

합리식의 유출계수(C) 산정방법의 개선에 관한 연구

Study on Improved Method for Calculating Runoff Coefficient of Rational Method

이 영 대* / 김 종 soon** / 김 영 텍***

Lee, Young Dai / Kim, Jong Soon / Kim, Young Teak

Abstract

Rational method has been widely used to calculate peak runoff for drainage design of small watershed because of simplicity and convenience. Runoff coefficient(C) is the most important parameter in the rational method which varies according to rainfall intensity, return period, rainfall duration time and soil characteristics. In practice, constant which is value of C in rational formula has been used from the table, originally based on ASCE. These table value does not consider the upper conditions of the depending factors, hence peak runoff calculation could be in correct. Therefore to calculate C in this paper we have devised an improved formula, considering relationship with rainfall duration, return period and CN of NRCS method. This formula is considered to be more reliable and helpful to the hydrologists and engineers to predict correct peak runoff.

key words : Rational method, Duration time, Return period, Curve number(CN)

요 지

합리식은 구조가 간단하고 사용하기 편리하기 때문에 소배수구역의 우수관거 설계에 가장 많이 사용되고 있다. 합리식을 이용한 유출해석에서 가장 중요한 요소인 유출계수 값은 강우강도, 재현기간, 강우의 지속시간, 지표특성 등에 따라 달라지지만 토지이용도에 따라 제시된 일정한 값을 그대로 사용하고 있다. 그러므로 실무자들이 합리식을 이용하여 우수관거 설계를 위한 적정 설계홍수량 산정을 위해서는 유출계수에 영향을 미치는 중요한 인자들을 고려한 통합유출계수의 산정이 필수적이다. 따라서 본 연구에서는 합리식에 대한 기본이론을 검토하고 유출계수에 영향을 미치는 주요인자와 유출과의 관계를 연구하여 합리식에서의 유출계수(C)와 강우지속시간, 재현기간(T) 및 NRCS(Natural Resources Conservation Service)방법에서 CN(유출곡선지수)와의 관계를 연구하여 보다 합리적으로 유출계수를 산정할 수 있도록 하였다.

핵심용어 : 합리식, 지속시간, 재현기간, CN

1. 서 론

소배수구역의 우수관거 규격을 결정하기 위한 설계

홍수량 산정방법에는 여러 가지 식이 있으나 현재 수문학적으로는 부족한 점이 많지만 구조가 간단하기 때문에 합리식이 가장 많이 사용되고 있다. 합리식을 이용한 유출해석에서 가장 중요한 요소는 유출계수이며

* 정회원 · 부경대학교 공과대학 건설공학부 교수 (E-mail : ydlee@pknu.ac.kr)

** 부경대학교 대학원 토목공학과 박사과정

*** 부경대학교 대학원 토목공학과 박사과정

국내에서는 유출계수에 대한 기준이 미비한 상태이므로 사용자의 주관에 따라 그 값에 커다란 차이가 발생할 소지가 크다. 특히 국내에서 현재 사용되고 있는 하천설계기준(한국수자원학회, 2000)에서 주어진 유출계수는 ASCE(Victor, 1989)에서 제시한 재현기간 2년~10년, 강우강도 약 50mm/hr 일 경우의 유출계수이지만 이 유출계수의 값을 재현기간이나 강우강도의 크기에 관계없이 토지이용도에 따라 제시된 일정한 값을 그대로 사용하고 있다. 그러나 이 유출계수 값은 강우강도, 설계빈도, 강우의 지속시간, 토양의 종류, 토지이용상태 및 지표경사와 같은 지표특성 등에 따라 달라지므로 실무자들이 합리식을 이용하여 우수관거 설계를 위한 적정 설계홍수량 산정을 위해서는 유출계수에 영향을 미치는 중요한 인자들을 고려한 통합유출계수의 산정이 필수적이다. 따라서 본 연구에서는 합리식에 대한 기본이론을 검토하고 유출계수에 영향을 미치는 주요인자와 유출과의 관계를 연구하여 합리식에서의 유출계수(C)와 강우지속시간[여기서는 도달시간(tc)으로 가정] 재현기간(T) 및 NRCS(Natural Resources Conservation Service)방법에서 토양의 종류, 토지이용상태, 피복상태, 선행토양함수조건 등을 고려하여 주어진 CN(유출곡선지수)과의 관계를 도출하고자 한다.

2. 합리식 기본이론

2.1 합리식 이론

여러 연구 결과에 의하면(유동훈, 1995; 이재철, 1996), T.J.Mulvany(1851)에 의해 합리식에 대한 개념이 도입되어, Emil Kuichling(1889)에 의해 유출량과 강우강도, 유역의 크기 및 도달시간 등과의 관계를 규명하여 합리식으로 제시하였다. 이후 유출계수(C)와 도달시간, 강우강도, 재현기간(T) 등에 대한 연구가 지속적으로 계속되어지고 있다. 이중 유출계수(C)는 강우강도, 도달시간, 유역의 크기나 토양의 종류, 토지이용상태, 선행강우조건, 재현기간 지표경사 등에 영향을 받으므로 유출계수의 산정에는 많은 경험과 이론적인 지식과 신중한 판단이 필요하다.

유출계수는 보통 간단한 표로 정리하여 사용하고 있으나 표를 정리한 기관마다 유출계수 산정시 고려한 변수에 따라 값의 크기에 상당한 차이가 있다. 이재철(1997) 등의 연구에 의하면, R.L. Rossmiller(1982)는 C값의 변화가 100%까지 된다고 발표한 바 있으며, 또한 . McCuen (1981) 등은 C값과 CN 및 강우량과 도달시간과의 관계를 연구한 바 있다.

2.2 국내에서 사용되는 합리식

하천설계기준(2000)에서 주어진 합리식에 의한 첨두홍수량은 다음 식을 이용하여 계산한다.

$$Q_p = \frac{1}{3.6} CIA = 0.2778 CIA, \text{ 또는}$$

$$Q_p = \frac{1}{360} CIA^*$$

여기서 Q_p 는 첨두홍수량(m^3/sec), C는 무차원의 유출계수, I는 홍수도달시간을 강우지속시간으로 하는 특정발생빈도의 강우강도(mm/hr), A는 유역면적(km^2), A^* 는 유역면적(ha)이다. 합리식을 이용하여 해당유역의 설계홍수량을 산정할 경우 다음 항목에 대해서 표준적인 값을 결정하여야 한다.

- ① 유역면적과 유역 도달시간 결정, ② 강우강도-지속시간-빈도 공식이나 곡선에서 설계강우강도의 결정, ③ 유역 유출계수의 선정, ④ 설계홍수량의 산정
- 하천설계기준(2000)에 기술되어 있는 합리식의 기본 가정은 ① 강우강도 I의 강우에 의한 홍수량 Q는 그 강도의 강우가 유역의 도달시간과 같거나 더 큰 시간동안 계속될 때 최대치에 도달한다. ② 강우의 지속시간이 유역의 도달시간과 같거나 길 때 강우강도 I인 강우에 의한 첨두홍수량 Q_p 는 그 강우강도 I와 직선적 관계를 가진다. ③ 첨두 홍수량의 발생확률은 주어진 도달시간에 대응하는 강우강도의 발생확률과 동일하다. ④ 유출계수 C는 각각 다른 발생확률을 가지는 강우-유출 사상에 관계없이 동일하다. ⑤ 유출계수 C는 어떤 유역에 내리는 모든 강우에 대하여도 동일하다. ⑥ 강우강도는 전유역에 걸쳐서 균등하게 분포한다. 첫 번째 및 두 번째 기본가정은 강우의 지속시간을 도달시간으로 설정한다는 가정과 관계가 있으며, 이는 손실이 없는 불투수면에 일정한 강도의 강우가 지속적으로 내리면 그 유역으로부터의 유출은 점차 증가하여 그 유역의 강우강도와 동일한 상태에 도달하게 되는데 이 평형상태에 도달하게 되는 소요시간이 도달시간과 같게 된다는 것이다.

셋째 및 넷째 가정은 지속시간이 도달시간에 대응하는 강우량이 발생할 수 있는 확률이 첨두홍수량의 발생확률과 같다는 의미로 이해할 수 있다.

합리식은 강우의 침투 및 요지(·) 저류효과가 적은 소유역(대략 $10km^2$ 이하)에 잘 맞는 것으로 알려져 있고, 일반적으로 유역면적이 커지면 저류효과가 커지고 합리식의 선형 강우-유출관계 가정이 성립되지 않으므로 사용에 주의가 필요하다.

유역의 홍수도달시간은 ① 해당 유역의 유출특성을 조사하여 결정한다. 합리식에 이용하는 홍수도달시간

은 원칙적으로 강수가 유역에서 하도에 이르는 유입시간과 하도내의 홍수전파시간(유하시간)의 합으로 한다. ② 유하시간은 적당한 하도평균유속을 가정해서 계산하고 하도계획 책정 후에 하도 평균유속의 계산치와 비교하여 가정치와 계산치의 차이가 큰 경우에는 다시 계산한다. ③ 유입시간은 장래의 토지이용계획, 유사구역의 상황 등을 고려하여 결정하며 국립방재연구소에서 제시한 도달시간 계산식이 많이 사용된다.

합리식에서 사용되는 강우강도 I는 유역의 홍수 도달시간과 동일한 강우 지속시간 동안에 특정 발생확률로 내릴 수 있는 최대 강우강도로서 단시간 호우로부터 작성된 지속시간별 연최대치 또는 연초과치 계열의 빈도 해석에 의해 강우 재현기간별로 결정되며, 여러 가지 형태의 강우강도식으로 표시될 수 있으나 대표적인 공식(김지호, 2003)에는 Japanese, Talbot, Sherman 식 등이 있고, 또한 수자원설계실무(정중호 등, 2004)에는 재현기간을 포함시켜 이원환(1993), 허준행(1999) 및 한국확률강우량도작성(2000)에 의해서 얻어진 확률강우강도식을 사용하였다.

2.3 합리식의 한계 및 장단점

합리식 가정의 한계(limitation of assumption)로는 ① 복잡한 프로세스의 과도한 단순화, ② 강우강도가 일정(constant)하면 강우의 지속시간이 도달시간만큼 경과해야 전 배수유역이 침투유량에 관계한다. 그러나 이 가정은 유역면적이 커짐에 따라 점점 더 부정확해진다. 따라서 큰 배수유역에서는 도달시간이 커서 긴 지속시간 동안 일정한 강우강도가 지속한다는 가정을 만족시키기 어렵고, 더 짧지만 큰 강우강도의 우량이 큰 침투유량을 발생시킬 수 있다. ③ 강우강도는 강우가 내리는 동안 공간적으로 그리고 시간적으로 변화한다. 따라서 소유역에서는 강우가 균등하게 분포한다는 가정을 만족시켜 주지만 배수유역이 커짐에 따라 강우강도는 공간적으로나 시간적으로 변하기 쉽다. ④ 유출을 이루는 강우성분은 강우강도 또는 체적과는 독립적이다라는 가정은 불투수유역에서는 성립하나, 투수유역에서의 유출성분은 강우강도, 누가강우량과 선행토양함수조건에 따라 변한다.

합리식의 장점으로는 ① 침투유량 설계가 빠르다. ② 단순한 도시 호우배수시설에 매우 유용하다. ③ 작은 소유역에 적합하다. 반면 단점으로는 ① 강우시간을 고려하지 않으므로 수문곡선을 생성할 수 없다. ② 합리식은 시간에 따라 변화하는 토양조건이나 강우강도 조건을 고려하지 못한다. ③ 단지 침투유량만 반영하고 체적이나 유출의 시간에 따른 분포형태를 나타내

주지 못한다. ④ 복잡한 프로세스를 과도하게 단순화함으로써 넓은 유역에 대해서는 정확하지 않다. ⑤ 유역의 여러 가지 변수를 하나의 유출계수 속에 함축시켜야 한다. ⑥ 유출과정을 간과할 수 있다. ⑦ 일반적으로 토양의 조건이나 선행강우를 고려하지 못한다.

3. 유출계수(C) 산정방법의 개선

3.1 합리식의 개선

3.1.1 유출계수(C)의 주요 영향인자

합리식의 단점을 보완 수정하기 위하여, ① 유출계수(C)는 NRCS의 CN값처럼 토양의 포화도, 지표의 투수성, 토양의 종류 토지이용상태 등에 기반을 두고, ② 강우의 지속시간 또는 도달시간(t_c) 및 재현기간과 관련지을 필요가 있다.

3.1.2 유출계수(C)와 CN관계식 유도

국내에서 사용하는 유출계수는 지표유형에만 의존하는 고정된 값을 사용하고 있으나, 실제로 유출량은 유역의 피복상태, 토양의 종류, AMC 등 유역과 관거 시스템의 반응특성 등에 영향을 받는다. 따라서 본 연구에서는 유출계수와 유역의 피복상태, 토양의 종류, AMC 등을 고려하여 산출된 CN과의 관계성을 연구하여, 보다 합리적인 유출계수 산정법을 제시하고자 한다.

설계홍수량은 지반이 포화되었을 때가 문제이므로 $I_a \approx 0$, 또는 $P \gg I_a$ 로 가정하면,

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{P} \text{가 된다.} \quad (1)$$

여기서, F는 시간 t에서 흙의 저류량(mm), S는 흙이 완전 포화되기 위한 최대저류량(mm), Q는 직접유출량(mm)이고 P는 누가강우량(mm), I_a 는 초기손실(mm)이다. 이 때, 강우로부터 발생되는 직접유출량(Q)은 흙이 최대로 저류할 수 있는 양(S)과 실제로 흡수되는 물의 양(F)의 합수로 표시될 수 있으며 강우량과 직접유출량의 차이, 즉

$$F = P - Q \text{이다.}$$

따라서 이 식을 식(1)에다 대입하면,

$$\frac{F}{S} = \frac{P - Q}{S} = \frac{Q}{P} \text{가 된다.} \quad (2)$$

S는 다음의 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$S = \frac{25,400}{CN} - 254 \quad (3)$$

식(3)을 식(2)에 대입하여 정리하고 Ponce(1989)에 의해 그림 1에서 저류효과를 무시하면,

$$P = I \cdot t_r, Q = I_e \cdot t_r \text{가 되고}$$

$$\frac{Q}{P} = \frac{I_e \cdot t_r}{I \cdot t_r} = \frac{I_e}{I} = C$$

이므로 합리식의 기본가정(강우강도가 지속시간에 대해 일정)에 의해서

$$C = \frac{Q}{P} \text{로 나타낼 수 있다.} \quad (4)$$

여기서, I는 총강우량, I_e는 유효강우량, t_r은 강우지속시간이다.

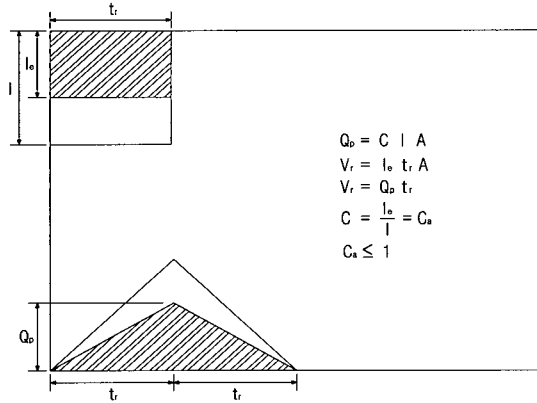


그림 1. 저류영향을 고려하지 않는 상태에서의 흐름의 집중

$$C \frac{P - Q}{S} = \frac{P - Q}{\frac{25,400}{CN} - 254} \quad (5)$$

위의 결과를 C에 대하여 다시 정리하면 식(6)과 같이

$$C = \frac{1}{1 - \frac{254}{P} + \frac{25,400}{P \cdot CN}} \text{가 된다.} \quad (6)$$

따라서, 합리식에서의 유출계수(C)와 재현기간에 따른 누가강우량(P) 및 CN과의 관계를 식(6)과 같이 얻을 수 있었다.

3.2 강우특성과 유출계수

3.2.1 확률강우강도 및 강우량

지속시간별 확률강우량을 이용하여 유도한 확률별 강우강도-지속시간 관계식 중 부산지방에 비교적 적용성이 우수한 표 1에 정리된 Japanese식 및 상수 a, b값을 이용하여 지속시간(t_c, 여기서의 지속시간을 도달시간과 같은 크기로 가정함) 및 재현기간에 따른 강우강도(I, mm/hr) 및 누가강우량(P, mm)을 계산하면 표 2와 같다.

표 1. 확률강우강도식

지 역	재현기간 (년)	Japanese Type	
		a	b
부 산	2	289	0.39
	5	406	0.23
	10	483	0.16
	30	600	0.09
	50	654	0.06
	100	726	0.03
	150	768	0.02
	200	795	0.04
일 반 식		$I = \frac{a}{\sqrt{t} \pm b}$	

표 2. 지속시간 및 재현기간에 따른 강우강도(I, mm/hr) 및 누가강우량(P, mm)

T(년) \ t _c (분)	30		60		120		180		360		720		1440	
	I	P	I	P	I	P	I	P	I	P	I	P	I	P
2	56.8	28.4	39.3	39.3	27.4	54.7	22.2	66.6	15.6	93.3	11.0	131.2	7.7	184.7
5	77.4	38.7	54.0	54.0	37.9	75.7	30.8	92.4	21.7	130.0	15.3	183.1	10.8	258.3
10	90.8	45.4	63.7	63.7	44.7	89.5	36.4	109.3	25.7	154.0	18.1	217.3	12.8	306.8
30	111.4	55.7	78.4	78.4	55.3	110.5	45.0	135.1	31.8	190.6	22.4	269.2	15.8	380.4
50	120.7	60.4	85.1	85.1	60.0	120.1	49.0	146.9	34.6	207.5	24.4	293.1	17.3	414.3
100	133.3	66.6	94.1	94.1	66.5	132.9	54.2	162.7	38.3	230.0	27.1	325.0	19.1	459.5
150	140.7	70.4	99.4	99.4	70.2	140.5	57.3	172.0	40.5	243.1	28.6	343.7	20.2	486.0
200	146.2	73.1	103.2	103.2	72.8	145.7	59.4	178.3	42.0	252.0	29.7	356.1	21.0	503.3

3.2.2 유출계수와 강우특성 및 CN과의 관계

지속시간에 따라 계산된 강우량(P)을 이용하여 재현기간 및 CN값에 따라 식 (6)을 이용하여 지속시간 60분 및 120분일 때 유출계수(C)를 구하면 표 3

(a),(b) 및 그림 2 (a),(b)와 같다.

여기서, Ct는 임의의 재현기간에 대한 유출계수이고, C10은 재현기간 10년에 대한 유출계수이다.

표 3 (a). 강우지속시간 60분일 때, 재현기간 및 CN에 따른 유출계수(C)값

재현기간 (년)	2	5	10	30	50	100	150	200
P (mm)	39.3	54.0	63.7	78.4	85.1	94.1	99.4	103.2
CN	C	C	C	C	C	C	C	C
	Ct/C10	Ct/C10	Ct/C10	Ct/C10	Ct/C10	Ct/C10	Ct/C10	Ct/C10
50	0.13	0.18	0.20	0.24	0.25	0.27	0.28	0.29
	0.67	0.88	1.00	1.18	1.25	1.35	1.40	1.44
60	0.19	0.24	0.27	0.32	0.33	0.36	0.37	0.38
	0.69	0.89	1.00	1.16	1.22	1.31	1.35	1.39
70	0.27	0.33	0.37	0.42	0.44	0.46	0.48	0.49
	0.72	0.90	1.00	1.13	1.19	1.26	1.29	1.32
80	0.38	0.46	0.50	0.55	0.57	0.60	0.61	0.62
	0.76	0.92	1.00	1.10	1.14	1.19	1.22	1.24
90	0.58	0.66	0.69	0.74	0.75	0.77	0.78	0.79
	0.84	0.95	1.00	1.06	1.08	1.11	1.12	1.13
100	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
평균 (Ct/C10)	0.78	0.92	1.00	1.11	1.15	1.20	1.23	1.25

표 3 (b). 강우지속시간 120분일 때, 재현기간 및 CN에 따른 유출계수(C)값

재현기간 (년)	2	5	10	30	50	100	150	200
P (mm)	54.7	75.7	89.5	110.5	120.1	132.9	140.5	145.7
CN	C	C	C	C	C	C	C	C
	Ct/C10	Ct/C10	Ct/C10	Ct/C10	Ct/C10	Ct/C10	Ct/C10	Ct/C10
50	0.18	0.23	0.26	0.30	0.32	0.34	0.36	0.36
	0.68	0.88	1.00	1.16	1.23	1.32	1.37	1.40
60	0.24	0.31	0.35	0.40	0.42	0.44	0.45	0.46
	0.71	0.89	1.00	1.14	1.20	1.27	1.31	1.34
70	0.33	0.41	0.45	0.50	0.52	0.55	0.56	0.57
	0.74	0.91	1.00	1.12	1.16	1.22	1.25	1.27
80	0.46	0.54	0.59	0.64	0.65	0.68	0.69	0.70
	0.79	0.93	1.00	1.09	1.12	1.16	1.18	1.19
90	0.66	0.73	0.76	0.80	0.81	0.83	0.83	0.84
	0.87	0.96	1.00	1.05	1.07	1.09	1.10	1.10
100	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
평균 (Ct/C10)	0.80	0.93	1.00	1.09	1.13	1.18	1.20	1.22

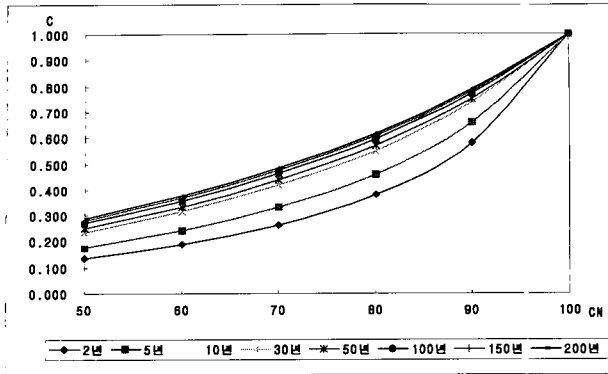


그림 2(a). 강우지속기간 60분일 때, 재현기간 및 CN에 따른 유출계수(C)값

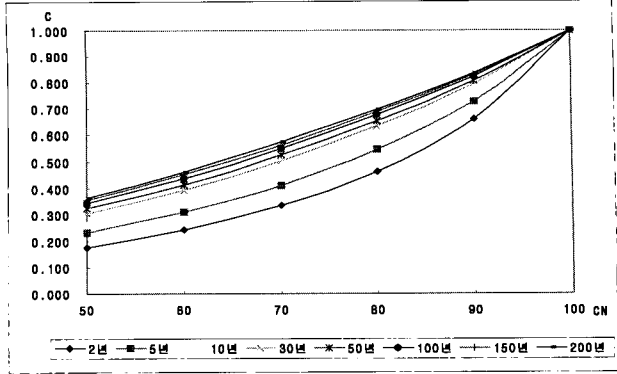


그림 2(b). 강우지속기간 120분일 때, 재현기간 및 CN에 따른 유출계수(C)값

2.3.2 모의진동실험결과

비보강 실험체인 A형과 B형 실험체는 4~5단계 (0.2g~0.3g) 사이에서 최종 파괴가 일어났고, 유리섬유로 보강한 실험체인 RB형은 7단계(0.5g)에서, RA형은 8단계(0.55g)에서 최종파괴가 일어났다. 따라서 지진피해를 입은 조적조 건축물을 유리섬유로 보강하였을 때, 실험체는 비보강 실험체의 중국손상 시점인 0.2g에 비하여 0.5g와 0.55g 사이에서 중국붕괴형상을 보임으로서 3배 이상 내진성능이 향상됨을 확인하였다.

3.3 유출계수와 강우지속시간과 재현기간 및 CN과의 관계

3.3.1 관계식의 유도

표 1에서 계수 a와 재현기간 T의 관계를 회귀식을 이용하여 구하면,

$$a = -462 + 784T^{0.2} - 122T^{0.4} \text{가 얻어지고,}$$

b = -0.2(b의 평균값)를 사용하여

Japanese 식을 도달시간(t_c)과 재현기간(T)로 표

시하여 식 (6)에서

$P = I \times t_c$ 값을 사용하면 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$C = \frac{E \cdot CN \cdot t_c}{E \cdot CN \cdot t_c - 254 \cdot F \cdot CN + 25400 \cdot F} \quad (7)$$

$$= \frac{E \cdot t_c}{E \cdot t_c - 254 \cdot F + \frac{25400 \cdot F}{CN}}$$

여기서, $E = -231 + 392T^{0.2} - 61T^{0.4}$, $F = 30\sqrt{t_c} - 6$ 강우지속시간(t_c)의 단위는 분(min)이고, 재현기간(T)의 단위는 년(year)이다.

3.3.2 적용성 검토

하천설계기준에서 토지이용도에 따라 제시된 유출계수(C)와 본 연구에서 제시된 식 (7)을 이용하여 계산된 C값을 동시에 나타내면 표 5 (a), (b) 및 그림 3 (a), (b)와 같다. 표 5에 나타난 바와 같이 하천설계기준에서 제시된 C값은 식 (7)으로 구한 재현기간 10

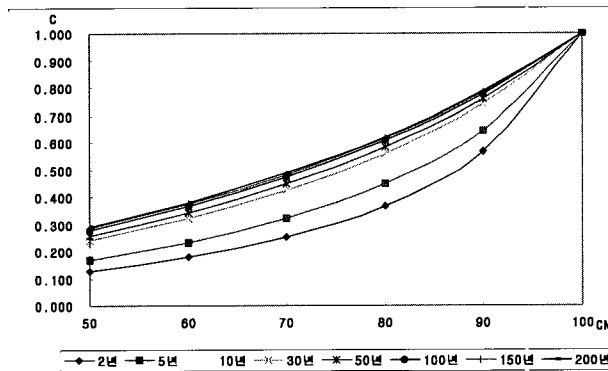


그림 3(a). 강우지속기간 1시간일 때, 재현기간 및 CN에 따른 유출계수(C)값 (식(7)이용)

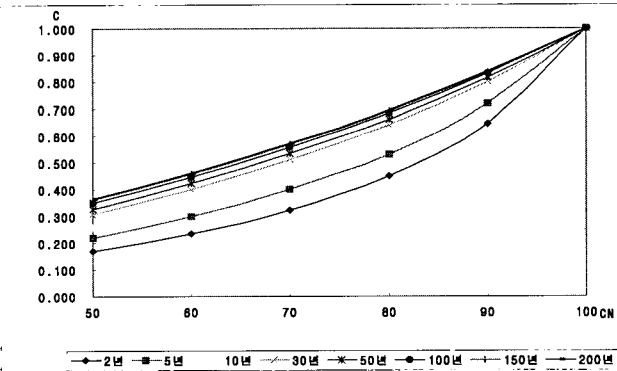


그림 3(b). 강우지속기간 2시간일 때, 재현기간 및 CN에 따른 유출계수(C)값 (식(7)이용)

표 5(a). 토지 이용도에 따른 합리식의 유출계수값과 식(6)의 유출계수값의 비교(지속시간60분,120분)

토 지 이 용		CN	하천설계 기준C	식 (6)에 의한 C					
				T=2 yrs		T=10 yrs		T=100 yrs	
				tc=60	tc=120	tc=60	tc=120	tc=60	tc=120
상업 지역	도 심 지 역	89-95	0.70-0.95	0.54-0.73	0.62-0.80	0.67-0.83	0.74-0.87	0.76-0.88	0.81-0.91
	근 린 지 역		0.50-0.70						
주 거 지 역	단 독 주 택	54-85	0.30-0.50	0.15-0.45	0.19-0.54	0.23-0.58	0.29-0.66	0.31-0.69	0.39-0.75
	독립주택단지	61-87	0.40-0.60	0.19-0.49	0.24-0.58	0.28-0.62	0.35-0.70	0.38-0.72	0.46-0.78
	연립주택단지	77-92	0.60-0.75	0.33-0.63	0.41-0.70	0.45-0.74	0.54-0.80	0.56-0.82	0.64-0.86
	교 외 지 역	51-84	0.25-0.40	0.13-0.43	0.18-0.52	0.21-0.57	0.27-0.65	0.29-0.67	0.36-0.74
	아 파 트	75-89	0.50-0.70	0.30-0.54	0.38-0.62	0.43-0.67	0.51-0.45	0.54-0.76	0.70-0.81
산업 지역	산 재 지 역	81-93	0.50-0.80	0.38-0.66	0.46-0.73	0.51-0.77	0.60-0.82	0.62-0.84	0.70-0.88
	밀 집 지 역		0.60-0.90						
	공원, 묘역	39-80	0.10-0.25	0.09-0.37	0.12-0.45	0.14-0.50	0.18-0.58	0.20-0.61	0.26-0.68
	운 동 장	49-84	0.20-0.35	0.12-0.43	0.16-0.52	0.19-0.57	0.25-0.65	0.27-0.67	0.34-0.74
	철 로	49-61	0.20-0.40	0.12-0.19	0.16-0.24	0.19-0.28	0.25-0.35	0.27-0.38	0.34-0.46
	미개발지역	39-54	0.10-0.30	0.09-0.15	0.12-0.19	0.14-0.23	0.18-0.29	0.20-0.31	0.26-0.39
도 로	아스팔트	89-95	0.70-0.95	0.54-0.73	0.62-0.79	0.67-0.83	0.74-0.87	0.76-0.88	0.81-0.91
	콘크리트	90-95	0.80-0.95	0.57-0.73	0.65-0.79	0.69-0.83	0.76-0.87	0.78-0.88	0.83-0.91
	벽 돌	89-92	0.70-0.85	0.54-0.63	0.62-0.70	0.67-0.74	0.74-0.80	0.76-0.82	0.81-0.86

표 5(b). 토지 이용도에 따른 합리식의 유출계수값과 식(6)의 유출계수값의 비교(지속시간60분,120분)

토 지 이 용		CN	C	식 (6)						
				T=2 yrs		T=10 yrs		T=100 yrs		
				tc=60	tc=120	tc=60	tc=120	tc=60	tc=120	
	차도 및 보도	90-92	0.75-0.85	0.57-0.63	0.65-0.70	0.69-0.74	0.76-0.80	0.78-0.82	0.83-0.86	
	지 붕	90-95	0.75-0.95	0.57-0.73	0.65-0.79	0.69-0.83	0.76-0.87	0.78-0.88	0.83-0.91	
잔 디	사 질 토	평 탄 지	35-39	0.05-0.10	0.07-0.09	0.10-0.12	0.12-0.14	0.16-0.18	0.17-0.20	0.23-0.26
		평 균	39-42	0.10-0.15	0.09-0.10	0.12-0.13	0.14-0.15	0.18-0.20	0.20-0.22	0.26-0.28
		경 사 지	42-47	0.15-0.20	0.10-0.11	0.13-0.15	0.15-0.18	0.20-0.24	0.22-0.25	0.28-0.32
	중 토	평 탄 지	41-44	0.13-0.17	0.09-0.10	0.12-0.14	0.15-0.16	0.19-0.21	0.21-0.23	0.27-0.30
		평 균	45-49	0.18-0.22	0.11-0.12	0.14-0.16	0.17-0.19	0.22-0.25	0.24-0.27	0.31-0.34
		경 사 지	51-55	0.25-0.35	0.13-0.15	0.18-0.20	0.21-0.23	0.27-0.30	0.29-0.32	0.36-0.40
나 지	평탄한 곳	54-77	0.30-0.60	0.15-0.33	0.19-0.41	0.23-0.45	0.29-0.54	0.31-0.56	0.40-0.64	
	거 친 곳	47-72	0.20-0.50	0.11-0.27	0.15-0.34	0.18-0.39	0.24-0.47	0.25-0.50	0.32-0.58	
농 경 지	사 질 토	작물있음	54-77	0.30-0.60	0.15-0.33	0.19-0.41	0.23-0.45	0.29-0.54	0.31-0.56	0.39-0.64
		없음	47-72	0.20-0.50	0.11-0.27	0.15-0.34	0.18-0.39	0.24-0.47	0.25-0.50	0.32-0.58
	중 토	작물있음	47-60	0.20-0.40	0.11-0.18	0.15-0.23	0.18-0.27	0.24-0.34	0.25-0.37	0.32-0.45
		없음	39-51	0.10-0.25	0.09-0.13	0.12-0.18	0.14-0.21	0.18-0.27	0.20-0.29	0.26-0.36
	초 지	사 질 토	42-62	0.15-0.45	0.10-0.19	0.13-0.25	0.15-0.29	0.20-0.36	0.22-0.39	0.28-0.47
		중 토	35-51	0.05-0.25	0.07-0.13	0.10-0.18	0.12-0.21	0.16-0.27	0.17-0.29	0.23-0.36
	산 림 지 역	35-51	0.05-0.25	0.07-0.13	0.10-0.18	0.12-0.21	0.16-0.27	0.17-0.29	0.23-0.36	

년에서의 C값을 비교적 잘 재현하는 것으로 나타났다. 따라서 식 (7)으로 제시된 유출계수를 강우지속시간 (t_c)과 재현기간(T) 및 CN에 따라 합리적으로 구할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

합리식에 대한 기본이론을 검토하고 유출계수에 영향을 미치는 강우지속시간(t_c)과 재현기간(T) 및 토양의 종류, 토지이용상태, 피복상태, 선행토양함수조건 등을 고려하여 주어진 NRCS방법에서의 CN과 합리식에서의 유출계수(C)와의 관계를 연구한 결과 부산지방에 대하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 유출계수(C)와 강우량(P) 및 CN과의 관계식을 도출하였다.
- 2) 강우지속시간(t_c)과 재현기간(T) 및 CN과 유출계수(C)와의 관계식을 얻을 수 있었다.
- 3) 강우지속시간(t_c)과 재현기간(T) 및 CN를 이용하여 도출된 유출계수는 하천설계기준에서 제시된 토지이용상태로 선정한 값보다 실무적용에 합리적인 값을 산정할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서 제시한 합리식에서의 유출계수(C)는 강우지속시간(t_c)과 재현기간(T) 및 CN에 따라 유출계수를 구할 수 있어 기존에 토지이용상태만 고려하여 제시된 유출계수의 단점을 극복할 수 있어 현장에서 실무적용에 합리적인 값을 제공해줄 것으로 판단된다. 그러나 본 연구가 부산지방의 강우강도식을 적용하여 연구한 한계가 있으므로 타유역에 대해서도 계속적인 연구를 진행하여 신뢰성을 높일 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 “건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행한 2003년도 건설핵심기술연구개발사업(03산학연C01-01)에 의한 도시홍수재해관리기술연구사업단의 연구성과”로 본 연구를 가능케 한 당국에 감사드립니다.

참 고 문 헌

김지호 (2003) 우리나라 하천유역의 합리식 유출계수 산정에 관한 연구, 박사학위논문, 홍익대학교.
 유동훈 (1995) 유출량산정을 위한 합리식의 개선.

대한토목학회 학술발표회 논문집(II), 대한토목학회, pp. 123-126.

윤용남, 원석연 (1992) 도시유역의 홍수량산정을 위한 도시홍수유출모형의 연구. 대한토목학회 학술발표회 개요집(II), 대한토목학회, pp. 168-171.

이재철, 박공춘, 한형근 (1997) 도시내 우수관거 결정을 위한 합리식의 유출계수에 관한 조사연구. 1996년 분과위원회 연구사업보고서, 한국수자원학회, pp. 1-1 - 1-38.

정중호, 윤용남(2004) 수자원설계실무. 구미서관, pp. 15~19

하천설계기준 (2005) 건설부승인 하천설계기준. (사)한국수자원학회, pp. 335-337.

Kuichling, E.(1889) The Relation between the Rainfall and Runoff from Small Urban Area. *Transaction of ASCE*, Vol. 101, pp. 143-183.

Mishra, S. K., J. J. Sansalone and Vijay P. Singh (2004) Partitioning Analog for Metal Element in Urban Rainfall-Runoff Overland Flow Using the Soil Conservation Service Curve Number Concept. *Journal of Environmental Engineering*, ASCE, pp. 145-154.

Mulvaney, T.J (1851) On the Use of Self-registering Rain and Flood Gauges. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, Vol. 4, No. 2, pp. 1-8

Ponce, V. M. (1989) *Engineering Hydrology Principle and Practices*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, pp. 119-127.

Richard H. McCuen and Timothy R. Bondelid (1981) Relationship between Curve Number and Runoff Coefficient, *Journal of Irrigation and Drainage Division*, ASCE, pp. 395-400.

© 논문접수일 : 2007년 06월 13일

© 심사의뢰일 : 2007년 06월 13일

© 심사완료일 : 2007년 07월 14일