한국방재학회논문집
제4권 4호 2004년 12월
pp. 21 ~ 26

유역형상에 따른 합류식 하수도의 월류부하량 추정

Effects of Combined Sewer Overflows According to Drainage Basin Types

이 철 규* / 현 인 환** / 정 정 렬*** / 심 재 현****
Lee, Cheol-kyu / Hyun, In-hwan / Jeong, Jeong-youl / Shim, Jae-hyun

Abstract

It is much important to determine the intercepting capacities as measures for reducing the load of contamination influenced by CSOs during wet weather period. Intercepting and treating the whole rainfalls can be best measured for reducing the contamination load, but it is not desirable in view of scale and preservation of the wastewater treatment facilities. This study analyzed the quantity and quality of the water in the combined sewer by method of changing the type and size of drainage basin and intercepting capacities in rainfalls, estimate the influence the other CSOs at the change of planned intercepted quantity, and compared the degree of contamination load between the combined system and separate system by examining the influence of the other CSOs at the change of planned intercepted quantity.

key words : Combined Sewer Overflows(CSOs), Intercepting Capacity, Drainage Basin Type, Pollutional Load

요 지

우천시 합류식 하수도의 월류수(CSOs)에 의한 오염부하량을 감소하기 위한 대책으로 차집량의 결정은 매우 중요하다. 오염부하량 감소를 위한 대책으로 우수를 전량 차집하여 처리하는 것이 가장 바람직하겠으나, 시설의 규모와 기타 유지·관리면에서 합리적이지 않다. 본 연구에서는 배수구역의 유역형상, 면적, 강우시 차집량 등을 변화시키면서 이로 인해 변화하는 합류식 하수관거의 유량과 수질 등을 분석하였으며, 계획차집량의 변동에 다른 CSOs의 영향을 파악함과 동시에 합류식과 분류식을 각각 비교해 봄으로서 하천에 방류되는 오염부하량의 정도를 비교해 보았다.

핵심용어 : 합류식 하수도의 월류수, 차집량, 유역형상, 오염부하량

Ⅰ. 서 론

우천시 합류식 하수도의 월류수(CSOs)는 다량의 우수에 의한 희석효과로 인하여 양호할 것으로 막연히 추측되어 왔다. 그러나, U.S. EPA(The U.S. Environmental Protection Agency)의 지원하에 수행된 우수수질에 대한 조사·분석 결과에서는 우수가 예상외로 많은 오염물질을 포함한다고 보고되었다. 따라서, 차집관거의 용량 증대, 우수체수지 등에 의한 발생원 억제, 침투·저류시설의 설치확대에 의한 유출량 억제 및 물리·화학적 전처리 등에 의한 저감대책이 필요한 것으로 나타났다. 또한, 강우초기에는 초기세척효과(First Flush Effect)에 의하여 BOD의 농도가 일반 생활오수보다도 높은 경우가 대부분이며, 그대로 공공수역에 방류된 합류식 하수도의 월류수(Combined Sewer Overflows, CSOs)는 공공수역의 수질을 크게 악화시켜 오염문제를 일으킴으로써 중대한 관심사로 부각되고 있다. 특히, 도시지역 노면에 축적되어 있던 오염물질들이 빗물과 함께 유출되는 초기 유출수는 오염물질 농도가 매우 높으며 독성물질까지 함유하고 있어 이에

* 소방방재청 국립방재연구소 선임연구원 (E-mail: powerful@nema.go.kr)
** 단국대학교 토목환경공학과 교수
*** 금호엔지니어링(주) 상하수도부 과장
**** 정회원, 소방방재청 국립방재연구소 연구1팀장

대한 대책으로 처리시설에 관한 다양한 연구가 진행되고 있다(박노연 등, 2003).

합류식 하수도의 월류수에 의한 공공수역의 수질악화는 우수를 포함하여 발생되는 하수를 전량 하수처리장으로 수송하여 처리하면 해결할 수 있다. 그러나, 우수를 전량 처리장으로 수송하여 처리한다는 것은 처리장의 규모 및 운영을 고려할 때 비현실적이며, 더군다나 최근에는 부지확보의 어려움으로 소규모 처리장의 설치가 확대되는 추세를 보이고 있는 실정을 감안한다면 합리적이지 못하다. 따라서, 지역의 하수체계특성을 조사·분석하고 유역면적의 변화에 따른 월류수의 증감이 방류지점 하류부의 수질에 어떠한 영향을 미치는가를 평가한 후 합류식 하수도의 월류수대책을 수립하고, 적절한 통제나 운영계획을 바탕으로 처리시설을 최적으로 운영할 수 있는 차집용량을 결정하는 것이 합리적이다. 현재 미국, 영국, 일본을 비롯한 여러나라에서 방류수역의 수질보존을 위해 우수의 수질을 분석·기록하고 수질예측 모델을 이용한 연구·개발이 진행되고 있다. 그러나, 우리나라에서는 본격적인 우수의 수질조사나 차집량에 대한 연구가 최근에야 진행되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 우수유출모델인 SWMM(Storm Water Management Model)을 이용하여 유역면적, 유역형상, 강우시 차집량 등을 변화시키면서 합류식 하수관거내의 유량과 수질, 월류량과 월류 오염부하량, 하수처리장 유입유량과 오염부하량 등을 조사·분석하여 계획차집량의 변동에 따른 CSOs의 영향을 파악하고, 하수배제방식을 합류식과 분류식으로 구분하여 하천에 방류되는 오염부하를 평가하고자 한다.

2. 연구유역의 설정 및 기본 입력자료

본 연구를 진행함에 있어서 연구지역은 수도권의 주거지역을 대상으로 하였으며, 인구밀도는 180 명/ha, 불투수율은 66.5 %로 가정하고 그 면적을 10 ha, 15 ha, 21 ha, 28 ha, 36 ha로 변화시켜 나갔다. 소유역의 기본모형은 아래의 그림 1과 같으며, 합류관거의 경사는 계획하수량에 대하여 유속을 최소 0.8 m/sec, 최대 3.0 m/sec로 함을 원칙으로 하여 대략 1.0 m/sec의 유속으로 가정하여 설계하였으며, 연구지역이 도시화된 지역으로 가정하였으므로 유출계수는 0.7, 유입시간은 5 min으로 가정하였다.

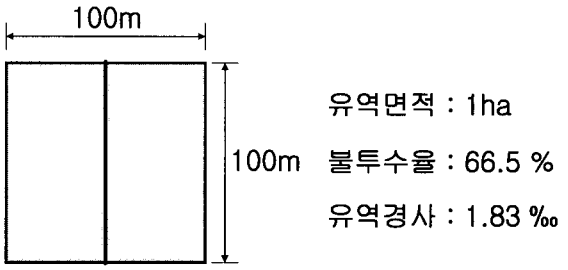

그림 1. 소유역의 기본 형태

본 연구에서 SWMM을 이용하여 모의함에 있어서 대상 유역의 유역형상 변화에 따라 오염물의 농도가 어떻게 변화하는가를 분석하고, 월류량의 변화와 오염부하량의 변화, 강우 패턴에 따른 변화를 살펴보기 위하여 그림 2와 같이 유역형상을 ① 유달시간이 긴 유역(I 형), ② 유달시간이 보통인 유역(▽ 형), ③ 유달시간이 짧은 유역(□ 형)의 3가지 유형으로 가정하였으며, 모든 유역에서 투수성지역과 불투수성지역의 비율은 sandy loam으로 동일한 것으로 가정하였다. 또한, 대상유역 전체에 걸쳐 강우 강도, 인구밀도, 지면경사, 소유역당 오수발생량, 하수의 농도(BOD_5, SS, COD 등)는 모든 조건에서 동일하며, 지하수의 유입이나 융설 등은 없는 것으로 가정하였다.

또한, 우수유출량의 산정은 합리식을 이용하였으며, 계획오수량은 대상지역이 모두 주거지역만으로 이루어져 있고, 지하수 유입량을 고려하지 않았기 때문에 가정오수량만을 계획오수량으로 하였으며, 하수의 오염물 농도는 SS 250 mg/L, BOD_5 200 mg/L, COD 300 mg/L를 적용하였다.

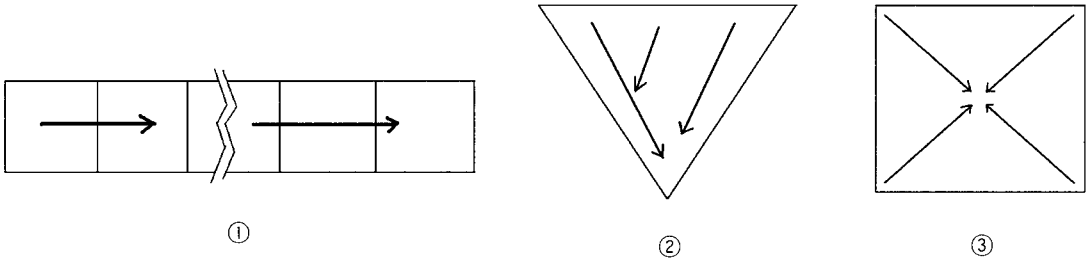

그림 2. 유역형상별 확장 예

3. 합류식 하수관거에서의 유량 및 부하량의 변동 특성

3.1 유역형상의 변화에 따른 월류 오염부하량의 특성

대상유역의 유형의 변화에 따른 월류량 및 오염부하량의 변화를 분석하고자 월류량 및 오염물질 방류부하량을 계산하였으며, 표 1은 유역면적이 36 ha인 경우에 있어서 차집량을 1Q에서 9Q까지 증가시켰을 때의 각 항목의 변화를 나타낸 것이다. 표 1을 살펴보면 월류량은 사각(□) > 역삼각(▽) > I형 유역의 순으로 나타나 유달시간이 짧은 유역이 유달시간이 긴 유역에 비해 상대적으로 크다는 것을 알 수 있다. 이는 지체현상이 원인으로 유량이 차집관에 시간적 간격을 두고 순차적으로 모이는 것에 기인하는 것으로 판단된다. 또한, 유달시간이 짧은 유역은 동시에 많은 유량이 집중되므로 같은 양을 차집하더라도 월류량에는 상당한 차이가 있음을 알 수 있다.

합류식 하수도의 오염물질 방류부하량은 오수와 우수를 동시에 고려하여야 하며, 유형별 면적의 변화에 따른 총 오염물질 부하량은 표 2와 같다. 따라서, 차집량 3Q, 유역면적 36 ha, I형 유역인 경우에 대하여 오염물질의 방류부하율을 살펴보면 SS는 4.31 %, BOD는 3.48 %, COD는 3.42 %의 부하량이 월류됨을 알 수 있으며, 차집량이 적을 경우에는 유달시간이 짧은 유역이 긴 유역에 비해 월류량은 많지만 오염부하량은 오히려 적었으며, 차집량을 증가시키게 되면 유달시간이 짧은 유역의 월류 오염부하량 값이 크다는 것을 알 수 있었다.

그림 3~그림 4는 동일한 강우에 대하여 I형 유역과 □형 유역의 월류량 및 오염물질 방류부하량의 차이를 살펴보기 위해 월류량과 오염물의 농도변화를 나타낸 것이다.

그림 3~그림 4에서 알 수 있듯이 오염 부하량은 오염물의 농도와 유량으로서 계산되는데, 강우시 유달시간이 긴 유역은 오염물질 농도가 초기오염물질이 유출될 때를 제외하고는 대부분 유달시간이 짧은 유역에 비해 높은 값을 가지고 있음을 알 수 있다. 따라서, 차집량이 적을때는 유달시간이 짧은 유역이 비록 월류량은 많지만 오염 농도가 낮아 월류부하량이 적게 나타났다. 그러나, 차집량을 점차 증가시킴에 따라 유달시간이 짧은 유역에서는 월류 오염부하량의 농도는 낮지만, 상대적으로 월류량이 많아지게 되어 월류 오염부하량도 더 크게 나타남을 알 수 있다.

3.2 분류식과 합류식 하수도의 방류 부하량 비교

합류식 하수도가 가지는 주요 문제는 강우시 또는 강우종료 후에 발생하는 규칙적인 월류이다. 합류식은 우수를 추가적으로 조절할 수 없으며, 시스템의 과부하를 방지하기 위하여 월류시킨다. 합류식 하수도의 월류는 공공수역 오염의 주 원인중의 하나로 알려져 있으며, 이러한 합류식 하수도의 문제점을 해결하기 위하여 분류식이 도입되었다. 분류식은 우수를 공공수역으로 곧 바로 방류시키고 오수는 처리장으로 보낸다. 따라서, 공공수역의 보존관점에서는 좋은 평가를 받고 있지만, 우수의 침입과 침투로 인하여 종종 월류되는 경우가 있어 오염문제를 해결하기 위하여 분류식 하수도의 이용이 정당화되지 못할지도 모른다.

표 1. 유역형상에 따른 월류량 및 방류부하량의 변화

구 분	차집량	월류량 (m^3)	방 류 부 하 량		
			SS (kg)	BOD_5 (kg)	COD (kg)
I 형 유역	1Q	327	1,509	983	1,488
	3Q	206	694	430	641
	5Q	138	382	225	332
	7Q	101	246	137	201
	9Q	82	187	101	147
▽형 유역	1Q	335	1,433	934	1,407
	3Q	222	709	442	653
	5Q	154	420	247	362
	7Q	117	289	162	237
	9Q	93	216	117	170
□형 유역	1Q	338	1,390	922	1,380
	3Q	225	707	444	654
	5Q	158	426	252	369
	7Q	120	295	167	244
	9Q	96	220	120	175

표 2. 유역형상에 따른 총 오염부하량

구 분	면적 (ha)	총 부 하 량		
		SS (kg)	BOD_5 (kg)	COD (kg)
I 형 유역	10	4,476	3,449	5,201
	15	6,703	5,172	7,797
	21	9,362	7,228	10,895
	28	12,452	9,617	14,495
	36	16,040	12,394	18,678
▽형 유역	10	4,480	3,450	5,202
	15	6,716	5,173	7,801
	21	9,384	7,231	10,903
	28	12,484	9,623	14,507
	36	16,082	12,401	18,696
□형 유역	10	4,483	3,450	5,203
	15	6,720	5,174	7,802
	21	9,389	7,232	10,905
	28	12,492	9,624	14,510
	36	16,096	12,403	18,700

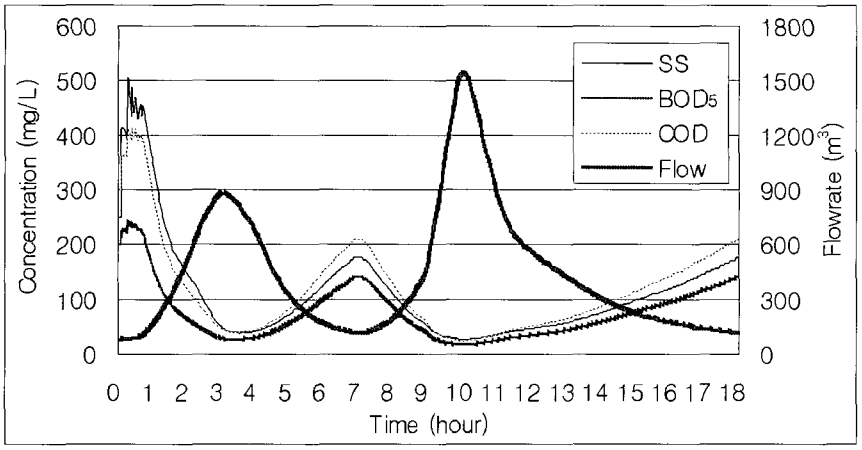

그림 3. I형 유역의 유량과 농도곡선

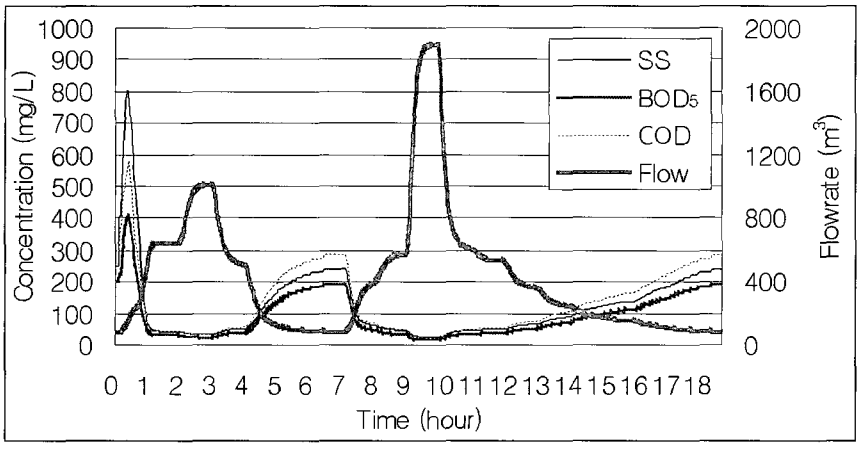

그림 4. 사각형 유역의 유량과 농도곡선

본 연구에서는 분류식과 합류식 하수도의 최종 방류부하량을 비교해봄으로서 그 영향을 평가하고자 하였다. 그림 5~그림 6은 분류식과 합류식 배제방식을 대상으로 하수처리장의 최종방류수의 오염정도를 나

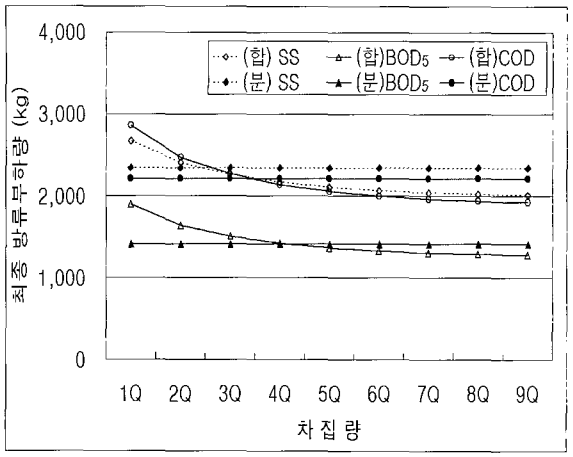

그림 5. I형 유역의 최종 방류 부하량

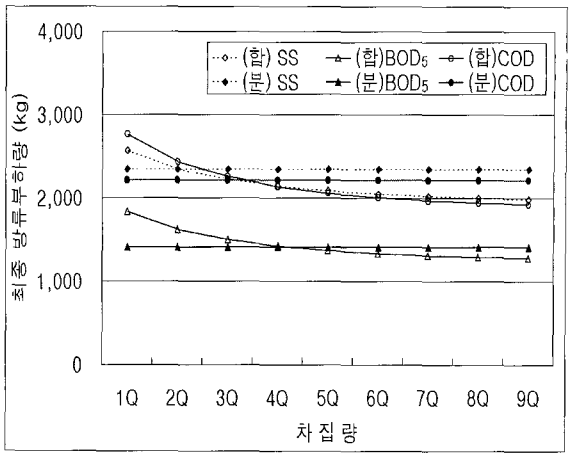

그림 6. 사각형 유역의 최종 방류 부하량

타내었다. 합류식의 경우 1차 침전지 이후 시설은 1Q 용량만을 처리하도록 설계된다는 것을 감안하였으며 1차처리 효율은 BOD, COD, SS가 각각 30 %, 30 %, 50 % 정도 처리된다는 가정하에 처리 후의 부하량을 산정하였다.

합류식과 분류식의 차집량에 따른 오염물의 최종 방류부하량을 살펴보면 유달시간이 긴 I형 유역에서의 최종 SS의 방류 부하량이 유달시간이 짧은 유역에 비해 더 많은 오염물을 방류하는 것을 알 수 있다. 이는 일반적으로 처리장 운전시 1Q만을 최종처리하고 나머지는 1차처리만을 거친 후 방류하게 되는데 유달시간이 긴 유역에서는 차집되는 양이 많아 월류부하율이 적을 것으로 예상이 되었으나, 1차 처리후 방류되는 오염부하량이 상당히 큰 것을 알 수 있었다.

또한, SS 부하량과 BOD 부하량 및 COD 부하량은 차집량을 증가시킬수록 급격히 감소함을 알 수 있으며, 분류식의 경우 처리효율 고려시 SS는 14.6 %, BOD 11.4 %, COD 11.8 %가 방류되었다. 합류식의 경우 시설기준에서와 같이 3Q를 차집하였을 경우, SS 14.2 %, BOD 및 COD가 12.2 % 방류됨을 알 수 있었다. 또한, 합류식이 분류식과 비슷한 처리효율을 얻기 위해서는 차집량을 SS의 경우는 2~3Q, COD는 3~4Q, BOD는 4Q 이상을 차집하여야 같은 효율을 얻을 수 있다는 것을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 SWMM 모형을 이용하여 합류식 하수도의 면적과 유형에 따라 차집량을 변화시킴으로서 아래와 같은 결론을 얻었다.

1. 유역면적이 동일한 경우 유달시간이 짧은 유역이 긴 유역에 비해 월류량은 크지만, 차집량이 적은 경우에는 월류로 인한 오염부하량은 오히려 낮았으며, 차집량을 증가시킨 경우에는 유달시간이 긴 유역의 월류 오염부하량이 더 적음을 알 수 있었다.
2. 유달시간이 긴 유역이 유달시간이 짧은 유역에 비해 더 많은 오염물을 방류하는 것을 알 수 있었다. 이는 처리장으로 유입되는 우수중에서 1Q만을 최종처리하고 나머지는 1차 처리 후 방류하게 됨에 따라 차집량의 증가에 따라 오염물질의 총량이 증가하기 때문이다.
3. 유달시간이 짧은 유역이 긴 유역에 비하여 초기 오염물의 농도가 높았으며 유량도 민감하게 반응하였다. 또한, 농도의 첨두값은 첨두유량 전에 나타나는데 이는 지체현상에 의한 것으로 판단된다.
4. 합류식과 분류식의 방류 오염부하량을 비교한 결과 SS는 2Q 이상, COD는 3Q 이상, BOD는 4Q 이상 차집하여야 비슷한 수준의 오염부하량을 유지하는 것으로 나타났다.

따라서, 합류식 하수도의 우천시 차집량의 결정은 해당지역의 유역특성에 따라 충분한 검토를 거친 후 결정할 필요가 있으며, 본 연구결과를 활용하여 방류지점 하류부의 수질개선에 유용하게 이용될 수 있으리라 판단된다.

참 고 문 헌

1. 박노연, 조창현, 최찬식 (2003) 합류식 하수관거 월류수(CSO) 처리시설의 현황, 대한상하수도학회지, 제17권, 제2호, pp. 204~210.
2. 이원환 (1990) 수문학, 문운당.
3. 이종태, 윤세의, 이상태, 조세일 (1994) 국내 도시유

역에 대한 SWMM 적용성 분석, 수공학연구 발표회 논문집, pp. 325~330.
4. 환경부 (1998) 하수도시설기준, 한국수도협회.
5. 최승일 (1988) 도시우수의 수질특성 및 예측모델, 한국수문학회지, 제21권, 제3호, pp. 271~277.
6. 日本下水道協會 (1982) 合流式下水道越流水對策と暫定指針
7. Metcalf & Eddy (1993) *Wastewater Engineering : Treatment, Disposal, Reuse*, McGraw Hill.
8. U. S. EPA (1974) *Water Quality Management for Urban Runoff*, EPA 440-9-75-004.

◎ 논문접수일 : 2004년 11월 20일
◎ 심사의뢰일 : 2004년 11월 24일
◎ 심사완료일 : 2004년 12월 20일