

火力發電所 冷却系統이 海洋生物에 미치는 影響

I. 基礎生産力에 미치는 影響*

異 舜 吉·陳 平**

海洋研究所, **釜山水産大學 資源生産學科
(1987년 7월 13일 수리)

Effects of Cooling Water System of a Power Plant on Marine Organisms

I. Effects on Primary Production*

Soon Kil Yi and Pyung CHIN**

Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan, 171-14 Korea

**National Fisheries University of Pusan, Namgu, Pusan, 608 Korea

(Accepted July 13, 1987)

To evaluate the effects of the cooling water system on the primary production of marine phytoplankton, a series of experiments were made at the cooling water system of Samchonpo Power Plant from May 1985 to May 1986.

Mechanical and physiological perturbations of the entrained process are the most detrimental to the primary production of marine phytoplankton. Nevertheless the primary production is increased by the heated water within the upper limit of temperature tolerance of the phytoplankton. The cooling water system, on the average, reduces the gross production and net production by 4.6 to 12.1 and 8.4 to 11.9 $mgC/m^3/h$, respectively.

序 論

우리나라에서 가동 중에 있는 大單位 發電所들은 모두 一回冷却方式을 採擇하고 있으며 건설과 가동의 용이성 때문에 앞으로도 一回冷却方式이 계속 採擇될 것으로 전망된다. 또한 大單位 發電施設은 敷地 및 冷却水 확보의 편의상 臨海地域에 건설될 것이라고 생각된다.

한편 우리나라의 電力需要는 1990년에는 21.9 GW, 2000년에는 38.8 GW에 달할 것으로 추정되고 있다(韓電, 1985). 따라서 冷却水의 ΔT 를 $7^{\circ}C$ 로 예상할 경우 1990년에는 초당 $880 m^3$, 2000년에는 초당 $1,850 m^3$ 의 冷却水가 필요하게 되며(Fig. 1) 2010년에는 우리나라의 年平均 降水量과 비슷한 양의 冷却水가 필요하게 될 것이다.

溫度는 현재까지 알려진 環境要因 중 가장 중요한 것이며(Gunter, 1957) 海洋生物의 地理의 分布 및 모

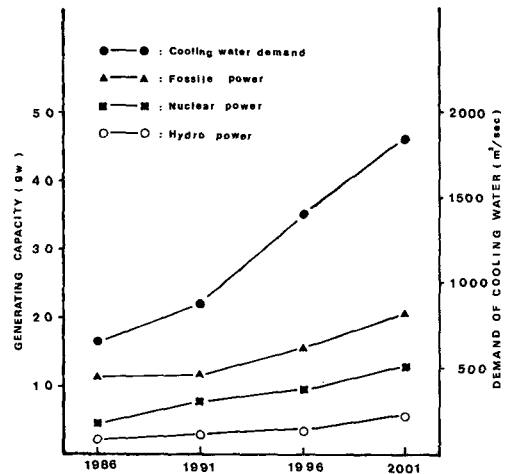


Fig. 1. Projected generating power and the demand of cooling water in Korea (KEPCO 1985, unpublished).

* 부산수산대학 해양과학연구소 연구업적 제183호(Contribution No. 183 of Institute of Marine Sciences, National Fisheries University of Pusan)

은 物理·化學的 反應速度와 그 反應結果도 溫度에 따라 좌우된다(Nakatani, 1969; IAEA, 1974; Trussell, 1972; Stratton and McCarty, 1967). 따라서 溫排水 형태로 海洋生態系에 부하되는 廢熱은 發電所 주변 해역의 水溫分佈를 변화시켜 海洋生物에 직접·간접적으로 많은 影響을 미치게 된다.

이와 같은 溫排水의 影響 즉, 熱汚染이 植物 플랑크톤의 基礎生産力에 미치는 影響에 관한 研究는 Cairns (1956, 1972), Kooops(1975), Patrick (1969), Iitsuka *et al.*(1979, 1980), Goto *et al.*(1980), Krenkel and Parker(1969), Talmage and Coutant (1968)등 많이 있으나 대부분 魚類에 주안점을 두었거나, 實驗室 實驗에 의한 것들이었다. 국내에서도 許 等(1981), 金 等(1982)의 여러 학자가 火力 또는 原子力發電所를 대상으로 研究를 수행하였지만 定量的인 研究에까지는 이르지 못하였다.

따라서 本 研究는 三千浦 火力發電所를 대상으로 冷却系統의 가동이 海産植物플랑크톤의 基礎生産力에 미치는 影響을 구명하기 위하여 실시되었다.

材料 및 方法

1. 調査地域의 環境

調査對象 地域인 韓國電力公 三千浦 火力發電所는

慶尙南道 固城郡 下二面에 속하며 三千浦市에서 동남쪽으로 약 4 km 떨어진 곳에 突出한 작은 반도 위에 위치하고 있다(Fig. 2).

調査地域의 環境特性은 1985年 5月부터 1986年 5月까지 取水路, 排水路 및 溫排水 擴散區域에서 매일 測定하였다.

水溫은 1/10°C 눈금의 수은 溫度計를, 容存酸素量은 휴대용 酸素測定器(YSI model 57)로, pH는 Toyi pH test paper(8종)를, 鹽分은 휴대용 鹽分測定器(T-S bridge type)를 이용하였으며 그 외의 環境特性은 三千浦 火力發電所의 자료를 이용하였고, 日氣象資料는 中央氣象臺의 것을 이용하였다.

2. 基礎生産力

基礎生産力은 取水路와 排水路에서 격월로 酸素量 變化法으로 測定하였다. 黑色酸素瓶과 白色酸素瓶을 각각 3개씩 1조로 하여 Table 1과 같이 5가지의 實驗區를 설정하고 Strickland and Parsons(1968)의 方法으로 實施하였다. 酸素瓶은 300 ml 内外의 유리壺品이며 그 용적을 1/100 ml 까지 測定한 후, 매회 洗한 黃酸과 蒸溜水로 洗滌하여 사용하였다. 黑色瓶은 검은 비닐로 둘러싼 후 다시 알미늄 薄紙를 둘러서 빛을 차단하였다. 試水는 各各의 調査地點에서 表層水를 채수한 후 50 μm 網目에 걸러, 動物플랑크톤과

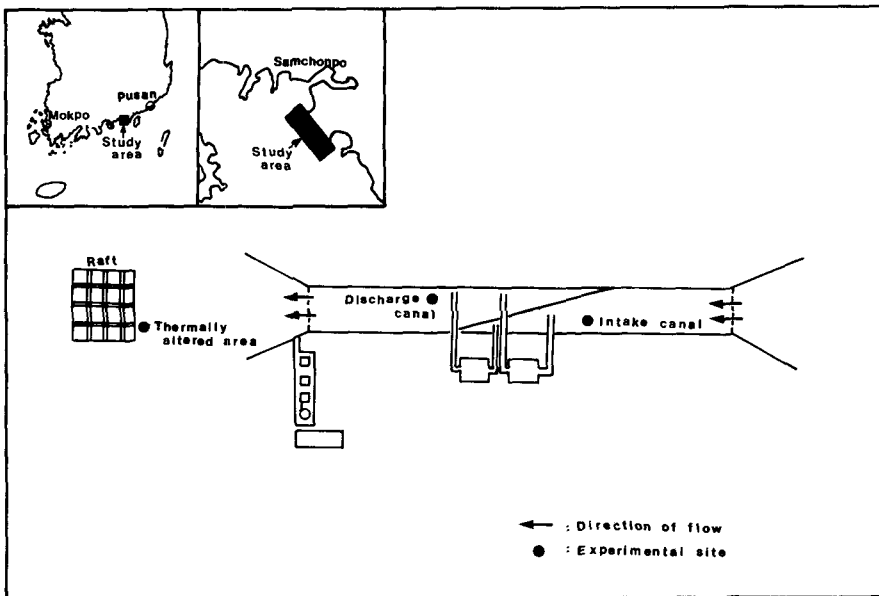


Fig. 2. Experimental sites in cooling water system of Samchonpo Power Plant, Kyongsangnam-do, Korea.

Table 1. Experimental methods for the primary production study at Samchonpo Power Plant

Code*	Water sample	Incubation place	Incubation depth
II	Intake	Intake	appx. mean low tide level
ID	Intake	Discharge	1 m
IDI	Intake	Intake	appx. mean low tide level
DD	Discharge	Discharge	1 m
DI	Discharge	Intake	appx. mean low tide level

*II : Samples taken and incubated at the intake canal.

DD : Samples taken and incubated at the discharge canal.

ID : Samples taken at the intake canal and incubated at the discharge canal.

DI : Samples taken at the discharge canal and incubated at the intake canal.

IDI : Samples taken and incubated at the intake canal after storing for 15 minutes at the discharge canal.

大形 浮遊物質을 제거한 후 잘 교반하여 容存酸素量이 飽和狀態를 維持하게 한 후 酸素瓶에 담았다. 試水를 채운 酸素瓶은 철재망에 담아 각각의 調査地點別 垂下 位置에 일출 1시간 후에서부터 8시간 동안 培養하였다. 培養後 現場에서 容存酸素를 固定한 즉시 調査現場 부근에 位置한 實驗室로 옮겨 윈클러(Winkler)법에 의하여 測定한 후 酸素量의 變化를 炭素量으로 환산하여 基礎生産力을 測定하였으며 미생물의 호흡 및 化學合成은 고려하지 않았다.

식물플랑크톤의 現存量은 基礎生産力과 동시에 調査하였으며 각 調査地點의 表層水 1 l씩을 채취하여 유골색액(Thronsen, 1978)에 固定하여 알미늄 薄紙로 빛을 차단한 후 1주일간 沈澱液을 잘 교반하여 일정량을 세드릭-래퍼드 計數板에 넣고 현미경하에서 細胞數를 計數하였다.

結果 및 考察

1. 調査地域의 環境

三千浦 火力發電所는 현재 50만 KW급 發電機 2대가 가동중이며, 廢熱處理方法은 1回冷却法으로 정상가동시 초당 약 40 m³의 해수를 冷却水로 사용하고 있으며 ΔT는 設計基準으로 7.8°C이다.

冷却水는 發電所 敷地 동북단에 위치한 방조제 하단에서부터 600여 m의 무개콘크리트수로를 따라 揚水室까지 흘러 들어오게 되며, 이곳에서 汚損生物處理 및 復水器內的 精液質 形成防止를 위하여 鹽素 및 黃酸 第一鐵이 주입된다. 정상가동시 주입되는 鹽素量은 殘留鹽素量 基準으로 取水口에서 0.3 ppm, 排水口에서 0.1 ppm 이하의 濃度로 규제하고 있으며, 黃酸 第一鐵의 경우 鐵分濃度 기준으로 排水口에서

0.49 ppm 이하의 濃度로 제한하고 있다. 揚水된 해수는 10×10 mm 網目の 移動網을 거쳐 復水器로 보내지며 熱交換이 이루어진다. 廢熱이 부하된 해수는 약 300 m의 무개콘크리트 排水路를 따라 흐른 후 發電所 북단의 작은 만에 開口된 排水口에서 초당 2 m의 속도로 배출된다. 배출된 溫排水는 潮流를 따라 擴散되어 가는데 漲潮時에는 만 안쪽으로 擴散된 후 灰砂場 방파제에서부터 점차 회돌아져 南一區 海水浴場쪽으로 나아가며 落潮時에는 發電所敷地 海안선을 따라 울포말 쪽으로 擴散되어 가는데, 최대 溫排水 擴散距離는 ΔT>0.5°C의 경우 약 3 km에 달하고 있다(金等, 1985).

調査地域의 月平均 日照時間(Fig. 3)은 180~260 시간/월의 범위였으며 1日 平均 日照時間은 7시간이었고, 1986년 4월이 8.8시간/일로 가장 길었으며 9월이 5.9시간/일로 제일 짧았다. 降水量의 경우 調査期間中 총 2169 mm를 기록하였는데 이 중 25%가 6월에 남해안 일대를 강타한 호우시에 내렸으며 12월과 1월중에는 10 mm 이하의 降水量을 기록하였다.

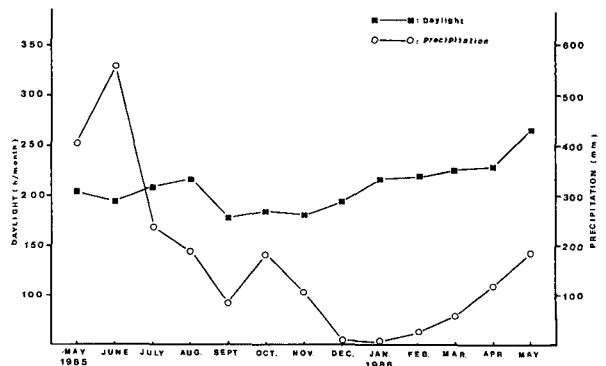


Fig. 3. Monthly fluctuations of precipitation and daylight of the study area.

月平均 水溫은 取水路의 경우 2월의 4.6°C에서 점차 上昇하기 시작하여 9월에 24.1°C의 최고 水溫을 기록한 후 다시 下降하는 樣相으로 우리나라 남해안 일대의 내만에서 흔히 관찰되는 季節變化를 나타내고 있으며, 排水路의 경우 取水路보다 7°C 정도 높았으며, 溫排水 擴散區域에서는 3~5°C 정도 높았는데, 정도의 차이는 있었지만 氣溫이 낮을 때 보다 높았을 때 그 차이가 컸다(Fig. 4). 이러한 현상은 奉(1976)이 주장한 바와 같이 氣溫이 낮을 때는 열 흐름의 方向이 溫排水에서 大氣쪽으로 높을 때 보다 신속히 이루어졌기 때문으로 해석된다. 한편 7월 하순에서 9월 초순까지의 基本水溫이 높을 때는 取水路 水溫이 31°C 이상까지 上昇하는 경우도 있었다. 水溫의 年交差는 取水路가 19.5°C, 排水路가 20°C 이었으며 溫排水 擴散區域은 23.7°C 이었는데 溫排水 擴散區域의 年交差가 큰 것은, 潮流의 影響과 아울러 發電所 가동조건에 따라 溫排水 배출량에 차이가 있었기 때문으로 생각된다.

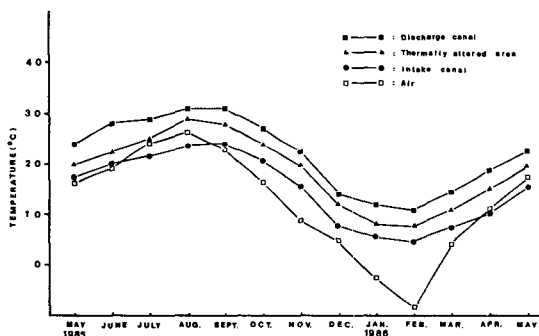


Fig. 4. Monthly fluctuations of water and air temperatures of the study area.

容存酸素量(Fig. 5) 역시 夏節期에 낮고 冬節期에 높은 일반적인 樣相을 나타내며, 取水路 容存酸素量의 월별 변화 범위는 7.46~9.8 mg/l로 9월에만 120%의 過飽和狀態를 이루었을 뿐 그 외의 달에서는 飽和狀態에 가까운 水準을 유지하였다. 排水路의 경우 6.48~8.85 mg/l로 取水路보다 현저히 낮은 수준이었지만 높은 水溫으로 飽和濃度가 낮고, 또한 溫排水가 排水路에 낙하할 때 생기는 氣泡로 인하여 항상 飽和狀態를 유지하고 있었다. 한편 溫排水 擴散區域에서는 6.95~9.20 mg/l로 약간 다양한 변화 범위를 갖고 있었으며 水溫變化와는 잘 일치하지 않았다. 1985년 7월과 1986년 4~5월에는 오히려 取水路보다도 높았고 반대로 12월에는 排水路보다 낮았다, 이러한 變化樣相은 溫排水의 量과 潮流의 影響도 있

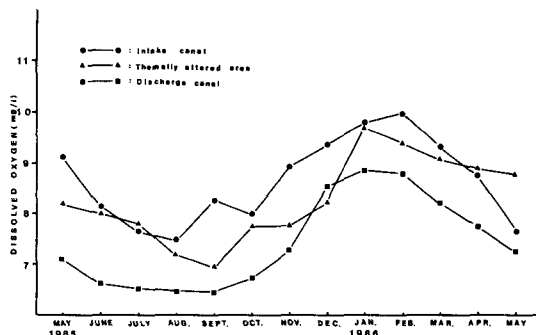


Fig. 5. Monthly fluctuations of dissolved oxygen in the study area.

겠지만 이 地域의 식물플랑크톤의 基礎生産力과도 깊은 연관성이 있을 것으로 추측되어진다.

鹽分과 pH의 월별변화(Fig. 6)는 調查地點에 관계 없이 비슷한 樣相을 보여 주었는데 鹽分은 7월에 30.7‰의 낮은 수치를 기록한 것을 제외하고는 대체로 32% 이상의 수준을 維持하였다. 7월의 30.7‰의 낮은 鹽分은 6월 하순에 내습한 호우의 影響으로 생각된다.

pH의 경우 7.8의 최소치를 나타낸 1986년 5월을 제외하고는 8.0~8.3의 안정된 狀態를 維持하고 있었는데, 5월의 pH가 전월에 비하여 0.5나 감소한 이유는 밝혀내지 못하였다.

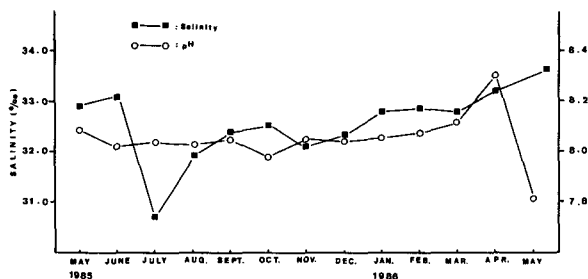


Fig. 6. Monthly fluctuations of salinity and pH in the intake canal of Samchonpo Power Plant.

2. 基礎生産力

取水路 식물플랑크톤의 基礎生産力의 월별 변화는 總生産力이 7.90~36.09 mgC/m³/h, 純生産力이 4.28~29.53 mg C/m³/h의 범위였다(Fig. 7). 調查時期 별로는 9월이 總生産力 36.09 mg C/m³/h, 純生産力 29.53 mg C/m³/h로 가장 높았으며, 그 다음은 5월의 總生産力 28.22 mg C/m³/h, 純生産力 19.69 mg C/m³/h이었다. 또한, 1월의 경우 總生産力과 純生産力이 각각 7.9 mg C/m³/h 및 4.28 mg C/m³/h로 가장 낮았는데, 이러한 계절에 따른 基礎生産力의 변화

Table 2. Standing crops of phytoplankton in the intake and the discharge canal of Samchonpo Power Plant

Unit : cells/l

Area	Year Month	1985			1986		
		July	Sept.	Nov.	Jan.	Mar.	May
Intake canal		6.8×10^5	9.5×10^5	3.1×10^5	1.6×10^4	2.6×10^5	8.6×10^5
Discharge canal		6.2×10^5	7.4×10^5	3.0×10^5	1.6×10^4	2.6×10^5	7.1×10^5

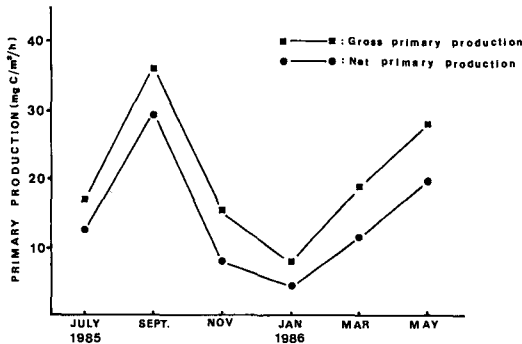


Fig. 7. Primary production measured in the intake canal of Samchonpo Power Plant.

추이는 取水路의 植物플랑크톤 現存量의 변화(Table 2) 및 朴(1980), 劉(1974), 劉等(1975)이 調査한 우리나라 남해안의 植物플랑크톤 계절변화와 잘 일치하고 있었다. 呼吸量의 경우는 $3.22 \sim 8.53 \text{ mg C/m}^3/\text{h}$ ($8.59 \sim 22.75 \text{ mg O}_2/\text{m}^3/\text{h}$)의 범위였는데 水温보다는 대체로 生産力의 변화와 잘 일치하고 있었다.

培養條件에 따른 基礎生産力의 차이를 보면 取水路의 물을 冷却系統을 통과시키지 않고 그대로 排水路에 培養한 경우(ID)가 總生産力과 純生産力 모두가 가장 높았으며, 冷却系統을 통과한 排水路의 물을 取水路에서 培養한 경우(DI)가 가장 낮았다(Tabl 3). 또한 ID 경우 水温이 30°C 이상을 기록한 9월과 5°C

Table 3. Primary productions by incubation type at the cooling water system of Samchonpo Power Plant

Unit : $\text{mg C/m}^3/\text{h}$

Incubation type*	Primary production	Year Month	1985			1986		
			July	Sept.	Nov.	Jan.	Mar.	May
II	G		16.88	36.09	15.47	7.90	18.75	28.22
	N		12.66	19.53	7.97	4.28	11.25	19.69
	R		4.22	6.56	7.50	3.62	7.50	8.53
DD	G		15.47	9.84	21.56	5.16	8.44	15.36
	N		9.38	-2.35	10.78	1.88	6.52	5.64
	R		6.09	12.19	10.78	3.28	14.95	9.72
DI	G		23.91	20.63	25.78	5.16	18.91	32.05
	N		18.75	10.73	18.28	2.34	12.81	23.12
	R		5.16	9.85	7.50	2.82	6.09	8.93
DI	G		7.03	5.63	12.66	6.09	6.44	—***
	N		3.28	-1.41	3.28	2.34	1.97	—***
	R		3.75	7.04	9.38	3.75	4.47	6.09
IDI	G		14.53	16.41	15.92	6.89	10.31	16.41
	N		10.31	8.44	8.16	3.61	7.97	9.75
	R		4.22	7.97	7.75	3.28	2.34	6.66
Temperature	Intake		23.00	23.70	14.20	5.00	9.50	21.00
	Discharge		28.30	31.00	16.90**	12.50	14.10	27.00

*II : Samples taken and incubated at the intake canal.

DD : Samples taken and incubated at the discharge canal.

ID : Samples taken at the intake canal and incubated at the discharge canal.

DI : Samples taken at the discharge canal and incubated at the intake canal.

IDI : Samples taken and incubated at the intake canal after storing for 15 minutes at the discharge canal.

** One unit operation.

*** Light bottles were lost.

내의를 기록한 1월을 제외하고는 冷却系統의 影響을 전혀 받지 않는 取水路에서의 生産力(II)보다도 높았다. 이러한 사실은 水溫에 따라서는 冷却系統의 가동이 주변해역의 基礎生産力을 증진시키는 결과를 나타낼 수 있다는 것을 말하여 준다.

海産植物의 光合成力은 水溫, 照度, 營養鹽類의 量 및 식물자체의 生理的인 狀態에 따라 결정되는데 (Jørgensen, 1977; Eppley, 1977) 一般的으로는 營養物質과 빛이 충분하다면 水溫이 해당 식물플랑크톤의 耐性限界溫度에 도달하기 전까지는 光合成力이 증가하다(Patrick, 1969). 그러나 光合成力은 일주기, 계절주기를 보이며(Ryther, 1959; Yentsch and Ryther, 1957; Doty and Oguri, 1957; Lorenzen, 1963) 溫度에 대한 適應力도 계절에 따라 차이가 있고 (Nilsen and Källqvist, 1975) 또, 그 適應機構도 種과 個體에 따라 차이가 나기 때문에 (Steemann-Nielsen and Jørgensen, 1968; Cairns, 1956a; Dickson, 1975) 溫度變化에 따른 影響을 定量化하기는 어렵다. 더우기 冷却系統 가동에 따른 溫度上昇이 식물플랑크톤의 光合成에 미치는 影響은 冷却系統 통과시 입는 機械的인 影響과 汚損生物 제거를 위한 化學物質의 影響이 複合的으로 작용하고 있기 때문에 정확히 밝히 내기는 더욱 어렵다. 그러나 冷却系統 통과시 식물플랑크톤이 입는 機械的인 影響과 溫度上昇에 의한 影響이 複合的인 이 아니고 加法的이라 가정하고, 또한 溫排水 擴散區域내와 그 밖에서 일어날지도 모르는 장기적인 影響을 고려하지 않는다면, 각각의 培養條件에 따른 基礎生産力의 차이로 冷却系統의 가동이 식물플랑크톤에 미치는 影響을 定量化하는 것은 어느 정도 가능하다. 전기한 가정하에 冷却系統 통과시 發生 가능한 諸般要因들이 植物플랑크톤의 基礎生産力에 미치는 影響은 다음의 式들로 나타 낼 수 있다.

$$ID_p - II_p = CT \quad (1)$$

$$DI_p - II_p = EM + ET + RT \quad (2)$$

$$IDI_p - II_p = ST + RT \quad (3)$$

$$DD_p - II_p = EM + ET + CT \quad (4)$$

- 단, CT : 排水路에서 培養時 溫度上昇에 의한 影響
- EM : 冷却系統 통과시 機械的 影響
- ET : 冷却系統 통과시 溫度上昇에 의한 影響
- ST : 排水路에서 단시간(15分) 培養時 溫度上昇에 의한 影響
- RT : 排水路에서 取水路로 옮길에 따른 溫度下降에 의한 影響
- p : 基礎生産力(mg C/m³/h)

式(4)에서 式(1)를 빼면,

$$(DD_p - II_p) - (ID_p - II_p) = EM + ET$$

즉, 冷却系統 통과시 입는 전체 影響을 구할 수 있다.

式(2)에서 式(3)을 빼면,

$$(DI_p - II_p) - (IDI_p - II_p) = (EM + ET) - ST$$

가 되며, 이때 取水路에서 排水路에 옮겨서 15분간 培養時 溫度上昇에 의한 影響과 冷却系統 통과시 溫度上昇에 의한 影響은 전기한 가정에 의하여 같다고 할 수 있다. 따라서 위 式의 값은 EM이 된다.

한편, 式(1)~式(4)의 실지값은 측정결과로 얻어지기 때문에 개개의 影響成分의 값을 모두 구할 수 있으며, 그 값이 陰數이면 惡影響, 陽數이면 好影響이 된다.

調査期間中 식물플랑크톤의 總生産力에 가장 큰 影響을 미치는 要因은 冷却系統 통과에 따른 機械的인 影響으로 최소 21.07%(11월) 최대 110.67%(3월)의 惡影響을 미쳤다(Table 4). 3월에 機械的인 影響이 100%를 초과한 것은 機械的인 影響에 따라 많은 식물플랑크톤이 사망하였거나 培養期間中 光合成 能力이 저하된데 반하여 酸素의 소비는 계속적으로 일어났기 때문이라 생각되며, 排水路에서 培養한 경우의 呼吸量이 水溫과 基礎生産力이 3월보다 높았던 9월이나 5월에 비하여 월동리 많아 상대적으로 純生産力이 감소한 결과에 따른 현상이라 보여진다.

전기한 影響 要因중 EM, ET는 자연상태에서 일어날 수 있는 要因이라 하면 CT와 RT는 인위적인 要因이라 할 수 있다. 실제 狀況에서 冷却水와 같이 冷却系統을 통과한 植物플랑크톤이 곧바로 冷却水와 같은 溫度로 즉시 되돌아 가거나 排水路에 계속하여 머무는 경우는 없다. 따라서 CT와 RT의 값은 溫排水 擴散區域에서 일어날 수 있는 極限값이라 할 수 있으며, 실지 冷却系統 전체의 影響은 EM+ET+CT와 EM+ET+RT 사이의 어느 값이라고 할 수 있다.

한편 冷却系統을 통과한 植物플랑크톤은 강한 溫排水流를 따라 배출되어 나가는데 그 影響圈인 溫排水 擴散區域(ΔT < 1°C)내에 머무르는 시간은 30분 내외이며, 또한 溫排水는 시간이 감에 따라 서서히 溫度가 감소하므로 EM+ET+RT에 더욱 가까운 값이라고 생각된다. 三千浦 火力發電所 冷却系統에 의한 植物플랑크톤의 總生産力 감소는 9월이 가장 커서 25.75~29.96 mg C/m³/h의 손실을 나타내었고 1월이 1.81~2.74 mg C/m³/h로 가장 적었으며, 平均値는 4.6~12.14 mg C/m³/h 범위였다.

百分率로 보면, 9월의 71.35~83.01%, 3월의 54.99~65.65%, 5월의 45.57%의 순이었으며 平均 7.

Table 4. Effect of cooling water system components on gross primary production

Unit : mg C/m³/h, (%)

Component*	Year	1985			1986		
	Month	July	Sept.	Nov.	Jan.	Mar.	May
CT		7.03 (41.65)	-15.46 (-42.84)	10.31 (66.65)	-2.74 (-34.68)	0.16 (0.85)	3.83 (13.57)
RT		-1.41 (-8.35)	-19.67 (-54.50)	1.41 (9.11)	-1.81 (-22.91)	-1.84 (-9.81)	-
EM		-7.50 (-44.43)	-10.78 (-29.87)	-3.26 (-21.07)	-2.82 (-35.70)	-20.75 (-110.67)	-
ET		-0.94 (-5.57)	-0.01 (-0.03)	-0.96 (-6.21)	2.82 (35.70)	10.28 (54.83)	-
Effect of entrainment (EM+ET)		-8.44 (-50.00)	-10.29 (-28.51)	-4.22 (-29.16)	0 0	-10.47 (-55.84)	-16.69 (-59.14)
Total effect on primary production		-1.41~ -9.85 (8.35~)	-25.75~ -29.96 (-71.35~)	-2.81~ 6.09 (-39.37~)	-1.81~ -2.74 (34.68~)	-10.31~ -12.31 (-54.99~)	-12.86~ (-45.57~)

*CT : Effect of increased temperature when incubated in the discharge canal.

RT : Effect of decreased temperature when transferred from discharge to the intake canal.

EM : Mechanical effect caused by entrainment.

ET : Effect of increased temperature caused by entrainment.

Table 5. Effect of cooling water system components on net primary production

Unit : mg C/m³/h, (%)

Component*	Year	1985			1986		
	Month	July	Sept.	Nov.	Jan.	Mar.	May
CT		6.09 (48.10)	-18.80 (-63.66)	10.31 (129.36)	-1.94 (-45.33)	1.56 (13.87)	3.43 (17.42)
RT		-0.01 (-0.08)	-17.86 (-60.48)	2.81 (35.26)	-1.48 (-34.58)	-2.99 (-26.58)	-
EM		-7.03 (-55.53)	-9.85 (-33.36)	-3.47 (-43.54)	-1.27 (-29.67)	-6.00 (-53.33)	-
ET		-2.34 (-18.48)	-3.23 (-10.94)	-4.03 (-40.42)	0.81 (18.93)	-0.29 (-2.58)	-
Effect of entrainment (EM+ET)		-9.37 (-74.01)	-13.08 (-44.29)	-7.5 (-94.10)	-0.46 (-10.75)	-6.29 (-55.91)	-14.48 (-75.54)
Total effect on net primary production		-3.28~ -9.38 (-25.91~)	-30.94~ -31.88 (-104.72~)	-4.69~ 2.81 (-58.85~)	-1.94~ -2.40 (-45.33~)	-9.28~ -4.73 (-82.49~)	-11.05 ~ (56.12~)

*CT : Effect of increased temperature when incubated in the discharge canal.

RT : Effect of decreased temperature when transferred from the discharge canal to the intake canal.

EM : Mechanical effect caused by entrainment.

ET : Effect of increased temperature caused by entrainment.

48~58.87%의 범위이었다. 純生産力의 경우 역시 總生産力과 비슷한 樣相을 나타내었는데(Table 5), 손실량은 總生産力의 경우보다 10~20% 높은 수준으로 平均 8.36~11.88 mg C/m³/h 또는 58.7~83.5%의 수준이었다. McWilliam(1972)은 溫度上昇에 따라 植物플랑크톤의 生産力이 증가하는 비율은 總生産力이 純生産力보다 크다고 하였는데, 본 調査에서 역시 같은 현상을 발견할 수 있었다. 전체적으로

불 때 高水溫期와 低水溫期를 제외하고는 機械的인 要因에 의한 피해를 溫度上昇 要因이 어느정도 상쇄하여주고 있는 것으로 생각되어진다. 金等(1985)은 같은 地域에서 光合成色素量으로 測定하여 10% 내외의 進行死亡率을 보고하였고, 許等(1981)은 古里原子力 發電所에서 같은 方法으로 뚜렷한 차이를 발견하지 못하였다.

Goto *et al.*(1980)은 光合成 色素量으로 溫排水

影響을 調査할 수 있다고 보고하였는데 실제 冷却系統 통과시간이 10분 미만인 것을 감안하면 光合成 色素量에 의한 影響評價는 그다지 신빙성이 없다고 보아야 하겠다.

取·排水區간의 植物플랑크톤 現在量의 차이도 冷却系統의 影響을 알아볼 수 있는 指標라 할 수 있겠지만 사망 또는 파괴된 植物플랑크톤 細胞를 구별하기가 힘들기 때문에 그다지 좋은 方法이라고 할 수는 없겠다.

Koops(1975)는 溫排水 擴散區域에서 유의할만한 生産力의 변화를 발견하지 못하였다고 보고하였다. Benda(1976)는 30%의 生産力 감소를 보고하였는데 이는 冷却池에서 장기간에 걸친 影響을 調査한 것이기 때문에 본 연구와는 많은 차이가 있다.

Takesue and Tsuruta(1978)는 排水口의 물을 取水口 水溫에서 培養(DI와 유사)하여 여름철에는 71~77%, 겨울철에는 31~46%의 生産力 감소가 일어난다고 보고하였고, Iitsuka, Goto and Shimo(1980)는 순수 培養중인 *Chaetoceros* sp.가 들어있는 溶液을 순간적(10분)으로 加溫한 후 다시 원래 水溫에 培養(IDI와 유사)한 결과, 溫度差는 8°C인 경우 取水口 水溫이 10°C 이하이면 好影響이라 하였고, 또한 取水口의 물을 사용한 경우 16°C 이하에서는 好影響을 미치나 24°C에서는 20%, 34°C에서는 50%의 惡影響을 미친다고 보고하였다. 이러한 연구들은 본 調査보다 상대적으로 낮은 影響을 나타내고 있는데 이는 汚損生物 驅除를 위한 鹽素 注入의 影響을 고려하지 않았기 때문이다.

汚損生物을 驅除하기 위한 鹽素의 適定濃度는 殘留鹽素量으로 0.25~0.5 ppm(Clapp, 1950; Burton and Margrey, 1979)로 보고되고 있다. Hirayama and Hirano(1970)는 0.1 ppm의 殘留鹽素量에서 별 피해가 없다고 하였으나 Iitsuka, Goto and Shimo(1979)는 같은 농도에서 겨울철에 5~35%, 여름철에 47~71%의 피해를 보고하였으려, 아울러 1~3일간 光合成 抑制效果가(lag phase) 있다고 하였다. 한편 Carpenter, Peck and Anderson(1972)은 ΔT 가 9.2~15.7°C의 범위에서 殘留鹽素量 0.4 ppm의 경우 98%, 0.05 ppm에서는 71%의 높은 피해도를 보고하였다.

Fox and Moyer(1973)는 連行에 의한 光合成 감소를 26%, 鹽素注入과 連行에 의한 감소를 66%로 보고하였다. 이러한 사람을 미루어 볼 때 溫度가 높을수록 化學物質에 의한 惡影響이 커진다는 것을 알 수 있다.

三千浦 火力發電所의 경우 汚損生物 제거를 위하여 鹽素를 注入하며, 復水器內의 부식방지를 위하여 黃酸 第一鐵을 투여하고 있는데, 金等(1985)은 排水口의 殘留鹽素量이 0.1 ppm일 때 8%, 0.3 ppm일 때 15% 정도의 光合成 色素量이 對照區보다 감소한다고 하였다. 三千浦 火力發電所의 경우 초당 40 m³의 冷却水를 사용하고 있으며 冷却系統을 통과한 食物플랑크톤이 溫排水 擴散區域($\Delta T < 1^\circ C$)에 머무는 시간은 약 30분 정도이며 靜潮時에도 1시간을 초과하지는 않는다. 調査地域에 있어서 光合成이 가능한 시간은 12시간으로 가정하고 이 기간중에는 平均 最大値인 11.85 mg C/m³/h의 손실이 있고 나머지 12시간은 呼吸量 增加에 의한 손실(최대 3.2 mg C/m³/h)만 일어난다고 가정한다면, 冷却水 1 m³ 사용시마다 7.23 mg C에 해당하는 純生産力의 손실이 일어난다고 할 수 있으며, 이 수치에는 化學的 影響도 포함되어 있다고 볼 수 있다. 이 값에 정상가동하의 연간 冷却水 사용량을 곱하면, 三千浦 火力發電所 冷却系統에 의하여 純生産力이 입는 손실은 연간 최대 9.1t의 植物性 炭素에 해당하는 量이다.

要 約

본 研究는 1985년 5월부터 1986년 5월까지 三千浦 火力發電所를 대상으로 發電所 冷却系統의 가동시 植物플랑크톤의 基礎生産力에 미치는 影響을 구명하기 위하여 실시되었다.

發電所 冷却系統이 總基礎生産力에 미치는 影響은 평균 7.5~58.9%(4.6~12.1 mg C/m³/h)이었으며, 純基礎生産力의 경우는 이보다 높은 수준이 58.7~83.5%(8.4~11.9 mg C/m³/h)이었다. 影響要因중 가장 큰 요소는 冷却系統 통과시 입는 機械的인 影響으로 그 범위가 21.1~110.7%에 달하였다. 三千浦 火力發電所 冷却系統에 의한 植物플랑크톤이 입는 피해는 연간 9.1t의 植物性炭素에 해당하는 量으로 추계되었다.

謝 辭

本 研究를 수행함에 있어 많은 激勵을 하여 주신 海洋研究所 許亨澤 所長님께 감사드리며, 原稿를 읽어 주시고 體制를 잡아 주신 李秉煥 教授님, 李澤烈 教授님, 金仁培 教授님과 白義人 教授님께 깊은 감사를 드립니다.

施設을 개방하여 주신 三千浦 火力發電所 관계자

들께도 감사드리며, 아울러 標品採集에 도움을 준 동료 室員께 감사드린다.
 끝으로, 本 研究는 科學技術處의 기본 연구비에 의해서 部分的으로 지원받았음을 밝혀 둔다.

文 獻

김은아 等. 1985. 보령, 삼천포 T/P 냉각수가 연안 양식수산물에 미치는 영양조사(I). 서울대학교 자연과학연구소지, 1-176.
 朴周錫. 1980. 韓國南海岸의 植物性플랑크톤의 出現量 및 組成과 이들의 먹이와 赤潮로서 養殖生物에 미치는 影響. 水産院研究報告 23, 5-92.
 奉鍾憲. 1976. 韓國沿岸의 表面海水와 大氣間의 熱交換. 韓海誌 11, 43-50.
 劉光日. 1974. 多島海의 成 長要因과 沿岸水質汚染에 關한 研究. IV. 植物性플랑크톤의 種組成과 現存量. 學術院 論文集 자연과학편, 8-11.
 劉光日 等. 1975. 호남 정유공장을 중심으로한 光陽灣一帶의 水質, 海上 및 生態學的 調查. 2. 플랑크톤 및 基礎生産力調查研究. 科技處報告書 STF- 74-6, 120-135.
 韓國電力公社. 1985. 長明電力需給計劃. 미발표
 許亨澤 等. 1981. 發電所 溫排水에 의한 水産資源에의 影響 및 對策에 關한 研究. 海洋研報告書 1-359, BSPI 00025-49-3.
 Benda, R.S. 1976. Effects at the Palisades Nuclear Power Plant on Lake Michigan, G.W. Esch and R.W. McFarlane *ed.* *Thermal Ecology*. II. 243-250, Tech. Inf. Cen. Dept. Energy, USA.
 Burton, D.T. and S.S. Margrey. 1979. Control of fouling organisms in estuarine cooling water system by chlorine and bromine chloride. *Env. Sci. Tech.* 13, 684-689.
 Cairns, J. Jr. 1956. Effects of increased temperatures on an aquatic organisms. *Indus. Wastes*, 1, 150-152.
 Cairns, J. Jr. 1972. Coping with heated waste water discharges from steam electric power plants. *Bioscience* 22, 411-419.
 Carpenter, E.J., B.B. Peck and S.J. Anderson. 1972. Cooling water chlorination and productivity of entrained phytoplankton. *Mar. Biol.* 16, 37-40.

Clapp, W.F. 1950. Some biological fundamentals of marine fouling organisms. *Trans. Am. Soc. Mech. Engrs.* 72, 101-107.
 Dickson, D.R. 1975. Waste heat in aquatic environment. 1-40, NRC. Pub., NRCC 14109, Ottawa.
 Doty, M.S. and M. Oguri. 1957. Evidence for a photosynthetic daily periodicity. *ibid.* 2, 37-40.
 Eppley, R.W. 1977. The growth and culture of diatoms. (*ibid.*), 24-64.
 Fox, J.L. and M.S. Moyer. 1973. Some effects of a power plant on marine microbiota. *Chesapeake Sci.* 14, 1-10.
 Goto, H., T. Iitsuka, Y. Kawasaki and S. Shimo. 1980. Investigation of a photosynthetic pigment technique for assessment of power plant cooling system effects on phytoplankton. 1-21, CRIEPI REP., 479021, (in Japanese).
 Gunter, G. 1957. Temperature. J.W. Hedgpeth, *ed.* *Treatise on Marine Ecology and Paleoecology*. 157-184, I. Geol. Soc. Amer. Mem. 67.
 Hirayama, K. and R. Hirano. 1970. Influences of high temperature and residual chlorine on marine phytoplankton. *Mar. Biol.* 7, 205-213.
 IAEA. 1974. Thermal discharges at nuclear power stations. Their management and environmental impacts. 1-407, Tech. Rep. Ser. IAEA 155.
 Iitsuka, T., H. Goto and S. Shimo. 1979. Effects of chlorine exposure on the growth and photosynthetic activity of phytoplankton. 1-20, CRIERI Rep., 479005, (in Japanese).
 Iitsuka, T., H. Goto and S. Shimo. 1980. Effects of temperature treatment on the growth and photosynthetic activity of phytoplankton. 1-28, CRIERI Rep., 479018, (in Japanese).
 Jørgensen, E.G. 1977. Photosynthesis. D. Werner *ed.* *The Biology of Diatoms*. Botanical Monogr, 13, 150-168, Univ. Calif. Press, California.
 Koops, F.B.J. 1975. Plankton investigations near Flevo Power Station. *Verh. Internat. Verein.*

- Limnol. 19, 2207—2213.
- Krenkel, P.A. and F.L. Parker. 1969. Engineering aspects, sources and magnitude of thermal pollution. P.A. Krenkel and F.L. Parker *ed.* Biological aspects of thermal pollution Vanderbilt Univ. Press Oregon. 10—52.
- Lorenzen, C.L. 1963. Diurnal variation in photosynthetic activity of natural phytoplankton population. Limnol. Oceanogr. 8, 56—62.
- McWilliam, P.S. 1982. Changes in the oxygen pressure system in Lake Liddell, N.S.W., an associate observation on the ecology of aquatic micro-and macro-phytes. Thermal discharge engineering and ecology. 1—125, The I. Eng. Sydney.
- Nakatani, R.E. 1969. Effects of heated discharge on anadromous fishes. P.A. Krenkel and F.L. Parker *ed.* Biological aspects of thermal pollution. 294—317, Vanderbilt Univ. Press, Oregon.
- Nilsen, G. and T. Källqvist. 1975. Thermal effects on marine biota in experimental systems. Environmental effects of cooling systems at nuclear power plants. IAEA, Vienna. 499—518.
- Patrick, R. 1969. Some effect of temperature on freshwater algae. P.A. Krenkel and F.L. Parker *ed.* Biological Aspects of Thermal Pollution. 161—185, Vanderbilt Univ. Press, Oregon.
- Ryther, J.H. 1959. Light adaptation by marine phytoplankton. Limnol. Oceanogr. 4, 492—497.
- Steeemann-Nielsen E. and E.G. Jørgensen. 1968. The adaptation of plankton algae. III. With special consideration of the importance in nature. Physiol. Plant 21, 647—654.
- Stratton, F.E. and P.L. McCarty. 1967. Prediction of nitrification effects on the dissolved oxygen balance of streams. Env. Sci. Tech. 1, 405—410.
- Strickland, J.D.H. and T.R. Parson. 1968. A practical manual of Sea Water analysis. Fish. Res. Bd. Canada. Bull. 167, 1—310.
- Takesue, K. and A. Tsuruta. 1978. The thermal effects of cooling system of a thermal power plant on photosynthesis of marine phytoplankton. J. Oceanogr. Soc. Japan 34, 295—302.
- Talmage, S.S. and C.C. Coutant. 1978. Thermal effects. JWPCF 50, 1515—1552.
- Thronsen, J. 1978. Preservation and Storage. A. Sournia *ed.* Phytoplankton Manual. 69—74. UNESCO.
- Trusell, R.P. 1972. The percent unionized ammonia in aqueous ammonia solution at different pH levels and temperature. J. Fish. Bd. Canada 29: 1505—1507.
- Yentsch, C.S. and J.H. Ryther. 1957. Short-term variations in Phytoplankton Chlorophyll and their significance. Limnol. Oceanogr. 2, 140—142.