

정밀토양도를 이용한 유효강우량 산정에 관한 연구

김경탁^{1*} · 최윤석¹

A Study on the Estimation of Effective Precipitation using Detailed Soil Map

Kyung-Tak KIM^{1*} · Yun-Seok CHOI¹

요 약

유역의 유출량을 계산하는 유출모의를 위해서는 직접유출에 기여하는 강우량인 유효강우량을 산정해야한다. 본 연구에서는 SCS CN방법을 이용하여 유효강우량을 산정하기 위해 필요한 유역의 지형자료와 토지피복도 및 토양도 중 정밀토양도의 이용에 관한 내용을 기술하고 있다. 우리나라의 정밀토양도를 SCS CN방법에 적용하기 위해서는 SCS 수문학적 토양군으로의 재분류가 필요하다. 본 연구에서는 정밀토양도를 SCS의 수문학적 토양군으로 분류할 때 허기술과 정정화(1987)의 분류기준과 정정화 등(1995)의 분류기준을 적용하여 유출모의를 수행하여 그 결과를 비교 검토하였다. 대상유역은 IHP 시범유역인 위천 유역과 평창강 유역을 선정하였다. 유출모의는 HEC-1을 이용하였으며 지형인자의 계산은 WMS v6.1을 사용하였다. 대상유역에 대하여 유출모의를 수행한 결과 정밀토양도의 분류방법에 따른 유출모의 결과의 차이는 유역에 따라서 달리 나타날 수 있으나, 정정화 등(1995)이 제시한 기준에 의해서 분류된 정밀토양도를 이용할 경우 대상유역으로 선정된 두 지역에서 모두 실측치에 좀더 근접한 결과를 도출할 수 있는 것으로 나타났다.

주요어: CN 방법, 토양분류, 수문학적 토양군, 유출해석

ABSTRACT

For the simulation of flow phenomenon that calculate basin outflow, it is required to estimate effective precipitation which contributes to direct runoff. This paper is focused on using detailed soil map which is one of the data required to estimate effective precipitation by SCS CN method. Korean detailed soil map must be reclassified as SCS hydrologic soil group when it is applied to SCS CN method. In this study, Korean detailed soil maps which are reclassified as SCS hydrologic soil group by the methods of Her and Jung(1987) and Jung *et al.* (1995) are applied to flow simulation and the results are analyzed. The study sites are Wichon watershed and Pyungchang river

2004년 3월 17일 접수 Recieved on March 17, 2004 / 2004년 4월 9일 심사완료 Accepted on April 9, 2004

¹ 한국건설기술연구원 수자원연구부 Water Resources Research Division, Korea Institute of Construction Technology

* 연락처자 E-mail: ktkim1@kict.re.kr

basin which are studied by International Hydrological Program (IHP). HEC-1 and WMS v6.1 are used to simulate flow phenomenon and calculate geographic parameters. The difference of flow analysis results from each soil reclassification method is different from each sites. But the results of flow analysis approximate observed data by using Jung *et al.* (1995) method more than Her and Jung (1987) method.

KEYWORDS: CN Method, Soil Classification, Hydrologic Soil Group, Flow Analysis

서론

수자원 분야에서 사용되고 있는 미국 토양보존국(U.S. Soil Conservation Service, SCS)의 유출곡선법(runoff curve number method, CN 방법)은 유역의 선행강우량, 토지피복도 및 토양도를 이용하여 유효강우량을 계산하는 방법이다. 유역의 토양은 그 성질에 따라 침투능이 서로 다르므로 강우로 인한 유출과정에 직접적인 영향을 미치게 된다. SCS에서는 미국 전역의 토양특성을 파악하여 토양도를 작성하였으며 토양성질이 직접유출에 미치는 영향의 척도를 나타내기 위해 토양의 침투능을 기준으로 4개의 수문학적 토양군 A, B, C, D로 분류하였다. 즉, CN 방법은 유역의 토양특성과 식생 피복상태 및 토지이용과 처리상태에 관한 자료를 이용하여 총강우량으로부터 유효강우량 또는 초과강우량의 산정이 가능하도록 한 것으로 호우로 인한 유출량 자료가 없는 경우인, 강우-유출 관계 설정이 불가능한 미세측 유역으로부터 총강우량에 대한 유효강우량을 산정하기 위한 도구로 개발된 것이다(김경탁, 2003).

우리나라에서는 한국개략토양도(1:250,000), 개략토양도(1:50,000), 정밀토양도(1:25,000), 세부정밀토양도(1:5,000) 등 다양한 토양도가 제공되고 있으며, 정밀토양도의 경우 80년대 이후 전국적으로 구축되었으며, 수치지도화한 수치정밀토양도가 농업과학기술원에 의해 제작되어 공간정보유통망을 통해 공급되고 있다(김경탁, 2003). 국내에서는 CN 방법을 적용하기 위해서 개략토양도를

주로 이용하고 있으며, 정밀토양도의 이용에 대한 연구는 1990년대 후반부터 시작되었다(조홍제와 김정식, 1997; 김경탁, 1998; 최윤석 등, 2000; 김경탁, 2003; 김경탁과 최윤석, 2003). 윤태훈(1990)은 개략토양도를 SCS CN 방법에 적용하여 유효강우량을 산정할 경우 AMC2 조건과 AMC3 조건에서의 CN값을 3:7의 비율로 적용하는 것을 제안하였으며, 이는 개략토양도를 이용할 경우 실측치보다 유효강우량이 작게 산정되는 것을 의미하고 있다(김경탁, 2003). 또한 김경탁(1998)과 최윤석 등(2000)은 SCS CN 방법을 이용하여 유효강우량을 산정하고 유출모의를 수행할 때 개략토양도와 정밀토양도를 이용하는 경우를 비교하였으며, 정밀토양도를 이용하는 것이 좀더 양호한 결과를 나타내고 있다. 또한 김경탁(2003)은 개략토양도와 정밀토양도의 제작 특성과 토양도의 토양속성을 SCS의 수문학적 토양군으로 재분류할 때의 차이점 및 유효강우량 산정 결과를 비교 검토함으로써 정밀토양도의 이용을 제안하고 있다.

정밀토양도를 이용한 수문학적 토양군의 분류에 대한 연구는 토양전문가들에 의해 2회에 걸쳐 연구된 결과가 발표된 바 있다. 허기술과 정정화(1987)의 '한국토양의 수문학적 분류 및 그 응용'을 들 수 있으며, 이후 정정화 등(1995)은 이 연구를 기초로 토성, 배수등급, 투수성, 투수저해토층의 유무 및 출현깊이, 지하수위 등 침투수량을 지배하는 요인들을 적용하고, 우리나라 토양의 주 점토광물이 비팽창성인 Kaoline 계열이므로, 투수가 점토의 절대함량이나 불투수

층, 지하수위 등에 지배되고 있기 때문에 토양의 수축 및 팽창을 고려하지 않고 정밀토양도상의 토양통을 SCS의 수문학적 토양군 A, B, C, D로 재분류하여 제시하였다(김경탁, 2003). 따라서 수자원분야의 기술자들은 SCS CN 방법을 이용하여 유효강우량을 산정할 때 정밀토양도를 이용할 경우 허기술과 정정화(1987)의 분류기준 혹은 정정화 등(1995)의 분류기준에 의해서 수문학적 토양군으로 분류하게 된다. 그러나 이러한 두 가지 방법에 의해서 분류된 정밀토양도의 유효강우량 산정결과와 이를 이용한 유출모의 결과에 대한 분석은 아직까지 수행되지 않은 상태이다.

따라서 본 연구에서는 SCS CN 방법을 이용하여 유효강우량을 산정하고자 할 때 정밀토양도를 이용하였다. 또한 정밀토양도를 SCS의 수문학적 토양군으로 분류할 때 허기술과 정정화(1987)의 분류기준과 정정화 등(1995)의 분류기준을 적용하여 유출모의를 수행하여 그 결과를 비교 검토하였다.

정밀토양도의 SCS 수문학적 토양군 분류

허기술과 정정화(1987)는 지역의 수문학적 현황을 객관적으로 평가할 수 있는 자료를 제공하

기 위하여 우리나라의 토양을 수문학적으로 분류하여 제시하고 있다. 이 연구에서는 우리나라의 토양분류 기준과 USDA의 토양분류 기준이 동일하다는 사실에 착안하여, 우리나라의 정밀 토양도를 SCS 수문학적 토양군으로 분류할 때 SCS에서 사용하고 있는 분류기준(표 1)을 응용하고 있다. 즉, 토성(soil texture), 토양심도(soil depth), 토양배수(soil drainage), 토양팽창(soil swelling), 유기물함량(organic matter content)에 대한 SCS와 농촌진흥청의 분류기준을 정량적으로 비교, 검토하여 정밀토양도상의 토양통을 SCS의 수문학적 토양군 A, B, C, D로 분류하여 제시하고 있으며(김경탁, 2003), 분류결과는 표 2와 같다.

정정화 등(1995)은 허기술과 정정화(1987)의 연구를 기초로 우리나라에 분포된 것으로 조사된 전국의 378개 토양통을 토성, 배수등급, 투수성, 투수저해토층의 유무 및 출현깊이, 지하수위 등 침투수량을 지배하는 요인들을 적용하여 SCS 수문학적 토양군으로 분류하였으며, 그 분류기준은 표 3과 같다. 이 연구에서는 우리나라 토양의 주 점토광물이 비팽창성인 Kaoline계이므로, 투수가 점토의 절대함량이나 불투수층, 지하수위 등에 지배되고 있기 때문에 토양의 수축 및 팽창을 고려하지 않고 있다.

TABLE 1. Criteria of hydrologic soil groups(Her and Jung, 1987)

수문학적 토양군	침투율	토양배수	수평 투수율	토성	비고
A군	높음	매우양호	높음	사질이거나 역질	유출량이 적음
B군	보통	양호	보통	약간 세립질이거나 약간 조립질	-
C군	느림	-	느림	약간 세립질이거나 세립질	수직침투 방해층이 있음.
D군	매우느림	-	매우느림	경반층이거나 점토층을 갖는 토양	유출량이 많음 / 지하수위가 높음 / 불투수층이 있음

TABLE 2. Classification of hydrologic soil groups for Korean soils(Her and Jung, 1987)

지형	SCS 수문학적 토양군	A군	B군	C군	D군
하해혼성평탄지		가파, 태본, 오지, 백구, 북평, 비천, 사두, 은평, 일평, 하사, 해리(11개통)	가포, 광포, 만경, 속포, 춘포, 학성, 학포 (7개통)	광활, 구포, 금진, 금해, 낙천, 다평, 달동, 덕하, 동호, 등구, 문포, 송주, 염포, 전북, 평해, 향호 (16개통)	공덕, 김제, 봉남, 봉림, 부용, 서탄, 여수, 용호, 포두, 포리, 포근, 해척, 북천(13개통)
하성평탄지		가천, 고천, 김천, 낙동, 남계, 덕천, 물금, 본양, 오천, 오평, 장천, 주천, 증동, 화봉, 황용(15개통)	강서, 규암, 남평, 도천, 석계, 석천, 월령, 유원, 이현, 통천, 학산 (11개통)	금지, 미원, 범평, 만성, 신흥, 심천, 애월, 영산, 월평, 유천, 청원, 칠원, 평택, 함창, 화수 (15개통)	대정, 신담, 이천, 호남, 흥평, 신평, 수계 (7개통)
곡간지 산상지 태지		덕계, 상주, 성산, 압곡, 월곡, 입석, 천부, 토계, 풍천, 학곡, 홍문, 홍천 (12개통)	갈곡, 과천, 구곡, 뇌곡, 다인, 단북, 동암, 마곡, 마령, 장지, 매곡, 북내, 산계, 수북, 알봉, 용곡, 은곡, 이목, 입동, 장계, 주곡, 진곡, 진천, 창곡, 추계, 행곡, 처계 (27개통)	가곡, 감곡, 감천, 장동, 장진, 경산, 고흥, 금서, 남곡, 대곡, 도곡, 문경, 반호, 방곡, 방기, 백구, 백산, 봉곡, 부곡, 비곡, 사촌, 삼암, 신흥, 아곡, 안계, 안덕, 안미, 양곡, 영월, 예곡, 예천, 옥계, 옥동, 용계, 용강, 용당, 용수, 용지, 용흥, 우곡, 원곡, 위미, 유가, 율곡, 이도, 임곡, 장유, 점곡, 제주, 종곡, 죽곡, 지산, 진도, 천평, 춘천, 판곡, 함평, 화순, 송곡, 효천(61개통)	강정, 갈천, 고령, 고평, 공성, 광주, 극락, 덕평, 동송, 무릉, 반곡, 반천, 연곡, 연천, 영락, 왕산, 옥천, 우도, 우평, 유계, 이호, 장파, 진곡, 창평, 철원, 청계, 춘도, 파주, 포곡, 해안, 화동, 반산 (32개통)
산록경사지			김곡, 녹전, 대원, 대홍, 덕곡, 도계, 도동, 무이, 사라, 석토, 송당, 수암, 신불, 연태, 운곡, 이원, 체천, 죽암, 지곡(19개통)	교래, 대홍, 도전, 동귀, 미탄, 안용, 운교, 운봉, 원개, 인계, 저동, 칠곡, 흑석(13개통)	각화, 악양, 장원, 초계, 특곡, 평안, 평전 (7개통)
구릉지 산악지		도산, 미악, 표선 (3개통)	감산, 풍산, 영악, 나리, 낙산, 마산, 망실, 삼각, 성인, 송산, 영일, 예산, 오산, 울릉, 위산, 월산, 월경, 이산, 적악, 청심, 한임, 행원, 흑악 (23개통)	과림, 괴산, 귀산, 나산, 남양, 남원, 노로, 녹산, 논고, 논산, 단성, 대산, 미산, 민악, 병악, 봉산, 부여, 송악, 송정, 신기, 신정, 아라, 아산, 오라, 완산, 유하, 입산, 장산, 중문, 차항, 추산, 태화, 토산, 토평, 평대, 한경, 향목(37개통)	고산, 관악, 광산, 군산, 구암, 구좌, 금령, 근산, 낙서, 남산, 달천, 대구, 덕산, 동흥, 매산, 모산, 무동, 봉계, 사동, 산방, 산청, 시례, 신암, 영동, 오테, 외산, 음성, 의성, 인성, 장성, 전남, 정자, 조천, 중앙, 천곡, 청산, 청풍, 초봉, 태산, 평창, 하막, 하보, 하원, 하정, 행산, 화산(46개통)

TABLE 3. Criteria of the hydrologic soil groups for Korean soils(Jung et al., 1995)

토양특성	Marks denoted according to soil characteristics			
	4	3	2	1
토성 (Textural family)	Sandy(skeletal) Loamy skeletal (coarse)	Coarse loamy Coarse silty Volcanic ashes	Fine loamy Loamy skeletal (fine)	Fine silty Clayey (fine / very fine)
배수등급	매우양호	약간양호	약간불량	불량
투수성(cm/hour)	매우빠름, 빠름 (>12.0)	약간빠름 (12~6.0)	약간느림 (6.0~0.5)	느림, 매우느림 (<0.5)
불투수층의 깊이(cm)	없음	100~50	50~25	25 미만
수문학적 토양군 분류	A (>13)	B (12~11)	C (10~8)	D (<7)

s허기술과 정정화(1987)의 연구가 단순한 수치적 비교에 의한 결과라면 정정화 등(1995)의 연구는 선행 연구를 기초로 좀더 많은 전문가가 참여하여 국내의 토양 및 지질특성을 반영하여 정밀토양도의 토양종을 수문학적 토양군으로의 분류를 실시한 것이라 할 수 있으며(김경탁, 2003), 이에 대한 결과는 표 4와 같다.

대상유역 및 유출모의 조건

본 연구에서는 IHP 시범유역인 위천과 평창강을 대상으로 HEC-1을 이용하여 유출모의를 수행하였다. 그림 1은 대상유역의 유역개황을 나타낸 것이고, 표 5는 대상유역의 수문관측시설 현황을 나타낸 것이다. 또한 적용한 수문사

TABLE 4. Hydrologic soil grouping for Korean soils(Jung et al., 1995)

Hydrologic group	Class Marks	Soils series pertinent
A	16	비천, 대본, 가파, 홍천, 해리, 화봉, 황룡, 홍문, 입석, 일평, 미악, 낙동, 은평, 토계 (14)
	15	백수, 금천, 행산, 학곡, 하사, 장천, 적악, 명지, 남계 (9)
	14	암곡, 본량, 부평, 천부, 청심, 단복, 덕천, 덕계, 금악, 고천, 구좌, 과천, 관악, 한림, 이산, 대곡, 무이, 나리, 녹전, 오대, 외산, 오평, 풍천, 사동, 삼각, 산방, 성인, 신업, 송산, 월곡 (30)
	13	알봉, 아라, 청산, 대흘, 도산, 의성, 은곡, 가천, 감산, 강서, 행원, 지곡, 주천, 증동, 마지, 민악, 낙산, 남양, 너곡, 사두, 상주, 성산, 수암, 울산, 월정, 월령, 영동, 영일, 예산, 유원 (30)
B	12	복내, 병악, 창곡, 초봉, 추계, 다인, 덕산, 동암, 갈곡, 금령, 고산, 규암, 하모, 한경, 옥악, 회곡, 호계, 이현, 임동, 이목, 임산, 이원, 장계, 정자, 조천, 죽암, 주곡, 매봉, 마곡, 마령, 물금, 낙서, 남원, 녹산, 오산, 표선, 사촌, 산계, 사라, 신불, 신기, 송당, 수북, 통천, 용곡, 용계, 울릉, 월산 (48)
	11	안미, 안통, 아산, 백산, 반호, 봉산, 부여, 차항, 추산, 대곡, 대흥, 도동, 도계, 도천, 음성, 감천, 감곡, 근산, 괴산, 공산, 귀산, 군산, 팽포, 파림, 학포, 하빈, 향목, 장산, 저동, 점곡, 정동, 진천, 중업, 망실, 마산, 미산, 나산, 논고, 논산, 노로, 석계, 석토, 신현, 송정, 석천, 신경, 태화, 우곡, 운곡, 완산, 원곡, 위미, 연대, 용당 (54)
	10	범평, 춘도, 단성, 도천, 동귀, 가포, 금지, 구업, 교래, 흑석, 화순, 이도, 장성, 제천, 제주, 증문, 만경, 무동, 낙천, 남곡, 남평, 오나, 평대, 유천, 신담, 송악, 토평, 토산, 운봉, 원지, 영월, 유하, 염포 (33)
C	9	안덕, 칠곡, 천평, 칠원, 대구, 대원, 대산, 덕곡, 동흥, 금진, 금곡, 구곡, 행곡, 학산, 함평, 화수, 인제, 인성, 만성, 오천, 옥계, 삼암, 용지 (23)
	8	애월, 안계, 반산, 비곡, 청원, 강진, 임곡, 장유, 진도, 진목, 지산, 미탄, 모산, 판곡, 신흥, 시례, 영산, 용강, 울곡, 울포, 왕산 (21)
	7	아곡, 방기, 방곡, 부곡, 천곡, 청계, 초계, 춘천, 춘포, 대정, 달동, 덕평, 도곡, 동송, 동호, 가곡, 각화, 강동, 강정, 극악, 고흥, 광활, 구포, 경산, 화동, 죽곡, 해안, 함창, 효천, 향호, 이천, 장원, 전북, 전남, 진곡, 미원, 무룡, 우동, 파주, 평전, 평해, 산청, 송주, 심천, 운교, 월평, 양곡, 예천, 용수 (49)
D	6	악양, 백구, 반천, 반곡, 봉곡, 봉계, 봉남, 부용, 창평, 칠원, 청동, 달천, 다평, 덕하, 등구, 갈천, 금서, 김평, 김계, 공성, 고평, 광주, 광산, 하정, 학성, 흥평, 호남, 화산, 하원, 이호, 장파, 종곡, 매산, 문경, 문포, 남산, 옥천, 포곡, 평창, 평안, 평택, 태안, 태산, 특곡, 우도, 우평, 예곡, 연곡, 연락, 용호, 용흥, 유가, 유곡, 유계 (55)
	5	해척 (1)
	4	복천, 봉림, 공덕, 고령, 포두, 포리, 포승, 서탄, 신평, 수계, 여수 (11)

상은 1983년~1989년까지 자료를 정리해 놓은 IHP 대표유역 수문자료집(건설부, 1989)에 수록 된 자료를 이용하여 각 유역에 대하여 2개씩을 선정하였으며, 적용된 수문사상은 표 6과 같다.

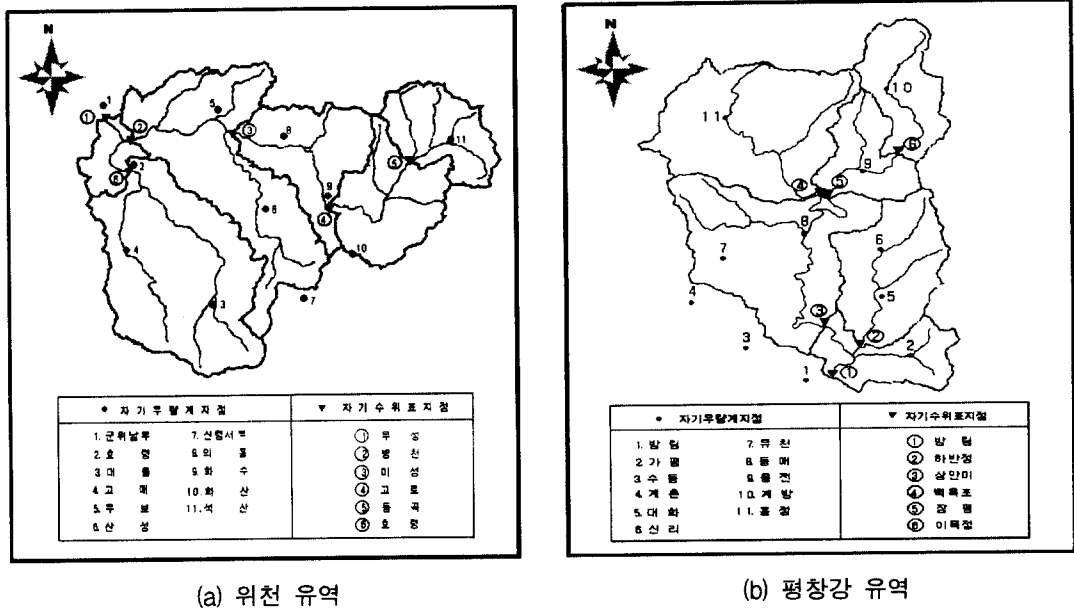


FIGURE 1. Study area

TABLE 5. Hydrological monitoring point of study area

유역	자기수위계	자기우량계	지하수위계	증발계
위천	6(무성, 효령, 병천, 미성, 고로, 동곡)	11(군위남부, 효령, 대울, 고매, 우보, 산성, 신령서부, 의흥, 화수, 화산, 석산)	6	11
평창강	6(방림, 하반정, 상안미, 백옥포, 장평, 이복정)	11(방림, 가평, 수동, 계촌, 대화, 신리, 유천, 등매, 용진, 계방, 흥정)	6	11

TABLE 6. Applied hydrological event

유역	연도	구분	강우일시	유량일시	AMC
위천	1985	위천사상1	85.08.17 01:00~08.18 00:00	85.08.17 01:00~08.19 03:00	3
	1987	위천사상2	87.07.14 19:00~07.16 12:00	87.07.14 19:00~07.18 02:00	2
평창강	1984	평창사상1	84.07.03 21:00~07.05 04:00	84.07.03 21:00~07.07 11:00	2
	1987	평창사상2	87.07.21 08:00~07.23 09:00	87.07.21 08:00~07.24 18:00	2

본 연구에서는 합성단위도법으로 SCS 무차원 단위도법을 사용하였으며, 소유역을 분할하여 유출모의를 수행하였다. 김경락과 최윤석(2003)의 연구 결과에 따르면 위천과 평창강의 경우 수위관측소를 기준으로 분할된 6개 소유역과 면적 배분에 의한 12개 소유역으로 유출모의시 실측치와 가장 유사한 결과를 나타내고 있으며, 따라서 본 연구에서는 각 유역을 수위관측소를 기준으로 6개 소유역으로 분할하여 유출모의를 수행하였다. 이에 따라 소유역 간의 하도홍수추적을 위하여 Muskingum-Cunge 방법을 이용하였다.

유효우량의 산정을 위해서는 SCS CN 방법을 이용하였다. SCS CN 방법에서는 CN 값의 산정을 위하여 토양도, 토지피복도 및 지형자료를 이용하기 때문에 GIS를 이용하여 유효강우량을 계산할 때 용이하게 적용될 수 있다. SCS CN 방법을 이용해서 유효우량을 산정할 때는 유역의 CN 값과 초기손실(IA)을 두 가지 매개변수로 사용한다. HEC-1에서는 유효우량의 산정을 위해 다음의 관계식을 이용한다.

$$ACEXS = \frac{(ACRAN - IA)^2}{ACRAN - IA + S} \quad (1)$$

$$S = \frac{25400 - 254 CN}{CN} \quad (\text{metric units}) \quad (2)$$

여기서, $ACEXS$ 는 누가 유효우량, $ACRAN$ 은 누가 총우량, S 는 토양수분미흡량 또는 잠재보유수량을 나타낸다. 이때 IA 에 특정한 값을 부여하지 않을 경우 SCS에서는 다음의 경험식을 제시하고 있다(HEC-1 User's manual, 1990).

$$IA = 0.2 S \quad (3)$$

적용 자료

본 연구에서는 HEC-1의 입력 인자를 계산하기 위하여 GIS 기법을 이용하였으며, GIS를

이용한 HEC-1의 매개변수 추출은 WMS v6.1을 이용하였다. HEC-1의 입력인자를 계산하기 위해서는 유역의 지형자료와 토지피복도, 토양도가 필요하며, 본 연구에서 사용한 자료는 표 7과 같다. 대상유역의 지형자료를 계산하기 위하여 WMS v6.1의 TIN 모듈을 이용하였으며, DEM은 1:25,000 수치지도의 등고선을 이용해서 30m의 격자크기로 구축하였다. 토지피복도는 Landsat TM 영상을 이용하여 1:50,000 축적으로 구축된 환경부 토지피복도의 대분류를 이용하였으며 토양도는 1:25,000 정밀토양도를 이용하였다.

TABLE 7. Applied digital data

자료명	제작방법	축척
DEM	1/25,000 등고선 이용	30m×30m
토지 피복도	Landsat TM	1:50,000
토양도	1:10,000 ~ 1:18,750의 항공사진 또는 1:25,000의 지형도 및 현장조사를 바탕으로 한 정밀토양조사	1:25,000

1. 지형자료

본 연구에서는 유역의 지형특성 인자를 계산하기 위하여 WMS v6.1의 TIN 모듈을 사용하였다. WMS v6.1은 DEM 자료를 이용하여 TIN을 구성하고, 수치지도의 하천망 레이어를 이용하여 하천망을 생성하며 유역분할을 수행할 수 있다. 또한 HEC-1의 입력 자료로 적용되는 소유역별 지형인자를 자동으로 계산할 수 있다. 그림 2는 대상유역을 WMS v6.1에서 소유역으로 분할한 것과 각 유역의 하천망을 나타낸 것이고, 표 8과 표 9는 위천 유역과 평창강 유역에 대한 지형인자를 각 소유역별로 나타낸 것이다.



(a) 위천 유역

(b) 평창강 유역

FIGURE 2. River network and 6 subbasins

TABLE 8. Geographical characteristics of Wichon watershed

지형인자 \ 유역명	무성	효령	병천	미성	고로	동곡
A	21.70	148.63	131.36	63.71	75.03	33.50
BS	0.2335	0.2816	0.2216	0.2174	0.3698	0.3747
AOFD	190.59	209.88	160.90	164.59	176.76	197.96
MSL	8223.50	21668.29	29055.90	15457.26	17572.17	8242.54
MSS	0.0129	0.0316	0.0159	0.0114	0.0173	0.0303

TABLE 9. Geographical characteristics of Pyungchang river basin

지형인자 \ 유역명	방림	하반정	상안미	백옥포	장평	이목정
A	48.99	85.88	144.46	143.41	47.67	56.72
BS	0.3752	0.4148	0.3659	0.3785	0.3518	0.4044
AOFD	496.51	398.31	405.23	397.07	388.23	394.03
MSL	11513.42	29390.66	18471.21	23743.66	22629.93	16445.77
MSS	0.0504	0.0199	0.0251	0.0185	0.0062	0.0322

주) · A: Area · BS: Basin Slope · AOFD : Average Overland Flow Distance
 · MSS: Maximum Stream Slope · MSL: Maximum Stream Length

2. 토지피복도

WMS에서는 SCS CN값을 이용하여 유효우량을 산출할 경우 토양의 피복상태를 나타내는 속성을 부여하기 위하여 81개의 항목으로 나누어진 SCS land use table을 제공한다. Landsat TM 영상으로부터 추출된 환경부의 토지피복도 대분류 항목은 7가지로 나누어지며, 표 10은 본 연구에서 사용한 토지피복도의 7개 분류 항목과 각각의 항목에 해당하는 SCS land use table의 속성을 나타낸 것이다. 이러한 land use table의

속성의 입력은 영상에서 분류된 항목에 해당하는 속성을 그대로 입력하기보다는 유역의 수문학적 특성을 고려하여 해당 분류항목의 유출특성을 가장 적합하게 반영할 수 있는 것을 입력하는 것이 중요하다. 그림 3은 대상유역의 토지피복도의 대분류 항목별 분포를 나타낸 것이다.

3. 정밀토양도

정밀토양도의 경우 현재 농촌진흥청 농업과학기술원에서 전산화 사업을 통해 구축된 자료

TABLE 10. The attribute of land cover map and SCS land use table

토지피복도 분류항목	WMS속성번호	속 성
나지	34	Cultivated agr. - fallow - bare soil
농업지역	38	Cultivated agr. - row - straight row(SR) - Good
산림지역	27	Woods - grass combination - orchard - Poor
수역	5	Paved streets with curbs and storm sewers(excel. ROW)
습지	38	Cultivated agr. - row - straight row(SR) - Good
시가화/건조지역	33	Farmsteads - buildings, lanes, surrounding lots
초지	67	Arid - herbaceous(grass, weeds, etc.) - Poor

(a) 위천 유역

(b) 평창강 유역

FIGURE 3. Land cover map of study area

를 제공받을 수 있다. 본 연구에서는 SCS CN 방법으로 유효강우량을 산정하기 위하여 위천 유역과 평창강 유역의 정밀토양도를 이용하였다. 정밀토양도를 SCS CN 방법에 적용하기 위해서는 정밀토양도의 토양통을 SCS의 수문학적 토양군으로 재분류하여야 한다.

본 연구에서는 허기슬과 정정화(1987)에 의해서 분류된 '정밀토양도분류87'과 정정화 등(1995)에 의해서 분류된 '정밀토양도분류95'를 이용하여 유효강우량을 산정하고, 유출도의 결과를 비교함으로써 각각의 방법에 따른 토양분

류가 유출에 미치는 특성을 비교분석하였다.

그림 4는 위천 유역에서의 정밀토양도의 분포를 나타낸 것이고, 그림 5는 평창강 유역에서의 정밀토양도의 분포를 나타낸 것이다. 그림 4(a)의 '정밀토양도분류87'에서는 B군과 D군이 넓게 분포하는 것에 비하여 그림 4(b)의 '정밀토양도분류95'에서는 A군과 C군이 넓게 분포되어 있는 것을 알 수 있다. 그림 5(a)에서는 그림 4(a)에서와 같이 B군과 D군이 넓게 분포되어 있으며, 그림 5(b)에서는 그림 5(a)에 비하여 C군의 분포가 늘어나기는 했으나 그림 5(a)에서

(a) 정밀토양도분류87

(b) 정밀토양도분류95

FIGURE 4. Detailed soil map of Wichon watershed

(a) 정밀토양도분류87

(b) 정밀토양도분류95

FIGURE 5. Detailed soil map of Pyungchang river basin

(a) 위천 유역

(b) 평창강 유역

FIGURE 6. The ratio of soil distribution area by soil classification method

B군으로 분류되던 지역이 대부분 A군으로 분류됨으로써 A군과 D군이 넓게 분포되어 있는 것을 알 수 있다.

4. 매개변수 산정

본 연구에서는 HEC-1의 입력 매개변수를 산정하기 위하여 WMS v6.1을 사용하였다. 정밀토양도를 SCS 수문학적 토양군으로 분류하는 방법에 따른 유출모의 결과를 검토하기 위하여 각각의 분류기준(정밀토양도분류87, 정밀토양도분류95)에 의해서 분류된 정밀토양도를 이용하여 대상 유역의 소유역별 CN 값과 SCS 방법으로 지체시간을 계산하였다. 표 11과 표 12는 대

상유역에서 계산된 선행토양함수 조건별 CN 값과 지체시간을 정밀토양도의 분류기준별로 비교한 것이다. 그림 4와 그림 5의 정밀토양도 분포에서는 모두 '정밀토양도분류95'에서의 토양분포가 '정밀토양도분류87'에서의 토양분류에 비하여 'D군'과 'B군'이 모두 감소하고, 'C군'과 'A군'이 증가하는 것으로 나타나 있다. 그러나 CN 값의 계산 결과 위천 유역의 경우 병천 유역과 미성 유역에서 증가하는 현상을 보이고, 무성 유역, 효령유역 및 동곡유역에서는 감소하는 현상을 보이고 있다. 평창강 유역에서는 방림 유역을 제외한 전 지역에서 CN 값이 감소하는 현상을 보이고 있다.

TABLE 11. SCS CN and lag time of Wichon watershed

매개변수		유역명						
		무성	효령	병천	미성	고로	동곡	
CN	AMC2	정밀토양도분류87	79	76	73	72	76	79
		정밀토양도분류95	65	72	78	80	76	72
	AMC3	정밀토양도분류87	91	89	87	86	89	91
		정밀토양도분류95	82	86	90	91	89	86
지체	AMC2	정밀토양도분류87	1.01	2.12	3.29	2.06	1.59	0.85
		정밀토양도분류95	1.52	2.43	2.83	1.62	1.59	0.97
시간	AMC3	정밀토양도분류87	0.67	1.38	2.08	1.34	1.03	0.52
		정밀토양도분류95	0.93	1.55	1.85	1.10	1.03	0.63

TABLE 12. SCS CN and lag time of Pyungchang river basin

매개변수	유역명	방립	하반정	상안미	백옥포	장평	이목정	
CN	AMC2	정밀토양도분류87	76	76	77	78	74	79
		정밀토양도분류95	78	74	70	75	61	75
	AMC3	정밀토양도분류87	89	89	89	90	88	91
		정밀토양도분류95	90	88	85	88	78	88
지체	AMC2	정밀토양도분류87	1.12	1.54	2.37	1.96	1.39	1.42
		정밀토양도분류95	1.07	1.65	2.91	2.17	1.96	1.57
시간	AMC3	정밀토양도분류87	0.73	1.00	1.59	1.30	0.89	0.92
		정밀토양도분류95	0.71	1.04	1.85	1.41	1.24	1.03

유출모의

본 연구에서는 전절에서 계산된 유역의 수문학적 특성인자를 이용하여 HEC-1의 입력 자료를 구성하였다. 적용된 수문사상은 표 6에서와 같이 각 유역에 대하여 두개의 사상을 선택하였으며, 소유역별 평균강우량은 티센가중법을 이용하였다. 그림 7~10은 본 연구에서 수행한 위천 유역과 평창강 유역의 유출모의 결과를 정밀토양도를 SCS 수문학적 토양군으로 분류하는 방법별로 비교한 것이며, 표 13~16은 각각의 경우에 대하여 첨두유량과 첨두시간을 비교한 것을 나타낸 것이다.

그림 7과 표 13의 '위천사상1'에 대한 유출모의 결과에서 '정밀토양도분류87'과 '정밀토양도분류95'의 첨두유량은 실측치 보다 각각 1.6%와 1.7% 크게 산정되었고, 첨두시간은 각각 2시간 정도 크게 산정되었다. 따라서 정밀토양도의 분류방법에 따라서 추출된 매개변수의 값이 유출모의 결과에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 그림 8과 표 14의 '위천사상2'에 대한 유출모의 결과는 '정밀토양도분류87'과 '정밀토양도분류95'의 첨두유량은 실측치보다 각각 10.4%와 8.3% 작게 산정 되었으며 첨두시간은 비슷한 값을 나타내고 있다. 따라서 '정밀토양도분류95' 방법에 의해서 분류된 정밀토양도를 이용한 모의결과가 실측치와 좀더 유사한 결과를 보이는 것으로 나타났다.

그림 9와 표 15의 '평창사상1'에 대한 유출모의 결과는 '정밀토양도분류87'과 '정밀토양도분류95'의 첨두시간은 실측치와 동일한 값을 나타내고 있다. 그러나, 첨두유량은 실측치와 비교해서 각각 35.7%와 16.1%가 크게 산정되었으며, '정밀토양도분류95'의 결과가 '정밀토양도분류87'의 결과에 비해서 14% 감소한 첨두유량 값을 보여 실측치와 좀더 가까운 결과를 나타내고 있다. 그림 10과 표 16의 '평창사상2'에 대한 유출모의 결과는 '정밀토양도분류87'과 '정밀토양도분류95'의 첨두시간은 실측치와 동일한 값을 나타내고 있다. 그러나 첨두유량은 실측치와 비교해서 각각 10.7%와 5.6%가 크게 산정되었으며, '정밀토양도분류95'의 결과가 '정밀토양도분류87'의 결과에 비해서 5% 감소한 첨두유량 값을 보여 실측치와 좀더 가까운 결과를 나타내고 있다.

이러한 결과는 표 11과 표 12의 매개변수와 연관지어서 살펴볼 수 있다. 정밀토양도의 분류방법에 따른 유출모의 결과 위천 유역은 첨두유량이 조금 증가하는 현상이 있었으나, 다른 오차요인을 고려할 때 큰 영향이 없는 것으로 판단될 수 있고, 평창강 유역은 수문사상별로 14%와 5%의 감소된 첨두유량이 계산됨으로써 실측치와 가까워지는 경향을 보이고 있다. 따라서 '정밀토양도분류95'를 이용하는 것이 '정밀토양도분류87'을 이용하는 것에 비하여 실측치와 가까운 결과를 도출할 수 있는 것으로 나타났다.

FIGURE 7. Flow simulation result: Wichon event 1

TABLE 13. The comparison of simulation result: Wichon event 1

비교항목	관측유량	정밀토양도분류87	정밀토양도분류95
첨두유량(CMS)	862	876(+1.6%)	877(+1.7%)
첨두시간(hours)	13	15	15

FIGURE 8. Flow simulation result: Wichon event 2

TABLE 14. The comparison of simulation result: Wichon event 2

비교항목	관측유량	정밀토양도분류87	정밀토양도분류95
첨두유량(CMS)	915	820(-10.4%)	839(-8.3%)
첨두시간(hours)	35	35	35

FIGURE 9. Flow simulation result: Pyungchang river event 1

TABLE 15. The comparison of simulation result: Pyungchang river event 1

비교항목	관측유량	정밀토양도분류87	정밀토양도분류95
침투유량(CMS)	1030	1398(+35.7%)	1196(+16.1%)
침투시간(hours)	15	15	15

FIGURE 10. Flow simulation result: Pyungchang river event 2

TABLE 16. The comparison of simulation result: Pyungchang river event 2

비교항목	관측유량	정밀토양도분류87	정밀토양도분류95
침투유량(CMS)	1487	1646(+10.7%)	1571(+5.6%)
침투시간(hours)	27	27	27

결 론

본 연구에서는 SCS CN 방법을 이용해서 유효강우량을 산정할 때 사용되는 정밀토양도를 SCS 수문학적 토양군으로 분류하는 방법에 따른 유출모의 결과를 비교 검토하였다. 정밀토양도를 SCS 수문학적 토양군으로 분류하는 것에 대한 연구는 허기술과 정정화(1987)의 연구와 정정화 등(1995)의 연구가 있다. 본 연구에서는 두 연구결과에 의해서 분류된 정밀토양도를 이용하여 위천 유역과 평창강 유역에 대하여 각각 2가지의 수문사상을 적용하여 유출모의를 수행하였다. 유출모의 결과 위천 유역은 '정밀토양도분류87'을 이용한 경우와 '정밀토양도분류95'를 이용한 경우가 침투유량과 침투시간에 큰 변화가 없는 것으로 나타났으며, 평창강 유역은 '정밀토양도분류95'를 이용한 경우가 '정밀토양도분류87'을 이용한 경우에 비해서 침투유량이 감소되는 경향을 보였으며, 이 결과는 실측치에 더 근접한 결과이다. 따라서 본 연구에서는 정밀토양도 분류방법에 따른 유출모의 결과의 차이는 유역에 따라서 달리 나타날 수 있으나, '정밀토양도분류95'를 이용할 경우 대상유역으로 선정된 두 지역에서 모두 실측치에 좀더 근접한 결과를 도출할 수 있는 것으로 나타났다. **KAGIS**

참고문헌

- 건설교통부. 1989. 국제수문개발계획(IHP) 연구 보고서.
- 김경탁. 1998. GIS 적용에 따른 유출응답에 관한 연구. 인하대학교 대학원 박사학위논문. 116-119쪽.
- 김경탁. 2003. 정밀토양도를 이용한 CN 산정에 대한 제안. 한국수자원학회지 36(4):45-53.
- 김경탁, 최윤석. 2003. 유역분할에 따른 유출응답에 관한 연구. 한국수자원학회논문집 36(6):911-924.
- 윤태훈. 1990. 중소유역의 유효강우량 산정을 위한 SCS곡선번호방법의 적용성 연구(건설부, 국제수문개발계획(IHP) 연구보고서, 2.1-2.48).
- 정정화, 장승표, 김호일, 정연태, 허기술, 박호. 1995. 유출율 추정을 위한 토양 수문군의 분류. 한국농공학회지 37(6):12-32.
- 조홍제, 김정식. 1997. TIN을 이용한 SCS법에 의한 유효강우량 산정에 관한 연구. 한국수자원학회논문집 30(4):357-366.
- 최윤석, 김경탁, 심명필. 2000. GIS를 응용한 홍수유출해석에 관한 연구. 대한토목학회논문집 20(3-B):361-367.
- 허기술, 정정화. 1987. 한국토양의 수문학적 분류 및 그 응용. 농공기술 4(4):48-61. **KAGIS**