

오염부하 물질수지 분석을 통한 합류식 하수관거 적정 차집용량 결정(II) - 차집용량과 월류오염부하 삭감목표 설정 -

Determination of Interception Flow by Pollution Load Budget Analysis in Combined Sewer Watershed (II) - Establishment of Intercepting Capacity and Reduction Goal of Overflow Pollution Load -

이두진^{1,*} · 신응배²

Doojin Lee^{1,*} · EungBai Shin²

1 한국수자원공사 수자원연구원 국제상하수도연구소

2 지역환경기술개발센터 연합회

(2005년 6월 17일 논문 접수; 2005년 10월 12일 최종 수정논문 채택)

Abstract

The objective of this study is to evaluate a criteria of intercepting capacity and a reduction goal of overflow pollution load in combined sewer system. In the current criteria of intercepting capacity in the domestic sewage facility standard, it is known that three times of peak sewage (Q) in dry period or runoff flow by 2mm/hr is not appropriate since the intercepted flow is estimated by runoff and show different result even in the same watershed.

Though a reduction goal of overflow pollution load can be determined from 1) same level of storm-water runoff pollution load in separated storm sewer, 2) less than 5% sewage load in dry weather period, by the domestic sewage facility standard, the simulated results from storm-water model show large differences between two criteria. While it is predicted that sewage pollution load standard three time larger than separated storm sewer standard in high population density and urbanized area, it is shown that separate storm sewer standard larger than sewage pollution load standard in middle population density and developing area. Accordingly, it is proposed that more reasonable intercepting flow and reduction goal of overflows pollution load should be established to minimize discharging pollution load in combined sewer systems. For the purpose, a resonable standard has to be amended by pollution load balance considering the characteristics of a watershed for generation, collection, treatment, and discharging flow.

Key words: Intercepting capacity, Budget of pollution load, Bypass flow, Overflow pollution load

주제어: 차집용량, 오염부하물질수지, 배제유량, 월류오염부하

*Corresponding author Tel: +82-42-860-0391, FAX : +82-42-860-0399, E-mail: djlee@kowaco.or.kr (Lee, D.J.)

1. 서 론

합류식 하수관거는 단일관으로 우수와 하수를 배제하도록 설계되어 있으며, 건기시에는 발생하수를 전량 처리장까지 이송하지만, 강우시에는 기저하수와 강우유출수의 일부를 차집하고 차집관거용량을 초과하는 유량은 방류선으로 월류시키게 된다(Moffa, 1997).

합류식 하수관거의 경우 강우시 초기강우를 처리할 수 있는 장점이 있는 반면 월류수내 하수가 포함되어 있기 때문에 장기적으로 지속되는 강우시에는 높은 월류오염부하를 유발시키게 된다.

현재 우리나라 대부분의 합류식지역에서는 우수토실 즉, 차집조절시설이 설계, 운영상의 부실로 인하여 적정용량의 차집이 이루어지지 않고 있으며, 상류지역에서는 과다차집이 발생하고 하류에서는 오히려 차집관거로부터 역류가 발생하여 방류선으로 배출되는 사례가 종종 보고되고 있다(환경관리공단, 2004).

차집용량은 강우시 배수구역에서 방류선으로 유출되는 오염부하를 결정하고, 하수처리장 운전에 직접적으로 영향을 미치기 때문에 구역오염관리 차원에서 매우 중요한 설계인자이다.

우리나라 하수도시설기준(1998)에서는 합류식하수도의 차집관거용량과 강우시 계획하수량을 서로다른 기준 즉, 오수발생량과 계획강우강도로 각각 제시하고 있다. 또한 강우시 방류부하량 저감목표역시 분류식 우수관거 수준 혹은 청천시 발생 BOD부하량의 5% 미만이라는 두 가지 기준을 제시하고 있다. 아울러 이러한 저감목표를 달성하기 위한 대책으로 1) 차집관거의 용량증대, 2) 우수체수지, 3) 스윙조절조(swirl regulator), 4) 실시간 제어방법 등을 추천하고 있다.

본 연구에서는 현장실측과 강우유출 모델을 이용하여 배수구역에서 발생, 배출되는 오염부하의 물질수지를 분석함으로써, 차집용량 설계기준의 적절성을 평가하고 적정차집용량을 결정하는 방법에 대하여 살펴보았다.

2. 연구내용 및 방법

2.1. 연구내용

우리나라 하수도시설기준에서는 강우시 합류식 하수도의 차집용량을 다음과 같이 제시하고 있다.

- i. 건기 계획시간 최대오수량의 3배 이상
- ii. 차집용량 = 청천시 계획시간 최대오수량 + 계획우수량(2mm/hr)

이러한 차집용량을 통하여 분류식 우수관거 유출 오염부하수준 혹은 월류 BOD부하량 비율이 연간 청천시 발생 BOD부하량의 5% 미만이 되도록 월류오염부하 저감목표를 설정하였다. 이러한 기준은 1982년 일본하수도협에서에서 합류식 하수관거 월류수제를 위하여 잠정적으로 제정한 설계지침을 따른 것으로서 중밀도지역에 적용하는 기준이다.

본 연구에서는 합류식 하수관거 지역을 대상으로 현재 하수도시설기준에서 제시한 차집용량의 적절성을 평가하고 구역의 특성과 방류선 목표수질을 달성할 수 있는 적정차집량을 산정하고자 하였다. 해당배수구역의 건, 우기시 하수 및 강우유출수 발생특성을 조사하고, 강우유출모델을 이용하여 연간발생 강우유출량과 월류량을 모의하였으며, 건, 우기시 해당구역 하수처리장의 운전자료를 근거로 구역내 오염부하 물질수지를 완성함으로써 해당 배수구역에서 적절한 차집용량을 선정하는 방안에 대해서 살펴보았다.

2.2. 연구방법

연구의 진행은 Fig. 1과 같은 절차에 따라 수행되었다. 앞서 구축한 강우유출모델을 토대로 하수도시설기준에서 제시한 차집용량을 기준으로 구역의 오염물질수지를 도출하고, 이 결과 강우시 월류오염부하 저감목표를 달성할 수 있는지 여부를 평가하였다.

2.3. 대상지역

대상지역 H는 면적 195.5ha, 인구 약 72,000명의 전형적인 고밀도 주거지역으로 개발이 완료된 구시가지의 형태를 보이고 있다. 반면에 S지역은 8.6ha의 면적에 1700여 명이 거주하는 중저밀도 주거지역이며, 전체구역 가운데 투수면적이 약 62.5%를 차지할 정도로 미개발 토지가 넓게 분포하고 있다.

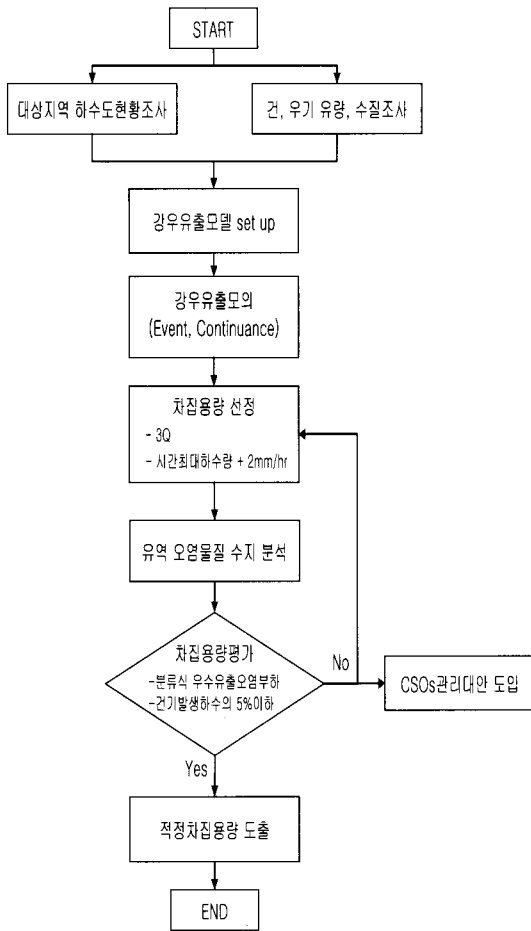


Fig. 1. Flow of study.

3. 결과 및 고찰

3.1. 차집유량 평가

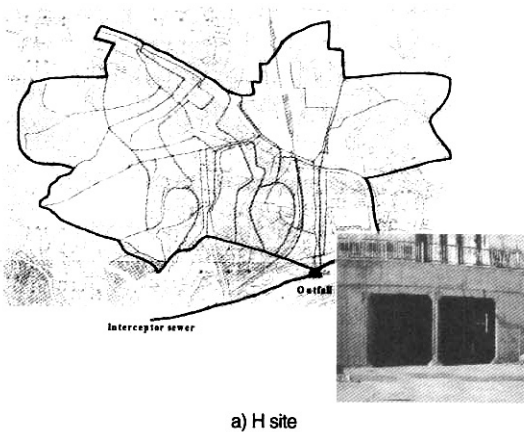
실제차집유량을 구하기 위하여 1인 1일 평균하수 발생량은 상수도통계(환경부, 2002)의 상수 급수량 원단위 362//cap/d에, 유수율 77.2%를 적용하고, 오수전환율은 최근 조사된(환경부, 2001) 하수전환율 0.9를 이용하여 250//cap/d로 가정하고, 계획시간 최대우수량을 산정하였다. 계획우수량은 유출강우 2mm/hr에 의한 지표유출유량을 산정하였다.

차집유량을 산정한 결과 **Table 1**과 같이 고밀도 주거지역인 H지역에서는 오수발생량을 기준으로 한 경우 차집유량(3Q)이, 계획우수량(Q+2mm/hr)에 비해 15.5% 더 차집할 수 있으며, 중저밀도에 해당하는 S 지역의 경우에는 반대로 계획우수량을 기준으로 한 차집유량이 오수발생량 기준에 비하여 48.8% 더 많은 것으로 산정되었다. 이러한 결과는 도시의 인구밀집도, 개발정도(불투수면적), 토지이용형태 등에 따라 오수발생량과 강우유출수 발생경향이 상이하게 나타남을 의미한다. 즉 오수발생량의 경우 유역내 인구

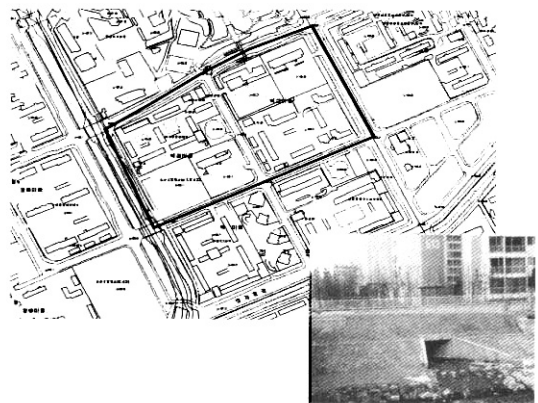
Table 1. Comparison of interception capacity

Site	Average sewage(m ³ /d)	Interception capacity(m ³ /d)	
		3Q ¹⁾	Q + 2mm/hr
H	17,500	105,000	88,760
S	430	2,550	4978

1): Q = 계획시간 최대우수량



a) H site



b) S site

Fig. 2. Investigation area and sampling point of study site.

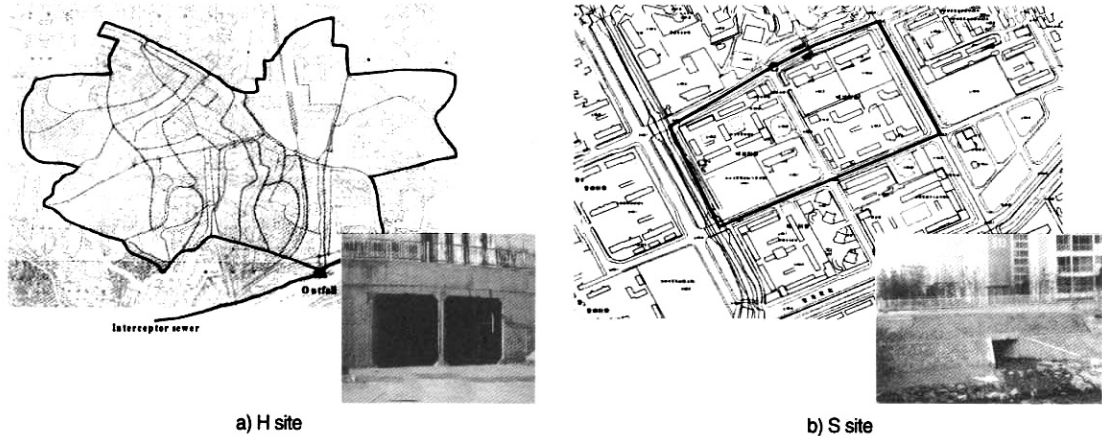


Fig. 2. Investigation area and sampling point of study site.

밀집도에 따라 크게 영향을 받게 되고, 계획우수량은 유역내 토지이용형태에 따른 강우유출특성이 지배적인 영향을 미치게 된다.

이와 같이 합류식하수관거의 차집용량 설계에서 계획우수량과 계획우수량을 동일한 기준으로 적용하는 것은 적절하지 않으며, 해당지역의 배출오염부하에 대한 종합적인 물질수지분석을 통하여 방류오염부하를 최소화할 수 있는 차집용량 기준이 필요할 것으로 판단된다.

3.2. 3Q 및 Q + 2mm/hr 차집에 의한 오염부하 저감효과 비교

Table 2와 Fig. 3은 2002년 3~11월 사이에 발생한 강우를 대상으로 각 차집용량 설계기준별로 월류오염부하를 예측한 결과이다.

이 결과는 앞선 차집유량평가와 유사한 경향을 나타내고 있다. COD를 기준으로 볼 때 고밀도 지역

(H)에서는 3Q로 차집하는 경우 Q + 2mm/hr에 비하여 월류오염부하를 6,910kg/yr, 약 19.1% 더 저감시킬 수 있는 것으로 나타났으며, 두 기준 모두 현행 하수도시설기준에서 제시한 월류오염부하 저감목표인 청천시 발생부하량(BOD)의 5%미만을 달성할 수 있음을 알 수 있다. 반면에 중·저밀도에 해당하는 S지역에서 청천시 연간 발생부하량에 비해 3Q 차집은 27.2%, Q + 2mm/hr 차집은 16.2%가 월류되는 것으로 모의되어 상대적으로 차집용량이 부족한 것으로 평가되었다.

Fig. 4는 각 유역에서 차집용량이 다른 기준에 대하여 유역전체에서 발생하는 오염부하의 물질수지를 분석한 결과이다. 물질수지내에는 유역내 총오염부하발생량(total), 이 가운데 월류되는 량(overflow)과 차집되는양(intercepting), 차집된 유량중 건기(dry), 우기(wet)에 각각 발생한 양을 나타내고 있다. 방류수역으로 배출되는 월류오염부하와 처리장에서 연간방류

Table 2. Results of continuous modeling according to intercepting flow

Site	Item	Sewage in dry weather	Combined flow in wet weather	Overflow		Overflow rate (overflow/sewage in dry, %)	
				3Q	Q+2mm/hr	3Q	Q+2mm/hr
H	Flow(m ³ /yr)	4,927,700	1,018,300	424,900	462,500	8.6	9.4
	COD load(kg/yr)	995,700	178,300	29,270	36,180	2.9	3.6
	SS load(kg/yr)	436,500	106,800	59,070	65,390	13.5	14.9
S	Flow(m ³ /yr)	102,767	96,333	66,100	49,490	64.3	48.2
	COD load(kg/yr)	21,420	11,340	5,832	3,461	27.2	16.2
	SS load(kg/yr)	7,790	17,760	12,200	9,324	156.6	119.7

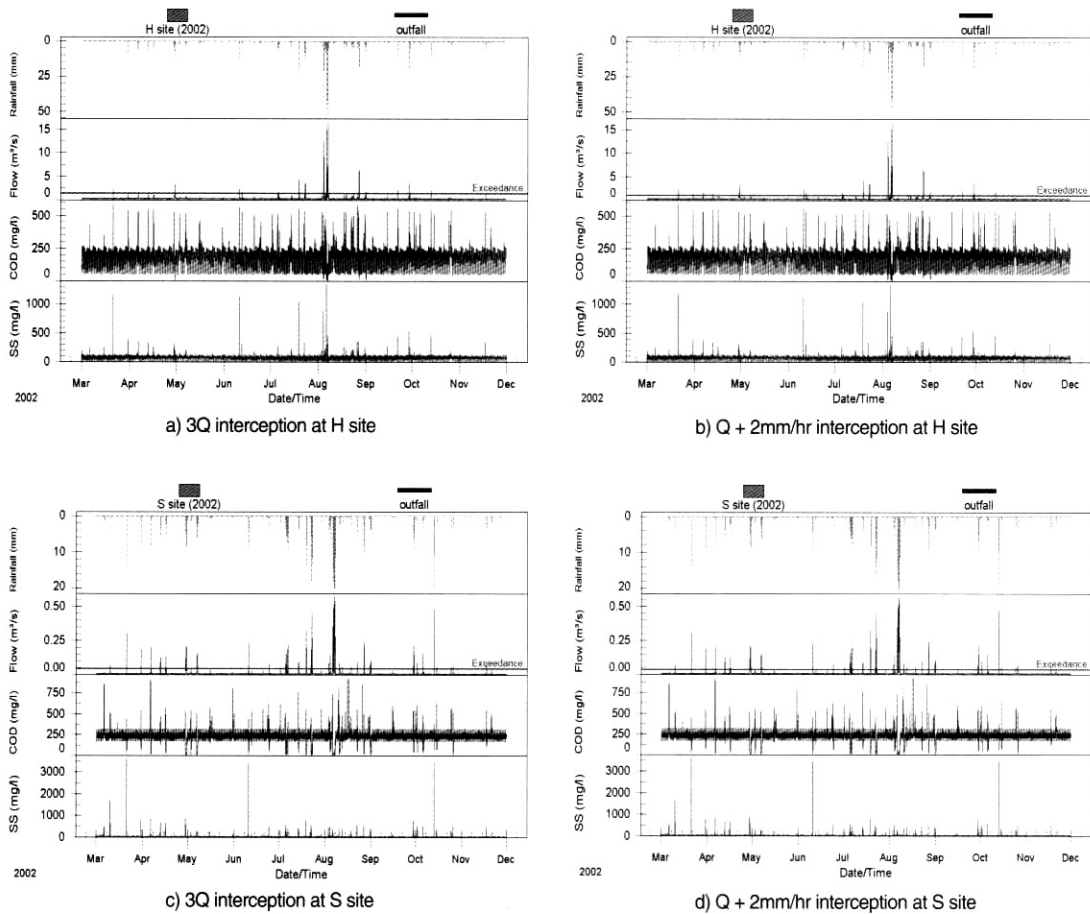


Fig. 3. Results of continuous simulation during Mar.-Nov. 2002.

되는 오염부하(차집된 오염부하는 건기처리효율을 기준으로 95% 제거하는 것으로 가정)를 비교한 결과, 고밀도지역은 하수처리장 방류오염부하가 더 높고 저밀도지역은 강우시 월류오염부하가 더 높은 것으로 나타났다. 배수구역의 특성에 따라 방류선으로 배출되는 오염부하 가운데 월류수와 처리장방류수가 차지하는 비율에 확연한 차이가 있음을 알 수 있다. 이러한 물질수지를 통하여 유역전체의 오염부하흐름을 이해할 수 있고, 월류부하와 처리장방류부하의 효율적인 관리가 가능하며, 궁극적으로 방류수역으로 배출되는 오염부하를 최소화시키기 위한 관리의 우선순위를 정할 수 있게 된다.

3.3. 오염부하 저감목표 비교

대상지역 H, S를 분류식으로 전환하는 경우 강우

시 발생하는 오염부하를 예측하기 위하여 우리나라와 여건이 비슷한 일본에서 최근 보고된 분류식지역 강우유출수의 유량가중 농도(BOD 20mg/L)를 인용하여 두지역에서 발생하는 연간오염부하를 COD기준으로 모의하였다.

하수도 시설기준에서 우천시 월류오염부하 저감목표로 제시한 두 기준을 비교한 결과, 고밀도지역(H)에서는 청천시 오수발생오염부하의 5% 미만이 분류식우수 유출오염부하에 비하여 약 2배 더 크게 나타났다. 반면에 중저밀지역(S)에서는 분류식 우수유출오염부하가 약 3배 더 크게 나타났다. 이는 앞서 언급한대로 두 기준이 가지는 근본적인 차이 즉, 오수발생량과 강우유출량을 각각 기준으로 하기 때문에 동일한 배수구역에서도 인구밀도와 유출특성 등에 따라 큰 차이가 남을 알 수 있다. 또한 두가지의 서로

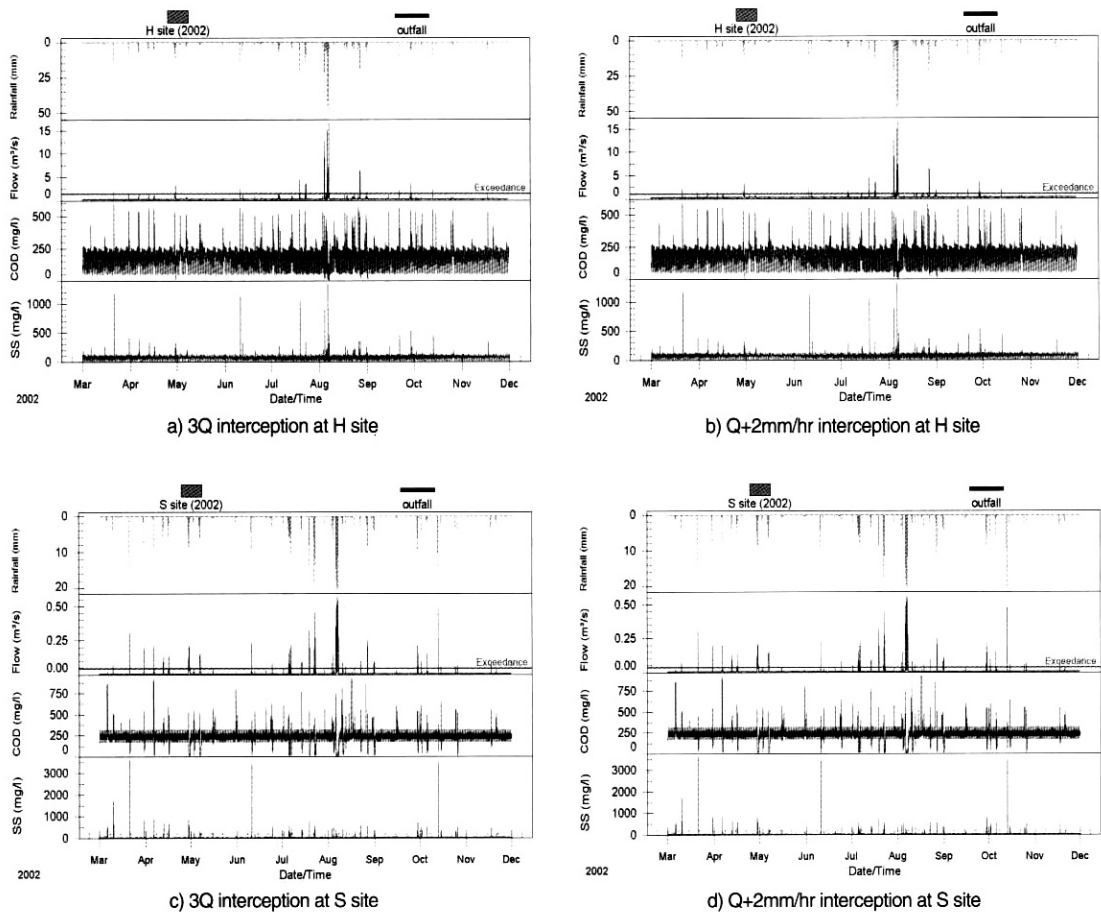


Fig. 4. Budget of pollution load in watershed(COD).

Table 3. Comparison of overflow pollution load by intercepting flows (unit : kg/yr)

Item		H	S
Reduction goal of CSOs pollution load	Equal or less than separate sewer	24,468	3,297
	Less than 5% of DWPL	49,785	1,071
Design criteria of intercepting flow	3Q	29,270	5,832
	Q+2mm/hr	36,180	3,461

DWPL: Dry weather pollution load

COD = 1.9BOD(01, 2003)

다른 차집기준에 대하여 연간 월류오염부하를 모의한 결과 H지역에서는 월류오염부하가 건기오수발생량의 5%미만을 달성하였으나, 분류식 우수유출수준의 목표에는 미달하는 것으로 나타났다. S지역에서는 건기오수발생량의 5% 미만의 기준이 분류식 수준에

비해 낮았으며, Q + 2mm/hr로 차집하는 경우 분류식 수준을 유지할 수 있을 것으로 모의되었다. 이와같은 결과는 현재 하수도 시설기준에서 각각 두 가지로 제시되어 있는 차집유량기준과 우천시 월류오염부하 저감목표는 배수구역의 특성을 제대로 반영하지 못하고 있으며, 실제로 차집용량을 설계하는 경우 오염저감 목표를 달성할 수 없음을 보여주는 결과이다.

차집용량의 적절성을 평가하고 목표로 하는 오염저감량을 달성하기 위해서는 앞서 언급한 바와 같이 유역전체에서 오염물이 발생, 차집/월류, 처리, 배출되는 일련의 과정에 대한 오염부하 물질수지를 도출하고 이를 토대로 저감하고자 하는 목표 오염부하를 충족시킬 수 있는 차집용량을 산정하는 것이 바람직할 것이다. 아울러 강우시 차집된 오염부하에 대해서는 하수처리장에서 적절한 처리기준에 따라(필요하

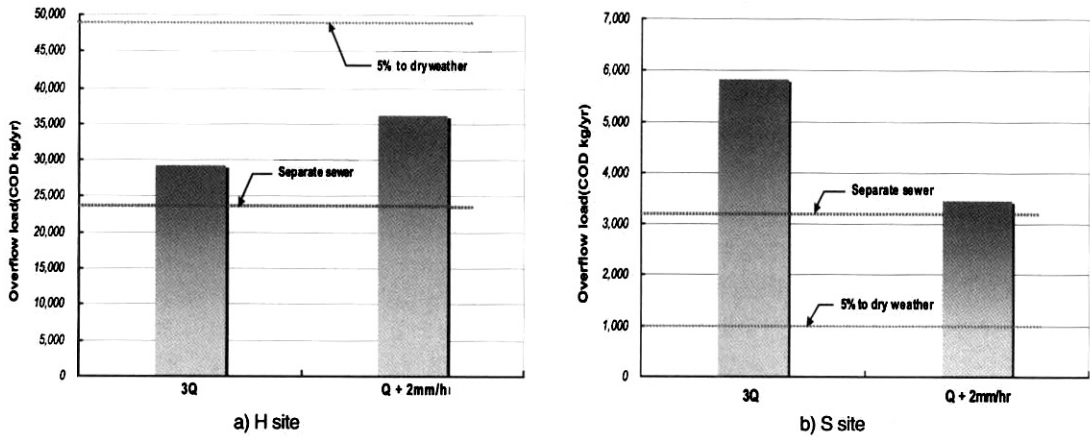


Fig. 5. Comparison of overflow pollution load.

다면 처리수준을 설정하여) 처리함으로 차집오염부하가 미처리된 상태에서 배제유량(bypass)으로 방류수역으로 배출되지 않도록 강우시처리기준 설정과 철저한 운영관리가 필요할 것으로 판단된다.

4. 제 언

본 연구에서는 하수도시설기준에서 제시하고 있는 합류식하수관거 지역의 차집유량산정기준과 월류오염부하 저감 목표에 대하여 살펴보았다. 현재 제시하고 있는 3Q 혹은 2mm/hr 차집은 각각 발생하수량과 강우유출량을 기준으로 설정되었기 때문에 앞선 연구결과에서와 같이 동일한 배수구역에서도 상이한 값을 가지게 되며, 배수구역의 특성을 제대로 반영하지 못하는 것으로 판단된다. 합류식 하수관거 월류수의 오염부하저감 목표 또한 연간발생오염부하를 기준으로 1) 분류식 우수유출오염부하 수준, 2) 청천시 우수발생오염부하의 5% 미만 수준으로 정하고 있으나, 이 두기준 역시 유역의 특성이 반영되지 않은 불합리한 기준으로 재검토가 필요함을 알 수 있었다.

유역에서 발생하는 오염부하의 방류선 배출을 최소화하기 위해서는 보다 합리적인 차집유량과 월류오염부하 저감목표 설정이 필요하며, 그 대안으로서 실측과 모델링을 통하여 유역오염부하의 발생, 차집, 처리, 월류에 대한 물질수지를 완성함으로써 각 유역의 특성에 적합하고 방류선의 목표수질에 부합할 수 있는 차집유량과 목표처리수준을 도출할 수 있을 것으로 사료된다.

5. 결 론

1. 고밀도지역과 중저밀도지역을 대상으로 차집유량을 비교한 결과, 고밀도 주거지역에서는 우수발생량을 기준으로 한 경우(3Q), 계획우수량(Q + 2mm/hr)에 비해 15.5% 더 차집할 수 있으며, 중저밀도에서는 반대로 계획우수량을 기준으로 한 차집유량이 우수발생량 기준에 비하여 48.8% 더 많은 것으로 산정되었다. 이러한 결과는 도시의 인구밀집도, 개발정도(불투수면적), 토지이용형태 등에 따라 우수발생량과 강우유출수 발생경향이 상이하게 나타남을 의미한다. 즉 우수발생량의 경우 유역내 인구밀집도에 따라 크게 영향을 받게 되고, 계획우수량은 유역내 토지이용형태에 따른 강우유출특성이 지배적인 영향을 미치기 때문이다.

2. 연속모의를 통하여 설계차집량에 따른 오염부하 발생경향을 분석한 결과, COD를 기준으로 고밀도 지역에서는 3Q로 차집하는 경우 Q + 2mm/hr에 비하여 월류오염부하를 6,910kg/yr, 약 19.1% 더 저감시킬 수 있는 것으로 나타났으며, 두 기준 모두 현행 하수도시설기준에서 제시한 월류오염부하 저감목표인 청천시 발생부하량의 5% 미만을 달성할 수 있음을 알 수 있다. 반면에 중저밀도에 해당하는 지역에서는 청천시 발생부하량에 비해 3Q 차집은 27.2%, Q + 2mm/hr 차집은 16.2%가 월류되는 것으로 모의되어 상대적으로 차집되는 오염부하가 시설기준을 만족시키지 못하는 것으로 평가되었다.

3. 하수도 시설기준에서 우천시 월류오염부하 저감 목표로 제시한 두기준을 비교한 결과, 고밀도지역에서는 청천시 오수발생오염부하의 5% 미만 기준이 분류식 우수 유출오염부하 기준에 비하여 약 2배 더 크게 나타났으며, 반면에 중저밀지역에서는 분류식 우수 유출오염부하 기준이 약 3배 더 크게 나타났다. 두 가지의 서로 다른 차집기준에 대하여 연간 월류오염부하를 모의한 결과 고밀도 지역에서는 월류오염부하가 건기오수발생량의 5% 미만 기준을 달성하였으나, 분류식 우수유출수준의 목표에는 미달하는 것으로 나타났다. 중저밀도 지역에서는 건기오수발생량의 5% 미만의 기준이 분류식 수준에 비해 낮았으며, $Q + 2\text{mm/hr}$ 로 차집하는 경우 분류식수준을 유지할 수 있을 것으로 모의되었다. 이와 같은 결과는 현재 하수도 시설기준에서 각각 두가지로 제시되어 있는 차집용량기준과 우천시 월류오염부하 저감목표는 배수구역의 특성을 제대로 반영하지 못하고 있으며, 실제로 차집용량을 설계하는 경우 오염저감목표를 달성할 수

없음을 알 수 있었다.

참고문헌

- Moffa, P.E. (1997) *Control and Treatment of Combined Sewer Overflows*, 2nd Ed., Van Nostrand Reinhold.
- U.S. EPA (2001) *Report to Congress; Implementation and Enforcement of the Combined Sewer Overflow Control Policy*.
- WEF & ASCE (1994) *Existing Sewer Evaluation & Rehabilitation*.
- 이두진, 신용배, 홍철의, 안세영 (2004) 합류식 하수관거 지역에서 강우시 하수처리장 적정운영방안에 관한 연구, *한국물환경학회지*, **20**(2), pp. 132-144.
- 이두진, 윤현식 (2004) 건기 침입수/유입수 저감에 따른 CSOs 오염부하 삭감효과 예측, *대한토목학회논문집*, **24**(3B), pp. 273-280.
- 한국수도협회 (1998) 하수도시설기준.
- 환경관리공단 (2004) 도심지 합류식하수관거 월류수 및 분류식 우수관거 우수유출 오염부하 기초조사 연구.
- 환경부 (2001) 주택단지내 상수·오수발생량 원단위 산정 및 하수처리시설 소요비용 연구.