

# 都市小流域에서의 流出과 非点源汚染物 排出 間의 相關關係에 관한 研究

(A Study of The Correlation between Storm Water Runoff and NPS Pollutants  
Discharge in A Small Urban Drainage Basin)

尹龍男\* 申鉉釋\*\*

## 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 判異하게 되었다. 그러므로 都市流域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 미국환경연구 所(Environmental Research Laboratory)에서 개발한 SWMM(Storm Water Management Model) 모형을 사용하였으며, 지표면 유출을 위해서는 RUNOFF 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 임의 유역의 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 意義가 있다. 또한 차후 이 해석을 바탕으로 임의 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 및 管渠 資料의 蒐集

本 研究에서의 對象流域은 서울시 동대문구 청계배수구역의 계기배수분구내 용두유수지 유역으로서 典型的인 都市流域이다. 이 유역은 동쪽으로 정능천, 서쪽으로 성북천과 남쪽으로 청계천과 접하고 있는, 流域面積 43.47 ha의 유역으로 대략 주거지가 55 %, 상가가 25 %이고 도로 점유율이 20 %가량이다. 용두 유수지 유역의 流域分割圖 및 管網 模式圖는 그림 2-1 과 같고, 流域 및 管渠 資料는 표 2-1과 같다.

\* 고려대학교 토목환경공학과 교수

\*\* 고려대학교 토목환경공학과 대학원 석사 과정

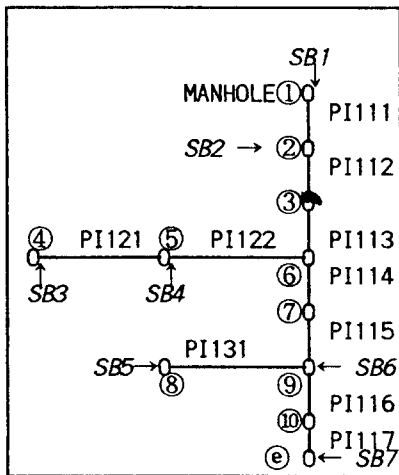


그림 2-1 용두 유수지 구역의 관망모식도

소관면 구역번호	상류 구분번호	하류 구분번호	유역 면적 (ha)	불투수 비율 (%)	유역경사(x)		관 깊이 (m)	관 경사 (%)	관단면(m)	
					불투	투수			폭	높이
SB1 PI111	①	①	4.73	73.6	0.975	3.840	167.0	0.725	1.0	1.0
SB2 PI112	②	②	6.55	53.3	0.300	0.540	85.2	0.188	1.5	1.2
PI113	③	③					191.5	0.204	1.5	1.2
SB3 PI121	④	④	6.10	60.8	0.397	0.470	67.5	0.281	1.5	1.0
SB4 PI122	⑤	⑤	5.71	87.3	0.352	0.124				
PI114	⑥	⑥					91.5	0.251	1.5	1.0
PI115	⑦	⑦					155.0	0.303	1.5	1.2
PI116	⑧	⑧					80.0	0.300	1.5	1.2
SB5 PI131	⑨	⑨	10.97	69.5	0.952	1.040	152.0	0.329	1.2	1.2
SB6 PI117	⑩	⑩	7.04	86.8	0.314	0.342	166.0	0.446	2.0	1.5
PI117	⑪	⑪					66.2	0.181	2.5	2.0
SB7	⑫	⑫	2.37	83.1	0.370	0.350				

표 2-1 용두구역의 유역 및 관거특성 자료

### 3. 流量 및 水質에 대한 模型 檢證

기존의 實測資料를 가지고 SWMM모형의 檢定을 流量과 水質에 대하여 각각 수행하였다. 實測 流量은 高麗大學校 水文學研究室의 '90 - '91년의 4개의 강우사상을 사용하였으며, 實測 水質 濃度 資料는 高麗大學校 環境研究室에서 '91년에 실측한 PS 排出濃度 및 NPS 排出濃度 資料를 사용하였다.

#### 3.1 流量 模型의 檢定 및 檢證

##### 3.1.1 實測 降雨事象 및 檢定 項目

流量의 檢定을 위한 降雨事象은 동대문구청의 自記雨量計에 의한 자료를 10分 單位로 직접 읽어 사용하였으며 표 3-1 에 流量의 檢定 및 檢證에 사용된 降雨事象을 정리하였다.

표 3-1 유량 검정 대상 강우사상

강우사상	강우 날짜	총강우량 (mm)	지속시간 (min)
사상 1.	'90. 7. 18	106.5	300
사상 2.	'91. 7. 19	44.5	170
사상 3.	'91. 7. 20	22.5	90
사상 4.	'91. 7. 25	88.5	490

또한 檢定項目으로는 流出現象을 가장 잘 묘사하는 尖頭流量, 尖頭時間 및 流出容積에 대해서 각각 實測値와 檢定値를 비교하고, 相對誤差=(模擬値-實測値)/實測値를 구하였다.

##### 3.1.2 檢定 結果

각각의 사항에 대한 검증의 결과를 비교하기 위해 본 연구과 동일한 강우사상에 대해 적용되었던 “都市洪水災害防止를 위한 內水處理 시스템 分析 및 設計技法의 開發(1992); 韓國科學財團” 보고서에서의 BRRL(British Road Research Laboratory Method) 및 ILLUDAS(The Illinois Urban Drainage Area Simulator) 모형에 의한 결과를 함께 수록하였다. 사상 1과 2의 實測値와 模擬値를 비교한 水文曲線은 그림 3-1 과 같으며, 표 3-2 에서는 각 사상의 模擬 尖頭値, 尖頭時間, 流出容積 및 實測値와의 相對誤差를 나타냈다. 檢定 結果 SWMM模型은 다른 모형들과 비교해보면, 尖頭流量과 流出容積 모두를 잘 모의한다고 볼 수 있었다.

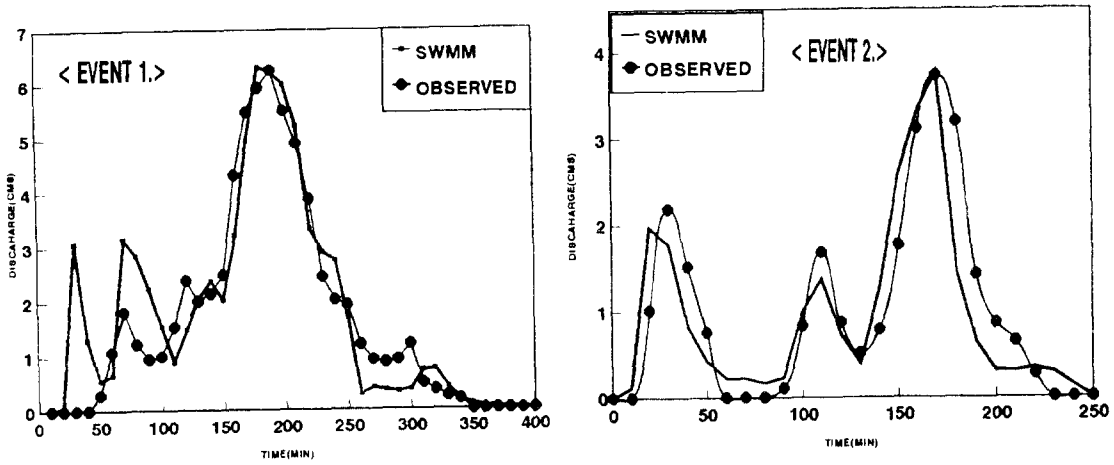


그림 3-1 유량의 실측치와 검정치의 수문곡선 비교(사상 1.과 사상 2.)

표 3-2 침투유량, 침투시간, 유출용적 및 상대오차 ( ILLUDAS, BRRL과 비교)

비교	사상	사상 1	사상 2		사상 3		사상 4	
	비교		1	2	1	2		
침투치	실측치	6.260	2.190	3.730	2.330	2.190	3.790	
	BRRL	6.770	-	3.89	2.330	-	3.93	
	ILLUDAS	7.10	-	4.05	2.260	-	4.78	
	SWMM	6.310	1.975	3.773	2.310	2.071	4.483	평균
상대오차	BRRL	0.075	0.146	0.041	0.009	0.112	0.042	0.0709
	ILLUDAS	0.118	0.068	0.079	-0.031	0.005	0.248	0.0812
	SWMM	0.0079	-0.1089	0.0014	-0.0086	-0.0858	0.1545	-0.0066
침투시간	실측치	190	30	170	30	80	300	
	SWMM	180	20	170	40	80	290	
상대오차		-0.0556	-0.500	0.000	0.250	0.000	-0.0344	-0.0578
유출용적	실측치	91.14	34.87		18.10		65.07	
	BRRL	75.30	30.05		14.40		62.00	
	ILLUDAS	94.50	36.40		16.30		76.00	
	SWMM	98.02	32.74		19.48		69.02	평균
상대오차	BRRL	-0.2103	-0.1603		-0.2569		-0.0495	-0.1693
	ILLUDAS	0.0356	0.0420		-0.1104		0.1438	0.0278
	SWMM	0.0701	-0.0650		0.0708		0.0572	0.0333

\* 침투치 : CMS, \* 침투시간 : min \* 유출용적 : mm

### 3.2 非点源(NPS) 汚染物量の 模型 檢定

#### 3.2.1 實測 水質 資料의 整理

汚染物量の 模型檢定을 위한 流量資料는 앞에서 檢證한 SWMM 模型에 實測降雨量을 代入하여 얻었다. 또한 實測水質資料는 “영양염류 원단위 산정에 관한 연구(1991); 한국환경연구협의회”의 용두유수지 유역의 '91년 2개 降雨事象에 대한 連續 濃度 測定 資料를 사용하였다. 두개의 檢定 降雨事象은 표 3-3과 같다.

표 3-3 NPS부하량 검정 대상 강우사상

강우사상	강우 날짜	총강우량 (mm)	지속기간 (min)	침천일수 (일)	검정
사상 1	'91.4.13	17.5	660	11	CASE 1.
사상 2	'91.4.16	27.5	780	2	CASE 2.

非点源 汚染의 解析은 濃度보다는 負荷率(loads rate)을 가지고 수행하는 것이 일반적이다 (Wanielista,1978). 그러나 위의 水質 資料는 合流渠에서 測定된 濃度이며, 基底流出에 의한 家庭 및 商業地로부터의 点源 汚染負荷率을 포함하고 있다. 그러므로 基底負荷率인 点源 汚染負荷率을 그림 3-2 의 개념으로 제거해 주어야 실제의 非点源 汚染負荷率을 얻을 수 있다. 즉 계산 절차는

$$PSL = PSC \times PSF \quad (3-1)$$

$$TF(t) = NPSF(t) + PSF \quad (3-2)$$

$$TSL(t) = CONC(t) \times TF(t) \quad (3-3)$$

$$NPSL(t) = TSL(t) - PSL \quad (3-4)$$

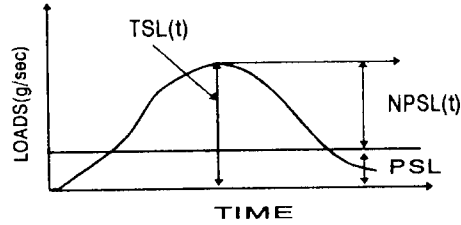


그림 3-2 비점원오염부하량 산정

로서, 먼저 PSC 는 点源平均汚染物濃度(mg/l)이고 PSF 는 点源平均流出量(CMS)으로 이 둘을 곱하여 PSL, 즉 点源平均汚染物負荷率(g/sec)를 구한다. 다음 NPSF는 시간의 함수인 강우에 의한 流出量으로서 SWMM에 의한 模擬量이고, 여기에 PSF를 더하여 總流出量 TF를 얻는다. 이 總流出量 TF에 CONC, 즉 합류거에서의 測定濃度를 곱하면 總汚染物負荷率 TSL이 된다. 마지막으로 그림 3-2와 같이 總汚染物負荷率에서 点源汚染物負荷率 PSL을 제하면 순수한 非点源汚染物負荷率 NPSL 을 얻을 수 있다. 이때 사용된 PSF 와 PSC 는 비강우시 측정 한 값을 평균하여 표 3-4 에 나타냈으며, 두 實測 降雨事象을 위의 절차에 대입하여 각 시간에서의 非点源汚染物負荷率을 계산하여, 檢定을 위한 實測負荷率曲線을 얻었다.

표 3-4 비강우시 기저유출량 및 점원오염물부하율

항 목	PSC & PSL				PSF
	SS	COD	BOD	TN	기저유량
배출농도(mg/l)	127	133	91	17	279 m <sup>3</sup> /h
부하율(g/sec)	9.9	10.3	7.1	1.3	0.078 cms

### 3.2.2 檢定 方法

앞에서 언급하였듯이 非点源 汚染物에 의한 오염은 강우전의 汚染物 蓄積量(buildup)에 가장 민감하며, 강우전의 蓄積量은 강우전의 晴天期間에 가장 민감하다. 이 효과를 분석하기 위해 사상 1 과 사상 2 의 容積比를 流量과 각 汚染物에 대해 정리하면 표 3-5 과 같으며,

표 3-5 사상 1과 사상 2의 용적비

용적비	유출용적비	SS비	COD비	BOD비	TN비
사상2/사상1	1.99	0.77	1.17	1.84	1.07

여기서 流出量은 사상 2 가 사상 1 의 두배 가량이 되나 모든 汚染物에서 그 比率은 流出容積比에 미치지 못한다. 특히 SS와 TN값에서 그 효과는 더욱 심하게 나타나며, COD값에서도 비교적 初期排出效果가 잘 나타나고 있다. 그러므로 두 사상을 同質 現象으로 고려하는 것은 타당하지 않으며, 본 연구에서는 두 사상을 각각 별개의 檢定基準으로 선택하여 檢定을 시행하였다. 사상 1 은 先行晴天期間이 긴 경우에 해당하며(CASE 1), 사상 2 는 先行晴天期間이 짧은 경우를

대표할 수 있다고 보았다(CASE 2). 또한 檢定을 위한 汚染物은 實測資料가 있는 SS, COD, BOD, 및 TN을 사용하였으며 검정은 유량에서의 마찬가지로 尖頭負荷率, 尖頭時間, 總負荷容積과 각각의 相對誤差를 비교하였다.

### 3.2.3 檢定 結果

CASE 1의 경우에는 각 汚染物의 尖頭負荷率의 平均 相對誤差가 -0.047이고, 負荷容積의 平均 相對誤差가 0.044이었으며, CASE2의 경우에는 각 汚染物의 尖頭負荷率의 平均相對誤差가 -0.005이고, 負荷容積의 平均 相對誤差는 0.058로서 두 경우 모두 尖頭負荷率은 다소 작게 모의하고 負荷容積은 다소 크게 모의함을 알 수 있으나 SWMM에 의한 수질의 모의는 대체로 우수한 것으로 평가되었다. 그림 3-3에 대표적으로 SS와 COD의 CASE 1.과 CASE 2.의 實測 負荷率曲線과 模擬 負荷率曲線을 도시하였다.

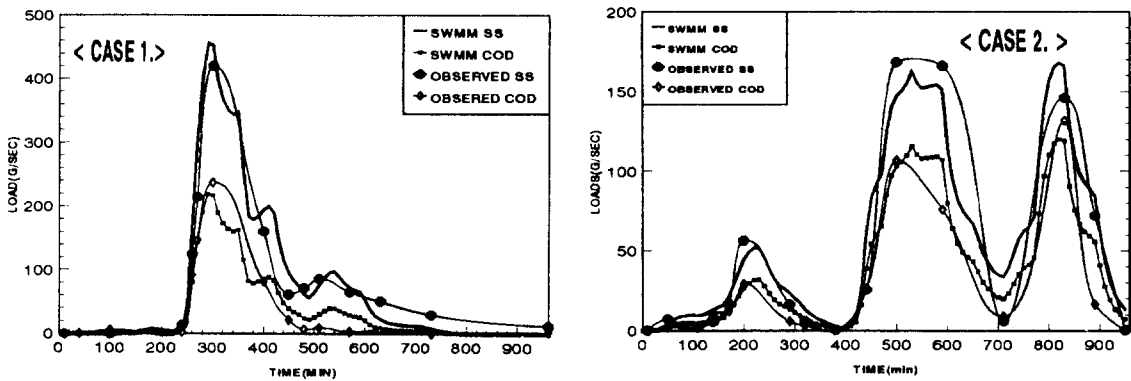


그림 3-3 CASE 1.과 CASE 2.의 실측치와 검정치의 부하율곡선 비교

## 4. 流量-NPS 汚染物量의 相關關係 分析

### 4.1 模擬 降雨事象 및 資料의 擴充

### 4.2 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 4-2와 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,1979)은 4-1 절의 CASE 1.과 CASE 2.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, 同一 時間에서의 流量과 汚染物量(濃度, mg 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(m<sup>3</sup>)을 流域面積(ha)으로 나눈 값과 比累積負荷量(specific accumulated loads, kg/ha), 즉 總負荷容積(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 제시하는 데 그 목적이 있다. 여기서 결정된 流出量-負荷量 回歸式은 제 5 장에서 각 경우의 汚染物別 月負荷量 및 年負荷量을 구하는 데 사용된다.

표 4-2 유량-오염물량 상관관계 분석 방법 및 회귀식 형태

방법		회귀식 형태
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 - 비누적부하율의 선형상관관계 $[\frac{\sum L}{A}] = a + b \cdot [\frac{\sum Q}{A}]$ (kg/ha) (mm)
	방법 M2	비누적유량 - 비누적부하율의 비선형상관관계 $[\frac{\sum L}{A}] = a \cdot [\frac{\sum Q}{A}]^b$ (kg/ha) (mm)

### 4.3 流量-汚染物量の 相關關係 分析의 結果

#### 4.3.1 事象別 時間 資料의 回歸分析 結果

##### 4.3.1.1 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 4-1,2,3,4 에 대표적으로 SS와 COD에 대해서만 도시하였다. 또한 표 4-3 에 回歸分析을 통하여 결정된 回歸常數 a와 b값과, 그 決定係數 R<sup>2</sup>를 제시하여 각 方法의 適定性 與否를 判斷할 수 있도록 하였다. 그림 4-1 은 方法 T1 에 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 4-2 는 方法 T2 에 의한 回歸分析을 보여주고 있으며, 이는 方法 T1 의 자료를 非線形的으로 分析하기 위해 流量과 濃도에 모두 log를 취한값을 도시하고 있다. 이때 線形的으로 도시한 方法 T1 에 의한 R<sup>2</sup>의 平均이 0.8896 인 데 반하여 方法 T2에 의한 R<sup>2</sup>의 平均은 0.9243으로 그 相關關係가 개선되었음을 알 수 있으며, 流量-濃度の 相關關係分析은 非線形 方法이 더 잘 맞는다고 말할 수 있다.

그림 4-3 은 方法 T3 에 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 있는 데, 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 1.0 이상의 값을 가진 다는 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 커질 수록 더 많은 負荷량을 排出함을 알 수 있다. 流量-負荷量 間의 回歸分析 結果는 線形回歸分析인 方法 T3 에 의한 決定係數 R<sup>2</sup>의 平均값은 0.9363이고 非線形回歸分析인 方法 T4에 의한 決定係數 R<sup>2</sup>의 平均값은 0.9872로서, 方法 T1과 方法 T2의 流量-濃度 回歸分析에서의 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 4-4에서

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.

#### 4.3.1.2 先行晴天期間이 짧은 경우 (CASE 2.)

그림 4-1 은 方法 T1에 의한 결과이며, 그림에서 볼 수 있듯이 流量에 따른 濃度の 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 4-2 는 方法 T2 에 의한 回歸分析을 보여주고 있으며, 이는 方法 T1 의 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 T1 에 의한  $R^2$ 의 平均이 0.4321 인 데 반하여 方法 T2 에 의한  $R^2$  의 平均은 0.7949로 그 相關關係가 개선되었음을 알 수 있으며, 流量-濃度の 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 T2 에서의 回歸直線의 기울기가 CASE 1.에서는 (+)였던 것과는 달리 (-)라는 것도 流量의 增加에 따른 濃度の 減少現象을 설명하여 주고 있다.

그림 4-3 은 方法 T3 에 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 있는 데, 이런 현상은 方法 T3 의 流量과 負荷率에 log를 취하여 方法 T4 와 같이 非線形 回歸分析을 한 결과, 指數값 b가 모든 汚染物에서 1.0 보다 작은 값을 가진 다는 것으로 설명될 수 있다. 결국 先行晴天期間이 짧은 경우에는 流出量이 증가할 수록 濃度は 減少하며, 汚染物 負荷量의 排出率은 줄어들음을 알 수 있다. 流量-負荷量 間的 回歸分析 結果는 線形回歸分析인 方法 T3 에 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 4-3 에서 볼 수 있듯이 流量과 負荷率 間的 相關關係가 流量과 濃度 間的 相關關係보다 더 좋음을 알 수 있다. 그러므로 CASE 2.에서도 方法 T4 에 의한 比流量-比負荷量 間的 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.

### 4.3.2 總量에 따른 分析의 結果

#### 4.3.2.1 先行晴天期間이 긴 경우 (CASE 1.)

그림 4-5 에 方法 M1, 즉 降雨事象別 比累積量(mm)와 比累積負荷量(kg/ha)을 線形 回歸分析한 결과와 方法 M2, 즉 같은 대상에 대하여 非線形 回歸分析한 결과를 보여주고 있다.

표 4-4 에서 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 0.9711 이고, 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 있다.

#### 4.3.2.2 先行晴天期間이 짧은 경우 (CASE 2.)

그림 4-6 에 方法 M1, 즉 降雨事象別 比累積流量(mm)와 比累積負荷量(kg/ha)을 線形 回歸分析한 결과와 方法 M2, 즉 같은 대상에 대하여 非線形 回歸分析한 결과를 보여주고 있다.

CASE 1.에서와 마찬가지로 표 4-4에서 각 방법의 회귀常數 a와 b 값 및 決定係數 R<sup>2</sup> 값을 알 수 있으며, 方法 M1의 모든 오염물에 의한 R<sup>2</sup>의 平均값은 0.9757 이고, 方法 M2의 R<sup>2</sup>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 있다.

여기서 CASE 1.의 方法 M2에 의한 回歸分析시 모든 汚染物에서 常數 b의 값은 1.0 보다 크나 CASE 2.의 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량이 增加할 수록 같은 降雨量에 대해 더 많은 汚染物을 排出하며, 先行晴天期間이 짧은 경우(CASE 2.)는 先行降雨에 의해 이미 많은 汚染物이 스러나간 뒤로서 降雨량이 增加할 수록 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.

표 4-3 CASE 1.과 CASE 2.의 사상별 시간 자료의 회귀분석 결과

< CASE 1 >					< CASE 2. >						
		방법 T1	방법 T2	방법 T3	방법 T4			방법 T1	방법 T2	방법 T3	방법 T4
SS	a	436.16	1614.09	-111.02	1.936	SS	a	498.77	307.42	26.32	1.215
	b	1363.88	0.397	1814.73	1.395		b	-111.40	-0.169	229.48	0.840
	R2	0.8096	0.9272	0.9524	0.9836		R2	0.3914	0.9505	0.9674	0.9978
BOD	a	22.40	175.83	-18.09	0.142	BOD	a	73.38	64.92	1.58	0.198
	b	186.46	0.586	222.55	1.582		b	-5.29	-0.044	59.53	0.959
	R2	0.9191	0.9317	0.9312	0.9899		R2	0.4711	0.8087	0.9861	0.9993
COD	a	153.69	892.12	-80.64	0.832	COD	a	295.50	235.56	9.89	0.773
	b	880.46	0.517	1079.58	1.514		b	-36.31	-0.078	203.48	0.925
	R2	0.8883	0.9322	0.9435	0.9915		R2	0.3914	0.9093	0.9815	0.9991
TN	a	5.01	53.89	-6.40	0.039	TN	a	10.74	9.64	0.19	0.029
	b	62.59	0.637	73.52	1.632		b	-0.65	-0.040	9.03	0.960
	R2	0.9411	0.9063	0.9184	0.9839		R2	0.4711	0.5112	0.9869	0.9967
평균 R2		0.8896	0.9243	0.9363	0.9872	평균 R2		0.4312	0.7949	0.9804	0.9982
R2 순서		④	③	②	①	R2 순서		④	③	②	①

표 4-4. CASE 1.과 CASE 2.의 사상별 총량 자료의 회귀분석 결과

방 법	오염물	CASE 1.		CASE 2.	
		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
	R2	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
	R2	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
	R2	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
	R2	0.9621	0.9179	0.9979	0.9975
평균 R2		0.9711	0.9399	0.9757	0.9845



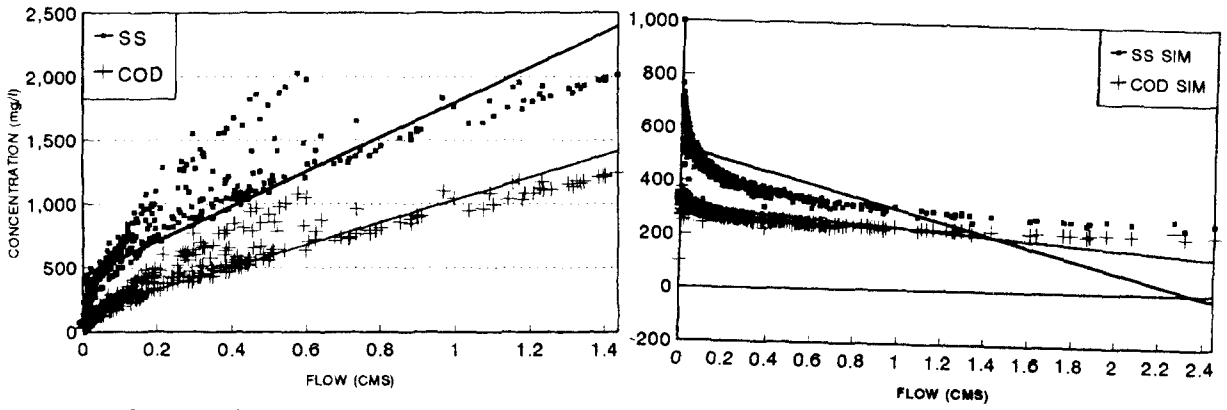


그림 4-1 방법 T1에 의한 사상별 시간 자료 분석 (CASE 1.과 CASE2, SS, COD)

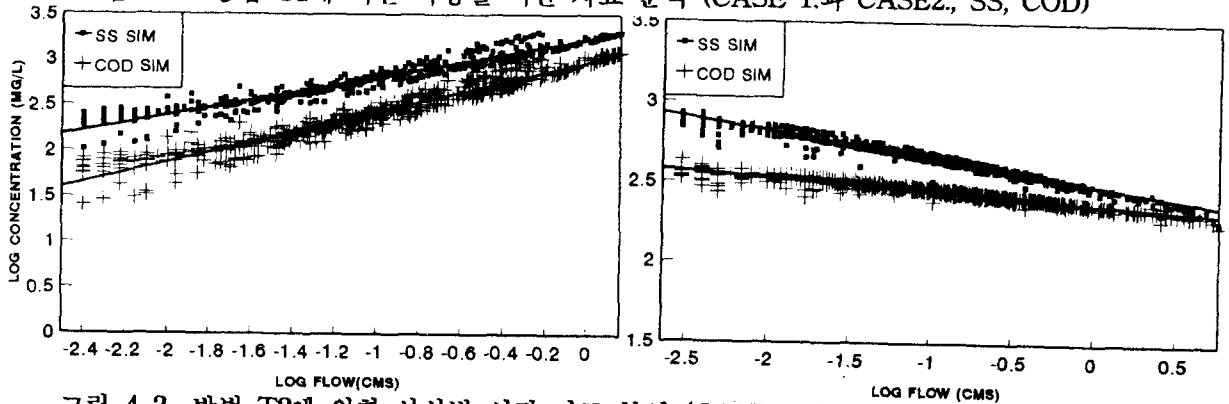


그림 4-2 방법 T2에 의한 사상별 시간 자료 분석 (CASE 1.과 CASE2, SS, COD)

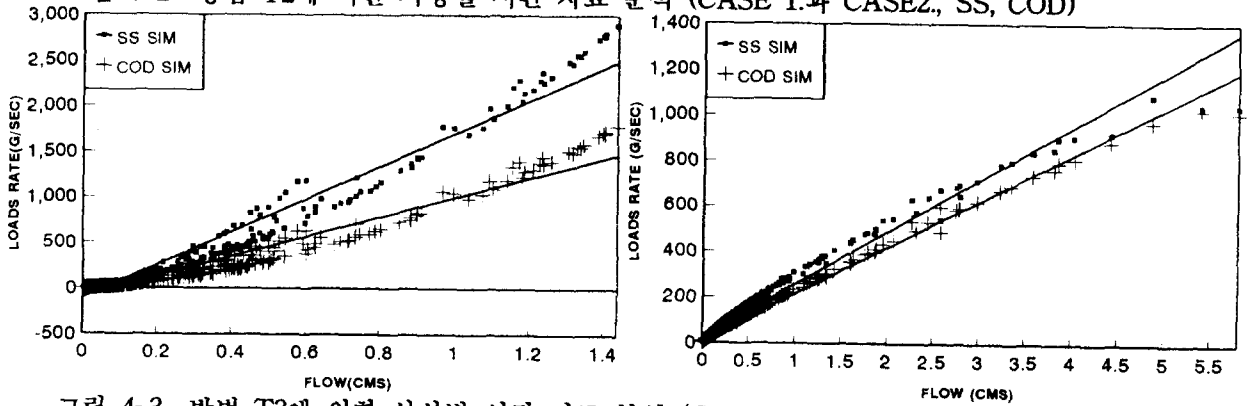


그림 4-3 방법 T3에 의한 사상별 시간 자료 분석 (CASE 1.과 CASE2, SS, COD)

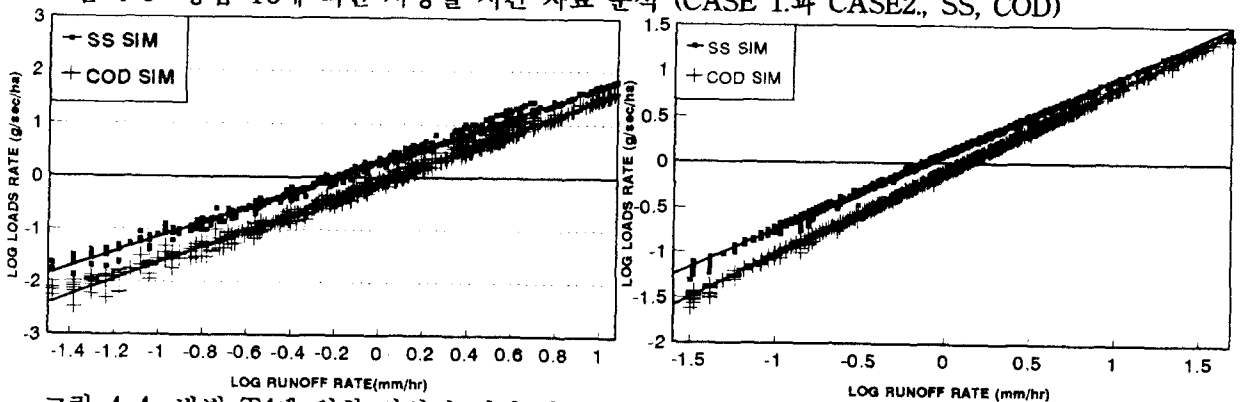


그림 4-4 방법 T4에 의한 사상별 시간 자료 분석 (CASE 1.과 CASE2, SS, COD)

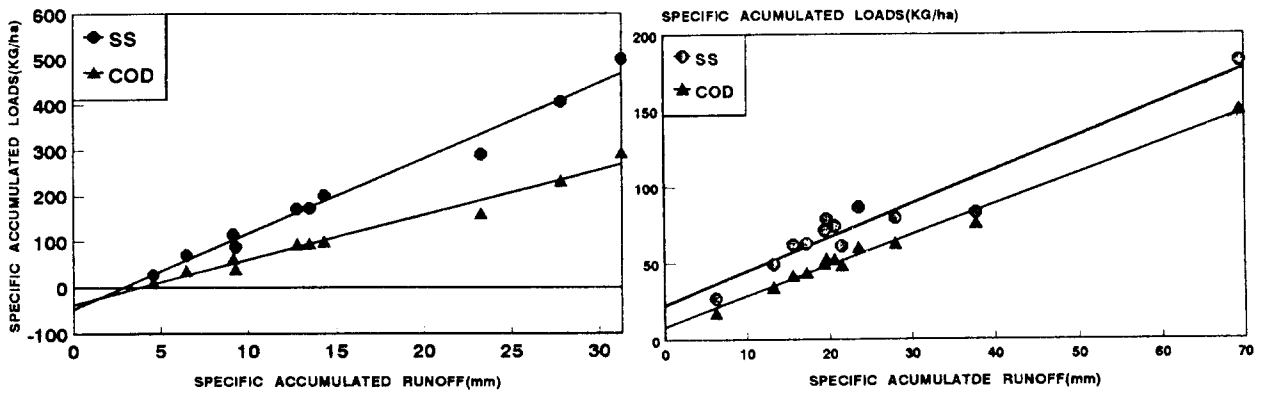


그림 4-5 방법 M1과 M2에 의한 사상별 총량 자료의 회귀분석 (CASE 1, SS, COD)

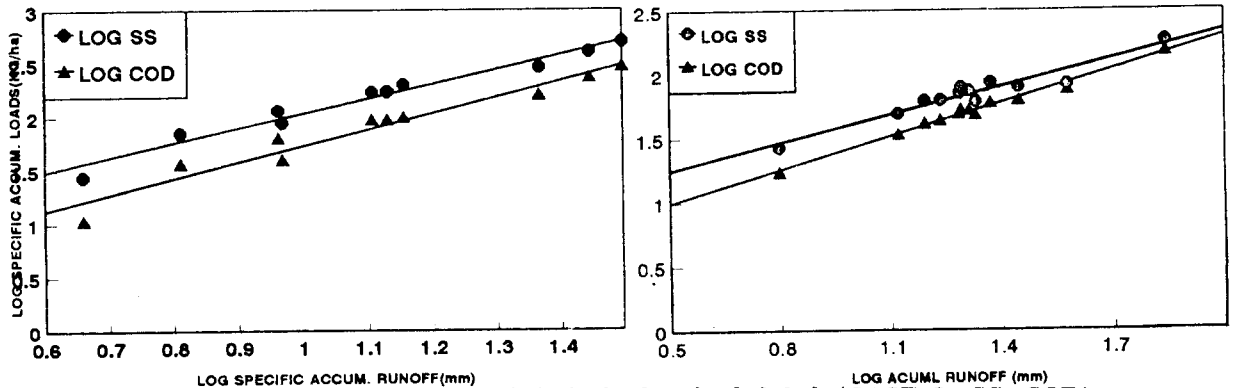


그림 4-6 방법 M1과 M2에 의한 사상별 총량 자료의 회귀분석 (CASE 2, SS, COD)

## 5. 對象流域의 NPS 汚染物 排出量의 算定

본 연구에서는 NPS 汚染物의 月, 年 汚染物負荷量의 算定을 위하여 4.3.2 장에서 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 오염물 SS, BOD, COD 와 TN에 대하여 각각 수행하였다.

### 5.1 算定 方法 및 簡次

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 判異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 일괄적으로 모든 강우에 대하여 單一 回歸式을 사용함으로써 初期降雨와 連續降雨의 判異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 기본으로 한 NPS 汚染物負荷量의 산정 절차는 아래와 같다.

- ① 각 오염물별로 回歸式을 整理한다. (CASE 1: M1, CASE 2: M2)
- ② 대상 유역의 既往 降雨 資料를 사용하여 月平均降雨量과 年平均降雨量을 구한다. 또한 CASE 1.과 CASE 2.에 해당하는 降雨를 分離하여 각 경우에 대한 月平均降雨量 및 月平均降雨回數를 산정한다.
- ③ 1회 강우로 인한 월 평균 유출율, 즉 月平均1回流出率(mm)을 두경우

에 대해 각각 계산한다.

$$\text{月平均1回流出率(mm)} = \text{月平均降雨量(mm)} \times \text{平均流出率} \div \text{降雨回数}$$

④ 回歸式에 月平均 1回流出率을 대입하여 月平均 1回 比負荷量(kg/ha)을 각 오염물별로 계산한다.

⑤ 月比負荷量(monthly specific loads)을 각경우별, 오염물별로 구한다.

$$\text{月比負荷量(kg/ha/month)} = \text{月平均1回 比負荷量} \times \text{月別降雨回数}$$

⑥ 각 경우에 대해 年比負荷量(annual specific loads)을 계산한다.

$$\text{年比負荷量(kg/ha/year)} = \sum_{i=1}^{12} \text{月比負荷量(kg/ha/month)}$$

⑦ PS 汚染物負荷量과 NPS 汚染物負荷量을 비교한다.

## 5.2 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, 負荷에 기여하지 못하는 日降雨量 3mm이하의 降雨을 제거한 후에 아래와 같은 기준으로 각 경우를 분리하였다.

CASE 1. 先行晴天期間 4일 以上이고  
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 대상유역은 상당히 발달한 都市流域이라는 점을 감안하여 4일을 그 기준으로 선정하였다(Wanielista,1977). 각 경우에 대한 降雨回数는 CASE 1.과 CASE 2.로 분리된 降雨의 回數를 月別로 平均하여 얻었다. 그 결과는 표 5-1과 같다.

## 5.3 NPS 汚染物의 月, 年 比負荷量 算定 및 分析

本 研究에서는 5.1 절의 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/ha/year)을 계산하였다.

또한 그 결과를 가지고 NPS 汚染物의 ① 先行晴天期間이 긴경우와 짧은 경우, ② 豪雨期와 渇水期 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.

표 5-1 강우자료 분석 결과 (서울 : 1954 - 1987)

항 목	월 평균 강우량					월평균강우회수(3mm이상)		
	총 합	CASE 1.		CASE 2.		총 합	CASE 1.	CASE 2.
월	(mm)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	회수	회수	회수
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

### 5.3.1 각 CASE의 NPS 月, 年 比負荷量の 계산

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

그러므로 이때 5.1 절의 절차 ③을 위한 平均流出率은 CASE 1과 CASE 2의 平均流出率을 일괄적으로 적용하는 것은 불합리하다. 그러므로 본 연구에는 CASE 1과 CASE 2의 流出率을 각각 6-1 절의 降雨事象들의 모의 결과에 의한 流出率들의 平均値를 사용하였다. 이때 CASE 1의 平均流出率은 0.643이고, CASE 2의 平均流出率은 0.726이었다.

결과적으로 NPS 月比負荷량과 NPS 年比負荷량은 표 5-2 와 같다.

표 5-2 NPS 月比負荷量 및 NPS 年比負荷量 (단위 : kg/ha/month)

오염물 월	SS		BOD		COD		TN	
	CASE1.	CASE2.	CASE1.	CASE2.	CASE1.	CASE2.	CASE1.	CASE2.
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	10.85	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 (kg/ha/year)	2995	1938	346	429	1532	1532	99	157
	4933		775		3095		257	

### 5.3.2 선행청천기간이 긴 경우와 짧은 경우의 比負荷量の 比較

그림 5-1과 같이 CASE 1과 CASE 2의 降雨量과 각 汚染物의 比率을 도시하였으며, 각 CASE에 해당하는 年平均降雨量(mm)으로 年比負荷量(kg/ha)을 나누어, 年平均 單位降雨量당 比負荷量(kg/ha/mm)을 각 汚染物別로 계산하면 표 5-3과 같으며, 두 경우를 비교하기 위하여 CASE 1의 年平均 單位降雨量당 比負荷量에서 CASE 2의 年平均 單位降雨量당 比負荷量을 나누어 보면, CASE 1., 즉 先行晴天期間이 긴 경우의 NPS 汚染物의 負荷量은 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 있다.

그림 5-1 CASE 1과 2의 年平均강우량과 年비부하량의 비교

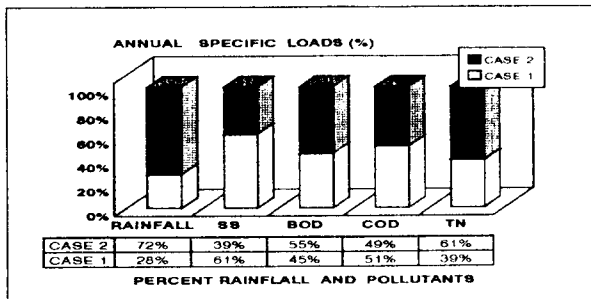


표 5-3 年平均 單位강우량당 비부하량 (단위 : kg/ha/mm)

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

### 5.3.3 豪雨期間과 濁水期間의 年比負荷量의 比較

豪雨期間과 濁水期間의 年比負荷量을 比較하기 위하여, 表 5-4와 같이 豪雨期間인 7, 8월과 濁水期間인 기타월의 月比負荷量의 合을 CASE별로 계산한 후, 그 比率을 퍼센트로 나타냈다. 결과적으로 濁水期間에는 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 말하여 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을 높여주는 方案이 講究되어야 할 것이다.

표 5-4 호우기간과 갈수기간의 NPS 오염부하량의 비교  
(단위: kg/ha/year)

		SS	BOD	COD	TN
7, 8 월	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%)
	합 계	1879.6	344.7	1316.4	108.0
9-6 월	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%)
	합 계	3053.4	430.7	1778.5	148.0

### 5.3.4 NPS 年比負荷量과 PS 年比負荷量의 比較

표 5-5 에서는 위에서 계산된 NPS의 年比負荷量과 PS의 年比負荷量을 比較하였다. 이때 PS 年比負荷量의 계산은 年中 PS 汚染物의 排出은 一定하다는 가정하에 5.2 절, 表 3-4의 實測值(g/sec)에 365일을 곱하여 산정하였다. 그럼 5-2 에서는 각 汚染物의 NPS의 年比負荷量의 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 기여를 하고 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.

그림 5-2 NPS 년비부하량과 PS 년비부하량의 물질수지

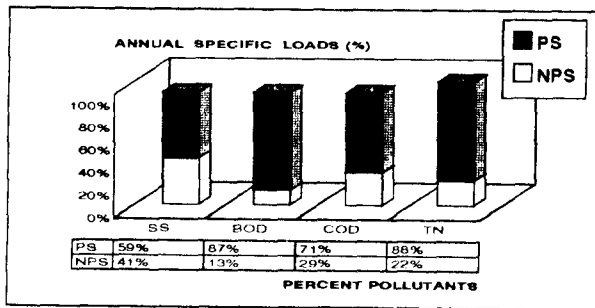


표 5-5 NPS 년비부하량과 PS 년비부하량의 비교(단위: kg/ha/year)

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

## 6. 結 論

현실적으로는 모든 都市流域에서의 NPS 負荷量을 算定하기 위하여 連續적으로 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 제시한 節次 및 方法을 사용하면, 적은 비용을 가지고도 여러 대상구역의 流量-汚染物量 相關關係 및 定量的인 汚染物別 NPS 月, 年 負荷量을 산정할 수 있을 것이다.

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 경우별로 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 多年間 日降雨資料의 分析을 통한 각 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, "공업 수문학", 청문각, (1989)
3. 윤용남, 전병호, 이종태, "도시홍수 재해방지를 위한 내수처리 시스템 분석 및 설계기법의 개발", 한국과학재단, (1992)
5. 최의소, "영양염류 원단위 산정에 관한 연구", 한국환경연구협의회, (1991)
7. 김건하, "비점원 오염물질의 배출 양상에 관한 연구", 고려 대학교 석사 학위 논문, (1992)
6. Huber, W.C. and Dickinson, R.E., "Storm Water Management Model: User's Manual (Ver.4)", Environmental Research Laboratory, (Aug. 1988)
7. Loehr, R.C., "Characteristics and Comparative Magnitude of Non-point Sources", J. Water poll. Control Fed. (WPCF), 46(8); pp 1849-1871, (1974)
8. Maalel, K. and Huber, W.C., "SWMM calibration using Continuous and Multiple Event Simulation", Third Int. Conf. on Urban Storm Drainage, Chalmers University, Goteborg, Sweden, (1984)
9. Meister, J.F. and Kefer, S., "Stormwater Quality from an Urban-izing Watershed", Second Int. Conf. on Urban Storm Drainage, Urbana, Illinois USA, (Jun. 1981)
10. Sartor, J.D. and Boyd, G.B., "Water Pollution Aspects of Street Surface Contaminations", EPA-r2-72-081, Environmental Protection Agency, (Nov. 1972)
11. Wanielista, M.P., "Stormwater Management, Quantity and Quality", Ann Arbor Science, (1978)
12. Weibel, S.R., et. al, "Urban Land Runoff as a Factor in Stream Pollution", J. Water poll. Control Fed. (WPCF), 36; pp 914-924, (1964)
13. Yen, B.C., "Storm Sewer System Design", Water Resources Center of the Univ. of Illinois, Urbana, (1978)