

도시유역 CN 산정 연구

Curve Number for Urbanized Areas

오 경 두* / 전 병 호** / 양 경 규*** / 안 원 식**** / 조 영 호*****

Oh, Kyoung Doo / Jun, Byong Ho / Yang, Gyoung Gyu / Ahn, Won Sik / Cho, Young Ho

Abstract

In this paper, impervious area ratios for 11 land cover types of Seoul city were estimated and corresponding CNs were calculated. And linear regression equations were derived to predict impervious area ratios based on five major urban land cover types including the residential, industrial, transportation, commercial, and commercial-residential mixed areas. From the comparative analysis of impervious area ratios for the US SCS CNs and the CNs derived in this study for Seoul city, it is revealed that residential areas show the biggest difference followed by industrial and commercial ones. And in turn, these increased impervious area ratios resulted in increased CNs for Seoul city including increases by 13 for residential, 12 for industrial and 5 for commercial areas. Therefore, it is suggested that applying the US SCS CNs to Korean urbanized areas may underestimate the flood runoff potential.

keywords : urbanization, impervious area, SCS CN, land cover, ecosystem, urban flooding

요 지

본 논문에서는 서울시를 대상으로 11개 토지이용 형태별 불투수면적 비율을 산정하고 이를 바탕으로 CN을 산정하였다. 또한 서울시 25개 구청별로 주택지역, 공업지역, 교통시설지역, 상업업무지역, 혼합지역 등 불투수면적 비율이 높은 5개 토지이용형태별로 불투수면적 비율을 검토하여 도시화에 따른 불투수면적 비율의 증가를 검토하고 이를 바탕으로 도시화율로부터 불투수면적 비율을 추정할 수 있는 회귀식을 도출하였다. 본 논문에서 검토한 결과 서울시 토지피복유형 중에서 미국과 비교했을 때 불투수율이 가장 크게 차이 나는 것은 주택지역이었으며, 다음으로 공업지역, 상업업무지역의 순으로 나타났다. 이에 따라 유출곡선지수(CN)는 미국에 비해 주택지역에서 최대 13, 공업지역에서 최대 12, 상업업무지역에서 최대 5까지 증가하는 것으로 분석되어 미국의 기준을 그대로 적용할 경우 국내 도시유역의 홍수유출량을 과소평가할 가능성이 있는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 도시화, 불투수면적, 유출곡선지수, 토지피복, 생태계, 도시홍수

* 육군사관학교 토목공학과 교수

Professor, Dept of Civil Engineering, Korea Military Academy, Seoul, 139-799, Korea
(e-mail: okd0629@kma.ac.kr)

** 육군사관학교 토목공학과 교수

Professor, Dept. of Civil Engineering, Korea Military Academy, Seoul, 139-799, Korea

*** 서울특별시 도시계획국 시설계획과 도시생태팀장

Deputy Director, Ecological Urban Planning Team, Facilities Planning Division, Seoul Metropolitan Government

**** 수원대학교 토목공학과 교수

Professor, Dept. of Civil Engineering, Suwon University, Kyonggido, Korea

***** 한국종합기술개발공사 수자원 본부장

Director, Water Resources Department, Korea Engineering Consultants Corp., Kyonggido, Korea

1. 서론

국내 도시유역의 집중호우로 인한 침수사고가 급증하고 있는 최근의 추세를 감안해 볼 때 이상호우에 가까운 기상의 변화에 대한 연구와 대비도 중요하겠지만 근본적으로 치수에 취약한 상태로 변해가고 있는 유역의 특성을 정확하게 분석하여 대비하는 것이 또한 중요하다. 그런데 치수적인 측면에서 도시화의 영향을 반영하는 중요한 요소들 중의 하나가 불투수면적이며, 이는 도시홍수수문해석이나 물수지해석 또는 수질오염의 분석 등에도 기본적으로 필요한 핵심적인 고려 사항이다.

도시화가 급속히 진행되면서 발생하는 불투수면적의 증가는 여러 가지 문제점을 발생시키는데 그 중에는 도시기후의 변화, 홍수량 및 홍수 발생 빈도의 증가, 지하수의 고갈과 도시하천의 건천화, 토양 생태계 파괴, 비점오염물질의 유출 증가에 따른 수질오염가중 등을 들 수 있다. 도시화로 인한 홍수량의 증가에 대한 여러 연구가 수행되었는 바, 유역면적의 50%가 도시화 될 경우 자연유역에 비하여 지체시간은 50% 정도 감소하고 첨두유량은 120%까지 증가하는 사례가 보고되기도 하였으며, 또 다른 연구에 의하면 도시화된 유역의 직접 유출고는 자연유역의 약 6배 정도 증가되고, 첨두유량은 5배까지 증가되며, 도시유역의 지하수 함양은 자연유역의 약 1/10 정도에 불과한 것으로 나타나 치수적으로 뿐만 아니라 생태적으로도 매우 취약하게 변해가는 것으로 보고되었다(이재철, 1996).

도시유역의 불투수면적 증가에 따른 수문학적 영향 방향을 반영할 수 있는 방법으로 SCS 유출곡선지수에 의한 유효우량산정방법이 있다. 특히, 호우로 인한 유출량 실측자료가 없는 미계측 유역의 경우 직접유출량의 결정이 불가능하므로 홍수에 직접 기여하는 유효우량을 결정할 수 없게 된다. 유출곡선지수법은 이와 같이 유출량 자료가 없더라도 유역의 수문학적 토양특성과 식생피복상태 등에 대한 자료만으로도 총우량으로부터 유효우량을 산정할 수 있도록 해줌으로써 주로 미계측 유역에 널리 적용되어 왔다(윤용남, 1998).

Pilgrim et al. (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.

유출곡선지수방법은 주로 농촌지역을 대상으로 개발

된 방법으로서 산악 지역 등 다른 지역에 대한 적용에는 주의가 필요한 것으로 알려져 있다(선우중호, 1983). 도시유역에 대해서도 미국 SCS에서 작성한 CN 표가 별도로 있어서 국내에서는 하천설계기준(한국수자원학회, 2000) 등에서 이를 그대로 적용하고 있으나 아직까지 국내 도시유역에 대한 적용성을 검증한 바가 없어 이에 대해 심도있게 검토할 필요가 있다고 보았으며, 특히 도시유역 CN 표를 작성하는데 기준이 된 미국의 도시 토지피복 특성과 국내 도시의 토지피복특성이 다를 수 있으므로 이에 대해 검토하여 국내 실정에 적합한 도시유역 CN 값을 설정할 필요가 있다고 보았다.

따라서 본 연구에서는 이를 위하여 불투수면적에 대한 자료가 가용한 서울시를 대상으로 토지피복특성을 검토하고 이에 따른 CN 값을 산정하였다. 본 논문은 1장의 서론에 이어, 2장의 SCS CN에 대한 이론적 배경, 3장의 서울시에 대한 불투수율과 CN 산정 및 분석, 4장의 결론 및 발전방향 등으로 구성되어 있다.

2. SCS CN의 이론적 배경

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). 유출곡선지수법은 국내에서 재해영향평가, 하천정비기본계획수립, 유역종합치수계획수립 등 치수관련 분야의 유효우량 산정을 위한 방법으로 정착되고 있으며, 또한 AGNPS, LTHIA-NPS 등 유역관리를 위한 비점오염물질 모의 프로그램에서 지표면유출 산정에도 쓰이고 있으며, 특히 GIS 기법의 발달과 수치지도자료의 확충에 따라 GIS 기반 유출곡선지수산정기법의 적용이 확산되고 있다.

2.1 SCS 유출곡선지수 방법

유역에 내린 강우량으로부터 유효우량을 산정하기 위한 SCS 유출곡선지수방법은 NEH-4 (US SCS,

1985)에 상세히 기술되어 있다. 직접유출량은 다음의 Eq. (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 보류(保留)할 수 있는 최대보류능력(mm)을 의미한다. 앞으로 본 절의 CN과 관련된 설명에서 단위는 특별한 언급이 없는 한 mm 단위이다.

초기손실에는 지표면 요면(凹面) 저류, 엽면 차단(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 초기손실과 유역의 최대잠재보류량과의 관계를 Eq. (2)와 같은 경험공식으로 제시하였다.

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

Eq. (2)를 Eq. (1)에 대입하여 I_a 를 제거하면 Eq. (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,

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

CN은 0에서 100 사이의 값을 갖게 되며(US SCS, 1986), CN이 0이라는 것은 개념적으로 유역의 보류능력이 무한대여서 모든 강우량이 유역내에 보류되어 직접유출이 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 엽면 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 Eq. (3)으로부터 유도된 Eq. (5)에 의하여 유역의 최대잠재보류량 S 를 구하고 이로부터 Eq. (6)에 의하여 CN을 산정할 수 있다(윤태훈, 1991; 임상준 등, 1997).

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

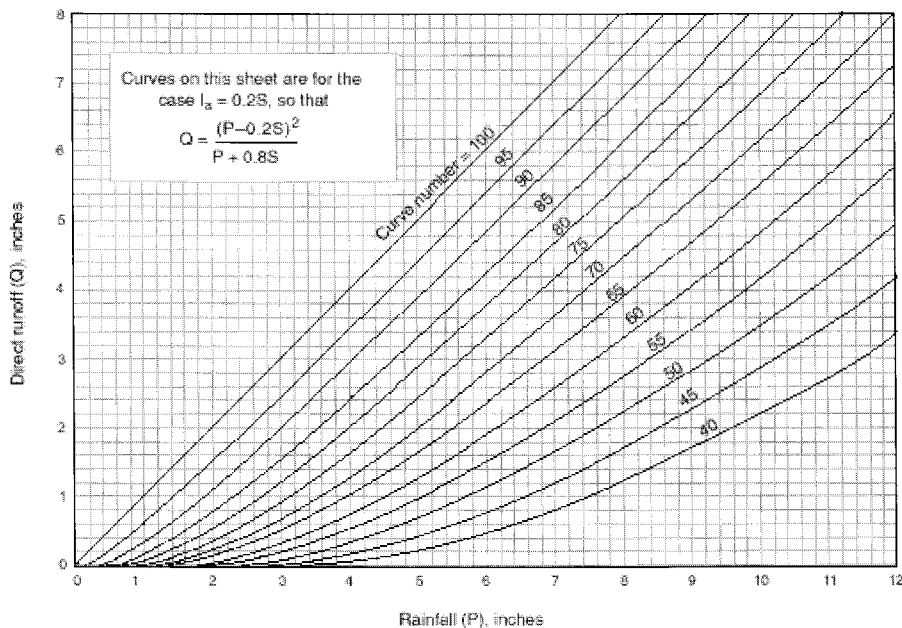


Fig. 1. Solution of runoff equation (US SCS TR-55, 1986)

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 선형함수조건 AMC를 적용한다 (SCS, 1986). AMC는 어느 한 유역의 CN이 호우사상마다 변화하는 것을 감안해주기 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).

2.2 미계측 도시유역 CN 산정

미국 SCS에서 제시한 미계측 유역에 대한 유출곡선지수를 산정하는 절차는 Fig. 2의 순서도에 나타난 바와 같다.

도시화된 유역의 경우 불투수지표면은 대부분 하수 또는 우수배제 시스템과 직접 연결되어 있으며, 불투수면적의 비율이 30%를 초과한다. 따라서 순서도에서 시작점을 거쳐 ①에 도달하게 된다. 다음 단계로 Table 1에 제시된 CN 표를 작성할 때 가정한 조건과 CN을 산정하고자 하는 유역에 대한 조건이 부합되는지를 판단하게 된다. 이때 주요 고려사항은 불투수면적이 차지하는 비율이다. 만일 CN을 구하고자하는 유역의 불투수

면적 비율이 Table 1에 제시된 조건과 다를 경우에는 Fig. 3 또는 Eq. (7)을 이용하여 별도로 합성 CN 값을 직접 산정하여야 한다.

Table 1은 도시유역의 상업지역과 공업지역에 대해서 불투수면적이 각각 85%와 72%로 가정하고 투수지역은 양호한 조건의 오픈스페이스(초지면적이 75% 이상)로 가정하여 CN 값을 작성한 것이다. 주거지역에 대해서는 대지면적을 기준으로 가장 면적이 작은 타운하우스(벽을 공유하는 다세대주택 형태)의 불투수면적비 65%부터 대지면적이 증가함에 따라 불투수면적이 12%까지 감소하는 것으로 보고 CN 값을 작성하였다. 주거지역의 경우도 역시 투수지역은 양호한 조건의 오픈스페이스로 가정하여 CN 값을 작성한 것이다. 각 경우 모두 불투수지역의 CN값은 98로 가정하였다.

$$CN_C = CN_P + \frac{P_{imp}}{100}(98 - CN_P) \quad (7)$$

여기서, CN_C 는 합성 CN 값이고, CN_P 는 투수지역(초지면적 75% 이상인 양호한 오픈스페이스)의 CN 값, P_{imp} 는 불투수면적의 비율(%)이다. 예를 들어 수문학적 토양군이 B인 위치에 상업지역이 있는데, 불투수면적이 Table 1의 기본 가정과 동일하게 85%라면 Table 1에서 CN 값을 바로 읽으면 92가 될 것이다(계산할 경

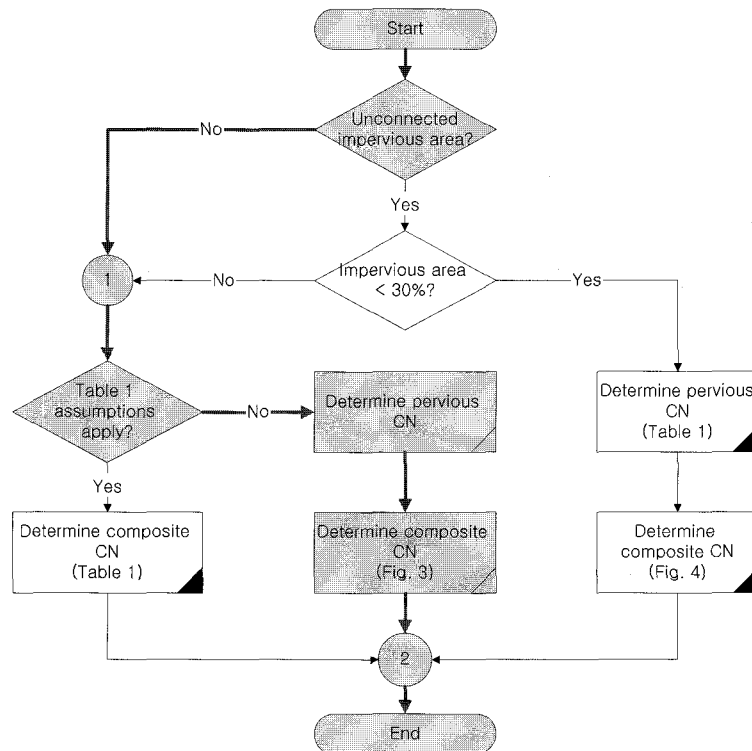


Fig. 2. Flow chart for determining runoff curve numbers (US SCS TR-55, 1986)

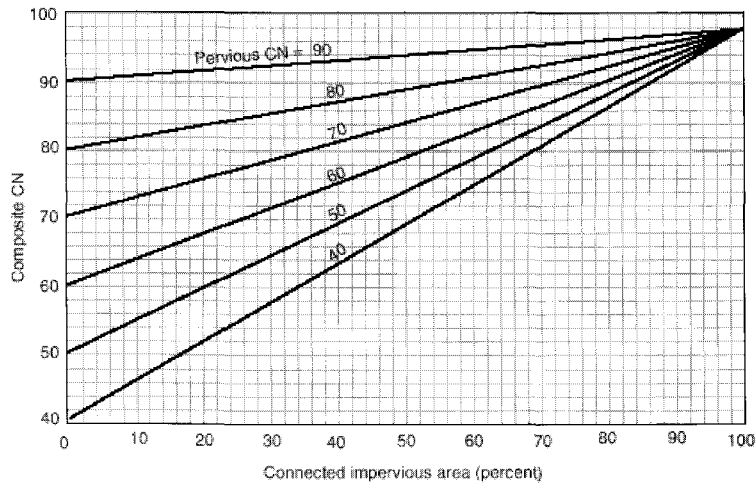


Fig. 3. Composite CN with connected impervious area (US SCS TR-55, 1986)

Table 1. Runoff curve numbers for urban areas (US SCS TR-55, 1986)

Cover description Cover type and hydrologic condition	Average percent impervious area	Curve numbers for hydrologic soil group			
		A	B	C	D
Fully developed urban areas (vegetation established)	● Open space(lawns, parks, golf courses, cemeteries, etc.):	-	-	-	-
	Poor condition(grass cover < 50%)	68	79	86	89
	Fair condition(grass cover 50% to 75%)	49	69	79	84
	Good condition(grass cover > 75%)	39	61	74	80
	● Impervious areas:	-	-	-	-
	Paved parking lots, roofs, driveways, etc. (excluding right-of-way)	98	98	98	98
	Streets and roads:	-	-	-	-
	Paved: curbs and storm sewers (excluding right-of-way)	98	98	98	98
	Paved: open ditches(including right-of-way)	83	89	92	93
	Gravel (including right-of-way)	76	85	89	91
	Dirt (including right-of-way)	72	82	87	89
	● Western desert urban areas:	-	-	-	-
	Natural desert landscaping(pervious areas only)	63	77	85	88
	Artificial desert landscaping(impervious weed barrier, desert shrub with 1- to 2-inch sand or gravel mulch and basin borders)	96	96	96	96
	● Urban districts:	-	-	-	-
	Commercial and business	85	89	92	95
	Industrial	72	81	88	93
	● Residential districts by average lot size:	-	-	-	-
	1/8 acre or less(town houses)	65	77	85	90
	1/4 acre	38	61	75	83
1/3 acre	30	57	72	81	
1/2 acre	25	54	70	80	
1 acre	20	51	68	79	
2 acres	12	46	65	77	
Developing urban areas	Newly graded areas(pervious areas only, no vegetation)	-	77	86	91
	Idle lands(CN's are determined using cover types similar to those in table 2-2c)	-	-	-	-

우라던 $CN_C = 61 + \frac{85}{100}(98 - 61) = 92$. 그러나 만일 불투수면적의 비율이 95%라면 $CN_C = 61 + \frac{95}{100}(98 - 61) = 96$ 이 되게 된다.

만일 CN을 구하고자하는 지역의 불투수지역들이 배수시스템에 직접 연결되지 않고 또 불투수면적의 비율이 30% 이하인 경우에는 Fig. 4 또는 Eq. (8)을 이용하여 별도로 합성 CN 값을 산정하여야 한다.

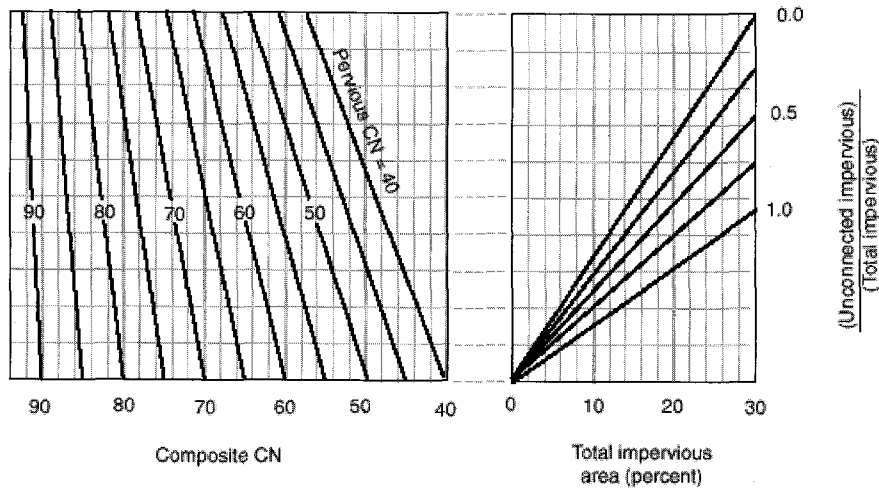


Fig. 4. Composite CN with unconnected impervious areas and total impervious area less than 30% (US SCS TR-55, 1986)

$$CN_C = CN_P + \frac{P_{imp}}{100} (98 - CN_P)(1 - 0.5R) \quad (8)$$

여기서, R 은 직접 배수시스템에 연결되지 않은 불투수면적과 전체 불투수면적의 비이다.

3. 적용 및 고찰: 서울시 CN 산정 사례 연구

3.1 도시 토지피복유형별 CN 산정

앞에서 살펴 본 바와 같이 미국 SCS의 도시유역에 대한 CN 산정에서 중요한 가정은 다음과 같이 두가지로 요약할 수 있다.

- (1) 도시유역 투수지역의 수문학적 조건은 75% 이상 초지로 피복된 양호한 오픈스페이스와 동일한 것으로 가정한다(즉, 수문학적 토양군이 A일 경우 CN은 39, B일 경우 61, C일 경우 74, D일 경우 80).
- (2) 도시유역의 불투수지역은 배수시스템과 직접 연결되어 있으며, CN 값은 98로 가정한다.

이와 같은 기본 가정하에서 미국 SCS는 도시유역의 주요 토지피복유형인 상업지역 85%, 공업지역 72%, 주거지역 12~65%의 불투수면적비율을 가정하여 CN 표를 작성한 것이다.

위의 투수지역과 불투수지역에 대한 기본가정 두가지는 우리나라의 도시유역에 대해서 적용하는데 무리가 없을 것으로 보인다. 그러나 전형적인 미국의 도시 토지피복유형(불투수면적비율)을 고려하여 제시된 CN 표를 우리나라에 그대로 적용하는 것은 무리이며, SCS TR-55에서도 도시 특성에 따라 해당 도시유역에 적합

한 CN 값을 산정하도록 하고 있다.

아직까지 우리나라 도시유역의 불투수면적에 대한 현장자료와 연구는 극히 제한적으로 이루어졌으나, 1999년에서 2000년까지 2년간 서울시에서 발주하여 서울시정개발연구원과 서울시립대 등 7개 기관이 공동으로 조사하여 작성한 '서울 2000 도시생태현황도'(서울시, 2000)가 불투수면적을 비롯한 식생정보 등 체계적이고 광범위한 도시생태정보를 제공하고 있다. 따라서 본 연구에서는 토지피복유형별로 불투수면적의 비율 산정이 가능한 서울시 전역에 대하여 Table 2와 같이 검토하여 그 결과를 정리하였으며, Table 3에 기존 미국 SCS의 CN 값과 비교하였다.

서울시의 도시화지역 면적은 60%이며, 이들 도시화지역의 평균 불투수면적비율은 79%로서 도시화지역의 평균 CN은 수문학적 토양군 A, B, C, D별로 각각 86, 90, 93, 94로 나타났다. 위에서 산정한 서울시 불투수면적비율 44%를 고려하여 서울시 전체지역에 대한 평균 CN을 추정하면 수문학적 토양군 A, B, C, D별로 각각 65, 77, 85, 88로 나타났다. 이것은 SCS CN 분류기준에 의하면 비교적 조밀한 주거지역의 CN과 비슷한 정도의 값이다.

서울시 공업지역은 건폐율에 의한 불투수율이 59%에 이르며, 비건폐불투수포장율도 33%로 매우 높게 나타나 총불투수토지면적의 비율은 92%에 이르러 서울시의 경우 기존에 미국에서 작성한 공업지역의 불투수율 72%보다 20%나 높은 불투수율을 보이고 있다. 공업지역의 92%에 이르는 높은 불투수율로 인하여 CN 값도 A, B, C, D 토양별로 93, 95, 96, 97로서 기존 미국 공업지역의 SCS CN 보다 각각 12, 7, 5, 4 만큼씩 증가하였다.

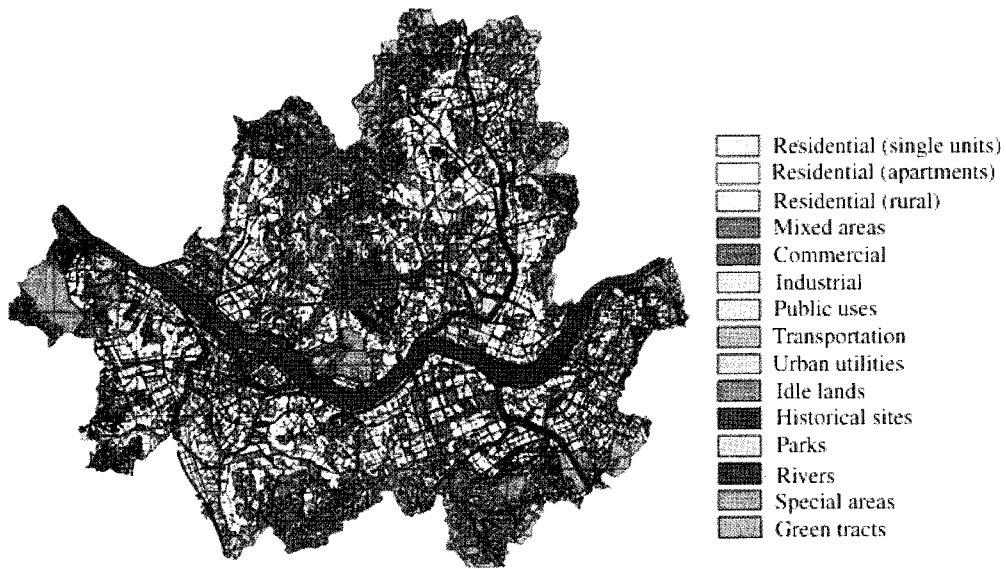


Fig. 5. Seoul metropolitan area landuse map (Seoul Metropolitan City, 2000)

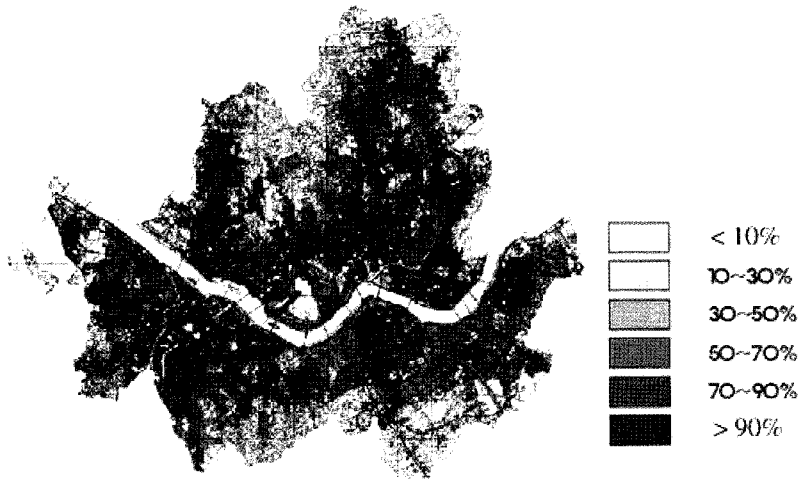


Fig. 6. Seoul metropolitan area impervious ratio map (Seoul Metropolitan City, 2000)

Table 2. Runoff curve numbers for Seoul city

Landuse type		Area (km ²)	Building coverage (BC) (%)	Non-BC imperviousness (%)	Pervious pavement (%)	Green tract (%)	Others (%)	Total imperviousness (%)	CN(AMC-II)			
									A	B	C	D
Urbanized area	Public uses	31.76	29	12	33	25	1	41	63	76	84	87
	Industrial	8.24	59	33	1	7	0	92	93	95	96	97
	Transportation	63.45	1	94	4	1	0	95	98	98	98	98
	Idle lands	14.17	2	7	7	1	83	9	77	86	91	94
	Urban utilities	8.00	21	28	5	40	6	49	68	79	86	89
	Commercial	34.33	59	34	1	6	0	93	94	95	96	97
	Residential	109.31	57	29	1	13	0	86	90	93	95	96
	Special areas	11.70	6	10	1	8	75	16	49	67	78	83
Mixed areas	83.17	67	26	0	7	0	93	94	95	96	97	
Sub total	-	364.13	36	43	6	10	5	79	86	90	93	94
Non-urbanized area	Green tract	210.42	0	2	1	97	0	2	30	55	70	77
	Water bodies	33.59	-	-	-	-	-	-	100	100	100	100
Sub total	-	244.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	-	608.14	20	24	4	49	3	44	65	77	85	88

Table 3. Comparison of runoff curve numbers for urban land covers

Landuse type		TR-55 CN (U.S.A.)					CN (Seoul, Korea)					Difference of CNs and Imperviousness(AMC-II)				
		Imperv. (%)	A	B	C	D	Imperv. (%)	A	B	C	D	Imperv. (%)	A	B	C	D
Urbanized area	Public uses	-	-	-	-	-	41	63	76	84	87	-	-	-	-	-
	Industrial	72	81	88	91	93	92	93	95	96	97	20	12	7	5	4
	Transportation	100	98	98	98	98	95	98	98	98	98	-5	0	0	0	0
	Idle lands	0	77	86	91	94	9	77	86	91	94	9	0	0	0	0
	Urban utilities	-	-	-	-	-	49	68	79	86	89	-	-	-	-	-
	Commercial	85	89	92	94	95	93	94	95	96	97	8	5	3	2	2
	Residential	12~65	77	85	90	92	86	90	93	95	96	21	13	8	5	4
	Special areas	-	-	-	-	-	16	49	67	78	83	-	-	-	-	-
	Mixed areas	-	-	-	-	-	93	94	95	96	97	-	-	-	-	-

교통시설지역에는 도로 뿐만 아니라 각종 주차장과 터미널, 공항 등을 포함하고 있으며 교통시설지역의 녹지비율은 1%로 나타났다. 교통시설지역의 불투수율은 비건폐불투수포장율이 거의 대부분을 차지하는 것으로 나타났다. 공항이나 주차장, 터미널 보다 도로가 더 일반적으로 나타나는 교통시설유형으로 보고 완전포장된 도로를 가정하여 토양형에 관계없이 98의 CN 값을 선정하였다.

상업업무지역은 서울시의 경우 기존에 미국에서 작성한 상업지역의 불투수율 85% 보다 8% 높은 93%의 높은 불투수율을 보이고 있다. 이에 따라 CN 값도 A, B, C, D 토양별로 94, 95, 96, 97로 기존 미국 상업지역의 SCS CN 보다 각각 5, 3, 2, 2 만큼씩 증가하였다.

주택지역은 건폐율에 의한 불투수율이 57%, 비건폐 불투수포장율 29%로 총불투수토지면적의 비율은 86%로서 미국의 주거지역 불투수면적비율 12~65% 보다 21% 이상 높게 나타나 본 논문에서 검토한 토지이용 유형 중에서 미국과 국내의 불투수면적비율 차이가 가장 크게 발생하는 토지이용형태로 분석되었다. 이에 따라 CN 값도 A, B, C, D 토양별로 기존 미국 주거지역의 SCS CN 보다 각각 13, 8, 5, 4 만큼씩 크게 증가하였다.

3.2 도시화에 따른 불투수율 변화

도시화가 진행되면 일반적으로 녹지의 면적이 감소하고 불투수율이 증가하는 것으로 알려져 있다. 도시화 정도에 따른 불투수율의 변화를 검토하기 위하여 서울시 도시생태현황도에서 서울시 지역을 25개 구청관할 구역으로 세분하여 Table 4와 같이 주택지, 상업지역, 교통지역, 상업지역, 혼합지역의 면적과 각 토지이용형태별 불투수율을 산정하고 이를 종합하여 도시화지역 점유율과 불투수율을 산정하였다.

Table 4에 나타난 바와 같이 각 구청의 관할구역에서 주택지역이 차지하는 평균 점유율은 19%이고, 주택지역의 평균 불투수면적 비율은 87%였다. 강동구, 서초구, 강남구, 종로구, 금천구 등의 지역이 70%대로 주택지역 불투수면적의 비율이 낮았고, 중랑구, 성동구, 광진구, 중구, 구로구 등의 주택지역 불투수면적 비율이 93% 이상으로 높게 나타났다.

공업지역은 금천구, 구로구, 성동구, 영등포구, 강서구, 마포구에 집중되어 있고 다른 지역에는 공업지역이 차지하는 비율은 1% 이내로 미미한 것으로 나타났다. 구청별 공업지역의 평균 점유율은 2% 정도였으며, 공업지역의 평균 불투수면적 비율은 84%였다. 강남구, 도봉구, 송파구 등의 지역 공업지역 불투수율이 70% 이내로 낮게 나타났고, 동대문구, 서대문구, 영등포구, 마포구 등의 공업지역 불투수면적 비율이 96% 이상으로 높게 나타났다.

교통시설지역이 각 구청의 관할구역에서 차지하는 평균 점유율은 11% 정도였고, 교통시설지역의 평균 불투수면적 비율은 89%였다. 강서구는 김포공항이 위치하고 있어서 교통시설이 차지하는 점유율이 21%로 가장 높고, 불투수면적 비율도 28%로 가장 낮게 나타났다. 이것은 공항 활주로 주변의 넓은 초지 때문으로 분석된다. 강북구, 광진구, 중구 등의 교통시설지역 불투수면적 비율이 99%로 높게 나타났다.

상업업무지역이 각 구청의 관할구역에서 차지하는 평균 점유율은 6% 정도였고, 상업업무지역의 평균 불투수면적 비율은 92%로 매우 높았으며 표준편차가 4.04%로 혼합지역의 3.66% 다음으로 작게 나타나 상업업무지역의 개발형태가 불투수면적 비율이 매우 높은 형태로 어느 지역이나 비슷한 유형으로 개발되고 있음을 알 수 있다. 중구는 관할면적의 1/3에 해당하는 33%가 상업업무지역으로서 가장 높은 상업업무지역 점유율

Table 4. Impervious area ratios for urban land cover types

District	Area (km ²)	Residential		Industrial		Transportation		Commercial		Mixed area		Urbanized area	
		Areal ratio(%)	Imperv. (%)	Areal ratio(%)	Imperv. (%)	Areal ratio(%)	Imperv. (%)	Areal ratio(%)	Imperv. (%)	Areal ratio(%)	Imperv. (%)	Areal ratio(%)	Imperv. (%)
Kangnam	39.18	18.52	77	0.21	20	12.22	95	12.26	94	11.38	92	54.59	88
Kangdong	24.43	19.70	74	0.24	87	11.34	93	5.51	95	12.41	95	49.20	86
Kangbuk	24.04	20.12	91	0.00	-	3.20	100	3.81	89	6.87	97	34.00	93
Kangseo	42.38	9.09	83	1.60	94	20.71	28	3.57	81	13.93	94	48.90	63
Kwanak	30.12	13.67	88	0.01	90	4.59	98	2.40	94	16.77	91	37.44	91
Kwangjin	18.24	13.42	94	0.22	66	9.63	99	3.98	96	24.48	98	51.73	97
Kuro	20.39	17.44	93	8.55	94	11.07	64	4.28	94	16.63	98	57.97	89
Kumchun	12.70	12.38	78	15.91	92	10.34	86	3.43	91	23.34	84	65.40	85
Nowon	35.98	18.62	83	0.30	88	7.64	83	1.93	89	6.66	90	35.15	85
Dobong	20.55	19.77	88	0.61	53	5.98	86	2.70	92	10.89	96	39.95	90
Dongdaemun	14.38	21.69	92	0.47	100	14.78	89	11.79	96	23.29	93	72.02	92
Dongjak	16.51	24.50	91	0.66	91	8.76	93	6.06	95	21.85	96	61.83	93
Mapo	22.97	19.28	88	1.16	96	12.80	94	3.41	91	15.53	90	52.18	90
Seodaemun	18.17	29.87	89	0.04	100	8.36	86	5.42	93	12.61	93	56.30	90
Seocho	47.23	13.49	75	0.48	82	8.32	98	3.40	92	9.36	86	35.05	85
Sungdong	16.60	17.60	94	7.89	89	14.37	92	7.54	97	10.35	95	57.75	93
Sungbuk	24.97	29.49	91	0.10	94	5.45	98	1.66	82	17.34	97	54.04	93
Songpa	33.36	21.88	80	0.09	67	13.91	97	6.92	92	8.96	88	51.76	88
Yangchun	17.31	24.88	83	0.71	95	13.28	94	3.02	93	24.38	93	66.27	89
Yungdungpo	24.67	14.32	90	3.92	97	15.81	94	13.50	95	10.51	92	58.06	93
Yongsan	21.82	20.09	87	0.00	-	13.57	81	6.25	93	8.25	94	48.16	87
Eunpyung	30.84	11.50	91	0.40	83	4.66	91	2.14	90	20.71	93	39.41	92
Chongno	23.13	14.22	77	0.00	-	5.66	98	9.10	97	12.03	93	41.01	89
Junggu	9.90	15.40	93	0.00	-	16.03	99	33.07	94	4.90	96	69.40	95
Jungrang	18.27	24.54	96	0.29	81	9.22	90	2.48	97	17.03	98	53.56	96
Average	608.14	18.62	87	1.75	84	10.47	89	6.39	92	14.42	93	51.65	89
Std. dev.	(sum)	5.36	6.59	3.73	18.88	4.33	14.91	6.47	4.04	5.95	3.66	10.96	6.42

을 나타냈으며, 영등포구, 강남구, 동대문구 등이 10% 이상의 높은 상업업무지역 점유율을 나타내었다. 반면에 성북구와 노원구는 2% 이내의 매우 낮은 상업업무지역 점유율을 나타냈다. 종로구, 중랑구, 성동구 등의 상업업무지역 불투수면적 비율이 97% 이상으로 높게 나타났고, 강서구, 성북구, 강북구의 상업업무지역 불투수면적 비율이 90% 이내로 비교적 낮게 나타났다.

혼합지역이 각 구청의 관할구역에서 차지하는 평균 점유율은 14% 정도였고, 혼합지역의 평균 불투수면적 비율은 93%로 토지이용유형중에서 가장 불투수면적 비율이 높았으며 표준편차가 3.66%로 가장 작게 나타나 혼합지역은 어느 구청 관할 구역이나 불투수면적 비율이 매우 높은 지역으로서 상업업무지역과 비슷한 성격을 나타내는 것으로 분석되었다. 광진구, 양천구, 금천구, 동대문구, 동작구, 은평구 등이 20% 이상의 높은 혼합지역 점유율을 나타내었다. 반면에 중구, 노원구, 강북구는 7% 이내의 낮은 혼합지역 점유율을 나타냈다. 광진구, 구로구, 중랑구, 강북구, 성북구 지역의 혼합지

역 불투수면적 비율이 97% 이상으로 높게 나타났고, 금천구, 서초구, 송파구 혼합지역 불투수면적 비율이 90% 이내로 비교적 낮게 나타났다.

각 구청관할구역별로 주택지역, 공업지역, 교통시설지역, 상업업무지역, 혼합지역을 모두 합한 면적을 도시화면적으로 보고, 이를 종합하여 분석한 결과 평균 도시화율은 52% 정도이고 불투수면적의 비율은 89%로 나타났다. 이것은 앞에서 분석한 Table 2의 도시화율 60%와 불투수면적비율 79%와 비교할 때 서울시의 도시화면적 비율은 8% 감소한 것이고 불투수면적비율은 10% 증가한 것이다. 이것은 비교적 불투수면적의 비율이 낮거나 일반적인 토지이용분류형태와 부합성이 낮은 공공용도지역, 나지, 도시부양시설지역, 특수지역 등을 제외하고 전형적인 도심의 불투수지역 특성을 잘 나타내는 주택지역, 공업지역, 교통시설지역, 상업업무지역, 혼합지역을 대상으로 분석했기 때문이다.

본 논문에서 서울시의 구청별로 분석된 토지이용형태와 불투수면적비율 관계를 회귀분석하여 도시화된 지

역의 불투수율을 추정하기 위한 회귀식을 Eq. (9)와 같이 도출하였으며, 이 회귀식의 통계적 특성은 Table 5에 제시하였다.

$$P_{imp} = 82.03 + 0.4303HA + 0.1869IA - 0.9610TA + 0.6679CA + 0.3302MA \quad (9)$$

여기서, P_{imp} 는 도시화된 지역(주택지역, 공업지역, 교통시설지역, 상업업무지역, 혼합지역)의 불투수면적 비율(%), HA는 주택지역의 점유비율(%), IA는 공업지역의 점유비율(%), TA는 교통시설지역의 점유비율(%), CA는 상업업무지역의 점유비율(%), MA는 혼합지역의 점유비율(%). 상업업무지역, 주택지역, 혼합지역, 공업지역의 점유율 순으로 불투수면적 비율에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났으며, 교통시설지역의 점유비율은 불투수면적 비율과 반비례관계를 나타내는 것으로 분석되었으며, 이 회귀식의 결정계수 R^2 는 0.58로 보통 정도로 나타났다. 교통시설의 경우 김포공항이 위치하고 있는 강서구의 경우 강서구 전체 면적에 대한 점유비율이 20.71%로 가장 높을 뿐만 아니라 불투수면적의 비율이 28%로 매우 낮아 회귀분석과정에 일종의 이상치(outlier)로 작용하고 있는 것으로 추정된다.

일반적으로 시가지지역으로 분류되는 주택지역, 공업

지역, 상업업무지역만을 대상으로 불투수면적비율 관계를 회귀분석하여 도시화된 지역의 불투수율을 추정하기 위한 회귀식을 Eq. (10)과 같이 도출하였으며, 이 회귀식의 통계적 특성은 Table 6에 제시하였다.

$$P_{imp} = 77.97 + 0.5079HA + 0.0934IA + 0.2743CA \quad (10)$$

주택지역, 상업업무지역, 공업지역의 점유율 순으로 불투수면적 비율에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났으며, 이 회귀식의 결정계수 R^2 는 0.21로 낮게 나타났다.

시가지지역으로 분류되는 주택지역, 공업지역, 상업업무지역의 각 유형별 점유비율을 무시하고 이들 지역을 통합한 점유율을 이용하여 도시화된 지역의 불투수율을 추정하기 위한 회귀식을 Eq. (11)과 같이 도출하였으며, 이 회귀식의 통계적 특성은 Table 7에 제시하였다.

$$P_{imp} = 83.24 + 0.1181UA(I) \quad (11)$$

여기서, UA(I)은 주택지역, 공업지역, 교통지역, 상업지역, 혼합지역을 합한 도시화지역의 점유비율(%). 이 회귀식의 결정계수 R^2 는 0.04로 매우 낮게 나타나고 있다.

Table 5. Summary statistics of linear regression between impervious area ratio and five land cover types

Item	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)	Statistics
Intercept	82.03	5.2041	15.7631	0.0000	$R^2 = 0.58$ F = 5.30 p = 0.0032
Residential	0.4303	0.1893	2.2733	0.0348	
Industrial	0.1869	0.2827	0.6613	0.5163	
Transportation	-0.9610	0.2548	-3.7703	0.0013	
Commercial	0.6679	0.1785	3.7427	0.0014	
Mixed areas	0.3302	0.1773	1.8623	0.0781	

Table 6. Summary statistics of linear regression between impervious area ratio and three land cover types

Item	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)	Statistics
Intercept	77.97	5.2933	14.7294	0.0000	$R^2 = 0.21$ F = 1.90 p = 0.1605
Residential	0.5079	0.2456	2.0682	0.0512	
Industrial	0.0934	0.3515	0.2656	0.7931	
Commercial	0.2743	0.1950	1.4062	0.1743	

Table 7. Summary statistics of linear regression between impervious area ratio and urbanized area ratio

Item	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)	Statistics
Intercept	83.24	6.3139	13.1839	0.0000	$R^2 = 0.04$ F = 0.97 p = 0.3342
Urbanized area(I)*	0.1181	0.1197	0.9864	0.3342	

* Urbanized area(I) includes residential, industrial, transportation, commercial, and mixed areas

Table 8. Summary statistics of linear regression between impervious area ratio (I) and urbanized area ratio (II)

Item	Value	Std. Error	t value	Pr(> t)	Statistics
Intercept	2.05	2.3150	0.8834	0.3862	$R^2 = 0.95$ $F = 479.60$ $p = 1.11e-16$
Urbanized area(II)*	0.8475	0.0387	21.8996	0.0000	

* Urbanized area(II) includes public uses, idle lands, urban utilities, special areas in addition to the landuse types of urbanized area(I)

본 연구에서는 서울시 도시생태현황도에서 분류한 도시화지역 외에도 별도로 불투수율이 높은 주택지역, 공업지역, 교통지역, 상업지역, 혼합지역을 대상으로 별도의 도시화지역을 정의하여 불투수면적 비율을 분석하였다. 서울시 도시생태현황도에서 분류한 도시화지역을 도시화지역(I)로 정의하였고, 본 연구에서 정의한 도시화지역을 도시화지역(II)로 명명하였으며, 이들 관계를 추정할 수 있도록 회귀식을 Eq. (12)와 같이 도출하였고, 이 회귀식의 통계적 특성은 Table 8에 제시하였다.

$$UA(I) = 2.05 + 0.8475 UA(II) \quad (12)$$

여기서, UA(I)은 주택지역, 공업지역, 교통지역, 상업지역, 혼합지역을 합한 면적의 비율(%)이고, UA(II)는 UA(I)에 공공용도지, 나지, 도시부양시설지역, 특수지역을 합한 면적의 비율(%)이다. Table 8에서 공공용도지, 나지, 도시부양시설지역, 특수지역을 합한 면적의 비율은 도시화지역(II) 면적의 약 15% 이내임을 알 수 있다.

4. 결론 및 발전방향

본 논문에서는 서울시를 대상으로 도시화지역 9개, 비도시화지역 2개 등 11개 토지이용 형태별 불투수면적 비율을 산정하고 이를 바탕으로 CN을 산정하였다. 또한 서울시 25개 구청별로 주택지역, 공업지역, 교통시설지역, 상업업무지역, 혼합지역 등 불투수면적 비율이 높은 5개 토지이용형태별로 불투수면적 비율을 검토하여 도시화에 따른 불투수면적 비율의 증가를 검토하고 이를 바탕으로 도시화율로부터 불투수면적 비율을 추정할 수 있는 회귀식을 도출하였다. 본 연구에서 검토한 결과 서울시 도시지역 토지피복유형 중에서 미국과 비교했을 때 불투수율이 가장 크게 차이나는 것은 주택지역으로 그 차이가 21% 이상으로 평가되었으며, 다음으로 공업지역의 불투수율이 미국 보다 20% 정도 높은 것으로 나타났고 상업업무지역도 미국 보다 8% 정도 높은 불투수율을 보이고 있다. 이에 따라 유출곡선지수(CN)는 AMC-II 기준으로 미국에 비해 주택지역에서 최대

13, 공업지역에서 최대 12, 상업업무지역에서 최대 5까지 증가하는 것으로 분석되어 미국의 기준을 그대로 적용할 경우 도시유역의 홍수유출량을 과소평가할 가능성이 있는 것으로 나타났다.

그리고 서울시의 25개 구청별로 분석된 5가지 도시화된 토지이용형태와 불투수면적비율 관계를 회귀분석한 결과 상업업무지역, 주택지역, 혼합지역, 공업지역의 점유율 순으로 불투수면적 비율에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났다. 교통지역은 미국 SCS에서 불투수율이 100%인 것으로 가정하였으나 국내 교통시설로 분류된 시설은 불투수율이 95% 정도로서 도로 뿐만 아니라 공항과 철도 및 부대시설 등을 포함하고 있으며, 특히 김포공항이 서울시 교통시설에서 차지하는 비중이 매우 높은 것으로 나타났다.

도시화율의 증가와 이에 따른 불투수율의 증가는 도시홍수의 심화와 도시하천의 건천화, 도시생태계의 변화, 도시기온상승과 기상변화 등 그 영향이 광범위하고 심대하나 아직까지 국내 도시를 대상으로 한 도시화율과 불투수율에 대한 체계적인 연구가 매우 미흡한 것이 사실이다. 앞으로 서울시뿐만 아니라 다른 주요 도시들에 대해서도 주기적으로 체계적인 연구가 이루어져야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부/한국건설교통기술평가원의 도시홍수재해관리기술연구사업단의 2003년도 건설핵심기술연구개발사업(FFC03-02 도시 배수계통의 설계기술 개발)의 연구지원에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

- 서울시(2000). 서울2000 도시생태현황도(CD-ROM).
 서울시. 도시계획국 시설관리과, 주요업무소개, 도시생태현황도(웹문서).
<http://www.child.seoul.kr/org/organ/subhomepage/urban/info/urban>

- introduction/equipment_plan/040414/2007%2C28920%2C0%2C0%2C0.html.
- 선우중호 (1983). 수문학. 동명사.
- 오경두 (2004). 도시 배수계통의 설계기술 개발 : 불투수면적을 고려한 도시유역 CN 산정 연구, 건설교통부/한국건설교통기술평가원 건설핵심기술연구개발사업FFC03-02, 도시홍수재해관리기술연구사업단.
- 윤용남 (1998). 공업수문학. 청문각.
- 윤탤훈 (1991). “유효우량산정을 위한 곡선번호방법의 적용성.” *한국수문학회지*, 제24권, 제2호, pp. 97-108.
- 이재철 (1996). “단지개발과 수환경.” *도시수문 및 우수관리 기술 세미나 논문집*, 한국토지공사, 한국수자원학회.
- 임상준, 박승우 (1997). “논의 유출곡선번호 추정.” *한국수자원학회논문집*, 제30권, 제4호, pp. 379-387.
- 조홍제, 김정식 (1997). “TIN을 이용한 SCS법에 의한 유효강우량 산정에 관한 연구.” *한국수자원학회논문집*, 제30권, 제4호, pp. 357-366.
- 한국수자원학회(2000). *하천설계기준*.
- 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:05-99/접수:2005.07.14/심사완료:2005.10.13)