적임.



- ① 중앙 및 지방정부의 관련법률체계
- ② 국가정책 · 지침 수립
- ③ 관계기관간 관련업무 조정 및 공조
- ④ 단위사업 중심의 국소적 단기관리에서 벗어나 관리계획의 시공간 범위 확대
- ⑤ 주요 이해당사자와 전문가에게 개방된 의사결정과정
- ⑥ 모니터링 및 제 연안현상 이해도 증진
- ⑦ 신기술 연구개발 및 예측신뢰도 제고
- ⑧ 생태 및 사회경제학적 평가 도입
- ⑨ 교육 및 훈련

I. 서론

- 한국의 연안침식은 1990년 후반부터 사회적인 관심을 받기 시작하였으며, 주목할만한 침식문제 대부분은 어항 방파제와 호안 등 지역사회 발전을 위한 기간시설에 의해 발생하였음.
- 경북의 경우, 조사대상 30개 백사장의 83%에 침식문제가 있으며, 17개 백사장의 침식은 어항 확장 및 신설에 의해 발생하였음.



- 비록 '연안관리법'이 1999년에 제정되고, '연안정비계획'이 2000년부터 착수되었으나, 연안개발 규제와 관련기관간 조정 및 공조 등 한국의 연안 침식관리체계는 개선의 여지가 아직 많음.

(단위 : 개소/길이 km)

조사해안	침식해안	침식원인		
		어항	호안	기타
30 / 46.9	25 / 40.3	17 / 27.3	3 / 5.5	5 / 7.5

II. 조사·연구사례

- SCEM을 위해서는 제 연안현상 기초이론과 함께 연안표사의 국지특성을 파악하여야 함.

그러나 연안침식제어 관련 기존의 시행착오는 대부분 파랑우세해안에서 얻은 것임에 따라 대조차 백사장에서 연구성과와 지침이 부족한 실정임.

- 대조차 백사장에서 제 현상에 대한 이해 증진을 위해 만리포 해수욕장에서 심도 있는 현장관측을 실시하였음.

- 기간 : 2006~2010
- 참여 연구팀 : KORDI-A (GeoSystem Res. Co.), KORDI-B, KORDI-C, 인하대, 미국 육군공병단
- 관측항목 : 바람, 파랑, 조석·조류, 수심 (LiDA, RTK, Multi & Single beams), 해저경계층 시스템, 쇄파선 비디오 모니터링, 해저퇴적물



호안 축조(1970-1977)와 남단 방파제 건설(1964-1973) 이후 동계 북서풍에 면한 만리포 중앙~북부 사빈은 침식되는 반면 남측은 퇴적되고 있으며, 침식 구간에는 매년 양빈이 시행되고 있음.

II. 조사·연구사례

- 국토해양부의 지원을 받는 KORDI-A 팀의 조사목적은 수심측량, 바람 및 해저경계층 수리·퇴적현상 정밀관측을 통하여

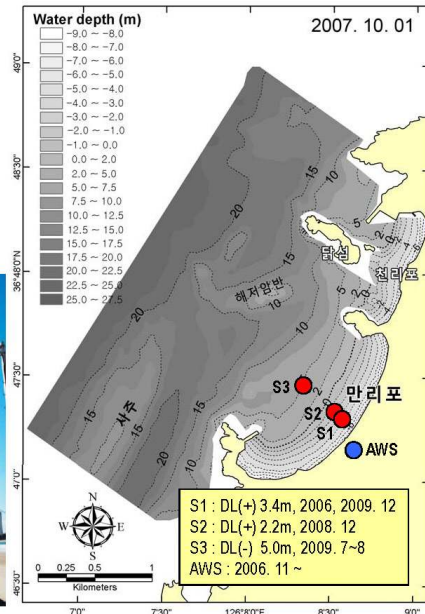
- 수리 및 퇴적현상을 정량적으로 이해하고,
- 매년 시행되고 있는 양빈의 타당성을 점검하고 필요시 최적 양빈기법을 개발하는 것임.



SPHINX : Sedimentary Process and Hydrodynamic Information Xeroxing System



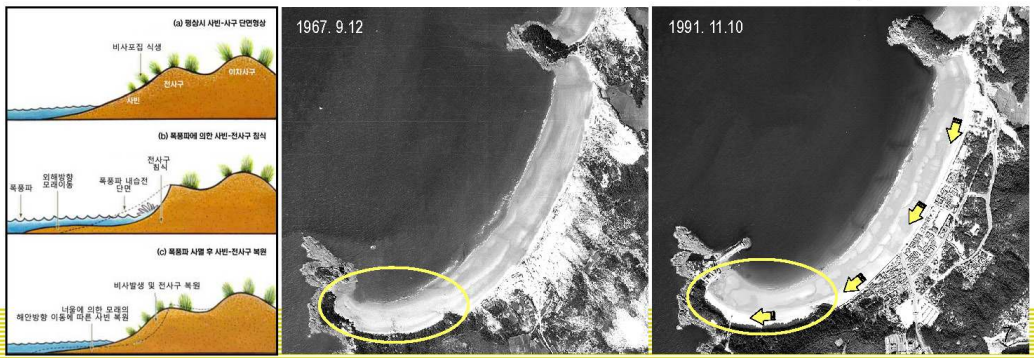
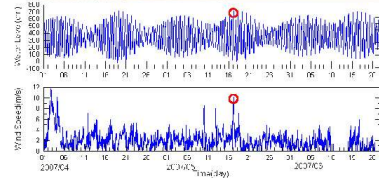
AWS



II. 조사·연구사례

● 만리포 구조물 영향 정성적 분석

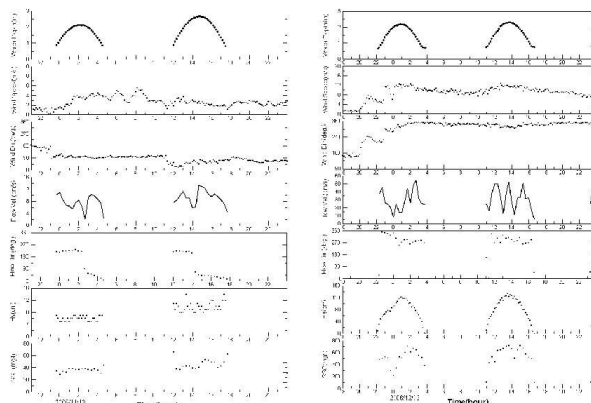
- 자연적인 사빈-사구체계 단면의 동적평형 모식도는 연안표사의 평형을 가정하는 것임.
- 호안은 너울에 의한 해안방향으로의 표사량에 비해 훨씬 많은 모래가 고조폭풍 시 외해방향으로 이동하는 원인일 뿐 아니라 연안 방향의 비사의 가이드 역할을 함.
- 한편 강한 동계 북서풍을 고려할 때 남단 방파제는 중앙~북측 구간으로부터 남하한 모래를 포집하였을 것임.



II. 조사·연구사례

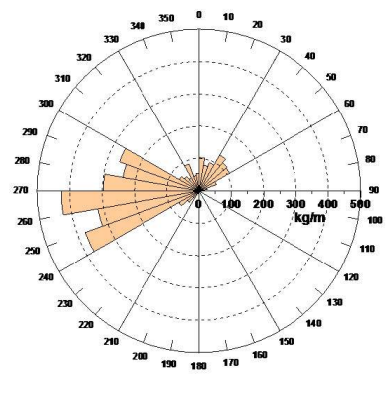
● SPHINX 조간대 관측결과 (S1: 2006. 11.16~12. 7, S2: 2008. 12.12~22)

- 평상 소조기 흐름 : 외해 조류와는 반대방향의 왕복성, 최강유속 ≈ 15 cm/s
- 폭풍 소조기 흐름 : 서향류(파랑류 및 풍성류) 탁월, 최강유속 ≈ 50 cm/s
- 관측기간 동안 모래의 순이동 방향은 서향 및 남서향



평상시 소조
S1에서의 관측결과 중 평상 및 폭풍시 조건 비교를 위해 채택된 기간 유속, 유량 및 부유사 농도는 저면상 40 cm에서의 관측치임.

폭풍시 소조

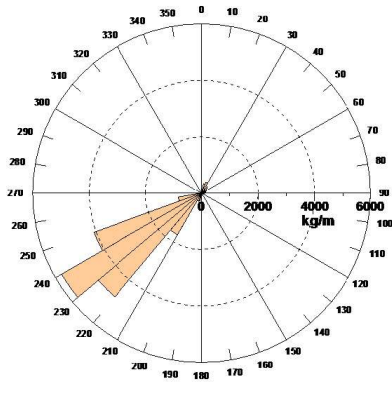


정점 S2 저층(0~90 cmab)에서의 방향별 모래이동량. 관측장비 Sontek PC-ADP(연직분해능 : 3cm)

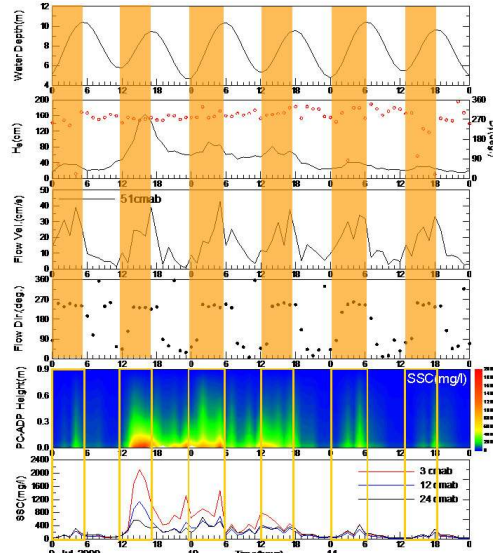
II. 조사·연구사례

● SPHINX 조하대 관측결과 (S3 : 2008. 7. 8 ~ 8. 7, 폭풍파 5회 내습)

- 정점 S3에서도 남서향 표사가 현저하나 이는 상대적으로 강한 남서향 창조류 때문임. 고조 시 최강 유속이 출현하는 독특한 특성을 보임.



정점 S3 저층(0~90 cmab)에서의 방향별 모래이동량. 관측장비 Sontek PC-ADP(연직분해능 : 3cm)

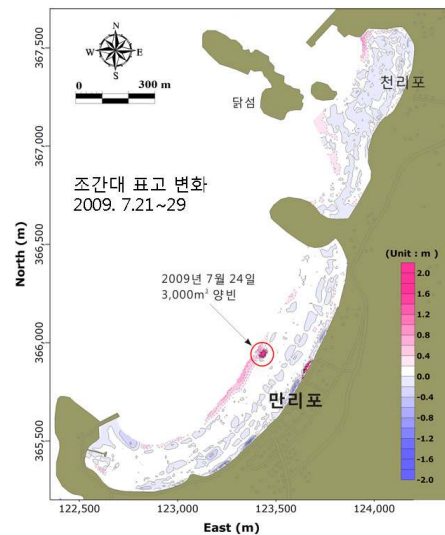


정점 S3 관측결과 중 일부. 첫 번째 폭풍파 발달 및 소멸 시기

II. 조사·연구사례

● 양빈모래 이동방향

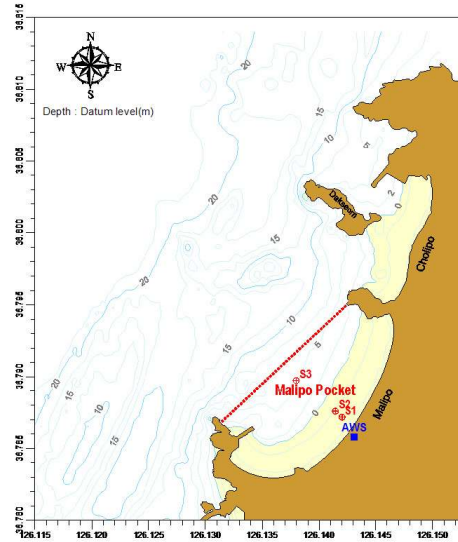
- 외해 모래를 이용하여 약 3,000m³의 양빈이 시행된 2009년 7월 24일 전후의 단면측량 결과에 따르면 남서향 표사가 뚜렷함.



II. 조사·연구사례

● 토의

- 3개 정점에서 정밀관측과 양빈 전후의 표고변화에 따르면 만리포 포켓 중앙부에서의 모래 순이동 방향은 서향 혹은 남서향임.
- 이러한 중앙단면 양상으로 미루어 매년의 유지양빈을 시행하지 않았더라면 만리포 해수욕장은 유실되었을 것으로 판단됨.
- 그러나 포켓 경계면을 통한 모래수지는 아직 정량적으로 파악되지 않은 실정임.
- 타 연구팀에서 수행한 2008년과 2009년의 관측결과를 종합적으로 분석함과 아울러 이를 이용한 수치모형실험을 실시하면 만리포 해역 수리·퇴적작용의 일반적인 경향을 정량적으로 파악할 수 있을 것으로 기대됨.
- 한편, 바지선을 이용하여 기본수준면 부근에서 모래를 투입하고 있으나 보다 상부 조건대에 투기함이 양빈모래의 조건대 체류기간 연장을 위해 바람직함.



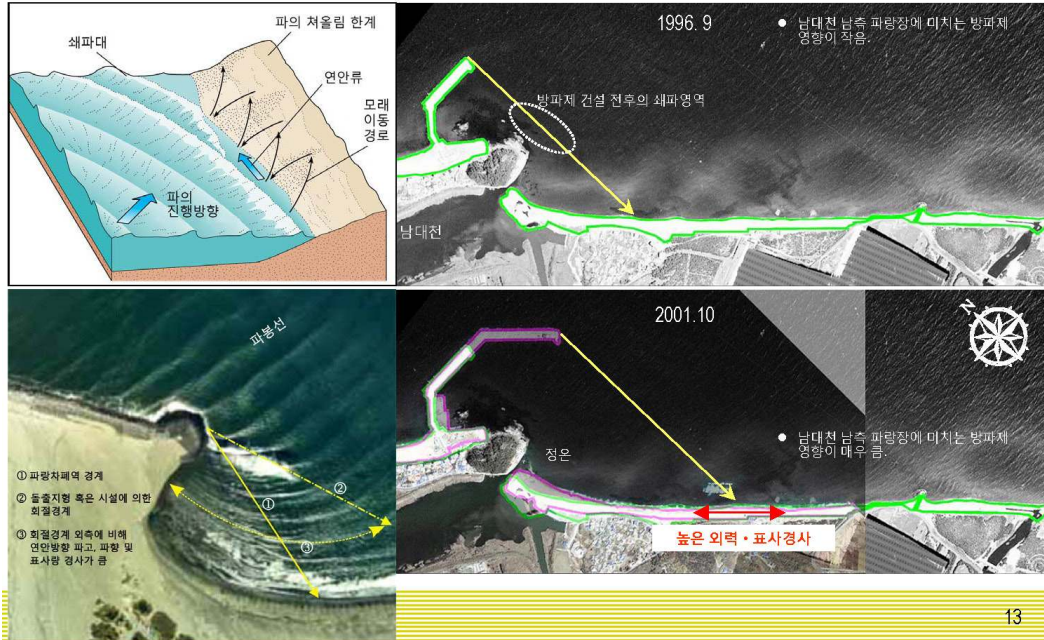
III. 설계사례

- 양방향 연안표사가 균형을 이루지 못하는 해안에 돌출시설이 축조되면 순이동 방향 상류는 퇴적되고 하류는 침식됨.
한편, 돌출 어항은, 항내가 저사지 역할을 함과 함께 방파제에 의해 파고와 파향 경사를 유발하는 파랑차폐역을 형성됨에 따라 표사 하류해안에 퇴적과 침식문제를 동시에 발생시킴.
동해안 침식의 많은 경우는 1990년대 초부터 활성화된 어항 확장 및 신축이 야기한 것임.
- 연장 약 4km인 남대천-군선강 표사계의 북측에 위치하는 **남항진** 해수욕장은 어항기인 침식·퇴적문제 양립해안의 대표적인 사례임.
문제를 야기한 강릉항은 1993~2007년 동안 건설되었으며, 현재 대책안 실시설계용역이 수행 중임 (수행기관: 대영엔지니어링).



III. 설계사례

● 파랑장과 표사에 미치는 방파제 영향

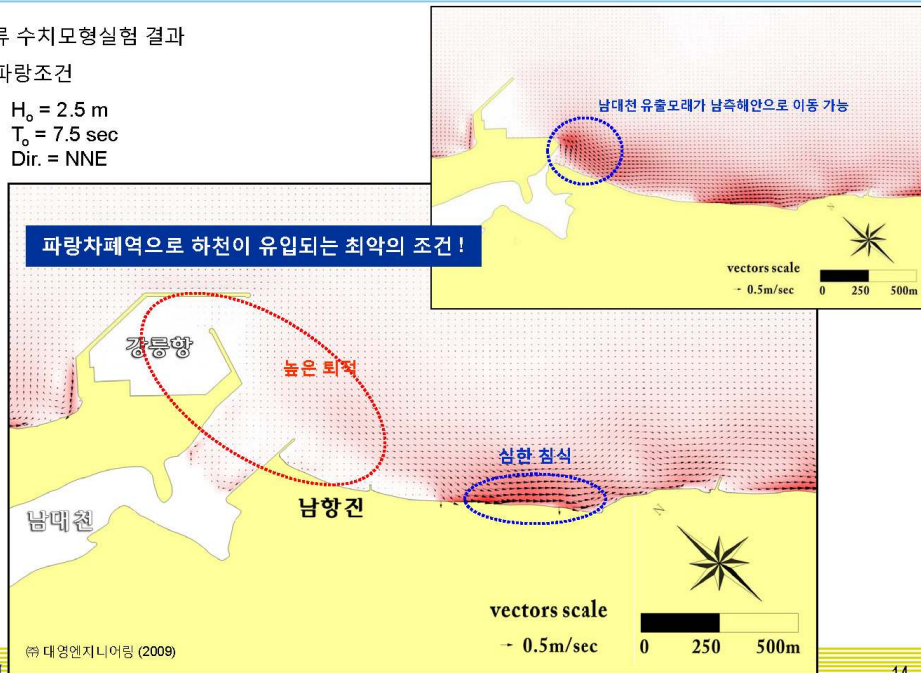


III. 설계사례

- 연안류 수치모형실험 결과

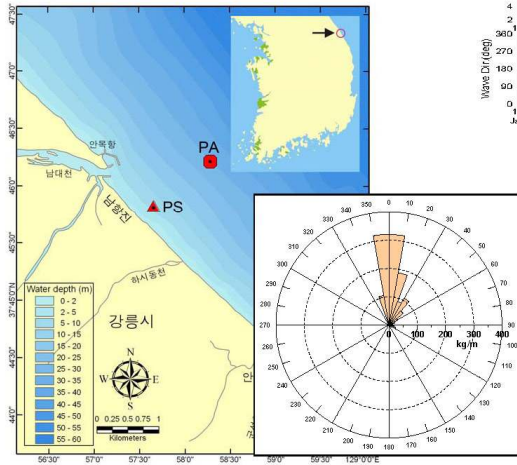
입력파랑조건

$H_o = 2.5 \text{ m}$
 $T_o = 7.5 \text{ sec}$
 Dir. = NNE



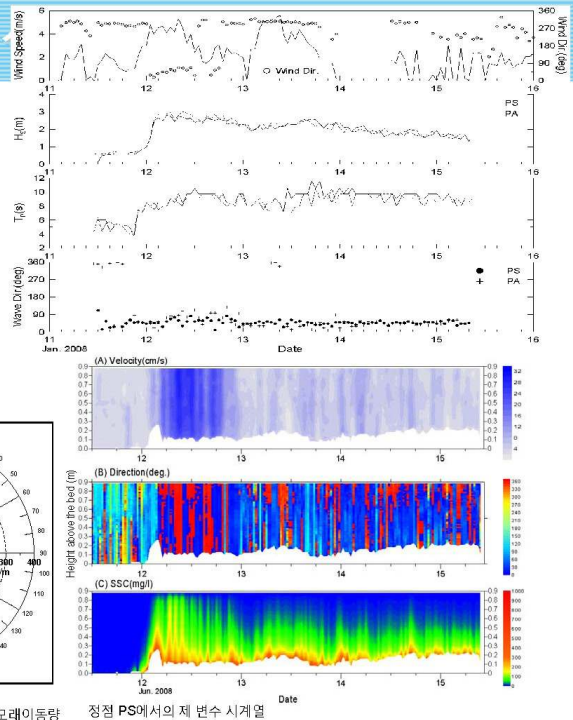
III.

- NE보다 남측으로부터 진입하는 폭풍파에 의해 차폐역 남측해안에서 하구역으로 이동된 모래는 NE~N 계열 폭풍 내습시에도 남측으로 복귀할 수 없음.



ADCP at PA and SPHINX at PS

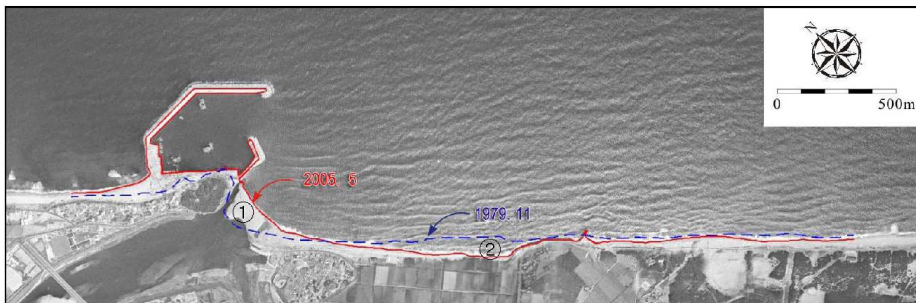
PS 저층(0~90 cmab)에서의 방향별 모래이동량



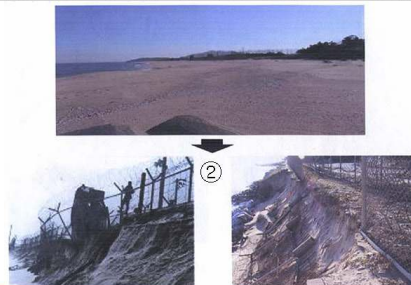
정점 PS에서의 제 변수 시계열

III. 설계사례

● 해안선 변화



① 준설체적 : 125,530 m³ (2005~2006)



III. 설계사례

● 대책안 설계



KORDI

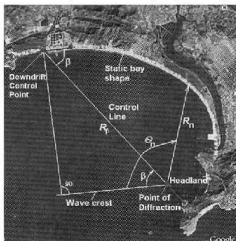
III. 설계사례

- 고려중인 후보안 예



- 포물형 정적안정해안 경험식 (Hsu and Evans, 1989)

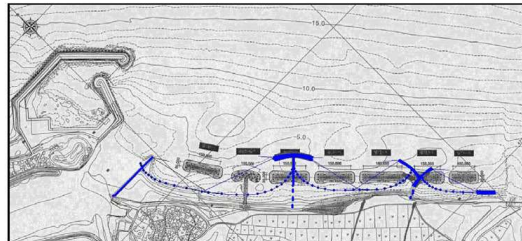
$$\frac{R_s}{R_g} = C_0 + C_1 \left(\frac{\beta}{\theta_n} \right) + C_2 \left(\frac{\beta}{\theta_n} \right)^2 \quad C_0, C_1, C_2 = \text{경험상수}$$



변수 정의



Mamzar beach, Dubai, UAE



Hsu 교수 제안 : T-형 및 어미형 돌제에 의한 정적안정화 (파란색 표시)

KORDI

III. 설계사례

- NNE~N 계열의 동계 폭풍파를 고려할 때 시설물을 이용한 표사계 복측 해안 정적안정화는 그 남측해안의 새로운 침식을 유발할 가능성이 매우 높음.
- 이에 KORDI는 우회양빈과 순환양빈을 제안하였음.



IV. 시공사례

- 제1차 연안정비계획(2000~2009)을 통해 많은 해안의 침식문제를 해결하였음.

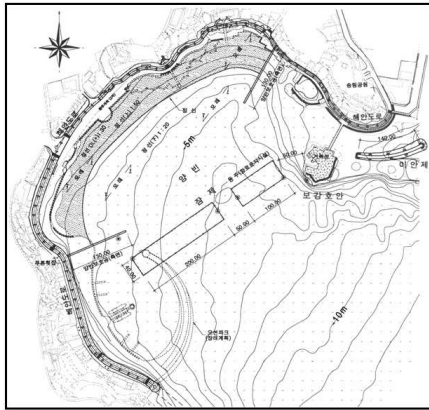
송도해안은 1차 계획의 대표적인 성공사례로 간주되고 있으며, 호안 및 태풍에 의해 유실된 백사장을 양빈과 잠제 2기로 복원하였음.



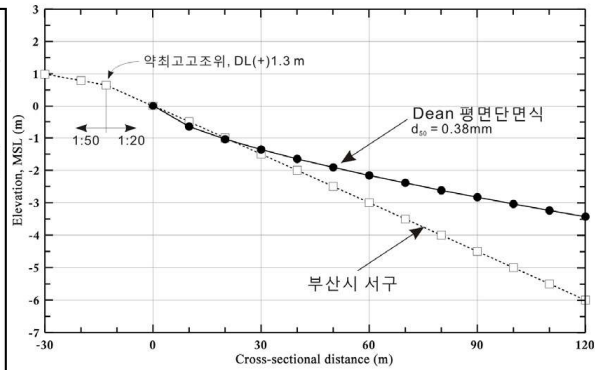
IV. 시공사례

- 송도사업은 한국에서 대규모 양빈이 시행된 첫 번째 사례임.

그러나 양빈 설계단면과 Dean(1977)의 입경에 따른 평형해빈단면을 비교하면 양빈모래가 침식될 가능성이 높았음.



송도지구 연안정비사업 설계평면도



사변경사 비교

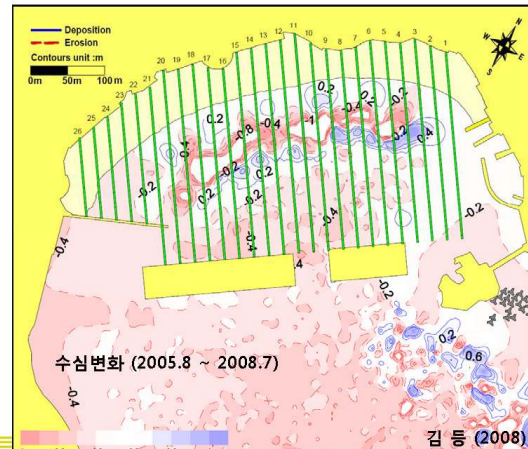
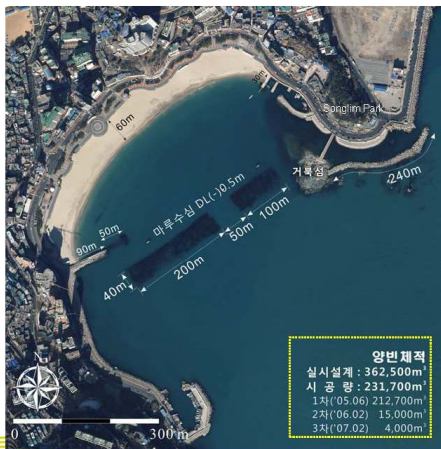
- Dean의 경험식 : $y = Ah^{3/2}$, y =해안선으로부터 외해방향 거리
 h =수심
 A =모래입경에 따른 경험상수
- 부산시 서구 : 약최고고조위 이상 0.02, 이하 0.05

IV. 시공사례

- 또한 부산시 서구는 송림공원 전면 이안제는 설계길이보다 100m 연장하여 시공한 반면, 양빈은 설계양빈량의 64%만 시공하였음.

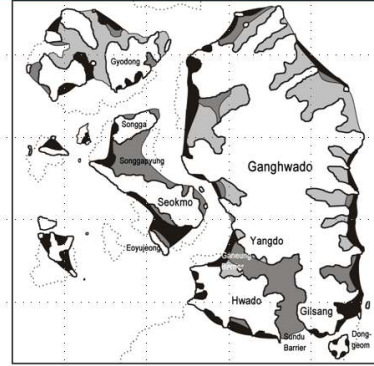
수심측량 성과에 따르면 2005년 7월에서 2008년 12월 사이에 총 양빈량의 17%인 40,000m³가 유실되었음.

- 서구는 제2차 연안정비계획(2010~2019)을 통하여 유지양빈량 70,000m³을 신청하였음.



V. 결 론

- 비록 농지확보를 위한 니질 조건대 간척역사는 오래되었지만 한국의 백사장 침식 대응 역사는 일천함.
- 사회적인 주목을 받은 주요 침식문제가 어항 및 호안 등 연안인프라에 의해 발생했음에 비추어 우리나라의 SCEM을 위한 일차적인 과제는 연안역의 지속가능한 발전을 위한 연안통합관리 차원에서 관련기관간 관련 업무 조정 및 공조체계 수립임.
- 또한 지역사회와 지방정부 관계자 교육·훈련 및 연구 개발 예산을 증액하여 지속적으로 지원하여야 할 것임.



Before 1235 Late 14C 18th Century 19th Century Datum Level
강화도 및 주변 섬의 조간대 매립지역



해안도로와 병행 축조한 호안에 의한 침식사례 (경상북도)

하와이 연안침식 및 관리 사례

Chris Conger - 해양 그랜트 농업연구원

토지, 천연자원, 회계부서와 총무청을 지원하는
해안 전문가와 해안지역 프로그램 고문

conger@hawaii.edu



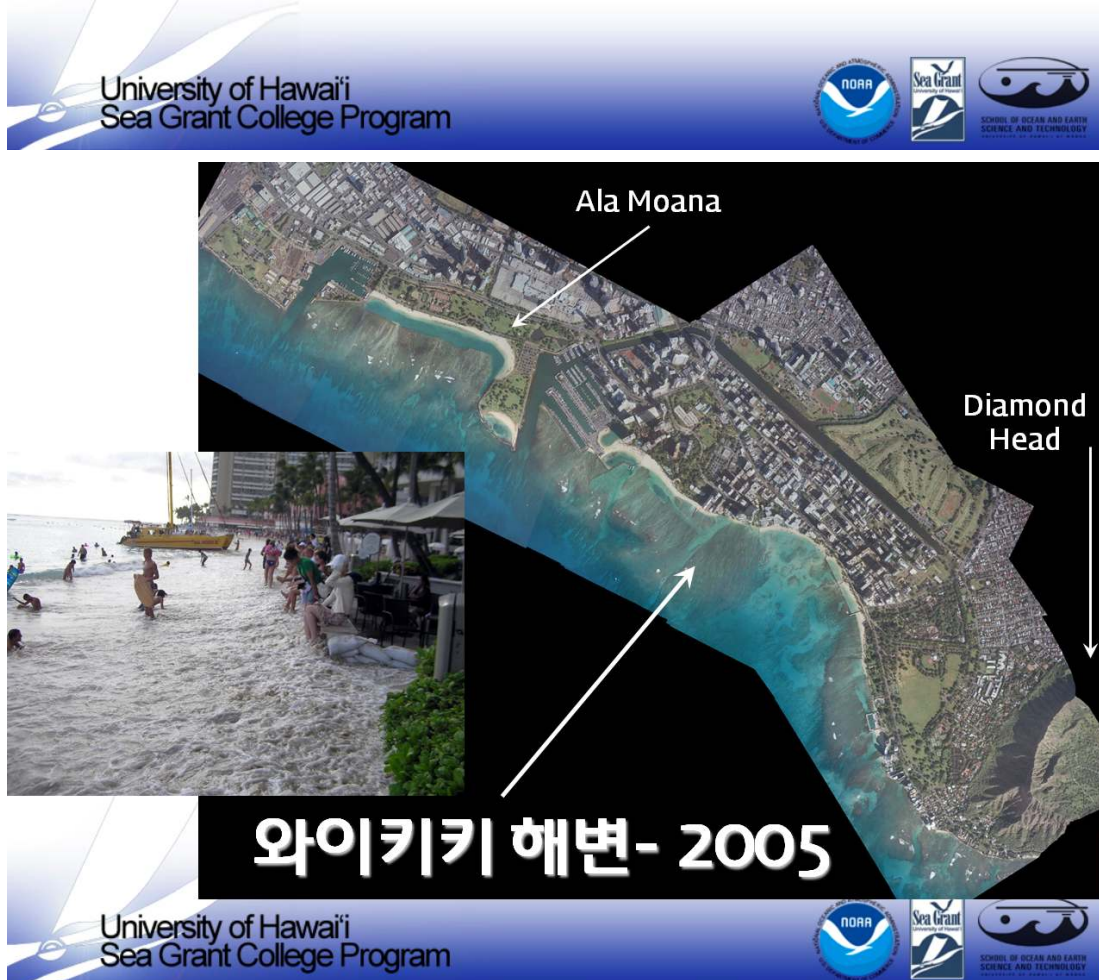
3개 사례 연구

- 와이키키 해변 - 공법적용된 침식되는 해안선, 리조트 용도
- 라니카이 해변 - 침식되는 해안선, 거주지역
- 카일루아 해변 - 퇴적되는 해안선, 거주지역



와이키키 해변

- 기원 : 습지, 매우 작은 해변, 농경과 영주 토지
- 1920~2005 : 245,000 m³이상의 모래가 해안선에 쌓임
- 현재 : 115,000 m³ 정도의 모래가 여전히 해안선에 존재
- 해안선 보호와 연안구조물의 오랜 역사 - 실제로 일부는 허용됨



와이키키 해변

- 하와이 관광시장의 40%를 차지
- 고부가가치 개발과 토지 이용
- 인공해안과 해안 구조물
- 개발을 보호해야 하지만, 한편 해변도 유지해야함
- 주정부, 토지소유자, 지역이용자들은 모두 해변양빈에 시간과 돈을 기부하고자 함

University of Hawai'i
Sea Grant College Program



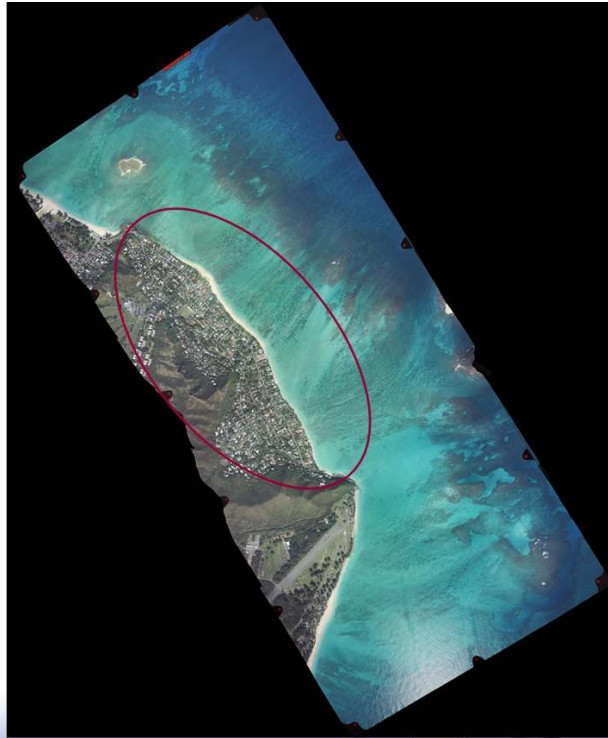
라니카이 해변

- 기원 : 전반적으로 모래해빈, 퇴적
- 1970년대 : 만성적 침식이 북쪽과 남쪽 끝에서 시작
- 1996년 : 미국 최고의 해변으로 선정
- 현재 : 중앙부에 1/3정도의 모래 존재
- 대부분의 재산을 차지하는 모래해빈의 유실에도 불구하고 주택가격의 상승은 지속
- 모든 주택에는 호안이 있음(해빈과 인접한 집조차도)

University of Hawai'i
Sea Grant College Program



Lanikai - 2005



University of Hawai'i
Sea Grant College Program



라니카이 해변

- 고가의 주택단지
- 자연해빈은 퇴적되었고, 해안쪽으로 개발 진행
- 침식으로 위협받는 개인 재산을 보호하기 위한 토지 소유자의 선택 - 개인들의 호안들은 전체 해안선으로 확장
- 연안자원을 훼손시키면서 개발을 보호
- 개별 허가들은 많은 활동 영향들을 평가하지 않음

University of Hawai'i
Sea Grant College Program



카일루아 해변

- 기원 : 전반적으로 모래해빈, 퇴적
- 현재 : 대부분의 해안을 따라 여전히 퇴적되나 최근 남쪽 끝부분에서 침식이 시작됨
- 현재 주택건설은 해안선을 바다쪽으로 옮기고 있음
- 주택 가격은 상승이 지속됨
- 사유지의 해안쪽으로는 해안가 구조물이 없음



Kailua - 2005



카일루아 해변

- 고가의 주택단지
- 자연해변은 여전히 퇴적 - 침식은 남쪽 끝에서 시작
- 해안가 구조물들은 현재 존재하지 않음
- 해빈관리계획이 수립중
- 주정부, 카운티, 지역사회, 토지소유자는 참여 기회 가짐
- 계획은 해안 구조물의 잠재누적영향을 평가
- 지역사회의 계획, 자금 및 미래 해빈관리 결정을 허용

University of Hawai'i
Sea Grant College Program



연안침식 문제

- 하와이 모래해빈의 2/3가 침식중
- 제한된 모래자원- 생물학적 기원
- 개인재산권과 자원보호 사이에서의 갈등
- 의사결정은 개인사유지 단계에서 확정
- 영향은 같은 지역에서 다양한 의사결정들이 누적됨
- 구조물의 대안은 비용이 소요
 - 해빈양빈
 - 토지 수용 및 후퇴
 - 개발규모와 위치 제한
- 모든 해빈에 관한 유지계획은 동의가 필요

University of Hawai'i
Sea Grant College Program





연안침식의 원인

- 지구온난화, 해수면 및 해수온상승 등의 **기후변화**가 2000년대 이후 뚜렷해지고 있음
 - 제주도 인근 해수면의 **상승율** 전세계 평균 **2배이상** 초과
 - 해수온상승으로 인한 **태풍강화현상**
 - 2000년이후 초대형태풍의 잦은 내습(루사, 매미 등)
 - 기상교란으로 인한 **너울성파랑** 및 **이상파랑**의 잦은 내습



연안침식의 원인

- 지속적인 연안개발에 따른 연안백사장 **모래수지의 악화**
 - 댐, 수중보 등 하천수자원개발에 따른 **유사유입 감소**
 - 하천골재채취, 해사채취 등의 **인위적인 모래수지 감소**
 - 연안의 인공구조물화로 인한 **토사의 자연유입 감소**
 - 어항, 방파제 등에 의한 **불연속적인 모래이동**
(지속적인 **매물**과 인근지역 침식발생)



연안침식의 문제점

- 지역별 연안침식이 **외력변화와 계절변동성에 따라 급변**하기 때문에 주기적인 모니터링 이외에 **변화예측 방안 부족**
 - 백사장의 가장 큰 외력인 **파랑의 내습(파고, 주기, 파향)**에 따라 모래의 침퇴적 양상이 크게 변화함
 - 안정적이던 백사장이 **고파랑 내습으로 단시간에 유실되는 사례가** 최근 자주 보고됨(울진 월송정, 태안 만리포 등)
 - 태풍 매미내습시 해운대 백사장은 오히려 퇴적현상 발생



수 일 사이에 침식된 월송정 백사장



하룻밤 사이에 침식된 만리포 백사장

연안침식의 문제점

- 연안정비사업 등 지속적인 침식방지사업이 시행되고 있으나 **시행착오적인 대책한계 및 효과 미미**
 - 침식발생시 **사후복구개념의 응급처치 대응**
 - **단기조사에 의한 침식진단**으로 침식특성 및 원인규명 미흡
 - **모니터링 자료부재로 인한 천편일률적인 대책공법 시행**
 - 돌제, 이안제 등 **하드구조물위주의 대책으로 2차 침식발생**
 - **지자체의 선심성 연안개발로 인한 침식 및 황폐화 가속**



연안침식 대책방안

- **장기적인 침식 모니터링을 통한 진단 및 대책수립 필요**
 - 단기조사에 의한 침식특성 오진 방지
 - 장기 모니터링 자료의 확보를 통한 침식방지공법의 최적화로 2차 침식 문제 해결
 - 과학적 자료에 근거한 중장기 연안정비(침식방지)계획 수립
 - 연안정비사업의 시행착오 저감 및 예산의 효율적 집행
- **해역특성에 적합한 침식방지공법의 개발 필요**
 - 해외사례 검토를 통한 국내 시행착오의 최소화
 - 우리나라의 해역별, 계절별 특성에 맞는 한국형 연안침식방지공법의 개발 필요
 - 하드구조물 위주에서 소프트구조물로의 전환 필요
 - 하천수계와 연계한 종합적인 침식관리체계 수립 필요

연안침식 실태

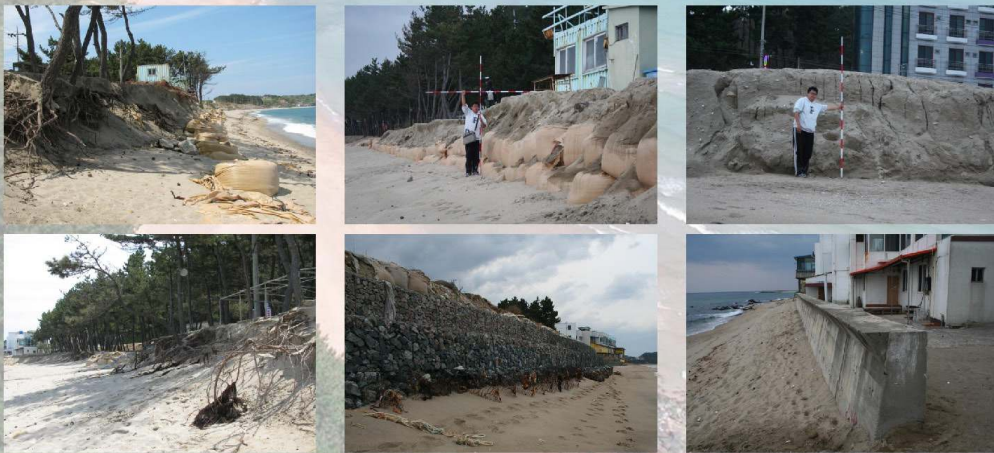
강원도 강릉시 남항진해수욕장 침식 현황

- 안목항 개발로 인하여 연안류 흐름이 차단되고 남대천에서의 모래공급이 감소됨. 각종 건설공사로 인해 해안의 침식과 훼손이 심각한 상태임
- 배후지 토사붕괴가 심각하여 깎이는 정도가 1.5 ~ 6 m 정도 나타남
- 연안정비사업 계속사업(잠제 등, 245억원)



경상북도 울진군 봉평리 해안 침식 현황

- 죽변항 건설 이후 항내 매몰 및 해변침식이 가속화됨
- 응급복구마대 붕괴 및 사구포락이 백사장 중앙지역에서 지속적으로 발생
- 연안정비사업 계속사업(돌제, 잠제 등, 124억원)



경상북도 울진군 구산~월송정 해안 침식 현황

- 구산항 개발에 의한 연안류 흐름 차단, 남천과 황보천에서 모래공급 감소 등이 침식원인임. 침식방지대책인 이안제 설치 이후 배후 백사장은 퇴적되나, 남측 월송리 해안은 배후 식생대까지 침식이 심각하게 진행중임
- 연안정비사업(잠제, 돌제 등, 265억원)



경상북도 포항시 송도해수욕장 침식 현황

- POSCO, 포항항 및 형상강 도류제 건설 등 복합적인 침식원인
- 방파호안 축조로 안선이 앞으로 전진하여 해변폭이 상당히 줄어들었으며, 백사장이 사라진 지역은 추후에 양빈 및 잠제설치 등을 수행할 계획임
- 연안정비사업 계속사업(양빈, 잠제 등, 368억원)



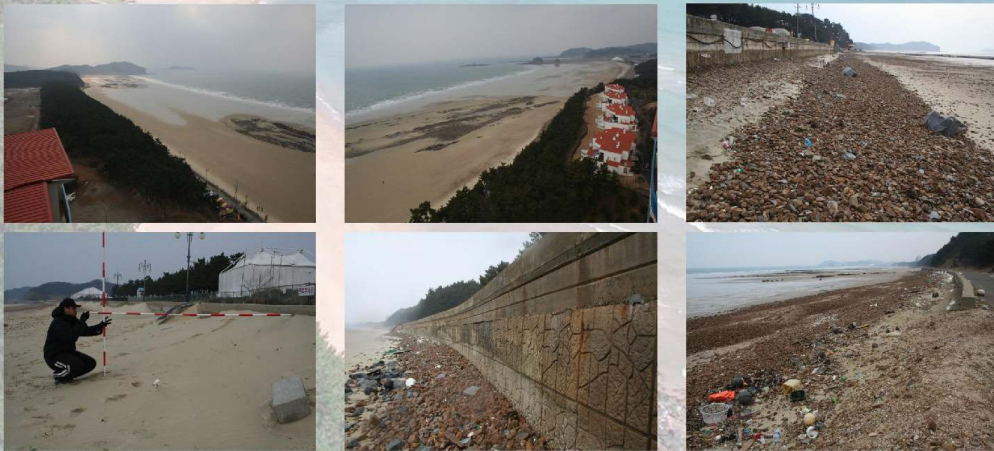
충청남도 태안군 운여해수욕장 침식 현황

- 사구지역 전면에서 실시한 대규모 규사채취로 인하여 침식피해가 발생함
- 호안붕괴 및 해수유입 차단을 위하여 연안정비사업을 통한 호안정비공사가 진행 중에 있음
- 연안정비사업 2009년 12월에 완공할 예정



충청남도 태안군 꽃지해수욕장 침식 현황

- 배후지 개발과 방포항 건설 및 직립호안 설치로 인하여 해수 및 사구의 유동성 차단과 동계 고파랑 내습시 호안전면 반사파로 인해 침식 진행
- 해변의 자갈화가 전구간에 걸쳐 확장되고 있음
- 연안정비사업(사구복원 등, 100억원)

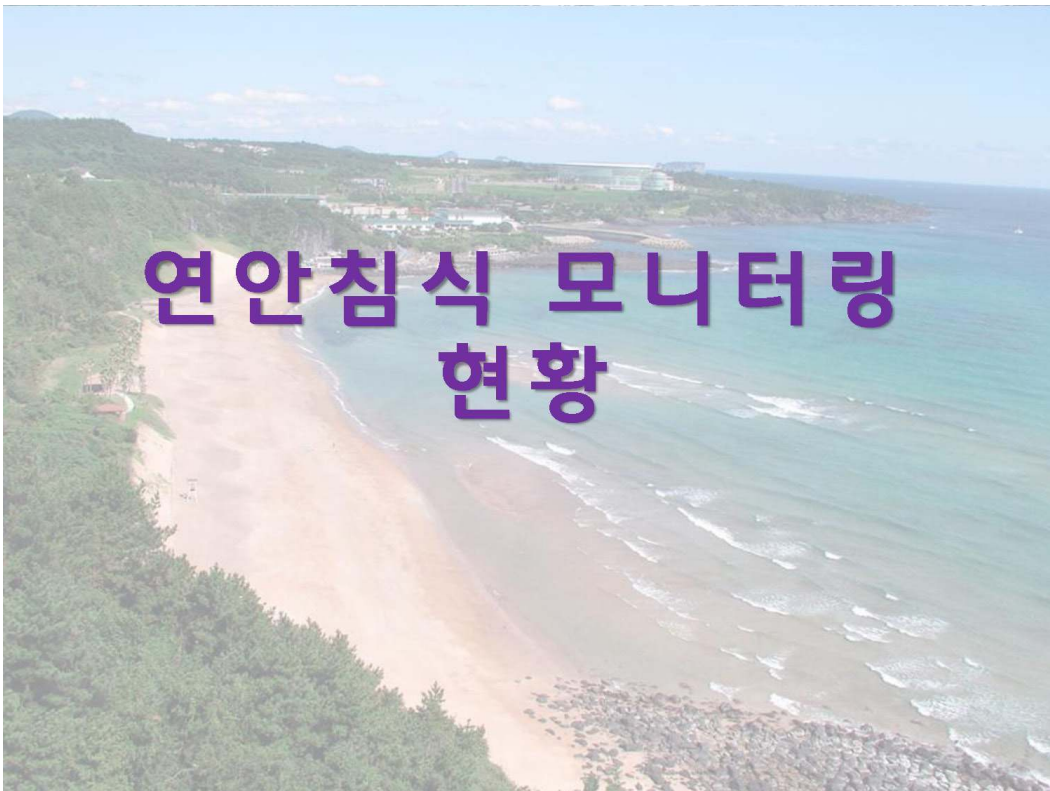


제주도 서귀포시 하모해수욕장 침식 현황

- 백사장 북서쪽으로 하모항 방파제가 확장되면서 대상해역의 표사수지가 변화하여 해안선이 급격히 변화하고 침식이 진행됨(해수욕장 기능 상실)
- 서측 매립지역에서 모래를 포집해 해수욕장으로 양빈수행
- 연안정비사업(침식방지 등, 15억원)



연안침식 모니터링 현황



연안침식 모니터링 항목

항목	조사 내용	목적	주기
연안침식 이력조사	기상, 조석, 조류, 수문, 하천, 지형 및 개발현황, 사진촬영 및 해빈단면측량, 표층퇴적물분석, 항공사진분석	지역현황 및 개발현황, 침식이력변화 및 정도 파악	연1회
비디오 모니터링 조사	해빈(해빈폭, 면적)변화	정량적 해빈변화 자료 축적	상시
	파랑	정량적 파랑외력 자료 축적	상시
해양조사	조석관측, 파랑관측, 해저질조사	기초적인 외력 및 장기적인 침식원인 파악	1회
측량조사	수심측량, 해안선 및 지형측량 (해빈단면측량 포함), GCP측량	장기적인 침식원인 파악을 위한 기초자료 축적 영상보정 및 정확도 향상	1회

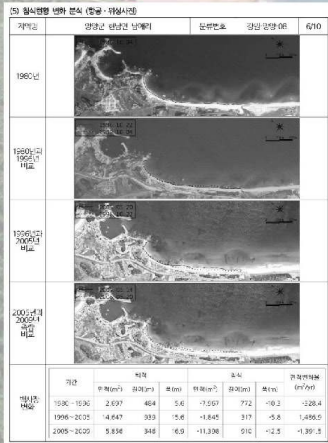
연안침식 이력조사 대상지역

구분	지역명(120개소)
서해안 39개소	인천(7개소) 강화 대빈장, 뒷장술, 영돌, 조개골, 동막, 용진 큰풀인, 서포리, 장굴
	경기도(1개소) 안산 대부도 방어머리-구봉도
	충남(17개소) 태안 학암포, 신두리, 달산리, 만리포, 양잠, 원정, 백사장, 삼봉, 꽃지, 신운1, 신운2~4, 운여, 바람아래, 보령 대천, 무창포, 독산, 서천 송림
	전북(7개소) 군산 선유도, 고창 광승리, 동호, 장호리, 구시포, 부안 변산, 격포
남해안 25개소	전남(7개소) 신안 대광, 백산리, 목포 외달도, 무안 홀룡, 락머리, 영광 백암, 가마미
	전남(5개소) 완도 명사십리, 해남 송호, 송평, 사구미, 보성 울포
	경남(4개소) 남해 상주, 송정, 사촌, 거제 구조라
동해안 56개소	부산(6개소) 사하 다대포, 서 송도, 수영 광안리, 해운대 애운대, 기장 일광, 임랑
	제주(10개소) 제주 이호, 삼양, 광지, 함덕, 서귀포 수마포구, 신양, 중문, 하모, 표선, 사계
강원(30개소)	울산(4개소) 울주 진아, 나사, 북 주전, 정자
	경북(22개소) 포항 송도, 신창2리, 화진, 북부, 도구, 울진 금음리, 구산~월송, 덕신, 봉평, 망양, 월송정, 덕신, 우정, 영덕 고래불, 대진, 장사, 대탄, 경주 오류(감포), 나정, 전촌, 봉길, 나아
강원(30개소)	삼척 오산, 덕산, 맹방, 공촌, 속초 영랑동, 청호동, 속초, 고성 천진1, 화진포, 송지호, 가진, 동해 망상, 추암, 강릉 정동진, 강릉, 영진, 경포대, 사근진, 동덕, 남향진, 주문진, 사천진1~2, 양양 인구, 기사문~잔교, 정암, 오산, 남애, 낙산, 하조대, 동호

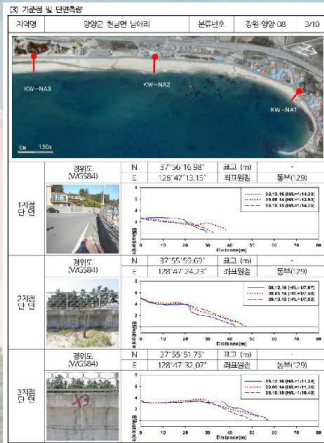
침식이력조사 내용

- RTK-GPS를 이용한 해빈단면측량 수행으로 과거자료와 변화추이분석
- 항공사진을 정사보정하여 정량적인 침퇴적량과 위치 제시
- 표층퇴적물을 채취, 분석하여 입도분석 및 과거자료와 변화추이 분석

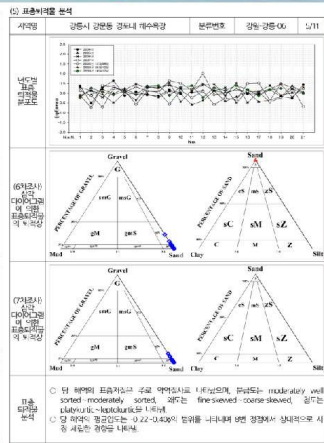
항공사진분석



해빈단면측량



표층퇴적물 분석



침식 등급 평가

침식등급 기준

등급	평가 점수	평가 내용
A (양호)	90점 이상	안정적 퇴적경향이 나타나며 백사장이 잘 보전된 지역
B (보통)	70~89점	침·퇴적 경향이 나타나지만 안정적 해빈유지 지역
C (우려)	46~69점	침식으로 인해 백사장 및 배후지의 재해 발생 가능지역
D (심각)	45점 미만	지속적인 침식으로 백사장 및 배후지의 재해 발생 위험지역

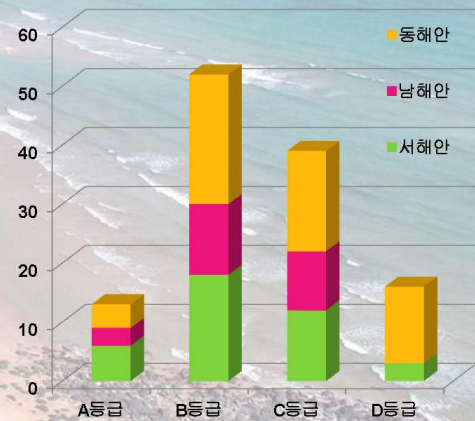
침식등급 평가항목

평가 항목	평가점수	평가 기준
가) 현지주민의 인지도	10	침식정도 및 피해우려 정도
나) 현지 조사자의 인지도	15	침식정도 및 피해우려 정도
다) 해빈 모래질의 변화	15	모래질의 세립화 및 조립화 평가
라) 해빈폭의 변화	20	해빈폭 및 사구포락 증감 정도
마) 해빈고도 및 포락지 변화	20	해빈고도 및 사구포락 경사 증감 정도
바) 배후지 위험도	20	배후지 민가 및 시설물 피해 현황
평가	100	순위 결정

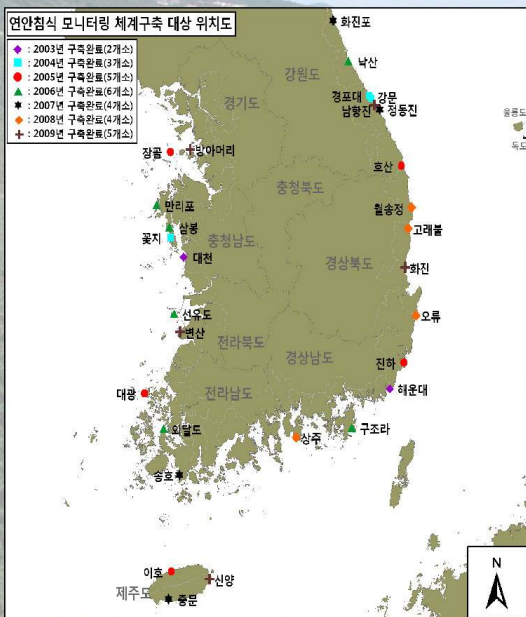
침식이력조사 결과

- 전체조사지역 120개소중 C등급은 39개소로써 전체의 33%를 차지,
- D등급은 16개소로 전체의 13% 차지. 작년대비 침식심각지역 다소증가
- C등급은 서해안 12개소, 남해안 10개소, 동해안 17개소이며 D등급은 서해안 3개소, 동해안 13개소로 나타남

등급	서해안 (39개소)		남해안 (25개소)		동해안 (56개소)		합계 (120개소)	
	'08년	'09년	'08년	'09년	'08년	'09년	'08년	'09년
A	2	6	4	3	3	4	9	13
B	23	18	13	12	24	22	60	52
C	12	12	7	10	16	17	35	39
D	2	3	1	0	13	13	16	16

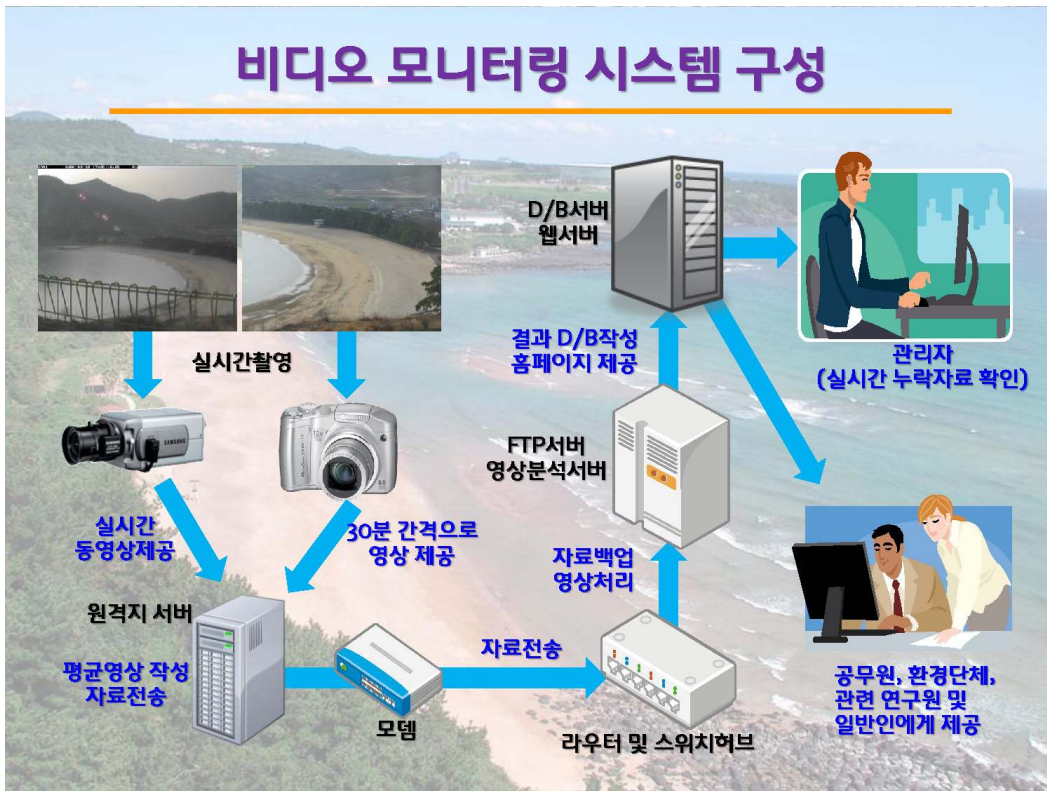


비디오 모니터링 체계구축



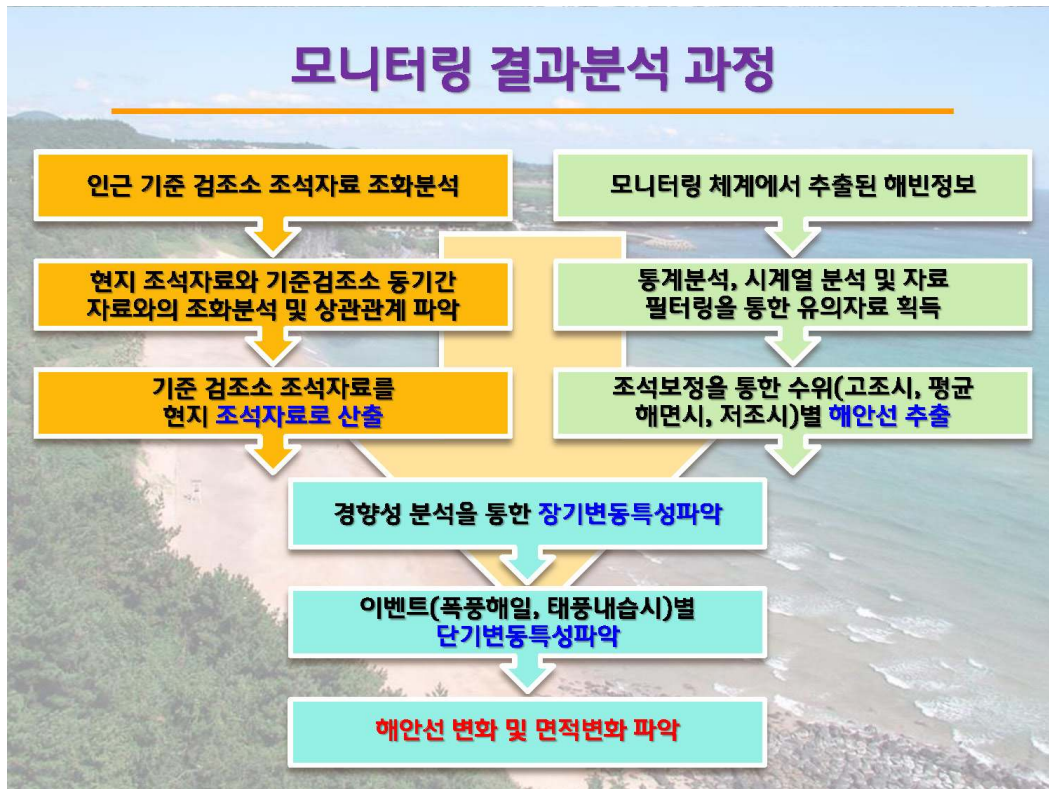
년도	개소	구축 지역
2003	2	부산 해운대, 보령 대천
2004	3	강릉 경포, 강릉 강문, 태안 꽃지,
2005	5	삼척 호산, 울주 진하, 제주 이호, 신안 대광, 울진 장골
2006	6	군산 선유도, 태안 만리포, 목포 외달도, 태안 삼봉, 양양 낙산, 거제 구조라,
2007	4	서귀포 중문, 고성 화진포, 강릉 정동진, 해남 송호
2008	4	남해 상주, 영덕 고래불, 경주 오류, 울진 구산리~월송정
2009	5	안산 방아머리, 서귀포 신양, 부안 변산, 강릉 남향진, 포항 화진

비디오 모니터링 시스템 구성



영상정보추출과정





해운대해수욕장 모니터링 체계

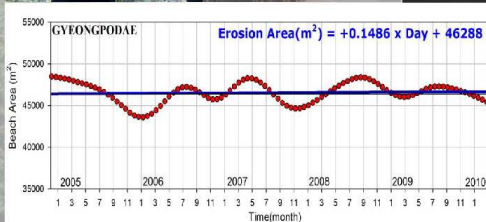
구 분	비디오 소요대수	설치 위치	운영기간
해안선 관측	4대 (C1 ~ C4)	조선비치호텔, 글로리콘도, 한국콘도	영구
파랑 관측	1대(W1)	한국콘도	

> '03.12월 해빈면적은 46,532 m²이었고, '04.12월까지 급격한 침식되어 39,547 m²까지 감소하였으나, 이후 지속적인 퇴적경향을 보이며 '10. 2월 말 62,508 m²로 나타남
 > 이러한 원인은 최근 큰 태풍 및 고파랑의 내습이 없었기 때문으로 사료됨

> 해수욕장의 해빈면적 초기대비 변동 폭은 약 +15,976 m²로, 관측거리 1,150 m를 기준으로 평균 13.89 m의 해빈폭 증가함
 > 안정적 퇴적경향을 나타냄

경포대해수욕장 모니터링 체계

구 분	비디오 소요대수	설치 위치	운영기간
해안선 관측	4대 (C1 ~ C4)	현대경포호텔, 포시즌호텔	영구
파랑 관측	1대(W1)	현대경포호텔	

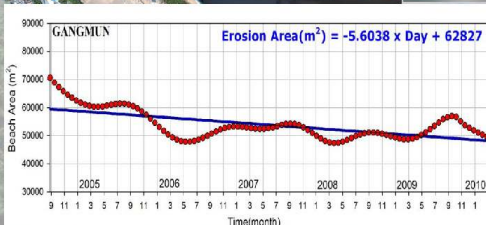


- '04. 12월 해변면적은 48,443 m²이었고, '06. 1월까지 43,574 m²까지 감소, 이후 '07. 3월까지 48,286 m²까지 증가. 침식과 퇴적을 반복하면서, '10. 2월말 45,420 m²로 나타남
- 이러한 경향은 최근 잦은 추계-동계 고파랑에 의한 영향으로 사료됨

- 해수욕장의 해변면적 초기대비 변동 폭은 약 -3.023 m²로, 관측거리 1,700 m를 기준으로 평균 1.78 m의 해변폭이 감소함
- 연간 변동성이 크면서 미미한 침식경향 보임

강문해수욕장 모니터링 체계

구 분	비디오 소요대수	설치 위치	운영기간
해안선 관측	2대 (C1 ~ C1)	현대경포호텔	5년

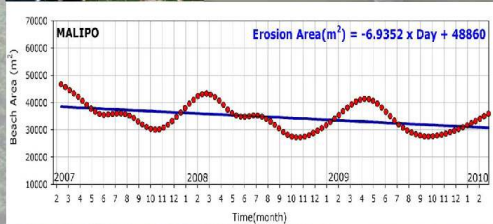


- '04. 8월 초기 해변면적은 69,831 m²이었고, '06. 5월까지 침식경향을 보이면서 47,220 m² 감소함, 이후 계절적 침퇴적 변화를 보이면서 '10. 2월말 49,546 m²로 나타남
- 북측 주차장 확장과 남측 강릉항 건설 등의 영향으로 표사수지 악화가 원인

- 해수욕장의 해변면적 초기대비 변동 폭은 약 -20,285 m²로, 관측거리 1,200 m를 기준으로 평균 16.90 m의 해변폭이 감소함
- 주기적인 침퇴적 교번이 나타나나 전체적인 경향은 급격한 침식이 진행됨

만리포해수욕장 모니터링 체계

구 분	비디오 소요대수	설치 위치	운영기간
해안선 관측	4대 (C1 ~ C4)	모니터링 철탑	5년

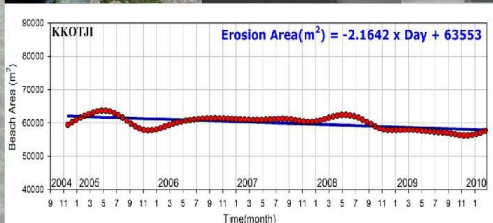


- '07.2월 해변면적은 46,142 m²이었고, 동계~추계에 면적 증가, 하계~추계에 면적 감소하는 계절적 변화 보임.
- '10. 2월말 35,869 m²로 나타남
- 최근 큰 태풍이나 고파랑의 내습이 거의 없어 자연적인 모래수지 감소영향으로 판단됨

- 관측초기대비 해변면적 변동 폭은 약 -10,273 m²로 관측거리 1,300 m 을 기준으로 평균 7.90 m 의 해변폭이 감소함
- 계절적 변화가 크게 나타나면서 침식경향이 나타남

꽃지해수욕장 모니터링 체계

구 분	비디오 소요대수	설치 위치	운영기간
해안선 관측	6대 (C1 ~ C6)	모니터링타워, 오션캐슬호텔	5년
파랑 관측	1대(W1)	모니터링타워	



- '04.11월 초기 해변면적은 59,617 m²이었고, '05.5월까지 64,178 m²까지 증가, 이후 '05.11월까지 57,160 m²까지 감소하다가 다시 증가 하였으나 지속적인 침식경향 보임.
- '10. 2월말 58,191 m²로 나타남

- 해수욕장의 해변면적 초기대비 변동 폭은 약 -1,426 m²로, 관측거리 1,550 m 을 기준으로 평균 0.92 m 의 해변폭이 감소함
- 지속적인 침식경향으로 인한 백사장 모래 유실로 자갈화가 진행

비디오 모니터링 결과 요약

구분	대상지역
퇴적경향 (6개소)	화진포(고성), 정동진(강릉), 해운대(부산), 구조라(거제), 대전(보령), 송호(해남)
변화미미 (8개소)	방아머리(안산), 경포대(강릉), 꽃지(태안), 진하(울주), 대광(신안), 외달도(목포), 중문(서귀포), 고래불(영덕)
침식경향 (15개소)	화진(포항), 남향진(강릉), 변산(부안), 신양(서귀포), 강문(강릉), 호산(삼척), 이호(제주), 장골(웅진), 낙산(양양), 선유도(군산), 삼봉(태안), 만리포(태안), 상주(남해), 오류(경주), 월송정(울진)





2010년 연안침식 모니터링 계획수립

추진
배경

- 제2차 연안정비10개년계획 수립과 함께 **연안정비사업의 효율적 관리 및 체계적 평가**를 위하여 연안침식 모니터링 계획을 재검토하고 연안정비사업과의 연계성을 강화함
- 급변하는 연안침식환경의 변화에 신속히 대처하고, **향후 연안정비계획 변경시 사업대상지역 적극 반영**
- 연안정비사업의 효율적 관리 및 체계적 평가를 통해 **지자체 인센티브 제 도입**

발전
방향

- 연안정비사업에 대한 침식모니터링은 조사목적 및 강도에 따라 **기본 모니터링, 정밀모니터링 및 사후모니터링**으로 구분
- 대상지역 : 308개소(기존 연안침식 모니터링대상지역 + 제2차 연안정비10개년계획 반영지역)
- 침식조사 선정기준
 - **조사제외** : 침식양호지역, 소규모 연안정비사업지역, 침식과 관련없는 연안정비사업지역(방파제, 호안보수 등)
 - **추가지역** : 침식우려지역, 대규모 연안정비사업지역, 침식 관련 연안정비사업지역, 정책적 필요지역

침식 모니터링 분류

구분	기본모니터링	사후모니터링	정밀모니터링
대상지역	<ul style="list-style-type: none"> 연안정비사업 대상지역 중 침식 및 보존관리가 필요한 지역 	<ul style="list-style-type: none"> 연안정비사업 대상지역 중 연안정비사업 착수/종료지역(광역지자체 주관) 	<ul style="list-style-type: none"> 연안정비사업 대상지역 중 일정규모 이상의 사업비가 소요되는 침식방지사업 지역 사업시행으로 인하여 주변의 침식영향이 우려되는 지역
조사목적	<ul style="list-style-type: none"> 침식현황 파악 연안정비사업 우선순위, 계획변경 	<ul style="list-style-type: none"> 연안정비사업 시행 및 관리현황 평가 사후 사업효과 및 관리현황 평가 	<ul style="list-style-type: none"> 침식원인분석 및 대책공법 수립 연안정비사업 설계 기초자료 제공
조사기간	<ul style="list-style-type: none"> 연안정비사업 착수시 까지 연안정비사업 착수후 사후모니터링조사로 전환 	<ul style="list-style-type: none"> 연안정비사업 착수시 부터 종료후 5년간 	<ul style="list-style-type: none"> 연안정비사업 착수전 약 1~2년간

기본 모니터링/사후모니터링 항목

구분	조사항목	조사방법
기본 모니터링	<ul style="list-style-type: none"> 침식이력조사(과거자료, 탐문조사, 연안지형 및 시설물현황 조사 등) 	2회
	<ul style="list-style-type: none"> 해저질조사 	2회
	<ul style="list-style-type: none"> 간이기준점설치 	1회
	<ul style="list-style-type: none"> 간이해빈단면측량 	1회
	<ul style="list-style-type: none"> 항공사진분석(갱신시 추가) 	1회

구분	조사항목	조사방법
사후 모니터링	조사대상 지역 <ul style="list-style-type: none"> 기본모니터링항목 지자체 연안정비사업 관리현황 연안정비사업 효과 평가 	1회/년이상
	조사제외 지역 <ul style="list-style-type: none"> 지자체 연안정비사업 관리현황 연안정비사업 효과 평가 	1회/년이상

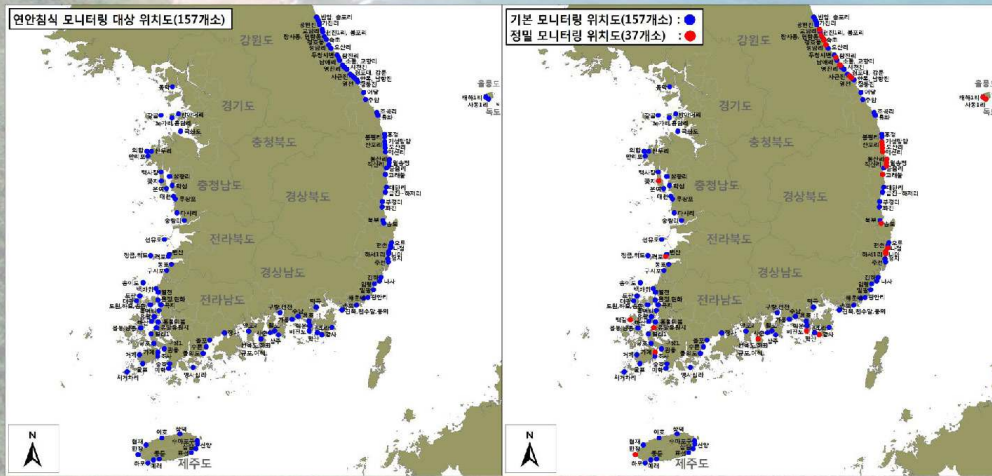
정밀 모니터링 항목

구분	조사항목	조사방법
정밀 모니터링 (해양조사 분야)	<ul style="list-style-type: none"> ● 침식이력조사(과거자료, 탐문조사, 연안지형 및 시설물현황 조사 등) ● 항공사진분석(갱신시 추가) ● 해저질조사 ● 정밀기준점 설치 ● 정밀지형 및 해안선측량 ● 수심측량 ● 파랑관측(파고, 파향 및 주기) ● 조류(or 해빈류)관측 ● 하천유사량조사 ● 비디오모니터링 	4회/년이상 1회 2회(동계/하계) 1회 4회(계절별) 2회(동계/하계) 2회(동계/하계) 2회(동계/하계) 3회(평수/갈수/홍수기) 상시
정밀 모니터링 (수치 모델링 분야)	<ul style="list-style-type: none"> ● 해수유동 수치모형실험 ● 퇴적물이동 수치모형실험 ● 파랑변형 수치모형실험 ● 해빈류예측 수치모형실험 ● 해안선변화예측 수치모형실험 ● 해빈단면변화예측 수치모형실험 	1식 1식 1식 1식 1식 1식

※ 해역별, 지역별 연안특성에 따라 조사항목이 일부 변경될 수 있음

2010년 연안침식 모니터링 대상지역

- 2010년 연안침식 모니터링 대상지역
 - 총 157개소(계속 : 73개소, 신규 : 84개소(연안정비사업지역))
 - 기본모니터링 : 157개소, 정밀모니터링 : 37개소

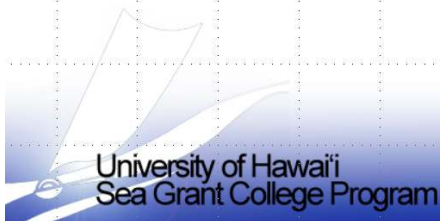


연안침식 워크숍 연안침식의 과학적 대응을 위한 지침.정책.규제를 통한 재해계획

Dennis J. Hwang

기관 - 하와이 대학 해양 그랜트 대학 프로그램, 미국 해양대기관리청

djh@opglaw.com



Hawaii Coastal Hazard Mitigation Guidebook

Dennis J. Hwang



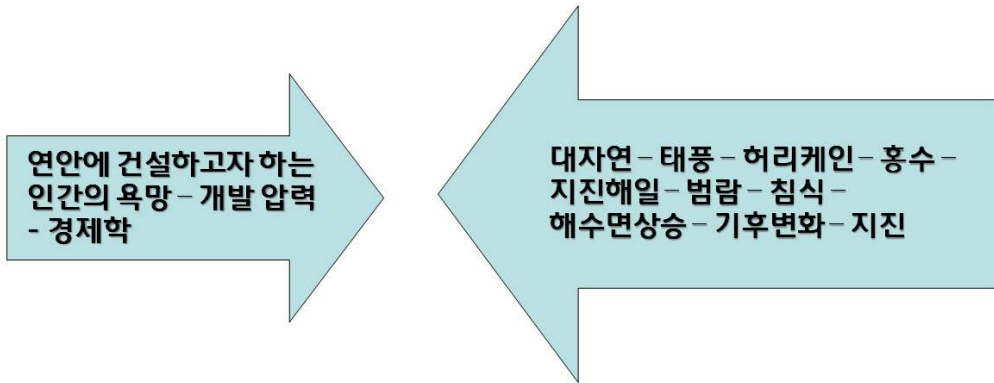
For

- 하와이대학 씨그렌트 대학 프로그램
- 국토자원부
- 하와이 해안역관리 프로그램
- 태평양 서비스 센터 (NOAA)
- 연안서비스 센터 (NOAA)

Published By

하와이 대학 씨그렌트 대학
프로그램

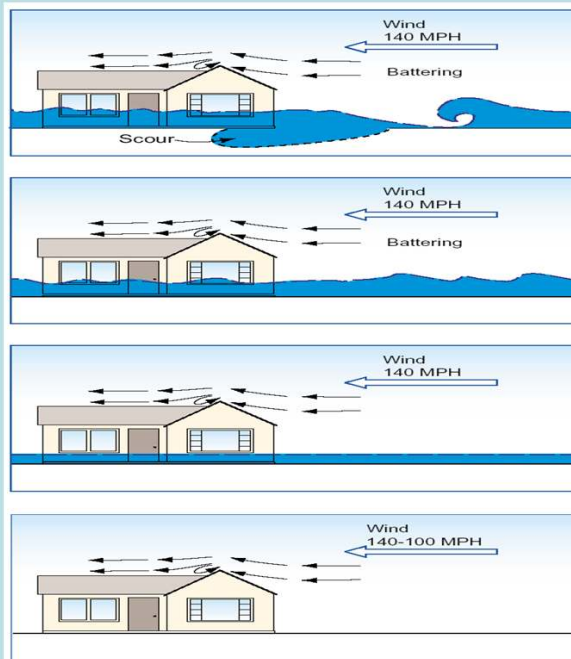
www.soest.hawaii.edu/SEAGRA
NT



재해로부터 위험요소를 줄이기 위해서는 대자연과 인간본질에 대한 이해가 필요 (개발 프로세스)



개념1. 모든 재해에 관한 계획 - 영향권 정의



침식지역

파랑지역
(V, VE zones)

홍수지역
(A, AE, X zones)

내륙지역

Adapted from FEMA CCM

침식 피해

텍사스 갤버스턴 - 허리케인 아이크



파랑 피해

홍수 피해 - 4피트 정도의 범람으로
전체 가구의 50%에 달하는
108,731 가구가 홍수피해



강풍 피해

루이지애나에서 발생한
카트리나

개념 2 – 개발과정 이해 모든 관할권은 체계와 과정을 가지고 있다.

Development Stages vs. When Proper Siting and Building Practices Should be Addressed

1. State Land Use Districts
2. General – Community Plans
3. Local Zoning
4. Subdivision of Land
5. Infrastructure Improvements
6. Lot Purchase
7. Home Construction (How to Build)
8. Erosion/Hazard Noticed – Remedial Options Evaluated



어떻게 지을 것인가 - 건축



어디에 지을 것인가 - 대지



개념 2 - 개발과정 이해 토지 소유자와 갈등으로 입지 문제를 가능한 신속처리

Development Stages vs. Market Value, Landowner's Investment Expectations, Community Input & Govt. Options



개념 3 - 실행요소의 이해

하와이 연안재해 경감 가이드북

Government Implementation Light or Heavy Handed?



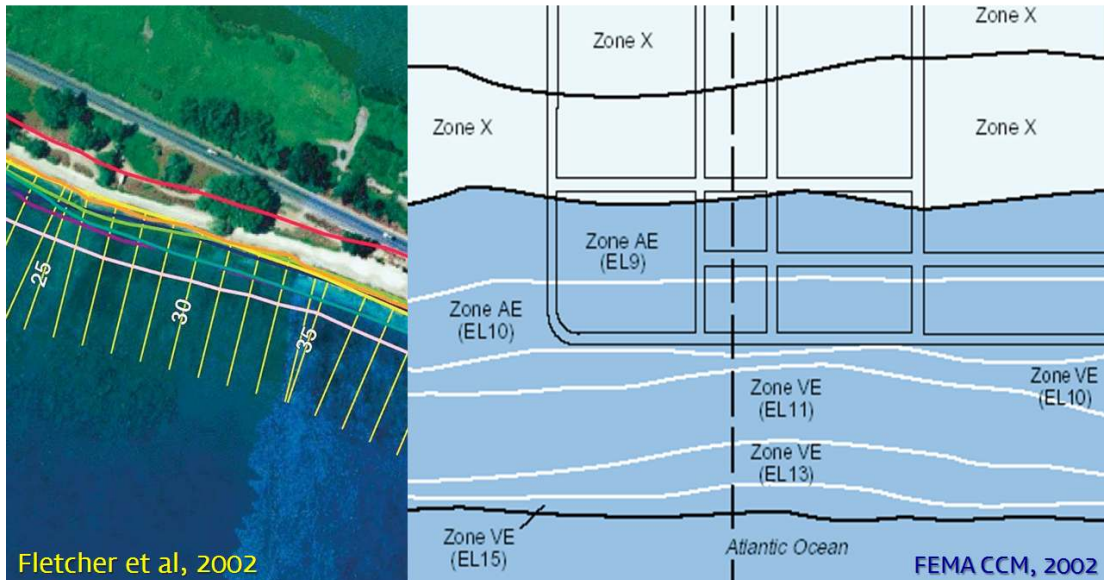
지식

자연재해 취약지역은?
과거에 무슨 일이 발생했는가?
이 지역에서 침식, 침하, 범람, 홍수 등이 발생했는가?



계획 정보 사례

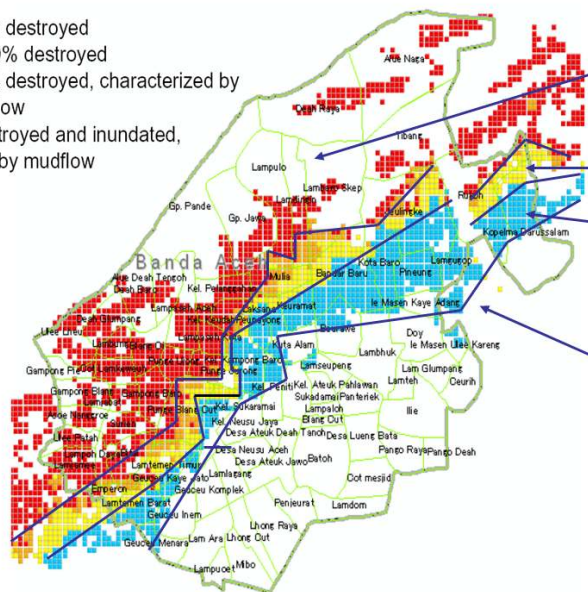
침식 및 침하 비율, 해수면 상승, 발생 빈도 등
만약 이 지역에 홍수가 발생한다면, 얼마나 깊고, 빨리, 자주 발생하는가?



계획 정보 – 인도네시아 지진해일 피해 평가 (2004년 12월 26일)

House/Building Damage

Red: 100-85% destroyed
Orange: 85-50% destroyed
Yellow: 50-0% destroyed, characterized by debris & mudflow
Cyan: 0% destroyed and inundated, characterized by mudflow



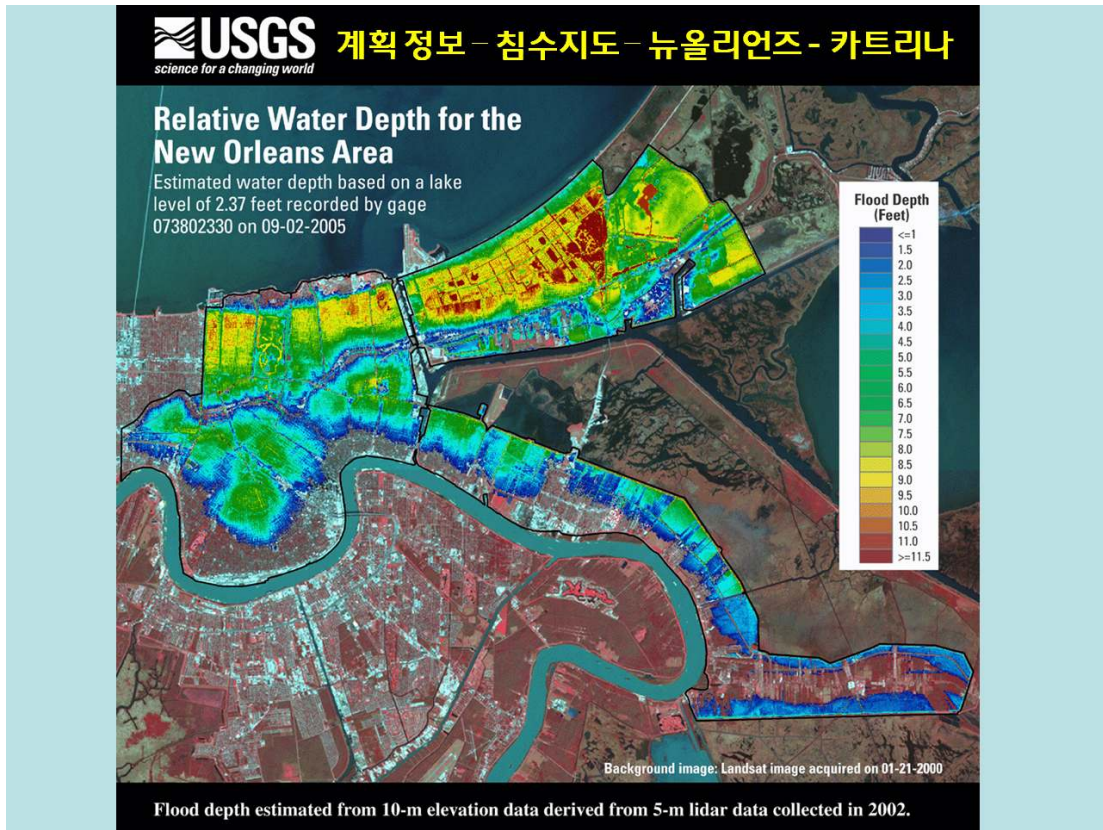
토지 사용 / 입지 구역

파랑 구역

홍수 구역

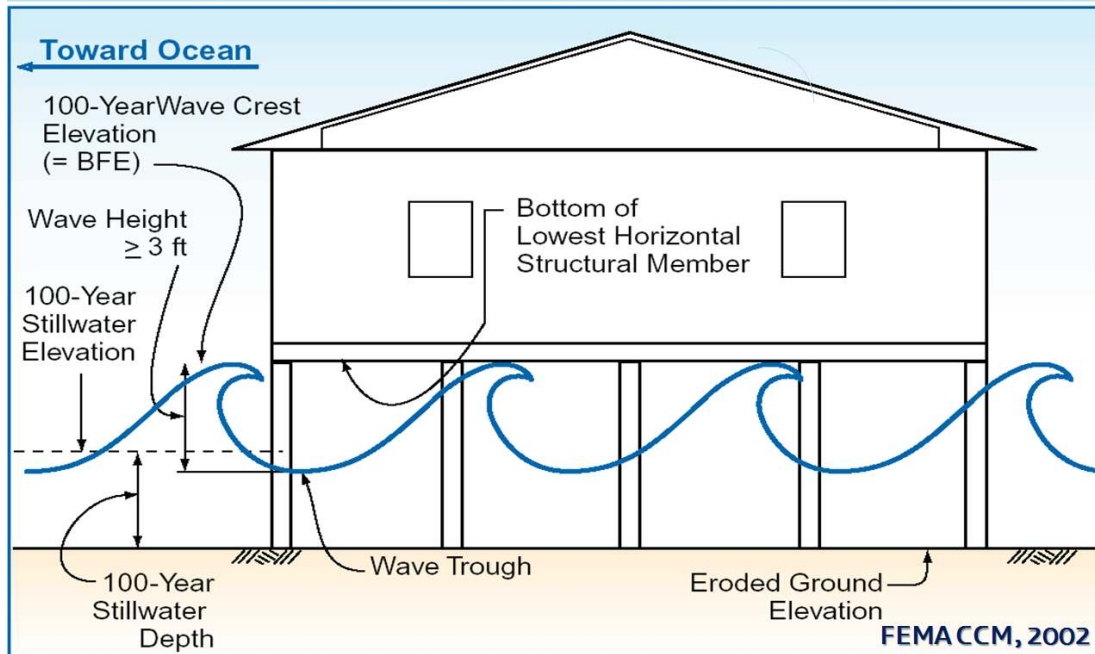
내륙 구역

JICA Study Team -
Urgent Reconstruction
and Rehabilitation
Plan - ARRIS (GIS)
System



지침

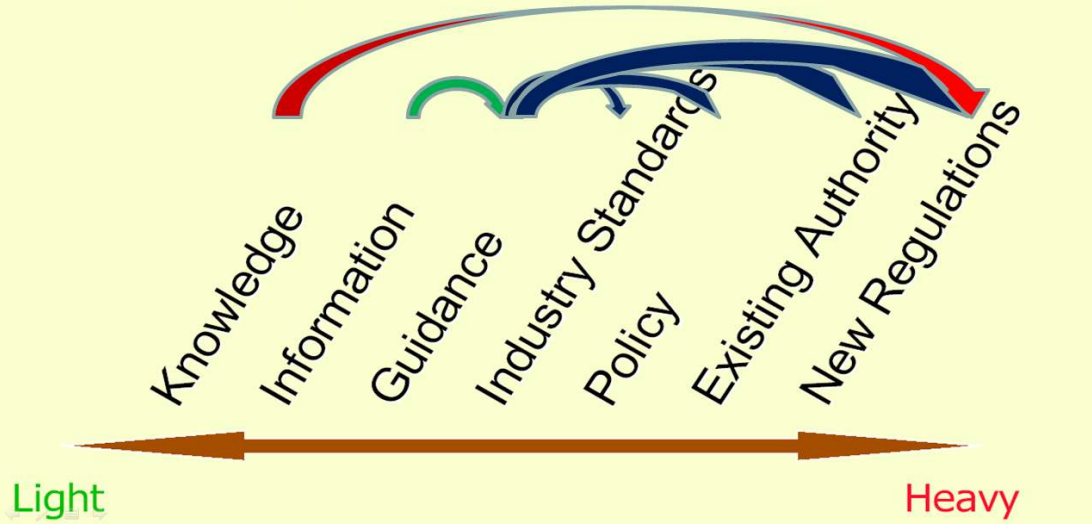
침식, 자연재해 위험, 홍수 피해를 줄이기 위해 어떻게 지어야 되는 방법



개념 3 - 정부 실행의 요소들

하와이해양 경감 가이드북에 의해 적용

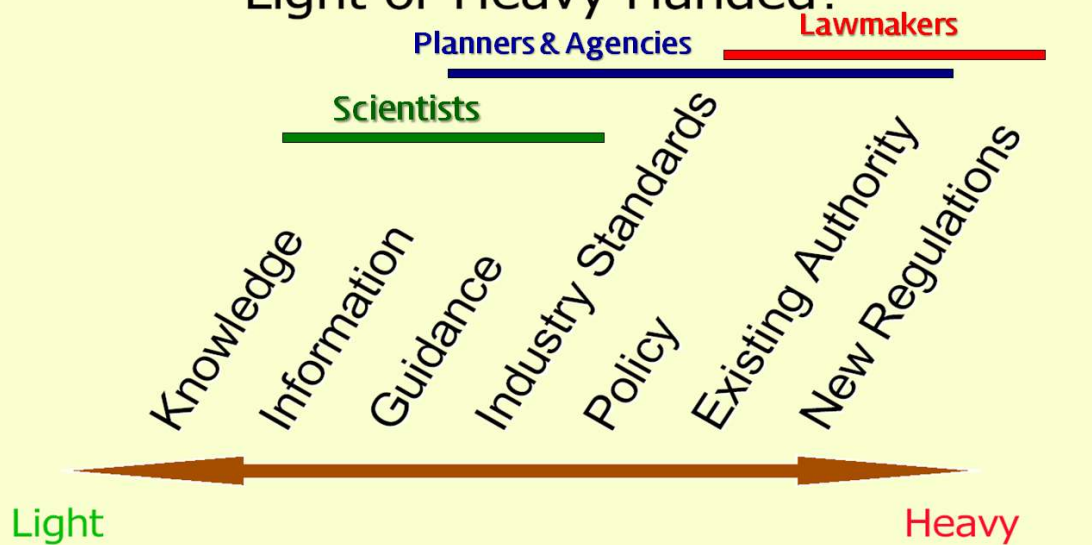
Government Implementation Light or Heavy Handed?



Concept 3 - 실행 요소들의 이해

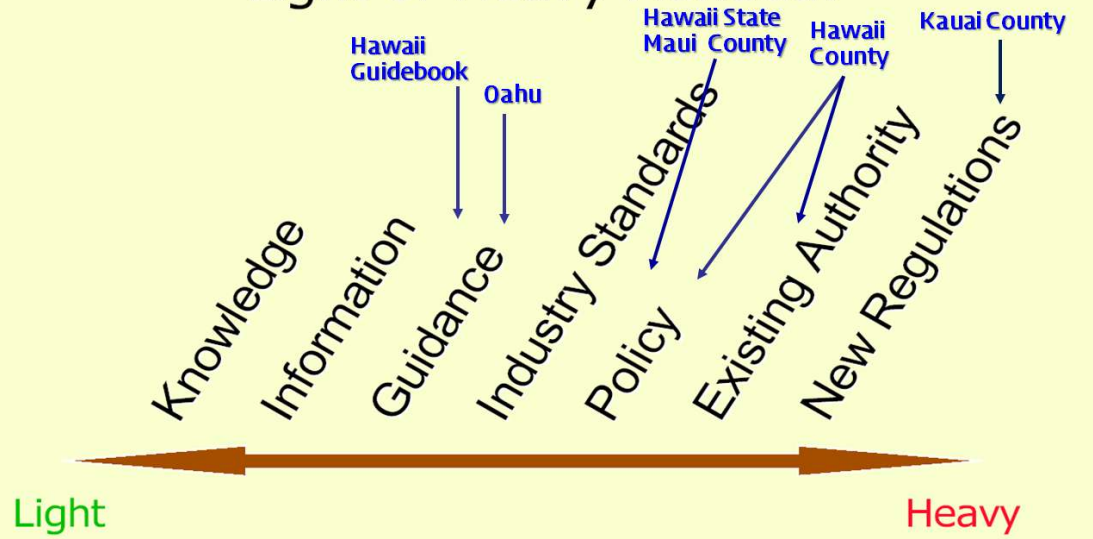
하와이연안재해 경감 가이드북에 의해 적용

Government Implementation Light or Heavy Handed?



개념 - 하와이 지역에서의 실행

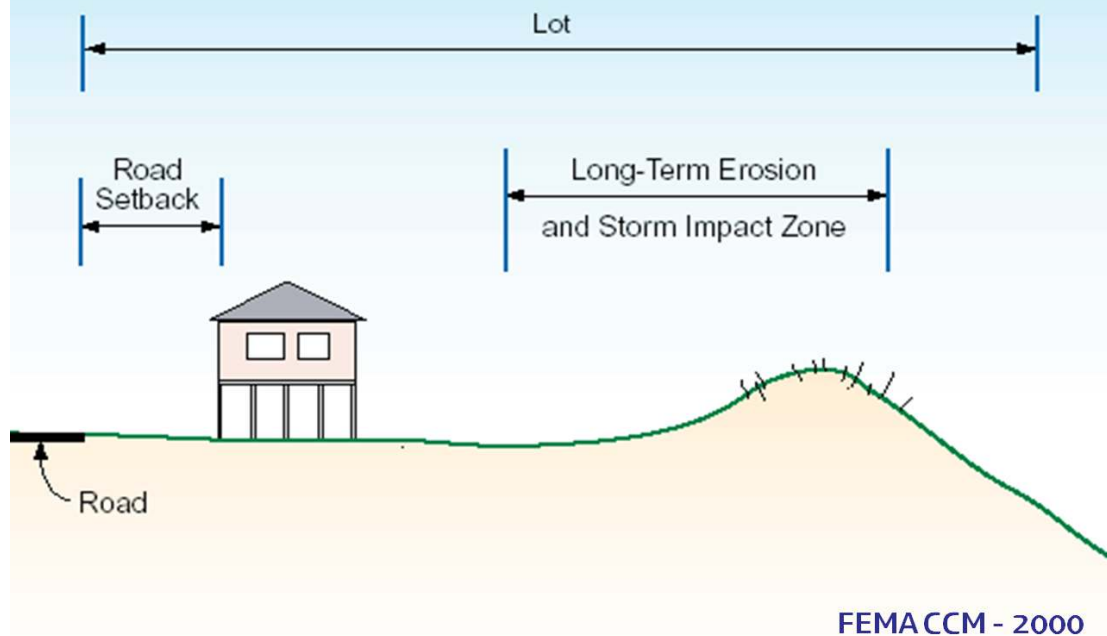
Government Implementation Light or Heavy Handed?



사례 연구 - Kauai 해안선 후퇴규정



하와이 연안재해 경감 가이드북 권장



독특한 해안선 후퇴규정

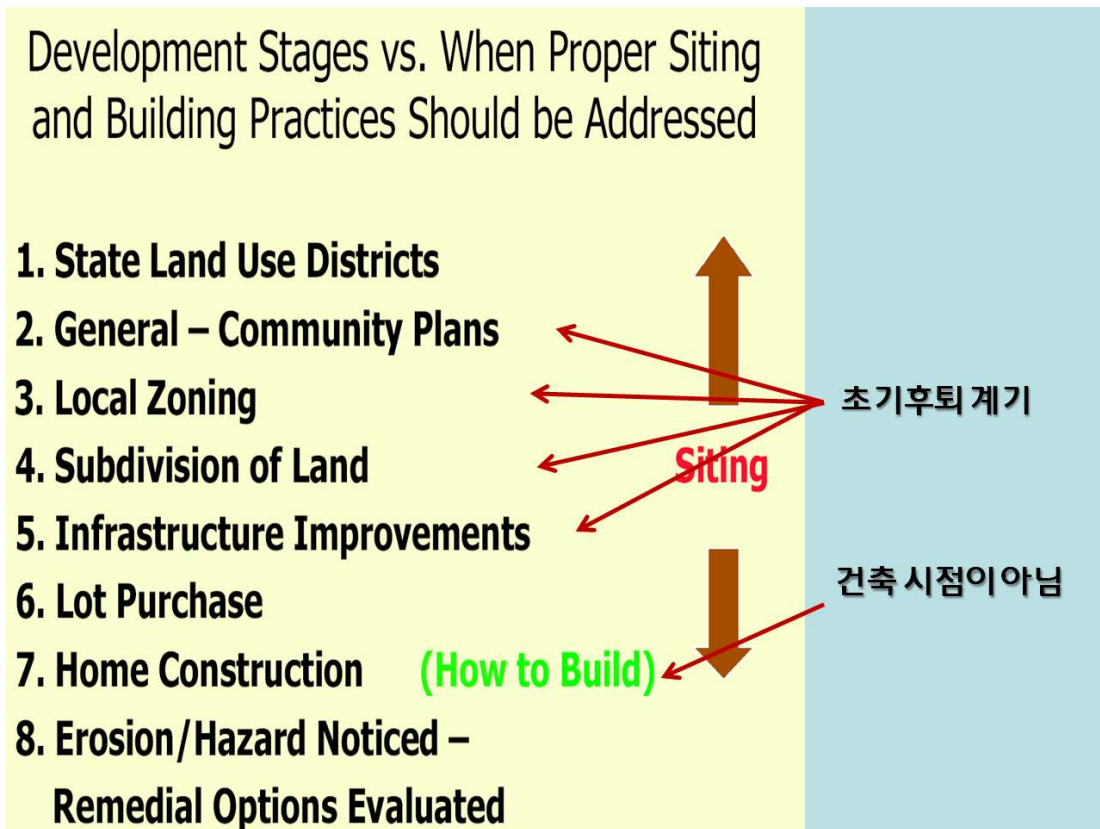
어느지역 - 순수 과학적으로

과학적 침식율과 계획 기간 70년 동안 침식 비율 40% 증가

70년 - 나무 골격 구조물의 평균(건축자재, 유지, 구조적 붕괴, 물에 의한 피해 고려) (Anderson, 1978)

수면 상승 변화에 민감한 연안역에 있어 해수면 상승에 적응된 침식율





경감 향상을 위한 단계 (과학자들)

- 1) 모든 재해를 처리 – 복합적인 재해에 대한 접근
- 2) 재해구역 설정 – 침식, 파랑, 홍수, 강풍, 지진 등
- 3) 계획정보를 제공하는 과학자와 더 좋은 입지와 건설을 위한 지침 (지식, 계획정보, 지침)

경감 향상을 위한 단계 (계획가-기관)

- 1) 지침 제공과 정책, 산업기준, 기존 관청과 신규 규제를 통한 이행 지원
- 2) 당신 지역의 개발 과정 이해(지역 계획, 구획화, 분할, 재산권)
- 3) 개발단계의 요소 - 개발 특정단계에 대한 적절한 대책 - 타당성 - 적절성 - 공정성
- 4) 가능한한 빨리 모든 재해(해수면상승)에 대해 적절한 계기를 가지는 계획

University of Hawai'i
Sea Grant College Program



경감 향상을 위한 단계 (입법가, 정치인)

- 1) 이행 요소의 통합 이용 - 지식, 정보, 지침, 정책, 산업기준, 기존 관청, 신규 규정 - 모든 것들이 중요함
- 2) 더 나은 입지와 건설을 위해 제공된 지침에 의존
- 3) 올바른 방향에서 작은 시작이 중요함 (최근 관할권은 지침에 근거한 개발정책을 고려할 수 있음)

University of Hawai'i
Sea Grant College Program

