

## SCE-UA 최적화기법에 의한 낙동강 유역의 CN값 도출

전지홍 · 최동혁 · 김정진 · 김태동<sup>†</sup>

안동대학교 환경공학과

## Regionalization of CN Parameters for Nakdong River Basin using SCE-UA Algorithm

Ji-Hong Jeon · Dong Hyuk Choi · Jung-Jin Kim · Tae Dong Kim<sup>†</sup>

Department of Environmental Engineering, Andong National University  
(Received 19 December 2008, Revised 13 January 2009, Accepted 24 January 2009)

### Abstract

CN values are changed by various surface condition, which is cover type or treatment, hydrologic condition, or percent impervious area, even the same combination of land use and hydrologic soil group. In this study, CN parameters were regionalized for Nakdong River Basin by Long-Term Hydrologic Impact Assessment (L-THIA) coupled with SCE-UA, which is one of the global optimization technique. Six watersheds were selected for calibration (optimization) and periodic validation and two watersheds for spatical validation as ungauged watershed within Nakdong River Basin. Nash-Sutcliffe (NS) values were 0.66~0.86 for calibration, 0.68~0.91 for validation, and 0.60 and 0.85 for ungauged watersheds, respectively. Urban area for the selected watersheds covered high impervious area with 85% for residential area and 92% for commercial/industrial/transportation area. Hydrologic characteristics for crop area was similar to row crop with contoured treatment and poor hydrologic condition. For the forested area, hydrologic characteristics could be clearly distinguished from the leaf types of plant. Deciduous, coniferous, and mixed forest showed low, moderate, and high runoff rates by representing wood with fair and poor hydrologic condition, and wood-grass combination with fair hydrologic condition, respectively. CN parameters from this study could be strongly recommended to be used to simulate runoff for ungauged watershed.

**keywords** : Curve Number, Global optimization, Parameter regionalization, SCE-UA, Surface runoff

### 1. 서론

유역모델은 유역에서의 수문해석, 오염물질 거동 분석, 수질관리를 위한 대안별 효과 분석 등에 유용하게 사용된다. 또한 미계측 지역의 수문 및 수질 예측에 이용됨으로써 모니터링에 필요한 많은 시간과 노력을 감소시킬 수 있으며, 모니터링 비용의 절감효과를 기대할 수 있다. 최근 들어 비점오염원의 중요성이 강조되고 있는 가운데 수질 개선을 위한 강우시 유출량과 오염물질유출특성 분석을 위하여 유역모델의 개발 및 적용에 대한 많은 연구가 활발하게 진행되어 왔다.

현재 다양한 유역모델들이 개발되어 사용되고 있으며, 특히 미자연자원보존국(Natural Resource Conservation Service, NRCS)에서 개발된 유출곡선식(curve number equation, CN)은 수문 해석에 널리 사용되고 있다. 현재 SITEMAP, GWLF, P8-UCM, AGNPS, STORM, SWAT에서 CN기법이 적용되고 있다(Shoemaker et al., 1997). CN값은 강우량을 이용하여 직접유출량을 추정할 수 있는 무차원의 값으로써, 장기 간동안 다양한 조건의 강우량과 시범유역으로부터 강우-유

출관계를 분석함으로써 얻은 값이다. 현재 NRCS에서 토양 배수상태와 토지이용상태에 따른 다양한 CN값들을 추천하고 있으며, 모델 사용자들은 손쉽게 NRCS에서 추천한 CN값을 적용한다. NRCS에서 추천한 CN값은 동일한 토지이용상태와 토양배수상태의 조합일지라도 다양한 피복조건 혹은 기타 조건에 따라 그 값의 변동폭은 크며 이에 따른 유출량 또한 큰 변동폭을 가진다(Jeon et al., 2007). 그러나 많은 경우, 모델에서는 토지이용상태와 토양배수상태에 대하여 하나의 CN값을 기본값으로 제공하고 있다. 현재 CN기법을 사용하며 세계적으로 널리 사용되고 있는 Soil and Water Assessment Tool(SWAT)은 농경지의 경우 재배작물 종류에 따라 CN값을 할당하고 있다. 불행하게도 모델 사용자들은 토지이용상태자료는 쉽게 구할 수 있으나 동일한 토지이용상태일지라도 NRCS에서 제시한 것과 같은 피복상태에 대한 정보나 재배작물 종류에 대한 정보를 구한다는 것은 매우 어려운 일이다. 기존의 선행연구결과에 따르면, 토지피복상태가 고려되지 않고 토지이용상태와 토양배수상태만을 고려할 경우 검·보정을 통한 CN값의 조정에 대한 필요성을 강조하고 있다(Grunwald and Norton, 2000; Lim et al., 2006; Mohammed et al., 2004). CN기법의 장점 중의 하나가 미계측 유역에 적용이 가능하다는 점이다. 이를 위해서 우리나라에서도 토지이용상태에 따른 CN값 산정에

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
tdkim@andong.ac.kr

대한 연구가 몇몇 이루어졌었다. 오경두 등(2005)은 서울시를 대상으로 도시구역의 CN값 산정에 관한 연구를 수행하였으며, 그 결과 서울시 도시지역의 경우 미국에 비해 불투수층 면적비율이 높기 때문에 NRCS에서 추천하는 주거지역이나 상공업지역의 CN값을 그대로 사용할 경우 유출량이 과소평가될 우려가 있다고 보고한 바 있다. 박승우(1997)는 논을 대상으로 한 CN값 추정에 관한 연구를 수행하였다. 또한 김종진 등(2007)은 경사도 5%미만에서 개발된 CN값을 우리나라와 같이 경사도가 높은 지역의 경우 경사도에 따른 CN보정의 필요성을 밝힌 바 있다. 선행연구 사례를 고려해 볼 때, 보다 합리적이고 정확한 미계측지역의 유출량 예측을 위해서는 대상구역의 토지이용별 CN값의 개발 및 사용이 필요할 것으로 판단된다.

모델의 검·보정 과정은 많은 시간과 노력을 필요로 할 뿐만 아니라, 고도의 전문성을 요구하기 때문에, 모델의 검·보정은 정확한 예측과 평가를 위한 필수과정이나 매우 어려운 과정 중에 하나이다(Cheng et al., 2002). 최근 들어 컴퓨터의 급격한 발달로 인하여, 모델 보정에 있어서 보정인자를 컴퓨터 프로그램에 의해 자동적으로 최적화하는 기법들이 개발되어 적용되고 있다. 보정인자를 최적화하는 기법은 많은 시간과 노력을 단축시켜 줄 뿐만 아니라 모델사용자의 시행착오법에 의한 보정결과보다 더욱 정확한 결과를 제공할 수 있다는 장점을 가지고 있다(Muleta and Nickow, 2005). 특히 Duan 등(1993)에 의해 개발된 Shuffled Complex Evolution(SCE-UA)기법은 유사한 전역적 최적화 기법인 Genetic Algorithm(GA)에 비해서 수문모델을 최적화하는데 있어서 적용성이 높은 것으로 나타났으며(Ajami et al., 2004), 현재 유역모델의 최적화기법에 많이 이용되고 있다(Eckhardt and Arnold, 2001; Madsen, 2003).

본 연구의 목적은 낙동강 유역내에 유출량을 실측하고 있는 총 8개의 유역을 대상으로하여 Long-Term Hydrologic Impact Assessment(L-THIA)모델에 SCE-UA기법을 연계 적용하여 1981~2000년 동안의 장기유출량에 대한 CN값의 최적화를 실시하여 토지이용별 피복상태를 역추정하고 낙동강 유역을 대표할 수 있는 토지이용상태와 토양배수상태별 단일의 CN값을 도출하고자 한다. 이는 낙동강유역내에 CN기법을 사용하고 있는 유역모델을 적용할 경우 토지이용별 토지피복별 CN값의 초기값을 제공함으로써 계측유역의 유출량 검·보정과정에 소모되는 시간과 노력을 단축시키고 미계측 유역의 유출량 예측에 있어서 정확성을 높이고자 한다.

## 2. 연구방법

### 2.1. Shuffled Complex Evolution

미국의 에리조나 대학교에서 개발한 SCE-UA기법은 simplex procedure와 controlled random search, competitive evolution, new complex shuffling concept 등의 기법들을 조합한 전역적 최적화(global optimization) 기법이며 SCE-UA의 흐름도는 Fig. 1과 같다(Duan et al., 1993). 각각의 comp-

lex에 콤플렉스의 개수(p)와 포인트의 개수(m)로 샘플의 크기( $s=p \times m$ )를 결정한다. 샘플의 크기가 결정이 되면, 최적화하고자 하는 인자를 샘플의 크기만큼 사용자에 의해 주어진 최대·최소 범위내에서 무작위로 생성된다. 무작위로 생성된 s개수를 갖는 각각의 샘플에 대하여 사용자 정의에 의한 목적함수를 계산한다. SCE-UA기법의 모델 최적화시에는 생성된 샘플이 최적화하고자 하는 보정인자의 값들이며 무작위로 생성된 보정인자값을 모델에 입력시켜 구동시킨 모델의 결과값과 실측치를 이용하여 목적함수를 계산한다. 이렇게 계산된 각각의 샘플에 대한 목적함수를 가장 높은 값에서부터 가장 낮은 값으로 순위를 결정한다. 결정된 순위에 의하여 개체 s를 m개 가지는 p개의 콤플렉스에 할당한다. 경쟁진화 알고리즘(CEE algorithm)에 의해 각각의 콤플렉스로 나누어진 샘플은 위와 같은 일련의 과정(새로운 샘플 생성-목적함수계산-순위 결정)에 의해 진화된 새대인 새로운 콤플렉스가 생성된다. 새롭게 생성된 콤플렉스는 다시 p개의 콤플렉스로 나누어지고 다시 진화된다. 이 과정을 반복적으로 거치는 동안 새롭게 진화된 콤플렉스는 최적의 해로 수렴하게 된다.

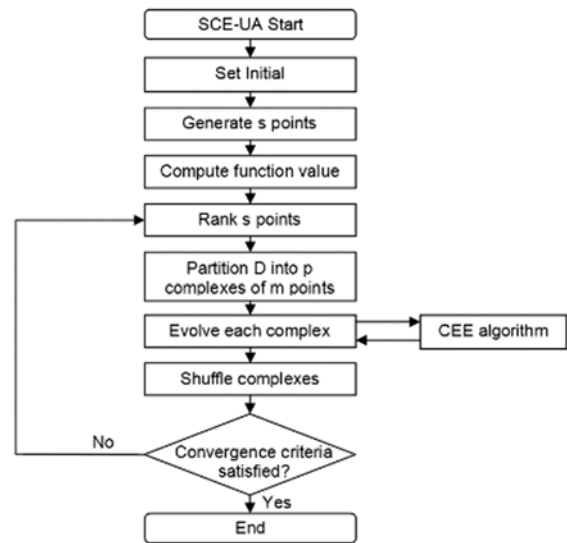


Fig. 1. Flow chart of SCE-UA algorithm (source: Duan et al., 1993).

### 2.2. 연구대상지역

건교부에서 공식적으로 유출량을 제공하고 있는 지점을 중심으로 낙동강 본류를 제외하고 낙동강 지류를 연구대상 지역으로 선정하였다.

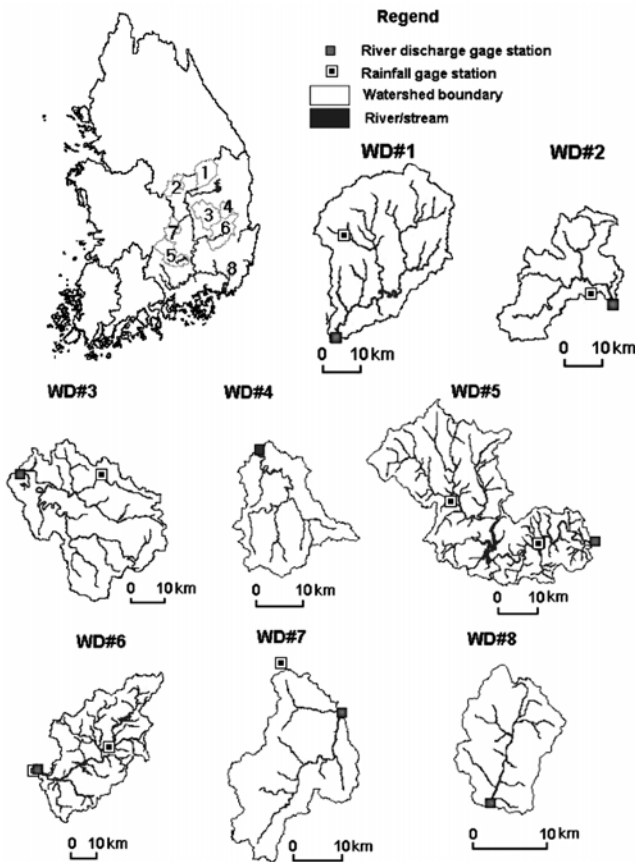
낙동강 유역내에서는 총 13개 지점에 대해서 유출량을 측정하고 있었으며 이 중 낙동강 본류에 위치한 총 4개의 측정지점(고령수위표, 진동수위표, 낙동수위표, 왜관수위표)은 연구대상지역에서 제외시켰다. 그리고 낙동강 지류 중 정암수위표의 경우 해당 상류유역내에 댐이 존재하고 이 중 일부가 다른 유역으로 방류되고 있어 연구대상지역에서 제외시켰다. 따라서 총 8개의 지점(월포수위표, 점촌수위표, 용곡수위표, 길안천, 죽고수위표, 동촌수위표, 김천수위표,

**Table 1.** Study watershed descriptions

WD ID	Watershed name	Area (km <sup>2</sup> )	Rainfall station ID	Land use (%) <sup>*</sup>	Hyd. soil group (%) <sup>**</sup>
1	Wallpo	1,159	136, 152, 272	R:3, P:13, U:17, F:63, O:3	A:13, B:60, C:15 :12
2	Jumchon	609	226, 273	R:2, P:6, U:8, F:81, O:2	A:5, B:40, C:19 D:36
3	Youngguk	1,314	143, 278, 279, 281	R:3, P:11, U:12, F:71, O:3	A:5, B:30, C:20 D:45
4	Gilan	346	278, 281	R:1, P:2, U:12, F:82, O:2	A:5, B:25, C:9 D:61
5	Jukgo	1,283	284, 285, 289	R:3, P:14, U:9, F:70, O:5	A:5, B:60, C:16 D:19
6	Dongchon	1,533	143, 281	R:6, P:9, U:16, F:63, O:6	A:7, B:10, C:19 D:64
7	Kimchun	577	135, 279, 284	R:3, P:11, U:10, F:73, O:3	A:5, B:78, C:10 D:7
8	Yangsan	35	152, 288	R:7, P:7, U:3, F:76, O:6	A:2, B:42, C:21 D:35

\* R includes industrial, commercial, transportation, and residential, P is paddy rice field, U is upland, F is forest, and O is others.

\*\* A means high infiltration (low runoff), B means moderate infiltration (moderate runoff), C means low infiltration (moderate to high runoff) and D means very low infiltration (high runoff).

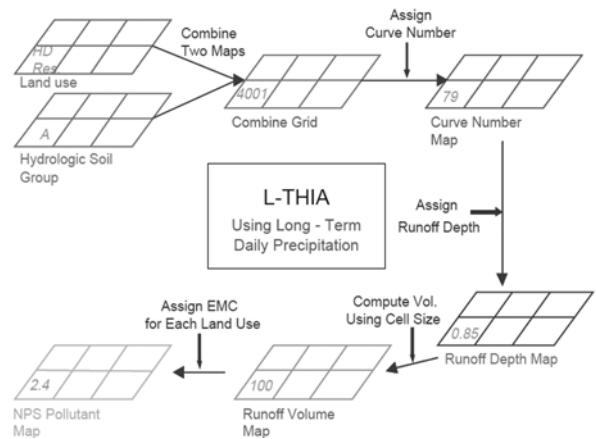


**Fig. 2.** Study area.

양산천)에 해당하는 유역을 연구대상지역으로 선정하고 모델을 적용하였다(Fig. 2). 이 중 6개의 유역은 CN 인자값의 보정과 검증에 사용되었으며, 2개의 유역은 미계측 유역으로 간주하고 최적화된 값의 적용성을 평가하기 위한 모델의 검증에 사용되었다. 연구대상지역의 유역면적 범위는 35~1,533 km<sup>2</sup>인 것으로 나타났다. 대부분의 유역에서 산림이 가장 많은 비율을 차지하였고 다음이 밭과 논, 도시, 기타 순이었다. 토양배수도의 경우 B그룹과 D그룹이 비교적 높은 비율을 차지하는 것으로 나타났다(Table 1).

**2.3. 모델입력자료**

L-THIA 모델을 적용하기 위해서는 GIS 형태의 토양배수

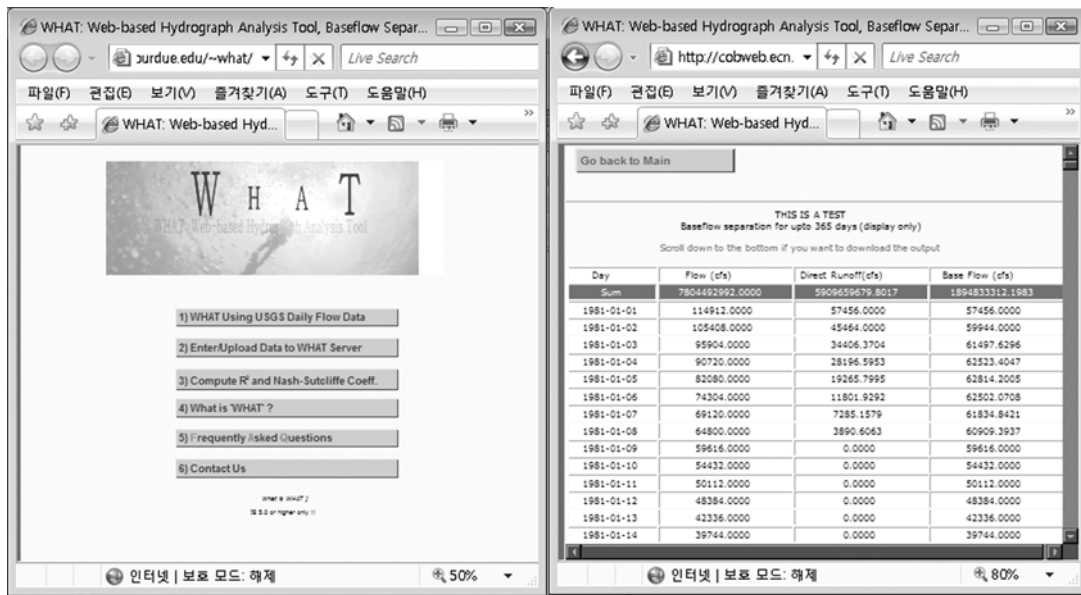


**Fig. 3.** L-THIA application procedure with GIS (adopted from Kim et al., 2007).

도, 토지이용도, 티센망도, 유역도등을 필요로 하며, 강수량 자료와 지표유출량 자료 등을 필요로 한다. GIS 자료를 이용한 L-THIA 모델의 적용과정은 Fig. 3과 같다.

토양배수도는 농촌진흥청에서 제공하는 정밀토양도의 배수등급을 A, B, C, D등급으로 분류하여 격자형태의 GIS자료로 변환하였다. 토지이용도의 경우에는 환경부에서 제공하고 있는 축척 1:25,000의 중분류를 사용하여 격자형태의 GIS자료로 변환하였다. 티센망도의 경우 기상청에서 운영하고 있는 기상관측소지점의 GIS자료와 ArcView 3.2 소프트웨어를 이용하여 폴리곤 형태의 티센망을 생성하고 이를 다시 격자형태의 GIS자료로 변환하였다. 강수량자료는 기상청에서 제공하는 지점별 과거 1981년에서 2000년동안 20년간의 강수량 자료를 사용하였다(기상청, 2007). 유출량은 국가수자원관리종합정보시스템에서 제공하고 있는 주요지점별 일별 장기유출자료를 사용하였다. 모델의 보정과 검증에 사용된 유출량 자료는 20년간(1981~2000년)의 장기유출자료를 이용하였다.

CN기법은 직접지표유출량을 모의하기 때문에 실측된 유출량을 직접유출과 기저유출로 분리해서 직접유출량만 사용해야 한다. 기저유출 분리 프로그램으로 BFLOW필터(Arnold and Allen, 1999)가 널리 사용되었으나 유역내의 대수층 특성을 고려하지 못하는 단점이 있어 Eckhardt (2005)는 대표적 대수층 별로 BFImax 대뿔값을 제시하여



(a) WHAT interface

(b) Application result of WHAT

Fig. 4. WHAT interface and application result for separation of direct surface runoff.

BFImax값 선정에 있어서 주관적인 요소를 최소화하였다. 본 연구에서는 BFLOW 및 Eckhardt필터를 이용하여 기저 유출을 분리할 수 있도록 Lim 등(2005)에 의해 개발된 Web GIS-based Hydrograph Analysis Tool(WHAT)을 적용하여 직접유출량을 추출해 내었다(WHAT, 2007; Fig. 4).

토지이용별 토양배수도별 CN값은 GIS형태의 토양배수와 토지이용도를 중첩시켜 격자별 CN값을 할당하였으며, 티센망도를 중첩시켜 동일한 유역내라도 각각의 티센망도에 해당되는 강수량을 적용함으로써, 강수량의 공간적 분포를 고려할 수 있도록 하였다.

2.4. 최적화 방법

모델의 보정기간은 1981~1990년으로 하였으며, 검증기간은 1991~2000년으로 하였다. 검증에 대한 모델의 효율과 최적화를 위한 목적함수 계산에는 Nash-Sutcliffe(NS)값이 사용되었다. L-THIA모델에 의한 직접유출량은 일별로 모의하였으며, 월별값을 이용하여 목적함수를 계산하였다. NS값은 수문모델의 모델효율을 계산하는데 널리 이용되는 목적함수이며 식 (1)에 의해 계산된다(Nash and Sutcliffe, 1970).

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - avgQ_{obs,i})^2} \quad (1)$$

여기서,  $Q_{obs}$ 는 실측직접유출량,  $Q_{sim}$ 은 모의직접유출량,  $avgQ_{obs}$ 는 평균실측직접유출량이다. NS값은 1에 가까울수록 모델효율이 높은 것을 의미한다.

최적화 방법에 있어서는 총 6개 유역(WD#1~6)에 대하여 하나의 토지이용별 토양배수별 CN값 그룹을 생성·적용하였으며, 1981~1990년 유출량에 대하여 최적화하였다(Fig. 5).

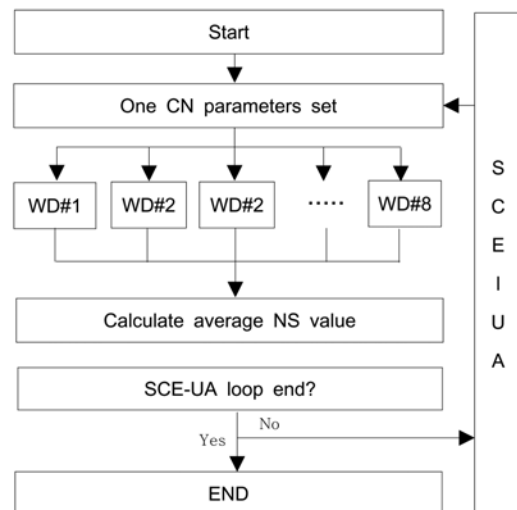


Fig. 5. The approach of CN parameters regionalization with SCE-UA.

6개 유역을 각각 독립적으로 CN값 그룹들을 최적화하여 평균값을 내는 방법은 각각의 유역의 토지이용별 토지배수별 차지하는 비중이 다르기 때문에 산술평균에 의한 토지이용별 토양배수상태별 CN값 도출 그지역의 대표적인 인자값 도출에 적합하지 않기 때문이다(Parajka et al., 2005). 목적함수인 NS값은 각 유역에서 계산된 NS값을 평균값으로 계산하였으며, SCE-UA기법은 식 (2)와 같이 평균NS값이 최대가 되는 CN값이 최적화된 값으로 간주하였다.

$$Maximize(NS_{avg} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n NS_{ind,i}) \quad (2)$$

여기서,  $NS_{avg}$ 는 평균 NS값,  $NS_{ind,i}$ 는 I번 유역의 NS값, n은 총 유역의 개수이다. 최적화된 CN인자값에 대한 적용성

평가는 모델의 시간적 공간적 검증과정을 통해 이루어졌다. 시간적 검증과정은 보정과정(1981~1990년)이 이루어진 6개의 유역에 대하여 별도의 기간인 1991~2000년의 유출량을 이용하였다. 보정과정에 포함되지 않은 별도의 유역인 WD#7~8 유역에 대하여 1991~2000년의 유출량에 대한 공간적 검증과정을 실시함으로써 미계측 유역에 대한 적용성을 평가하였다.

토지이용종류는 총 9가지로 분류하였다(Table 2). 도시지역은 주거지역과 상공업을 포함하는 기타도시지역으로 구분하였으며, 농경지는 논과 밭, 그리고 기타 농경지로 구분하였는데 이는 각각의 유출특성이 다르다고 가정하였기 때문이다. 우리나라의 경우 산림이 차지하는 비율이 가장 높기 때문에 수문분석에 있어 중요한 토지이용종 하나이다. 또한 활엽수림과 침엽수림, 혼효림의 경우 식물의 잎에 의한 차단효과가 다르기 때문에 동일한 강수량에 대한 유출량이 산림의 종류에 따라 다른 것으로 가정하여 산림을 환경부의 토지피복도 중분류를 그대로 사용하여 활엽수림과 침엽수림, 혼효림으로 구분하여 적용하였다. AMC를 구분하는 선행 5일 총강우량의 기준도 지역에 따라 다를 것으로 가정하여 최적화하였다.

CN값들은 동일한 토지이용상태와 토양배수상태라 할지라도, 토지의 피복상태나 다른 여러 가지 조건에 따라서 다양한 CN값을 가진다. 본 연구에서는 NRCS에서 추천하고 있는 토지이용상태별 토양배수상태별 다양한 CN값을 통계분석하여, 이 범위내에서 최적화된 값을 찾도록 범위를 설정하였다(Table 2). 여기에서 논의 CN값은 우리나라 하천설계기준에서 제시한 값을 사용하였으며 이는 NRCS에서 추천한 이랑경작지의 값이다. 주거지역과 기타 도시

지역의 CN값 범위는 NRCS에서 제시하고 있는 불투수층 면적비율에 대한 CN값의 관계식을 토양배수도별로 산정하여 주거지역과 기타도시지역의 불투수층 면적 범위에 따른 CN값 범위를 설정하였다(Table 3). NRCS에서는 주거지역의 불투수층 면적비율을 12~65%, 상공업지역을 72% 이상으로 설정하였으나, 이러한 비율은 우리나라와 같이 고밀도 도시지역과는 차이가 있을 것으로 판단하였다. 오경두 등(2005)의 연구결과에 따르면 서울시의 주거지역에 대한 평균 불투수층 면적비율은 87%, 공업지역은 84%, 교통시설지역은 89%, 상업지역은 92%인 것으로 보고하고 있으며 이에 따른 CN값 적용을 추천하고 있다. 따라서, 오경두 등(2005)의 연구결과를 기초로 하여 연구대상유역내의 주거지역과 기타 도시지역의 불투수층 면적비율은 각각 50~87%, 70~95%범위 내에 있는 것으로 가정하였다. 밭과 재배지의 경우 NRCS에서 추천한 농경지의 CN범위내에서 최적의 CN값을 찾도록 하였다. 활엽수림과 침엽수림, 그리고 혼효림 또한 NRCS에서 추천한 산림지역의 CN범위내에서 최적의 CN값을 찾도록 하였으며 최적화되는 CN값은 침엽수림이 가장 큰 값을 그리고 혼효림과 활엽수림 순으로 하였다.

**Table 3.** Regression analysis result between average percent impervious area and CN values

Hyd. soil group	Equation	R <sup>2</sup>
A	0.586×Imp(%) + 39.116	1.00
B	0.377×Imp(%) + 60.666	1.00
C	0.238×Imp(%) + 74.090	1.00
D	0.175×Imp(%) + 80.402	1.00

**Table 2.** The ranges of CN parameter recommended by NRCS

		Hydrologic soil group			
		A	B	C	D
Residential area	Min.	68	79	86	89
	Max.	90	93	95	96
Other urban area	Min.	80	87	91	93
	Max.	95	96	97	98
Paddy field	Min.	61	70	77	80
	Max.	72	81	88	91
Upland	Min.	51	67	76	80
	Max.	77	86	91	94
Other crops area	Min.	51	67	76	80
	Max.	77	86	91	94
Deciduous forest	Min.	30	55	70	77
	Max.	57	73	82	86
Coniferous forest	Min.	30	55	70	77
	Max.	57	73	82	86
Mixed forest	Min.	30	55	70	77
	Max.	57	73	82	86
Pasture	Min.	30	58	71	78
	Max.	68	79	86	89
Open space	Min.	39	61	74	80
	Max.	68	79	86	89

이는 동일한 토양배수도 내에서는 유출율이 침엽수림이 가장 크고, 다음은 혼효림, 활엽수림의 순이라는 가정을 유지시키기 위해서이다.

연구대상지역에 대한 토지이용별 토지피복상태에 따른 유출특성을 파악하기 위하여 토지이용별 최적화된 CN값과 NRCS에서 제시된 CN값이 가장 근소한 값을 식 (3)을 이용하여 찾아 토양피복상태를 역추정하였다.

$$Minimize \left( \sum \left( (CN_{A,cpt} - CN_{A,dcc})^2 - (CN_{B,cpt} - CN_{B,dcc})^2 \right) - (CN_{C,cpt} - CN_{C,dcc})^2 - (CN_{D,cpt} - CN_{D,dcc})^2 \right) \quad (3)$$

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 모델의 검 · 보정 결과

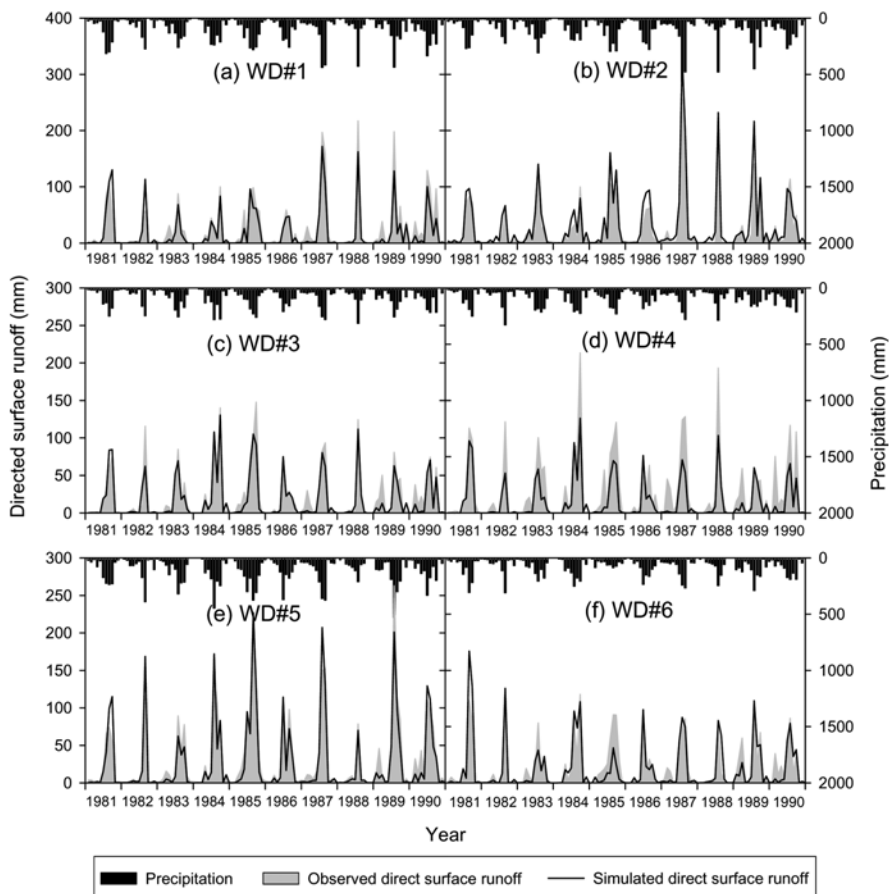
모델의 보정 결과는 Fig. 6과 7, Table 4와 같다. 모델의 보정결과 모델효율은 0.66~0.86의 범위를 나타내었으며 대

부분의 경우 모델효율 0.8 이상을 나타내었다. 가장 높은 모델 효율을 나타낸 유역은 WD#3과 4로 NS값 0.86을 나타내었으며, 가장 낮은 모델효율은 WD#4에서 0.66을 나타내었다. 전체 유역평균 0.80의 NS값을 나타내어 하나의 CN값 그룹에 대한 6개 유역의 NS값의 평균치인 것을 감안할 때 비교적 높은 모델효율을 나타내었다.

보정지역에 대한 시간적 검증결과는 Fig. 8과 9, Table 4와 같다. 가장 높은 모델효율을 나타낸 유역은 WD#1으로 모델효율 0.91을 나타내었으며 가장 낮은 모델효율을 나타낸 유역은 WD#5로써 NS값 0.68을 나타내었다. 시간적 검증시 대부분의 모델효율은 0.7이상의 높은 값을 나타내었으며 이는 보정과정에서 결정된 CN인자 값들이 낙동강 유역의 유출특성을 잘 반영하였기 때문에 검증시 높은 모델 효율을 나타내었다. 최적화를 통한 보정결과와 시간적인 검증결과를 통한 실측치와 예측치의 1:1 대응 분산도를 분석한 결과 대부분의 유역에서 1:1 대응선에 밀집해 있어 예측값의 높은 적용성을 나타내었으며 WD#4의 경우 1:1 대

**Table 4.** Calibration and validation performance for regionalized CN parameters

	Calibration and periodic validation (NS)						Spatical validation (NS)	
	WD#1	WD#2	WD#3	WD#4	WD#5	WD#6	WD#7	WD#8
Calibration	0.84	0.82	0.86	0.66	0.87	0.72	-	-
Validation	0.91	0.78	0.89	0.73	0.68	0.82	0.60	0.85



**Fig. 6.** Calibration results: simulated and observed monthly direct surface runoff for the selected six watersheds in Nakdong River Basin.

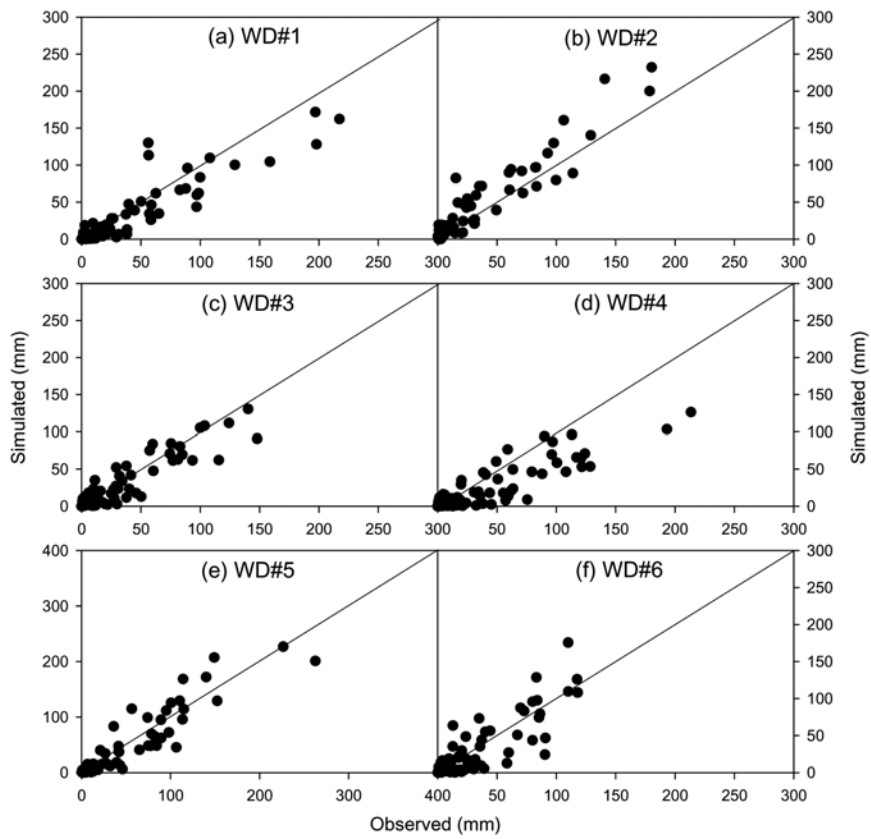


Fig. 7. Scatter plots of observed vs. simulated monthly surface runoff for calibration results.

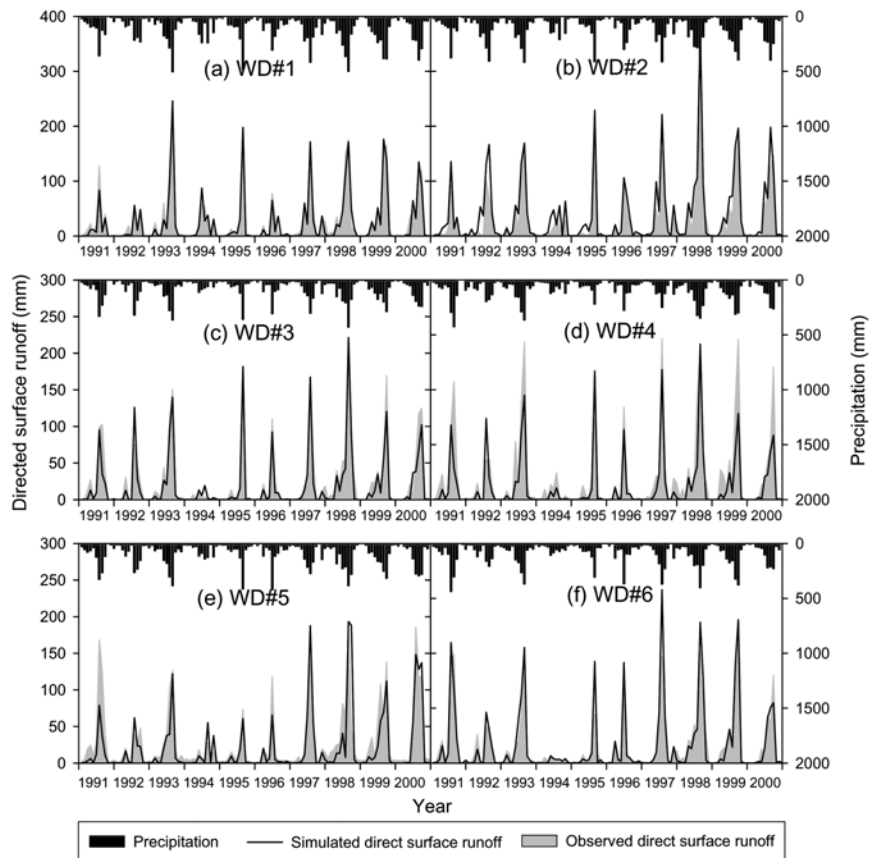


Fig. 8. Periodic validation results: simulated and observed monthly direct surface runoff for the selected six watersheds in Nakdong River Basin.

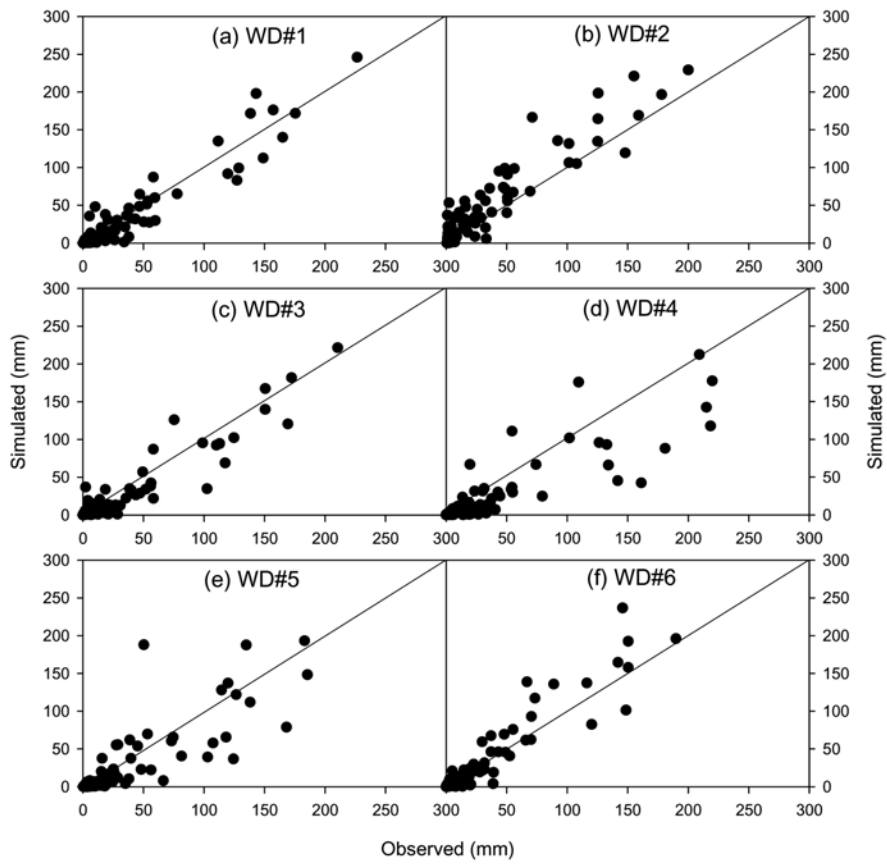


Fig. 9. Scatter plots of observed vs. simulated monthly surface runoff for periodic validation results.

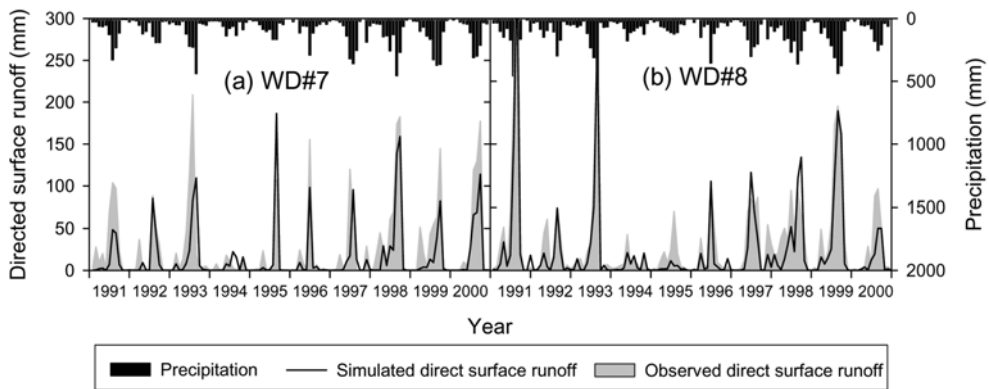


Fig. 10. Spatical validation results: simulated and observed monthly direct surface runoff for the selected six watersheds in Nakdong River Basin.

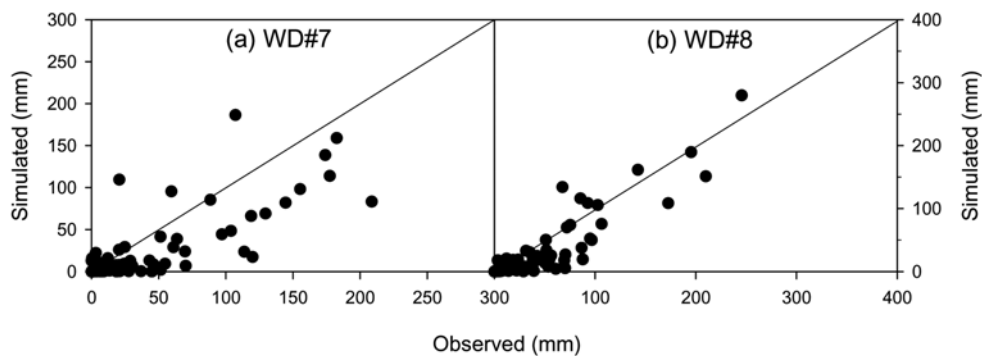


Fig. 11. Scatter plots of observed vs. simulated monthly surface runoff for spatical validation results.



응선 아래에 위치해 있어 예측값이 다소 과소평가되는 것으로 나타났다(Fig. 5와 7).

보정이 이루어지지 않은 별도의 유역에 대한 모델의 공간적 검증결과는 Table 4와 Fig. 10과 11과 같다. 공간적 검증결과는 본 연구에서 도출한 토지이용별 토양배수상태별 CN 인자값을 미계측지역 유출량 산정에 적용하고 그 결과를 평가하는데 있다. 본 연구결과 WD#7과 8의 모델효율은 각각 0.60, 0.85의 높은 값을 나타내었다.

**3.2. 낙동강 유역의 CN값과 토지이용별 유출특성**

최적화된 토지이용별 토양배수별 CN인자값은 Table 5와 같다. 주거지역과 상공업지역과 도로 등을 포함한 기타 도시지역, 농경지역과 침엽수림의 경우 문헌상의 범위에서 상한값을 나타내었으며, 활엽수림의 경우 문헌상 하한값을 나타내었다. 도시지역의 경우 CN 인자값에 의한 불투수층비율을 역추정한 결과, 주거지역은 약 85%, 기타 도시지역은 92%를 나타내어 미국의 주거지역과 상공업지역에 비해 높은 불투수층 면적비율을 나타내고 있다. 이는 미국에서 추천하는 도시지역의 일반적인 불투수층 면적비율에 따른 CN값을 우리나라에서 사용하였을 경우 도시 유역의 유출량을 과소평가할 가능성이 있으며 이는 오경두 등(2005)의 연구결과와 일치한다. 본 연구에서 도출된 밭과 기타농경지의 CN값은 거의 동일한 값을 나타내고 있어 논을 제외한 농경지는 하나의 토지이용상태로 간주하여 CN값을 적용할 수 있을 것으로 판단된다. CN값을 통한 우리나라 밭지역의 토지피복상태를 역추정한 결과, 우리나라의 밭지역은 침투상태가 불량한 지역의 상하경 이랑경작지와 유출특성이 가장 유사한 것으로 나타났다(Table 5). 이는 우리나라 밭의 유출율은 비교적 높다는 것을 간접적으로 알 수 있다. 산림지역의 경우 침엽수림과 활엽수림, 그리고 혼효림의 CN값들이 각각 뚜렷하게 다른 값들을 나타내었다. CN값을 통한 산림지역의 피복특성을 역추정해 보면, 활엽수림의 경우

배수상태가 적절한 산림지역의 유출특성을 반영하고 있으며, 침엽수림은 토양으로의 침투가 원활하게 이루어지지 않아 배수상태가 불량하여 지표유출율이 비교적 높은 유출특성을 나타내었다. 혼효림은 배수상태가 적절한 지역의 산림과 초지가 혼합된 지역의 유출특성을 나타냄으로써, 산림의 종류에 따른 유출특성이 명확하게 다른 것으로 나타났다. 특히 우리나라의 경우 산림의 토지이용비율이 가장 높은 점을 감안할 때, CN기법에 의한 유출량 산정시 산림을 침엽수림과 활엽수림, 그리고 혼효림으로 구분하여 적용하는 것이 보다 합리적일 것으로 판단된다. 최적화된 논외의 CN값에 의한 피복특성을 살펴보면 배수상태가 불량한 이랑경작지의 등고선 경작과 가장 유사한 유출특성을 나타내었다. 박승우(1997)는 영농기간별 월별 논에 대한 CN값을 추정 한 연구를 수행한 결과, CN II의 범위가 73~84로 나타났으며, 본 연구결과와 논에서의 토양배수 A에서 D까지의 CN 값 범위내에 포함된다. 초지의 CN값에 의한 토지피복상태를 역추정한 결과 초지의 피도가 50~75% 정도의 배수상태가 적절한 유출특성을 나타내었으며 나지 역시 배수상태가 적절한 유출특성을 나타내었다. 5일 강우량에 따른 AMC 조건기준은 식물의 비성장기에 있어서는 기존의 값과 유사한 값을 나타내었으나, 식물의 성장기에 있어서는 5일 총 강우량이 22.4~39.7 mm사이에서 AMC II조건을 나타내어 미국에서 제시된 강우량보다 작은 강우량으로 토양의 함수 조건이 쉽게 젖은 상태로 변화됨을 알 수 있다.

총 6개의 유역을 대상으로 하여 낙동강 전체 유역을 대표할 수 있는 CN값 도출에는 여전히 유역의 개수에 한계점을 가지고 있다. 그러나 본 연구에서는 국가에서 제공하는 공식적인 유출량 측정 지점을 가능한 모두 활용하였으며, 연구지역으로 선택된 8개의 유역은 낙동강 유역의 주요한 지류를 포함하고 있다. 또한 유역개수의 한계점을 극복하기 위하여, 장기간에 대한 시간적인 검·보정을 실시하였으며, 미계측지역 유출량 산정에 대한 적용성 평가를

**Table 5.** Regionalized CN parameters for Nakdong river basin

	Land use	Optimized parameters	Hydrologic characteristics
Curve number	Residential area	A:89.1B:92.5C:94.4D:95.4	Average percent impervious area is 85%
	Other urban area	A:92.8B:94.9C:95.9D:96.5	Average percent impervious area is 92%
	Paddy field	A:69.1B:78.5C:85.8D:88.9	Row crops with contoured treatment and poor hydrologic condition
	Upland	A:69.1B:83.1C:90.6D:93.9	Row crops with straight row treatment and poor hydrologic condition
	Other crops area	A:69.0B:83.1C:90.6D:93.9	Row crops with straight row treatment and poor hydrologic condition
	Deciduous forest	A:36.9B:58.5C:67.5D:72.9	Woods with poor hydrologic condition
	Coniferous forest	A:45.1B:71.4C:82.4D:89.0	Woods with fair hydrologic condition
	Mixed forest	A:41.3B:65.4C:75.5D:81.5	Woods-grass combination with fair hydrologic condition
	Pasture	A:51.7B:72.8C:83.3D:88.6	Pasture, grassland, or range-continuous forage for grazing with fair hydrologic condition
	Open space	A:48.3B:65.0C:74.3D:78.0	Open space with fair condition (grass cover 50% to 75%)
5-day rainfall (mm)	Dormant season	<15.0	AMC I
		15.0~27.0	AMC II
		27.0<	AMC III
	Growing season	<22.4	AMC I
		22.4~39.7	AMC II
		39.7>	AMC III

위한 공간적 검증 영역의 지점선택에 있어서도 가급적 보정지역과 공간적으로 이질적인 영역을 선택하는데 주의 기울였다. 따라서 본 연구의 한계점과 이를 극복하기 위한 연구접근방법과 연구결과를 종합적으로 검토해 볼 때, 본 연구결과에서 도출된 토지이용별 토양배수별 CN값을 이용하여 낙동강 유역내에 위치한 미계측 유역에서의 유출량 예측시보다 신뢰성 있는 예측이 가능할 것으로 판단되며, 유출량 계측지역의 보정과정에 많은 시간과 노력을 단축시킬 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 보다 대표성 있는 CN 인자값 도출을 위해서 다양한 지역에 대한 신뢰성 높은 장기 유출량 모니터링 자료에 의한 CN값의 보완이 필요할 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 미계측 유역의 유출량 산정을 위해서 낙동강 유역을 대표할 수 있는 토지이용별 토양배수도별 CN값을 산정하기 위하여 L-THIA모델과 최적화 기법인 SCE-UA를 연계시켜 장기유출량에 적용하였다. 그 결과 주거지역과 상공업지역 등을 포함하는 도시지역의 경우 NRCS에서 추천하는 CN값의 범위에 비해 비교적 높게 나타났으며 이는 연구대상지역의 도시지역 불투수층 면적비율은 미국에 비해서 상대적으로 높기 때문인 것으로 나타났다. 최적화된 CN값을 이용하여 도시지역의 유출특성을 역추정한 결과 주거지역과 상공업지역은 불투수층 면적비율이 각각 85%와 92%인 곳에서의 유출특성을 나타내었다. 논, 밭의 경우 배수불량지역의 등고선 경작의 이랑경작지와의 유출특성을 나타내었다. 산림지역의 경우 활엽수림과 침엽수림, 그리고 혼효림의 CN값에 뚜렷한 차이를 나타내었으며, 활엽수림은 배수가 불량하지도 양호하지도 않은 평균상태의 산림특성을, 침엽수림은 배수상태가 불량한 산림의 유출특성을, 혼효림은 산림과 초지가 혼합된 지역의 유출특성을 나타내었다. 우리나라 토지이용특성상 산림지역이 높은 비율을 나타내는 것을 감안해 볼 때, CN기법 적용시 활엽수림과 침엽수림, 혼효림을 구분하여 CN값을 적용하는 것이 바람직한 것으로 나타났다. 침엽수림은 NRCS에서 추천한 범위의 상한값을 나타내었으며, 활엽수림은 하한값, 그리고 혼효림은 중간값을 나타내어 침엽수림이 활엽수림에 비해 상대적으로 높은 지표유출율을 나타내었으며 이는 나뭇잎에 의해 강우가 차단되는 양이 활엽수림이 침엽수림보다 많기 때문인 것으로 판단된다.

보정결과 모델효율의 범위는 0.66~0.86이며, 보정과정이 이루어진 유역에 대한 시간적 검증결과 모델효율은 0.68~0.91의 범위를 나타내었다. 산림이 차지하는 비율이 가장 낮은 WD#1에서 가장 높은 모델효율을 나타내었으며, 산림이 차지하는 비율이 가장 높은 WD#4에서 가장 낮은 모델효율을 나타내었으나, 산림이 차지하는 비율과 모델효율과의 뚜렷한 상관성은 나타나지 않았다. 미계측지역의 최적화된 CN값 적용성을 위하여 보정과정이 이루어지지 않은 두 개의 유역에 대한 공간적 보정결과 0.60과 0.85의 모델효

율을 나타내었다. 이는 한정된 유역개수에서 도출된 인자값이라는 한계점을 가지고 있으나, 낙동강 유역의 주요한 지류를 포함하고 있으며, 시간적 공간적 검증에 대한 높은 모델효율을 나타낸다는 점은 긍정적이다. 본 연구결과를 종합해 볼 때, 본 연구에서 도출된 CN값을 이용하여 낙동강 유역에서의 유출량 미계측 유역에 적용할 경우보다 신뢰성 있는 유출량 산정이 가능할 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

- 기상청(2007). [http://kma.go.kr/gw.jsp?to=/weather\\_main.jsp](http://kma.go.kr/gw.jsp?to=/weather_main.jsp).
- 김종건, 임경재, 박윤식, 허성구, 박준호, 안재훈, 김기성, 최중대(2007). 경사도에 따른 CN보정으로 L-THIA 직접유출모의 영향 평가. *학술발표회논문집, 한국수자원학회*, pp. 1558-1562.
- 박승우(1997). 논, 밭의 유출곡선변호의 추정과 그 적용에 관한 연구. 과학기술부 951-0601-002-2. 서울대학교.
- 오경두, 전병호, 양경규, 안원식, 조영호(2005). 도시유역 CN 산정연구. *한국수자원학회논문집*, **38**(12), pp. 1009-1020.
- Ajami, N. K., Gupta, H., Wagener, T., and Sorooshian, S. (2004). Calibration of a semi-distributed hydrologic model for streamflow estimation along a river system. *Journal of Hydrology*, **298**, pp. 112-135.
- Arnold, J. G. and Allen, P. M. (1999). Validation of Automated Methods for Estimating Baseflow and Groundwater Recharge from Stream Flow Records. *Journal of American Water Resources Association*, **35**(2), pp. 411-424.
- Cheng, C. T., Ou, C. P., and Chau, K. W. (2002). Combining a fuzzy optimal model with a genetic algorithm to solve multi-objective rainfall model calibration. *Journal of Hydrology*, **268**(1-4), pp. 72-86.
- Duan, Q., Gupta, V. K., and Sorooshian, S. (1993). A shuffled complex evolution approach for effective and efficient global minimization. *Journal of Optimization Theory Application*, **76**(3), pp. 501-521.
- Eckhardt, K. and Arnold, J. G. (2001). Automatic calibration of distributed catchment model. *Journal of Hydrology*, **251**, pp. 103-109.
- Eckhardt, K. (2005). How to Construct Recursive Digital Filters for Baseflow Separation. *Hydrological Processes*, **19**(2), pp. 507-515.
- Grunwald, S. and Norton, L. D. (2000). Calibration and validation of a non-point source pollution model. *Agricultural Water Management*, **45**(1), pp. 17-39.
- Jeon, J. H., Engel, B. A., Lim, K. J., and Yoon, C. G. (2007). Effect of land use type and hydrologic soil group on SCS CN uncertainty using Monte Carlo simulation. 7th International IWA Symposium on Systems Analysis and Integrated Assessment in Water Management, 7-9 May, 2007, Washington D.C., USA.
- Lim, K. J., Engel, B. A., Tang, Z., Choi, J., Kim, K., Muthukrishnan, S., and Tripathy, D. (2005). Automated Web GIS-based Hydrograph Analysis Tool, WHAT. *Journal of the American Water Resource Association*, **41**(6), pp. 1407-1416.
- Lim, K. J., Engel, B. A., Tang, Z., Muthukrishnan, S., Choi,

- J., and Kim, K. (2006). Effect of calibration on L-THIA GIS runoff and pollutant estimation. *Journal of Environmental Management*, **78**(1), pp. 35-43.
- Madsen, H. (2003). Parameter estimation in distributed hydrological catchment modeling using automatic calibration with multiple objectives. *Advances in Water Researches*, **26**, pp. 205-216.
- Mohammed, H., Yohannes, F., and Zeleke, G. (2004). Validation of agricultural non-point source (AGNPS) pollution model in Kori watershed, South Wollo, Ethiopia. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, **6**(2), pp. 97-109.
- Muleta, M. K. and Nicklow, J. W. (2005). Sensitivity and uncertainty analysis coupled with automatic calibration for a distributed watershed model. *Journal of Hydrology*, **306** (1-4), pp. 127-145.
- Nash, J. E. and Sutcliffe, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual model. Part 1: A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, **10**(3), pp. 282-290.
- Parajka, J., Merz, R., and Blöschl, G. (2005). A comparison of regionalization methods for catchment model parameters. *Hydrology and Earth System Science*, **9**, pp. 157-171.
- Shoemaker, L., Lahlou, M., Bryer, M., Kumar, D., and Kratt, K. (1997). *Compendium of tools for watershed assessment and TMDL development*, U.S. EPA, Office of Water Washinton, DC 20460, EPA841-B-97-006.
- Web GIS-based Hydrograph Analysis Tool (WHAT) (2007). <http://pasture.ecn.purdue.edu/~what>.