

降雨—流出 解析의 基礎와 應用(Ⅲ報)

—SCS Method에 의한 降雨—流出 關係—

李 淳 赫*

Ⅰ. 緒 論

第2報에서 言及한 降雨降度와 持續時間, 時間降雨量과 日降雨量과의 關係 및 DAD解析 等の 降雨解析에 이어 本 Ⅲ報에서는 美國土壤保全局인 SCS에 依해서 發表된 降雨—流出關係를 紹介하므로써 豪雨로부터 直接 流出量을 推定할 수 있는 方法을 提示하고 이에 關한 應用을 例題를 통해 展開해 나 가도록 한다.

Ⅱ. 降雨—流出關係의 展開

한 流域에 對한 降雨와 流出間의 相關關係를 定立하면 水工構造物의 設計나 水文學의 解析에 有效하게 使用될 수 있다. 勿論 降雨와 流出間에 關係解析은 降雨의 種類에 따라 다를 뿐 아니라 流出容積(Volume), 尖頭流出量 및 流出量의 時間的 分布中 어느것을 對象으로 할 것인가에 따라서 解析方法이 各各 다르게 된다. 여기에서는 降雨에 따른 流出容積과의 關係를 SCS Method에 依해 展開해 나가고자 한다. 만약에 小流域에 있어서 豪雨에 對한 降雨流出의 記錄이 存在한다면 累加降雨量 對 累加流出量의 프롯팅은 降雨의 初期損失로 因해 얼마의 降雨가 내린 다음 流出이 始作되며 또한 二重累加 雨量曲線이 直線에 漸近된다는 事實을 보여지게 된다. 이들 關係는 45° 勾配의 直線을 나타내게 된다. (Fig.3-1 參照) Fig.3-1에서 보는바와 같이 降雨量은 初期損失, 保溜水量 및 流出量으로 나누어진다. 프롯팅으로부터 降雨—流出間에 相關關係가 展開될 수 있다. 이들 關係의 理解를 돕기 爲해서는 初期

損失이 나타나지 않고 降雨와 流出이 同時에 始作되는 豪雨를 생각할 수 있다. 單純豪雨에 있어서 累加曲線上的 어느 點에 對한 降雨, 流出 및 保溜(Retention)間의 關係는 다음과 같이 表示될 수 있다.

$$\frac{F}{S'} = \frac{Q}{P} \quad (3-1)$$

여기에서 Q: 直接流出量

P: 豪雨別 總雨量

F: 實際保溜水量

S': 最大潛在保溜水量

方程式(3-1)에 있어서의 變數 S'는 初期損失을 包含하지 않고, 後記한 變數 S는 初期損失을 內包

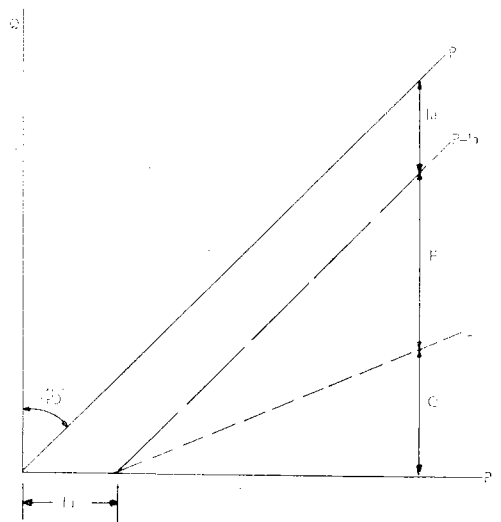


Fig. 3-1. A Mass Curve Representation of the SCS Rainfall-Runoff Relationship

* 忠北大學校 農科大學

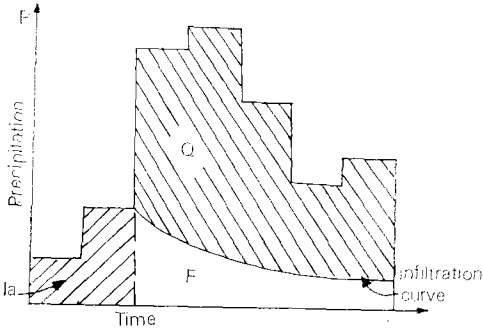


Fig. 3-2. Relationship between Precipitation, Runoff, and Retention

한다. 最大潛在保溜水量 S' 는 어떤 特別한 豪雨에 對해서 常數이다. 왜냐하면 S' 는 豪雨が 限없이 계속된다는 條件下에서 생길 수 있는 最大值가 되기 때문이다. 實際保溜水量, F 의 값은 累加曲線상의 어느點에 대한 P 와 Q 사이의 차이때문에 變한다. 여기에서 F 는 降雨量과 流出量의 차이므로

$$F = P - Q \quad (3-2)$$

故로 方程式(3-1)은 다음과 같이 쓸 수 있다.

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

式(3-3)에서 Q 에 關해 풀므로써

$$Q = \frac{P^2}{P + S'} \quad (3-4)$$

勿論 式(3-4)는 初期損失을 無視한 降雨과 流出間에 關係이다. 그러나 實際에 있어서는 豪雨が 始作되어서 얼마간의 降雨量은 流出로 나타나지 않는 初期損失을 考慮하여야만 한다. (Fig.3-2 參照)

(3-1)式에 初期損失을 考慮함으로써 다음과 같은 式이 된다.

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{P - I_a} \quad (3-5)$$

여기에서 I_a 는 初期損失이며 $F \leq S$ 그리고 $Q \leq (P - I_a)$ 이다. 前記한대로 S 는 初期損失 I_a 를 包含한다. 即 $S = S' + I_a$ 이로서 式(3-2)는

$$F = (P - I_a) - Q \quad (3-6)$$

이 된다. 또한 式(3-3)은

$$\frac{(P - I_a) - Q}{S} = \frac{Q}{(P - I_a)} \quad (3-7)$$

가 되고 式(3-4)는

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \quad (3-8)$$

가 된다.

初期損失은 遮斷 浸透, 凹地貯溜, 前期土壤水分 및 土地의 利用, 管理와 狀態 等の 變數이다. 式(3-8)에 있어서 I_a 와 S 와의 關係를 究明하기 爲하여 小流域에 있어서 降雨流出間의 關係를 實驗한 結果 I_a 를 推定하는데 最適인 다음의 經驗的인 公式이 誘導되었다.

$$I_a = 0.2S \quad (3-9)$$

이로서 式(3-9)를 式(3-8)에 代入하므로써 다음 式이 成立된다.

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (3-10)$$

이것이 豪雨로 부터 直接流出量을 推定키 爲해 SCS Method에서 使用한 降雨-流出 關係이다.

Ⅲ. 媒介變數인 最大潛在保溜水量과 初期損失의 合, S 의 分析

式(3-9)는 初期損失이 最大潛在保溜量 S 의 20%를 나타내며 나머지 80%는 主로 流出이 始作된 後 일어나는 浸透가 차지하게 된다. 이 늦게 나타나는 浸透는 地表面의 浸透率이나 土壤內의 轉滲率, 또는 土壤의 水分保有能 等に 의해서 支配된다. 계속적인 豪雨는 蒸發散 또는 排水 等に 의하여 保有能으로 回復될 수 없는 制限要件으로 S 의 크기는 점차 줄게 된다. 그러나 이는 地被狀態에 의해서 S 의 크기가 回復될 수 있다. 豪雨期間동안에 降雨가 비록 많드라도 2日 내지 3日 後에는 事實上 S 의 크기는 降雨前과 같게 되기 때문에 實際的인 見地에서 볼때 어떤 주어진 地被狀態에 있어서 S 에 대한 下限界와 上限界가 있게 된다. SCS Method에 있어서 S 의 變化는 該當 豪雨 以前의 5日間의 先行降雨量에 의해 決定된 先行土壤水分狀態(Antecedent Soil Moisture Condition, AMC)에 따르게 된다. 先行土壤水分狀態는 流出率과 流出量에 相當한 影響을 미치게 한다. 故로 SCS에서는 先行土壤水分狀態를 I, II, III의 3가지 形態로 나누었고 各各에 對한 土壤狀態는 다음과 같다.

AMC I : 土壤은 乾燥하나 凝潤點에 이룬 程度는 아니며 耕作이 可能한 狀態

AMC II : 平均狀態

AMC III : 豪雨나 지난 5日間에 나타난 細雨 및 低氣溫狀態로 飽和된 土壤.

그리고 3個의 先行土壤水分狀態에 對한 季節降雨 限界는 다음의 Table 3-1과 같다.

Table-3-1. Seasonal rainfall limits for the three antecedent moisture Conditions

AMC	5日 先行降雨量(mm)	
	遊 休 期	生 育 期
I	12.7 以下	35.56 以下
II	12.7~27.94	35.56~53.34
III	27.94 以上	53.34 以上

Ⅳ. 流出數(Runoff Curve Number, CN)의 推定

式 (3-8)은 2個의 未知量, I_a 와 S 를 갖고 있는 反面 式 (3-10)은 하나의 未知量 S 를 갖는 式으로 된다. 最大潛在保溜水量과 初期損失의 크기를 나타내는 S 는 流域의 土壤이나 土地利用 및 土地處理狀態 등의 水文學的 土壤-被覆型을 나타내는 것으로서 어떤 流域의 流出能力을 나타내는 變數로서 流出數(runoff curve number) 혹은 水文學的 土壤被覆型數라고 불리우는 CN을 다음과 같이 定義하므로써 CN과 S 의 關係를 읽을 수 있다.

$$CN = \frac{1,000}{S+10} \quad (3-11)$$

$$S = \frac{1,000}{CN} - 10 \quad (\text{in}) \quad (3-12)$$

혹은 $S = \frac{25,400}{CN} - 254 \quad (\text{mm})$

Table-3-2. SCS Hydrologic Soil Groups

土壤群	狀 況
A	가장 낮은 流出型인 粘質土가 거의 없는 깊은 모래와 깊고 透水性인 자갈을 含有한 土壤
B	낮은 流出型으로 A群보다 작은 透水性을 갖는 大部分의 砂質土壤
C	높은 流出型으로 D群보다는 작으나 相當한 粘質土와 콜로이드를 含有한 土壤
D	가장 높은 流出型으로 大部分이 粘土性 土壤이나 鹽分土壤

또한 SCS는 A, B, C, D라는 4개의 群으로 나누어지는 土壤分類表를 作成한 結果는 Table 3-2와 같다. 이와 관련하여 土壤分析에 의하여 求해진 最低浸透率의 값을 使用해서 土壤群을 分類하는 方法도 있다. (Table 3-3 參照)

Table-3-3. Soil group Classification by minimum infiltration rate (mm/hr)

Group	Minimum infiltration rate
A	7.62~11.43
B	3.81~ 7.62
C	1.27~ 3.81
D	0~ 1.27

여기에 더해서 前述한바와 같이 先行降雨狀態 AMC II이며 $I_a=0.2S$ 인 條件에서 水文學的 土壤被

Table-3-4. 土壤-被覆型 平均流出數, CN (AMC II, $I_a=0.2S$)

Land Use Description/Treatment/Hydrologic Condition	Hydrologic Soil Group			
	A	B	C	D
Residential				
Average lot size(m ²) Average % Impervious				
< 500 65	77	85	90	92
1,000 38	61	75	83	87
1,500 30	57	72	81	86
2,000 25	54	70	80	85
4,000 20	51	68	79	84
Paved Parking lot, roofs, driveways, etc.	98	98	98	98
Streets and roads:				
Paved with Curbs and storm sewers	98	98	98	98
gravel	76	85	89	91
dirt	72	82	87	89
Commercial and business areas (85% impervious)	89	92	94	95
Industrial districts (72% impervious)	81	88	91	93
Open Spaces, lawns, Parks, golf Courses, Cemeteries, etc.				

	good Condition: grass Cover on 75% or more of the area		39	61	74	80	
	fair Condition: grass Cover on 50% to 75% of the area		49	69	79	84	
Fallow	Straight row	...	77	86	91	94	
	Row Crops	Straight row	72	81	88	91	
		Straight row	67	78	85	89	
		Contoured	70	79	84	88	
		Contoured	65	75	82	86	
Small grain		Contoured & terraced	66	74	80	82	
		Contoured & terraced	62	71	78	81	
		Straight row	65	76	84	88	
			Good	63	75	83	87
		Contoured	Poor	63	74	82	85
Close-seeded legumes or rotation meadow		Contoured & terraced	61	73	81	84	
			Good	61	72	79	82
			Good	59	70	78	81
		Straight row	Poor	66	77	85	89
		Straight row	Good	58	72	81	85
Pasture or range		Contoured	64	75	83	85	
		Contoured	55	69	78	83	
		Contoured & terraced	63	73	80	83	
		Contoured & terraced	51	67	76	80	
			Good	68	79	86	89
Meadow Woods or Forest land			49	69	79	84	
			Good	39	61	74	80
		Contoured	Poor	47	67	81	88
		Contoured	Fair	25	59	75	83
		Contoured	Good	6	35	70	79
Farmsteads			30	58	71	78	
			45	66	77	83	
			36	60	73	79	
		Good	25	55	70	77	
		...	59	74	82	86	

覆型에 따른 CN數는 Table-3-4와 같다.

前期土壤水分狀態가 I, II인 경우의 CN은 Table-

3-4에서 提示한 II에 對應하는 各各의 CN값은

Table-3-5와 같다.

Table-3-5. Curve numbers (CN) for the AMC I and II

CN, II	CN, I	CN, II	CN, I	CN, II	CN, I	CN, II	CN, I	CN, II	CN, I	CN, II	CN, I	CN, II
100	100	100	81	64	92	62	42	79	43	25	63	
99	97	100	80	63	91	61	41	78	42	24	62	
98	94	99	79	62	91	60	40	78	41	23	61	
97	91	99	78	60	90	59	39	77	40	22	60	
96	89	99	77	59	89	58	38	76	39	21	59	
95	87	98	76	58	89	57	37	75	38	21	58	
94	85	98	75	57	88	56	36	75	37	20	57	
93	83	98	74	55	88	55	35	74	36	19	56	
92	81	97	73	54	87	54	34	73	35	18	55	
91	80	97	72	53	86	53	33	72	34	18	54	
90	78	96	71	52	86	52	32	71	33	17	53	
89	76	96	70	51	85	51	31	70	32	16	52	
88	75	95	69	50	84	50	31	70	31	16	51	
87	73	95	68	48	84	49	30	69	30	15	50	
86	72	94	67	47	83	48	29	68	25	12	43	
85	70	94	66	46	82	47	28	67	20	9	37	
84	68	93	65	45	82	46	27	66	15	6	30	
83	67	93	64	44	81	45	26	65	10	4	22	
82	66	92	63	43	80	44	25	64	5	2	13	

V. 直接流出量(Direct Runoff)의 決定

前記한 式(3-10)과 式(3-11)은 降雨量과 CN數를 알때 直接流出量의 誘導를 可能하게 한다. 이러한 降雨一流出間의 關係는 Fig.3-3에 나타난 바와 같이 累加曲線 概念을 利用하여 나타낼 수 있으며 上記한 計算公式를 代身한 圖式解를 容易하게 얻을 수 있다.

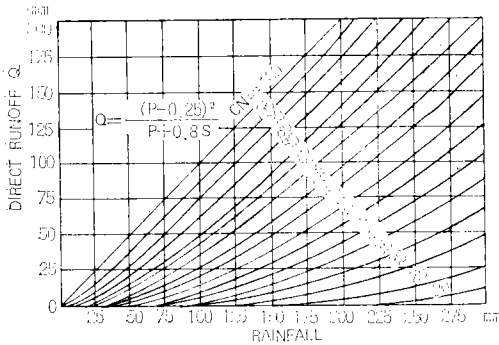


Fig. 3-3. Direct runoff from curve numbers

VI. 應用例

[例題 1] A流域은 等高線栽培로 條播된 良好한 水文學의 狀況에 놓여 있으며 土壤은 B群에 屬한다. 이때의 降雨가 24時間에 걸쳐 178mm가 내렸을 경우 直接流出量을 求하라.

[解] Table-3-4로부터 條件에 相當한 CN의 값은 75이다.

式(3-12)에 依據하여

$$S = \frac{25,400}{75} - 254 = 84.7(\text{mm})$$

求해진 S의 값을 式(3-10)에 代入하여

$$Q = \frac{(178 - 0.2 \times 84.7)^2}{178 + 0.8 \times 84.7} = \frac{25,940.3}{245.76} = 105.6(\text{mm})$$

또는 Fig.3-3에서도 求할 수 있다.

[例題 2] B流域은 AMCⅡ와 다음과 같은 區域別 土地利用 및 土壤群을 가지고 있다. 이 流域에 24時間동안 178mm가 왔을지 直接流出量을 決定하라.

面積區分	土地利用	狀 態	土壤群
0.40	草 地	良 好	D
0.25	森 林 地	被 覆 地	C
0.20	空 地	良 好	D
0.15	住 居 地 (1,000m ²)		C

[解] 4個의 土地利用에 對한 CN의 값은 Table-2에서 求한 結果는 各各 78,77,80,83이다. 面積區分에 따른 加重流出數(Weighted Curve numbers)를 求하면

$$CN = 0.40(78) + 0.25(77) + 0.20(80) + 0.15(83) = 79$$

$$S = \frac{25,400}{79} - 254 = 67.5(\text{mm})$$

$$Q = \frac{(178 - 0.2 \times 67.5)^2}{178 + 0.8 \times 67.5} = \frac{27,060.3}{232} = 116.6\text{mm}$$

[例題 3] C流域에 있어서 林地가 40%이며 住居地(1,000m²)가 60%이고 土壤은 75%가 B群, 25%가 C群에 屬한다. 이때 降雨가 200mm될때 直接流出量을 求하라.

[解] 이 流域의 土地利用 및 土壤群을 考慮한 分割區 面積 및 CN의 값은 다음과 같다.

CN=55	CN=75	B(75%)
CN=70	CN=83	
森林地 (良好) (40%)	住居地 (1,000m ²) (60%)	C(25%)

土地利用	土壤群	分割區面積	CN
森 林 地	B	0.4(0.75)=0.30	55
	C	0.4(0.25)=0.10	70
住 居 地	B	0.6(0.75)=0.45	75
	C	0.6(0.25)=0.15	83

故로 求하고자하는 加重 CN은

$$CN = 0.30(55) + 0.10(70) + 0.45(75) + 0.15(83) = 70$$

$$S = \frac{25,400}{70} - 254 = 108.9(\text{mm})$$

$$Q = \frac{(200 - 0.2 \times 108.9)^2}{200 + 0.8 \times 108.9} = \frac{31,762.4}{287.12} = 110.6(\text{mm})$$

[例題 4] D流域은 良好한 森林地로 되어있으며 土壤은 C群에 屬하고 AMC II인 條件에서 100mm의 降雨가 있었다. 이에 대한 直接流出量을 求하고 또한 AMC I과 AMC III 條件에서의 直接 流出量과 比較하라.

[解] Table 3-4로 부터 AMC II인 경우의 CN값은 70이다. 따라서

$$S = \frac{25,400}{70} - 254 = 108.9(\text{mm})$$

$$Q_{II} = \frac{(100 - 0.2 \times 108.9)^2}{100 + 0.8 \times 108.9} = \frac{6,118.4}{187.12} = 32.7(\text{mm})$$

다음으로 AMC II의 CN값 70에 該當되는 AMC I과 AMC III의 값은 各各 51, 85이다. 計算을 略하고 Fig.3-3으로부터 直接 求해보면

$$Q_I(\text{AMC I}) = 8.8(\text{mm})\text{이고}$$

$$Q_{III}(\text{AMC III}) = 61(\text{mm})\text{이다.}$$

故로 AMC I의 直接流出量 Q_I 은 8.8mm로 AMC II의 32.7mm에 26.9%에 該當하고 AMC III의 Q_{III} 은 186.5%에 該當된다.

[例題 5] 다음의 E流域은 森林이 貧弱한 林地로 土壤은 C群에 屬하고 日別 降雨量과 AMC 條件은 7月 10日의 AMC I에 54mm, 7月 11日의 AMC II에 75mm, 및 7月 12日의 AMC III에 25mm의 降雨가 있었다. 日別 및 總 直接流出量을 求하라.

[解] 먼저 AMC I, II 및 III에 따른 CN의 값을 決定한다. AMC II에 있어서 土壤群 C이며 貧弱한 森林地의 CN값은 Table-3-4로부터 77이다. 따라서 Table-3-5로 부터 AMC II의 77에 대한 AMC I 및 AMC III에 대한 CN값은 各各 59, 89이다. 다음에 各日別 直接流出量을 求한다.

① 7月 10日의 流出量

$$S_1 = \frac{25,400}{59} - 254 = 176.5(\text{mm})$$

$$Q_1 = \frac{(54 - 0.2 \times 176.5)^2}{54 + 0.8 \times 176.5} = \frac{1,246.1}{195.2} = 6.4(\text{mm})$$

② 7月 11日의 流出量

$$S_2 = \frac{25,400}{77} - 254 = 75.9(\text{mm})$$

$$Q_2 = \frac{(75 - 0.2 \times 75.9)^2}{75 + 0.8 \times 75.9} = \frac{3,578.4}{135.72} = 26.4(\text{mm})$$

③ 7月 12日의 流出量

$$S_3 = \frac{25,400}{89} - 254 = 31.4(\text{mm})$$

$$Q_3 = \frac{(25 - 0.2 \times 31.4)^2}{25 + 0.8 \times 31.4} = \frac{350.4}{50.12} = 7.0(\text{mm})$$

以上 얻어진 結果를 各日別 및 總直接流出量을 計算하여 表로 만들면 다음과 같다.

日 字	降雨量 (mm)	AMC	CN	Q (mm)
7.10	54	I	59	6.4
7.11	75	II	77	26.4
7.12	25	III	89	7.0
合 計	154	39.8

參 考 文 獻

1. A.J. Raudikivi, Hydrology, Pergamon Press, 1979, pp.171-241
2. A.T. Hjelmfelt and J.J. Cassidy, Hydrology for Engineers and Planners, ISU Press, 1975, pp.88-95
3. E.M. Wilson, Engineering Hydrology, Macmillan, 1972, pp.81-94
4. R.K. Linsley, M.A. Kohler and J.L.H. Paulhus, 3rd Ed., Hydrology for Engineers, McGraw Hill Book Company, 1982, pp.242-258
5. D. Stephenson, Stormwater Hydrology and Drainage, Elsevier, 1981, pp.30-35
6. Roy ward, Floods, Macmillan Student Editions, pp.13-37
7. V.T. Chow Handbook of Applied Hydrology, McGraw Hill Book Company, 1964, pp.21-10 ~21-46
8. Victor Mocus, National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology, SCS, 1969, pp.9. 1-9.11, 10.1-10.24
9. Viessman, W., T.E. Harbaugh, J.W. Knapp and G.L. Lewis, Introduction to Hydrology, Harper & Row Publishers, 1977, pp.111-140