

# 수처리제 품질관리 기법에 관한 연구

- 응집제 -

박선구 연구관  
국립환경연구원

## I. 서 론

수돗물은 하천수 등을 원수로 하여 여러 가지 물리적, 화학적, 생물학적 처리방법을 이용하여 정수 처리한 것이며, 이때 화학적인 처리방법에 사용되는 약품을 수처리제라고 한다. 그 중에서도 응집제는 물의 정수처리에 있어서 소독제와 함께 가장 중요한 역할을 한다.

수처리제가 처음으로 사용된 것은 1885년 황산알루미늄의 응집제와 연수화제가 처음 사용되었으며 1893년 네덜란드의 Oudshoorn에서 오존소독을 하였으며 1908년 Johnson에 의해 처음으로 염소소독이 실시되었다.

우리나라는 수돗물 원수의 90% 이상을 하천수로 이용하고 있어 이들 원수중 91.6%는 2급수이하이어서 응집제 등 여러 가지 수처리제가 사용되고 있으며 그 사용량도 매년 증가하고 있다. 그러나 대부분의 수처리제 제조업소가 영세하여 저질의 원료를 사용하고, 신제품의 개발 및 품질향상에 관한 연구를 소홀히 하여 제품의 품질이 낮아 황산알루미늄, 소석회, 활성탄 등의 수처리제가 규격 및 기준에 적합하지 않거나, 정수장에서 보관 중에 침전물이 생성되고 있어 제품의 품질을 향상시킬 필요가 있다.

본 연구는 국내외에서 사용하고 있는 응집제의 종류 및 규제현황을 조사하고, 제품의 함량, 중금속 등의 성분분석을 수행하고자 하였다.

## II. 결과 및 고찰

### 1. 수처리제의 품질관리 필요성

우리나라는 표 1과 같이 '98년 현재 먹는물의 85.2%를 수돗물로 공급하고 있다. 수돗물은 하천수 등을 원수로 하여 여러 가지 물리적, 화학적, 생

물학적 처리방법을 이용하여 정수처리한 것이며 상수원수의 수질에 따라 그 정수처리방법도 달라진다. 우리나라의 상수원수는 92%가 하천수 또는 호소수 등의 표류수이어서 상수원수중 1급수는 취수량의 8.4%에 불과하며 취수량의 89.2%는 II급수이하이어서 일반 정수처리 또는 고도정수처리를 하여야 한다. 상수원수의 수질이 II급수이하가 되면 여과만으로는 정수처리가 되지 않아 정수처리 과정에서 각종 정수약품을 첨가하며 이때 사용되는 약품을 수처리제라고 한다. 수처리제는 물의 정수처리에 있어서 중요한 역할을 하지만 실제 사용량은 수십 ppm에 불과하여 이들 약품에 다소의 불순물이 있더라도 물의 수질에 크게 영향을 주지 않아서 '80년대까지는 대부분의 나라에서 수처리제에 대하여는 크게 관심을 가지지 않았다. 그러나 우리나라는 상수원수의 수질이 나빠서 수처리제를 사용량이 증가하고 있고 수처리제 제조업소 대부분이 가내 수공업수준이어서 저질의 원료를 사용하거나 제조과정상의 문제로 수처리제의 품질에 대한 논란이 많아 '87년에 황산알루미늄 등 5종을 수처리제로 지정하면서 제품에 대한 품질기준도 동시에 설정하였으며, 현재는 22종에 대한 성분규격이 정하여져 있다.

표 1. 우리나라의 먹는물 공급현황

| 구분 \ 종류  | 시설수 (개소) | 급수인구 (만명) | 급수율 (%) |
|----------|----------|-----------|---------|
| 계        | -        | 4,717     | 100     |
| 정수장      | 630(599) | 4,019     | 85.2    |
| 전용상수도    | 1,236    | 32        | 0.7     |
| 간이상수도    | 11,451   | 220       | 4.7     |
| 소규모급수시설  | 13,201   | 78        | 1.6     |
| 기타(우물 등) | 6,064    | 368       | 7.8     |

※ 수도물의 급수량(1인/1일) : 395 l (상수도 통계, 1999)

## 2. 각국의 수처리제 규제현황

수처리제를 지정하는 방법으로는 1단계가 먹는물의 정수처리에 사용할 수 있는 물질을 지정하는 방법이며, 2단계가 수처리제의 최대사용량을 규

정하는 방법, 3단계가 수처리제의 품질규격을 설정하는 방법이다. 각 국에서의 수처리제에 관한 규제방법은 표 2와 같다.

미국에서는 환경청의 요청을 받아들여 NSF International의 주도하에 American Water Works Association(AWWA) Research Foundation, the Association of State Drinking Water Administrators, the Conference of State Health and Environmental Managers and AWWA와 합동으로 컨소시엄을 구성하여 수처리제의 인증업무를 수행하고 있다. 먼저 제조업자 등이 정수처리용 물질 또는 제품을 NSF에 수처리제로 인증 신청하면 시험, 평가과정을 거쳐 인증하여 주며 인증된 제품에 대하여는 그후 매년 시험 및 감독을 한다.

영국은 1989년 Water Supply(Water Quality) Regulation에 처음으로 먹는 물의 정수처리에 사용하는 수처리제, 제품 및 정수공정에 관한 규정이 제정되었으며 이 규정에 의하면 국무대신이 승인한 물질 등으로 정하고 있다.

표 2. 각국의 수처리제 규제현황

| 구분<br>국가 | 규 제 현 황   |
|----------|---|
| 한 국      | - 환경부에서 수처리제 품목지정<br>- 다량사용제품의 경우 품질규격 설정                 |
| 미 국      | - NSF에서 품목과 최대사용량 지정<br>- AWWA(미국수도협회)에서 품질규격 설정          |
| 일 본      | - JWVA(일본수도협회)에서 품질규격 설정                                  |
| 유럽연합     | - Comite Europeen de Nomalization                         |
| 영 국      | - BS;EN에서 품질기준설정<br>- Drinking Water Inspectorate에서 품목 인증 |
| 프랑스      | - Ministry of Health                                      |

### 3. 국내의 수처리제 지정현황

수처리제는 용도에 따라 응집제, 살균·소독제, pH조정제, 부식방지제 등으로 구분되며, 각국에서의 수처리제 지정현황은 표 3와 같다. 수처리제를 가장 많이 인증하고 있는 국가 또는 기관은 미국의 NSF International로 가장 많은 82종을 인증하였고, 그 다음은 영국의 Drinking Water Inspectorate, 미국수도협

회(AWWA), 세계보건기구(WHO)의 순서이며 종류별로는 응집제, 살균·소독제, 부식조절제, pH조절제 등이 가장 많다. 우리나라는 '90년 이전까지는 응집제인 황산알루미늄, 폴리염화알루미늄(PAC)과 소독제인 염소 등 6종에 불과하였다. 그러나 상수원수의 수질이 갈수록 악화되고, 각종 수돗물 오염사고도 빈발하여 수돗물의 정수처리 개선에 많은 관심을 가지게 되었다. 현재는 표 4와 같이 응집제 8종, 살균·소독제 5종, 방청제 1종 기타 제제 8종 총 22종의 수처리제가 지정되었다. 또한 국립환경연구원에서 자가 품질규격으로 승인받은 제품도 17종이 있다.

#### 4. 국내외 응집제 지정 현황

응집제는 물 속의 현탁물질, 분산되어 있는 미세입자, 콜로이드 입자를 결합시켜서 큰 입자(Floc)로 만들어 침전, 여과, 부상분리 등의 고액분리를 용이하게 할 목적으로 사용되는 물질을 말한다. 국내·외에서 사용되는 응집제는 크게 알루미늄제제, 철제제, 고분자제제 및 응집보조제로 구분되며 표 5과 같이 총 25여종이 사용되고 있다. 우리나라는 8종이 허용되어 있으나 국내에서 사용되는 응집제는 알루미늄제제 4종뿐이며 현재도 정수장에서는 황산알루미늄과 폴리염화알루미늄이 가장 많이 사용되고 있다. '97년에는 철제제인 황산제2철과 염화제2철이 새로 지정되었으며, '99년 11월에는 고분자응집제인 폴리아민이 신규로 지정되었으나 아직 우리나라 정수장에서는 이들 물질을 사용하지 않고 있다.

표 3. 각국의 수처리제 지정현황

| 종류 \ 국가               | WHO             | 미국  |      | 일본 | 영국 | 한국 |
|-----------------------|-----------------|-----|------|----|----|----|
|                       |                 | NSF | AWWA |    |    |    |
| Totals                | 69              | 82  | 28   | 13 | 71 | 22 |
| Coagulants            | 8               | 19  | 5    | 3  | 13 | 7  |
| Coagulants aids       | 15              | -   | -    | 2  | 1  | 2  |
| Disinfectants         | - <sup>1)</sup> | 10  | 5    | 1  | 11 | 5  |
| Dechlorinating agents | 6               | 4   | -    | -  | 5  | -  |
| pH adjustments        | 7               | 14  | 2    | 3  | 20 | 3  |
| Fluoridation          | 6               | 7   | 2    | -  | 2  | -  |
| Fluoride adjustments  | 6               | 1   | -    | -  | -  | -  |
| Tastes, Odors         | 6               | -   | -    | -  | -  | -  |
| Mineral oxidation     | 4               | -   | -    | -  | -  | -  |
| Corrosion control     | 5               | 24  | 6    | 2  | -  | 1  |
| Softening             | 6               | -   | -    | 1  | 12 | -  |
| Others                | -               | 3   | 8    | 1  | 7  | 4  |

\* 1 : Coagulants aids에 포함되어 있음.

표 4. 한국의 수처리제 지정 현황

| 용도     | 품명  |  |
|--------|---|--|
|        | 고시품목  | 자가품질품목   |
| 계      | 22  | 17   |
| 응집제    | <ul style="list-style-type: none"> <li>-폴리염화알루미늄</li> <li>-황산알루미늄</li> <li>-폴리황산규산알루미늄</li> <li>-폴리수산화규산알루미늄</li> <li>-황산제이철</li> <li>-염화제이철</li> <li>-알긴산나트륨</li> <li>-폴리아민</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-폴리유기황산알루미늄<sup>1)</sup></li> <li>-유기고분자황산알루미늄<sup>1)</sup></li> <li>-폴리유기황산알루미늄-M<sup>1,2)</sup></li> <li>-폴리황산마그알루미늄<sup>2,6)</sup></li> <li>-등명Coa<sup>3)</sup></li> <li>-DMC<sup>3)</sup></li> <li>-황산알루미늄제2철<sup>4)</sup></li> <li>-PAC황산제2철혼합조성물<sup>4)</sup></li> <li>-키토산계폴리염화알루미늄</li> <li>-키토산계액체황산알루미늄</li> <li>-폴리실리카알루미늄<sup>2,4,6)</sup></li> </ul> |
| 살균·소독제 | <ul style="list-style-type: none"> <li>-고도표백분(차아염소산칼슘)</li> <li>-액화염소</li> <li>-차아염소산나트륨</li> <li>-이산화염소</li> <li>-오존</li> </ul>  |  |
| 방청제    | -방청제  |  |
| 기타제제   | <ul style="list-style-type: none"> <li>-수산화칼슘(소석회)</li> <li>-활성탄</li> <li>-황산동</li> <li>-수산화나트륨(액체)</li> <li>-제오라이트</li> <li>-일라이트</li> <li>-황산</li> <li>-안정화이산화염소</li> </ul>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>-SCI-62<sup>9)</sup></li> <li>-HANCLEAN<sup>5)</sup></li> <li>-FILDCLEAN<sup>5)</sup></li> <li>-HANCLEAN-X<sup>5)</sup></li> <li>-Earth Tec<sup>5)</sup></li> <li>-제오카본<sup>7)</sup></li> </ul>   |

※ 1; 폴리아크릴아미드, 2; 마그네슘, 3; 인산 등, 4; 철제제,  
5; 동제제, 6; 규산염 7; 활성탄·제오라이트

표 5. 각국의 응집제 지정현황

| 국 가              | 종류  | WHO | 미 국 |      | 일본 | 영국 | 한국 |
|------------------|---|-----|-----|------|----|----|----|
|                  |   |     | NSF | AWWA |    |    |    |
| 알<br>루<br>미<br>늄 | Aluminium   | ○   |     | ○    |    | ○  |    |
|                  | Aluminium sulfate                                     | ○   | ○   | ○    | ○  | ○  | ○  |
|                  | Aluminium chloride                                    |     | ○   |      |    | ○  |    |
|                  | Aluminium ammonium sulfate                            | ○   |     |      | ○  |    |    |
|                  | Aluminium potassium sulfate                           | ○   |     |      |    |    |    |
|                  | Poly aluminium chloride                               |     | ○   |      |    |    | ○  |
|                  | Poly aluminium silicate sulfate                       |     |     |      |    |    | ○  |
|                  | Poly aluminium hydroxide chloride silicate            |     |     |      |    |    | ○  |
| 철                | Sodium aluminate                                      | ○   | ○   | ○    |    | ○  |    |
|                  | Ferrous sulfate                                       | ○   | ○   |      |    | ○  |    |
|                  | Ferric sulfate  | ○   | ○   | ○    |    | ○  | ○  |
|                  | Ferrous chloride                                      |     |     |      |    | ○  |    |
|                  | Ferric chloride                                       | ○   | ○   | ○    |    | ○  | ○  |
| 고<br>분<br>자      | Ferric chloride sulfate                               |     |     |      |    | ○  |    |
|                  | Acrylamide/acrylic acid copolymer                     |     | ○   |      |    |    |    |
|                  | Cationic polyacrylamide                               |     | ○   |      |    |    |    |
|                  | Diallyldimethylammonium DA DMC/AMDchloride acrylamide |     | ○   |      |    |    |    |
|                  | Hydrolyzed polyacrylamide                             |     | ○   |      |    |    |    |
|                  | Poly(Diallyldimethylammoum chloride)                  |     | ○   | ○    |    | ○  |    |
|                  | Polyacrylamide  |     | ○   |      | ○  | ○  |    |
|                  | Polyamines  |     | ○   |      |    | ○  | ○  |
| 기타               | Polyethyleneamine                                     |     | ○   |      |    |    |    |
|                  | Resin amine   |     | ○   |      |    |    |    |
|                  | Sodium alginate                                       |     |     |      |    | ○  | ○  |
|                  | Modified starch                                       |     |     |      |    | ○  |    |
|                  | Bentonite   |     | ○   |      |    |    |    |
| 기타               | Kaolinite   |     | ○   |      |    |    |    |
|                  | Starch, Anionic                                       |     | ○   |      |    |    |    |

## 5. 국내 응집제의 사용현황

국내에서 응집제를 제조하는 업소는 표 6과 같이 총 31개소이며 지역별로는 경기도가 5개소로 가장 많이 차지하고 있었으며, 그 다음으로 인천이 4개소, 대구, 울산, 경북, 전남, 전북은 각각 3개소인 것으로 조사되었다.

표 6. 국내 응집제 제조업소 현황

| 구분  | 계  | 서울 | 인천 | 경기 | 부산 | 대구 | 울산 | 경남 | 경북 | 대전 | 충북 | 광주 | 전북 | 전남 |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 업소수 | 31 | 1  | 4  | 5  | 1  | 3  | 3  | 2  | 3  | 1  | 1  | 1  | 3  | 3  |

응집제의 종류별 생산 및 판매현황을 살펴보면 응집제 중에는 폴리염화알루미늄의 생산량 및 판매량이 각각 96.3%와 91.3%로 가장 많았으며, 다음으로는 황산알루미늄, 폴리수산화염화규산알루미늄, 폴리황산규산알루미늄의 순서이었다.

### 5.1 정수장에서의 응집제 사용현황

국내 정수장에서의 응집제의 종류별 사용현황은 응집제를 사용하는 전체 정수장 286개소 중에서 65.7%인 188개소에서 폴리염화알루미늄을 사용하고 있으며 다음으로는 76개소에서 황산알루미늄, 17개소에서 폴리수산화염화규산알루미늄, 5개소에서 폴리황산규산알루미늄의 순으로 사용하고 있다. 응집제의 사용량을 볼 때도 응집제 전체 사용량 121,449톤중 폴리염화알루미늄이 약 71%인 86,020톤을 차지하여 가장 많이 사용되었다.(표 7 참조)

## 6. 응집제 제품의 성분분석

### 6.1 폴리염화알루미늄

국내 17개 제조업소에서 생산된 폴리염화알루미늄의 성분분석 결과는 표 8과 같다.

폴리염화알루미늄제품 17종 중에서 16종은 규격기준에 적합하였으며 1종



은 염기도가 규격기준에 적합하지 않았다. 항목별로 보면 산화알루미늄의 함량은 10.5~11.4%로 모두 기준에 적합한 것으로 조사되었다. 산화알루미늄의 함량기준은 과거에는 10~11%이었으나 제조업소등에서 고농도의 제품도 제조가 가능하도록 요청하여 10~18%로 확대하였으나 아직까지는 고농도의 제품을 제조하는 곳은 없는 것으로 조사되었다. 고농도의 제품을 사용할 경우, 정수장에서는 투입조건을 변경하여야 하기 때문에 기존의 저농도 제품을 선호하는 것으로 추정된다. 모든 제품에서 비중은 1.20~1.25, pH는 4.0~4.2, 황산이온은 0~2.85%, 암모니아성질소는 0~0.008%로 모두 기준에 적합하였다. 과거에는 원료의 하나로 암모니아성질소를 다량 함유한 명반염 등을 원료로 사용하여 정제 공정을 거치지 않을 경우 암모니아성질소가 검출될 수 있으나 최근에는 순도가 우수한 수산화알루미늄을 주원료로 사용하기 때문에 최종제품에서 암모니아성질소가 기준을 초과할 가능성은 거의 없다. 중금속류중 비소는 0~0.648ppm으로 아주 낮게 검출되었다. 크롬도 0.02~2.951ppm으로 모두 기준에 적합하였다. 망간은 1개 제품에서 13.78ppm으로 다소 높게 검출되었으나 그 외의 제품에서는 최고 농도가 2.69ppm으로 기준값인 25ppm의 1/10에 불과하였다. 납은 0~2.008ppm으로 기준에 모두 적합하였다. 염기도는 1개 제품에서 기준에 적합하지 않았다. 염기도는 알루미늄 원자당 OH기의 수로 나눈 값을 퍼센트로 나타낸 것으로 염기도는 응집제의 분자량과 관련되며 이는 침전속도와 직접적인 관계가 있다. 염기도가 50% 이하일 경우 안정성이 문제가 되므로 신중을 기해야 한다. 염기도가 증가하게 되면 반응속도가 상당히 빨라지게 되므로 교반강도도 증가시켜 주어야 한다.

폴리염화알루미늄이 저장 중에 침전물이 생성되는 원인을 조사한 결과 제조과정중 중축합촉진제로 첨가한 황산염에 의한 것으로 황산염이 폴리알루미늄이온과 반응하여 생성된 불용성의 다핵착체 화합물이다. 보통 원액은 6~12개월까지는 안정하나 희석용액은 분해되기 쉬우며 특히 5~30% 범위가 불안하여 황산알루미늄과 혼합될 경우에도 불안하다. 그러므로 저장할 때는 원액을 저장하여야 하며 황산알루미늄을 저장하였던 저장조에 저장하여서는 안 된다.

표 7. 전국 정수장의 응집제 사용량

(단위 : 톤)

| 지역 | 응집제 | 황산알루미늄   | 폴리염화알루미늄 | 폴리수산화염화규산알루미늄 | 폴리황산규산알루미늄 |
|----|-----|----------|----------|---------------|------------|
|    |     |          |          |               |            |
| 계  | 개 소 | 76       | 188      | 17            | 5          |
|    | 사용량 | 18,729   | 86,020   | 9,402         | 7,298      |
| 서울 | 개 소 | -        | 10       | -             | -          |
|    | 사용량 |          | 34,175   |               |            |
| 부산 | 개 소 | -        | 5        | 1             | 2          |
|    | 사용량 |          | 3,440    | 381           | 2,710      |
| 대구 | 개 소 | -        | 7(2)*    | -             | 3(1)*      |
|    | 사용량 |          | 8,219    |               | 4,588      |
| 인천 | 개 소 | -        | 4        | -             | -          |
|    | 사용량 |          | 9,091    |               |            |
| 광주 | 개 소 | 5        | 4        | -             | -          |
|    | 사용량 | 1,610    | 1,130    |               |            |
| 대전 | 개 소 | 2        | -        | 1(1)**        | -          |
|    | 사용량 | 8,564    |          | 26            |            |
| 울산 | 개 소 | 3        | 4        | -             | -          |
|    | 사용량 | 1,362    | 3,215    |               |            |
| 경기 | 개 소 | 2        | 29(5)**  | 7(5)**        | -          |
|    | 사용량 | 260      | 12,282   | 3,866         |            |
| 강원 | 개 소 | 9(1)**   | 17(1)**  | -             | -          |
|    | 사용량 | 34       | 1,324    |               |            |
| 충북 | 개 소 | 5(1)**   | 10(1)**  | 3(1)**        | -          |
|    | 사용량 | 612      | 584      | 1,944         |            |
| 충남 | 개 소 | 6        | 18       | 2             | -          |
|    | 사용량 | 1,189    | 1,956    | 208           |            |
| 전북 | 개 소 | 9(1)**   | 16(3)**  | -             | -          |
|    | 사용량 | 72       | 2,086    |               |            |
| 전남 | 개 소 | 18       | 18       | -             | -          |
|    | 사용량 | 1,021    | 1,377    |               |            |
| 경북 | 개 소 | 4        | 19(3)**  | 1(1)**        | -          |
|    | 사용량 | 1,080    | 4,079    | 407           |            |
| 경남 | 개 소 | 12(2)*** | 27(4)*** | 2             | -          |
|    | 사용량 | 2,922    | 3,062    | 2,570         |            |
| 제주 | 개 소 | 1        | -        | -             | -          |
|    | 사용량 | 3        |          |               |            |

\* 공업용으로 쓰이는 정수장을 포함한 것임.

\*\* 한국수자원공사에서 생산하는 광역상수도를 포함한 것임.

\*\*\* 공업용 및 광역상수도를 모두 포함한 것임.

## 6.2 황산알루미늄

국내 14개 제조업소에서 생산된 황산알루미늄(액체)의 성분분석결과는 표 9과 같다.

황산알루미늄(액체) 14개 제품 모두가 규격기준에 적합하였다. 항목별로 평가하여 보면 산화알루미늄의 함량은 6.8~8.5%로, pH, 산화알루미늄의 함량 등은 14개 제품 모두에서 규격기준에 적합하였다.

암모니아성 질소는 0.006ppm으로 기준에 모두 적합하였으며 이것은 폴리염화알루미늄에서 언급한 바와 같이 알루미늄의 원료를 순도가 우수한 수산화알루미늄을 사용하였기 때문으로 보인다. 철은 0.001~0.066 ppm으로 기준치의 1/5이하이었다. 유해중금속에 있어서 비소는 0~0.606ppm, 납은 0~2.394ppm, 카드뮴은 0~1.012ppm으로 비교적 낮은 농도로 검출되고 있었다. 특히 망간의 경우는 0~1.121ppm으로 기준치의 약 1/20에 불과하였다.

국내 6개 제조업소에서 생산된 황산알루미늄(고체)의 성분분석결과는 표 10과 같다.

황산알루미늄(고체)은 모두 기준에 적합하였으며 중금속 등 기타 불순물의 농도도 황산알루미늄(액체)의 유형과 비슷하였다.

표 8. 폴리염화알루미늄(PAC) 성분분석 결과

| 구분  | 비중<br>(20°C) | pH          | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub><br>(%) | 염기도<br>(%)  | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup><br>(%) | NH <sub>3</sub> -N<br>(%) | 철<br>(%)     | 비소<br>(ppm)  | 납<br>(ppm)   | 크롬<br>(ppm)    | Cd<br>(ppm) | 망간<br>(ppm)  | 수은<br>(ppm)  |
|-----|--------------|-------------|---------------------------------------|-------------|--------------------------------------|---------------------------|--------------|--------------|--------------|----------------|-------------|--------------|--------------|
| 기준  | 1.19↓        | 3.5~<br>5.0 | 10~<br>18                             | 35~<br>60   | 3.5↓                                 | 0.01↓                     | 0.01↓        | 5↓           | 10↓          | 10↓            | 2↓          | 25↓          | 0.2↓         |
| A1  | 1.22         | 4.0         | 10.9                                  | 45.5        | 0.4                                  | 0.008                     | 0.002        | 0.246        | 1.468        | 1.623          | 0.213       | 0.025        | ND           |
| A2  | 1.25         | 4.0         | 10.7                                  | 52.0        | 0.9                                  | 0.001                     | 0.009        | ND           | 1.486        | 2.640          | 0.320       | 1.256        | ND           |
| A3  | 1.20         | 4.0         | 10.8                                  | 42.9        | 0.3                                  | 0.001                     | 0.007        | 0.360        | 1.480        | 2.690          | 0.183       | 0.067        | ND           |
| A4  | 1.22         | 4.0         | 11.2                                  | 43.1        | 0.6                                  | 0.003                     | 0.010        | 0.590        | 1.062        | 2.516          | 0.344       | 0.066        | ND           |
| A5  | 1.22         | 4.0         | 10.4                                  | 32.5        | 0.2                                  | ND                        | 0.005        | 0.648        | 0.709        | 2.951          | 0.385       | 0.180        | ND           |
| A6  | 1.20         | 4.0         | 10.9                                  | 43.8        | 1.8                                  | 0.003                     | 0.003        | 0.458        | 0.742        | 0.208          | ND          | ND           | ND           |
| A7  | 1.22         | 4.1         | 10.9                                  | 43.6        | 1.7                                  | 0.008                     | 0.004        | 0.139        | 2.008        | 0.590          | ND          | ND           | ND           |
| A8  | 1.25         | 4.1         | 10.5                                  | 46.5        | 0.2                                  | 0.008                     | 0.009        | ND           | 1.847        | 1.616          | 0.128       | 2.680        | 0.017        |
| A9  | 1.20         | 4.0         | 11.0                                  | 48.1        | 0.2                                  | 0.001                     | 0.001        | ND           | 1.499        | 2.267          | 0.042       | 0.042        | ND           |
| A10 | 1.22         | 4.0         | 10.9                                  | 41.9        | 0.6                                  | 0.002                     | 0.010        | 0.066        | 0.675        | 2.598          | 0.820       | 0.180        | 0.014        |
| B4  | 1.23         | 4.0         | 10.8                                  | 42.3        | 1.32                                 | ND                        | ND           | 0.042        | ND           | 0.054          | ND          | 0.087        | ND           |
| B6  | 1.25         | 4.0         | 11.3                                  | 46.8        | 2.85                                 | ND                        | ND           | 0.078        | ND           | 0.082          | ND          | 0.087        | ND           |
| B8  | 1.25         | 4.0         | 11.1                                  | 45.4        | 1.92                                 | ND                        | ND           | 0.039        | ND           | 0.030          | ND          | 0.077        | ND           |
| C1  | 1.23         | 4.1         | 10.5                                  | 39.5        | ND                                   | ND                        | 0.002        | 0.050        | 1.486        | 0.628          | 0.727       | 0.958        | ND           |
| C3  | 1.23         | 4.2         | 11.0                                  | 41.5        | ND                                   | ND                        | 0.001        | 0.029        | ND           | 0.558          | 0.767       | 0.941        | ND           |
| C5  | 1.23         | 4.2         | 10.1                                  | 42.9        | ND                                   | ND                        | 0.006        | 0.015        | 0.257        | 1.433          | 0.772       | 13.78        | 0.026        |
| C7  | 1.24         | 4.2         | 11.4                                  | 40.0        | ND                                   | ND                        | 0.002        | 0.007        | 0.982        | 1.600          | 0.800       | 0.982        | ND           |
| 평균  | 1.23         | 4.1         | 10.8                                  | 43.4        | 2.03                                 | 0.004                     | 0.005        | 0.198        | 1.208        | 1.417          | 0.458       | 1.427        | 0.019        |
| 범위  | 1.2~<br>1.25 | 4.0~<br>4.2 | 10.5~<br>11.4                         | 32.5~<br>52 | ND~<br>2.85                          | ND~<br>0.008              | ND~<br>0.010 | ND~<br>0.648 | ND~<br>2.008 | 0.03~<br>2.951 | ND~<br>0.82 | ND~<br>13.78 | ND~<br>0.026 |

\* ND는 계산에서 제외함.

표 9. 액체황산알루미늄(LAS) 성분분석 현황

| 구분 | pH          | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub><br>(%) | NH <sub>3</sub> -N<br>(%) | 철<br>(%)        | 비소<br>(ppm)  | 납<br>(ppm)   | 크롬<br>(ppm)  | 카드뮴<br>(ppm) | 망간<br>(ppm)  | 수은<br>(ppm)  |
|----|-------------|---------------------------------------|---------------------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 기준 | 3.0↑        | 8↑                                    | 0.01↓                     | 0.3↓            | 10↓          | 10↓          | 10↓          | 2↓           | 25↓          | 0.2↓         |
| A2 | 3.5         | 8.1                                   | 0.002                     | 0.004           | ND           | 0.626        | 1.136        | ND           | 0.015        | ND           |
| A3 | 3.5         | 8.1                                   | 0.006                     | 0.027           | ND           | 2.394        | 0.462        | ND           | ND           | ND           |
| A4 | 3.4         | 8.4                                   | 0.003                     | 0.020           | ND           | 0.022        | 0.037        | ND           | ND           | 0.101        |
| A6 | 3.2         | 8.1                                   | 0.005                     | 0.066           | 0.606        | 0.591        | 0.152        | ND           | ND           | ND           |
| B1 | 3.3         | 8.4                                   | ND                        | 0.002           | ND           | ND           | 0.046        | ND           | 0.185        | ND           |
| B2 | 3.0         | 8.0                                   | ND                        | 0.004           | 0.036        | 0.272        | ND           | ND           | 0.222        | ND           |
| B3 | 3.2         | 8.3                                   | ND                        | 0.002           | 0.032        | ND           | 0.258        | ND           | 0.112        | ND           |
| B5 | 3.0         | 8.2                                   | ND                        | 0.001           | 0.047        | 0.154        | 0.100        | ND           | 0.451        | ND           |
| B9 | 3.2         | 8.5                                   | ND                        | 0.002           | ND           | ND           | 0.351        | ND           | 0.264        | ND           |
| C2 | 3.5         | 8.1                                   | ND                        | 0.001           | 0.011        | 1.427        | ND           | 0.837        | 0.465        | ND           |
| C3 | 3.6         | 8.4                                   | ND                        | 0.001           | ND           | ND           | ND           | 0.881        | 0.542        | 0.056        |
| C5 | 3.5         | 8.3                                   | ND                        | 0.003           | 0.053        | ND           | 0.292        | 0.909        | 0.487        | 0.033        |
| C7 | 3.6         | 8.4                                   | ND                        | 0.002           | ND           | ND           | 0.526        | 1.012        | 0.890        | ND           |
| C8 | 3.5         | 8.4                                   | ND                        | 0.005           | 0.009        | ND           | ND           | 0.808        | 0.932        | ND           |
| 평균 | 3.5         | 8.0                                   | 0.009                     | 0.009           | 0.141        | 0.981        | 0.494        | 0.912        | 0.514        | 0.149        |
| 범위 | 2.3~<br>3.6 | 6.8~<br>8.5                           | ND~<br>0.03               | 0.001~<br>0.066 | ND~<br>0.606 | ND~<br>2.394 | ND~<br>2.194 | ND~<br>1.012 | ND~<br>1.121 | ND~<br>0.446 |

\* ND는 계산에서 제외함.

표 10. 고체황산알루미늄(PAS) 성분분석 현황

| 구분 | pH      | 불발용물 (%)  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%) | NH <sub>3</sub> -N (%) | 철 (%)       | 비소 (ppm) | 납 (ppm) | 크롬 (ppm)  | 카드뮴 (ppm) | 망간 (ppm) | 수은 (ppm) |
|----|---------|-----------|------------------------------------|------------------------|-------------|----------|---------|-----------|-----------|----------|----------|
| 기준 | 3.0↑    | 0.3↓      | 16↑                                | 0.03↓                  | 1.0↓        | 5↓       | 10↓     | 10↓       | 2↓        | 25↓      | 0.2↓     |
| A4 | 3.5     | -         | 17.1                               | 0.001                  | 0.028       | ND       | 5.5     | 1.5       | ND        | ND       | 0.159    |
| A7 | 3.5     | -         | 16.8                               | 0.019                  | 0.023       | ND       | 7.8     | 2.0       | ND        | ND       | ND       |
| B1 | 3.6     | 0.08      | 17.7                               | ND                     | 0.001       | 0.088    | 5.686   | 0.240     | ND        | 0.350    | ND       |
| B2 | 3.5     | 0.06      | 17.5                               | ND                     | 0.004       | 0.031    | 0.489   | 0.122     | ND        | 0.240    | ND       |
| B5 | 3.4     | 0.06      | 17.0                               | ND                     | 0.003       | 0.096    | ND      | 0.192     | ND        | 0.365    | ND       |
| C3 | 3.4     | 0.12      | 17.0                               | ND                     | 0.004       | 0.002    | 2.619   | 1.370     | 1.401     | 1.644    | 0.093    |
| 평균 | 3.5     | 0.08      | 17.2                               | 0.01                   | 0.010       | 0.054    | 4.419   | 0.904     | 1.401     | 0.650    | 0.126    |
| 범위 | 3.4~3.6 | 0.06~0.12 | 16.8~17.7                          | ND~0.019               | 0.001~0.028 | ND~0.086 | ND~7.8  | 0.122~2.0 | ND~1.401  | ND~1.644 | ND~0.159 |

\* ND는 계산에서 제외함.

### 6.3 PACS와 PASS

폴리수산화염화규산알루미늄과 폴리황산규산알루미늄의 경우 표 11 및 12에서와 같이 모두 수처리제 품질규격기준을 만족하는 것으로 조사되었다.

표 11. 폴리수산화염화규산알루미늄(PACS) 성분분석 현황

| 구분 | 비중 (20℃) | pH  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%) | SiO <sub>2</sub> (%) | 철 (%) | 비소 (ppm) | 납 (ppm) | 크롬 (ppm) | 카드뮴 (ppm) | 망간 (ppm) | 수은 (ppm) |
|----|----------|-----|------------------------------------|----------------------|-------|----------|---------|----------|-----------|----------|----------|
| 기준 | 1.3↑     | 3~5 | 16~18                              | 0.2~0.4              | 0.01↓ | 5↓       | 10↓     | 10↓      | 2↓        | 25↓      | 0.2↓     |
| B7 | 1.35     | 4.0 | 17.2                               | 0.24                 | 0.001 | 0.086    | ND      | 0.167    | ND        | ND       | ND       |

표 12. 폴리황산규산알루미늄(PASS) 성분분석 현황

| 구분 | 비중 (20℃) | pH   | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%) | 철 (%) | 비소 (ppm) | 납 (ppm) | 크롬 (ppm) | 카드뮴 (ppm) | 수은 (ppm) |
|----|----------|------|------------------------------------|-------|----------|---------|----------|-----------|----------|
| 기준 | 1.25↑    | 2.0↑ | 8↑                                 | 0.3↓  | 5↓       | 5↓      | 10↓      | 1↓        | 0.2↓     |
| B7 | 1.32     | 2.9  | 8.1                                | 0.002 | ND       | ND      | 1.880    | ND        | ND       |

### III. 결론

#### 1. 각국의 응집제 규격기준 비교

각국의 규격기준의 항목별을 비교하여 보면 황산알루미늄중(고체)의 함량에서는 우리나라에서는 16%이상이나 미국은 17%이상, 일본은 14%이상으로 약간 차이가 있다. 액체의 경우에는 우리나라는 8%이상, 일본은 8~8.2%로 비슷하다. 유해중금속의 경우 우리나라와 미국은 납 등 6종, 일본은 3종을 각각 규제하고 있다. 허용기준을 비교하여 보면 납과 비소의 경우 우리나라는 20ppm이나 미국은 30ppm, 일본은 100~200 ppm으로 규제되어 있으며, 카드뮴의 경우에 있어서도 우리나라는 4ppm이나 미국은 7ppm으로 정하고 있다.

#### 2. 폴리염화 알루미늄

국내 17개 제조업소에서 생산된 폴리염화알루미늄의 성분분석 결과 17종 중에서 16종은 규격기준에 적합하였으며 1종은 염기도가 규격기준에 적합하지 않았다. 항목별로 보면 산화알루미늄의 함량은 10.5~11.4%로, 비중은 1.20~1.25, pH는 4.0~4.2, 황산이온은 0~2.85%, 암모니아성질소는 0~0.008%로 모두 기준에 적합하였다. 중금속류중 비소는 0~0.648ppm으로 아주 낮게 검출되었으며 크롬도 0.02~2.951 ppm으로 모두 기준에 적합하였다. 납은 0~2.008ppm으로 기준에 모두 적합하였다. 염기도는 1개 제품에서 기준에 적합하지 않았다. 염기도는 알루미늄 원자당 OH기의 수로 나눈 값을 퍼센트로 나타낸 것으로 염기도는 응집제의 분자량과 관련되며 이는 침전속도와 직접적인 관계가 있다.

#### 3. 황산알루미늄

국내 14개 제조업소에서 생산된 황산알루미늄(액체)의 성분분석결과 14개 제품 모두가 규격기준에 적합하였다. 항목별로 평가하여 보면 산화알루미늄의 함량은 6.8~8.5%로, pH, 산화알루미늄의 함량 등은 14개 제품 모두에서 규격기준에 적합하였다. 암모니아성 질소는 0.006ppm으로 기준에 모두 적합하였으며, 철은 0.001~0.066 ppm으로 기준치의 1/5이하이었다. 유해중금

속에 있어서 비소는 0~0.606ppm, 납은 0~2.394ppm, 카드뮴은 0~1.012ppm으로 비교적 낮은 농도로 검출되고 있었다. 특히 망간의 경우는 0~1.121ppm으로 기준치의 약 1/20에 불과하였다.

국내 6개 제조업소에서 생산된 황산알루미늄(고체)의 성분분석결과 모두 기준에 적합하였으며 중금속 등 기타 불순물의 농도도 황산알루미늄(액체)의 유형과 비슷하였다.

#### 4. PACS와 PASS

폴리수산화염화규산알루미늄과 폴리황산규산알루미늄의 경우 모두 수처리제 품질규격기준을 만족하는 것으로 조사되었다.

이 연구는 국립환경연구원의 김준환 과장 등 그의 6명이 함께 수행하였습니다.

### 참고문헌

1. 환경부, '98 상수도통계, p.5, 1999.
2. B. Lankasis, D. A. Reckhow and D. R. Brink, Ozone in water treatment application and engineering, Lewis Publishers Chelsea, Mich., p.2, 1991.
3. Seymour S. Block, Disinfection, sterilization and preservation, 4th edition, Lea & Febiger Philadelphia · London, p.131, 1991.
4. American National Standard/NSF International, Drinking Water Treatment Chemicals-Health Effects, 1996.
5. American Water Works Association, AWWA Standard.
6. 日本水道協會, JWWA 凝集劑 規格, 1985.
7. Joint FAO/WHO Food Standards Programme Codex Committee on Food Additives, Water treatment chemicals and construction materials, 1985.
8. Drinking Water Inspectorate, Committee on chemicals and materials of construction for use in public water supply and swimming pools, List of substances products and processes approved under Regulations 25 and 26 for use in connection with the supply of water for drinking, washing, cooking and food production purposes, 1998.



9. 환경부, 수처리제의 기준과 규격 및 표시기준, 1998.
10. American Public Health Association, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 1992.
11. 환경부, 먹는물 수질공정시험방법, 1997.
12. 환경부, 수질오염공정시험방법, 1991.
13. 국립환경연구원고시 제1998-19호, 수처리제 등(수처리제와 먹는샘물)의 자가기준과 자가규격의 인정기준, 1998.
14. Yoshihiko Matsui *et al.*, Dynamic analysis of coagulation with alum and PACl, *J. AWWA*, Vol. 90. Issue 10, pp.96~106, 1998.
15. Nowack, O.K. *et al.*, Ferric chloride plus GAC for removing TOC, *J. AWWA*, Vol. 91. Issue 2, pp.65~78, 1999.
16. Urfer, D. *et al.*, Modelling enhanced coagulation to improve ozone disinfection, *J. AWWA*, Vol. 91. Issue 3, pp.59~73, 1999.
17. Lee Myun-Joo and Yoon Tai-Il, A study on the effect of initial coagulation conditions by Flocculation Breakup Index, *Proceedings of fourth Japan-Korea symposium on separation technology*, Vol. 2, pp.761~764, 1996.
18. Malhotra, S. *et al.*, Effectiveness of poly aluminium chloride(PAC) vis-a-vis alum in the removal of fluorides and heavy metals, *J. Environ. Sci. Health*, A32(9&10), pp.2563~2574. 1997.
19. Childress, E.A. *et al.*, Particulate and THM precursor removal with Ferric Chloride, *J. Environ. Eng.*, Vol. 125, No. 11, pp.1054~1059, 1999.