

하수관거내 오염물질 성상변화 특성

이두진 · 김문일*

한국수자원공사 수자원연구원 국제상하수도연구소 · *한양대학교 토목환경공학과

(2005년 4월 22일 접수, 2005년 9월 18일 채택)

Characteristics of Transformation Process of Wastewater in Sewer

Doojin Lee · Moonil Kim*

Korea Institute of Water and Environment, Korea Water Resources Corporation

*Department of Civil and Environmental Engineering, Hanyang University

ABSTRACT : In this study, variations of water quality, sediment size and contaminant substances are analyzed at upstream and downstream in sewer systems in order to evaluate the characteristics of wastewater transformation by physico-chemical and biological reactions. The differences of DOC concentration between up and down stream showed the range of -5.8~18.6 from the result of continuous measurement at up and down stream. About 8.4% of DOC concentration was reduced and reduction rate was 2.3 mg/L/km. SS reduction rate was measured by 5.5 mg/L/km, 0.22 mg/L/min from upstream to downstream, which was twice than DOC reduction rate. When pollution load reduction was evaluated considering infiltration/inflow effect, DOC load was eliminated from 1,230 kg/d to 1,167 kg/d by physico-chemical and biological reaction in a sewer and 7.8% of the SS in upstream station was reduced under dry weather condition. The results showed that the characteristics of transformation process of wastewater in sewer should be considered for design and operation of wastewater treatment plant.

Key Words : Sewer System, Sediment, Physico-Chemical and Biological Reactions, Water Quality Transformation

요약 : 본 연구에서는 하수가 관거를 유하하면서 물리, 화학, 생물학적 반응을 통하여 오염물질이 제거되는 특성을 평가하기 위하여 실제 관거를 대상으로 상, 하류수질변화를 분석하고 관거 퇴적물의 입경변화와 오염물함유량을 평가하였다. 상류와 하류가 2.4 km 떨어진 두 지점에서 24시간 연속 채취된 시료에 대한 DOC 분석결과 상하류의 농도차이는 -5.8~18.6 mg/L의 범위를 보였다. 상류측 평균 DOC농도를 기준으로 8.4%가 감소하였으며, 관거길이당 감소율은 2.3 mg/L/km, 평균체류시간에 의한 감소율은 0.093 mg/L/min으로 나타났다. SS의 경우 상류와 하류간의 수질차는 -10.5~34.6 mg/L, 평균 SS 농도차는 13.3 mg/L, 상류수질을 기준으로 10.4%정도 감소하였으며 관거길이당 감소율은 5.5 mg/L/km, 평균체류시간에 의한 감소율은 0.22 mg/L/min으로 DOC에 비하여 약 2배 정도 높은 감소율을 나타내었다. 침입수/유입수를 고려하여 DOC, SS의 누적오염부하를 비교한 결과, DOC의 경우 일누적오염부하를 기준으로 상류 1,230 kg/d, 하류 1,167 kg/d으로 5.2%가 감소하였고, SS의 경우 상류 2,371kg/d, 하류는 2,186 kg/d로 7.8% 감소하였다. 이러한 결과는 하수를 처리장까지 수송하는 관거시스템내에서 오염부하의 일부가 제거되고 있음을 보여주는 것이며, 하수처리장의 설계 및 운영시 관거를 통한 감소영향을 고려하는 것이 필요함을 알 수 있다.

주제어 : 하수관거, 물리화학 및 생물학적 반응, 침입수/유입수, 퇴적물

1. 서론

하수관거는 하수를 처리장으로 수송하는 역할뿐만 아니라 하수내 입자성 고형물의 침전, 하수나 관거벽면에 서식하는 미생물에 의한 오염물질 분해 등의 반응이 일어나는 반응기의 역할을 수행한다.⁷⁾

하수관거를 유하하면서 하수내 성상변화는 크게 물리적 변화와 생물학적 변화로 나눌 수 있다. 물리적 변화는 하수내 존재하는 입자성 고형물이 관거내에서 침전, 재부유하면서 하수 성상이 변하는 것을 의미한다. 생물학적 변화는 하수 혹은

하수관거 벽면에 존재하는 미생물에 의하여 오염물질이 분해, 안정화되는 과정을 통하여 일어난다. 이처럼 하수관거내에서 하수성상이 변화하는 것은 넓은 의미로 관거를 유하하면서 이미 처리가 시작되는 것을 의미한다.⁴⁾ 하수관거가 반응기로서 역할을 수행할 수 있는 이유는 유입된 하수내 고형물질들이 침전이나 퇴적작용으로 인하여 관거내에 머무르게 되며, 이러한 퇴적물 및 하수내 영양물질이 미생물의 성장을 용이하게 해주기 때문이다.¹¹⁾ 이러한 일련의 과정들은 하수중의 오염물질을 감소시키고 유기물의 성상변화를 유발하여 하수처리장의 운전에도 직, 간접적으로 영향을 미치게 된다.⁵⁾

하수관거내 퇴적물의 축적은 하수내 고형물의 물리적인 특성과 수리학적 조건에 의해 이루어진다.¹⁰⁾ 특히 합류식하수관거의 경우 건기시에는 낮은 유속으로 인해 관거면에 퇴

† Corresponding author
E-mail: djlee@kowaco.or.kr
Tel: 042-860-0391

Fax: 042-860-0399

적물이 축적되고 우기시에는 일시적으로 증가된 유량으로 인해 전단력이 상승함에 따라 침전되어 있던 고형물이 침식, 재부유되면서 CSOs 발생시 방류선으로 월류하게 되어 방류선 수체에 오염부하를 가중시키게 된다. 이러한 하수관거내 오염물질의 제거 혹은 정상변화에 대한 연구는 실험실 규모의 실험을 통하여 간접적으로 수행되었으며, 특히 오염물질 제거관점에서 관벽이나 퇴적물의 최상부에 존재하는 생물막(biofilm)의 중요성이 강조되고 있다.^{2,8,12,14)}

Ozer and Kasirga(1995)는¹¹⁾ 3 m 길이 관을 이용한 실험실 규모 실험에서 관벽에 형성된 생물막이 유기물 제거과정을 지배하는 것으로 보고하였으며, Chen and Leung(2001)의 연구⁴⁾ 에서도 퇴적물 상부에 존재하는 미생물층이 산소소비에서 주요한 역할을 하는 것으로 보고하였다.

본 연구에서는 하수가 관거를 유하하면서 물리, 화학적, 생물학적인 반응을 통하여 오염물질이 제거되는 특성을 살펴보고자 하였으며, 실제 2.4 km의 관거를 대상으로 상, 하류 수질변화를 분석하고 관거 퇴적물의 입경변화와 오염물질 유량 변화양상을 평가하였다.

2. 연구방법

2.1. 대상지역

하수관거내 유기물의 정상변화를 조사하기 위하여 관거로 유입된 하수가 장기간 체류하며 유하할 수 있는 조건을 가지고 있는 경기도 N시의 하수관거를 대상지점으로 선정하였다. Fig. 1과 같이 상류의 소매수유역에서 발생한 하수가 2.4 km를 유하하면서 35~70 min의 체류시간을 거쳐 하류 배수유역의 관거와 합류된다. 상, 하류사이에는 3~4채의 독립가옥이 존재하고 있으나, CCTV조사를 통하여 지관이 연결되지 않은 것을 확인하였다.

조사관거의 배수유역은 주거지역으로서 인구 약 2700여명의 합류식 하수관거 지역이다. 유역면적은 2.3 ha, 관경은 250~800 mm, 관종은 PVC와 철근콘크리트 홑관이다.

2.2. 조사 및 분석방법

1) 유량 및 수질조사

상, 하류의 유량조사는 초음파식 유량계(Flotote 270, MARSH-McBIRNEY)를 이용하여 측정하였다. 유속은 초음파가 반사

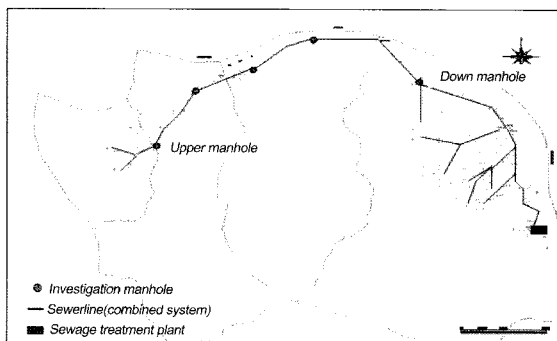


Fig. 1. Location map of study area and sewer line.

되어 돌아오는 도플러효과에 의해 측정하고, 수위는 압력관을 이용하여 대기압과 수압의 차이를 통하여 측정한 후 연속방정식에 의하여 유량을 산정하는 방식이다. 수질분석을 위한 시료채취는 상, 하류의 맨홀에서 실시하였으며, 맨홀바닥에 쌓여있는 헝잡물이나 퇴적물이 교란되지 않도록 하였다. 특히 하수관거 유하중 발생하는 오염물질의 특성을 평가하기 위하여 유량조사를 통하여 구한 관거 유하시간 즉 관내 체류시간을 고려하여 상, 하류 샘플링 시간을 조정하였다. Grab으로 채취된 시료는 4°C 이하의 냉동보관상태에서 실험실로 운반하여 즉시, 분석하였다. 퇴적물내 함유오염물질은 퇴적물과 증류수를 무게 비 1:10으로 섞은 후 이를 6시간 동안 교반하여 얻어진 상등액의 수질을 분석하였다. 모든 수질항목 분석은 Standard method(1998)에¹⁾ 준하여 3회 분석의 평균값을 구하였다.

2) 퇴적물 입도분석

하수내 존재하는 유기물이 미생물에 의해 이용되기 위해서는 용존상태로 존재해야 한다. 하수내 존재하는 유기물의 물리화학적(physico-chemical) 특성은 보통 particulate, colloidal, soluble의 3가지로 구분한다.⁶⁾ 이러한 입자성 유기물을 분리하는 방법은 침전, 여과, 응집, 원심분리 등 여러 가지 방법들이 있다. 이와 같은 방법으로 하수내 입자성 물질의 분율을 구분하는 것은 오염물질이 처리시스템내에서 분해, 처리되는데 필요한 처리시간이나 동역학적 반응을 예측하는데 유용한 정보를 제공할 수 있다. 가장 널리 이용되는 방법은 particle size distribution 기법으로 체가름, micro-filtering, image analyzer 등을 이용하여 미세크기의 입자까지 구분하고 있다.

본 연구에서는 상, 하류 퇴적물을 대상으로 체가름을 통한 입도분석을 통하여 오염물질의 입경별 분포특성과 입경 변화양상을 살펴보았다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 상, 하류의 유량 및 수질분석

WEF(1992)에서는¹⁵⁾ 건기일(Dry weather) 즉, 오염부하관점에서 독립강우의 기준으로 강우종료(0.1inch 이상강우)후 선행건기가 72 hr 이상 확보되어야 한다고 규정하고 있다. 본 조사에서는 건기유량 및 수질조사를 강우에 의한 영향을 배제하기 위하여 선행건기일이 5일인 조건에서 수행되었다.

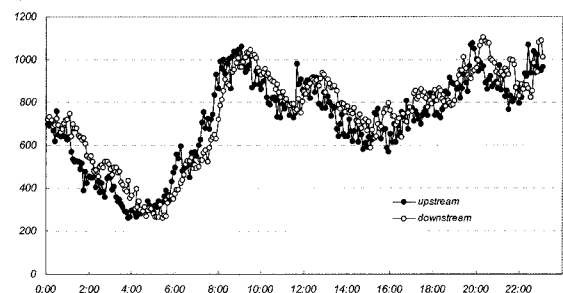


Fig. 2. Hourly variation in flowrate on investigation site.

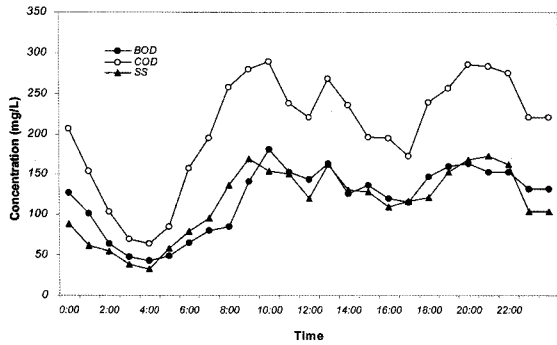


Fig. 3. Variations of COD_{Cr}, BOD₅, and SS in raw sewage on October 4, 2002(down station).

Fig. 2와 같이 유량은 전형적인 주거지역의 발생패턴을 보이고 있다. 오전시간대와 저녁식사 이후 시간대에서 유량증가가 현저하게 나타났으며, 일간 누적유량에 대한 상, 하류값의 차이를 비교한 결과 상류유량 대비 약 4.8%가 건기 침입수/유입수(infiltration/inflow)인 것으로 산정되었다. 유량측정을 통한 체류시간은 유량이 적은 시간대(새벽 4시 전후)에는 약 75분에서 유량이 점차 증가할수록 체류시간이 35분까지 감소하였으며, 평균체류시간은 약 50분으로 나타났다.

Fig. 3의 오염물질 발생패턴도 가정하수의 일반적인 특성을 보이고 있으며, 오전 9~10시 사이에 COD_{Cr}, BOD, SS 모두 가장 높은 농도를 보였다. 대부분 주거지역이고 가정에서 배출된 유량이 상류측정지점까지 도달하는 시간이 짧았기 때문에 새벽 0시부터 급격한 농도저하가 나타나고 있으며, 새벽 4시 전후에 최소농도를 나타내었다. 평균수질은 COD_{Cr}, BOD₅, SS가 각각 206.4, 119.4, 104.8 mg/L를 나타냈으며, 각 수질별 최저 대비 최대농도 비율이 각각 4.5, 3.8, 5.1로 나타나 SS의 변동폭이 가장 큰 것으로 나타났다.

3.2. 관거를 통한 오염물 제거

Fig. 4는 상, 하류지점에서 24시간 연속 채취된 시료에 대한 DOC 분석결과로써 체류시간은 1시간으로 가정하여 그래프상에 나타내었다. 전체적인 경향이 하류지점의 DOC가 다소 낮게 나타났으며, 상하류의 농도차이는 -5.8~18.6 mg/L의 범위를 보였다. 상류측 평균 DOC농도가 66.8 mg/L에서, 평균 감소농도는 5.6 mg/L으로 8.4%가 감소하였다. 관거길이

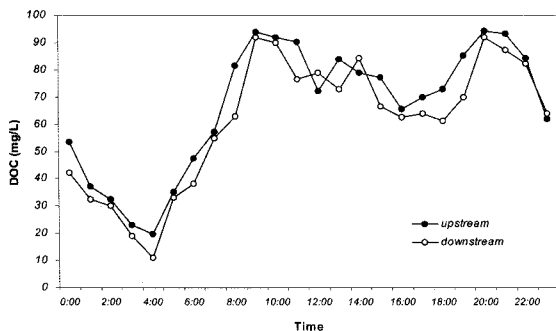


Fig. 4. Variation of DOC in upper and down sewage on October 4, 2002.

당 감소율은 2.3 mg/L/km, 평균체류시간에 의한 감소율은 0.093 mg/L/min으로 나타났다.

Gall et al.(1995)은⁵⁾ 하수처리 해석프로그램을 이용하여 관거내 유기물감소 모델을 개발하고 용존산소가 충분한 조건에서 모의한 결과 12시간의 체류시간동안 TCOD_{Cr}는 330 mg/L에서 280 mg/L로 SCOD_{Cr}는 140 mg/L에서 69 mg/L로 감소하였으며, 체류시간에 의한 감소율이 각각 0.069 mg/L/min (TCOD_{Cr}), 0.087 mg/L/min(SCOD_{Cr})으로 보고하였다.

Ozer and Kasirga(1995)는¹¹⁾ 순환식 모형관거에서 호흡율 분석을 통하여 부유성 미생물과 부착성 미생물에 의한 관거길이당 COD_{Cr}감소 상관관계식을 개발하였으며, 초기COD_{Cr}농도가 170 mg/L에서는 호흡율이 7 mg/L/h, 초기COD_{Cr}가 366 mg/L인 경우에는 호흡율이 31.8 mg/L/h로 높아져 유기물제거는 초기농도가 클수록 미생물에 의한 분해속도가 커지는 것으로 보고한 바 있다.

SS의 경우 일간 변화폭이 COD_{Cr}에 비해 크게 나타났으며 상류와 하류간의 수질차는 -10.5~34.6 mg/L 범위를 나타내었다(Fig. 5참조). 입자성고형물의 특성상 하류로 갈수록 침전에 의해 감소되는 경향이 뚜렷하였으나, 오전 6시부터 9시 사이에는 농도차가 없거나 오히려 하류농도가 높게 나타났는데, 이는 오전시간대 유량이 증가함에 따라 관거내 퇴적물 일부가 소류, 재부유된 것으로 추측된다. 상하류 평균 SS농도차는 13.3 mg/L로 나타났으며 상류수질을 기준으로 10.4% 정도 감소하였다. 관거길이당 감소율은 5.5 mg/L/km, 평균 체류시간에 의한 감소율은 0.22 mg/L/min으로 DOC에 비하여 약 2배정도 높은 감소율을 나타내었다.

Fig. 6은 상류지점으로부터 각각 500, 900, 1400, 2400 m 하류에서 평균유속이 0.6 m/s라고 가정 한 후 최상류에서 부터 15, 25, 40, 60분 후에 각각 시료를 채취한 후 분석한 결과이다. 앞선 2002년 10월 4일의 24시간 연속 수질분석결과를 바탕으로, 상류에서 DOC가 가장 높게 측정된 오전 9시 시료와 가장 낮게 나타난 새벽 4시 시료를 비교하였다. 새벽 4시 시료의 경우 DOC가 감소되는 경향이 뚜렷하게 나타나고 있는 반면 오전 9시 시료의 경우 DOC 변화가 크게 나타나지 않았다. 이는 유량증가가 뚜렷한 오전 9시의 경우 유속증가가 동반되어 실질적인 체류시간이 감소되었고 오전

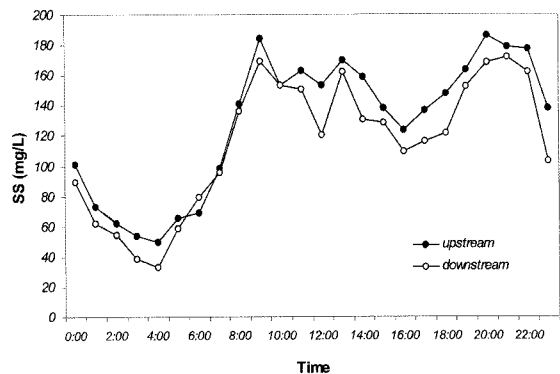


Fig. 5. Variation of SS in upper and down sewage on October 4, 2002.

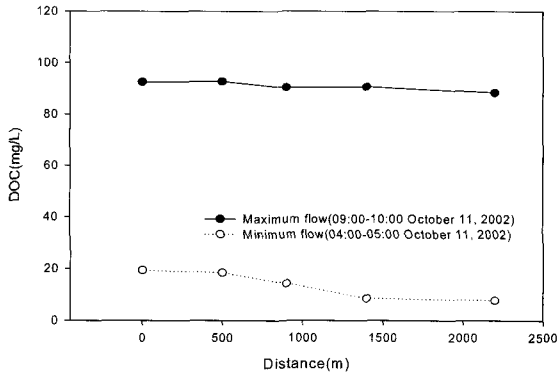


Fig. 6. Variation in DOC along sewer line(as if velocity = 0.6 m/s).

4시는 유량이 감소함에 따라 유속이 느려지면서 관거내 체류 시간이 증가하면서 관거퇴적물과 관벽에 형성된 biofilm에 의해 용존유기물이 더 많이 제거된 것으로 추측된다. DOC 제거율은 체류시간이 가장 짧은 오전 9시에는 94.2 mg/L에서 92.4 mg/L로 0.8 mg/L가 감소하였고 반면에 체류시간이 가장 긴 오전 4시에는 8.8 mg/L가 감소되는 것으로 나타났다.

관거내 유기물 감소경향은 하수성상, 수온, 퇴적물량, 관거 시스템 등 여러 가지 인자에 의해 영향을 받기 때문에 정량적인 비교가 어렵다.⁷⁾ 참고적으로 Chen et al.(2001)의 연구⁴⁾ 결과에 따르면 1,278 m 길이 하수관거에서 평균 18분의 체류시간동안에 DOC농도가 41.5 mg/L에서 35.8 mg/L로 약 14% 제거되었으며, 체류시간이 최대 40분까지 증가하는 경우 약 55%까지 감소율이 증가하는 것으로 보고된 바 있다.

상, 하류관거 사이에 침입수/유입수에 의한 영향을 고려하기 위하여 유량변동에 따른 DOC, SS 누적오염부하를 Fig. 7과 같이 구하였다. DOC의 경우 일누적오염부하를 기준으로 상류 1,230 kg/d, 하류 1,167 kg/d으로 5.2%가 감소되는 것으로 나타났고, SS의 경우 상류 2,371kg/d, 하류는 2,186 kg/d으로 감소하여 7.8% 감소하였다. 이러한 결과는 앞서 언급한 바와 같이 하수를 처리장까지 수송하는 관거 시스템이 처리반응기로서 오염부하의 일부를 제거할 수 있음을 보여주는 결과이다.

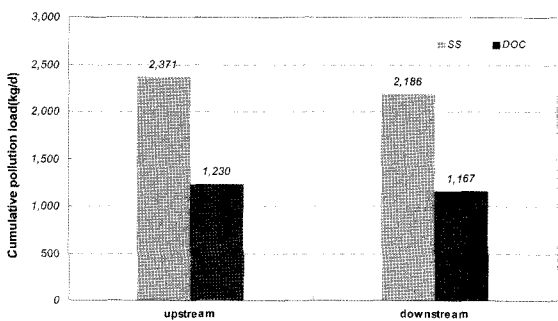


Fig. 7. Comparison of pollution load between upstream and downstream in sewer.

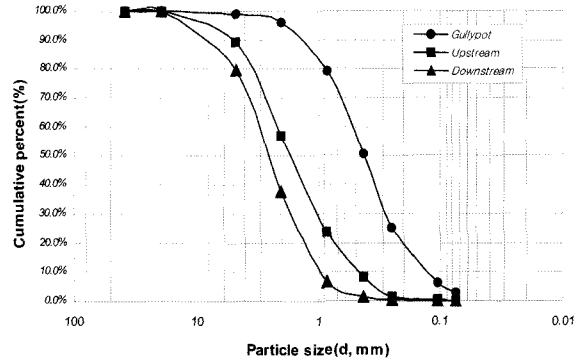


Fig. 8. Particle size distribution of sediment in sewer.

3.3. 관거내 퇴적물 오염도

배수유역내 관거 중 우수받이, 상, 하류 각 지점에서 퇴적물을 채취하여 입도분포와 함유오염도를 측정하였다. 하류지점은 상류로부터 약 3.2 km 떨어져 있으며, 평균경사는 0.875 %였다.

각 조사지점별 입도 분포 분석결과 Fig. 8과 같이, 상류 맨홀의 퇴적물이 하류 맨홀의 퇴적물에 비해 작은 입경의 고형물이 많이 존재함을 알 수 있다. 합류식 하수관거에서 강우시 유량이 급격하게 증가하는 경우에는 상류의 퇴적물이 씻겨 하류로 이동하게 되고, 하류로 이동할수록 관경이 커지고 상대적으로 유속이 느려짐에 따라 큰 입경의 퇴적물이 서서히 축적되었기 때문으로 사료된다. 특히 우수받이내 퇴적물의 입경이 매우 작게 나타났는데, 이는 지표면에 존재하는 입자성고형물 뿐만 아니라 전기시 도로변에서 발생하는 먼지, 분진 등이 유입되어 퇴적되었기 때문으로 추측된다.

Laplace et al.(2003)의 연구⁹⁾에서도 하수관거 상, 하류의 퇴적물 입도분석결과 상류에서 하류로 갈수록 입경이 증가하는 경향이 있는 것으로 나타났다.

각 퇴적물을 #4체와 #10체로 쳐서 입경별로 $d < 2.00$ mm, $2.00 \sim 4.75$ mm, $4.75 \text{ mm} < d$ 으로 3등분 하였고 각각의 입경별 단위 무게당 오염물질 함유량을 분석하였다(Table 1 참조).

우수받이의 경우 대부분의 고형물이 2 mm미만의 세립자이고, 관내 퇴적물은 상류에서 하류로 갈수록 큰 입경의 고형물 분율이 커지고 있음을 알 수 있다.

세 시료 모두가 작은 입경을 가진 시료들의 오염물질 함유량이 큰 입경을 가진 시료들에 비해 높은 오염도를 나타냈다(Table 2참조).

Table 1. Particle size distribution at gullypot, upstream and downstream in sewer

Site	Ratio of particle size distribution(%)		
	$d < 2.00$ mm	$2.00 \text{ mm} \leq d < 4.75$ mm	$4.75 \text{ mm} \leq d$
Gullypot	95.9	3.0	1.1
Upstream	56.8	32.7	10.5
Downstream	37.7	42.2	20.3

Table 2. Content of pollutant in sediment from different site

Site and item	Content of pollutant in sediment(mg/g)				
	d < 2.00 mm	2.00 ≤ d < 4.75 mm	4.75 mm ≤ d	Total	
Gullypot	COD _{Cr}	26.48	21.75	17.64	20.65
	T-N	0.67	0.58	0.38	0.976
	T-P	0.090	0.083	0.062	0.52
Upstream	COD _{Cr}	6.93	2.54	1.95	2.85
	T-N	0.25	0.13	0.009	0.042
	T-P	0.070	0.030	0.025	0.12
Downstream	COD _{Cr}	11.93	10.63	5.40	5.32
	T-N	0.23	0.18	0.12	0.054
	T-P	0.076	0.061	0.032	0.15

이러한 결과는 Simon et al.(1988)의 연구결과¹³⁾와 마찬가지로 퇴적물내 오염물질들은 큰 입경의 무기물보다는 작은 입경의 유기물형태로 존재하며, 입경이 작을수록 더 넓은 표면적을 가지므로 고형물 혹은 용존상태 오염물질의 흡착이 용이하게 일어나기 때문이다.¹³⁾

관거내 퇴적오염물은 우수받이, 하류, 상류 순으로 높게 나타났는데, 하류퇴적물이 상류퇴적물에 비하여 COD_{Cr} 1.9배, T-N 1.2배, T-P 1.3배 더 크게 나타났다. 우수받이의 경우 강우시 지표유출수가 관거로 유입되는 지점으로서 지표유출수에 포함된 입자성 고형물을 일부 제거하는 기능을 수행하고 있기 때문에 지표면의 초기오염물질이 침전되어 오염부하가 높게 나타난 것으로 판단된다. 이는 우수받이 퇴적물을 건기시 제거하지 않은 경우, 후속강우시 다시 관거내로 유입되게 되고, 월류수가 발생하는 경우 방류선으로 유출되는 오염부하를 증가시킬 우려가 있으므로 건기시 정기적인 퇴적물 제거가 필요할 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 하수가 관거를 유하하면서 물리, 화학, 생물학적인 반응을 통하여 오염물질이 제거되는 특성을 평가하기 위하여 실제 관거를 대상으로 상, 하류수질변화를 분석하고 관거 퇴적물의 입경변화와 오염물질유량 변화양상을 평가하였다. 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 상, 하류지점에서 24시간 연속 채취된 시료에 대한 DOC 분석결과 하류지점의 DOC가 다소 낮게 나타났으며, 상하류의 농도차이는 -5.8~18.6 mg/L의 범위를 보였다. 상류측 평균 DOC농도가 66.8 mg/L에서, 평균 감소농도는 5.6 mg/L으로 8.4%가 감소하였으며, 관거길이당 감소율은 2.3 mg/L/km, 평균체류시간에 의한 감소율은 0.093 mg/L/min으로 나타났다.

SS의 경우 상류와 하류간의 수질차는 -10.5~34.6 mg/L 범

위를 나타내었으며 상하류 평균 SS 농도차는 13.3 mg/L, 상류수질을 기준으로 10.4%정도 감소하였다. 관거길이당 감소율은 5.5 mg/L/km, 평균체류시간에 의한 감소율은 0.22 mg/L/min으로 DOC에 비하여 약 2배 정도 높은 감소율을 나타내었다.

2) 상, 하류관거 사이에 침입수/유입수에 의한 영향을 고려하기 위하여 유량변동에 따른 DOC, SS 누적오염부하를 비교한 결과, DOC의 경우 일누적오염부하를 기준으로 상류 1,230 kg/d, 하류 1,167 kg/d으로 5.2%가 감소되는 것으로 나타났고, SS의 경우 상류 2,371 kg/d, 하류는 2,186 kg/d으로 7.8% 감소하였다. 이러한 결과는 하수를 처리장까지 수송하는 관거 시스템내에서 오염부하의 일부가 제거되고 있음을 보여주는 것이며, 하수처리장의 유입오염부하를 산정하는 경우 관거를 통한 감소영향을 고려하는 것이 필요할 것으로 판단되었다.

3) 우수받이, 상, 하류 각 지점에서 퇴적물오염부하를 입경별로 분석한 결과, 총 퇴적오염부하는 우수받이, 하류, 상류 순으로 높게 나타났으며, 하류퇴적물이 상류퇴적물에 비하여 COD_{Cr} 1.9배, T-N 1.2배, T-P 1.3배 더 크게 나타났다. 특히 오염부하가 높은 우수받이내 퇴적물의 경우, 후속강우시 다시 관거내로 유입되어, 월류수 발생시 방류선으로 배출될 우려가 있으므로 건기시 정기적인 퇴적물 제거가 필요할 것으로 판단되었다.

참고문헌

1. APHA, AWWA, WEF, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewaters, 20th ed., Washington, D.C.(1998).
2. Boon, A. G., Skellett, C. F., Newcombe, S., Jones, J. G., and Foster, C. F., "The use of oxygen to treat sewage in a rising main," *J. Water Pollution Fedn.*, **49**, 98~112 (1977).
3. Cao, Y. S. and Alaerts, G. J., "Aerobic biodegradation and microbial population of a synthetic wastewater in a channel with suspended and attached biomass," *Water Sci. Technol.*, **31**(7), 181~189(1995).
4. Chen, G., Leung, D., and Huang, J., "Removal of dissolved organic carbon in sanitary gravity sewer," *J. of Environ. Eng.*, **127**(4), 295~301(2001).
5. Gall, B., Takacs, I., and Patry, G., "The effect of organic reactions in a collection system on wastewater treatment plant performance," *Water Sci. Technol.*, **31**(7), 25~31 (1995).
6. Ginestet, P., Maisonnier, A., and Sperandio, M., "Wastewater COD characterization: biodegradability of physico-chemical fractions," *Water Sci. Technol.*, **45**(6), 89~97 (2002).
7. Hvitved-Jacobsen, Sewer processes, Microbial and chemical process engineering of sewer networks, CRC Press

- (2002).
8. Hvitved-Jacobsen, T., Vollertsen, J., and Tanaka, N., (1998b). "Wastewater quality changes during transport in sewers-An integrated aerobic and anaerobic model concept for carbon and sulfur microbial transformations," *Water Sci. Technol.*, **38**(10), 257~264(1998).
 9. Laplace, D., Oms, C., Ahyerre, M., Chebbo, G., Lemasson, J., and Felouzis, L., "Removal of The Organic Surface Layer in Combined Sewer Sediment using flushing Gate," *Water Sci. Technol.*, **47**(4), 19~26(2003).
 10. Mays, L. W., *Stormwater Collection Systems Design Handbook*, McGraw-Hill(2001).
 11. Ozer, A. and Kasirga, E., "Substrate removal in long sewer lines," *Water Sci. Technol.*, **31**(7), 213~218(1995).
 12. Pomeroy, R. D. and Parkhurst, J. D., "The forecasting of sulfide buildup rates in sewers," *Prog. Water Technol.*, **9**, 621~628(1973).
 13. Simon, J. T., Peter, J. R., and Adrian, J. S., "A Laboratory study of the erosion and transport of Cohesive-Like Sediment Mixtures in Sewer," *Water Sci. Technol.*, **37**(1), 163~179(1998).
 14. Tanaka, N., Hvitved-Jacobsen, T., Ochi, T., and Sato, N., "Transformation of wastewater organic matter in sewer under changing aerobic-anaerobic conditions," *Water Sci. Technol.*, **37**(1), 105~113(1998).
 15. WEF, *Stormwater Monitoring, Measurement, and Management*, Pre-Conference Seminar Proceedings, 65th Annual Conference & Exposition New Orleans, Sep.(1992).