

## 토양의 유효태 인산과 치환성 양이온의 다성분동시추출 분석방법 비교

김명숙 · 양재의<sup>1\*</sup> · 김유학 · 윤정희<sup>2</sup> · 장용선 · 박한강<sup>3</sup> · 하상건 · 현병근

국립농업과학원, <sup>1</sup>강원대학교 생물환경학부, <sup>2</sup>대전광역시농업기술센터, <sup>3</sup>농촌진흥청

### Comparison of Multi-element Extraction Methods to Determine Available Phosphate and Exchangeable Cations of Korean Soils

Myung-Sook Kim, Jae Eui Yang<sup>1\*</sup>, Yoo-hak Kim, Jung-Hui Yoon<sup>2</sup>, Yong-Seon Zhang, Han-Gang Kwak<sup>3</sup>, Sang-Keon Ha, Byung-Keun Hyun

National Academy of Agricultural Science, Suwon 441-707, Republic of Korea

<sup>1</sup>Division of Biological Environment, Kangwon National University, Chuncheon 210-702, Republic of Korea

<sup>2</sup>Daejeon Agricultural Technology Center, Daejeon 305-803, Republic of Korea

<sup>3</sup>Rural Development Administration, Suwon 441-707, Republic of Korea

Soil testing is one of the best management practices for sustainable agriculture. Recently, as increasing soil testing needs, simplification of soil analytical procedure has been required. To determine recommendable multi-element extractant, the soil testing results of available phosphate and exchangeable cations between the conventional methods (Lancaster and 1M NH<sub>4</sub>OAc) and multi-element extraction methods such as Mehlich III, Modified Morgan and Kelowna methods were compared. There were highly significant correlation between the conventional methods and multi-element extraction methods (Mehlich III, Modified Morgan and Kelowna) for available phosphate and exchangeable K, Ca, Mg and Na. The coefficients of determination (R<sup>2</sup>) between available phosphate extracted by Lancaster method and multi-element extraction methods were in the order of Mehlich III (0.979<sup>\*\*\*</sup>) > Kelowna (0.977<sup>\*\*\*</sup>) > Modified(Mod.). Morgan (0.553<sup>\*\*\*</sup>). For exchangeable cations, there were highly significant correlations between 1M NH<sub>4</sub>OAc method and Mehlich III, Mod. Morgan and Kelowna. However, exchangeable K, Ca and Mg by Mehlich III method were more highly correlated with conventional method than other methods. Therefore, Mehlich III extraction method could be recommended as a single extractant for simultaneous measurement using ICP in the analysis of available phosphate and exchangeable cations.

**Key words:** Multi-element extraction, ICP, Available phosphate, Exchangeable cations, Soil

## 서 언

토양의 화학성을 분석하는 목적은 토양의 비옥도를 평가하여 작물에게 양분을 알맞게 공급하고 작물의 생산성을 높이는 데 있다. 최근 들어 토양에 작물양분이 과다하게 집적되어 환경오염의 우려가 큰 문제로 대두되면서 작물의 생산성과 환경오염저감을 위한 친환경 토양관리방안이 요구된다. 이를 해결하기 위한 하나의 방안으로 토양화학성 분석의 중요성이 더욱 강조되고 있으며, 동시에 토양분석량이 크게 증가하면서 신속한 토양분석 기술의 개발이 필요하게 되었다.

다성분 동시추출방법은 토양중의 여러 가지 원소 또

는 이온들을 하나의 추출액으로 동시에 추출함으로써 분석작업이 간편하고 경비와 시간을 줄일 수 있어 분석효율이 매우 높은 장점이 있을 것으로 기대되어 많은 연구자들에 의해 연구되어 왔다.

지금까지 개발된 다성분동시 추출방법으로는 Modified Morgan(McIntosh, 1969), Morgan(Wolf, 1982), Mehlich I (Mehlich, 1953), Mehlich II (Mehlich, 1978), Mehlich III (Mehlich, 1984), 0.43 M acetic acid(Macauley Institute for Soil Research and Scottish Agricultural College Group, 1984), Kelowna(Van Lierop, 1988) 등이 있다.

Mehlich III 추출액은 토양중의 인, 칼륨, 칼슘, 마그네슘, 망간, 나트륨, 구리, 아연까지 추출할 수 있다고 하였고(Mehlich, 1984), Bray I 법(Wolf, 1945)이나

접 수 : 2009. 2. 5 수 리 : 2009. 5. 18

\*연락처 : Phone: +82332506446,

E-mail: yangjey@kangwon.ac.kr

Olsen법보다 작물의 수량과 상관성도 높았다고 보고 하였다(Mallarino, 2002; Mallarino et al, 2005).

Modified(Mod.) Morgan법은 Morgan법을 변경한 것으로 인 뿐만 아니라 양이온인 칼륨, 칼슘, 마그네슘의 추출에 사용하고 있으며 미국의 일부 주에서도 이용하고 있다(Agricultural Experiment Stations of Connecticut, 1995).

Kelowna법은 토양에서 질산태 질소, 칼륨, 마그네슘, 나트륨을 동시에 추출할 수 있으며(van Lierop, 1988), 영국의 콜롬비아, 캐나다 등에서 주로 이용하는 방법이다(van Lierop, 1986).

국내에서는 Park and Yoon(1980)이 Mehlich I 을 도입하여 검토하였으나 pH가 높은 석회암 토양에서는 추출력이 떨어져 실용화하기가 어렵다고 하였다. 그 후 Park et al.(1992)은 다성분동시추출방법인 Mehlich I, Mehlich II, Mehlich III, Morgan 법 등으로 추출된 인산과 양이온 분석치를 기존분석법인 Lancaster 추출인산과 1M NH<sub>4</sub>OAc 추출 양이온 분석치와 비교하여 Mehlich II 법의 이용가능성을 제시하였다. Kim(2008)은 Mehlich II 법으로 토양 중 유효인산을 추출한 여액을 Mo 청법에 의한 발색으로 측정할 경우 분석과정상 문제가 없었지만 ICP로 측정할 경우 시료가 지나가는 통로가 오염되는 문제점이 있다고 보고하였다.

ICP는 용액 중에 여러성분의 농도를 동시에 측정할

수 있으며 1980년대 후반 이래로 가격이 낮아짐에 따라 토양실험실에서 ICP를 사용하는 수는 급속하게 늘어났다(Munter, 1990). 2002년에 ICP를 이용하는 Mehlich III 프로그램에 등록된 토양실험실은 미국에서 66%에 달하고 있으며(Mallarino et al, 2002), 작물별로 적절한 토양 비옥도 범위까지 정하여 시비량까지 추천하고 있다. 또한 ICP를 이용한 다성분 동시추출방법은 토양실험실의 분석절차를 간소화 할뿐만 아니라 분석 시간도 절감되기 때문에 이 방법을 채택하는 곳이 빠르게 늘어나고 있다.

본 연구의 목적은 토양중의 유효태 인산과 치환성 양이온을 다성분동시추출방법과 ICP를 함께 이용하여 신속하고 간편하게 분석할 수 있는 방법을 찾기 위하여 수행하였다. 토양의 특성이 다양한 115점의 토양에 대하여 유효태 인산은 기존 분석방법인 Lancaster법과 다성분 동시 추출방법인 Mehlich III법, Mod. Morgan법, Kelowna법으로 분석한 결과를 비교하였고, 양이온은 기존방법인 1M NH<sub>4</sub>OAc법과 상기 다성분 동시추출방법에 의한 분석치를 비교 검토하였다.

## 재료 및 방법

**공시토양** 공시한 토양은 화학적 특성이 다양한 논토양 39점(일반경작지 10점, 간척지 15점, 특이산성 토양 14점), 밭 토양 36점(노지 14점, 시설재배지 22

**Table 1. Chemical properties of soils used.**

Parameter	pH	EC	OM	CaCO <sub>3</sub> equivalent
	1:5	dS m <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>	%
<u>Total soils(n = 115)</u>				
Average	6.3	1.83	43	-
Min	4.3	0.15	N.D.	-
Max	8.3	14.82	238	-
<u>Paddy soils(n = 39)</u>				
Average	6.2	2.58	22	-
Min	4.4	0.20	3	-
Max	8.3	14.82	39	-
<u>Upland soils(n = 36)</u>				
Average	6.1	2.35	31	-
Min	4.3	0.15	6	-
Max	7.4	10.00	59	-
<u>Calcareous soils(n = 21)</u>				
Average	7.7	0.81	21	7
Min	7.1	0.43	3	5
Max	8.3	1.47	43	25
<u>Volcanic ash soils(n = 19)</u>				
Average	5.3	0.39	130	-
Min	5.0	0.30	52	-
Max	5.7	0.80	238	-

점), 석회암 토양 21점(산토양 5점, 논 1점, 밭토양 15점), 제주도 화산회 토양 19점(밭토양) 등을 포함하여 총 115점을 분석에 이용하였다. 표토에서 15 cm 깊이 까지 채취한 토양을 그늘에서 풍건시켜 고무망치를 이용하여 뺀 후 2 mm 이하의 토양을 분석에 이용하였다. 공시 토양의 화학성분별 평균함량과 범위는 Table 1과 같았으며 pH는 4.3~8.3으로 산성토양에서 염기성 토양까지 포함하였고, EC는 0.03~14.82 dS m<sup>-1</sup>, 유기물은 3~238 g kg<sup>-1</sup>의 범위로 그 분포가 다양하였으며 탄산칼슘(CaCO<sub>3</sub>)당량은 1~25 % 범위로 평균 7 % 였다.

**분석방법** 토양의 화학성분 분석방법 중 기존 분석법은 농업과학기술원 토양화학분석법(NIAST, 2000)에 준하여 토양과 증류수의 비율을 1 : 5로 추출하여 pH는 pH meter(Orion 900A)로, EC는 EC meter(Orion model 122)로 측정하였다. 유기물은 Tyurin법을, 유효인산은 Lancaster 법으로 토양 중 인산을 추출한 후 1-amino-2-naphtol-4-sulfonic acid에 의한 Mo청법으로 발색하여 Spectrophotometer(U-2000, HITACH)로 정량하였으며, 치환성 양이온은 1M NH<sub>4</sub>OAc로 추출하여 ICP(XMP, GBC)로 측정하였다. 다성분동시추출방법은 Mehlich III 법(Wang et al, 2004), Mod. Morgan 법(Agricultural Experiment Stations of Connecticut, 1995), Kelowna 법(van

Lierop, 1988; van Lierop et al, 1989)을 이용하였고, 토양중 인산과 양이온을 동시에 추출하여 인(177.499 nm), 칼륨(766.490 nm), 칼슘(317.933 nm), 마그네슘(279.079 nm), 나트륨(589.592 nm)을 ICP로 정량하였다. 그리고 CaCO<sub>3</sub> 함량은 Jung and Kim(2006)이 제안한 방법을 이용하여 분석하였다(Table 2).

### 결과 및 고찰

**유효인산** 토양의 유효태 인산 분석방법인 Lancaster법, Mehlich III법, Mod. Morgan법, Kelowna 법으로 추출한 인산의 함량(범위)은 각각 373(4~1,731), 483(7~2,330), 120(N.D.~1,215), 407(N.D.~2,011) mg kg<sup>-1</sup>이었다(Table 3). Mehlich III법과 Kelowna법은 Lancaster법으로 추출된 인산의 평균함량보다 각각 28%, 18%가 많았지만, Mod. Morgan법은 오히려 28%가 적었다. 추출액 중의 H<sup>+</sup>, F<sup>-</sup>은 인산 추출에 중요한 구성요소로 F<sup>-</sup>은 알루미늄(Al) 및 철(Fe)과 복합물을 형성하여 인을 추출한다. Mehlich III법, Kelowna 법, 그리고 Lancaster 법은 추출액 중에 H<sup>+</sup>, F<sup>-</sup>이 모두 포함되어 있으나, Mod. Morgan법에는 H<sup>+</sup>이온만으로 구성되어 있기 때문에 토양중의 인산이 추출되는 양이 적은 것으로 추정되었다. 그리고 H<sup>+</sup>, F<sup>-</sup>이 포함되어 있더라도 pH가 낮은 Mehlich III법(pH 2.5)과 Kelowna법(pH 2.7)은 Lancaster법

**Table 2. Methods and procedures of available phosphate and exchangeable cations.**

Extraction methods	Extraction reagent	Elements	Soil	Extraction	Shaking time
			g	ml	min.
1M NH <sub>4</sub> OAc (pH 7.0)	1N NH <sub>4</sub> OAc	Ex. K, Ca, Mg, Na	5	50	30
Lancaster (pH 4.25)	17.6M HOAc + 10M Lactic acid + 0.03M NH <sub>4</sub> F + 0.05M (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + 0.2M NaOH	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	5	20	10
Melich III (pH 2.5)	0.2M HOAc + 0.015M NH <sub>4</sub> F + 0.25M NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> + 0.013M HNO <sub>3</sub> + 0.001M EDTA	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , Ex. K, Ca, Mg,	2.5	25	5
Modified Morgan (pH 4.8)	0.62M NH <sub>4</sub> OH + 1.25M HOAc	Na	4	20	15
Kelowna	0.25M HOAc + 0.015M NH <sub>4</sub> F		2	20	5

**Table 3. Average and range of phosphate extracted by Lancaster, Mehlich III, Mod. Morgan and Kelowna methods for 115 soils.**

Parameter	Lancaster	Mehlich III	Morgan	Kelowna
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			
	mg kg <sup>-1</sup>			
Average	373	483	120	407
Min	4	7	N.D.	N.D.
Max	1,731	2,330	1,215	2,011

(pH 4.25)보다 토양 중 인산을 훨씬 많이 추출하는 것으로 판단되었다. 또한 토양중의 추출된 인산을 측정하는 방법에 따라 그 함량이 달라질 수 있다. 추출된 토양 중 인산을 발색으로 측정할 경우 ortho-P의 무기태 인 만을 검출하지만 ICP로 측정할 경우 ortho-P의 무기태 인 뿐만아니라 발색으로 측정이 안되는 무기태 인과 유기태 인까지 검출(Pittman, 2005) 하기 때문에 ICP로 측정된 인의 함량이 발색을 이용하여 측정된 인의 함량보다 높다고 발표하였다(Engblom, 1999; Mallarino, 2002). 이것이 ICP로 측정된 Mehlich 법과 Kelowna 법의 인산함량이 발색으로 측정된 Lancaster 법의 인산 함량보다 높은 또 하나의 원인이라 생각된다.

Lancaster법으로 분석한 인산함량과 Mehlich III법, Mod. Morgan법, Kelowna 법으로 분석한 유효태 인산함량과는 통계적으로 유의한 정의 상관 관계를 보였다(Figure 1). 특히 Mehlich III ( $R^2 = 0.979^{***}$ )법과

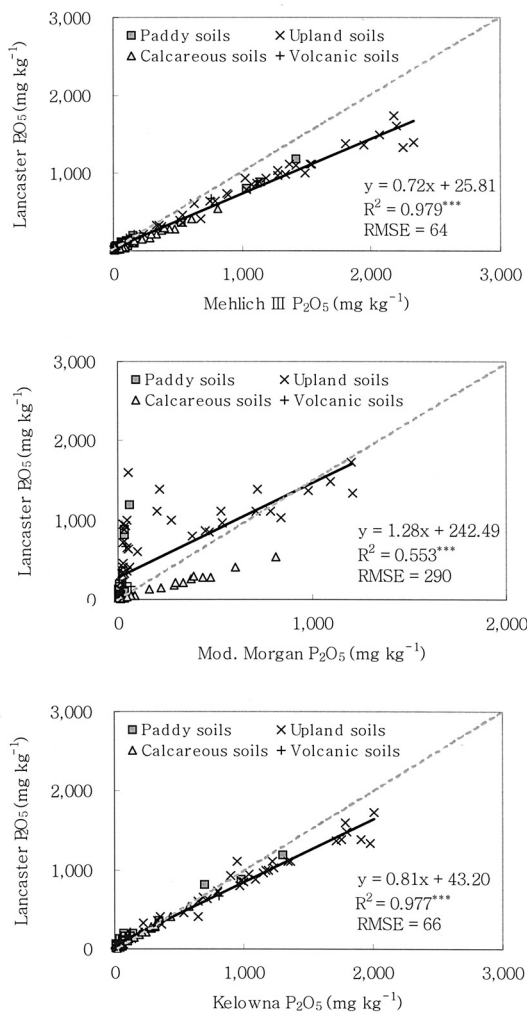
Kelowna법( $R^2 = 0.977^{***}$ )은 상관이 높았으나, Mod. Morgan법은 상관성( $R^2 = 0.553^{***}$ )이 낮았다. Park 등(1992)은 논토양 18점과 밭토양 40점으로 Lancaster 법과 Mehlich III법으로 추출되는 유효태 인산 사이에서 상관계수(r)의 값이  $0.965^{***}$ 로 유의한 정의 상관이 있었다고 하였다. 그리고 Mallarino and Atia(2005)는 59개의 Iowa 지역에 분포하는 토양 78점을 이용한 분석방법간의 비교에서 Mehlich III법은 Bray I법( $R^2 = 0.89^{***}$ ) 및 Olsen( $R^2 = 0.97^{***}$ )법으로 추출되는 인산 함량과 고도의 유의한 직선상관에 있다고 하였고, Gartley et al.(2002)도 Delaware 지역에서 채취한 토양시료 300점으로부터 Mehlich III법으로 추출되는 인산함량과 Bray I법 및 Mehlich I법으로 추출되는 인산함량들 간에 고도로 유의한 정의 상관을 얻었다고 하여 보고한 바 있다.

Kelowna법은 Mehlich III법과 마찬가지로 기존의 Lancaster 법과 상관이 높았는데, Van Lierop(1988)은 Kelowna법이 pH가 7.0보다 낮은 토양에서 Bray I법과의 상관( $r = 0.99^{**}$ )은 매우 높았고, pH가 7.0보다 높은 토양에서  $\text{NaHCO}_3$ 법(Soltanphour et al, 1977; Soltanphour, 1991)의 상관관계( $r = 0.98^{**}$ )도 매우 높아 인산추출함량에 차이는 있었으나 토양 중 인산 추출에 효과적인 분석법으로 평가했다.

논토양, 밭토양, 석회암 그리고 화산회토양의 특성에 따라 Mehlich III법과 Kelowna 법으로 추출되는 인산의 함량은 모든 토양에서 Lancaster 법으로 추출되는 인산의 함량과 상관( $r = 0.967^{***} \sim 0.996^{***}$ )이 높아 활용이 가능하였다. 그러나, Mod. Morgan법은 석회암 토양에서는 Lancaster 법으로 추출되는 인산의 함량과는 상관( $r = 0.945^{***}$ )이 높았지만 논토양, 밭토양, 화산회토양에서는 Lancaster 법으로 추출되는 인산의 함량과 상관( $r = 0.628^{***} \sim 0.797^{***}$ )이 다소 낮았다. 이는 Mod. Morgan법이 석회암 토양과 시설재배지의 pH가 높은 토양에서는 인산을 잘 추출하는 반면 pH가 낮은 논, 밭토양 그리고 화산회토양에서는 Lancaster법보다 토양 중의 인산을 잘 추출하지 못하기 때문으로 판단된다.

Ketterings(2002)등이 Mehlich III법과 Mod. Morgan 법과의 회귀분석에서는 상관( $R^2 = 0.35$ )이 아주 낮았으나 Mehlich III로 추출된 알루미늄 함량과 칼슘함량, 그리고 pH를 변수로 다중회귀를 하면 상관( $R^2 = 0.88$ )이 높아졌다고 하여 토양의 pH와 알루미늄 함량의 영향이 큼을 알 수 있었다(Table 4).

Mehlich III법, Mod. Morgan법, Kelowna 법으로 분석한 유효태 인산 함량을 Lancaster법으로 분석한 인산함량으로 환산하는 회귀식 모형에서 평균제곱근오차(RMSE; Root Mean Square Error)는 각각 64, 290,



**Fig. 1. Relationships between Lancaster, Mehlich III, Mod. Morgan and Kelowna for available phosphate. The broken line in each graph depicts a 1:1 relation.**

**Table 4. Correlations between phosphate extracted by Lancaster and Mehlich III, Mod. Morgan and Kelowna methods for 39 paddy, 36 upland, 21 calcareous and 19 volcanic soils.**

Method	Soils	Mehlich III	Mod. Morgan	Kelowna
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg kg <sup>-1</sup>		
Lancaster	Paddy soils	0.994 <sup>***</sup>	0.705 <sup>***</sup>	0.988 <sup>***</sup>
	Upland soils	0.977 <sup>***</sup>	0.797 <sup>***</sup>	0.975 <sup>***</sup>
	Calcareous soils	0.995 <sup>***</sup>	0.945 <sup>***</sup>	0.996 <sup>***</sup>
	Volcanic soils	0.985 <sup>***</sup>	0.628 <sup>***</sup>	0.967 <sup>***</sup>

66으로 Mehlich III법의 유효태 인산 함량을 Lancaster법의 분석치로 전환하는 모형의 평균제곱근 오차가 가장 낮아 이 모형의 적합도가 가장 좋았다 (Figure 1).

**치환성 양이온** 기존의 분석방법인 1M NH<sub>4</sub>OAc법과 다성분동시추출방법인 Mehlich III법, Mod. Morgan법, Kelowna법으로 분석한 토양의 치환성 양이온의 함량은 Table 5와 같다. 추출방법별 토양의 치환성 칼륨, 칼슘과 마그네슘의 함량은 Mehlich III법 > 1M NH<sub>4</sub>OAc법 ≒ Mod. Morgan법 > Kelowna법의 순서로 추출이 많이 되었다. 그러나 치환성 나트륨은 Kelowna법 > Mehlich III법 > Mod. Morgan법 ≒ NH<sub>4</sub>OAc법의 순서로 함량이 많았다.

Michaelson and Ping(1986)은 알래스카의 화산회 토양과 loess 토양에서 Mehlich III법으로 분석한 칼슘이 1M NH<sub>4</sub>OAc법으로 분석한 칼슘보다 17% 많았다고 보고하였다. Elrashidi등(2003)은 Mehlich III법이 1M NH<sub>4</sub>OAc법보다 치환성 칼슘, 마그네슘, 나트륨이 많게 분석된 것은 암모늄 염(NH<sub>4</sub>F와 NH<sub>4</sub>OAc)과 산성(HOAc, HNO<sub>3</sub>)과 같은 성분이 토양의 치환성 양이온

을 효과적으로 추출하기 때문이라고 하였다.

Mod. Morgan법은 1M NH<sub>4</sub>OAc법과 양이온 분석 결과가 유사하였는데 이것은 추출액 속에 포함된 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>의 농도가 1M NH<sub>4</sub>OAc법은 1M 이고 Mod. Morgan법은 1.25M로 비슷하였기 때문으로 생각되었다.

그러나 Kelowna법은 1M NH<sub>4</sub>OAc법에 비하여 추출되는 칼륨, 칼슘과 마그네슘의 평균함량이 각각 18, 45, 32% 정도 적었지만, 치환성 나트륨은 29%로 많이 분석되었다. van Lierop(1989)도 Kelowna법은 치환성 칼륨이 1M NH<sub>4</sub>OAc로 추출하는 함량보다 20% 적었다고 설명하였고 치환성 나트륨은 1M NH<sub>4</sub>OAc로 추출하는 함량과 비슷하다고 하였다. 그러나 본 실험에서는 치환성 나트륨 함량이 Kelowna 법보다는 1M NH<sub>4</sub>OAc법으로 분석한 결과가 높게 나타나 토양에 따라 나트륨이 추출되는 양상에 차이가 있음을 알 수 있었다. 치환성 양이온 분석에서 1M NH<sub>4</sub>OAc법과 Mehlich III법, Mod. Morgan법, Kelowna법으로 추출되는 치환성 양이온 사이의 관계는 유의한 정적 상관관계(R<sup>2</sup>=0.955<sup>\*\*\*</sup>~0.996<sup>\*\*\*</sup>)가 있었다(Figure 2, 3). 그 중에서도 Mehlich III법으로 추출되는 칼륨과 칼슘, 그리고 마그네슘은 1M NH<sub>4</sub>OAc법로 추출되는 분석치

**Table 5. Average and range of exchangeable cations extracted by 1M NH<sub>4</sub>OAc, Mehlich III, Mod. Morgan and Kelowna extraction methods for 115 soils.**

Ex. cations	Parameter	1M NH <sub>4</sub> OAc	Mehlich III	Mod. Morgan	Kelowna
		cmol kg <sup>-1</sup>			
K	Average	0.91	0.95	0.89	0.77
	Min	0.12	0.14	0.09	0.11
	Max	5.96	6.03	5.96	6.05
Ca	Average	6.8	8.0	7.0	4.7
	Min	0.3	0.4	0.2	0.1
	Max	21.4	22.8	22.7	22.9
Mg	Average	2.9	3.3	3.0	2.2
	Min	0.1	0.1	N.D.	0.1
	Max	8.8	10.9	12.4	7.6
Na	Average	0.64	0.73	0.67	0.90
	Min	0.01	N.D.	0.01	0.02
	Max	6.67	7.57	7.22	6.97

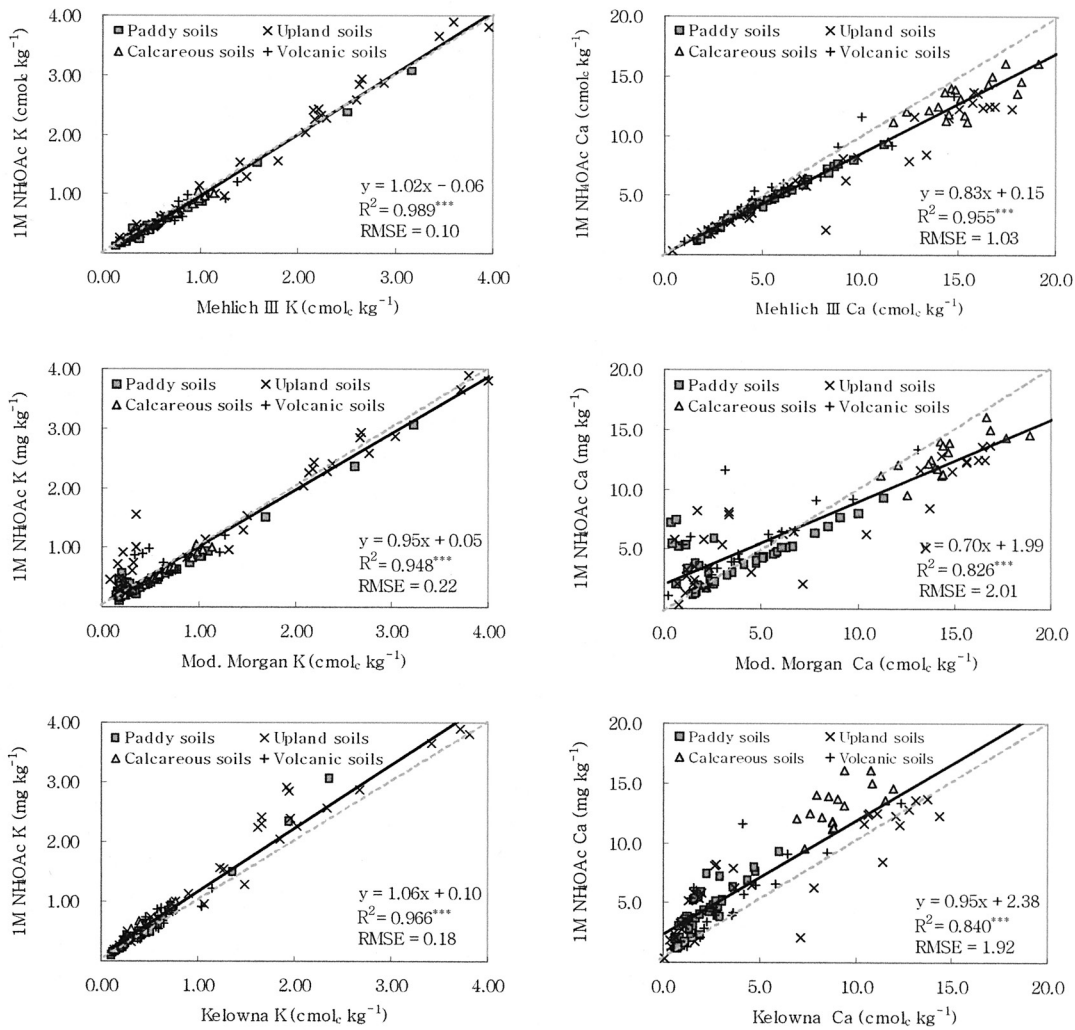


Fig. 2. Relationships between 1M NH<sub>4</sub>OAc and Mehlich III, Mod. Morgan, Kelowna for exchangeable potassium and calcium.

와 가장 높은 상관( $R^2 = 0.955^{***} \sim 0.989^{***}$ )를 보였고 평균제곱근오차도 0.10~1.03 으로 가장 적어 Mehlich III법으로 분석한 칼륨과 칼슘 그리고 마그네슘 함량을 1M NH<sub>4</sub>OAc법으로 분석한 값으로 환산하는 회귀식 모형의 적합도가 가장 좋은 것으로 나타났다. Park 등(1992)이 58개의 토양에서 치환성 칼륨, 칼슘, 마그네슘, 나트륨을 Mehlich III법과 1M NH<sub>4</sub>OAc 법으로 추출되는 양 사이에서 높은 상관( $r = 0.98^{***}$ )을 얻었고, Wang et al.(2004)등도 317개의 Louisiana 토양에서 치환성 양이온을 Mehlich III법과 1M NH<sub>4</sub>OAc 법으로 추출한 분석 결과에서 높은 상관( $R^2 = 0.950^{***}$ )을 얻었다.

Mod. Morgan법으로 분석한 칼륨과 마그네슘은 1M NH<sub>4</sub>OAc로 분석한 결과와 결정 계수( $R^2$ ) 값이 각각 0.948<sup>\*\*\*</sup>, 0.936<sup>\*\*\*</sup>으로 높았으나 치환성 칼슘에서는 0.826<sup>\*\*\*</sup>으로 다소 낮았다.

그리고 Kelowna법은 1M NH<sub>4</sub>OAc법으로 추출되는 치환성 칼륨과 치환성 칼슘의 함량과의 관계에서

Mod. Morgan법과 1M NH<sub>4</sub>OAc법으로 추출되는 분석치보다 상관은 높았지만 Mehlich III법보다는 낮았다. 그러나 Kelowna법과 1M NH<sub>4</sub>OAc법에 의한 치환성 마그네슘 함량의 결정계수( $R^2$ ) 값이 0.774<sup>\*\*\*</sup>로 가장 낮았는데 해안가의 간척지나 pH가 낮은 특이산성의 논토양, 그리고 pH가 높은 석회암 토양에서 마그네슘이 1M NH<sub>4</sub>OAc보다 적게 추출되었고 변이가 커졌으며 평균제곱근오차도 0.98로 가장 컸다(Figure 3).

Mehlich III법으로 추출되는 칼륨, 칼슘, 마그네슘, 나트륨 함량은 논토양, 밭토양, 석회암토양에서 NH<sub>4</sub>OAc 법으로 추출되는 함량과 상관관계( $r = 0.886^{***} \sim 0.997^{***}$ )가 높았다. 그러나 제주도의 화산회토양에서는 Mehlich III법으로 추출되는 분석치는 NH<sub>4</sub>OAc 법으로 추출되는 칼륨, 칼슘, 마그네슘에서 다른 토양과 마찬가지로 상관( $r = 0.945^{***} \sim 0.995^{***}$ )이 높았지만 치환성 나트륨과는 상관( $r = 0.271$ )에 유의성이 없어 유기물 복합체로 결합된 화산회토양에는 추출력이 떨어짐을 알 수 있었다. Mod. Morgan법,

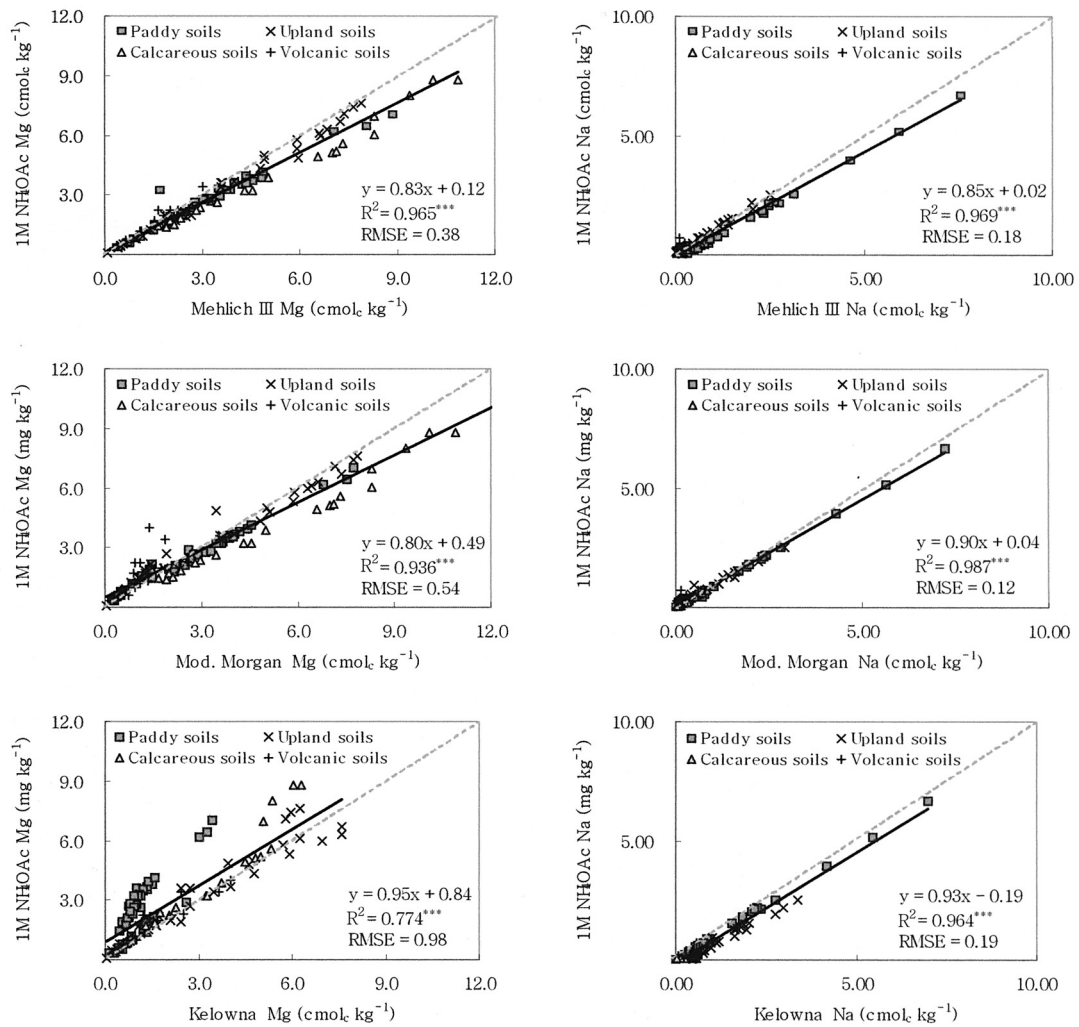


Fig. 3. Relationships between 1M NH<sub>4</sub>OAc and Mehlich III, Mod. Morgan, and Kelowna for exchangeable magnesium and sodium.

Table 6. Correlations between exchangeable K, Ca, Mg and Na extracted by 1M NH<sub>4</sub>OAc and Mehlich III, Mod. Morgan and Kelowna methods for 39 paddy, 36 upland, 21 calcareous and 19 volcanic soils.

Ex. cations	Soil properties	Mehlich III	Mod. Morgan	Kelowna
K	Paddy soils	0.997***	0.984***	0.994***
	Upland soils	0.995***	0.979***	0.981***
	Calcareous soils	0.988***	0.988***	0.953***
	Volcanic soils	0.944***	0.708***	0.907***
Ca	Paddy soils	0.995***	0.832***	0.847***
	Upland soils	0.966***	0.897***	0.935***
	Calcareous soils	0.886***	0.886***	0.618***
	Volcanic soils	0.971***	0.766***	0.813***
Mg	Paddy soils	0.979***	0.991***	0.849***
	Upland soils	0.995***	0.989***	0.966***
	Calcareous soils	0.991***	0.991***	0.951***
	Volcanic soils	0.979***	0.710***	0.935***
Na	Paddy soils	0.995***	0.998***	0.996***
	Upland soils	0.990***	0.989***	0.988***
	Calcareous soils	0.945***	0.945***	0.443*
	Volcanic soils	-0.271 <sup>ns</sup>	0.069 <sup>ns</sup>	0.273 <sup>ns</sup>

Kelowna법도 화산회토양에서 추출된 나트륨 값과 NH<sub>4</sub>OAc 법으로 추출되는 분석치 사이에 상관( $r = 0.069 \sim 0.273$ )에서 Mehlich III법과 비슷한 결과를 보였다(Table 6). 이러한 원인은 화산회토양의 치환성 나트륨이 낮아서인지 유기물 복합체로 결합된 화산회 토양에 추출액의 추출력에 의한 차이로 생긴 것인지는 좀 더 연구해 볼 필요가 있겠다.

현재 우리나라에서 농경지토양 분석에서 표준방법으로 이용하는 분석법인 Lancaster법과 치환성 양이온 분석법인 1M NH<sub>4</sub>OAc법을 유효인산과 치환성 양이온을 동시에 분석할 수 있는 다성분동시추출방법인 Mehlich III법, Mod. Morgan법, Kelowna법을 비교하여 검토한 결과 Mehlich III법이 기존 분석방법인 Lancaster법과 높은 상관관계를 나타내어 분석의 효율성을 고려하면 다성분동시추출방법으로 이용가능한 분석방법으로 판단되었다.

## 적 요

과학영농과 친환경농업이 대두되면서 토양검정량이 급속하게 증가하고 이에 대처하기 위해 신속하게 분석할 수 있는 분석 방법이 요구되고 있다. 따라서 본 연구에서는 신속·간편하게 분석할 수 있는 다성분동시추출방법으로 개발된 Mehlich III법, Mod. Morgan법, Kelowna 법과 국내에서 사용 중인 유효태 인산 분석법인 Lancaster법, 치환성 양이온 분석법인 1M NH<sub>4</sub>OAc법으로 분석되는 분석치들 간의 상관관계를 검토하기 위하여 토양특성이 다양한 우리나라 농경지 115개소에서 토양을 채취하여 여러 가지 방법으로 화학적 분석을 실시하였다. 다성분동시추출 분석방법인 Mehlich III법, Mod. Morgan법, Kelowna법과 기존의 유효인산 분석방법인 Lancaster법과 치환성 양이온 분석법인 1M NH<sub>4</sub>OAc법으로 추출한 분석치는 모두 고도로 유의한 직선적인 상관관계에 있었다. 유효인산은 Mehlich III법, Mod. Morgan법, Kelowna 법과 Lancaster법으로 추출되는 분석치간에 결정계수( $R^2$ )의 크기는 Mehlich III법(0.979<sup>\*\*\*</sup>) > Kelowna법(0.977<sup>\*\*\*</sup>) > Mod. Morgan법(0.553<sup>\*\*\*</sup>)의 순으로 Mehlich III 법이 상관이 가장 높게 나타났고 Lancaster 법보다 토양 중의 인산을 평균적으로 28% 많이 추출하였다. 치환성 양이온에서도 화산회 토양에서 추출되는 나트륨 성분을 제외하고는 Mehlich III 법으로 추출되는 분석치가 1M NH<sub>4</sub>OAc법으로 추출되는 것과 가장 상관이 높았다. 따라서 ICP를 이용하여 유효인산과 치환성 양이온의 분석은 다성분동시추출방법인 Mehlich III법이 이용 가능할 것으로 판단되었다.

## 사 사

본 논문의 일부 기기분석은 강원대학교 농업생명과학연구소의 지원에 의해 수행된 것임.

## 인 용 문 헌

- Bray, R. H., and L. T. Kurtz. 1945. Determination of total organic and available forms of phosphorus in soil. *Soil Science* 59:39-45.
- Elrashidi, M. A., M. D. Mays, and C. W. Lee. 2003. Assessment of Mehlich 3 and Ammonium Bicarbonate-DTPA Extraction for Simultaneous Measurement of Fifteen Elements in Soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 34(19&20):2817-2838.
- Emblom, S. O. 1999. Determination of inorganic phosphate in a soil extract using a cobalt electrode. *Plant Soil* 206:173-179.
- Gartley, K. L., J. T. Sims, C. T. Olsen, and P. Chu. 2002. Comparison of soil test extractants used in Mid-Atlantic United States. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 33(5&6):873-895.
- Jung, W. K. and Y. H. Kim. 2006. Soil organic carbon determination for calcareous soils. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 39(6):396-401.
- Ketterings, O. M., K. J. Cymmek, W.S. Reid, and R.F. Wildman. 2002. Conversion of Modified Morgan and Mehlich-III soil tests to Morgan soil test values. *Soil Science.* 167(12):830-837.
- Ketterings, Q. M. and M. Flock. 2005. Comparison of Bray-I and Mehlich-3 tests in high phosphorus soils. *Soil Science* 170(3):212-219.
- Macaulay Institute for Soil Research and Scottish Agricultural Colleges Group. 1984. *Advisory soil Analysis and Interpretation. Bulletin 1.* Aberdeen, Scotland.
- Mallarino, A. P. 2002. Field calibration for corn for the Mehlich-3 soil phosphorus test with colorimetric and inductively coupled plasma emission spectroscopy determination methods. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68:1928-1934.
- Mallarino, A. P., D. J. Wittry and P. A. Barbagelata. 2002. Iowa Soil-Test Field Calibration Research update: Potassium and the Mehlich-3 ICP Phosphorus Test. Department of Agronomy, Iowa State University, Ames, Iowa.
- Mallarino, A. P. and A. M. Atia. 2005. Correlation of a Resin Membrane soil phosphorus test with corn yield and routine soil tests. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69:266-272.
- McIntosh, J. L. 1969. Bray and Morgan soil test extractants modified for testing acid soils from different parent materials. *Agron. J.* 61:259-265.
- Mehlich, A. 1953. Determination of P, Ca, Mg, K, Na and NH<sub>4</sub>. North Carolina Soil Testing Division(Mimeo), N. C. Dept. Agr., Raleigh.
- Mehlich, A. 1978. Influence for fluoride, sulfate and acidity on extractable phosphorus, calcium, magnesium and potassium. *Commun. In Soil Sci. Plant Anal.* 9(6):455-476.
- Mehlich, A. 1984. Mehlich III soil test extractant : A modification of Mehlich II extractant. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 15(12):1409-1416.



- Michaelson, G. J., and C. L. Ping. 1986. Extraction of phosphorus from the major agricultural soils of Alaska. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 17(3):275-297.
- Munter, R. C. 1990. Advances in soil testing and plant analysis analytical technology. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 21:1831-1841.
- Nathan, M. V., A. Mallarino, R. Elliason, and R. Miller. 2002. ICP vs. Colorimetric determination of Mehlich III extractable phosphorus. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 33:2432-2433.
- Kim, M. S. 2008. Evaluation of Available Phosphorus Soil Tests in different Soils. *Bull. of Agro-Environment Research* 2007, pp 416-436. National Institute of Agricultural Science and Technology. Suwon. Republic of Korea.
- National Institute of Agricultural Science and Technology. 2000. Analytical methods of Soil and Plant. NIAST, Suwon, Republic of Korea.
- Olsen, S. R., and L. E. Sommers. 1982. Phosphorus soluble in sodium bicarbonate, pp 421-422. In : A. L. Page(ed.) American Society of Agronomy. Madison, WI.
- Park, B. G. and J. H. Yoon. 1992. Study on the simplified extraction methods for the analysis of available nutrients in the soil. *Res. Rept. RDA(S&F)* 34(2):43-47.
- Park, Y. H., Y. G. Jung, and C. W. Hong. 1980. Simplification of soil tests. *RDA annual reports*. Suwon, Republic of Korea.
- Pittman, J. J., H. Zhang, and J. L. Schroder. 2005. Difference of phosphorus in Mehlich 3 extracts determined by colorimetric and spectroscopic methods. *Commun. In Soil Sci. Plant Anal.* 36:1641-1659.
- Sharpley, A. N., J. L. Weld., D. B. Beegle, P. J. A. Kleinman, W. J. Gburek, P. A. Moore, Jr., and G. Mullins. 2003. Development of phosphorus indices for nutrient management planning strategies in the United States. *J. Soil Water Conserv.* 58:137-151.
- Soltanphour, P. N., and A. P. Schwab. 1977. A New Soil Test for simultaneous Extraction of Macro- and Micro Nutrients in alkaline soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 8(3):195-207.
- Soltanphour, P. N. 1991. Determination of Nutrient Availability and Elemental Toxicity by AB-DTPA soil Test and ICPS. *Advances in Soil Science.* 16:165-187.
- Van Lierop, W. 1988. Determination of available phosphorus in acid and calcareous soils with the Kelowna multi-element extractant. *Soil Science* 146(4):284-291.
- Van Lierop, W., and N. A. Gough. 1989. Extraction of potassium and sodium from acid and calcareous soils with the Kelowna multiple element extractant. *Soil Science* 69:235-242.
- Wang, J. J., D. L. Harrell, R. E. Henderson, and P. F. Bell. 2004. Comparison of soil-test extractants for phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sodium, zinc, copper, manganese, and iron in Louisiana soils. *Commun. In Soil Sci. Plant Anal.* 35(1&2):145-160.
- Wolf, A. and D. Beegle. 1995. Recommended soil tests for macronutrients: phosphorus, potassium, calcium and magnesium. pp 30~38. In *Recommended soil testing procedures for the Northeastern United States*. 2nd ed. Northeastern regional publication No. 493. Available at [.edu/extension/agnr/soiltesting.htm](http://www.nesr.org/extension/agnr/soiltesting.htm).
- Wolf, B. 1982. An improved universal extracting solution and its use for diagnosing soil fertility. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 13(12):1003-1005.