

# 貯水池 水質 保全 技術開發에 關한 紹介

Introduction of Reservoir Water Quality Management by

Current Control

金 治 弘\*

Kim, Chi Hong

本報文은 日本의 建設省土木研究所環境部에서 發表한 內容을 要約한 것으로서 오늘날 우리나라 貯水池에서도 適用함이 妥當하다고 思料되어 여기에 그 內容을 紹介하는 바이다.

去하는 것 등을 들 수 있는데 이 중에서 가장 維持管理가 容易한 것이 (2)의 流動制御라 하여 日本에서는 “流動制御시스템”을 開發하였다고 發表하였다.

## 1. 序 言

몇개의 貯水池에는 流域으로부터의 營養鹽類가 增加하여 富營養化를 가지고 오고있다. 貯水池의 富營養化의 問題를 解決하기 위해서는

- (1) 流入河川부터의 藻類가 異常增殖하는 要因이 되는 營養鹽을 除去하는 것
- (2) 貯水池 流動을 制御하여 藻類의 異常增殖을 阻止하는 것
- (3) 藻類의 異常增殖以前에 藻類 그 自體를 除

## 2. 流動制御시스템의 概要

流動制御시스템은 平常時에는 貯水池의 表層은 溫水이고 또한 水溫分布가 均一한 循環混合層을 有光層의 數倍에 이르는 水深까지 두껍게 形成을 繼續시켜 中小洪水時에도 그 層을 溫存시킴으로서 有光層에 棲息하는 藍藻類 등의 좋지 않은 藻類로의 營養鹽類와 빛(光)을 制御하므로서 藍藻類의 異常增殖을 抑制하는 시스템이다. 圖-1은 流動制御시스템의 模式圖이다.

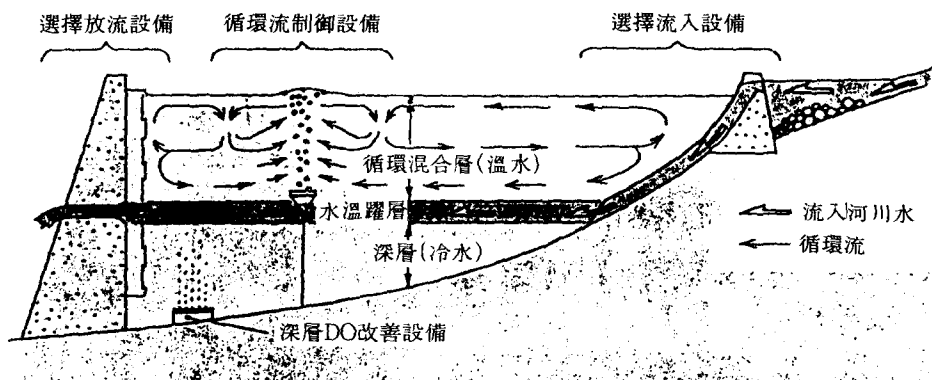


그림 1 流動制御시스템의 模式圖

\* 水資源開發技術士, (財)韓國建設品質管理研究院 院長

一般으로 夏季의 水溫分布는 水面에서 가장 높고 水深이 깊어짐에 따라 낮아지는 所謂 水溫成層이 形成되면 表層水는 上下로 移動하기 어려운 安定된 水層(Bulk Boly of water)이 되어 表層에는 빛을 가장 잘 얻어지기 때문에 藻類가 異常增殖하는데 適合한 環境이 된다.

散氣管方式曝氣裝置에 의해 循環混合層이 形成되면 水溫分布가 거의 均一하기때문에 氣溫의 急低下에 따르는 表層水溫의 低下이든가 強風등에 의한 上下의 混合이 항상 일어나기 쉬운 狀態가 된다. 循環混合層의 數倍에 이르는 水深까지 存在하면 有光層에서 增殖해 오던 藻類는 빛이 到達하지 못하는 有光層밑으로 밀리어 光合成이 안되어서 異常增殖은 抑制된다.

藍藻類는 細胞內에 氣泡를 갖고 천천히 浮上할 수 있으나 綠藻類든가 珪藻類는 流動이 없으면 沈降해 버린다. 上下의 混合流를 이르기는 것과 같은 流況下에서는 스스로 浮上할 수 없는 綠藻類든가 珪藻類가 混合流에 便乘하여 有光層으로 들어와서 增殖할 수 있는 環境이 된다. 結果적으로 藍藻類에 공급되는 營養鹽類를 減少시키므로서 藍藻類의 異常增殖을 抑制할 수 있다.

더욱이 循環混合層이 溫水이고 또한 그 두께가 有光層의 數倍이 되면 營養鹽類를 많이 포함하고 있는 中小洪水時의 流入水는 水溫躍層으로 誘導할 수 있어 藍藻類가 棲息하고 있는 有光層으로의 營養鹽類의 混入을 減少시키므로서 藍藻類의 異常增殖 防止에 도움이 된다.

濁水長期化對策으로서는 中小洪水時의 高濁水를 水溫躍層으로 誘導하여 表層의 清澈水를 溫存하는 것이 바람직하다. 散氣管方式으로 循環混合層을 두껍게 한다는 것은 濁水長期化對策도 된다. 散氣管方式에 의해 循環混合層을 두껍게 形成해나가는 경우의 水面附近의 水溫은 日射에 의한 熱에너지를 비롯해서 湖水和 大氣와의 熱收支均衡에 의해 定해지나 日射에너지가 優勢하기때문에 水面附近의 水溫低下는 若干밖에 안되고 오히려 循環에 의한 日射에너지가 循環混合

層下部에 까지 移送되어 循環混合層全體의 水溫은 上昇한다. 따라서 冷水對策으로서 表層取水를 하고 있는 경우 取水可能한 層이 두껍기 때문에 有利하게 된다.

從來 日本의 貯水池에서는 選擇取水設備 및 曝氣循環設備가 各各 單獨目的으로 設置되어 왔는데 貯水池內의 水溫躍層標高를 積極的으로 調整하여 貯水池內의 流動을 制御하는 것은 아니었다. 그러나 여기에 開發한 流動制御시스템은 中小洪水時의 放流口를 有光層의 數倍의 水深에 該當하는 標高에 設置하여 散氣管方式의 曝氣裝置에 의해 安定된 水溫躍層을 放流口標高附近에 만들어 高負荷의 營養鹽類 및 高濁水를 包含한 流入河川水를 되도록 빨리 貯水池로 부터 放流시킨다. 貯水池上流端에 있어서는 流入河川水를 有光層의 湖水和 極力混合시키지 않고 水溫躍層에 誘導하기 爲해 選擇流入設備를 새로히 만든 것이다.

또한 貯水池深層의 溶存酸素를 改善하여 底泥의 營養鹽類의 溶出을 防止하는 深層改善設備도 이 시스템에 包含된다.

### 3. 流動制御시스템의 設備構成

流動制御시스템은 表-1에 나타낸것처럼 必要에 따라 複數의 流動作用을 이르기 貯水池內와 流入河川水의 水質에 適應한 操作을 할 必要가 있다. 例를 들어 散氣方式의 循環流制御設備를 貯水池에 設備만 하면 그것만으로도 충분한 效果가 있는 것은 아니다. 流動制御시스템은 圖-2와 같이 循環流制御設備, 選擇流入設備, 選擇放流設備를 基幹設備로 하고, 深層溶存酸素改善設備, 沿岸循環設備를 局所設備로 한다. 本시스템은 各設備를 必要에 따라 組合하여 設置하고 水質自動測定裝置와 流入量測定裝置로 構成된 情報設備를 接續하여 水文水質情報에 依據한 有機的으로 또한 迅速히 操作할 必要가 있으며 이들은 遠隔無人操作이 要望된다.

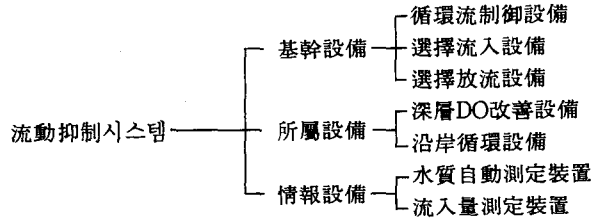


그림 2 流動抑制시스템의全體構成圖

표 1. 유동제어시스템의 효과 및 대응설비

효과	저수지에 주는 유동작용	조류증식억제에 미치는 효과	대응설비
1	표층 부근의 수온이 균일하고 두께 15~20m의 순환혼합층을 형성하고 미도류로 순환	순환혼합층에 의한 광제한 및 표층에 있어 난조류의 우선 점유저지	순환류 제어설비
2	영양염류(PO <sub>4</sub> -P)를 포함한 평상시의 유입수를 순환혼합층의 하층으로 유도	녹조류 및 규조류가 (PO <sub>4</sub> -P)를 흡수한 후 침강하여 저니에 고정	순환류 제어설비 선택유입설비
3	영양염류(PO <sub>4</sub> -P)을 포함한 중소용수를 수온약층에 유도하고 속히 저수지로부터 방류	표층에 있는 난조류로의 영양염류의 공급을 제한	순환류 제어설비 선택유입설비 선택방류설비
4	심층에서 용존산소(DO)를 회복시켜 밀도류로 이송	저니로부터 영양염류가 용출해오는 것을 방지	심층 DO개선설비
5	연안 수역수를 주수역교체	저수지에 체류하기 쉬운 연안수역에 생기기 쉬운 난조류의 이상증식을 억제	연안순화설비

#### 4. 基幹設備의 構造와 適用手法

##### 4.1 循環流制御設備

循環流制御設備는 散氣方式의 曝氣를 하고 貯水池의 表層에 溫水이고 또한 表層 附近의 水溫 分布가 均一의 循環混合層을 水深이 概略 15~20m 까지 두껍게 形成시키는 設備이다.

循環流制御設備를 稼動시키는 期間은 一般으로 4月 上旬부터 9月 下旬이다. 曝氣水深은 湖水 水溫이 流入河川水溫보다 높겠금 하는 水深으로 할 必要가 있으나 4月 上旬부터 5月 前半까지는

日射量이 적기때문에 10m 程度, 5月後半부터 9月 下旬까지는 日射量이 많기때문에 15~20m 程度로 하는것이 좋다고 하고 있다.

散氣方式의 曝氣에서 注意해야 할 일은 洪水時에 高負荷의 營養鹽類등이 高濁水가 循環混合層에 侵入해 오는 경우 曝氣에 의해 循環混合層全體를 攪亂해버리지 않도록 하여야 한다. 洪水時에는 어느 程度의 河川流入量이 되면 曝氣를 自動적으로 停止한다. 洪水時에 dam site의 水質自動測定裝置에 의해 어떤 曝氣標高보다 낮게 許容되는 PO<sub>4</sub>-P濃度 또는 許容 濁度以下라고 判定되면 그 標高부터 曝氣를 自動적으로 再開

하고 水面 附近에 一次躍層이 形成안 되겠금 努力하여야 한다.

圖-3에 基幹設備와 情報設備와의 組合한 例를 보여주고 있다. 또한 水質自動測定裝置는 表-2에서와 같이 水質項目에 대한 自動測定機能이

必要하며, 이들의 開發은 충분히 期待된다. 圖-3에 나타난것과 같이 流動制御를 할 경우 循環流制御設備는 情報設備에 의한 情報에 의해 圖-4와 같은 操作判定 Flow에 의한 遠隔無人操作을 한다.

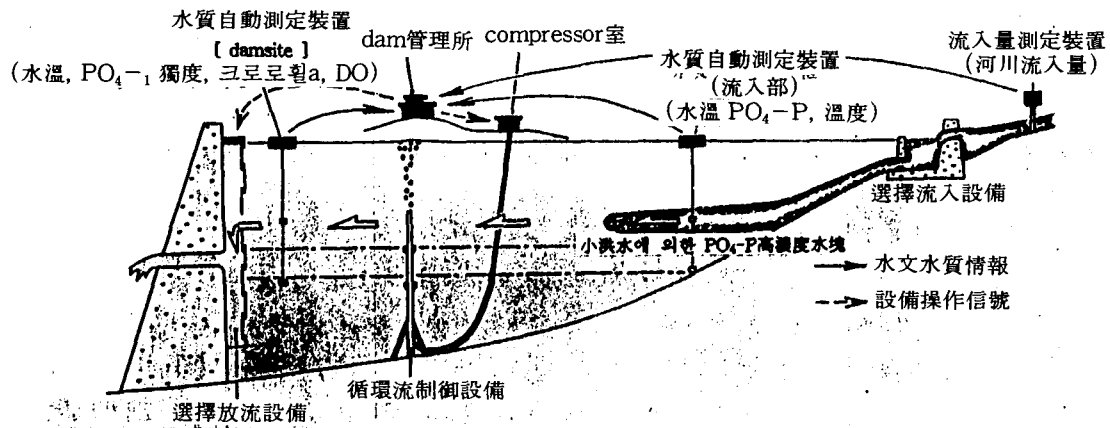


그림 3 基幹設備 情報設備 組合例

표 2 수질자동측정장치의 필요정도(必要精度)

PO <sub>4</sub> -P(μg/l)	5 <-----> 20 <-----> 50 <-----> 200
정도(精度)의 목표	정밀정도      중위정도      거친정도 (정도는 ±2.5mg/l)
염록소(크로로필 a)(μg/l)	1 <-----> 50 <-----> 100 <-----> 300
정도(精度)의 목표	정밀정도      중위정도      거친정도 (정도는 ±1mg/l)

圖-4에 表示하는 操作을 滿足스럽게 할 수 있는 機能을 갖는 循環流制御設備는 曝氣水深은 5m마다 바꿀 수 있는 多段式設備가 有效하리라 생각된다. 또 이 設備는 水質自動測定裝置든가 流入量測定裝置와 連動시켜 無人遠隔操作으로 할 수 있다. 圖-5에 나타난것과 같이 水深 10m, 15m, 20m, 25m와 같이 多段狀으로 된 散氣孔

과 各各의 散氣孔에 接續한 數本の 耐壓호오스를 갖는 裝置이면 담 管理所에서 쉽게 遠隔操作이 可能해진다.

循環流制御設備의 設備規模에 對한 當面의 概算으로는 湛水面積 1sq.km에 對해 水深 15m에서 單一孔부터 曝氣를 할 경우 常時稼動시키는데 必要한 空氣量은 3,700liter/min 22KW1

Q<sub>i</sub> : 유입하천의 연평균유량의 3배 정도(m<sup>3</sup>/s)  
 A<sub>w</sub> : 유입하천의 연평균 PO<sub>4</sub>-P의 3배 정도(μg/l)  
 A<sub>d</sub> : 유입하천의 연평균 PO<sub>4</sub>-P의 1/2배 정도(μg/l)  
 B<sub>d</sub> : 유입하천의 연평균 탁도의 개략 40도를 가한 값(도)  
 H : 폭기수심(m), 예를 들어 5월 15일 이전은 H=10m,  
 5월 16일 이강은 H=15m로 한다.  
 P<sub>1</sub> : 통상장치의 공기량(l/min)  
 P<sub>2</sub> : 예비장치의 공기량(l/min)

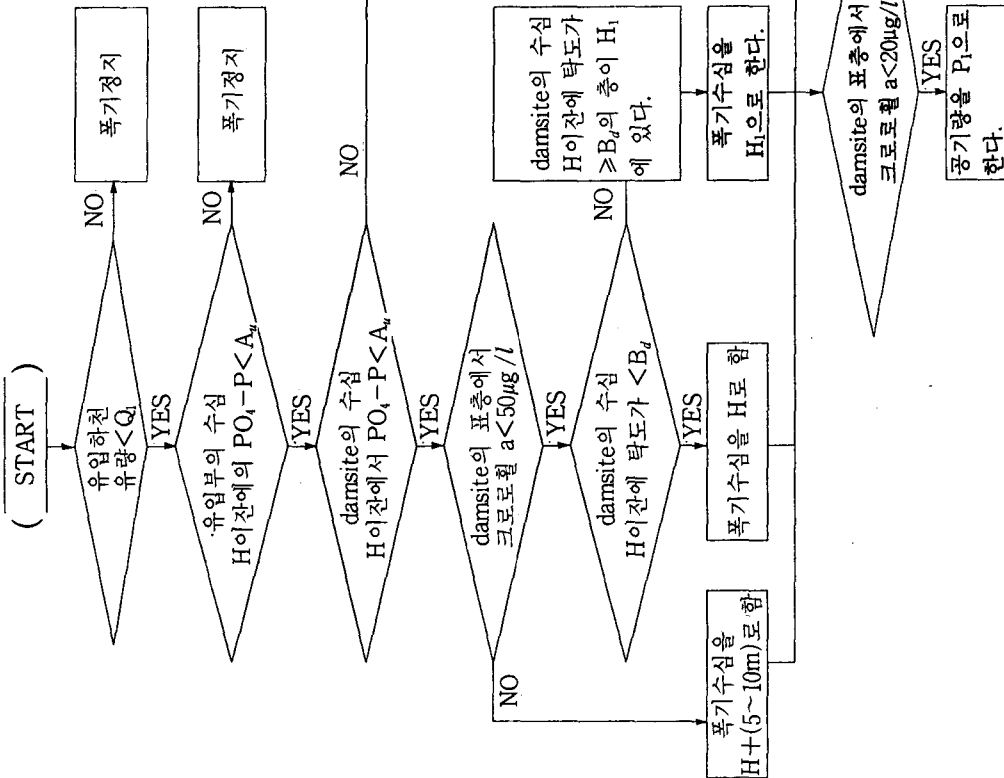


그림 4. 조작판정 FLOW

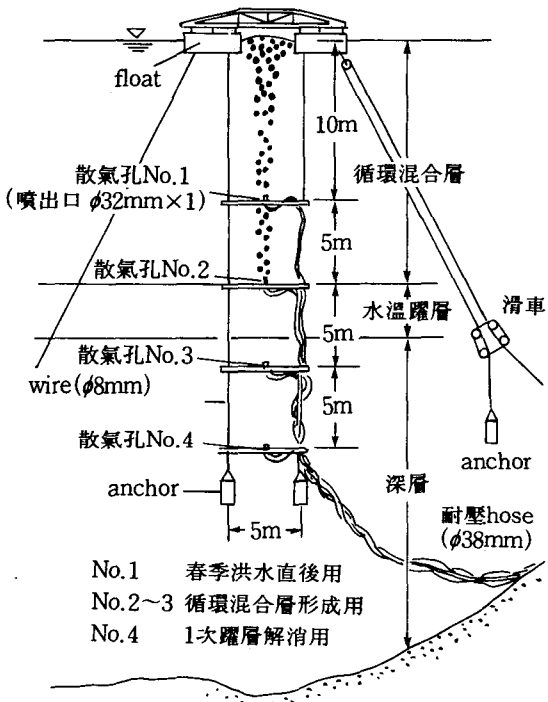
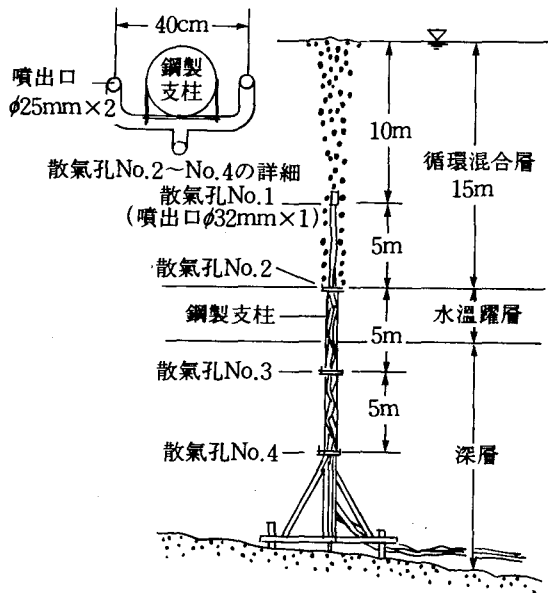


그림 5 循環流抑制設備 設備例

基의 compressor가 必要하다. 또한 循環流制御設備의 設置位置는 一般의 貯水池下流部에 複數基配置하는 것이 좋다.

#### 4.2 選擇流入設備

選擇流入設備는 概略 5月부터 11月까지의 期間에 貯水池上流端에서 平常時의 流入河川水를 循環混合層의 下層部로 誘導하고 또 中小洪水時의 流入河川水를 溫水이고 또한 清澈을 維持하고 있는 循環混合層과 極力混合시킴 없이 確實히 水溫躍層으로 誘導할 수 있는 設備이다.

最近 貯水池上流端에 堆砂除去, 水質保全 및 親水活動을 目的으로 副 貯水池를 建設하고 있는데 選擇流入設備는 이 副 貯水池의 下流側의 減勢工部分에 研究하여 設置한 것이다. 一般의 流入河川水의 水溫은 大略 5月부터 11月까지의 期間에서 貯水池의 表層의 水溫에 比하여 5度C程度 낮다. 水溫이 낮은 流入河川水를 水溫이 높은 貯水池의 表層으로 流入시키는 경우 두個의 水層의 混合作用의 크기는 그들 사이의 接觸面積과 接觸流速과의 關係에 의해 決定된다. 選擇流入設備의 設備例를 圖-6에 表示했는데 本設備는 接觸面積을 크게하여 接觸流速을 可能한 限 적게 하는 型이다. 이 設備例인 경우 平常時 및 中小洪水時의 流入河川水는 副 貯水池의 orifice로 부터 減勢池로 流入하고, 減勢池로 충분히 落差에 의한 流動에너지를 減勢시켜 또한 冷水이기때문에 隔壁下部의 orifice를 通過한 後는 溫水인 循環混合層의 底部를 조용히 흐르는 密度流가 된다. 그리하여 循環混合層의 下層部가 水溫躍層으로 導水된다. 副 貯水池의 orifice가 滿水가 되는것 같은 大規模洪水는 選擇流入의 對象으로 하지 않고 副 貯水池를 越流시킨다. 洪水時의 流入河川水에는 掃流土砂는 cut되기 때문에 減勢池에는 浮遊土砂밖에 通過안한다. 浮遊土砂는 flush에 의해 除去할 수 있으므로

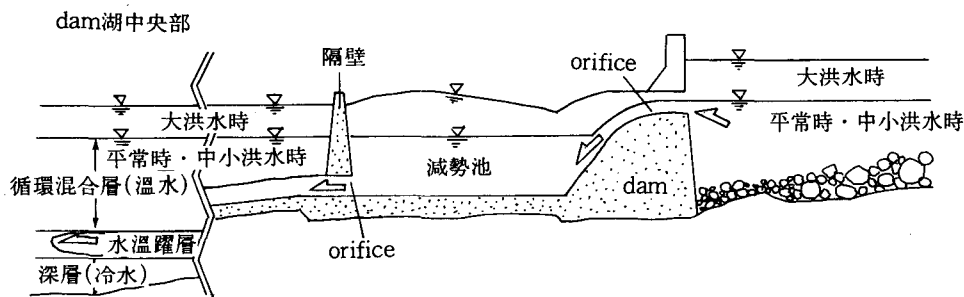
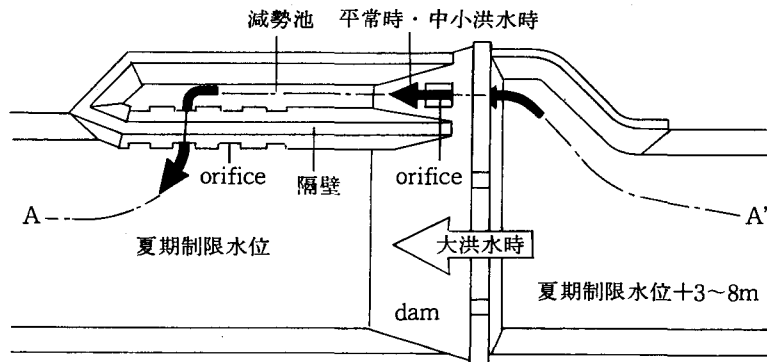


그림 6 選擇流入設備 設備例

로 減勢池의 維持管理는 容易하다.

### 4.3 選擇放流設備

選擇放流設備는 平常時에는 清澈水를 洪水時에는 高濁水를 水溫躍層附近으로부터, 洪水后 한참뒤에는 清澈水를 循環混合層으로부터와 같은 任意의 標高로부터 大量으로 放流할 수 있는 設備이다.

貯水量의 몇 割이 交替되는 中規模의 洪水(例를 들어 回轉率 0.25回程度)가 發生했다해도 水溫躍層에 流入해온 大量의 高濁水를 洪水直後 暫時동안 이 設備에 의해 放流해버리면 循環混合層에는 相當한 量의 清澈水를 溫存할 수 있다.

選擇放流設備의 具體的인 構造는

- (1) 從來의 選擇取水設備의 放流能力을 높인다.
  - (2) concrete dam에 있어 conjet gate의 sill 高를 水溫躍層에 마춘다.
  - (3) fill dam에 있어 水溫躍層의 물이 常用餘水路로 흐르겠금 隔壁으로 連結시킨다.
- 등을 들 수 있다.

## 5. 局所設備의 原理와 構造

### 5.1 深層溶存酸度改善設備

流動制御시스템의 基幹設備를 稼動시킨 경우, 循環流制御設備의 曝氣水深보다 깊은 深層에 대해서는 流動이 거의 일어나지 않기 때문에 深層의 溶存酸素濃도가 低下할 念慮가 있다. 댐 貯水池深層에서 溶存酸素濃도가 低下하면 底泥로부터 營養鹽類든가  $H_2S$ , Fe, Mn이 溶出하고

PO<sub>4</sub>-P를 表層에 供給하든지 洪水後의 深層放流때에 異臭를 풍기든가 上水의 異臭든가 着色의 障害가 생기든지 한다. 深層溶存酸度改善設備는 深層內에서의 曝氣에 의해 深層水에 酸素를 供給하므로서 底泥로부터의 營養鹽類든가 H<sub>2</sub>S, Fe, Mn의 溶出을 抑制하는 設備이다.

深層溶存酸度改善設備의 原理를 說明한다. 우선 湖底에 設置한 散氣方式의 曝氣裝置에서 多量의 氣泡를 深層水中으로 噴出시킴으로써 深層水에 대해 溶存酸素를 供給한다. 噴出한 氣泡는 上昇해 가나, 曝氣裝置로부터 4~6m程度上位에 設置된 蓋狀構造物에 의해 氣泡가 모여져 蓋上部의 排氣호오스를 통해 湖水面附近으로 放出된다. 이때 蓋狀構造物에 形成된 水面에서는

上昇流가 水面에 到達한 時點에서의 湖水와 空氣의 界面은 심하게 變動하므로 深層水는 이 界面에서 더욱 曝氣가 된다.

한편 圖-7에서 나타낸것처럼 氣泡를 連行해서 생긴 上昇流는 蓋狀構造物의 水面에서 거의 氣泡를 喪失함으로써 上向의 흐름으로 부터 水平方向의 흐름으로 변한다. 蓋狀構造物로부터 上昇하면 할 수록 水溫이 높고 密度가 적기 때문에 蓋狀構造物보다 數미터 얇은 水層까지 밖에 上昇할 수 없다. 이 때문에 蓋狀構造物近方의 水深範圍內에서 循環流가 생겨 水溫과 微細氣泡와의 關係로부터 생긴 密度流가 發生하여 深層의 遠方水域까지 溶存酸素를 回復시킨 水層을 移送시킬 수 있다.

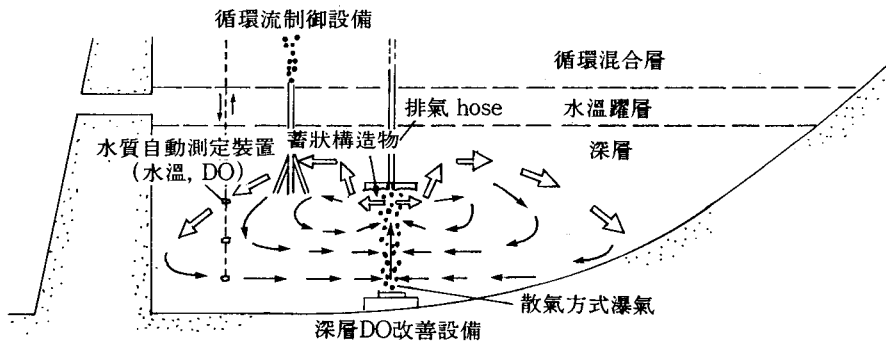


그림 7 深層 DO 改善設備 原理

## 5.2 沿岸循環設備

沿岸水域은 湖 貯水池중에서 親水活動의 據點이 되기 쉽고, 水面의 景觀이 問題가 될 때가 많다. 그러나 沿岸水域(여기서는 水深 10m以下를 對象으로 한다)은 流動制御시스템의 基幹設備를 稼動시켜도 主水域에 比하여 滯留하기 쉽다. 더욱이 沿岸水域에 流入하는 河川으로부터의 營養鹽類의 供給이 많은 경우는 沿岸水域은 貯水池안에서 가장 浮遊藻類의 異常增殖을 惹起

할 수 있는 水域이 될 可能性이 높다. 浮遊藻類가 異常增殖한 沿岸水層을 曝氣에 의해 發生하는 密度流를 利用하여 效率的으로 流動시켜서 主水域의 水層과 交替함으로써 沿岸水域에서의 浮遊藻類의 異常增殖을 抑制한다.

圖-8과 같이 沿岸入口에서 散氣方式의 單一孔의 曝氣를 더욱이 沿岸入口로부터 水深 2m까지 fence를 設備한다. 그렇게 하면 沿岸水域의 表層流와 主水域의 下層流이 서로 잡아당겨서 混合하고, 混合한 물이 沿岸水域의 中層流 및



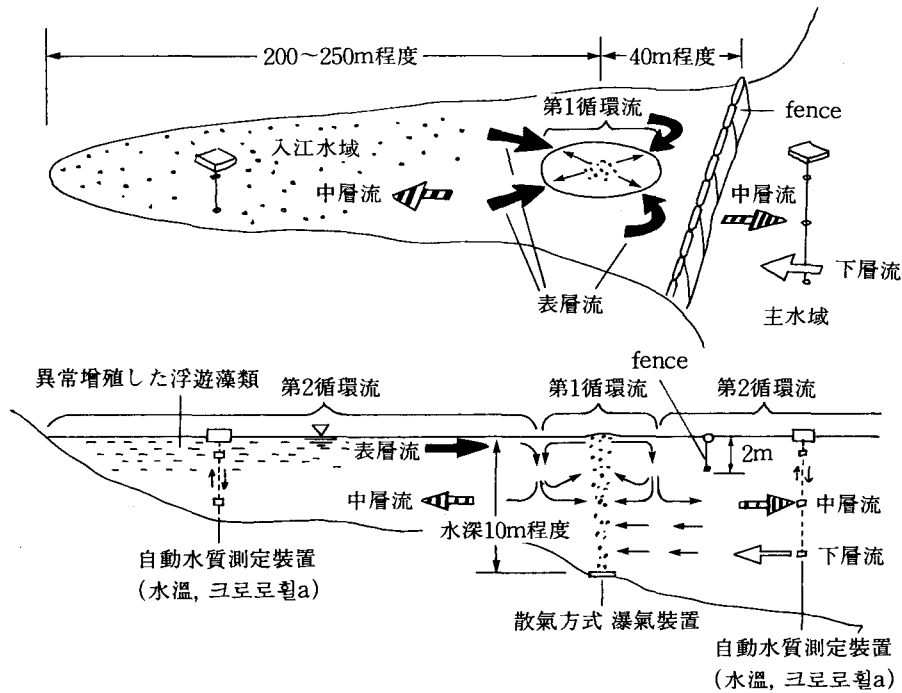


그림 8 沿岸循環設備 原理

主水域에 中層流로서 보내지므로 結果적으로 沿岸水域의 水塊과 主水域의 水塊가 交替된다. 沿岸循環設備에 대해서는 實際담에서 現場實驗에 의해 그 有用성이 確認했다고 한다.

## 6. 結 論

流動制御시스템은 一部の 담에서 恒久施設로 建設中인 同時に 詳細한 現地實驗을 하고있는 段階에 있다.

그리하여 담貯水池에서 流動制御시스템을 導入하고 보다 效果的인 水質管理을 하자면 다음과 같은 設備여야 함을 必要하다고 말하고 있다.

- (1) 流動制御시스템은 河川流入量 및 담貯水池 水質에 관한 情報가 얻어지는 自動測定裝置에 連動하여 有機的으로 操作하여야 하며 管理上으로는 無人遠隔操作이 要望된다.
- (2) 散氣方式의 曝氣를 하여 담貯水池表層에 溫

水이고 또한 表層附近의 水溫分布가 均一한 循環混合層을 水深의 15~20m까지 두껍게 形成시키는 循環流制御裝置는 水質에 따라 無人遠隔操作에 의해 曝氣水深을 即席에서 變更할 수 있는 機能이 필요하다.

- (3) 平常時 및 中小洪水時의 流入河川水를 循環混合層과는 極力混合시키지 말고 거의 確實하게 水溫躍層으로 導入하자면 選擇流入設備가 要望된다.
- (4) 底泥로부터의 營養鹽類의 溶出을 막자면 氣泡噴出과 水面混合에 의한 兩者의 溶存酸素의 回復效果를 갖고 더욱이 深層內에서 密度流를 發生시킬 수 있는 深層溶存酸度改善設備가 바람직 하다.
- (5) 沿岸水域에서 浮遊藻類의 異常增殖을 防止하자면 沿岸入口에 散氣方式의 曝氣를 하여 密度流를 發生시켜 沿岸水域의 水塊과 主水域의 水塊를 交替하는 沿岸循環設備가 有效함이 現地實驗에 의해 確認되었다.