

농·어업부문의 화력발전 온배수 활용방안

이인희 | 충남발전연구원 책임연구원

1. 발전 온배수의 배출

발전 온배수(thermal effluents)는 취수한 해수를 발전과정에서 발생한 폐열을 흡수하는 냉각수로 사용하여 수온이 상승된 상태로 방출되는 배출수¹⁾를 일컫는다. 발전 온배수는 자연해수보다 수온이 연평균 약 7℃ 정도 높으며, 유엔 해양법 협약은 온배수를 '인위적으로 해양환경에 유입되는 물질 또는 에너지로서 직·간접적으로 해양 생태계에 해롭거나, 해양의 쾌적한 이용을 저해시키는' 오염물질 중 하나로 정의하고 있다.

2010년 현재 우리나라에서는 1일 평균 1억 3,000만 톤의 발전 온배수가 배출되고 있다. 100만 KW급의 발전소 1기에서 사용하는 해수의 양은 초당 약 50~60톤으로 우리나라의 경우 30여개소의 발전소에서 최근 3년간 배출한 온배수는 연간 473억 톤에 이른다. 충남의 경우, 중부발전, 보령화력/복합의 배수량은 46.4억톤/년이다. 전력 사용량이 증가함에 따라 발전 온배수도 증가하고 있으며, 지구온난화에 따른 상승작용으로 해양 생태계에 미치는 영향이 확대될 우려가 있다.

본 연구는 발전 온배수가 해양생태계에 미치는 영향, 국내 및 해외의 발전 온배수의 부문별 활용 사례와 온배수 관리제도를 조사하고, 시사점을 도출하여 충남의 화력발전소에서 배출하는 온배수 활용에 관한 기본적 구상 수립을 위한 기초 자료를 제공하는데 목적이 있다.

2. 발전 온배수가 주변해역 해양 생태계에 미치는 영향

1) 열오염

적정수온의 범위 내에서는 수온 상승이 해양생물의 성장을 촉진하지만, 임계수온 이상에서는 해양생물의 생체리듬이 깨지면서 생산성 저하, 생물의 군집구조의 변화, 특정 생물의 도피, 소멸 또는 새로운 종들의 발생을 초래한다. 특히 정착성 어패류가 많이 서식하는 어장 및 양식어장에 온배수가 배출되면 생물의 도피가 어렵기 때문에 열오염

에 따른 피해가 발생한다.

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

2) 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 구분된다. 냉각계통 연행에서 수온변화, 냉각계통 내 부착생물 제거를 위한 염소 등의 화학물질 투여, 기계적 충격(mechanical stress) 등에 의해 동·식물 플랑크톤이 손실된다.

식물성 플랑크톤의 경우, 삼천포화력발전소에서 7.5~58.9%, 고리원자력발전소에서는 55% 정도 소멸된 것으로 조사된 바 있다. 동물성 플랑크톤은 발전소 냉각계통에서 30~100% 사망하는 것으로 알려져 있는데, 배수구의 수온 상승폭이 10℃ 이상일 때 동물성 플랑크톤이 냉각계통을 통과하면서 70~95%가 치사하는 것으로 조사되었다(Anraku, 1979; Kolehmainen, 1975).

3) 주변 수온상승 수역의 생물상 변화

수온이 높은 배수역과 그 1km 이내의 정점에서 수온이 상승함에 따라 동물 플랑크톤의 현존량이 감소한다. 해조류는 종조성이 바뀌거나 소멸하며, 저서생물의 경우 종 감소 및 다양성이 저하되고, 어류의 경우 종 교대현상(아열대성/난류성 어류)이 일어난다. 해조류의 경우, 김과 미역은 수온에 민감하여 타 품종에 비해 온배수의 영향을 크게 받을 수 있으나, 굴, 바지락 등은 수온범위가 비교적 넓고 고온에서도 적응력이 강하며 저층에서 양식이 이루어지므로 온배수의 영향이 상대적으로 약하다. 어류의 경우, 운동성이 높고 0.03~0.1℃의 미세한 온도변화도 감지할 수 있는 능력을 가지고 있어(Houston,1982), 선호하는 온도에 따라 공간적으로 재 분포가 일어나게 된다.

3. 발전 온배수 관리

1) 우리나라 발전 온배수 관리제도의 문제점

우리나라의 경우 온배수 문제와 관련한 국가적 기준과 온배수 관리시스템이 없으며, 발전소 온배수에 대한 명확한 배출기준 없이 『수질 및 생태계 보전에 관한 법률』 시행규칙 제34조²⁾에서 「수질오

1) 사용된 발전연료는 일부 전기에너지로 전환되고 나머지는 폐열로 처리된다. 폐열의 20%는 굴뚝과 복사열로 소멸되고 나머지 40%는 냉각수로 전환된다. 현재의 기술 하에서 원자력발전은 35% 내외, 기력발전은 40%내외의 열효율을 나타내며 LNG 복합화력발전은 70%로 열효율이 높은 편이다.

2) 폐수배출시설은 '수질오염물질을 배출하는 시설물, 기계, 기구 그 밖의 물체로서 환경부령이 정하는 것'을 말하며, 시행규칙 제6조(폐수배출시설)에는 화력발전소가 포함되어 있다(단, 시간당 10만KW 미만의 시설은 제외).

염물질 배출 허용기준에 '배출수의 온도'를 40℃로 규정하고 있을 뿐이다. 이러한 규정은 대규모로 배출되는 온배수에 적용하기에 곤란하다. 이러한 발전소 온배수 배출기준 및 관리규정 부재로 인해 우리나라는 민원과 갈등관리에 취약하다. 1980년 이후 원전 온배수 피해보상액은 약 1,100억원(화력발전 포함 시 약 2,000억)에 달하나³⁾, 매년 피해보상 민원 및 소송이 지속되고 있다(해양수산부 해양정책국, 2007).

2) 해외의 온배수 관리제도

발전소 온배수 관리와 관련하여 선진국은 온배수를 오염물질로 규정하여 관련 규제 또한 강화하는 추세이며 엄격한 발전소 온배수 배출 기준을 채택하고 있다. 캐나다는 『연방환경보호법(Environmental Protection Act)』에서 오염물질의 개념을 '열, 방사능 또는 다른 형태의 에너지'라고 규정하고 있으며, 미국은 연방정부의 『수질오염관리법』에 의한 규제와 주정부의 수질 표준에 의해 온배수를 관리하고 있으며, 기준치 초과 시 발전소 발전이 중단된다. 미국 환경청(EPA)의 '온대수역 온배수 배출수온 기준'은 주 평균수온의 증가가 연중 10℃를 넘지 않아야 하며, 여름철 해수의 최고수온이 27.8-29.4℃ 이내이어야 하고, 순간적인 최고 수온 변화는 30.6-32.2℃ 이내이어야 한다는 것이다. 『연방 맑은 물 법(Clean Water

Act)』의 제316조에서 냉각수 배출에 대한 온도 제한의 범위에 대해 규제기관과 면밀히 협력할 것을 규정하고 있다.

일본은 『수질오염방지법(水質汚濁防止法)』 제2장 배출수 항목에서 열오염에 관한 내용을 규정하고 있으나 국가차원의 온배수 배출 규정은 없으며, 발전소 건설을 위한 환경심사 시 7-8℃ 사이의 온배수 ΔT를 규정하고 있다. 대만은 방출구로부터 500m에서 온배수의 온도 상승치가 4℃이하, 이태리는 방출구로부터 1km에서 온배수의 온도 상승치가 3℃이하가 되어야 한다고 규정하고 있다.

4. 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 있다. 미국은 22개 발전소에서 굴, 바다가재, 새우 등을 양식하고 있으며, 독일은 10여 개 발전소에서 메기, 잉어, 농어 양식을 기업화하였고, 농업부문 특히 시설 화훼 분야에 온배수를 이용하고 있다. 프랑스는 어류 양식, 토마토 재배,

화훼 원예, 목재 건조 등에 활용하고 있고, 일본은 어패류 종묘 육성, 치어 사육 등에, 헝가리, 리투아니아, 슬로바키아, 불가리아, 스위스는 가정용 지역난방에 발전 온배수를 활용하고 있다.

① 수산업 분야

수산업은 대표적인 에너지 과다소비산업으로, 발전 온배수를 활용한 양식어업은 에너지 소비를 저감하기 때문에, 양식어업의 경영비를 절감할 수 있다. 특히 겨울철에 온배수를 양식장에 활용할 경우 대상 어종의 성장 속도를 높여 연중 생산 혹은 생산주기를 단축시킴으로 추가적인 경제적 이익을 실현할 수 있다.

일본의 온배수 활용사례

일본에서는 초기 1963년 센다이 화력발전소에서 전복, 치어의 시범사육을 시행하고, 1974년 (재)온수양어개발협회가 도카이 발전소 온배수를 이용하여 돔, 보리새우, 전복 등을 시범적으로 사

육한 이래, 최근 원자력발전소 7개소와 화력발전소 13개소에서 기업 규모의 양식장을 운영하며, 종묘 육성 및 치어 사육에 온배수를 중점적으로 이용하고 있다. 또한 온배수를 해상 가두리 양식에도 적용하여 쓰루가 발전소와 동연사업단(動燃事業團)의 후겐 발전소가 온배수를 배출하는 북정현 포저만(福井縣 浦底灣)에서는 북정현(福井縣) 수산시험장이 해면에 가두리 양식장을 설치하여 참돔, 넙치, 전갱이, 꼬치고기 등을 시험양식하고 있다.

유럽의 온배수 활용 사례

유럽에서의 발전소 온배수 활용은 온배수 활용으로 어패류가 성장하기 위한 최적온도 설정이 용이해져 성장을 효과적으로 촉진하며, 산란기 조정 등의 효과가 있는 것으로 알려지면서 양식업에서 적극 활용하고 있다. 프랑스, 영국, 벨기에 등에서는 민간기업과 NGO를 중심으로 온배수를 이용한

〈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)오쿠마마치 수산진흥공사	"	"	(양성) 넙치
시즈오카현 온수이용연구센터	츄부전력(주) 하마오카원자력발전소	3호기 : 110.0, 4호기 : 113.7, 6호기 : 126.7	(종묘) 참돔, 넙치, 꽃게, 전복, 대하, 자주복 등
이시카와현 수산종합센터 생산부시가지사업소	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

3) 2008년 현재, 수산활동 제한구역이 2,3000ha에 이르며, 보상액은 1990~2005년 기간 3,230억(원전: 1771억, 화전: 1,459억)에 이른다. 충남 보령시의 경우, 온배수 확산구역의 수산업 피해보상이 1989. 4: 1, 2호기 오천만 해태 피해 4.9억원, 1995. 6: 3-6호기 어업 피해 15.4억원, 2001. 1: 1-6호기 어업 피해 78.6억원, 2006. 1: 복합화력 어업 피해 41.2억원에 이른다.

〈표 2〉 유럽의 수산업분야 발전소 온배수 이용사례(2010)

발전소명	출력 MWx기	냉각 방식	사용 용도
프랑스 Gravelines	951x6	해수	민간기업 2사가 돔, 농어, 광어 등 양식. 이용수량 13톤/초, 연 2천 톤 생산
프랑스 La Blayais	951x4	하천수	제3섹터가 철갑상어 양식시험에 의해 450톤/년의 어획가능을 입증, 폐쇄해양연구소 건설, 본격적인 사업을 계획 중
벨기에 Tihange	934x3	냉각탑	5,400톤 수조와 1ha 연못에 온배수의 3%를 이용 틸라피아, 메기 등 연 400톤 생산
영국 HinkleyPoint	321x3 640x2	해수	광어, 장어 양식에 온배수 이용, 장어는 기업화에 성공
영국 Hanterstone	623x2	해수	민간 3사가 가자미, 서대 양식
영국 Wylfa	565x2	해수	서대, 연어 양식

양식업이 이미 상업화되었으며(표 2 참조), 양식 관련 연구소 설립과 함께 기술 개발도 활발히 진행하고 있다.

② 농업 분야

발전 온배수를 이용하여 관엽식물, 화훼, 토마토 등과 같이 가온 시설을 필요로 하는 고온성 작물의 경우, 난방비를 40~80% 정도 절감할 수 있어 농업분야의 온배수 활용이 증가하는 추세이다.

일본

수산업이 온배수의 주 이용부문이지만, 발전 온배수를 히트펌프로 회수하여 시설농업의 난방열원으로 이용하고 있으며, 작목으로는 화훼류, 관엽식물류, 과채류, 엽채류, 근채류 등 다양하다.

프랑스

프랑스를 포함하여 유럽의 발전소는 내륙의 강

가 주변에 위치하여, 냉각수로 하천수를 이용한다. 발전 온배수가 농·수산업 특히 바이오 관련 부문에 활용 가치가 높다는 것이 입증되면서 유럽의 각 정부는 관련 분야 사업에 있어서 온배수의 이용⁴⁾을 적극 장려하고 있다.

프랑스의 로젠 열대식물원의 경우, 유리온실 7ha 중 5ha는 뷔제 원자력 발전소에서 공급되는 온수를 난방열원으로 사용한다. 온배수관의 길이는 2km이며, 온배수는 직경 1m의 시멘트제 지하 파이프를 통해 공급된다. 온배수 이용에 투자⁵⁾된 비용은 1ha당 1억 2천만 원~1억 8천만 원이었다.

③ 기타 부문에서의 온배수 활용

수산업, 농업부문 이외 도로의 제설작업, 건물의 난방, 해수의 담수화 등에 온배수가 시범적으로 이용되고 있다. 일본의 경우, 홋카이도 개발국은

〈표 3〉 유럽의 농업분야 발전소 온배수 이용사례(2010)

발전소명	출력 MWx기	냉각 방식	사용 용도
프랑스 Bugey	937x2	냉각탑	29ha 채소 재배 플랜트 중 4.8ha 유리온실에서 화훼, 관상용 식물 재배
프랑스 Chinon	919x4	냉각탑	민간 회사가 4.8ha 온실에서 토마토, 화훼 재배. 건설용 목재 건조공장에서 열 이용
프랑스 Cruas	921x4	냉각탑	5.8ha 온실에서 토마토 재배. 연간 출하량 2천 톤. 시청, 교회, 풀장에서 열 이용
프랑스 Dampierre	937x4	냉각탑	인근 120ha 농원에 온배수 공급설비가 설치 15개 회사가 화훼, 채소 등 온실에 이용
프랑스 St.Laurent_Des_Eaux	956x2	냉각탑	0.53ha 온실에서 고품질 장미, 채소 생산, 커뮤니티 센터, 온수 풀장에도 온배수를 공급
프랑스 Tricastin	955x4	하천수	29ha 경지에 온배수를 이용하여 토마토, 장미, 베고니아 재배
스페인 Asco	930x2	냉각탑	발전소 온실에서 관상용 식물재배 온실 넓이 20~100m, 이용수량 100톤/시

총 연장 4.1km의 도로 제설에 발전 온배수를 이용하고 있으며, 카와고에 화력발전소는 온배수로 부터 얻은 회수열을 히트펌프로 조정하여 수영장의 실내난방에 이용하고 있다. 또한 시가 원자력 발전소는 후로리 꽃 박물관⁶⁾ 난방에 발전소의 온배수를 시설의 열원으로 공급한다.

2) 우리나라의 발전 온배수 활용

우리나라의 경우, 발전소 측이 대외 홍보용 및 지역발전 기여 측면에서 온배수를 수산부문에 활용하는 것이 주를 이루는데, 1964년 감천화력이

온배수를 이용한 진주조개 시범 양식장을 설치한 것이 최초이다.

① 수산업 분야 활용

우리나라의 온배수를 활용하기 위한 연구는 수산업 분야, 특히 내륙양식부문에서 가장 활발하였으며, 최근 바다목장 및 미세조류에의 활용⁷⁾에 관한 연구도 진행되고 있다. 국내에서 주로 양식하고 있는 어류는 대부분 온수성 어족으로 11월부터 4월까지의 해수 수온이 낮아져 자연 해수로는 양식이 불가능하다. 온배수를 이용할 경우 겨울철에도 어류를 성장시킬 수 있으며, 양식업의 유투비를 크게 줄일 수 있다. 따라서 최근 신축 발전소

4) 사업자가 온배수를 이용하고자 하는 경우 원전에서는 온배수를 무상으로 공급하고, 온배수 이용 관련 기술적 부분과 제반 시설에 드는 비용은 사업자가 부담하는 것을 원칙으로 하지만, 정부, 지방자치단체, 발전소에서 보조금이 지급되어 자부담은 그리 크지 않다.
5) 주요 투자 주체는 정부, 지역행정당국(지역자문회, 지역기업연합 등), 프랑스 전기공사로서 이들이 대부분의 투자비용을 부담하였다.

6) 후로리 꽃 박물관은 일본 정부가 추진하는 [지역공생형 발전소 구상] 정책의 일환으로 세워졌다(전국 1호). 사업비는 '전원입지초기 대책교부금' 10억 엔, '특별재정조정기금' 10억 엔, 일반재원 200만 엔 등 총 20여억 엔이다.
7) 바이오에너지 분야의 미세조류와 온배수 활용사업이 융합될 경우, 미세조류 양식장은 최적의 조건에서 100톤의 물을 이용해 3일마다 10톤 가량의 수확물을 얻을 수 있다.

들은 설계 당시부터 온배수를 활용하도록 만들고 있다.

우리나라에서는 감천화력의 진주조개 월동 실험 이후, 시험양식 사례가 늘어나면서 온배수를 활용한 양식기술이 개발되고, 대상어종 및 생산량이 확대되었으며, 그 주체도 2000년대 들어 민간 및 지자체로 확대되어 시험양식에서 성공적인 민간사업으로 확대되었고 활용 분야도 양식에서 수족관 및 바다 목장사업 등으로 그 영역을 넓혀 가고 있다.

발전소 시행 시범사업 사례

현재 우리나라에서는 영동화력, 하동화력, 영광원전, 월성원전, 고리원전 등에서 온배수를 이용하여 어류 종묘, 치어, 성어 등을 양식하고 있다. 영동화력발전소는 1983년 온배수를 넙치 양식에 접목하였으며, 삼천포 화력발전소는 1984년 온배수를

이용해 진주조개, 참돔, 방어의 월동에 성공하였는데, 이를 계기로 우리나라에서 온배수 이용에 대한 연구가 주목 받기 시작하였다. 충남 보령 화력발전소는 1988년 화력발전소 내에 시험어장을 설치해 어류, 꽃게, 전복 종묘를 양식하였으나 2000년대 초반 경제성을 이유로 사업을 종료하였다.

월성 원자력발전소는 1991년 원전 2~4호기 건설 인·허가와 관련하여 환경영향평가 협의 시 환경부와 온배수 양식장 설치·운영에 합의하여 1997년에 온배수 양식장을 건립하였다⁸⁾. 냉각수로 이용되는 하루 1,400만t 중 2,400t의 온배수를 이용하여 1,600평 규모의 온배수 양식장에서, 치어 조(5개), 성어 조(7개), 종묘 조(16개), 전복 수조(64개)를 설치하여 넙치, 참돔, 능성어, 돌돔, 농어, 전복을 양식하고 있다.

〈표 4〉 우리나라 온배수의 수산업 활용사례

구분	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, 성어 생산	
성숙기	2003~	영동화력	육상수조	넙치, 해삼종묘 (민간업체)
	2004~	하동화력	육상수조	넙치, 감성돔, 돌돔 (민간업체)
	2004~	고리원전	해상제한지역	진주 양식(2007년 채취)
	2008~	영흥화력	육상수조	전복, 민어, 점농어 조피볼락
	2010~	온배수를 활용한 수족관 개관, 온배수 활용 바다목장사업 선정		

8) 현재는 (주)한국양식개발연구소가 운영하며, 온배수양식장에 적합한 신종 어류양성, 전복 양성 등을 시도하고 있다. 수정란을 구입하여 육성한 후 인근 해역에 방류하고 있다.

고리 원자력발전소는 해상의 제한지역 인근 지역(월내만)의 진주조개 월동장에 온배수를 2004년부터 활용하여 2006년 7월 진주를 채취하였다⁹⁾. 영흥 화력발전소¹⁰⁾는 2008년 7월에 양식장을 준공하였고 2008년부터 치어들을 방류하여 2010년에는, 민어 6만 미, 조피볼락 40만 미, 전복 6만 미를 방류하였다.

민간 양식 사업 사례

하동 화력발전소¹¹⁾는 온배수 배출량이 연간 33.3억 톤으로 3개 양식장(금성수산, 선일수산, 보성수산)이 발전소와 온배수 공급 협약을 체결하여 넙치, 감성돔, 돌돔 등의 양식 어업에 활용하고 있다. 온배수 배관의 길이는 800m~1km로 취수는 온배수 배출구 내 펌프와 배관을 통해 이루어진다. 온배수 사용기간은 11월~4월 정도로 연간 약 4~5개월 동안 공급되며, 전체 양식경비의 30% 정도를 절감한다.

영동 화력발전소의 경우, 4개 업체(SH수산, 솔영어조합법인, 동일수산, 태평양수산)가 온배수를 취수해 해삼 및 넙치 양식어업에 활용하고 있다. 영동화력의 경우는 다른 발전소와는 달리 보상 차원이 아니라, 양식업자가 자발적으로 주변에 모여 들어 단지를 형성한 것이 특징이다. 초기에는 별

도의 공급협약 없이 온배수를 취수해 양식에 이용하다가 최근 들어 영동 화력발전소와 '공급협약'을 체결하였다.

지자체 주도 사례

경상북도는 2010년부터 15억 원을 투자하여 2,000평 면적의 양식장을 신설하고, 울진 원전에서 나오는 온배수를 활용하여 연간 넙치 36톤, 전복 30톤가량을 생산할 예정이다. 또한 경주시는 100원을 투입하여 발전소 온배수를 활용한 국내 최초 혼합형 연안 바다목장¹²⁾ 조성을 추진하고 있는데, 보상이 끝나 방치되고 있는 월성 원전 인근 연안의 수산활동 금지 지역(2만1,330ha)을 대상으로 하고 있다¹³⁾.

② 농업분야 활용

우리나라에서는 발전 온배수의 활용이 주로 양식업에서 이루어져 왔으나 최근 온배수의 농업적 활용방안 특히 시설원예농업¹⁴⁾의 난방용 활용에 대한 연구가 이루어지고 있다. 약 3,000평의 비닐하우스의 경우, 경유보일러를 발전 온배수 시설로 대체할 경우 매년 1억6,000만 원 가량을 절감할 수 있을 것으로 추정되지만, 15억 원 이상 드는 초기 설치비가 농민들의 부담이 되고 있어 정부지

9) 남해안 지역의 진주 양식은 겨울철이면 낮은 수온 때문에 제주도 서귀포 인근 해역에서 월동해야 했지만, 고리원전 앞바다는 통영지역 진주양식 어민들의 월동장으로 활용될 수 있을 전망이다.
 10) 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."는 규정에 의거 시행되었다.
 11) 제1~4호기 및 5,6호기 환경영향평가 협의 내용 중 '온배수를 이용한 양식장을 설치하고, 인근 주민에게 온배수를 제공하라'는 조항에 근거한다. 협의 내용은 법적 의무사항이다.
 12) 바다목장이란 연안해역에 인공어초 등을 투입, 물고기를 위한 인공 생태 도시를 만들고 이곳에 물고기 치어를 방류해 자연 상태에서 살아가도록 하는 친환경 생산시스템을 말한다.
 13) 경주시는 '온배수활용 시범바다목장 모델개발 사업'에 대해 국가 시범사업을 신청하였다. 유류수면 활용 및 해양생태 복원으로 해양 녹색성장을 추진할 예정이다.
 14) 광열동력비가 원예시설 경영비의 20~30% 이상을 차지하여, 광열동력비를 절감하는 것이 곧 시설 농가의 소득증대로 연결된다.

원이 선행돼야 할 것이다(박현태, 2005).

지자체 주도 사례

제주특별자치도는 2010년 7월 서귀포시 안덕면 화순리 '발전소 온배수 이용 시설원에 시범단지'¹⁵⁾를 준공하였다. 이는 우리나라에서 발전소 온배수를 농업에 사용하고 있는 최초 사례이다. 기존 열풍난방 대비 80%정도의 가온 비용을 절감하여 3,000평 시설농가의 경우 연 1억원의 난방비용을 80% 이하인 연 2,000만원 수준으로 절감시키면서도 적정온도 23℃를 유지함으로써 지열(15~19℃) 이용 히트펌프 시스템보다 효율성이 높을 것으로 판단된다.

국고·지방비 80%, 자부담 20%로 7억5,000만원을 투입하였으며, 온배수를 이용한 냉·난방으로 작물재배 및 출하 조절이 가능하여 농가들에게 큰 호응을 얻고 있음에 따라 올해에 하우스시설을 추가 확장할 예정이다.

제주시는 제주 화력발전소 주변 지역 상추농가(0.4km)와 조천읍 신촌리 화훼농가(3km)에 온배수를 이용하여 난방을 공급하는 에너지 절감사업을 추진 중이다. 투자 비용은 상추농가의 경우 온배수 배관시설에 1억원, 히트펌프 등 하우스 난방시설에 4억5천만원이 소요된다. 신촌리 화훼농가(8

개)의 경우, 5만9천400㎡의 시설하우스 난방에 배관시설 5억원과 히트펌프 등 난방시설에 총 54억원이 소요된다. 예비 사업자를 물색하여 경제성을 검토한 뒤 2012년도 국비지원사업인 농어업에너지효율화사업을 신청하여, 확정되면 2012년 2월에 사업을 시행할 예정이다.

③ 기타 분야 활용

인천 서구는 지역 내 4개발전소에 배출되는 발전소 온배수(32℃)¹⁶⁾를 제설작업에 활용하는 방안을 강구중이다. 4개 발전소에서 나오는 온배수가 하루 560만t으로 투입되는 비용은 발전소에서 차량에 물을 담아주는 펌프시설만 설치하면 되어 구청의 염화칼슘 구입비¹⁷⁾의 30% 이상 저감을 기대하고 있다. 당분간은 염화칼슘과 함께 이 방법을 쓰면서 효과를 좀 더 검증하고 문제점은 보완해 차츰 사용을 늘려갈 방침이다.

5. 온배수의 활용 추진 전략

1) 화력발전소의 온배수 관리강화

발전 온배수는 주변 해양생태계를 오염시키는 열 오염물질로 충남에 소재한 화력발전소와 신규

설립 예정인 화력발전소의 발전 온배수에 대한 관심을 강화할 필요가 있다¹⁸⁾. 경제성 여부와 관계없이 주변 해역 어족자원 조성 및 지역과의 일체감 조성을 통한 지역공동체 경영 확립이라는 목표 달성을 위해 양식장을 건립하는 등 온배수 활용을 위해 노력하고 있는 영광발전, 영흥화력 등의 발전소들과는 달리 충남 내 화력발전소는 온배수 재활용량이 미미해, 이에 대한 개선이 필요하다. 2001년부터 2010년 7월까지 발전 5개사가 발전소 냉각수로 쓴 해수(2,116억t) 중 재활용량은 8억t으로 0.3%에 불과한 실정이다.

신규 설립 예정인 충남 내 발전소의 경우, 인허가 과정에서 발전소 건설 및 운영관리 환경협정 또는 환경영향평가 협의 내용에 발전소 온배수에 관한 활용 항목을 강제규정으로 삽입할 필요가 있다.

또한 온배수의 활용과 더불어 취수·배수방식의 변환을 통하여 온배수로 인한 해양생태계의 피해를 줄이기 위한 방안을 발전소들이 강구하도록 조치할 필요가 있다. 신축되는 발전소에서는 해안에서 800m, 수심 20m에서 저온의 냉각수를 취수하고 해안에서 약 570m, 수심 15m에서 방류하는 심층 취수, 심층 배수하는 방식의 도입이 필요하다.

2) 발전 온배수의 활용

① 발전 온배수의 농업부문 활용

발전소 지역 주민과 지자체가 연계해 온배수를 이용한 탄소배출이 적은 친환경적 시설원에 시스템을 개발할 필요가 있다. 최근 시설농가의 최대 화두는 난방비이며, 신·재생에너지 활용 사업으로 정부에서는 시설농가에 지열히트펌프 방식¹⁹⁾을 권장하고 있다. 발전소 온배수 활용방법은 지열히트펌프 방식과 유사하나 지열이 아닌 온배수에서 열 회수를 한다는 점이 다르며, 온배수는 지열보다는 온도가 높고 물이기 때문에 열 회수 효율성이 높다. 바다로 버려지는 발전소 온배수 활용은 농어촌의 녹색성장을 위한 주요 방안이며, 발전소와 인근 주민이 대립적인 관계에서 협력적인 관계로 발전할 수 있는 계기가 될 것이다.

온배수를 활용한 시설농업 단지조성 가능성 여부는 온배수 이동 거리, 시설농업 여건, 주민 참여 의지 등 다양한 조건과 관련이 있어 이를 면밀히 검토해야 한다. 특히 온배수의 이동 거리는 매우 중요한 변수로 작용한다. 시설농업은 초기 투자비용²⁰⁾이 높고, 고도의 생산기술이 요구되는 바, 주변 지역에 산재되어 있는 소규모 시설농가들을 조직화하는 것이 급선무일 것으로 판단된다. 또한

15) 사업자는 화순리 행복나눔영농조합법인(참여농가 7가구)으로, 기반시설로는 시설하우스(망고, 감귤) 5,265㎡, 히트펌프 120RT, 고압수전 등으로 구성되어 있다. 발전 온배수 이용 방식은 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 순환하는 방식이다.
 16) 2011년 1월 인천 북항 일대에서 시험·분석 작업을 수행하였다. 온배수는 염분 농도가 약 3.5%로 차량/가로수에 입히는 피해가 크지 않으며, 눈이 녹아 함께 하수구 등으로 흘러가기 때문에 눈이 도로에 남아있지 않고, 다시 얼어버리는 일도 거의 없다. 다만 기온이 영하 5℃ 이하로 떨어졌을 때도 이만큼의 효과가 나타나지는 아직 검증되지 못하였다.
 17) 지난 5년 동안 겨울철 한해 평균 630t의 염화칼슘을 구입하였고, 유독 춥고 눈도 많이 온 올 겨울에는 990t(2억여원)을 소비하였다.

18) 온배수 배출구에서의 최대 허용수온을 35℃로 규정하고, 하절기에는 자연해수 온도와 7℃ 차이를 넘지 못하도록 하며, 동절기의 경우 온도 차 15℃를 초과할 수 없도록 규정해야 한다(한국해양연구원, 2008). 또한 온배수에 의한 열 부하량의 총량을 방류해역이 온배수를 수용할 수 있는 환경용량 범위 내로 규제할 필요가 있다.
 19) 지열히트펌프 방식은 시설하우스 토양 속에 수직 또는 수평으로 열 회수관을 매설하고 땅 속 열을 회수하여 히트펌프장치에서 온도를 높여 온실에 공급하는 방식이다. 초기 농가들의 자부담이 크지만 한번 설치하면 난방비 부담을 대폭 줄일 수 있다.
 20) 온배수를 이용하기 위해서는 열의 회수, 저장, 변환, 수송 등의 기술을 활용한 냉난방 시스템인 히트펌프가 필요하다. 히트펌프를 이용하기 위해서는 히트펌프 설치를 위한 투자와 온배수를 끌어들이기 위한 배관시설이 선결되어야 한다. 히트펌프의 투자비는 3,000평 유리온실을 기준, 히트펌프 설치에 838,000천 원, 보일러 설치에 590,000천 원이다. 온배수 이용을 위한 배관시설 설치비는 배관길이 2km, 배관직경 200mm 열관을 기준으로 할 경우 711,027천 원이 소요된다. 히트펌프 이용 시 연간 157,302천 원의 난방비를 절감 할 수 있기 때문에 6.1년 후에는 추가 투자비를 회수할 수 있다(박현태, 2005).

시설농업으로 전환하는 농가들에게 생산기술에 대한 노하우 제공 방안을 수립하여야 하며 특히 초기의 투자비용에 대한 정부, 지자체, 발전소의 보조가 필요하다.

② 수산업 분야 활용

최근 수산업은 잡는 어업을 통한 수산물 생산량의 점유율은 점차 감소하는 추세이고 양식 수산물의 생산량은 증가하는 추세이다. 발전소 온배수를 활용한 양식어업은 저탄소 녹색성장 개념에 일치하고, 양식어업 경영비 절감 차원에서 매우 필요하다. 특히 겨울철에 온배수를 양식장에 활용할 경우 비용 절감 이외에도 대상 어종의 성장 속도를 높여 연중 생산 혹은 생산주기를 단축시킴으로 추가적인 경제적 이익이 실현될 수 있다.

온배수의 수산업 분야 활용은 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 최소화라는 기대효과가 있다.

발전 온배수 활용은 기술적, 경제적, 제도적 제약요인이 존재한다. 기술적 요인은 첫째, 일부 발

전소의 경우 온배수의 수온이 일정치 않을 수 있다는 것이다. 둘째, 해역에 따라, 발전소 위치 혹은 냉각수 취수구 위치에 따라 온배수의 수질이 달라질 수 있으며, 셋째, 대형 차량의 운행이 잦아, 진동 발생으로 인해 양식어류가 스트레스를 받아 성장이 늦어질 수도 있다는 점이다. 경제적 제약요인은 취수구에서부터 양식장까지의 취수관 설치 초기비용 부담이 매우 크다는 것과 발전소 주변의 지가가 다른 지역보다 상대적으로 높아 비용부담이 가중된다는 점이다. 안전성에 대한 인식문제(원전 온배수의 경우)로 출하 가격이 낮다는 것도 문제점이다. 제도적 제약요인으로는 향후 대량 폐사 등과 같은 예기치 못한 상황이 벌어질 경우에 발전소 측이 전적인 책임을 면하기 위한 안전장치를 만들어 줄 필요가 있다는 것이다. 법률적인 문건 같은 제도적 기반이 마련되어야 발전소 측이 향후 안정적인 협조적으로 온배수를 양식업자에게 공급하는 것이 가능해질 것이기 때문이다.

성공적인 온배수 활용을 위해서는 온배수 활용에 따른 제약요인 해결을 우선적으로 추진하여야 한다. 구체적으로 i) 온배수 공급자의 미래 위험 부담 최소화를 위한 제도 마련 추진, ii) 기존 시설은 보수 및 개선을 통한 잠재적 효과 극대화 추진, iii) 시범 사업을 시행한 온배수 활용 양식장²¹⁾의 경험 습득 추진, iv) 초기비용 부담 감소를 위한 재정적 지원책 마련, v) 해역별 특성을 반영한 양식 클러스터 구축 방안을 마련할 필요가 있다.

21) 양식장이 어민 소득에 직접 도움이 되려면 규모를 확대하는 등 개선이 필요하며, 온배수가 어류 양식에 적절한 것으로 검증된 만큼 '자원화' 전략을 추진할 필요가 있다. 일본처럼 온배수를 이용한 해상 가두리양식장을 설치해야 어민들에게 실질적인 도움이 될 수 있으므로 이에 대한 연구 필요하다.

③ 정부의 에너지 정책의 활용

정부의 에너지 정책 사업을 활용하여 농어가의 자부담 비용을 줄일 수 있다. 관련 정책으로는 농식품부의 「농어업에너지효율화사업」과 「제3차 수산진흥종합대책(2010-2014)」이 있다. 수산진흥대책의 6개 중점 추진과제에 '양식산업 에너지 절감'이 포함되어 있으며, 주요 내용은 양식장 배출수 폐열회수장치 보급, 원자력 발전소의 온배수를 이용한 양식 등 양식산업과 전력산업의 융·복합화이다.

참고문헌

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, 광희상, 강주찬 (2002) 원자력발전소 온배수에 따른 우렁छ이의 성장. 한국수산학회지, 35, 71-76.
 김영환 등. (2002) 원전 온배수 문제 종합대응방안 수립을 위한 연구. 한국수력원자력.
 노 일, 윤성진, 허성희 고리원자력발전소 온배수가 주변해역의 동물플랑크톤 분포에 미치는 영향. 9-10.
 박철원 외. (1999) 발전소 온배수 확산해역의 해양목장화 기반연구. 한국해양연구원.
 박헌태, 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 시설원에 시범단지' 준공. 제주포커스 2010.7.27.
 편집부. (2009) 원전 하수구에서 보물수가 팔팔 -바이오디젤 만들고 농사도 짓고... 온배수를 아시나요? 동아사이언스 2009.11.18.
 한국수력원자력. (2005) 원전 온배수의 상업적 이용을 위한 타당성 조사.
 한국해양연구원. (2008) 해양생태계 보전을 위한 온배수 관리방안 연구.
 해양정책국. (2007) 해양생태계 보호를 위한 온배수 관리방안 마련. 해양수산부.

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.