

## 하수슬러지 고화물을 처리한 매립예정 간척지토양의 잡초발생 양상변화

엄경란 · 장윤희 · 안기홍<sup>†</sup> · 차영록 · 유경단 · 이지은 · 문윤호 · 안종웅

농촌진흥청 국립식량과학원 바이오에너지작물연구소, 전남 무안군 청계면 무안로 199

### Transitional Patterns of Vegetation in Reclaimed Land Applied with Solidified Sewage Sludge

Kyoung Ran Um, Yun-Hui Jang, Gi Hong An<sup>†</sup>, Young-Lok Cha, Gyeong-Dan Yu, Ji-Eun Lee, Youn-Ho Moon, and Joung Woong Ahn

Bioenergy Crop Research Institute, National Institute of Crop Science, RDA, 199 Muan-ro, Cheonggye, Muan, 534-833, Korea

**ABSTRACT** This study was firstly conducted to investigate changes of vegetation and soil characteristics in reclaimed land applied with solidified sewage sludge for the cultivation of bioenergy crops. Each vegetation survey site was approximately 15 m × 3 m on the inside of each experimental plot that consisted of 50% (A-1), 30% (A-2), 15% (A-3), and 5% (A-4) mixture of solidified sewage sludge, and original reclaimed soil (ORS). After the application of solidified sewage sludge, we monitored the changes of vegetation and soil properties for three years. In first year, soil pH, electrical conductivity (EC) and exchangeable Ca<sup>2+</sup> content was 9.4~10.8, 9.10~14.41 dS m<sup>-1</sup>, and 62.1~204.2 cmol kg<sup>-1</sup>, respectively, while three years later, it decreased to 8.1~8.4, 1.65~5.98 dS m<sup>-1</sup>, and 21.9~43.1 cmol kg<sup>-1</sup>, respectively. These results indicated that several of soil chemical elements which have negative impacts on the plant growth in the plots of mixtures of solidified sewage sludge, steadily declined as the years go by. The vegetations in each survey site were recorded as 6 families and 12 species in 2014, while the vegetations were not occurred at all survey sites in 2012, and only halophytes as *Phragmites australis* and *Suaeda asparagoides* were observed in 2013. Diversity of vegetation, which was calculated by shannon index ( $H'$ ), increased as the season progressed at each experimental plot applied with solidified sewage sludge. In original reclaimed soil, however, there was showed the high community similarity of vegetation due to the fact that *P. australis* and *S. asparagoides* were only occurred for survey periods.

**Keywords** : reclaimed soil, solidified sewage sludge, shannon index, vegetation

우리나라의 간척지는 과거 농업적인 측면에서 좁은 국토 면적을 극복하고 벼와 같은 주요 식량작물을 생산하기 위한 농지확보 차원에서 개발이 시작되었으나, 최근에는 그 이용도가 점차 다양해지면서 산업 및 도시화에 따른 토지수요를 충족하기 위한 중요한 토지 자원으로써 가치가 크다(Kim *et al.*, 2012; Lee *et al.*, 2000). 현재까지 국내 간척지의 면적은 135.1천ha로 준공면적은 90.7천ha이고 시행중인 면적이 44.4천ha로 알려져 있다(Kim *et al.*, 2013).

간척지는 일반 경작지에 비해 과도한 염농도로 인하여 식물생육이 저해된다. 특히 가용성 염류와 치환성 나트륨(Ex. Na<sup>+</sup>) 이온이 과다하게 함유되어 있으며 이러한 토양내의 과다한 가용성 염류는 토양용액의 삼투압을 증가시키는 주된 원인이 되며, 치환성 나트륨은 토양의 알칼리성을 증가시킨다고 알려져 있다. 또한 수분포텐셜이 감소하는 동시에 양분의 불균형을 초래해 식물의 발아 및 생장에 악영향을 끼친다(Lee *et al.*, 2000a,b; Koo *et al.*, 1998).

일반적으로 높은 염분농도를 나타내는 간척지 토양은 식물의 분포가 제한되는 독특한 지역이다(Lee *et al.*, 2003). 간척지의 주요 우점초종은 염생식물인 명아주과의 통통마디, 나문재 등이 대표적이다. 우리나라 염해지의 식생 현황을 조사한 Kang and Shim (1998)에 의하면 염해지에는 나문재, 칠면초 등이 우점하며 그 이후에는 갯질경, 갯골풀 등

<sup>†</sup>Corresponding author: (Phone) +82-61-450-0135 (E-mail) agiho@korea.kr

<Received 1 July, 2015; Revised 3 September, 2015; Accepted 9 September, 2015>

이 우점하고 탈염이 진행된 곳에서는 갈대, 물대 등이 우점하는 경향을 보여 간척지의 탈염정도에 따라 식생이 변화한다고 보고한 바 있다. 이와 비슷하게 Lee *et al.* (2003)의 연구결과에서도 염도(ECe)의 수준에 따라 출현하는 식생종이 다르다는 것을 기술하였다. 이와 같이 간척지에 출현하는 식생의 양상은 작물재배가 가능한 수준을 알아보기 위한 하나의 척도로서 활용도가 높다고 알려져 있다.

수도권매립지는 수도권 및 경기도의 3개 광역자치단체에서 배출되는 생활, 건설 및 사업장 폐기물의 처리를 위한 목적으로 총 4개의 매립장과 1개의 시설공구로 구성되어 있다(An *et al.*, 2011, 2012). 현재 매립이 완료되거나 진행 중인 매립장 이외의 매립예정 부지가 유휴지 상태로 장기간 방치될 것으로 예측됨에 따라 토지 지력확보와 활용성을 높이기 위하여 바이오에너지작물의 재배를 위한 바이오순환립 조성을 계획하였다. 하지만 매립예정부지의 대부분이 바다를 간척하여 개발한 간척지 토양으로서 정상적인 바이오에너지작물의 재배를 위해서는 우점초종에 대한 토양 염농도 및 식생조사 등에 대한 연구가 선행되어야 할 것이다.

수도권매립지에서 하루 평균 생산되는 하수슬러지 고화물은 약 3,000톤으로 이를 경제적으로 처리하며 에너지작물 재배를 위한 영양원으로써 매립예정 간척지의 토양개량제로서 재활용하는 방안이 대두되고 있다. 대부분의 하수슬러지 고화물은 매립된 쓰레기의 노출을 방지하여 쓰레기의 비산 및 악취저감을 유도하기 위한 일일복토재나 중간복토재로 이용하고 있는 것이 일반적이다(Hyun and Kim, 2007; Lee *et al.*, 2006; Yoo *et al.*, 1999). 그 이외에 조정용 상토로서의 유기성슬러지 고화물의 활용방안이 보고된 바 있다(Kwak *et al.*, 2005). 하지만 하수슬러지 고화물을 처리로 인한 간척지 토양의 잡초종과 같은 식생변화에 대한 연구는 미비한 실정이다.

본 연구에서는 하수슬러지 고화물을 처리한 바이오에너지작물 시험재배 포장에서 시기별 우점초종 등의 식생변화에 대한 조사를 수행하였으며, 이와 같은 결과를 바탕으로 향후 바이오에너지작물의 대규모 재배에 수반되어야 하는 효과적이며 경제적인 잡초 방제법을 개발하기 위하여 중요한 참고자료로 활용하고자 한다.

## 재료 및 방법

### 시험포장 구성

매립예정 간척지 토양에 하수슬러지 고화물의 포설량에 따른 바이오에너지작물 거대 1호(*Miscanthus sacchariflorus* cv. Geodae 1)의 생육반응을 분석하기 위하여 시험포장을

조성하였다. 시험포장은 인천광역시 서구 백석동에 위치한 수도권매립지 제4매립장 예정부지의 안암호 호수공원 부근에 위치하며, 바이오에너지타운 조성계획부지 중에서 1차 조성예정지인 약 55만 m<sup>2</sup>의 부지 중에서 1 ha 면적의 시험포장을 2011년 8월경에 조성하였다. 포장구성은 하수슬러지 고화물 처리량별 4 토양 처리구(하수슬러지 고화물 50% 혼합구, A-1; 30% 혼합구, A-2; 15% 혼합구, A-3; 5% 혼합구, A-4)로 조성되었으며, 각 하수슬러지 처리구별 면적은 50 m × 50 m (250 m<sup>2</sup>)이다. 하수슬러지 고화물을 처리하지 않은 무처리구는 시험포장 부근의 간척지 원지반토(ORS)를 선정하여 연구를 수행하였다. 본 연구의 잡초 발생양상의 조사를 위하여 각 시험구 내에 15 m × 3 m의 면적의 조사구역을 조성하였다.

### 잡초 발생양상 조사

잡초 발생양상 조사는 2012년, 2013년 및 2014년의 3년간 수행되었다. 조사 1년차(2012년)와 2년차(2013년)는 포장 전체적으로 우점 잡초종에 대하여 이루어졌으며, 조사 3년차는 시험구내의 발생잡초에 대해서 어떠한 제초행위를 수행하지 않았으며 2014년 5월부터 9월까지 1개월에 1회 식생조사 설정 구획을 대상으로만 수행되었다. 조사방법은 각 조사구 내를 1 m간격으로 출현된 잡초의 종을 격자무늬 종이에 세부적으로 기록하였다. 초종의 분류는 원색한국식물도감(Lee, 1996)을 기준으로 분류하였다.

### 각 시험구의 식생 다양성 및 군집 유사성 분석

각 시험구내에 설치한 잡초 발생양상 조사구에서의 잡초 개체수를 다음의 공식을 통하여 식생 다양성을 나타내는 척도인 Shannon-Weaver 지수(Shannon-Weaver index,  $H'$ )를 계산하였다(Shannon and Weaver, 1946).

$$H' = -\sum P_i \log P_i \quad (1)$$

여기서  $P_i$ 는  $N_i/N$ 이며,  $N$ 은 총 개체수,  $N_i$ 는  $i$ 종의 개체수를 나타낸다.

또한 각 조사구에서 발생하는 잡초군집의 유사성을 시기별로 비교하기 위하여 아래와 같은 공식을 이용하여 Sørensen's index (Sørensen's similarity coefficient,  $S_s$ )을 분석하였다(Sørensen, 1948).

$$S_s = 2C / S1 + S2 \quad (2)$$

여기서  $C$ 는 두 비교집단에서 공통으로 관찰된 개체수가

며, S1은 1번 군집에서 관찰된 총 개체수이며, S2는 2번 군집에서 관찰된 총 개체수이다.

**각 시험구의 토양분석**

각 시험포장 내의 시기별 잡초 식생조사와 동시에 토양화학성 분석을 위하여 토양시료를 채취하였다. 토양시료는 각 시험구의 역새생육이 시작되는 5월경부터 생육말기인 11월 까지 월 1회 무작위로 5지점을 선정하여 지상으로부터 표토(0~20 cm)의 토양을 채취하였다. 토양시료는 바이오에너지작물연구소로 운송하여 풍건시킨 뒤 토양화학성 분석을 위하여 2 mm sieve로 식물잔해 및 자갈 등을 걸러 내었다. 염농도(%)는 토양내의 전기전도도(Electrical Conductivity)를 EC 측정기(EC110 meter, Spectrum Technologies, Inc., IL, USA)를 이용하여 현장에서 직접 토양 내에 전극을 꽂아 측정을 행한 후 측정하였다. 그 이외의 OM, T-N, 유효인산함량, 치환성 양이온함량 등의 토양분석은 농촌진흥청 토양화학분석법에 준하여 분석하였다(NIAST, 2000).

**결과 및 고찰**

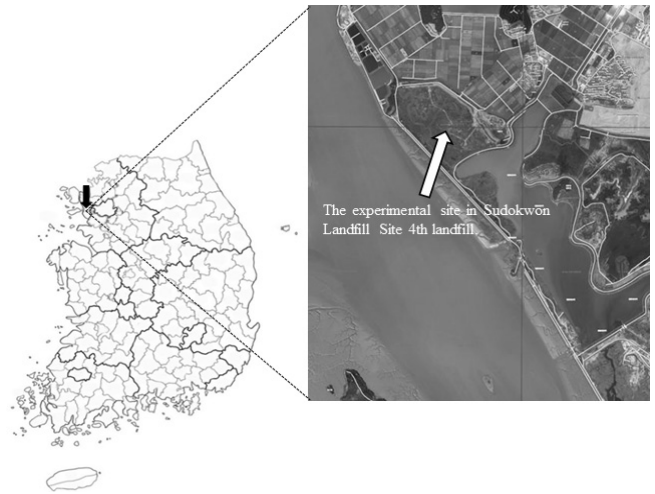
**시험포장 내 간척지의 토양특성**

본 연구의 시험포장은 수도권매립지 제4매립 예정부지에서 경기도 김포시의 김포간척지에 속하며 서해바다로부터 약 500 m 부근에 위치한다(Fig. 1). 시험포장 구성전의 간척지 원지반토의 토양 특성은 Table 1에 나타내었다. 토양 pH와 전기전도도(EC)는 8.3과 12.42 dS m<sup>-1</sup>이었으며 유기물함량(OM), 전질소 함량(T-N) 및 유효인산 함량(Av. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)은 각각 2.9 g kg<sup>-1</sup>, 0.01 % 및 56 mg kg<sup>-1</sup>로 나타났다. 이는 일반 농경지의 토양함량과 비교하면 매우 낮은 수준이었다. 토양 pH의 수치는 Son and Cho (2009)이 조사한 새만금 간척지 및 고흥 간척지의 평균치에 비하여 높은 수치를 보였으며, 전기전도도의 경우는 다소 낮은 수치를 나타내었다. 또한 Lee *et al.* (2011b)에 의하면 토양 염농도(salinity)를 평가하는 지표 중에 전기전도도(EC)와 함께 토양 내에 존재하는 다양한 이온 중에서 토양의 입자간의 반발력 증가와 투수성 및 경운성에 악영향을 끼친다고 알려져 있는 Na<sup>+</sup>

이온함량의 경우, 8.6 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>로 나타나 새만금 간척지(2.9 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>) 및 고흥간척지(5.9 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>)에 비하여 높은 것으로 나타났다. 시험포장 토양의 토성은 미사질양토(silt loam, SiL)로서 모래 39.2%, 미사 50.9%, 점토 9.9%의 함량비를 보였다. 이와 같이 본 시험포장은 우리나라 간척지에 넓게 분포하는 대표적인 간척지 토양의 특성을 나타내고 있음을 확인하였다(Lee *et al.* 2003).

**하수슬러지 고화물을 처리한 시험구의 토양화학성**

본 시험포장은 매립예정 간척지 토양에서 바이오에너지작물 거대 1호(*Miscanthus sacchariflorus* cv. Geodae 1)의 대량재배 목적으로 하수슬러지 고화물을 토양복토재로서 이용할 시에 에너지작물의 재배에 적합한 하수슬러지 고화물 처리범위 평가를 위하여 2011년 5월에 조성되었다. 하수슬러지 고화물량에 따라 4개의 처리구로 구성되었으며(하수슬러지 고화물 50% 처리구, A-1; 30% 처리구, A-2; 15% 처리구, A-3; 5% 처리구, A-4), 시험포장 조성 후인 2011년 11월 토양 화학성을 조사한 결과는 Table 2와 같다. 각 시험구의 토양 pH 범위는 9.4~10.8로 A-4에서 가장 낮은 수



**Fig. 1.** Location of Sudokwon Landfill Site 4th landfill. The arrow indicate the experimental site in this study. The source of map information was obtained from National Geographic Information Institute (www.ngii.go.kr).

**Table 1.** Physico-chemical properties of reclaimed land in this study.

	pH (1:5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	T-N (%)	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	Exchangeable cations (cmol <sub>c</sub> /kg)				Particle size distribution (%)		
						K	Ca	Mg	Na	Sand	Silt	Clay
ORS <sup>a</sup>	8.3	12.4	2.9	0.01	56	0.95	2.5	4.1	8.6	39.2	50.9	9.9

<sup>a</sup>indicates the original reclaimed soil in our experimental plot.

치를 보였으나, 전체적으로 간척지 원지반토(ORS)에 비하여 높은 pH를 나타내고 있었다. 또한 토양 전기전도도(EC)도 역시 9.10~17.41 dS m<sup>-1</sup>까지의 나타내며 높은 EC수치를 나타내었다. 각 시험구의 유기물 및 전질소 함량은 하수슬러지 고화물의 처리량이 많을수록 높은 함량치를 보였으나, 유효인산 함량은 이와 다르게 하수슬러지 고화물 처리량이 가장 낮은 A-4 시험구에서 가장 높은 함량을 보였다. 각 시험구의 치환성 칼슘이온은 62.1~204.2 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>을 나타내며 간척지 원지반토에 비하여 약 24~80 배 이상 과도하게 많은 것으로 나타났다. 현재까지 하수처리의 최종산물로 발생하는 하수슬러지는 고형화를 시키기 위하여 시멘트-생석회계 고화제를 이용하여 고화처리를 수행하는 것이 일반적이나, 강알칼리성 고화제의 사용에 따른 pH 상승으로 인한 여러 문제점들이 부각되고 있다(Hyun *et al.*, 2008). 생활폐기물의 매립을 목적으로 건설된 수도권매립지는 김포간척지에 조성된 지 약 15년 이상의 시간이 경과된 점과 시험포장의 간척지 원지반토 토양화학성 결과로부터 제염이 이루어져 있는 부지라고 보여진다. 하지만 원지반토와 비교하여 급격히 상승한 토양 pH와 전기전도도 뿐만 아니라 치환성 칼슘이온의 함량은 강알칼리성의 하수슬러지 고화물을 처리한 영향이 큰 것으로 판단된다.

### 각 시험구의 토양 pH 및 EC의 감소에 따른 식생의 변이

각 시험구의 포장조성 후 이듬해인 2012년부터 2014년까지의 토양화학성 조사결과는 Table 2와 같다. 2012년의 토양 pH 평균 범위는 8.8에서 8.9이었으며 하수슬러지 고화물 처리구간의 차이는 크게 없었다. 그 이후 2014년의 토양 pH 평균범위는 8.1에서 8.4인 것으로 나타났으며 포장구성 당해연도(2011년)의 토양 pH와 비교하여 간척지 원지반토(ORS)의 토양 pH와 비슷한 수준까지 감소한 것으로 확인되었다. 또한 각 시험구의 토양 전기전도도(EC)의 평균범위는 2012년에는 3.83~8.32 dS m<sup>-1</sup>이었으며, 2013년에는 1.79~3.33 dS m<sup>-1</sup>, 2014년에는 1.65~5.98 dS m<sup>-1</sup>로 나타났다. 이와 더불어 치환성 칼슘 및 나트륨 함량 역시 해가 거듭됨에 따라 감소하였다. 이는 2011년도에 하수슬러지 고화물을 처리한 각 시험구를 대상으로 조사한 토양 전기전도도 및 치환성 나트륨 함량에 비하여 감소한 것으로 나타났다.

2012년, 2013년 및 2014년에 각 시험구에 재식한 에너지작물 ‘거대 1호’의 생육과 잡초식생을 관찰한 결과, 2012년에는 전 시험포장의 에너지작물 ‘거대 1호’의 생육은 고사하거나 극히 저조하였으며, 잡초의 침입이 전혀 이루어지지 않은 상태이었다(Fig. 2a). 그러나 2013년에는 에너지작물의 생육이 호전됨과 동시에 대표적인 염생식물인 벼과의 갈

**Table 2.** Mean of soil chemical properties in each experimental plot for 4 years. (A-1, the plot of 50% mixing with solidified sewage sludge; A-2, the plot of 30% mixing with solidified sewage sludge; A-3, the plot of 15% mixing with solidified sewage sludge; A-4, the plot of 5% mixing with solidified sewage sludge).

	Plot	pH (1:5)	EC (dS/m)	OM (g/kg)	T-N (%)	Av. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/kg)	Exchangeable cations (cmol <sub>c</sub> /kg)			
							K	Ca	Mg	Na
2011	A-1	10.8	17.41	145.1	0.7	6	1.58	204.2	2.7	3.8
	A-2	10.8	16.20	120.3	0.6	5	1.32	199.4	2.6	5.2
	A-3	10.4	16.15	71.9	0.4	13	1.14	118.4	2.6	6.5
	A-4	9.4	9.10	46.4	0.3	48	0.79	62.1	2.4	4.0
2012	A-1	8.9	8.32	72.8	0.4	58	0.92	53.9	3.4	1.6
	A-2	8.9	5.36	36.7	0.2	68	0.89	38.5	2.5	2.1
	A-3	8.8	3.83	22.0	0.1	162	1.36	25.2	2.7	3.5
	A-4	8.8	5.02	25.2	0.0	228	1.55	22.6	3.1	4.0
2013	A-1	8.5	3.33	63.4	0.4	1	1.14	48.7	4.3	1.0
	A-2	8.7	1.79	27.0	0.2	7	1.19	38.9	2.3	1.1
	A-3	9.1	2.44	9.4	0.1	72	0.98	25.3	2.5	2.7
	A-4	9.4	2.53	6.8	0.1	124	1.05	18.3	2.4	3.6
2014	A-1	8.1	5.35	51.8	0.4	16	1.39	43.1	4.0	1.5
	A-2	8.4	3.75	25.8	0.3	20	1.02	35.5	2.7	1.4
	A-3	8.4	1.65	9.2	0.1	91	1.01	25.2	3.9	2.0
	A-4	8.4	5.98	8.8	0.1	120	0.82	21.9	3.5	4.0



Fig. 2. The change of vegetation on each experimental plot applied with solidified sewage sludge in 2012 (a), 2013 (b), and 2014 (c).

Table 3. Occurrence of herbaceous plants in each experimental plot (A-1, the plot of 50% mixing with solidified sewage sludge; A-2, the plot of 30% mixing with solidified sewage sludge; A-3, the plot of 15% mixing with solidified sewage sludge; A-4, the plot of 5% mixing with solidified sewage sludge; ORS, original reclaimed soil).

Family	Species	experimental plot				
		A-1	A-2	A-3	A-4	ORS
Gramineae	<i>Avena sativa</i>	○	○	○	○	
	<i>Calamagrostis epigeios</i>	○	○	○	○	
	<i>Phragmites australis</i>	○		○		○
Compositae	<i>Artemisia annua</i>		○			
	<i>Cirsium japonicum</i>	○				
	<i>Erigeron canadensis</i>	○	○	○	○	
Chenopodiaceae	<i>Chenopodium album</i> var. <i>centrorubrum</i>	○		○	○	
	<i>Salsola komarovii</i>	○		○	○	
	<i>Suaeda asparagoides</i>	○	○	○	○	○
Portulacaceae	<i>Portulaca oleracea</i>		○			
Plantaginaceae	<i>Plantago asiatica</i>			○	○	
Brassicaceae	<i>Thlaspi arvense</i>		○		○	

대(*Phragmites australis*)와 명아주과의 나문재(*Suaeda asparagoides*)가 생육하고 있었으며(Fig. 2b), 포장구성 후 3년이 경과된 2014년에는 전 시험포장에서 염생식물 이외의 다른 다수의 잡초종이 침입하여 생육하고 있는 것이 관찰되며 식생의 변화가 진행되고 있는 것으로 나타났다(Fig. 2c).

**하수슬러지 고화물 처리한 시험구에서의 발생 잡초종의 양상**

하수슬러지 고화물을 처리한 시험구의 식생변화를 조사하기 위하여 각 시험구 내에 15 m × 3 m의 면적의 조사구역을 조성하였으며, 조사는 식생의 초기유입이 시작되는 2014년 5월부터 9월까지 1개월에 1회 식생조사 설정 구획을 대상으로만 수행되었다. Table 3에서 보여지듯이 시험구 전체적으로 6과 12종의 잡초발생이 확인되었다. 벼과(Gramineae)로

는 야생귀리(*Avena sativa*), 산조플(*Calamagrostis epigeios*) 및 갈대(*Phragmites australis*)가 관찰되었으며, 국화과(Compositae)로는 개똥쭉(*Artemisia annua*), 영경귀(*Cirsium japonicum*) 및 망초(*Erigeron canadensis*)가, 명아주과(Chenopodiaceae)로는 명아주(*Chenopodium album* var. *centrotubrum*), 수송나물(*Salsola komarovii*), 나문재(*Suaeda asparagoides*)가, 쇠비름(Portulacaceae)과의 쇠비름(*Portulaca oleracea*), 질경이과(Plantaginaceae)의 질경이(*Plantago asiatica*), 십자화과(Brassicaceae)의 말냉이(*Thlaspi arvense*)의 발생이 확인되었다. 이와는 다르게 간척지 원지반토 시험구에서는 나문재와 갈대의 생육만이 관찰되었다.

Table 4는 각 시험구의 조사지점들의 식생 다양성의 변화 및 유사성 결과를 나타내고 있다. 식생의 초기유입이 시작

## 적 요

**Table 4.** Shannon-Weaver index ( $H'$ ) and Sorenson's index ( $S_s$ ) of herbaceous plants at each experimental plot between May and September in 2014 (A-1, the plot of 50% mixing with solidified sewage sludge; A-2, the plot of 30% mixing with solidified sewage sludge; A-3, the plot of 15% mixing with solidified sewage sludge; A-4, the plot of 5% mixing with solidified sewage sludge; ORS, original reclaimed soil).

Plot	Shannon-Weaver index ( $H'$ )		Sorenson's index ( $S_s$ )
	May	Sep.	
A-1	0.85	1.46	0.67
A-2	1.17	1.55	0.87
A-3	1.23	1.48	0.83
A-4	1.04	1.25	0.85
ORS	0.68	0.69	1.00

되는 5월 중순과 모든 식생을 볼 수 있는 9월 중순의 두 시기 간의 식생 다양성(Shannon-Weaver index,  $H'$ ) 및 각 시험구의 두 시기 간의 군집의 유사성(Sorenson's index,  $S_s$ )을 비교하였다. A-1~A-4 시험구의 식생 다양성은 시기가 지남에 따라 증가하는 것을 알 수 있었다. 특히, 하수슬러지 고화물 처리가 많은 A-1 (하수슬러지 고화물 50% 처리구)과 A-2 (하수슬러지 고화물 30% 처리구) 시험구의 다양성이 크게 증가하고 있었다. 반면 간척지 원지반토(ORS)의 두 시기간의 식생 다양성은 거의 변화하지 않았음을 확인하였다. Shannon 지수는 포괄적 다양성을 의미하는 것으로 개개의 식생 종의 중요값과 총 개체수를 가지고 계산되는 지수이며, 이 지수가 증가하면 식생군집의 다양성이 증가하는 것을 의미한다(Cho and Cho, 2008).

또한 각 시험구의 5월과 9월의 두 시기 간 식생군집의 유사성을 분석결과 A-1은 0.67로 다른 시험구에 비하여 유사성이 가장 낮은 것으로 나타났다. 그러나 간척지 원지반토의 경우는 유사성이 1.00으로 두 시기 간의 군집이 완전히 동일한 것으로 나타나 염생식물 이외의 다른 잡초종의 발생이 없는 것으로 확인되었다(Olawusi-Peters and Ajibare, 2014).

위와 같은 결과로부터 간척지 토양에 토양복토제로 사용한 하수슬러지 고화물 처리는 포장조성 초기 강알칼리성 등의 원인으로 식생에 불리한 토양조건이었으나 시기가 지남에 따라 토양의 숙전화가 이루어짐과 동시에 점차 다양한 잡초의 침입이 확인되며 염생식물군에서 육생식물군으로 식생의 변화가 확인된 반면, 간척지 원지반토의 경우 갈대 및 나문재와 같은 염생식물 이외의 다른 잡초종의 발생이 이루어지지 않으며 시기가 지나도 커다란 변화가 없는 것으로 나타났다.

본 연구는 김포간척지에 속하는 쓰레기 매립예정 간척지에 하수슬러지 고화물을 처리한 바이오에너지 '거대1호' 시험재배 포장에서 시기별 발생 잡초종 및 식생변화 분석을 통하여 향후 바이오에너지작물의 대규모 재배에 적용할 수 있는 효과적이고 경제적인 잡초 방제법을 개발하기 위한 참고자료를 얻고자 수행하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 본 연구의 시험포장은 김포간척지에 속하여 토양화학성(pH, EC, OM, T-N 등) 및 토성 조사결과, 우리나라 간척지에 넓게 분포하는 대표적인 간척지 토양의 특성을 나타내었다.
2. 각 시험구에 강알칼리성의 하수슬러지 고화물의 처리로 인하여 토양 pH와 EC 및 치환성 칼슘함량이 원지반토에 비하여 급격히 증가하였다.
3. 2012년, 2013년 및 2014년에 각 시험구에서 발생한 잡초식생을 관찰한 결과, 2012년에는 전 시험포장에서 잡초의 발생이 전혀 이루어지지 않은 상태이었으나 2013년에는 벼과의 갈대(*Phragmites australis*)와 명아주과의 나문재(*Suaeda asparagoides*)가 관찰되었고, 2014년에는 전 시험포장에서 염생식물 이외의 다른 다수의 잡초종의 발생이 관찰되었다.
4. 포장 조성 후 3년이 경과하여 토양 숙전화가 이루어지며, 하수슬러지 고화물을 처리한 시험구에서는 6과 12종의 다양한 잡초의 발생이 확인되어 그 식생 다양성이 인정되었다. 그러나 간척지 원지반토의 경우 갈대 및 나문재와 같은 염생식물 이외의 다른 잡초종의 발생이 전혀 이루어지지 않으며 시기가 지나도 커다란 변화가 없는 것으로 나타났다.

## 사 사

본 연구는 수도권매립지 관리공사가 요청한 수탁과제(PJ007825)로서 농촌진흥청 국립식량과학원 바이오에너지작물연구소에서 수행함.

## 인용문헌(REFERENCES)

- An, G. H., S. -I. Lee, B. C. Koo, Y. H. Choi, Y. H. Moon, Y. L. Cha, S. T. Bark, J. K. Kim, B. C. Kim, and S. P. Kim. 2011. Effects of application of solidified sewage sludge on the

- growth of bioenergy crops in reclaimed land. *Kor. J. Crop Sci.* 56(4) : 299-307.
- An, G. H., B. C. Koo, Y. H. Choi, Y. H. Moon, Y. L. Cha, S. T. Bark, J. K. Kim, Y. M. Yoon, K. G. Park, and J. T. Kim. 2012. The effects of solidified sewage sludge as a soil cover material for cultivation of bioenergy crops in reclaimed land. *Korean J. Crop Sci.* 57(3) : 283-247.
- Cho, W. S. and K. S. Cho. 2008. Effect of methyl tert-butyl ether and its metabolites on microbial activity and diversity in tidal mud flat. *Kor. J. Microbiol. Biotechnol.* 36(4) : 336-342.
- Hyun, J. H., B. D. Jung, and M. G. Kim. 2008. Environmental Characteristics of the Solidified Sewage Sludge. *J. Korea Soc. Waste Manag.* 25(7) : 605-612.
- Kang, B. H. and S. I. Shim. 1998. Screening of saline tolerant plants and development of biological monitoring technique for saline stress. I. Survey of vegetation in saline region and determination of saline tolerance of the plant species of the region. *Korean J. Environ. Agric.* 17(1) : 26-33.
- Kim, S., J. H. Jeong, W. Y. Choi, J. H. Lee, K. B. Lee, and I. B. Im. 2013. Change of vegetation characteristics and soil chemical properties at Saemangeum reclaimed land in Korea. *Weed Turf. Sci.* 2(3) : 260-266.
- Kim, S., T. K. Kim, J. H. Jeong, C. H. Yang, J. H. Lee, W. Y. Choi, Y. D. Kim, S. J. Kim, and K. Y. Seong. 2012. Characteristics of vegetation on soils having different salinity in recently reclaimed saemangeumin region of Korea. *Kor. J. Weed Sci.* 32(1) : 1-9.
- Koo, J. W., J. K. Choi, and J. G. Son. 1998. Soil properties of reclaimed tidal lands and tidelands of Western sea coast in Korea. *J. Korean Soc. Soil Sci.* 31(2) : 120-127.
- Kwak, Y. S., J. K. Hwangbo, H. C. Yun, S. J. Kang, and J. S. Kang. 2005. Evaluation of sludge-derived bio-soil for landscape management. *RIST.* 19(1) : 11-14.
- Lee, S. H., K. J. Ji, Y. An, and H. M. Ro. 2003. Soil salinity and vegetation distribution at four tidal reclamation project areas. *Korean J. Environ. Agric.* 22(2) : 79-86.
- Lee, S. H., S. H. Yoo, S. I. Seol, Y. An, Y. S. Jung, and S. M. Lee. 2000a. Assessment of salt damage for upland-crops in Dae-Ho reclaimed soil. *Korean J. Environ. Agric.* 19(4) : 358-363.
- Lee, S. H., Y. An, S. H. Yoo, and S. M. Lee. 2000b. Changes in early stage vegetation succession as affected by desalinization process in Dae-Ho reclaimed land. *Korean J. Environ. Agric.* 19(4) : 364-369.
- Lee, Y. N. 1996. *Flora of Korea*. Kyo-Hak Co., Ltd. Seoul, Korea.
- NIAST. 2000. *Method of soil and plant analysis*, national institute of agriculture science and technology.
- Olawusi-Peters, O. O. and A. O. Ajibare. 2014. Species richness, diversity and abundance of some Decapod Crustaceans in coastal waters of Ondo State, South West, Nigeria. *International J. Fauna Biol. Studies.* 1(5) : 44-51.
- Shannon, C. E. and W. Weaver. 1949. *The mathematical theory of communication*. Univ. Illinois Press, Urbana. IL.
- Sørensen, T. 1948. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species and its application to analyses of the vegetation on Danish commons. *Videnski Selsk. Biol. Skr.* 5 : 1-34.
- Son, J. G. and J. Y. Cho. 2009. Effect of organic material treatments on soil aggregate formation in reclaimed tidelands. *Korean J. Soil Sci.* 42(3) : 201-206.