

## 새만금 전작 · 원예단지 후보지구 토양의 화학적 특성

Chemical Properties of Soil in the Proposed Horticultural Complexes  
of Saemangeum Reclaimed Tideland

손재권\* · 최진규\* · 조재영\*\*†

Son, Jae Gwon\* · Choi, Jin Kyu\* · Cho, Jae Young\*\*†

## ABSTRACT

Chemical properties of soil in the proposed horticultural complexes of Saemangeum reclaimed tideland were studied for sustainable development of the newly reclaimed land resources. The soil texture of Gwanghwal, Gyehwa, Mangyeong and Okgu complex area were sandy loam. The pH and ESP (exchangeable sodium percentage) were 7.42 to 7.82 and 61.05 to 73.62 %, respectively. Compared to general agricultural land in Korea, the soil organic matter and other plant nutrients were low. The concentrations of heavy metals in the soil were found to be acceptable except several sites where they doesn't meet the warning standard of agricultural land contamination. Continuous monitoring and interception of external pollutants are suggested for water-soil-plant system conservation.

**Keywords:** Heavy metals; plant nutrient; reclaimed tideland; saemangeum; upland-horticultural fields

## I. 서 론

우리나라 간척지의 작부체계는 수도작 중심이었으며, 주로 간척지 재배환경에 적합한 품종의 육성, 재배기술의 개발 및 제염과 관련된 연구가 수행되어 왔다. 그러나 최근 들어 농업환경의 변화에 따라 간척 농경지가 논이라는 농지 중심 뿐만 아니라 다목적 토지이용과 종합개발 계획으로 전환되는 추세이다.

현재 진행중인 대규모 새만금 간척사업으로 조성되는 새로운 농경지는 특수한 환경입지를 지니고 있으므로 지역의 기상 및 지형, 토양특성과 사회 기반시설과의 상호연관성 내에서 합리적인 토지이용 방안이 마련되어야 한다. 이에 대한 대안으로 제시되고 있는 것 중의 하나가 부가가치가 높은 전작 · 원예단지로의 개발이다. 새만금 간척 농경지 토양자원의 고도이용으

로 잠재적 생산기반 능력을 향상시키고, 간척 농경지를 전작 · 원예작물 생육환경에 맞도록 효율적인 토지관리 방안을 모색하는 것이 그 무엇보다도 우선되어야 한다. 이를 위해서는 간척지 토양에 대한 물리 · 화학적인 특성과 여러 가지 오염물질에 대해 정확하고 체계적인 모니터링이 수행되어야 할 것이다.

본 연구에서는 새만금 간척 예정 지구를 대상으로 각 지역별 기상조건, 토양조건 및 교통조건 등 제반인자를 고려하여 전작 · 원예단지 조성에 적합한 4개 후보 지역을 선정하였다. 이들 후보지역을 대상으로 토양의 화학적 특성과 중금속 오염물질의 함량 조사를 통해 작물의 안전성과 토지이용 효율을 최적화 하고자 하였다.

## II. 재료 및 방법

## 1. 토양 시료 채취

2005년부터 2006년까지 새만금 광활지구, 계획지구, 만경지구 그리고 옥구지구 등 4개 지역으로 분류하여 각 지역당 7지점에서 조사를 실시한 0~80 cm의 깊이의 토양중 표토층이라 할 수 있는 0~30 cm 부분에서 토양채취기 (soil auger)를

\* 전북대학교 농업생명과학대학 지역건설공학과

\*\* 전북대학교 농업생명과학대학 생물환경화학학과

† Corresponding author. Tel.: +82-63-270-2547

Fax: +82-63-270-2550

E-mail address: wsoilcosmos@chonbuk.ac.kr

2009년 7월 2일 투고

2009년 7월 20일 심사완료

2009년 7월 27일 게재확정

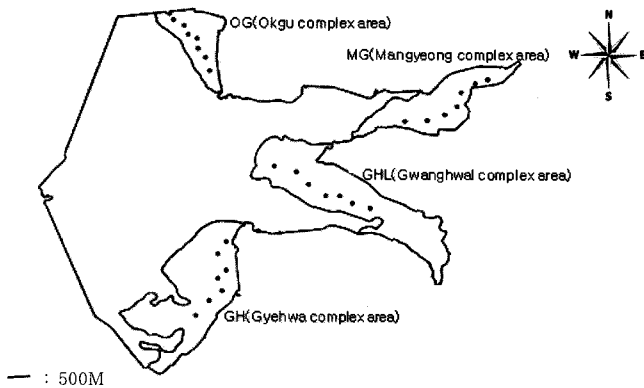


Fig. 1 Soil sampling sites in the proposed horticultural complexes of Saemangeum reclaimed tideland

이용하여 채취한 토양을 시료 (1 지점당 3개소, 총시료채취수: 84점)로 활용하였다. 토양 시료 채취지점은 Fig. 1에 나타나 있다.

### 2. 토양 시료의 화학적 특성 분석

pH는 토양과 증류수를 1:5의 비율로 현탁액을 만들어 2시간 왕복진탕 시킨 후 pH-meter (TOA HM 20-S)를 사용하여 측정하였으며, 유기물 함량은 Walkley-black법, 양이온치환용량은 1N-NH<sub>4</sub>OAc (pH: 7.0)을 이용한 침출법, 토성은 USDA 삼각분류법을 기준으로 하였다. 총질소는 Kjeldahl법, 총인은 ammonium molybdate법을 사용하였다. 교환성 양이온은 1N-NH<sub>4</sub>OAc (pH: 7.0)을 이용하여 침출한 후 원자흡수분광광도계 (Perkin elmer 2380)로 측정하였고, ESP (교환성나트륨백분율)는 교환성나트륨의 함량을 CEC로 나누어 백분율로 산정하였다. 중금속 Pb, Cd, Cu, Cr<sup>6+</sup>, As 그리고 Hg은 유도결합플라즈마발광분석법 (Inductively coupled plasma ICP-7000; CS, Shimadzu)으로 분석하였다 (Son et al., 2005).

## III. 결과 및 고찰

### 1. 전작 · 원예단지 후보지구 토양의 토양층과 토성

토양단면 (0~80 cm) 조사결과, 조사대상 지역의 회색층 출현 위치는 대부분이 50 cm 이하에서 발견되었다. 이들 회색 토양층의 위치는 지하수위의 변동에 따라 일부 변화가 나타날 수도 있지만, 전작 · 원예단지 조성 후 밭작물 재배시에는 암거 배수 등 적절한 배수시설 대책이 마련되어야 할 것으로 판단된다.

토성을 조사한 결과 4개 지구 28 지점의 토성이 동일하게 사질양토 (sandy loam)로 나타났다. 조사된 토성결과에 기준

할 때, 추후 조성될 새만금 전작 · 원예단지에서 대상작물 선정시 특별한 제한 없이 광범위한 작물 선택이 가능할 것으로 조사되었다.

### 2. 전작 · 원예단지 후보지구 토양의 화학적 특성 평가

토양의 pH는 광활지구 7.31~8.47의 범위로 평균 7.62를, 계화지구 7.31~7.61의 범위로 평균 7.42를, 만경지구 7.26~7.66의 범위로 평균 7.42를, 그리고 옥구지구 7.29~8.81의 범위로 평균 7.82를 나타내었다 (Fig. 2). 조사대상 4개 지구 가운데 옥구지구 토양의 pH가 부분적으로 높게 나타는 지점도 있으나 조사지역별로 큰 차이가 나타나지 않았다. 추후 방조제 공사가 완료되고 내부개발 단계에 이를 경우, 간척초기 토양의 pH는 현재보다 약간 더 상승할 수도 있으나, 제염작업과 식생재배 단계를 거칠 경우 약알카리성 상태를 유지할 것으로 예상된다. 토양 pH 값의 변화는 토양 내에 존재하는 수소이온의 농도에 의한 영향보다는 pH 값의 변화에 따른 식물 필수영양성분의 유효도 감소로 이어질 수 있으므로 대상지구에 적합한 작물 선정시 토양 pH의 증감에 따라 변화될 수 있는 필수원소의 지속적인 모니터링을 수행하여 합리적으로 관리하여야 할 것으로 판단된다.

토양의 유기물 함량은 광활지구 1.15~1.90 %의 범위로 평균 1.43 %를, 계화지구 0.78~1.93 %의 범위로 평균 1.43 %를, 만경지구 1.48~3.21 %의 범위로 평균 2.39 %를, 그리고 옥구지구 1.35~2.55 %의 범위로 평균 1.74 %를 나타내었다 (Fig. 3). 조사대상 4개 지구 가운데 만경지구 토양에서 토양유기물의 함량이 가장 높게 나타났고, 그 밖의 3개 지구는 유사하게 분포하였다. 현재 상태에서 조사대상 지구에 분포하는 토양유기물의 함량만을 기준으로 할 때 토양유기물 함량은 부족한 상태로 판단된다. 일반적으로 우리나라 농경지 토양에

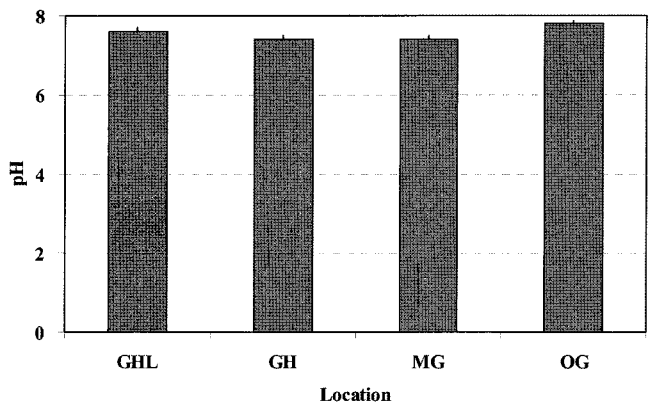


Fig. 2 Soil pH in the proposed horticultural complexes of Saemangeum reclaimed tideland

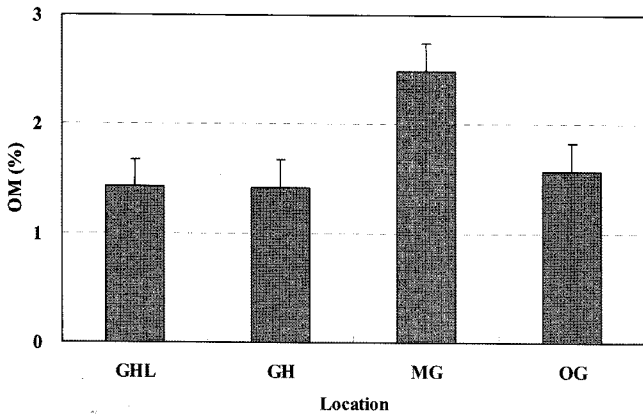


Fig. 3 Soil organic matters in the proposed horticultural complexes of Saemangeum reclaimed tideland

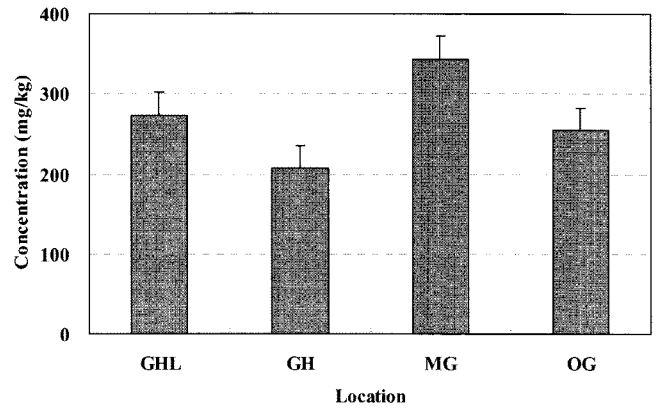


Fig. 4 Soil total-P in the proposed horticultural complexes of Saemangeum reclaimed tideland

분포하는 토양유기물의 함량이 2~3 % 수준이고, 개량 목표치가 3 % 이상이라고 하였을 때 간척초기 전작·원예단지에는 상당히 많은 양의 유기물원이 공급되어야 할 것이다. 일반적으로 탄질률이 20~30 % 보다 높은 유기물이 토양에 가해질 경우에는 유기물의 분해에 필요한 질소가 부족하여 미생물이 질소의 일부를 토양용액으로부터 이용하기 때문에 식물의 일시적인 질소가아현상을 나타낸다 (Kim, 2003). 앞에서 논의한 바와 같이 유기물을 공급할 때 탄질률을 고려하여 질소가아 또는 과도한 유기물 분해를 예방할 수 있는 방안이 필요할 것이다. 간척초기부터 시간이 경과할수록 유기물의 산화 분해로 인하여 점진적으로 감소할 것으로 예상되는 바 간척농경지 토양 중에서 분해가 완만한 분해속도를 가진 유기물 자원의 공급이 필요할 것으로 판단된다.

토양의 총인은 광활지구 238.8~309.2 mg/kg의 범위로 평균 273.2 mg/kg을, 계화지구 182.1~257.5 mg/kg의 범위로 평균 212.4 mg/kg을, 만경지구 282.3~409.3 mg/kg의 범위로 평균 335.0 mg/kg을, 그리고 옥구지구가 187.0~335.8 mg/kg의 범위로 평균 253.3 mg/kg을 나타내었다 (Fig. 4). 조사대상 4개 지구 가운데 만경지구 토양에서 총인의 농도가 가장 높게 나타난 반면, 계화지구 토양에서 총인의 농도가 가장 낮게 나타났다. 현재 상태에서 조사대상 지구에 분포하는 총인의 농도만을 기준으로 할 때 작물생육에 큰 문제는 없을 것으로 판단된다. Cho et al., (2006b)에 의하면, 우리나라 간척지 및 간척지 토양 중 총인의 함량은 일반 농지에서의 총인 함량과 유사한 수준으로 평가되었다. 본 조사결과와 선행 연구 결과를 비교하면 새만금 전작·원예단지 후보지의 총인 함량은 약간 낮은 수준인 것으로 평가되었다.

토양의 총질소는 광활지구 349.8~1,961.7 mg/kg의 범위로 평균 851.6 mg/kg을, 계화지구 334.6~1,733.6 mg/kg의 범위로 평균 768.0 mg/kg을, 만경지구 456.2~1,049.3 mg/kg

의 범위로 평균 669.1 mg/kg을, 그리고 옥구지구가 349.8~562.7 mg/kg의 범위로 평균 448.6 mg/kg을 나타내었다 (Fig. 5). 조사대상 4개 지구 가운데 광활지구 토양에서 총질소의 농도가 가장 높게 나타났고, 계화지구와 만경지구는 유사한 경향을 그리고 옥구지구에서 가장 낮게 나타났다. Cho et al., (2006c)의 선행연구에 의하면, 우리나라 주요 간척지중 총질소의 함량은 619.5~5,533.4 mg/kg의 범위로 평균 1,857.6 mg/kg을 나타내었다. 이 결과와 비교시 새만금 전작·원예단지 후보지의 총질소 함량은 낮은 수준인 것으로 평가되었다.

토양의 CEC는 광활지구 12.06~3.36 cmol(+)/kg의 범위로 평균 12.79 cmol(+)/kg을, 계화지구 8.15~9.88 cmol(+)/kg의 범위로 평균 8.82 cmol(+)/kg을, 만경지구 10.54~16.18 cmol(+)/kg의 범위로 평균 13.27 cmol(+)/kg을, 그리고 옥구지구 9.02~12.17 cmol(+)/kg의 범위로 평균 10.75 cmol(+)/kg을 나타내었다(Fig. 6). 조사대상 4개 지구 가운데 만경지구 토양의 CEC가 가장 높게 나타났고 계화지구에서 가장 낮게 나타났다. 본 조사지역의 토양 CEC 값은 일반 육상 농경지 토양의 CEC와 비교시 약간 높게 나타나 특별한 문제는 없으나 향후에 유기물의 시비와 적절한 토양 pH 관리를 통해 CEC를 증가시킬 수 있는 방안을 모색하여야 할 것으로 판단된다.

토양의 교환성나트륨백분율 (ESP)는 광활지구 28.44~46.82 %의 범위로 평균 33.74 %를, 계화지구 59.69~86.52 %의 범위로 평균 73.62 %를, 만경지구 40.16~56.51 %의 범위로 평균 49.49 %를, 그리고 옥구지구 50.96~68.77 %의 범위로 평균 61.05 %를 나타내었다 (Fig. 7). 조사대상 4개 지구 가운데 계화지구와 옥구지구가 각각 73.62 %와 61.05 %로 높게 나타났고, 광활지구와 만경지구가 각각 33.74 %와 49.49 %로 낮게 나타났다. 토양에 분포하는 교환성나트륨의 제거를 위한 다양한 제염방법의 적용과 함께 나트륨을 치환 제거할 수 있는 토양개량제로서 석고의 처리가 타당할 것으로 평가되었다.

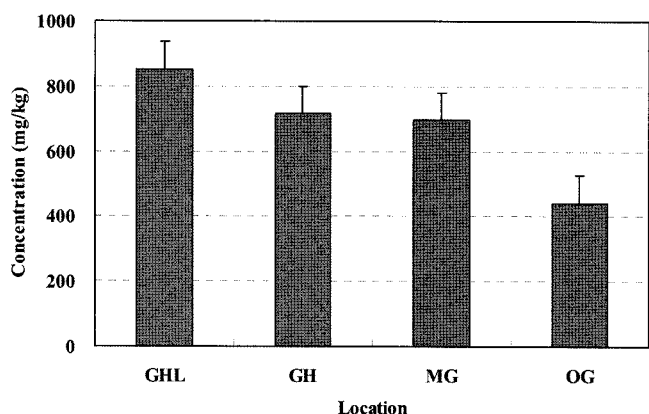


Fig. 5 Soil total-N in the proposed horticultural complexes of Saemangeum reclaimed tideland

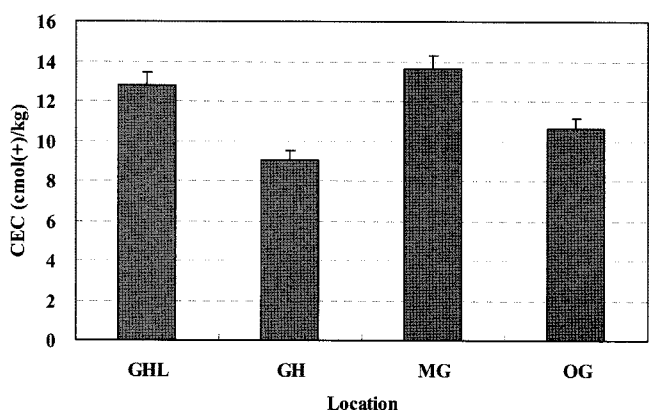


Fig. 6 Soil CEC in the proposed horticultural complexes of Saemangeum reclaimed tideland

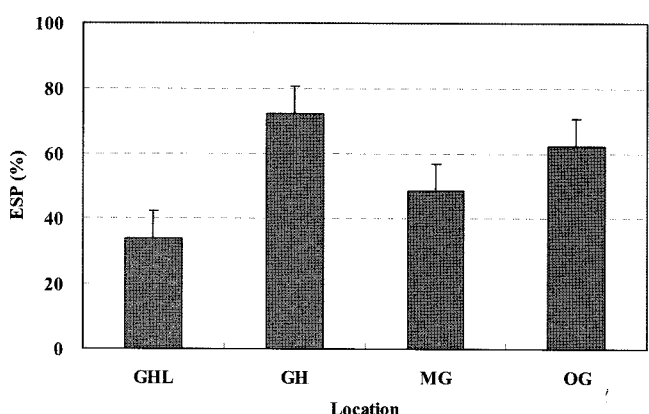


Fig. 7 Soil ESP in the proposed horticultural complexes of Saemangeum reclaimed tideland

### 3. 전작 · 원예단지 후보지구 토양의 중금속 함량 평가

개발된 간척지가 농지로 활용될 경우 가장 우선되어야 할 선결조건 중의 하나가 간척 농지에서 재배되는 작물의 안정성 확

보라 할 수 있다. 이를 위해서는 간척 농지 중에 존재하는 유해성분들에 대한 체계적인 모니터링이 수행되어야 한다. 여러 가지 유해성분 가운데 특히 중금속 오염물질은 토양 내에서 이동성이 낮고, 불용성 상태로 존재하고 있다. 토양 중 중금속 오염물질의 용해성 및 식물에 흡수되는 특성은 토양조건에 따라 변이가 매우 큰 것으로 알려져 있다. 또 오염된 농지에 중금속이 축적되어 일어날 수 있는 해로운 영향은 식물이 흡수하는 중금속의 화학적 형태와 관련이 있는 것으로 보고되어 있다 (Park et al., 2007).

현재 우리나라에서는 토양환경기준을 토양오염 대책기준과 토양오염 우려기준으로 설정하여 관리하고 있다. 토양오염 대책기준은 ‘오염의 정도가 사람의 건강과 동 · 식물의 생육에 지장을 초래할 우려가 있어 토지의 이용 중지, 시설의 설치 금지 등 규제 조치가 필요한 정도의 오염 기준’이고 이 기준을 초과하면 토양보전대책지역으로 지정할 수 있다. 또한 토양오염 우려기준은 ‘더 이상 오염이 심화되는 것을 예방하기 위한 오염수준 (대책기준의 약 40%)이다.’ 이 기준을 초과하면 오염물질의 제거, 방지시설의 설치, 오염물질의 사용 제한 등 시정 명령이 내려진다 (Park et al., 2007).

새만금 전작 · 원예단지 후보지구 토양중 중금속의 함량은 Fig. 8에 제시되어 있다. 토양의 납 함량은 광활지구 34.30~83.01 mg/kg의 범위로 평균 69.09 mg/kg을, 계화지구 35.66~69.36 mg/kg의 범위로 평균 46.84 mg/kg을, 만경지구 34.33~124.76 mg/kg의 범위로 평균 81.39 mg/kg을, 그리고 옥구지구 55.34~91.55 mg/kg의 범위로 평균 67.47 mg/kg을 나타내었다. 납은 모든 측정 지점 가운데 광활 1지점, 만경 3과 7지점에서 우리나라 환경부의 농경지 중금속 우려기준인 100 mg/kg을 초과하였을 뿐 기타 지점에서는 모두 이 기준치 미만으로 검출되었다. 아울러 본 조사에서 검출된 Pb의 함량은 미국 EPA (1996)의 토양환경기준 100 mg/kg과 비교 시에도 낮은 농도 수준이었다. 그러나 전체 조사지점에서 표토층의 평균함량이 계화지구를 제외하고 60 mg/kg 수준 이상으로 나타났으므로 추가적인 중금속 오염원의 유입이 발생하지 않도록 지속적인 관리가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

토양의 카드뮴 함량은 광활지구 0.24~0.65 mg/kg의 범위로 평균 0.55 mg/kg을, 계화지구 0.35~0.45 mg/kg의 범위로 평균 0.41 mg/kg을, 만경지구 0.37~1.08 mg/kg의 범위로 평균 0.80 mg/kg을, 그리고 옥구지구 0.51~0.65 mg/kg의 범위로 평균 0.56 mg/kg을 나타내었다. 카드뮴은 우리나라 환경부의 농경지 중금속 우려기준인 1.5 mg/kg을 초과한 지점이 나타나지 않았다. 아울러 본 조사에서 검출된 카드뮴의 함량은 미국 EPA (1996)의 토양환경기준 6 mg/kg과 비교시에도 낮은 농도 수준이었다. 전체 조사지점에서 평균함량이 1.0

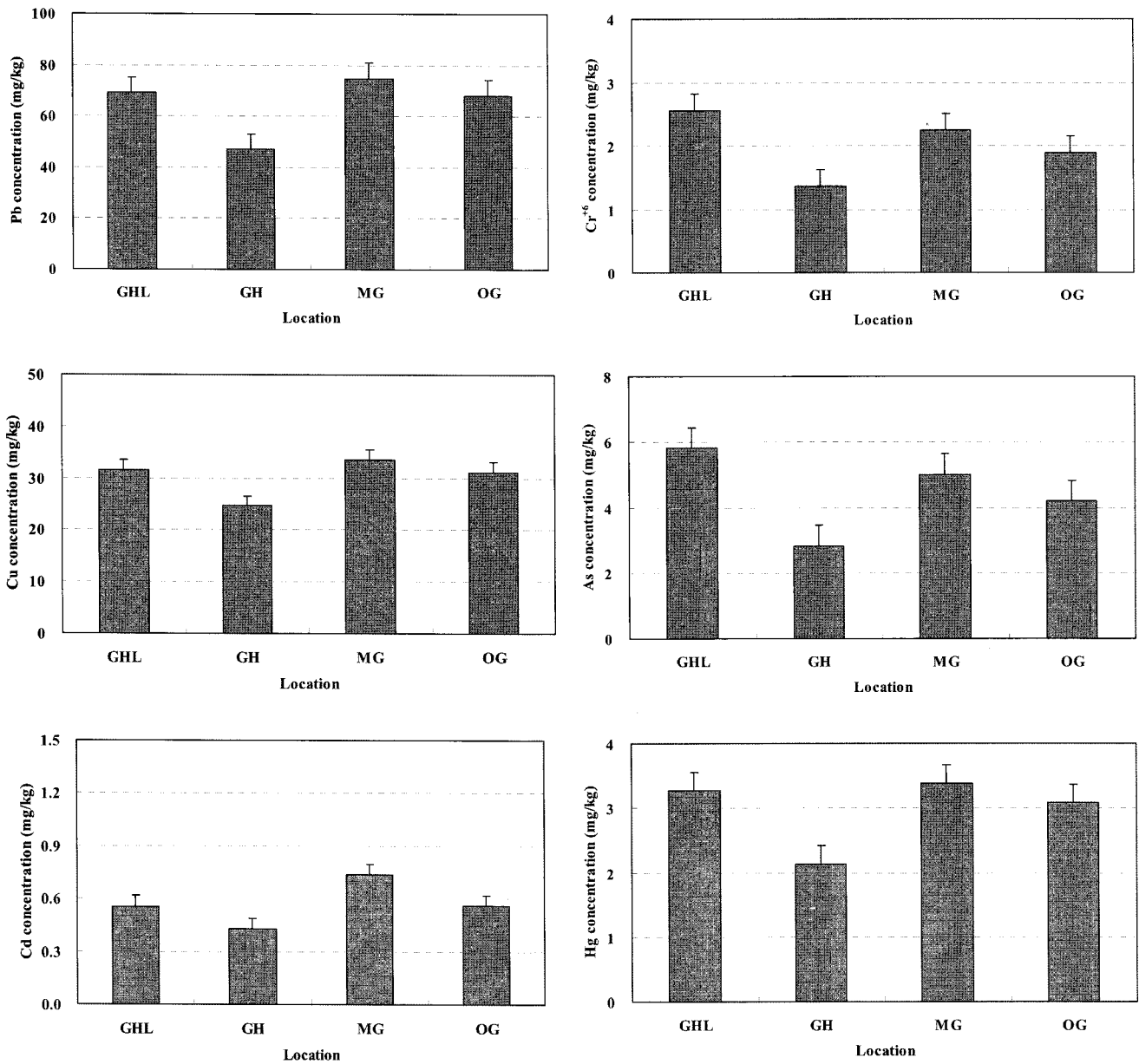


Fig. 8 Soil heavy metals in the proposed horticultural complexes of Saemangeum reclaimed tideland

mg/kg 이하로 나타나 현재 수준에서 카드뮴 오염으로 인한 우려는 없을 것으로 판단된다.

토양의 구리함량은 광활지구 15.12~54.64 mg/kg의 범위로 평균 31.50 mg/kg을, 계화지구 15.36~50.52 mg/kg의 범위로 평균 25.96 mg/kg을, 만경지구 19.01~58.44 mg/kg의 범위로 평균 35.67 mg/kg을, 그리고 옥구지구 16.46~42.64 mg/kg의 범위로 평균 29.80 mg/kg을 나타내었다. 구리는 모든 측정 지점 가운데 광활 5, 6지점, 계화 2지점, 만경 3과 4 지점에서 우리나라 환경부의 농경지 중금속 우려기준인 50 mg/kg을 초과하였을 뿐 기타 지점에서는 모두 이 기준치 미만으

로 검출되었다. 그러나 본 조사에서 검출된 구리의 함량은 미국 EPA의 토양환경기준 25 mg/kg과 비교시 모든 지점에서 높게 나타나 구리로 인한 토양오염 가능성을 예시해 주고 있다. 따라서 추가적인 중금속 오염원의 유입이 발생하지 않도록 지속적인 관리방안을 마련하여야 할 것으로 조사되었다.

토양의 6가 크롬 함량은 광활지구 2.13~3.10 mg/kg의 범위로 평균 2.56 mg/kg을, 계화지구 0.98~1.91 mg/kg의 범위로 평균 1.36 mg/kg을, 만경지구 0.53~4.11 mg/kg의 범위로 평균 2.25 mg/kg을, 그리고 옥구지구 1.45~2.22 mg/kg의 범위로 평균 1.89 mg/kg을 나타내었다. 모든 측정 지점

가운데 만경 3과 4지점에서 우리나라 환경부의 농경지 중금속 우려기준인 4 mg/kg을 초과하였을 뿐 기타 지점에서는 모두 이 기준치 미만으로 검출되었다.

토양의 비소 함량은 광활지구 5.22~5.73 mg/kg의 범위로 평균 5.51 mg/kg을, 계화지구 1.64~4.63 mg/kg의 범위로 평균 2.73 mg/kg, 만경지구 1.36~8.84 mg/kg의 범위로 평균 5.49 mg/kg을 그리고 옥구지구 2.78~5.84 mg/kg의 범위로 평균 3.93 mg/kg을 나타내었다. 계화지구, 옥구지구, 만경지구 및 광활지구에서는 모두 우리나라 환경부의 농경지 중금속 우려기준인 6 mg/kg을 초과하지 않았다. 본 조사에서 검출된 비소의 함량은 계화지구를 제외한 모든 지구에서 미국 EPA (1996)의 토양환경기준 3 mg/kg과 비교시 높게 나타나 비소로 인한 토양오염 가능성을 예시해 주고 있다.

토양의 수은 함량은 광활지구 2.36~4.96 mg/kg의 범위로 평균 3.26 mg/kg을, 계화지구 1.50~3.10 mg/kg의 범위로 평균 2.02 mg/kg을, 만경지구 1.56~5.56 mg/kg의 범위로 평균 3.34 mg/kg을, 그리고 옥구지구 2.64~4.20 mg/kg의 범위로 평균 3.10 mg/kg을 나타내었다. 광활지구 조사지점 1, 만경지구 조사지점 1, 6, 7에서 우리나라 환경부의 농경지 중금속 우려기준인 4 mg/kg을 초과하였다. 대상지구 모두에서 농경지 중금속 우려기준을 하회하고 있었으나, 만경강 입구를 중심으로 일부 지점에서 기준치를 초과하고 있으므로 지속적인 모니터링을 통해 추가적인 중금속 오염원의 유입이 발생하지 않도록 관리방안을 마련하여야 할 것으로 조사되었다.

본 조사결과 새만금 전작 · 원예단지 후보지구에서 검출되는 중금속은  $Pb > Cu > As > Hg > Cr^{+6} > Cd$ 의 순서로 나타났으며, 본 연구에서 조사한 중금속 오염물질의 함량을 농경지 토양오염 우려기준과 비교시 일부 몇 지점을 제외하고 아직 토양오염 우려기준에는 포함되지 않는 수준이었으나, Cho et al., (2006a)의 선행 연구결과와 비교시 중금속 함량이 약간 상승 추세에 있으므로 추후 지속적인 모니터링과 관리가 필요할 것으로 판단된다.

#### IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 새만금 간척지 가운데 전작 · 원예단지 후보지역의 토양을 대상으로 화학적 특성을 조사하여 간척농지 개발을 위한 기초자료를 제공하고, 중금속에 대한 체계적인 모니터링을 수행함으로써 간척농지에서 재배되는 작물의 안정성을 확보하고자 하였다. 이에 대한 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 전작 · 원예단지 후보지역 토양 회색층 (Glei) 대부분이 50 cm 이하에서 나타나고 있어 적절한 배수시설 대책이 마련되어야 할 것으로 판단된다. 광활지구, 계화지구, 만경지구 그리고

옥구지구 등 4개 지구 토성이 모두 사질양토 (sandy loam)로 나타났다.

2. 광활지구, 계화지구, 만경지구 그리고 옥구지구 토양의 평균 pH는 각각 7.62, 7.42, 7.42 그리고 7.82를 나타내었으며, 유기물 평균 함량은 각각 1.43, 1.43, 2.39 그리고 1.74 %를 나타냈다. 총인의 평균 함량은 각각 273.2, 212.4, 335.0 그리고 253.3 mg/kg으로 나타났으며, 총질소는 각각 851.6, 768.0, 669.1 그리고 448.6 mg/kg으로 나타났다.

3. 평균 CEC는 각각 12.79, 8.82, 13.27 그리고 10.75 cmol (+)/kg을 나타내었으며, 평균 교환성나트륨백분율 (ESP)은 조사대상 4개 지구 가운데 계화지구와 옥구지구 각각 73.62 %와 61.05 %로 높게 나타났고, 광활지구와 만경지구의 경우 각각 33.74 %와 49.49 %로 낮게 나타났다.

4. 토양중 중금속 함량은  $Pb > Cu > As > Hg > Cr^{+6} > Cd$ 의 순서로 나타났으며, 본 연구에서 조사한 중금속 오염물질의 함량을 농경지 토양오염 우려기준과 비교시 일부 몇 지점을 제외하고 아직 토양오염 우려기준에는 포함되지 않는 수준이었으나, 지속적인 모니터링과 관리가 필요할 것으로 판단된다.

본 논문은 농어촌연구원에서 지원한 새만금전작 · 원예단지 조성에 관한 연구과제 수행 결과입니다.

#### REFERENCES

1. Cho, J. Y., J. W. Koo, and J. K. Son, 2006a. Chemical properties in the soils 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): pp. 3-10 (in Korean).
2. Cho, J. Y., J. W. Koo, and J. K. Son, 2006b. Chemical properties in the soils of reclaimed and natural tidelands of southwest coastal Area of Korea. II. Distribution of phosphorus fractions. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*. 48(2): pp. 3-9 (in Korean).
3. Cho, J. Y., J. W. Koo, and J. K. Son, 2006c. Chemical properties in the soils of reclaimed and natural tidelands of southwest coastal Area of Korea. III. Distribution of nitrogen fractions. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*. 48(3): pp. 3-9 (in Korean).

4. Environmental Protection Agency (EPA), 1996. Soil screening guidance: Technical background document, EPA/540/R-95/128, USEPA. Washington, DC.
5. Kim, J. G., S. J. You, E. I. Cho, and W. S. Ahn, 2003. Distribution characteristics of heavy metal for tidal flat sediments in the Saemankeum area, *Journal of Korean Fisheries Society*, 36(1): pp.55-61 (in Korean).
6. Park, B. J. and J. Y. Cho, 2007. Content of benzo(a)pyrene and heavy metals and physico-chemical properties of turfgrass playground soil in elementary school of Jeollabuk-do. *Environmental Impact Assessment*, 16(4): pp.241-250 (in Korean).
7. Son, J. G., J. K. Choi, S. A. Hwang, B. J. Park, J. Y. Cho, 2005. Soil aggregate distribution in reclaimed tidelands and tidelands of southwest coastal area of Korea. *Journal of Korean Society of Rural Planning*, 11(4): pp.93-98 (in Korean).