

淨水處理時 殘留알루미늄 濃度を 最小化하기 위한 影響因子 考察

고영송 · 우달식 · 남상호

건국대학교 환경공학과

A Study on the Factors to Minimize the Residual Aluminum in Filtered Water

Young-Song Ko, Dal-Sik Woo and Sang-Ho Nam

Department of Environmental Engineering, Kunkuk University, Korea

ABSTRACT

In public water supply systems, Alum and/or PAC being used as a coagulant. It is well known that their use increased frequently the concentration of residual aluminum in filtered water upon operating conditions.

This study was conducted to find the optimum conditions that both the concentration of residual aluminum and turbidity are minimized by changing such factors as pH, temperature, alum dosage, mixing rate, alkalinity and hardness.

The results can be summarized as follows :

The pH values for the minimum concentration of residual aluminum and turbidity as a given experimental condition were found at pH 6 and pH 7 respectively, the apparent clarity was best at pH 8. The floc settling rate was the greatest at pH 6.5, but the turbidity was high at the same condition.

The more alum dosage, the higher the concentration of residual aluminum. However the alum dosage less than 15 mg/l tend to decrease in turbidity. Restabilization and enmeshment occurred near 15 mg/l and 20 mg/l of alum dose respectively.

With the increase of mixing rate (rapid and slow), the concentration of residual aluminum and turbidity are increased and the same trend was found in increment of mixing time.

At low water temperature, the concentration of residual aluminum was decreased, but turbidity was increased.

It was confirmed that alkalinity had an effect on the coagulation efficiency, but hardness did not.

Keywords : Coagulation, alum, residual aluminum

I. 서 론

정수처리 공정중 응집공정은 물의 탁도 및 색도 유발물질인 미세 부유물질과 콜로이드물질을 침전, 부상, 여과 등에 의하여 분리 제거할 목적으로 행해지는 예비단계이다.

알루미늄은 지각에서 3번째로 풍부한 원소로서 토양성분의 중량비로 약 8%를 차지하며, 암석과 동·

식물 조직의 구성원소이다.¹⁾ 자연수에서 용존 알루미늄은 침전물을 형성하거나 수산화물 또는 탄산염으로 흡착되는 경향이 있으므로 용존량이 많지 않으며, 용존 알루미늄의 농도는 지질, 계절 등에 따라 차이가 있다.²⁾ 우리나라의 경우 1, 2월의 전국 14개 도시의 상수 원수의 평균 알루미늄 농도는 0.103 mg/l이다.³⁾

이³⁾의 연구자료에 의하면 전국 주요 14개 도시에

대한 처리수의 평균 알루미늄 농도는 0.185 mg/l이었으며, 이들 지역중 38.08%가 수돗물 중 잔류알루미늄에 대한 세계보건기구 권장치 0.2 mg/l를 초과하는 것으로 나타났다. 그 주된 원인은 이들 정수장에서는 응집제로 황산알루미늄을 사용했기 때문인 것으로 판명되었다. 미국수도협회(AWWA)의 알루미늄에 관한 연례 조사보고서⁴⁾에 따르면 응집공정에 황산알루미늄이 사용될 때 처리수중 잔류알루미늄 농도가 원수의 알루미늄량 보다 증가하는 경우가 40~50%였다.

McLachlan, Lewis^{5,6)}의 연구에 의하면 처리수 중의 높은 알루미늄 농도는 알츠하이머 병(Alzheimer's disease)이라 불리는 노인성 치매병과 근위축성측색경화증(Amyotrophic Lateral Sclerosis, LAS)⁷⁾, 파킨슨 증후군(Parkinsonism)⁷⁾, 경련 등의 뇌질환과 고등동물의 신경원 섬유변성을 일으킨다. 신장투석 환자의 경우 투석액에 알루미늄 농도가 0.08 mg/l 이상일 때 치매를 일으키는 것으로 보고하고 있다.^{5,6)} 그러나 세계보건기구(WHO)와 미국환경청(U.S. EPA) 등의 보고에 의하면 알루미늄의 존재가 알츠하이머 병과 같은 뇌질환과 관련은 있지만 그러한 질병의 직접적인 원인이 되는지에 대해서는 확실치 않다고 보고하고 있다.⁷⁾

처리수 중의 높은 잔류알루미늄 농도는 탁도를 증가시키고 그 결과 소독효과를 저하시키게 된다. 또한 유속이 느린 관내에서 철, 망간, 실리카 등과 결합하여 침착물을 형성함으로써 급수시설의 수리학적 용량을 감소시킨다. 유속의 변화에 의해 수도전을 통하여 적수를 유발시키므로 사용자들의 불만의 원인이 된다.⁴⁾

유럽공동체 음용수수질지침(European Community Drinking Water Directive, 1980), 세계보건기구 음용수수질지침(WHO Drinking Guideline, 1984), 미국의 음용수수질기준(U.S. The Safe Drinking Water Act, 1986) 등에서 음용수 중의 최대 알루미늄 권장치를 0.2 mg/l로 채택하고 있으나 이 양은 인체 건강적 측면 보다는 심미적 측면에서 수용되고 있다.⁸⁾

현재 우리나라의 음용수 수질기준에는 알루미늄 잔류량에 대한 기준이 설정되어 있지 않으며 이에 대한 연구 또한 미흡한 실정이다.

오염에 취약한 저수지수, 하천표류수를 급속여과 방식에 의하여 정수하는 경우 우리의 현실에서 황산알루미늄 및 알루미늄 중합체의 사용은 불가피하다.

본 연구는 탁도물질로서 카울린을 채택하고 pH, 온도, 교반속도 등의 영향인자들을 변화시키면서

탁도와 잔류알루미늄이 동시에 최소가 되는 최적 조건을 찾기 위하여 응집제의 특성분석과 운전인자에 의한 영향을 검토하였다.

II. 연구내용 및 방법

1. 연구내용

처리수 중의 잔류알루미늄은 원수의 수질 뿐만 아니라 정수공정에 의해서도 기인된다. 처리수 중의 잔류알루미늄량은 정수장에서 사용하는 응집제의 종류에 따라 다르며, Miller⁴⁾와 이³⁾의 연구에 따르면 황산알루미늄(Alum)을 사용하는 정수장의 처리수에서 높게 나타났다.

본 연구에서는 Jar tester로 황산알루미늄을 사용하여 응집실험을 수행하였으며, pH, 온도, 응집제 투여량, 교반강도에 따른 처리수의 탁도제거 효율 및 잔류알루미늄 농도와의 상관성을 검토하였으며, 이에 따른 응집제 적정투여량 및 잔류알루미늄의 최소화 방안을 검토하였다.

2. 방법

(1) 시료

원수로 사용한 현탁액은 Kaolin(Junsei Chemical, Yakuri Pure Chemical 제품, 시약 1급)을 증류수에 현탁시키고 NaHCO₃를 투여하여 알칼리도가 50 mg/l as CaCO₃로 하여 1시간 교반 후 15시간 침전시키고 그 상등액을 취하여 MgCl₂·7H₂O로 경도가 50 mg/l as CaCO₃가 되도록 조정하였다.

이 시료는 Kaolin 주입농도가 200 mg/l일 때 탁도는 17 NTU이었으며, pH는 9.7~9.8이었다.

(2) 응집제

무기응집제로는 고체 황산알루미늄(Alum, Al₂(SO₄)₃·18H₂O : Shinyo Pure Chemical 시약 1급)을 증류수에 녹여 10 g/l로 하여 사용하였다. 이 용액 1 ml은 10 mg Al₂(SO₄)₃·18H₂O이며, 0.8 mg Al이 된다.

(3) 실험장치

실험에 사용한 Jar tester는 동양과학에서 제작한 Model No. 1416이며, 교반강도를 증진시키기 위하여 너비 3 cm, 길이 8 cm의 테프론으로 날개를 만들었다.

또한 시료의 혼합 및 채취의 용이성을 높이기 위하여 Hudson⁹⁾의 연구에 사용했던 것과 같은 제원으로 Jar를 제작하였으며, 그 형상 및 치수는 Fig. 1, 2와 같고 그 장점은 다음과 같다.

장점: (1) 물의 회전이 적게 일어나 교반효과가 좋다.

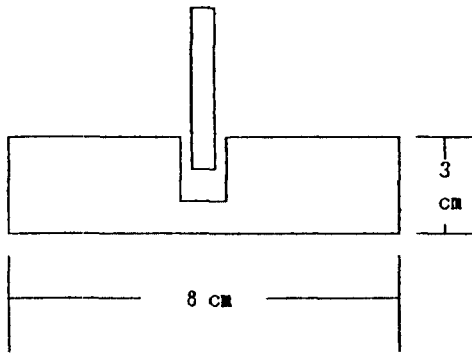


Fig. 1. Shape of blade.

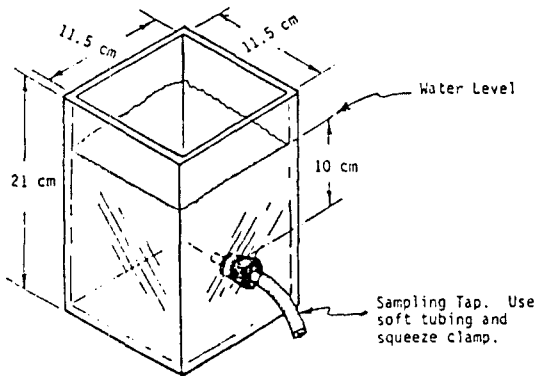


Fig. 2. Type of jar.

- ② 시료는 피펫이나 사이펀(siphon)없이도 채취가 가능하다.
- ③ 유리보다 열전도도가 낮아 외부온도의 변화에 따른 영향을 적게 받는다.
- ④ Plastic jar는 잘 깨지지 않는다(Fig. 1, 2).

(4) 속도경사(G)값의 결정
속도경사 값(G value)은 Hudson이 구한 G값을 이용하였다.

(5) 탁도측정

Turbidimeter HACH Model 2100A(HACH company, USA)를 이용하였다.

(6) 알루미늄의 정량

입자상 또는 용존 알루미늄의 농도를 측정하기 위하여 UV-Visible Recording Spectrophotometer (Shimadzu, Model No. UV-240, Japan)를 사용하였다. 측정치의 검증을 위하여 ICP(Inductively Coupled Plasma Emission Spectrophotometer, I.S.A. JOBIN YVON, France)로 표준시료를 분석하였다. UV 및 ICP의 측정조건은 다음 Table 1,2와 같다.

Table 1. Conditions of U.V. measurement

Items	Condition
Optics	mono
Wavelength	535 nm
Light source	50 W tungsten-halogen lamp and deuterium lamp
Light path	10 mm
Int. time	0.2 sec
Detector	Photomultiplier R-928
Recorder	Computer-controlled digital recorder of thermal graphic printer type
Power	110 V

Table 2. Condition of ICP measurement

Items	Condition
Optics	Mono
Wavelength	396.152 nm
Int. time	0.5 sec
PMT volt	600~800 volt
Nebulizer flow rate	3 l/min
Argon coolant flow rte	2.5 l/min
Argon carrier flow rate	3 l/min
Sample uptake	3 ml/min

시료의 분석은 미국의 표준수질조사방법¹⁰⁾ 중 알루미늄 정량법에 의거하였으며, 알루미늄 표준용액은 황산알루미늄칼륨(Potassium Aluminum Sulfate, $K_2Al_2(SO_4)_4 \cdot 24H_2O$, 鳥久藥品株式會社, 특급시약)을 증류수에 녹여 1000 mg/l로 만든 후 1 mg/l가 되도록 희석하여 사용하였다. 시료는 직경 47 mm, 공극크기 0.45 μm Membrane 여과지(Membrane filters cellulose nitrate, Cat. No. A045A047A, MFS)를 사용하여 여과한 후 다른 이온들의 방해물을 제거하기 위해 Ascorbic 산을 첨가하고 Eriochrome cyanine 염료로 발색시켜 전량을 50 ml로 하여 UV-Visible로 분석하였다.

UV에 사용한 표준용액의 절대농도를 구하기 위해 ICP로 표준용액을 분석하였으며, 표준용액에 대한 두 기기의 회수율은 다음의 Table 3, 4와 같다. 또한 UV로 분석한 값을 ICP 분석값으로 환산하기 위한 상관계수 r은 0.9599였다(Fig. 3, 4).

III. 결과 및 고찰

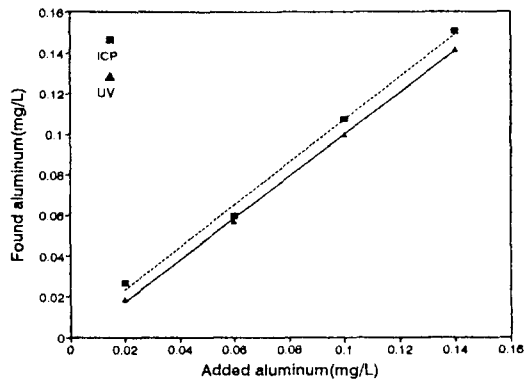
1. pH값 변화에 따른 잔류알루미늄 농도 및 탁도 실험에 사용한 현탁액은 kaolin 200 mg/l를 투여

Table 3. Aluminum recovery test for UV

Al (mg/l)		% Recovery
Added	Found	
0.02	0.0186	93.15
0.06	0.0568	94.67
0.10	0.09975	99.75
0.14	0.1417	101.20

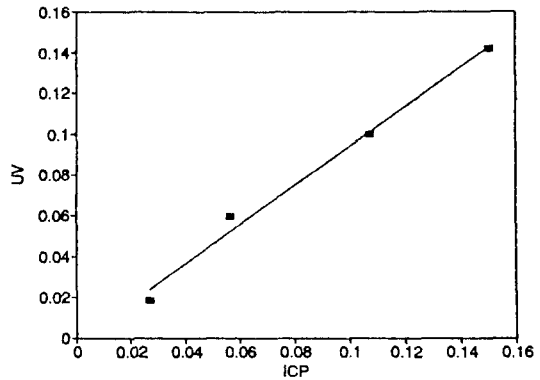
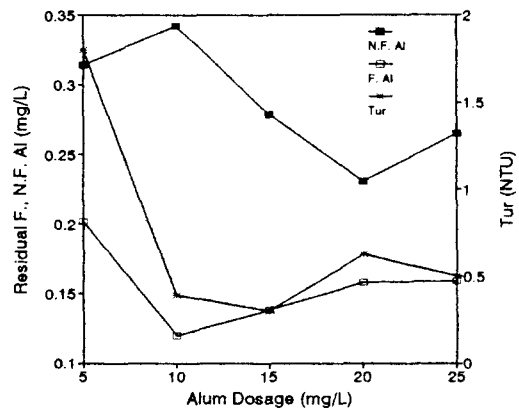
Table 4. Aluminum recovery test for ICP

Al (mg/l)		% Recovery
Added	Found	
0.02	0.0268	134
0.06	0.0598	88.7
0.10	0.1074	107.4
0.14	0.1506	107.6

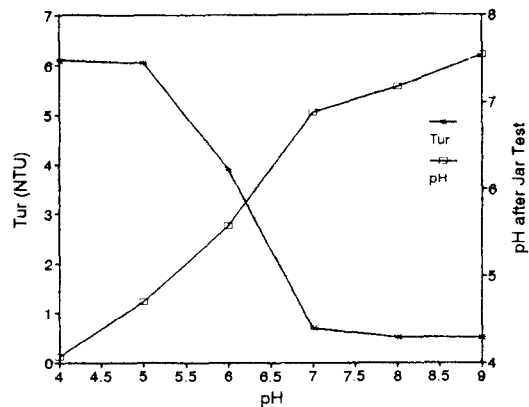
**Fig. 3.** Recovery test for U.V. and ICP.

하여 탁도 17 NTU로 맞추었다. 시료의 pH는 황산 (H_2SO_4 , 97%)를 1N 및 0.1N 용액을 이용하여 4~9로 하였다. 시료의 알카리도는 50 mg/l로 하였다. 각각의 시료에 대한 실험조건은 황산알루미늄 15 mg/l, 급속교반 120 rpm, 교반시간 3분, 완속교반 20 rpm, 교반시간 15분으로 하였으며, 30분간 침전시킨 후 잔류알루미늄 및 탁도를 측정하였다. 실험으로 얻어진 결과는 Fig. 5, 6과 같다.

잔류알루미늄 농도는 pH 6 이하에서 전반적으로 0.4 mg/l 이상을 기록하였고 pH값이 증가함에 따라 급격히 감소하는 경향을 보였다. 황산알루미늄은 물에 부여되는 즉시 가수분해가 일어나 용액의 pH 값을 저하시킨다. 그 결과 알루미늄의 용해도는 커지며 플록 형성이 거의 이루어지지 않고 수용성 알루미늄(Al^{3+} , $Al(OH)^{2+}$)¹¹⁾ 형태로 존재하기 때문

**Fig. 4.** Correlation between U.V. and ICP.**Fig. 5.** pH and the concentration of residual aluminum.

F: Filtered aluminum, N.F.: None filtered aluminum, Tur.: Turbidity.

**Fig. 6.** pH and turbidity.

에 알루미늄 잔류농도가 큰 것으로 판단된다. pH 6 이상에서 pH의 증가에 따라 다시 잔류알

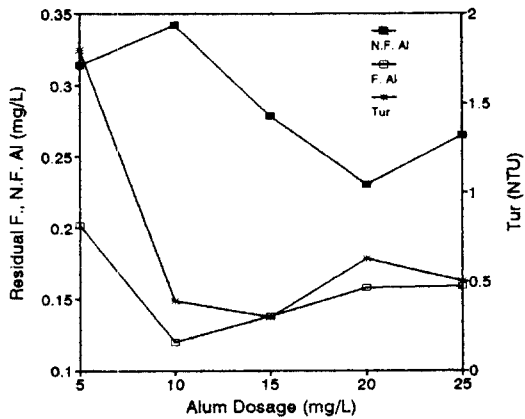


Fig. 7. Alum dosage and the concentration of residual aluminum.

루미늄량이 증가하는데 이는 수용성 알루미늄($\text{Al}(\text{OH})_3$)¹¹⁾이 점차 형성되기 때문이며 pH 8 이상에서는 알루미늄의 주요형태가 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 이다.

가장 낮은 잔류알루미늄 농도는 pH 6에서 나타났다. 이는 O'Melia¹¹⁾의 연구와 Van Benschoten¹²⁾ 등의 연구내용과 유사한 결과를 나타내고 있다.

탁도제거는 Fig. 6과 같이 pH 6~7 사이에서 급격히 감소하는 경향을 보였다. 그 pH 범위에서 알루미늄의 용해도가 가장 작고 주로 침전성 수산화알루미늄($\text{Al}(\text{OH})_3$)이 응집된 콜로이드와 함께 침전되므로 탁도가 급격히 감소한 것으로 생각된다.

pH 4~5에서는 응집제를 투여하였을 때 오히려 현탁이 일어났다. 응집에서 플록형성까지 오랜 시간이 경과하여도 플록이 커지지 않았다. 그 현탁물질들은 침전되지 않고 부유상태로 존재하여 탁도에 영향을 주는 것으로 관찰되었다.

pH가 증가함에 따라 시료의 투명도는 탁도제거와 비슷한 양상으로 향상되었다. 플록은 pH 8에서는 외관상 가장 컸으며, 투명도도 가장 좋은 것으로 나타났다.

위의 결과에서 잔류알루미늄의 농도와 탁도가 최소가 되는 pH 범위는 서로 일치하지 않았다. 즉, 잔류알루미늄 농도는 pH 6에서 최소가 되었고 탁도는 pH 7에서 최소를 나타내었다(Fig. 5, 6).

2. 응집제 주입량

시료의 초기 카운팅 탁도가 17 NTU일 때 황산알루미늄 투여량의 변화에 따른 잔류알루미늄과 탁도와의 관계는 Fig. 7과 같다. pH와 잔류알루미늄 및 탁도를 나타낸 Fig. 5와 6에서 얻어진 결과를

토대로 시료의 pH를 7로 맞추고 급속교반 120 rpm, 3분, 완속교반 20 rpm, 15분으로 하였으며, 투여량은 5~25 mg/l로 하였다. 기타 조건은 전과 동일하다.

응집제의 투여량이 5 mg/l에서 플록은 형성되었으나 상당히 현탁되었으며, 완속교반이 완결될 때까지도 플록의 크기가 상당히 작고 현탁되는 경향이 있었다. 투여량이 10 mg/l 이상에서는 거의 정상적으로 응결이 이루어져서 시료의 투명도가 증가함을 관찰할 수 있었다.

여과시료의 잔류알루미늄 농도는 응집제 투여량의 증가에 따라 점차 커지는 경향을 나타내었다. 황산알루미늄 응집제의 투여량 10 mg/l에서 잔류알루미늄 농도가 0.120 mg/l로 최소치를 나타내었다. 반면, 비여과 시료에서는 투여량 20 mg/l에서 잔류알루미늄 농도가 0.231 mg/l로 최소치를 나타내었다. 여과시료와는 반대로 잔류알루미늄량이 응집제 투여량 10 mg/l에서 가장 높게 나타났다. 그것은 부유하는 작은 플록이 상당량 측정과정에서 함께 측정되었기 때문으로 생각된다.

투여량에 따른 탁도의 변화는 명확하게 나타났다. 투여량의 증가에 따라 15 mg/l일 때 탁도는 0.3 NTU를 나타냈으며, 20 mg/l일 때 0.63 NTU를 나타내었고, 25 mg/l일 때 0.5 NTU를 기록했다. 이러한 결과로부터 투여량이 20 mg/l이상일 때에는 입자의 공침현상이 일어나는 것으로 보여지며, 이에 따라 미소 플록의 수가 감소되어 투명도가 급격히 향상되는 것으로 생각된다. 전반적으로 이러한 미세 플록들은 후속 여과과정에 의해 제거가 가능할 것으로 보여지며, 그들이 제거되면 처리수의 탁도는 크게 감소하리라 판단된다. 주어진 조건에서 탁도와 잔류알루미늄 농도가 동시에 최소가 되는 응집제 투여농도는 존재하지 않았다(Fig. 7).

3. 교반속도

실험은 pH 7, 완속교반 20 rpm, 15분, 황산알루미늄 투여량 15 mg/l로 하였다. 급속교반속도와 시간을 변화시키면서 잔류알루미늄 농도와 탁도를 측정된 결과는 Fig. 8~11과 같다.

교반시간이 1분일 경우 120 rpm에서 여과시료의 잔류알루미늄이 0.102 mg/l로 최저농도를 나타냈던 반면 나머지(150~250 rpm)는 회전수의 증가에 따라 잔류알루미늄 농도가 증가하는 경향을 나타내었다. 이러한 경향은 회전수의 증가에 따라 입자의 충돌 횟수는 증가하지만 전단력의 증가로 플록이 커지지 못하여 비표면적이 크기 때문인 것으로 사료된다. 교반시간의 변화에서도 같은 경향을 나타내었다.

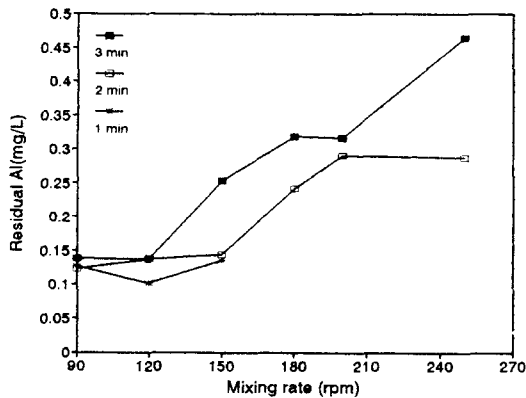


Fig. 8. Rapid mixing rate and the concentration of residual aluminum.

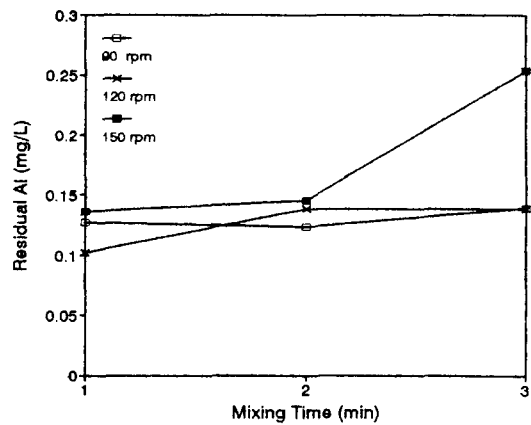


Fig. 10. Rapid mixing time and the concentration of residual aluminum.

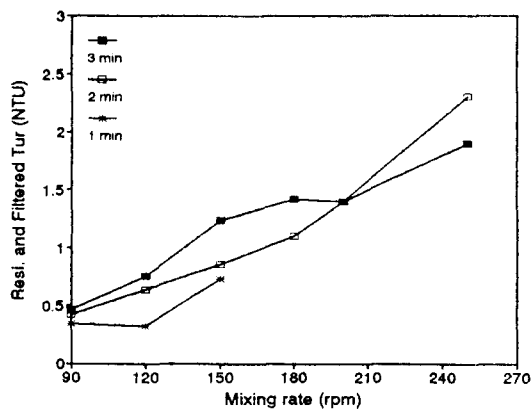


Fig. 9. Rapid mixing rate and turbidity.

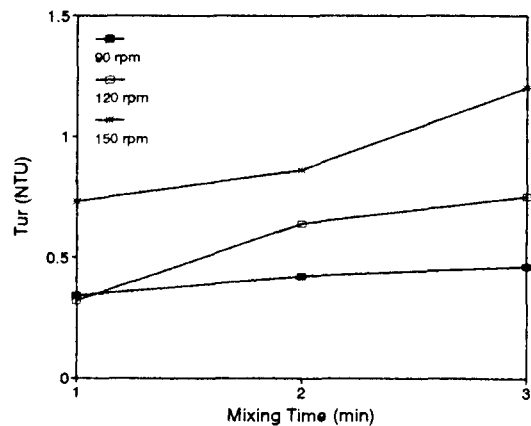


Fig. 11. Rapid mixing time and turbidity.

탁도는 교반속도 및 교반시간에 따라 전반적으로 증가하는 경향을 보였다. 즉, 교반시간이 1분일 때 120 rpm에서 0.32 NTU로 최저 탁도를 나타내었다.

김 등¹³⁾의 연구에 의하면 교반강도를 증가시키면 플록의 강도가 증가하고, 그에 따라 입자의 침강속도 역시 커지기 때문에 탁도가 작아지며, 교반강도가 지나치게 커질 경우 전단력의 증가로 인하여 플록이 깨지기 때문에 오히려 탁도가 증가한다고 하였다.

교반시간이 2~3분일 경우 교반속도의 증가에 따라 탁도가 점차 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 실험조건에서 G값 또는 Gt값이 지나치게 크기 때문인 것으로 보여진다. Camp와 Stein¹⁴⁾의 식에 의하면 동일탁도 제거에 대하여 G값 또는 Gt값이 커지면 밀도가 큰 입자를 형성한다고 주장하였다. 실험결과는 이들의 주장과는 반대 경향을 나타냈다. 본 실험에서 교반속도가 증가하면 플록의 파괴정도가

가 커서 미세 플록을 포함하여 전반적인 플록의 크기는 작아져 침전시간이 길어지므로 육안으로 플록형성과정을 관찰하기가 용이하였다. Cornwell 등¹⁵⁾에 의하면 Al, Fe 및 Mg 수산화물은 전단력에 상당히 약하다.

본 실험은 주어진 조건에서 교반시간 1분, 교반강도 120 rpm이 적정 수준인 것으로 판단되며, 150 rpm 이상의 교반속도는 탁도제거의 측면에서 그리 바람직하지 않다(Fig.8~11).

완속교반 실험은 pH 7, 급속교반 120 rpm, 3분, 완속교반시간 15분, 황상알루미늄 투여량 15 mg/l로 하였다. 완속교반 속도를 변화시키며 잔류알루미늄 농도 및 탁도를 측정할 실험결과는 Fig. 12와 같다.

완속교반을 시작하여 약 2분이 경과하면 급속교반에서 얻어진 플록들이 상당히 커지며, 정상적인

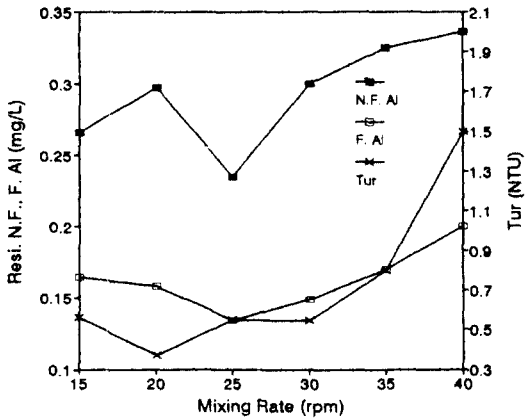


Fig. 12. Slow mixing rate and the change of the concentration of residual aluminum, turbidity.

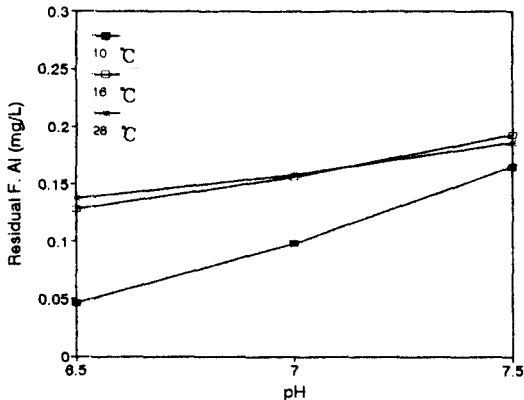


Fig. 13. Temperature and the concentration of residual aluminum.

응결이 일어날 경우 8~10분이 경과하면 더이상 플록이 커지지 않는 것이 관찰되었다. 따라서 주어진 15분의 완속교반시간은 너무 긴 것으로 판단되었다.

교반속도의 증가에 의해 잔류알루미늄 농도 및 탁도는 점차 증가하는 경향을 보였다. 여과 및 비여과 시료에서 잔류알루미늄의 농도는 25 rpm에서 각각 0.134 mg/l, 0.235 mg/l로 가장 낮은 알루미늄 농도를 나타내었으며, 40 rpm에서 각각 0.2 mg/l, 0.336 mg/l로 가장 높은 잔류알루미늄 농도를 나타내었다. 이러한 농도차는 각각의 rpm조건에서 입자의 조대화 정도에 기인하는 것으로 보여진다.

완속교반속도에 따른 탁도의 변화는 뚜렷한 차이가 있었다. 즉, 15 rpm에서는 형성된 플록은 크지만 밀도가 작고 표면적이 크기 때문에 유체의 저항이 큰 것으로 사료되며, 이는 입자의 침강속도에 영향을

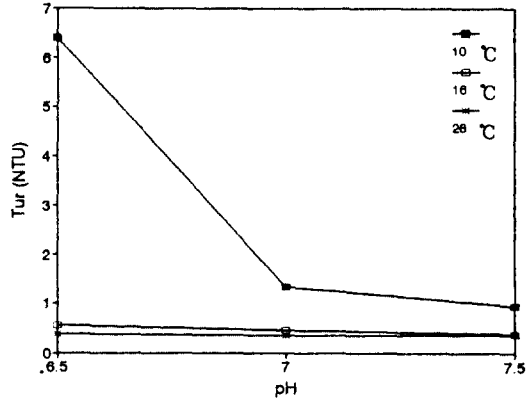


Fig. 14. Temperature and turbidity.

주기 때문에 오히려 탁도가 증가하는 것으로 보인다. 또한 25 rpm 이상에서는 생성된 입자가 교반속도의 증가에 따른 전단력의 증가에 의해 조대화되지 못한 것으로 해석된다. 교반속도에 따른 처리수의 투명도는 탁도가 최소인 20 rpm에서 가장 좋았으며 교반강도의 증가는 플록을 파괴하여 오히려 현탁되는 경향이 있었다(Fig. 12).

4. 온도

응집과정에서 응집효율에 가장 큰 영향을 미치는 인자중의 하나는 처리수의 수온이다. 온도는 알루미늄의 용해도의 변화와 같은 화학적인 영향을 갖기도 하지만 물에서 입자의 밀도, 점도와 같은 물리적 변화를 일으키기도 한다.

본 실험에서는 일반적인 대형 냉장 쇼케이스를 사용하였으며, 최저 온도한계는 0°C, 냉장고내의 온도변화 범위는 ±0.5°C였다. 실험에 사용한 시료의 수온은 16°C와 10°C로 조정하기 위하여 24시간 동안 냉장고에 보관하였다. 시료의 탁도는 17 NTU였고, 급속교반 120 rpm, 3분, 완속교반 20 rpm, 15분이었으며, 응집제 투입량은 15 mg/l였다. 실험결과를 Fig. 13, 14와 같다.

10°C에서 응집제를 투입하였을 때 시료가 상당히 현탁되는 경향을 나타내었다. 플록형성 유무도 즉시 확인되지 않았다. 이러한 현상은 16°C에서도 비슷하였으나 10°C보다는 그 정도가 크기 않았다. 완속교반이 진행되면서 16°C에서 점차 플록이 정상적으로 성장하였던 반면 10°C에서의 플록의 크기는 초기 급속교반시 생성되었던 것과 비슷하였다. Morris 등⁽⁶⁾의 연구에 의하면 낮은 온도조건에서 생성된 입자는 실온에서 생성된 입자보다 크기가 작았다.

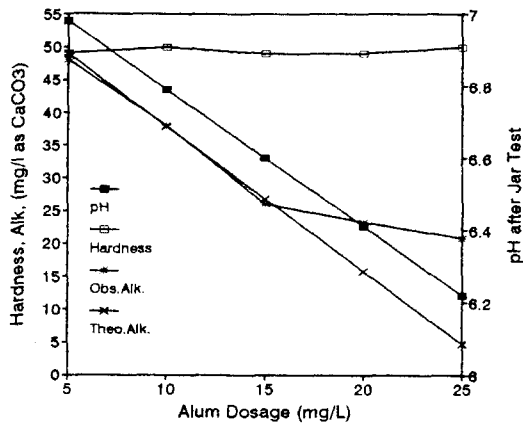


Fig. 15. Alum dosage and the change of pH, alkalinity and hardness.

수온에 따른 잔류알루미늄 농도를 살펴보면 여과 시료의 잔류알루미늄 농도는 온도가 상승함에 따라 증가하였다. 실제로 pH 7에서 10°C, 16°C, 28°C의 잔류알루미늄 농도는 각각 0.098 mg/l, 0.158 mg/l, 0.164 mg/l이었고, 다른 pH에서도 같은 경향을 나타냈다. 수온의 상승에 따라 알루미늄의 용해도가 증가하는 것을 관찰할 수 있었다.

pH 6.5에서 각 온도에 따른 잔류알루미늄 농도 변화를 살펴보면 10°C에서 0.046 mg/l, 16°C에서 0.128 mg/l, 28°C에서 0.137 mg/l로 각각 나타났다. 이는 pH 6 근처에서 알루미늄의 용해도가 최소가 되며, 수온의 하강이 용해도에 복합적인 영향을 준 것으로 생각된다.

Morris 등¹⁶⁾에 의하면 탁도는 온도의 함수라고 하였으며 원수의 온도가 낮아지면 탁도제거효율은 감소한다고 하였다. 본 연구에서도 온도 차이에 의한 탁도제거 효과는 명확하였다. Fig. 13과 14에서의 전반적인 경향은 온도가 상승함에 따라 탁도는 감소하는 것으로 나타났다. 예를 들면, pH 7에서 10°C, 16°C, 28°C의 탁도는 각각 1.34 NTU, 0.46 NTU, 0.34 NTU이었고 다른 pH에서도 동일한 경향을 나타냈다.

처리수의 투명도 역시 온도의 상승과 함께 점차 향상되는 경향이 있었지만 16°C와 30°C에서 투명도는 거의 비슷하였다(Fig. 13, 14).

5. 알칼리도 및 경도

응집실험에서 중요한 요소중의 하나는 알칼리도이다. 일반적으로 알칼리도는 산을 중화시키는 능력의 척도로서 정의되며, 자연수 중의 알칼리도는

여러가지 물질로부터 기인되지만 pH에 따라 CO₃²⁻, HCO₃⁻, OH⁻의 3가지로 대별된다.

본 실험에서는 pH를 7로 고정시키고 황산알루미늄 투여량에 따른 pH 및 알칼리도의 변화를 살펴 보았다. 시료의 탁도 17 NTU, 급속교반 120 rpm, 3분, 완속교반 20 rpm, 15분이었다. 사용한 알칼리제는 NaHCO₃이며, 시료의 알칼리도는 50 mg/l로 조정하여 실험을 수행하였다. 10 g/l Al₂(SO₄)₃·18H₂O 1 ml(0.809 mg Al/l)당 소모되는 알칼리도는 2.214 mg/l as CaCO₃였다. 그 실험결과는 Fig. 15와 같다.

응집이 완결된 후의 pH는 응집제 투여량의 증가에 따라 감소하는 경향을 보였으며, 응집제의 투여량이 15 mg/l까지는 위에서 제시한 이론적인 양 26.79 mg/l와 차이가 없었으나 20 mg/l 이상에서는 상당한 차이를 나타냈으며, 잔류알칼리도 값을 비교하여 보면 25 mg/l에서 이론적인 알칼리도와 실제 알칼리도는 각각 4.65 mg/l와 20.8 mg/l로서 큰 차이를 보였다.

이는 투여량의 증가에 의해 이미 어느 정도 응집과정이 완결되었고 그에 따른 pH의 하강에 의해 응집조건이 악화되었기 때문에 약간의 응집만 일어난 것으로 생각된다.

이에 반해 경도는 응집효율에 거의 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

황산알루미늄은 염화마그네슘과 반응하여 황산마그네슘을 형성한다.¹⁷⁾ 본 실험에서는 분자량이 큰 황산알루미늄이 염화마그네슘이 먼저 알칼리도와 반응을 하기 때문에 거의 영향을 받지 않는 것으로 판단된다(Fig. 15).

IV. 결 론

대부분의 정수장에서 응집제로 Alum 및 PAC를 사용하고 있으며, 그로 인해 처리수의 알루미늄 농도가 증가한다는 사실이 밝혀졌다. 본 연구는 Alum을 사용시 잔류알루미늄 농도에 영향을 미치는 인자에 대해 고찰하였으며, 그 결과는 다음과 같다. ① pH 변화에 따른 잔류알루미늄 및 탁도의 최소 범위는 각각 pH 6과 7로 서로 달랐으며, 외결상의 투명도는 pH 8에서 가장 좋았다. pH에 따른 생성 플록의 침강속도는 pH 6.5에서 가장 빨랐으나 탁도는 높게 나타났다.

② 응집제의 투여량을 증가시키면 잔류알루미늄 농도가 증가하는 반면 탁도는 감소하는 경향을 나타냈다. 그러나 과량 투여시 오히려 재안정화가 일어났으며, 20 mg/l 이상에서는 공침현상을 관

찰할 수 있었다.

- ③ 교반강도의 변화는 응집특성에 가장 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. 즉, 급속 및 완속교반의 경우 속도의 증가에 따라 잔류알루미늄 및 탁도는 모두 증가하였으며, 교반시간에 따라서도 동일한 결과를 나타내었다.
- ④ 시료의 수온 역시 응집특성에 영향을 주는 인자로서 시료의 수온이 낮아짐에 따라 응집효율과 잔류알루미늄의 농도는 감소하는 반면 잔류탁도는 증가하였다.
- ⑤ 용액의 알칼리도는 응집효율에 영향을 미치는 것이 확인되었으나 정도의 영향은 적은 것으로 나타났다.

감사의 글

이 논문은 1991년도 교육부지원 한국학술진흥재단 자유공모과제 학술연구조성비에 의해 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) Mok, A. W. S. : Comparison of Analytical Method for the Determination of Aluminum in Drinking Water. International Workshop, IWSA, 23-25, 1992.
- 2) Pakham, R. F. and Ratnayaka, D. D. : Water Clarification with Aluminum Coagulants in the United Kingdom, Aluminum in Drinking Water. International Workshop, IWSA, 37-43, 1992.
- 3) 이보영, 정 용 : 수돗물중 잔류알루미늄에 관한 조사연구. 한국수질보전학회지, 8(2), 93-99, 1992.
- 4) Driscoll, C. T., Letterman, R. D. and Fitch, D. E. : Residual Aluminum in Filtered Water. AWWA Research Report, 1987.
- 5) Crapper McLachlan, D. R. and Boni, U. De. : Aluminum Human Brain Disease an Overview, *Neurotoxicology* 1(4), 1980.
- 6) Lewis, T. E. : Environmental Chemistry and Toxicology of Aluminum. Lewis Publishers, Inc., 1989.
- 7) Ho Suet-Mei and Tso Wing-Shiu : Sanitary and Health Aspects of Aluminum in Drinking Water. Aluminum in Drinking Water, International Workshop, IWSA, 11-21, 1992.
- 8) Nilsson, R. : Residual Aluminum Concentration in Drinking Water After Treatment With Aluminum or Iron Salts or Apatate, Health Aspects, Aluminum in Drinking Water. Health Aspects, Aluminum in Drinking Water. International Workshop, IWSA, 57-67, 1992.
- 9) Hudson, H. E. Jr. : Evaluation of Plant Operating and Jar Test Data, *Jour. AWWA*, 68, 368, 1973.
- 10) Standard Method for the Examination of Water and Wastewater. APHA, AWWA, WPCF, Washington, D.C. (17th ed.), 1989.
- 11) Appiah Amirtharjah and Charles R. O'Melia, Coagulation Processes : Destabilization, Mixing and flocculation in Water Quality and Treatment, 4th ed., McGraw-Hill, Inc, 269-365, 1990.
- 12) Van Benschoten, J. E., Edzwald, J. K. and Rahman, M. A. : Effects of Temperature and pH on Residual Aluminum for Alum and Polyaluminum Coagulants in Aluminum in Drinking Water. International Workshop, IWSA, 51-56, 1992.
- 13) 김민숙 : Floc 생성에 미치는 급속교반과 고분자응집제 주입점의 영향. 인하대학교 공학석사학위논문, 1989.
- 14) Camp, T. R. and Root, D. A. : Effects of Temperature on Rate of Floc Formation. *Jour. AWWA*, 32 (11), 1913, 1940.
- 15) Cornwell, D. A. and Bishop, M. V. : Determining Velocity Gradient in Laboratory and Full-Scale Systems. *Jour. AWWA*, 75(10), 470-475, 1983.
- 16) Morris, J. K. and Knocke, W. R. : Temperature Effects on The Use of Metal-Ion Coagulants for Water Treatment. *Jour. AWWA*, 76(3), 74-79, 1984.
- 17) O. Melia, C. R. : Coagulation and Flocculation in Physicochemical Processes for Water Quality Control. John Wiley and Sons, Inc. 61-110, 1972.