

富營養화된 北灣의 溶存酸素 收支에 의한 自淨能力

崔禹政 · 羅琪煥 · 全永烈 · 朴清吉*

國立水產振興院 統營水產研究所 · *釜山水產大學校 環境工學科

Self-purification Capacity of Eutrophic Buk Bay by DO mass Balance

Woo-Jeung CHOI · Gui-Hwan NA · Young-Yell CHUN
and Chung-Kil PARK*

*Tong Young Fisheries Research Laboratory of National Fisheries Research
and Development Agency., Tong Young 651-940, Korea*

**Department of Environmental Science and Engineering,
National Fisheries University of Pusan
Pusan 608-737, Korea*

In Summer, oxygen-deficient water masses were developed extensively in the closed eutrophic bays such as Chinhae Bay which results in mass mortality of marine organisms and severe decrease the production of the bay every year. Under the circumstances, this study was performed to investigate the oxygen depletion relating to eutrophication, and also to evaluate self-purification capacity of Buk Bay by dissolved oxygen mass balance in 1988.

The mean concentration of total inorganic nitrogen, phosphate phosphorus and chlorophyll-a were $11.06\mu\text{g-at/l}$, $0.80\mu\text{g-at/l}$ and 11.11mg/m^3 respectively, which were over eutrophication criteria. Oxygen-deficient water mass was formed in July with the minimum concentration of 2.08ml/l (mean) at the bottom of all stations and recovered slowly in August.

The decay and reaeration coefficient calculated from dissolved oxygen sag curve were $0.222/\text{day}$ and 0.018ml/l/day , respectively. To maintain above 4ml/l of oxygen to prevent oxygen-deficient water mass, it is recommendable to supply as much as 0.856ml/l/day of dissolved oxygen or should be reduced the same mass loading of BOD from watershed by the construction of wastewater treatment plant.

緒 論

水産生物의 養殖을 集約的으로 실시하고 있는 沿岸海域은 都市가 집중되어 있어 生活下水나 産業廢水, 非點源 汚染物質 등이 大量 流入되는 곳이고 또 오랜 養殖으로 인한 汚染物質의 蓄積이 점차 확대되어 가고 있으며 특히 閉鎖性 灣이나 內海에서는 富營養化現象이 현저하다(朴, 1975). 이러한 富營養화된 內灣海域의 특징은 鎮海灣 등과 같이

赤潮가 자주 발생하고 成層期인 여름철에는 低層에 低酸素水塊가 形成되어 水産增養植物의 大量斃死 및 單位面積當 생산량을 크게 감소시킬 뿐 만 아니라, 底質이 還元環境으로 되어 底質中の 各種鹽類들이 大量 溶出하여 水質을 더욱 惡化시키는 등 沿岸漁場 環境保全에 惡影響을 미치고 있다(中村 等, 1975; 城久 等, 1984; 柿野, 1986; 風呂田, 1988).

이와 같이 閉鎖性 水域에 있어서 溶存酸素 不足

은 水質 및 底質惡化의 主 原因이 되며 養殖生物의 代謝에도 重要하다고 여겨져 酸素不足 低層水의 개선을 위해 灣口改良, 曝氣 혹은 灣의 DO收支 解析을 통한 沿岸漁場 관리방안 등이 報告되고 있다 (中村 等, 1975; 中村 等, 1976; 日本水産學會編, 1977). 우리나라에서 沿岸漁場 環境에 관한 研究는 1970年代부터 중점 研究되기 시작하여 一般環境 (林 等, 1975; 柳 等, 1975), 基礎生産力(裴 等, 1978), 富營養化(朴, 1975; 趙 等, 1977), 底質汚染(趙 等, 1983), 養殖密度(趙, 1980), 養殖生物의 代謝 (金, 1980; 金, 1983), 赤潮(朴, 1982; 水振, 1987) 등 많은 研究들이 있으나 停滯水域 또는 半閉鎖性 水域에서 富營養化現象에 따른 低酸素水塊 형성방지를 위한 適正汚染負荷量 算定에 관한 報告는 未治한 실정이다.

따라서 本 研究는 忠武市 北西쪽에 위치한 閉鎖性 內灣으로 灣 外側에는 굴 養殖을 하고 灣內는 産業廢水, 畜産廢水, 都市生活下水 等に 직접 影響을 받아 富營養化된 海域이라 생각되는 北灣을 調查地域으로 하여 一般理化學的 調查와 함께 溶存 酸素 收支에 중점을 두어 여름철 成層期에 低層 低酸素水塊 발달을 방지하기 위한 適正汚染負荷量을 算定하여 閉鎖性 灣의 增養殖場 漁場環境管理를 위한 基礎資料를 提供코져 한다.

研究 方法

1. 採 水

試料는 Fig. 1에서와 같이 養殖場이 密集된 灣의 入口에 地點 1, 忠武市 분뇨처리장이 위치한 灣의 중앙부분을 地點 2, 그리고 都市下水의 影響을 직접받는 灣의 內側을 地點 3으로 하여 1988. 1월부터 同年 12월까지 每月 平均 4회 이상 表, 低層水를 採取 理化學的 成分을 分析하였고, 灣의 適正汚染 負荷量 算定은 水質이 最惡에 도달되리라 생각되는 장마전후인 7월부터 20여일에 걸쳐 地點 2의 低層에서 連續으로 DO를 測定한 資料로 算定하였다.

2. 方 法

가. 理化學的 成分 分析

pH는 pH meter로 測定하였고, 溶存酸素는 Winkler azide 變法(Standard methods, 1981), Chlorophyll-a, 磷酸 磷, 窒酸 窒素, 亞窒酸 窒素, 암모니아 窒素 등은 Strickland and Parsons法(1972)에 따라 比色定量했다.

나. 適正汚染負荷量 算定

灣에 있어서 DO 收支方程式은 다음과 같이 표현할 수 있다(中村 等, 1976).

$$\frac{\partial C}{\partial t} + LC - I = 0 \dots\dots\dots (1)$$

여기서 C: 溶存酸素濃度(ml/l)
L: 酸素消費係數(day⁻¹)
I: 酸素供給係數(ml/l/day)

L 및 I 값은 海水交換量, 被酸化性物質에 의한 脫酸素量, 海面曝氣, 海底消費, 光合成 등에 관여하며 넓은 의미로 그 灣의 고유 값이라 볼 수 있다. 식 (1)의 境界條件으로서 Fig. 2(中村 等, 1976)와 같은 現場 觀測值에서

$$t = t_1 = 0 \quad \text{일 때} \quad C = C_1 \dots\dots\dots (2)$$

$$t = t_2 = T \quad \text{일 때} \quad C = C_2 \dots\dots\dots (3)$$

$$t = t_3 = 2T \quad \text{일 때} \quad C = C_3 \dots\dots\dots (4)$$

式(1)의 L 및 I의 解는 아래와 같다.

$$L = -\frac{1}{T} \ln \frac{(C_1 - C_3) \pm \sqrt{(C_1 + C_3)^2 - 4C_2(C_1 - C_2 + C_3)}}{2(C_1 - C_2)} > 0 \dots\dots\dots (5)$$

$$I = \frac{C_2 - C_1 e^{-LT}}{1 - e^{-LT}} \cdot L > 0 \dots\dots\dots (6)$$

Fig. 2에서 臨界點의 DO 濃度 C₃를 環境基準(C_p)로 유지하기 위한 DO 供給量을 O_d라 하면 式(1)의 I에 O_d/V을 가해 O_d에 대한 解를 구하면

$$O_d \geq \frac{LV \left\{ \left(C_p - \frac{I}{L} \right) - \left(C_1 - \frac{I}{L} \right) e^{-Lt} \right\}}{1 - e^{-Lt}} \dots\dots (7)$$

따라서 式(7)로부터 環境基準(C_p)을 유지하기 위해 供給해야 할 酸素量 또는 減少시켜야 할 有機物量을 計算할 수 있다.

結果 및 考察

1. 營養鹽類의 分布 特性

營養鹽類의 分布는 Table 1, Fig. 3과 같다.

(1) 磷酸 磷(PO₄^{-P}): 磷酸 磷의 濃度範圍(平均)는 地點 1에서 ND-2.15(0.37)μg-at/l, 地點 2에서 ND-3.18(0.40)μg-at/l, 地點 3에서 ND-4.29(0.43)μg-at/l로 地點 3에서 가장 높은 濃度分布를 보였으나 平均濃度를 볼 때 地點別 뚜렷한 差異는 없었다. 月別로는 全 地點이 4月과 9월에 낮은 濃度分布, 7월부터 9月 사이에 降雨 等に 의한 影響으로 높은 濃度分布를 나타냈다.

(2) 암모니아 窒素(NH₄⁺-N): 암모니아 窒素의 濃度範圍(平均)는 地點 1에서 0.04~13.24(1.75)

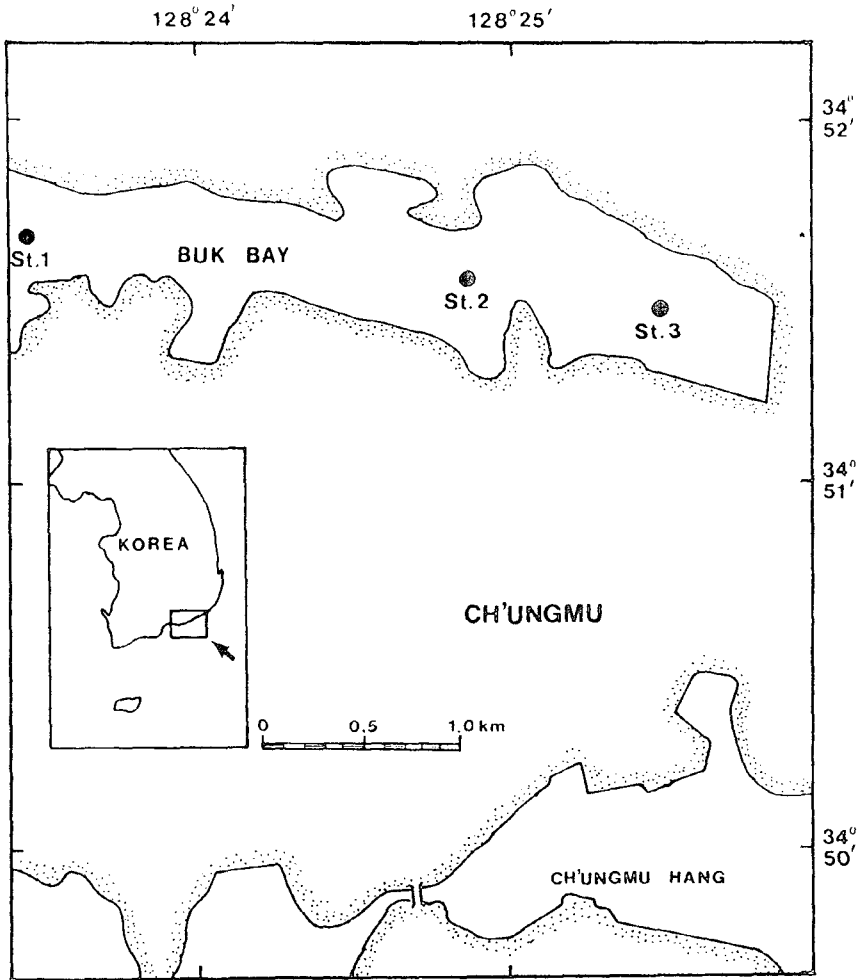


Fig. 1. The location of sampling stations.

$\mu\text{g-at/l}$, 地點 2에서 ND-32.69(4.68) $\mu\text{g-at/l}$, 地點 3에서 ND-35.51(6.64) $\mu\text{g-at/l}$ 로 平均濃度로 볼 때 灣의 內側인 地點 3에서 가장 높은 濃度分布였으며 灣의 外側인 地點 1에 비해 3.8배였다. 月別로는 全 地點이 4月과 9월에 낮은 濃度分布였고, 겨울철인 1月과 2월에 높은 濃度分布로 뚜렷한 계절변화 特性을 보였으며 都市下水의 影響을 直接받는 地點 3에서는 여름철에 濃度の 變化幅이 심했다.

(3) 亞窒酸 窒素(NO_2^- -N): 亞窒酸 窒素의 濃度範圍(平均)는 地點 1에서 ND-1.08(0.27) $\mu\text{g-at/l}$, 地點 2에서 ND-1.24(0.46) $\mu\text{g-at/l}$, 地點 3에서 ND-5.96(0.63) $\mu\text{g-at/l}$ 範圍로 地點 3이 가장 높은 濃度分布였으며 암모니아 窒素와 비슷한 계절변화 特性을 보였다.

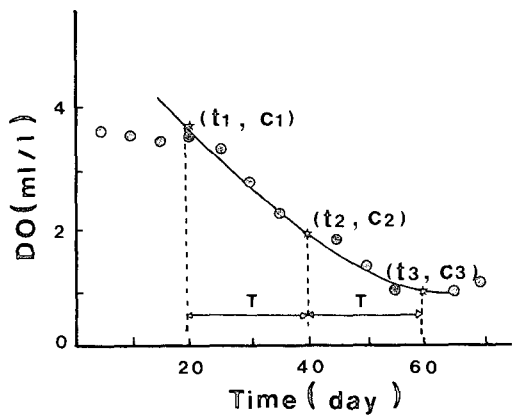


Fig. 2. Typical variation pattern of dissolved oxygen.

Table 1. Range and mean values of water quality data at each station in Buk Bay

| Parameter Station | Parti-tion | Depth | Temp. (°C) | pH | DO (ml/l) | COD (mg/l) | PO ₄ ³⁻ -P (µg-at/l) | NH ₄ ⁺ -N (µg-at/l) | NO ₂ ⁻ -N (µg-at/l) | NO ₃ ⁻ -N (µg-at/l) | TIN (µg-at/l) | N/P | Chl. a (mg/m ³) | Trans.* (m) |
|-------------------|------------|-------|------------|------|-----------|------------|--|---|---|---|---------------|------|-----------------------------|-------------|
| 1 | Range | S | 5.2 | 7.79 | 2.95 | 0.57 | ND | 0.04 | ND | 0.14 | 0.27 | | 0.66 | 1.6 |
| | | | 27.1 | 8.62 | 9.15 | 4.40 | 1.85 | 10.03 | 0.90 | 16.41 | 25.94 | | 25.04 | 10.0 |
| | Range | B | 5.4 | 7.67 | 1.24 | 0.48 | 0.07 | 0.04 | ND | ND | 0.18 | | 0.35 | |
| | | | 26.3 | 8.87 | 8.18 | 2.82 | 2.15 | 13.24 | 1.08 | 15.99 | 23.55 | | 16.59 | |
| | Mean | W | 16.0 | 8.17 | 6.17 | 1.65 | 0.37 | 1.75 | 0.27 | 3.02 | 5.04 | 16.2 | 3.80 | 6.0 |
| | 2 | Range | S | 4.6 | 7.59 | 1.31 | 0.81 | ND | ND | ND | 0.09 | 0.15 | | 0.80 |
| 28.0 | | | | 8.75 | 11.57 | 5.05 | 2.63 | 29.08 | 1.24 | 18.84 | 34.25 | | 87.94 | 6.5 |
| Range | | B | 4.9 | 7.50 | 0.0 | 0.39 | 0.04 | 0.04 | ND | 0.10 | 0.19 | | 0.80 | |
| | | | 26.4 | 8.53 | 10.22 | 4.19 | 3.18 | 32.69 | 1.15 | 19.30 | 43.56 | | 73.74 | |
| Mean | | W | 16.0 | 8.23 | 6.34 | 2.11 | 0.40 | 4.68 | 0.46 | 5.52 | 10.66 | 43.2 | 13.82 | 3.0 |
| 3 | | Range | S | 4.2 | 7.59 | 0.10 | 1.06 | ND | ND | ND | 0.05 | 0.10 | | 0.60 |
| | 29.5 | | | 8.88 | 13.42 | 6.85 | 3.81 | 45.10 | 5.96 | 100.90 | 127.41 | | 88.92 | 6.0 |
| | Range | B | 4.3 | 7.50 | 0.0 | 0.75 | ND | 0.09 | ND | 0.05 | 0.18 | | 0.85 | |
| | | | 29.0 | 8.82 | 11.37 | 4.68 | 4.29 | 35.51 | 1.69 | 35.41 | 41.59 | | 132.75 | |
| | Mean | W | 16.1 | 8.25 | 6.84 | 2.55 | 0.43 | 6.64 | 0.63 | 9.17 | 16.44 | 73.3 | 18.07 | 2.4 |

S: Surface B: Bottom W: Whole

(4) 窒酸 窒素(NO₃-N): 窒酸 窒素의 濃度 範圍(平均)는 地點 1에서 ND-16.41(3.02)µg-at/l, 地點 2에서 0.09~19.30(5.52)µg-at/l, 地點 3에서 0.05~100.90(9.17)µg-at/l 範圍로 地點 3이 가장 높은 濃度 分布였으며 地點別 濃度 差도 컸다. 月變化는 4月과 9月에 낮은 濃度 分布였고, 겨울철인 1月과 2月에 높은 濃度 分布였으나 地點 3의 경우 여름철에 降雨 等에 의한 流出水의 影響으로 높은 濃度 分布를 보였다.

(5) 總無機窒素(TIN): 암모니아 窒素, 亞窒酸 窒素, 窒酸 窒素의 含量으로 나타낸 總無機窒素는 全 地點이 0.10~127.41µg-at/l 範圍로 地點 1에서 平均 5.04µg-at/l의 가장 낮은 濃度 分布, 地點 3에서 平均 16.44µg-at/l의 가장 높은 濃度 分布였으며, 地點 3은 地點 1에 비해 3배 이상 높은 濃度 分布였고 海域 II等級 基準을 2배 이상 超過하는 값이었다.

(6) N/P 比率: N/P比는 地點 1에서 16.2로 植物性 플랑크톤의 平均組成比 16과 비슷하였고, 地點 2와 地點 3에서는 各各 43.2, 78.3으로 窒素의 점유비율이 높았다.

이상의 結果를 他 海域과 比較해 보면 總無機窒素의 경우 朴(1975)이 富營養化가 촉진되고 있다고 보고한 馬山灣의 平均濃度 22.78µg-at/l보다는 낮으나 巨濟灣의 平均濃度 0.83µg-at/l보다 월등히

높으며 日本 水産資源保護協會(1980)의 海域 營養 度에 적용해보면 地點 2, 地點 3 모두 富營養海域에 속했다. 磷酸 磷의 경우 平均濃度는 赤潮發生 可能 濃度인 0.47µg-at/l(日本水産資源 保護協會, 1973)에 미치지 못하나 夏季인 7月에는 1.53µg-at/l로 赤潮 發生 可能濃度를 3배 超過하는 값이었다.

2. Chlorophyll-a 分布와 水質과의 關係

Chlorophyll-a 分布와 水質과의 關係는 Table 1, Fig. 3, Fig. 4와 같다.

Fig. 3과 Fig. 4는 表層資料를 平均値 移動方法(Average moving method)으로 나타낸 것이다. Chlorophyll-a의 濃度(平均)는 地點 1에서 0.35~25.04(3.80)mg/m³, 地點 2에서 0.80~87.94(13.82)mg/m³, 地點 3에서 0.60~132.75(18.07)mg/m³로 灣의 內側인 地點 3에서 他 海域보다 월등히 높은 濃度 分布를 보였다. 月別 濃度變化를 살펴보면(Fig. 4)灣의 入口인 地點 1에서는 5月과 9月에 peak가 나타났는데 이것은 一般 溫帶性 沿岸海域의 플랑크톤 繁殖時期와 일치하였고, 地點 2와 地點 3에서는 7月과 9~10월에 peak가 나타났으며 특히 12월에도 '88 冬季의 異常暖冬으로 높은 濃度 分布를 보였다. 이 때 pH는 8.4~8.6, DO 飽和度는 160~180%에 달하는 過飽和 狀態였으며 COD도 상승하는 傾向

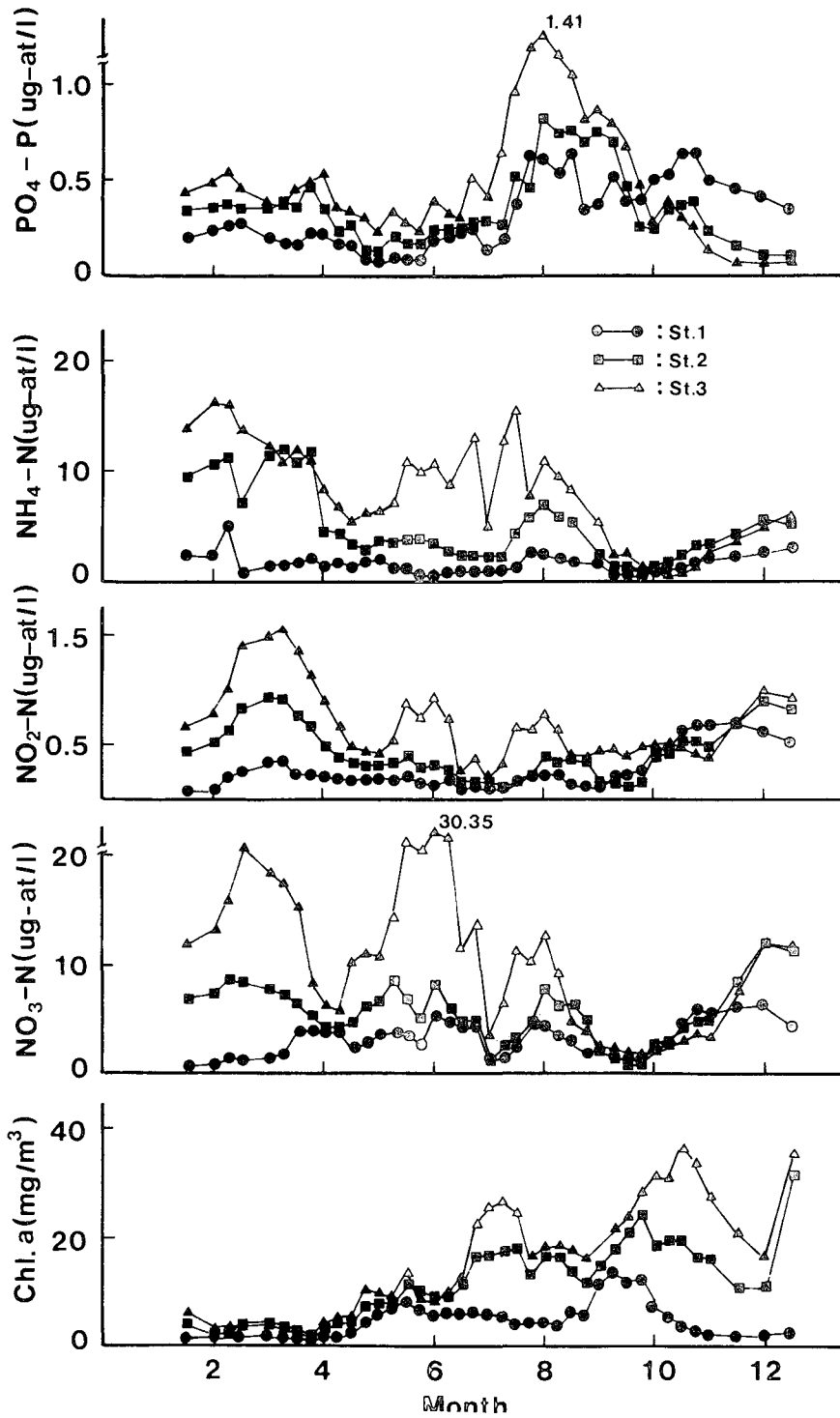


Fig. 3. Monthly variation in concentrations of nutrients and chlorophyll-a.

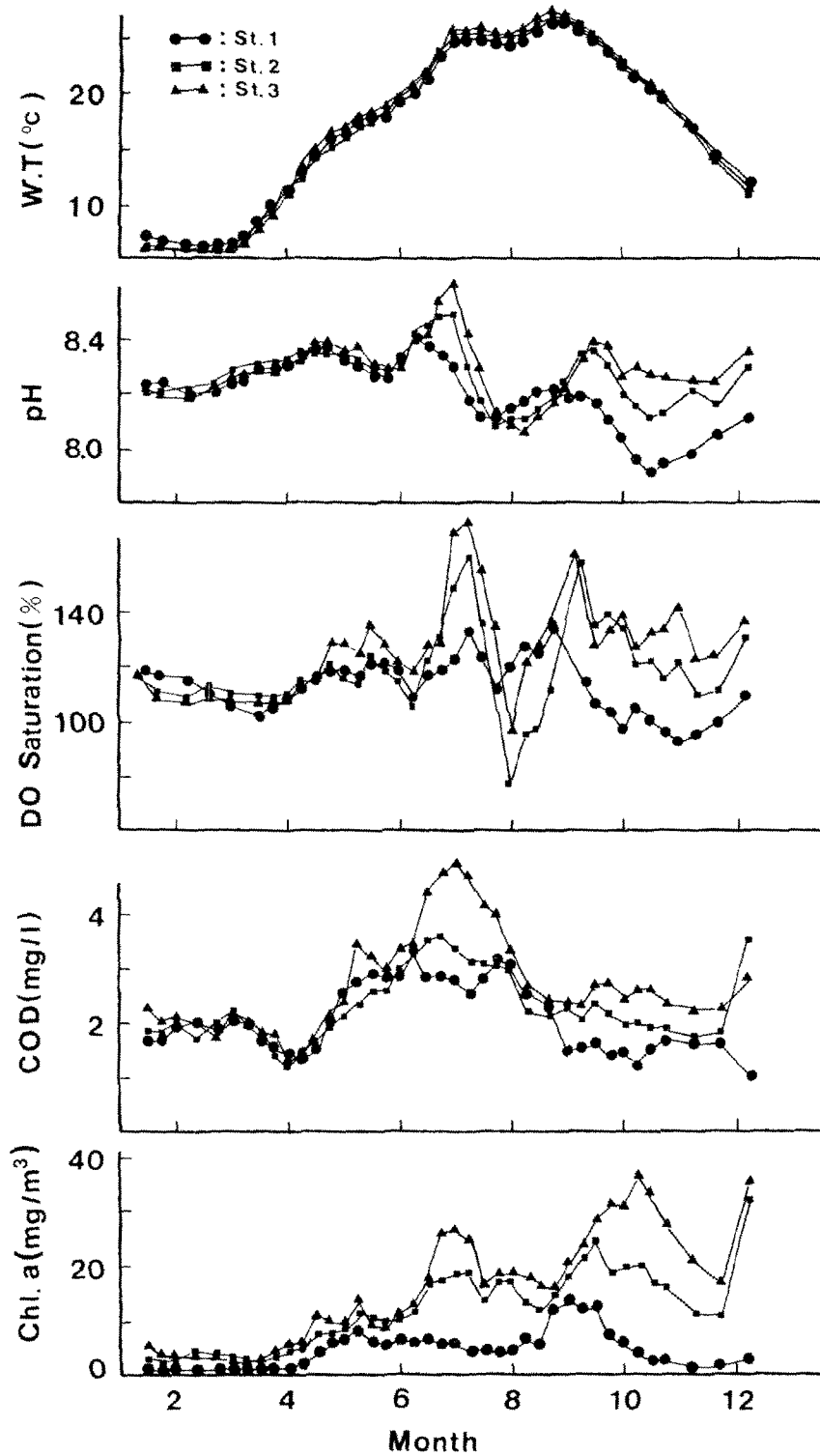


Fig. 4. Monthly variation of pH, % saturation of DO, COD and chlorophyll-a contents.

을 보였다. Chlorophyll-a의 濃度分布와 營養鹽類와의 相關性을 Fig. 5에 나타내었는데 相關性은 없었다. 한편 Sakamoto(1966), 朴(1975) 등에 의하면 水域에서 N/P값이 10~25 範圍 일 때 Chlorophyll-a量과 營養鹽類의 量은 비례관계에 있다고 報告한 바 있으나 崔等(崔·朴, 1986)은 洛東江 河口의 調査에서 N/P값이 대단히 높을때 營養鹽類의 절대량이 풍부하기 때문에 일정한 相關關係가 없다고 報告한 바 있다. 本 調査에서도 北灣이 富營養化가 進행된 海域이므로 Chlorophyll-a量과 營養鹽類의 濃度 사이에는 直線적인 比例關係를 나타내지 않는 것으로 생각된다.

이상의 Chlorophyll-a 濃度分布의 結果를 他 海域과 比較해 보면 地點 1에서는 朴(朴, 1975)이 巨濟灣에서 調査한 平均濃度 $2.23\text{mg}/\text{m}^3$ 과 비슷한 濃度分布였으나 地點 2와 地點 3은 崔等(崔·朴, 1986)이 富營養化狀態에 있다고 報告한 洛東江 河口의 Chlorophyll-a 濃度 $8.58\text{mg}/\text{m}^3$ 을 超過하는 값이었다.

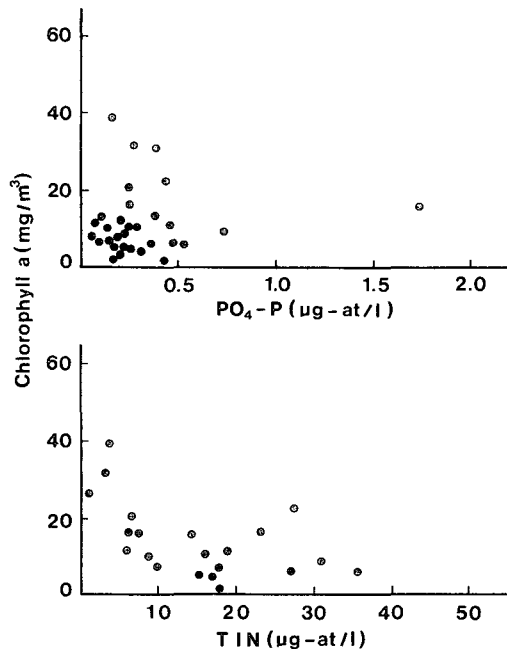


Fig. 5. Relationship between concentrations of chlorophyll-a and nutrients.

3. 低酸素水塊의 形成

北灣은 閉鎖性 內灣으로서 灣 內側에는 都市로부터 汚染物質이 流入되고 있고 여름철에는 表層에서 赤潮가 頻發하는 등 富營養化된 海域이다. 海

域의 富營養化에 따른 水質惡化의 影響을 살펴보기 위해 各 地點의 低層에서 月4回 測定한 溶存酸素의 月變化를 Fig. 6에 나타냈다.

Fig. 6에서 보는 바와 같이 溶存酸素의 月變化는 1月에서 6月까지는 地點別 뚜렷한 차이없이 일정하게 減少하였고, 低酸素化는 表層水溫이 급격하게 上昇하는 6月부터 進행되기 시작하여 日射量이 강하고 장마가 끝난 후 일정한 期間이 경과한 時點인 7月에 全 地點에서 $0.5\sim 2.1\text{ml}/\text{l}$ 의 低酸素水塊가 形成되었으며 8月 이후 增減을 되풀이하면서 점차 回復하는 傾向을 보였다.

Fig. 7은 溶存酸素 濃도가 最惡에 달하는 7月에 地點 1과 地點 3의 低層資料로서 AOU와 磷酸 磷과의 關係를 나타낸 것으로 그래프는 2개의 直線으로 나타낼 수 있었다. AOU가 $3\sim 4\text{ml}/\text{l}$ 이하에서는 AOU 約 $3\text{ml}/\text{l}$ 에 대해 磷 濃도는 $1\mu\text{-at}/\text{l}$ 로 RKR (Redfield 等, 1963)의 有機物 分解모델에서 나타난 酸素와 磷의 比에 가깝다. 이것은 低酸素化가 심하지 않을 경우 磷 濃도는 分解에 소비된 酸素量에 의해 결정되는 것을 의미하고 AOU가 $3\sim 4\text{ml}/\text{l}$ 이상에서 급격한 기울기는 海底가 還元狀態가 되어서 底質中에 존재하는 不溶性 磷酸第II鐵이 可溶性인 磷酸第I鐵로 溶存되어 水中의 磷 濃도가 顯著하게 상승하는 것으로 생각된다(城久等, 1984; 城久, 1989). 이와 같이 低層水의 溶存酸素는 營養鹽의 分解 再生과 밀접한 關係가 있고, 低層의 高濃度 營養鹽이 鉛直混合에 의해 生産層으로 回歸할 경우 계절적 赤潮發生의 해황조건을 提供할 수 있다고 여겨진다.

따라서 富營養化에 의한 低酸素 水塊 발달은 水質을 더욱 惡化시키고 內灣生態系에 큰 影響을 줄 뿐 아니라(城久, 1989) 沿岸域에 있어서 低酸素水塊의 湧승이 왕성할 경우에는 底生 혹은 附着動物의 大量 斃死를 誘發하며(風呂田等, 1984; 風呂田, 1988), 溶存酸素 濃도가 $3\text{ml}/\text{l}$ 이하에서는 방어가 危險하고, $1.5\text{ml}/\text{l}$ 이하에서는 底棲性 貝類가 危險하다고 알려져 있으므로(柳, 1989) 여름철 北灣의 低酸素化는 이 일때 淺海養殖物에도 影響이 있을 것으로 생각된다.

4. 適正汚染負荷量 算定

有機物의 過多流入으로 인한 低酸素水塊 形成은 灣의 自淨能力 範圍 內에서 有機物이 負荷될 경우 酸素低下現象을 막을 수 있을 것으로 생각된다.

따라서 北灣의 水質이 最惡에 달하고 低酸素水塊가 形成되는 7月의 適正汚染負荷量 算定을 위해 '88년 7월 8일부터 同年 8월 3일까지 20여일에 걸쳐

地點 2의 低層에서 測定한 溶存酸素 濃度の 變化는 Fig. 8과 같다.

시간에 따른 溶存酸素 變化曲線은 $Y=15.57-1.40 \times (\text{day})+0.03 \times (\text{day})^2+0.0001 \times (\text{day})^3+\dots$ 과 같이 나타낼 수 있었다. 이 그래프로 부터 北灣의 酸素消費 및 供給係數를 구하기 위해 境界條件으로 7月 10日을 基準으로 6일후, 12일후로 구분하였고 이 때 溶存酸素 濃度는 各各 4.7, 1.3, 0.4ml/l였다. 이 값을 式(5)와 式(6)에 대입하여 酸素消費係數(L)와 酸素供給係數(I)값을 구했고, Fig. 8의 臨界點 酸素濃度 0.4ml/l를 4ml/l이상 유지시키기 위해 供給해야 할 酸素量을 式(7)로부터 구했으며 그 結果는 Table 2와 같다.

Table 2에서 보는 바와 같이 酸素消費係數는 0.222/day, 酸素供給係數는 0.018ml/l/day였다. 또 臨界點의 DO濃度를 4ml/l이상 유지시키기 위해 體積當 供給해야 할 酸素量(O_d/V)은 0.856ml/l/day였다. 따라서 水質이 最惡에 달하는 夏季에 北灣의 無酸素 또는 低酸素狀態를 막고 4ml/l이상의 溶存酸素를 유지시키기 위해서는 이 일대의 海域에 水路變更이나 酸素供給 裝置를 이용 0.856ml/l/day 만큼의

酸素를 供給하든지 또는 이 量에 相當하는 流入 BOD負荷를 廢水處理場建設 等を 통하여 減少시켜야 할 것으로 생각된다.

要 約

忠武市 北西쪽에 위치한 閉鎖性 內灣으로 灣 外側에는 굴 養殖을 하고 있는 北灣의 富營養化現象을 究明하고 水質이 最惡에 달하는 夏季에 일정수준 이상의 溶存酸素를 유지하기 위한 適正汚染負荷量 算定을 위해 1988年 1月부터 同年 12月까지 平均 月 4回 調査한 結果를 要約하면 다음과 같다.

全 調査 地點에서 總無機窒素는 0.10~127.41(平均: 10.71) $\mu\text{g-at/l}$, 磷酸 磷은 ND-4.29(平均: 0.40) $\mu\text{g-at/l}$, Chlorophyll-a는 0.35~132.75(平均: 11.90) mg/m^3 이었고, 여름철 동안 平均濃度는 各各 11.06 $\mu\text{g-at/l}$, 0.80 $\mu\text{g-at/l}$, 11.11 mg/m^3 로 이미 富營養狀態에 있었다.

溶存酸素는 全 調査地點에서 0.00~13.42(平均: 6.45) ml/l 였고, 장마가 끝나고 일정한 期間이 경과

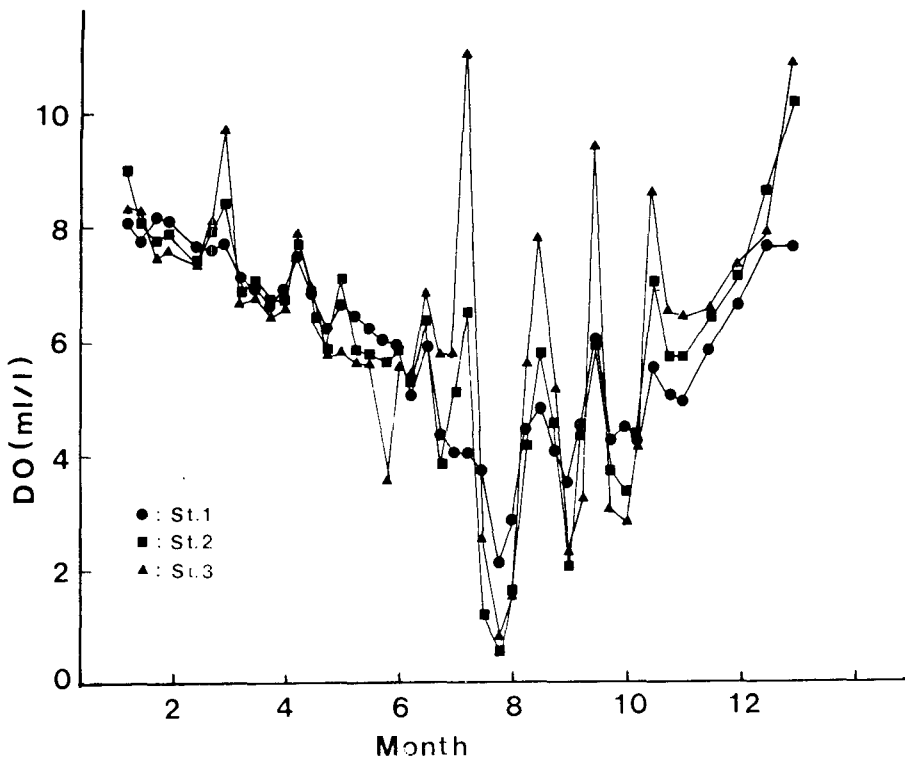


Fig. 6. Monthly variation of dissolved oxygen at the bottom in each station.

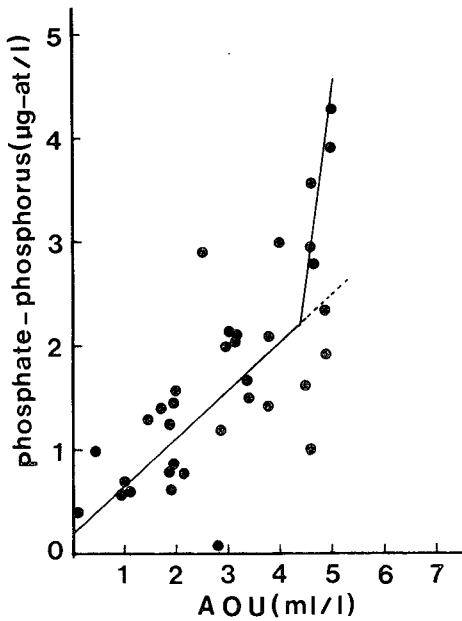


Fig. 7. Relationship between phosphate-phosphorus concentration and apparent oxygen utilization (AOU) in the bottom.

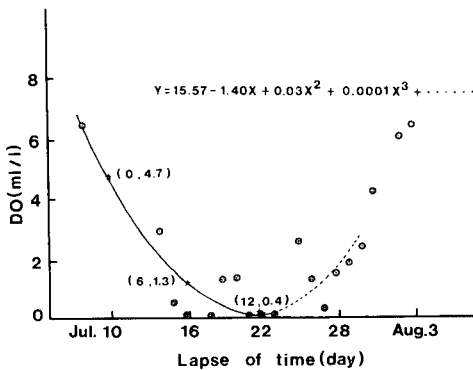


Fig. 8. Dissolved oxygen sag curve at the bottom in station 2.

Table 2. Values of L, I and O_d calculated from equation (5), (6) and (7)

| Season | L (day ⁻¹) | I (ml/l/day) | O_d/V (ml/l/day) |
|-----------------------|---------------------------|-----------------|-----------------------|
| Summer (Jul.~Aug.) | 0.222 | 0.018 | 0.856 |

한 時點인 7월에 全 地點의 低層에서 平均 2.08ml/l의 低酸素水塊가 形成되었으며, 8月 이후 增減을 되풀이하면서 점차 回復되는 傾向을 보였다.

夏季에 北灣의 時間에 따른 溶存酸素 變化曲線은 $DO(ml/l) = 15.57 - 1.40 \times (day) + 0.03 \times (day)^2 + 0.0001 \times (day)^3 + \dots$ 와 같이 나타낼 수 있었고, 이와 같은 酸素變化 特性으로부터 구한 酸素消費係數 및 供給係數의 고유치는 각각 0.222/day, 0.018 ml/l/day로 北灣의 溶存酸素 收支 特性으로 볼 때 夏季에 無酸素 또는 低酸素 狀態를 막고 4ml/l 이상의 溶存酸素를 유지하기 위해서는 이 일대의 海域에 水路의 變更이나 酸素 供給裝置를 이용 0.856 ml/l/day 만큼의 酸素를 供給하든지 또는 이 量에 해당되는 流入 BOD 負荷를 廢水處理場 建設등을 통하여 減少시켜야 할 것으로 생각된다.

感謝의 글

本 論文의 檢討와 助言을 해주신 釜山水產大學 校 李 錫謨 教授님, 現場調査에 적극 協助하여 주신 統營水產研究所 試驗船 職員 여러분과 資料整理에 도움을 주신 朴 英順 양에게 感謝드립니다.

文 獻

- APHA, AWWA, APCF. 1981. Standard methods for the examination of water and wastewater. 15th ed.
- Redfield, A. C., B. H. Ketchum and F. A. Richards. 1963. The influence of organisms on the composition of sea water. The sea, 2, pp. 26~27.
- Sakamoto, M. 1966. Primary production by phytoplankton community in some Japanese lakes and its dependence on lake depth. Water Res. Lab., Faculty of Sci., Nagoya University.
- Strickland, J. D. H. and T. R. Parsons. 1972. A practical handbook of seawater analysis. 2nd ed.
- 國立水產振興院. 1978. 韓國沿岸의 赤潮發生과 遷移에 관한 研究. 水振事業報告, 69.
- 김용술. 1980. 巨濟 閑山灣 養殖굴 *Crassostrea gigas*의 에너지 轉換效率. 韓水誌, 13(4), 179~193.
- 김용술. 1983. 巨濟 閑山灣 養殖굴의 窒素收支. 統營水傳 論文集.

- 朴清吉. 1975. 鎮海灣 海水의 富營養化와 Chlorophyll分布. 韓水誌, 8(3), 121~126.
- 朴周錫. 1982. 鎮海灣 赤潮의 特性과 環境變化. 水振研報, 28, 55~88.
- 裴平岩·金潤. 1978. 忠武近海 굴 養殖漁場 基礎 生産力 調査. 水振研報, 20, 129~139.
- 朴斗柄·趙昌煥·權軀燮. 1975. 忠武附近 굴 養殖 漁場의 環境에 關하여. 韓水誌, 8(2), 61~67.
- 柳晟奎·李澤烈·陳平·洪性潤·劉明淑. 1975. 굴 養殖場 保全을 위한 生態學的 環境調査研究. 釜山水大 臨海研報, 8, 15~30.
- 조창환·김용술. 1977. 굴 養殖場의 微細環境에 關한 研究. 巨濟灣의 養殖密度 및 富營養化에 關하여. 韓水誌, 10(4), 259~265.
- 趙昌煥. 1980. 閑山 巨濟灣 굴 養殖場의 養殖密度에 關한 研究. 韓水誌, 13(2), 45~56.
- 趙昌煥·朴炅洋. 1983. 固城 紫蘭灣 貝類養殖場의 富營養化. 韓水誌, 16(3), 260~264.
- 崔永贊·朴清吉. 1986. 洛東江 下流域의 富營養化 現象에 關한 研究. 韓水誌, 19(4), 339~346.
- 柿野純. 1986. 東京灣における貝類のへい死事例特 に貧酸素水の影響について. 水産土木, 23, 41~47.
- 城久·失持進·安部恒之·河合章. 1984. 大阪灣の 貧酸素底層水における無機營養鹽 濃度について. 日水誌, 50(10), 1693~1700.
- 城久. 1989. 大阪灣の貧酸素水塊. 沿岸海洋研究ノート, 26(2), 87~98.
- 日本水産資源保護協會編. 1973. 水産環境水質基準, pp. 11~13.
- 日本水産資源保護協會編. 1980. 水質汚濁調査指針, pp. 533~536.
- 日本水産學會編. 1977. 淺海養殖と自家汚染. 恒星社 厚生閣, pp. 88~118.
- 柳哲雄. 1989. シンポジウム貧酸素水塊のまとめ. 沿岸海洋研究ノート, 26(2), 141~145.
- 中村充·杉浦正悟. 1975. 漁場底層水のDO消費に關する實驗的研究. 農業土木試驗場報告, 13, 207~214.
- 中村充·杉浦正悟·但馬創·高橋良辛. 1976. 灣におけるDO收支に關する研究, 第23回 沿岸工學 論文集, 539~544.
- 風呂田利夫. 1988. 東京灣における貧酸素水の底生 附着動物群集に與える影響について. 沿岸海洋 研究ノート, 25(2), 104~113.

1990년 12월 19일 접수
1991년 1월 19일 수리