

유기물 처리가 간척지 토양의 입단형성에 끼치는 영향

손재권 · 조재영^{1*}

전북대학교 지역건설공학과, ¹전북대학교 생물환경화학과

Effect of Organic Material Treatments on Soil Aggregate Formation in Reclaimed Tidelands

Jae-Gwon Son, and Jae-Young Cho^{1,*}

Department of Rural Construction Engineering, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea

¹Department of Bio-environmental Chemistry, Chonbuk National University, Jeonju 561-756, Korea

It is generally accepted that organic materials are a significant factor on the soil aggregation formation but little information exists on how the formation and stabilization of aggregates in reclaimed tidelands. In this work, the effects of organic materials on the soil aggregate formation in reclaimed tidelands were determined. The soil was treated with 5 cm-size chopped fresh italian ryegrass residues (fresh organic material), commercial livestock compost with swine manure and sawdust (by product fertilizer), and fresh organic material + by product fertilizer (1 : 1 w/w) after ploughing at 20 cm soil depth. The three organic materials applied 2,000 kg 10 a⁻¹ every year. Water stable aggregate was estimated by wet-sieving method. Three years after the beginning of the experiment, water stable aggregate rate and MWD (mean weight diameter) were higher fresh organic material treatment than two other treatments. For improvement of physical property and structure of soil in reclaimed tidelands, fresh organic material treatment was more suitable than two other treatments.

Key words: Aggregate, Organic material, Reclaimed tidelands, Soil structure

서 언

간척지 토양은 특수토양의 범주에 포함되며, 간척초기에 염류 농도가 높고, 지하수위가 높으며, 토양의 화학적 구성요소의 결핍 그리고 토양의 구조 발달이 정상적으로 이루어지지 않아 투수성과 통기성이 불리한 조건에 놓여 있다. 여러 가지 토양의 특성 가운데 토양입단 (soil aggregate)은 토양의 물리적, 화학적 그리고 미생물학적인 특성에 많은 영향을 끼칠 수 있다.

토양입단은 토양미생물이 분비하는 여러 가지 종류의 다당류와 폴리우로나이드와 같은 점질성 물질 및 식물 뿌리의 발달과정에서의 식물학적 영향, 토양의 무기성분 함량, 토양온도, 토양수분 그리고 토양유기물의 종류와 함량 더 나아가 토양입단의 형성에 가교 역할을 담당하는 양이온에 의해 다양하게 영향을 받는 것으로 알려져 있다 (Boix-Fayos et al., 2001; Deneff et al., 2001; Young et al., 2001; Marinissen and Hillenaar, 1997; Jastrow, 1996). 토양입단의 발달,

안정성, 그리고 크기별 분포는 토양의 침식과 다짐에 대한 저항력 뿐만 아니라 토양공기와 토양수분의 흐름과 같은 토양물리성의 개선에도 영향을 끼치게 된다. 또한 토양입단은 토양내 물질대사에서 매우 중요한 역할을 수행하는 토양미생물의 서식환경 개선에도 중요한 인자로 평가되고 있다 (Abu-Sharar, 1995; Lehrsch and Brown, 1995).

토양 유기물은 식물 양분 공급원, 토양 이화학성 개선, 토양중의 생물상과 활성 유지 등 다양한 기능을 가지고 있다. 특히, 토양 부식은 토양입자를 입단화하여 토양의 공극분포도를 늘리고 투수성과 보수성 및 통기성을 개선하여 강우에 의한 토양침식을 방지하는 토양물리성 개선 효과가 큰 것으로 알려져 있다 (Ashman et al., 2003; Plante and McGill, 2002; Deneff et al., 2001; Albiach et al., 2001; Brendecke et al., 1993). 그러나 유기물의 토양처리 효과는 토양특성이나 토지이용 형태에 따라 다양하게 나타날 수 있다. 지금까지 토양입단과 관련된 연구는 대부분이 일반 토양을 중심으로 이루어졌을 뿐, 본 연구에서 목적하는 간척지 토양을 대상으로 한 연구는 매우 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 유기물의 종류별 처리

접수 : 2009. 5. 3 수리 : 2009. 5. 28

*연락처 : Phone: +82632702547,

E-mail: soilcosmos@chonbuk.ac.kr

가 간척지 토양의 입단형성에 끼치는 영향을 평가하고 이를 기반으로 합리적이고 효율적인 간척지 토양 관리시스템을 구축하고자 하였다.

재료 및 방법

실험구 처리 저자들은 그동안 선행연구 (Son et al., 2005; Koo et al., 1998)를 통해 우리나라 간척지 토양의 물리·화학적 특성에 대한 연구를 다수 수행한 바 있다. 선행 연구결과와 토성별 분류에 기초하여 전라북도 부안군 새만금 간척지 (2009년 현재 방조제 체결) 토양과 전라남도 고흥군 고흥 간척지 토양 (1992년 완공, 미경작지)을 본 실험토양으로 선정하였다. 두 개의 대표 간척지 토양을 대상으로 토양입단형성에 대한 연구를 2004년부터 2006년까지 총 3년 동안 진행하였다. 라이시미터 시험구는 18개 (토양종류 2 × 3처리 × 3반복)와 3개의 대조구 등 총 21개로 구성하였다. 연구기간 동안 라이시미터에는 작물 재배가 이루어지지 않았다. 2004년 3월에 실험토양을 라이시미터 (0.16 m²)에 균일하게 100 kg씩 충전한 다음, 관개수를 공급하여 1개월 동안 토양이 치밀하게 채워지도록 하였다 (토양 깊이: 60 cm 수준). 그 후 수세법에 의한 제염작업을 수행하여 토양의 염류농도가 2 dS m⁻¹ 수준이 유지되도록 하였다. 본 연구에 사용된 유기물 종류는 3가지였다. 첫째, 신선 유기물

로는 건조되지 않은 이탈리아 라이그라스를 5 cm 크기로 절단하여 사용하였으며 (OT-1), 둘째, 부산물비료는 돈분과 톱밥을 주성분으로 제조된 것을 시중에서 구입하여 사용하였다 (OT-2). 셋째, 신선 유기물과 부산물비료의 혼합처리구는 증량비로 동량 혼합하여 사용하였다 (OT-3) (Fig. 1). 유기물 처리량은 매년 2,000 kg 10 a⁻¹ 이었고 3년 동안 6,000 kg 10 a⁻¹ 수준으로 처리하였다. 실험대상 유기물을 표면에 처리한 후 토양깊이 30 cm 이내에서 잘 혼합되도록 하였다. 2차년도와 3차년도에도 동일하게 3월 하순경에 1차년도와 동일하게 유기물을 처리한 후 자연상태로 방치하였으며, 3개월에 1회씩 표토층을 뒤집어 주면서 토양공기의 유통이 원활하게 하였다. 처리된 유기물 질의 특성은 Table 1에 제시되어 있다.

토양의 물리·이화학적 특성 및 내수성 입단 분석 토양 pH는 토양과 증류수를 1:5의 비율로 현탁액을 만들어 2시간 왕복진탕 시킨 후 pH-meter (TOA HM 20-S)를 사용하여 측정하였으며, 전기전도도는 25°C에서 포화추출액을 전기전도도계 (LF-520)를 이용하여 측정하였다. 양이온치환용량은 1N-NH₄OAc (pH: 7.0)을 이용한 침출법, 토성은 USDA 삼각분류법을 기준으로 하였다. 교환성 양이온은 1N-NH₄OAc (pH: 7.0)을 이용하여 침출한 후 원자흡수분광광도계 (Perkin elmer 2380)로 측정하였다. 내수성 토양입단

Table 1. Characteristics of organic materials used in this experiment.

Organic materials	Moisture	Organic matter	Total N	P ₂ O ₅	OM/N ratio
OT-1	71.4	20.3	1.99	0.09	10.2
OT-2	42.6	44.9	1.70	1.23	26.4
OT-3	56.1	34.4	1.88	0.51	18.3

OT-1: 5 cm-size chopped fresh italian ryegrass residues, OT-2: commercial livestock compost with swine manure and sawdust, OT-3: 1:1 (w/w) mixing treatment of OT-1 and OT-2.

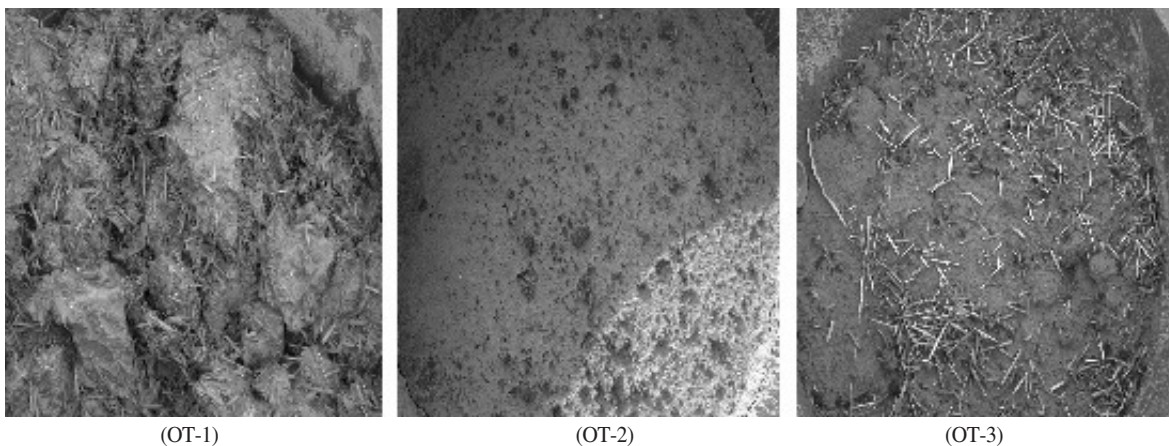


Fig. 1. Photograph of organic material treatments in reclaimed tidelands. OT-1: 5 cm-size chopped fresh italian ryegrass residues, OT-2: commercial livestock compost with swine manure and sawdust, OT-3: 1:1 (w/w) mixing treatment of OT-1 and OT-2.

분석은 농업과학기술원의 토양 및 식물체 분석법 (NIAST, 2000)에 준한 습식체별법 (wet-sieving method)으로 수행하였다. 사용된 토양체의 직경은 2.0 mm, 1.0 mm, 0.5 mm, 0.25 mm, 0.1 mm였다. 토양시료 30 g을 Yoder-type의 입단분석장치에 넣고 30분간 일정한 속도로 수직강하시켰다. 체분리가 끝난 토양시료를 페트리디쉬에 옮긴후 105°C에서 12시간 건조시켜서 무게를 측정하여 각각의 입단크기별 분포량을 계산하였다. 간척지 토양의 입단크기의 분포는 중량평균직경 (mean weight diameter)을 이용하여 비교하였으며, 중량평균직경 X는 다음과 같다 (Son et al., 2005).

$$X = \sum_{i=1}^n x_i w_i$$

여기에서 x_i 는 체에 의해 분리된 입단들의 어느 일정한 크기 범위의 평균지름이고, w_i 는 분석된 시료의 전체 건물 중의 한 부분으로서 그 크기 범위의 입단들의 질량을 나타내고 있다.

결과 및 고찰

실험토양의 물리·화학적 특성 새만금 간척지 토양은 모래 20.6%, 미사 75.9%, 점토 3.5%로 미사질양토 (silt loam, SiL)였으며, 고힥 간척지 토양은 모래 1.8%, 미사 92.1%, 점토 6.1%로 미사토 (silt, Si)로 나타났다. 새만금 간척지 토양에 비해 고힥 간척지 토양이 pH, EC, CEC, OM 및 양이온의 함량이 더 높게 나타났다. 토양유기물의 함량은 새만금 간척지 토양 1.59% 그리고 고힥 간척지 토양 2.14%로 일반 농경지 토양보다 약간 낮은 수준이었다 (Table 2).

간척지 토양의 입단화도 매년 2,000 kg 10 a⁻¹의 유기물을 종류별로 3년 동안 처리한 후 간척지 토양 중 입단화도 (0.1 mm 이상)를 조사한 결과는 Fig. 2에 나타나 있다. 새만금과 고힥 간척지 토양의 입단화도는 대조구에서 각각 3.45±0.21% (n=3, 평균±표준편차)와 13.35±0.54%, OT-1 16.85±0.33%와 28.40±0.23%, OT-2 15.00±0.02%와 28.75±0.25%, OT-3 14.75±0.37%와 29.00±0.05%를 나타내었다. 토양별로는 모래 함량이 상대적으로 높은 새만금 간척지 토양

보다는 미사와 점토함량이 높은 고힥 간척지 토양에서의 입단형성이 더 양호한 것으로 나타났다. 유기물 자원 처리별로는 고힥 간척지 토양에서는 유의성 있는 차이가 나타나지 않았으나, 새만금 간척지 토양에서는 건조되지 않은 이탈리아 라이그라스 처리구에서 가장 입단화도가 높게 나타났다.

간척지 토양의 점토함량 차이에 따라 토양의 입단화도가 차이를 나타내었다. 점토함량이 높은 토양은 광물입자 상호간에 지속적인 팽창을 통해 토양입단을 강하게 형성하려는 경향이 있을 것으로 추정된다. 점토광물 상호간에 입단형성은 토양 표면장력, 광물입자의 이동성, 토양입단 사이의 결합에너지 그리고 입단화된 입자의 장력세기에 의존하게 될 것이다. 본 연구에서는 조사가 이루어지지 않았지만, 토양중 철/알루미늄의 산화물과 수산화물의 분포 정도도 입단 형성에 큰 영향을 끼칠 것으로 판단된다. 이들 물질은 쿨롬 (Coulomb)의 상호작용을 통하여 점토입자와 재반응이 이루어져 입단형성에 기여할 수 있기 때문이다.

토양유기물 역시 토양입단 형성이나 안정성에 많은 영향을 끼칠 수 있다. 토양유기물의 분해산물인 다음이온성 유기물 복합체 (Poly anionic organic complexant)는 토양 점토광물과의 결합에 큰 영향을 끼칠 것이다. 휴믹산 (Humic acid)은 점토광물과 철과 알루미늄의 산화물 입자들 사이의 표면 착화합물 형성반응에 관여함으로써 입단 형성에 중요한 역할을 하게 될 것이다. Yun et al. (1996)에 의하면 작물재배와 퇴비사용시 고상이 감소하고 액상이 증가하였는데 이는 입단의 발달 촉진으로 모세관 공극이 증가하였기 때문이라고 하였다. 또한 내수성 입단의 형성이 크게 증대하여 공극율이 증대되고 용적밀도가 감소하여 토양의 물리성 개선효과가 나타났다. 추가적으로, 토양 유기물 처리시 토양 입단의 발달 정도에 칼슘이 관여하는 것으로 알려져 있다. 토양 유기물 처리시 칼슘이 부족한 kaolinite나 illite 보다 칼슘이 풍부한 smectite에서 토양의 입단화도가 대폭 증가되었다 (Furukawa, 2000). Albiach et al. (2001)의 연구에 의하면, 토양 유기물의 종류별로 즉, 도시하수슬러지, 유기질비료 그리고 가축분뇨의 종류별 처리시 토양 입단의 발달에 큰 차이가 나타나지 않았다. 그러나 본 연구에서는 처리된 유기물의 종류별로 토양 입단화도

Table 2. Physico-chemical properties of reclaimed tidelands soils.

Soil	pH	EC	CEC	O.M.	Exchangeable cations				Particle size distribution		
					Ca	Mg	Na	K	Sand	Silt	Clay
	1:5H ₂ O	dS m ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹	g 100 g ⁻¹	----- cmol _c kg ⁻¹ -----				----- wt, % -----		
Saemangeum	7.25	20.9	7.56	1.59	0.8	1.0	2.9	0.8	20.6	75.9	3.5
Goheung	7.39	22.2	16.1	2.14	2.9	2.1	5.9	1.8	1.8	92.1	6.1

가 차이를 나타내었는데 이는 유기물 종류별로 화학적 조성의 차이에 따라 입단 형성물질의 차이가 나타날 수 있기 때문일 것으로 추정된다. 처리된 유기물의 종류별 화학적 조성의 차이와 입단형성의 차이에 대해서는 추가적인 실험을 통해 구명할 계획이다.

Son et al. (2005)의 선행 연구에 의하면, 우리나라의 대표적인 대호, 서산 및 영산강 지구 간척 농경지에서의 입단화도는 20% 미만이고, 간척공사가 시행중이거나 개발이 완료되었지만 영농활동이 이루어지지 않고 있는 새만금, 고흥 및 석문 간척지 토양의 입단화도는 모두 10% 미만으로 아주 낮게 나타나고 있다. 일반적으로 간척지에서 방조제 체절전 토양의 유기물 함량은 보통 1-2% 수준이지만 방조제 체절후 공기에 노출될 경우 유기물은 급격한 산화를 받아 수년내 0.5% 미만으로 급감할 수 있는 것으로 알려져 있다. 이는 간척농경지에 유기물의 지속적인 공급이 필요함을 보여주는 지표이고, 지속적인 유기물 공급을 통해 토양의 물리·화학적 특성 개선 및 지속가능한 토양

관리 시스템이 구축될 수 있을 것으로 판단된다.

입단 중량평균직경 (MWD) 일반적으로 토양 입단의 중량평균직경은 형성된 입단의 크기를 비교하는 지표로 사용되고 있다. 새만금과 고흥 간척지 토양의 입단 중량평균직경은 대조구 0.12 ± 0.02 mm와 ($n=3$, 평균±표준편차) 0.22 ± 0.03 mm, OT-1 0.29 ± 0.02 mm와 0.45 ± 0.01 mm, OT-2 0.12 ± 0.01 mm와 0.40 ± 0.02 mm, OT-3 0.14 ± 0.01 mm와 0.35 ± 0.01 mm를 나타내었다 (Fig. 3). 유기물 종류별로는 이탈리아라이그라스 신선유기물을 단독 처리한 OT-2 시험구에서 토양 입단의 중량평균직경이 가장 크게 나타났다.

Son et al. (2005)의 선행 연구에 의하면, 토양의 입단화도와 입단 중량평균직경 간에는 유의성 있는 관계가 나타나지 않았다. 영산강 간척지구의 경우 토양의 입단화도는 25% 수준이었지만, 발달된 입단의 크기가 0.2 mm 미만으로 소립단을 형성하고 있는 것으로 나타났다. 본 결과에서는 3년 동안의 비교적 단기간의 연구인 관계로 형성된 입단의 중량평균직경이 0.5mm 미만으로 meso aggregate 상태로 나타났다.

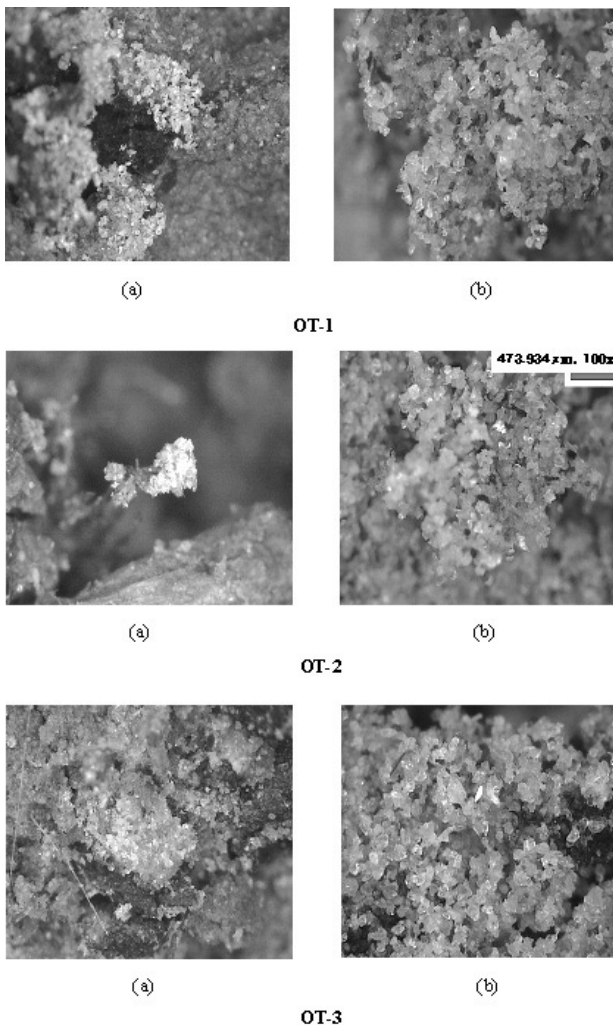


Fig. 2. Photograph of soil aggregate in reclaimed tidelands by various organic materials treatment (a: Goheung soil, b: Saemangeum soil).

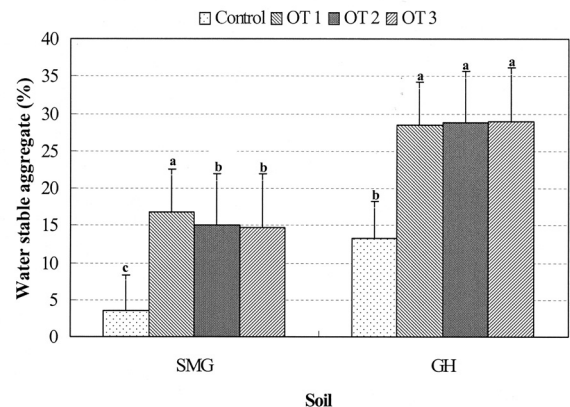


Fig. 3. Water stable aggregate in reclaimed tidelands by various organic materials treatment. Values followed by the same letter are not significantly different at 0.05 probability level.

토양입단 발달 상태 광학현미경 (CAMSCOPE, sometech)에 부착된 304T camera probe를 이용하여 처리후 3년이 경과된 간척지 토양의 입단발달 상태를 100배 확대하여 촬영한 결과는 다음과 같다 (Fig. 4). 이탈리아 라이그라스와 같은 신선유기물 처리시 입단의 발달이 양호하게 진행되고 있는 것으로 나타났다. 실례로, 점토광물의 표면에 토양 미세입자의 응집현상이 발견되었으며, 2 mm 이상의 대립단의 형성이 두드러지게 나타났다. 결론적으로 간척지 토양의 물

리성 및 토양구조 개선을 위한 유기물 처리시 건조되지 않은 유기물의 처리가 바람직하며, 불가피할 경우 일반 유기질/부산물비료의 단독처리보다는 건조되지 않은 유기물과 혼합하여 처리하는 것이 타당한 것으로 조사되었다.

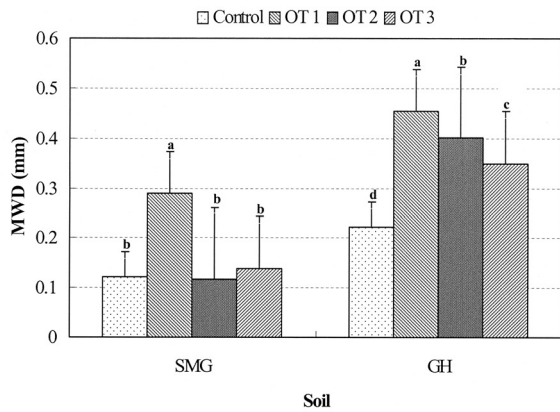


Fig. 4. Mean weight diameter of soil aggregate in reclaimed tidelands by various organic materials treatment. Values followed by the same letter are not significantly different at 0.05 probability level.

요 약

신선유기물 (이탈리안 라이그라스), 신선유기물 + 부산물비료 그리고 부산물비료 처리 후 3년 동안 토양입단 발달상태를 조사한 결과, 토양별로는 모래 함량이 상대적으로 높은 새만금 간척지 토양 보다는 미사와 점토함량이 높은 고흥 간척지 토양에서의 입단형성이 더 양호한 것으로 나타났다. 유기물 자원 처리별로는 고흥 간척지 토양에서는 유의성 있는 차이가 나타나지 않았으나 ($P < 0.05$), 새만금 간척지 토양에서는 녹비 형태의 신선 유기물 즉, 이탈리안 라이그라스를 처리한 시험구에서 가장 입단화도가 높게 나타났다.

유기물 종류별로는 이탈리안 라이그라스와 같은 신선 유기물을 단독 처리한 시험구에서 토양 입단의 중량평균직경이 가장 크게 나타났다. 간척지 토양의 물리성 및 토양구조 개선을 위한 유기물 처리시 신선유기물의 처리가 바람직하며, 불가피할 경우 일반 유기질/부산물비료의 단독처리보다는 신선유기물과 혼합하여 처리하는 것이 타당한 것으로 조사되었다.

인 용 문 헌

Abu-Sharar, A.S. 1995. Reductions in hydraulic conductivity and infiltration rae in relation to aggregate stability and irrigation water turbidity. *Agr. Water. Manange.* 29:53-62.

Albiach, A., R. Canet, F. Pomares, and F. Ingelmo. 2001. Organic matter components and aggregate stability after the application of different amendments to a horticultural soil. *Bioresource Technol.* 76:125-129.

Albiach, R., R. Canet, F. Pomares, and F. Ingelmo. 2001. Organic matter components, aggregate stability and biological activity in a horticultural soil fertilized with different rates of two sewage sludge during ten years. *Bioresource Technol.* 77:109-114.

Ashman, M.R., P.D. Hallett, and P.C. Brookes. 2003. Are the links between soil aggregate size class, soil organic matter, and respiration rate artefacts of the fractionation procedure. *Soil. Biol. Biochem.* 35:435-444.

Boix-Fayos, C.A., A.C. Calvo-Cases, M.D. Imeso, and S. Soriano. 2001. Influence of soil properties on the aggregation of some Mediterranean soils and the use of aggregate size and stability as land degradation indicators. *Catena* 44(1):47-67.

Brendecke, J.W., R.D. Axelson, and I.L. Pepper. 1993. Soil microbial activity as an indicator of soil fertility: long-term effects of municipal sewage sludge on an arid soil. *Soil. Biol. Biochem.* 25:751-758

Denef, K., J. Six, H. Bossuyt, S.D. Frey, E.T. Elliott, R. Merckx, and K. Paustian. 2001. Influence of dey-wet cycles on the interrelationship between aggregate particulate organic matter, and microbial community dynamics. *Soil. Biol. Biochem.* 33:1599-1611.

Denef, K.J., K.P. Six, and R. Merckx. 2001. Importance of macroaggregate dynamics in controlling soil carbon stabilization: short-term effects of physical disturbance induced by dry-wet cycles. *Soil. Biol. Biochem.* 33(15):2145-2153.

Furukawa, Y.K. 2000. Energy-filtering transmission electron microscopy (EFTEM) and electron energy-loss spectroscopy (EELS) investigation of clay-organic matter aggregates in aquatic sediments. *Org. Geochem.* 31:735-744.

Jastrow, J.D. 1996. Soil aggregate formation and the accrual of particulate and mineral-associated organic matter. *Soil. Biol. Biochem.* 28:665-676.

Koo, J.W., J.K. Choi, and J.G. Son. 1998. Soil properties of reclaimed tidelands and tidelands of western sea coast in Korea. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 31(2):120-127.

Lehrsch G.A., and M.J. Brown. 1995. Furrow erosion and aggregate stability variation in a Portneuf silt loam. *Soil Technol.* 7:327-341.

Marinissen, J.C.Y., and S.I. Hillenaar. 1997. Earthworm-induced distribution of organic matter in macro-aggregates from differently managed arable fields. *Soil. Biol. Biochem.* 29: 391-395.

National Institute of Agricultural Science and Technology. 2000. Analysis method of soil and plant. p. 90-93. National Institute of Agricultural Science and Technology, Suwon, Korea.

Plante, A.F., and W.B. McGill. 2002. Soil aggregate dynamics and the retention of organic matter in laboratory-incubated soil with differing simulated tillage frequencies. *Soil Till. Res.* 66:79-92.

Son, J.G., J.K. Choi, S.A. Hwang, B.J. Park, and J.Y. Cho. 2005. Soil aggregate distribution in reclaimed tidelands and tidelands of southwest coastal area of Korea. *Korean Soc. Rural Plan.* 11(4):93-98.

Young, I.M., J.W. Crawford, and C. Rappoldt. 2001. New methods and models characterizing structural heterogeneity of soil. *Soil Till. Res.* 61:33-45.

Yun, B.K., P.K. Jung, S.J. Oh, S.K. Kim, and I.S. Ryu. 1996. Effects of compost application on soil loss and physico-chemical properties in lysimeters. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 29(4):336-341.