

모래여과를 이용한 도시하천유지용수의 MBAS 제거 효율 평가

An Assessment on Efficiency of MBAS Removal in Urban Stream Maintenance Water by Using Sand Filtration

김 홍 배⁺ / 안 경 수^{**}

Kim, hong bae⁺ / Ahn, kyung soo^{**}

:: Abstract ::

Biological enhanced treatment and sand filtration are established being operated to remove nutrients and MBAS(Methylene Blue Activate Substance) in the most of Waste Water Treatment Plant(WWTP) in Korea.

However, untreated synthetic detergents and nutrients which directly run into the water system present an unpleasant view because of the foam, taste and odor generating filamentous periphytic algae and interrupting self-purification in the stream.

Therefore, this research was enforced to know the MBAS removal efficiency of the sand filtration about G WWTP which reuses effluent as urban stream management water.

As a result, the maximum removal efficiency using sand filtration was 63% after 24 hours and particularly 30% after 2 or 4 hours which turned out to be not that effective.

In conclusion, It is recognized that other methods of MBAS removal and a research will be needed which reuse effluent as urban stream management water from now on.

Because the MBAS removal with sand filtration is insufficient with economical efficiency from the fact that it needs long hours for a sand filtration treatment and the removal efficiency was almost below the expectation.

Keywords: sand filtration, synthetic detergents, nutrient, filamentous periphytic algae, self-purification, urban stream management water

:: 요 지 ::

우리나라 대부분의 하수처리장에서는 영양염류 및 MBAS의 제거를 위하여 생물학적 고도처리시설

+ To whom corresponds should be addressed. ksnpu010@hanmail.net

* 정회원·인천대학교 토목환경시스템공학과 박사수료

** 정회원·인천대학교 토목환경시스템공학과 교수·공학박사

과 모래여과시설을 설치하여 운영하고 있다. 그러나 미처리된 영양염류 및 합성세제가 수계에 그대로 유입되어 하천에 사상성부착조류의 발생 및 하천의 자정작용을 방해하여 물에서의 이취미 발생과 거품 때문에 미관상 불쾌하여 하수처리수를 도시하천유지용수로 재이용하는 G 하수처리장을 실험 대상으로 하여 모래여과시설에 대한 MBAS 제거효율을 파악하고자 본 연구를 실시하였다.

그 결과 모래여과를 이용한 MBAS의 최대 제거 효율은 24시간이 지난 후에 63% 정도로 나타났고 특히, 2시간 내지 4시간이 경과한 후의 MBAS 제거 효율도 30% 정도로 그 효과는 아주 적은 것으로 나타났다.

결론적으로 모래여과를 이용한 MBAS 제거는 여과지속시간이 장시간 소요되어 시설부지의 대규모화 등 경제성이 부족하고 제거 효율도 거의 기대에 미치지 못하여 앞으로 하수처리수를 하천유지용수로 재이용하는 하천에서는 MBAS 제거를 위해서는 모래여과시설보다는 다른 공법의 연구와 대책이 필요할 것으로 판단되었다.

핵심용어: 모래여과, 합성세제, 영양염류, 사상성부착조류, 자정작용, 도시하천유지용수

1. 서론

우리나라의 자연형 도시하천(Natural Urban Stream)은 많은 사람들의 친수공간이고 휴식처로서 하천생태계의 복원을 위해 많은 노력을 하고 있다. 특히 인구와 산업시설이 많은 도시하천은 오염배출량이 증가하고 하천 변의 토지이용이 고도화되어 있으며 이로 인하여 수질이 급속히 악화되고 하천으로 유입된 영양염류인 질소 및 인과 합성세제는 부영양화(Eutrophication)로 인하여 용존 산소량의 고갈 및 악취 발생을 유발하고 하상퇴적물속에 포함된 각종 중금속 및 독성 물질은 하천생태계를 파괴하고 있다.

우리나라도 최근에는 하천생태계에 관심이 높아 생태적으로 교란된 하천을 복원(Restoration)하고 있으며 하천이 없고 복개된 지역을 중심으로 기존의 하천을 복원하거나 인공하천(Artificial stream)을 만들어 자연형 하천으로 가꾸어 가고 있다. 이러한 도시하천은 유지용수 확보가 대단히 어려워 대부분이 인근 도시지역의 하수처리장 방류수를 재이용 하고 있으나 하수처리장에서 질소와 인 그리고 합성세제의 미처리 방류로 인하여 인간의 활동 및 어류나 식생 등 하천생태계에도 악 영향을 미치고 있다.

그 동안 질소와 인 등 영양염류 제거를 위한

생물학적 처리공법 및 물리·화학적 처리공법이 개발되어 대부분의 하수처리장에 고도처리시설을 설치하여 운영하고 있으나 유입수의 영양염류 처리효율은 대개 40~70% 정도이며 미처리된 질소와 인 및 합성세제는 수계에 그대로 유입되어 하천에 부착조류(Filamentous periphytic algae) 발생 및 하천의 자정작용을 방해하여 물에서의 이취미 발생과 거품 때문에 미관상 불쾌하여 하수처리수를 하천유지용수로 재이용하고 있는 하천에서는 이의 처리를 위하여 각종 실험적 연구(Experimental study)인 미나리나 부레옥잠 등 식생정화법이나 역간접축산화법과 BAC(biological activated carbon)공정 등의 연구가 활발히 진행되고 있다.

한편 그 동안의 연구에 의하면 영양염류의 공급원인 합성세제의 과다한 사용 때문에 미처리되어 하천에 유입된 MBAS(Methylene Blue Active Substances)는 하천수질의 지표인 DO와 COD에 많은 영향을 미치고 있는 것으로 밝혀졌으며 이들의 상관관계에 대하여 한강을 대상으로 하여 연구한 결과를 회귀방정식으로 표시하면 DO(x)와 MBAS(y)의 식은 $X = -86.18y + 12.449$, $Y = -0.0063x + 0.094$ 로서 상관계수 $r = -0.54$ 로 역상관을 나타내고 있으며 COD(x)와 MBAS(y)의 식은 $X = 10.846y +$

3.329, $Y = 0.021x - 0.041$ 이고 상관계수 $r = 0.48$ 이다. 또한, 하수처리장에서의 유입 MBAS 제거 효율은 생물학적 처리공정에서는 대개 95% 이고 나머지 5% 정도가 하천으로 미처리 방류되고 있다(홍사육, 1974).

물리화학적 처리인 염소처리에서는 Chloroform 등의 염소 화합물이 생성되며 glucose와 LAS에 여러 농도의 염소를 처리한 후 20°C에서 24시간 동안 정치시켰을 때 glucose는 Chloroform을 생성하지 않았으나 LAS는 염소농도가 3 mg/l 이상일 때 Chloroform을 생성 하였다(이영준, 2004).

C_{12} -LAS의 광분해 실험에서는 1분 이내에 C_{12} -LAS 모두가 중간 생성물로 전환되었으며 20분 이내에 1mole의 LAS 당 7 mole의 C_{12} 가 생성되었고, LAS 생분해성의 해석을 위해 매우 중요한 흡착에 대해서는 Sweeney와 Foote (1964)는 아주 적은 양(2~3%)만이 흡착 제거된다는 사실을 밝혀냈으며 특히, Sweeney (1996)는 S로 표기된 LAS를 사용하여 단지 1.4% LAS가 슬러지 구성 부분에 남아 흡착에 의한 제거량은 아주 적은 것으로 판명하였다(이영준, 2004).

또한, 하천에 유입된 합성세제의 분해도에 대하여 연구한 결과 5일 동안 포기시에는 약 85%가 분해되었으나 자연방치상태일 경우에는 21.6%만이 분해되었으며 특히 합성세제는 하천으로 유입될시 분해되기 위해서는 5~10일이 필요한 것으로 나타났다(이병인, 1990).

합성세제는 1960년대에 시판한 이후 급속한 경제 성장을 바탕으로 그 사용량도 급격히 증가하였으며 이로 인하여 물 오염문제를 저감시키기 위하여 생물분해가 어려운 경성세제(ABS: Alkyl Benzene Sulfonate)에서 생물분해가 비교적 용이한 연성세제(LAS : Linear Alkyl Benzene Sulfonate)로 대체 사용하고 있다.

합성세제(Synthetic Detergents)란 물체표면에 붙어 있는 오염을 화학적·물리적 충격을 이용하여 청결하게 하는 화학물질로서 물과 물체의

표면사이의 경계면에 작용하여 오염이 표면에서 떨어지게 하는 역할을 하는 계면활성제(Surface Active Agent, Surfactant)와 세제의 활성을 높여주는 인산염, 탄산소다 및 보조제(Builder)로 구성 되어있으며 합성세제의 독성에 대한 조사는 경구독성과 피부점막 등의 손상에 의한 독성으로 구분될 수 있다. 합성세제의 사용이 증가하면 하천이나 호소 등의 물 환경에 대한 유기오염물의 부하량도 증가함을 알 수 있다.

본 연구의 목적은 우리나라 대부분의 하수처리장에서 생물학적 처리공법인 질소와 인의 영양염류 제거시설과 모래여과시설을 설치하여 운영하고 있으나 미처리되어 방류된 MBAS로 인한 도시하천의 수질환경 보호를 위하여 방류수를 하천 유지용수로 재이용하고 있는 B시 G 하수처리장을 실험 대상으로 선정하여 모래여과시설의 제거 효율을 파악하여 시설운영 및 하천유지용수의 수질관리에 기여하고자 본 연구를 실시하였다.

2. 실험방법 및 실험 기구

2.1 시료채취 지점 및 방법

Fig. 1과 Table 1에서와 같이 시료채취는 G 하수처리장 방류지점 및 상동천 발원지와 하천수질이 변화하는 지점 등 총 6개소를 선정하여 2005년 2월부터 2005년 6월까지 총 5회씩 MBAS, BOD, SS, T-N, T-P, 수온, DO, 전기전도도, PH, 색도, 냄새 등 항목에 대하여 시료채취는 오전 10시에 시작하여 14시에 종료하였다.

상동천에 대하여 Table 2와 같이 총 5회에 걸쳐 수질 분석한 결과 그 중에서 수질특성의 대표성이 있는 평균수질은 총인 농도가 1.17mg/l, 총질소 1.29mg/l, CODCr 37.01mg/l 이고 그 중에서 실험대상인 MBAS는 최대 0.54mg/l에서 최소 0.15mg/l이었다.

그 동안의 측정결과를 분석한 결과 COD 농도는 SS 농도가 증가함에 따라 동절기에 비하여 많이 증가되었다. 또한, DO농도가 동절기에 비하여 급격히 증가되었으며, 이는 조류성장에 그 원

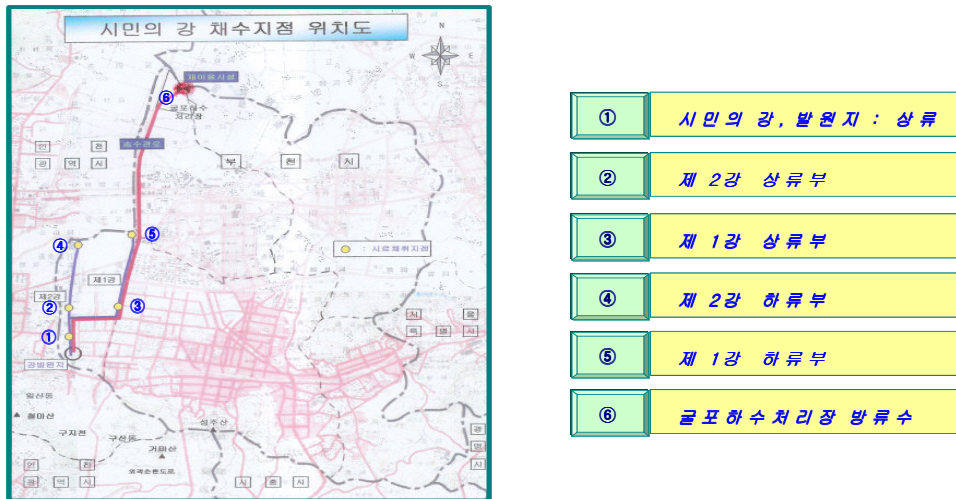


Fig. 1. 상동천의 수질측정 위치도

Table 1. 시료 채취 장소

| 시료 | 시료채취 위치 | 채취일자 |
|------|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| No.1 | 발원지 | 1차 : 2005년 2월 18일 2차 : 2005년 3월 31일 3차 : 2005년 4월 25일 4차 : 2005년 5월 30일 5차 : 2005년 6월 17일 |
| No.2 | A구간 유입부 | |
| No.3 | C구간 지점(하안 마을 주공A 2612앞) | |
| No.4 | B구간 종점부 | |
| No.5 | C구간 종점부(진달래마을 대림A 2214앞) | |
| No.6 | 굴포천 하수종말처리장 재처리수 방류폭포 | |

Table 2. 수질 분석 결과 (단위 : mg/l, except pH, Chl-a)

| 채수지점 | 유량 (m ³ /day) | 수온 (°C) | pH | DO | COD _{Cr} | COD _{Mn} | BOD | SS | T-N | MBAS | T-P | SO ₄ ²⁻ | Chl-a (µg/l) | Cond |
|------|--------------------------|---------|------|-----|-------------------|-------------------|------|----|------|------|------|-------------------------------|--------------|------|
| No.6 | 25,000 | 18.0 | 8.37 | 7.9 | 33.8 | 15.4 | 0.90 | 3 | 1.32 | 0.15 | 1.33 | 145.0 | 1.15 | 720 |
| No.1 | 25,912 | 14.7 | 8.68 | 8.3 | 45.1 | 20.7 | 1.60 | 4 | 1.11 | 0.54 | 1.29 | 128.0 | 1.94 | 701 |
| No.2 | 13,158 | 15.3 | 8.59 | 8.7 | 49.9 | 20.4 | 1.90 | 6 | 1.33 | 0.31 | 1.14 | 138.0 | 2.58 | 700 |
| No.3 | 5,742 | 15.9 | 8.63 | 9.9 | 33.8 | 14.4 | 1.50 | 6 | 1.04 | 0.27 | 0.80 | 135.0 | 2.14 | 705 |
| No.4 | 10,108 | 14.6 | 8.57 | 9.5 | 28.9 | 12.5 | 1.40 | 7 | 1.39 | 0.38 | 1.04 | 137.0 | 1.58 | 700 |
| No.5 | 4,126 | 15.4 | 8.53 | 9.5 | 30.6 | 13.7 | 1.60 | 12 | 1.56 | 0.22 | 1.42 | 138.0 | 1.68 | 715 |

인이 있는 것으로 추측된다. 조류의 성장에 의해 일반적으로 T-N 농도가 증가할 것으로 예상하였으나 오히려 동절기에 비해 감소된 경향을 보였다.

2.2 실험방법 및 실험기구

본 실험은 상동천에서 하천유지용수로 재이용하고 있는 G 하수처리장 방류수에서 미처리된 합성세제 때문에 과다한 거품이 발생하여 미관상

불쾌하고 하천생태계에 악영향을 미치고 있어 수질항목 중 MBAS(methylene blue active substances)가 실험 대상이었다. 먼저 모래여과의 여과율을 50m³/m²·day와 100m³/m²·day의 2단계로 증가시키면서 여과율에 따른 처리특성을 파악하였고, 각 여과율에 따라서 여과지속시간 동안 1시간 간격으로 시료를 채취하여 분석함으로써 여과시간 경과에 따른 여과수의 수질변화를 관찰하였으며 수질분석은 수질오염공정시험법에

의하였다.

모래여과장치는 Fig. 2에 나타난 바와 같이 내경 5cm, 높이 70cm인 아크릴 관으로 제작하였으며 피에조미터, 유입 및 유출수조, 유입펌프 등으로 구성되었다. 여과장치의 하부는 여재의 유실을 방지하고 역세척수를 균등하게 분배하기 위하여 10cm 두께의 자갈층을 두었으며, 자갈층 위에 유효경 1.0mm, 균등계수 1.2인 모래를 20cm 두께로 충전하였다.

상동천 발원지에서 채취한 유입수는 유입펌프로 여과장치 하부로 유입시켜 유속을 일정하게 조절이 가능하도록 하였으며 여과하는 동안에 나타나는 수두손실의 변화를 지속적으로 관찰하기

위하여 유출밸브 앞부분에 눈금이 새겨진 피에조미터를 설치하였다.

3. 실험결과 및 고찰

- (1) Fig. 3에서와 같이 수체내의 MBAS 제거 효율을 평가하기 위해 모래여과시설을 설치한 후 각각 $50\text{m}^3/\text{m}^2\text{-day}$ 와 $100\text{m}^3/\text{m}^2\text{-day}$ 여과율 변화에 따라 여과지속시간에 따른 처리수의 MBAS 농도 변화를 실험한 결과 초기 10시간 이후로는 제거율이 거의 변화가 없는 것으로 나타났다.

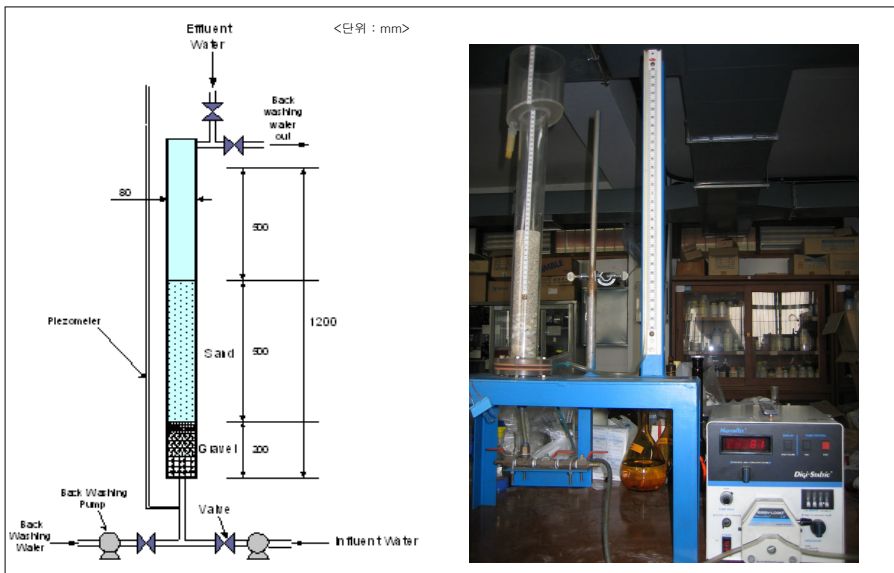


Fig. 2. 모래여과 실험장치

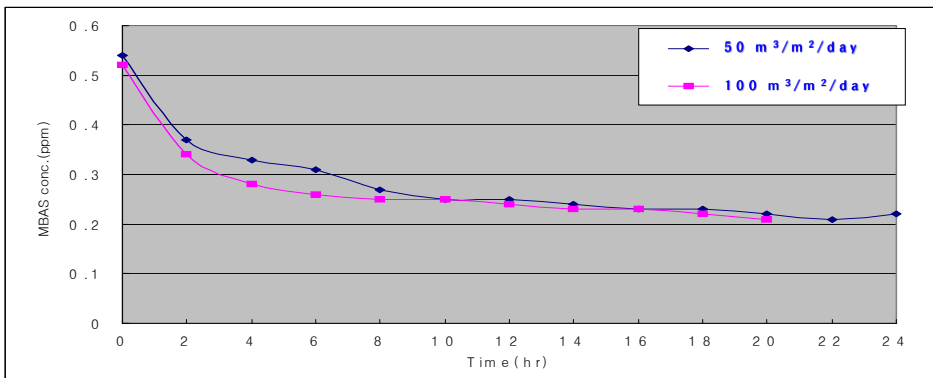


Fig. 3. 여과지속시간에 따른 처리수 MBAS 농도 변화

- (2) 각각 50m³/m³·day와 100m³/m³·day 여과율 변화에 따른 MBAS의 최대 제거 효율은 유입수 농도 0.54mg/l에서 처리수 0.2mg/l으로 약 63% 감소됨을 파악할 수 있었으나, 이는 24시간 이후 제거율로서 그 효과는 기대에 미치지 못하는 수준인 것으로 판단되었다.
- (3) 여과시간이 2시간 내지 4시간 경과 후의 MBAS 제거효율은 각각 50m³/m³·day와 100m³/m³·day의 경우 유입수 0.54mg/l에서 처리수 0.38mg/l로 처리효율은 약 30%였다.

4. 결론

본 연구결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 모래여과를 이용한 MBAS(Methylene Blue Active Substances) 최대 제거 효율은 24시간이 지난 후에 63% 정도로 나타났지만 이는 여과지속시간이 장시간 소요된 후 결과로 모래여과에 의한 처리 효율은 기대치 보다 훨씬 낮았다.
- (2) 모래여과를 이용하여 2시간 내지 4시간이 경과한 후의 MBAS 제거 효율도 30% 정도로 그 효과는 아주 적은 것으로 나타났다.

결론적으로 모래여과를 이용한 MBAS 제거는 여과지속시간이 장시간 소요되어 시설부지의 대규모 등 경제성이 부족하고 제거 효율도 거의 기대에 미치지 못하여 앞으로 하수처리수를 하천유지용수로 재이용하는 하천에서는 하수처리장에서 모래여과시설보다는 다른 공법의 MBAS 제거에 따른 연구와 대책이 필요할 것으로 판단되었다.

감사의 글

본 연구는 부천시와 한국토지공사의 지원으로 상동천수질개선공법연구의 일부분으로 수행하였으므로 감사드립니다.

참고문헌

- 김귀곤 (2003). 습지와 환경, 아카데미서적.
- 구숙현, 권진형, 이재인 등 (2000). 오존과 생물활성탄에 의한 합성세제 제거 특성 연구, 상하수도학회지, 제14권 제1호, pp. 99~106.
- 김승환, 박창호, 안종일 (1983). 국산 합성세제의 생분해에 관한 연구, 국립공업 시험원 연구보고, 제 2집
- 도갑수, 전인자 (1985). 합성세제 함유 폐수처리에 관한 연구, 한국폐기물학회지, 2(1) 아·태환경-경영연구원 1994, 합성세제의 환경영향 및 안전성 평가를 위한 조사연구, pp. 155 ~ 227
- 이병인, 홍성철, 이영준 (1991). 합성세제로 인한 수질오염에 관한 고찰, 밀양학논문집, 25, pp. 183~193
- 장지수, 유명진, 안승구 (1995). LAS제거에 관한 연구, 상하수도학회지, 1, pp. 66~67.
- 홍사옥, 손기수, 라규환 (1973). 한강수계의 MBAS 오염에 관한 연구, 한국육수학회지, Vol.7, No.3~4, pp. 57~61.
- 환경부 (1996). 하폐수종말 처리장 방류수 수질 기준 설정에 관한 연구.
- Anna Brambilla, Ezio Bolzacchini, Macro Orlandi, Stefano Poleselo and Bruno Rindone, Reactivity of two models of non-ionic surfactants with ozone, Wat. Res. Vol.31, No.8, pp. 1839~1846.
- Dubravka Hrsak, Cometabolic transformation of linear alkylbenzenesulphonates by methanotrophs, Wat. Res, Vol.30, No.12, pp. 3092~3098.
- Sweeny, W .A. and Foote, J. K., (1964). A rapid accurate test for surfactant aerobic biodegradability, J. Wat. Pollut. Contr. Fed., 36(1), 14~37.
- Sweeny, W.A. (1964). Note on straight-chain ABS removal by adsorption during activated sludge treatment, J.Wat. Poll. Fed., 38(1), pp. 14~37.

Sekiguchi, R.I., Miura, K., Yagi, R. and Oba, K. (1975). Individual removals of anionic surfactants in municipal sewage treatment plants. *Yakagaku*, 24(5), pp. 311~313.

USACE(United States Army Corps of Engineering) (1991). "Hydraulic Design of flood control channel", USACE Headquarters, Washington, D.C.

USDC (United States Department of

Commerce) (1998). "Stream Control Restoration—Principles, Process, and practices", Federal interagency Stream Restoration Working Group, National Technical information Service, Springfield, Va

W. Wesley Eckenfelder, Jr. (2000). "Industrial Water Pollution Control", McGraw—Hill.