

과제구분	기본연구	수행시기		전반기	
연구과제 및 세부과제		연구분야	수행기간	연구실	책임자
환경보전형 친환경 토양 및 시비관리 연구		농업환경	'16~'19	농업기술원 환경농업연구과	박중수
토양센서 이용 질소 시비기술 개발		농업환경	'17~'18	농업기술원 환경농업연구과	노안성
색인용어	질산태질소, 염농도 센서, 이온선택전극				

## ABSTRACT

This study was conducted to examine the possibility of measuring nitrate in soil using soil electrical conductivity sensor and ion selective electrode. As a result of the linear regression analysis of the measured values of the salt concentration of soil solution and the soil component content, the relationship between measured values of salt concentration A sensor were in order of  $EC > Mg^+ > Cl^- > Ca^{2+} > SO_4^{2-} > NO_3^-$  and measured values of salt concentration B sensor were similar to that of  $EC > Mg^+ > Ca^{2+} > Cl^- > SO_4^{2-} > NO_3^-$ . There was no statistical significance in the relationship between the measured values of salt concentration sensor of the electric resistance measuring method and the FDR measuring method for soil extracts and the nitrate nitrogen content for the prediction of soil nitrate nitrogen. Compared with the soil analysis method of nitrate nitrogen, the determination coefficients(R2) of the soil water measurement method and the direct measurement method of soil were 0.5932 and 0.4970, respectively, and the determination coefficient of the method of measuring the soil water was high. Soil nitrate nitrogen measurement method using ion selective electrode sensor has a low level of relation with soil analysis method. Therefore, in order to measure the nitrate nitrogen in soil in real time, it is necessary to study the method of measuring the soil water and the direct measurement method using ion selective electrode sensor.

**Key words** : Soil nitrate, electric conductivity sensor, Ion-selective electrodes.

## 1. 연구목표

농업환경 보전에 대한 중요성이 인식되어짐에 따라 과도한 비료 투입으로 인한 토양오염을 방지하고, 작물에 적절한 양분을 공급하며 농업환경으로부터 양분유출을 최소화하기 위한 토양 관리방법이 요구되고 있다. 하지만 작물의 생산성 향상을 위하여 화학비료와 가축분퇴비 등 다량의 양분을 시설재배지 토양에 투입하면서 토양 염류집적으로 인한 토양 이화학성 악화와 연작장애가 발생하여 이를 해결하기 위한 많은 연구가 진행되어 왔다(정 등, 1998 ; 이 등, 1993). 이와 같은 시설재배지의 염류집적을 경감하기 위해서는 적정 시비관리와 친환경 토양관리가 요구되어 토양중 양분함량을 정확히 파악하는 것이 우선시 된다. 일반적인 토양 양분을 측정하기 위해서는 토양 시료를 채취, 건조 후 각 성분별 전처리 방법에 따른 침출액을 희석하여 분광광도계 등 기기를 이용해야 하므로, 분석에 많은 시간과 전문적인 인력이 요구되고 있으며 현장에서 양분함량을 신속하게 판단하거나 처방하기에는 어려움이 있다(Jones, 2001 ; 김 등, 2006). 따라서 현장에서 신속하게 측정할 수 있는 기술 개발이 요구되고 있으며 현재 분광학적 기술(spectrophotometric techniques), 전기화학적 기술(electrochemical techniques)과 생물학적 기술(biological techniques)을 활용한 다양한 연구가 진행되고 있다(Bakker 등, 2000). 이 중에서 전기화학적 기술을 이용한 이온선택성 전극(Ion selective electrode, ISE)은 전위차 측정 센서로 고분자 막에 의해서 이온을 선택적으로 이동시키고 전위차를 측정하는 원리로 질소, 칼륨, 칼슘 등의 단일 이온성분을 분석하기 위한 소형화 센서로 발전하였다(Lee 등, 2006). 또한 이온선택전극을 이용한 토양분석은 초기에 적용되지 않았으나 최근 킬달법 및 비색법과 비교한 결과, 신뢰도와 회수율에 있어서 이온선택전극법이 가능하다는 보고에 따라 토양 질산태질소 측정방법으로 이용되고 있다.(Hong 등, 2000 ; Kang 등, 2005). 신 등(2009)은 토양의 양분성분인 칼륨 등 5가지 이온성분을 측정할 수 있는 집적형 이온선택성 미세전극 센서를 제작하고 침출액의 분석능을 비교하여 동시에 측정가능성을 보고하였다. 그러나 시설재배지 등 현장에서 질산태질소를 실시간 측정하기 위한 토양센서 개발에 대한 보고는 아직 미흡한 실정이다.

따라서, 본 연구는 시설재배지 토양을 대상으로 토양 염농도센서와 이온선택전극을 이용한 토양 질산태질소 측정 가능성을 검토하여 토양 질산태질소 측정 센서를 개발하고자 수행하였다.

## 2. 재료 및 방법

본 시험은 토양 질산태질소 측정을 위한 토양센서 개발을 위하여 토양염농도 센서 선발시

협과 이온선택전극을 이용한 토양 질산태질소 측정시험을 2017년부터 2018년까지 수행하였다. 토양염농도 센서 선발을 위하여 2016년 농업환경변동조사 대상 도내 시설재배지 100지점에서 채취한 토양을 증류수 1:5로 희석하고 24시간 진탕추출하여 양이온은 ICP(INTEGR XL, GBC)로 Cl, SO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>는 IC(AQ2, AA3, SEAL Analytical)로 분석하였다. 토양염농도 측정은 그림 1과 같은 전기저항 방식(Decagon, 5TE) 과 FDR 방식(미래센서, WP700)의 측정센서를 토양과 증류수 1:5 추출액에 넣고 3회 측정하여 평균하였다.



< 염농도 측정센서 A/전기저항 방식 >

< 염농도 측정센서 B/FDR 방식 >

그림 1. 토양염농도 측정 센서

토양수 질산태질소를 측정하기 위해서 처리구별 세라믹컵을 토심 15cm에 설치하여 중량수분을 20~25% 조절하고 12시간 진공상태에서 토양수를 수집하여 그림 2와 같은 이온선택전극(Vernier, Nitrate)으로 측정하였다. 토양 질산태질소를 측정하기 위해서는 토양에서 직접측정이 가능한 이온선택전극(Fujiwara-Sc, PRN-41)을 토심 5~10cm에 묻고 3회 측정하여 평균하였다.



< 이온선택전극 A/토양수 측정 >

< 이온선택전극 B/토양직접 측정 >

그림 2. 질산태질소 이온선택전극

또한 시험하우스 토양의 질산태질소 측정을 위하여 봄과 가을에 백다다기 오이를 정식하고 질소 관비농도는 0, 20, 40, 60mg L<sup>-1</sup> 수준으로 1회 관비량은 30톤 10a<sup>-1</sup>, 관비횟수는 봄재배 32회, 가을재배 22회 관비하고 총 4회 재배시험을 수행하였다. 시험전 토양화학성은 표 1과

같이 토양산도 7.1, 토양염농도는  $5.8 \text{ dS m}^{-1}$ , 유효인산  $489 \text{ mg kg}^{-1}$ , 질산태질소  $190 \text{ mg kg}^{-1}$ 의 수준이었다. 따라서 시험전 염류경감과 유기물 공급을 위하여 볏짚  $500 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ , 부숙퇴비  $2,500 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 를 사용하고 봄재배는 4월 14일 정식하여 110일, 가을재배는 8월 24일 정식하고 90일간 재배하였다. 시험 처리구는 난괴법 3반복으로 배치하고 시험구 면적은  $1.6 \times 5.2 \text{ m}$ 이었다. 재식거리는  $80 \times 40 \text{ cm}$  2조식으로 구당 26주를 정식하여 점적호수를 설치하고 그 위에 검정비닐로 멀칭하여 재배하였다. 질소와 칼리는 토양검정시비량의 30%를 정식전 기비로 시비하고 70%는 관비로 추비하였으며 인산은 전량 100% 기비로 시비하였다. 토양화학성 분석은 농촌진흥청 토양 및 식물체 분석법(RDA, 2013)에 따라 pH와 EC는 증류수와 1:5 희석하여 측정하고  $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 Kjeldahl 증류법, OM은 Tyurin법, 유효인산은 Lancaster 법, 치환성양이온은 1N-NaOAc 추출하여 ICP(GBC Integra XL)로 분석하였다.

표 1. 시험전 토양 화학성

pH (1:5)	EC ( $\text{dS m}^{-1}$ )	OM ( $\text{g kg}^{-1}$ )	$\text{NO}_3\text{-N}$ ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Av. $\text{P}_2\text{O}_5$ ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Ex. cations( $\text{cmol kg}^{-1}$ )				$\text{SO}_4$ ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Cl ( $\text{mg kg}^{-1}$ )
					K	Ca	Mg	Na		
7.1	5.8	16	190	489	0.56	9.8	3.0	1.21	1,241	484

※ 토양검정시비량(N- $\text{P}_2\text{O}_5$ -K<sub>2</sub>O-퇴비) : 10.8-11.2-31.8-2,500  $\text{kg } 10\text{a}^{-1}$

※ 시비방법 : 기비(질소 30%, 인산 100%, 칼리 30%), 추비(칼리 70%, 8~10회 관비)

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 토양염농도 측정값과 토양성분의 관계

도내 시설재배지 100지점에서 채취한 토양을 증류수와 1:5로 희석하고 24시간 진탕추출하여 분석한 토양성분 함량과 측정방식이 다른 염농도 측정센서 A와 B 측정값과의 관계를 비교하였다. 토양추출액의 토양성분 함량과 염농도 측정센서 A와 B의 통계값은 표 2와 같다. 염농도 측정센서 A와 B의 중앙값은  $0.40 \text{ dS m}^{-1}$ ,  $0.33 \text{ dS m}^{-1}$ 로 토양분석 방법에 따른 염농도 중앙값  $0.55 \text{ dS m}^{-1}$ 보다는 낮은 수준이었다. 또한 평균값에서도 같은 경향을 나타냈으며 염농도 측정센서 A의 전기저항 측정방식이 B의 FDR 측정방식보다는 절대측정값이 높게 나타났다. 토양추출액의 토양성분 함량과 염농도 측정센서 A와 B의 피어슨 상관관계를 조사한 결과는 표 3과 같다. 토양분석 방법에 따른 염농도와 염농도 측정센서 A와 B의 상관계수는 0.960, 0.958로 비슷한 수준으로 가장 높게 나타났으며 수용성 인산과 염농도 측정센서의 상관계수는 0.061, 0.024로 가장 낮은 수준이었다. 토양추출액의 토양성분 함량과 염농도 측정센서 A와 B의 선형회귀와 다중회귀 관계를 조사한 결과는 표 4, 5와 같다. 토양추출액의 염농도 측정센서 A 측정값과 토양성분 함량의 선형회귀 관계는  $\text{EC} > \text{Mg}^+ > \text{Cl}^- > \text{Ca}^{2+} > \text{SO}_4^{2-}$

> NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 순이었으며 염농도 측정센서 B 측정값과 토양성분 함량의 선형회귀 관계는 EC > Mg<sup>+</sup> > Ca<sup>2+</sup> > Cl<sup>-</sup> > SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> > NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 순으로 유사하였다. 또한 다중회귀 분석결과 염농도 측정센서 A와 B는 토양분석 염농도 측정값과 92%의 높은 기여도를 나타냈지만 나머지 토양성분과는 관계를 나타내지 않았다. 토양 질산태질소 예측을 위하여 시설재배지 토양추출액의 염농도 측정센서값과 질산태질소 함량과의 관계를 통계적 방법으로 조사한 결과 유의성은 나타나지 않았다.

표 2. 토양추출액의 토양센서 측정값과 토양 성분함량의 통계값

Statistics	Sensor A (dS m <sup>-1</sup> )	Sensor B (dS m <sup>-1</sup> )	EC (dS m <sup>-1</sup> )	K <sup>+</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	Ca <sup>2+</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	Mg <sup>2+</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	Na <sup>+</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	Cl <sup>-</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )	PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )
Median	0.40	0.33	0.55	18.7	46.5	15.6	22.0	26.7	42.9	74.2	7.3
Mean	0.53	0.45	0.62	28.9	57.5	18.4	24.1	34.9	56.3	74.5	8.3
SD	0.40	0.35	0.40	32.5	39.6	12.7	14.2	34.1	51.6	42.2	5.1
Min	0.10	0.06	0.13	0.3	11.7	2.8	7.5	4.9	5.3	10.9	0.7
Max	2.70	2.00	2.83	217.9	228.2	72.1	102.7	241.4	388.5	161.6	25.4

표 3. 토양추출액의 염농도 센서 측정값과 토양 성분함량의 피어슨 상관관계

Component.	Sensor A (dS m <sup>-1</sup> )	Sensor B (dS m <sup>-1</sup> )	EC	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
EC	0.960 *	0.958 *								
K <sup>+</sup>	0.707 *	0.637 *	0.710 *							
Ca <sup>2+</sup>	0.858 *	0.904 *	0.825 *	0.302						
Mg <sup>2+</sup>	0.906 *	0.933 *	0.884 *	0.468 *	0.881 *					
Na <sup>+</sup>	0.797 *	0.785 *	0.810 *	0.614 *	0.592 *	0.782 *				
Cl <sup>-</sup>	0.883 *	0.879 *	0.870 *	0.674 *	0.727 *	0.839 *	0.829 *			
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.542 *	0.544 *	0.504 *	0.378 *	0.479 *	0.460 *	0.291	0.370		
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.727 *	0.758 *	0.732 *	0.315 *	0.733 *	0.776 *	0.612 *	0.628 *	0.196	
PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.061	0.024	0.044	0.345	0.149	0.009	0.117	0.086	0.075	0.220

표 4. 토양추출액의 염농도 센서 측정값과 토양 성분함량의 회귀관계

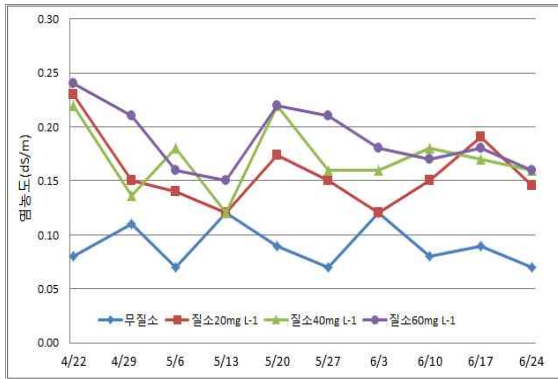
Sensor type	Component	Regression equation	R <sup>2</sup>
Sensor A	EC	Y = 0.9659x + 0.1014	0.9213
	Mg <sup>2+</sup>	Y = 27.474x + 3.7275	0.7836
	Cl <sup>-</sup>	Y = 75.443x - 5.0089	0.7793
	Ca <sup>2+</sup>	Y = 85.215x + 12.438	0.7358
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Y = 76.911x + 33.726	0.5286
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Y = 70.131x + 19.275	0.2937
Sensor B	EC	Y = 1.1046x + 0.1200	0.9176
	Mg <sup>2+</sup>	Y = 32.764x + 3.5734	0.8488
	Ca <sup>2+</sup>	Y = 102.88x + 11.393	0.8170
	Cl <sup>-</sup>	Y = 86.109x - 3.6997	0.7733
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Y = 91.828x + 33.246	0.5739
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Y = 80.666x + 20.213	0.2960

표 5. 토양추출액의 염농도 센서 측정값과 토양 성분함량의 다중회귀 분석

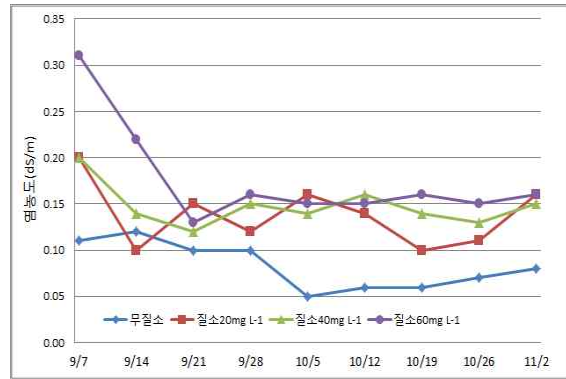
Sensor type	Step	Regression equation	R <sup>2</sup>
Sensor A	1	Y = -0.0577 + 0.9538EC	0.9213
	2	Y = -0.6714 + 0.7237EC + 0.008Mg	0.9363
	3	Y = -0.0414 + 0.484EC + 0.002K + 0.012Mg	0.9483
Sensor B	1	Y = -0.063 + 0.831EC	0.9176
	2	Y = -0.086 + 0.576EC + 0.003Ca	0.9579
	3	Y = -0.064 + 0.280EC + 0.002K + 0.0050Ca	0.9715

#### 나. 토양염농도 센서를 이용한 시험하우스 염농도 조사

오이 재배 시험하우스에 질소 농도를 20, 40, 60mg L<sup>-1</sup> 수준별로 관비재배하고 염농도 측정 센서 A와 B의 토양염농도 변화를 측정한 결과는 그림 3, 4와 같다. 시험처리구에서 조사한 염농도 측정센서 A의 염농도 측정범위는 0.05~0.31dS m<sup>-1</sup> 수준으로 토양분석법에 따른 토양염농도에 대비하여 0.02~0.12배로 낮게 변화하였다. 또한 염농도 측정센서 B의 염농도 측정범위는 0.58~3.20dS m<sup>-1</sup> 수준으로 토양분석법에 따른 토양염농도에 대비하여 0.33~1.19배로 나타났다. 토양염농도 측정센서 A는 전기저항 방식으로 FDR 측정 방식의 측정센서 B에 비하여 1/7~1/20 수준으로 낮은 측정감도를 나타냈다. 따라서 시험에 사용된 전기저항 방식의 측정센서를 시설재배지 조건의 현장에 적용하기 위해서는 보완이 필요할 것으로 판단된다.

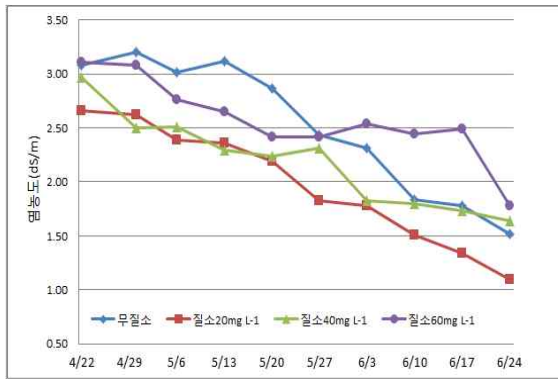


<봄재배>

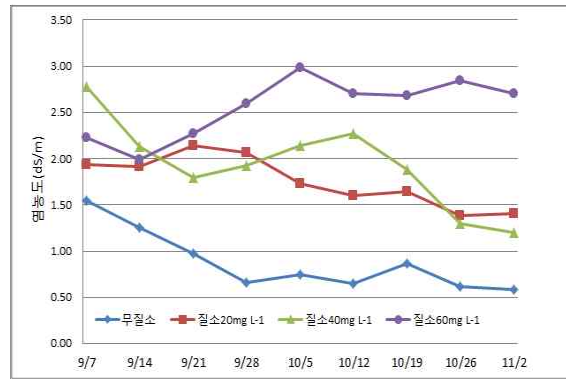


<가을재배>

그림 3. 토양염농도 센서 A의 측정값 변화



<봄재배>



<가을재배>

그림 4. 토양염농도 센서 B의 측정값 변화



<질소 20mg L<sup>-1</sup> 처리구>



<질소 60mg L<sup>-1</sup> 처리구>

그림 5. 토양염농도 센서와 토양분석 염농도 측정값의 비교(가을재배)

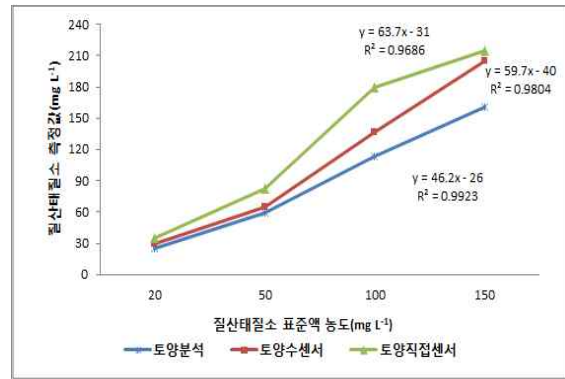
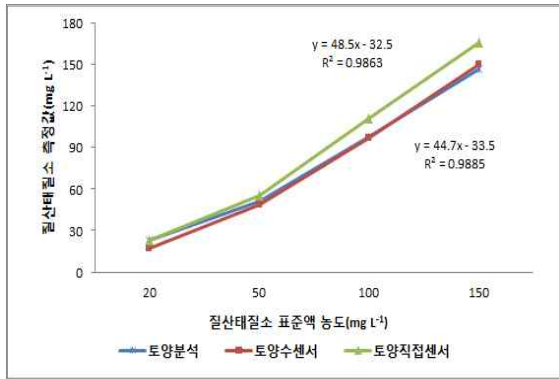


그림 6. 토양염농도 센서 시험하우스 설치

#### 다. 이온선택전극 센서 이용 토양의 질산태질소 측정

토양수 측정을 위한 이온선택전극 센서와 토양 직접 측정 이온선택전극 센서를 대상으로 질산태질소 농도별 표준액의 측정결과는 그림 7과 같다. 먼저 토양에 존재하는 염소, 황산화물 등 음이온 물질의 측정 방해요인을 제거하기 위하여 시험하우스 토양수를 첨가하고 질산태질소 농도 변화를 측정한 결과 토양수 측정 이온선택전극과 토양 직접 측정 이온선택전극의 각 직선회귀식의 결정계수( $R^2$ )는 0.9863~0.9885로 측정되었다. 또한 증류수로 희석하여 조제한 표준액 측정에서 결정계수( $R^2$ )는 0.9804~0.9923로 측정되어 시험에 이용된 두가지 이온선택전극은 토양의 방해이온에 큰 영향없었으며 토양분석법과 비교하여 고도의 유의성이 있는 관계를 나타냈다. 질소관비 수준에 따른 시험하우스 토양의 이온선택전극 센서와 토양분석 질산태질소의 측정값 관계는 그림 8과 같다. 토양분석법과 비교하여 토양수 측정법과 토양 직접 측정법의 결정계수( $R^2$ )는 각각 0.5932, 0.4970 이었으며 토양수 질산태질소 측정방법의 결정계수가 높게 나타났다. 하지만 토양 직접 측정법은 측정위치에 전극을 직접 설치하고 실시간 측정할 수 있는 장점이 있어 추가적인 검토를 통하여 현장에 적용이 가능할 것으로 예측된다. 또한 토양수분 이동에 따른 질산태질소의 이동성이 크고 토양분석의 시료채취 방법의 차이에 따라 토양 직접 측정법과 토양수 측정방법이 토양분석 방법과 비교하여 낮은 수준의 관계를 나타낸 것으로 예상된다. 오이재배 하우스 토양의 토양 직접 측정법과 토양수 측정법의 질산태질소 변화를 측정한 결과는 그림 9와 같다. 시험처리구에서 조사한 질산태질소 측정범위는 토양수 측정법 21~95mg kg<sup>-1</sup>, 토양 직접 측정법 17~72mg kg<sup>-1</sup> 수준으로 토양분석법에 따른 토양염농도에 대비하여 4.0~4.2배, 3.0~3.4배로 높게 변화하였다. 따라서 토양 질산태질소의 실시간 측정을 위하여 이온선택 전극을 이용한 토양수 측정법과 토양 직접 측정법의 보완에 대한 연구가 필요할 것으로 판단되었다.





< 토양수 표준액 측정 결과 >

< 증류수 표준액 측정결과 >

그림 7. 이온선택전극 센서의 표준액 측정결과 비교

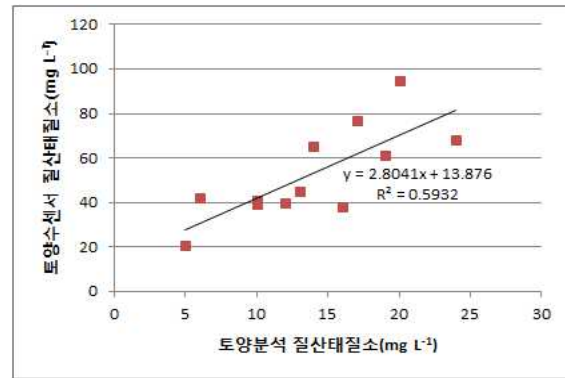
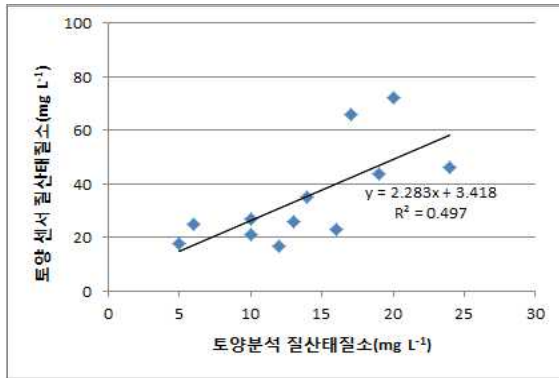
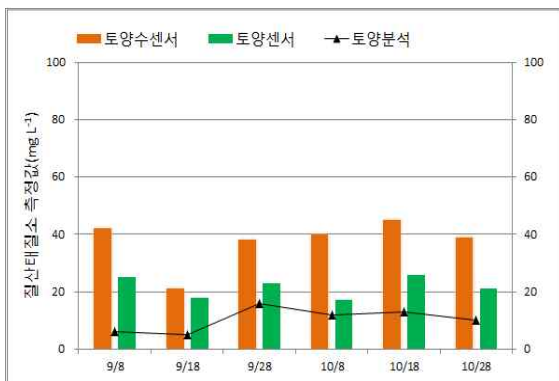
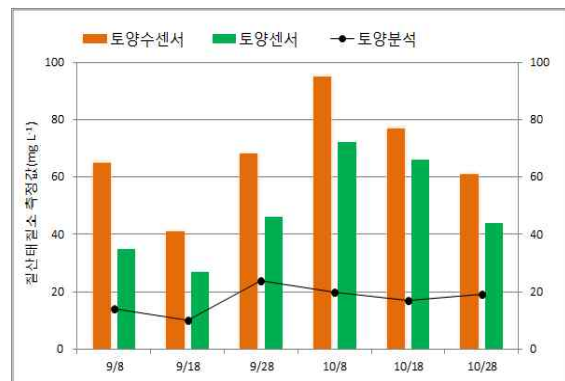


그림 8. 이온선택전극 센서와 토양분석 질산태질소의 측정값 관계



< 질소 20mg L<sup>-1</sup> 처리구 >



< 질소 60mg L<sup>-1</sup> 처리구 >

그림 9. 이온선택전극 센서의 측정값 변화

## 4. 적 요

시설재배지 토양을 대상으로 토양 염농도 센서와 이온선택전극을 이용한 토양의 질산태질소 측정 가능성을 검토하고자 시험한 결과는 다음과 같다.

- 가. 시설재배지 토양용액의 염농도 측정센서 측정값과 토양성분 함량의 선형회귀 분석결과 염농도 측정센서 A 측정값과 관계는  $EC > Mg^+ > Cl^- > Ca^{2+} > SO_4^{2-} > NO_3^-$  순이었으며 염농도 측정센서 B 측정값과 관계는  $EC > Mg^+ > Ca^{2+} > Cl^- > SO_4^{2-} > NO_3^-$  순으로 유사하였다
- 나. 토양 질산태질소 예측을 위하여 시설재배지 토양추출액에 대한 전기저항 측정 방식과 FDR 측정 방식의 염농도 측정센서 측정값과 질산태질소 함량의 관계를 통계적 방법으로 조사한 결과 유의성은 나타나지 않았다.
- 다. 토양분석 질산태질소 측정방법과 비교하여 토양수 측정법과 토양 직접 측정법의 결정계수( $R^2$ )는 각각 0.5932, 0.4970 이었으며 토양수 측정방법의 결정계수가 높게 나타났다.
- 라. 이온선택전극 센서를 이용한 토양 질산태질소 측정방법이 토양분석 방법과 비교하여 낮은 수준의 관계를 나타냈으며 토양 질산태질소의 실시간 측정을 위하여 이온선택전극 센서를 이용한 토양수 측정법과 토양 직접 측정법의 보완에 대한 연구가 필요할 것으로 판단되었다.

## 5. 인용문헌

- 김학진, K.A. Suddth and J.W Hummel. 2006. 이온선택성 전극을 이용한 토양추출물의 질산 및 칼륨이온 측정. 바이오시스템공학. 31(6):463-473
- 김원경, 박두산, 김영주, 노미영, 조성인, 김학진. 2010. 이온선택성 멤브레인을 이용한 양액 내 질산태질소 및 칼륨 측정. 바이오시스템공학. 35(5):343-349
- 농촌진흥청. 2013. 종합검정실 분석매뉴얼(토양, 식물체, 수질, 중금속)
- 신국식, 임우진, 이상은, 이재선, 차근식. 2009. 집적형 이온선택성 미세전극 센서에 적합한 토양화학 분석용 침출액 종 개발. 한국토양비료학회지. 42(6):513-521
- 이용환, 신용광, 황광남, 이경수. 1993. 비닐하우스 토양의 화학적 특성에 관한 연구. 한토비지 26(4) : 236~240
- 정병간, 최정원, 윤을수, 윤정희, 김유학, 정구복. 1998. 우리나라 시설원에 재배지 토양화학성 특성. 한토비지 31(1) : 9~15

- Bakker, E., E. Pretch and P. Buhlmann. 2000. Selectivity of potentiometric ion sensors. Anal. Chem. 72(6):1127-1133
- Hong, S.D. and H.T. Park. 2000. The test strip reflectometer method as a quick test procedure for soil nitrate nitrogen. Kor. J. Soil Sci & Fert. 33(5):369-375
- Jones, J.B. 2001. Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. CRC Press LLC.
- Kang, S.S. K.I. Kim, K.Y. Chung and S.D. Hong. 2005. Comparison of sampling methods for on-farm use quick test procedure of soil nitrate. Kor. J. Soil Sci & Fert. 38(1):32-37
- Lee, S.E. and Cha, G.S. 2006. Micro-chemical sensors for determining the agricultural water quality. International symposium for water management, KSAE, 111-130
- Shim, J.H., I.S. Jeong, M.H. Lee, H.P. Hong, J.H. On, K.S. Kim, H.S. Kim, B.H. Kim, G.S. Cha, H. Nam. 2004. Ion-selective electrodes based on molecular tweezer-type neutral carriers. Talanta. 63:61-71

## 6. 연구결과 활용제목

- 이온선택전극을 이용한 토양 질산태질소 측정 방법(기초활용)

## 7. 연구원 편성

세부과제	구분	소속	직급	성명	수행업무	참여기간
토양센서 이용 질소 시비기술 개발	책임자	농업기술원 환경농업연구과	농업연구사	노안성	연구수행 총괄	'17~'18
	공동연구자	"	농업연구사	박영수	생육 조사	'17~'18
	"	"	농업연구사	주옥정	시료 채취	'17~'18
	"	"	농업연구사	신민우	시료 채취	'17~'18
	"	"	농업연구관	박중수	성적 검토	'17~'18
	"	"	농업연구관	강창성	시험 자문	'17~'18