발 간 등 록 번 호
11-1480000-001759-01

해상풍력발전
환경조사·평가 매뉴얼

2021. 6.

환경부 KEI 한국환경정책·평가연구원

본 매뉴얼은 해상풍력 발전사업을 위한 입지를 검토하거나, 선택된 입지 후보지에 대한 환경영향을 조사·평가하여 사업자 또는 평가서 작성자가 활용할 수 있도록 제시한 자료로서 모든 사항을 준수하여야 하는 것은 아님을 알려드립니다.

CONTENTS

Ⅰ 총 론

1. 배 경 ····· 3
2. 매뉴얼의 성격 및 적용 범위 ····· 3
3. 환경영향평가 중점 평가항목 ····· 4

Ⅱ 항목별 조사·평가

1. 조류(새) 항목 ····· 9
가. 현황조사 ····· 9
1) 조류 다양성 조사 ····· 9
2) 공간 분포 조사 ····· 12
3) 이동 패턴 조사 ····· 15
나. 영향예측 ····· 15
다. 저감방안 ····· 16
1) 터빈의 색상 ····· 17
2) 청각·시각을 이용한 터빈 접근 방지 ····· 18
라. 사후환경영향조사 ····· 20

2. 소음·진동 항목 ····· 20
가. 현황조사 ····· 20

CONTENTS

나. 영향예측 ····· 21

1) 공사 시 영향 예측 ····· 21

2) 운영 시 영향 예측 ····· 21

다. 저감방안 ····· 22

1) 공사 시 저감방안 ····· 22

2) 운영 시 저감방안 ····· 22

라. 사후환경영향조사 ····· 22

3. 해양 동·식물 항목 ····· 23

가. 현황 조사 ····· 23

1) 조사항목 ····· 23

2) 조사범위 ····· 23

3) 조사지점 ····· 24

4) 조사방법 ····· 26

5) 결과제시 ····· 30

나. 영향 예측 ····· 31

1) 공사 시 영향 ····· 31

2) 운영 시 영향 예측 ····· 35

다. 저감방안 ····· 36

1) 부유토사 확산 저감방안 ····· 36

2) 수중 소음 저감방안 ····· 37

3) 해파리 폴립 제거방안 ····· 37

CONTENTS

4) 인공어초 기능제공 및 설치방안 ····· 38
5) 해양보호생물의 영향 저감방안 ····· 38
6) 회유성 어류 영향 저감방안 ····· 38
7) 우발적 기름유출사고에 대한 방지대책 ····· 38
라. 사후환경영향조사 ····· 38
1) 조사목적 ····· 38
2) 조사항목 ····· 39
3) 조사지점 ····· 39
4) 조사시기 ····· 39
5) 조사방법 ····· 39
6) 결과제시 ····· 40
4. 해양물리 항목 ····· 42
가. 현황조사 ····· 42
1) 조사항목 ····· 43
2) 조사범위 및 조사지점 ····· 43
3) 조사방법 ····· 46
4) 결과제시 ····· 47
나. 영향 예측 ····· 51
1) 해수유동실험 ····· 51
2) 부유사 확산 실험 ····· 55
3) 퇴적물 이동 및 국부세굴 실험 ····· 58
4) 파랑변형실험 ····· 59

CONTENTS

다. 저감방안 ····· 61

1) 국부세굴 저감대책 ····· 61

라. 사후환경영향조사 ····· 61

1) 조사목적 ····· 61

2) 조사항목 ····· 61

3) 조사지점 ····· 61

4) 조사시기 ····· 61

5) 조사방법 ····· 61

6) 결과제시 ····· 62

5. 해양수질 및 퇴적물 항목 ····· 62

가. 현황조사 ····· 62

1) 조사항목 ····· 62

2) 조사범위 및 조사지점 ····· 62

3) 조사방법 ····· 63

4) 결과제시 ····· 64

나. 영향예측 ····· 64

다. 저감방안 ····· 64

1) 부유토사 확산 저감방안 ····· 64

2) 유류유출사고에 대한 방지대책 ····· 65

CONTENTS

라. 사후환경영향조사 ····· 65

1) 조사 목적 ····· 65

2) 조사항목 ····· 65

3) 조사지점 ····· 65

4) 조사시기 ····· 66

5) 조사방법 ····· 66

6) 조사결과 ····· 66

6. 해양경관 항목 ····· 66

가. 자연경관심의 대상사업 검토 ····· 66

1) 심의대상 여부 및 범위 ····· 66

2) 경관자원조사 ····· 67

3) 검토사항 ····· 67

4) 심의기준 ····· 67

나. 영향예측 및 저감방안 ····· 69

Ⅲ 참고사항

1. 해상풍력 발전사업 중 환경영향평가 대상 사업 검토 ····· 73

2. 해상풍력 발전사업 중 소규모환경영향평가 대상 사업 검토 ····· 74

3. 해상풍력 발전사업 환경영향평가 절차 ····· 75

I

총 괄

I 총 괄

1 배 경

- 기후변화에 대응한 탄소중립 사회로 전환은 범지구적 생존전략으로서 세계 각국은 화석연료 사용을 줄이고 재생에너지 중심의 에너지 전환에 총력을 기울이고 있음
- 특히, 환경에 대한 영향이 상대적으로 적고 대규모 단지 개발에 유리한 해상풍력 발전에 대한 투자가 전 세계적으로 증가하고 있으며, 국내에서도 대규모 해상풍력 발전사업 확대를 추진중에 있음
- 다만, 해상풍력 발전사업은 어류와 해양생물·조류(鳥類) 등에 다양한 영향을 미칠 수 있으며, 연안·해역에서의 인간 활동에도 영향을 미치게 되므로 지속 가능한 개발과 보전에도 장애물로 작용하게 됨
- 이러한 환경적 영향을 최소화하기 위해서 해상풍력 발전사업에 적합한 환경영향평가의 참고방안을 제시하고자 함

2 매뉴얼의 성격 및 적용 범위

- 본 매뉴얼은 해상풍력 발전사업을 위한 입지를 검토하거나, 선택된 입지 후보지에 대한 환경영향을 조사·평가하여 사업을 계획하는 등에 사업자 또는 평가서 작성자가 활용하도록 만든 참고자료임
- 본 매뉴얼은 해상풍력 발전사업의 환경영향평가에서 중점 검토할 항목들을 중심으로 해상영역에서의 다양한 요인들을 고려한 환경 현황 조사 및 영향 예측 방안을 제시하고자 하였음
- 본 매뉴얼은 그간 해상개발 사업과 관련된 연구보고서 및 환경영향평가 가이드라인을 기초로 해상풍력 발전사업에 따른 이슈 사항을 추가하여 작성하였음

표 1 해양풍력발전사업 환경영향평가 매뉴얼의 기본 방향

구 분	세 부 내 용
기본원칙	• 정량적 평가
과 정	• 과학적·객관적·통합적 프로세스
방 향	• 본 사업지구 및 주변의 개발 중 또는 계획이 확정된 사업을 반영하여 누적평가(공간적) 실시 • 해수면 상승 등 향후 기후변화의 영향을 고려하여 누적평가(시간적) 실시
적용대상	• 해상풍력발전 단지
대상 지역범위	• 사업시행으로 인한 환경영향 예상해역 및 영향 비교를 위한 기준자료 습득이 가능하도록 설정하되, 대상 해역의 특성에 근거하여 과학적으로 예측·분석하여 설정 • 기후변화, 불확실성 등에 선제적으로 대응하기 위하여 최악의 시나리오 기반의 조사항목, 조사범위 선정
방법론	• 환경조사 및 영향예측은 최적의 과학적 방법을 사용하며(BAS: best available science), 사용된 기법, 내용, 관련자료 등을 명시하고 적용방법, 사용근거 등 타당성을 객관적으로 제시 • 평가서를 작성함에 있어서 선정한 조사지역, 조사지점, 예측방법, 예측조건, 예측에 사용된 계수, 수치 등에 대한 선정근거를 명확히 제시 • 해양 시스템의 통합적 프로세스를 고려하여 항목별 상호·연계된 현황조사, 영향예측 및 분석, 사후조사계획을 수립
대안설정	• 최적의 저감방안 도출을 위하여 환경목표와 이를 달성하기 위한 다양한 대안을 설정하여 최적(BAT: best available technology)의 저감방안 도입

3 환경영향평가 중점 평가항목

○ 해상풍력 발전사업의 환경영향평가 시에는 아래의 해역별 특성을 고려하여 〈표2〉의 중점 평가항목에 대한 조사 및 예측이 수행되어야 함

- 서해안은 조석 차이가 크고 수심이 낮으며, 강과 하천에서 유입되는 부유물에 의해 탁도가 높고, 퇴적작용이 활발하여 갯벌로 이루어진 조간대가 넓게 분포하는 특징이 있음
- 남해안 역시 수심이 낮고 조석 차이가 큰 특징이 있고, 많은 섬들이 분포하여 파랑의 영향이 상대적으로 적게 나타남
- 반면 동해안은 해안선이 단조롭고 주변에 섬이 없어 파랑의 영향이 큰 편이며, 조석 차이가 작고 남북 방향의 해류가 우세하게 나타남

표 2 해상풍력 발전사업 환경영향평가 중점 평가항목

평가항목	세부항목	세부 조사항목	조사목적
지역개황	입지현황	• 습지보호구역, 해상자연공원, 해양보호구역, 수산자원관리구역, 특정도서, 절대보전 무인도서 등 • 해양자원 탐사 및 시추 허가지역, 수산양식, 어업권, 해양오염물 투기지역 • 항공기 운항 경로, 군사지역, 항로 등 보호구역 및 안전구역	• 해상풍력발전 단지 입지 현황 검토 • 각 항목 평가 시 참고자료 제공
동물상	조류	• 이주경로와 번식지역	• 이주경로와 번식지역 조사 • 운영 시 조류 이동에 미치는 영향 예측
소음·진동	소음·진동	• 소음·진동 발생량 평가	• 항타 시 소음 진동 발생량 평가 • 운영 시 소음 진동 발생량 평가
해양생물	동·식물 플랑크톤	• 동·식물 플랑크톤	• 동·식물 플랑크톤 종조성, 현존량 조사 • 일차 생산력 및 종다양성 분석
	저서생물	• 조간대 저서생물 • 조하대 저서생물	• 저서생물 종조성, 현존량 조사 • 종다양성 분석 • 공사 시 저서생물 영향 분석 • 운영 시 저서생물 영향 분석
	해양 포유류 및 파충류	• 이주경로와 번식지역	• 이주경로와 주 서식지 조사 • 자원 생태학적 특성 분석 • 공사 시 항타로 인한 영향 예측 • 운영 시 소음·진동 발생에 따른 영향 예측
	어류 및 수산자원	• 수산자원 조사 • 해산어류 분포 특성 • 회유성 어류 경로	• 이주경로와 주 서식지 조사 • 단지 조성으로 인한 수산생물에 미치는 영향 예측 • 단지 조성으로 인한 회유성 어류 영향 예측
해양환경	해양물리	• 조석관측, 층별 조류(해류) 관측, 파랑 특성 분석 • 층별 부유사 관측, 공간부유사 관측, 해저질 입도분석, 해안선 및 해빈 측량(필요시)	• 물리적 해양환경 특성 파악, • 수치 모델의 입력 및 보정·검증 자료 제공
		• 공사 시 부유사 확산 영향 예측 • 운영 시 해수유동변화 영향 예측 • 운영 시 지형변화 영향 예측	• 해수 유동 변화 예측 • 부유사 확산 범위 예측 • 지형의 침식·퇴적 변화 예측
	해양 수질	• 층별 해양 수질 관측	• 해수의 특성 파악
	해양 저질	• 퇴적물 오염도 조사	• 퇴적물의 특성 파악
	해양 경관	• 가시권 분석, 경관 시뮬레이션	• 조망권, 주변 경관 조화, 생태경관
대기환경	온실가스	• 해상풍력의 온실가스 감축효과	• 현재까지 정량적 판단 어려움 (향후 연구용역 등을 통해 방안 마련)

Ⅱ

항목별 조사·평가

Ⅱ 항목별 조사·평가

1 조류(새) 항목

○ 우리나라의 해상풍력단지 입지는 국제적인 철새들의 이동과 번식 등 중요한 서식지역임

- 동아시아-대양주 철새이동경로(EastAsian-Australasian Flyway, EAAF)에 위치
- 봄·가을철 이동시기 도요·물떼새류 등 다양한 철새의 주요 경로 및 중간기착지

○ 또한, 우리나라 해안 주변 무인도서는 다양한 해양성 조류의 집단번식지로서 번식지와 인근 취식지를 오가는 번식생태의 특성상 조류의 이동이 빈번함

○ 따라서, 해상풍력발전단지 입지선정 및 조성공사 이전에 조류 모니터링은 필수적이며, 조류에 미치는 영향 조사 및 대응방안은 매우 중요함

- 풍력발전은 일반적으로 조류에 대해 ① 충돌, ② 서식방해·교란, ③ 서식지 간 장벽효과, ④ 서식지 소실 등 영향

가. 현황조사

○ 해상에서는 조류(鳥類) 서식환경 및 조사경로가 육상에 비해 상대적으로 균질하며, 해상풍력의 영향평가를 위한 현황조사는 다양성 조사, 분포 조사 및 이동패턴 조사로 구분할 수 있음

※ 육상에서는 조사 지점에 따른 조류 서식환경이 다양하며, 일반적으로 선조사법(Line sensus) 또는 정점조사법(point count census)으로 실시

1) 조류 다양성 조사

○ 해상에서의 조류 다양성 및 서식 개체수 등 파악을 위한 조류 모니터링 방법은 크게 ① 비행 조사, ② 선상 조사, ③ 육상 조사가 있음

가) 비행 조사(aerial survey)

○ 경비행기 등 비행정을 이용하여 짧은 시간에 넓은 영역을 효율적으로 조사할 수 있는 방법임

- 비행고도·속도로 인해 작은 공간의 정밀조사에는 적합하지 않으나, 조사자 접근으로 인한 조류 분포의 인위적 영향이 적어 조류 밀도 및 분포패턴 파악에는 유리함

○ 기본적으로 내륙에서부터 시작하는 선조사법을 아래의 방법 중 적합한 것을 선택·실시하며, 비행 방향 좌·우측 시야에서 관찰되는 조류를 기록함

- 시작점에서부터 지그재그 패턴으로 조사지역을 아우르는 방법

- 일정 간격의 여러 시작점에서 동시 평행 출발하여 조사지역을 아우르는 방법

○ 비행 조사는 관찰 대상보다 높은 고도에서 진행되며, 관찰 고도 및 시선 각도에 따라 관찰 거리가 결정되므로 이에 대해 사전에 파악하여 관찰 거리 기준을 미리 숙지해 두는 것이 중요함

나) 선상 조사(ship-based survey)

○ 선박을 이용하여 해상의 조류 분포 및 개체수를 조사하는 방법이며, 비행 조사보다 시간은 많이 소모되나 행동패턴까지 포함하여 더욱 자세한 관찰이 가능함

○ 주로 선조사법으로 분포 및 개체수를 확인하며, 카메라를 이용하여 조류의 비행과 이동방향 및 특정 행동을 촬영·분석하는 방법을 병행함

- 일반적으로 비행 조사와 동일한 지그재그 패턴의 경로로 조사함

- 추가 장비를 사용하여 해수 온도·염분·수심 등을 타 항목의 연속적인 자료를 수집하고 조류와 환경의 관계도 확인할 수 있는 장점이 있음

○ 조사구역은 풍력발전단지를 포함하여, 조류의 주요 서식지나 중간기착지로 이용될 수 있는 주변 도서·갯벌 등을 포함한 권역별 조사가 타당함

- 조류의 비행이동성을 고려하여 풍력발전단지에 의해 영향을 받는 서식, 취식 및 번식 지역을 포함한 조사지역 설정을 추천(조류 전문가 자문 필수)

○ 비행 조사와 동일하게 항행 방향 좌·우측에서 관찰되는 개체들을 기록하며, 경로간 적정 완충 간격을 두어 인접 경로와 조사결과 중복을 방지함

- 파도 너울 등 영향으로 거리가 멀어질수록 개체식별이 어려워지며 조사 결과에 정보 치우침이 발생 가능함

- 이의 방지를 위해 관찰 범위를 조사자로부터 일정 간격으로 나누어 조사 결과를 기록하고, 각 완충 구간별 자료값의 기울기를 이용하여 자료의 치우침을 보완할 수 있음

○ 환경 요소를 측정할 경우, 조사 경로를 일정 간격·시간으로 나눈 뒤 각 격자별로 측정된 자료를 분석하도록 함

○ 조사결과는 조사궤적을 일정 간격으로 나누어 기록하도록 권장함

- 거리에 따른 자료 치우침의 발생 가능성을 고려하여, 조사시간 간격을 최소 1분~최대 10분으로, 조사범위는 200~300m로 권장함

※ 해수면 위의 쉬고 있는 개체들은 거리가 멀수록 파도에 의해 관찰이 어려워짐을 반영

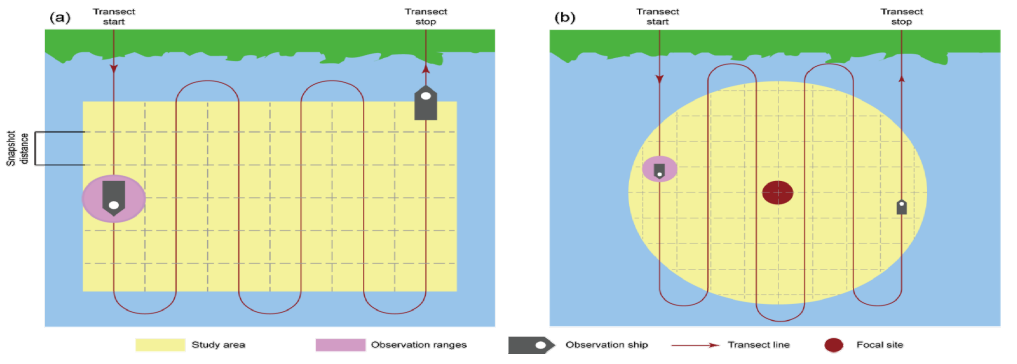
○ 선박 속도는 약 10노트(18.5km/h)가 적정하며, 좌우 시야가 넓게 트인 상태로 조사가 가능한 선박 구조를 권장함

- 해수면에서부터 조사자의 높이는 약 10m(5~25m)가 관찰에 용이함

- 흔들림·소음이 적고 평갑판 및 20~100m 전장의 선박을 권장함

○ 조사지역 내 조류 종의 현황, 개체수 및 분포·밀도까지 확인할 수 있으나, 선박 접근에 따른 인위적 영향 가능성을 조사 결과에 고려하도록 함

그림 1 선상 조사 경로 선정 방법



주: (a) 조사 영역이 일정한 지역으로 정해졌을 경우, 해당 지역을 반영할 수 있는 조사 경로 선정 (b) 중요지점이 정해져 있는 경우, 일정한 거리 범위를 기준으로 조사구역을 선정 후 조사 경로 선정

다) 육상 조사(land-based surveys)

○ 하구, 염습지, 해안석호 및 개방된 해안·섬 등 항공·선박 조사가 곤란한 지역에서 조류 분포 및 개체수를 조사하는 방법임

- 해상조사의 한계성을 보완하고, 해상-육상을 두루 이용하는 조류상을 육상에서 조사하는 목적으로 실시함

※ (예) 호주-한반도-시베리아를 이동하는 도요물떼새의 경우, 중간기착지이자 취식지인 갯벌에서 조사를 통해 해상풍력단지로 통과·영향 여부를 간접 판단가능

○ 번식지 모니터링은 번식지 면적 및 번식 개체수 규모를 고려하여, 전수조사 혹은 방형구를 이용한 번식 규모 추정 방법으로 실시함

- 조사지역의 둥지·알·유조의 수 등을 기록하고, 번식지 면적과 번식 개체수를 통해 번식밀도를 추정함

- 해상풍력단지 주변 도서에 번식하는 조류를 해안·갯벌에서 관찰할 경우 이동경로를 간접적으로 파악할 수 있음

- 번식 조류종의 생태적 지위 변화를 기록하여 종 다양성 변동을 확인하며, 번식 성공률 및 번식시기 중의 종 생존율을 추정할 수 있음

○ 조류 분포·개체밀도 조사에는 특정 조류종이 대거 출몰하는 핫스팟(hotspot) 중심의 정점조사법 또는 조사 경로 내의 모든 조류를 조사하는 선조사법을 실시함

○ 관찰종의 개체수·위치좌표를 기록하여 육상에서의 분포밀도를 추정할 수 있으며, 연간 일정한 시간 간격으로 정기적인 자료를 수집할 경우 종다양성, 밀도의 변화 등을 계산 가능함

2) 공간 분포 조사

○ 어류·해조류 등 해양자원을 먹이원으로 하는 해양성 조류(鳥類)들에게 해상공간 이용가능성(spatial availability)은 생존과 밀접한 중요 요인임

- 전적으로 해상에서만 먹이원을 얻는 종의 경우, 해상에서의 이용 공간 감소는 다른 종에 비해 더욱 생존에 위협 요인으로 작용될 수 있음

○ 공간 이용 분포 패턴 조사를 위해 우선적으로 공간을 이용하고 있는 개체의 기준을 정의함

- 일반적으로 관찰되는 모든 개체의 좌표를 조사하여 분포 패턴을 얻음

- 다만, 일부 바닷새들이 선박에 접근하는 특성인 인위적 개입 요인을 고려하여, 선상에 정착하고 있거나 주위에 머무는 개체는 제외하는 것을 권장함

- 또한, 조사 목적에 따라 비행 중 관찰되는 개체, 해상에서 먹이활동을 하거나 휴식하는 개체를 구분하여 기록함
- 획득한 좌표 정보를 지리정보시스템(GIS) 등 공간 분석 프로그램을 이용하여 대상종의 공간 이용 패턴을 분석함
- 종 분포와 개체수 정보를 통해 지리적 개체 분포 밀도를 확인하고, 해상풍력 조성 시 발생할 수 있는 서식지 훼손 수준을 예측 가능함

○ 해상에서 조류의 공간 분포 조사는 ① 관찰을 통한 해상조사, ② 대상종 위치추적기 부착 조사, ③ 대상지역 내 레이더 설치 조사 등이 있음

가) 관찰을 통한 해상 조사

○ 조류 다양성 조사에서의 비행 조사 또는 선상 조사에서 관찰된 좌표정보를 활용하여 조류의 공간 분포 정보를 분석할 수 있는 방법임

○ 선상 조사에서는 추가적으로 행동 패턴까지 관찰·기록 가능하나, 해상 공간을 이용하는 조류에게 소음·접근으로 인한 방해 요인을 고려함

- 조사경로를 따라 일정한 간격으로 분할하여 조사결과를 기록하며, 일정 시간동안 개체의 이동방향을 함께 기록함
- 필요에 따라 영상 촬영을 통한 행동 분석자료 수집을 병행함

○ 항공 조사는 높은 고도에서 이동하며 관찰하는 방법이기 때문에 해상 공간 이용에 대한 방해가 선상 조사에 비해 적으므로 보다 객관적인 공간 이용 패턴을 조사 가능함

나) 위치추적기 부착 조사

○ 원격으로 대상종의 실시간 위치정보를 획득할 수 있기 때문에 개체 단위 수준에서의 조사에 가장 적합한 방법임

- 다만, 위치추적기 비용이 많이 들며, 그 무게로 인해 부착 가능종이 한정되는 제한 요인이 있음

○ 조류를 포획한 후 몸에 위치추적기를 부착하여 생활사적 단계에 따라 위치추적 단위시간 변경에 따른 위치 데이터를 얻을 수 있으며, 부착하는 추적기의 무게는 대상종 체중량의 3~5% 이하가 되도록 함

○ 부착 이후 조사자들이 직접적으로 조사지역에 접근할 필요가 없어 조류서식에 인위적인 방해를 주지 않고 자료를 쉽게 수집할 수 있으며 실시간으로 대상의 위치와 이동경로에 대한 자료를 수집할 수 있음

○ 반면 포획 과정에서 스트레스와 상처를 입힐 가능성이 있고 추적기로 인해 행동 및 생존에 영향을 줄 수 있으므로 주의 필요함

○ 지리좌표·이동속도와 같은 공간적 정보를 분석가능하나, 생태적인 행동 패턴 및 분포 패턴의 구분은 어려움

다) 대상지역 내 레이더 설치 조사(필요시)

○ 설치한 레이더의 감지 범위 내에서 분포하는 조류를 전부 파악할 수 있으므로 지역 수준의 공간 이용 패턴 정보를 확보 가능함

- 세계적으로 대규모 해상풍력단지 내에 설치하여 조류 모니터링에 이용함

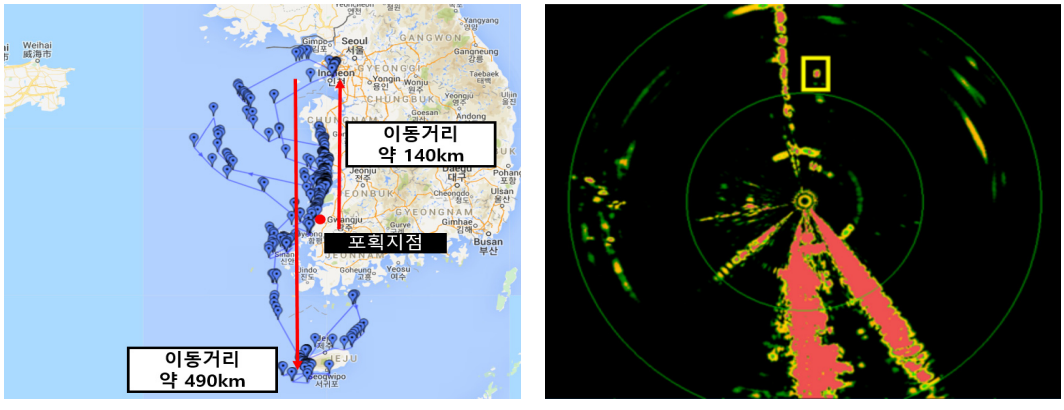
○ 목표물과의 거리·방향·고도·이동속도를 측정할 수 있으며, 야간이나 안개 등의 가시성이 확보되지 않는 환경에서도 실시간 관측이 가능함

○ 조류의 분포 패턴은 쉽게 알 수 있지만, 구입·설치비용이 많이 들고 종 식별 및 생태적 행동 패턴을 확인하는 데에 어려움 있음

○ 따라서 조류 전문가가 현장에서 종을 식별하고 행동 패턴을 확인해 주는 보조적인 관찰 조사가 필요함

○ 최근에는 선박용 레이더 등과 같은 중저가의 레이더를 이용하여 비용 대비 정밀한 조류 조사 방법도 제시되고 있음

그림 2 조류부착 위치추적기 조사(a) 및 선박용레이더 이용 조사(b) 사례



(a) (b)

3) 이동 패턴 조사

○ 조류의 이동패턴 및 방향성 등의 조사는 공간 분포 조사와 동일하게, ① 선상 육안 조사, ② 위치추적기를 이용한 조사, ③ 레이더 모니터링 방법이 있으며, 그 조사 방법과 특성은 동일하게 적용함

나. 영향예측

○ 조류는 비행 이동성이 강한 활동 특성의 동물로서 풍력발전기 등 인공 구조물과 충돌 영향 등을 고려할 때, 영향 예측은 공사 시와 운영 시를 구분하지 않고 동일 방법론으로 접근함

○ 해상풍력이 조류에 미치는 영향 분석 시에 입지지역의 환경적 특성을 조류의 생활사 및 생태적 활동 특성에 맞추어 앞서 제시된 조사 결과를 적정하게 선택·조합하여 이용할 수 있음

- 기초적인 현황은 조류다양성 조사 정보를 우선 분석하고, ① 해상풍력발전 입지 주변에 집단서식지가 존재하는지(위치추적기 등), ② 이동하는 조류가 존재하는지(레이더 등), ③ 취식지로써 이용하는지(위치추적기 및 레이더)를 공간분포 및 이동패턴 정보를 통해 판단함

○ 해상조사를 통해 일차적으로 얻은 조류의 공간 이용 및 행동 패턴 정보들을 GIS 등 시각적 분석하여 조류에 미치는 발전단지의 영향을 검토함

○ 조사·분석된 정보들을 주변 환경정보들과 함께 종합적으로 조류의 취약성을 분석할 수 있음

참 고 환경조건 및 대상 종에 따른 지표모델 유럽 사례(Camphuysen 등, 2004)

- 해상에서 조류 현황조사 정보를 활용하여 아래의 9가지 요인을 기반으로 종민감도 지수(Sensitivity Index, SSI)를 분석
  - ① 비행 중 회피 능력, ② 비행 고도, ③ 일주행동 중 비행의 비율, ④ 야간 비행의 활성도, ⑤ 선박 및 헬기의 교란에 대한 민감도, ⑥ 서식지 이용의 유연성, ⑦ 생물지리학적 개체군 크기, ⑧ 성조의 생존율, ⑨ 보전 현황
- SSI를 이용한 풍력발전 민감도 지수(Wind Farm Sensitivity Index, WSI)를 개발하여 종별로 풍력발전 민감도를 평가

다. 저감방안

○ 저감방안은 해상풍력발전단지 개발 가능을 고려하여, 개발에 따라 발생할 수 있는 여러 영향들을 저감하기 위한 추가적인 조치를 검토함

○ 풍력발전 설치·운영에 따른 조류 영향 저감방안의 사례는 다음과 같음

① 중요한 보존지역과 민감도가 높은 지역은 피해서 풍력단지를 조성
② 민감한 서식지를 보호하기 위한 선행작업을 검토, 시행함
③ 가급적 번식 시기와 같은 민감한 기간을 피하도록 공사 계획을 수립함
④ 조성지역에 서식하는 종에 대한 서식지 향상 방안을 고려함
⑤ 현장 지역에 대한 정보를 충분히 제공할 수 있는 현장 직원을 고용하고 특별히 민감한 지역에서는 관련 분야의 생태학자를 고용함
⑥ 풍력발전기 간의 배치 공간 최적화를 통해 개발공간을 최소화함
⑦ 조류의 주요 비행경로와 풍력발전기가 서로 수직이 되게 배치하지 않고 평행을 이루게 하고 풍력발전기 사이로 조류가 이동하기 수월하도록 통로를 배치함
⑧ 풍력발전기 날개의 가시성을 높이도록 대조적인 색상 또는 UV페인트 등을 날개에 도색하여 충돌 위험성이 감소시킴
※ 「항공장애 표시등과 항공장애 주간표지의 설치 및 관리기준」에 따라 현재 저감방안으로서의 적용은 어려우나 국토교통부와 협의 후 지침 개정 검토
⑨ 조류의 청각적 경고(팀지/충돌 컨트롤 모듈, 충돌 회피 모듈, 정지 컨트롤 모듈)를 실시하여 충돌 위험성을 감소시킴
⑩ 통신 또는 송전케이블은 해저 및 지하에 설치함
⑪ 높은 위치에 설치하는 변류기(deflector) 등은 조류 이동이 많은 구역을 피하도록 함
⑫ 헬리콥터·선박 및 사람에 의한 방해를 최소화하도록 유지보수 계획을 신중히 정하도록 함
⑬ 협의, 인허가 조건 또는 입안을 통해 개발 후 모니터링 계획을 시행하도록 함

○ 서식지 등 특정장소에 대한 손실을 막거나 영향 최소화를 위한 사전준비를 통해 계획적인 부지 관리계획, 적절한 서식지 향상 방안 등을 검토함

○ 철새의 이동 등 특정상황의 기간 동안에는 풍력터빈의 작동을 중단하거나 회전자 속도를 제어하는 등 조치를 검토함

○ 풍속이 낮거나, 조류 충돌 충격을 감지하여 터빈을 일시적으로 정지시킴으로써 그곳을 지나는 다른 새들의 위험을 줄이는 방법도 가능함

○ 저감방안의 효과를 검증·개선하기 위해 개발 후 지속적인 모니터링이 필수적으로 이행되어야 함

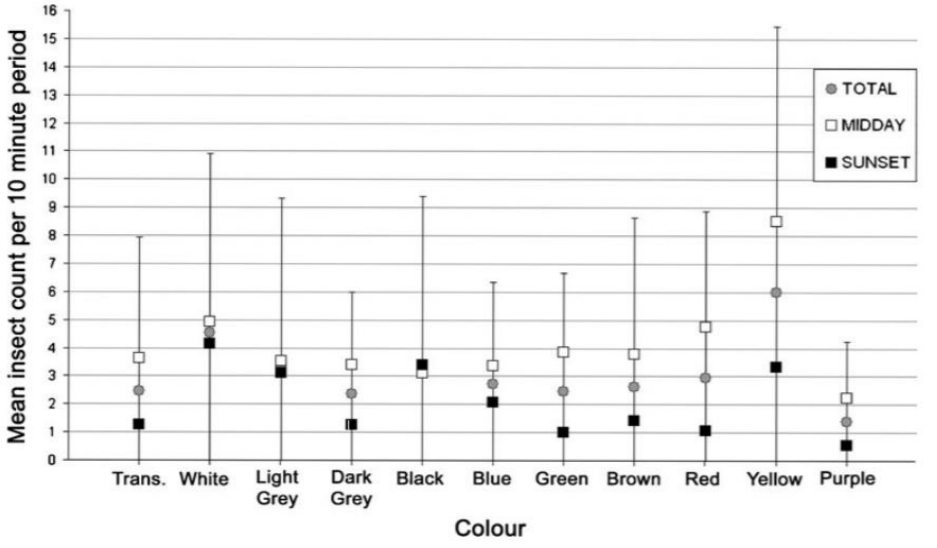
1) 터빈의 색상

○ 조류 시각에서 발전기 터빈 날개 인식율을 높이거나, 조류를 터빈 날개로 유인하는 요인 등의 피해 경감을 위해 터빈의 색상을 고려하도록 함

참 고 터빈색상 영향 연구사례(Long, C. V. et al., 2011)

- 일반적 터빈 색상인 '순백색'과 '연회색'이 다른 색상에 비해 많은 곤충이 머무는 것이 조사되어 조류에게 간접적인 영향 가능
  - 영국의 러프버러 대학의 연구원들이 터빈을 전통적인 흰색/회색이 아닌 다른 색깔(보라색)을 도색하도록 제안(출처: https://inhabitat.com)

그림 3 색상 테스트 (Long, C. V. et al., 2011)



참 고 노르웨이 스멜라 풍력 사례

- 고속 회전하는 터빈 날개 윤곽선 인식이 저하되는 모션스미어(motion smear) 현상 저감을 위해 날개 중 한 곳을 검은색 도색

그림 4 모션스미어 방지를 위한 도색 사례

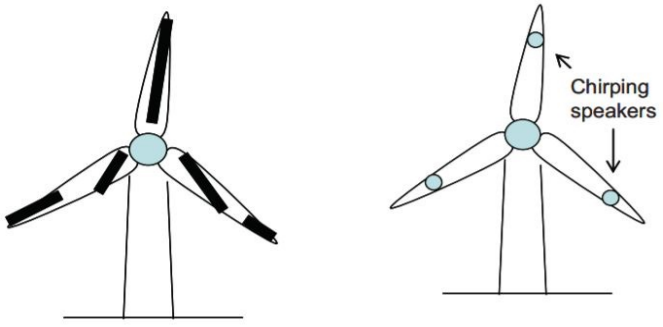
2) 청각·시각을 이용한 터빈 접근 방지

○ **(청각적 경고)** 새들은 사람과 비슷한 청각적 민감도를 가지며, 종에 따라 차이가 있지만 진동수와 리듬의 변화에 매우 민감함

- 조류가 인지 가능한 강한 저주파 소리를 풍력 전방 주변 수백미터 송출 가능

○ **(시각적 경고)** 악천후·야간에 조류 피해가 증가하므로 시야 확보가 어려운 상황에서도 쉽게 발견되도록 터빈 날개에 적절한 색상과 패턴의 자외선 페인트 도색을 함

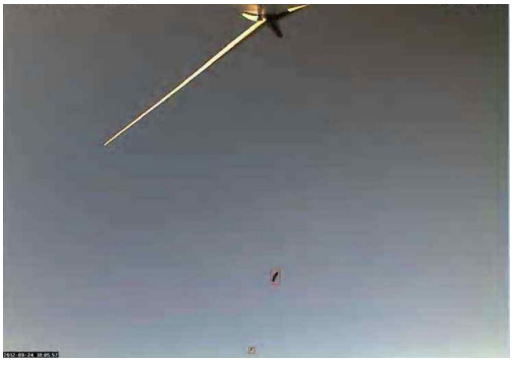
그림 5 터빈 날개에 ultra-violet의 패턴과 스피커 장착 예시Khan, S.(2014)



참 고 **조류 접근 감시, 충돌 차단 시스템 사례**

• 일부 자동화된 시스템들은 육상/해상 풍력에서 조류 피해 경감과 모니터링을 위한 자체 작동(Self-working) 시스템으로 운영되며, 자동으로 조류를 탐지하고 경고음과 회전을 정지시켜 충돌 위험을 줄일 수 있음

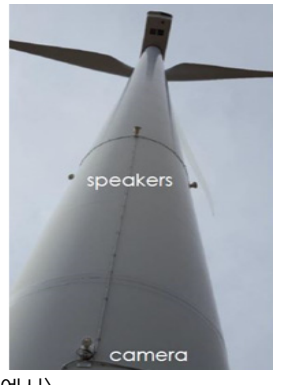
① 탐지 / 충돌 컨트롤 모듈
- HD 카메라(야간 열화상카메라)가 터빈의 360°를 감시하고 조류를 실시간으로 탐지함
- 대상 종과 터빈의 규모에 따라 설치 디자인과 설정을 주문 제작 가능
- 돌발적인 조류 충돌은 온라인을 통해 동영상 확인 가능함



〈실시간 조류 탐지〉

② 충돌 회피 모듈
- 충돌 위험 지역을 비행하는 새에 대해 자동으로 경고음을 송출
- 소리의 유형과 방출 수준, 운영 설정은 대상 종, 지역의 소음 규정 그리고 풍력발전의 면적 등에 따라 조정함
- 대상 종별 특정 소리를 적용할 수 있어 모든 종에 사용 가능함

③ 정지 컨트롤 모듈
- 실시간으로 조류 충돌 위험을 평가·감지하여, 자동으로 작동을 멈추고 재시작할 수 있음
- 대상 종에 따라 작동 조정이 가능함



〈스피커와 카메라 장착 예시〉

※ 각 사진은 DTbird system 사례(출처: http://dtbird.com)

라. 사후환경영향조사

○ 해상풍력발전단지가 조성되어 조류의 서식환경에 변화가 생겼을 때 조류가 이 변화에 적응하기까지 얼마만큼의 시간이 필요한지 알기 위해 지속적인 조류 모니터링이 필요함

○ 운영 중에도 가급적 사계절을 포함한 매년의 조류 모니터링을 권장함

- 운영 중에 관찰된 종별 분포 및 서식지 이용 정보를 통해 해상풍력발전단지에 대한 종별 민감도 지수 산출 및 민감정도를 파악

○ 운영 중 조류 충돌사고 발생은 인근 일대에서 어업활동을 하는 어민들의 민원을 야기할 수 있기 때문에 사후 조류 분포 모니터링뿐만 아니라, 단지 내에서 충돌 등에 의한 사체 수거 및 정보 수집도 포함이 필요함

- 이를 위해 운영 시 조류 충돌사고에 대한 정보를 수집하는데 필요한 조류 충돌 보고체계가 마련되도록 함

2 소음·진동 항목

가. 현황조사

○ 공간적 범위

- 공사 시 및 운영 시 발생하는 수중소음이 환경적 피해를 유발할 수 있는 범위까지 설정하며 사업지구 경계로부터 2km 이상으로 함

○ 조사 항목

- 수중소음 발생원(선박 종류 및 횟수 등)
- 정온시설 현황(양식장, 해양생태서식처 등)
- 수중소음 환경목표기준 설정
- 수중소음 현황 측정
  - 방향별(주풍향 및 직각 방향) 및 이격거리별 수중 배경소음 측정 및 주파수 분석 실시

○ 조사 방법

- 기존 문헌자료 및 현지 조사 병행
  - 현지 조사 시 수중청음기, 증폭기, 신호 조절 장비, 디지털 신호 변환 및 저장 장비 등으로 수중소음 측정시스템을 구성하고, 해저 지면으로부터 수심의 절반 깊이 아래 위치에서 2개 이상의 지점에 대한 동시 측정 수행

나. 영향예측

1) 공사 시 영향 예측

○ 공사 시 수중소음 발생원 종류(항타 등) 및 특성(충격소음 등) 등을 고려하여 최고음압레벨(Peak SPL)을 평가단위로 선정

○ 수중소음 예측지점에 대한 평가는 $SPL = SL - F \circ \log(D_1/D_2)$을 적용

- SPL은 수중소음 예측지점의 평가레벨(dB)
- SL은 수중소음 발생원에 의한 소음정보가 명시되어 있는 지점의 레벨(dB)
  - 해당 사업과 동일하거나 유사한 수중소음 발생원에 의한 소음정보 활용(근거 명기)
- F는 수중소음 발생원·수심 등에 따른 전파보정계수
  - 해당 사업지구와 유사한 해양환경에서의 적용 사례 참조(근거 명기)
- D_1은 수중소음 예측지점의 이격거리(m)
- D_2는 수중소음 발생원에 의한 소음정보가 명시되어 있는 지점(예. 항타 장비로부터 10m 지점 등)의 이격거리(m)

2) 운영 시 영향 예측

○ 운영 시 수중소음 발생원 종류(풍력발전기 등) 및 특성(연속소음 등) 등을 고려하여 음압레벨(SPL)을 평가단위로 선정

○ 수중소음 예측지점에 대한 평가는 $SPL = SL - F \circ \log(D_1/D_2)$을 적용

- SPL은 수중소음 예측지점 평가레벨(dB)
- SL은 수중소음 발생원에 의한 소음정보가 명시되어 있는 지점의 레벨(dB)
  - 해당 사업과 동일하거나 유사한 수중소음 발생원(풍속이 최대가 되는 시점)에 의한 소음정보 활용(근거 명기)

- F는 수중소음 발생원·수심 등에 따른 전파보정계수
  - 해당 사업지구와 유사한 해양환경에서의 적용 사례 참조(근거 명기)
- D_1은 수중소음 예측지점의 이격거리(m)
- D_2는 수중소음 발생원에 의한 소음정보가 명시되어 있는 지점(예. 풍력발전기로부터 10m 지점 등)의 이격거리(m)

다. 저감방안

1) 공사 시 저감방안

○ 공사 시 파일 항타 등에 의해 수중소음 영향이 예상될 경우 아래와 같은 저감방안 고려

- 공사 공정(항타 등)에 대한 저소음 계획(공사시기 조정, 저소음 항타기 적용 등) 수립
- 수중소음 저감시설(공기방울막, 임시물막이, 격리막, 쿠션블럭 등) 설치
- 해양포유류, 어류 등의 공사구역 진입 차단을 위해 사전경고음 발생 등

2) 운영 시 저감방안

○ 운영 시 풍력발전기 등에 의해 수중소음 영향이 예상될 경우 아래와 같은 저감방안 고려

- 풍력발전기 운영으로 인한 타워진동 감소를 위해 진동에 강건한 구조물을 사용하거나 진동을 흡수할 수 있는 완충재 장착
- 풍력발전기 운영으로 인한 타워진동 전파 차단을 위해 타워 주변에 외피나 막 설치 등

라. 사후환경영향조사

○ 공사 시 및 운영 시 수중소음 조사지점은 현황 측정 지점을 참조하고, 사업지구의 공간적 범위 내 양식장 및 해양생태서식처 등이 있을 경우 이를 대표할 수 있는 지역을 조사지점으로 선정

3 해양 동·식물 항목

가. 현황 조사

1) 조사항목

○ 해양 동·식물 조사항목은 사업의 규모와 지역의 환경적 특성과 해역현황을 충분히 고려할 수 있도록 조사항목을 선정함

○ 조사항목은 해역 특성에 따라 필수 조사항목과 부가 조사항목으로 구분하여 제시 가능

- (필수 조사항목) 동·식물플랑크톤, 어란 및 자치어 등 부유생태계와 조간대 및 조하대 대형저서동물, 해조류 및 해초류 등의 저서생태계, 그리고 어류 및 수산자원, 해양포유류, 해양보호생물(해양파충류, 바닷새 등)로 구분
- (부가 조사항목) 해역 상황에 따라 염생식물, 바다숲(해중림) 조성현황, 인공어초 투입구역, 적조발생 현황 등을 추가 조사항목으로 선정

표 3 해양 동·식물 현황 조사 항목

구 분		조 사 항 목
해양 동·식물	필수 조사항목	• 부유생태계(동·식물플랑크톤, 어란 및 자치어) • 저서생태계(조간대/조하대 대형저서동물, 해조류 및 해초류) • 어류 / 수산자원 • 해양포유류 • 해양보호생물
	부가 조사항목	• 염생식물 • 바다숲(해중림) 조성현황 • 인공어초 투입구역 • 적조발생 현황 등

2) 조사범위

○ 해상풍력 발전사업의 시행으로 해양환경에 영향을 미칠 것으로 예상되는 해역을 포함하고, 해양생물의 이동경로·범위를 고려하여 폭넓게 선정

○ 사업지역 해양보호생물과 해조류·해초류 등이 존재하는 경우, 사업의 영향범위 등을 충분히 고려하여 조사범위를 선정하여야 함.

○ 조사시기는 해양환경의 계절적 변화를 충분히 파악할 수 있도록 실시하되, 문헌조사로 확인된 법정보호종은 관찰이 가능한 시기에 실시함

3) 조사지점

○ 조사지점은 해양 동·식물 조사항목에 따라 지점의 수와 위치를 다르게 선정 가능

○ 해역의 특성 및 사업의 규모와 영향을 고려하여 조사지점을 선정하여야 함

○ 해저케이블 매설구역에 대한 조사지점 선정을 고려하여야 함

○ 공통적으로는 사업의 규모, 해역 특성, 항목별 특성을 고려하여 조사범위와 지점 수를 결정하여야 함

○ 사업구역 내의 경우 파일이 설치되는 내측에 조사지점을 조밀 배치하되, 천편 일률적인 등간격 배치는 지양

가) 부유생태계

○ 동·식물플랑크톤, 어란 및 자치어 등의 부유생태계 항목은 주변 조류 및 해류의 흐름에 따라 이들의 분포 경향이 영향을 받으므로 조류 및 해류의 흐름을 반영하여 조사지점을 선정함

○ 따라서, 서·남해 해역에서는 조석류를 고려하여 조사지점을 선정하고, 동해 해역에서는 우세한 남북 방향의 해류를 고려함

나) 조간대 생태계

○ 조간대 생태계 조사 시, 조차를 고려하여 정선조사법 및 지점조사법에 의한 조사를 실시함

○ 예를 들어, 조차가 큰 서해안 연성 조간대의 경우는 1정선당 3~5개 지점을 선정하고, 상대적으로 조차가 작은 남해안 동부 경성 조간대의 경우는 1정선당 3개 지점을 선정하는 것을 원칙으로 하되 불가피할 경우 그 이하로 선정 가능

○ 조간대 저서동물의 현황조사는 조간대의 특성을 고려하여 상부, 중부, 하부로 구분하여 상세히 조사하여야 함

○ 해조류 및 해초류는 문헌조사, 탐문조사 등을 바탕으로 과학적 근거에 의한 서식 가능한 수심 등을 고려하여 조사지점을 선정하여야 함

○ 염생식물은 영향 범위와 무관하게 별도의 조사지점 선정이 필요하며, 경계면 좌표값 습득을 통해 군락의 규모, 위치를 파악하여야 함

○ 사업지역이 하천 하구 갯벌지역에 위치한 경우, 하구 갯벌생태계에 대한 조사가 매우 중요하므로 사업지역 내측 및 하구역과 주변 갯벌을 대상으로 정선조사법에 의한 정밀 조사를 실시하여야 함

다) 조하대 저서생태계

○ 연성기질 조하대 조사정점 선정 시 대상해역의 흐름특성을 고려하여 지점을 선정하여야 함

○ 경성기질 조하대는 수심별로 생물상에 차이를 보이므로 정선조사를 실시하여야 함

○ 해초류 조사지점 선정 시에는 이들 군락의 규모와 위치를 파악하여 조사지점을 선정하여야 함

라) 어류 및 수산자원

○ 어류 및 수산자원 조사지점 선정 시에는 먼저 문헌 및 탐문조사를 통해 대상해역의 주요 어종 및 어업형태를 파악하고, 어종 특성을 고려하여 조사범위 및 조사지점을 선정함

○ 회유성 어종을 파악하기 위해 회유경로를 파악하여 조사범위를 폭넓게 선정함

○ 또한 수심에 따라 출현 어종에 차이를 보이므로 수심을 고려하여 지점을 설정하여야 함

마) 해양포유류

○ 해양포유류는 대상 해역에 대한 문헌 및 인근 어민 대상 탐문조사를 통해 조사범위 및 지점을 선정함

○ 목시조사(sighting survey)를 통해 조사하고 필요시 무인항공(드론), 음향모니터링 등을 병행함

바) 해양보호생물

○ 문헌 및 탐문조사를 바탕으로 영향범위를 고려하여 별도의 조사지점을 선정함

- 군락 및 군집의 위치를 파악함으로써 사업시행으로 인한 영향과 피해가 발생하지 않도록 조사하여야 함

표 4 해양 동·식물 현황 조사지점 선정 시 고려사항(요약)

구분			조사지점 선정 시 고려사항
공통사항			• 사업의 규모와 해역 특성, 항목별 특성 고려하여 조사범위와 지점 수 결정 • 파일이 설치되는 내측에 조사지점을 조밀 배치하되, 천편일률적인 등간격 배치 지양함
부유생태계			• 서·남해는 조석류를 고려하고, 동해는 우세한 남북 방향의 해류를 고려하여 지점 선정
저서 생태계	공통		• 해초류 조사지점 선정 시 군락의 규모와 위치를 파악하여 영향 범위와 무관하게 서식여부를 확인
	조간대	연성/경성	• 조차를 고려하여 정선조사 실시(조차가 큰 서해 연성 조간대는 1정선당 3~5지점, 상대적 조차가 작은 남해안 동부 경성 조간대의 경우 1정선당 3지점 등) • 해조류는 정량 및 정성조사 실시 • 염생식물은 영향범위와 무관하게 별도의 조사지점 선정이 필요하며, 군락의 규모, 위치를 파악함(경계면 좌표값 습득)
	조하대	연성	• 서·남해는 조석류를 고려하고, 동해는 우세한 남북 방향의 해류를 고려하여 지점 선정
		경성	• 수심별로 생물상에 차이를 보이므로, 수심 및 암반 발달 정도에 따라 정선조사 실시
어류 및 수산자원			• 문헌 및 탐문조사를 통해 사전에 주요 어종을 파악하고, 이를 토대로 조사범위 및 지점을 선정 • 수심에 따라 출현어종에 차이를 보이므로 수심을 고려하여 지점 선정
해양포유류			• 문헌 및 인근 어민 대상 탐문조사를 통해 조사범위 및 지점을 선정 • 목시조사(sighting survey)를 통해 조사하고 필요시 음향모니터링을 병행
해양보호생물			• 문헌조사, 탐문조사 등을 바탕으로 과학적 근거에 의한 서식 가능한 수심 등을 고려하여 조사지점을 선정하여야 함

4) 조사방법

가) 부유 생태계

○ 부유 생태계 조사항목은 동·식물플랑크톤과 어란 및 자치어 등으로 계절별 변동을 충분히 파악할 수 있는 조사를 체계적으로 실시하여야 함

○ 식물플랑크톤

- 식물플랑크톤 조사는 채수기(반돈, 난센 채수기 등)를 이용하여 수심 25m 이내에서는 표층과 저층에서 시료채집을 실시하고, 수심 25m 이상에서는 표층, 중층, 저층의 수층별 시료를 채집

- 엽록소 a의 경우는 해양수질 조사 시 수질평가지수(Water Quality Index) 산출을 위하여 반드시 측정하여야 하므로 수질평가지수 조사결과를 인용하는 것이 가능

○ 동물플랑크톤

- 동물플랑크톤 조사는 NORPAC 네트를 이용하여 수심 25m 이내에서는 경사채집을 실시
- 수심 25m 이상에서는 개폐식 네트를 이용하여 표층 및 중/저층 두개층에서 예망채집을 실시

○ 어란 및 자치어

- 어란 및 자치어는 난·자치어 네트를 이용하여 5~10분간 선박을 1knot로 이동시켜 예망채집 함

나) 조간대 생태계

○ 조간대 생태계 조사항목은 대형저서동물과 해조류 및 해초류, 염생식물 등이며, 조간대 저서생태계 또한 계절별 변동을 충분히 파악할 수 있는 조사를 체계적으로 실시하여야 함

○ 대형저서동물

- 대형저서동물 조사는 정량 및 정성조사를 실시함
- 경성기질 조간대에서는 방형구(50㎝×50㎝)를 이용하여 3회 반복 채집
- 연성기질 조간대에서는 캔(Can) 코어 또는 박스(Box) 코어를 이용하여 반복 채집(접지 표면적 0.1㎡일 경우 3회 반복, 0.2㎡일 경우 2회 반복)
- 또한 서·남해 해역에서와 같이 사업예정지역이나 주변지역에 갯벌이 분포하는 경우, 지선별 조사(Line transect)에 의해 갯벌생물을 정밀 조사함

○ 해조류 및 해초류

- 해조류 조사는 정량 및 정성조사를 실시하며 방형구(50㎝×50㎝)를 이용하여 3회 반복 채집을 실시함
- 경성·연성기질 조간대에서의 해초류 조사는 방형구를 이용하여 3회 반복채집을 실시
- 군락의 규모, 위치 등의 경계면 좌표값 측정·기록함

다) 조하대 저서생태계

○ 조하대 저서생태계 조사항목은 대형저서동물, 해조류 및 해초류 등으로 계절별 변동을 충분히 파악할 수 있는 조사를 체계적으로 실시하여야 함

○ 대형저서동물

- 대형저서동물 조사는 정량 및 정성조사를 실시함
- 경성기질 조하대의 경우 방형구(50㎝×50㎝)를 이용하여 3회 반복 채집
- 연성기질 조하대의 경우 반 빈(van Veen) 그랩 또는 스미스-매킨타이어(Smith-McIntyre) 그랩을 이용하여 최종 면적이 0.2㎡가 되도록 반복 채집(접지표면적 0.05㎡일 경우 4회 반복, 0.1㎡일 경우 2회 반복)

○ 해조류

- 해조류 조사는 정량 및 정성조사를 실시하며, 경성기질 조하대의 경우 방형구(50㎝×50㎝)를 이용하여 3회 반복 채집

○ 해초류

- 해초류는 경성기질 조하대에서는 방형구를 이용하여 3회 반복 채집 혹은 정성조사(잠수조사)를 실시
- 연성기질 조하대에서는 방형구 이용하여 3회 반복 채집 혹은 정성조사(잠수조사)를 실시
- 군락의 규모와 위치 파악을 위하여 경계면 좌표값을 습득함

라) 어류 및 수산자원

○ 어류 및 수사자원 항목은 어류 및 어업실태 등을 직접조사 및 간접조사 방식으로 조사함

○ 현지조사는 사업지구 인근 어업인이 사용하는 적정어구를 이용하여 수산자원을 정량적인 방법으로 조사함

○ 문헌조사는 통계조사, 수협위판자료, 연근해조업정보자료 등을 조사함

○ 탐문조사는 해당 지역 어선 어획 위치를 같이 조사하고, 그외 회유성 어종을 별도 파악함

마) 해양포유류

- 선박을 이용하여 목시조사를 실시하고, 기상상태가 양호한 날을 선택하여 조사함
- 국가기관에서 발행한 자료를 이용하여 사업지구와 인근지역의 해양포유류 서식장소 및 이동경로를 조사함

바) 해양보호생물

- 사업예정지역 주변 해역에 잘피 등의 해양보호생물이 분포하는 경우, 스쿠버다이빙(Scuba diving)을 통해 잠수 정밀조사를 실시함
- 잘피 조사 시에는 조사 지점별로 방형구 내 서식하는 잘피의 잎 수(장), 잎 길이(㎝), 잎 폭(㎜), 엽초 길이(㎝), 엽초 폭(㎜), 서식밀도 등을 현장에서 측정함

표 5 해양 동·식물 현황 조사 방법(요약)

조사항목		조사방법
부유 생태계	식물플랑크톤	• 수심 25m 이내 표·저층, 수심 25m 이상 수층별(표·중·저층) 시료채집 • 채수기(반돈, 난센 채수기 등) 이용 • 엽록소 a 측정(해양수질 자료 이용 가능)
	동물플랑크톤	• NORPAC 네트 이용, 수심 25m 이내 경사채집 • 개폐식 네트 이용, 수심 25m 이상 표층 및 중/저층 예망채집
	어란 및 자치어	• 난·자치어 네트 이용, 5~10분 1knot로 예망채집
조간대 저서 생태계	대형저서동물	• 정량 및 정성조사 실시 • 경성기질: 방형구(50㎝×50㎝) 이용, 3회 반복 채집 • 연성기질: 캔(Can) 코어 또는 박스(Box) 코어 이용, 반복 채집 (접지표면적 0.1㎡일 경우 3회 반복, 0.2㎡일 경우 2회 반복) • 갯벌생물: Line transect법에 의한 정밀조사
	해조류	• 정량 및 정성조사 실시 • 방형구(50㎝×50㎝) 이용, 3회 반복 채집
	해초류	※ 경성 및 연성기질 공통 적용 • 방형구 이용, 3회 반복 채집 • 군락의 규모, 위치 등의 경계면 좌표값 습득
	염생식물	• 방형구(1m×1m) 이용, 식물군락 조사, 식생 조사 • 군락의 규모, 위치 등의 경계면 좌표값 습득
조하대 저서 생태계	대형저서동물	• 정량 및 정성조사 실시 • 경성기질: 방형구(50㎝×50㎝) 이용, 3회 반복 채집 • 연성기질: van Veen 그랩 또는 Smith-McIntyre 그랩 이용, 반복 채집(접지 표면적 0.05㎡일 경우 3회 반복, 0.1㎡일 경우 2회 반복)
	해조류	• 정량 및 정성조사 실시 • 경성기질: 방형구(50㎝×50㎝) 이용, 3회 반복 채집

조 사 항 목		조 사 방 법
유영생태계	해초류	• 경성기질: 방형구를 이용, 3회 반복 채집 혹은 정성조사(잠수조사) • 연성기질: 방형구를 이용, 3회 반복 채집 혹은 정성조사(잠수조사) • 군락의 규모, 위치 등의 경계면 좌표값 습득
	어류	• 사업지구 인근 어업인이 사용하는 적정어구 이용 • 회유성 어종 별도 파악
	해양 포유류	• 목시조사(sighting survey)를 통해 조사하고 필요시, 무인항공(드론), 음향모니터링 등을 병행
	어업실태	• 직접 및 탐문조사 • 해당지역 어선 어획 위치 조사
해양보호생물		• 잠수조사 • 방형구 이용

5) 결과제시

○ 조사결과 제시는 단순 나열하는 것이 아니라 조사결과에 대한 분석을 통해 사업지역 및 주변 해역의 해양생태계 특성을 분석할 수 있도록 함

○ 사업지구 주변에 대한 기존 문헌조사 결과를 조사하여 현지조사 결과와 비교하여 차이가 발생할 경우 원인을 파악하고, 각 항목별로 연도별 변화양상을 정밀 분석하여야 함

○ 조사결과를 통해 대상 해역의 해양생태계 현황 특성과 변화 추이를 파악할 수 있도록 함

○ 조사결과는 아래 내용을 고려하여, 조사항목별 결과를 〈표 5〉와 같이 제시하도록 함

- 조사결과는 전체 출현종 목록, 그림이나 사진, 서식지도 등으로 제시하고, 출현종 목록은 각 지점별로 제시하여야 함
- 조간대 저서동물의 현황조사 결과를 상부, 중부, 하부(조간대 특성을 고려하여 불가피할 경우 상부와 하부로 구분)로 구분하여 상세히 제시
- 조간대 및 조하대 저서동물의 변화추이를 각 지점별로 출현종수, 개체수, 우점종 및 다양도 지수를 상세히 분석하여 제시하여야 함
- 조간대 및 조하대에 서식하는 저서동물과 해조류 및 해초류의 현황을 도표를 이용하여 상세히 제시하여야 함
- 출현 종명은 지역주민들도 파악할 수 있도록 국문으로도 제시하도록 함
- 해양보호생물이 서식할 경우, 분포 현황을 도면 등을 이용하여 상세히 제시하여야 함
- 갯벌 훼손이 큰 사업지역에서의 갯벌조사의 경우, 갯벌의 가치(수산물 생산, 연안생태계 유지, 정화가치 포함)를 평가하여 제시하여야 함

표 6 해양 동·식물 조사결과 제시 방법(요약)

조사항목	결 과 제 시
부유생태계	• 출현종, 현존량(개체수), 우점종, 종다양성지수 등을 제시(단, 어란 및 자치어의 경우 출현종에 제한이 있을 수 있으므로 종다양성지수는 생략 가능)
조간대 저서생태계	• 해양보호생물, 멸종위기종 및 보존가치 수중생태계(예. 산호초 군락) 파악 • 대형저서동물: 출현종, 서식밀도(개체수), 생체량, 우점종, 종다양성지수 • 해조류: 출현종, 생체량, 피도, 빈도, 우점종, 종다양성지수 • 해초류: 출현종, 서식밀도(개체수), 생체량, 형태적 특성 • 염생식물: 출현종, 현존식생도, 군락단면도, 우점도, 식물상(식물목록)
조하대 저서생태계	• 해양보호생물, 멸종위기종 및 보존가치 수중생태계(예. 산호초 군락) 파악 • 대형저서동물: 출현종, 서식밀도(개체수), 생체량, 우점종, 종다양성지수 • 해조류: 출현종, 생체량, 피도, 빈도, 우점종, 종다양성지수 • 해초류: 출현종, 서식밀도(개체수), 생체량, 형태적 특성
유영 생태계	• 해양보호생물, 멸종위기종 등 파악 • 어류: 출현종, 서식밀도(개체수), 생체량, 우점종, 종다양성지수 • 해양 포유류: 주 서식지, 회유경로 등 • 어업권 현황, 어업 생산량 등

나. 영향 예측

○ 해상풍력 발전사업 공사 시 시행하는 준설 및 구조물 설치와 케이블 설치에 따른 굴착 등은 부유물질 증가와 저층 퇴적물의 재부유에 의한 영양염류의 증가, 유속의 증감, 저층 퇴적상의 변화 등 해양생태계 출현종수 및 개체수에 영향을 줄 수 있음

○ 수중 항타작업은 어류, 해양포유류 및 저서생물에 여러 영향을 미칠 수 있는 요인이 될 수 있음

○ 운영 시 발생하는 수중소음이 해양포유류 및 수산어류 등의 주파수별 청각 능력을 초과하는 경우 이상 반응을 보여 다른 지역으로 이동하게 할 수 있음

○ 해양 동·식물 항목 영향예측은 기본적으로 정확한 현황 조사 결과를 토대로 사업지 해역의 해양생태계에 미치는 영향을 예측하고 정확한 분석이 이루어져야 하며, 기존 문헌조사 결과와의 비교를 통해 사업지 해역의 해양생태계 특성을 분석하여야 함

1) 공사 시 영향

가) 구조물 설치 및 전력 케이블 공사 시 영향 예측

○ 파일 및 전력케이블 설치를 위한 준설 및 구조물 설치 공사 시 부유물질이 발생하게 되며, 특히 토사에 함유된 유기물 및 영양염류는 동·식물플랑크톤과 저서생태계, 유영생태계 등 해양생태계 전반에 영향을 미칠 가능성이 있음

○ 따라서 사업지역에 대한 현황조사 결과를 토대로 공사 시 부유물질 발생에 의한 해양생태계 영향을 해양 동·식물 항목별로 검토하여야 함

○ 특히 케이블 설치를 위해 해저에 깊은 도랑 굴착 시(워터제트-고압물분사 또는 그랩준설 등) 워터제트 방식은 준설시간이 짧으나, 부유토사 발생이 매우 크고 확산 범위가 넓게 나타나는 문제점이 있음

나) 준설 및 구조물 설치로 인한 저서생물 서식지 훼손 영향

○ 파일 설치를 위한 준설은 해저지형 변화를 발생시키고, 이에 따라 이동성이 작은 저서동물의 서식지에 직접적인 영향을 주게 됨

○ 구조물 설치에 따라 파일 주변으로 국부적인 세굴 현상이 나타나게 되어 단기적으로는 준설지역 인근에 서식하는 조하대 저서동물의 출현종수와 서식밀도가 감소하게 되고 이매패류, 갑각류 등과 같은 여과식자 군집들도 서식밀도가 감소하게 됨

○ 지형변화로 교란된 저서생태계 회복시간은 교란 규모나 서식처의 유형에 따라 차이가 있는 것으로 알려져 있음

○ 따라서, 준설 구역을 대상으로 준설 후에 구역별·경과시간별 조하대 저서동물이 복원되는 과정을 예측하여야 함

○ 또한, 준설 구간에 대한 지속적인 모니터링을 통해 저서동물이 회복되는 변화상을 파악하도록 함

참 고 저서생태계 회복 연구사례(Wilson and Parkes, 1998)

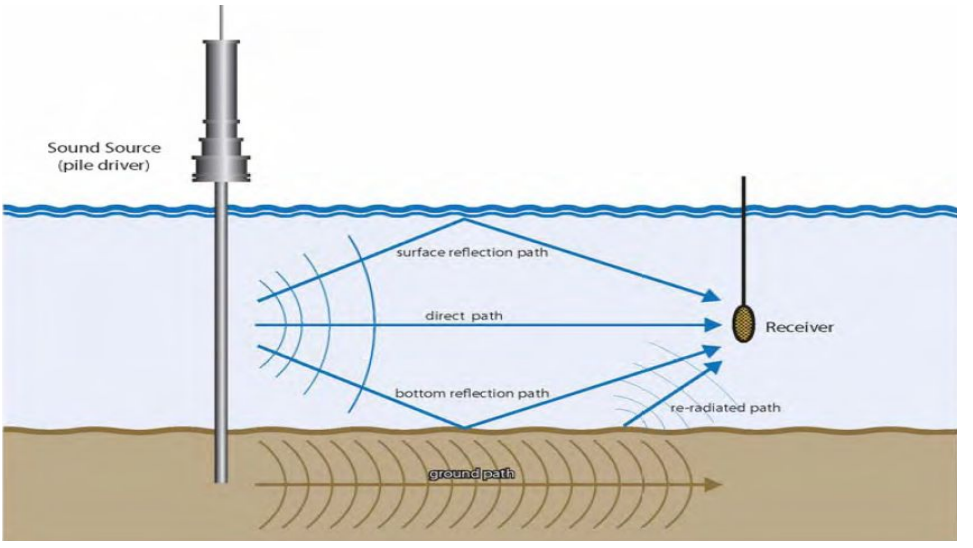
- 저서동물의 군집 회복은 퇴적상에 따라서도 매우 다르게 나타나는 것으로 알려짐
- 사질(sand)이나 역질(gravels)의 경우 대체로 2~4년 정도 소요
- 펄·점토질의 미세퇴적상(fine-grained deposits)의 경우 대략 6개월~1년 정도 소요

다) 항타 시 소음·진동 영향 예측

○ 파일설치는 항타작업 시의 충격소음 특성으로 많은 소음·진동이 발생함

- 충격 에너지는 수중으로 직접 전파되기도 하고 지반의 진동을 야기하여 그에 따른 소음을 발생시킴
- 또한 해상 표면이나 해저 지면에 의한 반사소음과 직접소음의 간섭효과로 인해 복잡한 소음전파 양상을 보임(그림 6)

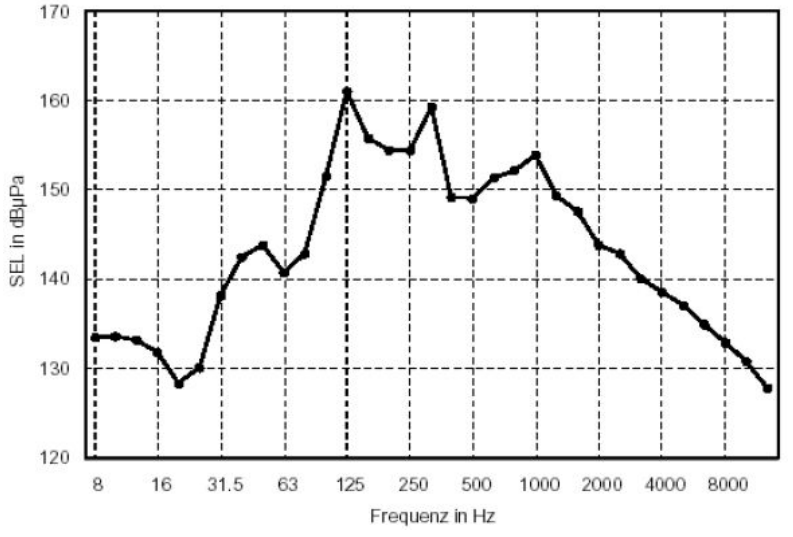
그림 6 항타 공정에 따른 소음전파의 모습



자료: California Department of Transportation(2009), 한국환경정책·평가연구원(2012)

○ 항타 소음은 30~2,000Hz 범위의 낮은 주파수 영역에서 최대 소음이 발생하며 (그림 7), 이 영역은 많은 어류들의 청각범위와 겹치게 됨

그림 7 해상풍력발전 시설 건설 시 항타 소음의 주파수 분포



자료: Keller et al.(2006), 한국환경정책·평가연구원(2012) 참조

○ 대부분의 해양포유류는 의사소통, 이동, 섭이활동 그리고 포식자 탐지에 필요한 활동을 위해 어느 정도 청력에 의존하기 때문에 인위적인 수중소음은 해양포유류에게 영향을 주게 됨(Sun et al. 2012)

○ 어류 등 해양생물은 수중에서 발생하는 인위적인 소음의 크기가 배경소음보다 높게 되면 도피반응 또는 손상을 입게 되며, 특히 부레가 있는 어류는 충격소음에 취약함

- 먹이·이동·호흡 방식 등 방해 및 소리의 중단
- 서식지로부터의 이동 등을 포함한 행동적 이상 반응(behavioral reactions)
- 배경소음 증가로 생물 상호간 통신능력 감소 차폐효과(masking)
- 일시적으로 청각능력이 감소하는 일시적 한계 이동 (TTS, temporary threshold shift)
- 지속적 외부소음 노출에 따른 청각기관 손상으로 인한 영구적 한계 이동 (PTS, permanent threshold shift)
- 행동상 변화 등 비청각 생리기관(호흡강·부레 증대 등)에 대한 영향

라) 수산자원에 미치는 영향 예측

○ 대표적인 부유사 확산 영향을 포함하여 수산자원에 대한 직·간접적인 영향으로 인해 연안지역 양식어장, 연안·근해 어업 등에 다양한 형태로 영향을 미치게 됨

○ 이러한 영향에 대해서는 어업피해보상을 위한 별도의 어업피해조사 제도를 통해 보상이 이루어지나, 환경영향평가에서도 주변 해역의 수산자원에 미치는 영향에 대한 예측이 필요함

마) 해양보호생물 영향 예측

○ 사업지구 주변 해역에 해양보호생물이 서식하는 경우, 부유사 확산, 퇴적물 이동, 준설 등이 보호생물에 미치는 영향을 예측하고, 피해가 예상될 시에는 이식, 복원, 모니터링 등의 보존대책을 마련하여야 함

바) 공사장비 및 선박의 유류오염에 의한 영향

○ 공사장비 및 선박으로 인한 우발적 유류유출 오염 사고의 영향은 크게 물리·화학적 영향과 부착으로 인한 영향, 독성 영향, 냄새, 생태계에 미치는 영향 및 회복 등으로 구분할 수 있음

○ 해양에서 유류 유출 사고에 대해 각각의 영향에 따른 방재대책을 구축하여야 함

2) 운영 시 영향 예측

가) 구조물 설치로 인한 영향 예측

- 해상풍력 구조물로 인한 국부적 세굴 및 유사이동(sediment transport)이 발생하며, 유체의 흐름을 바꾸어 해저 바닥의 토사 이동을 유발함
- 해저지형의 변화는 유속의 변화를 야기하여 침식, 이동 및 퇴적 등의 형태로 나타나며, 주로 해저 바닥과 해류의 상호작용에 의해 계속 변화하게 됨
- 상호작용은 주변 지형과 시간에 따라 변화하며, 이러한 변화로 새롭게 생겨난 해저지형은 다시 새로운 지형변화를 유발·결정하는 잠재적인 요인으로 작용함
- 이러한 변화는 결국 대상지역과 주변에 서식하고 있는 저서생물에 영향을 미치게 되므로 해양생태계 조사결과를 근거로 저서생물을 포함한 주변 해양생물에 미치는 영향을 예측하도록 함

나) 발전기 수중 소음·진동으로 인한 영향 예측

- 운영 시 지속 발생되는 수중소음 및 진동은 공중에서의 블레이드 회전소음에 의한 것보다는 발전기, 기어박스, 변압기의 냉각장치 등 기계설비에서 기인한 소음이 타워 진동을 통하여 수중으로 전달됨(Nedwell and Howell, 2004)
- 따라서, 해상풍력 가동으로 인한 소음·진동은 항타공사 시 나타나는 것과 주파수나 음압에 차이가 있을 수 있음(한국환경정책·평가연구원, 2012)
- 수중 소음·진동은 해양생태계 중 특히 해양포유류와 어류에 미치는 영향이 상대적으로 크며, 이동능력이 제한적인 저서동물의 경우에는 발전기 주변에 서식 시에 피해를 받을 수 있음
- 따라서, 주변 해역에 서식하는 해양포유류, 어류 및 저서동물에 대한 중점 조사를 통해 운영 시 영향에 대한 예측을 실시하도록 함

다) 케이블 전자기장 발생으로 인한 영향 예측

- 생산된 전기를 육상으로 전송하는 해저 케이블에서 일부 전자기장이 발생하며, 지구 자기장을 이용해 방향 탐지와 이동하는 어류 및 해양포유류에게 영향을 미칠 수 있음
- 전자기장은 해양생물의 포식, 번식 등에 영향을 줄 수 있음
- 따라서, 주변 해역에 서식·이동하는 어류에 대한 조사를 통해 전자기장 영향 여부에 대한 예측을 실시하도록 함

라) 해파리 폴립 발생으로 인한 영향 예측

- 풍력발전기에 따른 많은 해양구조물 설치는 해파리 폴립의 증가를 야기하며 해파리의 좋은 서식처를 제공함
- 해파리 발생 증가는 먹이원 경쟁 관계 어류종의 감소를 유발하여 주변 수산자원량의 감소를 초래함
- 따라서, 발전단지 주변에 출현하는 해파리의 종류를 파악하고, 이로 인한 영향을 예측하여야 함

마) 화학물질 영향 예측

- 해상풍력 시설도 선박이나 다른 해상시설물과 마찬가지로 표면에 생물부착과 녹 방지를 위한 도료를 사용함
- 또한 시설에 사용되는 각종 윤활유나 연료, 냉각제 등도 누출되어 해양환경 유입 시에는 생물학적인 영향을 줄 수 있음
- 아울러 회전하는 터빈 내부에서 마찰 등으로 연마재 성분이 시설물 밖으로 나와 바다로 유입될 수도 있음
- 따라서, 문헌(사례)조사 또는 필요시 생물검정실험 등을 통해 이러한 영향의 예측이 이루어지도록 함

다. 저감방안

1) 부유토사 확산 저감방안

- 해양공사는 일반적으로 오탁방지막을 설치하여 부유토사의 확산을 저감시키며, 육상과 인접하여 수심이 낮은 해역에서 공사에 적용함
- 그러나, 대부분 해상풍력은 육상에서 상당 거리 이격되어 수심이 깊은 해역이므로 오탁방지막으로 부유토사 확산 저감이 어렵고 유지관리도 어려움
- 따라서, 수심이 깊은 해역에서는 작업 강도, 방법 및 시간 등의 조절을 통해 부유토사 확산을 저감시켜야 하며, 이를 위해 실시간 모니터링을 실시할 필요가 있음
- 모니터링은 일정 거리에서의 목표 수질을 설정하고, 목표 수질을 초과한 부유토사 발생 시에는 공사중단, 공사시간·강도조절, 공사방법 개선 등 적절한 조치를 취하도록 함
- 이를 통해 부유토사 부하를 감소시키고 정체시간을 늘려 침전효과를 증대시켜 사업지구 주변 해역의 해양수질이 향상된 후 작업을 재개하도록 함

2) 수중 소음 저감방안

○ (공사시) 파일항타 시에 일시적으로 발생하며, 최적 저감방안은 수중 소음원의 음향 파워를 감소시키도록 항타공정의 저소음 계획(항타 시기, 항타 장비, 항타 파일의 종류 및 크기 등을 조정)을 수립하도록 함

- 소음에 민감한 해양포유류·어류의 공사 영향권 내측 접근을 사전 회피시키기 위해 특정 주파수를 이용한 사전음향경고장치(ADDs, Acoustic Deterrent Devices), 수중소음댐퍼(HSD, Hydro Sound Dampers) 설치·운영

  ※ (수중소음댐퍼) 탄성풍선을 사용한 수중음파·거품의 산란·반사로 소음 감쇄 효과, 항타과정에서 발생하는 소음을 산란시키는 역할을 하는 장치

- 이외 저감방안으로 장비 주변에 공기방울막(air bubble curtain), 임시물막이(cofferdam), 격리막(isolation casing), 쿠션블럭(cushion block) 등 설치

○ (운영시) 지속적으로 소음·진동이 발생, 진동에 내구성 있는 구조물을 적용하고 진동흡수를 위한 완충재를 정착하여 발전기 작동에 따른 진동영향의 타워 전달을 감소시키도록 함

○ 소음 발생 영역에 해양생물 접근을 예방하는 추가적인 방안으로 소음의 발생을 단계적으로 증가시키도록 하여 회피할 수 있는 시간을 제공함

○ 아울러, 실시간 모니터링을 통해 해양포유류가 발견될 경우 영향 범위 밖으로 유도하도록 함

3) 해파리 폴립 제거방안

○ 해파리는 1개체의 폴립이 약 5,000개체의 성체를 생성하므로 해파리 성체가 생성되기 전에 폴립을 제거하는 것이 반드시 필요함

○ 수온 상승과 잦은 강우로 염분이 낮아지는 늦봄부터 여름 동안 집중 발생에 대비하여 사업 해역 내 시설 기둥부 주변에 그물망을 설치하여 해파리 유입과 폴립 부착을 원천적으로 차단시키도록 함

○ 폴립이 발견된 경우, 고압수를 분사하여 폴립을 직접 탈락시키는 물리적 제거, 폴립이 분포하는 특정 공간에 우물통 방식으로 저농도 차아염소산나트륨이 담긴 확산방지막을 설치하여 운영 후 철거하는 방식이 있음

4) 인공어초 기능제공 및 설치방안

○ 해상풍력발전기 시설물은 인공어초의 역할도 하기 때문에 해양 생물에게 새로운 서식처를 제공할 수 있음

※ (덴마크 호른스레우 해상풍력발전 단지 사례) 일부 어종(까나리)이 풍력단지 안에서 다른 해역에 비해 3배 이상 수가 증가, 단지 외곽에서는 20% 정도 감소

○ 또한, 해양생물 다양성 및 수산자원 회복을 위하여 필요시 인공어초 설치 방안을 고려하여야 함

5) 해양보호생물의 영향 저감방안

○ 공사 시 해양보호생물의 서식지 훼손이 예상되는 경우, 풍력발전기 위치변경, 구체적인 이식 및 모니터링 계획 등 훼손을 최소화하는 방안을 마련

6) 회유성 어류 영향 저감방안

○ 회유성 어류(연어, 숭어, 황어, 은어, 민물장어 등)의 소상이 예상되는 하천 하구주변 또는 이동 경로 상에 해상풍력단지를 개발할 경우, 준설 등 부유토사가 많이 발생하는 공정은 회유성 어류 소상·산란에 영향을 미칠 수 있음

○ 부유토사가 많이 발생하는 공정은 최대한 산란시기(3~5월, 9~11월)에는 실시하지 않도록 사전에 이를 감안하여 공정계획을 수립함

7) 우발적 기름유출사고에 대한 방지대책

○ 우발적 해상사고에 따른 선박의 연료(기름) 유출사고는 해양환경 뿐만 아니라 해양 동·식물상에 상당한 악영향을 미치게 됨

○ 우발적인 해상사고에 따른 기름유출 초기에 확산 방지와 제거를 할 수 있도록 방제 장비를 보유하고 있는 인근 기관(해양수산청, 지방해양경찰서, 해상교통관제센터, 해양환경관리공단 등)과의 연락체계를 수립하여 사고에 신속히 대처할 수 있도록 유기적인 방제체계를 구축

라. 사후환경영향조사

1) 조사목적

○ 해양풍력 발전사업으로 인한 해양생태계 변화 여부를 파악하기 위해 해양 동·식물상의 영향이 예상되는 지역에 대해 조사

- 특히 환경영향평가 시에 실시한 영향 예측 결과에 대한 검증이 가능하도록 조사를 실시함
- 사후환경영향조사 결과에 대한 분석 과정에서 사전 계획한 조사지점, 방식, 횟수 등이 사후모니터링 목적에 부합하지 않을 경우는 조사계획을 순응적으로 변경하도록 함

2) 조사항목

- 환경영향평가 시에 실시한 현황조사 항목 중 공사중, 운영중 영향이 있는 대상으로 조사를 실시
- 조사과정에서 특정 항목에 대한 추가 조사가 필요할 경우 조사항목을 추가하여 해당 분야 전문가에 의해 조사를 실시함

3) 조사지점

- 사업 특성·규모 등에 따른 사업 시행 영향을 확인할 수 있도록 선정
- 사업 시행으로 영향이 예상되는 해역을 주로 선정하되, 비교가 가능한 영향 범위 외 일부 해역도 선정함
- 동·식물 플랑크톤은 해류 등 해양물리 환경에 의존적인 생물이므로 대상 해역의 물리적 특성을 파악하여 조사지점을 선정함
- 환경영향평가와 사후환경영향조사의 조사지점이 비교 가능하도록 하되, 영향 예측에 대한 검증 및 정확한 모니터링을 위해 조사지점을 변경하도록 함
- 공사가 이루어지는 파일설치 지점, 준설지점에 대해 조사지점을 집중 배치
- 조사지점 변경(추가·삭제 등) 내역을 기재하고 사유를 함께 제시하여 변경이력을 관리함

4) 조사시기

- 공사 시 및 운영 시 모두 계절별로 실시하고, 환경영향평가와 사후환경영향조사의 비교가 가능하도록 조사 시기·주기를 설정함

5) 조사방법

- 환경영향평가 시와 같은 방법으로 조사하고, 해양 동·식물상의 각 조사항목별 조사방법은 구체적으로 제시

6) 결과제시

○ 가능한 정량화하고 각 조사항목별로 그래프, 표, 사진 등을 이용하여 상세하게 제시하여, 영향 예측에 대한 검증이 가능하도록 조사 결과를 분석하여 제시함

참 고 해양동·식물상에 대한 정량적 결과 제시 방안

- 각 항목별로 영향 예측 결과에 대해 영향권과 비 영향권을 서로 비교 분석하여 결과를 상세히 제시
- 조사된 해양 동·식물 종의 학명과 국명, 사진 등을 제시
- 현존량, 서식밀도, 출현종 등에 대한 일반적인 설명이 아닌 조사해역의 특성과 연관하여 분석하고, 사업으로 인한 영향 여부를 제시
- 해양생태계의 연도별 변화양상을 정밀 분석하여 제시
- 조사 당시의 공사공정을 제시하고 사업과의 연관성 분석
- 조사시기의 조석현황(대조기/소조기, 창조시/낙조시) 제시
- 해당 해역 또는 최인접해역에서 기존 조사된 결과들과 본 조사결과를 비교, 분석하여 사업 시행으로 인한 변화 여부와 이에 근거한 저감방안 제시

가) 동·식물플랑크톤

○ 해양물리 환경에 의존적인 생물이므로 대상 해역의 물리적 특성을 파악하여 조사지점을 선정·조사하고, 적조 및 부영양화 발생 현황에 대한 모니터링 결과를 제시함

※ 계절별, 지점별 종조성 및 현존량, 우점종(우점율), 생태지수(다양도지수, 균등도지수, 우점도지수, 풍부도지수 등)를 제시하고, 기존 자료와 비교·분석 결과를 제시

나) 조하대 저서동물

○ 세굴발생 파일설치지점 및 케이블설치지점에 대해 집중조사를 실시하고, 대조군과의 비교 검토를 통해 사업으로 인한 영향 정도를 분석함

참 고 조하대 저서동물의 결과 제시 방안

- 오염지표종의 우점 여부 제시
- 기존 자료(환경영향평가 시, 이전 사후환경영향조사 시)와 비교 시 종 감소 등의 변화양상이 나타날 경우, 이에 대한 원인분석 결과를 함께 제시
- 현존량 및 출현종수는 조사 시의 채집량(채집면적, 반복채집 횟수 등)에 근거하여 상세한 조사결과가 제시되어야 함
- 준설을 실시한 지점과 실시하지 않은 지점을 구분하여 조사결과를 제시하고 비교·분석 실시
- 준설 전·후에 대한 연도별 조사결과 비교·분석

※ 계절별, 지점별 동물군별 밀도, 생체량, 종조성, 우점종(우점율)을 제시하고, 기존 자료와 비교·분석 결과를 제시

다) 조간대 저서동물

참 고 조간대 저서동물의 결과 제시 방안

- 오염지표종의 우점 여부 제시
- 기존 자료(환경영향평가 시, 이전 사후환경영향조사 시)와 비교 시 종감소 등의 변화양상이 나타날 경우, 이에 대한 원인분석 결과를 함께 제시
- 조사 당시의 출현 현황에 대해 현장 사진과 함께 제시

※ 계절별, 지점별 동물군별 밀도, 생체량, 종조성, 우점종(우점율)을 제시하고, 기존 자료와 비교·분석 결과를 제시

라) 해조·해초류

○ 해조류는 종별 피도, 빈도를 구한 후, 상대피도 및 상대빈도를 구하고, 중요도는 상대피도와 상대빈도의 산술평균값으로 제시

○ 해양보호생물의 서식현황, 이식계획 및 이식현황, 해양생물 서식처(인공 산란장, 해조장 등) 조성계획 등을 구체적으로 제시

○ 해조·해초류의 생육상태를 주요 우점종을 대상으로 무작위 20개체 평균값으로 제시

참 고 해조류 및 해초류의 결과 제시 방안

- 해조류: 개체 총 길이, 생체량 등
- 해초류 지상부: 잎 수, 엽초 길이와 폭, 잎 길이와 폭, 생체량
- 해초류 서식현황: 계절별 조사결과의 현장 사진과 생육상태 조사결과를 함께 제시

마) 어란 및 자치어

○ 계절별, 지점별 종조성 및 출현량을 제시하고 기존 자료와의 비교·분석 결과를 제시

바) 해양포유류

○ 해양포유류 조사는 선박이나 항공기 등을 이용하여 눈으로 직접 조사하는 목시조사(sighting survey)를 통해 실시함

○ 복잡한 해안선을 가진 해역을 조사하기 어려운 목시조사의 단점을 해결하기 위해 필요시 무인항공(드론), 음향모니터링, 위성추적기법을 병행하는 방법을 검토

○ 환경영향평가 시 예측한 공사·운영 시 소음 진동 발생으로 인한 영향과 저감방안의 효율성에 대해 검증이 가능하도록 정밀 조사 및 결과분석

사) 어류 및 수산자원

○ 다양한 방식 및 어구를 통해 어류·수산자원에 대해 조사하며, 영향 예측에 대한 검증이 가능하도록 정밀 조사 및 결과분석

○ 직접조사 이외에 통계조사, 수협위판자료, 연근해 조업 정보자료, 탐문조사 방식으로 모니터링을 실시함

○ 해상풍력발전단지 공사·운영으로 발생하는 수중 소음, 전자기장에 따른 어류의 산란, 섭식, 행동 등 영향 및 이에 따른 어류자원의 이동에 대한 중점 모니터링 실시방안을 검토함

○ 선정한 대상종 어류의 체내·외에 신호를 감지하는 tag를 부착하여 어류의 행동 패턴, 이동 등을 모니터링하는 방식으로 실시할 수 있음

아) 해파리 발생 영향

○ 해파리 발생 현황에 대한 조사 및 저감방안의 효율에 대해 검증을 실시함

4 해양물리 항목

가. 현황조사

○ 대상 해역의 해양물리 현황은 해양의 물리 현상뿐만 아니라 해양생태계와 해양 수질·퇴적물 등 해양환경 전반에 중요한 영향을 미치므로 해양환경을 판단하는데 가장 기본적인 요소임

○ 대상 해역 기초자료 확보, 사업 영향평가 기준 설정, 해역 특성 파악, 예측모델 입력 및 검증자료 확보, 사후조사와 비교·검증 등을 목적으로 조사 수행

- 영향예측 및 사후조사와 연계하여 조사범위, 조사항목, 조사내용 등의 일관성을 확보할 수 있도록 계획하여야 함
- 정확하고 충분한 조사 및 조사결과에 대한 충분한 해석이 필요함

○ 구조물 설치로 인한 해수 유동 변화와 지형변화 및 공사 시 부유토사 발생 등 해상풍력 발전사업 시행에 따른 해양환경 영향이 예상되므로

- 사업 시행 이전에 충분한 현황조사를 통해 해역특성을 파악하고 이를 토대로 정확한 영향예측을 실시하여야 함

1) 조사항목

○ 사업의 규모 및 지역의 환경적 특성을 고려하여 대상 해역의 해양물리 현황을 충분히 파악할 수 있도록 조사항목을 선정함

- 해상풍력 발전사업의 주요한 해양물리 현황조사 항목으로 조석(潮汐), 조류(潮流), 파랑, 부유사 및 해저질 등을 선정

○ 사업 특성 및 해역의 환경적 특성을 고려하여 필요시에는 추가 조사항목을 선정하여 조사를 수행할 수 있음

2) 조사범위 및 조사지점

○ (조사범위) 사업의 시행으로 해양환경에 영향을 미칠 것으로 예상되는 해역을 포함하고, 동시에 영향예측 모델링의 구성·검증, 생태계, 퇴적상 변화 등 해양환경 전반의 평가를 고려하여 선정

○ (조사시기) 해양환경의 계절별 변화를 충분히 파악할 수 있도록 계절별 조사를 수행

○ (조사지점) 조사항목과 해역별 특성, 활용 가능한 기존 측정자료의 유무 등을 고려하여 지점의 위치와 개수를 결정하여야 함

- 공간분포도를 작성하는 항목(부유사, 해저질 등)의 지점 간격은 일반적으로 지점 사이의 측정치를 보간할 수 있는 거리로 결정함

- 연안에서 보간 가능거리는 등수심에 따라 길고 등수심의 경사에 따라 짧으므로, 등수심의 경사에 따른 지점 간격이 등수심에 따른 간격보다 조밀하게 배치함

○ 기존 관측 조사자료를 대체 활용할 수 있으나, 관측자료가 오래되었거나 주변 지형 변화가 많아 대상 해역의 특성을 잘 반영할 수 없는 경우에는 참고자료로만 활용하고 직접 관측계획을 수립하여야 함

가) 조석 관측

○ 조석 관측자료는 해역의 조석 특성을 파악하고, 해수유동예측 수치모형의 구축 및 검증에 활용함

○ 기존 조사자료를 수집·분석하여 대상 해역의 유동을 충분히 파악한 후 지점을 선정하여야 함

- 기존 관측자료는 국립해양조사원에서 생산 배포하는 최신자료를 활용할 수 있음

○ 조석 관측은 기존 자료 수집·분석을 통하여 대상해역의 조석 특성을 충분히 파악한 후 지점을 선정하여야 함

- (서해안·남해안) 조석성분이 탁월한 해역에서는 사업부지 중앙부 1개소와 경계부 2개소 이상에서 관측
- (동해안) 조석성분보다는 비조석성분 영향이 큰 해역에서는 사업대상 지역 경계부근에서 각 1개소 이상 관측 권장

나) 조류(潮流) 관측

○ 관측된 자료는 사업 해역의 조류 특성 파악 및 수치모델실험 검증 자료로 이용됨

○ 기존 조사자료를 수집·분석하여 대상 해역의 유동을 충분히 파악한 후 지점을 선정하여야 함

○ 관측 지점은 사업대상지역 중앙부에 1개소, 경계부 남-북 또는 동-서측 주 흐름방향에 2개소 이상 선정하고 3개층 이상 관측을 수행함

- 인근 해역의 기존 조류 자료와 광역모델 결과 등을 검토하여 해수유동 방향의 주축에 걸쳐 관측하는 것을 권장

다) 부유사 관측

○ 사업대상지역의 부유사 분포 특성 및 현황을 파악하고, 부유사 확산예측이나 퇴적물 이동 변화예측 수치모형실험 시 입력자료로 활용됨

- 연속층별 부유사 관측과 공간부유사 관측으로 구분하여 관측

① 연속층별 부유사 관측

○ 사업으로 인한 환경영향이 충분히 고려될 수 있도록 관측 지점을 선정

- 사업지역 내 중앙부 최소 1~2개소, 주요 부유사 확산 영향 범위 내 최소 1~2개소

○ 부유사 확산 영향이 없는 대조지역 1개소 지점을 선정하여 결과를 비교하는 것이 바람직함

○ 자료의 특성상 수치모델의 입력 및 검증자료로 활용되기 때문에 수치모델 각 경계부 최소 1개소 이상에서 관측도 권장함

○ 선정된 지점별로 표층·중층·저층 3개 층별 관측을 수행하여야 함

② 공간부유사 관측

○ 공간부유사 관측 지점은 사업대상 주변 해역 부유사 농도의 3차원 구조를 충분히 파악할 수 있고, 해양생태계와 해양수질·저질항목과 서로 연계 비교·분석이 가능하도록 선정하는 것이 효율적임

- 수평적인 변화에 대응한 지점 배치를 구성하되, 등수심 간격보다는 등수심의 경사 쪽으로 간격을 조밀하게 배치
- 연직적으로는 성층구조를 파악할 수 있도록 층 간격을 조밀하게 설정

○ 사업지역 전체해역 및 부유사 확산 영향이 없는 대조지역도 포함하도록 광범위하게 관측하는 것이 바람직함

○ 표층·저층의 2개층 또는 표층·중층·저층의 3개층 관측을 수행함

라) 해저질 관측

○ 부유사 관측과 마찬가지로 해양생태계 및 해양수질 항목과 서로 연계하여 비교·분석이 가능하도록 고려하여 조사지점을 선정하는 것이 효율적임

○ 가급적 해상풍력발전기 설치 위치가 포함되도록 사업지역 전체해역의 최소 20개소 이상에서 광범위하게 관측하는 것이 바람직함

마) 파랑 관측

○ 주변의 도서(島嶼)와 같은 지형의 영향을 받지 않는 수심 30m 이상의 1개소에서 수행하여야 양질의 자료를 얻을 수 있음

표 7 해상풍력발전사업 해양물리 현황조사 조사항목 및 조사지점 수(요약)

항 목		조사 지점 수	비 고
조석 관측		최소 3개소 이상 (계절별, 30일 이상)	• 사업대상지역 중앙부 1개소 • 사업대상지역 경계부 2개소 이상
조류(潮流) 관측		최소 3개소 이상 (계절별, 30일·3개층 이상)	• 사업대상지역 중앙부 1개소 • 사업대상지역 경계부 2개소 이상
부유사 관측	연속층별 부유사 관측	최소 3~5개소 이상 (계절별, 30일·3개층 이상)	• 사업대상지역 내 중앙부 최소 1~2개소 • 주요 부유사 확산 영향 범위 내 최소 1~2개소 • 부유사 영향이 없는 대조구 지역 1개소
	공간부유사 관측	광범위하게 관측 (계절별, 대·소조, 2~3개층)	• 사업대상지역 및 부유사 영향이 없는 대조지역 포함
해저질 관측	공간분포	광범위하게 관측	• 사업지구 전면해역을 중심 모델영역에 고루 배치
파랑 관측		최소 1개소 이상 (계절별)	• 사업지구 부지 전면 1개소

3) 조사방법

가) 조석 관측

- 4계절 이상 관측을 권장하며, 계절별로 30일 이상 관측을 수행하여야 함
- 조류(潮流), 파랑 등 타 조사항목과 병행하여 관측하는 것을 권장함
- 관측시간 간격은 조석의 시간변동을 충분히 관측하기 위해서는 10분 이하의 관측이 바람직함
- 관측기기는 주기적으로 전문 기관으로부터 검교정 확인을 득한 장비를 투입하고, 조사 전 수조 등에서 장비 성능확인을 반드시 수행한 후 조사를 수행함

나) 조류(潮流) 관측

- 4계절 이상 관측을 권장하며, 계절별로 30일 이상 관측을 수행하여야 함
- 조석, 파랑 등 타 조사항목과 병행하여 관측하는 것을 권장함
- 초음파 유속계를 사용하여 다수의 층에서 동시에 층별 관측을 수행하는 것이 바람직하며, 저층계류방식을 권장함
- 관측시간 간격은 통상적으로 적용하는 10분 간격 관측을 권장함

다) 부유사 관측

① 연속층별 부유사 관측

- 4계절 이상 관측을 권장하며, 계절별로 30일 이상 관측을 수행하여야 함
- 조석, 조류(潮流) 등 타 조사항목과 병행하여 관측하는 것을 권장함
- 표층관측은 해수면 1m 이내로 표층에 근접하게 관측이 바람직하며, 저층관측에는 최대한 해저면 가까운 곳에서 관측하도록 함
- 관측시간 간격은 매 10분 이하로 설정하고, 해역의 수직적 부유사 분포도를 작성할 수 있도록 관측하여야 함
- 최근에는 탁도계 외에 다층도플러형유속계(ADCP)의 음향관측정보를 이용하여 관측하는 방법이 많이 쓰이고 있음
  - 부유사 농도를 추산할 때에 상관관계를 산정할 수 있도록 많은 관측자료를 확보하도록 함
- 조사장비는 주기적인 사전점검 및 공인 기관 검교정을 득한 장비를 사용해야 함

② 공간부유사 관측

○ 4계절 이상 관측을 권장하며, 대조기(大潮期)에 창조(밀물), 낙조(썰물), 고조(만조), 저조(간조) 등 모든 조시(潮時)를 포함하여야 함

- 조석의 주기성이 미약한 동해안 지역에서는 창-낙조 또는 고-저조만을 관측할 수 있음
- 관측범위가 너무 넓어 4대 이상 선박을 투입하더라도 짧은 조시 간격에 맞춰 관측자료 동시성이 확보되지 않는다고 판단될 경우에는 최소 2개 조시(고조/저조)에 대하여 수행할 수 있음

○ 조석, 조류 등 타 조사항목과 병행하여 관측하는 것이 향후 분석 및 활용에 유용하며, 해역의 수직구조 및 수평 공간분포도를 작성할 수 있도록 관측하여야 함

○ 정밀도가 서로 다른 관측센서가 투입된 경우 그 결과가 현저히 달라질 수 있기 때문에 각 선박별로 투입되는 관측장비는 반드시 검교정된 장비를 투입하여야 함

라) 해저질 관측

○ 계절에 상관없이 1회 관측만으로 가능하며, 조사방법은 표준공정시험법에 따라 조사를 수행하여야 함

○ 다만, 타 조사항목과 병행 관측하는 것이 자료분석에 유리할 수 있음

마) 파랑 관측

○ 4계절 이상 관측(필요시 연속관측)을 권장하며, 계절별로 30일 이상 관측을 수행하여야 함

○ 타 조사항목과 병행하여 관측하는 것이 향후 분석 및 활용에 있어 유용함

○ 가급적 저층에 계류하는 파향정보가 획득되는 파고계를 사용하여 수행하는 것이 바람직함

4) 결과제시

○ 항목별 단순 분석 결과제시 외에도 관측항목별 상호 상관관계를 자세히 분석·제시하여야 함

- 대상 해역의 해양물리적 특성을 시간·공간적으로 분석하여 기술함

○ 조사항목별로 그림 및 표를 이용하여 관측결과를 일목요연하게 정리하고 해역의 특성을 잘 나타낼 수 있도록 함

- 관측항목별 관측지점은 연안선 및 등수심도가 나타나는 그림에 표시
- 관측항목, 관측장비, 관측지점 위치, 관측기간 등은 별도의 표로 표기
- 조사시기는 계절별로 대·소조기 및 창조-고조-낙조-저조로 구분하여 명시

○ 현지조사 결과와 기존 문헌조사 결과를 서로 비교·검증하고, 일부 지점·항목 또는 계절에서 결과가 상이한 경우 이에 대한 원인을 분석·제시

가) 조석 관측

○ 조화분석을 통하여 조화상수, 비조화상수 표, 조위면도 등을 도시하며, 기본적으로 인근 해역 기준조석관측소(국립해양조사원) 자료와 비교·분석하여 그 결과를 제시해야 함

- 조석 위상의 기준을 통일하여 상호 비교·분석하여야 함
- 상호 지점별로 비교하는 진폭, 분조의 크기 등 스케일도 동일하게 맞추어 분석하여야 함

○ 관측자료에 대해서는 그 내용을 상세히 분석하고 도면작성 시에도 상세히 확대하여 그 내용에 대해 용이하게 파악할 수 있도록 하여야 함

○ 특히 위상차 비교·검증이 매우 중요하기 때문에 관측시간 명기 시 관측시간 간격을 고려하여 기술하여야 함

나) 조류 관측

○ 조류 지점 관측성과는 매 수층별로 분석을 하고 원시자료, 최강유속, 평균유속, 조화상수 및 잔차류 등에 대한 내용을 도표와 그림으로 제시하여야 함

- 통계분석을 통해 매 수층별, 유속 계급별, 유향별 출현율 등을 제시하여야 함
- 잔차류는 크기와 방향을 공간적으로 파악하기 용이하도록 도면에 벡터도로 작성하여야 함

○ 관측자료에 대해서는 그 내용을 상세히 분석하고 도면작성 시에도 상세히 확대하여 그 내용에 대해 용이하게 파악할 수 있도록 하여야 함

○ 이때 사용하는 초음파 유속계의 관측특성을 자세히 기술해야 하며, 관측시간 명기 시 관측기록 중앙시간으로 하여야 함

다) 부유사 관측

① **연속층별 부유사 관측**

- 관측기간 동안의 부유사농도 자료에 대한 연속시계열도를 각 지점별로 작성하여 제시함
- 동시 관측된 인근 지점과 비교·분석을 통하여 그 결과를 기술함
- 각 지점에서의 부유사농도 시계열 및 최소, 최대, 평균, 편차 등의 통계분석 자료를 제시함
- 대조지역에서 관측한 부유사농도 시계열 자료와 비교하여 그 분석 결과를 제시함

② **공간부유사 관측**

- 시간 또는 공간적 변화 정도를 파악할 수 있도록 결과를 제시해야 함
  - 대조기, 소조기 및 창조, 고조, 낙조, 저조 등 관측시기를 명확히 표기
- 부유사농도 변화 파악이 가능하도록 분석 결과를 제시하여야 함
  - 각 지점에서의 조시별·수층별 부유사 농도의 수직구조를 파악하여 층별 공간분포도를 제시
  - 대조 지역과의 비교 결과를 제시하여야 함
  - 시간 또는 공간적으로 급격한 변화가 있는 자료는 이상자료 가능성이 높으므로 인접시간 또는 인접거리의 자료와 변화율 정도를 파악하고 이상자료 유무를 판단하여 결과를 제시함

라) 해저질 관측

- 공간적 변화 정도를 파악할 수 있도록, 해저질 관측위치도와 함께 저질의 모든 입자지름정보(D5, D16, D50 및 D84)에 대하여 공간분포도를 제시함
- 퇴적물 이동예측 수치모형의 입력자료를 제공하기 위하여 유기물 함량, 건조·습윤밀도 및 조성비 정보도 함께 제시하여야 함
- 공간적으로 급격한 변화가 있는 자료는 이상자료 가능성이 높으므로 인접시간 또는 인접거리의 자료와의 변화율 정도를 파악하고 이상자료 유무를 판단하여 결과를 제시함

마) 파랑 관측

- 지점별로 조사내용을 정리하여 기술하고 표나 그림으로 제시하여 해역의 대상해역의 파랑특성 및 현황을 잘 나타낼 수 있도록 함
- 통계분석을 통하여 원시자료, 최대파고, 유의파고, 유의파주기, 파향 등 전반적인 내용을 도표와 그림으로 제시함
- 이상 관측자료에 대해서는 그 내용을 상세히 분석하고 도면작성 시에도 상세히 확대하여 그 내용에 대해 용이하게 파악할 수 있어야 함

표 8 해양물리 현황조사 항목별 결과제시(요약)

항목	세부내용
공통	• 사업대상해역의 해양물리 특성을 4차원(시·공간)적으로 기술 • 관측항목별 상호 상관관계를 자세히 분석하여 제시 • 관측항목 및 관측지점은 연안선 및 등수심도가 나타나는 그림에 일목요연하게 표시 • 단순 분석 결과의 나열은 지양
조석 관측	• 조석조화분석을 통하여 조화상수, 비조화상수, 조위면도 등을 표와 그림으로 제시 • 인근 해역의 장기조석관측소(국립해양조사원) 자료와 비교·분석하여 그 결과를 제시 (조석위상의 기준을 통일) • 관측조위, 예측조위 및 조석잔차에 대한 그림 제시
조류 관측	• 수층별로 원시자료, 최강유속, 평균유속, 조류조화상수 및 잔차류 등에 대한 내용을 도표와 그림으로 제시 • 통계분석을 통하여 수층별, 계급별, 유향별 유속출현율 등 제시 • 조류타원도, 조류분산도, 연속조류벡터도 등 제시 • 잔차류 분석 및 도면 제시
부유사 관측	• 지점별, 수층별 연속부유사 시계열도 제시 • 부유사농도 시계열의 최소, 최대, 평균, 편차 등의 통계분석자료 제시 • 대조구와의 비교, 분석 결과 제시 • 조시별, 수층별, 층별 부유사농도의 공간분포도 제시
해저질 관측	• 해저질 관측위치도 제시 • 저질입자의 공간분포도 제시 시 모든 입자지름정보(D5, D16, D50 및 D84) 제시 • 유기물 함량, 건조·습윤밀도 및 조성비 정보도 함께 제시
파랑 관측	• 통계분석을 통하여 원시자료, 최대파고, 유의파고, 유의파주기, 파향 등 전반적인 내용을 도표와 그림으로 제시

나. 영향 예측

- 해양환경 영향에서 연안역의 통합적 프로세스를 감안하여 항목별(해수유동, 부유사, 퇴적물이동)로 상호 연계하여 영향을 예측 및 분석하여야 함
- 해역의 주요 해양물리학적 변화(조석, 조류 등의 변화)와 그에 따른 2차 영향(부유사 확산 및 퇴적물이동)의 민감도를 고려하여 과학적, 정량적 방법으로 영향을 예측함
- 기존의 인근 해역에서의 해양개발사업(매립, 항만 등)으로 인한 누적영향을 포함하여 평가가 이루어져야 함

1) 해수유동실험

- 대상지역에서 현 상태의 해수유동 상황을 재현하고, 준설 및 구조물·케이블 설치 등으로 인한 조석, 조류 등 해수유동 변화를 예측
- 조위, 유속 등의 계산결과를 부유사확산실험과 퇴적물이동실험 등의 입력자료로도 제공

가) 예측범위

- 해수유동 변화 외 해양물리 예측(부유사 확산, 퇴적물 이동변화 등) 및 해양생태계 등의 기초자료로도 이용되므로 그 범위를 가능한 넓게 선정해야 함
- 사전 모델링·연구결과 등을 토대로 변화가 예상되는 영역을 보수적으로 판단하고, 그 범위 이상에 대해 영향 비교가 가능하도록 고려함
  - 수치모형 경계조건에 의해 예측항목이 영향을 받지 않도록 선정해야 함
  - 기존 결과가 없는 경우는 개략적인 해수유동 상황 파악을 위한 사전 모델링을 구축하여 유동 특성(유속 크기, 방향)을 파악하고, 이를 이용하여 개략적인 영향 범위를 산정함
- 인근의 개발사업 누적영향, 기후변화 등 미래상황을 고려하여 보수적으로 영역을 설정함

나) 모델선정

- 해수유동 변화, 부유사 확산 및 퇴적물 이동변화 예측이 두루 가능하도록 전 기능 모듈이 포함된 모델을 선정
- 국내·외에서 범용적으로 사용하여 신뢰성이 입증된 수치모델 선정을 권장

다) 모델구축

○ 모델구축 시에는 조석 및 부유사 등의 초기조건과 경계조건 등을 면밀히 검토하여 가능한 실제 현상에 가까운 조건을 입력해야 함

① 수치모델 영역 설정

○ 사전 예비평가를 통하여 사업 영향권 외부 지역까지 포함하여 모델영역을 설정

○ 계산영역은 최소 대조시 1조석 주기 동안의 조류 행정 거리(tidal excursion length) 보다 크게 설정

② 계산격자망 및 등수심도

○ 현황조사를 통하여 수집된 최신자료를 적용하며, 적용된 자료에 대해서는 그 근거를 명확히 기술

○ 일반적으로 원역에서는 국립해양조사원 발행 최신해도를 사용하고, 사업 인근 해역은 최신의 수심측량 성과를 활용하는 것이 바람직함

- 인근 해역의 수심측량 성과가 없는 경우에는 수심측량을 실시해야 함

○ 적정 격자해상도는 사업 해역의 부유사 확산, 퇴적물이동 특성·범위에 영향을 미치지 않도록 사전 민감도 조사 후 결정하는 것이 바람직함

- 사업 해역에 대해 기존 연구 등이 존재하는 경우 이를 활용 가능
- 수평격자 해상도는 사업지역 파일 등 구조물의 규모를 감안하여 충분히 구조물을 해상할 수 있도록 격자해상도 유지함
- 수직격자 해상도는 저층에서는 조밀한 연직격자 해상도를 유지해야 하며, 시그마 격자체계에서는 수심을 고려하되 최소 5개층 이상의 격자해상도를 권장함

③ 조석 개방경계조건 설정

○ 수치모델의 정확도 확보를 위해서는 조석 개방경계조건의 설정이 매우 중요함

○ 서·남해안은 조석, 조류와 같이 주기적인 성분이 탁월하므로 관측 조석자료를 필터링(조화분석 등)한 주기적인 성분(조석조화상수)만을 고려하여 모델링 가능함

- 가능한 많은 분조를 고려해야 하며, 일반적으로 주요 4개 분조(M2, S2, K1, O1)를 이용하지만 보다 엄밀한 해수유동 재현을 위해 최소 5개 분조(주요 4개 분조+N2 분조) 이상을 권장함

※ 단, 대상해역 조석특성에 따라 N2분조 외 주요 크기의 분조를 고려할 수 있음

○ 동해안의 해류·풍성류·파랑류와 같은 비조석성분이 탁월한 해역은 비조석성분을 고려하기 위하여 관측 조석자료를 직접 경계조건으로 입력하여야 함

- 이를 위해 현황조사 시 모델 경계부근의 조석 관측이 반드시 필요하나, 개방경계 관측자료가 확보되지 않은 경우는 신뢰성 있는 광역모델 결과와 남·북 연안역에서 관측된 조석자료를 활용하여 추정치를 입력할 수 있음

※ 단, 광역모델은 자료동화기법 등이 적용된 신뢰성이 높은 자료를 활용해야 하며, 적용된 광역모델의 검증결과를 제시하여 신뢰성을 확보하여야 함

④ 수평 및 수직 확산계수

○ 일반적 확산모형은 수치모델의 격자크기, 유속 등과의 관계식으로부터 수평·수직 확산계수를 산정하고 있으므로 그 근거를 명확히 해야 함

○ 수평·수직 확산계수에 대한 구체적인 산정식이 수치모델에 포함되어 있지 않은 경우는 최신기법의 수평·수직 확산계수 산정식을 적용하며, 이때도 그 근거를 명확히 제시하여야 함

⑤ 바람응력

○ 계절별 영향 모델 실행 기간에 대해 실제 관측 바람자료를 적용하여 수치모델을 검증 가능하여야 함

○ 최악 시나리오를 반영할 수 있도록 최근 10년간 월별 바람자료와 분석 대상기간 각 월별 바람자료를 비교하여 계절별 월최대 바람자료를 선정해 입력 시계열을 구성함

○ 바람자료는 해상풍으로 환산된 자료를 입력하여야 하며, 바람응력 산정식에 대한 근거를 제시하여야 함

⑥ 모델 수행시기 및 기간

○ 모델 수행기간은 예측항목이 준 정상상태(quasi-steady state)에 도달하는지를 확인하여야 하며, 모델 안정화 기간을 제외하고 30일 이상 예측하여야 함

표 9 해수유동 수치모델링 모델구축

항목	구분	세부내용
모델구축	영역설정	• 사전 예비평가를 통하여 해상풍력발전사업으로 인한 영향이 없는 지역까지 모델영역 확장 • 계산영역은 최소 대조 1조석 주기 동안의 조류 왕복 거리(tidal excursion length)보다 크게 설정 • 누적영향평가를 고려한 모델영역 설정
	계산격자망 및 등수심도	• 원역에서는 국립해양조사원 발행 최신해도를 사용하고, 사업지역 및 인근 해역에서는 최신의 수심측량 성과 활용 • 수심측량 성과가 없는 경우에는 수심측량 실시 • 구조물의 규모에 따라 달라지지만 발전기 파일규모 등을 감안하여 충분히 구조물을 해상할 수 있도록 격자해상도 유지 • 저층의 퇴적물이동예측, 부유사 확산영향을 엄밀히 고려하기 위하여 저층에서는 조밀한 연직격자해상도 유지 • 시그마 격자체계에서는 수심을 고려하되 최소 5개층 이상 유지
	조석 개방경계 조건 설정	• 서해안이나 남해안의 경우에는 조석, 조류와 같이 주기적인 성분이 탁월하므로 관측 조석 자료를 필터링(조화분석 등)한 주기적인 성분(조석조화상수) 고려 – 최소 5개 분조(주요 4개 분조 + N2분조) 이상 권장 • 동해안과 같이 해류·풍성류·파랑류와 같은 비조석성분이 탁월한 해역에서 이러한 비조석성분을 고려하기 위하여 관측 조석자료를 직접 경계조건으로 입력 – 현황조사 시 모델 경계부근에서의 조석 관측 필요 • 자료동화기법 등이 적용된 신뢰성이 높은 광역모델 자료 활용 가능 (단, 검증결과 제시)
	수평·수직 확산계수	• 최신기법의 수평 및 수직확산계수 산정식 적용 및 근거제시
	바람응력	• 계절별 모델수행기간에 대해 실제 관측 바람자료를 적용하여 수치모형 검증 • 최근 10년간 월별 바람자료와 금회 각 계절별 바람자료를 비교·분석하여 계절별 월최대바람자료를 선정해 입력 시계열 구성 • 바람자료는 해상풍으로 환산된 자료를 입력하여야 하며, 바람응력 산정식에 대한 근거 제시
	모델 수행시기 및 기간	• 영향예측 모형은 최대한 공사시기의 외력조건으로 수행 • 모델 수행기간은 예측항목이 준 정상상태(quasi-steady state)에 도달하는지를 확인 • 모델 안정화 기간을 제외하고 30일 이상 예측하여야 함

라) 모델검증

○ 서·남해안의 주기적인 성분(비조석성분)이 우세한 해역은 조화분석 등의 기법을 통해 필터링된 관측값과 모델값을 비교하여 검증함

○ 동해안의 비주기적인 성분(비조석성분)이 탁월한 해역은 필터링되지 않은 실제 관측값과 모델값을 비교하여 검증함

- 각 계절별 실제 관측조위를 개방경계조건으로 설정하여, 실제 관측 바람장 하에서 관측조위·유속·유향 및 잔차류에 대한 검증을 수행함

○ 조류(潮流)의 경우는 잔차류(특정 시간동안 평균값)에 대한 비교를 수행하여야 함

마) 예측 결과제시

○ 해상풍력발전사업 전·후의 대·소조기별 만조·간조 분포도 및 그 변화 정도(변화량 및 변화율)를 숫자와 등치선으로 제시함

○ 또한 대·소조기별 밀물·썰물의 최강유속·평균유속 분포 및 그 변화 정도(변화량 및 변화율)를 숫자와 등치선으로 제시하여야 함

① **조위**

○ 고조위 및 저조위 분포도, 각 분조별 조석도 및 해상풍력발전사업에 따른 고·저조위 예측 변화량을 제시

※ 일반적으로 제시된 고·저조위 분포도 및 조석도를 통하여 해수유동 수치모델의 재현성 등을 정성적으로 살펴볼 수 있음

② **조류(潮流)**

○ 최강 밀물·썰물의 조류도, 조시별 해수유동 벡터도, 최강유속 분포도 및 잔차류 분포도를 제시함

○ 보다 정확한 해황특성과 모델의 재현성을 파악하기 위해서는 대조기 1시간 간격(또는 2, 3시간) 해수유동 벡터도 제시를 권장함

○ 부유사 확산예측 및 퇴적물 이동 확산 수치모델에 해수유동장 자료 제공을 위한 해수유동 모델인 경우는 잔차류 결과제시가 필수임

2) 부유사 확산 실험

○ 기초굴착, 구조물·송전선로 설치 등 공사 시 발생하는 부유사의 확산을 예측하여 해양환경에 미치는 영향을 검토하고, 효과적인 저감방안을 정량적으로 검토하기 위하여 수행함

가) 예측범위

○ 해수유동실험과 동일하게 해양물리 및 해양수질 변화, 해양생태계 변화 등의 예측 범위를 고려하여 그 범위를 가능한 넓게 선정함

나) 모델선정

○ 기본적으로 사업 특성과 평가 목적에 맞춰 해역 특성을 충분히 고려할 수 있는 모델을 선정함

○ 선정된 모델은 〈표 10〉에서 제시한 최소기준을 만족하여야 하며, 대상 해역의 특성, 해상풍력발전사업의 영향 특성 등을 종합적으로 고려하여 필요한 기능들이 포함된 수치모델을 선정하여야 함

○ 일반적으로 부유사 확산 실험에서는 해수유동모델과 연동되는 3차원 확산모델을 사용함

- 부유사의 침강·재부유 등 거동이 확산 정도에 영향을 미치기 때문에 이를 고려한 정량적인 확산예측을 수행할 수 있어야 함
- 부유사가 침전·퇴적된 후 유속이 일정속도에 이르러 재부유되는 경우를 반영하도록 침식한계 전단응력, 퇴적한계 전단응력 등을 고려할 수 있는 수치모델을 선정하여야 함
- 복잡한 해양 저질의 특성을 반영할 수 있도록 해양퇴적물 관측을 통해 얻어진 퇴적물 입자지름 정보를 수치모델에 반영할 수 있어야 함

표 10 부유사 확산 및 퇴적물이동 예측 수치모델링 모델 선정 시 고려사항(요약)

항 목	세부 고려사항
모델선정	• 순환 및 확산모델의 연계성 유무 확인
	• 수평격자의 가변격자 허용여부 또는 곡면격자 사용여부 확인
	• 수평·수직점성계수 및 확산계수 계산의 다양한 옵션제공 유무 확인
	• 부유사의 침강, 재부유 등의 영향을 고려할 수 있는 모형을 선정
	• 저질의 공간적 특성 고려 가능 모형
	• 개방경계조건 설정의 다양한 기능제공 유무 확인
	• 해역별 특성에 따른 모델 선정(조간대 모의 가능 모델)
	• 퇴적물이동에 따른 수심변화 갱신 가능 모형
	• 국내·외에서 범용적으로 사용하여 신뢰성이 입증된 수치모델을 권장

다) 모델구축

① **모델영역**

○ 부유사는 해수 유동에 의해 이동·확산되므로 부유사확산실험은 해수유동실험 결과를 토대로 실시되어야 함

○ 따라서, 예측범위 등은 해수유동실험과 동일하게 설정되어야 함

② **격자체계 및 수심**

○ 부유사확산 모델의 격자망 및 격자수심은 기본적으로 해수유동예측 수치모델과 동일한 체계를 유지하여야 함

○ 수평격자의 크기는 사업대상 지역 지형 및 설치 계획된 구조물의 크기를 고려하여 모델에서 적절히 재현할 수 있도록 가능한 최소화하여 설정하여야 함

③ **초기 및 경계조건**

○ 초기조건은 현황조사 된 층별 공간부유사 농도분포 관측결과에 근거하여 각 층별 격자에 내삽(보간)하여 부여해야 함

※ 이를 감안하여, 각 관측점 간 내삽을 위한 최소거리가 유지되도록 공간부유사 관측이 실시되어 있어야 함

○ 외해경계는 현황조사 시 관측된 연속층별 부유사 관측 자료를 내삽(보간)하여 부여함

- 수치모델 수직격자의 각 층에서 관측자료가 없는 경우에는 모델의 외해경계(또는 경계 인접지점) 위치에서 관측한 공간부유사 농도 자료를 활용함(해당 위치의 연직구배 특성을 반영하여 입력)

④ **유동조건**

○ 해수유동실험에서의 해수유동장을 이용하여야 함

⑤ **부유사 발생량**

○ 부유사 확산 실험 결과에 영향을 미치는 중요 요소이며, 일반적으로 발생 원단위, 공사물량·기간·강도 등을 고려하여 발생량을 산정함

- 발생 원단위 적용 근거자료와 이를 이용한 부유사 발생량 산출 과정을 명확히 제시하여야 함

⑥ **부유사 침강속도**

○ 사업 해역의 해양퇴적물 조사 결과를 바탕으로 퇴적물 분포 특성을 분석하고, 퇴적물별·입자지름별 부유사 침강속도를 계산하여 실험모델에 반영하여야 함

라) 모델검증

○ 모든 지점에서 관측값과 모델값을 시계열 형태로 비교·검토함

- 각 계절별로 관측값과 모델값의 1-1 대응 그래프를 작성

- RMS 오차 등을 산출하여, 계절별 부유사농도의 검증 정도를 정량적 표현

마) 결과제시

○ 부유사 발생 부하량과 해수 유동 특성에 따른 부유사의 수평·수직적 최대 확산범위를 예측하고 인근 해역에 미치는 영향을 분석·제시함

○ 부유사 가중농도 시계열 분포도, 조시별 부유사 가중농도 분포도, 계절별 부유사 농도 확산범위, 부유사 최대 가중농도 분포도 및 백분율 등으로 제시하여야 함

- (조시별 부유사 가중농도 분포) 부유사 농도의 거동 및 확산 특성 파악

- (계절별 부유사 농도 확산범위) 계절별 특성을 상호 비교 및 이를 통한 최대부유사 농도 확산범위를 도출

- (부유사 최대 가중농도 분포) 확산범위는 4계절에 대한 실험을 수행하여 계절별 누적영향을 포함한 최대확산범위를 산정

3) 퇴적물 이동 및 국부세굴 실험

○ 해상풍력발전사업 시행으로 인한 사업 대상해역 및 주변해역의 퇴적물 이동변화 양상 파악을 목적으로 수행함

○ 특히 파일(기초구조물) 설치에 따른 국부세굴의 영향 예측이 필요함

가) 예측범위

○ 퇴적물 이동실험 수치모델의 예측범위는 해수유동실험과 동일하게 구성함

나) 모델선정

○ 다양한 해역에서 점착성·비점착성 퇴적물 이동 시뮬레이션이 가능한 모델을 선정하여야 함

- 점착성·비점착성의 다양한 크기를 가진 입자를 반영 가능할 것

- 퇴적물 침강, 퇴적, 침식, 재부유, 이류, 확산 및 소류를 시뮬레이션 가능할 것

- 파랑에 의한 저면 전단응력의 증가 효과를 반영 가능할 것

○ 일반적으로 퇴적물 이동실험은 부유사 확산 실험과 같이 해수 유동모델과 연동되는 3차원 확산모델을 사용함(〈표 10〉 참조)

다) 모델구축

○ 수치모델 영역, 격자체계, 초기수심 조건 및 유동조건 등을 해수유동모델과 동일하게 구성함

○ 해양조사 결과를 바탕으로 퇴적·침식한계의 전단응력, 기준침강 속도 등을 산정하여 모델 입력제원으로 사용하며 산정 근거를 제시하여야 함

○ 모델 범위 내로 유입되는 하천으로부터 유입되는 부유퇴적물의 영향도 실험에 반영하여야 하며, 해당 하천경계의 홍수량·유사량을 입력하여 홍수시 조건으로 설정할 수 있음

라) 모델검증

○ 해상풍력발전사업 인근지역의 과거 수심 관측자료 및 현장 관측자료와 모델링 결과 예측치를 비교하여 퇴적물 이동량이나 퇴적률 등의 침·퇴적 경향을 검증하여야 함

○ 정량적인 퇴적률 검증이 어려운 경우는 등심선의 상세한 변화를 검토하여 정성적인 패턴으로 제시하는 것도 고려함

마) 결과제시

○ 해상풍력발전사업 시행 전(과거 관측, 현장 관측)과 후(영향예측)의 연간 침·퇴적고의 분포도와 변화도를 제시함

○ 특히 기초시설물(파일)과 케이블 설치지점 등 주요 공사구간에 대한 침·퇴적 양상을 상세히 제시하여야 함

4) 파랑변형실험

○ 외해로부터 사업지구로 내습하는 파랑의 특성을 검토하고, 해상풍력 구조물 건설이나 준설 후의 세굴 등 지형변화 및 이에 따른 파랑변화를 예측하기 위하여 실시함

○ 파랑변형실험 결과는 퇴적물 이동실험의 퇴적변화에 영향을 주는 잉여응력(radiation stress)의 입력자료로 활용됨

가) 예측 범위

○ 파랑 전파가 모형 내에 현실성 있게 재현되도록 고려하여 영역크기와 격자간격 등 실험영역을 결정함

○ 실험영역은 광역과 상세역으로 구분하여 수행할 수 있지만 최대한 해수유동실험에서 설정한 영역을 포함할 수 있도록 구성함

나) 모델 선정

○ 심해로부터 대상 해역까지의 파랑을 산정가능하고, 파랑의 천수·굴절·반사·쇄파·회절 등을 시뮬레이션할 수 있는 모델을 선정함

○ 국내·외에서 범용적으로 사용하여 신뢰성이 입증된 수치모델 선정을 권장

다) 모델 구축

○ 광역의 계산격자는 대상 해역의 지형과 수심변화를 반영하고, 상세역의 계산격자 및 지형조건은 사업에 따른 구조물을 상세히 해상할 수 있는 격자체계로 구성하여야 함

○ 수심 자료는 최신 수치해도(국립해양조사원)와 현장 측량 성과자료를 사용하고, 조위는 사업지역 해역의 약최고고조위(略最高高潮位)를 적용함

○ 외해 입사파는 「전국 심해설계파 산출 보고서」(해양수산부, '19.8 改)의 빈도별 심해설계파 사용을 권장함

- 파랑 조건은 사업지역에 주된 영향을 미칠 것으로 예상되는 파향을 선정하여 사용함

표 11 파랑변형실험 수치모델 구축(요약)

항 목	구 분	세 부 내 용
모델구축	영역설정	• 파랑의 전파가 모형 내에 정확히 재현되도록 영역크기와 격자간격 등을 고려하여 결정
	계산격자 및 수심	• (광역격자) 심해설계파 추산 격자점을 외해입사경계로 설정 • (상세역격자) 사업대상지역의 파랑이 잘 재현되도록 파랑의 전파특성과 해상풍력 구조물의 크기를 고려하여 결정 • (수심) 국립해양조사원 최신해도와 수심측량 성과자료 활용
	입사파	• 「전국 심해설계파 산출 보고서」(해양수산부, '19.8)의 빈도별 심해설계파 적용
	파랑조건	• 사업지구에 주된 영향이 예상되는 파향을 선정하며, 각 파향별·빈도별 최대 심해설계파를 추산하여 사용
	조위	• 사업지역 해역의 약최고고조위 적용

라) 결과제시

○ 광역/상세역에 대해 파향 벡터도, 파고 분포도 및 표 등으로 제시함

○ 실험결과를 토대로 파일 등 구조물 설치에 따른 파고 변화 및 파랑 전파 특성을 분석하여 제시함

다. 저감방안

1) 국부세굴 저감대책

○ 해상풍력 기초구조물이 설치되면 해저 바닥의 침식·퇴적 발생으로 해저면 지형변화를 유발하며, 이에 따른 세굴 방지대책을 수립하여야 함

- 필요시 발전기 타워에 세굴 깊이 측정센서를 설치하여 기초구조물 주변 지형변화를 측정하여 기초 안전성 변화를 모니터링함
- 이를 분석하여 필요한 기초구조물의 안정성을 보강하도록 함

○ 세굴 발생에 따른 유사 이동 방지를 위해 사석 보호공 또는 세굴방지공을 기초구조물 주변에 설치함

라. 사후환경영향조사

1) 조사목적

○ 해상풍력발전사업의 준설·구조물 설치 등 공사와 운영에 따른 영향이 예상되는 지역에 대해 해양물리적 환경변화 여부를 파악하기 위해 조사

2) 조사항목

○ 해수유동 및 퇴적변화로 인한 영향을 확인할 수 있도록 선정하여야 함

- 해수유동변화, 부유사 발생 및 퇴적물 변화, 지형변화 등 관측

3) 조사지점

○ 대상 해역과 조사항목의 특성을 고려하여 사업시행 전·후 상태를 비교할 수 있도록 조사지점을 선정하여야 함

○ 특히 파일 등 구조물 설치지점과 바로 인접하여 조사지점을 선정하도록 함

4) 조사시기

○ 환경영향평가 시에 조사·예측한 사항과 사후환경영향조사의 조사결과를 비교가능하도록 사후환경영향조사의 조사시기 및 주기를 설정함

5) 조사방법

○ 환경영향평가 시의 조사방법을 준용하여, 각 사후조사 항목별 조사방법을 구체적으로 선정함

6) 결과제시

- 해상풍력발전사업 전·후 해수유동변화 정도를 파악하고, 발생된 유동변화의 원인 및 사업과의 연관성을 분석하여 결과를 상세히 제시하여야 함
- 환경영향평가 시에 예측한 영향과 비교하여 사후조사 결과를 분석·제시함
- 사업으로 인한 영향 발생이 확인된 경우에 필요한 추가 저감 대책 수립 및 이행 등에 관한 사항을 제시함

5 해양수질 및 퇴적물 항목

가. 현황조사

1) 조사항목

- 「해양환경공정시험기준」(해양수산부고시)의 항목을 중심으로 조사하되, 사업 규모와 지역의 환경적 특성을 고려하여 적절한 영향 예측에 필요한 항목을 가감하여 선정할 수 있음

표 12 해양수질 및 퇴적물 현황조사 항목(예시)

구 분	조 사 항 목
해양수질	염분, 수온, 수소이온농도(pH), 투명도, 부유입자물질(SPM), 용존산소(DO), 황화수소, 화학적산소요구량(COD), 용존유기탄소(DOC), 총유기탄소(TOC), 아질산성질소, 질산성산소, 암모니아성질소, 총질소, 용존총질소(DTN), 용존무기질소(DIN), 인산염인, 총인, 용존총인(DTP), 용존무기인(DIP), 규산염(Si(OH)4), 시안(CN), 불소(F), 구리(Cu), 납(Pb), 니켈(Ni), 아연(Zn), 카드뮴(Cd), 코발트(Co), 6가크롬(Cr6+), 총크롬(Cr), 비소(As), 수은(Hg), 알킬수은, 페놀류, 유기인, 폴리클로리네니티드비페닐(PCBs), 유기주석 화합물, 음이온계면활성제, 휘발성유기화합물(VOCs), 용매추출유분, 총대장균군 등
해양퇴적물	입도, 함수율, 강열감량, 총황, 산휘발성황화물(AVS), 화학적산소요구량(COD), 유기탄소량, 구리, 납(Pb), 니켈(Ni), 망간(Mn), 아연(Zn), 알루미늄(Al), 철(Fe), 카드뮴(Cd), 코발트(Co), 크롬(Cr), 비소(As), 리튬(Li), 총수은(T-Hg), 유기염소계 농약, 다환방향족탄화수소(PAHs), 폴리클로리네이티드비페닐(PCBs), 유기주석화합물(BTs) 등

2) 조사범위 및 조사지점

- 조사범위는 사업 계획 지역과 그 주변 해역으로 정하며, 사업 시행의 영향이 미칠 가능성이 있는 지역까지 포함되도록 검토·설정하여야 함

○ 대상 해역의 수질 환경에 많은 영향을 미치는 물리적 요인, 오염원, 하천유입 현황 등을 고려하여 대표 지점을 선정함

- 해양동·식물, 해양물리 등 다른 항목의 결과와 비교·분석이 가능하도록 필요한 지점을 포함하여 선정해야 함

○ 조사지점 수는 대상 사업의 규모와 예측을 위한 영향범위가 충분히 포함되도록 필요한 최대치를 선정함

- 정확한 사업예정지 현황 파악 및 사업 시행영향을 공사·운영 시 모니터링에서 정확하게 파악할 수 있도록, 구조물·케이블 설치 지역과 가까운 곳에 조사지점을 많이 선정하는 것이 필요함

3) 조사방법

○ 기본적으로 계절변동을 파악하기 위하여 계절별 조사를 하도록 함

- 해상의 큰 이벤트가 발생하여 대상 사업지 주변 해역에 변화가 예상될 경우는 추가조사를 실시함

- 서·남해안은 조석에 의한 수괴 특성 차이를 보이므로 조석차를 고려함

○ 채수 시 변질이 쉬운 조사항목인 pH, DO(용존산소), 수온은 현장에서 샘플링 즉시 측정·분석하고, 그 외 항목은 항목별 필요한 전처리 후에 실험실로 운반하여 「해양환경공정시험기준」에 준하여 분석함

○ 해양퇴적물은 가능한 해양수질과 동일한 지점에서 조사를 실시하고, 중금속의 경우 완전분해법(「해양환경공정시험기준」 제시)으로 분석함

○ 수심이 10m 이내일 경우 2개층(표층·저층)에서 시료채집 및 자료조사를 수행하며, 수심 25m 이상에서는 3개층(표층·중층·저층)에서 수행함

○ 조사시기는 대·소조기를 고려하여 강우·바람 영향이 없는 날을 선정하고, 조사일자·시간 및 조사좌표(WGS84)를 조사지점도 등에 정확히 기록함

○ 남해안은 낮은 DO와 높은 유기물함량으로 인해 빈산소수괴 및 적조현상 등 발생이 빈번하므로, 조사시기별로 해당 항목의 변화를 유의하여 관찰하도록 함

○ 중금속은 항목별 공인된 표준물질(SRM)을 이용하여 해양환경공정시험기준에 준하여 회수율을 조사하고 분석기록지를 작성하여야 함

4) 결과제시

- 사업지역의 해양환경 특성을 파악할 수 있도록 현장조사 결과와 기존 조사자료를 비교·분석하고, 결과가 상이한 경우에는 해양환경 특성과 주변 현황 등을 토대로 원인을 분석하여 제시해야 함
- 조사결과는 각 항목별로 알기 쉽게 정리하여 제시하고, 지점별·조사항목별 분석을 통해 조사해역의 환경특성을 자세히 설명하여야 함
- 조사항목별 측정 결과값은 해양환경기준, 생태기반 해수수질기준, 해양생태계 보호기준 및 사람의 건강보호기준 등과 비교·제시하여야 함

나. 영향예측

- 시설물 설치 및 준설공사 시에 부유물질 발생·확산으로 해양퇴적물에 포함된 중금속 등 오염물질도 함께 확산될 수 있음
- 따라서, '5. 해양물리 항목'의 '나-2) 부유사확산실험'에서 제시된 부유사 발생·확산 예측에서 중금속 등 오염물질 확산 영향도 함께 예측하도록 함

다. 저감방안

1) 부유토사 확산 저감방안

- 기본적으로 '4. 해양 동·식물 항목'의 '다-1) 부유토사 확산 저감방안'에서 제시된 사항을 고려함
- 부유토사 발생이 많은 준설공사는 가능한 정조기(停潮期)에 실시하도록 공정을 계획하여야 함
- 일반적으로 오탁방지막의 높이는 3m 정도이나, 준설공사는 저층을 중심으로 부유토사가 확산되기 때문에 대상 해역의 해역특성을 고려하여 다양한 형태의 오탁방지막을 활용한 효율적인 저감방안을 결정하도록 함
- 송전선로 공사의 해저케이블 매설을 워터제트(고압의 물을 노즐 분사) 방식으로 하는 경우 부유토사 확산범위가 매우 방대하게 나타나며, 확산 저감방안을 수립·적용하거나 부유토사 발생이 적은 방식의 대안 공법을 검토하여야 함

참 고 해상풍력발전 송전선로 공사 특성

- ①각각의 풍력발전기와 해상변전소의 연결, ②해상변전소와 지상변전소(개폐소)의 연결, ③지상변전소(개폐소)와 기존 전력공급망 연결 등 3개 구간으로 구성되며, ①·② 구간이 해저케이블 공사 대상임
- (①구간) 일반적으로 발전단지 내 풍력발전기들 간의 거리가 상호 간섭을 최소화하기 위해 수백m가 넘으므로 발전기 수량 증가에 비례하여 수십km 이상에 이름
- (②구간) 최근 해상풍력단지가 해안에서 10km~20km 이상 이격 설치되는 경우가 많음
- 해저케이블은 어로작업의 그물·앵커 등에 의한 파손 방지를 위해 해저지반에 도랑을 파고 매설됨
- 따라서, 해저케이블 공사는 수십km 이상에 이르며, 이로 인한 부유사 발생 영향은 무시할 수 없는 수준임

2) 유류유출사고에 대한 방지대책

○ 기본적으로 '4. 해양 동·식물 항목'의 '다-7) 우발적 기름유출사고에 대한 방지대책'에서 제시된 사항을 고려함

○ '5. 해양물리 항목'의 부유사확산실험 결과와 함께 해양 수질·퇴적물 조사 결과를 활용하여, 유류유출사고 발생 시 대응할 수 있도록 신속한 방재 조치의 우선 순위를 계획하고, 사고 전·후 평가 및 복구 대책을 마련 가능함

라. 사후환경영향조사

1) 조사 목적

○ 해상풍력발전 공사·운영에 따른 사업지역 해역 환경의 변화 여부 및 주변 해역 환경의 해양환경기준 만족여부를 파악하기 위해 조사함

○ 환경영향평가에서 예측한 영향에 대해 검증하며, 사후모니터링 결과의 분석 과정에서 계획한 조사지점·방식·횟수 등이 사후모니터링 목적에 부합하지 않는 경우에는 조사계획을 순응적으로 변경하도록 함

2) 조사항목

○ 부유·오염물질 유입으로 인한 영향이 확인될 수 있도록 환경영향평가 시 조사항목과 동일(또는 유사)하게 선정하여 비교가능하도록 함

3) 조사지점

○ 부유·오염물질 유입으로 인한 영향범위를 검증·확인할 수 있도록 선정하며, 특히 구조물·송전선로 설치지점과 근접하여 조사지점을 집중 배치함

4) 조사시기

○ 환경영향평가와 사후환경영향조사의 조사결과를 비교가능하도록 조사시기 및 주기를 설정하여야 함

- 특히 부유토사 발생 공정이 진행되는 공사시기에는 주~월 1회 이상 부유토사 농도에 대해 조사함

5) 조사방법

○ 해양환경공정시험기준에 따라 조사·분석하여야 하며, 중금속의 경우는 항목별 공인된 표준물질(SRM)을 이용한 회수율을 제시하도록 함

6) 조사결과

○ 사업시행으로 인한 부유토사 확산범위에 대해 검증하여 조사결과를 상세히 제시하여야 함

○ 기존 계획된 저감대책의 검증 및 추가 저감대책 수립·이행 등에 관한 사항을 제시하여야 함

- 조사항목별로 그래프·표·사진 등 상세한 조사결과를 제시하도록 함

○ 단순 조사결과 측정값 제시가 아닌 사업과의 연관성 분석 및 원인분석 등을 실시하여 제시하여야 함

- 측정값의 지속적인 변화 관찰을 위해 사업 전·후(환경영향평가~모든 사후환경영향조사)의 조사결과를 비교·분석하여 제시함

6 해양경관 항목

가. 자연경관심의 대상사업 검토

1) 심의대상 여부 및 범위

○ 기본적인 검토기준은 「개발사업 등에 대한 자연경관 심의지침」에 의거하여 심의대상 여부를 검토하여야 함.

○ 해상풍력발전단지의 경우, 일반적으로 사업지구 조망이 양호한 지점 등 사업시행에 의한 경관 변화를 예측하기 용이한 지점을 선정하여 범위 설정하여야 함.

2) 경관자원조사

- 생태경관자원 : 해안식생, 해안 동·식물(여류 등)의 종류 및 분포, 서식처 등
- 지형경관자원 : 특정도서, 해안의 형상, 절벽, 단애(斷崖)·단층, 모래사장 등
- 지역경관자원 : 지역의 토지이용, 환경 및 경관관련 용도지역, 경관관련계획, 관광지, 문화재 등 역사·문화적 가치가 있는 지역 및 시설 등

3) 검토사항

- 위압 및 돌출 경관
  - 위압 경관 : 구조물로 인한 위압감 및 압박감 완화
  - 돌출 경관 : 도서지역 주변의 구조물로 인한 돌출 경관 및 스카이라인
- 조망경관
  - 구조물의 조망 : 구조물 형태 식별 등 인지 가능 정도
  - 조망의 차단 : 구조물로 인한 해안 경관의 조망 차단
- 주변 경관특성과의 조화
  - 사빈 해안 경관 : 사빈-사구의 상호 작용 확보, 해안 사구 보전 대책
  - 간석지 해안 경관(갯벌, 염습지) : 갯벌 보전 대책, 조석 영향의 유지
  - 자갈 해안 경관(자갈 해빈 등) : 자갈 해빈의 보전 가치 및 보전 대책
  - 암석 해안 경관(해안 절벽, 파식대 등) : 해안 절벽의 안전성 및 보전 대책, 해안 단구의 스카이라인 보전 대책
  - 바다 및 도서 경관 : 주변 해안 경관과의 조화, 물질(퇴적물, 해수 등) 이동 보호
- 생태경관
  - 철새 도래지, 야생 동물 서식처 등 : 경관 보전 가치 판단 및 보전 대책

4) 심의기준

표 13 자연 경관 영향 심의기준

구분	검토항목	세부내용	비고
조망점	이용 특성	조망점 위치도에 이용 특성 표시	-
		검토 보고서에 설명 제시	-
	조망점	조망점 위치도	-
		조망점 선정 기준 준수 여부	-

구분	검토항목	세부내용	비고
	가시권 분석	가시권 분석의 정확성	-
		조망점 위치도에 가시권 표시	-
		가시권 분석 사진 장비 제시	-
	경관 특성	경관 자원 분류표 및 경관 현황도 제시	-
		선정 사유 제시	-
		주요 경관 자원의 현황 사진 및 설명 제시	-
	경관 변화	배후 도서 및 수평선의 스카이라인 표시	-
		스카이라인의 변화가 예상될 경우 시설물 위치 및 높이 제시	
	위치도	총괄 표 제시	-
		Z값과 지반고 명시	
		대상지와 조망점간의 최단 거리 제시	
		어둡지 않은 도면 사용 여부	
		A4 절반 이상 사이즈	
		내부, 외부 조망점 구별	
훼손 여부	위압 및 돌출감	배후 도서 및 수평선의 스카이라인 표시	
		해안선 및 도서로부터의 거리와 구조물의 높이 제시	
		구조물의 실제 조망 높이와 수평선과 구조물과의 조망각	
	조망경관	구조물의 형태 식별 등 인지 정도의 시뮬레이션과 기술	-
		주요 조망점에서의 해안 조망 차단 및 방해	-
	주변 경관특성과의 조화	조망점별 경관 유형(사빈, 간석지, 자갈, 암석, 바다 및 도서경관 등)을 구분하여 세부 경관에 대한 훼손 여부 제시	-
	생태경관	철새도래지와 이동경고 등과 구조물 위치를 중첩하여 제시	
자연 경관 영향 예측	시뮬레이션의 정확도	Z값과 지반고 명시	-
		와이어 프래임 제시	-
		프로그램 명시	-
		지형 모델링 권장	-
	작성 과정 명시	지형 모델링	-
		시설물 모델링	-
		조망점별 경관 모델링	-
	경관 변화	위압 및 돌출감, 조망차단 및 방해, 주변경관과의 부조화, 생태경관에의 영향 등에 관한 경관 변화 자료 제시	-
			-
			-
저감 방안	영향 저감 공법 자료 제시		-
	효과 및 환경 영향 분석	단계별 과정 고려	-
		지역적 경관 특성 고려	-
		통경축 확보	-
		이질감 완화	-
	저감 방안 제시	기존 경관 자원의 훼손 여부	-
		기존 경관 자원과의 조화 여부	-

○ 사업안에 대한 분석 및 조망점 선정을 고려한 사업 대상지 및 사업 대상지 부근에 대한 현황 조사가 적절히 이루어졌는지를 검토함

○ 이를 바탕으로 최종 조망점을 선정하고 각 조망점별로 경관 시뮬레이션을 수행하여 사업 시행으로 인한 경관 영향을 파악한 후 예상되는 경관 변화와 훼손 유형에 대한 구체적인 저감 방안을 수립하였는지 검토함

나. 영향예측 및 저감방안

○ 가시권 분석, 경관 시뮬레이션 등을 실시하여 해상풍력발전 단지의 해양경관 변화 발생을 예측하여야 함.

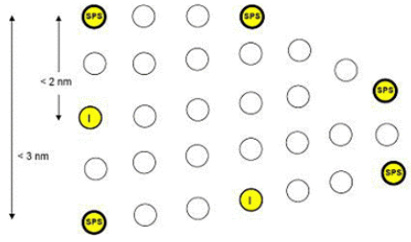
○ 사업시행으로 불가피하게 해양경관에 변화가 발생할 경우에는 이격거리의 확보와 발전기 설치 간격 및 높이 조정 등의 방안을 검토하고 최대한 주변 환경과 조화를 이룰 수 있도록 「항로표지의 기능 및 규격에 관한 기준, 해양수산부고시 제2019-64호」 등의 관련규정을 검토하여 적합한 색채계획을 수립하여야 함.

제46조 (해양풍력발전단지표지의 설치 기준) ① 선박 통항이 이루어지는 해상에 풍력발전단지를 설치하는 경우 다음 각 호의 기준에 따라 해양풍력발전단지표지를 설치하여야 한다.

1. 풍력발전단지 등화는 단지 구역의 가장자리 또는 발전단지 주변의 중요한 위치에 설치하여야 한다.
2. 모든 풍력발전단지 등화는 풍력발전기 구조물의 수평면에 설치하여 모든 방향에서 시인할 수 있는 등화이어야 한다.
3. 풍력발전단지 등화는 특수표지 기능으로 광달거리 5마일 이상의 황색섬광의 등화로 동기점멸하여야 한다.
4. 매우 넓은 풍력발전단지의 등화를 동기점멸 하는 경우에는 그 등화 간격을 최대 3마일 이내로 하여야 한다.
5. 풍력단지 외각선의 중간에 설치되어 있는 풍력발전구조물에도 항해자가 모든 방향에서 시인할 수 있는 위치에 황색섬광의 등화를 설치하여야 한다.
6. 외각선 중간 등화는 가장자리 등화와 구별할 수 있도록 발광하여야 하며, 최소 광달거리가 2마일 이상이어야 한다.
7. 외곽선 중간등화의 설치 간격은 가장자리 등화에서부터 최소 2마일 이내의 간격으로 설치하여야 한다.
8. 풍력발전기가 많이 밀집한 풍력단지에서는 항로표지의 밀집에 따른 혼란을 방지하기 위하여 등화의 동기점멸 또는 특성이 다른 등화와 광달거리가 다른 등화의 사용 등에 대하여 충분히 검토하여야 한다.
9. 변전소나 기상관측탑 또는 풍력관측탑이 풍력발전단지에 복합적으로 설치될 경우에는 이러한 시설물들도 풍력발전표시 방식에 포함되어야 한다.
10. 풍력발전단지 내에서의 해양구조물은 해양구조물표지 설치 기준(예 : 백색섬광, 모로스부호 "U(‥—)")을 따를 수 있다.
11. 풍력발전단지 가장자리 등화와 중간등화 이외에도 항행안전을 위하여 필요할 경우, 다음 각 목과 같은 항로표지 장비를 추가하여 설치할 수 있다.

가. 모든 가장자리 풍력발전구조물에 등화를 설치

나. 풍력발전단지 내의 모든 풍력발전구조물에 등화를 설치
다. 레이더비콘 설치
라. 레이다반사기 또는 레이더타겟 설치
마. 자동위치식별신호표지 설치
바. 최소 음달거리 2마일 이상의 음파표지 설치
사. 등화가 설치되지 않은 구조물에는 역반사재 설치
아. 사다리와 접근플랫폼에 조사등 설치
자. 각 구조물에 식별번호판 부착(야간 식별 또는 주간에만 식별)



〈그림〉 풍력발전단지표지의 설치 예(SPS : 가장자리등화, I : 중간등화)

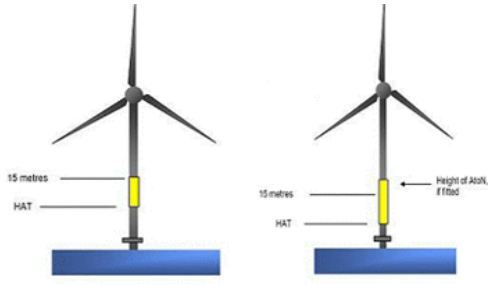
제47조 (풍력발전기 (풍력터빈) 의 표시) ① 모든 풍력발전기 탑은 최고 만조위 선상에서 15m까지는 전체 둘레를 황색으로 도색하여야 하며, 등명기를 설치하는 경우에는 등명기의 설치 높이까지 도색하여야 한다.

② 교차 도색을 할 때에는 황색 횡대의 높이가 2m를 넘지 않도록 한다.

③ 도색하여야 할 부분은 반사재를 사용할 수도 있다.

④ 풍력발전기의 등화는 풍력 회전날개 밑에 설치하되, 해면의 최고 만조위 선상에서 최소 6m 이상의 높이에 설치하여야 한다.

⑤ 독립된 구조물로서 위험성이 증가할 때에는 백색 모르스부호 U(··—)의 등질을 가진 등화를 설치하여야 한다.



자료 : 항로표지의 기능 및 규격에 관한 기준, 해양수산부 고시 제2019-64호

III

참고사항

Ⅲ 참고사항

1 해상풍력 발전사업 중 환경영향평가 대상 사업 검토

○ 「환경영향평가법」 시행령 〈별표3〉

3. 에너지 개발사업
  다. 「전원개발촉진법」 제2조제2호에 따른 전원개발사업 및
  라. 「전기사업법」 제2조제16호에 따른 전기설비 중에서
    1) 10만㎾(100㎿) 이상의 풍력 발전소
    2) 345㎸ 이상의 지상 송전선로로서 선로길이 10㎞ 이상(지중화구간 길이 포함)
    3) 765㎸ 이상의 옥외변전소

12. 산지의 개발사업
  가. 「산지관리법」 제2조제1호에 따른 산지에서 시행되는 사업 중
    3) 「산지관리법」 제14조제1항에 따른 산지전용허가면적이 20만㎡ 이상

〈비고〉
9. 같은 사업자가 둘 이상의 사업을 하나의 사업계획으로 연계하여 추진하는 경우로서 다음 계산식에 따라 산출된 수치의 합이 1 이상인 경우에는 이들 사업에 대한 평가서를 하나로 통합하여 작성하고, 그 사업 전체에 대하여 환경영향평가 실시함

$$\frac{\text{해당 사업면적 또는 용량 등}}{\text{별표 3 대상사업의 최소면적 또는 용량 등}} + \cdots\cdot$$

○ 위 표에서 제3호 다·라목 2)·3)의 경우는 송전선로·변전소 등 발전소 부대시설로서 육·해상부 사업이 포함된 경우 대상 사업 검토

○ 위 표에서 제12호 가목 3)의 경우는 발전소 부대시설에 따른 육상부 사업이 포함된 경우 대상 사업 검토

○ 위 표에서 〈비고〉 제9호의 경우는 발전소 용량이 10만㎾ 미만이지만, 발전소 용량과 함께 위 두가지 사항의 검토 대상에 해당되는 경우를 종합하여 대상 사업 여부 검토

2 해상풍력 발전사업 중 소규모환경영향평가 대상 사업 검토

○ 환경영향평가 대상이 아닌 사업 중, 사업계획 면적이 「환경영향평가법」 시행령 〈별표4〉에 따른 용도지역 면적에 해당 여부를 검토

1. 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」(이하, 국토계획법) 적용지역
   나. 「국토계획법」 제6조제2호에 따른 관리지역 면적이 아래 이상
      - 보전관리지역 5,000㎡, 생산관리지역 7,500㎡, 계획관리지역 10,000㎡
   다. 「국토계획법」 제6조제3호에 따른 농림지역 면적이 7,500㎡ 이상
   라. 「국토계획법」 제6조제4호에 따른 자연환경보전지역 면적이 5,000㎡ 이상

3. 「자연환경보전법」 및 「야생생물 보호 및 관리에 관한 법률」 적용지역
   가. 「자연환경보전법」 제2조제12호 및 제12조에 따른 생태·경관보전지역(같은 법 제23조에 따른 시·도 생태·경관보전지역을 포함) 면적이 아래 이상
      - 생태·경관핵심보전구역 5,000㎡, 생태·경관완충보전구역 7,500㎡, 생태·경관전이보전구역 10,000㎡
   나. 「자연환경보전법」 제2조제13호, 제22조에 따른 자연유보지역 면적이 5,000㎡ 이상
   다. 「야생생물 보호 및 관리에 관한 법률」 제27조에 따른 야생생물 특별보호구역 및 제33조에 따른 야생생물 보호구역 면적이 5,000㎡ 이상

4. 「산지관리법」 적용지역
   가. 「산지관리법」 제4조제1항제1호 나목에 따른 공익용산지 면적이 10,000㎡ 이상
   나. 「산지관리법」 제4조제1항제1호 나목에 따른 공익용산지 외의 산지 면적이 30,000㎡ 이상

5. 「자연공원법」 적용지역
   가. 「자연공원법」 제18조제1항제1호에 따른 공원자연보존지구 면적이 5,000㎡ 이상
   나. 「자연공원법」 제18조제1항제2호, 제3호 또는 제6호에 따른 공원자연환경지구, 공원마을지구 또는 공원문화유산지구 면적이 7,500㎡ 이상

6. 「습지보전법」 적용지역
   가. 「습지보전법」 제8조제1항에 따른 습지보호지역 면적이 5,000㎡ 이상
   나. 「습지보전법」 제8조제1항에 따른 습지주변관리지역 면적이 7,500㎡ 이상
   다. 「습지보전법」 제8조제2항에 따른 습지개선지역 면적이 7,500㎡ 이상

〈비고〉
9. 위 적용지역 대상 중 둘 이상의 용도지역에 걸쳐 있는 경우에는 다음 계산식에 따라 산출한 수치의 합이 1 이상이면 소규모환경영향평가 대상에 포함

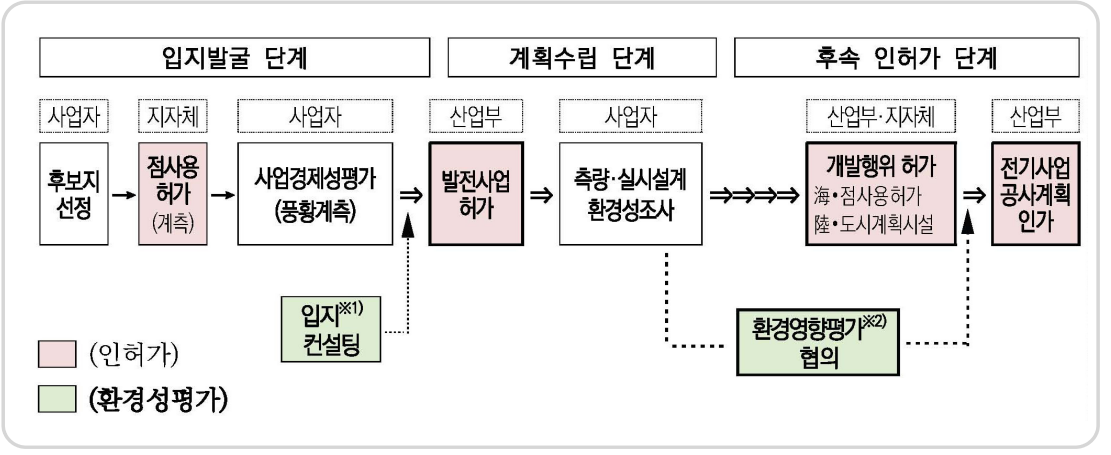
$$\frac{\text{해당 용도지역의 사업계획 면적}}{\text{해당 용도지역의 최소 소규모환경영향평가 대상면적}} + \cdots\cdot$$

○ 주로 송전선로·변전소 등 발전소 부대시설에 따른 육상부 사업이 포함된 경우 위 표의 용도지역 면적 여부를 검토

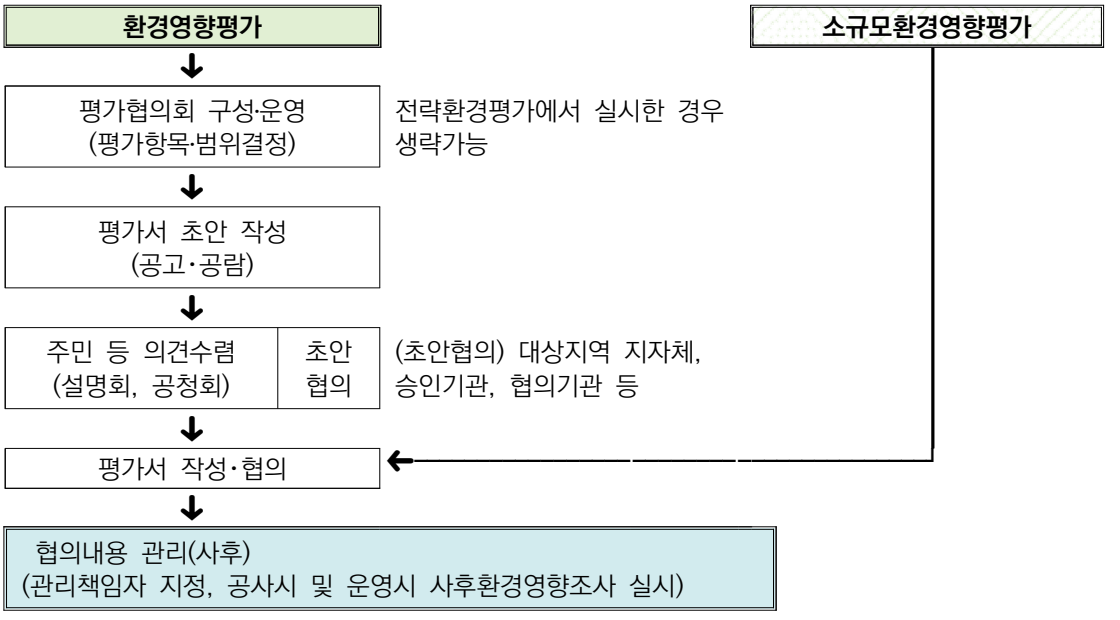
○ 해상부 사업은 「자연공원법」 및 「습지보전법」에 따른 면적 여부를 검토

3 해상풍력 발전사업 환경영향평가 절차

○ 「전기사업법」에 따른 발전사업 절차



※ 1) 환경부 환경입지컨설팅과 별도인 산업부 산하 풍력발전추진지원단에서 지원하는 컨설팅임
이와 별도로 환경부의 환경입지컨설팅을 희망할 경우에는 신청·지원 가능하며, 가급적 풍황계측 이전에 컨설팅 신청을 권장함

※ 2) 환경영향평가 대상 규모 미만의 사업인 경우, 사업 규모 및 입지 여건 등에 따라서 환경부의 소규모 환경영향평가 및 해양수산부의 해역이용협의(또는 해역이용영향평가) 대상이 될 수 있음

○ 환경영향평가 절차