

보고서 발간 번호: BSPE9853E-10072-5

연안사주가 해빈지형 변동과 해안선 변동에
미치는 영향 연구

The Influence of Nearshore Sandbars on Beach
Morphological Response and Shoreline Change

2011. 5

한국해양연구원

제 출 문

한국해양연구원장 귀하

본 보고서를 “연안사주가 해빈지형 변동과 해안선 변동에 미치는 영향”과제의
보고서로 제출합니다.

2011. 5.

연구책임자 : 박준용

참여연구원 : 이희준, 정의영
김영일, 이정민
최태진

요 약

경북 울진에 위치한 한국해양연구원 동해연구소 앞 후정해빈에서 현장조사를 통하여 쇄파대 사주의 이동과 연안 모래 체적 변화에 따른 상관관계를 비교해 보았다. 연안지형조사는 육상 라이더(Terrestrial LiDAR), RTK-GPS 시스템을 이용하여 육상해빈의 지형을 4개월에 걸쳐 다섯 번 조사하였으며, 쇄파대 해저지형 역시 RTK-GPS 시스템과 단빔음향측심기를 이용하여 육상 해빈지형 조사시기와 비슷한 시기에 수심 8 m 되는 지점까지 조사를 실행하였다. 해빈과 쇄파대 간의 모래 체적 변동에 있어서 서로 반비례하는 관계($R^2 = -0.49$)를 보여주면서 해안에 수직되는 방향으로의 모래퇴적물의 이동이 일어나고 있음을 나타냈다. 육상해빈과 쇄파대를 합친 전체 퇴적량 변동에 있어서는 첫 번째 조사 이후 모래 체적이 점차적으로 감소하는 양상을 나타내고 있어 모래 퇴적물이 해안에 평행하게 이동하거나 외해쪽으로 이동한 것으로 사료된다. 쇄파대 사주의 이동거리를 해안에 수직된 방향으로 측정 후 해빈, 쇄파대 그리고 전체 모래 체적 변동과 비교하였을 때, 전체적으로 사주의 이동거리와 반비례하는 양상을 보여 주었다. 사주 이동거리와 관련하여 해빈 모래 체적 변동과의 상관계수값(R^2)은 -0.14 , 쇄파대 모래 체적 변동과의 R^2 는 -0.74 그리고 해빈과 쇄파대를 합친 전체 모래 체적 변동과의 R^2 는 -0.81 로 나타났다. 이에 적은 조사횟수로 인한 오차가 존재하기는 하겠으나 쇄파대 사주의 이동양상과 연안퇴적물의 변동과 밀접한 관계를 보여주었다.

주요어: 사주 이동, 해빈, 쇄파대, 퇴적물 이동, 동해

S U M M A R Y

Nearshore sandbar migration and littoral volume change were examined by conducting field surveys and analysis at Hujeong beach, Gyeongbuk located at the east coast of Korea. Subaerial beach morphology surveys were conducted five times during four months by using terrestrial LiDAR and RTK-GPS systems. Nearshore bathymetry of the surf zone were also measured down to 8-m water depth five times by using the RTK-GPS and single-beam echosounder system. Volume changes between the subaerial beach and subaqueous shoreface show relatively low correlation ($R^2 = -0.49$) but indicate occurrence of shore-normal sand transports in the study site. However, total volume of the beach and shoreface decreased gradually during the survey period suggesting that alongshore sand transport or offshore transport out of the coastal system might be occurring actively in the site. Correlation coefficients (R^2) of the subaerial beach volume, subaqueous shoreface volume and total (littoral) volume for the nearshore sandbar migration distance were -0.14, -0.74 and -0.81, respectively. As a result, although it is expected statistical errors due to the small number of the data, our result shows the existence of close relation between nearshore sandbar migration and coastal sand volume change.

Keywords: sandbar migration, beach, surf zone, sediment transport, East Sea

C O N T E N T S

Summary (in Korean)

Summary (in English)

Contents (in English)

Contents (in Korean)

List of Tables and Figures

Chapter 1. Introduction

Chapter 2. Study area

Chapter 3. Methods

Chapter 4. Results

Chapter 5. Discussion

Chapter 6. Conclusions

Chapter 7. References

목 차

국문 요약

영문 요약

영문 목차

국문 목차

표 및 그림 목록

제 1 장 서론

제 2 장 연구지역

제 3 장 조사 및 분석 방법

제 4 장 결과

제 5 장 토의

제 6 장 결론

제 7 장 참고문헌

List of Tables and Figures

- Figure 1. Study site map and location of the surveyed beach-profile line.
- Figure 2. Bathymetry map of the study site and the beach profile survey line.
- Figure 3. Terrestrial LiDAR system used in this study.
- Figure 4. Beach topography surveying system using the RTK-GPS system
- Figure 5. Workflow chart of the beach topography surveying and data post-processing.
- Figure 6. Surf-zone bathymetry surveying boat system
- Figure 7. Workflow chart of the bathymetry surveying and data post-processing.
- Figure 8. 3-D coastal morphology of the study site and the beach profile surveying line.
- Figure 9. Change of the beach profile during the survey period.
- Figure 10. Profile volume changes and the nearshore sandbar migration distance changes during the survey period.
- Figure 11. Volume changes of the subaerial beach, subaqueous shoreface and total profile area during the survey period.
- Figure 12. Profile volume change plots: (A) Beach volume Vs. shoreface volume; (B) Beach volume Vs. total volume; and (C) Shoreface volume Vs. total volume.
- Figure 13. Comparison between the sandbar crest migration distance and profile volume changes of the beach, shoreface and total area.

제 1 장 서론

쇄파대내에서 연안사주(nearshore sandbar)의 출현과 소멸은 일반적으로 해변(beach)의 계절적 침식(erosion) 및 퇴적(deposition) 순환작용과 연관이 있는 것으로 생각해 오고 있다. 전통적으로 연안사주의 출현과 육지쪽으로의 이동(onshore migration)은 해변의 퇴적양상으로 나타내고 반면에 편평한 해변단면 모양과 사주의 외해쪽으로의 이동(offshore migration)은 해변의 침식상태를 나타내는 것으로 해석되어 왔다.

하지만, 쇄파대 사주의 복잡한 형태와 더불어 이를 모니터링할 수 있는 시스템을 갖추는 것이 어렵기 때문에, 이러한 연안사주와 해변 및 쇄파대 해저지형에서의 모래퇴적물 부피변화와의 관계에 대한 정량적인 현장관측이 충분히 이루어지지 않은 상태이다(Stive and Reniers, 2003).

불규칙적인 물리현상을 보여주는 쇄파대에서의 제한적인 모니터링 시스템 체계에 불구하고, 사주가 갖는 지형적 특징과 이안류와 같은 연안현상과 관련성 때문에 사주의 형태나 이동에 대한 연구는 꾸준히 진행되어 왔다(Wright and Short, 1984; Lippmann and Holman, 1990; Thornton et. al, 1996; Hoefel and Elgar, 2003). 특히 쇄파대에 존재하는 사주는 해변을 보호해 주는 역할과 더불어 해안에 수직방향으로의 퇴적물 이동의 주요 매개체 역할을 하기에 쇄파대 사주의 육지쪽으로의 이동이나 바다쪽으로 이동에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있다 (Hoefel and Elgar, 2003; Gallagher et al.,1998; Drake and Calantoni, 2001, Elgar et al.,2001). 태풍발생시 일어나는 해저이안류(undertow) 등에 의한 외해 방향으로의 사주이동 기작에 대한 연구는 어느 정도 진척이 되어왔으나 (Thornton et al., 1996; Gallagher et al., 1998), 육지쪽으로의 퇴적물 이동이나 사주 이동 기작은 잘 알려져 있지 않기에 현존하는 해변지형 변동예측에 대한 모델들은 정확하지 않은 것으로 알려져 있다 (Thornton et al., 1996; Gallagher et al., 1998; Roelvink and Steve, 1989; Wright et al., 1991).

이에 본 연구은 보다 정확한 해변지형 변동 예측 모델을 개발하기 위한 기초연구로써 한국 동해 해변에서 현장관측을 통한 연안사주의 이동양상과 해변의 침퇴적

양상에 대한 비교를 실시하였다. 세부 연구내용으로, (1) 해빈과 쇠파대 침퇴적 양상을 모니터링하였고; (2) 쇠파대 사주의 해안에 수직된 방향으로 이동양상을 관측하였으며; 그리고 (3) 이러한 결과를 토대로 쇠파대 사주이동과 연안 침퇴적과의 상관관계를 비교분석해 보았다.

제 2 장 연구지역

동해 해빈은 조석작용이 우세한 서해와 다르게 파랑이 우세한 연안환경을 가지고 있다. 이러한 물리적 환경 특성 이외에 지질/지형학적으로도 서해와 다른 형태를 가지고 있다. 서해의 완만한 지형경사와 다르게 상대적으로 급한 경사를 갖는 지형이 곧바로 바다로 연결되고 있어 비교적 급한 해빈 경사를 가지며 해저지형도 해안면(beachface)에서 급한 경사를 유지하다가 점차 완만해 지는 특성을 보여준다. 본 연구지역인 한국해양연구원 동해연구소 앞 후정해빈도 이러한 특징을 잘 보여주고 있어 동해 해빈 특성 연구를 진행하기에 적합한 조건을 가지고 있다(Figure 1).

후정해빈의 연안해저는 $0.8^{\circ} \sim 1.6^{\circ}$ 의 기울기를 가지며, 모래퇴적층의 두께는 주로 1 ~ 2 m 정도이며 하천주변에서 두꺼운 모래퇴적층이 최대 9 m 정도로 존재하고 있다(한국해양연구원, 2011). 하지만 다중빔 음향측심기(EM3002)로 기록한 해저면 영상에 의하면 후정해빈 연안에 많은 부분이 암반대가 노출된 상태로 존재하고 있어, 연안해저에 모래퇴적물이 충분히 존재하는 것으로 보이지는 않는다(한국해양연구원, 2011).

해빈의 경우, 해빈의 육상부는 매우 높은 지형을 가지며 해안쪽에서 급격한 경사를 가진다. 지난 40년간의 위성자료를 분석한 결과, 울진원자력 발전소 건설이후 후정해빈의 북쪽은 퇴적이 일어나고 있으며 반대로 급한 경사를 가지며, 동해연구소 앞 해빈에서는 1971년부터 2003년까지는 퇴적이 일어났지만 2003년부터 2009년까지는 침식이 우세하게 나타나고 있다(한국해양연구원, 2011). 계절적인 해빈 지형 변화도 활발히 일어나고 있으며, 특히 계절적 변화에 있어서 전통적으로 이해하고 있던 여름철의 퇴적/겨울철의 침식 양상이 아닌 반대의 현상이 일어나는 것으로 해빈 지형 모니터링 결과 나타나고 있어 지속적인 조사가 필요한 것으로 나타나고 있다(한국해양연구원, 2011). 해빈모래의 입도는 시기적으로 변화가 있기는 하나 평균 $-0.5 \Phi \sim 2.7 \Phi$ 범위를 가지고 있고 해저에 존재하는 모래의 경우 $2.1 \Phi \sim 2.5 \Phi$ 범위의 크기를 갖고 있는 것으로 나타났다(한국해양연구원, 2011).

물리적 환경 특성에 있어서, 바람은 겨울철에 주로 초속 5m/s이상의 편서풍이 우세하며, 반면에 북동풍과 남동풍은 연중 약하게 나타난다(한국해양연구원, 2011).

파랑의 경우 계절에 상관없이 남서 또는 남쪽으로 진행하며 겨울철에 1 m ~ 2 m의 파고를 보인다(한국해양연구원, 2011). 조류는 0.16 m의 대조차를 보이고 약 0.2 m ~ 0.3 m/s의 미약한 조류가 주를 이루는 소조차환경을 보이고 있다. 조류방향은 썰물시기에 남동방향이며 밀물시기에 북서방향이다(한국해양연구원, 2011).

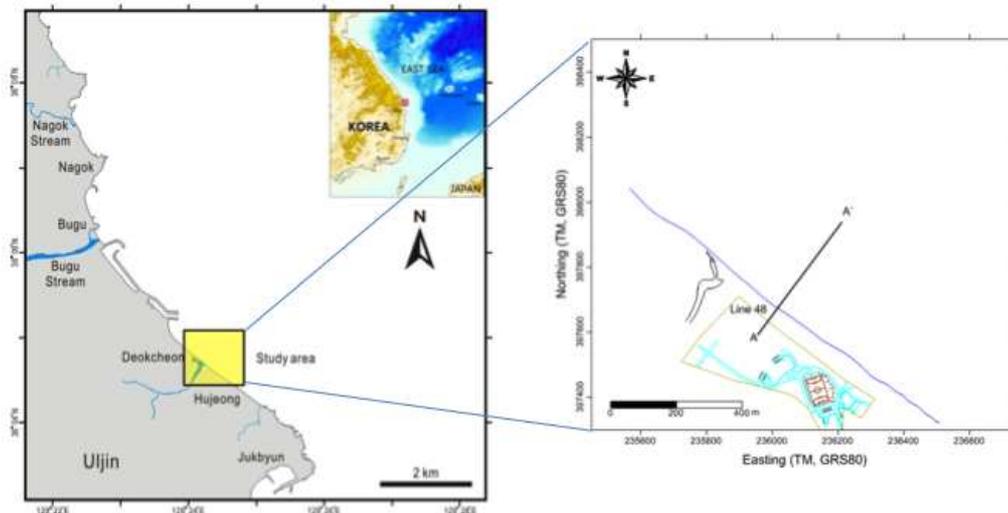


Figure 1. Study site map and location of the surveyed beach-profile line.

제 3 장 조사 및 분석 방법

본 연구를 위하여 한국해양연구원 앞에 위치한 후정해빈과 인접 쇄파대에서 지형 변동 조사를 실시하였다. 선택된 해안에 수직된 조사측선을 따라 육상해빈과 쇄파대를 연결하는 해안단면(beach profile) 조사를 4개월 동안 모두 5회 조사(6월 12일; 7월 2일; 7월 25일; 7월 30일; 그리고 9월 16일)를 실시하였다(Figure 2). 육상해빈 지형조사와 쇄파대 해저수심조사는 각각 독립적으로 비슷한 시기에 실시하였다.

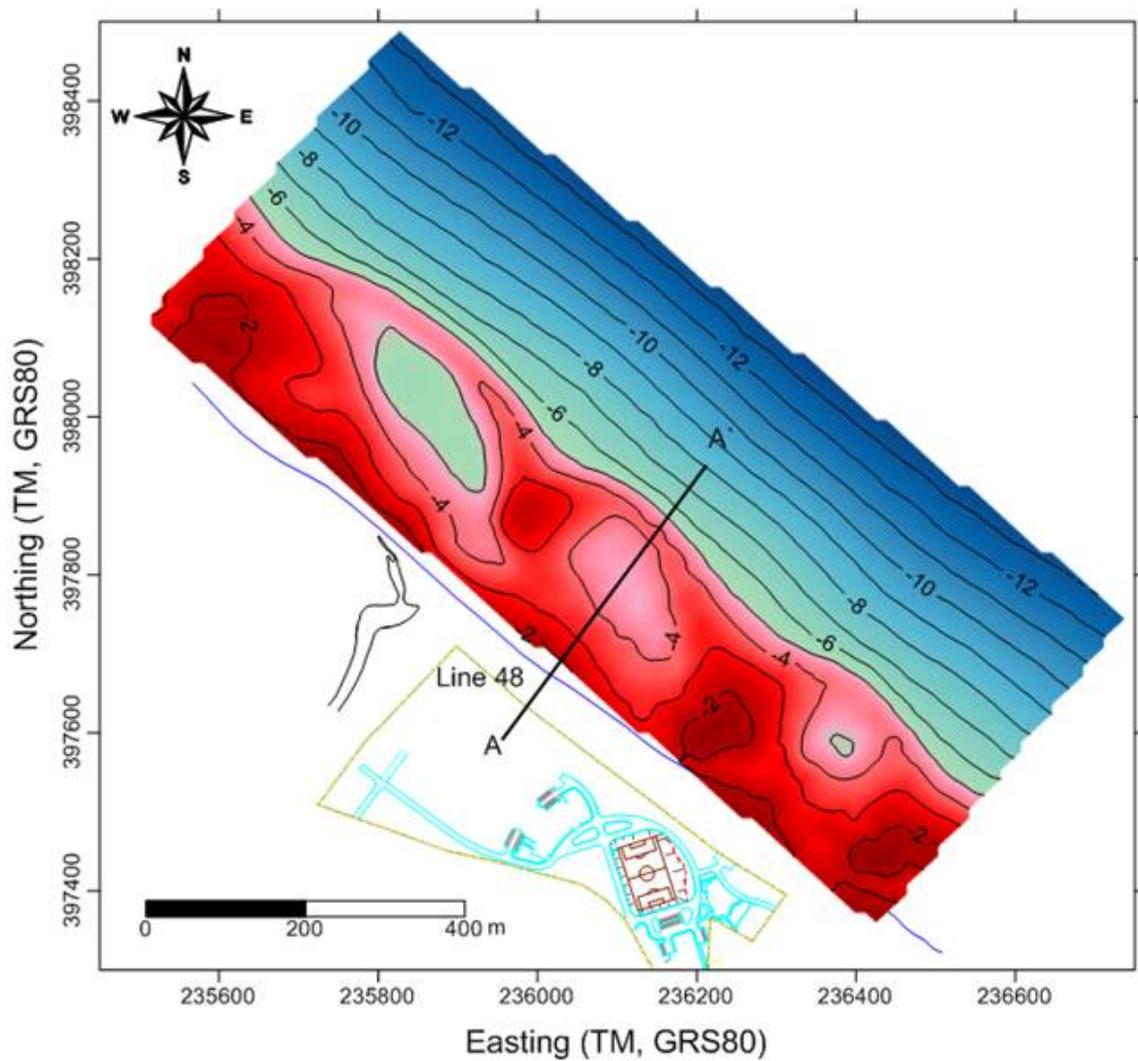


Figure 2. Bathymetry map of the study site and the beach profile survey line.

3-1. 육상해빈 지형조사

육상해빈 지형조사의 경우 최근에 새로운 장비들이 개발되어 보다 정밀하고 정확하게 측정할 수 있게 되었다. 본 연구에서는 짧은 시기 동안의 육상해빈의 지형 변화를 정확하게 측량하기 위하여 지상라이다(Terrestrial LiDAR: Light Detection And Ranging) 장비와 RTK-GPS 시스템을 이용하였다.

지상라이다는 최대 2 mm 간격으로 최대정밀오차가 5 mm 내외로 한꺼번에 50 m ~ 2000 m 정도의 범위를 레이저광을 이용하여 3차원으로 스캔할 수 있는 장비이다. 이 장비는, 기존의 토달스테이션의 1점 기준방식을 탈피하여, 관측 대상물의 표면에 조밀한 간격으로 무수히 많은 레이저를 주사하여 3차원 좌표값(x, y, z)을 직관적으로 취득할 수 있는 레이저 측량장비이다. 본 연구에서는 최대 1 km 스캔범위를 갖는 Riegl사의 LMS-Z420i 모델을 사용하여 육상지형측량을 실시하였다(Figure 3). 후처리는 Riegl사에서 제공하는 Re-Scan Pro 프로그램을 이용하여 최종 자료처리를 하였다(Figure 5).



Figure 3. Terrestrial LiDAR system used in this study.

지상라이다와 더불어 신속한 해안단면 조사를 위하여 Leica사의 1230+ RTK-GPS 시스템을 이용하였다. RTK-GPS 시스템은 정확도에 있어서 토탈스테이션(오차범위 수 mm)보다 떨어지지만(수직 오차범위 2 cm) 실시간으로 위성신호오차를 수정하면서 연속적으로 수평 및 수직 좌표 측정이 가능하기에 보다 자연스러운 지형자료를 얻을 수 있는 강점이 있어 최근에 세계적으로 해빈지형조사에 가장 널리 사용되고 있다. 본 연구에서는 한 대의 RTK-GPS 시스템을 해양연구원 동해연구소에 있는 측량기준점 위에 기지국(base station)으로 설치하고 다른 한 대의 RTK-GPS를 배낭에 메고 이동국(Rover)으로 활용하여 미리 정해놓은 조사측선을 따라 지형조사를 반복적으로 실시하였다(Figure 4).

획득한 육상해빈의 원시 지형자료는 실내에서 좌표변환 및 노이즈 제거 등의 후처리하여 최종 'x, y, z' 포맷의 지형자료를 생성하였다(Figure 5).



Figure 4. Beach topography surveying system using the RTK-GPS system

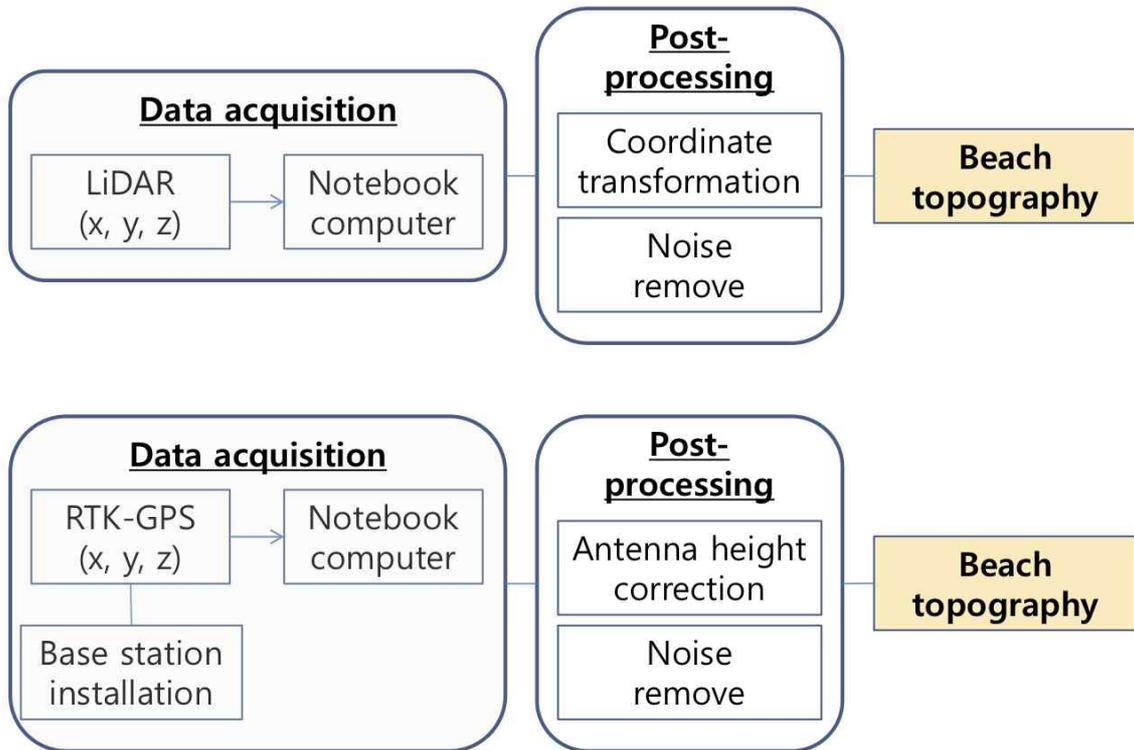


Figure 5. Workflow chart of the beach topography surveying and data post-processing.

3-2. 쇄파대 해저 지형조사

쇄파대의 해저지형과 연안사주의 형태를 측정하기 위하여 얇은 수심까지 운항이 가능한 선외기에 RTK-GPS 시스템과 동작센서(Motion sensor) 그리고 단빔수심측정기(Single-beam echosounder)를 설치하고 각 센서 케이블을 방수노트북에 연결하여 수심측량 전문 소프트웨어인 HYPACK을 이용하여 자료를 획득하였다(Figure 6).

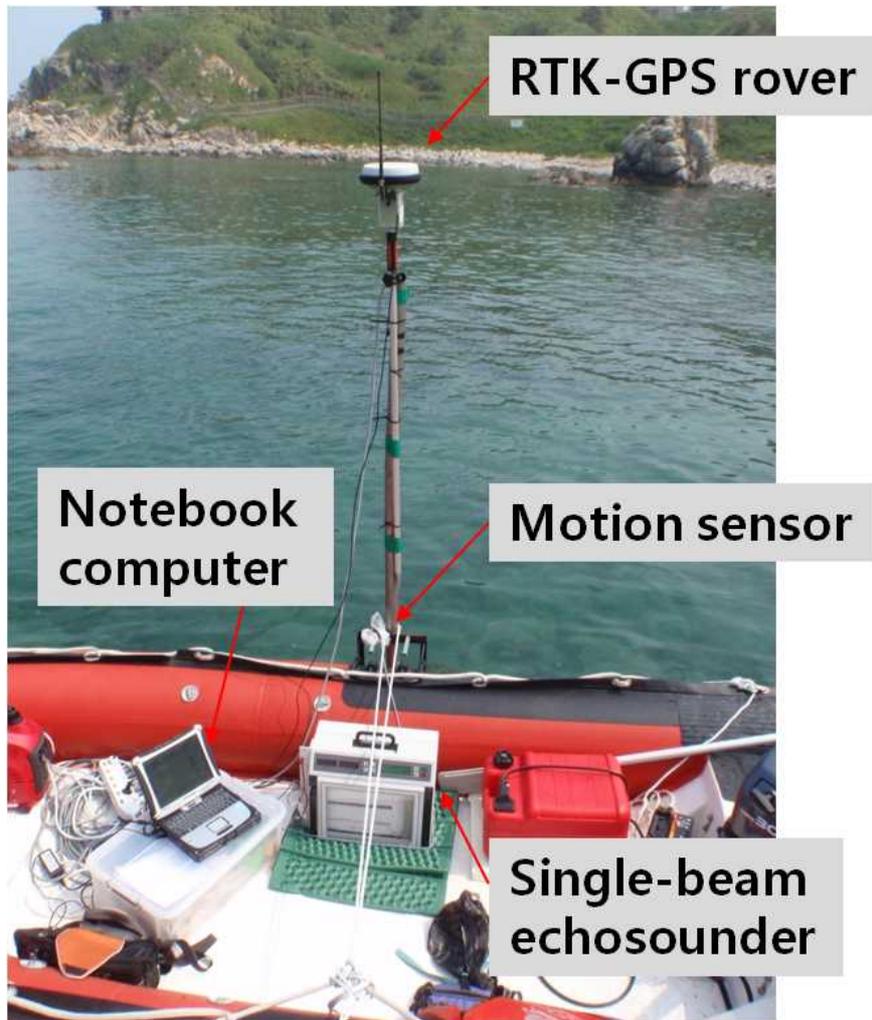


Figure 6. Surf-zone bathymetry surveying boat system

RTK-GPS를 이용하여 정확한 수평좌표뿐만 아니라 수직적인 물의 움직임까지 보정하였고 동작센서를 이용하여 파랑에 의하여 선외기의 전후좌우 움직임에 의하여 야기되는 수심측정 오차를 보정하였다. 최종적으로 현장에서 획득한 수심자료에 대하여 실내에서 중복자료 및 노이즈 자료 제거 등의 후처리 작업을 하여 최종수심 자료를 생성하였다(Figure 7).

최종적으로 각각이 조사된 육상해빈지형자료와 쇄파대 수심측정 자료를 같은 시기별로 연결하여 육상해빈과 쇄파대 해저지형이 연결되는 연안지형 자료를 조사시기에 맞추어 시계열 자료로 정리하였다. 이 정리된 자료를 가지고 연안지형 변동, 연안퇴적물 변동량 그리고 연안사주의 이동 양상 등을 분석하였다.

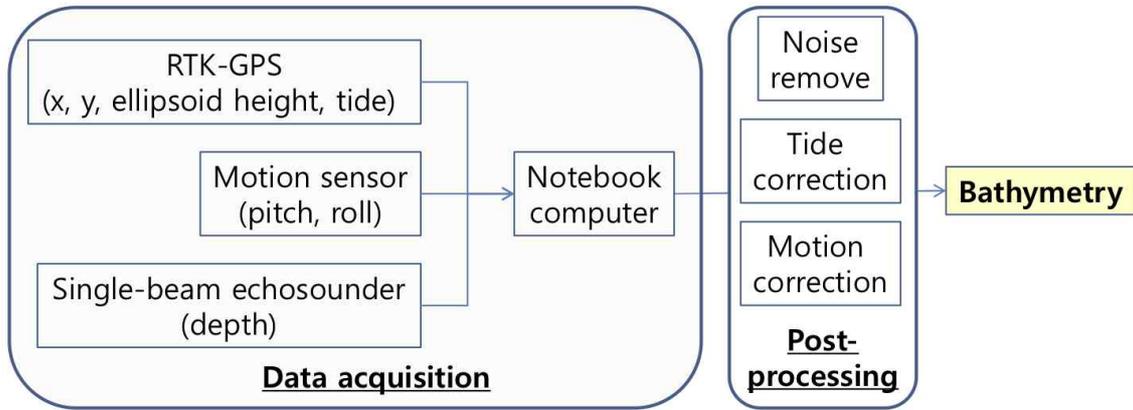


Figure 7. Workflow chart of the bathymetry surveying and data post-processing.

3-3. 자료분석 방법

획득한 최종 연안지형자료를 가지고 전반적인 지형특성을 파악한 후에 지형조사 중간지점에서 해안에 수직한 방향으로 시계열로 측정된 해안단면(beach profile)을 가지고 시간에 따른 지형형태 변화, 단위체적(unit volume: m^3/m) 그리고 연안사주(neashore sandbar)의 이동 거리 등을 계산하였다. 모래 체적 변동의 경우 대조평균 고조면(정표고 -0.0105 m)를 기준으로 육상해빈 모래 체적, 쇄파대 모래 체적 그리고 이 두가지를 합한 연안전체 모래 체적 변동량을 계산하였다.

연안사주에 대하여서는 육상 기준점(benchmark)을 중심으로 연안사주고점(sandbar crest)의 거리를 각 시기별로 측정하였다. 이 측정된 연안사주의 이동거리를 위에서 계산된 해빈, 쇄파대 모래퇴적물 체적변화에 대하여 상관관계분석과 회귀분석 등의 통계분석을 실시하였다.

제 4 장 결과

4-1. 해변 및 쇄파대 지형

육상해빈 지형과 쇄파대 해저 수심 조사 결과 통합하여 구현한 연구지역의 연안지형도를 작성해 보았다(Figure 8). 해변의 경우 매우 급한 경사를 이루고 있으며 이러한 경향이 수심 2 m까지 이어지고 있다. 이후에 경사는 완만해 지면서 점차로 수심이 깊어지는 형태를 보여 주었다. 연구지역에서 특이하게 나타나는 지형은 쇄파대에 형성되어 있는 사주들의 형태이다. 일반 다른 연안에서 볼 수 있는 해안선에 평행한 사주 형태가 아닌, 반달모양 형태(crescentic bar)로 옆에 위치한 다른 사주들과 연결이 되거나 아니면 육지해안에 연결되는 도넛 형태의 사주를 연구해역 전반에 걸쳐 연이어서 형성하고 있었다. 사주는 주로 수심 4 m 정도에 형성이 되어 있었으며 해안에서 약 250 m 정도 떨어져 발달해 있었다.

이러한 사주들의 지형적 특성으로 인하여 본 연구지역의 연안지형은 복잡한 형태를 보여주고 있었으며 이러한 형태가 지속적으로 유지되고 있는 것으로 나타났다

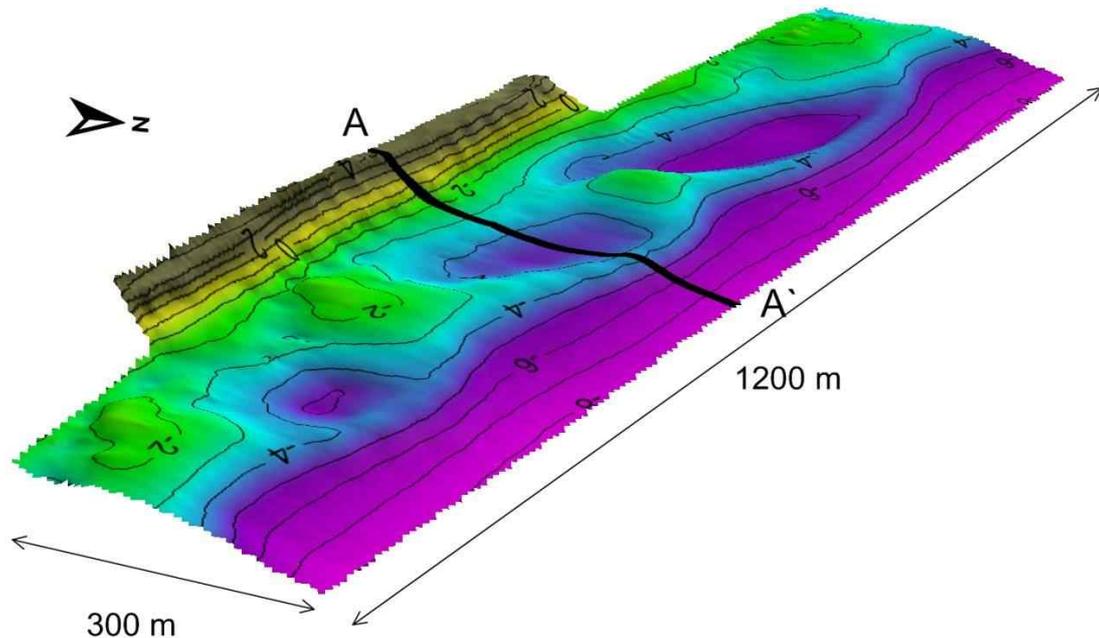


Figure 8. 3-D coastal morphology of the study site and the beach profile surveying line.

4-2. 해안단면(Beach Profile) 및 단면체적(Profile Volume) 변화

이러한 사주들의 해안에 수직한 방향으로의 이동양상을 보기 위하여 선택된 해안단면(beach profile)에 대하여 도시하였다(Figure 9). 조사기간 동안 사주들의 큰 이동이 일어나지는 않았지만 형태나 위치에 있어서 지속적으로 변하고 있었다. 6월 12일부터 7월 30일까지는 사주의 이동폭이 1 m ~ 6 m 내외였으며 점차로 육지쪽으로 이동하는 양상을 보여주었다(Figure 10).

가장 큰 폭으로 사주의 이동을 보인 것은 제일 마지막에 측정한 9월 16일이었다. 사주가 눈에 띄게 이동하여 7월 30일에 대비하여 46 m 정도 바다방향으로 이동하였다. 형태적으로 보았을 때, 사주의 높이는 전에 비하여 70 cm 정도 낮아진 반면 사주의 폭이 확장된 양상을 보여주었다(Figure 10).

육상 해빈의 경우 해빈면(beachface)에서 지속적인 지형변화가 일어났다. 범(berm)의 형태가 계속해서 변했으며 점차적으로 경사가 급해지는 양상을 보여주었다. 여러개의 작은 규모의 범들이 형성되었다가 시간이 지남에 따라 경사가 점차 급해짐과 동시에 이러한 소규모의 범들이 소멸되어 갔다(Figure 9). 이러한 지형적 변화로 보았을 때 육상 해빈에서 모래 퇴적물의 이동이 활발히 일어났을 알 수 있었다.

이러한 지형적 변화를 토대로 육상해빈과 쇄파대에서의 모래퇴적물 체적 변동을 계산해 보았다(Figure 10). 육상 해빈의 경우 6월과 7월에는 모래 체적이 점차로 감소하는 추세를 보여주다가 9월에 들어 다시 늘어나는 양상을 보여주었다. 쇄파대에서의 모래 체적은 육상해빈과 반대의 현상을 보여주었다. 6월과 7월에는 점차적으로 체적이 늘어나는 추세를 보여 주었으나 9월에 많은 침식이 일어났다.

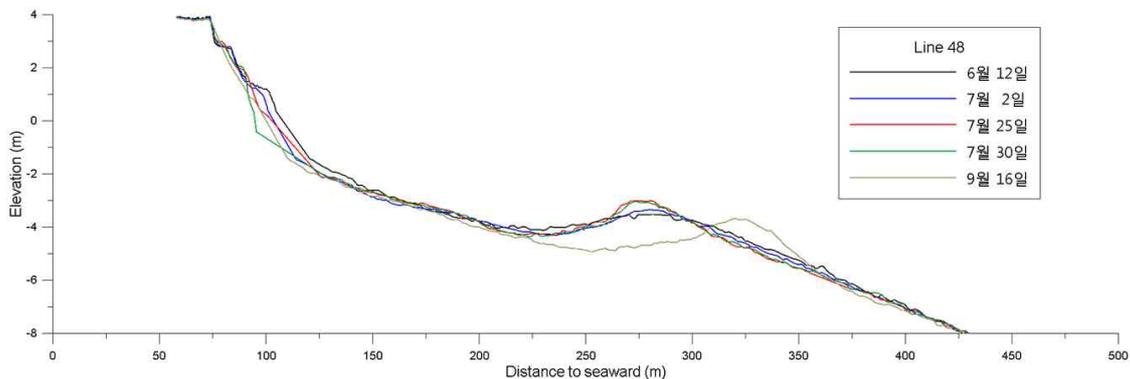
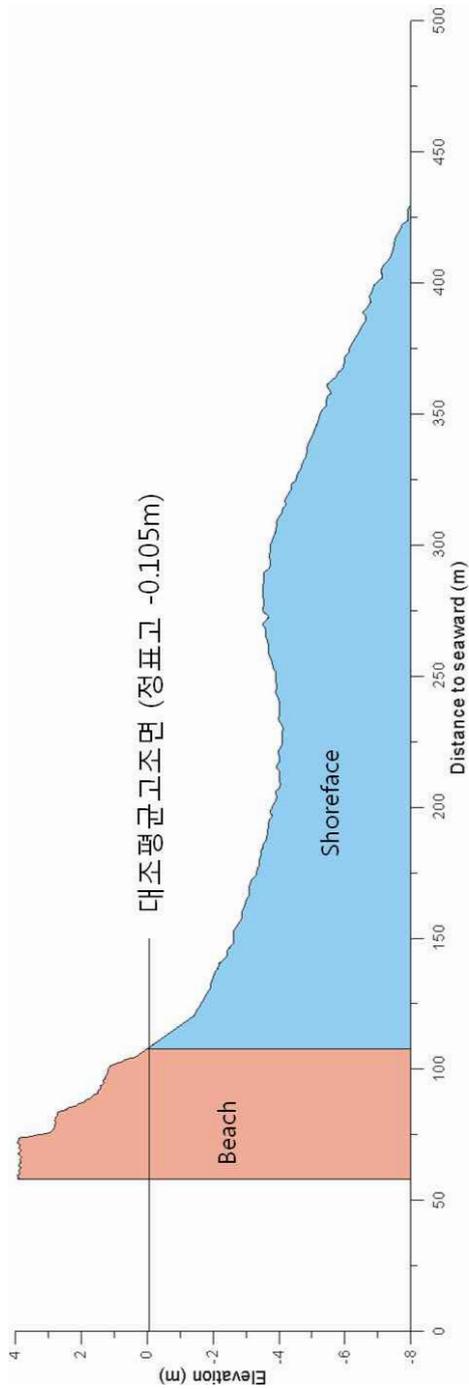


Figure 9. Change of the beach profile during the survey period.

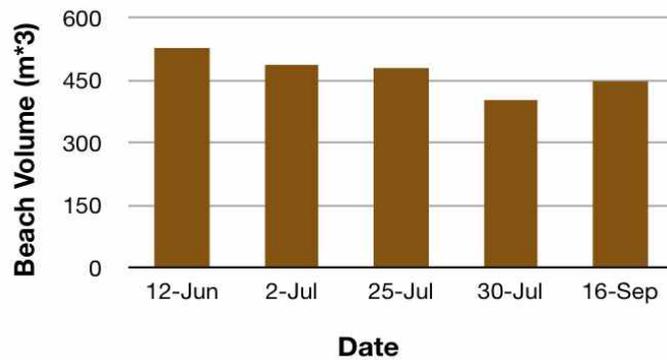


Date	Beach Vol. (m ³ /m)	Shoreface Vol. (m ³ /m)	Total volume (Beach+Shoreface) (m ³ /m)	Sandbar crest distance (m)	Sandbar crest Ele. (m)
6월 12일	527.0	1200.6	1727.5	282	-3.5
7월 2일	486.5	1198.4	1684.9	281	-3.4
7월 25일	478.9	1207.0	1685.9	276	-3.0
7월 30일	402.1	1267.6	1669.7	276	-3.0
9월 16일	447.3	1159.3	1600.6	322	-3.7

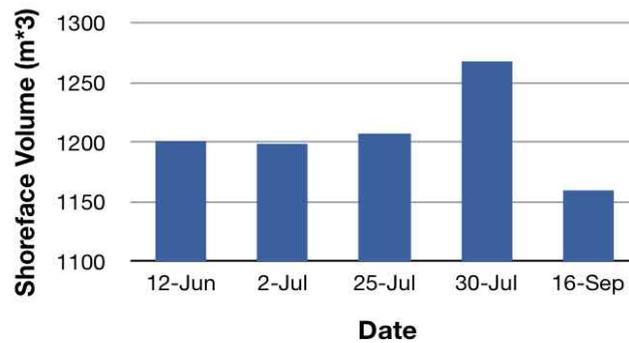
Figure 10. Profile volume changes and the neashore sandbar migration distance changes during the survey period.

단면체적변화에 있어서 흥미로운 결과는 육상해빈과 쇄파대의 체적을 합쳤을 때 나타난 전체 해안단면체적(beach-profile volume)의 변화이다(Figure 11). 연구조사 기간 동안 전체 단면체적은 점차로 감소하는 양상을 나타내 주었다. 그중에서도 7월 30일과 9월 16일 사이에 가장 큰 체적 감소를 보여주었다. 이러한 양상으로 보았을 때 조사기간 동안의 연구해빈에서는 지속적인 침식이 일어나고 있었음을 알 수 있었다.

(A)



(B)



(C)

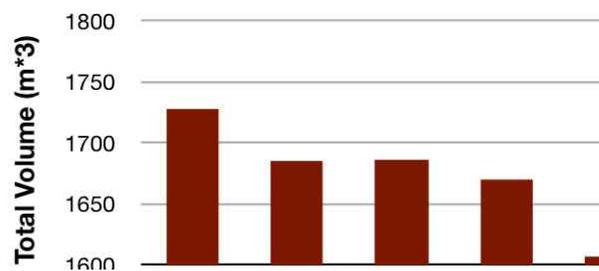


Figure 11. Volume changes of the subaerial beach, subaqueous shoreface and total profile area during the survey period.

4-3. 해안단면 체적변화 및 연안사주 이동 상관관계 분석

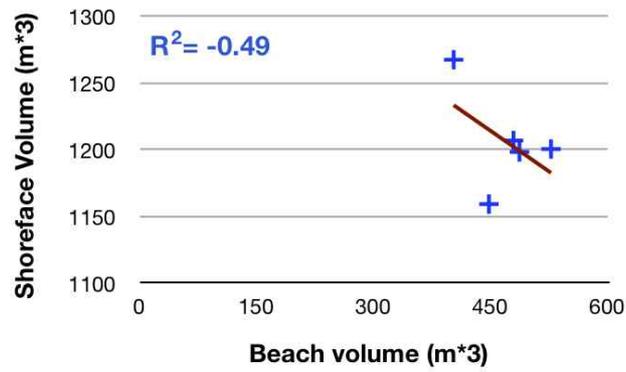
위의 결과를 토대로 해빈과 쇄파대 퇴적물 이동 상관관계와 이러한 퇴적물 이동에 따른 연안사주 이동거리에 대한 상관관계를 상관관계분석과 회귀분석을 통하여 검증해 보았다(Figures 12 and 13).

먼저 육상해빈 모래체적과 쇄파대의 모래체적 변동 간의 상관관계를 보았을 때 반비례하는 양상을 보여주시는 하였으나 이들과 관계 상관관계계수 값(R^2)은 0.49로 조금 낮게 나왔다(Figure 12). 다시 육상해빈과 쇄파대 모래체적변화를 전체체적변화와 비교해 보았다. 결과, 육상해빈의 체적변화는 전체체적변화와 상대적으로 높은 비례 상관관계($R^2 = 0.63$)를 보여주었다. 반면에 쇄파대 모래체적 변화는 전체체적 변화에 대하여 상대적으로 낮은 상관관계($R^2 = 0.37$)를 보여 주었다.

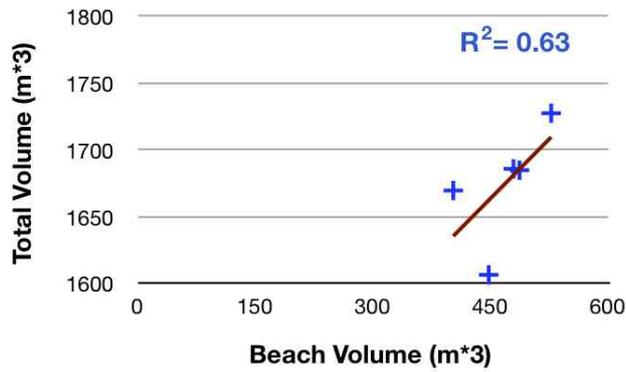
종합적으로 보았을 때 이러한 결과는 육상해빈의 침식/퇴적이 전체적인 체적변화에 영향을 주는 것으로 나타났으며, 또한 전반적으로 낮은 상관관계계수 값은 조사지역의 모래퇴적물이 해안에 평행하게 이동하거나 아니면 외해 쪽으로 빠져나갈 가능성이 있음 간접적으로 보여준다고 할 수 있다.

다음으로 비록 분석결과 높은 상관관계를 보이지는 않았지만 해안에 수직된 방향으로의 모래 퇴적물 이동이 해빈과 쇄파대에 연동하여 일어나고 있는 것을 바탕으로 연안사주의 해안에 수직하게 이동한 거리와 모래체적변화와 상관관계를 비교해 보았다(Figure 13). 육상해빈 체적변화량과 사주이동거리를 비교해 보았을 때, 둘 사이의 관계는 거의 없는 것($R^2 = -0.14$)으로 나타났다. 반면에 쇄파대 모래체적 변화와의 관계는 매우 밀접한 관계($R^2 = -0.74$)가 있는 것으로 나타났다. 최종적으로 육상해빈과 쇄파대를 합친 전체 모래체적 변화와 비교에 있어서는 가장 높은 상관관계($R^2 = -0.81$)를 보여주고 있어서 사주의 이동거리와 연안퇴적물의 해안의 수직방향으로의 이동간의 밀접한 관계가 있을 수 있음을 보여주었다.

(A)



(B)



(C)

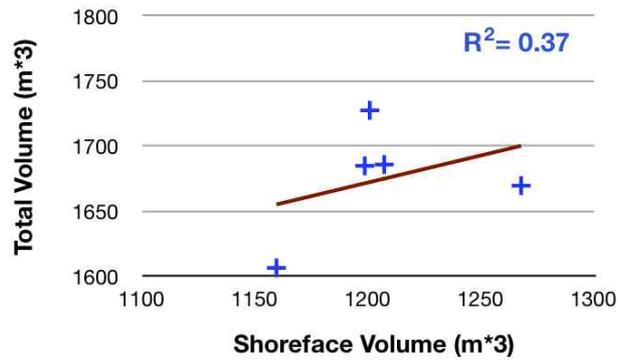
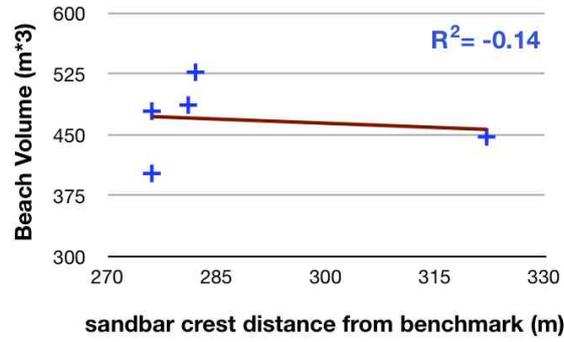
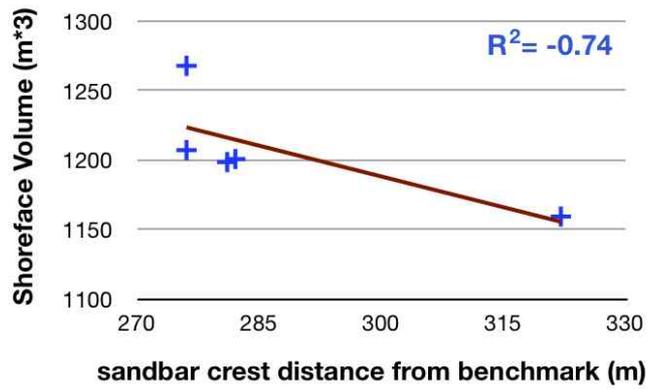


Figure 12. Profile volume change plots: (A) Beach volume Vs. shoreface volume; (B) Beach volume Vs. total volume; and (C) Shoreface volume Vs. total volume.

(A)



(B)



(C)

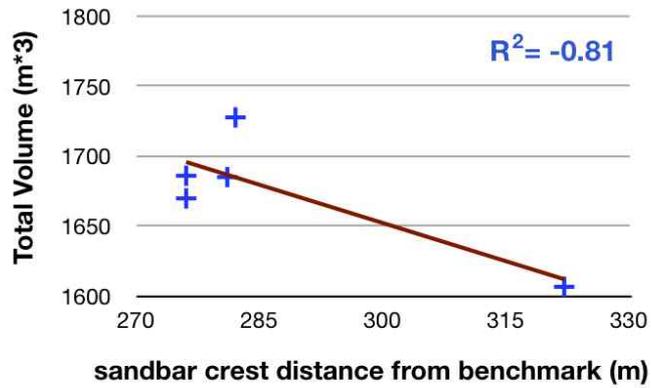


Figure 13. Comparison between the sandbar crest migration distance and profile volume changes of the beach, shoreface and total area.

제 5 장 토의

최근에 국가적으로 시급한 동해 연안침식 저감방안을 찾는 데에 있어서 가장 기본이 되는 것은 동해 연안 환경에 대한 물리학적 그리고 지질학적 특성 이해이다. 하지만 국내에서 동해 연안에 대한 물리적 현상이나 지형 변동에 대한 심층적이고 장기적인 연구는 미진한 상태이다. 특히 가장 많은 지형적 변화가 일어나는 쇄파대에서의 수리역학적 이해나 지형 변동 특성에 대한 이해가 많이 부족한 상황이다. 본 연구는 이러한 부분에 대하여 이해를 얻기 위하여 제한적이지만 현장관측 자료 분석 중심으로 진행하였다.

기존의 연구를 통해 일반적으로 이해하고 있는 동해 연안은 서해와 달리 조석간만의 차가 적고 주로 파랑에 의한 영향을 많이 받는 연안환경이라는 것이다. 파랑이 연안에 접근하면서 해저면에 반응하기 시작하여 쇄파가 일어나기 시작하고 이에 대한 해저지형의 반응으로 사주가 형성되기가 쉽다. 본 연구 해빈인 후정해빈도 전형적인 동해해빈의 양상인 3 km 이내의 해빈 길이를 갖으며 급한 육상해빈지형을 갖고 있으며 이러한 지형적 특징은 쇄파대에 이르러서야 완만해 지는 특징을 보여주었다.

이번 연구에서 밝힌 동해 연안 지형의 특징 중의 하나는 잘 발달되어 있는 연안사주 시스템(nearshore sandbar system)이다. 동해 연안 쇄파대 지형에 대한 기존 연구와 자료부족으로 정확한 이해가 어려웠으나 이번 조사를 통하여 동해 연안에 사주들 잘 발달되어 있다는 것을 알 수 있었으며, 또한 이러한 사주들이 단순히 해안에 평행하게 발달해 있는 것이 아니라, 해안을 따라 여러 개의 연안사주들이 반달모양의 형태(crescentic bar)로 육지와 연결되어 발달해 있다는 것을 확인할 수 있었다. 분명 이러한 사주들이 쇄파대에서 파랑에너지를 감소시키는 역할을 할 것이며 반대로 해빈지형변화에 많은 영향을 줄 수 있다는 것을 이 번 연구 결과에서 가늠할 수 있었다.

연구결과에서 나타난 것과 같이 연안단면 모래 체적 변화와 사주의 이동 거리 사이에 밀접한 관계가 있다는 것은 사주의 이동과 형태 변화에 있어 해빈의 지형변화와 상관관계가 있음 알 수 있다. 특히 연안단면체적(total profile volume) 변화와 사주 이동 거리 사이에 높은 상관계수 값은 연안퇴적물 수직적인 이동이 활발히 일어나고 있는 동시에 퇴적물 이동에 있어서 단순한 물리적 힘에 의한 모래 알갱이들의 이동형태로 나타나기 보다는 사주 퇴적체 이동 형태로 일어날 수 있다는 가능성을 제시하고 있다.

하지만 본 연구결과는 사주이동과 체적변화간의 관계에 관련하여 많은 의문점을 제시해 주고 있다. 해안단면체적을 보다 세분하여 육상과 바다로 구분하여 사주이동과 비교하였을 때 서로 상이한 결과 보여주거나 관계가 없는 것에 가까운 결과를 보여주고 있다. 그 예로써, 해빈 체적변화와 전체 체적변화 간의 관계가 높은 것으로 나타났으나, 해빈 체적 변화와 사주 이동거리와 상관관계는 매우 적은 것으로 나타나고 있다. 반면에 사주의 이동거리와 전체 연안단면 체적의 변화는 매우 높은 상관관계를 보여 주고 있어 정확한 사주의 이동과 단면체적 변화와의 상관관계를 해석하기가 힘들다. 이러한 결과가 나오는 원인 중이 하나는 본 연구결과에서 조사 기간 동안 전체 체적이 감소하고 있는 것에서 알 수 있듯이 퇴적물들이 조사구역내에서 해안에 수직한 방향으로만 이동이 일어나고 있는 것이 아니라 해안에 평행하게 퇴적물의 이동(longshore sediment transport)이 동시에 일어나고 있고, 또한 외해 쪽으로 멀리 빠져나는 경우(offshore sediment transport)도 있을 수 있다. 또 다른 중요한 원인 중의 하나는 조사 횟수가 정확한 통계처리를 할 수 있을 만큼 충분하지 않다는 것이다. 연안사주와 연안 퇴적체 간의 보다 분명한 관계를 알기 위해서는 보다 많은 현장 지형관측 자료 축적을 통하여 통계분석을 하는 것이 필요하다.

이 번 연구 결과로써 새로이 밝혀진 반달형태의 연안사주의 발달은 많은 흥미와 형성과정에 대한 의문을 제기한다. 외국의 경우 이러한 형태의 사주에 대한 과학적인 보고가 된적이 있으나(Homma and Sonu, 1963; Goldsmith et al., 1982), 우리나라의 경우 이에 대한 과학적 보고나 연구는 매우 미진한 상태이다. 이러한 지형적 특징은 해빈지형과 매우 밀접한 관계가 있을 것이며, 또한 연안침식 현상과도 연관될 수 있을 것이다. 그러므로 향후 동해 연안지형변동과 연안침식 현상을 이해하는 데에 있어 이러한 반달형 연안사주에 대한 보다 장기적이고 집중적인 모니터링과 현상분석에 대한 지속적인 연구가 매우 필요하다고 할 수 있다.

제 6 장 결론

연안 사주의 이동과 연안 퇴적물 이동 간의 상관관계를 알아보기 위하여 경북 울진에 위치한 후정해빈에서 현장조사와 더불어 자료 분석을 실시하였다. 이에 대한 연구 결과로써:

- 1) 연구 지역인 후정 해빈에서는 조사 기간 동안 전반적으로 침식 현상이 일어나고 있는 것으로 나타났다;
- 2) 전체 연안단면 체적변화에 대하여 쇄파대 체적변화 보다 육상해빈의 체적 변화가 보다 높은 상관관계를 보여주었고, 육상해빈과 쇄파대 간의 체적변화 관계는 상대적으로 낮은 상관관계를 보여 주고 있어 해안에 수직한 방향뿐만 아니라 해안에 평행한 방향으로 퇴적물 이동과 같은 다른 퇴적물 이동 양상의 공존 가능성을 나타냈다;
- 3) 연안사주의 이동거리는 전체 해안단면 체적변화와 밀접한 관계를 보여주고 있어 사주이동이 연안 퇴적 양상을 나타내는 표식이 될 수 있는 동시에 연안 퇴적물 이동의 주요한 역할을 할 수도 있다는 가능성을 보여 주었다;
- 4) 연구지역에 쇄파대에 나타나는 연안사주는 반달 형태로 사주 양 끝이 해안에 접해있는 특징을 보여 주고 있어, 동해 연안지형변동 특성 및 연안침식 현상을 이해하기 위해서는 이러한 연안사주에 대한 지속적인 모니터링 및 퇴적지형역학 연구가 필요하다.

제 7 장 참고문헌

한국해양연구원, 2011, 동해 중부연안환경 변동성 연구, pp. 310

Drake, T.G., and Calantoni, J., 2001. Discrete particle model for sheet flow sediment transport in the nearshore. *Journal of geophysical research*, 106, 19,859-19,868.

Elgar, S., Gallagher, E.L., and Guza, R.T., 2001, Nearshore sandbar migration. *Journal of geophysical research*, 106, 11,623-11,627.

Gallagher, E.L., Elgar, S., and Guza, R.T., 1998. Observations of sand bar evolution on a natural beach. *Journal of geophysical research*, 103, 3203-3215.

Goldsmith, V., Bowman, V. D. and Kiley, K., 1982. Sequential stage development of crescentic bars: Hahoterim Beach, southerastern Mediterranean. *Journal of Sedimentary Petrology*, 52, 233-249.

Hoefel, F., and Elgar, S., 2003. Wave-induced sediment transport and sandbar migration. *Science*, 299, 1885-1886.

Hom-ma, M and Sonu, C. J., 1963. Rhythmic patterns of longshore bars related to sediment characteristics. *Proceedings of the 8th Coastal Engineering Conference, Amer. Soc. Civil Engrs.* 248-278.

Lippmann, T.C., and Holman, R.A., 1990. The spatial and temporal variability of sand bar morpholgy. *Journal of geophysical research*, 95, 11,575-11,590.

Roelvink, J.A., and Stive, M.J.F., 1989. Bar-generation cross-shore flow mechanisms on a beach. *Journal of geophysical research*. 94, 4785-4800.

Stive, M.J.F., and Reniers A.J.H.M., 2003, Sandbars in Morion, *Science*, 299, 1855-1856.

Thornton, E.B., Humiston, R.T., and Birkemeier, W., 1996, Bar/trough generation on a natural beach. *Journal of geophysical research*, 101, 12,097-12,110.

Wright, L.D. and Short, A.D., 1984. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: A Synthesis. *Marine geology*, 56, 93-118.

Wright, L.D., Boon, J.D., Kim, S.C., and List, J.H., 1991. Modes of cross-shore sediment transport on the shoreface of the Middle Atlantic Bight. *Marine geology*, 96, 19-51.