

<논문>

有效雨量 算定을 위한 曲線番號方法의 適用性

Validity of Runoff Curve Number Method
for Estimating of Effective Rainfall

윤 태 훈*

Yoon, Tae, Hoon

Abstract

A number of different curve numbers are estimated, and three of them are the basin or composite curve numbers (CN-II and CN-III) evaluated from hydrologic soil cover complex, the observed curve numbers computed from rainfall-runoff observations and the basin median curve numbers as a median of the observed curve numbers. Based on the observed runoff, CN-II underestimates the effective rainfall meanwhile CN-III overestimates. Hence, for the improvement in estimating effective rainfall, a modulating curve number may be defined as a value in between CN-II and CN-III. Basin median curve numbers produces the closest result to the observed runoff and therefore it can be adopted as a representative curve number for gaged basin.

要 旨

유역의 水文學的 土壤被覆型으로부터 流域 또는 合成曲線番號를, 降雨-流出기록으로부터 觀測曲線番號를, 觀測曲線番號의 中央值로서 中位曲線番號를 산정하였다. 유출기록을 기준으로 평가할 경우 AMC-II 조건의 CN-II 에 의하면 과소하게, AMC-III 조건의 CN-III 에 의하면 과대하게 유효강우량이 산정된다. 따라서 有效降雨量算定의 개선방안으로 CN-II 와 CN-III 의 중간값인 調整曲線番號가 정의될 수 있다. 中位曲線番號에 의하여 산정된 流出이 觀測值에 가장 근접하게 되는 점을 감안하면 計測流域의 대표곡선번호로서 中位曲線番號가 사용될 수 있다.

1. 序論

流出曲線番號(runoff curve number, CN) 방법은 1950 년대에 설계과정에서 소유역의 直接流出을 나타내는 流出高(또는 有效降雨量)와 尖頭

流量的 산정을 위한 도구로 미국 土壤保存局(Soil Conservation Service, SCS)에 의하여 개발되었다. SCS 流出曲線番號方法(간단히 曲線番號方法)은 계산이 단순, 간단하고 필요한 자료수가 적고, 未計測流域에 적용가능하여 설계도

* 한양대학교 토목공학과 교수

표 1 流域特性

하천 지명 또는 지점번호	유역면적 (km ²)	유로연장 (km)	유로경사 (m/m)	삼림면적 (%)	평균유출율 (%)	
평창강	No. 1	519.78	51.83	0.00745	85.80	40.86
	No. 2	92.73	19.30	0.01315	88.70	37.68
	No. 3	382.05	44.20	0.00810	86.30	41.37
	No. 4	140.79	22.95	0.01159	83.40	46.53
	No. 5	105.75	25.95	0.01248	89.60	47.92
	No. 6	55.90	16.50	0.02037	91.50	54.03
보창천	No. 1	476.49	49.00	0.18280	76.20	36.24
	No. 2	346.52	30.32	0.18290	76.00	47.87
	No. 3	72.53	19.20	0.42040	85.00	29.82
	No. 4	79.52	16.81	0.26260	81.90	44.39
	No. 5	53.71	13.01	0.30730	87.10	47.13
	No. 6	472.53	42.83	0.01078	88.30	46.69
위천	No. 1	302.13	40.65	0.01090	87.20	50.97
	No. 2	171.25	30.90	0.01398	89.40	43.60
	No. 3	109.73	18.90	0.02084	90.80	41.74
	No. 4	33.63	8.00	0.04057	89.80	43.18
	No. 5	151.05	21.80	0.03109	90.50	40.35
	No. 6	1.66	0.24	0.21500	67.80	28.71
반유역	성포리	1.46	0.55	0.39400	77.17	34.28
	장상리	368.90	40.50	0.00164	91.08	42.70
남대천	무주	195.50	34.50	0.00100	86.52	31.89
	이안	445.20	49.10	0.00037	89.4	49.68
강안천	황성	9.20	5.00	0.01780	85.0	32.71
	무심천	20.00	4.60	0.01750	87.5	40.50

구로 뿐만 아니라 하천유량과 침투유량의 模倣에도 적용되는등 널리 이용되어왔으며, 土地利用과 處理狀態가 流出高 또는 유출체적에 주는 영향을 평가하는 도구로서도 매우 유용하다. 그러나, CN방법은 流出高 산정에 국한되고 降雨-流出의 시간적 변화는 고려되지 않는다. 우리나라에서도 미계측 유역의 유효강우량 산정 도구로 적용이 증가하고 있는 실정이다.

曲線番號方法이 農耕地 지역의 流域面積이 2.6 km² 보다 작고 강우가 유역에 걸쳐 균일하고 유역의 토양과 토지이용이 비교적 균일한 즉 균일한 水文學的 土壤-被覆型을 갖는 유역의 年洪水資料를 이용해서 개발된 조건을 감안한다면 CN방법은 그 적용에 제약과 한계가 있음을 시사한다. 그래서 CN방법의 적용에는 다음과 같은 사항의 검토가 수행되어야 할것이다. 유역면적이 2.6 km² 보다 큰 유역에 적용과 유역면적의 상한선, 年最大値의 再現期間에 관한 연구 검토, 降雨와 流出의 규모에 관한 적용범위 및 강우기간 토양함수상태에 따라 CN의 시간적 변화, 尖頭流出의 豫測, CN방법에 의하여 산출된 直接流出이 실제 直接流出의 측정치에 얼마나 근접하는지의 정확도에 관한 조사연구가 필요하다. 再現期間의 경우 Hjelmfelt(1980)는 降雨量의

頻度를 流出의 頻度로 변환하는데 CN방법이 사용됨을 밝힌 바 있다. Williams과 Laseur(1976)는 連續日流量模型에서 土壤水分에 따라 CN의 변화과정을 개발한 바 있다.

曲線番號方法이 有效降雨量의 산정에 널리 이용됨에도 불구하고 검정연구가 되어있지 않은 점을 감안하여 본과업에서는 우리나라 유역에 대한 適用妥當性을 관측된 降雨-流出 자료의 분석을 통하여 밝히고자 한다.

2 流域, 降雨-流出 資料

2.1 流域特性

曲線番號方法이 小流域을 대상으로 개발되었으나 우리나라의 경우 降雨-流出의 기록이 있는 소유역의 수가 극히 적고 中規模流域에도 적용이 시도되는 점을 감안하여 본 연구에서는 지역 분포의 다양화와 다량의 자료수집을 위하여 전국을 대상으로 降雨量과 水位의 시간기록과 水位-流量曲線이 있는 지점으로 流域面積이 519 km² 까지 모두 포함시켰으며 유역면적의 上限線의 선정에 특별한 이유는 없다. 이들 유역의 수는 24 개에 이르며 이중 17 개가 國際水文開發

計劃(IHP)의 代表流域이다. 이들 流域의 特性은 표 1 과 같다. 流域면적의 범위는 최소 1.46km² 에서 최대 519.78 km² 이고 평균면적은 192 km², 중앙치는 125 km² 이다.

2.2 豪雨特性

豪雨選定에서 基底流出의 分리가 어려워 精度가 아주 낮으리라고 判定되는 複合豪雨의 제외 外에는 豪雨選別에 특별한 制限을 두지는 않았 다. 그러나 曲線番號方法이 年最大洪水資料로부터 개발된 점을 감안한다면 年最大降雨-流出資料만이 해석대상이 되겠으나 자료의 빈곤을 고려하여 降雨-流出 해석이 가능한 자료일 경우 降雨-流出, 流出率, 初期土壤含水量條件, 季節에 제한없이 포함시켰으나 總降雨量과 流出高에 관해서는 식1에 준하였다.

곡선번호개발에 年 최대 홍수량이 사용된 사실은 降雨-流出 記錄으로 부터 CN을 산정하는 경우 큰 호우의 선정을 규정한다.

Hjelmfelt(1982), Hawkins et al.(1984)은 호우의 규모를 총강우량 P 와 후술되는 流域土壤의 最大潛在保留水量 S와의 비 P/S 의 향으로 다음과 같이 제안하였다. P/S < 0.456 의 호우는 작은 호우로 규정하고 CN산정에 사용되는 호우는 P/S > 0.456 의 조건을 만족하는 큰 또는 매우 큰 호우의 사용을 제안하였다.

표 2 相對豪雨의 크기

P/S	구분
0-0.085	매우작은
0.085-0.20	작은
0.20-0.456	중간
0.456-0.60	큰
0.60-	매우큰

P/S > 0.456 의 조건을 流出高 Q 와 總降雨量 P 의 비인 Q/P 의 향으로 나타낼 수 있다. 식 8 을 변형하면

$$\frac{Q}{P} = \frac{(P/S - 0.2)^2}{(P/S)(P/S + 0.8)} \quad (1)$$

식 1 에서 P/S = 0.456 이면 Q/P = 0.115 이다. 따라서 降雨-流出자료의 선정을 위한 손쉬운 검색 기준으로 Q/P > 0.115 가 사용될 수 있다. 위와 같은 조건에서 降雨-流出資料가 선정 되었으며 참고문헌 (11) 에 주어진 바와 같다. 토양의 초기함수조건이 流出에 미치는 영향이 큰점을 감안하여 5일선행강우량을 모든 호우에 대하여 조사 포함시켰다. 降雨-流出資料의 분포와 流出率은 그림 1 과 같다. 그림 1c 는 流出率로서 변화 범위는 11.6% 에서 84.3% 에 이른다.

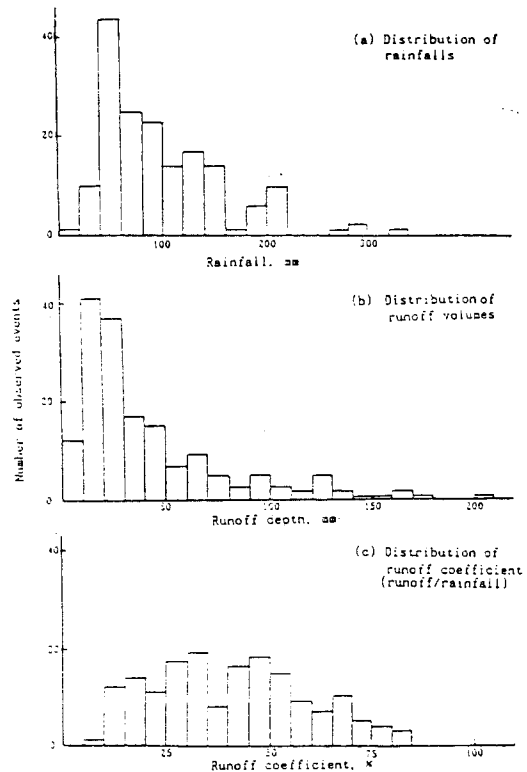


그림 1 降雨量, 流出高 및 流出率의 分布

3. 流出曲線番號式

降雨-流出 解析으로부터 나타나는 사항의 하나는 初期降雨部分이 遮斷, 凹部貯溜 및 浸透되어 유출로 나타나지 않는 점이다. 이와같이 유출이 시작되기까지의 初期降雨부분을 初期損失 I₁.

라 한다. 流出이 시작된 후에 流出로 나타나 지 않는 강우부분을 實際保留水量(actual retention) 또는 總 損失이라 하고 이는 주로 침투로 구성되며 F로 나타낸다. 따라서 총강우량은 3 성분으로 분리된다. 즉 直接流出(Q), 實際保留水量(F), 初期損失(I_a)이며, 이들 관계는 그림 2 와 같다.

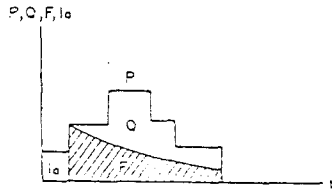


그림 2 降雨量의 分離(直接流出, 初期損失, 實際保留水量)

流出과 損失을 구분하는 인자는 降雨量, 土壤, 土地利用과 被覆狀態, 先行含水條件이다. 流出이 시작된 후 강우량 P가 증가함에 따라 Q와 F는 증가하여 F는 最大潛在保留水量 (maximum potential retention) S에 이르게 된다. S는 流域의 潛在保留水量的 크기를 나타내고 이는 流域의 土壤型, 土地利用과 處理狀態를 나타내는 水文學的 土壤-被覆型의 성질을 표시한다. 曲線方法에서 총 강우량 P는 潛在流出이 되는 셈이다. 따라서 流出이 시작된 후 實際保留水量 F는

$$F = P - Q \quad (2)$$

F에 대한 潛在保留水量은 S이고 $S \geq P - Q$ 의 관계를 갖는다. 流出曲線方法은 保留水量과 流出間의 비례가정에 근거를 둔다. 즉, 實際 保留水量(F)와 潛在保留水量(S)의 비는 實際流出(Q)와 潛在流出(총강우량) (P)의 비와 같다는 비례가정이다.

$$\frac{Q}{P} = \frac{F}{S} \quad (3)$$

그러나 실제 적용에 있어서는 潛在流出(總降雨

量)에서 初期損失 I_a를 빼줌으로서 식 2, 3은 다음과 같이 개선된다.

$$P - I_a = F + Q \quad \text{또는} \quad F = (P - I_a) - Q \quad (4)$$

$$\frac{Q}{P - I_a} = \frac{(P - I_a) - Q}{S} \quad \text{또는} \quad \frac{Q}{P - I_a} = \frac{F}{S} \quad (5)$$

여기서 모든량은 mm 단위이다.

식4에서 流出이 시작된 후 모든 潛在流出(총 강우량)(P-I_a)은 實際流出(Q)과 實際 保留水量(F)으로 나타남을 알수 있다. 식5에서 (P-I_a)는 초기손실이 만족된 후에 流出에 기여하는 강우이므로 $Q/(P-I_a)$ 는 流出로 나타나는 강우부분의 비율이다. 만약 S가 강우량을 보유할 수 있는 總保留容量(凹部貯溜, 遮斷, 浸透)이라면 $((P-I_a) - Q)/S$ 는 F/S으로서 總保留容量에 대한 降雨量으로 채워질 수 있는 保留容量부분의 비율이다. 따라서 식5는 강우로 채워지는 保留容量比率(F/S)이 流出로 나타나는 降雨比率(Q/(P-I_a))과 같다는 사실을 의미한다. 또한 식5로부터 알 수 있는 사항은 S가 큰 유역에서는 流出比率(Q/P)이 감소하고 동일한 S를 갖는 유역에서는 큰 강우사상에서 많은 降雨部分이 流出로 나타난다.

식5를 Q에 관하여 풀면

$$\begin{aligned} Q &= \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} & (P > I_a) & \quad (6) \\ Q &= 0 & (P \leq I_a) & \end{aligned}$$

식6은 한개의 既知값P와 2개의 未知 값 I_a와 S를 포함한다. 식6의 변수들은 그림3과 같이

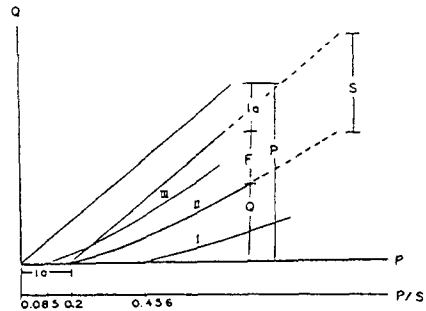


그림 3 降雨量, 流出高, 初期損失 및 實際保水量的 累加曲線關係

累加曲線의 형태로 설명될 수 있다.

초기손실 I_a 는 최대 보유수량 S 와 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$I_a = 0.2S \quad (7)$$

Springer et al.(1980)은 식7의 계수가 0.0 ~ 0.26의 범위에 있음을 제시하였다.

식7을 이용하면 식 6은 다음과 같이 된다.

$$Q = \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S} \quad P \geq 0.2S \quad (8)$$

식8은 주어진 降雨量 P 에 대한 流出高 Q 를 산정하는 기본식이다. 식8을 이용하여 주어진 강우량에 대한 유출고를 산정하기 위해서는 S 값을 제공하는 수단이 필요하다. 이목적을 위하여 美國土壤保存局의 流出曲線番號(SCS runoff curve number, CN)가 개발되었다. 曲線番號 CN은 流域의 水文學的 土壤型, 土地利用과 處理狀態 및 先行土壤含水量條件의 함수이며 한 流域의 流出能力을 나타내는 무차원수로서 최대 잠재보유수량 S 와는 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (9)$$

$$\text{또는 } CN = \frac{25400}{S+254} \quad (10)$$

CN은 1에서 100의 범위의 값을 갖는다. CN=100일 때 $S=0$ 이고 CN=1일 때 $S=25146$ 이다. 따라서 降雨損失에 대한 流域이 收容할 수 있는 潛在保留水量 S 는 流出曲線番號에 역비례한다. CN=100일 경우에는 손실이 불가능하고 流出은 總降雨量과 같게 된다. 한편 CN=1일 때에는 24시간 강우량은 손실로 나타나고 流出은 영이 된다.

식 8을 CN항으로 나타내면 다음과 같다.

$$Q = \frac{25.4[CN(P/25.4+2)-200]^2}{CN[CN(P/25.4+8)+800]} \times P > 25.4(200/CN-2) \quad (11)$$

降雨-流出 자료가 주어질 경우 식 8과 10으로부터 曲線番號가 산정될 수 있으며 이를 觀測 流出曲線番號(observed runoff curve number CN-OBS)라 한다.

식8을 S 에 관하여 풀면

$$S = 5P + 10Q - 10\sqrt{Q^2 + 1.25QP} \quad (12)$$

식12의 S 를 식10에 대입함으로써 觀測 曲線番號 CN-OBS는 다음과 같이 주어진다.

$$CN-OBS = \frac{25400}{254+5P+10Q-10(Q^2+1.25QP)^{1/2}} \quad (13)$$

觀測 流出曲線番號 算定過程

觀測 記錄으로부터 CN을 산정하는 과정은 다음과 같다.

1. 각 降雨-流出 事象에 대하여 총강우량 P 를 결정한다.
2. 총강우량 P 로 인한 水文曲線에서 基底流出의 분리를 통해서 直接流出 水文曲線을 구하고 이를 적분해서 總流出體積을 구한다.
3. 總 流出體積을 流域面積으로 나누어 流出高 Q 를 구한다.
4. 이들 P, Q 를 식 13에 대입하여 CN을 결정한다.
5. 5일 先行降雨量 P_5 에 따라 4항에서 구한 CN에 AMC가 부여된다. AMC 부여과정에서 필요할 경우 AMC-I, II, III의 중간조건이 부여될수 있다.

4. 流域流出曲線番號

降雨-流出기록이 없는 未計測 流域으로부터 총강우량에 대한 直接流出高 또는 有效降雨量을 산정하기 위한 도구로 개발된 것이 流域流出 曲線番號 方法이다. 즉 流域의 土壤特性과 植生 被覆狀態-土地利用과 處理狀態-에 관한 자료만을 이용하여 총강우량으로부터 유출고 또는 有

效降雨量을 산정한다.
 전술한 바와 같이 식 8을 이용하여 주어진 강우량 P에 대한 流出을 산정하기 위해서는 S의 산정수단이 제공되어야 하고 이 목적으로 SCS CN이 개발되었다. 즉 CN은 유역의 토양의 종류, 土地利用 또는 植生被覆의 종류, 處理狀態, 被覆狀態의 水文學的 조건, 강우가 발생하기 이전의 先行土壤含水條件이 주어진 총강우량에 대한 유출고에 영향을 나타내는 指數이다.
 未計測流域에 대한 CN은 다양한 水文學的 土壤-被覆型에 따라 SCS에 의하여 표로서 제공된다. 토양형은 토양의 종류를, 토지이용과 처리상태는 植生被覆의 종류와 상태를 설명한다. 수문학적 조건은 直接流出을 高揚, 沮害하는 流域地面의 능력을 나타낸다. 이들을 이용한 CN산출과정은 참고문헌 7과 11에 상술되어 있으므로 이에 관한 기술은 생략하고 曲線番號와 流出解析에 필요한 先行土壤含水條件만 제시된다.

AMC-I : 流域의 土壤은 乾燥狀態, 낮은 流出率
 AMC-II : 流域의 土壤含水狀態는 보통, 보통 流出率

AMC-III : 流域의 土壤은 水分으로 거의 飽和狀態, 높은 流出率

5. 算定된 曲線番號와 流出과의 關係解析

유역의 土壤種類, 토지이용과 피복상태를 나타내는 指數인 水文學的 土壤被覆型을 이용하여 산출한 合成(또는 평균)曲線番號는 표3과 같으며 CN-II와 CN-III는 先行土壤含水條件 AMC-II와 AMC-III에 대한 CN이다.

24개 流域의 169개 豪雨-流出 사상에 대한 觀測曲線番號를 식13에 의하여 결정하였으며 그 결과는 표3에 주어진 바와 같다. 각 流域의 觀測曲線番號들의 중앙치를 流域의 대표곡선번호로 한 流域中位曲線番號(median basin curve number (CN-MED))를 결정하였으며 SCS는 降雨-流出記錄이 있을 경우 流域을 대표하는 流域曲線番號로 CN-MED를 권장하였으며 CN-MED는 표 3과 그림4에 나타낸 바와 같다.

降雨-流出 記錄을 이용하여 각 流域의 最適曲線番號 (CN-OPT)를 결정하였으며 CN-OPT은 計算流出高와 觀測流出高와의 差異의 自乘合을 最小

표 3 流域別流出曲線番號

지명 또는 하천	지점번호	合成 CN		CN-OPT		CN-MED	
		CN-II	CN-III	모든자료	流出率 30%이하계외		
경창강	No. 1	67.50	83.50	63	79	53	87.3
	No. 2	65.03	82.03	73	77	73	80
	No. 3	66.73	82.73	65	71	64	81
	No. 4	68.53	84.53	58	63	61	84.8
	No. 5	65.75	82.75	75	75	74	78.8
	No. 6	70.01	85.01	78	78	78	84.5
보령천	No. 1	77.78	89.78	73	73	73	77.7
	No. 2	71.02	86.02	80	82	77	83.7
	No. 3	69.32	83.32	73.5	80	73	78.1
	No. 4	67.19	83.19	85	85	85	84.8
	No. 5	68.11	84.11	53	94	53	93.5
	No. 6	65.80	82.80	64	66	66	81.3
위천	No. 1	66.90	82.90	80	81	80	78.8
	No. 2	69.20	84.20	77	77	77	75.9
	No. 3	73.10	87.10	73	73	72	77
	No. 4	76.20	89.20	72	74	71	77.6
	No. 5	64.20	81.20	71	72	71	78.2
	No. 6	72.60	86.60	60	69	51	60.8
반월성포리	장상리	69.90	84.90	63	78	50	70
	무주	62.30	79.30	76	76	74	87.6
남대천	이안천	67.58	83.58	67	68	68	65.7
	평성	64.20	81.20	76	76	73	75.5
섬강	경안천	63.94	80.94	64	66	61	78.4
	무심천	63.12	80.12	77	88	78	88

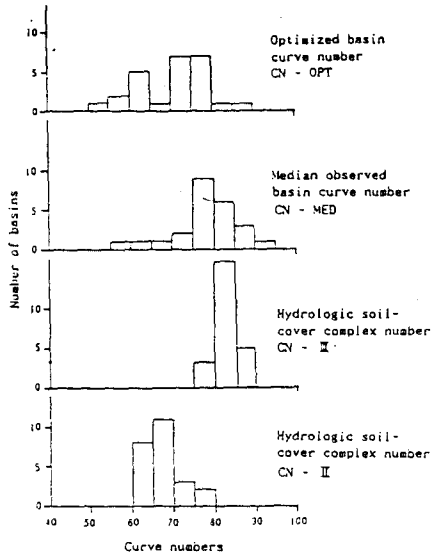


그림 4 流域流出曲線番號 (CN-II와 CN-III) 最適 및 流域中位曲線番號

로 하는 曲線番號이다. 식14는 한 流域의 (CN-0 PT)를 결정하는 目的函數이다.

$$\text{Min}(\sum_{i=1}^n (Q_{obs.} - Q_{pr.})_i^2) \quad (14)$$

여기서 $Q_{obs.}$ 는 觀測流出高, $Q_{pr.}$ 는 한 流域의 모든 豪雨에 單一曲線番號를 적용하여 구한 計算流出高, n 은 각 流域의 降雨-流出事象의 수이다. 이들 결과는 표3과 그림4에 보인 바 있다. 그림4로부터 알수있는 사실은 4개의 曲線番號의 분포가 상이한 점이고 그중 비교적 유사한 분포를 나타내는 것은 CN-OPT와 CN-MED 이다. SCS에 있어서 권장한 바와 같이 CN-MED를 가장 합당한 流域曲線番號로 택할경우 CN-OPT와 CN-II는 작은 값으로 나타나 流域의 流出高를 과소하게 산정하고 CN-III는 큰 값으로 나타나 流出高를 과대하게 산정한다. 年最大豪雨와 流出率이 30% 이상인 降雨-流出事象만을 사용하여 구한 CN-OPT는 모든 자료를 사용한 경우 보다는 약간 크게 나타났다(표 3).

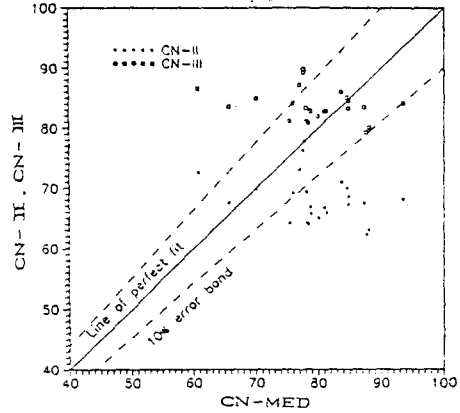


그림 5 中位曲線番號와 合成曲線番號와의 比較

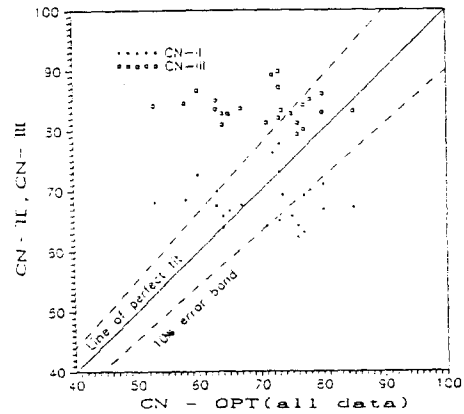


그림 6 最適曲線番號와 合成曲線番號와의 比較

그림5와 6은 曲線番號(CN-II, CN-III, CN-OPT 및 CN-MED)들간의 관계이다. CN-MED와의 비교에서 CN-II의 25%인 6개 流域만 CN-MED의 10% 내에 있고 83%의 流域에서의 流出高는 CN-II를 이용한 경우에는 과소하게 산정된다. 이에 개선방안으로 流域의 先行土壤含水條件을 濕潤한 상태로 가정하여 CN-III을 도입하면 CN-MED의 10% 내에 있는 지점은 67%인 16개 지점이고 유출고과 과소하게 산정되는 지점은 17%이다. 그러나 CN-OPT의 경우(그림 6)에서는 그 양상이 다르게 나타난다. CN-II의 경우에는 CN-OPT의 10%내에 있는 지점이 38%로 9지점이고 과소하게 流出高를 산정하는 지점이 12개 지점으로

50%에 이른다. 한편 CN-Ⅲ의 경우에는 CN-OPT의 10% 내에 드는 지점이 9개인 38%로 CN-Ⅱ의 경우와 같으나 과소하게 산정되는 지점은 1개 지점이고 과대하게 流出高를 산정하는 지점이 23개로 95%에 이른다.

그림 5과 6에서 CN-Ⅱ에 의한 流出高는 과소하게 산정되는 반면 CN-Ⅲ에 의한 流出高는 과대하게 산정된다. 이들 사실을 流出高의 향으로 나타낸 것이 그림 7~10이다. 그림 7과 8에서 주목되는 사실은 작은 流出高($Q < 30\text{mm}$)에서 CN-Ⅱ에 의한 流出高는 그 대부분이 과소하게 산정되는 반면 CN-Ⅲ에 의한 결과는 비교적 타당하게 나타난다. 그러나 비교적 큰 유출고($Q > 50\text{mm}$)에서는 CN-Ⅲ에 의한 流出은 과대하게 나타난다.

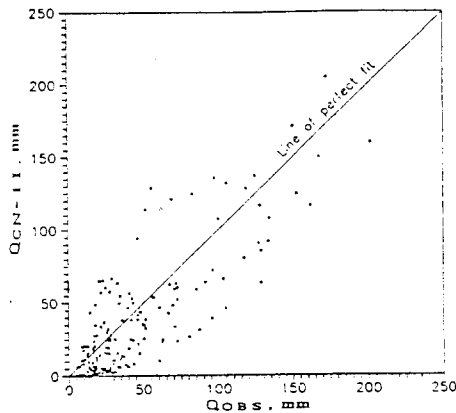


그림 7 觀測流出高와 CN-Ⅱ에 의한 計算流出高의 比較

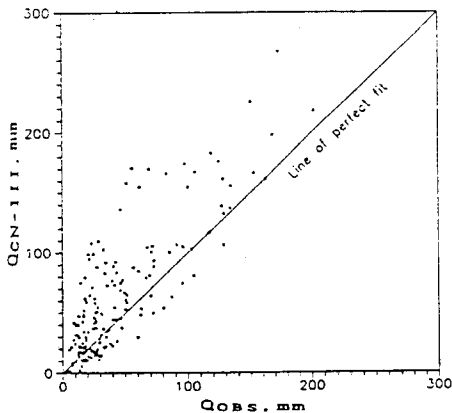


그림 8 觀測流出高와 CN-Ⅲ에 의한 計算流出高의 比較

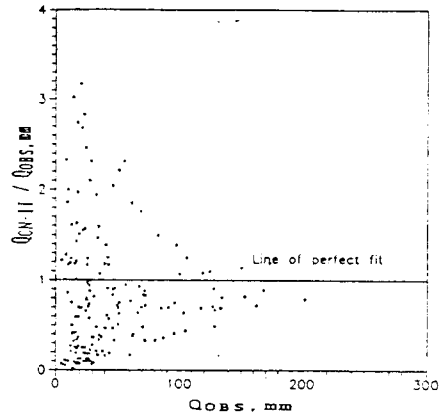


그림 9 觀測流出高와 CN-Ⅱ에 의한 計算流出高의 比較

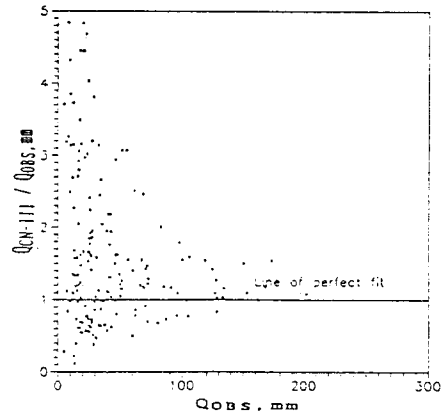


그림 10 觀測流出高와 CN-Ⅲ에 의한 計算流出高의 比較

그림 9에서 CN-Ⅱ에 의한 流出高는 전체의 70%가 과소 산정되고 그림 10에서 CN-Ⅲ에 의한 유출고의 과소산정은 32%이다. 그러나 CN-Ⅲ에 의하여 크게 산정되는 流出高는 200-400%로 과대하게 되는 지점이 상당수에 이른다. 流出高가 200% 이상으로 과대하게 산정되는 豪雨事象은 流出率 Q/P 가 20% 이하로 매우작은 경우들이다. 이들 降雨-流出 事象은 대부분의 경우 降雨量이 큼에도 불구하고 流出이 작은 사실은 記錄에 오차가 있지 않은지 생각되나 자료상에서는 찾을 방법이 없었다. 만약 많은 오차로 인하여 流出率이 낮게 되었다면 이들 자료를 제거함이

표 4 曲線番號의 統計值比較

	CN-OBS	CN-II	CN-III	CN-OPT	CN-MED
平均	76.2	68.2	83.8	70.7	79.5
中央值	78.0	67.5	82.8	73.0	78.8
最頻值	78.0	68.0	82.7	73.0	78.0
標準偏差	12.5	3.9	2.6	8.0	7.2

표 5 相異한 流出率에 대하여 CN-II와 CN-III에 의한 計算流出高 比較

流出率 (%)	降雨-流出 事象數	過小 算定되는 降雨-流出事象數의 百分率(%)			
		各 流出率 區間		全 降雨事象	
		CN-II	CN-III	CN-II	CN-III
0 - 19	23	9	0	1.2	0.0
20 - 39	57	62	10	21.9	4.1
40 - 59	58	82	46	28.4	16.0
60 - 79	27	100	52	16.0	9.5
80 -100	4	100	100	2.4	2.4
0 - 100	169			69.8	32.0

가능 할 것이고 이러한 사실을 받아들인다면 流出高 산정에는 CN-II 보다는 CN-III가 사용의 타당성이 제고된다. 이들 결과를 총강우량에 대하여 나타낸 바 있으나 總降雨量에 대한 CN-II와 CN-III에 의한 流出高에 대한 경향은 전혀 나타나지 않았다.

식13을 이용하여 169개의 모든 호우에 대한 觀測流出曲線番號(CN-OBS)를 계산 하였으며 流域曲線番號(CN-OPT, CN-II, CN-III)와 같이 統計值들이 표 4에 비교된다.

표4에서 알 수 있는 사실은 CN-OBS와 CN-MED가 平均值, 中央值 및 最頻值에서 다같이 비슷한 값을 나타낸다. 그러나 CN-II와 CN-OPT는 낮은 값을 나타내고 CN-III는 보다 높은 값을 나타낸다.

觀測曲線番號 CN-OBS를 기준으로 하여 판단할 경우 이에 가장 근접한 결과를 주는것은 CN-MED의 경우이고 CN-MED에 의한 流出高가 觀測值에 어느 정도 근접하는 가를 보기 위하여 그림 11을 작성하였다. 그림 11에서 알 수 있는 바와 같이 큰 流出범위에서는 과대하게 예측되나 작은 유출 범위에서는 비교적 觀測值에 근접하는 사실을 알 수 있다.

관측치에 대한 計算流出高의 誤差百分率을 나타낸 것이 그림 12이다. 그림 12는 誤差分布를

-100%(유출이 없는)에서 +300%까지 累加百分率로 圖示한 것이다. 그림 12에서 CN-II를 적용할 경우 전체 73%가 과소 산정되고 CN-III의 경우에는 39%가 과소산정되는 반면 나머지 61%는 과대하게 산정된다(그림 9,10과의 차이는 圖示과정상에 나타난 차이로 본다). 그러나 CN-III의 경우 일부 호우사상에 대해서는 아주 과대하게 산정되는데 이들은 앞에서 지적한 바와 같이 流出率 Q/P가 매우 낮은 경우이다.

표 5는 流出率의 各階級에 대하여 CN-II와 CN-III를 이용하여 계산된 流出高를 비교하기 위한 것이다. 流出率이 20%를 상회하면 CN-II에 의한

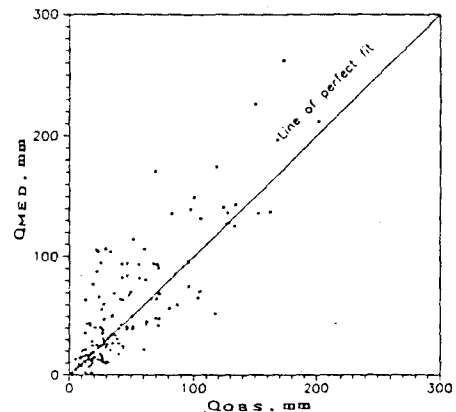


그림 11 觀測流出高와 CN-MED에 의한 計算流出高의 비교

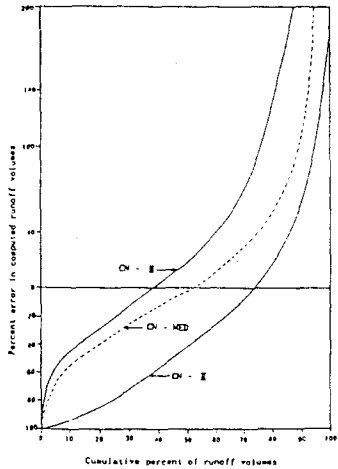


그림 12 觀測值에 대한 計算流出高의 誤差 比較

유출고는 과소하게 산정된다. CN-III를 이 용하는 경우에도 높은 流出率 즉 40%를 상회하면 流出高는 過小하게 산정됨을 알 수 있다.

표 5와 지금까지의 해석결과를 종합하면 CN-II에 의하여 산정되는 有效降雨量은 그중 70%가 過小하게 산정되고 CN-III에 의하면 30%가 過小하게 산정되는 반면 과대하게 산정되는 비율이 높다. 따라서 CN-II와 CN-III의 중간값에 대한 결과를 검토하기 위하여 調整曲線番號(modulating curve number)를 다음과 같이 정의하였다.

$$CN_{55} = 0.5(CN-II) + 0.5(CN-III)$$

$$CN_{46} = 0.4(CN-II) + 0.6(CN-III)$$

$$CN_{37} = 0.3(CN-II) + 0.7(CN-III)$$

이들을 이용한 결과는 그림 13~15, 표 6과 같다.

표 6과 그림 13~15가 시사하는 사항은 다음과

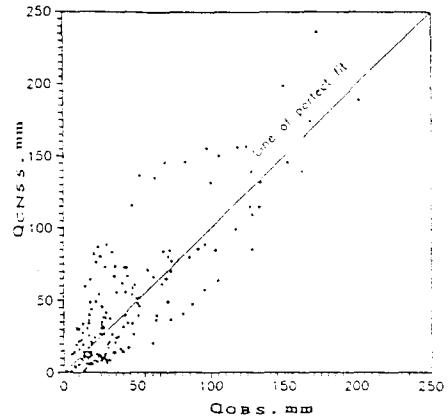


그림 13 觀測值와 調整曲線番號(CN₅₅)에 의한 計算流出高의 比較

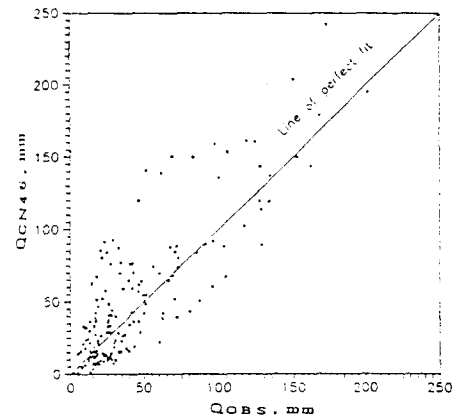


그림 14 觀測值와 調整曲線番號(CN₄₆)에 의한 計算流出高의 比較

같다.

(1) 過小算定 에서는 CN-III(32%), CN37(43.2%), CN46(48%), CN-MED(48.5%)의 순으로 증가하며 CN-III에서 過小算定이 가장 적다.

(2) 그러나 計算流出高에서 나타나는 誤差는 ±

표 6 상이한 CN에 대한 流出高의 誤差 比較

구분	過小算定事象 (%)		觀測流出高에 대한 誤差: Q _{obs.} - Q _{com.} /ε			
	全資料	全資料	±10%誤差		±50% 誤差	
	Q<50mm	全資料			Q<50mm	全資料
CN-II	48.0	69.8	91.7	79.9	74.0	53.8
CN-III	24.9	32.0	86.4	76.3	67.5	46.7
CN-55	35.0	51.5	85.8	74.0	70.4	45.6
CN-46	33.0	48.0	88.2	76.3	68.6	44.4
CN-37	31.4	43.2	84.6	76.3	68.0	43.2
CN-OPT	45.0	61.5	87.6	90.0	68.0	44.4
CN-MED	34.3	48.5	72.8	62.7	56.8	30.8

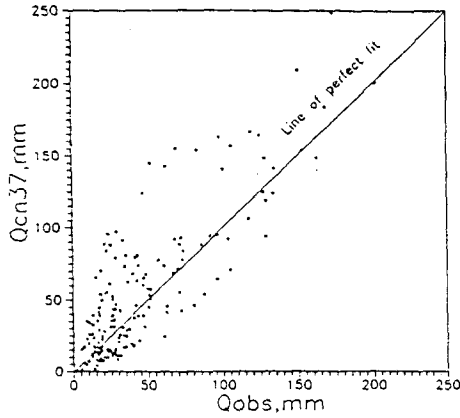


그림 15 觀測値와 調整曲線番號(CN₃₇)에 의한 計算流出高의 비교

10%, ±20% 및 ±50%의 모든 범위에서 CN-MED에서 가장 작게 나타나고 다음으로 작은 誤差를 나타내는 CN이 CN37이다.

따라서 SCS제안과 같이 降雨-流出 記錄이 있는 경우에는 流域의 代表CN으로서 CN-MED를, 流出 記錄이 없는 未計測流域에서는 CN37과 같은 조정 CN을 적용함이 보다 합리적인 結果를 제공할 것으로 판단된다. 본 연구에 의하면 ±50% 오차를 허용하더라도 流出高 또는 有效降雨量豫測에서 30~50%의 誤差가 예상된다.

7. 結論

본 연구의 목적은 한 유역에 주어진 降雨量에 대한 有效降雨量을 산정함에 SCS 流出曲線番號法의 적용의 타당성과 개선방안의 모색이다.

流域의 土壤型, 土地利用과 處理狀態로부터 유도되는 유역의 合成 또는 平均流出曲線番號 (AMC-II 조건하) CN-II에 의하여 산정되는 流出高 (또는 有效降雨量)는 그중 70%가 과소하게 산정된다. 이에 대한 개선방안으로 濕潤狀態의 先行土壤含水條件 (AMC-III 조건하)의 CN-III을 도입할 경우 流出高의 過小算定은 30%로 감소하나 나머지 70%는 과대하게 산정된다.

CN-II와 CN-III에 의하여 각각 過小, 過大하게 산

정됨을 개선하기 위한 방안으로 이들의 중간값을 적용한바 流出高豫測에서 상당한 개선의 가능성이 나타났다.

觀測曲線番號의 中央值인 中位流出曲線番號 CN-MED와 最適流出曲線番號 CN-OPT을 이용하여 산정한 流出高에 의하면 CN-OPT에 의한 과소산정은 62%인 반면 CN-MED에 의하면 49%이다.

상이한 CN에 의한 (1)流出高의 過小算定の程度와 (2)예측되는 流出高가 觀測値의 ±50% 범위를 벗어나는 誤差를 기준으로 판단할 경우 CN-MED에 의한 結果가 가장 우수하다. 따라서 SCS가 제안한 바와 같이 降雨-流出 記錄이 있을 경우에는 유역을 대표하는 CN으로서 CN-MED가 권장된다. 未計測流域에서는 CN-II와 CN-III의 조정치인 예를들면 $CN_{37} = 0.3CN-II + 0.7CN-III$ 이 보다 적절한 有效降雨量을 산정할 것으로 판단된다.

謝辭

본 연구는 90년 國際水文開發計劃(IHP)사업의 일환으로 수행되었으며 이를 지원한 建設部에 사의를 표합니다.

參考文獻

1. Bales, J. and R.P. Betson (1981), The Curve Numbers as a Hydrologic Index, Proc. Int. Sym. on Rainfall-Runoff Modeling, Mississippi State, MS.
2. Hawkins, R.H. (1973), Improved Prediction of Storm Runoff in Mountain Watershed, J. of Irrigation and Drainage Div., ASCE, Vol. 99, No. IR4.
3. Hawkins, R.H. et al. (1984), Runoff Probability, Storm Depth and Curve Numbers, J. of Irrigation and Drainage Div., ASCE, Vol. 111, No. 4.
4. Hjelmfelt, A.T. (1980), Empirical Investigation

- of Curve Number Technique, J. of Hydraulics Div., ASCE, Vol.106, No. HY9.
5. Hjelmfelt, A.T, et al.(1981). Curve Numbers as Random Variables, Proc. Int. Sym. on Rainfall-Runoff Modeling, Mississippi State, MS.
 6. Hjelmfelt, A.T.(1982), Closure to Empirical Investigation of the Curve Number Technique, J. of Hydraulics Div., ASCE, Vol.108, No.HY4.
 7. National Engineering Handbook(1963), Section 4, Hydrology, U.S.Department of Agriculture, Washington, D. C.
 8. Springer, E.P., et al.(1980), Curve Numbers from Watershed Data, Proc. Sym. on Watershed Management, ASCE, Boise, Idaho, July.
 9. Williams, J.R. and W.V.Laseur (1976), Water Yield Model Using SCS Curve Numbers, J. of Hydraulics Div., ASCE, Vol.102, No.HY9.
 10. 국제수문개발계획 (IHP) 보고서 (1976-1988), 건설부
 11. 국제수문개발계획 (IHP) 보고서 (1990) 건설부 pp. 2.3-2.84