

## Microbial Differentiation on Chemical Properties of Paddy Soils in Reclaimed Tidal Lands at Western-coast Area of Korea

Mi-Na Park, Kwang-Min Yang, Jin-Hee Ryu<sup>1</sup>, Tongmin Sa<sup>2</sup>, and Joon-Ho Choi\*

*Department of Food Science and Biotechnology, Wonkwang University, Iksan 54538, Korea*

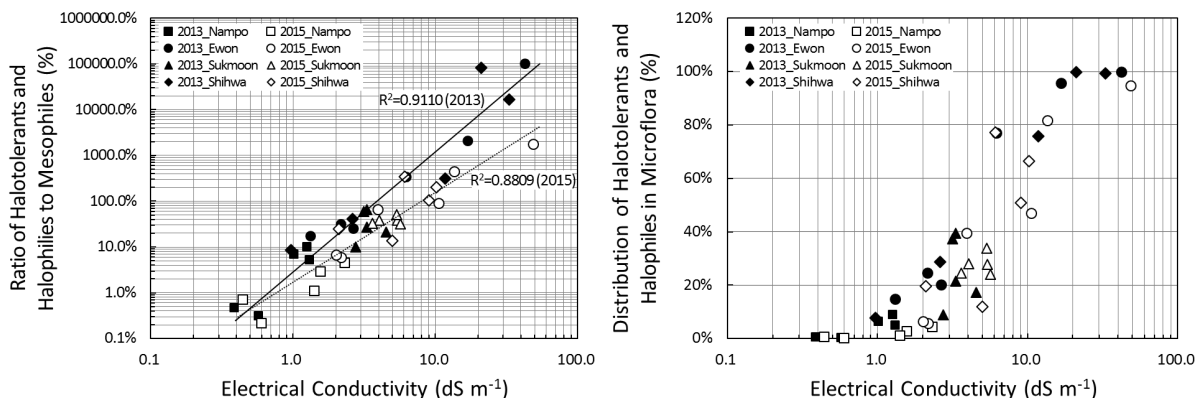
<sup>1</sup>*National Institute of Crop Science, Rural Development Administration, Wanju 55365, Korea*

<sup>2</sup>*Department of Environmental Science and Biological Chemistry, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea*

(Received: July 7 2016, Revised: August 26 2016, Accepted: August 29 2016)

The scientific information on the microbial differentiation according to the changes in chemical properties of paddy soil in reclaimed tidal lands is not enough to understand the reclamation processes. The changes in microflora based on the chemical properties of paddy soils at the same sites of reclaimed tidal lands (21 samples from Nampo, Ewon, Sukmoon and Shihwa sites) were investigated in 2013 and 2015. In general, organic matter in paddy soils increased whereas pH decreased with the reclamation time. The electrical conductivities (EC) of soil samples were closely related to the exchangeable  $\text{Na}^+$ . With an increases in EC of paddy soils from 0.39 to 48.9  $\text{dS m}^{-1}$ , the ratios (%) of halotolerant and halophilic bacteria to mesophilic bacteria proportionally increased from 0.2% to 102,000%. The population of halotolerant and halophilic bacteria in total microflora was also differentiated with the changes in EC of the same sites from reclaimed tidal soils within 2 years. The population of mesophilic bacteria decreased with an increase in EC above 5  $\text{dS m}^{-1}$ . The microflora including halotolerant and halophilic bacteria could be a candidate as a biological parameter in evaluating the reclamation processes in addition to the chemical index of EC.

**Key words:** Electrical conductivity, Salinity, Microbial differentiation, Halotolerant and halophilic bacterial distribution



Relations between EC and halotolerant · halophiles population in paddy soils from the same sites of reclaimed tidal lands in 2013 and 2015.

\*Corresponding author: Phone: +82638506679, Fax: +82638507308, E-mail: jhchoi1124@wku.ac.kr

§Acknowledgement: This work was carried out with the support of “Cooperative Research Program for Agricultural Science & Technology Development (Project No. PJ009287)”, Rural Development Administration, Republic of Korea.

## Introduction

우리나라 간척지는 대부분 인위적인 방조제를 설치하여 조성되었기 때문에 일반적인 토양에 비하여 높은 염류농도, 낮은 유기물 함량, 미발달된 토양구조, 높은 지하수위로 인한 배수불량 및 재염화 등 식물의 발아 및 생육에 매우 불리한 토양 특성을 지니고 있다. 따라서 현재까지 간척공사가 진행되어 조성된 12개 국가관리 간척지구에 대하여 매년 간척지의 농업적 이용에 대한 실태조사가 지속적으로 실시되어 왔다.

간척지 토양을 지속 가능한 일반 토양으로 변화시키기 위해 벅짚을 활용한 유기물 투입, 적정 시비, 토양개량제 사용 등 토양의 물리화학적 특성을 개선하기 위한 노력이 추진되고 있으나, 아직까지 배수불량 등으로 인하여 농경지로 이용되는 간척지 대부분이 논으로 이용되고 있는 실정이다 (NHAES, 2002). 최근, 논농사 위주에서 벗어나 밭작물, 사료 및 원예작물 등 다양한 작물재배 기반을 조성하는 방향으로 연구범위가 확대되고 있다 (Lee et al., 2007). 간척사업에 따라 간척지토양이 일반토양으로 변화되는 숙전화 과정은 자연환경과 농업환경 등을 포함하여 복잡하게 진행되기 때문에 토양의 물리화학적 특성뿐만 아니라 미생물 분포 및 물질순환, 작물재배와 연관된 식물상 등 토양의 생물학적 환경을 함께 고려하여야 한다 (Flip, 2002). 따라서, 토양의 건전성과 활용에 있어서 우선적으로 토양의 물리화학적 특성을 고려하지만 자연생태계의 물질순환에 관여하는 미생물 생태에 대하여도 비중을 두어야 할 것이다 (Suh and Shin, 1997).

일반적으로 토양에 유기물이 투입되면 토양 미생물체량과 다양한 효소활성이 증가하게 되어 토양미생물에 의한 물질순환이 이루어진다고 알려져 왔다 (Crecchio et al., 2004). 이러한 관점에서 토양의 건전성은 미생물 분포, 미생물체량, 군집구조, 효소활성 등이 함께 고려되어야 한다 (Bossio and Scow, 1998; Hu and Cao, 2007; Shu, 1998). 일반적으로 화학비료나 유기물 사용은 토양의 화학성과 미생물 활성에 영향을 주는 것으로 알려져 있고 (Clegg, 2006; Deenik, 2006), 특히 토양 유기물이 분해되는 과정에서 증가되는 탈수소효소활성을 대표적인 생물학적 인자로 활용하고 있다 (Dinesh et al., 1998). 또한 유기물 공급, 단일작물 연작, 시비방법, 경운작업과 횃수 등은 미생물 활성에 영향을 주고 있으며 (Sardans et al., 2008; Timothy and Dick, 2004) 이에 따른 미생물의 다양성에 대한 연구도 진행되고 있다 (Kirk et al., 2004).

지금까지 간척지 토양에 대한 연구는 대부분 토양의 제염 방식과 물리화학적 특성, 내염성 작물 위주로 이루어져 왔으며, 내염·호염성 미생물을 포함한 토양미생물의 생태계에 대한 연구결과는 매우 부족한 실정이다. 토양미생물의

생태계는 토양의 유기물 함량과 염류 농도에 민감하게 반응하며, 토양 내 염류 집적은 간척지 토양뿐만 아니라 시설재배 및 건조한 환경에서 중요한 관리 인자로 인식되고 있다. 특히 토양미생물은 물질순환과 다른 생물에 의한 영향을 많이 받기 때문에 농업환경에서 미생물학적 특성을 분석하고 기후 변화와 더불어 지속적으로 조사해야 할 필요성이 있다.

본 연구에서는 국가관리 간척지구 중에서 서해안에 위치한 남포, 이원, 석문, 시화 지구의 논토양을 대상으로 토양의 화학적 특성과 내염·호염성 세균을 포함한 미생물 분포를 2013년과 2015년에 조사하였다. 동일한 지점의 정점 토양을 이용하여 간척지 논토양의 화학적 변화를 분석하고 이에 따른 미생물 상의 변화를 분석하였다.

## Materials and Methods

**조사지점 및 시료채취** 국가관리 간척지구인 남포 (5개), 이원 (6개), 석문 (5개), 시화 (5개) 지구에서 2013년과 2015년 3~4월에 GPS 측량기 (GPSmap 62s, Garmin)를 이용하여 동일한 21개 지점에 해당하는 논 1필 (0~10 cm)을 채취하여 시료 제조에 사용하였다. 간척지구별 간척시기와 면적, 그리고 조사 지점에 대한 정보는 Table 1에 정리하였다.

**토양시료 조제 및 화학성 분석** 토양의 화학적 특성 분석은 농업과학기술원 토양 및 식물체분석법에 준하여 실시하였다 (RDA, 2000). 채취한 표토를 풍건 한 이후 2 mm 체에 통과시킨 세토를 분석시료로 사용하였다. pH 및 EC (Electrical conductivity)는 토양과 증류수를 1:5 (w/v) 비율로 한 초자전극법 (Orion Star A215, Thermo Scientific), 토양 유기물은 Tyurin법, 치환성 양이온은 1N-NH<sub>4</sub>OAc (pH 7.0)로 추출하여 유도결합플라즈마 발광광도계 (ICP, Varian)로 분석하였다. 토양의 수분함량은 수분측정기 (ML-50, AND)로 측정하여 시료의 건조토양 산출에 적용하였다.

**토양시료 조제 및 토양미생물 분석** 토양미생물 분석을 위하여 채취한 표토는 2 mm 체를 통과시킨 세토를 4°C 냉장고에서 90일 이내로 보관하였다. 미생물 생균수는 생리식염수를 이용한 희석평판법을 이용하여 측정하였다. 토양 중 호기성 세균은 Yeast Glucose (YG) 한천배지 (James, 1958)를 이용하여 30°C에서 7일간 배양한 결과를 바탕으로 중온성 (MB; Mesophilic bacteria) 세균의 생균수를 조사하였다. 곰팡이 (F; Fungi)는 Streptomycin이 첨가된 Rose-bengal (RB) 한천배지 (Martin, 1950)를 이용하였고, 방선균 (A; Actinomycetes)은 Starch Casein Agar (SCA) (Wellington and Cross, 1983) 배지를 이용하여 30°C에서 7일간 배양한 결과를 분석하였다. 내염성 (HTB; Halotolerant bacteria)

**Table 1. Information of paddy soils from reclaimed tidal lands at western coastal area.**

Site	Reclamation Period	Area (ha)	Sample	ID	GPS
Nampo	1985~2007	1,467	5 Samples from paddy soil	NP1	N 36°17' 1.75" E126°32'46.93"
				NP2	N 36°17'17.77" E126°32'40.24"
				NP3	N 36°17'54.02" E126°32' 7.98"
				NP4	N 36°17'56.29" E126°32'44.02"
				NP5	N 36°17'41.64" E126°32'55.36"
Ewon	1990~2009	777	6 Samples from paddy soil	EW1	N 36°53'41.75" E126°16'26.94"
				EW2	N 36°53'17.84" E126°15' 5.04"
				EW3	N 36°52'30.18" E126°14'10.07"
				EW4	N 36°51'42.23" E126°14'25.40"
				EW5	N 36°52'47.10" E126°15' 3.24"
				EW6	N 36°52'46.27" E126°15'16.42"
Sukmoon	1987~2005	2,831	5 Samples from paddy soil	SM1	N 36°58'45.70" E126°38' 8.59"
				SM2	N 36°59'11.22" E126°36'49.03"
				SM3	N 36°59'32.64" E126°37' 5.20"
				SM4	N 36°59'17.66" E126°36' 8.78"
				SM5	N 36°57'47.34" E126°38'18.74"
Shihwa	1998~2012	3,636	5 Samples from paddy soil	SH1	N 37°12'26.35" E126°39'11.20"
				SH2	N 37°14'13.70" E126°37'57.50"
				SH3	N 37°16' 1.88" E126°35'40.45"
				SH4	N 37°14'23.75" E126°39'15.37"
				SH5	N 37°13'30.61" E126°40' 4.87"

및 호염성 (HB; Halophilic bacteria) 세균은 Tryptic Soy Agar (TSA) 배지 (Brisou et al., 1974)에 각각 5% 및 10% NaCl을 첨가하여 30°C에서 7일간 배양한 결과를 이용하여 분석하였다. 미생물의 생균수는 수분함량을 적용하여 산출한 건조토양 (g) 당 CFU (colony forming unit)로 환산하였다.

**통계처리** 개별 간척지구에서의 시료분석 결과는 평균과 표준편차로 나타내었다. 4개 간척지구 간의 토양 이화학성과 미생물 분포 변화는 SPSS (12.0, SPSS Inc., Chicago, IL) 통계프로그램을 이용하여 ANOVA (analysis of variance)를 하고  $p < 0.05$  수준에서 Duncan's multiple range test로 평균 간의 다중비교를 실시하였다.

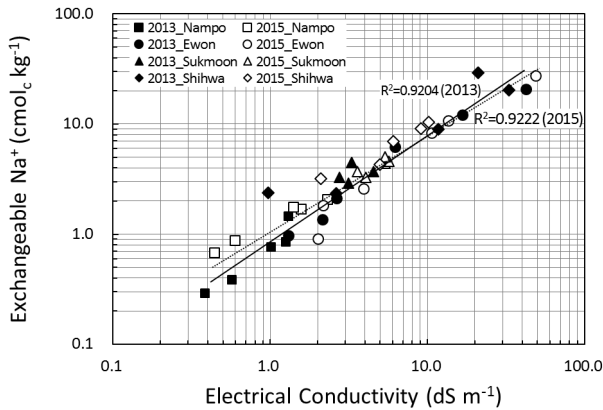
## Results and Discussion

**간척지구별 논토양의 화학적 특성 변화** 2013년과 2015년 동일한 지점에 해당하는 논토양의 표토토양을 대상으로 간척지토양이 숙전화에 따라 일반토양으로 변화하는데 중요한 화학적 인자로 인식되는 pH, 유기물 함량, EC, 그리고 치환성  $\text{Na}^+$ 에 대하여 조사한 결과를 Table 2에 정리하였다. 우리나라 서해안에 위치한 4개 국가관리 간척지구의 평균 pH는 대부분 2013년에 비하여 2015년에 낮아졌지

만, 동일 지구 내에서 pH의 최소값과 최대값의 차이는 석문지구 토양에서만 감소하였고 나머지 지구에서는 증가하였다. 평균 유기물 함량은 간척지구별 차이는 있으나 2013년 대비 2015년에 최소 4% (석문)에서 최대 38% (시화)로 전반적으로 증가하는 경향이 확인되었다. 그러나 토양의 염도기준인 EC는 시화지구를 제외하고는 모두 증가하는 양상이 확인되었으며, EC에 밀접하게 영향을 미치는 치환성  $\text{Na}^+$  역시 EC와 유사한 경향을 보이고 있다. 4개의 서해안 간척지구 중에서 남포지구 논토양에서 가장 낮은 수치의 EC와 치환성  $\text{Na}^+$ 이 확인되었다. 농업환경과 밀접하게 관련된 남포지구 논토양의 유기물 함량은 8.92 g  $\text{kg}^{-1}$  (2013년)에서 11.4 g  $\text{kg}^{-1}$  (2015년)으로 28% 증가하였다. EC와 치환성  $\text{Na}^+$  역시 2015년에 증가하였으나 각각 1.26 dS  $\text{m}^{-1}$ , 1.42 cmol.  $\text{kg}^{-1}$ 으로 벼 재배에 적합한 수준을 유지하였다. 그러나 석문지구 논토양의 EC는 아직까지 대부분 작물 생육에 영향을 미칠 수 있는 임계수치인 4 dS  $\text{m}^{-1}$ 에 근접한 염류토양의 특성을 지니고 있었다. 석문지구 논토양의 pH와 유기물 함량은 2013년과 2015년 사이에 별다른 변화가 없었으며, EC와 치환성  $\text{Na}^+$  역시 2015년에 각각 4.81 dS  $\text{m}^{-1}$ , 4.20 cmol.  $\text{kg}^{-1}$ 으로 아직 염류토양의 기본적인 특성을 지니고 있다. 이원지구 논토양은 EC가 14.07 dS  $\text{m}^{-1}$  (2013년)에서 15.8 dS  $\text{m}^{-1}$  (2015년)로 전형적인 염류토양의 특성을 유지하고

**Table 2. Changes of chemical properties in paddy soil from reclaimed lands at western-coastal area.**

Site	pH		OM		EC		Exchangeable Na <sup>+</sup>	
	2013	2015	2013	2015	2013	2015	2013	2015
	1 : 5		g kg <sup>-1</sup>		dS m <sup>-1</sup>		cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	
Nampo	5.82±0.44 <sup>a</sup>	5.16±0.56 <sup>a</sup>	8.92±1.68 <sup>a</sup>	11.40±2.25 <sup>a</sup>	0.91±0.37 <sup>a</sup>	1.26±0.68 <sup>a</sup>	0.74±0.41 <sup>a</sup>	1.42±0.54 <sup>a</sup>
Ewon	7.56±0.84 <sup>c</sup>	7.15±1.28 <sup>c</sup>	4.51±1.36 <sup>b</sup>	5.81±3.45 <sup>c</sup>	14.10±15.2 <sup>a</sup>	15.80±17.1 <sup>b</sup>	8.45±7.17 <sup>b</sup>	9.99±9.43 <sup>b</sup>
Sukmoon	7.06±0.70 <sup>b</sup>	7.06±0.65 <sup>b</sup>	8.13±1.48 <sup>b</sup>	8.45±2.09 <sup>bc</sup>	3.41±0.83 <sup>a</sup>	4.81±0.63 <sup>ab</sup>	3.76±0.62 <sup>ab</sup>	4.20±0.63 <sup>ab</sup>
Shihwa	7.11±0.61 <sup>b</sup>	6.81±0.88 <sup>b</sup>	5.12±2.28 <sup>a</sup>	7.06±2.23 <sup>ab</sup>	13.90±10.5 <sup>a</sup>	6.49±2.90 <sup>ab</sup>	12.60±10.5 <sup>ab</sup>	6.79±2.73 <sup>ab</sup>



**Fig. 1. Relation between electrical conductivity and exchangeable Na<sup>+</sup> in paddy soils from reclaimed lands at western coastal area.**

있으며 2013년 대비 2015년에 유기물 함량이 29% 증가하였지만 5.81 g kg<sup>-1</sup> (2015년)으로 가장 낮은 실정이다. 가장 늦게 간척작업이 이루어진 시화지구 논토양은 2013년 대비 2015년에 EC와 치환성 Na<sup>+</sup>은 절반 수준으로 낮아진 반면, 유기물 함량은 38% 증가하였다. 일반적으로 토양에 존재하는 염류 농도의 증가는 Na<sup>+</sup>과 K<sup>+</sup> 이온 사이에 복합적인 경쟁작용이 일어난다고 알려져 있으며 (Wang et al., 1997), 간척지 토양에서 EC와 치환성 Na<sup>+</sup> 간에 유의적인 상관관계가 존재한다고 보고되었다 (Ko et al., 2014, Park et al., 2015). 이번 연구로 서해안에 소재한 4개 국가관리 간척지구 논토양의 EC와 치환성 Na<sup>+</sup> 간에 높은 정의 상관관계가 존재하는 것을 2013년 (R<sup>2</sup>=0.9204)과 2015년 (R<sup>2</sup>=0.9222)에 확인하였으며 (Fig. 1), 시간 경과와 무관하게 유지되었다. 또한, 간척지 논토양에서 유기물 함량이 증가하는 경향

은 간척년대가 증가할수록 그리고 벼질 시용 등의 토양관리에 의하여 증가하는 경향을 보인다는 보고와 연관성이 있는 것으로 사료된다 (Yang et al., 2008). 상대적으로 짧은 기간 동안 서해안 간척지구 논토양의 화학적 변화는 지하수위의 변화, 토양 내 염류 이동, 그리고 재배 작물의 근권활동과 밀접하게 관련이 있다는 연구결과와 관련 있는 것으로 판단된다 (Saleh and Troeh, 1982).

**간척지구별 토양미생물의 분포**

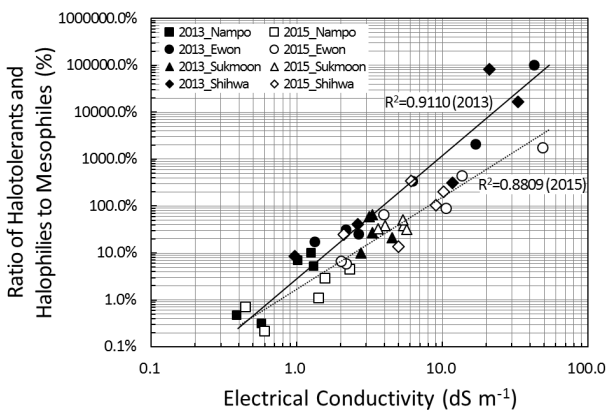
4개 국가관리 간척지구에서 동일한 21개 지점의 논토양에 대한 내염성 및 호염성 세균을 포함한 미생물 분포를 Table 3에 정리하였다. 남포지구에서 중온성 세균은 유기물 함량의 증가 등으로 20.0×10<sup>5</sup> CFU g<sup>-1</sup> (2013년)에서 142×10<sup>5</sup> CFU g<sup>-1</sup> (2015년)로 7배 정도 증가함으로써 일반 농경지의 최저 기준인 50×10<sup>5</sup> CFU g<sup>-1</sup>을 충족하였다 (Suh et al., 2010). 남포지구에서 곰팡이와 사상균은 25.7×10<sup>2</sup> CFU g<sup>-1</sup> (2013년)에서 54.8×10<sup>2</sup> CFU g<sup>-1</sup> (2015년)로 소폭 증가하였으나 아직 일반 농경지의 최저 구간인 5×10<sup>4</sup> CFU g<sup>-1</sup>에 못 미치는 수준으로 확인되었다 (Suh et al., 2010). 남포지구에서 2013년 대비 2015년에 소폭 증가한 EC로 인하여 내염성 및 호염성 세균은 0.54×10<sup>5</sup> CFU g<sup>-1</sup> (2013년)에서 3.79×10<sup>5</sup> CFU g<sup>-1</sup> (2015년)로 7 배 정도 증가하였다. 남포지구 논토양은 일반 토양에 가장 근접한 토양화학성을 지닌 상태이기 때문에 토양의 EC 증가에 따라 내염·호염성 세균이 증가하였고, 유기물 함량의 증가에 따라 중온성 세균이 증가한 것으로 판단된다. 4개 간척지구 중에서 EC와 유기물 함량 변화가 가장 적었던 석문지구의 경우, 2013년 대비 2015년의 미생물 분포는 중온성 및 내염성 세균이 약간 감소하고 호염성 세균이

**Table 3. Changes of microbial differentiation (CFU g<sup>-1</sup>) in paddy soil from reclaimed lands at western coastal area.**

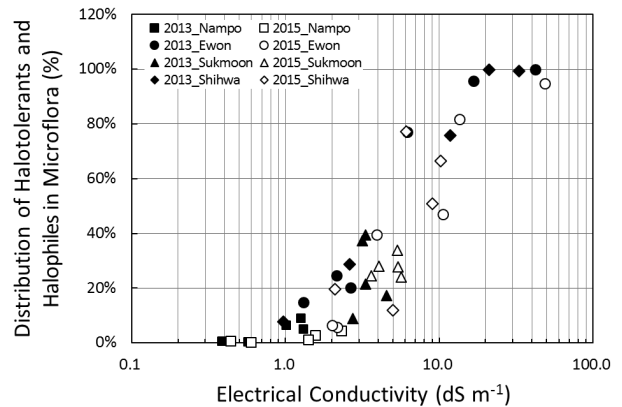
Site	HTB		HB		MB		A		F	
	2013	2015	2013	2015	2013	2015	2013	2015	2013	2015
	×10 <sup>5</sup>		×10 <sup>5</sup>		×10 <sup>5</sup>		×10 <sup>2</sup>		×10 <sup>2</sup>	
Nampo	0.42±0.53 <sup>a</sup>	2.83±3.30 <sup>a</sup>	0.13±0.19 <sup>a</sup>	0.96±0.97 <sup>ab</sup>	20.00±15.9 <sup>a</sup>	142.00±129 <sup>b</sup>	2.18±1.40 <sup>a</sup>	17.80±14.3 <sup>a</sup>	23.50±26.7 <sup>a</sup>	37.00±36.8 <sup>a</sup>
Ewon	6.18±5.87 <sup>a</sup>	2.09±0.96 <sup>a</sup>	0.35±0.28 <sup>a</sup>	0.47±0.26 <sup>a</sup>	1.31±1.44 <sup>a</sup>	3.27±3.15 <sup>a</sup>	5.39±8.99 <sup>a</sup>	4.65±4.37 <sup>a</sup>	8.12±12.0 <sup>a</sup>	8.14±6.34 <sup>a</sup>
Sukmoon	17.70±30.7 <sup>a</sup>	13.90±15.6 <sup>a</sup>	5.50±9.11 <sup>a</sup>	7.12±7.89 <sup>b</sup>	81.40±147 <sup>a</sup>	52.00±58.1 <sup>ab</sup>	9.32±13.7 <sup>a</sup>	7.44±8.76 <sup>a</sup>	18.50±26.1 <sup>a</sup>	15.40±18.4 <sup>a</sup>
Shihwa	13.10±17.1 <sup>a</sup>	5.27±4.20 <sup>a</sup>	2.21±2.60 <sup>a</sup>	1.68±1.88 <sup>ab</sup>	4.65±7.87 <sup>a</sup>	8.04±6.98 <sup>a</sup>	3.37±2.86 <sup>a</sup>	10.30±11.0 <sup>a</sup>	3.80±3.36 <sup>a</sup>	15.30±13.2 <sup>a</sup>

약간 증가하는 작은 변화만이 확인되었다. 전형적인 염류 토양 특성을 지닌 이원지구의 경우, 평균 유기물 함량이  $4.51 \text{ g kg}^{-1}$  (2013년)에서  $5.81 \text{ g kg}^{-1}$  (2015년)으로 증가하였고, 이로 인하여 중온성 세균이  $1.31 \times 10^5 \text{ CFU g}^{-1}$  (2013년)에서  $3.27 \times 10^5 \text{ CFU g}^{-1}$  (2015년)으로 약 2.5배 증가한 것으로 판단된다. 이원지구에서 남포지구와는 달리 중온성 세균의 증가 정도가 낮은 이유는 상대적으로 낮은 유기물 함량 또는 높은 염류집적도에 의한 간접 영향이라고 판단된다. 4개 간척지구 중에서 토양의 EC가  $13.9 \text{ dS m}^{-1}$  (2013년)에서  $6.49 \text{ dS m}^{-1}$  (2015년)으로 50% 이상 감소한 시화지구의 경우, 2013년 대비 2015년에 중온성 세균은 2배 정도 증가한 반면 내염·호염성 세균은 50% 수준으로 감소하였다. 방선균 및 곰팡이도 각각  $7.2 \times 10^2 \text{ CFU g}^{-1}$  수준에서  $25.6 \times 10^2 \text{ CFU g}^{-1}$  수준으로 3.5배 증가하였으나 아직 낮은 수준으로 확인되었다. 시화지구 논토양에서 중온성 세균의 증가는 이원지구에서와 유사하게 유기물 함량의 증가로 인한 결과이며, 내염·호염성 세균의 감소는 토양 내 염류집적도가 낮아진 결과라고 판단된다. 이러한 결과는 토양미생물 중 곰팡이는 세균에 비하여 염류에 의한 삼투압에 민감하며 (Pankhurst et al., 2001), 세균과 사상균 생균수 역시 토양의 염류도가 5% 이상인 경우에 급격하게 감소한다는 사실과 일치하였다 (Omar et al., 1994).

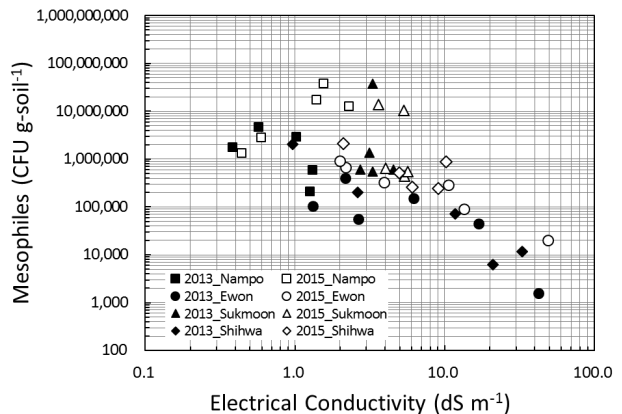
**간척지구별 논토양의 화학성 변화에 따른 토양미생물 변화** 간척지 토양에서 염류집적도를 대표하는 EC와 토양 내에 존재하는 중온성 (MB) 대비 내염·호염성 (HTB+HB) 세균의 비율 (%) 간의 정의 상관관계는 2013년 ( $R^2=0.9110$ )과 2015년 ( $R^2=0.8809$ )에 모두 높은 유의성을 갖고 있었다 (Fig. 2). 특히, 시간 경과에 따라 EC에 대한 중온성 대비 내염·호염성 세균 비율 (%)의 민감도는 낮아지고 있으며



**Fig. 2. Relation between electrical conductivity and halotolerant-halophilic bacterial percentage in paddy soils from reclaimed lands at western coastal area.** The calculation of halotolerant-halophilic bacterial percentage is based on the ratio of halotolerants and halophiles to mesophiles,  $(\text{HTB} + \text{HB}) \text{ MB}^{-1} \times 100$ .

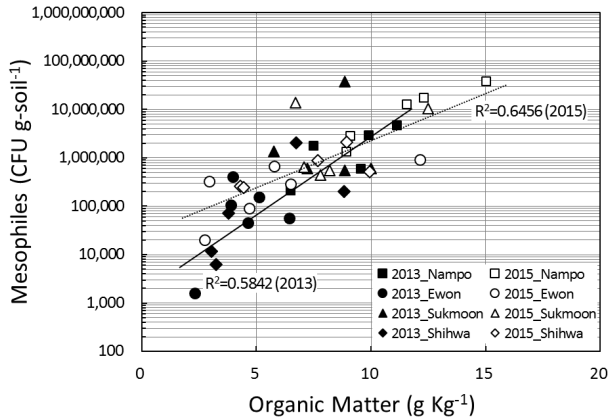


**Fig. 3. Relation between electrical conductivity and halotolerant-halophiles in microflora from reclaimed lands at western coastal area.** The calculation of halotolerant-halophiles in microflora is based on the distribution of halotolerants and halophiles in microflora,  $(\text{HTB} + \text{HB}) (\text{HTB} + \text{HB} + \text{MB} + \text{A} + \text{F})^{-1} \times 100$ .



**Fig. 4. Relation between electrical conductivity and mesophilic bacteria in paddy soils from reclaimed lands at western coastal area.**

높은 내염·호염성 세균의 비율에 해당하는 지점의 분포가 감소하는 것도 확인할 수 있었다. 이는 토양 내에 내염·호염성 세균의 변화가 토양의 화학적 인자인 EC에 따른 생물학적 상호작용에 의한 결과라고 판단된다. 또한, 토양 내에 존재하는 전체 미생물 ( $\text{HTB} + \text{HB} + \text{MB} + \text{A} + \text{F}$ ) 중 내염·호염성 ( $\text{HTB} + \text{HB}$ ) 세균이 차지하는 비중 (%) 역시 토양의 EC에 따라 반응하는 것으로 확인되었다 (Fig. 3). 이는 간척지 논토양에 분포하는 중온성 세균이 EC가  $5 \text{ dS m}^{-1}$  이상에서 급격하게 감소하는 경향과도 일치하였다 (Fig. 4). 한편 토양 내에 존재하는 중온성 세균과 유기물 함량 간에는 정의 상관관계가 성립하지만 유의성이 낮았으며 (Fig. 5), 이는 간척지 토양에서 전체 미생물의 밀도가 유기물 함량이  $10 \text{ g kg}^{-1}$  이하에서만 유의적인 상관관계를 보인다는 결과 (Park et al., 2015)와 유사하였다. 2013년 대비 2015년의 기간 동안 간척지 논토양에서 유기물 함량의 증가에 따른 중온성 세균의 증가와 더불어 EC 변화에 따른 내염성 및 호염성 세



**Fig. 5.** Relation between organic matter and mesophilic bacteria in paddy soils from reclaimed lands at western coastal area.

균의 유의적인 변화는 일반 농경지 토양에 근접한 남포지구와 전형적인 염류토양의 특성을 지닌 시화지구의 모든 지점에서 확인되었다. 토양의 EC가 3.15~5.38 dS m<sup>-1</sup>인 석문지구의 3개 지점에서는 EC 변화에 따른 내염·호염성 세균의 유의적인 상관관계가 성립하지 않았으며, 유기물 함량이 3.91~6.50 g kg<sup>-1</sup>인 이원지구의 2개 지점에서도 유기물 함량의 변화에 따른 중온성 세균의 유의적인 상관관계가 성립하지 않았다. 이는 간척지 토양에서 미생물의 분포는 토양의 물리성과 지하수위의 변화 등에 의해 영향을 받기 때문이며, 토지이용과 경작방법, pH, 토양관리방법, 수분 및 온도 등의 환경요인 등에 따라 상관관계의 유의성은 일정하지 않은 결과와 일치하였다 (Aciego and Brookes, 2009; Ahn et al., 2011; Lee and Ha, 2011; Rahman et al., 2008).

## Conclusions

서해안에 조성된 4개 국가관리 간척지구 (남포, 이원, 석문 및 시화)의 간척작업 이후 시간경과에 따라 일어나는 논토양의 토양화학성과 미생물 활성 변화를 동일한 21개 지점의 정점토양을 대상으로 2013년과 2015년에 조사하였다. 2013년 대비 2015년 간척지구 논토양의 pH는 남포 > 이원 > 시화 > 석문 순으로 감소하였으며, 유기물 함량은 남포 > 시화 > 이원 > 석문 순으로 증가하였다. 토양 EC는 시화지구에서만 50% 정도 감소한 반면 나머지 지구에서는 증가하였다. 4개 간척지구 중에서 남포 간척지구 논토양은 일반 농경지에 근접하였고 나머지 간척지구는 아직까지 염류토양의 특성을 지니고 있었다. 이번 연구로 2013년과 2015년에 채취한 간척지 논토양의 EC는 치환성 Na<sup>+</sup> (R<sup>2</sup>=0.92)과 더불어 중온성 대비 내염·호염성 세균의 비율 (%) (R<sup>2</sup>=0.90) 간에 각각 정의 상관관계가 존재한다는 결과를 얻었다. 2013년 대비 2015년의 기간 동안 간척지 논토양에서 유기물 함량의 증가에 따른 중온성 세균의 증가와 EC 변화에 따른

내염성 및 호염성 세균의 유의적인 변화는 일반 농경지 토양에 근접한 남포지구와 전형적인 염류토양의 특성을 지닌 시화지구의 모든 지점에서 확인되었다. 전체 21개 지점에서 석문지구의 3개 지점에서 EC 변화에 따른 내염·호염성 세균의 유의적인 상관관계가 성립하지 않았으며, 이원지구의 2개 지점에서는 유기물 함량의 변화에 따른 중온성 세균의 유의적인 상관관계가 성립하지 않았다. 간척지 토양에서 미생물의 변화는 토양의 물리성, 지하수위의 변화 등에 의해 영향과 더불어 토지이용과 경작방법, 토양관리방법 등의 환경요인 등에 따라 영향을 받고 있지만 이번 연구에서 간척지 토양의 염류도 변화에 따른 유의적인 미생물 상 변화를 확인할 수 있었다. 중온성 세균의 분포, 중온성 대비 내염·호염성 세균의 비율, 또는 토양 미생물 중 내염·호염성 세균이 차지하는 비중은 간척지 토양의 염류도를 판정하는 전통적인 화학적인 지표인 EC와 유기물 함량과 더불어 간척지 토양의 숙전화 과정을 종합적으로 판단할 수 있는 중요한 생물학적 인자라고 판단된다.

## References

- Aciego, P.J.C. and P.C. Brookes. 2009. Substrate inputs and pH as factors controlling microbial biomass, activity and community structure in an arable soil. *Soil Biol. Biochem.* 41:1396-1405.
- Ahn, B.K., H.J. Kim, S.S. Han, Y.H. Lee, and J.H. Lee. 2011. Response of microbial distribution to soil properties of orchard fields in Jeonbuk area. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44:696-701.
- Bossio, D.A. and K.M. Scow. 1998. Impacts of carbon and flooding on soil microbial communities: phospholipid fatty acid profiles and substrate utilization patterns. *Micro. Ecol.* 35:265-278.
- Brisou, J., D. Courtois, and F. Denis. 1974. Microbiological study of a hypersaline lake in French Somaliland. *Appl. Microbiol.* 27:819-822.
- Clegg, C.D. 2006. Impact of cattle grazing and inorganic fertiliser additions to managed grasslands on the microbial community composition of soils. *Appl. Soil Ecol.* 31:73-82.
- Crecchio, C., M. Curici, M.D.R. Pizzigallo, P. Ricciuti, and P. Ruggiero. 2004. Effects of municipal solid waste compost amendments on soil enzyme activities and bacterial genetic diversity. *Soil Biol. Biochem.* 36:1595-1605.
- Deenik, J. 2006. Nitrogen mineralization potential in important agricultural soils of Hawaii. *Soil Crop Manage.* 15:1-5.
- Dinesh, R., R.P. Dubey, and G.S. Prasad. 1998. Soil microbial biomass and enzyme activities as influenced by organic manure incorporation into soils of a rice-rice system. *J. Agron. Crop Sci.* 181:173-178.
- Filip, Z. 2002. International approach to assessing soil quality by ecologically-related biological parameters. *Agric. Ecosyst. Environ.* 88:169-174.
- Hu, C. and Z. Cao. 2007. Size and activity of the soil microbial

- biomass and soil enzyme activity in long-term field experiments. *World J. Agri. Sci.* 3:63-70.
- James, N. 1958. Soil extract in soil microbiology. *Can. J. Microbiol.* 4:363-370.
- Kirk, J.L., L.A. Beaudette, M. Hart, P. Moutoglis, J.N. Klironomos, H. Lee, and J.T. Trevors. 2004. Methods of studying soil microbial diversity. *J. Microbiol. Meth.* 58:169-188.
- Ko, E.S., J.A. Joung, C.H. Kim, S.H. Lee, T. Sa, and J.H. Choi. 2014. Relationship between chemical property and microbial activity of reclaimed tidal lands at western coast area in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 47:254-261.
- Lee, K.B., J.G. Kang, J. Li, D.B. Lee, C.W. Park, and J.D. Lim. 2007. Evaluation of salt-tolerant plant for improving saline soil of reclaimed land. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 40:173-180.
- Lee, Y.H. and S.K. Ha. 2011. Impact of chemical properties on microbial population from upland soils in Gyeongnam province. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 44:242-247.
- Martin, J.P. 1950. Use of acid, rose bengal and streptomycin in the plate method for estimating soil fungi. *Soil Sci.* 69:215-232.
- NHAES. 2002. Agriculture in a reclaimed tidal soils in Korea. RDA. Korea.
- Omar, S.A., M.A. Abdel-Sater, A.M. Khallil, and M.H. Abdalla. 1994. Growth and enzyme activities of fungi and bacteria in soil salinized with sodium chloride. *Folia Microbiol.* 39:23-28.
- Pankhursy, C.E., S. Yu, B.G. Hawke, and B.D. Harch, 2001. Capacity of fatty acid profiles and substrate utilization patterns to describe differences in soil microbial communities associated with increased salinity or alkalinity at three locations in South Australia. *Biol. Fertil. Soils.* 33:240-217.
- Park, M.N., G.S. Go, C.H. Kim, H.S. Bae, T. Sa, and J.H. Choi. 2015. Relation between chemical properties and microbial activities in soils from reclaimed tidal lands at south-western coast area in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 48:262-270.
- Rahman, M.H., A. Okubo, S. Sugiyama, and H.F. Mayland. 2008. Physical, chemical and microbiological properties of an Andisol as related to land use and tillage practice. *Soil Till. Res.* 101:10-19.
- RDA (Rural Development Administration). 2000. Method of soil and plant analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology. Suseon. Korea.
- Saleh, H.H. and F.R. Troeh. 1982. Salt distribution and water consumption from a water table with and without a crop. *Agron. J.* 74:321-324.
- Sardans, J., J. Penuelas, and M. Estiarte. 2008. Changes in soil enzymes related to C and N cycle and in soil C and N content under prolonged warming and drought in a Mediterranean shrubland. *Appl. Soil Ecol.* 39:223-235.
- Suh J.S. and J.S. Shin. 1997. Soil microbial diversity of paddy fields in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 30:200-207.
- Suh, J.S. 1998. Soil microbiology. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 31(S):76-89.
- Suh, J.S., H.J. Noh, J.S. Kwon, H.Y. Weon, and S.Y. Hong. 2010. Distribution map of microbial diversity in agricultural land. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 43:995-1001.
- Timothy, R.K. and R.P. Dick. 2004. Differentiating microbial and stabilized  $\beta$ -glucosidase activity relative to soil quality. *Soil Biol. Biochem.* 36:2089-2096.
- Wellington, E.M.H. and T. Cross. 1983. Taxonomy of antibiotic producing actinomycetes and new approaches to their selective isolation. P. 36. In M.E. Bushell (ed.) *Progress in industrial microbiology*, Elsevier, Amsterdam.
- Wang, L.W., A.M. Showalter, and I.A. Ungar. 1997. Effect of salinity on growth, ion content and cell wall chemistry in *Atriplex prostrata* (Chenopodiaceae). *Am. J. Botany* 84:1247-1255.
- Yang, C.H, C.H. Yoo, J.H. Jung, B.S. Kim, W.K. Park, J.H. Ryu, T.K. Kim, J.D. Kim, S.J. Kim, and S.H. Baek. 2008. The change of physico-chemical properties of paddy soil in reclaimed tidal land. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 41:94-102.