

原子力發電所 溫排水의 環境에 미치는 影響과 그 利用

Thermal Effluent from
Nuclear Power Plant; It's
Environmental Impact and
Beneficial Use

許 享 澤

KAIST 海洋研究所長 · 理博

1. 序 言

급속한 경제성장에 따른 우리나라의 電力所要量은 계속 증가하여 서기 2000년도에는 약 58.8GW에 달할 것으로 예측된다. 이에 따라 관계 당국과 韓國電力公社는 2000년도의 可能發電量을 75.4GW로 증가시키기 위하여 대규모 발전소를 건설 중에 있다.

이중 75%를 原子力發電으로 충당할 계획이며 부지확보 및 冷却水 使用의 편리성 등의 입지조건이 양호한 海岸地域에 건설될 전망이다. 原子力發電의 경우 발전효율이 30~33% 정도로 火力發電의 40%보다 낮아서 많은 양의 廢熱을 처리하여야 한다.

현재 우리나라에서는 1회 循環式 冷却法을 주로 사용하고 있는데 이 경우 1GW의 발전을 위하여 매초당 50t ($\Delta T: 10^\circ$, 발전효율: 33%)의 냉각수가 필요하다. 따라서 2000년도에 필요한 총냉각수의 양은 年間 약 1,200억 t에 달하게 될 것이며 이는 우리나라 연간 강우량에 버금가는 막대한 양이다.

온도는 生態系에 있어서 가장 중요한 環境要因일 뿐만 아니라 수계의 모든 物理學의 特性和 化學作用이 溫度에 따라 변하고 있어 生物體는 미세한 온도의 변화에도 매우 민감한 반응을 나타내고 있다.

따라서 발전소에서 유출되는 溫排水는 인근 生態系에 많은 피해를 주게되며 특히 水棲生物의 産卵場 · 成育場이나 魚類의 回游路에 流入될 경우 그 피해는 더욱 크게 된다.

또한 冷却水의 取水口 구조물에 부딪치거나 (Impingement) 冷却系統의 콘덴서에 流入 (Entrainment)되어 피해를 입는 생물도 막대하므로 궁극적으로는 生態계의 구조를 변화시키거나 生態계 그 자체를 파괴시킬 가능성도 있다.

이러한 피해를 저감시키기 위하여서는 정확한 環境影響 評價를 사전에 실시하여 그 결과를 발전소 立地選定 및 取 · 排水口 設計에 반영시켜야 할 것이다.

보다 적극적인 방법으로는 발전소에서 발생하는 溫排水를 水産養殖이나 農作物 栽培 또는 地暖暖房 등에 이용함으로써 生態系에의 피해를 감소시키고 동시에 廢熱을 유효하게 이용하는 일이다.

2. 冷却시스템

일반적으로 발전소에서 방출되는 廢熱의 양은 발전량의 1.6~2배 정도나 되는 막대한 양이기 때문에 급격히 방출되어서는 안되며 가능한한 서서히 방출되어야 한다.

현재 주로 사용되고 있는 冷却方法은 一回循環式 冷却法(Once-through Cooling System), 開放循環式 冷却法(Open-cycle Cooling System)과 閉鎖循環式(Closed-cycle Cooling System)의 3가지로 나눌 수 있는데 냉각수의 공급이 원활하지 못한 지역을 제외하고는 건설비 및 운영비가 저렴한 一回循環式 冷却法을 사용하고 있으며 우리나라에서도 대부분 이 방법을 따르고 있다.

一回循環式 冷却法의 경우 발전소 온배수에 의한 負荷量은

$$P_w = P_e \frac{1-n}{n} - 0.05P$$
로 표시할 수 있으며 다시 $P_w = \Delta T \cdot Q_c$ 로 표시된다.

(단, P_w =부하량, P_e =발전용량, 'n'=발전효율 ΔT =온도차, Q_c =냉각수량)

발전효율은 발전기 종류를 정하면 자동적으로 결정되므로 Q_c 의 양에 따라 ΔT 가 결정된다. Q_c 를 증가시키면 ΔT 가 감소하여 일차적 온도에 의한 생태계의 피해는 감소하지만 역으로 물리적인 요인에 의한 피해(Impingement, Entrainment)는 증가한다.

따라서 Q_c 또는 ΔT 의 결정은 工學的·經濟學的 측면을 고려하여야 함과 동시에 환경에 대한 영

향도 고려하여야 한다.

3. 發電所 温排水가 環境에 미치는 影響

1) 物理·化學的 要因에 미치는 영향

水温이 변함에 따라 물의 모든 물리학적 특성이 변하고 있는데 이중 중요한 것을 요약하면 표 1과 같다.

ΔT 가 10℃일 경우를 보면 자연수의 온도가 15℃일 때 온배수의 온도는 25℃가 되므로 기화압(Vapour Pressure)은 17.10mb에서 31.77mb로 높아지며 밀도(P)는 0.9997에서 0.99704로 낮아진다.

온배수와 자연수의 밀도 차이가 클 경우($\Delta\rho/\rho \geq 0.005$)이 두종류의 물은 각각 상이한 수괴상태로 階層水流(Stratified Flow)를 이루며 渦流(Turbulence) 및 擴散(Diffusion)에 의한 混合이 어렵게 된다. 한편 기체의 融解度는 온도의 변화에 매우 민감하여 온도가 올라갈수록 감소하는데 산소의 경우 15℃에서 飽和度가 10.2mg/l인 반면 25℃에서는 8.4mg/l로 줄어든다.

化學作用 速度는 일반적으로 수온이 증가함에 따라 빨라지는데 암모니아의 경우 酸化率(Ammonia Oxidation Rate)은 수온이 1℃씩 상승함에 따라 6~9%가 증가하며 水棲生物에 유독한 비이온성(Unionized) 암모니아는 8% 정도씩 증가한다.

또한 온도가 상승함에 따라 底層원소의 無機質化作用(Mineralization)이 활발하여져 磷酸鹽과 窒酸

〈표-1〉 温度变化에 따른 물의 物理·化學的 性質(IAEA, 1974)

Temperature (℃)	Vapour			Surface Tension (dyn/cm)	Oxygen Solubility (mg/l)	Oxygen Diffusivity (cm ² /s)
	Pressure (mb)	Viscosity (cp)	Density (g/ml)			
0	6.12	1.787	0.99984	75.6	14.6	
5	8.75	1.519	0.99997	74.9	12.8	
10	12.32	1.307	0.99970	74.2	11.3	15.7
15	17.10	1.139	0.99910	73.5	10.2	18.3
20	23.45	1.002	0.99820	72.8	9.2	20.9
25	31.77	0.890	0.99704	72.0	8.4	23.7
30	42.56	0.798	0.99565	71.2	7.6	27.4
35	56.41	0.719	0.99406		7.1	
40	74.00	0.653	0.99224	69.6	6.6	

鹽의 양을 증가시켜 富營養化를 촉진시키고 生化學的 酸素要求量(BOD)를 증가시키는 결과를 초래하게 되며 이러한 영향들이 복합적으로 작용하여 저층에 無酸素層을 형성하기도 한다.

2) 水棲生物에 미치는 영향

온도는 水棲生態系에 있어서 가장 중요한 환경요인이다.

水棲生物은 자기 일정한 適溫範圍를 가지고 있는데 수온이 증가함에 따라 적온의 범위가 좁은 種들부터 소멸되기 시작하고 새로운 種들이 추가된다. 그러나 수온이 계속 증가하면 많은 種이 소멸되고 추가되는 種數는 적으므로 전체적으로 種의 수가 줄어드는 결과를 초래하게 된다.

基礎生産力은 온도가 상승함에 따라 이론적으로는 증가하지만 이는 온도가 서서히 증가할 경우이며 실제로 급작스러운 온도의 상승은 기초생산력을 감소시킨다.

온도의 상승에 따라 全体基礎生産力(Gross Productivity)이 증가하는 경우라도 純基礎生産力(Net Productivity)은 감소한다.

온배수의 방출이 장기적으로 계속될 경우 植物浮游生物의 경우 優占種이 硅藻類(Diatoms)에서 綠藻類(Green Algae)로 다시 藍藻類(Blue Greens)로 바뀌게 되며 種구성도 매우 단순해진다(그림 1).

이러한 현상은 여름철에 뚜렷이 관찰할 수 있는데 녹조류와 남조류는 動物浮游生物의 먹이로 적합하지 않기 때문에 生態系의 먹이연쇄를 깨뜨리는 결과를 초래한다. 또한 일부의 남조류는 독성을 가

지고 있기도 하고 악취를 풍기는 종류도 있어 많은 문제를 일으키게 된다.

動物浮游生物은 냉혈동물이기 때문에 적온의 범위가 좁아 수온이 상승함에 따라 代謝量이 증가하고 에너지 소모량이 많아지게 되어 결과적으로 번식력이 저하된다.

그런데 실제로 動物浮游生物의 경우 온도에 의한 피해보다는 냉각계통에 유입되어 순간적으로 입는 물리적인 피해가 더 크다.

魚類 특히 成魚의 경우는 游泳能力이 강하여 냉각계통에 유입을 피할 수 있고 또 온배수의 영향을 받는 지역을 회피할 수 있어 직접적인 큰 피해는 없다.

그러나 稚魚나 小型魚類는 取水口의 스크린에 충돌하거나 냉각계통에 유입되어 많은 피해를 입게 된다. 미국 Oconee 원자력발전소에서는 1일 9,425 마리가 Marshall 화력발전소에서는 1일 24,090 마리가 取水口에 충돌한 예가 있으며 냉각계통에 유입되는 양은 이보다 훨씬 더 많아 미국 Brayton Point 발전소에서 1971년 여름 하루에 700 만 내지 1억 6,500 만마리가 死亡한 예가 있다.

대체로 냉각계통에 유입되거나 取水口 스크린에 충돌하는 경우 사망률은 90% 이상으로 추정되기 때문에 발전소 입지선정시에는 有用水産資源의 産卵場·成育場 有無를 반드시 확인하여야 할 것이다.

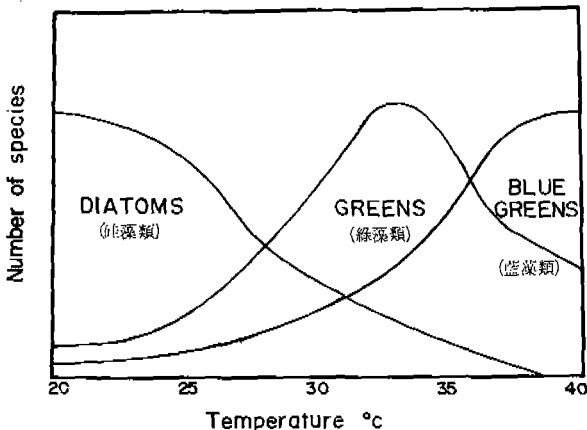
이외에도 콘덴서 내부의 높은 압력에 의하여 배출구 부근에 기체가 過飽和상태가 되어(O₂ : 130%, N₂ : 125%) 魚類의 氣泡病을 유발하기도 한다.

底棲生物은 비교적 적온의 범위가 커서 1차적인 피해는 적으나 이들 대부분이 幼生期에 動物浮游生物期를 거치기 때문에 피해를 입게되며 또 먹이생물의 감소, 용존산소량의 부족으로 인하여 2차적인 大量廢死를 당하게 되는 경우도 있다.

4. 被害低減 方法

자연현상을 어떠한 형태로든지 변경시켰을 경우 그곳에 서식하고 있는 생물이 입는 피해를 완전히 제거할 수는 없다.

발전소 온배수에 의해 수산생물이 입는 피해를 방지하기 위한 많은 연구가 수행되었으며 특히 어류가 취수구 스크린에 충돌하거나 냉각계통에 유입



〈그림-1〉 水溫 변화에 따른 優占藻類의 構成種의 遷移(Cairns, 1956)

되는 것을 방지하기 위한 몇가지 실용적인 방안이 제시되고 있다.

그 첫째로는 物理的 障壁(Mechanical Barriers)을 만들어 어류의 접근을 막거나 유입을 방지하는 것과 魚類의 習性을 이용하여 피해를 감소시키는 것이다.

取水口에 Velocity Cap을 설치하거나 漁網 및 Fish Basket을 이용하여 魚類의 流入을 막을 수 있으며 移動式 스크린으로 回轉方向을 조절하여 많은 효과를 보고 있다.

어류의 습성을 이용하는 경우는 音波와 電流를 이용하거나 空氣壁(Air Bubble Screens)을 설치하기도 하는데 아직은 실험단계에 머물고 있는 실정이다.

이외에도 취수구를 어류의 밀도가 낮은 곳에 설치하는 방법이 있는데 이러한 被害低減 方法을 결정할 때에는 먼저 대상생태계의 구조를 파악하고 각 대상어종의 습성을 밝힌 후에 예비실험을 거쳐서 그 적절한 방법을 택하여야 할 것이다.

高温의 溫排水를 직접 방출하지 않기 위해서 冷却塔(Cooling Tower) 또는 冷却水路(Cooling Canal), 冷却池 혹은 冷却湖(Cooling Pond or Lake) 등을 이용하여 온배수의 온도를 저하시킨 후 내보내는 방법이 있다.

온배수를 噴霧(Spray)시킴으로 냉각시키는 방법도 있으나 海水를 냉각수로 사용할 경우는 부적합하며 냉각탑도 시설비가 많이 들고 海水에는 적합하지 않다. 冷却湖나 冷却水路를 건설하기 위해서는 發電所 부근에 넓은 부지를 확보해야 하는 난점이 있다.

美國 터키포인트 발전소의 경우 장장 270km에 달하는 긴 냉각수를 설치하여 완전 폐쇄식 냉각 방법을 사용하고 있으나 우리 현실에는 맞지 않는 방법이다.

따라서 우리나라에서는 溫排水를 직접 수산물 養殖이나 농업에 이용함으로써 冷却과 廢熱이용 효과를 동시에 얻도록 하는 것이 가장 바람직한 일이라고 생각된다.

5. 溫排水의 利用

100만kW 규모의 발전소에서 온배수를 통하여 나오는 폐열은 하루 500억 KCal 이상이 되며 무연

탄(5,100 KCal/kg) 기준으로 환산하면 약 10,000t이나 된다.

이러한 폐열은 저급 에너지(Low Level Heat)상태로 이용 가능성이 매우 적지만 생태계에 미치는 영향에 관계치 않더라도 가능한한 생산적인 면에서 재이용되어야 할 것이다.

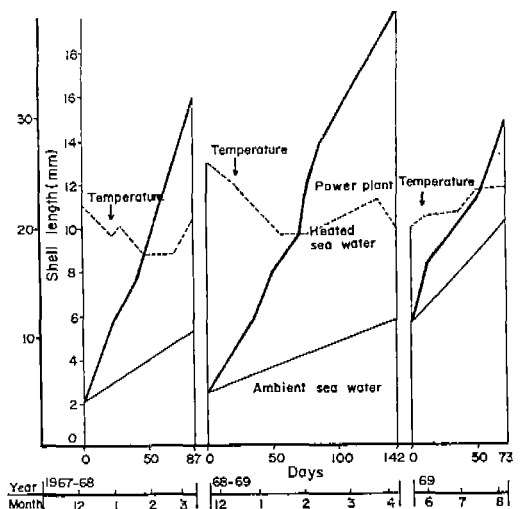
실제로 온배수를 재이용하는 문제는 미국, 일본, 화란 등 선진각국에서 활발히 이용되어 기업화 단계까지 이르고 있다.

온수성 어종인 전복·뱀장어·방어·보리새우 등의 양식은 그 좋은 예인데 전복의 경우 겨울철에도 효과적으로 증식시킬 수 있을 뿐만 아니라 여름철에도 증식효과가 매우 크다(그림 2).

현재 日本에서는 20여개의 발전소에 온배수를 이용한 養殖施設이 갖추어져 있으며 시즈오카현(靜岡縣)의 온수이용센터에서는 연간 3,200t의 전복 및 새우를 동북발전소에서는 180만개의 稚魚를 생산하고 있다.

美國의 경우도 10여개 이상의 발전소에서 실시하고 있는데 장차 미국의 전 어패류 소비량 50%를 충당할 예정으로 계속 건설중에 있다. 기타 和蘭, 獨逸, 佛蘭西에서도 많은 연구를 계속하고 있으며 일부는 기업화에 성공하고 있는 실정이다.

온배수를 농작물 재배에도 이용하는데 100만kW의 발전소의 경우 약 25만평의 온실을 34℃까지 유지할 수 있어서 코로라도 전력회사의 경우 연간



〈그림-2〉 溫排水와 自然海水에서의 전복 稚貝의 成長度

60만t의 토마토를 생산하고 있어 그 수익은 1에이커(1,200평)당 \$ 5,000~6,000(1974년 기준)에 달하고 있다.

이외에도 地域暖房에 온배수를 이용하기도 하는데 영국의 경우 연간 3,000만t 이상의 석탄을 절약하고 있으며 주로 아파트단지나 공단의 난방용으로 이용하고 있다.

또한 온배수를 폐수처리 시설에 이용하여 미생물의 번식을 촉진시키는 방법과 해수를 담수로 만드는데 이용하는 방법에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있어 곧 실용화 단계에 이를 것으로 생각된다.

6. 結語

장차 2000년도에 우리나라에서 필요한 冷却水量은 연간 약 1,200억t으로 추정되는데 담수원이 부족한 우리나라에서는 대부분을 해수로 충당하여야 할 것이다. 이러한 이러한 막대한 양의 온배수가 제한된 해역에 방출될 경우 수산자원에 입히는 피해는 막대한 것으로 생각된다.

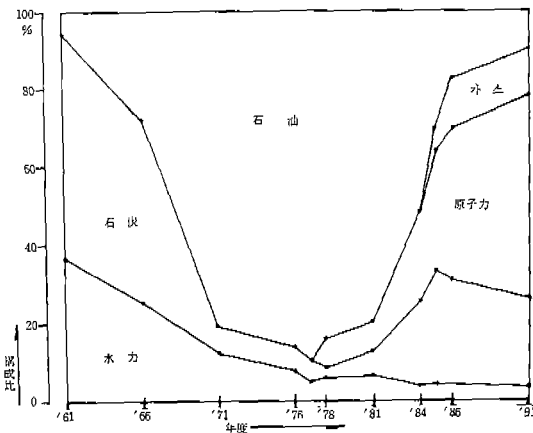
따라서 發電所 立地選定時에는 반드시 環境影響評價를 거쳐서 가능한 한 水産生物의 産卵場·成育場을 피하도록 할 것이며 取·排水口 位置選定 및 設計에도 신중을 기하여야 하겠다.

취수구에 인위적인 구조물을 설치하거나 배수구를 해수의 유통이 좋은곳에 설치하면 어느정도 피해를 줄일 수 있지만은 근본적으로 없앨 수는 없다. 따라서 수산생물의 피해를 최소화하기 위한 노력과 아울러 온배수를 효율적으로 이용하는 방법도 개발하여야 할 것이다.

전복·뱀장어·도미·보리새우 등과 열대작물인 파인애플·밀감 등은 우리나라에 알맞은 대상종이다.

부연하면 전기공학적인 측면에서도 발전효율을 높여 생태계에 부하되는 폐열양을 절감시키도록 노력하여야 할 것이며 가능한 냉각수의 양을 줄이고 폐열을 고급에너지화(High Level Heat) 하여 재이용할 수 있도록 노력하여야 할 것이다.

< 6p에서 계속>



(그림-2) 에너지원별 發電量 構成比 推移

安定性を 갖는다.

79年 3月の TMI 原子力發電所 事故의 影響도 있겠지만, 最近 一部 國家에서는 新規 原子力發電所 建設이 停滯되고 있는 느낌이 있으나, 프랑스, 日本, 우리나라 等 資源이 貧困한 國家들은 原子力發電所 建設을 계속 추진하고 있다.

따라서 核燃料를 早期 長期確保토록 추진하는 한편, 電源開發 方向을 原子力主導로 일찍 轉換함이 緊要한 것이다.

또한 핵연료의 長期 安定確保를 위해 供給源의 多元化와 有利한 市場의 活用對策을 實施하는 한편, 80年代 後半 부터의 所要量의 相當部分을 開發輸入으로 充當코자 核燃料의 海外 開發事業에 積極 나서고 있다.

4. 맺는 말

이와같이 脫油電源開發을 促進함으로써 1991年 末에는 發電事業에 있어서의 石油依存度가 '81年 末 現在 79.8%에서 10.2%로 減少하게 되며, 그 結果 電力原價가 低廉하게 될 것이다.

또한 에너지供給源이 適切히 分散되어 過去 2次에 걸쳐 겪었던 石油波動과 같은 에너지危機가 다시 오더라도 그 衝擊은 상당히 緩和될 수 있을 것이다(그림2).