

해양오염토 유효활용과 공학적 분석

Mechanical and environmental analysis for beneficial use of contaminant sediments

윤길림¹⁾, Gil Lim Yoon, 배윤신²⁾, Yoon-Shin Bae 윤여원³⁾, Yeo Won Yoon

1) 한국해양연구원 책임연구원, Senior Researcher, Korea Ocean Research & Development Institute

2) 서울시정개발연구원 부연구위원, Associate Research Fellow, Seoul Development Institute

3) 인하대학교 교수, Full Professor, Inha University

SYNOPSIS : 본 연구에서는 해양준설퇴적물의 유효활용을 위한 역학적, 환경적 실험을 통한 건설재료로서의 활용성을 검토하였다. 울산 방어진과 진해 행안만에서 수거한 준설토로 고화처리토 및 경량혼합토 공시체를 제작하여 압축특성 및 응력-변형 거동 등 공학적 실험을 실시하였다. 해양오염토 유효활용을 위한 활용방법도 제시하였다.

Keywords : 준설토, 경량혼합토, 고화처리토, 유효활용

1. 서 론

현재 국내에서는 발생 준설토를 적절히 이용하는 관련 재활용 기술부족 및 폐기물이라는 현실에서 발생하는 준설토는 현장에서 재처리 및 재이용 등의 실용화가 되지 못하지만 선진국에서는 단순매립보다는 신기술 및 신공법 개발로 모래질 성분이 많이 함유한 준설토를 방파제나 안벽 및 호안 시공시 건설재료로 이용하는 등의 재활용 기술을 적극적으로 활용하고 있다. 2009년 토양환경보전법 시행규칙 일부 개정(환경부령 제333호)으로 인하여 오염물질을 감축하기 위한 처리 공정을 거치지 않은 원시료에서의 유효활용 시제품을 생산할 필요성이 제기되어 처리되지 않은 퇴적물 시료를 사용 시제품 제작 및 품질의 적합 여부를 판별하기 위한 역학적 실험과 환경실험을 실시하였다. 또한, 최근 압축성이 큰 토질과 관련된 침하문제, 항만구조물 배면 매립시 토압경감 문제를 보완하여 해양오염토 재활용 효용성을 크게 증대시킬 수 있는 방법인 경량혼합토로 시제품을 제작하였으며 시멘트 함유율의 변화가 압축강도에 미치는 영향 및 응력-변형 거동 특성을 고화처리토와 비교·분석하였다. 마지막으로 해양오염토 유효활용을 위한 활용방법을 제시하였다.

2. 압축 강도 시험

2.1 준설토 물리적 특성

울산 방어진 해역과 진해 행안만 해역에서 채취한 준설토 시료를 사용하여 건설재료 및 복토재의 적용성 검토를 위한 기본 물성 시험을 실시하였다. 채취방법은 각 해역정점에서 2~3m³의 퇴적물을 그라브 준설선을 이용하여 채취한 후 퇴적물(총량 5~6m³)을 그라브 준설선 혹은 덤프트럭으로 옮겨 시료 혼합

(포크레인 등을 이용)해서 혼합된 퇴적물 시료를 1m³ 단위로 나누어 운반(지게차, 트럭 이용) 하였다. 그림 1은 시료채취지역 위치를 나타내고 있다.

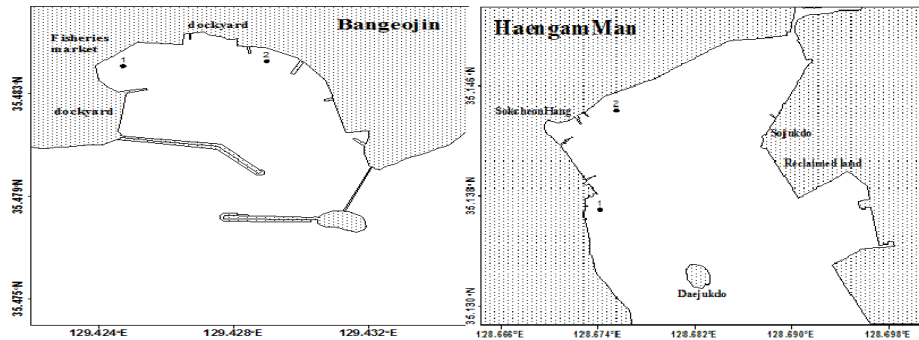


그림 1. 울산행안만과 진해방어진 준설토 채취해역

채취한 준설토의 기본적 물리특성을 파악하기 위하여 비중시험, 액성한계시험, 소성한계시험, 함수비 시험 등을 실시하였으며 그 결과는 표 1에 나타내었다.

표 1. 준설토의 물성시험 결과

항목	비중	액성한계 (%)	소성한계 (%)	소성지수	USGS
울산 방어진	2.62	40.64	26.84	13.8	SM
진해 행안만	2.65	59.55	47.61	11.94	OH

2.2 실험 결과 및 분석

표 2는 울산 방어진에서 수거한 준설토로 제작한 고화처리토 공시체와 경량혼합토 공시체의 압축강도를 7일 및 14일 재령기간으로 시멘트 함유량에 따른 최대압축강도를 비교하였다. 울산 준설토를 활용한 경량혼합토의 강도는 고화처리토의 강도와 비교하여 대략 70%정도 감소하였다.

표 2. 울산 준설토를 활용한 고화처리토 및 경량혼합토 압축강도 결과

종류	시멘트비		
	7%	10%	13%
7일재령 울산고화혼합토	289.4 kPa	442.3 kPa	595.2 kPa
7일재령 울산경량혼합토	81.4 kPa	105.1 kPa	201.9 kPa
14일재령 울산고화혼합토	346.4 kPa	581.3 kPa	713.2 kPa
14일재령 울산경량혼합토	103.1 kPa	132 kPa	223.1 kPa

표 3은 진해 행안만에서 수거한 준설토로 제작한 고화처리토 공시체와 경량혼합토 공시체의 압축강도를 7일 및 14일 재령기간으로 시멘트 함유량에 따른 최대압축강도를 비교하였다. 진해 준설토를 활용한 경량혼합토의 강도는 고화처리토의 강도와 비교하여 대략 33%정도 감소하였다. 이는 다른 지역 시료의 공학적 특성 및 구성성분의 차이 및 공시체 성형시 다른 초기함수비의 적용 등에 기인함을 알 수 있다.

표 3. 진해 준설토를 활용한 고화처리토 및 경량혼합토 압축강도 결과

시멘트비	7%	10%	13%
종류			
7일재령 진해시료 고화처리토	284.3 kPa	453 kPa	514.6 kPa
7일재령 진해시료 경량혼합토	42.8 kPa	243.1 kPa	318.5 kPa
14일재령 진해시료 고화처리토	379.6 kPa	510.9 kPa	547.6 kPa
14일재령 진해시료 경량혼합토	265 kPa	437.6 kPa	525 kPa

3. 다짐시험

매립장에서 흙을 복토재로 활용할 경우 현장다짐을 실시함으로써 입자간 재성형 및 조밀화 되었을 때 투수계수의 감소는 물론 다짐에 의한 구조적 안정으로 매립중 장비의 주행성 및 시공성 증진을 기할 수 있다. 본 시험의 목적은 각 혼합비에 따른 최대건조단위중량, γ_{dmax} 과 최적함수비, OMC를 산정하여 현장시공조건에서 경제적으로 최대건조단위중량, γ_{dmax} 를 얻기 위한 가장 적절한 함수비를 얻고 현장 다짐도를 결정하여 현장 다짐효율성을 평가하기 위함이다.

실험은 KSF 2312규정에 준한 A 방법(3층-층당 25회 다짐)으로 실시하였다. 그림 2는 시멘트 함유량에 따른 울산지역 준설토를 활용한 고화처리토의 다짐특성을 보여준다. 일반적으로 시멘트 함유량이 증가하면 최대건조밀도는 증가하고 최적함수비는 감소한다고 알려져 있다(이용수 외, 1997). 그림 2에서 보는 바와 같이 고화제 함유량이 10%에서 13%로 증가함에 따라 최대건조단위중량은 1.53t/m³에서 1.55t/m³으로 약간 증가하였고 최적함수비는 고화제 함유량 증가함(7%에서 13%)에 따라 최적함수비는 17.5%에서 22%로 증가하였다. 이는 고화제의 입자가 준설토의 입자사이로 충전되어 혼합재가 조밀하여 지고 준설토 자체의 보수력이 고화제에 비하여 크기 때문인 것으로 사료된다. 따라서 시멘트 함유율이 증가할수록 다짐증진 효과에 기여하고 있음을 알 수 있다.

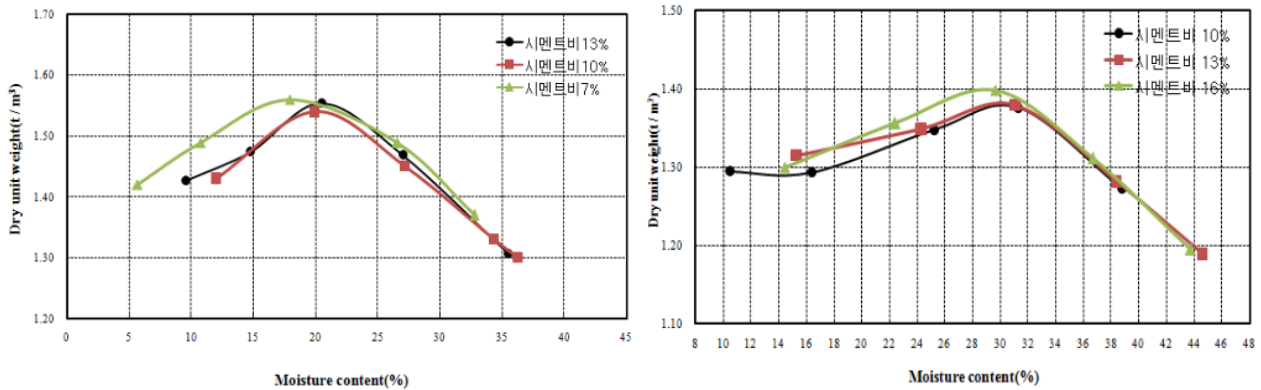


그림 2. 다짐시험 결과(좌측: 울산행안만 시료사용, 우측: 진해방어진 시료사용)

4. 해양오염토 활용방법 제시

산업시설의 확충과 항만, 택지개발 등과 같은 기반시설의 신설 및 확장은 토지의 가용면적증대와 매립 및 성토시 양질의 지반재료에 대한 수용 증가를 필요로 한다. 최근 정책사업이 활발히 진행되어 매립, 성토재료로서 대량의 토사를 사용하고 있지만 환경보존의 중요성 등을 감안하면 대량의 육상토나 해사를 사용하는 것이 어려운 실정일 뿐만 아니라 상당한 비용이 소요되고 있는 실정이다. 한편, 연간

항로준설과 연안준설로 인해 대량으로 발생하는 해양준설토는 준설직후 대부분 외해 투기로 처리되거나 또는 투기장에 장기간 건조, 처리하는 상황이며, 이를 위해서는 대규모 부지확보 및 주변 환경오염이 발생하는 문제점이 제기되고 있다.

따라서, 해양준설토의 오염정도를 고려하여 자원으로써 재활용하는 방안을 적극 검토하는 것은 매우 시급한 실정이다. 오염퇴적물 처리후 활용방향은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫번째는 양질 오염퇴적물의 활용이고 두번째는 해양 및 항만 건설 공사시 활용 촉진 정책방향이다. 양질의 오염퇴적물 활용에 관하여 열거하면, (1) 인공해빈/습지(갯벌)조성, (2) 모래유실해안의 모래 공급 (3) 오염된 퇴적물지역에 복토재 활용 (4) 항만부지 매립 및 연약지반 건자재 활용 (5) 탈수 및 염분 제거 후 항만용지 건설자재 활용 등이 있다. 해양 및 항만 건설 공사시 활용 촉진 방안으로는 (1) 투기장 조성 공사시 퇴적물의 경량성토재료 활용 (2) 해양환경복원에 오염퇴적후 퇴적물 활용 등이 있다.

해양준설토를 재활용하는 방법은 여러 측면에서 고려 할 수 있으나 오염퇴적물을 대상으로 수거된 산물들에 대하여 토목공사용 복토재 및 건설자재로서 활용방안이 시급히 요구되고 있다. 만일 준설토의 염도가 높지 않다면, 준설토 모래 성분은 뒷 채움재 혹은 역청 혼합물과 모르타르의 생산에 사용될 수 있을 것이다.

세계의 몇몇 지역에서 건축재료를 얻기 위한 준설은 일반적인 일이다. 모래함유율이 30%를 넘지않고 적합한 실험결과가 나온다면, 준설토는 벽돌 제조를 위한 재료로서 간주될 수 있을 것이다. 건설자재로서 처리 후 유효 활용 제품으로 준설토 고화처리 벽돌(brick) 및 경량 벽돌 등을 제시할 수 있다. 그림 8은 외국에서의 처리 후 유효활용 사례를 보여준다.

5. 결론

본 연구에서는 울산항안만과 진해방어진 해양준설토를 활용한 고화처리토 및 경량혼합토의 역학적 실험을 통한 건설재료로서의 활용성을 검토하였다. 압축성이 큰 토질과 관련된 침하문제, 항만구조물 배면 매립시 토압경감 문제를 보완하여 해양오염토 재활용 효용성을 크게 증대시킬 수 있는 방법인 경량혼합토로 시제품을 제작하였으며 시멘트 함유율의 변화가 압축강도에 미치는 영향 및 응력-변형 거동 특성을 고화처리토와 비교하였다. 준설토 활용방법 제시를 위하여 다짐시험을 수행한 고화처리토는 매립작업을 원활히 하기위한 강도(대략 50kPa)를 만족하였다.

참고문헌

1. 한국해양연구원(2009), “해양오염퇴적물 처리방안 및 기술개발 (II)”