



## 거대억새 단지 조성에 따른 토양 특성 변화

### Change in Soil Properties after Planting Giant Miscanthus

강구\* · 홍성구\* · 박성직\*<sup>†</sup>  
 Kang, Ku · Hong, Seong-Gu · Park, Seong-Jik

#### ABSTRACT

Miscanthus has received wide attention as an option for biomass production in Korea, recently. New strain of giant miscanthus has been developed and was planted in two large trial sites (184 ha) in the lower reaches of the Geum River. To evaluate the susceptibility of the giant miscanthus as an bioenergy crop for the future, we investigated the influence of the giant miscanthus on the soil properties. The particle size, CEC, pH, EC, T-N, T-P, heavy metal total concentration, and heavy metal fractions of soil samples collected from abandoned field, 1 year old giant miscanthus field (1st Year GM), and 2 year old giant miscanthus field (2nd Year GM) at different depths of 0~15, 15~30, and 30~45 cm in April and August were analyzed. Results showed that the CEC and pH of the soil of the giant miscanthus field were lower than those of the soil of abandoned field. The EC of 2nd GM was lower than that of abandoned field, indicating that the giant miscanthus may facilitate soil desalination process. The organic and sulfide fraction and residual fraction of heavy metals in the giant miscanthus field was higher than in abandoned field, due to the low pH of the giant miscanthus field and the excretion of phytosiderophores by rhizome of the giant miscanthus. This study showed that the giant miscanthus can influence on the soil properties and further study for long term is needed to elucidate the interaction between the soil and the giant miscanthus.

**Keywords:** Giant Miscanthus; Soil Properties; Nitrogen; Heavy Metal; Heavy Metal Fraction

## 1. 서 론

최근 화석 연료 고갈에 따른 유가 상승과 이산화탄소의 증가에 따른 지구 온난화로 인하여 바이오매스를 이용한 에너지원 확보가 관심을 받고 있다. 이는 바이오매스를 이용한 에너지 생산은 탄소 중립적이고 재생가능하다는 장점을 갖고 있기 때문이다. 따라서 세계 각국에서는 차세대 연료로서 바이오 에탄올의 보급이 급속하게 진행되고 있으며, 미국의 경우 세계 최대 에너지 소비국으로서 바이오에너지 개발에 선도적인 위치에 있다. 이미, 옥수수를 이용한 바이오에탄올을 생산하고 있으며 전체 수요의 3%를 충족하고 있다. 또한 화석 에너지에 대한 비중을 줄이고 바이오에탄올 등과 같은 대체 에너지 이용을 확대하여 2030년까지 휘발유 30%를 대체에너지로 줄이는 계획을 세우고 있다. 브라질은 세계 최대의 바이오에탄올 생산국이자 수출국으로, 자

동차 연료의 25% 이상을 바이오에탄올로 사용하고 있으며 유럽연합 역시 전세계적으로 가장 많은 바이오디젤을 생산하고 있어, 2015년까지 총 수송용 에너지의 8%를 바이오에너지로 대체할 수 있도록 계획 중이다. 한국의 주변 아시아 국가 또한 광대한 토지와 작물 생육에 유리한 기후 조건을 바탕으로 바이오 에너지 사업에 활발히 참여하고 있다 (Chung et al., 2008).

바이오 에너지의 원료는 크게 1세대 바이오매스로 불리는 사탕수수과 옥수수로부터 생산되는 당분질 및 전분질계 물질과 2세대 바이오매스로 불리는 나무와 같은 원료로 생산되는 섬유질계 물질로 나뉜다 (Kim and Kim, 2010). 1세대 바이오매스는 현재 바이오에탄올 생산의 주요 원료로 사용되지만, 세계 곡물가 상승을 야기 할 수 있어 원료 확보의 문제점이 있다. 반면 2세대 바이오매스는 Lignin 제거 과정에서의 생산 비용 상승과 낮은 생산성으로 인하여 경제성이 낮다 (Shigechi et al., 2004; Keith, 2006). 이에 비해 억새는 비식용작물이기 때문에 곡물가 상승을 유발하지 않는다는 장점과 Lignin 함량이 낮아 목질계 바이오매스가 갖는 단점을 극복할 수 있다는 장점을 갖고 있다 (Kim and Kim, 2010). 억새는 또한 원산지가 우리나라를 비롯한 동아시아이며 화분과 다년생 C4 광합성 식물로 양분과 수분의 이용 효율이 높고 바이오매스 생산량이 많다는 장점을 갖고 있다

\* 한경대학교 지역자원시스템공학과  
 † Corresponding author Tel.: +81-31-670-5131  
 Fax: +82-31-670-5139  
 E-mail: parkseongjik@hknu.ac.kr  
 2013년 10월 7일 투고  
 2013년 10월 10일 심사완료  
 2013년 10월 11일 게재확정

(Bark et al., 2010).

농촌진흥청에서는 2009년 바이오에너지 원료작물로 유망한 거대억새 1호를 개발하여 현재 금강 유역에 위치한 용포와 용안 지구에 184 ha의 대규모 시범단지를 조성하였다. 지금까지 억새에 대한 연구는 주로 바이오매스 자원으로서의 활용에 관한 연구와 거대억새의 품종 개발에 대한 연구가 주로 진행되어 왔으나 (Lewandowski 2003; Clifton-Brown et al., 2004; Heaton et al., 2004; Seo et al., 2009, Kim and Kim, 2010, Bark et al., 2010), 새로운 식물의 대량 재배 시 이에 대한 환경 및 생태학적 영향에 대한 조사 또한 반드시 실행되어야 할 것으로 판단된다. 이에 본 연구에서는 거대억새 재배단지가 대규모로 조성되어 있는 단지 내 토양 특성 변화를 분석하고 기초적인 환경 영향 평가를 수행하였다. 토양 특성 분석을 위하여 유희농경지, 1년생 거대억새 단지, 2년생 거대억새 단지 별로 토양의 이화학 분석을 수행하였고, 5단계별 연속 추출을 수행하여 토양의 중금속 존재 형태를 살펴보았다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 연구 대상 지역

전라북도 익산시 용안면 금강하구에 위치한 거대억새 재배지구는 농촌진흥청이 추진하고 있는 ‘바이오매스 생산단지조성’ 지역으로 거대억새 재배면적은 128 ha로 알려져 있다. 용안지구에 식재된 거대억새는 농촌진흥청이 개발한 품종으로 향후 바이오에탄올, 연료용 펠릿, 조사료 등으로 활용할 목적을 가지고 있으며 금강하구 역사관광에도 활용될 계획이다. 이를 위하여 대규모로 경작지, 수로, 농로 등의 정비사업이 시행되었고, 4대강 사업에 의해 준설된 준설토로 일부 경작지가 복토 완료되었다. 현재 거대억새는 1년생과 2년생이 식재되어 있으며, 연 1회 수확이 이뤄지고 있다.

### 2. 토양 시료 채취 및 분석 방법

토양 시료에 대한 조사는 용안지구 내 거대억새 재배단지의 1년생, 2년생 거대억새 재배지와 이를 비교하기 위하여 인근 유희농경지에 대하여 진행하였다 (Fig. 1). 토양 시료 채취 지점의 위도 및 경도는 Table 1에 나타내었다. 강우에 의한 토양 특성의 비교를 위하여 1차 토양시료의 채취 시기는 건기 (2013년 4월)에, 2차 토양시료의 채취는 우기 (2013년 8월)가 끝난 직후 실시하였다. 토양의 입도 분석을 위하여 대상필지별로 가로 30 cm, 세로 30 cm 크기로 경작지별로 2지점씩 표층토양을 채취한 다음 폴리에틸렌 봉지에 넣어 운반하였다. 거대억새 재배지와 유희

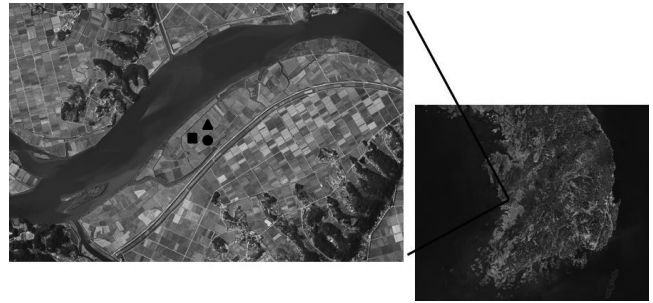


Fig. 1 Soil sampling point location in giant miscanthus planted site (●: abandoned field, ■: 1 year old giant miscanthus field, ▲: 2 year old giant miscanthus field)

Table 1 Latitude and longitude of sampling point location corresponding to abandoned field, 1 year old giant miscanthus field, and 2 year old giant miscanthus field

Sampling Point	Latitude	Longitude
Abandoned_1 point	126° 59' 18"	36° 8' 36.8"
Abandoned_2 point	126° 56' 19.7"	36° 8' 35.2"
Year 1_1 point	126° 56' 15.1"	36° 8' 36.9"
Year 1_2 point	126° 56' 16.7"	36° 8' 35"
Year 2_1 point	126° 56' 21.5"	36° 8' 41.2"
Year 2_2 point	126° 56' 18.3"	36° 8' 43"

농경지 토양의 화학적 특성을 알아보기 위하여 1년생, 2년생, 유희 농경지 토양을 표층에서 0~15 cm, 15~30 cm, 30~45 cm 토양 깊이를 별로 오거를 이용하여 총 18개의 토양시료를 채취하였다.

입도분석, pH 및 EC, 토양의 양이온교환용량은 유희농경지, 1년생, 2년생 거대억새 재배지의 0~15 cm 지점 토양을 분석하였다. 입도분석은 풍건 후 2 mm 체를 통과시킨 시료를 입도분석기 (Microtrac, Bluewave S5396, USA)를 이용하여 분석하였다. pH와 EC는 토양과 증류수의 비율을 1 : 5로 희석·교반한 현탁액을 pH/EC 측정기 (Sevenmulti S40, Mettler Toledo, Switzerland)로 측정하였다. 토양의 양이온교환용량 (Cation exchange capacity, CEC)은 1-N NH<sub>4</sub>OAc에 의한 침출 후 ICP-MS(Agilent 7500 Series, USA)를 이용하여 분석하였다. 총인과 총질소는 유희농경지, 1년생, 2년생 거대억새 재배지의 심도별 풍건 토양시료 1 g에 HClO<sub>4</sub> 20 ml를 넣고 분해 후 그 용액을 여과/희석하여 수질오염공정시험법에 따라 총질소와 총인을 분석하였다. 거대억새 식재에 따른 토양내 중금속 존재형태를 분석하기 위하여 거대억새의 근경이 접하고 있는 0~15 cm 깊이에서 채취한 토양을 사용하였으며, 자연상태에서 완전건조하고, 파쇄하여 고르게 교반 후 1 g을 채취하였다. 이후 Tessier et al. (1979)가 제안한 단계별 추출법 (Sequential Extraction Method)

**Table 2 Operating conditions for sequential extraction procedures according to the fractionation scheme of Tessier et al. (1979)**

Fractionation	Operating conditions
I Fraction Exchangeable Fraction	8 mL 1 M MgCl <sub>2</sub> (pH 7), 1 h, room temperature, continuous agitation
II Fraction Bound onto Carbonate Specially Adsorbed Fraction	8 mL 1 M NaOAc (pH 5), 5 h, room temperature, continuous agitation
III Fraction Bound onto Fe-Mn Oxide Fraction	20 mL 0.04 M NH <sub>2</sub> OH · HCl in 25 % HOAc, 5 h, 96 °C, some agitation
IV Fraction Bound onto organic and sulphide Fraction	3 mL 0.02 M HNO <sub>3</sub> and 2 mL 30 % H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (pH 2), 2 h, 85 °C, some agitation; additional 3 mL 30 % H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , 3 h, 85 °C, some agitation; 5 mL 3.2 M NH <sub>4</sub> OAc in 20 % HNO <sub>3</sub> , 0.5 h, room temperature, continuous agitation
V Fraction Residual Fraction	0.5 mL conc. HNO <sub>3</sub> , 5 mL HF and 2 mL HCl, 2 h, 140 °C, digestion in Teflon bomb, dissolution in 15 % HCl

에 의하여 시료를 추출하여 ICP-OES (PerkinElmer, Optima 8300, USA) 분석을 실시하였다. 연속추출법에서 I 단계는 이온교환 형태, II 단계는 탄산염과 결합된 형태, III 단계는 철과 망간 산화물에 결합된 형태, IV 단계는 유기물 및 황화물과 결합된 형태, V 단계는 잔류형태로 존재하며, 중금속의 총함량은 I 에서 V 단계까지 합한 값을 사용하였다 (Table 2).

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 토양의 물리화학적 특성

유휴농경지, 1년생, 2년생 거대역새 재배지 중 0~15 cm 심도의 토양 입도, 양이온교환용량, pH, 전기전도도를 Table 3에 나타내었다. 토성은 유휴농경지, 1년생, 2년생 거대역새 재배지 모두 미사질 양토로 분류된다. 미사질 양토는 양토, 사양토와 함께 우리나라 논토양의 대부분을 차지하고 있고 (Kim et al., 2006), 본 연구 대상 지역인 용안 거대역새 단지는 과거에 간척 후 버려 재배하였던 사실과 연관 된다. 유휴농경지와 1년생 거대역새 재배지에 비하여 2년생 거대역새 재배지의 토양은 모래 함량이 적고 미사의 함량이 상대적으로 많다.

유휴농경지, 1년생, 2년생 거대역새 재배지의 양이온교환용량은 각각 6.07, 5.58, 5.72 cmol/kg으로, 점토의 함량이 매우 낮아서 양이온교환용량이 작다. 일반적인 미사질 양토의 양이온교환용량은 5~15 cmol/kg으로 (Kim et al., 2006), 세 지역 모두 일반적인 미사질 양토의 양이온교환용량 범위에 있다. 토양의 pH는 유휴농경지의 경우 6.39, 1년생 거대역새 재배지는 6.09, 2년생 거대역새 재배지의 경우 5.64로 거대역새 재배에 따라 토양의 pH가 감소하였다. 특히, 2년생 거대역새 재배지의 pH는 6 이하로 영양원소들의 유효도가 낮아질 우려가 있다 (Kim et al., 2006). 유휴농경지, 1년생, 2년생 거대역새 재배지의 전기전도도는 4 dS/m 이상으로, 토양에 가용성 염류의 농도가 매우 높으며, 염류 토양으로 분류된다 (Kim et al., 2006). 2년생 거대역새 재배지

**Table 3 Soil properties of abandoned field and the giant miscanthus production fields investigated in this study**

Field	Particle Size (%)			CEC (cmol/kg)	pH	EC (dS/m)
	Sand	Slit	Clay			
Abandoned	38.34	60.33	2.03	6.07	6.39	55.63
Year 1	38.87	59.43	1.70	5.58	6.09	55.80
Year 2	28.97	68.69	2.34	5.72	5.64	35.80

의 전기전도도는 35.80 ds/m으로 유휴농경지와 1년생 거대역새 재배지의 토양 전기전도도보다 20 ds/m 가량 낮다. 이를 통해 거대역새가 염류토양의 개질에 효과적인 것으로 판단되며, 기존 연구 (An et al., 2010; An et al., 2011)에서 거대역새 1호가 염도가 높은 토양에서 적응력이 높다는 연구 결과가 이를 뒷받침한다.

유휴농경지, 1년생 거대역새 재배지, 2년생 거대역새 재배지 토양의 총질소 함량을 시료 채취 깊이 (0~15, 15~30, 30~45 cm)와 채취 시기 (건기, 우기)에 따른 농도 변화를 Fig. 2에 나타내었다. 실험결과 건기 (4월)와 우기 (8월)에 따른 농도 차이가 가장 뚜렷하게 나타났으며, 건기 보다는 우기에 토양에 존재하는 질소의 함량이 낮았다. 이는 토양에 침투된 빗물에 의해 질소가 토양으로부터 용탈되기 때문으로 판단된다. 건기에 유휴농경지 토양에서 질소 농도는 토양 깊이가 0~15 cm에서 30~45 cm로 증가할수록 질소의 함량이 14.8 g/kg에서 10.7 g/kg으로 감소하였다. 건기의 토양 깊이가 15~30 cm의 경우 유휴농경지와 거대역새 재배지의 토양 질소함량의 차이가 가장 컸다. 이는 1년생 거대역새 지하경은 최대 15 cm로 (Moon et al., 2010), 식물의 뿌리에 의한 질소의 흡수로 인하여 거대역새 뿌리 아래인 15~30 cm 토양 깊이에서 질소함량이 유휴농경지에 비하여 작았다.

토양 깊이 및 토양 채취 시기에 따른 토양 중 인의 농도를 Fig. 3에 나타내었다. 질소와 달리 토양에서 인 농도는 토양 채취 시기에 따른 차이가 없는 것으로 나타났다. 또한, 거대역새 재배에

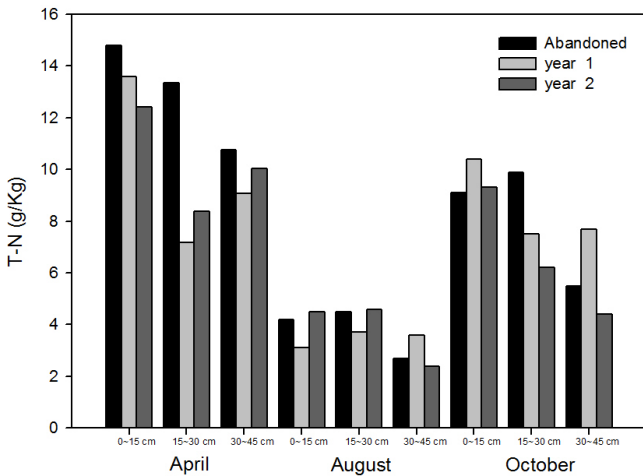


Fig. 2 Comparison of T-N concentration of abandoned field, 1st year Miscanthus production field, and 2nd year Miscanthus production field with respect to soil depth and sampling times

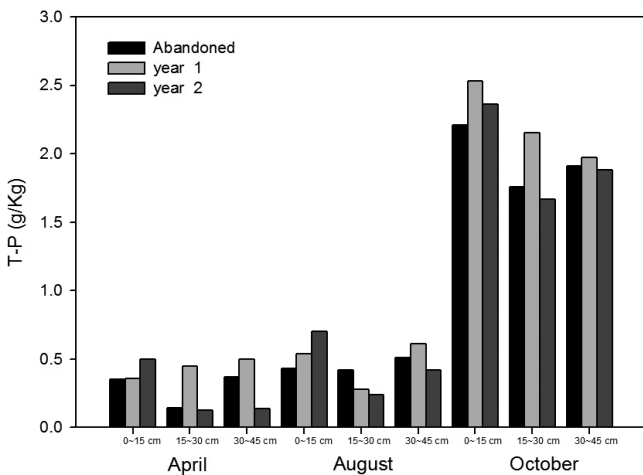


Fig. 3 Comparison of T-P concentration of abandoned field, 1st year Miscanthus production field, and 2nd year Miscanthus production field with respect to soil depth and sampling times

따른 토양 중 인 농도가 감소하였다는 경향을 찾을 수 없다. 현재 거대역새 재배지에는 금강 수질에 악영향이 미치지 않도록 하기 위하여 재배 과정에서 비료나 농약을 살포하지 않아 토양 중 인의 함량이 낮다.

## 2. 토양 중금속의 존재 형태

거대역새 단지 조성에 따른 토양 중 중금속의 변화를 살펴보기 위하여 토양 중 중금속 농도를 측정하였고, 이를 Table 4에 나타내었다. As의 경우를 제외한 다른 중금속의 경우 유희농경

Table 4 Concentration of heavy metals in the soil of abandoned field, 1st year Miscanthus production field, and 2nd year Miscanthus production field

Field	Sampling Time	Heavy Metals (mg/Kg)						
		As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Abandoned	April	2.28	4.39	10.22	14.65	3.01	1.73	19.44
Year 1		3.40	3.71	9.48	24.22	2.70	2.11	10.64
Year 2		4.86	4.32	10.60	21.05	2.78	1.92	14.70
Abandoned	August	2.35	3.36	8.53	21.82	2.39	1.47	12.35
Year 1		3.53	4.31	8.56	20.60	2.87	1.59	12.94
Year 2		5.06	3.40	7.52	17.83	2.40	1.76	12.15

지와 거대역새 재배지 토양 중금속의 차이가 15 % 이내이었다. As의 경우 2년생 거대역새 재배지 토양 중 As 농도가 유희농경지에 비하여 2배 이상 높게 나타났고, 1년생 거대역새 재배지의 경우 As 농도는 1.5배 높게 나타났다. 토양환경보전법 (Ministry of Environment, 2002) 토양오염 우려기준 중 가지역을 근거로, 조사 지역 3곳 모두 Cd은 기준 농도 (1.5 mg/kg)를 초과하였다. 6가 Cr의 가지역 토양오염 우려기준은 4 mg/kg으로 6가 Cr에 대해서 기준을 설정하였기 때문에, 본 연구에서는 Cr의 총합량을 측정하여 토양 오염 정도를 평가할 수 없다. 하지만, 본 연구 대상지역의 Cr 함량은 4 mg/kg 보다 크므로, 산화 상태에서 3가 Cr이 발암성 물질인 6가 Cr으로 산화되어 토양오염 우려기준을 초과할 수 있다 (Pauls et al., 1999). As, Cu, Ni, Pb, Zn의 가지역 토양오염 우려기준은 각각, 6, 50, 40, 100, 300 mg/kg으로 유희농경지, 1년생 및 2년생 거대역새 재배지의 As, Cu, Ni, Pb, Zn은 토양오염 우려 기준 이하로 나타났다.

중금속의 존재 형태를 Tessier et al. (1979) 방법에 따라서, 다른 화학 용액을 사용하여 토양내 중금속을 5단계로 추출하였다. I 단계는 교환성 형태, II 단계는 탄산염과 결합된 형태, III 단계는 철과 망간 산화물에 결합된 형태, IV 단계는 유기물 및 황화물과 결합된 형태, V 단계는 잔류물로서, I ~ V 단계로 단계가 증가할수록 중금속이 토양과 더 강하게 결합되어 있다. I 단계와 II 단계 추출에서 용출된 중금속의 경우 일반적인 자연환경에서도 쉽게 용출되어 식물에 흡수될 수 있으며, III ~ V 단계 추출에서 용출된 중금속은 비교적 토양 표면에 물질과 강하게 결합되어 있지만 산화환원 변화와 같은 환경 변화에 의해서 용출될 수 있다 (Rauret, 1998; Cho et al., 2006). As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, 그리고 Zn의 연속추출 결과를 Fig. 4에 나타내었다.

유희농경지 토양에 As는 잔류 형태와 유기물 및 황화물 결합 형태로 존재하지만, 1년생 및 2년생 거대역새 재배지의 As의 잔류 형태 및 유기물과 황화물 결합 형태의 비율의 합은 각각 69.4 % (4월: 69.1 %, 8월: 69.7 %)와 47.5 % (4월: 47.6 %, 8월: 47.4 %)이었다. Cu의 경우도 유희농경지 토양의 Cu의 잔

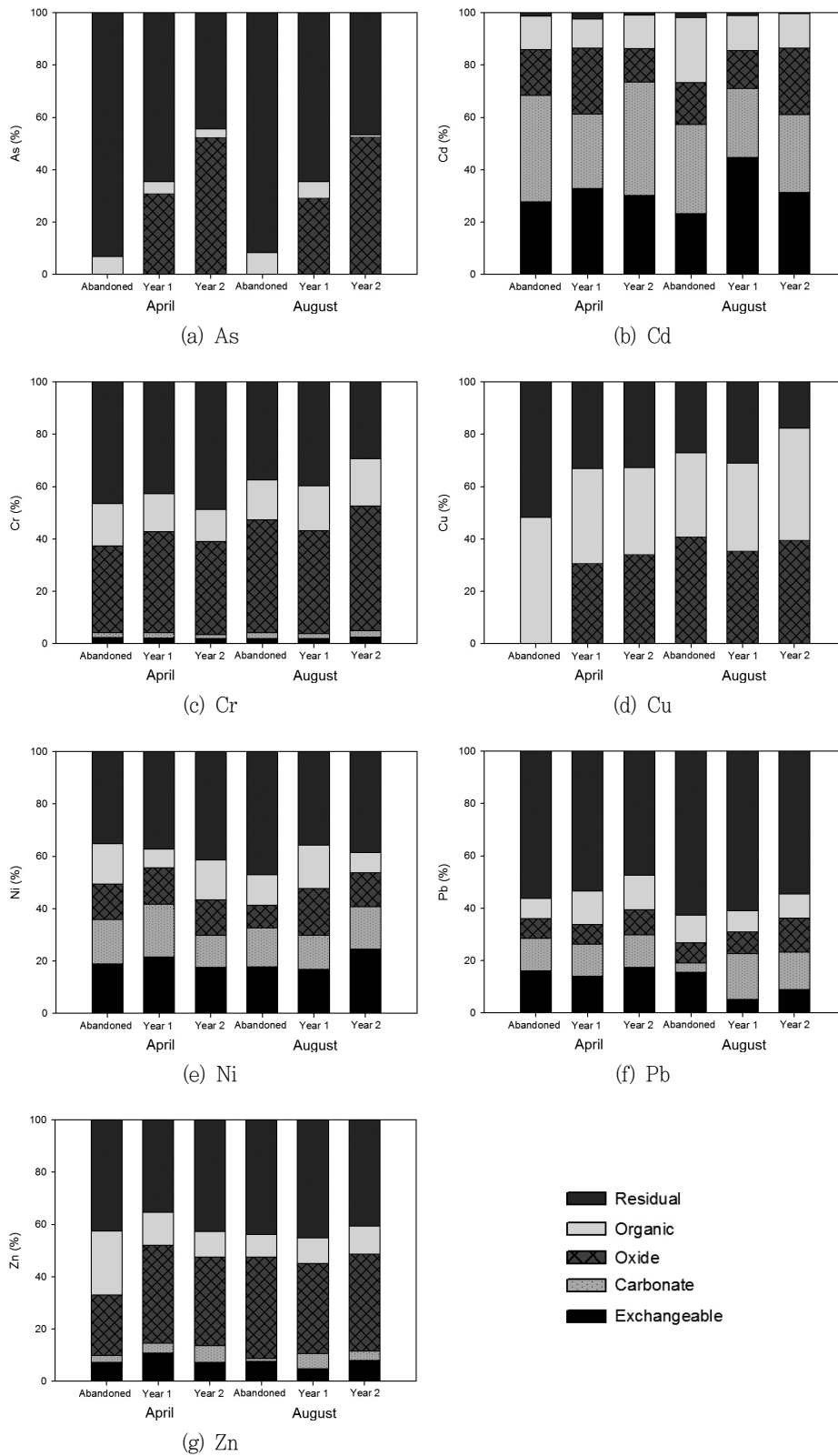


Fig. 4 Distribution of heavy metal fractions in the soil of abandoned field, 1st year Miscanthus production field, and 2nd year Miscanthus production field

류 및 유기물·황화물 결합 형태가 차지하는 비율은 79.6 % (4월: 100.0 %, 8월: 59.1 %)로 1년생 거대역새 재배지에서 비율 66.9 % (4월: 69.3 %, 8월: 64.6 %)와 2년생 거대역새 재배지에서 비율 63.2 % (4월: 65.8 %, 8월: 60.5 %)에 비하여 높다. 유휴농경지 토양에서 Pb의 잔류 형태가 차지하는 비율은 59.4 % (4월: 56.2 %, 8월: 62.7 %)로, 1년생 거대역새 재배지에서 비율 57.3 % (4월: 53.5 %, 8월 61.1 %)와 2년생 거대역새 재배지에서 비율 51.0 % (4월: 47.4 %, 8월 54.6 %)에 비하여 높다. 각 중금속 중에 가장 안정한 형태인 잔류 형태는 2년생 거대역새 단지 토양에서 차지하는 비율이 유휴농경지 토양에 비하여 같거나 작았다. 잔류 형태 다음으로 안정한 형태인 유기물 및 황화물 결합 형태를 함께 고려 시, 2년생 거대역새 재배지 토양에서 잔류 형태와 유기물 및 황화물 결합 형태의 비율은 유휴농경지 토양의 비율 보다 낮다. 이러한 결과는 유휴농경지 토양의 중금속 형태가 거대역새 단지의 토양보다 더 안정한 상태로 존재함을 알 수 있다.

거대역새 재배지 토양에서 중금속이 유휴농경지 보다 불안정한 상태로 존재하는 것은 1년생 및 2년생 거대역새 재배지의 토양 pH가 유휴농경지의 토양 pH보다 낮기 때문이다. 중금속은 토양의 pH가 낮을 경우 용해도가 증가하고 이동성이 증가하게 되며, 토양에 흡착하는 경향이 감소한다 (Alloway, 1995). 식물을 이용한 토양 정화 (phytoremediation) 방법은 중금속으로 오염된 토양 복원에 많이 적용되어 왔다. 식물은 토양에 존재하는 중금속을 용해시키는 기작을 갖고 있는데, 식물 뿌리는 phytosiderophores라는 금속을 용출시키는 물질을 분비한다 (Lone et al., 2008; Ali et al., 2013). 식물 뿌리에 의해서 H<sup>+</sup> 이온의 분비는 근권부를 산성화 시키고, 금속을 용해시킨다. 그리고 H<sup>+</sup> 이온은 또한 토양에 흡착된 중금속과 이온 교환을 통해서 중금속을 탈착시킨다 (Alford et al., 2010). 이러한 이유로 인하여 거대역새 재배지에서 중금속이 유휴농경지 토양에 비하여 보다 불안정한 상태로 존재하는 것으로 판단된다.

#### IV. 결 론

본 연구에서는 바이오 에너지 생산 원료로 각광받고 있는 거대역새의 재배단지 조성에 따른 토양 특성 변화를 조사하였다. 유휴농경지, 1년생 거대역새 단지, 2년생 거대역새 단지 별로 4월과 8월 2회에 걸쳐서 토양 시료를 채취하고, 토양의 입도, 양이온교환용량, pH, 전기전도도, 중금속의 존재 형태를 분석하였다. 조사 대상 지역 모두 토성은 미사질 양토로 나타났다. 1년생과 2년생 거대역새 재배지 토양의 양이온교환용량은 각각 5.58과 5.72 cmol/kg으로 유휴농경지 토양의 양이온교환용량 (6.07 cmol/kg) 보다 작게 나타났으며, 거대역새 재배에 의해서 토양

의 양이온교환용량이 감소하였다. 거대역새 재배지의 경우 토양의 pH가 낮아 거대역새 재배시 토양 pH 관리가 요구 된다. 조사 대상 지역 모두에서 토양의 전기전도도가 상대적으로 높게 나타나 염류가 집적되어 있다. 2년생 거대역새 재배지의 전기전도도 (35.80 ds/m)는 다른 조사 지역 토양의 전기전도도 (유휴농경지: 55.63 dS/m, 1년생 거대역새 단지: 55.80 dS/m) 보다 낮게 나타나 거대역새 재배에 의한 토양 염류 제거가 효과적임을 알 수 있다. 중금속의 존재 형태 분석 결과, 2년생 거대역새 단지에서 토양 중 중금속은 유휴농경지에 비하여 보다 불안정한 상태로 존재하는 것으로 나타났는데, 이는 거대역새 단지의 낮은 pH와 거대역새 뿌리에서 분비되는 phytosiderophores라는 물질이 금속을 용출시키기 때문이다. 거대역새 단지 조성에 따른 토양 특성을 보다 정확하게 파악하기 위해서는 장기간의 모니터링이 필요하다.

이 논문은 2013년 농촌진흥청의 지원을 받아 수행된 연구임 (거대역새 대규모 재배 시범단지 기초 환경영향 평가 및 경제성 분석).

#### REFERENCES

1. Alford, E. R., E. A. H. Pilon-Smits, and M. W. Paschke, 2010. Metallophytes - a view from the rhizosphere. *Plant Soil* 337: 33-50.
2. Ali, H., E. Khan, and M. A. Sajad, 2013. Phytoremediation of heavy metals—Concepts and applications. *Chemosphere* 91: 869-881.
3. Alloway, B. J., 1995. *Heavy metals in soils, 2nd Edition*, Blackie Academic and Professional, UK.
4. An, G. H., B. C. Koo, Y. H. Choi, Y. H. Moon, Y. L. Cha, S. H. An, S. T. Bark, J. G. Kim, S. J. Suh, B. C. Kim, and S. P. Kim, 2010. Study on growth responses of miscanthus planted in reclaimed soil, *Proceedings of the Korean Society of Crop Science Conference (Autumn)*: 76-76 (in Korean).
5. 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. *Korean Journal of Crop Science* 56(4): 299-307 (in Korean).
6. Bark, S. T., B. C. Koo, Y. H. Choi, Y. H. Moon, S. H. Ahn, Y. L. Cha, J. K. Kim, G. H. An, S. J. Suh, and

- D. H. Park, 2010. The Effect of Extrusion Treatment on Aqueous Ammonia Soaking Method in Miscanthus Biomass Pretreatment. *Journal of the Korean Society for New and Renewable Energy* 6(4): 6-14 (in Korean).
7. Cho, J. Y., J. W. Koo, and J. G. Son, 2006. Chemical Properties in the soil of Reclaimed and Natural Tidelands of Southwest Coastal Area of Korea ( I ) - Distribution of heavy Metal Fractions -. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 48(1): 3-10 (in Korean).
  8. Chung, J. H., G. S. Kwon, and H. S. Jang, 2008. Development of Transportation Bio-energy and Its Future. *Korean Journal of Microbiology and Biotechnology* 36(1): 1-5 (in Korean).
  9. Clifton-Brown J. C., P. F. Stampfl, and M. B. Jones, 2004. Miscanthus biomass production for energy in Europe and its potential contribution to decreasing fossil fuel carbon emissions. *Global Change Biology* 10(4): 509-518.
  10. Heaton, E., T. Voigt, and S. P. Long, 2004. A quantitative review comparing the yields of two candidate C4 perennial biomass crops in relation to nitrogen, temperature and water. *Biomass and Bioenergy* 27(1): 21-30.
  11. Keith, C., 2006. *Economic issues related to bio fuels: a written testimony for field hearing* (Aug. 26, 2006), U.S. senate committee on agriculture, rural development, and related agencies.
  12. Kim, G. H., G. Y. Kim, J. G. Kim, D. M. Sha, J. S. Seo, B. G. Son, J. E. Yang, G. C. Um, S. E. Lee, K. Y. Jung, D. Y. Jung, Y. T. Jung, J. B. Jung. H. N. Hyun, 2006, Soil Science, Seoul: Hyangmunsa (in Korean).
  13. Kim, K. S., and J. S. Kim, 2010. Optimization of Ammonia Percolation Process for Ethanol Production from Miscanthus Sinensis. *Korean Chemical Engineering Research* 48(6): 704-711 (in Korean).
  14. Lewandowski, I., J. M. O. Scurlock, E. Lindvall, and M. Christou, 2003. The development and current status of potential rhizomatous grasses as energy crops in the US and Europe. *Biomass and Bioenergy* 25(4): 335-361.
  15. Lone, M. I., Z. L. He, P. J. Stoffella, and X. E. Yang, 2008. Phytoremediation of heavy metal polluted soils and water: progresses and perspectives. *Journal of Zhejiang University Science B* 9(3): 210-220.
  16. Ministry of Environment, 2002, *Soil Environment Conservation Act* (in Korean).
  17. Moon, Y. H., Y. H. Choi, B. C. Koo, S. T. Bark, S. H. Ahn, Y. L. Cha, G. H. An, J. G. Kim, and S. J. Suh, 2010. Influence of flooding irrigation on aerial stem and subterranean stem of "1st Giant Miscanthus". *Proceedings of the Korean Society of Crop Science Conference (Autumn)*: 76-76 (in Korean).
  18. Pauls, R. W., C. J. Paul, and R. M. Powell, 1999. The application of in situ permeable reactive (zero-valent iron) barrier technology for the remediation of chromate-contaminated groundwater: a field test. *Applied Geochemistry* 14: 989-1000.
  19. Rauret, G., 1998. Extraction procedures for the determination of heavy metals in contaminated soil and sediment. *Talanta* 46: 449-455.
  20. Seo, S. G., J. E. Lee, S. B. Jeon, B. H. Lee, B. C. Koo, S. J. Suh, and S. H. Kim, 2009. Current status on Miscanthus for biomass. *Journal of Plant Biotechnology* 36(4): 320-326 (in Korean).
  21. Shigechi, H., J. Koh, Y. Fujita, T. Matsumoto, T. Bito, M. Ueda, E. Satoh, H. Fukuda, and A. Kondo, 2004. Direct Production of Ethanol from Raw Corn Starch via Fermentation by Use of Novel Surface-Engineered Yeast Strain Codisplaying Glucoamylase and  $\alpha$ -Amylase. *Applied and Environmental Microbiology* 70(8): 5037-5040.
  22. Tessier, A., P. G. C. Campbell, and M. Blsson, 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Analytical Chemistry* 51(7): 844-851.