

도시 中小하천에서의 오염물질의 물질순환
및 자정능력에 관한 연구
*Studies on Self-purification and Matter Cycle of Pollutants
in Urban Stream*

*홍 일 · 오 중 민¹⁾

서론

하천의 주요오염원인 도시하수, 공장폐수, 농업용수 및 비점오염등의 오염물질 배출로부터 야기되는 하천오염은 국내에 산재해 있는 도시의 中小하천에서 특히 심각한 실정이며, 이들 대부분은 大하천으로 유입되어지는 지류의 역할을 담당하므로 보다 세밀한 관리를 요하게 된다. 그러나 지금까지의 하천 관리방안은 이·치수 정비를 중심으로 이루어져 수질정화측면이 미비했던 것이 사실이며, 보다는은 증소하천에서의 오염물질 부하를 절감시키기 위해서는 하천내의 物質環境(物質收支 및 物質代謝)을 상세하게 파악한 후 적절한 수질관리방안이 모색되어야 할 것으로 생각된다.

하천의 特徵은 湖沼, 內灣과 比較하여 水의 滯留時間이 상당히 짧고 물질환경의 변화속도는 빠른 것으로 사료되며, 이는 自然淨化能(Self-purification)을 가진 하나의 시스템으로서 희석, 침전, 미생물에 의한 분해, 빛에 의한 살균, 휘발, 흡착 등의 물리·화학·생물학적 변화를 일으키게 된다.

따라서 본 연구에서는 이러한 하천내 物質環境의 변화를 중심으로 전형적 도시하천의 특성을 보이는 오산천에서 1년에 걸쳐 조사된 수질 및 유량 변화를 중심으로 物質收支, 하상 퇴적물의 퇴적속도에 따른 沈澱量 추정, 부착성조류(Periphyton)에 의한 營養鹽의 攝取 및 容存酸素濃度 변화에 영향을 미치는 有機物質의 酸化作用 등을 조사하여 오염물질의 변화량을 추정하였다.

조사지 개황

오산천 유역은 우리 나라 중부지방 안성천 수계의 중앙부인 동경 127°01'32"~127°10'45", 북위 37°05'42"~37°17'48"에 위치하고 연평균 기온은 11.3℃(-24.8℃~35.2℃), 연평균강우량은 1,193.0mm를 나타내고 있다. 오산천(31km)의 상류부를 차지하는 본 조사구간(2.53km)은 용인시 기흥읍(46.72km²)과 구성면(35.16km²)에 걸쳐있으며, 비교적 낮은 산세와 평야지로 형성되어 있고 소분지 형태로 이루어져 농경지가 발달되어있는 특성을 보이고 있다.

1) 경희대학교 환경·응용화학부

조사는 오산천 본류 3지점과 지류인 농서천, 고매천, 치동천 각각의 하류지점 및 3개의 배수구에서 실행하였다(Fig. 1).

본류유역 대부분이 농경지의 토지이용형태를 이루는 반면, 농서천과 고매천유역은 소도시와 산업체가 집중되어있어 생활하수 및 공장폐수의 영향을 받고 있는 것으로 추정되고, 3개의 배수구의 경우 SW1, SW2는 농수로, SW3는 하수구로 日별·月별에 따른 배수량의 차가 큰 것으로 조사되었다.

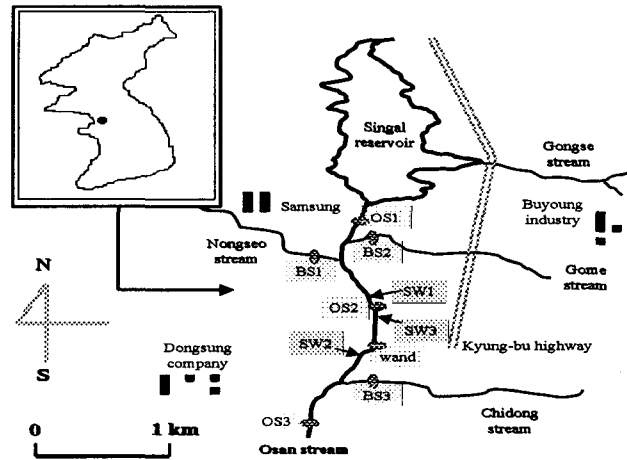


Fig. 1. Sampling station at Osan Stream.

조사 방법

하천수

조사는 2000년 11월부터 2001년 10월까지 행하였으며, 24時間 연속측정은 강우에 영향이 없는 2001년 5월에 실시하였다. 현장에서는 채수지점에서 유속/단면적법에 의해 유량을 계산하였고 수온, pH, EC를 측정하였다. 그 외 시료일부를 플라스틱용기(2L)에 채수하여 DO, DOC, BOD, SS, Cl, TN, NH₄-N, NO₃-N, NO₂-N, TP, PO₄-P 등의 항목을 수질오염 공정시험방법에 따라 측정하였다.

물질수지

하천의 물질수지를 명확히 파악하기 위해서는 2지점간의 유입, 유출량을 각각 구하고, 각종 대사과정에 의한 생성, 소멸하는 물질량을 추정하는 방법을 수용하였다. 도시형 중소하천의 경우 수질 및 유량의 일일 변화와 계절적 변화가 큰 관계로 24時間 연속측정 자료를 토대로 부하량 산정시 시간변동에 따른 특성을 고려하여 1日 평균부하량을 산출하였다.

물질대사유기물의 분해

현장하상퇴적물(sediments)을 폴리에틸렌용 용기에 넣어 실험실로 운반한 후 배양실조건 하에 있는 수조 내에 현장하천수와 함께 밀폐한 다음 DO meter로 용존酸素濃度を 연속적으로 측정하였다.

부착성조류에 의한 영양염류의 섭취

수질조사지점과 동일한 각각의 하천하상에 방치한 부착판(19×9cm)을 1일 단위로 회수하여, 부착판 위의 부착물을 떼어내어 증류수에 현탁시켜 여과필터에 포집한 후, C, N, P의 함유량을 CN analyzer(FLASHEA), 엽록소a의 함유량은 하천수 분석방법과 동일하게 측정하였다.

결과 및 고찰

물질수지

측정한 각 물질에 유량을 곱해 부하량을 산출하여 1일 중의 Input량과 Output량을 구하여 물질수지를 산정하였다(Table. 1).

유량을 살펴보면, 상류 OS1과 지천, 하수에 의한 Input량은 $53.2 \times 10^3 \text{m}^3 \cdot \text{day}^{-1}$, 하류 OS3에서의 Output량은 $56.1 \times 10^3 \text{m}^3 \cdot \text{day}^{-1}$ 로 계산되었고, 상류인 OS1에서 $29400 \text{m}^3 \cdot \text{day}^{-1}$ 의 유량분포를 나타내 지천에 대한 유량기여도가 큰 것으로 관측되었다. Input에 대한 Output의 비(O/I)는 1.06으로 계산되어 복류 및 증발에 의한 손실이 거의 없는 것으로 추정되며, CI는 수량의 (O/I)치에 가깝고, 수와 함께 보존적으로 움직이는 것을 알 수 있었다.

각 성분의 O/I를 보면 水의 (O/I)에 비하여 SS, BOD, TOC, TN, TIN은 작은 수치를 나타냈으며 선택적으로 제거된 것을 알 수 있었고, 특히 현탁물이 유입량에 36%가 제거되어 침전 및 퇴적에 의한 영향이 클 것으로 추정되었다. 암모니아성 질소의 O/I가 0.68로 질산성 질소의 (O/I)에 비해 크게 나타난 것은 조사구간내에서의 탈질화보다 질화작용에 의한 영향이 클 것으로 사료되며, 특히 영양염류인 총질소(TN)와 총인(TP)은 산업시설과 가정하수의 영향을 받고있는 농서천과 고매천에서의 유입에 크게 기인하고 있는 것으로 추정되었다.

Table 1. Budgets of chemical components at OS1 and OS3 during 2000. 11. ~ 2001. 10.

성분	Input(I)kg · day ⁻¹	Output(O)kg · day ⁻¹		O/I
	OS1+BS1+BS2+BS3 +SW1+SW2+SW3	OS3	Removal	
SS	574.7	368.9	205.8	0.64
BOD	317.1	275.3	41.8	0.87
TOC	334.6	313.8	20.8	0.94
NO ₃ -N	134.7	130.0	4.8	0.96
NO ₂ -N	7.1	5.7	1.4	0.80
NH ₄ -N	95.4	64.6	30.8	0.68
TIN	237.2	200.3	37.0	0.84
TN	310.3	248.3	62.0	0.80
TP	31.6	33.9	-2.3	1.07
PO ₄ -P	8.0	4.8	3.2	0.60
Cl	2463.9	2652.4	-188.5	1.08
H ₂ O (10 ³ m ³ day ⁻¹)	53.2	56.1	2.09	1.06

물질대사유기물의 분해(수중으로부터 유기물의 제거)

Table 1에 제시한 TOC의 Input는 $334.6 \text{kg} \cdot \text{day}^{-1}$, Output는 $313.8 \text{kg} \cdot \text{day}^{-1}$ 로서 1일 동안 TOC 량은 20.8 kg이 수중에서 제거된 것으로 계산되었다. 유기물 감소의 원인으로 微生物 分解(無機化), 沈澱, 부착물의 분해 및 생산속도의 추정하기 위하여 容存酸素農度의 시간변동을 조사하였다(Fig. 2). 용존산소농도가 감소된 야간에는 부착성조류 및 수중미생물 등에 의한 호흡작용으로 유기물의 분해가 있으며, 낮에는 광합성에 의한 유기물의 생산이 일어나게 된다. Fig. 2에 제시한 용존산소의 변화를 이용하여 호흡속도와 순생산속도를 구한 결과는 다음과 같다.

- * 용존산소의 감소 속도(호흡속도)
: $0.21 \text{ mgO}_2 \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$
- * 용존산소의 증가 속도(순생산속도)
: $0.56 \text{ mgO}_2 \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1}$

산정된 수치를 반응조 하상면적(0.1m^2) 및 수체적(25L)과 OS1~OS3 구간의 하상면적(33700.4m^2)을 고려하여 계산한 결과를 Table 2에 나타내었다. OS1~OS3지점 사이에서 수중미생물과 부착조류에 의한 유기탄소의 무기화량은 생산이 분해보다 크게 관측되어 약 $26\text{kg} \cdot \text{day}^{-1}$ 이 내부생산이 발생되는 것으로 추정되었다.

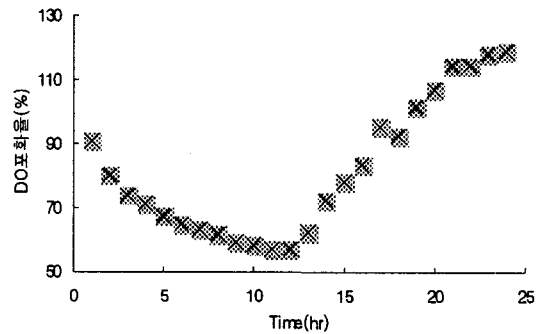


Fig. 4. Change of dissolved oxygen concentration in experimental chamber. The chamber was placed in the river water at OS3 on November, 2001.

Table 2. The estimated amount of organic matter mineralized between OS1 and OS3

Chamber 실험법	
호흡속도 ($\text{gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$)	0.48
순생산속도 ($\text{gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$)	1.25
유기탄소무기화량(M) ($\text{kg} \cdot \text{day}^{-1}$)	-26.1
전유기탄소 Input량(I) ($\text{kg} \cdot \text{day}^{-1}$)	334.6
M/I (%)	-7.8

*유기탄소 무기화량 = (호흡속도-순생산속도)×하상면적

침전에 의한 현탁물의 제거

Table 1에 제시한 것처럼 현탁물의 Input($547.7 \text{ kg} \cdot \text{day}^{-1}$)에 대하여 Output는 $368.9 \text{ kg} \cdot \text{day}^{-1}$ 이었으며 $205.8 \text{ kg} \cdot \text{day}^{-1}$ 이 두지점에서 제거된 것으로 알 수 있다. 이렇게 제거된 현탁물질의 대부분은 沈澱에 의한 것으로 생각되어 퇴적속도 및 퇴적량을 파악하기 위해 폴리에틸렌 용기($\phi 8\text{cm}$)에 OS1~OS3지점 사이의水深과流速이 서로 다른 3개 지점에 설치하였다. 설치된 3개지점에서 24hr동안 2hr 간격으로 시료를 회수하여 포집된 堆積物의 TS, VS량을 측정하였다.

장소에 따른 퇴적량은 서로 다르게 나타났으며, 수심이 낮고 유속이 빠른 곳이 堆積量이 많은 것으로 조사되었고, 3지점에 대한 각각의 조사치를 평균하여 Fig. 3에 제시하였다. 산정된 일일동안의 沈澱量을 조사구간내 면적을 고려하여 두지점간의 침전량을 계산한 결과는 다음과 같다.

- * TS량(총고형물량) : $212.7 \text{ kg} \cdot \text{day}^{-1}$, VS량(휘발성고형물량) : $85.0 \text{ kg} \cdot \text{day}^{-1}$

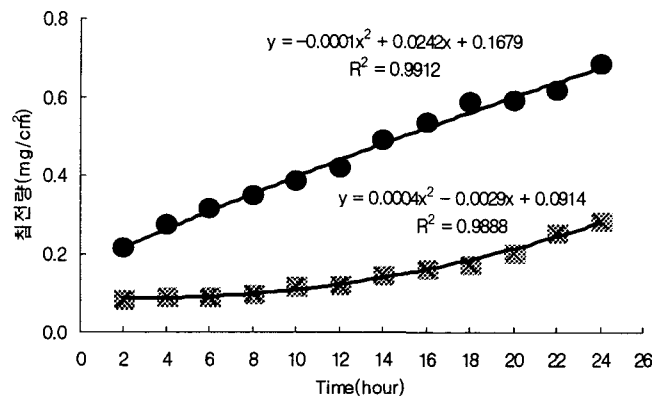


Fig. 3. Change of precipitate at OS1 ~ OS3 on November, 2001. ■ 강열감량 ● 건조중량

2지점간의 수지로부터 산정된 SS제거량은 205.8 kg · day⁻¹ (Table 1.)이며, 실측된 침전 퇴적량 212.7 kg · day⁻¹ 보다 적었다. 이러한 차이는 堆積物의 分離 · 소류 등에 의한 박리 (재부유)에 따른 影響으로 추정되었다.

부착성조류에 의한 영양염류의 섭취

부착성조류는 수중으로부터 炭素, 窒素, 磷化合物을 섭취하여 성장하며, 부착조류의 증식은 하천의 DO변화나 SS성 유기물농도변화(樓井, 1973)에 관여하는 인자로 우리나라 하천하상 대부분의 경우 자갈로 형성되어있어 부착조류가 수질에 미치는 영향은 클것으로 추정된다. 오산천(OS1~OS3)조사구간에서 클로로필 a의 평균현재량을 Fig. 4에 제시하였다.

조사지점은 유속 및 수심의 변화가 각기 다른 지점에서 측정하였고 Chl.a의 현재량은 유하에 따라 증가하는 경향을 보이고 있다. 2001년 8월, 하상의 부착판을 이용한 1일중 附着性藻類가 섭취한 영양염류는 각 항목4. 별로 다음과 같다.

*炭素의攝取量 : 1.3 gC · m² · day⁻¹

*窒素의攝取量 : 0.21 gN · m² · day⁻¹

*磷의攝取量 : 0.044 gP · m² · day⁻¹

부착성조류의 C/N는 평균 6.2로 관측되었으며, 이와 같은 결과는 1981년 지바현 수질보전연구소(일본)의 부착성 조류의 환산 계수산정(C/N: 5.0~7.2)에서도 볼 수 있었다. 窒素의 경우 OS1~OS3 사이에서 1일중 섭취량은 7.1kg이며, 총질소(TN) Input 량 310.3kg의 약 2.3%에 상당하며, 부착성 조류에 의한 섭취제거비율은 미비하였던 것으로 사료된다.

유기물질의 수지

OS1과 OS3의 지점간의 수지 및 여러 가지 現場 · 室内 실험을 통하여 얻어진 有機物質收支의 결과를 Table 3에 나타내었다.

Table 3. Budgets of organic matters at OS1 and OS3 during 2000. 11. ~ 2001. 10.

유기물의 Input 량 (kg · day ⁻¹)		유기물의 Output 량 (kg · day ⁻¹)		
입자성 유기물질	OS1로 부터의 유입	252.8 (27.8%)	OS3로 부터의 유출	368.9 (40.6%)
	지류로 부터의 유입 (BS1+BS2+BS3)	270.4 (29.7%)	(1) 침전 및 흡착	212.7 (23.4%)
	배수로로 부터의 유입 (SW1+SW2+SW3)	51.5 (5.7%)	(2) 미확인부분	-3.8 (0.4%)
	합 계	574.7 (63.2%)		
용존성 유기물질	OS1로 부터의 유입	166.7 (18.3%)	OS3로 부터의 유출	313.8 (34.5%)
	지류로 부터의 유입 (BS1+BS2+BS3)	149.7 (16.5%)	(3) 광합성에 의한 생산	-42.1 (-4.6%)
	배수로로 부터의 유입 (SW1+SW2+SW3)	18. (2.0%)	(4) 호흡에 의한 무기화	16.0 (1.8%)
	합 계	334.6 (36.8%)	(5) 부착성 조류의 섭취	43.8 (4.8%)
총 합	909.3 (100%)		909.3(100%)	

^{*}(1)퇴적속도 현장측정, (2)유기물 수지에 따른 추정, (3),(4)Chamber(수조) 실험, (5) 부착판에 의한 현장 실험

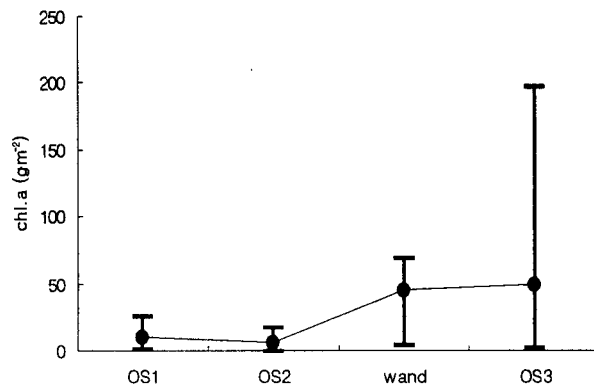


Fig. 4. The annual mean concentration of chlorophyll-a in attached substance during November, 2000. ~ October, 2001.

결론

都市 中小河川의 특성을 나타내는 오산천을 對象으로 하여 하천내부에서의 物質影響을 알아보기 위해 하천의 3지점과 그사이에 유입되는 지천 및 배수구를 1년에 걸쳐 여러 가지 現場실험 및 室内실험을 행하여 다음과 같은 結果를 얻었다.

1. 지점별 年間 汚染負荷量 산정 결과 조사구간에서의 오염부하의 기여도는 농서천>고매천>치동천 순이며, 오염물질 중 磷의 경우가 구간 내에서 소폭(2.3 kg·day⁻¹) 증가하는 것으로 조사되었다.

2. 하천 OS1과 OS3 사이의 有機物收支로부터 퇴적속도에 따른 침전량은 23.4%, 水中微生物 및 藻類에 의한 유기물 분해량은 1.8%, 光合成에 따른 내부생산량은 4.6%에 해당하였으며, 내부생산량은 주로 附着性 藻類에 의한 영향이 큰 것으로 판단되었다.

3. 附着性 藻類에 의한 영양염류의 섭취에 대하여 검토한 결과 磷, 窒素, 炭素의 攝取量은 각각 전체 유입량에 4.7%, 2.9%, 4.8%에 상당하여 부착성조류에 의한 섭취제거 비율은 작은 것으로 추정되었다.

이와 같이 하천은 물질을 상류로부터 하류에 운송하는 것 뿐만 아니라 여러 가지 物質代謝를 일으키며 流下되는 것으로 판명되었으며, 보다 나은 河川管理를 위해서는 인간活動의 증가에 따른 하천에 미치는 影響을 좀 더 定量的으로 파악할 必要가 있는 것으로 思料된다.

감사의 글

프론티어 과제(과제번호: 2-5-1)의 일환으로 본 연구가 진행된 것에 감사드립니다.

참고문헌

- 이시진, 박석순, 수질모형과 관리, 동화기술, 2001.
- 이흥근, 한진석, 낙동강 중류부의 자정능력에 대한 연구, 한국수문학회지, Vol.17, No.2, 1984.
- 이선경, 심규철, 김재영, 김준민, 장남기, 곡룡천 생태계 오염부하량과 계절에 따른 자정능의 변화, Korean J. Ecol. Vol.17, No.3, 1994.
- 오산천하천환경관리계획 보고서, 서울지방국토관리청, 건설교통부, 1997.
- Jong-Min Oh, Hiroshi Ogawa, Norio Ogura, Korean Science Society, Vol.12, No3, 1991.
- Ogura, N. and K. Msrikawa, Jap.J.Limnol. No.46, 1985.
- 小倉 紀雄, 都市河川の水質汚濁機構の 解明と 保全對策, 環境研究, No.70, 1988.
- Alexander J. Horne and Charles R. Goldman, Limnology, McGraw-Hill, Inc. 1994.
- Robert j. Naiman and Robert E. Bilby, River Ecology and Management, Springer, 1998.