

汚濁河川 河床底泥의 酸素 消費特性에 관한 研究

-The Characteristic of Oxygen Consumption of
Contaminated river-bed Sediment -

서울産業大學 土木工學科 教授
工學博士 韓 鍾 玉

Abstract

Water quality of river is greatly influenced by sediments of planktons, suspended solids and organic matters being transported by effluence.

The water quality is also affected by their release at the place of sediments with slow flow of water.

This paper deals with the Characteristics of Oxygen consumption of sediments in small river which is greatly vary with time.

Some typical samples of sediment were taken from both aerobic and anaerobic condition reserved for several months.

and, the samples of sediment were checked on the relative ratio of oxygen consumption by nitrification.

1. 研究目的 및 背景

底泥의 酸素消費에 關해서는 지금까지 많은 研究가 있었으나 대개는 自然湖나 Dam湖 또는 比較的 큰 河川을 對象으로 한 例가 그 대부분이었다.^{1), 2)}

그러나 水域의 水質特性을 考慮해 보면 自然湖에서는 水質變化가 夏期成層期와 混合期, 冬季成層期와 混合期の 年周期로 反復을 하고 水質變化는 대단히 서서히 時間間隔이 긴 水質變化가 特徵이라고 말할 수 있겠다.

한편 河川은 自然湖나 Dam湖보다 훨씬 變化의 pace가 빠르나 水量이 크고 流達時間, 流下距離가 길고 외부로부터 받는 影響은 平滑化

되어 짧은 時間周期의 水質變動은 적다고 생각된다.

따라서 많은 支流를 가지고 있는 大河川의 長期的인 水質變化는 작은 Dam湖에 근사하게 된다고도 생각할 수 있다. 그러나 水質汚濁이 問題로 되어있는 河川은 일반적으로 小河川 내지 中河川이 많고 그러한 河川에서는 人間의 生活 Pattern에 맞는 水質의 日周 變化가 클 뿐만 아니라 外的인 影響이 水質에 미치고 있어 水質의 으로는 大河川이나 Dam湖, 自然湖에 비해 대단히 不安定한 環境下에 있다고 말할 수 있다.

이러한 不安定한 環境下에서의 水質變化의 長期的인 예측을 水質保全 對策의 觀點에서 생각할 때 통상적인 解析이나 實驗을 하는 基本 概

念을 前提로 할 경우 解析이 잘못되어 질 수도 있다고 생각할 수 있다.

本 研究에서는 이러한 見地에서 이제까지 거의 발표되어오지 않은 水質變動이 큰 小河川의 底泥를 對象으로 해서 그 酸素消費特性을 檢討했다.

또 이러한 效果를 評價하는 것도 중요하다고 생각해서 그 延長으로서 河川의 溶存酸素變動에 對應하는 好氣, 嫌氣 條件下에 오랫동안 놓아두었던 河床 底泥의 酸素消費特性에 關係 檢討하고 또 硝化에 의한 酸素消費가 底泥의 全 酸素消費에 對하여 어느 程度의 크기를 갖는가에 대해서도 함께 考慮하였다.

2. 試料 및 實驗方法

試料로 사용한 底泥는 千葉縣 小見川邑을 貫流하는 黑部川 底泥로써 採取場所는 黑部川가 市街地에 流入하는 약 500 m 上流에 있는 昭和橋 附近과 市街地 中心部에 있는 中央大橋 2 個所이다. 底泥는 內徑 63 mm, 길이 550 mm의 core로 採取하였고 採取本數는 각 地點 10~12本씩 이었다. 採取한 底泥 試料의 一部는 實驗室에 가지고 온 즉시 0~1.5 cm, 1.5~3.0 cm, 3.0~4.5 cm, 4.5~6.0 cm의 4層으로 나누어 BOD Tester를 이용한 酸素消費 速度實驗을 실시했다.

또 남은 底泥 試料 中の 半은 7°C와 25°C의 恒溫槽에서 Air Pump를 걸어 Air stone에 의해 強制的인 好氣條件을 유지하고 나머지 반은 밀폐된 조건하에서 嫌氣상태(採取時의 core上 澄水 溶存酸素濃度는 거의 0 mg/l로 되었기 때문에 人爲的인 嫌氣操作은 하지 않았음)를 유지하여 60日과 80日 後에 BOD Tester에 의해 酸素消費 速度實驗을 실시했다.

또 好氣, 嫌氣 각각의 상태에 있었던 泥의 酸素消費 速度에 미치는 Ammonia 酸化의 影響을 評價하기 위해 硝化 抑制劑로서 Thiourea (치오 니스)를 添加한 實驗도 同時에 실시했다. Thiourea는 2 mg/l을 BOD Tester 用の 부 蘭 瓶 1 本 當 1 ml 씩 添 加 했 다.^{3), 4)}

3. 實驗結果 및 考察

昭和橋 附近은 市街地의 中央大橋 附近에 비해 水質汚濁의 程度가 덜한 편이다.

圖 1~4에 各層別로 나 는 昭 和 橋 附 近 的 底 泥 와 中 央 大 橋 附 近 底 泥 的 酸 素 消 費 經 時 變 化 를 나타냈다.

圖中의 ○表는 昭和橋 附近의 底泥를, ●表는 市街地의 中央大橋 附近의 底泥의 變化를 나타내고 있다.

여기서, 酸素消費 舉動은 깊이 方 向 과 一 致 하 지 않 고 있 음 을 알 았 다.

圖 2에 나타낸 1.5~3.0 cm層은 그 例로서 經時的인 變化特性이 上層(0~1.5 cm)이나 下層(3.0~4.5 cm), (4.5~6.0 cm)과 틀 리 고 BOD의 二段階 變化를 나타내고 있었다. 또 이層 이외에는 汚濁이 큰 中央大橋 附近의 泥가 昭和橋 附近의 泥보다 큰 값의 酸素消費를 보이고 있는 것에 대해서 1.5~3.0 cm 層은 15~20 時間後, 70~80 時間까지 걸쳐서 地點에 의한 底泥의 酸素消費의 크기는 逆轉하고 있었다. 이러한 結果로부터, 水質變動이 큰 汚濁된 河川 底泥의 酸素消費의 增減 分布가 湖沼 等과 같이 比較的 安定된 試料에 비해 큰 것으로 나타났다. 이것은 이러한 種類의 小河川에 있어서는 實測한 底泥 酸素消費量值를 알고 있다고 하더라도 많은 실험을 통해 判斷하지 않으면 將來 水質變化를 豫測하기가 困難할 것이라는 것을 암시한다고 볼 수 있다.

河床 底泥의 酸素消費에 關係서는 그 速度가 底泥의 未酸化 物質에 의해 이제까지 理解되어 왔다.

즉 Fair⁵⁾는 아래와 같은 式으로 底泥의 酸素消費를 表示하였으나,

$$\frac{dc}{dt} = \frac{Ks}{1 + n_a \cdot T} (Ly - C)$$

여기서, C ; 時間 t 的 酸素要求量

(mgO₂ · m⁻²)

Ks ; 反應速度係數(day⁻¹)

n_a ; 反應遲滯係數(day⁻¹)

Ly ; 第1段階 BOD에 對應하는 初期의 酸素要求量(mgO₂ · m⁻²)

t ; 時間(day)

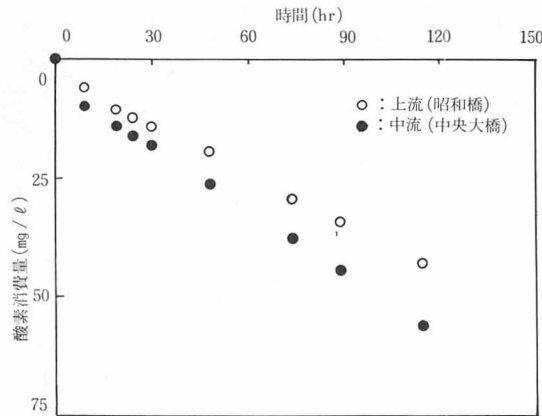


圖 1. 黒部川(0.1, 5 cmの泥層+蒸留水)の酸素消費經時變化

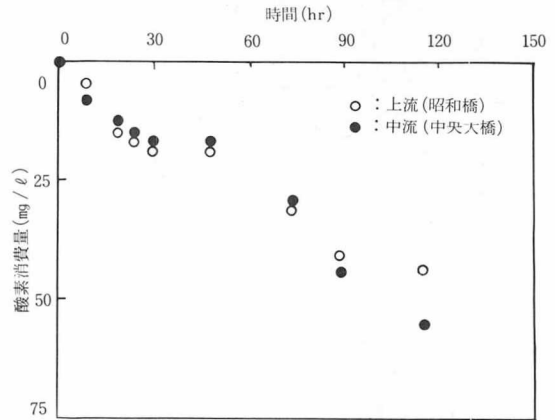


圖 2. 黒部川(1.5-3.0 cmの泥層+蒸留水)の酸素消費經時變化

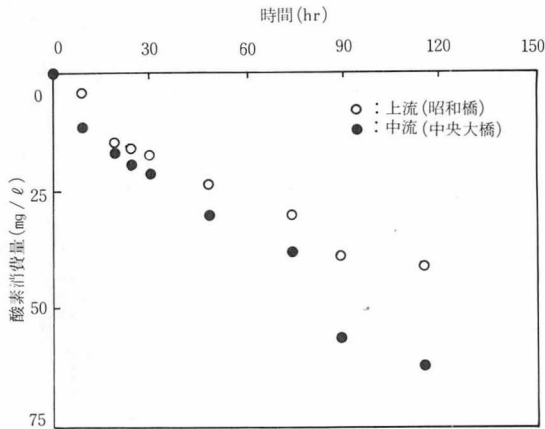


圖 3. 黒部川(3.0-4.5 cmの泥層+蒸留水)の酸素消費經時變化

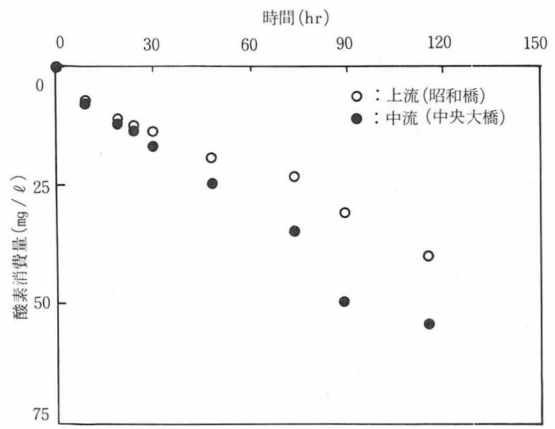


圖 4. 黒部川(4.5-6.0 cmの泥層+蒸留水)の酸素消費經時變化

式中の L_y は 外部로부터의 供給이 없으면 時間 經過와 함께 변하지 않기 때문에 當然히 $\frac{dc}{dt}$ 도 작아지게 된다.

한편 自然條件下에서의 河川水質 豫測을 하는 경우 이 式은 많이 인용되어 왔으나 그 引用에 問題가 있다는 것을 茂庭氏⁶⁾는 20 日間에 걸친 連續通水, 底泥를 攪拌하지 않는 條件下의 實驗을 통해 示唆하고 있다.

著者の 實驗에서는 底泥의 酸素消費 速度가 時間經過에 따라 작아지지 않고 있음을 보이고 있다. 著者が 취급한 것처럼 完全混合系의 實驗 結果를 그대로 河床 底泥의 自然條件下에 적용

시키기는 어렵겠으나 이전의 實驗⁷⁾에서도 時間經過와 함께 酸素消費 速度係數가 작아지고 있음이 確認되었기에 Streeter-Phelps나 Fair 에 의해 提唱된 式은 著자가 실시한 實驗系에 對해서도 正當한 表現이라고 말할 수 있겠다. 또 底泥의 酸素消費 速度에 關해서는 完全混合系로부터 動力學的 考察에 기인해서 檢討하는 편이 보다 明確한 評價가 可能하다고 생각된다. 여기서는 이러한 背景을 근거로 自然條件下에서의 時間經過에 따른 酸素消費 速度의 變化를 考察하기 위해 實驗系로서 물로부터 泥에 새로운 汚濁負荷가 생기지 않는다는 單純한 系를 想定

하고 그 條件下에서 好氣, 嫌氣로 比較的 오래 보관시킨 柱狀 底泥(試料)를 사용하여 完全混合系로서 酸素消費 速度의 檢討를 試圖해 보았다.

實驗에는 底泥와 接하는 水中 溶存酸素濃度의 環境(好氣, 嫌氣)을 가장 받기 쉬운 0~1.5 cm의 表層 底泥 試料를 利用하였다. 다만 試料는 昭和橋 附近에서 採取한 底泥이다.

柱狀 底泥로서 core 中에서 80日間 25℃의 好氣 條件下 그리고 嫌氣 條件下에 維持되어온 底泥 試料의 酸素消費 速度를 圖 5에 表示한다.

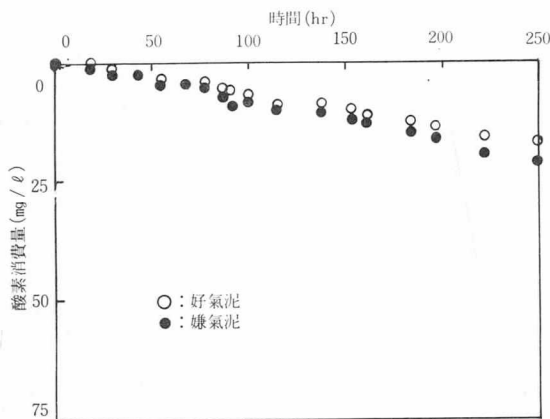


圖 5. 黒部川の好氣と嫌氣底泥の酸素消費經時變化 (80日間, 25℃)

이 그림으로부터 圖 1에 나타낸 河床에서 採取直後 底泥의 酸素消費 經時變化에 비해 80日間 지난 底泥에서는 酸素消費가 明確히 작아지고 있음을 알수 있다. 또 特히 採取 直後의 底泥에서 特徴적이었던 初期의 急激한 酸素消費는 보이지 않고 오히려 實驗 開始부터 酸素消費가 시작될 때까지 약 20시간의 Lay time이 보였다. 그림에 나타난 것처럼 酸素消費 速度는 Lay time 이후 實驗繼續時間을 통해서 一定으로 되고 있었다.

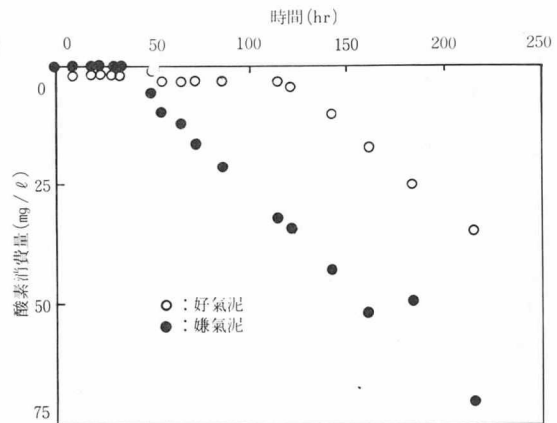


圖 6. 黒部川の好氣と嫌氣底泥の酸素消費經時變化 (60日間, 7℃)

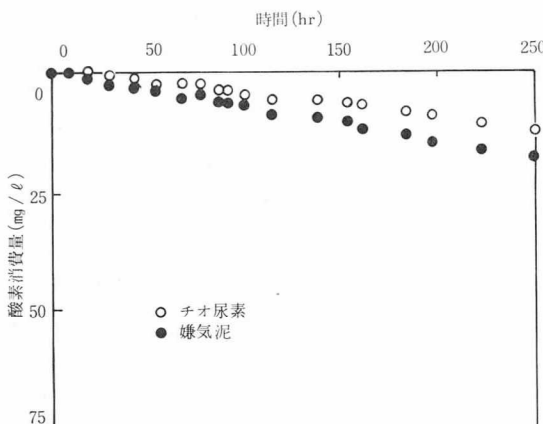


圖 7. 黒部川の好氣底泥の酸素消費經時變化 (80日間, 25℃)

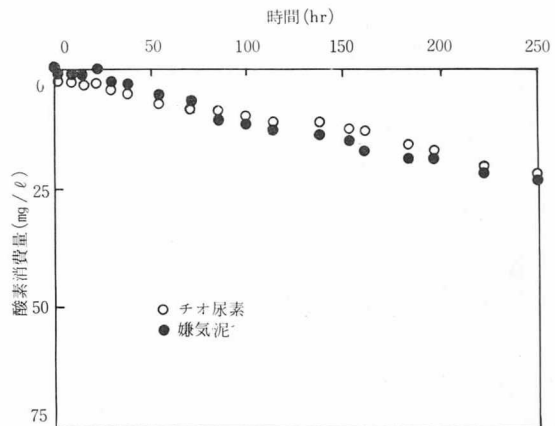


圖 8. 黒部川の嫌氣底泥の酸素消費經時變化 (80日間, 25℃)

또 그 크기는 好氣泥에서 0.062, 嫌氣泥 0.073($mg \cdot O_2 / mg \text{ dry Sediment}^{-1}, h^{-1}$)과 採取 直後의 값 0.284($mg \cdot O_2 / mg \text{ dry Sediment}^{-1}, h^{-1}$)에 비해 거의 1/4 ~ 1/5 정도를 나타내고 있었다. 또 好氣 條件下에 두었던 底泥가 嫌氣 條件下에 두었던 底泥보다 酸素消費 速度係數는 적었으며 그 차는 約 15% 정도였다. 圖5의 實驗에서 溫度條件은 底泥가 好氣的 또는 嫌氣的인 狀態下에서 微生物 分解가 活發히 進行되는 範圍에 있었다고 간주되므로 微生物 反應은 底泥中에서 충분히 이루어 진다고 생각된다.

Lay time 後는 다른 研究者⁸⁾들이 報告하고 있는 것처럼 急激한 化學的 酸素消費현상은 볼 수 없었다. 이것은 好氣 條件下에서 유지되어 온 底泥 뿐만 아니라 嫌氣條件下에서 유지되어 온 底泥에도 마찬가지였다.

이 實驗에서는 底泥의 酸素消費를 Biochemical 과 Chemical 로 구분하기 위해 M-cresol 을 添加시켜서 實施한 것이 아니기 때문에 圖5에 表示되는 底泥의 酸素消費가 化學的 酸化가 아니라고 말할 수는 없으나 通常 實驗 開始後의 Lay time 은 化學的 實驗에서는 볼 수 없는 경우가 많다. 이것은 生物에 의한 酸素消費라고 생각할 수 있다.

이러한 考察로부터, 底泥가 長期間 外部로부터 負荷를 받지 않고 安全한 環境 條件下에 있다면 底泥와 接하는 河川水의 溶存酸素濃度의 크기와 관계없이 底泥中の 化學物質은 安定한 形式으로 變化하거나 系外로 排斥될 가능성이 있다고 볼 수 있다.

圖6은 7℃의 恒溫 條件下에서 60日間 두었던 黑部川 底泥의 酸素消費의 經時變化를 나타내고 있다.

BOD Tester 에 의한 實驗은 다른 實驗과 같이 25℃에서 實施했다. 그림에 나타난 것처럼 實驗 開始後 酸素消費가 시작될 때 까지의 Lay time 은 圖5의 例에 비해 꽤 길고 嫌氣 條件下에 있었던 泥에서는 約 2日 好氣 條件下에 있었던 泥에서는 約 5日이나 늦고있다. 微生物의 活性은 環境이 急激히 變하면 거기에 對應할 수 있을 때까지 Lay time 이 생긴다는 것은 잘 알려져 있는 사실이다. 따라서 이 實驗에

서 나타나고 있는 Lay time 은 7℃부터 25℃에 이르는 水溫이 急激히 上昇한 것에 對應할 수 있을 때 까지의 時間지체라고 생각해도 좋을 것 같다.

그러나 이 實驗에서도 圖5의 實驗과 같이 Lay time 後 急激한 化學的인 酸化에 의한 酸素消費는 볼 수 없었다. 한편 底泥의 酸素消費가 시작되고 부터의 速度는 採取 直後 第2段階의 酸素消費 速度係數의 값 0.284($mg O_2 / mg \text{ Sediment}^{-1} \cdot h^{-1}$)와 거의 같은 好氣 0.277 嫌氣 0.328($mg O_2 / mg \text{ dry Sediment}^{-1} h^{-1}$)를 나타내고 低溫에 두었을 때 約 2개월 間은 酸素消費 速度係數는 採取 直後의 第2段階의 값과 거의 같다는 것을 알 수 있었다. 따라서 冬期間에는 河川 底泥의 酸素消費 速度가 크게 減少하리라는 例는 생각할 수 없다고 볼 수 있다.

BOD 酸化에서는 最初에 炭素系의 分解가, 그리고 연속해서 窒素系의 酸化가 일어난다는 것은 이미 잘 알려진 사실이다. 또 炭素源이 많을 때에는 그것이 硝化作用의 障害物質 역할을 하기 때문에 窒素系의 酸化가 抑制된다는 報告도 있다.⁹⁾ 河床 底泥中에는 有機物, NH_4-N , NO_x-N 이 함께 많이 포함되어 있으나 그것이 水中의 酸素消費에 어느정도 影響을 미치는 가를 조사해 보는 것도 흥미있는 일이라고 생각된다.

圖7, 圖8은(好氣, 嫌氣 條件下에서) 80日間 25℃에 保存되었던 黑部川 底泥의 酸素消費 經時變化와 硝化 抑制劑로서 치오尿素를 添加했을 때의 底泥의 酸素消費 經時變化이다. 2개의 圖로부터 硝化가 抑制된 實驗系에서는 共히 酸素消費가 적어지나 嫌氣에 保存된 泥에서는 그 차이가 작고 好氣에 保存된 泥에서는 硝化의 影響에 의해 約 30%~40% 酸素消費量이 變化하는 것을 볼 수 있다.

結 論

水質 變動이 큰 河川의 河床 底泥를 試料로 해서 底泥의 酸素消費의 長期的 變化에 對한 檢討 結果는 다음과 같다.

1) 黑部川 底泥는 湖沼 底泥나 湖의 沈澱 堆積物에 비해 經時的인 酸素消費量의 增減 分布

가 컸다.

2) 底泥를 core에 들어있는 狀態로 保存했을 경우 低溫(7℃)에서는, 60日間 保存에서는 底泥의 酸素消費 速度係數의 減少는 거의 보이지 않았으나 高溫(25℃)에서는 80日間の 保存期間中の 底泥의 酸素消費 速度係數는 採取直後에 비해 好氣 保存에서 79%, 約 1/5로 嫌氣 保存에서는 74%, 約 1/4로 각각 減少하고 있었다. 따라서 夏期, 河川水로부터 泥에 새로운 負荷가 걸리지 않으면 河床은 상당히 깨끗해 진다고 생각할 수 있다.

3) 河床 底泥를 採取한 直後の 實驗에서 보였던 實驗開始 直後の 急激한 酸素消費는 低溫, 高溫을 불문하고 60~80日間 保存한 後の 實驗에서는 볼 수 없었고 또 그 速度는 採取 直後처럼 몇 段階로 變化하는 것이 아니고 一定 傾向을 보여 주었다.

參 考 文 獻

1. 水高度利用委員會：水源の危機と水處理. 厚生省委託業務報告書, 昭和44年3月, a) 谷口, 小林, 小島：多摩川, b) 岩井, 八木, 水川：淀川, c) 岩年, 森谷：大和川
2. Ahlgren, L : " Role of Sediments in the process of recovery of a entro-

phic lake ", in : proceedings of an international Symposium on interactions between sediments and fresh water, Amsterdam, Netherlands, September 6-10, 1976, Hauge : 372~377, 1977.

3. 日本下水道協會：下水試驗法 pp.123~131, 1984.
4. L.B.Wood, et al. ; " Modifications to the BOD Test ", Jour, Proc. Inst. Sew. Purif., pp.350~356, 1966.
5. Fair, G.M., Moore, E.W. and Thomas, H.A. ; " The Natural Purification of River muds and polluttional Sediments ", Sewage works Jour., pp.270 and 756, 1941.
6. 茂庭竹生：底泥が水質に及ぼす影響に関する研究, 東北大學 學位論文, 1986.
7. 韓鍾玉：湖沼堆積物の 溶存酸素 消費速度에 관한 研究, 大韓上下水道學會誌, 第二卷, 第一號, pp.49~55, 1988.
8. 高崎みつる：湖の溶存酸素收支に関する研究, 東北大學 學位論文, 1986.
9. 杉木昭典：水質汚濁(現象と防止對策), 技報堂, 1974.

