

산지 소유역 유출곡선지수

Curve Number for a Small Forested Mountainous Catchment

오 경 두* / 전 병 호** / 한 형 근*** / 정 성 원**** / 조 영 호***** / 박 수 연*****

Oh, Kyoung Doo / Jun, Byong Ho / Han, Hyung Geun

Jung, Sung Won / Cho, Young Ho / Park, Soo Yun

Abstract

In this paper, runoff curve numbers (CN's) for a small forested mountainous catchment are estimated using rainfall-runoff data measured at Sulma experimental catchment every 10 minutes and a new guideline for applying the antecedent rainfall conditions (ARC's) for small mountainous watersheds in Korea is proposed. Sulma experimental catchment is a typical natural mountainous basin with 97% of forested land cover and CN's are estimated to be in the range between 51 and 89 with median value of 72. The test hypothesis stating as 1-day ARC is better than 5-day ARC in determining CN's for a small mountainous watershed is shown to be acceptable. Also, linear regression equations for the estimation of CN's for small mountainous catchments are proposed. As there is no significant investigations available on CN's for small mountainous catchments, the newly proposed relationships between CN's and ARC may be used as a preliminary guideline to assign CN's for the estimation of floods from rainfall data on mountainous regions.

keywords : SCS curve number, Antecedent rainfall condition, Regression analysis, Infiltration, Excess rainfall, Forest, Small catchment

요 지

본 논문에서는 정밀한 수문기상자료를 보유하고 있는 설마천 시험유역의 강우유출자료를 이용하여 산지 소유역의 유출곡선지수(CN)를 산정하고, 이를 이용하여 국내 산지 소유역에 적합하다고 판단되는 선행강우량(ARC)의 적용기준을 제시하였다. 설마천 시험유역은 97%가 산림으로 구성되어 있는 전형적인 미개발 산지 소유역으로서 기왕의 10개 주요 호우사상을 분석하여 산정된 CN값은 51~89 범위에 있었으며 중앙값(median)은 72 정도인 것으로 나타났다. 선행강우량과 CN과의 관계에 대하여 검토한 결과 본 논문에서 제기한 가설인 「5일 선행강우량 보다 1일 선행강

* 육군사관학교 토목공학과 교수
Professor, Dept. of Civil Engineering, Korea Military Academy, Seoul, Korea (e-mail: okd0629@kma.ac.kr)

** 육군사관학교 토목공학과 교수
Professor, Dept. of Civil Engineering, Korea Military Academy, Seoul, Korea

*** 한국토지공사 연구개발처 책임연구원
Senior Researcher, Korea Land Corporation, Sungnam, Kyeonggi-do 463-755, Korea

**** 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 수석연구원
Research Fellow, Water Resources Research Department, Korea Institute of Construction Technology, Koyang, Kyeonggi 411-712, Korea

***** 한국종합기술개발공사 수자원 본부장
Director, Water Resources Department, Korea Engineering Consultants Corp., Kyonggido, Korea

***** 한진정보통신 GIS 기술팀
Assistant Manager, Hanjin Information Systems & Telecommunication Co., Ltd., Gayang-dong 115-11, Suji building, Gangseogu, Seoul HIST (Zip code: 157-200), Korea

우량이 산지 소유역에 대한 CN을 결정하는 데에 더욱 타당성이 높을 것」이라는 가설은 타당한 것으로 나타났다. 또한 본 연구를 통하여 1일 또는 5일 선행강우량으로부터 산지 소유역의 CN을 추정할 수 있는 회귀분석식을 제안하였다. 국내 산지 소유역의 유출곡선지수에 대한 체계적인 분석이 거의 없는 실정에서 본 연구를 통하여 국내 산지 소유역에 대한 실측자료를 기반으로 선행강우량을 반영한 CN 산정방법을 제시함으로써, 특히 산악지역에서 실측강우에 따른 유출수문곡선 재현시 선행강우조건을 반영하는 예비적인 가이드라인이 될 수 있을 것으로 기대된다.

핵심용어 : SCS 유출곡선지수, 선행강우, 회귀분석, 침투, 초과강우, 산림, 소유역

1. 서론

최근에 강원도 동해안 산간 지역에서 발생한 폭우로 많은 인명과 재산의 손실을 초래하였다. 태풍의 영향으로 많은 양의 호우가 단기간에 집중되면서 산사태와 홍수가 동시에 발생하여 피해를 가중시켰다. 여기에는 우리나라 산악지형과 산지 토양의 특성도 크게 작용한 것으로 보인다. 우리나라 국토의 2/3를 구성하고 있는 산악지형은 경사가 급하여 빠른 홍수도달시간과 큰 침투홍수량을 유발시키는 요인이 되고 있으며, 광범위한 산사태와 하천의 빠른 유속으로 인한 세굴 등으로 재해를 확산시키는 요인이 되고 있다. 우리나라의 산악지대의 대부분은 산림으로 이루어져 있지만 토심이 깊지 않아서 조금만 파보면 암반이 노출된다. 그리고 토양은 대부분 화강암이나 섬록암, 안산암, 현무암 등이 풍화한 풍화잔적토(weathered residual soils)로서 배수 특성이 복잡하고 사면안정 측면에서는 매우 취약한 특성을 나타내고 있다.

그러나 도시화와 인구의 과밀 등으로 인하여 점차 산지에 대한 개발 수요가 불가피하게 증가하고 있으며, 이에 따라 발생할 수 있는 부정적인 역효과를 저감하기 위하여 재해영향평가나 환경영향평가 등의 방안들이 시행되고 있다. 산악지역의 개발은 자연적인 수문순환의 특성에 변화를 초래하게 될 것인 바, 이러한 변화를 사전에 예측하여 필요한 조치를 취하는데에 이러한 방안들을 시행하는 취지가 있다. 이를 위해서는 우리나라 산악지역의 수문학적 특성을 파악해야 하는데, 여기에 대한 연구는 매우 미약한 형편이다.

특히, 최근에 들어서 산악지대에 대한 홍수량산정이나 재해저감시설 설계 등을 위한 유출곡선지수법의 적용은 급격히 늘어나고 있지만 아직까지 국내 산지 소유역의 실측자료를 기반으로 검토된 연구성이나 지침은 거의 없는 실정이다. 미국 토양보존국(U.S. Soil Conservation Service, SCS)에서 만든 기준은 미국의 농경지대에 위치한 산림지역을 대상으로 개발된 것으로서 국내의 여건과 다를 소지가 다분함에도 불구하고 이를 그대로 적용하고 있는 실정이다(조홍제 등, 1997).

또한 우리나라 산악지형의 특징은 사면의 경사가 급하고 배수가 비교적 양호하며 토심이 깊지 않아서 강우가 그친 후 토양 간극의 물이 빠져나가 침투능(infiltration capacity)을 다시 회복하는데 소요되는 시간이 매우 짧을 것으로 추정되나 아직까지 이에 대한 검토가 이루어진 바 없으며, 일괄적으로 미국 토양보존국에서 제시한 기준인 5일 선행강우량을 적용하여 주요 호우가 시작되기 전의 유역 습윤 정도를 판단하고 있다.

따라서 본 논문에서는 정밀한 수문기상자료를 보유하고 있는 설마천 시험유역의 강우유출자료를 이용하여 산지 소유역의 유출곡선지수를 산정하고, 이를 이용하여 국내 산지 소유역에 적합한 선행강우량 적용방법을 제시하고자 하였다. 본 논문을 통하여 국내 산지 소유역에 대한 실측자료를 기반으로 선행강우량을 반영한 CN 산정방법을 제시함으로써, 특히 산악지역에서 실측강우에 따른 유출수문곡선 재현시 선행강우조건을 반영하는 기초적인 가이드라인이 될 수 있을 것으로 기대된다.

본 논문은 1장 서론에 이어 2장 연구동향 및 연구배경, 3장 이론적 배경 및 적용 방법, 4장 적용 및 고찰 그리고 마지막으로 5장 결론 순으로 구성되어 있다.

2. 연구동향 및 연구배경

홍수와 관련된 재해 관리 측면에서 가장 기본적으로 필요한 수문학적 특성중의 하나는 유역의 유효우량을 산정하는 것이다. 강우사상이 발생하게 되면 지면저류(surface detention), 엽면 차단(vegetative interception), 지표면 침투 등으로 손실이 발생하고 이러한 손실을 초과하는 우량이 지속될 경우에 지표면을 통한 직접유출(direct runoff)이 발생하게 된다. 이와 같이 직접유출량을 이루는 초과강우량(excess rainfall)을 계산하기 위한 방법으로 국내외에서 일반적으로 널리 사용되는 방법이 미국 토양보존국에서 개발한 유출곡선지수법(runoff curve number method, CN)이다. 유출곡선지수법은 소규모에서 중규모에 이르는 미계측 유역의 홍수량 산정을 위하여 널리 사용되고 있다(윤용남, 1998; Pilgrim 등, 1993).

Pilgrim 등(1993)에 의하면 미국에서 유출곡선지수법은 기존에 적용해 오던 유출계수(runoff coefficient)를 채택한 합리식을 대체하여 사용되고 있는 추세인데 그 주된 이유는 많은 양의 자료축적에 따른 신뢰도 증가와 이 기법이 유역의 물리적인 특성을 명확하게 반영할 수 있도록 해주기 때문이다. 미국에서는 많은 정부기관에서 유출곡선지수법을 의무적으로 적용하도록 하고 있다.

호우로 인한 유출량 자료가 없는 미계측 유역의 경우 직접유출량의 결정이 불가능하므로 초과강우량을 결정할 수 없게 된다. 유출곡선지수법은 이와 같이 유출량 자료가 없더라도 유역의 수문학적 토양특성과 식생 피복상태 등에 대한 상세한 자료만으로도 총우량으로부터 초과강우량을 산정할 수 있도록 해주므로써 주로 미계측 유역에 널리 적용되어 왔다(윤용남, 1998).

국내에서 수행된 유출곡선지수에 대한 체계적인 연구의 시초로는 윤태훈(1991)의 연구를 들 수 있을 것이다. 윤태훈은 국제수문개발계획(IHP)에서 운영하는 평창강, 보청천, 위천, 경안천, 무심천, 반월 성포리 등 국내 대표유역에서 실측된 24개 유역의 169개 강우유출사상에 대하여 유출곡선지수를 산정하였으며, 관측된 CN의 평균치는 76.2였고, 유역의 습윤 정도를 나타내는 선행함수조건(antecedent moisture condition, AMC)이 보통과 습윤에 해당하는 AMC-II와 AMC-III 조건의 CN-II와 CN-III는 평균이 각각 68.2와 83.8로 보고하고 있다. 본 논문에서는 유역의 선행함수조건을 나타내는 AMC외에 선행강우의 적용 조건을 별도로 고찰하기 위하여 ARC(antecedent rainfall conditions)라는 용어를 구분하여 사용하기로 한다.

한편, 조홍제 등(1997)은 우리나라 대부분의 산지하천유역 특성이 고도차가 큰 점을 감안하여 유역사면경사를 고려하여 유출곡선지수를 증가시키는 방안을 제시하였다. 산지의 비율이 76% 정도인 국제수문개발계획(IHP)에서 운영하는 위천의 고노유역을 대상으로 1985년에서 1989년 사이에 관측된 4개의 강우유출사상을 대상으로 검토하였으며, 유역사면경사 10°증가에 대하여 2% CN값을 증가시킨 값인 66이 위천 고노유역에 대하여 침투유량의 재현 측면에서 가장 우수한 것으로 보고하고 있다.

특정한 토지피복유형에 대하여 유출곡선지수를 검토한 연구는 거의 없었으나, 임상준 등(1997)이 논의 유출곡선지수를 실측하여 제시한 바 있다. 논의 유출량 자료를 이용하여 추정된 유출곡선지수는 AMC-I, II, III에 해당하는 CN-I, II, III의 값으로 63, 78, 88의 값을 제시하였다. 그러나 논의에 대해서는 기존 SCS의 기준에 포함되어 있지 않을 뿐만 아니라 논의 유출량이 초기 담

수심에 따라 달라지므로 기존의 유출곡선지수를 구하는 방법은 적용이 곤란한 것으로 보고하고 있다.

이상에서 살펴 본 바와 같이 국내 실정에 적합한 유출곡선지수의 기준을 정하고자 하는 노력이 있었으나 아직까지도 국내 산지 소유역에 적합한 유출곡선지수의 기준이 정립되지 못하였으며, 특히 선행강우량 적용 기준의 타당성에 대해서는 논의된 바조차 없는 실정이다. 이것은 과거 국내 소유역에서 측정된 정밀한 유출자료가 부재했던 점에 크게 기인하는 것으로 사료된다.

본 연구에서 검토하고자 한 가설은 선행강우량의 적용기준에 관한 것이다. 유역경사가 급하고 토심이 얇으며, 풍화잔적토로 대부분 구성되어 있는 국내 산지 소유역들은 강우유출 응답이 빠르고 강우가 종료된 후 침투능을 회복하는 속도도 빠를 것으로 추정된다. 현재의 SCS 기준은 분석하고자 하는 호우의 시작 시점을 기준으로 5일 선행강우량을 기준으로 유역 토양의 습윤 정도를 건조(dry), 보통(average), 습윤(wet)의 3단계로 판단하도록 하고 있다. 이것이 과연 국내 산지 소유역에 타당한 기준인지에 대해서 아직까지 검토된 바 없다.

본 논문에서는 경험적인 사실과 풍화잔적토에 대한 침투능 평가를 바탕으로 5일 보다 짧은 기간에 내린 선행강우를 기준으로 하는 것이 더욱 타당할 수 있다는 가설을 설정하였으며 이러한 가설을 검토하고자 한 것이 본 연구를 수행하게 된 직접적인 배경이다.

또 다른 연구 배경으로는 한국건설기술연구원에서 운영하고 있는 설마천 시험유역에서 1998년 이후로 본격적인 측정과 분석이 이루어지게 됨에 따라 정밀한 강우유출자료가 가용하게 된 것이 본 연구를 수행하게 된 간접적인 배경이라고 할 수 있다. 설마천 시험유역에서 측정된 10분 단위의 유량과 강우자료를 이용함으로써 강우자료 자체는 물론 직접유출량에 대한 분석의 정밀도를 크게 높일 수 있었다고 사료된다.

3. 이론적 배경 및 적용방법

3.1 SCS 유출곡선지수 방법

유역에 내린 강우량으로부터 유효우량을 산정하기 위한 SCS 유출곡선지수방법은 NEH-4 (US SCS, 1985)에 상세히 기술되어 있다. 직접유출량은 다음의 식 (1)에 의하여 산정할 수 있다.

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

여기서, Q 는 직접유출량(mm), P 는 총강우량(mm), I_a

는 강우유출이 발생하기 이전의 초기 손실량(mm), S 는 최대잠재보류량(potential maximum retention)으로서 강우유출이 시작된 시점 이후로 유역이 保留할 수 있는 최대보류능력(mm)을 의미한다. 앞으로 본 절의 CN과 관련된 설명에서 단위는 특별한 언급이 없는 한 mm 단위를 사용하기로 한다.

초기손실에는 지표면 凹面 저류, 葉面 遮斷, 증발과 침투 등이 포함된다. 초기손실은 유역에 따라 변동이 크지만 주로 토양과 지표면 피복인자에 좌우된다. 많은 농경지 소유역에 대한 분석을 통하여 SCS에서는 초기 손실과 유역의 최대잠재보류량과의 관계를 다음과 같은 경험공식으로 제시하였다.

$$I_a = 0.2S \quad (2)$$

식(2)를 식(1)에 대입하여 I_a 를 제거하면 식(3)과 같이 직접유출량을 구하는 식을 얻게 된다.

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

여기서, 유역의 최대잠재보류량 S 는 CN을 통하여 유역의 토양과 토지피복인자에 직접적으로 연관되어 있다. 즉,

$$S = \frac{25,400}{CN} - 254 \quad \text{또는}$$

$$CN = \frac{25,400}{S + 254} \quad (4)$$

CN은 0에서 100 사이의 값을 갖게 되며(US SCS, 1986), CN이 0이라는 것은 개념적으로 유역의 보류능력이 무한대여서 모든 강우량이 유역내에 보류되어 직접 유출이 전혀 발생하지 않는 경우를 의미하며, 100은 유역의 보류능력이 0으로서 내리는 강우가 모두 직접유출로 변환되는 것을 의미한다.

CN에 영향을 미치는 주요 인자들로는 유역의 수문학적 토양군, 토지피복유형, 토지피복처리상태, 수문학적 조건(hydrologic condition), 불투수 면적, 선행함수조건 등이 있다. 수문학적 조건은 식생의 밀도와 염면 상태, 지표면 조도 등 침투와 유출에 영향을 줄 수 있는 인자들에 의하여 결정된다. 미계측 유역의 경우 이러한 제반 조건을 고려하여 유역의 평균 CN을 산정할 수 있다.

만일 강우유출자료가 있는 계측유역이라면 식(3)으로

부터 유도된 식(5)에 의하여 유역의 최대잠재보류량 S 를 구하고 이로부터 식(6)에 의하여 CN을 산정할 수 있다(윤태훈, 1991; 임상준 등, 1997).

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

따라서, 유출곡선지수 CN은

$$CN = \frac{25,400}{254 + 5P + 10Q - \sqrt{Q^2 + 1.25QP}} \quad (6)$$

호우사상이 발생하기 이전 유역의 잠재적인 유출능력을 나타내는 지수로서 선행함수조건 AMC를 적용한다(SCS, 1986). AMC는 어느 한 유역의 CN이 호우사상마다 변화하는 것을 감안해 주기 위한 것이다. 어느 한 유역의 평균적인 AMC에 대한 CN(AMC-II 조건에 해당하는 CN이라고도 함)은 강우유출자료로부터 구해진 CN값의 중앙치(median)를 의미한다(US SCS, 1986).

한편, Hawkins 등(1985)은 P/S 의 비율이 0.46 이상인 호우를 큰 호우로 규정하고 강우유출자료로부터 유역의 CN을 산정할 경우에 큰 호우사상을 대상으로 산정할 것을 제안한 바 있다.

본 논문에서는 계측된 호우사상으로부터 총강우량 P 를 구하고, 홍수수문곡선으로부터 기저유출을 분리하여 직접유출량 Q 를 산정한 후 식(5)와 (6)을 이용하여 호우사상별 CN을 산정하였다. Fig. 1은 1999년 7월 24일 00:00부터 06:00 사이에 설마천 시험유역에 발생한 호우

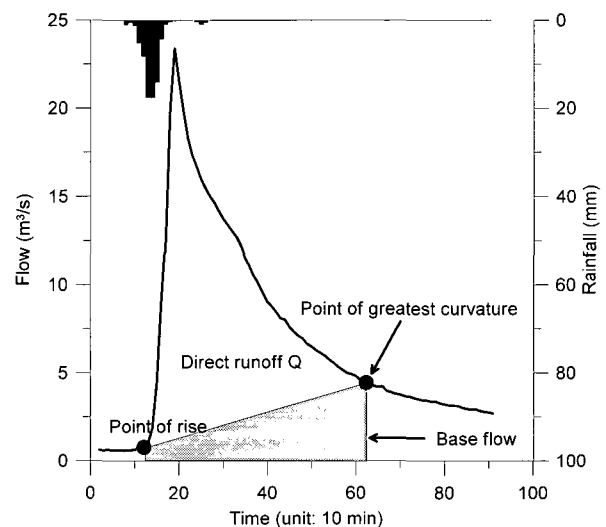


Fig. 1. Separation of base flow by constant slope method

사상을 대상으로 본 논문에서 적용한 기저유출분리법인 일정경사법(constant slope method)의 개념을 도시한 것이다. 수문곡선이 상승하는 점(point of rise)에서 하강부 감수곡선이 시작되는 부근에서 경사가 가장 급격하게 변하는 지점(point of greatest curvature)을 선택하여 직선으로 연결하고 그 아래 부분을 기저유출로 간주하는 방법이다(정성원 등, 2000).

호우사상의 시간적 불규칙성과 홍수수문곡선의 복잡한 형태 등으로 인하여 기저유출을 정확하게 분리하기는 매우 어렵고, 경험과 공학적인 판단이 필요한 것이 사실이다. 그러나 일반적으로 유역의 호우시 직접유출량은 기저유출량에 비하여 월등히 크기 때문에 수문곡선의 분리에서 발생하는 오차는 크지 않은 것으로 알려져 있다(윤용남, 1998).

3.2 선행강우기간과 CN과의 관계에 대한 가설 설정

CN은 토양, 토지피복, 수문학적 조건 외에도 선행함수조건에 따라 좌우된다. 선행함수조건은 건조, 보통, 습윤의 3가지로 정의되어 있고 이에 따라 AMC I, II, III로 규정하고 있다(Pilgrim 등, 1993). 그리고 지금까지 선행함수조건은 일괄적으로 5일 선행 강우량을 기준으로 판단하고 있다. 그러나 본 논문에서 검토하고자 하는 가설은 5일 보다는 짧은 기간의 선행강우량이 유역의 CN을 판단하는데 보다 적합하리라는 것이다. 그 이유는 강우가 그친 후 토양의 침투능이 회복되는 과정을 지수함수적인 관계로 가정할 수 있기 때문이다.

Horton의 가정에 의하면 유역 토양의 침투능은 강우가 지속될 경우 식(7)과 같이 지수함수적으로 감소해가며(윤용남, 1998), 따라서 유역의 잠재보류수량 S 도 지수함수적으로 감소해 간다. 반면에 강우가 그치고 침투능이 회복되는 것도 식(8)과 같이 지수함수적으로 회복될 것으로 가정할 수 있다(James 등, 1985).

(i) 강우시 침투능 감소 단계 :

$$f_p = f_c + (f_0 - f_c)e^{-\alpha t} \quad (7)$$

(ii) 강우 종료후 침투능 회복 단계 :

$$f_r = f_0 - (f_0 - f_c)e^{-\beta t} \quad (8)$$

여기서, f_p 는 강우시작 후 t 시점에서의 침투능[LT-1], f_r 는 강우종료 후 t 시점에서의 침투능[LT-1], f_0 는 강우초기의 최대침투능[LT-1], f_c 는 강우가 지속되면서 토양이 포화되고 침투율이 감소하여 거의 일정한 침투율을 나타내게 되는 값이다[LT-1]. α 와 β 는 강우지속시간이 증가해감에 따라 토양의 침투능이 감소해가는

경향을 나타내는 감쇠계수로서 침투능의 감쇠계수는 일반적으로 $\alpha \gg \beta$ 인 관계가 있다.

토양의 침투능을 좌우하는 것은 표토층이며, 침투능을 좌우하는 토심의 깊이는 토양의 특성에 따라 달라지는데 사질토와 같이 배수가 잘되는 토양은 깊이가 깊고 점토와 같이 배수가 불량한 토양은 깊이가 감소한다. 침투능을 좌우하는 토심의 깊이는 식(9)와 같이 포화투수계수(saturated hydraulic conductivity)를 이용하여 구할 수 있다(James 등, 1985).

$$L = 4.0 \sqrt{k_s} \quad (9)$$

여기서, L 은 표토층 깊이(inches), k_s 는 포화투수계수(inches/hr)이다.

우리나라 산악지역 토양의 많은 부분을 차지하고 있는 풍화잔적토의 투수계수 k 는 10-5~0.2cm/sec 범위에 있으며, 포화시에는 10-3~0.2cm/sec 범위에 있는 것으로 보고되었다(박춘식, 1996). 산악지역 표토층 풍화잔적토의 포화시 투수계수 k_s 를 배수조건이 비교적 좋지 않은 경우를 상정하여 10-3cm/sec로 가정하면 L 은 4.76인치로 약 12cm가 된다. 그리고 강우가 없는 기간 동안 토양의 수분이 배수되는 양은 식(10)에 의하여 대략적으로 추정할 수 있다(James 등, 1985).

$$DF = \frac{L}{300} \quad (10)$$

여기서, DF는 토양수분의 감쇠율(depletion factor)을 나타내는 값으로서 단위는 hr^{-1} 이다. 앞에서 구한 풍화잔적토의 표토층 토심 L 을 대입하면 DF는 $0.0159hr^{-1}$ 이 된다. 그러면 강우가 종료된 후 t 시간 후의 표토층 토양수분량 SM_t 는 식(11)과 같이 구할 수 있다(James 등, 1985).

$$SM_t = SM_{t-1} - DV_t = SM_{t-1}(1 - DF \times \Delta t) \quad (11)$$

여기서, SM_t 는 시간 t 에서의 표토층에 남아있는 토양수분량이고(inches), DV_t 는 Δt 시간 동안의 토양수분 감소량(inches), Δt 는 계산시간 간격(hrs)이다. 식(9)~(11)은 식(8)을 이용하여 SWMM 프로그램에서 비강우기의 토양 침투능 회복을 계산하는데 적용한 방법이다.

Δt 를 24시간으로 하고 초기 표토층 토양수분량 SM_0 를 표토층이 완전 포화된 상태인 4.76 인치로 가정

하여 강우가 그친 후 1일에서 5일까지의 토양수분량을 계산하면 Fig. 2에 제시한 바와 같다. Fig. 2에서 1 day 값은 $4.76 \times (1 - 0.0159 \times 24) = 2.94$ inches, 2 day 값은 $2.94 \times (1 - 0.0159 \times 24) = 1.81$ inches, 3 day 값은 $1.81 \times (1 - 0.0159 \times 24) = 1.12$ inches 등으로 계산된다.

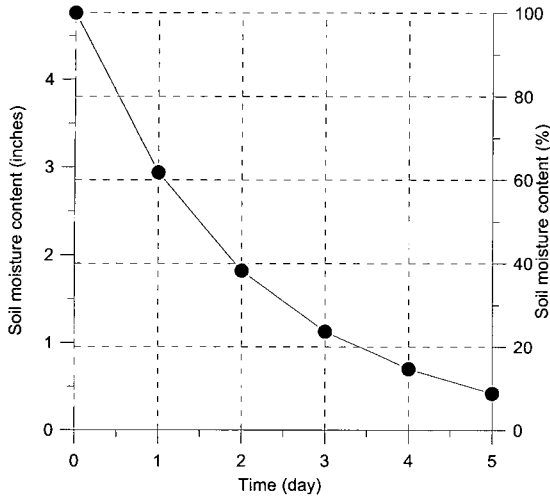


Fig. 2. Exponential decrease of soil moisture content computed for weathered residual soil with saturated hydraulic conductivity $k_s = 10^{-3}$ cm/sec

Fig. 2에 나타난 바와 같이 최초 100% 포화상태에 있던 표토층 토양은 1일 만에 수분이 38% 감소하여 포화도가 62% 수준으로 감소하고 2일 후에는 38%, 5일 후에는 9% 수준으로 지수함수적으로 감소하게 된다. 이것은 5일 전에 내린 강우가 표토층의 포화도 또는 토양에 남아 있는 수분량에 미치는 영향은 1일 전에 내린 동일한 양의 강우와 비교할 때 $\frac{9(\%)}{62(\%)} \approx \frac{1}{7}$ 정도의

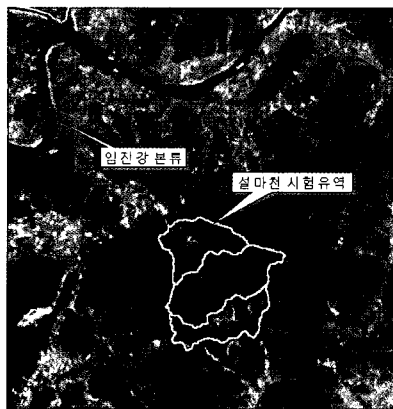
영향밖에 미치지 못함을 의미한다. 더욱이 표토층에서의 증발 등을 고려할 때, 강우종료 후 시간의 경과에 따른 표토층 토양의 침투능 회복은 더욱 빠르게 진행될 것으로 판단되며, 침투능에 미치는 강우의 영향은 더욱 급격하게 감소해 갈 것으로 사료된다.

이와 같이 검토하고자 하는 대상 호우 이전에 발생한 선행강우가 표토층의 포화도와 이에 따른 침투능에 미치는 영향은 강우발생 이후 시간의 경과에 따라 지수함수적으로 감소해가므로, 유역경사가 급하고 표토층이 얇고 대부분 배수능력이 비교적 양호한 풍화잔적토로 이루어진 우리나라 산악지역의 경우 5일간의 선행강우를 고려하는 것 보다 더 짧은 선행강우기간을 고려하는 것이 토양의 침투능과 직접 연관이 있는 유역의 잠재보류량 S 와 이로부터 구해지는 CN을 결정하는 데에 더욱 타당성이 높을 것으로 사료되며, 이러한 가설을 설마천 시험유역에서 측정된 10분 단위의 정밀한 강우유출자료를 이용하여 검토하였다.

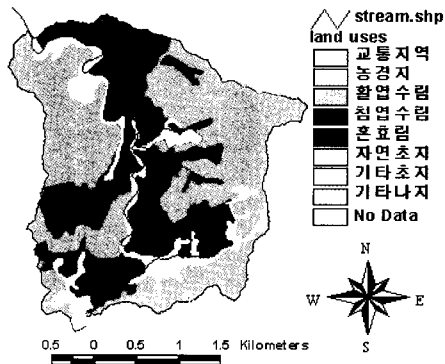
4. 적용 및 고찰 : 설마천 시험유역의 CN

4.1 유출곡선지수 산정

설마천 시험유역은 임진강 하구에서 약 46km 상류인 경기도 파주시 적성면에 위치하고 있는 임진강의 제1지류인 설마천 유역의 중류부에 위치한 영국군 전적비교를 출구점으로 하는 상류유역이다. 유역의 좌표는 동경 $126^{\circ}55'54'' \sim 126^{\circ}54'57''$, 북위 $37^{\circ}54'57'' \sim 37^{\circ}56'23''$ 에 위치한 유역으로 유역면적 8.5km², 유로연장 5.8km인 전형적인 산지 하천이다(정성원 등, 2000). Fig. 3의 SPOT 위성 사진(10m 정밀도)에 나타난 바와 같이 주 하천은 전형적인 곡류 하천의 형태를 보이고 있으며



(a) Sulma experimental catchment as a tributary of Imjin river



(b) Mostly forested land cover of Sulma experimental catchment

Fig. 3. Satellite imagery and landuse map of Sulma experimental catchment

유역은 논이 3%이고 나머지 97%는 산림으로 이루어져 있다. 유역평균경사는 36% 정도로 매우 급한 편이며, 유역평균폭은 1.47km, 유역형상계수는 0.25이다. 토양은 수문학적 토양군 A는 없으며, B가 28%, C가 69%, D가 3%(정성원 등, 2000)로서 배수특성은 좋지 않은 것으로 나타났다.

설마천 시험유역의 지질은 화강암계열로 보이는 선캠브리아기의 경기편암암 복합체로 구성되어 있으며, 작은 절리가 많이 발달되어 있다. 임상은 관목상태의 활엽수림과 혼효림이 대부분을 차지하고 있으며, 산림의 층상 구조가 발달하지 않아 유역의 산림이 가지는 수원 함양능력은 매우 낮은 것으로 평가되고 있다(정성원 등, 2000).

설마천 시험유역에는 1995년부터 관측기기가 설치되기 시작하였으나 잦은 낙뢰사고와 토사로 인한 매몰 등으로 관측에 많은 어려움을 겪었다. 본격적인 관측과 분석이 이루어지기 시작한 것은 1998년 이후이며, 2000년 12월 현재 우량관측소 5개소, 수위관측소 2개소, 기상관측소 1개소가 운영되고 있으며, 관측 시간단위는 10분이다(정성원 등, 2000).

본 논문에서 이용한 유량자료는 설마천 시험유역 복단에 위치한 유역 출구점에 설치된 영국군 전적비교의 수문관측소에서 10분 간격으로 측정된 유량자료이며, 강우자료는 유역내에 설치된 5개 우량관측소에서 10분

간격으로 측정된 자료를 티센 가중평균법으로 구한 유역평균우량을 이용하였다(정성원 등, 2000). 그리고 10분 단위 강우유출자료가 가용한 1998년부터 2000년 사이에 발생한 호우 중에서 첨두유출량이 5cms 이상인 큰 호우사상을 대상으로 분석하였으며, 선정된 10개의 주요 호우사상들을 대상으로 강우유출 특성과 식(5)와 (6)을 이용하여 CN을 계산한 결과는 Table 1에 제시된 바와 같다. 비교란의 홍수규모는 Hawkins 등(1985)의 기준을 적용한 것이다.

선정된 10개 주요 호우사상들의 평균 총강우량은 95.50mm였고, 평균 손실량은 43.56mm로 총강우량에서 손실량이 차지하는 비중은 46% 정도로서 우리나라 전체적인 수자원 부족량 측면에서의 손실량 비율인 42%(윤용남, 1998) 보다 다소 높은 것으로 나타났다. 총유출고는 평균 51.94mm로서 평균유출율은 54% 정도이며, 이 중에서 직접유출고는 27.35mm로 53%를 차지하였고, 기저유출은 24.58mm로 총유출고의 47%로서 우리나라 하천의 홍수기 유출 60%대 평상시 유출 40%의 비율과 유추해서 비교해 볼 때 큰 차이는 없었으며, 설마천 시험유역의 기저유출량 비율이 다소 높은 것으로 나타났다. 이것은 홍수기에 호우가 연속됨으로 인하여 지하수 수위가 충분히 높아진 상태 즉, 기저유출량이 상당히 증가된 상태에서 또 다른 홍수사상이 발생하기 때문에 기저유출량의 비율이 상대적으로 높게 분석되는

Table 1. Estimation of CN's for Sulma experimental catchment

호우 사상 발생 일시	선행강우량 (mm)			첨두유량 (cms)	총강우량 (mm)	총유출고 (mm)	기저유출고 (mm)	직접유출고 (mm)	CN	P/S	비 고
	P ₁	P ₅	AMC _s								
98.8.5 12:00 ~8.6 11:50	0.6	171.4	3	39.996	189.1	128.94	62.27	66.67	57.1	0.99	매우 큰 호우
98.8.8 12:40 ~8.8. 17:00	162.1	471.9	3	23.867	34.2	30.99	26.00	4.99	79.2	0.51	큰 호우
99.7.22 00:00 ~7.22 12:40	0.1	2.8	1	23.591	140.3	33.85	8.56	25.29	51.2	0.58	큰 호우
99.7.24 00:00 ~7.24 06:00	2.6	149.4	3	23.395	72.8	27.96	11.06	16.90	70.6	0.69	매우 큰 호우
99.7.31 15:00 ~7.31 21:00	48.1	70.1	3	21.367	79.1	34.22	7.00	27.22	75.6	0.97	매우 큰 호우
99.8.1 00:00 ~8.1 06:00	280.6	317.7	3	116.521	106.7	109.2	34.01	75.19	88.5	3.22	매우 큰 호우
00.8.5 11:00 ~8.5 15:00	5.9	9.4	1	7.711	76.3	6.82	4.05	2.77	51.0	0.31	중간 호우
00.8.25 04:00 ~8.25 12:10	5.2	55.2	3	9.228	84.6	20.57	2.85	17.72	65.7	0.64	매우 큰 호우
00.8.27 20:00 ~8.28 06:00	64.1	166.3	3	50.725	144.6	93.21	59.44	33.77	72.5	0.69	매우 큰 호우
00.9.16 08:00 ~9.16 14:00	136.1	147.5	3	14.202	27.3	33.64	30.65	2.99	80.6	0.14	작은 호우
평 균	70.54	156.17	2.60	33.06	95.50	51.94	24.59	27.35	69.20	0.87	-

(*주: AMC는 SCS의 기준 적용, P₁ : 1일 선행강우량(mm), P₅ : 5일 선행강우량(mm))

데에도 그 원인이 있는 것으로 보인다.

침투홍수량은 최소 7.7cms에서 최대 116.5cms까지 호우사상별로 변동폭이 매우 컸으며, 이중에 2000년 8월 5일 호우는 P/S가 0.31로 중간 정도의 호우에 해당했고, 2000년 9월 16일 호우는 0.14로 작은 호우에 해당하는 것으로 나타났으며 나머지 8개 호우는 모두 큰 호우에 해당되는 것으로 나타났다.

호우사상이 발생하기 24시간 이내에 유역에 내린 강우량(1일 선행강우량, 1-day rainfall)과 5일 선행강우량(5-day rainfall)을 산정한 결과 1일 선행강우량은 0.1~280.6mm 범위이고 평균은 70.5mm였으며, 5일 선행강우량은 2.8~471.9mm 범위에 있었고 평균은 156.2mm였다. 5일 선행강우량을 기준으로 판단할 때, 1999년 7월 22일에 발생한 호우와 2000년 8월 5일 발생한 2회의 호우사상만이 AMC-I에 해당되고 나머지 8회의 호우사상은 모두 AMC-III 조건에 해당하는 것으로 분석되었다.

1999년 7월 22일 호우의 경우 7월 10일 호우 이후로 10여일 이상의 기간 동안 15.8mm 정도의 강우만 발생하였고, 2000년 8월 5일 호우의 경우도 역시 7월 22일 호우 이후로 13일 이상의 기간 동안에 23.1mm 정도의 강우만 내림에 따라 유역의 침투능이 회복됨으로 인하여 잠재보류량이 충분히 증가된 때문으로 판단된다. 이 2회의 호우사상에 대한 CN값은 각각 51.2와 51.0으로서 금회 분석에서 계산된 CN 값 중에서 가장 낮은 값을 나타내었다.

한편, 1999년 8월 1일 00:00~06:00 사이에 발생한 호우사상은 설마천 시험유역에서 관측된 유량 중에서 기왕 최대값인 116.5cms의 유량을 발생시켰다. 이때의 호우사상은 거의 복합 호우사상에 가까운 상태였는데, 앞에 발생했던 호우가 끝나고 얼마 지나지 않아서 집

중 호우가 다시 연속해서 발생함에 따라 유역의 보류능력이 소진된 상태에서 대규모 호우가 발생하였고 이에 따라 산지 유역으로서는 매우 높은 CN값인 88.46의 유출곡선지수값이 산정되었다. Table 2에 1일 및 5일 선행강우량과 계산된 CN값에 대한 통계적 특성을 정리하였다.

Table 2에서 알 수 있는 바와 같이 선행강우량은 우측 편기되는 경향(positive skewness)을 나타내는 반면에 CN은 좌측 편기(negative skewness)를 나타내고 있다. 이것은 강우는 큰 호우들이 작은 호우들 보다 상대적으로 드물게 관측되는 경향을 나타내는 것이며, CN은 큰 값들이 작은 값들 보다 상대적으로 자주 나타나고 있음을 의미한다. 유역의 AMC-II에 해당하는 대표적인 CN으로 볼 수 있는 중앙치(median)는 71.55로 나타났다. Table 2에서 SE Mean은 평균치의 표준오차이며, LCL과 UCL은 각각 평균값에 대한 90% 신뢰도 구간의 상한치 및 하한치를 의미한다.

4.2 선행강우기간과 유출곡선지수와의 관계

앞의 3.2절에서 선행강우와 유출곡선지수와의 관계에 대한 가설을 설정하였다. 이를 검토하기 위하여 4.1절에서 구한 10개 주요 호우사상별 CN과 총강우량, 평균강우강도, 최대강우강도, 3시간에서 5일까지의 선행강우량 등 12개 항목에 대하여 Table 3과 같이 정리하였다.

Table 3에서 최대강우강도는 측정단위기간인 10분간의 강우기록을 기준으로 산정한 값이다. Table 4는 Table 3에 제시된 12개 항목간의 상관계수를 산정한 것이다. Table 4에서 CN과 선행강우량간의 상관계수 외의 자료들은 본 논문의 결과와 직접 관계는 없으나 참고자료로 함께 포함시켰다.

Table 2. Summary statistics of antecedent rainfall conditions and CN's

구 분	1일 선행강우량	5일 선행강우량	CN
Minimum	0.10	2.8	51.00
1st Quartile	3.25	58.93	59.25
Mean	70.54	156.17	69.20
Median	27.00	148.45	71.55
3rd Quartile	118.1	170.13	78.3
Maximum	280.6	471.90	88.46
Variance	8,918.72	20,988.86	163.18
Std Dev.	94.44	144.88	12.77
SE Mean	29.86	45.81	4.04
LCL(90%)	15.80	72.19	61.79
UCL(90%)	125.28	240.15	76.60
Skewness	1.443257	1.244919	-0.248566
Kurtosis	1.536846	1.503944	-1.040069

Table 3. CN, storm and antecedent rainfall conditions

호우사상 발생 일시	CN	호우특성			선행강우량(mm)							
		총강우량 (mm)	평균강우 강도 (mm/hr)	최대강우 강도 (mm/hr)	3시간	6시간	12시간	1일	2일	3일	4일	5일
98.8.5 12:00 ~8.6 11:50	57.1	189.1	7.90	67.00	0.00	0.00	0.00	0.60	76.30	87.90	90.90	171.40
98.8.8 12:40 ~8.8. 17:00	79.2	34.2	6.84	36.00	33.20	47.60	146.70	162.10	206.30	395.60	396.20	471.90
99.7.22 00:00 ~7.22 12:40	51.2	140.3	11.20	78.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	2.50	2.60	2.80
99.7.24 00:00 ~7.24 06:00	70.6	72.8	9.70	105.60	0.00	0.00	0.00	2.60	146.90	147.00	147.00	149.40
99.7.31 15:00 ~7.31 21:00	75.6	79.1	9.00	110.40	2.10	18.70	32.10	48.10	48.10	54.60	69.80	70.10
99.8.1 00:00 ~8.1 06:00	88.5	106.7	35.60	64.20	170.30	195.20	249.70	280.60	295.70	296.30	317.40	317.70
00.8.5 11:00 ~8.5 15:00	51.0	76.3	11.00	66.60	1.80	1.80	2.50	5.90	9.40	9.40	9.40	9.40
00.8.25 04:00 ~8.25 12:10	65.7	84.6	5.70	30.00	3.00	5.00	5.00	5.20	6.60	6.60	9.40	55.20
00.8.27 20:00 ~8.28 06:00	72.5	144.6	14.90	70.80	14.90	17.40	21.90	64.10	75.10	164.70	166.30	166.30
00.9.16 08:00 ~9.16 14:00	80.6	27.3	5.60	18.00	19.10	41.10	70.40	136.10	142.40	147.50	147.50	147.50
평 균	69.20	95.50	11.74	64.66	24.44	32.68	52.83	70.54	100.69	131.21	135.65	156.17

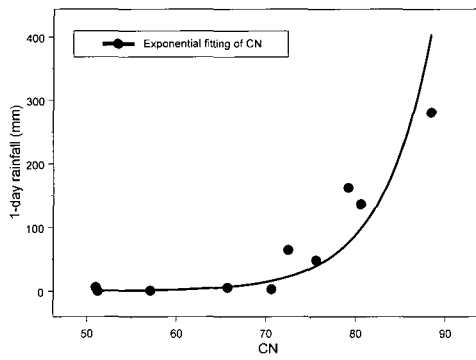
Table 4. Correlations for CN, storm and antecedent rainfall conditions

	CN	호우특성			선행강우량(mm)							
		총강우량 (mm)	평균 강우강도 (mm/hr)	최대 강우강도 (mm/hr)	3시간	6시간	12시간	1일	2일	3일	4일	5일
CN	1.0000	-0.1150	0.5803	-0.0458	0.7073	0.7460	0.7969	0.8307	0.7954	0.7387	0.7661	0.6657
호우특성	총강우량 (mm)	1.0000	-0.0907	0.6071	-0.2163	-0.1669	-0.2682	-0.2428	-0.3923	-0.4880	-0.4564	-0.4808
	평균 강우강도 (mm/hr)		1.0000	0.0484	0.9351	0.9180	0.7651	0.7907	0.6834	0.4020	0.4384	0.2965
	최대 강우강도 (mm/hr)			1.0000	-0.1863	-0.1685	-0.2935	-0.2655	-0.1066	-0.2988	-0.2832	-0.4113
선행강우량 (m)	3시간				1.0000	0.9958	0.9266	0.9256	0.8139	0.5902	0.6250	0.5295
	6시간					1.0000	0.9452	0.9444	0.8237	0.6078	0.6445	0.5482
	12시간						1.0000	0.9908	0.8839	0.7938	0.8211	0.7562
	1일							1.0000	0.8751	0.8023	0.8299	0.7506
	2일								1.0000	0.8849	0.9009	0.8380
	3일									1.0000	0.9984	0.9772
	4일										1.0000	0.9732
	5일											1.0000

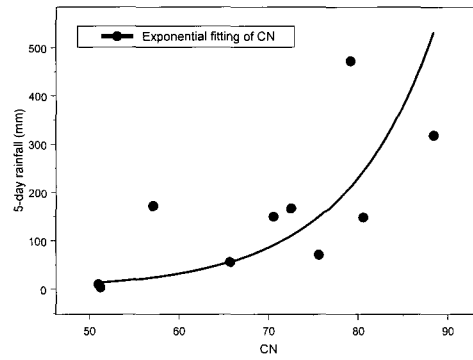
Table 4에 나타난 바와 같이 CN과 선행강우량과의 상관계수는 1일 선행강우량이 0.8307로 가장 높고, 그 다음에 12시간 선행강우량 0.7969, 2일 선행강우량 0.7954 등의 순으로 나타났다. 1일 선행강우량을 중심으로 선행강우의 고려 시간이 증가하거나 감소함에 따라 CN과의 상관계수는 전반적으로 감소해 가는 경향을 나타내고 있다.

CN과 호우특성과의 관계에 있어서 총강우량과 최대강우강도와는 유의미한 관계가 없는 것으로 나타났으나, 호우사상 전기간에 대한 평균강우강도와는 0.5803의 상관계수를 나타냈다.

Fig. 4는 1일 및 5일 선행강우량과 CN의 관계를 지수함수곡선으로 회귀분석한 결과이다.



(a) 1-day ARC and CNs



(b) 5-day ARC and CNs

Fig. 4. Exponential curve fitting of antecedent rainfall conditions and observed CNs

Fig. 4에서 알 수 있는 바와 같이 선행강우량의 경우 CN과의 관계에 있어서 자료의 분산 범위가 비교적 크게 나타났으며, 특히 5일 선행강우량의 경우 더욱 분산이 큰 것으로 나타났다. 지수함수가 단조적인 변화를 묘사하는 회귀식으로서 선행강우와 CN과의 관계를 비교적 잘 묘사하는 것으로 판단되어 이를 채택하였다. 그리고 Fig. 4 (a)에서 유역의 초기 CN이 낮을수록 선행강우량에 대한 CN의 민감도가 높아지며, 역으로 CN이 높아질수록 선행강우량에 대한 민감도는 감소하는 것으로 나타났다. 특히, 1일 선행강우량과 CN과의 관계에서 CN이 70 이하인 경우 선행강우량의 증가에 따른 CN의 증가는 매우 민감한 것으로 나타났다. 5일 선행강우량에서도 이러한 경향은 나타나지만 1일 선행강우량과 비교해 볼 때 민감도는 낮은 것으로 나타났다. 회귀곡선과 자료의 분산을 살펴볼 때, 전반적으로 1일 선행강우량이 5일 선행강우량 보다 선행강우량에 따른 CN의 변화거동을 보다 잘 기술하고 있는 것으로 사료된다.

이와 같이 CN과 선행강우량이 지수함수적인 관계로 기술하는데 무리가 없는 것으로 판단됨에 따라 선행강우량을 자연대수변환(transform with natural logarithm)하여 Fig. 5와 같이 CN과의 관계를 선형회귀분석을 통하여 고찰하였다.

Fig. 5에서 알 수 있는 바와 같이 선행강우량의 자연대수값과 CN은 선형회귀분석 결과 비교적 높은 상관관계를 이루는 것으로 나타났다. Fig. 5의 (a)와 (b)는 10개 호우사상 전체를 대상으로 분석한 것이며, (c)와 (d)는 총강우량과 유역 잠재저류량의 비인 P/S가 0.46 이하인 중소규모 호우 2개를 제외하고 분석한 결과이다. 기존 Hawkins 등(1985)의 연구에서 P/S의 비가 0.46 이하인 중소규모 호우사상을 제외시키고자 했던 것은

홍수사상을 모의하는데 필요한 유역의 대표적인 CN 값을 산정하는데 목적이 있었기 때문이나 본 논문은 유역의 CN이 변화하는 경향과 범위를 분석하는데 주목적이 있으므로 이들 2개의 자료를 포함시켜 분석한 결과가 더욱 연구 목적에 부합된다고 판단하였다. Fig. 5에서 점선으로 나타낸 것은 선형회귀분석곡선의 95% 신뢰구간이다.

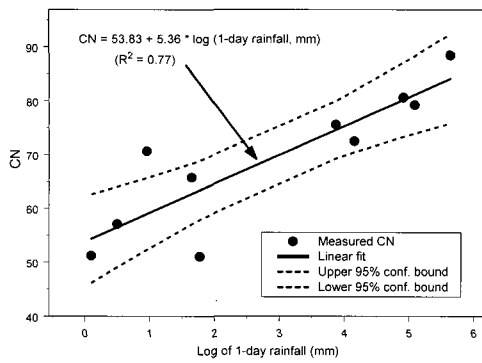
식 (12)와 (13)은 10개 호우사상에 대하여 각각 1일 및 5일 선행강우량과 CN과의 관계를 회귀분석하여 도출한 식이며, Table 5는 회귀분석한 결과를 요약한 것이다.

$$CN_{1\text{-day rainfall}} = 53.83 + 5.36 \ln P_1 \quad (R^2 = 0.77) \quad (12)$$

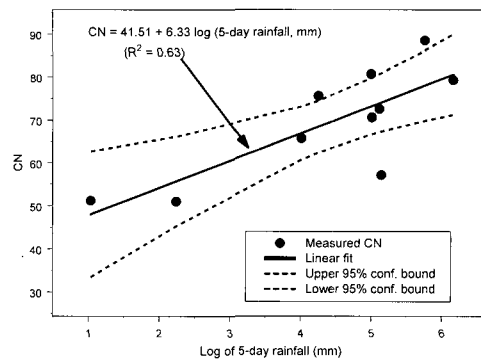
$$CN_{5\text{-day rainfall}} = 41.51 + 6.33 \ln P_5 \quad (R^2 = 0.63) \quad (13)$$

여기서, P_1 , P_5 는 각각 1일 및 5일 선행강우량(mm)이다.

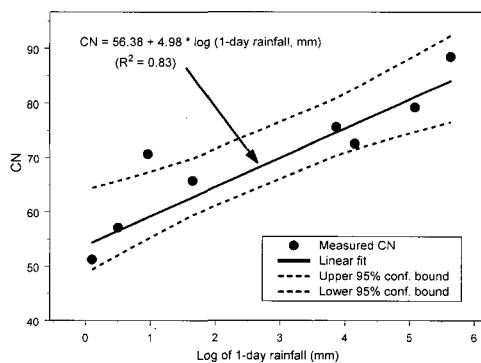
Table 5에서 알 수 있는 바와 같이 1일 선행강우량의 자연대수값과 CN과의 선형회귀식은 결정계수 R^2 가 0.77로 비교적 높은 상관관계를 이루고 있으며, 이 식은 유의수준 0.001에서 귀무가설이 기각되어($p < 0.001$) 회귀성이 증명되는 것으로 나타났다. 그리고 5일 선행강우량의 경우는 결정계수 R^2 가 0.63으로 1일 선행강우량에 의한 값 보다 낮게 나타났으며, 이 식은 유의수준 0.01에서 귀무가설이 기각되고($p < 0.01$) 회귀성이 증명되는 것으로 나타났다.



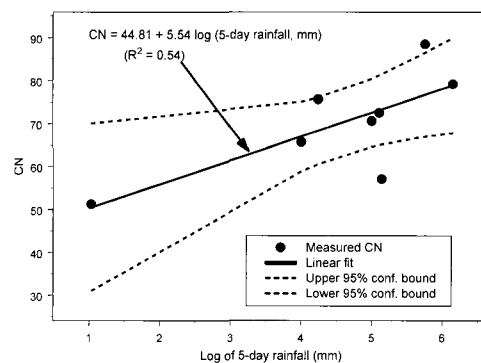
(a) Log of 1-day ARC and CN's



(b) Log of 5-day ARC and CN's



(c) Log of 1-day ARC and CN's excluding storms with P/S less than 0.46



(d) Log of 5-day ARC and CN's excluding storms with P/S less than 0.46

Fig. 5. Linear regressions between natural logs of antecedent rainfalls and observed CN's

Table 5. Summary statistics of linear regression analysis between natural logs of antecedent rainfalls and observed CN's

ARC	Item	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)	Statistics
1-day rainfall	Intercept	53.8317	3.6577	14.7174	0.0000	$R^2 = 0.77$ F = 23.79 p = 0.0009
	Log of 1-day rainfall	5.3625	1.0508	5.1031	0.0009	
	도출된 회귀식은 식 (12)					
5-day rainfall	Intercept	41.5099	8.0080	5.1836	0.0008	$R^2 = 0.63$ F = 13.39 p = 0.0064
	Log of 5-day rainfall	6.3344	1.7313	3.6588	0.0064	
	도출된 회귀식은 식 (13)					

지금까지 설마천 시험유역을 대상으로 선행강우량과 CN과의 관계를 분석한 결과를 종합해 볼 때, 본 논문에서 제기한 「5일간의 선행강우를 고려하는 것 보다 1일간의 선행강우를 고려하는 것이 토양의 침투능과 직접 연관이 있는 유역의 잠재보류량 S와 이로부터 구해지는 CN을 결정하는 데에 더욱 타당성이 높을 것」 이

라는 가설은 타당한 것으로 판단된다. 그러나 본 논문의 결과는 가용한 자료의 제약으로 인하여 10개의 호우 사상만을 대상으로 도출한 결과이며 본 연구에서 미처 고려하지 못한 다른 요인들이 있을 수 있으므로 앞으로 포괄적이고 다양한 요인들을 고려한 보다 심도 있는 검토가 필요할 것으로 사료된다.

5. 결 론

본 논문에서는 정밀한 수문기상자료를 보유하고 있는 설마천 시험유역의 강우유출자료를 이용하여 산지 소유역의 유출곡선지수를 산정하고, 이를 이용하여 국내 산지 소유역에 적합하다고 판단되는 선행강우량의 적용기준을 제시하고자 하였다. 설마천 시험유역은 유역면적 8.5km², 유로연장 5.8km이며 유역평균경사가 36% 정도이고, 97%가 산림으로 구성되어 있는 전형적인 미개발 산지 소유역으로서 과거에 발생했던 10개의 주요 호우사상을 분석한 결과 CN 값은 51~89 범위에 있었으며 중앙값(median)은 72 정도인 것으로 나타났다. 이와 같이 산지유역임에도 불구하고 비교적 CN값이 크게 산정된 것은 유역에서 발생했던 모든 강우유출사상을 분석에 포함시킨 것이 아니라 기왕의 기록호우사상 중에서 주요 호우사상 10개를 대상으로 분석하였다는 점과 토양의 배수특성이 비교적 좋지 않고 유역의 경사가 매우 급하며 유역규모가 매우 작다는 점에도 그 원인이 있을 것으로 사료된다.

설마천 시험유역의 경우 배수특성이 비교적 좋지 않은 유역임에도 불구하고 강우유출자료를 이용하여 선행강우량과 CN과의 관계에 대하여 분석 검토한 결과 본 논문에서 제기한 가설인 「5일 선행강우량 보다 1일 선행강우량이 산지 소유역에 대한 CN을 결정하는 데에 더욱 타당성이 높을 것」이라는 가설은 타당한 것으로 나타났다. 또한 본 논문에서는 1일 또는 5일 선행강우량으로부터 산지 소유역의 CN을 추정할 수 있는 회귀분석식을 제안하였다. 그러나 이식은 10개의 제한된 호우사상으로부터 도출된 결과이며 본 연구에서 고려하지 못한 요소들이 있을 수 있으므로 앞으로 자료가 축적됨에 따라 더욱 심도 있는 검토가 필요할 것으로 사료된다. 이와 더불어 입산통제와 벌목 금지 등으로 산림의 식생과 낙엽 등으로 인한 피복상태가 과거와 달라지고 있음을 감안할 때, 중규모 및 대규모 산지유역을 포함한 우리나라 산림에 대한 전반적인 CN 연구가 필요할 것으로 사료되며, 본 논문에서 포함시키지 못한 비성수기를 포함한 다양한 조건에 대한 연구도 필요할 것으로 사료된다.

국내 산지 소유역의 유출곡선지수에 대한 체계적인 분석이 거의 없는 실정에서 본 연구를 통하여 국내 산지 소유역에 대한 실측강우유출자료를 기반으로 선행강우량을 반영한 CN 산정방법을 제시함으로써, 특히 산악지역에서 실측호우사상에 따른 유출수문곡선 재현시 선행강우조건을 반영하는 기초적인 가이드라인이 될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 한국토지공사 연구개발처 사업인 『개발사업에 따른 재해의 효율적 저감방안 연구』의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- 박춘식 역 (1996). 풍화토의 특성 (원저: 風化 殘積土의工學的 性質, 西田一彦 著). 도서 출판 엔지니어즈.
- 윤용남 (1998). 공업수문학. 청문각.
- 윤태훈 (1991). “유효우량산정을 위한 곡선번호방법의 적용성.” 한국수문학회지, 제24권, 제2호, pp. 97-108.
- 임상준, 박승우 (1997). “논의 유출곡선번호 추정.” 한국수자원학회논문집, 제30권, 제4호, pp. 379-387.
- 정성원 등 (2000). 시험유역의 운영 및 수문특성 조사·연구-합성단위도 개발을 중심으로. 건기연 2000-092 연구보고서 6차년도, 한국건설기술연구원.
- 조홍제, 김정식 (1997). “TIN을 이용한 SCS법에 의한 유효강우량 산정에 관한 연구.” 한국수자원학회 논문집, 제30권, 제4호, pp. 357-366.
- Hawkins, R.H., Hjelmfelt, A.T. and Zevenbergen, A.W. (1985). “Runoff probability, storm depth, and curve numbers.” *Journal of Irrigation and Drainage Engineering Division*, ASCE, Vol. 111, No. 4, pp. 330-340.
- James, W. and Robinson, M. (1985). *User Manual PCSWMM3.2 Executive Module, Combine Module, Statistics Module, Graphics Module*, CHI Report: R142. Computational Hydraulics.
- Pilgrim, D.H., and Cordery I. (1993). *Handbook of Hydrology: Chapter 9 Flood Runoff* Edited by D.R. Maidment. McGraw-Hill Inc.
- US SCS (1985). *National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology*. U.S. Department of Agriculture, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
- US SCS (1986). *Urban Hydrology for Small Watersheds, Technical Release No. 55 (TR-55)*. U.S. Department of Agriculture, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
- (논문번호:03-29/접수:2003.03.14/심사완료:2005.06.28)