

〈論 文〉

SCS曲線番號에 의한 流出高 및 尖頭流量的 算定과 曲線番號의 時變性
 Estimation of Runoff Depth and Peak Discharge by SCS Curve Numbers and Time
 Variation of Curve Numbers

윤 태 훈*
 YOON Tae Hoon

Abstract □ The validity of the estimates of runoff depth and peak runoff by the basin runoff curve numbers(CN-II for AMC-II condition and CN-III for AMC-III condition) obtained from hydrologic soil-cover complexes is investigated by making use of the observed curve numbers(median curve number and optimum curve number) computed from rainfall-runoff records. For gaged basins the median curve numbers are recommended for the estimation of runoff depth and peak runoff. For ungaged basins, found is that for the estimate of runoff depth CN-III is adequate and for the peak runoff CN-II is adequate. Also investigated is the variation of curve numbers during rainfall, which is turned out to improve the estimates of both depth and peak of runoff.

요 지 : 우리나라 26개 유역의 水文學적 土壤被覆型으로 부터 유도된 流出曲線番號((AMC-II 조건에 대한 CN-II 와 AMC-III 조건에 대한 CN-III)와 동일 유역의 250개 降雨-流出事象으로 부터 유도된 觀測流出曲線番號(流域中立曲線番號와 最適曲線番號)를 이용하여 有效降雨量과 尖頭流出의 算定の 適用性이 검토되었다. 未計測流域에서 有效降雨量에는 CN-III 이, 尖頭流出에는 CN-II 가 적합하고 강우-유출기록이 있는 유역에서는 流域中立曲線番號가 가장 타당한 것으로 나타났다. 降雨持續期間에 곡선변화를 나타내는 時變性 曲線番號를 이용하여 해석한 결과 有效降雨量과 尖頭流出에 다같이 개선이 나타났다.

1. 序 論

未計測 流域에서의 設計流量은 대부분의 경우 尖頭 流量이 되나 貯溜構造物의 설계에서는 流出水文曲線 이 요구된다. 流出水文曲線 유도에는 單位圖가 이용 되는데 이 경우에는 有效 또는 超過降雨量의 산정이 필요하다. 超過降雨量의 산정방법으로는 침투에 의한 손실강우량과 미국 土壤保存局의 流出曲線(SCS, runoff curve number, CN방법)을 들 수 있으며, 總降雨量에 대한 流出高를 주로 하여 SCS곡선방법의 適用性이 검토된다. (1)

곡선방법이 당초 유출고 산정을 위하여 개발되었으나 尖頭流量의 모의에도 적용이 확대되었다. 본 연구에서는 유출고와 더불어 尖頭流出 그리고, 호우의 持

續期間에 대한 유출곡선번호 CN의 時變性이 조사된다.

2. 流域, 降雨-流出 資料

SCS CN방법은 流域面積이 작은 소유역의 자료를 이용하여 개발되었으나 우리나라의 경우 降雨-流出의 기록이 있는 소유역의 수가 적고 지역분포의 다양화와 다량의 자료수집을 위하여 우리나라 전유역의 降雨와 流量의 시간기록이 있는 모든 유역을 대상으로 하였으며 流域面積의 범위는 1.46km²부터 519.78km²에 이르고 流域面積의 평균치는 178km²이다. 이들 유역의 총수는 26개이며 유역 특성은 참고문헌3에 주어진다.

* 정희원, 한양대학교 토목공학과 교수

CN 개발에 연최대 홍수량이 사용된 사실은 降雨-流出 記錄으로 부터 CN을 산정하는 경우 큰 호우의 선정을 규정한다. Hawkins et al.⁽⁴⁾은 호우의 규모를 총강우량 P와 流域土壤의 最大潛在保留水量 S와의 비 P/S의 향으로 제안하였다.

$P/S < 0.456$ 인 호우는 작은 호우로 규정하고 CN 산정에 사용되는 호우는 $P/S > 0.456$ 의 조건을 만족하는 큰 또는 매우 큰 호우의 사용을 제안하였다. $P/S > 0.456$ 의 조건을 流出高 Q와 總降雨量 P의 비인 Q/P의 향으로 나타내면, $Q/P > 0.115$ 이 된다.

따라서 降雨-流出자료의 선정을 위한 손쉬운 검색 기준으로 $Q/P > 0.115$ 가 사용될 수 있다. 선정된 降雨 流出자료는 $P/S > 0.456$ 의 검색기준에 따라 선정되었다.

3. 流出曲線番號式

주어진 降雨量 P에 대한 流出高 Q를 구하는 SCS에 의하여 제안된 식은 다음과 같다.⁽⁸⁾

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

여기서 S는 最大潛在保有水量이다. 식(1)을 이용하여 주어진 강우량에 대한 유출고를 산정하기 위해서는 S값을 제공하는 수단이 필요하다. 이 목적을 위하여 미국 토양보존국은 유출곡선번호를 개발하였다. 곡선번호 CN은 유역의 수문학적 토양형, 토지이용과 처리상태 및 선행토양함수조건의 함수이며 한 유역의 유출능력을 나타내는 무차원수로서 최대 잠재보유수량 S와는 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (2)$$

식1은 先行土壤含水條件 AMC-II에 대한 것이고 AMC-I과 III에 대한 식은 다음과 같다.⁽⁶⁾

$$\text{AMC-I } Q_1 = \frac{(P - 0.456S)^2}{P + 1.824S} \quad P > 0.456S \quad (3)$$

$$\text{AMC-III } Q_{III} = \frac{(P - 0.085S)^2}{P + 0.342S} \quad P > 0.085S \quad (4)$$

降雨-流出 자료가 주어질 경우 식(1)과 (2)를 이

용하여 曲線番號를 산정할 수 있으며 이를 觀測流出 曲線番號(observed runoff curve number, CN-OBS)라 한다.

식(1)을 S에 관하여 정리하면

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

식(5)의 S를 식(2)에 대입함으로써 觀測曲線番號 CN-OBS는 다음과 같이 주어진다.

$$\text{CN-OBS} = \frac{25400}{254 + 5P + 10Q - 10(Q^2 + 1.25QP)^{1/2}} \quad (6)$$

4. 流出高

4.1 流域流出曲線番號

水文學的 土壤-被覆型을 이용하여 구한 流域流出 曲線番號는 平均土壤含水條件인 AMC-II인 경우로 CN-II로 표시되며 26개 유역에 대한 결과는 표1과 같다.⁽³⁾

26개 流域의 250개 豪雨에 대한 觀測曲線番號를 식(6)에 의하여 결정하였으며 표1에 주어진 바와 같다. 각 流域의 觀測曲線番號들의 중앙치를 流域의 대표곡선번호로 하여 流域中立曲線番號(median basin curve number) CN-MED를 결정하였다. 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 표1에 주어진다.

각 流域의 降雨-流出 記錄를 이용하여 각 流域의 最適曲線番號, CN-OPT를 결정하였으며 CN-OPT는 計算流出高와 觀測流出高와의 差異의 自乘合을 최소로 하는 曲線番號이다. 이들 결과도 표1에 제시된다.

AMC-II와 III에 대한 계산유출고와 관측유출고를 비교한 것이 그림1과 2이다. 이들 그림에서 알 수 있는 사실은 작은 流出에서 CN-II에 의한 流出高는 그 대부분이 과소하게 산정되는 반면 CN-III에 의한 결과는 전 유출범위에서 비교적 타당하게 나타난다.

4.2 觀測流出曲線番號

표1 流域別 流出曲線番號

하천	지명또는 지점번호	유역 CN		관측 CN			
		CN-Ⅱ	CN-Ⅲ	모든자료	CN-OPT 30%이하계외	년최대치	CN-MED
평창강	No.1	67.50	83.50	78	82	76	84.8
	No.2	65.03	82.03	71	73	71	77.2
	No.3	66.73	82.73	75	79	71	81.4
	No.4	68.53	84.53	74	76	71	87.1
	No.5	65.75	82.75	80	80	77	81.9
	No.6	70.01	85.01	85	81	85	84.5
보청천	No.1	77.78	89.78	75	76	73	80.9
	No.2	71.02	86.02	81	82	76	85.0
	No.3	69.32	83.32	75	87	69	78.9
	No.4	67.19	83.19	86	86	87	84.8
	No.5	68.11	84.11	53	94	53	75.6
위 천	No.1	65.80	82.80	64	67	66	82.2
	No.2	66.90	82.90	81	81	80	81.6
	No.3	69.20	84.20	78	78	78	82.0
	No.4	73.10	87.10	74	74	72	79.3
	No.5	76.20	89.20	73	74	71	82.0
	No.6	64.20	81.20	77	79	74	84.4
반 월	성포리	72.60	86.60	60	69	51	60.8
	장상리	69.90	84.90	63	78	50	70.0
	대야미	78.05	90.05	63	98	63	88.6
	둔대리	66.33	81.33	80	80	77	83.0
남대천	무 주	62.30	79.30	76	76	74	87.6
이안천	이 안	67.58	83.58	67	68	68	65.7
섬 강	횡 성	64.20	81.20	76	76	73	75.46
경안천		63.94	80.94	64	66	61	78.4
무십천		63.12	80.12	77	88	78	88.0

식(6)을 이용하여 250개의 모든 호우에 대하여 계산한 觀測流出曲線番號(CN-OBS)와 流域曲線番號(CN-OPT, CN-Ⅱ, CN-Ⅲ)의 統計値比較에서 CN-OBS와 CN-MED가 平均値, 中央値 및 最頻値에서 비교적 가까운 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 주는 것은 CN-MED의 경우이다. 즉 中立曲線番號 CN-MED를 이용하여 산정한 결과가 관측치에 가장 부합된다는 점이다.

지금까지의 해석결과를 종합하면 CN-Ⅱ에 의하여 산정되는 有效降雨量은 그중 76%가 過小하게 산정되고 CN-Ⅲ에 의한 有效降雨量은 32%가 過小하게 산정되는 반면 과대하게 산정되는 비율이 또한 높다. 따라서 CN-Ⅱ와 CN-Ⅲ의 중간값에 대한 결과를 검토하기 위하여 調整曲線番號를 정의하였으며 예로 CN37은 다음과 같이 정의된다.

$$CN37=0.3(CN-Ⅱ)+0.7(CN-Ⅲ)$$

計算流出高와 觀測流出高와의 誤差範圍 ±10%, ±20% 및 ±50%에서 CN-MED이 가장 작게 나타났

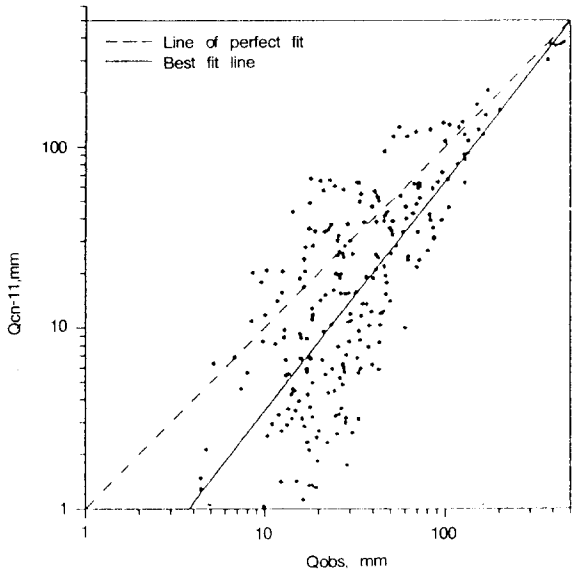


그림1. 觀測流出高와 CN-II에 의한 計算流出高에 의한 比較

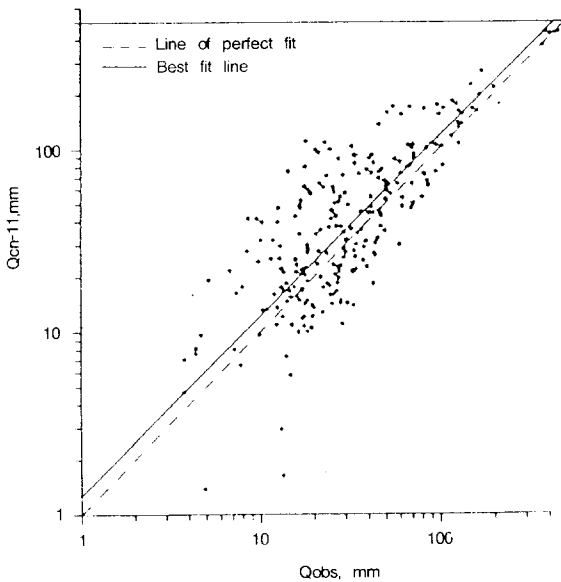


그림2. 觀測流出高와 CN-III에 의한 計算流出高에 의한 比較

다. 다음으로 작은 誤差를 나타내는 CN이 CN37과 CN365이다. 따라서 SCS제안과 같이 降雨-流出 記錄이 있는 경우에는 流域의 代表曲線番號로서 CN-MED를 적용하고 流出記錄이 없는 未計測流域에서는 CN37과 같은 CN-II와 CN-III의 중간값인 調整曲線番號를 적용함이 보다 적절한 結果를 제공할 것으로 판단된다. 본 연구에 의하면 $\pm 50\%$ 오차를 허용

하더라도 流出高는 有效降雨量 豫測에서 30~50%의 誤差가 豫상된다.

5. 尖頭流量

CN을 이용해서 산정되는 尖頭流量의 타당성이 관측된 尖頭流量과의 비교를 통해서 조사된다. 計算尖頭流量의 산정과정은 流域平均曲線番號(CN-II, CN-III)와 觀測曲線番號의 中立曲線番號 CN-MED와 變化性 CN을 이용하여 降雨記錄에 대한 有效降雨量을 계산한다. 이와같이 구한 有效降雨量에 각 유역의 2시간 代表單位圖를 적용하여 直接流出水文曲線을 유도하고 이로부터 直接流出의 尖頭流量을 얻는다. 2시간 代表單位圖를 이용하여 상이한 CN에 대한 直接流出水文曲線은 그림4와 같다.

같은 방법으로 250개 豪雨에 대한 尖頭流出의 觀測値와 CN-II, CN-III, CN-MED와 變化性 CN을 이용하여 구한 計算値를 도시한 것이 그림5-8이다.

이들 그림으로 부터 알 수 있는 사실은 觀測値에 가장 가까운 결과를 주는 것은 CN-II와 CN-MED를 이용한 경우이다. 이는 觀測流域에서 CN-MED가 유역의 代表曲線番號로 타당함을 시사하고 이는 SCS에 의하여 권장된 점과 부합된다.

7. 曲線番號의 時變性

曲線番號는 浸透, 蒸發, 先行土壤含水條件 또는 先行降雨量, 被覆狀態, 降雨強度와 持續期間, 溫度등에 따라 變化한다. 토양의 含水정도에 따라 浸透와 流出의 크기가 다르게 되므로 土壤의 含水率에 영향을 주는 5日 先行降雨量 P_5 의 크기에 따라 주어질 강우량에 대한 유역의 流出能力도 다르게 될 것이다. 따라서 한 유역의 流出能力의 척도인 CN이 P_5 의 함수임이 예상되므로 이 관계를 나타낸 것이 그림9이다. 이는 각 호우사상에 대한 P_5 와 降雨流出 자료로부터 CN-OBS를 도시한 것이다.

그림9를 全對紙상에 도시하면 觀測曲線番號는 5日 先行降雨量에 따라 증가경향을 나타내나 그 정도는 미미하여 뚜렷한 경향이 있다고 하기에는 어렵다. Hjelmfelt(1991)에 의하여 CN대신 S를 이용하여 도시

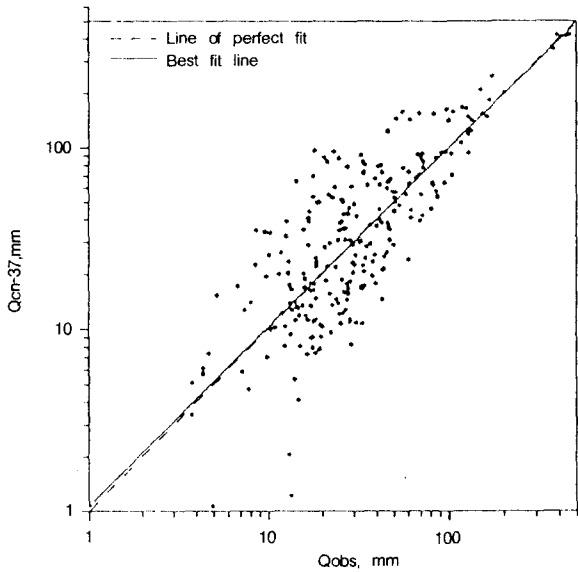


그림3. 觀測値와 調整曲線番號(CN₃₇)에 의한 計算流出高와의 비교

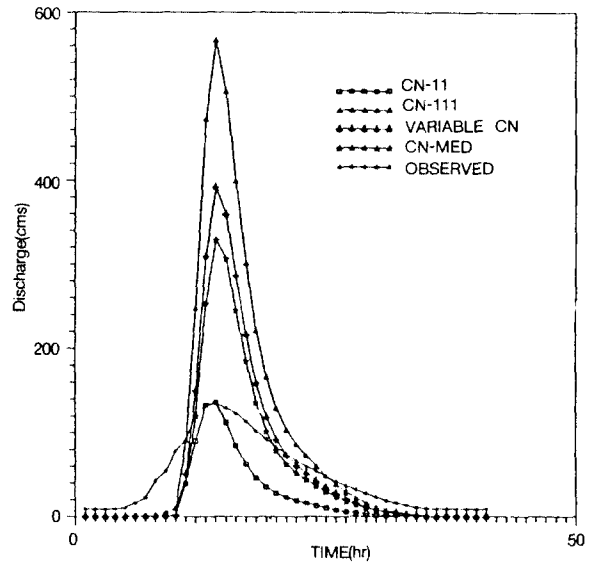


그림4. 직접유출수문곡선(위천 2번 流域)

표2 상이한 CN에 대한 尖頭流出 算定値의 誤差비교

구 분	過大算定事象 (%)	觀測尖頭流出에 대한 誤差		
		$Q_{peak(obs)} - Q_{peak(pre)} > \epsilon$		
	全資料	±10%誤差	±20%誤差	±50%誤差
CN-II	72.7	95.2	86.7	66.7
CN-III	97.6	97.6	95.2	88.5
변화성CN	96.4	96.4	95.2	86.1
CN-MED	86.1	92.1	86.7	74.5

한 S-P₃관계에서도 뚜렷한 경향을 찾아보기는 어렵다. 높은 先行降雨量은 最大潛在保有水量 S의 중간범위의 값과 연관되고 낮은 先行降雨量은 S의 광범위한 값과 연관되어 뚜렷한 경향이 제시되지 않음을 Hjelmfelt는 제시하였다.

따라서 습윤상태의 토양에서는 강우량의 대부분이 유출되어 높은 曲線番號와 연관되고 건조상태에서는 광범위한 曲線番號와 연관되는데 이는 강우와 流域의 인자의 영향이 크게 작용하기 때문이다.

총강우량의 크기에 따라 曲線番號의 변화를 조사하기 위하여 總降雨量과 같이 觀測曲線番號를 도시한 그림에서 곡선번호는 강우량에 따라 감소경향을 나타내고 이는 Hjelmfelt(그림10)에 의해서도 밝혀진 바

있다. 큰 호우는 작은 CN을 나타내고 작은 호우는 큰 CN을 나타낸다.

일반적으로 작은 降雨가 流出로 나타나는 경우는 높은 曲線番號와 연관된다. 낮은 曲線番號와 연관된 작은 강우는 初期損失보다 작게 되어($P < 1.0, 2S$) 유출로 나타나지 않는다. 그림10에서 6.9mm보다 작은 강우에 대해서 CN=88은 流出를 유발하지 못하고 6.9mm보다 작은 강우에 대해서 CN=88은 流出를 유발하지 못하고 6.9mm보다 작은 강우에서 유출이 존재하는 경우는 88보다 큰 CN과 연관된 강우이다.

降雨量 증가에 따라 곡선번호가 감소하는 사실은 다음과 같이 설명될 수 있다. 유역면적이 A인 유역에서 流出發生面積이 不透水地域 a인 경우 강우에 대

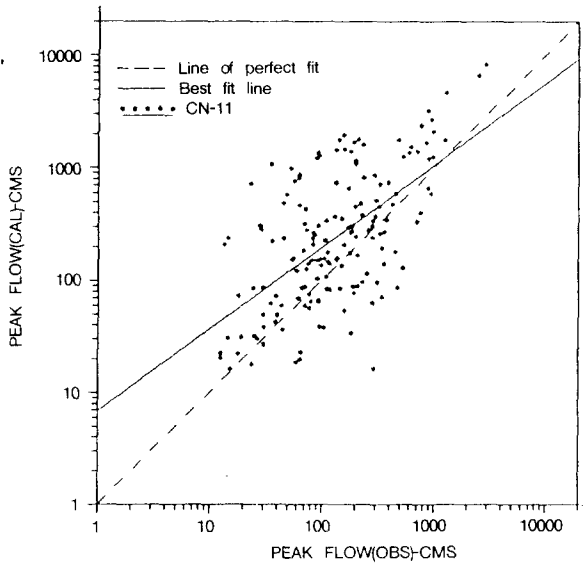


그림5. CN-11을 이용한 觀測尖頭流量과 計算尖頭流量의 比較

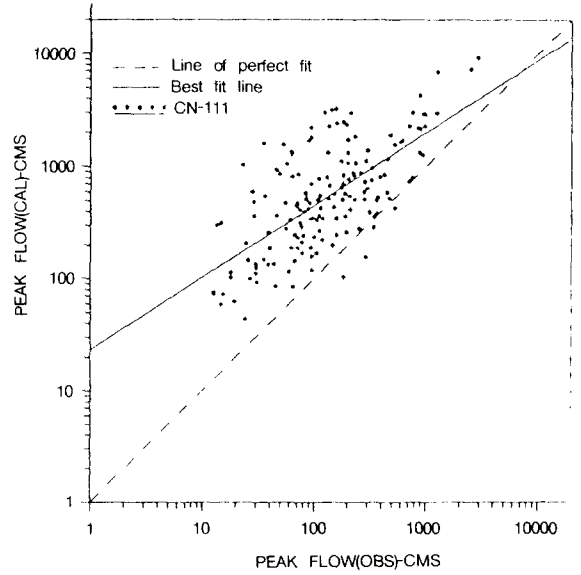


그림6. CN-111을 이용한 觀測尖頭流量과 計算尖頭流量의 比較

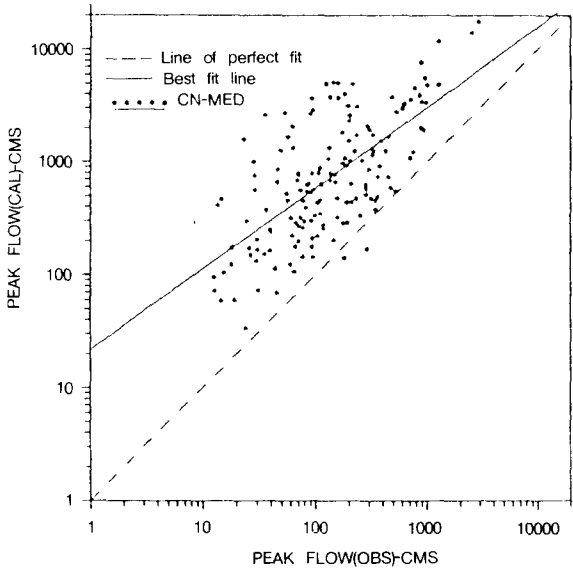


그림7. CN-MED를 이용한 觀測尖頭流量과 計算尖頭流量의 比較

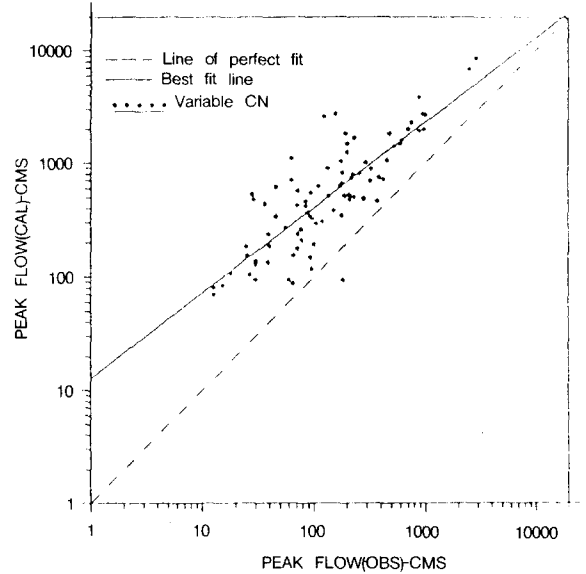


그림8. 時變性CN을 이용한 觀測尖頭流量과 計算尖頭流量의 比較

한 유출의 비율은 $C=a/A$ 이 된다. ⁽⁴⁾

$$Q=CP \tag{7}$$

식(7)을 식(6)에 대입하면

$$CN = \frac{100}{1 + P f(C)} \tag{8}$$

여기서 $f(C) = ((5 + 10C - 10(C^2 + 1.25C)^{1/2}) / 254)$ 이다. 따라서 식(8)로 부터 주어진 C에 대한 曲線番號 CN

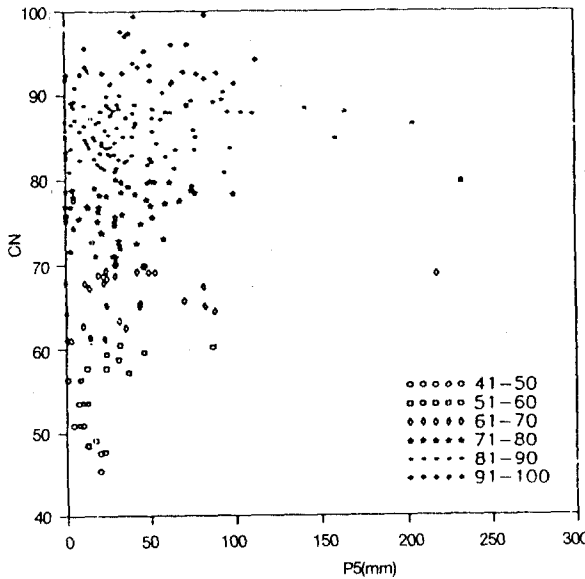


그림9. 5日先行降雨량과 觀測曲線番號와의 관계

은 강우량에 따라 감소함을 알 수 있고 이 사실은 그림10과 부합되는 사실이다.

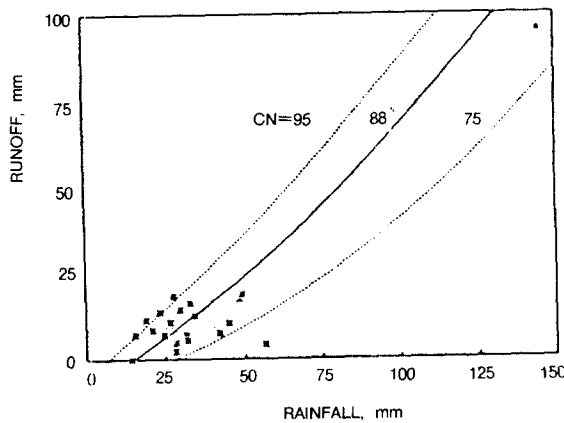


그림10. 年最大流量에 대한 降雨量과 曲線番號(Hjelmfelt, 1991)

한편 Hawkins(1978)는 豪雨기간동안 CN의 변화를 다음 식으로 나타냈다.

$$CN_2 = \frac{25400}{\frac{25400}{CN_1} + 0.83(ET - (P - Q))} \quad (9)$$

여기서 P는 單位時間別 降雨量, Q는 直接流出, ET는 蒸發散, CN₂는 CN₁이 산정된 시간으로부터

다음 單位時間段階에서의 曲線番號이다. 식(9)를 이용하여 우리나라의 많은 降雨-流出기록에 대한 CN의 변화를 계산한 결과 初期 CN₁으로 CN-II를 사용한 CN은 계속 감소를 나타내고 초기 CN₁으로 CN-III를 사용할 경우에는 계속 증가하여 CN이 100을 초과하게 된다.

따라서 식(9)는 호우기간동안 CN의 변화를 예측하는 일반식이 될 수 없고, 한정된 강우-유출사상에 적용가능할 것으로 판단되므로 적용범위의 설정이 필요하다고 고려된다. 따라서 본 연구에서는 호우기간 동안 CN의 변화를 조사하기 위하여 單位時間別(본 연구에서는 6시간) 曲線番號를 구하였으며 그 과정은 다음과 같다.

6시간별 CN을 식(6)에 의하여 구하기 위해서는 流出高 또는 有效降雨量 Q의 산출이 필요하다. Q의 산출은 기록된 水文曲線에서 基底流出을 분리하여 直接流出 水文曲線을 구하고, 直接流出 水文曲線과 각 流域의 6時間代表單位圖를 이용하여 6時間單位有效降雨量 Q를 식(10)을 이용하여 구한다.

$$R_n = \sum_{i=1}^n Q_i U_{n-i+1} \quad (10)$$

여기서 R_n은 수문곡선의 종거, Q_i는 유효강우량, U_i는 단위도와 종거이다. 수문곡선의 종거수 n, 유효강우량의 기간 i, 단위도의 종거수 j의 관계는 n=j+i-1이다.

이와같이 구한 6時間單位의 有效降雨量 Q와 강우량 P를 적용하여 식(6)으로부터 CN을 산출하여 6時間單位 累加降雨量과 같이 도시한 것이 그림11이다. 여기서도 주목되는 사실은 강우량에 따라 CN은 감소한다는 점이고 이들 관계는

$$CN = 107.2P^{-0.064} \quad (11)$$

와 같다. 식11의 CN을 이용하여 기록된 호우에 대하여 계산된 流出高를 觀測値와 비교한 것이 그림12이다.

비교를 위해서 CN-II와 CN-III의 단일 CN값을 이용하여 6시간 기간으로 구한 流出高를 觀測流出高와 같이 圖示한 것이 그림13과 14이다. 그림13과 14의 비교, 그리고 표3으로부터 알 수 있는 사실은 流

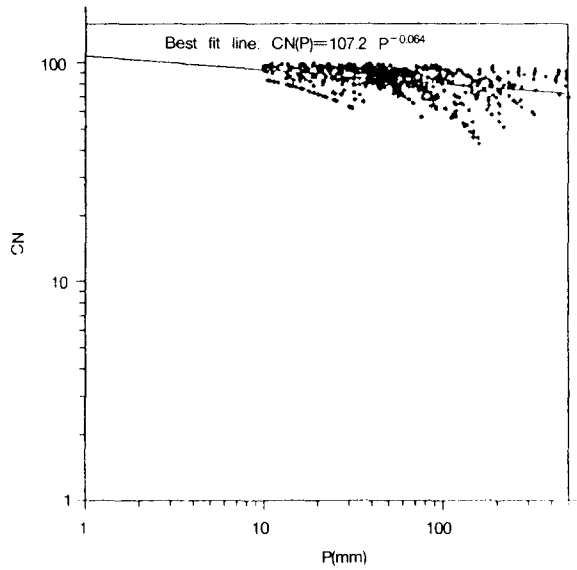


그림11. 6時間單位 累加降雨量과 CN의 관계

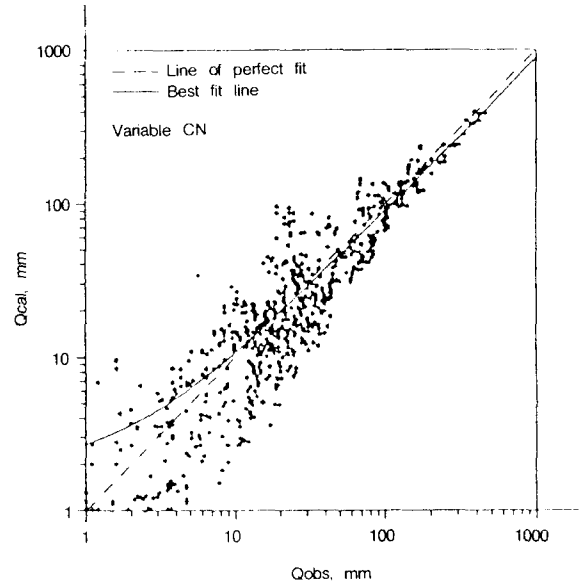


그림12. 식(11)에 의한 觀測流出高와 計算流出高의 比較

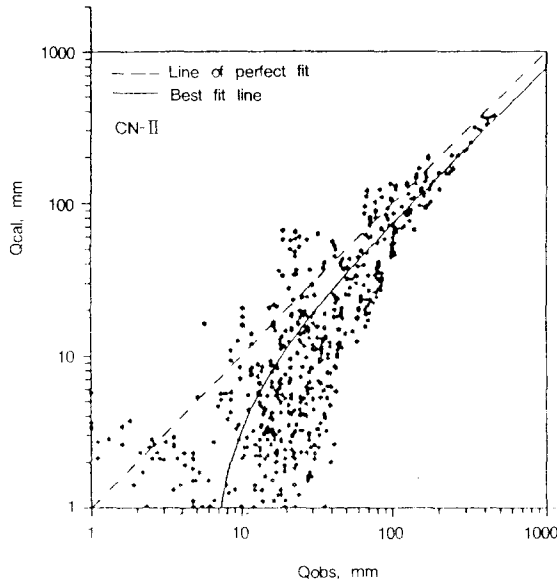


그림13. CN-II 조건하에서의 觀測流出高와 計算流出高의 比較

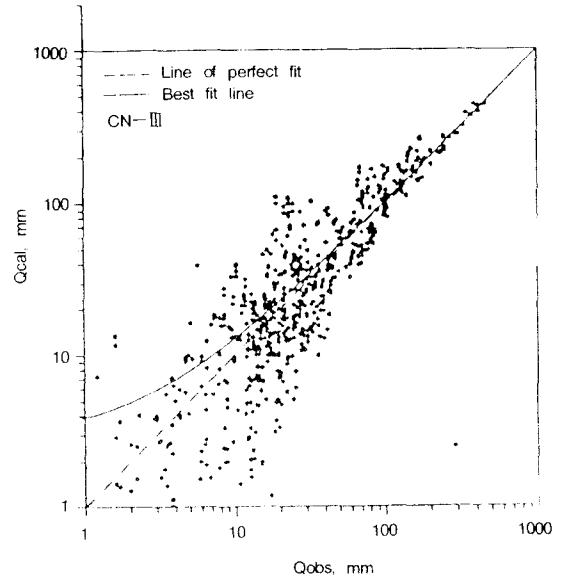


그림14. CN-III 조건하에서의 觀測流出高와 計算流出高의 比較

표3 變化性 CN에 대한 流出高 算定値의 誤差比較

구 분	過小算定事象 (%)		觀測流出高에 대한 誤差, $Q_{obs} - Q_{pre} > \epsilon$			
			±10%誤差		±50%誤差	
	Q<50mm	全資料			Q<50mm	全資料
CN-II	56.7	75.1	94.9	89.9	52.8	72.1
CN-III	35.8	51.3	86.7	76.0	25.7	49.6
변화성CN	42.7	59.7	92.0	79.5	31.3	50.7

出高 또는 有效降雨量算定에서 變化性 CN에 의한 결과
 과가 최적선 비교에서 CN-II나 CN-III에 의한 결과
 과보다 약간은 우수한 점이다.

한편 變化性 CN에 의한 침투유출은 그림8과 표2에
 서 알 수 있는 바와 같이 다른 CN에서와 같이 尖頭
 流量이 과대하게 산정되나 觀測值에 보다 근접함을
 나타낸다.

8. 結 論

전국 26개 유역의 250개 豪雨資料를 이용하여 曲線
 番號方法에 의한 流出解析결과는 다음과 같다.

1. 單一曲線番號(AMC-II 조건의 CN-II, AMC-III
 조건의 CN-III, 流域中立曲線番號 CN-MED,
 調合曲線番號)를 이용하여 총강우량에서 損失을
 제외한 流出高 또는 有效降雨량을 산정하여 관측
 치와 비교한 결과 CN-II에서 76%, CN-III에서
 는 32%가 과소하게 산정된다. 관측치와의 誤差비
 교에서는 CN-MED가 가장 우수하고 다음이 CN
 -III, 調合曲線番號 CN3565 순이다.
2. 有效降雨量에서와 같이 單一曲線番號를 이용하여
 산정한 尖頭流量은 모든 曲線番號의 경우 과대하
 게 산정되고 觀測尖頭와의 誤差의 비교에서는 CN
 -II와 變化性 CN이 관측치에 보다 근접한 결과
 를 준다.
3. 5H先行降雨量이 크게되면 曲線番號가 비교적 크
 게되나 낮은 5日先行降雨量에서는 매우 넓은 폭의
 曲線番號를 갖는데 이는 降雨와 流域特性的의 영향
 이 크기 때문이다. 總降雨量에 대한 曲線番號의
 거동은 降雨量이 증가함에 따라 대체로 곡선번호
 의 감소를 나타낸다. 降雨期間동안 6시간 간격으
 로 산정된 曲線番號에 의하면 降雨量이 증가함에
 따라 曲線番號는 약간 감소경향을 나타내고 이와

같이 감소하는 變化性 曲線番號를 이용하여 해석
 한 결과 有效降雨量과 尖頭流量에서 다같이 약간
 개선이 나타난다.

4. 降雨-流出記錄이 있는 지점에서는 有效降雨量과
 尖頭流量 산정에 CN-MED가 유역의 代表曲線番
 號로 합당하게 나타난다. 한편 未計測 流域의 경
 우 尖頭流量 산정에서는 CN-II가 합당하게 나타
 나나 有效降雨量 또는 流出體積 산정에서는 CN-
 II를 이용할 경우 過小하게 산정되므로 CN-III이
 나 調整曲線番號를 이용하므로써 개선이 가능한
 것으로 판단되나, 이에는 더 많은 연구가 요구된
 다.

參 考 文 獻

1. 尹泰勳, 有效雨量 算定을 위한 曲線番號方法의 適用
 性, 한국수문학회지, 24-2, 1991, pp.97-106.
2. 국제수문개발계획(IHP)보고서(1976~1988), 건설부
3. 국제수문개발계획(IHP)보고서, 1991, 건설부
4. Hawkins, R.H.(1979), Runoff Curve Numbers from
 Partial Area Watershed, J. of Irrigation and Drainage
 Div., ASCE, Vol.105, No. IR4. pp.375-389
5. Hawkins, R.H.(1978), Runoff Curve Numbers with
 Varying Site Moisture, J. of Irrigation and Drainage
 Div., ASCE, Vol.104, No.6. IR4. Dec., pp.389-398
6. Hawkins, R.H. et al.(1985), Runoff Probability, Storm
 Depth and Curve Numbers, J. of Irrigation and Drain-
 age Div., ASCE, Vol.111, No.4, pp.330-340
7. Hjelmfelt, A.T.(1991), Investigation of Curve Number
 procedure, J. of Hydr. Eng., ASCE, Vol.117, No.6,
 Jun, pp.725-737
8. National Engineering Handbook(1963), Section 4. Hyd-
 rology, U.S. Department of Agriculture, Washington,
 D.C.