

자동 수분 제어시스템을 이용한 간척지 케나프 재배시 하천수 및 액비 관개 효과

강찬호^{1,†} · 이인석¹ · 이진재¹ · 김희준²

Effect of Irrigation of River Water and Swine Slurry Liquid Fertilizer on Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) Growth Cultivated Using Soil Moisture Control System in Reclaimed Land

Chan-Ho Kang^{1,†}, In-Sok Lee¹, Jin-Jae Lee¹, and Hee-Jun Kim²

ABSTRACT Information and Communication Technology (ICT) remote soil moisture control system including soil sensing, automatic water supply chain, and remote alarming system was established on reclaimed land and operated stably. The system was operated using river water around the reclaimed land without fertilizer. On applying this system to control soil moisture, the kenaf germination rate was improved up to two times. Kenaf biomass was 4,748 kg/10a and was higher than that of untreated soil moisture management. When the nutritious liquid fertilizer was used, kenaf yield reached 8,390 kg/10a, which was lower than 10,848 kg/10a of the non-reclaimed land treated with standard chemical fertilizers. As the soil moisture was managed stably through the ICT remote soil moisture control system, the quality of the kenaf crop was improved, resulting in a 7% increase in dry weight, and a 11.5% increase in plant hardness. The estimated kenaf yield was 5,039 kg/10a when 800 tonnes of water were supplied by the ICT remote soil moisture control system with the stream water around Saemangeum reclaimed land without chemical fertilizers and organic matter.

Keywords : kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.), reclaimed land, remote control, sensor, soil moisture

새만금을 포함한 우리나라 간척지 면적은 총 13만 5,100 ha 정도로(Lee *et al.*, 2015, Sohn *et al.*, 2007) 다양한 첨단 농업 기술을 간척지에 도입하여 실용화 할 수 있다면 농업의 패러다임을 바꿀 수 있는 좋은 기회가 될 수 있으며, 우리나라 농업 발전에 기여할 수 있는 여지가 매우 클 것으로 기대된다. 특히 국내 최대 간척지가 될 새만금은 개발이 완료될 경우 총 40,100 ha의 부지가 형성되고 이 중 30% 정도인 8,570 ha가 농업용지로 활용될 예정이다(RDA, 2002). 간척지는 대부분 비옥도가 낮고 염분농도가 높아 농업개발을 위해서는 정밀한 토양관리가 필요하다. 단위 영농 면적이 넓어 인력 수급이나 과도한 경영비 투입 문제 등으로 인력에 의한 환경 관리가 매우 어려울 것으로 예측되어 ICT 기술 등을 이용한 생력화 기술 확립이 필요하다. 또한 갈수록 심각해지고 있는 물 부족 심화, 기후 온난화, 이상기후

증가 등 농업생산성 악화 요인에 효율적으로 대비하기 위해서도 정밀 환경제어 시스템 구축이 필요하다(Koo *et al.*, 2015). 급격히 떨어지고 있는 농업경쟁력을 강화하기 위해서는 인건비 등을 최소화하는 경영비 절감과 생산성 향상 그리고 품질을 높여 수출경쟁력 등을 높이는 방안이 필요한데 스마트농업 활성화가 상당히 유력한 대안으로 거론되고 있다. 실제로 우리나라 스마트팜 연구개발 투자 규모는 연평균 약 70%씩 성장하고 있을 정도로 산업 규모가 커지고 있으며 스마트농업 강대국인 네덜란드는 전체농지 0.5% 밖에 안되는 시설 원예에서 각종 센서와 제어솔루션 등 스마트 농업을 집중적으로 도입하여 전체 농업 생산액의 22%를 창출하고 있다(RDA, 2014). 스마트농업 노지재배 분야에 관한 국외 연구 현황을 보면 사과 밀집지역인 이탈리아 남 티롤 지역에 기상관측장비 131개소를 설치하고 얻어진 기

¹전라북도농업기술원 연구원 (Researcher, Jeonllabukdo Agricultural Research & Extension Services, Iksan 54968, Korea)

²전라북도농업기술원 과장 (Administrative Manager, Jeonllabukdo Agricultural Research & Extension Services, Iksan 54968, Korea)

[†]Corresponding author: Chan-Ho Kang; (Phone) +82-63-290-6040; (E-mail) kangho68@korea.kr

<Received 5 October, 2020; Revised 30 December, 2020; Accepted 3 February, 2021>

상자료를 농가에 제공한 결과 타 지역에 비해 사과 생산량은 2.34배가 되었고 생산 단가는 0.44배 수준으로 감소하였다(RDA, 2014). 이스라엘에서는 지리정보시스템과 연결해 작물 상태 및 물을 관리하는 uManage™ 소프트웨어와 뿌리 부착 센서 기반 물, 비료공급 자동시스템 IOD (Irrigation On Demand)을 개발하여 토마토 재배에 반영한 결과 물 소비량을 최대 60%까지 절약할 수 있었고 토마토 수확량이 40% 증대되었다(Lee, 2016). 일본은 채소 적시 출하와 정확한 생산 예측을 위한 채소 생산 예측 응용시스템을 개발하여 상추 생산에 도입한 결과 80~90% 수준의 높은 예측 성공률을 기록하였다(Lee, 2016). 케나프는 아프리카 또는 남중국 원산으로 추정되는 아열대 작물로서 생체로 ha 당 120 톤 이상이 생산되는 국내 최고 수준의 바이오매스 생산성을 가지고 있으며 토양 염농도 4.2 dS/m 이하에서는 일반 밭 수량의 80% 이상 수확이 가능한 비교적 높은 내염성을 가지고 있는 작물이다(Kang *et al.*, 2014). 최근 사료 이외에 바이오에너지, 생분해 플라스틱 원료 등으로 산업 이용 분야가 확대되고 있는 상황이다. 산업 이용과 관련해서 거의 모든 분야에서 외국 생산물과의 가격 경쟁력 확보를 요구하고 있다. 가격 경쟁력을 확보하기 위해 가장 우선적으로 고려되는 사항이 대면적 생산과 생력화를 통한 생산비 절감기술 확보이다. 간척지는 대면적 생산지로 1차적으로 고려될 수 있는 용지이기는 하지만 높은 염 등 열악한 생산 환경을 선행적으로 개선하여야 하며, 제염이나 생육 환경 개선을 위한 물관리 기술의 개발이 필수적이다. 또한 단위 면적이 넓어 생력화 기술이 필요하다. 따라서 최근 대규모 산업 이용을 추진하고 있는 케나프의 간척지 대면적 생산을 통한 경쟁력 확보를 추진하기 위하여 ICT 스마트 자동 물관리 시스템을 개발하여 새만금 간척지에서의 실용화 가능성을 확인하였으며 환경 오염이 주요 이슈로 떠오르고 있는 간척지에서 비료 투입을 최소화하기 위하여 주변 하천수만을 공급하여 케나프를 재배하였을 경우의 수량 예측과, 부족할 것으로 예상되는 영양원 공급을 액비를 활용하여 대체할 수 있는지 등의 여부에 대해서 실험하였다.

재료 및 방법

원격 자동 정밀 수분 제어시스템 구축

휴대폰이나 PC를 통해 원격 확인되도록 프로그래밍된 자동 정밀수분 제어솔루션이 간척지 시험포장에 구축되었다. 시험은 새만금 노출지인 김제시 광활면 현지 포장에서 2018년부터 2020년까지 3년 동안 수행하였다. 시스템 내에는 토양 온도와 토양 수분, 토양 염농도를 측정하는 센서가

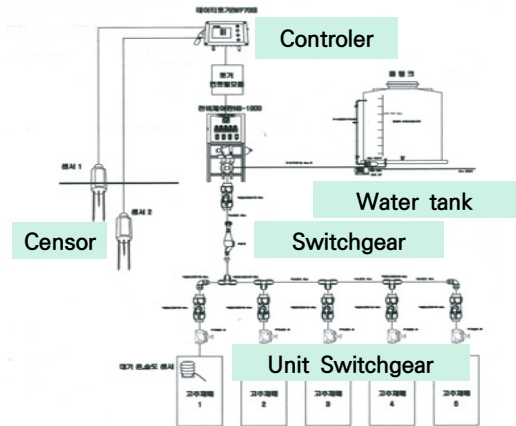


Fig. 1. Components of ICT remote soil moisture control system.

설치되어 10분 단위로 측정치를 기록하고 송신할 수 있도록 하였으며, 컨트롤러에 대기 온도, 대기 습도, 일사량 등의 환경정보를 측정할 수 있는 기상 센서가 별도로 설치되었다. 이 센서 시스템을 통해 송출된 토양 수분을 바탕으로 일정 토양 수분 이하가 감지되면 자동으로 관수가 개시되는 자동 개폐시스템이 설치되어 점적 호스를 통해 물이 공급될 수 있도록 하였으며 물통 등 물 저장 장치와 물 공급관 등이 시설되었다. 전원은 전기 공급 시설이 없는 간척지의 특성을 반영하여 이동식 태양광 축전기를 설치하여 컨트롤 시스템을 가동하였고 실제적인 물 공급은 이동식 발전기를 설치하여 가동에 필요한 전원을 확보하였다. 여기에 원격 통신을 위한 모뎀이 장착되었다(Fig. 1).

간척지 케나프 축분액비 활용 원격 자동 정밀 수분 제어시스템 실증

시험에 사용된 케나프 품종은 만기 개화종인 홍마 74이었다. 케나프 파종 후 비료나 퇴비 투입 없이 자동 정밀 수분 제어시스템을 이용하여 액비와 주변 하천수를 1 : 1로 혼합하여 투입하였다. 포장은 4월에 쟁기를 이용하여 2회 심경하고, 파종 1주일 전 토양 살충제를 살포한 후 경운하였으며 관리를 이용하여 너비 120 cm, 배수로 30 cm의 이랑을 조성하였다. 케나프 파종은 5월 1일에 파종기를 사용하여 줄뿌림하였는데 줄 간을 20 cm로 하였고 파종량을 10 a당 2 kg으로 하였다. 파종 후 화분과 잡초가 3~5 엽기에 이르렀을 때 fluazipof-p-butyl계 제초제를 사용하여 제초하였다. 대조구는 표준시비와 순수 하천수 투입으로 처리하였는데 표준시비량은 N-P₂O₅-K₂O : 10-10-6 kg/ha이었으며 질소의 50%는 기비로 투입하고 파종 후 70일에 질소비료량의 50%를 추비로 시용하였다. 하천수는 시험지 주변 만경강 하천수를 사용하였는데 T-N (Total Nitrogen)은 물

Table 1. Supplied water quality characteristics in the experiment.

Division	pH	EC (dS/m)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Na ⁺ (mg/L)
Supplied water	8.91	0.87	2.35	0.07	27.6	15.9	142.6	111.9
Standard	6.0~8.5			0.3>				

Table 2. The components of used swine slurry liquid fertilizer.

Analysis item (Unit)	Official standards	Results
Essential ingredients	T-N (%)	0.07
	T-P (%)	The sum of T-N, T-P and T-K should be over 0.3
	T-K (%)	0.33
Harmful ingredients	As (mg/kg)	Under 5.0
	Cd (mg/kg)	Under 0.5
	Hg (mg/kg)	Under 0.2
	Pb (mg/kg)	Under 15
	Cr (mg/kg)	Under 30
	Cu (mg/kg)	5Under 50
	Ni (mg/kg)	Under 5
	Zn (mg/kg)	Under 130
	E.Coli O157:H7	Non-detect
Salmonella	Non-detect	
Other ingredients	Salinity (%)	Under 0.3
	Moisture (%)	Over 95

1톤당 2.35 g을 함유하고 있었고 T-P (Total Phosphorus)은 0.07 g으로 함유량이 낮았으며 T-K (Total Kalium)은 비교적 높은 농도인 함유량 5.9 g이었다(Table 1). 급수는 센서와 연동하여 연결된 자동 급수장치를 통해 이루어졌는데 이랑에 심겨진 센서 사이에 4줄의 점적 라인을 깔아 이랑 전체에 골고루 급수가 이루어지도록 배치하였다. 돈분액비는 농협 농축산 순환 자원화센터로부터 분양받아 사용하였는데 질소, 인산, 칼리 함량은 공정 규격 이내에 있었고 중금속 함량도 허용 기준 이내에 있었다(Table 2).

간척지 주변 하천수 이용 자동 정밀 수분제어시스템 가동 시 케나프 수량 예측

새만금 간척지의 오염을 막기 위하여 친환경 재배가 강조되고 있다. 이에 따라 비료 및 퇴비 사용을 최소화하는 재배기술의 개발이 요구되고 있다. 따라서 오염 부하 요인이 높아서 저급수로 평가되는 새만금 주변 하천수를 관개수로하여 케나프 재배에 필요한 영양원으로 활용 가능함을 확인하였다. 새만금 주변 하천수의 수질을 파악하기 위하여 군산시 대야면 광교리에 위치한 만경강 탐천의 하천

수 화학성을 케나프 재배기간에 해당하는 4월부터 10월 사이에 월별로 분석하였다. 분석 항목은 pH, 총 질소(T-N), 총 인(T-P), 총 칼륨(T-K)이었다. 케나프를 재배하는데 필요한 연간 요구량은 전년 케나프 재배를 통하여 공급된 용수량과 물을 많이 필요로 하는 작물인 벼의 요구량이 1,400 톤이고 발작물 중 유사한 요구량을 가지고 있는 것으로 평가되는 고추가 719 톤인(Yoo *et al.*, 2009) 점 등을 종합적으로 감안하여 800 톤으로 산정하였다. 수질 분석에서 확인된 영양소 함유량과 공급량을 바탕으로 실제 관개수를 통하여 공급 가능한 총 질소·총 인·총 칼륨량을 계산하였으며 이를 표준 시비 곡선에 대입하여 무비료 상태하 관개수만을 이용하여 케나프를 재배하였을 때 얻을 수 있는 케나프 수량을 산출하였다. 또한 2020년에 관개수량이 800 톤에 이르는 8월 하순까지 정밀 수분제어시스템으로 용수를 공급하고 간척지 재배를 통하여 얻을 수 있는 실제 수량성을 평가하였다. 처리는 케나프 재배기간인 4월에서 9월까지 이루어졌다. 비료나 퇴비 투입 없이 간척지 주변 하천 관개수를 자동 정밀 수분제어시스템으로 공급하는 “수분관리” 처리와 비료나 퇴비 투입도 없고 수분 관리도 하지 않

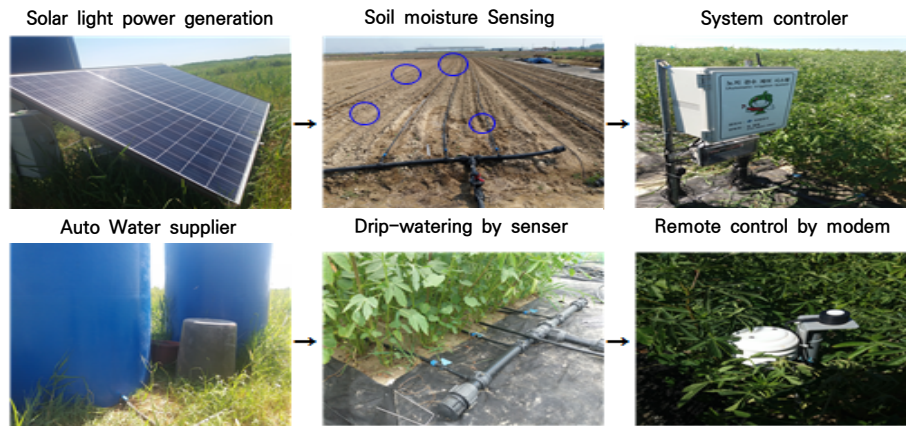


Fig. 2. Construction of ICT remote soil moisture control system in Saemangeum reclaimed land.

은 “무처리” 그리고 자동 정밀 수분관리는 하지 않으나 퇴비로 IRG 파쇄물 2.5 톤/10a을 투입하고 표준시비한 “표준 시비” 처리를 하였다.

시험지 토양 및 수질 분석

간척지 생육환경을 명확히 이해하기 위하여 토양 화학성을 분석하였다. 시료는 한 개의 시험구 내에서 균일하게 10 개소를 지정하여 측정하였는데 국립농업과학원의 토양화학 분석법(NAAS, 2010; NIAST, 2000)에 기준하여 분석하였다. 토양 pH와 EC는 풍건토양과 증류수를 1 : 5 (W/V)로 혼합하고 30분 진탕 후 pH meter (Orien3 star, Thermo Scientific)와 EC meter (ORION SYRT A212, Thermo Scientific)로 각각 측정하였다. 토양 유기물의 측정은 Tyurin법에 따랐으며 T-N은 비색법, 유효인산은 Lancaster법(Cox, 2001)으로 측정하였다. 치환성 양이온(K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+)은 1 N CH_3COONH_4 (pH 7.0)으로 치환 추출하여 원자흡광분광광도계(GBC Scientific Equipment Pty Ltd)로 분석하였다. 수질분석은 수질오염 공정시험법(ME, 1991)과 농사시험연구 조사기준(RDA, 1977)에 준하여 실시하였다. pH와 EC는 pH meter (Orien3 star, Thermo Scientific)와 EC meter (ORION SYRT A212, Thermo Scientific)로 측정하였으며 NH_4^+ -N은 Indophenol법, NO_3^- -N은 혼합산성시약법, PO_4^{3-} 은 염화제일주석 환원법 양이온인 K^+ , Ca^{2+} , Na^+ 등은 원자흡광광도계(Varian Spectra AA 220FS)을 이용하여 정량하였다.

실험설계 및 통계조사

포장시험은 난괴법으로 처리당 4반복으로 하였고 시험에서 얻은 자료는 SAS package program (ver 8.1)을 이용하여 분산 분석을 실시하였으며 처리간의 평균 비교는 Duncan의 다중 검정으로 처리간의 유의성($p < 0.05$)을 검정하였다.

결과 및 고찰

원격 자동 정밀 수분 제어시스템 구축

간척지 토양 수분을 ICT 기술을 이용하여 정밀 관리하기 위하여 원격 자동정밀 수분 제어시스템을 새만금 간척지 시험포장에 구축하였다. 수분 제어시스템의 구성은 센서와 전원, 물 공급시스템, 개폐조절기, 모뎀 등으로 구성하였는데 센서는 토양수분을 감지하여 자동으로 물 공급 할 수 있도록 자동 개폐 조절기와 연동하여 연결하였다. 연차별로 10 a당 4~6개의 센서를 배치하여 각 센서의 측정치가 기준으로 정한 토양 수분 함량에 미치지 못하게 되면 자동으로 물 공급이 이루어지도록 프로그래밍하였다. 물 공급 기준 토양 수분 함량은 발아기에는 24%를 유지하다가 발아가 된 후에는 새만금 시험 포장 유효수분 함량인 32%로 기준을 조정하였다. 재배 용수는 자동 물관리 시스템 처리 효과를 확인하기 위하여 비료나 퇴비 투입이 되지 않은 상태에서 돈분액비와 하천수를 1 : 1로 희석 공급하여 케나프 재배 효과를 검정하였다. 전원은 제어 컨트롤을 위하여 이동식 태양광 전원 공급장치를 설치하여 공급하였으며, 이동식 발전기를 사용하여 물공급 시스템을 운영하는 전기를 공급하였다. 물은 10,000 L PE 물탱크에 돈분액비와 주변 하천수를 저장한 후 센싱 결과에 따라 공급하였고 물이 떨어지지 않도록 지속적으로 보충하였다(Fig. 2). 원격지에서 자동 물 공급이 이루어지고 있는 상황을 PC나 휴대폰을 통해 확인하기 위하여 모뎀을 설치하였다. 그리고 센서를 통하여 습득된 토양 수분, 토양 온도, 토양 염농도(EC), 대기 온도, 대기 습도, 일사량 등의 환경정보를 송출하여 실시간 확인이 가능하도록 하였다.

간척지 케나프 축분액비 활용 원격 자동 정밀 수분 제어 시스템 실증

토양 화학성은 연차별로 약간씩 변화하였는데 토양 산도와 염농도는 재배 기간이 경과할수록 점차적으로 낮아지는 경향을 보였다. 그러나 액비를 시험 용수로 사용할 경우 토양 염농도가 1.36 dS/m으로 약간 높은 것으로 보아 사용하는 용수의 종류에 따라서 바뀔 수 있음이 확인되었다(Choi *et al.*, 2011; Lee *et al.*, 2011). 유기물 함량은 1 년차 12 g/kg에서 3 년차 17 g/kg까지 상승하였는데 유기물 및 작물 재배에 따른 잔여물 투입 등이 영향을 미친 것으로 보였다(Han *et al.*, 2011). 유효인산은 축분액비가 투입된 처리에서 54.6 mg/kg을 유지하다가 비료 투입 없이 하천수만 공급된 3 년차에는 1 년차의 49% 수준으로 떨어져 케나프 생육을 약화시키는 원인으로 작용하였다. 양이온 성분 중 K는 재배 기간 비료 형태로 투입되어 점차적으로 증가하는 경향이었으나 나머지 Ca, Mg, Na 등은 제염의 원인으로 점차로 감소하였고 비료 투입 없이 물만 공급된 3년차에는 감소 폭이 컸다. pH는 7.6~7.8로 염기성을 띠고 있어 비료 성분의 불용화가 우려되었다(Table 3).

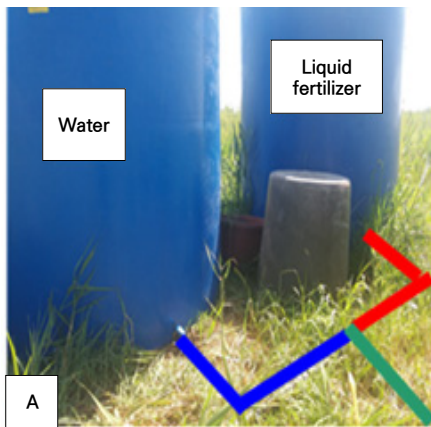
토양 수분 함량 기준은 파종기에는 24%를 유지하다가 발아후에는 간척지 토양 유효 수분 함량인 32%로 상향 설

정하여 자동 정밀 토양 수분관리 조절시스템을 운영하였다. 간척지 토양에 부족한 비료 성분을 보충하기 위하여 액비를 활용하여 수분을 공급하였다. 이때 액비만을 공급할 경우 액비의 점도와 발효 진행에 따른 침전물 발생 등에 의한 관로 및 점적 호스 막힘 현상이 발생하여 액비와 물이 1 : 1의 비율로 공급되도록 시스템을 조절하였으며 희석된 용수는 점적관수를 통하여 공급하였다(Fig. 3). 케나프 파종기에 무처리와 처리간 토양수분 함량을 조사하였다. 강수와 연동되기는 하였으나 자연 방임상태의 5월 토양 수분 함량이 최저 12.3%에서 최고 22.9% 범위로 유지된 반면, 자동 정밀 수분 제어솔루션 운영 처리에서는 가동 초기 14.2%에서 점차 상승하여 목표 수준인 24%대를 지속적으로 유지하였다(Fig. 4). 위와 같이 토양 수분을 목표 수준으로 유지함으로써 케나프 발아 및 초기 생장이 향상되는 결과가 나타났다. 이는 통통마디 발아에 미치는 토양염분, 시비, 토양수분의 영향 분석(Cho *et al.*, 2002)에서 보았듯이 자동 수분 조절시 발아율이 96.4%로 자연방임 48.2%에 비해 2배 향상되었으며 초기생육(초장)도 무처리 대비 81.6% 증가하였다(Fig. 5).

케나프 발아기 설정했던 관수 개시 토양습도 기준 24%를 케나프 본격 성장기인 7~8월에는 새만금 간척지 유효

Table 3. The physio-chemical properties of Saemangeum reclaimed land experimental place.

Experimental year	pH (1:5)	EC (dS m ⁻¹)	OM (g kg ⁻¹)	Avail. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Exch. Cation (cmolc kg ⁻¹)			
					K	Ca	Mg	Na
1'Year ('18)	7.8	1.28	12	47.8	0.44	4.37	4.45	1.16
2'Year ('19)	7.6	1.36	14	54.6	0.48	4.18	4.29	1.08
3'Year ('20)	7.6	1.06	17	27.0	0.70	3.14	3.86	0.84
Standard	6.0~7.0	2.0>	20~30	150~250	0.5~0.8	5.0~6.0	1.5~2.0	



(A) Mixture of swine slurry liquid fertilizer and water



(B) Supplying this mixture through drip-hose

Fig. 3. Liquid fertilizer supply system.

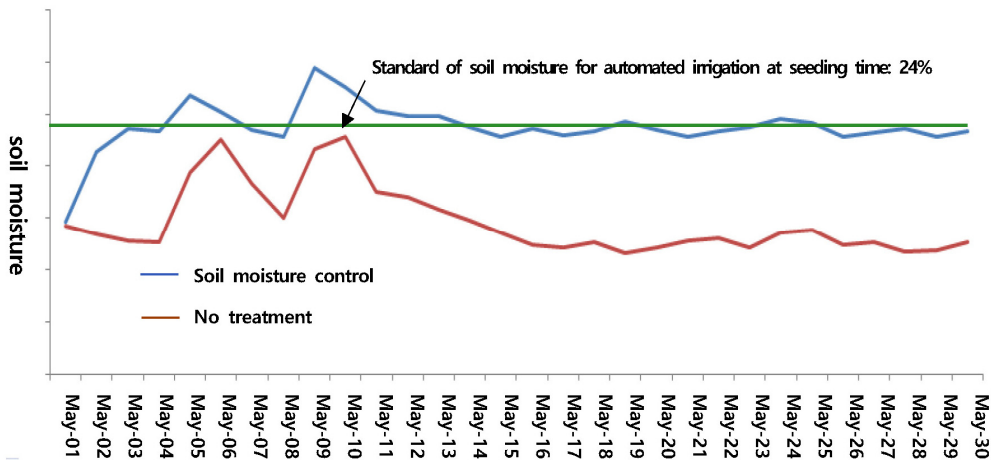


Fig. 4. The change of soil moisture content at seeding stage using automated irrigation control system.

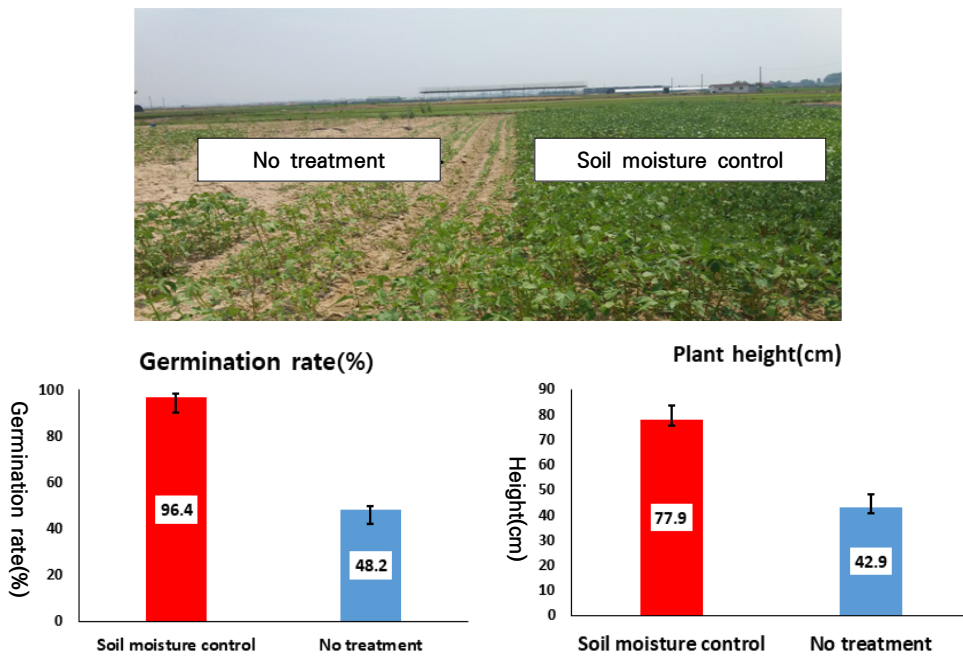


Fig. 5. Comparison of kenaf germination rate and plant height under an automated irrigation control system at seeding time. * Plant height was measured at 65 days after seeding

수분 함량에 맞추어 32%로 상향 조정하고 ICT 수분 정밀 관리가 생육과 수량에 미치는 효과를 분석하였다. 2018년 7월에서 8월까지 강수량을 보면 7월 초에 비가 143 mm 내렸으나 이후 8월 10일까지는 비가 거의 내리지 않아(Fig. 6) 자동 관수처리 효과가 토양 습도 함량에 확실히 반영되었다. 자세히 분석해 보면 토양 수분 자동 조절시스템이 가동되기 전에는 토양 수분이 기준점보다 낮은 상태에서 단순히 강우에 의해서 등락이 결정되는 양상으로 조절되었다가 시스템 가동 이후에는 설정한 기준점 내에서 등락이 거의 없는 상태로 안정적으로 수분이 관리되고 있음이 확인되었

다(Fig. 7).

새만금 간척지에서의 액비 활용 가능성을 확인하기 위하여 노출 후 경작이 이루어지지 않은 무경작지를 선정하였다. 액비를 활용한 토양 수분 자동 조절시스템을 가동하면서 토양 수분을 32% 기준으로 유지될 수 있도록 처리하고 생육 및 수량을 조사하였다. 축분 액비를 활용하여 자동 정밀 수분 제어시스템을 가동할 경우 간척지에서 시비나 정밀 물관리 없이 케나프를 재배한 무치리에 비하여 생육과 수량이 증가하였다. 초장은 27%가 더 컸으며 식물체 전초 개체중이 32% 증가하였다(Table 4). 이는 간척지 수단그라

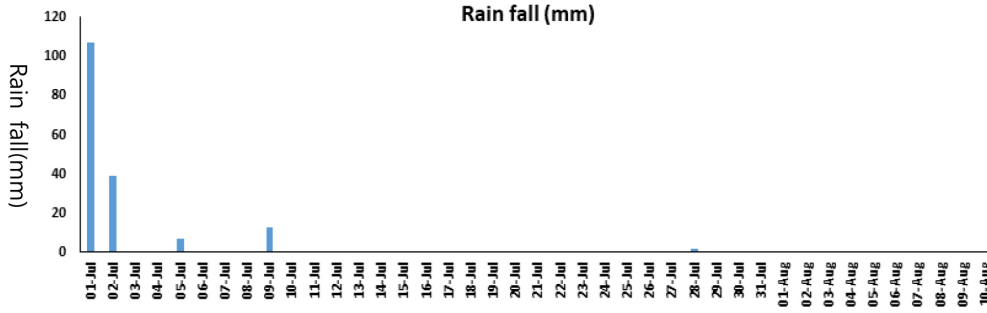


Fig. 6. Rain fall from July 1st until August 10th in 2019.

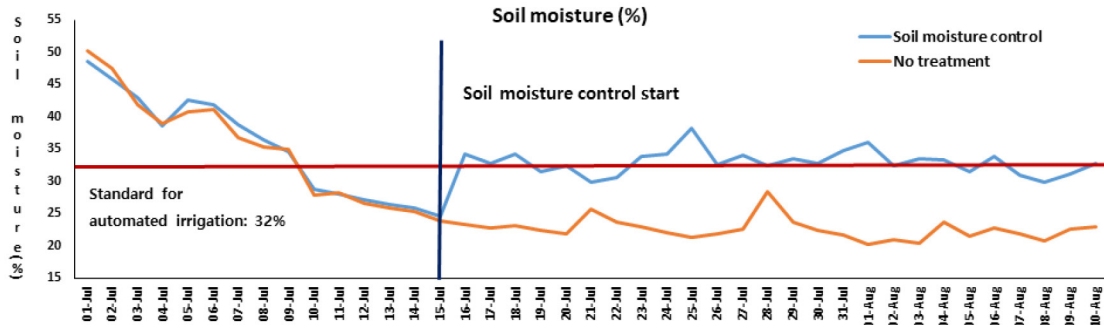


Fig. 7. The change of soil moisture content at July 1st~August 10th (full-fledged growth time) using automated irrigation control system.

Table 4. Kenaf growth phase according to the operation of the automated irrigation control system with swine slurry liquid fertilizer.

Division	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	NO. of leaf (EA/Plant)	Fresh weight (g/plant)		
				Leaf	Stem	Total
Soil moisture control ^{*1}	326.9 b	23.1 b	128.0 b	131.1 b	393.3 b	524.4 b
No treatment ^{*2}	257.4 c	21.3 c	86.4 c	83.4 c	312.8 c	396.2 c
Standard cultivation ^{*3}	421.6 a ^{*4}	24.2 a	146.8 a	148.6 a	485.9 a	634.5 a

^{*1}Cultivation with only swine slurry liquid fertilizer on automated irrigation control in reclaimed land

^{*2}Cultivation without any fertilizer and automated irrigation control system in reclaimed land

^{*3}Cultivation after input (Livestock manure 3 Ton/10a + N-P₂O₅-K₂O : 10-10-6 kg/10a) without automated irrigation control in non-reclaimed land (Iksan city)

^{*4}The same letters in each column are not significantly different at the 5% level by DMRT.

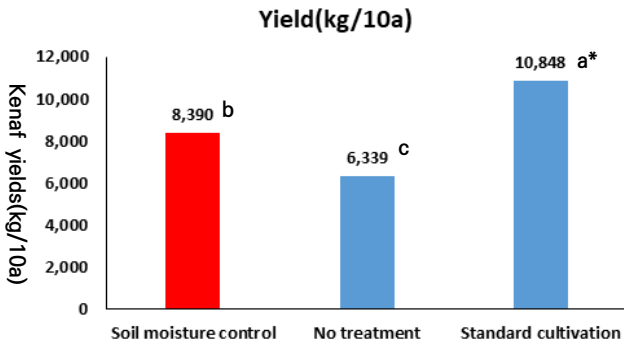


Fig. 8. The kenaf yields under the automated irrigation control system.

* The same letters in each column are not significantly different at the 5% level by DMRT.

스 재배시 축분퇴비 투입이 생육 향상에 효과 있었다는 보고와 일치하였다(Shin *et al.*, 2011). 그러나 비간척 일반지에서 비료와 유기물원은 투입하되 정밀 수분관리는 하지 않은 표준시비 처리에 비해서는 생육이 낮았다. 이는 축분 액비를 활용하여 수분을 자동정밀 제어할 경우 케나프 초장이 326.9 cm로 표준시비 처리의 77.5% 수준이었다.

액비 활용 자동 정밀 수분 제어시스템 처리시 무처리에 대비해서 수량도 증가하였는데 케나프 수량이 10 a당 8,390 kg로 무처리 대비 32.4% 증가하였다(Fig. 8). 그러나 수분 관리 없는 비간척 일반지 표준 시비재배 케나프 수량 10,848 kg/10a에 비해서는 떨어지는 결과가 나왔다. 이는 액비를 활용하여 정밀한 물관리가 이루어질 경우 적시 수분공급과

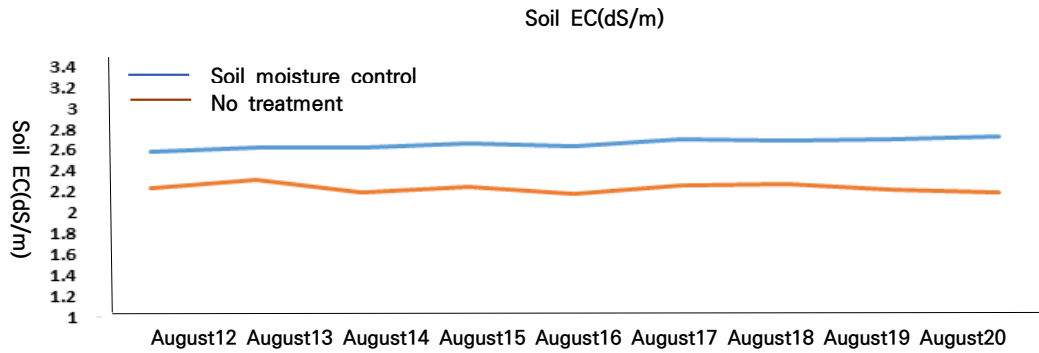


Fig. 9. The change of soil EC according to the using of liquid fertilizer.

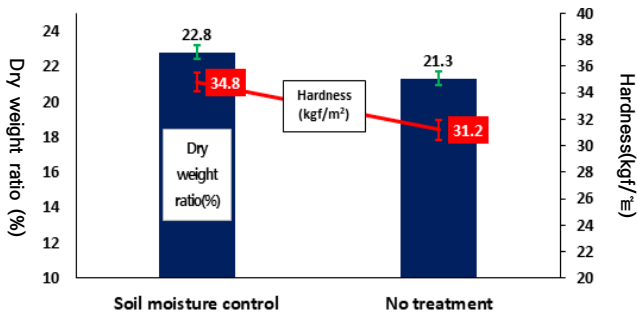


Fig. 10. Changes in kenaf dry matter and hardness under the automated irrigation control system in reclaimed soil.

액비에 의한 비료 공급의 영향으로 무처리에 비해서 상당한 정도의 수량 증가가 이루어진다는 것을 알 수 있다. 그러나 센서와 연동하여 희석되어 공급된 액비를 통해서서는 표준시비를 통하여 공급된 만큼의 충분한 양의 비료가 공급되지 못하여 수량이 표준시비 처리에 미치지 못하는 것으로 해석되며, 2차 적으로는 수분의 관리가 센서가 박혀 있는 한정 구역을 기준으로 이루어져 전체 토양의 수분 상황을 정확히 반영하지 못한 시스템적 원인과 수분 관리를 위한 액비의 반복적 시용에 따라 토양 염농도(EC)가 상승하여(Fig. 9) 작물 생육에 부정적 영향을 미친 것으로 분석되었다(Kim *et al.*, 2016).

또한 처리를 통하여 얻어진 생산물의 품질 특성을 살펴보기 위하여 자동 정밀 수분 제어시스템 자유방임 처리의 건물률 및 식물체 경도를 비교하였다. 지속적이고 안정적 수분 관리가 이루어짐에 따라 생장이 탄탄하게 이루어진 자동 정밀 물관리 처리의 케나프 건물률이 7% 높고 식물체 경도도 11.5% 증가하였다(Fig. 10). 이는 간척지 수분 조절시 여름 사료작물의 건물률이 높아질수 있음(Shin *et al.*, 2004) 과 유사한 결과였다.

Table 5. Chemical properties of Topcheon which was branch stream of Mangyung river for kenaf culture periods.

Time	pH	T-N (g/Ton)	T-P (g/Ton)	T-K (g/Ton)
2019/April	8.1	10.4	0.33	7.48
2018/May	7.8	5.4	0.19	6.42
2018/June	7.9	3.0	0.08	5.49
2018/July	8.8	3.2	0.07	5.56
2018/August	8.0	2.1	0.01	5.96
2018/September	8.1	2.5	0.05	5.90
2018/October	8.6	3.4	0.14	6.03
Average	8.19	4.29	0.12	6.12

간척지 주변 하천수 이용 자동 정밀 수분제어시스템 가동 시 케나프 수량 예측

새만금 주변 저급 하천수를 이용한 저투입 간척지 케나프 재배 가능성을 확인하기 위하여 주변 하천수의 수질을 분석하였다. 분석 지점은 시험지와 근접한 만경강 지류인 군산시 대야면 탑천의 하천수 화학성을 케나프 재배기간에 해당하는 4월부터 10월 동안 월별로 분석하였다. 분석 결과 pH는 평균 8.2로 비교적 높았으며 총 질소(T-N) 함량은 톤당 4.29 g, 총 인(T-P)은 0.12 g, 칼리(K₂O)는 6.1 g 함유하고 있었다(Table 5). 실측과 작물별 요소량 기준을 감안하여 산정한 케나프 요소량 800 톤을 기준으로, 만경강 하천수에 포함된 비료 함유량을 대입하여 하천수를 통하여 케나프 재배기간 공급 가능한 비료량을 산출한 결과 질소는 3.43 kg, 인산은 0.10 kg, 칼리는 4.88 kg 공급하는 것이 가능하였다(Table 6).

재배기간 동안 하천수 800 톤 공급 기준으로 케나프 수량을 예측하였다. 질소와 인산 비종별 수량 회귀곡선 질소 $Y = -10.571X^2 + 215.83X + 3785.4$ ($R^2 = 0.7784$)와 인산 $Y = -8.8286X^2 + 180.77X + 4784.6$ ($R^2 = 0.2884$)에 따라 수량을 예측한 결과 무

Table 6. Estimation of 3 fertilizers of Mangyung river branch and additional input approximately equal to kenaf standard fertilization.

Site	Amount of irrigation (mm=Ton)	Fertilizer supplied from irrigation water			Amount of fertilizer required for additional input ^{*2}		
		N	P	K	N	P	K
Toprcheon (Mangyung river branch)	800 ^{*1}	3.43	0.10	4.88	6.78	10.14	0.92

^{*1}Kenaf 1-year forecast demand water for culture

^{*2}According to the kenaf standard fertilization N 10.21-P 10.24-K 5.80 kg/10a

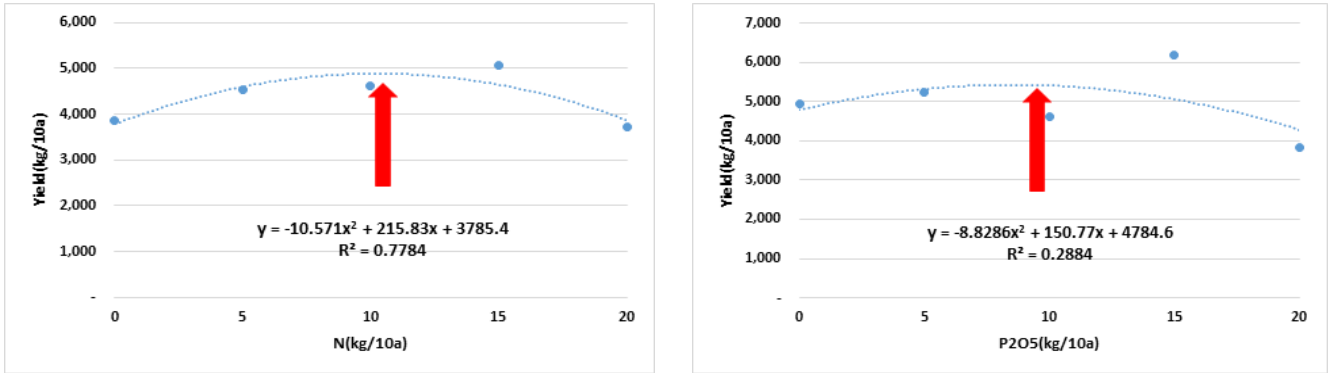


Fig. 11. Regression curve of kenaf yield according to fertilization amount of nitrogen and phosphate.

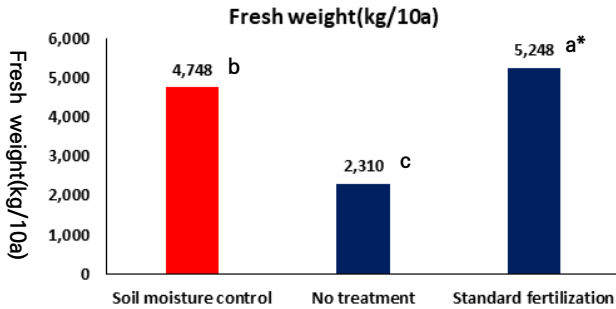


Fig. 12. The yields of kenaf on using automated irrigation control system with supplied water from Mangyung river branch.

* The same letters in each column are not significantly different at the 5% level by DMRT.

비료 투입 상태에서 관계수를 통해서만 비료를 공급할 경우 가능한 케나프 수량은 5,039 kg/10a이었다(Fig. 11).

이러한 예측 수량이 실제 간척지 재배에서도 적용될 수 있는지를 새만금 간척지 케나프 재배를 통하여 확인하였다. 시험 결과 비료 투입 없이 간척지 주변 하천수만을 이용하여 자동 정밀 수분제어시스템으로 토양수분을 정밀 제어할 경우 수량이 4,748 kg/10a로 자연 방임한 무치리에 비해서 106% 증가하였다. 간척지에서 유기물원으로 IRG 채종잔여물 2.5 톤/10a와 표준시비가 이루어진 시비 처리에서는 케나프 수량이 5,248 kg/10a까지 올라갔다(Fig. 12). 이는 간척지 주

변 하천수 공급을 통해서 작물 성장에 필요한 일정 정도의 비료공급이 가능하고 유기물원 투입을 병행한다면 작물 성장을 일정 정도 촉진 시킬 수 있음을 확인한 것으로, 추가적 확인이 필요하겠으나 간척지에서 주변 저급수를 활용할 경우 기존 사용하던 화학 비료를 줄이는 저투입 농업이 가능할 수도 있음을 확인한 것이다.

적 요

1. 토양 센싱을 통한 환경정보의 습득과 일정 토양수분 이하가 되면 자동으로 물 공급이 이루어지도록 하는 자동 수분제어 그리고 원격지에서 PC나 휴대폰을 통하여 시스템 운영을 확인할 수 있는 원격 자동 정밀 수분제어솔루션을 구성하여 운영한 결과 시스템이 안정적으로 운영되고 있음이 확인되었다.
2. 이 시스템을 적용하여 토양수분을 관리하면 케나프 발아율이 100%p 향상되었다. 간척지 노출 후 무경작 상태의 간척지 토양을 대상으로 비료 투입 없이 간척지 주변 하천수를 이용하여 정밀 수분제어솔루션을 운영하면 케나프 4,748 kg/10a 수확이 가능하여 토양수분 관리를 하지 않은 무치리에 비해서 수량이 106% 증가하였다.
3. 조건을 동일하게 하고 공급수를 하천수가 아닌 축분액비로 할 경우 케나프 성장에 필요한 비효 성분의 공급이 원

활히 이루어져 케나프 수량이 8,390 kg/10a까지 증가하였다.

4. 자동 토양수분 조절을 통해 토양 수분이 지속적이고 안정으로 관리되면 케나프 수확물의 품질이 높아져 건물률이 7% 높아졌으며 식물체의 경도도 11.5% 증가하였다.
5. 무비료, 유기물 무투입 상태에서 케나프 추정 요소량 800 톤을 새만금 간척지 주변 하천수를 이용하여 자동조절수분 시스템으로 공급할 경우 케나프 예측 수량은 5,039 kg/10a 이었다.

사 사

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(ATIS 과제번호: PJ015100012020)의 지원에 의해 이루어진 연구결과임.

인용문헌(REFERENCES)

- Cho, Y. C., K. S. Lee, S. M. Jeon, and D. S. Byeon. 2002. Characteristics of growth and germination of *Salicornia herbacea* L. for the soil salinity and manure condition. *J. Korean Society of Medicinal Crop Science* 10(2) : 100-108.
- Choi, K. C., M. W. Jung, N. C. Cho, H. S. Park, S. H. Yoon, J. K. Kim, C. E. Song, E. M. Choi, C. M. Kim, and Y. C. Lim. 2011. Effect of application of swine slurry on productivity of Sorghum × Sorghum hybrid and soil environment. *J. Kor. Grassl. Forage Sci.* 31(2) : 159-166.
- Cox, M. S. 2001. The lancaster soil test methods as an alternative to the Mehlich 3 soil test methods. *Soil Science* 166(7) : 484-489.
- Han, S. G., H. J. Kim, J. A. Song, and D. Y. Chung. 2011. Fate of nitrogen influenced by circumstances of a reclaimed tidal soils. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(5) : 745-751.
- Kang, C. H., W. Y. Choi, Y. J. Ryu, G. H. Choi, H. J. Kim, Y. J. Song, and C. K. Kim. 2014. The growth phase and yield difference of Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) on soil salinity in reclaimed land. *Korean J. Crop Sci.* 59(4) : 511-520.
- Kim, S., J. H. Ryu, Y. J. Kim, J. H. Cheong, S. H. Lee, Y. Y. Oh, Y. D. Kim, and J. H. Kim. 2016. Influence of soil salinity on the growth response and inorganic nutrient content of a millet cultivar. *Korean J. Crop Sci.* 61(2) : 113-118.
- Koo, H. S., J. H. Min, and J. Y. Park. 2015. Survey of ICT agriculture convergence. *Electronics and Telecommunications Trends* 30(2) : 49-58.
- Lee, J. W. 2016. Global case of smart agriculture. *World Agriculture* 185, 1-19.
- Lee, S. B., K. M. Cho, N. H. Baik, J. J. Lee, Y. J. Oh, T. I. Park, and K. J. Kim. 2011. Effects of application method of pig compost and liquid pig manure on yield of whole crop Barley (*Hordeum vulgare* L.) and chemical properties of soil in Gyehwa reclaimed land. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44(3) : 353-360.
- Lee, S. H., H. S. Bae, Y. Y. Oh, and J. H. Ryu. 2015. The society of agricultural research on reclaimed lands. pp. 88-103.
- Ministry of Environment. 1991. Standard methods for the examination. NAAS (National Institute of Agricultural Science).
- NAAS (National Institute of Agricultural Science). 2010. Methods of soil chemical analysis, Rural Development Administration (RDA), Suwon, Korea.
- NIAS (National Institute of Agricultural Science and Technology). 2000. Analytical methods of soil and plant. NIAS, Rural Development Administration (RDA), Suwon, Korea.
- RDA. 1977. Standard of investigation for agricultural researches. Rural Development Administration (RDA), Suwon, Korea.
- RDA. 2002. Agriculture of the reclaimed tidal land in Korea. Natl. Inst. Honam Agr.
- RDA. 2014. Collection of advanced examples of agricultural ICT convergence. Rural Development Administration (RDA), Suwon, Korea.
- Shin, J. S., W. H. Kim, S. H. Lee, S. H. Yoon, E. S. Chung, and Y. C. Lim. 2004. Comparison of dry matter and feed value of major summer forage crops in the reclaimed tidal land. *Korean J. Grassl. Sci.* 24 : 335-340.
- Shin, K. S., C. H. Kim, Y. M. Yoon, S. H. Lee, and J. H. Lee. 2011. Effect on sudan grass growth treated anaerobic digested liquid manure in reclaimed tidal land soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 2011 : 211-212.
- Shon, Y. M., J. S. Park, H. T. Kim, J. H. Lee, G. B. Lee, J. J. Lee, Y. G. Shin, M. E. Park, and Y. S. Hwang. 2007. Multiple utilization of tidal reclaimed farmland for advanced agriculture. Korea Rural Community & Agriculture Corporation.
- Yoo, S. H., J. Y. Choi, T. G. Kim, J. B. Im, and C. H. Chun. 2009. Estimation of crop virtual water in Korea. *J. K. Water Resources Association* 42(11) : 911-920.