

# 貯水池의 溫度層과 選別放流

尹 泰 勳\*

## 1. 머릿말

댐建造로 인한 물의 貯溜는 貯水池와 下流 河川의 水質에 큰 변화를 초래한다. 이러한 변화란 水深과 表面積의 증가, 流速의 감소로 인한 物理, 化學, 生物學的인 生態系의 變化를 의미한다. 河川과 貯水池系의 開發과 運營에서 貯水池의 溫度構造, 댐을 통하여 放流되는 물의 溫度에 관한 지식과 正確한 豫測은 合理的인 流域計劃과 適當 그리고 水質問題, 生態學的 均衡에 必要한 基本事項이다.

## 2. 貯水池의 溫度層

湖水나 貯水池에서 密度層 (density stratification) 은 주로 水深에 대한 溫度變化에 의하여 형성되거나 溶解

또는 浮遊狀態의 物質에 의해서도 형성된다.

특히 溫度에 의한 密度層인 溫度層 (thermal stratification) 의 형성은 太陽熱, 蒸發과 傳導에 의한 表面에서의 熱損失, 流入과 流出에 의한 熱移道를 포함하는 熱均衡에 지배된다. 貯水池에서의 흐름과 循環은 密度變化에 의한 溫度層에 주로 左右된다.

夏季에는 太陽熱에 의하여 水面層의 溫度가 상승하고 바람과 表面蒸發은 表面層에서 混合을 諸發한다. 이와 같이 相對的으로 溫度가 높은 表面層을 表水層 (epilimnion) 이라 하며 太陽熱에 의한 表面溫度의 影響을 받지 않는 貯水池의 底部의 溫度가 낮은 層을 深水層 (hypolimnion) 이라 한다. 이러한 두 溫度層間에 존

재하는 層을 水溫躍層 (thermocline) 이라 하며 이 層에서는 水深增加에 따라 溫度變化가 급격하게 된다.

가을과 겨울 동안에는 表面의 溫度가 降下하여 貯水池의 底部溫度보다 낮아지고 거의 完全한 混合이 이루어진다. 봄에는 점차적으로 密度層이 다시 형성된다. 이는 流入과 流出이 작은 湖水에서는 溫度의 年變化系를 나타낸다.

특히 人工貯水池에서는 流入과 流出이 熱과 質量均衡에 크게 기여한다. 上流河川으로부터 流入되는 경우 貯水池보다 密度가 작으면 水表面으로 퍼져

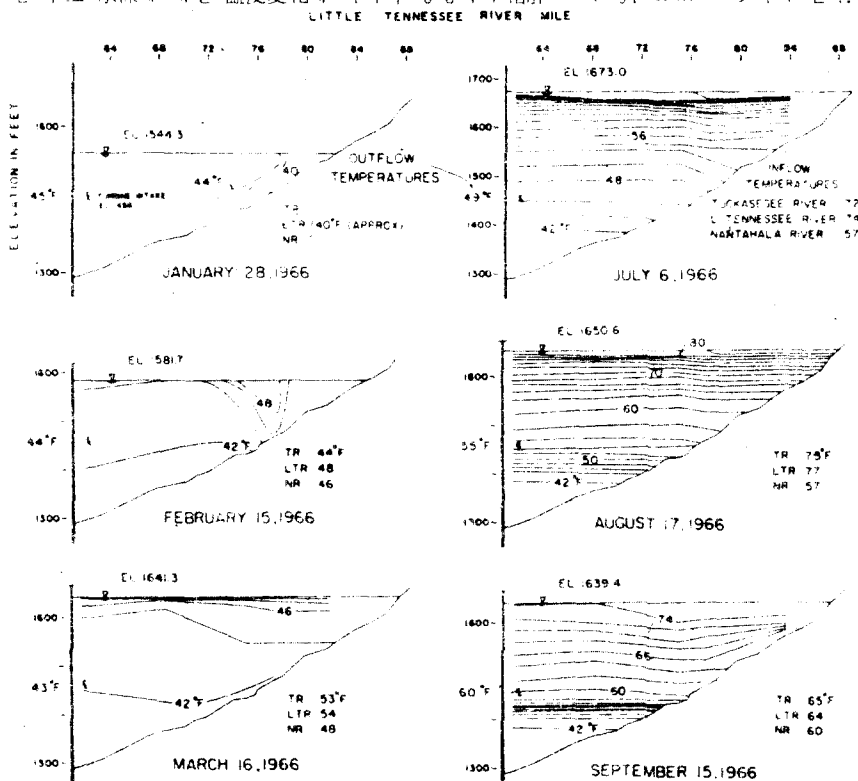


그림 1 貯水池의 季節의 溫度變化 (美國 Fontana 貯水池 (1))

\* 本学会 第6 代理事 漢陽大學校 土木工學科 副教授 (工學博士)

나가고 만약 密度가 貯水池의 물보다 크게 되면(溫度가 낮거나 浮遊物을 함유하는 경우)貯水池의 바닥으로 또는 中立狀態의 浮力를 갖는 中間層으로 흘러들어 간다. 流入되는 河川水의 密度는 溫度, 溶解된 塩分과 浮遊沙의 溫度에 따라 다르게 된다.

上流河川에 의한 流入外에 人工流入도 일어난다. 揚水發電所와 같은 경우 Penstock을 통하여 貯水池로 물이 倒歸하여 浮力를 갖는 또는 沈降하는 점을 형성된다. 初期混合過程을 거쳐 中間층층을 이루게 된다. 貯水池의 收容水보다 溫度가 높은 물이 流入되면 浮上하는 Plume을 이루거나 表面 흐름이 된다. 水中放流管을 통하여 貯水池로 放流되는 廢水는 일반적으로 貯水池의 收容水보다 溫度가 높으므로 浮上하는 Plume을 발생한다.

水中的 水門이나 Penstock을 통하는 放流는 그림 2에 보인 바와 같이 取水口가 위치한 水深部近의 制限된 層인 撤收層(withdrawal layer)에 집중된 撤收 흐름을 형성한다.

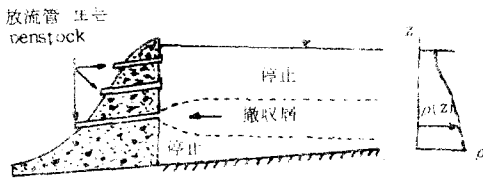


그림 2

流入과 流出은 다같이 密度의 連續的인 變化를 초래한다. 密度層內에는 垂直的인 鉛直混合이 일어날뿐 아니라 어떤 密度層으로 浸透하는 流入과 다른 密度層을 撤收시키는 流出도 인하여 물의 鉛直變位도 일어난다. 湖水나 貯水池에서 密度의 勾配는 河口에 비하여 매우 작아서 顯著的 密度의 變化를 나타내는 層에 거의 존재하지 않는다. 이러한 현상은 다음과 같이 설명된다. 만약 貯水池가 두개의 密度層으로 구성되었다면 淡水에서는 密度層의 密度差가 아주 작아서 密度層의 境界面은 貯水池의 流速과 亂流水準에서 水理學的으로 매우 不安定하게 된다. 따라서 局部的으로는 비교적 크고 變化를 갖는 密度勾配  $\frac{dp}{dz}$ 를 갖는 境界面은  $\frac{dp}{dz}$ 가 사라질때까지 급격한 亂流混合을 갖게 된다.

한편 대개의 경우 密度勾配 ( $dp/dz = 상수$ )는 線型이며 이는 鉛直方向 z에 대한 一次元擴散方程式으로부터 설명된다.

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left( D \frac{\partial c}{\partial z} \right) \quad (1)$$

여기서 t는 시간, c는 密度 p에 線型關係를 갖는 溫度 또는 塩分の 濃度 D는 鉛直擴散係수이다. 만약  $\frac{\partial p}{\partial z}$

가 상수이면  $\frac{\partial c}{\partial z}$ 가 常數가 되므로

$$\frac{\partial}{\partial z} \left( D \frac{\partial c}{\partial z} \right) = 0 = \frac{\partial c}{\partial t} \quad (2)$$

따라서 c 또는  $\frac{\partial c}{\partial t}$ 는 上層 또는 下部層으로 變化가 일어나지 않는 限 時間에 따라 一定하게 된다.

### 3. 水質과 選別放流

貯水池에서 溫度層의 형성은 化學的인 成層(Chemical stratification)으로 나타낸다. 水深에 따라 DO(dissolved oxygen)의 含有量이 감소하고 貯水池의 深層에서는 非暴氣現象이 일어난다. 다른 化學的 變化는 酸素減少現象으로 有機物의 蛋白質의 炭化의 分解로 암모니아의 發生, 磷과 硅酸의 溶解化, 黃化水素, 糖, 二酸化炭素의 生成, 鹽分과 炭酸鹽의 發生을 들 수 있다. 특히 DO의 감소는 安定된 密度層의 존재가 대규모의 亂流混合을 억제하여 結果적으로 공기-물의 境界面의 酸素의 下向移動에 의한 底面 물의 自然暴氣率을 크게 감소시키고 貯水池底層의 有機物은 계속 酸素를 소모하기 때문이다.



그림 3 英國의 Chew valley 湖의 DO 含有量

貯水池의 DO構造는 貯水池나 下流河川의 生態學的 均衡이 DO의 含有程度에 따라 매우 민감하므로 水質問題에서 가장 중요하게 된다. 貯水池의 DO 均衡을 貯水池內의 흐름에 의한 移送 表面에서 再暴氣, 植物의 發育과 연관된 光合成 酸素源, 上流河川流入의 酸素必要量, 底面堆積, 呼吸, 水生有機物의 分解等 수많은 物理的 生物學的인 要因에 支配된다.

따라서 貯水池의 水質管理는 주로 貯水池에 있는 물을 어느 정도로 循環시켜 溫度層을 除去하는 것에 달려있다. 이러한 溫度層除去方法으로 鰓의 장이된 水深에 여러개의 放流管을 설치하여 閉水計劃에 따라 必要한 水質의 물을 選別하여 放流하는 選別放流(selected withdrawal)이다. 예를 들면 所期의 DO의 물층을 얻기 위하여 下部層의 물을 放流하여 上部層으로부터 放流되는 높은 DO의 물과 혼합하도록 한다. 다른 방법은 貯水池의 여러層의 물을 人工的으로 混合하여 水質을 개선하거나 流入되는 물을 여러가지 방법으로 조절하여 상이한 혼합과 密度層을 형성하는 것이다.

### 4. 密度

成層流 또는 密度流의 運動方程式은 密度 p를 포함하고 無次元媒介變數는 密度差 Δp와 基準密度 P<sub>0</sub>와 의 比를 포함한다. 따라서 無次元數의 사용에서는 P에 대해 일관된 단위면 어느 單位도 사용될 수 있다. 초

溜水の 경우 比重 또는 ml 當 gr 으로 주어지는 密度는 温度에 따라 变化한다 (表 1) 약한 濃度로 용해된 塩分の 존재는 温度로 인하여 密度变化에 二次的인 影響을 준다.

따라서 塩分の 濃度가 全貯水池에 걸쳐 均일하고 작으면 表 1의 값은 變動이 없게 된다.

表 1 蒸溜水の 密度

温度 · T C (1)	$\rho$ gr/ml (2)	$\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT} (C)^{-1}$ (3)
0	0.99987	-0.00007
4	1.00000	0
7	0.99993	-0.00004
10	0.99973	-0.00009
15	0.99913	-0.00015
20	0.99823	-0.00020
25	0.99707	-0.00025
30	0.99567	-0.00030
35	0.99406	-0.00034
40	0.99224	-0.00038

미소한 壓縮은 安定이나 흐름의 動力學에 影響을 주지 않으므로 水深增加에 따른 壓力에 의한 密度의 증가는 動力學方程式에 適用되는 密度計算에서 除外된다.

表 1에서 알수 있는 바와 같이 密度-温度關係는 非線型이다. 즉 温度 1°C 变化에 대한 密度의 증가가 一定하지는 않으나 温度의 函數로 나타난다. 그러나 10°C 이상에서 작은 温度变化의 범위에서는 線型關係로서 아주 근사한 값이 주어지는 것으로 가정된다. 流體力學에서는 Boussinesq의 假定-密度变化  $\Delta\rho$ 는 基準密度  $\rho_0$  보다 매우 작다. 이 채택된다. 따라서 密度变化  $\Delta\rho$ 를 포함하는 動項에서는 2차항이 되고  $\rho_0 + \Delta\rho \approx \rho_0$ 을 포함하는 貫性項에서는 무시된다. 특히 貯水池에서는 최대 密度变化가 0.1%의 크기로 나타나 위 假定이 적절하게 된다.

5. 不連續 密度層

해석의 간단을 위하여 河口에서 弱混合의 경우와 같이 두 密度層의 境界面이 명확한 不連續 密度層을 생각할때 그림 4에서의 같이 放流口가 위치했을 경우 流量이 작으면 하나의 密度層의 流体만이 流出되고 流量이 크게 되면 두 密度層의 流体가 流出된다. 選別放流에 관한 대부분의 조작연구는 既知의 값 즉 境界面으로부터의 거리와 密度差의 項으로 流出量의 限界値를 결정하는데 주려되어 왔다. 密度가  $\rho_1, \rho_2$ 인 流体領域의 境界가 無限大일때 限界流量을 나타내는 限界 Froude 數는 다음과 같다.

二次元開口의 경우 ( $D \ll h, D \ll h/8$ )

$$Frc = \frac{q_c}{h\sqrt{g \frac{\Delta\rho}{\rho} h}} = 1.52 \quad (3)$$

오리페이스의 경우 ( $D \ll h$ )

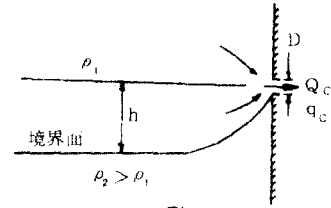


그림 4

$$Frc = \frac{Q_c}{h^2 \sqrt{g \frac{\Delta\rho}{\rho} h}} = 2.15 \quad (4)$$

여기서  $q_c$ 는 二次元開口의 單位幅當의 流量,  $Q_c$ 는 오리페이스의 流量이다. 위식에서 流出口의 크기는 流量에 影響을 주지 않는 것으로 나타났다. 이는 流出口의 크기  $D$ 가 흐름領域을 설명하는  $h$ 에 비하여 매우 작기 때문인 것으로 해석된다. 또한 이는 流出口의 형은 중요하지 않음을 나타낸다.

6. 맺는 말

貯水池에 温度層이 형성될때 넘으로 부터 放流되는 물의 温度는 放流管의 설치 위치에 따라 左右된다. 美國같은 나라에서는 下流의 温度調節 및 冷却目的으로 상이한 水深에 여러개의 放流管을 설치 조작하거나 또는 所期의 水深 즉 所期의 水温의 물을 放流할 수 있도록 取水口의 水門을 上下로 운전가능하도록 설치대가 있다.

일반적으로 貯水池의 水深이 10m 이상이면 温度層이 형성되므로 대규모의 墜전설에는 貯水池나 下流河川에서 DO의 부족으로 生態學的 均衡의 파괴나 水温의 降下로 產物의 피해를 방지할 수 있도록 選別放流가 고려되어야 한다.

7. 參考文獻

- Huber, W.C., and D.R.F. Harleman, Temperature Prediction in stratified Reservoirs, J. of Hydraulics Div., ASCE, Vol. 98, No. HY4, Apr., 1972, P.P 645-666.
- Markofsky, M. and D.R.F. Harleman Prediction of Water Quality in Stratified Reservoirs, J. of Hydraulics Div., ASCE, Vol. 99, No. HY5, May, 1973, P.P 729-745.
- Brooks, N.H. and R.C.Y. Koh, Selective Withdrawal from Density Stratified Reservoirs, J. of Hydraulics Div., ASCE, Vol. 95, No. HY4, July, 1969, P.P. 1369-1400.
- Rodda, J.C., R.A. Downing, and F.M. Law, Suptewatic Hydrology, Newnes-Butter Worths, 1976, P.P 310-312.