

## SCS 방법 적용을 위한 선행토양함수조건의 재설정:

### 1. SCS 방법 검토 및 적용상 문제점

Revised AMC for the Application of SCS Method:

#### 1. Review of SCS Method and Problems in Its Application

박정훈\* / 유철상\*\* / 김종훈\*\*\*

Cheong Hoon Park / Chulsang Yoo / Joong Hoon Kim

#### Abstract

Even though the runoff volume is very sensitive to the antecedent soil moisture condition (AMC), the general rainfall-runoff analysis in Korea has accepted, without careful consideration of its applicability, the AMC classification of the Soil Conservation Service (SCS, 1972). In this study, by following the development procedure of SCS Curve Number (CN), the rainfall-runoff characteristics of the Jangpyung subbasin of the Pyungchang River Basin were analyzed to estimate the CN and evaluate the AMC classification of currently being used. As results, CN(I), CN(II), and CN(III) were estimated to be 72.1, 79.3, and 76.7, respectively. Among them CN(II) was found to be similar to the other reports but the other two were totally different from those of theoretically estimated. However, it is difficult to evaluate the AMC with CN, rather the frequency of each AMC could be a better indicator for its validity. This study developed the histogram of AMC and compared the frequency of each AMC. As results we found that the criterion for AMC-III should be increased, but that for AMC-I decreased.

*keywords* : AMC, CN, SCS, rainfall-runoff

#### 요 지

선행토양함수조건(AMC)에 따라 유출용적이 매우 다르게 나타날 수 있음에도 불구하고 우리나라에서의 강우-유출 해석에는 그 적용성에 대한 평가 없이 미국에서 개발된 AMC조건(SCS, 1972)이 일반적으로 그대로 이용되고 있다. 본 연구에서는 SCS의 CN 결정과정을 그대로 따라 평창강 유역의 장평 소유역에 대해 CN 값을 추정하고 이를 이용하여 AMC 조건을 평가하였다. 그 결과 CN(I), CN(II), CN(III)가 각각 72.1, 79.3, 76.7로 추정되었다. CN(II)의 경우는 기존 보고서와 유사한 값을 보여주고 있으나 나머지 값의 경우는 이론적인 값과 매우 동떨어진 결과를 나타내고 있다. 그러나 CN의 평가만으로 AMC 조건의 적절성을 판단하는 것은 어려우며, 오히려 AMC 조건의 발생 빈도를 검토하여 AMC 조건의 적절성은 판단하는 것이 바람직하다. 본 연구에서도 AMC 조건별로 호우사상의 발생빈도를 히스토그램으로 작성/비교하였으며, AMC-III 조건은 상향될 필요가, 반대로 AMC-I 조건은 하향될 필요가 있음을 확인하였다.

**핵심용어** : 선행토양함수조건, CN, SCS, 강우-유출

\* 고려대학교 사회환경시스템공학과 석사과정(현 하준이앤씨 대리) (e-mail: ruciel4@hotmail.com)

\*\* 고려대학교 사회환경시스템공학과 부교수 (e-mail: envchul@korea.ac.kr)

\*\*\* 고려대학교 사회환경시스템공학과 교수 (e-mail: jaykim@korea.ac.kr)

## 1. 서 론

Mockus(1949), Sherman(1949) 등은 미국의 여러 시험유역에 대하여 토지 이용도 및 토양피복상태와 유출 형태에 대한 광범위한 연구를 실시하였으며, 1954년도에 미 토양보존국(Soil Conservation Service, SCS)에서는 강우로부터 직접유출량을 추정하는 방법인 SCS Curve Number (CN) 방법을 개발하였다. 미계측 유역의 직접 유출량을 산정하는 방법으로 주로 사용되는 SCS 방법은 유역의 토양특성과 피복상태를 고려하여 CN을 부여함으로써 직접 유출량의 계산이 가능토록 한다. 또한 CN 값은 유출량을 산정하기 전 토양의 습윤 정도에 따라 달라진다. 즉, 동일한 강우가 내린 경우 선행강우량이 많으면 유역 토양의 습윤도가 높으므로 유출률은 커지나 선행강우량이 적을 경우에는 침투손실이 커지므로 유효우량은 적어져서 유출률은 작아진다. 따라서 SCS에서는 5일 선행 강우량의 크기에 따라 선행 토양함수조건(Antecedent Soil Moisture Condition, AMC)을 설정하고 있다. 즉, 상대적으로 건조한 상태인 AMC-I, 보통 상태인 AMC-II 및 습윤상태를 나타내는 AMC-III가 그것이다(SCS, 1972). 이를 구분하는 기준은 기후, 지질 및 지형, 식생의 상태 등 다양한 고려를 통해 결정되어야 하나, 우리나라에서는 미국의 기준을 그대로 사용하고 있다.

현재 국내에서 설계홍수량을 산정하기 위해서 SCS 방법을 사용할 때에 주로 사용되는 선행토양함수조건은 가장 큰 유출률을 주는 AMC-III 조건이다. 그러나 AMC-III 조건은, AMC-II 조건에 비해 설계홍수량을 매우 크게 증가시켜 안전설계라는 측면이 있으나, 과연 짧은 재현기간에 대해서도 AMC-III 조건을 사용해야 하는지에 대한 검토는 부족한 실정이다. 아울러, AMC를 결정하는 기준인 선행 5일강우량은 SCS에서 제안된 기준 그대로를 국내에 적용되고 있는데, 우리나라가 SCS방법이 개발된 미국과 확연히 다른 지형, 토양 및 기후 조건 등을 가지고 있음을 고려할 때 그 기준이 타당한지에 대한 검토가 필요하다고 하겠다.

따라서 본 연구에서는 먼저 AMC의 배경에 대하여 살펴보고 AMC의 설정기준인 선행5일강우량에 대해 평가해 보고자 한다. 특히, 본 연구에서는 강우-유출 사상으로부터 CN을 직접 계산, 해당 강우사상별로 선행강우량에 따른 AMC를 부여한 후, 이에 대한 타당성을 검토하고자 한다. 대상 유역으로는 국제수문개발계획(IHP) 대상유역인 평창강 유역의 지류인 장평 유역을 선정하였으며, 1985년부터 2001년까지 일강우 및 일수위자료를 이용하였다.

## 2. SCS 방법

### 2.1 SCS 방법의 발전 배경

SCS 방법 및 AMC 조건에 관한 연구는 다음과 같은 역사적 배경을 갖는다. 1930년대 중반 미국에서는 수문 자료 수집의 중요성이 부각됨에 따라 SCS의 설립과 더불어 여러 시험유역에 대해 강우, 유출 및 기타 수문자료를 수집하게 된다. 1936년 Flood Control Act(Public Law 74-738)가 공포되면서 미 농무부(Department of Agriculture)에서는 유역의 자세한 측량 및 토양의 침식 등에 대한 연구에 박차를 가하게 된다(Rallison and Miller, 1982). 이러한 연구 성과들을 바탕으로 Sherman(1949)은 강우 사상과 직접 유출간의 관계(단위도 이론)를 제시한바 있으며, Mockus(1949)는 지표면 유출이 토양의 특성, 토지 이용도, 선행 강우량, 강우량과 강우기간, 및 평균 온도 등에 영향을 받는다고 가정하여 다음과 같은 식을 제시하였다.

$$Q = P[1 - (10)^{-b}] \quad (1)$$

여기서, Q는 직접유출량, [inches], P는 강우량, [inches], b는 직접 유출량을 산정하기 위한 index 값으로서 다음과 같이 결정된다.

$$b = \frac{0.0374 (10)^{0.229M} C^{1.061}}{T^{1.990} D^{1.333} 10^{2.271(S/D)}} \quad (2)$$

특히 위 식에서의 M은 선행 5일 강우량 (inch)을 나타내는 것으로 처음으로 선행5일강우량이 유출해석에서의 인자로 도입된 최초의 사례이다. 그러나 왜 선행5일이나 하는 것에는 이론적이거나 실험적인 근거가 명확하지 않은 것으로 알려져 있다(Chen, 1981). 이 외에 C는 경작방법인자(cover practice index), T는 계절인자(seasonal index), D는 호우지속시간(duration of storm, hours), S는 토양인자(soil index)를 나타낸다.

이후 Andrews(1954)는 SCS 방법의 기초이론을 구축하였으며, 이에 근거하여 SCS(1972)는 직접유출량 Q와 총강우량 P의 관계를 강우의 초기손실  $I_a$ 와 최대 잠재보유수량 S의 함수로 표현하여 제시하였다. 즉, 총강우량 P는 직접유출량 Q, 초기손실  $I_a$ , 유출이 시작된 후에도 유출로 나타나지 않는 강우부분인 실제보유수량 F로 분리될 수 있다. 따라서 다음과 같은 식이 성립한다.

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

$$F = (P - I_a) - Q \quad (4)$$

강우가 시작된 후, 실제 보유수량 F는 유역의 최대 잠재보유수량 S에 도달할 때까지 증가하게 된다. 또한 유출량 Q 또한 강우량 P가 증가함에 따라 증가하게 된다. 여기서 실제 잠재보유수량 F와 최대잠재보유수량 S의 비는 유출량 Q와 유효우량 P의 비와 같다는 비례가정을 도입하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

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

위의 식에서 만약 P가 무한대로 증가함에 따라 F는 S에 도달하게 되므로  $Q/(P - I_a)$ 는 1에 접근하게 됨을 알 수 있다. Eq. (4)를 Eq. (5)에 대입하여 유출량 Q에 대하여 정리하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S}, \text{ when } P \geq I_a \quad (6)$$

$$= 0, \text{ when } P \leq I_a$$

Eq. (6)은  $I_a$ 와 S 두 개의 변수들로 이루어져 있으므로 초기 손실( $I_a$ )을 독립적으로 계산하는 것을 피하기 위하여 다음과 같은  $I_a$ 와 S간에 선형 가정을 통하여 간단화하게 된다(SCS, 1972; see Fig. 1).

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

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

위의 식은 유역의 최대 잠재 보유수량 S로부터 유출량을 쉽게 계산할 수 있도록 해 준다. 여기서 S는 0부터  $\infty$ 까지의 값을 가지게 되므로 실무에의 적용을 보다 간편히 하기 위해 다음과 같은 변환식을 제안하게 된다. 즉,

$$S(\text{inch}) = \frac{1,000}{CN} - 10 \quad (9)$$

여기서, CN은 유역의 유출특성을 나타내는 Curve Number(CN)로서 0부터 100 사이의 값을 가진다. 즉, CN=0이면 S는 무한대의 값을 가지게 되어 유출량은 0이 되며, CN=100이 되면 잠재보유수량이 0이 되므로 유효우량 전체가 유출에 기여하게 된다.

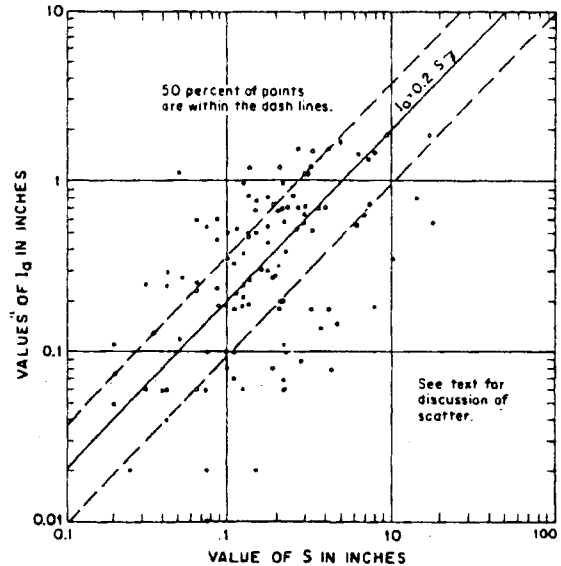


Fig. 1. Relation between  $I_a$  and S (SCS, 1972)

## 2.2 CN의 결정과 선행토양함수조건(AMC)의 도입

Eq. (8) and (9)로부터 대상유역에서의 CN값만 주어지면 총강우량 P에 대하여 유출량 Q를 계산할 수 있게 된다. 따라서 역으로 강우-유출기록으로부터 CN을 결정하는 것이 가능하다. 이와 관련하여 미 중서부 농업 지대의 여러 시험유역을 대상으로 한 Rallison and Miller(1982)의 연구를 살펴볼 수 있다.

CN의 결정은 Fig. 2에서 살펴볼 수 있는 것과 같이 간단하다. 즉, 연 최대 호우계열(일 강우-유출량 자료)을 수집하여 강우 및 이에 따른 유출량을 산술축에 표시한 후 그 중간값을 CN으로 채택하는 것이다. 따라서 이를 Median CN이라고 부른다. 아울러 Fig. 2에서 가장 작은 CN 값이 AMC-I의 조건에 해당하는 CN(I)이 되며 반대로 가장 높은 CN 값이 AMC-III의 경우에 해

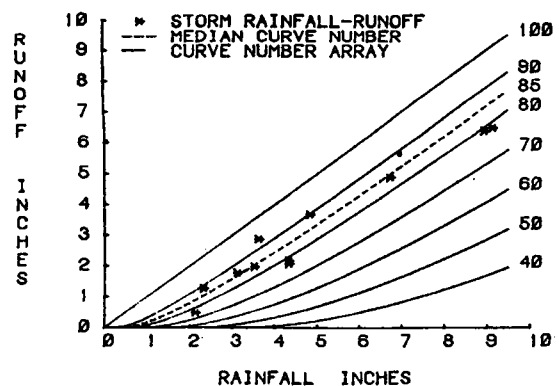


Fig. 2. Decision of Median Curve Number (Rallison and Miller, 1982)

당하는 CN(III)가 된다. CN(II)의 경우는 Median CN으로 결정된다. 이러한 과정은 연 최대치 호우계열에 대하여 선행 토양함수 조건을 고려하기 때문이며, 기타 작은 호우사상의 경우와 차별됨에 유의할 필요가 있다.

이와 같이 CN을 결정하는 과정에는 다양한 토양형태나 피복형태, 아울러 다양한 수리학적 특성 등이 고려되지 않는다. 이와 관련하여 Mockus(1964), Rallison and Cronshey(1979) 등은 다양한 피복형태 및 토양형을 가지고 있는 여러 시험유역에 대해 CN값을 추정 제시한 바 있다(Rallison and Miller, 1982; Ponce and Hawkins, 1996). 특히, Mockus(1964)는 "토양피복을 고려한 CN값은 유역의 평균조건(roughly average condition)하에서 구한 값이며, 강우강도에 따른 CN의 변화를 무시하기 위해 평균토양함수조건을 사용하여 평균조건을 설정하도록 하였다. 아울러, 평균 CN값의 변화는 침투, 증발산, 토양수분, 지체시간, 강우강도, 온도 등의 영향을 받기 때문에 이러한 변동요인을 고려하기 위하여 AMC를 도입하였다"라고 하여 AMC의 도입 배경에 대하여 밝힌 바 있다.

이러한 연구성과들을 기반으로 하여 SCS(1972)에서는 National Engineering Handbook Section-4에서 AMC 조건에 따른 CN 값의 환산표를 제시하게 된다. 여기서 선행토양함수조건을 구분하게 되는 기준은 1년을 성수기(growing season)와 비성수기(dormant season)로 나누어 각 경우에 대하여 다음 Table 1과 같은 3가지 조건으로 구분하고 있다(SCS, 1985).

Table 1. Divisions of AMC

AMC Group	5-Day Antecedent Rainfall P <sub>5</sub> (mm)	
	Dormant Season	Growing Season
I	P <sub>5</sub> < 12.70	P <sub>5</sub> < 35.56
II	12.70 < P <sub>5</sub> < 27.94	35.56 < P <sub>5</sub> < 53.34
III	P <sub>5</sub> > 27.94	P <sub>5</sub> > 53.34

### 2.3 기타 관련연구

Chen(1981)은 그의 논문에서 CN의 크기에 영향을 미치는 각 변수에 대하여 민감도 분석을 실시한 결과 선행토양함수조건과 유출계수가 유출량에 큰 민감도를 가지고 있다는 연구결과를 발표하였다. 아울러, AMC가 처음에 개발되었을 때 어떤 기준을 가지고 설정되었는지 알 수 없다고 밝혀, AMC 설정 기준의 모호함을 강조하기도 하였다.

Sobhani(1975)는 잠재보유수량 S와 AMC-I, II, III간에 선형적인 관계를 가지고 있음을 밝힌 바 있으며 이

를 근거로 하여 다음과 같은 AMC에 따른 CN의 변환식을 제시하였다.

$$CN_I = \frac{CN_{II}}{2.334 - 0.01334CN_{II}} \quad (10)$$

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0.4036 + 0.005964CN_{II}} \quad (11)$$

또한 그는 AMC의 변화에 따른 CN의 민감도 분석을 실시하여 CN이 AMC에 매우 민감하여 AMC를 잘못 설정함으로써 CN의 산정에 큰 오차를 유도한다는 연구결과를 밝히기도 하였다. 이러한 지적은 Hope and Schulze(1981)에 의해 다음과 같이 구체적으로 정리된다.

- (1) AMC와 강우는 연속적인 사상이라기보다는 불연속적인 사상이기 때문에 AMC에 따른 CN의 갑작스런 변화(sudden shift)는 유출량의 극단적인 변화(quantum jump)를 가져온다(Hawkins, 1978a, b).
- (2) 5일 선행강우량의 설정은 물리적인 현상에 기초한 값이 아니고(not physically based) 주관적인 판단에 따른 것이다.
- (3) 증발산 및 유출로 인한 유역의 저류량의 감소를 고려하지 못한다.

이러한 문제점을 극복하고자 하는 노력으로 Hawkins(1978b)는 유역의 물리적인 특성 및 AMC를 고려하여 CN값을 좀 더 정확히 산정하고자 CN 조정공식(CN adjustment formula)를 제시하였으며, Hope and Schulze(1981)는 이와 같은 수정 CN 값을 사용하여 좀 더 정확한 유출량을 계산한 바 있다. Hjelmfelt et al.(1982)는 SCS에서 제시한 AMC-I, II, III 조건에서의 CN이 Fig. 3과 같은 관계를 보임을 발표한 바 있다. 즉 최대잠재보유수량 또는 Curve Number의 10% 초과확률에 해당하는 것은 AMC-I, 50%는 AMC-II, 90%는 AMC-III에 해당한다. Hjelmfelt(1991)는 또한 강우량과 유출량의 관계를 CN으로 구분하여 나타내기도 하였다(Fig. 4). 물론 이 경우의 강우-유출 기록도 연 최대치 호우사상에 해당하는 것이며, AMC-II 조건에서의 CN은 강우-유출 자료계열의 평균적인 조건을 나타낸다.

Michell et al.(1993)은 미국 중부 Illinois의 두 유역에 대해 성수기의 AMC 조건을 새롭게 제시한 바 있으며, 이 값은 각각 12 mm (AMC-I)와 41 mm(AMC-III) 정도로 Table 1에 나타난 기준에 비해서는 적은 선행5일 강수량이다. 기타 토양함수조건과 CN에 관련된 최근의

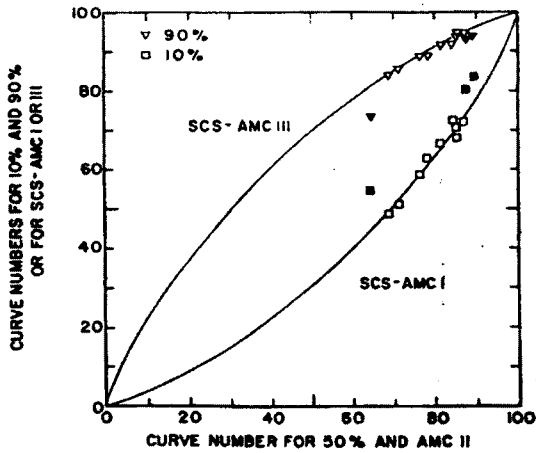


Fig. 3. CN and AMC for 10%, 50%, 90% Exceedance Probabilities (Hjelmfelt et al., 1982)

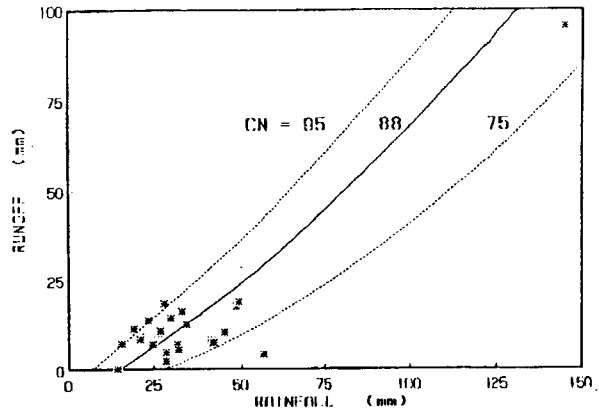


Fig. 4. Plotting of Rainfall, Runoff, and Curve Number (Hjelmfelt, 1991)

연구로서 Choi et al.(2002)을 살펴볼 수 있다. 특히, 이들의 연구에서는 AMC 대신 ASM(Available Soil Moisture)이라는 개념을 도입하여 CN의 조정치에 해당하는  $CN_{adj}$ 를 제시하였다. 즉, AMC-II 조건은  $ASM_{max}$ 의 50%에 해당하고, AMC-I 조건은 토양수분의 wilting point(WP)에, AMC-III 조건은 토양수분의 field capacity(FC)에 해당한다고 정의한 바 있다.

이 외에도 De Michele and Salvadori(2002)는 홍수빈도해석에 선행토양수분의 양이 미치는 영향을 분석하여 첨두홍수량과 연최대 첨두홍수량의 분포를 해석적으로 표현한 바 있다. 유사한 연구로서 Castillo et al.(2003)는 선행토양수분의 양이 강우-유출에 미치는 영향을 분석하였는데, 그 결과로서 높은 강도의 강우로 인한 유출의 형태는 토양 수분량과 독립적인 관계를 가지는 반면에 중간 또는 낮은 강도의 강우는 초기수분함량과 큰 연관성을 가짐을 밝히고 있다.

### 3. SCS 방법 적용 및 문제점 검토

#### 3.1 대상 유역 및 자료

대상유역을 선정함에 있어서 고려한 사항은 자료의 강우-유출자료의 구비연한이 충분히 길고, 이상치가 최대한 적어야 한다는 것이다. 이에 본 연구에서는 먼저 국제수문개발계획(IHP)의 대표유역인 평창강, 보청천, 위천 유역을 고려하였으며, 각각 강우-유출자료를 평가하여 상대적으로 이상치의 개수가 적은 것으로 판단된

평창강 유역을 선정하였다. 아울러, 복잡한 지형 및 지류의 유입으로 인한 영향을 최대한 줄일 수 있는 지점으로 판단한 평창강 상류 홍정천의 지류인 장평 유역을 본 연구의 대상지점으로 선택하였다.

장평유역은 유역면적이 105.00  $km^2$ 이며 주하천 연장은 24.59 km인 소유역이다. 유역평균강우량을 구하기 위하여 티센 면적가중치 방법을 사용하였다. 장평유역에 해당되는 강우관측소는 건교부 산하 자기우량 관측소인 용전과 계방 강우관측소이며, 1982년부터 강우자료가 구비되어 있다. 또한 장평 수위관측소는 1983년부터 수위 관측소가 운영되어 이로부터 수위자료를 획득하였다. 본 연구에서도 1985년도부터 2001년까지의 우기(6월~9월)를 연구의 대상기간으로 한정하였으며, 이에 필요한 일강우 및 일수위자료는 2002년 국제수문개발계획(IHP) 보고서(건설교통부, 2003)의 연구성과 중 하나로 수문 및 수질자료의 전자출판 보급계획에 따라 만들어진 홈페이지 <http://ihpproject.homp.com/>에서 획득하였다. 이 홈페이지에서 부분적으로 미비된 자료는 해당 년도의 국제수문개발계획(IHP) 보고서를 참조하여 보완하였다(건설교통부, 1992; 2003).

장평 유역의 유출곡선지수(CN)는 수자원 종합정보센터([www.wamis.go.kr](http://www.wamis.go.kr))로부터 획득하였으며, 이는 Table 2와 같다. 본 연구에서는 장평유역의 AMC-II 조건에서의 CN을 75.7로 택하여 이후 분석의 기준으로 삼았다. 따라서 Eq. (10) 및 (11)을 적용하는 경우 이론적인 CN(I) 및 CN(III)는 각각 56.7 및 87.8로 계산된다.

Table 2. CN for Jangpyung Subbasin

Year	1975년	1980년	1985년	1990년	1995년	2000년
CN	75.6	75.6	75.7	75.7	75.7	75.8

### 3.2 관측 강우-유출기록으로부터의 CN 산정

SCS 방법은 미계측 유역에서 유출량을 산정하고자 할 때, 유역의 토양특성 및 식생피복상태 등에 따라 CN을 부여하여 직접유출을 계산한다. SCS에서는 또한 강우-유출 자료(연 최대 홍수량 자료)가 있을 경우 이 자료를 이용하여 CN을 직접 산정하여 사용할 것을 권장하고 있다(Ponce and Hawkins, 1996; 건설교통부, 1992).

본 연구에서도 1985년도부터 2001년까지 우기시(6월~9월) 강우-유출 자료를 바탕으로 선행5일강우량과 그에 따른 최대 잠재보유수량 S 및 유출곡선지수 CN을 직접 산정하였다. 그 결과 최대잠재보유수량은 낮은 선행강우량에서 0에서 300사이의 값을 가지면서 넓게 분포되어 있으며 높은 선행강우량에서 선행강우의 증가에 따라 잠재보유수량 S가 점점 감소하는 경향성을 보였으나 뚜렷하지는 않았다. 이와 달리 CN의 경우에는 선행 강우량과 CN의 직접적인 상관성을 찾기가 어려웠다(Fig. 5). 특히 Fig. 5에서는 선행강우량이 작은 경우에 S 및 CN의 큰 변동성에 유의할 필요가 있다. 즉, 이런 상황에서 선행강우 외 다른 요인이 유출특성을 크게 좌우할 수 있다는 것을 보여준다. 즉, 선행강우가 0인 경우에도 강우강도가 아주 크거나 또는 호우의 중심이 유역의 출구에 위치한다면 CN은 아주 크게 추정될 수밖에 없다. 반대로 선행강우가 큰 경우에 CN이 아주 작게 추정될 가능성은 상대적으로 작아진다.

Fig. 6은 선행토양함수조건별 CN의 분포도를 상자그림으로 나타낸 것이다. AMC-II 조건에서의 CN은 79.3으로서 국제수문개발계획보고서(건설교통부, 1992)에서 발표한 CN과 유사한 값을 보여주고 있다. 그러나 AMC-I과 AMC-III의 평균은 72.1, 76.7로 이론적인 추

정치와 매우 상이한 값을 나타내고 있다. 또한 이들의 사분위범위도 서로 교차하고 있어 그 차이가 통계적으로 유의하다고 판단하기도 어렵다. 이러한 결과는 근본적으로 Fig. 5에서의 결과와 동일하며, 결국 선행강우량과 CN과의 상관성을 유의하게 판단하기 어렵게 만든다. 즉, AMC 조건이 CN 값을 뚜렷하게 구분하지는 못한다는 결과이다.

이러한 결과의 원인으로 먼저 유역의 평균조건에 해당하는 AMC-II 조건의 CN이 AMC-I 및 III에 많이 포함되어 결과를 왜곡하는 상황을 고려할 수 있다. 이러한 상황은 특히 연초과치 호우사상을 사용하는 본 연구에 잘 적용된다. 그러나 AMC 조건을 수정한다고 해도 AMC 조건에 따라 CN 값이 유의한 차이를 보일 것이라고 크게 기대하기는 어렵다. 이는 AMC 조건만으로는 CN을 명확히 조절할 수 없는 SCS 방법의 한계이기도 하다. 예를 들어 선행강우량에 관계없이 강우강도가 아주 큰 경우에 큰 CN이 추정될 수 있으며, 또한 호우 중심이 유역 출구에 위치하는 경우에도 역시 큰 CN이 추정될 수 있다. 이와 반대의 경우에는 작은 CN이 추정될 수밖에 없다. 이와 같이 강우의 간헐성, 방향성 등을 포함한 강우의 시-공간적인 변동성 문제, 기타 식생의 활성도, 토지이용의 변화와 같은 지표면 특성의 변화 등이 모두 CN에 큰 영향을 미친다. 더욱 심각한 문제는 이러한 상황이 너무나 빈번하게 나타난다는 것일 것이다. 따라서 추정된 CN의 평균은 CN(II)에서 아주 크게 벗어나지 못할 가능성이 많으며, 단순히 CN의 평가만으로 AMC 조건의 적절성을 판단하는 것은 어려운 일이다. 적절한 AMC 조건을 추정하는 것은 더욱 어려운 일이며, 연 최대치 호우계열의 분석이 아닌 작은 호우사상까지를 포함해서 분석하는 경우에는 더욱 그렇다.

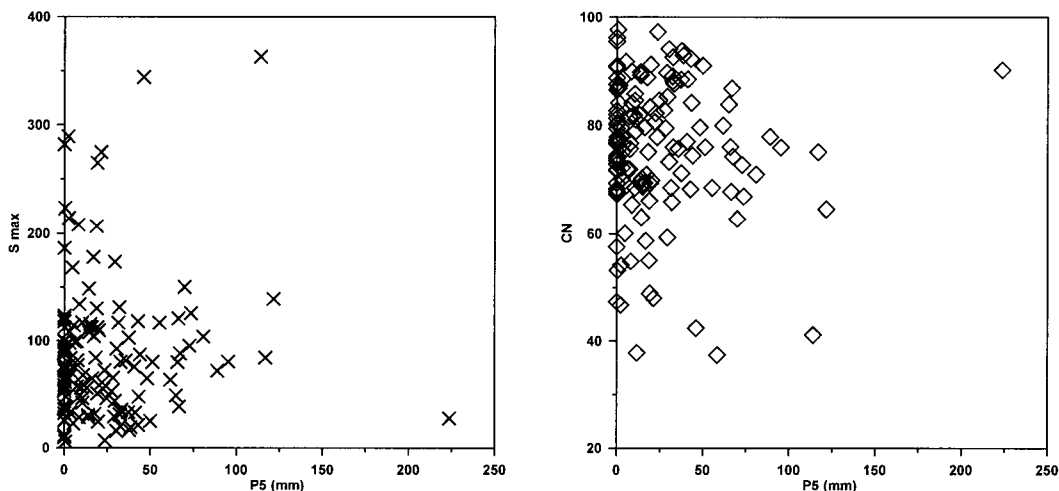


Fig. 5. Relations Between Rainfall Amount of Antecedent Five Days and S, CN at Jangpyung Subbasin

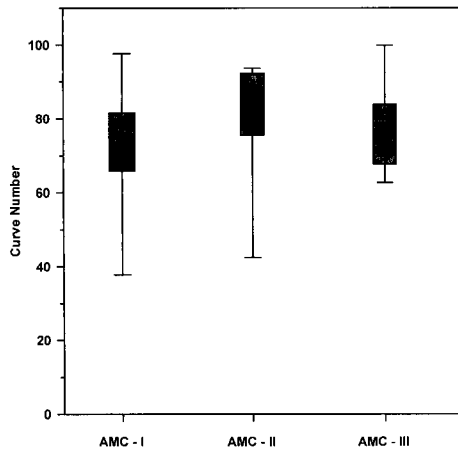


Fig. 6. Box-Whisker Diagram of CN per AMC

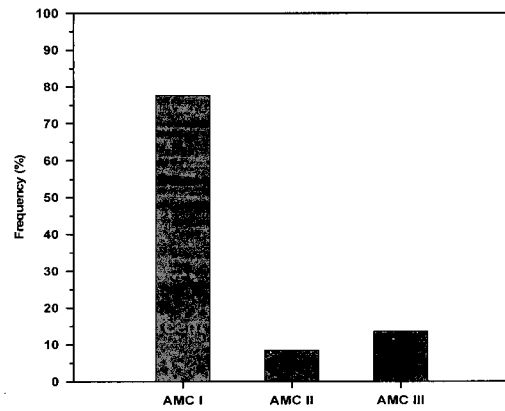


Fig. 7. Frequency Distribution of Rainfall Events per AMC

그러나 CN의 결정과정을 다시 한번 살펴보면 AMC 조건의 적절성을 판단하는 기준이 CN의 차이가 아닌 각 조건의 발생빈도라는 것을 쉽게 짐작할 수 있다. 즉, 연 최대 호우계열(일 강우-유출량 자료)을 분석하여 CN을 추정하면 이들의 중간값이 CN(II)에 해당한다. 따라서 AMC-II 조건에 재현기간을 부여한다면 2년 정도가 될 것이다. 아울러 유도된 가장 작은 CN 값이 CN(I)이 되며 반대로 가장 높은 CN 값이 CN(III)가 된다. 따라서 AMC-I 및 AMC-III에 재현기간을 부여한다면 수십년 정도 이상이 될 것이다. 그러나 연 최대치가 아닌 연 초과치 호우계열을 사용한다면 AMC-III 조건의 발생빈도는 여전히 낮을 것이나, 반대로 AMC-I 및 AMC-II의 발생빈도는 크게 높아질 것이고 특히 AMC-I의 빈도가 더욱 크게 높아질 것이다.

Fig. 7은 각 호우사상을 AMC 조건별로 분류한 히스토그램이다. 이 그림을 통해 현재 사용하고 있는 AMC 조건이 부적절함을 쉽게 판단할 수 있다. 즉, AMC-III 조건의 발생이 너무 많으며, 반대로 AMC-II 조건의 발생빈도는 너무 적다. 따라서 AMC-III 조건은 상향될 필요가, 반대로 AMC-I 조건은 하향될 필요가 있음을 나타낸다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 SCS 방법의 적용과 관련하여 AMC의 도입 배경에 대하여 살펴보고 아울러 그 설정기준인 선행 강우량에 대한 평가를 수행하였다. 특히, 본 연구에서는 강우-유출 사상으로부터 CN을 직접 계산, 해당 강우사상별로 선행강우량에 따른 AMC를 부여한 후, 이에 대한 타당성을 검토하였다. 본 연구는 국제수문개발계획 대상유역인 평창강 유역의 지류인 장평 유역을 대상으로 수행하였으며, 관측자료로서 1985년부터 2001

년까지의 우기(6월 - 9월) 일강우 및 일수위자료를 이용하였다.

본 연구의 결과로 추정된 CN(II)는 79.3으로서 국제수문개발계획보고서(건설교통부, 1992)에서 발표한 CN과 가장 근사한 값을 보여주고 있다. 그러나 AMC-I과 AMC-III의 평균은 72.1, 76.7로 이론적인 추정치(56.7 및 87.8)와 매우 상이한 값을 나타내고 있다. 또한 이들의 사분위범위도 서로 교차하고 있어 그 차이가 통계적으로 유의하다고 판단하기도 어렵다. 이러한 결과의 원인으로 먼저 유역의 평균조건에 해당하는 AMC-II 조건의 CN이 AMC-I 및 III에 많이 포함되어 결과를 왜곡하는 상황을 고려할 수 있으나, AMC 조건을 수정한다고 해도 AMC 조건에 따라 CN 값이 유의한 차이를 보일 것이라고 기대하기는 어렵다. 이는 강우의 간헐성, 방향성 등을 포함한 강우의 시-공간적인 변동성 문제, 기타 식생의 활성도, 토지이용의 변화와 같은 지표면 특성의 변화 등이 모두 CN에 빈번하게 아울러 크게 영향을 미치기 때문이다. 따라서 추정된 CN의 평균은 CN(II)에서 아주 크게 벗어나지 못할 가능성이 많다. 결론적으로, 단순히 CN의 평가만으로 AMC 조건의 적절성을 판단하는 것은 어려운 일이다.

그러나 CN의 결정과정을 고려하면 각 AMC 조건의 발생 빈도를 추측할 수 있고, 따라서 이를 이용하여 AMC 조건의 적절성은 판단할 수 있다. 본 연구에서도 AMC 조건별로 호우사상의 발생빈도를 히스토그램으로 작성/비교하였으며, 이를 통해 현재 사용되고 있는 AMC 조건이 부적절함을 판단할 수 있었다. 즉, AMC-III 조건의 발생은 너무 많으며, 반대로 AMC-II 조건이 발생빈도는 너무 적게 나타난다. 즉, AMC-III 조건은 상향될 필요가, 반대로 AMC-I 조건은 하향될 필요가 있음을 나타낸다.

## 감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 2003년도 건설핵심기술연구개발사업 (03산학연C01-01)에 의한 도시홍수재해관리기술연구사업단의 연구성과입니다.

## 참고 문헌

- 건설교통부 (1992). 1991년 국제수문개발계획보고서, pp. 796.
- 건설교통부 (2003). 2002년 국제수문개발계획보고서, pp. 742.
- Andrews, R.G. (1954). "The use of relative infiltration indices in computing runoff." Soil Conservation Service, Fort Worth, Texas, pp. 6.
- Castillo, V. M., Gomez-Plaza, A. and Martinez-Mena, M. (2003). "The role of antecedent soil water content in the runoff response of semiarid catchments: A simulation approach." *Journal of Hydrology*, Vol. 284, pp. 114-130.
- Chen, C.L. (1981). "An Evaluation of the mathematics and physical significance of the Soil Conservation Service curve number procedure for estimating runoff volume." *Rainfall-Runoff Relationship* (ed. by V.P. Singh) Water Resources Publications, pp. 387-418.
- Choi, J.Y., Engel, B.A. and Chung, H.W. (2002). "Daily streamflow modeling and assessment based on the curve-number technique." *Hydrological Processes*, Vol. 16, pp. 3131-3150.
- De Michele, C. and Salvadori, G. (2002). "On the derived frequency distribution: analytical formulation and the influence of antecedent soil moisture condition." *Journal of Hydrology*, Vol. 262, pp. 245-258.
- Hawkins, R.H. (1978a). "Effect of rainfall intensity on runoff curve numbers." *Utah Agric. Exp. Stn. Journal* 2288.
- Hawkins, R.H. (1978b). "Runoff curve number relationships with varying site moisture." *Journal of Irrigation and Drainage Division*, ASCE, Vol. 104, pp. 389-398.
- Hjelmfelt, A.T. Jr., Kramer, K. A., and Burwell, R. E. (1982). "Curve numbers as random variables." *Proceedings of International Symposium on Rainfall-Runoff Modeling*, Water Resource Publication, Littleton, Colorado, pp. 365-373.
- Hjelmfelt, A.T. Jr. (1991). "Investigation of curve number procedure." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 117, No. 6, pp. 725-737.
- Hope, A.S. and Schulze, R.E. (1981). "Improved estimates of stormflow volume using the SCS curve number method." *Rainfall-Runoff Relationship* (ed. by V. P. Singh) Water Resources Publications, pp. 419-428.
- Michell, J.K., Engel, B.A., Srinivasan, R., Bingner, R.L., and Wang, S.S.Y. (1993). "Validation of AGNPS for small mild topography watersheds using an integrated AGNPS/GIS." In *Advances in Hydro-Science and Engineering*, Vol. I, ed. S.S.Y. Wang, pp. 503-510.
- Mockus, V. (1949). "Estimation of total (and peak rates of) surface runoff for individual storms." Exhibit A in Appendix B, *Interim Survey Report Grand (Neosho) River watershed*, USDA.
- Mockus, V. (1964). Chapter 10. Estimation of Direct Runoff from Storm Rainfall, Section 4. Hydrology, *National Engineering Handbook*, USDA.
- Ponce, V.M. and Hawkins, R.H. (1996). "Runoff curve number: Has it reached maturity?" *Journal of Hydrologic Engineering*, ASCE, Vol. 1, No. 1, pp. 11-19.
- Rallison, R.E., and Cronshey, R.C. (1979). "Discussion to runoff curve numbers with varying soil moisture." *Journal of Irrigation and Drainage*, ASCE, 105(4), pp. 439-441.
- Rallison, R.E., and Miller, N. (1982). "Past, present, and future of SCS runoff procedure." *Proceedings of International Symposium on Rainfall-Runoff Modeling*, Water Resource. Published Littleton, Col., pp. 353-364.
- Sherman, L.K. (1949). "The unit hydrograph method." in O. E. Meinzer(ed.), *Physics of Earth*, Dover Publications Inc., New York, N.Y. pp. 514-525.
- Sobhani, G. (1975). A Review of Selected Small Watershed Design Methods for Possible Adoption to Iranian Conditions, M. S. Thesis, Utah State University, Logan, Utah.
- Soil Conservation Service (SCS, 1972). *National Engineering Handbook*, Section 4, Hydrology, Chap. 10, Washington, D.C.
- Soil Conservation Service (SCS, 1985). *National Engineering Handbook*, Section 4, Hydrology, Chap. 10, Washington, D.C.

(논문번호:05-91/접수:2005.07.06/심사완료:2005.10.04)