

중랑천 비점오염원 부하량 및 원단위 산정

김갑수 · 이종태*

서울시정개발연구원 도시환경부 · *경기대학교 토목환경공학부

Estimation of Total and Unit Loads of Nonpoint-Source in JungRang River Basin

Kap Soo Kim · Jong Tae Lee*

Seoul Development Institute, Department of Urban Environment · *Department of Civil and Environmental Engineering, Kyonggi University

1. 서 언

비점오염원부하량이란 합은 오염물질이 특정한 지점(특정오염원)으로부터가 아닌, 불특정지점에서 분포하여 강수에 의해 운반 배수계통으로 유출되는 것으로 정의할 수 있다.

도시지역 비점오염원으로서 큰 역할을 하는 것은 가로상에 쌓인 각종 퇴적물이며, 이들 퇴적물은 유기성 부유오니, 수생 동식물 사체, 기름, 중금속, 각종 도시폐기물, silt, 모래, 자갈 등으로 이루어져 있다. 그리고 중랑천 제내지나 논, 밭 등의 용지와 관련된 비점오염원으로서 농약과 영양물을 흡착한 퇴적물, 용존영양염과 박테리아 등 미생물을 함유한 관개배수, 농작물의 잉여잔재물 등이 있다.

비점오염원은 유출의 간헐성, 배출지점의 확산, 오염원 종류 및 부하의 다양성 때문에 점오염원보다 관리하기가 어렵다. 그리고, 현재 점오염원으로부터 유출하는 오염부하량 중에 공장폐수에서 기인한 오염물질은 배수기준의 실정에 따라 감소하고 있으며, 생활하수중의 오염물질도 분뇨처리(분뇨처리시설, 정화조)와 하수도 정비 등에 의해 감소하고 있다. 그러나, 비점오염원으로부터의 오염물질량은 인구의 집중과 도시화의 진행에 따라 해마다 그 비율이 증가하고 있는 실정이다.

따라서 효율적인 수질관리를 위해서는 점오염 뿐만 아니라 비점오염원을 적정관리하지 않고서는 수계환경의 개선 및 수질환경기준을 달성하기가 매우 어려운 실정이다. 본 고에서는 중랑천 유역에 대한 비점오염원 부하량 및 원단위에 대해서 검토 및 고찰해 보고자 한다.

2. 미국 및 일본에서의 강우시 수질오염 부하

현재 점오염원으로부터 유출되는 오염부하량 중에 공장폐수에서 기인한 오염물질은, 배수기준의 실정에 따라 감소하게 되고, 생활하수중의 오염물질도 분뇨처리(분뇨처리시설, 정화조)와 하수도 정비 등에 의해 감소하고 있다. 그러나, 이와

<표 1> 강우시 오염물 농도

Pollutants	Storm water overflow concentration			
	Saparate Drainage Areas ^{a)}		Combined Areas ^{b)}	
	Mean ^{c)}	Standard Deviation	Mean ^{c)}	Standard Deviation
BOD(mg/L)	27	25	108	36
COD(mg/L)	205	118	284	110
SS(mg/L)	608	616	372	275
대장균군(MPN/100 mL)	3×10 ⁶	-	6×10 ⁶	-
T-N(mg/L)	2.3	1.4	9	6
T-P(mg/L)	0.5	0.4	2.8	2.9

a: Summary of 20 cities, storm sewers, and unsewered areas

b: Summary of 25 cities, Combined sewer areas

c: Geometric mean

반대로 비점오염원으로부터의 오염물질량은 인구의 집중과 도시화의 진행에 따라 해마다 그 비율이 증가하고 있다.

<표 1>은 미국에 있어서 강우시 분류식 하수관거, 합류식 하수관거의 수질을 서로 비교해 놓은 것으로 분류식 하수관거에서의 우수관거의 수질은 BOD에 있어서는 하수처리장의 2차 처리후의 수질과 비슷한 27 mg/L이나 SS는 608 mg/L이다. 반면에 합류식 하수거의 유출수는 분류식 하수관거에서의 우수관거의 경우보다 BOD가 4배가량이나 높으나 SS는 약 절반가량인 372 mg/L이다. 이러한 사실은 강우시 분류식 하수관거의 우수관거로부터 유출수는 SS와, 합류식인 경우는 BOD와 SS가 전부 처리되어야 효과적으로 수질보전이 이루어질 수 있다는 것을 나타내주고 있으며 실제로 미국 각지역에서는 우수가 처리되고 있다.

일본에서의 4대 호소(湖沼)에 있어서의 발생오염 부하비율은 <표 2>와 같다. 테가누마 호수는 생활계의 비율이 높지만, 전체적으로 보면 시가지 및 산림 등으로부터 발생하는 비점오염원이 COD 24~73%, T-N 33~69%, T-P 11~55.5% 정도이다. 따라서 환경기준의 달성 및 수환경의 개선을 위해서는 비점오염원의 오염부하를 삭감시키는 것이 매우 중요한 것을 알 수 있다.

E-mail: sportkim@sdi.re.kr

Tel: 02-2149-1152

Fax: 02-2149-1199

3. 중랑천 유역의 수질오염 측정개요 및 일정

본 연구에서는 중랑천의 유량과 수질을 평상시 및 홍수시 또는 갈수기 및 우기시의 수질의 변동을 조사하기 위해 총 8개의 수질항목에 대하여 측정을 수행하였고, 각 세부 연구목적에 따라 총 16차례에 걸쳐 측정을 수행한 바 있다. 본 연구에서 수질 오염 측정조사를 위한 구체적인 목적과 측정장소 및 측정시기 등을 나타내면 다음과 같다.

첫째, 중랑하수처리사업소로 유입되는 중랑천 유역의 생활하수 수질현황 추이를 24시간 관찰하고자 한다. 이를 위해 평상시 중랑하수처리사업소 제3처리장 유입펌프동에서 수질오염 8개 항목을 대상으로 24시간 수질측정을 수행하였고, 1개월에 1회 이상 측정을 원칙으로 하였다.

둘째, 초기강우에 의한 중랑하수처리사업소 및 중랑천 본류의 오염부하량을 산정하고, 하수처리장 방류수에 의한 중랑천 하구의 오염물 거동을 파악하고자 한다. 측정 장소로는 중랑하수처리장 제3처리장 유입펌프동, 군자교, 장안교 지점이며, 초기강우가 발생시 30분 간격 혹은 매시간별로 측정하는 것을 원칙으로 하였다.

셋째, 중랑천하구부터 중랑천 상류부인 부용천 합류부까지 공간적인 수질 상황을 파악하고, 하천으로 유입되는 오염물질을 조사하였다.

4. 강우사상별 오염부하량의 산정

중랑천 유역은 기타 도시하천과는 달리 유역 하류부에 이 지역의 생활하수를 처리하는 중랑하수처리장(현, 물재생센터)이 위치하고 있어, 초기강우에 따른 오염부하량을 산정하기 위해서는 중랑천 하류부에서의 유량변화 및 수질농도변화뿐만 아니라 차집관거를 통하여 초기강우가 유입하는 중랑하수처리사업소 유입동에서의 유량변화 및 수질농도를 병행하여 측정하여야 한다.

따라서 본 연구에서는 중랑하수처리장으로 우수가 전량 유입되는 강우사상인 강우1, 강우2의 경우와 차집관거의 소통능력을 초과하여 중랑천으로 월류가 발생한 강우3, 강우4 및 강우5의 경우로 각각 구분하여 유출량 및 오염부하량을 산정하였으며 이를 바탕으로 유역의 비점오염부하량 원단위 산정, 합류식 관거와 하천의 유량 및 오염부하량 분담평가, 토지이용이 비점오염부하량에 미치는 영향 등을 각각 고찰하였다.

어떤 강우사상에 대해서 특정유역으로부터의 오염물질 유출특성은 침투농도, 산술평균농도, 침투 오염물질 부하량, 평균 오염물질 부하량 또는 총유출 부하량 등으로 나타낼 수 있다. 그러나, 대부분의 경우 강우시 발생하는 총부하량이 개개의 농도 또는 침투 부하량보다 더욱 중요하다. 그 이유는 유출사상이 비교적 짧고, 강우 유출수가 유입되는 수체에서는 어느 정도의 혼합현상이 수반되므로 강우로 인한 유출수내 개개의 농도변화보다는 결국 총부하량의 반응이기 때문이다. 이와 같은 이유로 강우사상에 대한 평균농도 또는 유량가중 평균농도(EMC, event mean concentration)는 비점원 오염물질의 유출을 평가하는데 가장 적절한 인자로 인식되고 있으며, 널리 이용되고 있다(EPA, 1983).

따라서, 중랑하수처리장과 군자교 지점에서의 평상시 기저유량을 고려한 유량가중 평균농도(MC)로 오염농도를 산정하기 위하여 식 (1)을 사용하였다.

$$EMC = \frac{\text{총유출량중총오염물질중량}}{\text{총유출량}} = \frac{\sum Q_i C_i}{\sum Q_i} = \frac{Q_D C_D + Q_R C_R}{Q_D + Q_R} \quad (1)$$

여기서, QD는 평시 기저유량(CMS), CD는 평시 오염 농도(mg/L), QR은 강우에 의한 직접유출량(CMS), CR은 강우에 의한 오염 농도(mg/L)이다.

<표 2> 일본 4대 호소의 수질오염 부하 비율(단위: %)

	COD _{Mn}				
	시가지	산림등	생활계	산업계	축산 양식
카스미가우라	15	28	34	3	20
테가누마	16	8	70.9	0.1	5
스와꼬(諏訪湖)	17	56	18	7	2
비와꼬(琵琶湖)	9	44	25	18	4
	T-N				
	시가지	산림등	생활계	산업계	축산 양식
카스미가우라	6	34	35	5	20
테가누마	11	12	63.9	13	0.1
스와꼬	12	57	19	9	3
비와꼬	6	55	19	15	5
	T-P				
	시가지	산림등	생활계	산업계	축산 양식
카스미가우라	6	16	46	8	24
테가누마	6	5	67.6	20.9	0.5
스와꼬	14.1	41.4	25.3	11.1	8.1
비와꼬	5	28	35	27	5

<표 3> 산정지점에 따른 강우사상의 구분

구분	강우사상	발생일시	강우량 (mm)	강우강도 (mm/hr)	지속시간 (hrs)	선행무강우 일수(days)	합류식관거 월류유무	산정지점
1	강우1	2001. 5.22	7.9	2.3	16	2.29	무	중랑하수 처리장
2	강우2	2001. 9.30	5.4	1.1	16	1.00	무	
3	강우3	2001. 6.17	18.1	4.0	12	3.58	유	중랑하수 처리장 + 군자교
4	강우4	2001. 7.14	21.7	12.8	11	2.22	유	
5	강우5	2001.10. 9	38.0	8.0	17	5.00	유	

위의 식에서 강우에 의한 오염농도량은 식 (2)로 표현될 수 있다. 즉,

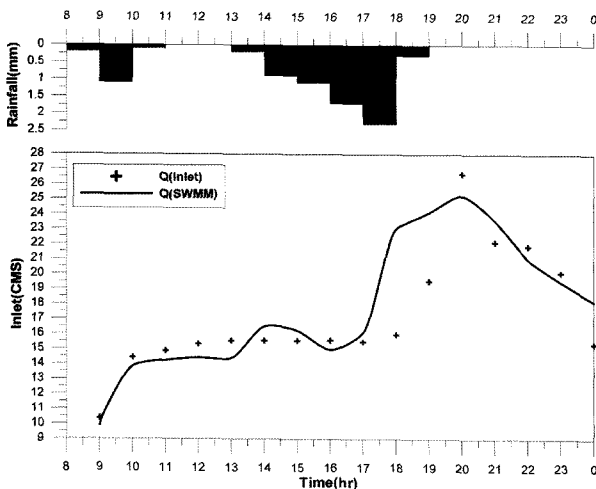
$$\therefore C_R = \frac{Q_e C_e - Q_D C_D}{Q_R} \quad (2)$$

여기서 Q_e 는 관측시간 t 에서의 총유입량, C_e 는 총유입시 오염 농도(mg/L).

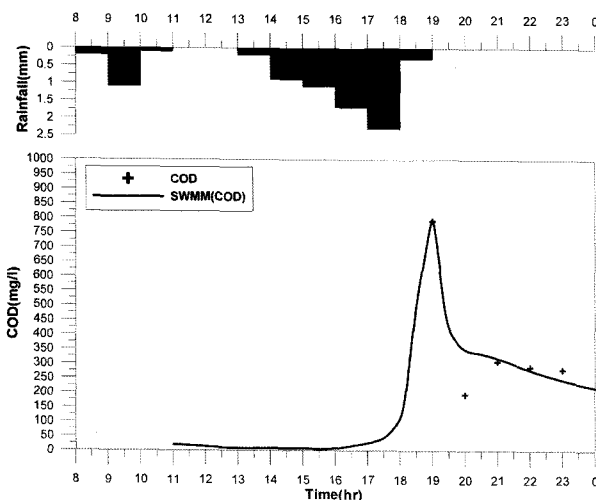
4.1. 강우 1(2001. 5. 22일)의 관측과 유출·수질모의 분석

강우1은 2001. 5.22일 발생한 강우사상으로서 16시간 동안 약 7.9 mm의 강우량을 기록하였으며, 이때 강우강도는 약 2.3 mm/hr이었다. <그림 1>은 강우에 의한 실제 유입량을 SWMM에 의한 산정치와 비교한 결과로서 비교적 근사한 경향을 보였다.

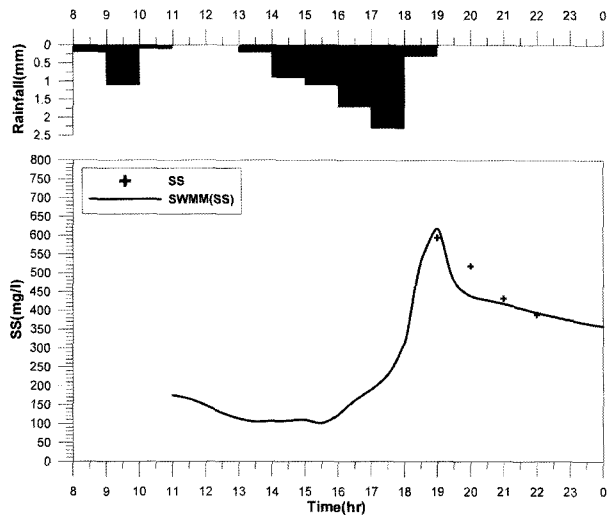
한편, 증량하수처리장 제3유입동에서의 수질실험은 오전 10시부터 익일 오전 9시까지 24시간동안 실시하였다. <그림 2, 3>은 실측된 강우에 의한 유출농도 CR(COD, SS)과 수



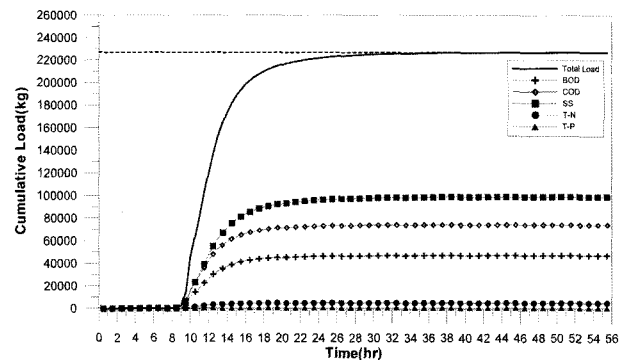
<그림 1> 유입량 곡선 및 SWMM 모형의 계산결과. (2001. 5. 22일)



<그림 2> 실측치와 계산치(COD)와의 비교(2001. 5. 22일).



<그림 3> 실측치와 계산치(SS)와의 비교(2001. 5. 22일).



<그림 4> 강우1(2001. 5. 22일)에 의한 오염부하곡선.

<표 4> 강우1(2001. 5. 22일) 오염부하량 산정 결과(단위 : kg)

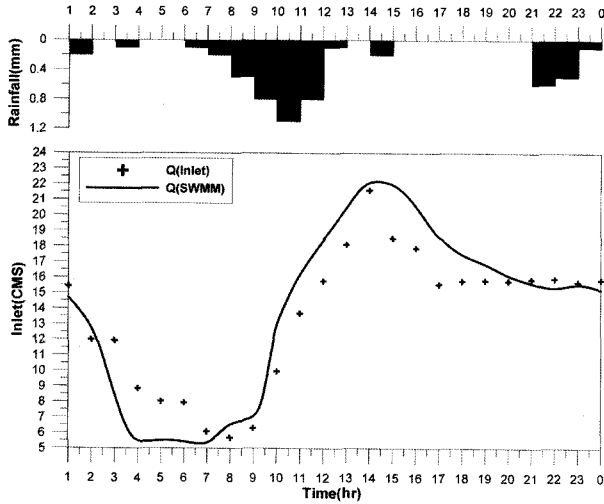
	계	BOD	COD	SS	T-N	T-P
부하량	227,172	47,400	74,400	99,288	5,210	874

치모형에 의한 계산 농도를 비교한 것으로서 SS는 유사한 경향을 보였으나 COD는 다소 상이한 경향을 보였다. 당일 제3유입동에서 측정된 침투유입량은 저녁 20시경의 약 26.72 CMS였으며, COD의 침투농도는 최대 시간강우 2.3 mm가 발생한 1시간 뒤인 19시경에 나타났다. 한편, SS의 침투농도는 이보다 1시간이 경과된 20시경에 발생하였으며 이 때 제3유입동으로의 유입량 또한 최대치를 기록하였다.

<그림 4>는 강우1 사상에 의한 각 수질항목 및 총누가오염부하곡선으로 총오염부하량은 약 227t으로서 각 항목별로 산정된 오염부하량은 <표 4>와 같다.

4.2. 강우 2(2001. 9. 30일)의 관측과 유출·수질모의 분석

강우2는 2001. 9.30일 발생한 강우사상으로서 16시간 동안 약 5.4 mm의 강우량을 기록하였으며, 이때 강우강도는 약 1.1 mm/hr이었다. 강우에 의한 실제유출량과 SWMM 모형에 의한 산정결과치를 비교하였으며 실측치와 산정치와는 비교적 근사한 결과를 보였다<그림 5>.



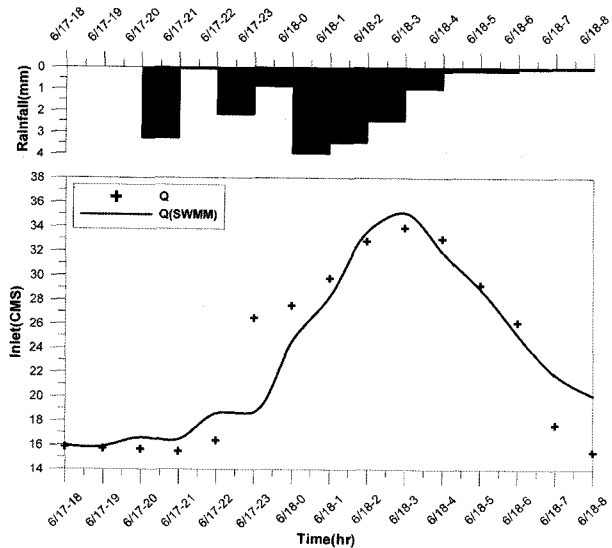
<그림 5> 유입량 곡선 및 SWMM 모형의 계산 결과. (2001. 9. 30일)

당일 제3유입동에서 수질실험은 오전 11시부터 저녁 5시까지 7시간 동안 실시하였다. 관측치에 의한 오염도(COD, SS)와 SWMM에 의한 계산 농도를 비교한 결과 근사한 경향을 보였다. 당일 제3유입동의 침투유입량은 오후 14시경에 약 21.61 CMS였으며, 침투농도(COD, SS)는 최대 시간강우가 발생한 오전 11시경과 근사한 시각에 발생하였다.

<표 5>와 같이 총오염부하량은 약 157t으로서 강우1 사상의 약 70% 수준으로 평가되었는데 이는 선행무강우일수가 1일에 불과해 지표면에 쌓여 있던 많은 오염물질들이 선행 강우기간에 상당량이 하천으로 이미 배출되었기 때문인 것으로 판단된다.

<표 5> 강우2(2001. 9.30일) 오염부하량 산정 결과(단위 : kg)

	계	BOD	COD	SS	T-N	T-P
부하량	156,768	24,300	91,900	33,997	5,570	981



<그림 6> 유입량 곡선 및 SWMM 모형의 계산 결과. (2001. 6. 17일)

<표 6> 강우3(2001. 6. 17일) 오염부하량 산정 결과(단위 : kg)

	계	BOD	COD	SS	T-N	T-P
부하량	413,179	97,900	129,000	157,000	24,500	4,779

4.3. 강우 3(2001. 6. 17일)의 관측과 유출 · 수질모의 분석

강우3은 2001. 6.17~18까지 발생한 강우사상으로서 12시간 동안 약 18.1 mm의 강우량을 기록하였으며, 이때 강우강도는 약 4.0 mm/hr이었다. 강우에 의한 직접유출량을 SWMM에 의한 산정결과치를 비교하였으며 근사한 결과를 보였다 <그림 6>.

당일 제3유입동에서의 수질실험은 18일 0시부터 21시까지 21시간 동안 실시하였다. 관측치에 의한 오염도(BOD, SS)와 SWMM에 의한 계산 농도를 비교한 결과 BOD, SS 모두 실측치와 산정치가 비슷한 경향을 보였다.

강우3 사상시의 각 수질항목별 누가량 및 총누가오염부하량을 나타내면 총오염부하량은 약 413t으로서 산정된 각 항목별 오염부하량은 <표 6>과 같다.

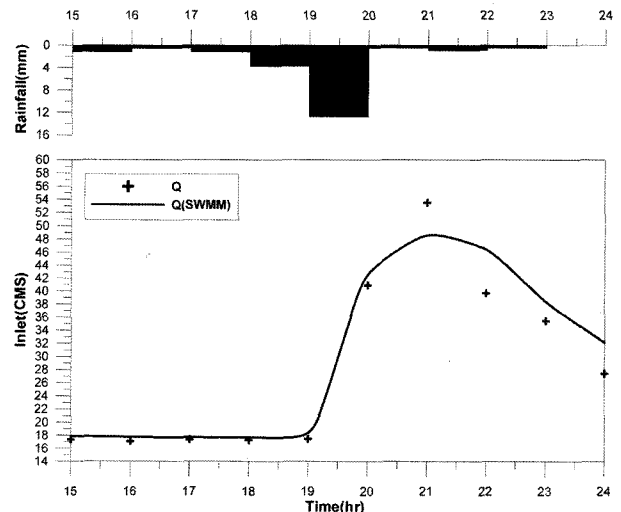
4.4. 강우 4(2001. 7. 14일)의 관측과 유출 · 수질모의 분석

강우4는 2001. 7.14일 15시부터 23시까지 모의한 강우사상으로서 11시간 동안 약 21.0 mm의 강우량을 기록하였으며, 이때 강우강도는 약 12.8 mm/hr이었다.

강우에 의한 직접유출량을 SWMM에 의한 산정결과치를 비교하였으며 실측치와 산정치와는 비교적 근사한 결과를 보였다 <그림 7>.

당일 제3유입동 및 군자교 지점에서의 수질실험은 17일 18시부터 익일 02시까지 8시간 동안 실시하였다. 관측치에 의한 오염도(COD, SS)와 SWMM에 의한 계산치를 비교한 결과 COD, SS 모두 근사한 결과를 보였다.

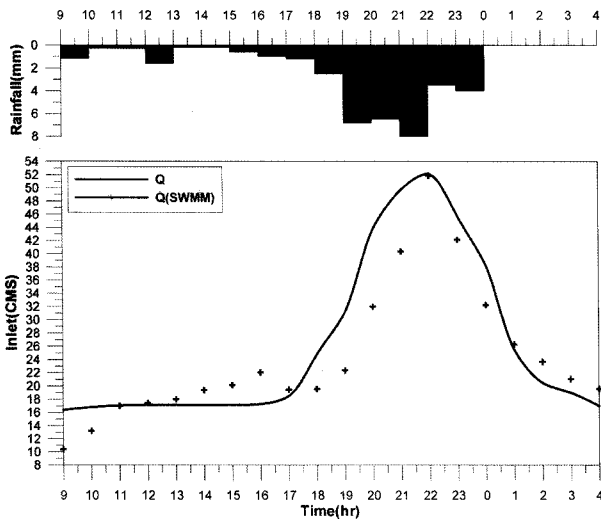
강우4 사상시의 각 수질항목별 누가량 및 총누가오염부하량을 나타내면 총 오염부하량은 약 385t으로서 각 항목별 산정된 오염부하량은 <표 7>과 같다.



<그림 7> 유출 곡선 및 SWMM 모형의 계산 결과. (2001. 7. 14일)

<표 7> 강우4(2001. 7. 14일) 오염부하량 산정 결과(단위 : kg)

	계	BOD	COD	SS	T-N	T-P
부하량	384,695	92,479	165,134	100,287	23,021	3,774



<그림 8> 2001.10. 9일 유출 곡선 및 SWMM 모형의 계산 결과.

<표 8> 강우5(2001.10. 9일) 오염부하량 산정 결과(단위 : kg)

	계	BOD	COD	SS	T-N	T-P
부하량	651,773	86,374	83,297	436,188	26,800	19,114

4.5. 강우 5(2001. 10. 9일)의 관측과 유출·수질모의 분석

강우5는 2001. 10. 9일 오전 9시부터 발생한 강우사상으로서 약 17시간 동안 38.0 mm의 강우량을 기록하였으며, 이때 강우강도는 약 8.0 mm/hr이었다. 강우에 의한 직접유출량을 SWMM에 의한 산정결과치를 비교하였으며 실측치와 산정치는 비교적 근사한 결과를 보였다<그림 8>.

당일 제3유입동 및 군자교 지점에서의 수질실험은 9일 10시부터 익일 03시까지 15시간 동안 실시하였다. 관측치에 의한 오염도(COD, SS)와 SWMM에 의한 계산 농도를 비교한 결과 COD, SS 모두 근사한 결과를 보였다.

강우5 사상시의 각 수질항목별 누가량 및 총누가오염부하량을 나타내면 총 오염부하량은 약 652 t으로서 각 항목별로 산정한 오염부하량은 <표 8>와 같다.

<표 9> 도시하수와 비점오염원의 농도비교

오염원	SS (mg/L)	BOD (mg/L)	T-P (mg/L)	T-N (mg/L)	Lead (mg/L)	Total Coliforms (MPN/100 mL)
도시우수 유출수	3~11,000	10~250	0.2~1.7	3~10	0.03~3.1	10 ³ ~10 ⁸
합류식 관거월류수	100~1,100	60~200	1~11	3~24	0.4	10 ⁵ ~10 ⁷
경공업지역 유출수	45~375	8~12	-	0.2~1.1	0.02~1.1	10
도시 미처리하수	235	160	10	35	-	10 ⁷ ~10 ⁹
도시 하수처리수	20	20	10	30	-	10 ⁴ ~10 ⁶

자료 : Ellis, J.B.(1986)

5. 중랑천 유역의 비점오염원 원단위 산정

비점오염원은 기후, 지형, 일사, 수문조건에 따라 배출양상이 다양하므로 정확한 원단위의 산정을 위해서는 장기간(최소한 5년 이상)에 걸친 연간연속 측정에 의한 실측자료를 바탕으로 해야 한다. 그러나 본 연구에서는 수문조건에 따른 배출양상을 고려하여 유역 하단에서의 오염도와 유출량을 실측하는 방법으로 원단위를 산정하였다.

일반적으로 도시지역에서의 비점오염원 유출농도는 상당히 크고, 점오염원 처리 부담이 증가함에 따라 우기시 하천 수질관리에 악영향을 미치고 있는 실정이다. <표 9>는 도시지역에서의 점오염원과 비점오염원의 농도를 비교한 자료로서 SS, BOD 등의 비점오염물질 농도는 강우조건에 따라 미처리 점오염원물질의 농도보다 매우 높음을 알 수 있다.

<표 10>은 강우 사상별로 산정된 총누가오염부하량(kg)을 강우기간의 유량(CMS)과 오염농도(mg/L)를 누적시킨 것으로서 합류식차집관거의 월류 유무, 누가강우량, 강우강도, 선행무강우일수, 유효유량에 따라 그 크기에 차이가 나타남을 알 수 있다.

비점오염원 단위 실측법은 조사방법에 따라 크게 3가지로 구분할 수 있다. 첫번째는 지표면에서 오염물질 총량을 실측한 후 축적을 및 분해율을 적용하는 방법으로 주로 도시지역에서 비점오염원 원단위를 산정하는데 이용된다. 두번째 방법은 강우시 특정지역을 통과하는 하천 상·하류 수질의 차이를 환산하거나 강우전후의 부하량 차이를 환산하여 당해 유역에서의 비점오염물질 배출원단위를 산정하는 방법이다. 세번째 방법은 토지이용별 강우시 배출물질을 직접 채취하여 농도를 측정하는 방법으로서 측정횟수가 충분하면 원단위산정에서 가장 신빙성이 있는 방법이다.

본 연구에서 실시한 방법은 앞서 언급한 두번째 방법에 속한다고 볼 수 있으나 계산치를 실측치와 보정한 후 모의치에 의한 누적부하량을 산정한 점에서는 차이가 있다. 앞에서 산정된 각 수질항목별 총누가오염부하량을 원단위(kg/ha/day)로 산정한 바 그 결과는 <표 11>과 같다.

본 연구에서의 산정 결과와 선행 연구된 도시지역에서의 비점오염원 원단위 산정 결과를 비교하여 보면 <표 12>와 같으며 선행무강우일수, 강우량, 강우강도, 강우지속시간, 토지이용상황, 도시의 특성, 거리청소상황을 반영해 조사지별로 다소 차이가 있으나 본 연구의 결과는 선행연구 결과의 범위에 속하는 것을 알 수 있다.

<표 10> 강우사상별 총누가오염부하량의 비교

강우사상	누가 강우량 (mm)	강우강도 (mm/hr)	선행무 강우일수(일)	BOD (kg)	COD (kg)	SS (kg)	T-N (kg)	T-P (kg)	계 (kg)
강우 1(2001. 5.22)	7.9	2.3	2.29	47,400	74,400	99,288	5,210	874	227,172
강우 2(2001. 9.30)	5.4	1.1	1.00	24,300	91,900	33,997	5,570	981	156,768
강우 3(2001. 6.17)	18.1	4.0	3.58	97,900	129,000	157,000	24,500	4,779	413,179
강우 4(2001. 7.14)	21.7	12.8	2.22	92,479	165,134	100,287	23,021	3,774	384,695
강우 5(2001.10. 9)	38.0	8.0	5.00	86,374	83,297	436,188	26,800	19,114	651,773

<표 11> 강우사상별 비점오염원 원단위 산정 결과 (단위 : g/ha/day)

강우사상	BOD	COD	SS	T-N	T-P
강우 1(2001. 5.22)	0.80	1.26	1.68	0.09	0.01
강우 2(2001. 9.30)	0.94	3.57	1.32	0.22	0.04
강우 3(2001. 6.17)	1.06	1.40	1.70	0.27	0.05
강우 4(2001. 7.14)	1.62	2.89	1.75	0.40	0.07
강우 5(2001.10. 9)	0.67	0.65	3.39	0.21	0.15
평균	1.02	1.95	1.97	0.24	0.06

또한, 본 연구에서는 누가강우량, 평균강우강도, 선행무강우일수 및 유효강우량 등과 항목별 단위부하량과의 상관성을 분석하였으며, 이때 비점오염부하량 예측식은 최저용(비점오염원 조사연구사업 보고서, 1995)의 연구에서 사용한 바 있는 식(3)을 채택하였으며 이를 위한 기초 자료는 <표 13>과 같다.

$$P = A + B(X_1) + C(X_2) + D(X_3) + E(X_4) \quad (3)$$

여기서, P : 비점오염원단위부하량(kg/km²)

X₁ : 누가강우량(mm)

X₂ : 평균강우강도(mm/hr)

X₃ : 무강우일수(days)

X₄ : 유효강우량(cm)

먼저, 총단위부하량을 종속변수로 하고 누가강우량, 평균강우강도, 선행무강우일수, 유효강우량을 각각 독립변수로 하여 선행 회귀분석을 실시한 결과, 누가강우량, 유효강우량, 평균강우강도 등은 강한 상관관계, 선행무강우일수는 뚜렷한 양적 상관관계가 나타났다<표 14>. 그러나 각 독립변수들을

<표 14> 총단위부하량과 항목별 회귀식과 결정계수(R²)

항목	회귀식	결정계수(R ²)
누가강우량(mm)	Y = 127.79X - 217.95	0.97
유효강우량(cm)	Y = 7296.50X - 42.14	0.96
평균강우강도(mm/hr)	Y = 1350.90X + 185.09	0.63
선행무강우일수(days)	Y = 902.06X - 431.67	0.67

<표 12> 도시지역에서의 비점오염원 원단위(단위 : kg/ha/년)

연구자	SS	BOD	COD	T-P	T-N
본 연구(평균)	482~1,236(719)	245~590(372)	236~1,302(713)	5~54(23)	32~147(86)
임봉수(1984)	831.1	319.7	690.6	-	-
최의소 외(1991)	854.1	270.1	1226.4	31.0	157.0
최지용(1995)	929.0	313.6	388.7	7.66	49.98
Whipple et al.(1976)	-	40.2(29.2~51.1)	201-310	3.3(1.1~5.5)	8.03(6.9~9.1)
Cemola et al.(1979)	1701(730~4792.5)	76.7(54.8~84.0)	-	1.83(1.1~5.1)	8.4(3.29~17.9)
Sonzogni et al.(1980)	1460(620~2299.9)	-	-	0.88(0.40~1.31)	6.17(5.0~7.3)
Wanielista et al.(1981)	460	50	-	2.01	8.4
和田安彦(1983)	686-1916	84-339	113-259	1.5-2.6	1.1~41.0
國松(1992)	770.2	150.7	222.7	5.62	45.3

<표 13> 비점오염부하량 예측식 산정을 위한 기초자료

강우사상	단위면적당 오염부하량(kg/km ²)					누가강우량 (mm)	평균강우강도 (mm/hr)	선행무강우일수 (days)	유효강우량 (cm)
	BOD	COD	SS	T-N	T-P				
강우 1(2001. 5.22)	184	289	385	20	3	7.9	0.494	2.29	0.096
강우 2(2001. 9.30)	94	357	132	22	4	5.4	0.216	1.00	0.068
강우 3(2001. 6.17)	380	501	609	95	19	18.1	2.011	3.58	0.302
강우 4(2001. 7.14)	359	641	389	89	15	21.7	2.170	2.22	0.394
강우 5(2001.10. 9)	335	323	1,693	104	74	38.0	2.235	5.00	0.615

동시에 모두 포함하는 다중 상관 분석에서는 만족할 만한 결과식을 도출하는 데는 미흡하였으며, 이에 관해서는 추가적인 자료의 보완과 연구가 요망된다.

6. 결 언

도시지역은 불투수성 면적비율이 높아 표면유출이 다른 지역보다 많기 때문에 강우에 대한 유출변화가 민감하고 유량과 수질농도의 변화가 빠르게 나타나고 빨리 끝나는 것이 특징이다. 도시지역에서 초기강우가 어느 정도 큰 경우는 불투수층에서 발생하는 표면유출에 의해 침투유출이 발생하기 때문에 first flush 현상이 나타난다. 이때 수로에 침전되었던 쉽게 이동할 수 있는 오염물질이 일시에 유출하기 때문에 고농도의 오염물이 유출부하량은 작아도 급격한 침투치를 나타낸다. 도시지역의 경우, BOD의 first flush와 점토성 탁도의 first flush에는 큰 관련이 있으며 이들의 유출에 큰 영향을 미치는 것이 합류식 하수관거에서의 오염물질 유출이다. 강우강도, 한계유량, 관내 오염물 잔존량에 따라 도시지역 비점오염유출량이 영향을 받으며, 이밖에 유출에 영향을 미치는 인자로는 하상의 조건, 토지이용, 지형, 토질 등의 유역특성 등이 관계가 있다.

강우시에는 비강우시에 비해 BOD, COD, SS가 급격히 증가하여, 강우시 하수수질이 비강우시보다 2~5배 높은 경우도 있다. 하수처리가 잘되는 대부분의 도시지역에서 강우시 유출부하는 연간부하의 약 50%를 차지하며, 이 비율은 물론 강우량, 유역면적, 하천경사, 유역의 토지이용 등에 따라 달라진다.

참 고 문 헌

1. 김갑수, 김영란, 중수도·빗물 처리기술 및 적용, 환경관리연구소(2002).

2. 김갑수, 김영란, 우수유출 저감시설 기준연구, 서울시정개발연구원(1998).

3. 서울특별시, 중랑천 물고기 폐사원인 및 수질개선 방안, (2000).

4. 서울특별시, 중랑천 비점오염원 관리 대책 및 생태지도 제작(2002).

5. 서울특별시, 우수유출 저감시설 시범사업 검토 연구, 12(2000).

6. 이종태, '98 홍수재해원인과 하천관리의 문제점, 한국수자원학회지, 31(5), pp. 29~32(1998).

7. 이종태, 도시유역의 유출해석을 위한 SWMM 모형, 대한토목학회 학술발표회 개요집(2), pp. 213~216(1993).

8. 이종태, 국내도시유역에 대한 SWMM의 적용성 분석, 제 36회 수공학 연구발표회, 한국수문학회, pp. 325~330(1994).

9. 이종태, 도시소유역에서의 강우에 의한 오락부하량 산정, '96 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp. 481~487, (1996).

10. 이종태, 도시 배수유역의 유출 특성인자 분석, 대한토목학회 학술발표회 논문집 pp. 235~238(1996).

11. 이종태, 도시하천에서 추계학적 모의강우에 의한 수질 예측, 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp. 115~120, (1998).

12. 이종태, 도시유역에서의 최적 유출·수질매개변수 결정과 특성 연구, 한국수자원학회 학술발표회 논문집, pp. 171~176(1998).

13. 최지용, 서울도시지역의 비점오염원 유출특성에 관한 연구, 한국물환경학회지, 15(3), pp. 315~323(1999).

14. 환경부, 비점오염원 조사 연구사업 보고서(1995).

15. 加藤裕之, 健全な水循環確保に向けた非特定汚染源(ノンポイント)対策の充實・強化について, 下水道協會誌, 35(432), pp. 9~14(1998.10).