

〈論 文〉

## 降雨의 鹽分이 再曝氣에 미치는 影響 Effects of Rainfall and Salinity on Reaeration

崔在聖\* 延基錫\*\* 金健興\*\*\* 安相鎮\*\*\*\*

### ABSTRACT

As the aeration is one of the most important roles for the purification of polluted water, aquatic aerobic microorganism makes use of aerated dissolved oxygen to decompose the pollutant and purify water.

In this study, a reactor was operated in a laboratory to examine the effects of salinity and rainfall on reaeration and then a model was proposed to estimate the reaeration coefficient.

From the results of the experiments, the reaeration coefficient,  $k_2(\text{day}^{-1})$ , can be expressed by  $k_2 = k_{2f} + 3.98667 \times 10^{-2} \cdot C + 4.88437 \times 10^{-4} \cdot r$

where

$k_{2f}$ : the reaeration coefficient in the fresh water at 20°C, ( $\text{day}^{-1}$ )

C: chloride concentration, ( $\text{g}/\ell$ )

r: rainfall intensity, ( $\text{mm}/\text{hr}$ )

Accordingly, it is concluded that the rate of reaeration is proportional to the chloride concentration and rainfall intensity. Also, it is known that the rainfall intensity contributes to the overall oxygen balance in a body of water more significantly than the salinity.

### 1. 序 論

大氣로부터 水中으로의 酸素溶解率은 飽和不足量<sup>1)</sup>, 水面의 攪亂狀態<sup>2)</sup>, 水温<sup>3)</sup> 等에 따라 달라진다.

水面에서의 機械的 混合, 바람, 水面波動 等을 통해 水面攪亂을 야기시켜 酸素傳達率을 增加시킬 수 있으며, 降雨 역시 水面攪亂을 야기시키는 중요한 原因이 된다.

再曝氣에 대한 研究는 河川의 流速, 水深, 攪亂強度, 水頭傾斜 및 溫度에 대한 것들이며<sup>4,5)</sup> 鹽分이 再曝氣에 미치는 影響은 거의 수행되지 않았다.

Streeter와 Phelps<sup>6)</sup>는 再曝氣率이 DO부족량에 직접 比例한다고 보았으며, Nemerow<sup>7)</sup>는 溶存酸素를 영향인자로 보았다. O'Connor와 Dobbins<sup>8)</sup>는 膜理論과 亂流理論을 組合하여 水温 20°C에서 水深에 따른 再曝氣에 관한 研究를 하였으며,

\*雙龍建設 國內技術部

\*\*大田工大 土木工學科 助教授

\*\*\*仁荷大 工科學 副教授

\*\*\*\*忠北大 工科學 教授

Elmore와 West<sup>5)</sup>는 溫度가 再曝氣에 미치는 影響을 조사하였다.

Owens등<sup>8)</sup>은 流速 0.1~5.0ft/sec, 水深 0.4~11.0ft일때, 再曝氣係數를 提示하였으며, Isaacs와 Gaudy<sup>10)</sup>, Churchill등<sup>9)</sup>은 平均流速과 平均水深에 관한 重回歸式을 이용하여 再曝氣係數를 測定하였다.

Tsivoglou등<sup>11)12)</sup>은 自然 河川에서 가스追跡子(Krypton 85)를 사용하여 再曝氣係數를 測定하였으며, Holley<sup>13)</sup>는 가스追跡子를 사용하여 산소에 대한 에틸렌과 프로판의 質量傳達比가 각각 1.14, 1.36임을 밝혔다.

Wilson과 Macleod<sup>14)</sup>는 再曝氣에 관한 각종 式들을 조사한 결과 Dobbins' Model과 Parkhurst's Model이 가장 適合한 式임을 주장했으며, Brown<sup>15)</sup>은 모든 式들이 5%정도의 誤差가 있다고 發表하였다.

Banks와 Herrera<sup>16)</sup>는 降雨와 바람이 再曝氣에 미치는 影響을 觀察했으며, Wen<sup>17)</sup>은 바람에서 鹽分이 再曝氣에 미치는 影響을 조사하고 比較내한 數學的 모델을 제안하였다.

한편, 再曝氣와 관련된 研究으로, Chow<sup>18)</sup>가 實驗室에서 人工降雨를 발생시키는 物理的인 方法을 개발했으며, Dingle과 Lee<sup>19)</sup>는 重回歸式을 이용하여 빗방울의 最終速度가 直徑에 따라 變化됨을 提示하였다.

本 研究에서는 鹽分濃度를 점차 增加시키면서 人工降雨를 發生시켜, 鹽分과 降雨가 再曝氣에 미치는 影響을 高찰하였다.

## 2. 理論的 背景

### 2-1 氣體의 吸收와 擴散

氣體는 分子擴散에 의해 液膜을 통과하고, 亂流擴散에 의해 液體속으로 分散되며, 亂流擴散이 分子擴散보다 크므로 液體에서의 濃度變化는 一定하다<sup>21)</sup>.

Lewis와 Whitman<sup>20)</sup>의 二重膜 理論에 따르면 氣體와 液體의 境界면에 膜이 각각 형성되며, 膜의 두께에 따라 통과하는 率이 달라진다. 氣體나

液體를 攪亂시킴으로써 膜의 두께를 減少시킬 수 있으며, 擴散速度는 面積과 濃度기울기에 依存하므로 다음과 같이 表現할 수 있다.

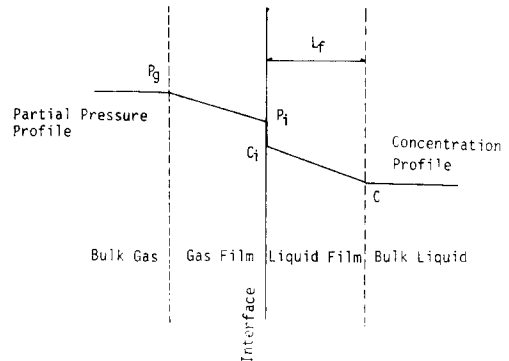
$$dW/(Adt) = k_d(\ell)(C_i - C) \dots \dots \dots (1)$$

여기서,  $dW/(Adt)$ : 單位面積當 質量傳達率 (mg/cm<sup>2</sup>·sec)

$k_d(\ell)$ : 液相에서 氣體의 擴散係數(mg/cm<sup>2</sup>sec)

$C, C_i$ : 液膜의 界面 및 液體內部的 氣體濃度(mg/ℓ)

酸素와 같은 難溶性氣體는 氣體膜에서의 저항보다 液膜에서의 저항이 매우 크므로 液膜에서의 酸素濃度 $C_i$ 는 飽和濃度 $C_s$ 와 같게 된다. 式(1)은  $dW/(Adt) = k_d(Adt) = k_d(\ell)(C_s - C)$ 로 代치될 수 있으며, 氣體移動은 液體를 교반하여 液膜두께를 減少시킴으로써 촉진된다<sup>22)</sup>. Lewis와 Whitman의 二重膜 理論에 의한 濃度變化는 그림 1과 같다.



Lf: Thickness of Liquid Film  
P<sub>g</sub>, P<sub>i</sub>: Partial Pressures of the Gas in the Main Body of the Interface and at the Interface

Fig. 1 Schematic Diagram of the Lewis and Whitman' Two Film Model.

### 2-2 빗방울의 速度

Dingle과 Lee<sup>19)</sup>는 重回歸式을 이용하여 빗방울의 最終速度를 다음과 같이 구하였다.

$$V_o = 5.49D^3 - 88.80D^2 + 491.84D - 16.60 \dots \dots (2)$$

여기서,  $V_o$ : 빗방울의 最終速度(cm/sec)

D : 빗방울의 直徑(0.1mm~6.0mm)

Banks<sup>23)</sup>는 直徑 0.1~6.0mm 範圍의 빗방울이 最終速度를 갖는 落下거리를 實驗을 통해 구했으며, 落下거리가 充分하지 않아 加速度를 받으며 水面에 落下하는 빗방울의 瞬間速度는 Chow와 Harbaugh<sup>18)</sup> 그리고 Banks<sup>23)</sup>에 의해 다음과 같이 제안되었다.

$$\frac{V}{V_0} = 1 - \exp\left(\frac{X}{X_0}\right)^4 \dots\dots\dots (3)$$

여기서, V : 瞬間落下速度(cm/sec)

x : 빗방울의 落下거리(cm)

$$X_0 = \frac{2 \rho' D}{3 \rho C_d} \dots\dots\dots (4)$$

$\rho'$  : 빗방울의 밀도(g/cm<sup>3</sup>)

$\rho$  : 空氣의 밀도(g/cm<sup>3</sup>)

$C_d$  : 遲滯常數

빗방울 直徑에 따른  $V_0$ , R(Reynolds number),  $C_d$ ,  $X_0$ 는 Banks에 의하면 표 1 과 같다.

빗방울 하나의 부피를  $v$  라 하면, 運動에너지  $E = \frac{1}{2} \rho' v V^2$ 이며, 일정한 直徑을 가진 빗방울 n 개의 總運動에너지 P는 다음과 같다.

$$P = \frac{1}{2} \rho' n v V^2 = \frac{1}{2} \rho' r V^2 A \dots\dots\dots (5)$$

여기서, r : 降雨強度(mm/hr)

A : 降雨槽面積(mm<sup>2</sup>)

한편, 자연상태의 降雨는 빗방울의 直徑이 다

양하고 降雨強度도 다르므로 Banks와 Herrera<sup>16)</sup> 는 海拔高度에 따른 降雨의 總運動에너지를 實驗을 통해 다음과 같이 表現하였다.

$$P = (2.39 + 0.103 \times 10^{-3} \times Z) r^{1.26} \dots\dots\dots (6)$$

여기서, Z : 海拔高度(m)

### 2-3 酸素傳達係數

質量平衡으로부터 降雨가 水界의 산소전달에 미치는 영향을 고찰할 수 있다. 水槽로 傳達되는 酸素의 總量은 完全 또는 部分的으로 飽和된 빗방울에 의해 傳達된 量과 水面에서 發生한 亂流에 의해 大氣로부터 傳達된 量의 合과 같다.

$$\frac{d}{dt}(A \cdot H \cdot C) = r \cdot A \cdot C_r + k_L \cdot A \cdot (C_s - C) \dots\dots\dots (7)$$

여기서,  $C_r$  : 빗방울의 溶存酸素(mg/l)

C : 水槽의 溶存酸素(mg/l)

$k_L$  : 酸素傳達係數(cm/sec)

=  $k_2 \cdot H$

$k_2$  : 再曝氣係數(day<sup>-1</sup>)

H : 水槽깊이(cm)

A : 單位面積(cm<sup>2</sup>)

면적 A는 一定하고 t시간에서  $H = H_0 + r t$ 이므로 溶存酸素의 濃度變化는 다음식과 같다.

$$\frac{dc}{dt} = \frac{1}{(H_0 + r t)} [r(C_r - C) + k_L(C_s - C)] \dots\dots (8)$$

溶槽酸素濃度는 t=0에서  $C = C_0$ 이므로 식(8)

Table 1 Raindrop Parameters for Various Values of D

D(cm)	$V_0$ (cm/sec)	$R = \rho' V_0 D / \mu$ at 20°C	$C_d$	$x_0 = \frac{2 \rho' D}{3 \rho C_d}$ (cm)
0.10	399	256	0.53	103
0.15	551	533	0.47	174
0.20	658	849	0.46	237
0.25	741	1,195	0.46	297
0.30	806	1,560	0.48	341
0.35	852	1,924	0.52	368
0.40	886	2,286	0.57	383
0.45	910	2,642	0.64	384
0.50	925	2,984	0.71	385
0.55	930	3,300	0.82	366
0.60	930	3,600	0.91	360

은 다음과 같다.

$$C = (C_0 - C_e) \frac{1}{(1 + \tau)^m} + C_e \dots\dots\dots (9)$$

여기서,  $C_e = \frac{rC_i + k_L C_s}{r + k_L} \dots\dots\dots (10)$

$$\tau = \frac{rt}{H_0} \dots\dots\dots (11)$$

$$m = 1 + \frac{k_L}{r} \dots\dots\dots (12)$$

강우가 있을 경우, 빗방울에 포함된 용存酸素濃도가 飽和되었다고 하면  $C_i = C_s$ 이므로 式(9)는 다음과 같이 表現된다.

$$\frac{C_s - C_0}{C_s C} = (1 + \tau)^m \dots\dots\dots (13)$$

式(13)을 이용하여 降雨가 있을 경우,  $\ln[(C_s - C_0)/(C_s - C)]$ 를 y축에,  $\ln(1 + \frac{rt}{H_0})$ 를 X축으로 하여 얻어진 기울기

$$m = (1 + \frac{k_L}{r})$$

에서 酸素傳達係數  $k_L$ 을 구한다.

강우가 없을 경우, 용存酸素濃度變化는 표면 난류로 인한 산소전달만을 고려하므로 式(14)와 같이 나타낸다.

$$\frac{dC}{dt} = \frac{1}{H_0} [(C_s - C)] \dots\dots\dots (14)$$

여기서,  $K_0$ : impeller에 의해 발생된 表面亂流로 인한 酸素傳達係數 =  $K_2 H_0$

$K_2$ : 再曝氣 係數( $day^{-1}$ )

式(14)에서  $t=0$ 인 경우  $C=C_0$ 이므로 式(15)와 같이 表現된다.

$$\frac{C_s - C_0}{C_s - C} = \exp \frac{k_0 t}{H_0} \dots\dots\dots (15)$$

式(15)을 이용하여 降雨가 없을 경우,  $\ln[(C_s - C_0)/(C_s - C)]$ 를 y축에, 시간  $t$ 를 x축으로 하여, 酸素傳達係數  $k_0$ 를 구한다.

한편, Banks와 Herrera<sup>16)</sup>는 水面에서 바람에 의해 발생하는 酸素傳達係數  $k_w$ 를 式(16)과 같이 表現하였다.

$$k_w = 10^{-4} (8.43V^3 - 3.67V + 0.43V_2) \dots\dots\dots (16)$$

여기서  $V$ : 風速( $m/sec$ )

### 3. 實驗裝置 및 方法

實驗裝置는 그림 2와 같이 降雨量을 조절할 수 있는 降雨槽(needle tank), 反應槽 역할을 하는 集水槽(collector tank), 증류수에 용存酸素를 공급하는 豫備曝氣槽(preparation tank)로 構成된다.

降雨槽는 24<sup>cm</sup>×24<sup>cm</sup>×03<sup>cm</sup> 아크릴로 하였으며, 直徑 5mm 流出管을 3cm 간격으로 설치하여 水頭를 조절하고 바닥에 49개의 주사바늘을 利用하여 빗방울을 형성하였다. 실험에서 測定한 빗방울의 平均直徑은 2.43mm였다.

豫備曝氣槽의 증류수는 恒溫(20<sup>°C</sup>±0.2<sup>°C</sup>)을 維持시켰으며<sup>17)</sup> 多孔石을 利用하여 용存酸素가 항상 飽和狀態를 유지하도록 하였다.

集水槽는 25<sup>cm</sup>×25<sup>cm</sup>×25<sup>cm</sup> 아크릴로 하였으며, 와류현상을 防止하기 위하여 4개의 조절판을 설치하였다.

McCabe<sup>24)</sup>의 提案에 따라 impeller의 規格을 정하고 모타로 완전혼합 되도록 교반하였으며, 빗방울의 直徑이 一定하게 될때까지 集水槽內에서의 早期反應을 防止하기 위하여 集水槽 上端에 덮개를 設置하였다.

集水槽의 初期水深을 25<sup>cm</sup>로 維持하고 Na<sub>2</sub> SO<sub>3</sub>

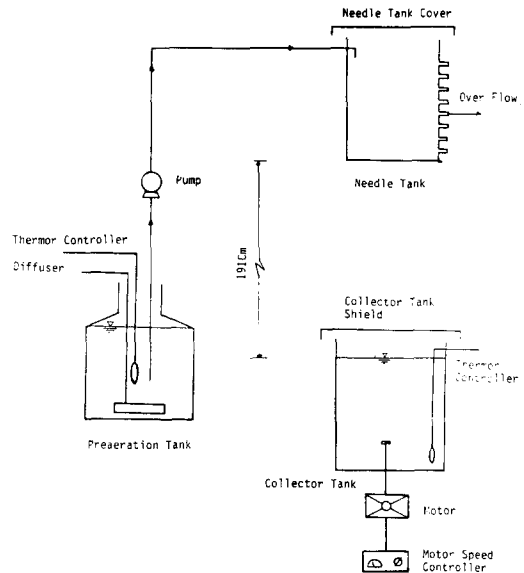


Fig. 2 Schematic Diagram of Experimental Apparatus.

과 少量의  $CoCl_2$ 를 添加하여 初期溶存酸素 濃度는 約  $0.3mg/l$ 를 維持하였다<sup>25,26</sup>.

降雨強度(mm/hr)는 0, 7.36, 10.31, 12.91, 16.05,  $Cl^-$ 濃度(g/l)는 0, 5.245, 10.199, 15.056, 20.204, 그리고 impeller 회전수(rpm)는 83.113, 145로 變化시키면서 時間變化에 따른 溶存酸素 濃度變化를 測定하였다.  $Cl^-$ 濃度は Standard Method<sup>27</sup>로, 溶存酸素濃度 및 溫度는 DO meter(YSI-5720)로 測定하였다.

#### 4. 實驗結果 및 考察

##### 4-1 降雨에 依한 影響

降雨의 有無에 따른 實驗結果는 표 2, 그림 3, 4와 같다. 그림 3은 降雨가 없는 경우로서,  $Cl^-$ 濃度가 再曝氣係數  $k_2$ 에 影響을 미치고 있음을 알 수 있다.

그림 4는 降雨가 있는 경우로서, 그림 3과 같은 性向을 나타내고 있다. 강우가 있을 경우, 빗방울의 溶存酸素와 낙하운동에 너지에 의한 水表面 攪亂 및 교반으로, 강우가 없을 때보다  $k_2$  값이 크게 증가하였다. 또한 降雨의 有無에 關係없이,  $Cl^-$ 이온이 있는 경우에  $k_2$ 값이 크게 나타났다.

$Cl^-$ 濃度가 없을 경우, 降雨強度 및 rpm을 變化시킨 實驗結果는 그림 5와 같다. 그림 5에서 降雨強度가 增加함에 따라 再曝氣係數  $k_2$ 가 直線變化함을 알 수 있으며, 같은 降雨強度일지라도 rpm이 클수록  $k_2$ 값이 증가함을 알 수 있다. 表 3에서 볼 수 있듯이  $Cl^-$ 濃度가 없는 경우 降雨強度에 따른 實驗值  $k_2$ 와 Banks등<sup>16</sup>에  $k_2$ 값이 유사하게 나타났다.

DO의 포화농도는  $Cl^-$ 농도증가에 따라 일반적으로 감소한다. 이것은 포화상태에 있는 DO量에 관한 것이며, 시간당 산소가 용해되는 再曝氣率과는 서로 다른 것으로 재포기율이 작아도 포화용존 산소량은 많을 수 있으며 재포기율이 커도 포화용존 산소량이 적을 수 있다. 전체적으로 용해되는 산소량은  $Cl^-$ 농도에 해당되는 DO포화농도 까지이며, 이런 현상은 Wen과 Banks의 실험결과와 일치하였다.

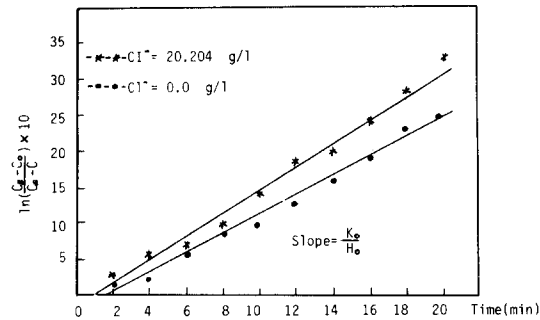


Fig. 3 Typical Result without Rain( $r=0.0mm/hr$ , rpm=113)

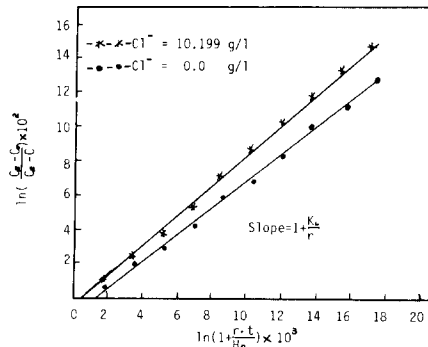


Fig. 4 Typical result with Rain( $r=12.91mm/hr$ , rpm=145)

Table 2 Typical Results for each Variables.

Rainfall Intensity (mm/hr)	$Cl^-$ Conc. (g/l)	rpm (회/min)	DO Conc.(mg/l)						$k_2$ (day <sup>-1</sup> )
			0分	4分	8分	12分	16分	20分	
0	0	113	0.26	0.28	0.33	0.38	0.43	0.47	1.8505
0	20	113	0.24	0.28	0.31	0.37	0.41	0.47	2.3547
12.91	10.199	145	0.23	0.43	0.66	0.90	1.12	1.33	9.7646
12.91	0	145	0.25	0.42	0.62	0.85	1.10	1.31	8.1283

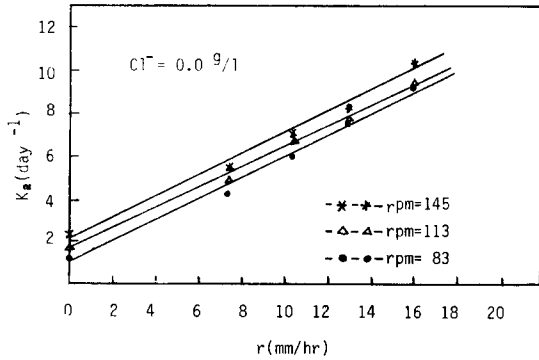


Fig. 5 Typical Result of  $K_2$  due to Rainfall Intensity without  $Cl^-$

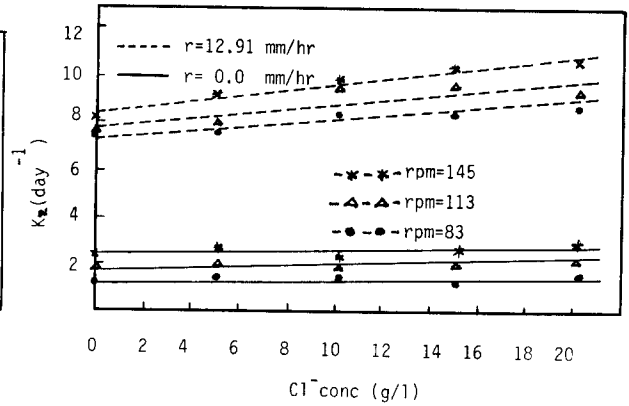


Fig. 6 Typical Result of  $K_2$  due to  $Cl^-$  concentration

4-2  $Cl^-$ 濃度에 의한 影響

降雨強度가 0mm/hr 및 12.91mm/hr일 경우에  $Cl^-$ 濃度와 rpm變化에 따른  $k_2$ 값은 그림 6과 같다. 그림 6에서 보는 바와 같이  $k_2$ 값은  $Cl^-$ 濃度에 따라 增加하지만 그림 5에서의 降雨強度에 의한 增加폭보다 작음을 알 수 있다. 따라서 再曝氣係數는 降雨로 인한 빗방울의 溶存酸素와 水面의 波動에 크게 影響을 받고 있는 것을 알 수 있다.

강우가 없을 경우  $Cl^-$ 濃度變化에 따른  $k_2$ 값을 Wen<sup>17)</sup>의  $k_2$ 값과 비교하면 表 4와 같으며, 유사하게 나타났다.

Wen의 실험결과처럼  $Cl^-$ 농도증가에 따라  $k_2$ 값도 일관성있게 증가하는 것이 타당하지만, 본 실험에서 일부 그렇지 못한 것은 시료의 순도 및 실험미숙에 의한 것으로 사료된다.

Table 3 Comparison of  $k_2$  between Experiment and Banks Results without  $Cl^-$ .

Rainfall Intensity (mm/hr)	rpm (회/min)	$k_2$ (experiment) (day <sup>-1</sup> )	$k_2$ (Banks) (day <sup>-1</sup> )
0	83	1.3389	1.3389
0	113	1.8505	1.8505
0	145	2.4701	2.4701
7.36	83	4.3485	4.1818
7.36	113	4.8854	4.6656
7.36	145	5.4927	5.2877
10.31	83	6.0444	5.7024
10.31	113	6.6114	6.1862
10.31	145	6.5904	6.7738
12.91	83	7.5280	7.1194
12.91	113	7.6468	7.6032
12.91	145	8.2183	8.1562
16.05	83	9.0983	8.9165
16.05	113	9.3056	9.4003
16.05	145	10.2567	9.9533

4-3 再曝氣係數 모델

降雨强度和  $Cl^-$  濃度變化에 따른 再曝氣係數를 計算한 후, 이를 다시 SSP<sup>28)</sup>의 重回歸分析으로 線型모델과 非線型모델로 分析한 結果, 相關係數가 각각 0.97, 0.91이었다. 따라서, 降雨强度和  $Cl^-$  濃度가 再曝氣係數에 미치는 영향은 線型모델로 하였다.

$$k_2 = k_{21} + a \cdot c + b \cdot r \dots \dots \dots (17)$$

여기서,  $k_{21}$ : 순수한 물의 再曝氣係數( $day^{-1}$ )

$a$ :  $3.98667 \times 10^{-2}$

$b$ :  $4.88437 \times 10^{-1}$

$C$ :  $Cl^-$  濃度( $g/l$ )

回歸係數  $a$ 와  $b$ 의 相關關係는 각각 0.1025와 0.9676이었으며  $Cl^-$  濃度보다 降雨强度가 再曝氣에 미치는 影響이 큰 것을 알 수 있다.

그림 7은  $Cl^-$  濃度變化에 대한 實驗值  $k_2$ 와 式(17)에  $k_2$ 를 비교한 것이며, 그림 8은 降雨强度變化에 대한 實驗值  $k_2$ 와 式(17)에 의한  $k_2$ 를 비교한 것으로 實驗值和 回歸式(17)이 잘 일치됨을 보여 주고 있다.

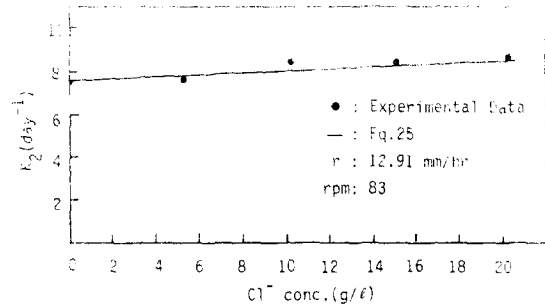


Fig. 7 Comparison of Eq. 25 and Experimental Data with Rain.

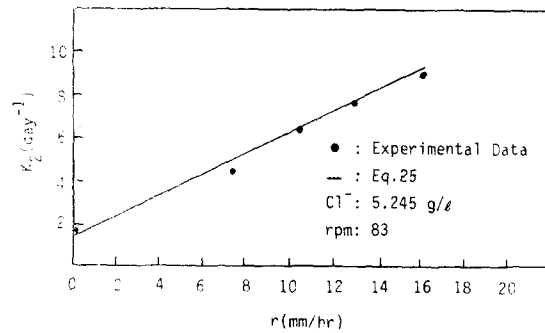


Fig. 8 Comparison of Eq. 25 and Experimental Data with  $Cl^-$

Table 4 Comparison of  $k_2$  between Experiment and Wen's Results without Rain.

$Cl^-$ Conc. ( $g/l$ )	rpm (회/min)	$k_2$ (experiment) ( $day^{-1}$ )	$k_2$ (Wen) ( $day^{-1}$ )
0	83	1.3389	1.3389
0	113	1.8505	1.8505
0	145	2.4701	2.4701
5.245	83	1.5903	1.4311
5.245	113	2.2334	1.9779
5.245	145	2.7350	2.6402
10.199	83	1.6115	1.5241
10.199	113	2.0424	2.1064
10.999	145	2.4061	2.8100
15.056	83	1.3757	1.6210
15.056	113	2.1998	2.2404
15.056	145	2.6633	2.9906
20.204	83	1.6627	1.7305
20.204	113	2.3547	2.3918
20.204	145	3.0385	3.1926

## 4-4 바람에 의한 影響

降雨가 水界의 酸素平衡에 미치는 影響은 바람이 미치는 영향과 비교될 수 있다. Banks와 Herrera<sup>16)</sup>는 水面에서 바람에 의해 발생하는 酸素傳達係數에 대해 연구하였다.

實驗值  $k_{2r}=1.3389/\text{day}$ , 降雨強度  $5\text{mm/hr}$ ,  $\text{Cl}^-$ 濃度  $5\text{g/l}$ 일때, 式(17)로부터  $k_2$  값  $3.9759/\text{day}$ 를 얻는다. 酸素傳達係數는 再曝氣係數와 水深의 곱으로 表示되므로  $H=25\text{cm}$ 일 경우,  $k_L=99.3975\text{m/day}=1.15\times 10^{-3}\text{cm/sec}$ 로 式(16)에 代入하여  $V=5.1\text{m/sec}$ 가 된다. 즉  $k_{2r}=1.3389/\text{day}$ ,  $r=5\text{mm/hr}$ ,  $\text{Cl}^-$ 濃度  $5\text{g/l}$ 일때의  $k_2$ 값과 風速  $5.1\text{m/sec}$ 일 때의  $k_2$  값은 같다.

또한 Banks와 Herrera<sup>16)</sup>은 빗방울에 의해서 발생하는 산소전달계수  $kr=2.83\times 10^{-5}p$ 라고 하였다.  $r=5\text{mm/hr}$ ,  $z=0\text{m}$ 일 경우, 式(6)으로부터  $p=18.2\text{erg/sec}\cdot\text{cm}^2$ 이므로  $k_r$ 은  $5.15\times 10^{-4}\text{cm/sec}$ 가 된다. 式(17)에 의해 風速  $V=1.0\text{m/sec}$ 에 의해 발생하는  $k_2$ 값과 같다. 表 5는 降雨強度와  $\text{Cl}^-$ 濃度變化에 따른  $k_2$ 값과 이에 대응하는 風速을 나타낸 것이다.

한편, 빗방울의 直徑  $D=2.43\text{mm}$ 일 경우, 式(2)로부터 빗방울의 最終速度  $V_o=737.7\text{cm/sec}$ 이다. 실험에서 落下距離  $x=191\text{cm}$ , 表 1에서  $x_o=285\text{cm}$ 를 얻어 式(3)에 代入하면 瞬間落下速度  $V=515.5\text{cm/sec}$ 가 구해진다. 따라서 降雨強度  $7.36\text{mm/hr}$ 일때 總運動에너지  $P$ 는 式(6)으로부터  $27.1\text{erg/sec}\cdot\text{cm}^2$ 가 되며, 實驗에서 降雨強度變

化에 따른  $P$ 값은  $27.1\sim 59.2\text{erg/sec}\cdot\text{cm}^2$ 에 해당된다.

## 5. 結 論

$\text{Cl}^-$ 濃度變化에 따라 降雨가 再曝氣에 미치는 影響을 實驗·分析하여 다음과 같은 結論을 얻었다.

1)  $\text{Cl}^-$ 濃度나 降雨強度의 增加에 따라 再曝氣係數도 增加하였으며 回歸分析하여 얻은 모델은 다음과 같다.

$$k_2 = k_{2r} + 3.98667 \times 10^{-2} \times C + 4.88437 \times 10^{-1} \times r$$

2) 降雨가 再曝氣에 미치는 影響이  $\text{Cl}^-$ 濃度에 의한 影響보다 크게 나타났다.

3) 實驗에 의한 再曝氣係數 모델은 實測值, Banks 및 Wen의 계산값과 잘 일치되었다.

本 研究는 集水槽 깊이를 一定하게 하고 빗방울 直徑도 一定한 상태에서 수행되었으나, 앞으로 有機物이 포함된 상태에서 集水槽 깊이와 빗방울 直徑을 變化시키면서  $\text{Cl}^-$ 濃度變化가 再曝氣에 미치는 影響에 관한 研究가 이루어져야 할 것이다.

## REFERENCE

1. Streeter, H.W., "The Rate of Atmospheric Reaeration of Sewage Polluted Streams," Reprint Publ. Hlth. Rep.(1963).
2. Kramer, G.R., "Predicting Reaeration Coefficients for Polluted Estuary," *J. En-*

Table 5 Comparison of Values of Reaeration Coefficients due to Rain with  $\text{Cl}^-$  and Equivalent Wind.

Rainfall Intensity (mm/hr)	$\text{Cl}^-$ Conc. (g/l)	$k_L$ (cm/sec)	$k_2$ ( $\text{day}^{-1}$ )	Equivalent Wind Velocity, U (m/sec)
5	0	$0.52 \times 10^{-3}$	1.7971	1.0
	5	$1.15 \times 10^{-3}$	3.9759	5.1
10	0	$1.23 \times 10^{-3}$	4.2509	5.4
	5	$1.86 \times 10^{-3}$	6.4181	7.2
15	0	$2.05 \times 10^{-3}$	7.0848	7.7
	5	$2.56 \times 10^{-3}$	8.8603	8.8



- viron. Eng. Div.*, ASCE, Vol, 100, No. EE1(February, 1974)
3. Howe, R.H.L., "Proposed Modification of  $K_2$ -Temperature Relation," *J. Environ. Eng. Div.*, ASCE, Vol. 103, No. EE4(August, 1977).
  4. O'Connor, D.J., and W.E. Dobbins, "Mechanoism of Reaeration in Natural Streams," *J. Sanit. Eng. Div.*, ASCE, 82, SA6, No. 1115, pp. 641-667(1956).
  5. Elmore, H.L., and W.F. West, "Effect of Water Temperature on Stream Reaeration," *J. Sanit. Eng. Div.*, ASCE, 87, SA6, pp. 59-71(1961).
  6. Streeter, H.W., and E.B. Phelps, "A Study of the Pollution and Natural Purification of the Ohio River," *U.S. Public Health Service*, Washington, Public Health Bull., 146, pp. 75(1925).
  7. Nemerow, N.L., "*Scientific Stream Pollution Analysis*," McGraw-Hill Book Co., Washington(1974).
  8. Owens, M., R.W. Edward, and J.W. Gibbs, "Some Reaeration Studies in Streams." *Int. J. Air Wat. Pollut.*, 8, pp. 469-486(1964).
  9. Churchill, H.A., H.L. Elmore, and R.A. Buckingham, "The Prediction of Stream Reaeration Rates," *Int. J. Air Wat. Pollut.*, 6, pp. 467-504(1962).
  10. Isaacs, W.P., and A.F. Gaudy Jr., "Atmospheric Oxygenation in a Simulated Stream," *J. Sanit. Eng. Div.*, ASCE, 94, SA2, pp. 319-344(1968).
  11. Tsivoglou, E.C., R.L. O'Connell, C.M. Walter, P.J. Godsil, and G.S. Logsdon, "Tracer Measurement of Stream Reaeration, II," *J. Water Poll. Cont. Fed.*, 40, 2(1965).
  12. Tsivoglou, E.C., and L.A. Neal, "Tracer Measurement of Reaeration, III, Predicting the Reaeration Capacity of Inland Streams," *J. Water Poll. Cont. Fed.*, 48, 12, pp. 2669-2689(1976).
  13. Holley, E.R., and K.A. Rainwater, "Laboratory Studies on Hydrocarbon Tracer Gases," *J. Environ. Eng. Div.*, ASCE, Vol. 110, No. 1, pp. 24-41(February, 1984).
  14. Wilson, G.T., and N. Macleod, "A Critical Appraisal of Empirical Equations and Models for the Prediction of the Coefficient of Reaeration of Deoxygenated Water," *Water Res.*, 8, pp. 341-366(1974).
  15. Brown, L.C., "Statistical Evaluation of Reaeration Prediction Equation," *J. Environ. Eng. Div.*, ASCE, Vol. 100, No. EE5, pp. 1051-1069(January, 1974).
  16. Banks, R.B., and F.F. Herrera, "Effect of Wind and Rain on Surface Reaeration," *J. Environ. Eng. Div.*, ASCE, Vol. 103, No. EE3, Proc. Paper, 13103, pp. 489-504(June, 1977).
  17. Wen, C.G., J.F. Kao, L.K. Wang, and C.C. Liaw, "Effect of Salinity on Reaeration Coefficient of Receiving Waters," *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 16, pp. 139-154(1984).
  18. Chow, V.T., and T.E. Harbaugh, "Raindrop Production for Laboratory Watershed Experimentation," *J. Geophysical Research*, Vol. 70, No. 24, pp. 6111-6119(Dec. 15, 1965).
  19. Dingle, A.N., and V. Lee, "Terminal Fallspeeds of Raindrops," *J. Applied Meteorology*. Vol. 11, pp. 877-879(August, 1972).
  20. Lewis, W.K., and W.G. Whitman, "Principles of Gas Absorption," *Indus. and Eng. Chemistry*, Vol. 16, No. 12, pp. 1215-1220(1924).
  21. Williams, R.B., "Atmospheric Reaeration Rate in Streams," Degree of Master of Science, Colorado State University(July,

- 1976).
22. Fair, G.M., and J.C. Geyer, and D.A. Okun, *Water and Wastewater Engineering*, Vol. 2.(1968)
23. Banks, R.B., "Accelerations and Terminal Velocities of Raindrops," *J. Environ. Eng. Div.*, ASCE, Vol. 104, No. EE3, Technical Note, Proc. Paper, 13790, pp. 527-531(June, 1978).
24. McCabe, W. L., and J.C. Smith, "*Unit Operations of Chemical Engineering*," Third Edition, pp. 222-231.(1978)
25. Negulescu, M., and V. Rojanski, "Recent Research to Determine Reaeration Coefficient," *Water Research*, Pergamon Press, Vol. 3, pp. 189-202(1969).
26. 趙光明, 崔義昭, 環境工學, 清文閣(1980).
27. APHA, AWWA, and WPCF, "*Standard Methods for the Examination of Water and Waste water*," 15th Ed., Washington, D.C.(1981).
28. IBM, "*System/360 Scientific Subroutine Package*," 5th Ed., IBM corporation, Technical Publications Dep.(1981).