



## Redetermination of curve number using genetic algorithm and CN aligner equation

Park, Dong-Hyeok<sup>a</sup> · Kang, Doo-Sun<sup>b</sup> · Ahn, Jae-Hyun<sup>c</sup> · Kim, Tae-Woong<sup>d\*</sup>

<sup>a</sup>Dept. of Civil and Environmental Engineering, Hanyang University, Seoul 04763, Korea

<sup>b</sup>Dept. of Civil Engineering, Kyunghee University, Yongin 17104, Korea

<sup>c</sup>Dept. of Civil Engineering, Seokyeong University, Seoul 02713, Korea

<sup>d</sup>Dept. of Civil and Environmental Engineering, Hanyang University, Ansan 15588, Korea

Paper number: 16-007

Received: 19 January 2016; Revised: 27 February 2016 / 7 March 2016; Accepted: 7 March 2016

### Abstract

The NRCS-CN (Natural Resources Conservation Service-Curve Number) method has been practically applied for estimating the effective precipitation. However, there are no criteria which reflect the geographic characteristics of Korea having more than 70% of mountainous and rice paddy areas, leading to significant errors in runoff calculation. Thus, it is required to estimate the runoff curve number considered Korea land use classification, however there are practical difficulties to conduct the accurate research and experimentation. In this study, after selecting target areas (urban, agriculture, forest), we performed the runoff analysis to redetermine CN values for the selected basins. To do this, curve numbers for soil type A were estimated using genetic algorithm, and then curve numbers for soil type (B, C, D) were estimated using CN aligner equation. Comparing the initial curve numbers with the estimated curve numbers, it was observed that the slightly differences at Chunwang(0), Choonyang(-1), Janggi(-3). Through the above process, this study proposed new curve numbers to reflect observed rainfall-runoff.

**Keywords:** Curve Number, Genetic algorithm, NRCS-CN

## 유전자 알고리즘과 CN Aligner 공식을 이용한 유출곡선지수 재산정

박동혁<sup>a</sup> · 강두선<sup>b</sup> · 안재현<sup>c</sup> · 김태웅<sup>d\*</sup>

<sup>a</sup>한양대학교 대학원 건설환경공학과, <sup>b</sup>경희대학교 공과대학 사회기반시스템공학과,

<sup>c</sup>서경대학교 공과대학 토목건축공학과, <sup>d</sup>한양대학교 공과대학 건설환경플랜트공학과

### 요지

우리나라에서 유출량을 구하는 방법은 미국의 NRCS-CN 방법을 채택하여 사용하고 있으나, 70%가 산악지역인 우리나라의 지형적인 특성과 담수재배를 하는 논·밭의 유출특성이 반영되지 않고 있다. 이러한 문제점으로 인해 NRCS-CN 방법으로 유출량을 산정하는 경우 실제의 강우-유출 특성을 정확히 반영하지 못하고 있다. 정확한 실험과 연구를 통하여 우리나라의 토지이용 분류기준에 따른 유출곡선지수를 산정해야 하지만 현실적으로 어려움이 있다. 따라서 본 연구에서는 대상지역을 선정하고 유출분석을 실시하여 대상지역의 유출곡선지수를 재산정하였다. 이를 위하여 먼저 유전자 알고리즘을 적용하여 토양형 A에 대한 유출곡선지수를 산정하고, 토양형 A의 유출곡선지수를 CN aligner 공식에 적용하여 나머지 토양형 B, C, D에 대한 유출곡선지수를 추정하였다. 초기 유출곡선지수와 계산된 유출곡선지수를 비교한 결과, 천왕은 0, 춘양은 -1, 장기는 -3의 차이를 보였다. 위와 같은 과정을 통하여 실제 강우-유출을 반영할 수 있는 토지이용 분류기준에 따른 유출곡선지수를 제시하였다.

**핵심용어:** 유출곡선지수, NRCS-CN, 유전자 알고리즘

\*Corresponding Author. Tel: +82-31-400-5184

E-mail: twkim72@hanyang.ac.kr (T. -W. Kim)

## 1. 서론

대부분의 강우-유출 모형은 총강우량 중에서 유효우량을 산정하여 직접유출을 결정하는 방법을 사용하고 있다. 유효우량을 산정하기 위해 우리나라의 수자원 실무에서는 미국의 NRCS-CN (U.S. National Resources Conservation Service - Runoff Curve Number) 방법을 우리나라의 실정에 맞게 변형하여 사용하고 있다. NRCS-CN 방법은 1972년 미국 토양보존국(U.S Soil Conservation Service, 이하 SCS)이 개발하였으며, 미계측 유역의 유효우량을 산정하는데 널리 이용되고 있다(USDA-NRCS, 2004). 그러나 미국에서 개발된 NRCS-CN 방법을 우리나라에 적용하면서 많은 문제점이 제시되고 있다(MLTM, 2012a); (1) SCS의 유출곡선지수(Curve Number, 이하 CN) 기준에는 담수재배하는 논에 대한 유출곡선지수를 구분하는 기준이 없고, (2) 산림의 경우 수림(wood)에 대한 기준은 제시되어 있는 반면, 산림(forest)에 대한 기준은 제시되지 않았으며, (3) 미국의 토지이용상태를 우리나라 토지이용상태에 적용하는 경우 서로 구분하여 채택할 수 있는 기준이 명확하지 않다. 즉, 우리나라의 토양, 식생, 토지이용 등에 따라 유출특성이 미국과 다르고, 논이라는 우리나라의 특수 지형과 우리나라의 지형이 대부분 산악지역인 점을 고려하여 유효우량 산정에 필요한 토지이용형태에 따른 유출곡선기준을 우리나라에 맞게 조정할 필요가 있다.

예를 들어, MLTM (2012a)에서는 AMC-II 조건에서 논인 CN을 79로 제시하고 있지만, Im and Park (1997)은 농번기에 물을 담아두어 농사를 짓는 우리나라의 특성을 고려하여 강우-유출 모형을 적용한 결과 논인 유출곡선지수를 78로 산정하였다. 또한 미국의 경우 수림(woods)에 대한 SCS 유출곡선지수가 제시되어 있는 반면 우리나라의 대부분을 차지하고 있는 산림(forest)에 대한 기준은 없다(MLTM, 2012a). 그러나 우리나라는 암석노출지의 비율이 높아서, 미국의 기준을 우리나라에 그대로 적용하기에는 무리가 있다(Kim et al., 2014).

국토해양부가 제시하는 설계홍수량산정요령(MLTM, 2012a)에서 우리나라의 토지이용분류에 따른 유출곡선지수 기준을 제시하고 있지만, 이 분류 기준을 이용하여 CN을 산정하고 유출량을 계산하였을 경우 실제의 유출량과 차이가 발생한다. 또한 SCS에서 제안한 유출곡선지수가 유역의 물리적인 특성에 따른 변수이나 실제로

는 강우사상에 따라 다르게 나타난다(Kim and Ahn, 2012). 따라서 우리나라의 토지이용상태를 제대로 반영하지 못한 기준을 사용하였기 때문에 지금의 분류기준을 사용한 CN 산정이 실제 유출특성을 잘 반영하지 못하고 있는 것으로 보인다. 이에 본 연구에서는 우리나라의 실제 유출특성을 반영하도록 토지이용별 유출곡선지수를 재산정하였다. 실험을 통하여 유출곡선지수를 산정해야 하지만 유출곡선지수는 토지이용, 유역면적, 도달시간 등 다양한 변수에 의해서 변화하기 때문에 모든 조건을 만족시키는 기준을 선정하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 다양한 변수들을 고려하여 최적의 해를 도출할 수 있는 유전자 알고리즘(genetic algorithm)을 이용하여 유출곡선지수를 재산정하였다. 아직까지 유전자 알고리즘을 이용하여 유출곡선지수를 산정한 연구는 없으나, 본 연구에서는 우선 토양형 A에 대해 유전자 알고리즘을 이용하여 토지이용별 유출곡선지수를 산정한 후, 나머지 토양군인 B, C, D에 대해서는 Enderlin and Markowitz (1962)가 제시한 CN aligner 공식을 이용하여 유출곡선지수를 산정하였다. 이를 바탕으로 현재의 기준으로 유출곡선지수를 산정할 경우 발생하는 문제점과 영향을 검토하고, 우리나라 실정에 맞는 토지이용 분류기준에 따른 유출곡선지수를 제시하였다.

## 2. 연구방법

우리나라 토지이용 분류기준에 따른 유출곡선지수(CN)를 산정하기 위해 대상지역을 농지, 도시, 산림지역으로 분류하고 각각의 지역에 대하여 토양분류에 따른 토양도와 토지이용상태에 따른 토지이용도를 설계홍수량산정요령(MLTM, 2012a)에서 제시한 기준을 이용하여 CN을 산정하였다. 산정된 CN을 HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System)에 적용하여 대상지역의 유출량을 산정하였고 실제의 강우-유출 자료를 바탕으로 유출수문곡선의 최적화 과정을 수행하였다.

설계홍수량 산정요령의 기준으로 산정한 유출곡선지수를 이용한 유출수문곡선과 최적화된 유출곡선지수를 적용하여 산정한 유출수문곡선을 비교한 결과 최적화된 유출수문곡선을 적용한 결과가 실제의 강우-유출 사상을 더 근접하게 모의하는 것으로 나타났다. 최적화를 실시한 결과 대

상 지역에서 유출곡선지수가 5~9 정도 크게 산정되는 것을 확인할 수 있었다. 이 결과는 현재 사용하고 있는 유출곡선 지수가 현실을 적절하게 반영하고 있지 않다는 것을 의미하며, 이를 개선하기 위해서는 실제의 강우-유출 모형을 반영할 수 있는 토양형 분류에 따른 유출곡선지수를 산정하고자 하며, Fig. 1과 같은 과정을 통하여 연구를 수행하였다.

토양형 전체에 대하여 유전자 알고리즘을 사용하여 경우 SCS에서 제안한 수문학적 토양분류에 따른 토양의 성질인 침투율을 고려할 수 없었기 때문에 유전자 알고리즘을 이용하여 토양형 A에 대한 유출곡선지수를 산정하고, 이를 이용하여 토양형 B, C, D에 대한 유출곡선지수를 산정하였다. 분석단계에서 생성된 모든 토양형별 유출곡선지수를 3개의 대상지역에 적용하였으며, 대상지역의 목표 유출곡선지수와 오차가 가장 작게 나타났을 경우의 토양형별 유출곡선지수를 본 연구의 결과로 채택하였다.

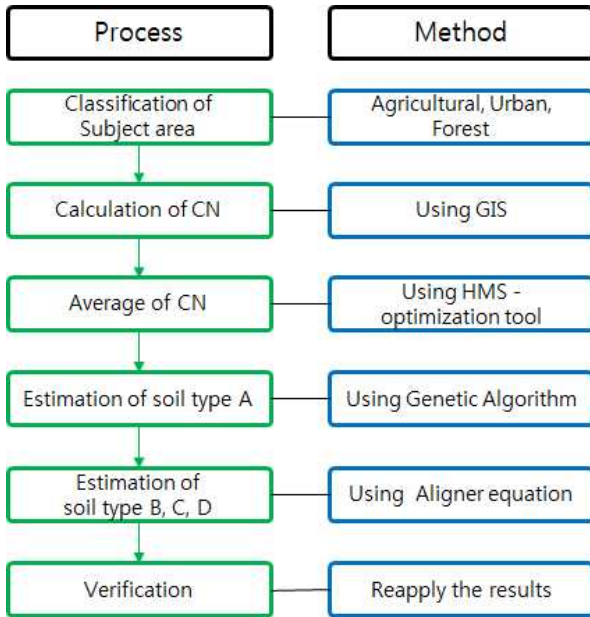


Fig. 1. Research flowchart of this Study

### 2.1 유출곡선지수(CN) 산정

본 연구는 관측유량자료를 확보할 수 있는 유량관측지점인 천왕, 춘양, 장기 유역을 대상으로 선정하고 유량조사사업단(www.hsc.re.kr)에서 제공한 자료를 이용하였다. 천왕 유역은 유역면적 50.25 km<sup>2</sup>의 도시지역이고, 춘양유역은 유역면적 140.20 km<sup>2</sup>의 산지지역이며, 장기유역은 유역면적 65.75 km<sup>2</sup>의 농지지역이다.

대상 유역의 CN 값을 결정하기 위해서 국가수자원관리

종합정보시스템(www.wamis.go.kr)에서 제공하는 토지피복도와 토양도를 이용하여 분석을 실시하였으며, 토지피복도와 토양도는 모두 30 × 30의 래스터 자료를 이용하였다. 유역의 선행토양함수조건은 AMC- II 조건을 적용하였고, CN에 산정된 토지피복도와 토양도의 현황은 Table 1과 2에 제시하였다.

Table 1. Area of land cover (km<sup>2</sup>)

code	Main Category	Sub Category	Chunwang	Choonyang	Janggi
110	urban	residential	10.59	1.79	2.20
120	urban	manufacturing	3.47	0.17	0.15
130	urban	commercial	0.27	0.06	0.00
140	urban	recreational	0.00	0.00	0.00
150	urban	street & roads	1.28	0.64	0.04
160	urban	public establishment	1.68	0.05	0.06
210	agriculture	rice paddy	7.86	17.23	15.35
220	agriculture	farm	6.27	6.12	6.58
230	agriculture	vinyl greenhouse	0.00	0.14	0.00
240	agriculture	orchard	0.18	0.10	1.52
250	agriculture	other plantations	0.21	0.09	0.37
310	forest	broad-leaved forest	12.06	22.70	14.28
320	forest	coniferous forest	1.71	54.11	16.01
330	forest	mixed stand forest	2.73	28.25	6.45
410	open space	natural pasture	0.18	4.20	0.79
420	open space	golf course	0.00	0.00	0.00
430	open space	other grassland	0.32	1.01	0.33
510	open space	inland wetland	0.00	1.10	0.17
520	wetlands	coastal Wetlands	0.00	0.00	0.00
610	bare ground	mining area	0.11	0.06	0.00
620	bare ground	other bare ground	0.42	0.68	0.61
710	water surface	inland water surface	1.17	1.72	0.85
720	water surface	marine water	0.00	0.00	0.00

Table 2. Area of soil type (km<sup>2</sup>)

Soil Type	Chunwang	Choonyang	Janggi
A	31.6	86.5	35.5
B	7.0	26.8	20.0
C	6.2	17.9	6.5
D	5.7	9.1	3.8

### 2.2 HEC-HMS를 이용한 CN 최적화

HEC-HMS를 이용하여 유출수문곡선의 최적화를 실시하기 위하여 지형 정보를 이용하여 도달시간( $T_c$ )과 저류상수(K)를 산정하였다. 대상지역의 도달시간( $T_c$ )는 각각 1.08 hr(천왕), 2.30 hr(춘양), 3.21 hr(장기)이고, 저류상수(K)는 1.40(천왕), 2.84(춘양), 3.54(장기)이다. 또한 국가수자원관리종합정보시스템에서 제공하는 토지피복도와 토양도를 분석하여 최적화를 진행하기 위한 초기 CN 값은 각각 76(천왕), 60(춘양), 72(장기)로 산정하였다(Table 3 참고). 산정된 매개변수를 이용하여 최적화를 실시하였으며, 본 연구의 목적을 위하여 도달시간과 저류상수는 고정하고 최적화를 수행하여 CN 값의 변화만을 확인하였다. 또한, 대상유역에 대해서 평균적인 CN 값을 산정하기 위해 천왕은 10개, 춘양은 5개, 장기는 4개의 관측된 강우-유출 자료를 사용하여 분석을 실시하였다.

Table 3. Basic information of watershed

Watershed	Type of watershed	Area (km <sup>2</sup> )	$T_c$	K	Initial CN	Optimum CN
Chunwang	Urban	50.25	1.08	1.40	76	80
Choonyang	Forest	140.20	2.30	2.84	60	65
Janggi	Agriculture	65.75	3.21	3.54	72	79

관측된 강우-유출 자료를 이용하여 유역별로 각각의 사상에 대하여 최적화를 실시하였다. 또한, 이러한 CN 값이 대상유역에 적합한 것인지 여부를 확인하기 위하여 실측된 강우-유출 사상을 사용하여 검정과정을 실시하였으며, 그 결과는 Fig. 2와 Table 4에 제시하였다.

천왕유역의 초기 CN 값은 76이었으나, 최적화를 실시한 결과는 77~84의 범위로 나타났으며, 장기유역의 초기 CN 값은 72였으나, 최적화는 74.7~85.8의 범위로 나타났다. 또한 춘양유역의 초기 CN 값은 60이었으나, 최적화는 61.5~69.0의 범위로 나타났다. 유역별로 최적화된 CN 값의 평균을 계산한 결과 천왕 80, 춘양 65, 장기 79이며 초기값 보다 각각 4, 5, 그리고 7이 증가된 것이다.

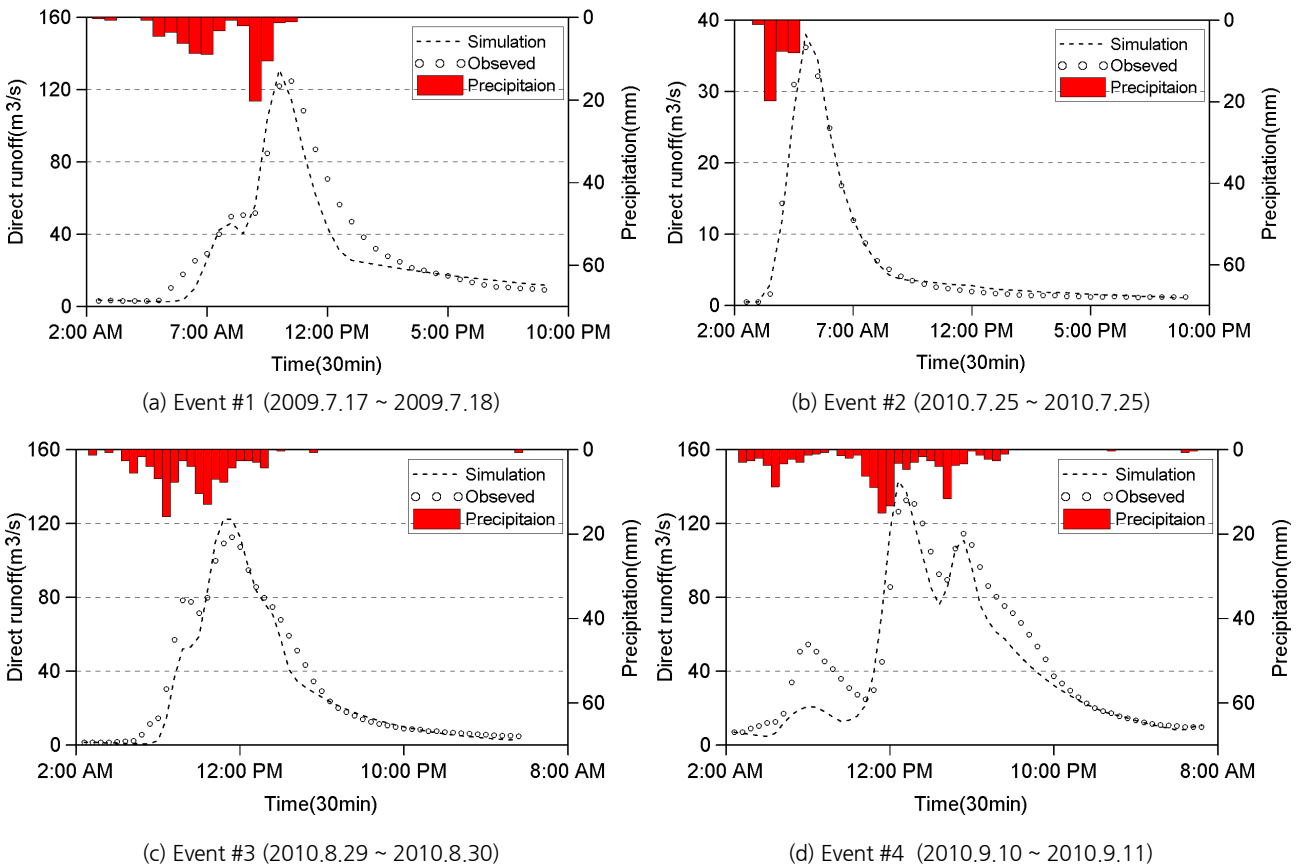


Fig. 2. Comparison of the observed and simulated values (chunwang)

Table 4. Optimization results

	Storm	Duration	P <sub>5</sub> (mm)	Initial CN	Optimum CN	Rainfall Duration (hr)	Total Rainfall (mm)	Peak Flow (m <sup>3</sup> /s)
Chunwang	2009-06-09	2009-06-10	0	76.0	84.0	19	31.9	18.48
	2009-07-12	2009-07-13	168.2	76.0	77.0	26	131.9	162.04
	2009-07-13	2009-07-15	298.9	76.0	77.3	47	187.6	247.09
	2009-07-17	2009-07-18	320.4	76.0	83.7	19	73	124.73
	2010-05-17	2010-05-18	0	76.0	78.1	20	51.5	15.22
	2010-07-02	2010-07-03	54.6	76.0	76.3	17	58	27.45
	2010-07-17	2010-07-18	92.8	76.0	83.4	25	84.1	59.29
	2010-07-25	2010-07-25	9.8	76.0	82.3	18	36.4	36.22
	2010-08-29	2010-08-30	60.4	76.0	78.3	21	110	112.73
Janggi	2010-09-10	2010-09-11	51.0	76.0	82.2	20	127.2	132.5
	2007-09-14	2007-09-16	0	72.0	76.9	39	123.2	118.59
	2007-09-01	2007-09-02	106.4	72.0	85.8	8	81	78.78
	2009-07-11	2009-07-13	116.9	72.0	74.7	41	90.5	58.43
Choonyang	2010-08-14	2010-08-15	90.7	72.0	79.6	19	107.4	169.78
	2006-05-18	2006-05-20	0	60.0	64.9	34	74	59.19
	2006-07-01	2006-07-02	11	60.0	69.0	37	55.9	65.3
	2007-08-12	2007-08-15	23.3	60.0	61.5	51	209.6	216.19
	2008-05-28	2008-05-29	8.9	60.0	65.2	43	87	92.21
	2009-07-07	2009-07-08	0.3	60.0	64.6	46	152.1	376.84

2.3 유전자 알고리즘을 이용한 토양형 A의 CN 산정

유전자 알고리즘은 “우수한 개체들은 살아남아 진화하고 열등한 개체들은 도태”되는 진화 과정을 통해 최적의 해를 찾는 최적화 기법이다(Lee et al., 2013). 즉, 유전자 알고리즘은 문제해결을 위한 세대(generation)를 형성하는 개체군(population) 중에서 환경에 대한 적합도(fitness)가 높은 개체가 살아남아 교배(crossover) 및 돌연변이(mutation) 등의 진화과정을 거듭해 나가면서 최적에 가까운 해를 찾아가는 기법으로써(Kim et al., 2013), 본 연구에서는 우리나라에 적합한 토양형별 CN 값을 산정하기 위해 적용하였다. 유전자 알고리즘 기법을 사용하여 3개의 대상구역의 목표 CN (최적화된 평균 CN) 값을 모두 만족할 수 있는 토양형 A의 CN 값을 산정하였으며, 3개의 대상구역의 목표 CN 값이 동시에 최소의 오차가 나타나게 되는 조합을 찾고자 하였다.

유전자 알고리즘에 사용한 매개변수는 Table 5에 나타내었으며, 결정변수는 Table 6의 토양형 A의 CN 중 고정하지 않은 12개의 CN을 선택하였고, 결정변수의 변화량은 한강, 낙동강, 금강, 영산강의 기본계획에서 제시된 CN 값의 범위를 참고하고 토지이용의 특징을 잃지 않는 범위를 고려하여 설계홍수량 산정기준의 ±10의 범위로 설정하였다.

Table 5. Parameters used for the genetic algorithm simulation

Parameters	Values Used for the GA
Population	500
Generation	200
Elite Fraction (%)	10
Crossover Fraction (%)	60

Table 6. Runoff curve number of hydrologic soil cover complexes

code	Main Category	Sub Category	A	B	C	D	fixed or not
110	urban	residential	77	85	90	92	
120	urban	manufacturing	81	88	91	93	○
130	urban	commercial	89	92	94	95	○
140	urban	recreational	49	69	79	84	○
150	urban	street & roads	83	89	92	93	
160	urban	public establishment	61	75	83	87	
210	agriculture	rice paddy	79	79	79	79	○
220	agriculture	farm	63	74	82	85	
230	agriculture	vinyl greenhouse	76	85	89	91	○
240	agriculture	orchard	70	79	84	88	
250	agriculture	other plantations	68	79	86	89	
310	forest	broad-leaved forest	48	69	79	85	
320	forest	coniferous forest	48	69	79	85	
330	forest	mixed stand forest	48	69	79	85	
410	open space	natural pasture	30	58	71	78	
420	open space	golf course	49	69	79	84	○
430	open space	other grassland	49	69	79	84	○
510	open space	inland wetland	100	100	100	100	○
520	wetlands	coastal Wetlands	100	100	100	100	○
610	bare ground	mining area	68	79	86	89	
620	bare ground	other bare ground	77	86	91	94	
710	water surface	inland water surface	100	100	100	100	○
720	water surface	marine water	100	100	100	100	○

설계홍수량 산정요령(MLTM, 2012a)에 제시된 CN 값과 한강유역종합치수계획(MLTM, 2012b), 낙동강유역종합치수계획(MLTM, 2009), 낙동강하천기본계획(MLIT, 2013a), 금강유역종합치수계획(MLTM, 2008), 영산강하천기본계획(MLIT, 2013b)의 토양분류별 CN 값을 비교하여 공통적으로 같은 수치를 쓰는 분류에 대해서는 그 수치를 고정하고 최적화 분석을 실시하였다. 대상유역별로 최적화 분석을 실시하였으며, 공업지역, 상업지역, 위락시설지역, 논, 하우스 재배지, 골프장, 기타초지, 내륙습지, 연안습지, 내륙수 및 해양수의 분류는 설계홍수량 산정요령에서 제시한 값을 그대로 사용하였다. 그 분류와 CN 값은 Table 6과 같다.

**2.4 토양 분류에 따른 CN 산정**

2.3절에서 기존의 보고서에서 공통적으로 사용되는 분류에 대해서는 고정하여 설계홍수량산정요령(MLTM, 2012a)에 제시된 표를 기준으로 사용하고, 고정하지 않은

12개의 분류에 대해서는 유전자 알고리즘을 사용하여 토양형 A에 대한 CN 값을 산정하였다. 이를 기초로 하여 각 유역의 최적화된 CN (목표 CN) 값을 산정할 수 있는 토양분류별 (B, C, D) CN 값을 찾기 위하여 Enderlin and Markowitz (1962)가 제시한 CN aligner 공식(Eq. (1))을 사용하였다.

$$\begin{aligned}
 \text{CN(B)} &= 37.8 + 0.622 \times \text{CN(A)} \\
 \text{CN(C)} &= 58.9 + 0.411 \times \text{CN(A)} \\
 \text{CN(D)} &= 67.2 + 0.328 \times \text{CN(A)}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

여기서 CN(A), CN(B), CN(C), CN(D)는 각각 토양형 A, B, C, D에 대한 CN 값이다. CN aligner 공식의 적용성을 평가하기 위해 설계홍수량산정요령(MLTM, 2012a)에서 제시한 CN 값과 CN aligner 공식으로 산정한 CN 값을 비교하였다. 그 결과, 논을 제외하고는 설계홍수량산정요령에서 제시된 CN 값의 ±5% 내에 포함하는 결과를 보였다(Fig. 3).

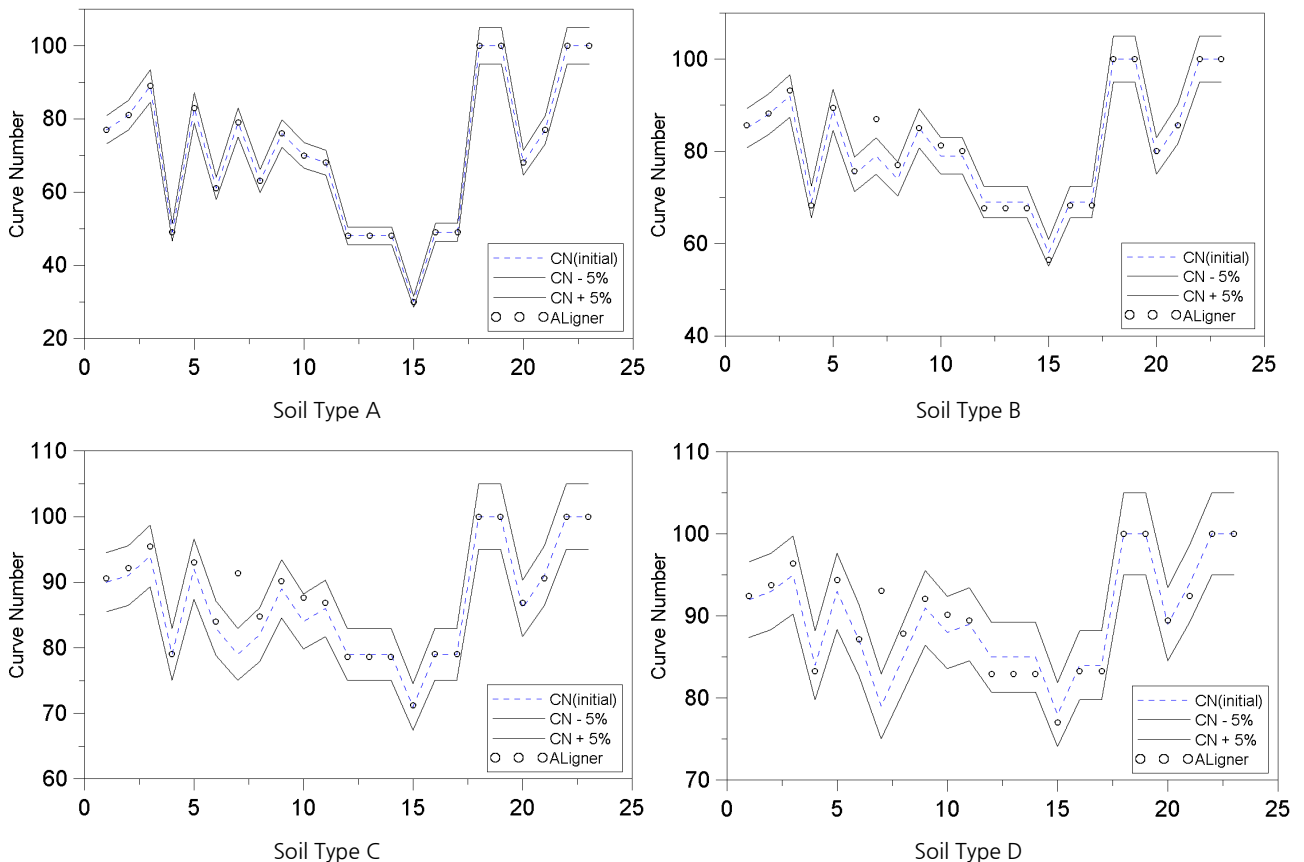


Fig. 3. Verification of applying aligner equation

**Table 7.** Runoff curve number of hydrologic soil cover complexes (chunwang, janggi, choonyang)

Code	Main Category	Sub Category	Optimization				Difference			
			A	B	C	D	A	B	C	D
110	urban	residential	83.6	89.8	93.3	94.6	-6.6	-4.8	-3.3	-2.6
120	urban	manufacturing	81.0	88.0	91.0	93.0	0.0	0.0	0.0	0.0
130	urban	commercial	89.0	92.0	94.0	95.0	0.0	0.0	0.0	0.0
140	urban	recreational	49.0	69.0	79.0	84.0	0.0	0.0	0.0	0.0
150	urban	street & roads	73.3	83.4	89.0	91.2	9.7	5.6	3.0	1.8
160	urban	public establishment	51.1	69.6	79.9	84.0	9.9	5.4	3.1	3.0
210	agriculture	rice paddy	79.0	79.0	79.0	79.0	0.0	0.0	0.0	0.0
220	agriculture	farm	73.0	83.2	88.9	91.1	-10.0	-9.2	-6.9	-6.1
230	agriculture	vinyl greenhouse	76.0	85.0	89.0	91.0	0.1	0.0	0.0	0.0
240	agriculture	orchard	79.9	87.5	91.8	93.4	-9.9	-8.5	-7.8	-5.4
250	agriculture	other plantations	77.9	86.3	90.9	92.8	-9.9	-7.3	-4.9	-3.8
310	forest	broad-leaved forest	51.5	69.9	80.1	84.1	-3.5	-0.9	-1.1	0.9
320	forest	coniferous forest	55.6	72.4	81.8	85.4	-7.6	-3.4	-2.8	-0.4
330	forest	mixed stand forest	54.0	71.4	81.1	84.9	-6.0	-2.4	-2.1	0.1
410	open space	natural pasture	38.5	61.7	74.7	79.8	-8.5	-3.7	-3.7	-1.8
420	open space	golf course	49.0	69.0	79.0	84.0	0.0	0.0	0.0	0.0
430	open space	other grassland	49.0	69.0	79.0	84.0	0.0	0.0	0.0	0.0
510	open space	inland wetland	100	100	100	100	0.0	0.0	0.0	0.0
520	wetlands	coastal Wetlands	100	100	100	100	0.0	0.0	0.0	0.0
610	bare ground	mining area	72.7	83.0	88.8	91.0	-4.7	-4.0	-2.8	-2.0
620	bare ground	other bare ground	81.9	88.7	92.5	94.1	-4.9	-2.7	-1.5	-0.1
710	water surface	inland water surface	100	100	100	100	0.0	0.0	0.0	0.0
720	water surface	marine water	100	100	100	100	0.0	0.0	0.0	0.0

### 3. 결과

본 연구에서는 우선 유전자 알고리즘을 이용하여 토양형 A에 대한 CN 값을 산정하고 토양형 B, C, D에 대한 CN 값은 Enderlin and Markowitz (1962)가 제시한 공식을 사용하여 산정하였다. 이러한 과정을 통해 산정된 4개 토양형에 대한 CN 값을 Table 7에 제시하였다. 그 결과 설계홍수량 산정요령(MLTM, 2012a)에 제시된 기준보다 시가화건조지역은 6.6~9.9의 증가를 보였으며, 농업지역은 9.9~10 정도의 증가를 보였다. 산림지역은 3.5~7.6의 증가를 보였으며, 나머지 초지와 나지지역은 4.7~8.5의 증가를 보였다.

산정된 토양분류별 CN 값의 결과를 검토하기 위하여 분석 대상유역에 적용하여 CN 값을 재산정하고 검토하였다. 그 결과 천왕유역은 목표 CN 값과 같은 값으로 나타났으며, 춘양유역은 -1, 장기유역은 -3의 변화를 보였다. 검증 결과는 Table 8에 제시하였다.

**Table 8.** Comparing initial value with verification results

	Chunwang	Choonyang	Janggi
Initial CN	76	60	72
Objective CN	80	65	79
Redetermined CN	80	64	76
Difference	0	-1	-3

### 4. 결론

본 연구는 NRCS-CN 방법을 사용하여 유효우량을 산정하는 방법을 개선하기 위하여 국토해양부에서 제시한 설계홍수량산정요령(MLTM, 2012a)의 토지이용 분류기준에 따라 유출곡선지수(CN)를 산정하고 관측된 강우-유출 사상을 이용하여 최적화된 유출곡선지수를 산정하였다. 또한 유전자 알고리즘을 통해 최적화된 토지이용 분류기준에 따른 유출곡선지수를 제시하였다. 관측된 강우-유출 사상을 이용하여 최적화를 실시한 결과 대부분의 사상에서 기존의 유출곡선지수 보다 높게 산정되었다. 이는 미국의 유출곡선지수가 우리나라 토양분류기준에 따라 정확하게 적용되지 못하여 우리나라 토양특성을 반영하지 못한 결과라고 할 수 있겠다. 토지이용 분류기준에 따른 유출곡선지수의 문제점은 많은 문헌에서 제시되고 있으며, 다양한 연구결과가 제시되고 있다. 본 연구에서는 다양한 지역의 사례를 기초로 하여 우리나라에 적합한 유출곡선지수 기준을 산정하였으며, 대상지역을 산정하고 다양한 강우-유출 사상을 통해 최적의 유출곡선지수 조합을 도출하였다. 기존의 유출곡선지수와 본 연구에서 도출된 조합으로 유출곡선지수를 산정한 결과를 비교해 보면 천왕지역은 목표 유출곡선지수와 같은 값을 도출하였으며, 춘양과 장기는 각각 -1과 -3의 차이를 보였다. 목표 유출곡선지수를 산정하는 과정에서 초기 CN과의

차이가 4~7으로 나타난 것과 비교하여 볼 때 본 연구의 결과가 목표 유출곡선지수에 더 가까운 결과임을 알 수 있었다. 유역별로 차지하는 토양의 종류와 면적으로 인해 목표 유출곡선지수와 차이가 나타난 것으로 판단된다. 지역의 토양특성에 따라 유출곡선지수에 미치는 토양형이 다르게 나타났으며, 이를 통합할 수 있는 토지이용 분류 기준에 따른 유출곡선지수를 제시하였다. 본 연구에서 제시된 유출곡선지수는 3개의 지역만을 고려한 유출곡선지수이며, 우리나라 대부분의 지역에 적용할 수 있는 유출곡선지수를 산정하기 위해서는 우리나라를 대표할 수 있는 다양한 지역에 대한 분석이 필요하다. 이를 토대로 하여 다양한 지역에 대한 분석이 수행된다면, 우리나라를 대표할 수 있는 유출곡선지수를 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 국토교통부 및 한국건설교통기술평가원 건설기술혁신사업의 [설계홍수량 산정방법개발(11-기술혁신-C06)] 과제의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## References

- Enderlin, H.C., and Markowitz, E.M (1962). "The classification of the soil and vegetative cover types of California watersheds according to their influence on synthetic hydrographs." Presentation at Second Western National Meeting of the American Geophysical Union at Stanford University, Dec 27-29, 1962. 5pp with attachments.
- Im, S.J., and Park, S.W. (1997). "Estimating runoff curve numbers for paddy fields." *Journal of Korean Water Resources Association*, Vol. 30, No. 9, pp.379~387. (In Korean)
- Kim, J.H., Yoo, C.S., Park, M.J., and Joo, J.G. (2014). "Evaluation of problems to apply runoff curve number to mountain area in Korea." *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 14, No. 5 (Oct. 2014), pp. 293~298. (In Korean)
- Kim, J.S., Ahn, J.H., (2012). "A study on the selection of AMC of curve number." *Journal of Wetlands Research*, Vol. 14, No. 4 (2012. 11) pp.519-535. (In Korean)
- Kim, K.W., Lee, Y.J., Kang, D.S., and Kim, Y.H. (2013). "Improved approach for optimal design of agricultural irrigation system." *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 13, No. 6 (Dec. 2013), pp. 359~365. (In Korean)
- Lee, Y.J., Kim, K.W., Kang, D.S., and Kim, Y.H. (2013). "Optimal design of agricultural irrigation systems considering system reliability." *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 13, No. 6 (Dec. 2013), pp. 351~358. (In Korean)
- MLTM(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs) (2008). *Geum River Basin Comprehensive Flood Mitigation Plan*. (In Korean)
- MLTM(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs) (2009). *Nakdong River Basin Comprehensive Flood Mitigation Plan*. (In Korean)
- MLTM(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs) (2012a). *Design Flood Estimation Methods*. (In Korean)
- MLTM(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs) (2012b). *Han River Basin Comprehensive Flood Mitigation Plan*. (In Korean)
- MLIT(Ministry of Land, Infrastructure, and Transport) (2013a). *Nakdong River Mater Plan*. (In Korean)
- MLIT(Ministry of Land, Infrastructure, and Transport) (2013b). *Youngsan River Mater Plan*. (In Korean)
- USDA-NRCS(United States Department of Agriculture - Natural Resources Conservation Service) (2004). *National Engineering Handbook*, Part 630 Hydrology, Chapter 10: Estimation of direct runoff from storm rainfall, Washington DC.