

증발량 추정을 위한 지표면 가용 수분 계수

진 병화 . 황 수진

부산대학교 지구과학과
(1994년 10월 28일 접수)

On the Surface Moisture Availability Parameters to Estimate the Surface Evaporation

Byong-Hwa Jin and Soo-Jin Hwang

Dept. of Earth Science, Pusan National University, Pusan, 609-735, Korea
(Manuscript received 28 October 1994)

Abstract

In order to discuss the differences among the SMAP(Surface Moisture Availability Parameter), by previous researchers on the basis of their own theoretical and empirical background, we assessed the SMAP according to the soil types and volumetric soil water contents. The results are as follows.

There are differences among all the five SMAPs. There's a tendency that the larger grain size, the higher value of parameters. And they divided into two groups for their value: one group has parameters with exponential function and the other with cosine and linear function. The maximum difference between the two groups appears when the volumetric soil water contents are $0.07m^3m^{-3}$ for sand, $0.11m^3m^{-3}$ for loam, 0.12 for clay, and $0.13m^3m^{-3}$ for silt loam. So, these differences must be considered when we estimate the surface evaporation rate.

From field data, the paddy field soil around Junam reservoir is classified as a silt, has high wetness, 0.56. So, the parameter obtained from the field measurement is much higher than that of Clapp and Hornberger(1978)'s Table.

This study treated the SMAP for a certain point of time in winter season. But if we measured the soil water contents continuously, we could obtain better time-dependent parameter.

Key words : SMAP(Surface Moisture Availability Parameter), Paddy field, Volumetric soil water content, Evaporation, Capillary potential

1. 서 론

지표면에서 증발량을 정확히 추정하기 위해서는 교환 계수의 정확한 추정과 함께 지표면 가용 수분 계수(Surface Moisture Availability Parameter,

이하 SMAP이라고 부름)를 정확하게 추정해야 한다. 수면 및 지면으로부터 증발량을 산정 할 때, SMAP은 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 그 첫 째는 지표면이 수면이거나 토양이 포화 상태일 때 증발량을 추정하는 것(Penman, 1948; Estoque, 1963; Manabe, 1965; Priestley와 Taylor, 1979)인

데 SMAP은 1의 값을 갖는다. 두 번째는 불포화 토양의 수문학적 성질, 즉 토양의 종류 및 토양 내부의 수분 함량을 고려한 것이다.

토양의 물리적 성질을 고려하여 SMAP을 구한 대표적인 방법은 Philip(1957)과 Kondo *et al.* (1990), Sasamori(1970), Carmen과 Nappo(1975), Acs *et al.*(1991) 그리고 Noilhan과 Planton(1989), Jacquemin과 Noilhan(1990), Mahfouf(1991) 등의 방법이 있다. 그런데 지면이 포화상태일 때에는 이들 모두가 1의 값을 가지므로 상호간에 차이가 없으나 지면이 불포화 상태일 때에는 각각의 방법으로 구한 SMAP 사이에는 상당한 차이가 존재한다.

한편 이 SMAP은 연구자에 따라 α (Penman, 1948; Priestley와 Taylor, 1979), M과 h(Carmen과 Nappo, 1975), α 와 β (Kondo *et al.*, 1990), H_u (Noilhan과 Planton, 1989), W(Acs와 Mihailovic, 1991) 등으로 다양하게 표시되고 있다. 뿐만 아니라 선행 연구에서는 토양 수분 함량 및 토양 종류에 따른 민감도(sensitivity)의 평가 없이 이론적, 경험적으로 연구자 개개의 방법을 사용하고 있으므로 상호간의 차이에 대한 의문점이 존재하게 된다.

따라서 본 논문에서는 먼저 불포화 지면의 SMAP을 평가하기 위하여 선행 연구자들이 제시한 방법들에 따라 토양의 종류 및 체적 함수량에 대한 SMAP을 구하고 그 상호간의 차이를 규명하였다. 다음으로 지표면으로부터의 실제 증발량을 추정하기 위하여 연구 대상 농지면의 토양을 직접 채토하여 그 종류 및 체적 함수량을 조사하고, 연구 대상 토양의 SMAP을 추정하였다.

2. 가용 수분 계수의 검토

나지면(bare soil)에서의 증발은 추정하는 방법에 따라 여러 형태가 있으나 일반적으로 다음과 같이 표시된다(Kondo, 1990).

$$E_g = \rho l C_E u [h q_{sat}(T_g) - q_a] \quad (1)$$

여기서 ρ , l , C_E , u , T 는 각각 공기의 밀도, 잡열, 교환 계수, 비습, 풍속, 온도이며, 첨자 sat , g , a 는 각각 포화상태, 지면, 공기 중을 의미한다. 그리고 h 는 본 연구의 과제인 지표면에서의 SMAP이다.

2.1. 지수함수로 표시한 가용 수분 계수

2.1.1. 함수비(wetness)를 이용한 가용 수분 계수

지표면 증발량과 SMAP의 가장 기본적인 관계는 (2) 식에서 제시한 잠재 증발량(E_p , potential evaporation)과 실제 증발량(E , actual evaporation)의 관계식이다. (Manabe *et al.*, 1965)

$$IE = \alpha IE_p \quad (2)$$

여기서 α 는 지표면에서의 SMAP인데 지표면이 완전히 건조할 때에는 0, 포화상태일 때에는 1이 된다. 따라서 불포화 상태의 토양에서는 $0 < \alpha < 1$ 의 범위 내에 있게 된다. 한편 α 는 지표면이 포화 상태일 때는 보편적으로 1.26의 값이 이용되는데 Bowen 비를 구할 때 Hicks와 Hess(1977)의 방법을 대입하면 더욱 실제 증발과 가까운 SMAP을 구할 수 있다. (Bruin과 Keijman, 1979) 그런데 Carmen과 Nappo (1975)는 지표면이 포화 상태일 경우의 Davies와 Allen(1973), Priestley와 Taylor (1979) 등의 잠재 증발량 추정 식에서 포화 상태일 때의 SMAP($\alpha=1.26$) 대신에 불포화 상태에서도 사용 가능한 α' 도입하였다.

$$IE_p = \alpha' \frac{s}{s+r} (R_n - G) \quad (3)$$

여기서 s , r , R_n , G 는 각각 포화 수증기압과 온도 관계 곡선의 경사, 습도 상수(psychrometric constant), 순복사(net radiation), 지증열 속(flux)을 나타낸다. 그런데 불포화 지면에서는 토양의 종류 및 수분 함량에 따라 SMAP 값이 다르게 되므로 α' 은 토양의 수문학적 성질을 고려할 수 있는 함수비 항(w_g/w_{fc})을 채용한 다음과 같은 지수

Table 1. Hydraulic properties for some soil types (after Clapp and Hornberger, 1978; Carmen and Nappo, 1975)

soil type	ψ_{sat} (m)	w_{sat} ($m^3 m^{-3}$)	b	$a \uparrow$	$N \uparrow$	sampled soil for a and N in eq.(8)
sand	0.121	0.395	4.05	0.027	4.04	Dickinson fine sand
loam	0.478	0.451	5.39	0.125	4.45	Greenville loam
clay	0.405	0.482	11.40	0.398	4.40	Yogolight clay
silt loam	0.786	0.485	5.30	0.884	4.23	Nasan silt loam

↑s indicate the constants which were adopted for Carmen and Nappo(1975)'s method.

함수의 형태로 표시할 수 있다(Carmen과 Nappo, 1975).

$$h_{CAN} = 1.26 [1 - \exp(-10.563 \frac{w_g}{w_{fc}})] \quad (4)$$

여기서 w_g , w_{fc} 는 각각 지표면의 체적 함수량, 잠재 체적 함수량(field capacity)인데, 잠재 체적 함수량은 잠재 증발이 발생할 수 있는 상태를 의미한다.

2.1.2. 수분 장력을 이용한 SMAP

토양 내부에서의 SMAP은 토양의 조직과 체적 함수량에 따른 모관 상승력(capillary potential)으로 표시된다. 이 방법은 Philip(1957)에 의하여 처음으로 제안된 후 Sasamori(1970), McCumber와 Pielke(1981), Camillo *et al.*(1983), Chung과 Horton(1987) 그리고 Kondo *et al.*(1990) 등에 의하여 개선되고 있다.

Philip(1957)은 SMAP을 토양 수분 장력과 지온의 지수함수로 나타내고 있다.

$$h = \exp(-\psi g / R_w T_g) \quad (5)$$

여기서 ψ , g , R_w , T_g 는 각각 토양 수분 장력, 중력, 수증기에 대한 보편 기체 상수, 지온이다. 또한 ψ 는 체적 함수량 w_g 의 함수이므로 다음과 같이 수분 장력 (matric potential)으로 나타낸다.

$$\psi(w) = \psi_{sat} (w_g / w_{sat})^{-b} \quad (6)$$

여기서 ψ_{sat} 는 포화상태의 수분 장력이고, b 는 토양의 종류에 따라 정해지는 상수 값으로 Clapp

과 Hornberger(1978)의 표를 이용하였다. (5)식과 (6)식을 결합하여 다음과 같이 표시하였다.

$$h_{PH} = \exp[-(g / R_w T_g) \psi_{sat} (w_g / w_{sat})^{-b}] \quad (7)$$

한편 Sasamori(1970)는 지표면에서 대기로 전달되는 수분을 수분 장력과 토양 수분의 관계 $\psi = -a \eta^{-b}$ 에서 구였다. 여기서 η 는 처음 5cm 깊이의 토양 수분이고 a 와 N 은 토양의 종류에 따라 정해지는 상수이다. 이것을 (6)식과 결합하면 다음과 같다.

$$h_{SA} = \exp(-g a \eta^{-N} / R_w T_g) \quad (8)$$

상수 값 a , N 은 Carmen과 Nappo(1975)의 표를 이용하였다.

2.2. 여현 및 선형으로 표시한 수분 계수

토양 수분 함량에 따른 모세관 장력을 이용하는 식에 포함된 상수들은 추정하기가 쉽지 않기 때문에 NP89 scheme(Noilhan과 Planton, 1989; Jacquemin과 Noilhan, 1990)을 기초로 한 연구에서는 경험식 내지 준 경험식을 이용하여 나지면에서의 SMAP을 표시하고 있다.

$$h_{NP} = 0.5 (1 - \cos(\pi \frac{w_g}{w_{fc}})), \quad w_g \leq w_{fc} \quad (9)$$

= 1, 그 외

한편 Acs *et al.*(1991)은 SMAP을 적용할 때 토양 함수비가 0.75를 초과할 때에는 실제 증발이 잠재 증발에 도달하는 사실 (Deardorff, 1977)을 이용하였다.

$$h_{ACS} = \begin{cases} W / 0.75, & W < 0.75 \\ 1, & W > 0.75 \end{cases} \quad (10)$$

여기서 $W = w_g / w_{sat}$ 로 함수비를 나타낸다.

이상을 종합해 보면 SMAP의 의미는 모두 같으나 추정 방법은 연구자에 따라 차이가 있다. 따라서 그 추정치에도 차이가 발생할 수 있으므로 본 논문에서는 SMAP들간의 체적 함수량에 따른 차이점을 상호 비교하기 위하여 (4), (7), (8), (9) 그리고 (10) 식에서 제시한 다섯 SMAP을 상호 비교하여 그 차이점을 밝히고자 한다.

3. 수분 계수의 평가

선행 연구자들이 제시한 SMAP들간의 차이를 상호 비교해 보기 위한 토양은 미농무성(USDA) 분류 토양 11개 중에서 3가지 토양(sand, loam, clay)을 선택하였으며, SMAP은 Philip(1957), Sasamori(1970), Carmen과 Nappo(1975), Noilhan과 Planton(1989), Acs *et al.*(1991) 등의 5가지를 선택하였다. 그리고 토양의 물리적 성질은 Table 1을 이용하였다.

3.1. 토양 종류에 따른 수분 계수의 비교

Clapp과 Hornberger(1978)의 표에서 대표적인 세 종류의 토양을 택하여 각 토양에 대한 SMAP을 구한 결과를 Fig. 1에 제시하였다.

Fig. 1의 a에서 나타난 바와 같이 Philip의 방법으로 SMAP을 구할 경우에 토양의 종류에 따라 SMAP의 차이가 아주 크게 나타났다. 특히 sand의 경우는 수분이 극히 적을 때에도 SMAP이 크게 나타나는 반면 loam에서 clay로 입도(grain

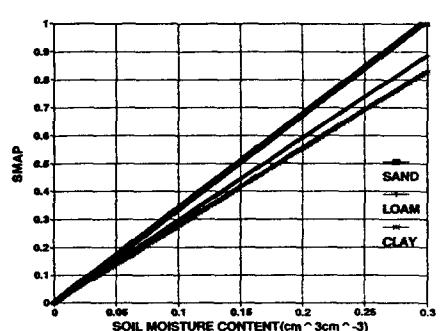
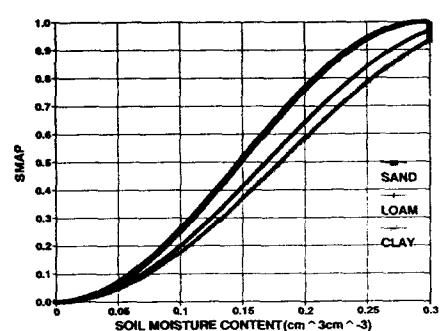
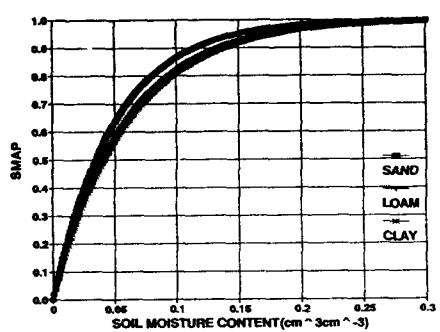
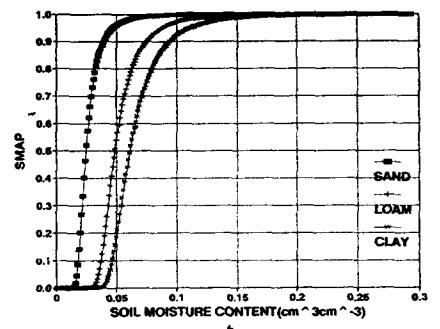
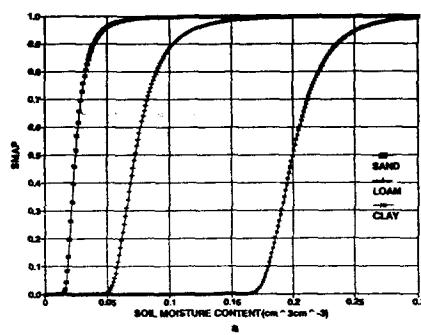


Fig. 1. Relation between volumetric soil moisture contents and SMAP(surface moisture availability parameters) for three soil types.(a: Philip's method, b: Sasamori's method, c: Carmen and Nappo's method, d: NP89 scheme, e: Acs *et al.*'s method)

size)가 작아질수록 그 값의 증가는 작았다. 따라서 입도에 따라 수분 공급 능력에 차이가 큼을 보였다. 반면 Fig. 1의 b에서 제시한 Sasamori의 방법에서는 a와 대상 토양이 같음에도 불구하고 SMAP의 차이는 Philip의 방법에 비하면 훨씬 작음을 알 수 있다. Fig. 1. c의 Carmen과 Nappo의 방법에서도 체적 함수량의 많고 적음에 따른 토양 간 SMAP의 차이가 크지 않다. 그리고 Fig. 1. d의 NP89 scheme으로 구한 SMAP은 토양의 종류에 따른 차이가 Philip의 방법만큼 크지 않을 뿐만 아니라 SMAP이 1이 되는 잠재 함수량에 도달할 때까지 고른 증가를 보이는 것이 특징이다. SMAP이 선형으로 표시되는 Fig. 1. e의 Acs 외의 방법은 NP89와 마찬가지로 잠재 함수량에 도달할 때까지 고른 증가를 보인다.

이상의 결과를 종합하면 Philip의 방법이 토양의 종류에 따라 SMAP의 차이가 아주 크게 나타나는 반면 그 이외의 방법은 그 차가 크지는 않았다.

3.2. 수분 계수간의 차이

세 종류의 토양에 대해서 다섯 가지의 방법을 적용하여 SMAP들간의 차이를 비교하였다.

Fig. 2에서 세 가지 토양 각각에 대하여 적용한 다섯 방법 상호간에는 차이가 존재하였지만 전반적으로 두 그룹으로 특정 지울 수 있었다. Fig. 2. 의 a에서 지수함수 관계로 나타낸 Philip, Sasamori, Carmen과 Nappo의 방법과 여현 및 선형 관계로 나타낸 NP89 scheme, Acs 외의 방법으로 구한 SMAP 사이에는 불포화 전 영역에서 SMAP 값의 차이가 발생하였다. 그리고 체적 함수량별로 볼 때 2 그룹간에는 sand가 0.07, loam이 0.11, clay가 0.12일 때 차이가 최대로 발생하였다. 즉 입도가 큰 토양일수록 토양 수분이 적을 때 차이가 크게 발생하였다.

한편 SMAP이 1일 때에는 실제 증발량과 잠재 증발량이 같아지는데 이 상태는 함수비가 1이된다 (Noilhan과 Palntion, 1978). 그런데 잠재 체적 함수량은 포화 수분 함량의 75%에 해당하는 값이므로 토양 종류별로 Clapp과 Hornberger(1978)의 표를

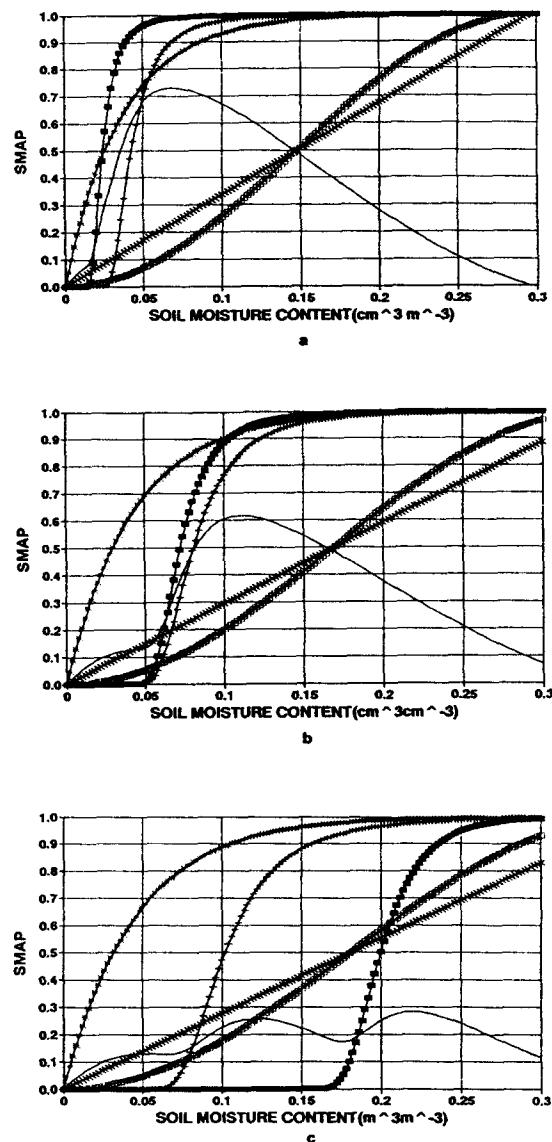


Fig. 2. Same as Fig. 1, but for five methods.(a: sand, b: loam, c: clay). (■: Philip's method, +: Sasamori's method, *: Carmen and Nappo's method, □: NP89 scheme, ×: Acs *et al.*'s method, —: Difference)

이용하여 잠재 함수량을 조사해 보면 sand가 $0.296 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, loam이 $0.338 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, clay가 $0.362 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ 이므로 지수 함수 관계로 표시한 세 방법은 체적 함수량이 이 값에 미달되어도 SMAP이 1이

Table 2. Illustration of weighing procedure to estimate volumetric soil moisture content and saturation moisture content(渡部一郎, 1987).

Procedure	Weighing item(symbol), unit in gram	remarks
1	sampling can(w_0)	$\phi 51\text{mm}$, depth 20mm
2	sampling can + sampled soil(w_1)	
3	sampling can + dried soil(w_2)	
4	soil water content of sampled can($w_1 - w_2$)	
5	$(w_1 - w_2) / \text{can volume}(V_0)$	soil water content(w_g)
6	weight of water saturated can(w_w)	
7	$w_w - w_2 = w_s$	
8	$w_s / \text{can volume}(V_0) = \text{saturated water content}(w_{sat})$	

된다. 따라서 불포화 토양에서 증발량을 추정할 때에는 SMAP 적용 방법에 따라 차이가 크게 발생할 수 있다는 사실을 염두에 두어야만 한다.

가장 가까운 위치에 있는 silt loam의 값을 채용하였다.

4. 농지면의 가용 수분 계수

4.1. 채토 및 분석

실제 농지면(rice paddy field)에서 증발량을 추정하기 위해서는 대상 지역의 토양의 성질과 수분 함량을 조사하여 SMAP을 구해야 한다. SMAP을 추정하기 위하여 주남저수지 부근의 농지면(Fig. 3)에서 국지 기상 관측 기간 중인 1994년 1월 30일 14시경에 토양을 채취하였다. 채토 방법은 지름 51 mm, 깊이 20 mm인 채토관을 제작하여 지표에서 20 mm 깊이까지 채토하였다. 체적 함수량 및 포화 체적 함수량을 Watanabe(1987)의 방법에 따라서 구하였다. 질량은 전자 저울(정확도 0.001g)로 측정하였으며 건조는 건조기에서 110°C로 1일 간 건조시켰다. 그 절차는 Table 2와 같다.

토양의 분류는 메쉬와 피랫팅법을 혼용하였으며 그 결과 silt로 밝혀졌다(Table 3). 그런데 USDA에서 분류한 11종 중에는 silt가 분류되어 있지 않고, 따라서 Clapp과 Hornberger(1978)의 표에도 silt에 대해서는 토양의 물리적 성질을 나타내는 상수가 제시되어 있지 않았으므로 계산을 위하여 토양 구성도(textural triangle, Fig. 4)에서 silt와

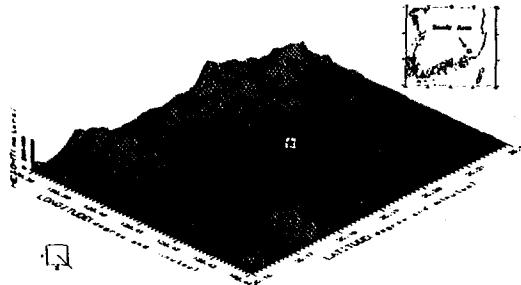


Fig. 3. Topography around Junam reservoir. The shaded area indicates Junam reservoir, and the symbol ★ is the site.

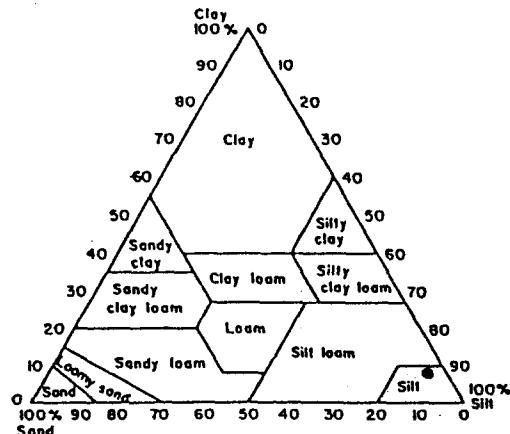


Fig. 4. Textural triangle giving the USDA soil types. Symbol ● indicates the soil type of Junam paddy field(0-0.02 m skin layer).

Table 3. Fraction of components which consist of Junam paddy field soil.

component	phi	beaker	beaker+sample	sample	$\times 50$	fraction (weight)	(%)	cum.(%)
S A N D	to -1			0.0000		0.0000	0.00	0.00
	to 0			0.0000		0.0000	0.00	0.00
	to 1	0.0000	0.0000	0.0000		0.0000	0.00	0.00
	to 2	0.0000	0.0000	0.0000		0.0000	0.00	0.00
	to 3	0.0000	0.0000	0.0000		0.0000	0.00	0.00
	to 4	2.1025	3.1633	1.0608		1.0608	6.976	6.97
S I L T	to 5	37.2493	37.5324	0.2831	14.1550	13.7050	90.07	97.04
	to 6	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	97.04
	to 7	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	97.04
	to 8	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	97.04
C L A Y	to 9	38.5345	38.5435	0.0090	0.4500	0.4500	2.96	100.00
	to 10	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	100.00
	over 10	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	100.00
		no data	no data	no data				100.00

4.2. 농지면 수분 계수의 평가

채취한 토양을 silt와 가장 인접한 silt loam의 값을 Clapp와 Hornberger(1978)의 표에서 인용하여 SMAP을 조사한 결과 Fig. 5와 같다. 이 불포화 전 영역에서는 Fig. 2에 나타난 결과와 마찬가지로 SMAP과 지수 함수 관계에 있는 그룹과 여현 및 선형 함수 관계에 있는 두 그룹간에는 차이가 생겼다. 최대 차이는 체적 함수량이 $0.135m^3m^{-3}$ 에서 $0.54m^3m^{-3}$ 의 영역에서 발생하고 체적 함수량은 loam 보다는 큰 영역이었으나 두 그룹간의 SMAP의 차이는 다소 작게 나타났다.

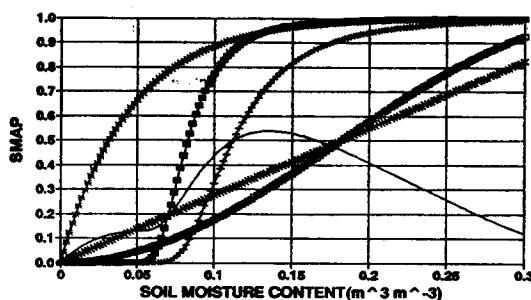


Fig. 5. Same as Fig. 2, but for silt loam.

그리고 채토한 16개 토양을 Table 2의 방법으

로 분석하여 체적 함수량을 조사한 결과 Fig. 6과 같이 체적 함수량은 $0.088m^3m^{-3}$, 포화 체적 함수량은 $0.168m^3m^{-3}$ 로 나타나 함수비는 0.56으로 대단히 높았다. 채취한 토양을 Clapp와 Hornberger(1978)의 표를 이용한 계산치와 비교하면 상당한 차이가 있다. 그 이유는 아마 농지 토양 중에 함유된 유기 물질로 인하여 공극률이 감소된 때문으로 생각된다.

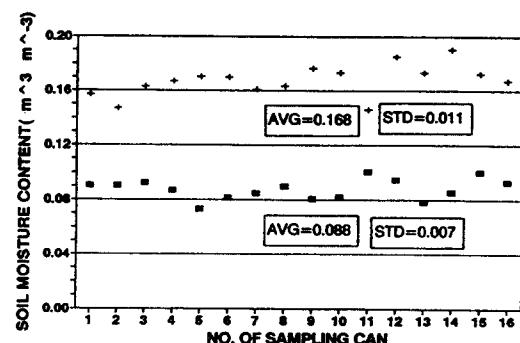


Fig. 6. Volumetric soil moisture contents which are sampled at Junam bare paddy field site. (■: volumetric soil moisture contents, +: saturation moisture contents)

이상을 종합하여 silt loam과 채토한 토양을 제시한 체적 함수량이 0.088일 때에 대하여 다섯 가

지 방법으로 계산한 결과 Table 4와 같이 silt loam으로 간주했을 때와 채토한 토양의 SMAP은 상당한 차이가 존재함을 알 수 있는데 이러한 차이는 함수비에 기인하기 때문이다.

Table 4. Comparison of parameters for the case of volumetric soil moisture content with $0.088m^3m^{-3}$.

Method	Philip	Sasam-ori	Carmen-Nappo	NP89	Acs
silt loam	0.606	0.145	0.853	0.137	0.242
Junam data	1.0	/	1.0	0.812	0.732

5. 결 론

선행 연구자들이 이론적, 경험적 근거에서 개개의 방법으로 추정하여 사용한 지표면 가용 수분 SMAP 사이의 차이를 평가하였다. 토양 종류와 토양 수분 함량에 따라 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

조사 대상인 다섯 가지 상호간에는 차이가 존재하였고, 입도가 큰 토양일수록 SMAP이 더 크게 추정되었다. SMAP 값의 크기로 보아 두 그룹(지수 함수 관계로 나타낸 것과 여현 내지는 선형 관계로 나타낸 것)으로 나눌 수 있었는데, sand, loam, clay, silt loam에 대하여 토양 수분 함량이 각각 $0.07m^3m^{-3}$, $0.11m^3m^{-3}$, $0.12m^3m^{-3}$, $0.13m^3m^{-3}$ 일 때 두 그룹간의 차가 최대로 나타났다. 따라서 SMAP을 사용할 때에는 적용한 방법, 토양 종류, 수분 함량에 따라 SMAP의 차이가 있음을 고려해야 한다.

주남 저수지 부근 농지면에서 채취한 토양을 분석한 결과 토양 종류는 silt로 분류되었고, 함수비가 0.56으로 높았기 때문에 이론적으로 구한 SMAP 보다 관측치로 구한 값이 더 크게 나타났다.

본 연구는 한 시점의 토양 수분만을 분석하였으나 추후 토양 수분의 연속 관측을 실시하면 시간별 SMAP의 변화와 증발량 추정이 더욱 용이하리라 생각된다.

References

- 황수진, 진병화, 1994, 지표면 열수지의 강수응답 성에 관한 연구, 한국환경과학회지, 3, 2, 89-100.
- 渡部一郎, 1987, 農業環境實驗法, サイエンスハウス, 文京, 154pp.
- Acs F., D.T.Mihailovic and B. Rajkovic, 1991, A Coupled Soil Moisture and Surface Temperarute Prediction Model, J. of Appl. Meteo., 30, 812-822.
- Barton I. J., 1979, A Parameterization of the Evaporation from Non-saturated Surfaces, J. of Appl. Meteo., 18, 43-47.
- Braud I., J. Noilhan, P. Bessemoulin, P. Mascart, R. Haverkamp and M. Vauclin, 1993, Bare-ground Surface Heat and Water Exchanges under Dry condition: Observations and Parameterization, Boundary Layer Meteorology, 66, 173-200.
- Carmen J. and Nappo Jr., 1975, Parameterization of Surface Moisture and Evapotranspiration Rate in a Planetary Boundary Layer Model, J. of Appl. Meteo., 14, 289-296.
- Clapp R. B. and G. M. Hornberger, 1978, Empirical Equations for Some Soil Hydraulic Properties, Water Resource Research, 14, No. 4, 601-604.
- Davies J. A. and C. D. Allen, 1973, Equilibrium, Potential and Actual Evaporation from Cropped Surface in Southern Ontario, J. of Appl. Meteo., 12, 649-657.
- Deardorff J. W., 1977, A Parameterization of Ground-Surface Moisture Content for Use in Atmospheric Prediction Models, J. of Appl. Meteo., 16, 1182-1185.
- De Bruin H.A.R., 1978, A Simple Model for Shallow Lake Evaporation, J. of Appl. Meteo., 17, 1132-1134.

- De Bruin H.A.R. and J. Q. Keijman, 1979, The Priestley-Taylor Evaporation Model Applied to a Large, Shallow Lake in the Netherlands, *J. of Appl. Meteo.*, 18, 898-903.
- Jacquemin B. and J. Noilhan, 1990, Sensitivity Study and Validation of a Land Surface Parameterization Using the HAPEX-MOBILHY Data Set, *Boundary Layer Meteo.*, 52, 93-134.
- Kondo J.N. Saigusa and T. Sato, 1990, A Parameterization of Evaporation from Bare Soil Surfaces, *J. of Appl. Meteo.*, 29, 385-389.
- Mahfouf J. F., 1991, Analysis of Soil Moisture from Near-Surface Parameters: A Feasibility Study, *J. of Appl. Meteo.*, 30, 1534-1547.
- Noilhan J. and S. Planton, 1989, A Simple Parameterization of Land Surface Processes for Meteorological Models, *Mon. Wea. Rev.*, 117, 536-549.
- Philip J. R., 1957, Evaporation, and Moisture and Heat Fields in the Soil, *J. of Meteo.*, 14, 354-366.
- Toya T. and N. Yasuda, 1988, Parameterization of Evaporation from a Nonsaturated Bare Surface for Application in Numerical Prediction Models, *J. of the Meteo. Soc. of Japan*, 66(5), 729-739.
- Wetzel P. J. and J. T. Chang, 1987, Concerning the Relationship between Evapotranspiration and Soil Moisture, *J. of Climate and Applied Meteo.*, 26, 18-27.
- Yu T. W., 1977, Parameterization of Surface Evaporation Rate for Use in Numerical Modeling, *J. of Appl. Meteo.*, 16, 393-400.