

〈論 文〉

都市小流域에서의 流出과 非点源汚染物 排出 間의 相關關係 樹立에
 의한 NPS 汚染物 排出量의 算定
 An Estimation of NPS Pollutant Loads using the Correlation between
 Storm Water Runoff and Pollutant Discharge in a Small Urban Drainage Basin

申 鉉 釋*, 尹 龍 男**
 SHIN Hyun Suk and YOON Yong Nam

Abstract□ Three purposes of this study are as follows : The first was the development of the extention meth-
 od for the limited data observed in an urban drainage basin. The second was the analysis of the correlation be-
 tween storm water runoff and NPS(non-point source) pollutant discharge. The last was the calculation of the
 monthly and annual specific NPS loads using the established correlation. The selected model was the SWMM
 (Storm Water Management Model) developed by the US EPA(Environmental Protection Agency).

As a result of this study, the best correlation between storm water runoff and NPS pollutants discharge was
 produced by the non-linear correlation between runoff rate(mm/hr) and specific loads rate(g/ha/sec) for all pol-
 lutants studied ; SS, COD, BOD, and TN.

The best correlation through the anlysis based on evently total mass was made by the linear correlation be-
 tween the specific accumulated runoff(mm) and the specific accumulated loads(kg/ha) for CASE 1., and by the
 non-linear correlation for CASE 2.

The NPS annual specific loads for the urban basin studied were 4993 kg/ha/year for SS, 775 kg/ha/year for
 BOD, 3094 kg/ha/year for COD, 257 kg/ha/year for TN, respectively. And the proportion of the NPS annual spe-
 cific loads to the total annual specific loads were 41 % for SS, 13 % for BOD, 29 % for COD, and 21 % for TN.

요 지 : 本 研究의 目的은 都市小流域에서의 부족한 流量 및 NPS 汚染物 資料의 擴充과 이를 통한 流出과
 NPS 汚染物 排出 間의 相關關係의 分析 및 月, 年 NPS 負荷量 算定에 의한 流域 物質收支의 分析에 있다.

本 研究를 위한 資料의 擴充을 위해서 美國 EPA의 SWMM 模型을 사용하였으며, 相關關係의 分析 및 物質
 收支의 分析은 NPS 오염에 가장 影響이 큰 先行晴天期間을 긴 경우(CASE 1.)와 짧은 경우(CASE 2.)로 분
 리하여 수행하였으며, 研究 結果를 요약하면 다음과 같다.

1) 事象別 時間資料의 分析 : CASE 1.과 CASE 2. 모두, 流量과 濃度간의 相關關係 보다는 流量과 負荷量
 간의 相關關係가 좋았으며, 線形 相關關係 보다는 非線形 相關關係가 좋았다. 결과적으로 두 CASE 모두 比流
 量-比負荷率 관계는 非線形 相關關係가 가장 좋았다.

2) 事象別 總量資料의 分析 : CASE 1.은 比累積流量-比累積負荷量의 線形相關關係가 CASE 2.는 非線形 相
 關關係가 좋았다.

3) 流域의 NPS 年比負荷量 算定 結果, 年평균 단위 강우량당 비부하량은 CASE 1.이 CASE 2. 보다 모든
 오염물에서 약 2.5배 었다.

4) 호우기와 갈수기의 NPS 오염물의 비교 結果, 갈수기의 CASE 1.의 비중이 훨씬 컸다.

5) NPS 年比負荷量과 PS 年比負荷量을 비교한 結果, NPS 오염물이 流域 및 하천의 오염에 상당히 기여함
 을 알 수 있었다.

* 정희원, 고려대학교 토목환경공학과 석사과정

** 정희원, 고려대학교 토목환경공학과 교수

1. 序 論

과거 非都市流域이었던 곳이 都市化로 인해 水文 및 유출 現象이 크게 변화하게 되었으며, 더불어 水質汚染의 樣相 또한 비도시유역과는 그 特性이 判別하게 되었다. 그러므로 市流域의 特性에 부합하는 模型의 選擇과 流出 및 水質 特性의 分析을 통한 洪水防災 및 水質汚染 豫防을 위한 연구가 시급하게 되었다. 특히 최근 들어 都市汚染源 중, 降雨로 인한 非点源(non-point source)에서의 오염으로 인해 都市 管渠 및 河川에 많은 양의 汚染物이 배출되는 것으로 알려지고 있다. 非点源 汚染物은 降雨로 인한 流域 流出에 의해 移送되므로 精確한 流出의 模擬를 통한 汚染量의 模擬가 이루어져야 한다.

本 研究에서는 模型의 檢證 및 模擬를 위하여 流出과 水質을 모두 模擬할 수 있는 미국환경청(US Environmental Protection Agency)에서 개발한 SWMM(Storm Water Management Model) 모형을 사용하였으며, 지표면 유출을 위해서는 RUN-OFF BLOCK을 관로 추적을 위해서는 TRANSPORT BLOCK을 사용하였다.

本 研究의 目的을 세가지로 압축해 보면, 첫째는 流量과 非点源 汚染量 資料가 현저히 부족한 都市小流域에서, SWMM 模型을 이용한 資料의 擴充方法의 提示, 둘째는 확충된 資料를 사용한 流量-汚染物量 相關關係의 解析 節次 및 方法의 提示이며, 셋째는 適正 相關關係를 사용한 流域 月, 年 比負荷量의 算定이다. 이 세 節次에 따른 임의의 유

역의 流量-NPS 汚染物量 相關關係의 解析은 한정된 資料들을 가지고도 精確한 相關關係를 設定할 수 있으며, 水質 汚染에 상당히 큰 영향을 주는 NPS 汚染物의 調節 方法을 提示해 줄 수 있다는 데 그 의의가 있다. 또한 차후 이 해석을 바탕으로 임의의 유역의 遊水池 및 下水處理場의 設計 및 管理 시에 流量과 NPS 汚染物量을 포함한 汚染物量의 把握에 도움을 줄 수 있을 것이다.

2. 對象流域 選定 및 SWMM 模型의 檢證

本 研究에서의 對象流域은 서울시 동대문구 청계배수구역의 체기배수분구내 용두유수지 유역으로서 典型的인 都市流域이다. 이 流域은 동쪽으로 정능천, 서쪽으로 성북천과 남쪽으로 청계천과 접하고 있는, 流域面積 43.47ha의 유역으로 대략 주거지가 55%, 상가가 25%이고 도로 점유율이 20% 가량이다. 또한, 本 研究를 위하여 사용된 模型은 EPA의 SWMM 模型으로서, 용두 유수지 유역에서의 4개의 降雨事象에 의한 流出量 資料와 2개의 降雨事象에 대한 NPS 水質 資料를 가지고 앞선 'SWMM 模型을 利用한 都市流域의 流出 및 NPS 汚染物 排出 模擬; 申鉉釋, 尹龍男(1993)'에서 檢定 및 檢證된 結果를 使用하였다.

3. 流量-NPS 汚染物量의 相關關係 分析

3.1 模擬 降雨事象 및 資料의 擴充

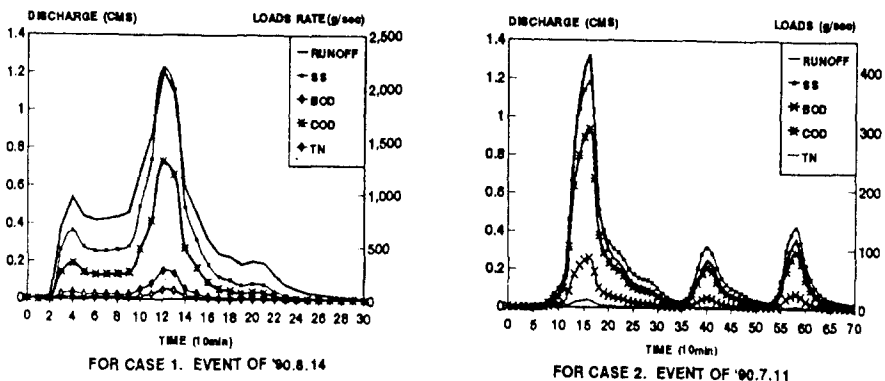


그림 3-1 각 오염물의 대표호우사상별 모의 유량수분곡선과 부하율곡선(CASE 1 및 CASE 2)

模擬를 위한 降雨事象은 동대문구청의 '90-'91까지의 自記雨量計에 의한 降雨事象을 선행청천기간이 긴경우인 CASE 1.과 선행청천기간이 짧은경우인 CASE 2.로 나누어 각각 10개, 13개의 降雨事象資料를 수집하였다.

위의 실제 降雨事象을 앞에서 검증된 SWMM모형에 의해 模擬 하여 時間別 資料를 擴充하였다. 이때 模擬를 10分 간격으로 수행하여 流量水文曲線과 汚染物負荷率曲線을 동시에 降雨事象 別로 얻었으며, 그림 3-1에 모의를 통해 얻어진 CASE 1.과 CASE 2.의 대표적인 流量水文曲線과 負荷率曲線을 도시하였다.

3.2 分析 方法

流量과 汚染物量 간의 相關關係의 分析 方法및 각 方法의 回歸式은 표 3-1과 같다. 이때 分析 方法은 크게 두 부류로 나눌 수 있다.

첫번째, 事象別 時間 資料의 分析(the analysis due to evently time history; Huber, 1988)은 3-1 절의 CASE 1(先行晴天期間이 긴 경우)과 CASE 2(先行晴天期間이 짧은 경우)를 위한 각 降雨事象의 模擬를 통하여 얻어진 모든 流出水文曲線과 水質曲線 상의, 同 - 時間에서의 流量과 汚染物量(濃度, mg/l 또는 負荷率, g/sec)을 x-y 평면에 함께 도시하여 流量의 增加에 따른 汚染物量의 變化 性向을 분석하고 回歸分析을 통한 가장 적절한 相關關係曲線(rating curve)을 얻는 데 그 목적이 있다.

두번째, 事象別 總量 資料의 分析(the analysis due to evently total mass ; 國松孝男, 1989)은 각 事象別로 比累積流量(specific accumulated discharge, mm), 즉 總流出容積(m³)을 流域面積(ha)으로 나눈 값과 比累積負荷量(specific accumulated loads, kg/ha), 즉 總負荷量(kg)을 流域面積(ha)으로 나눈 값을 x-y 평면에 같이 도시하여, 임의 강우사상의 總降雨量에 따른 總負荷量을 구할 수 있는 적절한 流出量-負荷量 回歸式을 제시하는데 그 목적이 있다. 여기서 결정된 流出量-負荷量 回歸式은 다음장에서 각 경우의 汚染物別 月負荷量 및 年負荷量을 구하는 데 사용이 되었다.

표 3-1 유량-오염물량 상관관계 분석 방법 및 회귀식 형태

방 법	회 귀 식 형 태
사상 시간 자료 분석	방법 T1 유량-농도의 선형 상관관계 $C(t) = a + b \cdot Q(t)$ (mg/l) (cms)
	방법 T2 유량-농도의 비선형 상관관계 $C(t) = a \cdot [Q(t)]^b$ (mg/l) (cms)
	방법 T3 유량-부하율의 선형 상관관계 $L(t) = a + b \cdot Q(t)$ (g/sec) (cms)
	방법 T4 비유량-비부하율의 비선형 상관관계 $[\frac{L(t)}{A}] = a \cdot [\frac{Q(t)}{A}]^b$ (g/sec/ha) (mm/hr)
사상 총량 자료 분석	방법 M1 비누적유량-비누적부하량의 선형상관관계 $[\frac{\sum L}{A}] = a + b \cdot [\frac{\sum Q}{A}]$ (kg/ha) (mm)
	방법 M2 비누적유량-비누적부하량의 비선형상관관계 $[\frac{\sum L}{A}] = a \cdot [\frac{\sum Q}{A}]^b$ (kg/ha) (mm)

3.3 流量-汚染物量의 相關關係 分析의 結果

3.3.1 事象別 時間 資料의 回歸分析 結果

3.3.1.1 先行晴天期間이 긴 경우 (CASE 1.)

CASE 1.과 2. 모두, 回歸分析은 SS, BOD, COD 및 TN에 대하여 각각 수행하였으며, 각 方法에 의한 回歸分析 結果는 그림 3-2, 3, 4, 5에 대표적으로 SS와 COD에 대해서만 도시하였다. 또한 표 3-2에 回歸分析을 통하여 결정된 回歸常數 a와 b값과, 그 決定係數 R²(선형상관계수의 제곱)을 제시하여 각 方法의 適定性 與否를 判斷할 수 있도록 하였다. 그림 3-2는 方法 T1에 의한 결과이며, 그림에서 볼 수 있듯이 流量에 따른 濃度の 값은 상당히 分散되어 있다. 또한 濃度の 性向이 流量의 增加에 따라 같이 增加함을 알 수 있다.

그림 3-3은 方法 T2에 의한 回歸分析을 보여주고 있으며, 이는 方法 T1의 자료를 非線形的으로 分析하기 위해 流量과 濃도에 모두 log를 취한 값을 도시하고 있다. 이때 線形的으로 도시한 方法 T1에 의한 R²의 平均이 0.8896인데 반하여 方法 T2에 의한 R²의 平均은 0.9243으로 그 相關關係가 개선되었음을 알 수 있으며, 流量-濃도의 相關關係分析은 非線形 方法이 더 잘 맞는다고 말할 수 있다.

그림 3-4는 方法 T3에 의한 流量과 負荷率의 값의 回歸分析을 보여주고 있다. 이 그림에서는 流量의 增加에 따른 負荷率의 Loop 現象을 볼 수 있으며, 流量이 增加할 수록 그 分散程度가 커지고 있다. 또한 流量의 增加率 보다 負荷率의 增加率이 더 급함을 볼 수 있는데, 이런 현상은 方法 T3의 流量과 負荷率에 log를 취하여 方法 T4와 같이 非線形 回歸分析을 한 결과, 指數數 b가 모든 汚染物에서 1.0 이상의 값을 가진다는 것으로 설명될 수 있다.

결국 先行晴天期間이 긴 경우에는 강우 이전의 충분한 汚染物의 蓄積으로 인해 流量이 커질수록 더 많은 부하량을 排出함을 알 수 있다.

流量-負荷率 間의 回歸分析 結果는 線形回歸分析인 方法 T3에 의한 決定係數 R²의 平均값은 0.9363이고 非線形回歸分析인 方法 T4에 의한 決定係數 R²의 平均값은 0.9872로서, 方法 T1과 方法 T2의 流量-濃度 回歸分析에서와 마찬가지로 非線

形回歸分析이 流量-負荷率 回歸分析에서도 그 相關關係가 더 좋다는 것을 알 수 있다.

또한 流量과 負荷率 間의 相關關係가 流量과 濃度 間의 相關關係 보다 더 좋음을 표 3-2에서 볼 수 있으며, 이는 降雨로 인한 NPS汚染物의 分析은 汚染物量이 流量과 밀접한 關係를 가지기 때문에 濃度 보다는 負荷率을 가지고 分析하는 것이 더 타당하다는 연구(Wanielista, 1978)들을 뒷받침하여 주고 있다.

3.3.1.2 先行晴天期間이 짧은 경우 (CASE 2.)

그림 3-2는 方法 T1에 의한 결과이며, 그림에서 볼 수 있듯이 流量에 따른 濃도의 값은 CASE 1.과 마찬가지로 상당히 分散되어 있다. 그러나 CASE 1.과는 반대로 流量의 增加에 따라 濃度は 減少함을 알 수 있다.

그림 3-3은 方法 T2에 의한 回歸分析을 보여주고 있으며, 이는 方法 T1의 자료를 非線形的으로 分析하기 위해 流量과 濃도에 모두 log를 취한 값을 도시하고 있다. 이때 線形的으로 도시한 方法 T1에 의한 R²의 平均이 0.4321인 데 반하여 方法 T2에 의한 R²의 平均은 0.7949로 그 相關關係가 개선되었음을 알 수 있으며, 流量-濃도의 相關關係分析은 CASE 2.에서도 非線形 方法이 더 잘 맞는다고 말할 수 있다. 또한 方法 T2에서의 回歸直線의 기울기가 CASE 1.에서는 (+)였던 것과는 달리 (-)라는 것도 流量의 增加에 따른 濃도의 減少 現象을 설명하여 주고 있다.

표 3-2 CASE 1.과 CASE 2.의 사상별 시간 자료의 회귀분석 결과
<CASE 1.> <CASE2.>

		방법 T1	방법 T2	방법 T3	방법 T4
SS	a	436.16	1614.09	-111.02	1.936
	b	1363.88	0.397	1814.73	1.395
	R ²	0.8096	0.9272	0.9524	0.9836
BOD	a	22.40	175.83	-18.09	0.142
	b	186.46	0.586	222.55	1.582
	R ²	0.9191	0.9317	0.9312	0.9899
COD	a	153.69	892.12	80.64	0.832
	b	880.46	0.517	1079.58	1.514
	R ²	0.8883	0.9322	0.9435	0.9915
TN	a	5.01	53.89	6.40	0.039
	b	62.59	0.637	73.52	1.632
	R ²	0.9411	0.9063	0.9184	0.9839
평균 R ²	0.8896	0.9243	0.9363	0.9872	
R ² 순서		④	③	②	①

		방법 T1	방법 T2	방법 T3	방법 T4
SS	a	498.77	307.42	26.32	1.215
	b	-111.40	-0.169	229.48	0.840
	R ²	0.3914	0.9505	0.9674	0.9978
BOD	a	73.38	64.92	1.58	0.198
	b	-5.29	0.044	59.53	0.959
	R ²	0.4711	0.8087	0.9861	0.993
BOD	a	295.50	235.56	9.89	0.773
	b	-36.31	0.078	203.48	0.925
	R ²	0.3914	0.9093	0.9815	0.991
TN	a	10.74	9.64	0.198	0.029
	b	-0.65	0.040	9.03	0.960
	R ²	0.4711	0.5112	0.9869	0.9967
평균 R ²	0.4312	0.7949	0.9804	0.9982	
R ² 순서		④	③	②	①

그림 3-4는 方法 T3에 의한 流量과 負荷率의 값의 回歸分析을 보여주고 있다. 여기서는 CASE 1.의 결과와는 달리 流量의 增加率 보다 負荷率의 增加率이 더 완만함을 볼 수 있는데, 이런 현상은 方法 T3의 流量과 負荷率에 log를 취하여 方法

T4와 같이 非線形 回歸分析을 한 결과, 指數값 b가 모든 汚染物에서 1.0보다 작은 값을 가진다는 것으로 설명될 수 있다. 결국 先行晴天期間이 짧은 경우에는 流出量이 증가할 수록 濃度는 減少하며, 汚染物 負荷量의 排出率은 줄어들음을 알 수 있다.

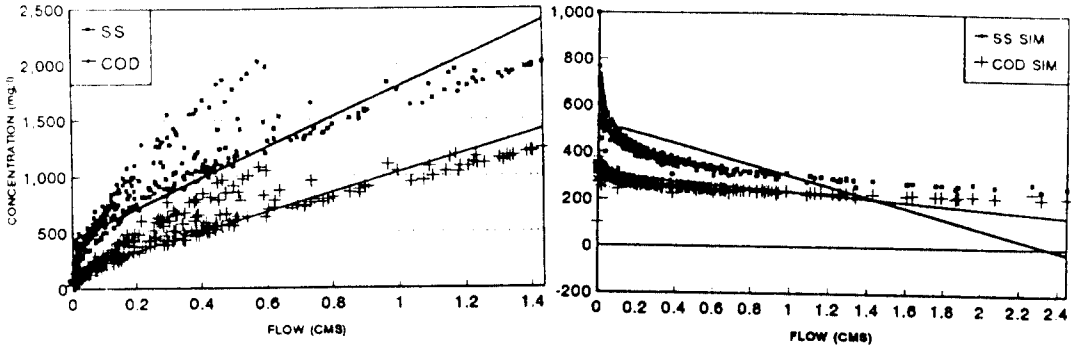


그림 3-2 方法 T1에 의한 사상별 시간 자료 분석 (CASE 1.과 CASE 2., SS, COD)

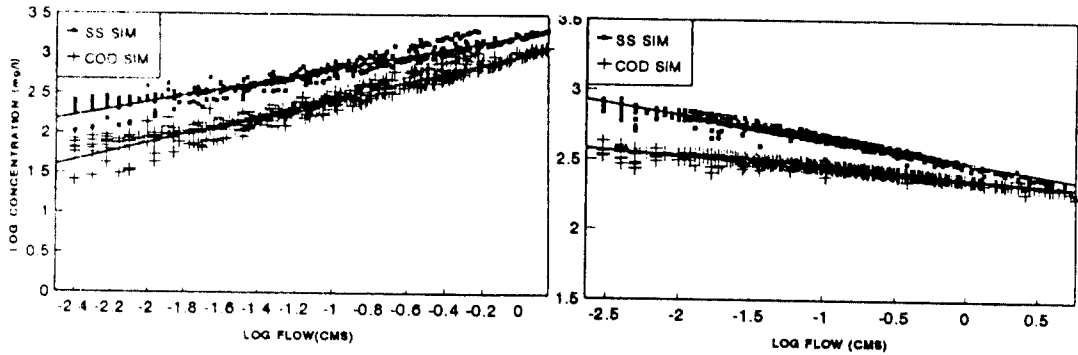


그림 3-3 方法 T2에 의한 사상별 시간 자료 분석 (CASE 1.과 CASE 2., SS, COD)

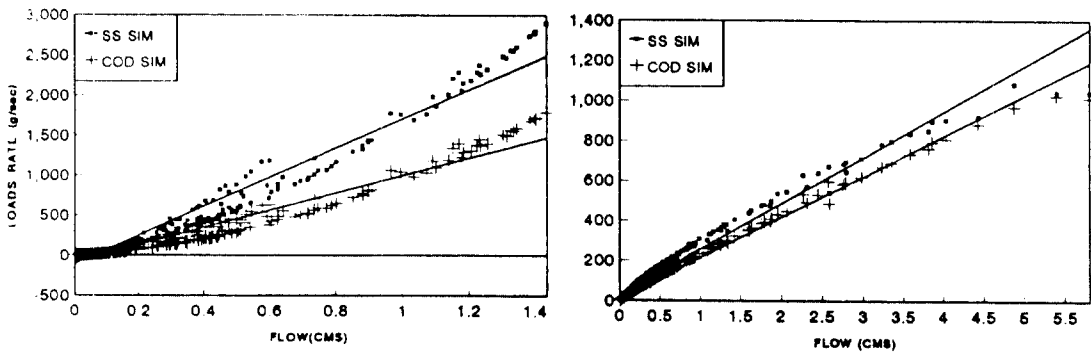


그림 3-4 方法 T3에 의한 사상별 시간 자료 분석 (CASE 1.과 CASE 2., SS, COD)

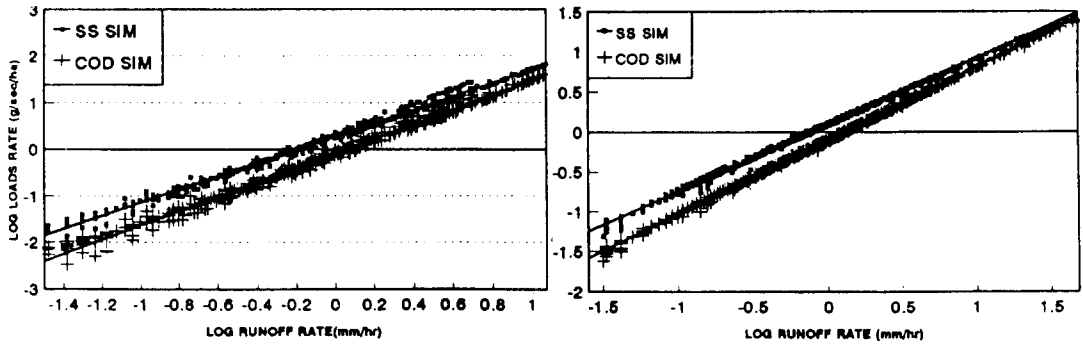


그림 3-5 방법 T4에 의한 사상별 시간 자료 분석 (CASE 1.과 CASE 2., SS, COD)

流量-負荷量 間의 回歸分析 結果는 線形回歸分析인 方法 T3에 의한 決定係數 R^2 의 平均값은 0.9804이고 非線形回歸分析인 方法 T4에 의한 決定係數 R^2 의 平均값은 0.9972로서, 方法 T1과 方法 T2의 流量-濃度 回歸分析에서와 마찬가지로 非線形回歸分析이 流量-負荷率 回歸分析에서도 그 相關關係가 더 좋다는 것을 알 수 있다.

또한 표 3-4에서 볼 수 있듯이 流量과 負荷率 間의 相關關係가 流量과 濃度 間의 相關關係 보다 더 좋음을 알 수 있다. 그러므로 CASE 2.에서도 方法 T4에 의한 比流量-比負荷量 間의 非線形 回歸式이 時間에 따른 流出과 NPS 汚染物의 排出 現象을 가장 잘 모의함을 알 수 있다.

3.3.2 總量에 따른 分析의 結果

3.3.2.1 先行晴天期間이 긴 경우 (CASE 1.)

그림 3-6 에 方法 M1, 즉 降雨事象別 比累積量 (mm)과 比累積負荷量(kg/ha)을 線形 回歸分析한 結果와 方法 M2, 즉 같은 대상에 대하여 非線形 回歸分析한 結果를 보여주고 있다. 표 3-3 에서 각 方法의 回歸常數 a와 b 값 및 決定係數 R^2 값을 계산하였으며, 方法 M1의 모든 汚染物에 의한 R^2 의 平均값은 0.9711이고, 方法 M2의 R^2 의 平均값은 0.9399로서, 方法 M1에 의한 線形 回歸分析이 그 相關關係가 더 좋음을 알 수 있었다.

3.3.2.2 先行晴天期間이 짧은 경우 (CASE 2.)

그림 3-7에 方法 M1, 즉 降雨事象別 比累積流量(mm)와 比累積負荷量(kr/ha)을 線形 回歸分析한 結果와 方法 M2, 즉 같은 대상에 대하여 非線

形 回歸分析한 結果를 보여주고 있다. CASE 1. 에서와 마찬가지로 표 3-3에서 각 方法의 回歸常數 a와 b 값 및 決定係數 R^2 값을 알 수 있으며, 方法 M1의 모든 汚染物에 의한 R^2 의 平均값은 0.9757이고, 方法 M2의 R^2 의 平均값은 0.9845로서, 方法 M2에 의한 非線形回歸分析이 그 相關關係가 더 좋음을 알 수 있었다.

여기서 CASE 1.의 方法 M2에 의한 回歸分析 시 모든 汚染物에서 常數 b의 값은 1.0보다 크나 CASE 2.0의 方法 M2에 의한 常數 b의 값은 1.0 보다 작았다. 이런 現象은 앞에서 언급한 先行晴天 期間이 긴 경우(CASE 1.)는 降雨 이전에 蓄積된 汚染物이 많으므로 降雨量이 增加할 수록 같은 降雨量에 대해 더 많은 汚染物을 排出하며, 先行晴天

표 3-3 CASE 1.과 CASE 2.의 사상별 총량 자료의 회귀분석 결과

오염물	방법	CASE1.		CASE2	
		방법 M1	방법 M2	방법 M1	방법 M2
SS	a	-46.70	4.677	22.67	7.770
	b	16.52	1.366	2.21	0.724
	R^2	0.9821	0.9660	0.9225	0.9568
BOD	a	8.47	0.245	1.37	0.840
	b	2.02	1.613	0.59	0.921
	R^2	0.9676	0.9321	0.9964	0.9962
COD	a	-36.69	1.625	8.45	3.695
	b	9.81	1.521	2.00	0.864
	R^2	0.9737	0.9448	0.9863	0.9875
TN	a	-3.06	0.059	0.17	0.121
	b	0.67	1.705	0.09	0.932
	R^2	0.9621	0.9179	0.9979	0.9975
평균	R^2	0.9711	0.9399	0.9757	0.9845

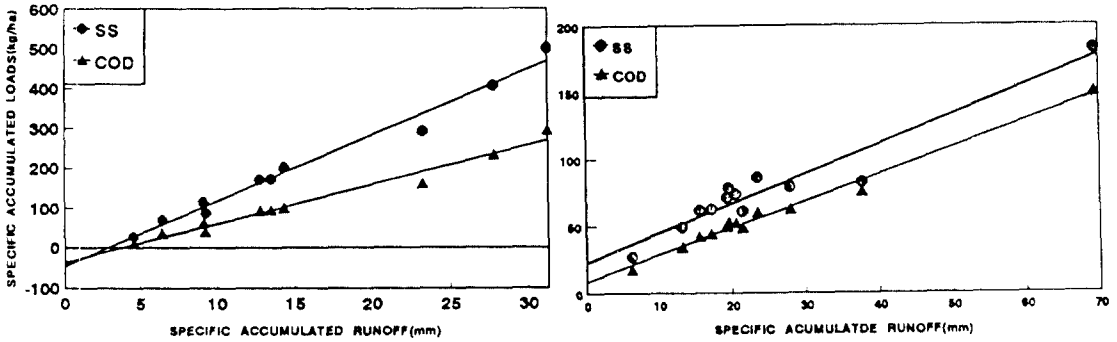


그림 3-6 방법 M1과 M2에 의한 사상별 총량 자료의 회귀분석 (CASE 1., SS, COD)

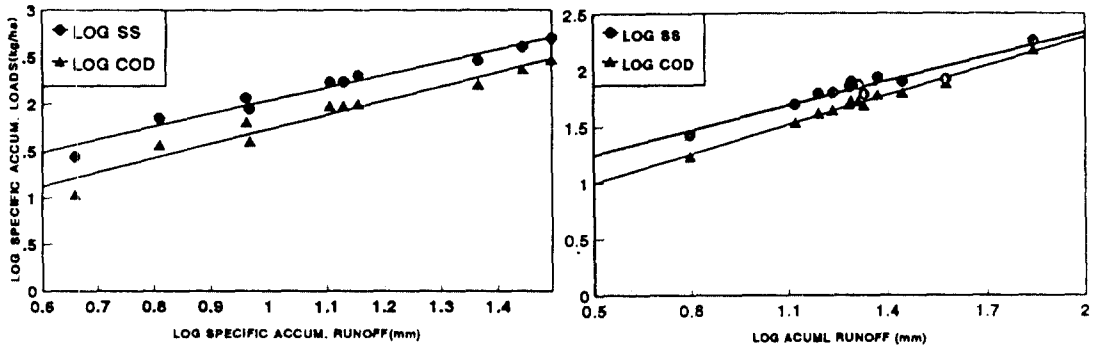


그림 3-7 방법 M1과 M2에 의한 사상별 총량 자료의 회귀분석 (CASE 2., SS, COD)

期間이 짧은 경우(CASE 2.)는 先行降雨에 의해 이미 많은 汚染物이 쏟아나간 뒤로서 降雨量이 增加할수록 같은 降雨量에 대해 적은 汚染物을 排出한다는 初期 排出 效果(first-flush effect)를 잘 설명하여 주고 있다.

4. 對象流域의 NPS 汚染物 排出量의 算定

本 研究에서는 NPS 汚染物의 月, 年 汚染物 負荷量의 算定을 위하여 3.3.2 절에서 物質收支 計算을 위해 결정된 CASE 1.의 方法 M1, 즉 比累積流量-比累積負荷量의 線形回歸式과 CASE 2.의 方法 M2, 즉 比累積流量-比累積負荷量의 非線形回歸式을 사용하였으며, 대상 汚染物 SS, BOD, COD 와 TN에 대하여 각각 수행하였다.

4.1 算定 方法 및 節次

本 研究에서는 月, 年 負荷量을 算定하기 위해 두가지 概念을 사용하여 수행하였다.

첫째는, 한국의 降雨 性向은 年중 일정하지 않고, 月別로 그 性向이 判別하다는 점을 감안하여 年 平均一回降雨量을 사용하지 않고 月平均一回降雨量을 사용하였다.

두번째는, 기존에 일률적으로 모든 강우에 대하여 單一回歸式을 사용함으로써 初期降雨과 連續降雨의 判別한 汚染物 排出 性向을 無視하였던 점을 개선하여, 先行晴天期間이 긴 경우(CASE 1.)와 先行晴天期間이 짧은 경우(CASE 2.)에 대해 각각 앞 절에서 얻어진 적절한 回歸式을 적용하였다.

이러한 개념을 기본으로한 NPS 汚染物負荷量의

산정 절차는 아래와 같다.

- ① 각 오염물질 回歸式의 整理. (CASE 1 : M1, CASE 2 : M2)
- ② 降雨分析 : 대상 지역의 既往 降雨 資料를 사용한 月平均降雨量과 年平均降雨量의 算定. CASE 1.과 CASE 2.에 해당하는 降雨의 分離. 각 CASE에 대한 月平均降雨量 및 月平均降雨回數를 算定.
- ③ 月平均1回流出率(mm), 즉 1회 강우로 인한 월 평균유출율을 두 CASE에 대해 算定.

$$\text{月平均1回流出率(mm)} = \frac{\text{月平均降雨量(mm)} \times \text{平均流出率}}{\text{降雨回數}}$$
- ④ 回歸式에 月平均 1회 流出率을 대입하여 月平均 1회 比負荷量(kg/ha) 算定.
- ⑤ 月比負荷量(monthly specific loads)을 각 CASE별, 오염물질별로 算定.

$$\text{月比負荷量(kg/harmonth)} = \text{月平均 1회 比負荷量} \times \text{月別降雨回數}$$
- ⑥ 각 CASE별 年比負荷量(annual specific loads)의 算定.

$$\text{年比負荷量(kg/ha/year)} = \sum_{i=1}^{12} \text{月比負荷量(kg/ha/month)}$$
- ⑦ PS 汚染物負荷量과 NPS 汚染物負荷量의 比較

및 分析.

4.2 降雨 分析

本 研究에서는 既往 降雨의 分析을 위해서 기상청의 서울 日降雨(No.108, 1954년-1987년) 資料를 사용하였다. 먼저 月平均降雨量은 전체 일 강우량을 월별로 합산하여 구하였으며, 이중 先行晴天期間이 긴 경우(CASE 1.)와 짧은 경우(CASE 2.)의 강우를 분리하기 위하여 實際 日降雨量 資料에서 流出과 汚染物負荷에 기여하지 못하는 日降雨量 3mm이하의 降雨를 제거한 후에 아래와 같은 기준으로 각 경우를 분리하였다.

CASE 1. 先行晴天期間 4일 이하이고

先行降雨가 5mm 以下인 降雨事象

CASE 2. 月別 降雨事象 중 CASE 1.에 속하지 않는 降雨事象

이 분리에서 CASE 1.의 기준인 先行晴天期間은, 都市汚染物의 蓄積(build-up)은 5일에 가장 민감하다는 연구에 기초를 두고(Meister, 1981), 본 대상지역은 상당히 발달한 都市流域이라는 점을 감안하여 4일을 그 기준으로 선정하였다(Wanielista,1976). 각 경우에 대한 降雨回數는 CASE 1.과 CASE 2.로 분리된 降雨의 回數를 月별로 平均하여 얻었다. 그 결과는 표 4-1과 같다.

표 4-1 강우자료 분석 결과(서울 : 1954-1987)

항목	월 평균 강우 량					월평균강우회수(3mm이상)		
	총 합	CASE 1.		CASE 2.		총 합	CASE 1.	CASE 2.
월	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	회 수	회 수	회 수
1	21.1	12.67	60.0	8.43	40.0	2.31	1.54	0.77
2	25.5	9.65	37.8	15.85	62.2	1.84	1.15	0.69
3	48.3	28.07	58.1	20.24	41.9	3.25	2.13	1.12
4	94.2	51.35	54.5	42.85	45.5	3.58	2.27	1.31
5	90.5	49.85	55.1	40.65	44.9	4.76	2.60	2.16
6	137.4	43.94	32.0	93.46	68.0	3.87	2.64	1.23
7	378.4	58.82	15.5	319.58	84.5	5.58	1.87	3.71
8	274.7	41.64	15.2	206.06	84.9	5.20	1.81	3.39
9	158.7	31.97	20.1	126.73	79.9	4.01	1.62	2.39
10	52.2	24.61	47.2	27.59	52.9	3.30	1.74	1.56
11	47.9	17.06	35.6	30.84	64.4	3.75	2.21	1.54
12	24.4	15.19	62.3	9.21	37.7	2.04	1.73	0.31
합계	1353.3	384.8	28.4	968.5	71.6	43.49	23.49	20.00

4.3 NPS 汚染物의 月, 年 比負荷量 算定 및 分析

本 研究에서는 4.1절의 절차에 의하여 각 NPS 汚染物 排出量의 月比負荷量(monthly specific loads; kg/ha/month)과 年比負荷量(annual specific loads; kg/haryear)을 계산하였다. 또한 그 결과를 가지고 NPS 汚染物의 ① 先行晴天期間이 긴 경우와 짧은 경우, ② 豪雨期와 渴水期 때의 NPS 汚染物 排出 性向을 分析하였으며, ③ NPS 年比負荷量과 PS 年比負荷量의 物質收支를 分析하였다.

4.3.1 各 CASE의 NPS 月, 年 比負荷量의 계산

NPS 月, 年 比負荷量을 계산하는 데 있어서, CASE 1.과 CASE 2.로 분리하여 계산할 때 CASE 1.의 降雨事象은 先行晴天期間이 긴 경우로 서 地面損失 및 浸透로 인한 降雨損失이 크며,

CASE 2.의 降雨事象은 先行晴天期間이 짧은 경우로 서 降雨損失이 비교적 적다. 그러므로 이때 4.1 절의 절차 을 위한 平均流出率은 CASE 1.과 CASE 2.의 平均流出率을 一률적으로 적용하는 것 은 불합리하다. 그러므로 본 연구에는 CASE 1.과 CASE 2.의 流出率을 각각 3.1절의 降雨事象들 을 모의한 결과에 의한 流出率들의 平均値를 사용하였 다. 이때 CASE 1.의 平均流出率은 0.643이고, CASE 2.의 平均流出率은 0.726이었다. 결과적으로 NPS 月比負荷量과 NPS 年比負荷量은 표 4-2 와 같다.

4.3.2 선행침천기간이 긴 경우와 짧은 경우의 比負荷量의 比較

그림 4-1과 같이 CASE 1.과 CASE 2.의 降雨量과 各 汚染物의 比率을 도시하였으며, 各 CASE 에 해당하는 年平均降雨(mm)으로 年比負荷量(kg/ha)을 나눈, 年平均 單位降雨量당 比負荷量(kg/

표 4-2 NPS 月比負荷量 및 NPS 年比負荷量(단위 : kg/ha/month)

오염물 월	SS		BOD		COD		TN	
	CASE 1.	CASE 2.	CASE 1.	CASE 2.	CASE 1.	CASE 2.	CASE 1.	CASE 2.
1	62.71	26.84	4.89	4.37	23.03	17.06	0.75	1.39
2	48.78	41.12	3.91	7.74	18.36	29.00	5.64	1.79
3	198.73	56.10	21.67	10.07	98.36	38.26	5.58	7.07
4	439.42	100.84	53.41	20.35	239.99	74.72	15.17	18.21
5	403.86	111.43	47.73	20.16	215.00	76.42	13.24	16.23
6	345.35	174.29	39.78	41.52	179.53	145.31	10.84	17.10
7	537.39	575.71	67.36	140.57	301.86	488.49	19.61	40.80
8	357.87	408.68	43.58	93.16	195.81	330.24	12.40	26.39
9	263.86	261.03	31.49	57.93	141.74	206.94	8.81	17.50
10	180.09	76.95	20.07	13.76	90.88	52.31	5.28	7.31
11	78.02	83.08	5.42	15.22	25.94	57.47	0.59	2.85
12	80.56	22.26	6.83	4.41	31.87	16.27	1.25	1.91
년합계	2995	1938	346	429	1532	1532	99	157
(kg/year)	4933		775		3095		257	

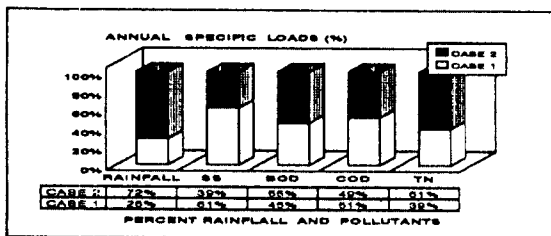


표 4-3 年平均 單位강우량당 比부하량 (단위 : kg/ha/mm)

CASE	NPS	SS	BOD	COD	TN
CASE 1	7.78	0.90	4.06	0.26	
CASE 2	2.00	0.44	1.58	0.16	
CASE1/CASE2	3.89	2.05	2.57	1.63	

그림 4-1 CASE 1.과 2.의 年平均강우량과 年比부하량의 比較

ha/mm)을 각 汚染物別로 계산하면 표 4-3과 같으며, 두 경우를 비교하기 위하여 CASE 1.의年平均單位降雨量당 比負荷량을 CASE 2.의年平均單位降雨量당 比負荷량을 나누어 보면, CASE 1., 즉 先行晴天期間이 긴 경우의 NPS 汚染物의 負荷량은 짧은 경우의 負荷量 보다 동일한 降雨量에 대해 SS는 3.9배, BOD는 2배, COD는 2.6배이고 TN은 1.6배가 더 많이 배출됨을 알 수 있었다.

4.3.3 豪雨期間과 渴水期間의 年比負荷量의 比較

豪雨期間과 渴水期間의 年比負荷량을 비교하기 위하여, 표 4-4와 같이 豪雨期間인 7, 8월과 渴水期間인 기타월의 月比負荷量의 습을 CASE별로 계산한 후, 그 比率를 퍼센트로 나타냈다. 결과적으로 渴水期때에는 先行晴天期間이 긴 初期降雨로 인한 NPS 汚染物의 排出量은 全體 降雨期間의 汚染物 排出量의 60% 이상을 차지한다는 것을 말하

여 준다. 그러므로 NPS 汚染物의 合理的인 處理를 위해서는 初期降雨時의 汚染物의 處理效率를 높여주는 方案이 講究되어야 할 것이다.

4.3.4 NPS 年比負荷量과 PS 年比負荷量의 比較

표 4-5에서는 위에서 계산된 NPS의 年比負荷량과 PS의 年比負荷량을 비교하였다. 이때 PS 年比負荷량의 계산은 年中 PS 汚染物의 排出은 一定하다는 가정하에 비강우기간중 실측된 平均負荷率(g/sec)에 365일을 곱하여 산정하였다. 그림 4-2에서는 각 오염물의 NPS의 年比負荷량의 全體 汚染物에 대한 기여 정도를 도시하였다. 결과적으로 遊水池로 流入되는 NPS에 의한 汚染은 지천 및 하천의 汚染에 상당한 영향을 미치고 있음을 알 수 있으며, 河川의 汚染의 改善을 위해서는 降雨시 NPS 汚染物 處理가 반드시 이루어져야함을 알 수 있다.

표 4-4 호우기간과 갈수기간의 NPS 오염부하량의 비교(단위 : kg/ha/year)

		SS	BOD	COD	TN
7,8월	CASE1.	895.2(48%)	110.9(32%)	497.7(38%)	40.8(39%)
	CASE2.	984.4(52%)	233.7(68%)	818.7(62%)	67.2(61%)
	합계	1879.6	344.7	1316.4	108.0
9-6월	CASE1.	2099.4(69%)	235.2(55%)	1064.7(60%)	58.2(40%)
	CASE2.	954.0(31%)	195.5(45%)	713.8(40%)	89.8(60%)
	합계	3053.4	430.7	1778.5	148.0

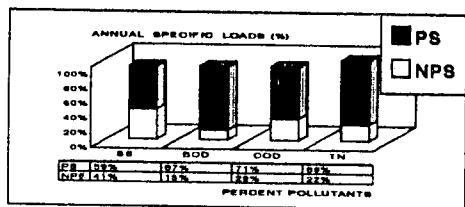


표 4-5 NPS 년비부하량과 PS 년비부하량의 비교(단위 : kg/ha/year)

	SS	BOD	COD	TN
NPS	4933	775	3090	257
PS	7182	5376	7467	943
년총량	12115	6151	10557	1200

그림 4-2 NPS 년비부하량과 PS 년비부하량의 물질수지

5. 結 論

현실적으로는 모든 都市流域에서의 NPS 負荷량을 算定하기 위하여 連續的으로 流量과 汚染物量을

測定한다는 것은 경제적으로 상당히 곤란하다. 그러나, 실제로 같은 都市流域에서도 都市의 發達過程 및 土地利用의 差異로 인하여 NPS 汚染物의 排出 性向은 判異하며, 汚染物別로 年負荷量도 큰 차이가 있다. 그러므로 이 두가지 矛盾되는 現實을

克服하기 위하여 본 研究에서 아래와 같은 9단계의 적용방법을 제시하여, 적은 비용을 가지고도 여러 대상유역의 流量-汚染物量 相關關係 및 定量的인 汚染物別 NPS의 月別 및 年別 負荷量의 산정이 가능한 방안을 제안하였다.

本 研究가 提示한 方法의 適用을 위한 節次는 다음과 같다.

1. 對象流域의 實測流量 및 實測汚染物量(濃度 또는 負荷率)의 測定. 이때 NPS 汚染物의 初期排出效果(first-flush effect)를 고려하기 위하여 先行 晴天期間이 긴 경우(CASE 1.)와 짧은 경우(CASE 2.)에 대해 각각의 자료를 수집.
2. 1.의 자료를 사용, 각 경우의 流量 및 負荷率에 대한 SWMM 模型의 檢證.
3. 각 경우의 多數의 模擬를 위한 實測 降雨事象의 수집.
4. 3.의 降雨事象들을 2.에서 檢證된 SWMM 模型에 대입하여, 각 경우 별로 多數의 流出水文曲線과 負荷率曲線의 획득.
5. 事象別 時間 資料의 分析 통한 NPS 汚染物의 排出 性向 分析.
6. 事象別 總量 資料의 分析을 통한 適定 比累積負荷量-比累積流量 間의 回歸式 결정.
7. 流域의 다년간 日降雨資料의 分析을 통한 各 경우별 月平均降雨量 및 月平均 降雨回數의 결정.
8. 7.의 降雨分析 資料를 6.에서 결정된 回歸式에 대입하여 汚染物別 NPS 月比負荷量 및 NPS 年比負荷量의 산정.
9. 汚染物別, PS 比負荷量과 NPS 比負荷量의 物質收支 계산.

〈參 考 文 獻〉

1. 윤용남(1989), "공업 수문학", 청문각, 서울
2. 윤용남(1988), "수리학", 청문각, 서울
3. 윤용남, 전병호, 이종태(1992), "도시홍수 재해방지를 위한 내수처리 시스템 분석 및 설계기법의 개발", 한국과학재단, 서울
4. 신현석, 윤용남(1993), "SWMM 모형을 이용한 도시유역의 유출 및 NPS 오염물 배출 모의", 한국수문학회지 제 26 권 제 3 호, 한국수문학회
5. 최의소(1991), "영양염류 원단위 산정에 관한 연

- 구", 한국환경연구협회, 서울
6. 김건하(1992), "비점원 오염물질의 배출 양상에 관한 연구", 고려대학교 석사학위논문
7. Bruwer, C.A.(1981), "Water Quality Interactions of Three Successive Urban Storms", Second Int.Conf. on Urban Storm Drainage, Urbana, Illinois USA
8. Hall, H.J.(1984), "Urban Hydrology", Elsevier Applied Science Publishers Inc
9. Huber, W.C. and Dickinson, R.E.(1988) "Storm Water Management Model : User's Manual(Ver. 4)", Environmental Research Laboratory
10. James, C.S.(1981),"Estimation of Urban Flood Hydrographs", Second Int. Conf. on Urban Storm Drainage, Urbana, Illinois USA
11. Kidd, C.H.R.(1978), "Rainfall-Runoff Processes Over Urban Surfaces", Proceedings International Workshop held at the Institute of Hydrology, Wallingford, UK
12. Loehr, R.C.(1974), "Characteristics and Comparative Magnitude of Non-point Sources", J. Water Poll. Control Fed. (WPCF), 46(8); pp 1849-187113. Meister, J.F. and Kefer, S.(1981), "Stormwater Quality from an Urbanizing Watershed", Second Int. Conf. on Urban Storm Drainage, Urbana, Illinois USA
14. Sartor, J.D. and Boyd, G.B.(1972), "Water Pollution Aspects of Street Surface Contaminations", EPA-r2-72-081, Environmental Protection Agency, USA
15. Wanielista, M.P., et.al(1976), "Nonpoint Source Effect on Water Quality", Florida Technological University, Orlando, Fla, USA
16. Wanielista, M.P.(1978), "Stormwater Management, Quantity and Quality", Ann Arbor Science
17. Weibel, S.R., et. al(1964), "Urban Land Runoff as a Factor in Stream Pollution", J. Water Poll. Control Fed.(WPCF), 36; pp 914-924
18. Yen, B.C.(1978), "Storm Sewer System Design", Water Resources Center of the Univ. of Illinois, Urbana
19. 國松孝男(1989), "河川汚濁解析"

(접수 : 7월 10일)