

낙동강 원수내 조류의 응집 침전에 의한 제거에 관한 연구

이진희·김영주*

*경북대학교 보건대학원 환경보건학과 · **경북대학교 환경공학과
(2000년 10월 18일 접수)

A Study on the Removal of Algae by Coagulation and Sedimentation in the Raw Water of the Nakdong River

Jin-Hee Lee* and Young-Ju Kim**

*Dept. of Environment and Health Engineering in Graduate School of Public Health, Kyungpook National University

**Dept. of Environmental Engineering, Kyungpook National University

(Manuscript received 18 October 2000)

This study was conducted to investigate the effect of the prechlorination on algal removal by application of a varying amount of different coagulants, such as LAC, PAC, PACS following the process of coagulation and sedimentation of algae in the Nakdong River. The samples used as a source for the raw water of the Nakdong River were collected from the D Water Purification Plant in Taegu city. With the application of the process of prechlorination, the removal rate of the algae was increased from 10~25% for *Synedra* spp., 20~35% for diatoms and 4~17% for turbidity. Generally, the removal rate of the algae was increased with the increase of the concentration of the coagulants. The PAC and PACS showed 5% higher removal rate for turbidity as compared to the LAS. On the hand, LAS showed 12% higher removal rate for *Synedra* spp. as compared to the PAC and PACS. The variations in the removal rate of diatoms with the change of coagulant were not significant. In conclusion, the application of LAS, polymeric coagulant and chlorination for at least 20 minutes could be considered as a reliable treatment process for the removal of source water containing a variety of algae.

Key words : algae, diatom, *Synedra* spp., prechlorination, coagulation, sedimentation

1. 서론

깨끗한 양질의 물을 생산하기 위해서는 양질의 원수를 확보하는 것이 중요하다, 갈수기에는 하천용수의 부족으로 인해 양질의 원수를 확보하기가 어렵다. 낙동강 원수를 대부분 취수원으로 사용하는 대구 경북지역은 갈수기에 낙동강의 수질 악화로 인해 상수원의 확보와 사용에 많은 어려움을 겪고 있다¹⁾.

상수원수의 근간을 이루고 있는 호소 및 하천에서 식물성 플랑크톤은 수중생태계의 일차 생산자로서 중요한 위치에 있으나^{2,3)}, 근래에 들어와서는 산업발달 등으로 인한 오염의 심화로 이들 조류가 이상 과다 성장함으로써 정수공정에서 처리효율을 감소시키는 원인이 되며 그 대표적인 것은 외벽이 단단한 *Synedra*와 같은 규조류이다⁴⁻⁷⁾. 하천 용수 중의 조류는 정수공정 중 침전지, 여과지 등의 부패 및 폐색을 유발한다⁸⁾. 조류는 무기응집제 및 유기응집제를 사용한 응집 침전으로 제거할 수 있으나 다량으로 발생하게 되면 응집 침전 공정에서 충분히 제거되지 못하고 여과 공정에서 여과지 폐색 및 불

쾌한 냄새와 맛을 유발하게 된다⁹⁾.

응집 침전시의 응집제는 응집시키려는 콜로이드의 하전을 중화시키고 콜로이드 입자를 상호 결합시키는 가교 능력을 가진 물질이다. 응집제는 응집하는 콜로이드와 반대 하전을 가진 이온 및 고분자 물질이어야 한다. 일반적으로 광범위하게 사용되고 있는 응집제로는 쉽게 가수분해되어 (+)하전의 수산화물 중합체를 형성하는 알루미늄, 철염 등의 금속염이 있으며, 최근에는 유기 고분자 응집제의 사용추세도 높아지고 있다¹⁰⁾. 우리나라에서도 1999년 11월 환경부에 의해 고분자응집제의 사용기준과 규격이 정해져 정수장에서 이를 사용할 수 있는 법적근거가 마련되었다. 특히 응집보조제로서 고분자응집제를 사용함으로써 기존 정수장에서 사용되고 있는 알루미늄계 무기 응집제의 양을 줄일 수 있으며¹¹⁾, 이로써 음용수 중의 알루미늄으로 인한 알츠하이머와 같은 신경계 질환이나, 투석뇌병 또는 언어장애와 같은 위해성을 경감할 수 있을 것으로 사료된다¹²⁾.

본 연구에서는 낙동강 원수 내의 조류, 특히 규조류의

응집 침전시 전 염소처리여부, 유기·무기응집제의 종류 및 농도가 조류 및 탁질 등의 제거에 미치는 영향을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

응집 침전에 의한 조류 및 탁도 제거효율 조사를 위한 시료로는 조류가 다량 증식하는 4~5월 사이에 대구광역시 D 정수사업소에 유입되는 낙동강 원수를 사용하였다. 응집제로는 무기 응집제인 LAS(liquid aluminum sulfate, 8%), PAC(poly aluminum chloride, 17%), PACS(poly aluminum chloride silicate, 17%) 및 polyamine계 유기 고분자응집제를 사용하였다.

한편 응집 침전실험에 원수의 전 염소 처리가 미치는 영향을 조사하기 위해 전 염소처리수의 응집 침전실험을 실시하여 그 결과를 원수의 응집 침전 결과와 비교하였다.

전 염소처리에서는 sodium hypochloride를 사용하여 과산화농도 약 3.5mg/l로 20분간 접촉시켰다. 응집 침전은 서로 다른 응집제 주입량에 따른 Jar-test로 실시하였는데, 시료는 1ℓ씩 6개이었고, 180rpm에서 1분간 급속교반, 50rpm에서 10분간 완속교반, 30분간 침전시킨 뒤 상등액을 취하여 분석하였다.

조류 발생과 밀접한 관계가 있는 것으로 사료되는 pH, 온도, 탁도 및 엽록소-a는 수질오염에 관한 공정시험법¹³⁾과 수질 및 폐수분석에 관한 Standard Methods¹⁴⁾에 준하여 분석하였다. 조류 종류별 개체수는 시료 1ml를 취하여 Sedgwick-rafter counting chamber에서 15~20분간 침전 및 검경을 통해 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

실험이 진행되는 동안 낙동강 원수는 pH 9.1~9.2, 탁도 8.4~10.14 NTU를, 규조류 개체수는 14,780~15,960 cells/ml, *Synedra* spp. 개체수는 450~600cells/ml를 나타냈다. 조류 및 탁질의 응집 침전시 전 염소처리와 유기·무기응집제의 종류 및 주입농도가 제거효율에 미치는 영향은 다음과 같다.

3.1. 응집 침전의 전 염소처리 영향

3.1.1. LAS

원수를 전 염소처리한 경우와 처리하지 않은 경우의 응집 침전시 LAS 주입농도에 대한 규조류, *Synedra* spp. 및 탁질의 제거효율은 Fig. 1~3에 나타난 바와 같다.

Synedra spp. 및 탁질의 제거를 위한 LAS의 적정 투입량은 전 염소처리 유무와 관계없이 약 40mg/l인 것으로 조사되었으며, 원수를 전 염소처리한 경우, *Synedra* spp.는 약 25%, 규조류는 약 34%, 탁질은 약 9%의 제거효율의 증가를 나타냈다. 이는 전 염소처리로 규조류를 포함한 탁질로 형성된 floc이 효율적으로 제거됨으로써 나타난 결과로 사료된다⁸⁾. 또한 염소투입에 따라 pH 9.1~9.2 이었던 원수가 LAS의 투입시 pH 7.5~7.6, 염소 투입시 다시 pH 7.2~7.3의 응집에 적절한 pH로 저하되는 것으로 나타났다.

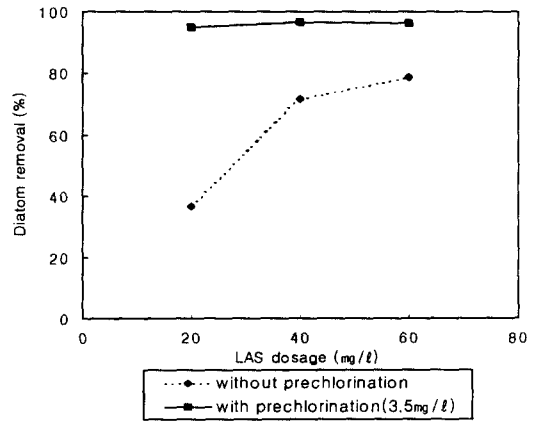


Fig. 1. Removal efficiencies of diatoms on dosage of coagulant LAS with respect to the prechlorination of raw water.

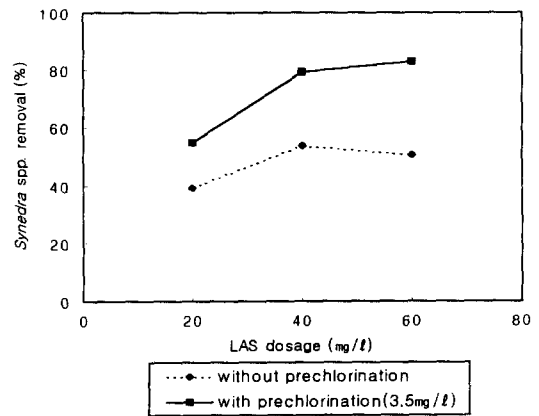


Fig. 2. Removal efficiencies of *Synedra* spp. on dosage of coagulant LAS with respect to the prechlorination of raw water.

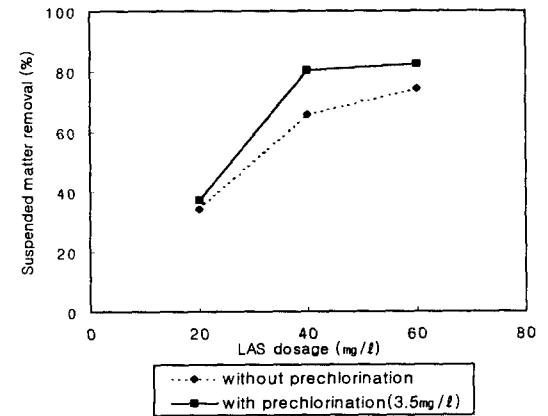


Fig. 3. Removal efficiencies of suspended matter on dosage of coagulant LAS with respect to the prechlorination of raw water.

나. PAC

원수를 전 염소처리한 경우와 처리하지 않은 경우의 응집 침전시 PAC 주입농도에 대한 규조류, *Synedra* spp. 및 탁질의 제거효율을 Fig. 4~5에 나타내었다.

응집제로 PAC를 사용하였을 때, 원수를 전 염소처리한 경우는 처리하지 않은 경우보다 제거효율이 규조류는 약 19%, *Synedra* spp.는 약 10%, 탁도는 약 4% 증가하였다. 이는 전 염소처리로 규조류를 포함한 탁질로 형성된 플록이 효율적으로 제거되었고, 탁도의 경우 고분자 응집제인 PAC가 넓은 pH 범위에서도 응집력이 크기 때문으로 사료된다¹⁵⁾.

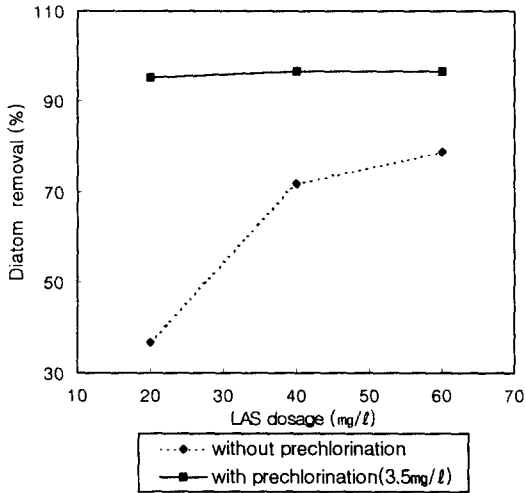


Fig. 4. Removal efficiencies of diatoms on dosage of coagulant PAC with respect to the prechlorination of raw water.

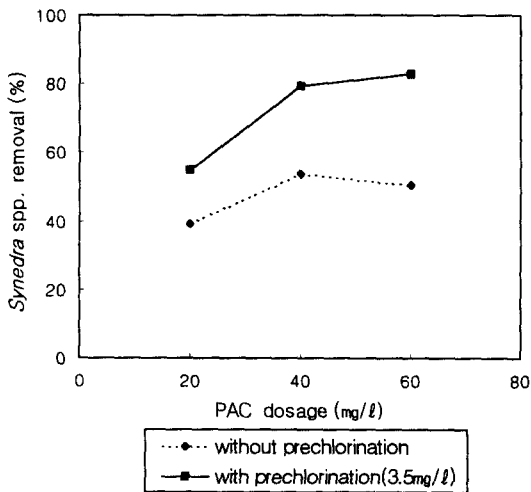


Fig. 5. Removal efficiencies of *Synedra* spp. on dosage of coagulants PAC with respect to the prechlorination of raw water.

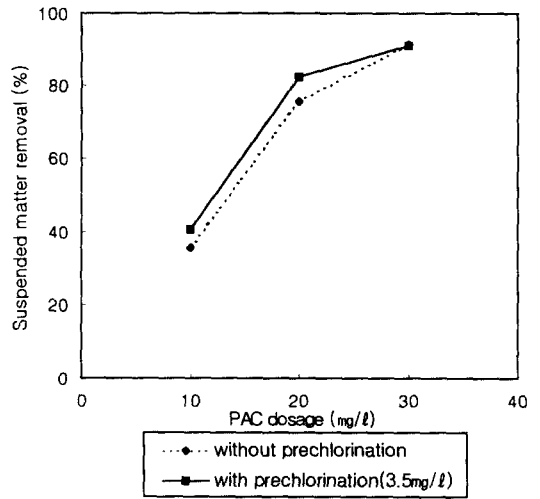


Fig. 6. Removal efficiencies of suspended matter on dosage of coagulants PAC with respect to the prechlorination of raw water.

3.2. 응집제 종류 및 농도 영향

3.2.1. 무기응집제

응집 침전시 무기응집제의 종류 및 주입농도가 조류 및 탁질 등의 제거에 미치는 영향을 조사하기 위해 전 염소처리한 원수에 무기응집제 LAS(8%), PAC(17%) 및 PACS(17%)를 농도별로 투입한 후 제거효율을 조사하였다. 전 염소처리수를 사용한 이유는 원수를 전 염소처리하여 응집 침전한 경우에 제거효율이 높았기 때문이다. 각 농도에 따른 제거효율을 비교하여 Fig. 7~9에 나타내었으며, LAS의 경우 aluminium 농도를 환산하여 PAC와 PACS의 처리 결과와 비교하였다.

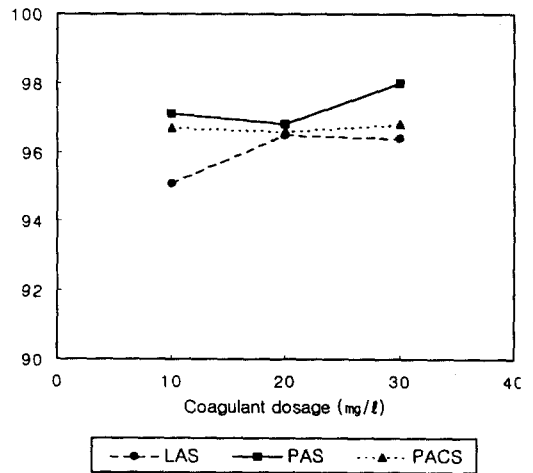


Fig. 7. Removal efficiencies of diatoms in chlorinated raw water on dosage of coagulants LAS, PAC and PACS.

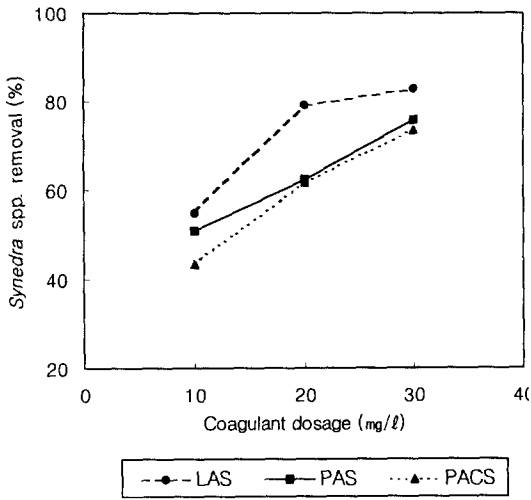


Fig. 8. Removal efficiencies of *Synedra* spp. in chlorinated raw water on dosage of coagulants LAS, PAC and PACS.

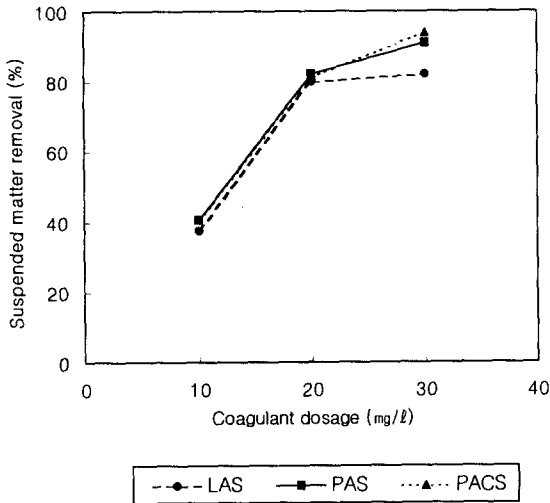


Fig. 9. Removal efficiencies of matter inducing turbidity in chlorinated raw water on dosage of coagulants LAS, PAC and PACS.

규조류는 LAS, PAC 및 PACS의 투입농도 각 10mg/ℓ에서 각각 약 96.0%, 97.3% 및 96.7%의 제거효율을 나타내어 응집제별로 큰 차이를 보이지 않았다. 규조류 중 *Synedra* spp. 제거효율은 응집제 LAS, PAC 및 PACS의 사용시 평균 약 72.3%, 63.0% 및 59.4%로 나타나, LAS의 사용시 제거효율이 가장 높게 나타났다.

탁질은 응집제 LAS, PAC 및 PACS의 투입농도 약 20mg/ℓ에서 제거효율이 약 80%로 나타났으나 PAC, PACS에 의한 제거효율은 LAS에 비해 다소 높았다.

3.2.2. 유기 고분자 응집제

유기 고분자응집제의 응집 침전 영향을 조사하기 위하여 탁질을 제거할 수 있는 최소 투입량으로 무기 응집제 LAS, PAC 및 PACS를 각각 40, 20 및 20mg/ℓ으로 고정시킨 후 유기응집제의 농도를 상이하게 투여하였으며, 유기고분자응집제의 농도에 따른 제거효율을 비교하여 Fig. 10~12에 나타내었다. 전 염소처리된 시료를 Jar-test 실시한 후 상등액의 탁도를 측정 한 값은 LAS를 40mg/ℓ 투입 한 경우 1.07 NTU, PAC를 20mg/ℓ 투입 한 경우 0.98 NTU, PACS를 20mg/ℓ 투입 한 경우 1.01 NTU이었다.

규조류 제거효율에 대한 실험 결과, 유기 고분자응집제를 투입하지 않은 경우와 비교해 볼 때, 0.2mg/ℓ 투입한 경우와 0.5mg/ℓ 투입한 경우, 모두 약 97% 이상의 제거효율을 보여주었으나 유기고분자의 투입은 제거효율의 향상에 크게 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 규조류는 전 염소처리 후 유기 고분자응집제 투입 전에 이미 무기 응집제에 의해 97% 이상 제거되었다. *Synedra* spp.는 유기 고분자 응집제를 투여하지 않고 무기 응집제만 사용한 경우 대체적으로 약 62%의 효율을 나타내었으나, 유기 고분자응집제를 각각 0.2mg/ℓ, 0.5 mg/ℓ 투입한 경우 제거효율이 각각 81% 및 78%로 나타나 유기 고분자응집제의 첨가가 *Synedra* spp.의 제거효율을 향상시키는 것으로 나타났다.

탁질의 제거효율은 유기 고분자응집제를 투입하지 않은 경우 약 81%, 0.2mg/ℓ 투입한 경우 약 83%, 0.5mg/ℓ 투입한 경우 약 85%로 나타나 유기 고분자응집제의 투여가 탁도제거에 미치는 영향은 미미한 것으로 나타났다.

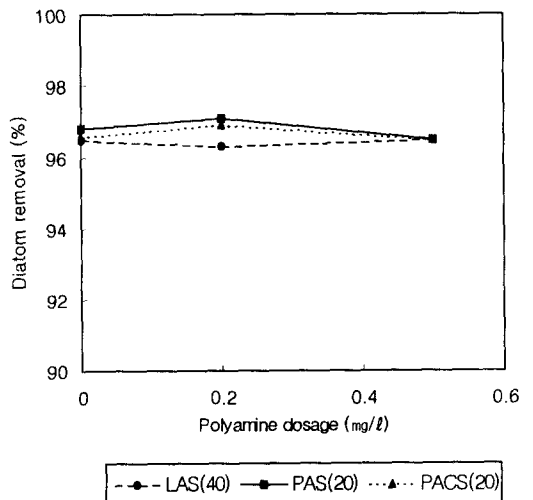


Fig. 10. Removal efficiencies of diatoms by polyamine application in raw water treated with chlorine coagulants.

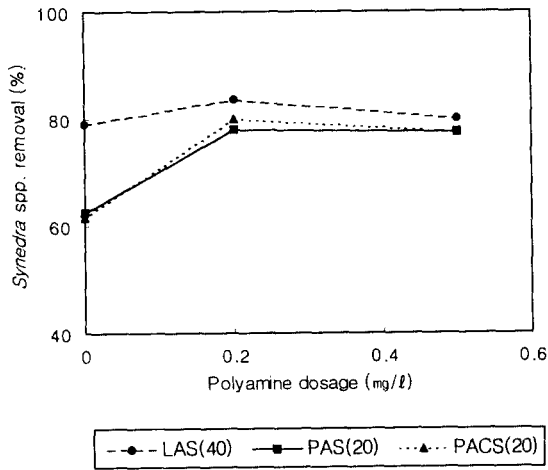


Fig. 11. Removal efficiencies of *Synedra* spp. by polyamine application in raw water treated with chlorine coagulants.

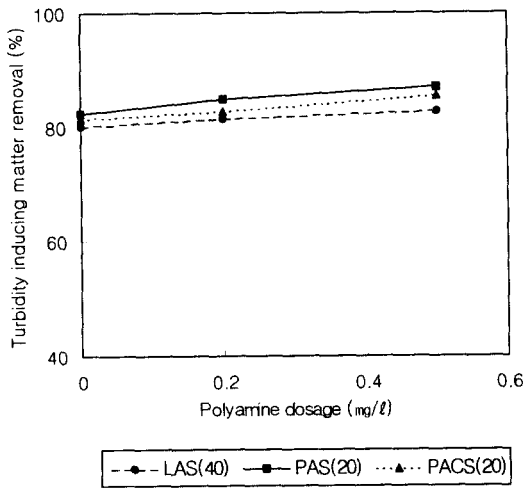


Fig. 12. Removal efficiencies of turbidity inducing matters by polyamine application in raw water treated by chlorine coagulants.

4. 결론

낙동강 원수내 조류를 전 염소처리, 무기 응집제 LAS, PAC, PACS 및 polyamine계 유기 고분자응집제 처리를 행하여 얻은 응집 침전 실험결과는 다음과 같다.

1. 전 염소처리는 규조류의 응집 침전 효율을 향상시키는 것으로 나타났다. 파과점농도인 3.5mg/l의 염소주입 및 20분의 전 염소처리의 제거효율은 처리하지 않은 경우보다 *Synedra* spp., 규조류 및 탁도에 있어서 각각 10~25%, 20~35% 및 4~17% 증가하였다.

2. 탁질의 제거에 있어서 PAC 및 PACS 처리는 LAS 처리에 비해 약 5% 제거효율이 높았고, *Synedra* spp.의 제거는 LAS 처리가 PAC 및 PACS 처리에 비해 약

12% 양호하게 나타났다. 그러나 규조류 제거에 있어서는 응집제의 종류가 미치는 영향은 미미한 것으로 나타났다.

3. Polyamine계 유기 고분자응집제를 무기 고분자응집제와 함께 사용하는 경우 *Synedra* spp. 및 탁질 제거 효율이 증가하는 것으로 나타났는데, 0.2mg/l 투입시 *Synedra* spp. 및 탁도 제거효율은 각각 13% 및 5% 증가하였다.

이상과 같은 실험결과로 볼 때, 정수처리에 있어서 조류가 다량 유입될 경우 이의 효과적인 제거를 위해서는 접촉시간 20분 이상의 전 염소처리와 함께 LAS 및 유기 고분자응집제를 이용한 응집 침전이 바람직할 것으로 사료된다.

참고 문헌

- 1) 한국수자원공사, 1992, 정수처리능력 향상에 관한 연구, 수자원 연구소, WRII-WS-92-02, 13~19.
- 2) Bailey, W., A., 1974, The algae plankton of Loch Leven, Kinross. Proc. R. S. E. (B), 9th, pp135~156.
- 3) Boney, A. D., Phytoplankton, 1989, 2nd ed, Routledge, Chapman and Hall Inc., pp1~118.
- 4) 최돈혁, 1997, 조류 발생에 따른 응집저해 원인 및 대책 연구, 환경부, 97 상수도 운영관리 기술강습회 발표문집, 179~236.
- 5) 이흥용, 1998, 원수중 시네트라 유입에 따른 여과지 폐색에 관한 연구, 대구광역시 상수도사업본부, 상수도연찬, 247~255.
- 6) 박규태, 1999, 저온에서의 무기 및 유기 혼합응집제를 이용한 상수처리, 석사학위논문, 경북대학교 산업대학원.
- 7) Ettre, 1980, High-Performance Liquid Chromatography, C. Horvath, ed., Vol. 1, Academic Press, New York, pp. 4.
- 8) 齊勝昭二, 有井鈴江, 1993, 前 塩素注入有無にしたかつて 大形 硅藻 4種 の 凝集 沈澱除去 特性, 日本水道協會紙, 18, 710.
- 9) Montgomery, J. M., 1985, Water Treatment Principles and Design, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- 10) 광중운, 1994, 정수용 무기응집제의 응집이론과 최근 개발 동향, 한국수자원공사, 제 28회 수도 심포지움, 41~65.
- 11) 이석훈, 1999, 상수처리용 polyamine 및 poly(DADM) 고분자응집제의 합성과 적용, 박사학위 논문, 경북대학교 대학원.
- 12) 최승일, 1995, 우리나라 고도정수시설 도입의 현황과 허실, 한국수질보전학회지, 11(3), 153-161.
- 13) 공해공정시험법, 1999, 동화기술서적.
- 14) APHA, AWWA, WEF, 1995, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th ed. American Public Health Association, Washington, DC.
- 15) 한국수도협회, 1999, 상수도시설기준, pp 196-210.