

# 연안재해의 특성과 최적 방재기법



조 흥 연 >>

한국해양연구원 연안개발연구본부 책임연구원  
hycho@kordi.re.kr

## 1. 서론

연안재해는 연안에서 발생하는 재해로 공간적인 구분에 의하여 분류된 재해이다. 재해는 원인으로 구분하면 자연재해(natural disaster)와 환경재해(environmental disaster)로 구분할 수 있으며, 자연재해와 환경재해가 복합된 복합재해도 포함할 수 있다(엄격한 원인구분으로 자연재해 및 환경재해에 포함할 수도 있다). 자연재해는 기상재해, 지진재해, 해일재해 등 자연현상이 원인이 되는 재해이며, 환경재해는 인간의 활동(human activity) 영향에 의한 재해로 삼립파괴, Ozone Layer 파괴, 화석연료 사용에 의한 지구온난화, 환경오염 문제 등이 해당되며, 인간이 건설·운영하는 시설물(도로, 건물, 기반시설물 등)에 의하여 유발되는 재해(사고)도 환경재해에 포함된다. 복합재해는 자연현상에 의하여 환경재해가 가속화 또는 강화되는 재해, 인간활동에 의한 환경변화 영향에 의하여 자연현상이 강화되어 발생하는 재해 등으로 분류할 수 있으나, 용어상으로는 연구수준으로나 매우 애매모호한 분야이기도 하지만, 국제적으로나 연구 사안(issues)으로 매우 인기를 누리고 있는 재해이다.

재해는 인적·물적 손실(loss)을 동반하기 때문에 재해로 분류되며, 방재는 인적·물적 손실이 예상되는 재해에 대하여 원인을 분석하여 예방(prevention)하는 분야(유비무환)로 간주할 수 있다. 또한, 재해가 발생하였을 경우의 진단 및 처방분야(소일고 외양간 고친다)도



포함된다고 할 수 있다. 일반적으로 자연재해는 직접적인 손실을 유발하지만, 환경재해는 간접적이고, 장기적인 손실 또는 기회비용(opportunity cost) 측면에서의 손실을 유발한다. 또한, 방재는 예방차원에서의 대책(재해 발생전 대책)과 사고수습차원에서의 손실최소화 및 확산방지 대책(재해 발생후 대책) 등으로 구분할 수 있다. 다양한 분류기준과 관점에 따라 다양한 분야로 구분되는 재해 및 방재분야는 체계적인 분류에 의하여 재해의 특성을 파악하고, 재해 특성에 따라 적절한 방재대책을 수립하는 과정이 필요할 것으로 판단된다. 본 기사에서는 연안에서 발생하는 또는 발생가능한 재해를 분류하여 특성을 분석하고, 재해의 발생빈도에 따른 효과적인 방재기법을 제안하는 내용을 중심으로 하고 있다. 용어정의를 추가하면, 연안(또는 해안, coastal zone)은 가까운 바닷가에서 사람의 눈길이 미치는 영역 정도이고, 해양(ocean, marine)은 몇 바닷가 또는 공간적으로 규모가 방대한 바다 영역으로 구분된다.

## 2. 연안재해의 분류 및 특성

연안재해는 연안 자연재해와 연안 환경재해로 분류할 수 있다. 또한, 재해의 범위를 확장하기 위하여 자연재해와 환경재해가 복합된 복합재해를 추가하였으며, 직접적인 손실과 더불어 간접적이고 장기적인

손실을 유발하는 재해도 포함하여 분류하였다(표 1 참조). 재해(disaster)와 위험(hazard)의 사전적인 구분은 생략하고, 본 원고에서는 재해에 위험을 포함하였다.

### 2.1 연안 자연재해

연안 자연재해는 가장 활발하게 연구가 수행되어 왔으며, 연안의 기상재해를 포함하는 연안재해의 가장 중심이 되는 분야로 인식되어 왔다. 지속적인 태풍에 의한 피해, 최근 동남아시아에서 발생한 지진해일(tsunami)에 의한 피해, 해일에 의한 범람 및 침수에 의한 피해는 발생빈도가 작고, 피해규모가 엄청나기 때문에 전형적인 재해로 인식되고 있다. 그러나, 지진해일(우리나라에 2004년 인도양에서 발생한 규모의 지진해일이 한반도 연안에 도달할 가능성은 얼마인가? 또한, 예상되는 피해규모는 얼마인가? 분석 필요)에 의한 피해빈도와 태풍에 의한 피해빈도는 매우 큰 차이가 있음을 인식할 필요가 있다.

또한, 연안 자연재해를 유발하는 전형적인 태풍에 의한 피해는 태풍으로 인하여 발생한 강풍에 의한 피해, 태풍에 의하여 발생한 해일(범람)피해, 태풍이 동반하는 폭우 피해 등으로 구분할 수 있으나, 태풍에 의한 피해가 연안에서 발생하였다 할지라도 전형적인 연안재해에 포함되는 피해는 태풍에 의하여 발생한 해수면 상승(해일)의 영향에 의한 범람 및 침수에 의

표 1. 연안재해의 분류

재해 및 손실유형	자연재해	환경재해	복합재해
직접적인 손실 (단기적인 손실)	<ul style="list-style-type: none"> <li>태풍, 폭풍해일, 지진해일 등</li> <li>- 연안 구조물 파괴, 연안 조업 활동 피해</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>오염물질 유출사고, 적조, 준설 및 매립</li> <li>- 양식장 및 생태계 파괴, 수산물 섭취에 따른 인간생명 위협</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>홍수시 배수갑문을 통한 일시적이고 과도한 담수유출</li> <li>- 양식장 및 연안 생태계 피해</li> </ul>
간접적인 손실 (장기적인 손실, 기회비용)	<ul style="list-style-type: none"> <li>피해복구 기간의 경제적 손실</li> <li>- 경제활동 차단에 의한 손실</li> <li>• 생태 서식공간 파괴</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 생물 서식공간 파괴, 환경오염, 남획에 의한 수산자원 감소</li> <li>- 자원 감소에 의한 경제적인 피해</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지구온난화에 의한 기상이변 심화 등</li> <li>- 수산자원 변화 및 자연재해 대형화에 따른 구조물 보강 (경제적인 손실)</li> </ul>

한 인적·물적 손실이 해당된다. 주의를 통하여 예방할 수 있는 사고(incident)에 의한 손실도 포함할 수도 있다.

한편, 조석은 자연현상 중에서 예측 신뢰수준이 높기 때문에 조위상승-하강에 따른 재해는 조위의 영향이라기 보다는 인간의 무지 또는 안전불감증의 영향이 크다. 이 경우에는 교육에 의한 방재기법이 가장 적절한 것으로 사료된다. 조위상승과 더불어 태풍이 가세하고, 폭우(집중호우)로 인한 유역에서의 유출로 인한 연안 수위상승에 의한 침수(범람) 피해는 그 피해규모가 증가할 수 있기 때문에 간접적인 연안 재해요인으로 간주할 수 있다.

## 2.2 연안 환경재해

연안 환경재해를 대표하는 것은 연안에서의 유류 유출 사고를 생각할 수 있다. 대부분의 연안 사고가 악기상(안개, 폭풍에 의한 험악한 해상환경 등)가 관련되어 있으나, 보다 직접적으로 사고 유발요인보다는 사고에 의한 인적·물적 손실에 중점을 두어 파악하면 유류유출 또는 유해화학물질, 독극물, 중금속 등의 물질이 해역에 일시적으로 방출되어 연안 수산·양식어업의 피해를 유발하는 재해이다.

연안 환경재해는 피해가 직접적인 오염물질 유출 사고와 연안개발 과정에서 발생하는 매립 및 준설 사업 등이 대표적인 유형이다. 그러나, 연안 환경재해는 직접적으로는 연안 수산·양식어업에 종사하는 사람에게만 피해보상을 하고 마무리하는 사고 또는 사업이지만, 보다 중요한 것은 연안 생태계에 장기적으로 미치는 영향에 의한 수산자원의 감소로 인한 간접적인 피해이다. 생태계에 미치는 피해는 생태계의 한 부분을 구성하는 인간에게 직접적으로 그리고 구체적으로 피해의 모습이 드러나지는 않으나 장기적인 손실로 다가온다.

항만개발에 의한 생태계 파괴, 특히 귀중한 생태자원(천연기념물 보호구역, 갯벌 지역 등)파괴는 환경재해로 분류할 수 있으나, 개발에 의한 경제적인 가

치에 밀려 재해로서의 인식이 매우 부족한 실정이다.

## 2.3 연안 복합재해

연안복합재해는 자연현상과 인간에 의한 영향이 복합적으로 작용하여 발생하는 인적·물적 손실을 유발하는 재해이다. 대표적인 유형은 자연적으로 완충효과(buffer effect)를 가진 하구를 통하여 배출되는 양상을 보이는 하천 담수(freshwater) 유출이 인간에 의하여 건설된 구조물(방조제, 인공수로, 하구둑 등)에 의하여 인공적으로 흐름이 제어되는 경우이다. 이 경우, 집중호우시에 유역에서 유출되는 담수는 하구에서의 완충효과가 제거된 상태로 연안해역으로 방출되기 때문에 일시적인 저염화(low salinity) 현상이 강화되어 연안 생태계에 환경충격(environmental shock)을 유발하며, 연안 양식어업에 피해를 유발한다.

또한, 최근에 발생한 연안 개발지역의 물이 고인 웅덩이에서 해충의 급격한 번식으로 인한 피해 등은 자연재해의 성격이 강하지만, 인위적인 웅덩이를 형성한 개발사업과 자연적인 강우의 영향이 복합된 재해로 간주할 수 있다. 장기적인 영향을 보이는 연안 복합재해는 정확한 현상 파악 및 원인규명도 곤란한 부분이 있으나, 인간의 화석연료 사용(제1차적인 원인)에 의한 지구온난화에 따른 해수면 상승(제2차적인 원인) 및 대형 태풍의 발생빈도 증가(제2차적인 원인)에 의한 재해로 판단할 수 있다.

## 3. 재해특성에 따른 최적 방재기법

재해 유형에 따른 방재기법은 예방측면에서의 접근과 사고수습차원에서의 접근으로 양분할 수 있다. 예방차원의 접근이 적절한가? 아니면 사고수습차원의 접근이 적절한가? 여부는 연안 재해의 발생빈도와 재해발생으로 인한 피해규모에 의하여 결정된다. 사회적인 분위기도 작용할 수 있으나, 가장 명확한 근거는 경제적인 효과에 근거하여 통계적으로 분석하여

제시하는 방법이 가장 효과적이라고 할 수 있다. 통계적인 분석결과의 신뢰수준은 자료의 신뢰수준과 직결되어 있으며, 부실한 자료는 부실한 대책을 유발하여 비효율적이고 효과가 부진한 대책을 수립하거나 또는 자료가 매우 미흡한 상황에서는 대책수립이 매우 곤란한 경우가 발생할 수 있다. 따라서, 모든 대책은 가능하다면 모두가 공감할 수 있는, 수용할 수 있는 위험수준 범위에서 강구하여야 하며, 불가능한 수준(100% 안전, 완벽한 안전)은 고려대상에서 제외되어야 한다. 항상, 모든 재해는 발생가능하며, 발생 역제는 불가능하다는 인식하에서 대책이 적절한 대책이 강구되어야 할 것으로 판단한다.

### 3.1 연안 자연재해 방재기법

연안 자연재해는 연안 구조물에 의한 예방차원에서 추진되고 있는 상황이다. 연안 및 항만구조물은 대부분의 경우, 50년 빈도의 파랑환경에 대응할 수 있도록 설계된다. 따라서, 설계빈도 50년을 상회하는 자연재해에 대해서는 피해를 수용하고 복구하는 개념으로 방재를 수행하고 있다. 한편, 구조물이 아닌 연안에서 작업 및 활동(어업, 낚시 등)을 하는 사람의 안전을 위하여 기상정보와 해역정보도 제공하고 있다. 이 기법도 자연재해에 의한 손실을 예방(warning)하는 차원에서 적용되고 있다.

연안 자연재해는 구조물을 이용한 방법으로 가장 중요한 요소는 연안 구조물의 안정, 연안 제방의 안정문제이며, 안정을 검토하기 위한 설계조건을 과장하는 과정이 매우 복잡하고 어려운 문제를 포함하고 있다. 즉, 연안의 50년 빈도 파랑정보를 계산(추정, estimation)하기 위해서는 극치분포 해석이 필요하며, 극치분포 해석을 위해서는 장기간(10년~30년 정도)의 해역 파랑정보가 필요하다. 그러나, 우리나라 연안의 장기간의 파랑관측정보는 매우 미흡한 실정이며, 연안 모든 지점에서의 파랑정보를 관측하는 것도 실질적으로 불가능하기 때문에 제한된 파랑정보를 이용한 수치모형에 의존하여야 한다.

연안 방재연구는 연안 기상조건 변화에 따른 해상 조건(파랑정보)을 보다 정확하게 예측하는 실시간 예측 부분(real-time forecasting)과 통계분석의 신뢰수준을 높이기 위한 장기간의 과거자료 산출(hindcasting)을 위한 연구에 집중하고 있다. 즉, 해상환경 예측을 위한 Modeling & Monitoring 사업이라고 함축할 수 있으며, 해상 파랑환경예측을 위해서는 정확한 기상정보(바람 및 기온, 수온, 기압 정보) 제공을 위한 기상 Modeling & Monitoring 사업이 선행되어야 한다.

우리나라 연안 모든 지점의 장기간의 파랑정보 계산은 파랑발생(wave generation)의 원인이 되는 장기간의 바람자료를 이용하여 계산하게 된다. 따라서, 우리나라 연안의 장기간의 바람정보를 이용하여 장기간의 파랑정보를 산출하고 산출된 파랑정보에서 연 최대파랑정보를 추출하고 극치분석을 수행하여 50년 또는 100년 빈도 등 원하는 재현기간(recurrence interval)의 파랑정보를 산정하게 된다. 연안 구조물은 파랑정보를 포함하여 구조물 내구연한 동안의 기간에 대하여 안정성(stability) 분석을 수행한다.

연안 방재에서 가장 중요한 연안 구조물의 설계파랑 정보 추정과정은 다음과 같이 세분할 수 있다. 우리나라 연안의 설계파랑 정보는 우리나라 연안 격자에서 계산을 수행하였으며, 연안 106개 지점에서 설계파랑 정보를 제공하고 있다(한국해양연구원, 2005; 그림 1 참조).

설계변수 추정은 기본적으로 장기간의 자료를 이용한 극치해석 기법이 널리 이용되고 있다. 장기간의 자료는 설계하고자 하는 구조물이 수명 또는 그에 상응하는 기간에 해당하는 재현기간에 대하여 설계변수를 추정하는 과정으로 통계학 분야로 구분되지만, 통계 Package 보급으로 실질적으로 입력자료만 확보되어 있다면 원하는 재현기간에 대한 설계변수를 추정하는 것은 극치해석이 가능한 기본적인 통계 Package 사용만으로도 충분히 가능하다. 그러나, 극치해석에 필요한 입력자료의 가용기간이 매우 짧거나 관측자료가 미흡한 경우에는 적절한 방법으로 장기간

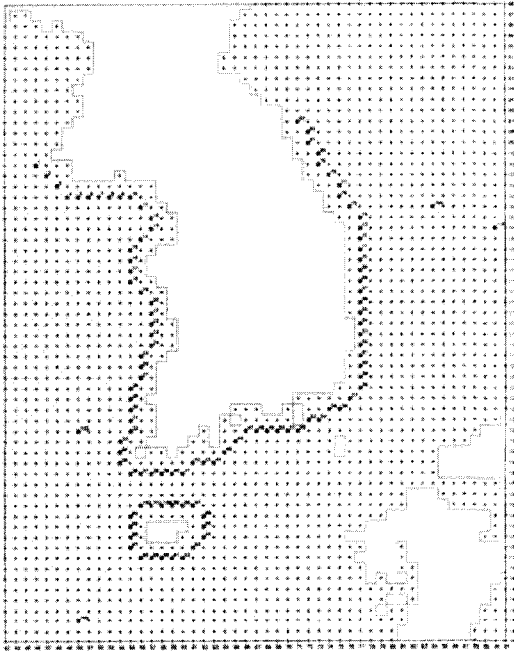


그림 1. 우리나라 연안 설계파랑 정보제공 격자 (●)

의 설계 입력자료를 생성하는 과정(Hindcasting)을 필요로 한다.

설계파 추정과정도 장기간의 파랑자료가 없기 때문에 장기간의 파랑자료를 추정하는 과정이 불가피하며, 파랑자료 추정에 필요한 모형의 보정·검증 과정, 보다 우수한 모형의 개발·수정·보완 과정을 필요로 한다. 여기서, 장기간이 의미하는 실질적인 기간은 설계기준에 따라 10년, 30년 정도로 지정하여 제시할 수도 있으나, 통계적인 관점에서는 관측기간(또는 자료 가용기간)이 길어질수록, 극치해석에 의한 재현기간에 해당하는 설계변수의 추정신뢰도가 증가하게 된다(추정오차는 감소하게 된다). 설계파 추정과정은 연구분야별로 다음과 같이 구분할 수 있으며, 구분된 분야는 순차적으로 영향을 미친다.

■ 제1분야(기상 Monitoring & Modeling 분야)

장기간의 관측기상 정보(천기도; 해수면기압, 기온, 수온 정보; 태풍경로, 태풍중심기압 등) : 기상정보(태풍의 경우에는 태풍 주위의 해면기압자료를 이

용하여 해면기압 분포식 매개변수를 추정하고, 최대 태풍 영향반경을 산출)를 이용하여 연속적으로 또는 태풍발생 기간중의 일정기간의 바람장(wind field)을 장기간 또는 장각간의 태풍 사상에 대한 바람장을 계산[기상분야].

■ 제2분야(해안공학 - 파랑분야, Wave-Generation 분야)

장기간의 바람자료를 이용한 장기간의 파랑정보(파고, 주기, 파향) 계산(계산영역이 광역이고, 대부분이 먼바다의 심해영역으로 간주하기 때문에 조석에 의한 수위상승 등의 영향을 고려하지 않고 평균해수면으로 간주하여 계산(Hindcasting 자료 - 과거 상태의 정보 추산, 참고 : Nowcasting - 현재 상태의 정보전달[실시간[realtime] 전송], Forecasting - 장래의 상태 예측정보; 따라서 연안의 천수영역[해안·항만구조물이 건설되는 영역]에서는 파랑추정 오차 가능성이 증가하게 된다).

■ 제3분야(통계분야 - 극치분포 해석분야)

제2분야에서 계산된 장기간의 파랑자료에서 극치분포 해석에 필요한 정보(일반적으로, 방향별 연최대 파고자료 및 그에 상응하는 주기자료, 태풍의 경우에는 주요 태풍에 대한 방향별 최대파고 및 그에 상응하는 주기자료)를 추출하여 극치해석을 수행하여 재현기간별로 설계파고 및 주기를 산정한다.

(참고 : 극치분포(빈도분포) 해석은 토목 수공학분야의 홍수량 해석에서 활발하게 이용되고 있다. 홍수량 해석과 관련하여 강우의 빈도해석, 수위 및 유량의 빈도해석 등이 포함된다. 또한, 구조물 분야에서의 지진의 재현기간에 따른 발생강도에 대한 해석도 극치분포 해석분야로 분류된다.)

■ 제4분야(해안공학 - 파랑분야, Wave Propagation 분야)

목표 재현기간에 대한 파랑 입력조건에 대하여 복잡한 파랑변형 과정(천수효과, 회절, 굴절, 반사, 조

위변화, 바람에 의한 Set-up 효과, Run-up, 마찰 등)을 포함한 파랑변형모형을 이용하여 해양·항만구조물이 건설되는 지점에 대하여 파랑 정보를 계산

#### ▣ 제5분야(구조물 안정검토 - 설계분야)

파랑정보를 포함한 해안·항만구조물에 영향을 미치는 영향인자(일반적으로, 가장 중요한 해안수리학적인 설계계인자는 파랑과 조위)를 모두 포함하여 구조물의 안정성을 확보할 수 있도록 구조물의 제원(specification)을 결정하고 안정성을 검토.(건설시공-감리는 생략).

한편, 방재 측면에서는 최근 발생하는 동해안 너울(swell)에 의한 피해, 파랑변형에 의한 범람(영광 범성포, 제주도 옹포리 해안) 피해 등은 기존 구조물의 보강에 의한 방법이 적절하지, 피해를 수용하고 복구에 중점을 두는 것이 적절한지는 발생빈도 분석이 필요하나 분석자료가 충분하지 못한 제약조건을 포함하고 있다.

### 3.2 연안 환경재해 방재기법

연안 환경재해는 현상에 대한 체계적인 이해도 부족하고, 장기적인 시간규모에서 진행되기 때문에 현상 파악도 곤란하여 방재수준은 매우 초보적인 수준이다.

오염물질 유출사고 등에 대한 대책은 실시간 오염진행 상황 등을 파악하여 피해(영향범위) 최소화하는 방재기법으로 추진되고 있으나, 예방차원에서의 대책은 초보적인 수준으로 파악된다. 연안 환경재해의 방재기법은 무엇보다도 중요한 것이 어떠한 방재기법이 효과적이고, 경제적인가에 대한 분석을 현재 가용한 자료수준에서 수행하여야 할 필요가 있다. 가용한 자료수준이 매우 미흡한 영역에서는 장기적인 자료구축 계획과 방재기법에 대한 연구를 병행하여야 할 것으로 판단된다. 연안 환경재해만을 목적으로 수행되는 것은 아니지만, 연안 해양환경관측망 등은 실시간 해

양환경 예측을 상당한 신뢰수준까지 예측할 수 있기 때문에 연안 환경방재에 크게 기여할 수 있다.

그러나, 연안 환경방재는 그 특성상 장기적이고, 간접적인 영향이 크기 때문에 장기간의 자료구축, 신뢰할 만한 자료분석에 의한 냉정한 경제성 분석이 필요한 부분이다.

### 3.3 연안 복합재해 방재기법

연안 복합재해의 직접적인 손실은 인위적인 운영 자료가 풍부하기 때문에 예측수준이 연안 자연재해에 비하여 높다고 할 수 있다. 따라서, 예상되는 위험을 수용할 것인가? 아니면 회피(방어)할 것인가? 문제를 구별하여 위험 특성에 따라 적절한 대안을 수립하는 것이 필요하다. 한편, 장기적인 연안 복합재해는 매우 복잡하고, 과학적인 근거도 취약할 수 있는 분야이기 때문에 낙관론자와 비관론자의 의견이 매우 상이하다. 따라서, 국제적인 연구교류 및 지속적인 연구를 통하여 현 단계의 방재기법을 수정·보완하는 작업이 광범위한 분야(학제적인 분야)에서 수행되어야 할 것으로 판단된다. 이 분야는 현 세대의 연구성과가 다음 세대의 재해예방에 기여한다는 개념으로 추진되어야 할 것으로 판단된다. 다소 모호한 부분이 많고, 정량화도 곤란한 분야이다. 또한, 어떻게 대처할 것인가에 대한 의견도 상이하지만, 과학적인 근거와 연구는 필요하다.

## 4. 결론

연안 재해 한 분야가 분류하고, 특성을 파악하여도 매우 다양한 분야의 연구지원, 연구교류가 필요하다. 따라서, 연안재해를 포함한 모든 재해는 어느 한 기관이 주도할 수는 있으나, 어느 한 전공이 주도하여 방재기법을 수립하는 것은 비효율적이고, 비효과적일 수 있다. 따라서, 재해에 대한 보다 체계적인 분류와 방재기법에 대한 보다 체계적이고 효과적인 기

법의 공유, 재해에 대한 모든 자료의 공유(재해에 관련된 자료를 공개하지 못할 이유가 무엇인가?)가 필요하다.

또한, 최근에는 방대한 Monitroig 사업을 통하여 방대한 자료가 생성되기 때문에 자료를 정리하고, 생성된 자료에서 정보(information)와 지식(knowledge)을 추출하는 연구분석이 병행되어야 하며, 시대의 변화와 기술의 발달을 반영하여 현재의 방재기법을 대상으로 보다 개선된 최적의 방재기법을

지향하는 연구-분석-평가-보완 작업이 수행되어야 한다.

### 참고문헌

한국해양연구원, 2005.12. 전해역 심해설계파 추정 보고서.