

바닷모래 채취의 경제·환경적 통합평가 모형에 관한 연구(Ⅱ)

- 생물경제학적 모형 중심으로 -

2004. 12

장학봉 · Thomas Grigalunas · 한경남

☐ 보고서 집필 내역

◆ 연구책임자

- 장학봉 : 제1~6장

◆ 연 구 진

- T. Grigalunas(로드아일랜드대학교 교수) : 제5장
- 한경남(인하대학교 교수) : 제5장

☐ 산·학·연·정 연구자문위원

- ◆ 유 신 재(한국해양연구원 책임연구원)

머 리 말

바닷모래 채취(해사채취)를 둘러싼 이해집단 간의 대립은 아직도 계속되고 있다. 한쪽에선 바닷모래 채취에 따라 해양생태계가 황폐화되어 가고 있다며 해사채취 중단을 요구하고 있고, 다른 한쪽에선 해사채취 중단은 안정적 골재수급을 위협하며 주택건설 등에 심각한 차질을 야기할 것이라고 아우성이다. 이런 상황에서 해사채취를 마냥 금지한다고 해서 해결될 일도 아니고 그냥 해사채취를 계속하라고 할 수도 없다. 무언가 근본적인 해결책이 강구되지 않으면 안 될 상황에 이른 것이다.

관점에 따라 다르겠지만 우리나라에서 바닷모래 채취에 따른 문제는 우선적으로 지금까지 바닷모래 채취가 주변 환경에 미치는 문제를 너무 소홀히 다루어 왔다는 데 있다고 할 수 있다. 환경문제가 대두되기 전까지는 해사채취를 하는 데 아무런 거리낌이 없었다. 단지 바닷모래의 염분 성분이 문제였고 육지에 비하여 많이 소요되는 운송비가 문제였다고 할 수 있다. 바닷모래를 채취하는 업자들뿐만 아니라 이를 관리하는 정부 부처들도 환경문제에 별로 관심을 가지지 않았던 것이다.

해사채취에 대한 근본적인 해결책은 해사자원의 자원경제적 특성과 해사채취에 따른 환경적 측면을 동시에 고려하는 것이다. 즉 해사자원의 지속가능한 개발을 위한 대책이 강구되어야 할 것이다. 해사자원은 무한히 존재하는 것이 아니라 우리나라의 경우 40~50년 정도 사용할 양밖에 없는 유한한 자원이기 때문이다. 그리고 해사채취에는 여러 가지 환경적 문제가 잠재되어 있으며 채취량이 증가하면서 이러한 문제들이 현실로 나타나고 있다. 우리나라는 지금까지 이러한 문제를 감안하지 않고 해사자원을 그냥 채취해 왔었다. 환경문제를 쫓고 넘어갈 수 있는 범조항이 없었던 것은 아니지만 이를 피해갈 수 있는 방법도 많았기 때문에 지금까지 해사채취와 관련하여 환경영향평가가 제대로 이루어진 것이 한 건도 없을 정도이다.

해사채취에 따른 집단 간 합의를 도출하고 해사자원의 자원적 측면과 환경적 측면을 동시에 고려한 통합적이고 지속적인 정책을 수립하기 위해서는 우선 과학적이고 체계적인 연구 조사에 바탕을 둔 근본적인 조사연구가 요구된다. 이러한 조사를 통하여 해사자원이 어디에 얼마만큼 부존되어 있는가를 지속적으로 조사하여야 할 것이며, 또한 해사채취가 해양생태계 및 해양환경에 어떠한 영향을 미

치는지에 대한 조사가 이루어져야 할 것이다. 또한 왜 지금까지 해사채취가 무분별하게 이루어졌으며 이를 해결하기 위해서 어떠한 정책이 필요한가를 조명할 수 있는 정책적 연구가 요구된다.

이러한 연구들 중에서도 해사채취로 인하여 해양환경 및 해양생태계가 받게 되는 피해를 정량화하는 것은 정책입안자들과 환경론자들 그리고 해사개발업자들에게 중요한 관심사가 되고 있다. 왜냐하면 이러한 피해의 정량화는 소위 말하는 해사채취에 따른 외부효과(externality)를 파악하는 것으로서 해사채취에 따른 환경세 도입문제, 대어민 지원문제 등 해사채취에 관한 정책과 실무에 기여할 수 있기 때문이다.

본 연구는 이러한 관점에서 해사채취가 수산자원에 미치는 영향을 파악하기 위한 생물경제학적 모형을 개념화하고 정립하였다. 본 연구는 해사채취에 따른 여러 가지의 잠재적 피해 중 수산자원에 한정하여 이루어졌지만 앞으로 여타 분야로 확장되고 발전되면 해사채취의 피해를 정량화하는 작업에 크게 기여할 것으로 기대된다. 이 연구는 이제 첫발을 디뎠기 때문에 이 연구를 바탕으로 지속적이고 활발한 토의가 이루어지기를 바라는 바이다.

마지막으로 이 연구의 집필에 참여한 연구자 특히 공동연구로 참여하면서 모형 개발에 기여한 로드아일랜드대학교의 Thomas Grigalunas 교수와 입력자료를 정리하고 제공해 준 인하대학교의 한경남 교수 등에게 깊이 감사드리며 본 연구가 완성되기까지 도움을 준 자문위원과 심의위원들에게 심심한 감사를 표하는 바이다.

이 연구의 내용은 전적으로 연구자 개인의 소견이며, 한국해양수산개발원의 공식적인 견해가 아님을 밝혀 둔다.

2004년 12월

韓國海洋水產開發院
院 長 李 廷 旭

목 차

<요 약>	i
제 1 장 서 론	1
1. 연구의 배경 및 목적	1
2. 연구의 범위	4
1) 해사채취의 잠재적 영향 / 4	
2) 수산자원예의 영향 / 5	
3. 연구의 방법	6
제 2 장 바닷모래의 수급 실태 및 전망	8
1. 골재 및 바닷모래의 수급 현황	8
1) 골재 수급 현황 / 8	
2) 바닷모래 채취 현황 / 10	
2. 골재 및 바닷모래의 수급 전망	12
1) 우리나라의 바닷모래 부존량 / 12	
2) 골재자원의 수급전망 / 14	
제 3 장 바닷모래 채취의 해양환경 영향	19
1. 해사채취의 잠재적 영향	19
1) 해사채취가 수질 환경에 미치는 영향 / 21	
2) 해사채취가 저질 환경에 미치는 영향 / 22	
3) 해사채취가 플랑크톤 생태에 미치는 영향 / 23	
4) 해사채취가 저서 생물 생태에 미치는 영향 / 26	
2. 해사채취가 수산자원에 미치는 영향 분석	27
1) 해사채취 주변해역의 과거 수산자원 변동량 / 28	

2) 해사채취로 인한 수산자원 감소량 / 33	
3) 어류생태에 미치는 영향 / 37	
3. 해안 및 해저지형 변화 분석	39
1) 바다골재 채취로 인한 퇴적환경 변화 / 39	
2) 바다골재 채취로 인한 퇴적물 이동 현장 관측 / 42	
3) 사례 : 서해중부 근해에서의 바다골재 채취로 인한 영향 분석 / 45	
4. 해사층 형성역사 및 해사채취에 따른 퇴적층과 해저지형 변화분석	50
1) 해사의 퇴적환경역사 / 50	
2) 수평적(공간적) 해저지형 변화 분석 / 51	
3) 3차원 해저지형변화 탐사 / 52	
4) 해사채취지역의 퇴적환경파괴 파악 / 53	
5) 시추코아퇴적층의 분석 / 54	

제 4 장 외국의 해사채취 및 환경문제 ————— 56

1. 일본	56
1) 개요 / 56	
2) 허가 및 규제 / 58	
2. 유럽	59
1) 영국 / 62	
2) 네덜란드 / 67	
3) 덴마크 / 67	
4) 독일 / 68	
5) 프랑스 / 68	
3. 미국	68
1) 채취 실적 / 68	
2) 허가 및 관리 제도 / 69	
3) 환경관리 / 70	
4. 외국 사례의 시사점	72

제 5 장 생물경제학적 모형의 정립과 적용 ————— 74

1. 생물경제학적 모형의 개요 74
 - 1) 기본 개념 / 74
 - 2) 생물경제학적 모형의 응용 / 75
2. 수산자원 피해의 개념화 79
 - 1) 단기적 피해(직접적인 피해) / 80
 - 2) 2단계의 장기적 피해 / 80
 - 3) 간접적(먹이사슬) 피해 / 82
3. 모형의 정립 84
 - 1) 생물학적 모형 / 84
 - 2) 단기적 피해의 생물학적 모형 / 84
 - 3) 장기적 피해 / 86
 - 4) 경제학적 모형 / 90
4. 자료의 구성 92
 - 1) 지역의 범위 / 92
 - 2) 단기적 피해 / 94
 - 3) 장기적 피해 / 98
5. 분석의 결과 104
 - 1) 분석의 결과 / 104
 - 2) 향후 연구 방향 / 109

제 6 장 결론 및 정책적 시사점 ————— 111

참고문헌 ————— 114

부록 1 : 정태적 및 동태적 생물경제학적 균형모형 ————— 117

부록 2 : 서식환경에 따른 해양 생물군의 분류 ————— 118

부록 3 : 2003년 어종별 어가(1999~2003년) ————— 119

표 목 차

<표 2-1> 골재원별 점유비	9
<표 2-2> 연도별 바닷모래 채취실적 및 점유비	11
<표 2-3> 골재 품종별 채취실적 변화 추이	11
<표 2-4> 2001년도 지자체별 바다골재 채취허가 현황(광물포함)	12
<표 2-5> 바다골재 매장량 및 골재의 종류 종합	13
<표 2-6> 골재수급기본계획상의 연도별 골재수요 전망	15
<표 2-7> 우리나라 골재 개발 가능량	16
<표 2-8> 각국의 1인당 골재 및 시멘트 소비량	18
<표 3-1> 해사채취수역과 비채취수역 간의 해양수질 오염인자 비교표	21
<표 3-2> 해사채취수역 공극수와 비채취수역 공극수의 환경인자 비교표	23
<표 3-3> 경기만 해역에서 어획되는 종류별 주요 수산물	27
<표 3-4> 해사채취 이전(1979~1993년)과 해사채취 이후(1994~2001년)의 덕적도 주변해역 수산물별 평균어획생산량과 감소율	37
<표 3-5> 해사채취 이전(1979~1993년)과 해사채취 이후(1994~2001년)의 자월도 주변해역 수산물별 평균어획생산량과 감소율	37
<표 4-1> 일본의 골재생산 연도별 추이	57
<표 4-2> 북서유럽의 골재생산량 현황(2000년)	60
<표 4-3> 유럽의 바다골재 채취 추이	60
<표 5-1> 기존 연구의 개요	78
<표 5-2> 피해유형별 내용	83
<표 5-3> 웅진군 바다골재 채취 허가 현황	93
<표 5-4> 태안군 해사채취 현황	94
<표 5-5> 단기적 피해의 대상 어종	96
<표 5-6> 대상 어종의 생물량 자료	97
<표 5-7> 주요 어장의 어가	98
<표 5-8> 생활사(Life History)에 대한 자료	101
<표 5-9> 경인 지역 연안통발 어획량(2000~2002년)	102

<표 5-10> 경기만 내 부유성 어란 및 자치어 분포	103
<표 5-11> 단기어획손실	105
<표 5-12> 어종별, 연령별 단기피해액(2003년 가격)	105
<표 5-13> 어종별 장기피해액(2003년 가격)	106
<표 5-14> 연령별 피해	106
<표 5-15> 연령별 장기피해액(2003년 가격)	107
<표 5-16> 어종별 간접 피해액(2003년 가격)	107
<표 5-17> 어종별 피해액(2003년 가격)	107
<표 5-18> 단기, 장기 및 간접 피해액(2003년 가격)	108
<표 5-19> 5년간의 해사채취로 인한 단기, 장기 및 간접 피해액(2003년 가격) ·	108
<표 5-20> 10년간의 해사채취로 인한 단기, 장기 및 간접 피해액(2003년 가격) ·	108
<표 5-21> 민감도 분석(2003년 가격)	109

그림 목 차

<그림 1-1> 덕적면 덕적도 진리(모래유실)	2
<그림 2-1> 바다골재의 점유비 변화(1992년 대 2002년)	9
<그림 3-1> 채취작업이 이루어지는 동안 채취선에서 잉여해수가 방출되는 모습	19
<그림 3-2> 해사채취의 잠재적 영향	20
<그림 3-3> 해사채취의 퇴적환경변화 및 연안침식 과정 모식도	20
<그림 3-4> 연도별 웅진군 전체 수산자원의 어획생산량 변동(1979~2001년) ·	28
<그림 3-5> 연도별 덕적도 주변해역 수산자원의 어획생산량 변동(1979~2001년)	29
<그림 3-6> 연도별 자월도 주변해역 수산자원의 어획생산량 변동(1979~2001년)	30
<그림 3-7> 해사채취 해역(덕적, 자월)과 비채취해역 간의 어획량 비교 (1979~2001년)	31
<그림 3-8> 웅진군 어류자원량 변동(Ⅰ)	32
<그림 3-9> 웅진군 어류자원량 변동(Ⅱ)	33
<그림 3-10> 비채취해역(덕적, 자월 제외)과 해사채취해역의 연도별 갑각류 어획생산량 비교(1979~2001년)	34
<그림 3-11> 비채취해역(덕적, 자월 제외)과 해사채취해역의 연도별 패류 어획생산량 비교(1979~2001년)	35
<그림 3-12> 비채취해역(덕적, 자월 제외)과 해사채취해역의 연도별 연체동물 어획생산량 비교(1979~2001년)	35
<그림 3-13> 비채취해역(덕적, 자월 제외)과 해사채취해역의 연도별 해조류 어획생산량 비교(1979~2001년)	36
<그림 3-14> 바다골재 채취에 의해 발생하는 현탁물 plume과 환경 관계 모식도	42
<그림 3-15> 발생한 해저 웅덩이의 수심 변화도	44
<그림 3-16> 대산항 주변 해역의 현재 수심분포	47
<그림 3-17> 대산항 주변 해역에서 장안퇴를 2m 준설후 수심분포	47
<그림 3-18> 장안퇴 2m 준설시, 주 북서심해파의 파고 변화분포	48
<그림 3-19> 장안퇴 2m 준설시 남서심해파의 파고 변화분포	48

<그림 3-20> 장안퇴 2m 준설시 대조기 최강 창조류의 유속 변화분포	49
<그림 3-21> 장안퇴 2m 준설시 대조기 최강 낙조류의 유속 변화분포	49
<그림 3-22> 한반도 주변해역에 나타나는 바닷모래의 예	51
<그림 3-23> 다중빔측심기를 이용한 해저지형 3차원 복원의 예	53
<그림 3-24> 고해상 천부퇴적층/수심탐사기 탐사에 의한 인위적 채취 이전과 이후의 해저지형 변화	54
<그림 3-25> 자동코아다중검침기를 사용한 시추코아의 비파괴 및 연속측정 대자율 분석	55
<그림 4-1> 영국의 바닷모래 채취 해역	64
<그림 5-1> 해사채취 피해유형의 분류	79
<그림 5-2> 해사채취 영향 추정 모델의 묘사와 한 생물종의 회복모형	81
<그림 5-3> 해사채취로 인한 수산자원 피해의 범주	83
<그림 5-4> 시간별 유생의 자원량	88
<그림 5-5> 1998~2000년 해사채취 수역	91
<그림 5-6> 조사 정점도	100

<요 약>

제1장 서론

1. 연구의 배경 및 목적

- 최근 바닷모래를 둘러싼 이해집단 간의 갈등이 심각한 수준에 이르고 있어 정부에서는 2004년 5월 '골재수급안정 종합대책'을 마련하였으나, 여전히 개발지향적인 정책으로 치우치고 있음
 - 그러나 해사채취를 둘러싼 개발과 환경보전의 갈등구조가 근본적으로 해소되고 해사채취의 친환경적 관리가 제대로 이루어지기 위해서는 우선 해사채취가 환경에 미치는 영향에 대하여 과학적이고 체계적인 조사와 연구가 선행된 이후 이를 바탕으로 한 대책이 마련되어야 할 것임
- 해사채취가 해양환경이나 생태계에 미치는 악영향의 개연성은 높으나 이러한 피해를 구체적으로 입증하고 그 피해가 어느 정도의 규모가 될 지에 대해서 연구한 자료는 우리나라의 경우 거의 없음
 - 해사채취의 영향은 첫째는 해사채취로 인하여 해양생태계가 영향을 받고 궁극적으로 수산자원의 감소를 야기한다는 것이고, 둘째는 해안 저지대의 변화로 해안침식이 발생하며 이로 인해 해안의 모래가 유실되고 해빈해수욕장의 기능이 상실된다는 점임
- 본 연구는 생물경제학적 모형(bio-economic model)을 사용하여 해사채취가 수산자원에 미치는 영향의 정량화를 시도한 것임
 - 생물경제학적 모형은 자원량, 생물량과 같은 생물학적 요소와 어가, 어업비용과 같은 경제학적 요소를 결합한 모형임
 - 생물경제학적 모형으로 해사채취가 해양환경에 미치는 영향을 직접 파악할 수 있음
 - 생물경제학적 모형은 정책결정자의 의사결정에 보다 많은 도움을 줄 수 있음. 해사채취가 수산자원에 미치는 외부비용을 정량적으로 파악

할 수 있게 되면 피구세 또는 환경비용을 반영하는 해사채취 단위당 세금, 즉 환경세를 부과하는 기준 등에 사용될 수 있음

2. 연구의 범위

- 바다에서의 모래채취로 인하여 해양환경과 해양생태계에 미칠 수 있는 영향은 1차적으로 해사채취해역의 퇴적환경변화와 물리환경변화, 저서생물의 서식처 파괴를 들 수 있으며 2차적으로 해사채취로부터 발생하는 수질과 저질 환경의 변화, 채취해역의 소음 증가와 채취선으로부터 발생하는 오염물질의 증가, 그리고 그로 인한 주변 서식생물의 서식조건 악화 등임
- 본 연구에서는 앞에서 살펴 본 해사채취의 여러 가지 잠재적 영향 중 해사채취가 수산자원에 미치는 영향에 국한하여 분석함
 - 해양환경 및 해양생태계의 영향을 정확하게 파악하기 위해서는 해사채취해역의 환경특성을 이해하여야 하며, 모래로 이루어진 퇴적환경에서의 저서생물 생태와 그 주변에 서식하는 어류, 플랑크톤 등의 생태를 이해할 수 있는 자료가 필요함
 - 또한, 해저퇴적환경의 변화, 해수유동의 변화 등 해양물리화학적 자료 등도 동시에 요구됨. 그러나 본 연구는 연구기간의 한계 등으로 인하여 해양생물자원분야 이외의 자료는 외생적으로 주어지는 것으로 간주하고 분석하였음

제 2 장 바닷모래의 수급 실태 및 전망

1. 골재 및 바닷모래의 수급 현황

- 해사채취업은 골재채취업의 여러 종류 중 바다골재의 채취업자와 선별세척업자를 의미하지만 일반적으로 골재채취업자들은 바다, 하천, 육상 및 산림골재 등을 같이 겸업하는 경우가 많음
- 골재는 건설산업의 기초자재로서 건설업과 직결되며 골재수요는 건설수요의 파생수요라고 할 수 있는데 건설업 매출액의 약 5.4%를 골재업이 차지하는 것으로 추정되고 있음. 따라서 우리나라 골재시장의 규

모는 2001년도 건설계약액(추계)을 기준으로 하면 3조 2,500억 원 정도로 추정되고 이 중 바다골재의 시장규모는 약 5,000억 원 정도일 것으로 추산되고 있으며 현재 약 1,600개 업체가 등록되어 있음

- 바닷모래의 채취량은 1992년도 이후 계속 증가추세를 보이면서 1996년도에는 3,059만 1천 m^3 로 최고조에 달하였으나 IMF 이후 크게 감소하였다가 2000년도에는 다시 3,302만 9천 m^3 로 증가하는 추세에 있음. 전체골재에서 차지하는 함유비를 보면 연도별로 약간의 기복은 있지만 계속 증가하는 추세에 있음. 일반적으로 전체 골재에서 잔골재(모래)의 비율이 40% 정도를 차지하는데 우리나라의 경우 바다골재가 모두 모래임을 감안한다면 우리나라 모래 공급의 70% 정도가 바다에서 공급되고 있음

2. 골재 및 바닷모래의 수급 전망

- 건설교통부는 5년마다 골재수급기본계획을 통하여 장기골재수급전망을 하고 있고 또한 매년 골재수급계획을 작성하고 있음. 현재의 골재수급 계획은 2004년부터 2008년까지의 5년간에 걸친 계획인데 골재의 수요가 계속 증가하여 2005년에 최고조에 이를 것으로 전망되고 그 이후로는 안정적인 추세를 보일 것으로 전망되고 있음
- 최근 환경의 중요성에 대한 국민들의 인식이 확대됨에 따라 바닷모래의 주변 해양환경 및 생태계에 대한 악영향을 우려하여 환경관련규제를 강화하게 되었고 따라서 바닷모래의 채취허가가 크게 제한되고 있음
- 바닷모래의 환경문제는 비단 우리나라뿐만이 아니며 바다에서 골재를 채취하는 많은 국가들이 인식하고 있어 바닷모래의 환경규제는 세계적인 추세임을 감안할 때 환경규제까지 완화하며 바닷모래의 공급을 확대하려는 정책은 바람직하지 못하다고 여겨짐
- 따라서 현재 연간 약 3,000만 m^3 정도 채취되는 바닷모래의 생산은 크게 확대되지 않을 것으로 전망되며, 골재의 안정적 공급을 위해서는 바닷모래의 수입을 통한 공급확대도 고려하여야 할 것으로 보임. 아직 수입모래의 공급이 본격화되고 있지 않지만 가격문제가 해결된다면 국

내의 모래공급에 기여할 수 있을 것으로 보이며 최근 수입모래의 가격이 국내가격에 근접하고 있어 공급원의 확대에 도움이 될 것으로 보임

제 3 장 바닷모래 채취의 해양환경 영향

1. 해양생태환경에 미치는 영향

- 바다에서 해사채취로 인하여 해양환경과 해양생태계에 미칠 수 있는 영향은 1차적으로 해사채취해역의 퇴적환경변화와 물리환경변화, 저서생물의 서식처 파괴를 들 수 있으며 2차적으로 해사채취로부터 발생하는 수질과 저질 환경의 변화, 채취해역의 소음 증가 그리고 채취선으로부터 발생하는 오염물질의 증가로 인한 주변 서식생물의 서식조건 악화를 들 수 있음
- 이 중 가장 큰 영향을 받는 것은 해사채취로 인한 퇴적물 자체가 소실되는 퇴적환경변화와 서식지의 파괴에 따른 저서생물 군집의 소실이라 할 수 있음. 이러한 이유로 연안에서의 해사채취활동은 어떠한 경우든 생태계에 악영향을 미치는 것으로 오랫동안 인식되어 왔음
- 해사채취는 저층 퇴적물을 직·간접적으로 교란시킴으로써 수층에 서식하는 어류나 그 외 해양생물의 주요 먹이원인 퇴적물에 서식하는 저서동물의 자원량을 격감시키고 저서생물의 생물다양성을 급감시킴. 이러한 생물다양성과 자원량의 급격한 감소는 그 해역이 원래 가지고 있던 안정화된 에너지흐름과 먹이망의 연결을 단절시킴으로써 그 해역 생태계 전체에 큰 영향을 미치게 할 수 있음

2. 해사채취가 수산자원에 미치는 영향

- 해사채취로 인한 수산자원 감소량을 파악하기 위해 해사채취 이전과 이후의 수산자원별 생산량 변동을 조사할 필요가 있으며, 이를 위해 옹진군을 사례지역으로 제시함

- 사례지역인 웅진군에서 어획되는 갑각류는 상업적으로 유용한 꽃게, 대하, 종하, 젓새우 등을 들 수 있으며, 이들 자원은 이 지역 어업인들의 주요 수입원임. 갑각류자원은 1980년대 자료가 없어 해사채취 전후의 자원변화에 대해 언급할 수 없으나, 비 해사채취 해역에서는 1990년대 중반까지 감소하다가 1996년 이후부터 현재까지 자원량이 증가하고 있는 것으로 나타났음
- 그러나 해사채취 해역인 덕적도 주변해역에서는 1993~1994년에 웅진군 전체 갑각류 어획량의 80% 이상을 기록하였고 특히 1994년에는 이 해역에서 웅진군 전체 갑각류 어획생산량의 절반이 어획되었으나 1995년 이후부터 급격하게 자원량이 감소하여 현재까지 어획생산량의 회복은 보이지 않고 있음

3. 해안 및 해저지형 변화

- 승봉도, 풍도 해역의 해안선 침식, 그리고 신안해역 섬들의 침식 등은 바닷모래 채취가 그 원인으로 주민들의 피해 주장이 있음. 해안선으로부터 적어도 1.8km(기존의 채취 1구역 크기) 이상의 이격거리를 두는 것이 연안양식장 및 연안환경의 피해를 최소화할 수 있을 것으로 사례조사에서 나타나며, 이는 채취해역의 퇴적물특성, 채취공법, 채취량, 해양수리환경 그리고 인접 해역사용용도 등에 따라 달라질 수 있음
- 환경수리학적 분석결과를 바탕으로 해안선으로부터의 거리 또는 최강 조류유속의 크기 등에 의해 발생하는 부유퇴적물의 영향 범위, 굴착된 해저지형의 복원, 새로운 퇴적물의 공급 등에 대한 과학적 뒷받침이 요구됨. 또한 파랑에 의한 연안류가 해안선 가까이 발생하여 바다골재 채취로 인한 인접 웅덩이가 퇴적물 이동의 sink로 작용하여 2km 이내의 해안선 침식을 유발할 우려가 높음
- 바다골재 채취는 수심과 퇴적물 입도구성 그리고 수리환경에 의해 환경영향이 매우 크게 변함을 보여주었음
- 수심이 깊은 곳에서는 조류의 흐름이 빠르고 조류 왕복거리가 길어 확산효과가 크므로 환경의 영향을 상대적으로 적게 받을 수 있으며, 동

계의 북서계열과 하계의 남서계열의 높은 파랑에 의한 해저면에서의 입자 운동은 수심이 10m 이내일 경우 퇴적물 재부상과 이동을 일으킬 수 있을 것으로 예측되어 장안사퇴의 골재모래 채취는 보다 정밀한 조사연구를 수행한 후, 피해를 최소화할 수 있도록 국지적으로 추진할 것을 권장함

4. 해사충 형성 역사 및 해사채취에 따른 퇴적층과 해저지형변화 분석

- 한반도 주변해역에 분포하는 바닷모래 퇴적층은 과거에 공급되어 쌓인 퇴적물이 대부분이며 현재 하천 및 해안침식으로부터 공급되어 쌓이는 모래는 연안해역 일부에 제한적으로 나타나고 그 양 또한 매우 적어, 현재와 같은 추세로 바닷모래 채취가 지속적으로 이루어진다면 우리가 이용할 수 있는 바닷모래는 향후 수 십 년 이내에 곧 고갈될 것임
- 바닷모래의 채취는 기존 퇴적층의 파괴, 해저지형의 변화, 부유혼탁물의 발생, 퇴적물의 공급경로 차단 등 많은 환경문제를 유발하고 있으나, 제도적 취약점으로 인하여 바닷모래 채취시 사전환경평가실시가 거의 전무한 실정임. 이로 인해 바닷모래 채취 후 발생하는 환경피해 범위 및 정도, 환경복원과정 및 기간, 주변 환경에 대한 피해영향범위 등과 관련한 내용을 정확히 파악하거나 예측할 수가 없으므로, 이를 방지하기 위한 사전환경영향평가제도의 강화가 필요함
- 현재 전국적으로 발생하고 있는 해수욕장 모래의 유실은 근본적으로 하천으로부터의 모래공급의 차단, 해안선을 중심으로 진행된 인공구조물의 설치로 해안침식 모래양의 감소 그리고 백사장으로 공급되는 연안지역의 바닷모래 채취로 인한 모래공급원의 차단 등에 의해 나타나는 현상으로, 특히 해안에 인접한 지역에서의 해사채취행위의 규제강화가 시급함
- 현재 시행되고 있는 사전환경영향평가는 일부 항목에 대해서만 규정되어 있어 부실한 환경영향평가가 될 소지가 많으므로, 해사채취에 따른 환경영향평가 조사시 각 조사항목의 물량과 범위, 조사장비의 규정 그리고 자료의 신뢰도에 대해 명확히 규정하는 것이 필요함

제 4 장 외국의 해사채취 및 환경문제

- 일본은 세계최대의 바다골재 생산국이며 유럽에서는 영국을 비롯하여 많은 국가가 바다골재를 채취하고 있음. 반면 미국에서는 단지 해변복원용 모래만 일부 채취하고 있을 뿐 건설용 골재는 거의 채취되고 있지 않음
- 일본은 세계 최대의 바다골재 채취국가이면서도 지금까지 환경문제에 대해서는 다소 느슨한 실정이었음. 그러나 최근에는 일본에서도 바닷모래의 환경규제가 강화되고 있으며 세토나이카이 내해에서는 바닷모래 채취를 거의 금지하게 되었고 경제성에서는 이러한 추세에 대비한 골재안정공급대책을 논의하고 있음
- 영국은 덴마크와 함께 바닷모래 채취에 관련된 제도가 가장 잘 갖추어진 국가로 인정되고 있음. 바다골재의 환경문제를 가장 엄격하게 관리하고 있으면서도 바다골재의 공급량이 매년 상당한 수준에 있고 앞으로도 바다골재의 공급량이 다소 증가할 것으로 전망되고 있음
- 영국이 바다골재의 환경문제를 다루는 해법은 인허가 단계뿐만 아니라 채취활동단계 및 채취 후의 전과정에 걸쳐 환경영향에 대한 감독과 감시가 이루어진다는 점과 골재채취업자 스스로가 환경문제를 해결해 나간다는 점이라고 할 수 있음. 영국에서는 GV(Government View) 단계에서 채취허가에 따른 협의대상기관은 수십 개 기관에 이르기도 하는데 채취신청자는 모든 제기된 의견에 대해 대응해야 하며 상대방을 설득해야 함. 또한 채취활동 중에도 지속적인 환경감시가 이루어지고 있음. 또한 영국은 정부차원의 환경기준도 엄격하지만 업계 스스로 환경영향을 최소화하고 다른 이해관계자와의 관계를 원활히 하기 위한 노력을 적극적으로 하고 있음. 예를 들어 채취시 어민, 운송업자, 스포츠 낚시업자 등 여타 해역이용자와의 공존을 위하여 ‘Codes of Practice (실무지침)’를 업계 스스로 개발하여 운용하고 있는 것임
- 영국의 이러한 관리제도 및 업계의 자발적인 노력은 우리나라에 시사하는 바가 크다고 보여짐. 우리나라는 현재 해양수산부가 환경관리수단으로 해역이용협의제도를 시행하고 있는데 이를 면제해 달라는 등

환경규제의 완화를 통한 바다골재공급의 확대를 모색하고 있음. 따라서 우리나라 업계도 환경문제를 피해가려는 자세보다는 이에 대한 적극적인 대응을 하면서 바닷모래자원을 개발하는 자세로 전환하여야 할 것으로 보임

제 5 장 생물경제학적 모형의 정립과 적용

1. 생물경제학적 모형의 개요

1) 기본 개념

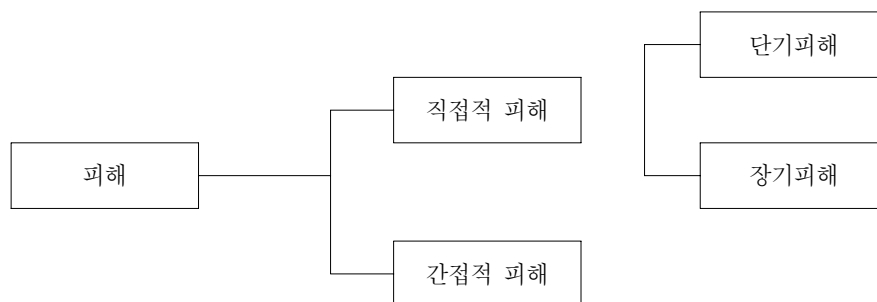
- 본 연구는 생물경제학적 모형을 이용하여, 해사채취로 인해 발생하는 수산 자원의 단기, 장기 그리고 간접적인 피해를 추정함으로써, 해사채취 행위가 해양환경에 미치는 외부비용을 산정하는 것임
- 수산생물은 생태학적으로 매우 복잡하기 때문에, 모형 연구를 통하여 시간과 비용을 절감하고 2차적 분석 내지 3차적 분석을 가능케 함
 - 예를 들어 ‘금어기’라는 제도를 도입하여 어획일수를 줄였을 때 최대 지속적 생산량이 어떻게 변하는가를 살펴볼 수 있는 것임

2) 수산자원 피해의 개념화

- 수산자원의 피해를 직접적인 피해와 간접적인 피해로 구분하고, 직접적인 피해는 단기적인 피해와 장기적인 피해로 구분하였음

〈요약 그림-1〉

해사채취 피해유형의 분류



(1) 단기적 피해(직접적인 피해)

- 단기적 피해는 해사채취로 인하여 해저에 정착하는 해양생물이 입는 피해를 의미하며 이 때 해양생물의 피해는 '상업적 가치가 있는 종의 성어(어획대상이 되는 정도의 크기)'의 피해
- 피해율은 100%로 간주함

(2) 장기적 피해

- 장기적 피해에는 두 가지로 구분하여 설명
 - 직접적이고 단기적인 피해에 노출되는 어종의 어란, 유생, 치어 단계에서의 피해
 - 해사채취 작업 중 채취 부선 주변에 발생하는 표층 부유물질의 확산으로 인하여 수산생물이 입게 되는 피해
- 유생, 치어 단계에서의 피해
 - 해사채취현장에서는 성어는 물론 이들 어종의 어란, 유생, 치자어도 모두 사망함. 이들 유생이나 치자어는 당장은 상업적 가치가 없으나 성장하여 상업성이 있는 성어로 자랄 수 있는 개체들임. 이러한 개체들의 사망으로 해사채취 이전의 균형상태 개체군(equilibrium populations)으로 회복될 때까지 어획하지 못하는 피해가 발생함
- 부유물질의 확산(flume)으로 인하여 수산생물이 입게 되는 피해
 - 해사를 채취할 때 채취 바지선으로부터 흘러 넘치는 유출수에 의해 민감한 생태단계에 있는 부유성 어란 및 유생은 거의 사망할 정도의 치명적인 영향을 입음

(3) 간접적(먹이사슬) 피해

- 해양생물은 해양생태계 내에서 다른 생물(종)과의 관계에서 먹이망(Food Web)을 이루게 되는데, 해사채취에 의하여 직접적으로 영향을 받는 종이 피해를 받아 자원이 감소하게 되면 이를 먹이로 하는 다른 생물의 감소를 야기

〈요약 표-1〉

피해유형별 내용

피해의 분류	내 용
1. 단기 피해	채취구역 내의 상업적 저서어종의 성어가 입는 피해
2. 장기피해	채취구역 내의 상업적 저서어종의 어란, 유생, 치어가 받는 피해
	부유사확산에 의한 표층의 어란, 유생이 받는 피해
3. 간접적 피해	먹이망에 관계된 다른 어종의 피해

3) 모형의 정립

(1) 생물학적 모형

- 성어 피해의 모형화는 비교적 단순
- 해사채취 지역의 회복기간 동안 입게 되는 유생 및 치어의 피해(장기적 피해)의 모형화에서는 Beverton-Holt, 또는 cohort-, 또는 age-class model(Ricker, 1975)을 이용함. 이 모형을 통하여 개체의 각 연령별 수와 무게를 추정할 수 있음. age-class model은 치어나 나이 어린 생체의 사망으로 인하여, 수년 동안 인지하지 못할 수 있는 수산자원(어획량)의 피해를 설명할 수 있음
- 개체가 길이로 측정되어 있는 경우에는 Von Bertalanffy 방정식(Ricker, 1975)을 도입하여 각 연령별 개체의 성장을 모델링함으로써 무게로 환산
- 전체 수산자원의 스톡은 각 연령별 스톡의 합으로 나타낼 수 있으며, 총 어획량은 스톡에 어획 사망률을 곱산하여 얻을 수 있음
- 해사채취로 인한 상업적 어획량의 손실은 어획 사망률에 스톡의 변화를 곱함

(2) 경제학적 모형

- 판매가격
- 어획노력량의 변화 또는 어업비용의 변화
- 할인율 결정

2. 자료의 구성

1) 단기적 피해

(1) 대상 어종(Target 어종)의 선택

- 대상 어종은
 - i) (성어단계에서) 모래층에 서식·분포하는 어종
 - ii) 정착성 어종(benthic 및 demersal fishes)
 - iii) 경기만 일대의 연안
 - iv) 상업적 가치가 큰 어종이라는 조건을 동시에 만족하는 어종

〈요약 표-2〉 단기적 피해의 대상 어종

대상 어종의 요건	대상 어종
1) (성어단계에서) 모래층에 서식·분포하는 어종 2) 정착성 어종(benthic 및 demersal fishes) 3) 경기만 일대의 연안 4) 상업적 가치가 큰 어종	꽃게, 기타게, 기타 새우류 (갑각류), 조피볼락, 소라고동

(2) 생물량

- 생물량은 단위면적당 개체수 또는 중량이나 단위부피당 개체수 또는 중량으로 표현
- 기존 문헌이나 자료를 조사한 결과 이들 대상 어종 중 꽃게(Blue Crab)를 제외하고는 생물량에 대한 자료가 매우 빈약
 - 자료는 한국골재협회 인천지회에서 연구한 용역보고서(2002)의 생물학적 실험결과를 사용

(3) 가격

- 1998~2002년도 5년간의 평균가격을 바탕

2) 장기적 피해

(1) 대상 어종

- 표층부유사의 영향을 받는 부유성 어란 및 자치어의 경우, 한국골재협회 인천지회에서 연구한 용역보고서(2002)를 토대로 선정
- 어종은 서대류(어란), 쥐노래미와 볼락(자치어)임

(2) 생활사(life history) 자료

- 생활사에 대한 데이터는 대상 어종에 대한 성장식, 어장가입 연령, 체장-체중관계식, 최대 수명, 자연 사망률, 어획 사망률 등
- 꽃게, 조피볼락, 새우류 이외의 어종에 대한 자연 사망률, 어획 사망률 등은 국내자료가 거의 없어 미국의 NRDAM/CME 데이터베이스를 이용

(3) 가격 자료

- 단기적 피해의 자료와 유사
- 장기적 피해의 추정을 위해 미래의 연간 손실을 현재의 가치로 환산하기 위하여 5%의 할인율을 적용

3. 분석의 결과

1) 분석 결과

- 해사채취지역에서 발생하는 수산자원의 총 피해액은 4억 4,600만 원 정도임. 이를 어종별로 살펴보면, 꽃게가 2억 8,500만 원으로 전체의 64.0%를 차지하여 가장 많은 피해를 입은 것으로 나타났음

〈요약 표-3〉

어종별 피해액 (2003년 가격)

단위 : 백만 원, %

지역	꽃게	기타 게	새우류	소라고둥	조피볼락	기타	합계
현재가치	285 (64.0)	48 (10.8)	2 (0.4)	10 (2.2)	37 (8.3)	64 (14.3)	446 (100.0)

- 위에서 살펴본 상업적 어종별 피해를 단기, 장기 그리고 간접 피해로 구분하여 살펴보면, 장기적 영향이 1억 9,900만 원으로 전체의 44.6%를 차지하고 있으며, 단기적 피해와 간접 피해는 각각 33.4%와 22.0%를 차지하고 있음

〈요약 표-4〉 단기, 장기 및 간접 피해액(2003년 가격)

단위 :백만 원, %

지역	단기	장기	간접	합계
현재가치	149 (33.4)	199 (44.6)	98 (22.0)	446 (100.0)

- 한 지역에서 해사채취가 10년 동안 지속적으로 이루어지는 경우 상업적 어종들의 피해는 약 125억 원에 이를 것으로 추정됨

〈요약 표-5〉 10년간의 해사채취로 인한 단기, 장기 및 간접 피해액(2003년 가격)

단위 :백만 원, %

지역	단기	장기	간접	합계
현재가치	7,134 (57.1)	1,607 (12.9)	3,761 (30.0)	12,502 (100.0)

제 6 장 결론 및 정책적 시사점

- 본 연구에서는 생물경제학적 모형을 통하여 해사채취가 수산자원 및 해양생태에 미치는 영향을 개념화함으로써 해사채취가 해양생태계에 미치는 외부비용의 정량화를 시도하였음. 본 연구는 앞으로 현장자료가 확보되고 모형이 보다 확장되면 해사채취의 환경영향을 정량화하는데 적용될 수 있을 것임
- 해사채취의 영향은 일반적으로 장기적 피해가 단기적 피해에 비해 훨씬 클 것으로 보임. 따라서 채취지역은 물론 인근에 양식장, 회유 경로, 산란장 등이 있는 경우 피해가 클 것으로 예상할 수 있음

- 생물경제학적 모형에는 어종별로 연급군별 자연사망률 및 어획사망률, 성장계수, 자원가입연령, 체장이 0일 때의 연령, 최대수명, 최장 등의 현장자료 및 분석 자료가 필요함. 이런 자료들이 국립수산물과학원 등에서 꾸준히 수집되거나 생산되어야 할 것으로 보이며, 무엇보다 이런 자료들이 체계적으로 정리되어 이를 필요로 하는 이용자들이 자유롭게 이용할 수 있도록 해야 할 것임
- 해사채취로 인한 생물자원에의 영향을 최소화하고 채취지역의 재서식지화(recolonization)를 촉진하기 위해서는 기질(substrate)이 되는 생물의 완전 멸종은 피해야 함. 따라서 해저면의 교란을 최소화하기 위해서 해사채취의 속도를 가급적 줄이고, 채취장비가 해저면에 접촉하는 범위를 최대한 작게 하는 등, 해저면의 공간이 해양생물의 서식지 역할을 할 수 있도록 하여야 할 것임

제 1 장 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

최근 바닷모래를 둘러싼 이해집단 간의 갈등이 심각한 수준에 이르고 있다. 건설업계 및 골재사업자들은 건설자재의 공급을 원활히 하기 위해서는 바닷모래의 공급이 불가피하다는 입장이며, 환경단체나 어민들은 바닷모래 채취로 나타나는 여러 가지 환경문제를 고발하기가 바쁘다. 지난 2004년도 2월에는 환경단체 및 지역주민의 골재채취 반대로 웅진군이 채취허가 절차를 중단함에 따라 바닷모래 공급중단으로 골재과동이 발생하였다. 이에 따라 지난 3월 정부는 급기야 국무총리실, 건설교통부, 환경부, 해양수산부 등 관계부처, 환경단체, 지역 주민, 지방자치단체 등이 참여하는 골재채취 관계기관 협의회를 구성하여 바닷모래 채취허가를 재개하기 위한 노력을 기울여 왔으며, 지난 5월 말 '골재수급안정 종합대책'을 마련하였다. 그 내용을 보면 골재의 안정적 공급을 위한 골재공급원의 확대, 환경보호를 위한 합리적 제도 개선 및 주민 지원대책 등 개발과 환경을 동시에 고려한 듯한 대책들을 제시하고 있다. 하지만 이에 대한 내용을 검토해 보면, 환경에 대한 근본적인 대책은 총론으로 다루어져 있고 개발지향적 대책들은 각론적이고 구체적으로 다루어져 있어 여전히 정부가 해사환경과 해양생태계의 가치보다는 개발지향적인 정책을 선호하고 있다는 느낌을 주고 있다. 물론 이와 같이 긴급한 상황에 대처하기 위해 응급조치로 마련된 대책들이라도 제대로 강구된다면 해사채취에 관련된 많은 문제들이 해결될 수도 있을 것이다. 그러나 해사채취를 둘러싼 개발과 환경보전의 갈등구조가 근본적으로 해소되고 해사채취의 친환경적 관리가 제대로 이루어지기 위해서는 우선 해사채취가 환경에 미치는 영향에 대하여 과학적이고 체계적인 조사와 연구가 선행된 이후 이를 바탕으로 한 대책이 마련되어야 할 것이다.

해사채취가 해양환경이나 생태계에 미치는 영향은 크게 보면 두 가지로 구분하여 볼 수 있다. 첫째는 해사채취로 인하여 해양생태계가 영향을 받고 궁극적으로 수산자원의 감소를 야기한다는 것이며, 둘째는 해안저지대의 변화로 해안침식이 발생하며 이로 인해 해안의 모래가 유실되어 해빈해수욕장의 기능이 상실된다는 점이다. 수산자원의 감소는 수산업의 생산성과 직결되며, 해빈해수

욕장의 상실은 지역의 관광수입 감소를 야기한다. 이러한 피해의 개연성은 여러 문헌에서 설명되고 있지만 이러한 피해를 구체적으로 입증하고 그 피해가 어느 정도의 규모가 될지에 대해서 연구한 자료는 우리나라의 경우 매우 드물다. 이 때문에 해사채취의 환경영향을 무시하려는 측으로부터 해사채취의 악영향을 입증하라는 압력을 받기도 한다.

〈그림 1-1〉 덕적면 덕적도 진리(모래유실)



사진 제공 : 해양수산부

이러한 문제점을 인식하고 해양수산부가 국가적 차원에서 해사채취에 따른 환경문제를 다루기 위하여 2004년도부터 연구사업을 착수하였다. 본 사업을 통하여 해사채취에 관련된 여러 가지 쟁점들에 대한 대안을 찾을 수 있을 것으로 보인다. 해사채취가 해양환경이나 생태계에 어떤 피해를 야기하는지, 어떤 환경조건에서 피해가 발생하는지, 피해가 있다면 얼마나 되는지 등 해사채취에 관련된 본질적인 과제들이 다루어질 것이다.

이러한 과제들 중에서도 해사채취로 인하여 해양환경 및 해양생태계가 받는 영향을 정량화할 수 있을 것인가 그리고 나아가 이를 화폐단위로 나타낼 수 있을 것인가에 대한 관심은 매우 크다. 이에 대한 해답은 정부가 해사채취에 관한 정책을 수립하는 데 크게 기여할 수 있기 때문이다. 경제학적 개념으로 보면, 해사채취와 같은 행위에 의하여 공공재에 해당하는 해양환경이나 생태계가 받는 피해를 외부효과(externality)라 하는데, 외부효과가 발생하면 시장의

실패가 발생하고¹⁾ 자원이용의 왜곡이 발생한다. 따라서 이러한 외부효과를 측정할 수 있으면, 즉 해사채취의 외부효과를 정량화하고 이를 경제적 가치로 환산할 수 있다면 해사채취에 관한 환경세 도입문제, 대어민 지원문제, 해사채취의 피해에 대한 보상 문제, 해사채취권에 관한 허가문제 등 해사채취에 관한 정책수립과 실무에 기여할 수 있을 것이다.

그러나 이 문제는 쉬운 일이 아니다. 특히 우리나라와 같이 해사채취가 해양 환경에 미치는 영향에 대한 조사를 이제 갓 시작한 단계에서 해사채취가 해양 환경이나 생태계에 미치는 피해의 정도를 계량화하거나 화폐 단위로 나타내는 것은 어려운 과제가 아닐 수 없다. 그러나 이 문제는 해사채취를 둘러싼 개발과 환경보전 사이의 갈등문제가 거론되는 곳에서는 언제나 제기될 것이기 때문에 이 문제를 해결하기 위한 노력은 빠를수록 좋다고 하여야 할 것이다.

본 연구는 그러한 노력의 차원에서 수행된 것으로 생물경제학적 모형(bio-economic model)을 사용하여 해사채취가 수산자원에 미치는 영향의 정량화를 시도하였다. 생물경제학적 모형은 자원량, 생물량과 같은 생물학적 요소와 어가, 어업비용과 같은 경제학적 요소를 결합한 모형이다. 어업자원은 생물학적으로 산란을 하여 치어가 어획대상자원으로 가입하게 되고 성장을 함으로써 총자원량 수준은 증가하게 된다. 그러나 한편 총자원량의 수준은 자연사망에 의하여 자원량이 감소하게 되고, 아울러 사람(어업자)에 의한 어획 때문에 더욱 감소하게 된다. 생물학적 분석은 이러한 자원의 가입량과 어획량의 변화에 따른 자원량의 변화, 최대지속적어획량 등을 분석하는 것이다. 생물학적 모형은 자원의 상태, 자원량의 변동, 자원의 구조 등을 잘 나타내고 있지만, 이것만으로는 정책적으로 활용하는 데 어려움이 있다. 반면 생물경제학적 모형은 생물학적 분석의 결과를 경제적 개념으로 환산하거나 해석해 주기 때문에 정책결정자의 의사결정에 보다 많은 도움을 줄 수 있다. 해사채취와 관련하여 예를 들면, 해사채취가 수산자원에 미치는 외부비용을 정량적으로 파악할 수 있게 되면 피구세 또는 환경비용을 반영하는 해사채취 단위당 세금, 즉 환경세를 부

1) 외부효과는 시장실패를 야기하는 한 요인임. 환경오염을 유발하는 행위에 대하여 적절한 규제를 가하지 않으면 해사채취업자는 해사채취로 인하여 발생하는 환경훼손에 대해서는 신경을 쓰지 않고 오로지 자신의 생산행위에 필요한 경비만을 고려하여 생산규모를 결정하게 됨. 따라서 주변의 이해당사자의 후생까지도 고려하여 결정되어야 할 바람직한 수준의 생산규모보다 더 많은 양을 채취하게 되고, 이 과정에서 자원의 과다채취, 과다한 환경오염물질의 배출 등을 야기하게 됨.

과하는 기준이 될 수 있기 때문이다. 해사채취와 같은 어떤 행위가 환경자원에 미치는 영향을 파악하는 것은 여러 면에서 어려움이 따른다. 특히 해양생물자원과 같이 끊임없이 변동하며 많은 요인에 의해 영향을 받는 경우에는 더욱 그러하다. 모형으로 개념화하는 것도 어렵지만 그 모형에 사용될 수 있는 자료를 구성하고 획득하는 것은 더 어렵기 때문이다. 그러나 이러한 어려움에도 불구하고 생물경제학적 모형은 해사채취가 해양환경에 미치는 영향을 직접 파악할 수 있는 유용성으로 인하여 최근 국제적으로 어업관리수단 평가에서 널리 활용되고 있다.²⁾ 특히 미국의 경우에는 이러한 모형이 어업자원관리, 환경피해보상, 어업피해보상 등 실무적으로도 활용되고 있다. 우리나라에서도 해사채취가 수산자원에 미치는 영향의 정도를 파악하려는 시도가 있었지만 그 결과의 신뢰성을 두고 논란을 빚어왔던 것도³⁾ 이들 분석이 간접적으로 분석하는 방법을 사용하였기 때문이다.

본 연구는 생물경제학적 모형을 사용하여 해사채취가 수산자원에 미치는 영향을 정량적으로 분석하고 해사채취의 친환경적 관리방안을 도출하는 데 유용한 자료로서 의의가 있다.

2. 연구의 범위

1) 해사채취의 잠재적 영향

바다에서의 모래채취로 인하여 해양환경과 해양생태계에 미칠 수 있는 영향은 1차적으로 해사채취해역의 퇴적환경변화와 물리환경변화, 저서생물의 서식처 파괴를 들 수 있으며 2차적으로 해사채취로부터 발생하는 수질과 저질 환경의 변화, 채취해역의 소음 증가와 채취선으로부터 발생하는 오염물질의 증가 등으로부터 유발되는 환경의 악화와 주변 서식생물의 서식조건 악화를 들 수 있다. 이 중 가장 큰 영향을 받는 것은 해사채취로 인해 퇴적물 자체가 소실되

2) 김도훈, “복수어업에 있어서의 어업관리수단 평가를 위한 생물경제학적 연구 : 미국 멕시코만의 red grouper와 yellowedge grouper 복수어업을 사례로”, 「수산경영론집」, 2004. 6, p.3. 재인용.

3) 간접적인 방법을 사용하였기 때문에 신뢰성이 낮다는 이유가 아니라 간접적인 방법의 경우 해사채취에 의한 영향과 다른 요인에 의한 영향을 구분하여야 하기 때문이다.

는 퇴적환경변화와 서식지 전체가 파괴됨으로써 제거되는 저서생물 군집의 소실이라 할 수 있다. 이러한 이유로 연안에서의 해사채취활동은 어떠한 경우든 생태계에 악영향을 미치는 것으로 오랫동안 인식되어 왔다.⁴⁾

이 외에 해사채취는 수질환경에 영향을 미친다. 해사채취가 수질 환경에 뚜렷한 영향을 줄 수 있는 것은 해사채취시 펌핑으로 선상에 올라온 해저 퇴적물로부터 방출되는 해저 퇴적물 공극수에 농축되어 있던 영양염 물질, 중금속 물질, 유기물 등과 해저 퇴적물과 함께 올라온 부유물질의 방출이다.

또한 해사채취는 해저 퇴적물의 입자 분포와 구성에 영향을 줄 수 있다. 최근의 해사채취는 대부분 펌핑으로 채취를 하기 때문에 해저 퇴적물의 입자 교란이나 해저 퇴적물의 조성 교란은 상대적으로 작으나 해저 퇴적물의 소실 그 자체는 큰 문제가 될 수 있다. 한 지역에서 지속적인 해사채취시 과도한 해저 퇴적물의 굴착으로 해저 웅덩이가 형성되어 해수의 소통이 원활치 못할 경우 용존 산소의 감소 등으로 빈산소층이 형성될 수도 있다.

그리고 해저 퇴적물 내 공극수의 분포는 해사채취시 수층의 해수질에 영향을 주기 때문에 해사채취 해역 내 공극수의 저질 환경은 해양생태계의 중요한 영향 요인이 될 수 있다. 해사채취시 발생하는 공극수의 영양염 유출은 유광대에서 식물플랑크톤 성장률을 증가시킬 수 있으나 동시에 발생하는 부유물질은 유광대의 깊이를 감소시켜 일차 생산력의 감소를 야기할 수 있다. 특히 동계와 같이 북서 계절풍이 발달하여 해수의 수직 혼합이 활발한 구역에서는 해수의 부유물질 농도가 증가하게 된다.

2) 수산자원에의 영향

본 연구에서는 앞에서 살펴 본 해사채취의 여러 가지 잠재적 영향 중 해사채취가 수산자원에 미치는 영향에 국한하여 분석하고자 한다. 해양환경 및 해양생태계의 영향을 정확하게 파악하기 위해서는 해사채취해역의 환경특성을 이해하여야 하며, 미래로 이루어진 퇴적환경에서의 저서생물 생태와 그 주변에 서식하는 어류, 플랑크톤 등의 생태를 이해할 수 있는 많은 자료가 우선적으로 필요할 뿐만 아니라 해저퇴적환경의 변화, 해수유동의 변화 등 해양물리화학적 자료 등도 동시에 요구된다. 그러나 본 연구는 연구기간의 한계 등으로 인하여

4) 조동요·장학봉, 「바닷모래 수급실태 및 관리방안 연구」, 한국해양수산개발원, 2003. 12, p. 41.

해양생물자원분야 이외의 자료는 외생적으로 주어지는 것으로 간주하고 분석하였다.

3. 연구의 방법

본 연구는 크게 생물경제학적 모형을 정립하는 과정과 모형을 실행하기 위한 자료의 구성으로 크게 나누어진다. 모형의 정립을 위해서 국내외 관련 전문가의 많은 도움을 받았다. 특히 모형의 개념화는 미국 로드아일랜드대학교의 Thomas Grigalunas 교수와 Opaluch 교수 및 한국해양수산개발원과 로드아일랜드대학교 간의 한미해양공동연구 프로그램을 수행하고 있는 조동오 박사, 김태균 박사과정 학생의 도움을 받아 수행되었다. 모형의 개념화는 한국해양수산개발원과 미국 로드아일랜드대학교가 공동으로 수행하고 있는 연구프로그램을 통하여 2003년도에 일차적으로 논의된 바 있었기 때문에 본 연구에서는 모형의 실행가능성을 재점검하고 이를 단순화하는 하는 작업을 진행하였다. 그리고 모형의 논리성과 적합성을 검증하기 위하여 한국해양연구원의 유신재 박사 등 외부 전문가들의 자문을 받았다.

본 모형을 실행하기 위해서는 여러 가지 생물 및 생태에 관한 자료가 요구되었다. 생체량(biomass), 또는 자원량, 그리고 주요 생물종들의 생태적 특성(life history parameters)에 관한 자료 등이다. 이들 자료는 주로 현장조사를 통해서 획득되는데, 본 과제의 특성상 다른 사업이나 프로그램을 통해서 획득된 자료를 활용할 수밖에 없었다. 필요한 생물자료를 구하기 위하여 국립수산물과학원, 한국해양연구원 등의 문헌을 최대한 조사하였으나 매우 제한적이었다. 본 연구에서는 1999년도와 2001년도에 골재협회 인천지부에서 시행한 용역사업과 관련하여 인하대학교 한경남 교수의 조사팀이 경기만 일부에서 수집한 자료를 활용하였다. 그 외 국내에서 획득하기 어려운 자료는 불가피하게 외국에서 조사된 자료를 활용하였다.

본 보고서는 전체 6장으로 구성된다. 제1장은 본 연구의 배경과 목적, 그리고 연구방법과 연구범위를 기술하고 있으며, 제2장에서는 바닷모래의 수급실태 및 전망, 제3장에서는 바닷모래가 해양환경에 어떠한 영향을 미치는지를 설명

하였으며, 제4장에서는 일본, 영국 등 외국의 해사채취 현황 및 환경문제를 살펴보고 있다. 그리고 제5장에서는 모형에 대한 설명, 자료의 구성과 모형의 실행에 따른 결과를 보여주고 있고, 마지막 제6장에서는 연구의 결론 및 정책적 시사점을 포함하고 있다.

본 보고서는 2003년도 한국해양수산개발원과 미국의 로드아일랜드대학교 간에 공동으로 수행된 해사채취의 재정·경제·환경적 영향에 관한 연구(I)의 후속 연구로 이루어진 것이다. 2003년도 연구에서는 해사채취와 관련된 주요 경제적 및 정책적 이슈를 설명하고 환경정책에 필요한 모델의 개념화와 생물경제 모형의 기본적인 초안을 제시하였다.

제 2 장 바닷모래의 수급 실태 및 전망

1. 골재 및 바닷모래의 수급 현황

1) 골재 수급 현황

바닷모래(해사)는 쇄석, 자갈 등과 함께 중요한 골재자원이다. 골재는 채취장소에 따라 하천골재, 바다골재, 산림골재, 육상골재로 구분되고, 크기에 따라 굵은 골재(자갈), 잔골재(모래)로 구분하기도 한다. 골재의 산업규모는 연간 약 2조 원이고 골재의 공사원가 비중은 약 4% 정도이다.⁵⁾ 우리나라는 2억 4,217만 m³ (2003년 기준)의 골재수요를 나타내고 있는데, 이 중 자갈이 56%, 모래가 44%를 차지하고 있으며, 모래 중에서는 바닷모래가 약 30.6%를 차지하고 있다. 모래는 크게 건설용으로 사용되는 경우와 산업용으로 사용되는 경우로 구분되는데⁶⁾ 모래의 대부분이 건설용으로 사용되고 산업용으로 사용되는 모래는 전체의 10% 정도이다. 건설용 골재는 대부분(약 73%)이 레미콘형태로 소비되고 있으며 그 외에 일반콘크리트(15%), 건축기초(9%), 아스콘(3%) 등의 형태로 소비되고 있다.

건설교통부의 연도별 골재채취실적자료에 의하면 2003년도의 경우 1억 1,236만 5천 m³를 채취한 것으로 나타나고 있고 1992년도 이후의 추세를 보면 1996년, 1997년도를 정점으로 하여 약 1억 1천만 m³ 정도 채취하고 있는 것으로 나타나고 있다.

골재원별 추세를 보면 산림골재의 점유비는 1992년도의 36.4%에서 2002년도에 48.9%로 높아졌으며, 하천골재의 점유비는 46.7%에서 17.3%로 크게 낮아졌고, 바다골재의 점유비는 15.3%에서 27.7%로 크게 높아졌다. 이러한 지난 10년간의 추세를 보면 하천골재의 점유비는 급격히 감소한 반면 산림골재와 바다골재의 채취는 크게 증가하였는데, 특히 바다골재의 증가는 크게 두드러진다.

5) “친환경적 골재채취를 위한 골재채취법 개정”, 공청회 자료, 2004.10.

6) 미국의 Mineral Industry Surveys에서도 건설용(construction sand)과 산업용(industrial sand and gravel)으로 구분하고 있으며 대부분의 국가에서도 마찬가지임.

〈표 2-1〉

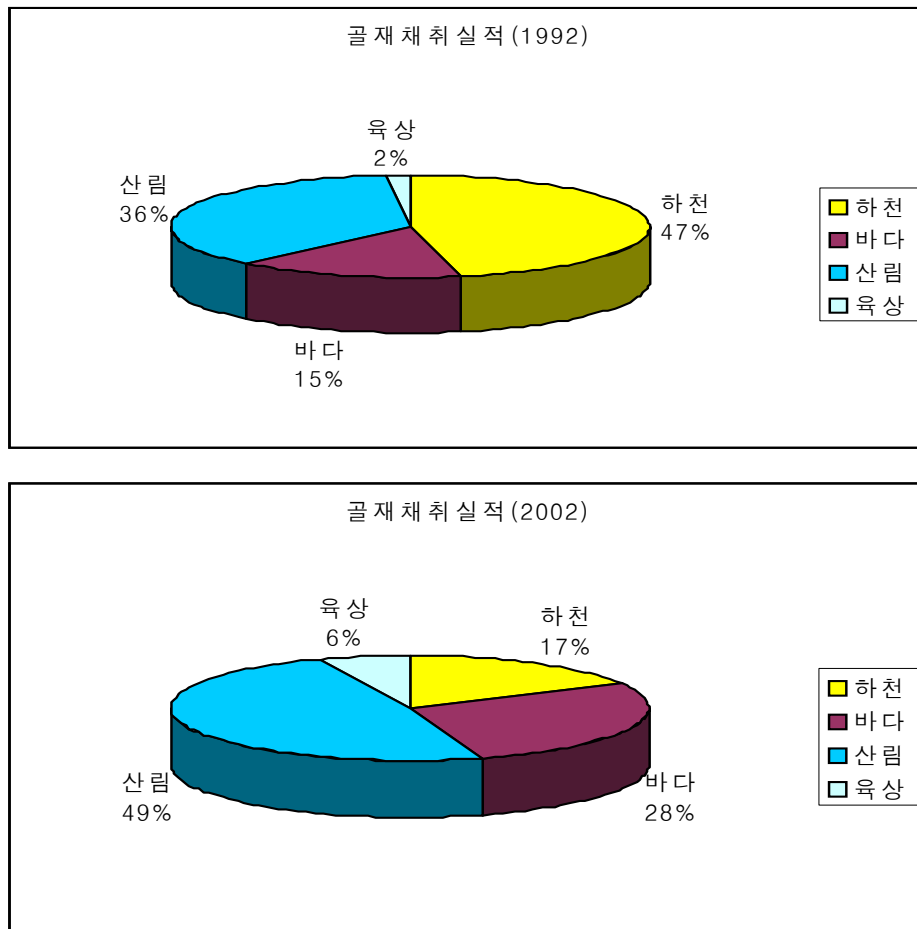
골재원별 점유비

구분	'92	'93	'94	'95	'96	'97	'98	'99	'00	'01	'02
육상골재	1.7	3.8	6.8	10.0	6.9	6.3	6.5	5.6	5.5	5.6	6.0
산림골재	36.4	37.2	33.8	34.1	35.5	48.4	55.6	49.6	44.7	50.0	48.9
바다골재	15.3	17.1	20.5	22.1	22.0	21.7	17.8	21.5	26.0	27.2	27.7
하천골재	46.7	41.9	38.8	33.8	35.6	23.5	20.1	23.3	23.8	17.2	17.3

자료 : 건설교통부 자료(2000년도까지), 건설기술연구원(2001~2002년).

〈그림 2-1〉

바다골재의 점유비 변화(1992년 대 2002년)



2) 바닷모래 채취 현황

바다에서의 골재채취에 대한 외국의 사례를 보면 모래는 물론 굵은 골재도 채취하지만 우리나라에서는 현재 암석이나 자갈은 채취하지 않고 모래만 채취하고 있어 바다에서 채취되는 골재자원의 전부가 바닷모래라고 할 수 있다. 바다골재(해사)는 파도나 바람, 조석 등의 동적인 작용을 많이 받아 형상은 하천 골재에 비하여 둥근편이며, 철근 콘크리트 구조물에 유해한 염분이 함유되어 있어서 이를 담수로 세척해야 된다는 단점이 있으나 콘크리트용 골재로서의 품질은 상당히 우수한 것으로 평가되고 있다. 바닷모래의 채취는 두 가지 방식의 허가형태가 있다. 즉 ‘광업법’에 의하여 광물(규사) 채취형태로 허가되거나 ‘골재채취법’에 의거하여 골재채취 형태로 허가되고 있다. ‘광물(규사)’로서의 바닷모래와 ‘골재’로서의 바닷모래의 차이는 규사의 함량에 따라 결정되는데, 광업법에서의 모래는 규사함량을 90% 이상으로 규정하고 있지만 실제로는 양자(규사형태와 골재형태)에 차이가 없다.⁷⁾

바닷모래의 채취실적을 보면 1992년도 이후 계속 증가추세를 보이면서 1996년도에는 3,059만 1천 m³로 최고조에 달하였으나 IMF 이후 크게 감소하였다가 2002년도에는 다시 3,302만 4천 m³로 회복되는 추세에 있다. 전체골재에서 차지하는 바닷모래의 비율을 살펴보면 연도별로 약간의 기복은 있지만 계속 증가하는 추세에 있다. 일반적으로 전체골재에서 잔골재(모래)의 비율이 40% 정도를 차지하는데 우리나라의 경우 바다골재가 모두 모래임을 감안한다면 우리나라 모래 공급의 70% 정도가 바다에서 공급되고 있음을 알 수 있다.

우리나라에서 바닷모래의 주요 채취지는 인천 옹진군, 충남 당진군, 전남 신안군, 진도군 등이나 최근에는 각 시군이 해양환경에의 영향을 감안하여 채취 허가에 매우 신중을 기하고 있다. 참고로 강모래의 경우 1992년도에는 모래수급의 70.7%를 차지하였으나 2002년도에는 32.2%를 차지하고 있다. 강모래는 바닷모래에 비하여 품질이 우수하고 수송 여건도 유리하여 소비자들에게 선호되고 있으나 강모래 또한 환경문제가 제기되고 있다.

7) 바닷모래 채취가 어떤 법에 의하여 이루어지는가에 따라 공유수면관리법의 점·사용료가 달라짐. 동일한 바닷모래를 채취하면서도 광업법에 의하여 채취하는 경우 점·사용료를 훨씬 적게 낼 수 있어 업자 간에 갈등의 문제가 초래되고 있음.

〈표 2-2〉 연도별 바닷모래 채취실적 및 점유비

연도	전체골재(천 m³)	바닷모래(천 m³)	비율(%)
1992	101,826	15,546	15.3
1993	106,013	18,122	17.1
1994	109,476	21,339	20.5
1995	104,684	23,086	22.1
1996	139,029	30,591	22.0
1997	133,923	29,092	21.7
1998	108,454	19,276	17.8
1999	119,133	24,586	21.5
2000	112,365	29,179	26.0
2001	114,845	31,203	27.2
2002	119,246	33,029	27.7

자료 : 건설교통부.

〈표 2-3〉 골재 품종별 채취실적 변화 추이

연 도	채취실적(천 m³)					점유비(%)				신고량 (천 m³)
	하천	바다	산림	육상	계	하천	바다	산림	육상	
1992	47,517	15,546	37,072	1,691	101,826	46.7	15.3	36.4	1.7	-
1993	44,405	18,122	39,474	4,012	106,013	41.9	17.1	37.2	3.8	-
1994	43,084	21,339	37,483	7,570	109,476	39.4	19.5	34.2	6.9	2,941
1995	35,393	23,086	35,717	10,488	104,684	34.8	22.7	35.1	10.3	2,645
1996	49,437	30,591	49,416	9,585	139,029	35.6	22.0	35.5	6.9	9,673
1997	31,501	29,092	64,843	8,487	133,923	23.5	21.7	48.4	6.3	4,920
1998	21,848	19,276	60,252	7,078	108,454	20.1	17.8	55.6	6.5	11,021
1999	28,069	24,586	59,688	6,790	119,133	23.6	20.6	50.1	5.7	5,169
2000	26,770	29,179	50,283	6,133	112,365	23.8	20.0	44.8	5.5	3,360
2001	19,781	31,203	57,418	6,443	114,844	17.2	27.2	49.9	5.7	21,779

자료 : 건설교통부.

이처럼 바닷모래의 채취가 급증세를 지속하고 있는 것은 육상에서 채취할 수 있는 골재자원이 점차 고갈되고 있는 데다 각종 환경규제의 강화로 육상골재의 채취여건이 악화되었기 때문이다. 이에 반해 바닷모래는 종합관리대책이 제대로 수립되지 못한 가운데 채취료가 상대적으로 저렴하고, 산림골재와는 달리 원상복구 예치금도 부과되지 않는 데다 행정단속도 느슨하여 무분별한 채취를 부추기고 있다.

〈표 2-4〉 2001년도 지자체별 바다골재 채취허가 현황(광물포함)

시·군	시군	건수	비 고
인천광역시	중구청	1	규사채취
	옹진군	126	규사채취(6), 골재 채취(120)
울산광역시	동구청	1	규사채광
충청남도	보령시	1	예석채취
	태안군	1	규사채취
전라남도	영광군	2	규사채취
	진도군	4	규사채취
	신안군	18	화장품원료(2), 규사(6), 모래(10)
여수지방청		1	토석채취
군산지방청		1	토사채취
합계		156	

자료 : 해양수산부, 2002.

2. 골재 및 바닷모래의 수급 전망

1) 우리나라의 바닷모래 부존량

우리나라에서 바닷모래의 부존량 조사는 1990년대 초 수도권 신도시개발 등 급속한 건설사업의 증대로 골재파동을 겪은 후 골재자원의 안정적 확보와 수급에 대한 중요성이 크게 부각됨에 따라 이루어진 골재자원 조사의 일환으로

수행되었다. 한국지질자원연구원은 1993년도부터 산업자원부의 지원으로 전국에 분포하는 하천, 산림 및 바다 골재자원의 부존 현황을 체계적으로 조사하기 시작하였다.

우리나라에 발달하고 있는 바다골재 부존 지역은 조류성 사퇴(tidal sand ridge)가 발달하고 있는 해역이다. 이러한 사퇴들의 발달상태는 한국지질자원연구원에서 실시한 대륙붕 해저지질도 작성을 위한 사업의 연구결과로 밝혀졌으며, 특히 육상 하천 골재자원의 고갈에 대비한 바다골재의 개발을 위하여 경기만 자원도 남쪽 바다에 발달하고 있는 사퇴를 모델지역으로 한 천해저 쇄설성 광물자원의 정밀탐사 기술개발연구가 수행되었다.

현재 바다골재는 국내 전체 잔골재(모래) 수요의 약 20% 이상을 공급하고 있는 것으로 추정되고 있으며, 경기만 및 아산만에서 공급하는 잔골재의 양은 국내 전체 바다골재 공급량의 약 80% 이상을 차지하고 있다.

한국지질연구원에서 1993년부터 현재까지 수행된 경기만 및 아산만의 바다골재 부존조사 결과에 의한 바다골재 매장량은 <표 2-5>와 같다. 가채매장량은 부유물질의 확산을 고려하여 보존지역 조건에 따라 추정매장량에서 뺄/모래 경계층의 상부 2m 내지 5m의 모래층을 제한 값이다.

<표 2-5> 바다골재 매장량 및 골재의 종류 종합

조사해역	최대층후 (m)	추정매장량 (m ³)	가채매장량 (m ³)	가채율 (%)
경기만 북부	6 - 18	481,950,000	120,487,500	25
경기만 남부	11 - 15	1,989,485,100	535,865,600	27
용유도 서부	11	73,015,000	36,444,000	50
아산만	4 - 18	117,987,500	72,035,500	61
서어벌주변해역	10 - 16	601,187,000	351,500,000	50
합 계		3,263,624,600	1,116,332,600	
최 대	18	1,989,485,600	535,856,600	61
최 소	4	73,015,000	36,444,000	25

물리탐사자료와 시추코어시료의 분석결과에 의하면 사퇴의 모래층 층후는 경기만 및 아산만이 약 4~18m를 보이고 있다. 이러한 차이는 인근 하천으로부터의 사질 퇴적물 공급량과 조류의 세기가 밀접한 관련이 있는 것으로 사료된다. 즉 경기만과 목포서부해역은 과거 해수면이 현재보다 낮은 시기 동안 막대한 양의 사질 퇴적물이 한강으로부터 유입된 것으로 후기 현세에 들어 강한 조류의 선별 작용에 의하여 두터운 모래층의 사퇴가 발달한 것이며, 이에 반하여 군산서부해역은 사질 퇴적물의 유입이 미약하고 조류의 세기도 약하여 모래층의 발달이 미흡한 것으로 알려져 있다.

현재까지 추정된 골재매장량은 경기만이 약 32.6억 m^3 (가채매장량 약 11.1억 m^3)이며, 2003년 바다골재 채취허가량(경기만 약 3.6천만 m^3 /년)으로 계산하면, 가채매장량 기준으로, 경기만은 향후 약 30년을 공급할 수 있는 양을 부존하고 있다.

골재품질조사(입도, 물성, 화학성분 등) 결과에 의하면 바다골재는 대부분 세립사 내지 중립사로서 한국공업규격협회의 콘크리트용 잔골재로서의 표준 입도(조립률) 범위보다 세립질이다. 이 외의 품질평가요소인 비중 및 흡수율, 패각편 함량, 유기물 함량 등은 표준품질요건을 충족시키고 있어 골재로서 상당히 양호한 것이라고 할 수 있다.

2) 골재자원의 수급전망

건설교통부는 5년마다 골재수급기본계획을 통하여 장기골재수급전망을 하고 있고 또한 매년 골재수급계획을 작성하고 있다. 현재의 골재수급계획은 2004년부터 2008년까지의 5년간에 걸친 제3차 계획인데, 골재의 수요는 3차 수급기간 중 증가폭이 둔화되어 2005년도에 정점에 도달하고 2006년도부터는 하락세로 전환될 것으로 전망되고 있다. 주택보급률은 오는 2007년 이후 100%에 도달할 것으로 전망되고 있으나 핵가족화가 진행되면서 세대수가 계속 늘고, 재개발, 재건축의 수요가 있기 때문에 골재 수요량은 연간 2억 5천만 m^3 이상의 수요가 지속적으로 발생할 것으로 예상하고 있다.

〈표 2-6〉

골재수급기본계획상의 연도별 골재수요 전망

단위 : 천 m³

구분	2004년	2005년	2006년	2007년	2008년
합계	257,044	260,429	260,429	257,822	257,834
모래	111,557	113,026	113,026	111,895	111,900
자갈	145,487	147,403	147,403	145,927	145,934

자료 : 건설교통부, 「골재수급기본계획」, 2004.

동조사의 결과를 보면, 골재 자원의 수급실태에 관해서 대부분의 지역에서 골재의 확보에 어려움이 있는 것으로 나타났으며 특히 잔골재(모래) 확보의 어려움은 더 클 것으로 조사되고 있다. 그 주된 이유는 바다골재 채취의 해양환경문제로 공급환경이 어려워지기 때문인 것으로 분석되고 있다.

골재자원의 수급안정을 1차적 정책목표로 하고 있는 건설업계 입장에서 골재수급과 관련하여 거론하고 있는 문제점은 다음과 같다.

첫째, 우리나라는 앞으로 약 30년 후에 부존자원의 한계에 도달할 것이며 따라서 특별한 공급대책이 수립되어야 한다고 한다.⁸⁾ <표 2-6>은 한국지질자원 연구원이 조사한 우리나라 골재 부존량 및 이용 가능량을 조사한 결과인데 우리나라의 골재부존량은 102억 m³, 개발 가능량은 55억 m³ 정도로 보고 현재의 골재수요량을 1억 8천 m³로 가정할 때 약 30년 정도의 공급물량이라고 추정하고 있다. 그러나 자료를 재구성하여 2000년도의 연간 골재원별 채취량과 개발 가능량을 비교하여 보면 채취가능연수가 약 50년 정도로서 앞의 30년과는 차이가 있다. 골재채취량과 수요량에 차이가 많은 것은 건설현장에서 재활용되는 골재의 양이 최근 상당히 많기 때문이다. 자료의 차이가 있지만 건설업계나 골재개발론자의 주장은 골재자원이 언젠가는 고갈될 것이며 따라서 바닷모래 등 신규자원을 계속 발굴해야 되고 환경규제를 과도하게 하면 골재수급에 지장이 있다는 것이다.

8) 한국건설산업연구원, 「골재의 수급안정 및 환경친화적 개발방안 세미나」, 2003. 4. p.7.

〈표 2-7〉

우리나라 골재 개발 가능량

구분	부존량(A)	개발가능량(B)	2000년도 연간채취량(C)	채취가능년수(B/C)
총계	10,217,497	5,537,976	112,365	49
하천골재	2,014,660	1,006,260	26,770	38
바다골재	3,245,440	1,173,346	29,179	40
산림골재	4,957,397	3,358,370	56,416	60

자료 : 부존량 및 개발가능량은 한국건설산업연구원(2003) 자료에서 인용.

둘째, 골재는 자연채취물이기 때문에 채취원이 확보되지 않으면 공급량을 늘리기 어려운 특성이 있는데, 현재로서는 아직 뚜렷한 대체재가 없으며 외국으로부터 수입을 하는 것도 운송비 등의 문제로 여의치 않다는 것이다.

셋째, 환경규제의 과다로 골재의 확보에 어려움이 있다. 특히 바다골재의 경우 최근 환경영향평가 대상 기준이 강화되었고 그 외 주민들의 민원, 환경단체의 민원 등으로 바다골재의 허가가 매우 제한되고 있다. 전에는 바닷모래 채취허가 건별로 100만 m³ 이상일 경우 환경영향평가를 받아야 했으나, 2001년 1월에 개정된 ‘환경·교통·재해영향평가법’ 시행령에서는 ‘광업법’에 의한 광구의 단위 구역당 바닷모래 채취량이 합산하여 50만 m³ 이상일 경우 환경영향평가를 받도록 기준이 강화되었다. 또 해양수산부에서는 바닷모래의 무분별한 채취를 방지하기 위한 종합적인 대책을 강구 중에 있으며 우선은 해역이용협의 제도를 활용하여 허가를 규제하고 있다. 해양오염방지법에 의하여 지방자치단체는 바닷모래 채취허가시 지방해양수산청과 해역이용협의를 하여야 하는데 해양수산부(지방해양수산청)는 해역이용협의를 환경에 위해가 우려되는 경우 바닷모래채취를 실제적으로 규제할 수 있는 것이다. 최근 채취허가권을 가진 시·군·구는 이러한 제도적 규제 외에도 주민이나 환경단체의 환경관련 민원 때문에 채취허가에 매우 신중한 태도를 보이고 있다. 따라서 바닷모래 개발 입장에서는 이러한 환경규제가 바닷모래의 안정적 공급에 어려움을 주고 있다는 것이다.

이러한 전망 하에 골재자원의 안정적 수급을 위해서 환경규제 완화 및 배타적경제수역(EEZ)에서의 바닷모래 채취, 새로운 골재원 및 재생골재의 활성화, 골재채취단지 지정을 통한 집중개발방식의 도입, 골재수입의 검토 등과 같은

정책이 검토되고 있고 일부는 이미 시행되고 있다. 2003년도 7월부터 건설교통부장관의 허가를 받아 배타적경제수역(EEZ)에서 바닷모래를 채취할 수 있게 되었으며 또한 「골재채취법 시행령 및 시행규칙」을 개정하여 하천구역과 공유수면(인근바다)을 대상으로 건교부장관 또는 시장·군수·구청장의 신청으로 골재채취단지를 지정할 수 있도록 하였다. 건교부는 환경부의 사전환경성검토 절차 등을 거쳐 골재채취단지를 지정하게 되는데 골재채취단지 내에서는 해당 지역의 자치단체장이 골재채취 허가를 내주게 된다.

이상에서 살펴 본 것은 골재의 안정적 수급을 정책 목표로 하는 입장에서의 견해이다. 그러나 바닷모래 채취가 해양환경에 미칠 영향을 우려하여 바닷모래를 채취하더라도 친환경적으로 채취해야 한다는 ‘지속개발론자’의 입장에서는 다른 전망을 하고 있다.

<참고> 해역이용협의

오염방지법 제4조의8

다음 각호의 1에 해당하는 지정·면허 또는 허가를 하고자 하는 행정기관의 장은 대통령령이 정하는 바에 의하여 미리 해양수산부장관과 협의하여야 한다. 다만, 제4호의 규정은 특별관리해역에 한하여 이를 적용한다.

1. 개항질서법 제24조제1항 단서의 규정에 의한 개항의 항계안에서의 폐기물배출해역의 지정
2. 공유수면매립법 제9조의 규정에 의한 공유수면매립의 면허
3. 공유수면관리법 제5조의 규정에 의한 공유수면의 점용 및 사용의 허가
4. 수산업법 제8조의 규정에 의한 어업의 면허

첫째, 바닷모래의 채취가 해양환경에 미치는 영향에 대해서 국내에서는 충분한 연구가 이루어지지 않았지만 환경에 영향을 미치지 않는 범위에서 바닷모래채취가 허용되는 외국의 추세를 고려할 때 바닷모래 채취의 환경규제는 더 강화될 것으로 보인다. 미국은 아직 바닷모래를 건설자재용으로 채취하지 않고 있으며, 일본은 환경문제로 최근 세토나이카이에서는 바닷모래 채취를 금지하고 있어 바닷모래의 공급실적이 크게 감소하고 있는 추세이다. 영국 등 유럽에서는 환경규제가 더욱 강화되고 업계에서는 스스로 환경문제를 극복하기 위한 투자와 노력을 하고 있다.

둘째, 골재자원이 재생불가능한 자원이기 때문에 대체자원의 개발 또는 자원

의 소비를 줄여 나가야 할 것으로 보인다. 우리나라의 경우 특히 골재자원의 소비가 다른 나라에 비해 많으며 폐골재의 재활용도가 낮은 것으로 나타나고 있다. 골재의 연간 1인당 소비량을 보면 미국 4.0톤, 영국 2.4톤, 일본 5.8톤인데 비하여 우리나라는 8.5톤으로서 다른 나라에 비하여 매우 높음을 알 수 있다(골재는 굵은골재와 잔골재의 구성비에 따라서 부피(m^3)를 중량(톤) 기준으로 환산할 경우 약간씩 차이가 있는데 여기서는 골재 $1m^3 = 2$ 톤으로 환산). 또한 골재와 함께 중요한 건설 기초자재로 사용되고 있는 시멘트의 경우를 분석해 본 결과도 우리나라가 여타 국가에 비해 1인당 소비량이 매우 높은 것으로 나타나고 있다. 이는 우리나라의 골재소비가 매우 비효율적임을 보여주고 있기 때문에 골재소비문화를 개선한다면 천연골재의 소비량을 크게 줄일 수 있고 공급문제도 훨씬 개선될 수 있을 것이다.

셋째, 바닷모래의 수입도 고려할 수 있다. 2003년도 이후 해사채취의 환경문제가 제기되면서 바닷모래의 수입에 대한 움직임이 활발히 전개되고 있다. 그러나 아직은 국내가격과 차이가 있고, 수입에 따른 전용부두 확보문제 등 해결되어야 할 과제들도 있어 해사자원공급에 도움이 될 정도는 아니다. 그러나 우리나라의 해사지원의 수급상황을 미루어보면, 바닷모래의 수입을 적극 도모하여야 할 것으로 보인다.

〈표 2-8〉 **각국의 1인당 골재 및 시멘트 소비량**

구분 국가	2001년도 골재소비량 (백만톤)	2001년도 인구 (천명)	1인당 골재소비량 (톤/인)	1인당 시멘트소비량 (톤/인)
한국	400	47,069	8.5	1.14
일본	746	127,335	5.8	0.54
미국	1,130	285,926	4.0	0.40
영국	140	59,542	2.4	0.22

자료 : 조동오·장학봉(2003).

제 3 장 바닷모래 채취의 해양환경 영향

1. 해사채취의 잠재적 영향⁹⁾

바다에서의 모래채취로 인하여 해양환경과 해양생태계에 미칠 수 있는 영향은 1차적으로 해사채취해역의 퇴적환경변화와 물리환경변화, 저서생물의 서식처 파괴를 들 수 있으며 2차적으로 해사채취로부터 발생하는 수질과 저질 환경의 변화, 채취해역의 소음 증가와 채취선으로부터 발생하는 오염물질의 증가등으로부터 유발되는 환경의 악화로 인한 주변 서식생물의 서식조건의 악화를 들 수 있다. 이 중 가장 큰 영향을 받는 것은 해사채취로 인한 퇴적물 자체가 소실되는 퇴적환경변화와 서식지 전체가 파괴됨에 따른 저서생물 군집의 소실이라 할 수 있다. 이러한 이유로 연안에서의 해사채취활동은 어떠한 경우이든 생태계에 악영향을 미치는 것으로 오랫동안 인식되어 왔다.

〈그림 3-1〉 채취작업이 이루어지는 동안 채취선에서 잉여해수가 방출되는 모습

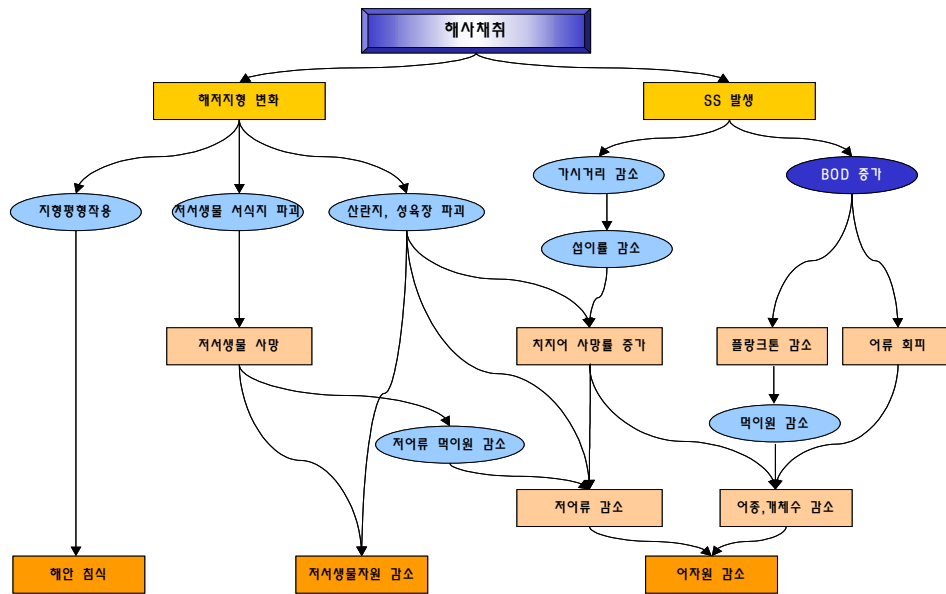


자료 : 해양수산부, 「해사채취의 친환경적 관리방안연구(1) 중간보고서」, 2004.

9) 조동오·장학봉, *Op. cit.*

〈그림 3-2〉

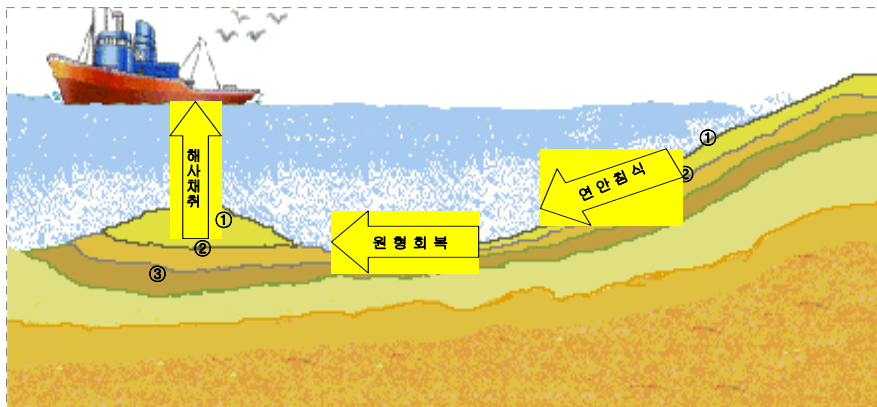
해사채취의 잠재적 영향



자료 : 해양수산부, 「해사채취의 친환경적 관리방안연구(1) 중간보고서」, 2004.

〈그림 3-3〉

해사채취의 퇴적환경변화 및 연안침식 과정 모식도



자료 : 해양수산부, 「해사채취의 친환경적 관리방안연구(1) 중간보고서」, 2004.

1) 해사채취가 수질 환경에 미치는 영향

해사채취가 수질 환경에 미치는 영향으로는 해사채취시 펌핑으로 선상에 올라온 해저 퇴적물로부터 방출되는 해저 퇴적물 공극수에 농축되어 있던 영양염 물질, 중금속 물질, 유기물 등과 해저 퇴적물과 함께 올라온 부유물질의 방출이다. 해사채취시 이러한 해저 퇴적물 및 부유사의 동태에 의한 주변 수질의 영향 정도를 파악하기 위하여 해사채취 인근 해역에서 시범적으로 행해진 해사채취에서 나타난 결과는 다음과 같다.

해사채취가 활발한 수역과 해사를 채취하지 않는 수역(이하에서는 비채취수역이라 함)을 비교한 결과 화학적 산소요구량(COD)과 총질소(T-N)농도의 경우는 해사채취수역이 비채취수역에 비해 다소 높은 양상을 보였다. 화학적 산소 요구량의 경우 동계와 춘계에는 두 수역의 분포가 유사하였으나 하계와 추계에는 해사채취수역이 비채취수역보다 다소 높은 것으로 나타나 하계와 추계에 해사채취가 화학적 산소요구량 증가를 야기하는 것으로 보인다. 질소계 영양염의 경우 암모니아 염이 동계와 추계에 해사채취수역에서 다소 높게 나타나 해사채취로 공극수 중의 암모니아 염이 수층으로 방출되어 수층 암모니아 염 농도에 영향을 준 것으로 보인다. 화학적 산소 요구량에 의한 수질 등급은 전체적으로 III등급으로 나타나 경기만 해역의 수질이 전반적으로 양호하지 않음을 나타내고 있다(<표 3-1> 참조).

〈표 3-1〉 해사채취수역과 비채취수역 간의 해양수질 오염인자 비교표

조사수역	조사시기	DO	COD	SS	TN	HPO ₄	Si(OH) ₄
해사채취수역	1997/10	7.8	1.44-3.4	34.2	0.13	0.024	0.192
	1997/12	8.4	3.38	93.2	0.14	0.027	0.283
	1998/5	8.4	2.56	37.2	0.13	0.018	0.201
	1998/9	6.0	1.28	63.0	0.12	0.013	0.552
비채취수역	1997/10	7.6	1.40-3.4	33.0	0.10	0.020	0.179
	1997/12	8.6	1.76	110.4	0.12	0.024	0.270
	1998/5	8.3	2.08	58.0	0.17	0.018	0.243
	1998/9	6.3	1.08	67.5	0.11	0.015	0.471

자료 : 조동오·장학봉(2003)에서 인용.

시범 해역의 해사채취 후 해사로부터 방출된 해수의 화학적 산소요구량은 해사채취 이전의 표층 해수의 농도보다 약 2배(5.24mg/l) 높았고, 부유물질의 경우는 약 8배, 규산염은 약 1.5배 높은 것으로 나타났으나 그 외의 수질 항목은 뚜렷한 농도 차이를 보이지 않았다. 표층으로 방출된 혼탁수는 인근 해수와 급속하게 희석되어 해사채취선으로부터 10m 이격된 거리에서 1/5정도로 급격하게 감소되는 것을 보였다. 따라서 해사채취시 방출되는 혼탁수는 주변 조류와 난류 확산에 따라 다소 차이는 있을 것이나 대체로 200~400m 범위까지 영향을 미칠 것으로 보이고, 최대 영향을 미칠 경우에는 주변 1,000m 정도까지 영향을 줄 것으로 판단된다.

2) 해사채취가 저질 환경에 미치는 영향

해사채취가 저질 환경에 미칠 수 있는 영향은 해사채취로 인하여 해저 퇴적물의 입자 분포와 구성에 영향을 줄 수 있는 요인으로 구분해 볼 수 있다. 최근의 해사채취는 대부분 펌핑으로 채취를 하기 때문에 펌핑으로 인한 해저 퇴적물의 입자 교란이나 조성 교란은 거의 없을 것으로 판단되고 실제 해저 퇴적물의 교란보다는 해저 퇴적물의 소실이 큰 문제가 될 수 있다.

한 지역에서 지속적인 해사채취시 과다한 해저 퇴적물의 굴착으로 인해 해저 웅덩이가 형성되어 해수의 소통이 원활치 못할 경우 용존 산소의 감소 등 많은 문제점이 야기될 것으로 예상되나 경기만 해역은 저층까지 조류의 유동이 활발하여 굴착된 웅덩이에서 저산소 분포가 발견된 경우가 현재까지는 없다.

해저 퇴적물 내 공극수의 분포는 해사채취시 수층의 해수질에 영향을 주기 때문에 해사채취 해역의 공극수의 저질 환경은 중요한 영향 요인이 될 수 있다. 경기만 내 해사채취 해역의 공극수 내 암모니아 염의 분포는 사질 퇴적물 내 유기물의 함량이 낮게 분포하여 공극수 내 영양염 농도도 낮게 분포하는 일반적 경향과 유사하게 나타났다. 또한 니질 퇴적물의 경우는 공극수 내 유기물의 높은 분포와 박테리아에 의한 작용으로 높은 영양염 분포를 보인다. 그러나 사질 퇴적물의 공극수에 용존된 암모니아 염, 질산염, 아질산염, 인산염, 규산염, 중금속 농도 등은 니질 퇴적물 공극수 중 농도보다 훨씬 낮은 농도로 분포하기 때문에 실제 해사채취시 퇴적물 교란으로 인한 해수질 오염은 크지 않은 것으로 나타났다.

해사채취시 해사 시추선 등에서 유출되는 오염물질(중금속 등)로 인한 해사 채취해역 공극수의 중금속 농도변화에 있어서는 해사채취해역 공극수 중 중금속 농도가 전반적으로 낮은 것으로 보아 거의 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 실제 해사채취해역의 퇴적물 내 중금속 농도가 낮은 것도 이러한 결과를 반영한다고 할 수 있다.

〈표 3-2〉 해사채취수역 공극수와 비채취수역 공극수의 환경인자 비교표

조사수역	조사시기	중금속농도(PPb)					영양염농도(uM)		
		Cu	Zn	Ni	Fe	Mn	암모니아	인산염	규산염
해사채취수역공극수	1997.10	0.79	6.06	0.598			0.49	0.55	9.12
	1997.12	1.44	19.3	0.64			0.11	0.77	14.89
	1998.5	1.01	13.2	-	1.05	6.24			
	1998.9	0.77	5.5	-	3.38	6.04			
비채취수역공극수	1997.10	0.39	3.12	0.44			0.71	0.58	14.13
	1997.12	0.63	3.2	0.43			4.73	0.52	12.59
	1998.5	1.35	15.9	-	2.14	7.46			
	1998.9	0.46	4.12	-	1.35	5.64			

자료: 조동오·장학봉(2003)에서 인용.

해사채취수역 공극수와 비채취수역 공극수의 환경 인자를 비교한 결과 중금속 중 구리와 아연은 해사채취수역이 다소 높았으나 그 외 중금속은 큰 차이를 보이지 않았고 암모니아는 오히려 비채취수역이 높은 분포를 보여 전체적으로 두 해역 공극수의 상태를 비교하기 어려웠다(<표 3-2> 참조).

3) 해사채취가 플랑크톤 생태에 미치는 영향

(1) 해사채취수역의 식물 플랑크톤 생태에 미치는 영향

해사채취수역을 대상으로 해사채취가 집중적으로 이루어지는 해사채취 집중수역과 해사채취가 행해지는 일반 해사채취수역, 현재 해사채취를 하지 않는 비채취수역으로 구분하여 식물 플랑크톤의 분포와 군집을 비교한 결과, 해사채

취가 집중적으로 이루어진 곳의 현존량은 계절평균 337,300cells/l, 일반해사채취수역은 평균 361,847cells/l, 비채취수역은 평균 681,492cells/l를 보여 비채취수역이 다소 높게 나타났다. 이는 비채취수역에서 하계에 대증식이 일어난 결과로, 해사채취 집중수역에서는 이와 같은 대증식이 미약한 결과이다. 다른 계절에는 해사채취 집중수역이나 비채취수역에서 유의성 있는 뚜렷한 차이를 보이지 않았다. 하계에 해사채취 집중수역에서의 미약한 대증식은 해사채취수역이 다소 높은 부유물질 분포로 표층 광의 소광계수가 증가하여 식물 플랑크톤의 생산에 부정적인 영향을 주었거나 해사채취수역이 연안에서 멀리 떨어져 있어 영양염 공급이 충분치 못한 데 기인된 것일 수 있으나 어떤 요인에 의한 것인지 현재로서는 알기 어렵다.

계절별 다양성 지수 분포를 보면 해사채취 집중수역의 계절평균 1.66, 해사채취수역 1.63, 비채취수역의 계절 평균 1.63을 보여 식물 플랑크톤 군집의 다양성 지수 분포가 해사채취에 의한 영향보다는 계절적인 수역 특성에 의해 결정되는 것으로 보이며, 인근 수역 내에서 거의 유사한 군집 특성을 갖는 것으로 보인다.

해사채취시 발생하는 부유사가 식물플랑크톤의 성장에 미치는 영향을 실험한 결과 부유성 규조류인 *skeletonema costatum*의 경우 일반 부유물질 농도 50mg/l에서는 3일간의 계대배양결과 일반 대조구와 비슷한 성장곡선을 보인 반면 부유물질 500mg/l 실험조건에서는 3일 후 대조구에 비해 1/3의 낮은 성장 속도를 보였다. 이는 해사채취시 발생하는 부유물질로 인하여 해사채취 지점에서는 식물 플랑크톤의 성장이 저하될 수 있음을 의미한다.

해사채취시 발생하는 공극수의 영양염 유출은 유광대에서 식물플랑크톤 성장률을 증가시킬 수 있으나 동시에 발생하는 부유물질은 유광대의 깊이를 감소시켜 일차 생산력의 감소를 야기시킬 수 있다. 특히 동계와 같이 북서 계절풍이 발달하여 해수의 수직 혼합이 활발한 구역에서는 해수의 부유물질의 농도가 증가하게 된다. 2001년 동계조사에서 부유물질의 농도가 76.3mg/l에 이르러 높은 소광계수로 인한 유광대 깊이의 감소는 낮은 일차 생산력을 유발하였다.

해사채취시 방출된 부유물질은 위와 같이 계절에 따라 식물 플랑크톤의 일차 생산에 거리와 규모에 따라 영향을 주는 정도가 다르게 나타나므로 해사채취작업시에는 부유물질의 확산을 막을 수 있는 조치가 필요할 것으로 사료된다.

(2) 해사채취수역의 동물 플랑크톤 생태에 미치는 영향

기존의 조사에서 해사채취수역의 동물 플랑크톤 분포양상은 해사채취집중수역, 일반해사채취수역, 비채취수역 사이에서 수역에 따라 종조성 및 현존량 차이를 보이지 않음으로써, 해사채취가 동물 플랑크톤 군집의 공간 분포에 큰 영향을 미치지 않음을 의미한다. 그러나 동물 플랑크톤 군집의 변화를 조사한 결과 시범채취 전에는 동물 플랑크톤 군집사이에 큰 차이를 보이지 않았으나, 시범채취 후 채집된 군집 사이에는 다소 차이가 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 해사채취수역과 조류 방향을 고려해 설정된 정점들 사이에서 출현한 동물 플랑크톤 종조성을 비교해 보면 해사채취수역에서 다소 요각류의 종조성이 감소되는 것으로 나타났다. 이는 직접 해사채취를 하는 지점의 경우 소규모 생태계 교란이 발생할 가능성이 있음을 의미하나 그 교란 범위는 매우 국지적임을 의미한다. 동물 플랑크톤의 개체수 분포는 해사채취가 빈번하게 일어나는 수역에 비해 생태계 교란이 작은 수역에서 유생 분류군의 개체수가 5배 이상 많이 출현한 반면에 요각류 개체수는 1/2 정도로 적게 출현하였다. 이러한 출현 양상은 생태계교란이 작은 수역이 저서동물 및 대형 갑각류의 산란 및 성장에 유리함을 보여주는 것이다.

해사채취 전후에 조사된 동물 플랑크톤 개체수 분포는 거의 유사한 양상을 보이고 있으나 군집구조에 있어서는 상당한 차이를 보였다. 해사채취 후 야광충은 전날에 비해 약 6배의 증가를 보였으나 모악동물 *Sagitta crassa*는 65% 감소, 요각류의 경우는 54%의 감소가 일어났다. 이러한 동물플랑크톤 군집 구조의 변동은 해사채취로 인하여 일시적으로 일어난 것으로 보이나 그 변화는 희석작용에 의해 오래 지속되지는 않는다. 그러나 해사채취가 광역적·지속적으로 일어날 경우 저서 동물의 유생이나, 요각류 등에 이상을 일으켜 동물 플랑크톤 군집 구조 전체에 영향을 줄 것으로 예상된다.

(3) 부유사 농도에 따른 동물 플랑크톤의 생물 검정 결과

해사채취시 발생하는 부유사로 인하여 동물 플랑크톤의 생리 생태에 미치는 영향을 알아보기 위하여 경기만 동물 플랑크톤 군집에서 가장 우점하는 *Acartia hongi*의 사망률과 난생산율의 변화를 부유사 농도에 따라 실험한 결과

를 보면 24시간 노출 후 측정된 사망률 측정결과는 부유사 농도 5,000mg/l까지는 *Acartia hongi*의 사망률 변화가 거의 없으며 이 농도 이상으로 급격히 높였을 때 다소 증가하는 양상을 보였다. 난생산율의 변화는 사망률 변화에 비해 다소 낮은 농도부터 반응을 보였는데 1,000mg/l 이상의 부유사 농도에 노출되었을 때부터 난생산율이 감소되기 시작하였다.

경기만 해사채취 해역의 일반적인 부유사 농도 분포는 최대 500mg/l 정도로 나타나 해사채취로 인한 *Acartia hongi*의 사망이나 난생산 감소를 일으키는 직접적인 영향은 주지 않은 것으로 보인다. 다만 해사채취가 직접 일어나는 지점이나 다수의 선박이 집중적으로 해사를 채취할 경우 기상상태와 어울려 1,000mg/l 이상의 부유사 농도가 발생할 수 있다. 이런 때는 요각류의 난생산력이 영향을 받을 것으로 예상된다. *Acartia hongi* 외에 해사채취수역에 서식하는 일부 동물 플랑크톤의 경우 부유사에 예민하거나 크기가 아주 작은 종들은 해사채취수역의 부유사 농도에 영향을 받을 수 있다. 그러나 현재까지는 이에 관련된 조사가 이루어진 바가 없어, 해사채취로 인한 동물 플랑크톤 군집에의 영향 정도를 단정 짓기는 어려운 상태이다.

4) 해사채취가 저서 생물 생태에 미치는 영향

해사채취는 해저에 퇴적된 모래를 채취하는 행위로 1차적으로 해저퇴적물의 물리적 제거로 여기에 서식하는 저서 생물의 서식처를 완전히 제거하는 서식처 파괴이자 치명적인 손실이며, 2차적으로 채취과정에서 일어나는 부유퇴적물의 증가를 통하여 표영생태계 및 저서생태계에 영향을 미친다. 이러한 이유로 미국이나 영국 등 선진국에서는 해사채취나 준설이 해양생태계에 미치는 영향에 대하여 많은 연구를 하고 있다. 이러한 연구 결과의 대부분은 해저 퇴적물의 채취나 준설 이후 저서 생물의 종 수, 개체 수, 그리고 생물량의 감소로 나타난다. 그러나 채취 후나 준설 후 원래 군집으로의 회복 속도는 여러 가지 요인들 중에서도 채취되는 지역과 주변 지역에 서식하는 생물 군집의 유형, 서식 저서 생물 군집이 퇴적물 교란이나 탁도 부하에 얼마나 적응하고 있는지의 정도에 따라 다르게 나타난다. 이러한 회복에는 지역에 따라 최소 3주에서 최장 12년 정도가 걸리는 것으로 보고되고 있으며, 이러한 저서생물 군집의 회복은 퇴적상에 따라 매우 다르게 나타난다. 사질이나 역질의 경우는 2~4년이 걸리

나 펄이나 점토질로 되어 있는 지역에서는 6개월~1년 정도 걸리는 것으로 보고되고 있다.

경기만 내 시범 해사채취 구역에서 행한 사질 서식 저서 생물 군집도 시범 사업 시행 후 대조구와 처리구에서 관찰된 생물학적 변수와 SEP 그리고 특징 종의 밀도 변화로 판단하여 100~130일 뒤에 동일한 경향을 갖는 것으로 나타나 회복 시기를 130일 정도로 추정하였으나 제 요인을 고려하여 회복시기를 100일 정도로 추정하는 것이 바람직하다고 하였다.

해사채취에 의한 저서생물체의 영향은 모래에 서식하는 저서 동물 군집만이 아니라 얇은 해저 모래에 서식하는 잘피군락에도 영향을 줄 수 있다. 잘피군락은 수심이 비교적 얇고 해저가 모래질로 이루어진 비교적 광투과가 잘 이루어지는 곳에 서식하는 현화식물로 높은 생산력과 어류 및 저서 생물의 서식처로 양호한 조건을 제공해 연안 생태계에서 중요한 인자이다. 이 잘피군락은 빛에 예민하여 부유물질의 증가에 의한 광조건의 약화가 일어날 경우 바로 소멸해 버리는 특징을 갖고 있어, 이러한 잘피군락 인근에서 해사채취가 일어날 경우 해사채취에 따른 부유물질 증가로 광투과가 감소되어 잘피군락이 소실될 가능성이 있다.

2. 해사채취가 수산자원에 미치는 영향 분석

경기만에 서식·분포하는 수산생물의 전체 종수를 파악하기에는 어려운 점이 있지만 과거부터 현재에 이르기까지 이 해역 내에서 어획 및 수확되는 수산물은 어류, 패류, 해조류, 갑각류, 연체동물을 포함하여 총 60여종에 달하는 것으로 나타났다. 이것은 상업적으로 유용한 수산자원생물의 경우이고, 경제적 가치가 낮은 수산생물을 포함한다면 200여 종이 넘을 것으로 사료된다(<표 3-3> 참조).

〈표 3-3〉 경기만 해역에서 어획되는 종류별 주요 수산물

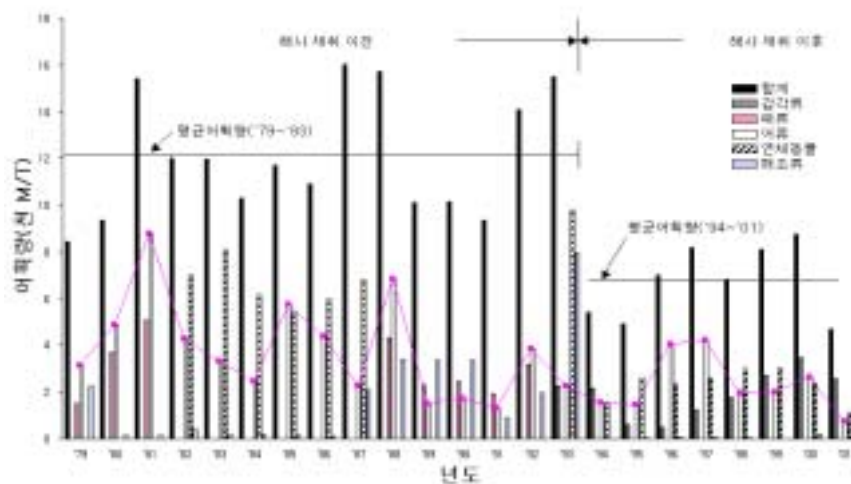
구분	총계	어류	갑각류	패류	연체동물	기타수산동물	해조류
어획물 (종류)	65	36	7	12	5	2	3

자료 : 조동오·장학봉(2003)에서 인용.

1) 해사채취 주변해역의 과거 수산자원 변동량

경기만의 해사채취가 수산자원 조성 및 생산량에 미치는 영향을 파악하기 위하여 해사채취가 발생하고 있는 용진군의 지난 1979년부터 2001년까지 22년간의 연도별 수산자원 변동량(용진군 어업통계자료)을 조사하였다. <그림 3-4>에 나타난 바와 같이 용진군 전체의 수산자원 생산량은 일부 연도('87~'88년, '91~'92년)에서 예년에 비해 높은 어획량을 올린 실적도 있으나, 전반적으로 볼 때 1980년 이후 지속적으로 감소하는 추세를 나타내고 있으며, 1990년에 들어 그 감소량은 두드러지게 나타났다. 특히 해사채취가 발생하기 이전 연도('79~'93)의 용진군 전체의 수산자원 연 평균 생산량은 12,000M/T 내외였으나, 해사채취가 발생한 이후('94~'01) 7,500M/T으로 해사채취 이전 생산량의 약 38%정도가 감소한 것으로 나타났다.

<그림 3-4> 연도별 용진군 전체 수산자원의 어획생산량 변동(1979~2001년)

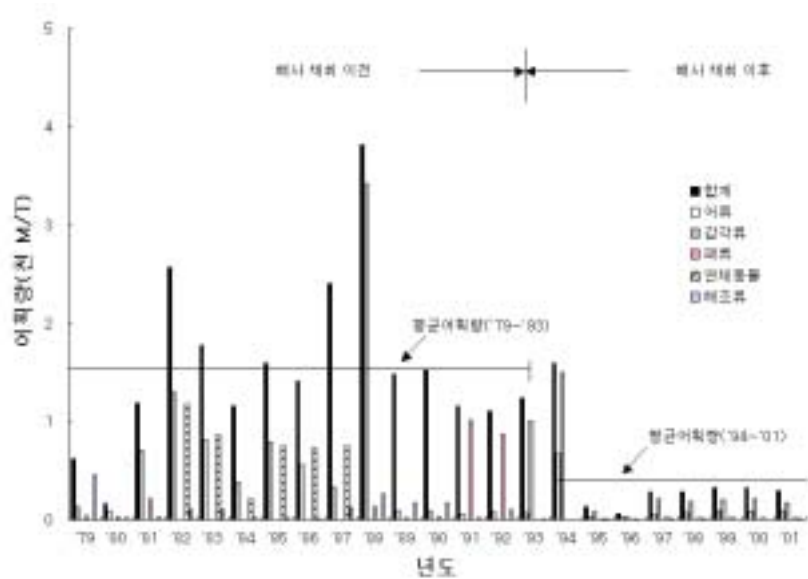


자료 : 그림 3-4에서 그림 3-13까지는 한국골재협회 인천지회(2002) 및 조동오·장학봉(2003)에서 재인용.

한국골재협회의 행정구역별 해사채취실적 자료에 의하면, 1993년부터 2001년까지의 경기만과 아산만에서의 총 해사채취량은 약 1억 8천만 m³에 달하며, 이

중 경기만의 덕적도 북서부해역과 대이작도 남서부(하벌천퇴 남서부)해역에서 전체의 75%인 1억 3,500만 m^3 의 해사를 채취한 것으로 조사되었다. 덕적도 북서부해역은 행정구역상 웅진군 덕적면에 편입되어 있으며 그 주변해역에는 덕적도를 포함하여 문갑도, 선갑도, 굴업도, 백야도, 소야도 등이 있고, 대이작도 남서부해역은 자월면에 위치하며 그 주변에는 자월도, 대이작도, 소이작도, 승봉도 등이 있다. 따라서 이 두 해역의 해사채취 전후 시기의 수산자원의 어획 생산을 조사하면 해사채취가 수산자원에 미치는 영향을 평가할 수 있을 것으로 사료된다.

〈그림 3-5〉 연도별 덕적도 주변해역 수산자원의 어획생산량 변동(1979~2001년)

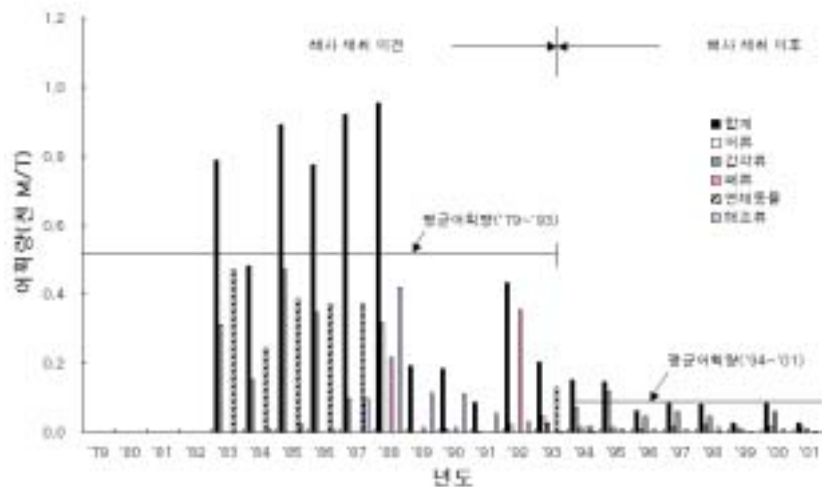


〈그림 3-5〉와 〈그림 3-6〉은 덕적면과 자월면 주변해역에서 어획된 수산물의 연도별 총량이다. 〈그림 3-5〉에 나타난 바와 같이 덕적도 주변해역의 수산자원 어획량의 연 변화는 〈그림 3-4〉의 웅진군 전체 수산자원 어획생산량의 연 변화와 비교할 때 전체적으로 유사한 추세를 보이고 있으나, 해사채취가 집중적으로 발생하고 있는 1994년 이후의 수산자원의 어획생산량 변동은 해사채취 이전까지의 연 평균 수산자원 총 어획량 1,545M/T에서 해사채취 이후 412M/T

으로 해사채취 이전 생산량의 약 74% 정도가 감소한 것으로 나타났다.

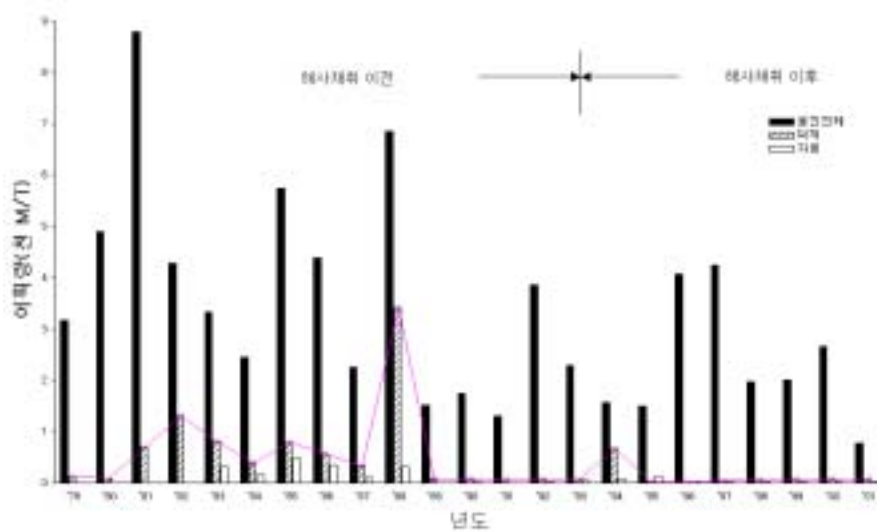
자월도 주변해역의 수산자원 역시 1980년 이후 지속적으로 감소하고 있으며 해사채취 이후의 수산자원 변동은 해사채취 이전까지의 연 평균 수산자원 총 어획량 538M/T에서 해사채취 이후 82M/T으로 해사채취 이전 어획생산량의 약 85% 정도가 감소한 것으로 조사되었고 이는 덕적도 주변해역보다 수산자원 어획생산량이 저조한 것으로 나타났다.

〈그림 3-6〉 연도별 자월도 주변해역 수산자원의 어획생산량 변동(1979~2001년)



한편, 해사채취 행위가 수산자원량 구성에 영향을 미치는지에 대한 여부를 파악하기 위해 1979년부터 2001년까지 연속적인 어획통계자료가 있는 어획생산량 자료를 바탕으로 해사채취 주변해역의 어류 생산량과 비채취해역(덕적, 자월도 주변 어류생산량 제외) 어류 어획생산량 간의 변화양상을 비교·분석하였다. <그림 3-7>에 나타난 바와 같이 한편 1994년을 기준으로 비채취해역의 이전 어류 어획생산량은 평균 어획량 4,117M/T에서 2,383M/T으로 약 42% 정도 감소한 것으로 나타났고, 해사채취해역인 덕적도 주변해역은 해사채취 이전에 724M/T에서 118M/T으로 약 83% 감소를 보이며, 자월도 주변해역의 경우 142M/T에서 32M/T으로 약 73% 정도의 감소를 보여 해사채취해역의 어류자원 어획생산량이 더욱 큰 폭으로 감소하고 있음을 나타내었다.

〈그림 3-7〉 해사채취 해역(덕적, 자월)과 비채취해역 간의 어획량 비교(1979~2001년)



이상의 결과로 볼 때, 해사채취가 발생한 1994년을 기점으로 특히 해사채취 해역의 수산자원 어획생산량 감소는 틀림없는 사실이나 어획생산량 감소가 해사채취로 인하여 영향을 받았는지에 대한 논란의 여지는 다소 남아있다. 다시 말해 옹진군 수산어획생산량의 연도별 감소추세는 남획에 의한 일반적인 추세인지 아니면 해사채취가 옹진군 전체 수산어획생산량의 감소를 유발하였는지에 대한 과학적인 분석이 필요하다. 따라서 1979년부터 2001년까지 22년간의 옹진군 전체 어류의 개체군에 대한 자원변동량을 조사하기 위하여 연도별 어류 어획량 및 어획 노력량을 조사하였다. 어류 어획량은 옹진군 어업통계 자료와 옹진수협 어획자료로부터 구하였으며, 어획노력량은 자망, 선망, 저인망 및 부망어선들의 총 톤수(ton)를 사용하였고 어획강도의 연 증가율을 5%, 10% 및 15%로 나누어 연 증가율의 차이에 따른 어획노력량을 계산하였다(<그림 3-8, 3-9> 참조).

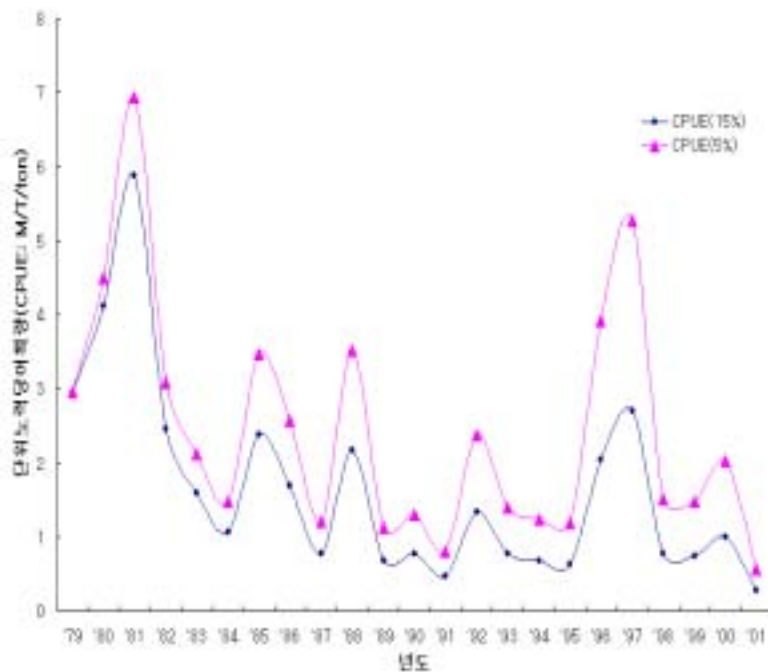
어획강도의 연 증가율에 따른 1993년도 해사채취 이후의 단위노력당 어획량¹⁰⁾은 큰 변동을 보였다(<그림 3-8> 참조). <그림 3-9>는 옹진군의 어획강

10) 여기서는 어선 1톤당 어획량임.

도 증가율을 10%로 가정하여 추정한 CPUE의 연변동을 나타낸 것이다. <그림 3-9>에 나타난 바와 같이 CPUE는 1981년에 최고치를 기록한 이후 1984년까지 급격히 감소하였다. 1984년부터 1989년까지는 CPUE가 3,000M/T 내외에서 변동하였으나, 이 이후로 1995년까지 1,500M/T 내외의 낮은 수준에 머물렀다. 1996~1997년에는 백령도와 대청도에서 까나리와 멸치 어획량의 급격한 증가로 CPUE가 일시적인 증가를 보이나 1998년 이후부터 다시 급격히 감소하는 추세를 보였다.

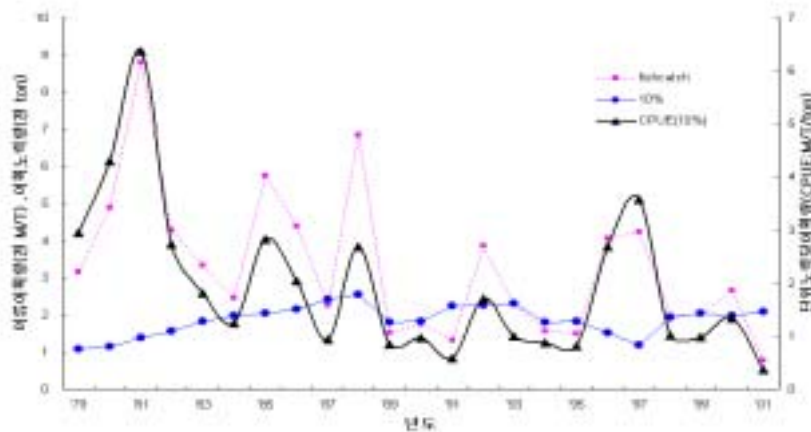
<그림 3-8>

웅진군 어류자원량 변동(Ⅰ)



〈그림 3-9〉

웅진군 어류자원량 변동(II)



자료 : 한국골재협회 인천지회(2002).

이상의 결과를 요약하면, 어류 자원량의 밀도를 나타내는 CPUE는 몇몇 어종의 어획량이 증가한 1996년과 1997년을 제외한다면 1981년 이후부터 급격히 감소하는 추세를 보이고 있다. 이것은 웅진군의 어류 개체군이 어떠한 원인(남획 또는 환경요인)으로 인해 매우 낮은 자원밀도에 머무르고 있음을 단적으로 보이는 것이라 할 수 있다. 일반적으로 남획에 의한 수산자원의 감소는 비단 웅진군에만 국한되어 있지 않고 우리나라 전체에 걸쳐 나타나고 있는 현상이라 할 수 있으며, 그 감소패턴은 비교적 유연한 변동곡선을 보이며 점진적으로 하락하는 양상을 보인다. 그러나 웅진군의 어류자원량의 변동은 해사채취해역과 비채취해역 간의 변동양상이 다르고 특히 해사채취 시점을 기준으로 해사채취해역에서의 어류자원의 급격한 감소는 남획 이외에 어류자원조성에 방해를 주는 환경변화가 있었음을 시사한다고 볼 수 있다.

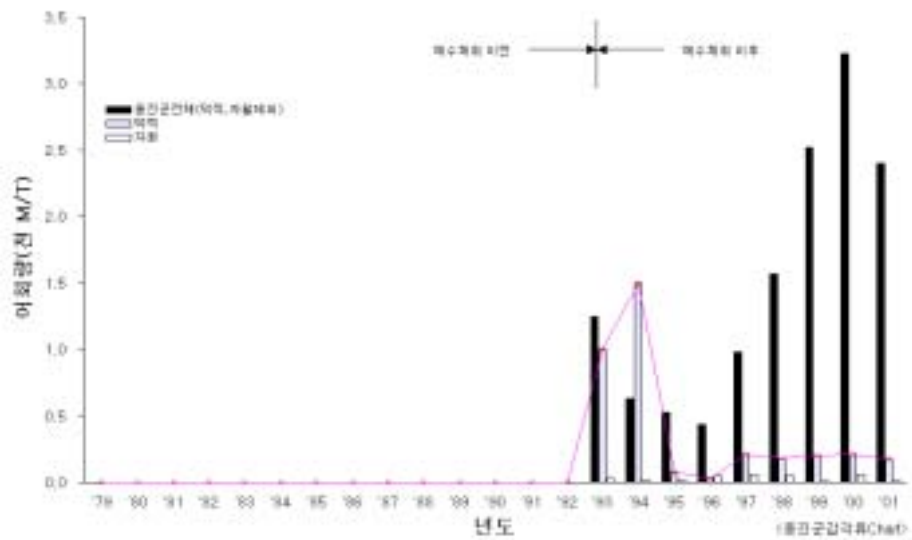
2) 해사채취로 인한 수산자원 감소량

해사채취로 인한 수산자원 감소량을 파악하기 위해 해사채취 이전과 이후의 수산자원별 생산량 변동을 조사하였고(<그림 3-10> 참조), 감소량을 <표 3-4>와 <표 3-5>에 정리하였다. 웅진군에서 어획되는 갑각류는 상업적으로

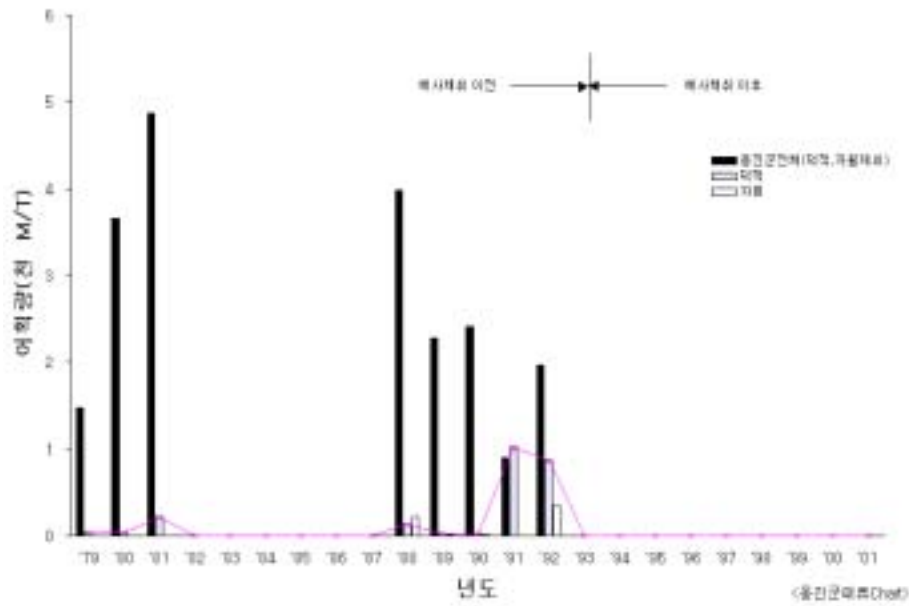
유용한 꽃게, 대하, 중하, 젓새우 등을 들수 있으며, 이들 자원은 이 지역 어업인들의 주요 수입원이다. 갑각류자원은 1980년대 자료가 없어 해사채취 전후의 자원변화에 대해 언급할 수 없으나, 비채취해역에서는 1990년대 중반까지 감소하다가 1996년 이후부터 현재까지 자원량이 증가하고 있는 것으로 나타났다(<그림 3-10> 참조). 그러나 해사채취 해역인 덕적도 주변해역에서는 1993~1994년에 웅진군 전체 갑각류 어획량의 80% 이상을 기록하였고 특히 1994년에는 이 해역에서 웅진군 전체 갑각류 어획생산량의 절반이 어획되었으나 1995년 이후부터 급격하게 자원량이 감소하여 현재에 이르기까지 어획생산량의 회복은 보이지 않고 있다.

웅진군에서 어획되는 패류는 굴류, 소라고둥, 전복류, 가무락, 동죽, 맛류, 바지락, 백합류, 키조개, 기타패류 등을 들 수 있다. 패류자원에 대한 어업통계자료는 1982~1987년까지의 6년간 그리고 1993년 이후부터 현재까지 웅진군 전체에 대한 자료가 없이 분석의 한계를 나타냈다(<그림 3-11> 참조).

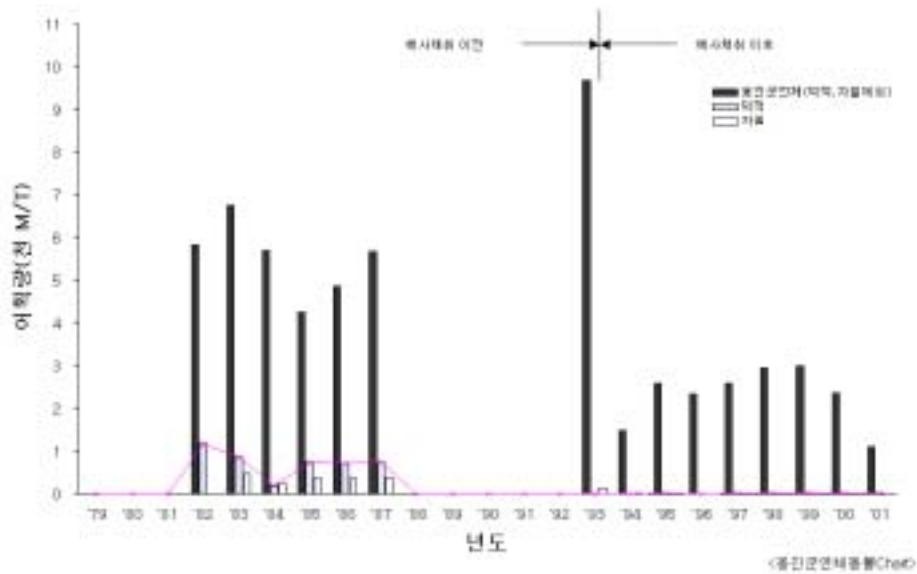
<그림 3-10> 비채취해역(덕적, 자원 제외)과 해사채취해역의 연도별 갑각류 어획생산량 비교(1979~2001년)



〈그림 3-11〉 비채취해역(덕적, 자월 제외)과 해사채취해역의 연도별 패류 어획생산량 비교(1979~2001년)

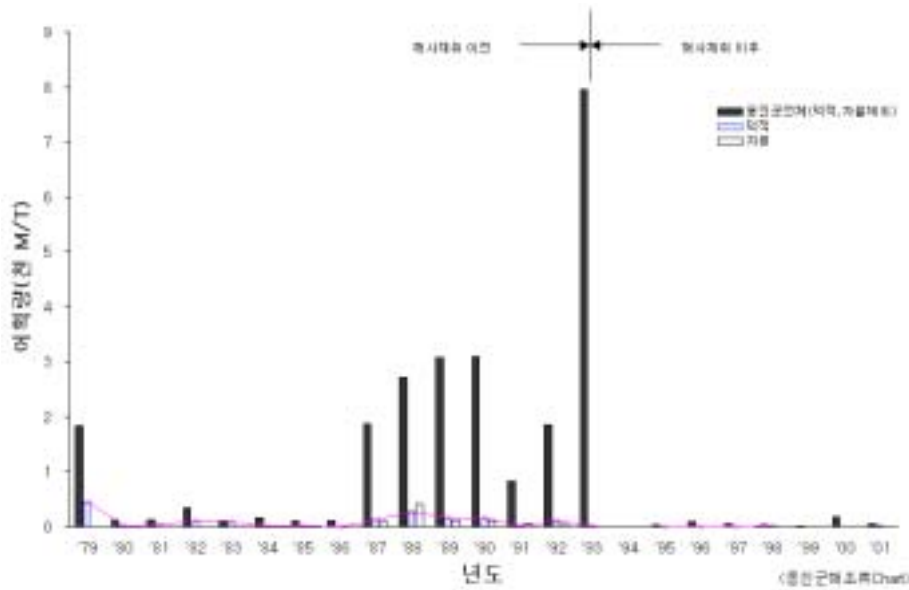


〈그림 3-12〉 비채취해역(덕적, 자월 제외)과 해사채취해역의 연도별 연체동물 어획생산량 비교(1979~2001년)



〈그림 3-13〉

비채취해역(덕적, 자월 제외)과 해사채취해역의
연도별 해조류 어획생산량 비교(1979~2001년)



웅진군에서 어획되는 연체동물은 갑오징어류, 꼴뚜기, 낙지, 주꾸미, 기타 연체동물을 들 수 있다. 연체동물자원 역시 1988~1992년까지의 어획생산량 자료가 없어 어획량 변동을 파악하기에는 다소 어려움이 있으나, 현재 가지고 있는 자료로 보면 해사채취 해역을 제외한 웅진군의 1982~1987년까지 평균 어획량 5,000M/T 수준이었던 것이 1994년에서 현재까지 2,000M/T 수준으로 40% 정도 감소한 것으로 나타났다(<그림 3-12> 참조). 그러나 해사채취해역인 덕적도 주변해역의 경우, 1980년대에 평균 어획량 640M/T에서 1990년대에 18.8M/T으로 97%의 감소량을 보였고, 자월도 주변해역의 경우 1980년대 평균 어획량 329M/T에서 1990년대에 9.7M/T으로 97.1% 정도 감소량을 나타냈다(<표 3-4, 3-5> 참조).

웅진군에서 수확되는 해조류는 김, 파래, 우무가사리, 다시마 등이다. 해조류 어획생산량은 1993년에 8,000M/T의 수확을 기록한 후 현재에 이르기까지 거의 생산량이 없는 것으로 조사되었다(<그림 3-13, 표 3-5> 참조).

〈표 3-4〉 해사채취 이전(1979~1993년)과 해사채취 이후(1994~2001년)의
 덕적도 주변해역 수산물별 평균어획생산량과 감소율

구분	해사채취 이전(A) 평균생산량	해사채취 이후(B) 평균생산량	A-B (M/T)	감소율(%)
어류	593	136	457	77.0
갑각류	-	324	-324	-
패류	293	-	293	-
연체동물	640	18.8	621.2	97.0
해조류	108	8.2	99.8	92.4

자료 : 조동오 · 장학봉(2003)에서 인용.

〈표 3-5〉 해사채취 이전(1979~1993년)과 해사채취 이후(1994~2001년)의
 자월도 주변해역 수산물별 평균어획생산량과 감소율

구분	해사채취 이전(A) 평균생산량	해사채취 이후(B) 평균생산량	A-B (M/T)	감소율(%)
어류	538	82.4	455.6	84.7
갑각류	-	31.7	-31.7	-
패류	150	-	150	-
연체동물	329	9.7	319.3	97.1
해조류	86.2	1.5	84.7	98.3

자료 : 조동오 · 장학봉(2003)에서 인용.

3) 어류생태에 미치는 영향

해양수산부 어업생산통계에 의하면 인천 앞바다에서 어획 및 판매되는 어류 47종, 갑각류 11종, 패류 13종, 연체동물 7종, 해조류 2종 그리고 기타 수산동물 3종에 대해 1998년에서 2003년까지의 어업생산량 현황을 파악하였다. 대부분의 어종은 한국, 중국, 일본의 연안 각 해역에 분포하는 온대성 수산동물로서 연중 대륙붕 범위 내의 모래 또는 사니질의 해저에 서식하고 봄철에는 연안의 천해역으로 이동하여 산란이나 섭이를 하며, 수온이 내려가는 가을철에는

수심이 깊은 해역으로 월동을 위해 이동하는 생활사를 가지고 있다. 이들 어종의 식성은 종류에 따라 다소 차이가 있으나 대체적으로 다모류, 이때패류, 단각류, 등각류, 어린 치어 등을 주식으로 한다. 웅진군 해역에서는 매년 5~6월경에 성숙한 이러한 어종들을 채집할 수 있고, 7~9월경까지 어획 가능하다. 또한, 이 종류들의 어린 자치어는 6~8월경에 웅진군 주변해역에서 자주 채집되고 10월경에는 채집이 어려워 자치어시기 이후에 변태과정을 걸쳐 해류를 따라 집단적으로 내만 또는 외해의 깊은 곳으로 이동(Schooling)하는 것으로 예측된다.

이들 종류는 생태학적 지위에 따라 ① 모래지역 생활형 ② 모래지역에서 산란 또는 초기 자치어(유생)단계 생활형 ③ 모래지역으로의 월동형으로 구분하여 볼 수 있으며, 발육단계나 특정 목적을 위해 회유를 할 경우에는 3개 영역을 공유하며 서식한다. 웅진군에 어획되는 수산동물 중 ①에 해당하는 종류는 가자미류, 복어류, 조피볼락, 서대류, 양태, 꽃게, 대하 등을 들 수 있고, 전 생활사를 모래지역을 중심으로 생활한다고 할 수 있다. ②에 해당하는 종류는 농어, 멸치, 까나리 등이다. 이 종류는 웅진군 외해 수심 30~40m 모래지역에서 산란이 이루어지고 있는 것으로 예측된다. 부화된 자치어는 해류를 따라 섬 주변이나 인천 연안으로 이동하여 2~3개월간 성장한 후 외해로 나간다. ③에 해당하는 종류는 밴댕이, 전어, 병어, 젓새우 등을 들 수 있다. 이 종류는 봄철(3~5월경)에 외해쪽에 출현하는데 이 시기에는 생식소가 미숙된 상태이며 2~3개월간 섭이활동을 통해 영양을 보충한 후, 6~8월경에 강화도 주변 하구역으로 이동하여 산란을 한다. 부화된 자치어는 하구역에서 10월경까지 체류한 후 동수로를 걸쳐 외해로 월동회유를 하는 것으로 예측되나 정확한 회유경로는 알려져 있지 않다.

이상과 같이 웅진군 해역의 모래지역은 주요 수산동물의 서식장소로서의 역할과 특정 목적을 위해 일시적인 체류 또는 이동경로로서의 기능을 갖춘 수산학상 매우 중요한 지역임을 알 수 있을 것이다. 따라서 이러한 해역이 해사채취와 같은 행위에 의해 그 기능이 상실되고 파손된다면 이동력이 있는 수산동물은 안정된 다른 해역으로 이주할 것이고 이동력이 없거나 떨어지는 수산동물(패류, 해조류)은 멸종하여 복원되기까지는 수십년이 걸릴 수 있다. 이러한 견해는 앞서 지적인 해사채취해역의 수산물 생산량 변동을 보아도 알 수 있듯

이 그 해역이 가지고 있는 생태학적 기능이 파괴되었기 때문에 급격한 생산량 감소를 수반한 결과라고 생각된다.

3. 해안 및 해저지형 변화 분석

1) 바다골재 채취로 인한 퇴적환경 변화

(1) 바다골재 채취 방법에 따른 부유사 발생 과정

해사채취 방법은 일반적으로 trailer suction hopper dredge(트레일러 흡입식 채취선)에 의한 방식과 정박식(anchored) tug barge시스템 방식이 세계적으로 널리 사용되고 있다. TSHD에는 운항기능이 자체적으로 부착되어 있으며, 채취된 바다골재를 부두에서 하역할 수 있는 기능을 갖춘 것도 있다. 운항속도를 2~3노트로 유지하면서 넓은 지역을 움직이며 약 10~30cm의 표면 바다골재를 채취하며, 수심이 32m 정도 넘을 경우 채취펌프를 해저면의 파이프까지 내려서 사용할 수 있다. 우리나라에서는 드물게 사용되는 TSHD의 장점은 예인선(tug boat)을 별도로 필요로 하지 않아 운항에 편리함이 있으며, 30,000톤 이상의 대량채취가 가능하다. 단점으로는 해저면 표면층을 넓은 범위로 교란하게 되어, 해저생태계 파괴에 대한 우려가 높다.

한편 우리나라에서 널리 사용되고 있는 정박식 tug barge시스템은 주로 중소형(1,000~10,000m³)채취에 사용되며, 한 곳에서 정박하여 채취를 하게 되어 해저바닥에 내려진 흡입 파이프의 유동 그리고 채취 바지선의 정박 중 유동에 따른 수십~수백 미터 반경의 웅덩이가 생성된다. 이때 주변 해저면으로부터의 수심변화는 약 50cm에서 최대 10m 이상까지 일어날 수 있다. 일반적인 채취수심은 약 30m 이내이지만, 흡입펌프의 재원에 따라 최근에는 최대 120m 수심에서도 채취가 가능하다. 채취준비를 위해서는 정박된 바지선으로부터 흡입파이프가 해저면에 내려지고, 바지선 전방에 위치한 dredge head가 anchor line을 따라 움직이는 바지선의 전방에서 부채꼴 모양으로 좌우 움직이며 해저면의 바다골재를 흡입하여 바지선으로 퍼 올린다. 한 곳에 정박하여 채취하는 이 방법을 사용할 경우 채취완료 후에는 깊은 웅덩이와 같은 형태의 해저지형의 변화가 일어난다. 흡입되어 올라온 해저퇴적물은 바지선에 가라앉고 넘쳐흐르는 물과 부유물질의 혼합물은 바지선 옆면을 넘쳐흘러 다시 바다으로 돌아간다.

이 때 흡입되어 올라오는 퇴적물의 바다물에 대한 부피비율은 약 15~20%이다. 대체로 이 과정에서 일어나는 난류의 강도에 의해 fine silt크기(약 0.074mm) 이하의 입자는 surface plume으로 넘쳐나간다. 바지선에 바닷모래가 가득 채워지는 시간은 해상조건, 흡입펌프의 성능, 해저층의 상태, 그리고 퇴적물의 특성 등에 따라 변한다. 하지만 일반적으로 바지선을 가득 채우는 경제적인 시간은 대략 1~2시간 정도이다.

(2) 파랑장의 변화에 미치는 영향

미국 동부 버지니아 해변(Virginia Beach)의 인공양빈을 위해 3마일 밖 해상에서 수행한 약 2km×2km 구역의 30cm 깊이의 수심변화로 인한 파랑장 변화에 대한 예측에 따르면, 파고의 변화는 미약하나 파향의 변화가 5% 이내 일어날 수 있음을 제시하였다. 수심이 비교적 얇고 파랑의 친해 변화과정이 뚜렷한 해역에서의 현상으로서, 우리나라 서해안의 빠른 조류 해역에서는 파랑장 변화는 거의 없을 것으로 예견된다. 하지만 파랑의 특성에 따라 변화하는 해저 경계층에서의 유속장 변화는 저층 퇴적환경의 변화에 결정적 요인이 된다. 즉 해사채취로 인하여 파랑장은 미약하게 변하나, 파랑장의 변화에 따른 해저 퇴적물 이동에는 매우 큰 영향이 있을 것이다.

(3) 부유현탁물 Plume

준설작업을 하는 동안 준설선 주위에는 해저 퇴적물의 교란과 바지선으로부터 흘러 넘치는 바다물과 함께 배출되는 퇴적물에 의한 부유현탁물의 흐름이 형성된다. 이 때 바다물과 함께 흡입되어 올라온 해저 퇴적물 중 입자크기가 세립질 모래 이상인 것은 대부분 준설 바지에 남게 되고 이 중 약 10%(부피기준)의 퇴적물이 넘쳐흐르는 물과 함께 바다로 되돌아간다.

흘러넘치는 물에 포함된 퇴적물의 입자 분포는 바지에 쌓은 모래에 비해 실트(Silt, 침니)와 점토(Clay) 부분이 상대적으로 높은 농도를 보인다. 흘러넘치는 물 속에 포함된 세립질 모래(직경 0.1mm 이상)들은 곧바로 침강하여 해저 바닥으로 되돌아가지만 실트보다 작은 입경(약 0.0625mm 이하 ; $\Phi > 4$)의 퇴적물은 침강 속도와 주변 바다물의 난류정도에 따라 수중 또는 표층에 부유한 채 이동과 확산을 하며 멀리 퍼져나간다.

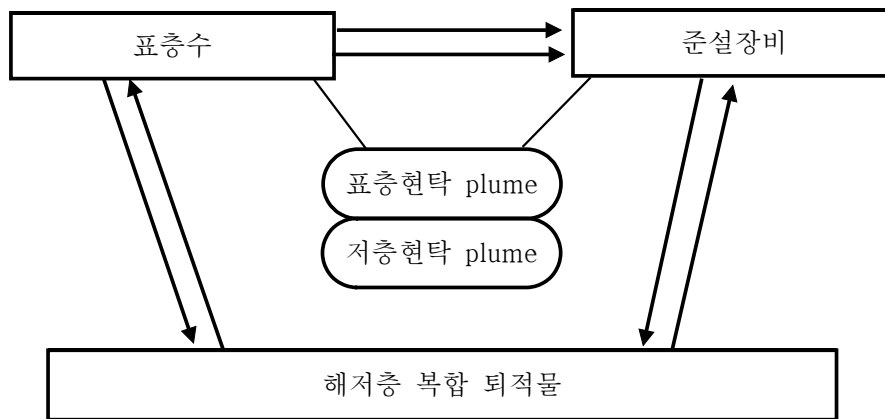
대부분의 세립질 모래 이상의 크기를 갖는 퇴적물은 준설지점으로부터 약 100~200m 이내에 가라앉게 된다. 준설선의 바지선으로부터 흘러넘치는 물에 포함된 퇴적물 입경 분포와 입경 별 무게의 누적분포는 준설지점의 퇴적물 특성과 준설방법 등에 의해 크게 달라지며, 일반적으로 수천 mg/l의 농도를 보이는 경우도 있다. 준설로 인한 부유현탁물 흐름의 확산범위는 준설 퇴적물의 특성, 준설방법 외에 주변해수의 흐름제기, 난류강도 등에 의해 수백 m에서 수십 km, 수시간으로부터 수일간 현탁물이 바다물 중에 떠다니게 된다.

(4) 해저지형변화 및 지형회복 과정

바다골재를 채취하게 되면 기존의 해저지형이 변화하게 되며, 이러한 해저지형의 변화는 이곳을 지나는 해류와 파랑의 전파에 영향을 미칠 수 있다. 이러한 수리역학 현상의 크기와 방향 변화는 매우 실트 고유의 특성을 지니며, 영향의 중요도는 채취작업의 규모에 달려있다. 이때 변화된 해류의 크기와 방향이 새로운 퇴적을 일으키고 퇴적에 필요한 퇴적물 공급원이 인접에 없을 경우에는 파여진 웅덩이 지형은 당분간 유지될 것이다.

인위적으로 파여진 웅덩이는 해류와 파랑의 작용에 의해 모양이 변화된다. 대체로 외국의 관측에 의하면 웅덩이를 채우는 퇴적물은 기존의 퇴적물보다 크기가 작은 물질들로 채워진다. 또한 채취과정에서 발생하는 표층현탁물 plume과 해저층현탁물 plume으로부터 침전된 물질들은 대체로 세립질 실트 이하의 입자이기 때문에 상대적으로 입자크기는 작아진다.

〈그림 3-14〉 바다골재 채취에 의해 발생하는 현탁물 plume과 환경 관계 모식도



자료 : <그림 3-14>에서 <그림 3-25>까지는 조동오 · 장학봉(2003)에서 재인용.

2) 바다골재 채취로 인한 퇴적물 이동 현장 관측

일반적으로 1회의 바다골재 채취에 의한 환경영향은 넓은 해역의 자정능력의 규모에 비하면 매우 미미할 수 있다. 하지만 선진국의 연구추세와 같이 바다골재 채취를 일정 구역에서 연간 수백, 수천만 톤을 반복하여 채취할 경우 누적된 영향은 인접 해양환경 및 생태계에 뚜렷한 영향을 미칠 수 있다. 이러한 누적 영향을 파악하기 위해서는 단일 채취과정과 이로 인한 환경영향요소들에 대한 정량적 규명이 선행되어야 한다.

한국골재협회 소속의 바다골재채취선(H25)을 사용하여 2001년 9월 7일 약 13시부터 약 2시간 반 동안 anchored 채취방법에 의해 약 1,700m³의 바다골재를 채취하였다. 약 2시간 반 동안 진행된 바다골재채취 도중, 발생하는 표층 및 해저의 현탁물 plume의 거동을 이해하고 현탁물 내의 부유물 특성, 해저 생태계 특성, 해저지형 변화 그리고 해수 유동 특성 등을 측정하였다.

DGPS와 정밀 echo sounder가 결합 운용되는 시스템(Stella2000)을 활용하여 매 1초마다 위치와 수심을 정밀 측량하였고, plume의 흐름방향과 가로방향을 이동하며 CTD(OS200/Ocean Sensor)와 ADCP-WH(R&D, 500kHz)를 이용하여 수온, 염분, 탁도 그리고 해수흐름의 수직 구조를 매 1분마다 측정하였다.

바다골재가 채취되는 도중 발생하는 부유현탁물은 overflow가 일어나는 채

취 바지선 옆에서는 표층 및 저층에서 $300\sim 1000\text{mg}/\ell$ 의 높은 탁도를 나타내어 음파의 산란 또는 반사를 이용하는 echo sounder, ADCP 그리고 광학측정범위를 넘어선 탁도계 등의 작동이 오류를 낼 정도였다.

육안에 의한 표층 plume의 확산범위는 최대 $1\text{km}\times 200\text{m}$ 범위 이내이었으며, 사질 크기 이상은 곧바로 침전되어, 낮은 구성비를 갖는 사질 미만의 부유입자의 확산범위는 매우 한정됨을 알 수 있었다.

약 $1,700\text{m}^3$ 의 바다골재채취가 완료된 후, 바다골재채취도중 채취중앙부를 중심으로 해저지형과 각종 관측을 시행한 결과 시험채취로 인한 해저지형 변화가 관측자료에 뚜렷이 나타났다. 약 $1,700\text{m}^3$ 에 해당하는 수심변화($50\text{m}\times 20\text{m}$ 영역에서 약 $1\sim 2\text{m}$ 수심변화)를 보이는 웅덩이가 형성되었다(<그림 3-15> 참조).

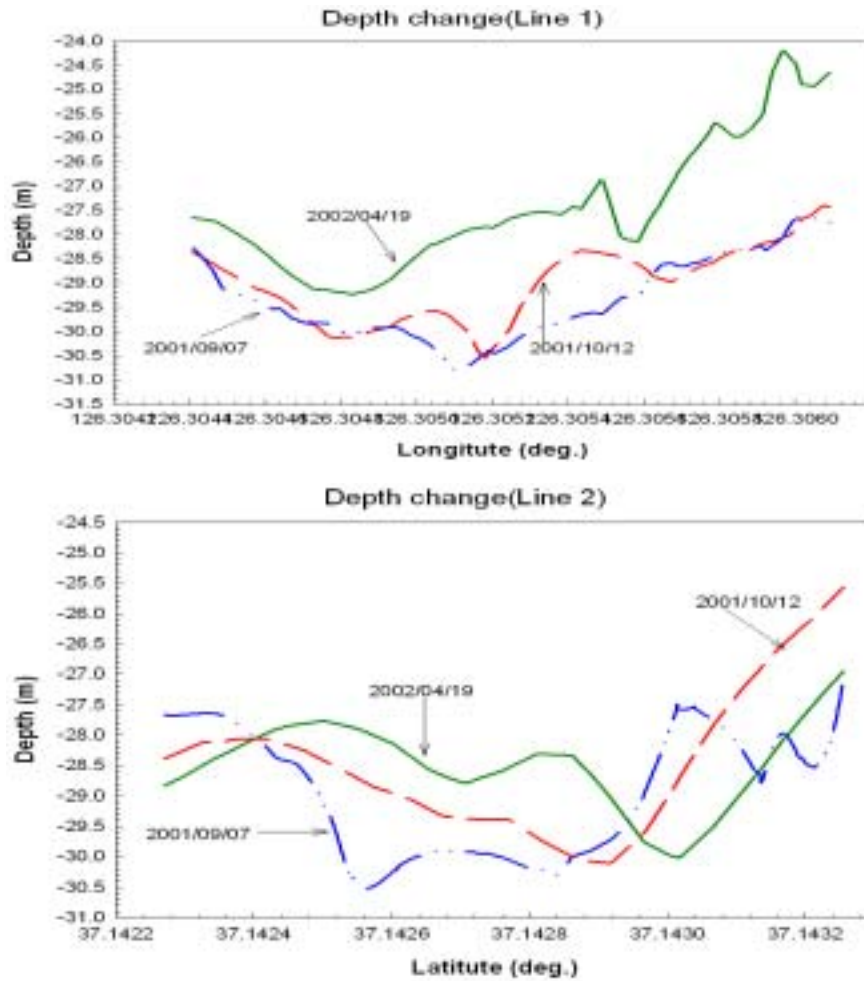
해저수심의 뚜렷한 변화에 대한 과정을 규명하기 위하여 수심과 유속측량을 2001년 9월 7일(시험 채취일), 9월 13일, 9월 24일, 10월 12일 그리고 2002년 4월 19일에 걸쳐 수행하였다. 이 때 측정된 수심은 매 1초마다 DGPS에 의한 위치정보와 함께 기록되었다. 동시에 bottom-tracking mode를 이용하여 R&D사의 ADCP-WH로 해수 유속의 수직적 구조를 연속적으로 관측하였다.

시험해역에서의 최대 조석 변화는 약 9m에 이르며 최대 유속(최강 창조류)은 약 $1.5\text{m}/\text{s}$ 에 이른다. 이러한 점을 감안하여 관측지점에 대한 조석자료는 국립해양조사원의 실시간 조석 정보 자료를 활용하였으며, 측정자료의 시간대별 조위를 회귀 분석하여 평균해면(MSL)으로 수심을 보정하였다.

<그림 3-15>는 조위가 보정된 평균해면과 수심분포도로서, 바다골재 채취에 의한 웅덩이의 중심부(37.143N , 126.305E)의 수심 약 30m 범위가 10월 12일과 4월 19일로 지나며 점점 줄어들며 단면이 완만해지는 변화과정을 보이고 있다.

〈그림 3-15〉

발생한 해저 웅덩이의 수심 변화도



〈그림 3-15〉의 분석으로부터 웅덩이의 퇴적물량 변화량은 2001년 10월 12일에 약 390m³의 퇴적량을 기록하여 퇴적률 10.98m³/day를 나타냈다. 7개월 뒤인 2002년 4월 19일에는 2,460m³의 퇴적량이 추정됨으로써, 약 11.14m³/day의 평균 퇴적률로 실험 웅덩이의 원상회복이 이루어짐을 관측하였다. 그러나 이러한 퇴적과 침식의 양상은 주변 수리환경 및 퇴적물 공급량에 지배를 받는 현상으로서, 현상의 국지성을 배제할 수는 없다.

3) 사례 : 서해중부 근해에서의 바다골재 채취로 인한 영향 분석

서해중부 해역 중 대산항 인접해역은 환경수리학적으로 매우 복잡한 곳이다. 조류수로와 많은 섬, 장안사퇴, 인공연안시설물, 아산만의 지형적 효과 등으로 인하여 연안해양과학의 많은 관심을 불러일으킨 곳이기도 하다.

장안사퇴를 중심으로 3억 m^3 (최소가채량 약 1억 m^3 , 최대충후 약 15m), 국화도사퇴에 약 5,700만 m^3 , 풍도사퇴에 약 1.4억 m^3 의 바닷모래가 충후 약 10~15m의 두께로 발달되어 있어 바다골재자원의 개발대상으로 특히 많은 관심을 불러일으킨 곳이다.

2001년도의 경우 태안군에서 풍도지적 149호에 대해 250,000 m^3 이상, 이곡지적 1, 2, 11, 21, 22, 23, 32호에 대해 총 2,350,000 m^3 정도의 바다골재 채취가 허가되었다. 따라서 대산항을 중심으로 장안사퇴 좌우측의 수심이 깊은 채널과 평행하게 이어진 퇴적층을 약 2m 깊이로 일정하게 준설(준설량 20,000,000 m^3)한다고 가정한 후 주변 해역의 파와 해류의 변이를 실험하였다. 파의 변이 실험조건은 파고 5m와 파의 주기 6.5초의 심해파를 남서방향과 북서방향으로 나누어 실험하였고 해류의 변이 실험조건은 장안퇴 해역의 최강 창조류와 최강 낙조류로 나누어 실험하였다.

<그림 3-16>은 장안퇴 해역의 약최저 저조위에서의 수심도를 나타낸다. 태안군과 서산군의 해안선과 평행하게 이어진 장안퇴는 길이가 약 25km이며, 깊이는 약최저 저조위 기준으로 약 5~11m 이고, 폭이 약 1km 이다. 장안퇴 해역의 해사채취에 따른 파와 해류의 변이를 실험하기 위하여 장안퇴 수심이 11m 이하의 영역을 2m 깊이로 준설하였다(<그림 3-17> 참조).

대산항 해역의 북서 파랑이 주기 6.5초와 유의파고 5m가 겨울철의 대표적 파랑장이다. 장안사퇴의 정상부분에서 천수효과에 따른 굴절과 회절로 파랑에너지의 수렴현상이 나타난다.

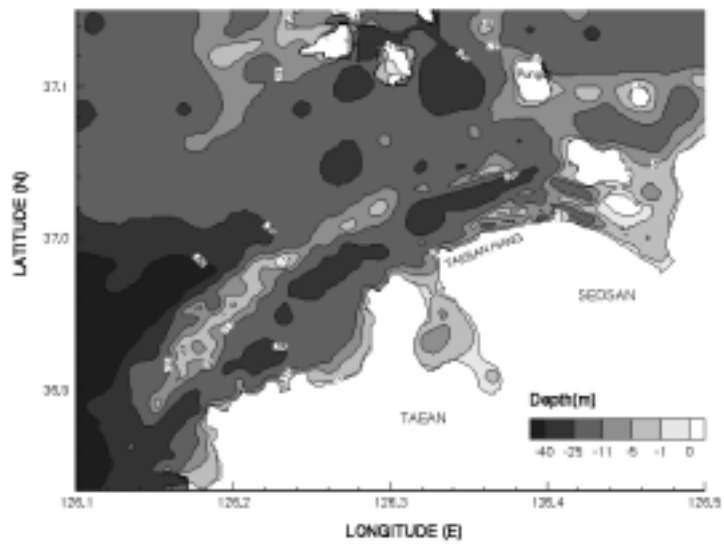
입사파랑이 여름철 남서계열인 경우, 장안사퇴의 영향은 남서에서 북동으로 진행되는 파랑장이 얇은 수심의 장안사퇴의 정상을 향해 수렴하는 현상으로 나타난다. 다시 말하면 남서 파랑의 진행 방향이 장안사퇴의 방향과 일치함으로써 사퇴의 좌우 수로로 진행하던 파랑이 사퇴의 중앙부 축을 향해 수렴하게 된다. 이로써 사퇴중앙부는 양측에서 수렴하는 파랑에너지의 영향으로 높은 에너지를 나타내게 된다.

<그림 3-18>은 장안사퇴의 정상부분이 2m 준설되어 수심이 깊어진 경우에, 북서 유의파고 5m의 파랑이 내습한 파랑장의 공간분포를 보여준다. 정상부분이 준설되지 않은 경우와 비교해 볼 때 장안사퇴의 정상부분으로 수렴하던 파랑에너지가 수심이 2m 더 깊어짐에 따라 파선이 해안선을 향해 직진하는 경향이 높아진다. 이는 곧 파랑에너지의 증가된 충격(impact)이 건너편 해안선에 닿을 수 있음을 의미한다. 파의 변이는 해사가 준설된 영역과 주변에서 파의 진행방향을 따라 약 10~80cm 증가하였다.

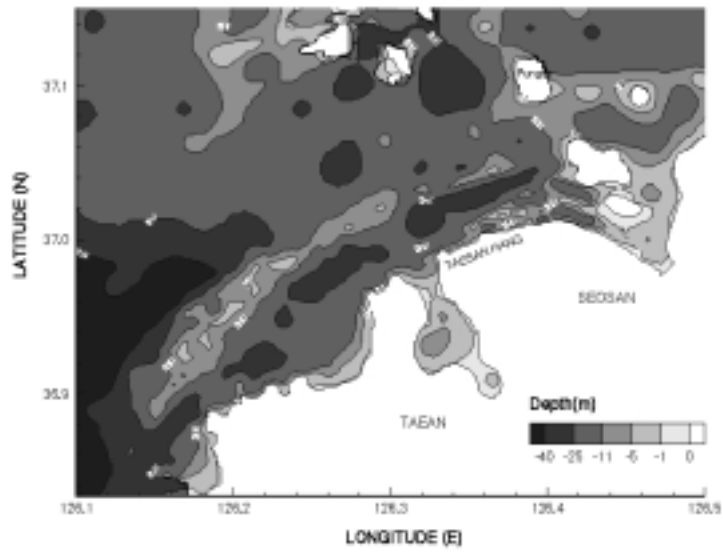
<그림 3-19>는 장안사퇴의 수심을 2m 준설한 후 예상되는 남서계열 유의파고의 진입에 의한 파랑분포를 나타낸다. 사퇴의 수심을 변경하지 않은 상태의 파랑변환분포와 큰 차이는 없으나, 사퇴의 중앙부를 향해 많은 파랑에너지가 증가함을 보여준다. 파의 변이는 파의 방향이 외해에서 해안선과 수직인 방향으로 진행함에 따라 준설된 장안퇴 영역과 해안선 방향으로 약 1km의 영역까지 약 10~80cm 증가하였다. 이로써 장안사퇴의 인위적 수심변화는 동계의 북서계열 파랑의 진입에너지를 해안선 쪽으로 상당량 전파시키며, 이로 인한 해안시설물 및 항만에 대한 설계파의 적정성에 대한 우려를 낳을 수 있다. 또한 앞절에서 연구된 바와 같이 파고의 변화에 의한 해저전단응력의 변화로 인한 새로운 퇴적물이동 양상을 야기할 수 있다.

한편 장안사퇴가 2m 정도 준설이 된 상태에서는(<그림 3-20>, <그림 3-21> 참조), 장안사퇴의 정상부를 통과하는 흐름의 천수사행의 각도가 다소 누그러지며 보다 대각선으로 직접 진입하는 경향을 나타냄으로써 조류의 마찰에 의한 에너지 감소가 줄어들음을 의미한다. 해류의 변이는 준설된 장안퇴 영역에서 전반적으로 유속이 약 5~20cm/s 증가하였으며 장안퇴와 가장 근접한 태안군의 수심골이 있는 해안선 근처에서 유속이 약 5~20cm/s 감소하였다. 사퇴 정상부의 유속 증가는 또한 새로운 침식이 작용함을 알 수 있으며, 수로 중심골에서의 유속감소는 퇴적의 경향을 보일 수 있다. 다시 말하면 사퇴의 인위적 채취로 정상부의 지속적 침식과 수로골에서의 퇴적 증가를 유발할 수 있다.

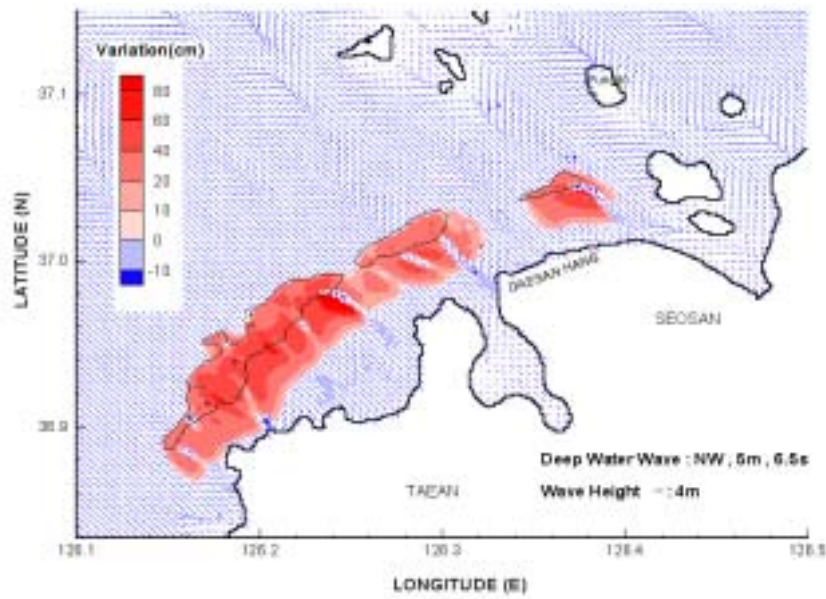
〈그림 3-16〉 대산항 주변 해역의 현재 수심분포



〈그림 3-17〉 대산항 주변 해역에서 장안퇴를 2m 준설후 수심분포

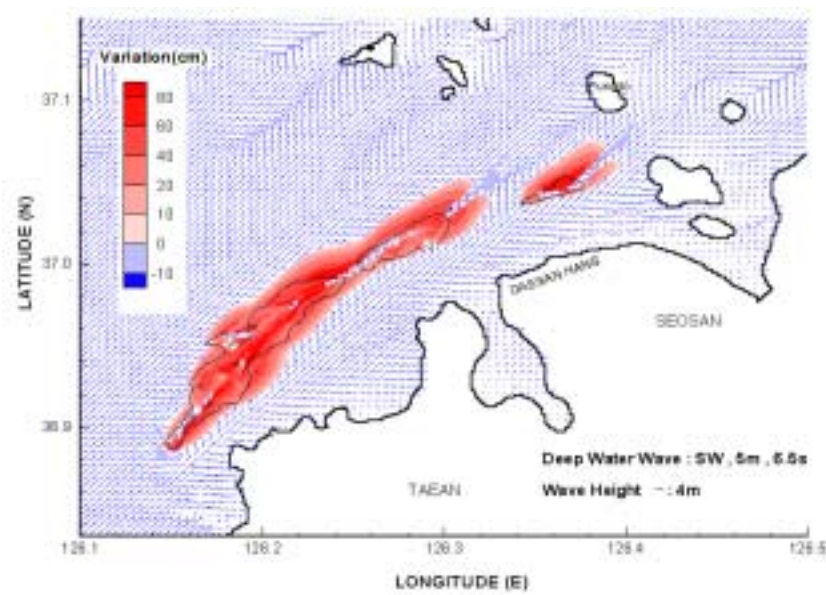


〈그림 3-18〉 장안퇴 2m 준설시, 주 북서심해파의 파고 변화분포



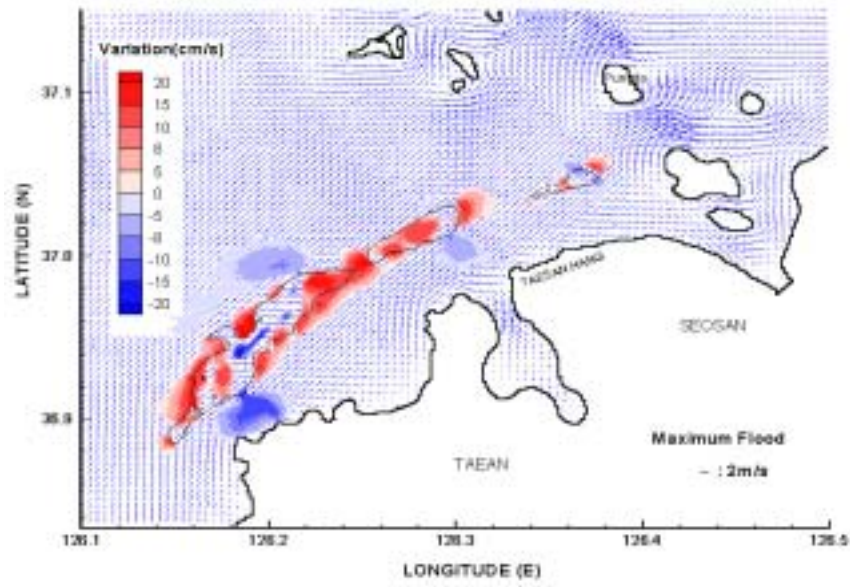
주 : W 유의파 5m기 6.5초

〈그림 3-19〉 장안퇴 2m 준설시 남서심해파의 파고 변화분포

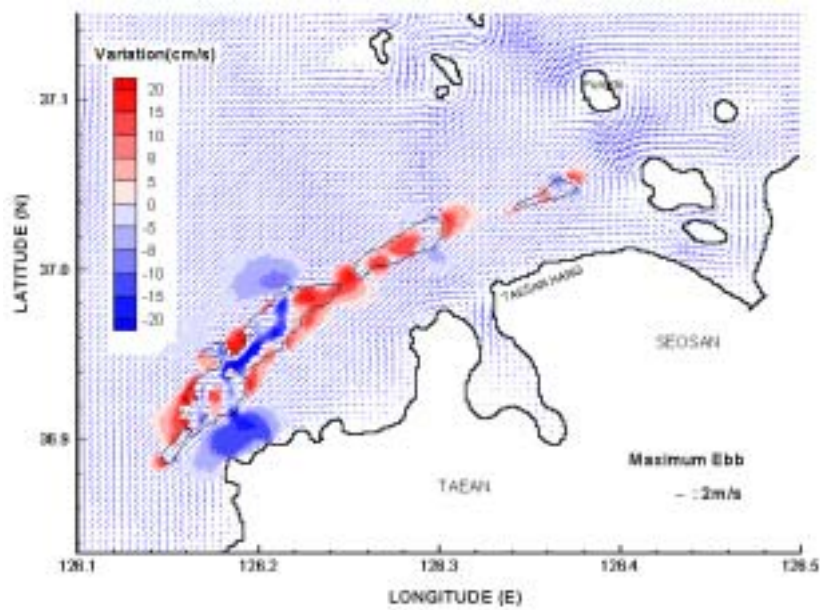


주 : SW 유의파 5m, 주기 6.5초

〈그림 3-20〉 장안퇴 2m 준설시 대조기 최강 창조류의 유속 변화분포



〈그림 3-21〉 장안퇴 2m 준설시 대조기 최강 낙조류의 유속 변화분포



이와 같은 수치실험에서 알 수 있는 것은 장안사퇴의 준설로 약 2m의 수심 변화를 가져 올 경우 국지적으로는 예상 외의 큰 해저지형 변화가 인접 해안 지형의 변화에 큰 영향을 미칠 수 있음을 의미한다. 본 연구에서는 3차원적 지형변형과 정밀조류와 파랑상호 작용에 대한 해안지형변형 그리고 현재의 연안 시설물(대산항, 안흥항, 대산 유화단지 접안시설 등)들의 설계파고의 변화에 대해서는 정밀하게 고려하지 못하였다.

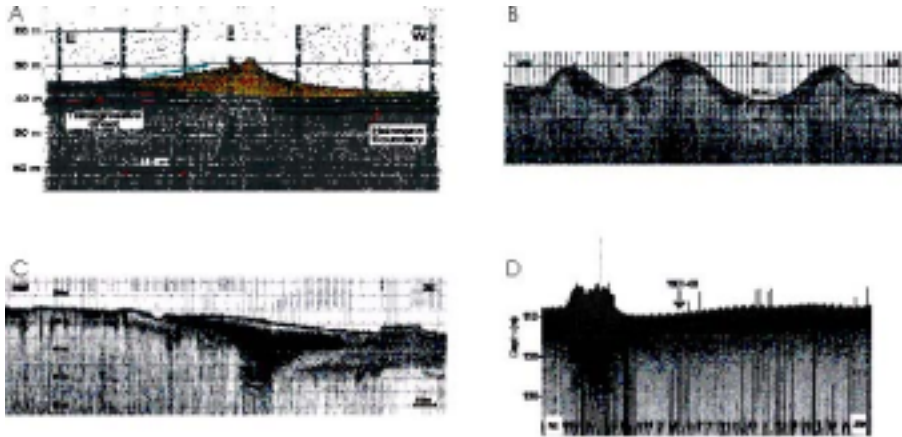
4. 해사층 형성역사 및 해사채취에 따른 퇴적층과 해저지형 변화분석

1) 해사의 퇴적환경역사

한반도 주변해역에 분포하는 해사 즉 바닷모래는 수심 약 200m 이하의 대륙붕해역에서만 나타나며 그 이상의 수심에서는 나타나지 않는다. 이는 빙하기 시기에 해수면이 하강(약 160m)하면서 하천 및 해안이 바다를 향하여 전진하게 되어, 현재의 대륙붕 해역까지 모래가 공급될 수 있었기 때문이다. 물론 현재에도 하천과 해안으로부터 모래의 공급이 꾸준히 이루어지나, 이들 모래퇴적물들은 대부분 육지와 인접한 연안에 국한되어 나타난다. 즉 우리나라 주변해역의 바닷모래는 대부분 과거에 공급되어 쌓인 퇴적물로 구성되어 있으며 현재의 하천과 해안침식으로부터 공급되는 양은 아주 미미한 실정이다. 바닷모래 퇴적층 두께는 약 20~40m가 대부분이며 바닷모래층 하부는 빨층으로 구성되어 있는 것이 일반적이다.

사퇴(sand-ridges)는 바닷모래층이 해류 및 조류에 의해서 재이동되어 생성된 것으로 바닷모래퇴적층 중에서 상부층 일부에 해당한다(전체 바닷모래층 두께의 1/3~1/5) (<그림 3-22>의 A, B 참조). 현생퇴적물 중에서 바닷모래는 계속 형성될 수 있는데 이는 육상의 강이나 하천으로부터 충분한 모래가 계속 공급될 경우에 해당된다. 사퇴의 경우에는 해류 및 조류 등에 의해서 발달형태 및 분포지역이 구분된다.

〈그림 3-22〉 한반도 주변해역에 나타나는 바닷모래의 예



(A) 경기만-태안반도 주변에 발달된 사퇴, (B) 황해 중심부에 발달된 사퇴,
(C) 황해 중부에 발달된 고하천충진 모래, (D) 남해에 발달된 고하천충진 모래

자료 : Yi 등, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002; Yi et al., 2003.

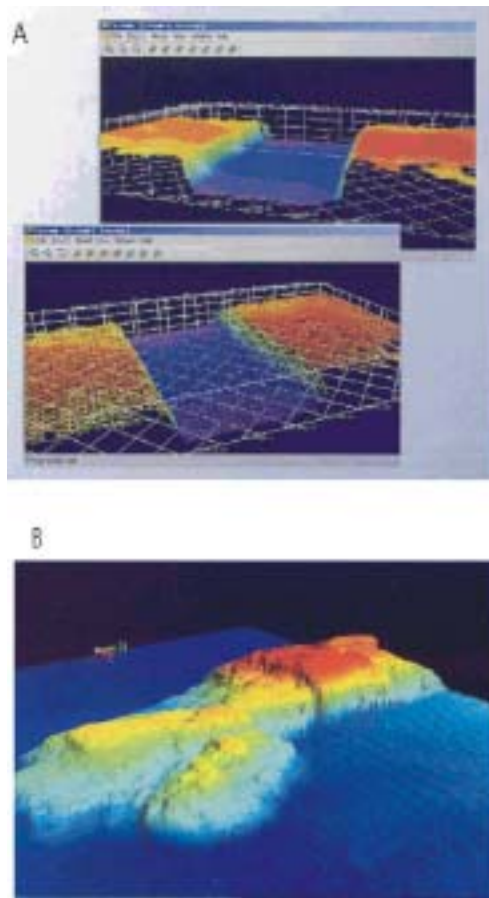
2) 수평적(공간적) 해저지형 변화 분석

바닷모래층의 발달해역이 고주파 지층탐사기(Chirp SBP)로 확인된 후에는 바닷모래층의 정확한 부존량 및 품질평가를 위하여 수평적, 수직적(공간적·시간적) 해저지형변화 분석이 이루어진다. 바닷모래층은 퇴적환경에 따른 수평적 변이가 보이며, 이것은 해양환경(해류, 조류, 태풍 등)에 의해서 꾸준히 유동적인 것이다. Chirp 방식의 측면주사음탐기(Chirp Digital Side Scan Sonar; Chirp SSS, Benthos사)는 해저면영상을 획득하는 장비로 tow vehicles에 압력계와 motion sensor를 탑재하여 기존의 측면주사음탐기에 비해 아주 높은 고해상력(2cm 크기의 물체가 인식)을 가진다. 이 장비를 이용하여 바닷모래의 연흔, 모래파의 정량적 자료와 해저면 구성물질의 음향학적 특성을 파악할 수 있다.

3) 3차원 해저지형변화 탐사

바닷모래층은 형성역사에 따라 규모의 차이는 있으나, 상·하부층과의 뚜렷한 경계를 갖는다. 또한 바닷모래층의 상부는 해류 및 조류 등의 해양환경변화에 의해서 지속적으로 이동되고 진화되므로, 살아있는 역동적인 퇴적환경의 일부이다. 이러한 바닷모래층의 3차원 공간분포의 분석은 바닷모래를 채취하기 전과 채취한 후의 변화 및 파괴를 정확하게 진단하고, 그 변화과정에서 모래의 이동 및 진화를 예측할 수 있는 자료로 활용된다. 또한 바닷모래층은 그 상부층이 단기간에도 지속적으로 이동 및 진화가 일어나는데, 연구대상지역을 시기별로 탐사함으로써 정밀한 해저지형의 변화를 예측할 수 있다. 수 cm 고해상력을 가진 다중빔측심기는 해저지형변화를 관측함으로써, 바닷모래층의 자연적 형성인지 또는 인위적인 영향인지를 3차원 공간분포 분석을 통하여 가능하게 해 준다(<그림 3-23> 참조). 황해에 발달된 사퇴는 조류 및 해류에 의해서 큰 영향을 받아왔고, 지금도 계속해서 받고 있는 중인데, 다중빔측심기를 사용한 탐사에 의해서 단기간, 계절별, 장기간의 사퇴층 및 퇴적층 이동 및 진화과정을 밝힐 수 있으므로 바닷모래를 채취한 이후의 해양환경 변화를 인지할 수 있는 자료로 활용될 것이다.

〈그림 3-23〉 다중빔측심기를 이용한 해저지형 3차원 복원의 예

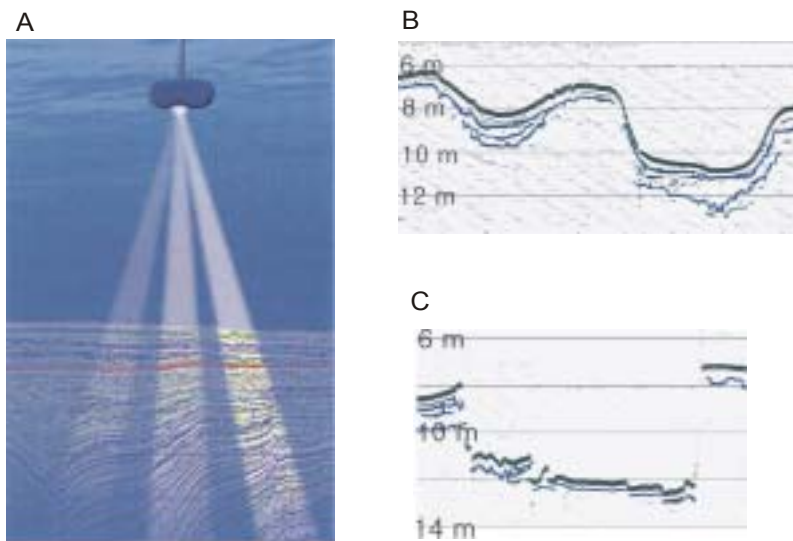


4) 해사채취지역의 퇴적환경파괴 파악

바닷모래 채취 전·후의 해양환경의 변화를 측정하고, 허가된 바닷모래 채취 범위 내에서의 작업 등을 확인하기 위해서는 고해상 천부퇴적층/수심탐사기 (Parametric Sediment Echosounder: SES-96, Innomar사)의 조사가 필요하다. 고해상 천부퇴적층/수심탐사기는 parametric system을 사용하여 고해상력(수 cm의 퇴적층 두께)을 가지는 고정밀 수심측정이 가능하며 해저지층의 상부퇴

적층의 구조 및 두께를 조사함으로써, 바닷모래 채취에 의한 퇴적환경파괴를 정량화시킬 수 있다. 새만금방조제 앞의 바닷모래에서의 인위적인 해저지형 파괴가 인지되었고, 이런 인위적인 행위는 고해상 천부퇴적층 수심탐사기 (SES-96) 장비를 사용하여 파악되었고, 이런 인위적인 준설로 인한 급격한 퇴적층의 파괴 또한 인지되었다(<그림 3-24> 참조). 이것은 바닷모래층 자체의 지형적인 변화와 퇴적층의 붕괴뿐만 아니라 주변해역의 해류 및 해양생태계 전반에 대한 변화를 초래할 것으로 판단된다. 고해상 천부퇴적층 수심탐사기(SES-96)는 바닷모래의 채취에 의한 해저지형의 정밀한 평가와 허가된 해역의 관리 영역에서도 많은 기여를 할 것이다.

〈그림 3-24〉 고해상 천부퇴적층/수심탐사기 탐사에 의한 인위적 채취
이전과 이후의 해저지형 변화

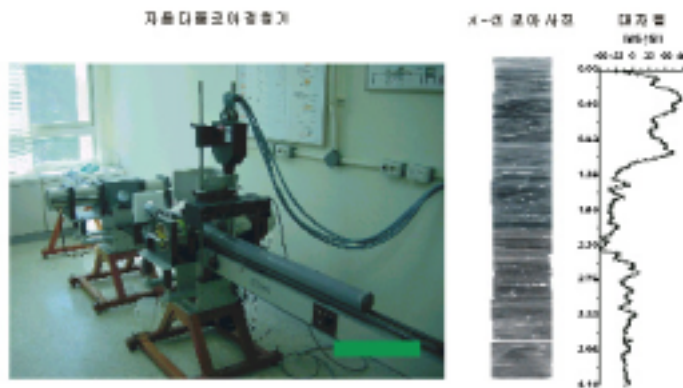


5) 시추코아퇴적층의 분석

바닷모래의 품위를 판단하기 위한 직접적인 방법으로 시추코아 분석을 실시하게 된다. 연구대상의 바닷모래를 대변하거나 특정 짓는 시추코아는 채취 후에 자동코아다중검침기(Automated Multi-Sensor Core Logger: AMSCL,

Geotek사)에 의한 시추코아의 비파괴 또는 파괴, 연속측정이 이루어진다. 자동코아다중검침기는 P파 음향속도(P-wave acoustic velocity), 감마밀도(gamma density), 대자율(magnetic susceptibility)의 항목이 연속 측정된다(<그림 3-25> 참조). 시추코아에 의해서 채취된 바닷모래는 자동코아다중검침기에서 분석된 후에 바닷모래 평가를 위해서 입도, 함수율, 유기물, 광물분석 및 환경주사전자현미경(Environmental Scanning Electron Microscope; ESEM), 전자현미분석기(Electron probe Micro-Analyzer)에 의해서 바닷모래의 품질이 분석된다. 황해의 경우는 바닷모래층(사퇴 및 고하천 등 포함)의 형성 및 이동과 바닷모래층의 지화학 특성 등에 관한 연구가 전반적으로 이루어졌으며, 이후 바닷모래 채취 대상해역에 대한 해양지질·지구물리 정밀조사에 의해서 해양환경 및 바닷모래의 보호와 보존에 큰 역할을 할 것이다.

〈그림 3-25〉 자동코아다중검침기를 사용한 시추코아의 비파괴 및 연속측정 대자율 분석



제 4 장 외국의 해사채취 및 환경문제

1. 일본¹¹⁾

1) 개요

일본은 바다골재의 세계최대 생산국가이다. <표 4-1>은 지난 10년간 일본의 골재채취실적을 보여주고 있는데 연간 7억 5천만 톤 정도 유지하고 있다. 일본의 골재채취량은 1990년도 이전에는 약 10억 톤까지 기록했으나 최근 재정난 및 경기침체로 공공 및 민간 부문의 건설공사가 저조하여 골재수요도 점차 감소추세에 있다.

일본의 골재수급의 중요한 특징은 쇄석이 60% 정도의 큰 비중을 차지하고 있다는 점이다. 쇄석은 퇴적암, 화성암, 변성암 등의 암석을 잘게 쪼개어서 골재로 사용하는 것을 의미하는데 일본은 지질학적으로 이러한 암석이 전국적으로 크게 발달되어 있어 일찍부터 쇄석 개발이 활발하였다.

모래와 자갈 등의 천연골재는 전체수요의 약 40% 정도를 차지하고 있고 이중 바다골재는 전체골재의 10% 정도, 천연골재의 25% 정도를 차지하고 있다. 일본에서는 바다에서 모래뿐만 아니라 자갈도 상당히 채취되고 있다.

일본에서는 바닷모래, 강모래 등 양질의 천연골재가 점차 감소추세에 있고 지역적으로 골재부족현상이 나타남에 따라 1999년(히라세11년) 전국을 대상으로 골재수급동향조사를 행하였다. 본 조사는 경제산업성과 국토교통성이 공동으로 전국 47개 도도부현을 대상으로 골재수급에 관한 기존통계자료 분석 및 지방자치단체, 골재생산업체 등에 대한 앙케이드 조사를 통하여 수행되었다. 동 조사는 골재의 안정적 확보를 목표로 수행된 것으로 골재공급의 양적유지 및 확대, 골재수급의 지역적 불균형 해소, 골재규격의 재검토, 효과적인 환경대책 등에 관한 내용들이 포함되었다.

수급 전망에 대한 앙케이드 조사 결과를 보면, 향후 10년 동안은 건설투자의 감소에 따라 10% 정도 골재수급량이 감소할 것으로 보고 있으며 공급량은 약

11) 제4장은 조동오·장학봉(2003)의 관련 내용을 보완한 것임.

17%정도(8,302천m³) 부족할 것으로 전망하고 있다.¹²⁾ 하천골재에 대해서는 이미 여러 지역에서 채취금지를 시행하는 곳도 있고, 많은 지역에서 채취규제를 하기 때문에 공급량이 매우 제한될 것으로 전망되고 있으며 산림골재 및 육상골재, 그리고 쇄석은 현상유지를 할 것으로 전망되고 있다. 반면 바닷모래의 경우 주고쿠(中國), 시코쿠(四國), 규슈(九州) 지역 등 3개현이 바닷모래의 채취를 삭감할 예정으로 있으며, 서일본(西日本)에서는 바닷모래의 공급이 크게 부족할 것으로 전망되고 있다. 도도부현을 대상으로 바닷모래에 대한 각 현의 입장을 보면, 동경도(東京都), 미에현(三重縣), 히로시마현(廣島縣), 도쿠시마현(德島縣), 미야자키현은 바닷모래의 채취를 금지하고 있거나 금지할 예정으로 있다.

〈표 4-1〉

일본의 골재생산 연도별 추이

단위 : 백만 톤

연도	공 급							
	계	골재소계	하천	산	육	해	쇄석	기타
1992	892	352(39)	38(4)	110(12)	127(14)	77(9)	526(59)	14
1993	864	338(39)	38(4)	107(12)	118(14)	75(9)	512(59)	14
1994	852	341(40)	37(4)	94(11)	130(15)	80(9)	497(58)	14
1995	849	348(41)	38(4)	96(11)	131(15)	83(10)	484(57)	17
1996	862	357(41)	35(4)	97(11)	144(17)	81(10)	487(57)	18
1997	820	315(38)	32(4)	83(10)	128(16)	72(9)	487(59)	18
1998	735	289(39)	28(4)	76(10)	118(16)	67(9)	430(59)	16
1999	729	301(41)	28(4)	81(11)	113(16)	79(11)	412(57)	16
2000	734	278(38)	25(3)	80(11)	107(15)	66(9)	431(59)	25
2001	746	263(35)	24(3)	76(10)	106(14)	57(8)	463(62)	20

자료 : 일본 국토교통성.

이에 따라 국토교통성과 경제산업성은 2000년도에 바닷모래를 대체할 다른 골재자원을 확보하기 위한 조사를 수행하였다. 동 조사에서는 서일본지역에서 바닷모래를 대체할 자원으로 하천모래, 산림모래, 육상모래, 쇄사, 슬러그, 수입 모래 등으로 보고 이들 대안을 품질, 비용, 공급량의 관점에서 비교 검토하였다. 그 결과를 보면 쇄사를 가장 가능성 높은 대안으로 평가하고 있으며, 그

12) 골재수급동향조사, 참고자료, 1999.

다음은 수입모래로 평가되었다. 또한 슬러그는 광역적으로는 어렵고 일부지역에는 가능성이 있는 것으로, 기타의 대안은 가능성이 없는 것으로 평가하였다.

2) 허가 및 규제

일본은 1968년에 제정된 골재채취법을 통하여 골재채취업의 등록, 인가 및 규제를 하고 있고 또한 골재채취에 따라 발생할 수 있는 재해를 방지하고 골재채취업의 건전한 발달을 도모하고 있다.

골재채취업에는 모래와 자갈뿐만 아니라 쇄석을 포함하고 있으며 채취에는 바다골재의 세척도 포함하고 있다. 이 정의는 우리나라와 동일하다고 할 수 있다.

골재를 채취하기 위해서는 골재채취업자로 등록을 하여야 하는데 채취구역이 속하는 ‘도도부현(都道府縣)’¹³⁾ 지사에게 등록을 하도록 되어 있으며¹⁴⁾ 채취업자의 지위는 승계될 수 있다.

재해방지에 대해서는 경제산업성령에서 정하고 있는 ‘골재채취에 관한 재해방지에 관한 직무’조항에서 규제하고 있으며 특이한 사항은 재해방지를 책임지는 ‘업무책임자’를 두고 있고 업무책임자는 도도부현지사가 실시하는 시험을 합격해야 자격을 갖게 된다는 점이다. 골재채취법의 제16조에서는 골재채취업자가 골재를 채취하기 위해서는 골재채취구역의 관할 지사에게 채취허가를 받아야 하며(하천에서 채취할 경우에는 하천관리자에게 허가를 받아야 함) 채취계획에는 골재채취구역의 위치, 골재의 종류 및 수량, 채취기간, 골재채취방법 및 채취설비, 채취에 따른 재해방지방법 및 설비에 관한 사항, 그리고 그 외에 경제산업성령 및 국토교통성령에서 정한 사항을 포함하여야 한다. 채취허가권을 가진 도도부현지사나 하천관리자는 “골재의 채취가 타인에게 해를 끼치거나 공동의 목적으로 사용하는 시설을 파손하거나 혹은 다른 산업의 이익을 훼손하는 경우” 채취허가를 할 수 없도록 되어 있다.

일본도 환경영향평가법에 의해 대규모사업의 경우 환경영향평가를 받도록 되어 있다. 일본의 환경영향평가법은 1984년에 도입되었지만 환경영향평가의 절차 등을 법에서 규정하고 있지 않고¹⁵⁾ 내각의 행정지도에 의하여 지도하고 있다.

13) 일본의 광역자치단체로서 우리나라의 특별시·광역시·도에 해당함.

14) 우리나라는 시·군·구에 등록을 한다는 점에서 차이가 있음.

15) 매립간척사업의 환경영향평가는 법에서 규정하고 있음.

해사채취와 관련된 주요 내용을 보면 다음과 같다. 첫째, 해안에서 1km 이내의 수역에서는(어떤 경우는 3km 이내) 바닷모래 채취가 허용되지 않는다. 둘째, 수심 30m의 이천(以淺)에서는 채취가 허용되지 않는다. 셋째, 채취허가는 1년만 유효하다. 즉 1년 단위로 허가를 받아야 한다. 넷째, 채취는 지방정부가 통제한다. 다섯째, 채취사업자는 지방의 어업협동조합으로부터 동의를 받아야 한다. 마지막으로 피해가 있는 경우 어민은 물론 지방정부도 보상의 대상이 된다.

2. 유럽

그동안 유럽역시 주로 육상에서 모래 및 자갈 등 골재를 채취하여 왔으나 최근 40년 동안 바다에서 많은 양의 골재를 채취하고 있다. 물론 바다골재의 채취증가는 육상 골재자원의 고갈에 기인하고 있다. 바다골재(모래 및 자갈)의 주요 사용처는 콘크리트골재, 해변복원(beach replenishment), 연안매립 등이다.

우리나라의 해사채취 선박은 해사채취 바지선과 예인선박으로 구성되어 있는데 반해, 유럽의 해사채취 선박은 추진장치가 부착된 특수준설선이다. 가장 보편적인 준설선은 TSHP(Trailer Suction Hopper Dredger)로 추진장치가 있으며, 준설파이프를 해저면까지 내려서 골재를 흡입하여 준설선의 선상에 퍼부어 채질하여 저장한다. 그 후 바닷모래는 부두까지 운송되어 펌핑 또는 기타 방법으로 양하된다.¹⁶⁾

가장 보편적으로 해사채취가 이루어지는 곳은 수심 60m 미만인 곳이지만, 최신식 준설선의 경우 수심 120m인 곳에서도 채취를 하고 있다.

유럽전체의 연간 골재 수요량은 20억~30억 톤으로 알려지고 있다. 또한 연간 1인당 골재 소비량은 약 7톤으로 알려지고 있으나 변동폭은 국가별로 매우 크다. 즉 영국 및 네덜란드의 경우 골재소비량이 1인당 3톤에 지나지 않으나 오스트리아 및 룩셈부르크의 경우 18톤에 이르고 있다.

유럽에서의 해사채취는 네덜란드, 영국, 덴마크, 독일, 프랑스, 벨기에에서 이루어지고 있다. 스웨덴 및 노르웨이에서는 해사채취가 거의 이루어지고 있지 않은바, 이는 이들 국가에 홍적세(洪績世)(glacial)의 육지 모래 및 자갈의 부존

16) 이하 다음 문헌 참조함 : David John Harrison, *European Overview of Marine Sand and Gravel-Shaping the Future*, EMSAGG Conference 20~21 February 2003, Delft University, The Netherlands(http://www.ciria.org/emsagg/pdf/d_harrison_european_overview.pdf).

량이 많기 때문이다.

〈표 4-2〉 북서유럽의 골재생산량 현황(2000년)

국 명	모래 및 자갈	쇄사	총 량
네덜란드	116	0	116
영국	89	130	219
벨기에	30	27	57
덴마크	46	0	46

자료 : David John Harrison, *European Overview of Marine Sand and Gravel - Shaping the Future*, EMSAGG Conference 20~21 February 2003, Delft University, The Netherlands([http : // www.ciria.org/emsagg/pdf/d_harrison_european_overview.pdf](http://www.ciria.org/emsagg/pdf/d_harrison_european_overview.pdf)).

유럽에서의 해사채취는 1980년대에 대폭 증가하였다. 현재 해사채취량은 1980년대 수준을 유지하고 있으나, 연안매립 수요에 따라 그 수준이 등락을 보이고 있다. 네덜란드는 유럽에서 가장 많이 바닷모래를 사용하는 국가로서 주로 연안매립 및 해변복원용으로 사용하고 있으며, 영국은 주로 골재용으로 사용하고 있다.

〈표 4-3〉 유럽의 바다골재 채취 추이

단위 : 백만 톤

국 명	1997	1998	1999	2000	2001
네덜란드	36.4	34.4	35.8	40.6	58.2
영국	24.8	22.9	23.7	23.1	22.7
덴마크	9.0	10.7	18.4	11.9	?
독일	6.8	22.2	7.2	9.2	?
프랑스	3.6	3.5	3.0	3.9	3.8
벨기에	5.5	2.2	2.7	3.0	3.0

자료 : <표 4-2>와 동일.

유럽에서도 해사채취는 채취허가를 받아 이루어지는데 이는 대부분의 경우 바닷모래의 소유권이 국가 또는 국왕(영국 및 네덜란드 : Crown)에게 귀속되어 있기 때문이다. 이에 따라 준설업자는 해사채취에 대한 수수료(loyalty)를 지급하고 있으며, 영국의 경우 약 톤당 0.5~1.0파운드를 Crown Estate에 지급한다.

대부분의 해사채취 허가는 국내법에 의해 정부 부처에서 관리하고 있으며, 모든 국가들이 채취허가 전에 관련 정부부처 및 준설에 의해 영향을 받는 민간 이해당사자 및 일반 시민의 의견을 중시한다.

최근 모든 유럽국가에서도 해사채취에 따른 환경피해가 지대한 관심으로 부상하고 있으며, 해사채취가 해양환경에 어떠한 영향을 주는가에 대한 평가를 충분히 수행한 다음 해사채취허가를 하여야 한다는 일반적 합의가 이루어져 있다. 대체로 해양환경에 대한 영향평가는 환경영향평가(EIA : Environment Impact Assessment)에 의해 이루어지고 있다. 대부분의 국가가 해사채취허가 시 환경영향과 관련하여 다음과 같이 세부적인 조건을 부여하고 있다.

- 해사채취 지역 및 규모
- 해사채취 기간(네덜란드 2년, 영국 25년)
- 해사채취 총량 및 채취속도
- 해사채취지역의 최저 수심
- 해안선으로부터의 최저 거리
- 해안에 대한 무영향(zero effect)
- 해저면(seabed substrate)의 특정 성분 및 두께 유지
- 수산자원에 대한 최소 영향
- 준설선에 대한 엄격한 항해기준
- 환경모니터링을 포함하여 준설작업에 대한 특정 모니터링프로그램

유럽의 경우 일정한 채취지역에서 모래와 자갈을 모두 채취하는 것은 환경적으로 위해하다고 여기고 있으며, 특히 바닷모래 해저면의 보호와 저서생물의 복원을 위해 50cm 두께의 바닷모래를 유지하고 있다. 각국의 국내법 및 유럽연합 정책은 특정지역에서의 바닷모래 및 자갈 채취를 금지하고 있다.

또한 유럽에서는 바닷모래 및 자갈의 보전을 위해 골재 재활용을 중시하고 있는바, 골재 재활용 자재는 주로 채석장에서의 골재, 재활용 및 재사용 자재, 산업부산물, 합성골재 등이다.

1) 영국

(1) 개요

영국에서는 1920년대부터 건설용 자재 및 해변보충(beach replenishment)을 위해서 바다골재(모래 및 자갈)를 채취하기 시작하였으며 지난 40년간 채취량이 급속히 증가하였는바, 연간 채취량이 1960년대 940만 톤, 1970년대 1,490만 톤, 1980년대 1,770만 톤, 1990년대 2,350만 톤으로 지속적으로 증가하고 있다. 1989년도에 해사채취량이 2,700만 톤으로 정점에 이른 후 지속적으로 감소하였으나, 최근 다시 증가하여 2001년 현재 2,270만 톤에 이르고 있다.

바다골재 산업의 종사자는 2,500명 정도이고 50개 정도의 채취업자가 등록되어 있으며 연간 1억 8천만 파운드의 매출액을 기록하고 있다(1999년 기준).

2001년도의 채취량 2,270만 톤 중 1,400 톤(62%)은 주로 런던 및 남부지역의 건설자재로 사용되고, 700만 톤(31%)은 네덜란드, 벨기에, 프랑스 등 다른 유럽 국가에 수출되고 있으며 160만 톤(7%)은 해변복원용으로 사용되고 있다. 해변복원용으로 사용하기 위한 골재채취량은 매년 상당한 변동폭을 보이고 있는데 1988년도에는 380만 톤이었으나 1996년도에 720만 톤으로 최고수준에 이르렀다가 1999년도에는 230만 톤, 2001년도에는 160만 톤으로 감소하였다.

1992년부터 2006년까지 영국의 전체 골재 수요량은 42.8억 톤이며, 이 중 3.1억 톤이 바닷모래로 연간 바닷모래 수요량은 2,100만 톤 정도로 예상하고 있다.

영국의 경우 전체 골재의 15~20% 정도를 바닷모래로 충당하고 있으나 향후 바닷모래의 보전을 위해 골재의 재활용을 중시하고 있다. 이에 따라 모든 바닷모래를 포함한 자연골재 채취에 일정한 세금을 부과할 계획이다.

(2) 주요 채취지역

<그림 4-1>은 영국에서의 바다골재의 주요채취지역을 보여주는데, 그 중에서도 동부 안젤리아(Angelia), 링컨셔(Lincolnshire), 험버(Humber), 화이트(Wight)와 헤이스팅스(Hastings) 그리고 브리스틀(Bristol) 해협이 주요 4대 채취해역이다. 영국에서 바다골재는 잉글랜드, 웨일즈, 북아일랜드 등에서 채취되고 있지만 아직 스코틀랜드 해역에서는 채취되지 않는 것으로 조사되고 있다. 전에는 템스(Thames) 강 하구에서 많이 채취되었지만 지금은 이 지역에서 거의 채취되지 않고 있다.

영국에서의 골재채취는 대체로 해안에서 5~35km 정도 떨어지고 수심이 10~40m인 해역에서 이루어지는데 약 50개 이상의 허가지역이 있다. 그리고 이 허가는 11개 골재회사에 허가되어 있다. 1993년 Crown Estate(이하에서는 CE)¹⁷⁾는 허가잠재지역의 배타적 탐사권을 부여하기 위해 경쟁입찰을 도입하였고 탐사권을 주는 경우 옵션으로 향후의 채취권도 동시에 주도록 하였다.

2001년도에 약 1,400km²가 허가되었지만 실제적으로는 173km²에서만 채취되었고 또 그 중에서도 13km²에 해당하는 면적에서 전체 채취량의 90%가 채취된 것으로 발표되고 있다.¹⁸⁾ 그 이유는 영국에서는 최근 환경문제를 극복하기 위해 채취지역을 극소화하여 집중적으로 채취하고 있기 때문인 것으로 보인다.

최근에는 영국과 프랑스 사이 해협(도버 해협)의 중간 위치에서 아주 유망한 광구가 발견되어서 이를 개발하기 위해 영국과 EU가 동시에 채취허가 여부를 검토 중에 있는 것으로 알려졌다.

(3) 허가 및 협의 절차

영국에서의 바다골재 채취허가는 CE에 의해 주어지지만 채취업자의 채취신청서는 'Government View(이하에서는 GV)'라는 절차를 따라 검토되고 CE는 단지 GV의 결과가 우호적으로 판정되었을 때 허가권을 부여하는 역할만 한다. 그런데 이 GV라는 제도는 1968년도부터 도입되어 사용되고 있는데 법정 절차가 아니고 자율적인 절차였다. 현재 이를 법제화하기 위한 작업이 진행되고 있으며 2003년도 하반기에 제도화될 것으로 예정되고 있다.

(4) 환경문제와 관리정책

영국에서도 바닷모래 채취가 해양환경에 미치는 영향에 대한 우려가 최근 증가하고 있으며 이에 대응하여 여러 가지 조치들을 취하고 있는데 특기할 점은 정부뿐만이 아니라 채취업자 스스로 환경문제를 극복하기 위한 조치를 취하고 있다는 점이다.

17) 영국에서 해양의 모든 광물자원(석유천연가스 제외)의 소유권을 가짐.

18) Crown Estate(2002)의 자료.

〈그림 4-1〉

영국의 바닷모래 채취 해역



자료 : 인터넷 자료.

첫째, 영국은 허가절차에 있어서 환경문제를 검토할 수 있는 장치를 갖고 있다. 허가절차상의 GV제도는 환경문제를 사전에 예방하기 위한 일련의 조치들이라고 할 수 있다. 환경영향평가서(ES)와 CIS는 환경영향에 대한 평가서이며 또한 특히 관련기관과 지역주민, 지방자치단체가 GV절차에 참여하는 것도 환

경문제를 여과할 수 있는 과정이다. 허가를 신청할 때는 예정된 바닷모래 채취 지역의 환경영향평가서 EIA(Environmental Impact Assessment)¹⁹⁾가 첨부되어야 하는데 EIA는 환경영향에 대한 체계적이고 객관적이며 철저한 분석이 수행되어야 하고 정보가 제출되어야 한다. 전문가뿐만 아니라 비전문가나 일반 대중이 검사할 수 있도록 요점 정리가 되어야 한다. 그리고 예측된 영향과 환경영향저감대책이 적절하게 반영되어야 한다.

둘째, DETR이 최종적으로 신청서에 대한 승인여부를 평가하는 과정에서도 DEFRA와 협의하는 것도 바닷모래 채취가 어업에 미치는 영향을 다시 한번 반영하는 과정이라고 할 수 있다.

셋째, 영국정부는 환경에 대한 논쟁이 과학적인 자료에 바탕을 둔 논쟁이 될 수 있도록 하기 위하여 정부를 대신하여 CEFAS로 하여금 일련의 연구를 수행하게 한 바 있다. 그 주요 결과는 채취가 이루어진 후 9년까지 채취영향이 주변해역에 미치며, 채취해역의 환경이 2~3년 안에 회복된다는 가정은 항상 적용되는 것이 아니라는 결론을 보여주고 있다.

넷째, CE는 채취에 대한 모니터링과 허가조건에 맞추어 채취하고 있는지에 대한 감시를 하고 있다. 이러한 모니터링과 감시는 EMS(electronic monitoring system)라고 불리는데 1993년에 도입된 것으로서, 채취허가조건이 제대로 준수되고 있는가를 감시하도록 되어 있으며 모든 채취선에 장착되어 채취선의 위치에 관련된 정보를 제공하고 있다. 영국 수역에서 운항 중일 때 채취작업이 시작되면 자동적으로 스위치가 작동되고 기록된다. EMS 데이터는 매달 CE에 제출되며 모든 위반사항과 허가지역 이외에서의 채취가 보고된다. 2001년에 31,000시간의 채취에 대한 EMS가 기록되었으며 그 중 0.002%(1건)가 허가지역 이외를 벗어난 것으로 조사되었다. EMS 도입 10년간의 결론은 ① 허가지역을 벗어나 다른 나라의 수역에서 채취한 증거는 전혀 없다 ② 산업계가 EMS의 정확성에 대한 논란을 제기한 적은 없는 것으로 보고되었다. EMS 데이터는 감시용으로서 개발되었지만 여러 가지 다른 용도로도 사용되는데, 연구용 데이터로도 사용되고 있고 산업계는 관리목적으로도 활용하기도 하고 장래의 새로운 채취신청시의 자료로도 사용된다.

19) 1989년 이후 거의 모든 신청에 EIA를 요구하고 있으며 1992년 11월 최초의 환경영향평가서가 제출되었음. 최초의 평가서는 호된 비판을 받았으나 시간이 지나면서 많이 개선되어 왔음.

다섯째, 1968년도부터 도입된 GV제도는 2003년도 하반기에 대체될 것으로 전망되고 있고 제도화될 것으로 전망되고 있다. 새로운 제도는 환경관련제도의 강화 및 공청회제도를 개선할 것으로 전망되고 있는데,²⁰⁾ 새로운 제도의 1차적인 목표는 한번에 채취할 수 있는 채취지역의 면적을 축소함으로써 환경에의 영향을 줄이는 것과 허가조건을 잘 준수하도록 하는 데 있다.

여섯째, 정기적 검토(심사)(periodic reviews)제도를 시행하고 있다. 환경영향평가(EIA)에서 예측된 방법대로 바다골재 채취가 이루어지는가를 평가하는데 이를 정기검토(periodic review)라 한다. 정기검토를 통하여 골재채취를 계속할 것인가, 현재의 환경영향저감대책을 변경하거나 새로이 할 필요가 있는가, 그리고 채취를 예정보다 일찍 종료할 필요가 있는가를 검토한다. 정기검토에서는 모니터링계획이 중요하다. 지금까지의 모니터링 기록이 제시되어야 하며 모니터링계획이나 환경저감대책을 수정할 필요가 있는가를 검토한다.

일곱째, 누적환경영향평가제도(cumulative effect)의 도입이다. 환경영향평가를 신청하는 사업의 환경영향뿐만 아니라 지금까지 수행된 전체사업을 동시에 고려하여 영향을 평가하도록 하는 제도이다.

영국은 정부차원의 환경기준도 엄격하지만 업계 스스로 환경영향을 최소화하고 다른 이해관계자와의 관계를 원활히 하기 위한 노력을 적극적으로 하고 있다. 예를 들어 채취시 어민, 운송업자, 스포츠낚시업자 등 여타 해역이용자와의 공존을 위하여 'Codes of Practice (실무지침)'를 업계스스로 개발하여 운용하고 있다. 또한 업계에서는 스스로 환경문제를 극복하기 위하여 투자하고 있는데 연간 150만 파운드가 연구비, 조사비에 투입되는 것으로 알려졌다.

결론적으로 영국은 일본 다음으로 바닷모래를 많이 채취하는 나라이며 수출까지 하고 있고 앞으로도 골재자원의 안정적 수급을 위하여 바닷모래의 역할이 강조되고 있다. 그러나 앞에서 살펴보았듯이 바닷모래채취가 주변환경에 미치는 영향을 항상 감시하도록 하여 친환경적인 채취가 이루어지도록 정책을 수립하고 있고 운용하고 있다는 점에서 우리나라에 시사하는 바가 많다.

20) European marine sand and Gravel Group(EMSAGG)의 Special Edition (April 2003)에 수록된 내용. 영국의 Minerals Planning Division이 'Marine minerals dredging in English waters - policy and consent procedures' 심포지엄에서 언급.

2) 네덜란드²¹⁾

네덜란드의 주요 바닷모래 수요는 연안매립 및 해변보충이며, 이를 위해 북해의 남쪽 네덜란드 연안에서 대폭적으로 해사채취가 이루어지고 있다. 2000년도, 2001년도의 채취량은 각각 4,060만 톤, 5,820만 톤에 이르고 있으며, 2000년도의 경우 해변보충에 1,220만 톤 그리고 연안매립에 2,840만 톤이 소요되었다.

네덜란드는 건설용(콘크리트) 골재(모래 및 자갈)를 대부분 수입에 의존하고 있으며 이 중 300만~400만 톤을 영국 동해안에서 채취한 모래를 수입하고 있다.

네덜란드는 육지의 대부분이 바다보다 낮기 때문에 육지자원을 보호하는 편이며, 따라서 네덜란드 정부는 연안매립시에 준설 모래를 사용할 것을 권장하고 있다. 물론 이 경우 준설모래의 운송비 및 준설비용을 상쇄하기 위해 낮은 수수료를 부과하고 있다.

또한 네덜란드 정부는 건설부문에 바닷모래의 사용을 권장하고 있다. 이를 위해 육지의 한정되고 거친 모래 대신 바다의 잔모래를 콘크리트 재료로 사용할 수 있는지를 연구하고 있다.

1997년 네덜란드 정부는 1996년부터 2030년까지의 골재수요를 추정하였는데, 골재용 바닷모래는 710만 톤, 해변공급용 바닷모래는 1,230만 톤, 매립용 바닷모래는 1,680만 톤이다. 그러나 이 골재수요량에는 20억 m³의 모래를 필요로 하는 3개의 대형공사(Europort 연장공사, Europort와 헤이그 사이의 연안매립 공사, 해안으로부터 15km 떨어진 섬의 건설공사)는 제외되어 있다.

3) 덴마크

덴마크의 해사채취량은 총 골재수요량의 10~20%에 해당한다. 주요 바다골재 수요는 연안매립 및 건설 골재이며, 특히 지난 10년간 대형 공사로 인해 연안매립 수요가 급증하였다. 2000년 현재 바다골재 채취량은 1,190만 톤이다.

21) - Meakins, S.C., Leggett, D.J., Artherton, R.A., Harrison, D., and Humphries, B., *The Development of Marine Sand and Gravel in North-West Europe - Identifying the Issues Over the next 25 Years*, (<http://www.bmapa.org/pdf/ecmp99paper2.pdf>), p.5.
 - David John Harrison, "European Overview of Marine Sand and Gravel - Shaping the Future", *EMSAGG Conference*, 20-21 February 2003, Delft University, The Netherlands, (http://www.ciria.org/emsagg/pdf/d_harrison_european_overview.pdf).

덴마크는 바닷모래 채취에 관하여 부정적이지 않은 편이다. 덴마크에선 바닷모래 채취가 매우 제한적으로 이루어지고 있는데, 이는 낮은 인구밀도 및 풍부한 육지 모래 때문이다.

4) 독일

독일에서는 북해 및 발트 해에서 해사채취가 이루어지고 있다. 해사채취량은 많지 않은 편인데, 2000년의 경우 920만 톤이며, 이 중 480만 톤이 건설골재로 사용되었다. 나머지 바다골재는 주로 해변복원용으로 사용되고 있다.

5) 프랑스

프랑스의 해사채취량은 수년간에 걸쳐 연간 300만~400만 톤으로 안정되어 있다. 연간 100만 톤 정도를 영국 및 벨기에로부터 수입하고 있다.

프랑스 골재업계는 바닷모래 채취를 자제하고 있다. 그 주된 이유는 바닷모래에 포함되어 있는 염화물(chloride)과 조개 등에 의한 부정적인 영향 때문이다. 또한 프랑스에서는 바닷모래 채취와 관련하여서는 중앙정부 차원보다는 지방정부에 위임하는 편이다.

3. 미국

1) 채취 실적

USGS의 Mineral Industry Surveys에 의하면 2000년도의 미국 전체의 골재(모래와 자갈) 생산량은 11억 2천 톤이며 금액으로는 53억 9천 달러에 이른다. 이러한 생산실적은 3,901개의 생산업자가 6,204개의 광산에서 생산한 것이며 연간 생산량 20만 톤 이상을 생산하는 큰 규모에 해당하는 생산지가 전체의 26%에 해당하는 1,641개인데 이들이 생산량으로는 전체의 79%를 생산하고 있다.

미국에서 바닷모래는 단지 해변복원용(beach nourishment)으로만 일부 채취되고 있을 뿐 건설용으로는 거의 채취되지 않는 것으로 조사되고 있으며 해변복원용 모래도 매우 작은 규모로 채취되고 있어 통계가 제대로 나타나지 않고

있다. 바닷모래가 채취되지 않고 있는 주요 이유는 아직 육상의 골재자원이 풍부하기 때문인 것으로 알려져 있다.

그러나 2000년도 뉴욕의 뉴저지 연안에서 건설용 바닷모래채취를 위한 사업 신청이 있었으며 수많은 논쟁 끝에 아직 허가되지 않은 것으로 밝혀졌다.²²⁾ 이에 대한 내용은 미국에서 바닷모래 채취에 따른 환경문제가 어떠한 상황에 있는지를 짐작할 수 있는 부분이기 때문에 후에 별도로 설명하기로 한다.

2) 허가 및 관리 제도

미국에서는 내무성의 MMS(The Minerals Management Service)가 바다골재를 관리하고 있다. 바다골재를 규제하고 있는 법은 대륙붕토지법(Outer Continental Shelf Lands Act)으로서 바다골재의 탐사, 임대 및 운영에 관한 규정을 담고 있다.

바다골재의 탐사에 관한 규정에 의하면, 상업적인 탐사를 하기 위해서는 승인(permits)이 필요하며 탐사기간은 3년 이내이나 2년간 연장이 가능하고, MMS는 신청된 탐사에 대하여 60일 이내에 승인여부를 결정하여야 하며, 한 회사의 탐사신청에 대한 자료는 비밀이 보장되는데, MMS는 지질조사자료는 50년 동안, 다른 자료는 25년 동안 비밀을 지켜주어야 한다.

임대규정은 연안 주(states) 들이 연방의 골재채취계획에 참여하는 데 관련된 내용들을 포함하고 있다. 여기에는 탐사지역의 면적, 탐사기간, 환경규제문제, 임대료 또는 로열티, 판매 등에 대한 조건들을 담고 있다. 임대기간은 보통 10년이다. 운영에 관한 규정은 임대후의 활동에 관한 내용을 규정하고 있는데 모든 이해 당사자는 제안된 활동(임대를 통한 채취활동)에 대한 의견을 제시할 수 있다. 채취지역의 환경보호에 대한 모든 자료들이 MMS에 제출되면 그 후 60일 동안 모든 사람(기관)들이 열람할 수 있고 의견을 제출할 수 있다. MMS는 채취계획에 대한 승인, 수정 또는 거부를 할 수 있는 책임을 지며 또한 채취현장을 점검(inspection)할 수 있는데 이러한 점검을 통하여 진행되고 있는 골재채취활동을 유보시킬 수도 있고 취소할 수도 있는 권한을 가진다.

22) 뉴저지항 입구에서 최근 1건의 건설용 바닷모래 채취가 이루어지고 있다는 정보가 있으나 이 건과 동일한 것인지는 확실하지 않음.

3) 환경관리

1996년에 제정된 'Marine Mineral Resources Research Act'에 의하면 바닷모래와 골재(sand/aggregates)는 사광(placers), 인산염(phosphates), 망간단괴(manganese nodules)등과 함께 해양광물²³⁾(marine mineral resources)의 범주에 속하며 동법은 해양광물의 탐사, 평가, 확인, 연구를 진흥하기 위하여 제정되었다.

미국에서의 바닷모래 채취는 사업자가 채취신청을 하면 예비환경영향평가(Draft Environmental Impact Statement)를 하고 그 후에 본격적인 환경영향평가를 한다. 만약 사업이 환경에 악영향을 미치는 것이 없으면 scoping hearing과 청문회(public hearing)를 거친 후 최종적으로 승인을 해준다. 그런데 지난 25년 동안에 신청을 기각한 비율은 2%에 불과하다.

앞에서도 언급되었지만 채취해역의 환경보호에 대한 자료는 MMS에 제출되고 이 자료는 60일 동안 일반에게 공개되는데 모든 이해당사자들이 이에 대한 의견을 제출할 수 있고 제출된 의견을 검토하여 MMS는 채취여부를 결정하게 된다. 또한 채취업자는 채취가 환경에 미치는 영향을 모니터링하여 그 결과를 매월 또는 분기별로 채취실적 자료와 함께 MMS에 제출하여야 한다.

이하에서는 최근에 있었던 바닷모래채취를 둘러싼 여론과 관계기관의 입장을 살펴보았다.

미국에서 약 70위권에 있는 골재채취기업인 Amboy Aggregate사가 2000년 뉴저지 앞바다에서의 바닷모래채취 신청을 하게 되었다. 이 채취신청이 허가된다면 상업적인 의미로 볼 때 미국에서의 최초 바닷모래 채취사업이 되는 것이었다. 동 회사는 1996년도에도 유사한 지역에서의 바닷모래 채취신청을 하였으나 거부된 적이 있었는데 이번에는 채취지역을 크게 축소하여 해안에서 3~12마일 떨어진 100만 평방마일에 대해 신청하였다. 이는 1996년도의 1,400만 평방마일의 7% 정도 수준인데 1996년 당시 광범위한 지역에 대한 환경문제²⁴⁾가 걸림돌이었기 때문에 이 문제를 극복하기 위한 것으로 판단된다.

23) 석유·가스, 수산 동식물, 해양포유동물을 제외한 해양자원은 모두 해양광물자원에 속한다고 할 수 있음.

24) 당시 주된 이유는 “바닷모래채취가 해양동식물과 환경에 어떤 영향을 미칠 것인가” 하는 것이었음.

Amboy Aggregate사는 100평방 마일의 바닷모래채취를 통하여 연간 90만 달러를 해변복원사업(beach restoration work)에 기부하겠다고 하고 있다. 그러나 환경론자 등 반대론자들은 환경에 미치는 영향이 어떠한지에 대한 조사가 제대로 되지 않은 상태에서 채취업자에게 엄청난 혜택을 줄 수 없다는 점에서 반대하고 있다. 채취업자는 임대료로 1입방야드에 50센트만 지불하면 되는데 이는 3야드 콘크리트의 배달가격이 400달러 정도임을 감안할 때 엄청난 혜택이라는 것이다. 반대론자들은 또한 바닷모래채취가 환경에 미치는 악영향을 우려할 뿐만 아니라 바닷모래채취의 허가가 뉴저지연안에서의 석유가스개발로 이어질 수도 있음을 우려하고 있다.

동사업에 대해 항만청, 건설업자, 미공병대 등은 지지하고 있으며 환경론자, 어민, 낚시어업자, 잠수부 등은 반대하고 있고 MMS도 반대입장을 취하고 있다.²⁵⁾ MMS의 보고서에 의하면 뉴저지, 메릴랜드, 델라웨어, 버지니아 주 등에서 해수욕장과 연안복원사업을 위하여 수행하는 바닷모래 채취도 환경과 해양생물에 어떤 영향을 미치는지에 대한 정보가 별로 없다고 한다. 또한 해외정보에 의하면 바닷모래채취가 준설보다도 더 큰 영향을 미칠 것이라고 하며 악영향을 미치는 기간이나 회복하는 데 소요되는 시간도 준설보다도 더 많이 소요될 것이라는 정보를 갖고 있다고 주장하고 있다.²⁶⁾ Mid-Atlantic Fishery Management Council의 의장 또한 뉴저지 연안에서의 바닷모래 채취가 주변의 조개자원(surf clam)에 영향을 미칠 것이며 어류의 서식에 영향을 미칠 것이라고 주장하고 있다. 또한 채취에 따른 부유물질의 유동이 환경에 어떠한 영향을 미칠지에 대한 정보도 갖고 있지 못하다고 주장하고 있으며 과학자들도 퇴적 이동 등에 대한 과학적인 이해가 부족하기 때문에 바닷모래 채취를 반대하고 있다. 한편 뉴욕주립대학의 해양학과 교수이며 Amboy Aggregate²⁷⁾의 컨설턴트인 Henry Bokuniewicz는 Minerals Management Service에 보낸 서한에서 “연안(offshore)에서의 바닷모래채취는 바닷모래자원의 고갈도 야기하지 않고,

25) 동사업에 대한 논쟁은 Jersey Coast Anglers Association(JCAA)가 주도하고 있으며 찬반 논쟁의 자세한 내역은 2000년 2월 29일 개최된 바닷모래 채취 청문회 자료를 참고할 수 있음.

26) *Digging for Truth on Mining*, by Todd B. Bates, Environmental Writer, Asbury Park Press, 2/27/2000.

27) 미국에는 1000여개의 (육상)골재생산업체가 있으며 Amboy Aggregate는 약 70위 권의 골재생산업체임.

해안침식도 야기하지 않으며 수산에도 큰 영향을 미치지 않을 것이라고 주장하고, 단지 약간의 해저면 마찰이 있을 것이고 따라서 해저바닥에 서식하는 생물이 회복하는 데 다소 시간이 걸릴 것”이라고 하고 있다.

현재 MMS에서는 “개발업자가 바닷모래채취가 주변 환경에 아무런 영향을 미치지 않는다는 것을 증명해야 한다.”고 언급하고 있다.

4. 외국 사례의 시사점

일본은 세계최대의 바다골재 생산국이며 유럽에서는 영국을 비롯하여 많은 국가가 바다골재를 채취하고 있다. 반면 미국에서는 단지 해변복원용 모래만 일부 채취하고 있을 뿐 건설용 골재는 거의 채취되고 있지 않다.

일본은 최대의 바다골재 채취국가이면서도 지금까지 환경문제에 대해서는 다소 느슨한 실정이었다. 따라서 미국의 한 골재회사는 바닷모래 채취신청을 하면서 바닷모래의 환경문제에 부딪치자 “최대 채취국인 일본에서도 환경문제가 그다지 심각하지 않는데 처음으로 개발하려는 미국에서 환경문제가 왜 심각해야 하는가”라고 주장을 할 정도였다.²⁸⁾ 그러나 최근에는 일본에서도 바닷모래의 환경규제가 강화되고 있으며 세토나이카이 내해에서는 바닷모래 채취가 완전 금지되게 되었고 통상산업성에서는 이러한 추세에 대비한 골재안정공급대책을 논의하고 있다.

영국은 덴마크와 함께 바닷모래 채취에 관련된 제도가 가장 잘 갖추어진 국가로 인정되고 있다.²⁹⁾ 바다골재의 환경문제를 가장 엄격하게 관리하고 있으면서도 바다골재의 공급량이 매년 상당한 수준에 있고 앞으로도 바다골재의 공급량이 다소 증가할 것으로 전망되고 있다. 영국이 바다골재의 환경문제를 다루는 해법은 인·허가단계뿐만 아니라 채취활동단계 및 채취후의 전과정에 걸쳐 환경영향에 대한 감독과 감시가 이루어진다는 점과 골재채취업자 스스로가 환경문제를 해결해 나간다는 점이라고 할 수 있다. 영국에서 GV 단계에서 채취허가에 따른 협의대상기관은 수십 개 기관에 이르기도 하는데 채취신청자는 모든 제기된 의견에 대해 대응해야 하며 상대방을 설득해야 한다. 또한 채취활

28) 2000년 미국 Amboy Aggregates사의 바닷모래 채취신청에 관련된 청문회자료에서 인용.

29) 인터넷 자료(www.civeng.ucl.ac.uk/prs).

동 중에도 지속적인 환경감시가 이루어지고 있다. 또한 영국은 정부차원의 환경기준도 엄격하지만 업계 스스로 환경영향을 최소화하고 다른 이해관계자와의 관계를 원활히 하기 위한 노력을 적극적으로 하고 있다. 예를 들어 채취시 어민, 운송업자, 스포츠낚시업자 등 여타 해역이용자와의 공존을 위하여 'Codes of Practice (실무지침)'를 업계스스로 개발하여 운용하고 있는 것이다.

영국의 이러한 관리제도 및 업계의 자발적인 노력은 우리나라에 시사하는 바가 크다고 보여진다. 우리나라는 현재 해양수산부가 환경관리수단으로 해역이용협의제도를 시행하고 있는데 이를 면제해 달라는 등 환경규제의 완화를 통한 바다골재공급의 확대를 모색하고 있다. 따라서 우리나라 업계도 환경문제를 피해가려는 자세보다는 이에 대한 적극적인 대응을 하면서 바닷모래자원을 개발하는 자세로 전환하여야 할 것으로 보인다. 차후 영국 등 유럽에 관한 보다 심층적인 분석과 연구는 바다골재를 관리하는 정부부처에게나 바다골재를 개발하는 업계 등 우리 모두에게 보다 많은 시사점을 줄 것으로 기대된다.

제 5 장 생물경제학적 모형의 정립과 적용

1. 생물경제학적 모형의 개요

1) 기본 개념

본 연구의 목적은 생물경제학적 모형을 이용하여 해사채취로 인해 발생하는 수산 자원의 단기, 장기 그리고 간접적인 피해를 추정함으로써, 해사채취 행위가 해양환경에 미치는 외부비용을 산정하는 데 있다.

수산생물은 생태학적으로 복잡하다. 생태학적으로 어업자원은 산란을 하여 치어가 어획대상자원으로 가입하게 되고 성장을 하여 총자원량 수준은 증가하게 된다. 그러나 자연사망에 의해 자원량은 감소하고 여기에 더하여 어업자들의 어획에 의하여 자원량은 더욱 감소하게 된다. 따라서 수많은 어종을 대상으로 복잡한 어종의 생활사와 생태계의 변화를 모두 관찰하는 것은 매우 어렵고 고비용의 작업이 될 것이다.

이러한 복잡한 과정과 현상을 보다 짧은 시간에 가능케 하는 것이 생물경제학적 모형(bio-economic model)이다. 생물경제학적 모형은 생물학적 모형과 경제학적 모형의 통합모형으로서, 생물학적 모형은 자원의 가입과 사망에 따라 자원량 또는 어획량이 어떻게 변화하는 것을 설명하며, 경제학적 모형은 이러한 변화를 화폐단위로 표현하고 이러한 변화의 경제적 효과를 추정하는 것이라고 할 수 있다.

모형을 통한 연구는 무엇보다 복잡한 것을 단순한 것으로 표현할 수 있게 해주며 시간과 비용을 크게 절감할 수 있다는 데 있다. 물론 모형연구가 지니는 한계가 없는 것은 아니지만 무엇보다 체계적이고 합리적으로 그리고 시스템적으로 설명하기 때문에 실제적인 세상에서는 표현하거나 관찰하기 어려운 여러 가지 2차적 또는 3차적인 분석을 가능케 한다. 예를 들어 ‘금어기’라는 제도를 도입하여 어획일수를 줄였을 때 최대지속적 생산량이 어떻게 변하는가를 살펴볼 수 있는 것이다.

따라서 본 연구에서는 앞에서 설명한 여러 가지의 해사채취에 따른 어업자원의 피해를 추정하기 위한 모형을 설정하였다. 모형은 크게 생물학적 모형과

경제학적 모형으로 구분된다. 경제학적 모형에서는 생물학적 모형의 결과가 입력자료로 사용된다.

2) 생물경제학적 모형의 응용

(1) 생물경제학적 모형에 대한 연구

유신재(1993)는 생태계 모델링에 의한 생태계 동태를 파악하는 방법론을 개발하고 실제로 적용시키기 위한 노력을 기울였다. 세부적인 연구로서, 생태계 모델링을 위한 생물생산력 추정 방법론을 검토하고, 생물생산력의 현장조사를 실시하였으며, 기존 생태계 모델의 검토와 아울러 문제점을 파악하였다. 또한 생태계 모델과 해황 예측 모델의 연계를 위한 기본 개념을 정립하였으며 생태계 모델의 설계에 착수하였다. 기초 생산력을 측정하는 방법으로 현장배양, 능동적 형광측정(active fluorometry), 원격탐사 등의 방법론의 원리, 문제점 등을 검토하였고, 2차 생산을 추정하는 방법으로는 개체군 역학방식, 탄소수지 방법, 코호트 P/B 방법, Winberg의 basic balanced 공식과 호흡률로부터 추정하는 방법, 질량 P/B 방법, 온도-생체량 방법 그리고 온도 의존모델을 이용한 방법이 있으며, 이러한 방법들의 원리, 문제점 등을 검토하였다. 아울러 생태학적 방법, 자원역학적 방법에 의한 3차 생산(어류생산) 추정 방법과 생태학적 효율 추정법, 자원량과 생산량 관계를 검토하였다.

표희동·장학봉(2000)은 생물경제학적 모형을 사용하여 지속가능한 어획수준을 결정하는 과정을 요약하여 설명해 주고 있다.³⁰⁾ 생물경제학적모형은 균형모형(equilibrium model)과 동태적 모형(dynamic model)으로 구분할 수 있다. 균형모형은 어획량과 어자원의 자연증가량이 수렴할 때 어자원량(fish population)은 동일한 수준, 즉 균형을 유지할 수 있다는 점에서 착안된 것으로서, 주어진 어획능력수준에서 어획량과 경제적 이익의 장기적인 수준을 제시한다. 만약 모델링 작업의 목적이 생산이나 이익의 지속가능한 수준을 결정하는 것이라면 균형모형이 동태적 모형보다 더 적합하다. 동태적 모형은 어획수준에 대한 노력의 변화와 경제적 이익의 단기적 변화효과를 제시한다. 만약 모델링의 목적이 비용과 편익의 변화를 측정하는 것이라면 동태적 모형이 더 많은 정보를

30) 부록 참조.

제공할 수 있다. 왜냐 하면, 미래의 편익과 비용의 흐름이 서로 다르게 발생한다면, 사회적 시간선호성(social time preference)이 반영되는 것이 보다 합리적이기 때문이다. 균형모형의 가장 보편적인 형태인 잉여생산모형은 주어진 어획 노력수준에서 장기적인 지속가능한 생산량을 제시한다. 잉여생산모형은 자원량의 성장함수의 가정에 따라 다르게 형성되는데, 잉여생산모형의 근간이 되는 어자원량의 성장모형은 Schaefer(1954, 1957)에 의해 개발된 전통적인 로지스틱 성장모형(logistic growth model)과 Fox(1970)에 의해 개발된 지수성장모형(exponential growth model)으로 구분된다.

박주석 외(2003)는 간척 매립 등 대규모 토목사업시 발생하는 부니에 의하여 입게 되는 인근 어장의 피해(어업생산량 감소)를 추정하는 방법에 있어서 현재 도상의 어업손실평가는 일반적으로 조사시점에 분포하는 우점 연령의 3개 연급군(cohort)의 연평형어획량을 산정하는 결과이므로 이 방법은 어업피해를 과소평가하는 결과임을 보여주고 있다. 천해어장에 존재하는 수산생물은 여러 연급군이 존재하므로 부니피해의 경우 공사기간동안에만 피해를 입는 것이 아니고 공사가 끝난 후에도 그 피해가 잔존한다는 것을 설명하고, 경기도 화성군 간척사업의 어업피해조사시 조사된 현장조사자료를 활용하여 바지락 1개 어종에 대한 피해추정방법을 제시하고 있다. 본 연구는 개체군에 대한 역학적인 접근방법을 시도하였다는 점에서 의의가 있다고 할 수 있다.

강용주·장창익(2003)은 유류유출사고로 인하여 피해를 입게 되는 저서생태계의 생산량 감소를 추정하는 모형을 제시하고 있다. 본 연구는 인천광역시 옹진군 대청면에서 2001년 1월 쾌속여객선이 항해중 화재발생으로 선박이 침몰하면서 발생한 전복어장의 피해를 추정하였다. 전복은 암반에 착생하여 성장하는데 선박의 침몰로 발생하는 전복의 피해를 개체군 역학모형을 통하여 추정하였다.

김도훈(2004)³¹⁾은 어업자원회복을 위한 어업관리정책 개발과 관련하여 생물경제학적 모형을 이용하였다. 그는 연구에서 남획상태에 있는 미국 멕시코 만의 red grouper³²⁾자원을 목표 자원량 수준으로 회복시키는 자원회복계획에 포

31) 김도훈, 「복수어업에 있어서의 어업관리수단평가를 위한 생물경제학적 연구」, 수산경영론집, 2004. 6.

32) 우리나라의 참돔과 유사한 어종이며, 멕시코 만에서 어획되는 전체 grouper류 어획량의 60% 이상을 차지하는 중요한 어종임.

함된 어업관리수단들의 효과를 분석하였다. 본 모형에서는 베벌톤-홀트함수식(Beverton-Holt recruitment function)을 이용하여 친어자원량과 가입량과의 관계식을 도출하고 자원동태분석을 통한 주요 어종의 선정과 이들 어종의 연령별 어획량을 구하였다. 본 연구는 생물학적모형과 어업수익, 어업비용으로 나타나는 경제학적 모형을 결합하여 어업관리수단의 효과를 분석한 연구이다.³³⁾

(2) 해사채취의 수산자원에의 영향에 관한 연구

유신재·신경순(1996)³⁴⁾은 생태학적 모형에 의하여 유류(병커C유 및 원유)가 황해와 남해에 유출되었을 경우를 가정하여 지역별 계절별 피해량을 추정하였다. 본 연구에서는 미국의 NOAA에서 개발한 전산모델(NRDAM/CME)을 우리나라 환경에 맞추어 적용하였다. 본 모형은 유출된 유류의 대기 증발, 해면에서의 확산, 수중에서의 혼합과정을 예측하는 물리모델, 오염에 의한 생물자원의 피해정도를 추정하는 생물모델, 피해정도를 경제적 가치로 환산하는 경제모델로 구성되어 있다. 생물모델에서는 급성독성실험데이터를 이용하여 피해량을 추정하였고, 성체의 피해는 물론, 먹이망을 통한 과급효과와 유생 및 치어 손실에 의한 가입량의 피해도 고려하였다. 본 모델을 이용한 실험결과 유류의 유출량이 증가할 경우 생물자원의 피해량은 유출량의 증가율보다 더 높은 증가율로 증가한다는 점과 생물량의 손실은 가입손실에 의한 장기적 피해가 성어 폐사의 단기적 피해보다 훨씬 크다는 점을 지적하였다.

한경남(2003)은 해사채취가 수산자원에 미치는 영향을 분석하였는데 이 연구는 우리나라에서는 처음으로 해사채취가 수산자원에 미치는 영향을 정량화한 것으로 볼 수 있다. 한경남은 경기만 해역을 대상으로 하여 해사채취가 수산자원 조성 및 생산량에 미치는 영향을 파악하기 위하여 해사채취가 이루어지고 있는 웅진군의 1979년부터 2001년까지 22년간의 연도별 수산자원 변동량을 조사하였다. 본 조사에서는 웅진군의 어업생산통계자료를 이용하였는데, 해사채

33) 자원회복기간 동안 목표 자원량 수준을 달성할 수 있을 것으로 기대되어 어업관리위원회에 의해서 제시된 어업관리수단은 총허용어획량(TAC) 정책, 5개월간 금어기 정책, 1800 파운드 출어당 허용어획량 정책, 그리고 50페딩 이내에서의 연승어선 조업금지 정책으로, 각 관리수단에 대한 생물학적·경제학적 효과를 분석하여 가장 합리적인 수단을 선택하고자 하였음.

34) 유신재·신경순, “생태학적모형을 이용한 유류유출사고에 의한 자연수산자원 피해의 추정”, 「한국수산학회지」, 29(2), 1996.

취가 발생하기 전의 어획량과 해사채취 이후의 어획량의 변동, 해사채취가 이루어지고 있지 않은 해역의 어획량과 해사채취가 이루어진 해역의 어획량을 비교하였다. 본 논문은 또한 채취해역과 비채취해역의 어획량을 비교하기 위하여 웅진군 내에서도 자월도, 덕적도 등의 지역별 어획량 통계를 사용하였는데, 이 점도 상당히 비판받을 수 있는 소지가 있는 부분이다. 왜냐하면 어획량통계에 나타나는 지역의 범위와 어획되는 장소와는 일치되지 않는 경우가 많았기 때문이다.

Grigalunas 등(2003)³⁵⁾은 미국 로드아일랜드 주의 Providence 항의 항로 준설에 따른 준설토 투기로 발생하는 수산자원への 피해를 생물경제학적 모형을 사용하여 추정하였다. 이 연구에서는 어업에의 피해를 준설토 투기시 발생하는 단기적이고 직접적인 피해(short-term and direct effects), 자원회복기간에 발생하는 장기적 피해(long-term effects), 그리고 생태계의 먹이망(food web)에 따른 간접적 효과(indirect effects)로 구분하여 추정하였다. 본 연구의 결과를 보면 장기적 피해가 직접적 피해보다 크게 나타나기 때문에 연급군자료(cohort-type)와 같은 생물자원의 생태자료가 중요하며, 상업적어업의 피해 이상으로 유어업에도 피해가 발생하는 것으로 조사되었다.³⁶⁾

〈표 5-1〉 기존 연구의 개요

저자	주요 내용	범위/대상	비고
유신재(1993)	생태계모델링에 의한 생태계 동태파악	포괄적인 개념 정리	생물경제학적 모형 이용
표희동·장학봉 (2000)	생물경제학적모형에 의한 지속가능한 어획수준 결정	포괄적인 과정 설명	"
박주석 등(2003)	부니에 의한 인근어장 피해 추정	바지락	"
강용주·장창익 (2003)	유류유출사고의 저서생태계 피해	전복어장	"

35) Thomas Grigalunas, James J. Opaluch and Meifung Luo, *The Costs to Fisheries from Marine Sediment Disposal : Case Study of Providence RI, USA*. 2003.

36) 미국 로드아일랜드 주의 Narragansett Bay와 Rhode Island Sound는 유어업이 매우 성행하는 지역임.

기존 연구의 개요(계속)

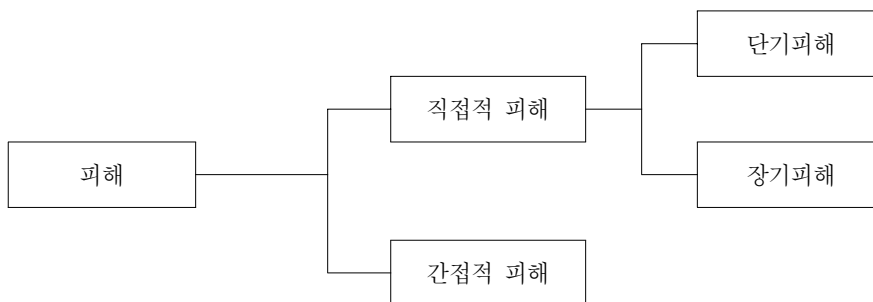
저자	주요 내용	범위/대상	비고
김도훈(2004)	생물경제학적모형에 의한 어업자원회복효과 추정	멕시코만의 red groper 등 주요 어종	"
유신재 · 신경순 (1996)	유류유출의 수산자원피해추정	피해어종	해사채취의 수산자원피해 연구
한경남(2003)	수산자원 변동량에 의한 해사채취의 수산자원피해 추정	꽃게 등 갑각류, 어류, 연체동물 등의 주요품종	"
Grigalunas 등 (2003)	항만준설도에 의한 수산자원피해 추정	상업적어업 및 유어업 포함	"

2. 수산자원 피해의 개념화

본 연구에서는 해사채취로 인하여 발생될 수 있는 수산자원의 피해를 다음과 같이 세 가지 경우로 분류하여 추정하였다. 즉 직접적인 피해와 간접적인 피해로 구분하였으며, 직접적인 피해는 단기적인 피해와 장기적인 피해로 구분하였다. 이러한 단계적 추정은 피해의 유형을 개념화함으로써 모형을 정립하는데 도움이 되고 차후 의사결정자의 정책적 대안을 도출하고 분석하는 데 유용하기 때문이다.

〈그림 5-1〉

해사채취 피해유형의 분류



1) 단기적 피해(직접적인 피해)

단기적 피해는 해사채취로 인하여 해저에 정착하는 해양생물이 입는 피해를 의미하며 이때 해양생물의 피해는 ‘상업적 가치가 있는 종의 성어’(adults : 어획대상이 되는 정도의 크기)로 제한한다.

해사채취는 예인선에 연결된 채취 부선이 서서히 예인되면서 해저로부터 모래를 흡입하여 부선 위로 끌어올리는바, 이때 모래와 함께 흡입되는 저서생물들(어류, 연체동물, 갑각류 등)은 직접적으로 모두 사망하게 된다. 또한 부유물을 섭식하는 저서동물들은 채취 중 발생하는 저층 부유물질이 아가미에 점착됨으로써 굶어 죽거나 질식사하여 사망하게 될 것이다. 따라서 해류나 조류 등의 흐름에 관계없이 스스로의 힘으로 물 속을 이동할 수 있어 해사채취 작업의 피해로부터 도망갈 수 있는 유영동물³⁷⁾을 제외한 저서동물은 해사채취에 따른 직접적인 피해를 입게 될 것이다. 이 때 저서생물들(benthos and demersal species)은 100% 사망한다고 가정할 수 있다(Grigalunas 등, 2000).

2) 2단계의 장기적 피해

장기적 피해에는 두 가지로 구분하여 설명할 수 있다. 하나는 직접적이고 단기적인 피해에 노출되는 어종의 어란, 유생, 치어 단계에서의 피해이다. 해사채취가 이루어지면 앞에서 언급하였듯이 정착성 어종의 성어가 직접 피해를 받게 되고, 이를 ‘단기적’ 피해로 분류하였다. 이들 어종은 성어가 죽는 피해를 받는 만큼, 이들 어종의 어란, 유생, 치자어도 모두 죽는다고 볼 수 있다. 이들 유생이나 치자어는 당장은 상업적 가치가 없으나 성장하여 상업성이 있는 성어로 자랄 수 있는 개체들의 사망으로 인한 개체군의 감소가 해사채취 이전의 균형상태의 개체군(equilibrium populations)으로 회복될 때까지 어획하지 못하는 피해가 발생하는데 이를 장기적 피해라 할 수 있다.³⁸⁾³⁹⁾ 이러한 저서생태

37) 국립수산물학원 홈페이지(<http://www.nfrda.re.kr>).

38) 유신재·신경순, 「생경제적 모델을 이용한 유류유출 사고에 의한 자연 수산자원 피해의 추정」, 한국수산물학회지, 29(2), 1996. 3.

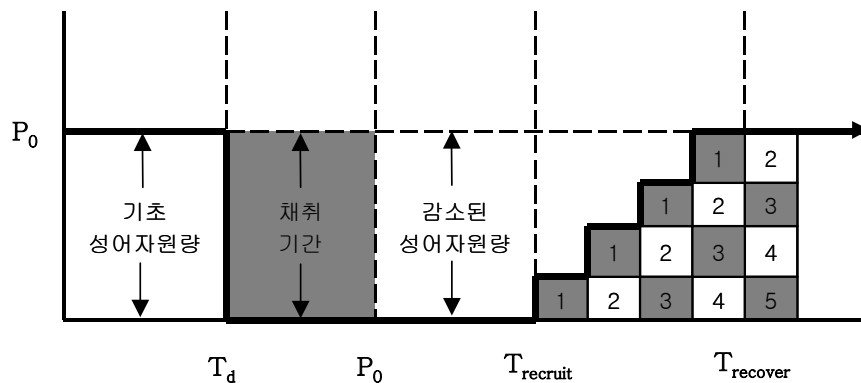
39) Thomas Grigalunas, James J. Opaluch and Meifung Luo, "The Economic Costs to Fisheries from Marine Sediment Disposal: Case Study of Providence, RI, USA", *Ecological Economics*, 38, 2001, pp.47~58.

계의 파괴로 인한 수산생물 피해는 모든 수산생물들의 적정 개체군으로 완전히 회복될 때까지 계속될 것이며, 회복기간은 어종에 따라 다르지만 어떤 어종은 수년이 걸릴 수도 있다.

이러한 회복기간에 대한 피해를 개념적으로 설명하면 다음과 <그림 5-2>와 같이 설명할 수 있다. 어느 특정 종의 성어의 인구는 균형 수준인 P_0 를 유지한다. 해사채취가 T_d 의 시점에서 이루어진다면, 해사채취 지역의 모든 개체들은 사망하게 된다. 그리고 해사채취가 끝나는 T_0 의 시점부터 첫 번째 단계(first class) 생물군의 회복이 시작되는 것이다. 그러나 T_{recruit} 전까지는 어장가입연령 이하의 생물들이 회복되기 때문에, 아직 어획이 가능한 시점까지 회복된 것이 아니다. 해사채취 이후에 산란한 첫 번째 생물군이 어장가입연령에 진입하게 되면 (<그림 5-2>에서 '1'로 표시된 박스) 어획의 회복이 시작되는 것이다.

<그림 5-2>의 경우, 어장가입연령 이후 최대 수명은 4년이므로, 해사채취 이전의 성어 인구 수준까지 회복되기 위해서는 T_{recover} 시점까지 회복이 진행되어야 하는 것이다.

<그림 5-2> 해사채취 영향 추정 모형의 묘사와 한 생물종의 회복모형⁴⁰⁾



40) James J. Opaluch, Thomas A. Grigalunas, Meifung Luo, and Gina Shamshak, *The Economic Cost to Fisheries from Marine Disposal of Dredged Sediments at Two Potential Sites in Rhode Island Sound*, October, 2003.

또 다른 하나의 장기적인 피해는, 해사채취 작업 중 채취 부선 주변에 발생하는 표층 부유물질의 확산으로 인하여 수산생물이 입게 되는 피해이다. 해사를 채취할 때 해수면에서는 채취 바지선으로부터 흘러넘치는 유출수에 의해 300~500 mg/l 의 높은 탁류가 발생하여 해류와 파랑에 의해 인접 해역으로 퍼져 나간다. 이때 자연 조건에서 적응하고 있는 해양 생태계는 높은 탁도와 햇빛 차단 등의 환경 장애 요소에 의해 건강성을 유지하기가 곤란하게 되고 피해를 입게 된다. 특히 민감한 생태단계에 있는 부유성 어란 및 유생은 거의 사망할 정도의 치명적인 영향을 입게 된다. 부유하는 어란 및 유생은 부유물질로부터 도피하지 못하기 때문에 특히 산란기에 그 피해는 매우 크다. 이들 어란 및 유생의 피해 정도는 채취시기, 해역의 위치, 부유물질의 확산범위와 농도, 수심, 해류, 조류 등의 해양물리환경적 요인, 채취지속시간 등의 여러 요소에 의해 영향을 받게 된다. 만약 채취해역이 연안에서 발생하면 주위의 해조류 양식장 등도 심각한 영향을 받을 수 있다. 이와 같이 채취바지선으로부터 넘쳐흐르는 유출수로부터 입게 되는 표층의 어란이나 유생의 피해를 장기적인 피해로 볼 수 있다.

3) 간접적(먹이사슬) 피해

해양생물은 해양생태계 내에서 다른 생물(종)과의 관계에서 먹이망(Food Web)을 이루게 되는데, 해사채취에 의하여 직접적으로 영향을 받는 종이 피해를 받아 자원이 감소하게 되면 이를 먹이로 하는 다른 생물의 감소를 야기한다. 이러한 피해를 간접 피해로 구분할 수 있을 것이다. 이러한 간접적 피해는 해사채취가 이루어지고 있는 기간 동안 지속적으로 일어난다. 간접적 피해의 추정을 위해서 비례 법칙(proportionality rule)을 이용할 것이다. 즉 포식 종들의 피해량은 해사채취로 인한 피식 종들의 감소량과 일치한다는 것이다.⁴¹⁾ 본 모델에서 고려된 수산자원 피해의 범주는 <그림 5-3>과 같다.

41) Applied Science Associates, Inc., A.T. Kearney, Inc. and HBRS, Inc., 1994. *The CERCLA Type A Natural Resource Damage Assessment Model for Coastal and Marine Environments*, Technical Document Submitted to U.S. Department of the Interior.

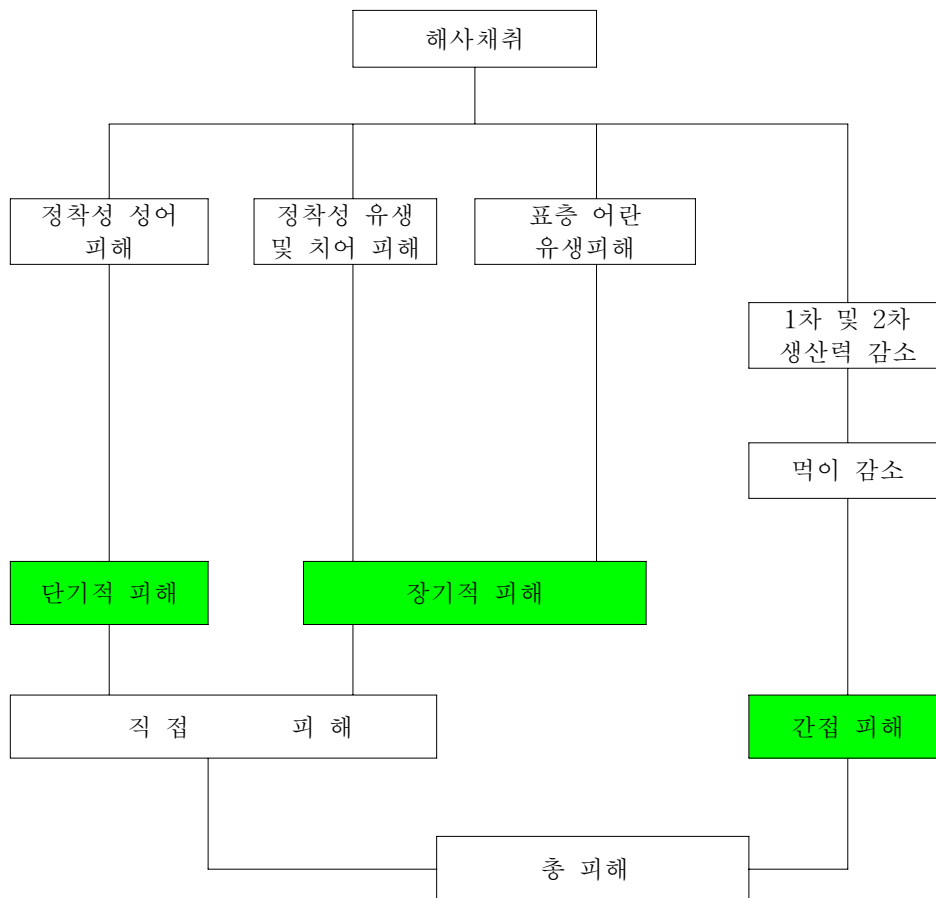
〈표 5-2〉

피해유형별 내용

피해의 분류	내 용
1. 단기 피해	채취구역내의 상업적 저서어종의 성어가 입는 피해
2. 장기피해	채취구역내의 상업적 저서어종의 유생·치어가 받는 피해
	부유사확산에 의한 표층의 어란·유생이 받는 피해
3. 간접적 피해	먹이망에 관계된 다른 어종의 피해

〈그림 5-3〉

해사채취로 인한 수산자원 피해의 범주



3. 모형의 정립

1) 생물학적 모형

해사채취가 수산자원에 미치는 영향은 단기적으로 채취기간 중 법적으로 수확 가능한 저서생물 또는 수확가능한 수산자원의 수확에 영향을 주며, 장기적으로 유생의 사망률 증가 및 피해를 입은 유생의 수적 증가에 영향을 주게 된다. 수산자원의 피해는 해사채취 지역뿐만 아니라 장소를 이동하는 수산자원(finfish) 또는 바닷모래를 산란장 및 서식지로 이용하는 수산자원의 경우 해사채취지역 밖에서도 영향을 받게 된다. 그러나 이동성이 있는 수산자원의 손해에 관한 경우, 그 지역이 넓어 현장 조사를 통해 분석하기가 실질적으로 불가능하므로 이 경우는 시뮬레이션에 의거 추정할 수밖에 없다(Grigalunas 등, 2000).

앞에서 언급한 바와 같이 해사채취는 두 가지 방법으로 수산자원의 외부비용(피해)을 발생시킨다. 첫째, 해사흡입 파이프에 흡입된 생물의 사망, 둘째, 민감한 생태단계에 있는 산란된 알 및 유생은 부유물질에 의거 사망할 정도의 피해를 입게 된다. 일반적으로 피해의 정도는 다음과 같은 요소에 의해 영향을 받을 것이다.

- 채취량 및 채취면적
- 채취기간
- 부유물질의 확산정도
- 파이프에 흡입되는 생물종의 수
- 해사채취 기간 중 유생의 수
- 부유물질에 의하여 영향을 받는 생물종의 위치

1차적으로, 저서생태계의 교란에 의한 피해(직접적 단기피해)의 모형화는 비교적 단순하다.

2) 단기적 피해의 생물학적 모형

단기적 피해의 생물학적 모형은 다음과 같이 설명할 수 있다. 어종 i 의 성어⁴²⁾가 입는 단기적 피해, 즉 해사채취시 사망하는 성어의 자원량(biomass)을

42) 여기서 성어(adults)에 대한 정의는 어장가입 평균연령(tr)과 최대 연령(maximum age) 사이의 연령에 있는 생물을 의미함. 즉 어장가입평균연령 이상을 성어라 하고, 평균연령 이하를 치어(juvenile)라 함.

추정하기 위해서는 성어의 연령과 중량 사이의 관계를 파악해야 한다. 일반적으로 어류를 샘플링할 때 개체(individual)의 수를 파악하게 되는데, 개체의 변화나 자원의 변동을 분석하기 위해서는 개체의 연령과 중량을 파악하여야 한다. 개체의 연령과 중량 사이의 관계를 추정하는 데 사용되는 일반적인 모형이 Ricker(1975)에 의해 사용된 Beverton-Holt 방법이다. Beverton-Holt 모형의 기본 방정식은 다음과 같다.

연령 t (대체적으로 1년 단위)에서의 개체를 $N(t)$ 라 하면 $N(t)$ 는 연령 0에서의 개체수, $N(0)$ 의 함수가 된다.

$$N(t) = N(0)e^{-Zt} \quad \text{for } t < t_R \quad (1)$$

여기에서 $Z = M + F$ 이다. Z 는 순간전사망계수이며, 순간전사망계수는 순간자연사망계수(M)와 순간어획사망계수(F)로 나뉜다. 자연사망은 어획이외의 요인에 의한 사망을 의미한다.

그리고 개체의 성장은 von Bertalanffy(Brody 성장계수의 변형) 방정식을 따르는 것으로 하였다.

$$L_t = L_\infty (1 - e^{-K(t-t_0)}) \quad (2)$$

단, L_t : 연령 t 에서의 길이

L_∞ : 개체의 최대길이

k : 연간 Brody 성장계수

t_0 : 상수 (길이가 0이 될 때의 연령)⁴³⁾

L_t 는 연급(연령)군 t 에서의 길이, L_∞ 는 개체의 최대 길이이며, k 는 연간 Brody 성장계수이고, t_0 는 길이가 0이 될 때 연령으로서 상수이다.

개체가 길이로 측정되어 있는 경우에는 다음 (3)식에 의하여 무게로 환산할 수 있다. 각 연령별 개체의 길이는 최대 길이가 될 때까지 점차적으로 성장하는 것으로 가정하였다.

43) U.S. Department of the Interior, "Measuring Damages To Coastal And Marine Natural Resources: Concepts and Data Relevant for CERCLA Type A Damage Assessments Volume II", *CERCLA 301 Project*, January, 1987.

$$W_t = aL_t^b \quad (3)$$

단, W_t : 연령 t 에서의 무게(g)

a 및 b : 각 종별 상수

W_t 는 연령 t 에서의 중량(습중량)이며 a 와 b 는 상수이다. 상기의 식 (1), (2) 그리고 (3)을 결합하고, $b=3/4$ 을 전제로 하면, 각 연급군에서의 자원량(무게 단위), C_k 는 식 (4)와 같다.

균형상태에서 C_k 는 1년간의 어획량과 해당어종의 평생 중 한해 동안의 수확량이 된다. 수확량은 성어의 자원량을 모두 합한 것에 어획사망계수(F)를 곱한 값이 된다. 따라서 해사채취에 의한 어획량 감소는 식 (5)와 같이 각 연급군의 어획량 감소를 모두 합한 값이 된다.

$$C_k = \int_{t_k}^{t_{\max}} FN(0) W_t e^{-Mt - F(t - t_R)} dt \text{ for } k > R \quad (4)$$

단, C_k : 연급군 k 에서의 자원량

W_t : 연령 t 에서의 개체의 무게

$$C = \sum_{k=1}^{t_{\max}} C_k \quad (5)$$

3) 장기적 피해

장기적 피해는 앞서 설명한 바와 같이 해사채취지역의 정착성 유생 및 치어 피해와 해수면 표층의 유생피해의 두 가지로 구분하여 살펴보아야 할 것이다.

우선, 정착성 유생 및 치어 피해의 생물학적 모형은 단기적 피해의 모형과 유사하다.

이하의 유생의 피해를 추정하는 모형에 대한 설명이다.

표면의 부유물질은 유생 특히 부유하는 유생에 치명적인 영향을 준다. 부유하는 유생은 부유물질로부터 피하지 못하기 때문에 특히 산란기에 그 피해가

44) 적분하면 3이 됨.

크다. 이들 유생에서 발생하는 피해의 증가는 해사채취량, 중요한 시기(계절), 장소, 기타 선박의 속력, 조류, 조석 등과 복잡한 함수관계에 있다. 그러나 유생이 부유물질과 접촉하여 사망하게 되는 ‘평균적’인 지역을 가정할 수 있으며, 해사채취로 인한 부유물질의 확산 정도와 산란된 알 및 유생의 확산 정도를 모델링함으로써 영향을 받는 수산자원의 초과 사망률을 추정할 수 있다.

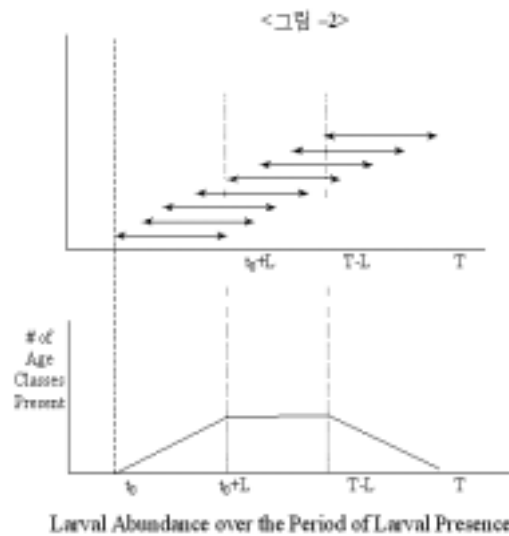
<그림 5-4>는 시간에 따른 유생의 수를 표시하고 있다. 산란기간 중 상이한 기간에 해사채취가 이루어지면 그 효과도 다르게 나타난다. 예를 들어, $<t_0$ 에서 $t_0+L>$ 에서는 해사채취가 유생의 출현초기에 이루어지기 때문에 그 당시의 유생에만 피해를 주고 그 이후에 출현하는 유생에게는 피해를 주지 않는다, 반대로 $T-L$ 에서는 해사채취가 유생의 출현하는 마지막 단계에서 이루어지기 때문에 그 이전의 유생에게는 피해를 주지 않는다. 문제는 $<t_0+L$ 에서 $T-L>$ 로서 이 단계에서는 유생의 출현 중간단계에서 해사채취가 이루어지기 때문에 피해를 입는 유생의 수가 많게 됨을 알 수 있다.

특정지역의 해사채취에 의한 외부환경피해를 추정하기 위해서는 동 지역에 대한 유체역학적인 자료가 필수적이다. 즉 특정해역에 관한 표면용기의 분포, 조류, 온도, 염분 정도를 파악하여야 부유사의 확산범위를 예측할 수 있고 파악할 수 있다. 이들에 관한 연구는 국내외적으로 많이 이루어지고 있지만 본 연구에서는 이들 자료는 외생적으로 주어지는 것으로 한다.

이와 같이 부유물질의 운송경로에 관한 분석이 이루어지면, 부유물질이 수산자원에 미치는 생물학적 및 경제적 영향에 관한 분석이 가능하게 된다. 즉 특정 해사채취지역에서 부유물질의 발생에 따라 치명적인 영향을 받는 생물자원의 피해를 모형화할 수 있다.

〈그림 5-4〉

시간별 유생의 자원량



자료: 한국해양수산개발원, 「해사채취의 재정·경제·환경적 영향에 관한 연구(Ⅰ)」, 2004.

본 연구에서 해사채취 지역의 회복기간 동안 입계 되는 유생 및 치어의 피해(장기적 피해)의 모형화에서는 Beverton-Holt, 또는 cohort-, 또는 age-class model(Ricker, 1975)을 이용하였다. 이 모형을 통하여 개체의 각 연령별 수와 무게를 추정할 수 있다. age-class model은 치어나 나이 어린 생체의 사망으로 인하여 수년 동안 인지하지 못할 수 있는 수산자원(어획량)의 피해를 설명할 수 있다. 이 모형을 사용하면 해사채취 기간동안 어획 가능한 법적 크기보다 작은 생물의 사망으로 기인한 어획량 피해 (lost catch)를 추정할 수 있게 된다 (Grigalunas 등, 2001).

어장가입연령(어획 가능한 연령) 이전 단계 생물군의 개체수는 자연 사망률에 의하여 감소하고, 어장가입연령 이후에는 자연 사망률과 어획 사망률에 의해 감소하게 된다. 따라서 각 연령별(t) 개체의 수는 다음 식(6)과 같다.

$$N(t) = N(0)e^{-Mt} \quad \text{for } t < t_R \quad (6)$$

단, $N(0)$; 초기 개체수
 M ; 순간 자연사망율
 t_R ; 어장가입연령

$t > t_R$ 인 경우, 즉 어장가입연령 이후 일정기간이 경과한 후의 개체의 수는 다음 식(7)과 같다.

$$N(t) = N(t_R)e^{-(M+F)(t-t_R)} = N(0)e^{-(M+F)t} \text{ for } t > t_R \quad (7)$$

단, F ; 어획사망률

개체가 길이로 측정되어 있는 경우에는 다음 식(8)에 의하여 무게로 환산할 수 있다. 즉 Von Bertalanffy 방정식(Ricker, 1975)을 도입하여 각 연령별 개체의 성장을 모델링하였다. 각 연령별 개체의 길이는 최대 길이가 될 때까지 점차적으로 성장하는 것으로 가정하였으며, 개체의 무게는 길이 함수 관계에 의해 계산되어 진다.

$$L_t = L_\infty (1 - e^{-K(t-t_0)}) \quad (8)$$

단, L_t : 연령 t 에서의 길이
 L_∞ : 개체의 최대길이
 k : 연간 Brody 성장계수
 t_0 : 상수 (길이가 0이 될 때의 연령)⁴⁵⁾

L_t 가 연급(연령)군 t 에서의 길이, L_∞ 는 개체의 최대길이이며, k 는 연간 Brody 성장계수이고, t_0 는 길이가 0이 될 때 연령의 상수라고 하면, 개체의 무게는 식(9)에 의하여 도출된다.

$$W_t = aL_t^b \quad (9)$$

단, W_t : 연령 t 에서의 무게(g)
 a 및 b : 각 종별 상수

45) U.S. Department of the Interior, "Measuring Damages To Coastal And Marine Natural Resources: Concepts and Data Relevant for CERCLA Type A Damage Assessments Volume II", *CERCLA 301 Project*, January, 1987.

그리고 전체 수산자원의 스톡은 다음 식(10) 및 식(11)에 의하여 각 연령별 스톡의 합으로 나타낼 수 있으며, 총 어획량은 스톡에 어획 사망률을 곱산하여 얻을 수 있다(식12).

$$C_k = \int_{t_k}^{t_{\max}} FN(0) W_t e^{-Mt - F(t - t_R)} dt \text{ for } k > R \quad (10)$$

단, W_t : 시간 t 에서의 개체의 무게

$$C_k = \int_{t_R}^{t_{\max}} FN(0) W_t e^{-Mt + F(t - t_R)} dt \quad \text{for } k < R \quad (11)$$

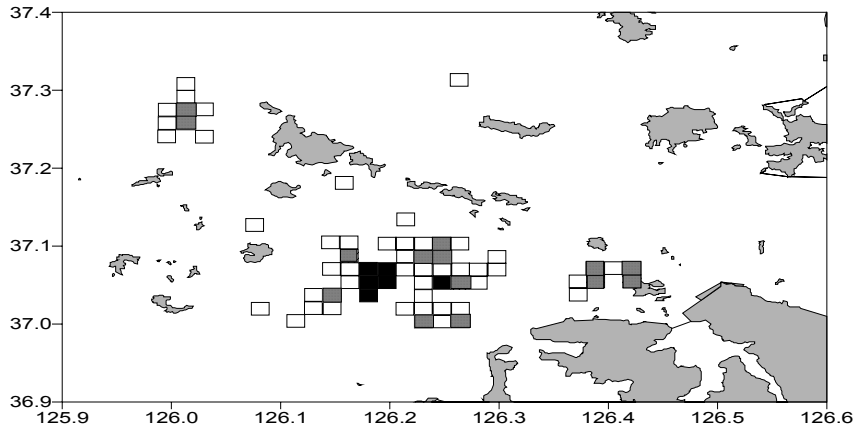
$$C = \sum_{k=1}^{t_{\max}} C_k \quad (12)$$

4) 경제학적 모형

본 연구의 궁극적인 문제는 어떻게 이러한 영향을 평가하고, 적절한 경제적 가치를 부여하느냐에 있다. 본 연구를 통하여 해사채취로 인하여 발생하는 상업적 어획량의 감소에 대하여 수년간의 사용 가치의 손실로 측정할 수 있다. 어획량의 상업적 가치는 상업적으로 어획된 수산생물의 판매 가격으로 나타난다. 이러한 시장 가격은 궁극적으로 실제 소비자의 수요를 반영하는 것이다.

손실된 어획량의 피해를 추정하기 위하여 본 연구에서는 어획 노력량의 변화는 없으며 따라서 어획 비용의 변화도 없다고 가정한다. 본 연구의 경우, 한 해사채취 지역(1해리×1해리)은 어획이 가능한 전체 지역에 비하여 매우 작은 지역이며, 전체 어획량과 비교하여 상대적으로 적은 양이기 때문에 이 가정은 합당하다고 본다. 따라서 일반적으로 어획량의 변동은 존재하므로, 어민들은 해사채취로 인한 어획량의 손실을 쉽게 인지하지 못할 것이며, 해사채취가 없는 경우와 같이 어획할 것이다.

〈그림 5-5〉 1998~2000년 해사채취 수역



자료 : 인하대학교 서해연안환경연구센터, 해사채취가 해양환경 및 해양생태계에 미치는 영향 Workshop, 2004.6.29.

본 연구에서는 위판 가격을 사용할 것이며, 어획 노력량과 비용에 변화가 없다고 가정할 것이다. 따라서 이러한 가정을 함으로써 감소한 어획량으로 발생한 가치 손실은 단순히 감소된 어획량에 현재의 상업적 어종⁴⁶⁾들의 위판 가격을 곱하여 얻을 수 있다.

그러므로 피해를 입은 수산자원의 외부비용은 식(13)과 같다.

$$PV = \sum P\Delta C(t)/(1+r)^t \quad (13)$$

단, PV : 손실된 어획가능량의 현재가치

r : 할인율

p : 어가(상업적 또는 레크리에이션)

46) 우리나라의 경우도 상업적 어종 이외 유어업(recreational fishery)에 의한 어획량도 점차 증가하고 있어 유어업에 의한 어획량도 포함되어야 할 것이나, 불행히도 우리나라는 아직 유어업에 관한 통계가 거의 없다고 할 수 있으므로 본 연구에서는 유어업은 고려하지 않았음.

4. 자료의 구성

위에서 설명된 모델을 적용하기 위해서는 생물학적 그리고 경제학적 자료가 필요하다. 생물학적으로 요구되는 자료는 각 생물 종별 생물량(gwwt), 길이와 무게 함수 등에 사용되어질 성장함수계수가 필요하며, 경제학적 자료로는 영향을 받는 종들의 어가, 현재가치 계산에 필요한 할인율 등의 자료가 요구된다.

우선 피해유형별로 요구되는 자료와 이들 자료의 구성 방법을 설명하면 다음과 같다.

1) 지역의 범위

자료는 경기만 지역을 중심으로 수집되었다. 그 이유는 첫째 경기만 지역은 우리나라에서 해사채취가 많이 이루어진 지역으로 수도권 해사공급의 80% 정도를 담당하고 있으며, 둘째는 우리나라의 경우 해사채취에 대한 환경조사가 제대로 이루어진 해역이 거의 없지만 경기만 일대에서는 다소 현장자료가 있었기 때문이다.

경기만은 인천(옹진), 경기도, 충청남도에 접한 해역으로 지금까지 옹진군과 태안군에 의하여 해사채취 허가가 많이 이루어졌다. 경기만중 옹진군에서 허가한 해사 채취는 공식적으로는 1984년도부터 이루어졌다. 1984~1988년도에는 200만 m^3 수준이었으나, 1989~1990년도에는 500만 m^3 수준으로 증가하였다. 그러나 1990년도에 이르러 기하급수적으로 허가량이 증가하여 1991년도에 800만 m^3 수준으로 1992년도에는 1천만 m^3 수준으로 그리고 2003년도에 약 2천만 m^3 수준으로 증가하였다 (표 5-3). 그리하여 공식적으로 허가한 해사채취 허가량은 총 약 2억 2천만 m^3 수준에 이른다. 그러나 실질적으로 채취된 바다골재량은 이보다 많을 것으로 보인다.

〈표 5-3〉

웅진군 바다골재 채취 허가 현황

년도	허가업체수	허가량(천 m ³)	허가건수	비고
1984	10	2,202		
1985	14	2,715		
1986	12	2,612		
1987	14	2,652		
1988	13	2,652		
1989	13	5,026		
1990	13	5,236	32	
1991	13	9,314	38	
1992	14	10,540	35	
1993	18	13,280	38	
1994	17	14,638	47	
1995	19	14,406	55	
1996	19	17,180	65	
1997	17	19,480	59	
1998	17	13,320	49	
1999	17	15,650	90	
2000	16	17,274	96	
2001	15	16,575	120	
2002	17	19,143	137	
2003	17	18,950	148	
계		221,845		

자료 : 인하대학교, 「해사채취가 해양환경 및 해양생태계에 미치는 영향 workshop」, 2004.

웅진군에서 허가한 바다골재 채취 허가구역은 주로 선갑도 주변해역, 풍도 주변해역 그리고 소이작도 북쪽해역이었던 것으로 보인다.

한편 충남 태안군은 아산만 및 경기만의 해사채취를 1989년부터 허가한 것으로 알려져 있다. 1989~1990년도에는 약 30만 m³ 수준을 보이던 것이 1991~1992년도에는 약 60만m³ 수준으로, 1993~1995년도에 급격히 증가하여 1995년도에는 3백만 m³수준에 이른다. 그리고 1996~1999년에는 다소 감소하여 약 250만 m³수준에 이르고 2000년도부터 다시 증가하여 450만 수준에, 2002년도에는 다시 급격히 증가하여 1,650만 m³수준에 이르고 있으며, 2003년까지 총 56,624,519 m³의 해사가 채취되었다(<표 5-4> 참조).

태안군이 허가한 지역은 아산만 일대의 사퇴와 장안퇴의 외해역에서 주로 집중되어 있다.

〈표 5-4〉

태안군 해사채취 현황

년 도	허가건수	채취량 (m ³)	비 고
1989	4	291,575	
1990	3	269,760	
1991	9	574,588	
1992	7	598,587	
1993	7	830,000	
1994	11	1,130,000	
1995	12	3,000,000	
1996	17	2,350,000	
1997	17	2,500,000	
1998	20	2,930,000	
1999	15	2,250,000	
2000	41	4,800,000	
2001	35	4,600,000	
2002	122	16,500,000	
2003	149	14,000,000	
계		56,624,510	

자료 : 인하대학교(2004).

2) 단기적 피해

단기적 피해는 해사채취에 의하여 직접적으로 피해를 입는 저서생물의 성어가 입는 피해를 의미한다. 따라서 이를 정량화하기 위해서는 직접피해를 입는 정착성 생물의 종류, 그리고 이들 어종(생물)의 생물량(biomass) 자료 등이 필요하다.

(1) 대상 어종(Target 어종)의 선택

본 Bio-economic 모델을 이용하여 수산자원의 피해를 명확히 추정하기 위해서는 해사채취로 영향을 받는 모든 생물에 대한 자료가 필요하다. 그러나 현실적으로 모든 해양생물의 자료를 구하는 것은 어려우며, 또한 모든 해양생물들이 상업적 가치를 가지는 것은 아니기 때문에, 어느 정도 단순화하여 피해를

추정하는 것이 불가피하다. 따라서 해사채취로부터 영향을 받는 종들 중에서 상업적으로 가치가 높은 종들을 선택하여 피해 정도를 추정하고자 한다.

해저의 지형은 보통 니질, 사질, 자갈, 니사질 등으로 구분하는데, 이러한 해저의 토양에 따라 정착하는 어종도 달리 나타난다고 할 수 있다.⁴⁷⁾ 해사채취가 이루어지는 해역은 해저가 사질로 구성된 해역이라고 보아야 할 것이다. 일부의 경우 모래층 상부가 얇은 니질로 되어 있더라도 이를 벗겨내고 그 아래의 모래를 채취하는 경우도 있겠지만 이런 경우는 흔치 않을 것이므로, 대상어종은 첫째, 모래층에서 정착하는 어종(성어)이 되어야 할 것이다. 둘째, 상업적으로 가치 있는 어종만을 대상으로 한다. 상업적(경제적)으로 가치 있는 어종이 아니면 어민 소득 등에 직접적인 영향은 주지 않기 때문이다. 물론 상업적 어종이 아닌 경우에는 먹이망(food web)의 관계에서 다른 생물의 먹이와 관계되기 때문에 2차적으로 다른 상업적인 어종의 자원량 감소를 야기한다고 볼 수 있지만 이러한 피해는 직접적이고 단기적인 피해에 포함되지 않고 간접적인 피해에 포함되어 고려될 것이다.

경기만 일대의 모래로 된 해저층에 서식하는 정착성 어종을 파악하기 위해서 기존의 여러 문헌과 1999년도 및 2001년도 인하대학교 등에서 수행된 현장조사사업의 결과를 참조하였다. 경기만 해역에서 서식 분포하는 어종은 대개 인천수협공판장 등 인천지역 부근의 위판장에서 거래되는 어종이라고 간주하면 큰 무리가 없으며, 이들 어종 중 모래층에 서식하는 어종을 파악하기 위해서 국립수산물과학원, 한국해양연구원, 서울대학교 등이 발간하는 문헌, 보고서, 논문 등을 참조로 하였다. 그리고 정착성 어종을 구분하기 위해서 연안통발에 의하여 어획되는 어종을 대상으로 하였다. 여러 가지의 어업 방법 중 해저표면에 서식 분포하는 생물을 포획하는 종류는 연안에서는 연안통발 정도로 보아야 하기 때문이다. 만약 연구 해역이 근해라면 근해기선저인망에서 어획되는 어종을 고려하여야 할 것이나 연구 해역이 연안이기 때문에 연안통발에 의하여 어획되는 대상을 고려하였다. 그리고 앞서 언급한 조건 등에 해당된다고 해서 모든 어종을 포함하면 너무 번잡해 지기 때문에 경제적 가치가 큰 주요 어종, 즉 생산량이나 어획고(금액) 면에서 어는 정도 상당한 비중을 차지하는 어종만을 분석대상으로 하였다. 즉, 대상(Target) 어종은 1) (성어단계에서) 모래

47) 부록2 <서식환경에 따른 해양생물군의 분류> 참조.

층에 서식분포하는 어종, 2) 정착성 어종(benthic 및 demersal fishes), 3) 경기만 일대의 연안, 4) 상업적 가치가 큰 어종이라는 조건을 동시에 만족하는 어종이라고 할 수 있다. 즉 인천수협공판장에서 연안통발로 어획되며 어획량이나 어획고에서 다소 비중이 높은 어종을 선정한 결과 꽃게, 기타게, 기타 새우류(갑각류), 조피볼락, 소라고둥이다.

<표 5-5>는 2000년부터 2002년도 3년간의 연안통발의 어획량 및 어획고 통계이다. 연안통발에 의하여 약 30개 어종이 어획되고 있는 것으로 나타나는데, 이중 모래층에서 서식하는 어종 중 꽃게, 기타게, 기타 새우류(갑각류), 조피볼락, 소라고둥이 어획량이나 어획고 측면에서 중요한 어종으로 나타났다. 이들 대상 어종이 전체 통발어업에 의한 어획에서 차지하는 비중은 금액기준으로 보면 약 80% 이다. 서해안의 모래로 된 정착성 생물에 갯지렁이가 많이 분포하고 상당한 양이 어획되고 있으나 주로 유어업(recreational fishing)⁴⁸⁾의 미끼로 사용되고 있어 정확한 추정이 이루어지고 있지 않다. 따라서 갯지렁이 자원도 상당한 피해를 받을 것으로 짐작할 수 있다.

<표 5-5> 단기적 피해의 대상 어종

대상 어종의 요건	대상 어종
1) (성어단계에서) 모래층에 서식분포하는 어종, 2) 정착성 어종(benthic 및 demersal fishes), 3) 경기만 일대의 연안, 4) 상업적 가치가 큰 어종	꽃게, 기타게, 기타 새우류(갑각류), 조피볼락, 소라고둥

(2) 생물량

생물량의 단위는 단위면적당 개체수 또는 중량이나 단위부피당 개체수 또는 중량이다. 상기 대상 어종들의 생물량 중에서 성어의 생물량을 파악하여 여기에 단위 kg당 면적을 적산하게 되면 단위면적당 피해를 정량화할 수 있다.

48) 갯지렁이 이외에도 유어업의 생산량도 점차 증가하고 있어 금액으로 환산하면 상당할 것으로 추정하고 있으나 유어업에 관한 통계가 거의 전무하여 본 연구에서는 포함되지 않음.

<표 5-6>

대상 어종의 생물량 자료

어종	자원량(kg/km ²)			
	겨울	봄	여름	가을
꽃게	0.0	36.4	147.8	48.0
기타게	0.8	1.6	0.0	51.6
새우류	1.0	0.8	2.4	1.3
소라고둥	0.0	27.5	0.0	12.9
조피볼락	1.1	16.7	9.0	25.3
가자미	0.0	1.7	12.1	0.0
광어	0.0	0.0	8.5	40.2
굴	8.7	7.2	0.0	0.0

자료: : 인하대학교 제공.

기존 문헌이나 자료를 조사한 결과 이들 대상 어종 중 꽃게(Blue Crab)⁴⁹⁾⁵⁰⁾를 제외하고는 생물량에 대한 자료가 매우 미약하였다. 본 연구에서의 각 종별 생물량에 대한 자료는 한국굴재협회 인천지회에서 연구한 용역보고서(2002)의 생물학적 실험결과를 사용하였다. 동 자료를 재구성하여 target 어종의 계절별 생물량(자원량) 자료는 <표 5-6>과 같다.

(3) 가격

생물량 자료는 생물학적 모형에 있어서 개별 어종별 자료는 경제적 모형에 있어서 핵심적인 자료가 된다. 우리나라는 모든 상업적 어종의 가격이 수협의 공판장이나 위판장에서 거래되는 가격을 기준으로 계산될 수 있다.

어가를 결정함에 있어서 중요한 점은 어느 시점의 가격을 선택하느냐의 문제이다. 어가는 거래 시점마다 달리 나타나기 때문이다. 또한 어가는 수요 공급에 의하여 결정되기 때문에 자원이 풍부하여 어획량(공급)이 많은 시점에는

49) 박주석·강용주·장창익, “천해어장에서 인위적 환경훼손에 의한 어업생산 감소량 추정방법”, 「한국수산학회지」, 36(4), 2003.

50) In Ja Yeon, Young Joo Kang and Chang Ik Zhang, “Growth and Mortality of Blue Crab *Portunus Trituberculatus* in the East China Sea”, *Journal of the Korean Fisheries Society*, 1998.

가격이 상대적으로 떨어지고, 어획량이 적은 시점에서 어가는 상대적으로 높게 결정된다.

따라서 본 연구에서는 <표 5-7>과 같이 1998~2002년도 5년간의 연도별 평균가격의 평균을 사용하였다. 표에서 보듯이 꽃게, 새우류 등은 계절에 따라 가격차이가 매우 크기 때문에 평균가격을 사용하는 것이 합리적이라고 할 수 있을 것이다.

<표 5-7>

주요 어장의 어가

단위 : 원

어종	겨울	봄	여름	가을	평균
꽃게	19,055	13,640	6,133	11,157	10,579
기타게	7,229	6,388	3,843	4,226	5,131
새우류	-	11,050	23,710	27,088	25,358
소라고둥	2,515	2,212	2,369	2,508	2,369
조피볼락	8,547	8,364	10,037	8,785	8,714
가자미	4,956	9,734	10,648	9,016	9,087
광어	8,184	8,390	15,562	9,365	8,945
굴	2,346	1,481	827	1,119	1,190

자료: 웅진군수협, 「웅진군수협계통판매통계」, 2004.

3) 장기적 피해

장기적 피해는 앞에서 언급하였듯이 두가지로 구분하여 산출하여야 한다. 하나는 해저면에 정착하는 유생이나 어란, 자치어 등이 입는 피해로 해역의 생태계 피해 이전의 균형상태로 회복되기까지의 피해이며 다른 하나는 바지선에서 넘쳐흐르는 부유물질의 확산으로 바지선 주변의 표층에 분포하는 어란이나 유생이 입는 피해이다.

(1) 대상 어종

우리나라에서는 보통 직경 26인치(약 80cm) 정도의 샌드파이프를 모래층에 박아서 펌핑하기 때문에 예인하는 채취선보다 해저 표면을 교란하는 정도는

작으나⁵¹⁾ 파이프로 많은 양을 펌핑하는 경우 주변이 함몰하게 되어 직경 100m 내지 200m, 심한 경우에는 직경 수백 m의 구덩이가 형성되어 해저면의 교란이 발생하게 되며 해저면에 정착서식하는 유생이나 어란, 자치어 등이 몰사하거나 피해를 받을 수 있다. 이에 해당하는 어종은 직접적인 단기피해에서와 동일한 어종이다.

또 하나의 장기적 피해는 부선(바지선)으로부터 넘쳐흐르는 부유물질에 의하여 피해를 받는 표층의 어란이나 유생에 대한 피해이다. 자체 유영능력을 갖춘 성어나 자치어는 부유물질로부터 피할 수 있기 때문에 피해가 없다고 전제하며, 부유물질의 확산 범위 내에 속한다 하더라도 중층이나 저층의 어란이나 유생도 피해가 없는 것으로 간주하였다. 기존 문헌이나 전문가의 의견에 따르면, 부유사의 농도는 저층으로 내려갈수록 부유물질이 희석되어 농도가 낮아지며 따라서 부유물질의 영향이 점차 사라진다는 것이다. 부유물질의 확산범위는 부유물질의 양, 부유퇴적물의 특성, 채취방법, 주변 해수의 물리학적 특성 등에 의해 달라지는데, 수백 m에서 수십 km, 수시간으로부터 수일간 부유현탁물이 바다물 중에 떠다니게 된다.⁵²⁾ 그리고 부유현탁물의 농도는 일반적으로 수천 mg/l 에 이르기기도 한다.⁵³⁾

표층 부유사의 영향을 받는 부유성 어란 및 자치어의 경우, 한국골재협회 인천지회에서 연구한 용역보고서(2002)⁵⁴⁾를 토대로 해사채취지역에서 채집된 부유

51) 일반적으로 trailer suction hopper dredge(트레일러 흡입식 채취선)에 의한 채취방법이 전 세계적으로 널리 사용되고 있음. TSHD에는 운항기능이 자체적으로 부착되어 있으며, 채취된 해사를 부두에서 하역할 수 있는 기능을 갖춘 것도 있음. 운항속도를 2~3노트로 유지하면서 넓은 지역을 움직이며 약 10~30cm의 표면 해사를 채취하며, 수심이 32m 정도 넘을 경우 채취펌프를 해저면의 파이프까지 내려서 사용할 수 있음. TSHD의 장점은 tug boat를 별도로 필요로 하지 않아 운항에 편리함이 있으며, 30,000톤 이상의 대량채취가 가능함. 단점으로는 해저면 표면층을 넓은 범위로 교란하게 되어, 최근에는 해저생태계 파괴에 대한 높은 우려를 낳는 방법으로 알려져 있음. 한편 우리나라에서 널리 사용되고 있는 정박식(anchored) tug barge시스템은 주로 중소형(1,000~10,000m³)채취에 사용되며, 한 곳에서 정박하여 채취를 하게 되어 해저바닥에 내려진 흡입 파이프의 유동 그리고 채취 바지선의 정박 중 유동에 따른 수십~수백 미터 반경의 웅덩이가 생성됨. 이 때 주변 해저면으로부터의 수심변화는 약 50cm에서 최대 10m 이상까지 일어날 수 있다. 일반적인 채취수심은 약 30m이내이지만, 흡입펌프의 재원에 따라 최근에는 최대 120m 수심에서도 채취가 가능함.

52) 조동오·장학봉, *Op.cit.*, 2003, p.73.

53) 조동오·장학봉, *Op.cit.*, 2003, p.73.

54) 한국골재협회 인천지회, 「경기만내 해사부존량 추정 및 해사채취에 따른 환경영향연구」, 2002.6.

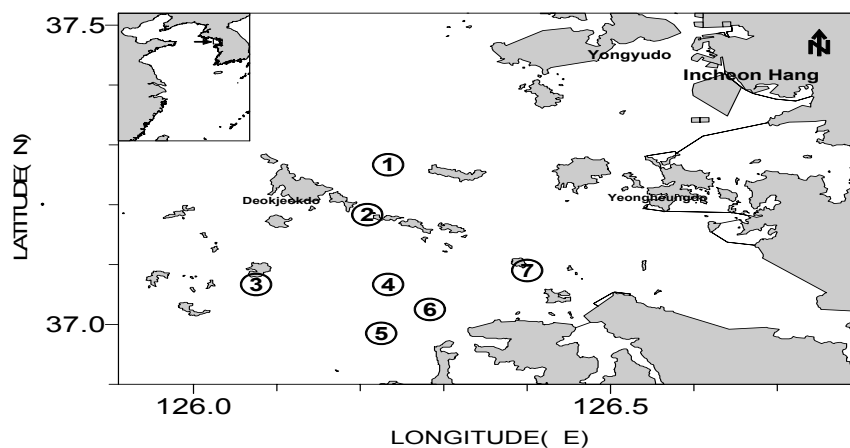
성 어란 및 자치어 중 상업적으로 가치를 가지는 어종을 선정하였다. 이에 해당되는 어종은 서대류(어란), 그리고 쥐노래미와 볼락(자치어)이다(<표 5-8> 참조).

(2) 생활사(life history) 자료

장기적 피해를 모델에 적용하기 위해서는 대상어종들에 대한 생활사(life history)에 대한 자료가 필요하다. 생활사에 대한 자료는 대상 어종에 대한 성장식, 어장가입 연령, 체장-체중관계식, 최대 수명, 자연 사망률, 어획 사망률 등을 포함한다. 국내의 문헌조사를 통하여 지금까지 최대한 수집한 결과 대상 어종들 중 꽃게나 조피볼락, 새우류 이외의 어종에 대한 자연 사망률, 어획 사망률 등은 거의 구할 수 없었으며⁵⁵⁾ 따라서 미국의 NRDAM/CME 데이터베이스를 이용하였다.⁵⁶⁾

표층의 어란과 유생에 대한 자료는 2001년 인하대학교에서 조사한 자료를 사용하였다. 본 조사시 조사정점은 <그림 5-6>과 같다.

<그림 5-6> 조사 정점도



55) 이들에 대한 자료가 전혀 없는 경우도 있고, 정리가 되지 않아서 외부에 공개되지 못하고 있는 경우도 있음.

56) 미국의 자료를 인용한다고 해서 본 연구의 신뢰성을 크게 훼손하지는 않을 것으로 보임. 같은 어종이기 때문에 생육환경이 다르다 할지라도 터무니없이 다르지는 않을 것이기 때문이다.

〈표 5-8〉

Life History에 대한 자료

종 명	Mortality (사망률)		Length vs Age (체중-체장관계식)			Weight vs Length		t_R	Life
	F	M	L_∞ (cm)	K	t_0	a	b	Age	Span
꽃게	90.0%	9.5%	26.8	0.144	-1.695	0.0588	3.0	0.5	2
기타게	90.0%	9.5%	26.8	0.144	-1.695	0.0588	3.0	0.5	2
새우류	13.9%	84.1%	20.1	0.018	0.012	0.0116	3.002	150	1
소라고둥 ¹⁾	45.1%	9.5%	8.6	0.356	-0.337	0.110	2.820	2.0	10
조피볼락 ²⁾	39.3%	18.1%	50.6	0.310	-0.050	0.015	3.015	2.0	10
가자미	22.1%	10.4%	49.3	0.182	-0.222	0.009	3.055	4	10
광어	22.1%	10.4%	187.3	0.060	-1.020	0.012	3	3	13
굴	25.9%	39.3%	13.7	0.551	-0.365	0.087	2.21	2	25

<설명> F : 어획 사망률, M : 자연 사망률, L_∞ (cm) : 최대 성장 길이, K : 연간 Brody 성장계수, t_0 : 최장이 0 mm 가 될 때의 나이, a, b : 체장-체중 관계식의 상수, Life Span : 최대 수명

자료 : 해양수산부 국립수산진흥원, 「배타적경제수역(EEZ) 주요 어업자원의 생태와 어장」, 2000. 9에서 재구성.

주 : 1) 임양재·황선도, “서해 연안 조피볼락, *Sebastes schlegeli*의 연령과 성장”, 한국어류학회지 vol 4. 2004.

2) 미국의 Softshell Clam 자료 참조. James J. Opaluch, Thomas A. Grigalunas, Meifeng Luo, and Gina Shamshak, “The Economic Cost to Fisheries from Marine Disposal of Dredged Sediments at Two Potential Sites in Rhode Island Sound, October, 2003.

3) 연평어장, 꽃게 산란지 조사 및 자원평가 연구와 In Ja Yeon, Young Joo Kang and Chang Ik Zhang, “Growth and Mortality of Blue Crab *portunus trituberculatus* in the East China Sea”, Journal of the Korean Fisheries Society, 1998. 참조

(3) 가격 자료

장기적 피해를 산출하기 위한 어가 자료도 앞에서 언급한 단기적 피해의 자료와 유사하다. 위 모형의 적용에 필요한 경제학적 데이터는 영향을 받는 어종들의 상업적 가격이다. 본 연구에서는 해사채취 지역에 대하여 웅진군 수협 계통 판매가격 데이터를 사용하였다. 사용된 데이터는 최근 5년간(1999~2003) 웅진군 수협 계통자료이다. 왜냐하면 현재 해사채취가 이루어지고 있는 경기만 지역의 대부분이 웅진군에 속하며, 이 지역의 어업형태는 영세성 연안어업으로

써 대부분 웅진군 연해 지역에서 어업행위를 함으로 이 지역의 수협 계통자료가 비교적 정확하기 때문이다. 또한 웅진군 수협 계통 판매가격의 통계 자료는 연도에 따라 큰 오차가 있을 수 있으므로, 5년간의 평균 가격(2003년 가격으로)을 사용하는 것이 적절하다고 판단하였다. 5년간 웅진군 수협 계통가격에 대한 자세한 내용은 부록에 잘 나타나 있다.

그리고 장기적 피해의 추정을 위해 미래의 연간 손실을 현재의 가치로 환산하기 위하여 5%의 할인율을 적용하였다.⁵⁷⁾

〈표 5-9〉 경인 지역 연안통발 어획량(2000~2002년)

단위 : MT/천 원

어종	2000년				2001년				2002년			
	계 통		비계통		계 통		비계통		계 통		비계통	
	생산 량	생산 금액	생산량	생산 금액	생산 량	생산 금액	생산 량	생산 금액	생산 량	생산 금액	생산 량	생산 금액
가오리류	-	3,194	-	-	-	-	-	-	-	1,456	-	-
가자미류	-	621	-	-	-	26	-	-	-	403	-	-
갈 치	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8,506	-	-
넙 치 류	-	1,850	-	-	-	177	-	-	-	977	-	-
농 어	-	1,894	-	-	-	65	-	-	-	2,337	-	-
망 등 어	-	272	-	-	-	10	-	-	-	542	-	-
민 어	-	916	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
병 어 류	6	18,528	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
북 어 류	-	961	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
조피볼락	3	24,817	-	-	1	13,957	4	47,250	-	5,237	-	-
기타볼락	7	76,288	4	78,559	-	9,220	-	-	-	6,858	-	-
삼 치 류	-	605	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
상 어 류	-	44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
서 대 류	-	274	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
송 어 류	-	-	-	-	-	-	-	-	-	219	-	-
아 귀	-	396	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
양 태	2	5,461	-	-	-	467	-	-	-	623	-	-
붕 장 어	-	647	-	-	-	2,707	1	9,900	-	2,552	-	-
홍 어	-	2,154	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
기타어류	6	13,392	-	5,500	1	4,347	2	10,463	-	3,853	-	-

57) 우리나라의 경우 할인율은 7~8% 정도 적용하고 있으나 최근 금리의 하락을 반영하여 5% 정도를 적용하였음.

경인 지역 연안통발 어획량(2000~2002년)〈계속〉

어종	2000년				2001년				2002년			
	계 통		비계통		계 통		비계통		계 통		비계통	
	생산 량	생산 금액	생산량	생산 금액	생산 량	생산 금액	생산 량	생산 금액	생산 량	생산 금액	생산 량	생산 금액
꽃 게	338	3,212,877	-	-	442	4,169,003	-	-	733	6,301,271	-	1,365
붉은대게	-	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
기 타 게	430	1,976,238	7	38,945	313	1,737,583	5	28,013	246	1,224,289	-	-
대 하	-	256	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
가타갑각류	56	218,321	-	-	60	332,602	-	-	66	319,405	-	-
소라고둥	366	725,811	7	21,738	381	777,682	-	-	231	547,208	-	1,492
꿀 뚜 기	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	-	-
낙 지	-	20,356	8	69,900	11	98,341	11	76,163	13	132,269	-	-
쭈꾸미	9	50,419	-	-	3	20,905	-	-	7	50,571	-	-
가타양생물	-	-	-	-	1	3,431	-	-	-	-	-	-

자료: 해양수산부, 「어업생산량통계」, 2004.

〈표 5-10〉

경기만 내 부유성 어란 및 자치어 분포

Month	어란(Egg)	자치어(Larvae)
2001. Jan.	-	Pholis fangi(흰베도라치): 9,730/1062m ³ Hexagrammos otakii(쥐노래미): 20/1062m ³
Feb.	-	Pholis fangi(흰베도라치): 1,328/1062m ³ Lateolabrax japonicus(농어): 7/1062m ³
Apr.	-	Pholis fangi(흰베도라치): 50/1062m ³ Unid I: 7/1062m ³
May	Engraulis japonicus(멸치): 89/1062m ³ Unid I: 516/1062m ³ Unid II: 508/1062m ³	Sebastes inermis(불락): 522/1062m ³ Gobiidae sp.(망둥어과): 20/1062m ³
Aug.	Cynoglossidae sp.(참서대과): 1,549/1062m ³ Sardinops melanostictus(정어리): 2,033/1062m ³ Sardinella zunasi(밴댕이): 2,338/1062m ³ Engraulis kaponicus(멸치): 60/1062m ³ Callionymidae sp.(돛양태과): 230/1062m ³ Unid. III: 50/1062m ³ Unid. IV: 19/1062m ³	Callionymidae sp.(돛양태과): 42/1062m ³ Syngnathus schlegeli(실고기): 20/1062m ³ Gobiidae sp.(망둥어과): 11/1062m ³ Hippocampus aterremus(진갈해마): 10/1062m ³

경기만 내 부유성 어란 및 자치어 분포(계속)

Month	어란(Egg)	자치어(Larvae)
Sep. (Before mining)	Cynoglossidae sp.(서대류): 13/1062m ³	Repomucenus richardsonii(동갈양태): 57/1062m ³
Sep. (After mining)	Cynoglossidae sp.(서대류): 63/1062m ³	Repomucenus richardsonii(동갈양태): 63/1062m ³
Oct.	Lateolabrax japonicus(농어): 448/1062m ³	Gobiidae sp.(망둥어과): 9/1062m ³
Dec.		Hexagrammos otakii(쥐노래미): 74/1062m ³ Pholis fangi(흰베도라치): 17/1062m ³ Gobiidae sp.(망둥어과): 10/1062m ³
2002. Jan.		Pholis fangi(흰베도라치): 19,256/1062m ³ Hexagrammos otakii(쥐노래미): 159/1062m ³
Apr.		Pholis fangi(흰베도라치): 235/1062m ³

자료: 한국굴재협회 인천지회, 「경기만내 해사부존량 추정 및 해사채취에 따른 환경영향연구」, 2002. 6에서 재구성.

5. 분석의 결과

1) 분석의 결과

앞에서 설명한 모형, 자료 그리고 전제된 가정을 이용하여, 해사채취 지역에 대한 상업적으로 가치 있는 수산자원의 계절별 피해를 추정하였다. 아래에 보여진 결과들은 기본적인 경우의 결과로서, 다음의 표에 잘 나타나 있다. 표에서 보여주는 모든 경제적 값들은 2003년의 현재 가격으로 할인된 것이다.

앞에서 사용된 자료들을 사용하여 도출된 결과를 요약하면 다음과 같다.

단일해사채취지역에서 1년 동안의 해사채취가 이루어졌을 경우, 어종별 단기적 피해를 살펴보면 아래와 같다. 어종별로 보면, 꽃게, 기타게, 새우류의 경우 연령이 0.5~2년생에서 피해가 두드러졌으며 특히, 꽃게의 경우 0.5년생에서 피해의 정도가 436.8kg으로 가장 심했다.

〈표 5-11〉

단기¹⁾ 어획손실

단위 : kg

연령군(년)	꽃게	기타게	새우류	소라고둥	조피볼락	기타 ²⁾	합계
0.4			1.1				1.1
0.5	436.8	152.4	0.2				589.5
1	84.1	29.4	0.0				113.5
2	11.1	3.9		33.8	9.2	4.0	62.0
3				5.8	10.1	5.6	21.5
4				4.2	8.0	7.0	19.3
5				2.6	5.4	6.9	14.9
10				3.2	7.1	25.9	36.1
20						5.9	5.9
25						0.0	0.0
합계	532.0	185.7	1.4	49.7	39.8	55.3	863.9

주: 1) 단기영향은 1년간의 해사채취기간 동안의 어획손실임.

2) 기타어종은 가자미, 광어 등임.

단일해사채취지역에서 1년 동안의 해사채취가 이루어졌을 경우, 단위 해사채취지역에서 발생하는 어종별, 연령별 단기피해액은 금액으로 환산하면 약 743만 3천 원 정도이다.

〈표 5-12〉

어종별, 연령별 단기피해액(2003년 가격)

단위 :천 원

연령군(년)	꽃게	기타게	새우류	소라고둥	조피볼락	기타	합계
0.4			29				29
0.5	4,575	774	5				5,354
1	881	149	1				1,031
2	117	20		79	79	5	300
3				13	86	30	129
4				10	69	53	132
5				6	48	56	110
10				7	62	226	295
20						53	53
25						0	0
합계	5,573	943	35	115	344	423	7,433

단일해사채취지역에서 1년 동안의 해사채취가 이루어졌을 경우, 단위 해사채취 지역의 장기피해액은 약 239만 6천 원 정도라고 할 수 있다. 어종별로 보았을 때, 꽃게에 미치는 피해가 179만 7천 원으로 전체의 75.0%를 차지하고 있다.

〈표 5-13〉 어종별 장기피해액(2003년 가격)

단위 : 천 원, %

어종	꽃게	기타 게	새우류	소라고둥	조피볼락	기타	합계
현재가치	1,797 (75.0)	304 (12.7)	11 (0.5)	37 (1.5)	110 (4.6)	137 (5.7)	2,396 (100.0)

단일해사채취지역에서 1년 동안의 해사채취가 이루어졌을 경우, 단위 해사채취 지역에서 어획되는 어종의 연령별 피해는 다음의 표와 같다.

〈표 5-14〉 연령별 피해

단위 : kg

연령군별 어획손실	0.4	0.5	1	2	3	4	5	10	20	25
0.4	1.1									
0.5	589.5	589.5								
1	113.5	113.5	113.5							
2	62.0	62.0	62.0	62.0						
3	21.5	21.5	21.5	21.5	21.5					
4	19.3	19.3	19.3	19.3	19.3	19.3				
5	14.9	14.9	14.9	14.9	14.9	14.9	14.9			
10	36.1	36.1	36.1	36.1	36.1	36.1	36.1	36.1		
20	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	5.9	
25	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
합계	863.9	862.8	273.3	159.8	97.8	76.3	57.0	42.1	5.9	0.0

단일해사채취지역에서 1년 동안의 해사채취가 이루어졌을 경우, 단위 해사채취 지역에서 발생하는 어류의 연령별 회복기간 동안의 장기피해액을 살펴본 결과, 연령이 0.5인 어종의 어획손실 피해가 308만 7천 원으로 가장 높았으며 연령이 2인 어종이 129만 5천 원으로 나타났다.

〈표 5-15〉 연령별 장기피해액(2003년 가격)

단위 : 천 원

연령군	0.4	0.5	1	2	3	4	5	10	20	25
현재가치	13	3,087	539	1,295	1,178	448	323	621	56	0

또한, 단일해사채취지역에서 1년 동안의 해사채취가 이루어졌을 경우, 단위 해사채취 지역에서 발생하는 간접 영향의 피해액은 약 491만 6천 원 정도라고 할 수 있다. 어종별로 살펴보면, 꽃게의 피해가 368만 5천 원으로 가장 많은 피해가 발생하였음을 알 수 있다.

〈표 5-16〉 어종별 간접 피해액(2003년 가격)

단위 : 천 원, %

어종	꽃게	기타게	새우류	소라고둥	조피불락	기타	합계
현재가치	3,685 (75.0)	624 (12.7)	23 (0.5)	77 (1.5)	228 (4.6)	279 (5.7)	4,916 (100.0)

정리하여 보면, 해사채취지역에서 발생하는 수산자원의 피해액을 어종별로 구분하여 살펴본 결과, 총 피해액은 4억 4,600만 원 정도였다. 이를 어종별로 살펴보면, 꽃게가 2억 8,500만 원으로 전체의 64.0%를 차지하여 가장 많은 피해를 입은 것으로 나타났다.

〈표 5-17〉 어종별 피해액(2003년 가격)

단위 : 백만 원, %

지역	꽃게	기타게	새우류	소라고둥	조피불락	기타	합계
현재가치	285 (64.0)	48 (10.8)	2 (0.4)	10 (2.2)	37 (8.3)	64 (14.3)	446 (100.0)

위에서 살펴본 피해를 단기, 장기 그리고 간접 피해로 구분하여 살펴본 결과는 다음의 표와 같다. 이 결과를 보면 장기적 영향이 전체의 1억 9,900만 원으로 전체의 44.6%를 차지하고 있으며, 단기적 피해와 간접 피해는 각각 33.4%와 22.0%를 차지하고 있다.

〈표 5-18〉 단기, 장기 및 간접 피해액(2003년 가격)

단위 : 백만 원, %

지역	단기	장기	간접	합계
현재가치	149 (33.4)	199 (44.6)	98 (22.0)	446 (100.0)

예를 들어, 20개의 해사채취지역에서 5년 동안 해사채취가 이루어졌을 경우, 20개의 해사채취지역에서 발생하는 상업적 어종의 피해를 단기, 장기, 간접 피해로 구분하여 살펴본 결과, 단기적 피해가 20억 9천만 원으로 전체의 50.4%를 차지하고 있으며, 장기적 피해와 간접 피해도 각각 21.8%, 27.8%로 나타났다.

〈표 5-19〉 5년간의 해사채취로 인한 단기, 장기 및 간접 피해액(2003년 가격)

단위 : 백만 원, %

지역	단기적 피해	장기적 피해	간접피해	합계
현재가치	2,090 (50.4)	903 (21.8)	1,154 (27.8)	4,147 (100.0)

20개의 해사채취지역에서 10년 동안 해사채취가 이루어진다고 가정하고, 20개의 해사채취지역에서 발생하는 상업적 어종의 피해를 단기, 장기, 간접 피해로 구분하여 살펴본 결과, 단기적 피해가 71억 3,400만 원으로 전체의 57.1%를 차지하고 있으며, 장기적 피해와 간접 피해도 각각 12.9%, 30.0%로 나타났다.

〈표 5-20〉 10년간의 해사채취로 인한 단기, 장기 및 간접 피해액(2003년 가격)

단위 : 백만 원, %

지역	단기	장기	간접	합계
현재가치	7,134 (57.1)	1,607 (12.9)	3,761 (30.0)	12,502 (100.0)

다음으로 분석에 있어 기본가정의 변화에 따른 민감도 분석을 실시한 결과는 다음과 같다. 민감도 분석에서는 해사채취지역의 회복기간을 8개월로 보는 경우, 그리고 간접영향을 단기피해의 100%로 보는 경우로 하여 분석한 결과, 10년간의 해사채취는 적어도 170억 원 정도의 피해를 가져올 수 있는 것으로 추정되었다.

〈표 5-21〉

민감도 분석(2003년 가격)

단위 : 백만 원

구분	기본가정	기본가정과 서식지회복기간 (8개월)	기본가정과 100%의 간접 영향	서식지회복 8개월+100%의 간접 영향
20개의 지역에서 1년간의 해사채취	446	514	544	636
5년간의 해사채취	4,148	4,457	5,302	5,718
10년간의 해사채취	12,502	13,053	16,263	17,004

위에서 보여주는 결과는 단지 해사채취 지역 내의 주요 어종을 대상으로 한 결과이며, 나머지 모든 영향을 받는 어종들을 모두 고려하였을 경우에는 해사채취로 인한 수산자원의 피해액은 훨씬 많음을 예상할 수 있다. 그리고 위의 결과는 또한 단위 해사채취지역의 피해액을 예시로 보여준 것이다. 해사채취가 동시에 집중적으로 이루어진다면 해사채취에 따른 수산자원의 피해는 훨씬 클 것으로 예상된다.

2) 향후 연구 방향

본 분석의 결과는 몇 가지 측면에서 한계를 지니고 있다. 첫째, 입력된 자료의 한계이다. 아직 해사채취와 관련하여 제대로 된 조사가 수행되지 못하여 지금까지 단기간에 또는 간헐적으로 이루어졌던 자료를 재구성하여 사용하였기 때문이다. 둘째, 본 분석에서는 여러 가지 생물학적 자료를 필요로 하지만 이들 자료가 우리나라에서는 제대로 확보되어 있지 못하여 외국의 자료를 사용

한 것도 있다. 셋째, 자료수집의 한계로 먹이망(Food web)에 의한 간접피해를 단순히 직접피해의 일정비율로 산정하였다.

또한 본 연구에서는 비록 위판되지는 않더라도 상당한 경제적 가치가 있는 갯지렁이 등의 자원이 포함되어 있지 않다. 갯지렁이는 대표적으로 모래층에 서식하는 어종이며 낚시의 미끼로 많이 판매되지만 최근에는 갯지렁이의 판매량이나 가격 등에 대한 자료가 생산되지 않고 있다.

이와 같이 본 연구는 입력자료의 제약 때문에 계산된 외부비용 또한 시험적 추정이다. 그러나 앞으로 현장 자료가 제대로 확보되면 상당한 수준까지 신뢰성을 확보할 수 있을 것으로 보인다. 금년부터 해양수산부의 사업에 의하여 향후 몇 년간 우리나라 주변 바다에서 해사채취에 따른 환경문제를 조사하게 되므로 본 사업을 통하여 획득되는 자료가 본 연구의 발전에도 크게 기여할 수 있을 것으로 보인다.

또한 해사채취의 피해를 전체적으로 파악하기 위해서는 본 연구가 앞으로 더욱 발전되고 확산되어야 할 것이다. 본 연구는 해사채취의 피해 중 일부를 추정하는 데 국한되었다. 해사채취의 피해를 전체적으로 파악하기 위해서는 생물경제학적 모형을 포함하여 부유사 확산 모형, 파랑변형 등 해양물리모형, 해안선침식예측모형 등도 필요하다. 이러한 모형은 특히 채취지역의 해양환경적 특성과 연관되기 때문에 상당한 시간과 노력이 필요하다. 따라서 향후 생물경제학적 모형의 한계를 극복하기 위한 자료의 축적과 함께 앞에서 언급한 관련 모형의 개발을 위한 투자가 필요할 것이다.

제 6 장 결론 및 정책적 시사점

본 연구는 생물경제학적 모형을 사용하여 해사채취가 수산자원에 미치는 영향을 정량화하였다. 생물경제학적 모형은 앞에서 언급하였듯이 그 결과로부터 의사결정에 유용한 시사점을 발견할 수 있다는 장점이 있다.

본 연구의 결과로부터 얻을 수 있는 결론은 다음과 같이 정리 할 수 있다

첫째, 해양생물은 그 생물량(biomass)이 시간에 따라, 예를 들어 계절별로, 다르게 나타나고 동일한 행위에 의해서도 영향을 받는 정도가 달리 나타나기 때문에 이러한 점이 고려되어야 한다. 즉 해사채취를 허가하는 경우에도 채취해역의 해양생태계에 대한 지식과 정보를 바탕으로 해역별로 채취금지 기간을 설정하여 피해를 최소화할 수 있도록 하여야 한다.

둘째, 채취방법에 대한 고려가 필요할 것으로 보인다. 해사채취는 일반적으로 trailer suction hopper dredge(트레일러 흡입식 채취선, TSHD)에 의한 방법과 anchored tug barge system 으로 구분되는데, 전자는 미국이나 유럽 등 전세계적으로 널리 사용되는 방법으로서 TSHD에는 운항기능이 자체적으로 부착되어 있고 하역도 자체적으로 할 수 있다. 운항속도를 2~3 노트로 유지하면서 넓은 지역을 움직이며 10~30cm의 해저표면에 있는 해사를 채취하는 것으로서 30,000톤 이상의 대량채취가 가능하다. 해저면 표층층을 넓게 교란한다는 단점이 있으나 flume은 상대적으로 적게 발생한다. anchored tug barge system은 주로 중소형(1,000~10,000m³) 규모의 채취시 사용되며 한곳에서 정박하여 채취를 하게 되어 해저면을 교란하는 범위는 작으나 채취된 해사를 바지선에 쏟아 부으면서 발생하는 Plume은 상대적으로 크다고 할 수 있다. 우리나라에서는 현재 후자를 많이 사용하고 있다.

따라서 해저생태계의 교란을 작게 하기 위해서는 anchored tug barge system이 유리하고, 표층에 유영하는 난자치어에 미치는 영향은 TSHD 방식이 유리할 것으로 판단된다. 그러나 해사채취의 일차적이고 직접적인 피해는 해저면의 교란에 따라 발생하는 정착성 어종(benthic species) 이기 때문에 anchored tug barge system이 보다 바람직할 것으로 보인다. 우리나라는 대부분 anchored tug barge system이지만 최근 EEZ에서의 해사채취가 가능하게 되면서 일부 업체에서 채취와 운송의 효율성을 기하기 위하여 TSHD를 도입하는 것을 검

토하고 있는바, 채취허가를 할 때 이런 점도 고려되어야 할 것이다.

셋째, 해사채취에 따른 수산자원의 피해를 추정하기 위한 생물경제학적 모형에는 다른 일반적인 생물모형에서도 마찬가지로이지만, 여러 가지 정보가 필요하다. 본 연구의 모형에서도 보아왔지만 어종별로 연급군별 자연사망률 및 어획사망률, 성장계수, 자원가입연령, 체장이 0일 때의 연령, 최대수명, 최대최장 등의 자료가 필요하다. 이런 자료들이 국립수산물과학원 등에서 꾸준히 수집되거나 생산되어야 할 것으로 보이며, 무엇보다 이런 자료들이 체계적으로 정리되어 이를 필요로 하는 최종사용자들이 자유롭게 이용할 수 있도록 되어야 할 것이다.

넷째, 해사채취나 유류오염 등 특정지역에서 일어난 피해를 정확히 추정하려면 그 지역의 자원량(abundance)이나 생물량(biomass) 자료가 1차적으로 필요하다. 따라서 이러한 자료를 체계적으로 생산하고 관리하기 위한 노력과 투자가 절실하다. 이러한 자료가 우선적으로 확립되어 있어야 본 생물모형에 관한 연구가 활성화되고 이런 모형을 사용한 피해추정, 자원변동 추정, 최대지속적생산량(MSY, MEY 포함) 등의 계산이 보편화되고 그 결과가 정책 개발과 연계되어 활용될 수 있다.

미국의 경우 유류오염이나, 해양준설로 인한 수산자원의 피해를 추정하기 위하여 오래 전부터 데이터베이스(NRDAM/CME)와 모델을 구축하고 있으며 (Applied Science Associates et al 1994), 이는 NOAA(National Oceanographic and Atmospheric Administration)를 비롯한 수많은 정부기관 및 연구에서 환경영향평가(Natural Resource Damage Assessment, NRDA)를 위해 널리 사용되고 있다. NRDAM/CME은 본토를 7개 해구(provinces), 알래스카를 2개 해구, 하와이를 1개 해구 등 미국 전역을 10개 해구(province 또는 eco-region)로 구분하여 자원량(abundance)을 파악하고 있다. 자원량은 계절별(season), 저질별(bottom type), 해역별(marine vs estuarine), 조간대별(tidal vs subtidal)로 구분되어 파악되고 있다.⁵⁸⁾

다섯째, 해사채취로 인한 생물자원への 영향을 최소화하고 채취지역의 재식지화(recolonization)를 촉진하기 위해서 기질(substrate)이 되는 생물의 완전 멸종은 피해야 한다. 따라서 해저면의 교란을 최소화하기 위해서 해사채취의

58) Cowardin, L.M., V. Carter, F.C. Golet, and E.T. LaRoe, 1979, *Classification of Wetlands and Deepwater Habitats of United States*, Washington, DC : Fish and Wildlife Service, U.S. Dept. of Interior. Marine Pollution, p.345.

속도를 가급적 줄이고, 채취장비가 해저면에 접촉하는 범위를 최대한 작게 하여야 하며, 펌핑위치 간의 간격을 넓혀서 이러한 해저면의 공간이 해양생물의 서식지역할을 할 수 있도록 하여야 할 것이다. 채서식지화가 신속하게 이루어 질수록 정착성 어류에 대한 영향은 감소될 것이다. 이러한 점은 미국의 메릴랜드와 델라웨어 근해 해역에서의 해사채취에 따른 영향을 분석한 논문에서도 지적되고 있다. 본 논문에서는 1998/1999년도 해사채취해역에 서식하는 저서생물에 관한 영향을 분석하였다.⁵⁹⁾

마지막으로 현장조사 기법의 신뢰성 제고이다. 특히 본 연구의 초점인 모래지역에서 서식하는 저서생물에 대한 자료를 구하려 하였지만, 모래지역의 특성상 생물 데이터를 구할 수가 없었다. 전문가들의 의견에 의하면, 저서생물의 채집을 위하여 Grab을 사용할 경우 니질(20ℓ)에 비해 모래는 대부분 빠져나가서 3ℓ 정도만 채집할 수 있기 때문에 그 신뢰성이 매우 떨어져 생물군을 조사하기가 힘들다고 한다.

본 연구는 생물경제학적 모형을 사용하여 해사채취가 수산자원에 미치는 영향을 정량적으로 분석하고자 하였다. 지금까지 해사채취가 수산자원에 미치는 영향을 분석하기 위한 국내외의 연구는 흔치 않다. 특히 국내의 경우 생물경제학적 모형을 사용하여 해사채취의 외부비용을 분석한 연구가 없었다는 점에서 본 연구는 앞으로 이와 관련된 분야의 연구를 촉발하는 데 기여할 것으로 보인다. 본 연구의 결과는 입력자료의 한계, 모형의 적합성 검증 등에서 아직 보완되어야 할 부분들이 있을 것이다. 특히 생물량 등 현장을 통하여 수집되어야 할 자료의 한계 등 때문에 본 연구의 결과는 아직 시험적이라 할 수 있다. 그러나 본 연구를 바탕으로 앞에서 제기되었던 문제들이 해소된다면 본 연구의 결과는 앞으로 해사채취의 친환경적 관리방안을 도출하는 데도 유용한 자료를 제공할 수 있을 것이다.

59) R.J. Diaz, G.R. Cutter, Jr. and C.H. Hobbs, "Potential Impacts of Sand Mining Offshore of Maryland and Delaware : PartII - Biological Considerations", *Journal of Coastal Research*, 20(1), No.1, 2003.

참 고 문 헌

- 건설교통부, 「골재수급기본계획」, 2004.
- 국립수산진흥원, 「배타적경제수역 주요 어업자원의 생태와 어장」, 2000. 9.
- 김도훈, “복수어업에 있어서의 어업관리수단 평가를 위한 생물경제학적 연구 : 미국 멕시코만의 red grouper와 yellowedge grouper 복수어업을 사례로”, 「수산경영론집」, 2004. 6.
- 김수암 · 김창익, 「어류 생태학」, 1994.
- 박주석 · 강용주 · 장창익, “천해어장에서 인위적 환경훼손에 의한 어업생산 감소량 추정방법”, 「한국수산학회지」, 36(4), 2003.
- 연인자, 「한국서해 및 동중국해의 꽃게, *Portunus trituberculatus* (Miers)의 자원생물학적 연구」, 1997.
- 웅진군수협, 「웅진군수협계통판매통계」, 2004.
- 유신재 외, 「생태계 모델링에 의한 해양 생태계 동태 연구(1차년도)」, 1993.
- 유신재 · 신경순, “생태학적모델을 이용한 유류유출사고에 의한 자연수산자원 피해의 추정”, 「한국수산학회지」, 29(2), 1996.
- 인하대학교 서해연안환경연구센터, 「해사채취가 해양환경 및 해양생태계에 미치는 영향 Workshop」, 2004. 6. 29.
- 임양재 · 황선도, “서해 연안 조피볼락, *Sebastes schlegeli*의 연령과 성장”, 「한국어류학회지」, 4, 2004.
- 임재수, 「서남해 연안역에서 부유퇴적물 거동특성에 관한 연구」, 2003.
- 임정빈, 「경기만과 아산만 부유성 난자치어의 분포와 계절 변동」, 2003.
- 장창익, 「수산자원 생태학」, 1994.
- 조동오 · 장학봉, 「바닷모래 수급실태 및 관리방안 연구」, 한국해양수산개발원, 2003.
- 조동오, Thomas A. Grigalunas(URI), Gina Shamshak(URI), 「해사채취의 재정 · 경제 · 환경적 영향에 관한 연구(I)」, 한국해양수산개발원, 2003.
- 표희동 · 장학봉, 「수산부문의 지속 가능한 지표개발에 관한 연구」, 한국해양수산개발원, 2000.
- 한국골재협회 인천지회, 「경기만내 해사부존량 추정 및 해사채취에 따른 환경영향연구」, 2002. 6.

- 한국수산회, 「연근해 어선감척사업 투자효과 분석」. 2003.
- 한창훈, 「인천 연근해 난자치어의 분포」, 2000.
- 해양수산부, 「대체습지조성 중장기계획 수립용역(I) 중간보고서」, 2004.
- _____, 「어업생산량통계」, 2004.
- _____, 「해사채취의 친환경적 관리방안연구(1) 중간보고서」, 2004
- Cowardin, L.M., V. Carter, F.C. Golet, and E.T. LaRoe, *Classification of Wetlands and Deepwater Habitats of United States*, Washinton, DC : Fish and Wildlife Service, U.S. Dept. of Interior. Marine Pollution. 345, 1979.
- Handbook of Fish Biology and Fisheries*, Vol. 2. Fisheries.
- Handbook of Fish Biology and Fisheries*, Vol.1. Fish Biology.
- Yeon, In Ja, Young Joo Kang and Chang Ik Zhang, “Growth and Mortality of Blue Crab *Portunus Trituberculatus* in the East China Sea”, *Journal of the Korean Fisheries Society*, 65, 1998.
- Opaluch, James J. Thomas A. Grigalunas, Meifeng Luo, and Gina Shamshak, *The Economic Cost to Fisheries from Marine Disposal of Dredged Sediments at Two Potential Sites in Rhode Island Sound*, October, 2003.
- Measuring Damages to Coastal and Marine Natural Resources*, Concepts and Date Relevant for CERCLA Type A Damage Assessments Volume I, 1987.
- Measuring Damages to Coastal and Marine Natural Resources*, Concepts and Date Relevant for CERCLA Type A Damage Assessments Volume II, 1987.
- Diaz, R. J., G. R. Cutter. Jr. and C. H. Hobbs, “Potential Impacts of Sand Moning Offshore of Maryland and Delaware : Part II – Biological Considerations”, *Journal of Coastal Research*, 20(1), 2003.
- Ricker, W.E., *Computation and Interpretation of Biological Statistics of Fish Populations*, Bull. Fish. Res. Board Can. 191, 1975a.
- Resources and Environment in Asia's Marine Sector*.
- Schaefer, M.B., *Some Aspects of Dynamics of Populations Important to the Management of Commercial Marine Fisheries*, Int. Amer. Trop.

- Tuna Comm. Bull. 1 : 25~26, 1954.
- Schaefer, M.B., *A Study of the Dynamics of the Fishery for Yellowfin Tuna in the Eastern Tropical Pacific Ocean*, Inter-Amer. Trop. Tuna Comm. Bull 2 : 247~268, 1957.
- Terrance J. Quinn II and Richard B. Deriso, *Quantitative Fish Dynamics*, 1999.
- Grigalunas, T., James J. Opaluch and Maefeng Luo, "The Economic Costs to Fisheries from Marine Sediment Disposal: Case Study of Providence, RI, USA", *Ecological Economics*, 38, 2001.
- U.S. Department of the Interior, "Measuring Damages To Coastal And Marine Natural Resources: Concepts and Data Relevant for CERCLA Type A Damage Assessments Volume II", *CERCLA 301 Project*, January, 1987.

부록 1 : 정태적 및 동태적 생물경제학적 균형모형

Level	Parameter	Logistic 성장모형	Exponential 성장모형
Catch	Equation	$qkE(1-qE/r)$	$qkE \exp(-(q/r)E)$
MSY	Effort(E _{msy})	$r/2q$	r/q
	Catch(C _{msy})	$kr/4$	$qkE_{msy} \exp(-(q/r)E_{msy})$
	Biomass(B _{msy})	$k(1-qE_{msy}/r)$	$k \exp(-(q/r)E_{msy})$
	net rent(π_{msy})	$pC_{msy}-vE_{msy}$	$pC_{msy}-vE_{msy}$
MEY	E _{mey1})	$r(1-v/(pqk))/(2q)$	$r/q[1-(v/pqk)\exp((q/r)E_{mey})]$
	C _{mey}	$kr[1-(v/(pqk))^2]$	$qkE_{mey}/ \exp(E_{mey} q/r)$
	B _{mey}	$C_{mey}/(qE_{mey})$	$C_{mey}/(qE_{mey})$
	π_{mey}	$pC_{mey} - vE_{mey}$	$p C_{mey} - v E_{mey}$
DMEY1)	B _{dmeY} (B*)	$(k/4)[1+(v/(pqk))-/r]+$ $SQR([1+(v/(pqk))-/r]^2+$ $[8v/(rpqk)])$	$LN(k/B^*)=(1+/r)[1-(v/pq)/B^*]$
	C _{dmeY}	$rB^*(1-B^*/k)$	$rB^* LN(k/B^*)$
	E _{dmeY}	$C_{dmeY}/(qB_{dmeY})$	$C_{dmeY}/(qB_{dmeY})$
	π_{dmeY}	$pC_{dmeY} - vE_{dmeY}$	$pC_{dmeY} - vE_{dmeY}$
OAE	E _{oae}	$r(1-v/(pqk))/q$	$r/q[LN(pqk)-LN(v)]$
	C _{oae}	$qkE_{oae}(1-E_{oae}/r)$	$qkE_{oae} \exp(-(q/r)E_{oae})$
	B _{oae}	$k \exp(-(q/r)E_{oae})$	$k(1-qE_{oae}/r)$
	π_{oae}	$p C_{oae} - vE_{oae}$	$p C_{oae} - vE_{oae}$

부록 2 : 서식환경에 따른 해양 생물군의 분류

Class No.	Category	Habitat	Includes
1	Anadromous fish	Upper water column	Salmon, alewives, shad
2	Planktivorous fish	Upper water column	Menhaden, herring, anchovy, butter fish, mackerel, Pollock
3	Piscivorous fish	Upper water column	Bluefish, striped bass, monkfish, angler fishes, seatrout, weakfish
4	Top carnivores	Entire water column	Tuna, bonito, billfish, sharks
5	Semi-demersal fish(eat both benthos and fish)	Entire water column	Gadoids (cod, hake, whiting, haddock), scup, tilefish, croaker, sea bass, groupers, rockfish, sablefish, drums, snappers
6	Squid	Entire water column	Squid, cuttlefish, octopus, other octopus
7	Demersal fish	Lower water column	Flat fishes (flounder, halibut, turbot, sole, sand lance(= lingcod))
8	Mollusks	Sediments	Bivalves(clam), gastropods(oysters, top shell)
9	Decapods	Sediments	Shrimps, lobsters, crabs
10	Echinoderm	Sediments	Sea cucumber

자료: U.S. Department of the Interior, "Measuring Damages To Coastal And Marine Natural Resources: Concepts and Data Relevant for CERCLA Type A Damage Assessments Volume I", *CERCLA 301 Project*, January 1987.

부록 3 : 2003년 어종별 어가 (1999~2003)

단위: 원, 달러

어종	겨울	봄	여름	가을	평균
꽃게	₩19,055 \$16	₩13,640 \$12	₩6,133 \$5	₩11,157 \$9	₩10,579 \$9
기타게	₩7,229 \$6	₩6,388 \$5	₩3,843 \$3	₩4,226 \$4	₩5,131 \$4
새우류	- -	₩11,050 \$9	₩23,710 \$20	₩27,088 \$23	₩25,358 \$21
소라고둥	₩2,515 \$2	₩2,212 \$2	₩2,369 \$2	₩2,508 \$2	₩2,369 \$2
조피볼락	₩8,547 \$7	₩8,364 \$7	₩10,037 \$9	₩8,785 \$7	₩8,714 \$7
가자미	₩4,956 \$4	₩9,734 \$8	₩10,648 \$9	₩9,016 \$8	₩9,087 \$8
광어	₩8,184 \$7	₩8,390 \$7	₩15,562 \$13	₩9,365 \$8	₩8,945 \$8
굴	₩2,346 \$2	₩1,481 \$1	₩827 \$1	₩1,119 \$1	₩1,190 \$1

자료 : Ongjin Fisheries Cooperative(웅진수협), *A Statistical Data of Market Price in Ongjin Fisheries Cooperative*, 1999~2003.

바닷모래 채취의 경제·환경적 통합평가 모형에 관한 연구(II)

2004年 12月 27日 印刷

2004年 12月 31日 發行

編輯兼

李 廷 旭

發行人

發行處

韓 國 海 洋 水 產 開 發 院

서울특별시 서초구 방배3동 1027-4

수암빌딩

전 화

2105-2700

FAX : 2105-2800

등 록

1984년 8월 6일

제16-80호

組版·印刷/영진인쇄사 ☎(02)734-3713 정가 15,000원

판매 및 보급 : 정부간행물판매센터

Tel : 394-0337, 734-6818