



A new classification rule of hydrological soil groups of Jeju Island: Application to representative basins and evaluation of previous studies

Kang, Minseok^a · Lee, Youngju^b · Park, Changyeol^c · Yoo, Chulsang^{a*}

^aSchool of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University

^bDepartment of Water Resources, Korea Engineering Consultants Corp.

^cDepartment of Environmental and Urban Planning, Jeju Research Institute

Paper number: 18-094

Received: 16 October 2018; Revised: 15 November 2018; Accepted: 15 November 2018

Abstract

This study evaluates the applicability of the classification rule of hydrological soil group proposed by Lee et al. (2018) with its application to three river basins (Jungmuncheon, Cheonmicheon, and Hancheon) in Jeju Island. The CN values are estimated as results of this application to these three basins, which is then compared with those estimated by applying the conventional three methods. Additionally, previous studies related with the classification of soil groups of Jesu Island, such as the infiltration and rainfall-runoff analysis, are reviewed to evaluate how the resulting hydrological soil groups vary depending on the adopted classification method.. Summarizing the results is as follows. (1) Comparison result of the hydrological soil groups of Jeju Island with respect to the classification method shows that the soil group B is dominant in the application of Lee et al. (2018). However, it is hydrological soil groups C and D in the application of Hu and Jung (1987), hydrological soil groups A and C in the application of Jung et al. (1995), and hydrological soil group D in the application of RDA (2007). (2) In all the applications of Lee et al. (2018) to three selected river basins in Jeju Island, the CN value are found to be smaller than those by other conventional three methods.. Lastly, (3) The evaluation results of previous studies related with the classification of hydrological soil groups analysis in Jeju Island shows that the CN value in the Jeju Island may be smaller than those estimated by conventional three methods, also the initial loss higher than 0.2S.

Keywords: Jeju Island, Soil series, Hydrologic soil group, Runoff curve number

제주도의 새로운 수문학적 토양군 분류 방법: 대표 유역에 대한 적용 및 기존연구 평가

강민석^a · 이영주^b · 박창열^c · 유철상^{a*}

^a고려대학교 공과대학 건축사회환경공학부, ^b(주)한국종합기술 수자원부, ^c제주연구원 환경도시연구부

요 지

본 연구에서는 Lee et al.(2018)의 연구에서 제시한 새로운 수문학적 토양군 분류 방법을 제주도의 3개의 하천유역(중문천, 천미천, 한천)에 적용하고 그 적용성을 평가하였다. 적용의 결과로서 이들 세 유역의 CN 값이 산정되었으며, 이 값은 기존의 세 가지 방법론을 적용한 결과와 비교하였다. 또한 제주도에서의 침투, 강우-유출 해석 등에 사용되는 수문학적 토양군 분류와 관련된 선행 연구들을 검토하여 선택된 방법론에 따라 수문학적 토양군 분류 결과가 어떻게 다른지를 평가하였다. 그 결과를 정리하면 다음과 같다. (1) 수문학적 토양군 분류 방법에 따른 제주도 대표 유역의 수문학적 토양군 분류 결과를 비교한 결과, Lee et al.(2018)의 토양군 분류 방법을 적용하는 경우에는 B군이 크게 나타났다. 이는 Hu and Jung(1987)의 분류 방법을 적용하는 경우에는 C군과 D군이, Jung et al.(1995)의 분류 방법을 적용하는 경우에서 A군과 C군, 마지막으로 RDA(2007)의 분류 방법을 적용하는 경우에는 D군이 상대적으로 크게 나타나는 결과와 비교된다. (2) Lee et al.(2018)의 수문학적 토양군 분류 방법을 제주도의 3개 대표 유역에 적용한 결과, 3개 유역 모두 기존 방법에 비해 가장 작은 CN 값이 추정되었다. 마지막으로 (3) 제주도에서의 강우-유출과 관련된 연구를 검토한 결과, 제주도 유역의 CN 값은 기존 방법에 의해 추정된 것에 비해 작을 가능성이 크고, 또한 초기 손실은 0.2S 이상의 큰 값을 가질 것으로 판단되었다.

핵심용어: 제주도, 토양통, 수문학적 토양군, 유출곡선지수

*Corresponding Author. Tel: +82-2-3290-3321

E-mail: envchul@korea.ac.kr (C. Yoo)

1. 서론

Lee *et al.* (2018)은 최근의 토양통 개정 결과를 반영하여 제주도의 새로운 수문학적 토양군 분류 방법을 제시하였다. 이 연구에서는 또한 제주도 전체를 대상으로 새로 제안한 수문학적 토양군 분류 방법과 기존의 수문학적 토양군 방법들 (Hu and Jung, 1987; Jung *et al.*, 1995; RDA, 2007)을 적용하여 제주도 전체 유역을 대상으로 CN 값을 산정하고 그 결과를 비교하였다. 그 결과 Hu and Jung (1987)의 분류 결과를 적용한 경우의 CN 값이 80으로 가장 높게 나타났으며, Jung *et al.* (1995), RDA (2007)의 분류 결과를 적용한 경우에는 CN 값이 각각 73, 77로 나타났다. Lee *et al.* (2018)이 새로 제시한 분류 결과를 적용한 경우의 CN 값은 67로 기존의 방법들에 비해 가장 작게 나타났다. 이러한 결과는 기존의 수문학적 토양군 분류 결과를 적용하여 제주도의 유출 해석을 수행하는 경우 CN 값이 과대 추정될 우려가 있음을 보여준다. 물론 이러한 결론은 최근의 토양통 개정 결과가 기존 것에 비해 정확하다는 전제에 따른 것이다.

수문학적 토양군 분류는 기본적으로 지면에서의 침투능을 판단하는데 중요하다. 강우-유출 해석을 수행하는 경우에는 총강우에서 침투량을 뺀 유효강우를 산정하는데 필요한 과정이기도 하다. 유역단위의 침투량 산정결과의 정확성도 관측된 총강우량과 총유출량의 차이를 통해서 판단 가능하므로 결과적으로 강우-유출 해석을 수반하게 된다. 익히 알려진 것과 같이 강우-유출 과정은 유역 내 다양한 과정들로 구성된다. 수문학적 토양군 분류 과정은 이러한 여러 과정들 중의 하나이다. 통상 토양은 그 침투능을 기준으로 4개의 토양군(A, B, C, D)으로 분류한다(NRCS, 1972). A가 침투능이 가장 좋은 것이며 D의 경우가 가장 나쁜 경우이다. 4개 수문학적 토양군 각각의 차이는 A와 B의 경우에는 CN 값으로 약 10% 이상의 차이에 해당하고, B와 C는 약 5%, C와 D는 약 3% 정도의 차이에 해당한다. CN 값의 차이는 유효우량 산정결과에 직접적으로 관여하므로 강우-유출 해석 결과에 절대적인 영향력을 미친다고 할 수 있다.

기존의 수문학적 토양군 분류 방법을 제주도 전체에 적용할 경우 CN 값이 73에서 80까지 계산되는 것으로 나타난다. 이러한 차이는 물론 유역 단위로 평가할 경우 더 커질 수 있다. 만일 강우-유출 해석에서 과대 추정된 CN 값을 사용하게 되면 결과적으로 유효우량이 커지게 되므로 초기손실을 크게 하지 않는 한 관측 유량 자료에 맞출 수 없다. 만일 과소 추정된 CN 값을 사용한다면 유효우량이 작아지므로 초기손실을 작게 하거나 또는 유역의 저류상수나 집중시간 등을 조절하여 맞추어야 한다. 결국 잘못 산정된 CN 값으로 인해 강우-유출

해석의 다른 부분이 왜곡되는 결과를 초래하는 것이다. 이러한 문제점은 기존의 관련 연구를 검토함으로써 확인할 수 있다. 각 연구들에서는 가용한 가장 최근의 수문학적 토양군 분류 기준을 가장 신뢰할 만한 것으로 판단할 수밖에 없으므로 강우-유출 해석 결과는 사용한 분류 기준의 문제점을 담게 되는 것이다. 특히, 동일한 유역을 대상으로 한 강우-유출 해석에 대해 다른 분류 기준을 적용하는 경우 각 분류 방법의 문제점을 파악할 수 있으며, 추가로 적정할 수준의 CN 값 및 초기손실의 규모 등도 추정 가능할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 Lee *et al.* (2018)의 연구에서 제시한 새로운 수문학적 토양군 분류 방법의 적용성을 평가하고자 한다. 이를 위해 새로운 수문학적 토양군 분류 방법과 기존의 수문학적 토양군 방법들을 적용하여 제주도 3개 대표유역에 대한 CN 값을 산정하고 그 결과를 비교·평가하고자 한다. 마지막으로 제주도에서의 강우-유출 해석과 관련된 선행 연구들에서 어떻게 CN 값이 추정되었는지를 조사하여 최종적으로 제주도에 적절한 수문학적 토양군 분류 기준이 무엇인지를 제시해 보고자 한다.

2. 대상 유역

본 연구에서는 수문학적 토양군의 분류 차이의 영향을 정량적으로 비교하기 위해 중문천 유역, 천미천 유역, 한천 유역을 대표 유역으로 선정하였다. 먼저, 중문천 유역은 제주도 남부 서귀포 지역에 위치하고 있으며, 유역면적은 17.29 km²이다. 중문천은 노로오름에서 발원하여 녹하지악을 거쳐 대포리 해안으로 유출되는 지방하천이다. 중문천은 제주도에 존재하는 143개소 하천 중 강우의 영향 없이도 유출량이 발생하는 9개의 상시하천 중 하나이다. 유로연장은 12.89 km이며, 하상경사는 1/9 - 1/48로 비교적 급경사를 이루고 있다 (Jeju Special Self Governing Province, 2012). 중문천이 위치한 서귀포 지역은 제주도 남부 지역에서 인구밀도가 가장 높으며 지표수 이용이 미비한 이수특성을 가지고 있고 간헐적으로 표면을 가장 많이 이용하는 지역이다 (Yang, 2018).

천미천 유역은 제주도 남동부에 위치하고 있으며, 유역면적은 86.56 km²이다. 천미천은 한라산에서 발원하여 진평천으로 합류한 후, 남제주군 표선면과 성산읍 음면경계를 나누면서 바다로 유출되는 지방하천이다 (MOLIT, 1991). 천미천은 제주도 내 하천 가운데 가장 큰 하천으로, 유로연장은 25.00 km이며, 하상경사는 1/60 - 1/120로 완만한 경사를 이루고 있다. 천미천 유역은 하천연변에 중소규모의 농경지 및 과수원이 형성되어 있으며, 전반적으로 목장지의 비율이 높은 지역이다.

마지막으로, 한천 유역은 제주도 북부지역 제주시 도심지에 위치하고 있으며, 유역면적은 34.26 km²이다. 한천은 한라산 고지에서 발원하여 용담동 해안으로 유출되며, 서쪽에 인접해 있는 토전을 제외하면 지류의 유입이 거의 없다. 한천은 집중호우 시에만 홍수유출이 발생하고, 평상시에는 건천인 상태를 유지하고 있다. 한천의 유로연장은 20.18 km이며, 하천 유역의 폭은 1.75 km로 유로연장에 비해 매우 작은 특성을 보인다(Yang *et al.*, 2017). 한천유역의 하류부에는 시가지가 발달되어 있고 중류부에는 농경지 및 경작지가 형성되어 있으며 상류부는 산림으로 구성되어 있다(Yang, 2013). 다음 Fig. 1은 중문천 유역, 천미천 유역, 한천 유역 위치를 나타낸다.

3. 대상 유역에 대한 수문학적 토양군 분류 및 CN 값 산정

3.1 수문학적 토양군 분류

본 연구에서는 과거 제시된 3가지 수문학적 토양군 분류 방법과 최근 Lee *et al.* (2018)에 의해 제시된 수문학적 토양군 분류 방법을 적용하여 대상 유역에 대한 수문학적 분류 결과를 검토하였다. 그 결과는 Fig. 2와 같으며, Table 1은 그 결과를 정리한 것이다.

먼저, 중문천 유역의 경우, Hu and Jung (1987)의 분류 방법을 적용하는 경우, 수문학적 토양군별 면적비율은 A가 0.0%, B는 37.6%, C는 60.1%, D는 2.3%로 나타났다. Jung *et al.* (1995)의 분류 방법을 적용하는 경우에는 특히 C가 45.2%로 줄고 반대로 A가 40.7%, B는 12.7%로 증가하는 결과를 가져온다. RDA (2007)의 분류 방법을 적용하는 경우에는 A와 B 모두 줄어 다시 C가 74.1% 크게 증가하는 결과를 보인다. 마지막으로 Lee *et al.* (2018)의 분류 방법을 적용하는 경우 A가

12.3%, B는 87.7%, C는 0.0%, D는 0.0%로 앞의 3 방법과는 확연히 다른 분류 결과를 가져온다. 특히 앞선 3가지 방법과는 크게 다르게 토양군 B의 비중이 85% 이상으로 크다는 점이 매우 특이하다.

청미천 유역의 경우, Hu and Jung (1987)의 분류 방법을 적용하는 경우, 수문학적 토양군별 면적비율은 A가 2.6%, B는 12.0%, C는 85.1%, D는 0.3%로 C의 비중이 확연히 큰 것으로 나타난다. 그러나 Jung *et al.* (1995)의 분류 방법을 적용하는 경우에는 A와 B가 증가하고 반대로 C는 30% 정도 감소한 것으로 나타난다. RDA (2007)의 분류 방법을 적용하는 경우에는 C가 14.3%로 크게 감소하고 반대로 A가 25.7%로, D가 53.9%로 크게 증가하는 결과를 나타낸다. 앞의 두 방법에서 D로 분류되는 비율이 매우 작은 것을 고려하면 이 경우에 D의 비중이 50% 이상이라는 것은 매우 이례적이다. 마지막으로 Lee *et al.* (2018)의 분류 방법을 적용하면 A가 20.0%, B는 79.9%, C는 0.1%, D는 0.0%로 B의 비중이 대부분으로 나타난다.

마지막으로 한천 유역의 경우, Hu and Jung (1987)의 분류 방법을 적용하는 경우, 수문학적 토양군별 면적비율은 A가 2.0%, B는 29.5%, C는 48.3%, D는 20.2%로 나타났다. Jung *et al.* (1995)의 분류 방법을 적용하는 경우에는 A가 29.8%, B는 15.0%, C는 53.4%, D는 1.8%로 C의 비중이 크다. RDA (2007)의 분류 방법을 적용하는 경우에는 A가 25.4%, B는 0.8%, C는 48.0%, D는 25.8%로 C의 비중이 크고 D의 비중도 크다. 마지막으로 Lee *et al.* (2018)의 분류 방법을 적용하는 경우에는 A가 17.8%, B는 82.0%, C는 0.2%, D는 0.0%로 B의 비중이 압도적인 것으로 나타났다.

이상의 결과를 비교해 보면 현재까지 제안된 수문학적 토양군 분류 방법의 특성 및 문제점을 동시에 파악할 수 있다. 먼저, Hu and Jung (1987)의 분류 방법은 수문학적 토양군 C의 비중을 가장 크게 제시하는 경향이 있다. 이러한 경향은 Jung *et al.* (1995)에서 다소 완화되고 있으며 특히 A의 비중을 크게 제시하고 있다. 그러나 RDA (2007)에서는 다시 수문학적 토양군 C의 비중이 크게 나타나고 있으며 D의 비중이 크게 나타나기도 한다. 마지막으로 Lee *et al.* (2018)의 분류 방법을 적용한 경우에는 다른 방법에 비해 수문학적 토양군 B의 비중이 월등히 크게 나타나는 경향이 있다.

그러나 방법론에 따른 이러한 특성의 차이는 오히려 문제점이라고 보는 것이 타당할 것이다. 제안된 방법론에 따라 수문학적 토양군 변화가 너무 커서 분류 방법 자체가 적절하게 개발된 것인지를 판단하기 어렵게 만든다. 새로 제안되는 방법론이 과거의 것을 개선한 형태인지 아니면 완전히 다른 시도인지를 판단하기도 어렵다. 가장 최근에 제시된 Lee *et al.* (2018)의 경우에도 최근의 토양통 조사 결과를 반영했다고는

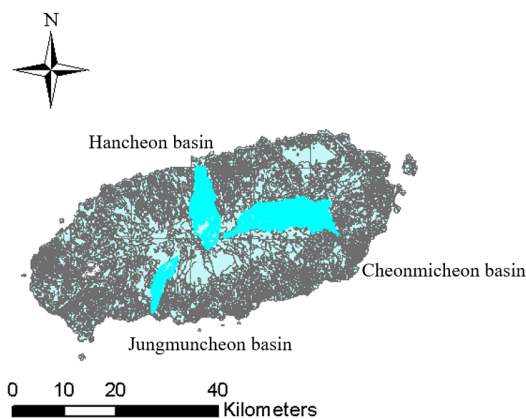


Fig. 1. Location of study area in Jeju Island

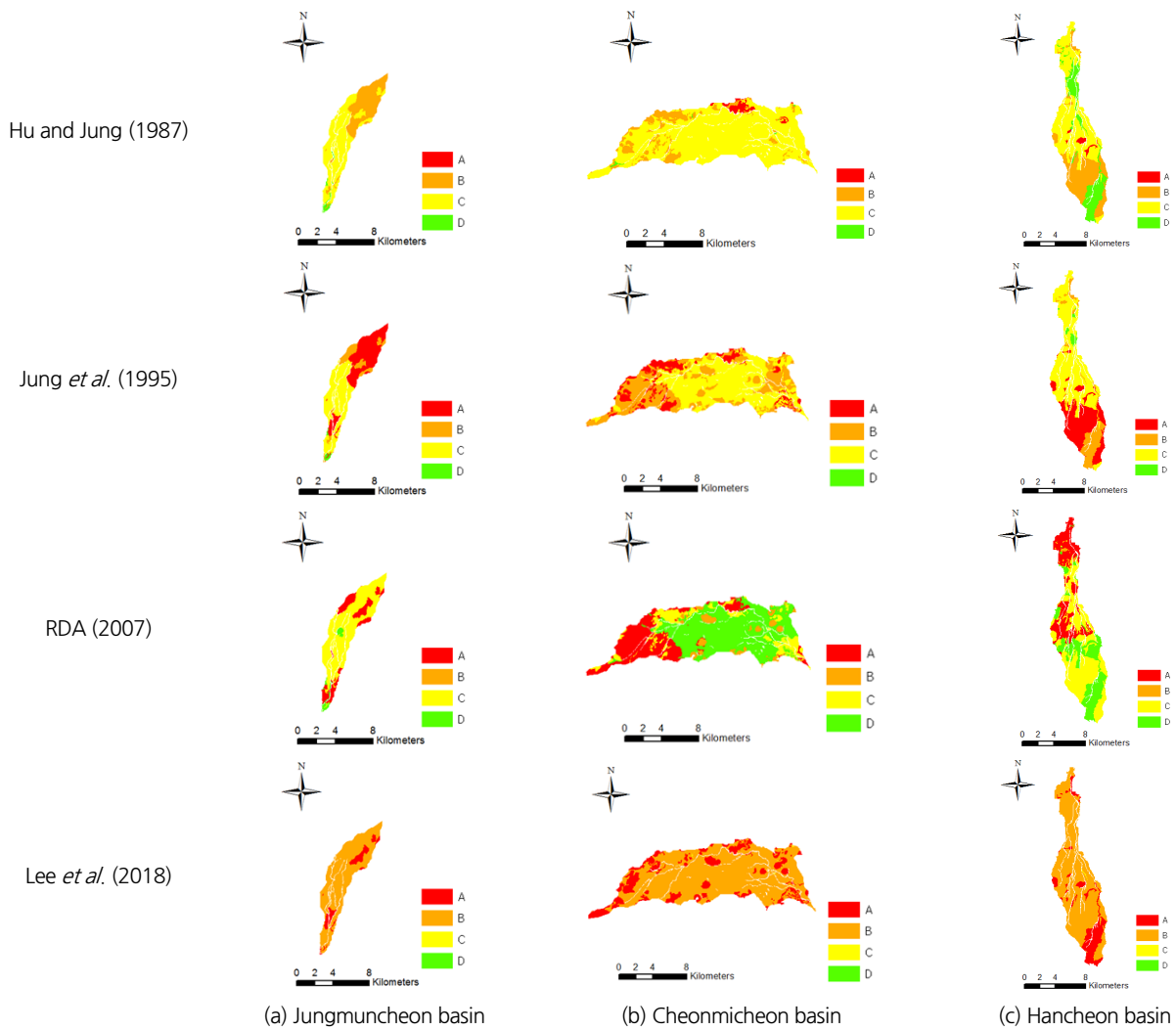


Fig. 2. Classification result of hydrological soil group in study area

Table 1. Ratios of area of hydrological soil groups in representative basin depending on the classification rules

representative basin	Hydrologic soil group	Hu and Jung (1987)	Jung <i>et al.</i> (1995)	RDA (2007)	Lee <i>et al.</i> (2018)
Jungmuncheon	A	0.0%	40.7%	21.8%	12.3%
	B	37.6%	12.7%	0.0%	87.7%
	C	60.1%	45.2%	74.1%	0.0%
	D	2.3%	1.4%	4.1%	0.0%
Cheonmicheon	A	2.6%	13.6%	25.7%	20.0%
	B	12.0%	34.5%	6.1%	79.9%
	C	85.1%	51.9%	14.3%	0.1%
	D	0.3%	0.0%	53.9%	0.0%
Hancheon	A	2.0%	29.8%	25.4%	17.8%
	B	29.5%	15.0%	0.8%	82.0%
	C	48.3%	53.4%	48.0%	0.2%
	D	20.2%	1.8%	25.8%	0.0%

하나 가장 최근의 RDA (2007)을 개선한 것이 아닌, 그에 앞선 Jung *et al.* (1995)를 개선한 형태이다. 물론 Lee *et al.* (2018)의 방법론이 앞서 제안된 다른 방법론에 비해 신뢰도가 높다고 판단할 명확한 근거도 없다. 다만 과거 제주도 유역의 강우-유출 해석에서 드러난 문제점을, 예를 들어, CN 값의 과대 추정 문제를 어느 정도 해소하는 결과를 보여줄 것으로 기대된다.

3.2 각 유역별 CN 값 산정 결과 비교

다음 Table 2는 수문학적 토양군 분류 방법에 따른 중문천 유역의 CN 값 산정 결과를 정리한 것이다. 수문학적 토양군 분류 방법에 따른 중문천 유역의 CN 값 산정 결과, Hu and Jung (1987)의 분류 방법을 적용하는 경우에는 76, Jung *et al.* (1995)의 분류 방법을 적용하는 경우에는 65, RDA (2007)의 분류 방법을 적용하는 경우에는 74, Lee *et al.* (2018)의 분류 방법

Table 2. CN value depending on hydrological soil group classification method in Jungmuncheon basin

Land use type	Hydrological soil group	CN	Ratio of area (%)				Total
			Hu and Jung (1987)	Jung <i>et al.</i> (1995)	RDA (2007)	Lee <i>et al.</i> (2018)	
Water	A	100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B		0.00	0.00	0.00	0.00	
	C		0.00	0.00	0.00	0.00	
	D		0.00	0.00	0.00	0.00	
	Determined CN		0	0	0	0	
Urban	A	79	0.00	0.08	0.50	0.08	2.00
	B	86	0.17	0.11	0.00	1.93	
	C	90	1.69	1.70	1.35	0.00	
	D	92	0.13	0.12	0.15	0.00	
	Determined CN		90	89	87	86	
Bareland	A	77	0.00	0.00	0.06	0.00	0.15
	B	86	0.00	0.00	0.00	0.15	
	C	91	0.14	0.15	0.08	0.00	
	D	94	0.01	0.01	0.01	0.00	
	Determined CN		91	91	86	86	
Wetland	A	98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B		0.00	0.00	0.00	0.00	
	C		0.00	0.00	0.00	0.00	
	D		0.00	0.00	0.00	0.00	
	Determined CN		0	0	0	0	
Grassland	A	50	0.00	0.35	0.39	0.40	6.39
	B	69	0.24	0.26	0.00	5.99	
	C	79	5.49	5.35	4.70	0.00	
	D	84	0.66	0.44	1.29	0.00	
	Determined CN		79	77	78	68	
Forest	A	47	0.00	38.76	15.36	10.33	80.21
	B	68	36.02	11.67	0.00	69.88	
	C	79	43.97	29.74	63.82	0.00	
	D	86	0.22	0.03	1.03	0.00	
	Determined CN		74	62	73	65	
Rice paddy	A	78	0.00	0.03	0.11	0.03	0.16
	B		0.02	0.00	0.00	0.13	
	C		0.14	0.13	0.05	0.00	
	D		0.00	0.00	0.00	0.00	
	Determined CN		78	78	78	78	
Upland field	A	64	0.00	1.43	5.36	1.50	11.09
	B	75	1.12	0.63	0.00	9.58	
	C	82	8.64	8.19	4.14	0.00	
	D	86	1.33	0.83	1.58	0.00	
	Determined CN		82	80	74	74	
Overall CN			76	65	74	67	100

을 적용한 경우에는 67로 나타났다. Jung *et al.* (1995)의 분류 방법을 적용한 경우와 Lee *et al.* (2018)의 분류 방법을 적용한 경우의 CN 값이 유사하게 나타났으며, Hu and Jung (1987)의 분류 방법을 적용한 경우와 RDA (2007)의 분류 방법을 적용하는 경우가 유사하게 나타났다. 이러한 결과는 특히 산림 지역에서의 CN 값 변화의 영향이 크다. 중문천 지역의 토지이용

별 면적을 살펴보면 산림이 80.21%로 대부분을 차지하고 있다. 유역의 산림지역의 수문학적 토양군 분류 결과를 살펴보면 Hu and Jung (1987)의 분류 방법을 적용하는 경우에는 B군(36.02%)과 C군(43.97%)에 대부분 포함되어있으며, RDA (2007)의 분류 방법을 적용하는 경우에는 C군(63.82%)에 대부분 포함되어있다. 반면에 Jung *et al.* (1995)의 분류 방법을

적용하는 경우에는 A군(38.76%)에 포함된 면적이 가장 크고, Lee *et al.* (2018)의 분류 방법을 적용한 경우에는 B군(69.88%)에 포함된 면적이 가장 크다. 또한, 중문천 유역에 대하여 CN 값의 변화에 기여하는 산림의 영향을 분석한 결과, Lee *et al.* (2018)의 분류 방법을 기준으로 비교하면 평균 78% 정도 영향을 미치는 것으로 나타났다. 즉, 수문학적 토양군 분류 방법에

따른 중문천 유역의 CN 산정 결과가 차이가 나타나는 가장 큰 이유는 산림지역의 수문학적 토양군 분류 결과 차이 때문이다.

천미천 유역의 경우에도 수문학적 토양군 분류 방법에 따른 CN 값 산정 결과의 차이는 산림지역의 수문학적 토양군 분류 결과 차이인 것으로 나타난다(Table 3). 천미천 유역의 산림 비율은 75.46%로 유역의 대부분을 차지하고 있다. 산림지역

Table 3. CN value depending on hydrological soil group classification method in Cheonmicheon basin

Land use type	Hydrological soil group	CN	Ratio of area (%)				Total
			Hu and Jung (1987)	Jung <i>et al.</i> (1995)	RDA (2007)	Lee <i>et al.</i> (2018)	
Water	A	100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
	B		0.00	0.00	0.00	0.01	
	C		0.01	0.01	0.00	0.00	
	D		0.00	0.00	0.01	0.00	
	Determined CN		100	100	100	100	
Urban	A	79	0.01	0.05	0.07	0.10	1.65
	B	86	0.06	0.55	0.05	1.55	
	C	90	1.58	1.04	0.31	0.01	
	D	92	0.01	0.00	1.22	0.00	
	Determined CN		90	88	91	86	
Bareland	A	77	0.00	0.00	0.00	0.03	0.19
	B	86	0.00	0.04	0.03	0.16	
	C	91	0.19	0.15	0.02	0.00	
	D	94	0.00	0.00	0.14	0.00	
	Determined CN		91	90	92	84	
Wetland	A	98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B		0.00	0.00	0.00	0.00	
	C		0.00	0.00	0.00	0.00	
	D		0.00	0.00	0.00	0.00	
	Determined CN		0	0	0	0	
Grassland	A	50	0.15	0.53	0.32	0.88	7.38
	B	69	0.41	1.35	0.40	6.49	
	C	79	6.81	5.51	0.83	0.01	
	D	84	0.01	0.00	5.83	0.00	
	Determined CN		78	75	81	67	
Forest	A	47	2.20	12.18	24.65	17.27	75.46
	B	68	10.75	28.84	4.85	58.13	
	C	79	62.25	34.44	10.40	0.06	
	D	86	0.26	0.00	35.55	0.00	
	Determined CN		77	70	71	63	
Rice paddy	A	78	0.00	0.01	0.01	0.01	0.06
	B		0.00	0.01	0.00	0.05	
	C		0.06	0.04	0.02	0.00	
	D		0.00	0.00	0.03	0.00	
	Determined CN		78	78	78	78	
Upland field	A	64	0.30	0.87	0.63	1.67	15.26
	B	75	0.76	3.70	0.81	13.54	
	C	82	14.15	10.69	2.72	0.05	
	D	86	0.05	0.00	11.10	0.00	
	Determined CN		81	79	84	74	
Overall CN			78	72	74	66	100

의 수문학적 토양군 분류 결과를 살펴보면, Hu and Jung (1987)의 분류 방법을 적용하는 경우에는 C군(62.25%)이 대부분인 것으로 나타나고, Lee *et al.* (2018)의 분류 방법을 적용한 경우에는 B군(58.13%)에 대부분이 포함되는 것으로 나타난다. Jung *et al.* (1995)의 분류 방법을 적용하는 경우에는 B군(28.84%)과 C군(34.44%)이 비슷하게 나타나고, 마지막으로

RDA (2007)의 분류 방법을 적용하는 경우에는 A군(24.65%)과 D군(35.55%)이 유사하게 나타난다. 천미천 유역에 대하여 CN 값의 변화에 기여하는 산림의 영향을 분석한 결과, Lee *et al.* (2018)의 분류 방법을 기준으로 비교하면 평균 63% 정도 영향을 미치는 것으로 나타났다. 결과적으로 천미천 유역의 CN 값 산정 결과는, Hu and Jung (1987)의 분류 방법을 적용하

Table 4. CN value depending on hydrological soil group classification method in Hancheon basin

Land use type	Hydrological soil group	CN	Ratio of area (%)				Total
			Hu and Jung (1987)	Jung <i>et al.</i> (1995)	RDA (2007)	Lee <i>et al.</i> (2018)	
Water	A	100	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B		0.00	0.00	0.00	0.00	
	C		0.00	0.00	0.00	0.00	
	D		0.00	0.00	0.00	0.00	
	Determined CN	0	0	0	0		
Urban	A	79	0.02	0.09	6.34	1.06	7.44
	B	86	1.05	1.16	0.14	6.37	
	C	90	5.55	5.87	0.79	0.02	
	D	92	0.83	0.33	0.18	0.00	
	Determined CN	90	89	81	85		
Bareland	A	77	0.00	0.01	0.14	0.06	0.17
	B	86	0.05	0.05	0.00	0.11	
	C	91	0.09	0.09	0.03	0.00	
	D	94	0.03	0.02	0.00	0.00	
	Determined CN	90	89	80	83		
Wetland	A	98	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	B		0.00	0.00	0.00	0.00	
	C		0.00	0.00	0.00	0.00	
	D		0.00	0.00	0.00	0.00	
	Determined CN	0	0	0	0		
Grassland	A	50	1.07	1.82	7.80	2.20	19.67
	B	69	0.98	0.82	0.15	17.40	
	C	79	15.26	16.77	8.67	0.07	
	D	84	2.35	0.26	3.04	0.00	
	Determined CN	78	76	68	67		
Forest	A	47	0.74	27.04	2.69	12.87	52.79
	B	68	26.31	11.39	0.04	39.92	
	C	79	13.94	14.26	30.19	0.00	
	D	86	11.80	0.10	19.87	0.00	
	Determined CN	75	60	80	63		
Rice paddy	A	78	0.00	0.00	0.14	0.01	0.31
	B		0.01	0.01	0.00	0.30	
	C		0.19	0.24	0.16	0.00	
	D		0.11	0.06	0.01	0.00	
	Determined CN	78	78	78	78		
Upland field	A	64	0.14	0.83	8.27	1.59	19.62
	B	75	1.09	1.59	0.53	17.91	
	C	82	13.33	16.21	8.15	0.12	
	D	86	5.06	0.99	2.67	0.00	
	Determined CN	83	81	75	74		
Overall CN			78	70	77	68	100

는 경우에는 78, Jung *et al.* (1995)의 분류 방법을 적용하는 경우에는 72, RDA (2007)의 분류 방법을 적용하는 경우에는 74, Lee *et al.* (2018)의 분류 방법을 적용한 경우에는 66으로 나타났다. Lee *et al.* (2018)의 분류 방법을 적용한 경우에 CN 값이 가장 작게 나타났으며, Hu and Jung (1987)의 분류 방법을 적용한 경우 CN 값이 가장 크게 나타났다.

한천 유역의 경우에도 전체적인 경향은 비슷하다(Table 4). 한천 유역의 CN 값 산정 결과를 보면, Hu and Jung (1987)의 분류 방법을 적용하는 경우에는 78, Jung *et al.* (1995)의 분류 방법을 적용하는 경우에는 70, RDA (2007)의 분류 방법을 적용하는 경우에는 77, Lee *et al.* (2018)을 적용하여 재분류한 경우에는 68로 나타났다. 한천 유역의 경우 산림의 비율이 52.79%로 다른 유역에 비해 낮고, 초지(19.67%), 밭(19.62%)의 비율이 상대적으로 높게 나타나기는 했지만 그 영향은 산림에 비해 크지 않은 것으로 나타났다. 한천 유역에 대하여 CN 값의 변화에 기여하는 산림의 영향을 분석한 결과, Lee *et al.* (2018)의 분류 방법을 기준으로 비교하면 평균 45% 정도 영향을 미치는 것으로 나타났다.

4. 관련 연구 검토 및 시사점

4.1 관련 연구 내용 요약

제주도 지역에서의 강우-유출 해석 사례가 아주 많지는 않다. 제주도의 수자원 정책은 주로 지하수 이용 중심의 이수기능에 치중해왔으며(Yang, 2007), 홍수유출을 고려한 연구는 매우 드문 실정이다. 제주도 지역에서의 최초의 강우-유출 관련 연구는 Jung and Yang (2008)의 연구인 것으로 보이며, 이후 Seok (2009), Ha *et al.* (2009), Jung (2013), Jung *et al.* (2014), Ko (2015), Yang *et al.* (2017) 등이 제주도의 특정 유역을 대상으로 강우-유출 해석을 수행하였다. 이 중 Jung (2013), Jung *et al.* (2014), Ko (2015), Yang *et al.* (2017) 등은 같은 유역에 대해 수행한 것이다.

본 연구에서는 이들의 연구에서 CN 값이 어떻게 결정되었는지를 조사하고 평가하였다. 이들의 연구에서도 물론 개략 또는 정밀 토양도가 사용되었고, 아울러 적절한 방법을 적용하여 수문학적 토양군으로 분류하였다. 기본적으로 이들의 연구는 관측 유출 자료와 모의된 유출 자료와의 차이를 가장 작게 하는 목표를 가지고 있으므로, 당연히 유효우량의 산정이 중요한 역할을 하게 된다. 이를 위해서는 물론 CN 값이 적절히 결정되어야 한다. 본 장에서는 제주도의 강우-유출 해석에 있어 어떤 방식으로 토양도가 이용되었는지를 검토해 보고자 한다.

먼저, Seok (2009)은 서귀포 지역의 지하수 함양 특성을 조사하고, 함양 특성에 따른 지하수 유동 특성을 분석하였다. 구체적으로 2000년부터 2008년까지 10년간의 강우량 중 최고치 강우량이 발생한 2003년도 강우 조건을 최다강우년, 최저치 강우량이 발생한 2005년 강우 조건을 최빈강우년, 년 평균 강우량과 가장 가까운 2002년 강우량 조건을 평년강우조건으로 가정하여 강우 조건에 따른 지하수 함양량 특성을 분석하였다. 지하수 함양량을 추정하기 위해 물수지 분석법과 SCS-CN 방법을 적용하였다.

SCS-CN 방법의 적용을 통해 침투량을 계산하기 위해서는 CN 값과 초기손실량을 결정하는 것이 중요하다. Seok (2009)의 연구에서는 초기손실량을 일반적으로 적용하는 0.2S로 가정하였다. 수문학적 토양군 분류 방법으로는 Jung *et al.* (1995)의 수문학적 토양군 분류 방법을 적용하였다. RDA (2007)이 가용함에도 Jung *et al.* (1995)의 분류 방법을 적용한 이유는 최종적으로 추정되는 CN 값이 작기 때문인 것으로 추측된다. 사실 이 연구는 강우-유출 해석이 아니므로 직접유출이 언제 시작되는지(또는 유효우량이 언제 발생하기 시작하는지)는 주요 관심사는 아니었을 것이다. 따라서 초기손실량을 단순히 0.2S로 결정하는 것은 이해가 된다. 그러나 침투량 또는 유효우량의 총량이 초기손실량과 CN 값 모두에 영향을 받으므로 두 인자의 적절성을 판단하는 것은 불가능한 문제로 남는다. 결과적으로 보면 서귀포 지역의 평균 CN 값은 52.4로 산정되었고 초기손실량은 0.2S로 가정되었으며 이에 따라 계산된 침투량은 물수지 방법에 비해 약간(2~3%) 작은 것으로 나타났다.

Ha *et al.* (2009)은 제주도의 토지이용 변화에 대한 직접유출량의 변화를 알아보기 위하여 SCS-CN 방법을 적용하였다. 토지이용 변화 분석을 위해 1975년부터 2000년까지 5년 주기의 위성 영상으로부터 추출된 토지 이용자료를 분석하였다. CN 값을 산정하기 위해서는 RDA (2007)의 수문학적 토양군 분류 방법을 적용하였고, 초기손실량은 0.2S를 적용하였다. 이 연구의 경우에는 관측자료를 재현하는 것이 목적이 아니었으므로 가용한 가장 최근의 기준인 RDA (2007)의 분류 방법을 적용한 것으로 판단된다.

연구결과에서 보면 도시화 및 지역 개발 등에 의한 산림 지역의 면적 감소와 시가지 지역 및 농지 지역의 면적 증가에 따라 제주도의 평균 CN 값은 1975년부터 2000년까지 5년 단위로 65.3, 65.7, 66.7, 67.7, 68.1, 69.6으로 꾸준히 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 변화의 결과로 1975년도의 직접유출률은 15.1%에서 2000년도 직접유출률이 17.7%로 증가하였다.

Jung (2013)은 한천 유역과 외도천 유역을 대상으로 현장 유량관측을 실시하여 유출특성을 도출하고, 관측자료에 기반한 강우량, 유역의 손실, 유역주적 매개변수, 단위도법 매개

변수 등 제주도의 수문특성을 반영한 매개변수를 도출하여 홍수유출량을 산정하였다. 아울러 현장 관측자료를 이용하여 홍수유출량 산정결과를 검증하고, 기존 제주도 하천정비 기본계획의 산정방법과 비교하여 제주도에 적합한 홍수유출량 산정방법을 제시하였다.

Jung (2013)은 유효우량을 산정하기 위해서 RDA (2007)의 수문학적 토양군 분류 방법을 적용하였다. 그 결과 한천유역의 경우, 배수가 불량한 C군(50.81%)이 가장 크게 나타났으며, A군이 32.88%, B군이 14.75%, D군이 1.56%로 나타났다. 외도천 유역의 경우, 배수가 매우 양호한 A군(39.47%)이 가장 크게 나타났으며, B군이 23.10%, C군이 31.80%, D군이 5.63%로 나타났다. Jung (2013)은 또한 한라산 백록담을 중심으로 남·북사면으로 발달해 있어 경사가 급한 제주도의 지형적 특성을 고려하기 위해 지형 경사를 고려하여 소유역을 구분하고 5% 이상의 경사지역에 대하여 CN 값을 보정(증가)하였다. Jung (2013)은 경사지역에 대하여 CN 값을 보정하기 위해 Sharpley and Williams (1990)에 의해서 개발된 식을 적용하였다. 그 결과는 다음 Table 5와 같다.

Jung (2013)의 연구에서는 추가로 2008년부터 2012년까지 제주도의 관측자료를 이용하여 초기손실의 규모를 변화시켜가며 산정한 유효우량의 총합을 관측자료와 비교 평가하였다. 그 결과 한천 유역의 경우는 적절한 초기손실 규모가 0.40S~0.45S로 나타났으며, 외도천 유역의 경우는 0.35S~0.40S로 나타났다. 참고로, 설계홍수량 산정요령(MOLIT, 2012)에서도 제주도와 같은 특수한 지형에서는 초기손실을 기존 0.2S에서 대폭 상향조정(0.4S 이상)하는 방법을 추천하고 있다.

그러나 이상의 결과는 CN 값의 산정이 적절하다는 가정을 전제로 하고 있다. 즉, RDA (2007)의 수문학적 토양군 분류 결과가 적절하다는 가정에 근거하고 있는데, 여기에는 의문의 여지가 크다. RDA (2007)의 수문학적 토양군 분류 기준을 적용할 경우 CN 값이 과대 산정될 우려가 있으므로, 이 경우에 유효우량의 규모를 줄일 수 있는 유일한 방법은 초기손실량을 키우는 방법뿐이다. 이전의 연구에서는 CN 값이 작게 산정되었고 따라서 초기손실을 0.2S로 가정해도 큰 문제가 없었던 것과 같은 이유이기도 하다. 결과적으로 Jung (2013)의 연구

는 CN 값이 과대 산정되어 초기손실량을 키울 수밖에 없음을 제시해 주고 있다고 판단할 수 있다.

Jung *et al.* (2014)은 HEC-HMS 모형을 이용하여 홍수유출량을 산정하기 위해 필요한 도달시간과 저류상수에 대한 민감도분석을 수행하였다. 이를 통해 제주도 하천에 적절한 매개변수의 경험식을 도출하였다. 이 연구에서는 유역의 초기손실 및 CN 값을 산정하기 위해 기존 연구(Jung, 2013) 결과를 이용하였다. 즉, RDA (2007)의 수문학적 토양군 분류 방법을 적용하여 CN 값을 산정하였으며, 초기손실은 $I_a = 0.45$ 로 가정하였다. 추가로 Jung *et al.* (2014)은 장기간의 무강우 상태에 대해서도 CN-II를 적용하였으며, AMC-III 조건 이상의 선형 강우가 발생한 경우에는 CN-II와 CN-III의 평균인 CN-55를 적용하였다.

이러한 결과를 종합해 보면, 먼저, Jung (2013)의 연구결과를 적용하는 경우에도 여전히 CN 값이 크게 산정되는 문제를 해소하지 못하고 있음을 파악할 수 있다. 즉, Jung (2013)의 연구결과에서 도출한 결과는 실제 강우-유출 해석에 적용하는데 문제가 있었다는 것을 의미한다. 이를 보완하기 위해 두 가지 방법을 추가하고 있는데, 이 방법들이 시사하는 바가 크다. 먼저, CN-I을 사용할 상황에서도 CN-II를 사용하였다. 이는 AMC-I의 상황에서 침투량이 과도하게 발생한다는 것을 의미한다. 이는 무엇보다도 초기손실을 0.4S로 가정한 것이 과도할 수 있다는 것을 의미하는 결과이기도 하다. 두 번째는 CN-III를 사용할 상황에서 CN-55를 사용한다는 점이다. 이는 AMC-III 조건에서도 유출이 과도하게 계산된다는 것을 의미하며, 따라서 CN 값이 과도하게 추정되었다는 것을 의미한다. 결과적으로 초기손실도 CN 값도 모두 과도하게 가정되어 있다는 것을 의미한다.

Ko (2015)는 토지이용변화가 홍수유출량에 미치는 영향을 분석하기 위해 Clark 단위도법을 적용하였다. 토지이용변화를 정량화하기 위해 1980년부터 2005년까지 5년 단위로 토지이용자료를 분석하였다. 그 결과 1980년부터 2005년 동안 한천 유역의 시가화 면적은 약 5.3배 증가하였으며, 농경 면적은 약 3.3배 증가한 것으로 나타났다. 반면에 산림지역의 경우 약 28% 감소하는 것으로 나타났다. CN 값을 산정하기 위해서는 RDA (2007)의 수문학적 토양군 분류 방법을 적용하였으

Table 5. Comparison of CN values depending on slope (Jung, 2013)

Division	Hancheon			Oedocheon	
	Sub basin-I (Slope 3.2%)	Sub basin-II (Slope 6.1%)	Sub basin-III (Slope 13.3%)	Sub basin-I (Slope 4.6%)	Sub basin-II (Slope 11.7%)
CN- II (Original value)	81.20	76.32	63.60	76.07	59.93
CN- II (Revised value)	81.20	76.87	67.34	76.07	63.47

며, 결과적으로 1980년부터 2005년까지 5년 단위로 CN 값을 산정한 결과 5년간 평균적으로 2.2%씩 증가하는 것으로 나타났다. 유효수량 산정을 위해 초기손실은 $I_a = 0.4S$ 로 가정하였다. 이는 물론 Jung (2013)의 연구결과에 따른 것이다.

마지막으로, Yang *et al.* (2017)은 제주지역에 적합한 홍수량 산정 방법의 개선안을 제시하였다. 이를 위해 실무에서 활용되고 있는 설계홍수량 산정방법으로 한천유역의 호우사상별 홍수량을 산정한 후 실제 유출수문곡선과 비교하여 기존 홍수량 산정요령의 적용성을 분석하였다. 또한 한천유역 특성을 고려하여 매개변수들을 수정하고 각각 산정된 모의결과를 관측결과와 비교·분석하였다.

Yang *et al.* (2017)은 한천 유역의 유효수량을 산정하기 위해 RDA (2007)의 수문학적 토양군 분류 방법을 적용하여 CN 값을 산정하였으며, 초기손실은 $I_a = 0.2S$ 로 가정하였다. 아울러 한천유역의 대표 관측지점 및 소하천 합류지점 등을 고려하여 4개의 소유역으로 구분하고, 지형경사를 고려하여 CN 값을 보정하였다. CN 값을 보정하기 위해서는 Sharpley and Williams (1990)에 의해서 개발된 식을 적용하였다. 그 결과 CN 값은 소유역에 따라 최대 10% 정도 증가된 것으로 나타났다. 지형 경사를 고려하여 보정한 CN 값을 적용하는 경우, 첨두유출량도 그에 비례하여 증가하는 것으로 확인되었으며, 관측결과에 대한 오차율도 1.47 - 6.45% 정도 개선되는 것으로 나타났다.

이상의 결과를 바탕으로 Yang *et al.* (2017)의 연구 결과를 평가하면 다음과 같다. 먼저, 초기손실로 0.2S를 사용했음에도 불구하고 유효수량이 상당히 과소 추정되고 있다. 심지어 RDA (2007)의 수문학적 토양군 분류에 근거한 CN 값보다 더 큰 CN 값이 필요한 것으로 나타났다. 사실 급경사지의 영향이 CN 값에 미치는 영향을 고려하지 않는다면 이는 더욱 명확해진다. 그러나 급경사지가 실제로 CN 값을 키우는 쪽으로 역할을 한다면 문제가 더욱 모호해지기는 한다.

4.2 관련 연구에서의 시사점

앞서 언급한 대로 Yang *et al.* (2017)의 연구와 이전의 세 연구는 같은 유역에 대해 수행된 것이다. 이들의 연구에서는 모두 RDA (2007)의 수문학적 토양군 분류 결과를 사용하였다. 그러나 초기손실의 고려방법이나 선행함수조건의 고려방법이 다르고 아울러 급경사지에 대한 고려 여부도 다르다. 공교롭게도 이들 연구에서는 유출 해석과정도 포함하고 있으므로 이 과정의 차이가 최종적인 유출 해석 결과에 반영되어 상대적으로 비교가 모호해지는 문제가 있다. 또한 결과가 서로 상충되기도 하여 어떤 유의한 결론을 제시하는데 무리가 따른다.

그럼에도 불구하고 이들 연구를 비교해 보면 다음과 같은 결론(또는 향후 해결해야할 문제점)을 유추할 수 있다. 첫째, 초기손실은 0.2S보다는 큰 값일 가능성이 크다는 점이다. 이는 제주도의 토양특성을 고려할 때 충분히 가능한 일이다. 둘째, RDA (2007)의 수문학적 토양군 분류에 근거한 CN 값은 과도할 가능성이 크다는 점이다. 이러한 문제는 최근의 토양통 개정결과를 반영한 수문학적 토양군 분류 결과에서도 확인된 바 있다. 셋째, 급경사지가 CN 값에 미치는 영향이 상당히 보인다. 그러나 현재로서 그 영향정도가 어느 정도인지를 정확히 파악하는 것은 불가능하다.

이상과 같이 정리된 제주도 지역에서의 CN 값 및 초기손실 문제는 기존의 연구결과를 가지고 명확히 확인하거나 해결하는 것은 불가능하다. 이러한 문제는 다음과 같은 연구 과정을 통해 하나하나 해결할 필요가 있다. 먼저, 초기손실의 문제이다. 사실 이 문제는 상대적으로 해결하기 쉬운 것인데, 초기손실이 유효수량(직접유출) 발생의 시점을 결정하기 때문이다. 여기에 CN 값의 역할도 있기는 하지만 초기손실로 0.2S와 0.4S의 차이보다는 미미하므로 판단 가능할 것으로 판단된다. 둘째는 수문학적 토양군 분류 방법이다. 경사지의 영향이 있으므로 환경사 소유역을 대상으로 유효수량 총량과 직접유출량 총량의 비교를 통해 어느 정도 판단 가능할 것으로 생각된다. 만일 최근의 토양통 개정 결과를 받아들인다면 이 문제를 해결된 것으로 판단할 수도 있다. 마지막으로 급경사지의 영향은 앞의 두 연구결과를 확보한 뒤에나 판단 가능할 것으로 보인다. 앞의 두 연구결과를 기반으로 급경사 소유역에서의 유출 관측을 통해 그 영향을 확인 가능할 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 Lee *et al.* (2018)의 연구에서 제시한 새로운 수문학적 토양군 분류 방법의 적용성을 검토하였다. 이를 위해 Lee *et al.* (2018)이 제시한 수문학적 토양군 분류 방법과 기존의 수문학적 토양군 방법들을 적용하여 제주도의 중문천, 천미천, 한천을 대상으로 CN 값을 산정하고 그 결과를 비교하였다. 마지막으로 제주도의 유역을 대상으로 수행된 관련 연구들을 검토하여 수문학적 토양군 분류 결과가 어떻게 적용되고 있는지를 비교·분석하였다. 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 수문학적 토양군 분류 방법에 따른 제주도 대표유역의 수문학적 토양군별 면적비율을 비교한 결과, Hu and Jung (1987)의 분류 방법을 적용하는 경우에는 Lee *et al.* (2018)의 분류 방법을 적용하는 경우에 비해 C군과 D군이 상대

적으로 크게 나타났으며, Jung et al. (1995)의 분류 방법을 적용하는 경우에는 A군과 C군이 상대적으로 크게 나타났다. 마지막으로 RDA (2007)의 분류 방법을 적용하는 경우에는 D군이 상대적으로 크게 나타났다. 따라서, Lee et al. (2018)의 분류 방법을 적용하는 경우에는 기존의 분류 방법을 적용하는 경우에 비해 CN 값이 상대적으로 작게 산정될 수 있다.

- 2) 새로운 수문학적 토양군 분류 방법과 기존의 수문학적 토양군 방법들을 적용하여 제주도의 중문천, 천미천, 한천을 대상으로 CN 값을 산정한 결과, 3개 대상 유역 모두 Hu and Jung (1987)의 분류 방법과 RDA (2007)의 분류 방법을 적용하는 경우의 CN 값이 크게 나타났다. 반면 Lee et al. (2018)의 수문학적 토양군 분류 방법을 적용하는 경우에는 CN 값이 가장 작게 나타났다. 이러한 결과를 통해 Lee et al. (2018)의 수문학적 토양군 분류 결과가 기존의 수문학적 토양군 분류 결과 보다 높은 투수율로 지표유출이 어려운 제주도의 토양 특성을 잘 반영하는 것으로 판단된다.
- 3) 제주도에서의 강우-유출과 관련된 연구를 검토한 결과, 제주도 유역의 초기 손실은 0.2S 이상의 큰 값을 가질 가능성이 큰 것으로 확인되었다. 또한 RDA (2007)의 수문학적 토양군 분류 방법을 적용하는 경우 CN 값이 과대 추정되는 것으로 확인되었다. 그러나 유출 해석의 대상이 급경사 유역이어서 적절한 CN 값을 유추하는 것은 쉽지 않은 문제로 나타났다. 추후 환경사 유역을 대상으로 한 연구가 수행된다면 적절한 CN 값의 결정 및 초기손실의 규모 판단이 가능할 것으로 기대된다.

그러나 이상과 같은 결과에도 불구하고 Lee et al. (2018)의 분류 방법이 최선이라는 판단을 제시하기는 어렵다, 이는 실제 강우-유출 사상에 대한 다양한 분석을 통해서만 가능할 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 18AWMP-B083066-05).

References

Ha, K., Park, W., and Moon, D. (2009). "Estimation of direct runoff variation according to land use changes in Jeju Island." *Economic and environmental geology*, KSEEG, Vol. 42, No. 4, pp. 343-356.

Hu, K. S., and Jung, J. H. (1987). "Hydrologic classification and its application of the Korean soil." *Journal of Korean Society of Agricultural Engineers*, KSAE, Vol. 4, No. 4, pp. 48-61.

Jeju Special Self Governing Province (2012). *Seogwipo-si river basic plan report*. Jeju Special Self Governing Province.

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." *Journal of Korean Society of Agricultural Engineers*, KSAE, Vol. 27, No. 6, pp. 12-23.

Jung, W. (2013). *The estimation of parametric runoff characteristics and flood discharge based on riverine in-situ measurements in Jeju Island*. Ph. D. dissertation, Jeju national university.

Jung, W., and Yang, S. (2008). "Application of SWAT model on rivers in Jeju Island." *Journal of environmental science international*, KENSS, Vol. 17, No. 9, pp. 1039-1052.

Jung, W., Yang, S., and Kim, D. (2014). "Flood discharge to decision of parameters in Han Stream watershed." *Journal of environmental science international*, KENSS, Vol. 23, No. 4, pp. 533-541.

Ko, K. H. (2015). *Flood discharge analysis on land use changes in urban stream of Jeju Island*. Master thesis, Jeju national university.

Lee, Y., Kang, M., Park, C., and Yoo, C. (2018). "Suggestion of classification of hydrological soil groups considering the results of the revision of soil series: A case study on Jeju Island." Under review.

Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MOLIT) (1991). *Basic plan for river maintenance: Cheonmicheon*. MOLIT.

Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MOLIT) (2012). *Design flood estimation tips*. MOLIT.

National Resources Conservation Service (NRCS) (1972). *National engineering handbook, Section 4, Hydrology*. NRCS, Washington, D.C.

Rural Development Administration (RDA) (2007). *Agro-environment research 2006*. RDA, pp. 141-176.

Seok, K. (2009). *Study on the movement system of surface and ground water in Island Basins*. Ph. D. dissertation, Kyungil university.

Sharpley, A. N., and Williams, J. R. (1990). *EPIC-erosion/productivity impact calculator: 1. Model documentation*. USDA, Washington, D.C.

Yang, S. (2007). "Flood discharge to decision of parameters in Han Stream watershed." *River and culture*, Korea River Association, Vol. 3, No. 4, pp. 105-115.

Yang, S. (2018). *A study on the mean velocity distribution of natural stream of Jeju Island using ADCP*. Ph. D. dissertation, Jeju national university.

Yang, S., Kim, M., Kang, B., Kim, Y., and Kang, M. (2017). "Estimation of flood discharge based on observation data considering the hydrological characteristics of the Han Stream basin in Jeju Island." *Journal of environmental science international*, KENSS, Vol. 26, No. 12, pp. 1321-1331.

Yang, W. (2013). *Stream flow analysis of Han stream, Jeju island on flood runoff*. Master thesis, Jeju national university.