

Polyethylenimine을 利用한 Humic Acid의 凝集效果에 關한 研究

細 菌 科
全 在 植

Studies on Coagulation Effect of Humic Acid by Polyethylenimine

Microbiology Division

Jae Sik Jeon

—Abstract—

For the purpose of examining coagulation effect of polyethylenimine about humic acid, Jar-Tests have been performed to humic acid solution. Absorbance and TOC of treated waters were measured by spectrophotometer and TOC analyzer respectively. And chloroform formed by chlorination was measured, too.

The results obtained are as follows:

1. Humic acid was precursor of chloroform formation.
2. Reductions in absorbance and chloroform formation were generally greater than the corresponding decreases in TOC. Polyethylenimine coagulation was effective in removing color of humic acid.
3. A stoichiometry existed between the initial humic acid concentration and the optimum dose of polyethylenimine (The optimum dose of polyethylenimine for TOC 10mg/l was 8mg/l and for TOC 5mg/l it was approximately 4.2mg/l).
4. Good removal of humic acid occurred in the pH range of 5.0~6.0 for the polyethylenimine. Overdosing with coagulant resulted in restablization of humic acid at pH 6.
5. Aluminum combined with polyethylenimine was effective coagulation process for humic acid than polyethylenimine alone.

緒 論

最近 Rook¹⁾, Steven²⁾ 등 여러 研究者들은 腐蝕物質 (humic substance)을 含有하고 있는 물을 鹽素處理하게 되면 發癌物質로 알려진 클로로포름 등의 trihalomethane(以下 THM이라함)이 形成된다고 보고하였고 腐蝕物質을 THM 生成의 原因物質로 推定하였다. 이때 부터 THM을 減少시키기 위한 水處理過程의 開發이 많은 研究 對象이 되어왔으며, 1979年 美國 環境保護廳(USEPA)은 飲料水中의 THM 濃度の 規制基準을 100 μ g/l로 設定하였다.

腐蝕物質이 含有되면 물은 着色을 하게되며 이 物質은 植物의 腐敗로 부터 生成되고 下水處理水, 糞尿處理水, 産業廢水 및 家庭下水 등에도 存在하고 있다.^{3)~5)} 그리고 腐蝕物質은 自然水 중의 Total Organic Carbon (以下 TOC라함)의 매우 큰 部分을 차지하고 있다.⁶⁾ 따라서 色도와 TOC는 腐蝕物質의 濃度로 나타낼 수 있으며 THM의 生成能과 相關성이 큰 汚染指標가 되고 있다.

腐蝕物質은 酸과 알칼리에 대한 溶解性에 따라 humic acid, fulvic acid, humins로 分類될 수 있으며 이들은 構造의으로는 비슷하나, 分子量과 作用基를 달리하고 있다.⁷⁾⁸⁾ fulvic acid보다 分子量이 크며 알칼리에는 녹

으나 酸에는 녹지 않는 휴민酸(humic acid)은 resocinol, quinone, aromatic carbonic acid 및 amino acid 등이 縮合된거대한 無定形의 分子構造를 갖고 있는 것으로 알려져 있다.⁹⁾¹⁰⁾

THM을 減少시키기 위한 方法으로는 鹽素處理 대신에 오존처리 方法이 있으나 持續的인 殺菌效果가 없으며 活性炭에 의한 吸着處理方法은 效果는 認定되나 凝集處理에 비해서 投資費가 많이 들고 單位操作상 많은 裝置를 必要로 하는 短點을 갖고 있기 때문에 凝集에 의한 方法에 보다 많은 研究가 進行되어 왔다.^{12)~17)}

한편 水中에서 官能基의 解離狀態에 따라서 陽이온性, 陰이온性 및 非이온性으로 구분되는 有機高分子 凝集劑는 化學工業에서 澄清劑 및 濾過助劑로서 이용되며 또한 釀造 工業에서는 澄清劑로, 그리고 皮革工業에서는 Tannin과 脫離蛋白質의 處理劑 또는 骨材生産에서 發生되는 탁한 水와 鑛山廢水의 處理 및 選鑛에서의 選擇凝集分離와 土壤改良劑로서 利用되고 있으며 그의 凝集作用에 대하여는 粒子의 反發要因이 되고 있는 表面電荷(zeta potential)를 低下시켜 電荷中和된 粒子間의 架橋吸着設이 제일 有力하다.¹⁸⁾¹⁹⁾

本 研究에서는 有機高分子인 폴리에틸렌이민은 單獨使用과 알루미늄과의 併用に 의해서 Jar-Test를 實施하여 THM의 原因物質의 하나로 알려진 휴민酸에 대한 凝集除去의 效果를 究明하는데 그 目的을 두었으며, 또한 比較實驗을 目的으로 알루미늄 만을 사용한 Jar-Test도 實施하였다. 그리고 THM形成의 중요한 代用 parameter로서 色도와 TOC를 測定하였고 凝集處理된 물을 鹽素와 反應시켜 生成된 클로로포름을 測定하여 이를 色도 및 TOC와 比較, 檢討하였다.

實 驗

1. 試料 및 試藥

- 1) Polyethylenimine : 和光純藥工業(株) 製(日本)
M.W. : 70000 Specific Gravity(20/4°C) : 1.04~1.05
- 2) Humic acid : 東京化成工業(株)製(日本)
- 3) Aluminum Sulfate : $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14 \sim 18H_2O$ 藥理化學(株)製(日本)
- 4) Chloroform standard : 和光純藥工業(株) (日本)
- 5) Sodium thiosulfate : 關東化學(株) (日本)
- 6) Sodium hypochlorite : 伸陽化學(株) (日本)
- 7) Hexamethylenetetramine : 純正化學(株) (日本)
- 8) Hydrazine sulfate : 伸陽化學(株) (日本)

2. 器機 및 裝置

- a) Jar Tester : 第一理化器機(株) (韓國)
- b) UV-visible spectrophotometer : Model UV-120-02 Shimadzu 製(日本)
- c) Turbidimeter : Orbevo-Hellige 製(美國)
- d) TOC (Total Organic Carbon) Analyzer : Model WQA-805-DS4 製(日本) Toray
- e) GC (Gas Chromatography) : Model 3700 Varian 製(美國)

3. 實驗方法

本 實驗에 使用된 휴민酸 stock solution은 휴민酸 2g을 0.1N NaOH 300ml에 添加하여 48時間 동안 攪拌하여 녹인후 증류수를 加하여 1l로 하고 4°C에서 保存하였으며, 使用時 0.45 μ m membrane filter로 여과하여 pH7로 조절한 다음 TOC濃度(mg/l)를 測定하였다. 實驗에 使用된 合成水의 特性을 Table 1에 表示하였다.

폴리에틸렌이민은 회석하여 1000mg/l의 濃度로 만들어서 使用하였으며, 알루미늄은 黃酸알루미늄 10g을 증류수로 녹여서 1l로 하여 알루미늄의 濃度를 定量한 후 stock solution으로 使用하였다.

凝集을 위한 Jar-Test 操作에 있어서는 알칼리도를 유지시키기 위하여 $NaHCO_3$ 를 100mg/l($CaCO_3$ 로서)씩 添加하여 전체용적을 1l로한 合成水를 急速攪拌하면서 凝集劑를 濃度別로 添加한 後 HCl 및 NaOH로 pH를 조절 하였으며 本 實驗에서의 攪拌條件은 Table 2와 같다. 알루미늄과 폴리에틸렌이민을 併用할 경우는 알루미늄을 添加하여 약 2分間 急速攪拌後 폴리에틸렌이민을 添加하고 30秒동안의 急速攪拌을 추가하므로써 폴리에틸렌이민을 擴散시켰다.

Jar-Test操作이 끝난 후 沈澱된 flocc이 부서지지 않도록 주의하여 攪拌器를 꺼내고 上澄水를 비이커에 200ml 정도 취하여 pH를 測定하고, Standard method²⁰⁾에 의해서 制限한 濁度 標準液으로부터 濁度를 測定하고, 나머지 處理水를 0.45 μ m membrane filter로 여과한 후 일부는 NaOH로서 pH를 11로 맞추어 430nm에서 吸光度를 測定했으며, 그 나머지 處理水는 pH 7로 맞추어서 TOC 測定과 클로로포름 定量에 使用하였다.

클로로포름은 Head space法²¹⁾으로 定量하였으며 GC의 條件을 Table 3에 나타내었다. pH 7로 맞추어진 處理水를 15ml 取하여 容量 20ml GC用 vial에 넣고 고무 마개를 하고 알루미늄 캡으로 密栓한 後 미리 準備된 sodium hypochlorite stock solution을 o-Tolidine 法²⁰⁾으로 有效 鹽素濃度를 測定하여 $Cl_2/TOC=5$ 가 되도록 液體鹽素를 micro syringe를 使用하여 주입한 후 강하게 진탕하여 20°C의 恒溫槽에 넣고 96時間동안 靜

Table 1. Characteristics of synthetic water.

TOC(mg/l)	10
pH	7.0
Alkalinity(mg CaCO ₃ /l)	100
Absorbance(430nm)	0.20
CHCl ₃ (μg/l)	750
Turbidity(NTU)	0.8

Table 2. Condition of agitation with Jar-Tester.

Rapid mixing	2min. (120rpm)
Slow mixing	30min. (30rpm)
Settling	40min.

Table 3. Gas chromatography condition of CHCl₃ analysis.

GC	Condition
Column size	2m × 3mm glass column
Column packing material	Silicone DC 550 10% on Chromosorb W (AW-DMCS) 80-100 mesh
Injection temp.	200°C
Detect temp.	300°C
Column temp.	50°C
Detector	ECD
Carrier gas flow rate	N ₂ , 60~80ml/min
Attenuator	32

置시켰다. 96時間 경과후 反應을 중지시키기 위해서 sodium thiosulfate를 주입한 chlorine量 만큼 주입하여 殘留鹽素를 除去시키고 기체부분을 取하여 GC에 주입하여 클로로포름 標準液으로 作成한 檢量線으로부터 클로로포름을 定量했다.

本 實驗에서 使用된 휴민酸은 브롬化合物이 存在하지 않았으므로 브롬으로 인한 할로포름은 檢출되지 않았다.

結果 및 考察

1. 알루미늄에 의한 휴민酸的 凝集效果

Table 1에 表示한 휴민酸 合成水에 알루미늄의 濃度를 變化 시키면서 添加하여 pH 6에서 Jar-test를 實施한 結果를 Fig. 1에 色度의 除去率과 그에 따른 濁度의 變化로 나타내었으며, Fig. 2에는 色度 除去率과 TOC 除去率을 比較하여 나타내었다. 또한 Fig. 3에는

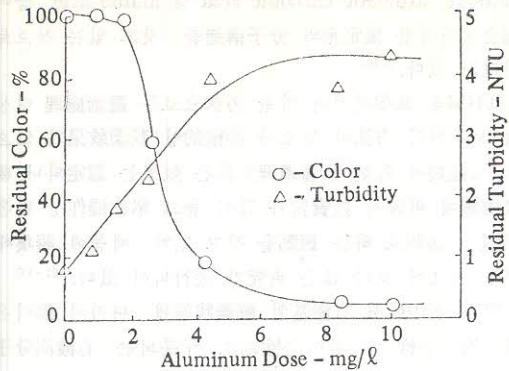


Fig. 1. Effect of aluminum coagulation on color removal from humic acid solution at pH6 : TOC 10mg/l.

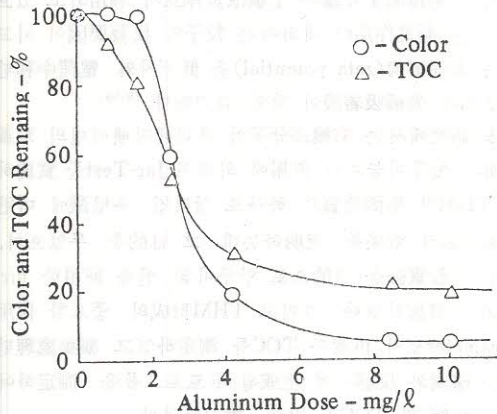


Fig. 2. Effect of aluminum coagulation on color and TOC removal from humic acid solution at pH6 : TOC 10mg/l.

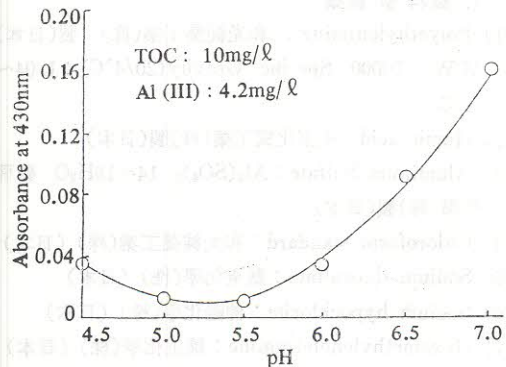


Fig. 3. Effect of pH on coagulation of humic acid by aluminum.

알루미늄 4.2mg/l의 농도에서 pH를 변화시키면서 Jar-test를 실시한 결과를 나타내었다.

Fig. 1에서 알 수 있는 바와 같이 색도가 감소됨에 따라서 탁도는 증가되었다. 즉 알루미늄 1.68mg/l까지는 색도의 감소가 거의 없었으나 2.52mg/l 추가로 42%가除去되고, 4.2mg/l 추가로 82%가除去되었으며 8.4mg/l, 10.1mg/l에서 90% 이상이除去되었다. 반면에 탁도는 색도의 감소에 따라서漸次增加되어 알루미늄 4.2mg/l의 추가에서 4.1NTU로 나타났다.

알루미늄에 의한 휴민酸的凝集除去 mechanism은 carboxyl基 및 phenol基의 함유때문에陰의表面電荷를 띠고 있는 휴민酸이高度로荷電된 soluble aluminum species(Al^{3+} , $AlOH^{2+}$, $Al(OH)_3$, $Al_2(OH)_2^{4+}$ 등)와의直接沈降과 aluminum hydroxide($Al(OH)_3(S)$)의吸着으로說明될 수 있다.⁸⁾²³⁾ 즉 粒子의反發作用에 의해分散되어安定한狀態에 있던 휴민酸은알루미늄의添加로인해서表面電荷가中和되므로서粒子間의결합을일으키기 쉽게하는 것으로 생각되며 크게形成된 floc은式(1)에表示된 stokes' 法則에 의해서自然沈降하며 微細하게形成된 floc은浮遊하여 탁도로 나타남을 알 수 있다.

$$Vg = \frac{1}{18}(\rho - \rho_0) \frac{d^2}{\mu} g \dots\dots\dots(1)$$

여기서 Vg : 沈降速度

ρ : 固體粒子的比重

ρ_0 : 液體의比重

d : 固體粒子的直徑

g : 重力加速度

μ : 液體의動粘性係數

Fig. 2에서 볼 수 있는 바와 같이 색도는 알루미늄 1.68mg/l의 추가까지變化가 없었으나 2.52mg/l에서부터 현저한減少를 보인 반면 TOC는 초기부터 서서히減少되어 알루미늄 4.2mg/l에서 70%의減少를 보였고 8.4mg/l에서는 80%의除去를 보였다. 전반적으로 색도의除去率에 비하여 TOC의除去率이 낮게 나타났다.

Edzwald등²²⁾은 휴민酸的凝集處理時過度한 量의 黃酸알루미늄添加는 오히려再安定이 일어난다고 보고한바 있으나, 本實驗에서는再安定을觀察하지 못하였다. 그 이유는再安定을 유발 시키기에 못미치는 알루미늄量的添加 때문으로 생각된다.

Fig. 3에서 볼 수 있는 바와 같이 알루미늄 4.2mg/l에 의한 휴민酸的色度除去率은 pH 6에서 82%이었으나 pH 5.0, 5.5에서 90% 이상을除去할 수 있었다 반면에 pH 6.5이상에서는 55%이하로除去되었다. 즉

적은 量의 알루미늄 使用으로 휴민酸的 좋은 除去效果를 얻기 위해서는 pH 6이하의 낮은 pH범위에서操作이 이루어져야 할 것으로 생각된다.

2. 폴리에틸렌이민에 의한 휴민酸的凝集特性

1) 폴리에틸렌이민의 單獨效果

Fig. 4에는 Table 1에 表示한 휴민酸合成水를 폴리에틸렌이민(PEI)의濃도를變化시키면서 pH 6에서 Jar-test를 실시한 결과를色度の除去率과 그에 따른 탁도의變化로 나타내었다. PEI 5mg/l 추가로色도가 70% 除去되었으며 8mg/l로 90% 이상이除去되었으나 PEI 10mg/l 추가부터는色度除去率을 오히려減少시켰다. 탁도는 초기부터 점차 증가되어 PEI 10mg/l 추가에서 4.5NTU로 가장 높았으나 이후부터減少되었는데 이것은 휴민酸이過剩의 PEI添加로인해서不安定했던狀態에서 다시再安定 되기 때문에 일어나는 현상으로 생각된다.

高分子를 使用한 凝集處理時 floc 形成率에 대해서는式(2)로 나타낼 수 있다.²⁴⁾

$$-d\gamma_0/dt = k\gamma_0^2\theta(1-\theta) \dots\dots\dots(2)$$

여기서 γ_0 : 初期粒子的數

k : floc形成速度常數

θ : 高分子에 의해서占有된粒子的表面

이式에서 $\theta=0.5$ 일 때 floc 形成率이 최적이며 $\theta < 0.5$ 일 때 架橋作用을 위한 高分子量的 부족을 나타내며 $\theta > 0.5$ 일 때 再安定이 일어나는데 그때의 현상은 高分子凝集劑가過剩으로添加되므로서 粒子的吸着活性點이 모두 덮혀서 架橋作用을 못하고 오히려 保護콜로이드의機能을發揮시켜서 安定된 粒子로 되며 다시分散狀態로 되는 것으로 생각된다.

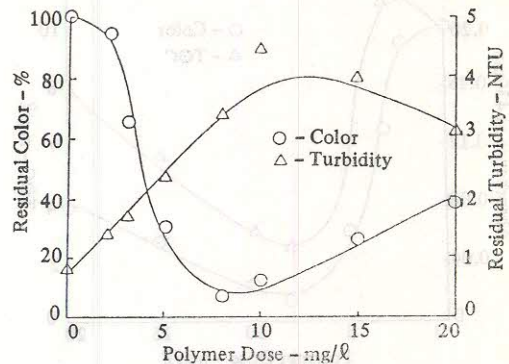


Fig. 4. Effect of PEI coagulation on color removal from humic acid solution at pH6 : TOC 10mg/l.

Fig. 5에는 PEI 8mg/l를 添加하여 pH를 4.5~7.0의 범위에서 變化시키면서 Jar-test를 實施한 結果를 色度の 變化로 나타내었다. 최적 pH 범위는 5.0~6.0으로 알루미늄에 의한 凝集處理時 보다 약간 넓은 범위로 나타났으며 pH 7.0에서는 色度除去率이 현저히 減少되어 35%정도로 나타났다.

cationic polyelectrolytes는 電荷中和와 粒子間의 相互架橋에 의해서 콜로이드가 不安定해 지므로서 凝集이 이루어지며 凝集의 根本이 되는 電荷中和는 휴민酸에 存在하고 있는 carboxyl基가 PEI의 amine group에 의해서 이루어진다.¹¹⁾ 즉 pH가 낮아짐에 따라서 amine group이 陽性子를 받아들여 分子의 陽電荷를 增加시키므로서 휴민酸의 陰電荷를 中和시키나 pH 6.5 이상에서는 휴민酸을 中和시키는데 必要的 陽電荷가 不足하여 좋은 效果를 얻지 못하는 것으로 생각된다.

Fig. 6에는 pH 6에서 Jar-test를 實施한 結果를 色도와 TOC를 比較하여 나타내었다. 전반적으로 色度の

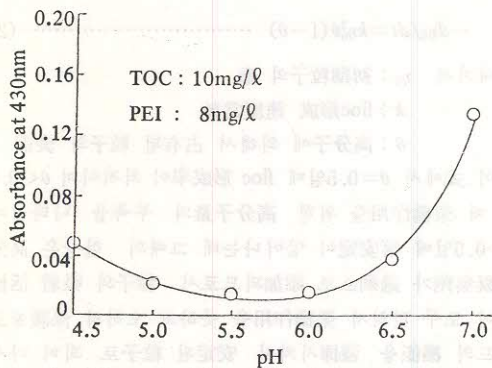


Fig. 5. Effect of pH on coagulation of humic acid by polymer.

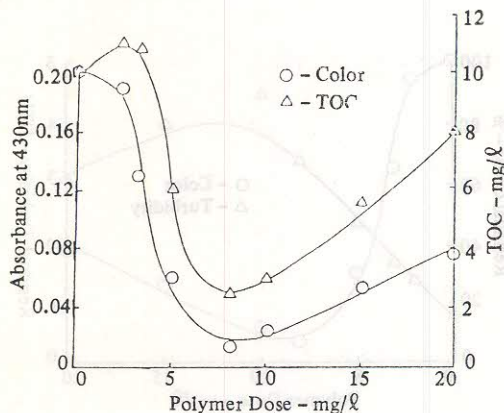


Fig. 6. Effect of PEI coagulation on color and TOC removal from humic acid solution at pH6: TOC 10mg/L.

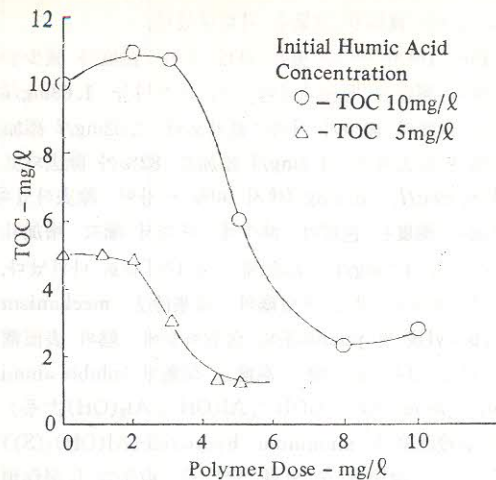


Fig. 7. Stoichiometry of coagulation of humic acid with PEI.

除去率 보다 TOC의 除去率이 낮았음을 보여주고 있으며 凝集初期의 段階에서 TOC의 濃도가 10mg/l를 초과하여 나타났는데 이것은 凝集하는데 作用하지 않은 PEI의 未反應物에 基因하는 것으로 생각되며 여과지 使用한 cellulose filter에서 추출된 有機物質도 影響을 미친 것으로 생각된다.

Fig. 7에는 초기의 휴민酸 濃도를 TOC로 10mg/l와 5mg/l로 하여 Jar-test를 實施한 結果를 나타내었는데 최적 PEI의 濃도는 각각 8mg/l, 4.2mg/l로 나타났는데 이것은 초기 휴민酸의 濃도와 최적 PEI의 농도 사이에 化學量論的 關係가 存在함을 알 수 있는 것이다.

2) 알루미늄-폴리에틸렌아민 的 併用效果

Fig. 8에는 알루미늄 2.52mg/l와 PEI併用に 의한 휴민酸의 不安定과 凝集에 대한 Jar-test 結果를 나타내었다. PEI 3mg/l의 併용으로 色度 95%의 除去를 보였으며 PEI 5mg/l의 添加까지 濁度의 계속적인 增加를 보였다. Fig. 9과 Table 4에는 알루미늄의 濃도와 PEI의 濃도를 달리한 使用效果를 色도와 TOC의 除去率을 比較하여서 나타내었는데 여기서 볼 수 있는 바와 같이 알루미늄 0.84mg/l, 2.52mg/l, 4.2mg/l에서의 휴민酸의 除去에 대한 PEI의 最適濃도는 각각 7mg/l, 3mg/l, 2mg/l로 나타났으며 色도는 90%이상, TOC는 80%이상 除去되었다.

Edward등²²⁾은 低分子量 cationic polymer와 黃酸알루미늄에 의한 휴민酸의 凝集處理時 黃酸알루미늄과 polymer의 添加 순서는 별 상관없이 있었으나 高分子量 cationic polymer와 aluminum sulfate의 添加 순서는 매우 중요함을 보고하였다. 즉 黃酸알루미늄의 添加後

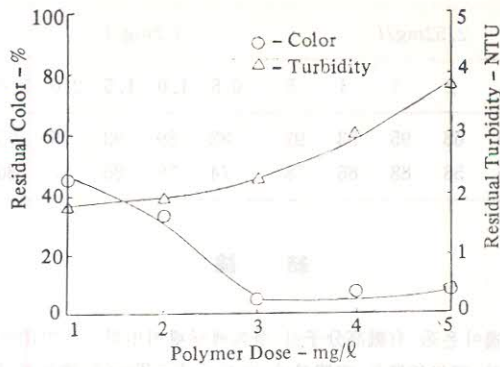


Fig. 8. Effect of aluminum-PEI combination coagulation on color removal from humic acid solution at pH6: Al(III) 2.52mg/l.

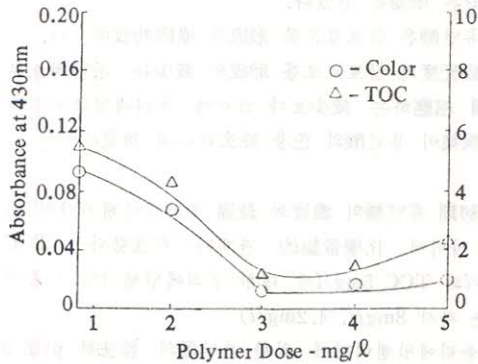


Fig. 9. Effect of aluminum-PEI combination coagulation on color and TOC removal from humic acid solution at pH6: Al(III) 2.52mg/l.

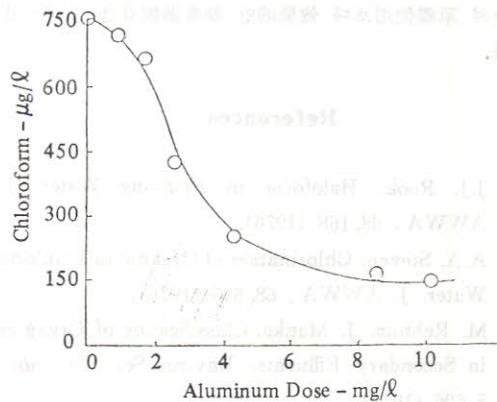


Fig. 10. Chloroform formation by chlorination of humic acid solution treated by aluminum coagulation at pH6: (pH: 7, Temp.: 20°C, Time: 96hr, Initial TOC concentration: 10mg/l, Cl₂/TOC: 5).

polymer의 添加가 더욱 效果의이었다. 또한 anionic 및 nonionic polymer의 單獨使用은 거의 效果를 얻지 못했으나 알루미늄의 添加後의 使用으로 좋은 結果를 얻었음을 보고했다.

本 實驗에서의 알루미늄과 PEI의 併用效果는 電荷中和와 粒子間의 架橋에 의한 不安定의 點을 갖고 있는 것으로 생각된다. 즉 陰으로 荷電된 휴민酸을 aluminum hydroxide의 吸着과 直接沈降에 의해서 不安定을 일으킨 후 PEI을 添加하므로써 架橋作用에 의해서 flocc을 크게 하여 沈降을 쉽게 하는 것으로 생각된다. 따라서 휴민酸의 凝集除去에 있어서 PEI 單獨에 의한 方法보다 알루미늄과 PEI의 併用에 의한 方法이 바람직한 것으로 생각된다.

3. 클로로포름生成 減少에 대한 凝集效果

Fig. 10에는 pH 6에서 알루미늄으로 凝集處理한 處理水를 pH 7로 맞추어서 Cl₂/TOC=5가 되도록 鹽素處理한 후 20°C에서 96時間동안 反應시켜 測定한 클로로포름의 生成量을 나타내었다. 알루미늄 2.52mg/l으로 67%가 減少되었으며 8.4mg/l, 10.1mg/l으로 80% 이상이 減少되었다. 이 結果는 Fig. 2에서 보여준 色도와 TOC의 除去率과 比較할 때 TOC除去率과는 비슷하였으나 色度除去率보다는 낮은 結果를 나타내었다.

Fig. 11에서는 pH 6에서 PEI 單獨으로 凝集處理한 處理水를 pH 7로 맞추어서 클로로포름의 量을 測定한 結果를 나타내었다. Fig. 6에서 色도와 TOC除去의 最適 凝集濃도로 나타났던 PEI 8mg/l에서 클로로포름 生成量은 處理前의 750µg/l에서 74% 減少된 200µg/l

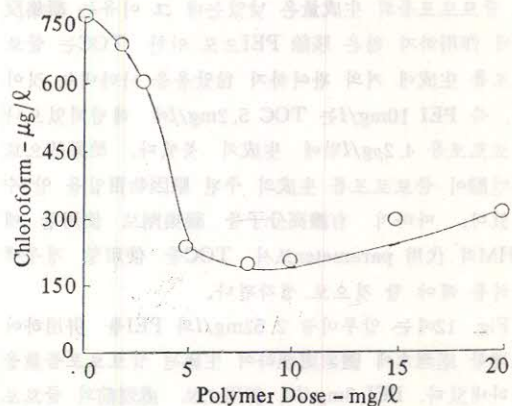


Fig. 11. Chloroform formation by chlorination of humic acid solution treated by PEI coagulation at pH6: (pH: 7, Temp.: 20°C, Time: 96hr, Initial TOC concentration: 10mg/l, Cl₂/TOC: 5).

Table 4. Synergistic effect of aluminum-PEI combination coagulation on color and TOC removal from humic acid solution at pH6.

Aluminum	0.84mg/l						2.52mg/l					4.2mg/l					
	PEI(mg/L)	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	0.5	1.0	1.5	2.0	3.0
Removal(%) Color		43	59	76	82	95	95	55	68	95	93	92	83	89	93	95	95
TOC		25	33	61	79	83	82	45	58	88	85	78	74	79	85	87	86

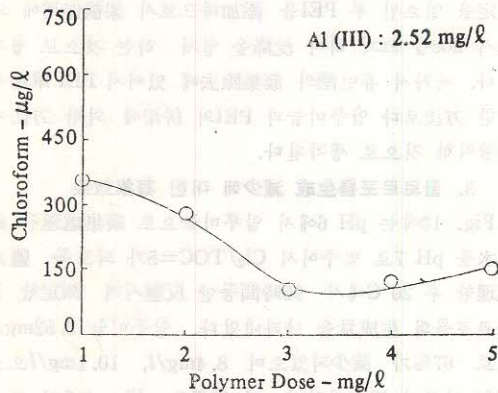


Fig. 12. Chloroform formation by chlorination of humic acid solution treated by aluminum-PEI combination coagulation at pH6: (pH: 7, Temp.: 20°C, Time: 96hr, Initial TOC concentration: 10mg/l, Cl₂/TOC : 5).

로 나타났다. 또한 PEI 10mg/l 이상의 추가는 클로로포름 생성의 증가를 초래했다. 이것은 前節에서 설명한 휴민酸的 再安定으로 凝集效果가 오히려 減少한 때문으로 생각된다. TOC의 濃度가 전반적으로 높았음에도 클로로포름의 生成量은 낮았는데 그 이유는 凝集反應에 作用하지 않은 殘餘 PEI으로 인한 TOC는 클로로포름 生成에 거의 關係하지 않았음을 나타내는 것이다. 즉 PEI 10mg/l는 TOC 5.2mg/l에 해당되었으나 클로로포름 4.2µg/l밖에 生成치 못했다. 結果적으로 휴민酸이 클로로포름 生成의 주된 原因物質임을 알 수 있었다. 따라서 有機高分子를 凝集劑로 使用할 때 THM의 代用 parameter로서 TOC를 使用할 경우에 주의를 해야 할 것으로 생각된다.

Fig. 12에는 알루미늄 2.52mg/l와 PEI를 併用하여 處理한 處理水에 鹽素處理하여 生成된 클로로포름量을 나타내었다. PEI 3mg/l의 併用으로 處理前의 클로로포름 生成濃度의 87%가 減少된 102µg/l로 나타났다. 이는 알루미늄 10.1mg/l와 PEI 8mg/l의 單獨效果보다 좋은 效果를 나타낸다는 사실을 알았다.

結 論

陽이온系 有機高分子인 폴리에틸렌아민의 휴민酸에 대한 凝集效果를 究明하기 위하여 Jar-Test를 實施하였으며 處理水의 吸光度, TOC 및 鹽素處理하여 形成된 클로로포름의 濃度를 測定하여 比較, 檢討한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 휴민酸은 클로로포름 形成의 原因物質이었다.
2. 吸光도와 클로로포름 形成의 減少는 전반적으로 TOC에 相應하는 減少보다 컸으며 폴리에틸렌아민에 의한 凝集이 휴민酸의 色을 除去하는데 效果의임을 알았다.
3. 初期 휴민酸의 濃度和 最適 폴리에틸렌아민의 添加量 사이에 化學量論的 關係가 存在했다. (TOC 10mg/l와 TOC 5mg/l에 대한 폴리에틸렌아민의 最適 濃度는 각각 8mg/l, 4.2mg/l)
4. 폴리에틸렌아민에 의한 휴민酸의 除去時 pH5.0 ~ 6.0의 범위에서 效果적이었으며 pH 6에서 凝集劑의 過量添加는 휴민酸의 再安定을 일으켰다.
5. 알루미늄과 폴리에틸렌아민의 併用은 폴리에틸렌아민의 單獨使用보다 效果적인 凝集過程임을 알 수 있었다.

References

1. J.J. Rook, Haloform in Drinking Water, J. AWWA., 68, 168 (1976).
2. A.A. Steven, Chlorination of Organic in Drinking Water, J. AWWA., 68, 615 (1976).
3. M. Rebhun, J. Manka, Classification of Organics in Secondary Effluents, Environ.Sci. Technol., 5, 606 (1971).
4. 石川哲地, し尿處理に關する(第9報): し尿處理放流水中の鹽素處理による有機鹽素化合物の生成, 衛生化學, 24, 235 (1978).
5. 丹保憲仁, 水道とトリハロメタン, 技報堂出版社

- (1982).
6. D.B. Babcock, P.C. Singer, Chlorination and Coagulation of Humic and Fulvic Acids, J. AWWA., 71, 149 (1979).
 7. E. Gjessing, G.R. Lee, Fractionation of Organic matter in Natural Water on Sephadex Columns, Environ. Sci. Technol., 1, 631 (1967).
 8. G.A. Edwards, A. Amirtharajah, Removing Color Caused by Humic Acids, J. AWWA., 77, 50 (1985).
 9. A. Amirtharajah, K.J. Mill, Rapid-Mix Design for Mechanisms of Alum Coagulation, J. AWWA., 74, 210 (1982).
 10. N. Naris, M. Rebhan, The Mechanism of Flocculation Processes in the Presence of Humic Substances, J. AWWA., 67, 101 (1975).
 11. H.T. Glaser, J.K. Edzwald, Coagulation and Direct Filtration of Humic Substance with Polyethylenimine, Environ. Sci. Technol., 13, 229 (1979).
 12. P.A. Chadik, G.L. Amy, Removing Trihalomethanes Precursors from Various Natural Water by Metal Coagulants, J. AWWA., 75, 532 (1983).
 13. M.C. Kavanaugh, Modified Coagulation for Improved Removal of Trihalomethane Precursors, J. AWWA., 70, 613 (1978).
 14. B.A. Dempsey, R.M. Ganho, C.R. O'Melia, The Coagulation of Humic Substance by Means of Aluminum Salts, J. AWWA., 67, 88 (1975).
 15. F.J. Mangravite Jr., T.D. Buzzell, E.A. Cassell, E. Matijevic, G.B. Saxton, Removal of Humic Acid by Coagulation and Microflotation, J. AWWA., 67, 88 (1975).
 16. N. Narkis, M. Rebhun, Stoichiometry Relationship Between Humic and Fulvic Acids and Flocculants, J. AWWA., 69, 325 (1977).
 17. G.L. Amy, P.A. Chadik, Cationic Polyelectrolytes As Primary Coagulants for Removing Trihalomethane Precursors, J. AWWA., 75, 527 (1983).
 18. 宮島和夫：高分子凝集剤の選び方。使い方，化学技術誌，67 (1980)。
 19. 海野肇：有機高分子凝集剤の機能とこれに基づく凝集操作設計上の留意事項，化学工学，44, 231 (1980)。
 20. APHA, Standard Method for Examination of Water and Waste Water (1981).
 21. 梶野勝可，鹽素處理におけるトリハロメタンの形成，水道協會雜誌，514, 17 (1977)。
 22. J.K. Edzwald, J. D. Haff, J.W. Boak, Polymer Coagulation of Humic Acid Water, J. AWWA., 69, 989 (1977).
 23. Committee Rept., Organics Removal by Coagulation: A Review and Research Needs, J. AWWA., 71, 588 (1979).
 24. V.K. Lamer, T.W. Headley, Adsorption Flocculation Reaction of Macromolecules at the Solid-Liquid Interface, Rev. Pure & Appl. Chem., 13, 122 (1963).