

독일 해안보호

기후변화 적응의 관점에서



2018.08

써드스페이스 베를린 환경아카데미

고 정 희

THIRDSPACE BERLIN
Academy of Landscape & Environmental Planning

목차

1. 서문	5
2. 기후변화적응과 해안보호의 필요성	8
ICZM - 해안보호를 위한 통합적 전략	6
2.1. 해수면 상승	8
2.2. 해수 온도	9
2.3. 폭풍해일	9
2.4. 해안보호 조치 - 투자	10
투자 사례	11
3. 독일의 기후변화 적응을 위한 해안보호 방안	10
3.1. 세 가지 기본 방향	10
3.2. 통합적 해안지역 매니지먼트 ICZM 사례	13
3.2.1. 분야 간의 갈등요소와 시너지 효과 분석	15
3.3. 요약 - 독일 해안보호 전략	18
3.4. 혁신기술사례	19
부유하는 도시Floating City	19
수륙 양용 주택 “Formosa”	20
4. 자연친화적 해안보호	22
4.1. 해변, 모래사장, 사구	22
4.1.1. 덴마크 서해안 - 〈모래 붓기〉	22
4.1.2. 네덜란드 테르스헬링Terschelling 사구 자연복원	23
4.1.3. 네덜란드 잔드모터Zandmotor인공 모래섬	25
4.1.4. 네덜란드 텍셀 섬Texel 혁신적 해안보호조치 - 〈핸드릭 왕자의 모래 제방〉	27
4.2. 염생습지, 갯벌 보호를 위한 조치	28
4.2.1. 독일 북해 랑게옥 섬의 〈여름제방〉 트기	29
4.2.2. 영국 〈와일드 왈라시Wallasea 섬〉 프로젝트 : 제방 후진 또는 철거를 통한 연안 습지 복원	31
4.2.3. 미국 미시시피 델타 프로젝트	32

5. 요약, 결론 및 미래전망	35
참고 문헌	36

표 차례

표 1. 독일 북해의 일부 기후파라미터 변화 예측. 데이터 출처: 헬름홀츠 연구원. 해안연구소. 1961-1990의 변화상을 기준으로 2031-2050 및 2071-2100의 변화상 예측.	9
표 2. 기후변화 영향의 유형에 따른 조치 유형 및 이에 나타나는 분야별 갈등요소와 시너지효과 사례. 출처: ALTVATER, S.; FAHRENKRUG, K.; BLECKEN, L. (2014), p. 16.	16
표 3. 독일 해안보호 전략 요약	18
표 4. SWOT 분석: 덴마크 서해안	23
표 5. SWOT 분석: 네덜란드 테르스헬링Terschelling 사구 자연복원	25
표 6. SWOT 분석: 네덜란드 잔드모터Zandmotor인공 모래섬	26
표 7. SWOT 분석: <핸드릭 왕자의 모래 제방>	28
표 8. SWOT 분석: 독일 북해 랑게옥 섬	30
표 9. SWOT 분석: 영국 에섹스 주 왈라시 섬	32
표 10. SWOT 분석: 미국 미시시피 델타	34

그림 차례

그림 1. 독일의 북해와 발트해의 연안 및 배타적 경제수역	5
그림 2. 1981년~2013년 사이의 해수면 상승추세	8
그림 3. 북해 연평균 해수면 온도 상승 추세. 출처: 연방 해양 연구원. 직접 측정	9
그림 4 독일 북해 제방 앞쪽(제방과 바다사이)에 위치한 범람지	11
그림 5. 독일 북해의 할리히 또는 할리겐 섬(연한 녹색). 모두 10개가 존재한다	13
그림 6. 특수 포크레인 선박으로 해심에서 바닷물과 함께 모래를 채취한 뒤 이를 모래사장에 묻어둔 암거를 통해 주입시키는 방법	13
그림 7. 주입한 모래를 포크레인으로 분산. 뒤쪽 수평선에 포크레인 선박	14
그림 8. 네덜란드. 모래 주입으로 달라진 지도. 노란 색이 새로 얻어진 모래사장	14
그림 9. 독일 북해의 전형적 관광휴양지	14
그림 10. 네덜란드 개발업체 Blue21에서 계획한 부유도시Floating City	19
그림 11. 부유도시 시스템	19
그림 12. Blue21에서 로테르담에 성공리에 시공한 파빌리온	20
그림 13. 독일 북해 카펠른 앞 바다에 조성된 부유하는 주택 단지	20

그림 14. 수위가 높아지면 부유하도록 설계되어 있음	21
그림 15. 백 년 홍수를 대비하여 수위 2.7미터 상승을 예측하여 설계됨	21
그림 16. 네 개의 철근 기둥을 세워 건물이 부유할 때 지탱	21
그림 17. 물의 무게중심	21
그림 18. 자연적 사구가 덴마크 서해안을 폭풍해일로부터 보호하고 있다	17
그림 19. 모래붓기의 결과로 보존된 덴마크 서해안 모래사장	17
그림 20. 네덜란드 데르스헬링 북쪽해안 사구의 역동적 움직임	18
그림 21. 테르스헬링 북서쪽 사구 재생	19
그림 22. 해변으로부터 사구 후방으로 모래가 이동하여 새로운 사구 형성	19
그림 23. 잔드모터Zandmotor 해안의 인공모래섬. 2013년	21
그림 24. 아스팔트 제방 전방 바다 쪽 사구띠	21
그림 25. <핸드릭 왕자의 모래제방>	22
그림 26. 북해의 할리겐 섬 박켄스바르프트Backenswarft	24
그림 27. Hooge 섬(할리겐 섬)의 여름 제방	24
그림 28. 여름제방 대부분을 제거한 뒤 바닷물이 자유롭게 드나들게 되었다	25
그림 29. 십년 뒤의 모습. 염생 습지 및 조류 서식지로 재생되었다	25
그림 30. Wallasea Island Wildcoast	26
그림 31. 미시시피 델타의 습지. 1999년	28
그림 32. 미시시피 강 하구의 유실되었던 델타가 다시 태어났다	28

1. 서문

독일은 북쪽에서만 바다에 면해 있다. 덴마크가 위치한 유틀란트 반도를 중심으로 동쪽의 발트해와 서쪽의 북해로 나뉜다. 해안 지형은 네덜란드와 마찬가지로 해수면보다 낮은 것이 특징이다. 이런 관계로 예로부터 해안 전체에 걸쳐 제방 등의 시설을 축조하여 물을 막아 땅을 얻었다. 예를 들어 발트해 연안의 경우는 해수위보다 3~5미터 낮은 지역이 13,900 km²며 이 지역에만 총 3백 2십만 명의 주민이 살고 있다. 이를 국민총생산으로 환산하면 약 9,000 억 유로에 상당한다.¹⁾ 기후변화로 인한 해수면 상승과 폭우를 동반한 폭풍이 빈번해

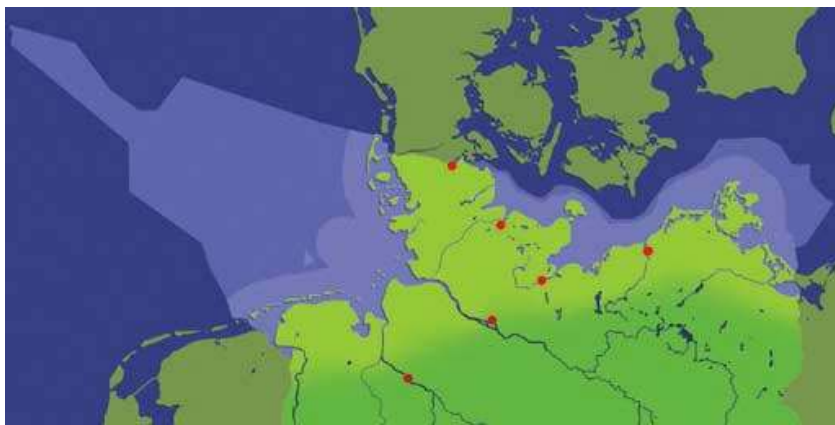


그림 1. 독일의 북해와 발트해의 연안 및 배타적 경제수역. 붉은 점은 연안 대도시. 그래픽 출처: BMUNR 2006

지고 있으므로 연안지역은 범람과 침수에 더욱 크게 위협받게 되었다. 함부르크, 브레멘, 킬, 뉘른베르크, 로스토크나 그라이프스발트 등의 유서 깊은 대도시도 이 지역에 위치하고 있다.

해안보호는 암석 해안이 아닌 모래나 갯벌 해안에서 필요한 사안이며 북부 독일 해안의 지형이나 환경이 한국

서해안과 남해안 일부와 유사하다고 판단되므로 좀 더 상세히 살펴보고자 한다.

해수면 상승으로 인한 피해는 독일 북부 해안 뿐 아니라 네덜란드, 덴마크, 프랑스, 폴란드 등 유럽의 여러 나라가 직면하고 있는 문제다. 이에 유럽위원회는 2002년 통합적 해안매니지먼트를 위한 지침(2002/413/EC, 이하 ICZM²⁾)을 발표한 바 있다. 통합적 해안매니지먼트란 해안보호 계획이나 전략을 수립할 때 당장의 재해방지에 치중할 것이 아니라 생태적, 경제적, 사회적, 문화적 및 휴양이용의 모든 관점을 감안하여 장기적, 통합적인 계획을 수립하는 것을 말한다.

이를 토대로 하여 독일 연방환경부는 2006년 <독일의 통합적 해안지역 매니지먼트> 전략³⁾을 수립하여 발표했다.

1) 연방환경연구원UBA 2016: 독일 기후적응전략 온라인 모니터링 보고서.
<https://www.umweltbundesamt.de/ww-r-3-das-indikator#textpart-1>

2) Integrated Coastal Zone Management

3) Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU 2006): Integriertes Küstenzonenmanagement in Deutschland(IKZM). Bonn

ICZM - 해안보호를 위한 통합적 전략

ICZM이란 위에서 언급한 바와 같이 해안보호를 위한 전략을 수립함에 있어 제방보강 등 기술적 방안에 의존하던 기존의 방법론을 벗어나 경제적, 사회적, 생태적으로 지속가능하도록 통합적으로 포괄적으로 접근하는 것을 말한다. 바다와 해안은 예로부터 다양한 목적으로 이용되어 왔기 때문에 보호전략 역시 여러 분야의 이해관계를 고려하여 수립되어야 한다. 이때 아래의 4대 원칙에 입각한다⁴⁾:

1. 해안지역의 모든 분야를 위한 정치사회적 목표 설정하고 포괄적인 개발 내지는 발전을 위해 조정한다.
 - 경제분야 : 선박운행, 항만, 산업, 교통시설, 석유 및 천연가스 채굴, 신재생에너지, 파이프라인, 모래 및 자갈 채굴, 어업, 농업과 관광업
 - 행정, 사회, 문화 분야 : 해안보호기관, 자원관리, 군사, 공간이용계획, 보호지역, 문화유산, NGO, 교육, 연구, 해안지역 공간 모니터링.
 - 환경과 자연보호
2. 정치, 사회, 경제 및 행정의 모든 기관, 관계자가 프로세스에 참여한다.
3. 해안의 자연적 역동성을 감안하고 법적으로 허용된 한계를 최대한 적용하여 지속가능한 발전을 꾀한다.
4. 계획 및 구현과 사후 평가의 모든 단계의 연속적 프로세스를 포함한다. 이로써 실제 체험을 차기 계획에 수렴, 끊임없는 향상과 발전에 기여한다.

연방 환경부는 2100년까지 해수면이 약 1미터 정도 상승하고 폭풍해일의 빈도가 현저히 증가하는 경우 기존의 시설보강을 위한 비용이 감당할 수 없을 정도로 증대할 것이라 내다보고 있다. 그러므로 지역별로 장기적인 해안보호계획을 수립하여 일정한 공간을 범람지 내지는 버퍼존으로 지정하여 미래의 피해를 최소화할 수 있도록 사전에 준비할 것을 종용하고 있다. 이때 특정 분야의 이해관계가 영향을 받게 될 것에 대비하여 갈등조정 절차를 통해 합의점을 찾는 것이 중요하다.

실제로 북해와 발트해 연안에 위치한 다섯 연방주⁵⁾에서는 이미 통합적 전략을 수립하고 다수의 시범 프로젝트를 발족시켰다. 각 연방주가 처한 상황이 서로 다르기 때문에 수립된 전략 역시 매우 다양하다. 독일연방 환경부는 2011년 이들 ICZM 전략 수립상황을 조사 분석하여 그에 대한 보고서를 발표한 바 있다.⁶⁾ 이때 당장의 피해방지에 초점을 둔 것이 아니라

4) 연방환경부; 연방환경연구원; 연방자연보호연구원에서 공동으로 운영하는 ICZM 홈페이지.
<http://www.ikzm-strategie.de/strategie.php>

5) 브레멘, 함부르크 등의 주시와 맥클렌부르크-포어폼머른, 니더작센, 슐레스비히-홀슈타인 주가 이에 속함.

지역 자체를 기후변화 적응형으로 거듭나게 하려는 백년대계를 목표로 삼았다. 따라서 다섯 연방주에서 수립한 전략이 구현되려면 여러 세대가 지나야 할 것이며 성패의 여부 역시 끊임없는 모니터링을 통해 파악되어야 한다.

빠른 해법을 찾아야 하는 한국 연구계의 분위기로 미루어 보아 본고의 방향이 기대에 못 미칠 수 있다. 그러나 독일을 위시한 유럽에서의 기후적응 방안은 오히려 기술적인 단기 전략에서 벗어나 <물과 함께 살아가는> 자연친화적인 방향으로 이미 기울어져 있다. 이는 기술적 방법이 동반하는 엄청난 비용에 비추어 볼 때 투자비와 기대되는 효과 사이의 균형이 크게 흔들리기 때문이기도 하며 무엇보다도 자연의 힘을 빌려 기후변화에 적응하는 것이야말로 가장 지속가능한 방법이기 때문이다. 해안이야말로 자연의 힘이 가장 크게 작용하는 곳이다. 그러므로 해안보호 분야에서 자연친화적 전략이 가장 널리, 대규모로 구현되고 있다. 것은 당연한 결과일 것이다.

2. 기후변화적응과 해안보호의 필요성

2.1. 해수면 상승

십 년간 지속적으로 수위와 간만 차이를 측정한 결과 명확한 해수면 상승 현상이 관찰되었다. 이 측정결과 외에도 IPCC는 2013년 기후보고서에서 1901년에서 2010년 사이에 지구 전체적으로 해수면이 약 19 cm 상승했다고 발표했다. 한동안 연평균 1.7 mm로 비교적 고르게 상승하다가 지난 이십 년간 평균 3.2 mm로 급속히 상승했다고 한다.⁷⁾ 온실가스 배출을 제한하는 경우 2100년까지 26~55cm, 온실가스 배출이 제한되지 않는 경우 45~82 cm까지 상승할 것으로 내다보고 있다. IPCC는 더 나아가서 이보다 더 높은 상승률을 보일 가능성을 배제하지 않았다.

해수면 상승으로 인해 연안지역, 그중에서도 하천 하구나 해수면보다 낮게 위치한 지역의 범람 피해가 더욱 커질 것이다.

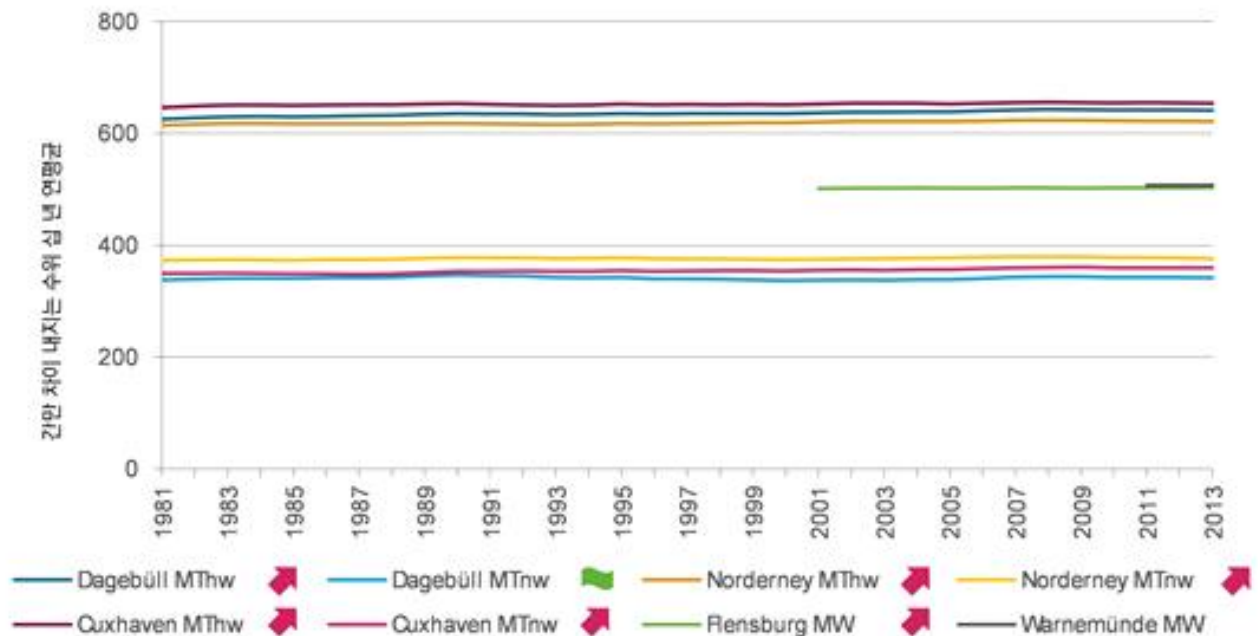


그림 2. 1981년~2013년 사이의 해수면 상승추세. 북해와 발트해에서 각각 네 지역을 선별하여 측정했다. 한 지역을 제외하고는 붉은 색 화살표가 확인한 상승세를 보인다. 출처: 연방 하천 해양 연구원 수위 데이터 베이스.

7) Umweltbundesamt (UBA, 2016): 온라인
<https://www.umweltbundesamt.de/ww-i-9-das-indikator#textpart-1>

2.2. 해수 온도

해수면 온도와 기온 사이에는 밀접한 관계가 있다. 여름 기온이 매우 높았던 2003년과 2006년 해수면 온도도 더불어 상승했음을 알 수 있다. 북해와 발트해의 수면 온도가 현저히 상승하는 추세이며 해수면 온도의 상승은 물의 부피를 증가시켜 결국 수위상승을 초래하게 된다. 1993년에서 2010년 사이 해수면 상승의 39%는 부피증가로 인한 것임이 밝혀졌다.⁸⁾

해수면 온도 상승은 그 외에도 해양생태계에 큰 영향을 미친다. 물고기 분포가 달라짐으로써 어업에 영향을 주는 외에도 조류 발생으로 관광산업에 장애를 준다.

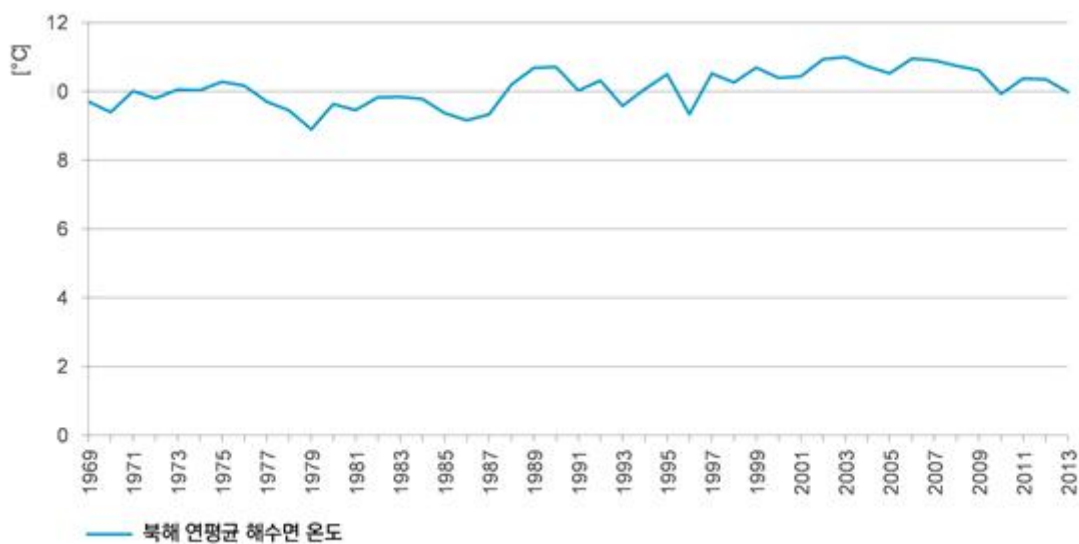


그림 3. 북해 연평균 해수면 온도 상승 추세. 출처: 연방 해양 연구원. 직접 측정.

2.3. 폭풍해일

북해와 발트해의 폭풍해일에 대해서는 아직 분명한 경향이 밝혀지지 않았다. 빈도가 커지는 것은 사실이지만 평균 강도는 크게 증가하지 않았다. 평균 수위보다 1.5미터 이상으로 파도가 칠 때를 폭풍해일이라 일컫는다. 해수면 상승과 바람의 크기에 따라 결정된다. 평균 강도가 다소 증가했다고 하나 2013년 북해를 덮친 폭풍의 피해가 매우 커 해안선 23킬로미터에 걸쳐 제방이 무너지고 사구가 쓸려가는 등의 큰 손실을 가져왔다. 향후 이와 유사한 피해가 자주 나타날 것이 우려된다.

8) 연방환경연구원UBA 2016: 독일 기후적응전략 온라인 모니터링 보고서.

<https://www.umweltbundesamt.de/ww-i-8-das-indikator#textpart-2>

기후파라미터	2050 년경	2100 년경
연평균 기온	+ 1.1 °C	+ 2.8 °C
최고기온 30°C 이상의 여름 일수	+ 0.9 일	+ 5.0 일
강수량 변화		
여름	+ 1%	- 19%
겨울	+ 6%	- 25%
바람 강도 변화		
연평균	+ 1%	+ 1%
겨울	+ 2%	+ 5%

표 1. 독일 북해의 일부 기후파라미터 변화 예측. 데이터 출처: 헬름홀츠 연구원, 해안연구소. 1961-1990의 변화상을 기준으로 2031-2050 및 2071-2100의 변화상 예측.

2.4. 해안보호 조치 - 투자

2011년 기존의 기술시설이나 방법들이 새로운 기후조건에 얼마나 효율적인지 검토하여 변화된 여건에 적응하려면 어떤 조치가 필요한지 모색된 바 있다. 바다에 면한 슐레스비히-홀슈타인과 메클렌부르크-포어포머른 주에서 합동으로 해안보호를 위한 기준을 갱신하여 앞으로 100년간 해수면 상승 50 센티미터로 한계선을 정했다. 이는 다시 말하면 기존의 기술시설들을 크게 보강해야 한다는 뜻이 된다. 예를 들어 철근콘크리트를 이용한 축조시설은 그 높이를 키우는데 그치는 것이 아니라 향후 추가적으로 더 높이거나 보강할 수 있도록 구조적인 개조가 필요하다.

모래관리의 경우 역시 향후 더 많은 양의 모래를 부어야 한다. 그러나 이런 시설이나 조치들은 연안습지, 염생 습지, 조류보호지역 등을 훼손하거나 영향을 미칠 수 있기 때문에 우선 사업허가를 필요로 한다.

이에 소요되는 높은 비용을 충당하기 위해 연방 정부는 본래 예산 102.9 백만 유로 외에 2009년부터 2025년까지 연간 2500 만 유로를 추가로 지원하기로 결정했다. 이 지원금으로 실시할 수 있는 보호조치는,

- 제방, 보호벽, 방사제, 호안 등 일체의 토목시설
- 제방과 바다 사이에 최소 400미터 폭의 범람지를 얻기 위한 사업(범람지는 평소에 목초지나 휴양지 등으로 이용될 수 있다.)
- 이와 관련된 자연보호와 경관관리 조치 등이다.



그림 4. 독일 북해 제방 앞쪽(제방과 바다사이)에 위치한 범람지. 평소에는 목초지나 휴양지로 이용될 수 있다. 사진 좌:© Jeong-Hi Go, 우: © Ulamm. CC BY-SA 3.0

투자 사례

부룬스뷔텔Brunsbüttel : 엘베강이 북해로 유입하는 하구 제방을 6.5미터에서 8미터로 높이고 별도의 홍수방지벽을 설치했으며 펌프시설을 개축했다. 2300 백만 유로가 소요되었으며 이로써 13,600 헥타르에 25,000 명의 주민 및 28 억 유로의 재산 가치를 보호할 수 있게 되었다.⁹⁾

9) [UBA 2016](#):

3. 독일의 해안보호 방안

3.1. 세 가지 기본 방향

해수위보다 낮은 연안지역에는 이미 전통적으로 오래 전부터 다양한 방식의 해안보호시설을 축조해 왔다. 우선적으로 시설, 건물 및 인명을 보호하기 위해 설치되었으나 침식으로 인해 땅이 유실되는 것을 방지하려는 목적도 있다.

원칙적으로 기후변화적응을 위한 해안보호는 세 가지 방향으로 이루어진다.¹⁰⁾:

1. **방어**: 제방 등 축조시설의 보강을 통해 현 해안선을 지킨다.
2. **적응**: 예를 들어 주거지의 지형을 높여 범람 피해를 방지하는 방법이 있다.
3. **후퇴**: 위험에 처한 해안지역을 비우고 물러난다. 비운 지역은 비집약적인 농업이나 자연 보호 및 휴양 등을 위해 이용할 수 있다.

방어 - 선형조치

개폐형 수문이 있는 **제방**이 가장 보편적이며, 댐, 방사제 및 호안(護岸 Revetment) 등 상황에 따라 다양한 토목기술시설이 설치되어 있다. 이들을 선형조치라 분류하기도 한다(습지 조성 등 자연친화적 조치는 면적조치라 한다.)

아무리 최고의 기술을 적용한 시설이라도 장애가 있거나 보호기능이 완벽하지 못할 가능성을 배제할 수 없다. 그러므로 수많은 전문가들이 위험수위를 훨씬 높게 잡을 것을 추천하고 있다. 즉, 시설계획 및 공간계획을 수립할 때 2100년에 해수면이 1미터 이상 상승할 것이라는 기후시나리오를 감안하는 것이다.

도시의 경우

함부르크, 브레멘 등 인구와 인프라 시설이 밀집되어 있는 도시의 경우 일반적으로 적용되는 주거지 보호방안은 제방 등 시설의 보강이다. 위의 [투자사례](#)에서 살펴본 바와 같이 제방이나 홍수방지벽, 펌프시설 등을 보강하여 도심을 보호하는 <방어>형 전략이 우선시되지만 그럼에도 외곽지대, 해변, 보호지역 가능한 곳에 자연적인 <적응>방안을 최대한 적용하고 있다. 이 분야에서는 네덜란드의 델타 프로그램이 혁신적, 모범적 사례를 보여주었으며 유럽의 여러 나라에서 이 사례를 따라 자연적 적응방안들이 모색되고 있다.

10) UBA 2012 ; 3

다만 어느 지역을 막론하고 적용이 가능한 ‘유니버설’한 방법론은 존재하지 않는다. 그 보다는 케이스별로 상황을 분석하여 최적의 멀티플 전략을 개발하는 것이 유럽식 해법이다. 자연적인 보호 방법을 전면적으로 적용하기는 매우 어렵다.

적응 <물과 함께 살기>

전통적 방법

연방환경부 및 전문가들은 어떤 일이 있더라도 <방어> 해야 한다는 원칙, 즉 제방을 더 높이 더 튼튼하게 쌓아야 한다는 강박관념을 버리고 <물과 함께 살아가기> 작전을 펼칠 것을 종용하고 있다. 실제로 이 방향으로 키워드가 전환하고 있다.

해안의 주민들은 이미 전통적으로 <물과 함께 살기> 전략을 적용해 왔다. 예를 들어 **할리히Hallig**라고 불리는 연안의 섬들이 이에 속한다. 이 섬들은 녹색 사주(砂洲)로 홍수 시 일부 물에 잠기며 자연적 방파제로서 폭풍해일을 미리 <흡수>하여 내륙해안선을 보호하는 역할을 한다. 할리히 섬들은 주요한 관광지기도 하지만 해안보호구역으로 매우 철저히 관리되고 있다.

그밖에 **모래관리** 역시 중요한 역할을 차지한다.¹¹⁾ 파도로 쓸려나가는 모래는 장기적으로 대량의 면적 손실을 초래한다. 이를 방지하기 위해 북부 독일, 네덜란드, 덴마크는 예로부터 먼 바다 (해안에서 12 km 떨어진 바다)의 해심에서 모래를 채취하여 연안에 부어 모래사장의 규모를 일정하게 유지하는 방법을 취하고 있다. 이 방법은 방사제 등의 토목 조치보다 훨씬 효율적이다.



그림 5.. 독일 북해의 할리히 또는 할리겐 섬(연한 녹색). 모두 10 개가 존재한다. 그래픽 출처: I Begw. CC BY-SA 3.0.



그림 6. 특수 포크레인 선박으로 해심에서 바닷물과 함께 모래를 채취한 뒤 이를 모래사장에 묻어둔 암거를 통해 주입시키는 방법. 사구가 쌓일 때까지 주입하며 포크레인으로 일차 분산시킨다. 후에 파도에 의해 자연스럽게 분산된다. 모래사장의 규모를 일정하게 유지하는 방법. 그래픽: Hajotthu CC BY-SA 3.0, modified by Thirdspace Berlin.

11) 고정희, 네덜란드의 델타 프로그램 19쪽 : 모래결정 참조



그림 7. 주입한 모래를 포크레인으로 분산. 뒤쪽 수평선에 포크레인 선박. © Hajotthu. CC BY-SA 3.0



그림 8. 네덜란드. 모래 주입으로 달라진 지도. 노란 색이 새로 얻어진 모래사장이다. © Smiley.toerist

연안습지, 갯벌 복원

지난 수백 년에 걸친 해안 이용의 결과 자연적인 연안 습지와 갯벌 면적이 크게 감소되었다. 이는 다시금 범람을 증대시키는 원인이 된다. 아래 <4. 자연친화적 방법>에서 상세히 살펴볼겠지만 현재 유럽 전역에서 사라진 연안습지와 갯벌을 복원하는 프로젝트들이 광범위하게 진행되고 있다. 궁극적 목적은 기후변화로 인한 해수면 상승과 잦은 폭풍해일의 위험으로부터 해안과 후방 도시들을 보호하는 것이다.

혁신적 적응기술

<물과 함께 살기>의 혁신적 사례는 최근 부상하고 있는 부유 도시 Floating city, 양서류 주택 등일 것이다. 부유 도시는 문자 그대로 배처럼 물 위에 항상 떠 있는 주택으로 이루어진 주거단지를 말한다. 네덜란드와 독일에서 시공에 이미 성공했다. 양서류 건물은 잠수함의 원리를 이용한 수륙양용 건물로서 홍수 시에 저질로 부유하도록 설계되었다. 영국 템스강가에 역시 시범적으로 시공된 사례가 있다.

이런 사례는 아직 실험단계에 있으나 어느 정도 보편화될 수 있는지 반응을 기다리고 있다.

후퇴

침수가 우려되는 해안선을 비우고 후퇴하는 방법은 현실성이 부족하다. 농경지 등에만 부분적으로 구현이 가능할 것이다. 북해와 발트해는 해변 휴양관광지로서 독일 국민 전체에게 큰 의미를 가지는 곳이다. 그러므로 해안을 비우고 후퇴하는 방법은 대대로 이곳에서 살아오던 주민들뿐 아니라 독일 사회 전체에 큰 변화를 가져올 것이다. 2100년을 기준으로 해수면 1미터 상승을 가정한 경우 고려해 볼 수 있는 시나리오다.

방어, 적응 또는 후퇴 중 어떤 방법을 적용할 것인지 또는 여러 방법을 조합할 것인지는 해당 지역이 처한 상황에 따라 달라질 것이다. 이때 위의 <통합적 해안지역매니지먼트> 원칙에 의거 해당 지역의 모든 관계자들이 함께 모여 적절한 전략과 방법을 모색하는 것이 필요하다.



그림 9. 독일 북해의 전형적 관광휴양지. 해수면보다 낮게 위치하며 제방으로 보호된다. 해수면 상승으로 크게 위험에 처할 것이 예견된다. © Jeong-Hi Go

3.2. 통합적 해안지역 매니지먼트 ICZM 사례

실제로 정부에서 KüstenKlima라는 제목으로 2012~2013 두 해에 걸쳐 4 개소의 해안지역을 대상으로 사례연구를 진행한 바 있다.¹²⁾ 통합적 해안지역 매니지먼트ICZM를 적용하여 해안보호방안을 시범적으로 도출해 내는 것이 목적이었다.

이때 목표 기간을

- 2036~2065
- 2071~2100

두 기간으로 잡아 장기적인 방안이 모색되었다. 문자 그대로 백년대계를 피하자는 의도다. 연구는 주민 및 이해관계자와의 대화를 통해 진행되었으며 아래와 같은 단계를 거쳤다.

1. 기후변화에 대한 전반적인 이해
2. 위험의 인식 및 위험정도의 분석. 이때 아래 다섯 분야의 상황을 각각 감안했다
 - 해안보호
 - 물관리(강우 행태의 변화에 따른)
 - 농업
 - 자연보호
 - 관광
3. 취약성, 위협, 기회 분석
4. 조치 개발, 상호 비교 : 이때 아래와 같은 기본원칙 하에 각 지역별 특성에 따른 맞춤형 조치 개발

12) [ALTVATER et al 2014](#)

- 침수위험지구에 신축 금지
- 해안보호시설 축조에 필요한 공간 확보
- 자연보호 면적 확보
- 농경법 기후적응형으로 개선 : 지원프로그램 개발
- 풍력에너지 단지의 입지 선정 시 갈등 요소가 적은 곳으로
- 기후보호와 기후적응 사이의 상호 작용

3.2.1. 분야 간의 갈등요소와 시너지 효과 분석

아래 표에는 기후변화의 결과로 나타나는 영향요소와 이에 각각 대응하기 위한 조치의 대표적 사례를 열거했으며 각 조치 구현으로 인해 분야 간에 나타날 수 있는 갈등요소와 시너지 효과를 정리했다.¹³⁾

조치	해당 분야, 섹터 시너지(+), 갈등(-)	기후변화 영향	
제방으로 보호된 지역의 배수력 증대	농업: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 농업이용가능(+) ▪ 가뭄기를 위한 유수량(-) 주거: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 하수시스템 보장(+) 	자연보호: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 조류서식지 등 비오톱 유실(-) ▪ 여름철 가뭄 스트레스(-) 수자원경제: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 폭우 시 빗물저장(+) ▪ 추가 비용(-) 	해수면 상승: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 농경지등 넓은 면적은 펌핑을 통해서만 배수 가능 강우/폭우 증가: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 배수력 증대 필요 ▪ 용수로나 배수로 물 저장을 위해 필요 가뭄 빈도 증가: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 가뭄대비를 위한 추가적 유수 필요

13) [ALTVATER et al. 2014](#), p. 16.

<p>홍수방지, 해안보호: 제방축조 및 보강</p>	<p>홍수방지, 해안보호:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 비용(-) <p>농업:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 농경지 보호(+) ▪ 제방이 차지하는 면적만큼 농경지 손실 <p>주거:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 건물과 인프라시설 보호(+) 	<p>관광:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 모래사장 등 관광시설 영향(-) <p>수자원경제:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 습지보호지역 배수 필요(-) <p>홍수방지, 해안보호</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 비용(-) 	<p>해수면 상승:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 해안보호시설 축조 <p>강우, 폭우 빈도 증가:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 홍수방지시설 축조 ▪ 내륙 배수
<p>홍수방지, 해안보호 용 연안습지 및 홍수방지못</p>	<p>기후보호:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 연안습지조성으로 온실가스 흡수지 마련(+) <p>농업:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 농경지 보호(+) ▪ 연안습지 농경이용 제한(-) <p>주거:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 건물과 인프라시설 보호(+) 	<p>자연보호:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 토지이용 비집약화(+) ▪ 동식물 서식환경의 연속성 제한(-) <p>관광:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 휴양기능과 여가활동 가능(+) 	<p>해수면 상승:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 해안보호시설 축조 <p>강우, 폭우 빈도 증가:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 홍수방지시설 축조
<p>해안보호시설 축조를 위한 해성점토와 모래 채굴</p>	<p>해안보호:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 건축자재(+) <p>농업:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 면적 손실(-) ▪ 채굴 뒤 비집약적 농경이용(+) 	<p>자연보호:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 면적 손실(-) ▪ 동식물계 훼손(-) ▪ 해당 면적 자연복원하여 바이오톱 조성(+) <p>수자원경제:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 채굴 뒤 해당 면적 범람지로 이용(+) <p>기후보호:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 온실가스 흡수지 손실(-) 	<p>해수면 상승:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 해안보호시설 축조 및 해성점토와 모래 채굴

표 2. 기후변화 영향의 유형에 따른 조치 유형 및 이에 나타나는 분야별 갈등요소와 시너지효과 사례. 출처: ALTVATER, S.; FAHRENKRUG, K.; BLECKEN, L. (2014), p. 16.

통합적 해안지역 매니지먼트 ICZM를 통해 시범적으로 개발된 전략들은 아직 계획단계에 있다. 우선 공간이용계획, 지역개발계획, 수자원이용계획 등 법정 계획에 수렴되어야 하며 구체적인 조치계획으로 무르익어야 한다.

그에 반해 이미 1990년대부터 시작된 자연친화적 해안보호 방안은 이미 여러 곳에서 구현되고 있다. 아래 4 장에서 실제 구현된 사례를 살펴보고자 한다.

3.3. 요약 - 독일 해안보호 전략

기후변화적응 유형	민감성, 취약성 저감을 위한 기술
분야	해안보호
문제점	기후변화로 인해 전반적으로 해수위가 상승하고 해일이나 범람의 위험이 3 배 이상 증가할 것으로 내다보임. 정부 뿐 아니라 기업과 현지의 주민들 모두 문제점을 의식할 필요가 있음
3 대 옵션	기존 해안선 보존: 제방 쌓기 및 높이기 연안 거주지의 기초 고도를 높여 홍수 등 기상 이변에 대응 위험 지구 토지이용 기피
운영 방법	여러 전략과 기술들을 효율적으로 적용할 수 있도록 통합적 해안지역매니지먼트 ICZM 기구 내지는 기관 설립 필요.
적용 전략	<물과 함께 살기> 공간계획과 통합적 해안관리의 공조 하에 “어떤 값을 치르더라도 해안선을 사수해야 한다.”라는 명제에서 벗어나 일단 후퇴함으로써 정면충돌 방지. 소프트 전략(공간계획적 해법) 사람이 살지 않는 곳, 토지이용이 불필요한 곳의 방파제를 열어 바닷물이 드나들 수 있게 함. 얕은 물 존 조성 등 경제적, 사회적 측면 고려 해안의 대도시 등에는 적용이 어려움 하드 전략(건축, 토목적 해법) 건축: 대상: 범람의 위험이 있는 해안 도시 언덕 위의 택지(네덜란드 해법) 신축 건물 “Home on water”: 부유도시/부유주택단지/수륙 양용 주택 기존 건물: 방수시설 철저히 보강. 토목: 방사제, 방파제, 제방 등의 토목적 해안 보호시설 구축, 보강 토목적 하드 전략은 소프트 전략을 보완하는 범위 내에서 적용.

표 3. 독일의 해안보호 - 요약

3.4. 혁신기술 사례

부유하는 도시 Floating City

네덜란드 개발업체 Blue 21에서 부유도시를 고안하였으며 로테르담에서 모델하우스 시공에 성공했다.¹⁴⁾



그림 10. 네덜란드 개발업체 Blue21 에서 계획한 부유도시 Floating City. 사진 출처: <http://www.blue21.nl/portfolio/blue-revolution/>

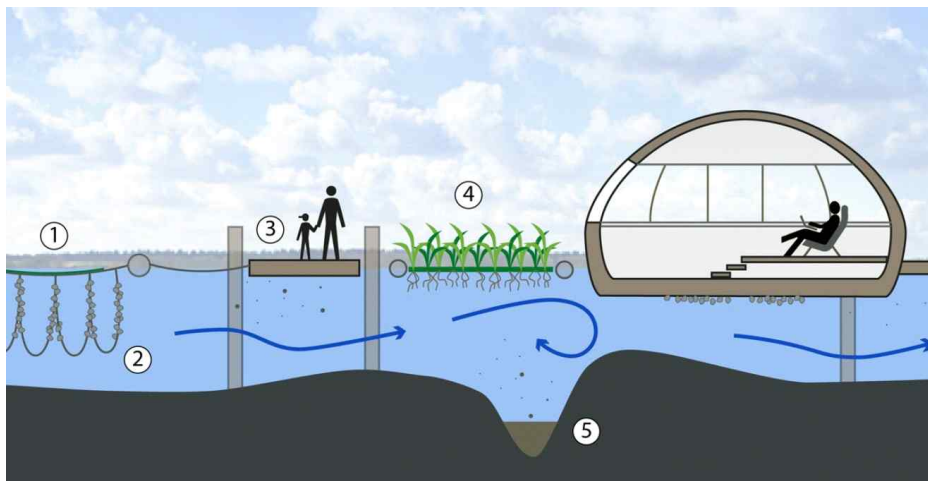


그림 11. 부유도시 시스템. 그래픽 출처: <http://www.blue21.nl/portfolio/bluerevolution-implementation/>

14) <http://www.blue21.nl/portfolio/blue-revolution/>



그림 12. Blue21 에서 로테르담에 성공리에 시공한 파빌리온. 사진 출처:
<http://www.blue21.nl/portfolio/floating-pavilion-rotterdam/>



그림 13. 독일 북해 카펠른 앞 바다에 조성된 부유하는 주택 단지. Hafenstraße 1,
 24376 Kappeln, Schleswig-Flensburg (Kreis)

수륙 양용 주택 “Formosa”

런던 템스 강가의 주거지들은 매우 낭만적으로 보이나 침수위험에 처해있다. 영국 건축 설계사무소 Baca Architects에서 이에 수륙양용 주택을 개발하여 내놓았다.



그림 14. 정상 수위에서는 일반 주택과 다름이 없으나 수위가 높아지면 부유하도록 설계되어 있음. 사진: Baca Architects, London.

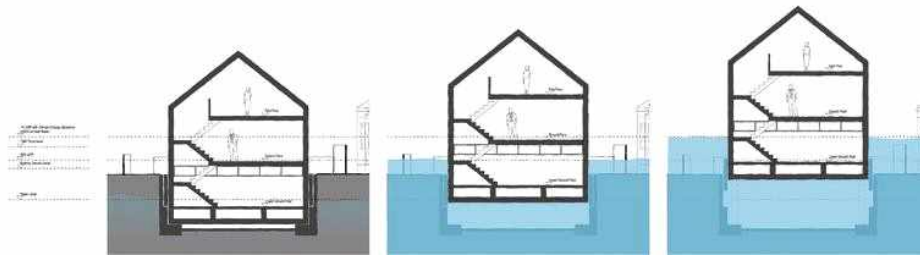


그림 15. 백 년 홍수를 대비하여 수위 2.7 미터 상승을 예측하여 설계됨. 더 높이 상승해도 견딜 수 있음. 사진: Baca Architects, London.



그림 16. 지하실 구조를 풀장처럼 잡고 네 개의 철근 기둥을 세워 건물이 부유할 때 지탱해 주는 역할을 한다. 사진: Baca Architects, London.



그림 17. 건물의 무게중심을 깊게 잡는 것이 관건. 상부는 부유할 수 있는 가벼운 소재. 하부는 부유하는 상층의 무게를 받칠 수 있도록 무거운 철근콘크리트 소재로 구축. 사진: Baca Architects, London.

4. 자연친화적 해안보호

4.1. 해변, 모래사장, 사구

4.1.1. 덴마크 서해안 - <모래 붓기>



그림 18. 자연적 사구가 덴마크 서해안을 폭풍해일로부터 보호하고 있다. 사구 폭은 100 미터 이상이다. 사진: J. Fröhlich.

덴마크 서해안 110 km 연장의 해변과 사구는 끊임없이 자연적인 침식의 영향을 받고 있다. 그에 더해 기후변화로 인한 해수면 상승으로 강화되어 해변 면적이 크게 감소할 것이 우려된다.

연장 10 km의 사구가 해안 후방의 마을들을 보호하고 있다. 사구는 바람, 파도와 조류로 인해 항시 침식현상이 일어나 연평균 8미터까지 후퇴하고 있으며 큰 폭풍해일로 인해 30미터까지 유실된 적도 있다. 이에 대응하기 위해 30년 전부터 규칙적으로 모래를 붓고 있다. 연평균 약 2백만 m³의 모래를 새로 유

입하고 있으며 이에 소요되는 비용은 연간 약 천만 유로 가량이다.¹⁵⁾

모래유입과 병행하여 1990년대에는 총 145 개의 방파제를 축조했다. 목적은 모래 수요를 감소하는 것이다. 그 효과에 대해선 찬반론이 제기되고 있다. 방파제로 보류된 모래가 다른 곳에서 침식되기 때문이다. 추가적으로 사구 하부에 110 km 연장의 옹벽을 세워 지지했다.

이제 더 이상 방파제는 축조하지 않는다. 모래 유입 역시 해변에 직접 붓기 보다는 해변 가까운 물속에 부어 해심을 높이는 방법이 더욱 안정적이며 비용도 적게 든다는 사실이 밝혀졌다.¹⁶⁾

모니터링 결과에 따르면 1998년 이후 자연침식이 0.1미터 가량 감축되었다. 생태계의 경우



그림 19. 모래붓기의 결과로 보존된 덴마크 서해안 모래사장.
© J. Fröhlich.

15) FRÖHLICH, J.; RÖSNER, H. U. (2015) ; 19

16) 위의 글. 20쪽.

모래 붓기 이후 약 일 년 뒤로부터 2-3년 사이에 회복된다. 방파제 등의 토목시설을 포기하고 모래붓기에 집중하게 된 것은 정치적 결정이었으며 오히려 토목시설보다 파도나 홍수로 인한 침식 방지에 효과적임이 드러났다. 방파제가 일부 무의미해졌으나 철거는 하지 않고 있다.

강점	약점
해안선 침식이나 사구 무너짐 저지. 토목시설에 비해 친자연적이며 효율적.	규칙적으로 반복해야 함. 모래 채굴로 인한 해양생태계 침해. 높은 비용
기회	위협
추가적으로 관광과 휴양을 위한 기회 토목시설이 불필요해짐 해변 모래사장 생태계의 회복이 가능 수요에 따른 조절이 가능하므로 기후적응 방안으로 적절	미래에 모래 부족현상이 나타날 수 있음 채굴 지역의 생태계가 영구히 훼손됨.

표 4. SWOT 분석: 덴마크 서해안

4.1.2. 네덜란드 테르스헬링 Terschelling 사구 자연복원



그림 20. 네덜란드 테르스헬링 북쪽해안 사구의 역동적 움직임. © J. Fröhlich.

배경

테르스헬링은 네덜란드에서 가장 큰 규모의 사구를 보유하고 있다. 사구는 바람과 파도에 의해 끊임없이 변하는 역동성을 지닌다. 이를 저지하기 위해 과거에 사구에 식재를 하여 움직이지 않는 자연제방을 형성했다. 이로써 모래가 사구 후방으로 이동하던 것 역시 멈추게 되었다. 동시에 배수 시설을 통해 지하수위를 낮추었다. 이후 사구는 노화현상을 보여 예를 들면 사구를 구성하는 자연스러운 요소, 골짜기 습지 등이 사라지게 되었다. 이렇게 사구의 자연스

러운 역동적 변화를 저지함으로써 결과적으로 해수면 상승에 더 이상 대응하지 못하게 되자 테르스헬링의 책임자들은 사구의 자연복원을 추진하게 되었다.

복원 방법

1990년 네덜란드는 <기본 해안선>을 정했다. 이 선이 침식으로 인해 무너지면 바로 모래를 채우는 방법을 적용했다. 2001년 이후 해수면 상승에 대응하기 위해 추가적으로 해안기본구조, 즉 연안 해변, 해변, 사구의 3중 구조를 조성, 유지해오고 있다. 해변으로부터 사구 및 사구를 넘어 후방으로 모래가 이동하는 것을 더 이상 저지하지 않는다. 이 방법을 테르스헬링에도 적용하여 연장 5km 구간의 사구가 자연스럽게 변화할 수 있도록 우선 4개소를 절개했다. 절개면 주변에 갈대로 울타리를 만들어 세웠으며 이를 통해 바람의 흐름을 유도했다. 이후 사구의 역동적 움직임이 다시 시작되었으며 수년 뒤에는 모래가 다시 사구 후방으로 불어 들기 시작했다.

사구 일부에 식재되었던 소나무군락을 제거하다 지하수가 스며 습지가 재생되도록 조치했다. 곧 자연스럽게 습초지가 발생했고 양을 풀어 방목할 수 있게 되었다.



그림 21. 테르스헬링 북서쪽 사구에 심었던 소나무군락을 제거한 뒤 지하수가 다시 스며 나와 습지가 재생되었다. © J. Fröhlich.



그림 22. 해변으로부터 사구 후방으로 모래가 이동하여 새로운 사구를 형성했다. © J. Fröhlich.

섬 내륙 사구의 역동적 변화를 적절하게 관리 운영함으로써, 즉 사구가 자연스럽게 자라고 이동하며 후방으로 모래가 불어들어 새로운 모래언덕을 형성함으로써 해수면과 육지가 함께 상승하는 결과를 얻게 되었다. 또한 이곳에 존재하는 서식지 보호지역 나투라 2000의 서식 환경을 개선하는 장점이 있으며 관광객이나 휴양객들 역시 이동하는 사구를 매력적 요소로 평가하고 있다.

강점	약점
사구의 자연적 역동적 움직임 다시 가능해짐. 생물의 서식지 제공. 해변의 모래를 사구 후방으로 전달	주민이 살지 않는 곳에서만 구현 가능. 전통적인 토지이용(농업)과 충돌
기회	위험
모래를 내륙으로 이동시킴으로써 섬이 해수면과 함께 상승할 수 있는 기회. 범람을 통해 사구 형성에 도움이 됨.	모래바람은 타 토지이용에 장애를 줄 수 있음.

표 5. SWOT 분석: 네덜란드 테르스헬링 Terschelling 사구 자연복원

4.1.3. 네덜란드 잔드모터 Zandmotor 인공 모래섬

잔드모터는 네덜란드 북해안에 실시된 대규모 해안보호 방안을 말한다. 헤이그와 로테르담 사이의 해안이 해수면 상승으로 인해 빠른 속도로 후퇴하는 것을 방지하기 위해 실시되었다. 위의 사례에서 보았던 작은 섬마을과는 달리 인근에 대도시가 있으므로 이들을 범람으로부터 보호하는 것이 절대적으로 필요했다.

이에 2011년 네덜란드 정부는 현지 책임자와의 공동 프로젝트를 발족시켜 매우 실험적 방법을 적용하기로 결정했다. 제방을 높이는 기존의 방법에서 벗어나 모래 붓기 방법을 결정한 것이다. 이때 모래사장을 보완한 것이 아니라 바다에 모래를 붓는 일종의 간척사업을 통해 대형 모래섬을 인위적으로 조성했다. 이 방법 자체를 잔드모터라 일컫는다. 이때 조성된 인공섬의 형태를 유지해야 하는 것이 아니라 파도, 조류 및 바람 등의 자연에 힘입어 해안선을 따라 모래를 분산시키는 것이 궁극적 목적이었다. 해안으로부터 약 1 km 간격을 두고 평균 폭 2 km 정도, 높이 7미터로 인공 모래섬을 쌓아 약 128 헥타르의 면적을 얻어냈다. 이를 위해 10 km 떨어진 해심으로부터 약 2억 1천 5백만 입방 미터의 모래를 채굴하였으며 총 사업비용은 7천만 유로가 소요되었다. 이후 5년 터울로 모래를 보완했다.¹⁷⁾

이 인공섬은 시간이 흐르며 자연스럽게 발생한 식생과 락군으로 인해 매력적 휴양지로도 이용되고 있다.

실험적 사업이었으므로 모래 채굴 등으로 인한 자연침해 현상을 관찰하기 위해 광범위한 모니터링 프로그램을 병행하여 실시했다. 이런 대규모의 모래섬 조성이 과연 작은 규모의 사업보다 자연에 미치는 영향이 적은지의 여부를 분석하는 것이 모니터링의 목적이다. 사업의 규모로 인해 절대 비용이 저감되기는 했지만 해수면 상승에 가장 적절한 대응방법인지의 여부는 현 시점에서는 아직 결론짓기 어렵다.

17) FRÖHLICH, J.; RÖSNER, H. U. (2015) : 33-34



그림 23. 잔드모터 Zandmotor 해안의 인공모래섬. 2013 년. 오늘도 바람과 파도에 쓸려 고루 분포되고 있다.
 © <https://beeldbank.rws.nl>, Rijkswaterstaat / J. van Houdt

강점	약점
토목시설에 비해 자연친화적이며 다른 모래 붓기 조치에 비해 비용효과가 높다.	매우 높은 투자비가 한 구역에 집중. 모래 채굴지와 첨가지의 서식지 훼손. 비용과 에너지 소모가 크다.
기회	위험
토목시설이 불필요함이 입증. 자연의 힘을 이용하여 해수면 상승에 기여하는 효과적 방법. 해변과 사구 서식지의 자연복원 가능	기대했던 것보다 폭풍해일에 대한 효과가 낮다. 모래 채굴지의 생태계 영구히 훼손될 가능성이 높다. 조치로 인해 훼손된 서식지의 재생 가능성에

<p>추가적인 관광 및 휴가 이용 가능.</p>	<p>대한 혁신 부족 과도한 관광 내지는 휴양이용으로 본래의 목적이 가치를 상실할 수 있다.</p>
----------------------------	---

표 6. SWOT 분석: 네덜란드 잔드모터 Zandmotor 인공 모래섬

4.1.4. 네덜란드 텍셀 섬 Texel 혁신적 해안보호조치 - <핸드릭 왕자의 모래 제방>



그림 24. 아스팔트 제방 전방 바다 쪽에 사구 띠를 조성하여 장기적으로 염생 습지를 얻는 새로운 방법이 고안되었다. © J. Fröhlich.

기존 아스팔트 제방을 보강하는 계획이다. 단 제방 자체를 보강하는 것이 아니라 제방 전방에 인공적 사구 등을 조성하는 자연친화적 방법이 구현되었다.

텍셀은 네덜란드 북쪽에 위치한 섬이다. 지금까지는 3 km 연장의 아스팔트 제방이 섬을 보호하고 있었다. 해수면 상승으로 수압이 높아져 제방을 넘지 못하는 물이 지하로 스며들기 시작했다. 제방 하부 지하에 관과 같은 형태의 길을 뚫고 이동한다는 사실이 밝혀졌다. 이런 현상을 파이프링(piping)이라고 하며 제방의 안정성을 크게 위협하게 되었다.

이에 대응하기 위해 제방을 보강해야 하나 기존의 토목 기술적 보강방법을 배제하고 새로운 방법론을 개발하기에 이르렀다.

제방 앞에 약 6천 7백 입방미터의 모래를 쌓아 사취(砂嘴), 모래섬 등을 조성하는 것이다. 이 사취와 모래섬이 향후 제방의 역할을 완전히 대체하게 하는 것이 목적이다. 더 나아가 사취와 모래섬 사이의 면적은 염생 습지로 개발하고 사취 전면 바다에 인공 암초를 조성하여 굴 서식지로 이용한다는 계획을 세웠다.

오랜 계획과 토론 단계를 거쳐 <핸드릭 왕자의 모래제방Prins Hendrikzanddijk> 이라는 이름으로 2018년 7월 공사가 시작되었다.¹⁸⁾ 오른 쪽의 배치도에서 연노란색으로 표시된 서해안 구간이 <핸드릭 왕자의 모래 제방>이다.



그림 25. <핸드릭 왕자의 모래제방>. 출처: https://www.hhnk.nl/prinshendrikzanddijk/locatie-planning_42608/

18) https://www.hhnk.nl/prinshendrikzanddijk/fotos-en-films_43022/

다만 이로 인해 연안의 갯벌이 손실되는 것이 커다란 취약점이다.

강점	약점
자연친화적 해안보호 해법. 해안보호, 자연보호 및 관광 휴양이 서로 원원할 수 있는 통합적 방법.	투자비와 관리 운영비가 높다. 갯벌의 일부 손실 인공 암석 굴서식지는 갯벌의 자연적 서식지가 아니다.
기회	위협
높은 가치의 새로운 서식공간이 발생할 수 있다. 혁신적 해법에 대한 주민들 수용도를 높이는 계기가 된다. 변화하는 환경에 자연적으로 적응할 수 있다.	높은 가치의 기존 서식공간이 손실될 수 있다. 훼손된 갯벌 면적은 보상되어야 한다. 모래 제방의 침식이 예상보다 높을 수 있다.

표 7. SWOT 분석: <핸드릭 왕자의 모래 제방>

4.2. 염생습지, 갯벌 보호를 위한 조치

4.2.1. 독일 북해 랑게옥 섬의 <여름제방> 트기

여름제방

북해 연안지 중 농경지로 쓰는 면적은 대개 이중 제방을 쌓아 보호한다. 전방, 즉 바다에 직접 면한 곳에 1.2~2 미터의 낮은 제방을 쌓고 후방에 높은 제방을 쌓는 방법이다. 이때 전방의 제방을 여름제방, 후방의 높은 제방(대개 마을을 보호하기 위한)을 겨울제방이라고 한다. 두 제방 사이에 경작지(대개는 목초지)가 있다. 이는 일반적으로 겨울 강우량이 더 많고 폭풍해일이 잦은 북해의 기후와 관련이 있다. 여름제방은 실제 경작이 진행되는 계절에 밀려오는 파도를 충분히 막을 수 있다. 겨울에 해수면이 상승하면 여름제방이 넘쳐 경작지는 침수되지만 겨울제방은 안전하여 그 뒤의 마을은 보호된다. 어차피 겨울철엔 경작을 하지 않기 때문에 범람이 되어도 무방할 뿐 아니라 오히려 퇴적물이 쌓이므로 경작지를 비옥하게 하고 추가적 면적 확보에도 도움이 된다.

위에서 언급한 할리히 섬들의 경는우 겨울제방을 아예 쌓지 않는다. 그 대신 섬의 내륙에 언덕을 쌓고 그 위에 집을 짓는다.¹⁹⁾

본래 여름제방은 농경이용에 기이한 것이지만 농업이 점차 퇴보하고 있는 지금은 관광이용이 점점 더 큰 비중을 차지한다.

기후변화 적응과 관련하여 여름제방의 일부를 터서 바닷물이 여름철에도 드나들도록 하는 자연복원법이 현재 여러 곳에서 진행되고 있다. 결국 자연적인 시스템으로 되돌리는 것이 가장 효율적 해안보호법이라는 결론이 얻어졌기 때문이다.



그림 26. 북해의 할리겐 섬
박켄스바르프트 Backenswarf. 여름제방과 언덕위의 마을.
사진: Michael Gäbler. CC BY-SA 3.0



그림 27. Hooge 섬(할리겐 섬)의 여름 제방. 사진:
Dirk Schmidt. CC BY-SA 3.0

랑게옥 섬의 경우

1930년대 섬의 갯벌을 높이 2.0~2.2 미터, 연장 5.5. km의 제방으로 막아 목초지를 간척하였으며 1992년까지 집중적으로 이용했다.

제방으로 인해 본래 갯벌에 서식했던 염생 습지가 크게 훼손되었다. 여름제방의 범람 빈도가 약 20~25회 정도로 감축되었기 때문에 염분 농도가 낮아져 염생습지 면적이 점차 줄어들어 드는 결과를 빚었다.

1994년 인근 바다 해저에 연가스 파이프라인 설치 사업에 대한 허가가 떨어졌다. 이에 침해 보상 조치가 구상되었고 랑게옥 섬의 훼손된 염생 습지 복원이 대체방안으로 결정되었다.

2003~2004년 사이에 여름제방 3 km와 수문을 제거하고 갯강을 복원했으며 철거 자재를 이용해 배수로를 메웠다. 그 결과로 총 218 헥타르 면적의 염생 습지가 재생될 수 있었다. 모니터링 결과 조류 서식지로서도 의미를 되찾았음이 확인되었다.



그림 28. 여름제방 대부분을 제거한 뒤 바닷물이 자유롭게 드나들게 되었다. © N. Hecker/Nationalparkverwaltung Niedersächsisches Wattenmeer, 2013.



그림 29. 십년 뒤의 모습. 제방이 존재했던 흔적이 사라지고 염생 습지 및 조류 서식지로 재생되었다. © N. Hecker/Nationalparkverwaltung Niedersächsisches Wattenmeer, 2013.

해수면이 상승하여 범람하더라도 오히려 득이 되는 대규모 면적을 다시 얻었음으로 해서 자연복원과 기후변화 적응이라는 두 가지 목표를 동시에 만족시키는 결과를 나타낸다.

강점	약점
범람 빈도가 증가해도 수용할 수 있는 공간의 마련으로 기후변화 적응력 증대. 자연적 경관의 재생 및 생물종 다양성 증대 프로젝트 관계자들 사이의 조화로운 협업과 타협으로 도출해 낸 긍정적 결과.	복원된 염생 습지는 아직 남아 있는 제방과 배수시설로 인해 그 자연성이 제한된다.
기회	위험
장기적으로 자연성 회복과 생물종 다양성의 증가 모범적 사례 타 지역의 제방 철거 가능성에 대한 수용도 상승 섬의 아름다움 증가	대화와 홍보가 결여되면 관계자들 사이의 상호 이해에 장애가 올 수 있다.

표 8. SWOT 분석: 독일 북해 랑게옥 섬

4.2.2. 영국 <와일드 왈라시 Wallasea 섬> 프로젝트 : 제방 후진 또는 철거를 통한 연안 습지 복원

영국의 왈라시는 연안습지 및 염생습지 자연복원의 대명사 격으로 만구에 회자하는 프로젝트다.

위에서 살펴 본 독일 북해의 랑게옥 섬의 사례와 마찬가지로 영국 서남부 해안 역시 자연보호지역(염생 습지 및 절벽 경관 등)이 크게 훼손되었다. 지난 수백 년에 걸친 간척사업과 토양침식으로 인해 갯벌 90% 이상이 손실되었기 때문이다.

영국 전역에서 이미 염생습지 복원을 위해 제방을 후진시키는 방향(managed realignment)이 모색되고 있었고 그중 왈라시 섬에 가장 큰 규모로 구현되었다. 왈라시 섬은 에섹스 주 해안 템스 강 하구에 위치한 반섬으로서 총 면적 약 740 헥타르며 해수면보다 2미터가 낮다. 제방을 쌓아 얻은 간척지는 오랫동안 집약적 농경지로 이용되다가 현재는 농업이 거의 이루어지지 않고 있다. 결과적으로 제방이 낙후하여 무너질 위험이 있었다. 이런 여건으로 미루어 대대적인 습지복원 조치를 구현하기에 매우 적절한 지역으로 판단되었다.

왈라시 프로젝트는 크게 두 단계로 나뉘어 순차적으로 진행되었다.

1 단계: 우선 제방의 일부를 후진시키는 방법을 적용했다. 2005년 공사가 시작되었다. 먼저 기존 제방 후방에 400 미터 연장의 제방을 신규로 조성하고 구 제방에 모두 여섯 군데 터널을 뚫어 물이 드나들도록 했다. 이런 방법으로 총 115 헥타르의 갯벌, 염생 습지 및 조류식지가 복원되었다. 폭풍해일이나 홍수 시 범람지로도 이용되기 때문에 새로 설치된 제방의 안전을 지킬 수 있다. 해당 면적은 영국 국유지이므로 총 공사비 9백 3십만 유로 일체를 정부에서 부담했으며 현재 왕립조류보호협회(RSPB)에서 관리하고 있다.

2 단계: 왈라시 반도 전체에 조치를 확장했다. 궁극적으로 400년 전의 상태로 되돌리는 것이 목적이다. 2009년 계획이 통과되어 공사가 시작되었으며 2020년 완공될 계획이다. 이로써 갯벌, 염생 습지, 목초지, 라군 등의 다양한 자연의 구조로 되돌리게 될 것이다. 공사규모는 5천 2백만 유로에 달한다.

이 지역을 향후 자연보호지역으로 지정하고 휴양지로 쓰기 위해 산책로, 자전거길 등을 함께 조성했다. 이를 위해 런던 터널 공사장에서 나온 흙을 배로 실어 새로운 제방길을 만들었다.



그림 30. Wallasea Island Wildcoast. 엔지니어링 기술을 적용하여 범람지와 버퍼존을 만들어 높은 파도를 흡수, 홍수위험을 방지하게 되었다. © wallasea-island-wild-coast-project

강점	약점
해안 생태계를 되살리기 위한 대형 프로젝트 범람지를 이용해 파도와 홍수의 피해 방지. 자연적인 방법으로 해수면 상승에 대응. 근린 휴양지 탄생 자연보호, 해안보호 및 근린 휴양 간의 시너지 효과.	고비용, 고기술이 요구되는 도전 과제 일부 지형을 인위적으로 높임으로써 한편으로 자연침해 초래 기술적 조치에 대한 의존도가 높아 선발전 자연보호 조치이 섬세도가 미흡.
기회	위협
장기적으로 매우 효과적인 기후변화 적응 조치 해안 생태계와 서식지의 장기적 효율적 보호 주민들 수용도 매우 높음 대도시 런던 시민들을 위한 자연생태교육 및 체험 기회 제공	지역의 생태시스템, 수리역학적 지리지형적 발전상에 대한 판단 불완전 주변의 침식 현상이 증가함 관리 운영비가 비교적 높음.

표 9. SWOT 분석: 영국 에섹스 주 알라시 섬

4.2.3. 미국 미시시피 델타 <Coast 2050 – Toward a Sustainable Coast

Lousiana> 프로젝트 : 삼각주 복원을 통한 해안보호 및 홍수방지

이미 1998년도에 <Coast 2050 - Toward a Sustainable Coast Louisiana>가 기획되어 미시시피 강 하구의 손실된 삼각주 재생이 모색되었다. 2005년 허리케인 카트리나와 리타가 몰려와 큰 피해가 발생하자 프로젝트에 박차가 가해졌다.



그림 31. 미시시피 델타의 습지. 1999 년. © A. Belala, Wikimedia Commons, Creative-Commons Lizenz



그림 32. 미시시피 강 하구의 유실되었던 델타가 다시 태어났다. © L. Sullivan, Flickr.com, Creative-Commons Lizenz

미시시피 강에 축조된 수많은 댐으로 인해 침전물이 하구로 이동하지 않게 되었으므로 하구의 삼각주가 서서히 유실되어 1990년대에는 거의 흔적이 남지 않게 되었다.

그에 더해 석유와 가스 산업에서 운하를 설치하고 토지를 소모한 결과 2013년까지 연평균 수위가 9 mm 가량 수위가 상승했다. 그 덕에 2005년 허리케인 카트리나와 리타가 아무 방해 없이 내륙을 깊이 공략할 수 있었다.

이에 기후변화에 따른 추가적 수위 상승으로 문제는 더욱 심각해 졌다.

2005년 허리케인이 휩쓸고 지난 간 후 루지애나 주에서는 <해안보호 및 복원 CPRA> 기관을 설립하여 홍수방지, 습지보호, 해안보호 통합 조치를 구현하기 시작했다. 마스터플랜에 따르면 제방역할을 했던 하구의 섬 복원, 갯벌과 습지 등을 재현하여 특히 폭풍과 수면 상승으로 인한 범람에 대응하는 것이 목표로 정의되었다. 동시에 자연생태계의 복원을 통해 서식지를 다시 마련해 주고자 했으며 이를 위해 모래와 침전물을 다시 하구에 유입시켜야 했다. 첫 단계로 북해의 모래 붓기와 유사한 방법으로 멕시코 만에서 모래

와 침전물을 채굴하여 강 하구에 부어넣는 공법이 실시되었다.

2007년 이래로 CPRA가 실행한 자연보호 조치가 대략 150 건이며 2012년까지 해안보호 및 홍수방지 조치에 약 170억 달러의 예산을 잡아두었다고 한다.²⁰⁾

20) FRÖHLICH, J.; RÖSNER, H. U. (2015) ; 53

미시시피 델타의 사례는 재해방지에 대한 사회적 인식에 변화가 오고 있음을 시사한다. 델타 주변의 섬과 습지는 자연이 이루어 놓은 방어선이라는 사실을 재삼 인식하게 된 것이다. 그럼에도 불구하고 자연적 조치에 대한 불확실성으로 인해 우선 제방 높이기 및 강화 등 토목 기술적 조치들을 먼저 구현했다는 점이 비판의 대상이 되고 있다.

강점	약점
유실된 해안 보호 구조 및 서식지 복원 해수면 상승에 대응하기 위한 자연적 방어력 증가. 자연보호와 해안보호 사이의 시너지 효과	여러 세대에 걸쳐 구현이 가능한 장기적 방안 비용이 매우 높다. 부분적으로 서식지를 되살리기 위해 매우 높은 기술적 방법이 요구된다.
기회	위협
유실된 해안 보호 구조 및 서식지가 대규모로 복원될 수 있다. 해수면 상승 대비 자연적 적응력이 매우 강화될 수 있다. 습지의 홍수방지 기능에 대한 새로운 인식 해안의 주거지 보존 가능	재해를 겪고난 뒤 기술적 방법에 우선 치우치게 된다. 미국에서 이런 조치는 토지 유실에 대한 대응방안으로 이해되고 있으며 기후적응에 대해선 아직 인식이 부족하다

표 10. SWOT 분석: 미국 미시시피 델타

5. 요약, 결론 및 미래전망

지구 기후변화로 인해 인류에게 닥칠 큰 걱정거리 중 하나는 해수면 상승이다. 특히 해수면 보다 낮은 지형을 가진 유럽 북쪽 해안지역은 생존의 위협을 목전에 두고 있다고 해도 과언이 아니다.

<방어>보다는 <적응>을 통한 보호방안이 이미 오래전부터 고민되고 있지만 지속가능한 해안 보호의 확실한 비전은 아직 존재하지 않는다. 해안보호는 매우 복합적인 과제이기 때문이다. 예를 들어 농경구조를 발전시키고 동시에 해안을 보호하는 등의 분야별 전략은 충분히 가능하지만 한 곳에서 방어한 물이 다른 곳을 더 크게 침범하여 대형 재해를 발생시키는 결과를 빚을 수 있다.

선박과 항만운영으로부터 농경지보호, 자연보호, 도시개발, 관광, 신재생에너지 등 수많은 분야를 모두 아우르고 분야별 목표를 모두 만족시킬 수 있는 해법이 필요하다. 이에 더해 기후보호라는 기존과제와의 균형도 살펴야 하며 필요한 예산도 확보해야 한다. 다시 말하면 통합적이고 장기적인 계획과 전략이 불가피해진다. 뿐만 아니라 사회적 수용을 위해서는 주민 및 모든 이해관계자들의 동의와 이해를 얻어내는 것도 중요한 과제에 속한다.

이런 배경 하에 2002년 유럽위원회의 해안보호를 위한 통합전략 지침이 마련되었고 이를 토대로 하여 2006년 독일의 해안지역 매니지먼트 통합전략이 발표되었다. 곧 이어 다양한 프로젝트를 시범적으로 발족시켰다.

그러나 실제로는 이미 1990년대부터 다양한 해안보호방안이 연구되어 일각에서 구현되고 있다. 2013년 IPCC에서 발표한 기후시나리오는 이에 박차를 가한 계기가 되었다. 전망대로라면 2100년 해수면이 1미터까지 상승할 수 있고 그 결과는 상상을 초월하는 재해를 의미한다. 북해와 발트해 연안이 거의 물에 잠길 수 있기 때문이다. 제방이나 보호벽 등의 하드웨어만으로는 보호가 불가능할 것이며 가능하다 하더라도 그 비용이 기하급수적으로 상승하여 감당키 어려울 것이다. 그러므로 자연친화적 방법, 즉 갯벌과 습지 복원, 제방 트기, 후진하기 등의 여러 기법이 구현되고 있다. 위의 영국 왈라시 섬이나 미시시피 델타의 사례에서 살펴본 것처럼 이런 조치의 결과가 나타날 때까지 여러 세대를 기다리며 관찰해야 한다. 기후변화 적응을 위한 해안보호는 백년대계를 통해서만 가능할 것으로 사료된다.

참고 문헌

- ALTVATER, S.; FAHRENKRUG, K.; BLECKEN, L. (2014): Klimaschutz und Klimaanpassung an der deutschen Küste - Handlungsmöglichkeiten durch räumliche Planung und Küstenmanagement. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA) (51 p.)
알트파터 ; 화렌쿠룩 ; 블레켄(2014): 독일 해안의 기후보호와 기후변화적응. 공간계획과 해안매니지먼트를 통한 접근가능성. 연구보고서. 연방환경연구원 발행. 51 쪽.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU 2006): Integriertes Küstenzonenmanagement in Deutschland(IKZM). Bonn.
독일 연방환경부(2006): 독일의 통합적 해안지역 매니지먼트, 99 쪽.
- FAHRENKRUG, K.; BLECKEN, L. (2013): Fallbeispiel Kieler Förde & Lübecker Bucht. Zukunftsfähige Strategien für die Küstenentwicklung angesichts des Klimawandels. Abschlussbericht UFOPLAN-Vorhaben Küstenklima. Raum & Energie - Institut für Planung, Kommunikation und Prozessmanagement GmbH. Okt. 2013
화렌쿠룩 ; 블레켄(2013): 기후변화 시대에 임한 미래지향적 해안개발 전략. 킬러 피르데 및 뤼베크 부흐트를 사례로 하여. 연구과제 <기후보호, 기후변화적응, 해안보호 및 해안매니지먼트를 모두 감안한 통합적 콘셉트> 결과 보고서. 37 쪽
- FRÖHLICH, J.; RÖSNER, H. U. (2015): Klimaanpassung an weichen Küsten. Fallbeispiele aus Europa und den USA für das schleswig-holschreinische Wattermeer. Hg. v. WWF Deutschland. 프렐리히 ; 뢰스너(2015): 갯벌해안의 기후변화적응. 유럽과 미국의 사례. 슬레스비히 홀슈타인의 갯벌 해안에 적용하기 위한. WWF 독일지부 발행. 78 쪽.
- NIEMEYER, H. D.; KAISER, R. (2001): Hydrodynamische Wirksamkeit von Lahnungen, Hellern und Sommerdeichen. In: Die Küste (64/2001), S. 15–60.
니마이어 ; 카이저(2001): 간척지 둑, 염생습지, 여름제방의 수리역학적 효과. 디 퀴스테지 64/2001. pp.15-60. 46 쪽.
- Umweltbundesamt (UBA) (2011): Bericht über die Umsetzung des Integrierten Küstenzonenmanagements in Deutschland. Unter Mitarbeit von IKZM-Beirat.
연방환경연구원(2011) : 독일 통합적 해안지역 매니지먼트 구현에 대한 보고서. 21 쪽.
- Umweltbundesamt (UBA) (2012): Küstenschutz. Anpassung an den Klimawandel in Deutschland. Themenblatt. Unter Mitarbeit von Kompetenzzentrum Klimafolgen und Anpassung (KomPass).
연방환경연구원(2012) : 해안보호. 독일의 기후변화 적응. 테마지. 기후영향과 적응 전문가위원회. 8 쪽.

링크

-
- [Blue21.nl](#)
 - DB(Deutsche Bauzeitung): [Baca Architects 의 수륙 양용 주택](#). 2015.06.30.
 - Umweltbundesamt (UBA, 2016) : Monitoringbericht 2015 zur Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel. Part 1. Online:
<https://www.umweltbundesamt.de/ww-r-3-das-indikator#textpart-1>
연방환경연구원(2016): 독일 기후적응전략 온라인 모니터링 보고서 1 부.
<https://www.umweltbundesamt.de/ww-r-3-das-indikator#textpart-1>
 - WALLASEA ISLAND WILD COAST PROJECT:
<https://www.ice.org.uk/what-is-civil-engineering/what-do-civil-engineers-do/wallasea-island-wild-coast-project>