

# 해양안전확보를 위한 원전해양감시 기본방안 수립연구



연구수행연구수행기관 :



한국해양과학기술원  
KOREA INSTITUTE OF OCEAN SCIENCE & TECHNOLOGY

# 연구결과 보고서

과제명 : 해양안전확보를 위한 원전 해양감시 기본방안  
수립연구

## < 제 출 문 >

한국해양과학기술원장 귀하

본 보고서를 “해양안전확보를 위한 원전 해양감시 기본방안 수립연구”  
과제의 최종보고서로 제출합니다.

2015. 12. 17

주관연구기관명 : 해양안전연구센터

주관연구책임자 : 최복경

연 구 원 : 김병남

김성현

이동완

심민섭

지호윤

김미란

# < 요약 문 >

## 1. 서론

### ○ 원자력 발전의 중요성

- 전기에너지는 현대사회를 지탱하는 동력이라 할 수 있으며 이러한 전기 에너지를 지속적으로 공급하는 것은 중요한 과제임.
- 화석연료를 이용한 발전이나 자연의 변화를 이용한 발전은 많은 문제점을 가지고 있음.

표 1. 발전 방법별 문제점 분석

구 분	원 리	문 제 점
화력 발전 		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 화석연료 사용</li> <li>▪ 지속적 운영비용 필요</li> <li>▪ 탄소배출</li> </ul>
수력 발전 		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 제한적인 설치성</li> <li>▪ 과도한 초기 설치비 필요</li> </ul>
풍력 발전 		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 제한적인 설치성</li> <li>▪ 안정적 전기공급 불가</li> <li>▪ 사전조사 필요</li> </ul>
조력 발전 		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 제한적 설치성</li> <li>▪ 사전조사 필요</li> <li>▪ 과도한 초기 설치비</li> </ul>
태양열 발전 		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 낮은 발전량</li> <li>▪ 안정적 전기공급 불가</li> <li>▪ 계절적 영향이 큼</li> </ul>

- 원자력 발전은 상기의 발전 방법에 비해 아래와 같은 이점이 있음.
  - 환경 친화적 에너지
  - 연료 공급의 안정성과 비축효과
  - 고도기술의 준국산 에너지
  - 유리한 경제성
- 2013년을 기준으로 국내에는 23기가 운영 중에 있으며 총 20,715MW의 전기에너지를 생산하여 국내 전기 생산량의 27.2%를 담당하고 있음.
- 국내 원전은 주로 한반도의 동남부에 설치되어 있으며 암반지대와 해안가에 설치되어 있다는 특징을 가지고 있는데 이는 지진재해로부터의 피해를 최소화하고 원자력발전에 필수적인 냉각수의 취수를 용이하게 하기 위함임.

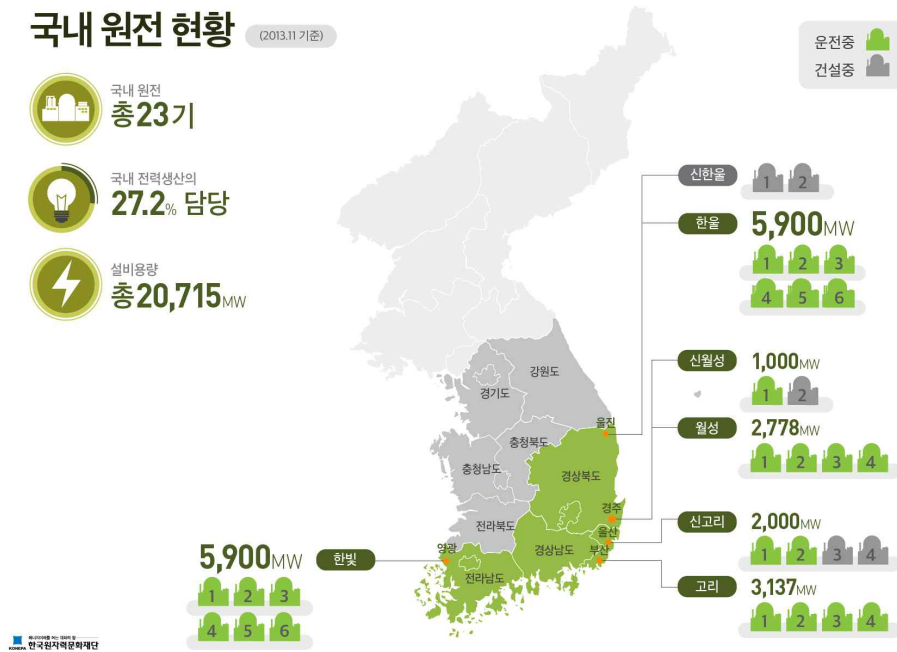


그림 1. 국내 원전 현황

- 원자력 발전은 여러 가지 논란에도 불구하고 많은 이점을 가지고 있기 때문에 향후 국내 전체 전기에너지의 생산의 절반까지 원자력 발전이 담당할 것으로 예상됨.

## ○ 원전으로 인한 피해 사례

- 원자력 발전은 많은 이점을 가지고 있음에도 불구하고 원전에 의한 방사능 오염 문제를 이유로 건설에 반대하는 의견도 존재하며 실제로 체르노빌 원자력 발전소 사고나 일본의 후쿠시마 원자력 사고 등의 사례에서 보듯이 원전관련 사고는 그 피해 범위가 광범위하고 장기간 피해가 지속된다는 점에서 매우 우려할만함.

## ○ 원전의 보호의 실태

- 우리나라에서는 원전 보호는 일반적인 원자력안전과 방사선방호 그리고 기술안전에 목표를 두고 있으며 이러한 방법은 안전사고 등으로부터의 보호는 가능하지만, 인위적 공격이나 자연 재해 및 자연 환경의 변화에 능동적으로 대응할 수 없으며 만일 앞선 원인으로 원전에 피해가 발생하는 경우 엄청난 국가적 재난을 예상할 수 있음.

## 2. 원전 위협 분석 및 대응 방안

### ○ 원전 위협의 식별

- 원전에 대한 위협은 인위적 위협과 자연적 위협으로 구분할 수 있으며, 인위적 위협은 폭격, 포격, 폭파, 점거, 정보탈취의 5가지로, 자연적 위협은 지진, 해일, 해양생물 취수구 유입 등으로 구분할 수 있음.

### ○ 원전 위협의 분석

- 원전 위협의 기본 분석
  - 전시는 육상, 해상, 공중 모든 측면에서 다양한 위협이 존재
  - 평시는 해상을 통해 접근하는 병력을 이용한 원전의 위협 가능성이 가장 높음.
  - 자연적 위협은 모두 해상을 통해 발생함.
- 원전 위협별 평가
  - 원전의 위협별 발생가능성과 피해 등급을 토대로 평가하여 원전 위협별 대응 우선순위를 선정.

$$\text{평가점수} = \text{발생가능성} \times 60\% + \text{피해등급} \times 40\%$$

표 2. 원전 위험 별 평가

구 분		발생가능성	피해등급	평가점수	대응 우선순위
인 위 적 위 협	폭격 	1	7	3.4	VIII
	포격 	2	6	3.6	VII
	폭파 	3	6	4.2	IV
	점거 	4	4	4.0	V
	정보탈취 	6	1	4.0	V
자 연 적 위 협	지진 	4	7	5.2	I
	해일 	5	6	4.4	III
	해양생물 취수구 유입 	7	1	4.6	II

○ 원전 위험의 대응 방안

- 지진 위험의 대응 방안
  - 기존 관측소와 협력하여 지진 발생 예측
  - 해저 지진을 관측을 위한 추가 관측소 설치
  - 지진 징후 발생 시 적극적 사전 예방 활동 수행 (원자로 정지 등)
  - 지진 발생 시 피해 최소화 및 적극적 피해 복구
- 해양생물 취수구 유입 위험의 대응 방안
  - 해양생물 군집상태 및 유입상태 감시

- 일정 수준 이상의 군집 형성 시 분파 작업 실시
- 일정 수준 이상의 유입 시 제거 작업 실시
- 해일 위협의 대응 방안
  - 해일 예측 시스템 구축 및 기존 시스템 연계 강화
  - 해일 예측 lead-time 확장
  - 해일 징후 발생 시 적극적 사전 예방 활동 수행 (원자로 정지 등)
  - 해일 발생 시 피해 최소화 및 적극적 피해 복구
- 폭파 위협의 대응 방안
  - 침투 감시 체계 구축
  - 예상 표적별 다단계 감시체계 구축
  - 군, 경찰 등에 대응세력 연계를 통한 제거 시나리오 운영
- 점거 위협의 대응 방안
  - 침투 감시 체계 구축
  - 예상 표적별 다단계 감시체계 구축
  - 군, 경찰 등에 대응세력 연계를 통한 제거 시나리오 운영
- 정보탈취 위협의 대응 방안
  - 드론 등 시각적 정보 탈취 수단 감시 및 무력화 체계 구축
  - 논리적 대응 방안 구축
- 포격 및 폭격 위협의 대응 방안
  - 원전에 대한 포격 및 폭격의 위협은 평시 보다는 전시에 발생할 가능성이 크므로 국가적 전략과 군 전술에서 대응 방안을 수립하여야 한다.

### 3. 원전해양감시 시스템 구축 방안

#### ○ 원전해양감시 시스템 개요

원전에 대한 위협은 평시를 기준으로 바다에서의 위협이 가장 크다고 할 수 있으며, 이에 대비하기 위해 해상과 해안 그리고 수중을 감시하는 체계의 구축 및 운영이 필요함.





그림 2. 원전 보호 체계 및 원전해양감시시스템의 역할

○ 해안/해상 감시시스템

- 유해 세력이 원전의 폭파와 검거를 목적으로 침투할 경우, 고속의 함정을 이용하여 접근할 가능성이 높으며 이에 대비하는 것이 필요함.

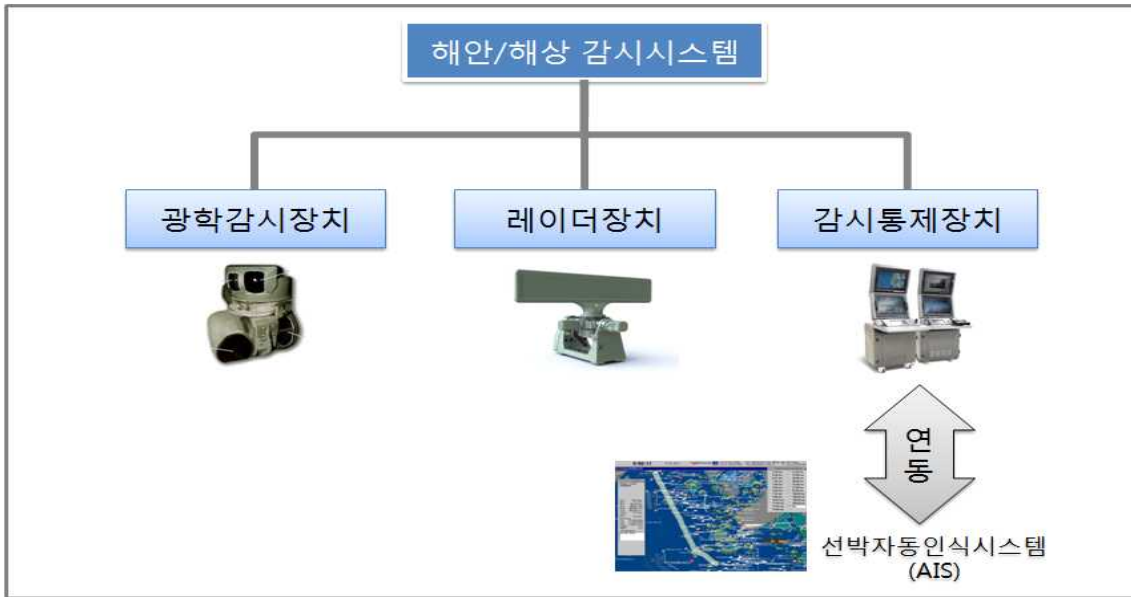


그림 3. 해안/해상 감시시스템 구성도

○ 수중침투 감시시스템

- 잠수함/정을 이용한 수중침투에 대비하는 것이 필요.

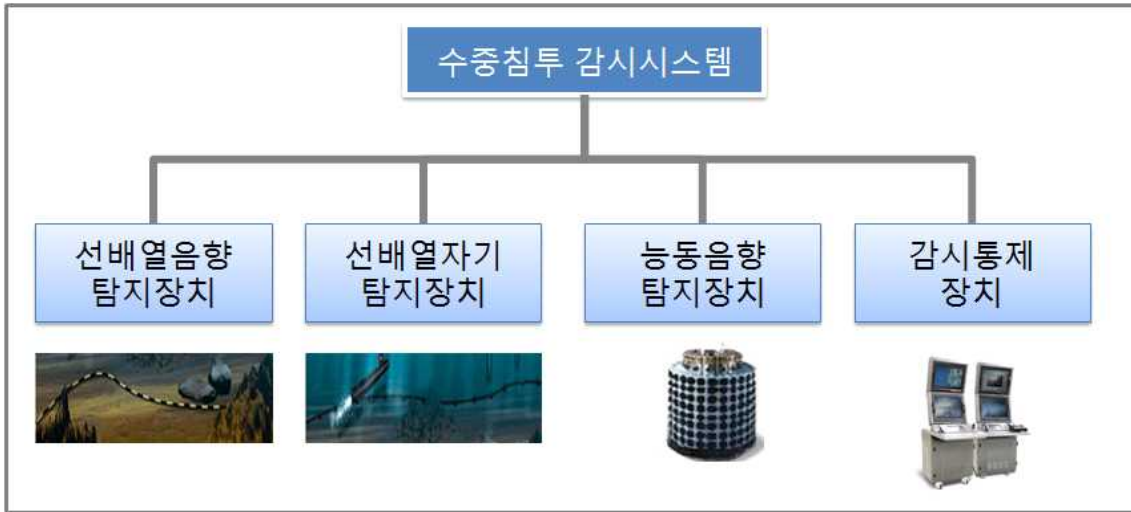


그림 4. 수중침투 감시시스템 구성도

○ 해양재난환경 감시시스템

- 자연재해로 인한 위협에 대응하기 위해 해저지진 측정장치, 파고 측정장치, 수온측정장치로 구성된 해양재난환경 감시시스템이 필요.

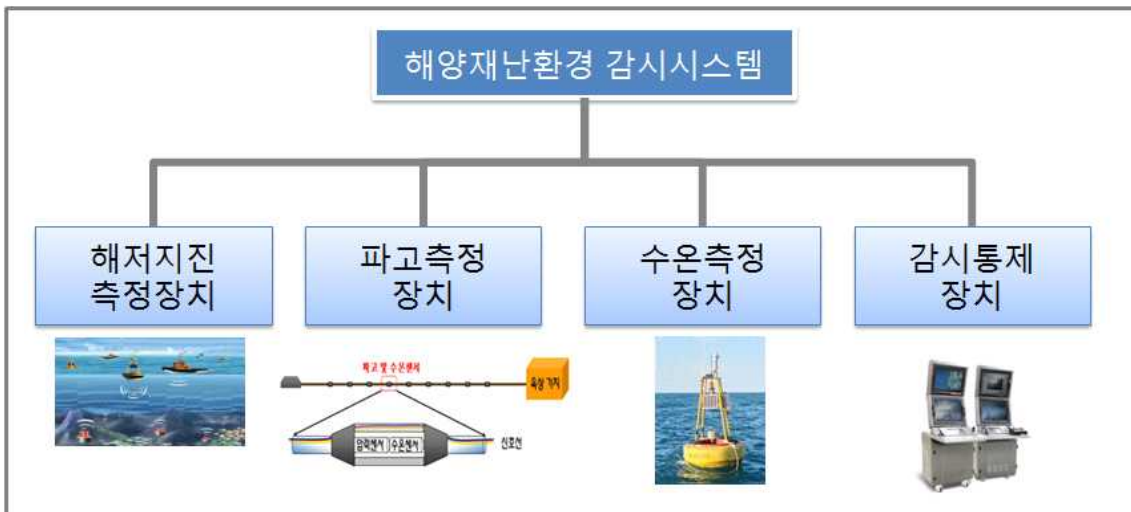


그림 5. 해양재난환경 감시시스템 구성도

○ 취수구 유해생물 감시시스템

- 원전의 취수를 방해하는 해파리, 새우와 같은 해양생물의 위협에 대응.

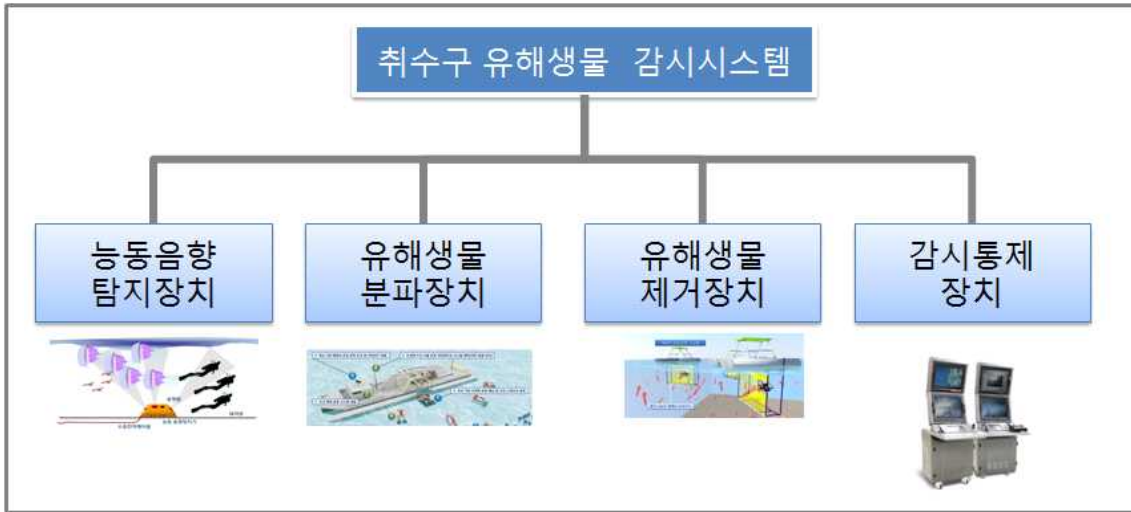


그림 6. 취수구 유해생물 감시시스템 구성도

#### 4. 원전해양감시 시스템 운영 방안

##### ○ 대상 원전 선택

- 대상원전 선택을 위한 다섯 가지 기준(원자로 수, 발전 수준, 해양침투 노출정도, 자연재해 노출정도, 지리적 중요도)으로 다섯 원전을 평가한 결과 울진원전이 선택되었음.

표 3. 원전별 평가 결과

원전	원자로 수 (30%)		발전 수준 (30%)		해양침투 노출정도 (15%)		자연재해 노출정도 (15%)		지리적 중요도 (10%)		평가 점수
	평점	점수	평점	점수	평점	점수	평점	점수	평점	점수	
울진	5점	1.50	5점	1.50	3점	0.45	5점	0.75	4점	0.40	<b>4.60</b>
경주	3점	0.90	3점	0.90	5점	0.75	1점	0.15	4점	0.40	<b>3.20</b>
울산	1점	0.30	1점	0.30	1점	0.15	5점	0.75	4점	0.40	<b>1.90</b>
부산	1점	0.30	3점	0.90	1점	0.15	4점	0.60	5점	0.50	<b>2.45</b>
영광	3점	0.90	5점	1.50	3점	0.45	3점	0.45	3점	0.30	<b>3.60</b>

## ○ 시스템 배치

- 해안/해상 감시시스템의 배치
  - 해안/해상 감시시스템은 원전 주변에 배치.



그림 7. 해안/해상 감시시스템 배치도 (안)

- 수중침투 감시시스템의 배치
  - 잠수함/정의 감시를 위한 선배열음향탐지장치는 원전에서 20Km정도 이격된 수중에 설치되며 총 3조가 배치.

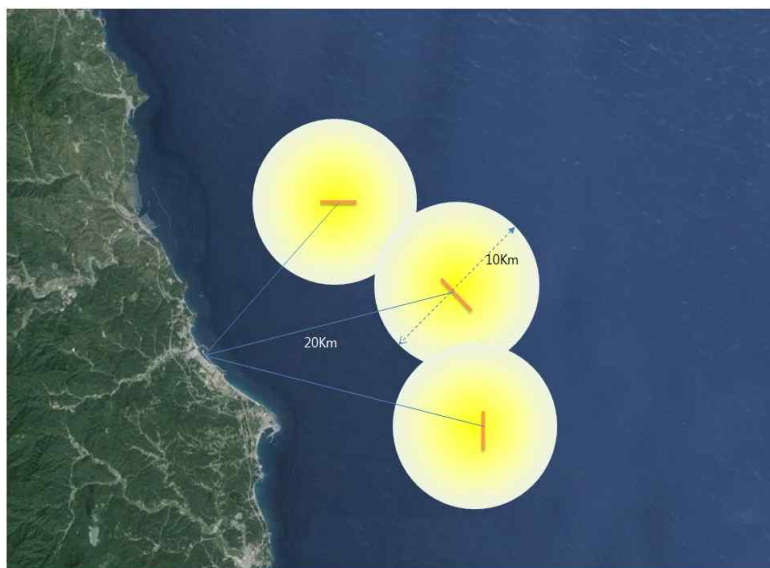


그림 8. 선배열음향탐지장치의 배치도 (안)

- 선배열자기탐지장치는 원전에서 5Km정도 이격된 수중에 설치되며 총 2조가 배치.

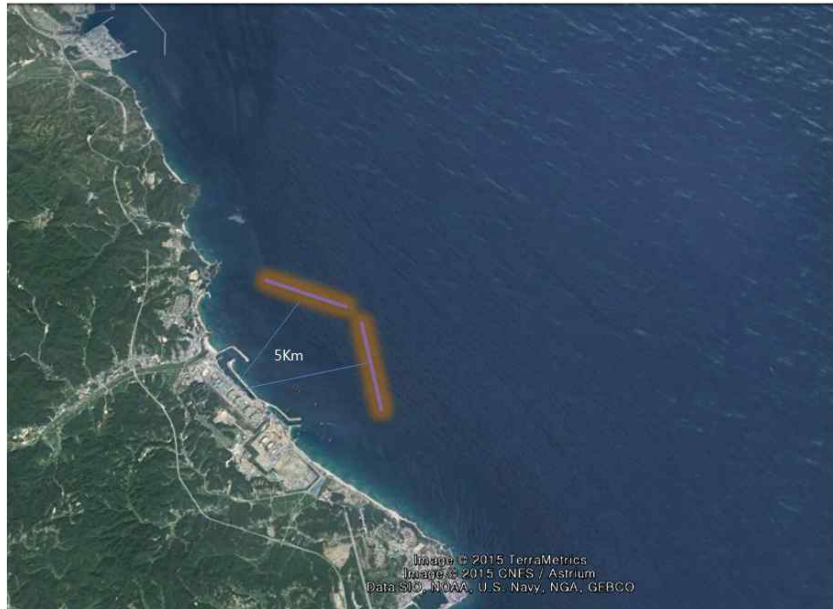


그림 9. 선배열자기탐지장치의 배치도 (안)

- 능동음향탐지장치는 원전에서 0.5kmwjd도 이격된 수중에 설치되며 총 5조가 배치.



그림 10. 능동음향탐지장치의 배치도 (안)

- 해양재난환경 감시시스템의 배치

- 해양재난환경 감시시스템은 원전의 남동쪽에 15개의 구역으로 나누어 배치.
- 파고측정장치와 수온측정장치는 모든 구역에 배치되므로 각 15개씩 배치된다.
- 해저지진측정장치는 지진암반대 등을 고려하여 원해인 Sector-11, Sector-13, Sector-15에 각각 1개씩 총 3개를 배치.

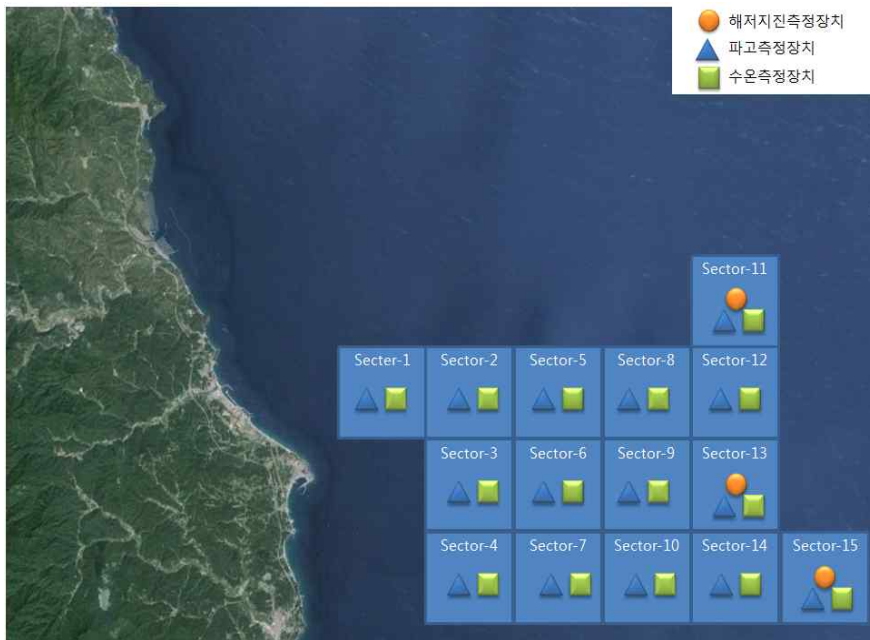


그림 11. 해양재난환경 감시시스템 배치도 (안)

- 취수구 유해생물 감시 시스템의 배치

- 취수구 유해생물 감시시스템은 취수구 주변에 배치. 총 4조가 배치되며, 취구수 입구에는 2조를 배치하여 교호운영이 가능하도록 배치.

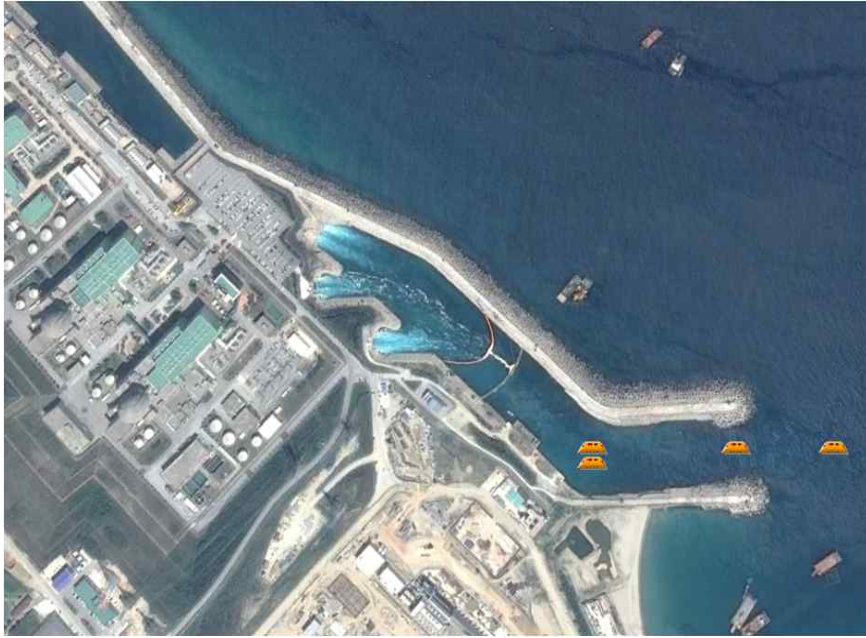


그림 12. 취수구 유해생물 감시시스템 배치도 (안)

## ○ 시스템 운영 방침 및 운영 인력

- 원전해양감시시스템은 24시간 운영되어야 함.
- 원전해양감시시스템은 시스템의 취약성을 파악하여 필요 시 교호 운용을 통해 이를 극복해야 함.
- 원전해양감시시스템의 감시 정보는 관련기관과 공유되어야 함.
- 원전해양감시시스템의 표적관련 탐지 및 식별 자료는 DB화되어 보존 및 관리되어야 함.
- 원전해양감시시스템은 기능과 성능을 필요시 언제든지 입증할 수 있어야 함.
- 원전해양감시시스템은 주기적으로 정비가 수행되어야 함.
- 24시간 운영을 위하여 3직제로 운영되어야 하며, 각 분야의 전문가로 구성되어야 함.

## 5. 원전해양감시 시스템 기대 효과

- 원전에 대한 위협 제거
- 인근 해역의 감시체계와 공조하여 영해 수호
- 해양관련 자료 축적 및 공유로 인한 학술적 발전에 기여

# < 목 차 >

1. 서론	1
1.1. 원자력발전의 중요성	1
1.1.1. 전기 에너지의 중요성	1
1.1.2. 원자력발전의 필요성	2
1.1.3. 국내 원전 현황	7
1.1.4. 국내 원전 향후 발전 예측	8
1.2. 원전으로 인한 피해 사례	9
1.3. 원전의 보호 실태	11
2. 원전 위협 분석 및 대응 방안	13
2.1. 원전 위협의 식별	13
2.2. 원전 위협의 분석	18
2.2.1. 원전 위협의 기본 분석	18
2.2.2. 원전 피해 등급	20
2.2.3. 원전 위협별 평가	22
2.3. 원전 위협의 대응 방안	23
2.3.1. 지진 위협의 대응 방안	24
2.3.2. 해양생물 취수구 유입 위협의 대응 방안	26
2.3.3. 해일 위협의 대응 방안	28
2.3.4. 폭파 위협의 대응 방안	29
2.3.5. 점거 위협의 대응 방안	31
2.3.6. 정보탈취 위협의 대응 방안	32
2.3.7. 포격 위협의 대응 방안	32
2.3.8. 폭격 위협의 대응 방안	32
3. 원전 해양감시 시스템 구축 방안	33
3.1. 원전 해양감시 시스템 개요	33
3.2. 해안/해상 감시 시스템	35
3.2.1. 필요성 분석	35



3.2.2. 시스템 구성 .....	36
3.2.3. 운용 개념 .....	38
3.3. 수중침투 감시 시스템 .....	39
3.3.1. 필요성 분석 .....	39
3.3.2. 시스템 구성 .....	40
3.3.3. 운용 개념 .....	42
3.4. 해양 재난환경 감시 시스템 .....	43
3.4.1. 필요성 분석 .....	43
3.4.2. 시스템 구성 .....	44
3.4.3. 운용 개념 .....	46
3.5. 취수구 유해생물 감시 시스템 .....	47
3.5.1. 필요성 분석 .....	47
3.5.2. 시스템 구성 .....	48
3.5.3. 운용 개념 .....	50
4. 원전 해양감시 시스템 운영 방안 .....	51
4.1. 대상 원전 선택 .....	51
4.2. 시스템 배치 .....	55
4.2.1. 해안/해상 감시 시스템의 배치 .....	55
4.2.2. 수중침투 감시 시스템의 배치 .....	57
4.2.3. 해양 재난환경 감시 시스템의 배치 .....	60
4.2.4. 취수구 유해생물 감시 시스템의 배치 .....	61
4.2.5. 종합 통제 상황실의 배치 .....	62
4.3. 시스템 운영 방침 .....	64
4.4. 시스템 운영 인력 .....	65
5. 원전 해양감시 시스템 기대 효과 .....	66
6. 결론 및 향후 계획 .....	67
6.1. 결론 .....	67
6.2. 향후 계획 .....	67

## < 표 목 차 >

표 1. 발전 방법별 문제점 분석 .....	3
표 2. 원전 위협의 기본 분석 .....	18
표 3. 원전 위협 별 피해 등급 예측 .....	21
표 4. 원전 위협 별 평가 .....	22
표 5. 원전 위협 별 대응 방안 요약 .....	23
표 6. 원자로 수에 따른 원전별 평가 .....	51
표 7. 발전 수준에 따른 원전별 평가 .....	52
표 8. 해양침투 노출 정도에 따른 원전별 평가 .....	52
표 9. 자연재해 노출 정도에 따른 원전별 평가 .....	53
표 10. 지리적 중요도 따른 원전별 평가 .....	54
표 11. 원전별 평가 결과 .....	54
표 12. 원전 해양감시 시스템 운영 인력 소요 .....	65

## < 그림 목 차 >

그림 1. 전기 에너지의 사용 .....	1
그림 2. 국가별 1인당 소비 전력량 비교 .....	2
그림 3. 세계 에너지 자원 매장량 .....	2
그림 4. 국내 원전 현황 .....	7
그림 5. 원자력 발전량 현황 및 전망 .....	8
그림 6. 체르노빌 원자력발전소 사고의 피해 범위 .....	9
그림 7. 원전의 안전대책 1/3 .....	11
그림 8. 원전의 안전대책 2/3 .....	12
그림 9. 원전의 안전대책 3/3 .....	12
그림 10. 원전의 피해 등급 .....	20
그림 11. 원전 위험 별 대응 우선순위 .....	23
그림 12. 지진 관측소 분포(기상청 소속) .....	24
그림 13. 국내 원전 별 내진 능력 .....	25
그림 14. 해수를 이용한 원전의 냉각 .....	26
그림 15. 해파리 제거 시스템 (예) .....	27
그림 16. 해일 관측 시스템 구성도 (예) .....	28
그림 17. 항만 감시체계 사례 (한국) .....	29
그림 18. 항만 감시체계 사례 (이스라엘) .....	30
그림 19. 항만 감시체계 사례 (미국) .....	30
그림 20. 원전 보호 체계 및 원전 해양감시 시스템의 역할 .....	33
그림 21. 원전 해양감시체계 구성 및 대응 위협 .....	34
그림 22. 원전 해양감시체계 입체적 감시 범위 .....	34
그림 23. 해안/해상 감시 시스템 모식도 .....	35
그림 24. 해안/해상 감시 시스템 구성도 .....	36
그림 25. 광학감시장치 (예) .....	36
그림 26. 레이더장치 (예) .....	37
그림 27. 수중침투 감시 시스템 모식도 .....	39

그림 28. 수중침투 감시 시스템 구성도	40
그림 29. 선배열 음향탐지 장치 (예)	40
그림 30. 선배열 자기탐지 장치 (예)	41
그림 31. 능동 음향탐지 장치 (예)	41
그림 32. 해양 재난환경 감시 시스템	43
그림 33. 해양 재난환경 감시 시스템 구성도	44
그림 34. 해저지진 측정장치 (예)	44
그림 35. 파고 측정장치 (예)	45
그림 36. 수온 측정장치 (예)	45
그림 37. 취수구 유해생물 감시 시스템 모식도	47
그림 38. 취수구 유해생물 감시 시스템 구성도	48
그림 39. 능동 음향탐지 장치	48
그림 40. 유해생물 분파장치 (예)	49
그림 41. 유해생물제거장치 (예)	49
그림 42. 해안/해상 감시 시스템 배치도 (안)	55
그림 43. 지구의 곡률과 레이더 탐지 반경	56
그림 44. 선배열 음향탐지 장치의 배치도 (안)	57
그림 45. 선배열 자기탐지 장치의 배치도 (안)	58
그림 46. 능동 음향탐지 장치의 배치도 (안)	59
그림 47. 해양 재난환경 감시 시스템 배치도 (안)	60
그림 48. 취수구 유해생물 감시 시스템 배치도 (안)	61
그림 49. 종합 통제 상황실 (안)	62
그림 50. 종합 통제 상황실과 관련기관의 연계	63

## 1. 서론

### 1.1. 원자력발전의 중요성

#### 1.1.1. 전기 에너지의 중요성

불을 발견하고 이용하기 시작하면서부터 만물의 영장으로 첫 발을 내딛게 된 인류는 18세기 말엽 증기로 시작된 산업혁명을 통해 인류사에 획기적 전환점을 이루었다. 그러나 전기를 이용하게 됨으로써 산업혁명에 버금가는 비약적 발전을 이룰 수 있었다. 전기 에너지가 실용화된 19세기 이후 전기가 갖는 조작의 편리성과 다른 에너지로의 변환 용이성, 환경 보존 및 상대적인 안전성 등의 특성으로 인하여 그 이용 영역을 무한히 확장하여 인류 문화의 급속한 변모를 가져오게 되었다.

첫째로 전기는 밤과 낮의 구분을 철폐하여 24시간 문화 형성을 가능하게 함으로써 물질적·정신적 풍요를 가져오게 하였으며, 둘째로 실내와 실외, 지상과 지하라는 구분을 철폐하여 행동반경을 넓혀 줌으로써 공간과 자원의 효율적 이용을 가져왔고, 셋째로 기계문명의 극대화를 통하여 인류의 물리적인 힘의 확장 및 감각 영역의 확대로 관념문화의 변화를 창출했으며, 넷째로 통신 및 교통 수단의 발달을 매개로 하여 지구촌을 형성하게 되었다.

이와 같이 전기에 의한 인류의 시간·공간 및 능력의 확장은 사회의 전 부문에 그 파급효과를 가져와 오늘날 모든 분야에서 인간의 욕망을 실현하는 견인차로, 경제 발전의 원동력으로서 전기의 중요성이 심화되고 있으며, 컴퓨터·반도체기술 등 전기 이용기술의 진보에 따른 정보화 사회·고도산업사회가 진전될수록 전기는 인류 문화를 창조해 나가는 주역이 되고 있다.



그림 1. 전기 에너지의 사용

### 1.1.2. 원자력발전의 필요성

현대사회를 지탱하는 에너지인 전기를 지속적으로 공급하는 것은 국가적 측면에서 관리되어야 하는 중요한 과제이다. 특히 우리나라는 고도화된 산업사회이며, 수출주도형 국가로서 많은 에너지의 사용이 필요하다.

특히 1인당 소비 전력량은 일본을 앞서고 있으며, 유럽 선진국인 영국, 프랑스, 이탈리아, 독일 보다 더 많은 전기를 소비하고 있다.



그림 2. 국가별 1인당 소비 전력량 비교

하지만, 전기 공급에 필요한 석유, 천연가스, 석탄 등의 에너지 자원은 주로 해외에 의존해야하는 실정이며, 이조차도 매장량의 한계 때문에 가격의 상승과 자원의 무기화라는 문제서 자유롭지 못하다.

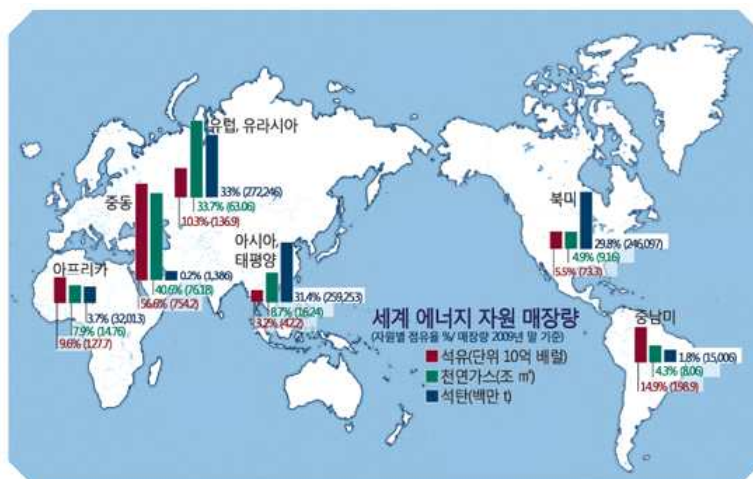


그림 3. 세계 에너지 자원 매장량

## 해양안전확보를 위한 원전 해양감시 기본방안 수립연구

이러한 문제를 해결하기 위하여 자연의 변화를 이용하여 전기 에너지를 얻는 수력발전, 풍력발전, 조력발전, 태양열발전 등이 이용되고 있다. 하지만, 이러한 발전 방법은 화석연료를 필요로 하지 않는 장점은 있으나 안정적 전기 에너지의 공급이 보장되지 못하며, 많은 설비비용과 설치지역의 제한성이라는 단점을 가지고 있다.

표 1. 발전 방법별 문제점 분석

구 분	원 리	문 제 점
화력 발전 		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 화석연료 사용</li> <li>▪ 지속적 운영비용 필요</li> <li>▪ 탄소배출</li> </ul>
수력 발전 		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 제한적인 설치성</li> <li>▪ 과다한 초기 설치비 필요</li> </ul>
풍력 발전 		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 제한적인 설치성</li> <li>▪ 안정적 전기공급 불가</li> <li>▪ 사전조사 필요</li> </ul>
조력 발전 		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 제한적 설치성</li> <li>▪ 사전조사 필요</li> <li>▪ 과다한 초기 설치비</li> </ul>
태양열 발전 		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 낮은 발전량</li> <li>▪ 안정적 전기공급 불가</li> <li>▪ 계절적 영향이 큼</li> </ul>

상기의 발전 방법의 문제점을 해결할 수 있는 방법이 원자력을 이용하는 것이다. 원자력발전(이하 “원전”)의 장점은 다음의 네 가지로 요약될 수 있다.

- 환경 친화적 에너지
- 연료 공급의 안정성과 비축효과
- 고도기술의 준국산 에너지
- 유리한 경제성

### ① 환경 친화적 에너지

현실적으로 볼 때 온실가스를 배출하지 않고 대규모의 에너지 수요 증가에 대처할 수 있는 에너지로는 원자력에너지 밖에는 다른 대안이 없다. 세계는 지금 지구 온난화와 산성비 등의 환경문제로 인해 지구환경에 영향을 미치지 않는 에너지원 개발이 커다란 관심사항으로 대두되고 있다. 화석연료의 대량사용으로 발생하는 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 황산화물(SO<sub>x</sub>), 질소산화물(NO<sub>x</sub>)등이 지구온난화와 산성비의 주요 원인이기 때문이다.

이를 해결하기 위하여 선진국들을 중심으로 기후변화 협약을 체결하여 온실가스의 감축을 의무화하고 있다. 우리나라도 곧 선진국으로 분류되면 의무감축을 해야 할 것으로 보인다. 이럴 경우 이산화탄소 배출증가율이 세계 1위이고 총 에너지 소비 중 화석연료의 비중이 80%이상인 우리의 에너지 다 소비형 산업구조에서는 전 산업분야에 크게 영향을 줄 것으로 예상된다.

또한, 우리나라는 지속되는 경제성장에 따라 에너지 소비 증가율 10%이상인 점을 감안할 때 당장 석유나 석탄의 사용을 줄이기 위해서는 그 대신 공해물질을 배출하지 않는 청정 대체 에너지의 개발이 필요하다. 대체 에너지의 종류에는 소비하더라도 다시 재 생성되는 재생에너지(자연에너지)와 원자력에너지가 있는데 태양열, 풍력 같은 재생에너지는 소용량이며 지리적, 지형적조건의 제한으로 아직 실용단계가 아니다.

따라서 현실적으로 볼 때 온실가스를 배출하지 않고 대규모의 에너지수요 증가에 대처할 수 있는 에너지로는 원자력발전으로서 원자력발전은 연료채굴에서 폐기물처리까지 전 과정에서 이산화탄소의 배출량이 수력발전 수준으로 극히 낮을 뿐만 아니라 산성비의 원인이 되는 황산화물과 질소산화물을 배출하지 않는 대표적인 환경 친화적 에너지이다. 특히, 전력은 모든 에너지 중에서도 국가경제 발전의 원동력이므로 급증하는 전력수요에



부응해야 하고 온실가스의 배출억제라는 국제적인 환경규제에 대처해야 하는 우리나라 현실에서는 석유나 석탄이 주종을 이루는 화력의 비중을 낮추면서 원자력발전을 확대하는 방향으로 에너지개발 정책을 추진해 나가야할 것이다.

### ② 연료 공급의 안정성과 비축효과

원전의 연료인 우라늄은 세계 전역에 고르게 매장되어 있어 세계의 에너지 정세에 크게 영향을 받지 않는다. 반면, 석유의 경우 대부분이 중동지역에 편중되어 있어 유사시 공급이 중단될 수도 있다. 그리고, 우리나라의 경우 원료인 농축우라늄만을 수입하여 원전연료 형태로 제작할 수 있는 가공 공장이 있어 중국산 연료로 안정적인 연료공급이 가능하다. 또한 우라늄은 에너지밀도가 매우 높아 소량의 연료로 막대한 에너지를 낼 수 있어 수송과 저장이 쉽다. 예를 들어 100만 kW급 발전소를 1년간 운전하려면 석유로는 150만 톤이 필요하나 농축우라늄은 28톤이면 된다. 그리고 우라늄은 원자로에 한번 충전하면 18개월 가량은 연료를 교체하지 않으므로 그만큼 연료의 비축효과가 있다. 이와 같이 다른 에너지원들은 전적으로 수입에 의존하고 있고, 공급이 불안정한 반면 원전의 연료인 우라늄은 공급의 안정, 수송 및 저장의 편리, 큰 비축효과가 있어 에너지를 무기화하는 냉엄한 국제사회에서 에너지 자립이라는 국가안보 차원에서도 원자력은 꼭 필요한 에너지이다.

### ③ 고도기술의 준국산 에너지

원자력발전은 고도의 과학기술을 필요로 하는 기술에너지로서 기술자립만 이룩되면 무한한 개발과 이용이 가능하다.

특히 첨단 과학기술의 집합체인 원전의 기술자립은 우리나라의 과학기술 발전에 크게 영향을 주게 된다. 우리나라에서 원전은 70년대 두 차례의 오일쇼크를 겪으면서 에너지 다변화에 대한 필요성이 대두됨에 따라 본격적인 개발이 시작되었다. 70년대 초 당시 아무런 기술과 경험 없이 원전건설을 시작하여 78년 4월 고리1호기가 최초로 가동한 이후 20년이 지난 지금은 세계 10위권에 들어가는 원전 선진국으로 부상하였다. 현재 원자력

발전은 건설 및 운영분야 모두 거의 기술자립단계에 있어 우리기술로 건설하고 있고, 세계 정상수준으로 운영하고 있으며 전체 발전원가 중 연료비 비율이 10% 정도 밖에 되지 않는 준 국산에너지이다.

특히 한국 표준형 원전의 기술자립을 통해 원전은 국산에너지로 자리 잡게 되었고 이 표준형으로 우리기술에 의해 북한에 원자력발전소도 건설하고 있다. 자원이 부족한 우리나라는 에너지원의 대부분을 수입하고 있으며 국가 전체수입량의 큰 부분을 차지하고 있다. 따라서 에너지 소비절약, 에너지 소비 산업의 구조조정, 대체에너지의 이용증대로 에너지 수입을 줄여 나가야 한다. 원자력은 고밀도 기술에너지로 원자력발전의 확대는 그만큼 화석연료의 수입을 적게 해줌으로써 에너지수입 대체효과(외화절감)가 매우 크다. 또한 원자력발전 기술은 하이테크 산업으로 모든 관련 산업분야의 기술발전에도 크게 기여하고 있다.

#### ④ 유리한 경제성

원자력발전은 연료가 싸기 때문에 발전원가 중 연료비가 차지하는 비율이 매우 낮고 발전원가도 낮아 경제성에서 훨씬 유리하다. 원자력발전은 화력발전 같은 다른 발전방식에 비하여 건설비가 많이 들어 초기 투자비는 높지만 발전소 수명기간(약 40년)동안 사용하는 연료인 우라늄이 석유나 천연가스에 비해 월등히 싸기 때문에 매우 경제적인 발전방식으로 볼 수 있다. 석유나 천연가스를 연료로 하는 화력의 경우는 건설비는 적게 들지만 수입해오는 연료가 매우 비싸기 때문에 발전원가 중 연료비가 차지하는 비율이 높고 자연히 발전원가도 경제성에서 매우 불리하다. 따라서 연료가격이 오르면 그만큼 발전원가도 올라간다. 이에 비해 원자력발전은 연료가 싸기 때문에 발전원가 중 연료비가 차지하는 비율이 매우 낮고(10.2%) 발전원가에는 크게 영향을 주지 않는다. 앞으로도 석유 가격은 계속 불안정할 것으로 예상되고 있기 때문에 연료비 비율이 낮고 보다 안정적으로 공급되는 우라늄을 연료로 사용하는 원자력발전의 경제성이 보다 안정적인 추세를 보일 것으로 전망된다. 특히 최근 표준형 원전의 반복건설로 건설기간이 단축되고 있는 상황에서 발전원가 산정 시 중요한 요소인 원자력발전소 이용률도 점점 높아지고 있어 경제성에서 더욱 유리해질 것으로 전망된다.

### 1.1.3. 국내 원전 현황

국내 원전은 2013년 11월 기준으로 총 23기가 운영되고 있으며, 총 20,715MW의 전기 에너지를 생산하여 국내 생산량의 27.2%를 담당하고 있다.

국내 원전은 울진, 경주, 울산, 부산, 영광 등에 주로 한반도 동남부에 설치되어 있다. 원전이 설치된 지역은 암반지대라는 특성과 해안가라는 두 가지 특성이 있다. 먼저 암반지대는 지진 등의 재해로부터 원전의 피해를 최소화하기 위하여 선택된 조건이며, 해안가는 원자력발전에서 필수적인 냉각을 위한 취수 문제의 해결을 위함이다.

국내 원전 중 울진지역의 한울원자력발전소와 영광지역의 한빛원자력발전소가 가장 많은 원자로가 설치되어 있으며 발전용량도 전체의 절반을 담당하고 있다.

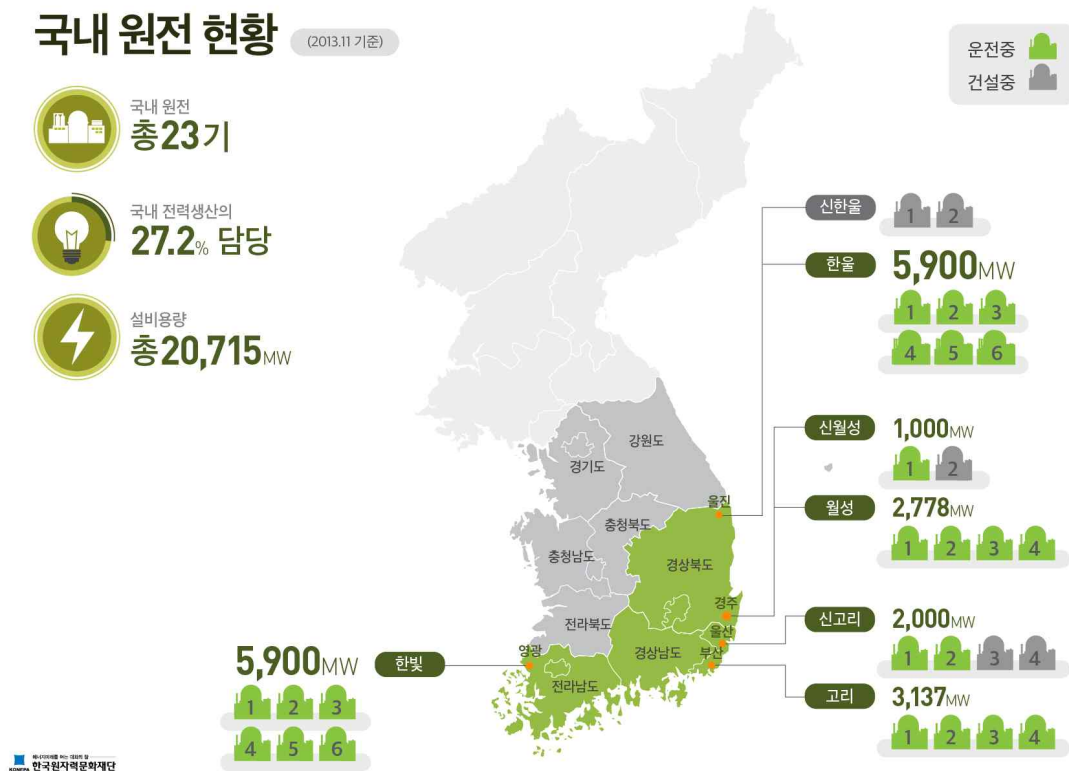


그림 4. 국내 원전 현황

### 1.1.4. 국내 원전 향후 발전 예측

원전은 여러 가지 논란에도 불구하고 지속적으로 건설되고 운영될 계획이다. 값싼 생산단가와 운영 유지비 등은 국내 원전의 계속적 발전에 근거가 되고 있으며, 이에 따라 향후 국내 전체 전기 에너지 생산의 절반까지 원자력 발전이 담당할 것으로 예상된다.

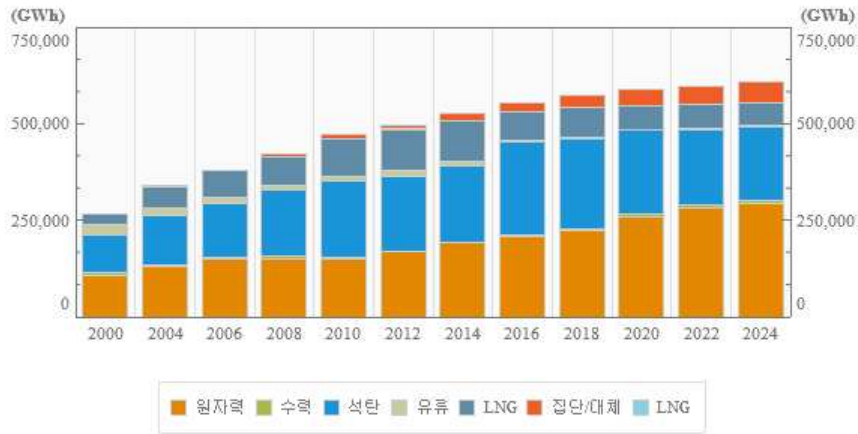


그림 5. 원자력 발전량 현황 및 전망

출처 : 한국전력 「전력통계속보」, 산업통상자원부 「제6차 전력수급기본계획」

## 1.2. 원전으로 인한 피해 사례

경제적 측면과 환경적 측면 그리고 미래적 측면에서 다른 발전방법에 비해 원자력발전이 탁월한 장점을 보유하고 있지만, 원자력발전소 건설에 반대하는 이유는 주로 원자력발전소의 문제로 인한 폭발과 방사능 오염이다.

원자력발전소가 자연적 재해나 인위적 공격을 받을 경우 그 피해는 핵폭격을 받은 것과 동일하다. 잘 알려진 원전의 대표적인 피해사례가 1986년 발생한 체르노빌 원자력발전소 사고의 피해와 2011년 발생한 후쿠시마 원자력발전소 사고이다. 체르노빌 원자력발전소 사고는 동부 및 중부 유럽에 막대한 피해를 입혔으며, 30여년이 지난 지금도 완전히 복구되지 못하고 있다. 또한 후쿠시마 원자력발전소 사고는 주변국은 물론 태평양 전체에 영향을 미치며 아메리카 대륙과 오세아니아 대륙에 까지 피해를 입히고 있으며, 현재까지도 수습되지 못하고 있는 실정이다.

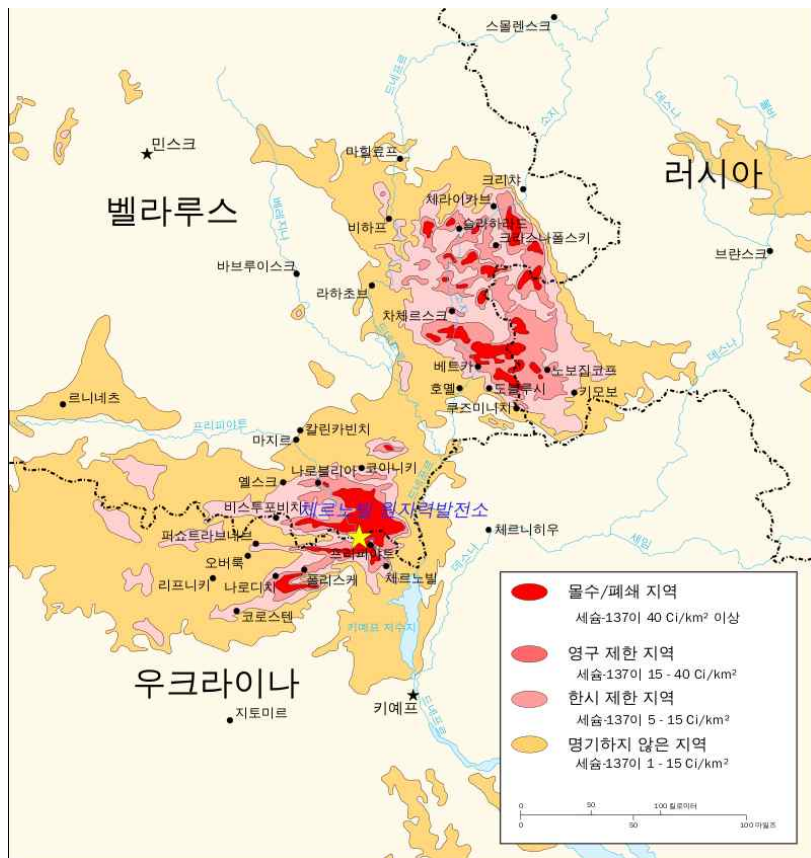


그림 6. 체르노빌 원자력발전소 사고의 피해 범위

#### ▣ 체르노빌 원자력발전소 사고

체르노빌 원자력 발전소 사고(우크라이나어: Чорнобильська катастрофа) 또는 체르노빌 참사(영어: Chernobyl disaster)는 1986년 4월 26일 1시 24분(모스크바 기준 시간)에 소비에트 연방 우크라이나 SSR의 체르노빌 원자력 발전소에서 발생한 폭발에 의한 방사능 누출 사고를 말한다. 이 사고로 발전소에서 누출된 방사성 강하물이 우크라이나 SSR과 벨라루스 SSR, 러시아 SFSR 등에 떨어져 심각한 방사능 오염을 초래했다. 사고 후 소련 정부의 대응 지연에 따라 피해가 광범위화되어 최악의 원자력 사고가 되었다.

#### ▣ 후쿠시마 원자력발전소 사고

후쿠시마 제1 원자력 발전소 사고(福島 第1 原子力 発電所 事故, 일본어: 福島第一原子力発電所事故 ふくしまだいいちげんしりょくはつでんしょじこ 후쿠시마 다이이치 겐시료쿠 하쓰덴쇼 지코[\*], 영어: Fukushima Daiichi nuclear disaster) 또는 후쿠시마 원전 사고(福島 原発 事故)는 2011년 3월 11일 도호쿠 지방 태평양 해역 지진으로 인해 진도 9의 지진과 지진 해일로 도쿄전력이 운영하는 후쿠시마 제1 원자력 발전소의 원자로 1-4호기에서 발생한 방사능 누출 사고이다. 체르노빌 원자력 발전소 사고와 함께 국제 원자력 사고 등급(INES)의 최고 단계인 7단계(Major Accident)를 기록하였다. 현재도 계속적으로 원자로에서 방사능 물질이 공기중으로 누출되고 있으며, 빗물과 원자로 밀을 흐르는 지하수에 의해 방사능에 오염된 방사능 오염수가 태평양 바다로 계속적으로 누출되고 있다. 누출된 방사능 물질로 인해 후쿠시마 제1 원자력 발전소 인근 지대뿐 아니라 일본 동북부 전체의 방사능 오염이 심각한 상황이다.

### 1.3. 원전의 보호 실태

미래의 에너지 공급원으로 원전이 자리를 잡고 있지만 앞서 살펴본 바와 같이 원전 사고에 따른 그 피해는 막대한 손실을 일으킨다. 따라서 원전을 안전하게 보호하고 관리하는 것이 무엇보다 중요하다고 할 수 있다. 하지만 우리나라의 원전 보호관리는 일반적인 원자력안전과 방사선방호 그리고 기술안전에 목표를 두고 있으며 원전의 안전성은 원자로 자체의 심층방어와 다중방호설비 등으로 확보한다는 개념이다. 그러나 이러한 일반적인 방법은 안전사고 등으로 부터의 보호는 가능하지만 인위적 공격이나 테러, 자연 재해 및 자연 환경의 변화 등에 능동적으로 대처할 수 없다. 따라서 선진국은 기본적인 안전 관리 외에 외력으로부터의 보호 시스템을 구축하고 있다. 그 이유는 원전이 적국이나 테러집단의 주요 공격목표가 되고 있기 때문이며, 만일 원전에 피해가 발생하는 경우 엄청난 국가적 재난이 발생하게 된다.

다음의 그림들은 우리나라의 원전 안전대책을 발췌한 것이다.

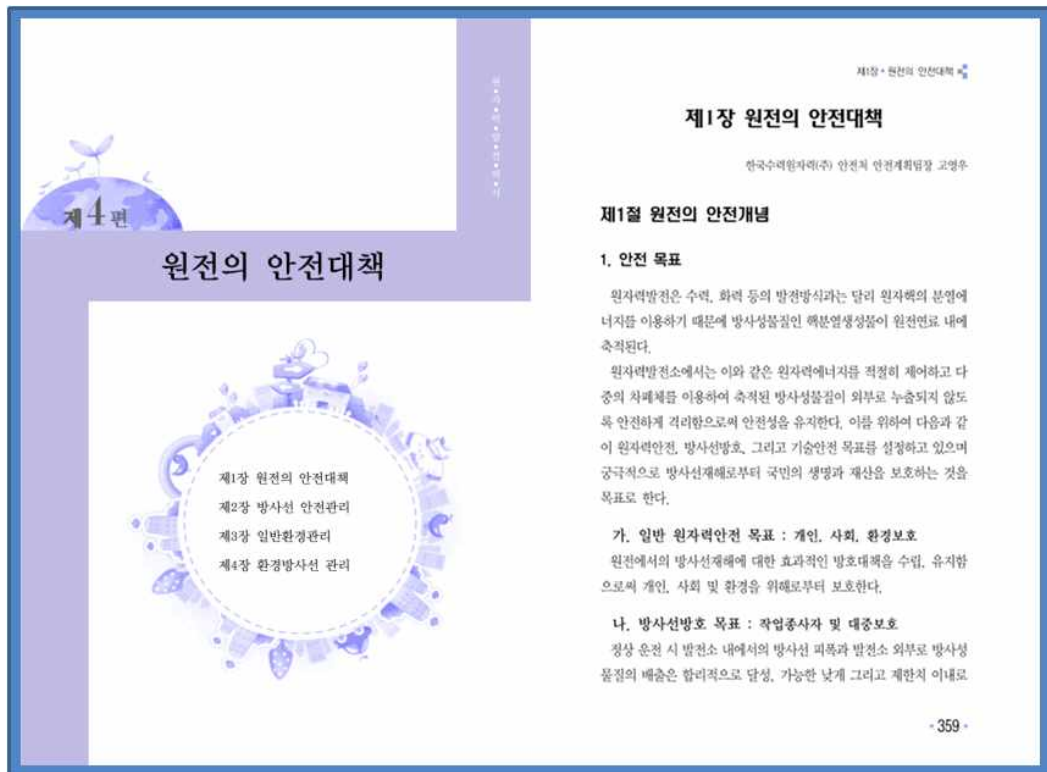


그림 7. 원전의 안전대책 1/3

유지되어야 하며, 사고시에는 방사선 피폭의 정도를 완화시키는 것이 보장되어야 한다.

**다. 기술안전 목표 : 원자력 시설의 안전 확보**

높은 신뢰도를 확보함으로써 원자력발전소의 사고를 예방하고, 이를 위해 발전소 설계시 고려된 모든 사고(발생가능성이 매우 희박한 사고 포함)에 대하여 방사능 피해가 있다면 이를 최소화해야 하며, 심각한 방사능 피해를 수반하는 중대사고의 가능성이 극히 적도록 보장되어야 한다.

**2. 안전성 확보개념**

**가. 심층방어**

원전은 심층방어개념으로 설계되어 있다. 심층방어개념은 원전의 건설 및 운영 각 단계에서 적용하고 있지만 설계단계에서 가장 명확히 적용하고 있다.

심층방어개념이란 먼저 이상상태의 발생을 가능한 방지하되, 이상상태가 발생하였을 때에는 이의 확대를 최대한 억제하며, 만일 이상상태가 확대되어 큰 사고로 진전되었을 때에는 그 영향을 최소화하고, 주변 주민을 보호하도록 사고의 진전 단계마다 적절한 방어체계를 갖추는 것을 말한다.

이상상태의 발생 방지수단으로서 모든 시설에 대하여 중보된 안전여유도를 갖도록 설계하고 있으며 안전에 중요한 설비는 고장에 대비하여 설비를 다중으로 갖추어 두고 있다. 따라서 확률적으로 이상상태의

발생가능성이 매우 낮지만 만일 기기의 고장이나 운전원의 실수가 겹쳐 이상상태가 발생하면 원자로보호설비가 이를 자동적으로 감지하여 원자로를 안전하게 정지시킴으로써 원전연료가 손상되는 등의 중대한 사고로 진전되는 것을 방지해 준다. 그럼에도 불구하고 만에 하나 중대한 사고가 발생하거나 발생할 가능성이 있는 경우 비상노심 냉각장치와 원자로건물 등 안전설비가 사고의 진전을 완화시키고 방사성물질이 주변 환경으로 누출되는 것을 방지하도록 설계되어 있다.

(그림 4-1) 심층방어 개념

**나. 다중방호설비**

심층방어개념의 핵심은 다중방호이다. 다중방호 개념은 방사성물질이 발전소 외부로 누출되는 것을 방지하기 위하여 여러 겹의 방호벽을 설치하는 것을 말한다. 국내에서 운영되고 있는 원전은 다음과 같이 다섯 겹의 방호벽으로 이루어져 있다.

- 360 -
- 361 -

그림 8. 원전의 안전대책 2/3

(1) 제1방호벽(연료벨트)

핵분열에 의해 발생된 방사성물질은 압축수열 및 상형가공된 신화우라늄 금속 내에 그대로 갇히게 된다.

(2) 제2방호벽(연료피복관)

핵분열에 의해 생기는 방사성물질 중 연료벨트를 빠져나온 미소량의 가스성분은 지르코늄 합금의 금속관(피복관)안에 밀폐된다.

(3) 제3방호벽(원자로용기)

만약의 경우 연료 피복관에 결함이 생겨 방사성물질이 새어나오도록 두꺼운 강철로 된 원자로용기와 배관에 의하여 방사성물질이 외부로 누출되지 못하도록 되어 있다.

(4) 제4방호벽(원자로 격납건물 내벽)

원자로 격납건물 내벽에 두꺼운 강철판이 설치되어 있어서 만일의 사태가 발생하여도 방사성물질을 원자로 격납건물 내에 밀폐한다.

(5) 제5방호벽(원자로 격납건물 외벽)

최종적으로 120cm 두께의 강화된 철근콘크리트의 원자로 격납건물 외벽이 있어서 방사성물질이 외부환경으로 누출되는 것을 방지한다.

(그림 4-2) 다중방호 설비

상기 다중방호벽 중 최종방호벽인 원자로 격납건물의 중요성은 미국 TMI원전 사고와 구소련 체르노빌원전 사고에서 입증되었다. 구소련 체르노빌원전의 경우 압력을 견딜 수 없는 원자로 격납건물이 설치되어 있지 않아서 방사성물질이 발전소 외부로 누출되어 일반인에게 피해를 끼친 반면, 원자로 격납건물이 설치된 TMI원전의 경우 발생한 방사성물질이 대부분 원자로 격납용기내에 갇혀서 외부환경에 대한 피해가 없었기 때문이다.

이번에 사고가 발생한 일본 후쿠시마 원전의 경우 압력을 견딜 수 있는 격납용기가 설치되어 있었으나 격납용기 용량이 국내 원전(표준형)의 격납건물에 비해 약 5분의 1 수준으로 방사성 물질 격리 기능, 수소와 같은 가연성 기체 수용능력이 국내 원전에 비해 취약한 단점이 있다.

- 362 -
- 363 -

그림 9. 원전의 안전대책 3/3



## 2. 원전 위협 분석 및 대응 방안

### 2.1. 원전 위협의 식별

원전에 대한 위협은 인위적 위협과 자연적 위협으로 구분할 수 있으며, 인위적 위협은 다음의 다섯 가지로 구분할 수 있다.

- 폭격
- 포격
- 폭파
- 점거
- 정보 탈취

#### ① 폭격



폭격은 첨단무기인 항공기(폭격기)에 의한 공대지 폭격과 중장거리 미사일에 의한 지대지 폭격으로 나뉘어진다. 원전에 대한 폭격은 원자로 폭발이나 원자로

손상에 따른 방사능 유출 등 그 피해가 매우 크다. 폭격에 의한 원전의 공격은 전쟁 중이나 개전 직전에 발생할 수 있다.

#### ② 포격

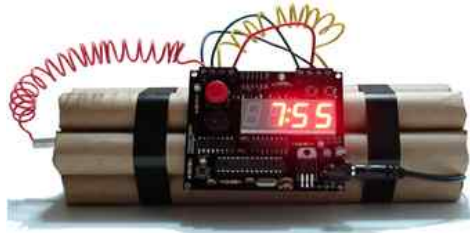


포격은 화포나 로켓포와 같은 중화기를 이용하여 원전을 공격하는 것이다. 원전에 대한 포격은 폭격과 같이 원자로 폭발이나 방사능 유출까지는 미치지 못하지만 원전의 기능 상실 또는 기능

제한의 피해가 발생할 수 있으며, 이에 따른 경제적 손실과 사회적 혼란을 초래할 수 있다. 화포에 의한 포격은 전쟁 상태에서 만 가

능하지만 로켓포에 의한 포격은 전시 뿐 아니라 평시에도 충분히 가능한 위협이다.

③ 폭파



폭파는 화약류를 이용하여 원전에 피해를 가하는 것으로 주로 비정규군(게릴라) 또는 테러집단에 의해 수행된다. 폭파는 폭발물을 설치하여 원전 내부 시설 폭파하는 경우와 폭탄차량을 돌

진하게 하여 원전 외부 시설을 폭파하는 경우가 있다. 폭파는 원전의 기능 상실 또는 기능 제한의 피해가 발생할 수 있으며 포격과 그 피해가 유사하다. 폭파는 전시 보다는 평시에 공격이 가능한 위협 수단이다.

④ 점거



점거는 정규군, 비정규군(게릴라) 그리고 테러단체 등 무장세력에 의해 원전의 제어권을 점거당하는 것이다. 원전이 점거되면 원전의 기능 제한으로 인한 경제적 손실과 사회 혼란을 초래할

수 있으며, 폭파의 단계로 발전할 수 있는 가능성을 내포하고 있다. 점거는 전시와 평시 모두 공격이 가능한 위협 수단이지만, 평시에는 비정규군(게릴라) 또는 테러단체에 의한 공격 가능성이 매우 높다고 할 수 있다.

⑤ 정보 탈취



정보 탈취는 향후 원전의 위해를 가하기 위해 원전 시스템의 취약점을 찾는 것으로 대표적인 방법은 드론을 이용한 정찰과 해킹에 의한 자료 탈취를 들 수 있다. 정보 탈취는 원전에 대한 직접적인

위해를 가하지는 않지만 이를 통해 향후 다른 위험 수단이 동원될 수 있다는 점에서 주요한 위협이라고 할 수 있다. 특히 정보 탈취는 평시에 발생하는 공격으로 이에 대한 대비가 반드시 필요하다.

원전에 대한 자연적 위협은 다음의 세 가지로 구분할 수 있다.

- 지진
- 해일
- 해양생물 취수구 유입

① 지진



지진은 지각의 약대(弱帶), 즉 주로 단층에서 지각 내에 작용하는 응력에 의해 지각이 파쇄(破碎)되면서 주위에 국지적으로 모였던 탄성에너지가 순간적으로 파동에너지로 전환되어 지각 진

동이 사방으로 전파하는 현상으로 지진은 전 세계적으로 고르게 발생하지 않고 태평양 연안의 환태평양 지진대(Circum Pacific Belt)와 지중해에서 터키와 히말라야 산맥, 미얀마와 인도네시아로 이어지는 횡아시아 지진대(Trans Asiatic Belt)에서 전 세계에서 방출되는 지진 에너지의 98% 정도가 방출되며, 나머지 2% 정도가 해저산맥 및 기타 지역에서 발생한다. 판내부 지진활동은 시간과 공간에 걸쳐 매우 불규칙하므로 우리 나라의 지진활동 추세는 전망하

기 어렵다. 그러나 국내경제의 급속한 신장에 따라 고층빌딩·댐·중공업단지·원자력발전소 등 중요한 대규모 토목건조물이 급증하고 있으므로 앞으로 지진발생시의 피해는 대형화되리라 예상된다. 이러한 측면에서 특히 우리가 관심을 가지고 있는 시설은 원자력발전소와 저수시설이다. 특히 원자력발전소 안정성에 가장 영향을 미치는 것이 지진 재해이다. 현재 고리·월성의 원자력발전소들은 한반도에서 가장 위험한 단층의 하나인 양산단층에 인접해 있다. 이 단층은 울진 부근에서 경주·양산·부산 근처로 이어지는 대규모의 단층이며 과거 경주에서 파괴적인 지진들이 발생하였고, 또 최근에 이 일대의 제4기 지층에서 단층운동이 발생한 지질학적 증거들이 발견되어 활성단층(活性斷層)으로 추정된다. 활성단층의 존재는 이 지역에서 앞으로 지진이 발생할 가능성을 시사하며 이에 대한 적절한 조치가 필요하다.

② 해일



해일은 폭풍·지진·화산폭발 등이 원인이 되어 바다의 큰 물결이 육지로 갑자기 넘쳐 들어오는 자연현상으로 폭풍에 의한 해일은 태풍·강풍·강풍고조(強風高潮) 등이 원인이 되어 발생

한다. 해저지진이나 화산폭발에 의한 해일은 쓰나미(津波, tsunami)라고 하는데, 전파속도가 빠르고 파장과 존속기간이 길어 광범위하게 피해를 준다. 우리 나라에서 발생하는 해일은 대부분 폭풍에 의한 것이며, 지진에 의한 해일도 몇 차례 있었다. 강풍해일은 겨울철에 대륙성고기압의 확장과 관련되어 나타나며, 강풍고조는 서해안의 만조와 관계되는 것으로 추정된다.

③ 해양생물 취수구 유입



해파리나 새우는 스스로 움직일 수 있는 능력이 떨어져 수온의 차에 의해 발생하는 해류나 조류에 따라 부표처럼 휩쓸려 다니므로 인근해역에서 대량 발생 시, 원전 취수구에 유입될 가능성이

항상 존재한다. 특히 지난 96년 9월 경북 울진 원전 1~2호기가 해파리 떼의 공격을 받아 처음 가동이 중단된 이후 지금까지 해양생물로 부터 공격을 받은 횟수는 크고 작은 것을 합쳐 100여 차례에 달한다. 최근에도 울진원전 1~2호기가 정상 운전 중 취수구에 대량으로 몰려드는 해파리와 새우 떼 등의 공격을 받으면서 두차례(5월 1일, 8월 11일)나 발전 중단 또는 감발되는 등 수난을 당했으며, 이런 유형의 원전 정지는 국제원자력기구(IAEA) 사고 고장 등급이 '0'등급(경미한 고장)에 해당된다고 밝히고 있지만 원자로 재가동과 정지에 따른 전력 생산 중단 등으로 인한 경제적 손실은 매우 크다.

## 2.2. 원전 위협의 분석

### 2.2.1. 원전 위협의 기본 분석

앞 절에서 기술된 총 8가지의 원전에 대한 위협의 경로, 수단 그리고 발생 가능성에 대한 분석은 다음의 표와 같다.

표 2. 원전 위협의 기본 분석

구 분		위협 경로			위협 수단				가능성	
		육상	해상	공중	무기	병력	자연	생물	전시	평시
인 위 적 위 협	폭격 	-	○	○	○	-	-	-	○	-
	포격 	○	△	-	-	○	-	-	○	-
	폭파 	○	-	-	-	○	-	-	△	○
	점거 	○	△	-	-	○	-	-	△	○
	정보탈취 	○	-	○	-	○	-	-	-	○
자 연 적 위 협	지진 	○	○	-	-	-	○	-	-	○
	해일 	-	○	-	-	-	○	-	-	○
	해양생물 취수구 유입 	-	○	-	-	-	-	○	-	○
소 계		5	5	3	1	4	2	1	3	6

주) ○ : 1점 / △ : 0.5점

먼저 위협의 경로는 육상과 해상이 될 가능성이 높다. 인위적 위협은 육상이 해상보다 높지만 자연적 위협을 고려하면 해상에서의 위협도 육상에 버금간다 할 수 있다. 따라서 육상의 감시뿐만 아니라 **해상에 대한 감시도 중요**하다는 결론을 얻을 수 있다.

둘째로 위협의 수단은 주로 병력, 즉 사람에 의한 공격이 가장 가능성이 높다고 할 수 있다. 이러한 인적 수단에 의한 공격은 원전에 대한 접근을 필요로 한다. 접근의 루트는 육상과 해상의 가능성이 높지만 은밀한 접근을 위해 **해상을 통한 인적 수단의 접근 및 공격**이 예상되며, 이에 대한 대비가 필요하다.

마지막으로 위협의 발생 가능성은 평시가 압도적으로 높다. 원전은 국가 중요 시설이며, 이는 적성국 또는 불순세력의 주요 타겟이 될 수 있는 것이다. 전시의 경우는 모든 무력을 동원하므로 개전 초기에는 공중으로, 개전 중에는 지상과 해상 그리고 공중 모두의 공격이 예상된다. 하지만 평시의 경우는 제한적이고 은밀한 무력 사용만이 가능하므로 **해상을 통한 인위적 위협**이 예상된다. 또한 평시의 **자연적 위협은 주로 해상에서 발생할** 것으로 예상된다.

위협 경로, 위협 수단, 발생 가능성 등 세 가지를 종합한 분석의 결과는 다음과 같다.

- 전시는 육상, 해상, 공중 모든 측면에서 다양한 위협이 존재
- 평시는 해상을 통해 접근하는 병력을 이용한 원전의 위협 가능성이 가장 높음.
- 자연적 위협은 모두 해상을 통해 발생함.

### 2.2.2. 원전 피해 등급

원전의 피해 등급은 아래의 그림과 같이 미약한 수준인 0등급부터 대형 사고인 7등급까지 총 8단계로 구분되어 있다. 하지만 핵폭탄의 투하와 동일한 원전의 폭발은 등급 외로 구분된다.

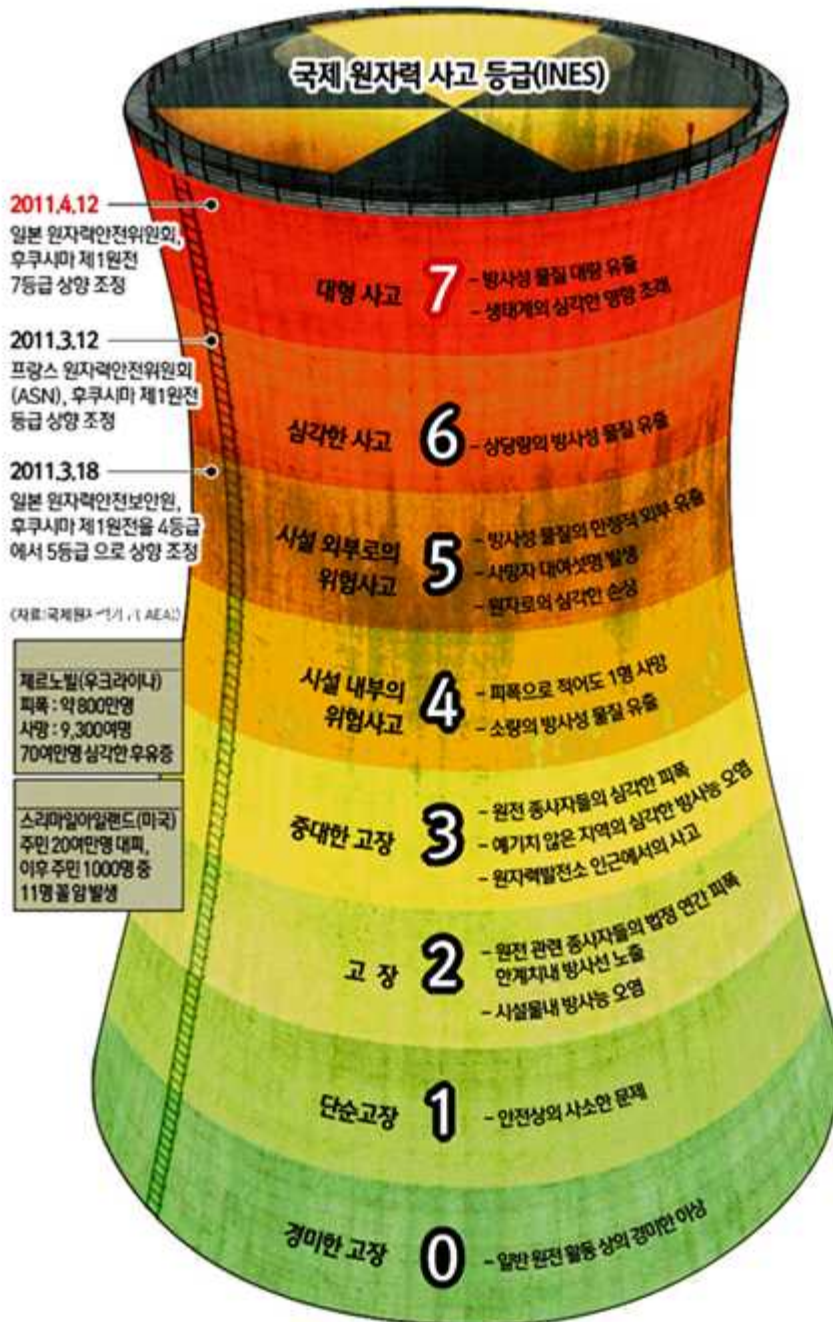


그림 10. 원전의 피해 등급



해양안전확보를 위한 원전 해양감시 기본방안 수립연구

앞 절에서 기술된 총 8가지의 원전 위협 별 피해 등급은 다음의 표와 같이 추정될 수 있다.

표 3. 원전 위협 별 피해 등급 예측

구 분		낮음		보통			높음		
		0 등급	1 등급	2 등급	3 등급	4 등급	5 등급	6 등급	7 등급
인 위 적 위 협	폭격								
	포격								
	폭파								
	점거								
	정보탈취								
자 연 적 위 협	지진								
	해일								
	해양생물 취수구 유입								

### 2.2.3. 원전 위협별 평가

원전의 위협별 발생가능성과 피해 등급을 토대로 평가하여 원전 위협별 대응 우선순위를 선정하였다. 피해등급은 앞 절의 원전 위협별 피해등급을 따랐으며, 발생가능성은 발생가능성 희박을 1등급으로 하고 매우 높음을 7등급으로 하여 피해등급과 동일하게 7개 등급으로 구분하였다.

$$\text{평가점수} = \text{발생가능성} \times 60\% + \text{피해등급} \times 40\%$$

표 4. 원전 위협 별 평가

구 분		발생가능성	피해등급	평가점수	대응 우선순위
인위적 위협	폭격 	1	7	3.4	VIII
	포격 	2	6	3.6	VII
	폭파 	3	6	4.2	IV
	점거 	4	4	4.0	V
	정보탈취 	6	1	4.0	V
자연적 위협	지진 	4	7	5.2	I
	해일 	5	6	4.4	III
	해양생물 취수구 유입 	7	1	4.6	II

### 2.3. 원전 위협의 대응 방안

원전 위협별 평가에 따라 원전 위협의 대응 우선순위는 다음과 같다.



그림 11. 원전 위협 별 대응 우선순위

대응 우선순위에 따른 원전 위협별 대응 방안은 다음과 같다.

표 5. 원전 위협 별 대응 방안 요약

우선순위	구분	대응 방안				관련 기관
		감시		대처		
		국지	전역	회피	제거	
I	지진 	-	√	√	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>국민안전처</li> <li>기상청</li> <li>지질자원연구원</li> </ul>
II	해양생물 취수구 유입 	√	-	-	√	-
III	해일 	-	√	√	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>국민안전처</li> </ul>
IV	폭파 	√	-	-	√	<ul style="list-style-type: none"> <li>군</li> <li>경찰</li> </ul>
V	점거 	√	-	-	√	<ul style="list-style-type: none"> <li>군</li> <li>경찰</li> </ul>
V	정보탈취 	√	-	-	√	-
VII	포격 	√	-	-	√	<ul style="list-style-type: none"> <li>군</li> </ul>
VIII	폭격 	-	√	-	√	<ul style="list-style-type: none"> <li>군</li> </ul>

### 2.3.1. 지진 위협의 대응 방안

원전에 대한 지진의 위협은 발생가능성은 보통이지만 피해규모가 매우 크므로 이에 대한 철저한 대비가 필요하다. 지진은 전역적으로 발생하는 국가차원의 재난으로 근본적으로 막는 것이 불가능하기 때문에 피해를 최소화하는 회피 방안이 필요하다.

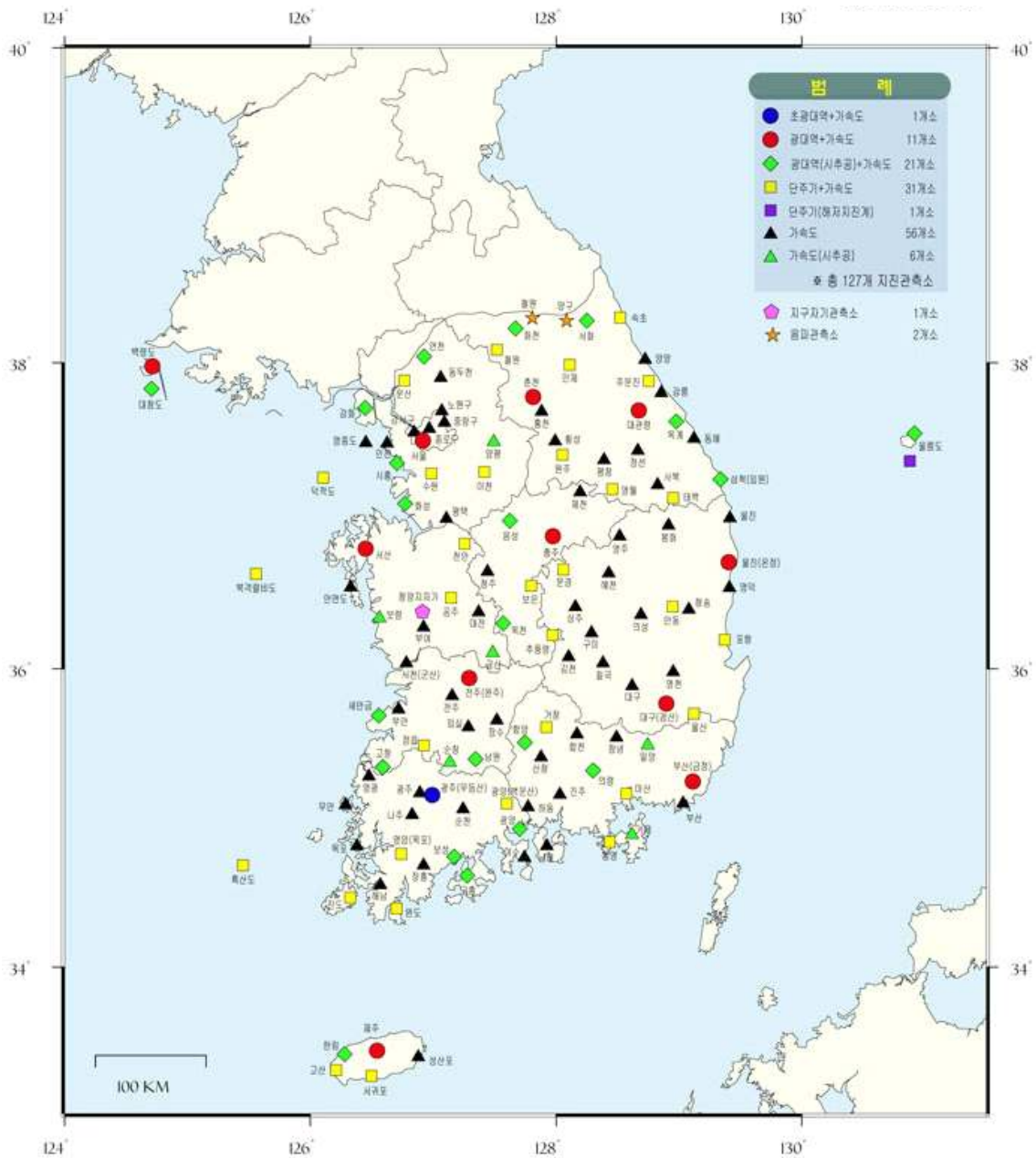


그림 12. 지진 관측소 분포(기상청 소속)

## 해양안전확보를 위한 원전 해양감시 기본방안 수립연구

이를 위하여 감지 및 예보가 매우 중요하며, 지진 감지를 위해 국가적으로 많은 지진 관측소가 운영되고 있다. 상기의 그림과 같이 기상청 소속의 지진 관측소는 127개소가 운영되고 있다. (2014년 1월 1일 기준)

지진의 관측은 기상청 외에 한국지질자원연구원과 원자력연구원에서 운영하는 지진관측소도 있다. 따라서 지진의 감지는 기존 관측소를 이용하는 것이 효과적이다. 하지만 기상청, 한국지질자원연구원, 원자력연구원의 지진관측소는 대부분 육지에 설치되어 육지에서 발생하는 지진의 감지를 우선으로 하며, 해저 지진을 전담하기 위한 관측소는 매우 적다. 그러므로 필요하다면 해저지진을 관측할 수 있는 시스템의 설치가 필요하다. 특히 해저지진은 해일 등을 동반하므로 이에 대한 감시는 매우 중요하다고 할 수 있다.

원전의 지진 위협에 대한 대응 방안은 아래와 같다.

- 기존 관측소와 협력하여 지진 발생 예측
- 해저 지진 관측을 위한 추가 관측소 설치
- 지진 징후 발생 시 적극적 사전 예방 활동 수행 (원자로 정지 등)
- 지진 발생 시 피해 최소화 및 적극적 피해 복구



그림 13. 국내 원전 별 내진 능력

### 2.3.2. 해양생물 취수구 유입 위협의 대응 방안

원전은 원자로의 냉각이 필요하며 통상 수냉식 방법을 사용한다. 이러한 수냉식 냉각방법은 냉각을 위한 다량의 물을 요구하기 때문에 원전은 주로 해수를 이용하여 냉각을 한다. 이러한 이유로 원전은 다음의 그림과 같이 주로 해안가에 위치하여 해수를 냉각수로 사용한다.

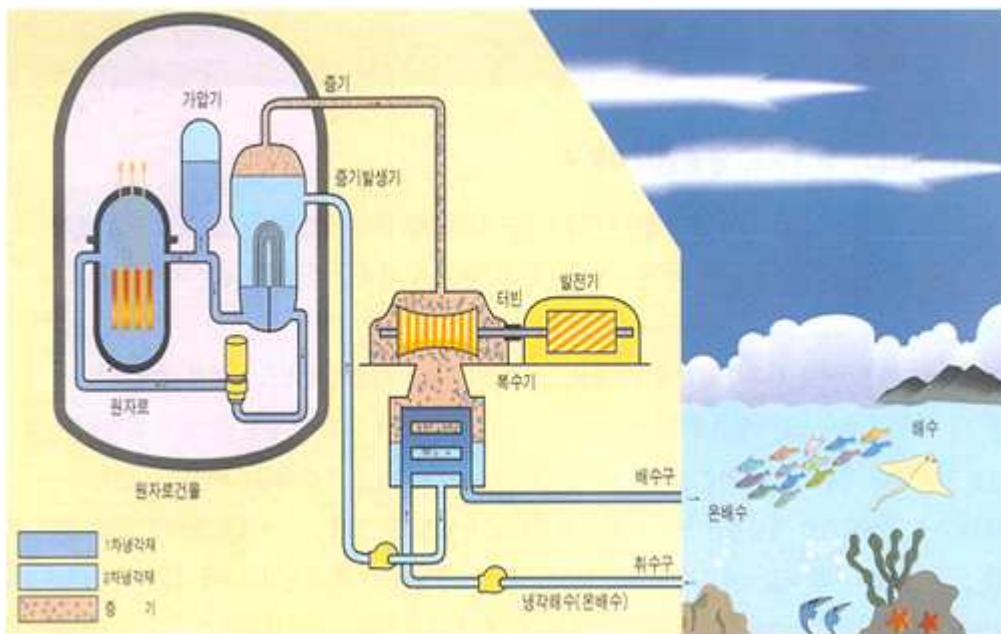


그림 14. 해수를 이용한 원전의 냉각

따라서 해수의 안정적 취수는 원전 가동의 매우 중요한 요소라고 할 수 있다. 하지만 해양생물이나 오염물질 등으로 취수에 제한을 받을 경우 원전의 가동중지라는 사태를 초래할 수 있다. 특히 해파리나 새우 등은 스스로 움직일 수 있는 능력이 떨어져 수온의 차에 의해 발생하는 해류나 조류에 따라 부표처럼 휩쓸려 다니므로 인근해역에서 대량 발생 시 원전 취수구에 유입될 가능성이 항상 존재한다. 지난 96년 9월 경북 울진 원전 1~2호기가 해파리 떼의 공격을 받아 처음 가동이 중단이 된 이후 지금까지 해양생물로 부터 공격을 받은 횟수는 크고 작은 것을 합쳐 100여 차례에 달한다. 최근에도 울진원전 1~2호기가 정상 운전 중 취수구로 대량 몰려드는 해파리와 새우 떼 등의 공격을 받으면서 두 차례나 발전 중단 또는 감발되는 등 수난을 당했다.

## 해양안전확보를 위한 원전 해양감시 기본방안 수립연구

그러나 해양생물에 대한 취수의 방해는 국지적으로 발생하며 이러한 위협은 충분히 제거가 가능하다. 따라서 해양생물의 군집상태 및 유입상태를 감시하며, 위협수준으로 진행하였을 경우, 이에 대한 적절한 대응조치를 수행한다면 원전은 해양생물의 위협으로부터 안전할 것이다.

원전의 해양생물 취수구 유입 위협에 대한 대응 방안은 아래와 같다.

- **해양생물 군집상태 및 유입상태 감시**
- 일정 수준 이상의 군집 형성 시 분파 작업 실시
- 일정 수준 이상의 유입 시 제거 작업 실시

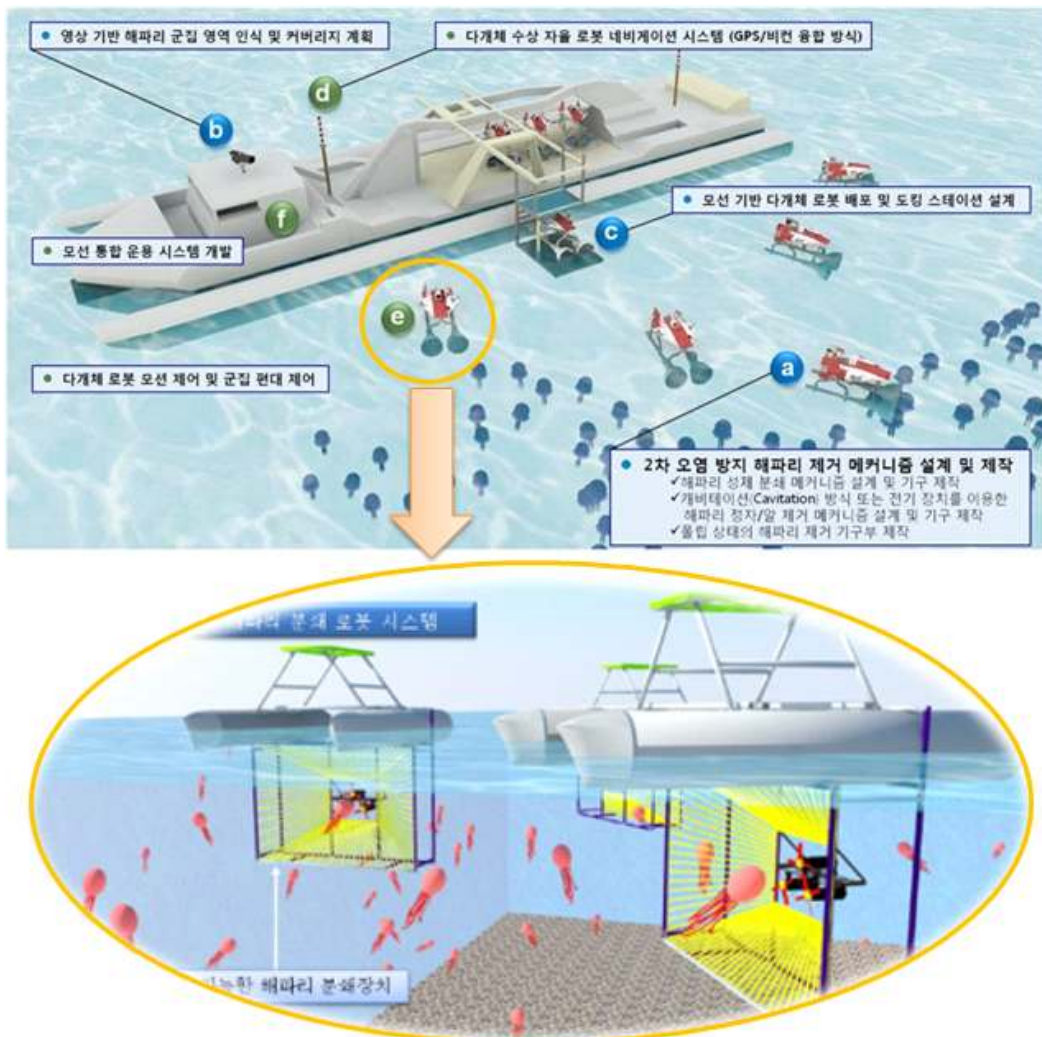


그림 15. 해파리 제거 시스템 (예)

### 2.3.3. 해일 위협의 대응 방안

원전에 대한 해일의 위협은 발생가능성도 높고 피해규모도 크므로 이에 대한 철저한 대비가 필요하다. 해일의 원인은 해저에서 발생한 지진으로 인하여 발생하는 경우와 태풍 등으로 발생하는 두 가지 유형이 있다.

해일은 전역적으로 발생하는 국가차원의 재난으로 제거는 불가능하지만 지진과는 달리 원거리에서 발생하기 때문에 사전에 관측이 이루어진 경우 충분한 대비가 가능하다.

원전의 해일 위협에 대한 대응 방안은 아래와 같다.

- 해일 예측 시스템 구축 및 기존 시스템 연계 강화
- 해일 예측 lead-time 확장
- 해일 징후 발생 시 적극적 사전 예방 활동 수행 (원자로 정지 등)
- 해일 발생 시 피해 최소화 및 적극적 피해 복구

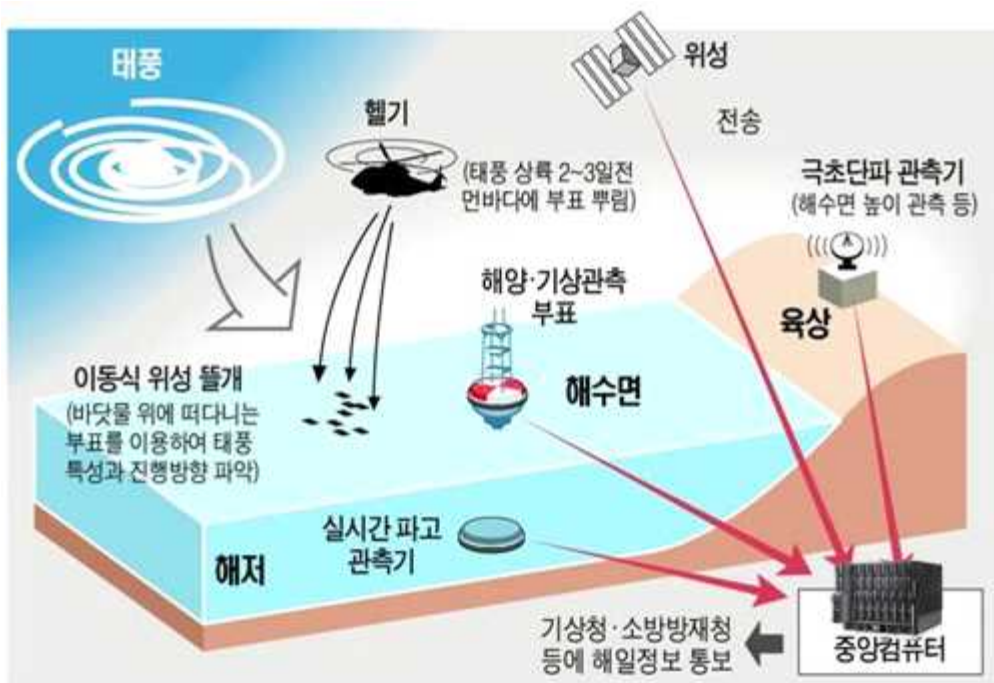


그림 16. 해일 관측 시스템 구성도 (예)



#### 2.3.4. 폭파 위협의 대응 방안

원전에 대한 폭파의 위협은 일반적 수준의 발생 가능성을 가지고 있으나 만일 발생된다면 그 피해규모는 매우 크다. 따라서 원전은 항상 폭파 공격의 위협으로부터 안전을 확보하여야 한다.

폭파는 인적수단에 의해 자행되기 때문에 이에 대한 감시와 대응이 필요하다. 일반적인 국가 시설에 대한 폭파의 위협은 육상을 통한 공격 루트가 일반적이지만 원전의 경우에는 해안가에 위치하기 때문에 수중을 통한 은밀한 접근의 가능성이 높으며 따라서 수중으로의 공격 루트에 대한 대비가 필요하다.

수중으로의 침투는 잠수함/정을 이용한 원거리 이동 후 잠수체를 이용하여 근거리로 접근하며, 최종 잠수를 통해 원전에 접근하는 시나리오를 예상할 수 있다. 따라서 원전의 안전 확보를 위한 수중의 감시는 원거리 대형표적의 감시부터 근해의 소형표적의 감시까지 이루어져야 한다.

원전의 폭파 위협은 철저한 감시를 통해 침투 징후가 발견되면 군 등의 대응세력을 이용하여 제거할 수 있으며, 이러한 방안은 충분히 효과적일 것이다.

원전의 폭파 위협에 대한 대응 방안은 아래와 같다.

- 침투 감시 체계 구축
- 예상 표적별 다단계 감시체계 구축
- 군, 경찰 등에 대응세력 연계를 통한 제거 시나리오 운영



그림 17. 항만 감시체계 사례 (한국)



그림 18. 항만 감시체계 사례 (이스라엘)

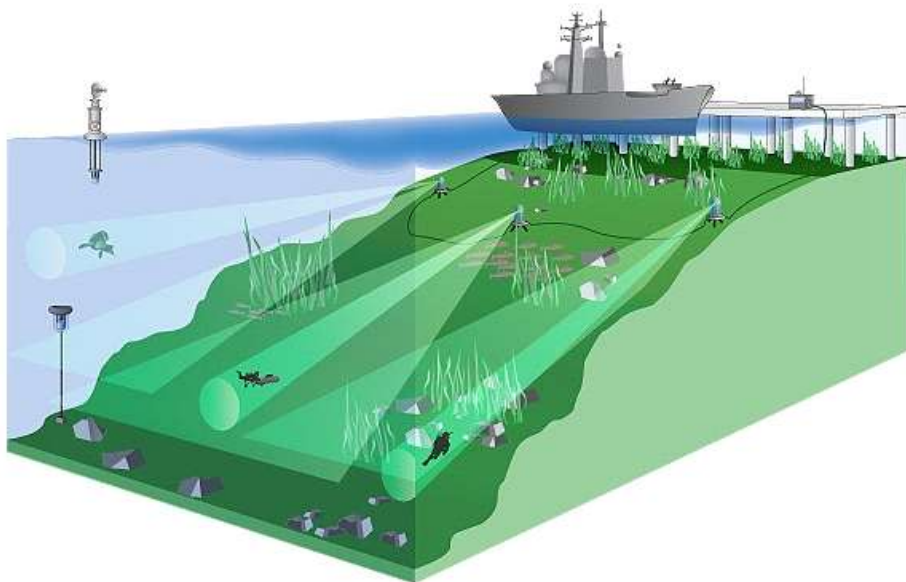


그림 19. 항만 감시체계 사례 (미국)

### 2.3.5. 점거 위협의 대응 방안

원전에 대한 점거의 위협은 발생 가능성도 높고 그 피해규모는 경우에 따라 매우 클 수도 있다. 따라서 원전은 항상 점거 공격의 위협으로부터 안전을 확보하여야 한다.

점거는 지상, 공중, 수중 등 모든 루트를 통해 공격이 가능하지만 폭파에 대한 대응과 같이 침투 루트 감시 및 대응세력을 이용한 제거로 대응이 가능하다.

원전의 점거 위협은 철저한 감시를 통해 침투 징후가 발견되면 군 등의 대응세력을 이용하여 제거할 수 있으며, 이러한 방안은 충분히 효과적일 것이다.

원전의 점거 위협에 대한 대응 방안은 아래와 같다.

- 침투 감시 체계 구축
- 예상 표적별 다단계 감시체계 구축
- 군, 경찰 등에 대응세력 연계를 통한 제거 시나리오 운영

### 2.3.6. 정보탈취 위협의 대응 방안

원전에 대한 점거의 위협은 피해규모는 낮지만 발생 가능성은 매우 높다. 따라서 원전은 장기적 안전을 위하여 정보탈취의 위협으로부터 안전을 확보하여야 한다.

원전의 정보탈취 위협에 대한 대응 방안은 아래와 같다.

- 드론 등 시각적 정보 탈취 수단 감시 및 무력화 체계 구축
- 논리적 대응 방안 구축

### 2.3.7. 포격 위협의 대응 방안

원전에 대한 포격의 위협은 평시 보다는 전시에 발생할 가능성이 크므로 국가적 전략과 군 전술에서 대응 방안을 수립하여야 한다.

### 2.3.8. 폭격 위협의 대응 방안

원전에 대한 폭격의 위협은 평시 보다는 전시에 발생하므로 국가적 전략과 군 전술에서 대응 방안을 수립하여야 한다.

### 3. 원전 해양감시 시스템 구축 방안

#### 3.1. 원전 해양감시 시스템 개요

2장에서 기술한 바와 같이 원전에 대한 위협은 육상 및 바다 그리고 하늘에서 모두 존재하지만 전시가 아닌 평시를 기준으로 할 때는 바다에서의 위협이 가장 크다고 할 수 있다. 따라서 해상과 해안 그리고 수중을 감시하는 체계의 구축 및 운영이 필요하다.



그림 20. 원전 보호 체계 및 원전 해양감시 시스템의 역할

원전 해양감시 시스템은 국가 중요시설인 원전을 해양의 위협으로부터 안전하게 보호하는 것을 목적으로 한다. 원전 해양감시 시스템은 해안/해상 감시 시스템, 수중침투 감시 시스템, 해양 재난환경 감시 시스템 그리고 취수구 해양생물 감시 시스템으로 구성된다. 해안/해상 감시 시스템과 수중침투 감시 시스템은 폭파나 점거를 목적으로 수중 및 수상을 통해 접근하는 세력을 탐지 및 식별하여 적절한 대응체계와 연계하여 이를 제거함을 목적으로 한다. 해양 재난환경 감시 시스템은 해저지진과 해일 등을 감시하여 해당 재난 발생 시 원전이 즉각적 비상조치를 취할 수 있도록 예보함으로써 자연 재해로부터 원전의 피해를 최소화하는데 그 목적이 있다. 마지막으로 취수구 해양생물 감시 시스템은 취수구 주변의 해양생태계를 지속적으로 감시하여 해양생물에 의한 취수 방해가 일어나지 않도록 하여 원전의 지속적 가동을 보장하는데 그 목적이 있다.

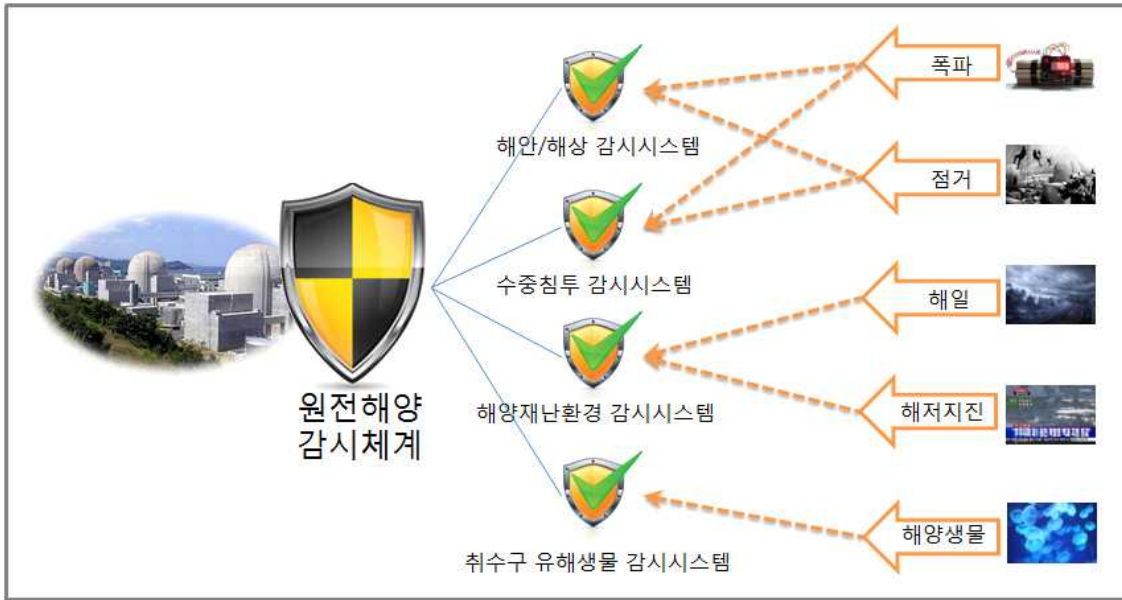


그림 21. 원전 해양감시체계 구성 및 대응 위협

원전 해양감시 시스템은 수상 및 수중 감시가 가능하며, 수중은 천해, 심해 그리고 해저까지 감시함으로써 입체적인 감시를 통한 위협의 대처를 가능하게 한다.



그림 22. 원전 해양감시체계 입체적 감시 범위

## 3.2. 해안/해상 감시 시스템

### 3.2.1. 필요성 분석

원전에 대한 위협 중 폭파와 점거 등의 위협은 일정 규모의 무장 병력에 의해 수행된다. 따라서 무장 병력의 침투에 대한 이동과 접근 등을 감시하여 폭파나 점거의 위협이 발생하지 않도록 조치할 필요가 있다. 폭파나 점거를 목적으로 하는 무장 병력이 원전에 접근하기 전에 탐지되어 제거 또는 격퇴된다면 원전은 폭파와 점거 등의 위협으로부터 안전을 유지할 수 있을 것이다.

이러한 폭파와 점거 등을 목적으로 하는 무장 병력의 침투 루트는 수상함을 이용한 수상 루트와 잠수함/정을 이용한 수중 루트로 예상할 수 있다. 적성국에 의한 침투는 잠수함/정을 이용한 침투가 가장 유력하지만 불순세력 등은 잠수함/정의 사용이 어려우므로 고속의 함정을 이용할 가능성이 매우 높다. 또한 야간이나 높은 파고 등의 은폐/엄폐 조건을 이용하여 접근할 가능성이 매우 높다. 따라서 이에 대한 대비가 필요하다.

해안/해상 감시 시스템은 레이더장치와 전자광학장치를 이용하여 해안 및 인근해역을 실시간 감시함으로써 주야간은 물론 악천후의 기상조건에서도 비허가 물체의 접근을 탐지 및 식별할 수 있으며, 이러한 탐지 및 식별을 통해 얻어진 위험 경보를 대응 기관에 전파함으로써 유해 세력을 제거할 수 있는 역할을 담당한다.

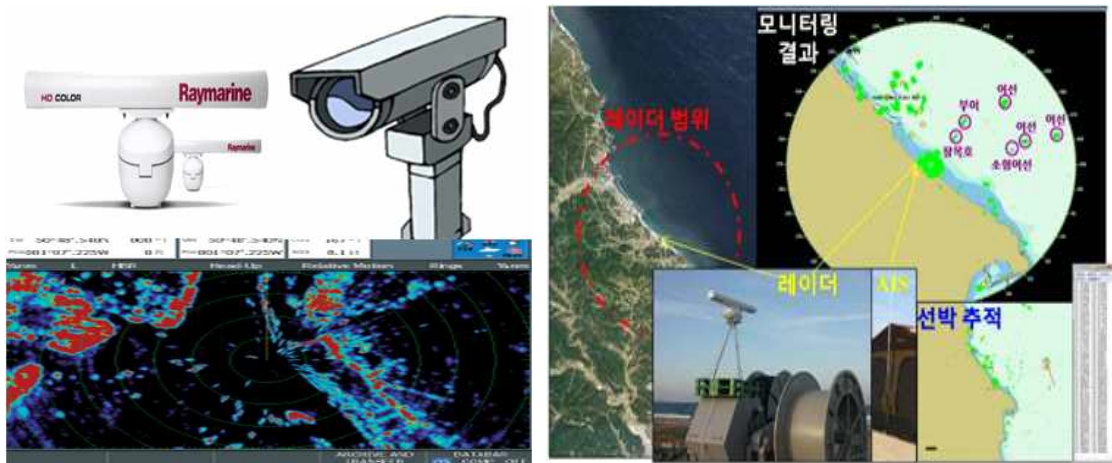


그림 23. 해안/해상 감시 시스템 모식도

### 3.2.2. 시스템 구성

해안/해상 감시 시스템은 고해상도의 야간적외선(IR)기능이 내장된 광학감시장치와 레이더장치, 그리고 해안/해상 감시통제장치로 구성된다.

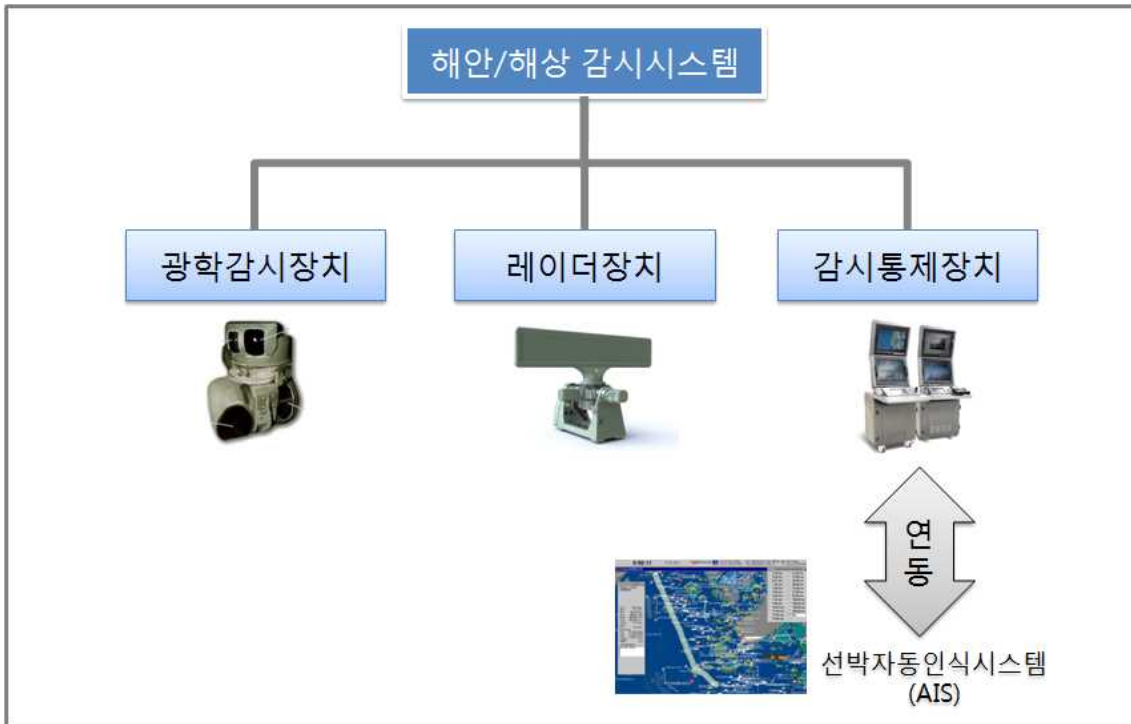


그림 24. 해안/해상 감시 시스템 구성도



그림 25. 광학감시장치 (예)



광학감시장치는 해안에 접근한 세력에 대한 탐지 및 식별을 수행한다. 폭파나 점거를 목적으로 하는 위협 세력은 반드시 해안에 상륙하여 원전에 접근해야 하며, 주로 야간이나 악천후를 이용하여 침투할 가능성이 가장 높다. 따라서 광학감시장치는 야간적외선(IR)기능 내장하여 주간은 물론 야간과 악천후의 조건에서도 완벽하게 해안과 근해를 감시한다. 또한 광학감시장치는 레이더장치를 통해 감시되는 표적 중 의심스러운 표적에 대해 육안 확인 기능을 제공하여 식별의 능력을 높일 수 있도록 해준다.

레이더장치는 전자기파를 이용하여 수상에서 이동하는 물체를 탐지 및 식별한다. 특히 레이더장치를 통해 표적에 대한 추적을 수행하게 되면 표적의 접근 및 퇴각에 대한 방향 정보를 통해 유해세력의 유무를 판별할 수 있으며 또한 접근하는 유해세력에 대해서는 그 이동속도 추정을 통해 침투 소요시간을 예상할 수 있으며, 대응 세력과의 조우 지점 등의 예측도 가능하다.



그림 26. 레이더장치 (예)

감시통제장치는 광학감시장치와 레이더장치를 통제하고 해당 장치의 정보를 전시한다. 또한 감시통제장치는 선박자동인식시스템(AIS)의 정보를 연동하여 유해세력의 식별력을 향상시킨다.

### 3.2.3. 운용 개념

해안/해상 감시 시스템의 운용 개념은 다음의 절차와 같다.

■ 해상 접근 유해세력 대응

- ① 레이더장치로 근해를 감시
- ② 레이더장치에 탐지되는 표적에 대해 선박자동인식장치와 연계하여 정상 항행 여부 판단
- ③ 항행정보가 나타나지 않는 선박에 대하여 레이더장치로 추적 및 감시
- ④ 광학감시장치 탐지영역 이내로 접근 시 광학감시장비를 이용하여 해당 표적 영상 식별
- ⑤ 불법 표적으로 식별 시 대응기관에 해당 정보 전송
  - 무장 세력 : 지역 관할 군부대(해군 함대)
  - 비무장 세력 : 해양경찰
- ⑥ 대응세력의 출동을 통한 유해세력 제거/격퇴/나포

■ 해안 상륙 유해세력 대응

- ① 광학감시장치로 해안 및 인근해 감시
- ② 불법 상륙 발견 시 광학감시장치의 줌 기능을 이용하여 해당 표적 정밀 식별
- ③ 인원수, 무장여부 등을 관측하여 위협도 추정
- ④ 불법 표적으로 식별 시 대응기관에 해당 정보 전송
  - 무장 세력 : 지역 관할 군부대(육군 사단) 및 자체 경비대
  - 비무장 세력 : 지역 관할 경찰 및 자체 경비대
- ⑤ 대응세력의 출동을 통한 유해세력 제거/격퇴/나포

### 3.3. 수중침투 감시 시스템

#### 3.3.1. 필요성 분석

원전에 대한 위협 중 폭파와 점거 등의 위협은 일정 규모의 무장 병력에 의해 수행된다. 따라서 무장 병력의 침투에 대한 이동과 접근 등을 감시하여 폭파나 점거의 위협이 발생하지 않도록 조치할 필요가 있다. 폭파나 점거를 목적으로 하는 무장 병력이 원전에 접근하기 전에 탐지되어 제거 또는 격퇴된다면 원전은 폭파와 점거 등의 위협에서 안전을 유지할 수 있을 것이다.

이러한 폭파와 점거 등을 목적으로 하는 무장 병력의 침투 루트는 수상함을 이용한 수상 루트와 잠수함/정을 이용한 수중 루트로 예상할 수 있다. 특히 적성국에 의한 침투는 잠수함/정을 이용한 침투가 가장 유력하다. 기본적인 적성국의 전술을 추정해 보면 다음과 같이 원전에 침투할 가능성이 높다.

- ① 잠수함/정을 이용 공해상을 경유하여 원전 인근 해역으로 접근
- ② 인근 해역으로 접근한 잠수함/정에서 잠수체 등을 이용하여 다수의 병력을 수중으로 침투
- ③ 항내로 접근하면 잠수체를 폐기하고 잠수자의 잠항으로 접근
- ④ 잠수 병력의 해안 상륙 및 무장
- ⑤ 병력의 무장 공격을 통한 원전 점거 또는 폭파

따라서 적성국의 수중침투에 대한 대비가 필요하며 이러한 역할을 수행하는 것이 수중침투 감시 시스템이다.

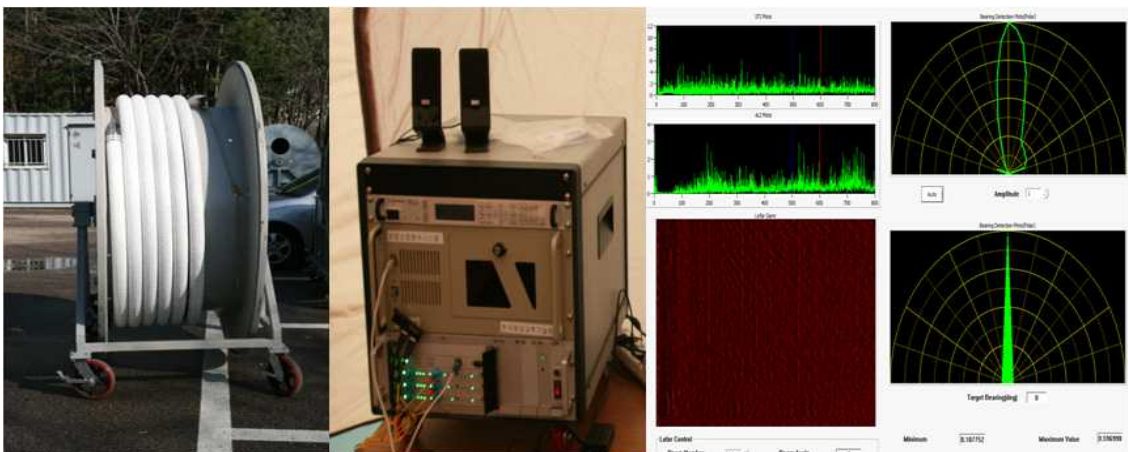


그림 27. 수중침투 감시 시스템 모식도

### 3.3.2. 시스템 구성

수중침투 감시 시스템은 수동음향센서가 내장된 선배열 음향탐지 장치와 자기센서가 내장된 선배열 자기탐지 장치, 능동음향센서가 탑재된 능동 음향탐지 장치 그리고 수중침투 감시통제장치로 구성된다.

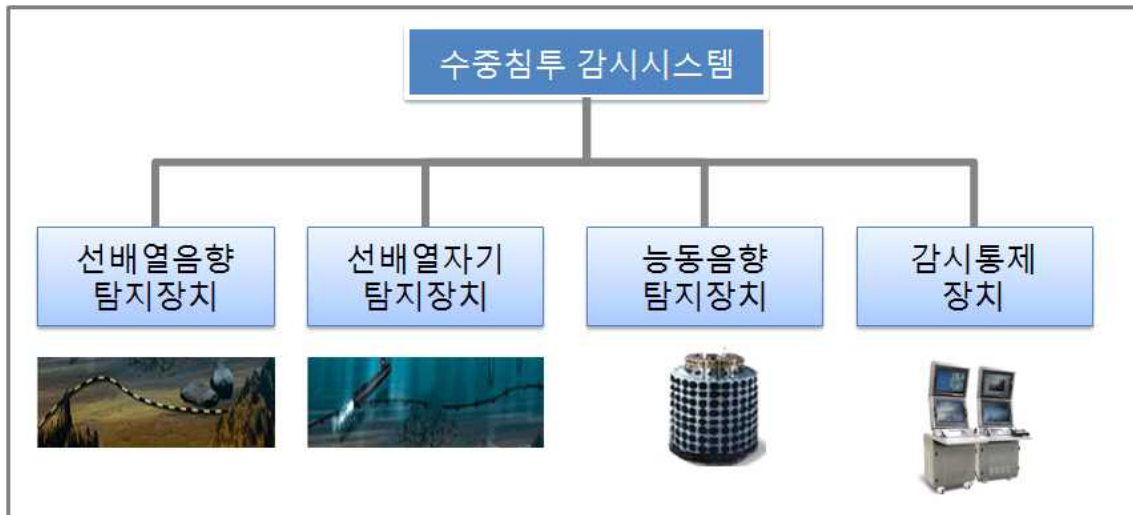


그림 28. 수중침투 감시 시스템 구성도

선배열 음향탐지 장치는 다수의 수동음향센서로 구성된다. 선배열 음향탐지 장치는 원거리 해저에 매설되어 운용된다. 선배열 음향탐지 장치는 수중의 소음을 감시하여 잠수함/정의 침투를 탐지 및 식별하게 된다. 선배열 음향탐지 장치는 수동방식으로 운용되기 때문에 광역적인 탐지가 가능하다. 따라서 선배열 음향탐지 장치는 수중침투에 대한 제1차 감시 시스템으로 운용된다.



그림 29. 선배열 음향탐지 장치 (예)

선배열 자기탐지 장치는 다수의 지자기센서로 구성된다. 선배열 자기탐지 장치는 해상 접근 경로의 해저에 매설되어 운용된다. 선배열 자기탐지 장치는 수중의 자기장 변화를 감시하여 잠수함/정의 침투 시점과 경로를 탐지 및 추적하게 된다. 선배열 자기탐지 장치는 지자기의 변화를 측정하기 때문에 On-Top의 시점과 위치를 정확하게 파악할 수 있다. 따라서 선배열 자기탐지 장치는 수중침투에 대한 제2차 감시 시스템으로 운용된다.



그림 30. 선배열 자기탐지 장치 (예)

능동 음향탐지 장치는 다수의 능동음향센서로 구성된다. 능동 음향탐지 장치는 넓은 범위를 감시에는 제약이 있지만 가장 정밀하고 정확하게 감시가 가능하다. 이는 수동방식과 능동방식의 차이로 수동방식은 넓은 지역을 감시할 수 있으나 정밀도가 상대적으로 낮고, 능동방식은 비록 좁은 지역의 감시만 가능하지만 정밀도가 매우 높다. 따라서 능동 음향탐지 장치는 수동방식으로는 탐지가 불가능한 수영자 등의 감시가 가능하다. 따라서 능동 음향탐지 장치는 수중침투에 대한 제3차 감시 시스템으로 운용된다.



그림 31. 능동 음향탐지 장치 (예)

### 3.3.3. 운용 개념

수중침투 감시 시스템의 운용 개념은 다음의 절차와 같다.

- ① 선배열 음향탐지 장치로 원해를 감시
- ② 선배열 음향탐지 장치에서 표적을 탐지
- ③ 탐지된 표적에 대하여 레이더장치의 탐지결과를 이용하여 수중표적과 수상표적을 분리
- ④ 수중표적에 대하여 탐지 및 추적 수행
- ⑤ 수중표적의 항행정보와 기동패턴을 분석하여 대응여부 결정
- ⑥ 불법 표적으로 식별 시 지역 관할 군부대인 해군 함대에 해당 정보 전송
- ⑦ 지역 관할 군부대인 해군 함대는 유해세력 제거/격퇴/나포를 위한 대응세력 출동 준비
- ⑧ 불법 표적이 지속적으로 접근하여 선배열 자기탐지 장치에서 탐지될 경우 해당 위치와 침로 정보를 지역 관할 군부대인 해군 함대에 제공
- ⑩ 해군 함대의 대응세력은 해당 정보를 토대로 유해세력 제거/격퇴/나포
- ⑪ 만일 잠수체나 잠수자의 침투가 발생하는 경우는 능동음향탐지장비로 해당 유해세력의 탐지 결과 지역관할 군 부대인 육군 사단에 협조 요청 및 자체 경비대에 대응 요청
- ⑫ 잠수자 해안 접근 시 대응세력을 이용한 제거/격퇴/나포

### 3.4. 해양 재난환경 감시 시스템

#### 3.4.1. 필요성 분석

원전에 대한 위협 중 자연재해로 인한 위협은 언제나 존재한다. 이러한 위협은 해저지진과 해일 등이 있다. 자연적 위협은 제거될 수 없는 위협이지만 이에 대한 철저한 사전 대응은 피해를 최소화 할 수 있다. 즉, 자연적 위협에 대해서는 사전 감지와 이에 따른 사전 대응이 매우 중요하다. 이러한 사전 대응을 위해 필요한 것은 위협 규모의 예측과 사전 대응을 위한 준비 시간인 Lead-Time의 확보이다.

자연재해는 통상적으로 사전 징후를 동반한다. 즉 미약한 지진의 발생, 이상파고 발생, 해수온도의 변화 등이 해저지진이나 해일 등의 자연재해에 대한 사전 징후이며, 이를 사전에 감지하여 이에 대한 위협에 적절히 대응한다면 원전에 대한 피해를 최소화 할 수 있다.

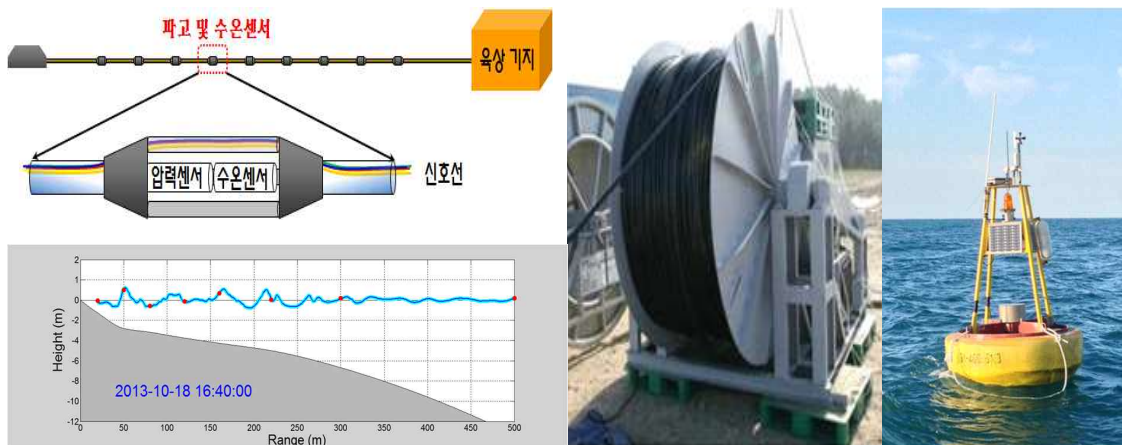


그림 32. 해양 재난환경 감시 시스템

### 3.4.2. 시스템 구성

해양 재난환경 감시 시스템은 해저지진 측정장치, 파고 측정장치, 수온 측정장치, 그리고 해양 재난환경 감시통제장치로 구성된다.

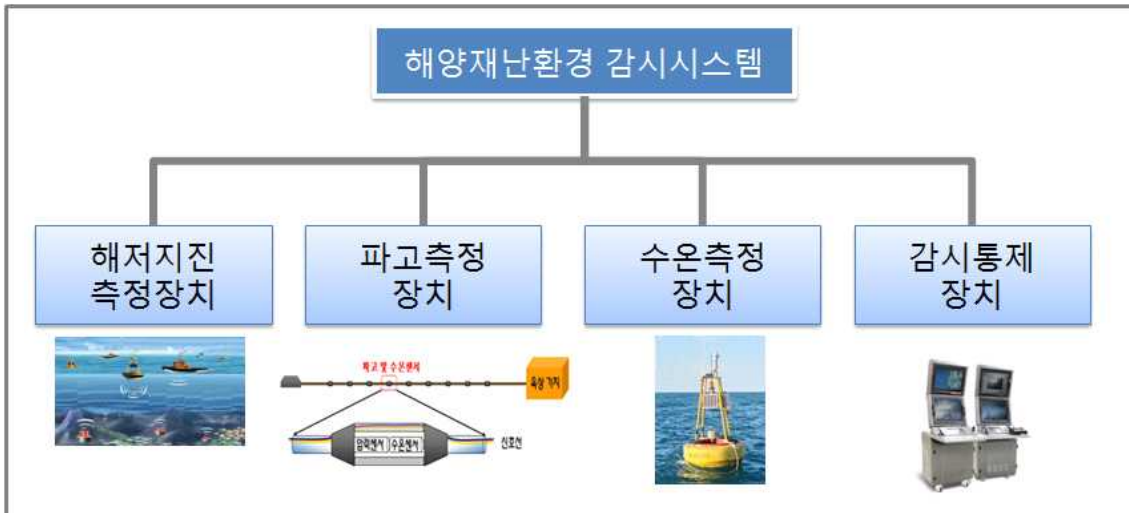


그림 33. 해양 재난환경 감시 시스템 구성도

해저지진 측정장치는 해저에서 발생하는 지진을 측정하고 감시하기 위한 장치이다. 원전에 대한 해저지진의 위협을 제거할 수는 없지만 높은 강도의 해저지진이 발생하기 전에 발생하는 미약한 해저지진을 감지하여 강한 해저지진의 발생을 예측하여 원전의 가동 중단 등의 사전 조치를 취한다면 원전의 피해를 크게 줄일 수 있다.



그림 34. 해저지진 측정장치 (예)



## 해양안전확보를 위한 원전 해양감시 기본방안 수립연구

파고 측정장치와 수온 측정장치는 해일을 측정하고 감시하기 위한 장치이다. 원전에 대한 해일의 위협을 제거할 수는 없지만 해일 발생 전에 파고의 변화와 수온의 변화를 주의 깊게 관찰함으로써 해일의 발생을 예측할 수 있다. 만일 해일의 발생이 예측된다면 원전의 가동 중단이나 트라이포트의 집중 설치를 이용하는 해일 방어막 설치 등의 적극적 사전 조치로 원전의 피해를 크게 줄일 수 있다.

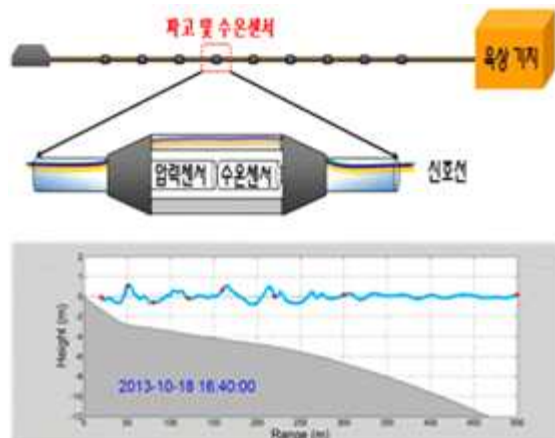


그림 35. 파고 측정장치 (예)



그림 36. 수온 측정장치 (예)

### 3.4.3. 운용 개념

해양 재난환경 감시 시스템의 운용 개념은 다음의 절차와 같다.

#### ■ 해저지진 대응

- ① 해저지진 측정장치를 이용하여 해저지진 발생여부 감시
- ② 미약한 해저지진 감지 시 강진 발생 가능성 자동 예측
- ③ 강한 해저지진 발생의 가능성이 50%를 넘는 경우 원전의 가동 제한을 권고
- ④ 미약한 해저지진이 지속적으로 감지되어 강한 해저지진의 발생 가능성이 75%를 넘는 경우 원전이 가동 중단을 권고
- ⑤ 원전 가동 중단
- ⑥ 강진 발생
- ⑦ 피해 복구
- ⑧ 원전 재가동

#### ■ 해일 대응

- ① 파고 측정장치와 수온 측정장치를 이용하여 해일 발생 가능성 예측
- ② 해일 발생 가능성이 기준을 초과할 경우 해일의 규모 예측
- ③ 대형 해일 발생 예측 시 원전의 가동 중단 권고
- ④ 중형 해일 발생 예측 시 원전의 가동 제한 권고 및 트라이포트 등 추가 방어 대책 수행
- ⑤ 원전 가동 중단 또는 추가 방어 대책 수행
- ⑥ 해일 발생
- ⑦ 피해 복구
- ⑧ 원전 재가동

### 3.5. 취수구 유해생물 감시 시스템

#### 3.5.1. 필요성 분석

원전에 대한 위협 중 위협도는 낮지만 가장 빈번하게 발생할 수 있는 것이 유해생물의 유입으로 인한 취수의 제한이다. 취수의 제한은 원전의 가동 중단 사태를 초래할 수 있다. 특히 원전의 취수구는 난류가 형성되어 난류성 생물인 해파리와 새우 등이 선호하는 서식 환경을 제공한다. 이러한 이유로 취수구 주변에는 해파리와 새우 등이 군집을 이루게 되며 이로 인해 원전 냉각을 위한 취수에 제한을 일으키며, 원자로 과열로 인한 원전 가동 중단을 야기한다.

따라서 취수구 주변의 유해 생물의 군집도를 감시하여 취수에 문제를 일으킬 수준의 군집이 형성되게 되면 이를 분파하거나 제거하는 방법을 동원하여 원전의 원활한 취수를 확보하여야한다. 따라서 취수구 주변의 유해생물의 군집 감시는 원전 가동성과 밀접한 관계를 가진다.

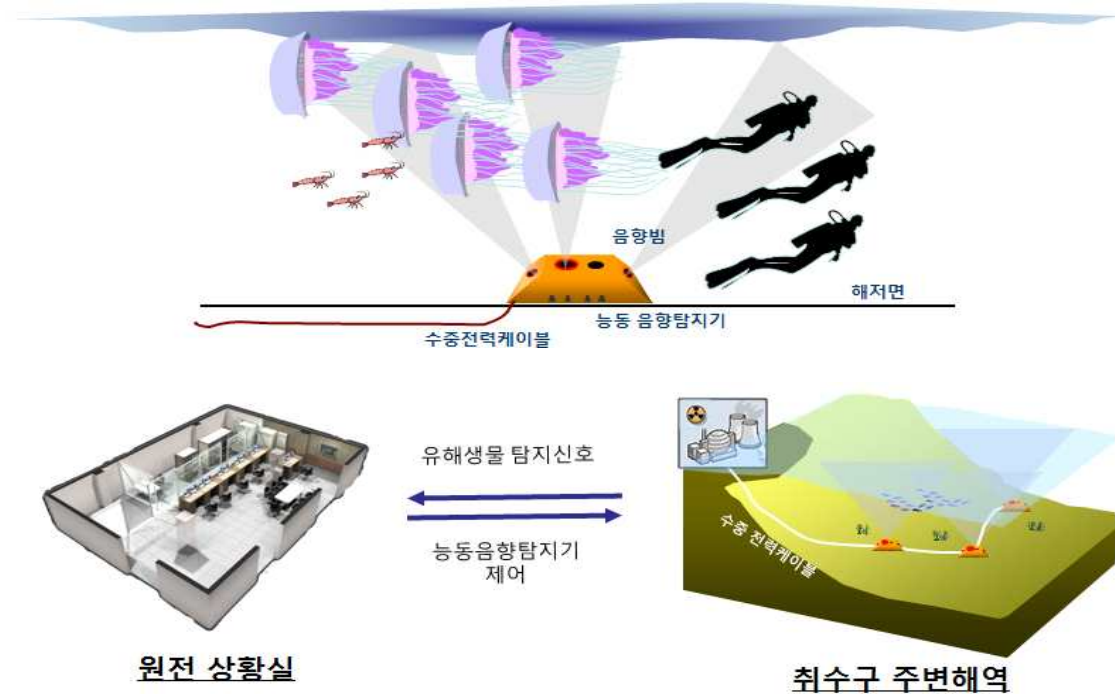


그림 37. 취수구 유해생물 감시 시스템 모식도

### 3.5.2. 시스템 구성

취수구 유해생물 감시 시스템은 능동 음향탐지 장치, 유해생물 분파장치, 유해생물 제거장치, 그리고 취수구 유해생물 감시통제장치로 구성된다.

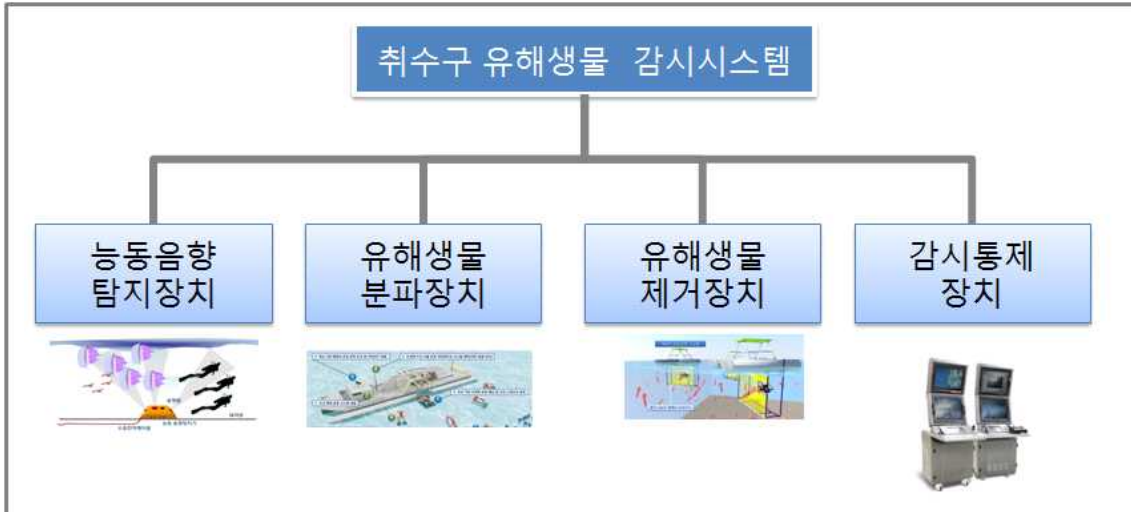


그림 38. 취수구 유해생물 감시 시스템 구성도

능동 음향탐지 장치는 음파를 이용하여 유해생물인 해파리나 새우 등의 군집 밀도와 위치를 감시한다. 능동 음향탐지 장치를 이용하여 수집된 정보를 통해 해파리나 새우 등 유해생물이 취수구 주변에서 일정크기 이상의 군집을 형성하여 원전 냉각을 위한 취수에 위해를 주는가를 판단한다.

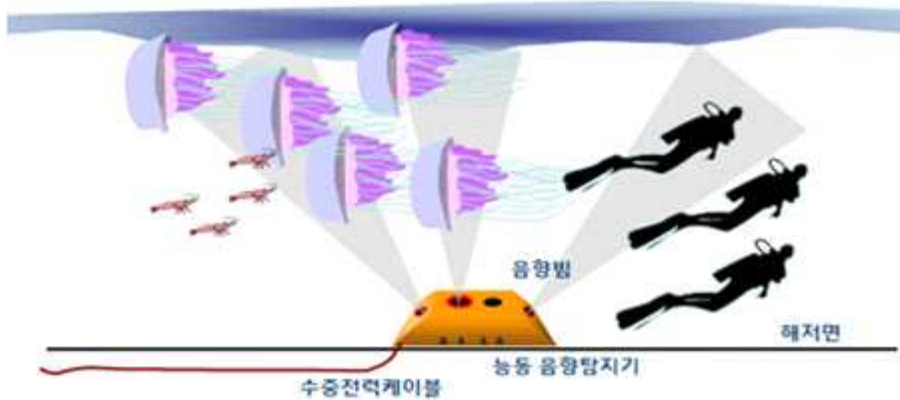


그림 39. 능동 음향탐지 장치

유해생물 분파장치와 유해생물제거장치는 유해생물이 원전의 취수에 직접적인 위해를 준다고 판단되는 경우에 사용되는 장치이다. 유해생물 분파장치는 유해생물의 군집을 없애는 장치이고, 유해생물제거장치는 해당 유해생물을 제거하는 장치이다.



그림 40. 유해생물 분파장치 (예)

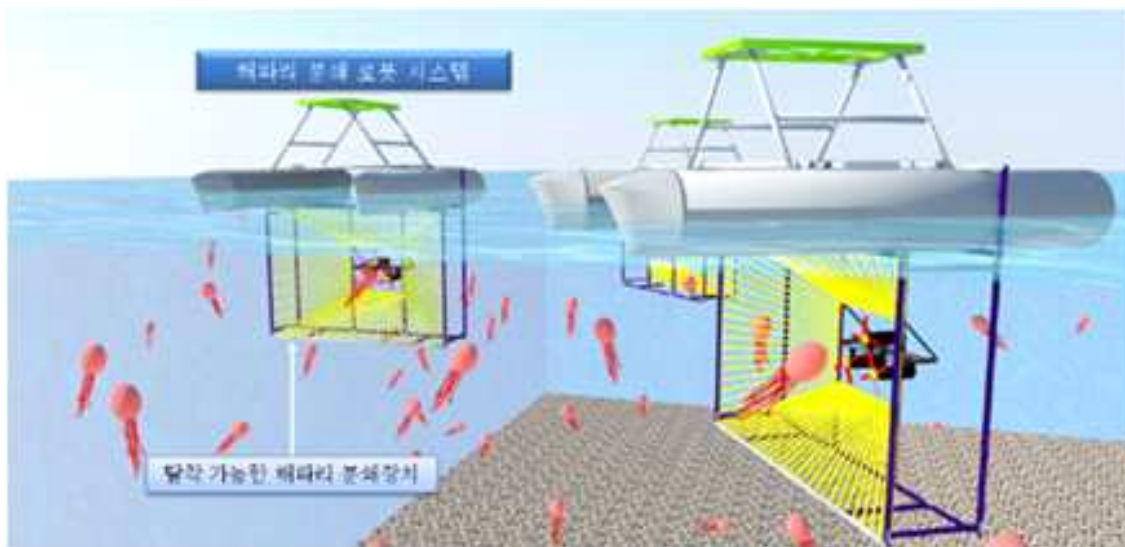


그림 41. 유해생물제거장치 (예)

### 3.5.3. 운용 개념

취수구 유해생물 감시 시스템의 운용 개념은 다음의 절차와 같다.

- ① 능동음향탐지장비를 이용한 취수구 부근 해역과 주변 해역 감시
- ② 감시 해역의 해양생물 군집도 지속적 측정
- ③ 주변 지역의 해양생물 분포를 토대로 해양생물의 군집도 변화 예측
- ④ 취수구 주변에 일정규모 이상의 군집 발생 시 유해생물 분파 장치와 유해생물제거장치 출동
- ⑤ 유해생물 분파 및 제거
- ⑥ 안정적 취수를 위한 지속적 감시

## 4. 원전 해양감시 시스템 운영 방안

### 4.1. 대상 원전 선택

원전 해양감시 시스템의 배치 및 운영을 위한 원전을 선택하기 위한 조건은 다음과 같다.

- 원자로 수
- 발전 수준
- 해양노출 정도
- 자연재해 노출 정도
- 지리적 중요도

#### ① 원자로 수

원자로 수는 원전 피해 규모의 직접적 영향을 미치는 요소이다. 따라서 원자로 수의 많고 적음은 보호대상 원전을 선택하는데 중요한 요소이다. 따라서 본 항목의 가중치는 30%로 하였다.

본 항목은 원자로 수가 가장 많은 원전을 5점으로 하고 가장 적은 원자로를 보유한 원전을 1점으로 하였다.

표 6. 원자로 수에 따른 원전별 평가

원 전	원자로 수	평가 점수
울 진	8 기	5 점
경 주	6 기	3 점
울 산	4 기	1 점
부 산	4 기	1 점
영 광	6 기	3 점

#### ② 발전 수준

발전 수준은 원전의 직접적 피해는 물론 간접적 피해에도 영향을 받는 민감한 항목이다. 본 항목은 국가적 혼란과 경제적 피해에 직결되는 보호대상 원전을 선택하는데 중요한 요소이다. 따라서 본 항목의 가중치는 30%로 하였다.

본 항목은 발전 수준이 가장 높은 원전을 5점으로 하고 가장 낮은 발전 수준의 원전을 1점으로 하였다.

표 7. 발전 수준에 따른 원전별 평가

원 전	발전 수준	평가 점수
울 진	5,900 MW	5 점
경 주	3,778 MW	3 점
울 산	2,000 MW	1 점
부 산	3,137 MW	3 점
영 광	5,900 MW	5 점

③ 해양침투 노출 정도

해양침투 노출 정도는 원전이 해양을 통한 침투에 대한 가능성으로 평가하였다. 원전에 대한 폭파 또는 점거의 위협은 늘 존재하는 위협이며 이러한 위협의 침투 루트의 예측과 방어는 원전의 안전에 큰 영향을 미친다. 따라서 본 항목의 가중치는 15%로 하였다.

본 항목은 잠수함 기준으로 접근성을 평가하였으며, 주변 감시체계의 활동 여부도 감안하여 평가하였다. 해양노출 정도는 위해세력의 접근이 용이하고 주변 해역의 감시활동이 적을 경우 5점으로 하였으며, 위해세력의 접근이 용이하지 않거나 주변 해역의 감시활동이 활발한 경우는 1점으로 하였다.

표 8. 해양침투 노출 정도에 따른 원전별 평가

원 전	해양침투노출 수준		평가 점수
	접근성	감시활동	
울 진	좋음	보통	3 점
경 주	나쁨	낮음	5 점
울 산	좋음	보통	1 점
부 산	보통	활발	1 점
영 광	보통	낮음	3 점



④ 자연재해 발생 정도

자연재해 발생 정도는 원전이 지진, 해일, 태풍, 난류성 등의 빈도를 종합하여 평가하였다. 자연재해의 위협은 언제나 존재하며 이에 대한 사전 감지와 적극적 대응활동은 원전의 안전과 안정적 운용에 매우 중요한 요소가 된다. 따라서 본 항목의 가중치는 15%로 하였다.

본 항목은 지진, 해일, 난류성 등의 빈도에 따라 평가하였으며 가장 높은 경우 5점을 부여하였고, 상대적으로 낮은 경우는 1점으로 평가하였다.

표 9. 자연재해 노출 정도에 따른 원전별 평가

원 전	자연재해발생 수준			평가 점수
	지진	해일	난류	
울 진	높음	높음	높음	5 점
경 주	높음	-	-	1 점
울 산	높음	높음	높음	5 점
부 산	보통	높음	높음	4 점
영 광	낮음	보통	높음	3 점

⑤ 지리적 중요도

원전의 피해는 주변 지역에 많은 영향을 미친다. 따라서 원전 주변에 국가주요 시설이 존재하거나 대도시 등이 존재한다면 해당 원전의 보호 등급은 상향되어야 한다. 따라서 본 항목의 가중치는 10%로 하였다.

본 항목은 해당 원전 인근지역에 대도시, 국가중요시설 등이 존재하는 경우 5점으로 하였으며 그렇지 않은 경우의 원전은 1점으로 하였다.

표 10. 지리적 중요도 따른 원전별 평가

원 전	지리적 중요도	평가 점수
울진	높음	4 점
경주	높음	4 점
울산	높음	4 점
부산	매우 높음	5 점
영광	보통	3 점

대상원전 선택을 위한 다섯 가지 기준으로 다섯 원전을 평가한 결과 울진원전이 선택되었다.

표 11. 원전별 평가 결과

원전	원자로 수 (30%)		발전 수준 (30%)		해양침투 노출정도 (15%)		자연재해 노출정도 (15%)		지리적 중요도 (10%)		평가 점수
	평점	점수	평점	점수	평점	점수	평점	점수	평점	점수	
<b>울진</b>	5점	1.50	5점	1.50	3점	0.45	5점	0.75	4점	0.40	<b>4.60</b>
경주	3점	0.90	3점	0.90	5점	0.75	1점	0.15	4점	0.40	3.20
울산	1점	0.30	1점	0.30	1점	0.15	5점	0.75	4점	0.40	1.90
부산	1점	0.30	3점	0.90	1점	0.15	4점	0.60	5점	0.50	2.45
영광	3점	0.90	5점	1.50	3점	0.45	3점	0.45	3점	0.30	3.60

## 4.2. 시스템 배치

### 4.2.1. 해안/해상 감시 시스템의 배치

해안/해상 감시 시스템은 원전 주변에 배치된다.



그림 42. 해안/해상 감시 시스템 배치도 (안)

광학감시장치는 3기가 배치된다. 배치 지점은 방파제 북측과 남측에 각 1기씩 배치하고 원전 중앙에 배치한다. 방파제에 배치된 광학감시장치는 방파제 및 인근 해안을 감시하며, 상륙을 시도하는 자를 탐지 및 식별하는데 사용된다. 원전 중앙에 배치된 광학감시장치는 레이더장치에 의해 식별된 수상표적의 식별에 사용될 수 있도록 지상에서 높은 곳에 설치하여 가시성을 확보한다.

레이더장치는 3기가 배치된다. 배치 지점은 방파제 북측과 남측에 각 1기씩 배치하고 원전 부근 산에 1기를 배치한다. 북측과 남측에 배치된 레이더는 교호 운용을 통해 24시간 365일 운용을 보장할 수 있도록 운용한

다. 인근 산에 배치되는 1기는 원거리 탐지를 위한 고도 확보를 위해서이며 해당 원리는 다음의 그림과 같다.

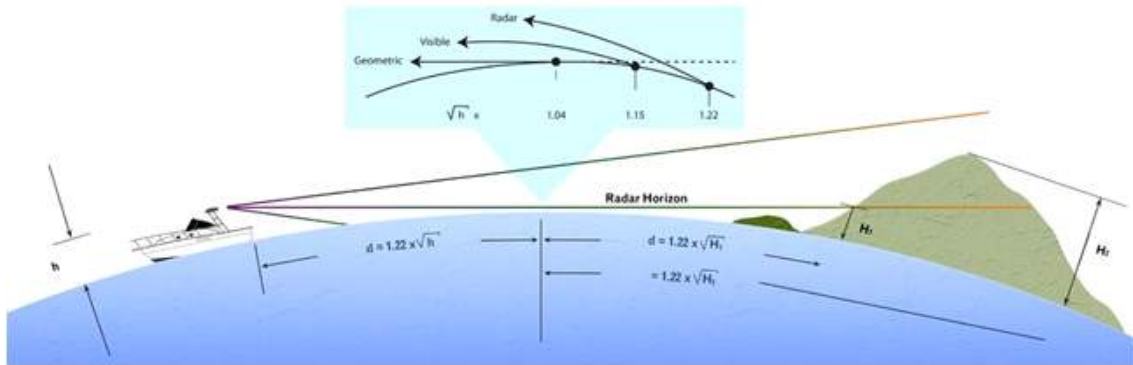


그림 43. 지구의 곡률과 레이더 탐지 반경

즉, 레이더는 장거리 탐지용과 중거리 탐지용으로 분리하여 운영함으로써 탐지반경을 극대화할 수 있다. 또한 중거리 탐지용은 교호 운영함으로써 운영효율을 극대화할 수 있다.

#### 4.2.2. 수중침투 감시 시스템의 배치

수중침투 감시 시스템은 원전지역의 원해와 근해에 단계적으로 배치된다. 먼저 잠수함/정의 감시를 위한 선배열 음향탐지 장치는 원전에서 20Km정도 이격된 수중에 설치되며 총 3조가 배치된다. 3조의 운영으로 감시선의 구축이 가능하고 표적의 기동 분석이 가능하다.

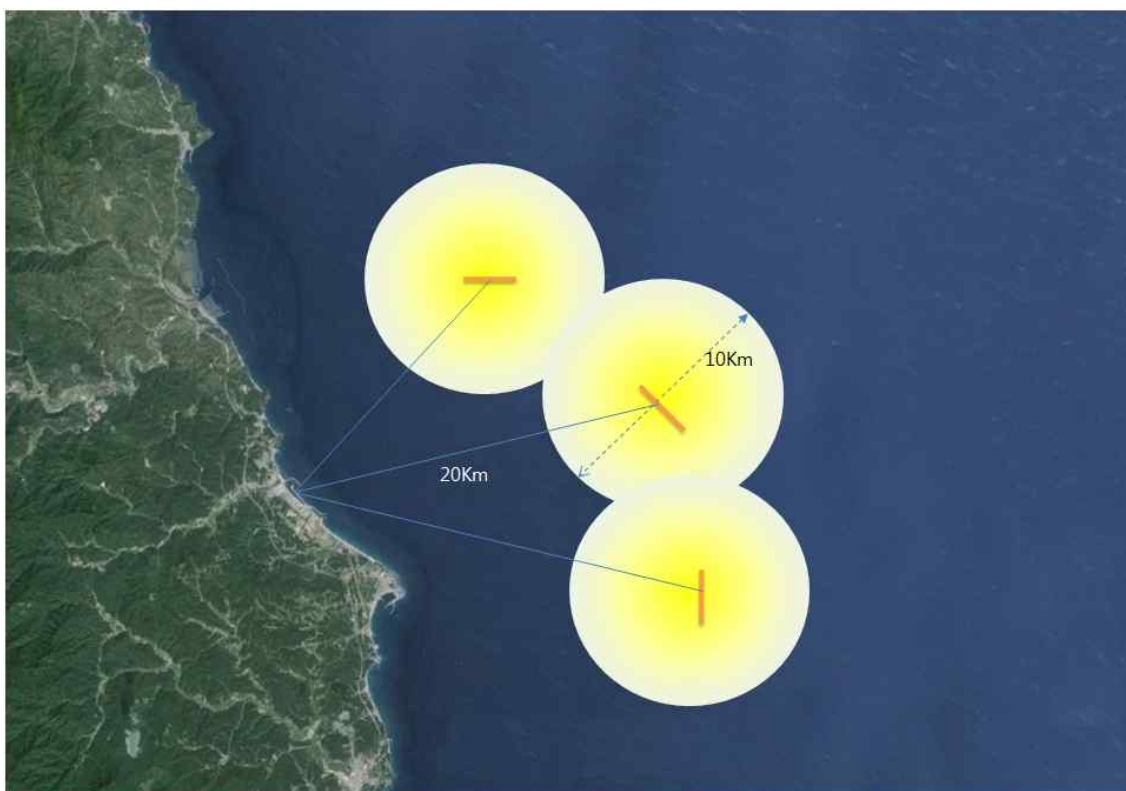


그림 44. 선배열 음향탐지 장치의 배치도 (안)

## 해양안전확보를 위한 원전 해양감시 기본방안 수립연구

선배열 자기탐지 장치는 원전에서 5km정도 이격된 수중에 설치되며 총 2조가 배치된다. 2조의 운영으로 원전에 대한 모든 침투 루트의 감시선의 구축이 가능하다.

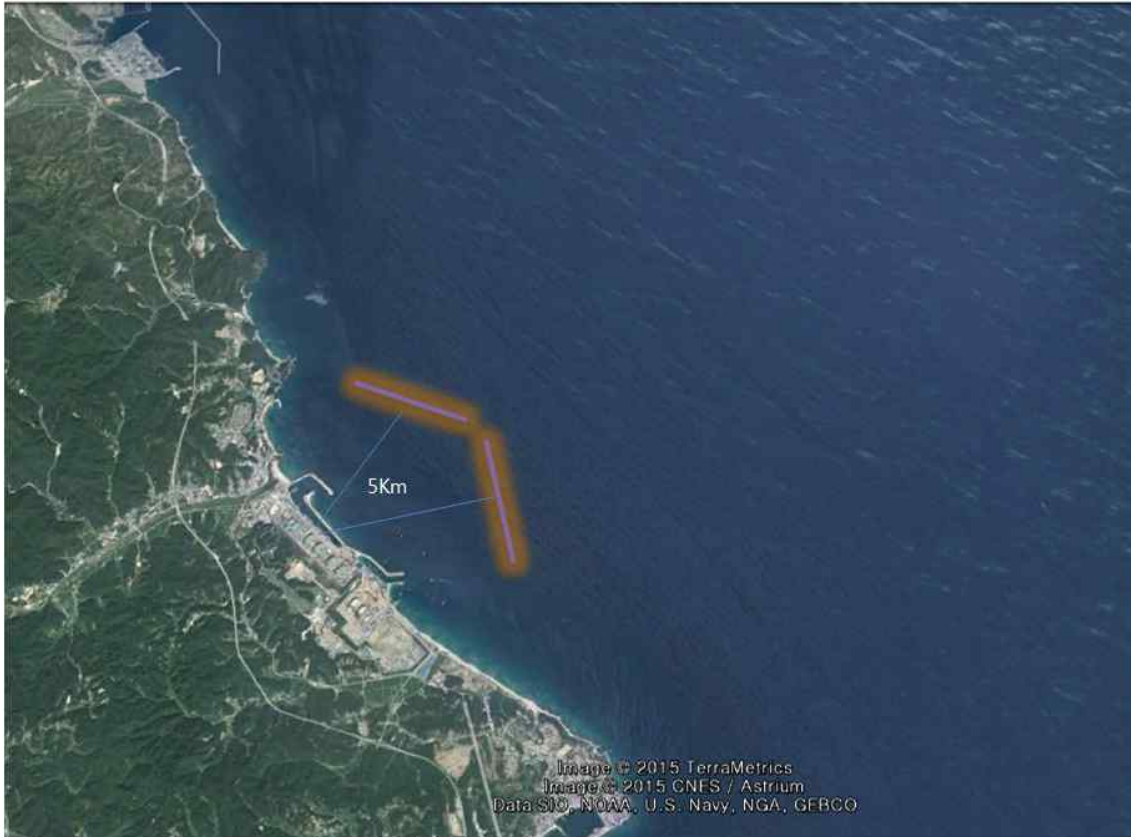


그림 45. 선배열 자기탐지 장치의 배치도 (안)

능동 음향탐지 장치는 원전에서 0.5km정도 이격된 수중에 설치되며 총 5조가 배치된다. 5조의 운영으로 원전에 대한 모든 침투 루트의 감시선의 구축이 가능하다.



그림 46. 능동 음향탐지 장치의 배치도 (안)

### 4.2.3. 해양 재난환경 감시 시스템의 배치

해양 재난환경 감시 시스템은 원전의 남동쪽에 배치하며 15개의 구역으로 나누어 배치한다. 파고 측정장치와 수온 측정장치는 모든 구역에 배치되므로 각 15개씩 배치된다. 해저지진 측정장치는 지진암반대 등을 고려하여 원해인 Sector-11, Sector-13, Sector-15에 각각 1개씩 총 3개를 배치한다.

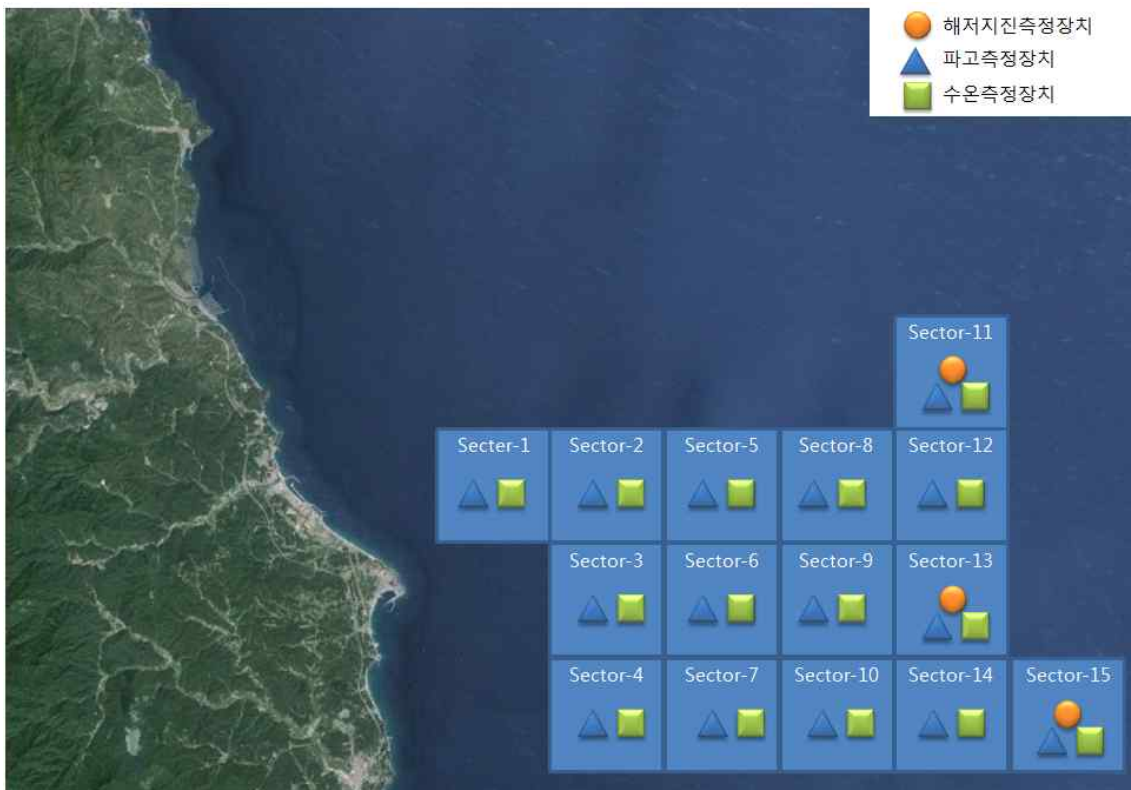


그림 47. 해양 재난환경 감시 시스템 배치도 (안)



#### 4.2.4. 취수구 유해생물 감시 시스템의 배치

취수구 유해생물 감시 시스템은 취수구 주변에 배치한다. 총 4조가 배치되며, 취수구 입구에는 2조를 배치하여 교호운영이 가능하도록 배치한다.

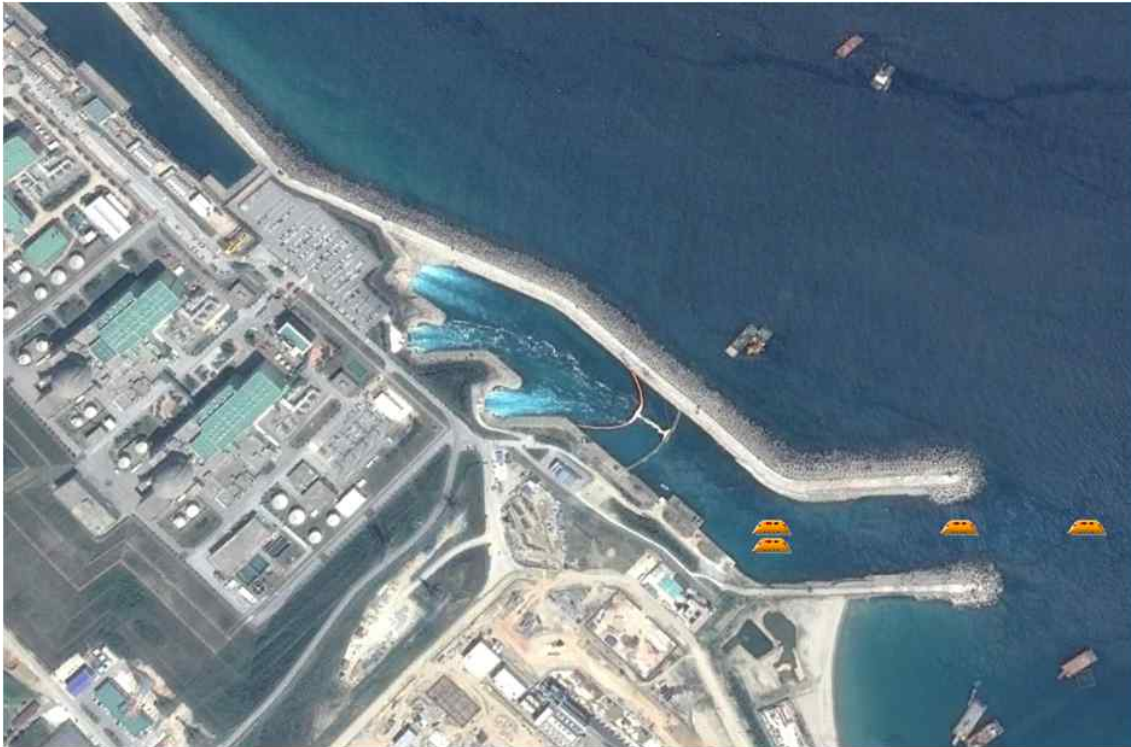


그림 48. 취수구 유해생물 감시 시스템 배치도 (안)

#### 4.2.5. 종합 통제 상황실의 배치

종합 통제 상황실은 해안/해상 감시 시스템과 수중침투 감시 시스템, 해양 재난환경 감시 시스템, 그리고 취수구 유해생물 감시 시스템을 총괄 관리하고 통제하는 시스템으로 원전 시설 내에 구축된다.



그림 49. 종합 통제 상황실 (안)

종합 통제 상황실은 원전의 주변 해역의 감시를 수행하며, 수중, 수상, 그리고 대공의 표적을 탐지하고 식별한다. 이러한 정보는 실시간으로 관할 지역 군부대인 해군 0함대와 육군 00사단, 그리고 국민안전처 등에 전송하여 정보를 공유하고 위협도에 따라 대응세력의 지원을 요청한다.



그림 50. 종합 통제 상황실과 관련기관의 연계

### 4.3. 시스템 운영 방침

원전해양감시시스템의 운영 방침은 다음과 같다.

- 원전해양감시시스템은 24시간 운영되어야 한다.
- 원전해양감시시스템의 각 장치는 해당 전문가에 의해 운용되어야 한다.
- 원전해양감시시스템 운용에 필요한 전문가는 다음과 같다.
  - 해양환경 전문가
  - 해양물리 전문가
  - 해양생물 전문가
  - 수중음향 전문가
  - 레이더 전문가
  - 광학장비 전문가
  - 위협분석 전문가
  - 시뮬레이션 전문가
  - 전자장비 전문가
- 원전해양감시시스템은 시스템의 취약성을 파악하여 필요 시 교호 운용을 통해 이를 극복해야 한다.
- 원전해양감시시스템의 감시 정보는 관련기관과 공유되어야 한다.
- 원전해양감시시스템의 표적관련 탐지 및 식별 자료는 DB화되어 보존 및 관리되어야 한다.
- 원전해양감시시스템은 기능과 성능을 필요시 언제든지 입증할 수 있어야 한다.
- 원전해양감시시스템은 주기적으로 정비가 수행되어야 한다.

#### 4.4. 시스템 운영 인력

원전 해양감시 시스템은 24시간 운영을 위하여 3직제로 운영되어야 하며, 각 분야의 전문가로 구성되어야 한다. 운영에 필요한 인력은 다음과 같다.

표 12. 원전 해양감시 시스템 운영 인력 소요

구분	시간	시스템	운영자수	비고
1직	00:00 ~ 07:00 (7h)	해안/해상 감시 시스템	3	레이더 전문가 광학장비 전문가
		수중침투 감시 시스템	4	수중음향 전문가
		해양 재난환경 감시 시스템	1	해양환경 전문가 해양물리 전문가
		취수구 유해생물 감시 시스템	1	해양환경 전문가 해양생물 전문가
		종합통제	2	위험분석 전문가 시뮬레이션 전문가
		소계	11	-
2직	07:00 ~ 16:00 (9h)	해안/해상 감시 시스템	1	레이더 전문가
		수중침투 감시 시스템	1	수중음향 전문가
		해양 재난환경 감시 시스템	1	해양환경 전문가 해양물리 전문가
		취수구 유해생물 감시 시스템	1	해양환경 전문가 해양생물 전문가
		종합통제	1	위험분석 전문가
		소계	5	-
3직	16:00 ~ 24:00 (8h)	해안/해상 감시 시스템	2	레이더 전문가 광학장비 전문가
		수중침투 감시 시스템	3	수중음향 전문가
		해양 재난환경 감시 시스템	1	해양환경 전문가 해양물리 전문가
		취수구 유해생물 감시 시스템	1	해양환경 전문가 해양생물 전문가
		종합통제	1	위험분석 전문가
		소계	8	-
합계			25명	-

## 5. 원전 해양감시 시스템 기대 효과

원전 해양감시 시스템 구축으로 인한 기대 효과는 다음과 같다.

I. 원전에 대한 위협 제거

II. 인근 해역의 감시체계와 공조하여 영해 수호

III. 해양관련 자료 축적 및 공유로 인한 학술적 발전에 기여

## 6. 결론 및 향후 계획

### 6.1. 결론

본 연구에서는 해양안전확보를 위해 원자력발전소를 위협요소로부터 보호하기 위한 원전해양감시 시스템의 구성 및 운용에 대한 기본방안을 수립하였다. 원자력 발전은 경제적이고 친환경적인 발전 방식으로서 향후에도 우리나라의 전력생산량에서 차지하는 비중이 점점 커질 것으로 예상되지만 외부 위협으로부터 원전을 보호할 시스템은 아직 부족한 실정이다. 원전에 위협을 가할 수 있는 외부요인을 조사하여 위협 가능성을 평가한 결과, 바다로부터의 위협요인이 원전에 가장 위협적이라는 결과로 나타났으며, 이러한 바다를 통한 위협으로부터 원전을 보호하기 위해서는 해안/해상 감시 시스템, 수중침투 감시시스템, 해양재난환경 감시 시스템, 취수구 유해생물 감시 시스템으로 이루어진 복합적인 원전해양감시 시스템을 배치하는 것이 효과적이라는 결론을 얻을 수 있었다. 원전해양감시 시스템은 24시간 운영되어야 하며 각각을 구성하고 있는 시스템을 해당분야의 전문가가 운용하도록 해야 한다. 또한 개별적 시스템의 취약성을 상호 보완해 가면서 극복해 나가야 할 것이다. 원전해양감시 시스템을 통해 원전에 대한 위협요인을 제거하고 인근 해역의 감시체계와 공조하여 영해를 수호하며 나아가 해양관련 자료 축적 및 공유로 인한 학술적 발전을 기대할 수 있을 것이다.

### 6.2. 향후 계획

본 연구에서 제안된 원전해양감시 기본방안 기본계획을 실제로 운용하기 위해 다양한 분야의 전문가들이 참여하는 연구 사업을 유관기관에게 제안할 필요가 있다. 원전의 안전에 대한 연구는 최근 국가에서 큰 관심을 가지고 있는 해양안전과도 직결된 사안으로써 적극적으로 사업전개의 필요성을 설명하는 것이 필요할 것이다.