

미규제 수질인자를 이용한 정수공정의 효율성 평가

이재영¹ · 강미아^{2*}

¹Department of Civil and Environmental Engineering, University of Central Florida, USA

²안동대학교 환경공학과

Evaluation of Treatment Efficiency using non-Control Indicator in Drinking Water Treatment Process

Jae-Young Lee¹ and Meea Kang^{2*}

¹Department of Civil and Environmental Engineering, University of Central Florida, USA

²Department of Environmental Engineering, Andong National University

수질오염이 심각해지면서 수자원의 이용을 어렵게 하며 수자원의 관리를 위해 사용되는 시간적 · 기술적 · 경제적 부담도 증대시키고 있다. 그러므로 본 논문에서는 간단하고 신속하게 수질을 파악 할 수 있는 미규제 수질인자(E_{260} 과 입자수)를 도입하여 정수공정의 효율성을 평가하고자 하였다. 탁도저감을 목적으로 주입하는 알루미늄에 의해 용존성 알루미늄의 잔존량이 증가하는 경향이 있으므로 탁도 모니터링만으로는 안전한 수질을 기대하기가 어려움을 명확히 알 수 있었으며, 잔존알루미늄의 농도를 모니터링 하는 대신 간단 · 신속하게 분석할 수 있는 E_{260} 인자를 이용할 수 있음을 밝혔다. 또한 탁도 뿐만 아니라 용존성 비소화합물의 모니터링에도 E_{260} 은 효율적으로 사용되었다. 수처리공정의 효율을 개선하기 위해 수처리제의 교환을 고려할 때에도 탁도 자료만으로는 질적인 개선정도를 평가하기 어려웠으나, 수중의 입자를 계수함으로써 개선정도의 평가가 용이해져 적절한 수처리제의 선택을 가능하게 하므로 수질개선과 경제적 절약을 모두 달성하게 하였다. 따라서 효율적인 정수처리 뿐만 아니라 수자원의 관리 측면에서도 이들 인자는 매우 유용하게 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

주요어 : 수질오염, E_{260} , 입자수, 수처리, 효율평가

The discharges of time, technology and finance was increased and it was difficult to use water resources effectively by serious water pollutions. Thus the main aim of this work was focused on effectiveness of water treatment process using non-controlled indicators such as UV absorbance(E_{260}) and particle counts that provided analytical results with simple and rapid. The soluble aluminum was increased by the increase of aluminum doses for turbidity removals. It means that the water quality was not controlled by only turbidity monitoring cause maximum turbidity removal did not guarantee minimum residual aluminum in an aluminum-based coagulation. E removal efficiency appeared to be the promising indicator for monitoring the effectiveness of the water quality process such as coagulation and nanofiltration membranes for arsenic(V). On the basis of the particle monitoring, it was also found that the particle counts could be used very useful for changing the coagulants in real water treatments.

Key words : Water pollution, E_{260} , Particle counts, Water Treatment, Efficiency evaluation.

서 론

오늘날 수자원의 이용에 있어서 양과 질, 특히 수질에 대한 관심은 날이 증대되어가고 있으며, 그 내용들

은 더욱 엄격히 요구되고 있다. 종래의 유기오염물질, 병원성미생물에 국한되었던 것이 현재는 내분비교란물질, 극미량의 유해성 오염물질 등도 먹는물 수질기준에 포함되어 이들을 처리하는 기술이 발전되고 있음에도 불

*Corresponding author: wdream@andong.ac.kr

구하고 수처리가 용이하지는 않다. 이제 물은 우리의 삶의 질을 평가하는 척도가 될 만큼 우리의 일상생활에서 요구되는 질적 수준이 높다. 따라서 우리의 건강과 직결되는 정수공정은 갈수록 복잡해져, 기존의 응집처리를 기본으로 활성탄, 오존처리 등의 고도정수기술은 이미 도입되어 사용되어 왔으며, 이제 21세기 들어 우리나라에서도 막분리 기술을 정수공정으로 도입하는 법적 절차를 준비하고 있다. 이처럼 국민의 안전을 위해 정수공정에는 새로운 기술의 도입이 불가피하지만, 이와 더불어 위해화학물질들의 지속적인 모니터링이 요구된다.

그러므로 복잡하고 시간이 많이 소요되는 유해화학물질들의 모니터링을 위해 간단하고 경제적인 물질의 응용으로 이를 대체할 수 있는 방법이 요구되며, 이 방법을 개발 또는 제안하여 이의 대체가 가능하다면 정수공정의 효율을 개선하여 수돗물에 노출되어 있는 우리의 건강리스크를 저감시킬 수 있을 것으로 생각한다. 한편, 우리나라에서는 수돗물의 안전성을 위해 탁도를 엄격히 규제하고 있으며, 이를 위해 각 정수처리장에서는 자동연속탁도측정기기를 도입하여 운영함으로써 돌발적으로 발생할 가능성이 있는 탁질 발생 사고에 대처하고 있으나(국립환경연구원, 2003), 정수공정의 효율을 평가하여 처리능력을 개선하는데 있어 탁도 인자만으로는 충분한 역할을 하지 못하는 것은 이미 잘 알려진 사실이다. 특히, 여러 수중 오염물질 중에서도 중금속류의 측정에는 전문기술과 시간, 고가의 장비가 요구되므로 정수공정에서 이들을 상시 감시하기 위해서는 신속하고 간단한 방법의 도입이 절실하다.

그러므로 본 논문에서는 현재 규제하고 있지 않은 수질인자인 자외부에서의 흡광도(260 nm에서의 흡광도)의 이용에 대한 타당성을 확립하기 위해 유해중금속인 비소의 제거율과의 상관성을 기존의 응집제를 이용한 자테스트방법으로 조사하고, 막분리기술에 확대·응용하여 그 가능성을 검토하여, 실제 정수공정의 효율을 평가하는데 이용하고자 한다. 또한 현재 정수장에서 수질의 자동연속모니터링에 사용되고 있는 탁도인자와 미규제인자인 입자수의 거동을 정수공정별로 비교·검토하여 입자수의 효율적 이용이 가능한 방법을 제안하여 정수처리장의 효율을 증진하고자 하는데 그 목적이 있다.

미규제 수질인자의 특성 및 실험방법

미규제수질인자의 특성

E_{260} 은 자외부 260 nm에서의 흡광도를 말하며, 수중

의 유기물질의 존재를 양적으로 표현할 수 있는 간단한 지표이다(강미아·김광태, 2005). 수중의 유기물 농도를 나타내는 수질인자들로 는 지금까지 BOD (Biological oxygen demand: 생물학적산소요구량), COD (Chemical oxygen demand: 화학적산소요구량), TOC (Total organic carbon: 총유기탄소) 등이 있으나(Jung *et al.*, 2002; Yunpeng *et al.*, 2004; Vera *et al.*, 2005), 정수처리공정에서는 이들에 대한 규제가 아직 마련되어 있지 않은 상황이다.

하천수, 호소수 및 하천으로 유입되는 각종 하·폐수의 방류수질 관리를 위해 사용되고 있는 BOD와 COD 분석에는 Pedro *et al.* (2004)에 의해 밝혀졌듯이 몇 가지 문제점들이 있다. BOD를 사용하는데 있어서는 BOD가 가지는 몇 가지 문제점들을 제시하였는데, 그 문제점들로는, ① 독성물질이 존재 할 때에는 일관성 없는 결과를 초래하고, ② 외국종의 미생물을 식종할 때에 요구되는 사항들을 들 수 있으며, ③ 분석에 요구되는 노동 강도가 크고 많은 시간이 소요되며, ④ 실험실 내 조건이 실제 환경을 반영하지 못한다는 것 등을 들 수 있다.

또한 BOD와 분석측면에서 비교할 때, BOD보다는 좀 더 간단한 방법으로 분석 가능한 COD의 문제점들은 다음과 같다. ① 생물학적으로 이용 가능한 유기물질인지 아닌지 구분을 할 수 없는 단점이 있으며, ② COD 분석 결과를 근거로 자연환경조건에서의 생물분해 kinetic을 판단할 수 없다는 것을 들 수 있다. 이로 인해 최근에는 TOC로 유기물지표로 하여 수자원을 관리하는 국가들이 증가하고 있다. 그러나 이들이 갖는 단점들, 즉 숙련기술이 요구되거나, 고가의 장비가 요구되거나, 분석에 많은 시간이 소요되는 것들로 인해 실시간으로 수질모니터링 해야 하는 모든 정수처리공정에 이들을 준비한다는 것은 사실상 불가능하다고 판단한다. 그러므로 본 연구에서는 간단하고 보편화된 흡광광도기를 이용하여 유기물의 농도를 관리하는 인자로 활용하고자 한다. 한편, 입자수는 기존의 탁도로 표현하는 수중의 탁질 정도를 보다 정확하게 표현할 수 있는 방법 중 하나이며, 현재 우리나라의 정수공정에는 도입되어 있지 않으나 일부 수도사업소에서는 탁도계의 참고자료로 입자수를 이용하는 사례도 있다.

실험 방법

수질의 일반적 특성을 규명하기 위해 측정된 항목과 분석방법은 아래 Table 1에 나타난 바와 같다. 분석항목

으로는 pH, UV 흡광도, 탁도, 알루미늄 농도, TOC, 용존성 비소, 총비소화합물 등이 있다. E₂₆₀과 용존성 알루미늄의 농도 및 용존성 비소를 측정하기 위해서는 분석 전에 0.45 μm 포아사이즈의 여과지를 거쳐 여과한 후 측정하였다. 자-테스트는 1L의 표준 자-테스트기를 이용하여 폴리염화알루미늄(PACl: Showa Chemicals Industries, Ltd., Sapporo, Japan)을 이용하여 다음의 조건으로 실험하였다(Sato *et al.*, 2002). 【급속혼화(150 rpm, 3분) - 완속혼화(50 rpm, 20분) - 침전(45분)】

결과 및 고찰

수질특성

대상으로 한 시료는 태국의 Chaopraya 하천수, 일본의 Toyohira 하천수 및 Kitamura 지하수였으며, Table 2에 나타난 바와 같이 Kitamura 지하수는 매우 높은 색도가 나타난다. 실험수의 특성을 규제인자인 탁도와 미규제인자은 E₂₆₀으로 비교하면, 각 실험수에 따라 매우 큰 차이를 나타내는데, 실험수의 색도가 높을수록 E₂₆₀의 값도 높게 나오는 전형적인 유기물유래의 색도

에 의한 UV 흡광도 값을 나타내는 특징이 있다. Chaopraya 하천수는 탁도 35-90 NTU범위, E₂₆₀은 0.10-0.30범위의 수질을 나타내며, Toyohira 하천수는 탁도가 0.3-1.7 NTU의 범위로 매우 청정한 수준의 하천수질을 나타내지만 상류의 온천이 위치하고 있어 비소의 검출이 약 7-29 μg/L범위로 높게 나타나므로 하천수 관리에 어려움이 있다. 한편 Kitamura 지하수는 색도에 기인한 E₂₆₀이 다른 두 실험수보다 상대적으로 높은 특징을 나타내 E₂₆₀로 발현되는 유기물처리에 어려운 점이 있다. Kitamura 지하수의 색도는 6,000 Da 이상의 고분자 유기물질이 약 20%를 차지하며, 이것이 색도발생의 주요 원인이란 것을 Table 2의 수질분석 결과를 통해 잘 알 수 있다.

탁도와 E₂₆₀

다양한 탁도(0.5-70 NTU)범위를 나타내는 4종류의 시료수를 대상으로 알루미늄을 이용한 응집·침전에 수질인자의 검출 변화를 Jar-Test 시험으로 조사하였다. 먼저 주입 알루미늄량에 따른 탁도저감효과와 잔존알루미늄량의 상관성을 Fig. 1에 나타내었다. 알루미늄주입량이

Table 1. Analytical method of water quality.

Parameter	Analytical Method
pH	Water quality checker (Horiba Ltd., Kyoto, Japan)
E ₂₆₀ (cm ⁻¹)	UV spectrophotometer (Hewlett-packard, 8452A, USA)
Turbidity (NTU)	Hach chemical photoelectric turbidimeter (Hach 2100A, Loveland, CO, USA)
Total solid (mg/L)	Analytical method of Water quality, Japan
Total organic carbon (mg/L)	TOC 5000 (Shimadzu Co., Kyoto, Japan)
Color (color unit)	Analytical method of Water quality, Japan
Soluble arsenic(V) (μg/L)	HG-ICP-MS (ICP-MS 7500) (Shimadzu Co., Kyoto, Japan)
Aluminum	ICP-MS 7500 (Shimadzu Co., Kyoto, Japan)
Molecular size of organics	GL-W520 column, HPSE (Hitachi, Ltd., Tokyo, Japan)

Table 2. Typical water quality characteristics used for experiment.

Parameter	Chaopraya river water	Toyohira river water	Kitamura ground water
pH	7-8	7.1-7.3	6.9
E ₂₆₀ (cm ⁻¹)	0.10-0.30	0.030-0.045	0.621
Turbidity (NTU)	35-90	0.3-1.7	0.5
Total solid (mg/L)	200-600	ND	ND
Total organic carbon (mg/L)	4-12	3-4	16
Color (color unit)	10-35	2-4	69
Soluble arsenic(V) (β/L)	ND	7-29	ND
Percentage of high molecular organics (> 6,000 Da)	< 1	< 1	20
Percentage of medium molecular organics (500-6,000 Da)	75	73	67
Percentage of low molecular organics(< 500 Da)	25	27	13

ND: not determined

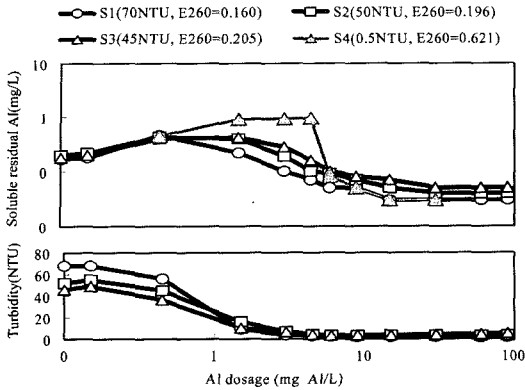


Fig. 1. Effect of dose, raw water quality and E260.

특정 양까지 증가할 때에는 물속의 탁도는 저감되는 한편, 잔존하는 알루미늄 농도는 탁도저감에 요구되는 알루미늄의 양보다 조금 더 주입하여야 한다는 것을 실험을 통해 증명할 수 있다. S1, S2 및 S3 시료는 Chaopraya 하천수로 S1, S2 및 S3의 탁도와 E₂₆₀은 각각 70, 50, 45 NTU와 0.160, 0.196, 0.205였다. S4는 고농도의 색도를 띠는 Kitamura 지하수로서 0.5 NTU의 탁도와 0.621의 E₂₆₀흡광도를 나타내었다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 S4 시료의 경우, 0.5 NTU라는 매우 낮은 탁도를 나타내므로 알루미늄의 주입량이 일정수준에 이를 때까지는 오히려 잔존알루미늄의 양이 증가함을 알 수 있다. 따라서 탁도만을 모니터링함으로써 얻어지는 수처리 효율에 의존해서는 완전한 수처리공정의 효율평가를 할 수 없음이 명확해졌다.

S1, S2 및 S3 시료의 E₂₆₀는 0.160-0.205인 반면 S4의 E₂₆₀는 0.621로 S1, S2, S3에 비하면 상대적으로 높은 값을 나타내었다. 따라서 유사한 E₂₆₀의 값을 나타내는 시료에 있어서는 처리공정에서 E₂₆₀의 값을 유용하게 사용할 수 있음을 알 수 있다. 그러나 S4의 처리에 있어 잔존알루미늄농도에 영향을 미치는 인자는 고농도의 E₂₆₀이 아닌 저농도(0.5 NTU)의 탁도임을 알 수 있으므로 응집·침전공정에서의 효율을 평가하고 관리하는데 있어서는 탁도와 더불어 E₂₆₀의 모니터링이 적극적인 수단이 될 것으로 판단된다.

이번에는 S1, S2, S3 및 S4 시료를 대상으로 잔존하는 알루미늄의 농도와 E₂₆₀의 제거율에 대한 실험결과를 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 1의 결과에 나타난 바와 같이 잔존알루미늄 농도의 증가는 0에 가까운 탁도 수준까지 탁도를 저감시키지만, E₂₆₀의 경우에는 Fig. 2에 나타난 바와 같이 잔존알루미늄의 농도를 0.15 mg/L 이

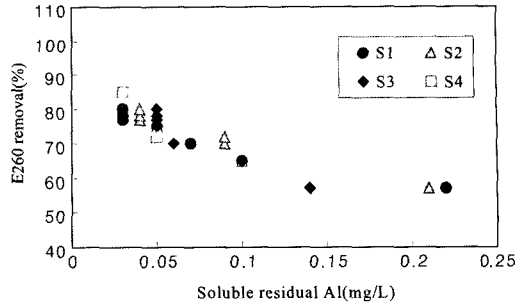


Fig. 2. Relationship between the soluble residual Al and E₂₆₀ removal efficiency for Chaopraya river water [S1: turbidity (70 NTU)+E₂₆₀ (0.160 cm⁻¹), S2: turbidity (50 NTU) +E₂₆₀ (0.196 cm⁻¹), S3: turbidity (45 NTU)+E₂₆₀ (0.205 cm⁻¹)] with Al coagulation (pH: 6.5-7.0) and Kitamura natural colored water [S4: turbidity (0.5 NTU)+E₂₆₀ (0.621 cm⁻¹)] with PACl coagulation (pH: 7.0).

상으로 주입한다 하더라도 E₂₆₀의 제거율은 85% 이상으로 증가하지 않는다. 그러므로 정수처리공정에서 알루미늄을 응집제로 사용하는 경우에는 탁도 뿐만 아니라 유기물 지표인 E₂₆₀의 이용이 요구되며, E₂₆₀을 사용함으로써 알츠하이머 장애를 유발하는 알루미늄의 잔존성의 확인이 용이하게 되어 효율적인 수질관리가 될 것으로 사료된다.

As(V)와 E₂₆₀

다양한 수질 특성을 지니는 시료수를 이용하여 무기 5가비소를 20 µg/L 또는 40 µg/L 농도로 첨가하여 Jar-Test를 하였고, 한편으로는 실제 일본 S시에 위치하고 있는 실제 정수처리장에서의 비소제거효율과 E₂₆₀의 제거효율 평가에 응용하였다. 이 때 정수처리장의 원수수질은 탁도가 1.0 NTU, E₂₆₀은 1.62였다.

Fig. 3에는 각각의 시료를 대상으로 초기비소농도를 두 단계로 하여 제거효율 실험한 결과를 나타내었다. 이미 기술한 바와 같이 E₂₆₀의 제거율은 최대 65% 정도인데 비하여 비소의 제거율은 초기비소농도에 관계없이 최대 90%까지 달성할 수 있다. 수질관리측면에서 유해 중금속인 비소화합물을 측정하는 데에는 시간, 노력, 경비 면에서 부하가 가해지는 한편, 실시간으로 모니터링하기에는 사실상 쉬운 여건이 아니다. 그러므로 대상 정수처리장과 같이 동일한 상수원수를 이용하여 정수처리를 하는 때에는 실시간으로 신속하고 경제적으로 모니터링이 가능한 E₂₆₀응용이 큰 장점을 지니고 있다고 할 수 있다.

Kitamura 지하수에 비소를 인위적으로 첨가하여 나노

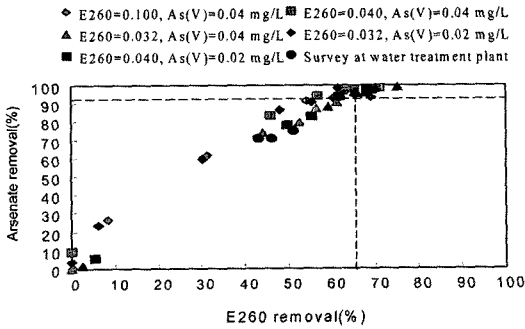


Fig. 3. Control by E260 in Al coagulation system for arsenic removal.

여과막을 이용한 비소제거 실험을 하였다. 나노여과막을 이용한 수처리기술은 수중에서 음하전형태로 존재하고 있는 비소화합물의 제거에는 매우 효과적인 기술이다. 나노여과막에 공급된 원수중의 E₂₆₀는 0.160이며, As(V)는 100 µg/L이다. 사용된 나노여과막은 NaCl 제거율이 다른 세 종류이며, 이들은 일본 Nitto Denko사로부터 공급된 막으로 ES10, NTR-729HF 및 NTR-7250 모델이다. 이들 세 나노여과막의 공칭 NaCl 제거율은 각각 99.8%, 93%, 70%이며, 이들 막표면은 음하전을 띠고 있다. 따라서 음하전형태의 비소화합물을 제거하기 위해서 막표면의 포아효과보다는 막표면의 하전과 비소화합물이 갖고 있는 하전과의 사이에서 발생하는 반발효과가 먼저 작용하게 된다. 나노여과막을 이용한 불순물제거에는 “pore effect”와 “charge effect”의 두 메카니즘이 기여한다. 이들 메카니즘을 알 수 있는 간단한 그림을 Fig. 4에 나타내었다. 음하전을 띠는 나노여과막 표면과 불순물(용질)이 갖는 하전과의 사이의 반발력에 의한 “charge effect”와 중성화합물의 불순물의 크기에 따라 제거효율이 달라지는 “pore effect”에 따라 다양한 불순물을 여과한다.

압력 0.75 MPa, pH 7의 조건으로 회분식 실험한 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 비소 및 E₂₆₀의 제거율은 각 나노여과막의 성능을 나타내는 NaCl의 제거율에 비례하여 NaCl 제거율이 높은 막일수록 이들 오염원의 제거율도 높게 나타났다. ES10, NTR-729HF 및 NTR-7250에 의한 As(V)의 제거율은 각각 95%, 85% 및 80%로 나타났으며, E₂₆₀ 제거율은 각각 100%, 95% 및 92%로 사실상 ES10의 경우는 여과수 중의 E₂₆₀ 측정값이 거의 0에 가까움을 의미한다. 비록 적은 실험 자료이지만 하지만 향후 나노여과막에 의한 비소(V)의 제거효

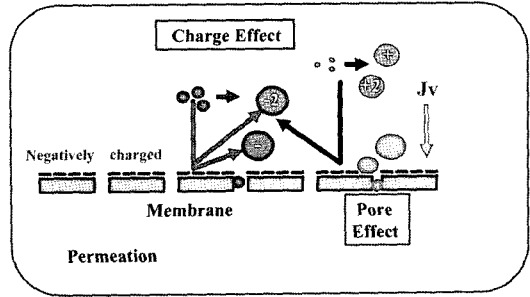


Fig. 4. Removal mechanism by Nanofiltration membranes (Kang, 2001).

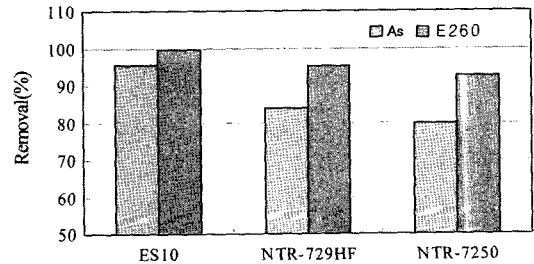


Fig. 5. Application to Nanofiltration membranes for removal of arsenic and E₂₆₀.

율을 평가하는데 있어 E₂₆₀의 효율적 이용을 기대해 볼 수 있는 결과라고 판단된다.

실제 정수처리공정에서 E₂₆₀ 인자의 적용

실험실에서 Jar-Test를 거쳐 얻은 결과를 바탕으로 경기도에 위치하고 있는 B 정수사업소에서 적용하였다. B 정수장은 원수중의 탁도는 2.4 NTU 범위였으며, E₂₆₀는 0.030이었다. B 정수장에서는 원수 중의 유기물농도를 측정하기 위해 과망간산칼륨소비량을 측정하고 있었으며, 수돗물의 안전한 생산을 위해 탁도자동측정장치를 이용하여 연속적인 수질모니터링을 하고 있다.

「원수-응집-여과-정수」공정에서 탁도, 기존의 유기물지표 및 미규제유기물지표(E₂₆₀)를 이용하여 수처리 효율성을 평가하였다. 그 결과를 Fig. 6에 수질 제거특성으로 나타내었다. Fig. 6에서 보는 바와 같이 정수공정 각 단계별 수질인자들의 변화는 탁도와 E₂₆₀이 높은 상관성을 나타내는 것을 알 수 있다. 이것은 탁도와 현재 유기물지표로 사용하고 있는 과망간산칼륨소비량 항목보다 E₂₆₀의 분석결과가 탁도제거 효율을 평가하는데 더 효율성이 있음을 시사한다. 따라서 1-2시간 정도의

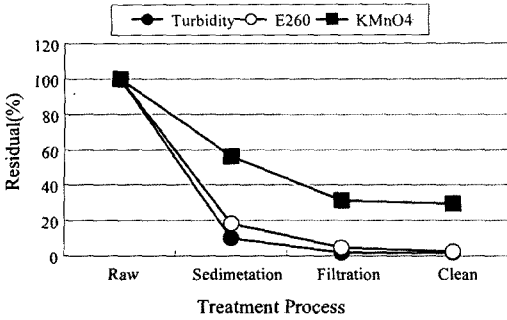


Fig. 6. Removal characteristics of water quality in a real water treatment plant.

시간이 소비되는 기존의 수질인자보다 더 간단하고 경제적인 E₂₆₀의 응용은 수질모니터링에 효과적일 것으로 판단된다.

입자계수의 효용성

앞서 기술한 바와 같이 우리나라에서는 탁도를 주요 인자로 정수공정의 수질의 안전성을 감시하고 있다. 그러나 탁도를 유발하는 여러 탁질에는 그 크기가 다양한 종류들이 공존하고 있다. 「원수-응집-여과-정수」 공정을 거치는 일반적인 정수처리장에서는 탁도만으로 충분히 제거효율을 평가하기란 사실상 어려운 점들이 있다.

B 장수처리장에서는 보다 나은 수처리를 위해 폴리염화알루미늄(PACl: Poly aluminum chloride) 11% 규격을 사용해왔으나, 기존 응집제를 사용하는 경우보다 경제적이고 이용하기가 용이한 다른 응집제로 교체를 시도하기로 계획하고 있었다. 그러나 탁도만을 기준으로 하였을 때에는 사실상 수처리결과로 응집제간의 장·단점을 명확히 밝히기가 곤란하였다. 원수와 침전수의 결과를 이용하여 다른 응집제 사용시의 탁도제거효율을 Fig. 7에 나타내었다. 응집제 종류로는 PACl 11%, PACl 17%, PACs(폴리염화수산화규산알루미늄: Poly aluminium silicate chloride)의 세종류를 선택하였으며, 2004년 6월 7일부터 6월 19일까지의 실험기간 중의 처리원수 탁도는 2-4 NTU 범위였다. Fig. 7에서 보듯 바와 같이 주어진 원수환경에서는 어느 응집제를 사용하더라도 연속자동측정장치에 의한 침전수의 탁도는 거의 0에 가까운 수준으로 나타났다.

입자계수기를 이용하여 입자수를 계수할 때에는 입경이 다른 입자의 크기를 목적에 적합하도록 구분하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 입자의 크기의 구분을 직경 기준으로 2.0, 3.0, 4.0, 5.0 μm로부터 40 μm까지 구분

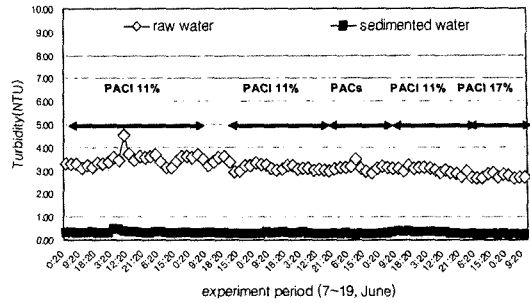


Fig. 7. Turbidity behavior by coagulants.

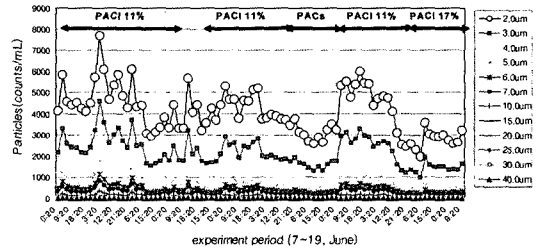


Fig. 8. Particle behavior by coagulants.

하였으므로, Fig. 7과 Fig. 8에서 2.0 μm으로 표시된 것은 사실적으로는 2.0 μm 이상의 입자 모두를 계수한 것을 의미한다. 따라서 원수를 응집·침전한 후 측정되는 침전수에서는 입경이 큰 입자수가 입경에 작은 입자수보다 적게 나타나게 된다. 원수의 탁도는 Fig. 7에서와 같이 2-4 NTU였으며, Fig. 8에서 보는 바와 같이 2.0 μm 이상의 입자계수가 누적입자수를 나타내므로 가장 많이 나타난다. 한편, 침전수에서의 탁도의 결과와 달리 2.0 μm 이상의 입자개수와 3.0 μm 이상의 입자개수를 근거로 입자의 거동을 살펴보면 사용한 각각의 응집제에 따라 다른 경향을 보인다는 것을 알 수 있다. PACs 응집제를 사용하였을 때에 나타나는 침전수에서의 작은입자의 개수가 다른 응집제를 사용하였을 때보다 작게 나타났으며 안정적인 경향을 나타내었다.

그러므로 기존에 사용하고 있던 PACl을 PACs로 대체하여 정수처리를 하는 것이 수질개선을 할 수 있다고 판단된다. 이와 같이 탁도만으로는 정수공정 상의 효율성평가가 곤란한 경우에도 입자계수에 의한 모니터링이 도입된다면 공정상의 효율에 대한 적절한 평가가 가능해지므로 수질을 개선하는데 있어 입자계수의 모니터링은 적극적이고 지속적인 관리방법의 하나가 될 것으로 기대한다.

결 론

탁도저감을 위해 주입하는 알루미늄의 양이 증가할수록 저감효과는 커지지만, 오히려 알츠하이머 등의 위해성을 나타낼 우려가 있는 알루미늄의 용존량이 증가하는 주입영역이 있으므로 용존성 알루미늄의 모니터링이 요구된다. 또한 용존성 알루미늄을 항상 분석하는 것은 경제적, 기술적으로 용이하지 않으므로 이에 대처 수단으로 미규제인자인 E_{260} 을 사용할 수 있다. 왜냐하면 초기 탁도와 E_{260} 의 농도에 관계없이 잔존하는 알루미늄의 양과 E_{260} 의 제거율사이에는 높은 상관성을 나타내기 때문이다.

알루미늄을 이용한 비소 「As(V)」의 제거와 E_{260} 의 제거율과의 관계에서도 E_{260} 의 제거율이 65%일 때, 비소제거율은 90% 이상을 나타낸다. 그러므로 신속·간단한 수질인자로서의 E_{260} 의 사용이 정수공정의 효율을 증대시킬 수 있는 가능성을 보였다. 이번 논문에서 제안한 육각도형의 모식화를 이용하면 각 지점의 수질에 미치는 오염원을 쉽게 파악할 수 있어 하천관리에 유용하게 사용될 것으로 사료되며 현재 탁도를 인자로 시행하고 있는 모니터링이 갖고 있는 결점을 보완하여 보다 안전한 수처리로 개선하는 데에는 입자크기별 계수 방법이 효과적일 것으로 기대된다.

사 사

이 논문은 2005학년도 안동대학교 학술연구지원사업에 의하여 연구되었습니다.

참 고 문 헌

- 강미아, 김광태, 2005, 하천수 및 정수공정에서의 비소관리를 위한 대체인자 개발, 한국물환경학회지, pp. 659-663.
- 국립환경연구원, 2003, 환경측정기기의 형식승인·정도 검사 등에 관한 관련 규정
- Jung, J. H., Yoon, J. -H., Chung, H. -H. and Lee, M. -J.,

2002, Radiation treatment of secondary effluent from a sewage treatment plant, Radiation Physics and Chemistry 65, pp. 533-537.

- Kang Meea, 2001, Removal of Hazardous Antimony and Arsenic using Low Pressure Nanofiltration Membranes, Doctoral Thesis, Hokkaido University, Japan.
- Pedro Sergio Fadini, Wilson F. Jardim and Jose Roberto Guimaraes, 2004, Evaluation of organic load measurement techniques in a sewage and waste stabilisation pond, J. Braz. Chem. Soc., 15(1), pp. 131-135.
- Sato Y., Kang M., Karnei T. and Magara Y., 2002, Performance of nanofiltration for arsenic removal, Water Research, 36(13), pp. 3371-3337.
- Vera Golob, Aleksandra and Marjana Simonic, 2005, Efficiency of the coagulation/ flocculation method for treatment of dyebath effluents, Dyes and Pigments 67, pp. 93-97.
- Yunpeng Wang, Hao Xia, Jiamo Fu and Guoying Sheng, 2004, Waterquality change in reservoirs of Shenzhen, China: detection using LANDSAT/TM data, Science of the Total Environment, 328, pp. 195-206.

2006년 5월 2일 원고접수, 2006년 6월 9일 게재승인

이재영

Department of Civil and Environmental
Engineering, University of Central Florida, USA
Tel: +1-407-823-3019
Fax: +1-407-823-3019
e-mail: jylee@mail.ucf.edu

강미아

안동대학교 공과대학 환경공학과
경북 안동시 송천동 388번지
Tel: 054-820-6267
Fax: 054-820-6187
e-mail: wdream@andong.ac.kr