

Article

<https://doi.org/10.7745/KJSSF.2018.51.4.657>

pISSN : 0367-6315 eISSN : 2288-2162

Introduction of On-site Soil Analysis and Diagnosis System

Yoo-Hak Kim*, Myung-Suk Kong, Eun-Jin Lee, Seong-Soo Kang¹, Goo-Bok Jung, and Ha-Il Jung

Division of Soil and Fertilizer, National Institute of Agricultural Science, RDA, Wanju 55365, Korea

¹R&D Coordination Division, RDA, Jeonju 54875, Korea

*Corresponding author: kim.yoohak@korea.kr

ABSTRACT

Received: November 15, 2018**Revised:** November 29, 2018**Accepted:** November 29, 2018

Crops must absorb all essential elements sufficiently, because a yield of crop is determined by the Minimum which is the growth limiting factor of Liebig's law of minimum. The minimum is determined by soil testing and recommended as a fertilizer corresponding to the amount of crop production for the crop period before cultivation but the amount of the fertilizer is supplied by farmers' experiences on the growing condition of crop during cultivation. Owing to the diversity of soil chemical properties, soil must be categorized to be recommended the adequate amount of fertilizer. Therefore we categorized soil as 8 soil testing types with soil pH and soil organic matter (SOM) of Korean soil information system. We also set up the on-site soil analysis and diagnosis system in order to recommend the nutrients by soil testing during cultivation. The process of system was composed of three steps: 1) analyzing chemical properties of pH and Eh and nutritional properties of N and P and osmotic properties of EC or sum of nitrate and sulfate and chloride, 2) diagnosing soil condition as one of 64 kinds of soil conditions with categorizing with 4 chemical properties and 8 nutritional status and 2 osmotic aspects, 3) recommending the amount of minimum according to the soil condition and soil testing type and how to supply fertilizers by a series of pH buffer and fertilizer and water.

Keywords: On-site diagnosis system, Soil testing types, Fertilizer recommendation system

Soil diagnosis chart

Nutrient situation	Chemical situation			
	$5.6 \leq \text{pH} \leq 7.4$	$\text{pH} \leq 5.5$	$\text{pH} \geq 7.5$	$\text{Eh}7 < 0.48\text{V}$
NP sufficiency	NP sufficient	Worrying NO_2	Worrying NH_3	Worrying denitrification
NP deficiency	NP shortage	Volatilizing NO_2	Volatilizing NH_3	Denitrification
P deficiency	P shortage	N/P imbalance (P precipitated by Al, Fe)	N/P imbalance (P precipitated by Ca, Mg)	Immature compost
N deficiency (good growth)	Crop uptake N	Volatilizing NO_2	Volatilizing NH_3	Denitrification
N deficiency (bad growth)	N shortage	Highly volatilizing NO_2	Highly volatilizing NH_3	Excessive denitrification
N excess	Excessive N fertilizer	Excessive N fertilizer and Immature compost	Excessive compost and manure	High N immature compost
P excess	Excessive P fertilizer	-	-	Soluble P fertilizer or excess manure
K excess	Reverse osmotic pressure	-	Excessive compost tea	Excess immature compost



Introduction

작물을 잘 재배하기 위해서는 토양에서 생육제한인자가 되는 양분을 찾아 공급하는 것이다. 작물이 한 작기 동안 흡수하는 양분의 양은 토양검정으로 토양의 유효태 성분을 분석하여 알 수 있지만 작물 재배기간 동안 질소와 인산의 흡수 양상은 토양의 조건에 따라 매우 달라지기 때문에 (Kim et al., 2010a; Kim et al., 2010b; Kim et al., 2011) 현장에서 양분을 관리할 수 있는 방안이 필요하다.

토양에서 양분을 간직하여 공급하는 기능을 하는 토양의 양이온 교환용량 (CEC)은 점토와 유기물 (SOM)의 음전하에 의해 생기는데 우리나라 토양은 주요 점토광물인 kaolinite에서는 약 $10 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 의 CEC가 생기고 SOM에서는 $0.2 \text{ cmol}_c \text{ g}^{-1}$ 인 부식이 26 g kg^{-1} 이 있으므로 (Kim et al., 2006; RDA, 2016) 약 $5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ 의 CEC가 생긴다고 볼 수 있다. 점토와 SOM의 CEC는 점토는 흡탈착 상수, SOM은 안정화 상수에 따라 필수원소를 토양용액으로 해리하는데 (Lindsay, 1979) 필수원소를 해리하는 CEC는 필수원소의 흡탈착 상수와 안정화 상수의 차이 때문에 달라지게 된다. SOM의 CEC와 양이온과의 안정화 상수는 Ligand를 EDTA 기준으로 볼 때 미량원소는 $\text{Ca } 10^{11.61}$, $\text{Mg } 10^{9.83}$ 이고 미량원소는 $\text{Fe } 10^{26.95}$, $\text{Cu } 10^{19.70}$, $\text{Mn } 10^{14.81}$, $\text{Zn } 10^{17.44}$ 이므로 (Lindsay, 1979), 미량원소가 SOM에 있는 CEC의 대부분을 차지하고 있어 SOM 함량으로 미량원소의 생육제한인자 여부를 판단할 수가 있다. 또한, 점토의 CEC에 흡착된 Ca^{2+} 는 $10^{-2.5} \text{ M}$, Mg와 K는 $10^{-3.0} \text{ M}$ 이 해리되는 반면 SOM의 CEC에 안정화되어 있는 Ca^{2+} 는 $10^{-11.61} \text{ M}$, Mg^{2+} 는 $10^{-9.83} \text{ M}$ 이 해리되므로 (Lindsay, 1979), 점토 CEC에 흡착한 치환성 양이온 함량으로 K, Ca, Mg의 생육제한인자 여부를 알 수가 있다. N은 SOM 함량, P는 유효인산 함량으로 한 작기 동안 토양이 공급하는 N, P의 양을 판단하고 있지만 토양의 질소와 인산은 식물이 많이 필요한 반면, 토양에 존재하는 양은 매우 적어 토양 pH와 Eh에 따라 휘산되거나 침전되기 때문에 현장에서 N과 P의 흡수상태를 분석하여야만 생육제한인자 여부를 알 수가 있다. 현장에서 N과 P의 흡수상태는 작물 뿌리의 흡수속도가 $10^3 \sim 10^4$ 용질/s인 운반체단백질보다 10^8 이온/s인 통로단백질이 빠르므로 (Lim, 2006) 통로단백질을 통하여 흡수되는 수용성 양분을 분석하면 알 수가 있다. 따라서 작물을 재배하기 전에 토양검정을 하여 미량원소는 유기물, K, Ca, Mg는 치환성 양이온으로 생육제한인자 여부를 진단하고 재배기간 중에는 현장에서 수용성 N, P를 분석하여 N, P의 생육제한인자 여부를 진단하면 모든 필수원소에 대한 생육제한인자 여부와 이를 바탕으로 처방을 할 수 있게 된다.

Materials and Methods

토양시료 채취 토양시료 채취는 현장에서 작물의 뿌리가 주로 분포하는 부위에서 토양 1~2 mL씩 채취용기에 다지면서 한 주당 4~5군데에서 5 mL를 채취하였다.

현장분석방법 현장분석방법의 pH분석방법은 ISO와 한국산업규격 (KS M ISO 10390, 2001)에서 정한 토양:물을 부피비로 1:5 (v/v)로 하여 측정하는 방법으로 50 mL 비이커에 토양 5 mL를 담고 증류수 25 mL를 부은 후 잘 섞어 주고 5분가량 지난 후 토양 pH를 측정하였다. 토양 EC는 여과하지 않은 상태의 pH 측정용액에서 측정하였다. Eh 분석방법은 ISO와 한국산업규격 (KS M ISO 11271, 2001)에서 정한 방법으로 백금전극과 기준전극 사이에 균열이 없는 토양에서 1 m 이내로 꽂은 후 일정시간 후 전위차계로 측정하였다. 수용성 NO_3^- 과 PO_4^{3-} 및 SO_4^{2-} , Cl^- 등의 양분은 pH 측정이 끝난 토양용액을 No. 2로 여과하여 현장분석 장비로 여액의 농도를 측정하였다. 현장분석 장비가 없는 경

우에는 Merck사의 test strip으로 NO_3^- 와 PO_4^{3-} 를 측정하고 BaCl_2 로 SO_4^{2-} 의 침전과 AgNO_3 로 Cl^- 의 침전 여부를 측정하였다.

토양검정 유형 구분 토양 pH와 SOM 함량의 범위를 pH는 5.5이하, 5.5~5.9, 6.0~7.2 및 7.2이상의 4가지로 구분하고 OM은 20 g kg^{-1} 이상과 미만의 2가지로 구분하여 흙토람 (<http://soil.rda.go.kr>)의 2003~2014년 토양검정자료에서 분포비율을 확인한 다음 8가지의 토양검정유형으로 설정하였다.

현장분석결과 진단 기준 설정 현장분석결과로 토양양분상태를 진단하기 위하여 양분의 손실 또는 식물 흡수와 관련된 pH와 Eh의 범위, 토양용액의 NO_3^- , PO_4^{3-} 농도 및 삼투압에 대한 EC 또는 음이온 (NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-)의 범위를 설정하였으며 각각의 범위에 대한 토양양분 상태를 설정하였다.

현장 진단에 따른 처방 현장분석결과로 진단한 토양양분 상태를 토양의 pH를 정상으로 유지하면서 N, P가 침전이나 가스로 되지 않고 작물에 흡수될 수 있도록 토양검정 유형별로 기본처방을 제시하였다. 토양의 종류에 따라 비료의 수준은 달라지므로 질소 등의 비료의 수준을 기본처방의 0, 0.5, 1, 2배에 대한 예비시험을 실시하여 그 중에서 가장 좋은 수준을 선택하여 본 시험을 실시할 수 있게 하였다.

Results and Discussion

현장분석결과 진단 기준 설정 H^+ 와 e^- 는 대부분의 토양화학반응에 개입되어 있으므로 양분의 행동은 토양의 pH와 Eh에 따른 화학반응변화를 파악하여야 한다. 토양의 질소는 토양의 pH가 7.5이상에서 $\text{NH}_3(\text{g})$ 로 휘산되고 (Kim et al., 2010a) pH 5.5이하에서 $\text{NO}_2(\text{g})$ 로 휘산된다 (Kim et al., 2010b). 토양의 인산은 토양 pH가 7.2보다 낮을 때는 H_2PO_4^- , 7.2보다 높아지면 HPO_4^{2-} 로 존재하므로 (Lindsay, 1979) 토양 pH가 7.5이상에서는 HPO_4^{2-} 는 토양 용액에 많이 존재하는 Ca^{2+} 와 반응하여 0.02%가 녹는 불용성인 CaHPO_4 상태가 되고 토양 pH가 5.5이하에서는 variscite, taranakite (Lindsay, 1979; RDA, 2012)로 침전된다. 그래서 토양 pH의 기준은 질소성분이 가스로 휘산되고 인산성분이 침전되는 것을 고려하여 pH 5.5이하, pH 5.6 ~ pH 7.4, pH 7.5이상으로 기준을 설정하였다. 또한, 토양 Eh 기준은 산화환원전위 (Eh)가 480 mV미만에서 질소는 NO_3^- 에서 NO_2^- 로 변하여 탈질되고 인산은 정인산 (PO_4^{3-}) 상태에서 산소가 적은 피로인산 ($\text{P}_2\text{O}_7^{2-}$) 상태로 되어 Ca^{2+} 과는 $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 의 수용성에서 CaP_2O_7 의 불용성 화합물로 변하므로 (Lide, 2003) Eh 480 mV미만을 기준으로 추가하였다. 작물의 생육에 대한 눈에 보이는 증상은 토양의 수용성 질소와 수용성 인산의 흡수에 따라 과부족 증상이 나타나는데 토양의 수용성 양분이 부족한 경우는 NO_3^- 함량은 $50 \text{ mg NO}_3^- \text{ L}^{-1}$ 이하, PO_4^{3-} 함량은 $25 \text{ mg PO}_4^{3-} \text{ L}^{-1}$ 이하로 나타났으며 (RDA, 2006) NO_3^- 함량이 $200 \text{ mg NO}_3^- \text{ L}^{-1}$ 보다 높을 때 작물의 엽색이 짙은 녹색으로 나타나고 심하면 고사하였다. 이를 바탕으로 NO_3^- 함량은 부족 ($100 \text{ mg NO}_3^- \text{ L}^{-1}$ 이하), 적정 ($100 \sim 200 \text{ mg NO}_3^- \text{ L}^{-1}$), 과다 ($200 \text{ mg NO}_3^- \text{ L}^{-1}$ 이상)로 구분하였고 PO_4^{3-} 함량은 부족 ($25 \text{ mg PO}_4^{3-} \text{ L}^{-1}$ 이하), 적정 ($25 \sim 100 \text{ mg PO}_4^{3-} \text{ L}^{-1}$), 과다 ($100 \text{ mg PO}_4^{3-} \text{ L}^{-1}$ 이상)로 구분한 뒤 토양검정의 K과잉인 경우를 추가하여 8가지로 기준을 설정하였다. 또한, 삼투압 측면은 토양의 NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- 의 합 또는 EC로 높고 낮음으로 구분하였는데 EC의 경우 토양검정의 SOM이 25 g kg^{-1} 이하일 때 EC기준은 2 dS m^{-1} 이지만 SOM이 25 g kg^{-1} 이상일 때 EC기준은 $(2 + (\text{SOM}-25) \times 0.3) \text{ dS m}^{-1}$ 으로 설정하였다.

현장 토양분석에 의한 토양상태 진단 현장 토양분석결과로 토양상태를 진단할 수 있도록 Table 1, 2와 같이 현장진단 조건표를 설정하였다. 토양의 pH와 Eh가 적정상태일 때는 N, P가 부족하면 작물이 양분을 흡수하여 모자라는 상태이고 과잉이면 비료를 많이 공급한 상태로 판단하였다. 토양의 pH가 5.5보다 낮을 때는 N, P가 적정이면 앞으로 N은 NO₂로 휘산될 것이고 P는 광물로 침전될 것으로 판단하였다. N이 부족하면 NO₂ 휘산이 일어나고 있고 P가 부족하면 침전반응이 일어난 상태이다 (Kim et al., 2010b). N 과잉은 비료를 많이 준 토양이거나 미숙퇴비를 준 토양

Table 1. Soil conditions by diagnosed with chemical and nutrient situation at normal osmotic pressure.

Nutrient situation	Chemical situation			
	5.6 ≤ pH ≤ 7.4	pH ≤ 5.5	pH ≥ 7.5	Eh7 < 0.48V
NP sufficiency	NP sufficient	Worrying NO ₂	Worrying NH ₃	Worrying denitrification
NP deficiency	NP shortage	Volatilizing NO ₂	Volatilizing NH ₃	Denitrification
P deficiency	P shortage	N/P imbalance (P precipitated by Al, Fe)	N/P imbalance (P precipitated by Ca, Mg)	Immature compost
N deficiency (good growth)	Crop uptake N	Volatilizing NO ₂	Volatilizing NH ₃	Denitrification
N deficiency (bad growth)	N shortage	Highly volatilizing NO ₂	Highly volatilizing NH ₃	Excessive denitrification
N excess	Excessive N fertilizer	Excessive N fertilizer and Immature compost	Excessive compost and manure	High N immature compost
P excess	Excessive P fertilizer	-	-	Soluble P fertilizer or excess manure
K excess	Reverse osmotic pressure	-	Excessive compost tea	Excess immature compost

Table 2. Soil conditions by diagnosed with chemical and nutrient situation at high osmotic pressure.

Nutrient situation	Chemical situation			
	5.6 ≤ pH ≤ 7.4	pH ≤ 5.5	pH ≥ 7.5	Eh7 < 0.48V
NP sufficiency	NP sufficient	Nutrient accumulation	Nutrient accumulation without anion	Worrying denitrification
NP deficiency	Excess water after excess fertilizer	Volatilizing NO ₂ accumulated with S, Cl	Volatilizing NH ₃ with excess cation	Denitrification
P deficiency	P shortage	N/P imbalance (P precipitated by Al, Fe)	N/P imbalance (P precipitated by Ca, Mg)	Immature compost and excessive fertilizer
N deficiency (good growth)	Crop uptake N	Volatilizing NO ₂	Volatilizing NH ₃	Denitrification
N deficiency (bad growth)	N shortage	Highly volatilizing NO ₂	Highly volatilizing NH ₃	Excessive denitrification
N excess	Excessive N fertilizer	Excessive N fertilizer and Immature compost	Excessive compost and manure and excessive fertilizer	High N immature compost and excessive fertilizer
P excess	Excessive P fertilizer	Excess composite fertilizer	-	-
K excess	Reverse osmotic pressure	Reverse osmotic pressure	Reverse osmotic pressure	Reverse osmotic pressure

에서 미숙퇴비의 분해로 생긴 H^+ 와 e^- 가 O_2 부족으로 H_2O 로 되지 않고 토양화학반응에 참여하게 되어 (Lindsay, 1979) pH가 낮아지는 경우인데 이때는 NO_2 의 발생도 잇달아 일어나 피해가 심해질 수 있는 토양이다 (Kim et al., 2010b). pH가 7.5보다 높을 때는 NP가 적정이면 앞으로 N은 NH_3 으로 휘산되고 P는 hydroxyapatite, $CaHPO_4$ 등의 녹지 않는 상태로 변할 것이 우려되는데 (Lindsay, 1979; Lide, 2003) N이 부족하면 NH_3 휘산이 일어나고 있고 P가 부족하면 침전이 일어난 상태이다. 토양의 Eh가 0.48V보다 낮게 환원되면 N은 N_2 로 탈질되는 데 NP가 적정이면 앞으로 N은 N_2 로 탈질이 일어날 것이고 P는 피로인산의 불용성으로 바뀔 수 있는 상태로 판단하였으며 N이 부족하면 N_2 탈질이 일어나고 있고 P가 부족하면 침전이 일어난 상태로 판단하였다. 이때 N, P, K의 과잉은 거의 일어나지 않으나 질소가 많은 미숙퇴비를 많이 주어서 N, K가 과잉되고 수용성 인산비료나 돈분구비를 과잉으로 줄 때 P가 과잉이 될 수가 있다.

토양검정유형 설정 비료의 처방은 현장진단 결과가 같아도 토양의 화학적 특성에 따라 다르기 때문에 먼저 토양 검정 결과로 토양검정유형을 설정하여 처방에 활용하였다. 토양검정유형은 Table 3와 같이 흙토람 토양검정 자료의 분포비율과 토양 pH와 SOM의 범위를 고려하여 강산성 척박지, 미숙퇴비 축적지, 초기 경작지, 석회 부족지, 석회 개량지, 종합 개량지, 석회 과잉지, 과잉 개량지의 8가지로 설정하였다. 우리나라 자연 토양은 토양 pH가 매우 낮고 양분 함량도 부족한 강산성 척박지 (Kim et al., 2003)이거나 강산성 척박지에 산야초 등이 축적되어 있는 미숙퇴비 축적지이다. 자연 토양에서 화학비료만 주면서 경작하면 비료의 양이온에 의하여 토양 pH가 올라가고 SOM 함량은 낮아지는데 퇴비를 주어 SOM을 높여도 석회는 여전히 부족한 상태이다. 석회질 비료로 pH를 개량한 토양은 작물은 잘 자라게 되는데 유기물 함량은 낮은 토양과 퇴비를 살포하여 작물 생육이 건전한 종합개량지로 구분할 수 있었다. 이때 석회질비료를 과잉으로 살포한 토양은 pH가 7.2이상으로 올라가는데 퇴비 등도 과잉으로 개량하여 SOM 함량도 높은 토양도 많아지고 있어 토양의 화학적 특성을 바탕으로 토양검정 유형을 설정하였다.

토양화학성에 따른 토양관리방안 토양검정과 현장분석의 결과로 토양관리 상태를 판단할 수 있는데 현장분석 pH가 낮은 데 토양검정 유형이 석회로 개량한 토양이거나 토양검정 pH가 높은 토양일 때는 비료 또는 미숙퇴비에 의

Table 3. Soil management status established by pH and organic matter in soils.

pH	OM	Ratio of K SIS [†] (%)		Soil testing type
		Paddy	Upland, Orchard, Plastic film soil	
<5.5	<20	9.8	8.8	Strong acidic barren soil
<5.5	≥20	15.9	13.9	Immature compost accumulated soil
5.5~5.9	<20	12.9	7.2	Newly cultivating soil
5.5~5.9	≥20	23.1	11.4	Ca deficiency soil
6.0~7.2	<20	14.4	18.2	Ca supplying soil
6.0~7.2	≥20	21.1	31.0	Ca and compost supplying soil
>7.2	<20	1.7	4.0	Excessive Ca supplying soil
>7.2	≥20	1.1	5.4	Excessive Ca and compost supplying soil

[†]Korean soil information system

Table 4. Recommended soil management practices according to soil testing type and on-site soil analysis.

Soil testing type	On-site soil analysis		
	pH < 5.5	pH > 7.5	Eh < 0.48V
Strong acidic barren soil	Lime supply in next crop period	Soil testing in next crop period	Improving drainage
Immature compost accumulated soil	Lime supply in next crop period	Soil testing in next crop period	No immature compost
Newly cultivating soil	Lime supply in next crop period	Soil testing in next crop period	Improving drainage
Ca deficiency soil	Lime supply in next crop period	Soil testing in next crop period	No immature compost
Ca supplying soil	No immature compost		Improving drainage
Ca and compost supplying soil	No immature compost		No immature compost
Excessive Ca supplying soil	No immature compost		Improving drainage
Excessive Ca and compost supplying soil	No immature compost		No immature compost

하여 낮아진 토양이고 반대로 현장분석 pH가 높은 데 토양검정 유형이 석회로 개량하지 않은 토양일 때는 물을 담수 하였거나 토양검정을 한 뒤에 토양개량제를 준 토양으로 판단하여 현장분석 pH와 Eh에 따라 토양검정 유형별 토양 관리 방안을 Table 4과 같이 설정하였다. 토양검정유형이 강산성 척박지, 미숙퇴비 축적지, 초기 경작지, 석회 부족지 등에서 현장진단 pH가 5.5보다 낮을 때는 다음 작기에 반드시 석회를 공급하고 pH가 7.5보다 높을 때에는 토양을 다시 검정하도록 추천하였다. 토양검정유형이 석회 개량지, 종합 개량지, 석회 과잉지, 과잉 개량지 등에서 pH가 5.5보다 낮은 것은 환원상태에서 퇴비의 분해로 생기므로 다음 작기에는 미숙퇴비의 사용을 자제하도록 추천하였다. Eh가 낮은 경우는 물을 과다하게 주거나 미숙퇴비가 분해되는 경우에 발생하므로 강산성 척박지, 초기 경작지, 석회 개량지, 석회 과잉지는 배수개선을 처방하고 미숙퇴비 축적지, 석회부족지, 종합개량지, 과잉 개량지는 다음 작기에는 미숙퇴비의 사용을 자제하는 것으로 추천하였다.

현장 진단 결과에 따른 비료 처방 현장진단에 의한 처방과정은 3단계로 구성하였다. 제1 단계는 N, P 비료의 흡수를 향상시키기 위하여 토양 pH를 적정범위로 유지할 수 있는 pH 완충용액을 처방하였다. 제2 단계는 비료 성분이 Table 5의 침전을 이루는 물질이 없는 비료들은 혼합하여 주고 만약 침전을 하는 성분이 있으면 단비로 주어야 하고 단비를 주는 순서는 물과 잘 녹는 비료부터 주고 인산과 침전을 이루는 비료는 가장 마지막에 주도록 처방하였다. 제3 단계는 수분을 공급하는 것으로 설정하여 비료가 과잉으로 공급되지 않도록 처방하였다.

제1 단계: pH 완충용액 공급 토양 pH가 적정범위를 벗어나면 질소의 휘산과 인산의 침전이 생기므로 작물재배 전에는 석회소요량을 분석하여 토양 pH를 조절하고 있고 (RDA, 2010), 작물 재배기간 중에도 질소와 인산의 공급을 유지하기 위해서는 토양 pH가 적정범위를 유지하도록 관리하면서 재배하여야 한다. pH 완충용액은 제1 인산 ($H_2PO_4^-$)과 제2 인산 (HPO_4^{2-})의 몰 비율이 1:1일 때 pH는 7.2, 무게 비율이 1:1일 때는 6.9에서 완충기능이 있으므로 (Lindsay, 1979) 이를 활용하여 인산용액으로 설정하였다. 인산 완충용액은 KH_2PO_4 1.0 kg과 K_2HPO_4 1.0 kg을 혼합하여 공급하는데 10a의 깊이 10 cm에 관수하면 토양의 인산은 9.3 mg kg^{-1} 의 인산함량이 증가하고 물 2톤에 녹이면 $620 \text{ mg PO}_4 \text{ L}^{-1}$ 의 농도가 되고 토양 액상 30%의 물과 혼합되면 $40 \text{ PO}_4^{3-} \text{ mg L}^{-1}$ 이 되는 양이다. 작물 재배기간 중에 토양 pH가 내려가는 것은 산성비료의 사용 또는 미숙퇴비의 분해로 생긴 H^+ 와 e^- 가 토양 O_2 의 부족으로 H_2O 로 바뀌

Table 5. Solubility of chemicals in fertilizer (g per 100 g H₂O).

Anion	Cation							
	Al	Ca	Mg	K	Fe	Cu	Mn	Zn
SO ₄ ²⁻	Al ₂ (SO ₄) ₃ 38.5	CaSO ₄ 0.205	MgSO ₄ 35.7	K ₂ SO ₄ 12.0 KHSO ₄ 50.6	FeSO ₄ 29.5 Fe ₂ (SO ₄) ₃ 440.0	CuSO ₄ 22.0	MnSO ₄ 63.7	ZnSO ₄ 57.7
Cl ⁻	AlCl ₃ 45.1	CaCl ₂ 81.3	MgCl ₂ 56.0	KCl 35.5	FeCl ₂ 65.0 FeCl ₃ 91.2	CuCl ₂ 75.7 CuCl 0.0047	MnCl ₂ 77.3	ZnCl ₂ 408.0
NO ₃ ⁻	Al(NO ₃) ₃ 68.9	Ca(NO ₃) ₂ 144.0	Mg(NO ₃) ₂ 71.2	KNO ₃ 38.3	Fe(NO ₃) ₂ 87.5 Fe(NO ₃) ₃ 82.5	Cu(NO ₃) ₂ 145.0	Mn(NO ₃) ₂ 161.0	Zn(NO ₃) ₂ 120.0
PO ₄ ³⁻	AlPO ₄ i	Ca ₃ (PO ₄) ₂ 0.00012 CaHPO ₄ 0.02 Ca(H ₂ PO ₄) ₂ 21.9	Mg ₃ (PO ₄) ₂ 0.00009	K ₃ PO ₄ 106.0 K ₂ HPO ₄ 168.0 KH ₂ PO ₄ 25.0	Fe ₃ (PO ₄) ₂ i FePO ₄ 2.87	Cu ₃ (PO ₄) ₂ i	Mn(H ₂ PO ₄) ₂ s	Zn ₃ (PO ₄) ₂ i
SiO ₄ ⁴⁻	Al ₂ O ₃ 2SiO ₂ i	CaSiO ₃ i	MgSiO ₃ i	K ₂ Si ₂ O ₅ sl			MnSiO ₃ i	Zn ₂ SiO ₄ i
BO ₃ ³⁻	Al ₂ O ₃ B ₂ O ₃ i	Ca(BO ₂) ₂ 0.130	Mg(BO ₂) ₂ sl			Cu(BO ₂) ₂ i	MnB ₄ O ₇ i	ZnO ₃ B ₂ O ₃ 0.0007
MoO ₄ ²⁻		CaMoO ₄ 0.00110		K ₂ MoO ₄ 183.0	FeMoO ₄ i	CuMoO ₄ 0.038		ZnMoO ₄ i
MnO ₄ ⁻		Ca(MnO ₄) ₂ 331.0	Mg(MnO ₄) ₂ s	KMnO ₄ 7.6				Zn(MnO ₄) ₂ s
OH ⁻	Al(OH) ₃ i	Ca(OH) ₂ 0.160	Mg(OH) ₂ 0.00069	KOH 121.0	Fe(OH) ₂ 0.000052	Cu(OH) ₂ i	Mn(OH) ₂ 0.00034	Zn(OH) ₂ 0.000042

* i: insoluble, sl: slightly soluble, s: soluble, vs: very soluble

* Adapted from Lide (2003).

지 않고 토양화학반응에 참여하기 때문이다. 미숙퇴비의 분해로 야기된 강산성 토양은 토양 전체의 pH가 낮아지므로 작물이 생육하는 상태에서는 이동성이 약한 인산 완충용액으로 pH를 교정하기 어렵고 토양 pH를 중화하는 데 소요 되는 알칼리 물질의 양을 직접 적정하여야 가능하기 때문에 현장진단방법에 의한 처방에서 제외하였다.

제2단계: 비료 공급수준 설정 비료의 공급 기준은 현장진단에 의한 생육제한인자를 파악하여 생육제한인자에 대한 관비 추천기준을 따르면 된다. 그렇지만 토양에 따라 양분 공급 양상이 다르므로 직접 처방을 하여 처방수준을 정할 수 있다. 질소비료는 작물의 생육이 적정한 토양의 NO₃⁻는 100~200 mg NO₃⁻ L⁻¹으로 나타나 (Kim et al., 2006) N 함량이 이보다 부족하면 질소비료 공급수준을 예비시험으로 결정할 수 있다. 질소비료 종류는 Table 6과 같이 토양 검정 유형에 따라 선택하는 데 현장 분석결과의 pH가 7.2보다 높은 곳에서는 NO₃태 질소비료를 처방하고 pH가 5.9보다 낮은 곳에서는 요소와 같은 NH₃태 질소비료를 추천하여 NH₃가스와 NO₂가스의 발생을 미연에 막았으며 pH가 6.0~7.2인 토양은 NH₄⁺태와 NO₃태 질소비료를 모두 사용이 가능하도록 하였다. 현장진단의 양분적 측면에 의한 추

Table 6. Nitrogen and micronutrient fertilizer according to soil testing types.

Soil testing type	Nitrogen fertilizer		Micronutrient fertilizer
	Ammonia	Nitrate	
Strong acidic barren soil	○	x	○
Immature compost accumulated soil	○	x	x
Newly cultivating soil	○	x	○
Ca deficiency soil	○	x	x
Ca supplying soil	○	○	○
Ca and compost supplying soil	○	○	x
Excessive Ca supplying soil	x	○	○
Excessive Ca and compost supplying soil	x	○	x

천은 양분상태가 적정이거나 N 부족이면서 생육상태가 양호하면 현재 비료 공급량을 유지하고, 양분상태가 NP고갈이거나 N 부족이면서 생육상태가 불량하면 질소 기본처방 수준으로 예비처방을 통하여 본 처방의 수준을 결정하도록 추천하였고 P과잉이면 P와 결합하여 침전을 이루는 Mg를 MgSO₄로 3.2kg/10a 공급을 추천하였다. K과잉이면 칼리질 비료 제외하고 현재 비료공급량 유지하거나 퇴비의 분해로 K의 함량이 많은 경우 다음 작기에는 미숙퇴비의 사용을 자제하는 것으로 추천하였다. 예비처방의 질소 기본수준은 10a에 2톤의 물에 녹여 줄 때 100 mg NO₃ L⁻¹인 양으로 요소로는 5 kg, KNO₃로는 16 kg이다. 질소비료뿐만 아니라 미량원소 비료 등도 같이 설정할 수 있다. 인산은 제1 단계에서 pH완충용액으로 공급되기 때문에 제외하였다. 예비처방은 작물이 재배되고 있는 토양 1 m²에 기본수준의 0, 0.5, 1.0, 2.0배인 요소 0, 2.5, 5, 10g (KNO₃로는 0, 8, 16, 32 g)의 질소비료와 칼륨비료 및 미량원소 비료를 예비적으로 처방하고 난 뒤 이 중에서 가장 생육상태가 좋은 수준을 선택하여 10a는 1,000 m²이므로 해당 수준의 비료량에 1,000배 곱한 량을 10a에는 공급하도록 처방하였다.

제3단계: 수분 공급 제2단계에서 비료를 공급하고 이어서 필요한 수분을 공급하게 하여 비료가 과잉으로 공급되는 것을 막을 수 있도록 처방하였다. 현장진단 시스템에 대한 구성도는 Fig. 1과 같았다.

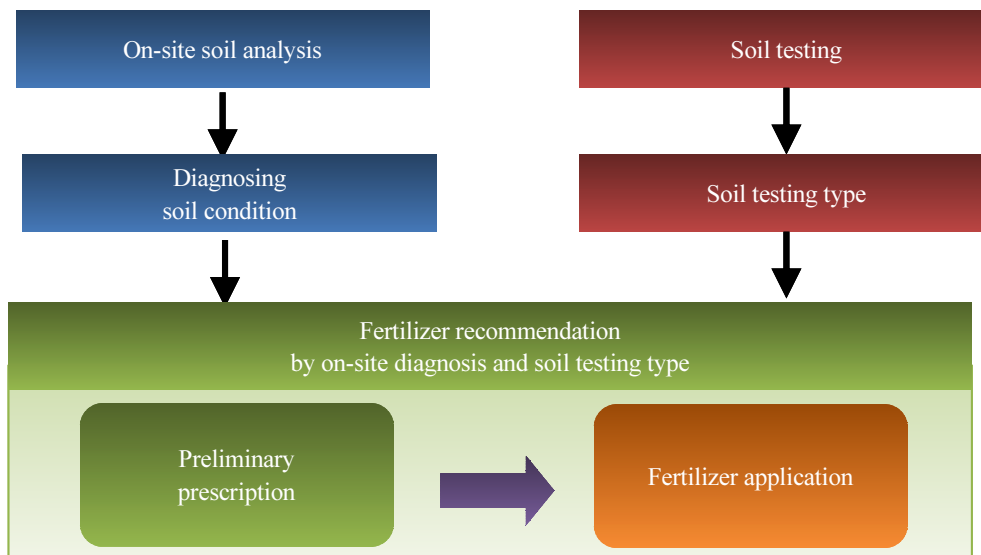


Fig. 1. Diagram of on-site soil analysis and diagnosis system.

Conclusions

현장에서 토양을 분석하여 생육제한인자를 탐색하여 토양의 상태를 진단하고 이를 바탕으로 비료를 처방할 수 있는 시스템을 설정한 결과는 다음과 같았다.

1. 토양 현장 분석방법은 pH와 Eh는 한국산업규격으로 설정하였고 질소와 인산 및 SO₄²⁻와 Cl⁻ 등의 수용성 성분을 분석하는 것으로 설정하였다.
2. 현장 토양분석결과로 pH와 Eh에 따른 화학적 성질과 N, P의 양분범위 및 EC에 따른 삼투압 영향을 고려하여 토양상태를 진단하였고 이를 조건표로 작성하였다.

3. 토양현장 진단에 따른 토양관리방안을 토양검정유형별로 설정하기 위하여 토양검정유형을 토양검정의 pH와 SOM의 범위로 강산성 척박지, 미숙퇴비 축적지, 초기 경작지, 석회 부족지, 석회 개량지, 종합 개량지, 석회 과잉지, 과잉 개량지의 8가지로 나누었다.
4. 토양 현장 분석결과에 따른 처방은 3단계로 설정하였는데 제1단계는 pH 완충용액을 공급하는 것이고, 제2단계는 비료를 토양검정유형에 맞추어 공급하는 것이며 제3단계는 작물에게 필요한 물을 관수하는 단계로 설정하였다. 이상과 같이 현장진단에 의하여 비료를 공급하면 작물의 생육장애를 예방하면서 생산할 수 있을 것으로 판단된다.

Acknowledgement

This work was carried out with the support of “Soil testing for representative soil in local provinces (Project No. PJ012152)” Rural Development Administration, Republic of Korea.

References

- Kim, G.H., K.Y. Kim, J.G. Kim, D.M. Sa, J.S. Seo, B.G. Son, J.E. Yang, K.C. Eom, S.E. Lee, G.Y. Jeong, D.Y. Jeong, Y.T. Jeong, J.B. Jeong, and H.N. Hyun. 2006. Soil Science. Hyangmunsa, Seoul, Korea.
- Kim, S.K., K.C. Song, Y.H. Kim, and Y.S. Zhang. 2003. Soil pH difference in paddy field, upland field, and forest land developed on the granite, shale and limestone area. In Agro-environment research 2003 of National Institute of Agricultural Science and Technology. RDA. Suwon, Korea.
- Kim, Y.H., B.R. Choi, and M.S. Kim. 2010b. The Toxicity of Nitrogen Dioxide Gas on Fig Plant. Korean J. Soc. Soil Sci. Fert. 43(6):978-980.
- Kim, Y.H., H.Y. Lee, M.S. Kim, and S.S. Kang. 2010a. Injury symptom of egg plant grown in a high pH rockwool amended with ammonium phosphate. Korean J. Soil Sci. Fert. 43(6):975-977.
- Kim, Y.H., M.S. Kim, S.S. Kang, and S.W. Yoon. 2011. Case Study of N Deficiency Symptom of Strawberry in the Soil Applied with Sea Deposit Compost. Korean J. Soc. Soil Sci. Fert. 44(6):1023-1026.
- KS M ISO 10390, 2001, Soil quality-Determination of pH.
- KS M ISO 11271, 2001, Soil quality-Determination of redox potential-Field method.
- Lide, D.R., 2003. CRC Handbook of chemistry and physics, 84th ed., CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
- Lim, S.U. 2006. Soil fertility. Ilshin, Seoul, Korea
- Lindsay, W.L. 1979. Chemical equilibria in soils. John Wiley & Sons, New York, USA.
- NAAS. 2010. Fertilizer application recommendations for crop plants, National Academy of Agricultural Science, RDA, Suwon, Korea.
- RDA. 2006. Annual report 2006 Soil Management Practices for Disordered Growth of Crop, RDA, Wanju, Korea.
- RDA. 2012. Annual report 2012 Establishment of soil fertility level for sustainable agricultural production, RDA, Wanju, Korea.
- RDA. 2016. Annual report 2015 the monitoring project on agro-environmental quality, RDA, Wanju, Korea.