

BSPM38400-1864-3

해양생태계 보전을 위한 온배수 관리방안 연구

2007. 3

주관연구기관 한국해양연구원
공동수급연구기관 충북대학교

해 양 수 산 부

제 출 문

해양수산부장관 귀하

본 보고서를 “해양생태계 보전을 위한 온배수 관리방안 연구용역”의 2차년도 최종
중간보고서로 제출합니다.

2007. 3. 19.

주관연구기관명 : 한국해양연구원

주관연구책임자 : 이순길

연 구 원 : 김종만, 박철원, 명정구, 강래선,
강래선, 노충환, 최희정

공동수급연구기관명 : 국립충북대학교

공동수급연구책임자 : 김영환

연 구 원 : 문창호, 김세화, 유승훈, 강윤자,
김대현, 김지환, 안중관, 윤희동,
박준호, 조규희, 정동원, 이준희

요 약 문

I. 제 목

해양생태계 보전을 위한 온배수 관리방안 연구용역 (2006)

II. 연구용역의 목적 및 필요성

지구온난화로 인한 자연 해수의 온도 증가에 더하여 원전, 제철소, 산업단지에서 배출되어 급속한 온도변화로 주변해역의 해양생태계를 교란하는 온배수 현황 및 국내외 온배수 관리제도에 대한 문제점과 대안을 검토하여, 해역 특성별 온배수 영향 범위 및 수용 가능성을 고려한 우리나라 실정에 적합한 온배수 배출기준을 정함과 아울러 환경 친화적인 온배수 관리방안을 마련하는데 목적이 있다.

우리나라에서 2005년 생산된 전력은 전년도에 비하여 약 12%가 증가한 364.6TWh로 약 500억톤의 온배수를 해양으로 방출하였다. 수온은 해양생태계에서 빛 다음으로 중요한 환경요인으로 온배수 형태로 해양생태계에 부하되는 막대한 에너지는 주변해역의 수온분포를 변화시켜 직, 간접적으로 해양생태계에 많은 영향을 미치며, 증가 하는 전력수요에 따라 그 영향은 점차 커질 것으로 생각된다.

전 세계적으로 온배수 배출기준을 엄격하게 규정하고 있으나 아직까지 우리나라에는 아무런 규제 및 관리제도가 없다. 따라서 온배수 방출 현황을 파악하고, 온배수가 부하되는 해양생태계의 온배수 수용력을 평가하여 우리나라 해양생태계의 특성에 부합하는 환경 친화적 온배수 배출기준을 정하는 것은 매우 시급한 과제이다.

III. 연구용역의 범위 및 내용

가. 연구용역의 범위

본 연구는 표제사업의 제2차년도에 해당하는 사업으로 온배수 배출기준 수립, 온

배수 영향 저감방안 연구 및 온배수 관리시스템 연구를 포함하여, 우리나라 실정에 부합하는 해양생태계 보전을 위한 온배수 관리방안 수립을 포함한다.

나. 연구용역의 내용

본 연구의 내용은 우리나라 해양생태계 보전을 위한 온배수 관리방안 수립에 중심이 되는 온배수 배출기준(안)을 정하고, 온배수가 해양생태계에 미치는 영향을 저감시키기 위한 연구를 통하여 우리나라 실정에 적합한 온배수 관리시스템(안)을 구축하는 것을 주 내용으로 하고 있으며, 이를 위한 세부내용은 다음과 같다.

- 온배수 배출기준 연구
 - 온배수 지표종 생물검정 방법 연구
 - 온배수 배출기준 연구

- 온배수 저감방안 연구
 - 온배수 영향해역 이용방안 연구
 - 온배수 영향 저감을 위한 냉각계통 운영 연구

- 온배수 관리시스템 구축
 - 온배수 관리방안의 사회과학적 연구
 - 온배수 관리방안(안) 수립

IV. 연구결과

1. 온배수 관련 여건변화

우리나라의 전력수요 증가율은 2005년 6.5%에서 둔화되어 2005년까지 3.3%/년 증가할 것으로 추정. 전력소요량은 2005년 328TWh에서 2015년에는 407TWh로 증가하며 온배수 배출량은 450억톤/년에서 560억톤/년으로 증가할 것이다.

뉴욕주는 2003년부터 하구역 발전소는 폐쇄순환식을 조건으로 승인하고 있다. 대서양 동북연안의 뉴욕주, 콘넥티컷주, 델라웨어주, 마사추세츠주, 뉴저지주 및 로

드아일랜드주는 합동으로 EPA를 연방법원에 제소하였다. 즉, 연방정부의 CWA에 규정된 “적용 가능한 최고의 기술”은 수서환경에 영향을 미치지 않는 폐쇄순환식이므로 EPA가 규정한 냉각계통 충돌 및 연행 사망률 허용치는 CWA에 위배된다. EPA가 패소할 경우 미국은 더 이상 관류냉각법 사용이 제한되며, 온배수에 의한 해양생태계 영향도 없어진다.

2. 온배수가 해양생태계에 미치는 영향

냉각에는 많은 종류의 해양생물이 포함되어 있다. 자체 유영능력으로 냉각수류를 이기지 못하는 종류들이 취수 시설물에 충돌하거나 냉각계통 안으로 연행되어 피해를 입는다. 영광원전자력발전소의 경우 1~6호기 가동조건에서 시간당 42개체 642g의 어류가 충돌하여 연간 약 2백만 마리(약 30.5톤)의 어류가 피해를 입으며, 식물 플랑크톤의 경우 10-52%(평균 39%)의 기초생산력 감소가 일어나며 30% 미만으로 나타나지만, 2차적 요인으로 대부분 사망하기 쉽다.

통상적으로 온도 변화에 대하여 어류가 적응할 수 있는 범위는 온도가 상승할 경우 1.1℃/일 미만으로 이 이상 변화할 경우 정도의 차이는 있지만 열충격을 받는다. 온배수 확산구역에서는 종다양성지수가 감소하며, 냉수성 종들이 감소하고 온수성 종들이 늘어난다.

온배수 배출로 수온평형이 흐트러져 영향 받는 해양생물이 수산업적으로 중요한 종이라면 바로 수산업 피해로 이어진다. 1980년부터 지금까지 온배수 배출업체가 지불한 피해보상액은 약 3,230억 원으로 원자력 부분이 약 1771억원, 화력부분이 약 1,459억 원이었다.

3. 환경친화적 냉각계통 운영

미국은 최고 기술을 채택하였음을 증명하기위하여 포괄적인 실증연구 보고서를 제출하도록 규정하였다(40 CFR Part 125.95(b))에 규정하고 있다. 위치선정은 산란장, 성육장, 회유경로, 하구역, 위기종 및 보호종 서식지가 아닌 곳, 미성어나 성어의 유인 조건이 없는 곳, 일주기와 계절주기에 따른 다량의 난차지어 유입 가능지역이 아닌 곳, 취구에 따른 해수유동이 자연적 성층을 파괴하지 않는 곳, 항해에 지장을 주지 않는 곳이 아닌 곳을 택하여야 한다.

냉각수의 유속은 어류 충돌 방지를 위하여 15cm/초 이하로 하고, 어류가 도피할

수 있는 조건을 제공해야 한다. 가능한 한 냉각수 취수량을 최소화하고 ΔT 증가를 증가 시킨다.

4. 온배수 영향평가를 위한 지표종

지표종은 주어진 환경변화에 연속성 있고 차등 있게 반응하여 그 반응 정도로 환경변화를 역 추적할 수 있어야 한다. 지표종은 우리나라에 보편적으로 출현하는 종, 지역적으로 우점적으로 출현하는 종, 산업적으로 중요한 종, 실험자가 손쉽게 구할 수 있는 종을 대상으로 선정한다.

동물플랑크톤 지표종은 새부리바다물벼룩, 노르만바다물벼룩, 큰바다물벼룩, *Calanus sinicus* 등이다. 해조류는 참김, 미역, 다시마를 들 수 있으며, 파래, 홀파래, 청각, 톳, 감태, 구멍쇠미역, 모자반, 우뚝가사리, 불등풀가사리로 할 수 있다. 어류는 돌돔, 파랑돔, 연어, 은어 등이 온배수 영향역 판정에 지표가 될 수 있으며, 생물검정실험은 넙치, 조피볼락, 쥐노래미 등을 지표로 하는 것이 바람직하다.

5. 온배수 관리시스템(시안)의 구성

온배수관리위원회는 온배수 관리시스템의 최상위조직으로 관리시스템을 구성하고, 운영을 감독한다. 중앙온배수관리위원회는 일종의 연성조직으로 인건비, 시설유지비 등 경성적 경비지출이 없는 조직으로 해양수산부 해양환경과 내에 설치한다. 다만, 필요시 위원회의 일반 사무기능은 온배수 전문연구기관에 위탁할 수 있다.

지역별 온배수관리위원회는 부분적 연성조직을 포함하는 경성조직이다. 지역별 관리위원회는 각각 독립된 조직으로 온배수와 관련된 모든 문제를 일차적으로 온배수 배출자와 협의 하고 필요시 중앙온배수관리위원회에 그 처리를 요청하는 기능을 갖는다. 지역별 관리위원회의 기본 운영비는 지역별 온배수 배출자가 부담하고, 그 외 경비는 중앙관리위원회의 지원비로 충당한다.

온배수 전문연구기관은 온배수와 관련한 분쟁해결을 위한 조사 및 연구사업 및 환경모니터링에는 직접 참여하지 않고 이를 감독 및 평가하는 것을 주 업무로 한다. 또한 중앙 및 지역 온배수관리위원회에 대한 기술 자문, 온배수와 연관한 생물검정 및 온배수 이용기술 개발을 담당한다. 온배수 전문 연구기관에는 가동 중인 발전소 주변 해역의 해양환경 조사를 수행할 수 있도록 해양물리연구부, 해양화학연구부 및 해양생물연구부를 둔다. 해양물리연구부는 온배수 확산해역의 환경에 대

한 장기모니터링, 온배수 확산 수치모델과 온배수 영향을 저감을 위한 시설개선 방안을 연구하는 기능을 갖는다.

6. 온배수 배출 부담금

온배수 관리정책의 일차적 목표, 즉 온배수 배출량의 규제는 바로 사회적으로 용인 가능한 최적 배출수준을 달성하도록 유도하는 것이다. 온배수 배출 규제를 위한 정책 수단은 정부가 자연자원 등 환경재화의 사용 기준을 설정하고 이를 준수하지 않을 때, 법적·행정적 제재를 가하는 직접규제법과 환경재화의 사용에 적절한 세금 등을 부과하고, 보조금을 지급하여 환경개선을 유도하는 경제적 유인정책으로 구분된다.

배출 부담금 제도를 도입할 경우 부과의 기준은 배출기준제도와 조세제도의 장단점을 비교해서 정해야 한다. 어느 경우이나 부담금은 오염자부담원칙에 의하여 결정된다. 또한 행정적 조치에 따른 비용 및 오염의 피해와 관련된 비용을 고려해야 한다. 온배수배출부담금 제도의 설계에는 부담금의 법적근거, 부담금의 유형, 부과 및 징수의 주체, 부과 및 징수절차, 부과대상, 부담금의 용도 및 부담금의 산정을 명확하게 해야 한다. 또한 부담금의 부과 및 징수에 있어 효율성, 형평성, 수용가능성, 산정표준, 부과요율의 선택, 최소 행정비용 등을 고려해야 한다.

V. 연구개발 결과의 활용계획

- 우리나라 해양생태계 보전을 위한 온배수 관리방안 수립의 기본 자료로 사용
- 해양생태계의 구조적 이해와 구성종의 생리학적 이해 증진으로 해양생물자원의 적극적 이용을 위한 기초자료로 사용
- 발전소 및 대단위 임해공단의 해양환경영향평가 및 피해조사 방법의 표준화를 위한 과학적 근거 제시
- 대규모 온배수 배출업체의 폐열처리방안 개선 유도 및 이를 위한 기준치 제공
- 현재 온배수 확산구역으로 결정되어 수산 활동이 중지된 해역의 재개발 유도로 어민소득 증대

목 차

제출문	i
요약	li
목차	vii
표목차	xi
그림목차	xiii
제 1 장. 서언	1
제 2 장. 온배수 영향 저감방안	4
제 1 절. 온배수의 개념	4
1. 온배수의 개념	4
2. 각국의 열오염 규제	5
제 2 절. 온배수 영향범위 및 피해사례	8
1. 수온과 해양생물	8
2. 냉각계통 가동이 해양생태계에 미치는 영향	9
가. 취수 시설물 충돌	9
나. 냉각계통 내의 연행	10
다. 온배수 확산구역에서의 영향	18
3. 온배수 피해보상 사례	26
제 3 절. 온배수 영향저감 방안	32
1. 냉각계통 시설개선	32
가. 관류냉각법 취수시설 개선	32
나. 관류냉각법 배수시설 개선	41
2. 냉각방법 변경	43
3. 발전시설 개선	46
가. 발전효율 증대	46
나. 발전방식 변경	47
4. 온배수의 적극적 이용	47
제 3 장. 해양생태계 보전을 위한 온배수 관리방안	48
제 1 절. 온배수 관리방안의 배경	48
1. 온배수 관리방안의 법률적 배경	48

가. 해양오염과 온배수	48
나. 온배수 관리방안 수립 의무	49
다. 온배수 배출자의 의무	51
2. 온배수관리방안의 해양학적 배경	51
가. 우리나라 해역의 해양물리학적 구획	51
나. 우리나라 연안의 해양생물지리학적 구획	63
다. 우리나라 연안의 구획	68
제 2 절. 온배수 영향평가를 위한 생물검정	70
1. 온배수 영향평가를 위한 지표종	70
가. 지표종 선정 기준	70
나. 지표종	70
2. 온배수 영향평가를 위한 생물검정	89
가. 생물검정의 개요	89
나. 실험생물(지표생물)	93
다. 생물검정실험	94
제 3 절. 해양생태계 보전을 위한 온배수 관리기준	99
1. 냉각계통 관리방안	99
가. 냉각수 취수 허가	99
나. 온배수 배출 허가	100
2. 온배수 배출기준	103
가. 복수기 설계 ΔT 의 결정요소	103
나. 온배수 ΔT	105
다. 온배수확산구역 지정	106
제 4 절. 해양생태계 보전을 위한 온배수 관리시스템 구축	107
1. 온배수 관리시스템에 대한 지역주민 의견	107
가. 갈등 조정 분야	107
나. 신뢰 구축 분야	108
다. 상호 부조 분야	109
2. 온배수 관리시스템(시안)의 구성	110
가. 중앙온배수관리위원회	110
나. 지역별 온배수관리위원회	113
다. 온배수 전문연구기관	114

라. 온배수 관리방안 협의체 구성	119
3. 온배수의 적극적 이용	120
가. 온배수확산구역의 이용	121
나. 온배수를 이용한 수산양식	128
다. 온배수를 이용한 시설농업	130
제 5 절. 온배수 관리방안의 사회과학적 연구	134
1. 온배수 배출 부담금	135
가. 외부성을 고려한 온배수의 최적 배출수준	136
나. 조세를 통한 외부성의 시정	139
다. 최적 피구세에 대한 수학적 분석	141
라. 배출기준제도와 조세제도의 비교	143
2. 온배수 배출 규제를 위한 정책수단	146
가. 규제적 접근법	146
나. 경제적 유인정책	148
다. 접근법의 비교	149
3. 오염자 부담원칙	150
가. 오염자부담원칙의 개요	150
나. 행정적 조치에 따른 비용의 포함	151
다. 피해비용의 포함여부	152
라. 오염유출사고의 포함여부	152
마. 내부화의 확대	153
바. 오염자부담원칙을 적용한 국내 사례	153
4. 관련 부담금제도 검토	156
가. 현행 부담금제도의 의의, 법적 성격, 유형	156
나. 부담금의 부과 및 징수절차	157
다. 부과대상(객체)	159
라. 부담금의 용도	160
마. 부담금 산정방법	161
바. 부담금 납입의무 면제 및 감경대상	162
5. 부담금제도의 근거	167
가. 부담금제도의 이론적 근거	167
나. 부담금제도의 원칙	168

다. 부담금제도의 도입시 고려사항	173
6. 온배수배출부담금 제도의 설계	178
가. 부담금 제도의 도입 필요성	178
나. 부담금 제도 설계의 원칙	180
다. 부담금 제도의 설계	182
라. 부담금 제도의 운영체계 및 기대효과	185
참고문헌	188

표 목 차

표 1.	발전소별 취수구 걸름망 충돌에 의한 연간 어류피해 상황 추정자료	11
표 2.	국내 원자력발전소의 취수구스크린 충돌에 의한 어류사망	11
표 3.	삼천포화력발전소 냉각계통에 연행된 식물플랑크톤의 기초생산력 감소량	13
표 4.	울진원자력 온배수 배수로의 계절별 어류 출현 현황표	27
표 5.	원자력발전소 냉각계통 가동에 의한 수산업 피해보상 현황	30
표 6.	원자력발전소 지역어민에 대한 용자금 현황	30
표 7.	화력발전소 냉각계통 가동에 의한 수산업 피해보상 현황	31
표 8.	냉각계통의 어류보호장치	36
표 9.	미국 내 35개 발전소의 어류보호 시설의 평균연차설치비 및 평균연간운영비	40
표 10.	심층배수 방식을 채택하고 있는 일본의 발전소 현황	44
표 11.	냉각방법 전환 비용	45
표 12.	동해에 분포하는 수괴의 정의	59
표 13.	우리나라 주변해역의 식물플랑크톤 출현 양상	64
표 14.	우리나라 주변해역의 동물플랑크톤 출현 양상	65
표 15.	온배수 관리시스템(시안)의 추정 소요예산	112
표 16.	발전소 온배수 전문 연구기관의 예상 조직 및 주요 업무	115
표 17.	어업의 손실액 조사기관	118
표 18.	독립된 온배수 전문연구기관을 설립하는 방안과 어업의 손실액 조사기관을 활용하는 방안의 장단점 비교	119
표 19.	지역별 수산자원 관리수면 지정 현황	123
표 20.	우리나라 온배수를 이용한 수산양식 연대기	129
표 21.	온배수 이용 양식사업의 형태 비교	129
표 22.	온풍난방과 온수난방의 비교	131
표 23.	주요 시설작물별 생육 적온과 한계온도	132
표 24.	온배수 이용 시설농업자의 형태	133
표 25.	규제적 접근법 시행을 위한 기준	147

표 26. 오염규제를 위한 경제적 유인책 3가지	149
표 27. 규제적 접근법 대 시장친화적 접근법	150
표 28. 환경개선부담금의 부과대상 및 산정기준	155
표 29. 부담금의 유형 및 사례	157
표 30. 원인자부담금의 부과 및 징수절차	158
표 31. 원인자부담금의 부과대상(객체)	159
표 32. 원인자부담금의 용도	160
표 33. 원인자부담금의 산정방법	161
표 34. 환경개선부담금 제도의 면제 및 감면 조항	162
표 35. 산림전용부담금 제도의 면제 및 감면 조항	163
표 36. 농지전용부담금 제도의 면제 및 감면 조항	164
표 37. 교통유발부담금 제도의 면제 및 감면 조항	165
표 38. 생태계보전협력금	166
표 39. 개발부담금 제도의 면제 및 감면 조항	167
표 40. 산림의 공익적 가치	184
표 41. 농지의 공익적 가치	184

그림 목 차

그림 1.	수온변화에 따른 해양생물의 대사량 변화	5
그림 2.	울진원자력발전소 복수기 통과 후 식물플랑크톤 성장 저해율의 계절 변화	14
그림 3.	월성원자력발전소 복수기 통과 후 식물플랑크톤 성장 저해율의 계절 변화	14
그림 4.	영광원자력발전소 복수기 통과 후 식물플랑크톤 성장 저해율의 계절 변화	15
그림 5.	울진원자력발전소 복수기 통과시 동물플랑크톤 사망률의 계절 변화	16
그림 6.	월성원자력발전소 복수기 통과시 동물플랑크톤 사망률의 계절 변화	17
그림 7.	영광원자력발전소 복수기 통과시 동물플랑크톤 사망률의 계절 변화	17
그림 8.	고리원전 배수구 부근에서 채집된 미역과 인근의 문동리 해안에서 채집된 미역의 엽체 비교 사진	23
그림 9.	삼천포화력발전소 냉각계통에서의 저서동물 부착양상	25
그림 10.	소망목 걸름망 및 원통형 걸름망의 구조	37
그림 11.	개량형 걸름망(Ristroph screen)의 구조	38
그림 12.	배수방법에 따른 온배수 확산	43
그림 13.	중국 황도화력발전소	46
그림 14.	표층과 수심 10 m의 2월 평균 수온 분포도	3
그림 15.	표층과 수심 10 m의 4월 평균 수온 분포도	3
그림 16.	표층과 수심 10 m의 6월 평균 수온 분포도	4
그림 17.	표층과 수심 10 m의 8월 평균 수온 분포도	4
그림 18.	표층과 수심 10 m의 10월 평균 수온 분포도	5
그림 19.	표층과 수심 10 m의 12월 평균 수온 분포도	5
그림 20.	우리나라 연안의 구획	69
그림 21.	우리나라 동해 남부의 수온분포	69

그림 22. 온도 변화에 따른 홍조류 3종	82
그림 23. 대서양에 분포하는 해조류 3종	84
그림 24. 온도와 염분도 변화에 따른 창자파래 발아체의 생장률 비교	84
그림 25. 온배수 지표어종 선정기준	85
그림 26. 수온증가에 따른 조피볼락의 호흡률 변화	91
그림 27. 개조개의 내인성 생체리듬	93
그림 28. 자동호흡측정기의 모식도	96
그림 29. 온배수 관리방안에 대한 사회과학적 연구의 주요 내용	134
그림 30. 사회적 최적 경제활동 수준	137
그림 31. 온배수의 최적 배출수준	139
그림 32. 조세를 통한 외부성의 시정	140
그림 33. 배출기준제도와 조세제도의 비교	143
그림 34. 불확실성이 존재할 때의 두 기준의 후생감소효과	145
그림 35. 온배수 배출 규제의 4가지 정책수단	147
그림 36. 온배수배출금 제도 설계를 위한 접근방법	179
그림 37. 온배수배출부담금 제도 설계의 원칙	180
그림 38. 온배수배출부담금 산정기준	185
그림 39. 온배수배출부담금 제도의 운영체계	186
그림 40. 온배수배출부담금 제도의 운영절차	186
그림 41. 온배수배출부담금 제도의 기대효과	187

제 1 장. 서언

전기는 지금까지 알려진 에너지 형태 중 생산 및 사용이 가장 간편한 이상적인 에너지이다. 급격한 경제성장에 따른 보다 나은 삶의 질을 추구하기 위하여 세계 각국의 전력수요는 산업용뿐만이 아니라 가정용 및 상업용 전력수요도 급격하게 증가하고 있다. 우리나라의 전력수요 증가율은 2000년도 11.8%를 기록한 이후 점차 감소하여 2005년에는 6.5%의 증가율을 기록하였으며, 점차 둔화되어 2015년까지는 3.3%/년 내외의 성장률을 나타낼 것으로 전망하고 있다(산업자원부 2004, 2006). 따라서 전력소요량은 2005년 328TWh에서 2015년에는 407TWh로 약 25% 증가할 것으로 추정되며, 전체 전력소모량 중 산업용 전력이 차지하는 비율은 2005년 55.8%에서 2015년에는 49.2%로 감소할 것으로 예측되어 가정용과 서비스업 부분에서의 전력 수요가 산업용 전력 수요에 비하여 커지는 선진국형 에너지 소모단계에 진입할 것으로 예측된다. 이러한 전력수요를 충족하기 위하여 발전설비는 향후 10년간 약 2,400만kw를 확충하여 2015년에는 8,630만kw의 발전설비를 보유해야 한다. 한편, 급등하는 화석연료 가격과 교토의정서(Kyoto Protocol) 준수를 위한 온실가스 저감을 위하여 전 세계적으로 원자력발전이 차지하는 비율이 점차 높아지고 있으며 2006년 현재 442개의 원자력발전소가 가동 중에 있다(IAEA 2006). 우리나라에서도 동 기간 중 8개기 960만kw의 원자력발전 시설을 확충할 예정이어서 원자력발전이 총 발전시설에서 차지하는 비율이 현재의 29%에서 32%로 증가하게 된다.

원자력발전과 기력화력발전소는 모두 열기관으로 발전연료를 태워 얻어진 고압증기로 증기터빈을 돌려 얻은 기계에너지로 발전기를 돌려 전기를 생산한다. 현재의 기술상 발전소 열효율은 원자력 35% 및 기력 40% 내외로 정도의 차이가 있지만 사용한 연료의 일부분만이 전기에너지로 전환되고 나머지는 폐열로 열기관(발전소)의 외부로 배출되어야 한다. 열기관에서 발생하는 폐열을 처리하는 방법 중 가장 간편하고 저렴한 방법은 가장 가까운 곳의 수괴에서 표층수를 취수하여 냉각수로 사용하고, 열에너지가 부하된 온배수를 가장 가까운 수괴의 표층으로 배출하는 방법인 관류냉각방법이며, 미국의 경우 자연에서 취수되는 모든 물의 50% 정도가 발전소 냉각수로 사용되고 있다(Rute and Silvia 2006).

물론 담수를 냉각수로 사용할 수도 있으나, 담수자원이 부족한 우리나라에서는 해수가 발전소와 같은 대규모 열기관에서 사용할 수 있는 유일한 냉각재이며, 이러한 사정으로 모든 대규모 발전단지는 필연적으로 해안가에 위치해야 한다.

해양으로 배출된 온배수는 표층해류를 따라 확산되는 동시에 복사 및 대류작용을 통하여 희석되어 점차 자연수온으로 돌아간다. 해양생물의 지리적 분포가 바로 수온에 따라 결정되듯이 수온은 해양생태계에서 빛 다음으로 중요한 환경요인으로 수중의 모든 물리, 화학적 반응속도와 반응결과도 수온에 따라 변한다. 온배수 형태로 해양생태계에 부하되는 에너지는 확산과정에서 주변 해수의 수온을 변화시켜 직, 간접적으로 많은 영향을 미치며 온배수확산구역에 서식하는 수산자원에 직접적인 영향을 주기 때문에 온배수와 관련된 분쟁이 끝이지 않고 있으며, 1980년 이후 발전소 온배수 관련 수산업 피해보상액은 약 3,230억원(원자력발전소 1,771억원; 기력발전소 1,459억원)에 달하고 있다.

최근 온배수와 관련된 선진 각국의 동향을 보면, 온배수를 오염물질로 규정하여 관련 규제가 점차 강화되는 것을 알 수 있다. 온배수를 오염물질로 규정한 것은 유엔해양법협약(1994. 11. 16)으로 에너지의 해양유입을 오염의 한 형태로 인정하고 있다.

캐나다는 연방정부의 환경보호법(Environmental Protection Act(2002. 5. 22)에서 오염물질을 정의를 “열, 방사능 또는 다른 형태의 에너지”로 규정하고 있으며, 미국은 연방수질오염관리법(Federal Water Pollution Control Act(Clean Water Act, CWA). 1972. 10. 18 제정, 1996 개정) 제 316항에 열에너지 배출(thermal discharge)에 대한 별도의 조항을 두고 있으며, 이에 근거하여 미국의 각 주정부는 독자적인 관리규정을 제정하고 있다. 또한, 대서양 동북 연안에 위치한 뉴욕 주, 코네티컷 주, 델라웨어 주, 매사추세츠 주, 뉴저지 주 및 로드아일랜드 주는 합동으로 환경보호국(EPA)이 제정한 냉각수 취수 구조물(cooling water intake structure)에 대한 규제치는 (EPA 2001, 2004) 연방정부의 CWA에서 정한 취수시설물의 위치선정, 설계, 건설에 있어 적용 가능한 최고의 기술(best technology available, BTA) 규정에 위배된다하여 이를 연방법원에 제소하였다. 동 소송에서 EPA가 패소할 경우 미국에서는 더 이상 관류냉각법을 사용할 수 없게 될 것이다. 이미 뉴욕 주는 하구역에 위치한 발전소들에 대하여 2003년부터 냉각방법을 관류냉각식에서 폐쇄순환식으로 전환하는 것을 조건으로 재허가서를 발급하고 있다(Clean Air Task Force 2004). 또한, 일본도 수질오탁방지법(水質汚濁防止法 2005) 제 2 장 배출수에 2005년 4월 27일 일부 개정)에 열오염에 관한 내용을 규정하고 있다.

우리가 가지고 있는 환경 아래서 계속적으로 보다 나은 삶을 추구하는 고도 산업화 과정을 뒷받침하는 동력원은 전기일 수밖에 없으며, 계속적으로 발전 시설을 확충함에 따라 온배수량도 증가할 수밖에 없다는 것은 누구나 알고 있는 자명한 사실

이다. 그러나 지금까지 온배수가 해양생태계에 미치는 영향에 대한 최소한의 검토와 배려 없이 지역주민의 민원제기와 온배수 배출자(발전소) 측의 민원 해결을 위한 기초적 조사와 보상으로 귀결되어 왔다. 그 결과 지역주민들의 피해의식이 고조되어 발전소에서 발표하는 환경자료는 물론 전문 연구기관에서 조사한 자료도 지역주민들이 마저도 불신하게 되었다.

본 사업은 해양생태계 보전을 위한 온배수 관리방안 연구의 제2차년도 사업으로 제1차년도에 도출된 문제를 토대로 온배수 영향 저감방안 강구, 온배수 배출기준 수립 및 온배수 관리시스템 구축에 필요한 관건 사항 연구에 주안점을 두었다. 특히, 온배수 배출자와 지역주민을 포함한 모든 국민이 공감할 수 있으며, 온배수 배출자로 하여금 자체개선을 통하여 온배수 배출 및 그 영향을 저감할 수 있는 동기를 부여할 수 있는 방안을 수립하기 위하여 온배수 관리방안의 사회과학적 연구에 중점을 두고 연구를 진행하였다.

본 보고서에 수록된 내용은 해양생태계 보전을 위한 온배수 관리방안 연구 용역의 제2차년도 연구결과로 최종연구 연도인 제3차년도 연구결과에 따라 수정 및 보완될 예정이다. 특히 본 보고서에서 제시하는 온배수 관리방안은 신규 발전소를 대상으로 하는 것이기 때문에 제3차년도 사업 기간 중 이를 기존 발전소에도 적용할 수 있도록 보완하여야 한다.

끝으로 본보고서는 순수한 연구결과만을 근거로 작성되었으며 정부기관의 어떠한 견해도 반영되어 있지 않음을 밝혀둔다.

제 2 장. 온배수 영향 저감방안

제 1 절. 온배수의 개념

1. 온배수의 개념

연안역에 위치한 발전소를 비롯한 대규모 임해공단에서 발생하는 폐열 처리에 있어 가장 간편하고 경제적인 방법은 해수를 냉각수로 사용하는 관류냉각법(once through cooling system)으로 세계의 모든 연해국가에서 사용되고 있다. 관류냉각법은 펌프를 사용하여 자연에서 취수된 해수를 복수기(condenser)로 보내어, 이곳에서 폐열을 부하시킨 후 다시 바다로 되돌려 보내는 것으로 이 때 바다로 되돌려 보내는 폐열이 부하된 냉각수를 온배수라 한다. 관류냉각법에 있어 복수기의 설계치에 따라 다소 차이는 있지만 복수기 양쪽 끝에서의 온도차이(ΔT)는 저온복수기(low temperature condenser)가 6 ~ 11°C 범위이고, 고온복수기(high temperature condenser)는 14 ~ 17°C 범위이다. 우리나라에서는 통상 저온복수기를 사용하고 있지만 최근 고온복수기를 사용하는 발전소가 점차 증가하고 있으며 ΔT 는 14°C 내외로 조절하고 있다.

본 보고서에서의 온배수(濫排水, thermal discharges)의 개념은 자연에서 취수한 물에 인위적으로 열에너지가 첨가되어 자연해수보다 수온이 높은 상태로 다시 자연으로 배출되는 물을 말하며, 열에너지 이외에 어떠한 물질도 첨가되지 아니한 상태를 말한다.

온도는 해양생태계에 있어 가장 중요한 환경요인 중의 하나로, 수중의 모든 물리, 화학, 생물학적 반응속도는 수온에 따라 좌우된다. 따라서 해양생물의 지리적 분포는 수온에 따라 구획되며, 수중에서의 생리작용도 수온에 따라 달라진다. 대부분의 해양생물 즉, 변온동물과 해산식물의 경우 서식적수온의 범위 내에서는 수온이 증가할수록 성장이 촉진되나, 임계수온보다 약간 낮은 수온을 정점으로 호흡량이 급격하게 증가하는 등 생체리듬이 깨지기 시작하여 결국 사망에 이른다(그림 1). 즉, 서식수온의 범위 이내에서는 온배수 배출은 해양생물의 생산성을 높여주는 효과를 나타내고 현상은 온수성종에서 또한 수온이 낮은 겨울철에 뚜렷하게 나타나지만 냉수성종의 경우 온배수 배출로 인하여 주변 해수가 빠르게 임계온도에

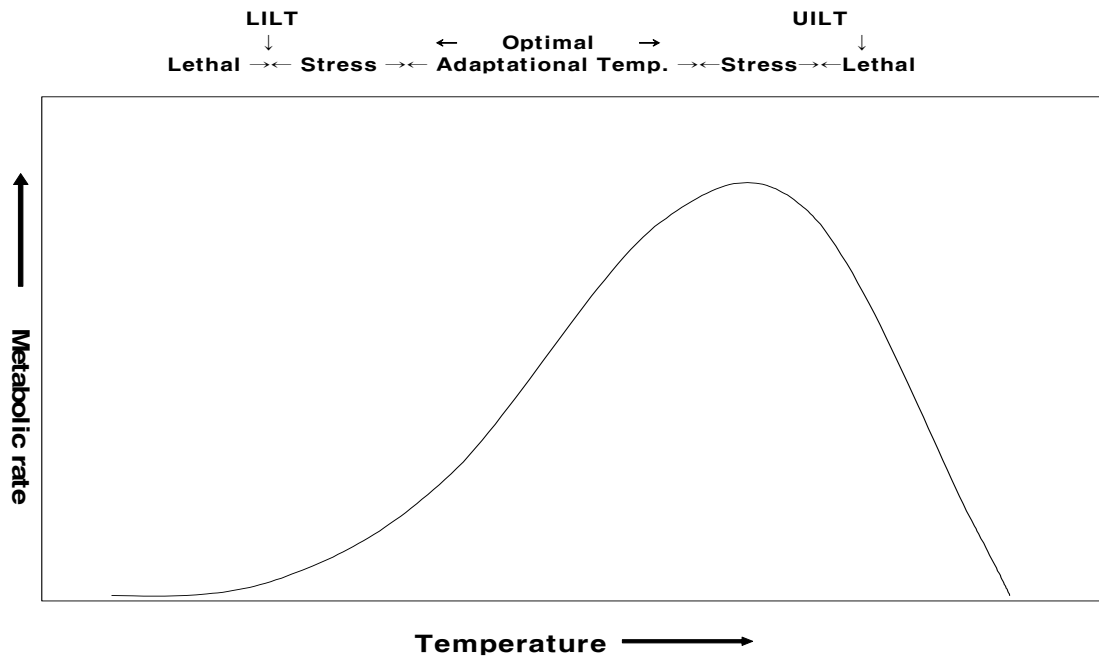


그림 1. 수온변화에 따른 해양생물의 대사량 변화.

LILT: 치사하한수온(Lower incipient lethal temperature), UILT: 차사상한수온(Upper incipient lethal temperature)

도달하기 때문에 오히려 생산성이 저하됨은 물론 서식 범위가 좁아진다.

온배수가 계절에 따라 해양생물의 생산력 향상에 긍정적 역할을 하는 경우도 물론 있지만, 온배수에 의하여 어는 특별한 종의 생산력이 급격하게 증가하여 생태계의 균형이 깨지거나, 수산업적으로 중요한 어종이 피해를 입을 우려도 있다. 그러나 더욱 중요한 점은 온배수의 배출이 해양생태계에서 가장 중요한 요인 중 하나인 수온을 변화시킨다는 점을 고려한다면, 온배수는 오염물질의 한 형태로 정의함이 타당하며, 이를 열오염이라 부르기로 한다.

2. 각국의 열오염 규제

최근 온배수와 관련된 선진 각국의 현황을 보면, 온배수를 오염물질로 규정하여

관련 규제가 점차 강화되는 것을 알 수 있다. 온배수를 오염물질로 규정한 것은 유엔해양법협약(United Nations Convention on the Law of the Sea, 1994. 11. 16)이 최초이다. 유엔해양법협약은 제1장 서언(Part I. Introduction) 제1항 용어 사용과 범위(Article 1. Use of terms and scope) (4)에서 “해양환경의 오염이라 함은 직접적 혹은 간접적으로 인간에 의하여 하구를 포함한 해양환경으로 유입되는 물질 또는 에너지로서 생물자원 및 해양생물에 해롭거나, 인류의 건강에 위협하거나, 어업과 합법적인 해양을 포함하는 해양활동을 저해하거나, 해수를 이용함에 있어 그 질과 쾌적함을 저하시키는 것과 같이 악영향을 유발하거나 유발할 가능성이 있는 경우를 말한다("pollution of the marine environment" means the introduction by man, directly or indirectly, of substances or energy into the marine environment, including estuaries, which results or is likely to result in such deleterious effects as harm to living resources and marine life, hazards to human health, hindrance to marine activities, including fishing and other legitimate uses of the sea, impairment of quality for use of sea water and reduction of amenities)라고 정의하고 있다.

캐나다는 연방정부의 환경보호법(Environmental Protection Act, 2002. 5. 22) 정의에서 오염을 일으키는 물질은 ① 환경으로 분산될 가능성이 있는 것 [(i) matter that may become dispersed in the environment] , ② 자연환경에서 제 1항에 명시한 것으로 전환될 수 있는 것 [(ii) matter that is capable of becoming transformed in the environment into matter referred to in subparagraph (i)] , ③ 열, 방사능 또는 다른 형태의 에너지 [(iii) heat, radiation or another form of energy] 로 정의하고 있다.

미국은 연방수질오염관리법(Federal Water Pollution Control Act, October 18, 1972, 1973-1983, 1987, 1988, 1990-1992, 1994, 1995, 1996 개정) 제 316항에 열물질 배출(Sec. 316. Thermal discharge)에 대한 별도의 조항을 두고 가장 강력한 온배수 관리규정을 가지고 있으며, 이에 근거하여 각 주는 독자적인 관리규정을 가지고 있다. 뉴욕 주는 하구역에 위치한 발전소들에 대하여 2003년부터 냉각방법을 관류냉각식에서 폐쇄순환식으로 전환하는 것을 조건으로 재허가서를 발급하고 있으며(Clean Air Task Force 2004), 워싱턴 주(WSDE 2003)와 오레곤 주(ODEQ 2004)는 연어의 회유로 보호를 위하여 강력한 열오염 규제를 실시하고 있다.

또한, 대서양 동북 연안에 위치한 뉴욕 주, 코네티컷 주, 델라웨어 주, 매사추세츠 주, 뉴저지 주 및 로드아일랜드 주는 합동으로 EPA가 제정한 냉각수 취수 구조물

관련 규제치가(EPA 2001, 2004) 연방정부의 CWA에 위배된다 하여 이를 연방법원에 제소하였다. 즉, CWA에는 냉각수 취수 구조물의 위치선정, 설계, 건설에 있어 환경영향을 최소화하기 위하여 현재의 시점에서 적용 가능한 최고의 기술을 사용하도록 정하고 있으나, EPA의 규정에서는 냉각계통 구조물에 대한 충돌 사망 및 연행률의 허용치를 각각 80% 및 60%로 규정되어 있다. 소송에 참여한 주정부는 환경영향 및 해양생물에 대한 피해를 최소화하기 위한 최고의 기술은 구조물 충돌 사망률과 연행률을 각각 95%까지 줄일 수 있는 폐쇄순환식 냉각법으로 인정하기 때문에, 충돌 사망 및 연행률의 허용치를 각각 80% 및 60%로 규정한 것은 CWA의 “최고의 기술사용” 조항에 위배된다는 것이다. 만일 동 소송에서 EPA가 패소할 경우 미국에서는 더 이상 관류냉각법을 사용할 수 없게 될 것이다.

일본의 경우 발전소 온배수에 관한 규제사항은 수질오탁방지법(水質汚濁防止法 2005) 제2장 배출수에 관한 규제 제3조 1 항 “배수기준은 배출수의 오염상태(열에 의한 물질을 포함. 이하 동일)에 관하여 환경성령에 정한다(第3 条 1. 排水基準は、排出水の汚染状態(熱によるものを含む。以下同じ。)について、環境省令で定める。)”에 근거한다. 본 법률개정이 있었던 2005년 10월 전까지는 규제에 관한 시행령이 總理部령으로 규정하고 있으나 금번 개정에 따라 環境省령으로 정하기로 바뀐 것이 개정의 내용이다. 아직 세부 규제와 관련된 시행령은 공포되지 않은 상태이며, 각 발전소가 위치한 소속 지방자치체의 규정에 의하여 수온 상승 폭을 정하고 있다. 발전소 온배수의 ΔT 는 1980년까지 건설된 발전소는 9°C , 그 이후 건설된 발전소는 7°C 로 규정하고 있다.

중국의 경우 중화인민공화국표준-해수수질표준(中華人民共和國國家標準 1998)에 인위적 수온상승은 어느 시간, 어느 지점에서나 1 ~ 2급수 여름철 1°C , 기타 계절 2°C 로 정하고 있으며, 3 ~ 4급수는 전년에 걸쳐 4°C 로 규정하고 있다(第一類, 第二類: 人爲造成的海水溫昇夏季不超過當時當地 1°C , 其他季節不超過 2°C , 第三類, 第四類: 人爲造成的海水溫昇不超過當時當地 4°C)로 규정하고 있다.

우리나라에서는 2007년 1월 22일 법령 제8560호로 해양환경관리법이 공포되었다. 해양환경관리법 제2조(정의) 2에 “해양오염”이라 함은 “해양에 유입되거나 해양에서 발생되는 물질 또는 에너지로 인하여 해양환경에 해로운 결과를 미치거나 미칠 우려가 있는 상태를 말한다.” 로 명기하여 우리나라에서 최초로 온배수의 해양배출이 해양오염의 한 형태인 것을 법률로 규정하였다. 이는 해양생태계 보전을 위한 온배수 관리방안 수립에 있어 법률적 기초를 제공하고 있는 것으로 해양생태계 보전을 위한 온배수관리방안은 해양환경관리법의 테두리 안에서 마련해야 할 것이다.

제 2 절. 온배수 영향범위 및 피해사례

1. 수온과 해양생물

다양한 환경요인 가운데 온도는 해양생물의 출현과 대사작용 및 운동에 영향을 미치는 가장 중요한 환경요인이다. 생물의 체내 세포에서 일어나는 대사작용은 근본적으로 생화학적 반응이며, 거의 모든 화학 반응과 마찬가지로 생화학적 반응이 일어나는 속도는 체온과 관련되어 있다. 물론 생물의 종류에 따라 온도의 변화에 따른 반응이 다소 차이가 있지만, 환경의 온도가 올라가면 생물의 세포 내 화학·효소반응이 빠르게 진행된다. 온도가 계속 상승하여 어느 임계점을 넘어서면 세포를 구성하는 각종 물질의 불활성화가 일어나 세포의 기능이 상실되어 결국 생물은 죽게 된다.

사람과 같은 항온동물은 주변 온도와 관계없이 자신의 체온을 항상 일정하게 유지시키는 온도 조절작용이 있어 환경의 온도변화에 관계없이 생화학적 반응이 근본적으로 일정한 속도로 일어난다. 그러나 해양포유류를 제외한 모든 해양동물은 체온을 일정하게 유지시키지 못하고 주변 온도에 적응시키는 변온동물로 서식 수온의 범위 이내에서는 수온이 증가할수록 신진대사가 빨라진다. 그런데 온도가 계속 상승하면 생화학적 반응의 상한에 다다르게 된다. 즉, 모든 생명과정에서 중요한 역할을 수행하는 효소가 일정한 온도 이상에서는 불활성화 되고 세포 내용물이 응고하기 때문이며, 뿐만 아니라 수온이 상승하면 혈액 중의 헤모글로빈이 체내 조직으로 산소를 운반하는 기능이 저하되기 때문이다. 따라서 어류는 이러한 상한 온도 이상의 환경에서는 생육하지 못하게 된다. 한편 수온이 반대로 낮아지게 되면 생화학적 반응과 혈액 운반이 급격히 저하되어 계속 생명을 유지할 수 없는 생육 하한 온도에 다다르게 된다.

해산식물의 대사에도 온도는 가장 중요한 역할을 한다. 해산식물의 생장에 가장 중요하며, 해양생태계의 존재에 가장 중요한 광합성 역시 세포 내 화학·효소반응이다. 광합성에 영향을 미치는 주요 요인들은 수온, 조도, 영양염류 함량과 수서식물 자체의 생리적 상태이다. 통상적으로 국지적이고 극단적인 해양환경을 제외한다면 빛과 영양염류는 모든 해산식물에 충분한 조건을 제공해 주기 때문에 수온이 가장 중요한 제한요인(Gunter 1957, Patrick 1969)이 된다. 해산식물의 광합성 능력은 수온이 해당 식물의 임계수온에 도달하기 전까지는 계속 증가하며, 임계 온도에 다

다르면 변온 동물의 경우와 같이 광합성을 포함한 모든 체내 반응이 급격하게 저해된다.

본질적으로 대부분의 동물과 식물은 유전적으로 고정된 온도 범위에 걸쳐 생존할 수 있고, 온도 범위는 종마다 특징적으로 나타난다. 이 범위는 여러 요인에 의하여 다소 변경될 수 있으나 생물이 사망하는 상한온도(upper lethal temperature)와 하한 온도(lower lethal temperature)는 유전적으로 결정되는 온도로 거의 변화하지 않는다. 또한, 태어나서 유생기를 거쳐 성체가 되고, 번식하고 사망할 때 까지 각 생활 단계마다 생존 및 서식 적수온(optimum temperature)의 범위가 달라진다. 특히, 대부분의 해산생물의 생활사에 있어 수정란 시기와 부화유생기와 성체의 생식시기에는 그 범위가 매우 좁아진다. 따라서 해양동물이 알을 낳고 부화하는 시기나 해양 식물의 포자가 만들어지고 발아하는 시기에 주변 환경의 온도가 비정상적으로 높게 올라가거나 낮아지면 해당 종의 영속성에 차질을 빚을 수 있다.

한편 생물은 종류에 따라서 그리고 같은 종류라 할지라도 성장 단계에 따라서 살아가기에 가장 적합한 최적온도와 정상적인 생활을 영위할 수 있는 서식적온도의 범위 및 견딜 수 있는 최고 또는 최저 내성온도가 다르다(Strawn et. al. 1977, 김 2000). 따라서 연속적인 온배수 배출로 배수구 주변 해역의 수온이 상승하면 기존에 서식하고 있던 생물 가운데 온도의 내성 한계가 좁은 생물은 사라지는 반면 변화된 온도 조건을 선호하는 새로운 생물이 출현하게 된다. 즉, 정도의 차이는 있겠지만 온배수 배수구 주변의 생물상이 비교적 넓은 온도 범위에 내성을 갖는 광온성 종들로 점차 변하게 된다.

2. 냉각계통 가동이 해양생태계에 미치는 영향

가. 취수 시설물 충돌

해수에는 용해되지 않고 일정한 형태를 유지하는 많은 고형물질이 존재하고 있으며, 이 고형물질이 냉각수에 포함되어 냉각계통으로 들어올 경우 냉각계통의 운영에 물리적 장애를 일으킨다. 따라서 냉각수 취수구 전면에는 냉각수와 함께 유입되는 고형물질은 걸러내기 위한 회전식 걸름망(traveling screen)망과 고형물 제거망(debris filter) 등 여러 종류의 시설물이 설치되어 있다. 이들 시설물의 운영은 냉각수에 포함되어 있는 이물질의 과다에 따라 조정되며, 하루에 수차례 씩 주기적으로 운영되거나 혹은 필요에 따라 특정 시간대에 운영되기도 한다. 걸름망과 제거망의

망목은 냉각시설에 따라 다소 차이가 있지만 대략 1cm 내외이다.

냉각수로 사용되는 해수에는 일반 고형물뿐만 아니라 많은 종류의 해양생물이 포함되어 있다. 해파리, 난바다곤쟁이, 새우류, 어린고기 등 자체 수영능력으로 냉각수류를 이기지 못하는 종류들이 취수 시설물에 충돌하거나 끼어 피해를 입는다. 미국의 EPA(2002a)는 어류와 패류가 전생활사에 걸쳐 냉각수 취수 과정에서 취수 시설물의 외측이나 걸림망 등 시설에 갇히는 것을 충돌(impingement)로 정의하고 있다. 현재 EPA는 어류와 패류만을 충돌 대상으로 명문화 하고 있으나, 사실상 모든 해양생물이 포함된다고 보아야 한다.

취수 시설물에 충돌한 어류는 되돌아 나온다 하여도 물리적 손상이 심하여 사망률이 높으며, 냉각계통 운영자로부터 냉각계통에 해로운 이물질로 취급되어 무분별하게 제거되므로 대부분 사망한다고 보아야 한다. 발전소 취수 시설물 충돌에 의한 해양생물 특히 어류의 피해는 하구역과 내만에 위치한 발전소에서 많이 발생한다. 미국 델라웨어 강 하구역에 위치한 3개의 발전소 냉각계통에 충돌하여 사망하는 어류는 약 150톤/년에 달하는 것으로 집계되고 있다(Clean Air Task Force 2004).

우리나라에 있어 취수 시설물에 충돌하여 사망하는 해양생물에 대한 조사는 환경영향적 측면보다는 발전소 보호적 측면에서 다루어져 왔다. 즉, 다량의 어류 및 해파리와 난바다곤쟁이 등의 무척추동물이 냉각수에 혼재되어 취수되어 걸림망과 이와 연속하여 설치된 고형물 제거망(debris filter)을 훼손하거나 냉각수의 흐름을 방해하여 발전소 가동이 중지되는 사태를 해결하기 위하여 조사되었으며(한국전력연구원 1991), 순수한 해양생태계 보호를 위한 조사는 초보적인 수준에 머물고 있다.

영광원전자력발전소의 경우 1~6호기 가동조건에서 시간당 42개체 642g의 어류가 충돌하여 연간 약 2백만 마리(약 30.5톤)의 어류가 피해를 입는 것으로 보고되고 있으며(한국전력공사 1994), 동해안에 위치한 원자력발전소들은 이보다 낮은 88천~376천 마리/년의 어류가 피해를 입는 것으로 보고되고 있다(표 1, 2). 또한 월성원자력발전소에서는 매년 보름달물해파리(*Aurelia aurita*)와 태평양난바다곤쟁이(*Euphausia pacifica*)의 대량 유입으로 냉각수 취수시설 손상 및 발전소 가동 중지 등 많은 피해를 보고 있다(채 등 2005).

나. 냉각계통 내의 연행

비교적 크기가 작은 해양생물들은 회전식 걸림망이나 고형물 제거망을 통과하여 냉각계통 안으로 빨려들어 간다. 미국 EPA(2002a)는 어류와 패류가 전 생활사에 있

표 1. 발전소별 취수구 걸름망 충돌에 의한 연간 어류피해 상황 추정자료

발전소명	개체수(천마리)	무게(kg)	조사기준	추정년도
영광원자력	2,044	30,538	6기 가동	1994
고리원자력	206	1,008	4기 가동	2002
월성원자력	375.6	2,951	4기 가동	2002
울진원자력	88.7	1,700	6기 가동	1996

자료: 한국전력공사. 1994. 영광원자력 5, 6 호기 건설사업 환경영향평가서. 758pp.
 한국전력공사. 2002. 신고리원자력 1,2호기 건설사업 환경영향평가서. 879pp.
 한국전력공사. 2002. 신월성 1, 2호기 건설사업 환경영향평가서. 817pp.
 한국전력공사. 1996. 울진원자력 5, 6호기 건설사업 환경영향평가서. 675pp.

표 2. 국내 원자력발전소의 취수구스크린 충돌에 의한 어류사망

개체수: 마리/시간, 생물량: g/시간

구분	고리원자력		월성원자력		영광원자력		울진원자력	
	개체수	생물량	개체수	생물량	개체수	생물량	개체수	생물량
1986	30	314	2	108	86	207	-	-
1987	-	-	12	207	44	262	-	-
1988	-	-	3	25	12	51	-	-
1989	-	-	21	450	96	1780	-	-
1990	7	55	2	25	40	2333	-	-
1991	1	19	3	55	41	327	1	18
1992	3	52	1	9	6	89	1	124
1993	5	71	1	36	8	85	10	47
평균	9	102	6	114	42	642	4	63

자료: 한국전력공사. 1994. 영광원자력 5, 6 호기 건설사업 환경영향평가서.

어 냉각수류를 따라 취수 시설물을 통과하여 냉각계통으로 들어가는 것을 연행(entrainment)으로 정의하고 있다. 현재 EPA는 어류와 패류만을 냉각계통 연행 대상으로 명문화 하고 있으나, 사실상 모든 해양생물이 포함된다고 보아야 한다.

냉각계통에 연행된 해양생물은 기계적 충격 및 열 충격에 더하여 오손생물 제거를 위하여 냉각수에 주입하는 화학물질(염소)에 의한 영향을 받게 된다. 크기가 작은 식물플랑크톤은 기계적 충격에 의한 영향 보다는 열 충격에 의한 영향이 크지만, 비교적 체형이 큰 동물플랑크톤, 어란, 자치어 등은 기계적 영향이 더욱 크다. 물론 냉각계통에 연행된 모든 생물에 있어 온도가 높을수록 생존율은 감소한다(EPA 2002b). 냉각계통에 연행된 해양동물은 살아서 온배수와 함께 배출된다 하여도 대부분 후유증으로 사망하거나 운동력을 잃어 상위 포식자에게 먹힐 확률이 높아지므로 EPA는 연행된 모든 생물이 사망하는 것으로 간주하고 있다. 관류냉각식 발전소의 냉각계통 가동이 해양생태계에 미치는 영향은 미국 매사추세츠 주의 Mt Hope Bay에 위치한 Brayton Point Generation Station이 냉각방식을 폐쇄순환식에서 관류냉각식으로 전환하자 배수구 만내의 어류 풍도가 주변해역에 비하여 87%나 감소하였다는 것으로 잘 설명되고 있다(EPA 2002a).

1). 식물플랑크톤

식물플랑크톤은 개체의 크기가 작기 때문에 거의 대부분 발전소의 취수구 스크린을 지나 냉각계통을 통과하면서 많은 손상을 받게 된다. 식물플랑크톤과 같이 크기가 작은 생물체가 취수구 스크린에 걸리지 않고 냉각계통을 통과하며, 이 기간 동안 생물은 다양한 압박(stress)을 받게 된다(김 1983).

먼저 취수구의 펌프에 다다르면 생물체는 빠른 속도에 의한 충격과 기계적인 마찰에 덧붙여 급격한 압력 변화에 직면한다. 한편 복수기 관 내벽에 부착하는 오손생물(fouling organism)을 제거할 목적으로 취수구에서 하이포아염소산염(hypochlorite) 용액을 주입한다. 염소처리(chlorination)는 오손생물뿐만 아니라 냉각계통을 지나는 식물플랑크톤에게도 큰 피해를 줄 수 있는 화학적 압박 요인이 된다. 복수기에서는 불과 몇 십 초 사이에 온도가 10℃ 내외로 급격하게 상승하면서 열적 압박을 받게 되며, 이후 배수구에서 방류될 때까지 연행되는 생물체는 자연수온보다 훨씬 높은 온도에 노출된다. 따라서 짧게는 몇 분에서 길게는 몇 십 분까지 냉각계통을 지나는 동안 식물플랑크톤은 다양한 기계적, 화학적 및 열적 압박으로 인하여 많은 종류가 죽게 되며, 냉각계통의 연행에 따른 식물플랑크톤의 사망률

은 특히 다수기가 가동되는 대용량 원전 주변 해역에서 엄청난 냉각수량 때문에 간혹 심각한 문제가 될 수 있다.

식물플랑크톤이 냉각계통에 연행되어 입는 영향은 기계적 충격과 열 충격으로 나눌 수 있지만 사실상 이 두 가지를 분리하기는 매우 어렵기 때문에 조사자에 따라 많은 차이가 발생한다. Takesue and Tsuruta(1978)는 여름철 71~78%, 겨울철 31~46%의 생산력 감소를 보고하였다. 김 등(1985)은 삼천포화력발전소에서 광합성 색소량을 기준으로 10% 내외의 연행 사망률을 보고하였으며, 허 등(1981)은 고리원자력 냉각계통 연행조사에서 뚜렷한 피해정도를 관찰하지 못하였다. 이(1987)는 삼천포화력발전소 냉각계통에 연행된 식물플랑크톤의 기초생산력 비교연구결과 평균 7.5~58.9%의 손실을 보고하였다(표 3).

표 3. 삼천포화력발전소 냉각계통에 연행된 식물플랑크톤의 기초생산력 감소량

단위: %

	1985년			1986년		
	7월	9월	11월	1월	3월	5월
총생산력	8-58	71-83	39-18	35-23	55-66	46
순생산력	26-79	105-108	59	45-56	83-42	56

전체적으로 볼 때 고수온기와 저수온기를 제외하고는 기계적 충격에 의한 광합성 감소효과를 수온상승에 의한 광합성 촉진효과로 많은 부분을 상쇄해 주고 있으며, 50만kw 급 발전기 2기의 가동조건에서 식물성 탄소량 기준으로 최대 9.1톤/년의 손실이 있는 것으로 추정하였으며, 조(1988)는 우리나라 원자력발전소를 대상으로 한 조사결과 10-52%(평균 39%)의 기초생산력 감소가 있다고 보고하였다. 한편 냉각계통에 연행된 식물플랑크톤의 성장률 조사결과 식물플랑크톤의 생산력이 높아 먹이가 풍부한 가을철에도 성장률이 많이 저해되는 것으로 나타났다(그림 2, 3, 4).

울진원자력발전소의 경우 2004년 추계에 최대 93.2%의 성장 저해율이 측정되었고 춘계에는 이보다 낮은 50~75%의 성장 저해율이 기록되었다. 월성원자력발전소

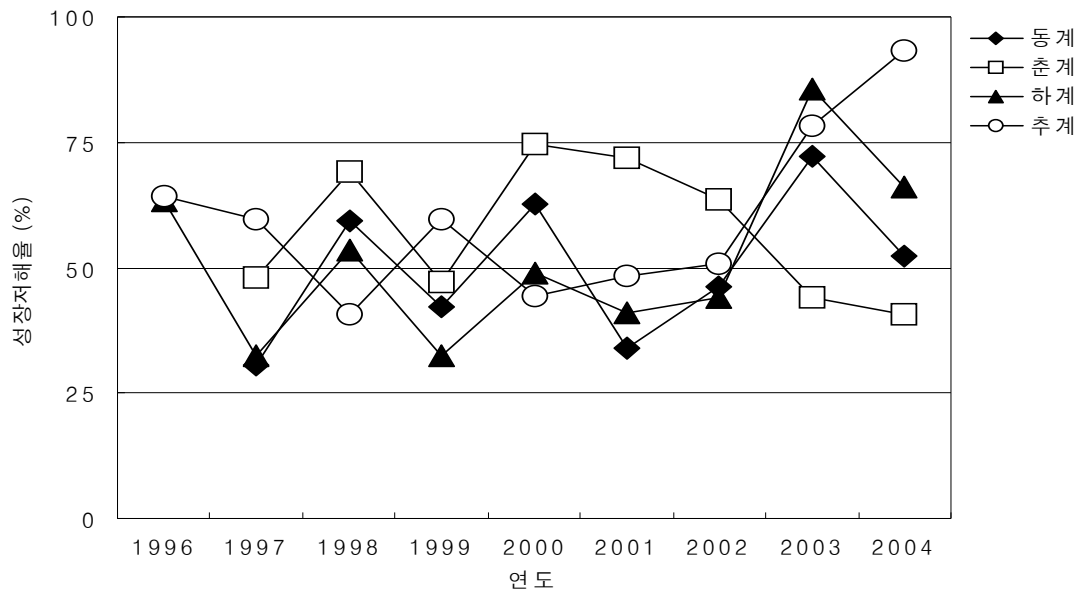


그림 2. 울진원자력발전소 복수기 통과 후 식물플랑크톤 성장 저해율의 계절 변화.

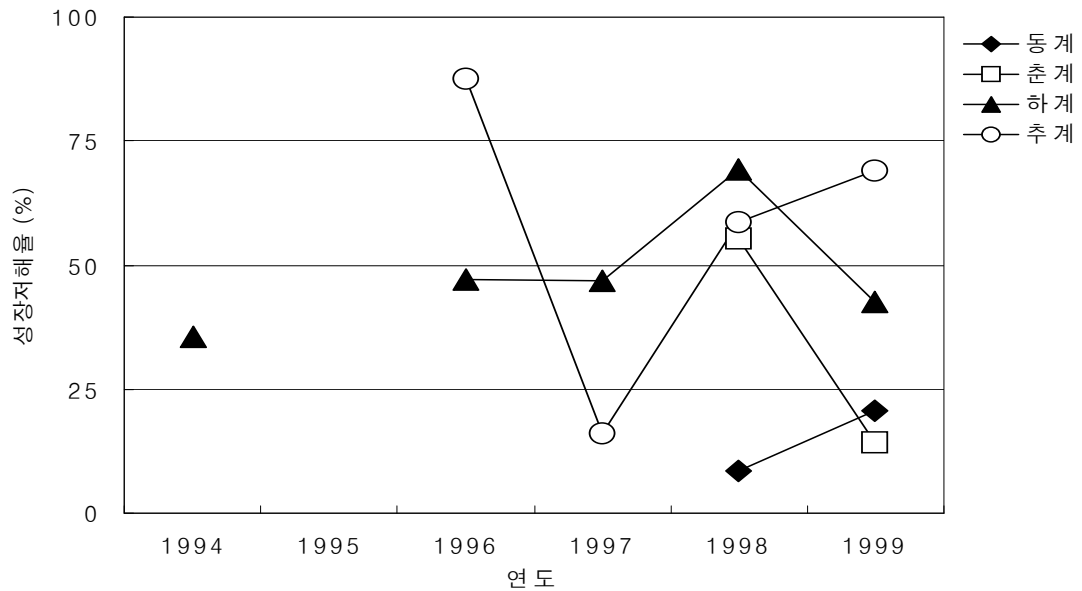


그림 3. 월성원자력발전소 복수기 통과 후 식물플랑크톤 성장 저해율의 계절 변화.

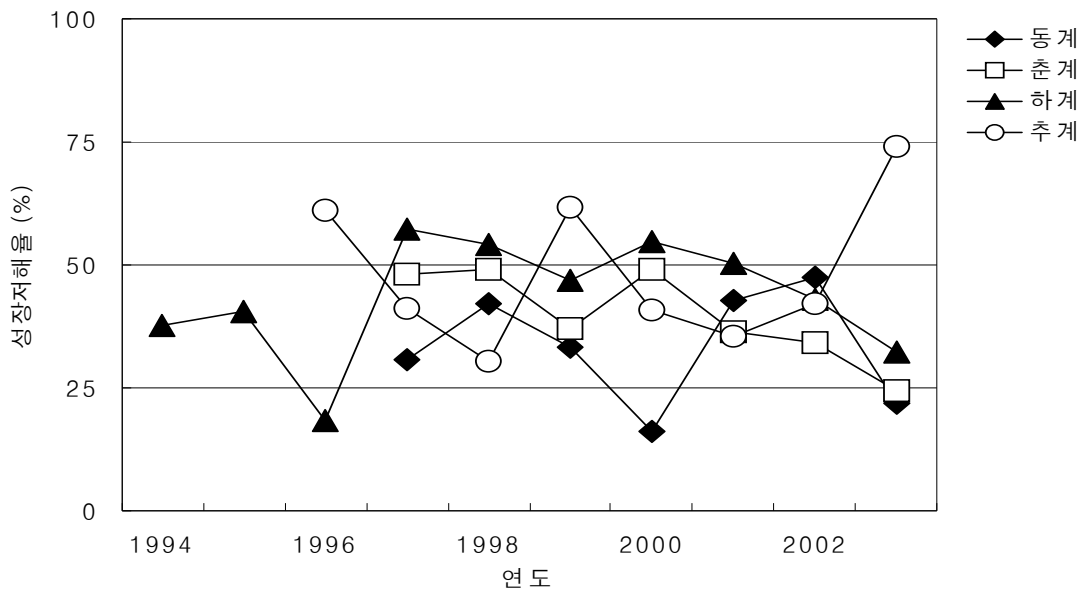


그림 4. 영광원자력발전소 복수기 통과 후 식물플랑크톤 성장 저해율의 계절 변화.

의 성장 저해율은 자료가 풍부하지 않으나 역시 동계에 비하여 춘, 하, 추계에 높은 성장 저해율이 관측되었으며, 영광원자력발전소의 성장 저해율은 동해안의 원자력 발전소들에 비하여 계절적 차이가 뚜렷하지 않았지만 1996, 1999, 2003년 추계에 60% 이상의 높은 저해율이 측정되었다.

2). 동물플랑크톤

동물플랑크톤은 개체의 크기가 작은 탓에 식물플랑크톤과 마찬가지로 취수구 걸름망을 통과하여 냉각계통 안으로 연행되어 기계적 충격과 열 충격을 받게 된다. 더욱이 동물플랑크톤은 식물플랑크톤에 비하여 구조가 복잡하다. 특히, 더듬이와 부속지 등 외부로 돌출된 구조물이 많다. 냉각계통에 연행된 동물플랑크톤은 설사 살아남아도 연행 중 입은 기계적 충격으로 더듬이와 부속지가 손상되어 생존 가능성이 매우 낮다. 분류학적으로 고등생물이지만 작은 크기로 말미암아 동물플랑크톤의 범주에 들어가는 어란의 경우 부화율이 “0”에 가까운 수준으로 낮아지며, 부화자어 및 치어의 사망률은 100%에 가깝다.

이제까지 동물플랑크톤을 대상으로 조사된 자료를 종합해 보면 냉각계통 연행 후의 평균 사망률은 30% 미만으로 나타나지만, 극단적인 조건에서는 최대 사망률이 100%까지도 기록된다(김 2000). 지난 8년간 울진원전 냉각계통 연행에 복수기 통과 시 동물플랑크톤의 사망률은 30% 이하로 나타났지만(그림 5), 1995년 여름 이상 고수온이 나타난 시기에는 50% 이상의 사망률이 관측된 바도 있다.

월성원자력발전소의 사망률은 1999년 추계에 30%에 근접하였으나 대개 20% 이하로 측정되어 울진원자력발전소와 마찬가지로 복수기 통과 시 동물플랑크톤의 사망이 주변 해양생태계에 미치는 영향이 미미한 것으로 밝혀졌으며, 영광원자력발전소의 사망률은 1994년 하계에 38%를 기록한 것을 제외하면 항상 30% 이하를 기록하고 있었고 2000년대 들어서는 연중 15% 이하로 조사되어(부경대학교 1996) 주변 생태계에 미치는 영향이 적은 것으로 나타났다(그림 6, 7).

남해안과 제주도에 위치한 화력발전소에서는 복수기 통과 시 동물플랑크톤 사망률에 대한 장기 조사가 실시된 바 없으나 하동화력발전소와 제주화력발전소에서의

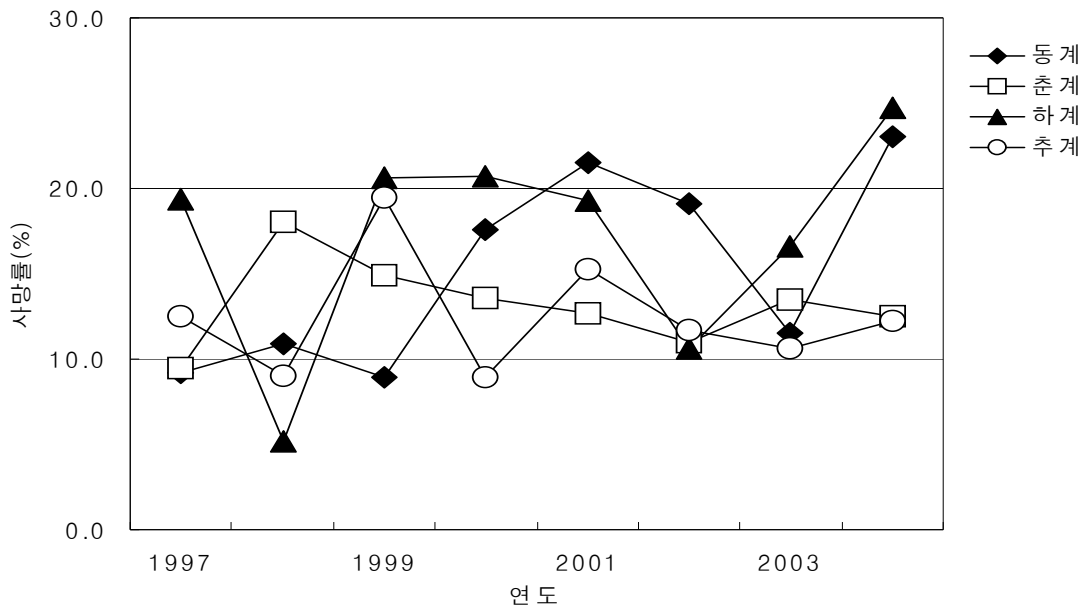


그림 5. 울진원자력발전소 복수기 통과시 동물플랑크톤 사망률의 계절 변화.

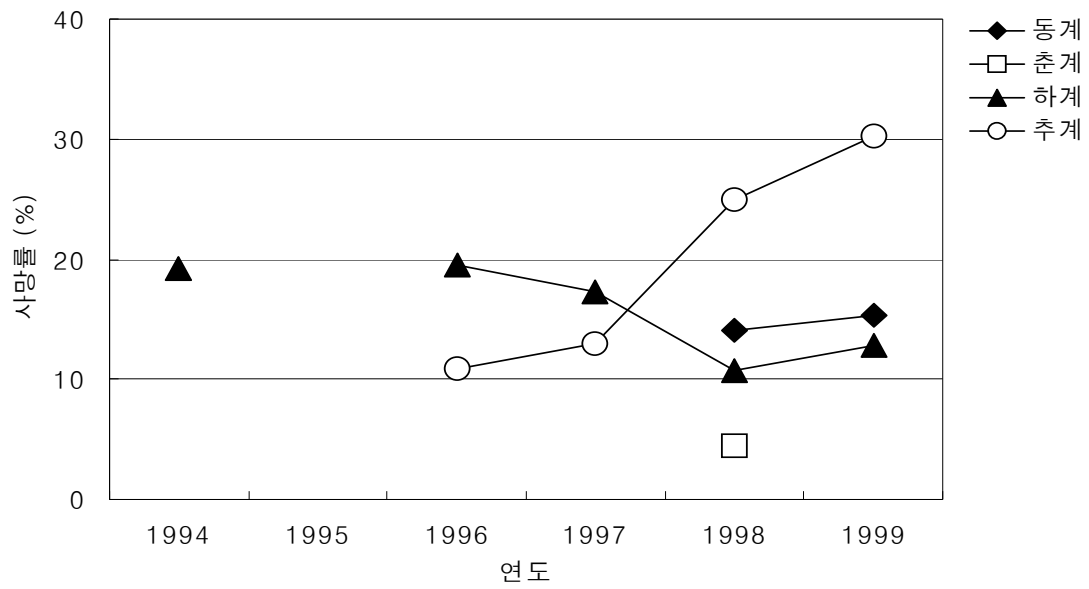


그림 6. 월성원자력발전소 복수기 통과시 동물플랑크톤 사망률의 계절 변화.

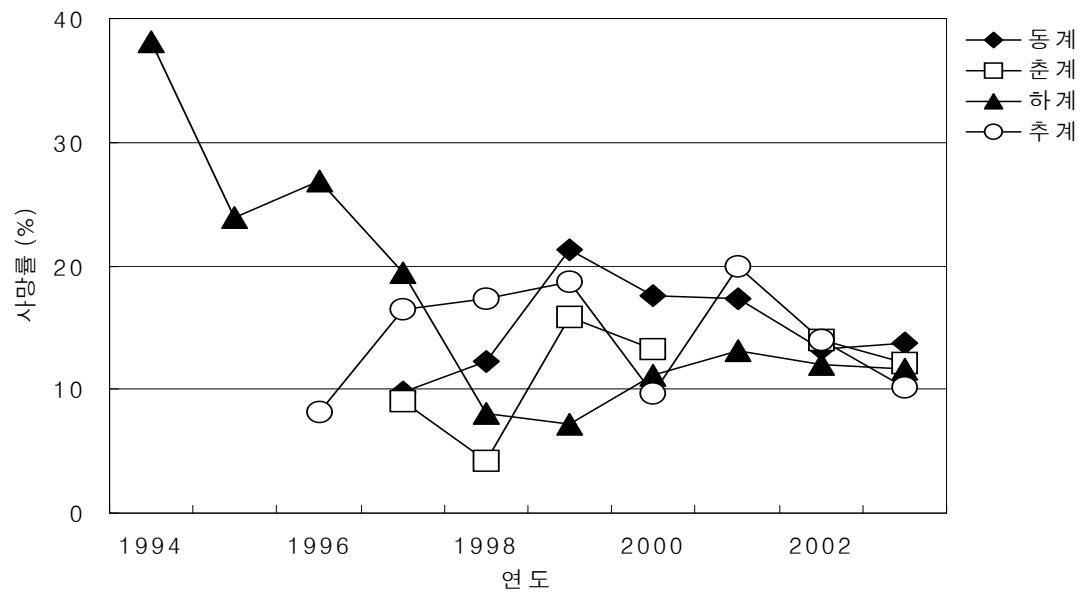


그림 7. 영광원자력발전소 복수기 통과시 동물플랑크톤 사망률의 계절 변화.

간헐적인 조사 결과에 의하면(부경대학교 2000, 제주대학교 2003) 대개 20% 전후로 나타났다.

한편, 냉각계통에 연행된 고착성 저서동물의 유생 중 광온성 종류는 냉각계통 내부의 표면에 착생함으로써 오손생물 군집을 형성하고 그 결과 발전소 가동에 지장을 초래하는 경우도 있다.

3). 저서동물

대부분의 저서동물은 부유 유생기를 거치며, 저서동물의 부유유생은 동물플랑크톤의 중요 구성요인이다. 이들이 냉각계통에 연행되어 입는 피해는 동물플랑크톤의 경우와 같다.

발전소 취수구에서 일어나는 강한 물살로 인하여 취수구 부근에 서식하고 있는 비고착성 저서동물이 취수구 시설물에 충돌하거나 종종 냉각계통 내부로 연행되어 기계적 충격과 열 충격으로 피해를 입기도 한다. 저서동물의 연행 사망률은 개체의 크기가 클수록 커지며, 온배수의 온도가 높을수록 현저하게 증가하는 경향을 보인다. 온배수의 온도가 30℃를 넘는 여름에 최대 사망률을 나타내는 것으로 보고되고 있다. 그러나 취수된 냉각수가 복수기로 보내져 열 교환을 마치고 다시 온배수 배출관을 통하여 배수구로 나올 때까지의 모든 경로에 있어 저서동물에 의한 부착(fouling)으로 많은 문제가 발생하는 것을 감안할 때 최소한 광온성 중에 한하여서는 연행에 의한 피해가 그다지 중요하지 않은 것으로 사료된다.

다. 온배수 확산구역에서의 영향

해양생태계는 다양한 생물들로 구성되며, 영양단계에 따라 생산자, 소비자 및 분해자로 구분할 수 있다. 해산식물은 자가영양 생물 즉, 생산자이다. 현미경적 크기를 지니고 전 생활사에 걸쳐 수중에 떠돌며 생활하는 식물플랑크톤, 저서성 규조류와 바닥에 부착하여 자라는 해조류는 빛 에너지를 이용하여 무기물을 유기물로 전환시킨다. 생산자와 달리 스스로 유기물을 합성할 수 없는 동물은 종속영양생물로 소비자이다. 즉, 다른 생물의 몸체나 분비물을 먹고 살아간다. 크기가 작은 동물플랑크톤부터 먹이사슬의 최상위를 차지하는 해산포유류까지 모든 해산동물이 이 범주에 포함된다. 박테리아는 분해자로 동식물의 사체인 유기물을 분해하여 다시 무기물로 환원한다. 식물플랑크톤을 먹이로 삼는 작은 동물플랑크톤은 다시 보다 큰

동물플랑크톤이나 작은 어류에게 먹히고, 작은 어류는 다시 큰 어류의 먹이가 되며, 생물의 사체는 부식성 소형동물의 먹이가 되거나 박테리아에 의하여 무기물로 분해되어 다시 식물체가 광합성에 이용할 수 있게 된다. 이러한 과정은 먹이사슬을 이라 하지만, 실제로 해양생태계에 있어 먹이생물과 포식자의 상관관계는 매우 복잡하게 얽혀 있어서 먹이그물(food web)이라고 표현하는 것이 정확하다. 먹이그물을 구성하는 종류가 많을수록 생태계의 안정성(stability)이 높다. 수온이 상승하여 먹이그물을 형성하고 있는 어떤 한 생물의 생육이 지장을 받는다면 정도에 따라서는 생태계 전반에 걸쳐 혼란을 야기할 수 있으며, 궁극적으로는 먹이사슬의 최종단계에 있는 우리에게 영향을 미치게 된다.

물은 에너지를 가장 잘 보존할 수 있는 매체이기 때문에 해양의 온도는 매우 안정되어 있어 수온의 일교차는 외양의 표층수가 0.3℃ 내외이며 수온약층 수심 이하에서는 거의 변하지 않는다. 해수유통이 원활하지 못한 내만의 경우 표층수의 일교차가 3~5℃를 기록하는 극단적이 경우도 있지만 대부분의 경우 연안 표층수의 일교차는 연안 1~2℃ 범위이다. 즉, 해양생물은 이와 같이 매우 안정된 온도 조건에 적응하여 서식하고 있으며, 일교차 범위를 초과하여 온도가 변할 경우 서식하는 종들도 변하게 된다.

표층 해수의 일교차를 초과하는 온도변화는 해저화산 폭발, 열수광상, 온천수 등 자연적인 경우도 있지만 이들 자연현상은 대부분 일시적인 것으로 장기간 지속되지는 않는다. 자연현상으로 인한 급격한 수온변화로 해양생물이 모두 사망하여도, 자연 현상이 끝나면 주위의 생물로 빈자리가 채워진다. 온배수 배출은 매우 지속적인 것으로 비록 그 영양범위가 제한된 지역에 국한된다 할지라도 표층수온의 자연적 일교차를 초과하는 수준의 온도변화를 일으켜 온배수 확산구역 내의 생태계 구성종의 변화를 가져온다. 수온이 2℃ 상승 범위 내에서는 협온성(stenothermal) 종들이 주로 영향을 받아 사라지기 시작하며 4℃를 넘을 경우 광온성(eurythermal) 종들이 우점하는 군집으로 변해 간다(North and Anderson 1973, Adams 1975). 온배수 배출에 따라 소멸하거나 정상적인 생장에 지장을 받는 종들이 수산업 종일 경우가 바로 온배수에 의한 수산업 피해로 많은 문제를 일으킨다.

1). 식물플랑크톤

발전소 온배수가 유입되는 해역의 식물플랑크톤은 계절에 따라 다르게 반응한다. 대체로 봄과 가을에는 자연 수역보다 온배수가 유입되는 해역에서 식물플랑크톤의

생산력(productivity)이 증가하는 경향을 보인다. 즉, 상대적으로 낮은 자연 해수온도가 온배수의 방출로 상승하여 식물플랑크톤의 최적 성장 조건에 근접하기 때문이다. 여름철에는 자연 해수의 온도가 상대적으로 높는데 더하여 온배수가 지닌 열에너지가 추가되기 때문에 대부분 식물플랑크톤 종의 최적 생육 온도를 넘거나, 간혹 상한 온도를 초과하기 때문에 온배수 확산지역의 식물플랑크톤의 생산력이 감소한다.

전술한 바와 같이 식물플랑크톤의 광합성은 일주기와 계절주기를 가지며 각 종들의 수온변화에 대한 적응력도 계절에 따라 차이가 있으며(Ryther 1959, Yentsh and Ryther) 적응기작도 종과 개체에 따라 차이가 있기 때문에(Steeaman-Nielsen and Jorgensen 1968, Cairns 1956) 온도변화에 따른 반응을 정량화하기 어렵다. 사실상 온배수 확산구역에 있어 식물플랑크톤의 생산력은 연행에 따른 영향보다는 온배수 배출로 자연보다 상대적으로 높아진 수온변화에 보다 많은 영향을 받는 것으로 추정된다. 우리나라의 경우 온배수 확산구역에서는 연중 규조류인 *Skeletonema costatum*이 우점하고 있으며 봄, 가을 2회에 걸쳐 대발생 하는 것이 일반적 현상이다. 식물플랑크톤의 종 다양성지수와 일차생산력의 감소는 온배수의 강도에 따라 다소 차이는 있지만 배수구 주변 1km 이내의 수역에 제한되고 있는 것으로 생각되며, ΔT 1°C 이상의 범위에서는 전체적으로 광온 내열성 식물플랑크톤이 우점하고 있는 것으로 판단된다.

미국에서 탄소 동위원소인 C^{14} 을 이용하여 온배수 이용 해역의 식물플랑크톤 생산력 변화를 조사한 결과에 의하면 온배수 온도 23°C 미만에서는 40% 감소한 경우부터 300~400% 증가한 경우까지 다양하게 관찰되어 오히려 식물플랑크톤에 의한 광합성이 촉진되는 경향이 나타났다. 하지만 일반적으로 배수온도가 27°C를 넘는 경우에는 약 20%정도 감소하며(Coughlan and Davis 1983) 33°C가 넘으면 현저하게 감소하고 35°C 이상에서는 배수구의 생산력이 취수구 생산력의 40%에도 미치지 못하는 것으로 알려져 있다.

일차생산력 감소는 식물플랑크톤 사망률과 밀접한 관계를 가지고 있는 것은 식물플랑크톤이 냉각 계통을 지나는 동안의 높은 온도가 군집 대사과정에 영향을 미치기 때문이다. 즉 37°C 이상의 온도에서는 장기적인 손상이 나타날 수 있으며, 단기간 노출이라도 40°C가 넘으면 사망할 수도 있다. 원자력발전소 냉각계통 연행에 의한 식물플랑크톤 사망률은 50% 이상 된다고 보고된 바도 있으며(여 1992), 기력발전소의 경우도 30% 이상이 된다고 보고되어 있다(부경대학교 2000). 하지만 이제까지 조사된 바에 따르면 식물플랑크톤 개체군이 냉각 계통 연행 과정에서 입은 부분

적인 손상은 비교적 짧은 시간 내에 다시 회복되는 것으로 나타났으며 사멸한 식물플랑크톤에서 방출되는 영양염류에 의해서 회복되었거나 살아남은 식물플랑크톤의 대사가 활성화됨으로서 온배수 배출 인근 수역의 일차생산량은 다시 증가한다(이 1987).

2). 동물플랑크톤

동물플랑크톤은 식물플랑크톤과 비슷하게 대부분 육안으로 식별할 수 없는 작은 크기를 지니고 있으며, 식물플랑크톤이나 세균 또는 침전물을 섭취하여 더욱 큰 동물들이 이용할 수 있는 양분으로 전환시킨다. 따라서 동물플랑크톤 역시 식물플랑크톤과 함께 수생동물의 중요한 먹이생물이 된다.

온배수가 유입되는 해역에서 동물플랑크톤을 조사한 결과를 종합해 볼 때, 자연 수온이 그다지 높지 않은 계절에는 개체군 밀도에 있어 일관된 경향을 찾기 어렵지만 자연 수온이 높은 계절에는 현존량이 감소하는 추세를 보인다. 이는 온배수 영향으로 해수 온도가 동물플랑크톤의 최적 생육 온도의 제한선인 30℃를 넘기 때문이며, 이에 따라 수산업 피해가 발생하기도 한다(한국전력공사 전력연구원 1995년). 온배수 배출 수역의 동물플랑크톤 군집 동태는 온배수의 영향에 따른 변화를 파악하기 어려워 일본 후쿠이 원전 단지의 경우에는 연구 조사 항목에서 제외시킬 정도로 수온 등과 같은 미세 환경 요인 변화에 따른 동태 파악이 잘 알려져 있지 않다. 그러나 배수구에서는 일반적으로 종 다양성지수가 감소하고 경우에 따라 내열성 종들의 대량 출현이 보고되기도 하지만 대부분의 경우 출현량도 감소하는 것이 일반적이다. 또한 원자력발전소 냉각계통 연행에 의한 동물플랑크톤의 사망률은 열 쇼크보다는 물리적 충격에 의한 영향이 큰 것으로 알려져 있는데 30%를 초과할 경우 주변 해양생태계에 심대한 영향을 끼칠 수 있는 개연성이 있지만 이에 대한 연구는 아직 보고된 바 없다.

3). 해조류

해조류는 식물플랑크톤과 마찬가지로 광합성 색소를 가지고 빛 에너지를 고정하는 일차생산자이지만, 대체로 물에 떠서 생활하는 식물플랑크톤과는 달리 연안의 바위 또는 다른 생물에 부착하여 생육한다. 어류와 같이 유영 능력을 가진 생물들은 자신에게 불리한 조건을 회피할 수 있겠으나, 고착성 해조류는 서식지의 환경

조건에 따라 대상 종의 생존 여부가 좌우된다. 따라서 발전소에서 배출되는 온배수의 영향을 논함에 있어 해조류는 중요한 지표생물(indicator organism)의 하나로 간주된다.

온배수의 영향을 받는 곳에 서식하는 해조류는 대체로 조간대와 조하대에서 그 양상을 달리하고 있음을 본다. 먼저 조석 작용에 따라 규칙적으로 물에 잠기거나 드러나는 조간대에 출현하는 해조류는 정상적인 조건에서도 온도 변화와 건조에 대하여 어느 정도 내성을 가지고 있기 때문에 대체로 온배수에 대한 영향이 그다지 크지 않다. 반면에 항상 물에 잠겨 있는 조하대의 해조류는 조간대의 경우보다 훨씬 안정된 조건에서 생육하는 탓에 온배수의 영향을 받게 되면 생장이 감소하거나 출현종의 조성이 바뀌는 경향을 보인다.

원자력발전소 중 우리나라에서 처음으로 1978년 4월에 가동을 시작한 고리원전 1호기의 경우 배수구 부근에서 1977년에는 참도박(*Pachymeniopsis elliptica*), 작은구슬산호말(*Corallina pilulifera*), 진두발(*Chondrus ocellatus*), 개서실(*Chondria crassicaulis*) 등이 우점종으로 조사되었다. 그러나 고리 1호기가 가동을 시작한 1978년에는 참도박의 생육이 감소하고 개서실은 출현하지 않았다. 반면에 작은구슬산호말의 생육이 증가하고, 특히 가동 전에 별로 나타나지 않았던 애기우뭇가사리(*Gelidium divaricatum*)가 새로운 우점종의 하나로 등장하였다(김과 이 1980).

한편 1986년 8월에 상업운전을 시작한 영광원전 1호기의 경우, 방수로에서는 가동 전에 136g/m^2 (건조무게)의 해조류 생육이 관찰되었는데 가동 후에는 무게를 측정할만한 해조류가 전혀 출현하지 않았다(김과 유 1992).

1978년에 고리원전 1호기가 가동을 시작한 이래 지난 20여 년간 국내에서 가동 중인 원전 주변에 출현하는 해조류를 대상으로 수행된 각종 조사결과들을 종합해 볼 때, 발전소 배수구에 인접한 조사정점에서는 온배수의 영향을 덜 받는 정점들과 비교하여 해조류의 종조성과 생물량이 모두 빈약한 것으로 나타나고 있다(김과 김 1991, 김 1999a).

한편 해조류는 오랜 역사를 두고 우리 민족에게 있어 중요한 식용 자원이 되어 왔으며, 학계에 발표된 자료에 따르면 우리나라에서는 87종의 해조류가 식용으로 이용되는 것으로 집계되었다(오 등 1990). 다양한 해조류 가운데 특히 김, 미역, 톳, 다시마 등이 주요 양식종이 되고 있으며, 1999년의 경우 우리나라 천해양식어업에서 해조류가 차지하는 비율은 생산량이 60% 이상 그리고 금액이 30% 가량이다(해양수산부 2000).

양식 해조류 가운데 주류를 이루는 김과 미역의 생장에 필요한 온도 범위는 다음

과 같다. 자연 상태에서 생육 상태로 판단한 수온별 김의 성장단계를 보면 가을이 되어 수온이 22℃ 전후에서 15℃ 정도까지 저하하는 기간이 발아기이며, 15℃ 이하가 되면 성장기에 들어가고 온도가 차츰 더 내려감에 따라 매우 무성하게 자라서 최성기로 된다(강과 고 1977). 이 경우 김의 수확 정도로 보아 5~8℃가 생장 적온이라 할 수 있으며, 그 하한은 4℃이다. 이후 봄이 되어 수온이 12~13℃가 되면 생육이 그치게 된다. 김의 생육 초기에 수온이 15℃ 이하로 떨어져서 안정되기 전에는 갯병의 우려가 많아 안심되지 않으므로, 김 양식에서는 “15℃ 한계”를 중요시 하고 있다.

미역의 엽체는 가을부터 자라서 봄까지 성숙한다. 성숙한 엽체의 성장에는 12℃보다 낮은 온도가 적합하고, 5~10℃가 최적 생장 조건이다. 따라서 미역의 성엽이 성장하는 겨울에 자연 해수의 온도가 이상 고온 현상을 나타내거나 또는 온배수 확산역을 접하게 되면 정상적인 성장을 기대하기 어렵게 된다(그림 8).

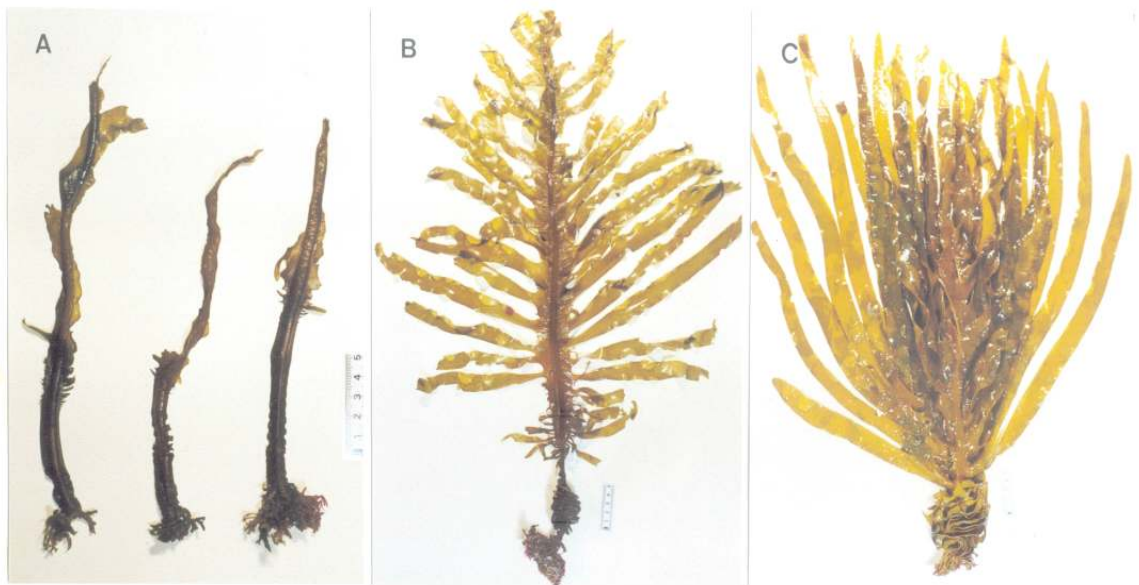


그림 8. 고리원전 배수구 부근에서 채집된 미역(A)과 인근의 문동리 해안에서 채집된 미역(B와 C)의 엽체 비교 사진(김 등 1999).

한편 최근 우리나라 각 연안에서 발생하고 있는 갯녹음(barren ground, 磯焼け)은 해수온 상승과 매우 밀접한 연관이 있는 것으로 밝혀지고 있기 때문에 온배수가 갯녹음에 미치는 영향도 고려해야 할 사안이다.

4). 저서동물

조간대에 서식하는 저서동물은 일반적으로 광온성 종으로 높은 온도에 대한 내성이 크다. 특히 공기 중에 노출되는 빈도가 높아지는 조간대 상부로 갈수록 내성이 증가하는 경향이 있다. 반면 조하대에 서식하는 종들은 상대적으로 수온은 낮지만 안정된 수온의 범위에서 살기 때문에 온도변화에 대한 내성이 작아진다.

온배수 확산구역에서 저서생물 연구 결과 Hedgpeth and Gono (1969)는 종 감소현상을 보고하였으며 Warinner and Bremer(1966)는 여름철 종다양성이 낮아진다고 보고하였는데 우리나라에서도 유사한 양상이 보고되고 있다. 자연 상태와 같은 조건을 가지고 있는 삼천포 화력발전소의 취수로에서는 년 중 20~47종이 출현하지만, 온배수 영향이 큰 배수로에서는 11~29종이 출현하였으며, 온배수 확산구역에서는 19~38종이 출현하여 수온에 따른 종 감소현상이 뚜렷하게 나타났다(이 1987). 또한 조무래기따개비(*Chthamalus challenger*), 삼각따개비(*Balanus trigonus*)의 부착기간이 온배수의 영향으로 제1차 부착시기는 5~8월에서 5~7월로 1개월 단축되었으며, 2차 부착시기는 11월에서 11~12월로 연장된다고 하였다(그림 9). 또한 수산석회관갯지렁이(*Hydroides ezoensis*), 단각류(*Jasa falcata*, *Corophium acherusicum*), 바다대나무벌래류(*Caprella* spp.) 등은 온배수 확산구역에서 부착시기가 연장된다. 특히 조무래기따개비, 수산석회관갯지렁이, 대나무벌래류 등은 산란량과 생식기간이 연장된다. 한편 둥근석회관갯지렁이(*Dexiospira alveolatus*), 가시굴(*Saxostrea (=Crassostrea) echinata*), 태형동물류 군체(Bryozoan colony), 흰덩이멍개류(*Didemnum* sp.) 등은 온배수 확산구역에서 자취를 감춘다. 전체적으로 온배수 영향이 클수록 종수는 감소하지만 배수구에서 가까운 곳을 제외하고는 생물량이 증가한다.

5). 어류

어류가 환경의 온도변화에 어느 정도 적응 하는 능력을 가지는 것은 환경변화에 대하여 모든 생물이 유전적으로 보유하고 있는 보호작용의 한 예이며, 온도변화의

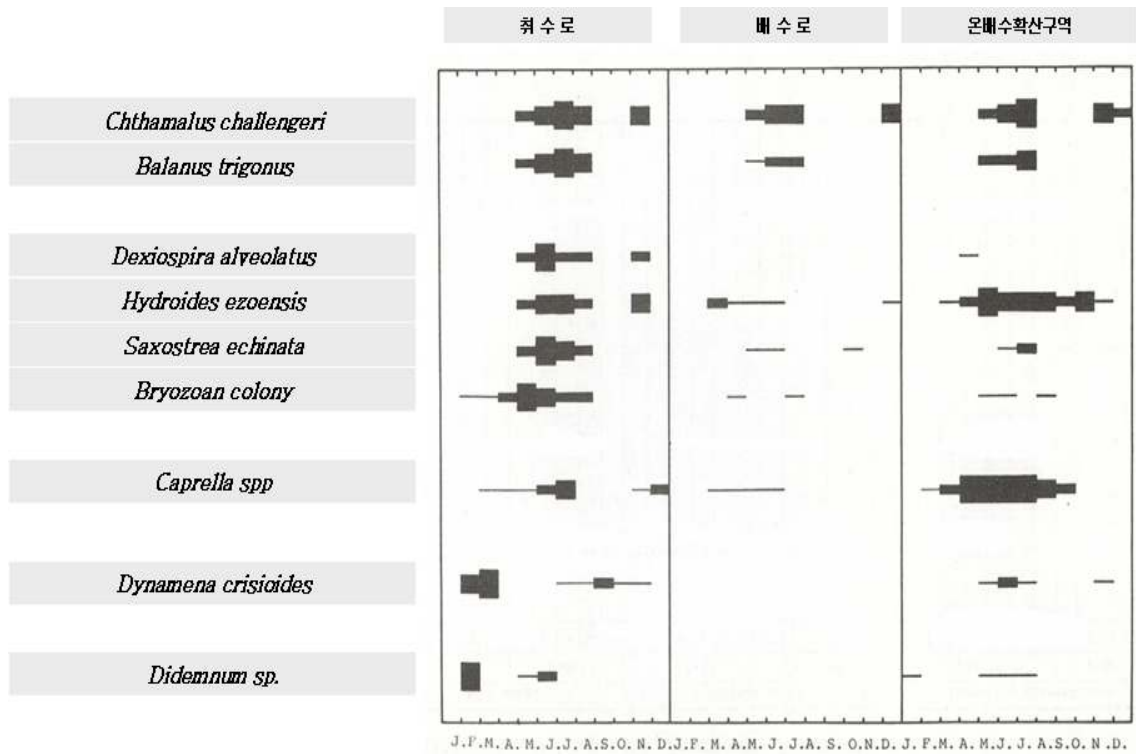


그림 9. 삼천포화력발전소 냉각계통에서의 저서동물 부착양상(이 1987).

범위가 적응 범위를 넘을 경우 자신에게 유리한 온도를 찾아 이동한다. 이것은 어류 스스로 그들의 적정 온도범위 내에서 생육하려는 선천적인 경향성이다. 따라서 환경 온도의 변화에도 불구하고 어류가 같은 장소에 적응하여 머물러면 온도의 변화가 해당 어류가 충분하게 적응할 수 있도록 서서히 일어나야 한다. 통상적으로 온도 변화에 대하여 어류가 적응할 수 있는 범위는 온도가 상승할 경우 1.1°C/일 미만으로 알려져 있으며(Samuel and Jordan 1980) 온도가 감소할 경우에는 이보다 변화의 폭이 적어야 적응할 수 있다. 만일 어류가 적응하지 못할 정도의 급격히 높거나 낮은 온도에 노출된다면 열 충격(thermal shock)을 받는다.

일반적으로 어류는 수온이 낮은 가을철~봄철에는 보다 따뜻한 수온을 찾아 이동하며, 특히 수온이 낮아지는 겨울철에 따뜻한 온배수에 유인되어 계절에 따른 어류의 주기적인 이동이 방해 받기도 하며, 발전소의 가동 중단으로 온배수가 배출되지 못하는 특정 상황에 직면하면 어류 집단은 저온충격으로 사망(cold kill)하게 된다.

우리나라 연안에 서식하는 어류는 대부분 수온이 하강하는 겨울철에는 보다 따뜻한 수온을 찾아 깊은 곳으로 이동하거나 남쪽으로 계절회유를 하여 출현 종수가 줄어들어 드는데, 발전소 온배수가 영향을 미치는 해역에서는 겨울철에도 따뜻한 수온을 좋아하거나 월동을 하려는 어종이 모여들기 때문에 인근 해역에 비해서는 상대적으로 많은 수의 종이 출현하고 있다(한국전력공사 1999).

울진원자력발전소를 대상으로 조사한 결과 온배수의 영향을 받는 배수로와 배수구 인근 해역에서 여름철 난류를 따라 북상하여 정착한 것으로 판단되는 과량돔, 독가시치, 자리돔, 뽕에돔, 잭방어 등은 아열대성 및 난류성 어종이 관찰되고 있다(표 4). 특히 겨울철에는 전체 출현 어종의 50% 이상이 배수로 내에서 월동을 한다고 추정되며, 그 종조성은 대마 난류의 영향을 받고 있는 제주도 남부 해역 및 울릉도 해역과 유사하다. 제주도를 비롯한 외양에 접한 남해안 도서 연안에서 볼 수 있는 자리돔은 배수로 내에서 연중 관찰되며, 9월에는 어린 새끼 떼들도 관찰되는 것으로 미루어 온배수의 영향으로 주위 연안에 비하여 높은 수온이 유지되는 배수구 부근에 정착하여 성장 및 번식하고 있음을 알 수 있다(명 2005).

온배수 배출은 주변해역의 수온을 변화시켜 자연환경에 피해를 주지만, 수산업 가치가 높은 온수성 어종의 어획량을 증가시키는 효과도 있다. 일본 북태평양 연안에 위치한 발전소 주변 어장에서 10년간 조사된 자료를 보면 겨울철에도 계속적으로 낮은 수심에서 농어가 어획되고 있으며, 어장의 크기도 발전소 가동 전보다 더 넓은 지역으로 확대되었다(高島 2005).

3. 온배수 피해보상 사례

표층배수 방식은 해수면과 동일한 높이로 온배수를 배출하는 방식이다. 배출되는 온배수는 높은 온도로 자연해수보다 밀도가 낮기 때문에 표층에 떠서 조류의 흐름에 따라 흐른다. 배출구에서의 유속으로 온배수는 일정한 거리까지 직진하지만 조석류를 따라 점차 연안 쪽으로 만곡 되어 흐른다. 점차 확산되면 수온이 감소하지만 중앙부로 갈수록 외부해수와 희석율이 감소하여 일정범위의 온도상승 영역 즉, 온배수확산구역을 형성된다(한국전력공사 전력연구원 1995).

온배수확산구역은 주변해역과의 수온평형이 깨진 상태이며 해당 범위 내에서 필연적으로 해양생태계 변화를 동반한다. 냉수성 종들과 협온성 종들은 높아진 주변 수온에 적응하지 못하고 점차 도태된다. 온배수 배출로 도태된 해양생물이 수산업적으로 중요한 종이라면 바로 수산업 피해로 이어지며, 수산업적으로 중요하지 않

표 4. 울진원자력 온배수 배수로의 계절별 어류 출현 현황

종 이름	일반이름	2월	3월	6월	7월	8월	9월	12월
<i>Engraulis japonicus</i>	멸치				○			
<i>Konosirus punctatus</i>	전어							○
<i>Tribolodon hakonensis</i>	황어			○	○			
<i>Mugil cephalus</i>	송어	○	○	○		○	○	○
<i>Hyporhamphus sajori</i>	학공치				○			
<i>Pungitius sinensis</i>	가시고기*		○					
<i>Hypodytes rubripinnis</i>	미역치	○	○		○	○	○	○
<i>Sebastes schlegeli</i>	조피볼락	○	○			○		
<i>Sebastes</i> sp.	볼락류			○				
<i>Hexagrammos agrammus</i>	노래미	○				○		
<i>Hexagrammos otakii</i>	쥐노래미		○					○
<i>Pseudoblennius cottoides</i>	가시망둑			○	○	○		
<i>Epinephelus septemfasciatus</i>	능성어*						○	
<i>Seriola dumerili</i>	젯방어*						○	
<i>Seriola quinqueradiata</i>	방어			○	○	○	○	
<i>Trachurus japonicus</i>	전갱이					○		
<i>Carangidae</i> sp.	전갱이류			○				
<i>Gerres oyena</i>	게레치						○	○
<i>Acanthopagrus schlegeli</i>	감성돔	○	○	○			○	○
<i>Upeneus bensasi</i>	노랑촉수				○	○	○	
<i>Parupeneus indissus</i>	짐촉수					○	○	○
<i>Girella punctata</i>	벙에돔*					○	○	○
<i>Microcanthus strigatus</i>	범돔	○					○	
<i>Rhyncopelates oxyrhynchus</i>	줄벤자리	○	○	○				
<i>Oplegnathus fasciatus</i>	돌돔	○	○	○			○	○
<i>Oplegnathus punctatus</i>	강담돔*						○	

표 4. 계속

종 이름	일반이름	2월	3월	6월	7월	8월	9월	12월
<i>Pomacentrus coelestis</i>	파랑돔*						○	
<i>Ditrema temmincki</i>	망상어	○	○	○	○	○	○	○
<i>Abudedefduf vaigiensis</i>	해포리고기*						○	
<i>Chromis notata</i>	자리돔*	○	○	○	○	○	○	
<i>Halichoeres poecilopterus</i>	용치놀래기	○	○	○		○	○	
<i>Halichoeres tenuispinnis</i>	놀래기	○	○	○		○	○	
<i>Pseudolabrus japonicus</i>	황놀래기		○			○		
<i>Pteragogus flagellifer</i>	어렁놀래기						○	
<i>Stethojulis interrupta terina</i>	무지개놀래기				○	○	○	○
<i>Enneapterygius etheostomus</i>	가막베도라치			○		○	○	○
<i>Omobranchus elegans</i>	앞동갈베도라치			○	○			
<i>Petroscirtes breviceps</i>	두줄베도라치	○					○	○
<i>Repomucenus beniteguri</i>	날뚝양태			○		○	○	
<i>Istigobius hoshinonis</i>	비단망둑			○		○	○	
<i>Chasmichthys dolichognathus</i>	점망둑			○				
<i>Favonigobius gymnauchen</i>	날개망둑			○	○			
<i>Sagamia genetonema</i>	바닥문절			○				
<i>Istigobius campbelli</i>	사자코망둑		○	○	○			
<i>Siganus fuscescens</i>	독가시치*						○	
<i>Paralichthys olivaceus</i>	넙치			○				
<i>Rudarius ercodes</i>	그물코쥐치						○	○
<i>Stephanolepis cirrifer</i>	쥐치				○		○	○
<i>Takifugu niphobles</i>	복섬	○	○	○	○			○
<i>Takifugu vermicularis</i>	국매리복	○		○				
<i>Takifugu</i> sp.	복어류				○			

* 아열대성 어종

은 경우라도 2차적으로 수산업 중에 영향을 줄 수도 있다. 이에 더하여 변경된 수온분포는 어류의 이동을 제한하여 체포어업에 영향을 미치기도 한다.

온배수에 의한 수산업 피해는 바로 온배수 배출 해역을 삶의 토대로 하는 지역 어민의 생계와 직결되는 중요한 문제로, 우리나라에서 처음으로 대단위 발전소가 해안가에 세워진 1970년대 초부터 지금까지 주요 온배수 배출업인 발전회사와 어민간의 분쟁이 끝이지 않고 있다. 온배수 문제의 대표적인 분쟁 사례 중 하나는 1996년 영광군이 영광원전 5, 6호기 건설 허가를 취소한 것이며, 지역주민은 해양 동, 식물의 평가대상 범위를 온배수로 인한 수온의 0.5 °C 상승범위까지로 확대하여 줄 것을 요구하기도 하였다. 현재의 지역주민과 발전회사 간의 갈등과 불신은 모두 온배수에 의한 수산업 피해의 산물이며, 본 연구과제가 표방하고 주제인 갈등조정 - 신뢰구축 - 상호부조 또한 수산업 피해에 대한 지역 어민들의 불만을 해소하기 위한 것이라 해도 과언이 아니다.

온배수에 의한 수산업 피해보상은 1970년대 초부터 시작되었지만, 비교적 체계적인 피해조사를 토대로 한 피해보상은 1980년부터 시작되었다. 본 보고서에는 1980년부터 지금까지 온배수 배출업체가 지역어민들에게 지불한 피해보상액을 중심으로 기술하기로 한다.

1980년 이후 2005년까지 각 발전회사에서 지불한 피해보상액은 약 3,230억원으로 원자력 부분이 약 1771억원, 화력부분이 약 1,459억원이었다. 원자력부분에서는 영광원자력이 1,681.3억원으로 가장 많은 피해보상액을 지불하였다(표 5). 지불 대상은 온배수 확산구역 내에서의 어업권 소멸에 따른 보상이 대부분을 차지하였다. 그 다음은 동해안에 위치한 울진원자력과 고리원자력이 각각 35.3억원 및 34.6억원이었다. 한편, 월성원전의 경우 현재 수산업 피해조사가 진행 중이다. 이와 별도로 지역주민의 어업활동을 지원하기 위하여 발전회사로부터 영광원전 지역어민에게 320억원 및 울진원전 지역어민에게 89.1억원이 5년 거치 5년 상환 조건으로 융자되었다(표 6).

화력부분에서는 최근 건설된 하동화력이 572억원의 보상액을 지불하였으며, 그 다음은 삼천포화력 544.63억원, 보령화력 318.7억원, 태안화력 40억의 순이었다(표 7). 피해보상액이 미미한 서천화력과 제주화력은 발전소 규모가 작아 온배수 배출량이 적었기 때문이며, 당진화력의 경우 현재 수산업 피해보상 협의가 진행 중이다.

동해안에 위치한 두 원자력 발전소의 피해보상액이 서해안에 위치한 영광원자력 발전소보다 피해보상액이 적은 이유는 영광원전이 위치한 지역적 여건에 기인한다. 영광원전이 위치한 영광군 해역은 자연해수의 연교차와 일교차가 커 상대적으로 온

표 5. 원자력발전소 냉각계통 가동에 의한 수산업 피해보상 현황

단위: 억원

배출단위	보상시기	보상사유	보상액
고리원자력	'80. 6	미역양식장 피해	4.6
	'90. 3	미역양식장 피해	15.0
	'92. 11	미역양식장, 종묘장, 1종공동어장 피해	34.6
소계			54.2
영광원자력	'95. 10	4개호기 어업피해(예측)	391.0
	'99. 1	4개호기 어업피해(실측)	246.8
	'03. 8	6개호기 어성어업 지원차액	33.0
	'04. 11	4개호기 맨손어업 피해(고창지역)	6.5
	'04. 12	광역해양조사 중간보고 후 피해보상	225.3
	'05. 12	구획어업 피해보상(영광, 고창)	239.8
	'06. 1	광역해양조사 후 피해보상(고창)	5,38.9
소계			1,681.3
울진원자력	'03. 5	4개호기 어업피해	29.4
	'04. 6	육상양식장 피해	5.9
소계			35.3
계			1,770.8

* 월성 : 피해보상 사례 없으나, 현재 수산업피해 관련 용역 수행 중

표 6. 원자력발전소 지역어민에 대한 용자금 현황

단위: 억원

배출단위	용자시기	용자사유	용자액
영광원자력	'96. 8	4개호기 어선어업 지원	20.0
	'02. 4	6개호기 어선어업 지원	70.0
	'02. 12	5, 6호기 건설 및 가동에 따른 어민 지원	230.0
소계			320.0
울진원자력	'03. 5	4개호기 어업피해 지원	3.1
	'03. 7	4개호기 어선어업 지원금 용자	86.0
소계			89.1
계			409.1

표 7. 화력발전소 냉각계통 가동에 의한 수산업 피해보상 현황

단위: 억원

배출단위	보상시기	보상사유	보상액	비고
삼천포화력	'96. 5- 12	건설, 가동에 따른 수산업 피해	260.29	
	'02. 2	“	284.34	
소계			544.63	
하동화력		1-4호기 건설, 가동에 따른 피해	214.0	1,416건
		5, 6호기 “	358.0	1,759건
소계			572.0	
태안화력	'95. 11	건설, 가동에 따른 수산업 피해	40.0	43건
보령화력	'89. 4	1, 2호기 오천만 해태 피해	4.9	
	'95. 6	3-6호기 어업 피해	154.0	
	'01. 1	1-6호기 어업 피해	78.6	
	'06. 1	복합화력 어업 피해	41.2	
소계			318.7	
서천화력	'87. 11	어업 피해	15.2	
제주화력	'03. 8	2, 3호기 어업 피해	2.5	
당진화력	'05. 7	1,4호기 어업 피해(해태양식)	5.7	국화도, 난지도
계			1,458.73	

배수에 의한 수온변화 영향이 크게 나타나는데 더하여, 빠른 조석류를 타고 온배수가 연안을 따라 비교적 먼 곳까지 도달한다. 또한 동 지역은 김 양식을 비롯한 해면양식어업과 정치망을 비롯한 해면어업이 발달한 수산업적으로 중요한 해역이다. 반면, 동해안의 경우 자연해수의 수온이 안정되어 있으며, 조석류가 비교적 강하여 온배수 확산구역이 서해안에 비하여 좁은 범위로 나타난다. 또한, 온배수 확산구역 내에서의 수산업 활동은 미역과 다시마를 대상으로 하는 해조류 양식과 소수의 정치망 어업이 대부분이어서 서해안과 남해안에 비하여 생산량이 다소 적기 때문이다.

한편, 기존의 임해공업지역이나 항만 내에 위치한 온배수 배출업체의 경우 피해 보상 사례가 없는 것은 온배수가 해양생태계에 미치는 영향이 없었기 때문이 아니라, 온배수가 배출되는 해역이 임해공단으로 인하여 수산업적 가치를 상실하여 더 이상의 수산활동이 없었기 때문이다.

제 3 절. 온배수 영향저감 방안

온배수 배출에 의한 해양생태계 영향을 최소화하기 위해서는 냉각계통 자체를 친 환경적으로 설계해야 하며, 냉각계통은 해양생태계의 시, 공간적 변화를 고려하여 탄력 있게 운영해야 한다. 본 절에 포함된 내용은 선진국 사례를 바탕으로 우리나라에서 실시 가능한 방안을 검토한 것으로 향후 해양생태계 보전을 위한 온배수 관리방안에 포함하여야 한다.

1. 냉각계통 시설개선

가. 관류냉각법 취수시설 개선

냉각계통의 운전에 있어 해양생태계에의 영향을 근본적으로 차단하기 위한 방법은 폐쇄순환식냉각법이 유일한 대안이지만 현실적으로 우리나라에서 적용하기에는 현시점에서 많은 무리가 있다. 따라서 관류냉각법을 채택하는 것을 전제로 하여 해양생태계 보호를 위한 냉각계통 설계 및 운영방안에 대하여 기술하기로 한다.

열기관에서 폐열처리 후 배출되는 온배수량은 취수되는 냉각수량과 일치하기 때문에 해양생태계 보호를 위한 냉각계통 운영방안은 바로 환경친화적 냉각계통의 설계 및 운영에서 출발해야 한다. 현재 이 분야에서 가장 심혈을 기울이고 있는 나라는 미국이다. 물론 경제력과 기술력에 많은 차이가 있는 미국의 사례를 우리나라에 그대로 적용할 수는 없으나, 미국의 사례를 바탕으로 우리나라 실정에 적합한 방안을 강구할 수 는 있을 것이다.

미국은 CWA Section 316(b)에 의거 냉각계통의 위치, 설계, 건설, 용량을 결정하는데 있어 환경영향을 최소화 하기위하여 적용 가능한 최고의 기술을 채택하여 시행하도록 규정되어 있으며 이를 증명하기위하여 포괄적인 실증연구 보고서를 제출하도록 규정하고 있다 [40 Code of Federal Regulations Part 125.95(b)] . 실증보고서의 목적은 건설된 냉각계통의 실제 가동결과를 통하여 충돌과 연행에 의한 해양생물의 피해를 영향이 현재의 기술로 도달 가능한 최대의 수준까지 저감되었음을 입증하여 냉각계통의 설계에 건설당시의 시점에서 사용가능한 최고의 기술을 사용하는 지를 검증하기 위한 것이다(Department of National Resources 2005). 이 보고에는 최고의 기술 검증방법, 냉각수원 및 수

피 특징, 냉각계통의 특징, 충돌 사망 및 연행 특징 연구결과, 냉각통의 설계, 건설 및 가동 계획, 피해로부터 회복 계획, 장기모니터링계획 등이 포함되어야 한다. 특히 충돌 사망 및 연행 특징 연구는 피해 가능성이 있는 어패류의 모든 생활사, 보호종, 위기종 여부 및 이들의 시공간적 분포 특성을 최소한 1년 조사(필요시 1년 보충조사)하도록 되어 있다.

현재 미국에서 냉각계통의 설계와 운영에 요구되는 사항 중 우리나라에 적용 가능한 것들은 다음과 같이 요약할 수 있다.

1). 냉각계통 설계

가). 위치 선정에 고려할 사항

냉각수로 사용되는 수괴는 해양생물의 산란장, 성육장, 회유경로, 하구역, 위기종 및 보호종의 서식지가 아닌 수괴를 선정해야 하며, 취수 시설물의 구조나 설비는 어류를 유인하지 않도록 설치해야 한다. 또한 취수구 위치는 일주기, 계절주기에 따른 다량의 난차지어 유입이 없는 곳을 선택하되 취수에 따른 해수유동이 자연적 성층현상(vertical stratification)을 파괴하지 않아야 한다.

수중취수는 냉각계통이 해양생태계에 미치는 영향을 줄일 수 있는 가장 좋은 방법이다. 해양에 있어 대부분의 부유생물과 유영동물은 표층 가까이에서 가장 높은 밀도를 보인다. 따라서 냉각수 취수 수심을 낮게 할 경우 충돌과 연행에 따른 해양생물 피해를 상당량 줄일 수 있다. 또한 취수되는 냉각수의 수온도 상대적으로 낮기 때문에 배출되는 온배수의 수온도 낮아 온배수에 의한 환경영향을 줄일 수 있다. 가장 효과적인 취수 수심은 수온약층(thermocline) 이하이다. 수중 취수는 효과가 크지만 조간대가 발달한 서해안에서는 취수 수심확보가 어려워 적용하기 힘들겠지만 동해안과 남해안에서는 비교적 손쉽게 적용할 수 있을 것이다.

나). 냉각계통 설계에 고려할 사항

냉각계통 설계시 취수 시설물 충돌 및 연행을 최소화하기 위하여 회전걸름망을 통과하는 유속을 최소한으로 느리게 설계해야 한다. 가능한 한 냉각수 취수량을 최소화하고 ΔT 증가를 증가 시키는 것이 바람직하다.

취수 시설물 주위에 밀집하거나 시설물에 충돌한 수산동물을 안전하게 자연으로

되돌려 보낼 수 있는 보호장치를 설치해야 한다. 수중 취수 및 수중배수는 해양생물이 밀집되어 있는 표층을 피하여 취수하고 배수하는 방법으로 해양생물보호에 매우효과가 있을 뿐만 아니라, 취수수온이 상대적으로 낮기 때문에 온배수 배출에 의한 영향도 줄일 수 있다.

최근 미국에서에서 추천하는 충돌 및 연행 저감 방안은 다음과 같다(Atlantic States Marine Fisheries Service 2002).

- 수동적 취수장치(Passive intake system): 구멍 있는 관이나 다공성 틱을 갖춘 걸름망을 사용하여 강압적이기 보다는 수동적 취수로 충돌 및 연행 최소화
- 충돌 저지장치(Diversion or avoidance system): 취수구 스크린 전면에 충돌저지망(deterrent net), 수압 커튼(water het curtain), 수중여과벽(aquatic filter barrier) 설치하여 충돌 가능성 있는 해양생물을 도피시켜 충돌 방지
- 어류 보호장치(Fish handling system): 물고기 엘리베이터(fish elevator), 살수장치(spray wash), 물고기 보호상자를 설치하여 충돌한 어류를 즉시 수거하여 자연으로 돌려보냄
- 건식 및 습식 폐쇄순환식 냉각방법 채택(EPA 2001)

2). 취수위치 조정

관류냉각법이 사용에 있어 비교적 저렴한 비용으로 해양생태계의 미치는 영향을 저감시킬 수 있는 것은 바로 취수위치의 조정이다. 해양생물의 분포는 일반적으로 연안에서 멀리 떨어질수록, 표층에서 저층으로 갈수록 그 밀도가 낮아진다. 즉, 연안에서 멀리 떨어진 곳에서 바닥 가까운 수심에서 냉각수를 취수한다면, 해양생물이 취수 시설물에 충돌하거나 연행되어 입는 피해를 상당량 저감시킬 수 있다. 이 방법은 조간대가 강활하게 발달한 서해안에서 적용하기는 어려움이 많지만, 남해안과 동해안에서는 큰 효과를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

3). 취수펌프 개선

해양생물이 냉각계통에 의하여 입는 피해는 다음의 상관관계식에서 볼 수 있듯이 시간당 취수량에 비례한다(Super(2003)는 미국 발전소의 사례를 종합하여 시간당 취수량이 충돌과 연행에 미치는 영향을 다음과 같은 상관관계가 있다고 보고하였다.

$$\begin{aligned} \text{충돌}(I) &= 0.1704V^{1.5943}, \\ \text{연행}(En) &= 457475V^{1.1405}, \\ V &= \text{시간당 냉각수 취수량}(f^3/\text{sec.}) \end{aligned}$$

사실상 시간당 취수량은 취수 유속에 따라 결정되기 때문에 취수펌프의 선택은 매우 중요하다. 발전량의 변화에 따라 취수량을 조절하기 위해서는 다단계 소형펌프가 유리하며, 해양생물의 민감기(산란기, 밀집기 등)에 충돌과 연행을 줄이기 위해서는 대용량의 저속펌프가 유리하다. 대용량 저속펌프를 기본펌프로 하고, 다단계 소형펌프를 보조펌프로 설치하여 취수 속도와 취수량을 상황에 따라 조절하면 큰 효과를 얻을 수 있다.

4). 환경영향 저감시설

취수 구조물에의 충돌 및 냉각계통에의 연행을 최소화하기 위한 방법은 냉각수 사용량을 줄이는 것이 가장 이상적이지만, 냉각수 사용량은 발전효율에 직접적으로 영향을 주기 때문에 냉각수량을 축소하는 데는 현실적으로 많은 제약이 있다. 따라서 취수 구조물에 충돌 가능성이 있는 해양생물을 취수구에서 멀리 떨어진 곳으로 유도하고, 충돌한 생물은 더 이상의 피해를 입기 전에 수거하여 안전한 곳으로 방류하는 것이 가장 보편적인 방법이다. 이러한 안전장치는 기능성에 따라 물리적 장벽, 수거장치, 회피장치 및 습성유도장치로 구분된다(Taft and Cook, 2003).

가). 물리적 장벽

최근 각광을 받고 있는 물리적 장벽은 원통썰기형 걸름망(cylindrical wedge screen), 수중여과벽(aquatic filter barrier), 그물망(barrier net) 등이다(표 8).

원통썰기형 걸름망은 대부분의 어류가 유속 0.9m/sec 이내에서 95% 이상 생존 가능하다(EPRI 2006)는 개념을 토대로 취수 유속을 0.9m/sec의 저속으로 하고 0.5mm 망목의 일반형 혹은 원통썰기형 걸름망을 설치하여 충돌 및 연행 방지 효과를 얻는 장치이다(그림 10). 취수방향은 자연적 해류흐름과 교차되게 설치하여 어류의 피동적 유입을 저지한다. 걸름망의 원통형 구조는 충돌개체와 걸름망의 접촉시간을 최소화시킴과 아울러 충돌한 어류의 도피를 수월하게 한다. 이 장치는 취수 유속이 빠를수록 효과 저하되기 때문에 다량의 냉각수가 필요한 경우에는 운전경비

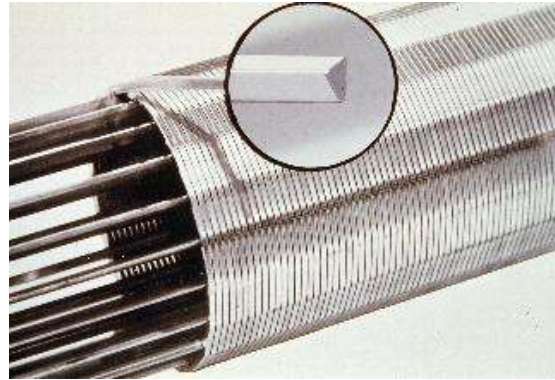
표 8. 냉각계통의 어류보호장치

유형	기능	구성요소
물리적 장벽	물리적으로 어류 유입 제한	Traveling screen Stationary screen Drum screen Cylindrical wedge screen Barrier net Aquatic filter barrier Porous dike Radial well Artificial filter bed Rotary disk screen
수거장치	어류를 수거하여 구제	Modified traveling screen Fish pump
회피장치	안전한 곳으로 유도	Angled screen Modular inclined screen Eicher screen Angled rotary drum screen Louvers/angled bar rack Inclined plane screen Vertical/horizontal traveling screen
습성유도	취수구 외측으로 어류 유집	Strobe light Mercury light Acoustic system Infrasound Airbubble curtain Hybrid system Other behavioral technologies

가 과다하게 소요되는 단점이 있다. 된다. 최근 15 ~ 30cm/초 범위의 저속 취수가 가능한 발전소들은 망목을 2mm 까지 확대한 원통형 걸름망을 건설하고 있다 (LADWP 2005). 미국 뉴저지 주 Logan Generating Station에서는 걸름망의 망목을 1mm로 축소하여 연행률이 90% 감소하는 효과를 얻었으며, 델라웨어 주 Eddy Stone Station에서는 원통썰기형 걸름망을 설치하여 150,000마리/월에 달하던 어류 충돌 피해를 거의 완전하게 해소하였다.



소망목 걸름망.



원통형걸름망(Cylindrical Wedgewire screen).

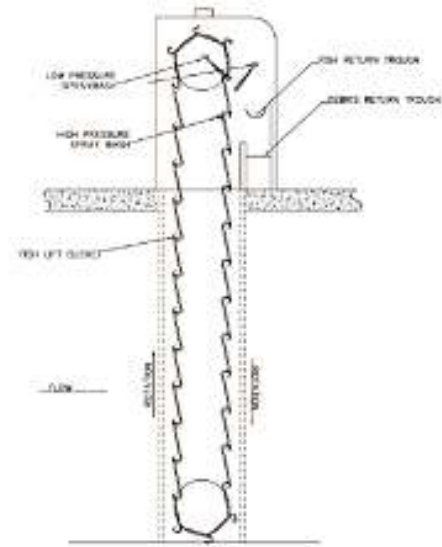
그림 10. 소망목 걸름망 및 원통형 걸름망의 구조.

수중여과벽은 투수성 섬유매트에 수지섬유를 넣어 만든 장치로 난치자어 연행을 저지하는 장치이며, 그물망은 취수구 전면에 설치하여 소형 혹은 중형 어류가 취수구 부근으로 들어오는 것을 차단하는 것이다. 망목은 취수구가 위치한 수괴에 분포하는 어류의 크기에 따라 차이가 있지만 반드시 어류가 그물망에 걸리지 않는 크기이어야 한다. 통상 4 ~ 32mm 정도의 망목을 사용하며(EPRI 2000), 하구역과 계절적으로 많은 어류가 회유하는 정소에 적합하다.

수거장치 중 가장 효과 있는 것은 개량형 이동식 걸름망(modified traveling screen 또는 Ristroph screen)이다. 기존 걸름망의 망목은 통상 10mm이며, 80-120psi의 높은 압력으로 세척하여 충돌어류의 생존율이 15% 이하이었으나, 개량형걸름망을 설치하여 충돌어류의 생존률 획기적으로 향상시킬 수 있다(EPA 2005). 동 장치는 걸름망에 충돌한 어류가 큰 피해를 입지 않고 도피할 수 있도록 물을 채운 고기 바구니를 걸름망의 전면에 설치하여 충돌 또는 연행 직전의 어류가 안전하게 머물게 하고, 이를 주기적으로 수거하여 바다로 돌려보낼 수 있도록 한 것이다(그림 11). 물고기 바구니 안은 유체역학적으로 안정성 있게 설치되고, 무결절 망을 사용하여 충돌한 어류의 비늘이 손상되는 것을 방지하고 바구니에서 어류가 쉽



걸름망의 구조.



걸름망 세부구조.

그림 11. 개량형 걸름망(Ristroph screen)의 구조(EPA 2005).

게 탈출하도록 어도를 설치해야 한다. 이를 위하여 어류를 부드럽게 이동시킬 수 있는 살수장치와 적절한 탈출구를 배치하여, 고형물 찌꺼기 제거를 위한 고압 세척 이전에 어류를 안전하게 이동시켜야 한다.

동 장치는 연속적으로 가동해야만 효과가 있기 때문에 기존의 걸름망에 비하여 운전경비가 많이 소요되는 단점이 있지만 충돌 어류의 생존율을 획기적으로 향상시킬 수 있어 많은 주가 발전소에서 의무적으로 채택하게 하고 있다.

뉴저지 주 Salem Generation Station(1996년 설치)에서는 동 장치를 설치하여 충돌 어류 생존율을 민어과어류 88%, 농어류 93 ~ 98%, 멸치류 20 ~ 72%, 대서양 민어 58 ~ 98%, 및 청어 78 ~ 82%로 향상시켰으며, 캘리포니아 주 Diablo Canyon 및 Moss Landing Power Plant (1988년 설치)에서는 충돌 어류 사망률 75% 이상 절감시켰다. 뉴욕 주 Arthur Kill Station (2000년 설치)에서는 8개의 걸름망 중 2개만을 개조하여 어류수집구, 저속 세척장치 및 분리된 어류 도피문을 추가함으로 충돌 어류의 생존율을 15%에서 79% 이상으로 향상시킨 사례가 있다.

나). 회피장치

회피장치는 어류가 취수 시설에 충돌하기 이전에 다른 곳으로 회피시키는 방법이다. 기울인 걸름망(angled screen)은 일반 이동식 걸름망을 인입되는 수류에 20° 정도 비스듬하게 설치하여 어류가 걸름망의 기울기를 따라 빠져 나갈 수 있게 하는 것으로 어류 도피로(bypass)를 구비해야 효과가 있다. 어종에 따라 차이는 있지만 취수조건이 안정되어 있는 곳에서 수거장치와 같이 사용할 경우 효과 매우 크다. 기울인 걸름망과 취수로에 일정한 간격을 두고 경사진 격판을 설치하여 어류의 회피 효과를 크게 증대시킨 것을 격벽식(louver system)이라 한다. 이러한 어류회피와 관련된 장치들은 모두 합하여 하나의 모듈(modular inclined screen)로 설치할 수도 있다.

다). 습성유도

습성유도는 어류의 행동습성을 이용하여 어류가 취수구 부근으로 접근하는 것을 방지하는 것이다. 취수구 전면에 강한 빛을 부정기 적으로 비추어 어류가 놀라 회피하게 하는 것이 가장 보편적인 방법이다. 이외 공기커튼, 고주파(120KHz) 음향 발사 등의 방법이 있다. 습성유도장치는 어종별 반응 차이가 크기 때문에 단독적으로 사용할 경우 큰 효과가 없지만 2 ~ 3가지 장치를 복합적으로 사용하면 효과가 있다.

라). 해양생물 보호시설 경비

해양생태계 보전을 위한 취수 구조물의 시설은 취수구가 위치한 해역의 환경에 맞추어 결정해야 함과 아울러 시설비와 운영비에 대비한 효율을 감안해야 한다. 예를 들자면, 수중 여과벽은 가장 효과적인 보호대책이 될 수 있지만 설치비는 냉각수 취수량 기준으로 \$816,780m³/sec에 달하여 100만KW급 원자력발전소에 설치할 경우 약 300억원의 막대한 설비비와 약 23억원/년의 운영비가 소요된다(표 9). 따라서 우리나라에서 적용할 수 있는 보호장치는 효과가 뚜렷하고 경비가 비교적 저렴한 그물망, 습성 이용 회피장치, 개량형 걸름망, 물고기 펌프, 유속저감 덮개를 기본 시설로 하고 주변해역의 해양생물학적 특성을 면밀하게 조사하여 추가적인 해양생물 보호시설 설치 여부를 설치하는 것이 바람직하다. 현재 냉각수 사용량 200m³/sec

표 9. 미국 내 35개 발전소의 어류보호 시설의 평균연차설치비 및 평균연간운영비
단위 : \$/m³/sec

시설명	시설비	연간 운영비
Aquatic filter barrier	815,780	60,071
Bar rack barrier	74,164	2,473
Barrier net*	28,269	3,180
Behavioral barrier*	42,403	2,473
Coarse mesh Ristroph screen*	155,478	12,368
Fine mesh Ristroph screen	283,755	16,255
Fish pump*	3,534	2,827
Fixed panel screen	120,142	7,774
Modular inclined screen	141,344	1,413
Narrow slot wedge wire	515,906	13,024
Velocity Cap*	28,269	353
Wide slot wedge wire	180,214	3,534

자료: Taft and Cook (2003) 재구성, * 국내 추천 장치

수준인 월성원자력발전소 취수 시설에 해양생물 보호시설을 설치하는데 소요된 경비는 약 500억원으로 추정되며, 운영비는 약 40억원/년에 달할 것으로 추정된다.

5). 해양생태계에 미치는 영향평가

환경영향 저감시설을 갖추었거나 갖추지 못한 경우를 불문하고 모든 냉각계통은 주기적인 조사를 통하여 그 환경영향을 정량화 하고, 그 결과에 따라 환경영향 저감을 위한 개선 방안을 지속적으로 강구해야 한다. 냉각 시설물에 충돌하거나 연행되는 해양생물에 대한 정량적 정성적 조사는 최소한 계절별로 수행되어야 한다. 계절조사는 조석주기별 및 일주기별로 실시하여 충돌 및 연행되는 해양생물의 종, 개

체수, 크기, 무게를 조사해야 한다. 아울러 개선 가능한 모든 냉각방법에 대하여 자연환경 회복의 실행효과를 장기 모니터링 하여야 하며, 그 결과에 따라 냉각시스템의 시설 개선 또는 운영방안을 개선해야 한다. 모니터링결과 냉각시스템 가동이 자연환경에 미치는 영향이 미미하며, 변동이 없을 경우 조사내용을 축소해도 무방할 것이다.

나. 관류냉각법 배수시설 개선

1). 냉각지, 냉각수로, 분산법

냉각지는 복수기에서 폐열이 부하된 온배수를 냉각지에서 자연수온에 도달하도록 충분히 식힌 후 다시 냉각수로 사용하는 방법이다. 그러나 100만Kw의 발전소 가동에 필요한 냉각지의 면적은 수심 10m를 기준으로 6km² 이상으로 천연적 소만이나 해안 기수호가 없을 경우 부지 확보 및 건설이 어렵다. 또한 여름철 고수온기인 경우 대기와의 열교환속도가 느려져 온배수의 수온이 완전하게 낮아지지 않은 상태로 다시 냉각수로 취수될 가능성도 발생한다. 또한 극한적으로는 온배수 온도보다 기온이 높아 대기와의 열교환 방향이 역전되는 경우도 있을 수 있다. 따라서 우리나라의 경우 관류냉각법의 보조수단으로 사용하는 것이 타당하다. 즉, 온배수가 해양으로 배출되기 전에 일시 저장하여 수온을 1차적으로 낮추어 준 후 배출하는 개념으로 해석해야 한다. 상기와 같은 관점에서 볼 때 온배수로를 보다 길게 연장하여 부분적으로 냉각수로 역할을 담당하게 하는 것은 온배수 영향저감의 한 방법이 될 수 있다. 이 경우 온배수는 일정한 속도를 가지고 흐르기 때문에 유속이 거의 없는 냉각지에 비하여 대기와의 열교환 속도가 빠르다. 발전소의 경계를 따라 냉각수를 설치할 수 있다면 비교적 저렴한 비용으로 소기의 성과를 얻을 수 있을 것으로 생각된다. 모든 경우에 있어 관류냉각법을 채택하는 열기관은 온배수로의 수면적을 최대한으로 확대하여 온배수가 자연으로 배출되기 전에 다소나마 수온을 낮추어 주기 위한 노력에 힘을 기울여야 한다.

분산법은 온배수를 배출하기 전에 공중으로 분사하여 대기와의 열교환을 촉진하는 방법이며, 좁은 공간에서 단기간 내에 온배수 온도를 낮추어 주는 방법이다. 그러나 전술한 것과 같이 고수온기에 사용하기 어려운 제한성이 있으며, 비산하는 염분으로 주변 환경과 시설물에 2차적 염분 오염을 야기 시킬 가능성이 있기 때문에 좁은 공간 안에 발전시설이 밀집되어 있으며, 근 거리에 인구밀집 지역이 있는 우

리나라 현실에는 적합하지 않다.

2). 수중배수

온배수 배출방법은 크게 두 가지로 해수면 표면으로 배출하는 “표층배수” 방식과 어느 정도 수심 깊이의 바닷물 속으로 배출하는 “수중배수” 방식이 있다. 표층배수 방식에 의한 온배수는 해수면과 같거나 약간 높은 곳에 위치한 배수구로부터 바다로 흘러나가게 된다. 배출된 온배수는 바다의 표층으로 확산되어 나가며, 해역의 흐름 등에 의하여 주변 해수와 혼합되며 한편, 일부분의 열은 대기 중으로 방출되며 자연의 수온으로 돌아간다.

표층배수가 온배수 배출 수괴의 2차원적 이용이라면 수중배수는 3차원적 이용이다. 지금까지 심층배수 혹은 저층배수라는 용어를 사용하는 경우가 종종 있었으나, 사실상의 배수수심이 20m를 넘지 못하기 때문에 심층 혹은 저층배수라는 용어는 적당하지 못하며, 수중배수라고 부르는 것이 타당하다. 간혹, 수중배수를 하더라도 해양에 부하되는 총열량은 변화가 없기 때문에 온배수확산구역의 범위는 그다지 변화가 없다는 주장도 있으나, 이는 배수 수심이 10m 내외에 불과한 수중 배수 형태로 뚜렷한 수중배수 효과를 나타내지 못하기 때문이다.

수중배수 방식은 표층보다 다소 낮은 온도를 유지하는 수중에 온배수를 방류함으로써 배출되는 온배수가 상승하면서 상대적으로 낮은 수온의 해수와 혼합되게 하여 희석 효과를 극대화 시키고 온배수 방류로 인한 수온 상승 영역을 최소화하는 방법이다(그림 12). 온배수는 주변 해수에 비하여 비중이 낮기 때문에 주변 해수와 혼합되어 서서히 온도가 높아지면서 표층에 도달한 후 표층방류 때와 동일한 과정을 통하여 확산된다. 표층으로 부상한 온배수는 표층으로 배수된 온배수에 비하여 수온이 낮기 때문에 해양생태계에 미치는 영향과 범위가 줄어든다.

수중배수에 있어 배수 수심이 깊을수록 효과가 크지만 이에 비례하여 운전 경비가 늘어나는 단점이 있다. 즉, 수중방류의 경우 충분한 방류 수심을 확보하는 공사의 어려움이 따르고 이로 인한 공사비의 투입이 많아진다. 또한 수층에서의 빠른 열교환으로 확산범위가 줄어드는 장점은 있으나 주변 해역의 유속변화가 특히 배수구 주변에서 표층방류에 비하여 뚜렷하게 나타나는 단점이 있다.

현재까지 시공되어 활용되는 대표적 사례가 초기희석 효과 및 온배수 귀환 억제 기능이 가장 우수한 것으로 알려진 수중다공확산관(submerged multiport diffuser)

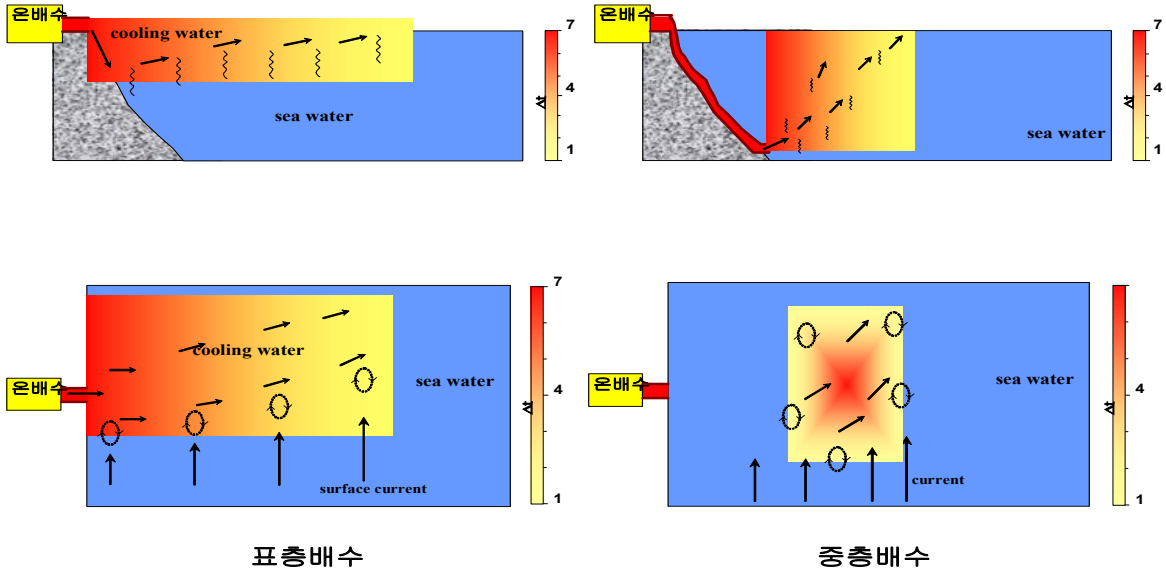


그림 12. 배수방법에 따른 온배수 확산

방식으로 밝혀진 바 있다(Miller and Brighthouse, 1984). 이 기법은 발전소 부지에 인접한 해안에서 멀리 떨어진 해저에 다공의 확산관을 설치, 온배수를 수중에 분사하여 최대의 희석효과를 확보하려는 시스템으로 외국의 많은 발전소가 채택하고 있는 방법이다.

가까운 일본에서도 이미 이 방법을 채택하여 운영 중에 있으며(표 10), 우리는 아직까지 초기 설비 투자의 과다로 동해화력발전소, 제주화력발전소 및 부산복합화력발전소 3 곳에서만 적용하고 있으며 대형발전소에서는 아직 사용실적이 없지만, 최근 건설 중인 신고리 및 신월성 원자력발전소는 수중배수를 채택하고 있다. 향후 건설되는 열기관은 수중배수를 채택하는 것을 권장한다.

2. 냉각방법 변경

대단위 열기관의 폐열 처리에 있어 냉각계통 가동에 의한 해양환경 영향을 가장 확실하게 없애는 방법은 관류 냉각법을 탈피하여 폐쇄 순환식 냉각방법을 채택하는

표 10. 심층배수 방식을 채택하고 있는 일본의 발전소 현황

전력 회사	발전소 명	방류 수심 (m)	방류 속도 (m/s)	방류수 온도차(℃)
북해도전력	泊發電所(1, 2호기)	9	4.0	7
“	泊發電所(3호기)	9	4.0	7
동북전력	女川발전소(2호기)	10.2	4.0	7
“	女川발전소(3호기)	10.2	4.0	7
“	東通發電所(1호기)	5.4	4.0	7
북육전력	志賀發電所(1호기)	14	4.0	7
“	志賀發電所(2호기)	16	5.0	7
관서전력	高浜發電所(3, 4호기)	10	2.0	7
“	大飯發電所(3, 4호기)	5.5	1.9	7
중국전력	島根發電所(3호기)	15	3.0	7
사국전력	伊方發電所(3호기)	6	4.3	7
구주전력	玄海發電所(3, 4호기)	14	4.0	7

것이다. 폐쇄 순환식을 사용할 경우 냉각수 사용량을 96% 이상 줄일 수 있으며, 해양으로 직접 배출되는 온배수가 없기 때문에 자연적으로 온배수 영향은 없어진다. 다만 과도한 건설비와 부지 확보의 어려움 있다. 또한 비교적 건설 및 운영비가 저렴한 습식냉각탑을 사용할 경우 비산하는 염분에 의한 농작물 피해, 산업 및 생활 기자재 오손, 국지 기상변화(안개, 결빙) 등의 2차적인 영향이 발생한다. 따라서 우리나라에서 폐쇄 순환식 냉각법을 채택한다면 건식냉각탑이 유일한 대안이다.

미국의 Tera Tech.(2002)은 캘리포니아에 위치한 920MW급 발전소인 Morro Bay Power Plant의 관류 냉각법을 폐쇄 순환식으로 전환하는데 소요되는 비용을 조사한 결과 건식 냉각탑의 경우 약 1,000억원(\$104.9M)이 소요되며, 연간 약 90억원의 추가 경비가 소요된다고 하였다(표 11).

Tera Tech.(2002)의 계산은 부지 비용 및 복수기에서 냉각탑까지의 배관비를 제외한 비용이다. 냉각탑의 기본 크기는 1,000MW급 발전소를 기준으로 할 때 직경

표 11. 냉각방법 전환 비용

냉각계통		발전량(MW)	투자비 (\$M)	운영비* (\$M/y)
습식냉각탑		970	28.2	2.5
건식냉각탑		970	104.9	9.3
습/건식냉각탑		970	97.6	8.6
월해 배수	180m	970	7.8	
	890m	970	23.0	

* 30년 사용기준, 발전량 저하를 방지하기 위한 2차 연소시설을 포함 설비투자비 및 열손실비 포함 연간운영비

자료: Morro Bay Power Plant (Tera Tech. 2002).

120m, 높이 100m의 거대한 크기로, 1기의 냉각탑 건설에 필요한 부지는 최소한 5000평에 달하여 부지 비용을 감안 한다면 건설비는 기하급수적으로 늘어난다. 이미 영광원전 온배수영향 대책 합동작업반(1995)은 영광원전의 냉각방법을 습식냉각탑을 이용한 폐쇄 순환식으로 전환 하는 것을 검토하였으나 냉각탑 설치를 위한 공간 부족, 냉각탑에서 발생하는 2차적인 환경영향, 약 700억원/호기에 달하는 과도한 건설비 등의 이유로 국내 적용이 어려운 것으로 판단한 바 있다. 만일 영광원자력 발전소의 6개호기 모두에 대하여 2차 환경영향이 없는 건식냉각탑을 건설할 경우 부지비용을 제외하고 약 1조원이 소요되리라 추정 된다

한편 중국의 경우 관류냉각법이 보조수단으로 소형 냉각탑을 운용하는 경우가 있다. 이는 중국의 화력발전소청정운전표준(清潔生產標準-燃煤電廠, 中華人民共和國 2003)에 의거 화력발전소의 열효율은 최소한 45%를 유지하도록 규정하고 있으며, 또한 냉각용수 사용량을 제한되고 있기 때문이다. 발전 자체만을 고려할 때 중국의 일반 화력발전소의 총열효율은 40% 이하이기 때문에 적극적인 폐열의 재활용을 통해서만 국가에서 요구하는 표준에 도달할 수 있다.

중국 산둥성 황도에 위치한 황도화력발전소는 제2차 냉각계통에 사용하는 냉각수는 발전소 폐열을 이용한 6,000톤/일 규모의 탈염시설과 20,000톤/일 규모의 해수담수화 시설을 가지고 있으며, 여기서 생산한 담수를 발전기 자체에서 생산되는 열을 식혀주기 위한 보조냉각수(2차 냉각수)로 사용하고 있다. 보조냉각방식은 폐쇄냉각

식으로 소규모 냉각탑을 사용하고 있다(그림 13). 이에 따라 동 발전소에서 관류냉각법으로 처리하는 폐열량은 화석연료 대비 35% 이하의 수준이다. 중국 화력발전소가 동급의 우리나라 화력발전소에 비하여 온배수 사용량이 10% 이상 적다는 것은 생각해야 할 부분으로 생각한다.



그림 13. 중국 황도화력발전소(좌측: 소형 냉각탑, 우측: 온배수 배수구)

3. 발전시설 개선

가. 발전효율 증대

온배수 배출량을 줄이는 가장 효과적인 방법은 열효율을 극대화 시켜 폐열의 발생량을 줄이는 것이다. LNG를 연료로 할 경우 49% 이상의 열효율(서인천화력발전소)를 얻을 수 있으며, 복합화력발전소는 52.7%의 높은 열효율(부산복합화력발전소)을 얻을 수 있어 일반 화력발전소에 비하여 온배수 사용량을 67% 정도 절감시킬 수 있다. 신규로 건설하는 발전소는 가능한 한 복합화력발전소로 건설하고 노후 발전소의 리모델링은 발전효율을 극대화시킬 수 있도록 배려하여야 할 것이다.

나. 발전방식 변경

온배수가 흘러들어가는 해역의 계절적 수온변화에 따라 온배수 사용량을 조절하는 것은 해양생태계 보호에 좋은 효과를 발휘할 수 있다. 즉, 주변 해역의 수온에 따라 ΔT 를 조절하는 것으로 고수온기에는 ΔT 를 낮추어 주고 저수온기에는 ΔT 를 높여 주는 방법이다. 동절기에는 온배수에 포함된 열에너지가 대기 중으로 빠르게 전이되어 상대적으로 온배수 확산구역이 줄어들 뿐만 아니라, 온배수에 의한 수온상승은 수산생물의 성장에 도움이 된다. 또한, ΔT 를 증가 시키는 것은 냉각수 취수량을 줄이는 것이기 때문에 해양생물의 충돌 및 연행 피해도 같이 줄일 수 있다. 그러나 고수온기에 ΔT 를 감소시키는 데는 발전 효율상 문제가 발생할 수 있으며, 과도한 냉각수 사용은 해양생물의 충돌 및 연행 피해를 증가시키기 때문에 신중하게 결정해야 한다.

저수온기에는 회유성 해양생물이 온배수 확산구역 안쪽으로 밀집되며, 결국 온배수 배출구 주위에 모이게 된다. 이 때, 발전사고 혹은 정기점검을 위하여 발전소가동이 중지 된다면 급격한 수온 하강으로 배수구 주위에 밀집한 해양동물들이 치명적인 피해를 입을 수 있다. 이를 저온충격(cold shock)이라 하는데 모든 발전소는 동절기에 보수 및 점검을 피해야 할 것이다. 미국 뉴욕주 등은 12월에서 이듬해 3월까지 온배수를 해양으로 배출하는 발전소에 대하여 온배수 배출이 완전히 중단시키는 발전소의 정기 점검을 법으로 금지하고 있다(N.Y. 1991).

4. 온배수의 적극적 이용

온배수를 적극적으로 이용하는 것은 온배수로 인한 손실을 온배수를 이용하여 다시 얻는 것으로 능동적인 온배수 영향 저감방안이 될 수 있다. 즉, 발전소 주변 해역이 생태계에 미치는 부정적 영향을 온배수를 이용한 수산양식, 시설농업, 온배수 확산구역에서의 바다목장 조성, 해양생태공원 조성 등으로 상쇄하는 것이다. 이에 대한 자세한 내용은 제3장 제4절 2항의 “온배수 관리시스템(시안)의 구성”에서 다시 자세하게 논하기로 한다.

제 3 장. 해양생태계 보전을 위한 온배수 관리방안

제 1 절. 온배수 관리방안의 배경

1. 온배수 관리방안의 법률적 배경

온배수 관리방안의 법적 근거는 2007년 1월 22일 법령 제8560호로 공포된 “해양환경관리법(이하 관리법)”이다. 관리법 제2조(정의) 2에 “해양오염이라 함은 해양에 유입되거나 해양에서 발생하는 물질 또는 에너지로 인하여 해양환경에 해로운 결과를 미치거나 미칠 우려가 있는 상태를 말한다.”로 명기하여 온배수의 해양배출이 해양오염의 한 형태인 것을 법률로 규정하였다. 이는 해양생태계 보전을 위한 온배수 관리방안 수립을 위한 법률적 기초를 제공하고 있는 것으로 해양생태계 보전을 위한 온배수 관리방안은 바로 해양환경관리법의 테두리 안에서 마련해야 할 것이다. 본 보고서에서 검토하고 있는 해양생태계 보전을 위한 온배수 관리방안과 연관되는 해양환경관리법의 각 조항은 다음과 같이 요약할 수 있다.

가. 해양오염과 온배수

온배수는 자연해수에 발전소 폐에너지가 부하되어 수온이 상승한 것으로 관리법 “제2조(정의) 2. “해양오염”이라 함은 해양에 유입되거나 해양에서 발생하는 물질 또는 에너지로 인하여 해양환경에 해로운 결과를 미치거나 미칠 우려가 있는 상태를 말한다.” 에 언급된 해양으로 유입되는 에너지를 말한다.

사실상 인위적으로 해양에 유입되는 에너지는 온배수가 유일하며, 해양환경에 해로운 결과를 미치거나 미칠 우려가 있는 상태의 에너지도 온배수가 유일하다. 물론 온배수는 양면성이 있어, 계절에 따라서는 해양생물의 생산력을 증가시켜주는 역할도 하다. 그러나 우리나라 실정법으로 2008년 1월 20일부터 발효될 해양환경관리법에서 온배수를 해양오염의 한 범주로 정의한 이상 온배수가 해양환경에 해로운 결과를 미치는 물질이냐에 대한 논란은 관리법의 제정 취지에 어긋나는 것으로 더 이상의 논쟁은 필요 없으리라 본다.

나. 온배수 관리방안 수립 의무

1). 관리방안 수립

해양수산부장관은 관리법 “제5조(국가 등의 책무) ①국가와 지방자치단체는 해양 오염으로 인한 피해를 예방하고 훼손된 해양환경을 복원하는 등 해양환경의 적정한 보전·관리에 필요한 시책을 수립·시행하여야 한다.”에 의거 온배수에 의한 피해를 예방하고 복원하기 위한 시책 즉 해양생태계 보전을 위한 온배수 관리방안을 수립·시행할 의무가 있다.

2). 해양환경기준 고시

해양수산부장관은 관리법 “제8조(해양환경기준) ①해양수산부장관은 「환경정책기본법」 제10조에 따른 환경기준을 유지하고 「해양수산발전 기본법」 제13조에 따른 해양환경의 보전을 위한 시책에 필요한 해양환경의 기준(이하 “해양환경기준”이라 한다)을 해역별·용도별로 정하여 고시하여야 한다. 이 경우 해양수산부장관은 미리 관계 행정기관의 의견을 들어야 한다.”에 의거 온배수 배출 기준을 고시할 의무가 있다.

3). 정도관리

해양수산부장관은 관리법 “제12조(해양환경 측정·분석기관의 정도관리) ①해양수산부장관은 해양환경 상태를 측정·분석하는 기관 중 대통령령이 정하는 기관(이하 “측정·분석기관”이라 한다)으로 하여금 정확하고 신뢰성 있는 측정·분석을 하게 하기 위하여 해양수산부령이 정하는 바에 따라 측정·분석능력의 평가, 관련 교육의 실시 및 측정·분석과 관련된 자료의 검증 등 필요한 조치(이하 “정도관리”라 한다)를 할 수 있다.”에 의거 해양수산부령으로 온배수 전문기관을 지정하고 감독할 권한이 있다.

4). 특별관리해역 지정

해양수산부장관은 관리법 “제15조(환경관리해역의 지정 및 관리) ①해양수산부장

관은 해양환경의 보전·관리를 위하여 필요하다고 인정되는 경우에는 다음 각 호의 구분에 따라 환경보전해역 및 특별관리해역(이하 “환경관리해역”이라 한다)을 지정·관리할 수 있다. 이 경우 관계 중앙행정기관의 장과 미리 협의하여 한다.”에 의거 중앙행정기관의 장과 미리 협력하여 온배수확산구역을 수산자원보전지구에 준하는 특별관리해역으로 지정할 권한이 있다.

5). 관리위원회 설치

해양수산부장관은 관리법 “제17조(해양환경관리위원회) ①해양환경에 관한 주요 정책 및 계획을 수립하거나 해양오염의 조사·방지 등에 관한 주요 사항을 심의하기 위하여 해양수산부장관 소속으로 해양환경관리위원회를 둔다.”에 의거 해양수산부 산하에 해양환경관리위원회를 설치할 수 있으며, 중앙온배수관리위원회를 해양환경관리위원회의 세부 위원회로 하거나 동 위원회가 중앙온배수관리위원회의 기능을 갖도록 할 수 있다.

6). 시설개선 명령

온배수 영향 저감을 위한 시설개수는 관리법 “제18조(해양환경개선조치) ①해역관리청은 오염물질의 유입 또는 퇴적 등으로 인한 해양오염을 방지하고 해양환경을 개선하기 위하여 필요하다고 인정되는 때에는 대통령령이 정하는 바에 따라 다음 각 호의 해양환경개선조치를 할 수 있다.

- (1). 오염물질 유입방지시설의 설치
- (2). 오염물질의 수거 및 처리
- (3). 오염된 퇴적물의 수거

(4). 그 밖에 해양환경개선과 관련하여 필요한 사업으로서 해양수산부령이 정하는 조치”에 의거 대통령령으로 명할 수 있으며, 이에 필요한 사업 시행은 해양수산부령으로 시행할 수 있다.

그러나 법률적으로 온배수를 오염물질이라 규정한다 하여도 사실상 배출된 온배수를 수거 및 처리할 방법은 없기 때문에 시설개선 명령은 냉각수 사용량 축소 및 냉각계통 가동에 따른 환경영향을 저감 시킬 수 있는 시설개선에 국한되어야 할 것이다.

7). 온배수 분담금

해양수산부장관은 관리법 “제19조(해양환경개선부담금) ①해양수산부장관은 해양 환경 및 해양생태계에 현저한 영향을 미치는 다음 각 호의 행위에 대하여 해양환경 개선부담금(이하 “부담금”이라 한다)을 부과·징수한다.”에 의거 대통령령으로 온배수 배출규모를 정하고 이에 대한 부담금을 부가·징수할 권한이 있다.

다. 온배수 배출자의 의무

온배수 배출자는 관리법 “제5조(국가 등의 책무) ②해양에서의 개발·이용행위 등 해양환경에 영향을 미치는 행위 또는 사업을 행하는 자는 해양오염 및 해양환경의 훼손을 최소화하도록 필요한 조치를 하여야 한다.”에 정한 해양환경에 영향을 미치는 행위를 행하는 자로 온배수 배출이 해양생태계에 미치는 영향을 최소화할 의무가 있다.

온배수 관리방안을 위한 제반 경비는 관리법 “제7조(오염원인자 책임의 원칙) 자기의 행위 또는 사업 활동으로 인하여 해양환경의 훼손 또는 해양오염을 야기한 자(이하 “오염원인자”라 한다)는 훼손·오염된 해양환경을 복원할 책임을 지며, 해양환경의 훼손·오염으로 인한 피해의 구제에 소요되는 비용을 부담함을 원칙으로 한다.”에 의거 온배수 배출자가 부담하여야 한다.

2. 온배수관리방안의 해양학적 배경

가. 우리나라 해역의 해양물리학적 구획

1). 우리연안의 월별 평균 수온 분포

국립수산과학원에 매년 2월, 4월, 6월, 8월, 10월, 12월에 총 6회 걸쳐 정선관측을 실시하고 있으며(국립수산과학원 2001) 동 자료를 인용하여 분석한 우리나라 연안의 월별 평균수온 분포 현황은 다음과 같다.

2월의 평균 수온 분포에서 서해의 경우는 남부역의 표층에서 10℃이하이고 중부역이 5℃이하로 남해와 동해에 비하여 낮은 수온 분포를 보이고 있다. 남해는 10-14℃의 등온선이 제주해협에서 대한해협으로 연결되어 있으며, 제주도 이남에서

는 15℃이상으로 가장 높은 수온을 보였다. 동해는 남부역에서 12-13℃이고 중부역의 이북으로 10℃이하로 분포하였다(그림 14). 그리고 수심 10m의 분포는 표층의 분포와 일치하는 것으로 혼합층이 계절적인 영향으로 깊게 형성되어 있는 것으로 판단된다.

4월의 경우는 2월과 유사한 분포 양상을 보이고 있으나 서해 중앙부의 5℃와 동해 중앙부의 10℃이하의 수괴는 사라졌다(그림 15). 남해도 2월과 분포 양상이 비슷하나 제주도 이남에 16℃이상으로 좀 높게 나타났다. 수심 10m의 경우도 혼합층의 형성으로 표층과 분포가 거의 일치하였다.

6월부터는 표층의 수온이 높아져 전체 해역에 분포 범위가 14~21℃사이로 나타 서해는 2월과 4월의 경우는 수온의 구배가 남쪽방향으로 높아졌으나, 6월의 경우는 연안에서 외해 구배가 형성되는 양상을 보였고 남해쪽은 제주도 이남이 20℃이상으로 대마난류의 영향을 받아 높은 수온대를 형성하였다. 동해의 경우는 해안선 부근에서는 외해방향의 수직방향으로, 외해에서는 수평방향 으로 등온선이 분포하며 수온의 범위는 17-19℃이다. 수심 10m의 분포는 남해는 거의 일치하나 서해와 동해는 등온선의 분포는 유사하나 수온약층의 발달로 수온이 조금 낮아졌다(그림 16).

8월은 태양 복사열에너지에 의해 표층과 수심 10m의 수온이 급격하게 상승하였다(그림 17). 서해와 남해 연안의 모든 해역에 25℃이상의 고온수가 분포하며 동해 연안 에서도 23~25℃사이 수온대를 보였다. 수심 10m의 경우도 높은 수온대이며 그 범위는 20~27℃이다.

10월의 경우 서해는 20℃이하로 거의 균일한 수괴가 표층과 10m에 분포하여 수온역전으로 상, 하 혼합이 잘 이루어졌다. 남해는 20~23℃로 제주도 주변에서 대한해협쪽으로 등온선이 거의 해안선에 평행하게 위치하였다. 동해는 중부역에 20℃ 등온선을 기준으로 남부역에는 22℃까지 나타났고 북쪽은 19℃이하의 수괴에 존재하였다(그림 18).

12월의 수온은 서해의 경우 10~12℃ 범위로 가장 낮았으며, 동해는 12~17℃사이로 서해안에 비하여 5℃ 이상의 비교적 높은 수온대를 형성하고 있었다. 남해의 경우는 동중국해에서 올라오는 대마난류에 의해 외해에는 19℃이상의 수괴가 제주도 남동쪽에 위치하고 있으며, 연안으로 갈수록 수온이 낮아져 남해서부해역의 연안역에는 12℃이하의 수괴가 표층에 나타났다(그림 19). 각 해역의 최저 수온은 2월에 나타나고 있다.

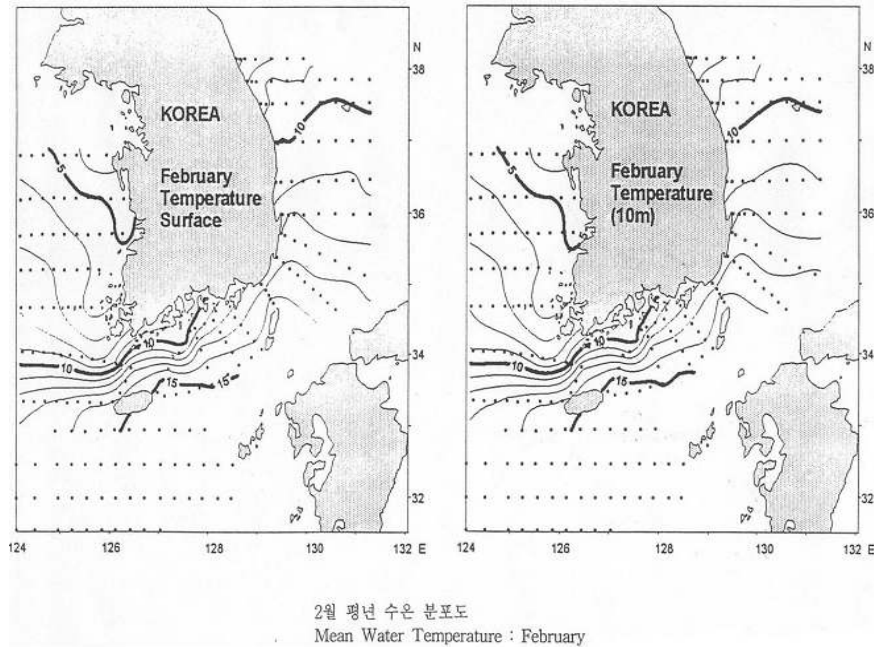


그림 14. 표층과 수심 10 m의 2월 평균 수온 분포도 (국립수산과학원 2001).

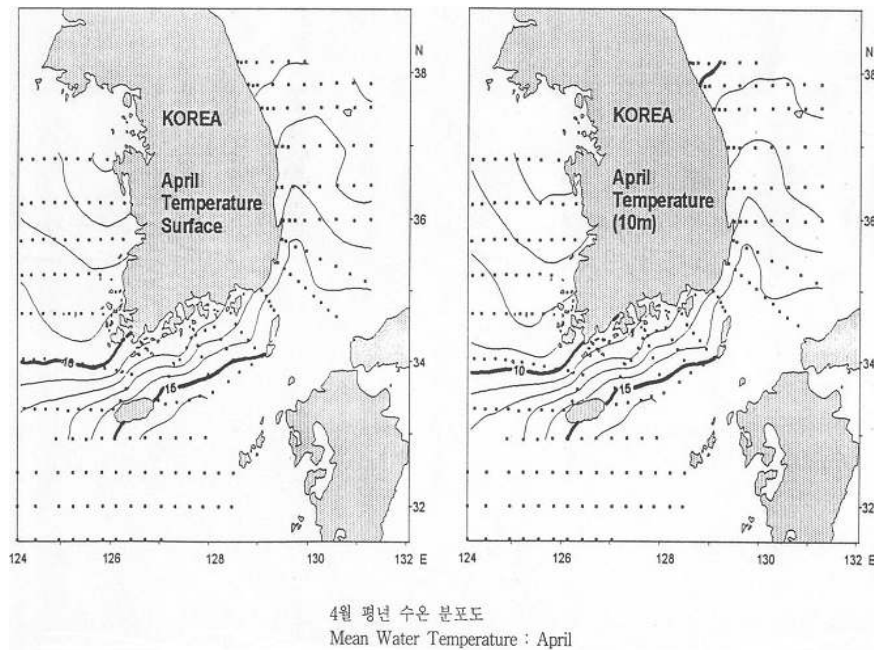


그림 15. 표층과 수심 10 m의 4월 평균 수온 분포도 (국립수산과학원 2001).

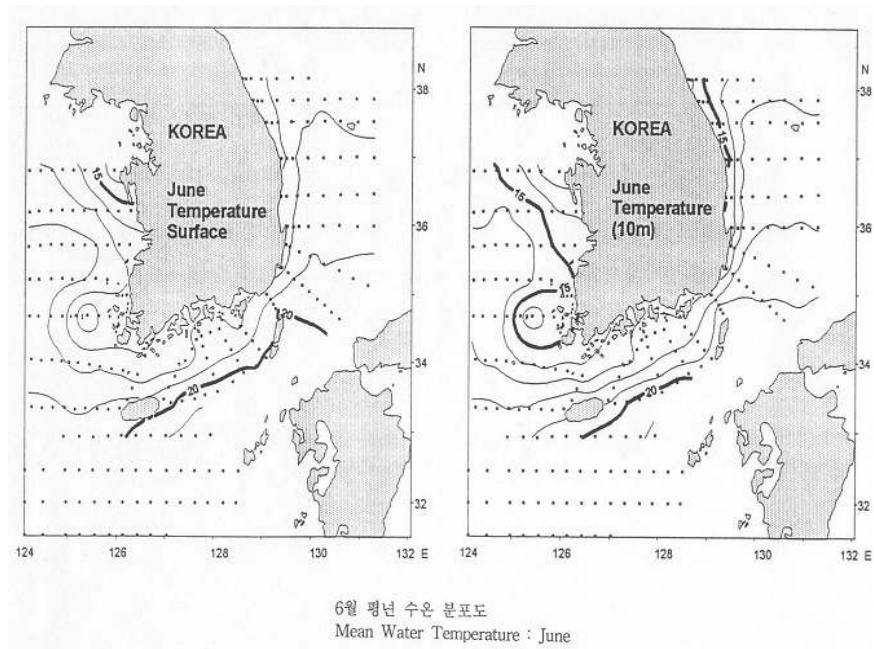


그림 16. 표층과 수심 10 m의 6월 평균 수온 분포도 (국립수산과학원 2001).

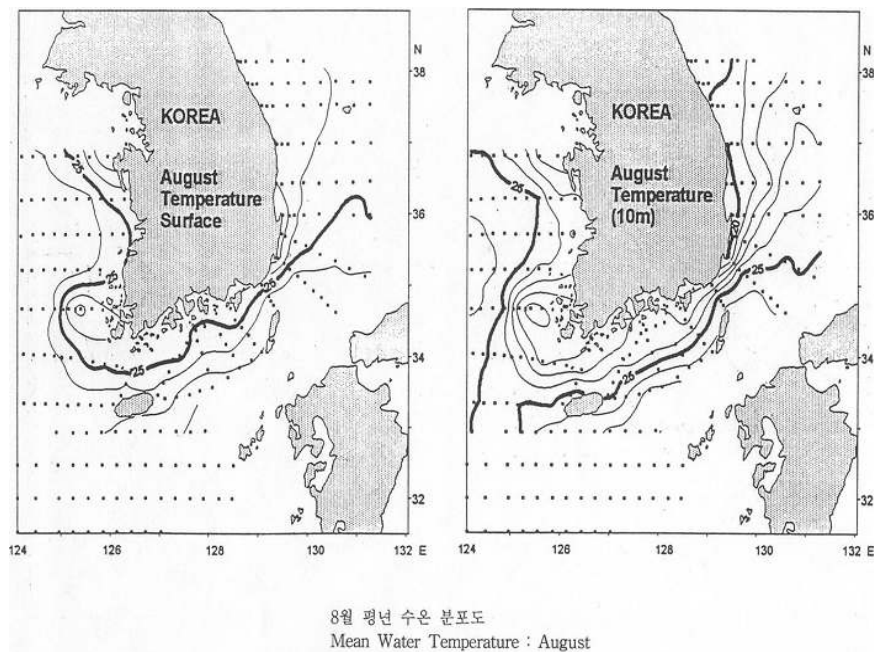
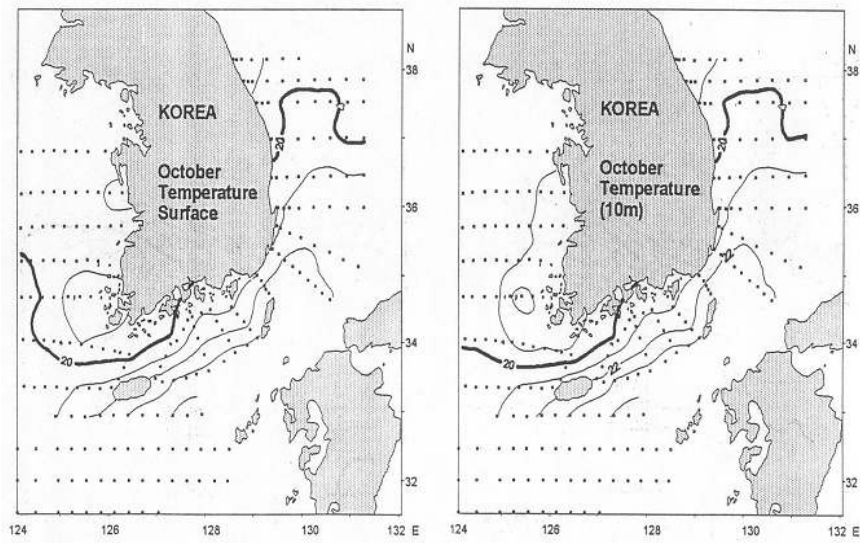
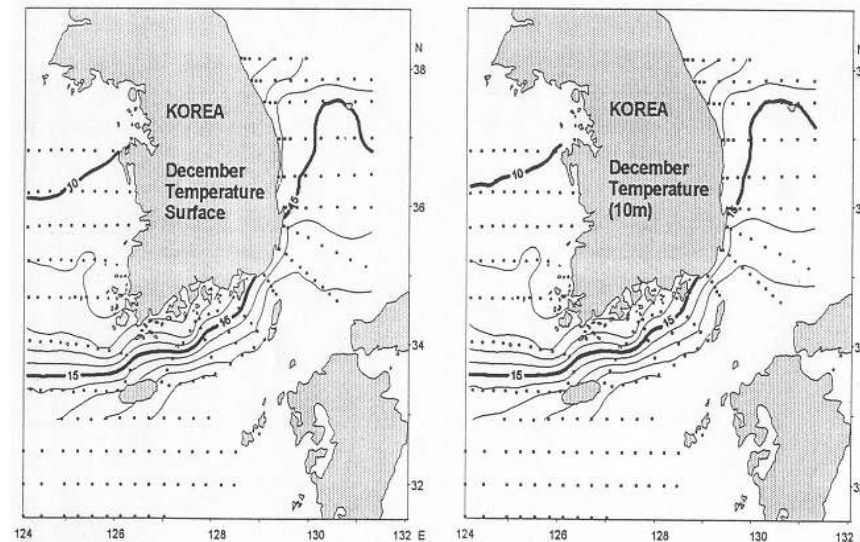


그림 17. 표층과 수심 10 m의 8월 평균 수온 분포도 (국립수산과학원 2001).



10월 평년 수온 분포도
 Mean Water Temperature : October

그림 18. 표층과 수심 10 m의 10월 평균 수온 분포도 (국립수산과학원 2001).



12월 평년 수온 분포도
 Mean Water Temperature : December

그림 19. 표층과 수심 10 m의 12월 평균 수온 분포도 (국립수산과학원 2001).

2). 우리나라 주변 해역의 수괴

가). 서해

서해에 영향을 미치는 수괴는 황해난류수, 중국대륙연안수, 황해중앙저층수 및 한국연안수가 있는데 계절에 따라 분포가 각각 다르다

황해난류수

대마난류의 일부가 제주도 남쪽에서 분리되어 제주도 서쪽을 통과하여 황해로 유입하는 것인데 이는 일종의 보류적인 성격을 가진다. 그 자체의 세력은 강하지 않으며 황해냉수의 움직임에 좌우된다.

중국대륙연안수

중국대륙 하천수의 유입에 의하여 양성된 저염의 수괴로서 그 분포의 중심역은 중국대륙연안에 존재하나 하계에 양자강 하구 동방 약 100마일 해역 부근에서 염분이 23.5% 이하를 보일 때도 있다. 따라서 이 수괴의 지표로는 염분농도가 효과적이다. 염분이 낮기 때문에 일사의 수열량이 크고, 동계에는 온도 저하, 하계에는 온도상승이 현저한 것이 특징이다. 추계에서 동계에 걸쳐 저온·저염이 된 이 수괴는 한랭한 계절풍의 계속된 영향으로 더욱 발달하여 황해서부의 중국대륙 연안역부터 남동방의 동중국해를 향하여 확장하고 그 일부는 대륙붕 연변역이나 조어도(釣魚島) 북동해역까지 이른다.

황해중앙저층냉수

하·추계에 황해중앙역의 중·저층에서 수온 10℃ 이하, 염분 33.0% 내외를 보이는 저온수가 존재한다. 이 수괴는 해역에서 황해난류와 중국대륙연안수와의 혼합에 의하여 대류혼합이 활발한 동계에 생성된 것이며, 이 수괴가 하계에도 변하지 않은 상태로 수온약층 아래에 존재하게 된다.

한국연안수

한국 남해안과 서해안에는 고유의 연안수가 존재하는데 염분농도가 대마난류보다는 낮고 중국대륙연안수보다는 높다. 황해에 영향을 미치는 서해안연안수는 동계에 수온 6℃ 이하, 염분 32.5%이나 춘계(6월)에 34.2%로 최고염분을 보이고 하계에는 표면수온 26℃, 염분 32.2%의 비교적 고밀도수가 된다.

나). 남해

남해(동중국해)에 영향을 미치는 수계는 대마난류수, 황해난류수, 중국대륙연안수, 황해중앙저층냉수, 한국연안수, 동해저층냉수(대한해협저층냉수)가 있다.

대마난류수

쿠로시오로부터 동국해의 대륙사면을 따라 북쪽으로 흘러 동중국해로 확장하는 대륙연안수와 혼합되면서 오도열도(五島列島)와 제주도 사이를 통과하여 대한해협을 통하여 동해로 유입되는 수계이다. 동계에는 수온 15℃, 염분 34.4%이상의 고온·고염한 해수이나, 하계에는 동중국해의 저염수의 영향으로 고온·저염의 표층수가 형성되어 표면에서 수온 28.5℃, 염분 30.4‰로 된다.

황해난류수

북상하는 대마난류의 일부가 제주도 남부를 거쳐 황해로 유입하는 난류로서 황해냉수에 대한 일종의 보류적인 성격을 가지며 그 자체의 세력은 강하지 못하며 황해냉수의 변동에 좌우된다. 동계에 수온 12℃, 염분 33.5‰로 대한난류보다 저온, 저염의 난류로서 하계에는 표층수의 수온은 27.5℃, 염분은 30.4‰ 정도이다.

중국대륙연안수

중국대륙 하천수의 유입에 의하여 양성된 저염의 수괴로서 그 분포의 중심역은 중국대륙 연안에 존재한다. 하계에 양자강 하구에서 동방 100mile 해역에 염분 23.5‰ 이하의 저염수가 발생할 때가 있는데, 이는 하천담수의 유입과 강우의 증가에 의한 것이며, 이러한 저염수는 2개 방향으로 확산된다. 첫째는 주류가 대마난류와 혼합되어 추계에 북해도까지 북쪽으로 흐르고, 둘째는 동중국해 대륙붕 연변까지 확산되어 쿠로시오 세력에 편승하여 일본 남동해안을 따라 북동류하고 있다.

Kim and Roh (1997)의 연구에 의하면 제주도 주변해역에 출현하는 여러 수괴 중 32.2‰ 이하의 저염분수는 중국대륙연안수로 해석되며 이 수괴의 두께는 평균 25m 이고 대체로 50m 정도의 깊이까지 영향을 주고 있다고 하였다. 또한 이 연안수의 Core는 제주도 서방해역에서 제주해협 서쪽 입구로 유입되어 해협의 중앙부를 통과하여 동쪽으로 유출되는 것으로 파악하였다.

황해중앙저층냉수

하·추계에 황해중앙역의 중·저층에 분포하는 수온 10℃ 이하(6~9℃), 염분 33‰ 내외(32.6~33.4‰)의 저염수로, 이 수괴는 해분상의 해역에서 황해난류와 중국대륙연안수의 혼합에 의하여 대류혼합이 왕성한 동계에 생성된 것이며 하계에도 변질되지 않은 상태로 수온약층 아래에 존재하게 된다.

한국연안수

한국 남해안과 서해안에 존재하는 고유의 연안수로 염분은 대마난류보다 낮고 중국대륙연안수보다 높다. 남해안연안수는 춘계에 최고염분 34.4‰이나 동계에 수온 8℃, 염분 34.0‰로 전역에서 최고밀도수로 되고 하계에는 수온 25.5℃, 염분 31.8‰로 난류계 표층수보다는 고밀도 표층수이다. 서해안연안수는 동계에 수온 6℃, 염분 32.5‰이나 춘계(6월)에는 34.2‰로 최고염분을 보이고, 하계에는 표면수온 26℃, 염분 32.2‰의 비교적 고밀도수가 된다.

저층의 저온·고염수는 남해연안수의 특징을 갖고 있어 연안으로부터 이동되어 온 것을 추정할 수 있다(Na *et. al.* 1990). 이는 수온과 염분의 보존성을 고려할 때 남해연안수가 저층으로의 침강 확장함을 나타낸다. 또한, 등온선의 불룩한 모양은 남해연안수가 지속적으로 확장한 것이 아니라 어떠한 외력의 변화에 의해 간헐적으로 확장한 것을 나타내고 있다. 이러한 외력은 조류에 의한 영향도 있겠지만 조류는 주기도 짧으며 이동거리도 20km 이내 일뿐 아니라 주로 동서방향으로 이동한다. 남해연안수의 변화에는 강한 북서계절풍의 세기와 변동이 중요한 외력으로 작용한다고 볼 수 있을 것이다.

대한해협저층냉수

동해 수중이하 수심에 분포하는 냉수가 대한해협 저층으로 잠입하여 존재하는 수괴로서 난류세력이 가장 강한 시기에 반대 현상으로 저층냉수가 강하다. 대한해협 해곡(St. 207/04)의 수온의 월 변화를 보면, 6~7월에 저층냉수의 잠입이 시작되고, 9~10월이 5℃ 이하로 가장 강하였고 11~12월부터 점차 약화되어 춘계인 4월에 가장 약세를 보였다.

저층 냉수에 대한 연구는 Lim and Chang (1969)이 동해고유수가 64%로 차지한다고 하였고 Cho and Kim (1994 1998)은 냉수괴의 기원을 동해의 수심 160~180m 사이의 염분 최소 층의 수괴가 대한해협으로 유입하는 것으로 파악하였다. Kim and Lee (2004)은 저층의 냉수괴는 단일 기원 해수가 아닌 혼합수라 하였다.

다). 동해

동해에 분포하는 수괴는 크게 대마난류표층수, 대마난류수중수, 북한한류수, 동해수중수, 동해고유수 등으로 나누어진다(표 12). 동해는 난류와 한류가 북위 40° 부근에서 수평적으로 극전선을 형성한다.

표 12. 동해에 분포하는 수괴의 정의

수괴명	수온(°C)	염분(‰)	용존산소 (ml/l)	참고문헌
대마난류표층수 (Tsushima Surface Water)	>20	<33.80	5.00 ~ 5.50	Park(1979)
	>20	<33.80	5.05 ~ 5.45	Yang et al.(1991)
대마난류수중수 (Tsushima Middle Water)	14 ~ 17	34.30 ~ 34.60	4.20 ~ 4.70	Park(1979)
	13 ~ 17	34.20 ~ 34.40	5.00 ~ 5.50	Kim and Kim(1983)
	12 ~ 17	34.30 ~ 34.50	4.30 ~ 5.00	Yang et al.(1991)
북한한류수 (North Korea Cold Water)	1 ~ 7	33.95 ~ 34.10		Gong and Park(1969)
	0.2 ~ 4	34.00 ~ 34.05	6.50 ~ 7.50	Park(1979)
	1 ~ 6	<34.00	>6.80	Kim and Kim(1983)
	1 ~ 7	34.06 ~ 34.20	6.00 ~ 6.45	Yang et al.(1991)
동해수중수 (East Sea Intermediate Water)	2 ~ 5	<34.00	>6.50	Kim and Kim(1983)
	1 ~ 3	<34.06	>6.50	Kim and Chung (1984)
동해고유수 (East Sea Proper Water)	0 ~ 1	33.96 ~ 34.10	5.20 ~ 6.00	Park(1979)
	0 ~ 1	34.00 ~ 34.05	5.50 ~ 6.50	Kim and Kim(1983)
	≤2	≥34.0	≤7.0	Sudo(1986)
	<1	34.02 ~ 34.16	5.40 ~ 5.90	Yang et al.(1991)

대마난류표층수

남해를 거쳐 대한해협을 통과한 후에 동해남부연안을 따라 북상하며 세력이 계절별

시기별 변동이 크게 나타난다. 수온은 약 20℃ 이상이며 염분은 33.8‰ 이하로 정의된다 (Park 1978, Yang *et. al.* 1991). 특히 하계에는 28℃ 고온수로 동해 남부역에 존재한다. Yang *et. al.* (1991)에 의하면 9월 관측 자료에서 대마난류표층수는 계절적수온약층의 상부에 존재한다고 하였다. 그리고 동계에는 대마난류표층수와 수중수로 구별이 안 되면 대마난류수로 7~13℃, 34.05~34.45‰ 범위로 극전선의 남쪽 해역에 존재한다(국립수산과학원 2001).

대마난류수중수

대마난류수중수도 하계에만 대마난류표층수와 구별이 되며 동계는 하나의 수괴로 인식된다. 하계의 이 수괴의 특정 값은 Park (1979)에 의하면 14~17℃, 34.3~34.6‰로 정의하였고 Kim and Kim (1983)은 동해연안에서 13~17℃, 34.2~34.4‰로 구분하였다. 이 수괴를 국립수산과학원에서 발간한 해양편람 제 4판(2001)에서는 대마난류중핵수(Tsushima Current Core Water)로 정의하며 14-17℃, 33.0~34.1‰으로 다른 연구 결과에 비해 염분의 범위가 넓다. 이 수괴가 위치하는 수심은 약 50~100m에서 120~150m에 분포하며 동해남부역에서 층이 두텁고 북부 쪽으로 갈수록 층이 얇아진다.

북한한류수

북한한류수는 동해 고유수에 비하여 염분이 낮고 용존산소량이 높은 것이 특징이다 (Kim and Kim, 1983). 북한한류수의 분포 위치는 주문진 이북의 해역에서는 표층부터 수중까지 연중 지속적으로 존재하며 동해 시 이남 해역에서는 동한난류수와 접하여 전선을 형성하고, 난류수괴 침강하여 동해고유수의 상층에 위치한다. 이 수괴의 수온과 염분의 범위는 Park (1979)은 0.2~4℃, 34.0~34.05‰, Kim and Kim (1983)은 1~6℃, <34.0‰로 정의하며 다른 수괴와 비교하기 위해서는 용존산소를 추가하여야 하며 그 값은 6.8ml/l 이상이라고 하였다.

동해수중수

동해고유수 상층부에 위치하는 수괴로 Kim and Chang (1984)이 1℃ 이상, 34.06‰ 이하로 정의하였다. Kim and Kim (1999)은 동해수중수도 염분을 기준으로 34.07‰보다 높은 수괴를 고염수중수로 34.06‰보다 낮은 수괴를 저염수중수로 구별하였다.

동해고유수

동해연안의 약 300~400m 이심에서 발견되는 수괴로 수온이 1℃ 이하로 정의 되고

전체 동해의 84%를 차지한다고 하였다(Yang, 1981). 과거의 연구에서는 균질한 단일의 수괴로 정의하였으나 최근에는 관측기기의 발달로 인해 3가지 이상의 다른 수괴로 보는 연구결과도 있다.

3). 우리나라 연안의 물리학적 구분

가). 서해

서해는 특성은 육상으로부터 방대한 양의 담수와 부유물질이 유입되고 수심이 낮아 기상변동에 민감하게 반응하며 조석운동이 탁월하다. 서해 남부역에서는 쿠로시오 난류에서 기원한 고온 고염의 난류가 동중국해 북부해역을 통과하여 서해 남부역으로 유입되고, 반대로 서해내수가 동중국해 북부역으로 확장되면서 유출된다.

국립수산과학원의 연안정지 일일 수온 관측 자료의 월별 10년 평균을 보면 봄에 6-18℃, 여름이 19-26℃, 가을이 13-24℃이고 겨울은 3-10℃이다. 겨울철에 서해 남부(목포)가 중부 보다 약 3℃정도 높게 나타난다. 이런 현상은 제주 서부해역을 통과하여 서해 남부 연안쪽으로 유입되는 대마난류에 의한 것이며, 나머지 계절에는 서해 연안 전체가 거의 유사한 변화 양상을 보인다.

서해는 조석 운동이 다른 해역에 비하여 강하여 조류에 의한 수온의 일일변화가 뚜렷하게 나타난다. 서해 남부에서는 창조 시 해수유동이 북쪽 연안을 따라 흐르고, 낙조 시에는 남쪽 연안과 외해쪽으로 넓게 확산된다. 참고로 서해의 조차는 목포가 약 4m, 군산이 약 6m, 인천이 약 8m이다 (한국근해해상지, 1992).

나). 남해

남해의 표면 수온의 분포를 보면 겨울철에는 쿠로시오난류역이 22~23℃, 대한해협역의 대마난류역이 12~15℃, 서해의 영향을 받는 북서부해역이 10℃이하의 분포한다(한국근해해상지, 1992). 남해 연안역에서 제주해협을 거쳐 동서방향의 열-염분 전선이 강하게 발달하여 수온과 염분의 수평적인 구배가 크다. 이 전선은 제주도 서쪽에서 직각으로 구부러져 분포하며 중국 쪽의 낮은 수온, 낮은 염분의 수괴와 제주도 남쪽의 높은 수온, 높은 염분의 수괴 사이에서 형성되는 전선과 연결된다. 그리고 봄철의 열-염분 전선은 겨울철에 비해 세기가 약해지는 것으로 알려져 있다(부경대학교 해양과학공동연구소, 1999). 남해의 경우는 10년 장기 수온 자료를 보

면 아래와 같이 남해 연안과 제주도 주변 해역으로 나눌 수 있다.

남해연안

남해 연안의 10년 장기 수온 자료를 분석한 결과 계절별 수온 분포 범위는 봄에 9-17℃, 여름이 18-25℃, 가을이 16-24℃이고 겨울은 7-13℃이다. 전반적으로 서해에 비하여 높으며 특히 가을과 겨울철이 연중 북상하는 대마난류에 의한 높게 나타난다. 그리고 1-2월 평균 수온은 가덕도보다 여수가 약 4-7℃차이로 낮았고 여름철에는 여수가 가덕도 비하여 높았다. 여수가 다른 지역에 비해 겨울철에 낮은 수온을 보이는 것은 겨울철 북풍계열의 바람에 의해 거문도와 거제도 남쪽에서 형성되는 남해연안수(Na et al., 1990)에 의한 것으로 생각된다.

제주도 주변 해역

제주도 주변은 남해 연안에 비하여 계절별로 수온의 최저 범위가 약 2-4℃정도 높았다. 제주도 북부 연안의 10년 장기 수온 자료를 분석한 결과 계절별 수온 분포 범위는 봄에 14-17℃, 여름이 20-26℃, 가을이 18-24℃이고 겨울은 13-16℃이다. 제주도 주변 해역이 남해 연안에 비하여 수온이 높은 것은 대나난류수의 직접적인 영향을 받기 때문이다. 또한 하계에는 계절풍에 의해 중국 연안수가 동쪽으로 확장하여 저염수가 출현한다(Lie et al., 2003).

다). 동해

동해 연안에 영향을 주는 해류는 동중국해에서 형성되어 대한해협을 통하여 동해로 유입하는 대마난류의 한 지류인 동한난류와 한반도 연안을 따라 남하하는 북한한류로 나눌 수 있는데(Kim and Kim, 1983), 이들 해류는 동해의 해황변동에 중요한 요인으로 작용하고 있다. 또 이들 해류는 형성된 해역이 서로 달라 해류에 수반하는 해수의 물리적 특성이 매우 다르게 나타나는데, 동한난류는 수온과 염분이 높은 해수를, 북한한류는 수온과 염분이 낮으면서 산소가 많이 용해된 해수를 수송하고 있다. 동해는 2개 해역으로 구분할 수 있다.

동해 남부

연안정지 관측 일일 자료의 월별 10년 평균 수온은 봄에 12-15℃, 여름이 18-22℃, 가을이 16-23℃, 겨울은 12-14℃이다. 이 해역의 특징은 연중 대한해협을 통과한 난류가 연안을 따라 북상하는 것과 하계에 남서풍에 의해 냉수대가 출현하는 것

이다(Lee, 1983). 일반적으로 용승이 일어나면 수온과 해수면은 낮아지고 바람 방향의 유속이 증가한다. 냉수대 수온은 주변해역에 비하여 3-10℃정도 낮게 나타난다.

동해 중부

동해 중부의 특징은 대마난류가 우리나라 동해안을 따라 북상하면서 중, 저층의 동해고유냉수나 북한한류수와 접촉하여 수직적으로 약층을 이루며 수평적으로는 극전선을 이룬다. 극전선의 평균적인 위치는 동해 연안의 중부역에서 등위도 방향으로 분포한다(Choi *et al.*, 1993).

동해 중부 해역의 계절별 연안 수온의 범위는 봄에 8-14℃, 여름이 17-23℃, 가을이 16-22℃, 겨울은 7-13℃이다. 동해 남부와 평균 수온을 비교하면 가을철을 제외하고는 낮은 수온대를 보이며, 극전선의 위치에 따라 다른 수괴의 영향을 받는다.

나. 우리나라 연안의 해양생물지리학적 구획

우리나라 연안해역을 생물지리학적 특징에 따라 동, 서 남해 및 제주도로 구분하여 동, 식물플랑크톤, 해조류, 저서동물, 어류 등 크게 5개 생물군의 각 해역별 특징을 비교하였다.

1). 식물플랑크톤

동해에서 출현하는 식물플랑크톤의 종수는 약 350여종으로 이 중 규조류가 270여종으로 전체 출현종수의 약 77%를 차지하고 있다. 이 외에 와편모조류가 70여종으로 전체 출현종수의 22%를 차지하고 규질편모조류를 포함하는 기타분류군이 2~5종씩 출현하고 있다(표 13).

현존량은 80,000~1,400,000세포/ℓ 사이에서 변동하였는데 클로로필 a 농도의 변화로 보면 1.03~2.96μg/ℓ 사이에서 변동하였다. 우점종은 *Skeletonema costatum*, *Chaetoceros* spp. *Prorocentrum triestinum* 등이었다.

남해에서 출현하는 식물플랑크톤의 종수는 광양만과 삼천포만에서 약 200여종이 보고되어 있으며 규조류가 70% 전후의 점유율을 보이고 있다. 최대현존량은 3,000,000세포/ℓ이 기록되어 있고 클로로필 a 농도는 14.5μg/ℓ을 기록하였다. 우점종은 *Eucampia zoodiacus*, *Nitzschia pungens*, *Cylindrotheca closterium* 등으로 나타났다.

표 13. 우리나라 주변해역의 식물플랑크톤 출현 양상

	출현종수	현존량 (10^3 세포/ ℓ)	클로로필a ($\mu\text{g}/\ell$)
동해	350	80 ~ 1,400	1.0 ~ 3.0
남해	200	100 ~ 3,000	< 14.5
서해	400	100 ~ 2,800	0.7 ~ 11.7
제주	400	<1,000	0.5 ~ 2.6

서해에서 출현하는 식물플랑크톤의 종수는 약 400여종으로 이 중 규조류가 계절적으로 120~230여종 사이에서 출현하면서 전체 출현종수의 75~90%를 차지하고 있다(강과 최, 2001). 이 외에 와편모조류가 20~40여종으로 전체 출현종수의 10% 전후를 차지하고 규질편모조류와 남조류, 녹조류 등이 5~10종씩 출현하고 있다. 현존량은 100,000~2,800,000세포/ ℓ 사이에 변동하였는데 클로로필 a 농도의 변화로 보면 0.7~11.7 $\mu\text{g}/\ell$ 사이에서 변동하였다. 우점종은 *Skeletonema costatum*, *Chaetoceros* spp.와 *Paralia sulcata*등으로 나타났다.

제주해역에서 출현하는 식물플랑크톤의 종수는 400여종이 동정되어 있으며 이 중 규조류가 제주 북방, 남방 등 해역에 따른 차이는 있으나 70~80%를 점하고 있고 와편모조류도 해역에 따라 30% 전후를 차지하고 있다(최 2003). 식물플랑크톤의 현존량은 일반적으로 1,000,000세포/ ℓ 이하를 보이고 있으나 남해나 서해에 비해서는 연중 낮은 현존량을 보이고 계절적으로는 봄에 높고 겨울에 감소한다. 클로로필 a 농도는 리터당 0.45~2.59 μg 사이에서 변동하였다. 우점종은 *Asterionellopsis kariana* 등 11종이었는데 대부분이 저서성 규조류였다.

2). 동물플랑크톤

동해에서 출현하는 동물플랑크톤의 종수는 약 100여종으로 보고되어 있으며 이중 요각류가 60% 이상을 차지하고 있으며 계절적으로는 쿠로시오가 동해 북부까지 확장하는 하계에 열대성 종들이 유입되면서 다양한 동물플랑크톤이 출현하는 경향을

보인다(표 14). 출현량은 최대 20,000개체/m³를 기록하기도 하지만 대개 5,000개체/m³ 전후의 출현량을 보이며 3~4년 주기로 증감을 반복한다. 우점종은 *Paracalanus indicus*, 야광충, 요각류 유생 등이며 *Acartia*, *Oithona*, *Corycaeus* 속의 요각류가 많이 출현하고 있다.

표 14. 우리나라 주변해역의 동물플랑크톤 출현 양상

	출현종수	최대출현량 (개체/m ³)	평균출현량 (개체/m ³)
동해	100	20,000	5,000
남해	90	35,000	10,000
서해	50	13,000	1,000
제주	60	25,000	2,000

남해에서 출현하는 동물플랑크톤의 종수는 약 90여종으로 보고되어 있으며 이중 요각류가 50여종으로 약 60%를 차지하고 있고 나머지는 지각류와 갑각류 유생이 대부분을 차지한다. 출현량은 야광충의 대량출현에 의해 35,000개체/m³를 넘기도 하나 대부분 10,000개체/m³ 전후의 출현량을 유지하고 있으며 우점종은 야광충과 요각류 유생이지만 하계에 짧은 기간에 걸쳐 지각류가 우점하는 현상을 보이기도 한다.

서해 연안에서 출현하는 동물플랑크톤의 종수는 50여종에 불과하며 요각류가 80%를 차지하고 있고 야광충, 십각류, 화살벌레류, 지각류, 미충류 등이 계절적으로 높은 출현량을 나타내고 있다. 최대출현량은 입방미터당 13,000개체까지 기록되어 있으나 대개 1,000개체/m³ 미만의 빈약한 출현량을 나타내고 있고 요각류 십각류 등의 유생군이 우점하고 있으나 십각류 유생은 하계에 주로 우점하고 해에 따라 야광충이 대량 출현하기도 한다.

제주 해역에서 출현하는 동물플랑크톤은 난류 외양성 요각류가 대부분을 차지하고 있으나(강 1992) 연안역에서는 60여종의 동물플랑크톤이 보고 되었고 요각류가 35여종으로 약 60%를 차지하고 있다. 최대출현량이 25,000개체/m³ 이르고 있으나 대개 1,000~2,000개체/m³ 사이의 출현량을 보이며 요각류 유생의 대량 출현에 의해 출현량이 급증하기도 한다. 요각류 유생을 제외하면 *Paracalanus indicus*와 *Oithona*

속의 요각류가 우점하고 있고 갑각류 및 이미패류 유생이 다양하게 출현하고 있는 것이 특징이다.

동물플랑크톤의 분포유형으로 판단할 때, 우리나라 연안은 서해안, 남해안, 동해안 및 제주해역으로 구분할 수 있다.

3). 해조류

동해에서 분포하고 있는 해조류는 총 414종이 보고 되어 있으며 연도별로는 100~150여종이 관찰된다. 연평균 해조류의 건중량은 $270 \sim 778\text{g/m}^2$ 의 범위에 속하고 있으며 홍조류인 작은구슬산호말, 고리마디게발 등의 산호말 무리가 우점종으로 나타나고 있다. 서해의 해조류는 영광해역의 경우 온배수의 경향을 크게 받아 1986년도부터 출현종수가 크게 감소하였다가 1992년 이후 회복되는 경향을 보였으며 연평균 해조류의 건중량은 평방미터당 $44 \sim 189\text{g/m}^2$ 의 범위에 속하였다. 2000년대의 우점종은 구멍갈파래, 작은구슬산호말, 애기우뭇가사리 등으로 나타났다.

해조류의 경우 남해와 제주 해역의 분포 경향에 대해서는 3차년도 연구에서 조사될 예정이다.

4). 저서동물

울진 주변해역의 저서동물 서식밀도는 1987년부터 3년간은 평방미터당 200개체에 불과하다가 1990년부터 1999년까지 10년간은 평균 약 1000개체에 달하면서 급격하게 증가하였다가 2001년부터 다시 300개체 전후로 감소하는 등 장기 변동 경향을 나타내고 있었다. 월성원자력발전소 주변해역에서는 1994년의 최대 평방미터당 2,520개체를 정점으로 5년간 7~800개체의 증가세를 보였지만 나머지 기간에는 100개체 전후의 낮은 서식밀도를 나타내었다. 영광원자력발전소 주변해역에서는 1986년에 365개체를 기록한 후 1995~1996년, 2000년에 다시 증가하는 등 불규칙한 증감 경향을 보였으나 계절별, 정점별 변화는 파악되지 않았다.

5). 어류

우리나라에는 외래종을 포함하여 1,116종의 어류가 분포하고 있으며, 이 중 회유성 어류 59종을 포함하여 978종의 해산어가 기록되어 있다(이 등 2006).

어류의 분포는 해안선 구조, 해저지형 및 저층조성에 따라 차이가 나지만 해양에 있어 어류의 분포를 제한하는 가장 큰 요인은 수온이다. 즉, 동해안에서는 연안을 따라 북에서 남으로 흐르는 북한한류수와 남에서 북으로 흐르는 대마난류의 영향을 받는다. 우리나라 연안의 해류를 대표하는 이 두 가지 해류는 북위 40° 부근에서 전선을 형성하지만 계절별 강도가 서로 다르기 때문에 예측이 어렵다. 서해안에서는 염분이 대마난류보다는 낮고 중국대륙연안수보다 높은 한국연안수와 대마난류의 한 분지인 황해난류수의 영향을 많이 받는다. 남해안에서는 서해안과 비슷한 양상을 나타내지만 대마난류수의 영향이 보다 크게 나타난다.

우리나라 동해안에는 우리나라에 분포하는 해산어류의 약 45%에 해당하는 132과 439종의 어류가 서식하고 있는 것으로 보고되고 있다.

동해안의 어류상을 보다 자세히 관찰해보면 대마난류의 북상에 따라 온수성 어류가 북쪽으로 이동함을 알 수 있다. 대마난류는 봄부터 여름까지 동해안을 따라 북상하는데, 이 해류의 표층수는 20℃ 이상 올라간다. 이를 따라 동해안 외양에서는 정어리가 올라가고, 연안을 따라서는 꽂치, 멸치, 고등어, 방어 등이 북상한다(김과 남 2003). 그러나 가을부터 겨울사이에는 북한한류수가 강해지기 때문에 수온이 점차 내려간다. 이에 따라 북상하던 어류는 북한 근해에서 회유하여 연안을 따라서는 정어리가 내려오고 외해 측으로는 꽂치, 멸치, 고등어가 내려온다. 또한 냉수성 어류인 명태, 가자미, 횡대류, 홍어류, 도루묵 등이 깊은 바다에서 연안으로 나온다.

동해 중부(양양군 해역)에서는 말쥐치, 송어, 임연수어, 전아, 황아귀는 연중 출현한다. 여름과 가을에는 송어와 전갱이가 우점하며, 겨울철에는 청어, 임연수어, 시마연어가 우점한다. 특히 여름철에는 온수성인 제비활치, 날개주걱치와 독가시치도 출현한다(김과 남 2003). 한편, 동해남부(영일만 해역)에서는 고등어, 전어, 전갱이, 멸치, 정어리, 망상어 등이 연중 출현한다. 봄철에는 멸치, 꽂치, 청어가 우점이며 그 외 계절에는 고등어와 전갱이가 우점한다. 동해안 전체를 보면 수온이 상승하는 4월부터 종수와 개체수가 현저하게 증가하기 시작하며, 수온이 하강하는 10월부터 다시 감소하기 시작한다. 동해 중부에 비하여 동해 남부의 어류상이 더 풍부하며, 온수성 어종수도 현저하게 많다. 여름철 대마난류를 따라 북상한 온수성어종은 발전소 온배수에 유인되어 점차 배수구 쪽으로 밀집된다.

남해안은 해안선의 굴곡이 크고 많은 선이 산재해 있어 어류의 서식지로 적합한 환경을 갖추고 있지만, 서식종은 오히려 동해안에 비하여 적은 104과 301종에 머물고 있다. 남해안에는 한국연안수가 항상 존재하며, 대마난류수 및 황해난류수가 영향을 미치며, 홍수기에는 중국대륙연안수도 영향을 미친다.

서해안에는 208속 310종의 어류가 서식하고 있지만 지역별 뚜렷한 분포 차이는 발견되지 않는다.

어류는 활발한 운동성으로 온배수 영향권역 밖으로 이동하면서 뚜렷한 경향성을 보이고 있지 않을 것으로 예상되었으나 울진원자력발전소 부근에서는 온배수영향이 비교적 뚜렷하게 나타났다. 울진원자력발전소 주변 10km 이내 수역에서의 장기 변화를 보면 1980년대 후반에 개체수로 측정한 종다양성지수와 생체량으로 측정한 종다양성지수가 모두 2.5 전후를 기록하며 다양하게 나타난 반면 1990년대 후반에는 1.5 전후로 급속하게 감소하였다가 2000년대 초반에는 2.0 전후로 점차 회복되었지만 장기적으로는 감소하는 경향을 나타내고 있었다. 월성원자력발전소 주변해역에서는 종다양성지수의 장기 변동 경향이 나타나지 않았고 항상 2.0~2.5 사이에서 안정된 어류 군집 동태를 나타내고 있었다. 영광원자력발전소 주변해역에서도 종다양성지수의 장기 변동 경향이 나타나지 않았고 항상 2.0~3.0 사이에서 비교적 높게 측정되어 안정된 어류 군집 동태를 나타내고 있었다.

어류의 경우 운동성이 높기 때문에 비록 정착성 어류라 할지라도 수온환경이 변할 경우 보다 서식에 적합한 수온을 찾아 이동한다. 따라서 온배수 배출이 오류에 미치는 영향은 서식지 이동에 국한된다고 하여도 과언이 아니다. 그러나 최근 전지구적 온난화 현상으로 우리나라 연안의 수온도 전세기에 비하여 0.5℃ 이상 증가하였으며, 동해안에 있어 온수성 어종이 북방한계가 점차 북상하고 있다. 이에 따라 울진원자력발전소 해역까지 진출한 온수성 어종이 겨울철 다시 남하하지 않고 발전소 온배수확산구역에 정착하는 경우도 있다.

다. 우리나라 연안의 구획

전술한 바와 같이 우리나라 연안을 해양물리 및 생물학적 자료에 근거하여 구획한다면 1차적으로 서해안 및 남해안 그리고 기장에서 삼척까지의 동해 남부 및 삼척 이북의 동해 중부로 나누는 것이 바람직하며(그림. 20), 이에 따라 온배수 배출 기준을 달리 해야 할 것으로 생각된다. 한편 제주해역은 해양물리학적으로 남해안과 유사하지만 연안 수온이 남해안에 비하여 다소 높으며, 온대지방과 아열대지방의 특징을 같이 가지는 독특한 해양생물상을 가지고 있는 것을 감안하여 별도의 해역으로 구분하는 것이 타당하다고 생각된다. 또한 동해 남부 해역의 대부분을 차지하는 포항에서 울진에 이르는 연안은 여름철에도 냉수대(그림. 21)가 빈번하게 출현하기 때문에 온배수를 수산업에 이용할 경우 많은 주의를 기울여야 한다.

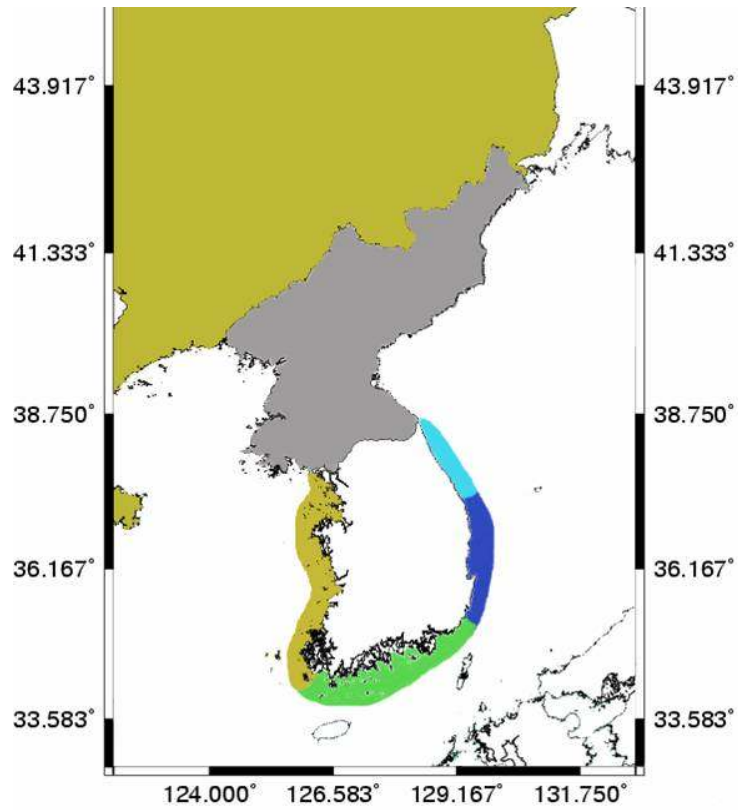


그림 20. 우리나라 연안의 구획.

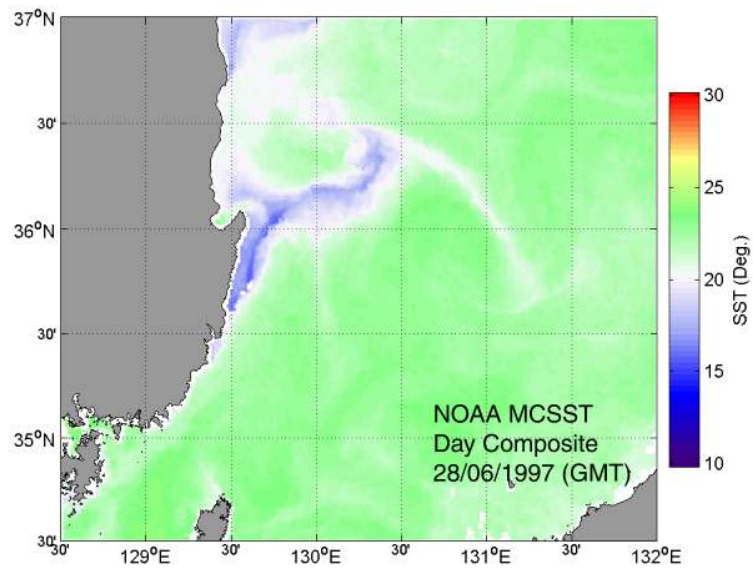


그림 21. 우리나라 동해 남부의 수온분포(푸른색: 저수온의 냉수대).

제 2 절. 온배수 영향평가를 위한 생물검정

1. 온배수 영향평가를 위한 지표종

가. 지표종 선정 기준

최근 인간의 생존을 위한 지속가능한 환경보전이라는 측면에서 지금까지 지표로 사용되었던 물리·화학적, 혹은 공학적 지표로 해석 불가능한 문제점을 보완하기 위하여 환경변화에 대한 생물반응이 중요한 과제로 대두되고 있다. 주어진 해양생태계에서 인위적 환경변화에 대한 생물반응을 조사하기 위해 사용되는 실험생물은 반드시 해당지역을 대표할 수 있어야 하며 이를 지표종(indicator species)이라 한다. 즉, 지표종은 주어진 환경변화에 연속성 있고 차등성 있게 반응하여 그 반응 정도로 환경변화를 역 추적할 수 있어야 한다.

온배수가 해양생태계에 미치는 영향을 평가하기 위하여 측정하는 수온을 비롯한 여러 가지 측정요소는 해양의 시·공간적 조건에 의하여 변동이 큰 반면, 생물로 평가한 결과는 생명체에 축적된(bioaccumulation) 결과가 나타나기 때문에 환경요인의 변화 추이와 거동을 파악할 수 있는 자료를 제공해준다. 다시하면 온배수 거동에 대한 연구는 수온의 실측 조사보다는 적절한 지표생물을 선정하여 생물검정실험을 함으로 이상적으로 얻을 수 있다.

온배수의 영향을 파악하는 지표종은 우선적으로 우리가 감시하려는 환경 변화 즉, 수온 변화에 민감하게 반응하여 그 반응 정도를 정량화할 수 있는 종들 다음의 조건을 갖춘 종들을 선정해야 한다.

- 우리나라에 보편적으로 출현하는 종
- 지역적으로 우점적으로 출현하는 종
- 산업적으로 중요한 종
- 실험자가 손쉽게 구할 수 있는 종
- 천연기념물, 보호종, 위기종 제외

나. 지표종

1). 동물플랑크톤

우리나라 주변해역에서 온배수 영향을 받는 수역의 동물플랑크톤 동태를 관찰하면 일반적인 난류성 동물플랑크톤과 한류성 동물플랑크톤의 계절적 출현 현상이 확연하게 파악된다. 예를 들어 하계 수온 상승기에 출현하는 지각류인 *Penilia avirostris*와 *Evedne tergestina*는 고수온기 출현종으로서의 특징을 보이고 있으며 동계에는 요각류가, 춘계에는 부착성 저서생물의 유생인 따개비 유생이 우점적으로 출현하고 있다. 수온변화에 대한 동물플랑크톤의 반응을 생물검정실험을 통하여 구명하는 것은 매우 난해한 과제로 현실성이 없다. 그러나 수온에 민감한 동물플랑크톤을 지표로 하여 이들의 출현여부로 온배수 영향 범위를 추정할 수 있다.

새부리바다물벼룩

새부리바다물벼룩(*Penilia avirostris*)은 시다과(Family Sididae)에 속하는 체장 0.3~1.2mm 범위(Della Croce 1974)의 지각류(Cladoceran)로 작은 얇고 투명하고, 복후연에 긴 극이 있다. 머리는 짧고 문은 길게 나 있다. 문단 가까이에 작은 제 1촉각이 있다. 제 2촉각은 길다. 7종의 해산 지각류 중 유일하게 6쌍의 흥지를 가지고 있다. 후복부의 강모는 아주 길다.

본 종은 우리나라 전 연안에 분포하며(김 1984, 유와 김 1987, Kim and Onbe 1995), 단일 종으로서 해산 지각류 중 가장 높은 밀도의 개체군을 형성한다. 우리나라에서 출현 수온 범위는 9.3~27.9°C 사이로서 해역별 연도별 차이가 있으나 주로 5~6월에 출현하기 시작하여 11월말에는 소멸한다. 저염분 내만역에서 고염분의 대양역까지 분포가 확장되어 있고 출현 수온 범위도 넓으나 고수온 환경에서만 높은 밀도의 개체군을 형성하는 온수성 광온, 광염분성 종이다.

노르만바다물벼룩

노르만바다물벼룩(*Evedne nordmanni*)은 포도니다과(Family Podonidae)에 속하는 지각류로 체장 0.20-0.57mm 범위의 소형 종이다. 몸은 반투명하며 분절되지 않았다. 배각은 몸의 뒤쪽으로 뻗어 있고 뒤끝이 뾰족하다. 복안은 크다. 제 1촉각은 작고 제 2촉각은 비교적 크고 내지는 3절, 외지는 4절로 이루어지며 각각 7개의 강모를 가지고 있다. 흥지는 4쌍으로 외지의 말단부에는 극모(setae)가 나있다. 극모의 수는 2-2-1-1 이다. 제 4흥지의 내지는 흔적적이다.

동태평양에서는 대양역까지 그 분포가 확장되어 있음이 보고 되어 있으며(Longhurst and Seibert 1972), 우리나라에서는 남해(김 1979, 유와 김 1987)와 동해의 내만역에서는 춘계에 항상 분포하고 있으나 황해에서는 영광 근해에서만 보고

되어 있다. 우리나라에서는 3~4월에 출현하기 시작하여 수온이 상승하면서 7월 초에 소멸하는데(김 1984) 수온이 높은 일본의 세토내해에서는 2월부터 출현하여 6월 말에 소멸하고(Onbe 1974) 수온이 낮은 북해도 연안에서는 6월에 출현하여 9월에 소멸하는 등(Kim 1989) 해역에 따라 출현시기가 다를 수 있다. 우리나라에서는 수온 범위 10.2~19.6℃ 사이에서 출현한다.

큰바다물벼룩

큰바다물벼룩(*Podon leuckarti*)은 포도니다과에 속하는 지각류로 체장은 0.4~0.7mm 범위이다. 두부는 둥글고 경부가 깊게 파여 거의 원형에 가까운 육방과 뚜렷한 경계를 이룬다. 액각은 정삼각형에 가까우며 작다. 제 2촉각은 작고 외지는 3절이며 7개의 유영강모가 달린 내지는 4절로 되어 있다. 4개의 흥지 외지 강모 배열은 3-3-3-2 이다.

우리나라에 분포하고 있는 7종의 해산 지각류중 4월에서 7월초까지 내만역에 분포가 제한되는 종으로 출현 수온 범위는 9.0-18.5℃이다.

작은바다물벼룩

작은바다물벼룩(*Podon polyphemoides*)은 전자와 포도니다과에 속하는 지각류로 체장은 체장 0.2~0.5mm 범위의 작은 지각류이다. 두부는 둥글고 경부가 깊게 파여 거의 원형에 가까운 육방과 뚜렷한 경계를 이룬다. 액각은 삼각형 모양이며 크기가 매우 작다. 제 2촉각은 작고 외지는 3절이며 7개의 유영강모가 달린 내지는 4절로 되어 있다. 4개의 흥지 외지 강모 배열은 3-2-3-2이다.

본종은 큰바다물벼룩과 같이 가장 내만 분포하는 종으로 다른 지각류와 달리 연중 출현하는 종이다(Yoo and Kim 1987). 수온 17~20℃사이에서 가장 높은 밀도의 개체군을 형성하여 5월에서 10월 사이의 적정 수온 하에서는 계절에 관계없이 최대 출현량을 나타낸다.

Calanus sinicus

*Calanus sinicus*는 노벨래과(Family Calanidae)에 속하는 요각류(copepoda)로 해양에 우점적으로 출현하는 종류이다. 체장은 2.4~3.3mm 범위로 암컷이 수컷보다 크다. 제 1촉각의 길이는 체장과 같은 길이로 동물플랑크톤은 대표하는 사진으로

북대서양, 북태평양, 베링해부터 중국 해남도에 이르는 해역에 분포한다. 전체 한국연안에 분포하며(Kim 1985) 황해에서는 모든 계절을 통하여 다량 출현한다. 본종

은 비교적 많이 연구되어 친숙한 종으로 지표종의 범주에 넣을 수 있다.

아산만에서는 봄철에 많은 출현량이 관찰되었고(박과 이 1995), 우리나라 남해(Kang and Hong 1998)와 일본 내해 중앙부에서는 겨울철에 출현량이 많았던(Hirota 1979) 반면 일본 내해와 근해에서의 결과는 주로 여름철에 높은 밀도를 보였다(Huang *et al.* 1993b). 몇몇 연구에서 이 종은 추운 계절에 나타났고 수온이 20-23℃를 넘었을 때 사라졌다고 보고되었다(Hirota 1979, Lin and Li 1984). Kang and Hong (1998)에 따르면 10~15℃의 수온 범위에서 높은 밀도를 보였다. Lin and Li(1986)은 *C. sinicus*가 24℃에서 3일 이상 생존하지 못한다고 하였으며 이러한 근거에서 Huang *et al.* (1993b)은 이종의 한계 수온이 23℃라고 하였다.

Acartia pacifica

Acartiidae과에 속하는 요각류(Copepoda)로 우리나라에서는 동해 측(허 1967), 군산 인접해역(노 1982), 가로림만(김과 허 1983), 동해 서남해역(심과 이 1986), 황해 연안(Kim, 1985)의 한국 근해에서 하계에 흔히 출현하는 종이며 중국동해, 태평양, 인도양의 온대와 열대해역에 분포한다. 본 종은 난류성 연안종으로 한국의 서해안에서 비교적 고수온기에 나타나는 것으로 보고되어 있으나(Kim 1985), 분포해역의 염분에 관한 정보는 드물다. 본 종의 분포 중심 수온은 7월에 27.1℃이며 고수온기에는 저염분을 좋아하다 수온이 내려감에 따라 고염분으로 분포의 중심을 옮기는 것으로 사료된다는 보고가 있다(서 등 1991). 영광원자력 발전소에서 하계에 온배수 영향에 의하여 대조구와 취수구에는 분포하지 않고 배수구에만 출현하는 지표종으로서의 가능성이 타진된 바 있다(박 2007)

Acartia hongii

Acartiidae과에 속하는 요각류로 과거 *Acartia bifilosa*로 불리우던 종이 Soh and Suh (2000)에 의하여 신종으로 재분류된 종이다. 우리나라에서는 황해 중동부역(심 등 1988)과 가로림만(김과 허 1983)에 분포하며 대서양 북부와 중부, 북해, Okhotsk해 등에 분포한다고 보고 되어 있다. 늦은 봄 혹은 저수온기 황해에서 대량 발생한다는 보고(Kim 1985, 윤과 최 2003)가 있으며, 비교적 수온과 염분이 낮은 황해 연안수에 대한 지표성을 갖는다고 보고(Brodskii 1967, Chen and Zhang 1965, 심 등 1988)된 바도 있는 한국근해에 널리 분포하는 종이다. 또한 이 등(2006)은 약 5~20℃ 수온범위에서 개체수가 대량 증가하였으며 20℃이상의 수온에서는 급격히 감소한 반면, 5℃ 이하의 수온에서는 지속적으로 개체수가 유지되었다고 보고 하였

다. 온대 연안 수역에서 저수온기에 주로 출현하는 *Acartia* 종들의 경우 수온이 증가하면 신진대사율이 높아지고 자연 수명이 급격히 짧아짐이 보고 된 바 있다 (Kimmerer and Mckinnon 1987, Uye 1981).

Centropages abdominalis

Centropagidae과에 속하는 요각류로 북태평양의 내해역, 베링해, 미국의 서부 냉수 해역에 분포하며 우리나라에서는 황해연안 추운계절에 많이 분포한다. 본 종은 수온이 10℃ 이하, 염분 33psu 이하인 수괴에서 주로 출현하는(박 등, 1992) 연안 저온성으로 알려져 있다(Brodskii 1967, 이 1972, Kim 1985, 박 등 1990, 1991). 영광 원자력 발전소에서 춘계에 온배수 영향에 의하여 대조구와 취수구에는 분포하지 않고 배수구에만 출현하는 지표종으로서의 가능성이 타진된 바 있다(박 2007)

Centropages tenuiremis

Centropagidae과에 속하는 요각류이다. 열대종으로 추정되는 종(Brodsky 1950)으로 극동, 아라비아해, 인도양, 보르네오 등지에 분포하며 우리나라에서는 따뜻한 계절에 연안에서 주로 나타난다. 대체로 *Centropages abdominalis*와 유사한 지리 분포를 하나 출현 개체수는 *C. abdominalis*에 비하여 적다.

Corycaeus affinis

Corycaeidae과에 속하는 요각류로 온대성 종이며 경기만, 진해만, 동해 연안 등 우리나라 전연안역에 분포하고 있다. 영광원자력 발전소에서 동계에 온배수 영향에 의하여 대조구와 취수구에는 분포하지 않고 배수구에만 출현하는 지표종으로 가능성이 타진된 바 있다(박 2007)

Labidocera euchaeta

Pontellidae과에 속하는 요각류로 벵갈만과 중국의 연안에 분포하며 우리나라에서는 황해 북부에 여름철 다량 분포한다(Kim 1985). 본 종은 여름부터 초겨울까지 출현하며 여름에는 35° 이하의 연안에 분포가 국한되어 있다가 가을에 들어서면서 황해 전체의 연안으로 분포가 확장된다. 이러한 분포 양상과 밀도는 초겨울까지 유지되다가 늦겨울이 되면 소멸된다고 알려져 있다(임 등 2003). 영광원자력 발전소에서 하계에 온배수 영향에 의하여 대조구와 취수구에는 분포하지 않고 배수구에만 출현하는 지표종으로서의 가능성이 타진된 바 있다(박 2007).

Oithona davisae

Oithonidae과에 속하는 요각류로 캘리포니아만과 도쿄만에 분포하며 우리나라에서는 고리, 진해, 광양만에 분포한다. 본 종은 전형적인 연안 및 기수종으로 알려져 있으며 4-22℃ 사이의 전범위에서 출현을 한다. 특히 9-11℃사이의 범위에서 높은 밀도를 보인다(임 1994).

Oithona smilis

Oithonidae과에 속하는 요각류로 열대를 제외하고 전 세계적으로 분포하는 종 (Vervoort 1951, Nishida 1985)이며 대표적인 연안종(이 1972)으로 보고되어 있다. 하계에 출현하지 않고 동계에 주로 출현하는 종으로 북위 30° 이상과 남위 30° 이하에서 분포하는 한류종으로서 우리나라의 경우 고리와 진해에 분포한다. Fish (1936)는 Maine만에서 본 종이 겨울 동안 깊은 층으로 이동한다고 하였다. 그에 따르면 본 종은 6.08 ~ 9.38℃사이의 수온에서 밀도가 높았다.

Sagitta crassa

Sagittidae과에 속하는 모악류로 저염분인 연안수역에 주로 분포하는 종으로서 우리나라 서해에 많이 출현하며, 남해에서는 연안을 따라 주로 분포한다. 수괴의 특성을 밝히는 지표종으로 알려져 있다(박 1970). 또한 본 종은 황해 아산만에서 여름을 선호한다고 보고되어 있다(이와 박 2003).

Sagitta enflata

Sagittidae과에 속하는 모악류로 전세계 해양의 온대 및 난대 수역에서 서식하는 광역 분포종이다. 한국 근해에 미치는 쿠로시오 난류의 영향을 밝히는 탁월한 생물학적 지표종으로서 이용되는 외산성 난류종이다. 계절별로 동계와 춘계에 소량 출현하고, 하계와 추계에 남해의 난류영향이 강한 해역에서 다량 출현한다고 알려져 있다(박 1970).

동물플랑크톤 군집

동물플랑크톤 군집의 계절적 출현 동태로 온배수 영향을 추적할 수도 있다. 울진과 영광원자력 발전소 온배수 영향 해역에서 1993 ~ 2005 사이의 요각류 군집 종다양성 지수 변화를 관찰한 결과 ΔT 가 증가하면 배수구의 종다양성 지수가 감소하였다. 이러한 현상은 타지역의 발전소 온배수 영향 해역에서의 결과와 비교하여 온

배수의 동태를 판단하는 지표로 삼을 수 있다.

2). 해조류

온배수의 영향을 파악하는 지표종을 선정함에 있어서 고착성 해조류의 경우 상업적으로 중요한 종, 지역마다 우점적으로 출현하는 종, 지리적 분포가 넓은 종, 수온 변화에 대한 내성 범위가 좁은 종 등 다양한 측면에서 접근해 볼 수 있는 바, 각 항목별로 대표적인 해조류를 살펴보고 그 장단점을 고찰해 보기로 한다.

가). 상업적으로 중요한 종

먼저 우리나라의 경우 경제활동과 관련이 많은 상업적으로 중요한 해조류는 다음과 같은 김(참김), 미역 그리고 다시마(참다시마)를 들 수 있다.

김(참김)

참김(*Porphyra tenera*)은 홍조강(Class Rhodophyceae) 보라털목(Order Bangiales) 보라털과(Family Bangiaceae)에 속하는 종으로 유사종은 방사무늬김(*P. yezoensis*), 둥근돌김(*P. suborbiculata*), 모무늬돌김(*P. seriata*), 쿠니에다김(*P. kuniedae*) 등이 있다.

엽체의 형태는 성숙 전을 기준으로 했을 때 원형-난형, 장타원형-선형 및 난형-선상 피침형의 세 가지 형태로 구분된다. 성숙하여 정자(spermatium) 또는 과포자(carpospore)를 방출하면 몸은 대체로 길이가 짧고 폭이 넓어진다. 체색은 적색, 적갈색, 청록색 등 종에 따라 다양하다. 엽체의 가장자리는 현미경적인 톱니가 있는 것과 톱니가 없는 것이 있다. 엽체에서 나온 과포자는 조가비 안쪽 면에 붙어서 발아하여 사상체(conchocelis)로 자란다. 사상체는 조가비 속을 비스듬히 안쪽으로 자라면서 입체적으로 그리고 방사상으로 확대되어 원형의 반점을 이루게 된다. 사상체 세포는 가는 부분이 3~5 μ m, 팽대부가 7.5~12.5 μ m이다. 엽록체는 세포막 쪽에 있고, 띠 모양 또는 판 모양이다. 사상체는 정단세포가 자라는 정단생장을 한다.

7, 8월이 되면 사상체의 가지는 많은 가지를 내고 여기에 포자낭이 측생적으로 자란다. 포자낭은 1열로 이어져서 생긴 포자낭 가지, 즉 포자낭지를 이루고 여기에서 각포자(conchospore)가 만들어진다. 각포자의 지름은 10~13 μ m이며, 이 포자는 자라서 김의 유아로 된다.

참김의 부착층은 조간대이며, 그 폭은 약 1m이다. 하구 부근에서 내만이나 외해까지 널리 분포하지만, 저비중에 잘 견디므로 하천수의 영향이 많은 하구에 적합하다. 생육 시기는 가을에서 봄까지이다. 환경에 대한 적응성이 크고, 따라서 형태변이가 많다. 부영양화 어장에서는 엽체가 얇고 부드러우며 향기가 많고 맛도 좋지만, 빈영양화 어장에서는 색택이 좋지 않고 품질이 떨어지는 경향이 있다. 한편 외해에 면한 고염분 어장에서는 세포막이 두껍고 딱딱해진다.

참김은 수중에서 생활하므로 주로 수온의 영향을 많이 받지만, 간조시에는 기온이 참김 엽상체에 직접적인 영향을 미친다. 가을이 되어 수온이 22℃ 전후에서 15℃ 정도까지 저하하는 기간이 김의 발아기이며, 15℃ 이하가 되면 성장기에 들어가고 온도가 차츰 더 내려감에 따라 매우 무성하게 자라서 최성기로 된다. 이 경우, 김의 수확 정도로 보아 8~5℃가 성장 적온이라고 할 수 있으며, 그 하한은 4℃이다. 이후 봄이 되어 수온이 12~13℃가 되면 생육이 그치게 된다(강과 고 1977).

참김은 냉수성임과 동시에 협온성이다. 상품이 되는 엽상체의 최적 성장수온은 5~8℃이다. 한편 9월 혹은 10월에 수온이 23℃ 이하로 내려가면 포자가 불기 시작하는 데 수온 하강이 더디거나 빠르면 포자 착생이 불량해진다. 어느 한 생활사에 있어 온배수 영향을 받았다면 바로 전생활사에 영향을 받은 것이기 때문에 온배수가 참김에 미치는 영향은 포자부착기, 발아기, 엽상체 성장기 등 생활사별로 나누어 조사해야 한다. 또한 수온은 참김의 품질에도 영향을 미치기 때문에 수온이 김의 상품성에 미치는 영향에 대한 고찰이 필요하다.

미역

미역(*Undaria pinnatifida*)은 갈조강(Class Phaeophyceae) 다시마목(Order Laminariales) 미역과(Family Alariaceae)에 속하는 종으로 유사종은 넓미역(*U. peterseniana*)이 있다.

미역은 제주도에서 동해안 끝까지, 그리고 황해도 이남의 서해안과 남해안에 분포하지만 한류의 영향이 강한 북해도의 태평양 연안과 난류의 영향이 강한 남부 태평양 연안 일부에는 분포하지 않는다. 서식대는 저조선 부근에서 점심대에 걸쳐 서식하나, 남부에서는 깊은 곳에 그리고 북부에서는 얕은 곳에 서식하는 경향이 있다.

엽상부의 전체 모양은 난원형 또는 피침형이고 중륵이 있으며, 깃꼴 모양으로 분열한다. 엽면에 털집이 있는데, 이것은 육안으로는 작은 점이 산재해 있는 것처럼 보인다. 엽상부의 중륵은 줄기로 이어져 있으며, 줄기의 가장자리가 납작해지고 또 주름이 잡혀 흔히 '미역귀'라 부르는 구조인 포자엽(sporophyll)으로 된다. 포자는 이

곳에 한정되어 형성된다. 줄기의 하부는 부착기로 되며, 몇 번 두 가닥으로 분지하여 나뭇가지 모양을 이루어 기물에 고착한다. 외양에 면한 연안의 암초에 많이 부착하나 일반적으로 내만의 만 입구 가까운 부근의 조류가 빠른 곳에 양질의 미역밭이 있고, 내만의 조류가 느린 곳에서는 품질이 좋지 않다.

미역은 이형세대교변을 하는 1년생 해조류이다. 우리가 식용으로 하는 미역인 엽체는 포자체(sporophyte)인데, 가을부터 봄까지 자라서 성숙한 다음 5-6월에 유주자를 방출하고 나면 엽체는 점점 녹아서 유실된다. 유주자는 발아하여 현미경적인 작은 배우체(gametophyte)로 되어 여름을 지내며, 가을에 알과 정자가 형성되어 수정란을 만들고, 이것이 발아되면 어린 포자체인 아포체를 거쳐서 엽체로 자란다. 이와 같은 미역의 생활사에서 각 단계에 미치는 온도의 영향을 정리하면 다음과 같다.

먼저 미역의 유주자는 순 평균 수온이 14℃ 이상 될 때 방출되기 시작하여 미역이 유실되는 22℃ 정도까지 지속된다. 이 기간 동안 17~22℃에서 특히 왕성하게 방출된다. 방출된 유주자는 편모로 헤엄쳐 다니다가 적당한 곳에 닿으면 착생한다. 이때 수온이 20℃ 이하에서 잘 착생하며, 25℃ 이상에서는 착생이 잘 되지 않는다.

배우체가 발아해서 성장하는 온도는 17~20℃가 가장 좋고, 27℃ 이상에서는 발아하지 않는다. 발아하여 배우체로 된 것은 23℃까지는 성장하지만, 수온이 더 높아지면 자라지 않고 세포는 둥글게 되어 두터운 세포막을 쓰고 휴면하게 된다. 휴면 상태에 들어간 배우체는 30℃이 고수온에서도 잘 견디며 수온이 낮아지면 다시 활동을 시작한다. 가을에 수온이 24℃ 이하로 내려가면 휴면 상태에 있던 배우체는 다시 성장을 계속하여 조정기와 생란기를 만들게 된다.

미역의 경우 온수성 종으로 간주할 수도 있지만 어느 정도 냉수성에 치우친 종이 다. 배우체의 성숙과 아포체의 발아는 다 함께 20℃ 이하의 저수온에서 잘되며, 23℃ 이상의 고수온에서는 성숙하지 않는다. 아포체와 유엽 때에는 몸 전체가 자라는 개재 성장을 하며 15~17℃에서 잘 크고 수온이 그보다 낮아지면 다소 늦어지고 10℃ 이하에서는 더욱 늦어진다. 유엽의 경우, 15℃ 정도까지는 생장이 비교적 좋으나, 그 이상이 되면 생장이 늦어진다. 엽체는 수온 20℃ 이상이 되면 생장이 저하되고 22℃가 되면 유실된다(강과 고 1977). 미역 포자체 및 엽체의 주 성장기에 있어 온배수 영향이 주 검정 대상이다.

다시마(참다시마)

다시마(*Laminaria japonica*)는 갈조강(Class Phaeophyceae) 다시마목(Order Laminariales) 다시마과(Family Laminariaceae)에 속하는 종으로 유사종으로는 애기

다시마(*L. religiosa*) 및 깨다시마(*Kjellmaniella crassifolia*)가 있다.

다시마는 외관상 잎(엽상부), 줄기 그리고 뿌리(부착기)의 3부분으로 구분된다. 잎은 띠 모양으로 길고 중간 부분보다 다소 아래쪽이 가장 넓다. 길이는 1.8~3.5m이며, 폭은 25~45cm이다. 잎의 중앙 부분은 두터운 중대부를 이루고, 중대부의 양가는 세로로 홈이 있다.

다시마는 자연적으로 원산 이북에만 분포하는 북방계 해조이지만, 실내 종묘생산으로 제주도를 제외한 전 해역에서 양식이 가능하게 되었다. 한편 중국에서는 남쪽의 고수온 해역에서도 양식 가능한 품종을 하였다. 일본의 다시마속(*Laminaria*)의 분포는 원산지 북해도에 있어 다시마(*L. japonica*)는 대마난류와 한류인 오야시오가 합쳐지는 곳에 분포하고, 애기다시마(*L. religiosa*)는 대마난류가 그치는 해역에, 그리고 오토츠크다시마(*L. ochotensis*)는 대마난류가 한류와 접하는 곳에서부터 한류 해역에 분포한다. 북해도에서 유엽이 나타나는 것은 12~3월이며, 7월까지 성장한다. 초가을에서 초겨울까지 성숙기에 포자를 방출하고 나면 끝부분부터 차츰 녹아기부만 남는다. 늦가을-초겨울의 재생기에 들어가면 기부에 있는 성장대에서 다시 성장을 계속하여 2년째 잎이 생기며, 이것은 여름까지 매우 두꺼워진다.

1년생 다시마를 기준으로 했을 때, 수온이 14~15℃에서 가장 빠르게 자라며, 수온 17℃ 이하에서는 2cm/일 이상 성장한다. 20℃에서도 엽체 길이는 증가하지만, 22℃ 전후가 되면 끝 녹음이 성장보다 많아서 엽체 길이는 짧아진다(강과 고 1977).

다시마는 냉수성이 강한 해조류로 수온에 대한 반응이 비교적 잘 나타난다. 엽체의 끝 녹음과 성장에 미치는 온배수 영향이 주 관심대상이 된다.

기타 해조류

이밖에도 상업적으로 중요한 해조류로는 녹조류 가운데 파래 무리(*Enteromorpha* spp.), 홑파래 무리(*Monostroma* spp.), 청각(*Codium fragile*), 갈조류 가운데 툃(*Hizikia fusiformis*), 감태(*Ecklonia cava*), 구멍쇠미역(*Agarum crathrum*), 모자반(*Sargassum fulvellum*), 그리고 홍조류 가운데 우뚝가사리(*Gelidium amansii*), 불등풀가사리(*Gloiopeltis furcata*) 등을 들 수 있다.

발전소 주변 주민들이 상업적으로 중요한 해조류의 생산과 증식에 많은 관심을 갖고 있으므로 이들 해조류를 온배수의 영향을 파악하는 지표종으로 선정하는 것이 현재로서는 가장 이상적인 방법이라고 평가된다. 특히 우리나라 연안에서 양식하고 있는 해조류의 대부분이 비교적 낮은 수온에서 잘 자라는 냉수성 종들이기 때문에 온배수의 영향을 파악하는 지표종으로 선정하는데 크게 무리가 없을 것이다.

다만 이들 상업적으로 중요한 해조류들이 우리나라의 모든 연안에서 양식되고 있지 않기 때문에 주변 연안에서 해조류의 양식이 이루어지지 않는 발전소의 경우에는 온배수의 영향을 파악하기 어렵다는 문제점을 안고 있다. 이를테면 김의 경우 서해안이나 남해안에서 보편적으로 양식하고 있는 반면 동해안에서는 김 양식장을 발견할 수 없으며, 구멍쇠미역의 경우는 오히려 동해안 중부 이북에서만 발견되고 있는 실정이다(이와 강 2002).

나). 지역마다 우점적으로 출현하는 종

이제까지 동해안의 3개 원자력발전소와 서해안의 영광원자력발전소 주변에서는 오랜 기간에 걸쳐 해조류 분포 자료가 상세하게 축적되었고, 삼천포화력, 보령화력, 서천화력발전소 등 일부 화력발전소 주변에서도 그간 해조류 분포 조사가 비교적 다양하게 수행되었다.

이를테면 울진원자력발전소 주변에서는 지충이(*Sargassum thunbergii*), 툯(*Hizikia fusiformis*), 작은구슬산호말(*Corallina pilulifera*), 도박류(*Pachymeniopsis* spp.) 등이 우점종으로 조사되었고(김과 김 1991), 월성원자력발전소 주변에서는 미역(*Undaria pinnatifida*), 작은구슬산호말, 팽생이모자반(*Sargassum horneri*), 파래무리(*Enteromorpha* spp.) 등이 우점하는 것으로 밝혀졌으며(김과 김 1991), 서해안의 영광원자력발전소 주변에서는 지충이, 작은구슬산호말, 납작파래(*Enteromorpha compressa*), 부챗살(*Ahnfeltiopsis flabelliformis*) 등이 연중 우점종으로 조사된 바 있다(김과 허 1998).

따라서 발전소 주변에 출현하는 해조류 가운데 지역별 우점종의 도태를 파악하면 온배수의 영향을 파악하는데 도움을 받을 수 있을 것이다. 그런데 우리나라 연안의 모든 발전소 주변에서 체계적으로 해조류 분포 조사가 수행되지 않은 탓에 지역별 우점종 해조류로 온배수 지표종을 삼는 데에는 다소 제약이 따르게 된다.

다). 지리적 분포가 넓은 종

우리나라 연안에서 보편적으로 분포하는 해조류들은 발전소가 위치한 해역 주변에서 출현할 가능성이 높기 때문에 이들 해조류의 정성·정량적 분포를 파악하면 계절별로 온배수의 영향을 검토하고 지역별로 그 영향을 비교하는데 도움을 받을 수 있을 것이다.

그러나 이와 같이 보편적으로 출현하는 종들의 대부분은 대체로 온도 변화에 대

한 내성 범위가 넓어서 자연수온보다 높은 온도 조건에서도 생육할 가능성이 있고, 실제로 동해안의 원자력발전소 배수로에서는 상기 해조류 가운데 다수의 종이 다량으로 출현하고 있는 실정이다(김 등 1998, 김과 안 2005). 따라서 이들 보편적 출현종만으로 발전소의 온배수 지표종으로 선정하는 데에는 이들의 광범위한 분포적 특성 때문에 온배수의 영향을 상세하게 파악하기 어렵다는 문제점을 안고 있다.

우리나라에 보편적으로 출현하는 해조류는 다음과 같다.

녹조류

청각(*Codium fragile*), 구멍갈파래(*Ulva pertusa*), 납작파래(*Enteromorpha compressa*), 잎파래(*Enteromorpha linza*),

갈조류

불레기말(*Colpomenia sinuosa*), 미끈뽀대그물말(*Dictyopteris divaricata*), 참그물바탕말(*Dictyota dichotoma*), 감태(*Ecklonia cava*), 툫(*Hizikia fusiformia*), 패(*Ishige okamurae*), 바위두릅(*Leathesia difformis*), 알쏭이모자반(*Sargassum confusum*), 모자반(*S. fulvellum*), 팽생이모자반(*Sargassum horneri*), 팽생이모자반(*S. horneri*), 지층이(*S. thunbergii*), 고리매(*Scytosiphon lomentaria*), 미역(*Undaria pinnatifida*)

홍조류

부챗살(*Ahnfeltiopsis flabelliformis*), 참까막살(*Carpopeltis affinis*), 애기가시덤불(*Caulacanthus ustulatus*), 단박(*Ceramium boydenii*), 비단풀(*Ceramium kondoii*), 참사슬풀(*Champia parvula*), 애기돌가사리(*Chondracanthus intermedia = Gigartina intermedia*), 돌가사리(*Chondracanthus tenellus*), 개서실(*Chondria crassicaulis*), 진두발(*Chondrus ocellatus*), 참산호말(*Corallina officinalis*), 작은구슬산호말(*Corallina pilulifera*), 우뚝가사리(*Gelidium amansii*), 애기우뚝가사리(*Gelidium divaricatum*), 불등풀가사리(*Gloiopeltis furcata*), 꼬시래기(*Gracilaria verrucosa*), 참도박(*Grateloupia elliptica*), 참지누아리(*Grateloupia filicina*), 미끌지누아리(*Grateloupia turuturu*), 쌍발이서실(*Laurencia okamurae*), 마디잘록이(*Lomentaria catenata*), 애기마디잘록이(*Lomentaria hakodatensis*), 모로우붉은실(*Polysiphonia morrowii*), 둥근돌김(*Porphyra suborbiculata*), 참김(*Porphyra tenera*), 붉은까막살(*Prionitis cornea*), 개우무(*Pterocladia capillacea*), 참보라색우무(*Symphyocladia latiuscula*)

라). 수온 변화에 대한 내성 범위가 좁은 종

우리나라의 경우 그간 양식 대상 해조류 몇 종을 대상으로 온도와 관련한 성장 연구가 수행되었을 뿐이지만, 외국에서는 다양한 해조류를 대상으로 온도와 관련한 생육 범위나 생장률 또는 지리적 분포 등이 비교적 상세하게 연구되었다. 따라서 이들 자료를 참고하여 수온 변화에 대한 내성 범위가 좁은 종을 온배수 지표종으로 선정하고 집중적인 분포 조사를 수행하는 것도 한 방법이 될 수 있을 것이다.

그러나 동일한 종에서도 계절에 따라 생육 온도 범위가 달라지고 생장률도 다르게 나타나기 때문에 주의해야 한다. 홍조류 3종의 온도 변화에 따른 순광합성(net photosynthesis)은 계절에 따라 차이를 보이고 있어서, 동일한 종이라 할지라도 순광합성은 겨울에는 여름보다 낮은 온도에서 훨씬 높게 나타난다(그림 22).

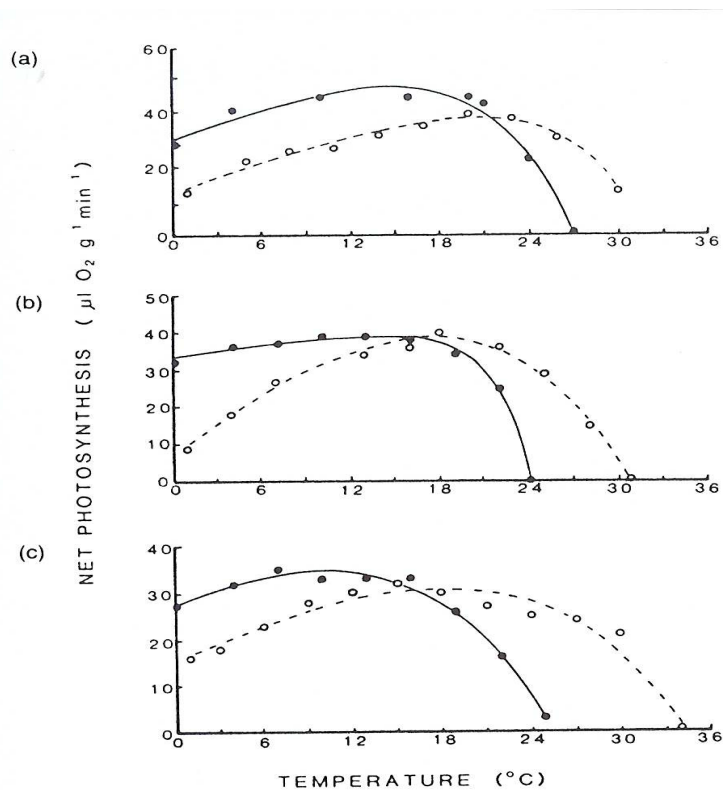


그림 22. 온도 변화에 따른 홍조류 3종(a: 주름붉은잎 *Callophyllis crispata*, b: 바다 참나무잎속의 일종 *Phycodrys rubens*, c: 주름진두발 *Chondrus crispus*)의 광합성 변화(Lobban and Harrison, 1994). ○: 여름, ●: 겨울

한편 동일한 종이라 할지라도 출현하는 지역에 따라 온도 변화에 따른 생장률이 차이를 보일 뿐만 아니라 생존 범위도 다르게 나타난다(그림 23). 더구나 염분도(salinity)나 조도(irradiance)와 같은 온도 이외의 환경조건에 따라서도 온도의 효과가 상이하게 나타날 수 있다(그림 24).

따라서 현재로서는 수온 변화에 대한 내성 범위가 좁은 종을 지표종으로 삼는 것이 가장 이상적인 방법이 될 수 있겠지만 상기와 같은 문제점들을 충분히 고려해야 함에도 불구하고 이제까지 국내에서 축적된 관련 자료가 절대적으로 빈약한 실정이므로 향후 이에 대한 다각적인 연구가 수행되어야 할 것으로 기대된다.

3). 저서동물

조간대에 분포하는 저서동물은 대부분 환경변화 특히, 온도변화에 내성이 큰 광온성 종으로 온배수 지표종이 될 수 없다. 따라서 저서동물을 지표종으로 사용할 경우 비교적 수온이 안정되어 있는 조하대에 분포가 한정되는 종들을 선택해야 한다. 조하대 저서동물 중 지표종으로 사용 가능한 종들은 1차년도 보고서에 수록한 바와 같이 참굴(*Crassostrea gigas*) 및 바지락(*Ruditapes philippinarum*)을 우선적으로 거론할 수 있으며, 진주담치(*Mytilus galloprovincialis*)를 추가할 수 있다.

진주담치는 캄차카반도와 베링해가 원산지이지만 온도 변화에 내성이 강하여 점차 온대해역으로 서식지를 넓히고 있는 종이다. 우리나라에 도입된 시기는 명확하지 않지만 국양식이 시작된 1960년대 말부터 학자들의 관심을 끌기 시작하였다. 현재 우리나라 모든 해역에 서식하고 있는 수산양식 대상종이기도 하지만 모든 해양 구조물에 부착하여 피해를 주는 오손생물이기도 하다. 전술한 바와 같이 본종은 온도변화에 대한 내성이 크기 때문에 성체보다는 부착기유생과 치패를 기준으로 생물검정실험을 하는 것이 바람직하다.

4). 어류

가). 지표종 선정

어류를 온배수 지표종으로 선정하기 위해서는 지표종에 대한 개념을 객관적으로 다시 생각해야 한다. 현실적으로 온배수가 환경오염과 피해보상이라는 사회적 통념을 바탕으로 일반적으로 인식이 되고 있기 때문에 어류 온배수 지표종이라는 의미

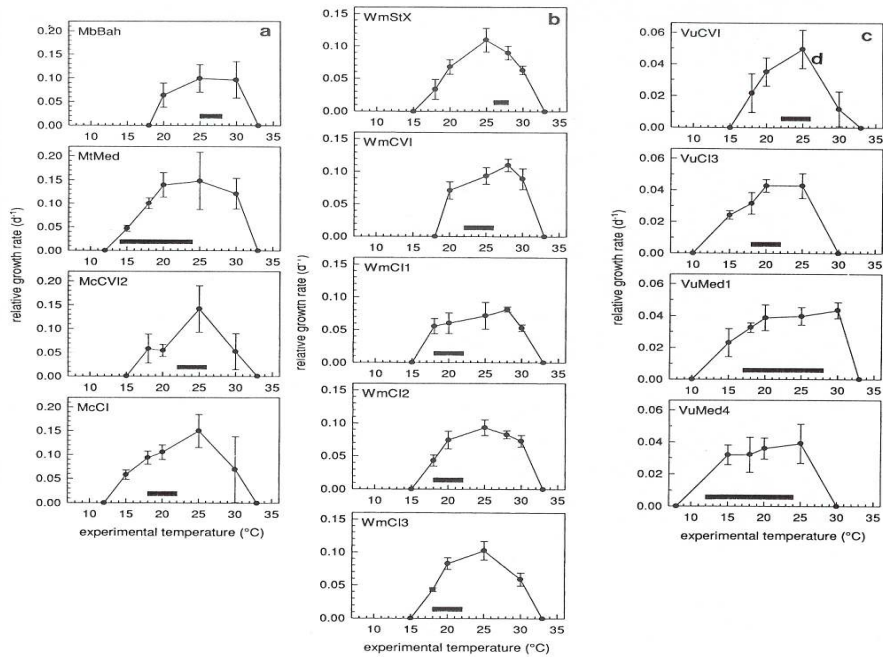


그림 23. 대서양에 분포하는 해조류 3종(a: 잎맥말속 *Microdictyon*, b: *Wurdemannia*, c: *Valonia*)의 온도 변화에 따른 상대성장률 변화(Pakker and Breeman, 1996).

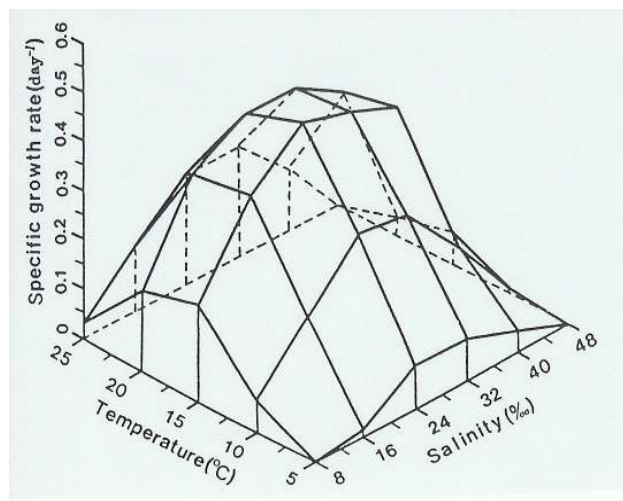


그림 24. 온도와 염분도 변화에 따른 창자과래(*Enteromorpha intestinalis*) 발아체의 성장률 비교(Kim and Lee 1996).

는 온배수를 관리하기 위한 하나의 방법론적인 과학적 개념으로만 한정되지 않는다. 어류를 지표종으로 하여 얻어지는 자료는 사회학적으로 여러 가지 파급효과를 내재하기 때문에 신중하게 고려해야 할 문제이다.

지표종이 갖는 객관적 개념은 “환경의 특성을 잘 나타낼 수 있는 생물. 환경요인에 대한 내성 범위가 매우 좁은 경우, 그 생물들은 환경요인이 내성 범위를 벗어나면 살 수 없게 되므로 지표종으로 효용성이 크다.”라는 해양과학용어 사전(한국해양학회 2005)의 정의로 잘 대변된다. 어류는 척추동물로 비교적 고등한 생물군에 속하여 생리 대사적인 측면에서 수온에 대한 내성 범위가 비교적 넓으며, 운동성이 매우 커 자연환경이 변하면 보다 좋은 환경을 찾아 쉽게 이동하기 때문에 일차적으로 수온에 대한 지표종으로 사용하기에는 적합지 않다.

발전소 온배수 영향 해역에서의 조사결과를 분석하여도 명확한 지표종이 될만한 어종의 선택이 어렵다. 울진원전의 경우 파랑돔의 출현 여부로 온배수 영향권을 구획할 수는 있지만 역설적으로 파랑돔이 존재하는 지역에는 반드시 온배수가 존재하여야 한다거나, 파랑돔이 출현하지 않으면 온배수 영향권이 아니라는 논리적 모순에 도달하게 된다. 지금까지 관찰되고 검토된 사실을 토대로 선정된 지표종 어류의 선택 조건은 그림 25와 같다.

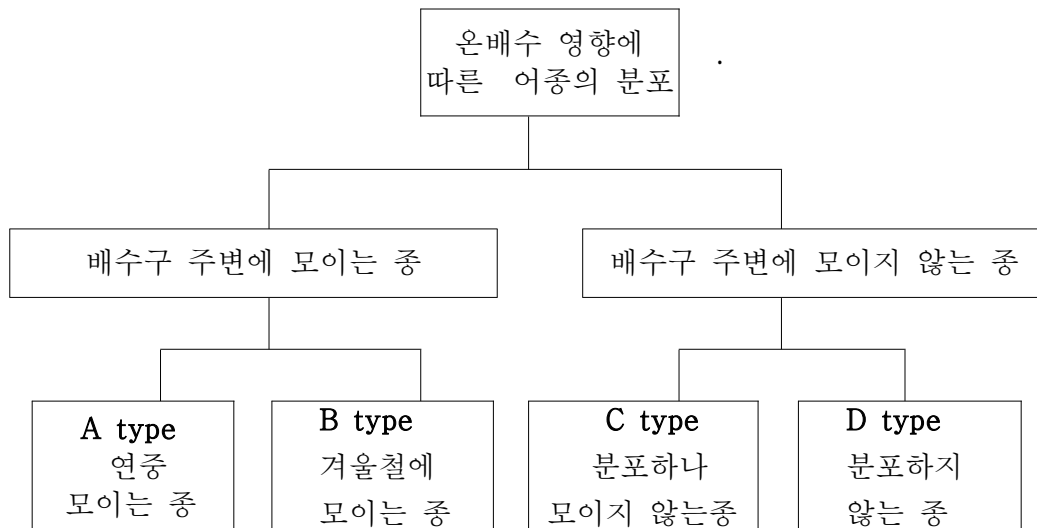


그림 25. 온배수 지표어종 선정 기준.

선정 대상어종은 우선 두가지로 크게 분류하여 온배수에 관한 선호도, 즉 온수성 어종인가, 냉수성 어종인가를 구분하여 결국 온배수에 반응을 나타내는 어종으로 4 종류로 구분할 수 있다.

온배수에 대한 긍정적 선택을 나타내는 어종은 연중 온배수 확산 지역에 존재하는 어종(A Type)과 겨울철만 온배수와 연관되어 존재하는 어종(B Type)으로 구분되며, 온배수 확산 구역에 존재하지 않은 어종은 주변해역에 분포하지만 온배수 확산 구역에 존재하지 않는 어종(C Type)과 온배수 확산해역 및 주변 해역에 존재하지 않는 어종(D Type)으로 구분될 수 있다.

나). 지표종

돌돔

돌돔(*Oplegnathus fasciatus*)은 난류성 어종으로 A Type에 속한다. 대표적인 산업적 종으로 우리나라 전 연안에 분포하며 비교적 이동이 적은 정착성 어류에 속한다. 고기 맛이 좋아 부가가치가 높은 어종이라는 특성상 90년대에 들어와 양식기술이 확립되어 남해안 및 서해안 가두리와 축제식 양식장의 유망 품종으로 각광을 받고 있다.

돌돔의 어린 치어는 일반적으로 해수 표면에 떠다니는 해조 아래에 모여 어린 시절을 보내다가 크기가 3~4cm 정도 성장하면 유조로부터 떨어져 나와 수중에서 무리를 지어 생활하고, 10 cm에 달하면 해조류가 풍부한 암초지대에 정착하게 된다. 특히 제주도와 같은 연안에 많이 산재하여 있는 용암굴 등이 이들이 서식하기에 매우 적절한 장소로 판단된다. 돌돔은 특별히 새의 부리 모양의 강한 이빨을 갖고 있어 15cm 정도 성장하게 되면 새우나 게 등의 갑각류는 물론 성게, 소라, 전복 등 아주 딱딱한 껍질을 갖고 있는 패류도 껍각을 부수어 내용물을 먹을 수 있는 강한 이빨을 가지고 있다. 그리고 성장함에 따라 체 표면에 갖고 있는 9줄의 검은 띠의 색깔이 바래 선명치 않게 된다.

주요 산란 시기는 연령과 지역에 따라 다소 차이는 있으나 수온이 21~24℃를 유지하는 5월 하순부터 7월 초순으로 알려져 있다. 따라서 생물검정실험은 성체보다는 부화자어 혹은 치어를 사용하는 것이 타당하다고 본다.

자리돔

자리돔(*Chiromis notatus*)은 제주도의 특산인 난류성 어종으로 A Type에 속한다.

자연적으로는 남해안에도 분포하나 최근 울진원전의 배수로에서 연중 서식하고 있는 것으로 조사되었다.

몸은 흑갈색이며, 비늘이 크고, 가슴지느러미 기부에 검은색 반점이 있다. 물속에 서는 등지느러미 끝 쪽 기부에 흰점이 있고, 옆줄은 불완전하여 등지느러미 줄기부 시작지점 아래에서 끝난다. 꼬리지느러미 기저의 상하 가장자리에 두 개의 가시를 형성하는 전유줄기가 있다.

난류의 영향을 받는 남해 및 동해안의 연안 암초지대에 무리를 이루며 여름철이 되면 돌에 부착하는 알을 낳고, 연안의 암초지대 수심 2~15 m에 주로 서식한다.

파랑돔

우리나라 난류성 어종의 대표적인 파랑돔(*Pomacentrus coelestis*)은 울진원전 배수로에서 겨울철에도 서식하는 종으로 B type에 속한다. 긴 타원형 체형의 몸이 코발트색이며, 배쪽은 노란 색을 띠는 매우 아름다운 대표적인 관상어이다. 제주도에서 울릉도, 독도 연안에 이르기까지 흑조 난류의 영향이 미치는 지역에 분포하며, 주로 암초지대에 무리지어 서식하며, 산란 습성은 자리돔과 유사하고 시기는 7~9월에 알을 낳아 암초에 부착시킨다. 크기는 7~9 cm의 소형어류이다.

자연적으로는 울진해역에 분포하지 않지만 여름철 북상하는 동해난류에 편승하여 울진해역까지 올라온 개체들이 따뜻한 온배수에 이끌려 배수로에 진입한 후 가을철 수온 하강으로 다시 내려가지 못하고 머문 것으로 판단된다. 본종의 출현 여부로 온배수 영향의 강도를 검증할 수 있다.

연어

연어(*Oncorhynchus keta*)는 냉수성 어류로 온배수에 대하여는 부정적 반응 즉, 회피반응을 보이는 C type에 속한다. 우리나라에서 상업적 가치는 그다지 크지 않으나 종 다양성 보전 차원에서 중요한 종이다. 성어는 전장 1m 이상으로 비교적 대형어종에 속하며, 모친 회귀성 때문에 세계적으로 많은 연구가 진행된 어종 중 하나이다. 또한 우리나라에 분포하는 어류 중에서도 동해지역에만 출현하는 대표적인 어종인 연어는 북태평양과 북극해에 서식하는 것으로 알려져 있다. 가을철 산란기가 되면 몸에 붉은색과 검정색의 무늬가 나타나는 것이 특징이고, 수컷은 턱이 커지며 휘어져 갈고리모양으로 변하는 것이 특징이다. 대부분 가을철에 우리나라 동해안과 남해안의 모천으로 회귀하여 산란하고 죽는다. 알을 부화하여 강 어구에서 겨울을 지나고 봄철에 바다로 들어간다.

연어는 동해안에 위치하고 있거나 장차 위치할 발전소에서 배출되는 온배수가 냉수성 어종의 회유에 미치는 영향 판단을 위한 지표종이 될 수 있다.

은어

바다빙어목 바다빙어과의 은어(*Plecoglossus atlivelis*)는 연어와 같이 소하성 어류이다. 몸 빛깔은 어두운 청록색을 띤 회색으로 기름지느러미를 갖는다. 약 30 cm 정도 성장하며, 비늘은 작으며 둥글고 측선은 완전히 형성되어 있다.

은어는 일년생 어류로 강에서 태어나 바다로 내려간 새끼가 봄에 강 하구에서 내륙 하천으로 다시 올라와 성장하고, 가을이 되면 어미로 성장한 개체는 알을 낳고 죽게 된다. 9월에서 11월 하순 까지 산란된 알은 수온이 약 15℃ 전후에서 약 2주 만에 부화하고 이때는 거의 유영능력이 없으므로 물의 흐름에 따라 강 하구를 거쳐 바다로 흘러가게 된다. 이렇게 바다로 흘러들어간 자어는 주로 수심 50m 이내의 연안 해역에서 동물성 부유생물을 먹이로 겨울을 나고 이듬해 봄이 오면 해수온도와 하천의 온도가 거의 동일해 지는 시기를 기다렸다가 큰 개체부터 강물로 거슬러 올라오게 된다. 특히 강물로 올라오게 되면 그간 바다에서 먹던 동물성 부유생물들에 대한 식성이 변하기 시작하여 하천의 바닥이나 돌 등에 붙어서 자라는 규조(硅藻, Diatom)를 뜯어 먹는 식물성 섭식 식성으로 전환되는 것으로 알려져 있다.

우리나라 동해안에서 은어의 자연 서식처는 강구 오십천, 삼척 오십천, 강릉 남대천 등의 큰 하천에서부터 소하천에 이르기 까지 두루 분포하였으나 최근에는 하천 유수량의 급격한 변화나 수질 오염 등으로 서식지가 축소되고 이에 따른 생산량도 감소하는 추세이다.

은어는 90년대 들어 수질오염과 강 하구의 댐 축조 등에 의한 물길 차단으로 어획량이 급격히 감소하여 와 자연산은 10톤/년 미만이 어획되지만, 최근 양식기술의 확립으로 400톤/년 이상이 생산되고 있어 상업적으로도 중요한 어류이다.

은어는 온배수 배출이 냉수성어종의 부화자어 회유에 미치는 영향 판정을 위한 지표로 사용할 수 있다.

기타 어류

우리나라에서 상업적으로 중요한 어류 중 온배수 지표종으로 사용 가능한 종류는 넙치(*Paralichthys olivaceus*), 조피볼락(*Sebastes schlegelii*), 쥐노래미(*Hexagrammos otakii*) 등이 있으며, 이들의 특성은 1차년도 보고서에 수록된 바와 같다.

2. 온배수 영향평가를 위한 생물검정

생물검정은 인위적 환경변화에 대한 자연생태계에 서식하는 생물의 반응을 실험 조건에서 재생하고, 그 결과를 생물통계학적 방법으로 수치화하는 것이다. 인위적 온도변화(온배수 배출)에 대한 해양생물의 반응을 실험조건에서 재현하여 해양생물 및 수산생물에 영향을 미치는 수온변화의 정도를 결정할 수 있다. 일반적인 오염물질의 경우 통상적으로 24시간 이내에 시험생물의 50%가 사망하는 오염정도를 배출 허용치로 하고 있다. 그러나 수온변화에 대한 해양생물의 반응은 생활단계별, 종류별 차이가 있으며 사망하기 이전에 생산량 변화 즉, 수산업적 가치 변화를 초래하기 때문에 단순한 사망률만으로 온배수 배출 수온 허용치를 결정할 수는 없다. 따라서, 수온변화에 대한 해양생물반응은 적절한 실험조건 하에서 관리된 표준생물검정시험으로 자연생태계에 대한 영향을 추정할 수 있도록 평가할 수밖에 없으며, 생물검정시험 결과는 재현성이 있어야 신뢰할 수 있으므로 실험방법의 표준화가 필요하다. 특히, 발전소 온배수와 관련한 해양생물검정 결과는 수산업에 미치는 영향 정도 추정자료로 사용될 것이기 때문에 생물검정 과정에 대한 철저한 관리가 필요하다.

온배수가 해양생물에 미치는 영향을 수치적으로 평가하기 위한 생물검정방법으로는 치사수온 측정과 및 생리활성 변화 측정방법이 적합하며, 다음에 논의된 내용은 정확한 온배수 규제치 설정하기 위한 생물검정의 표준(안)이다.

가. 생물검정의 개요

1). 치사수온

통상적으로 오염물질의 영향을 평가하기 위한 수단으로 반수치사농도(LC50) 즉, 실험생물의 50%가 사망하는 농도(역으로 실험생물의 50%가 무기한 생존할 수 있는 농도)를 많이 사용하고 있다.

치사수온은 문자 그대로 실험생물이 사망에 이르는 높은 온도 또는 낮은 온도로(Block 1974 ; Wolters and Coutant 1976) 간단하게 정의할 수 있지만 생물의 치사수온에 영향을 미치는 요인은 수온 상승속도, 수온에 노출되는 기간, 순치과정, 생물의 생활사, 생물의 생리적 상태, 적응전략 등 매우 다양하다. 높은 수온과 낮은

수온 모두 해양생물에 영향을 미치기 때문에 상한치사수온(upper incipient lethal temperature)과 하한치사수온(lower incipient lethal temperature) 두 가지의 관점에서 치사수온을 평가한다(Jobling 1981). 그러나 온배수의 영향은 수온 상승에 의한 영향을 뜻하기 때문에 상한치사수온만 관심의 대상이 된다.

어류를 포함한 운동성 있는 해양동물은 환경수온이 변할 경우 타지역으로 회피하므로 자연상태에서 수온변화로 피해를 입는 경우는 거의 발견되지 않지만 운동성이 현저하게 적은 종들이나 고착성 종들은 수온변화 그대로 노출되어 영향을 받기 때문에 상한치사수온은 온배수 영향을 평가하는 하나의 지표가 될 수 있다. 그러나 생존한 실험생물도 시간이 지남에 따라 누적되는 스트레스 또는 만성적 영향으로 사망하는 경우도 종종 있기 때문에 단독적으로 온배수 영향을 평가하는데 다소 무리가 있다. 상한치사수온도는 같은 실험조건에서도 수온 상승속도에 따라 다르게 나타난다. 실제로 피해가 발생하는 상황과 비교하여 수온 상승속도가 빠르게 되면 상한치사수온은 상대적으로 낮은 수온에서 형성되며, 역으로 수온 상승속도가 느리면 보다 높은 수온에서 상한치사수온이 결정된다.

반수치사수온은 실험생물의 50%가 사망하는 수온(또는 50%가 무기한 생존하는 수온)은 해당 수온이 실험생물의 서식 적수온의 범위를 넘어섰다는 것을 의미한다. 따라서 반수치사수온은 온배수 영향이 확실하게 나타나는 수온을 의미한다고 보아야 하며 이를 온배수 배출허용 수온으로 인식해서는 안 된다. 따라서 주어진 해역에 대한 온배수 영향을 정확하게 수치화하기 위해서는 실험생물 중 어느 개체가 최초로 사망하는 수온부터 반수치사수온에 이르기까지 단계적인 치사수온 실험이 필요하다. 추천되는 방법은 실험시작 24시간 이내에 최초의 개체가 사망하는 수온, 10% 차사수온, 25% 치사수온 및 반수치사수온의 4단계로 검정하는 것이 바람직하다. 실험생물의 어는 생활사의 한 단계를 대상으로 할 경우 부화율(수정란) 또는 다음 단계로의 변태 성공률을 기준으로 검정하거나 식물의 경우 광합성 저해율을 기준으로 검정할 수 있다.

실험생물은 주어진 해역에서 선택 가능한 지표종을 대상으로 하며 실험생물의 수는 통계학적 의미를 부여할 수 있는 최소한의 기준이상이어야 하며, 검증 결과의 신뢰성을 높이기 위하여 생활사별, 계절별 3회 반복 실험하는 것을 제안한다. 치사수온 측정방법은 이미 보편화 되어 있기 때문에 본 보고서에서는 구체적인 실험방법을 생략하기로 한다.

2). 생리활성

변온동물인 해양생물은 서식 적수온의 범위 내에서는 수온증가와 생리활성이 비례적으로 증가하며, 적수온 범위를 벗어나면 생리활성은 급격하게 증가하여 이상행동을 보인 후 치사온도에 이르기까지 급격하게 감소하는 경향을 보인다. 여기서 주목해야 할 것은 어느 시점에서 생리활성이 급격하게 증가했으며, 이상행동이 발생하는지 정확히 파악하는 것이 중요하다.

산소소비율은 외부 환경변화에 대한 생물 체내의 생리작용 상태를 표출하고 있어 생리활성 측정의 지표가 된다. Fry (1967)는 생물의 산소소비율을 정지 상태의 표준소비율(standard rate), 정상적 활동상태의 정상소비율(routine rate) 및 외적 스트레스에 기인한 행동에 따른 활동소비율(active rate)로 구분하였다. 온도가 상승함에 따라 호흡률(산소소비율)은 최적수온까지 증가하며, 최적수온을 넘게 되면 산소소비율은 급격하게 증가한 후 사망에 이르기까지 감소한다.

조피볼락의 생물검정 결과(Kim et al. 2003)를 보면 30.9℃ 부근에서 호흡율 이상이 나타나며, 이후 치사수온인 32.4℃에 이르기까지 급격하게 호흡량이 증가함을 알 수 있다(그림 26). 이는 생물의 생리활성이 외부환경변화로 인하여 정상으로 이루어

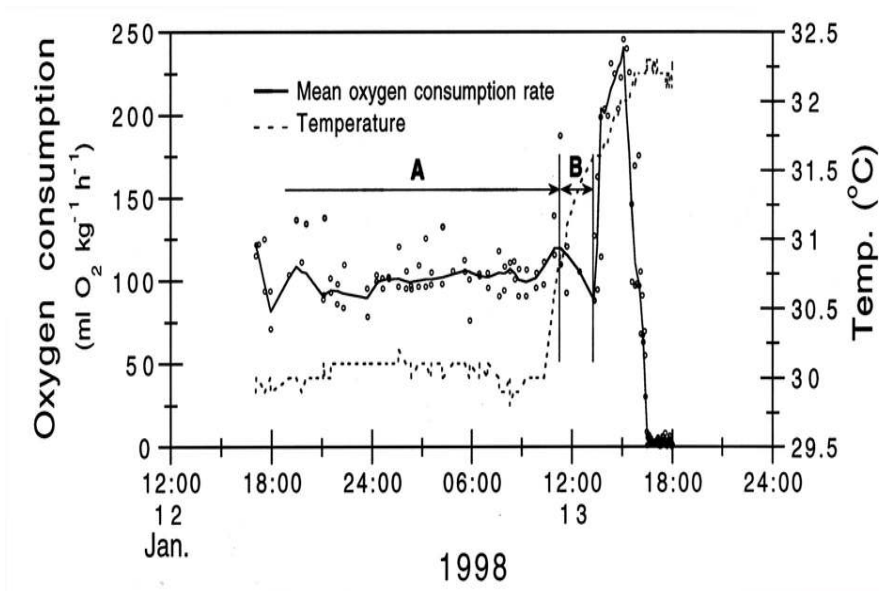


그림 26. 수온증가에 따른 조피볼락의 호흡률 변화(Kim et. al. 2003).

지지 않고 있음을 나타낸다. 이러한 신호를 감지하기 위해서는 짧은 시간 간격(분 단위)으로 장기간 관찰하여야 한다.

생물이 생리활성 측정을 위한 사전 조작에 따른 스트레스를 극복하는데 소요되는 시간은 종에 따라 다르지만 5 ~ 12시간(Oertzen 1984) 또는 수 일이 소요되기도 한다(Parry 1966). 생물이 실험조건에 적응하여 정상소비율(routine rate)을 나타내기 이전에 생리활성을 측정할 경우 Wrona and Davies (1984)가 지적한 바와 같이 활동호흡률(active rate)을 나타낸다(Reubush and Heath 1996, Waring *et al.* 1996). 종종 실험생물 취급에 따른 스트레스에 기인한 활동호흡률을 온도에 의한 영향으로 잘 못 해석하는 경우가 있기 때문에 실험 개시 24시간 이내에 나타나는 호흡률은 분석에서 제외해야 한다(Jobling 1981, Follum and Gray 1987). 따라서 지금까지 온배수 관련 연구에서 사용한 폐쇄식(closed system) 시스템을 이용한 24시간 이내의 짧은 검정실험 결과로 정상적인 생리활성 상태를 나타내는 것이 아니므로(Lampert 1984, Wrona and Davis 1984, Steffensen 1989; Davies *et al.* 1991) 더 이상 사용해서는 안 될 것이다. 온배수에 연관한 생물검정은 검정실험 동안에 발생하는 노폐물에 의한 영향을 최대한 줄일 수 있는 반순환식(intermittent flow system) 또는 순환식(open flow system) 자동측정시스템(Aagaard *et al.*, 1991, Davies *et al.* 1991, Dorrien 1993)을 사용하기를 권장한다.

생존하는 모든 생물은 내인성 생체리듬(endogenous rhythm)에 의해서 체내의 생리활성이 이루어진다(Bohn 1903, Gamble and Keeble 1903, Palmer 1995). 모든 해양생물에서도 내인성 생체리듬이 관찰되며(Kim *et al.* 1996a, 1996b, 1997, 1998, 1999, 2001, 2002a, 2002b, 2003a, 2003b, 2004, 2005a, 2005b, Lee and Kim 2001, Yoon *et al.* 2003), 이러한 생체리듬은 주로 24시간 일주기(circadian rhythm)와 12.4시간의 조석주기(circatidal rhythm), 그리고 24.8 시간 달주기(lunar rhythm)에 따라 변한다(그림 27). 24시간의 일주기 리듬은 하루에 1회 생리활성이 높게 나타나는 것을 의미하는데 일출 전에 높거나, 해질 무렵인 저녁 또는 낮과 밤에 다르게 나타난다. 내인성 생체리듬은 장기간 관찰하면 14일 주기로 생리활성의 차이를 보이기도 한다. 특히 생물의 내인성 생체리듬은 외부 환경이 변하게 되면 민감하게 반응한다. 이러한 반응은 비록 생물이 외부 환경요인에 의해 사망에 이르지 않았더라도 생물체내에 커다란 장애가 있다는 것을 외부에 신호로 내보낸다. 생리활성을 통하여 외부로 보내진 신호는 약해지거나 강해지기도 하고 생존에 위협하게 되면 정지되기도 한다. 여러 형태의 신호는 생리활성을 장기간 측정하면 가능하게 되는데 이러한 과정에 생체리듬 관찰과 분석이 필요하다. 생체리듬을 관찰하는 과정에

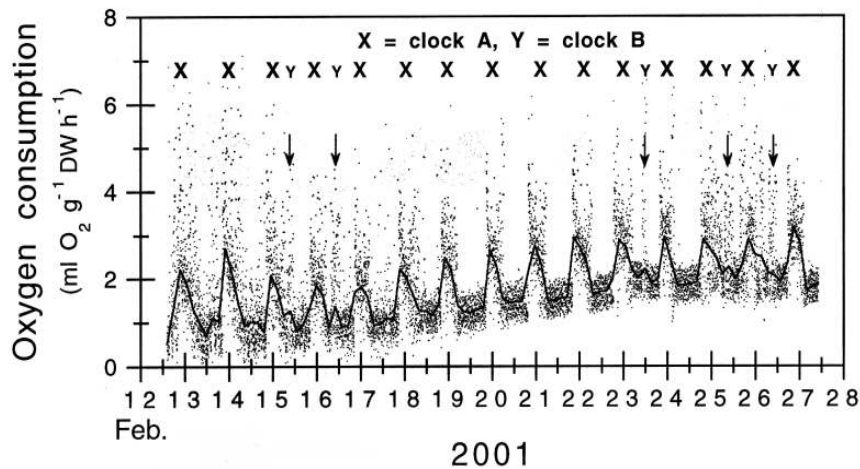


그림 27. 개조개의 내인성 생체리듬(Kim et al. 2003)

많은 어려움이 따르지만 미세한 온도 변화에 따른 생물의 생리작용 스트레스를 추정하는데 효과적이다.

나. 실험생물(지표생물)

우리나라 각 연안에 서식하는 해양생물 중 지표종으로 사용할 수 있는 생물들은 전향에서 기술하였다. 그러나 검증하고자 하는 해양생물이 서식하는 장소에 생물군집의 구조가 다르며, 또한 그 장소에 서식하는 해양생물이 가지고 있는 생체리듬이 있다. 지역별 특성에 따라 검증하고자 하는 생물 및 생활단계를 결정하고 검증 대상생물의 생태, 생리적 기능과 생활사 등 서식생태에 관한 전반적인 자료를 충분하게 검토한 후 검증실험을 설계하여야 한다.

지표종은 전향에 기술된 내용을 토대로 장차 결정될 온배수 확산구역 내에 서식하는 해양생물 중에서 생물군집을 대표할 수 있는 종, 양식 대상종, 관행어업 대상종을 우선 대상으로 한다. 이러한 조건을 두루 갖춘 종들 중 실험실 사육이 용이하고, 양이 풍부하며, 연중채집이 가능하고, 온도에 민감하게 반응하는 생물은 좋은 지표생물이 된다.

생물검정용 지표종을 채집하여 실험실에 옮기 때까지의 과정은 다음과 같다.

- 채집시기, 장소, 채집방법, 서식형태(기록 가능할 경우), 환경현황(수온, 염분, 용존산소)을 기록한다.
- 채집 대상 생물에 물리적 손상이 가지 않도록 적절한 방법으로 서식장소로부터 분리하여 살림통에 넣는다. 이 때 대상 생물이 공기 중에 노출되지 않도록 주의하여야 하며, 적절한 밀도를 유지하여 가능한 한의 스트레스를 방지해야 한다.
- 실험실까지 운반하여 실험 시작 전까지 살림통 내의 수온은 채집지역의 수온을 유지해야 하며, 용존산소량은 포화도에 가깝게 유지되어야 한다.
- 실험 전 적어도 48시간 이상 절식한 상태에서 실험수온에 순화시켜야 하며, 순화시 수온변화는 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 내외로 유지시켜야 한다.

다. 생물검정실험

1). 실험준비

생물검정을 위한 실험 생물은 실험 전 최소 2주일 정도 실험실에서 생리활성을 안정시킨 후 실험을 수행하여야 한다. 우선적으로 실험 생물의 정확한 생리적 상태를 확인한다. 특히, 호흡대사 생리변화가 실험조건 이외의 요인에 의해서 변화하지는 않는가를 파악한 후 검증하고자 하는 수온에 맞추어 서서히 노출시켜 가면서 대조구와 비교 관찰하여 이상 징후가 없을 경우 검증실험에 임한다. 검증실험 준비 및 실험상 주의할 점은 다음과 같다.

- 실험생물은 실험실 도달 후 최소한 5일간 실험실 환경에 안정시켜 생리변화가 실험조건 이외의 요인에 의해서 변화하지는 않는가를 파악한다.
- 실험생물이 실험실 조건에 안정되었다고 판단되면 $0.5^{\circ}\text{C}/\text{일}$ 이하의 속도로 검증하고자 하는 수온까지 수온을 조절하여 준다.
- 실험수온에 도달 한 후, 실험기간은 2/3 조석주기 이상으로 하여 조석주기에 연동하는 생체리듬 변화와 수온변화에 따른 생리변화를 구별할 수 있어야 한다.
- 실험실 조건에 순치된 실험생물도 측정용기로 운반하는 과정에서 스트레스를 받을 수 있기 때문에 초기 실험자료는 실제 수치보다 높은 반응수치를 보인다. 이와 같은 실험 오차를 줄이기 위하여 온배수 원수에 노출 전 정상

해수에서 일정 상태에서 5일간 연속으로 생리활성을 관찰한다.

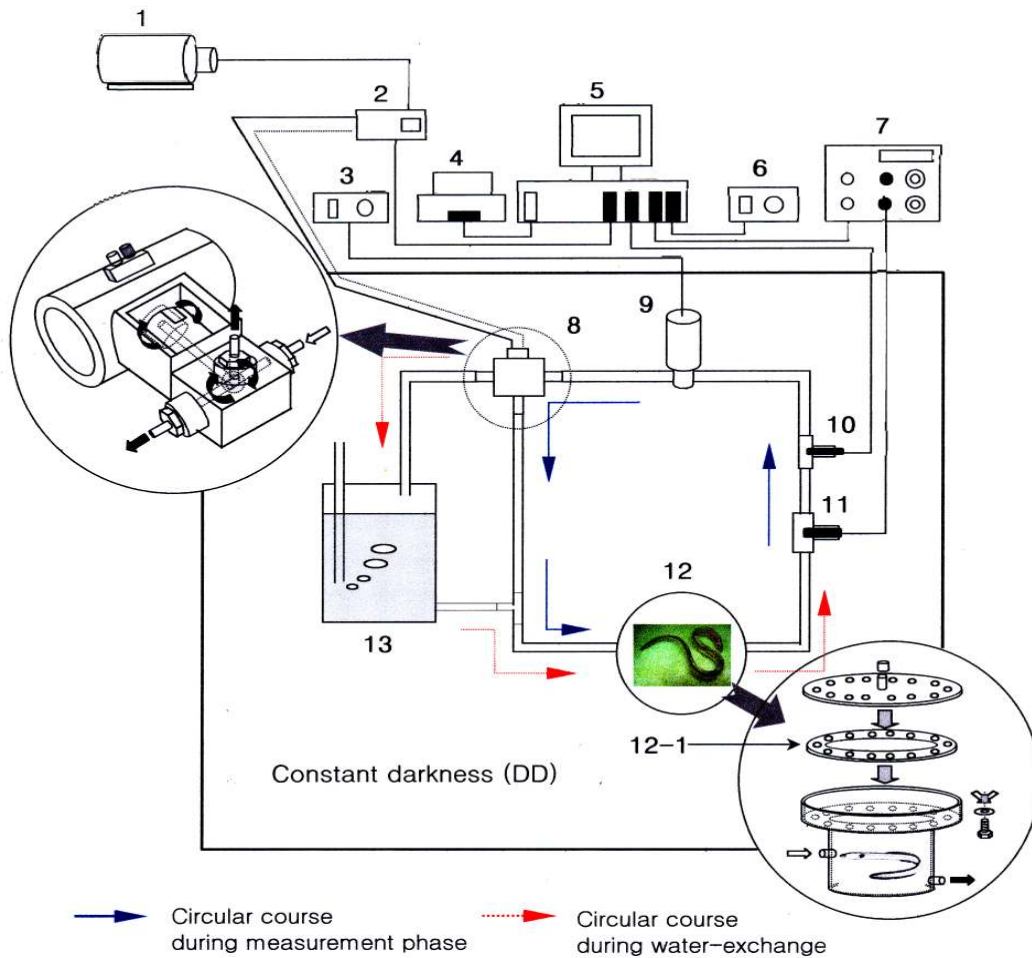
- 일반적으로 해수 중에 존재하는 미세한 생물은 실험결과에 영향을 줄 수 있다. 따라서 실험용 해수는 0.2 μ m 여과지로 여과하여 사용한다.

온배수에 의한 영향을 파악하기 위해서는 가능한 외부 환경조건을 배제한다. 눈을 지닌 어류의 경우에 있어서 빛에 의한 영향을 제거하기 위하여 어두운 상태에서 실험하는 것이 미세한 온도에 의한 반응을 파악하는데 유리하다. 장시간 측정 중 발생하는 용기내의 이물질과 CO₂ 축적에 의한 영향을 최소화 하여야 한다. 따라서 가능한 순환식 또는 반순환식 시스템을 사용하여 이러한 문제점을 해결한다. 실험용수는 미생물들에 의해서 물속의 산소가 많이 소비될 수 있기 때문에 미세한 여과지(0.2 μ m)를 사용하여 이러한 미생물들을 제거하여야 하며, 피해예상 지역의 용존산소(DO) 농도와 동일하게 실험기간 동안 유지시켜 주어야 한다. 발전소 온배수 노출에 따른 온도변화에 대한 생물의 생리영향을 파악하기 위해서는 0.1 $^{\circ}$ C 이내의 미세한 온도를 조절할 수 있는 항온기(incubator)안에서 실험을 수행하여야 한다. 또한 자연 상태에서 발생하는 일주기 수온변화를 실험에 반영하여 가능한 실험 오차를 줄인다. 측정용기의 용존산소는 대기압에 의해 농도 차이가 발생하므로 측정기간에 발생하는 기압차를 반드시 보정한다. 따라서 생리활성 측정 중 발생하는 오차를 줄이는 방법으로 자동화된 측정시스템을 사용한다. 실험은 최소한 3회 이상 반복하며, 실험결과는 반드시 재연성이 있어야 한다.

지금까지 단기간에 수행된 자료는 생리활성 추정에서 어느 정도 과대평가 되었다고 볼 수 있다. 또한 중요한 것은 시간상으로 24시간의 일주기와 12.4 시간의 조석주기가 서로 중복되면서 자료의 해석에 오류를 범할 수 있다. 최근 보고된 자료들을 종합하면 이러한 중복을 피하기 위하여 24시간의 일주기리듬과 12.4시간의 조석주기 리듬을 피한다. 예를 들면 12시간과 24시간의 약수(2, 4, 6, 8, 12, 24 시간)들을 제외한 시간(예: 7시간 주기) 으로 인위적으로 조절하면서 시간변화에 따라 생리활성이 어떻게 반응하는지를 관찰하면 온도에 대한 스트레스를 파악할 수 있다. 이때 중요한 것은 수온 상승률이다. 이러한 수온 상승률과 변화폭은 자연 상태에서 일어나는 현상을 생물검정시험에 적극 반영하여야 한다. 생물의 생리활성 주기는 시계열주기분석 프로그램(Maximum Entropy Spectral Analysis: MESA)을 활용하여 분석한다.

2). 검정실험 표준안

온배수 노출에 의한 생물의 영향은 외부적 교란 요인이 차단된 순환식 측정장치에서 장기간에 걸쳐 얻어진 자료를 통하여 판정해야 한다. 본 보고서에서 추천하는 온배수 생물검정 장치(자동호흡측정기)는 그림 28과 같다.



- 1 콤퓨레셔, 2 공기조절기, 3 펌프조절기, 4 프린터, 5 컴퓨터, 6 기압센서,
 7 피코암페어메타, 8 액취에이터 밸브, 9 펌프, 10 온도센서, 11, 산소센서,
 12 측정용기, 13, 저장용기

그림 28. 자동호흡측정기의 모식도.

온배수에 의한 해양생물의 영향 범위를 검증하기 위해서는 실험기간 동안 실험 수온의 변동 폭을 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 이내로 줄여준다. 따라서 수온을 인위로 조절할 수 있는 BOD 인큐베이터 사용은 필수라고 볼 수 있으며, BOD 인큐베이터 내부에 설치한 측정용기의 온도차를 최대한 줄이기 위해서는 중탕법을 이용한다. 또한 저장용기(reservoir tank)의 용존산소를 유지시켜 주는 산소공급은 BOD 인큐베이터 내부 공기를 이용하여 측정시스템의 수온변화 요인을 제거한다. 그 외 고려해야 할 사항은 다음과 같다.

- 측정기내의 용존산소 농도는 수온, 염분, 대기압에 의해서 결정되어지기 때문에 이 부분에서 발생하는 오차요인을 제거하여야 한다. 특히, 여름철 대기압 차이가 심할 경우 용존산소 농도에서 최대 5%의 오차가 발생할 수 있다. 대기압과 수온의 변화를 자동으로 보정해서 오차를 제거하며, 수온을 일정하게 유지할 수 있는 BOD 인큐베이터를 사용해야 한다.
- 실험전 대조구에서 수온과 빛을 일정하게 유지)하면서 실험생물의 생리활성 내인성 생체리듬을 관찰하여 실험계획을 세운다.
- 온배수 노출 피해예상범위 지역에서 일어나는 주기적인 수온변화를 생물검정시험에 적극 반영한다. 배출된 온배수는 바다로 흘러들어 혼합되지만 조석주기에 따라 온배수의 확산방향이 다르게 나타나기 때문에 같은 지역이라도 주기적으로 수온차가 발생한다. 조석주기에 따른 수온차가 생물의 생리활성에 미치는 영향을 고려하여 실험계획을 세운다.
- 측정용기 선택은 실험종의 크기에 의해 결정된다. 넙치와 같이 측편형 어류는 같은 부피라도 높이는 낮고 폭은 넓게 하여 실험하는 동안 실험생물의 행동 스트레스를 줄인다. 측정센서의 감지능력도 중요하므로 측정용기내의 실험생물 행동을 고려하여 측정용기 크기와 실험생물 부피 비율은 10 : 1 정도, 무게가 1 kg 초과하는 실험생물은 20 : 1 정도로 한다.
- 온배수 이외의 영향을 배제하기 위하여 시수는 온배수 배수구에서 물을 채수하여 여과한 후 수온을 조절하여 사용하고, 온배수확산구역의 범위를 감안하여 실험온도를 결정한다.
- 측정시스템내의 유속은 미세펌프를 사용하여 실험생물의 크기, 서식지 유속, 및 측정용기의 크기에 따라 작은생물 350ml/min, 중형생물 700ml/min 및 대형생물 1400ml/min로 조절한다.
- 생존하는 생물들은 일정한 생리활성 리듬을 가지고 있다. 해양생물들은 채집 지역에 따라 일주거나 조석주기 영향을 받기도 하지만 장기간 관찰하면 음

력 그름이나 보름에 활발한 생리활성을 보이는 경우가 많다. 따라서 실험시기 선택은 중요하며, 최소한 2/3 조석주기 이상 연속적으로 생리활성을 측정해야 한다.

- 생리활성 실험개시 전 3 - 12 시간 동안 물을 순환시키면서 측정센서가 안정 상태를 유지하고 있는지 항상 점검한다. 만일 생물이 없는 상태에서 수치가 불완전하면 센서를 수리하고 다시 물을 순환시키면서 센서를 점검한다.
- 측정시스템내의 수온상승은 온배수 피해예상범위 지역의 수온변화에 맞추어 조정한다. 시험생물에게 급작스런 수온변화를 피하고 실험구간 온도에 순차된 실험생물을 대상으로 종에 따라 1°C/24시간 간격으로 수온을 증가시키면서 장기간 측정한다.
- 생리활성 1회 측정간격은 종에 따라 다소 차이가 있지만 1.5 - 5 분 정도를 권장한다. 이러한 시간 단위는 생체리듬 주기분석을 위한 시계열 분석을 하는데 유리하며, 일정한 간격으로 생리활성을 연속으로 장기간 측정하는 것이 좋다.
- 실험기간동안 일어나는 생리활성 변화를 내인성 생체리듬 분석으로 판단하는데, 제일 중요한 점은 일정한 비율로 수온이 증가할 때 내인성 리듬이 정지되는 생리활성 변곡점을 찾는 것이 가장 중요하다. 변곡점 이전의 수온에서는 정상적인 생리활성을 유지하고 있다고 판단 할 수 있다.
- 수온이 계속 상승하게 되면 생리활성의 커브는 어느 순간에 급격하게 감소하게 된다. 이러한 수온범위는 생물이 폐사하는 것을 의미하고 100% 사망에 이르게 된다.
- 해양생물에 영향을 미치는 온배수의 최소수온은 변곡점 수온과 생리활성이 급격하게 감소하는 수온 사이에 존재한다. 이 범위 내에서 증가에 따른 생리활성 변화율을 희귀직선으로 표시하여 온배수 배출 규제수온을 설정할 수 있다.
- 같은 지역에 서식하는 생물들이라도 종류별 차이가 있으며 같은 종이라도 생활단계 및 건강도에 따라 각기 다른 실험결과를 얻을 수 있다. 따라서 가능한 실험대상종수와 종몰 실험개체수를 늘려야 한다.

제 3 절. 해양생태계 보전을 위한 온배수 관리기준

1. 냉각계통 관리방안

가. 냉각수 취수 허가

온배수 배출자는 냉각계통의 가동이 해양생태계에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 취수 시설물 충돌 및 연행 저감을 위하여 필요한 시설을 설치해야 함과 아울러 열효율 상승을 위한 노력을 통하여 온배수 배출량을 최소화해야 한다.

냉각수를 취수하는 자는 냉각수 취수해역에 대하여 2년 이상의 계절별 조사를 통하여 해양생태계의 시, 공간적 구조를 조사하여 냉각계통 가동이 해양생태계에 미치는 영향을 예측하고, 예측된 영향에 대한 저감방안을 명기하여 냉각수 사용 허가 요청서를 해양수산부장관에 제출하여 허가를 받아야 한다. 다만, 소량의 냉각수 취수자의 경우 해양생태계 조사를 생략할 수 있으며, 잠정적으로 1m³/초 이하의 냉각수를 사용하는 경우는 예외로 한다..

1). 해양생태계 조사

해양생태계 조사는 취수구가 위치할 지점과 냉각계통 가동에 영향을 받지 않는 최단 지점(대조구)에서 현지 특성에 맞추어 조사정점을 선정하되 해역별 특성을 감안하여 다음 항목을 포함하며 필요한 항목을 추가하여 조사한다.

- 해양생태계의 서식유형별 생물군집의 지역적, 계절별 분포양상
- 식물플랑크톤의 기초생산력
- 냉각수 취수 수괴에 분포하는 천연기념물, 보호종, 위기종 유무
- 냉각수 취수 수괴를 산란장, 성육장, 회유경로로 이용하는 해양동물의 유무
- 냉각수 취수로 인하여 개체군의 밀도가 현저하게 감소하거나 멸종할 위기가 있는 종의 개체군 동태
- 해양물리·화학적 특성(통상적 환경영향 평가 항목과 동일)

2). 냉각계통 사양

냉각계통은 허가 신청 시점에서의 보편타당성 있는 최신 기술을 사용하는 것을 원칙으로 하며, 다음 사항에 대한 개관적인 자료를 포함해야 한다.

- 허가를 요청하는 냉각방법을 사용하는 이유(관류냉각법을 사용할 경우 폐쇄 순환식을 채택하지 못하는 사유 첨부)
- 허가를 요청하는 냉각수 사용량이 최소 사용량이며, 적용 가능한 최저유속 임을 증빙할 수 있는 자료
- 냉각수 취수 수심 및 위치(수중 취수방법을 채택하지 않을 경우 그 사유)
- 해양생태계 보호를 위한 냉각계통 설비내역 및 운영방안
- 일주기별, 계절별 냉각 시설물 충돌 피해 예상량 및 충돌피해 저감방안
- 일주기별, 계절별 냉각계통 연행 피해 예상량 및 저감방안

나. 온배수 배출 허가

냉각계통 가동이 해양생태계에 미치는 영향 중 가장 중요한 부분은 온배수 배출에 의한 영향이다. 온배수가 해양생태계에 미치는 영향은 배출구 주변에서 가장 크게 나타나며, 온배수가 주변 해수와 혼합되면서 확산되는 과정에도 많은 영향을 미친다. 온배수 배출자는 배출구뿐만 아니라 온배수확산구역에서의 영향을 함께 고려하여 배출구위치를 선정해야 한다.

표층배수는 온배수를 받아들이는 수괴를 평면적으로 이용하는 방법인 반면 수중배수는 수괴를 입체적으로 이용할 뿐만 아니라 온배수가 배출되는 수심의 수온은 표층에 비하여 상대적으로 낮기 때문에 온배수 확산에 의한 해양생태계 영향을 저감시킬 수 있다.

수중배수 주변해역의 기초 환경 조사는 물론 정확한 수치모델 실험을 통하여 배수구 위치별 온배수 확산구역의 범위를 비교 검토해야 한다. 배수구는 가능한 주변에 형성되어 있는 어장과 먼 곳으로 배치하며, 특히 배출된 온배수가 자연온도에 가깝게 희석되기 이전에 다시 취수구로 유입되는 일이 없도록 해야 한다. 우리나라 지금까지 대형 발전소에서 수중배수 방법을 채택한 사례가 없어 이에 관한 연구나 영향평가와 관련된 조사 결과가 전무한 실정이다. 수중배수를 계획하고 있는 신고리원자력발전소의 환경영향평가 보고서(서울대학교 2005)가 우리나라 최초의 사례이지만 그 내용은 온배수 관리방안 수립에 좋은 지침이 될 수 있다.

온배수 배출자는 배출 해역에 대하여 2년 이상의 계절별 조사를 통하여 해양생태계의 시, 공간적 구조를 조사하여 온배수 배출 방법에 따라 해양생태계에 미치는

영향을 예측하고, 예측된 영향에 대한 저감방안을 명기하여 온배수 배출 허가 요청서를 해양수산부장관에 제출하여 허가를 받아야 한다. 다만, 소량의 온배수 배출자의 경우 해양생태계 조사를 생략할 수 있으며, 잠정적으로 1m³/초 이하의 냉각수를 사용하는 경우는 예외로 한다.

1). 배수구 위치선정

표층배수와 수중배수를 불문하고 모든 온배수 배출자는 허가를 요청하는 온배수 배출구가 다음 각 항목에 해당되지 않는 것을 증명해야 한다.

- 온배수 배출방법(단, 수중배수 방법이 아닌 경우 수중배수를 채택할 수 없는 사유 첨부)
- 해양생물의 산란장 및 성육장
- 해양생물의 회유경로
- 위기종 및 보호종의 서식지

2). 환경영향평가

온배수 배출구 및 예상되는 확산구역을 포함한 해역에 대하여 2년 이상의 계절별 조사를 통하여 해양생태계의 시, 공간적 구조를 조사하여 냉각계통 가동이 해양생태계에 미치는 영향을 예측하고, 예측된 영향에 대한 저감방안을 명기하여 온배수 배출 허가요청서를 해양수산부장관에 제출하여 허가를 받아야 한다. 다만, 소량의 냉각수 취수자의 경우 해양생태계 조사를 생략할 수 있으며, 잠정적으로 1m³/초 이하의 냉각수를 사용하는 경우에 적용한다.

아직 우리나라에는 온배수 영향을 정량적으로 평가하는 환경영향표준이 없으며 온배수 배출기준을 정할 과학적 근거가 미약하다한기준이 없다. 따라서 온배수 배출 허가를 얻기 위한 환경영향평가는 장차 수립될 환경영향평가표준 및 온배수 배출기준을 정하기 위한 자료 수집에도 중요한 비중을 두고 실시하여야 한다. 이러한 해양조사 및 평가 자료를 기반으로 가능한 빠른 기간 내에 우리나라 연안 환경에 적합한 환경영향평가표준과 온배수 배출기준을 정하여야 할 것이다.

환경영향 평가에 있어 세부적인 검토 사항은 다음과 같다.

- 기존자료 조사
 - 대상해역의 수질, 저질, 해양물리 및 생태계조사자료 수집 분석
 - 선진 외국의 사례 조사 및 분석
 - 부지의 지형, 지질 및 수중배수 구조물의 설계조건 등 분석
- 해양환경 조사 항목
 - 해양물리 조사: 조석관측, 연속 조류관측, 수층별 수온 및 염분, 위성 영상 자료 분석
- 해양 수질 및 저질환경 조사
 - 해양수질 조사: 투명도, pH, 용존산소농도, 잔류염소농도, 영양염 질산염+아질산염, 인산염, 규산염)농도, 입자성유기탄소, 입자성유기질소, 입자성유기인, 중금속농도, 화학적산소요구량, 부유물질 농도 등
 - 해양저질조사 : 퇴적물의 중금속 농도, 퇴적물의 화학적산소요구량, 퇴적물의 유기탄소함량, 퇴적물의 입도 조성, 해저지형 조사
 - 해양생태계 조사 및 온배수 영향 평가
- 해양생태계 조사
 - 미생물 군집 : 박테리아 개체수, 생산력, 군집 조성
 - 식물성플랑크톤 : chl-a 농도, 일차생산력,
 - 동물성플랑크톤 : 생물량, 군집구조 분석, 난류성 동물플랑크톤의 분포,
 - 해조류 : 군집구조 분석, 생체량
 - 저서동물 : 출현종 및 서식밀도 분석
- 생물검정 실험
 - 해양생물군에 대한 온배수 영향 조사 : 온배수가 미생물 군집과 일차생산자에 미치는 영향조사, 해조류의 온배수에 대한 민감성 및 회복연구
 - 저서생물 생리실험 : 저서어류, 이매패류, 극피동물 등에 대한 영향조사
- 수치예측모델 개발
 - 해수유동/온배수 확산 3차원 수치 예측 모델
 - 수중 방류구 주변의 근역 온배수 확산 예측 모델들의 적용성 평가
 - 수리모형 수조 실험
 - 표층 및 수중방류에 의한 해양수질 변화 예측 모델 개발
 - 온배수에 의한 해양생태계 변화 예측 모델
- 온배수 방류에 의한 해양생태계 변화 예측
 - 표층 및 수중방류에 의한 수온 상승 범위 평가

- 표층 및 수중방류에 의한 해양환경 변화 평가
- 표층 및 수중방류에 의한 해양생태계 변화 평가
- 효율적 관리 연구(추천사항)
 - 해양환경 및 생태계 자료 D/B 구축
 - 자료 가시화 S/W 개발
 - 모델 예측 결과 가시화 S/W 개발

2. 온배수 배출기준

가. 복수기 설계 ΔT 의 결정요소

통상적으로 온배수 ΔT 는 냉각수가 복수기로 들어가는 입수점의 수온과 열 교환을 마치고 복수기 외부로 배출되는 출수점의 수온 차이를 말한다. 그러나 온배수가 복수기부터 바다로 흘러들기까지 흐르는 배수로 역시 냉각계통의 일부이며, 온배수가 해양생태계에 미치는 영향을 최소화하기 위한 시설개선 대상이다. 따라서 온배수 배출규정에 적용하는 ΔT 는 온배수가 온배수 배출시설을 벗어나 바다로 유입되는 지점을 기준으로 해야 한다. 용어의 해석상 혼돈을 피하기 위하여 복수기 입수점과 출수점의 수온차이는 설계 ΔT 로 하고, 온배수가 바다로 흘러드는 지점에서의 온배수와 자연해수의 수온차이는 온배수 ΔT 로 부르기로 한다.

관류냉각법을 채택하는 열기관의 폐열처리를 위한 복수기 입구수 및 출수구를 기준으로 한 설계 ΔT 결정요소는 발전기 유형 및 열효율, 복수기의 종류 및 정격출력을 위한 복수기 배압, 냉각수의 온도 등이다. 상기 요소 중 계절적으로 변하는 냉각수 온도를 제외한 것들은 불변 조건이다. 같은 출력 조건에서 냉각수량이 증가하면 온배수 ΔT 는 감소하고, 반대로 냉각수량을 줄이면 온배수 ΔT 는 증가한다. 만일 열기관이 필요로 하는 냉각수량을 극단적으로 줄여 냉각수를 사용량을 "0"에 가까운 수치로 줄인 것이 냉각탑이다. 냉각수량을 극단적으로 증가시켜 온배수 온도를 자연해수 즉 냉각수 온도와 비슷한 수준으로 낮추어 배출한다면 온배수 배출에 따른 환경 영향은 없겠지만, 냉각수 취수에 따른 충돌 및 연행에 의한 해양생물 피해가 증가하며, 취수펌프 용량, 냉각수로, 복수기 등 냉각시설의 규모가 지수학적으로 증가하여 운영경비가 열기관의 가동으로 얻어지는 이익을 초과하게 될 것이다.

열기관의 대표적 사례인 발전소 최대효율은 표준원전의 경우 복수기 배압 1.5inHgA를 기준으로 선정되며, 이 조건을 충족시키는 범위 내에서 발전 터빈의

종류 및 열출력, 발전소가 위치한 해역의 수온 변화 등을 고려하여 복수기를 설계하게 되며, 복수기 설계조건에 따라 ΔT 가 결정된다. 통상적인 관류냉각법의 경우 기술적으로 설계 가능한 최소 ΔT 는 5°C 내외 이지만 상한치는 매우 높은 온도까지 가능하여 선택의 범위가 넓다. 따라서 발전소 정격출력을 위한 획일적인 설계 ΔT 는 없으며 발전출력, 취수펌프 운전비용 등을 고려하여 가장 경제적인 ΔT 를 구하게 된다. 전술한 바와 같이 발전소가 위치한 해역의 수온은 계절에 따라 변하기 때문에 설계 ΔT 를 유지하기 위해서는 발전소의 출력을 조절하지 않는 한 냉각수량을 조정하여 설계 ΔT 를 유지해야 한다. ΔT 가 낮을수록 냉각수 취수펌프 가동대수가 많아지므로 그만큼 펌프 시설비와 운전유지비가 증가하게 되므로 사업자 측면에서는 ΔT 를 높게 하는 것이 유리하다. 우리나라의 원자력발전소의 경우 서해안에 위치한 영광원전의 설계 ΔT 가 7.9°C 내외이며, 동해안에 건설예정인 신규 원전들의 ΔT 는 9°C 내외이다. 화력발전소의 경우 계절에 따른 설계 ΔT 의 범위가 원전에 비하여 크며 여름철에는 $7-8^{\circ}\text{C}$, 겨울철에는 해수 온도 변화에 따라 $12-15^{\circ}\text{C}$ 범위로 조절된다.

항간에서 수질환경보전법 시행규칙을 인용하여 온배수를 40°C 까지 배출하여도 법률적으로 하자가 없다는 주장도 있다. 그러나 수질환경보전법 제2조(정의) 4.항에 “폐수는 액체성, 고체성 수질오염물질이 혼입되어 그 대로 사용할 수 없는 물”로 정의 되어 있다. 이미 논의한 바와 같이 온배수에는 액체성이나 고체성을 불문하고 어떠한 수질오염물질이 혼입되어 있지 않으며, 배출되는 온배수를 그대로 어류양식에 사용할 수 있다. 따라서 온배수는 수질환경보전법에 정한 폐수가 아니며, 또한 동법 시행규칙 표1에 정한 오염물질 배출허용 기준인 수온 40°C 를 온배수 배출허용치로 정할 수는 없다.

온배수 배출기준안 세움에 있어 가장 기본이 되는 것은 모든 경우에 있어 온배수의 배출은 양적 및 질적으로 온배수가 배출되는 해역의 해양학적 수용력의 한계 이내에서 허용되어야 한다는 것이다. 이들 수용력의 범위는 해양생태계에 미치는 영향의 경중으로 정해지며, 특히 해양물리학적 수용력은 발전소의 열효율에도 영향을 미친다. 즉, 온배수 배출기준은 우선적으로 우리나라 전 연안을 대상으로 포괄적으로 마련되어야 하지만, 세부 사항은 우리나라 연안생태계의 생물지리학적 구획에 근거하여 마련되어야 한다.

우리나라 연안의 수온분포는 해역에 따라 차이가 있으며 계절별 수온차이도 크기 때문에 온배수 배출 기준은 온배수를 배출하는 해역의 수온특성에 따라 지역적, 계절적 특성을 감안하여 탄력 있게 운영해야 하지만 어떠한 경우에도 온배수 질적,

양적 배출 허용범위는 온배수를 받아들이는 수괴의 해양생물 군집의 고유한 평형을 유지되는 범위 내에서 결정되어야 할 것이다. 또한 미국 EPA의 권장과 같이 냉각수 사용량을 최소화 하고 온배수 ΔT 를 높이는 것을 유도할 수 있도록 하여야 한다. 본 보고서에서는 기본적 배출기준만을 정하고, 세부적인 내용은 제3차년도 연구사업에서 다루기로 한다.

나. 온배수 ΔT 기준

온배수 배출기준은 관리법 “제8조(해양환경기준) ①항에 의거 해양환경기준의 일부분으로 해양수산부장관이 정한다.

온배수의 최대 배출 허용치는 하절기 7°C 로 하고, 동절기 수온이 비교적 높은 값으로 안정되어 있는 동해안의 경우 $\geq 12^{\circ}\text{C}$ 로 하고, 수온이 낮은 서해안은 $\leq 15^{\circ}\text{C}$ 로 한다. 봄철과 가을철에는 수온의 변화에 따라 연동적으로 변하는 것으로 하되 배출구에서의 최고 수온은 $<32^{\circ}\text{C}$ 로 한다. 다만 다음의 조건에 따라 배출기준을 조정할 수 있으며, 잠정적으로 $1\text{m}^3/\text{초}$ 이하의 냉각수를 사용하는 경우는 예외로 한다. 또한, 본 조항은 다음의 경우에 조절할 수 있다.

- 온배수 배출자가 수중배수 방법을 택하여 배수되는 수심의 평균수온이 표층수의 평균수온에 비하여 1°C 이상 낮은 경우 그 차이를 기준 ΔT 에 더하여 허용한다.
- 지역적 및 계절적 특성에 따라 기준 ΔT 를 준수하여도 온배수 수온이 32°C 를 초과하거나, 기준 ΔT 보다 높은 온도에서도 온배수가 해양생태계에 미치는 영향이 경미하다는 것을 온배수 배출자가 증빙하거나, 지역 온배수관리위원회의 동의를 얻은 경우 중앙온배수위원회의 심의를 거쳐 ΔT 를 상향 조절할 수 있다.
- 온배수 주위에 밀집한 온수성 해양생물의 보호를 위하여 단수의 열기관을 운영하는 온배수 배출자는 동절기에는 온배수 배출에 영향을 미치는 열기관의 정기보수 및 연료교체를 할 수 없으며, 복수의 열기관을 운영하는 배출자는 동절기 중 최소한 1개 이상의 열기관을 정상적으로 가동하여야 한다.
- 온배수를 배출하는 해역이 심각하게 오염되어 수산업적 가치를 상실하였고, 앞으로 수산업적 가치를 회복하기 어려운 해역에 속할 경우 본 조항을 선택적으로 적용하거나, 관리기준의 각 항목을 완화하여 적용할 수 있다.

다. 온배수확산구역 지정

수온환경이 안정되어 있는 아열대 해역에서도 수온의 일교차가 1℃ 이상 되는 경우도 종종 있으며(Strawn et. al 1977), 우리나라 연안 중 수온변화가 가장 적은 동해안에서도 일교차가 1℃를 넘는 경우가 자주 나타난다(KRISO 1976). 또한 같은 시각에 있어서도 측정한 경우에도 지역간 2℃ 이상의 차이를 나타내기도 한다(환경처 1993). 또한 온도 변화에 대하여 어류가 적응할 수 있는 범위는 온도가 상승할 경우 1.1℃/일 미만으로 알려져 있다(Samuel and Jordan 1980). 따라서 현 시점에서 지난 30여년간 온배수 영향범위의 마지노선으로 인식해온 1℃ 범위를 수정하는 것은 어렵다고 판단된다. 장차 정밀한 생물검정에 의하여 정확한 해역별 온배수 배출 기준이 결정되기까지 잠정적으로 온배수가 자연해수와 혼합하여 그 차이가 1℃에 도달하는 범위까지를 확산구역으로 하기로 한다.

온배수를 배출하고자 하는 자는 배출하고자 하는 온배수의 양, 수온 및 배출해역의 해양학적 특성을 감안하여 적절한 크기의 온배수확산구역(이하 확산구역) 사용허가 신청서를 제출하고 허가를 얻어야 한다. 해양수산부장관은 신청된 확산구역이 타당하다고 인정될 경우 이를 관리법 제15조 ①에 의거 환경관리해역으로 지정하고 온배수 부담금을 부과한다. 이와 아울러 해양수산부장관은 연안역 공간자원의 적극적인 활용을 위하여 확산구역의 적극적인 개발이용을 명할 수 있다.

확산구역 신청서에 첨부할 내용은 기본적 내용은 다음과 같으며, 해당 해역의 특성에 따라 필요한 사항을 추가한다. 다만, 잠정적으로 온배수 확산구역의 면적이 1ha 이하일 경우는 예외로 한다.

- 0.5℃ 등온선으로 표시되는 온배수확산 수치모델 결과
- 온배수확산구역에 분포하는 천연기념물, 보호종 및 위기종 유무
- 온배수확산구역을 산란장, 성육장, 회유경로로 이용하는 수산생물의 종류
- 온배수확산구역의 해양생태계 구성원의 지역적, 계절별 분포양상
- 온배수확산구역의 해양생태계 구성원의 1, 2차 생산력
- 온배수확산에 따라 예상되는 해양생태계의 변화
- 해양물리·화학적 특성(통상적 환경영향 평가 항목과 동일)
- 온배수확산구역 내의 수산업활동에 대한 피해보상 계획
- 온배수확산구역의 활용계획

제 4 절. 해양생태계 보전을 위한 온배수 관리시스템 구축

1. 온배수 관리시스템에 대한 지역주민 의견

본 연구의 제1차 년도에 마련된 온배수 관리시스템(시안)을 바탕으로 2006년 4월부터 6월에 이르기까지 각 발전소별 지역 주민들과 접촉하여 온배수 관리시스템 시안을 설명하고 각계각층의 의견을 청취하였다. 그 상세한 내용은 부록에 수록하였고, 여기에서는 항목별로 발전소 지역 주민들의 의견을 정리하여 제시하고자 한다.

가. 갈등 조정 분야

먼저 ‘갈등 조정’ 측면에서는 발전소에서 방출되는 온배수와 관련하여 각종 마찰을 빚어온 발전소별 현안을 슬기롭게 해결하기 위하여 지방자치단체, 환경단체, 지역주민 및 전문가들이 공동으로 참여하는 온배수관리위원회를 발전소마다 두는 방안과 정부 내 온배수위원회를 설치하는 방안 등을 제시하였는데, 이에 대한 발전소 지역 주민의 의견은 다음과 같다.

1). 발전소별 온배수관리위원회 조직 운영

- 지역별 온배수 관련 제반 문제 협의 및 해결을 위한 전담기구 구성, 즉 공신력을 기초로 하는 온배수 관련 민관협의회 신설이 시급함 (2006년 4월 18일, 서해중부지역 간담회)
- 중앙에는 온배수 문제를 전담하는 관리 기구를 만들고 발전소 지역별로는 운영위원회를 만들어야 하며, 반드시 위원회에 대한 법적지위를 부여하고, 전력회사와는 독립적인 운영비가 확보되어야 함 (2006년 4월 18일, 서해중부지역 간담회)
- 온배수 방출에 따른 갈등을 조정하기 위한 중립적 조직의 필요성을 절감하고 있지만 이에 대하여 발전소는 부정적 견해를 가지고 있음 (2006년 5월 4일, 서해남부지역 간담회)
- 기존의 분쟁조정 기구가 발전소 측으로부터 지원을 받고 있어서 투명하고 공신력 있는 활동이나 결과를 기대할 수 없으므로 새로운 분쟁 조정 기구의 설

립이 필요함 (2006년 5월 4일, 서해남부지역 간담회)

- 공신력을 기초로 하는 지역별 민간 온배수 협의회 신설이 시급함 (2006년 5월 25일, 남해중부지역 간담회)

2). 정부 내 온배수위원회 기구 설치 운영

- 중앙 부처에 온배수를 담당하는 부처가 있어야 함 (2006년 4월 18일, 서해중부지역 간담회)
- 중앙에는 온배수 문제를 전담하는 관리 기구를 만들고 발전소 지역별로는 운영위원회를 만들어야 하며, 반드시 위원회에 대한 법적지위를 부여하고, 한전과는 독립적인 운영비가 확보되어야 함 (2006년 4월 18일, 서해중부지역 간담회)
- 중앙관리기구는 조사기능을 갖지 말고 지역위원회의 건의를 받아 조사여부를 결정하고 지역위원회와 협의하여 신뢰성 있는 조사기관을 정하고 감독함 (2006년 4월 18일, 서해중부지역 간담회)
- 중앙 부처에 온배수를 담당하는 부처가 있어야 함 (2006년 5월 25일, 남해중부지역 간담회)

나. 신뢰 구축 분야

‘신뢰 구축’ 측면에서는 먼저 발전소 주변 해양을 대상으로 하는 조사 방법의 표준화, 온배수 배출기준 제정의 기반 조성 및 온배수 전문 조사기관 설립 등을 제시하였는데, 이에 대한 발전소 지역 주민의 의견은 다음과 같다.

1). 발전소 주변 해역 조사 방법의 표준화

- 조사기관에 따라 조사방법과 기준이 다르므로 조사방법을 통일할 필요가 있고, 모든 정보와 자료는 통일된 기준으로 공개되고 검증되어야 함 (2006년 4월 18일, 서해중부지역 간담회)
- 환경조사는 중앙관리기구에서 하지 말고 지역관리위원회에서 정한 기관이 해야 함 (2006년 4월 18일, 서해중부지역 간담회)
- 온배수뿐만 아니라 회사장에서 나오는 유출수와 잔류염소량을 함께 조사하여

야 함 (2006년 4월 18일, 서해중부지역 간담회)

- 상호 신뢰가 가능한 환경문제 평가를 위한 투명한 방법론의 구축 및 자료의 제공이 필요함 (2006년 5월 4일, 서해남부지역 간담회)
- 전문가나 연구기관의 결과를 어민과 발전소 측 모두 신뢰하지 못하므로 이제 는 국가가 명확한 평가 기준을 설정하여 관리함이 필요함 (2006년 5월 19일, 남해중부지역 간담회)
- 조사기관에 따라 다른 조사방법이 불신을 야기함 (2006년 5월 19일, 남해중부지역 간담회)

2).. 온배수 배출기준 제정의 기반 조성

- 어민의 입장에서는 피해 범위 1℃에 관한 기준이 모호함 (2006년 5월 19일, 남해중부지역 간담회)
- 온배수 배출 기준 제정이 가장 중요하며 배출기준 위반 시 범칙금을 부과해 야 함 (2006년 6월 7일, 동해남부지역 간담회)

다. 상호 부조 분야

한편 '상호 부조' 차원으로는 온배수가 지닌 열에너지를 활용하여 지역 주민들에게 실질적인 혜택이 돌아갈 수 있게끔 온배수를 이용하는 양식장의 조성이나 높은 수온에서도 양식할 수 있는 해조류 품종의 개발, 대체 해조장 조성, 해양생태공원 조성 등을 제시하였으며, 이에 대한 발전소 지역 주민의 의견은 주로 양식장 조성에 국한하여 전개되었는바 그 내용은 다음과 같다.

1). 양식장 조성과 고수온 양식 해조류 품종 개발

- 서해안에서 미역이 없어지고 다시마가 출현하기 시작했는데 이는 발전소 온배수 때문으로 생각되므로 조사가 필요함 (2006년 4월 18일, 서해중부지역 간담회)
- 태안군은 온배수 양식을 위하여 예산을 이미 확보하였으며 발전소별로 지역에 도움이 되도록 온배수 활용 계획을 세워야 함 (2006년 4월 18일, 서해중부지역 간담회)

- 온배수의 적극적 활용방안은 현재의 갈등을 해소하는 차선택이 될 수 있음 (2006년 5월 4일, 서해남부지역 간담회)
- 삼천포화력에서 수행 중인 온배수 양식에 의한 소득은 개인의 것이 아니라 지역 주민의 몫으로 전환되어야 함 (2006년 5월 19일, 남해중부지역 간담회)

2). 온배수 전문연구기관 설립

- 태안군청 부근에 한전에서 온배수 자료를 실시간으로 알려주는 시설이 있지만 아무도 이를 믿지 않음 (2006년 4월 18일, 서해중부지역 간담회)
- 믿을 수 있는 연구조사가 필요하며 주기적인 설명회를 개최하여 조사결과를 지역주민에게 알려주어야 함 (2006년 4월 18일, 서해중부지역 간담회)
- 태안화력의 경우, 현재 공주대학교에 의뢰하여 2년마다 조사를 수행하고 있는데, 조사능력에 문제가 있음 (2006년 4월 18일, 서해중부지역 간담회)
- 정확한 조사 결과에 따른 사후 처리 방안의 투명성 제고 필요성을 절감하며 쌍방이 신뢰할 수 있는 조직 구성이 필요함 (2006년 5월 4일, 서해남부지역 간담회)

이상 정리한 바와 같이 지금까지 파악된 발전소 지역 주민들의 의견은 대체로 이번 연구를 통하여 제시된 온배수 관리시스템(시안)의 필요성을 인식하고 타당성을 인정하는 것으로 간주된다. 본 연구에서는 앞으로도 공청회나 학술발표회 개최를 통하여 발전소 지역 주민뿐만 아니라 나아가서 발전소 및 학계 전문가의 다양한 의견을 수렴할 계획이며, 이를 바탕으로 우리나라 실정에 적합한 발전소 온배수 관리 시스템을 확립하여 제시할 계획이다.

2. 온배수 관리시스템(시안)의 구성

가. 중앙온배수관리위원회

중앙온배수관리위원회는 온배수 관리시스템의 최상위조직으로 관리시스템을 구성하고, 운영을 감독한다. 관리위원회의 운영을 위한 예산은 온배수 배출부담금의 일부로 충당한다.

1). 조직

중앙온배수관리위원회는 해양수산부 내에 두고, 해양수산부 장관이 임명하는 위원장 1인을 포함하여 관계 부처(산업자원부, 환경부, 과학기술부)의 관련 공무원과 각계 전문가로 구성한다. 다만, 필요시 위원회의 일반 사무기능은 온배수 전문연구기관에 위탁할 수 있다. 위원회의 구성은 다음과 같이 한다.

- 위원장 : 해양수산부 장관이 임명
- 부위원장 : 위원장이 선임하며, 위원장 유고시 위원장 업무 대행
- 간사 : 해양수산부 해양환경과 온배수 담당 주무관
- 전문위원 : 해양수산부 장관이 임명한 각계의 온배수 관련 전문가 10명 내외
- 서기 : 사무직 1명 채용(필요시 온배수 전문연구소에서 파견 가능)

원칙적으로 중앙온배수관리위원회는 독립적인 체제를 갖추는 것이 바람직하나, 그 대안으로는 해양환경관리법 제17조(해양환경관리위원회)의 규정에 의거하여 동 위원회가 중앙온배수관리위원회의 기능을 갖도록 할 수 있을 것이다. 한편으로는 해양환경관리법 “제17조 ⑤ 해양환경관리위원회는 위원장이 지정하는 안건을 사전에 검토하기 위하여 필요한 경우에는 소위원회를 둘 수 있다”에 의거, 중앙온배수관리위원회를 해양환경관리위원회의 소위원회로 하는 것도 검토해 볼 수 있다.

2). 기능

중앙온배수관리위원회의 기능은 다음과 같다.

- 온배수 관리시스템 구성 및 운영에 대한 의결 및 감독
- 지역별 온배수관리위원회에 대한 관리지도
 - 지역별온배수관리위원회의 구성
 - 지역별온배수관리위원회의 운영예산 편성 감독 및 승인
 - 지역별온배수관리위원회의 지원
- 지역별 온배수 위원회에 요청한 온배수 관련 사업의 승인 및 예산 배정
- 온배수와 관련한 제반 분쟁에 대한 조정
- 온배수 전문연구기관 설치 및 운영에 대한 감독

3). 예산

중앙온배수관리위원회는 일종의 연성조직으로 인건비, 시설유지비 등 경성적 경비지출이 없는 조직이다. 따라서 관리위원회의 예산은 연 2회 정도의 정기관리위원회 개최경비와 사안에 따른 부정기적 관리위원회 개최경비로 구성된다. 관리위원회의 운영을 위한 소요 예산은 2억원/년 내외로 추정된다(표 15).

표 15. 온배수 관리시스템(시안)의 추정 소요예산

(단위 : 억원)

분 야	항 목	'08	'09	'10	'11	'12	비 고
갈등조정	중앙온배수관리위원회	2	2	2	2	2	사무직 1명 10개 지역
		2	2	2	2	2	
신뢰구축	온배수 전문연구기관#	26	26	26	26	26	연구직 10명, 기능직 5명, 사무직 5명
상호부조	온배수 영향모니터링						위탁과제 및 사업자 부담 과제 제외
	온배수 영향 저감연구	20	20	30	30	40	
	온배수 이용 연구						
합 계*		48	48	58	58	68	

* 사업자 부담을 원칙으로하는 온배수 확산구역의 해양생태공원 및 바다목장 조성 예산 제외

기본연구사업비 포함 경상경비만 산정

중앙온배수관리위원회 예산 세부내역

- 인건비(서기) : 36,000,000원
 - 3,000,000원/월 x 12월 = 36,000,000원
- 위원 회의 수당 : 12,000,000원
 - 200,000원/인/회 x 15인 x 4회 = 12,000,000원
- 출장비 : 15,000,000원
 - 250,000원/인/회 x 15인 x 4회 = 15,000,000원

- 소모품비 : 6,000,000
 - 500,000원/월 x 12월 = 6,000,000원
- 회의비 : 8,000,000원
 - 400,000원/회 x 20회 = 8,000,000원
- 교통통신비 : 3,000,000원
 - 250,000원/회 x 12회 = 3,000,000원
- 지역별 온배수관리위원회 지원비
 - 1,000,000원/월/지역 x 12월 x 10지역 = 120,000,000원

나. 지역별 온배수관리위원회

지역별 온배수관리위원회는 부분적 연성조직을 포함하는 경성조직이다. 지역별 관리위원회는 각각 독립된 조직으로 온배수와 관련된 모든 문제를 일차적으로 온배수 배출자와 협의하고 필요시 중앙온배수관리위원회에 그 처리를 요청하는 기능을 갖는다.

지역별 관리위원회의 기본 운영비는 지역별 온배수 배출자 부담을 원칙으로 하고, 그 외 경비는 중앙관리위원회의 지원비로 충당한다. 다만 필요하다고 인정되는 경우, 지역별 관리위원회의 운영비는 어업협정 체결에 따른 어업인 등의 지원 및 수산업발전특별법 제22조의 규정에 의하여 설치·운영되는 수산발전기금의 일부로 충당하는 방안을 검토할 수 있다.

1). 조직

지역별 온배수관리위원회는 각 지역별 특성에 맞추어 독립적으로 조직하며 위원회의 구성은 다음과 같이 한다.

- 위원장 : 지역의 추천을 받아 중앙온배수관리위원장이 임명
- 부위원장 : 지역별 위원장이 선임
- 간사 : 해당 지방자치단체의 장이 임명한 담당 공무원
- 위원 : 지역 어민대표, 온배수 배출자, 지방자치단체장이 임명한 온배수 관련 전문가 (총 10명 내외)
- 서기 : 지역별 온배수 배출 기관에서 파견

2). 기능

지역별 온배수관리위원회의 기능은 다음과 같다.

- 온배수 배출에 대한 감시
- 온배수 배출로 인한 영향에 대한 일차적 문제제기 및 배출자와의 협의
- 온배수 배출로 인한 제반 영향에 대한 정밀조사 요청
- 지역별 배당된 온배수 배출 부담금의 관리 및 사업 수행

3). 예산

지역별온배수관리위원회는 일부 연성조직을 포함하는 경성조직으로 지역의 특성 상 위원회의 구성과 소요예산이 서로 다르다. 따라서 기본적인 운영예산은 지역별 온배수 배출자가 부담하는 것을 원칙으로 하고, 중앙온배수관리위원회의 감독 아래 온배수 배출자와 지역별 어민대표가 협의하여 결정하는 것이 타당하다. 다만, 양자 협의가 불가능한 부분은 중앙관리위원회의 지원비로 충당하거나, 필요하다고 인정 되는 경우 수산발전기금의 일부로 충당한다.

다. 온배수 전문연구기관

1). 조직 및 기능

현재 우리나라에는 실질적으로 온배수와 관련된 연구를 전담하는 연구기관으로 한국전력공사 전력연구원이 있다. 이 기관이 우수한 인력을 확보하고 많은 예산을 투입하면서도 조사결과의 객관성을 널리 인정받지 못하고 있는 것은 바로 전력회사의 소속 기관이라는데 문제점이 있다고 본다. 따라서 일반 국민이 납득할 수 있고 신뢰할 수 있도록 온배수와 관련된 모든 조사활동 및 연구를 전담할 비영리 전문 연구기관의 설립이 필요하다. 온배수 전문연구기관은 온배수와 관련한 분쟁해결을 위한 조사 및 연구사업 및 환경모니터링에는 직접 참여하지 않고 이를 감독 및 평가하는 것을 주 업무로 한다. 또한 중앙 및 지역 온배수관리위원회에 대한 기술 자문, 온배수와 연관한 생물검정 및 온배수 이용기술 개발을 담당한다. 전문연구기관에 대한 보다 자세한 내용은 제1차년도 보고서에서 언급되어 있다.

전술한 바와 같이 전문연구기관의 기능을 정한다면, 전문연구기관은 해양학의 전

분야에 걸쳐 전문 인력과 이를 보조할 지원 인력을 확보해야 한다. 이러한 배경에서 바람직한 전문연구기관의 바람직한 조직은 표 16과 같다.

표 16. 발전소 온배수 전문 연구기관의 예상 조직 및 주요 업무

부 서	세 부 조 직	주 요 업 무
연구 기획 실	·기획, 정책팀 ·자료관리팀	·연구 전반에 걸친 기획조정 ·온배수 정책 연구 ·자료 관리
해양물리연구부	·해양물리평가팀 ·온배수확산역모델링팀 ·저감방안 연구팀	·발전소 주변 해양물리학적 특성 평가 ·온배수 확산역 모델링 ·실시간 수온 측정 및 자료제공 ·온배수 영향 저감방안 연구
해양화학연구부	·해양수질팀 ·해양퇴적물팀	·발전소 주변의 해양수질 평가 ·발전소 주변의 해양퇴적물 평가
해양생물연구부	·식물플랑크톤팀 ·동물플랑크톤팀 ·해조류팀 ·저서동물팀 ·어류팀	·발전소 주변의 식물플랑크톤 평가 ·발전소 주변의 동물플랑크톤 평가 ·발전소 주변의 해조류 평가 ·발전소 주변의 저서동물 평가 ·발전소 주변의 어류 평가
온배수이용연구부	·수산물양식연구팀 ·해양목장연구팀	·온배수 이용 수산물 양식 연구 ·발전소 주변해역 해양목장 조성 연구
행 정 실	·총무과 ·예산회계과	·각종 행정 업무

온배수 전문 연구기관에는 가동 중인 발전소 주변 해역의 해양환경 조사결과를 심사하고 평가할 수 있도록 해양물리연구부, 해양화학연구부 및 해양생물연구부를 둔다. 또한 온배수 이용의 극대화를 위한 각종 방안을 연구하고 적용할 수 있도록 온배수이용연구부를 둔다.

해양물리연구부는 온배수 확산해역의 환경에 대한 장기모니터링, 온배수 확산 수치모델과 온배수 영향을 저감을 위한 시설개선 방안을 연구하는 기능을 갖는다. 또한, 온배수 실시간 모니터링 기능을 갖추고 관찰된 수온자료를 실시간 제공한다.

해양화학연구부는 온배수 확산해역의 환경에 대한 해양수질 및 해양퇴적물 조사 결과를 심사하고 평가하는 업무를 담당하며, 더 나가 발전소 냉각계통 및 해상 시설물에 피해를 주는 오손생물 제거를 위한 기술개발 사업을 주도한다.

해양생물연구부는 온배수 확산해역에 서식하는 해양생물의 분포와 소잔에 대한 장기 모니터링, 각 생물군의 수온변화에 대한 반응의 생물검정, 냉각계통에 충돌하거나 연행되는 해양생물의 모니터링과 저감방안을 연구한다.

온배수이용연구부는 이미 영광원전이나 월성원전에 조성된 어패류 양식장과 같은 시설을 국내의 모든 발전소에 적용할 수 있도록 연구할 뿐만 아니라, 온실이나 발전소 주변 해역의 해양목장 조성 및 배수구 주변의 해양생태 공원 조성 등 다각적으로 온배수를 활용하는 방안을 강구한다.

그밖에 연구 전반에 걸친 기획조정, 온배수 정책 연구 및 각종 자료의 관리 및 data base화를 추진할 수 있도록 연구기획실을 두고, 각종 행정 업무를 지원할 수 있는 행정부서도 필요하다.

상기와 같이 발전소 온배수의 확산 범위와 해양생태계에 미치는 영향에 관해 투명하고 공정하게 조사 연구할 수 있는 온배수 전문 연구기관이 설립되면 '신뢰 구축' 측면에서 온배수 문제의 해법을 모색하는데 크게 이바지할 수 있을 것으로 기대된다.

한편, 독립된 전문연구소를 설립한다는 것은 손쉬운 과제가 아니다. 따라서 시행 초기에는 정부출연연구소 혹은 대학의 전문연구소에 사업단을 구성하여 그 역할을 담당하게 하고 점차 확충해 나간 후 독립기관으로 확충하는 것이 바람직하다.

2). 예산

온배수 전문연구기관의 설립 및 운영예산은 온배수 배출 부담금의 일부로 충당한다. 정확한 소요예산은 전문연구기관의 임무와 역할이 세부적으로 정립되어야만 편성 가능하다. 그러나 전술한 것과 같이 최초 5년간은 공신력 있는 전문 연구기관에 위탁하여 업무를 수행하는 것으로 하여 초기시설투자비를 제외할 경우 약 26억원/년 정도의 예산으로 운영 가능할 것으로 생각된다. 단, 기본과제 연구비는 소속연구원이 중앙 및 지역별 온배수관리위원회에 대한 기술적 자문과 온배수 관련 제반 조

사사업의 감독과 조사결과에의 평가 기능을 갖는 것을 감안하여 정부출연연구소의 연구원 1인당 평균 연구비의 1/2 수준으로 편성하기로 한다.

온배수 전문연구기관을 위한 소요예산의 세부 내용은 다음과 같다.

- 인건비 : 1,000,000,000원
 - 연구직 60,000,000원/년 x 10인 = 500,000,000원
 - 기능직 50,000,000원/년 x 5인 = 250,000,000원
 - 행정직 50,000,000원/년 x 5인 = 250,000,000원
- 시설유지비 : 420,000,000원
 - 35,000,000원/월 x 12월 = 420,000,000원
- 기본과제 연구비(정부출연연구기관의 평균연구비의 1/2 수준)
 - 100,000,000원/인/년 x 10인 = 1,000,000,000원
- 기관운영비
 - 15,000,000원/월 x 12월 = 180,000,000원

3). 대안

앞서 지적한 바와 같이 독립된 온배수 전문연구소를 설립한다는 것이 현 상황에서 결코 간단한 과제가 아니다. 따라서 그 대안으로는 수산업법시행령 제62조 및 어업면허의 관리 등에 관한 규칙 제51조의 2의 규정에 의하여 해양수산부 장관이 지정 고시한 '어업의 손실액 조사기관'을 활용하는 방안을 검토할 수 있다. 해양수산부고시 제2005-18호(2005. 5. 18.)에 의거하여 지정 고시된 조사기관은 표 13과 같다.

발전소에서 배출되는 온배수의 영향과 그 피해 규모를 조사함에 있어서 독립된 온배수 전문연구기관을 설립하는 방안과 그 대안으로 표 17에 열거한 기존의 14개 조사기관을 활용하는 방안의 장단점을 비교하면 표 18과 같다.

표 18에 지적한 바와 같이 기존의 14개 '어업의 손실액 조사기관'을 활용하지 않고 온배수 전문 연구기관을 설립하게 되면 단기적으로는 초기 단계에 투자 경비가 소요되고 부지 및 인적자원을 확충해야 하는 문제점이 있다. 그렇지만 장기적인 관점에서 발전소 온배수의 확산 범위와 해양생태계에 미치는 영향에 관해 투명하고 공정하게 조사 연구할 수 있는 온배수 전문연구기관이 설립되면 '신뢰 구축' 측면에서 온배수 문제의 해법을 모색하는데 크게 이바지할 수 있을 것으로 기대된다.

표 17. 어업의 손실액 조사기관(해양수산부고시 제2005-18호, 2005. 5. 18.)

기 관 명	소 재 지	지 정 기 간
경상대학교 해양산업연구소	경상남도 통영시 인평동 445	2005.4.1 ~ 2010.3.31
군산대학교 수산과학연구소	전라북도 군산시 미룡동 산 68	2005.4.1 ~ 2010.3.31
군산대학교 해양개발연구소	전라북도 군산시 미룡동 산 68	2005.4.1 ~ 2010.3.31
부경대학교 수산과학연구소	부산광역시 남구 대연3동 599-1	2005.4.1 ~ 2010.3.31
부경대학교 해양과학공동연구소	부산광역시 남구 대연3동 599-1	2005.4.1 ~ 2010.3.31
서울대학교 해양연구소	서울특별시 관악구 신림동 산 56-1	2005.4.1 ~ 2010.3.31
여수대학교 수산해양연구원	전라남도 여수시 둔덕동 산 96-1	2005.4.1 ~ 2010.3.31
인하대학교 해양과학기술연구소	인천광역시 남구 용현동 253	2001.11.5 ~ 2006.11.4
제주대학교 해양과환경연구소	제주도 북제주군 조천읍 함덕리 3288	2005.4.1 ~ 2010.3.31
한국해양수산개발원	서울특별시 서초구 방배동 1027-4	2003.2.12 ~ 2008.2.11
한국해양연구원	경기도 안산시 사동 1270	2005.4.1 ~ 2010.3.31
한국해양대학 해양과학기술연구소	부산광역시 영도구 동삼동 1	2005.1.24 ~ 2010.1.23
목포대학교 갯벌연구소	전라남도 무안군 청계면 도림리 61번지	2005.5.18 ~ 2010.5.17
강릉대학교 환경문제연구센터	강원도 강릉시 지변동 123번지	2005.5.18 ~ 2010.5.17

* 대학 + 고급인력 제한

표 18. 독립된 온배수 전문연구기관을 설립하는 방안과 어업의 손실액 조사기관을 활용하는 방안의 장단점 비교

	독립기관 설립	기존 조사기관 활용
초기 투자비용	상당액 소요	거의 소요되지 않음
부지 및 인적자원	새로 확보해야 함	기존의 시설과 인력 활용이 가능함
공정성과 투명성	과학적인 조사방법으로 공정하고 투명하게 조사할 수 있음	조사기관에 따라 상이한 방법으로 서로 다른 연구결과를 도출할 수 있음
환경 분쟁	조사방법의 표준화로 객관적인 결과를 도출하여 온배수 민원을 종식시킬 수 있음	조사기관에 따라 상이한 연구결과를 얻게 되면 자칫 환경 분쟁이 지속될 가능성이 있음
생태계 보전	어업 손실뿐만 아니라 장기적 측면에서 소중한 연안생태계 보전을 위한 각종 대책을 수립하고 일관되게 추진할 수 있음	상이한 조사기관에서 일관된 정책을 수립하기 어렵고, 어업 손실 측면에 치중하다보면 연안생태계 보전을 위한 노력이 소홀할 수 있음

라. 온배수 관리방안 협의체 구성

이상 살펴본 바와 같은 몇 가지 온배수 관리방안 외에 본 연구에서 추진하고 있는 ‘갈등 조정’, ‘신뢰 구축’ 및 ‘상호 부조’ 측면의 다양한 온배수 관리방안은 이미 1차년도 보고서에 비교적 상세하게 수록한 바 있다. 그런데 이들 방안의 대부분은 해양수산부 단독으로 추진할 수 있는 사안이 아니고, 산업자원부와 발전사업자의 적극적인 참여와 협조가 필요하다고 판단된다. 나아가서 일부 내용은 환경부나 과학기술부와 같은 관계 부처와의 협의도 필요하다고 본다.

따라서 본 연구를 통하여 마련되는 각종 온배수 관리방안들이 탁상공론으로 끝나지 않고 실효를 거두기 위하여 본 연구가 종료되는 즉시 2008년 초에 관계 부처 실무자들로 구성되는 가칭 ‘온배수 관리방안 협의체’를 발족하여 체계적으로 관리방안을 추진함이 바람직할 것이다.

1). 조직

가칭 ‘온배수 관리방안 협의체’의 구성은 다음과 같이 한다.

- 위원장 : 해양수산부 장관이 임명
- 부위원장 : 위원장이 선임하며, 위원장 유고시 위원장 업무 대행
- 간사 : 해양수산부 해양환경과 온배수 담당 주무관
- 위원 : 정부 부처 실무자(해양수산부, 산업자원부 및 필요에 따라 환경부와 과학기술부 담당 공무원), 발전사업자 대표 및 온배수 관련 전문가 10명 내외
- 서기 : 사무직 1명 채용(필요시 온배수 전문연구소에서 파견 가능)

2). 기능

‘온배수 관리방안 협의체’의 기능은 다음과 같다.

- 온배수 관리방안의 법제화 추진
 - 발전소 주변 해양환경 조사지침
 - 온배수 배출기준
- 관리방안의 효율적인 추진을 위한 대책 수립
 - 온배수 이용 양식장 조성
 - 고수온 양식 품종 개발과 보급
 - 해양목장과 대체 해조장 조성
 - 온배수 해양생태공원 조성
- 기구 설립 협의
 - 중앙 및 지역별 온배수관리위원회의 구성
 - 온배수 전문 연구기관 설립
- 예산 확보

3. 온배수의 적극적 이용

온배수를 적극적으로 이용하는 것은 온배수로 인한 손실을 온배수를 이용하여 다시 얻는 것으로 능동적인 온배수 영향 저감방안이 될 수 있다. 즉, 발전소 주변 해역이 생태계에 미치는 부정적 영향을 온배수를 이용한 수산양식, 온배수확산구역에서의 바다목장 조성, 해양생태공원 조성 등으로 상쇄하는 것이다. 이에 대한 자세한

내용은 제3장에서 다시 논하기로 한다.

온배수확산구역의 피해보상에 따라 모든 발전소에는 일정 규모의 수산활동 제한 구역이 있다. 이 수산 활동 제한 구역을 역발상의 논리로 최대한 활용하여 기르는 어업육성법에 기초한 수산자원 관리수면에 준하는 해역으로 활용하는 것이다.

가. 온배수확산구역의 이용

1). 수산자원관리수면

연안 해역에서 수산자원의 심각한 고갈 때문에 우리나라의 수산자원 관리 기본 방안은 연안에 인위적으로 친환경적인 산란·서식장을 조성하여 유용 수산자원을 생산·관리함으로써 수산물을 지속적이고 안정적으로 어획할 수 있는 생산기반을 구축하려는 논리적 근거를 정책의 근간으로 삼고 있다. 예전의 단순한 “잡는 어업”에서 “기르는 어업”으로의 전환을 의미하며, 궁극적으로 어업인의 소득 증대, 풍요로운 어촌건설 및 지역 경제 활성화에 기여하는 것을 목표로 한다. 이러한 정책적 목표달성을 위해서는 적극적인 수산자원의 조성·생산관리를 바탕으로 철저한 사회경제적 분석 및 투자계획 수립을 통해 사업투자 효과를 높일 수 있는 과학적 근거를 필요로 한다. 또한 연안 어장조성 사업의 효율적 추진체계와 합리적인 이용·관리방안을 수립하여야 함은 현실적인 최대 현안으로 부각되어지고 있다. 이를 위해 현행 수산자원 관리 제도의 운영 및 법적 조치 사항 중에 기르는 어업 육성법에 기초한 “수산자원 관리수면”에 관한 내용을 발전소 온배수 확산에 따른 인근 해역의 “수산활동 제한구역” 설정과 연계하여 검토한다.

지금 우리가 직면하고 있는 연안어장의 황폐화는 지속적인 생산성을 유지하기 위한 자원관리에서의 문제점은 소유주가 없는 대상자원에 대한 업종간의 과다 경쟁(먼저 잡는 사람이 주인이라는 인식) 및 불법어업에 의한 남획이다. 이러한 현실을 감안하여 정부는 기르는 어업으로의 정책 전환을 위한 기본 방안 중 하나로 “수산자원 관리수면”을 지정하고 있다. 이 정책의 핵심은 남획을 방지하고, 자원을 관리하여 과학적 근거에 바탕을 둔 생산 관리 체계를 구축하고, 적정 자원의 지속적 생산이 가능한 연안 어장을 조성하려는 시도이다.

기르는 어업 육성법(2003년 7월)에는 일정한 해역에 자원조성을 위한 수산자원관리수면(이하 ‘관리수면’이라 함)을 지정하여 운용할 수 있도록 규정하였다. 법률시행을 위한 하위규정 미비로 다소 지연된 결과이지만 2004년 3월 해양수산부에서 ‘수

산자원 관리수면 업무처리 요령'을 제정하여 각 시·도에 시달한 바 있다. 그 절차는 다음과 같다. 수산자원 관리수면이란 수산자원의 효율적인 관리·이용을 위하여 인공어초 또는 기타 시설물을 설치하였거나 설치할 예정인 수면(기르는 어업 육성법(이하 “법”이라 함) 제10조 제1항)을 말한다.

수산자원관리수면은 2003년 7월 발효된 기르는 어업 육성법 제2조, 제9조, 제10조, 제11조 등 규정에 의하여 효력을 발생한다. 동 법률은 일정지역(예: 바다목장 시범사업 해역)을 명시적으로 언급하고 있으며, 해당해역을 실질적으로 관리하기 위한 근거 규정들을 포함하고 있다. 이 법에 따르면 관리수면은 “수산자원 조성사업의 일종으로서 일정한 해역 등에 대하여 수산자원 조성을 위한 시설을 종합적으로 설치하여 수산자원을 인공적으로 번식시키고 근거를 바탕으로 하는 지속가능한 수확을 할 수 있는 장소”를 말한다. 또한 기존의 육성수면과 보호수면으로는 일정해역을 적절히 관리할 수 없다는 점을 고려하여 이 법은 「수산자원 관리수면」이라는 새로운 개념을 신설하였다. 제10조에서는 시·도지사는 수산자원의 효율적인 관리·이용을 위하여 인공어초 또는 바다목장 시설물을 설치하거나 설치예정인 수면을 수산자원 관리수면으로 지정하고 관리하도록 하고 있다. 수산자원 관리수면은 육성수면과 달리 지정목적 범위 안에서 그 관리·이용 규정을 정하여 이를 관리하여야 하며, 또한 보호수면과는 달리 어업인에게 입어를 허용하는 것이 가능하다는 점에서 매우 미래지향적인 적합한 관리 방안인 것이다. 현재 2003년 7월에 발효된 ‘기르는 어업 육성법’에 의거한 연안 해역의 특성 및 조건에 따라 일정 해역의 자원조성을 위하여 지정된 수산자원관리수면은 총 42개소, 5,112ha에 달한다(표 19).

해양환경관리법 제15조 1항에 의거 온배수 확산구역의 수산활동 제한구역을 현행 수산자원관리수면에 준하는 특별관리해역으로 지정하여 활용하는 것은 매우 바람직한 일이다(한국해양연구소 1999).

2). 온배수 피해보상 해역의 가치

수산자원의 가치는 불특정 다수에게 이익이 돌아갈 수 있는 측면에서 매우 특이한 현존하는 경제 주체 즉, 투자, 생산, 판매, 이익창출, 그리고 인간의 요구충족이라는 논리에서 제외되는 실체로 설명할 수 있다. 수산자원은 지구상에서 우리 인간이 이용할 수 있는 여러 가지 경제활동의 원료격인 자원의 종류들과는 다소 다른 특이한 의미를 갖고 있다. 첫째, 이용가능한 자원의 양적 측면에서 제한성이 비교적 적은 대상이다. 일정한 환경 여건이 조성되어 유지된다면 스스로 재생산을 하여 적

표 19. 지역별 수산자원 관리수면 지정 현황

(2006년 1월 현재)

해역 구분	지정 건수	면적(ha)	비고
부산	4	260	
인천	1	20	조업금지 구역설정
경기	2	600	
강원	6	119	
충남	4	1,519	
전북	2	296	
전남	8	644	
경북	5	96	
경남	10	1,658	
총 계	42	5,212	

정 수준을 유지할 수 있는 무한한 양이 존재할 수 있는 실체임을 의미한다. 현존하는 무생물적 자원이 갖고 있는 소비에 따른 양적 한계를 수산자원은 극복할 수 있는 대상이다.

두 번째 특징은 이미 언급한 존재의 속성에서 야기된 소유개념이 없는 불특정 다수에게 이익이 돌아가게 되는 주인 없는 재물인 것이다. 지구상에 현존하는 여러 형태의 다른 자원들은 어떠한 형태이든 소유권이 존재한다. 그러나 유일하게 수산자원만은 소유권이 없는 먼저 취하는 자가 주인이 되는 대상인 것이다. 그리고 이러한 행위로 창출되는 이익은 근자에 들어와 매우 큰 것이 되었다. 최근 세계 각국이 다투어 실시하고 있는 자원의 고갈을 방지하고 이를 지키기 위한 국가 차원의 노력이 바로 배타적 경제수역 선포 및 관리이다. 이 두 가지의 특징을 바탕으로 수

산자원은 이제부터는 불특정 다수 즉 국민 모두를 위하여 미래지향적 논리를 바탕으로 하는 국가 차원에서 어떠한 형태로든 관리하고 보전해야하는 당위성을 갖게 된다.

발전소 가동으로 온배수 확산 및 인근 해역의 관리를 위한 수산활동 제한 구역이 갖는 수산, 해양학적 활용 가치는 다음과 같다(한국전력공사 1999).

취수 및 배수에 따른 주변해역 해수교환 촉진 효과

해수교환 촉진 현상은 일정해역(냉각수 취수 지역 및 온배수 확산 해역)에 수질 개선 효과를 기대할 수 있다. 예를 들면, 어장조성 지역 주변에서 적절한 해수 교환이 일어난다면 자원증대 효과를 얻기 위하여 가장 중요한 환경 여건이 갖추어진 것으로 판단할 수 있다. 특히 본 조건은 개방적인 연안역 보다는 리아스식 해안이나 비교적 폐쇄적인 내만에 온배수가 확산될 경우 아래와 같이 최적 조건으로 평가 받을 수 있는 요인이다.

- 해수교환 효과로 인한 생산성의 극대
- 주변해역의 대상 생물자원 증대를 위한 적지로 평가

따라서, 기대 효과는 연안 지역의 수질 개선 효과가 좋다. 이와 같이 내만에 어장을 조성 자원증대를 유도할 수 있는 최적의 방안이 될 수 있다. 대상해역의 규모와 취수 및 방류 수량에 의한 사전 예측 및 평가를 수반하여 수질 개선에 따른 환경관리 방안과 이로 인한 생산성의 증대 방안이 수립될 수 있다. 나아가 적절한 환경수용력을 평가하고, 지속적인 생산의 극대화를 유도하고, 관리하기 위한 사전 예측이 필요하고, 적절한 시설 배치 및 생산 관리 기술을 수립함이 바람직하다 .

냉각수 확산 구역의 어류 군집 형성과 성장촉진 효과

일반적으로 우리나라 연안에 서식하는 수산 자원 생물은 소수 몇 종을 제외하고는 온수성 어종들이므로 온배수 확산구역에 계절별로 다양한 어종이 모여드는 현상은 이미 잘 알려진 사실이다. 또한 수온이 비교적 높은 지역에서의 성장 촉진 효과는 다양한 먹이 생물의 분포 및 생체의 대사생리의 활발한 촉진으로 야기되는 당연한 결과로 긍정적인 가능성을 확인할 수 있는 분야로 판단된다.

- 새로운 온수성 어류 군집 조성
- 성장 및 대사 촉진으로 생산성의 증대 유도
- 온배수 배수구 주변을 초기 성육장으로 활용 가능

울진원자력 온배수 배수로가 타 발전소와 비교할 때 비교적 길고 넓은 지역에 조

성되어 있어 항시 인근 지역보다는 높은 수온과 유속을 유지하고 있다. 이와 같은 지역에서 어류를 중심으로 자원 분포 조사를 실시한 결과(한국전력공사, 1999), 위에서 언급한 성육장으로 활용 가능성을 확인한 바 있다. 그리고 온배수가 갖는 수산자원의 성장촉진 효과를 수산물의 증양식 기술 분야에 적용하여 계절에 구애받지 않는, 종묘 생산, 중간 육성은 물론 친어관리에 의한 산란 촉진 유발, 온배수 확산 구역을 산란장으로 활용, 그리고 온수성 어종의 월동장 등 적절한 이용이 가능하다.

해안 구조물에 의한 환경 개선 효과

발전소 건설에 따른 연안의 여러 형태의 구조물이 설치될 경우 수중에 위치하는 구조물들은 해조류가 자랄 수 있는 인위적인 서식지가 형성되므로 새로운 해조장이 조성되고 이에 따른 주변 어장 환경의 개선으로 긍정적 자원 증대 효과를 기대할 수 있다는 사실 또한 매우 중요한 조건으로 평가되며, 부착생물 등 자원증대 가능성의 의미를 내포한다.

또한, 바닷가에 구조물을 설치할 경우 연안의 해류 흐름의 변동에 의한 주변 퇴적층의 변화 등 서식 환경의 변화 현상도 잘 알려진 사실로 퇴적층에 서식하는 저서 생물상의 새로운 변화도 충분히 예견된다. 따라서 서식 환경변화에 따른 결과를 수산 자원 증식 차원에서 긍정적으로 활용할 수 있는 잠재 가능성 측면을 검토해 볼 가치가 충분히 있다.

- 인위적 해조장 조성 가능
- 기존 암초지역에 새로운 해조장 생성 가능성
- 해조장 조성에 의한 부착생물과 자원생물 증식 효과
- 구조물 주변 저서 퇴적층 변화 유도
- 퇴적층에 새로운 저서생물 군집의 형성
- 퇴적지역을 새로운 어장으로 활용 가능성

이상 언급된 사실들을 적절히 검토하여 구조물 건설을 위해 투입되는 인공 암반에 새로이 생겨나는 해조장 주변에 모이는 자원생물을 적절하게 관리 한다면 바로 수산자원의 생산성 증대를 이룩할 수도 있다. 그리고 구조물 설치에 따른 해수 유동의 변화가 새로운 주변 퇴적층을 형성하게 되므로 이로 인한 패류를 중심으로 저서생물의 새로운 생육장이 형성된다는 사실 또한 매우 중요한 어업환경 개선 효과로 기대할 수 있다. 따라서 서식 환경의 변화에 따른 결과를 수산자원의 증식차원에서 긍정적으로 활용할 수 있는 잠재 가능성도 있다.

3). 온배수 피해보상 해역의 수산자원 관리 방안

수산자원 관리수면이라는 개념에서 볼 때 전국 바닷가 연안에 위치한 우리나라 대단위 발전소들은 결론적으로 모든 발전소 가동을 위하여 수산활동 제한구역이라는 보호수면을 갖고 있다. 지금 우리가 알고 있는 온배수의 실체와 온배수가 확산되는 해역에서 나타나는 수산 자원학적 현상은 단순한 열오염원이 아니라 자원증대 측면에서 활용 가능한 잠재력을 갖고 있다는 논리가 성립될 수 있다는 사실이다. 그 과학적 근거는 울진원자력발전소 냉각수 배수로를 중심으로 수산활동 제한구역을 대상으로 조사된 연구 결과를 중심으로 입증 가능하다는 사실을 언급할 수 있다(한국해양연구원 1999).

다시 본론으로 돌아와 우리나라에서 발전소의 입지를 위한 초기 사업 단계에 통상적으로 온배수 ΔT 1°C 범위 내의 수역을 환경영향 평가에서 미리 예측한 결과를 바탕으로 가동 전에 수산업 피해구역으로 간주하고 이 해역에 위치한 체포어업, 정치어업, 양식어업 등의 모든 어업권에 대한 보상을 시행하고 있다. 더욱 더 최근에 와서는 사회적 분위기에 편승하여 어업보상 차원에서 온배수 확산 범위 ΔT 가 1°C 미만의 경우에도 수산업 피해가 발생한다는 민원이 제기되고 있는 실정이다. 여기에서 한 가지 꼭 짚고 넘어가야 할 부분이 ΔT 가 1°C라는 기준은 해수면 표층에서의 온도이다. 해수면 표층에서 이루어지는 어업은 김 양식뿐일 것이다. 그러나 지금의 상황은 모든 종류의 어업이 제한되고 있다는 것이다. 이런 현실이라면 한번 쯤 발상의 전환을 해서 가동 중인 발전소가 확보하고 있는 수산활동 제한구역을 현재 국가가 운영하고 있는 수산자원 관리구역과 같은 의미로 활용할 가치가 있다고 본다.

현재 가동 중인 대단위 발전소 주변해역은 온배수 배출 지점을 중심으로 일정 범위 안에 수산활동 제한구역을 설정하고 있다. 서해안에는 당진, 태안 및 보령화력발전소와 영광원자력발전소 주변의 14,940ha가 설정되어 전체의 70%를 차지하고 있다(한국해양연구원 1994, 2000). 남해안은 하동 및 삼천포화력발전소 주변에 2,890ha이 설정되어 전체의 14%를 차지하고 있으며(여수대학 2004), 동해안은 고리, 월성 및 울진원자력발전소 주변해역에 3,500ha이 지정되어 전체의 16%를 차지한다(한국전력공사 전력연구원 2000, 한수원 2002). 이상의 결과를 종합하면 전 연안에 수산자원 관리 측면에서 활용할 수 있는 해양학적 조건에 따라 특성이 명확하게 구분되는 해양공간이 21,330ha이나 잠재해 있다는 것을 알 수 있다.

현재 국가에서 수산업의 당면한 문제 해결을 위한 방안의 하나로 시행하고 있는

수산자원 관리수면 정책을 보면 지금까지 전국적으로 40 개소에 약 5,000ha 수면을 관리하고 있다. 특히 관리 수면을 지정하기 까지는 관리수면 지정 후 어업활동 규제라는 문제를 갖고 불이익을 당한다고 생각하는 주변 어민들의 강력한 반발 등에 의하여 매우 어렵고, 민감한 과정이 수반되고 있는 것 또한 현실이다. 따라서 현재 본 연구사업에서 검토하고 있는 온배수 확산해역의 수산 활동 제한구역 설정이 갖고 있는 시사하는 바가 큰 것이다.

현재 우리가 직면하고 있는 세계적 추세는 이념에서 국가 간의 자원 확보가 힘을 상징하는 새로운 경쟁 시대로 돌입하였다. 우리나라는 수산자원 부국에서 20세기 후반에 들어 수산자원 빈국으로 전락하였다. 당면한 현실을 극복할 수 있는 한 가지 가능성을 온배수 배출로 수산활동이 제한된 해역의 바다목장화로 찾아볼 수 있다.

정부는 연안자원 회복을 위하여 어장 환경 개선 및 연안 자원 증대사업을 1970년대부터 꾸준히 추진하여 왔으며, 1998년부터 이를 바다목장화 사업으로 확대하여 발전시키고 있다. 바다목장사업은 현재 경남 통영과 전남 여수에서 실시되고 있으며 울진, 태안, 북제주에서도 바다목장화를 위한 기초연구를 진행 중에 있다.

1998년부터 시작된 통영바다목장은 현재 2단계 3차년도(기반조성 및 바다목장의 적용)를 완료한 상태에 있고, 동 사업을 통해 바다목장을 위한 여러 가지 기술들이 개발되었다. 생태계 특성연구를 통해 환경과 생물군집특성의 지리정보화, 생태계 및 수산자원관리 모델 개발, 그리고 해역의 환경수용력을 판정 또는 구축하는 기법을 개발하였고, 어장조성 연구를 통하여 해양환경모니터링, 소파 및 해수유동 제어와 같이 환경을 개선하는 시스템을 개발하였고, 해중립, 인공어초, 음향급이 등과 같이 대상어를 집어 시킬 수 있는 어장조성 기술 등을 개발하였다. 해중립 및 인공어초는 대상종의 생태를 고려한 설계와 배열이 강조되는 것으로 동 사업을 통해 획득된 기술은 다른 해역, 즉 동·서·제주형 바다목장 조성에 초석이 될 수 있다.

자원조성 기술 분야에서도 대상종의 생태 및 행동, 방류, 선발육종, 우량종묘생산 및 판정, 중간육성, 자원량 판정 등에 관한 기술이 개발되어 타 해역에서도 효과적으로 바다목장을 조성할 수 있는 기틀이 마련되었다. 이러한 기술들은 수산자원 증대 및 어가소득 향상이라는 큰 목적을 위해 유기적으로 결합되도록 기술적으로 짜여 있으며, 투입되는 예산의 효용성 극대와 기존어업에 대한 침해 최소화를 위해 사업의 제도적 분석, 경제적 타당성 분석, 투자계획, 마스터플랜 등 바다목장을 체계적으로 이용하고 관리하는 통합시스템을 구성한다.

바다목장 사업은 주어진 일정 해역의 환경 특성에 따른 어장조성 및 자원증대 기

술 그리고 자원의 이용, 관리기술들이 유기적인 시스템을 구축하여 자원을 인위적으로 관리하며, 지속적인 생산을 유도하여 수산업 생산량을 획기적으로 증대시키는 사업이다. 여기에 반드시 수반되어야 하는 개념이 바로 수산자원 보호 및 관리 수면 설정과 체계적인 관리이다.

통영 혹은 여수와 같은 대규모 바다목장 조성사업의 예를 발전소 온배수 영향 해역에 적용하기에는 다소 무리가 있다. 따라서 발전소 주변에 적합한 바다목장 모델은 현재 지방자치단체별로 추진하고 있는 소규모 바다목장 모델을 적용하는 것이 바람직하다(한국해양연구원 2006).

나. 온배수를 이용한 수산양식

온배수는 어떠한 오염물도 첨가되지 않은 순수한 바닷물로 다만 자여해수에 비하여 수온만 다소 높다. 따라서 온배수를 가장 보편타당하게 활용할 수 있는 가능성이 수산양식이라는 사실은 누구나 인정할 수 있는 사실이다. 물론 냉각계통 내의 오손생물 방제를 위하여 사용하는 화학물질 특히 어류에 치명적인 염소가 온배수에 남아 있을 가능성이 있지만, 규정과 절차에 맞추어 염소처리(chlorination) 한다면 수산양식에 아무런 문제가 없다. 우리나라에서 온배수를 이용한 어류양식은 이미 1983년부터 시작되었으며, 1984년 삼천포화력발전소 온배수를 이용한 진주조개 월동 실험이 성공적으로 진행되었으며(한해연 1985), 1988년 보령화력발전소, 1994년 영광원자력발전소 그리고 1998년 월성원자력발전소에 온배수 양식장에 건설되어 성공리에 가동 중에 있다(표 20).

온배수를 이용한 수산양식의 기본 개념은 온배수에서 창출되는 이익을 공익적 개념을 바탕으로 우선 지역 어민들에게 전달하는 가능한 방법을 채택하여 실현하는 단계를 의미한다. 즉 광역자치단체에 소속되어 있는 수산연구소의 부속기관형태로 온배수를 이용한 종묘를 지역 해역에 방류하고, 나아가 지역 여건에 맞는 신품종어종의 생산기법 등을 시험사업 측면에서 온배수를 활용하여 시행하고자하는 것이다.

한편 온배수를 이용한 상업적 규모의 수산양식이 시작될 경우 이익 분배에서 지역어민들이 배제될 가능성이 있다. 따라서 온배수를 이용한 수산양식의 주체는 어촌계를 비롯한 지역주민의 공동체가 되어야 할 것이다(표 21). 또한 기존 발전소 주변에는 육상양식장 건설을 위한 부지가 절대적으로 부족하여 온배수를 이용한 수산양식에 걸림돌이 되고 있는바, 발전소 부지확보 단계에서 이를 위한 부지가 별도로 확보되어야 할 것이다.

표 20. 우리나라 온배수를 이용한 수산양식 연대기

구분	시기	장소	이용방법	비고
태동기	1964. 11	감천화력	온배수확산구역	진주조개 월동
	1983 ~ 1990	영동화력	육상수조	넙치양식
	1994 ~ 1997	삼천포화력	온배수확산구역	방어, 진주조개 월동
			육상수조	진주양식
성숙기	1988 ~ 1993	보령화력	육상수조	어류, 갑각류 종묘생산
	1994 ~ 1997	영광원자력	육상수조	성어양식
발전기	1998 ~ 2000	월성원자력	육상수조	종묘생산, 성어양식
	2000 ~ 현재	발전소 온배수 양식장 시설 확충, 민간기업 참여		

표 21. 온배수 이용 양식사업의 형태 비교

	공익적 활용	상업적 활용
사업주체	어민공동체, 광역자치단체	기업
운영형태	수산연구소 부설 및 어촌계 공동어장	기업화 양식
시설규모	< 2,000평	> 2000평 이상 대규모
부지확보	발전회사, 어민협조	기업
생산품목	방류용 및 대어민 보급용 수산종묘, 성어양식	고부가 수산물
파급효과	지역주민 소득증대, 자원 증대	기업이익, 국제경쟁력 향상, 단 생산물량 시장교란 가능성 있음

다. 온배수를 이용한 시설농업

온배수를 시설농업 분야에 이용하는 것은 수산업 분야와 비교할 때 경제적 가치 측면에서 가능성은 매우 낮지만, 현재의 고유가 기조가 지속된다면 충분한 경제성이 있다. 현재 고유가 현상으로 시설농가의 경영이 매우 어려워지고 있으며, 이미 작목별 수급 불균형 현상이 나타나고 있다. 따라서 온배수를 시설농업의 난방 에너지원으로 활용할 수만 있다면 유가의 영향을 받지 않고 안정적인 상태에서 영농할 수 있다.

발전과정에서 얻어지는 온배수는 폐열이지만 재활용이 가능한 열에너지이다. 현재 수산분야에서는 양식사업과 관련하여 지속적인 연구가 수행되고 있고, 일부 어종에서는 실용화 단계에 있다. 한편 온배수를 상업적으로 농업분야에 이용하는 사례는 찾아보기 어려우며, 기술개발 연구도 아직은 미미한 수준이다. 제1차년도 사업을 통하여 온배수를 활용한 수산 양식 분야에 활용 가능성을 상세히 언급하였기에 생략하고, 본 년도에는 시설 농업을 중심으로 적극적 활용 가능성을 기존자료를 중심으로 검토하기로 한다.

온배수에 포함된 에너지를 재활용 차원에서 시설농업의 난방에 이용할 수 있다면 시설농업의 경제성 향상에 크게 기여할 것이다. 특히 현재의 고유가 기조가 지속되는 점을 감안할 때 그 효과는 더욱 크다고 생각된다. 물론 온배수를 시설농업의 난방에 이용하기 위해서는 배수구로부터 온실까지 배관설치 등 추가시설이 필요하며, 이러한 추가시설을 감안하고도 경제성이 확보되어야 가능하다.

지금까지 온배수의 농업적 이용에 관한 연구는 그다지 많지 않지만 상치, 토마토, 들깨, 국화, 장미 등 농작물과 원예작물 재배에 온배수 사용이 가능하다는 것이 밝혀져 있다(이 등 1992, 서 등 1997).

정부는 시설원예 부문을 국제경쟁력을 갖춘 자본·기술집약적 산업으로 육성하기 위해 시설 현대화사업에 대한 지원을 강화하여 왔다. 원예작물 재배시설은 자동화 비닐온실 및 경질판유리 온실 등 인위적 환경관리가 가능한 방향으로, 그리고 고비용·고효율·에너지 다소비적인 대규모 시설로 발전하고 있다. 원예작물의 생육에 가장 큰 영향을 미치는 환경은 온도이고 이러한 온도조절 수단으로써 시설물의 난방은 매우 중요하다. 1960년대 중반부터 온실의 온풍난방을 위하여 석유온풍난방기가 도입되었다. 온풍난방은 가장 재래식이자 효율적인 난방 방법으로 화석연료를 태워 온실의 공기를 가열하는 것이다. 두 차례의 석유파동을 거치면서 재생에너지 기술과 에너지원의 다양화를 위한 연구가 많이 진행되었지만, 아직 화석연료 이외

의 에너지원을 시설농업에 이용하는 것은 기술적, 경제적으로 해결해야 할 문제가 많이 남아 있다.

온수난방은 더운 물을 배관을 통하여 공급하여 온실의 공기를 간접적으로 가열하는 것으로 제한된 특정 온도 조건에서 자라는 특화작물의 재배에 이용되는 방법이다. 온수난방에 사용되는 더운 물을 온배수로 대체하면 온배수난방이 된다. 온수난방은 온풍난방에 비하여 설비비가 높을 뿐만 아니라 시스템 전체의 열효율도 낮기 때문에 운전경비가 높은 비율을 차지하며, 높은 염분에 부식되지 않는 재질로 배관해야 하기 때문에 추가 비용이 필요하다(표 22).

표 22. 온풍난방과 온수난방의 비교

	장점	단점
온 풍 난 방	·설비비가 저렴함 ·예열 시간 짧고, 온도 빨리 상승.	·시설 내 온도변화가 큼 ·가동 중지시 급격한 온도 저하
온 수 난 방	·시설 내 온도변화가 완만 ·가동 주지시 일정 시간 실온 유지	·설비비가 과다 ·장기간 예열 필요. ·열효율이 낮음.

작물의 생육온도는 최저온도의 한계범위가 가장 먼저 고려되어야 한다. 겨울철에 별도의 난방 시설 없이 온배수만을 이용하고자 할 때 작물별 최저온도보다 높은 열 에너지를 취하지 못할 경우 온배수 이용은 불가능하다. 대부분의 과채류는 생육적 온이 25°C 전후이나 야간온도는 작물에 따라 차이가 크다(표 23). 특히 야간의 최저 한계 온도는 딸기, 토마토 등을 제외하면 10°C 이상으로 온배수의 최저온도에 따라 이용가능성이 달라질 수 있다. 화훼류는 과채류에 비해 저온성 작물이 많고, 야간의 최저 한계 온도도 낮아 온배수 이용가능성은 과채류보다 크며, 품질향상을 위해서는 야간 온도는 주간 적온보다 3~5°C 낮게 유지하며 가온이 필수적이다. 초기시설비에 대한 부담은 크겠지만, 주간에는 온풍난방을 실시하고, 야간에는 온배수난방을 실시한다면 난방비용을 획기적으로 줄일 수 있을 것으로 생각된다.

원예작물을 비롯한 특화작물 재배에 있어 주 난방시기인 1, 2월에는 저수온기로 온배수 온도도 지역별 차이는 있지만 동해안에서도 12~17°C 정도로 낮아져 직접

표 23. 주요 시설작물별 생육 적온과 한계온도

단위: °C

		낮기온		밤기온		지온
		최고한계	적온	적온	최저한계	적온
과채류	토마토	35	20~25	8~13	5	15~18
	가지	35	23~28	13~18	10	18~20
	오이	35	23~28	10~15	10	18~20
	멜론	35	25~30	18~23	15	18~20
	딸기	30	18~23	5~10	3	15~18
화훼류	장미	35	23~27	15~18	5	17~22
	국화	30	18~22	16~17	5	18~23
	카네이션	30	15~25	10~12	5	18~23
	거베라	35	16~20	10~16	5	15~22
	시클라멘	30	16~22	10~16		18~23

사용하기에는 온도가 너무 낮다. 따라서 온배수를 시설농업에 이용하기 위해서는 별도의 적절한 보조 장치가 있어야 가능하다. 현재까지 개발된 시설농업의 난방 보조 장치 중 가장 효과 있는 것은 히트펌프(heat pump)이다. 히트펌프는 열의 회수, 저장, 변환, 수송 등의 기술을 활용한 냉난방 시스템이라 할 수 있다. 해수가 여름철에는 대기온도보다 낮고 겨울철에는 대기온도보다 높은 점을 감안하여 에너지를 얻는 방법이다. 온배수는 자연해수에 비해 7~10°C 높기 때문에 히트펌프를 이용하기 위한 열원으로 적합하다. 또한, 적절한 냉각계통의 운영으로 겨울철 온배수의 온도를 조절한다면 그 효과는 더 한층 커진다. 온실의 난방은 히트펌프를 가동하여 축열탱크에 온수를 저장한 후 저장된 온수를 난방 코일에 순환시킴으로써 온실 내부 온도를 일정하게 유지할 수 있다. 그러나 전술한 바와 같이 온배수를 히트펌프

열원으로 이용할 경우 부식에 강한 특수 자재로 제작해야 하기 때문에 초기 투자비가 과도한 단점이 있다.

온배수를 시설농업에의 이용은 먼저 소규모 시범사업을 통하여 그 효율성을 입증한 후 점차 대규모 산업 형태로 발전시키는 것이 바람직하다(표 24).

표 24 온배수 이용 시설농업 사업의 형태

	시범사업	대단위 기업화 사업
사업주체	지역주민	기업 또는 영농단체
사업목적	온배수이용 시설농업 실증	이익창출
운영형태	연구소 기술지원 사업	기업 직접 경영
시설규모	< 2,000평	20,000평/단지
생산품목	화훼류, 한약재	수출품 위주 고부가 작물
파급효과	상호부조, 온배수 이용 가능성 입증	이익창출, 국제 경쟁력 강화

제 5 절. 온배수 관리방안의 사회과학적 연구

온배수 관리방안에 대한 사회과학적 검토는 그림 29에 요약된 바와 같이, 먼저 온배수 배출규제의 경제학에 대해 살펴본다. 온배수 배출규제를 이해하는 데 필수적인 개념인 외부성에 대해 설명한 다음에, 외부성을 내부화해야 할 필요성에 대해 논의한다. 아울러 최적 온배수 배출량이란 개념을 도출하고 이에 대해 설명할 것이다.

다음으로 온배수 배출 규제를 위한 정책수단을 크게 규제적 접근법과 시장친화적 접근법으로 구분한 다음에, 시장친화적 접근법을 다시 조세, 보조금, 배상청구권/배출권시장의 4가지로 나눠서 살펴본다. 각 수단별 장단점에 대해 설명할 것이다.

셋째, 온배수배출부담금 제도의 설계를 위한 사전 검토 작업으로서 오염자부담원칙에 대해 자세하게 살펴보고, 참고할 만한 관련 부담금 제도에 대해 고찰하며, 부담금 제도의 이론적 근거, 원칙, 객관적 기준 등 부담금 제도의 일반론에 대해 논의할 것이다. 앞의 3가지 분석 내용에 근거하여 온배수배출부담금 제도를 직접 설계할 것이다.



그림 29. 온배수 관리방안에 대한 사회과학적 연구의 주요 내용.

1. 온배수 배출 부담금

온배수 배출 규제의 경제학에 대해 본격적으로 논의하기에 앞서, 외부성(externality)의 개념에 대해 명확하게 이해할 필요가 있기에, 외부성에 대해 설명하겠다. 어떤 한 사람의 행동이 제 3자에게 의도하지 않은 이득이나 손해를 가져다주는데도 이에 대한 대가를 받지도 지불하지도 않을 때 우리는 외부성이 발생했다고 표현한다(이 1993). 외부성의 경우에는 그것에 대한 대가를 주고받지 않는 것이므로 시장이란 테두리의 외부에 존재하는 현상이라고 해서 그런 이름이 붙여졌다.

외부성은 해로운 것과 이로운 것이 있을 수 있는데 전자를 음의 외부성(negative externality)이라 하며 후자를 양의 외부성(positive externality)이라 한다. 하여간 외부성을 만들어 내도 이에 대해 어떤 대가를 치루는 것도 아니고 받는 것도 아니기 때문에, 양의 외부성을 만들어 내는 사람은 구태여 많이 만들어 내려 하지 않는 반면에, 음의 외부성을 만들어 내는 사람은 자진해서 그 생산을 억제하려 하지 않는 경향이 생기게 된다. 즉, 자유로운 시장기구에 내맡겼을 때, 양의 외부성은 사회적으로 최적인 수준보다 적게 만들어지는 한편, 음의 외부성은 최적수준보다 더 많이 만들어지는 결과가 나타난다. 이런 이유 때문에 시장기구가 자원을 효율적으로 배분하는 데 실패하게 되는 시장의 실패(market failure)가 발생한다. 시장의 실패는 자원의 효율적 배분을 위한 정부의 개입을 정당화하는 근거로 받아들여지고 있다.

온배수 관리정책의 일차적 목표, 즉 온배수 배출량의 규제는 바로 사회적으로 용인 가능한 최적 배출수준(optimal emission level)을 달성하도록 유도하는 것이라 할 수 있다. 만약 온배수 배출로 인한 영향에 대해 정확하게 평가가 되고 이 영향에 대해 시장에서 돈을 주고받으며 거래를 한다면 최적 배출수준은 자연스럽게 달성된다. 하지만 온배수 배출로 인한 영향의 전부 혹은 일부에 대해 시장이 존재하지 않아 적절한 거래가 발생하지 않는다면 외부성이 발생한다.

앞서 언급하였듯이, 외부성이 존재하는 경우 시장자체의 힘만으로는 이러한 최적 배출수준의 달성이 일반적으로 가능하지 않다. 따라서 정부가 직접 개입하여 온배수의 최적 배출수준을 달성할 수 있도록 해야 한다. 여기서는 먼저 생산활동(예를 들어, 발전)에 따른 자연스런 균형 온배수 배출수준과 이에 대비되는 최적 배출수준을 고찰해보고, 최적 배출수준을 달성할 수 있는 정책수단을 살펴본다.

가. 외부성을 고려한 온배수의 최적 배출수준

1). 외부성이 존재하지 않을 때의 최적 배출수준

경제 내에서 온배수 배출로 인한 외부성이 존재하지 않는다면, 순 편익(NB, net benefit)은 다음과 같이 편익(B, benefit)에서 비용(C, cost)을 뺀 것으로 정의된다.

$$NB(Q) = B(Q) - C(Q) \quad (1)$$

여기서 Q 는 온배수 배출자의 경제활동 수준, 즉 발전량을 의미하며, 다른 측면에서 보면 온배수 배출수준도 의미한다. 왜냐하면 경제적 활동수준이 커질수록 온배수 배출수준도 증가할 것이므로 서로 비례관계에 있기 때문이다. 순 편익을 최대화하는 조건, 즉 식 (1)을 최대화하기 위한 1계 필요조건은 식 (1)의 도함수(derivative)를 0으로 만드는 Q 를 찾는 것이다.

$$\frac{dNB(Q)}{dQ} = \frac{dB(Q)}{dQ} - \frac{dC(Q)}{dQ} = MB(Q) - MC(Q) = 0 \quad (2)$$

즉 한계편익(MB, marginal benefit)과 한계비용(MC, marginal cost)을 일치시키는 Q 값이 최적 경제활동 수준이 된다. 이를 그림으로 나타내면 그림 22에서 Figure I에 해당한다. 한계편익과 한계비용은 A에서 일치하며, 이에 해당하는 경제활동 수준은 Q^0 이다. Q^0 는 이윤최대화를 추구하는 기업이 시장에서 자연스럽게 달성하는 균형 경제활동수준이기도 하다.

2). 외부성이 존재할 때의 최적 배출수준

외부성을 고려하지 않았다는 관점에서 식 (1)의 순 편익은 사적 순 편익이라 할 수 있으며, 비용은 사적 비용이라 할 수 있다. 이제 외부성, 즉 외부비용(EC, external cost)을 고려하게 되면, 사회적 순 편익은 다음과 같이 정의된다.

$$NSB(Q) = B(Q) - \{ C(Q) + EC(Q) \} \quad (3)$$

따라서 $C(Q) + EC(Q)$ 은 사회적 비용이 된다. 사회적 순 편익을 최대화하기 위한 1계 필요조건을 구해보면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{dNSB(Q)}{dQ} &= \frac{dB(Q)}{dQ} - \left(\frac{dC(Q)}{dQ} + \frac{dEC(Q)}{dQ} \right) \\ &= MB(Q) - (MC(Q) + MEC(Q)) = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

사회적 최적 경제활동 수준은 한계편익과 한계 사회적 비용(=한계비용+한계외부비용)이 만나는 곳에서 달성된다. 이를 그림으로 나타내면, 그림 30의 오른쪽에 있는 Figure II에 해당하며, 사회적 최적 경제활동 수준은 Q^* 이다. 이해를 돕기 위해 Figure II에는 Figure I의 A점도 함께 나타내었다. A와 B를 비교해 보면 Q^0 에 비해 Q^* 가 더 작음을 알 수 있다. 따라서 외부성이 발생함을 감안하여 최적 경제활동 수준을 도출해 보면 외부성이 발생하지 않을 때의 최적 경제활동 수준보다 작음을 알 수 있다.

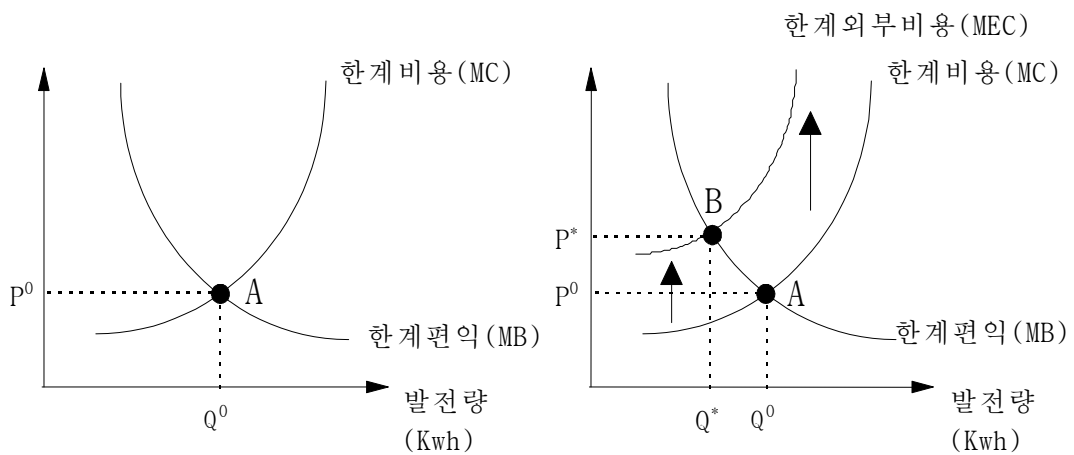


Figure I

Figure II

그림 30. 사회적 최적 경제활동 수준.

만약 외부성이 발생함에도 불구하고 아무런 규제를 하지 않고 기업에 맡겨 놓으면 사회적으로 바람직한 수준 이상으로 생산활동을 하게 되는 것이다. 아울러 외부성이 시장가격에 적절하게 반영되지 않으면 전력의 가격은 외부성을 포함한 가격(P^*)보다

낮은 P^0 수준으로 책정되어 전력소비가 권장되고 자원의 최적 배분과 이를 통한 사회적 후생극대화라는 목표를 달성하지 못하게 된다. 따라서 외부비용을 내부화(internalization)하는 것이 사회적으로 중요해진다. 즉 이 경우에는 정부가 개입하여 사적 균형점(Q^0)을 사회적 최적점(Q^*)으로 이동시킬 수 있도록 역할을 해야 하는 것이다. 편익에서 비용을 차감한 부분을 사적 순 편익(NPB, net private benefit)이라 정의한 후, 식 (3)을 조금 다르게 구성해 보면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} NSB(Q) &= \{B(Q) - C(Q)\} - EC(Q) \\ &= NPB(Q) - EC(Q) \end{aligned} \tag{5}$$

그러면 식 (4)의 최적화 조건도 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{dNSB(Q)}{dQ} = \frac{NPB(Q)}{dQ} - \frac{EC(Q)}{dQ} = MNPB(Q) - MEC(Q) = 0 \tag{6}$$

이 조건을 그림으로 나타내면 그림 31과 같다. 이 그림의 수평축은 온배수 배출자의 경제적 활동수준 내지는 온배수 배출수준을 의미하며, 수직축은 화폐가치로 환산된 비용과 편익을 나타낸다. 여기서 MNPB는 한계 사적 순 편익을 의미한다. 온배수를 배출하는 경제주체는 그의 경제활동에 따라 비용과 편익을 발생시키는데, MNPB는 추가적인 생산활동으로 인한 순 편익을 나타내며, MEC는 한계외부비용으로 추가적인 생산활동으로 인한 외부비용을 나타낸다.

이때 사회적으로 최적인 온배수의 배출수준은 MNPB 곡선과 MEC 곡선이 만나는 점에서 달성되게 된다. 왜냐하면 온배수 배출자의 경제활동으로 인한 총 사적 순 편익의 크기는 MNPB 곡선의 아래면적에 해당하고, 총 외부비용의 크기는 마찬가지로 MEC 곡선의 아래면적이므로 총 사회적 순 편익의 크기(편익의 합계에서 비용의 합계를 차감한 부분)는 Q^* 수준에서 최대화되기 때문이다.

만일 온배수 배출자가 자신이 발생시키는 외부비용에 대해 어떠한 보상도 요구받

지 않는 상황이라면, 식 (2)에서 살펴본 바와 같이, 그는 Q^* 를 초과하는 Q^0 수준에

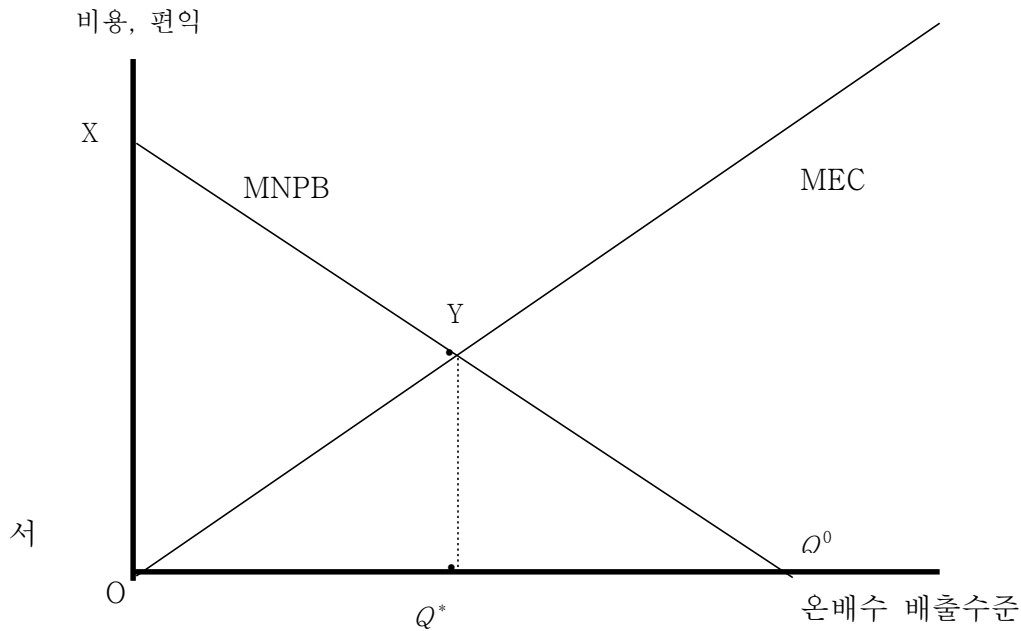


그림 31. 온배수의 최적 배출수준.

경제활동을 하게 된다. 이 경우, 사회적 순 편익의 크기는 최적인 경제활동수준 Q^* 하에서 달성된 편익의 크기 $\triangle OXY$ 보다 명백하게 작음을 알 수 있다. 따라서 온배수 배출 규제와 관련된 우리의 관심사는 어떻게 Q^* 를 달성할 것인가로 귀결된다.

나. 조세를 통한 외부성의 시정

현재 많은 경제학자들이 제시하는 정부개입의 경제적 방식은 환경에 대한 피해를 기준으로 하여 배출자에게 부과하는 조세이다. 여기서 말하는 환경에 대한 피해란 바로 외부비용을 의미한다. 피구(Arthur C. Pigou)란 경제학자는 『Economics of Welfare』라는 저서에서 외부성의 처치를 위한 수단으로서 조세부과를 최초로 제안한 바 있다. 이후로 피구의 이름을 따서 최적 배출수준 달성을 위한 조세를 피구세(Pigovian tax)라 부르고 있다. 이런 피구세는 현재 배출부담금 등의 용어로 알려져 있으며, 실제로 피구세에 해당한다고 볼 수 있는 부담금 제도가 다양하게 운용되고

있다.

피구세에 대해 그림을 통해 좀 더 자세하게 설명하도록 하겠다. 경제활동 수준과 그에 따른 편익 및 비용을 나타내는 그림 32를 살펴보자. 만일 환경에 대한 피해를 유발하는 활동수준의 각 단위에 대해 조세를 부과할 수 있다면, 즉 온배수 배출량 단위당 조세를 부과할 수 있다면, 단위당 t^* 수준의 조세를 부과될 때 총 조세액은 t^*Q 이므로 MNPB곡선은 $(MNPB - t^*)$ 으로 변하게 된다.

말하자면 경제활동의 각 단위에 대해 t^* 만큼의 조세를 부과하는 경우, 그로 인해 한계 순 편익은 조세부과액 만큼 감소하게 된다. 그렇다면 사적 순 편익의 극대화를 추구하는 온배수 배출자로서는 스스로 자신의 경제활동 수준을 Q^* 로 조정해 나가게 될 것이다. 이때 사회적으로 최적인 경제활동 수준은 Q^* 이므로 t^* 의 조세부과는 최적 조세(optimal tax)라고 할 수 있다. 그런데 이러한 최적조세수준 t^* 는 MNPB와 MEC가 일치하는 수준에서의 비용 또는 편익의 크기라고 할 수 있으며, 바로 최적 피구세의 정의에 부합한다. 즉, 최적 온배수 배출수준에서의 한계적인 배출의 피해 또는 한계외부비용이라 할 수 있다.

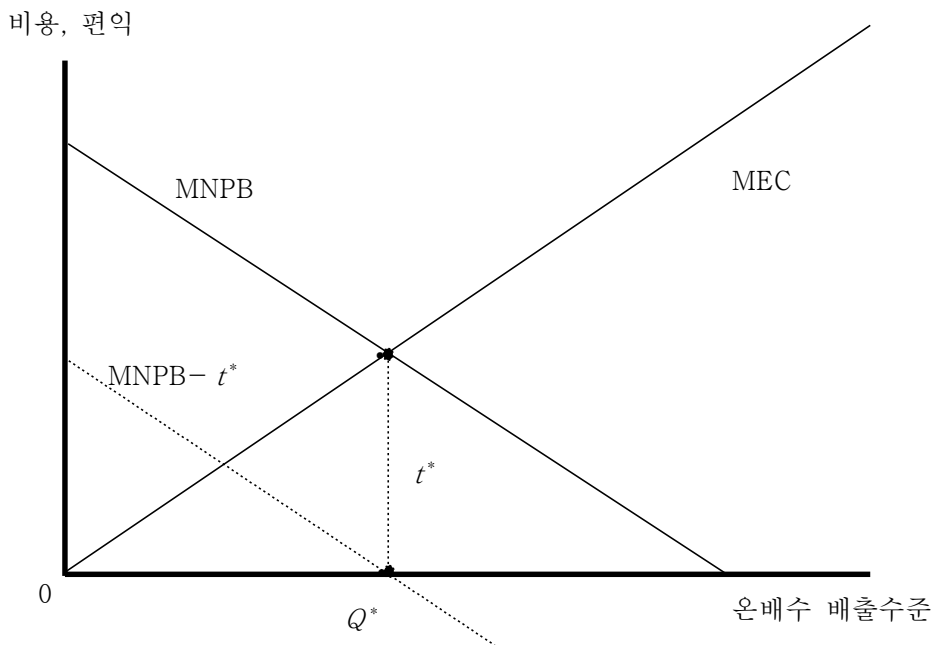


그림 32. 조세를 통한 외부성의 시정.

경제활동으로 인한 온배수 배출은 부정적인 피해를 유발할 수 있는데, 이때 온배수 배출량 수준과 이로 인한 피해 또는 피해의 화폐액 간의 관계를 나타내는 개념을 피해함수(damage function)라고 한다. 즉, 피해함수란 경제활동으로 인해 온배수가 배출되고 이로 인해 물리적 피해가 발생하고 그에 따른 피해를 화폐가치로 나타낸 개념이다. 피해함수는 앞서 언급한 외부비용함수와 같다. 우리가 최적의 배출량 수준을 찾아내기 위해서는 일단 이러한 피해함수를 알아낼 필요가 있다. 피해함수가 구해진 후에는 그로부터 한계피해곡선을 도출해 낼 수가 있다. 그러나 배출수준을 최적 수준으로 유도하기 위해서는 한계피해곡선 이외에 사적인 순 편익을 나타내는 MNPB 곡선도 정책입안자가 알고 있어야 한다.

일반적으로 말하자면, 경제활동의 주체, 즉 온배수 배출자는 기업이므로 MNPB 곡선에 대한 정보 역시 기업활동과 관련된 것이기 때문에 외부에서 쉽사리 얻기 힘들기 마련이다. 실제로 많은 경제학자들 역시 조세의 부과주체인 정부는 이러한 정보를 쉽게 획득할 수 있는 입장은 아니라고 생각하고 있다. 따라서 규제당국과 배출자 간에는 정보의 불균형 문제가 야기되며, 이러한 사실은 정부의 개입에 반대하는 측의 논거로 지적되고 있기도 하다. 그러나 이러한 정보의 문제는 일체의 개입을 부정할 정도로 심각한 것은 아니며, 현실에서 환경에 대한 정부의 개입과 관련된 측면에서 보자면, 위와 같은 이론적 논의가 환경정책에 있어서의 올바른 방향을 제시해주고 있는 것이다.

다. 최적 피구세에 대한 수학적 분석

순 사회적 편익(NSB)을 오염물질의 배출행위로부터 야기되는 총편익의 크기에서 사적인 비용과 외부비용(EC)을 차감한 부분으로 정의해보면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$NSB = PQ - C(Q) - EC(Q) \quad (7)$$

여기서 P 는 산출물의 가격, Q 는 산출 또는 온배수 배출행위를 나타낸다. 이때, 순 사회적 편익을 최대화하기 위한 1계 필요조건을 구해보면 다음과 같다.

$$\frac{dNSB}{dQ} = P - \frac{dC}{dQ} - \frac{dEC}{dQ} = 0 \quad (8)$$

사적 비용과 외부비용의 합을 사회적 비용(SC, social cost)라 정의하고, 이 식을 조금 다르게 써 보면 다음과 같다.

$$P = \frac{dC}{dQ} + \frac{dEC}{dQ} = \frac{dSC}{dQ} \quad (9)$$

또한 식 (9)를 다시 써 보면 다음과 같다.

$$P - \frac{dC}{dQ} = \frac{dEC}{dQ} \quad (10)$$

또는

$$\frac{dNPB}{dQ} = \frac{dEC}{dQ}, \quad MNPB(Q) = MEC(Q) \quad (11)$$

NPB 는 가격에서 사적인 비용을 제외한 순 사적 편익을 의미한다. 식 (8)은 생산된 제품의 가격이 그것을 생산하는데 따른 추가적인 사회적 비용과 일치되어야 함을 의미한다. 식 (11)은 한계 순 사적 편익이 한계외부비용과 일치해야 함을 의미한다. 식 (9)를 이용하면, Q^* 를 달성할 수 있는 최적 조세의 크기(t^*)는 다음과 같다.

$$t^* = \frac{dEC}{dQ^*} \quad (12)$$

Q^* 는 식 (8)을 통해 도출된 생산수준을 말한다. 이 경우 생산물의 가격은 다음과 같이 된다.

$$P = \frac{dC}{dQ^*} + t^* \quad (13)$$

따라서 사회적으로 최적인 수준의 온배수 배출량인 Q^* 를 달성하기 위해 피구세를 부과할 때 가격이 t^* 만큼 오르는 것은 사회적으로 바람직할 수 있다. 즉 온배수 배출에 대해 부담금제도의 도입 등으로 피구세를 매길 때, 이로 인해 전기요금이 인상을 초래한다 하더라도 사회적으로 볼 때는 피구세를 도입하는 것이 바람직한 것이다.

라. 배출기준제도와 조세제도의 비교

현재까지도 환경오염에 대한 가장 일반적인 규제수단은 바로 환경에 대한 기준설정(standard setting)을 통한 규제이다. 이러한 배출기준제도는 오염물질의 허용 집적 수준의 설정 또는 환경에 위해를 미치는 행동의 직접적인 허용기준의 마련 등을 그 대상으로 한다. 이러한 배출기준제도는 우연이 아니고서는 경제적 효율성을 달성가능한 해결책을 제시할 수 없다는 데 문제가 있다. 그림 33을 통해 이 점을 살펴보도록 하겠다.

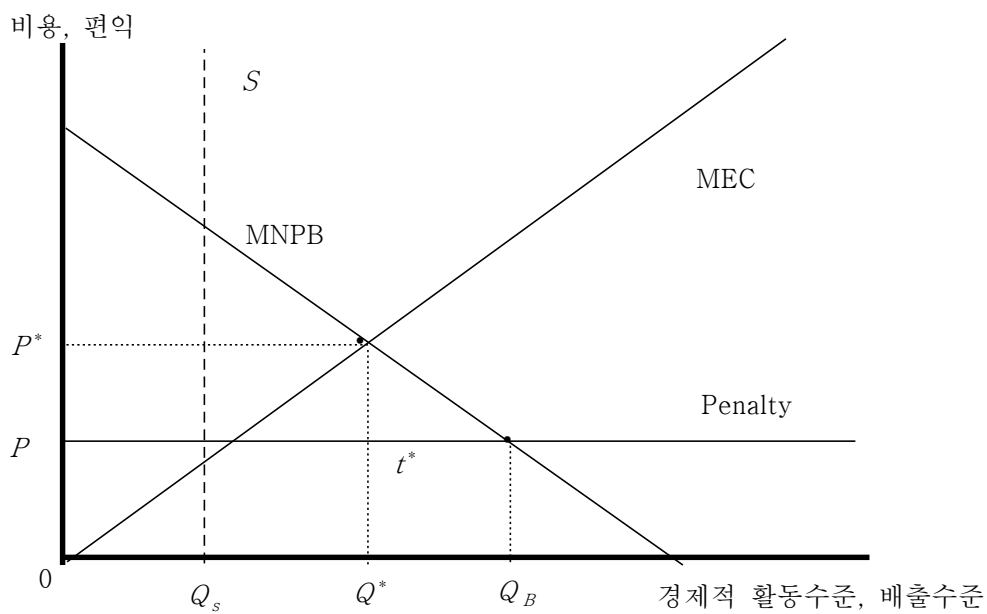


그림 33. 배출기준제도와 조세제도의 비교.

여기서의 배출기준 수준 S 는 경제활동수준 Q_s 에 대응되도록 설정되어 있다. 물론 이러한 기준설정에는 이를 감시·감독하는 기구의 존재를 포함하고 있으며, 위반 시에는 제재할 수 있는 수단도 마련되어 있다. 이제 위반에 대한 제재, 즉 벌금(penalty)의 수준을 P 라고 하자. 이 때, 기업의 경제활동수준은 Q_s 로 설정되어 있으나 실제로 이러한 수준이 유지될 수는 없다. 왜냐하면 오염을 배출하는 측면에서는 Q_s 를 크게 상회하는 Q_B 수준의 경제활동을 하려고 하는 유인이 충분히 존재하기 때문이다.

즉, Q_B 이하에서는 Q_B 까지의 모든 위반으로 인한 제재의 액수보다도 배출을 통한 사적 순편익이 더욱 크기 때문이다. 말하자면 오염의 배출자 측면에서는 Q_B 이하로 배출할 이유가 없는 것이다. 반대로 Q_B 이상의 배출수준에서는 추가적인 배출을 통한 사적 편익보다 위반에 대한 제재의 크기가 더 크기 때문에 Q_B 이상의 배출은 이루어지지 않게 된다. 뿐만 아니라 Q_s 이상을 배출하는 모든 위반자가 반드시 적발된다는 보장은 없으며, 설령 적발될 가능성이 항상 100%라고 가정하더라도 경제활동은 Q_B 에서 이루어지게 되는 것이다. 만일 이러한 기준제도를 통해 경제활동을 사회적 최적 수준인 Q^* 에서 규제하고자 한다면, 첫째, 언제나 확실한 적발능력을 규제당국이 보유하고 있어야 하며, 둘째, 제재의 수준은 Q^* 의 경제활동에 대응하는 P^* 로 책정되어야 한다는 것을 알 수 있다.

이러한 논의를 전제로 하여 조세제도와 배출기준제도를 비교해 보면 다음과 같다. 첫째, 환경오염에 대한 조세제도는 배출기준제도에 비해 동일한 배출기준 수준을 달성하는 데 있어서 사회 전체적으로 더 낮은 비용이 소요되는 방안이라고 할 수 있다. 둘째, 정보에 대한 불확실성이 존재하는 경우에는 상대적으로 조세제도가 우월한 경우, 양자가 동일한 결과를 가져오는 경우, 그리고 반대로 배출기준제도가 상대적으로 우월한 경우 등이 각각 가능하다. 이를 그림으로 설명하면 그림 34와 같다.

만약 규제당국이 잘못 추정된 MNPB(false) 곡선을 이용하여 배출량에 대한 규제를 가한다고 가정해보자. 이 경우에는 경제활동 수준, 즉 배출기준을 Q 로 정하여 정책을 시행하게 될 것이다. 사실 사회적으로 가장 바람직한 수준은 Q^* 인데 Q 로 규제함에 따라 $\triangle abc$ 만큼 사회적 후생은 손실되게 된다. 한편 단위당 t 의 조세를 부과하여 환경규제를 가하게 되는 경우에는 기업의 이윤극대화 조건에 의해 경제적 활동수준은 Q' 이 될 것이다. 이때 사회적 최적 수준 Q^* 가 아닌 Q' 수준에서 경제적 활동이 이

루어짐에 따라 발생하는 사회적 후생의 감소분은 $\triangle bde$ 이다.

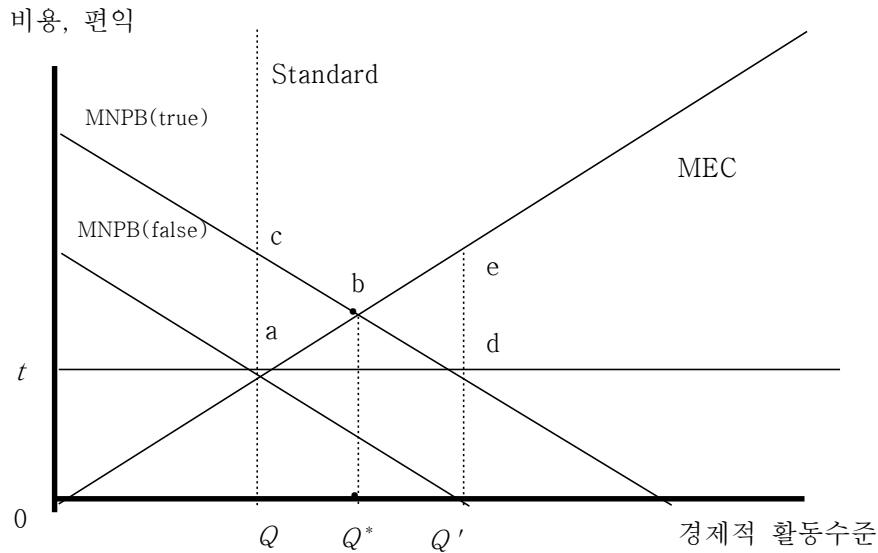


그림 34. 불확실성이 존재할 때의 두 기준의 후생감소효과.

배출기준규제 적용시의 사회적 후생 손실분 $\triangle abc$ 와 환경세 부과시의 사회적 후생 손실분 $\triangle bde$ 는 정확하게 일치한다. 물론 우연히 서로 같도록 그림 26은 작성되었다. 그림 26은 정책시행에 있어서 불확실성이 존재하는 경우에 두 가지 규제정책이 동일한 결과를 가져오는 예를 보여주고 있는 것이다. 만일 MEC 곡선과 MNPB 곡선의 상대적 기울기가 큰 차이를 보이는 경우에는 결과적으로 이론적 측면에서 배출기준제도가 조세제도보다 우월할 수도 있고 열등할 수도 있음을 알 수 있다. 통상 각 규제정책을 입안하는 단계에서, MNPB 곡선을 정확하게 추정하기란 매우 어렵다. 또한 MEC 곡선과 MNPB 곡선의 상대적 위치조차도 파악하기 어려운 것이 현실이라 할 수 있다. 다만 규제정책의 확실한 집행이 보장된다고 하면, 배출기준제도가 환경세제도에 비해 더 많은 정보를 요구한다.

셋째로 동태적 효율성의 측면을 고려해 볼 수 있다. 규제받는 기업의 입장에서 볼 때, 배출허용기준을 만족시키고 있는 한도 내에서는 기업은 결코 환경피해를 저감하고자 하는 자발적 유인을 가지지 않게 된다. 왜냐하면 그러한 한도 안에서는 어떠한

제재수단도 발동되지 않기 때문이다. 그러나 조세제도 하에서는 최적수준의 오염물질을 배출하는 기업에게도 그에 따른 조세가 부과된다. 따라서 이러한 부담은 기업으로 하여금 더 낮은 비용으로 오염을 저감시킬 수 있는 신기술개발의 유인으로 작용하게 된다.

마지막으로, 행정집행에 따른 비용문제를 통해 양자를 비교해 볼 수 있다. 경제행위를 감시하고 이에 대해 위반이 발생하는 경우에 경제적 제재를 가하거나, 또는 기업의 생산에 따라 조세를 징수하는 방법 모두 일정한 행정비용이 수반되지 않고는 이루어질 수 없는 정부의 활동이다. 조세를 통한 해결방안에 있어서는 그 징수비용이 문제될 수 있다. 그러나 배출기준제도를 설정하고 시행하는 데에도 역시 상당한 감시·감독에 따른 행정비용과 위반시에 이루어지는 제재에 따른 집행비용이 수반된다. 따라서 이러한 문제를 전체적으로 고려한다면 결코 배출기준제도가 조세를 통한 해결방안에 비해 더 적은 행정비용이 소요된다고 단언할 수는 없다.

2. 온배수 배출 규제를 위한 정책수단

앞에서 사회적으로 최적인 온배수 배출수준을 달성하는 수단으로 배출기준제도와 조세제도에 대해 간단하게 살펴보았다. 본 소절에서는 이를 좀 더 확대하여, 온배수 배출 규제를 위한 정책수단을 크게 규제적 접근법(regulatory approach)과 시장친화적 접근법(economic incentive approach)으로 구분한 다음에 각각의 내용과 장단점에 대해 논의하고자 한다. 그림 35는 온배수 배출 규제의 4가지 정책수단을 제시하고 있다. 배출기준 설정을 통한 직접 규제는 규제적 접근법에 해당하며, 조세(부담금), 보조금, 배상청구권/배출권 거래시장은 시장친화적 접근법에 해당한다.

가. 규제적 접근법

정부가 자연자원 등 환경재화의 사용 기준을 설정하고 이것이 준수될 것을 경제주체에게 강요하는 직접적 규제방식을 명령 및 통제(C&C, Command and Control)에 의한 방식이라 한다. 정부가 오염물질의 배출량이나 배출형태에 대해 기준을 만들고 이를 준수하지 않을 때, 법적·행정적 제재를 가하는 방식이다. 규제정책은 정부가 오염과 피해에 대한 모든 정보를 입수하고 이의 배출기준을 설정하며 그 결과를 감시하는 것으로 통상 C&C 방식으로 불린다. 규제정책 목표의 달성을 위해서 정부는 오염뿐 아니라 오염유발자에 대한 정보를 필요로 하며, 통상 표 25와 같이 3가지 기준으로

분류한다. Kerry et al.(1994)에 따르면, 3가지 기준 중에서 환경적 기준과 편익적 기준에 의한 오염통제가 기술적 기준의 오염통제보다 효율적이다.

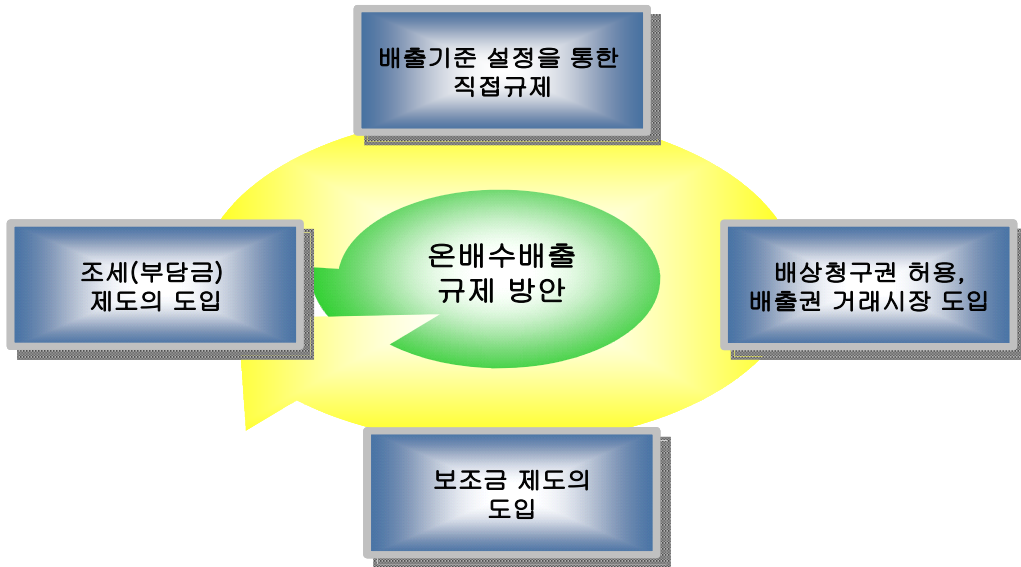


그림 35. 온배수 배출 규제의 4가지 정책수단.

표 25. 규제적 접근법 시행을 위한 기준.

구 분	내 용
기술적 기준	기술적으로 검출과 배출억제가 가능한 정도의 오염 통제
환경적 기준	인체에 영향을 주지 않는 특정 수준의 오염정도에 도달하기 위한 오염통제
편익적 기준	정부가 비용과 편익에 대한 명확한 정보가 있을 경우 이를 기준으로 한 오염통제

규제적 접근방법은 가장 보편적인 정책 수단이지만 이에 따른 문제점도 적지 않다. 첫째, 가장 기본적인 문제점은 오염을 배출하는 기업들의 비용조건이 서로 다르기 마련인데 이를 제대로 반영하지 못한다는 것이다. 오염 배출에 따른 수익성이 다를 경우, 일률적으로 양적 제재를 가하는 것은 사회적으로 비효율적이다. 왜냐하면 개별기업의 경우 사회적 최적 생산량은 각 기업의 한계수입과 사회적 한계비용이 일치하는 지점에서 이루어지므로 개별기업의 최적 생산량은 다를 수밖에 없는데, 일률적으로 규제를 할 경우, 최적 생산보다 과대생산이나 과소생산이 이루어질 수 있다.

둘째, 다양하고 복잡한 규제의 내용을 그대로 집행하는 것은 피규제자의 담합에 의한 비효율의 문제 등으로 엄청난 행정비용과 비효율 및 탈법의 소지를 가지고 있다는 것이다. 이런 관점에서 최근에는 생산자, 소비자에게 경제적 유인을 주어 행동을 유도하는 경제적 유인정책으로 전환되고 있는 실정이다. 이렇게 C&C 방식은 전형적인 비경제적·비시장친화적 정책 수단이라는 데 합의가 이루어져 있으나 정책운용의 편리성 때문에 아직도 널리 사용되고 있다.

나. 경제적 유인정책

시장메커니즘에 의한 방식은 정부가 환경재화의 사용에 적절한 세금 등을 부과하여 소비자로 하여금 환경재화의 사용이 그리 매력적이지 않도록 유인하는 방식이다. 적어도 수요곡선이 탄력적인 부분에 대해서는 조세를 통해 환경재 이용의 감소를 유도할 수 있어 시장유인정책이라 할 수 있다. 보조금 정책은 반대로 기업들에게 오염물질 배출방지시설을 갖추는 데 일정액을 보조함으로써 사회적 최적 수준에서 생산이 이루어지도록 하는 것이다. 시장메커니즘 방식의 경우 정책기능상 통제기능이 제외됨으로써 C&C 방식에 비해 행정기능이 훨씬 단순화된다는 장점을 가진다.

경제적 유인정책은 현재 가격이 부과되지 않았거나 비용에 포함되지 않은 환경재화에 대해 적절한 가격 혹은 비용을 부과함으로써, 이제까지 비경제적영역에 머물렀던 자연자원의 가치를 경제적 영역으로 이동시키는 것이다. 정부는 생산자와 소비자로 하여금 자원의 지속 가능한 이용을 유인하기 위해 경제적 유인책을 사용하며, Kerry *et. al.*(1994)는 경제적 유인책을 표 26과 같이 세 가지 형태로 분류하였다.

생태계 훼손을 최소화하고 환경의 지속가능한 이용을 도모하기 위한 방법론으로 경제협력개발기구(OECD)를 비롯한 세계 각국에서는 그 동안의 규제적 접근법에서

시장유인적 접근법으로 정부정책의 선회를 유도하고 있다. 특히 환경보전을 위한 대표적 시장유인정책으로 제시되는 환경세는 오염물질 배출에 대한 피구세의 부과를 통해 가격이 매겨지지 않는 자연자원에 적절한 가격을 부과하는 것으로 오염원의 감소를 목적으로 하고 있다.

표 26. 오염규제를 위한 경제적 유인책 3가지

구 분	내 용
오염세(pollution taxes)	가격 또는 비용에 대해 직접 작용하여 환경재를 이용한 생산과 소비를 줄이는 것으로 모든 환경정책의 약 50%가 이 분야에 해당함
보조금(subsidies)	기업에 대한 보조금, 연성차관(soft loan) 등 금융 및 재정적 유인정책을 통해 가격 또는 비용에 간접적으로 작용하는 것으로 모든 환경정책의 약 30%가 이 범주에 해당함
배출권 거래시장	배상청구권 또는 배출권 거래의 허용 등을 통해 오염시장을 조성하는 것으로 모든 환경정책의 약 20%가 이 범주에 해당함

다. 접근법의 비교

규제적 접근법과 시장유인적 접근법을 비교해 보면 첫째, 규제적 접근법은 직접규제 방식이며, 시장친화적 접근법은 간접규제 방식이다. 둘째, 규제적 접근법은 명령과 통제 방식을 사용하며 시장친화적 접근법은 시장메커니즘을 이용한다. 셋째, 규제적 접근법은 예방적인 차원에서 최적 배출량을 달성하고자 하며, 시장친화적 접근법은 비용 대비 편익의 관점에서 최적 배출량을 달성하고자 한다. 넷째, 규제적 접근법에서 정의하는 오염은 환경계 내에서 인간에 의해 방출되는 각종 유해폐기물이라는 물질적 오염을 의미하지만, 시장친화적 접근법에서는 오염을 인간 후생의 손실을 야기하는 폐기물의 존재라는 경제적 오염으로 정의한다. 다섯째, 행정의 복잡성이란 관점에

서 규제적 접근법을 시행하기는 매우 복잡하며, 시장친화적 접근법을 적용하기는 규제적 접근법보다 용이하다(표 27).

표 27. 규제적 접근법 대 시장친화적 접근법

기 능	규제적 접근법	시장친화적 접근법
규제의 방식	직접적 규제	간접적 규제
적용방식	명령과 통제	시장메커니즘
목표달성수단	예방적인 접근	비용-편익적 접근
오염의 정의	물질적 오염	경제적 오염
행정의 복잡성	매우 복잡	보통 이하
오염자부담원칙	부분적으로 적용 (법적으로 허용된 오염배출에 대해서는 부담하지 않음)	발생 총량 적용
적용 정책수단	환경기준의 설정 및 적용	환경세, 보조금, 배출권 거래, 배상청구권

마지막으로 오염자부담원칙(PPP, Polluter-Pays Principle)의 적용이란 관점에서 두 접근법을 비교한다. 다음 소절에서 좀 더 자세하게 논의되겠지만, 오염자부담원칙은 환경보존을 위한 경제적 원칙으로 1972년 OECD에 의해 채택되었으며, 최종 생산물의 가격에는 생산에 소요된 유무형의 총 가치가 모두 포함되어야 한다는 개념이다. 규제적 접근법의 경우 설정된 오염기준까지는 오염배출에 대한 법적 책임이 없으며 기준치 이상에 대해 적용함으로써 오염자부담원칙이 부분적으로 적용된다. 반면에 시장친화적 접근법의 경우 오염배출량에 비례해서 세금이 부과되므로 자신이 배출한 전체 오염량에 대해 오염자부담원칙이 적용된다.

3. 오염자 부담원칙

가. 오염자부담원칙의 개요

1972년과 1974년의 OECD 권고안에 따르면 ‘오염자부담원칙’이란 오염예방과 그에 따른 각종 조치에 드는 비용을 오염자가 부담해야 한다는 것을 말한다. 여기서 오염에 대한 조치라 함은 환경을 적정상태로 유지하기 위해 공공당국에 의해서 결정된 수

단을 의미한다. 다시 말해서, 이 원칙은 오염자는 오염원으로부터의 오염물질의 배출 감소, 오염배출시설로부터의 오염유출에 대응한 복합적인 대응수단 등의 환경보호를 위한 조치에 따른 각종 비용을 반드시 부담해야 한다는 것이다. 일반적으로는 오염자는 자신으로부터 기인하게 되는 모든 오염에 대해 예방과 제거에 드는 각종 비용을 부담해야 함을 의미한다. 즉, 오염자는 오염물질의 배출을 억제하는 데 있어서 각종 보조금 및 세금공제 등의 여타 보조적 수단의 혜택을 받아서는 안 된다고 할 수 있다.

여기서 예외적 상황으로 인정된 경우로는 오염저감에 대한 연구개발(R&D)을 위한 지원과 특수하게 새로운 오염저감방법을 사용해야만 하는 오염자에 대한 혜택이 이에 해당될 수 있다. 후자의 경우에는 지원에 대해 일정기간 동안 한시적이고, 이에 대한 사회적 요청이 존재하고, 이러한 지원조치들이 국제무역과 투자에 심각한 왜곡을 야기해서는 안 된다는 제한이 존재한다.

현재 기존의 공장과 같은 오염원에 대한 지원은 과거에 비해 덜 이루어지고 있으나, 일부 경작관행에 의해 야기된 오염물질의 저감을 위한 농업부문에 대한 지원정책은 많은 관심을 끌고 있는 실정이다. 그리고 더욱 일반적으로 전지구적 차원에서의 노력이 필요한 분야(예를 들어 오존층보호)에 대한 오염자부담원칙의 예외에 대해 상당한 논의가 이루어지고 있는 상황이라 할 수 있다.

이러한 논의뿐만 아니라 현재는 법적·제도적으로 규정된 수준의 저감노력을 넘어서 오염에 대한 예방적 조치와 감소노력을 하고자 하는 오염자에게도 지원이 이루어질 수 있도록 하자는 추세로 발전되고 있다. 이러한 접근방향은 당초 1972년의 OECD 권고안과 상치되지는 않지만, 그 당시에는 미처 예상하지 못한 것이라고 하겠다. 1972년에 정의된 오염자부담원칙은 지금까지 더욱 일반화되고 확대 발전되어 오고 있으며 이 원칙은 당초 부분적인 내부화의 원칙으로부터 시작해 완전한 내부화의 원칙으로 확장되어 온 것이다.

나. 행정적 조치에 따른 비용의 포함

오염자부담원칙은 오염저감을 위해 오염자가 취하는 수단과 본질적인 관련을 맺고 있었다. 그 이후 이 원칙은 오염자가 오염물질의 배출결과와 관련해 이의 처리에 소요되는 행정적 수단에 대한 비용부분에도 책임이 존재한다는 방향으로 확장되었다.

1975년 폐기물에 관한 EC이사회규정 및 유독성 폐기물에 관한 1978년도 규정에서 정부가 취한 특정 조치(예를 들어 분석, 감시 등 특정 오염행위와 관련해서 직접적으로 비용이 발생하는 조치)에 대한 오염자의 지불의무를 규정하고 있다. 따라서 이러

한 배출과 관련된 행정비용은 행정당국에 의해 오염의 유발자에게 청구될 수 있는 것이다. 이와 유사하게 대기오염의 측정을 위한 지역감시체계에 따른 비용 역시 특정지역에서 그러한 오염물질을 유발하는 경제주체에게 청구가 가능한 것이다.

다. 피해비용의 포함여부

현재 오염의 피해와 관련된 비용까지도 오염자부담원칙에 포함될 수 있도록 동 원칙을 적극적으로 확대하려는 움직임이 진행 중에 있다. 환경을 유지하기 위해 정부당국이 설정해 놓은 예방수단을 시행하지 못한 오염자 측에서는 분명 그에 상응하는 책임이 존재하고 환경오염으로 인해 피해를 입은 측에 대해서 보상을 해주어야 함은 분명하다. 하지만 이에 따른 다음과 같은 문제점이 지적되기도 한다. 즉, 오염자 측에서 환경오염을 회피하기 위해 설정된 모든 조치의 이행을 다한 경우, 그 때에도 오염피해에 대한 보상을 해주어야 하는가의 문제가 제기된다. 현재의 관점에서 보자면 이에 대해 만일 오염정도가 중대하고 피해가 심각한 경우 오염자가 그에 대한 비용을 부담해야 한다고 할 수 있다. 이에 반해 오염정도가 미미하다면 그렇지 않다.

1991년 OECD가 채택한 「환경정책에서의 경제적 수단 사용에 관한 권고 C(90)177 Final」에 따르면 지속가능하고 경제적 측면에서 효율적인 환경자원의 관리는 오염예방, 통제 및 피해 비용의 내부화를 요구한다고 규정되어 있다. 이는 거의 20년 간에 걸친 논의의 결과로써 피해비용의 내부화 요구가 정식 규범의 형태로 구체화된 것이라 하겠다. 이러한 오염자부담원칙을 강화하는 일련의 경향으로 인해 오염자로 하여금 배출에 따른 보상을 요구하는 경제적 수단의 사용이 앞으로 더욱 늘어날 것을 알 수 있다. 실제로 적정수준의 배출부담금이나 환경세의 부과를 통해 환경피해로 인한 비용을 내부화할 수 있다.

라. 오염유출사고의 포함여부

당초 오염자부담원칙은 점차로 일정 수준 이하로 감소시킬 필요가 있는 지속적인 오염의 통제와 관련된 맥락에서 논의가 시작된 것이 사실이다. 그러나 이러한 논의는 점차 그 대상을 넓히게 되어 1988년 파리회의 폐막선언에서는 동 원칙이 사고로 인한 오염의 유출 부분까지 확대 적용될 수 있음을 확인되었고, 1989년 그러한 내용을 담은 권고가 채택되기에 이르렀다. 이에 따르면 오염유출사고를 예방하고 통제하기 위한 수단에 드는 비용을 잠재적인 유출자가 부담해야 한다고 규정하고 있다. 이와 유

사하게 실제로 일어난 유출사고의 원인자는 환경의 복구비용을 포함한 오염통제수단에 따른 비용을 부담해야 하는 것이다.

반면 지속적·만성적 오염에 대해서는 유출사고와 관련된 이 원칙의 적용에 있어서 일정한 예외가 존재하는 바, 오염자부담원칙의 취지는 원래 오염자로 하여금 “합리적”인 수단에 따른 비용을 부담하도록 해서, 환경피해에 관한 해결방안을 모색하여 가장 경제적으로 효율적인 판단을 채택하도록 하자는 데 있는 것이기 때문이다. 따라서 오염자부담원칙의 목적은 오염자에게 모든 종류의 공적 비용을 전가시키거나 또는 오염에 대한 대응방안을 갖지 못한 경제주체를 처벌하자는 것이 아니라 가장 효과적인 선택이 가능한 경제주체에게 재정적 부담을 배분하자는 데에 있다.

마. 내부화의 확대

앞서 언급한 바에 따르면, 오염자부담원칙은 점차로 오염에 따른 외부비용의 내부화 정도를 확대해 오는 방향으로 발전되어 온 것을 알 수 있다. 궁극적으로 이 원칙의 적용은 오염자로 하여금 모든 비용은 아니라 하더라도 오염으로 인해 유발된 피해의 상당부분을 부담하도록 하게 될 것이고, 이러한 원칙을 통해 환경오염에 대응한 경제적 수단 및 오염자부담원칙에 따른 각종 부담금 등의 조치가 확대되고 있다.

비록 오염자가 비용을 최초로 부담한다고 하더라도, 통상 오염에 대한 비용은 생산물의 가격이나 보험제도를 통해, 또는 다른 잠재적 오염자와의 비용분담을 통해 환경에 대해 책임이 있는 모든 경제주체에게로 비용의 전가가 이루어지게 된다. 이에서 알 수 있듯이 오염자부담원칙의 적용이 반드시 법적 책임을 의미하는 것은 아님에 유의해야 하는데, 왜냐하면 이 원칙은 앞서도 언급된 바와 같이 법적 측면에서 오염에 대해 책임을 지는 경제주체를 지적하려는 것이 목적이 아니기 때문이다. 만일 오염자가 일단 확인된 경우, 오염자는 오염과 관련된 비용을 피해자 측에게 보상하게 되지만, 추후 실제로 오염과 관련해서 책임이 있는 측에 대해 그 비용을 전가할 가능성이 존재하는 것이다. 따라서 동 원칙 하에서 오염자는 최초로 보상을 하게 되지만 오염에 대한 법적 책임을 지는 주체는 아닌 것이다.

바. 오염자부담원칙을 적용한 국내 사례

1). 환경개선부담금

환경개선부담금이란 유통·소비과정에서 환경오염물질의 다량배출로 인하여 환경오염의 직접적인 원인이 되는 시설물의 소유자 또는 점유자와 자동차의 소유자로부터 부과·징수하는 부담금을 말하고 있다. 일반적으로 정부의 환경정책 수단은 직접규제방식과 간접규제방식으로 나뉠 수 있는바 여기서 말하는 간접규제는 경제주체에게 경제적 동기를 부여하여 오염의 원인으로 하여금 자발적으로 오염저감을 하도록 유도하는 방식을 의미한다.

여기서 고찰하고 있는 환경개선부담금제도는 경제적 유인제도를 통한 간접규제의 일환으로 ① 유통과소비부문을 대상으로 ② 오염자부담원칙을 적용하고 있으며, ③ 총량부과방식을 통해 환경투자에 대한 효과적인 재원마련과 동시에 오염저감을 유도하기 위해 실시되고 있다. 즉, 생산과 제조부문에 대해서는 통상적인 직접규제방식에 의해 오염물질의 배출규제가 이루어지고 있는 반면, 별다른 환경에 대한 고려가 미흡했던 유통과 소비분야에까지도 환경정책의 관리대상을 확대하려는 의지가 반영된 제도라고 할 수 있다. 뿐만 아니라 환경개선사업의 추진에 따른 비용을 조달하기 위해 오염의 원인자로부터 재원을 마련하는 오염자부담원칙을 적용하고 있다.

유통·소비과정에서 오염물질을 배출하여 환경오염의 직접적인 원인이 되는 시설물로서 점포·사무실·수상건물 등 지붕과 벽 및 기둥이 있는 건물로서 각층 바닥면적의 합계가 160제곱미터 이상인 건물이 부과대상이다. 공동소유 시설물의 경우에도 각층 바닥면적의 합계가 160제곱미터 이상이면 공동소유자수 및 1인지분면적과 관계없이 부과되도록 규정하고 있다. 자동차의 경우 자동차관리법의 규정에 의하여 등록된 자동차가 부과대상이 된다. 공장 등 생산·제조부문의 시설물과 삼원축매장치 부착 등 이미 원인자부담을 하고 있는 휘발유 사용 자동차는 부과대상에서 제외되고 있으며, 외국정부 소유의 시설물과 자동차, 단독주택·공동주택 등 주거용 시설물은 부과가 면제되고 있다.

환경개선부담금의 산정기준 및 방법은 오염자부담원칙에 근거하여 당해 시설물에서 배출되는 수질 및 대기 오염물질의 배출총량을 감안하여 산정하고 있으며 계약적인 산정방법은 표 28과 같다.

2). 배출부과금제도

배출부과금제도는 본래 오염물질의 배출을 경제적 유인수단에 의하여 오염자가 스스로 억제하도록 유도하는 정책수단의 하나로서 오염물질의 배출 정도에 따라 부과금을 부과함으로써 오염물질 배출의 외부비용을 배출업자가 부담하도록 하는 제도가

다. 현재 우리나라에서 채택하고 있는 배출부과금제도는 이와는 약간 상이한 성격을 가진 제도로서 정부가 외생적으로 환경기준을 설정하고, 오염물질의 배출정도에 따라 표 28. 환경개선부담금의 부과대상 및 산정기준

부과대상		명칭	산정기준
시설물	대기오염물질을 배출하는 경우	대기환경개선부담금	연료사용량 * 단위당 부과금액 * 연료계수 * 지역계수
	수질오염물질을 배출하는 경우	수질환경개선부담금	용수사용량 * 단위당부과금액 * 오염유발계수 * 지역계수
자동차	경유자동차의 소유주에게 부과	자동차개선부담금	대당기본부과금액 * 오염유발계수 * 차령계수 * 지역계수

부과금을 부과하여 오염자 스스로 배출량을 법적 기준에 맞추도록 유도함으로써 오염물질 배출로 인한 사회적 비용을 최소화하려는 성격을 가지고 있다.

현행 배출부과금제도는 생산과정에서 발생하는 대기 및 수질오염물질을 그 대상으로 삼고 있으며, 오염자부담원칙에 입각한 환경정책기본법 제7조(자기의 행위 또는 사업활동으로 인하여 환경오염의 원인을 야기한 자는 그 오염의 방지와 오염된 환경의 회복 및 피해 구제에 소요되는 비용을 부담함을 원칙으로 함)가 근거법령이라고 할 수 있다. 배출부과금제도는 앞에서 언급한 환경개선부담금제도와 더불어 환경기준을 유지하기 위하여 필요한 환경개선비용의 최소화를 위한 오염자부담제도로서의 성격을 기본적으로 보유하고 있다.

그러나 현행의 배출부과금제도는 이러한 성격 외에 징벌적 성격도 함께 가지고 있다. 폐수배출부과금의 경우 폐수의 배출규제와 관련하여 배출허용기준을 준수하기 위한 각종 행정규제수단과 함께 보조적인 수단으로 사용되고 있으며, 대기배출부과금 역시 사업장의 대기오염물질 배출을 규제하기 위한 행정조치와 함께 사용되고 있다. 현행 제도는 농도기준을 설정하고 기준 이상의 배출업체에 대하여 벌과금을 부과하는 직접규제의 형태를 띠고 있어, 오염억제 및 재원조달의 효과면에서 문제가 있다는 비판도 있다.

배출부과금은 대기 및 수질분야에 부과되는데 초과부과금(처리부과금+종별부과금)과 기본부과금으로 나뉘어져 다음과 같이 산정된다.

□ 기본부과금 : 배출허용기준이내 배출량(일일평균기준이내 배출량 * 조업일수) * 오염물질 1kg당 부과금액 * 지역부과계수 * 연도별 부과금 산정계수 * 농도별 부과계수(대기)(수질의 경우 방류수수질기준 초과율별 계수)

□ 초과부과금 : 처리부과금(오염물질 1kg당 부과금액 * 배출허용기준초과 오염물질배출량 * 배출허용기준 초과율별 부과계수 * 지역별 부과계수 * 연도별 부과금 산정계수 * 위반횟수별 부과계수) + 종별부과금(사업장 규모에 따라 상이)

4. 관련 부담금제도 검토

여러 가지 목적에 의해 정부에서 시행하고 있는 부담금제도는 매우 다양하다. 따라서 모든 부담금제도에 대해 검토를 하는 것보다는 (가칭)온배수배출부담금 제도의 도입과 관련하여 참고할 수 있는 환경관련 부담금 제도만을 추려서 살펴보고자 한다. 특히 각 부담금제도의 법적 성격, 부담금의 유형 및 현황, 징수주체, 부과대상 등에 대해 검토할 것이다.

가. 현행 부담금제도의 의의, 법적 성격, 유형

부담금이라 함은 국가 또는 공공단체가 '특정의 공익사업'에 충당하기 위해 그 공익사업과 특별한 관계가 있는 자에 대하여 그 사업에 소요되는 경비의 전부 또는 일부를 충당하기 위하여 부과하는 공법상의 금전납부의무로 정의한다(김 1993, 이 1993). 부담금은 조세에 있어서 일반적인 재정책임인 납세의 의무를 능가하는 특별한 재정책임을 부담금 의무자에게 부과하는 것으로 납세의무를 초과하는 재정책임이 존재할 경우에 부과한다.

표 29에 제시된 바와 같이, 부담금은 공익사업과의 관계에 따라 수익자부담금, 원인자부담금, 손상자부담금으로 구분할 수 있다. 수익자부담금은 당해 공익사업으로부터 특별한 이익을 받는 사람에 대하여 그 수익의 한도 내에서 사업경비의 전부 또는 일부를 부담케 하는 것이다. 원인자부담금은 특정 공사의 시행을 필요하게 한 원인을 조성한 자에 대하여 그 공사비용의 전부 또는 일부를 부담시키는 것이다. 마지막으로 손상자부담금은 특정 공익사업의 시설에 손상을 주는 행위를 한 자에 대하여 그 시설

의 유지 또는 수선에 필요한 비용의 전부 또는 일부를 부담시키는 것이다. 만약 온배수배출부담금 제도가 도입된다면 이 제도는 원인자부담금에 해당한다.

표 29. 부담금의 유형 및 사례

종류	내용	사례
수익자부담금	당해 공익사업으로부터 특별한 이익을 받는 사람에 대하여 그 수익의 한도 내에서 사업경비의 전부 또는 일부를 부담케 하는 것	산림법(제64조), 방조제관리법(제7조), 집단에너지사업법(제18조), 하천법(제74조), 한국수자원공사법(제28조제1항), 항만법(제54조) 등에 규정된 부담금
원인자부담금	특정 공사의 시행을 필요하게 한 원인을 조성한 자에 대하여 그 공사비용의 전부 또는 일부를 부담시키는 것	원자력법(제85조제1항), 자원의절약과재활용촉진에관한법(제19조제1항), 하수도법(제32조제1항), 한국수자원공사법(제28조제3항), 하천법(제56조), 자연공원법(제31조), 수도법(제53조), 환경개선비용부담법(제9조, 제13조), 특정지역종합개발촉진에관한특별조치법(제24조제2항), 산업입지및개발에관한법률(제12조제1항), 도시교통정비촉진법(제21조제1항), 관광진흥법(제32조), 수도권정비계획법(제12조제1항) 등에 규정된 부담금
손상자부담금	특정 공익사업의 시설에 손상을 주는 행위를 한 자에 대하여 그 시설의 유지 또는 수선에 필요한 비용의 전부 또는 일부를 부담시키는 것	농어촌도로정비법(제21조), 도로법(제67조), 한국수자원공사법(제28조제2항), 항만법(제53조) 등에 규정된 부담금

나. 부담금의 부과 및 징수절차

부담금에 대한 부과절차는 개별 부담금에 따라 그 방법을 달리하고 있으나, 일반적으로 해당 사업을 관장하는 주무장관이 가지며, 권한을 위임받은 자에게 위임될 수 있다. 부담금의 징수절차도 개별 부담금에 따라 그 방법이 다소 상이하나, 일반적으로 부담금도 조세와 같이 공법상의 지급의무이므로 부담의무자가 스스로 그 의무를 이

행하지 않을 경우 행정상의 강제수단절차인 국세징수법 상의 체납절차에 따라 강제 징수할 수 있도록 규정하고 있다(표 30).

표 30. 원인자부담금의 부과 및 징수절차

부담금명	규정	부과절차	징수절차
원자력법에 의한 부담금	원자력법 제85조의3 동시행령 제234조의20	<ul style="list-style-type: none"> - 부담금의 납부를 명하고자 하는 경우에는 다음의 기한내에 납부금액, 납부기한 및 납부장소를 명시하여야 함 1. 발전용원자로운영자 : 매분기종료 1개월 이내 2. 1호외의 자 : 방사성폐기물의 인도후 15일 이내 	<ul style="list-style-type: none"> - 납부기한내에 납부하지 아니한 경우에는 10일 이상의 기한을 정하여 독촉 - 독촉을 받은자가 그 기한내에 납부하지 아니한 때에는 국세체납처분의 예에 따라 징수(법 제85조의3) - 독촉장은 납부기한이 경과한 날로부터 7일 이내에 발부하여야 함. 이 경우 납부기한은 독촉장 발부일로부터 15일 이내(영 제234조의20)
환경개선 부담금	환경개선비용 부담법 제9조 제4항, 동시행령 제20조	<ul style="list-style-type: none"> - 부과금의 부과·징수는 매분기별로 부과 - 부담금의 금액, 납기, 납부장소 등을 기재한 고지서를 납기개시 5일전까지 송부(영 제8조) 	<ul style="list-style-type: none"> - 납부기한내 납부하지 아니한 경우에는 10일 이상의 기한을 정하여 독촉 - 체납액에 대해서는 100분의5에 상당하는 가산금 부과 - 독촉받은 자가 그 기한내에 납부하지 아니한 경우 국세 또는 지방세체납처분의 예에 따라 징수 가능(법 제20조)
자원의 절약과 재활용에 관한 법률에 의한 부담금	법 제19조 제1항	<ul style="list-style-type: none"> - 제조업자는 전년도 제품출고실적을 매년 2월말까지 신고 - 동 실적에 산출기준을 적용하여 부담금을 산출해서 매년 3월31일까지 납부고지(분기별 납부 가능) - 수입업자는 제품의 수입승인 신청시 수입량에 따른 부담금을 자진납부 후 납입증서 제출(영 제20조) 	<ul style="list-style-type: none"> - 납부기한내 납부하지 아니한 경우에는 30일 이상의 기한을 정하여 독촉 - 체납액에 대해서는 100분의5에 상당하는 가산금 부과 - 독촉받은 자가 그 기한내에 납부하지 아니한 경우 국세체납처분의 예에 따라 징수 가능(법 제19조제4항)
환경오염 방지사업 비용부담금	법 제13조 제5항, 영 제19조 제1항	<ul style="list-style-type: none"> - 부과대상자에게 부담금 금액, 납부기간, 납부장소 기타 필요한 사항을 기재한 문서로서 통지하여야 함 	<ul style="list-style-type: none"> - 환경개선부담금과 동일

다. 부과대상(객체)

부담금의 부과대상은 ‘해당사업과 물적 관련을 갖는 자’로 규정한다. 수익자부담금의 경우에는 ‘사업에 의하여 수익을 받는자’, 원인자부담금은 ‘사업에 원인을 제공한 자’, 그리고 손상자부담금의 경우에는 ‘시설을 손괴시킬 수 있는 사업 또는 행위를 하는 자’ 등으로 규정한다. 원인자부담금의 부과대상에 대하여 현행법은 ‘비용발생의 원인을 제공한 자’ 또는 ‘공사 및 행위에 관한 비용을 부담하는 자’ 등으로 규정하고 있다. 표 31은 몇 가지 원인자부담금의 부과대상(객체)을 요약하고 있다.

표 31. 원인자부담금의 부과대상(객체)

부담금명	규정	부과대상(객체)
원자력법에 의한 부담금	법제85조제1항	발전용원자로 설치자 및 운영자, 연구용원자로 설치자 및 생산업자, 핵연료주기사업자, 핵원료 물질 사업자, 방사성동위원소 사용자 및 폐기업자로서 대통령령이 정하는 허용기준 이상의 방사성폐기물을 발생하게 하는 자
환경개선 부담금	법제9조제1항	유통이나 소비과정에서 환경오염물질의 다량 배출로 인하여 환경오염에 직접적인 원인이 되는 건물 기타 시설의 소유 또는 점유자 및 자동차 소유자
자원의절약과 재활용에 관한 법률에 의한 부담금	법제19조제1항	예치금 부과대상이 되는 제품·용기·특정대기 유해물질, 특정수질유해물질, 특정유독물을 함유하고 있거나 재활용이 어렵고 폐기물관리상의 문제를 초래할 우려가 있는 제품·재료 용기중 대통령령이 정하는 제품·재료·용기의 제조업자 또는 수입업자
환경오염방지 사업 비용부담금	법제13조제1항	당해지역에서 방지사업의 원인이 되는 사업활동을 하거나 할 것이 확실하다고 인정된 자

라. 부담금의 용도

부담금은 사업에 소요되는 경비를 충당하기 위하여 징수하는 것이므로, 그 사용 용도는 이에 국한되고 있다. 원인자부담금의 사용용도에 관하여 현행법은 부과대상사업의 직접적인 경비충당과 부담금부과대상사업 관련분야의 전체적인 경비충당을 위하여 사용하는 경우로 구분하고 있는데 환경관련 부담금은 주로 후자에 해당한다. 표 32는 몇 가지 원인자부담금의 용도에 대한 담고 있다.

표 32. 원인자부담금의 용도

부담금명	규 정	부담금의 용도
원자력법에 의한 부담금	법제85조 제1항	원자력 관계사업자가 그 사업활동으로 인해 생기는 방사성 폐기물을 안전하게 관리하기 위한 정부사업에 사용
환경개선 부담금	법제11조, 영제18조	수질개선에 관한 중기종합계획에 의하여 시행되는 대기 및 수질개선사업비의 용자 및 저공해기술개발연구비 지원, 자연환경보전사업비, 환경오염방지사업비, 환경기술개발비, 환경오염조사 및 분석비, 환경정책·연구·개발비의 지원 등
자원의 절약과 재활용에 관한 법률에 의한 부담금	법제19조 제3항	폐기물관리기금에 납부
환경오염 방지사업 비용부담금	법제14조, 영제23조	<ol style="list-style-type: none"> 1. 수질환경보전법 제25조의 폐수종말처리시설의 설치 및 운영 2. 공장 또는 사업장 밀집지역의 대기오염피해 방지를 위한 녹지형성, 중앙열공급시설 및 공용지 녹지의 설치 및 그 관리사업 3. 환경오염원인물질에 의해 피해가 발생한 농경지, 어장, 산림등에 실시하는 객토, 사토, 준설사업, 농업용시설개축사업 4. 특정사업자의 사업활동에 주로 이용되는 배수시설 설치사업 5. 환경오염으로부터 지역주민의 건강보호를 위해 실시하는 주택 기타시설 이전사업 6. 축산폐수공동처리시설, 일반 및 특정폐기물 공공처리시설 설치·운영사업, 오염하천의 정화를 위한 퇴적오니준설사업, 오염이 심한 연안해역의 퇴적오니 준설사업

마. 부담금 산정방법

부담금에 관하여 현행법은 부담금의 종류에 따라 그 산정방법을 달리 규정하고 있다. 일반적으로 원인자부담금의 경우에 원인이 되는 사업의 종류, 규모, 원인행위의 정도 등을 기준으로 정해지지만, 구체적인 산정방법은 개별법상 부담금의 종류에 따라 상이하다. 표 33은 몇 가지 원인자부담금의 산정방법을 제시하고 있다.

표 33. 원인자부담금의 산정방법

부담금명	규정	부과대상(객체)
원자력법에 의한 부담금	법 제85조 제2항, 영 제234조의19	방사성폐기물 발생자의 부담금 금액은 다음에 의함. 1. 발전용원자로 운영자는 원자로의 운전으로 생산된 전력량에 킬로와트시간(kwh)당 2.0원의 범위안에서 매년 과학기술처장관이 산업자원부장관과 협의한 후 위원회의 의결을 거쳐 정하는 요율 2. 발전용원자로 운영자외의 자는 다음의 구분에 의한 금액 가. 중저준위 방사성폐기물은 입방데시미터(dm ³)당 1,440원 나. 고준위방사성폐기물은 입방데시미터(dm ³)당 20,000원
환경개선 부담금	법 제10조	◇ 시설물의 경우 1. 대기오염물질을 배출하는 경우 연료사용량×단위당부과금액×연료계수×지역계수 2. 수질오염물질을 배출한 경우 용수사용량×단위당부과액×오염유발계수×지역계수 ◇ 자동차의 경우 대당기본부과금액×오염유발계수×차량계수×지역계수
자원의 절약과 재활용에 관한 법률에 의한 부담금	영 제17조	- 부과대상 : 살충제·부탄가스·유독물제품, 화장품(유리병, 금속용기), 과자제품, 전지, 부동액, 형광등, 껌, 1회용기저귀, 합성수지(폴리에틸렌, 염화비닐수지, 폴리아세틸 등)의 9종 15품목 - 요율(금액) : 개당 1~10원, 리터당 50전 또는 판매가의 0.25~0.7%
환경오염 방지사업 비용 부담금	법제13조 제2,3항, 영 제21조	환경오염방지사업에 소요되는 총액은 당해사업 활동이 환경오염의 원인이 된다고 인정되는 정도에 따라 다음 사항을 고려하여 배분됨. 1. 환경오염의 원인이 되는 시설의 종류 및 규모 2. 배출되는 오염물질의 양과 질 3. 사업의 종류 4. 오염물질 처리비용 5. 자본금·종업원수·연간제품생산량 및 매출액 등을 고려한 사업규모

바. 부담금 납입의무 면제 및 감경대상

모든 부담금제도는 납입의무에 대한 면제 및 감면대상을 법에 명시적으로 적시하고 있다. 주로 공익성이 매우 큰 대상에 대해서는 면제를 하고 공익성이 있지만 매우 크지는 않은 대상에 대해서는 부분 감면을 해 주고 있다. 표 34부터 표 39까지는 각각 환경개선부담금(법적 근거 : 환경개선비용부담법, 관련기관 : 환경부), 산림전용부담금(법적 근거 : 산림법, 관련기관 : 산림청), 농지전용부담금(법적 근거 : 농어촌발전특별조치법, 관련기관 : 농림부), 교통유발부담금(법적 근거 : 도시교통정비촉진법, 관련기관 : 지방자치단체), 생태계보전협력금(법적 근거 : 자연환경보전법, 관련기관 : 환경부), 개발부담금(법적 근거 : 개발이익환수에관한법률, 관련기관 : 건설교통부)에 대한 납입의무 면제 및 감면대상을 정리하고 있다.

표 34. 환경개선부담금 제도의 면제 및 감면 조항

관련조항	해 당 사 업
전액면제	<ol style="list-style-type: none"> 1. 외국정부 및 국제기구의 소유에 속하는 시설물과 자동차(외국정부 공관원 및 국제기구 직원 소유 자동차를 포함한다). 다만, 당해 국가가 대한민국정부의 소유에 속하는 시설물과 자동차(대한민국정부 공관원 소유 자동차를 포함한다)에 대하여 동일한 부담금을 부과하는 경우에는 적용되지 않는다. 2. 단독주택·공공주택 및 기숙사(복합용도 시설물중 주거용부분을 포함한다) 3. 시설물이 구분소유되고 있는 경우로서 동일인의 소유면적으로 기준으로 시설물의 각층 바닥면적의 합계가 160㎡미만인 시설물 4. 경유에 다른 연료를 혼합사용하거나 매연여과장치를 부착하는 등 배출가스가 현저하게 저감된다고 환경부장관이 인정하여 고시하는 자동차
부분감면	<p>대기환경보전법시행령 제15조 또는 수질환경보전법시행령 제13조의 규정에 의한 기본부과금을 부과하는 시설물에 대하여는 그 기본부과금에 상당하는 금액을 경감</p>

표 35. 산림전용부담금 제도의 면제 및 감면 조항

관련 조항	해 당 사 업
전액 면제	<ol style="list-style-type: none"> 1. 농업인등과 농림수산물의 생산자단체가 농로의 설치 등 농림부령이 정하는 용도로 산림을 전용하고자 하는 경우 2. 관광진흥법시행령 제20조의 규정에 의한 관광지 등 조성계획에 의한 공공편익시설의 용도로 사용하는 경우 3. 농어촌정비법에 의한 농어촌휴양지 및 농어촌생활환경정비사업을 하는 경우 4. 비영리법인이 농어촌정비법에 의한 농어촌에서 의료법에 의한 의료기관을 개설하는 경우 5. 비영리법인이 사회복지사업법에 의한 사회복지시설을 설치하는 경우와 그 복지시설에 입소 중 사망하는 자를 위하여 사설묘지를 설치하는 경우 6. 도로법에 의한 도로를 건설하는 경우 7. 특정다목적댐법에 의한 다목적댐을 건설하는 경우 8. 전원개발에관한특례법에 의한 전원개발사업과 전기사업법에 의한 전기사업자가 송전·변전 및 배전시설 설치사업을 하는 경우 9. 도시재개발법에 의한 주택재개발사업과 도시 저소득 주민의 주거환경 개선을위한 임시조치법에 의한 주거환경개선사업을 하는 경우 10. 수도권신공항건설촉진법에 의한 수도권신공항건설사업을 하는 경우 11. 공공철도건설촉진법에 의한 공공철도를 건설하는 경우 12. 청소년기본법에 의한 청소년수련시설을 설치하는 경우 13. 관계법령 또는 인허가 등의 조건에 의하여 국가 또는 지방자치단체에 기부채납(법령에 의하여 국가 또는 지방자치단체에 무상 귀속되는 경우를 포함한다)되는 공공시설용지조성사업을 하는 경우 14. 산업입지및개발에관한법률에 의하여 지정된 산업단지(수도권정비계획법 제2조제1호의 규정에 의한 수도권에 소재하는 산업단지를 제외한다) 조성사업을 하는 경우 15. 지방자치단체가 공설묘지조성사업을 하는 경우 16. 국가 또는 지방자치단체(국가 또는 지방자치단체로부터 위탁받은 자를 포함한다)가 공용 또는 공공용시설을 설치하는 경우 17. 국방군사시설사업에 관한 법률에 의한 국방군사시설을 설치하는 경우 18. 저수지·소류지·수로·농지개량 등의 시설용지(수몰대상지를 포함한다) 조성사업을 하는 경우 19. 초·중등교육법 제2조 및 고등교육법 제2조의 규정에 의한 각급 학교의 시설용지 조성사업을 하는 경우 20. 광업법에 의한 채광 및 그 부속시설을 설치하는 경우 21. 고속철도건설촉진법에 의한 고속철도를 건설하는 경우 22. 특정연구기관육성법에 의한 특정연구기관과 특별법에 의하여 설립된 연구기관이 교육 또는 연구 목적을 위한 시설을 설치하는 경우 23. 지역주민이 소득증대와 지역사회개발을 위하여 설치하는 관광·체육 및 편의시설로서 5천제곱미터 미만의 시설을 설치하는 경우 24. 박물관및미술관진흥법에 의하여 설립계획의 승인을 얻은 사립박물관 또는 사립미술관과 도서관 및 독서진흥법에 의한 사립도서관의 시설을 설치하는 경우 25. 다음 각목의 1에 해당하는 시설로서 농림부령이 정하는 기간동안 일시 전용하는 경우(제24조 제1항 제6호의 규정에 의한 시설을 설치하는 경우) <ul style="list-style-type: none"> 가. 지하자원의 개발 또는 석재의 채취를 위한 시추시설 나. 목적사업을 수행하기 위한 진입로·현장사무소 등의 부대시설 26. 과학관육성법에 의한 설립계획의 승인을 얻은 사립과학관의 시설을 설치하는 경우 27. 유통단지개발촉진법 제10조 제2항 제1호 내지 제3호의 규정에 의한 시행자가 유통단지개발사업을 하는 경우 28. 정부투자기관·지방공사·지방공단 또는 사회간접자본시설에 대한 민간자본유치 촉진법 제2조제12호의 규정에 의한 사업시행자가 동조 제2호 나목 내지 라목의 시설을 설치하는 경우 29. 폐광지역개발지원에 관한 특별법시행령 제11조 제1항 제2호 및 제3호의 규정에 의한 사업의 시설을 설치하는 경우 30. 농어촌발전특별조치법시행령 제52조의2제1항제1호 내지 제10호, 제10호의2, 제10호의3, 제12호의3, 제13호 단서 및 제15호 단서의 규정에 해당하는 자 31. 택지개발사업등 농림부령이 정하는 사업으로서 당해 사업부지에 편입되는 법 제16조제1항제2호의 규정에 의한 준보전임지의 면적이 사업부지 총면적의 100분의 50을 초과하는 사업을 시행하고자 하는 자
감면	<ol style="list-style-type: none"> 1. 제24조의2제2항에 해당하는 경우 : 100분의 50 2. 농어촌발전특별조치법시행령 제52조의2제1항제11호·제12호·제12호의2·제13호 내지 제18호에 해당하는 경우 : 농어촌발전특별조치법시행령 제52조의2제1항제11호·제12호·제12호의2·제13호 내지 제18호에서 정하는 비율

표 36. 농지전용부담금 제도의 면제 및 감면 조항

관련 조항	해 당 사 업
전액 면제	<ol style="list-style-type: none"> 1. 국가 또는 지방자치단체가 설치하는 공용·공공용시설 2. 공공철도건설촉진법의 규정에 의한 공공철도시설 및 도시철도법의 규정에 의한 도시철도시설 3. 수도권신공항건설촉진법의 규정에 의한 수도권신공항시설 4. 항만법의 규정에 의한 항만시설 5. 초·중등교육법 및 고등교육법의 규정에 의한 각급 학교 6. 전기통신사업법의 규정에 의한 전기통신설비 7. 전원개발에관한특례법의 규정에 의한 전원개발사업시설 8. 석유사업법의 규정에 의한 석유비축시설 9. 도서관및독서진흥법에 의한 사립도서관 10. 박물관및미술관진흥법에 의하여 설립계획의 승인을 얻은 사립박물관 또는 사립미술관 11. 사회간접자본시설에대한민간자본유치촉진법 제2조제12호의 규정에 의한 사업시행자가 설치하는 동조제2호 각목의 시설 12. 국가 또는 지방자치단체외의 자가 공용·공공용시설을 설치하여 국가 또는 지방자치단체에 당해 시설을 무상으로 기부채납(법령에 의하여 국가 또는 지방자치단체에 무상귀속되는 경우를 포함한다)하는 시설(제11호 내지 제18호 및 제2항의 규정에 의하여 전용부담금을 감면받는 시설을 제외한다)의 용지 13. 산업입지및개발에관한법률 제2조제5호의 규정에 의한 산업단지(수도권정비계획법 제2조제1호의 규정에 의한 수도권에 소재하는 산업단지를 제외한다)
부분 감면	<ol style="list-style-type: none"> 1. 국가지방자치단체·정부투자기관·지방공사 또는 지방공단이 시행하는 사업으로서 첫째 택지개발촉진법에 의한 택지개발사업, 둘째 도시재개발법에 의한 도심지재개발사업, 셋째 관광진흥법 제2조제4호의 규정에 의한 관광단지 조성사업, 넷째 주택건설촉진법에 의한 주택건설사업 또는 대지조성사업의 시설용지인 경우 50%를 감면한다. 다만, 국가지방자치단체가 시행하는 첫째와 넷째 사업의 시설용지인 경우에는 70%를 면제한다. 2. 정부투자기관·지방공사 또는 지방공단이 설치하는 공공용시설의 경우 50%를 면제한다. 3. 산업입지및개발에관한법률 제2조제5호의 규정에 의한 산업단지(수도권정비계획법 제2조제1호의 규정에 의한 수도권에 소재하는 산업단지에 한한다)의 경우 50%를 면제한다. 다만, 국가지방자치단체·정부투자기관·지방공사 또는 지방공단이 시행하는 경우에는 70%를 면제한다. 4. 농림부령이 정하는 농림어업용시설 및 농림수산물의 유통·가공시설이나 국내에서 생산되는 농림수산물의 부산물을 이용하여 제조·가공하는 유기질비료 또는 사료제조 시설의 경우에는 50%를 면제한다. 다만, 농림부령이 정하는 농어가나 제5조의2제1호 내지 제9호의 규정에 의한 생산자단체가 설치하는 경우에는 전액 면제한다. 5. 유통산업발전법 제2조제13호의 규정에 의한 공동집배송단지의 경우에는 50%를 면제한다. 6. 화물유통촉진법의 규정에 의한 화물터미널의 경우에는 50%를 면제한다. 다만, 국공유지에 화물터미널을 설치하여 당해 시설을 국가 또는 지방자치단체에 기부채납하는것을 조건으로 화물터미널사업의 면허를 받은 경우에는 전액 면제한다. 7. 중소기업창업지원법 제21조의 규정에 의한 사업승인을 얻어 설치하는 공장의 경우에는 50%를 면제한다. 8. 비영리법인이 법 제2조제3호의 규정에 의한 농어촌에 설치하는 의료법에 의한 의료기관과 사회복지사업법에 의한 사회복지시설의 경우에는 50%를 면제한다. 9. 정부투자기관·지방공사·지방공단 또는 사회간접자본시설에대한민간자본유치촉진법 제2조제12호의 규정에 의한 사업시행자가 설치하는 동조제3호 나목 내지 너목의 시설의 경우에는 50%를 면제한다.

표 37. 교통유발부담금 제도의 면제 및 감면 조항

관련 조항	해 당 사 업
전액 면제	<ol style="list-style-type: none"> 1. 국가·지방자치단체·주한외국정부기관·주한국제기구 및 외국원조단체의 소유에 속하는 시설물 2. 주거용건물(복합용도 시설물의 주거용 부분을 포함한다) 3. 주차장 4. 새마을사업을 위한 마을공동시설물 5. 정당법에 의하여 설립된 정당의 소유에 속하는 시설물 6. 종교시설 7. 교육법 또는 특별법에 의하여 설립된 각급 학교의 교육용 시설물 8. 사회복지사업법에 의한 사회복지시설 및 대한적십자사조직법에 의한 대한적십자사의 소유에 속하는 시설물 9. 박물관및미술관진흥법에 의한 박물관 및 미술관시설 10. 문화예술진흥법에 의한 한국문화예술진흥원의 소유에 속하는 시설물 및 지방문화원진흥법에 의한 지방문화원의 소유에 속하는 시설물 11. 한국보훈복지공단법에 의한 보훈병원, 특별법에 의하여 설립된 국립대학교의 대학병원 및 지방공기업법에 의하여 의료사업을 목적으로 설립된 지방공사의 소유에 속하는 시설물 12. 공업배치및공장설립에관한법률 제2조제1호의 규정에 의한 공장 13. 건축법시행령 별표 1 제22호 가목의 규정에 의한 축사(양잠·양봉·양어시설 및 부화장등을 포함한다) 및 동표 제24호의 규정에 의한 식물관련시설 14. 특정연구기관육성법 제2조의 규정에 의한 특정연구기관의 연구용 시설물 15. 관계법률의 규정에 의하여 국가 또는 지방자치단체의 부과금을 면제하도록 규정된 시설물
부분 감면	<ol style="list-style-type: none"> 1. 도시교통정비촉진법 제13조의 규정에 의하여 교통영향평가 및 심의를 받고 당해 교통영향평가서 및 심의필증에 제시된 교통개선대책을 이행한 시설물의 경우에는 동 심의필증에 명기된 평가등급과 별표 7의 감면기준에 따라 부담금을 감면한다. 다만, 제21조의 규정에 의한 재평가 및 심의결과 재평가의 사유가 된 교통문제발생의 원인이 사업시행자에게 있거나 재평가에 따라 제시된 교통개선대책을 사업시행자가 이행하지 아니하는 경우에는 그러하지 아니하다. 2. 시장 등은 시설물의 소유자가 법 제19조의3제2항의 규정에 의하여 교통평가에 따른 교통개선대책의 사업비를 분담한 경우에는 당해 시설물에 대한 부담금이 분담한 금액에 도달할 때까지 상계한다. 이 경우 상계절차 등 필요한 세부사항은 특정구역 등에 대한 교통개선대책을 시행하는 시장 등이 조례로 정한다. 3. 시설물의 소유자가 휴업 등 특별한 사유로 인하여 30일 이상 당해 시설물을 사용하지 아니하는 경우에는 시장 등이 그 사실을 확인하여 실제사용하지 아니하는 기간에 상당하는 부담금을 감면할 수 있다. 4. 시장 등은 부담금부과대상 시설물 안에 근무하는 종사자 또는 당해 시설물을 이용하는 자의 교통량을 100분의 20이상 감축하는 자에 대하여는 제35조의 규정에 의한 부담금의 100분의 70의 범위 안에서 이를 경감할 수 있다. 5. 제1항 및 제3항의 규정에 의한 부담금의 감면절차 및 방법 등에 관하여 필요한 사항은 건설교통부령으로 정하고, 제4항의 규정에 의한 부담금의 경감대상시설물의범위 및 경감비율 기타 필요한 사항은 당해 지방자치단체의 조례로 정한다.

표 38. 생태계보전협력금

관련 조항	해 당 사 업
전액 면제	<ol style="list-style-type: none"> 1. 국방·군사시설의 설치 등 국방목적의 사업 2. 국가 및 지방자치단체에서 시행하는 사업 3. 사회간접자본시설에대한민간자본유치촉진법 제2조 제12호의 규정에 의한 사업시행자가 설치하는 동조 제2호의 규정에 의한 제1종시설의 건설사업 4. 산업입지및개발에관한법률 제2조 제6호의 규정에 의한 산업단지개발사업(수도권정비계획법 제2조 제1호의 규정에 의한 수도권에 소재하는 산업단지인 경우를 제외한다) 5. 수도권신공항건설촉진법 제2조의 규정에 의한 신공항건설사업 6. 고속철도건설촉진법 제2조의 규정에 의한 고속철도건설사업 7. 고속국도법 제6조의 규정에 의하여 한국도로공사가 대행하는 고속국도건설사업 8. 도시철도법 제3조 제1호의 규정에 의한 도시철도의 건설사업 9. 수도법 제3조 제7호의 규정에 의한 광역상수도의 취수원인 댐건설사업 10. 도시공원법 제2조 제2호의 규정에 의한 공원(묘지공원을 제외한다)시설의 설치사업
50% 면제	<ol style="list-style-type: none"> 1. 개발이익환수에관한법률시행령 제5조 제2항의 규정에 의한 공공기관이 시행하는 사업 2. 도시계획법 제2조 제1항 제2호의 규정에 의한 도시계획사업(동법 제17조의 규정에 의한 녹지지역안에서의 사업을 제외한다) 3. 사회간접자본시설에대한민간자본유치촉진법 제2조 제12호의 규정에 의한 사업시행자가 설치하는 동조 제3호의 규정에 의한 제2종시설의 건설사업 4. 유통단지개발촉진법 제2조 제4호의 규정에 의한 유통단지개발사업 5. 임대주택법시행령 제2조 제1호의 규정에 의한 공공건설임대주택의 건설을 목적으로 하는 사업 6. 폐광지역개발지원에관한특별법 제3조의 규정에 의한 폐광지역진흥지구안에서 동법 제2조 제3호의 규정에 의한 실시계획의 승인을 얻은 사업 7. 항만법 제9조 제2항의 규정에 의하여 비관리청이 실시하는 항만공사 8. 화물유통촉진법 제2조 제7호의 규정에 의한 화물터미널의 건설사업
30% 면제	<ol style="list-style-type: none"> 1. 사립학교법에 의한 사립학교의 교육용시설물, 사회교육법에 의한 사회교육시설 중 학교형태의 사회교육시설 2. 농어촌정비법 제2조 제2호의 규정에 의한 농어촌정비사업 3. 사회복지사업법 제2조 제3항의 규정에 의한 사회복지시설의 설치사업 4. 산업재해보상보험법 제13조의 규정에 의한 근로복지공단 및 동법 제78조 제2항의 규정에 의한 지정법인의 동법 제78조 제1항의 규정에 의한 시설의 설치사업 5. 국립대학교병원설치법에 의한 국립대학교병원 및 서울대학교병원설치법에 의한 서울대학교병원의 병원시설 설치사업 6. 송유관사업법 제2조 제2호의 규정에 의한 송유관 및 석유사업법시행령 제7조의 규정에 의한 저장시설의 건설사업 7. 오수분뇨및축산폐수의처리에관한법률 제2조 제9호의 규정에 의한 분뇨처리시설의 설치사업 8. 주택건설촉진법시행령 제30조 제1항의 규정에 의한 국민주택 규모이하의 주택건설을 목적으로 하는 사업 9. 지역균형개발및지방중소기업육성에관한법률 제17조의 규정에 의한 실시계획의 승인을 얻은 사업 10. 청소년기본법 제3조 제5호의 규정에 의한 청소년수련시설의 설치사업 11. 폐기물관리법 제2조 제7호의 규정에 의한 폐기물처리시설의 설치사업 12. 한국보훈복지공단법 제7조의 규정에 의한 보훈병원의 병원시설 설치사업

표 39. 개발부담금 제도의 면제 및 감면 조항

관련 조항	해 당 사 업
전액 면제	1. 국가가 시행하는 개발사업 2. 지방자치단체가 공공목적을 위하여 시행하는 택지개발사업, 공업단지조성사업, 도심재개발사업, 관광단지조성사업 및 유통단지조성사업 3. 산업입지및개발에관한법률에 의한 산업단지개발사업
부분 감면	1. 지방자치단체가 시행하는 사업으로서 전액 면제에 해당하지 않는 사업에 대해서 50% 감면한다. 2. 정부투자기관관리기본법에 의한 정부투자기관, 지방공기업법에 의한 지방공기업 및 특별법에 의한 공기업등 개발이익환수에관한법률시행령 제5조제2항 각호에 해당하는 공공기관이 시행하는 개발이익환수에관한법률시행령 제5조제3항 각호에 해당하는 사업에 대해서는 50% 감면한다. 3. 중소기업기본법 제2조제1항의 규정에 의한 중소기업이 시행하는 공장용지조성사업과 중소기업의 입주를 목적으로 시행하는 공업단지조성사업에 대해서는 50% 감면한다. 4. 주택건설촉진법 제3조제1호의 규정에 의한 국민주택을 건설하기 위하여 시행하는 택지개발사업에 대해서는 50% 감면한다. 5. 산림법 제16조제1항제2호의 규정에 의한 준보전림지의 면적이 개발사업 총면적의 100분의 70을 초과하는 경우로서 개발이익환수에관한법률시행령 제5조제4항 각호에 해당하는 사업에 대해서는 50% 감면한다.

5. 부담금제도의 근거

가. 부담금제도의 이론적 근거

환경정책의 일차적 목표 즉, 오염물질 배출량의 규제는 바로 사회적으로 용인 가능한 최적 배출수준을 달성하도록 유도하는 것이라 할 수 있다. 만일 시장에 외부성이 존재하는 경우, 시장자체의 힘만으로는 이러한 최적 배출수준의 달성은 가능하지 않게 된다는 문제가 있는 것이다. 이러한 맥락에서 정부의 환경정책을 통한 시장개입이 요구된다. 아래에서는 정부의 환경정책으로서의 조세제도를 고찰해보고자 한다. 왜냐하면 부담금 제도는 일종의 조세제도로서 그 산정근거도 환경조세제도에 대한 경제이론에서 찾아야 하기 때문이다.

현재 많은 경제학자들이 지지하고 있는 정부개입은 바로 실제 환경에 대한 피해를 기준으로 해서 오염자에게 부과되는 조세의 형태가 그 한가지 유형을 이루고 있다. 여기서 말하는 환경에 대한 피해란 바로 외부비용을 말하는 것인데 이러한 형태의 조세는 피구세라고 알려져 있다. 피구는 사적 비용과 사회적 비용을 일치시켜줄 수 있는 수단으로써 조세부과를 제안한 바 있다. 이런 피구세는 현재 배출부과금 등의 용어로 알려져 있으며, 실제로 피구세에 해당한다고 볼 수 있는 부담금제도가 운용되고 있기도 한다. 따라서 경제적 유인수단인 부담금제도도 일종의 조세로 피구세의 개념에 해당한다고 볼 수 있다.

나. 부담금제도의 원칙

부담금 산정은 환경정책의 관점에서 고찰해야 하므로 환경정책의 원칙에 준하여 제도의 원칙이 정해져야 한다. 이러한 원칙에는 예방의 원칙, 오염자부담의 원칙, 협력의 원칙, 공동부담의 원칙, 중점의 원칙, 보충의 원칙 등이 있다(정 1999). 일반적으로 오염자부담의 원칙과 공동부담의 원칙은 환경피해의 귀속, 복구 및 보호비용의 부담과 관련된 비용관련 정책수단인 데 비하여, 예방의 원칙 및 협력의 원칙은 비용과는 관련이 없는 환경보호를 위한 구체적인 행위와 관련된 원칙이라 할 수 있다. 예방의 원칙과 협력의 원칙도 근본적인 차이가 있는데 전자가 문제의 크기와 정부개입의 강도 및 시점의 결정과 관련된 데 비하여, 후자는 환경정책적 목표의 설정 및 수단의 선택에 있어서 참여자들의 협동에 관한 원칙이다.

1). 예방의 원칙

예방의 원칙(precautionary principle)은 환경정책의 원칙 중 가장 중요한 원칙이다. 이 원칙은 환경오염의 발생을 사전에 회피하여 환경 및 자연자원을 보호하는 것을 기본 목표로 삼고 있다. 이에 따라, 이 원칙을 회피의 원칙 혹은 비후회의 원칙이라 부르기도 한다. 이 원칙에 따르면 환경정책은 이미 발생하여 우리에게 위협으로 다가온 환경오염을 제거하는 방향으로 추진될 것이 아니라 제반 환경오염의 발생을 미연에 방지하는 방향으로 추진되어야 함을 강조하는 특징을 갖고 있다. 이에 대한 배경으로는 환경오염에 대하여 환경정책수단을 구축하여 이를 해결하려고 노력할 즈음에는 환경문제를 효율적으로 해결하기에 시간적으로 너무 늦는다는 인식에서 비롯된 것이다.

예방의 원칙은 이를 효율적이고 광범위하게 적용할 때 미래 세대들에게 오염되지 않은 환경을 유산으로 남겨 줄 수 있다는 점에서 중요한 의미를 지니고 있으며, 결국 환경정책은 환경오염을 유발시킬 수 있는 잠재적인 원천(potential sources)을 제거하는 것을 목표로 하여야 한다는 것이다. 예방의 원칙은 환경정책의 수단보다는 목표와 긴밀한 관련을 맺고 있다. 이에 따라 이 원칙은 환경정책이 근본적으로 지향하여야 할 방향이 무엇인가에 대한 가치판단의 기준으로 더 많이 활용되고 있다.

2). 오염자부담의 원칙

예방의 원칙이 환경의 질적 수준을 개선하는 데 목표를 두고 있는 데 반해 오염자 부담의 원칙은 특정한 환경오염의 피해를 특정한 사람과 단체에 귀속시키고 환경피해를 제거하고 줄이는 비용을 누가 부담할 것인가를 결정하여 국가경제 전체적인 효율성을 제고시키기 위해 적용되는 원칙이다. 이는 경제학에서 오래 전부터 알려져 온 원칙이기 때문에 그 동안 이를 환경정책에 활용하는 데에는 이론의 여지가 없었다. 특히 OECD(1992)가 구체적인 분석과 제안을 해 온 이후 많은 국가들이 가장 많이 활용하고 있는 환경정책의 원칙이 되었다.

오염자부담의 원칙은 광의와 협의의 두 가지 관점에서 파악할 수 있는데, 첫째, 광의에서 보면 오염자는 그가 법적 경계 안에 있든 없든 그의 오염행위에 의해서 발생된 모든 피해에 대해 재정적으로 책임져야 한다는 것이다. 이 같은 광의의 오염자 부담의 원칙은 이론적으로나 가능하기 때문에 환경정책의 실무에서는 협의의 오염자 부담의 원칙을 적용하는 것이 일반적이다. 협의의 오염자부담의 원칙은 오염자가 관계당국에 의해 요구되는 환경적 요구를 준수하기 위해 재정적인 책임을 지는 것을 의미하고 있다.

오염자부담의 원칙은 환경정책의 중요한 원칙으로 간주되며, 이 원칙에 따르면 환경오염의 발생원인을 제공한 자는 기본적으로 이 환경오염의 복구비용을 부담하여야 한다는 내용을 담고 있다. 이에 따라, 오염자부담의 원칙을 ‘원인제공자 원칙’이라고 명명할 수 있으며, 이 원칙은 시장경제의 기본적인 사고를 잘 반영하고 있다.

3). 협력의 원칙

일반적으로 많은 나라들은 정부의 강력한 규제를 중심으로 환경문제의 해결을 추진하고 있는 바, 최근 들어 경제 주체들의 자발적인 협력에 의해 환경문제를 해결하

여야 한다는 견해가 대두되고 있다. 협력의 원칙은 환경문제를 해결하는 데 환경문제를 유발시킨 모든 관계자들이 공동의 책임을 지고 협동하여 문제를 해결하여야 함을 의미하며 이에 따라, 환경정책적인 목표를 달성하기 위한 과정적인 원칙이라 할 수 있다. 여기에서는 정책목표의 설정은 물론 정책수단의 집행 및 추진에 있어서 가능하면 모든 사회 구성원들이 참여할 것을 강조하고 있다.

협력의 원칙은 무엇보다도 환경문제의 해결을 둘러싼 정부와 사회와의 관계를 다루고 있다. 환경은 공공재라는 특성 때문에 환경보호의 업무를 정부의 전유물로 인식하는 경향이 많았다고 할 수 있다. 이는 사실상 상당히 타당하며 사회가 환경문제를 해결한다 하더라도 정부의 환경보호 노력의 필요성이 줄어들지는 않는다. 이에 따라, 협력의 원칙은 환경정책에 있어서 보충적으로 활용될 수 있을 것이다.

그러나 환경정책의 수립 및 집행에 있어서 어느 정도로 민간이 참여하여야 할 것인가에 관해서는 불분명한 점이 많으나 그럼에도 불구하고 환경정책 수단의 집행과 관련해서는 협력의 원칙이 많이 활용되고 있다. 예를 들어, 환경관련 보조금의 지급에 있어서 정부는 민간부문과 긴밀하게 협력하는 양태를 보이고 있으며, 또한 최근에는 이 원칙에 입각하여 담합과 단체해결방법과 같은 상호협력에 의한 해결방식이 점차 대두되고 있다.

4). 공동부담의 원칙

오염자부담의 원칙은 몇 가지 취약점으로 인해 정책실무에 있어서 제한되게 사용될 수밖에 없으며, 따라서 이를 보충하기 위하여 공동부담의 원칙이 대두되게 되었다. 공동부담의 원칙은 환경정책의 접근에 있어서 중요한 가치체계 중 형평성(equity)의 측면에서 활용되는 바, 이 원칙은 전술한 예방의 원칙이나 오염자부담의 원칙과는 달리 역사가 오래되지 않았으며, 일부 영어권 국가들에서만 실무적으로 활용되었고 대부분 국가들은 이 원칙의 활용을 기피하고 있는 실정이다. 이는 전술한 오염자부담의 원칙에 대한 과도한 강조에서 비롯하는 것으로 추정된다. 그러나 공동부담의 원칙은 이미 많은 국가들에 의해 묵시적으로 활용되어 온 중요한 원칙이다. 예를 들어, 정부의 환경관련 예산을 증액하라는 요구는 이미 환경문제 해결에 있어서 공동부담의 원칙을 전제하고 있는 것이다.

공동부담의 원칙은 두 가지의 유형으로 적용될 수 있다. 먼저, 일반적 공동부담의 원칙으로서 이는 공공재정을 통해 특정한 상황에 적합한 환경정책 수단의 추진에 소요되는 비용을 조달하는 것을 의미한다. 두 번째 형태는 수익자부담의 원칙이라고도

불리며, 이는 피해자 스스로가 환경오염을 회피하는 비용, 즉 환경정책 수단에 소요되는 비용을 부담하는 것을 의미한다. 그러나 시장경제시스템에서 오염자부담의 원칙은 포기되어서는 안 될 환경정책의 기본원칙이며, 이 점에서 공동부담의 원칙은 절박한 상황 하에서 임시적인 미봉책으로 활용되어야 한다.

5). 중점의 원칙

환경정책이 모든 환경문제를 해결할 수는 없으며, 정부의 입장에서도 환경정책에 대한 우선순위가 높다고 해서 환경정책에 과도한 자원을 투자할 수는 없을 것이다. 또한 환경보호를 위한 투자로부터 발생하는 환경개선효과는 제한적인 경우가 많다. 일반적으로 환경오염을 감소하기 위한 정부의 투자는 일부분야에 집중적으로 혹은 선별적으로 투자되는 것이 보다 효율적이다. 이는 특히 정부의 환경관련 재정이 충분하게 확보되지 않았을 경우에 더욱 그러하며, 이 점에서 환경정책 내지는 부담금제도 운영 원칙에 중점의 원칙이 포함되는 것이다.

특정부문에 대한 환경정책의 적용을 포기함으로써 야기되는 환경피해가 이 부문에서 용인될 수 있고 또한 용인될 수 있는 정도까지 포기함으로써 발생하는 재정적 여유자금을 이 같은 추가적인 여유자금이 없었다면 불가능하거나 가시적인 기간 내에서 실현 불가능하였지만 명백하게 보호할 필요가 있는 보다 큰 규모의 환경보호의 장점을 얻을 수 있는 다른 부문에 활용될 수 있다면 환경정책수단은 중점의 원칙에 따라 선별적으로 활용할 수 있을 것이다.

중점의 원칙은 어떤 환경오염의 유형이나 지역이 환경개선의 필요성이 낮은 경우, 환경개선의 효과가 미미한 경우, 상대적으로 환경오염이 심각하지 않은 경우 환경정책적 지원을 이보다 훨씬 중요한 다른 환경오염의 유형이나 지역으로 전환할 필요가 있음을 의미한다.

6). 보충의 원칙

부담금제도의 또 다른 원칙으로 보충의 원칙(subsidiarity principle)을 들 수 있다. 이 원칙은 이론적인 측면보다는 정치적·사회적 고려에 의해서 대두되었다. 이 원칙에 따르면 환경정책 수단들은 주어진 환경문제의 해결에 적합한 관계당국의 가장 낮은 수준에서 결정되어야 한다고 할 수 있다. 이 원칙은 무엇보다도 환경문제의 해결에 정부부문과 민간부문간의 분업문제를 다룬다는 점에서 앞에서 살펴 본 협력의 원

칙에서 근거가 되는 논의이다. 이 원칙은 환경문제의 해결책임을 정부부문에서 민간 부문으로 이전하는 문제에 초점을 맞추고 있다.

아울러 보충의 원칙은 환경문제의 해결에 있어서 중앙정부와 지방정부와의 관계에도 초점을 맞추고 있다. 환경문제의 해결은 중앙정부만의 과제가 아니라 지방정부들도 적극적으로 참여하여야 할 과제라 할 수 있다. 따라서, 이 원칙은 지방정부의 환경보호 노력이 충분하지 않을 경우에 중앙정부가 환경문제에 보충적으로 개입하여야 한다는 원칙으로 파악할 수 있다. 지방정부는 자기 지역의 환경문제를 보다 명확하게 파악할 수 있기 때문에 지방정부의 환경문제에 대한 적극적인 개입은 환경문제를 해결하는 데 많은 공헌을 할 수 있을 것이다.

실제로 환경문제의 해결이나 국가발전의 노력에 있어서 지역적 특성을 고려하지 않고는 소기의 목적을 달성하기 어려우며, 특히 우리나라와 같이 지방자치단체들이 지역환경의 보존보다 개발을 지향하고 있는 추세에서는 이 원칙이 폭넓게 활용되어야 할 것이다.

일반적으로 환경문제는 어느 특정 지역에서 발생하여 다른 지역으로 광범위하게 확산되는 경우가 많기 때문에 중앙정부는 이와 같은 보충의 원칙에 의해 지방정부들과 긴밀히 협력하여 지역환경문제를 효율적으로 해결하도록 노력해야 할 것이다. 결국 보충의 원칙을 통한 지방정부들의 환경문제 해결을 위한 노력은 대상이 되는 환경문제가 지역을 초월하지 않고 정책적 효과가 자기 지역에 국한될 경우에 더욱 높은 당위성을 갖게 될 것이라 하겠다.

7). 여러 원칙에 대한 검토

이상과 같이 여러 원칙에 대해 살펴본 바, 이러한 원칙들은 서로 상충되는 측면도 가지고 있음을 알 수 있다. 일례로 예방의 원칙은 환경오염의 발생을 미연에 근절하는 것을 목표로 하고 있는 반면에, 오염자부담의 원칙은 이미 발생한 환경오염을 제거하는 것을 의미하기 때문에 이들은 대상으로 하는 차원이 다른 것이다. 그러나 이들 원칙들은 부담금제도의 실무에서 상호 보완적으로 활용될 수 있다. 부담금제도가 합리성을 갖기 위해서는 하나의 원칙만을 적용해서는 안 될 것이며, 다양한 원칙들이 포괄적으로 고려되어 집행·적용되어야 할 것이다.

여러 원칙들은 서로 긴밀하게 관련을 맺고, 부담금제도의 목표는 다양한 원칙에 의해서도 구현될 수 있는 바, 예를 들어, 오염자부담의 원칙에 있어서 오염자를 결정하기 어려운 경우에는 예방의 원칙 또는 공동부담의 원칙을 활용할 수 있으며, 또한 오

염자부담의 원칙을 구현하는 데 있어서 협력의 원칙을 동시에 활용하여 다양한 오염자가 서로 협력하여 환경오염을 줄이게 할 수도 있다. 아울러, 협력의 원칙은 예방의 원칙과도 상당한 연관성이 있다. 예를 들어, 환경예방에 있어서 다양한 경제주체의 참여와 협력은 환경의식의 확산에는 물론 특정 환경문제를 조기에 발견하여 해결 가능성을 찾는 데 큰 공헌을 할 수 있다.

오염자부담의 원칙과 수익자부담의 원칙은 정반대의 측면을 가지고 있기 때문에 둘 중에 어느 것을 선택할 것인가의 문제는 상당한 논란을 불러일으킬 수 있으며, 이러한 문제는 국가 전체의 경제적 효율성과 환경적 효율성의 측면에서 해결되어야 한다. 일반적으로 오염자부담의 원칙을 활용할 수 없는 상황에서 수익자부담의 원칙을 활용하면 어느 정도의 단기적인 효율성을 제고할 수 있다. 그러나 장기적인 측면에서 국가의 효율성은 오염자부담의 원칙에 의해서만 달성될 수 있고, 이는 국가경영의 근간을 이루는 사회정의 구현의 측면과도 일치하게 되므로, 이 점에서 오염자부담의 원칙이 부담금제도에 있어서 가장 중요한 원칙이라고 할 수 있다.

요컨대, 부담금제도의 원칙은 서로 독립적이지 않고 서로 연관되어 있는 것으로 파악해야 하며, 각 원칙의 근거에는 많은 상호관련성이 있다. 따라서 부담금제도의 설계를 위한 환경정책적 문제의 인식, 부담금제도 운용수단의 선택, 부담금제도의 효과에 대한 판단 등은 다양한 원칙들을 고려하는 속에서 이루어져야 할 것이다.

다. 부담금제도의 도입 시 고려사항

부담금을 결정하는 데 있어서 가장 중요한 것은 어떤 근거에 의해서 부담금 수준 또는 부담금 체계를 형성할 것인가를 명확하게 밝히는 것이다. 이 근거는 부담금 결정에 있어서 경제적·사회적 원리라고도 할 수 있다. 그런데, 이것이 명확히 제시되지 않으면 부담금 수준 또는 부담금 체계 결정에 있어서 일관성을 상실하기 쉽다.

해양생태계가 제공하는 서비스는 자연에 의해 생산·공급되고 있으므로 그 가격은 시장에서 결정되지 않는다. 따라서 이러한 해양자연자원의 이용에 따른 가격을 매기기 위해서는 특별히 고안된 여러 가지 기법을 적용해야 한다. 그런데 부담금은 정부에 의해 그 수준이 결정되므로 부담금과 관련된 일반적 결정기준들을 살펴 볼 필요가 있다.

이후에 자세하게 설명될 여러 기준을 받아들이는 데 있어서 한 가지 주의해야 할 사실은 이 기준들이 서로 어느 정도 상충(trade-off) 관계에 있다는 것이다. 즉, 어느 하나의 기준을 강조하다보면 다른 기준을 소홀히 할 수 있으며, 여러 개의 기준을 동

시에 만족시킬 수는 없다는 것이다. 따라서 정책당국자는 모든 기준을 동일한 중요도로 받아들이기보다는 상황에 따라 여러 기준들을 적절하게 우선순위를 정해 받아들여야 할 것이다.

1). 효율성

효율성(efficiency)이란 어느 한 개인의 효용을 증대시키려면 다른 개인의 효용을 감소시키지 않으면 안 되는 경제적 상태로 정의된다. 이때의 자원배분을 효율적인 자원배분이 되었다고 할 수 있으며, 이것을 다른 말로 파레토 최적(Pareto optimum)이라 한다. 효율성이란 개념은 가끔 효율적인 생산(efficient production)으로 해석되곤 하는데, 이것은 효율성을 만족시키는 필요조건에 지나지 않는다. 효율적인 생산은 주어진 생산량을 최소비용을 들여 생산하는 것을 의미하므로 재화나 용역을 생산하는데 자원의 낭비가 초래된다면 이미 이것은 효율성을 충족시키지 못한다고 할 수 있다.

즉 효율성은 최소비용을 들여서 재화나 용역을 생산하면서, 생산된 재화나 용역이 각 개인에게 효율성의 정의에서와 같이 배분될 때 달성된다. 효율성의 기준을 부담금 산정과 관련하여 적용한다면, 부담금 수준은 온배수 배출로 인해 발생하는 외부성의 크기로 정해져야 한다. 이 부분은 앞에서 보다 자세히 설명된 바 있다. 한 가지 유의해야 할 점은 효율성의 개념에는 소득분배에 관한 고려가 없다는 것이다.

2). 형평성

형평성(equity)은 대단히 주관적인 개념이고 가치판단을 전제로 한다고 할 수 있다. 그러나 우리는 어떤 정책을 형평성의 관점에서 평가는 할 수 있다. 즉 어떤 정책은 상대적으로 고소득층에게 혜택이 많이 돌아가는 정책이고, 또 어떤 정책은 상대적으로 저소득층에게 혜택이 많이 가는 정책이라는 식으로 정책평가를 할 수 있다. 따라서 적어도 어떤 정책이 고소득층에게 상대적으로 많은 혜택이 돌아간다면 이는 형평성의 기준에 비추어 볼 때 바람직한 정책이라고 할 수는 없을 것이다.

온배수배출부담금 수준 또는 부담금 체계와 관련하여 살펴볼 때, 형평성과 관련하여 다음과 같이 여러 가지 고려해야 할 점이 있다. 첫째, 소득분배 측면에서 해양생태계가 제공하는 서비스는 발전사업 또는 공장활동의 시행에서 불가피하게 훼손되는 부분이 있으므로 부담금을 저소득층에게는 상대적으로 저렴하게 매기고 고소득층에

계는 상대적으로 높게 매기게 되면 어느 정도 소득재분배가 발생하게 된다.

둘째, 소득재분배와는 달리 부담금의 수준 또는 요율이 지역별·업종별로 똑같아야 하는 것이 공평성(fairness)을 충족시키는 것이냐 하는 문제가 제기될 수 있다. 만약 공평성을 모든 온배수 배출사업자들이 똑같은 수준 또는 요율의 온배수배출부담금을 부과 받아야 한다는 것으로 정의한다면, 지역 간 해양생태계보존 수준 또는 업종별 해양생태계훼손 정도가 상이할 때 온배수 배출사업 수행에 따른 한계 환경비용(marginal environmental cost)도 달라지므로 지역과 업종에 상관없이 동일한 수준 또는 요율의 부담금을 매기는 것은 효율성을 충족시키지 못하다.

그리고 한계환경비용을 상회하는 단일 부담금을 적용한다면 온배수 배출사업자에게 필요 이상의 부담을 주므로 최적의 상태가 되지 못한다. 또한 한계환경비용보다 낮은 수준에서 부담금이 산정되면, 온배수 배출사업자들은 해양생태계 제공 서비스의 최적 이용량보다 더 많은 양을 사용하게 되어 자원의 낭비를 가져오게 된다. 그리고 ‘총 환경비용=총 부담금 수입’의 제약조건을 충족시켜야 한다면 낮은 환경비용을 수반하는 사업으로부터 높은 환경비용을 수반하는 사업으로 교차보조(cross-subsidization) 현상이 발생하게 된다.

셋째, 부담금을 결정하는 데 있어서 종종 제기되는 두 가지 형평의 원칙으로는 수혜의 원칙(benefit principle)과 부담능력의 원칙(ability-to-pay principle)을 들 수 있다. 수혜의 원칙이란 해양생태계 서비스 이용정도, 즉 해양생태계 훼손정도에 비례하여 온배수배출부담금을 부과해야 한다는 것이고, 부담능력의 원칙이란 배출사업자의 부담능력에 따라 부담금을 산정해야 한다는 것이다.

전자는 부담금의 수준이 생태계가 제공하는 서비스의 가치와 결부되어야 한다는 것인데 현실적으로 적용될 때는 서비스의 한계단위의 가치와 같도록 부담금을 산정하는 것이 이 원칙과 일관성을 가진다. 후자의 원리를 적용하려면 ‘부담능력’에 대해 명확하게 정의할 필요가 있다. 대체적으로 사업자가 재정적으로 부담할 수 있는 능력을 부담능력으로 보고 부담능력이 높은 사업자가 부담능력이 낮은 사업자에 비해 많은 온배수배출부담금을 부과 받는다면 이 원칙에 충실한 것으로 볼 수 있다. 이러한 측면에서, 만약 사업자의 부담능력과 해양생태계 훼손정도가 비례한다고 할 때 온배수배출부담금 산정 시 누진율(increasing block rate)을 적용한다면 이 원리에 어느 정도 가깝다고 할 수 있다.

형평성과 관련하여 마지막으로 고려해야 할 것으로 세대간 형평성 문제를 들 수 있다. 이것은 어떤 효율체계 아래서 현 세대와 다음 세대간의 부담의 차이가 있느냐 하는 문제로서 만약 온배수배출부담금을 1~2회에 그치지 않고 여러 해에 걸쳐 계속 부

과한다면 초기 생태계 훼손에 따른 환경비용을 여러 해에 걸쳐 어떻게 나눌 것인가를 결정하는 데 있어서 특히 고려해야 할 필요가 있다.

3). 사업자의 수용가능성

정부가 추진하는 어떠한 부담금의 경우도 마찬가지로이겠지만 온배수배출부담금의 산정방식 및 그 수준에 대해 온배수 배출사업자가 충분히 이해하고 받아들일 수 있어야 하는데 이를 사업자의 ‘수용가능성(acceptability)’이라 한다. 이러한 수용가능성의 확보를 위해 부담금 수준이나 요율체계는 사업자들에게 최소한의 공평성이 유지되어야 한다. 그러므로 요율체계는 가능한 한 단순화될 필요가 있으며, 복잡한 요율체계는 사업자들에게 해양생태계 훼손에 따른 환경비용을 적절하게 반영하는 가격신호(price signal)로서의 역할을 충분히 하지 못하고, 사업자들로 하여금 잘못된 가격신호에 반응을 나타나게 할 수도 있다.

여기서 요율체계가 가격신호로서의 역할을 해야 한다는 것은 온배수 배출사업자가 온배수배출부담금 부과에 충분히 민감하게 반응하여 온배수 배출량을 최소화시키도록 하는 경제적 유인을 제공해야 한다는 의미이다. 또한 비슷한 사업에 대해 상이한 부과요율이 적용된다면 이러한 요율체계는 사업자들이 쉽게 받아들이지 않을 것이다.

4). 단순하고 명시적인 부담금 산정표준

적절한 부담금 산정표준(tax base)과 부과대상(point of imposition)을 결정할 때 고려해야 할 많은 요인들이 있다. 부담금 산정표준의 설계에 있어서 필수적인 첫 단계는 해양생태계 훼손의 ‘생애주기(life cycle)’를 명확히 하는 것, 즉 해양생태계 훼손이 어떻게 발생되어 진행되며 최종 결과는 어떻게 되는지를 이해하는 것이다. 사실 부담금 산정표준은 대상 지역의 특수한 성격에 따라 달라져야 한다. 즉 어업인구집중이나 지리적 위치 때문에 지역적으로 보다 민감한 문제가 있을 수 있다. 예를 들어, 주변에 양식장이 많은 곳에서의 온배수 1톤 배출과 주변에 양식장이 거의 없는 곳에서의 온배수 1톤 배출은 해양생태계에 미치는 영향에 있어서 질적인 차이가 있을 수 있다. 이상적으로는 모든 측면의 해양생태계 훼손이 부담금 산정표준에 포함되어야 한다. 하지만 한편으로는 사업자의 수용가능성을 위해 부담금 산정표준은 비교적 단순해야 한다. 과도한 복잡성은 부담금의 의미를 이해하기 어렵게 만들고 투명성을 줄이며 이로 인하여 수용가능성과 이행에 영향을 미칠 수 있다.

5). 부과요율의 선택

이론적으로 환경비용을 완전히 내부화시키기 위해서는 한계 생태계훼손 저감비용과 한계 생태계훼손 환경비용이 동일한 수준에서 적절한 부과요율이 결정되어야 한다. 그러나 이를 위해서는 제때 필요한 자료를 구하는 데 시간과 비용이 많이 요구되고 수많은 정보를 필요로 하며, 가끔은 여러 가지 제약적인 가정에 기초한다. 따라서 엄밀한 방법을 통한 부과금 산정을 위해 최선을 다하되, 이것이 현실적으로는 쉽지 않을 때에는 차선책으로 여러 가지 비경제학적 방법을 통해 도출된 실용적인 값에 근거할 수 있다.

6). 최소 행정비용

비록 앞의 여러 가지 기준들이 만족된다 하더라도 온배수배출부담금 제도가 정책당국에 지나치게 많은 행정비용을 요구한다면, 이는 문제가 있으므로 최소 행정비용(minimum administrative cost)의 원칙이 지켜져야 한다. 따라서 온배수배출부담금 제도의 이행에 있어서 행정비용, 모니터링 비용 및 준수비용(compliance cost)을 평가하는 것은 대단히 중요하다. 예컨대, 부담금을 산정하는 데 있어서 대상지역의 해양생태적 중요성을 반영하는 방안과 온배수가 배출되어 영향을 받는 면적을 반영하는 방안 중 어느 방안을 중심으로 할 것인가 하는 문제도 부분적으로는 모니터링의 실제 가능성에 의존해야 할 필요가 있다.

또한 환경적 효과성과 부담금 관리의 비용-효과적(cost-effective) 수단의 사용간에도 어느 정도 합의가 필요하다. 부담금 산정표준과 부과대상의 선택과 같은 부담금 제도의 설계도 행정비용에 영향을 줄 수 있다. 부담금의 비용-효과성은 또한 부담금의 관리 및 벌칙의 적용, 사업자의 해양생태계 보전 노력에 대한 모니터링을 어느 부처가 책임을 지고 어떻게 운용될 것인가에도 의존한다.

7). 용도지정

온배수배출부담금의 징수로 발생하는 부담금 수입에 대해, 어느 비율 이상을 해양생태계 보전 또는 해양생태계 복원을 위해 사용되도록 미리 용도가 지정되어 있어야 한다. 그렇지 않다면 제도 자체에 대한 반발이 생길 수 있으며 애초의 목적에서 벗어난 비효율적인 자원배분을 초래할 수 있기 때문이다. 한편, 부담금의 징수는 사업자에

계 있어서 비용의 증가를 가져와 장기적으로 사업자는 이에 민감하게 반응하여 사업 규모 자체를 줄이거나 혹은 환경친화적인 개발방법을 고안하거나 채택할 것이다. 따라서 시간이 지남에 따라 부담금 수입이 줄어들 수도 있으므로, 여러 가지 해양생태계 보전사업에 대해 우선순위를 정해둘 필요가 있으며 이것도 일종의 용도지정이라 할 수 있다.

하지만 용도지정에 반대하는 주장도 없지 않다. 이러한 주장의 근거는 용도지정이 이루어지면 정부가 정부지출의 조합을 최적화하지 못한다는 것이다. 사실 장기적으로 용도지정은 비효율성과 경직성을 낳을 수 있다. 따라서 용도지정의 위험성은 주의 깊게 평가되어야 한다. 이렇게 용도지정과 관련된 우려에도 불구하고 많은 국가에서 그리고 우리나라의 여러 환경관련 부담금제도에서는 주로 정치적 부담을 줄이기 위해 용도지정이나 혹은 이와 유사한 접근방법을 채택하고 있다. 그 이유는 용도지정이 새로운 부담금제도에 대한 사업자의 수용가능성을 증진시키는 수단으로 인식되며, 정치적인 지지를 이끌어내는 데도 도움이 되기 때문이다.

6. 온배수배출부담금 제도의 설계

가. 부담금 제도의 도입 필요성

앞서 논의했듯이, 온배수 배출을 규제할 수 있는 방법에는 직접규제방식과 간접규제방식으로 피구세, 보조금, 배상청구권/배출권 거래시장이 있다. 직접규제방식은 시행의 용이성 측면에서 여전히 규제당국이 선호하는 방식이긴 하지만, 권위적인 접근방식으로 경제적 유인을 제공하지 못한다는 한계 때문에 시장친화적인 경제적 유인방식으로 전환되고 있다. 보조금 정책의 경우 온배수 피해어민 또는 해양수산부가 발전 사업자에게 보조금을 지급하여 온배수 배출저감장치를 갖추도록 유도한다는 점에서 온배수 배출 저감이라는 본래의 목적을 달성할 수는 있지만 오염자부담원칙의 관점에서 그리 바람직하지 않는 정책수단이다. 배출권 거래시장의 경우 대기오염처럼 배출자가 매우 많은 경우에는 유용할 수 있지만, 온배수 배출 사업자의 수는 매우 제한적이므로, 이것도 우리나라의 상황에서 그리 현실적인 대안이 아니다.

특정사업으로 인해 생물다양성의 감소, 서식지 파괴, 습지의 감소 등과 같은 생태계의 훼손을 야기할 경우, 국가는 사후적 행위에 대해 법에 의거 배상청구권을 갖고 있다. 예를 들어, 온배수 배출로 인한 해양생태계 훼손에 대해 전력사업자에게 복구비용을 부과하는 방안으로 해양오염방지법 등에서는 배상청구권을 규정하고 있다. 하지만

발전으로 인해 배출되는 온배수가 해양생태계에 미치는 영향 및 피해액에 대한 조사에는 상당한 비용이 소요되고 피해금액의 입증에도 어려움이 있는 것이 현실이다. 아울러 국가 기반산업으로서의 전력산업의 특성에 근거해 볼 때, 현행 배상청구권으로 이를 해결하기에는 어려움이 존재한다. 따라서 온배수 배출을 효율적으로 관리하고 온배수 관리제도의 수립목적보다 용이하게 실현하기 위해서는 배상청구권보다는 부담금제도를 도입하는 방안을 고려할 수 있을 것이다.

이에 본 연구에서는 그림 36과 같은 방식으로 온배수배출부담금 제도를 설계하고자 한다. 즉 앞에서 살펴본 타 부담금 제도의 취지, 내용 및 형식을 참고하면서 부담금제도와 관련된 일반론들을 검토함과 동시에 아래에서 논의될 온배수배출부담금 제도에 부합하는 특별한 원칙들을 설정하여 온배수배출부담금 제도를 설계할 것이다. 이로써 온배수배출을 적정 수준 이하로 통제하면서 온배수관리방안 시행에 필요한 재원을 확보할 수 있다.

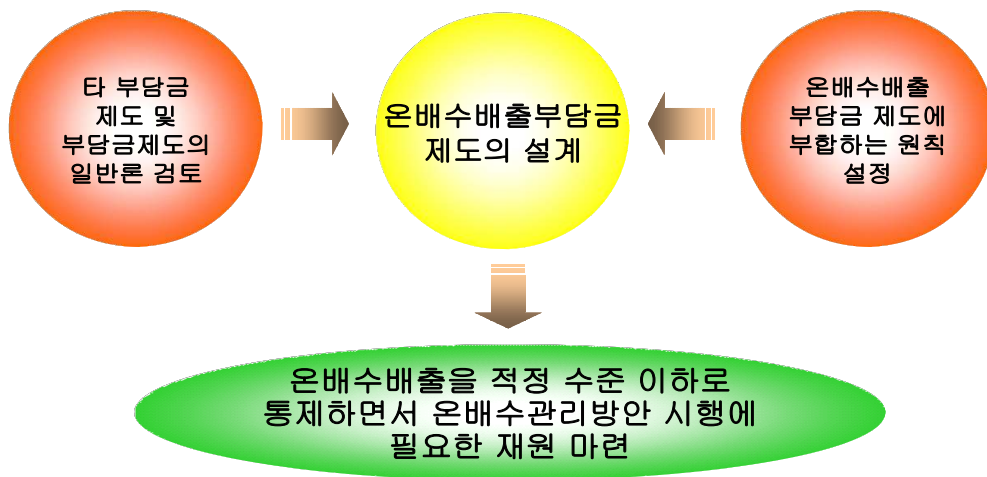


그림 36. 온배수배출금 제도 설계를 위한 접근방법.

나. 부담금 제도 설계의 원칙

온배수배출부담금 제도를 설계하는 데 있어서, 꼭 고려해야 할 몇 가지 중요한 원칙들이 있다. 이와 관련하여 본 연구에서는 크게 5가지 기본 원칙을 정립하였으며 이를 요약하면 그림 37와 같다.

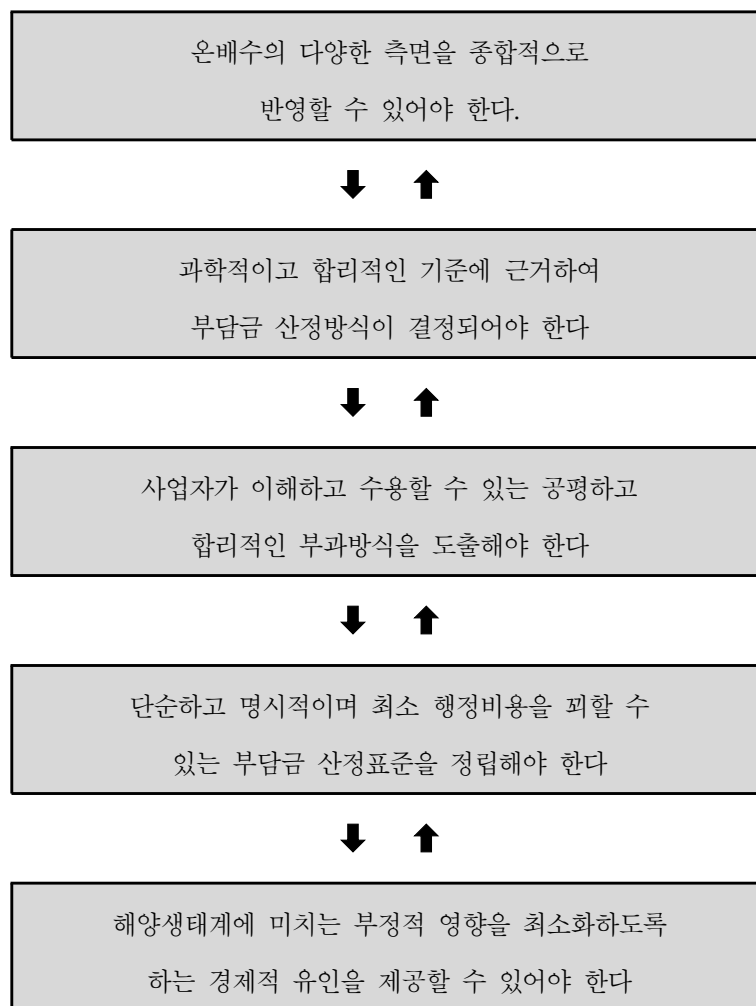


그림 37. 온배수배출부담금 제도 설계의 원칙.

이러한 원칙들을 100% 다 만족시킬 수는 없다 하더라도 이것들을 제대로 이해하고 최대한 반영할 수 있는 제도를 설계하는 것은 아무리 강조해도 지나치지 않다. 각 원칙별로 내용을 설명하면 다음과 같다.

첫째, 온배수의 다양한 측면을 종합적으로 반영할 수 있어야 한다. 본 보고서의 전반부에서는 온배수 저감방안, 온배수 배출기준, 온배수 관리시스템 등 온배수의 다양한 측면들에 대해 살펴보았다. 부담금제도의 설계 시에는 이 내용들이 종합적으로 반영될 필요가 있다. 어느 한 측면만을 강조한다면 부담금제도를 둘러싼 이해당사자들의 합의를 도출하기 어렵기 때문이다.

둘째, 과학적이고 합리적인 기준에 근거하여 부담금 산정방식이 결정되어야 한다. 이는 많은 사람들이 보편적으로 받아들일 수 있어야 함을 의미한다. 어느 한 집단의 견해에 치우친다면 설계된 부담금제도를 제대로 적용하지 못하고 불필요한 갈등만 야기할 수 있다. 셋째, 사업자가 이해하고 수용할 수 있는 공평하고 합리적인 부과방식을 도출해야 한다. 규제완화의 흐름 속에서 정부 내 준조세가 폐지되거나 통합되고 있는데, 부담금은 분명히 준조세의 성격을 가지고 있다. 이런 상황에서 새로운 부담금제도를 만드는 것은 그 만큼 사업자의 반발을 초래할 수 있다. 따라서 온배수 배출사업자가 이해하고 수용할 수 있도록 부과기준은 공평하고 합리적이어야 한다. 예를 들어, 누구는 면제 또는 감경하면서 자기는 부담해야 한다면 형평성 시비를 불러일으킬 수 있다.

넷째, 단순하고 명시적이며 최소 행정비용을 피할 수 있는 부담금 산정표준을 정립해야 한다. 설계된 부담금제도가 온배수와 관련된 다양한 측면들을 잘 반영하고 있고 또 많은 사람들이 보편적으로 받아들일 수 있다 하더라도, 부담금제도의 적용이 지나치게 어려워 실제 적용에 있어 많은 행정비용이 소요된다면 문제가 있다. 따라서 부담금제도의 세부적인 내용은 상당한 전문성을 요구하여 복잡하다 하더라도 운용절차나 흐름은 비교적 단순해야 한다. 과도한 복잡성은 온배수관리사업 수행을 위한 자원 확보 및 온배수 배출 저감을 위한 유인 제공이라는 본래의 취지를 살리기 어렵게 만들고 투명성을 줄이며 이로 인하여 부담금제도의 수용가능성과 실제 운용에 영향을 미칠 수 있다.

다섯째, 해양생태계에 미치는 부정적 영향을 최소화하도록 하는 경제적 유인을 제공할 수 있어야 한다. 부담금제도의 도입목적은 원래 자원확보라기보다는 해양생태계에 미치는 부정적 영향을 최소화하는 것이다. 따라서 단순히 자원확보 목적으로 부담금제도가 설계되어서는 지지를 받을 수 없다. 일례로 환경부에서 설계하였던 생태계보전협력금 제도는 초기 자원확보에만 초점이 맞추어져 있어 규제개혁위원회에서

는 이 문제를 제기하며 1998년 9월 2일 제도 폐지를 의결하였고, 환경부에서는 경제적 유인수단이 될 수 있도록 부담금제도를 재 설계하여 재심을 요청하고 나서야 통과되는 우여곡절을 겪은 후 시행된 바 있다. 무엇보다 사업이 해양생태계에 미치는 영향의 정도에 비례하여 부담금이 결정될 필요가 있다.

다. 부담금 제도의 설계

1). 부담금의 유형

앞서 언급한 바와 같이, 부담금은 수익자부담금, 원인자부담금, 손상자부담금 등으로 나눌 수 있다. 온배수배출부담금의 경우, 온배수배출을 통해 전력을 생산하여 전력을 판매하고 있는 발전사업자에 대해 수익자부담원칙에 따라 수익의 일부를 부담시킬 수도 있으며, 해양생태계 측면에서 해양생태계의 훼손을 유발한 발전사업자에게 원인자부담금을 부담시킬 수도 있다. 온배수배출부담금 제도는 도입 취지상 원인자부담의 원칙에 따라 발전사업자에게 해양생태계 훼손 복구비용을 부담시키는 것이 바람직하다.

온배수배출부담금 제도에서 부담금을 부과하는 목적 중에 하나는 발전에 따라 영향을 받은 해양생태계를 복구하기 위해 필요한 사업을 수행하기 위한 재원확보에 있는 만큼, 온배수배출부담금 제도에서 부과하는 부담금은 원인자부담금이 되어야 한다. 만약 수익자부담의 원칙으로 접근한다면, 발전에 따른 수익가치만 반영될 뿐 해양생태계 훼손에 대한 적정 가치를 반영할 수 없을 것이다. 또한 발전사업자는 오염자로서 복구비용을 부담한다는 인식하기보다는 수익에 대한 조세로 인식하여 불필요한 오해를 야기하면서 조세저항을 초래할 수 있다.

2). 부과 및 징수의 주체

부담금의 부과 및 징수주체는 통상 국가와 공공단체이다. 따라서 대부분의 원인자 부담금이 규정하고 있는 바와 같이, 온배수배출부담금의 부과 및 징수주체는 해양수산부 장관이 되어야 할 것이다. 생태계보전협력금의 경우 환경부장관은 부과 및 징수에 관한 권한을 환경관리청장 또는 지방환경관리청장에게 위임하고 있음을 감안할 때, 온배수배출부담금의 경우도 지방해양수산청장에게 위임하는 것을 고려할 수 있다.

3). 부과 및 징수절차

앞에서 언급된 다른 법령과 마찬가지로 온배수배출부담금의 부과주체가 부담금의 종류, 금액, 납부장소 및 납기일을 통지하고, 납부자가 이를 납부하도록 하는 방식으로 규정해야 한다. 또한 부담금에 대한 징수절차도 부담의무자가 스스로 그 의무를 이행하지 아니할 때에는 행정상의 강제수단에 의해 징수토록 한다.

4). 부과대상

원인자부담금의 부과대상은 비용발생의 원인을 제공한 자이므로, 온배수배출부담금의 부과대상은 온배수를 배출하는 사업자 중에서 복구의 주체를 정부로 택한 자가 부과대상이 된다. 보다 구체적으로는 온배수를 배출하는 발전사업자와 해수를 냉각수로 사용하는 기타 사업자가 될 것이다.

5). 부담금의 용도

부담금은 사업에 소요되는 경비를 충당하기 위하여 징수하는 것이므로, 그 사용용도는 이에 국한되어야 한다. 따라서 온배수배출부담금에서 부담금을 징수하는 목적은 발전에 따라 훼손된 해양생태계의 복구사업에 충당하기 위한 것에 한하여 부담금을 사용해야 한다. 또한 온배수배출부담금의 범위가 지나치게 확대 해석되는 것을 방지하기 위해서는 시행령에 구체적인 범위를 규정하는 방안도 고려해야 한다.

6). 부담금의 산정

부담금의 산정은 발전사업의 종류, 규모 및 원인행위의 정도 등을 기준으로 정해질 수 있으나, 훼손된 해양생태계의 복구사업은 그 규모가 커서 전적으로 원인자의 부담금에 의존하기는 어려운 실정이다. 따라서 발전사업의 규모보다는 원인행위의 정도에 더 많은 비중을 두는 방식으로 부담금이 산정되어야 할 것이다. 즉 발전량에 대해 부담금을 부과하기보다는 온배수 배출량에 대해 부담금을 부과해야 한다.

미국의 경우 해양생태계의 서식지인 산호초, 모래해변, 갯벌 등에 대한 가격을 설정하고 이의 훼손에 대한 점수를 산정하고 있다. 우리나라에서도 농지(농촌진흥청), 산림(산림청), 수자원(한국수자원공사)의 경우에는 공공기관 주도로 경제적 가치를 산

정하여 정책에 활용하고 있다. 농지와 산림의 예를 들면 각각 표 40 및 표 41과 같다. 하지만 해양생태계에 대한 조사 및 평가는 아직까지 충분하지 못하여 가격산정에 많은 논란이 있을 수 있으므로, 해양생태계의 경제적 가치를 전적으로 반영하기에는 어려운 점이 있다. 해양생태계의 복구비용 내지는 온배수관리방안 시행에 소요되는 예산의 규모에 맞추어 부담금 수준이 결정되는 것이 바람직하다. 즉 비용충당의 원칙 하에서 세입과 세출을 일치시키는 수준에서 온배수배출부담금 수준을 정하는 방안을 고려할 수 있다. 보다 구체적으로 부담금 산정기준을 만들어보면 그림 38과 같다.

표 40. 산림의 공익적 가치

공익적 기능	내용 평가액(억원)	구성비(%)
① 수원함유 기능	99,300	28.7
② 대기정화 기능	72,280	20.9
③ 토사유출방지 기능	64,000	18.5
④ 산림휴양 기능	44,880	13.0
⑤ 산림정수 기능	41,230	11.9
⑥ 토사붕괴방지 기능	16,630	4.8
⑦ 야생동물보호 기능	7,790	2.3
총 평가액	346,110	100.0

표 41. 농지의 공익적 가치

공익적 기능	내용 평가액(억원)	구성비(%)
① 수원함유 기능	11,682	21.0
② 토양유실저감 기능	1,830	3.3
③ 상징적·사회적 기능	42,239	75.7
총 평가액	55,751	100.0

$$\begin{aligned}
 \text{부담금} &= \text{온배수 배출량당 단위부담금(원/톤)} \\
 &\quad \times \text{온배수 배출량(톤)} \\
 &\quad \times \text{온도계수} \\
 &\quad \times \text{지역특성계수}
 \end{aligned}$$

그림 38. 온배수배출부담금 산정기준

온배배출부담금 산정기준 상의 각 요소에 대해 보다 자세한 설명은 다음과 같다.

① 온배수 배출량 당 단위부담금은 시뮬레이션을 통해 해양생태계의 복구비용 또는 온배수관리방안 시행에 소요되는 예산의 규모에 맞추어 결정한다.

② 온배수 배출량이 중요한 요소로 반영되어야 온배수 배출을 저감할 유인이 제공된다. 온배수 배출량에 대한 모니터링이 중요할 것이다.

③ 동일한 양의 온배수라도 온도의 차이는 중요하므로 온도계수를 통해 온도를 반영할 필요가 있다. 온도계수는 기준온도 이상이면 그에 비례하여 1.0 이상의 값을 가지고, 기준온도 이하이면 그에 비례하여 1.0 이하의 값을 가진다.

④ 지역특성계수는 온배수 배출 해역의 생태적 중요성을 반영하기 위한 것으로 생태적으로 중요하다면 1.0을 초과한 값으로 생태적으로 덜 중요하다면 1.0 미만의 값으로 설정할 수 있다.

라. 부담금 제도의 운영체계 및 기대효과

1). 온배수배출부담금 제도의 운영체계

온배수배출부담금 제도의 운영체계는 그림 39에, 운영절차는 그림 40에 요약되어 있다. 해양환경과는 부담금 관리 및 집행을 담당하면서 온배수 관리사업을 수행한다. 아울러 해양수산부 전체의 관점에서 부담금 수준을 산정하고 해양수산부 장관 명의로 고지서를 발급하고 징수를 한다. 부담금 납부자에는 발전사업자뿐만 아니라 해수를 냉각용으로 사용하는 다른 사업자도 공평하게 포함되어야 한다. 한편 발전사업자는 부담금을 납부함과 동시에 발전소별 온배수관리위원회를 조직하여 운영해야 한다.

운영체계

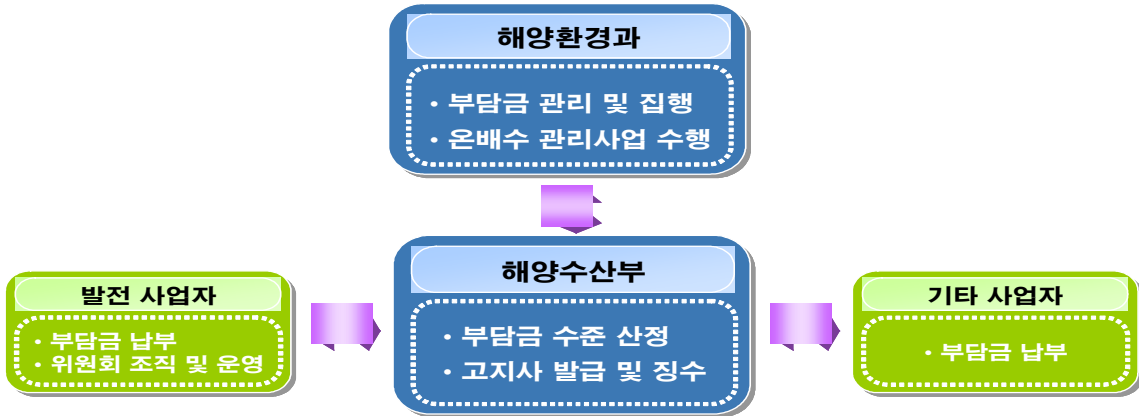


그림 39. 온배수배출부담금 제도의 운영체계.

운영절차

경제적 유인수단 기능 및 재원확보 기능 모두를 달성할 수 있도록			
운영단계	추진방법	세부 추진내용	주체
산정/부과	<ul style="list-style-type: none"> • 부과금 규모 결정 • 면제 및 감면조항 확인 • 고지서 발급 	<ul style="list-style-type: none"> • 부과 및 징수 주체를 해양수산부 장관으로 • 세출규모와 세입규모를 맞출 수 있도록 부과금을 산정 • 부과금액, 납부장소, 납기일을 통지하고 납부자가 이를 납부하는 방식으로 규정 	<ul style="list-style-type: none"> • 해양수산부 • 해양환경과
징수/납부	<ul style="list-style-type: none"> • 온라인 또는 방문으로 고지서 전달 • 온라인 납부 	<ul style="list-style-type: none"> • 연체에 대한 가산금, 불성실 신고에 대한 가산세 부과, 필요시 강제수단에 의한 징수 • 필요시 현장 방문 	<ul style="list-style-type: none"> • 해양환경과
관리/사업	<ul style="list-style-type: none"> • 부담금 관리 및 집행 • 온배수 관리방안 수행 	<ul style="list-style-type: none"> • 온배수위원회 설치 및 운영 • 전문가와 함께 온배수관리 중장기 전략 및 온배수 관리방안 수립 및 시행 • 온배수배출 사업자 모니터링 	<ul style="list-style-type: none"> • 해양환경과 • 학, 연, 산 • 외부전문가

그림 40. 온배수배출부담금 제도의 운영절차.

온배수배출부담금 제도의 운영절차는 그림 32에 제시되어 있다. 온배수배출부담금 제도 운영의 기본목표는 경제적 유인수단 기능과 자원확보 기능 모두를 달성하는 것이다. 운영단계는 크게 3단계로 구성된다. 1단계에서는 부담금을 산정하고 부과한다. 2단계에서는 징수 및 납부 절차를 거친다. 필요한 경우에는 징수 업무를 원활히 하기 위해 현장 방문도 한다. 3단계에서는 징수된 부담금을 관리하면서 온배수 관리사업을 수행한다.

2). 온배수배출부담금 제도의 기대효과

앞에서 설계한 온배수배출부담금 제도는 온배수 배출량 및 온배수 온도를 반영함으로써, 온배수 배출사업자로 하여금 온배수 배출량 또는 온배수 배출의 영향을 최소화하게끔 하는 경제적 유인을 제공한다. 아울러 생태적 중요성을 적절하게 반영하는 지역특성계수를 고려함으로써 생태적 중요성에 비례하는 자원확보가 가능하며, 생태적 중요성이 큰 지역에서 최대한 온배수 배출을 억제하는 효과를 가진다.

또한 온배수배출부담금 제도의 운영 자체는 그림 41에 제시된 바와 같이 크게 4가지 기대효과를 가진다. 오염자부담원칙을 구현할 수 있으며, 최적 온배수 배출수준을 달성할 수 있고, 온배수 관리방안 수행에 필요한 자원을 확보할 수 있다. 궁극적으로 효율적 온배수 관리에 활용됨으로써 해양생태계 보전에 기여하게 된다.

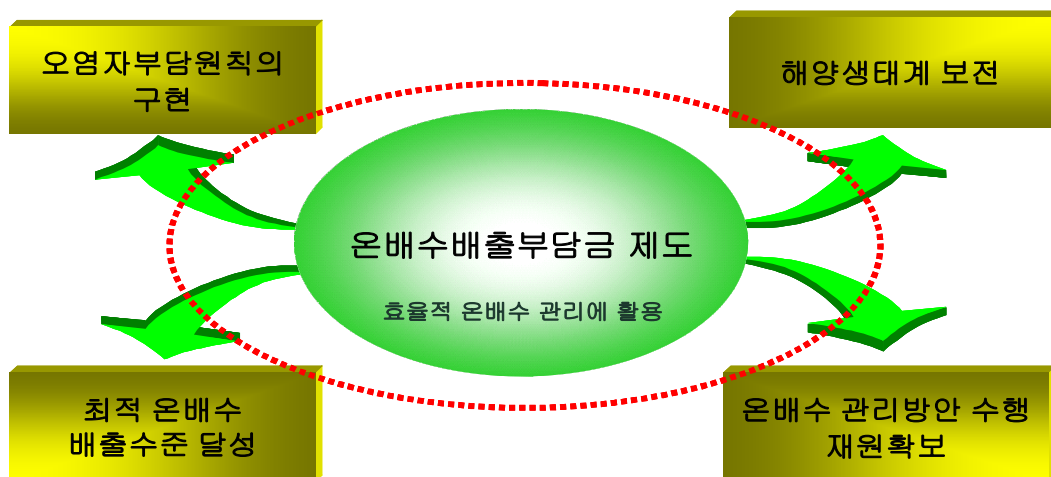


그림 41. 온배수배출부담금 제도의 기대효과

참고문헌

- 강제원, 고남표. 1977. 해조양식. 태화출판사, 부산. 294 pp.
- 과학기술처. 1991. 산림의 공익적 기능의 계량화 연구.
- 곽승준, 유승훈. 2000. 생태계보전협력금 제도의 개선방안. 자원환경경제연구, 9: 563-587.
- 고지마 주니치. 2005. 온배수와 어류 위집 현상. 2005년 온배수연구회 추계 학술대회 요지, 6-7.
- 국립수산과학원. 2001. 한국해양편람 제 4판. 435pp
- 김도창. 1993. 일반행정법론(하). 청운사, 서울.
- 김동건. 1997. 비용·편익분석. 박영사, 서울.
- 김세화, 1984. 진해만 일대의 해산 지각류에 대한 생태학적 연구. 한양대학교 석사 학위 논문, 25pp.
- 김영섭, 남영모. 2003. 동해안 어류의 현황. 한국어류학회 편 한국 연안 어류의 현황과 보전. 2003 한국어류학회 심포지엄, 5-36.
- 김영식 외. 1993. 유리온실 원예산업의 경제적 타당성 분석. 고려대학교, 자연자원연구소.
- 김영환. 1983. 원자력 발전에 수반되는 온배수의 방출이 주변 해양 생태계에 미치는 영향 연구. 한국에너지연구소 기술현황분석보고서, KAERI/AR-171/83. 77pp.
- 김영환. 2000. 발전소 온배수와 해양생태계. 전파과학사, 서울. 259 pp.
- 김영환. 2003. 원자력발전과 온배수 : 그 현황과 대책. 전파과학사, 서울. 151 pp.
- 김영환, 안중관. 2005. 동해안 3개 원전 배수로 해조군집의 생태적 특성. 조류학회지 20: 217-224.
- 김영환, 엄희문, 강연식. 1998. 한국산 내열종 해조류의 정성·정량적 분석 1. 고리 원자력발전소. 조류학회지 13: 213-226.
- 김영환, 허성희. 1998. 서해안 영광원자력발전소 주변 해조군집의 종조성과 생물량. 한국수산학회지 31: 186-194.
- 김영환, 허성희, 문창호, 김형근. 2002. 원전 온배수 문제의 종합 대응방안 수립을 위한 연구. 한국수력원자력주식회사, NHO0-01S0024. 193 pp.
- 김흥기, 김영환. 1991. 한국 3개 원자력발전소 주변 해조군집. 조류학회지 6: 157-192.

- 김은아 등. 1985. 보령, 삼천포 T/P 냉각수가 연안양식 수산물에 미치는 영향조사 (I). 서울대학교 자연과학연구소. 서울. 761pp.
- 명정구. 2005. 울진원전 배수로 내의 어류상. 미발표.
- 박 철, 이평강, 1995. 아산만 요각류 *Calanus sinicus*의 알 생산, 한국수산학회지, 28: 105-113.
- 박현대 외. 2002. 수출용 분화류 공정생산, 포장, 출하시스템 개발의 경제성 분석. 한국농촌경제연구원, C2002-21.
- 부경대학교 해양과학공동연구소. 2000. 하동화력발전소 가동 및 건설공사로 인한 해양영향조사(제1편 영향 범위). 1030pp.
- 산업자원부. 2004. 제2차 전력수급기본계획(안). (2004 ~ 2017년). 산업자원부. 69pp.
- 산업자원부. 2006. 산업자원통계. 에너지자원-전력수급현황. 산업자원부 홈페이지. <http://www.mocie.go.kr/index.jsp>
- 서범석 외. 1997. 발전소 온배수를 이용한 특용작물 재배 가능성 조사 보고서. 호남 온실작물연구소.
- 서울대학교. 2005. 심층방류에 따른 해양생태계 변화분석 및 평가(2차년도 진도보고서). 531pp.
- 손철현, 김형근, 한현섭. 2002. 바다 암초생태계의 세계 - 갯녹음 연안을 바다숲으로. 청문각, 163 pp.
- 영광원전 온배수영향 대책 합동작업반. 1995. 영광원자력발전소 온배수영향 저감방안에 대한 검토보고서. 86pp. 서울
- 여수대학교 수산해양연구원. 2004. 하동화력 제5, 6호기 가동으로 인한 해양환경영향조사.
- 여환구. 1992. 온배수 유출해역 일차생산 시스템의 환경생물학적 연구. 서울대학교 박사학위 논문. 155pp.
- 오윤식, 이인규, 부성민. 1990. 한국산 유용해조 특히 식용, 약용 및 공업용 해조에 대한 주해. 조류학회지 5: 57-71.
- 이두순 외. 1998. 절화생산 농가의 경영 실태 분석. 한국농촌경제연구원, R389.
- 이두순 외. 1999. 유리온실의 경영 실태 분석. 한국농촌경제연구원, R400.
- 이상규. 1993. 신행정법론(하). 법문사, 서울. .
- 이석우. 1992. 한국근해해상지. 집문당, 서울. 334pp.
- 이순길. 1987. 화력발전소 냉각계통에 있어사의 생물상 연구. 부산수산대학교 대학원 박사학위 청구 논문. 부산. 76pp.

- 이용필, 강서영. 2002. 한국산 해조류의 목록. 제주대학교 출판부. 662 pp.
- 이재창 외. 1992. 발전소 온배수의 농업이용에 관한 연구. 한국전력공사.
- 이준구. 1993. 미시경제학. 법문사, 서울.
- 이충렬. 2003. 서해 일대의 어류상 검토. 한국어류학회 편 한국 연안 어류의 현황과 보전. 2003 한국어류학회 심포지엄, 97-112.
- 정선양. 1999. 환경정책론. 박영사, 서울.
- 조기창. 1988. 원자력발전소 온배수가 식물플랑크톤의 생태에 미치는 영향. 인하대학교 대학원 석사학위 청구 논문. 인천. 79pp.
- 채진호 외. 2005. 동해 울진 인근 해역에 분포하는 크릴, 태평양난바다곤쟁이의 생태학과 발전소 취수구 대량 유입 방지를 위한 적용. 2005년도 온배수연구회 춘계 학술발표대회 요지, 17-51.
- 한경호. 2003. 한국 남해에 분포하는 어류. 한국어류학회 편 한국 연안 어류의 현황과 보전. 2003 한국어류학회 심포지엄, 37-75.
- 한국수력원자력(주). 2002. 신월성원자력 1, 2호기 건설사업 환경영향평가서. 817pp.
- 한국수력원자력(주). 2005. 원전 온배수의 상업적 이용을 위한 타당성 조사. 158pp.
- 한국전력공사. 1994. 영광원자력 5, 6 호기 건설사업 환경영향평가서. 서울. 758pp.
- 한국전력공사. 1996. 울진원자력 5, 6호기 건설사업 환경영향평가서. 서울. 675pp.
- 한국전력공사. 1999. 발전소 온배수 확산해역의 해양목장화 기반기술 개발. 한국해양연구소 연구보고서. BSPI96239-00-1218-3. 939pp.
- 한국전력공사. 2002. 신고리원자력 1,2호기 건설사업 환경영향평가서. 서울. 879pp.
- 한국전력공사. 2002. 신월성 1, 2호기 건설사업 환경영향평가서. 서울. 817pp.
- 한국전력공사 전력연구원. 1995. 원자력 일반환경 조사 및 평가보고서(1994년도). 475pp.
- 한국전력공사 전력연구원. 2000. 울진원자력발전소 주변 일반환경 조사 및 평가 보고서('99년보). 222pp.
- 한국해양수산개발원. 1998. 해양환경손해에 대한 국가의 배상청구권에 관한 연구. 용역보고서. 서울.
- 한국해양연구소. 1994. 당진화력발전소 건설에 따른 어업피해조사 연구. 542pp.
- 한국해양연구소. 2006. 바다목장화 기본계획 수립 용역 한국해양연구원연구보고서. BSPG407-00-1755-3. 140pp.
- 한국해양학회. 2005. 해양과학용어사전. 아카데미서적. 서울. 750pp.
- 허형택 등. 1981. 발전소 온배수에 의한 수산자원예의 영향 및 대책에 관한 연구.

- 해양연보고서. BSPI00025-49-3. 서울. 339pp.
- 홍옥희. 1991. 발전소 취수구 어류유입 방지대책 연구. 한국전력연구원. 대전. 217p.
- 환경부. 2000. 생태계보전협력금제도의 개선방안에 대한 연구. 과천.
- 환경처. 1993. 한국환경연감. 제6호. 서울. 550pp.
- 福島縣溫排水調査管理委員會. 1996. 溫排水調査綜合報告書. 昭和49 - 平成 5年度. 226 pp. 福島
- 福島縣溫排水調査管理委員會. 2006. 溫排水調査綜合報告書(昭和49-平成 15年度). 福島縣生活環境部, 226pp.
- 水質汚濁防止法. 1970. 日本 水質汚濁防止法(昭和 45년 12월 25일 법률제138호).
- 中華人民共和國. 1998. 中華人民共和國國家標準. 海水水質標準(GB 3097-1997). 8pp. 北京
- 中華人民共和國. 2003. 中華人民共和國環境保護行業標準(HJ/Txx-2003). 清潔生產標準-燃煤電廠. 18pp. 北京
- Adams, J. R. 1975. The influence of thermal discharges on the distribution of macroflora and fauna. Humboldt Bay Nuclear Power Plant, California. Ph. D. dissertation. Univ. Washington. 364pp.
- Atlantic States marine Fisheries Service. 2002. How are cooling water intake structures at power plants impacting fish? *Habitat Hotline Atlantic*, 9:1-4.
- Bainbridge, V., 1958. Some observations on *Evadne nordmanni* Loven. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 37: 349-370.
- Block RM (1974) Effects of acute cold shock on the channel catfish. In: Gibbons and Sharitz (ed). 109 ~ 118
- Bohn G (1903) Sur les mouvements oscillatoires des *Convoluta roscoffensis*, C. R. Acad. Sci. 137: 576 ~ 578
- Cairns, J. Jr. 1956. Effects of increased temperature on an aquatic organisms. *Indus. Wastes*, 1:150-152.
- Choi, Y. K., S. K. Yang, K. D. Cho, J .C. Lee and C. H. Hong, 1993. Possible formation area of the Japan Sea proper water. *J. Korean Envi. Sci. Soc.*, 2: 27-42.
- Cho, Y. K., and K. Kim. 1998. Structure of the Korea Strait Bottom Cold Water and its seasonal variation in 1991. *Continental Shelf Research* 18: 791-804.
- Choi, Y. K., K. Kim, H. K. Rho, 1995. Salinity decrease and the transport in the

- south sea of Korea in summer. *J. Korean Soc. Coastal and Ocean Engineers*, 7: 126–134.
- Chung, K. S. 1977. Heat resistance of crustaceans and fishes taken from the intake canal of an estuarine power plant and their predicted survival in the discharge canal. Ph. D. Dissertation. Texas A&M University. 443pp.
- Clean Air Task Force. 2004. Wounded waters. The hidden side of power plant pollution. 18pp.
- Coughlan, J. and M. H. Davis. 1983. Effect of chlorination entrained plankton at several United Kingdom costal power stations, pp. 1053–1066. In: Jolley, R. L., W. A. Brungs, J. A. Cotruvo, R. B. Cumming, J. S. Mattice and V. A. Jacobs Eds. Water chlorination: Environment, Health and Risk. Vol. 4. Book 2. Am Arbor Science. The Butterworth Group, Am Arbor, Michigan.
- Della Croce. N. 1974. Cladocera. *Cons. Internat. L`explor. Mer. Zooplankton Sheet*. 143: 1–4.
- Della Croce, N. and S. Bettanin, 1965. Sviluppo embrionale della forma parthenogenetica di *Penilia avirostris* Dana. *Cah. Biol. Mar.*, 6: 269–275.
- Department of Natiral Resources 2005. Guidance for evaluating cooling water intake structures. Wisconsin. 15pp.
- Dorrien, C. F. von. 1993. Ecology and respiration of selected arctic benthic fish, *Ber. Polarforsch.* 125: 1 ~ 99.
- EPA. 2001. Technical development document for the final regulations addressing cooling water intake structures for nerw facilities. Washington. 219pp.
- EPA. 2002a. Natuional Pollutant Discharge Elimination System. Proposed Regulations to establish requirements for cooling water intake structures at Phase II Existing Facilities. Federal Resister. April 9: 17121–17225.
- EPA. 2002b. Cahapter A7: Entrainment survival in case study analysis for proposed Section 316(b) Existing Facilities Rule(EPA–821–R–02–002). Washington. A7:1–14.
- EPA. 2004. Technical development document for the Final Section 316(b) Phase II. Existing Facilities Rule. Washington. 223pp.
- EPRI. 2005. Laboratory Evaluation of Modified Ristroph Traveling Screens for Protecting Fish at Cooling Water Intakes. EPRI Report no. 1013238.

- Follum, O. A. and J. S. Gray. 1987. Nitrogenous excretion by the sediment-living bivalve *Nucula tenuis* from the Oslofjord, Norway. *Mar. Biol.*, 96: 355 ~ 358.
- Fry, F. E. J. 1967. Response of vertebrate poikilotherms to temperature. Pages in 375 ~ 420 A. H. Rose *ed.* Thermobiology. Academic Press, London, New York.
- Gamble, F. W. and F. Keeble. 1903. The bionomics of *Convoluta roscoffensis* with special reference to its cells. *Proc. R. Soc.*, 72: 93 ~ 98.
- Haedrich, R. L. and D. C. Judkins. 1979. Macrozooplankton and its environment. Pages 4–28 in Van der Spoel, S. and A. Pierrot-Bults Eds. Zoogeography and diversity of plankton. Halsted Pre., Utrecht
- Hedgpeth, J. W. and J. J. Gonr. 1969. Aspects of potential effect of thermal alteration on marine and estuarine benthos. Pages 80–118 in P. A. Krenkel and F. Parker Eds. Biological aspects of thermal pollution. Vanderbilt Univ. Press. Oregon.
- Hirota, R.. 1979. Seasonal occurrence of zooplankton at a definite station off Hukaishima from July of 1976 to June of 1977. Publ. Anakusa Mar. Biol. Lab., 5: 9–11.
- Hong., C. H., K. D. Cho and S. K. Yang, 1984. On the abnormal cooling phenomenon in the coastal areas of East Sea of Korea in summer 1981. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 19: 11–17.
- Huang, C., S. Uye and T. Onbe, 1993b. Geographic distribution, seasonal life cycle, biomass and production of a planktonic copepod *Calanus sinicus* in the Inland Sea of Japan and it`s neighboring Pacific Ocean. *J. Plank. Res.*, 15: 1229–1246.
- IAEA. 2006. Latest news related to PRIS and the status of nuclear power plant. Power Reactor Information System(PRIS). Home page, IAEA. <http://www.iaea.org/programmes/a2/>
- Ichiye, T. 1983. Ocean hydrodynamics of the Japan and East China Seas, Elsevier, 423pp.
- Isoda, Y. 1994. Warm eddy movements in the eastern Japan Sea. *J. Oceanogr.*, 50: 1–15.

- Jobling, M. 1981. The influence of feeding on the metabolic rate of fishes: a short review. *J. Fish Biol.*, 18: 385 ~ 400.
- Kang, J. W. 1966. On the geographical distribution of marine algae in Korea. *Bull. Pusan Fish. Coll.* 7: 1-125.
- Kang, Y. S and S. Y. Hong, 1998. Seasonal variations in distribution, population structure and prosome length of *Calanus sinicus* (Copepoda: Calanoida) in the southern waters of Korea. *J. Koreans Soc. Oceanogr.*, 33: 28-34.
- Kerry, R., D. Pearce, and I. Bateman. 1994. *Environmental Economics*, Harvester Wheatscheaf.
- Kim, C.H. and K. Kim, 1983. Characteristics and origin of the cold water mass along the east coast of Korea. *J. Oceanol Soc. Korea*, 18: 73-83.
- Kim, D. Y., 1985. Taxonomical study on calanoid copepod (Crustacea: Copepoda) in Korean waters. Ph. D. Thesis, Hanyang Univ., 187 pp.
- Kim, I.-N., and T. Lee. 2004. Physicochemical properties and the origin of summer bottom cold water in the Korea Strait. *Ocean and Polar Research* 26: 595-606.
- Kim, I.-O. and H.-K. Rho. 1994. A study on China Coastal Water appeared in the neighbouring seas of Cheju Island. *Bull. Korea Fish. Soc.*, 27: 515-528.
- Kim, K. and J. Y. Chung, 1984. On the salinity-minimum and dissolved oxygen-maximum layer in the East Sea(Sea of Japan). Pages 55-65 in *Ocean Hydrodynamics of the Japan and East China Seas*, T. Ichiye, editor, Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- Kim, K. Y. and I .K. Lee. 1996. The germling growth of *Enteromorpha intestinalis* (Chlorophyta) in laboratory culture under different combinations of irradiance and salinity and temperature and salinity. *Phycologia* 35: 327-331.
- Kim, S. W. 1989. Studies on the ecology of marine cladocerans in the northwestern Pacific ocean. Ph.D thesis dissertation. Hiroshima Univ., Hiroshima. 180pp.
- Kim, S. W. and T. Onbe. 1995. Distribution and zoogeography of the marine cladoceran *Penilia avirostris* in the northwestern Pacific. *Bull. Plankton Soc. Japan*, 42: 19-28.

- Kim, S. W., T. Onbe and Y. H. Yoon, 1989a. Feeding habits of marine cladocerans in the Inland Sea of Japan. *Mar. Biol.*, 100: 313–318.
- Kim, S. W., Y. H. Yoon and T. Onbe, 1993. Note on the prey items of marine cladocerans. *J. Oceanol. Soc. Korea*. 28: 69–71.
- Kim, S. W., Y. H. Yoon, T. Onbe and T. Endo, 1989b. Is grazing of marine cladocerans important for the occurrence of red tide? Pages 261–264 in Okaichi T., D. M. Anderson and T. Nemoto Eds. Red tide: Biology, environmental science and toxicology. Elsevier Sci. Publ. Co. Inc., New York.
- Kim, Y.-G. and K. Kim, 1999. Intermediate water in the East/Japan Sea. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 55: 12–132.
- KRISO. 1976. Oceanographic studies for Wolsong Nuclear Power Plant. Seoul. 264pp.
- LADWP. 2005. Proposal for information collection for Harbor Generating Station. City of Los Angeles. Dept. Water and Power. LA. 57pp.
- Lampert, W. 1984. The measurement of respiration. Pages 413 ~ 468 in J. A. Downing and F. H. Riegler eds. A manual on methods for the assesment of secondary productivity in fresh waters, IBP handbook No. 17. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Langford, T. E. L. 1990. Ecological effects of thermal discharges. *Elsevier Applied Science*, 101 ~ 137.
- Lee, J. C. 1983. Variations of sea level and sea surface temperature associated with wind induced upwelling in the southeast coast of Korea in summer. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 18, 149–160.
- Lee T. W. and W. S. Kim. 2001. Thermal effects on respiratory activities of glass eels at different developmental stages. *J. Taiwan Fish. Res.*, 9: 129 ~ 136.
- Lie, H. J. and Y. H. Seung, 1994. A review on status and development of physical oceanography research in Korea. *J. Korean Soc. Oceanogr.*, 29: 64–81.
- Lim, D. B. and S.-D Chang, 1969. On the cold water mass in the Korea Strait. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 4: 71–82.

- Lin, Y. and S. Li, 1984. A preliminary study on the life cycle of *Calanus sinicus* Brodsky in Xiamen Harbour. *J. Xiamen Univ. (Nat. Sci.)*, 23: 111–117 (in Chinese with English abstract).
- Lin, Y. and S. Li, 1986. Laboratory survey on egg production of marine planktonic copepod *Calanus sinicus* in Xiamen Harbour. *J. Xiamen Univ. (Nat. Sci.)*, 25: 107–112 (in Chinese with English abstract).
- Longhurst, D.J. and D.L.R. Seibert, 1972. Oceanic distribution of *Evadne* in the eastern Pacific (Cladocera). *Crustaceana*, 22: 239–248.
- Miller, D. S. and B. A. Brighthouse. 1984. Thermal Discharges. A guide to power and process plant cooling–water discharges into river, lakes, and sea. British Hydromechanics Research Association, London.
- Na, J. Y., S. K. Han and K. D. Cho, 1990. A study on sea water and ocean current in the sea adjacent to Korea peninsula –Expansion of coastal waters and its effect on temperature variations in the south sea of Korea–. *Bull. Korea Fish. Soc.*, 23: 267–279.
- Nakao, T. 1977. Oceanic variability in relation to fisheries in the East China Sea and the Yellow Sea. *J. Fac. Mar. Sci. Tech. Tokai Univ., Japan. Spec.*, 190–367.
- North, W. J. and E. K. Anderson. 1973. Anticipated biological effects from heated effluents at Diablo Cove. Pacific Gas and Electric Co., 134pp.
- OECD. 1992. *The Polluter–Pays Principle: OECD Analysis and Recommendations*. Environmental Directorate, Paris.
- Oertzen, J. A. von. 1984. Influence of steady–state and fluctuating salinities on the oxygen consumption and activity of some brackish water shrimps and fishes. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 80: 29~46.
- Onbe, T. 1974. Studies on the ecology of marine cladocerans. *J. Fac. Fish. Animal Husb., Hiroshima Univ.*, 13: 83–179 (in Japanese with English abstract).
- Oregon. 2004. Oregon Administrative Rules. Chapter 340. Division 041. Water quality standards: Beneficial uses, policies, and criteria for Oregon. Department of Environmental Quality. Oregon. 87pp.
- Paffenhofer, G. A. and J. D. Orcutt, 1986. Feeding, growth and food conversion

- of the marine cladoceran *Penilia avirostris*. *J. Plankton Res.*, 8: 741–754.
- Park, C. K., 1979. On the distribution of dissolved oxygen off the east coast of Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 14: 67–70.
- Parker, H. and A. M. Breeman. 1996. Temperature responses of tropical to warm-temperate Atlantic seaweeds. II. Evidence for ecotypic differentiation in amphi-Atlantic tropical-Mediterranean species. *Eur. J. Phycol.* 31: 133–141.
- Parry, G. 1966. Osmotic adaptation in fishes. *Bio. Rev.*, 41: 392 ~ 444.
- Pearce D. W. and R. K. Turner. 1990. *Economics of Natural Resources and the Environment*, Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- Reubush, K. J and A. G. 1996. Metabolic responses to acute handling by fingerling inland and anadromous striped bass. *J. Fish Biol.*, 49: 830 ~ 841.
- Rute and Silvia 2006. Thermal discharge. <http://www.rpi.edu/dept/chem-eng/Biotech-Environ/Environmental/THERMAL/tte1.htm>.
- Ryther, J. H. 1959. Light adaptation by marine phytoplankton. *Limnol. Oceanogr.*, 4:491–497.
- Samuel G. and W. H. Jordan. 1980. Nuclear power and its environmental effects. American Nuclear Society. Illinois. 395pp.
- Shin, H. R. 1994. Analysis of seasonal distribution of water mass in the Korea Strait and East China Sea. *J. Korean Earth Science Soc.*, 15: 81–90.
- State of New York. 1991. Criteria Governing Thermal Discharges. 6 NYCRR Part 704. last amended September 1991.
- Steemann-Nielsen, E. and E. G. Jorgensen. 1968. The adaptation of plankton algae. III. With special consideration of the importance in nature. *Physiol. Plant*, 21:647–654.
- Steffensen, J. F. 1989. Some errors in respirometry of aquatic breathers: how to avoid and correct for them. *Fish Physiol. Biochem.*, 6: 49 ~ 59.
- Strawn, K., F. J. Margraf and K. S. Chung. 1977. Heat resistance of crustaceans and fishes taken from the intake canal of an estuarine power plant and their predicted survival in the discharge canal. Depart of Wildlife and Fisheries Science, Texas A&M University and Texas Agricultural Experiment Station Project 1869. Houston. 443pp.

- Sudo, H. 1986. A note on the Japan Sea proper water. *Prog. Oceanog.*, 17: 313–336.
- Super, R. 2003. An overview of flow reduction technology for reducing aquatic impacts at cooling water intake structures. Pages 23 – 31 in EPA 625–C–05–002. Proceedings Report. A Symposium on Cooling Water Intake Technologies to Protect Aquatic Organisms. May 6–7, 2003. Arlington, Virginia
- Taft, N. E. and T. Cook. 2003. An overview of fish protection technologies and cooling water intake structures. Pages 8 – 23 in EPA 625–C–05–002. Proceedings Report. A Symposium on Cooling Water Intake Technologies to Protect Aquatic Organisms. May 6–7, 2003. Arlington, Virginia
- Takesue, K. and A. Tsuruta. 1978. The thermal effects of cooling system of a thermal power plant on phytosynthesis of marine phytoplankton. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 34:295–302.
- Tera Tec. 2002. Evaluation of cooling system alternatives proposed Morro Bay Power Plant. 43pp. California.
- Trekeld, A. K., 1979. The midsummer dynamics of two *Daphnia* species in Wintergreen Lake. Michigan. *Ecol.*, 60: 165–179.
- Uda, M. 1938. Researches on 'Siome' or current rip in the seas and oceans. *Geophys. Mag.*, 11: 307–372.
- Waring, C. P., R. M. Stagg and M. G. Poxton. 1996. Physiological responses to handling in the turbot. *J. Fish Biol.*, 48: 161 ~ 173.
- Warinner, J. E. and M. L. Bremer. 1966. The effects of thermal effluents on marine organisms. *Air and Water Poll.*, 10:227–289.
- Washington. 2003. Water quality standards for durface waters of the State of Washington. Chapter 173–201A WAC. Department of Ecology. Washington. 38pp.
- Wrona, F. J. and R. W. Davis. 1984. An improved flow–through respirometer for aquatic macroinvertebrate bioenergetic research. *Can. J. Fish Aquat. Sci.*, 41: 380 ~ 385.
- Yang, H. S., S. S. Kim, C. G. Kang and K. D. Cho, 1991. A study on sea water and ocean current in the sea adjacent Korea Peninsula. *Bull. Korea Fish.*

Soc., 24: 185–192.

- Yentsh, C. S. and J. H. Ryther. 1957. Short-term variations in phytoplankton chlorophyll and their significance. *Air and Water Poll.*, 10:227–289.
- Yoo, K. I. and S. W. Kim. 1987. Seasonal distribution of marine cladocerans in Chinhae Bay, Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea.* 22: 80–86.
- Yoon, S–J, C–K. Kim, J–G. Myoung J–G and W. S. Kim. 2003. Comparison of oxygen consumption patterns between the wild and the artificially cultured black rockfish *Sebastes schlegeli*. *Fish. Sci.*, 69: 41 ~ 47.
- Youn, Y. H., Y. H. Park and J. H. Bong, 1991. Enlightenment of the characteristics of the Yellow Sea bottom cold water and its southward extension. *J. Korean Earth Science Soc.*, 12: 25–37.