



포화 수리전도도와 불투수층 깊이에 따른 우리나라 토양의 수문학적 토양군 분류

Classification of Hydrologic Soil Groups of Korean Soils Using Estimated Saturated Hydraulic Conductivity and Depth of Impermeable Layer

한경화* · 정강호* · 조희래* · 이협성* · 옥정훈* · 서미진* · 장용선* · 서영호**†

Han, Kyunghwa · Jung, Kangho · Cho, Heerae · Lee, Hyubsung · Ok, Junghun · Seo, Mijin · Zhang, Yongseon · Seo, Youngho

Abstract

Hydrologic soil group is one of the important factors to determine runoff potential and curve number. This study was conducted to classify the hydrologic soil groups of Korean soils by considering saturated hydraulic conductivity and depth of impermeable layer. Saturated hydraulic conductivity of Korean soils was estimated by pedotransfer functions developed in the previous studies. Most of paddy soils were classified as D type due to shallow impermeable layer and low saturated hydraulic conductivity in B soil horizon. For upland and forest, soils classified to A and D types increased compared with former classification method because underestimated permeabilities and overestimated drainages were corrected and rock horizon in shallow depth was regarded as impermeable layer. Soils in mountainous land showed the highest distribution in A type, followed by D type. More than 60 % of soils in mountain foot-slope, fan and valley, alluvial plains, and fluvio-marine deposits were classified to D type because of land use such as paddy and upland.

Keywords: Hydrologic soil groups, Impermeable layer, Korean soils, Pedotransfer function, Saturated hydraulic conductivity

1. 서론

빗물이 토양에 떨어지면, 토양에 침투해서 저장되거나 지하수로 유입되거나 지표수로 직접 유출된다. 토양에 물이 잘 침투할수록 유출량은 적어지며, 이는 포화된 상태에서의 침투 및 투수 속도, 토양 깊이, 불투수층 깊이, 지하수위 등 토양의 수리 특성에 따라 결정된다. 미국 농무성 토양보전국(USDA SCS)은 유출이 적게 발생하는 A 유형으로부터 많이 발생하는 D 유형까지 네 가지 수문학적 토양 유형을 구분하고 있다. McCuen (1982)은 지표 피복이 없고 토양이 수분으로 포화된 상태에서 강우강도가 침투속도를 초과할 때의 한계(최소) 침투속도 등 정량적인 특성을 이용하여 수문학적 토양군을 분류하였다. 즉 한계 침투속도가 7.62~11.43 mm/hr일 때에 A 유형, 3.81~7.62 mm/hr는 B 유형, 1.27~3.81 mm/hr은 C 유형, 1.27 mm/hr 이하는 D 유형으로 분류하였다. 그러나 한계 침투속도가 11.43 mm/hr 이상인 토양에 대한 고려가 없으며,

불투수층 깊이의 영향을 반영하지 않았다.

우리나라 토양은 Jeong et al. (1995)이 토성속, 배수 등급, 불투수층 깊이, 투수성 등 네 특성에 각각 1~4점을 준 다음 합산한 점수를 기준으로 수문학적 토양군을 분류하였다. 즉 조립질 토양일수록 투수성이 크고 세립질 토양일수록 투수성이 작아진다. 배수등급은 토양이 환원상태일 때 생겨나는 반문의 양에 따라 결정되며, 토양에 수분이 많고 정체되어 있는 기간이 길수록 배수등급은 불량으로 진행된다. 불투수층은 지하수위, 암반, 점토 반층 등 물이 투수되지 못하는 층위이다. 투수성은 토양이 물로 포화된 상태에서 물이 아래로 이동하는 속도이다.

그런데 Jeong et al. (1995)은 투수성을 지표에서의 침투보다는 토양 속에서의 이동을 기준으로 하였고, 측정 자료가 아닌 전문가의 직관에 따라 결정하였다. 그리고 논은 물을 따라 운반된 토사가 범람 등으로 쌓여 생긴 층적토양이 많으며, 퇴적될 때마다 수리특성이 다른 층이 만들어져 같은 토성속이더라도 투수성이 느리다. 또한 일정 기간 담수가 유지되어야 하므로 쟁기바닥층이 있거나 지하수위가 높다. 불투수층의 깊이가 얕으면 불투수층까지 물로 포화된 다음 모두 지표 유출되므로, 다른 토양 특성에 관계없이 D유형으로 분류해야 한다.

따라서 우리나라 토양에 대해 정량적이고 객관적으로 수문학적인 토양군을 개정할 필요가 있다. Hur et al. (2009)은 석회암에서 유래한 6개 토양통의 침투 및 투수속도를 평가하

* National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration

** Gangwon Agricultural Research & Extension Services

† Corresponding author

Tel.: +82-63-238-2435 Fax: +82-63-238-3824

E-mail: seoysh@korea.kr

Received: July 6, 2017

Revised: August 16, 2017

Accepted: August 16, 2017

여 수문유형을 분류하였으며, Jung et al. (2015, 2016)은 우리나라의 대표적인 산림토양 21개 토양통과 논토양 18개 토양통, 밭토양 26개 토양통에 대하여 수리특성을 현장에서 측정하고, 이를 바탕으로 토양 층위별로 토양특성 전환공식을 개발하였다. 본 연구에서는 Jung et al. (2015, 2016)이 개발한 토양특성 전환공식을 활용하여 포화 수리전도도를 추정하고 불투수층의 깊이를 고려하여 우리나라 토양의 수문학적 토양군을 분류하였으며, 그 결과를 보고하고자 한다.

II. 재료 및 방법

수문학적 토양군을 분류하는 데 있어 한계 침투속도는 매우 유용한 정량적 특성이다. 지표면 포화되는 조건에서는 한계 침투속도가 표토의 포화 수리전도도에 수렴하므로, Jung et al. (2015, 2016)이 개발한 토양특성 전환공식으로 추정된 표토의 포화 수리전도도를 이용하여 수문학적 토양군의 분류가 가능하다. 즉 산림토양과 논토양, 밭토양의 포화 수리전도도를 각각 식 (1)~(3)을 이용하여 추정하였다.

$$\text{Log}(K_s \times 10^7) = -0.045C + 0.140OM + 4.23 \quad (1)$$

$$\text{Log}(K_s \times 10^7) = -0.054C + 0.186OM + 2.44 \quad (2)$$

$$\text{Log}(K_s \times 10^7) = 0.013S + 0.048OM + 1.96 \quad (3)$$

여기에서 K_s 는 포화 수리전도도 (cm/sec)이며, C와 S, OM은 각각 점토 분획 (%)과 모래 분획 (%), 유기물 함량 (g/kg)이다.

그런데 표토가 완전히 포화된 이후에는 심토의 수리특성이 한계 침투속도에 영향을 주므로, 어느 깊이까지 포화를 가정하느냐에 따라서 한계 침투속도가 달라질 수 있다. 토심이 깊음 또는 약간 깊음이면 수문학적 토양군이 A나 B 유형이며, 불투수층의 깊이가 얇으면 D 유형으로 분류한다. 미국에서는 토심이 30~50 cm이면 약간 깊음이며, 우리나라에서는 20~50 cm는 얇음이다 (RDA, 2012). 따라서 50 cm까지 포화된 조건에서의 한계 침투속도를 기준으로 수문학적 토양군을 분류하였다.

Hur et al. (2009)은 불투수층의 깊이와 포화 수리전도도를 기준으로 석회암에서 유래한 6개 토양통의 수문유형을 분류하여 보고하였으며, 본 연구에서는 Hur et al. (2009)의 방법을 활용하였다. 즉 암반층이나 지하수위 등 불투수층의 깊이가 50 cm 이하이면 D 유형으로 분류하였으며, 불투수층의 깊이가 50~100 cm일 때에는, 포화 수리전도도에 따라 14.40

cm/hr 이상이면 A 유형, 3.61~14.40 cm/hr은 B 유형, 0.36~3.61 cm/hr은 C 유형, 0.36 cm/hr 이하는 D 유형으로 분류하였다. 불투수층의 깊이가 100 cm 이상일 때 포화 수리전도도가 3.61 cm/hr 이상이면 A 유형, 1.45~3.61 cm/hr은 B 유형, 0.15~1.45 cm/hr은 C 유형, 0.15 cm/hr 이하는 D 유형으로 분류하였다.

위와 같이 포화 수리전도도와 불투수층의 깊이를 반영하여 수문학적 토양군을 분류함으로써, 정성적인 평가와 전문가의 직관에 따라 토성속, 배수 등급, 불투수층 깊이, 투수성에 각각 1~4점을 준 다음 합산한 점수를 기준으로 분류하였던 Jeong et al. (1995)의 방법에 비해서 정량적이고 객관적이라고 할 수 있다.

토양통이 같아도 토양구에 따라 토성과 자갈 함량이 달라지므로, 토양구에 따라 수문학적 토양군을 세분하였다. Brakenski et al. (1986)이 제안한 다음의 식 (4)를 활용하여 자갈 함량이 많아짐에 따라 포화 수리전도도가 감소하는 효과를 반영하였다.

$$K_T = (1 - R_w) \times K_{fe} \quad (4)$$

여기에서 K_T 와 K_{fe} 는 각각 자갈 함량을 반영했을 때와 자갈이 없을 때의 포화 수리전도도이며, R_w 는 중량 자갈 함량이다. 즉 자갈이 없을 때의 포화 수리전도도에 (1-자갈 함량)을 곱한 값을 그 토양의 포화 수리전도도로 하였다.

III. 결과 및 고찰

Jeong et al. (1995)의 수문학적 토양군 분류 결과와 비교해 보면, A나 B, C 유형으로 분류하였던 논토양들을 불투수층의 깊이와 B층의 포화 수리전도도를 고려하여 대부분 D 유형으로 분류하였다 (Table 1). Jeong et al. (1995)의 결과와 비교하여 밭 토양은 A와 D 유형이 증가한 반면 B 유형이 감소하였으며, 산림토양은 B 유형이 감소한 반면 D 유형이 증가하였다. 밭 토양에서 D 유형이 증가한 것은 토성속과 배수등급에서 과대평가되었던 것을 수정하고 점토 반층의 깊이를 반영하였기 때문이다. 산림토양에서 표토의 한계 침투속도만 고려하였다면 밭 토양과 마찬가지로 A 유형이 증가하였을 것이나, 암반층의 깊이가 50 cm 이내인 토양을 D 유형으로 분류하면서 A나 B 유형으로 분류되었던 토양들이 D 유형으로 최종 분류되었다.

수문학적 토양군의 면적 분포를 살펴보면, Jeong et al. (1995)은 A 유형이 37.0%, B 유형은 31.9%, C 유형은 18.7%, D 유형은 7.4%였다고 하였으나, 본 연구에서는 A 유형 35.1%, B 유형 15.7%, C 유형 5.5%, D 유형 43.7%였다. 즉

Table 1 Comparison of hydrologic soil group types for dominant soil series in Korea classified by Jeong et al. (1995) and this study

Land use	A	B	C	D	Remark
Mountainous forest	Songsan, Samgag, Oesan, Cheongsan, Odae, Haengsan, Gwanag, Yesan, Woljeong	Osan, Asan, Gosan, Bongsan, Masan, Taehwa, Gwarim, Deoksan, Songjeong, Guisan, Songdang	Mudeung, Daegu, Jangseong, Daesan, Jungmun, Tosan	-	Jeong et al. (1995)
	Songsan, Samgag, Oesan, Yesan, Gwarim, Woljeong	Osan, Asan, Gosan, Bongsan, Masan, Taehwa, Cheongsan,	Songjeong, Jangseong, Daesan, Jungmun, Tosan, Guisan, Songdang	Odae, Haengsan, Gwanag, Deoksan, Mudeung, Daegu,	This study
Paddy	Gangseo, Gocheon, Namgye, Wolgog, Maegog, Gacheon, Haggog, Hoegog	Seokcheon, Sachon, Gyuam	Jisan, Mangyeong, Chilgog, Yongji, Hanggog, Hampyoung, Sinheung, Geumgog, Imgog, Nampyoung	Jeonbuk, Gwanghwal, Poseung, Okcheon, Yuga, Yecheon, Hwadong, Hamchang, Gagog, Buyong, Honam, Chunpo, Yanggog, Pori	Jeong et al. (1995)
	-	-	-	Gangseo et al.	This study
Upland	Jigog, Suam, Jungdong, Sangju, Deogcheon, Noegog, Mui, Hwabong, Hwangryong	Asan, Bongsan, Banho, Hogye, Dogye, Yonggye, Taehwa, Anryong, Seogto, Baeksan, Ugog, Daegog, Sinbul, Ungog, Anmi, Yongdang, Pyosun, Jecheon	Gumgog, Jecheon, Ora	Jeonnam, Jangwon, Gaghwa, Hawon, Yeongog, Pyeongan, Murung	Jeong et al. (1995)
	Jigog, Suam, Jungdong, Sangju, Deogcheon, Noegog, Mui, Hwabong, Hwangryong, Anryong, Baeksan, Ugog, Ora, Daegog, Pyosun, Ungog, Murung	Asan, Bongsan, Banho, Hogye, Dogye, Yonggye, Taehwa, Yongdang, Songjeong,	Jecheon	Jeonnam, Jangwon, Gaghwa, Hawon, Yeongog, Pyeongan, Seogto, Sinbul, Anmi, Gumgog	This study

A, B, C 유형이 줄어들고 D 유형이 급격히 증가하였다. 이는 포화수리전도도를 반영하여 수문학적 토양군을 분류하였으며, 쟁기바닥층, 점토반층, 암반층 등 불투수층의 깊이를 고려한 결과 D 유형이 매우 증가하였기 때문이다. Jeong et al. (1995)이 A 유형으로 분류하였던 토양 가운데 18.7%는 D 유형으로 분류되었으며, B 유형에서는 36.4%, C 유형에서는 83.9%였다. D 유형으로 분류한 토양 가운데 Jeong et al. (1995)이 A, B, C 유형으로 분류하였던 토양의 비율은 각각 18.1%, 24.5%, 35.5%였다.

지형에 따라 수문학적 토양군이 달라질 수 있는데, 산악지에는 A 유형이 가장 많이 분포하였다 (Fig. 1). 산악지는 인위적인 교란으로 쟁기바닥층 등이 생긴 토양이 적어 토양의 물 침투율이 다른 지형에 비해 높기 때문이다. Jeong et al. (1995)은 암반층의 깊이를 반영하지 않아 A 유형이 53%를 차지하고 D 유형이 0.3%였으나, 본 연구에서는 암반층이 얇

은 곳에 있는 암쇄토를 D 유형으로 분류하여 D 유형이 A 유형 다음으로 많이 분포하였다. 구릉지에서는 산악지보다 A 유형의 분포비율은 작고 B와 C 유형이 높게 나타났다.

산록경사지는 산악지와 구릉지의 하부에 위치하며 중력에 의해 퇴적되어 유효토심이 비교적 얇고 자갈 함량이 높으므로, 침투속도가 낮아 D 유형의 분포비율이 약 60%로 가장 높았다. 산악지와 구릉지는 주로 임지나 초지로 이용되는 데 비해, 산록경사지는 주로 밭으로 이용되고 있어 경우에 따른 불투수층의 형성을 고려하여 Jeong et al. (1995)의 결과에 비해 B 유형이 감소하고 D 유형이 증가하였다.

곡간선상지는 구릉지와 산악지 사이에 발달하여 논과 밭으로 이용되는데 논이 약간 더 많다. 따라서 침투속도가 높고 경반층이 만들어지기 어려운 조립질 토성을 제외하고는 D 유형으로 분류되므로, D 유형의 분포비율이 가장 높다. Jeong et al. (1995)의 결과와 비교하면 B와 C 유형이 줄고 D 유형이 높

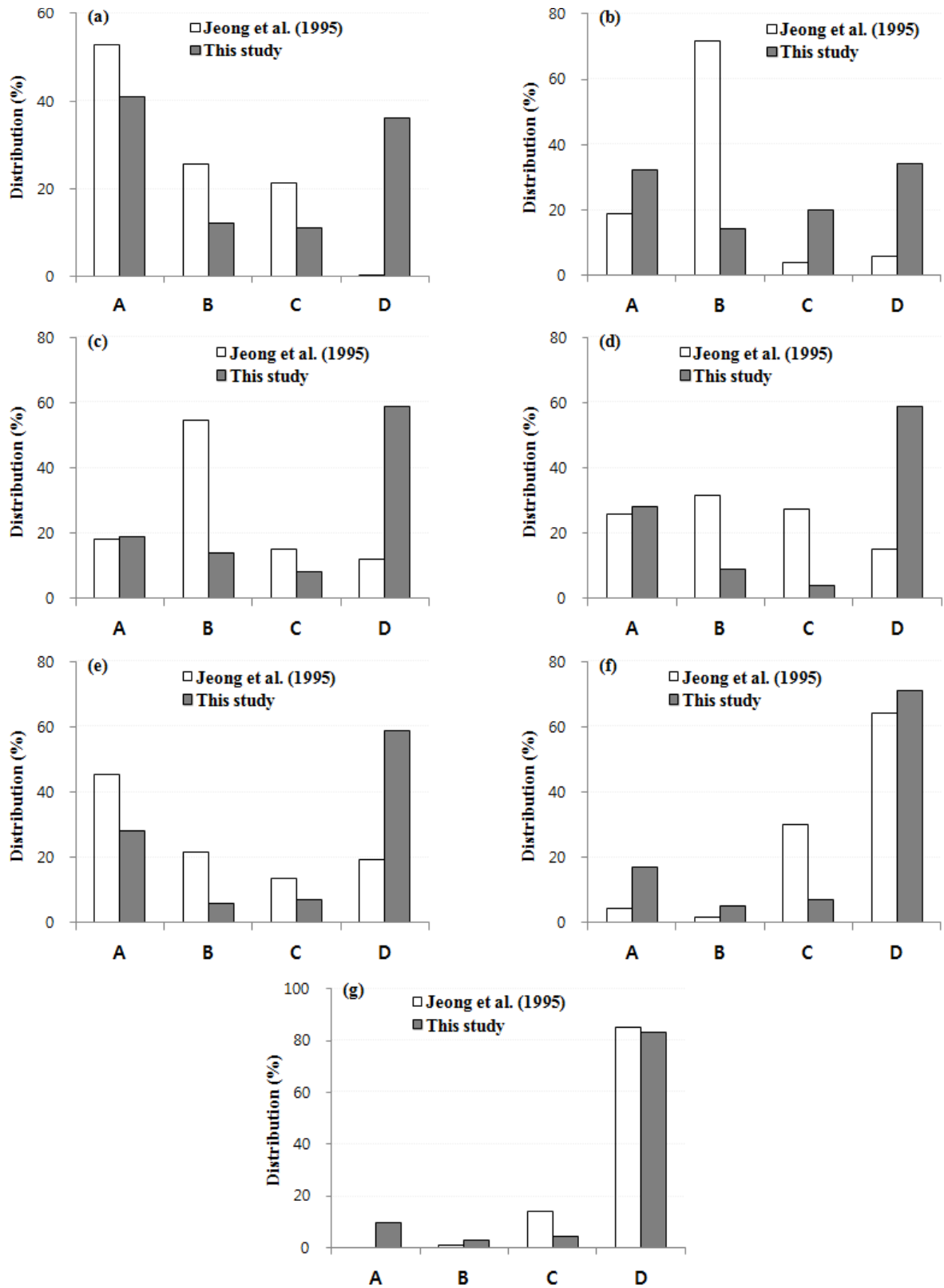


Fig. 1 Comparison of hydrologic soil group types depending on topography in Korea classified by Jeong et al. (1985) and this study. (a) Mountainous land (b) Hilly (c) Mountain foot-slope (d) Fan & valley (e) Alluvial plains (f) Fluvio-marine deposits (g) Diluvial terraces

아졌다. 한편 하천을 끼고 있어 층적물이 쌓여서 불투수층의 깊이가 깊은 토양은 A 유형으로 분류되어, A 유형의 비율이 D 유형 다음으로 높다.

하성평탄지 역시 곡간선상지와 마찬가지로 논과 밭으로 이용되나 밭이 좀 더 많다. 수문학적 토양군은 곡간선상지와 마찬가지로 D 유형이 가장 많이 분포하고, 다음으로 A 유형이 분포하였으며 B와 C 유형은 약 10%이다. 하성평탄지는 투수속도가 높은 사질계 토양이 상대적으로 많이 분포하므로 A 유형의 분포비율이 곡간선상지에 비해 높다. 큰 강변을 따라 이루어진 평탄지는 유효토심이 깊고 식양질 토양이 많으며, 하천변은 유효토심이 낮으며 모래함량이 높은 사질계 토양이 많다.

하해혼성평탄지는 미사사양질 토양이 많고 지하수위가 높아 불투수층의 깊이가 얇은 곳이 많으므로 D 유형이 약 70%를 차지하였다. 이는 Jeong et al. (1995)의 보고와 비슷한 결과이다. 토지이용은 논이 약 80%를 차지하였고, 밭과 초지가 약간 분포한다. 논에서는 담수 후 씨레질 등으로 토양입단이 파괴되어 투수성이 낮다.

산록경사지, 곡간선상지, 하성평탄지, 하해혼성평탄지는

주로 논과 밭으로 이용되므로, 경운에 따른 쟁기바닥층 등의 불투수층이 형성되어 D 유형의 분포 비율이 높다. 홍적대지는 토성이 거의 식질로 투수성은 낮으므로 D 유형이 80%로 매우 높게 나타났다. 이와 같이 지형에 따른 수문학적 토양군의 분포는 토지 이용과 토성의 영향을 많이 받는다. Fig. 2에 정밀토양도를 통하여 Jeong et al. (1995)의 분류에 따른 수문학적 토양군의 분포와 본 연구 결과를 비교하여 나타내었다.

본 연구의 결과를 요약하면, 정성적인 평가와 전문가의 직관에 따라 결정(Jeong et al., 1995)되었던 수문학적 토양군을 정량적인 데이터를 기준으로 재분류함으로써 수자원 관리에 있어 실용적인 가치를 높일 수 있었다. 또한 수문학적 토양군의 자료를 바탕으로 유출곡선 지수(Curve Number)를 산출하여 비점오염원을 관리하거나(Ryu et al., 2016), 토양 유실의 위험성을 평가할 수 있다(Fallah et al., 2016). 그런데 토양의 수리 특성은 토양의 입자크기 분포나 유기물 함량뿐만 아니라 토양 구조 등의 영향을 받으므로, 실측 자료를 바탕으로 계속 보완해 나갈 필요가 있다고 생각된다.

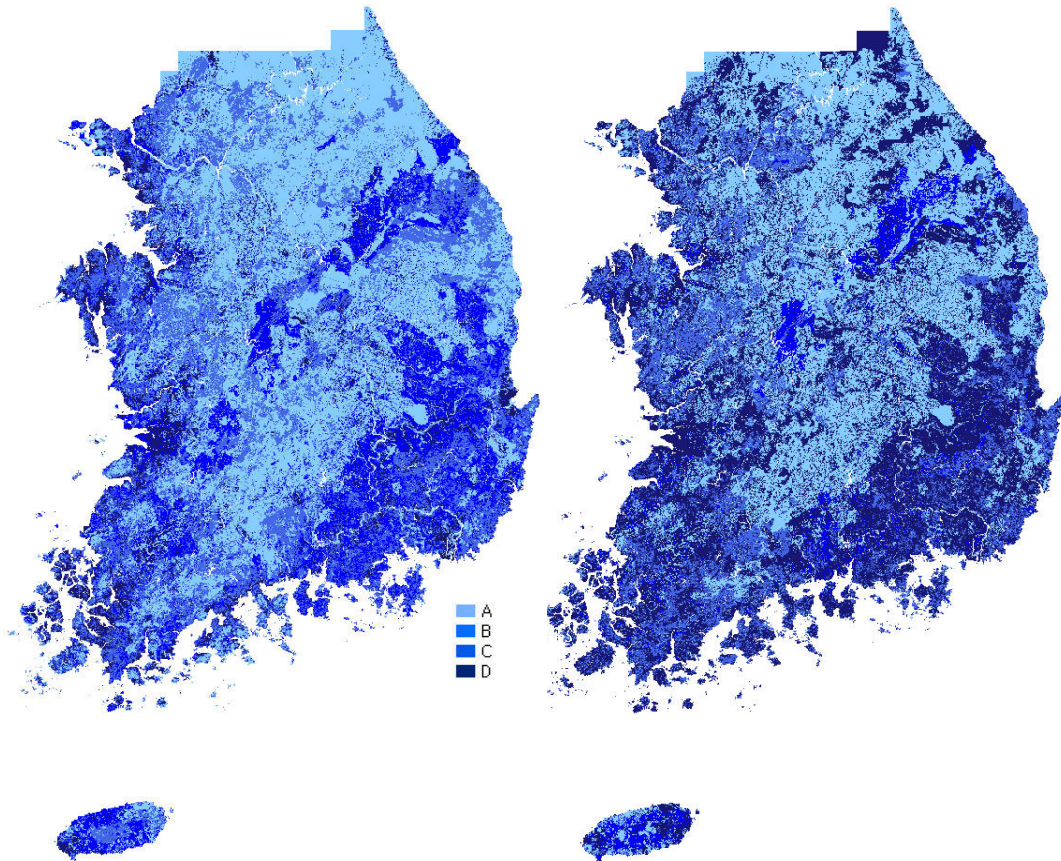


Fig. 2 Comparison of soil map for hydrologic soil group in Korea classified by Jeong et al. (left) and this study (right)

IV. 결 론

Jeong et al. (1995)이 A, B, C 유형으로 분류하였던 논토양들을 불투수층의 깊이와 B층의 포화 수리전도도를 반영하여 대부분 D 유형으로 분류하였다. 밭 토양은 A, D 유형이 증가한 반면에 B 유형이 감소하였으며, 산림토양은 B 유형이 감소한 반면 D 유형이 증가하였다. 수문학적 토양군의 면적 분포를 보면, Jeong et al. (1995)은 A 유형이 37.0 %, B 유형 31.9 %, C 유형 18.7 %, D 유형 7.4 %라고 하였으나, 본 연구에서는 A 유형 35.1 %, B 유형 15.7 %, C 유형 5.5 %, D 유형 43.7 %로, A, B, C 유형이 줄어들고 D 유형이 급격히 증가하였다. 산악지에서는 A 유형 다음으로 D 유형이 많이 분포하였으며, 산록경사지, 곡간선상지, 하성평탄지, 하해혼성평탄지는 토지 이용의 영향을 받아 D 유형이 가장 높았고, 홍적대지는 토성의 영향으로 대부분 D 유형으로 분류되었다. 즉 수문학적 토양군은 토지 이용과 토성의 영향을 많이 받았다. 요약하면 주관적인 판단과 정성적인 평가로 분류하였던 수문학적 토양군을 정량적으로 재분류함으로써, 유출곡선 지수를 산출하는 데 신뢰성을 높여 수자원과 비점오염원을 실용적으로 관리할 수 있다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 국립농업과학원 시험연구사업 (과제번호: PJ010936)의 지원에 의해 이루어진 것임

REFERENCES

1. Brakenski, D. L., W. J. Rawls, and G. R. Stephenson, 1986. Determining the saturated conductivity of a soil containing

rock fragments. *Soil Science Society of American Journal* 50: 831-835.

2. Fallah, M., A. Kaviani, and E. Omidvar, 2016. Watershed prioritization in order to implement soil and water conservation practices. *Environmental Earth Sciences* 75: 1248.

3. Hur, S. O., J. H. Jeong, Y. K. Sonn, S. K. Ha, J. G. Kim, and N. W. Kim, 2009. Classification of hydrologic soil groups of soil originated from limestone by assessing the rates of infiltration and percolation. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 42: 103-109 (in Korean).

4. Jeong, J. H., S. P. Jang, H. I. Kim, Y. T. Jung, K. S. Heo, and H. Park, 1995. Classification of hydrologic soil group for estimation of runoff rate. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 37: 12-33 (in Korean).

5. Jung, K. H., Y. K. Sonn, S. O. Hur, S. K. Ha, and M. H. Jung, 2015. Hydraulic characteristics of mountainous forest soils in Korea and applicability of pedotransfer functions. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 48: 428-435 (in Korean).

6. Jung, K. H., Y. K. Sonn, S. O. Hur, K. H. Han, H. R. Cho, M. J. Seo, M. H. Jung, and S. Y. Choi, 2016. Hydraulic characteristics of arable fields in Korea and applicability of pedotransfer function. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 49: 655-661 (in Korean).

7. Mc Cuen, R. H., 1982. *A Guide to Hydrologic Analysis Using SCS Method.*, Prentice Hall. Englewood Cliffs. New Jersey 07632, USA.

8. Rural Development Administration (RDA), 2012. *Standard of Measurement and Analysis in Agricultural Research and Investigation.* RDA. Suwon, Korea (in Korean).

9. Ryu, J., W. S. Jang, J. Kim, J. D. Choi, B. A. Engel, J. E. Yang, and K. J. Lim, 2016. Development of a watershed-scale long-term hydrologic impact assessment model with the asymptotic curve number regression equation. *Water* 8: 153.