

해양 준설토를 이용한 인공염습지 현장시험구 조성 후 초기 환경변화

박소영^{1,†} · 이인철¹ · 이병호¹ · 이자연² · 이용민² · 성기준²

¹부경대학교 해양공학과

²부경대학교 생태공학전공

Initial Change of Environmental Factors at Artificial Tidal Flat Constructed Using Ocean Dredged Sediment

Soyoung Park^{1,†}, In-cheol Lee¹, Byung Ho Yi¹, Ja Yeon Lee², Yongmin Yi² and Kijune Sung²

¹Department of Ocean Engineering, Pukyong National University, Daeyeon 3-Dong, Nam-Gu, Busan 608-737, Korea

²Ecological Engineering Major, Pukyong National University, Daeyeon 3-Dong, Nam-Gu, Busan 608-737, Korea

요 약

해양 준설토를 재활용하여 인공염습지를 조성하기 위한 기초연구로서 준설토 배합비가 상이한 pilot-scale의 인공염습지 현장시험구를 조성하고 대표적인 염생식물인 갈대를 이식한 후 초기의 환경변화를 조사하였다. 이식된 갈대의 정착률은 준설토의 배합비가 높을수록 낮아졌으나 새로 자라난 갈대의 지상부 길이와 직경은 준설토 배합비별로 큰 차이가 나타나지는 않았다. 준설토 100%로 조성된 시험구내 토양의 강열감량과 COD 농도는 유기물의 유출입이 비교적 자유로운 열린계(open system)로 인해 증감을 반복하는 양상을 보이긴 하였으나 초기값에 비해 각각 9% 와 30% 씩 감소하는 경향을 보여주었다. 시험구 조성 이후 시간이 흐름에 따라 준설토 50%와 100%의 시험구에서는 종속영양세균 개체수가 증가하는 것으로 나타났다. 이식한 갈대의 정착, 100% 준설토 시험구내의 감소된 COD 함량 및 종속미생물의 증가 등 본 연구의 결과로 염생식물의 식재를 통한 인공염습지의 조성 및 생물학적 분해를 이용하는 해양 준설토의 친환경적인 처리 가능성을 확인할 수 있었다. 하지만 준설토를 이용한 인공염습지 조성 가능성에 대한 정확한 평가를 위해서는 보다 다양한 항목에 대한 지속적인 모니터링이 필요한 것으로 판단된다.

Abstract – As a basic study on the creation of artificial tidal flats using dredged sediments, the pilot-scale artificial tidal flats with 4 different mixing ratio of ocean dredged sediment were constructed in Nakdong river estuary. The *phragmites australis* was transplanted from the adjacent *phragmites australis* community after construction, and then the survival and growth rate of the planted *phragmites australis* were measured. Also the changes of soil chemical oxygen demand (COD), ignition loss (IL), and the heterotrophic microbial numbers were monitored. The survival rate of the planted *phragmites australis* decreased as the mixing ratio of dredged sediment increased but there was little difference of length and diameter of the shoots. 30% of COD and 9% of IL in the tidal flat with 100% dredged sediment decreased after 202 day, however, fluctuations of COD and IL concentrations were also observed possibly due to the open system. It was suggested that the construction of tidal flats using ocean dredged sediment and biological remediation of contaminated ocean dredged sediment can be possible considering the growth rate of transplanted *phragmites australis*, decrease of organic matter and increased heterotrophic microbial number in the pilot plant with 100% dredged sediment. However, the continuous monitoring on the vegetation and various environmental factors in the artificial tidal flat should be necessary to evaluate the success of creation of artificial flats using dredged sediments.

Keywords: Artificial tidal flat(인공염습지), Dredged sediment(준설토), Recycling(재활용), *Phragmites australis*(갈대), Mitigation wetland(대체습지)

[†]Corresponding author: soyoung@pknu.ac.kr

1. 서 론

국토가 협소한 우리나라에는 지난 30년 동안 농지확보, 항만배후단지 및 공업단지 조성 등 다양한 연안개발을 위한 간척과 매립 사업을 시행한 결과 갯벌의 대부분이 상실되었으며(한국해양연구원[2003]), 특히 낙동강 하구지역은 하구둑 건설 및 공단과 주거 단지 조성으로 인하여 500만평 이상의 하구습지가 소실된 것으로 알려져 있다(한국환경정책평가연구원[2007]). 선진외국의 경우, 연안습지의 생태학적 가치를 인식하고 연안개발에 의해 상실된 연안습지를 대체하기 위한 인공습지 조성에 관한 많은 연구가 진행되었지만(해양수산부[2003]; Lee *et al.*[1998]; Short *et al.*[2000]; Balletto *et al.*[2005]; Teal and Weishar[2005]) 국내의 경우 많은 연안습지의 훼손에도 불구하고 연안환경의 중요성에 관한 사회적 인식이 낮았으며 연안습지의 복원 및 대체습지 조성에 대한 연구 또한 미흡한 실정이었다(한국해양연구원[2003]). 1990년 대 후반부터 본격적으로 시작된 국내의 기존 갯벌 및 염습지에 관한 연구는 생태적 실태 파악, 자연 갯벌의 경제성 분석, 오염물질 정화 능력 등 주로 갯벌의 기능 및 경제적 가치평가에 대한 연구(해양수산부[2003])가 주류를 이루고 있다. 최근 낙동강 하구역에 조고와 퇴적물 타입을 달리하여 인공갯벌을 조성하고 여러 생태변화 과정을 모니터링 한 연구사례가(환경부, 2007) 있지만, 연안개발로 훼손된 갯벌과 습지의 복원 및 인공염습지 조성에 관한 연구의 중요성은 간과되고 있는 실정이다(한국해양연구원[2003]).

한편, 항로유지 및 오염해역 준설사업으로 발생하는 준설토는 1976년 발생량 조사를 시작한 이후 매년 발생량이 꾸준히 증가하고 있으며 90년대 중반이후 부터는 급증하고 있는 상황이다(윤길립과 조홍연[2002], 송영채 등[2003]). 발생한 준설토는 그동안 처리, 처분에 대한 기술적 대안의 부재 및 경제성 등의 이유로 폐기물로 분류되어 단순외해투기나 육상매립으로 처리되어 이에 따른 환경파괴 및 처리비용 또한 증가하고 있는 실정이다(윤길립과 조홍연[2002], 송영채 등[2003]). 하지만 육상매립의 경우 기존 매립지의 포화와 새로운 매립지 확보에 어려움을 겪고 있으며, 해양투기에 의한 처분의 경우 런던협약(1972)과의 정서(1996)에 의한 국제적 해양환경규제에 대비하기 위해 해양 투기를 축소해야 하는 실정이다. 따라서 준설토의 성분분석을 통하여 친환경적인 처리/처분 및 재활용하는 방안마련에 대한 필요성이 제기되고 있다.

현재 선진국에서는 준설토도 자원이라는 인식을 가지고 다양한 방면으로 재활용하는 방안을 적극 모색하고 있는 상황이다(윤길립과 조홍연[2002]). 항로유지를 위하여 년간 $275 \times 10^6 \text{ m}^3$ 이상의 항로유지 준설퇴적물이 발생하고 있는 미국의 경우(Mitsch and

Jørgensen[2004]), 발생한 준설퇴적물을 염습지의 복원 또는 손실된 습지의 절대량을 보전하기 위하여 시행되는 대체습지의 조성에 활용하고 있다(Kangas[2004]; Marcus[2000]; Steever[2000]). 일본의 경우, 오염준설토를 재활용하여 인공염습지를 조성하고 설계조건에 따른 저생생물의 생산증대효과를 분석하는 연구를 해오고 있다(上野成三ら[2001, 2002]; 國分秀樹ら[2004]). 우리나라의 경우, 최근 건설재료로서 준설토 재활용 방안에 관한 연구가 진행되고 있으나 이는 연간 발생하는 준설토량의 처리에 한계를 가지고 있으므로 앞으로 다양한 준설토의 재활용 방안이 모색되어야 하는 필요성을 가진다(해양수산부[2000-2002]).

본 연구에서는 매년 발생량이 증가하고 있는 해양 준설토를 인공염습지 조성재로 재활용하기 위한 기초연구로 부산 신항만 준설토 발생 시 발생한 준설토를 이용하여 pilot-scale의 인공염습지 현장시험구를 조성하고 조성된 현장시험구내 초기 환경변화를 모니터링하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 준설토의 물리화학적 특성

준설토의 구성성분 및 물리·화학적 특성조사는 준설토의 처리/처분 방법을 결정하고 재활용에 미치는 영향을 평가하기 위해 필수적이라고 할 수 있다(송영채 등[2003]). 본 연구에 사용된 준설토는 부산 신항만 준설토 발생한 것으로 측정된 물리화학적 특성은 Table 1과 2와 같다. 준설토의 화학적 산소요구량(Chemical Oxygen Demand (COD))과 강열감량(Ignition loss (IL))은 해양환경공정시험방법에 의거하여 측정하였다. T-N는 Kjeldahl법을 이용하여 분석하였으며 T-P는 회화법을 이용하여 분해한 후 아스크로빈산에 의한 몰리브덴(Mo)청법에 의거하여 분석하였다. pH는 1:5 (w/v) 토양시료:증류수를 pH electrometer(Orion 4 star, Thermo Electron Co.)을 이용하여 측정하였다. 수분함량은 건조전후 무게 차이를 이용하여 구하였으며 입도분석은 체분석을 이용하였다. 중금속 함량은 해양환경공정시험방법에 의거하여 용출시킨 후 ICP/MS(Elan 6100, Perkin elmer)를 이용하여 분석하였다.

본 연구에 사용된 준설토의 강열감량과 COD의 경우, 기존에 조사된 10개 지역 항만 준설토의 강열감량(2.77-4.48%, 송영채 등[2003])과, COD(0.3-16.49 g/kg, 송영채 등[2003]) 값과 비교하였을 때 농도가 높은 것으로 파악되었으며, 진우도 원지반과 비교했을 때 강열감량은 4배정도, COD의 경우 11배 정도 높은 것으로 나타났다.

중금속류 분석은 기존 연구에서 조사된 준설토 오염도 평가항목과 준설토의 해양투기 기준항목을 고려하여(이병호 등[1996]; 송

Table 1. The characteristics of the dredged sediment used in this study

	COD (g/kg)	Ignition Loss(%)	T-N (mg/kg)	T-P (mg/kg)	pH	Moisture content(%)	Content of silt & clay(%)
Dredged sediment	19.37	5.44	67.2	107.53	6.89	27.6	26.05
Original soil of the Nakdong river estuary	1.79	1.37	16.8	69.23	6.12	-	4.15

Table 2. The concentration of heavy metals in the dredged sediment (unit: mg/kg)

Heavy metal	Concentration of Dredged sediment	The Criteria of ocean dumping ¹⁾	Concentration of original soil in Jinudo	Concern criteria on soil contamination Region “가” ²⁾	Region “나” ³⁾
As	7.41	20	5.89	6	20
Cd	0.067	2.5	0.124	1.5	12
Co	4.37	-	8.48	-	-
Cr	17.96	80	39.32	4	12
Cu	3.27	65	11.44	50	200
Ni	5.68	35	16.01	-	-
Pb	10.92	50	22.53	100	400
Zn	19.16	200	44.69	-	-
Hg	0.009	0.3	0.023	4	16
Mn	422.62	-	686.10	-	-

¹⁾해양수산부(2007), 해양투기관리시스템(<http://www.oceandumping.re.kr>).

2 기준: 기준이하의 오염물질은 해양에 최소한의 영향만을 주는 것으로 가정하고 해양투기 허가.

2)가 지역: 지적법에 의한 지목이 전·답·대·과수원·목장·임야용지·학교 용지 등.

3)나 지역: 지적법에 의한 지목이 공장용지, 도로, 철도용지 및 잡종지.

영채 등[2003]; 김원태와 윤용한[2005]; 해양수산부[2007]) 10개 항목을 조사하였다(Table 2). 우리나라의 경우, 아직 준설토의 재활용을 위한 법적 오염도 기준이 마련되어 있지 않은 실정이어서 중금속 분석결과를 준설토 해양투기기준과 토양환경보전법에서 규정하는 토양오염 우려기준과 비교하였다. 조사된 모든 항목에 대해 해양투기 기준은 만족하고 있는 것으로 나타났으나 As의 경우에 “가” 지역 토양오염 우려기준을 초과하였으며 Cr의 경우 “나” 지역 토양오염 우려기준을 초과하는 것으로 조사되었다. 따라서 본 연구에 사용된 준설토의 경우 육상의 성토재, 건축재료, 또는 석재자반 용도 등으로서 재활용은 적당하지 않은 것으로 판단된다. 한편, 진우도 원지반의 경우도 Cr 항목에 대해서는 “나” 지역 토양오염우려기준을 초과하는 것으로 조사되었는데 이는 낙동강 하구주변에 위치하고 있는 공단들로 인한 것이라 사료된다.

2.2 현장시험구 조성

낙동강 하구역 진우도 배후면 조간대 상부측으로 약 10 m 정도 떨어진 지점에 2006년 9월 부산 신항만 준설토를 이용하여 pilot-scale 인공염습지 현장시험구를 조성하였다. 가로 3 m, 세로 3 m, 깊이 2 m의 현장시험구를 조성하고 준설토 배합비(준설토 100%, 준설토 50%, 준설토 20%, 준설토 0%)를 달리한 진우도 원지반과의 혼합토를 깊이 2 m의 시험구에 채워넣었다. 조성된 4개의 시험구간에 교란을 방지하기 위해 각 시험구 양측에 구획판을 설치하였으며, 침하방지를 위해 침하방지매트를 포설하였다(Fig. 1).

2.3. 갈대이식 및 생장량 측정방법

조성된 4개의 현장시험구에 대표적인 염생식물인 갈대를 시험구 주변 갈대 밀생군락으로부터 이식하여 12-3월에 적합한 포기

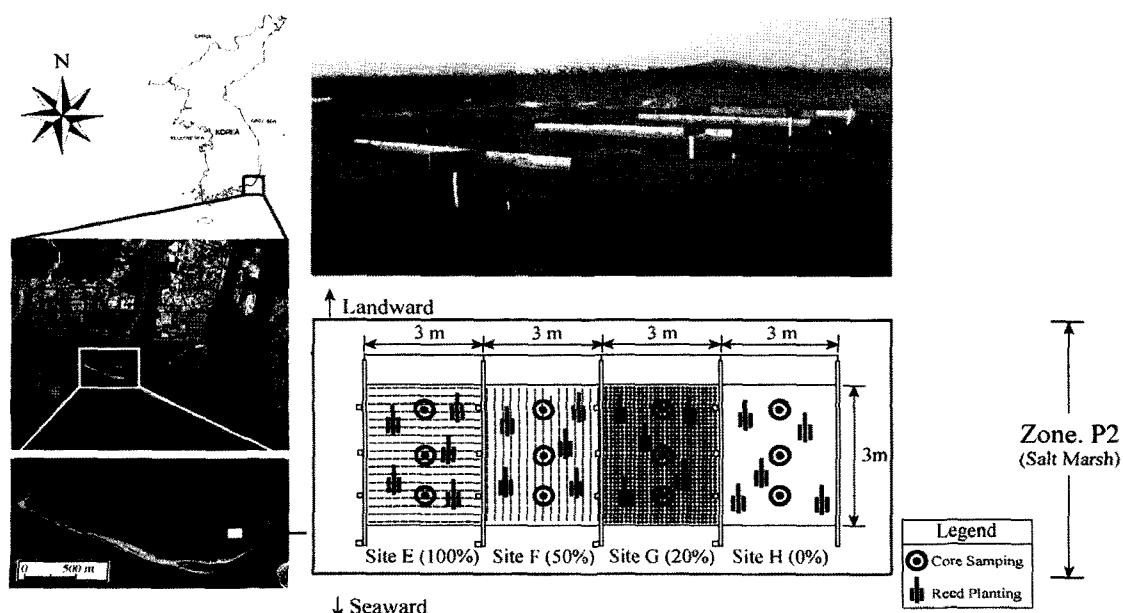


Fig. 1. Pilot-scale artificial tidal flats in Jinudo, Nakdong river estuary.

심기방법을(한국조경학회[2002]) 이용하여 식재하였다. 갈대를 지하경 및 뿌리를 포함하여 20-30 cm 크기의 블록으로 자르고 절단된 갈대블록을 시험구에 이식하였으며 이식시 지하경의 블록보다 구멍을 좀 더 크게 파서 그 속에 포기를 넣어 빗틈에 흙을 채우고 밭로 다졌다. 각 시험구마다 일정 간격으로 9개의 갈대 블록을 이식하였으며 이후 두 차례에 걸쳐 상태가 좋지 않은 갈대블럭에 대해서는 추가 이식을 실시하여 이식된 갈대블록은 각 시험구마다 10-15개이다. 현장시험구에 이식된 갈대가 휴지기를 끝내고 생장이 시작된 이후 갈대 정착률과 정착된 갈대의 지상부 길이 및 직경을 조사하였다. 갈대이식 167일 후 이식된 갈대의 정착률을, 202일 후에는 새로 자란 갈대의 지상부 길이와 직경을 측정하였다. 이식된 갈대의 정착률은 이식된 갈대의 블록수에 대한 새로 자란 갈대의 블록수의 비율로 계산하였으며 갈대의 지상부의 길이와 갈대의 직경은 줄자와 캘리퍼스(digital electronic caliper)을 이용하여 측정하였다.

2.4 현장시험구내 토양의 강열감량, COD 변화 모니터링

현장시험구내 토양의 COD와 강열감량 변화를 모니터링 하기 위해 각 시험구내 3개 지점에서 표층으로부터 10 cm 정도 깊이의 토양을 core sampler를 이용하여 채취한 후 혼합하여 해양환경공정시험법에 의거하여 분석하였다. 강열감량은 퇴적물 중 총 유기물의 양을 측정하는 방법 중 하나이며 COD는 유기물이 산화될 때 환경에 미치는 영향을 알아내기 위해 유기물 산화시 소비되는 산소량을 측정하는 방법으로 퇴적물 오염의 지표로 많이 사용되는 항목이다.

2.5 현장시험구내 토양의 종속영양세균 변화 모니터링

종속영양세균은 유기물의 순환 및 영양염류의 재생산 과정에서 중심적인 역할을 하는 것으로(한국해양연구원[2002]) 이들의 분포는 유기물의 생물학적 분해 가능성이 대한 지표가 될 수 있다. 또한 온도, pH 등의 환경조건과 유기물 농도에 민감하게 반응하여 짧은 시간동안에 급격히 변화함으로써 환경에 가해지는 변화와 이에 따른 세균의 활성변화를 반영하는 지표가 될 수 있다(한국해양연구원[2002]). 종속영양세균 측정은 단계적 희석법을 이용하여 도말하는 dilute plate counting 법을 이용하였다. 각 시험구 내 표층으로부터 10 cm 정도 깊이에서 채취한 토양 1 g을 멀균 식염수 9 ml에 넣어 잘 혼합하고 이를 단계별로 희석한 후 3 MSA의 일반 세균용 petrifilm 배지에 1 ml씩 접종하였다. 접종한 배지를 27°C에서 1주일간 배양한 후 형성된 집락(colony) 수를 계수하고 희석

배수와 토양 내 수분함량을 고려하여 건조 토양 1 g당 종속영양세균수를 구하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 갈대의 정착 및 생장

갈대이식 112일 경과 후의 조사에서는 아직 시기적으로 일려 이식된 갈대가 제대로 성장하지 못하였다. 하지만 이식 167일 후 현장시험구 관측시 갈대의 새순이 자라고 있는 모습을 확인하고 갈대의 정착률을 조사하였다. 갈대정착률은 준설토의 배합비별로 차이가 있는데 원지반으로만 조성된 현장시험구(준설토 0%)의 경우 우 갈대의 정착률이 90%로 조사되었으며 준설토의 배합비가 클수록 정착률이 점차 낮아져 준설토 100%의 현장시험구의 경우 54%로 확인되었다(Table 3). 이러한 경향은 진우도 원지반에서 자란 갈대를 원지반에 비해 silt 및 clay 함량이 상대적으로 높은 준설토의 혼합 시험구에 이식하였을 때, 준설토의 배합비가 높을수록 발생하는 토성의 차이와 이로 인한 토양의 물리화학적 특성의 변화 때문인 것으로 사료되며, 준설토의 높은 중금속 농도에 의한 독성 때문일 가능성 또한 배제할 수 없다. 하지만 준설토의 배합비가 큰 시험구 일수록 이식된 갈대의 정착률이 낮아지는 경향은 제한된 현장시험구로 인해 반복실험을 하지 못하였기 때문에 통계적 유의성을 판단할 수는 없었다.

갈대이식 202일 후 새로 자란 갈대 지상부의 길이 및 직경을 측정하였다. 새로 자란 지상부의 길이는 10-50 cm 범위로 조사되었으며 4개의 현장시험구 모두에서 유사한 값을 보여 주어 준설토 배합비에 따른 차이는 발견되지 않았다(Fig. 2). 새로 자란 지상부의 직경은 2.5-4 mm로 조사되었으며, 지상부 길이의 경우와 마찬가지로 4개의 현장시험구 모두에서 유사한 값을 보여 주어 준

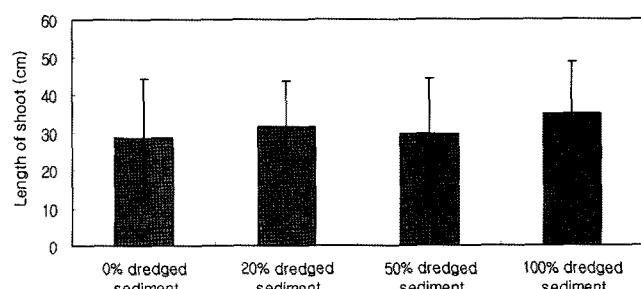


Fig. 2. The shoot length of the newborn *Phragmites australis* at 202 day after the *Phragmites australis* were transplanted.

Table 3. The survival rate of the transplanted *Phragmites australis* at 202 day after the *Phragmites australis* were transplanted

Number of transplanted <i>Phragmites australis</i> block	Number of newborn <i>Phragmites australis</i> block	<i>Phragmites australis</i> survival rate (%)
0% dredged sediment	10	9
20% dredged sediment	10	7
50% dredged sediment	15	9
100% dredged sediment	13	7

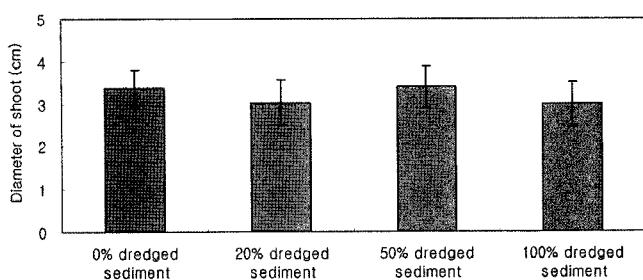


Fig. 3. The shoot diameter of the newborn *phragmites australis* at 202 day after the *phragmites australis* were transplanted.

설토 배합비에 따른 차이는 발견되지 않았다(Fig. 3).

3.2 현장시험구 내 토양의 강열감량 및 COD 농도변화

현장시험구별 강열감량을 조사한 결과 준설토의 배합비가 높은 시험구 순으로 강열감량이 높은 것으로 나타났다(Fig. 4). 이러한 결과는 본 연구에 사용된 준설토의 유기물함량이 원자반에 비해 높은 것에 기인한 것이며, 또한 준설토가 원자반에 비해 silt 및

clay 함량이 높아 모니터링 기간동안 현장시험구내로 유입되는 유기물에 대한 흡착능력이 높은 것도 이유로 생각할 수 있다(이정규와 최영찬[1999]; 이정규와 서희동[2000]). 한편, 현장시험구 내 생화학적으로 분해 가능한 유기물뿐만 아니라 분해가 용이하지 않는 부분까지를 포함하는 총 유기물함량의 지표인 강열감량의 변화양상을 살펴보았다. 시험구 조성 202일 후 0(원자반), 20, 50, 100% 준설토로 조성된 현장시험구별로 각기 초기 강열감량의 농도에 비해 12, 8, 36, 9% 정도 감소된 값을 보여주었다. 전체적으로는 감소하는 경향을 보였지만 측정시간별로는 증감하는 경향 또한 보여주었는데 이는 현장시험구가 유기물의 유출입이 자유로운 열린계이기 때문으로 전체적인 농도감소는 희석효과와 더불어 종속영양세균에 의한 생물학적 처리의 효과가 혼재되어 나타난 결과로 사료된다. 갯벌과 같은 해안습지의 경우, 수층으로부터 퇴적되는 유기물과 저서성 미소조류의 광합성을 통해 자체 생산되는 유기물도 상당한 양에 이르는 것으로 알려져 있어(한국해양연구원, 2002) 현장시험구에서 총 유기물 함량인 강열감량의 변화량은 장기간동안 지속적인 모니터링을 통하여 살펴봐야 할 것으로 사료된다.

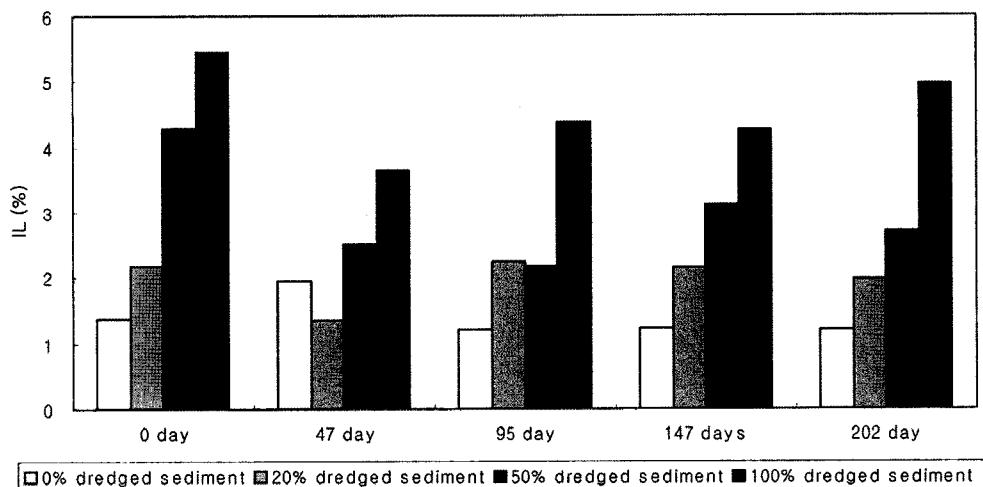


Fig. 4. The change of Ignition loss in the artificial tidal flats with 4 different mixing ratio (0, 20, 50, 100%) of dredged sediment.

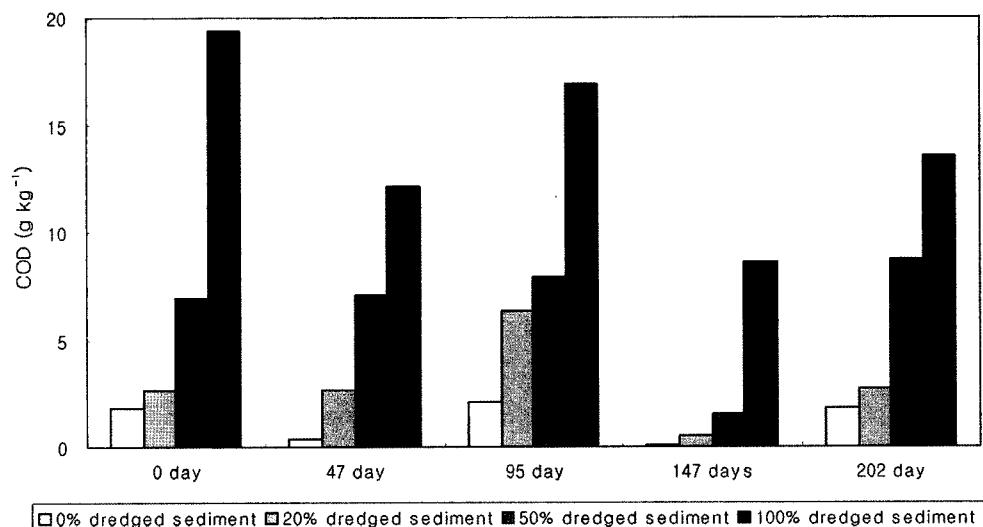


Fig. 5. The change of COD in the artificial tidal flats with 4 different mixing ratio (0, 20, 50, 100%) of dredged sediment.

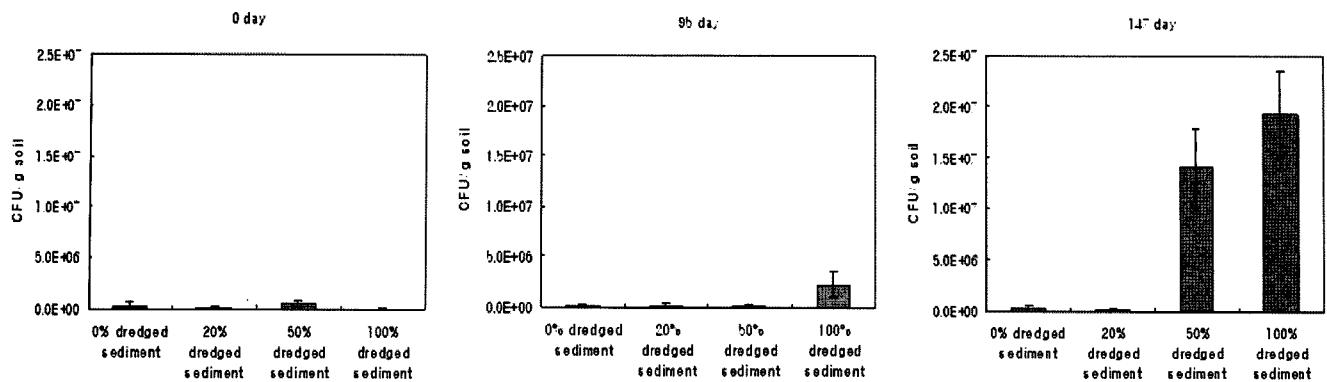


Fig. 6. The change of heterotrophic microbial number in the artificial tidal flats with 4 different mixing ratio (0, 20, 50, 100%) of dredged sediment.

Fig. 5는 시험구 별 시간에 따른 토양의 COD 변화양상을 보여 주고 있다. 시험구별로 비교하였을 때 준설토 배합비가 높을수록 COD의 값이 높게 나타나는데 이는 시험구 조성당시 준설토가 원지반에 비해 COD 농도가 높고 유기물에 대한 흡착능력이 높은 silt 및 clay 함량이 높은데 기인하는 결과라 할 수 있다. 한편, 시간에 따른 COD 변화양상을 살펴보면 준설토 100%로 조성된 시험구의 경우 시험구 조성 202일 후 전체적으로는 초기값에 비해 30% 감소하는 양상을 보이지만 측정시간별로는 증감하는 경향 또 한 보여주었는데 이는 강열감량과 마찬가지로 현장시험구가 유기물의 유출입이 자유로운 열린계이기 때문이라 판단된다. 준설토 50%, 20%, 원지반으로 조성된 시험구에서도 유사한 경향을 보여 주었다.

3.3 현장시험구내 토양의 종속영양세균수 변화

멸균 식염수를 이용하여 dilute plate counting을 함으로써 간접 지 환경조건에 적응하여 서식하는 종속영양세균수를 조사하였다. 시험구 조성 당시에는 각 시험구별로 토양 내에 서식하는 종속영양세균수는 큰 차이를 보이지 않았으나 시간이 흐름에 따라 준설토의 배합비가 증가할수록 종속영양세균 개체수가 증가하는 것으로 파악되었다(Fig. 6). 이러한 결과는 실내실험을 통해 실트함량, 유기물함량 및 미생물의 혼존량 관계를 검토한 이정규와 최영찬 [1999]; 이정규와 서희동[2000]의 연구를 토대로 설명될 수 있는 데 이는 조성된 현장시험구의 준설토 배합비가 높을수록 유기물 함량과 토양의 silt 및 clay 함량이 많은 것에 영향을 받는 것으로 일반적으로 silt 및 clay 함량이 많을수록 유기물의 흡착이 늘어나고 유기물이 많아질수록 종속영양세균의 수가 증가된다고 할 수 있다. 시험구 조성 147일 후 준설토 100%로 조성된 현장시험구의 경우 1.93×10^7 CFU/g, 원지반의 경우 2.56×10^5 CFU/g 개체 수가 서식하는 것으로 조사되었다.

4. 결 론

해양 준설토를 인공염습지 조성재로 재활용하기 위한 기초연구로 부산 신항만 준설시 발생한 준설토를 이용하여 준설토 배합비

를 상이하게 한 4개의 인공염습지 현장시험구를 조성한 후 대표적인 염생식물인 갈대를 주변 갈대서식지역에서 이식하였다. 이식된 갈대의 정착률, 정착된 갈대 지상부의 길이 및 직경을 조사하였으며 또한 갈대가 이식된 현장시험구 염습지 토양의 강열감량, COD 농도변화 및 종속영양세균의 변화양상을 모니터링 하였다.

갈대의 정착률은 준설토의 배합비가 높을수록 낮아졌으며 지상부 길이와 직경의 측정 결과 준설비 배합비에 따른 특별한 차이가 나타나지 않았다. 준설토 100% 시험구에서 강열감량 및 COD 농도가 초기값에 비해 전체적으로 감소하는 양상은 조성된 시험구가 열린계로 인한 희석효과와 증가된 종속영양세균에 의한 생물학적 처리의 효과가 혼재되어 나타난 결과라 판단된다. 시험구 조성 당시 각 시험구별로 토양내에 서식하는 종속영양세균수에는 큰 차이를 보이지 않았으나 시간이 흐름에 따라 준설토 50%와 100%의 시험구에서는 종속영양세균 개체수가 증가하는 것으로 파악되었다. 이는 두 시험구에 함유되어 있는 유기물함량이 높기 때문이며 또한 silt 및 clay 함량이 다른 두 시험구보다 높기 때문으로 판단된다.

이식한 갈대의 정착, 100% 준설토로 조성된 시험구내의 COD 함량 감소 및 종속미생물의 증가 등 본 연구의 결과를 고려하면, 염생식물의 식재를 통한 인공염습지의 조성 및 생물학적 분해를 이용하는 해양 준설토의 친환경적인 처리 가능성을 확인할 수 있었다. 하지만 준설토를 이용한 인공염습지 조성의 성공여부에 대한 보다 정확한 평가를 위해서는 초기 환경변화에 대한 모니터링만으로는 부족하며 보다 다양한 분석항목에 대한 지속적인 모니터링이 필요한 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 해양수산부 한국해양수산기술진흥원의 수산특정연구개발 사업으로 수행된 연안 생태환경공간 복원/조성 기술(F10400106A220000110)연구의 일부이며, 연구비 지원에 감사드립니다. 이 연구에 참여한 이병호는 2단계 BK21 사업의 지원을 받아 연구하였으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 김원태, 윤용한, 2005, “식재지반 용토로서 준설토의 이화학적 특성”, 한국조경학회지, 제32권 제6호, 95-102.
- [2] 송영채, 이재원, 염혜경, 윤길림, 2003, “항만준설토의 오염도 및 재활용 가능성 평가”, 한국폐기물학회 추계학술대회 논문집, 675-678.
- [3] 윤길림, 조홍연, 2002, “준설토 재활용 방안 및 적용사례 분석”, 지반환경, 제3권 제2호, 48-63.
- [4] 이병호, 조홍제, 이상배, 류범수, 1996, “낙동강 준설토의 오염물질 용출특성과 이용방안에 관한 연구”, 대한토목학회지, 제16권 제II-4호, 399-409.
- [5] 이정규, 최영찬, 1999, “인공간식지 창출에 있어서 토양구조를 결정하는 인자에 관한 연구”, 한국환경과학회지, 제8권 제5호, 587-592.
- [6] 이정규, 서희동, 2000, “인공간식지 창출에 있어서 토양조성에 관한 연구”, 폐기물 자원화 제8권 제2호, 85-92.
- [7] 한국조경학회, 2002, 조경설계기준, 344.
- [8] 한국해양연구원, 2002, 해안 생태계 복원기술, 환경부, 153.
- [9] 한국해양연구원, 2003, 황해 연안역의 해양환경 복원을 위한 연구: 인공갯벌(I-III), 73-102.
- [10] 한국환경정책평가연구원, 2007, 한강하구 습지 보전계획 수립 연구, 한강유역환경청, 100.
- [11] 환경부, 2007, 낙동강 하구역 습지 생태계 훼손 지역 복원 및 관리기술, 305.
- [12] 해양수산부, 2000, 준설토 재활용방안 연구(I), 193.
- [13] 해양수산부, 2001, 준설토 재활용방안 연구(II), 181.
- [14] 해양수산부, 2002, 준설토 재활용방안 연구(III), 155.
- [15] 해양수산부, 2003, 대체습지조성 중장기 계획 수립용역(I), 477.
- [16] 해양수산부, 2007, 해양투기종합관리시스템, <http://www.oceandumping.re.kr>.
- [17] Balletto, J.H., Heimbuch, M.V. and Mahoney, H.J., 2005, “Delaware Bay salt marsh restoration-Mitigation for a power plant cooling water system in New Jersey USA”, Ecological engineering, Vol. 25, 204-213.
- [18] Kangas, P.C., 2004, Ecological Engineering: Principles and Practice, Lewis Publishers, 200-205.
- [19] Lee, J.G., Nishijima, W., Mukai, T., Takimoto, K., Seiki, T., Hiraoka, K. and Okada, M., 1998, “Factors to determine the functions and structures in natural and constructed tidal flats”, Wat. Res., Vol. 32, No. 9, 2601-2606.
- [20] Marcus, L., 2000, “Restoring tidal wetlands at Sonoma Baylands, San Francisco Bay, California. Ecological Engineering”, Vol. 15, 373-383.
- [21] Mitsch, W.J. and S.E. Jørgensen, 2004, Ecological engineering and ecosystem restoration, John Wiley & Sons, INC, 195.
- [22] Short, F.T., Burdick, D.M., Short, C.A., Davis, R.C. and Morgan, P.A., 2000, “Developing success criteria for restored eelgrass, salt marsh and mud flat habitats”, Ecological engineering, Vol. 15, 239-252.
- [23] Streever, W.J., 2000, “Spartina alterniflora marshes on dredged material: a critical review of the ongoing debate over success”, Wetlands Ecology and Management, Vol. 8, 295-316.
- [24] Teal, J.M. and Weishar, L., 2005, “Ecological engineering, adaptive management, and restoration management in Delaware Bay salt marsh restoration”, Ecological engineering, Vol. 25, 304-314.
- [25] 上野成三, 高橋正昭, 原條誠也, 高山百合子, 國分秀樹, 2001, “浚渫土を利用した資源循環型人工干潟の造成実験”, 日本土木學會海岸工學論文集, 第48卷, 1306-1310.
- [26] 上野成三, 高橋正昭, 高山百合子, 國分秀樹, 原條誠也, 2002, “浚渫土を用いた干潟再生実験における浚渫土混合比と低生生物の関係について”, 日本土木學會海岸工學論文集, 第49卷, 1301-1305.
- [27] 國分秀樹, 奥村宏征, 上野成三, 高山百合子, 湯淺城之, 2004, “英虞における浚渫ヘドロを用いた干潟造成から得られた干潟底質の最適件”, 日本土木學會海岸工論文集, 第51卷, 1191-1195.

2007년 10월 4일 원고접수

2008년 2월 18일 수정본 채택