

현안과제연구
2011. 6. 13

보령시 화력발전 온배수의 활용방안

연구수행 : 이인희

보령시 화력발전 온배수의 활용방안

연구수행 : 이인희 (환경생태연구부)

목 차

I. 연구 배경과 목적

1. 배경 /1

- 가) 발전 온배수의 배출현황
- 나) 발전소 주변해역 해양생태계에 미치는 영향
- 다) 우리나라 및 해외의 온배수 관리제도

2. 연구목적 /8

II. 발전소의 온배수 활용 사례

1. 외국의 발전 온배수 활용 사례 /9

- 가) 수산업 부문
- 나) 농업 부문
- 다) 기타 온배수의 활용
- 라) 외국의 온배수 활용 시사점

2. 우리나라의 발전 온배수 활용 /16

- 가) 수산업 부문
- 나) 농업부문
- 다) 기타 활용부문

III. 정책제안

- 1. 보령화력의 온배수 관리 강화 /28
- 2. 발전 온배수의 활용방안 /30
- 3. 보령시 자체의 노력 필요 /36
- 4. 맺음말 38

VI. 부록 /40

I. 연구 배경과 목적

1. 배경

가) 발전 온배수의 배출 현황.

- 발전소 온배수(thermal effluents)는 취수한 해수를 발전과정에서 발생한 폐열을 흡수하는 냉각수로 사용하여 수온이 상승된 상태로 방출되는 배출수를 일컫음.
 - 자연해수보다 수온이 연평균 약 7℃ 정도 높음
 - 유엔 해양법 협약: 온배수를 ‘직·간접적으로 인위적으로 해양환경에 유입되는 물질 또는 에너지로서 해양생물에 해롭거나, 해양의 쾌적한 이용을 저해시키는’오염물질 중 하나로 정의
- 온배수 배출로 인한 지역민과의 갈등으로 새로운 발전소 건립은 물론 기존 발전소 운영에도 어려움
- 현재의 기술 하에서 원자력발전은 35% 내외의 열효율, 기력발전은 40%내외의 열효율을 나타냄. LNG복합화력발전은 70%로 열효율이 높음.
 - 사용된 발전연료의 일부만이 전기에너지로 전환되고 나머지는 폐열로 처리
 - 일반적인 화력발전소의 경우, 폐열의 20%는 굴뚝과 복사열로 소멸되고 나머지 40%는 냉각수로 전이됨.
- 2010년 현재 우리나라에서는 1일 평균 1억 3,000만 톤의 발전 온배수가 배출되고 있음
 - 발전소는 약 30개소로 최근 3년간 배출량은 연간 473억 톤임
 - 100만 kW급의 발전소 1기에서 사용하는 해수의 양은 초당 약 50 ~ 60톤임.

- 중부발전, 보령화력/복합의 배수량은 46.4억톤/년
- 전력사용량이 증가함에 따라 발전 온배수도 증가하고 있으며, 지구온난화와 상승작용으로 생태계에 미치는 영향이 확대될 우려가 있음.

냉매로서의 물

- 담수와 해수 모두 사용 가능
- 담수자원이 부족한 우리나라는 해수를 냉매로 사용하여 폐열을 처리한 후 자연으로 배출
- 외부물질에 오염되지 않은 순수한 자연 해수이며, 단지 열 교환으로 자연 해수보다 수온이 상승한 상태로 다시 바다로 배출

○ 발전소 냉각수의 취·배수 온도 차는 4~12℃로 연평균 7℃임.

- 중부발전, 보령화력/복합의 설계 온배수 온도는 6.4~7.0℃임
- 우리나라는 온배수 배출 기준 및 관리지침이 없고 오염물질인 폐수의 배출온도를 40℃로 규정하고 있을 뿐임.

나) 발전소 주변해역 해양생태계에 미치는 영향

□ 발전온배수에 의한 열오염

○ 열 오염(thermal pollution)

- 적정수온의 범위 내에서는 수온 상승이 성장을 촉진하지만, 임계수온 이상에서는 해양생물의 생체리듬이 깨지면서 생산성 저하 및 서식 범위 축소 등을 유발하고 심지어는 해양생물의 사망을 초래
- 생물의 군집구조가 변하거나 특정생물의 도피, 소멸 또는 새로운 종들의 발생을 초래하는데, 특히 정착성 어패류가 많이 서식하는 어장 및 양식어장에 온배수가 배출되면 생물의 도피가 어렵기 때문에 열 오염에 따른 피해가 발생

- 수온 상승은 해수 밀도의 감소를 가져와서 해수 중 부유물질 침강율을 증가시키고 용존산소의 용해도를 감소시킴
 - 발전소 온배수에 의해 해수온도가 27.2℃에서 31℃로 상승할 경우, 부착성 군집구조가 우세하게 되며, 37℃도 이상의 수온에서는 수주고등 및 따개비류를 제외한 모든 동식물이 소멸함(Suresh, 1993)

○ 발전 온배수의 확산

- 발전 온배수는 배수구 방출 시 일정 거리를 직진하다가 주위 해수를 연행하여 혼합되는데, 조류의 유속이 빠른 서해안에서 보다 멀리 확산됨
- 온배수는 주위 해수와의 수온 차에 의해 부력이 발생하면서 점차 수면으로 부상하여 수평 확장하여 주로 표층 수온을 상승시킴

□ 해수를 냉각수로 이용하는 발전소의 가동에 따른 해양생물상의 피해

○ 발전소에 의한 해양 생물의 피해는

- 냉각수의 취수 구조물에 충돌하여 입는 대형 생물의 치사
- 냉각계통을 통과하는 미소생물의 치사
- 주변 수온 상승 수역의 생물상 변화 등으로 구분됨.

○ 냉각계통 연행에서 수온변화, 냉각계통 내 부착생물 제거를 위한 염소 등의 화학물질 투여, 기계적 충격 (Mechanical stress) 등에 의해 동·식물 플랑크톤이 손실됨

- 식물 플랑크톤의 경우, 삼천포화전의 경우 7.5~58.9%, 고리원자력발전소의 경우 55% 정도 소멸된 것으로 조사됨.
- 동물 플랑크톤은 발전소 냉각계통에서 30~100% 사망하는 것으로 알려져 있음
- 배수구의 수온 상승폭이 10℃ 이상일 때 동물 플랑크톤이 냉각계통을 통과하면서 95%가 치사(Kolehmainen, 1975)하는 것으로 조

사되었으며, 일본 Takahama 원자력발전소의 경우 동물 플랑크톤인 요각류의 71~81%가 치사(Anraku, 1979)한 것으로 조사되었음.

○ 주변 수온상승 수역의 생물상 변화

- 수온이 높은 배수역과 1km이내의 정점에서는 수온이 상승함에 따라 동물 플랑크톤의 현존량이 감소함
- 해조류는 종조성이 바뀌거나 소멸하며, 저서생물의 경우 종 감소 및 다양성이 저하되고, 어류의 경우 종 교대현상(아열대성/난류성 어류)이 일어남.
- 해조류
 - 김과 미역은 수온에 민감하여 타 품종에 비해 온배수의 영향을 크게 받을 수 있음
 - 양식 대상종 중 굴, 바지락 등은 수온범위가 비교적 넓고 고온에서도 적응력이 강하며 저층에서 양식이 이루어지므로 온배수의 영향이 상대적으로 감소
- 어류
 - 운동성이 높고, 0.03~0.1℃의 미세한 온도변화도 감지할 수 있는 능력을 가지고 있어(Houston, 1982), 선호하는 온도에 따라 공간적으로 재 분포가 일어남

○ 양식업에는 긍정적으로 작용

- 현재 이용 가능한 양식대상 어종은 대부분 온수성 어종
- 수온이 내려가는 늦가을부터 초봄까지는 온배수를 이용한 양식을 통해 난방비 절감은 물론 빠른 성장을 통하여 짧은 기간 내에 생산을 실현할 수 있는 계기가 될 수 있음

□ 온배수 배출에 의한 어업피해

○ 2008년 현재, 수산활동 제한구역이 2,3000 ha에 이름

- 보상액: 1990~2005년 3,230억 (원전: 1771억, 화전: 1,459억)

○ 보령시 온배수 확산구역의 수산업 피해보상

- 1989. 4: 1, 2호기 오천만 해태 피해 4.9억원
- 1995. 6: 3-6호기 어업 피해 154.0억원
- 2001. 1: 1-6호기 어업 피해 78.6억원
- 2006. 1: 복합화력 어업 피해 41.2억원

○ 보령시의 경우, 기존 발전기 인근에 신규 호기가 추가 건설될 예정인 바, 후속 발전기가 추가 가동됨에 따른 온배수의 피해 범위는 확장 될 것으로 예상됨

□ 발전 온배수 관리의 문제점

○ 온배수 문제와 관련한 국가적 기준과 온배수 관리시스템의 부재

- 「수질환경보전법시행규칙」에 온도의 경우 40℃ 이하로 배출하도록 규정하고 있으나 대규모로 배출되는 온배수에 적용하기는 곤란
- 현재 발전소 자체 기준에 의해 온배수로 인한 영향을 측정하고 있으나 신뢰성 부족 등의 문제가 있음.

○ 발전소 온배수 배출기준 및 관리규정 부재로 민원과 갈등관리에 취약

- 발전소 온배수 영향 조사는 발전소가 자체적으로 실시하고 있으며, 조사결과에 대한 처리 시스템도 없는 상황
- 1980년 이후 원전 온배수 피해보상액은 약 1,100억원(화력발전포함시 약 2000억)에 달하나, 매년 피해보상 민원 및 소송이 지속되고 있음 (해양수산부 해양정책국, 2007)

다) 우리나라 및 해외의 온배수 관리제도

- 발전소 온배수 관리와 관련하여 선진국은 온배수를 오염물질로 규정하면서 관련 규제 또한 강화되는 추세이며 엄격한 발전소 온배수 배출 기준을 채택하고 있음
- 우리나라는 발전소 온배수에 대한 명확한 배출기준 없이 오염물질의 배출온도만 규정
 - ‘수질 및 생태계 보전에 관한 법률’ 시행규칙 제34조에서 수질오염물질 배출 허용기준에 ‘배출수의 온도’를 40℃로 규정하고 있음.
 - 시행규칙 제6조(폐수배출시설)에는 화력발전소가 포함되어 있음(단, 시간당 10만kW 미만의 시설은 제외)
 - 폐수배출시설: 수질오염물질을 배출하는 시설물, 기계, 기구 그 밖의 물체로서 환경부령이 정하는 것을 말함
 - “원전냉각수 순환 시 발생하는 온배수 배출은 사람의 활동에 의하여 자연환경에 영향을 주는 수질오염 또는 해양오염으로서 환경오염에 해당한다”는 대법원 판결이 있음(대법원 1998년 9월).
- 유엔해양법협약(UNCLOS)
 - 해양환경 오염을 ‘인간에 의해 직·간접적으로 해양환경에 유입되는 물질 또는 에너지로서 해양생물에 해롭거나, 해양의 쾌적한 이용을 저해시키는 것’으로 규정
 - 온배수 또한 해양오염의 한 형태로 보고 있음
- 캐나다는 「연방환경보호법(Environmental Protection Act)」에서 오염물질의 개념을 ‘열, 방사능 또는 다른 형태의 에너지’라고 규정
- 미국은 연방정부 「수질오염관리법」에 의한 규제와 주정부의 수질 표준에 의해 온배수를 관리하고 있으며, 기준치 초과시 발전소 발전이 중단됨.

- 「연방 맑은 물 법(Clean Water Act)」의 제316조에서 냉각수 배출에 대한 온도 제한의 범위에 대해 규제기관과 면밀히 협력할 것을 규정
- 온배수 확산구역의 경계에서의 자연해수와 온배수와의 온도차(ΔT)를 기준으로 삼고 있으며 주마다 다른 기준
- 해수온도의 변화가 적은 캘리포니아주의 ΔT 는 2.2°C , 계절변화가 큰 뉴욕 주는 여름철(5월 ~ 9월) 0.8°C , 겨울철(10월 ~ 6월) 2.2°C 를 기준으로 함.

○ 일본

- 「수질오탁방지법(水質汚濁防止法)」 제2장 배출수 항목에서 열 오염에 관한 내용을 규정하고 있음
- 국가차원의 온배수 배출 규정은 없으며, 발전소 건설을 위한 환경 심사 시 온배수 ΔT 를 규정하여 발전소마다 배출기준이 다름
- 취수구 수온과 온배수 배수구의 수온 차(ΔT)를 기준으로 삼는데, 대부분 $7 \sim 8^{\circ}\text{C}$ 사이에서 결정됨
- 이외 대만은 방출구로부터 500m에서 온배수의 온도 상승치가 4°C 이하, 이태리는 방출구로부터 1km에서 온배수의 온도 상승치가 3°C 이하가 되어야 한다고 규정하고 있음.

미국 환경청(EPA)의 기준

- 온대수역 온배수 배출수온 기준은 주 평균수온의 증가가 연중 1.0°C 도를 넘지 않아야 함
- 여름철 해수의 최고수온이 $27.8\text{--}29.4^{\circ}\text{C}$ 도 이내이어야 함
- 순간적인 최고 수온 변화는 $30.6\text{--}32.2^{\circ}\text{C}$ 도 이내이어야 함

2. 연구목적

- 국내 및 해외의 발전 온배수의 부문별 활용사례와 온배수 관리제도를 조사하고, 시사점을 도출하여 보령시의 화력발전소에서 배출하는 온배수 활용에 관한 기본적 구상 수립을 위한 기초 자료를 제공하는데 목적이 있음
- 연구내용
 - 우리나라 발전 온배수의 배출현황
 - 발전 온배수가 주변해역 해양생태계에 미치는 영향
 - 우리나라 및 해외의 온배수 관리제도
 - 국내 및 외국의 발전 온배수 활용 사례
 - 수산업 부문
 - 농업 부문
 - 기타 부문
 - 정책제안

II. 발전소 온배수 활용 사례

1. 외국의 발전 온배수 활용 사례

- 외국의 경우 발전소 온배수 이용은 1950년대부터 활용을 시도하여 1970년대에 실용화되었으며, 일본을 비롯하여 많은 나라들이 주로 수산업 분야에 발전 온배수를 활용하고 있지만, 프랑스와 독일 등 유럽에서는 농업분야에 온배수를 이용하는 사례가 늘고 있음
 - 미국: 22개 발전소에서 굴, 바다가재, 새우 등 양식
 - 독일: 10여개 발전소에서 메기, 잉어, 농어 양식 기업화, 농업부문 특히 시설 화훼 분야에 온배수 이용하여 난방
 - 프랑스: 어류 양식, 토마토 재배, 화훼 원예, 목재 건조 등에 활용
 - 일본: 어패류 종묘 육성, 치어 사육
 - 헝가리, 리투아니아, 슬로바키아, 불가리아, 스위스: 가정용 지역 난방

가) 수산업 분야

- 전 세계적으로 수산업은 대표적인 에너지 과다소비산업으로 여겨지고 있음
- 발전소 온배수를 활용한 양식어업은 에너지 소비를 저감하기 때문에, 저탄소 녹색성장 개념에 일치하며, 양식어업 경영비 절감 차원에서도 매우 필요
 - 특히 겨울철에 온배수를 양식장에 활용할 경우 비용 절감 이외에도 대상 어종의 성장 속도를 높여 연중 생산 혹은 생산주기를 단축시킴으로 추가적인 경제적 이익을 실현할 수 있음

□ 일본의 온배수 활용사례

- 일본에서는 지속적으로 여러 지역의 화력 및 원자력 발전소에서 온배수를 이용한 광어나 전복 등의 종묘생산, 중간육성 양식이 이루어지고 있음
 - 원자력발전소 7개소와 화력발전소 13개소에서 기업 규모의 양식장을 운영하며, 종묘 육성 및 치어 사육에 온배수를 중점적으로 이용
- 1963년 (주)동북전력 센다이 화력발전소에서 전복, 치어의 시범사업을 시행
- 1974년 (재)온수양어개발협회가 (주)일본원자력발전의 도카이 발전소 온배수를 이용하여 돔, 보리새우, 전복 등을 시범적으로 사육한 것이 최초
- 해상 가두리 양식에도 적용
 - 북정현 포저만(福井縣 浦底灣)에서는 일본원자력발전(주)의 쓰루가 발전소와 동연사업단(動燃事業團)의 후겐 발전소가 온배수의 일부를 만 내에 배출
 - 동 해역에 위치한 북정현(福井縣) 수산시험장은 해면에 가두리 양식장을 설치하여 참돔, 넙치, 전갱이, 꼬치고기 등을 시험양식

<표 1> 일본 발전소 온배수 이용 양식사업소 현황(2010)

사업소명	취수공급원		주요 어종
	발전소명	용량(만 kW)	
후쿠시마 재배어업협회	도쿄전력(주) 후쿠시마 제1원자력발전소	1호기 : 46.0 2~4호기 : 각 78.4	(종묘) 전복, 성게, 넙치, 은어
후쿠시마 수산종묘연구소	"	"	범가자미, 바지락, 은어, 넙치
(주)오오쿠마마치 수산진흥공사	"	"	(양성) 넙치,
시즈오카현 온수이용연구센터	츠후전력(주) 하마오카원자력발전소	3호기 : 110.0 4호기 : 113.7 5호기 : 126.7	(종묘) 참돔, 넙치, 꽃게, 전복, 대하, 자주복 등
이시카와현 수산종합센터 생산부시가사업소	호쿠리쿠전력(주) 시가원자력발전소	1호기 : 54.0 2호기 : 120.6	전복, 넙치, 소라
칸사이 전력(주) 타카하마발전소	칸사이전력(주) 타카하마발전소	1~2호기 : 각 82.6 3~4호기 : 각 87.0	전복, 소라

자료 : 전기사업연합회 홈페이지(<http://www.fepc.or.jp/present/chiiki/nuclear/onhaisui/index.html>)

- 1974년에는 복정현 돈하 시(福井縣 敦賀市) 어업협동조합이 수산시험장의 시험양식 결과를 토대로 인근 해역에서 방어, 참돔, 자주복 등을 양식

□ 유럽의 온배수 활용 사례

- 유럽에서의 발전소 온배수 활용은 농업과 어업 모든 부문에서 활발하며, 수산업 부문의 경우 양식업에서 적극 활용하고 있음.
- 온배수 활용으로 어패류가 성장하기 위한 최적온도 설정이 용이해져 성장을 효과적으로 촉진하며, 산란기 조정 등 보조시설에도 효과가 있는 것으로 알려짐
- 프랑스, 영국, 벨기에 등에서는 민간기업과 NGO단체를 중심으로 온배수를 이용한 양식업이 이미 상업화되었음(표 2 참조).
 - 양식 관련 연구소 설립과 함께 기술 개발도 활발히 진행
 - 양식어종: 도미, 농어, 넙치, 메기, 연어, 광어, 장어, 가자미, 서대, 철갑상어 등 다양

○ 프랑스 그라블린(Gravelines) 원자력발전소의 사례

- 도버 해협에 위치하여 해수를 발전소 온배수로 사용
- 폭 127m, 길이 1,200m의 대형 양식장에서 농어와 돔을 양식하여 매년 2,000톤 이상을 생산

<표 2> 유럽의 수산업분야 발전소 온배수 이용사례(2010)

구분	발전소명	출력 MW×기	냉각 방식	사용 용도
수산업	프랑스 Gravelines	951×6	해수	민간기업 2사가 돔, 농어, 광어 등 양식. 이용수량 13톤/초, 연 2천 톤 생산
	프랑스 Le Blayais	951×4	하천수	제3섹터가 철갑상어 양식시험에 의해 450톤/년의 어획가능을 입증. 폐쇄해양연구소 건설, 본격적인 사업을 계획 중
	벨기에 Tihange	934×3	냉각탑	5,400톤 수조와 1ha 연못에 온배수의 3%를 이용. 틸라피아, 메기 등 연 400톤 생산
	영국 Hinkley Point	321×2 640×2	해수	광어, 장어 양식에 온배수 이용, 장어는 기업화에 성공
	영국 Hanterstone	623×2	해수	민간 3사가 가자미, 서대 양식
	영국 Wylfa	565×2	해수	서대, 연어 양식

나) 농업 분야

- 농업 부문에서의 온배수 이용과 관련, 관엽식물, 화훼, 토마토 등과 같이 가온 시설을 필요로 하는 고온성 작물의 경우, 난방비를 40~80% 정도 절약하는 것으로 유럽에서 조사되었음

□ 일본

- 어업이 온배수 주 이용부문이지만, 발전 온배수를 히트펌프로 회수하여 시설농업의 난방열원으로 이용함.
- 작목으로는 화훼류, 관엽 식물류, 과채류, 엽채류, 근채류 등 다양

□ 프랑스

- 프랑스를 포함하여 유럽의 발전소는 내륙의 강가 주변에 위치하여, 냉각수가 우리의 경우와 달리 해수가 아닌 하천수임
 - 프랑스 전력공사(EDF): 1976년 이후 온배수 이용에 대한 연구개발에 관심을 가지고, 이용 가능성을 지속적으로 모색하고 있음
 - 농·수산업 특히 바이오 관련 부문에 활용 가치가 높다는 것이 입증되면서 관련 분야 사업에 있어서 온배수의 이용을 적극 장려하고 있음.
 - 사업자가 온배수를 이용하고자 하는 경우 원전에서는 온배수를 무상으로 공급하지만, 온배수 이용 관련 기술적 부분과 제반 시설에 드는 비용은 사업자가 부담하는 것을 원칙으로 함
 - 그러나 정부, 지방자치단체, 발전소에서 보조금이 지급되어 자부담은 그리 크지 않음
- 로젠 프랑스 열대식물원 (뷔제 원자력 발전소) 사례
 - 뷔제 원자력발전소: 1989년부터 주변 지역에 위치한 온실에 온배수를 공급하여 왔음
 - 식물원의 유리온실은 총면적 7ha이며, 이 중 5ha는 원자력 발전소

에 공급되는 온수를 이용하여 온실의 난방열원으로 사용

- 온배수관의 길이는 2km이며, 온배수는 시멘트 자재의 최소 직경 1m인 지하 파이프를 통해 공급됨
 - 온실 내부에는 온배수 분배를 위한 순환 시스템이 추가적으로 설치되어 있음
- 온배수 이용에 투자된 비용: 1ha당 1억 2천만 원~1억 8천만 원
 - 주요 투자 주체: 정부, 지역행정당국(지역자문회, 지역기업연합 등), 프랑스 전기공사로서 대부분의 투자비용을 부담
- 온배수의 온도: 최소 23℃에서 최대 32℃
 - 일부 온실은 겨울철에도 15℃까지 온도를 유지하기 위해 약 360톤의 프로판 가스가 소요됨
- 원자력 발전소 온배수를 이용함으로써 15%의 프로판 가스 절약

○ 드롬 악어농장 사례

- 트리카스탱 원자력 발전소: 드롬 지방의 악어농장, 파베이롤의 42ha의 농업 온실, 피에르라뜨 시의 2,400가구에 온배수를 공급
- 온배수는 드롬 농촌개발조합(1990년 설립)이 보유하고 있는 파이프 망을 통해 공급

<표 3> 유럽의 농업분야 발전소 온배수 이용사례(2010)

농업	프랑스 Bugey	937×2	냉각탑	29ha 채소 재배 플랜트 중 4.8ha 유리온실에서 화훼, 관상용 식물 재배
	프랑스 Chinon	919×4	냉각탑	민간 회사가 4.8ha 온실에서 토마토, 화훼 재배. 건설용 목재 건조공장에서 열 이용
	프랑스 Cruas	921×4	냉각탑	5.8ha 온실에서 토마토 재배. 연간 출하량 2천 톤. 시청, 교회, 풀장에서도 열 이용
	프랑스 Dampierre	937×4	냉각탑	인근 120ha 농원에 온배수 공급설비가 설치 15개 회사가 화훼, 채소 등 온실에 이용
	프랑스 St.Laurent-Des-Eaux	956×2	냉각탑	0.53ha 온실에서 고품질 장미, 채소 생산, 커뮤니티 센터, 온수 풀장에도 온배수를 공급
	프랑스 Tricastin	955×4	하천수	29ha 경지에 온배수를 이용하여 토마토, 장미, 베고니아 재배
	스페인 Asco	930×2	냉각탑	발전소 온실에서 관상용 식물재배 온실 넓이 20~100m, 이용수량 100톤/시

- 드롭 악어농장은 유럽 내 유일한 야생동물원으로 6,500m² 에 이르는 열대 온실로 온배수를 이용하여 온실내 온도를 섭씨 30℃로 유지함

다) 기타 부문 온배수의 활용

- 수산업, 농업부문 이외 도로의 해빙작업, 건물의 난방, 열대 식물원, 해수의 담수화 등에 온배수가 시범적으로 이용되고 있음
- 도로 제설
 - 일본, 홋카이도(북해도) 개발국은 도로의 눈 해빙에 발전 온배수를 이용하고 있음.
 - 총 연장거리는 4.1km
- 수영장 난방(일본, 카와고에 화력발전소)
 - 온배수로부터 얻은 회수열이 히트펌프에 의해 조정되어 수영장의 실내난방에 이용됨
 - 겨울철에는 온배수의 온도가 실외온도보다 약 10℃ 정도 더 높으므로 난방, 급유의 열원으로 매우 유용함
- 꽃 박물관 난방(일본, 시가 원자력발전소)
 - 후로리 꽃 박물관의 설립목적: 정부가 추진하는 「지역공생형 발전소 구상」 정책의 일환으로 실천 지역의 전국 1호
 - 발전소의 온배수를 시설의 열원으로 이용
 - 사업비는 '전원입지초기대책교부금' 10억 엔, '특별재정조정기금' 10억 엔, 일반재원 200만 엔 등 총 20여억 엔
 - 온배수의 이용시스템: 전시온실의 공조온도가 20℃ 이하가 되면 난방운전이 자동으로 되도록 설계
 - 온배수의 열 공급시스템은 열원수요가 많은 겨울철과 중간기의 난

방비 절감에 큰 효과

라) 외국의 온배수 이용에 대한 시사점

○ 일본

- 발전소는 지자체에게 지역 활성화 차원의 발전기금을 제공하며, 지자체는 이 기금을 지역공생 차원에서 수영장, 꽃 박물관 등을 건립하는데 사용
- 지역 주민은 지역공생시설을 문화시설 차원으로 이해하고, 발전소 측은 홍보활동의 일환으로 발전소 부지 내에 소규모 온실을 운영하여 지역 주민의 이해를 제고 시키고자 노력
- 온배수 활용은 특히 수산업분야에서는 상당 수준의 상업화를 실현하였으며, 발전소에서는 부설 연구기관을 설립하여 온배수 이용에 대한 기술 개발을 적극 추진하고 있음

○ 프랑스 등 유럽

- 하천수의 온배수 온도는 해수보다 약 10~15℃ 높고, 불순물에 의한 기계 결함 문제가 적기 때문에 이용 가치가 매우 높음
- 수산업뿐만 아니라 농업부문에서도 온배수 이용의 가능성을 지속적으로 모색하여 왔으며 상당 부분 상업적 이용이 실현되고 있음
- 온배수 활용을 위한 인프라 설치비는 정부, 지역행정당국, 발전소에서 많은 부분을 부담하고, 실질적으로 사업주체의 부담비율은 극히 적음
- 정부, 지역행정당국, 발전소는 온배수 이용 가능성이 입증된 분야에 대해서 적극적인 홍보를 통해 이용을 장려하고 있음

2. 우리나라의 발전 온배수 활용

- 우리나라의 경우, 발전소 측이 대외 홍보용 및 지역 발전 기여 측면에서 온배수를 수산부문에 활용하는 것이 주를 이루는데 1995년 영광원전 발전소 부지에서 온배수를 이용한 시범 양식장을 설치한 것이 최초임

가) 수산업 분야 활용

- 온배수를 활용하기 위한 연구는 수산업 분야, 특히 내륙양식 부문에서 가장 활발하였으며, 최근 바다목장 및 미세조류에의 활용에 관한 연구도 진행되고 있음

□ 양식장에 활용

- 국내에서 주로 양식하고 있는 어류는 대부분 온수성 어족으로 11월부터 이듬해 4월까지의 해수 수온이 낮아져 자연 해수로의 양식이 불가능
- 발전소의 온배수를 이용할 경우 겨울철에도 어류를 성장시킬 수 있을 뿐 아니라 봄, 가을철에도 여름철에 버금가는 성장을 기대할 수 있어, 발전 온배수를 양식장으로 돌리면 따뜻한 물을 지속적으로 공급할 수 있어 양식업자의 유류비 등을 크게 줄일 수 있음
- 최근 신축 발전소 들은 설계 당시부터 온배수를 활용하도록 만들고 있음
 - 영월에 건설 중인 천연가스발전소도 온배수를 활용한 뱀장어 양식장을 만들 계획을 가지고 있음

□ 바다목장 조성에 활용

- 온배수가 배출되는 원전 주변을 바다목장으로 꾸밈
- 온배수 지역에선 여름철 이외에는 플랑크톤 량이 증가하고, 온수성 생물군집의 서식지가 늘어남

- 인공수초, 먹이공급기 등을 추가로 설치해 해양생물이 살기 좋은 환경을 꾸며 환경친화적 어장을 육성할 필요가 있음

□ 해양 바이오 에너지 생산에 활용

- 미세조류연구와 온배수 활용사업의 융합
- 미세조류 양식장은 온도와 일조량만 확보된다면 최적의 효율을 나타냄
 - 100톤의 물을 이용해 3일마다 10톤 가량의 수확물을 얻을 수 있음
- 미세조류는 수온이 15도 이하일 경우 번식을 중단하는데, 발전 온배수를 이용해 양식장을 난방할 경우 추운 겨울에도 미세조류를 생산할 수 있어 아열대 기후에 준하는 생산량을 얻을 수 있을 것
 - 아열대 기후에서 미세조류 양식 효율은 육상작물의 150~200배에 달함

□ 발전소 시행 시범사업 사례

○ 우리나라에서는 감천화력의 진주조개 월동 실험 이후, 시험양식 사례가 늘어나면서 온배수를 활용한 양식기술이 개발되고, 대상어종 및 생산량이 확대되었으며, 그 주체도 민간 및 지자체로 확대되었음.

- 2000년대에 들어서는 발전소 온배수에 대한 이용이 시험양식에서 성공적인 민간사업으로 확대되었고 활용 분야도 양식에서 수족관 및 바다 목장사업 등으로 그 영역을 넓혀 감
- 영동화력발전소와 하동화력발전소(2000년대 초반부터)의 경우, 온배수를 활용하여 종묘 및 성어 생산이 민간업체에 의해 성공적으로 실시됨

○ 감천 화력발전소

- 우리나라에서 발전소 온배수를 수산업 분야에 최초로 적용

- 1964년 온배수 확산해역에서 진주조개를 월동시키는 실험을 실시

○ 영동 화력발전소

- 1983년 온배수를 양식업에 제대로 접목
- 당시 넙치 양식업체가 배수로에서 온배수를 취수하여 넙치양식에 활용

○ 삼천포 화력발전소

- 1984년 한국해양연구소에서 정부 특정연구과제의 일환으로 삼천포화력 온배수를 이용해 진주조개, 참돔, 방어 등의 월동에 성공함
- 이를 계기로 우리나라에서 온배수 이용에 대한 연구가 주목 받기 시작하였음

○ 보령 화력발전소

- 본격적으로 양식장에 온배수를 이용한 것으로 평가되었으나 2000년대 초반 사업을 종료하였음
- 1988년 화력발전소 내에 시험어장을 설치해 고급어류 양식기술 개발사업에 착수함
 - 어류, 꽃게 · 전복 종묘 생산

○ 영광 원자력발전소

- 1995년 발전소 배수로 옆 부지에 약 1,776㎡(약 538평)의 온배수 양식장을 건립 · 운영
- 지역 특산 어종인 점농어, 넙치(광어), 감성돔, 돌돔 등의 어패류를 양식
- 1997년을 시작으로 2010년에는 지역 특성에 적합한 넙치, 점농어, 대하 등 약 7천5백여만마리와 백합, 동죽 등 패류 145톤 등을 주변 해역에 방류
- 주변해역 어족자원 조성 및 어민 소득증대는 물론 지역과의 일체

감 조성을 통한 지역공동체경영 확립

○ 월성 원자력발전소

- 1991년에 월성 원전 2~4호기 건설 인·허가와 관련하여 환경영향평가 협의 시 환경부와 온배수 양식장 설치·운영에 합의
 - 1997년에 온배수 양식장이 건립되었고, 1998년부터 한국해양연구원에 의해 위탁 시험 양식이 시작되었음
 - 2001년부터는 (주)한국양식개발연구소가 운영하고 있음
- 발전소 내 1,600평 규모의 온배수 양식장을 설치
 - 치어 조(5개), 성어 조(7개), 종묘 조(16개), 전복 수조(64개)가 설치되어 있음
 - 넙치, 참돔, 능성어, 돌돔, 농어, 전복을 양식
- 온배수 양식장에 적합한 신품종 양성 어류, 전복시험 양성, 윤충류의 고밀도 속성 배양기술개발 등을 시도하고 있음
- 기본적인 역할
 - 수정란을 구입하여 종묘 부화 및 육성한 후 바다의 날 등 행사 전후 인근 해역에 무상으로 방류
 - 홍보용과 방류용으로 구분

<표 4> 우리나라 온배수의 수산업 활용사례

구 분	시기	장소	이용방법	비고
태동기	1964	감천화력	확산구역	진주조개 월동
	1983	영동화력	육상수조	넙치양식
	1984~1987	삼천포화력	확산구역	방어, 진주조개 월동 발전소 가동 중지로 폐사
확대기	1988~1990	보령화력	육상수조	어류, 꽃게, 전복 종묘 생산
	1990~1993	보령화력	육상수조	어류 종묘 생산
	1994~1997	영광원자력	육상수조	성어생산
		보령화력	육상수조	어류종묘 생산
	1998~2000	월성원자력	육상수조	종묘 생산, 성어생산
성숙기	2000년대 초반	보령 : 사업 종료, 영광 : 직영, 월성 : 양식연구소 위탁 운영 영동화력, 화동화력 : 민간업체에 의한 온배수 양식 확대		
	2010	온배수를 활용한 수족관 개관, 온배수 활용 바다목장사업 선정		

- 냉각수로 하루 1,400만t의 바닷물을 사용하며 이 가운데 2,400t을 온배수 양식장에 활용
- 길이 8cm의 새끼 참돔 40만 마리를 발전소 앞바다에 방류하고 지름 4cm의 새끼 전복 10만 마리는 양남과 감포 등 주변 지역의 어민들에게 무료로 분양(4억3000만원어치)

○ 고리 원자력발전소

- 육상에서의 온배수 이용은 전혀 없고, 해상의 제한지역 인근 지역(월내만)의 진주조개 월동장에 온배수를 2004년부터 활용
- 2006년 7월 2,217개의 진주를 채취
 - 채취된 진주는 전체의 3분의 2 이상이 상품화 할 수 있는 10mm 크기이며, 광택은 일본산보다 좋다는 평가를 받음
- 그간 남해안 지역에서 양식되던 진주는 겨울철이면 낮은 수온 때문에 제주도 서귀포 인근 해역으로 옮겨져 월동해야 했으나 향후 고리원전 앞바다는 통영지역 진주양식 어민들의 월동장으로 활용될 수 있을 전망

○ 영흥 화력발전소

- 용진군 영흥면에 소재하며, 온배수 배출량은 연간 38.2억톤, 관류 냉각방식으로 설계상 ΔT 가 6.5℃임
- 영흥「발전소 건설 및 운영관련 환경협정」제19조(1997. 3. 14)
 - “온배수의 영향을 최소화하기 위하여 지속적으로 노력하여야 하며, 온배수 방류수로 수산 생물의 양식장 및 기타 사용 후 방류 등의 방안을 강구 시행하여야 한다.”
 - 2008년 7월에 양식장 준공
- 2008년 8월에 조피볼락(우럭) 20만 미와 전복 6만 미 입식, 9월에 조피볼락 20만 미 방류
- 운영주체: 인천광역시 수산종묘배양연구소
- 하계(5~10월)에는 자연 해수를 사용하고, 동계(11~4월)에만 온

배수를 사용하며, 치어기 이후 사육 수 환수량이 많아지면 열 교환기를 통해 적정 사육 수온으로 조절된 온배수를 사육 수조에 직접 공급

- 생산량

- 2008년, 조피볼락 20만 미
- 2009년, 민어 18만 미, 점농어 5만 미, 전복 6만 미
- 2010년, 민어 6만 미, 조피볼락 40만 미, 전복 6만 미

□ 민간 양식 사업 사례

○ 하동 화력발전소

- 온배수 배출량: 연간 33.3억 톤

- 관류냉각방식으로 설계상 ΔT 가 6.4°C 이며, 2009년도의 평균 ΔT 는 7.1°C
- 겨울철에 상대적으로 높은 온도 차로 양식업에 유리하게 작용

- 3개 양식장(금성수산, 선일수산, 보성수산)이 하동 화력발전소와 온배수 공급 협약을 체결하여 온배수를 취수해 넙치 양식 어업에 적극적으로 활용

- 제1~4호기 및 5,6호기 「환경영향평가 협의」 내용 중 온배수를 이용한 양식장을 설치하고, 인근 주민에게 온배수를 제공하라는 조항에 근거하여 시작
- 협의 내용이 법적 의무사항
- 영산강 환경관리청에서 협의 내용을 이행할 것을 요청함에 따라 온배수 양식장 설치가 적극적으로 고려되었음

- 온배수 배관의 길이

- 800m~ 약 1km
- 취수는 온배수 배출구에 펌프와 배관을 통해 이루어짐

- 온배수 사용기간은 11월~4월 정도로 연간 약 4~5개월 동안 공급되며, 전체 양식경비 중 대략 30% 정도 절감

○ 영동 화력발전소

- 온배수 배출량은 연간 2.5억 톤이고, 관류냉각방식으로 설계 상 ΔT 가 9.2℃
- 4개 업체(SH수산, 솔영어조합법인, 동일수산, 태평양수산)가 온배수를 취수해 해삼 및 넙치 양식어업에 적극 활용하고 있음
- 보상 차원에서 설립된 것이 아니라 양식업자가 자발적으로 주변에 모여들어 단지를 형성한 것이 특징임
 - 초기에는 양식업자들이 별도의 공급협약 없이 온배수를 취수해 양식에 이용하다가 최근 들어 영동 화력발전소와 '공급협약'을 체결하였음
 - 서해안과 남해안의 발전소에 비해 취수구에 이물질 부착이 적어 약품(염소) 사용량이 적다는 장점을 가지고 있음

해삼 종묘 생산

- 해삼은 가온 비용이 전체 양식비용의 절반 이상을 차지하여, 온배수를 활용한 해삼 종묘 생산이 경쟁우위를 차지할 것으로 판단하였음
- 해삼 종묘의 민감성을 감안하여 온배수에서 순수하게 열 에너지만 추출하기 위해 열교환기 설치
- 일반 해수로 양식할 때 소요되는 가온 비용(양식경비 중 60~70%가량 차지)을 절감함으로써 2010년 해삼 종묘의 판매단가를 절반 수준으로 낮출 수 있었음
- 11월부터 6월까지 총 7개월가량 사용하며, 온도 조절은 해수와 온배수의 수동으로 희석하여 조절
- 타 지역은 가온 없이는 봄에 입식하여 가을에 출하하는 방식으로 1년에 1회 정도 출하가 가능하지만 온배수를 활용할 경우 1년에 2회의 출하가 가능함

넙치 양식

- 동일수산에서 2003년부터 양식을 시작하여 2009년에는 수면적 3,900㎡에서 약 100톤가량의 넙치를 출하
- 시간당 물 사용량은 900~1,200톤가량으로 온수와 해수를 수동으로 희석하여 수온을 조절
- 12월에서 5월 말까지 총 6개월 동안 가온 없이 온배수를 사용
- 전남/경북 지역보다는 3개월 빨리 출하(1kg 기준)가 가능하고 제주도보다는 출하가 늦음
- 장점: 양식장 부지가 저렴하여 양식 투자비용이 저렴하고, 물류비에서 우위

□ 지자체 주도 사례

○ 경상북도

- 2010년부터 15억 원을 들여 2,000평 면적의 양식장을 신설하고, 울진 원자력발전소에서 나오는 온배수를 활용
- 연간 넙치 36톤, 전복 30톤가량을 생산할 예정

○ 경주시

- 100원을 투입하여 발전소 온배수를 활용하여 국내 최초 혼합형 연안바다목장 조성을 추진하고 있음
 - 보상이 끝나 어업권이 상실되면서 방치되고 있는 월성 원전주변 연안에 온배수를 활용한 바다목장을 조성할 예정
- 경주시는 최초로 개발한 '온배수활용 시범바다목장 모델개발 사업'에 대해 국가 시범사업을 신청하였음
 - 유히수면 활용 및 해양생태 복원으로 해양 녹색성장 추진에 큰 도움이 될 것으로 전망
 - 바다목장 조성사업의 새로운 형태로 자리잡을 전망
 - 15개 시·군이 발표한 바다목장 사업은 농림수산식품부의 심사를 거쳐 10월 중순경 2개소를 선정할 계획

※ 바다목장

연안해역에 인공어초 등을 투입, 물고기를 위한 인공 생태 도시를 만들고 이곳에 물고기 치어를 방류해 자연 상태에서 살아가도록 하는 친환경 생산 시스템

- 원전 인근 연안의 수산활동이 금지된 지역(2만1,330ha)을 대상
 - 온배수 확산해역으로 온배수로 인해 각종 어류가 몰려 보육장, 어획장이 형성
 - 발전 취배수로 인한 좋은 환경으로 각종 해조류, 패류의 성육장이 활발이 이루어지고 있다는 점에 착안
- 이미 어업보상을 실시한 바 있는 월성원전 측은 사업 취지에 적극 찬성하고 있음

- 「원자력 법」에서 정하고 있는 원전 반경 918m 범위 내
가 아니라면 적극 지원한다는 입장

○ 태안군: 이월간척지구 양식단지 조성(미확인)

- 충남 태안화력발전소 주변 이월간척지구 내 2만5000평에 이르는
전국 최대 규모의 양식단지 조성
- 예산: 2003년 50억원을 들여 양식장을 조성한 뒤 500평씩 30~40
여개 업체에 분양기로
- 주변 온배수(溫排水)를 활용해 넙치, 우럭, 돔 등 고급어종을 양식
하고 다양한 수산 종묘를 생산
- 태안화력 온배수는 바다 수온보다 평균 7℃가 높아 양식업에서 가
장 큰 비중을 차지하는 연료비를 94% 가량 절약, 생산 원가를 크
게 줄일 수 있음

나) 농업분야 활용

○ 우리나라에서는 발전 온배수의 활용이 주로 양식업에서 이루 어져 왔으나 최근 온배수의 농업적 활용방안에 대한 연구가 이루어지고 있다.

- 발전 온배수를 시설 원예농업의 난방열로 활용
 - 30~50℃ 도 정도의 배수는 시설원예 난방에 이용될 수 있
으나, 15℃ 이하의 경우는 보조 열원 장치가 필요함.
- 경제성
 - 약 9917㎡(3000평)의 비닐하우스의 경우, 경유보일러를
발전 온배수 시설로 대체할 경우 매년 1억6,000만 원 가
량을 절감할 수 있을 것으로 추정됨
 - 다만 15억 원 이상 드는 초기 설치비가 농민들의 부담이
되고 있어 정부지원이 선행돼야 할 것임 (박현태, 2005)

○ 시설작물의 경영비 구조

- 광열동력비가 경영비의 20~30% 이상을 차지하여, 광열동력비를

절감하는 것이 곧 시설 농가의 소득증대로 연결됨

- 10a(300평) 당 토마토(축성)의 경영비는 500만 원, 장미는 1,300만 원
- 경영비에서 광열동력비의 비중은 오이(축성) 32.2%, 토마토(축성) 31.9%, 장미 30.5%, 카네이션 23.1% 등

□ 지자체 주도 사례

○ 제주특별자치도

- 2010.7 서귀포시 안덕면 화순리 ‘발전소 온배수 이용 시설원에 시범단지’ 준공
- 우리나라에서 발전소 온배수를 농업에 사용하고 있는 최초 사례
- 경제성
 - 기존 열풍난방 대비 80%정도 가온 비용 절감
 - 종전 3,000평 시설농가의 경우 연 1억원의 난방비용을 80% 이하인 연 2,000만원 수준으로 절감시키면서도 적정 온도 23℃를 유지
 - 지열(15~19℃) 이용 히트펌프 시스템보다 효율성이 높을 것으로 전망

제주 발전소 온배수이용 시설원에 시범단지

- 사업자: 화순리 행복나눔영농조합법인 (참여농가 7가구)
- 기반시설: 시설하우스(망고, 감귤) 5,265㎡
히트펌프 120RT
고압수전
- 화력발전소 온배수 온도: 21~32℃, 자연해수보다 6~9℃ 정도 높음
- 발전 온배수 이용 방법
 - i) 화력발전소 냉각수인 바닷물 온배수조(21~32℃)에 열 회수장치 설치
 - ii) 열이 회수된 물(15~27℃)을 송·배수관을 통해 히트펌프에 연결
 - iii) 히트펌프에서 물 온도를 55~60℃로 상승시켜 축열조에 저장
 - iv) 저장된 물을 fan unit를 통해 공기난방 활용 → 열대과수 재배
 - v) 활용된 물은 다시 열 회수장치 → 히트펌프 → 하우스 순환

- 국고·지방비 80%, 자부담 20%로 7억5,000만원을 투입
- 온배수를 이용한 냉·난방으로 작물재배 및 출하 조절이 가능
- 제주도는 농가들에게 큰 호응을 얻고 있음에 따라 올해에 하우스 시설을 추가 확장할 예정임.

○ 제주시

- 제주 화력발전소 주변 지역 상추농가(0.4km)와 조천읍 신촌리 화훼농가(3 km)에 온배수를 이용하여 난방을 공급하는 에너지 절감 사업을 추진 중임
- 투자 비용
 - 상추농가: 온배수 배관시설에 1억원, 히트펌프 등 하우스 난방시설에 4억5천만원 소요
 - 신촌리 화훼 8농가: 5만9천400㎡의 시설하우스 난방에 배관시설 5억원과 히트펌프 등 난방시설에 총 54억원이 소요
- 예비 사업자를 물색하여 경제성을 검토한 뒤 2012년도 국비지원 사업인 「농어업에너지효율화사업」을 신청, 확정되면 2012년 2월에 사업을 시행할 예정

다) 기타 분야 활용

○ 제설작업에 활용 (인천 서구)

- 길거리에 쌓인 눈을 치우는 데 염화칼슘 대신 지역 내 4개 발전소에서 냉각수로 쓴 온배수(32℃)를 이용
 - 지난 5년 동안 겨울철 한해 평균 630t의 염화칼슘 구입
 - 유독 춥고 눈도 많이 온 올 겨울에는 990t(2억여원) 소비
- 경제성
 - 발전소에서 차에 물을 담아주는 펌프시설만 설치하면 됨
 - 4곳 발전소에서 나오는 온배수가 하루 560만t
 - 구청의 염화칼슘 구입비 30% 이상 저감

- 2011년 1월 인천 북항 일대에서 시험·분석 작업
 - 온배수는 염분 농도가 약 3.5%로 차량/가로수에 입히는 피해가 크지 않음
 - 눈이 녹아, 함께 하수구 등으로 흘러가기 때문에 눈이 도로에 남아있지 않고, 다시 얼어버리는 일도 거의 없음
 - 다만 기온이 영하 5℃ 이하로 떨어졌을 때도 이만큼의 효과가 나타나는지는 아직 검증하지 못했음
 - 당분간은 염화칼슘과 함께 이 방법을 쓰면서 효과를 좀 더 검증하고 문제점은 보완해 차츰 사용을 늘려갈 방침

III. 정책제안

- 앞에서 살펴보았듯이 발전 온배수는 주변 해양생태계를 오염시키는 열 오염물질로 규정되어 있음
- 따라서 보령시에 소재한 보령화력 1~8호기와 신규 설립 예정인 신보령 화력1~2호기에서 배출되는 온배수를 관리할 필요가 있음

1. 보령화력의 온배수 관리 강화

- 나름대로 온배수 활용을 위해 노력하고 있는 영광원전, 월성원전, 고리원전, 영흥화력 등의 발전소들과는 달리 중부발전 보령화력은 온배수 재활용량이 전혀 없어서, 이에 대한 개선이 필요함
 - 2001년부터 2010. 7월까지 발전 5개사가 발전소 냉각수로 쓴 해수(2,116억t) 중 재활용량은 8억t으로 0.3%에 불과함
 - 보령 화력발전소는 1988년 화력발전소 내에 시험어장을 설치해 고급어류 양식기술 개발사업에 착수하여 양식장에 온배수를 이용하였으나 2000년대 초반 사업을 종료하였음
- 기존의 보령화력 1~8호기와 관련하여 보령화력 측의 온배수 활용 방안 제시를 요구하여야 함
 - 주민 보상이 끝났다고 해서 보령시 해양생태계의 피해를 보상한 것은 아님
 - 보령화력 측은 발전소 자체 양식장 폐쇄의 원인을 ‘경제성이 없어서’라고 밝히고 있음
 - 영광원전, 월성원전, 영흥화력 등 여타 발전소 들은 경제성 여부와 관계 없이 주변 해역 어족자원 조성 및 지역과의 일체감 조성을 통한 지역공동체 경영 확립이라는 목표 달성을 위해 양식장을 건

렵하고 치어들을 방류하고 있음

- 영광원전: 넙치, 점농어 등 7천500만 마리, 백합 등 패류 145톤 방류
- 월성원전: 참돔 40만 마리 방류, 전복 10만 마리 주변 어민에게 무료로 분양
- 영흥화력: 조피볼락 20만 마리 방류

○ 신규 설립 예정인 신보령 1~2호기의 경우, 인허가 과정에서 「발전소 건설 및 운영관리 환경협정」 또는 「환경영향평가 협의」 내용에 발전소 온배수에 관한 활용 항목을 강제규정으로 삽입할 필요 있음

- 영흥화력발전소 사례

- 「발전소 건설 및 운영관련 환경협정」 제19조
- “온배수의 영향을 최소화하기 위하여 지속적으로 노력하여야 하며, 온배수 방류수로 수산 생물의 양식장 및 기타 사용 후 방류 등의 방안을 강구 시행하여야 한다.”

- 하동화력발전소 사례

- 제1~4호기 및 5,6호기 「환경영향평가 협의」 내용 중 “온배수를 이용한 양식장을 설치하고, 인근 주민에게 온배수를 제공한다”
- 협의 내용이 **법적 의무사항**
- 영산강 환경관리청에서 협의 내용을 이행할 것을 요청함에 따라 온배수 양식장 설치가 적극적으로 고려되었음

○ 온배수의 활용과 더불어 온배수로 인한 해양생태계의 피해를 줄이기 위한 방안을 보령화력이 강구하도록 함

- 신축되는 발전소에서는 해안에서 800m, 수심 20m에서 저온의 냉각수를 취수하고 해안에서 약 570m, 수심 15m에서 방류하는 심층 취수, 심층 배수하는 방식을 도입하고 있음

2. 발전 온배수의 활용 방안

□ 발전 온배수의 농업부문 활용

- 발전소 지역 주민과 지자체와 연계해 온배수를 이용한 탄소 배출이 적은 친환경적 시설원에 시스템을 개발할 필요 있음
 - 최근 시설농가의 최대 화두는 난방비이며, 신재생에너지 활용 사업으로 정부에서는 시설농가에 지열히트펌프 방식을 권장
 - ※ 지열히트펌프 방식: 시설하우스 토양 속에 수직 또는 수평으로 열 회수관을 매설하고 땅속 열을 회수하여 히트펌프장치에서 온도를 높여 온실에 공급하는 사업
 - 농가들의 자부담 마련이 힘들겠지만 한번 시설하면 난방비 부담을 대폭 줄일 수 있음
 - 발전소 온배수 활용방법은 지열히트펌프 방식과 유사하나 지열이 아닌 온배수에서 열 회수를 한다는 점이 다르며, 온배수는 지열보다는 온도가 높고 물이기 때문에 열 회수 효율성이 높음
 - 히트펌프 방식은 냉방과 난방이 동시에 가능하기 때문에 저온처리를 통한 작물의 출하시기를 조절할 수 있어 과학영농 실천에도 기여
- 바다로 버려지는 발전소 온배수 활용은 저탄소 녹색성장 정부 목표에도 부합되고, 발전소와 인근 농업인과 대립적인 관계에서 협력적인 관계로 발전할 수 있는 계기가 될 것

□ 온배수의 농업부문 활용 추진 전략

- 온배수 활용 시설농업 단지조성 가능성 여부는 온배수 이동 거리, 시설농업 여건, 주민 참여 의지 등 다양한 조건을 면밀히 검토해야 함.
 - 특히 온배수의 이동 거리는 매우 중요한 변수로 작용
 - 시설농업은 초기 투자비용이 높고, 고도의 생산기술이

요구되는 바, 주변 지역에 산재되어 있는 소규모 시설농가들을 조직화하는 것이 급선무

원전 주변 지역의 시설농업 도입 가능성

○ 영광원전 주변지역

- 온배수를 활용한 시설농업 단지를 조성할 경우 30~40대 젊은 층의 50%는 조건부로 참여하겠다는 의향
- 참여조건: 온배수 이용을 위한 시설투자(온실, 배관, 열교환기 등)의 일부를 정부 또는 발전소가 지원
- 투자 주체 별 부담: 농가 30%, 나머지 70%는 정부 및 발전소가 부담
- 지역협력지원금에 의한 지원을 희망
- 작목반과 같은 조직단위의 추진이 바람직한 것으로 보고 있으며, 희망하는 작목은 화훼, 온실유형은 유리 온실, 농가당 온실규모는 2,000평 정도

○ 울진원전 주변지역

- 원전의 경우 온배수의 에너지 자원 활용과 지역 협력 차원에서 온배수 이용사업에 대해 매우 적극적
- 지역 주민은 소극적이고, 작목은 신선채소 및 과채류, 온실유형은 비닐온실, 농가당 온실규모는 600평 정도를 희망

○ 고리원전 주변지역

- 주민은 온배수 이용에 대해 매우 높은 관심을 보이고 있으며 이용의 가능성이 가장 큰 분야는 시설농업, 저장시설, 건조시설 등임
- 참여의지는 높지만 시설농가들의 영농규모가 매우 영세하기 때문에 투자 여력이 없음
- 참여조건: 온배수 이용을 위한 시설투자(배관, 열 교환기 등)의 일부를 발전소 또는 지자체 및 정부가 지원해 주어야 한다는 것
- 희망작목은 화훼, 신선채소, 과채류의 순이며, 유리 온실 선호, 온실규모는 농가당 1,000평 정도.

○ 월성원전 주변지역

- 참여 의사를 보이고는 있으나 영농규모가 영세하고 초기 투자비용에 대해 큰 부담을 느끼며, 온실경영 및 재배 기술 습득에 대해서도 큰 우려
- 참여조건: 온배수 이용을 위한 시설투자(온실, 배관, 열 교환기 등)의 일부를 발전소 또는 지자체 및 정부가 지원
- 희망작목은 화훼류, 과채류 순이고, 온실유형은 유리 온실, 온실규모는 600평

히트펌프

- 열의 회수, 저장, 변환, 수송 등의 기술을 활용한 냉난방 시스템
- 온실의 난방은 히트펌프를 가동하여 축열 탱크에 온수를 저장한 후 저장된 온수를 난방 코일에 순환시킴으로써 온실 내부 온도를 일정하게 유지
- 히트펌프의 난방비 절감 효과
 - 히트펌프를 이용하기 위해서는 히트펌프 설치를 위한 투자와 온배수를 끌어들이기 위한 배관시설이 선결되어야 함
- 히트펌프의 투자비 회수기간
 - 3,000평 유리온실을 기준
 - 히트펌프 설치를 위해서는 838,000천 원, 보일러 설치시는 590,000천 원이 소(합 248,000천 원)
 - 온배수 이용을 위한 배관시설 설치비는 배관길이 2km, 배관직경 200mm 열관을 기준으로 할 경우 711,027천 원이 소요
 - 히트펌프를 이용하기 위해서는 총 959,027천 원이 더 소요
 - 히트펌프 이용 시 연간 157,302천 원의 난방비를 절감 할 수 있기 때문에 6.1년 후에는 추가 투자비를 회수 할 수 있음

- 시설농업으로 전환하는 농가들에게 생산기술에 대한 노하우를 제공할 수 있는 방법도 강구될 필요
- 투자비용에 대한 정부, 지자체, 발전소의 보조가 필요함

○ 온배수의 온도 분포

- 15℃ 이하 발생 빈도율이 연간 전체의 16.3%
- 주 난방시기인 1, 2월에는 90%
- 31℃ 이상의 온도로 배출되는 경우도 29.5%로 하계 냉방 열원으로서도 문제점이 있음

○ 온배수를 시설농업에 이용하기 위해서는 별도의 적절한 보조장치가 있어야 가능

- 하천수, 해수 등과 같이 그 열원이 통상 여름철에는 대기온도보다 낮고 겨울철에는 대기온도보다 높을 때 히트펌프를 이용하여 온도차 에너지를 냉난방에 활용

□ 수산업 분야

- 잡는 어업을 통한 수산물 생산량의 점유율은 점차 감소하는 추세이고 양식 수산물의 생산량은 증가하는 추세
- 발전소 온배수를 활용한 양식어업은 저탄소 녹색성장 개념에 일치하고, 양식어업 경영비 절감 차원에서도 매우 필요
 - 특히 겨울철에 온배수를 양식장에 활용할 경우 비용 절감 이외에도 대상 어종의 성장 속도를 높여 연중 생산 혹은 생산주기를 단축시킴으로 추가적인 경제적 이익이 실현
 - 기대효과
 - 첫째, 온배수를 활용할 경우 기존 양식장보다 생산비용(난방비, 가온비 등)이 절감
 - 둘째, 온배수를 활용함으로써 기존 양식업의 유류 사용 및 이산화탄소 배출량 감축을 통해 저탄소 녹색성장 정책에 기여
 - 셋째, 폐자원으로 여겨지는 온배수를 양식장에 재활용함으로써 폐자원 활용 제고에 기여
 - 넷째, 양식산업 분야에 새로운 양식생산기법을 도입함으로써 새로운 고용 창출에 기여
 - 다섯째, 온배수 온도 저감을 통해 해양환경에 미치는 영향 최소화

□ 수산부문 발전 온배수 활용의 제약 요인

- 발전 온배수 활용의 제약요인은 기술적 요인, 경제적 요인, 제도적 요인으로 구분될 수 있음
- 기술적 요인
 - 첫째, 일부 발전소의 경우 온배수의 수온이 일정치 않을 수 있음
 - 특히 종묘 생산에 온배수를 활용하는 경우에는 수온 변화에 따른 영향은 더 예민

- 둘째, 해역에 따라, 발전소 위치 혹은 냉각수 취수구 위치에 따라 온배수의 수질이 달라질 수 있음
 - 화력발전소의 경우 석탄 공급을 위한 항만시설 등으로부터의 배출수로 인해 수질 저하 현상이 일어날 수 있음
- 셋째, 대형 차량의 운행이 잦아, 진동 발생으로 인해 양식어류가 스트레스를 받아 성장이 늦어질 수도 있음

○ 경제적 요인

- 취수구에서부터 양식장까지의 취수관 설치 초기비용 부담이 매우 큼
- 발전소 주변의 지가가 다른 지역보다 상대적으로 높아 비용부담이 가중
- 안전성에 대한 인식문제(원전 온배수의 경우) - 낮은 출하 가격

○ 제도적 요인

- 향후 대량 폐사 등과 같은 예기치 못한 상황이 벌어질 경우에는 발전소 측이 전적인 책임을 면하기 위한 안전장치를 만들어 줄 필요가 있음
- 법률적인 문건 같은 제도적 기반이 마련되어야 발전소 측이 향후 안정적이고 협조적으로 온배수를 양식업자에게 공급하는 것이 가능해질 것

□ 추진 전략

- 기존 온배수 활용에 따른 제약요인 해결을 우선적으로 추진
- 온배수 공급자의 미래 위험 부담 최소화를 위한 제도 마련 추진
- 기존 시설은 보수 및 개선을 통한 잠재적 효과 극대화 추진

- 시범 사업을 시행한 온배수 활용 양식장의 경험 습득 추진
 - 양식장이 어민 소득에 직접 도움이 되려면 규모를 확대하는 등 개선이 필요하며, 온배수가 어류 양식에 적절한 것으로 검증된 만큼 '자원화' 전략을 추진할 필요가 있음
 - 일본처럼 온배수를 이용한 해상 가두리양식장을 설치해야 어민들에게 실질적인 도움이 될 수 있으므로 이에 대한 연구 필요
- 초기비용 부담 감소를 위한 재정적 지원책 마련
 - 정부, 지자체, 발전소의 보조금 지원으로 자부담 최소화
- 해역별 특성을 반영한 양식 클러스터 구축
- 서로 Win-Win할 수 있다는 공동체 의식 제고

참고자료: 충남도, 바다/내수면 양식어업/종묘 생산
어가에 열교환기(히트펌프) 보급

- 에너지절감 시설 보급을 통한 어가 경영비 부담 경감을 위해 총47억원 투입
- 지원대상
 - 난방이 필요한 해수/담수를 직간접으로 이용해 양식하는 시설
 - 수면적 600㎡ 이상 (종묘생산 시설은 300㎡이상)
 - 현장 여건, 자부담 능력을 고려해 원하는 규모로 맞춤 지원
- 기대효과
 - 에너지 비용의 획기적 절감 및 청정에너지를 이용한 고품질 수산물 생산
 - 탄소 배출량 억제
- 경비절감
 - 5개월 기준 경유 보일러와 비교 시 비용을 10% 이하로 줄일 수 있음
 - 시설비용: 6,000만원 - 2년 이내 투자 시설비 회수 可

3. 보령시 자체의 노력 필요

□ 온배수 관리제도에 관한 기본대책 마련

○ 발전 온배수 배출기준과 피해관련 규정을 제정해야 함.

- 배출기준 및 관리심의위원회 신설
- 객관적 피해범위 산정 조사지침 개발
- 저층배수 방식 등 도입
- 온배수를 양식장, 시설하우스 등에 공급
- 발전소 냉각방식 개선 및 온배수 이용 확대 추진

○ 보령시에 적합한 온배수 배출기준(안)

- 온배수 배출구에서의 최대 허용수온을 35도로 규정
- 하절기에는 자연해수 온도와 7℃ 차이를 넘지 못하도록 하며, 동절기의 겨우 온도 차 15℃를 초과할 수 없도록 규정

(한국해양연구원, 2008)

○ 온배수 환경용량 산정

- 온배수 환경용량: 대상해역이 악영향을 받지 않고 수용할 수 있는 최대의 온배수 열 부하량
- 온배수에 의한 열 부하량의 총량을 방류 해역이 온배수를 수용할 수 있는 환경용량 범위 내로 규제할 필요
- 온배수 환경용량은 수치 모델을 이용한 수온 시뮬레이션을 통하여 산정 가능

※ 화순화력발전소로부터 배출되는 온배수의 열 부하를 수용하기 위한 제주도 남부연안해역의 해양환경용량

- 현재 열부하의 약 5배에 해당하는 약 530×10^6 kcal/day 로 산정(김광수, 2000)

□ 정부의 에너지 정책의 활용

○ 농식품부, 「농어업에너지효율화사업」

- 농식품부의 지원비를 신청하여 시설농가에 온배수 활용

○ 농식품부, 「제3차 수산진흥종합대책(2010-2014)」

- 6개 중점 추진과제 중 ‘양식산업 에너지 절감’이 포함되어 있음
- 주요 내용: 양식장 배출수 폐열회수장치 보급, 원자력 발전소의 온배수를 이용한 양식 등 양식산업과 전력산업의 융·복합화

지자체 주도 온배수 활용사례

○ 경상북도

- 2010년부터 15억 원을 들여 2,000평 면적의 양식장을 신설하고, 울진 원자력발전소에서 나오는 온배수를 활용

○ 경주시

- 100원을 투입하여 발전소 온배수를 활용하여 국내 최초 혼합형 연안바다목장 조성을 추진하고 있음
- '온배수활용 시범바다목장 모델개발 사업'에 대해 국가 시범사업을 신청하였음

○ 제주특별자치도

- ‘발전소 온배수 이용 시설원에 시범단지’
- 우리나라에서 발전소 온배수를 농업에 사용하고 있는 최초 사례
- 기존 열풍난방 대비 80%정도 가온 비용 절감
- 국고·지방비 80%, 자부담 20%로 7억5,000만원을 투입
- 온배수를 이용한 냉·난방으로 작물재배 및 출하 조절이 가능
- 제주도는 농가들에게 큰 호응을 얻고 있음에 따라 올해에 하우스시설을 추가 확장할 예정임.

○ 제주시

- 제주 화력발전소 주변 지역 상추농가와 화훼농가에 온배수를 이용하여 난방을 공급하는 에너지 절감사업을 추진 중임
- 예비 사업자를 물색하여 경제성을 검토한 뒤 2012년도 국비지원사업인 「농어업에너지효율화사업」을 신청, 확정되면 2012년 2월에 사업을 시행할 예정

- 2011년에 발전소 온배수를 양식장에 활용하는 시범 사업을 추진할 예정
- 보령화력 온배수를 양식장에 활용하는 사업에 대한 지원 요청 필요

4. 맺음말

○ 발전 온배수에 의한 열 오염(thermal pollution)

- 적정수온의 범위 내에서는 수온 상승이 성장을 촉진하지만, 임계수온 이상에서는 생산성 저하 및 서식 범위 축소, 생물의 군집구조의 변화, 특정생물의 도피, 소멸 또는 새로운 종들의 발생을 초래하며 심지어는 해양생물의 사망을 초래하며 어패류 어장 및 양식어장에 큰 피해가 발생

○ 보령시의 온배수 정책 기본 전략

- 온배수 관리제도에 관한 기본대책 마련
 - 발전 온배수 배출기준과 피해관련 규정을 제정
 - 보령시에 적합한 온배수 배출기준 규정
- 민·관·산·학 협동 사업추진 체제 구축
- 정부의 에너지 정책의 활용
 - 농식품부, 「 농어업에너지효율화사업 」
 - 농식품부, 「 제3차 수산진흥종합대책(2010-2014) 」
- 기존 온배수 활용에 따른 제약요인 해결을 우선적으로 추진
 - 온배수 공급자의 미래 위험 부담 최소화를 위한 제도 마련 추진
- 농업부문
 - 온배수 활용 시설농업 단지조성 가능성 여부는 온배수 이동 거리, 시설농업 여건, 주민 참여 의지 등 다양한 조건을 면밀히 검토
 - 온배수를 직접 사용하기보다는 온배수 열을 이용

- 수산부문
 - 기존 시설은 보수 및 개선을 통한 잠재적 효과 극대화 추진
 - 시범 사업을 시행한 온배수 활용 양식장의 경험 습득 추진
 - 대상어종 특화를 통한 해역 특성을 반영한 양식 클러스터 구축
 - 온배수를 직접 사용하기보다는 온배수 열을 이용
- 농수산 부문 공히 초기비용 부담 감소를 위한 재정적 지원책 마련
- 발전소와 지역 주민간 Win-Win할 수 있다는 공동체 의식 제고
- 적극적인 민간 참여 유도

IV. 부록

부록1. <국토해양부 발전소 온배수 관리방안>

1. 온배수의 정의

“자연에서 취수한 물에 인위적으로 열에너지가 첨가되어 자연해수보다 수온이 높은 상태로 다시 자연으로 배출되는 물을 말하며, 열에너지 이외에 어떠한 물질도 첨가되지 아니한 상태”를 말 함

2. 온배수 관리배경

- 발전소의 폐열처리를 위하여 대량의 온배수가 매년 해양으로 직접배출 되어 주변해역의 급속한 온도변화를 초래하여 해양생태계교란
 - 현재 연안지역을 따라 12개 업체 31개 발전소가 가동중(시설용량 57천MW)으로 온배수 배출량은 연간 약 473억톤(일일 약 1억 3천만톤)
- 전력생산을 위해 온배수 배출은 불가피하나, 대규모의 온배수 배출은 배출구 주변의 수온을 상승시켜 해양생태계에 직·간접으로 영향
 - 일반적으로 해양생태계에 영향을 미치는 거리는 배출구를 중심으로 3~6km이나, 해류가 빠른 서해의 경우, 20km까지 도달하기도 함.

3. 국내·외 동향

○ 국내현황

- 발전소 설계에 따른 복수기 온배수 배출설계(ΔT) : 6.4~13.5℃
- 온배수 관리를 위한 국내법: 없음
- 발전량 및 온배수 배출현황

구분	계	남부발전	남동발전	서부발전	동서발전	중부발전	한수원	포항제철	기타
발전량 (TWh/년)	330.8	42.5	31.9	37.1	30.2	30.3	133.5	14.2	10.4
온배수량 (억톤)	473.3	43.2	49.7	38.5	45.6	45.6	227.2	17.0	8

○ 국제현황

- 1994년 발효된 유엔 해양법협약에 따라 대부분의 선진국에서는 포괄적인 개념에서 온배수를 관리
 - 미국: 연방수질오염관리법에 근거를 두고 있으나 각 주마다 기준을 달리하고 있으며 최대배출 허용온도를 32.2℃ 이하로 규제
 - 일본: 수질오탁방지법 등 각종 법률에서 규제하고 있으며 1980년 이전에 건설된 발전소는 ΔT 를 9℃, 그 이후 건설된 발전소는 7℃로 규제
 - 프랑스: 연안어업인구가 적어 배출온도를 15℃까지 관대하게 허용함

3. 온배수에 의한 피해현황

- 냉각수 취수시 충돌에 의한 피해와 배출구 등 온배수 관리구역에서의 피해
 - 냉각수 취수시 피해상황으로는 영광원자력 발전소가 연간 약 200만 마리(30톤)로 가장 많고 월성원자력발전소 37만 마리(3톤) 등으로 확인
 - 복수기 안으로 빨려 들어 간 작은 생물 및 식물 플랑크톤 등도 사망은 이르지 않더라도 기초생산 능력이 50%이내로 저하되는 것으로 나타났으며
 - 배출구역에서는 냉수성 저서생물의 종 감소나 수생생물에 영향을 미치는 것으로 확인되고 있음

4. 온배수 관리방안

기본원칙

- 단기계획과 중·장기 계획으로 나누어 추진
- 비교적 적은 예산과 우선추진이 가능한 사항은 단기적으로 추진하고, 비교적 많은 예산과 기간이 소요되는 사항은 중·장기 계획으로 추진

○ 단기 추진계획

- 추진의 어려움을 감안 발전사별로 온배수 배출량이 가장 많은 발전소를 1개씩 선정하여 시범 실시한 후 그 결과에 따라 확대 실시
 - 어류 등 해양생물을 안전하게 돌려보낼 수 있는 보호장치 설치
 - 배출수 온도 및 발전소온배수 최고수온 모니터링 실시 (1~2년간)
 - 온배수를 활용한 수산양식장 설치로 치어 등을 생산, 인근해역에 종묘 방류하여 수산자원회복
 - 자체생산이 어려운 발전소에 대하여는 온배수를 활용하여 어류를 생산 할 수 있는 양식업자와 계약을 통하여 치어 등 생산·방류

○ 중·장기 계획

- 시범실시 결과를 바탕으로 문제점 등을 보완 모든 발전소로 확대 실시
- 모니터링한 자료를 바탕으로 온배수 배출온도 설정 및 관리방안 마련
 - ※모니터링 자료를 확인 온배수 배출온도 등에 문제점이 있을 시 관리방안 마련 재조정
- 온배수 관리구역 내 바다목장 조성 등 해양생태계 보호 방안마련
- 발전시설 개량 등 기술과 많은 비용을 필요로 하는 사항
- 부담금 징수, 관리방안 및 법령 등 규정 제·개정에 관한 사항

부록2. <해수부, 해양생태계 보호를 위한 온배수 관리 사업>

○ 사업 목적

- 산업체로부터 해양에 배출되는 온배수의 배출허용량 설정 등의 관리 시스템 구축으로 해양생태계 보호
- 온배수 배출 주변해역의 특성 별 온배수의 영향범위 및 수용 가능량을 평가하여 환경친화적인 온배수 관리방안 마련

○ 사업 내용

- 해양생태계 보호를 위한 온배수의 관리방안 조사연구 실시
- 연구조사 결과를 기반으로 온배수의 관리시스템 구축
- 객관적 피해범위 산정을 위한 조사지침 개발
- 해역별 온배수 배출기준 설정 및 관리기구 운영

○ 연도별 추진(투자)계획

- 총 사업기간/ 총 사업비: 2005-2007년/ 6억원
 - 연도별 추진계획
 - 2007년
 - 피해 조사방법의 표준화 방안 마련
 - 해역별 온배수 배출 기준 설정 추진
 - 해양생태계 보호를 위한 온배수 관리방안 마련
 - 관련법령 정비를 통한 근거 규정 마련
 - 온배수 관리기구 및 전문조사기관 등의 설치 검토
- (해수부 해양정책국, 2007)

부록3. <온배수 관리 법제>

- 온배수 정의: 해양환경관리법(2007.1) 제2조 2
 - ‘오염물질 또는 에너지로 해양환경에 해로운 결과를 미치거나 미칠 우려가 있는 상태’
- 온배수 관리: 동법 제5조(국가 등의 책무)
- 관리 기준: 동법 제8조(해양환경기준), 환경정책기본법 제10조(환경기준)
- 해양수산물발전기본법 제13조(해양환경기준)
- 온배수전문기관: 동법 제12조(해양환경측정·분석기관의 정도 관리)
- 특별관리해역 지정: 동법 제15조(환경관리해역의 지정 및 관리)
- 관리위원회 설치: 동법 제17조(해양환경관리위원회)
- 시설개선 명령: 동법 제18조(해양환경개선조치)
- 부담금: 동법 제 19조(해양환경경개선부담금)
- 제반 경비: 동법 제7조(오염원인자 책임의 원칙)

참고문헌

Anraku, M. & E. Kozasa (1979) The effects of heated effluents on the production of marine plankton (Takahama Nuclear Power Station-II). *Bull. Plankton Soc. Jap.*, 26, 77-86.

Barnett, P. R. O. (1972) Effects of warm water effluents from power stations on marine life. *Proc. R. Soc. Lond. B.*, 180, 497-509.

Briand, F. J., P. (1975) Effects of power-plant cooling systems on marine phytoplankton. *Mar. Biol.*, 33, 135-146.

Kolehmainen, S. E., F. D. Martin & P. B. Schroeder. (1975) Thermal studies on tropical marine ecosystems in Puerto Rico. In *Environmental effects of cooling systems at nuclear power plants*, 409-422. Vienna.

Laws, E. A. (1981) Thermal pollution and power plants. In *Aquatic Pollution*, 482. Wiley-Intersci.Publ.

Suresh, K., M. S. Ahamed, G. Durairaj & K. V. K. Nair (1993) Impact of power plant heated effluent on the abundance of sedentary organisms, off Kalpakkam. *East coast of India Hydrobiologia*, 268, 109-114.

U.S. EPA. (1976) Quality Criteria for Water. In *EPA-440/9-76-023*.

김광수, 최영찬, 이문진 (2000) 화순화력발전소 주변해역의 온배수 환경용량 산정. *Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering*, 3, 3-12.

김동규, 강대석, 정용현 (2009) 온배수를 열원으로 활용하는 생태산업단지 조성에 관한 기초 연구. *수산해양교육연구*, 21, 400-408.

김성길, 곽희상, 강주찬 (2002) 원자력발전소 온배수에 따른 우렁챙이의 성장. *한국수산학회지*, 35, 71-76.

김영환 등. (2002) 원전 온배수 문제 종합대응방안 수립을 위한 연구. 한국수력원자력.

노일, 윤성진, 허성희 고리원자력발전소 온배수가 주변 해역의 동물플랑크톤 분포에 미치는 영향. 9-10.

박철원 외. (1999) 발전소 온배수 확산해역의 해양목장화 기반연구. 한국해양연구원.

박현태, 강창용, 윤종렬. (2005) 원전 온배수의 상업적 이용을 위한 타당성 조사. 한국농촌경제연구원.

서범석 등. (1997) 발전소의 온배수를 이용한 특용작물 재배가능성 조사보고서. 호남온실작물연구소.

심재형, 여환구 (1992) 한국 연안해역에 있어서 온배수 배출의 생태학적 영향 - II. 고리원자력발전소 냉각계통 통과에 따른 식물플랑크톤의 변화. *환경생물학회지*, 10, 1-8.

원두환, 김현제, 김윤경 (2009) 원자력발전 온배수 이용에 대한 소비자 보상액 추정. *경제연구*, 27, 189-209.

이재창 등. (1992) 발전소 온배수의 농업이용에 관한 연구. 한국전력공사.

장창익, 이성일, 이종희 (2009) 원자력발전소의 온배수 배출량을 고려한 어업생산감소를 추정 모델. *한국수산학회지*, 42, 494-502.

(재)전원지역진흥센터. *해외 여러나라의 공생발전소 사례집(지역과 발전소의 공생형태일람)*.

정갑식. (2008). *발전소 온배수 관리방안*.

조정희, 김대영, 이정삼. (2010) 발전소 온배수를 활용한 저탄소 녹색양식업 발전 방향. *정책연구 2010-05(수시)*. 한국해양수산개발원.

편집부. (2011) '에너지 획기적 절감' 히트펌프 보급 - 양식어업·종묘 생산 24개 어가에 47억원 투입. *충남도정신문* 2011.4.25:도정소식.

편집부. (2011) 제주 화력발전소 온배수 재활용 추진. *매일경제* 2011.2.28.

편집부. (2010) 경북도, 원전 온배수 활용 '바다목장' 개발. *매일신문* 2010.11.30.

편집부. (2010) 화력발전소 온수 이용한 '친환경 시설원예 시범단지' 준공. *제주포커스* 2010.7.27.

편집부. (2009) 원전 하수구에서 보물수가 팔팔 -바이오

디젤 만들고 농사도 짓고... 온배수를 아시나요? 동아사이언스 2009.11.18.

한국수력원자력. (2005) 원전 온배수의 상업적 이용을 위한 타당성 조사.

한국해양연구원. (2008) 해양생태계 보전을 위한 온배수 관리 방안 연구.

해양정책국. (2007) 해양생태계 보호를 위한 온배수 관리방안 마련. 해양수산부.