

연직배수재료로 폐콘크리트 활용에 관한 기초연구 Utilization of Waste Concrete as Vertical Drain Material

이용수¹⁾, Yong-Soo Lee, 정하익²⁾, Ha-Ik Chung, 김우성³⁾, Woo-Sung Kim, 권용완³⁾, Yong-Wan Kwan

¹⁾ 한국건설기술연구원 토목연구부 선임연구원, Senior Researcher, Civil Engineering Department, KICT

²⁾ 한국건설기술연구원 토목연구부 수석연구원, Research Fellow, Civil Engineering Department, KICT

³⁾ 한국건설기술연구원 토목연구부 연구원, Researcher, Civil Engineering Department, KICT

SYNOPSIS : This paper presents the utilization of waste concrete as vertical drain material. The materials used as vertical drain material were the waste concrete, obtained from the demolished apartments or concrete structure and sand. In this study, laboratory model test was performed to investigate settlement and bearing capacity between sand compaction pile and waste concrete compaction pile. The results of laboratory model test showed that the improvement efficiency of soft ground by waste concrete compaction pile was better than sand compaction pile.

Key words : waste concrete, vertical drain material, recycling

1. 서론

도심 재개발 및 노후 구조물의 재시공 등으로 콘크리트 구조물의 해체과정에서 발생하는 폐콘크리트는 현행 관련법규에서 도로의 보조기층, 노반재, 성토재 등으로 활용하도록 되어 있다. 그러나 폐콘크리트의 재활용 비율이 현실적으로 증대되고 있지 않는 상태로, 이는 폐콘크리트의 재활용을 하려고 하여도 각종 건설공정의 차이로 인하여 그 활용이 저조한 편이다. 따라서, 본 연구에서는 연약지반개량 공법 중 모래다짐말뚝공법에 사용되는 모래 대용으로 폐콘크리트를 활용하려고 한다. 이는 폐콘크리트의 재활용 분야를 확대하고, 폐기물이 새로운 자원화할 수 있다는 것을 분석하려고 한다. 이를 위하여 본 연구의 실험재료는 건설폐기물 수집회사에서 파쇄한 폐콘크리트와 모래를 이용하였으며, 실내 모형압밀토조를 이용하여 모래 및 폐콘크리트 연직배수재 이용에 따른 침하량과 지지력을 비교하였으며, 폐콘크리트 활용에 따른 주변 환경적 영향분석으로 용출시험을 실시하였다.

2. 실험 및 방법

2.1 재료

모형토조의 인공지반은 OO지역 해성점토를 사용하였고, 배수재료는 모래와 25mm인 폐콘크리트를 사용하였다. 시험재료의 공학적 특성은 표 1에, 모형지반의 기본특성은 표 2에 나타내었다.

표 1. 재료의 기본특성

항 목		모래	폐콘크리트
입도 분포	최대입경, (mm)	0.85	25
	4번체 통과량, (%)	100	0.96
	200번체 통과량, (%)	0.1	-
흙의 분류		SC	GW
비중		2.62	2.59
투수계수, k (cm/sec)		9.02×10^{-2}	5.44×10^{-1}

표 2. 모형지반의 공학적 특성

구분	최대입경(mm)	함수비(%)	액성한계	소성한계	소성지수	비중	흙의 분류
모형지반	0.074	92.7	47.2	31.0	16.2	2.75	CL

2.2 실험방법

본 실험에서 사용한 모형압밀토조는 두께 1cm의 원형 강철로 만들었으며, 압밀토조의 직경 50cm, 높이 25cm인 토조 4개로, 전체 높이 100cm로 제작하였다(그림 1). 배수재의 배치는 정사각형으로 가정하여 중심 간격을 44cm로, 등가유효원의 직경을 50cm로 산정하였다. 배수재의 설치에 모형 원지반 제작시 모형토조 중심에 케이싱 형태로 직경 10cm의 PVC관을 설치하고 빼면서 배수재를 설치하였다. 모형압밀 토조의 지반은 해성점토를 이용하였으며, 시료를 최대한 연약화한 상태로 만들어 연직배수재를 설치하는 것으로 하였다. 그리고 원지반을 안정화시키기 위해 $0.5\text{kg}/\text{cm}^2$ 으로 24시간 예압을 실시하였으며, 예압이후 원지반 상부에 모래층을 설치하였다. 하중재하는 모형토조에 설치한 배수재에 대하여 하중증가를 $1.0\text{kg}/\text{cm}^2$ 와 $1.5\text{kg}/\text{cm}^2$ 를 재하하였고, 개량된 점토지반의 지지력은 그림 2의 콘관입시험장비를 이용하여 측정하였다.

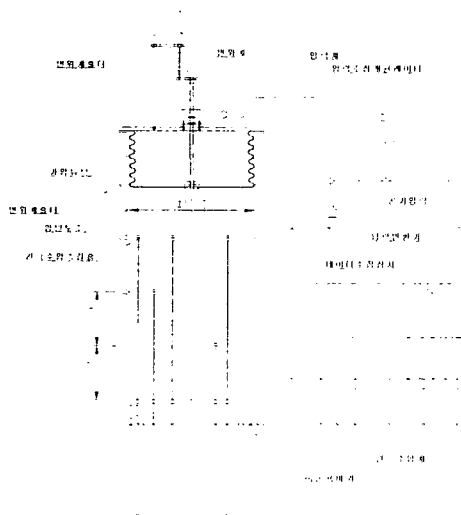


그림 1. 모형압밀토조 개요도

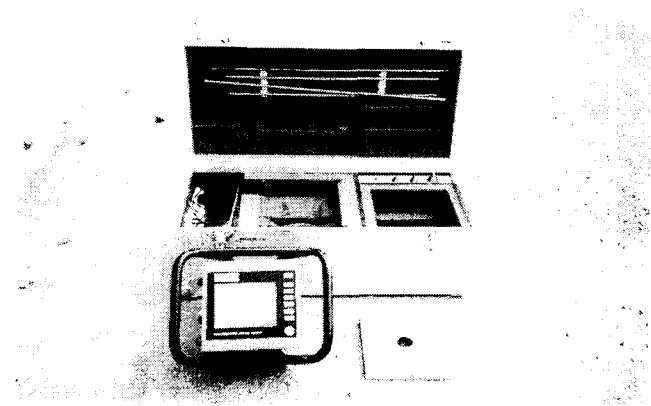


그림 2. 콘관입시험 장비(Penetrologer)

3. 시험결과 및 분석

3.1 침하특성

배수효과에 대한 침하특성을 비교하기 위하여 모형토조 상부에서 그림 3과 같이 배수재의 중심에서 반경 10cm, 15cm, 20cm 되는 곳의 침하량을 측정했다. 모래말뚝과 폐콘크리트말뚝 설치시 침하량은 그림 4와 그림 5에 나타내었다. 그림 4와 그림 5의 침하량 곡선을 살펴보면, 시험시 하중재하 1.0kg/cm^2 과 1.5kg/cm^2 으로 하중재하의 변화시 침하의 변화외에는 침하곡선의 양상이 두가지재료 모두 비슷한 양상을 보이고 있으며, 배수재에서 가까운 지점에서 침하량이 크게 나타났다. 배수재에 따른 최종 침하량의 비교를 표 3에 나타내었다. 그림 4와 그림 5에서 측정지점별 침하 양상을 살펴보면, 모래말뚝의 경우 측정지점 Settle 1에서 모래말뚝의 침하량이 큰 반면, 폐콘크리트말뚝은 적게 나타났다. 이는 상재하중으로 인한 말뚝의 팽창 등으로 인한 파괴로 모래말뚝보다는 폐콘크리트말뚝의 지지력이 큰 것으로 판단된다. 표 3은 배수재료에 따른 최종 침하량을 비교한 것으로 Settle 2(반경 10cm), Settle 3(반경 15cm), Settle 4(반경 20cm)에서의 침하량은 모래말뚝보다는 폐콘크리트말뚝의 침하가 큰 것으로 나타났다. 이는 모래말뚝보다는 폐콘크리트말뚝에 의한 압밀 효과가 큰 것으로 판단된다.

표 3. 배수재료에 따른 최종침하량 (단위:mm)

구 분	Settle1 (r=0)	Settle2 (r=10)	Settle3 (r=15)	Settle4 (r=20)
모래 말뚝	118.58	107.49	106.60	94.76
폐콘크리트 말뚝	85.20	119.17	124.43	115.67
침하 차이	-33.38	11.68	17.83	20.91

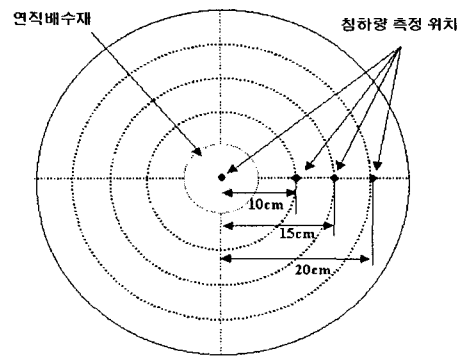


그림 3. 침하량 측정 위치

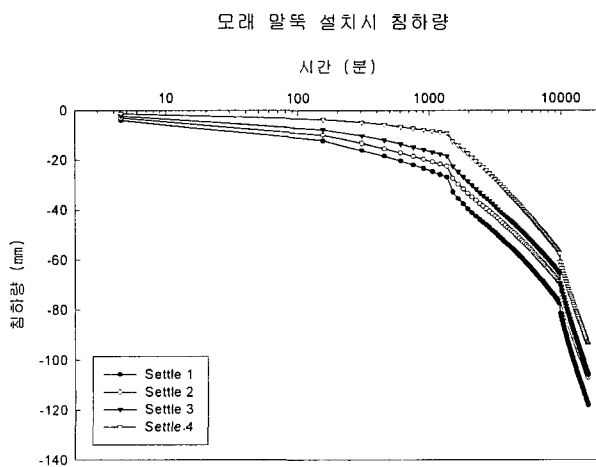


그림 4. 모래말뚝 설치시 침하량

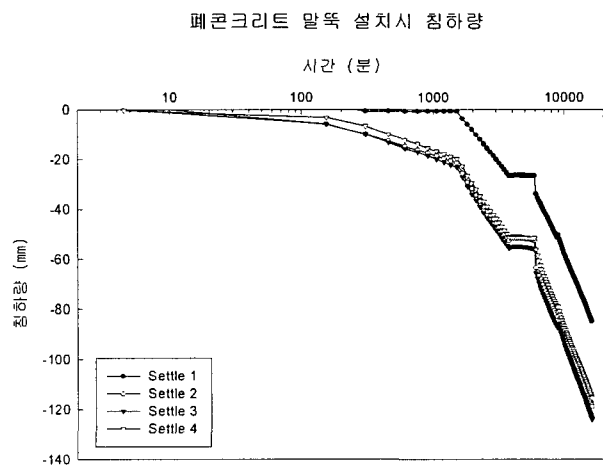


그림 5. 폐콘크리트말뚝 설치시 침하량

3.2 지지력 특성

모형지반의 지반개량에 따른 지지력 특성을 살펴보기 위하여, 0.5kg/cm^2 에서 1.5kg/cm^2 까지의 하중재하에 의한 간극수의 유출은 침하로 나타나게 되고, 이러한 연약지반의 압밀은 지반의 강도를 증가시키게 된다. 지지력 분석을 위해 콘관입측정 장비로 방사대칭방향에서 말뚝을 중심으로 각각 거리 10cm, 15cm, 20cm에 해당하는 지점에서 측정하였다(그림 6). 그림 7~그림 9는 깊이에 따른 각 지점에 따른 모래말뚝과 폐콘크리트말뚝의 지지력을 비교하였다. 그림에서 보듯이 폐콘크리트말뚝의 경우가 지지력이 더 증대한 것으로 나타났다. 표 4는 측정지점에 따른 지지력의 초기값과 최종값을 비교하였다. 먼저, 반경 10cm, 15cm, 20cm에 따른 최종지지력은 폐콘크리트말뚝은 1.843MPa, 1.579MPa, 1.100MPa로 나타났으며, 모래말뚝은 1.335MPa, 0.993MPa, 0.830MPa로 나타났다. 이는 배수재 근처에서 지지력이 증대되었으며, 비교적 배수효과가 좋은 폐콘크리트말뚝에 의한 개량지반 지지력이 큰 것으로 나타났다.

표 4. 측정지점에 따른 지지력 측정값 (단위 : MPa)

구 분	반경 10cm		반경 15cm		반경 20cm	
	초기값	최종값	초기값	최종값	초기값	최종값
폐콘크리트말뚝	0.550	1.843	0.565	1.597	0.533	1.100
모래말뚝	0.455	1.335	0.493	0.993	0.575	0.830

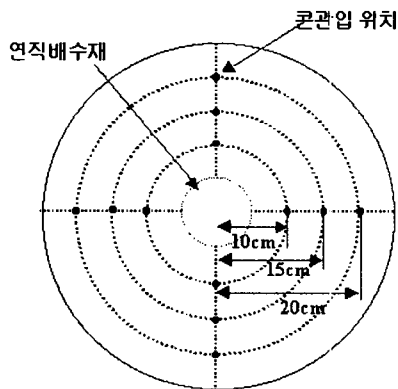


그림 6. 지지력 측정을 위한 콘관입위치

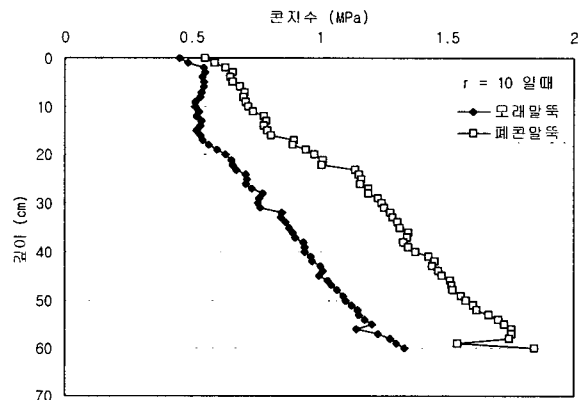


그림 7. 반경 10cm일때의 지지력

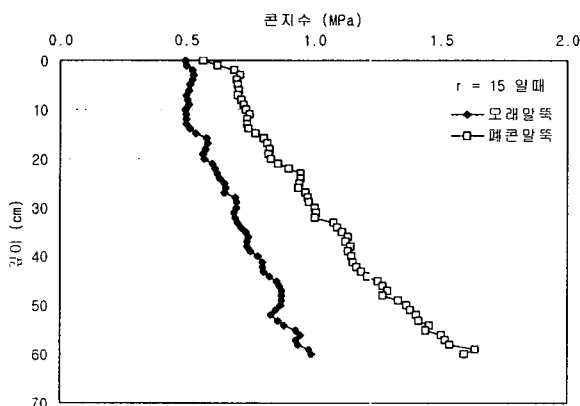


그림 8. 반경 15cm일때의 지지력

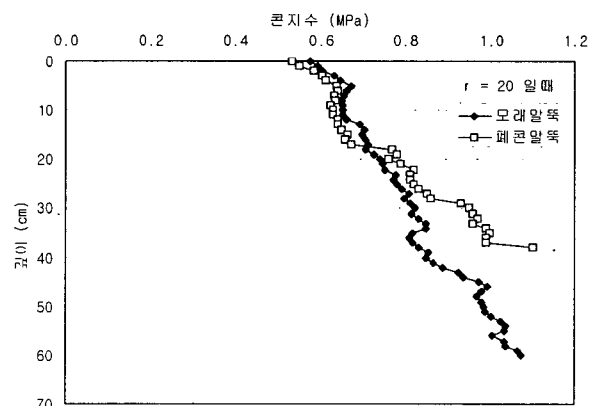


그림 9. 반경 20cm일때의 지지력

3.3 용출시험

표 5는 폐콘크리트에 대한 용출시험 결과이다. 표 5에 의하면, 시험대상 폐콘크리트는 폐기물공정시험법, TCLP시험법에 의한 용출시험결과 기준에 모두 만족하는 것으로 나타났다. 또한, 표 5는 본 시험대상이외에도 국내외 자료를 분석하였는데, 대부분 폐콘크리트는 유해성분이 없는 것으로 나타났다. 그러나, 폐콘크리트 재활용을 위해서는 폐콘크리트 발생원에서 오염여부를 확인후 사용해야 할 것으로 판단된다.

표 5. 폐콘크리트의 용출시험결과

(단위:mg/l)

분석항목	구리 (Cu)	카드뮴 (Cd)	납 (Pb)	수은 (Hg)	6가크롬 (Cr ⁶⁺)	테트라클로로에틸렌	트리클로로에틸렌	시안 (CN)	비소 (As)	유기인	비고
법적기준	3.0 이하	0.3 이하	3.0 이하	0.005 이하	1.5 이하			1.0 이하	5.0 이하	1.0 이하	폐기물관리법 (폐기물공정시험법)
미국기준		1.0이하	5.0 이하	0.2 이하	5.0 이하						TCLP
폐콘크리트 KT	0.24	ND	0.01	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	이번실험결과 (폐기물공정시험법)
폐콘크리트 KT	0.019	0.006	0.049	ND	0.117	ND	ND	ND	0.437	ND	이번실험결과 (TCLP)
building concrete	0.14	0.002 이하	0.002 이하	-	0.2	-	-	-	-	-	Wahlström(2000)
crushed concrete	0.0084	0.0002 이하	0.002 이하	-	0.046	-	-	-	-	-	Kälvesten(1996)
concrete grabulate	0.12 이하	0.002	0.04 이하	-	0.11	-	-	-	0.005 이하	-	CROW(1994)

3.4 장기 용출시험결과

장기용출시험은 폐콘크리트가 장기적으로 매립되거나 재활용 할 경우, 강우 및 지하수 등에 의한 영향을 폐콘크리트에 포함된 유해성분과 pH의 변화를 분석하였다. 시험결과를 살펴보면, pH의 농도는 11.4에서 7.6로 염기성에서 중성에 변화하였으며, 용출수에 대한 중금속의 농도중 구리, 납, 6가 크롬, 시안 등이 매우 낮게 나타났다.

표 6. 장기 용출시험 결과

분석항목	1차	2차	3차	4차	5차
pH	11.4	10.7	10.5	8	7.6
구리(Cu)	0.111	0.104	-	-	-
카드뮴(Cd)	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
납(Pb)	0.11	불검출	불검출	불검출	불검출
수은(Hg)	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
6가크롬(Cr ⁶⁺)	불검출	0.016	불검출	0.03	0.02
시안(CN)	0.1	불검출	불검출	불검출	불검출
비소(As)	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
TCE	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출
PCE	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출

4. 결 론

건설폐기물인 폐콘크리트의 재활용 분야의 확대와 폐기물의 자원화 개념으로 연약지반개량을 위한 폐콘크리트다짐말뚝의 적용성을 분석하였다. 이를 위한 실험 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 폐콘크리트말뚝과 모래 말뚝에 의한 침하량 분석결과, 배수재 중심부에서는 폐콘크리트말뚝의 침하량이 모래말뚝보다 상대적으로 적게 발생하였다. 이는 상재하중으로 인한 말뚝의 팽창 등으로 인한 파괴로 모래말뚝보다는 폐콘크리트말뚝의 지지력이 큰 것으로 판단된다. 또한, 배수재료에 따른 최종 침하량을 비교한 결과, 모래말뚝보다는 폐콘크리트 말뚝의 침하가 큰 것으로 나타났다. 이는 모래말뚝보다는 폐콘크리트말뚝에 의한 압밀 효과가 큰 것으로 판단된다.
- (2) 지반개량에 따른 지지력 특성을 살펴본 결과, 폐콘크리트말뚝이 모래말뚝말뚝보다 지지력이 증대한 것으로 나타났다. 또한, 반경 10cm, 15cm, 20cm에 따른 최종지지력은 폐콘크리트말뚝에서 1.843MPa, 1.579MPa, 1.100MPa로 나타났으며, 모래말뚝에서는 1.335MPa, 0.993MPa, 0.830MPa로 나타났다. 이는 배수재 근처에서 지지력이 증대되었으며, 비교적 배수효과가 좋은 폐콘크리트말뚝에 의한 개량 효과가 있는 것으로 나타났다.
- (3) 폐콘크리트에 대한 용출시험 결과, 폐콘크리트는 폐기물공정시험법, TCLP시험법에 의한 용출시험결과 기준에 모두 만족하는 것으로 나타났다. 그러나, 폐콘크리트 재활용을 위해서는 폐콘크리트 발생원에서 오염여부를 확인후 사용해야 할 것으로 판단된다.
- (4) 장기용출시험 결과, pH의 농도는 염기성에서 중성으로 변화하였으며, 용출수에 대한 중금속의 농도 중 구리, 납, 6가 크롬, 시안 등이 매우 낮게 나타났다.

참고문헌

1. 김병일, 박용원, 윤길림, 조성환(2000), "모래다짐말뚝(SCP)으로 개량된 연약지반의 유한요소해석," 대한토목학회논문집 제20권 제4-C호, 대한토목학회, pp.357~366.
2. 대한토목학회(1999), 제강 슬래그를 이용한 연약지반 개량기술 개발연구.
3. 서덕동(1994), Vertical Drain 압밀이론의 적용성에 관한 비교 연구, 한양대학교 대학원, 석사학위논문.
4. 임병조, 김주범, 천병식, 연약지반처리공법 연구, 대한토질공학회, pp.149~277, 1987. 12
5. Barron, R. A.(1948), Consolidation of Fine-Grained Soils by Drain Wells, Trans. ASCE, Vol. 113, No. 2346, pp.718~742.
6. 日本土質工學會(1988), 軟弱地盤對策工法.