

## 미생물의 유기물 분해능과 자정작용에 의한 상수원 보호구역 지정 기준에 관한 연구

이재성 · 박두현\* · 이수원

한국과학기술연구원 환경·공정 연구부, \*서경대학교 생물공학과

## A Study on the Degradability of Organic Compounds and Natural Purification of Stream in the Water Resource Protection Area

Jae Seong Rhee, Doo Hyun Park\* and Su Won Lee

Environment & Process Technology Division, Korea Institute of Science and Technology, P. O. Box 131,  
Cheonryangri, Seoul 130-650, Korea,

\*Department of Biological engineering, Seokyeong University, 16-1, Jungneung-dong, Sungbuk-gu, Seoul 136-704, Korea

The designation of water resource protection area was originally designed to protect the upstream area of the water intake point from the contaminant. But the function of that in maintaining the water quality is regarded to be not so effective in current situation because the factors affecting the water quality are very diverse in their origin and influence. In this study, the variation of contaminant concentrations with time phase is investigated to make the fundamental data for optimum upstream distance of water protection area. This results are supposed to be utilized as the scientific direction for adjusting public petition with considering the actual condition.

### 1. 서 론

수자원 보호를 위하여 상수원 보호야말로 가장 경제적인 수질보호 대책임이 분명하다. 그렇지만 현재의 우리의 상수원 보호 관련 제도는 다양한 법률 규정에도 불구하고 체제면에서 많은 문제점을 안고 있다.<sup>1-2)</sup> 상수원 수질보호법을 제정하고 시행하는 경우 핵심적인 부분은 상수원 보호구역을 어떻게 지정하고, 지정 절차는 어떻게 추진되며, 또 어떠한 행위를 규제할 것인가에 관한 것이다. 그러나 현행 제도는 하천, 호소수에 있어 보호구역을 어느 거리까지 지정해야 좋을지에 관한 기준은 있으나 과학적인 근거를 제시하지 못하고 있다.<sup>3-5)</sup>

본 연구에서는 상수원 보호구역 지정의 과학적 근거를 제시하기 위하여 하천 모형 반응조 시뮬레이션을 통하여 오염원의 농도에 따른 상수규제 대상인 오염원의 시간에 따른 농도 변화를 측정하며, 환경요인의 변화에 따른 하천 자정력의 변화에 관한 실험을 수행하였다.<sup>6-</sup>

<sup>8)</sup> 본 연구는 하천의 자정능력 분석 및 모니터링을 통

하여 향후 상수원 수질 보전을 위한 정책 및 지자체와 상수원 토지이용 규제 및 행위에 관한 분쟁 조절의 합리적 기준 및 지침 제시의 기초 자료 확보에 그 목적이 있다.<sup>9-10)</sup>

### 2. 실험 재료 및 방법

#### 2.1. 실험장치 및 운전방법

본 연구에 사용한 실험 반응조는 연속된 4개의 하천 모형반응조(simulated water stream)로 최대 하천 길이를 확보할 수 있는 모형으로 고안되었다. 반응조 모형은 Fig. 1과 같으며 반응조내의 전체 길이는 7.8 미터이고 총 반응조 부피는 48리터가 되도록 아크릴로 제작하였다.

Water stream이 이루어지는 하천모형반응조내의 인공하천에는 약 2~3 cm 두께의 자갈, 모래, 산호 등을 깔아 가능한 많은 생물막이 형성될 수 있게 하였으며 물이 일시적으로 괴었다가 흘러내려가는 담, 소 부분에

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.

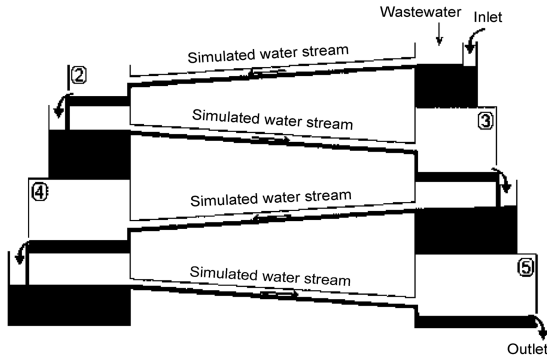


Fig. 1. The schematic diagram of four-stage simulated water stream. Numbers of 1~5 are the positions of sampling sites.

약 10~15 cm 두께의 자갈, 산호, 모래 등을 동비로 혼합하여 바닥에 부분적으로 무산소 층이 형성될 수 있게 하였다. 무산소층에서는 호흡대사가 저해되기 때문에 부분적으로 유기산, 알코올, 지방산 등의 유기물이 축적되어 질산염이나 아질산염이 존재할 경우 생물학적 탈질반응이 일어날 수 있다. 반응기에 표시한 번호 1~5는 시료 채취 지점을 표시하였다.

실험은 Table 1과 같은 운전 조건에 따라 약 80일간 수행되었으며 오염원이 서서히 퍼져 희석된 후 water stream으로 유입되는 지점을 sampling site 1로 잡고, sampling site 2~5는 각 reactor의 중앙에서 시료 채취를 하였다. 반응조 내에 0.1 m/second의 유속을 유지하기 위하여 유량을 조절하여 초당 약 10.3 mL 유량이 반응기에 유입되고 유출되도록 하였다.

## 2.2. 미생물과 유기물

반응기의 미생물상을 유지하기 위하여 초기에 하수 종말처리장의 폭기조, 생활하수가 유입되는 하천수, 혐기소화조의 상등수 등을 첨가하여 20일 동안 반응기를 반송 운전하면서 시험용 반응기 특유의 microflora가

Table 1. Operating condition of four-stage simulated stream reactor

Component	Value
Retention Time	78 min
Flow rate	10.3 mL/s
Current speed in water stream reactor	0.1 m/s
pH	7.0~8.5
Temperature	20°C
Sampling time	2~3 times/week

형성될 수 있게 하였다. Microflora의 생활 에너지는 고분자 유기물(전분, 대두단백질 등)을 혐기 반응조에 넣어 혐기성 발효 또는 부패반응에 의해 하수특성의 유기성 혼합물을 형성하게 한 후 인공하천에 투입함으로써 공급될 수 있게 하였다. 이러한 발효 또는 부패 산물에는 유기산, 지방산, 암모니아, 아민류 등이 생산될 수 있고 유기물을 이용하는 다양한 heterotroph가 성장할 수 있기 때문에 인공하천에 유입될 때 유기물과 microflora가 동시에 집중되는 효과를 얻을 수 있다.

## 2.3. 분석

반응조의 유입수 및 simulated stream reactor 수질 분석은 원칙적으로 변화가 많은 운전 초기나 운전조건 변화시가 아닌 안정화된 기간에 2~3일에 한번씩 시료 채취를 하여 COD, TN, TP, 일반세균, 장내세균을 분석하였다. COD 측정은 시료를 CODcr Closed Colorimetric Method에 따라 시료를 처리한 후 Hach사의 DR-2000을 이용하여 흡광도법으로 측정하였다. TN은 Total Kjeldahl Nitrogen Method에 따라 시료에 황산을 가해 가열 농축하여 유기성 질소를 분해한 후, 알칼리성으로 하여 증류하고 유출액을 암모니아성 질소 측정법에 의해 암모니아성 질소의 양을 측정하여 시료중의 암모니아성 질소 및 유기성 질소의 합계량(킬달질소)을 구한다. 또한 시료중의 아질산성 질소 및 질산성 질소를 Dionix사의 IC(Ion Chromatograph) DX-50을 이용하여 측정한 후 이들 농도의 총합하여 TN을 정량하였다. TP는 아르코르빈산 환원법에 따라 시료 중 유기물을 산화 분해하여 모든 인 화합물을 인산염 형태로 변환시킨 다음 인산염을 아스코르빈산으로 환원하여 Varian사의 UV-Visible Cari-50으로 흡광광도를 정량하여 총인을 정량하였다. 일반세균과 장내세균 측정은 패트리 디시에 autoclave에서 멸균한 일반세균 및 장내세균 배지를 20 mL를 넣고 반응조에서 채취한 시료를 희석하여 Pour Plate Method에 따라 수를 측정하였다. 모든 분석법은 환경오염 공정시험법(Korean standard method)과 미국 standard Method에 준하여 실시하였다. 이 외 반응조의 DO 및 pH는 각각 YSI와 TOA사의 probe를 이용하여 측정하여 지속적으로 반응조의 상태를 모니터링 하였다.

## 3. 결과 및 토의

하천에 오염원이 유입될 경우 하천의 자정작용에 의

하여 시간에 따른 유입 오염원의 농도감소 추이에 관한 실험을 수행하였다. 실험결과는 Fig. 2에서 제시한 바와 같으며 측정 값은 1주일간의 평균값을 plotting 하여 얻었으며 순서대로 COD, TN, TP, 일반세균, 장내세균수 분석 결과이다.

Fig. 2의 결과에서 총 체류시간이 78분일 때 COD는 약 19 mg/L/h (25 mg/h×60 ÷ 78)이 감소하는 것으로 나타났다. 한편 TN과 TP는 같은 방법으로 계산하였을 때, 각각 3.1 mg/L/h와 0.08 mg/L/hr가 감소하였다. 질소와 인의 경우 유기물과 같이 소비로 인하여 분해 되는 것과는 달리 자연계의 순환 고리를 따라 움직이는 물질이다. 때문에 일시적으로 존재형태에 따라 성분별 질소와 인의 농도는 줄어들 수 있으나 총질소와 총인 농도는 크게 감소하지 않는다. 질화세균 및 탈질세균이나 인 섭취 미생물에 의한 농도 감소는 있을 수 있으나 실험에 의한 결과 하천에서 자정작용에 의한 감소효과는 작은 것으로 판단된다. Heterotrophic bacteria와 enteric bacterial number의 변화추이는 각각 382 CFU/mL/hr와 31 CFU/mL/hr였다.

이러한 값의 변화는 반응기에 형성된 미생물 막에 의

한 효과로 볼 수 있으며 온도, 용존산소, pH 등의 최적조건 하에서 얻어진 값이다. 따라서 기온의 일교차가 심하고 수시로 환경의 변화와 수량의 변화, 강수량에 의한 오염발생 반도와 농도의 변이 등 다양한 인자에 의해 영향을 받을 수 있기 때문에 자연 하천에 적용을 위해서는 주위 환경의 영향인자에 대한 연구가 필요하다. 이론적으로 반응기에서 미생물의 성장속도는 자연 하천이나 자연계에서 서식하는 미생물의 10~100배 정도 빨라질 수 있다. 따라서 유기물위 분해속도 또한 미생물의 생물량과 성장속도에 의해 영향을 받기 때문에 자연 하천과 인공하천간의 차이는 예상이 가능하다.

### 4. 결 론

미생물에 의한 하천자정작용에 의한 상수원 보호구역 표준거리 설정을 위한 준거를 제시하기 위하여 실험실 규모의 하천모형 반응기를 제작하여 오염원이 지속적으로 유입될 경우 COD, TN, TP, 일반세균, 대장균의 시간에 따른 농도변화를 모니터링을 수행하였다. 상기의 연속실험 결과 유기물과 세균수는 하천수의 자정작용에 의하여 감소하였으나 T-N과 T-P는 물리화학적 증감요인에 의하여 하천에서 생물학적인 농도감소 변화가 작았다. 총 체류시간이 78분일 때 최적조건에서 COD는 약 19 mg/L/h가 감소하는 것으로 나타났으며 한편 TN과 TP는 각각 3.1 mg/L/h와 0.08 mg/L/hr, 일반세균과 대장균 수의 변화추이는 각각 382 CFU/mL/hr와 31 CFU/mL/hr였다.

본 연구는 실험실 조건에서 수행된 것이므로 상수원 보호거리 지정을 위한 기준과 방향성을 제시할 수는 있으나 현장 적용을 위해서는 자연 환경적 요인에 따른 가감이 필요할 것으로 판단된다.

### 참고문헌

1. 노상환, “우리나라 환경법체계 정비에 관한 연구II-환경정책기본법, 상수원보호 및 그린벨트지역 법령정비를 중심으로”, 1998, 한국환경정책·평가 연구원.
2. 이상훈 외 4인, “상수원 보호구역의 지정과 관리에 관한 연구”, 1989, 국토개발연구원.
3. 경기개발연구원, “수도권 근교개발 추진방안에 관한 제도연구”, 1997, 경기개발연구원.
4. 경기개발연구원, “수도권 정비계획에 관한 연구”, 1996, 경기개발연구원.
5. 이정임, “팔당상수원 보호를 위한 규제와 지역주민대책

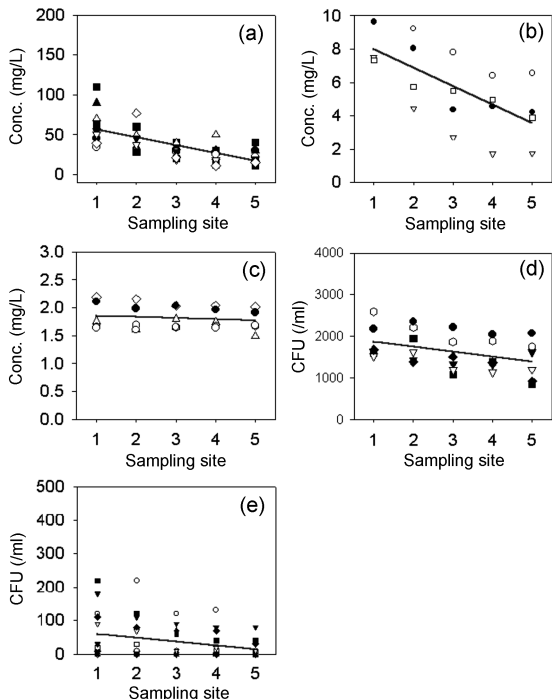


Fig. 2. The profile of each contaminant concentration at sampling sites of simulated stream reactor. (a) COD (b) T-N, (c)T-P, (d) heterotrophic bacterial count, (e)enteric bacterial count.

- ,” 1998, 경실련 환경개발센터.
6. Blandford, Neil T., “*Semi-analytical model for the delineation of wellhead protection areas*,” 1990, EPA Office of Ground Water Protection.
  7. Caswell, B., *Water Well Journal*, 1992, 46(5), 42-45.
  8. Cleary, T. C. and Cleary, R. W., *Water Science and Technology*, 1992, 24(11), 239-250.
  9. EPA, “*Protecting Sources of Drinking Water, Selected case studies in watershed management*,” 1999, EPA..
  10. EPA, “*Guidelines for Delineation of Wellhead Protection Areas*”, 2000, EPA.