

〈論 文〉

酸化還元電位制御法에 의한 水道原水の 不連結点 鹽素處理

Redox control in break-point chlorination of ammonia

河 成 龍\* 齊 藤 方 正\*\*  
Ha, Sung Ryong Saito, ShigeaKira

Abstract

Foundational experiments are conducted to examine the applicability of redox control in break-point chlorination of ammonia on drinking water purification.

Through the research, the behaual affects by ph and temperature to a chloramine forming reactions are evaluated.

The possibility of redox control in breakpoint chlorination is recoguized by drawing up the titration curve in terms of redox potential and  $Cl_2/N$  ratios.

要 旨

本研究는 淨水處理에 있어서의 適定鹽素注入制御를 위한 酸化還元電位法의 活用可能性에 대한 基礎的 檢討를 實施한 것이다.

研究實驗을 통하여, 原水의 鹽素化反應에 미치는 pH와 溫度 및 酸化還元電位의 再現性에 대하여 評價하였다.

水道原水의 不連續点附近에 있어서의 酸化還元電位의 檢出은 不連續点適定曲線의 作成에 의하여 이루어졌으며, 이로 인하여 本方法의 鹽素處理制御에의 基本的인 活用可能性이 확인되었다.

1. 序 論

現行의 水資源利用實態는 河川流量(降雨量)의 確率的인 變動에 의한 물의 繼續利用이 어려워져 渴水被害가 發生하는 水量的인 문제와 더불어 水源의 반복이용( 반복적인 下水처리수의 排水 및

上水原水의 取水)에 따른 水質惡化로 水質的인 문제에 직면하고 있다. 이러한 양면으로부터의 문제점을 극복하기 위하여 水道事業體는 i) 現用的 水供給技術體系保存의 필요성에 의한 廣域化 및 ii) 水處理技術의 高度化에 의한 一元화된 水道의 維持에 의한 既 設定의 水質制御目標值

\* (株)新日本技術コンサルタン트 水工部 主任研究員 工學博士

\*\* 大阪府 水道部 水質試驗所 工學博士

달성에 노력하고 있는 실정이다.

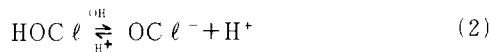
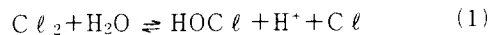
특히, 現行의 急速濾過法에 의한 淨水處理에 있어 必須過程인 鹽素注入에 의하여 變異原性 및 발암성이 인정되고 있는 THM(Tri-halomethane)등의 有機 Halogen 化合物이 生成되어 水道水中에 存在한다는 것이 報告(1)되어, 淨水場에서의 制御技法 確立이 조속히 要求되어지고 있다.

따라서 本研究는 淨水處理課程中 鹽素注入量의 適定制御法의 設定을 目標로 現場性 좋은 酸化還元電位(ORP)法의 적용가능성을 評價하는데 목적을 두었다.

## 2. 原水의 鹽素處理와 THM 生成

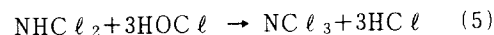
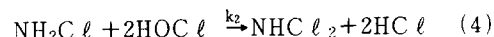
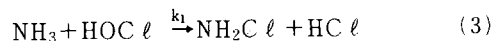
### 2.1 水中의 鹽素反應

鹽素는 水中에서 다음 式과 같은 反應을 이르기 次亞鹽素酸(HOCl) 및 次亞鹽素ion(OCl<sup>-</sup>)를 生成한다.



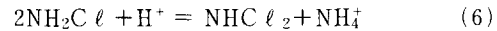
式(2)의 反應은 pH가 높아지면 水中의 OCl<sup>-</sup>濃도가 증가하나, HOCl의 反應성이 OCl<sup>-</sup>의 反應性보다 우월하기 때문에 中性水中에서는 式(1)의 反應이 지배하게 된다.

또한, 水中의 NH<sub>3</sub>는 HOCl과 반응하여 클로라민(chloramine)을 形成하는 鹽素化反應을 次式과 같이 일으키며, 이들 反應은 一連의 競合反應으로서 水中의 pH가 反應을 左右하게 된다.



여기서, NH<sub>2</sub>Cl (Monochloramine)은 pH가 7~9, 鹽素와 암모니아性窒素와의 重量比 5:1

(Cl<sub>2</sub>:NH<sub>3</sub>-N=5:1) 以下에서 生成되고, NHC<sub>l</sub><sub>2</sub>의 生成反應은 PH 4.4~6, Cl<sub>2</sub>:NH<sub>3</sub>-N>5:1에서 最大로 된다.<sup>2</sup> 또한, 低 PH에서는 monochloramine의 分解反應이 일어나 dichloramine의 濃도가 水中에 增加한다.



### 2.2 不連續點反應(Break-point)

NH<sub>3</sub>의 鹽素化反應에 의하여 生成되어지는 Chloramine은 注入되어진 鹽素와 水中의 NH<sub>3</sub>와 一定比(Cl<sub>2</sub>:NH<sub>3</sub>-N=8:1~12:1)에 도달하는 點(不連續點)에 접근하게 되면, dichloramine은 分解되기 쉽게 되며 그 比가 不連續點을 초과하면 遊離鹽素가 존재하게 된다.<sup>3</sup> 그경우 遊離鹽素濃도는 低下하다가 다시 增加하는 것으로 報告되고 있다.

이와 같은 chloramine의 不連續反應機構에 관한 研究는 white 等<sup>4</sup>에 의하여 發表되어지고 있으나 아직 完全히 解明된 단계는 아니다. chloramine의 生成量, 相互變換 및 分解에 의한 Chloramine의 殘存量은 NH<sub>3</sub> 및 HOCl 濃度, PH, 溫度, 反應時間등에 의하여 복잡하게 變化하기 때문에 임의적으로 표현하기 어려우나 概念的으로는 上述한 바와 같다. 따라서, 適定量의 鹽素注入을 위하여는 對象水의 不連續點을 파악하여 鹽素量을 決定하여야 하나, 水中의 窒素量은 時間적으로 變動하기 때문에 不連續點의 實時間檢出은 어려운 실정이다.

### 2.3 鹽素處理와 THE 生成

淨水處理時 鹽素注入에 의하여 THM이 生成된다는 것은 前述한 바와 같으나, 現在 鹽素處理에 의하여 生成되는 有機 halogen 化合物은 THM以外에도 多種·多量있는 것으로 알려져 있다. Fig.1는 現在까지 밝혀진 有機 halogen 化合物(Total organic Halide:TOX)의 構成 및 各生

成物의 毒性(발암성 및 變異原性)을 모식적으로 나타낸 것으로 아직 그 절반 이상이 未知의 상태이다.\* 그중에서 淨水處理에 의하여 發生이 확인되고 있는 TOX로서는  $CHCl_3$ ,  $CHBrCl_2$ ,  $CHBr_2Cl$ ,  $CHBr_3$  등이 고려되며 이들 4種類를 합하여 THM이라고 한다.

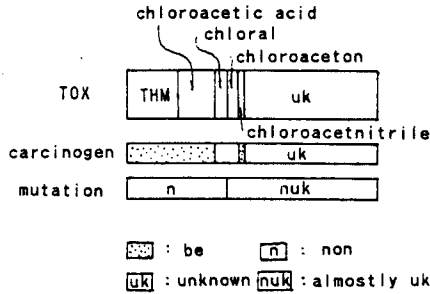


Fig. 1 Characteristic of total organic halide<sup>6)</sup>

水中에서의 THM 生成反應은 Carbonyl/化合物과  $HOC l$  이 反應하는 Haliform 反應으로서 종래부터 알려져 왔으나, 이 Haliform 反應은 一般的으로 反應速度가 늦고, 淨水處理條件(PH 5~9, 鹽素量  $10^{-4}M$ )에서는  $CHCl_3$ (chloroform)의 生成收率이 지극히 낮으므로, 淨水處理의 鹽素反應에 의한 THM의 生成은 그와는 별도의 反應機構가 있는 것으로 알려져 왔다.

THM 生成의 前驅物質로서는 天然의 有機着色成分인 Humic substance 등이 알려져 있으나, 最近下水處理排出水로부터 그 存在가 確認되었다.<sup>7)</sup> 특히 Rook<sup>8)</sup>는 水道水中의 前驅物質인 Fulvic acid 와  $HOCl$  과의 反應으로부터 生成되는 THM 生成構造에 대한 研究결과를 보고한 바 있다.

Fig. 2는 水道原水를 鹽素處理함으로써 生成되어지는 THM 生成量과,  $Cl_2$ 와  $NH_3-N$ 의 重量比와의 關係를 저자가 검토한 것이다. 本實驗의 結果는 原水를 鹽素注入後 밀폐시킨 상태에서  $20^{\circ}C$ 의 恒溫上에서 24時間 保存後 THM值를 얻은 것이다. 水中의 THM 生成量은 殘留鹽素, 즉 Chloramine의 分解와 더불어 增加함을 나타내고

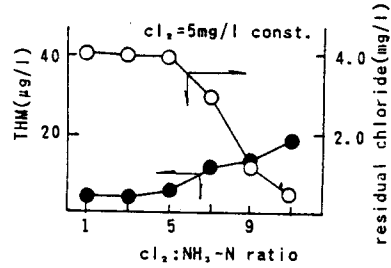


Fig. 2 THM production by chlorination

있다. 이 結果는 寺塢<sup>9)</sup>의 不連續點을 초과한 이후 遊離鹽素가 有機物과 反應하여 THM을 生成한다는 것을 잘 反映하는 것으로 판단되어 진다.

### 3. 水道水源의 水質變動과 鹽素處理의 不確實性

#### 3.1 原水의 本質變動特性

自然河川으로 부터 原水를 取水하는 淨水場은 河川水質變動의 影響을 직접 받게 된다. 原水의 水質特性은 上流域의 土地利用特性 및 都市下水處理場 位置 등에 의한 影響 뿐만 아니라 河川流量에 의해서도 影響을 받게 된다.

河川流量의 水文特性에 의한 河川水質變動은 長期的의 現象으로서 나타나게 되며 水質의 年 및 月變化, 특히 渴水에 의한 水質惡化가 그 例이다.

表 1은 本研究에서 對象으로 한 淨水場 水原의  $NH_3-N$ , 全有機物濃度(TOC)의 月變動을 나타낸 것이다.

한편, 水質變動의 단기적 特性은 河川 上流域에 있어서의 반복적 河川水利用, 특히 下水處理의 排出時間特性에 따른 汚濁負荷의 日變動을 들 수 있다.

現行의 下水處理는 生物學的 方法에 의한 2次處理가 中心으로 이루어 지고 있음으로, 河川水質의 日中 時間變動에 미치는 下水處理排出水에 의한 窒素 및 인의 排出影響은 크다고 할 수 있

Table 1. Monthly water quality Record in 1987<sup>a</sup> (mg/ℓ)

Month	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	Max	Min	Avg
NH <sub>3</sub> -N	0.27	0.21	0.24	0.08	0.08	0.10	0.20	0.24	0.45	0.55	0.64	0.56	1.21	0.00	0.30
TOC	2.9	2.4	2.7	2.7	2.7	2.8	2.7	3.0	4.0	3.6	3.1	3.0	4.3	2.3	3.0

Table 2. Water quality variance in storm

Sample date		10/16	10/17	10/17	10/17	10/17	10/17	10/18	10/18	10/19
Time		14:00	2:00	8:00	12:00	14:00	16:00	0:00	16:00	8:00
TOC(mg/ℓ)		3.7	3.9	2.7	2.5	3.4	8.4	5.3	3.3	2.7
DOC(mg/ℓ)		3.1	2.2	2.0	2.2	2.3	3.1	3.1	2.9	2.1
THMP (μg/ℓ)	Total	82	77	88	123	212	173	126	92	83
	CHBrCℓ <sub>2</sub>	11	10	12	13	13	12	11	10	14
	CCℓ <sub>3</sub> NO <sub>2</sub>	0.4	0.9	2.5	2.5	5.2	4.9	3.4	1.8	2.3
d-THMP (μg/ℓ)	Total	65	63	65	71	101	114	94	77	-
	CHBrCℓ <sub>2</sub>	11	11	11	12	12	11	11	11	-
	CCℓ <sub>3</sub> NO <sub>2</sub>	2.3	0.8	0.9	2.5	3.6	4.4	2.6	2.1	-
TOXP(μg/ℓ)		424	451	339	474	741	1818	1020	686	384
d-TOXP(μg/ℓ)		300	238	-	332	242	331	-	328	226
E <sub>260</sub>		0.044	0.043	0.040	0.042	0.051	0.102	0.121	0.088	0.059

다.

下水處理水中的窒素, 인의 영향 以外에도, 降雨流出에 따른 流域의 面源(Non-point Source pollution)으로 부터의 負荷流出量에 의한 영향도 무시 될수 없다.

表 2는 降雨流出에 따른 對象原水의 水質特性的 時間的 變動特性을 分析한 結果이다.

특히 Fig. 3은 THM 前驅物質(THMD)濃도와 波長 260nm, cell 厚 10mm에서 試料의 吸光度(E<sub>260</sub>) 및 TOC 과의 關係를 나타낸 것이다.

### 3.2 鹽素處理의 不確實性

現行的 淨水處理에서 一般的으로 使用되고 있는 急速濾過法에서는 鹽素注入法의 本來 目的인 原水中之 殺菌目的以外에 殺菌에 必要한 鹽素를 소모하는 NH<sub>3</sub>-N 의 除去, Mn의 酸化, 濾過閉塞 防止 등의 目的으로서 前鹽素處理를 導入하고 있다.

前述한 바와 같이 原水中 高濃度の NH<sub>3</sub>가 포

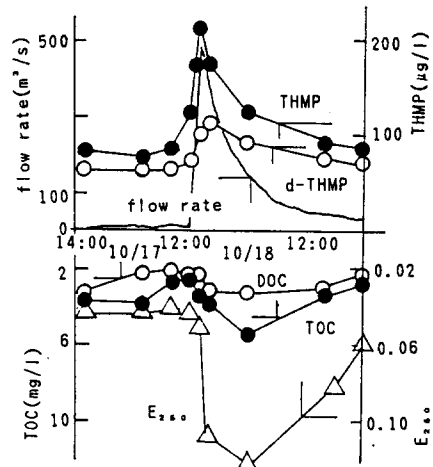


Fig. 3 Organic compounds runoff in storm

함되어 있을 경우에는 그 濃도에 비례하여 多量의 鹽素를 주입할 必要가 있다.

實際 NH<sub>3</sub> 除去를 目的으로 前鹽素處理를 하고 있는 淨水場에는 經驗적으로 Cl<sub>2</sub>:NH<sub>3</sub>-N=3:1의 濃度比로서 Cl<sub>2</sub>를 注入하고 있다는 報告가 있다.<sup>12)</sup> 그러나, 原水의 水質特性은 時間的 및

空間的 特性에 따라 動的인 것은 前項에서 언급한 바와 같다.

또한 과잉한 鹽素處理는 THM 의 生成可能性을 增加시키는 結果를 초래하게 되므로, 보다 安全한 淨水成果의 달성을 위하여는 對象原水의 水質變動에 實時間的으로 對應할 수 있는 適定鹽素注入法의 開發이 要求되어 지고 있다.

따라서 上記와 같은 경위를 考慮할 때, 現行의 淨水處理技術體系에 導入이 용이하며, 水中의 鹽素反應의 化學的 特性을 活用한 酸化還元電位法(ORP法)과 같은 制御法의 應用化가 필요하다.

#### 4. ORP法에 의한 鹽素注入制御可能性의 檢討

##### 4.1 ORP法의 特徵

鹽素處理는 原水中的의 還元性物質( $\text{NH}_3$ , 有機物 등)을 강력한 酸化劑인 活性鹽素로서 酸化시키는 處理이므로, 넓은 意味로서의 酸化還元反應이라고 할 수 있다.

따라서 酸化還元電極(Pt, Av)을 使用하여 原水의 酸化還元 過程을, 酸化還元電位(ORP) 把握하는 것이 原則的으로 可能하다.

즉, ORP法은 原水中的의 遊離鹽素가 급증하게 됨에 따라서, 溶液中的의 電位가 酸化(+側)으로 급격히 上昇하는 原理를 利用하여 鹽素反應의 不連續點을 파악하는 方法이다.

단, 原水中에는 各種의 還元性物質이 포함되어 있으며, 그중에는 鹽素反應이 지극히 늦은 物質도 存在함으로서 完全한 酸化還元을 適定하는 데는 長時間이 必要로 된다.

따라서 短時間 단위로 ORP法을 實用化하기 위하여는 이와 같은 限界를 인식, 극복하여 무언가 酸化還元反應을 急속진 시키든지(예를 들면, PH, 溫度 등), 또는 未完了의 酸化還元反應을 解析的으로 利用하는 方法을 確立할 必要가 있다.

本 研究에 있어서는 i)酸化還元適定에 미치는 PH, 溫度의 영향 效果, ii) 不連續點檢出의 精

度, iii) 低溫時의 不連續點 注入에 있어서의 活性鹽素의 時間推移에 관하여 論述한다.

#### 4.2 ORP法의 實驗概要

##### 4.2.1 實驗裝置

本 研究實驗에는 Fig.4과 같은 裝置가 使用되었다. 電位差計로서는 ORION社製 PW-9421 PH meter (內部抵抗  $10^{15}\Omega$ ), 記錄用의 Recorder로서는 (株)日立製作所의 HITACHI 200, 電極으로서는 Philips社의 複合電極(Am V.S. Ag/Agcl, Kcl 3M)을 使用하였다.

또한 全電極表面에는 鹽素水의 강한 酸化作用에 하여 酸化膜이 生成되어, 適定終了후, 초기의 電位로 회복되지 않으므로 適定終了마다 電極表面을 還元劑인  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ (5 wt%)로 洗淨하였다.

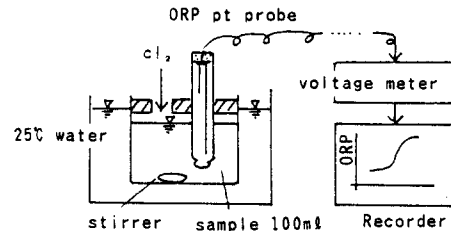


Fig.4 Experimental apparatus set up

##### 4.2.2 實驗方法

實驗은 크게 i)鹽素의 酸化還元反應에 미치는 PH, 온도의 영향 效果 ii)  $\text{Cl}_2/\text{N}$  比에 의한 適定曲線의 不連續點檢出의 2部分으로 實施되었다.

먼저, ORP에 미치는 PH와 溫度의 영향에 관한 檢討는 反應器에 次亞鹽素液 0.5mg/e를 매 30 초마다 첨가하면서 5~7分間 反應시켰다.

또한  $\text{Cl}_2/\text{N}$  比에 의한 不連續點檢出實驗에는, 理想系(純水系)와 實驗系(水道原水)의 比較, 鹽素水添加方法의 檢討 및 鹽素ion 濃度一定系에서의 酸化還元電位, 遊離活性염素ion의 濃度變化를 把握하기 위하여 表3 과 같은 3種類의 實驗을 實施하였다.

Table 3. Experimental Conditions

Ex.No.	Sample	NH <sub>4</sub> Conc*	Chlorine ID	pH
1	P.W+NH <sub>4</sub> Cl	6.0 × 10 <sup>-3</sup>	S.C**	6.86
2	S.W****	2.57 × 10 <sup>-3</sup>	S.C	6.92
3	P.W+NH <sub>4</sub> Cl	6.0 × 10 <sup>-3</sup>	B.T****	6.86

\* Unit : (mol/ℓ)                      \*\*\* Batch type  
 \*\* Semi-Contineous type            \*\*\*\* Stream Water

不連續點의 計測은 純水系(NH<sub>4</sub>濃度 0.6 × 10<sup>-3</sup> mole)를 使用하여 鹽素水添加에 따른 遊離 및 殘留鹽素濃度變化測定에 의하여 얻어 졌다.

遊離 및 殘留鹽素濃度の 分析은 Standard Method의 DPD법에 준하여 실시하였다.

4.3 實驗結果 및 考察

4.3.1 ORP에 미치는 PH, 溫度의 영향

Fig. 5는 原水(NH<sub>3</sub>-N 濃度 0.06mg/ℓ)에 注入되는 누적 Cl<sub>2</sub>농도에 대한 ORP(mv)의 變化에 미치는 PH의 影響을 나타낸 것이다. 實驗은 25℃ 下에서 PH를 6.0, 7.0, 8.0 으로 Cl<sub>2</sub> 누적농도를 不連續點까지 添加시켰다.

Cl<sub>2</sub> 注入量에 따른 ORP의 變化는 약산의 PH 6.0의 경우가 가장 빠른 上昇을 보이다가 不連續點附近에 도달함에 따라서 比較的 완만한 增加를 보이고 있다.

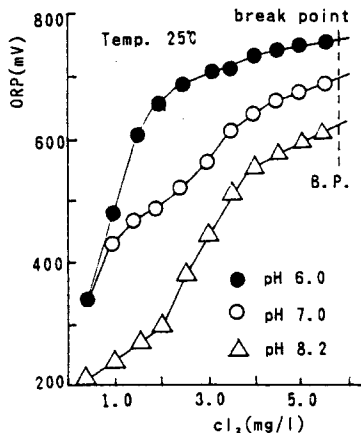


Fig.5 Effect from different pH conditions

이는 酸性의 水中에 Cl<sub>2</sub>를 계속적으로 注入함으로 인하여 反應式(1)에서 보인 바와 같이 HOCl 및 HCl의 生成에 따른 結果라고 볼수 있다. 또한 不連續點附近에서 ORP의 완만한 增加는 反應式(6)에서 보인 바와 같이 低 PH에 따른 NH<sub>2</sub>Cl 과 H<sup>+</sup>의 反應에 의하여 H<sup>+</sup>ion의 소모가 그 원인으로 판단되어진다.

PH 8.2의 경우는 Morris<sup>3</sup>가 報告한 mono-chloramine의 生成速度定數가 最大로 되는 條件(25℃, PH 8.3)을 잘 만족시킴으로서 NH<sub>2</sub>Cl 生成反應(式(3))이 活潑이 進行되다가 계속적인 Cl<sub>2</sub> 주입으로 인하여 水中의 遊離鹽素의 농도증가와 더불어 ORP가 급격히 增加한 것으로 판단되어진다.

특히 높은 PH의 影響으로 HOCl이 式(2)의 反應을 일으켜 ORP의 主要原因인 OCl<sup>-</sup> 농도가 반응을 지배한 것으로 판단된다.

또한 Fig.6 은 PH 8.2, NH<sub>3</sub>-N 濃도 0.60mg

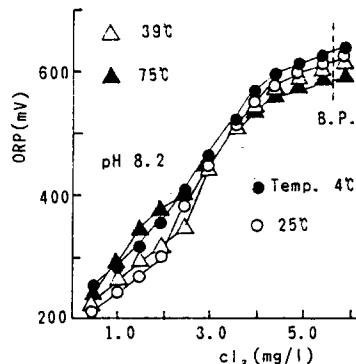


Fig.6 Effect from different temperature conditions

/ℓ의 原水에 添加되는  $Cl_2$ 量과 ORP과의 관계에 미치는 温度의 影响을 檢討한 結果이다.

결과로부터 温度變化에 따른 ORP 變化는 크게 나타나지 않으나 不連續点附近에 있어서는 작은 電位差이지만 低温일수록 높은 電位를 나타내고 있다.

4.3.2 ORP에 의한 不連續点檢出의 精度

對象原水의 本質變化에 따라서 鹽素反應의 不連續点이 變動하는 것을 前述하였다. 本項에서는 原水의 水質變化에 따른 不連續点變化를 ORP法에 의한 檢出의 精度를 評價하도록 한다.

實驗은 서로 다른 세 경우의 原水에 대하여 그 不連續点附近에 있어서는 ORP變化를 測定, 比較하였다.

대상原水는 同一場所에서 3日間に 걸쳐 取水하였으며, 原水中の  $NH_3-N$  濃度는  $0.42mg/l$   $0.60mg/l$  까지의 범위였다. 實驗은 PH 7.0, 水温  $25^\circ C$ 에서 實施하였으며 不連續点에 있어서는 各試料의 鹽素濃度는 각각  $5.1mg/l$ ,  $7.1mg/l$ ,  $5.9mg/l$ 로 측정되었으며 그 結果를 Fig.7에 나타내었다.

不連續点附近의 電位變化로부터 i) 세 경우 모두 不連續点에서의 전위(ORP)는 약  $685mV$ 附近에 머물고 ii) 不連續点에서의 電位變化가  $30mV/1mg/l - Cl_2$  라는 것이 밝혀 졌다.

4.3.3 低温下 不連續点注入에 있어서는 活性 鹽素의 時間推移

實驗은  $6.0^\circ C$ 에서 PH 7.0과 8.0에 대하여 實施하였으며, Fig.8(a)와(b)는 그 結果이다.

PH 7.0 에서는 鹽素添加後 10分間에 遊離鹽素(그림 中에는  $F-Cl_2$ )가 急減하는 반면, chloramine(그림 中  $FCl_2-F-Cl_2$ )이 增加하고, 그후 모두가 減少함을 나타내고 있다.

PH 8.2에서는 鹽素增加後 25分間에 遊離鹽素가 減少하고 附近에서 chloramine 의 出現이 확

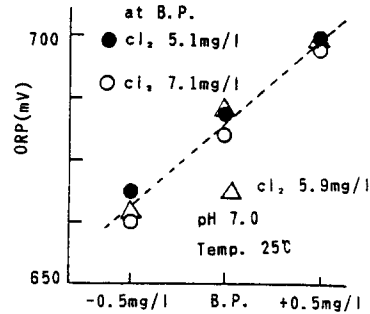
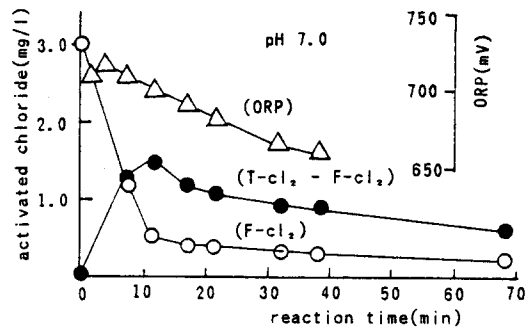
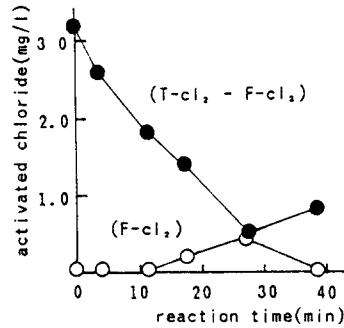


Fig.7 Recurrence of ORP method



(a)



(b)

Fig.8 Effect from low temperature condition

인 되고 있다. 以上の 結果로부터, 低温( $6^\circ C$ )下에서 PH差(7.0과 8.0)에 의한 chloramine 反應速度의 差가 현저히 나타났으며, 특히 PH가 높은 경우가 더욱 큰 影响을 받아 反應이 늦어지는 것이 定性的이나마 判明되었다.

4.3.4 不連續 適正曲線의 檢出 並

實驗의 結果는 各  $[Cl_2]/[N]$  比에 대하여서

電位差의 反應時間에 따른 變化를 Fig. 9와 같이 整理하였다. 또한 Fig. 10 (a), (b), (c)는 測定된 電位差 및  $[Cl_2]/[N]$  比를 좌표축으로 경과 時間에 따른 酸化還元適定曲線을 作成한 것이다.

鹽素水添加 2分後에는 純水溶液(實驗No. 1과 3) 및 原水(實驗No. 2) 모두 酸化還元電位(그림中  $E_1$ ) V. S.  $[Cl_2]/[N]$  曲線에 變曲點(實驗 1과 3의 경우, 不連續點의 理論值 1.5와 實驗值 가 잘 일치)이 분명히 나타나 있다. 이들 曲線은

鹽素의 分割添加(Semi-continuous type feeding) 및 一括添加(Batch type feeding)에 관계없이 거의 同一한 결과를 나타냈다.

더욱, 세 경우 모두 酸化還元適定曲線의 變化點이  $E_1=650-750mV$ 의 범위 內에 存在하는 것이 입증 되었다.

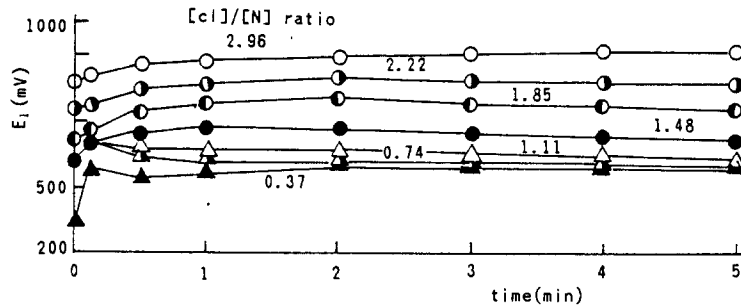


Fig. 9  $E_1$  V. S. reaction time(experiment No. 1)

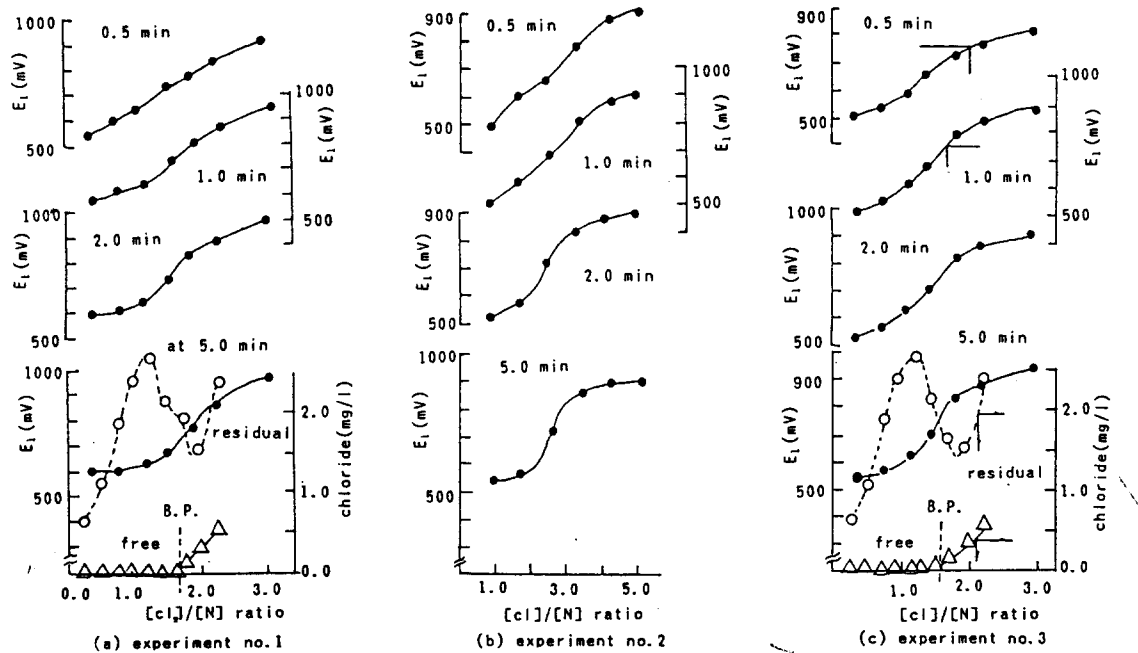


Fig. 10 Break-point titration curves



## 5. 結 論

本 研究는 原水의 水質變動을 考慮한 淨水場의 適正鹽素注入制御手法의 開發을 위하여 酸化還元電位(ORP)法의 適定可能性을 基礎的으로 檢討한 것이다. 아직 많은 研究課題는 남아 있으나, 現段階까지 얻어진 主要한 結果는 다음과 같다.

1) 原水의 鹽素處理에 의한 THM 生成可能性은 水質變動의 影響을 크게 받으므로 水質變動特性에 對應한 適定元素量의 注入이 要求된다.

2) 原水의 鹽素處理에 의한 酸化還元反應에 미치는 環境的 要因으로서 溫度보다는 PH差가 더욱 중요하다.

3) 一定의 PH 및 溫度環境下에서, 原水의 鹽素化 反應의 不連續點附近에 있어서 酸化還元電位의 再現性은 충분한 유의 범위내에 存在하였다.

4) 對象原水의 鹽素反應 不連續點 檢出에 酸化還元電位法의 實用的 活用可能性의 確認되었다.

## 參考文獻

1. Rook, J.J. (1974) *Formation of Haloforms during chlorination of Natural Water*, Water Treat. Exam., Vol. 23, pp. 234-243.
2. Wolfe, R.L., Ward, N.R., Olson, B.H., (1984) *Inorganic chloramines as Drinking Water Disinfectants: A Review*, JAWWA, Vol.76, No 5, pp.74-88.
3. 寺嶋勝彦, 井川 清, 鹽素と アンモニア 性窒素의 反應(2), 大阪市水道局工務部水質試驗所調査報告 並びに 試驗成績 第33集, pp. 44-52, 1981.
4. White, G.C., (1972) *Handbook of chlorination*, Van Nostrand Reinhold Company, New York, London, pp.199-200
5. Isomura, Y. (1967) *Comparative Measurement of combined Residual chlorine around the Break-point*, Bulletin of the chemical Society of Japan, Vol.40, pp.835-842
6. 中西 準る, いのちの水-新しい汚染にとり立ち向かうカー-, 讀賣科學選書 26, 讀賣新聞社, 1990.
7. 長谷川一夫ら, "鹽素處理による 有機化合物의 ワロロホルム生成特性", 本質汚濁研究, Vol.6, pp. 151-160, 1983.
8. Rook, J.J. (1977) *Chlorination Reactions of Fulvic Acids in Natural Water*, Environ. Sci. Technol., Vol.1, pp.478-582.
9. 大阪府 水道部(1987), 水質試驗成績 並びに 調査報告, 第 28集,
10. 河成龍(1989), 都市非点源汚濁負荷의 流出機構に關する研究, 大阪大學學位論文,
11. 齊藤方正(1988), 市街地, 林地に おけぬ 有機ハロケン化合物前驅物質의 降雨時發生機構, 日本, 水道協會誌 第 57卷, 第 7毫, pp. 33-41,
12. Barrett, S.E., Davis, M.K., (1985) *Blending Chloraminated and Chlorinated Waters*, J. AWWA, Vol.77, No.1, pp.50-61.
13. Morris, J.C., (1967) *Kinetics of Reactions between Aqueous chlorine and Nitrogen Compounds*, Principales and Hpplications of water chemistry edited by S.D. Faust & J.V. Hunter, pp.23-53, John Wiley and Sons, Inc.