韓國水資源學會論文集
第36卷 第2號 · 2003年 4月
pp. 183~193

강우의 시간분포를 고려한 CN값 산정

(SCS Curve Number and Temporal Variation of Rainfall)

조 홍 제* / 이 태 영**

Cho, Hong Je / Lee, Tae Young

Abstract

A relation between the temporal variation of rainfall and direct runoff was characterized using temporal indexes of rainfall(1st, 2nd, 3rd, and 4th moment). Curve Number has a relation with 1st and 2nd moment for AMCⅢ condition when the rainfall duration is relative (10th quantile). Also peak runoff ratio(QP/Q) has a relation with 1st and 2nd moment for AMCⅢ condition as well as 3rd and 4th moment for AMC I condition. Considering all durations of rainfall, alternatively, Curve Number has a relation with 1st and 2nd moment for AMCⅢ condition besides every moments for AMC I condition. But peak runoff ratio(QP/Q) has few relations excepting 3rd and 4th moment for AMC I condition. As a results, temporal indexes of rainfall are useful to determine curve numbers regarding the temporal variation of rainfall.

Keywords : temporal indexes of rainfall, curve number, peak runoff ratio

요 지

강우의 지속시간을 처리하는 방법에 따라 AMC조건과 강우의 시간분포인자(1차, 2차, 3차, 4차 모멘트)가 유출에 미치는 연관성을 연구하였다. 연구결과 강우를 10분위로 고려하는 경우, CN은 AMCⅢ조건에서 1차 및 2차 모멘트와 상관성을 보였으나 그 외의 조건에서는 상관성이 없었다. 또한 첨두유출비(QP/Q)는 AMC I 조건에서 3차 및 4차 모멘트와 상관성을 보였으며, AMCⅢ조건에서는 1차 및 2차 모멘트와 상관성을 보였다. 강우의 전체 지속시간을 고려하는 경우, CN은 AMC I 조건에서 모든 시간분포인자와 상관성을 보였으나 AMCⅢ조건에서는 1차 및 2차 시간분포인자와 상관성을 보였다. 그리고 첨두유출비(QP/Q)는 AMC I 조건에서 3차 및 4차 시간분포인자와 상관성을 보였으나 그 외의 조건에서는 거의 상관성을 보이지 않았다. 따라서 보다 정확한 CN 산정을 위해 강우의 시간분포와 제시된 시간분포인자를 고려할 것을 제안하였다.

핵심용어 : SCS CN법, 시간분포인자, CN, QP/Q

* 울산대학교 건설환경공학부 교수
Prof., Dept. of Civil and Environmental Eng, Ulsan Univ. Ulsan 680-749, Korea
(E-mail : hjcho@mail.ulsan.ac.kr)
** 울산대학교 건설환경공학부 석사졸

1. 서 론

수공구조물 설계 및 이수나 치수 등 하천계획을 위해 직접유출량은 가장 기초적이고 중요한 수문자료이다. 직접유출량 산정방법으로서 미국 토양보전국의 유출곡선번호법(Curve Number Method)은 다른 모델에 비하여 신뢰성이 높고, 계산이 효율적이며, 입력자료 구축이 비교적 쉽다. 최근에는 위성영상을 이용한 토지피복분류와 GIS를 기반으로한 수문학적 인자의 추출이 가능하여 SCS CN법의 적용성은 증가하고 있다. 그러나 유역에 대한 시변성이나 강우의 시간분포가 유출에 미치는 영향을 고려하기에는 여전히 많은 문제점이 남아있다. 무엇보다도 시간적 한계성은 자료가 얼마나 짧은 시간간격별로 정확한 데이터를 많이 축적하느냐 다시 말하면, 양적(量的) 및 질적(質的)으로 충분한 자료를 관측하는 것이 주안점이다. 본 연구에서는 유역의 시변성을 무시하는 반면, 강우의 시변성을 조사하여 이들이 CN에 미치는 영향을 살펴보았다.

SCS CN법은 Rallison과 Miller(1982)에 의하면 토양의 종류, 토지이용상태, 선행토양함수조건, 강우지속시간, 그리고 연평균기온 인자를 가지고 도출한 Q=P(1-10-bP)식을 기초로 발전되었으며, 적용상 문제점으로는 강우의 지속시간과 강우의 시간분포가 무시된 점 등 초기제약조건과 넓은 지역에서 시간에 따른 토양의 침투능을 고려하는 신뢰성 있는 데이터를 습득하기 어려운 점 및 강우의 시간분포를 고려하여 유출량을 결정하는 방법상의 어려운 점이 지적되었다. 그리고 이러한 강우의 시간분포와 CN의 상관성에 관한 연구는 Hjelmfelt 등(1982), 윤태훈(1991, 1992), Yu(1998)에 의해 진행된 바 있다. 특히, 윤태훈(1992)은 CN의 시변성을 고려한 변화성 CN과 조정 CN(CN37)개념을 도입하여 첨두유량 및 유효강우량의 산정에 대한 타당성을 연구하였고, 변화성 CN이 첨두유량 추정치에 근접함을 나타내었다.

CN값의 시변성은 총강우량이 같은 호우사상이 동일한 지속시간 및 물리적인 유역의 조건에서도 시간에 따라 등강우가 아닌 불규칙한 호우특성을 가진다는 점에서 주목하여야한다. 이러한 불규칙한 강우의 시간분포 특성은 복잡하고 다양한 형태를 가지고 있으나 설계에 적합한 여러가지 방법이 개발되었다. 먼저 Keifer 와 Chu(1957)는 I.D.F.의 평균강우강도와 지속시간의 관계식을 이용하여 시간구간별 강우강도를 구하는 Chicago방법을 제안하였다. Huff(1967)는 미국 중동부에 위치한 Illinois주의 관측지역에 49개의 우량계를 400 mile2 정방형으로 설치하여 5분, 15분, 30분 간격의 데이터를 1955년부터 1966년까지 11년간 관측한 후 강우를 4개의 구간으로 나누어 시간분포를 해석하였다. 여기서 Huff는 강우량의 지속시간에 따른 변화를 누가확률곡선으로 나타내었으며 중앙값(Median)이 가장 유용함을 제시하였다. 또한 Huff(1970)는 시간에 따른 강우의 변화율을 분석하고 강우의 종류에 따른 강우의 변화율 특성을 조사하였다. 그리고 Pilgrim과 Cordery(1975)는 호주의 Sydney 지방에 대한 시간분포를 평균이동법을 이용하여 분석하였으며, Yen과 Chow(1980)는 모멘트를 이용한 통계학적 분석방법으로 호우사상의 시간적 분포를 무차원 삼각형 우량주상도로 단순화하였다. 특히 1차 및 2차 모멘트를 이용하여 시간에 따른 강우의 변화양상을 통계적으로 표현하였으며, 고차 모멘트(3차, 4차)를 이용하여 좀 더 정확한 통계적 인자의 산출은 가능하나 계산의 정확성과 복잡성으로 연구의 가능성만을 제시한 바 있다.

국내에서는 이근후(1983)가 Huff의 4분위법을 통해 80 mm이상의 강우를 선별하여 전국적 자료에 대해 분석을 하였으며, 서병하와 김남원(1989)은 전국적인 설계우량의 시간분포 특성치를 제시하여 설계에 적용하기 위한 기초를 마련한 바 있다. 강우분포특성을 유출모형에 직접 적용한 연구로는 서진호(1996)가 IHP 시험유역에 대하여 강우의 시간분포모형을 강우-유출모형으로 적용하였으며, 서규우와 송일준(1998)은 도시화유역에 Huff의 4분위 각각에 대한 유출영향분석을 ILLUDAS와 SWMM을 이용하여 분석하였다.

한편, 강우의 시간분포특성을 SCS CN법과 직접적으로 관련시킨 연구는 없었으나, CN값에 강우의 시간분포특성이 고려되어야 한다는 점은 Hjelmfelt 등(1982), Rallison 과 Miller (1982), 그리고 윤태훈(1991) 등 많은 선행 연구에서 지적된 바 있다. 본 연구에서는 경험적 방법으로 알려진 Huff의 방법으로 단일호우사상을 분리하였고, Yen과 Chow(1980)가 제안한 1차, 2차 모멘트 그리고 금번 연구에서 처음 적용한 3차 및 4차 모멘트로 각 단일호우사상의 시간분포인자를 분석하여 이들과 CN 및 첨두유출비(QP/Q)의 상관성을 해석하는데 주안점을 두었다.

2. 이론적 배경

수공분야에서의 설계홍수량 산정에 가장 중요한 인자중 하나가 유효우량 추정이며 가장 많이 사용되는 방

법으로 미농무국 SCS에서 개발한 유출곡선번호법(이하 SCS CN법)이 있다. NEH-4(1985)는 토지이용, 경작방법, 수문학적 토양군, 그리고 선행함수조건(Antecedent Moisture Condition)등으로 유출곡선번호를 결정하였다. SCS의 초과우량 산정식은 (1)식과 같이 직접유출량(Q), 강우량(P), 그리고 최대잠재저류량(S)으로 계산된다.

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

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \tag{2}$$

여기서 Q, P, 그리고 S의 단위는 mm 이다. 토양분류와 지면피복상태를 나타내는 토지이용을 알면 이에 대한 유출곡선번호값을 토양피복형 유출곡선번호(AMC-Ⅱ, I_a=0.2S)로부터 결정할 수 있으나 이 값은 토양의 수분상태가 건조하거나 습하지 않은 중간값이므로 강우이전 토양의 수분상태에 따라 CN값을 조절하여야 한다. 이에 따라 SCS는 선행함수조건을 설정함으로서 5일 선행강우량(P5)를 기준으로 표 1과 같이 정량적인 조건을 제시하였다.

따라서 AMC-Ⅱ조건에 대한 CN을 결정한 다음 건조상태(AMC-Ⅰ)와 습윤상태(AMC-Ⅲ)에 대한 CN은 (3) 및 (4)식으로부터 산정할 수 있으며, CN(Ⅰ), CN(Ⅱ), CN(Ⅲ)은 각각 AMC-Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ에 대한 곡선번호를 나타낸다.

$$CN(\mathrm{I}) = \frac{4.2CN(\mathrm{II})}{10-0.058CN(\mathrm{II})} \tag{3}$$

$$CN(\mathrm{III}) = \frac{23CN(\mathrm{II})}{10+0.13CN(\mathrm{II})} \tag{4}$$

3. 대상유역 및 관측자료

일반적으로 강우의 시간적인 분포와 공간적인 분포를 같이 적용하기 위한 자료를 구축하는 것은 현실적으로 어려움이 따른다. Yu(1998)는 SCS CN법이 포함하고 있는 시·공간적인 제약을 강우의 공간적 분포와 유역의 시간적 침투변화를 무시한 상태에서 강우의 시간적 분포와 침투의 공간적 분포만을 연속분포인 지수분포(Exponential distribution)로 가정하여 연구하였다. 연구결과 Yu(1998)는 작은 유역에서 시간에 따른 강우의 변화가 공간에 따른 침투의 변화보다 더 중요하다고 제시한 바 있다. 또한 NEH-4에 의하면 SCS CN법은 2.6 ㎢보다 작고 강우가 유역에 걸쳐 비교적 균일한 농경지와 수문학적 토양군 및 피복형을 갖는 소유역에서 관측한 년홍수자료를 이용하여 개발되었다. 더구나 강우-유출모형에서 유출에 기여하는 많은 인자들 중에서 강우의 시간분포만을 고려하여 유출과 상관성을 살펴보기 위해서는 정밀하게 측정된 강우자료와 유량자료들이 요구된다. 이와 같은 관점에서 살펴본다면 본 연구에서 선정하는 유역은 관측데이터의 신뢰성이 높고 비교적 소유역이 필요함을 알 수 있다. 그림 1과 그림 2에는 국제수문개발계획(IHP) 대표시험유역과 한국건설기술연구원에서 관리하고 있는 설마천 시험유역을 나타내었으며, 지형특성인자는 표 2와 같다. 표 2에 나타난 바와 같이 설마천 시험유역은 중심하천경사가 다른 유역에 비해 크므로 유역응답이 빠르며, 상대적으로 작은 유역면적이 본 연구에 적합한 것으로 판단되어 설마천 유역을 분석대상유역으로 선정하였다. 특히, 분석데이터의 정확도면에서도 설마천 전적비교지점 수문자료는 관측시간간격 10분당 0.1 mm단위 강우자료와 0.1 cm단위 수위 및 0.001 cms단위 유량자료를 보유하고 있으므로 1998년부터 2001년까지 4년간의 강우 및 유량자료를 이용하였다.

표 1. 선행토양함수조건

AMC	선행토양수분상태	5일 선행강우량 P_5 (mm)	
		비성수기	성수기
Ⅰ	토양이 건조상태로 유출률이 낮은 상태	P_5 < 12.70	P_5 < 35.56
Ⅱ	토양의 수분과 유출률이 보통인 상태	12.70 < P_5 < 27.94	35.56 <P_5 < 53.34
Ⅲ	선행강우로 인하여 토양이 포화 상태로 유출률이 높은 상태	P_5 > 27.94	P_5 > 53.34

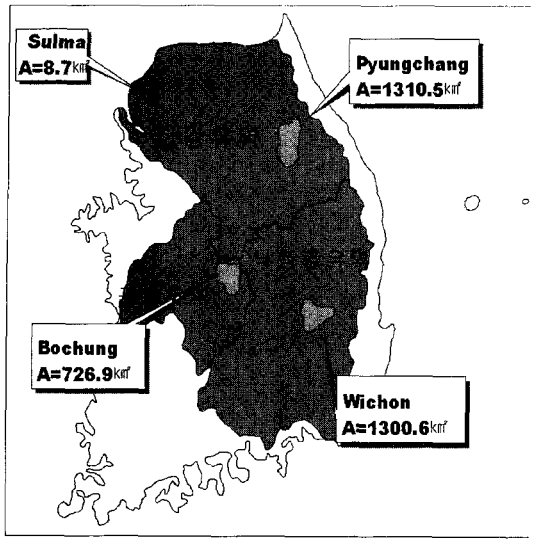


그림 1. 국내 시험유역현황

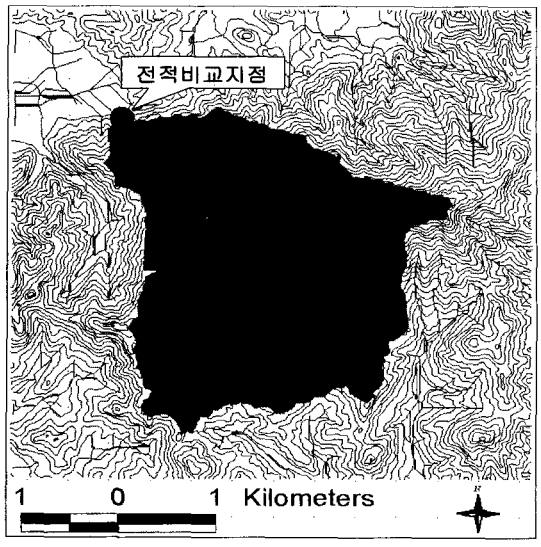


그림 2. 설마천 유역도

표 2. 유역별 지형특성인자

지점명		면적 [㎢]	유역경사	유역길이 [㎞]	둘레 [㎞]	유역 형상비	평균고도 [m]	중심하천길이[㎞]	중심하천경사
평창강	방림	528.5	0.3832	34.47	162.90	2.25	758.08	27.24	0.0055
	하반정	82.1	0.4225	14.70	61.73	2.63	710.68	9.41	0.0205
	상안미	393.3	0.3743	29.59	141.32	2.23	781.47	26.43	0.0076
	백옥포	143.8	0.3811	15.74	79.03	1.72	818.57	12.07	0.0148
	장평	105.1	0.3714	17.75	70.13	3.00	819.65	10.70	0.0244
	이목정	57.7	0.3923	12.90	52.36	2.88	891.22	8.69	0.0168
위천	무성	471.7	0.3402	30.32	161.48	1.95	292.72	18.14	0.0022
	병천	302.5	0.3418	28.28	148.52	2.63	278.36	16.49	0.0024
	미성	229.2	0.3617	20.97	118.55	1.92	304.97	16.37	0.0086
	고노	113.5	0.4459	14.12	83.39	1.76	396.38	10.56	0.0160
	동곡	33.1	0.4553	6.63	40.03	1.33	444.54	4.05	0.0292
	효령	150.6	0.3450	18.77	83.86	2.34	336.50	11.76	0.0165
보청천	산계	484.0	0.3095	28.05	203.47	1.63	269.87	27.24	0.0048
	기대	35.3	0.3038	22.04	169.16	1.37	282.75	11.36	0.0043
	타부	80.1	0.3958	13.27	74.27	2.20	385.02	12.09	0.0085
	이평	76.8	0.3234	11.08	79.68	1.60	275.74	8.56	0.0059
	삼성	50.7	0.3736	8.92	63.85	1.57	297.52	5.86	0.0052
설마천	전적비교	8.7	0.3402	4.10	23.88	1.94	246.05	3.17	0.0252

4. 단일호우사상의 선정

강우-유출모형에서 강우의 시간분포를 고려하기 위해서는 단일호우사상의 선정이 중요한 문제이다. 본 연구에서는 SCS CN법에 적용하기 위해 Hawkins 등(1985)이 제안한 상대적인 강우의 크기로 호우사상을 제한하였다.

4.1 호우사상크기의 제한

SCS는 NEH-4에서 CN을 도출하기 위해 년 최대홍수량으로부터 CN을 산정하였다. 그러므로 본 연구에서도 현재 적용하고 있는 CN과의 연관성을 도출하기 위해 표 3과 같이 Hawkins 등(1985)이 제안한 바 있는 상대적인 강우의 크기를 선정하였다. 윤태훈(1992)은 호우의 상대적인 크기를 국내시험유역에 적용한 결

표 3. 호우의 상대적인 크기

P/S			호우의 크기
0.0	~	0.085	매우 작다
0.085	~	0.2	작다
0.2	~	0.456	보통이다
0.456	~	0.6	크다
0.6 이상			매우크다

표 4. 선정된 단일호우사상의 특성

구분	AMC			Huff의 4분위				강우량(mm)				지속시간(hour)				
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	1	2	3	4	<50	50~100	100~150	>150	<10	10~20	20~30	30~40	>40
개수	17	3	15	5	21	5	4	12	10	6	7	3	18	7	3	4

과 비교적 작은량의 강우사상의 경우 유출에 영향을 미치는 인자가 강우량이나 강우의 시간분포인자보다는 다른 수문학적 인자에 의해 지배적인 영향을 받으므로 강우크기의 하한계를 제시한 바 있다. 본 연구에서도 이러한 점을 고려하여 20 mm이하의 호우사상을 분석에서 제외하였다. 또한 Huff의 4분위법으로 호우사상을 구분하였을 때, 가장 큰 호우로 선정된 1999년 7월 29일부터 8월 4일까지의 강우사상(948.2 mm) 역시 다른 호우사상과 현격한 차이로 인해 상관성에 큰 영향을 미치므로 분석대상에서 제외하였다.

4.2 단일호우사상의 선정 결과

표 3에서 나타낸 단일호우사상의 선정조건에 적합한 호우사상을 선별하여 수문학적인 강우특성을 살펴보았다. 선별된 호우사상은 모두 35개이고 표 4와 같이 선행함수조건, Huff의 4분위, 강우량, 그리고 지속시간에 따라 각각의 빈도를 나타내었다. 설마천에서 나타난 강우의 시간분포특성은 Huff의 4분위법으로 볼 때, 2분위가 21개로 지배적이었으며, 1, 3, 4 분위는 대체적으로 낮은 빈도를 나타내었다. 선행함수조건에서는 AMC-Ⅱ가 가장 낮은 8.6 %, 강우량은 100 mm이하가 총 22개인 62.9%로 대부분을 차지하였으며, 지속시간은 10~20 hr이 전체의 51.4 %를 차지하였다.

강우의 시간분포를 고려하여 유역의 대표유출곡선번호(이하 대표CN)를 산정하기 위해서는 단일호우사상을 비교함에 있어 시간분포 이외의 인자, 즉 선행함수조건, 강우량, 그리고 지속시간 등이 동일하거나 비슷한 조건이어야 한다. 그러나 각각의 인자를 고려하기 위한 강우의 수가 적으므로, 본 연구에서는 강우의 크기와 지속시간을 같이 고려하는 시간분포인자를 사용하여 단일호우사상의 호우특성, 즉 시간분포특성에 의해 CN이 어떠한 변화를 갖는지 살펴보았다. 그리고 계측유역에서 CN을 산정함에 있어 각 호우의 특성을 고려하여 호우사상별로 CN을 재산정 하는 방법을 제안하고자 한다.

5. 강우의 시간분포인자

전 절에 설명한 바와 같이 선정된 단일호우사상의 시간분포인자는 지속시간에 따른 강우의 크기를 같이 고려하여 CN과의 상관성을 간단하게 밝힐 수 있어야 한다. 다른 강우특성인자(선행함수조건, 강우량, 지속시간)와 함께 CN의 변화를 점검하기 위해서는 경우의 수가 늘어남으로 많은 수의 호우사상을 필요로 하게 된다. 본 연구에서는 이러한 요구조건들을 감안하여 Yen과 Chow(1980)가 통계학적 분석을 통해 호우의 시간적 분포를 삼각형 우량주상도로 단순화하여 표현하였던 1차, 2차 시간모멘트를 적용하였다. 또한 Yen과 Chow에 의해 제안된 바 있는 3차 이상의 고차모멘트를 사용하여 1차 및 2차뿐만 아니라 3차 및 4차 모멘트를 강우의 시간분포인자로 고려하여 적용하였다. 따라서, 본 연구에서 적용할 시간분포인자는 통계학적인 의미에서 1차 모멘트는 강우주상도에서의 도심을 의미하고, 2차 모멘트는 강우시점으로부터 분산되어 오는 강우의 정도를 나타낸다. 또한 3차 모멘트는 시간에 대해 강우가 치우쳐진 정도인 왜곡도를 나타내며, 그리고 각각의 호우사상이 치솟은 정도인 첨예도는 4차 모멘트를 통해

표 5. 강우의 시간분포인자

구 분	수 식	통계학적 의미	비 고
1차 모멘트	$\frac{\Delta t\,[\sum_{j=1}^{n}(j-0.5)d_j]}{D}$	도심 (Centroid)	D : 총강우량 Δt : 시간간격 d_j : j번째 강우량 n : 개수 $\bar{d}$: 평균강우깊이 $\bar{\sigma}$: 분산
2차 모멘트	$\frac{(\Delta t)^2[\sum_{j=1}^{n}(j-0.5)^2 d_j+\frac{1}{12}D]}{D}$	분산 (Variance)	
3차 모멘트	$\frac{n\,[\sum_{j=1}^{n}(d_j-\bar{d})^3]}{(n-1)(n-2)\,\bar{\sigma}^3}$	왜곡도 (Skewness Coefficient)	
4차 모멘트	$\frac{n^2\,[\sum_{j=1}^{n}(d_j-\bar{d})^4]}{(n-1)(n-2)(n-3)\,\bar{\sigma}^4}$	첨예도 (Kurtosis Coefficient)	

표현되었다. 이러한 각각의 모멘트는 표 5와 같다.

Yen과 Chow는 1, 2차 모멘트의 결과를 전체 지속시간으로 나누어 무차원 삼각형 우량주상도로 단순화시키는 작업을 하였으며, 이러한 점은 Huff(1967)가 지속시간과 호우간의 영향을 줄이기 위해 누가확률곡선을 사용하는 것과 같은 맥락으로 판단된다. 또한 Yen과 Chow의 연구결과에서는 계절적인 변화가 무차원 삼각형주상도를 통해 고려됨을 보였으나 지속시간에 따른 효과는 무시가 가능하다고 밝혔다. 즉, 강우의 지속시간이 무차원 삼각형우량주상도의 산정에 미치는 영향이 적다고 하였으나, 유출의 입장에서 본다면 강우의 지속시간이 유출에 미치는 영향은 간과할 수 없는 부분이다. 그러므로 본 연구에서는 강우의 지속시간을 단일호우사상의 시작부터 끝까지 고려하는 경우와 Huff의 4분위법과 같이 10개의 분위로 분할하여 지속기간을 상대적인 시간단위로 재구성한 경우 두가지로 나누어서 분석하였다.

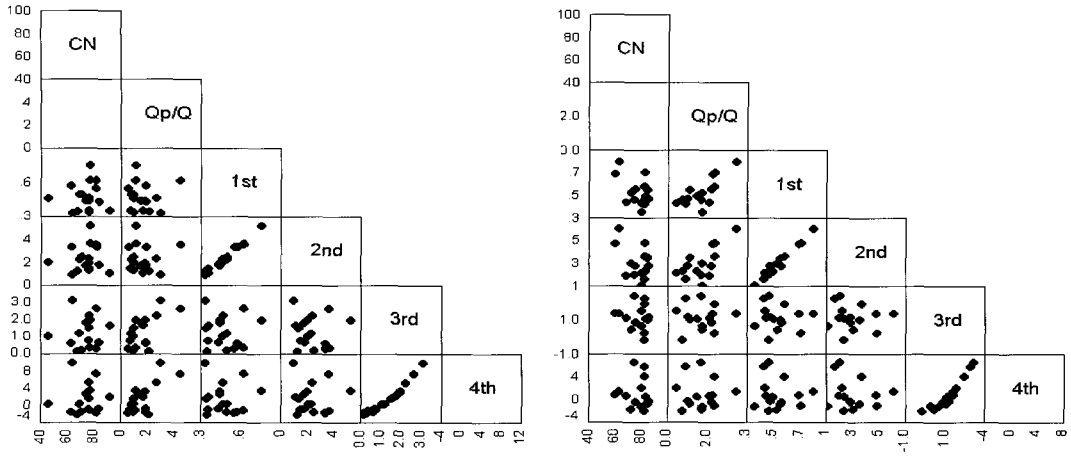
6. 유출자료의 분석

Yen 과 Chow(1980)는 무차원 삼각형 우량주상도를 이용하여 강우의 지속시간을 2시간, 3시간, 그리고 4~5시간으로 나누어 우량주상도와 첨두강우가 오는 시간을 비교하여 본 결과 지속시간은 첨두강우에 큰 영향을 미치지 않는다고 제시하였으나 본 장에서는 지속시간을 고려하는 경우와 고려하지 않는 경우의 호우사상이 유출인자와 어떠한 상관관계를 갖는지를 비교하여 분석하였다

6.1 지속시간을 고려하지 않는 경우(10분위)

단일 호우사상을 10개의 분위로 나누어 상대적인 지속시간으로 비교가 가능하도록 하였다. 또한 AMC조건을 고려하여 강우의 시간분포인자와 유출인자간의 상관관계를 비교분석하였으며 그 결과를 그림 3(a)~3(b) 그리고 표 6(a)에 나타내었다. CN은 AMCⅢ조건에서 1차 및 2차 시간분포인자와 각각 상관계수가 -0.503와 -0.466으로 음의 상관성 가진다. 이러한 결과는 호우의 중심이 뒷부분에 위치할수록 CN이 작아지고, 전체 유출량은 줄어드는 의미를 가진다. 즉, 도심이전의 호우는 대부분 유역내에서 손실우량으로 흡수되고 이후의 강우가 유출에 기여함을 알 수 있다. 또한 유역이 건조한 조건인 경우보다는 습윤한 조건일 때 강우의 시간분포인자가 CN과 더 높은 상관성을 보이며, 이러한 이유는 건조한 조건일 경우 CN은 강우의 시간분포보다는 유역의 다른 수문학적인 요소에 지배적인 영향을 받는다는 것을 간접적으로 알 수 있다.

반면에, 첨두유출고를 총유출고로 나눈 값인 첨두유출비(QP/Q)는 강우의 시간분포인자와 상관계수 0.6이상의 상관성을 보인다. 특히, 건조한 조건(AMC Ⅰ)에서는 3차 및 4차 모멘트의 상관계수가 0.626 및 0.703이고, 습윤한 조건(AMCⅢ)에서는 1차와 2차 시간분포인자의 상관계수가 0.740 및 0.682의 상관성을 보인다. 이는 유역이 건조한 조건에서는 큰 강우(heavy storm)가 상대적로 짧은 지속시간에 오는 경우, 습윤한 조건에서는 강우의 시작시간으로부터 뒷부분에 혹은 도심 이후로 많은 강우가 올수록 높은 첨두유출비(QP/Q)를 가지게 됨을 말한다.



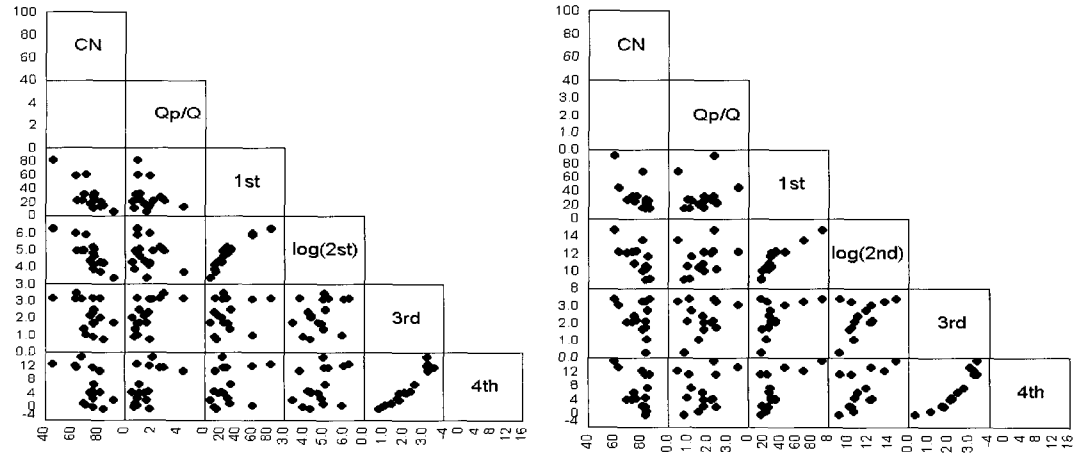
(a) AMC Ⅰ조건 (b) AMC Ⅲ조건

그림 3.지속시간을 고려하지 않는 경우

표 6(a). 시간분포인자의 상관관계(10분위)

구 분		시간분포인자(모멘트)			
		1차	2차	3차	4차
CN	AMC Ⅰ 상관계수	0.057	0.080	0.090	0.061
	AMCⅢ 상관계수	-0.503	-0.466	-0.118	-0.042
QP/Q	AMC Ⅰ 상관계수	0.009	-0.023	0.626**	0.703**
	AMCⅢ 상관계수	0.740**	0.682**	0.024	-0.006
호우사상개수		17(AMC Ⅰ), 15(AMCⅢ)			

※ ** 0.01 유의수준에 만족함



(a). AMC Ⅰ조건 (b) AMC Ⅲ조건

그림 4. 지속시간을 고려하는 경우

표 6(b). 시간분포인자의 상관관계(지속시간을 고려하는 경우)

구 분		시간분포인자(모멘트)			
		1차	Log(2차)	3차	4차
CN	AMC I 상관계수	-0.801**	-0.794**	-0.456	-0.536*
	AMCIII 상관계수	-0.656**	-0.626*	-0.302	-0.437
QP/Q	AMC I 상관계수	-0.264	-0.186	0.590*	0.545*
	AMCIII 상관계수	0.148	0.118	0.205	0.231
호우사상개수		17(AMC I), 15(AMCIII)			

※ * 0.05 유의수준에 만족함 ** 0.01 유의수준에 만족함

표 7. 2차모멘트와 총강우량 및 유출곡선번호의 상관성

상관관계	상관계수
P - Log(2차 모멘트)	0.930**
CN - Log(2차 모멘트)	-0.802**

※ ** 0.01 유의수준에 만족함

6.2 지속시간을 고려하는 경우

시간간격별 강우량(10분간격)을 모두 고려하여 비교분석한 강우의 시간분포인자와 유출인자간의 상관성에 대하여 분석한 결과를 그림 4(a)~4(b) 그리고 표 6(b)에 나타내었다. CN은 지속시간을 고려하여 산정한 시간분포인자가 고려하지 않는 경우에 비해 높은 음의 상관성을 보이고 있다. 특히, 1차 및 2차 시간분포인자는 유역의 선행함수조건에 관계없이 높은 음의 상관성을 보이는 것을 알 수 있다. 따라서 CN은 강우의 전체 지속시간을 고려한 시간분포인자와 상관성이 높다는 것을 알 수 있다.

반면에, 상대적인 지속시간을 고려하는 경우에 비해 시간분포인자가 첨두유출비(QP/Q)와의 상관성이 낮아졌으나 AMC I 조건에서는 첨두유출비와 3차 및 4차 시간분포인자는 상관성이 있는 것으로 나타났다.

6.3 시간분포를 고려한 CN의 보정

본 절에서는 6.1~6.2절의 내용을 참조하여 CN과 상관성이 가장 높은 강우의 지속시간을 고려한 경우의 2차 단면모멘트를 로그화하여 CN을 보정하기위한 방법을 제시하였다. 그리고 보정된 CN으로 계산된 유출고와 관측된 유출고를 도시하여 보정된 정도를 확인하였다.

6.3.1 회귀식 개발

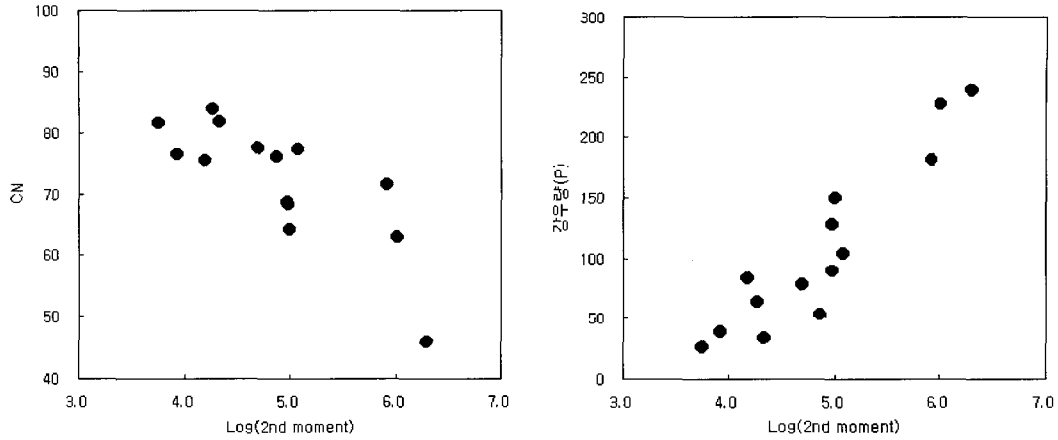
각 호우사상을 AMCII(CNII)조건으로 통일하여 나타내면 CN은 선명한 차이가 나는 것을 알 수 있으며, 이는 선행함수조건을 결정함에 있어 여전히 모호함이 남아있다는 것을 단적으로 설명하는 경우이다. 즉, 5일 선행강우량을 고려함에 있어 현재의 방법으로 정량적인 분석은 무리가 있다고 판단된다. 본 연구에서는 선행강우(Antecedent Precipitation)가 존재하지 않는 동일한 조건의 단일호우사상만을 선택하여 강우 및 유출특성을 살펴보았다. 이러한 경우, 선행강우량에 대하여 유역은 동일한 조건이 되며 특정한 하나의 유역일 경우 CN은 총강우량의 크기와 강우의 시간분포에 의해 결정된다고 볼 수 있다.

선행강우가 존재하지 않는 경우에 한하여, 지속시간을 고려한 시간분포인자(2차 모멘트)를 표 7과 그림 5(a) 및 5(b)에 나타난 바와 같이 총강우량 및 관측 CN에 대하여 상관성을 살펴보았다. 먼저 그림 5(a)에서 CN과 2차 모멘트는 -0.821의 상관성을 나타냈으며, 총강우량은 그림 5(b)와 같이 지속시간이 고려된 2차 모멘트와 0.910의 상관도로 나타났다.

따라서, 2차 모멘트와 총강우량 및 CN에 대한 상관성을 이용하여 회귀식을 제안하였으며, 식 (5)~(6)와 같다.

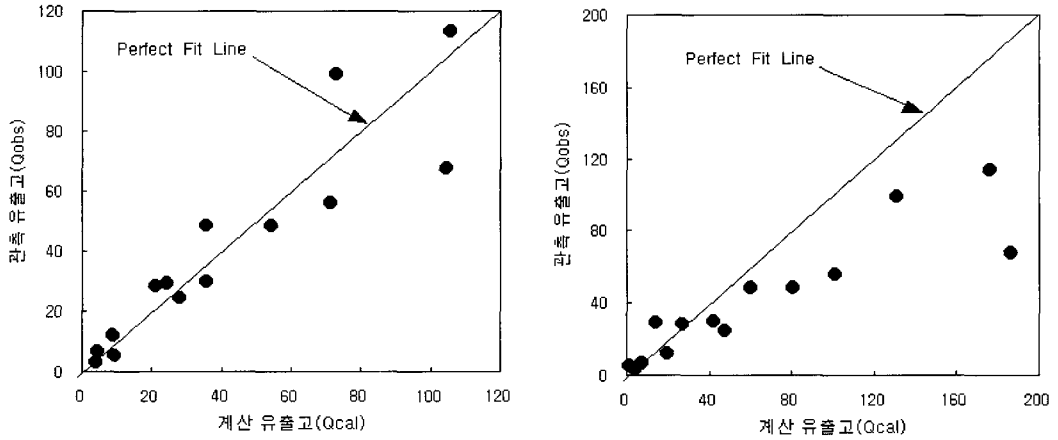
$$P = 83.461 \times \log(\text{2nd moment}) - 300.329 \quad (R^2 = 0.865) \quad (5)$$

$$CN = -10.301 \times \log(\text{2nd moment}) + 122.485 \quad (R^2 = 0.643) \quad (6)$$



(a) CN과 Log(2차 모멘트)　　(b) 총강우량과 Log(2차 모멘트)

그림 5. 지속시간을 고려한 시간분포인자(2차 모멘트)의 상관도



(a) 시간분포 CN에 의한 계산유출고　　(b) 대표 CN에 의한 계산유출고

그림 6. 관측유출고와 계산유출고의 비교

식 (5)를 log(2nd moment)에 대하여 정리한 후 식 (6)에 대입하면 CN-P의 관계식을 얻을 수 있다. 위 식은 기존의 계측유역에서 대표CN이 중앙값(median)으로 결정되는 것과는 달리 개개의 단일호우사상의 호우특성, 특히 강우의 시간분포를 고려한 호우특성에 따라 CN을 산정하는 방법이다.

6.3.2 CN의 보정결과 분석

6.3.1절에 제안된 방법의 정도를 검증하기 위해서는 대표CN을 호우의 시간분포특성과 계산 유출고와 관측유출고의 비교결과를 그림 6(a)에 나타내었다. 사용된 14개 자료의 제곱근평균제곱오차(Root Mean Square Error)는 13.51 mm이고 강우의 크기가 커질수록 이들의 오차범위는 증가하는 것으로 나타났다. 이는 비교분석된 강우량 자료중에서 큰 강우량의 호우사상이 작은 호우사상보다 자료수가 적기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 그림 6(b)에는 설마천 유역의 대표CN값(AMC II)인 83을 이용하여 산정된 계산유출고와 관측유출고의 단순상관을 도시하였다(한국건설기술연구원, 설마천). 여기서 제곱근평균제곱오차는 40.80 mm이다. 이러한 결과를 통해 계측유역의 대표CN을 산정함에 있어 호우

의 특성을 반영한 CN의 산정이 필요함을 알 수 있다.

7. 결 론

본 연구에서는 유역면적이 비교적 작고 정밀한 10분 간격의 강우 및 유량자료를 보유한 설마천을 시험유역 대상지역으로 선정하였으며, 1998~2001년의 4년간의 자료를 이용하여 강우의 시간분포인자와 유출인자의 상관성을 연구하였다. SCS CN법에 적용하기 위한 단일 호우사상의 선택은 먼저 Huff(1967)가 제안한 방법을 통해 강우의 지속시간에 대하여 규정하였고, Hawkins (1985) 및 윤태훈(1991)이 제안하였던 큰 강우(P/S> 0.456)이상의 강우자료만을 선별하였다. 그리고 강우의 시간분포인자는 Yen과 Chow(1980)가 통계학적 방법으로 적용한 1차, 2차 모멘트 또한 금번 연구를 통해 3차 및 4차 모멘트를 사용하여 적용성을 살펴보았다. 강우의 전체지속시간을 고려하는 경우와 10 분위로 분할하여 지속기간을 상대적인 시간단위로 재구성한 경우 두가지로 나누어서 선행함수조건에 따라 분석하였으며, 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 강우의 지속시간을 고려하지 않는(상대적인) 경우,
   1) CN은 AMCⅢ조건에서 1차 및 2차 시간분포인자와 음의 상관성 가진다. 즉, CN은 호우의 중심이 도심의 뒤에 위치할수록 값이 작아지고, 전체 유출량은 줄어드는 경향을 보인다.
   2) 첨두유출비(QP/Q)는 AMC Ⅰ조건에서는 3차 및 4차 모멘트와 0.626, 0.703을, AMCⅢ조건에서는 1차, 2차 모멘트와는 각각 0.740, 0.682의 상관성을 보인다.

2. 강우의 지속시간을 고려하는 경우,
   1) CN은 모든 시간분포인자와 음의 상관성을 나타냈다. 특히 1차 및 Log(2차 모멘트)는 유역의 선행함수조건에 관계없이 높은 음의 상관성을 보이고 있다
   2) 한편, 첨두유출비(QP/Q)는 상대적인 지속시간에 비해 상관성이 낮아졌다.

3. CN은 강우의 지속시간을 고려하여 산출한 2차 시간분포인자와 가장 높은 상관성을 가진다. 그리고 이때 선행강우가 존재하지 않는 경우에 한하여 CN, 총강우량을 Log(2차 모멘트)와 상관성을 분석해 본 결과 -0.802, 0.930으로 나타났다.

4. 3의 분석결과를 이용하여 회귀식 $P = 83.461 \times \log(2nd\ moment) - 300.329$ ($R^2 = 0.865$), $CN = -10.301 \times \log(2nd\ moment) + 122.485$ ($R^2 = 0.643$)을 제안함으로써 계측유역에 대하여 호우의 특성을 고려한 CN을 산정할 수 있는 방법을 제안하였다.

현재 직접유출량 산출을 위해 가장 많이 이용되고 있는 SCS CN법은 최근 위성영상을 이용한 토지피복분류와 GIS를 기반으로 수문학적 인자의 추출을 통해 개발초기 내재되었던 유역의 공간적인 제약성을 탈피하여 모델의 적용성을 더하고 있다. 이에 반해 CN값을 산정함에 있어 강우의 시변성을 고려하기 위한 연구는 전무한 실정이다.

본 연구결과, 기존의 CN이 유역의 물리적인 특성만으로 결정되었으나, 계측유역에서 CN을 산정함에 있어 호우의 특성을 고려한 단일호우사상에 대하여 CN으로 재산정할 수 있는 방안을 제시하였다. 간단한 시간분포인자를 이용하여 더 적용성 있는 CN의 산정이 가능하며, 향후 국내 산지유역에 적용하기 위해서는 더 많은 강우사상의 분석을 통해 강우의 시간분포와 유출에 대한 연구가 필요하다고 판단된다.

8. 감사의 글

본 연구의 근간이 된 설마천의 10분단위 강우 및 유출자료를 제공하여주신 한국건설기술연구원 수자원 환경 연구부 여러분들에게 진심으로 감사를 드립니다.

9. 참고문헌

서진호 (1996). 강우의 시간분포모형 산정에 의한 강우-유출 해석. 박사학위논문, 동아대학교, pp. 1-87.

서규우, 송일준(1998). "Huff의 강우분포 특성에 따른 도시화유역의 유출해석 연구." 대한토목학회논문집, 제 18권, 제Ⅱ-4호, pp. 329-338.

서병하, 김남원 (1989). 지역별 설계 강우의 시간적 분포. 건기연 89-WR-111, 한국건설기술연구원, pp. 7-116.

이근후 (1983). 폭우의 시간적 분포에 의한 연구. 박사학위논문, 서울대학교, pp. 13-80.

윤태훈 (1991). "유효우량 산정을 위한 곡선번호방법의 적용성." 한국수문학회지, 제24권, 제2호, pp. 97~108.

윤태훈 (1992). "SCS곡선번호에 의한 유출고 및 첨두유

량의 산정과 곡선번호의 시변성." 한국수문학회지, 제 25권, 제 4호, pp. 87-95.

윤태훈 (1997). 응용수문학. 청문각, pp. 248-257.

한국건설기술연구원 (1995~2001). 시험유역의 운영 및 수문특성 조사·연구, 건기연 95-WR-1102-1.

Hawkins, R.H., Hjelmfelt, A.T., Zenvenbergen, A.W. (1985). "Runoff probability, storm depth, and curve numbers." *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, Vol. 111, No. RI4, pp. 330-340.

Hjelmfelt, A.T., Kramer, L.A., Burwell, R.E. (1982). "Curve numbers as random variables." *Rainfall-runoff relation*, Edited by Singh, V. P., Water Resources Publications. pp. 365-370.

Hjelmfelt, A.T. (1991). "Investigation of curve number procedure." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 117, No. HY6, pp. 725-737.

Huff, F.A. (1967), "Time distribution of rainfall in heavy storms." *Water Resource Research*, Vol. 3, No. 4, pp. 1007-1019.

Huff, F.A. (1970), "Time distribution characteristic of rainfall rate." *Water Resource Research*, Vol. 6, No. 2, pp. 447-454.

National Engineering Handbook (1963). *Section 4, Hydrology*, U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C.

National Engineering Handbook (1985). *Section 4, Hydrology*, U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C.

Keifer, C.J., Chu, H.H. (1957). "Synthetic storm pattern for drainage design." *Journal of the Hydraulic Division*, ASCE, Vol. 83, No. HY 4, Proc. Paper 1332, pp. 1-25.

Pilgrim, D.H., Cordery, I. (1975) "Rainfall temporal patterns for design floods." *Journal of the Hydraulic Division*, ASCE, Vol. 101, No. HY1, pp. 81-95.

Rallison, R. E., Miller, N. (1982). "Past, present, and future SCS runoff procedure." *Rainfall-runoff relation*, Edited by Singh, V. P., Water Resources Publications. pp. 353-364.

Yen, B.C., Chow, V.T. (1980) "Design hyetographs for small drainage structures." *Journal of the Hydraulic Division*, ASCE, Vol. 106, No. HY6, pp. 1055-1076.

Yu, B. (1997) "Theoretical justification of SCS method for runoff estimation." *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, ASCE, Vol. 124, No. IR6, pp. 306-310.

(논문번호:02-92/접수:2002.11.27/심사완료:2003.02.20)