하천방재

국내 산악지역의 유출곡선지수 산정 문제점 평가

Evaluation of Problems to Apply Runoff Curve Number to Mountain Area in Korea

김정호* · 유철상** · 박무종*** · 주진걸****

Kim, Jungho*, Yoo, Chulsang**, Park, Moojong***, and Joo, Jingul****

Abstract

This study examined problems in application process of SCS curve number method and its effect on estimating effective rainfall in mountain area. First, it was found that the mountainous area in South Korea, which has a high percentage rate of rocky surface, needs to be categorized as an area for independent land-use. When the rocky area was considered for independent land-use, SCS curve number was higher than 5.75%. Thus, there is a possibility that it affects the estimate effective rainfall. Second, it is crucial to make accurate match for the same cover type between South Korea's and USA's employing cover type table from National Resources Conservation Service. Moreover, it is a challenge to ascertain which cover type from NRCS is suitable with Korea because most of the previous studies conducted have not provided reasons why the studies use such kind of cover type. The results on this study are useful when SCS curve number method is applied to estimate the amount of flood discharged.

Key words : SCS CN, Soil map, Land cover type of NRCS, Effective rainfall

요 지

본 연구는 산악지역을 대상으로 SCS 유출곡선지수 방법의 적용과정에서 발생하는 문제점과 그 영향을 살펴보았다. 먼저, 우리나라와 같이 암석노출지의 비율이 높은 산악지역의 경우 암석노출지를 독립적인 토지이용상태로 구분하는 것이 바람직한 것으로 나타났다. 암석노출지를 고려할 경우, 유출곡선지수가 최대 5.75%까지 높게 산정되었으며 이러한 결과는 유효우량 산정에 다소 큰 영향을 미칠 것으로 판단된다. 대부분의 연구에서는 미국자연자원보호청에서 제공하는 피복상태별 유출곡선지수 항목이 매우 다양하여 본질적으로 다른 지형인 우리나라와 미국의 피복상태를 구분하기가 매우 어렵다. 또한 이 문제는 선행연구에서 적용한 피복상태의 근거를 제시하고 있지 않아 더욱 어려운 것으로 파악되었다. 본 연구의 결과가 향후 SCS 유출곡선지수 방법을 사용하여 홍수량을 산정하는 연구에 도움이 될 것으로 판단된다.

핵심용어 : SCS 유출곡선지수, 토양도, NRCS의 토지피복 항목, 유효우량

1. 서 론

미국자연자원보호청(National Resources Conservation Service, NRCS)이 1972년 제안한 SCS 유출곡선지수방법(runoff curve number method)은 국내에서 널리 이용되고 있는 유효우량산정 방법 중 하나이다. 이 방법은 1970년대 후반 Sunu *et al.*

(1977)에 의해 국내에 처음으로 소개되었으며, 지금까지 여러 연구에서 다양한 목적으로 적용해 오고 있다(NRCS, 1972; NRCS, 1985; Kim *et al.*, 1999; Park, 2002; Kim and Choi, 2004; MOLIT, 2007).

SCS 유출곡선지수방법은 유역 내 토양종류(soil type)를 분류하여 나타낸 토양도(soil map)와 토지이용상태(land use

*콜로라도주립대학교 공과대학 박사후과정연구원(E-mail: jungho.kim@colostate.edu)
Researcher, College of Engineering, Colorado State University

**정회원. 고려대학교 공과대학 건축·사회환경공학부 교수
Member, Professor, Department of Civil Environmental and Architectural Engineering, Korea University

***정회원. 한서대학교 토목공학과 교수
Member, Professor, Department of Civil Engineering, Hanseo University

****교신저자. 정회원. 동신대학교 토목공학과 조교수(Tel: +82-61-330-3137, Fax: +82-61-330-3138, E-mail: jgjoo@dsu.ac.kr)
Corresponding Author. Member, Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Dongshin University

pattern)를 나타낸 토지이용도(land use map), 그리고 식생피복의 처리상태(vegetal cover treatment) 및 토양의 수문학적 조건(hydrologic condition)을 복합적으로 고려하여 유효우량 발생에 미치는 영향을 0에서 100사이의 무차원 지수인 유출곡선지수(runoff curve number, CN)로 정량화 한다. 강우시 유역에서 발생하는 복잡한 현상을 간단한 지수로 정량화하여 평가할 수 있다는 점은 SCS 유출곡선지수방법의 가장 큰 장점 중 하나이다(KICT, 1991; Kim, 2003).

SCS 유출곡선지수방법의 간편함에도 불구하고, 적용과정에서 유의해야 할 점들이 제기되고 있다. 이 중 선행강수량조건(Antecedent Soil Moisture Condition, 이하 AMC)의 변화와 불연속성 특성에 따른 유출곡선지수의 변화는 가장 많이 지적되는 문제 중 하나이다(Hawkins, 1978; Chen, 1981; Hope and Schulze, 1981; Hjelmfelt et al., 1982; Choi et al., 2002; Park et al., 2005; Yoo et al., 2005). 또한 Kim et al. (2014)은 토양도의 변경에 따른 유출곡선지수에의 영향을 검토하였다. 이 연구에서는 개략토양도와 정밀토양도 등 어떠한 토양도를 사용하였는가에 따라 수문학적 토양군 A, B, C, D의 비율이 어떻게 상이하게 결정되며, 이에 따른 유출곡선지수 산정에의 영향을 평가하였다. 그 외에도 토양군 분류기준(Kim et al., 2014, Ahn et al., 2006), GIS 자료의 공간해상도에 따른 유출곡선지수 산정(Chang and Jung, 2004), 분석자의 토지이용 분류에 대한 주관적인 판단, 그리고 국내와 미국의 토양 특성과 토지이용 상태의 차이 등 유출곡선지수 산정과정에서 발생하는 다양한 문제점들이 제기되고 있다.

하지만, 국토의 대부분을 차지하는 산악지역에 대한 SCS 유출곡선지수 방법의 적용상 문제에 대한 검토는 미미한 실정이다. 실제 국내 산악지역의 유효토심은 깊이가 얇고 암석노출지의 비중이 높다. 또한 산악지역의 비중이 큰 만큼 적합한 토지피복상태의 선정문제가 SCS 유출곡선지수 산정과정에서 큰 영향을 미칠 가능성이 높다. 이에 본 연구에서는 SCS 유출곡선지수 방법의 적용과정에서 빈번하게 발생하는 문제들 중 암석노출지의 구분과 토지피복상태 선정이 유출곡선지수의 산정에 미치는 영향을 검토하고자 한다. 대상유역으로 평창강 유역을 선정하였으며, 유출곡선지수 산정과정에서 발생하는 차이를 정량적으로 나타내어 유출량 산정에 참고할 수 있도록 하고자 한다.

2. SCS 유출곡선지수 방법의 적용상 문제점

2.1 암석노출지의 구분에 따른 유출곡선지수

토지이용상태의 구분은 크게 수역, 시가화지역, 나지, 습지, 초지, 논, 밭, 그리고 산림 등으로 나누어진다. 이 중 우리나라 자연유역의 대부분을 차지하고 있는 산악지역은 유효토심이 얇고 암석노출지가 대부분으로 강우에 의한 유출률이 다른 지역보다 상당히 높게 나타난다(Jung et al., 2007). 여기서 암

석노출지는 보통 NRCS에서 제공하는 항목 중 불투수지역(imperious areas, CN=98)으로 분류되어 상대적으로 큰 유출곡선지수의 적용이 가능하다. 하지만, 국내 대부분의 연구에서는 암석노출지를 별도로 구분하지 않고 산림유역에 포함시켜 유출곡선지수를 추정하고 있다.

평창강 유역을 대상으로 토지이용도와 국가수자원종합정보시스템(WAMIS)에서 제공하는 암석노출지 지도를 중첩하여 암석노출지를 산림에 포함시킨 경우(Case#1)와 암석노출지를 독립적인 토지이용상태로 구분한 경우(Case#2)의 토지이용상태별 면적비율을 Table 1과 Fig. 1에 나타내었다. 평창강 유역의 경우 암석노출지가 총 면적의 25%를 초과하며, 암석노출지의 대부분은 산림에 포함되는 것으로 나타났다.

NRCS(1972)에서 제시하는 산림유역에 적용 가능한 유출곡선지수 중 가장 큰 값은 91(미 산림청에서 제공하는 항목인 forest의 수문학적토양군 D에 해당)으로 암석노출지를 산림으로 구분할 경우에 비하여 상대적으로 작은 값이 적용된다. 따라서 암석노출지를 산림에 포함할 경우 유출곡선지수는 과소 추정 될 것이며, 결과적으로 홍수량 또한 과소추정 될 것으로 예상된다. Table 2는 평창강 유역에 대하여 암석노출지를 독립적인 하나의 토지이용상태로 구분하여 추정한 유출곡선지수(표에서 Case#1)와 기존 방식으로 산정된 유출곡선지수(표에서 Case#2)를 비교하여 나타낸 것이다. 여기서 토양도는 크게 개략토양도와 정밀토양도로 구분되며, 개략토양도의 경우 한국개략토양도, 개략토양도, 정밀토양도의 경우 정밀토양도 1987(Hu and Jung, 1987), 정밀토양도 1995(Jung et al., 1995), 정밀토양도 2007(Jung et al., 2007) 등이 있다.

Table 2에 적용된 토양도의 종류에 따라 다소 차이가 있기는 하지만 암석노출지를 별도로 구분한 경우의 유출곡선지수가 2.34~5.75% 높게 산정되었으며 이를 최대 잠재보유수량으로 환산하면 7.14~21.29% 정도가 된다. 또한 이러한 차이

Table 1. Area ratio of the landuse map in Pyeongchang river basin

Landuse type	Ratio of areas depending on the landuse type (%)	
	Case#1	Case#2
Water	0.06	0.06
Urban	0.20	0.20
Bareland	1.59	1.55
Wetland	0.00	0.00
Grassland	1.11	1.10
Forest	88.11	62.89
Rice paddy	8.53	8.50
Upland field	0.40	0.40
Rocky area	-	25.32
Summation	100.00	100.00

Fig. 1. Comparison of the landuse maps according to the classification of the rocky area in Pyeongchang river basin.

Table 2. SCS CN value depending on the classification of rock as a landuse type

Soil map	Runoff curve number			Potential retention (mm)		
	Case#1	Case#2	Difference (%)	Case#1	Case#2	Difference (%)
Reconnaissance	67.99	69.58	2.34	119.58	111.05	7.14
Detailed in 1987	81.82	84.53	3.31	56.44	46.49	17.63
Detailed in 1995	74.29	77.80	4.72	87.90	72.48	17.55
Detailed in 2007	74.48	78.76	5.75	87.03	68.50	21.29

는 정밀토양도(2007)를 이용하는 경우가 가장 큰 것으로 나타났다. 이상의 결과를 통하여 암석노출지 구분 여하가 유출곡선지수 산정에 미치는 영향이 매우 큼을 알 수 있다. 따라서 유효우량 과소추정을 방지하기 위해 암석노출지를 독립적인 토지이용상태로 구분하여 이용할 것을 권장한다.

2.2 NRCS의 피복상태 항목에 따른 유출곡선지수

GIS 자료를 이용하여 유출곡선지수를 산정할 경우, 마지막 과정은 NRCS에서 제시한 피복상태 분류표에서 피복상태를 적절하게 선정하는 것이다. 피복상태 선정문제는 유역의 잠재보유수량 특성을 NRCS에서 제시한 유출곡선지수로 대체하는 단계이기 때문에 최종 유출곡선지수 산정에 있어서 매우 중요한 부분이다. NRCS에서는 피복상태에 따라 유출곡선지수를 결정할 수 있는 분류표를 제공하고 있으며, 연구자들은 NRCS에서 제공하는 표를 이용하여 해당 피복상태의 유출곡선지수를 평가하게 된다. NRCS의 분류표에서는 토지이용상태별로 피복상태를 분류하고, 이에 따른 유출곡선지수를 수문학적 토양군에 따라 제시한다. 그러나 하나의 토지이용상태에 다양한 피복상태가 분류되어있다. 산림유역의 경우 적용 가능한 피복상태는 10가지 항목이나 된다. 여기서 주목해야 될 점

은 각 항목이 정확히 어떤 피복상태를 나타내는지가 매우 모호하다는 것이다. 따라서 연구자의 주관적인 결정에 따라 동일 유역에 매우 다른 피복상태가 선정되곤 한다. 또한 이 분류표는 미국의 농경지역을 대상으로 개발된 것으로써 우리나라의 피복상태와는 다르다는 문제점도 있다(Jo and Kim, 1997). 우리나라는 산악지역이 발달하였으며 농경지대의 산림지역과 달리 유효토심이 얇고 암석노출지가 많다. 결과적으로 우리나라와 같이 산악지역이 지배적인 자연하천지역의 경우, NRCS에서 분류한 피복상태는 우리나라의 피복상태와 직접 비교되기 어려운 측면이 있다.

Table 3은 NRCS에서 제시한 피복상태에 따른 유출곡선지수 항목 중 산림유역에 적용 가능한 항목만을 따로 발췌한 것이다. 일반적으로 국내연구에서 적용한 유출곡선지수는 NRCS에서 제공하는 피복상태별 유출곡선지수 항목을 분류한 Table 3과 같은 형태의 표를 이용하여 결정된다. 이 표는 산림유역에 적용 가능한 항목을 4가지 정도 수록하고 있으며 다시 수문학적 조건에 따라 더 세부적으로 분류되어 서로 다른 유출곡선지수를 나타낸다. 수문학적 토양군에 따른 유출곡선지수의 범위는 특히 수문학적 토양군분 A의 경우에 30에서 68까지이다. 이처럼 넓은 범위의 유출곡선지수에 대하여 어떤

Table 3. Runoff curve number covertime of presenting NRCS (NRCS,1972)

Cover description			CN for hydrologic soil group				Reference
Covertime	Cover description treatment	Hydrologic condition	A	B	C	D	
Wood-grass combination (orchard or tree farm)	-	Poor	57	73	82	86	1), 2)
	-	Fair	43	65	76	82	
	-	Good	32	58	72	79	
Woods	-	Poor	45	66	77	83	
	-	Fair	36	60	73	79	
	-	Good	30	55	70	77	
Open space (lawns, parks golf courses, cemeteries, etc.)	Grass cover< 50%		68	79	86	89	
	Grass cover50%to75%		49	69	79	84	
	Grass cover>75%		39	61	74	80	
Forest	Maximum value		56	75	86	91	3), 4), 5), 6)

*References 1) Kim *et al.* (1999); 2) Kim and Choi (2004); 3) KICT (1991); (4) Yoon (1991); 5) Yoon (1992); 6) MOLIT (2007)

Table 4. Runoff curve number depending on the cover type and soil maps

Division	Land cover type	Hydrologic condition	Hydrologic soil group (Ratio of area, %)				SCS CN
			A	B	C	D	
Reconnaissance soil map	Woods	Good	30(51.3)	55(16.2)	70(0.6)	77(19.7)	45.9
	Wood-grass	Fair	43(51.3)	65(16.2)	76(0.6)	82(19.7)	56.4
	Forest	-	56(51.3)	75(16.2)	86(0.6)	91(19.7)	68.2
Detailed soil map (1987)	Woods	Good	30(1.8)	55(46.5)	70(4.1)	77(35.4)	64.2
	Wood-grass	Fair	43(1.8)	65(46.5)	76(4.1)	82(35.4)	72.7
	Forest	-	56(1.8)	75(46.5)	86(4.1)	91(35.4)	81.6
Detailed soil map (1995)	Woods	Good	30(34.1)	55(17.4)	70(7.8)	77(28.5)	54.1
	Wood-grass	Fair	43(34.1)	65(17.4)	76(7.8)	82(28.5)	63.3
	Forest	-	56(34.1)	75(17.4)	86(7.8)	91(28.5)	74.1
Detailed soil map (2007)	Woods	Good	30(40.0)	55(1.7)	70(8.6)	77(37.6)	53.5
	Wood-grass	Fair	43(40.0)	65(1.7)	76(8.6)	82(37.6)	62.4
	Forest	-	56(40.0)	75(1.7)	86(8.6)	91(37.6)	72.4
Min.							45.9
Max.							81.6
Ave.							64.1

한 피복상태를 선정하여 적용하는가는 매우 중요하다. 이 과정에서 유역의 대표 유출곡선지수의 크기가 실질적으로 결정되기 때문이다(Kim *et al.*, 1999).

하지만 국내 연구에서는 산림유역에 대한 피복상태를 상이하게 채택하고 있음도 확인할 수 있다. 평창강 유역을 대상으로 한 연구들이 적용한 산림유역의 피복상태를 살펴보면, 크게 wood-grass combination(Kim *et al.*, 1999; Kim and Choi, 2004)와 미 산림청에서 제공하는 forest 항목(KICT, 1991; Park, 2002; MOLIT, 2007)이 있다.

대부분의 국내연구에서는 적용한 피복상태의 선정근거를 제시하지 않고 있다. 따라서 선정된 피복상태의 옳고 그름을 판단하기가 매우 어려우며, 더욱이 선정근거의 생략이 일반화되면서 선정의도 또한 파악하기 어렵다. 이처럼 뚜렷한 기준 없이 피복상태를 선정하여 적용하게 되면 동일한 유역에 대한 유출곡선지수는 천차만별이 될 수밖에 없다.

이러한 문제의 원인은 물론 SCS 유출곡선지수 방법이 미국에서 개발된 방법으로, 미국에서의 피복상태 표현방법과 우리나라의 피복상태 표현방법이 매우 다르기 때문이기도 하다.

또한, 우리나라와 미국의 산림 특성이 동일한지 명확하게 파악하기 어렵다. 앞서 언급한 바와 같이 SCS 유출곡선지수방법은 미국의 농경지대에 위치한 산림지역을 대상으로 개발된 것이다. 따라서 이상과 같은 혼선을 방지하기 위해서는 미국의 피복상태와 우리나라의 피복상태의 비교·분석이 필요하며, 궁극적으로 통일된 선정기준이 마련될 필요가 있다.

평창강 유역의 산악지역을 대상으로 피복상태 항목에 따른 유출곡선지수를 산정하여 Table 4에 정리하였다. Table 3에 제시된 피복상태 항목들 중 산악지역에 적용이 가능한 세 가지 항목을 적용하였으며, 국내에 유통되고 있는 4가지 토양도를 모두 이용하여 다양한 결과를 도출하였다. 먼저, 토양도별 결과를 살펴보면, 상이한 피복상태를 적용함에 따라 유출곡선지수의 변동이 가장 큰 토양도는 정밀토양도 1995로 나타났다. 이 토양도를 적용할 경우, 피복상태 항목에 따라 유출곡선지수의 차이는 최대 20까지 발생하는 것으로 확인되었다. 반면에 개략토양도를 적용할 경우에는 대략 12.3정도로 상대적으로 작은 차이가 발생하였다. 이는 어떤 피복상태 항목을 적용하느냐가 어떤 토양도를 선정하느냐의 문제에도 영향을 미치고 있음을 잘 보여주는 결과이다. 가장 큰 원인은 토양도별로 다른 토양분류기준과 그에 따른 수문학적 토양군의 비율 차이를 들 수 있다. 다음으로 총 4가지 토양도를 모두 적용한 전체결과에서, 피복상태 항목에 따라 산정된 유출곡선지수의 최소값과 최대값은 각각 45.9과 81.6이며, 그 차이는 35.7으로 매우 큰 것으로 나타났다.

3. 결 론

SCS 유출곡선지수 방법은 국내 홍수량 산정에 적용된 사례가 매우 많으며, 이에 따라 실무자가 이에 대한 큰 고민 없이 적용하고 있는 것이 현실이다. SCS 유출곡선지수는 홍수량 산정을 위한 가장 기본적인 인자임에도 불구하고 아직까지도 그 인자 결정 과정에 불확실성이 크며 주관적인 판단에 의거하여 동일한 수문학적 조건임에도 불구하고 산정하는 사람마다 그 값이 달라질 수 있다. 이에 본 연구에서는 SCS 유출곡선지수 방법의 문제점에 대하여 다시 한 번 인식하고 국내 지질학적 현실을 고려하여 유출곡선지수 산정에 변화가 필요함을 강조하기 위하여 SCS 유출곡선지수 방법의 적용과정에서 발생하는 문제점을 암석노출지의 구분과 식생피복상태에 따른 유출곡선지수 항목의 선정문제 등으로 구분하여 살펴보았다.

우리나라는 지형특성상 산악지역이 대부분이다. 산악지형은 유효토심이 얇고 암석노출지가 대부분으로 강우에 의한 유출률이 다른 지역보다 상당히 높다. 따라서 우리나라와 같이 암석노출지의 비율이 높은 산악지역의 경우 암석노출지를 독립적인 토지이용상태로 구분하는 것이 바람직한 것으로 판단된다. 암석노출지를 고려할 경우, 유출곡선지수 산정결과가

기존방법보다 토양도별로 2.34~5.75% 높게 산정되었다. 또한 이러한 차이는 정밀토양도 2007를 이용한 경우가 가장 큰 것으로 나타났다. 이상의 결과를 통해 홍수량 과소추정의 가능성 또한 확인할 수 있었으며, 암석노출지의 구분 여부가 최종 유출곡선지수 산정에 있어 얼마나 큰 영향이 있는지 확인할 수 있었다. 따라서 유효우량의 과소추정을 방지하기 위해 암석노출지를 독립적인 토지이용상태로 구분하여 이용할 것을 권장하며, 향후 암석노출지 특성에 따라 유출곡선지수를 다르게 산정할 수 있는 기준이 필요할 것으로 판단된다.

다음으로 평창강 유역을 대상으로 피복상태 항목에 따른 유출곡선지수를 검토하였다. 그 결과 정밀토양도 1995를 적용할 경우, 피복상태 항목에 따라 유출곡선지수의 차이는 최대 20까지 발생하는 것으로 확인되었다. 반면에 개략토양도를 적용할 경우에는 대략 12.3정도로 상대적으로 작은 차이가 발생하였다. 또한 모든 토양도를 적용한 결과, 피복상태 항목에 따라 산정된 유출곡선지수의 최소값과 최대값의 차이가 35.7으로 매우 큰 차이를 보였다. 이는 어떤 피복상태 항목을 적용하느냐가 어떤 토양도를 선정하느냐의 문제에도 영향을 미치고 있음을 잘 보여주는 결과이다. 가장 큰 원인은 토양도별로 다른 토양분류기준과 그에 따른 수문학적 토양군의 비율 차이를 들 수 있다.

SCS 유출곡선지수 방법을 사용하여 홍수량을 산정하고자 하는 대부분의 과업에서는 NRCS에서 제공하는 피복상태별 유출곡선지수 항목을 선정하여 이용한다. 하지만 그 항목이 매우 다양하여 본질적으로 다른 지형인 우리나라와 미국의 피복상태를 구분하기가 매우 어렵다. 선행연구들에서 우리나라와 미국의 피복상태 비교나 유출곡선지수 산정을 위한 피복상태 설명이 미비한 점은 향후 연구에서 유출곡선지수 산정을 위한 피복상태 구분에 어려움을 더하였다. 따라서 보다 정확한 적용을 위해서는 우리나라와 미국의 식생피복상태의 상호비교를 통한 뚜렷한 기준이 제시될 필요가 있는 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원 건설기술연구사업의 연구비지원(13건설연구S04)에 의해 수행되었습니다.

References

- Ahn, S.S., Park, R.S., Ko, S.H., and Song, I.R. (2006) Study on SCS CN Estimation and Flood Flow Characteristics According to the Classification Criteria of Hydrologic Soil Groups, *Journal of Environmental Science International*, Vol. 15, No. 8, pp. 775-784.
- Chang, E.M. and Jung, I.K. (2004) A Study on Change of Average SCS-CN Value by the Spatial Resolution, *Korean Journal*

- of Remote Sensing, Vol. 20, No. 6, pp. 361-368.
- Chen, C.L. (1981) An evaluation of the mathematics and physical significance of the soil conservation service curve number procedure for estimating runoff volume, *In Rainfall-Runoff Relationship (ed. by V. P. Singh) Water Resources Publications*, 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*, 16, pp. 3131-3150.
- Hawkins, R.H. (1978) Runoff curve number relationships with varying site moisture, *Journal of Irrigation and Drainage Division, ASCE*, 104, pp. 389-398.
- Hjelmfelt, A.T. Jr., Kramer, K.A., and Burwell, R.E. (1982) Curve numbers as random variables, *Proc., International Symposium on Rainfall-Runoff Modeling, Water Resource. Published Littleton, Col.*, pp. 365-373.
- Hope, A.S. and Schulze, R.E. (1981) Improved estimates of stormflow volume using the SCS curve number method, *In RAINFALL-RUNOFF RELATIONSHIP (ed. by V. P. Singh) Water Resources Publications*, pp. 419-428.
- Hu, K.S. and Jung, J.H. (1987) Hydrologic classification and its application of the Korean soil, *Korean Society of Agricultural Engineers*, Vol. 4, No. 4, pp. 47-61.
- Jo, H.J. and Kim, J.S. (1997) A study on the calculation of effective rainfall by the SCS method using a triangular irregular network, *Journal of Korean Water Resources Association, KWRA*, Vol. 30, No. 4, pp. 357-366.
- Jung, J.H., Jang, S.P., Kim, J.I., Jung, Y.T., Hu, K.S. and Park, H. (1995) Classification of hydrologic soil group to estimate runoff ratio, *Korean Society of Agricultural Engineers*, Vol. 27, No. 6, pp. 12-23.
- Jung, K.H., Hur, S.O., Sonn, Y.K., Park, C.W., Ha, S.K., and Kim, N. (2007) Comparison of hydrologic soil groups with classification method, *2007 Conference of Korea Water Resources Association*, pp. 97-105.
- Kim, J.H., Yoo, C.S., and Joo, J.G. (2014) Effect of changes in soil maps on the effective rainfall based on SCS CN method, *Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 14, No. 5, pp. 1-9.
- Kim, K.T. (2003) Proposal of SCS CN calculation using detailed soil map. *Journal of Korean Water Resources Association, KWRA*, Vol. 36, No. 4, pp. 45-53.
- Kim, K.T. and Choi, Y.S. (2004). A study on the estimation of effective precipitation using detailed soil map, *Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol. 7, No. 2, pp. 1-15.
- Kim, K.T., Shim, M.P., and Sonu, J.H. (1999) Application of GIS for runoff simulation in ungaged basin(I): selection of soil map and landuse map, *Journal of Korean Water Resources Association, KWRA*, Vol. 32, No. 2, pp. 163-176.
- Koera Institute of Civil Engineering and Building Technology (KICT, 1991) Hydrological characteristics examination of pyeongchang river basin in 1999, *KICT research report 91-WR-111*.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT, 2007) 2006 International hydrologic project, IHP, *MOLIT Research Report*.
- National Resources Conservation Service (NRCS, 1972) National engineering handbook, *Section 4, Hydrology, Chap.10*, Washington, D.C.
- National Resources Conservation Service (NRCS, 1985). National engineering handbook, *Section 4, Hydrology, Chap.10*, Washington, D.C.
- Park, C.H., Yoo, C., and Kim, J.H. (2005) Revised AMC for the application of SCS method: 1. review of SCS method and problems in its application, *Journal of Korean Water Resources Association, KWRA*, Vol. 38, No. 11, pp. 955-962.
- Park, S.Y. (2002) The characteristics of runoff in Pyung-chang watershed using HEC-HMS and GIS. Seoul National University, Master Degree Thesis.
- Sonu, J.H., Yoon, Y.N., Shim, S.B., and Lee, S.T. (1977) Determination of effective rainfall by US SCS method and regression analysis, *Journal of Korean Water Resources Association, KWRA*, Vol. 10, No. 2, pp. 101-111.
- Yoo, C., Park, C.H. and Kim, J.H. (2005). Revised AMC for the application of SCS method: 2. revised AMC, *Journal of Korean Water Resources Association, KWRA*, Vol. 38, No. 11, pp. 963-972.
- Yoon, T.H. (1991) Validity of runoff curve number method for estimating of effective rainfall, *Journal of Korean Water Resources Association, KWRA*, Vol. 24, No. 2, pp. 97-108.
- Yoon, T., H. (1992) Estimation of runoff depth and peak discharge by SCS curve number and time variation of curve numbers, *Journal of Korean Water Resources Association, KWRA*, Vol. 25, No. 4, pp. 87-95.

Received	August 28, 2014
Revised	September 3, 2014
Accepted	October 1, 2014