

폐콘크리트 재활용을 위한 지반환경공학적 특성 분석

Geoenvironmental Characteristics of Waste Concrete for Reusing in Civil Works

정하익¹⁾, Ha-Ik Chung, 김상근²⁾, Sang-Keun Kim, 정길수²⁾, Kil-Su Chung, 진현식²⁾, Hyun-Sik Jin,

¹⁾ 한국건설기술연구원 토목연구부 선임연구원, Senior Researcher, Dept. of Civil Eng, KICT

²⁾ 한국건설기술연구원 토목연구부 연구원, Researcher, Dept. of Civil Eng, KICT

SYNOPSIS : In recent years there has been a steady increase in geoenvironmental engineering research where geotechnical engineering has been combined with environmental concerns in the field of construction and industrial waste reusing in civil works. Many of these projects involve some investigation on the characteristics of geotechnical and environmental properties. In this study, investigation and test on the characteristics of demolished waste concrete was carried out to detect the physical, mechanical, and environmental properties for reusing as embankment and backfill materials in civil works.

Key words : waste concrete, geotechnical properties, environmental properties, reuse, demolition

1. 서론

최근 구시가지의 재개발 사업이 진행됨에 따라 사업장내 산재하고 있는 지장물 철거에 따라 폐콘크리트, 페아스팔트, 혼합폐기물, 유리, 목재, 금속 등의 건설폐재등이 발생하고 있다. 재개발지구에서 발생된 폐재를 폐기처분할 경우 소각, 매립 등에 있어 용지, 비용, 환경오염 등의 문제를 발생시킬 수 있으며, 현행법규에서는 이러한 자원의 재활용과 환경보호 측면에서 일정한 비율의 폐재를 재활용 하도록 규정하고 있다.

본 연구에서는 택지개발현장에서 실시되고 있는 지장물 철거에 의해 발생되고 있는 폐콘크리트를 이용하여 실내 및 현장시험을 실시하고 관련 법규에서 제한하고 있는 품질기준과 비교 분석하여 재활용할 수 있는 방안과 보다 더 환경친화적인 처리 방법을 모색하였다. 실험은 폐콘크리트의 공학적 환경적 특성을 분석하기 위하여 비중, 입도, pH 등의 실험을 실시하였으며, 재활용방법을 모색하기 위하여 폐콘크리트의 기본 특성 및 다짐, CBR시험 등을 실시하였다. 실험결과는 폐기물관리법에서 규정하고 있는 재활용방법에 따른 공학적 환경적 품질기준과 비교하여 그 처리 방법을 모색하고자 한다.

2. 환경특성 분석

정부에서는 지장물의 건설, 해체공사 등에 동반하여 발생하는 폐기물에 대하여 1992년 '자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률'을 입법화하였고, 1994년에는 '건설폐재 배출사업자의 재활용지침'을 마련하

여 건설폐기물의 적정처리 및 재활용을 장려하고 있다. 또한, 폐기물관리법 제24조의 사업장폐기물 감량화지침을 제정·시행하여 사업장내에서 발생하는 폐기물에 대하여 단계적으로 건설폐기물의 재활용 비율을 증진시킬 계획에 있다. 따라서 본 연구에서는 단지내에서 발생하는 폐콘크리트의 pH, 유기물 함량, 중금속 농도 등의 환경적 특성을 분석하여 재활용방안을 제시하고자 한다.

2.1 pH 및 유기물 함량

연구대상 지구내에서 건물의 해체를 통하여 선별 또는 분쇄된 폐콘크리트에 대한 환경특성을 먼저 살펴보았다. 폐콘크리트는 해체 및 선별 콘크리트를 대상으로 크기별로 채취하였다. 채취된 폐콘크리트의 pH 및 유기물 함량을 분석하여 표 1에 나타내었다. 표에서와 같이 폐콘크리트의 pH는 7.7~12의 범위를 보여 일반적으로 염기성을 가지는 것을 알 수 있다. 폐콘크리트의 유기물함량은 1.3~4.9의 범위를 보여 유기물함량은 크지 않은 것으로 나타났다.

표 1. 폐콘크리트의 pH 및 유기물 함량

구분	pH	유기물 함량 (%)
해체 폐콘크리트	7.72~11.68	1.38~4.84
선별 폐콘크리트 (25mm 이하)	7.9	4.97
선별 폐콘크리트 (25~40 mm)	12.5	4.63

2.2 화학농도

다음은 폐콘크리트를 전처리한 후, 화학농도를 분석하여 표 2에 나타내었다.

표 2. 폐콘크리트의 화학농도분석 결과

분석 항목	해체 폐콘크리트	선별 폐콘크리트 (25 mm 이하)	폐기물관리법 기준치 (mg/L)
구리(Cu)	0.09~1.278	0.52	3.0
카드뮴(Cd)	불검출~0.014	0.094	0.3
납(Pb)	0.03~0.245	불검출	3.0
수은(Hg)	불검출	불검출	0.005
6가크롬(Cr ⁶⁺)	불검출	불검출	1.5
테트라클로로에틸렌	불검출	불검출	0.1
트리클로로에틸렌	불검출	불검출	0.3
시안(CN)	불검출	불검출	1.0
비소(As)	불검출	0.151	1.5
유기인	불검출	불검출	1.0

지구내 발생하는 해체 폐콘크리트 및 25mm 이하의 선별 폐콘크리트의 구리(Cu) 농도는 0.09~1.278 mg/L로 폐기물관리법 기준치인 3.0 mg/L 이내로 검출되었고 카드뮴(Cd) 농도 역시 0.094 mg/L의 농도

로 기준치 보다 약 30% 이내로 검출되었다. 납(Pb)의 경우에는 폐콘크리트에서만 기준치 이하로 낮게 검출되었으며 그 밖의 수은(Hg) 및 6가크롬(Cr⁶⁺), 테트라클로로에틸렌 및 트리클로로에틸렌, 시안(CN⁻) 등에 대해서는 검출되지 않았다. 따라서 분석한 중금속류의 화학 농도 결과는 폐기물 관리법 기준치를 모두 충족하는 것으로 나타났다.

2.3 장기 연속식 용출시험

장기 연속식 용출시험(Column Leaching Test)은 Column내에 폐콘크리트 시료를 채우고 연속 또는 간헐적으로 주입수(증류수, 해수)를 자연유하되게 하여 통과시킨 후 용출수의 성분을 조사, 분석하는 방법이다. 본 실험은 실제 폐콘크리트가 장기적으로 매립되어 강우 및 지하수 등에 영향을 받을시 pH, 유기물농도, 중금속류 등의 성분에 대해 시간경과에 따른 변화를 예상할 수 있다.

다음은 지구내 폐콘크리트에 대하여 인공강우를 주입시킨 후, 용출된 시료에 대하여 유기물 농도 및 중금속 농도 등을 표 3에 나타낸 것이다.

표 3. 폐콘크리트의 장기 용출시험 결과

분석항목	1차 용출농도	2차 용출농도	폐기물관리법 기준치 (mg/l)
pH	11.4	7.7	-
COD	39	6.8	-
폐놀	불검출	불검출	-
구리(Cu)	0.111	0.104	3.0
카드뮴(Cd)	불검출	불검출	0.3
납(Pb)	0.11	불검출	3.0
수은(Hg)	불검출	불검출	0.005
6가크롬(Cr ⁶⁺)	0.016	불검출	1.5
시안(CN)	0.01	불검출	1.0
비소(As)	불검출	불검출	1.5

해체 폐콘크리트에 대한 1차 및 2차 용출시험결과를 살펴보면, pH의 농도는 11.4에서 7.7로 시간이 지날수록 중성에 가까워졌으며 유기물 농도 지표인 COD의 값은 2차 분석시 약 6.8 mg/L로 매우 낮게 나타났다. 한편, 1차 용출수를 실험한 결과 중금속의 농도중 구리, 납, 6가 크롬, 시안 등이 매우 낮게 나타났으나 2차 용출수에는 구리를 제외한 다른 중금속 등은 모두 검출되지 않았다. 따라서 장기 연속식 용출시험을 한 결과, 초기에 용출된 중금속류 대부분이 시간이 지남에 따라 검출되지 않았음을 알 수 있었다.

3. 토질공학특성 분석

지구내 발생 폐기물 등을 재활용하는데 있어 폐기물 및 토양오염기준을 충분히 만족시켜 주변환경오염의 우려가 없다고 인정되는 경우에는 지구내에서 발생하는 폐콘크리트의 함수비, 마모감량, 입도, 다

짐, CBR 등의 토질공학적 특성을 분석한 후, 관련 법규에서 제한하고 있는 품질기준과 비교 분석하여 재활용할 수 있는 처리 방법을 모색한다.

3.1 기본 특성

현장에서 채취한 폐콘크리트에 대한 함수비는 13.64~29.5의 범위를 보였고, 비중은 2.62~2.67의 범위를 보였다. 그리고 소성지수는 비소성(NP)로 나타났다. 폐콘크리트의 입도분포를 살펴보면 유효입경 D_{10} 은 0.17~0.34mm이고 #200체 통과량은 0.7~5.2의 범위로 나타났다.

표 4. 폐콘크리트의 기본특성

구분	함수비 (%)	비중	소성지수
선별 폐콘크리트 (25mm 이하)	20.41~29.5	2.62	NP
선별 폐콘크리트 (25~40mm)	13.64~28.9	2.64	NP
파쇄 폐콘크리트 (100mm 이하)	15.4~27.6	2.67	NP

표 5. 폐콘크리트의 입도특성

시 료	선별 폐콘크리트 (25mm 이하)	선별 폐콘크리트 (25~40 mm)	파쇄 폐콘크리트 (100mm 이하)
D_{10} (mm)	0.17	0.17	0.34
Cu	16.9	30.3	132.4
Cc	0.89	0.37	0.4
#200 체 통과량(%)	5.2	2.8	0.7

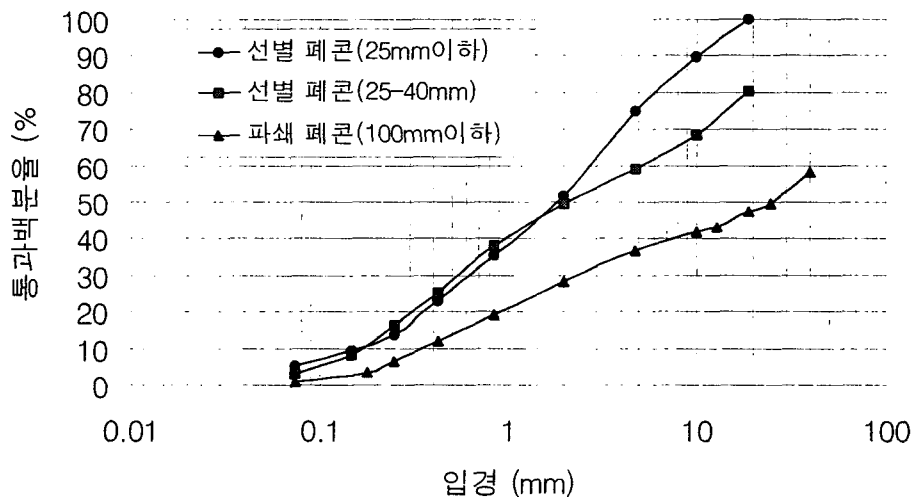


그림 1. 폐콘크리트의 입도분포 곡선

3.2 다짐 및 CBR 특성

폐콘크리트에 대한 다짐특성시험 결과 최적함수비는 11.5~14.3%이고 최대건조단위중량은 1.761~1.935g/cm³으로 나타났다. 폐콘크리트 25mm 이하의 CBR치는 평균 12.3으로 나타났다.

표 6. 폐콘크리트의 다짐특성

구분	최적 함수비 (%)	최대건조단위중량 (g/cm ³)
선별 폐콘크리트 (25mm 이하)	11.5	1.935
선별 폐콘크리트 (25~40mm)	14.3	1.761
파쇄 폐콘크리트 (100mm 이하)	13.5	1.881

표 7. 폐콘크리트의 CBR특성

구분	평균 0.95 γ_d (g/cm ³)	평균 CBR
선별 폐콘크리트 (25 mm 이하)	1.838	12.3

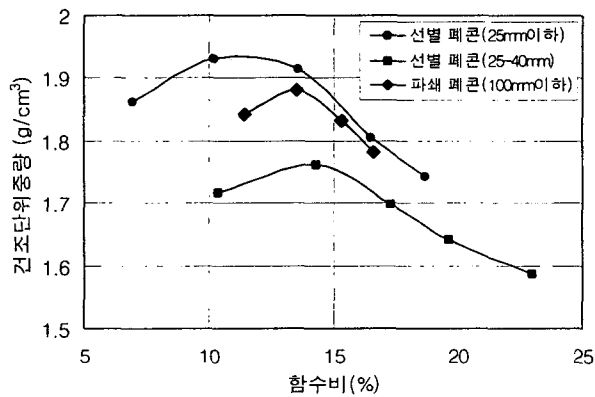


그림 2. 폐콘크리트의 다짐곡선

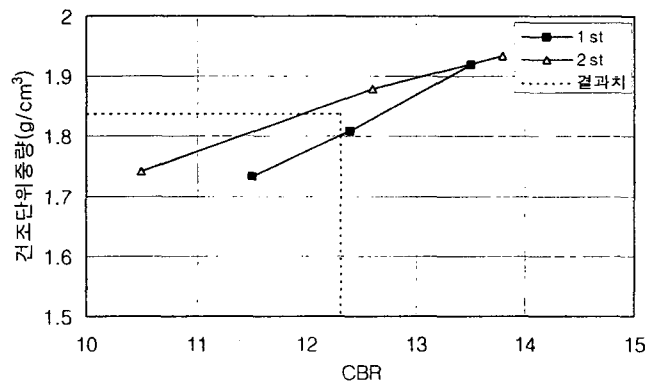


그림 3. 폐콘크리트의 CBR곡선

3.3 마모 특성

폐콘크리트의 마모감량을 살펴보기 위하여 로스엔젤레스 마모시험기를 이용하여 마모시험을 실시하였다. 폐콘크리트의 마모감량은 47.21~52.3으로 나타났다. 본 연구에서 사용된 폐콘크리트는 신선한 폐콘크리트가 아니고 오래된 일반 가옥에서 발생된 폐콘크리트로서 마모감량이 크게 나타났다.

표 7. 폐콘크리트의 마모특성

구분	마모감량 (%)
선별 폐콘크리트 (25mm 이하)	-
선별 폐콘크리트 (25~40mm)	52.3
파쇄 폐콘크리트 (100mm 이하)	47.21

다층 지반의 2차원 압밀 수치해석

2-D Consolidation Numerical Analysis of Multi_Layered Soils

김팔규¹⁾, Pal-Kyu Kim, 류권일²⁾, Kwon-Il Ryu, 남상규³⁾, Sang-Kyu Nam, 이재식⁴⁾, Jae-Sik Lee

¹⁾ 충남대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Chungnam Univ.

²⁾ 충남대학교 토목공학과 박사수료, Ph. D. Candidate, Dept. of Civil Engineering, Chungnam Univ.

³⁾ (주)한국구조안전기술원 부장, General manager, Korea Structural Analysis & Diagnosis Eng.

⁴⁾ 한국토지공사 대리, Korea Land Development Corporation

SYNOPSIS : The application of Terzaghi's theory of consolidation for analysing the settlement of multi-layered soils is not strictly valid because the theory involves an assumption that the soil is homogeneous. The settlement of stratified soils with confined aquifer can be analysed using numerical techniques whereby the governing differential equation is replaced by 2-dimensional finite difference approximations.

The problems of discontinuous layer interface are very important in the algorithm and programming for the analysis of multi-layered consolidation using a numerical analysis, finite difference method(F.D.M.). Better results can be obtained by the process for discontinuous layer interface, since it can help consolidation analysis to model the actual ground

The purpose of this paper provides an efficient computer algorithm based on numerical analysis using finite difference method(F.D.M.) which account for multi-layered soils with confined aquifer to determine the degree of consolidation and excess pore pressures relative to time and positions more realistically.

Key Words : Numerical Method, Multi-layered Soil, Finite Difference Method, Layer Interface, Confined aquifer

1. 서 론

압밀 해석은 지반의 비균질성, 시간의존성, 응력-변형률의 비선형성, 자중의 영향, 시간 종속적인 경계조건, 2차압밀 등의 여러 요소들을 고려해야 하므로 해석 결과의 부정확성을 내포하고 있다. 그러나, 컴퓨터의 발달과 더불어 수치해법의 개발과 함께 물리적 특성의 정확한 이해에 따르는 해석 결과의 정확성을 높이기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

수치해법은 유한차분법(Finite Difference Method, F.D.M)과 유한요소법(Finite Element Method, F.E.M)으로 크게 나눌 수 있다. 유한 차분법은 F.E.M과 비교할 때 많은 parameter가 필요하지 않고 경제적이며 실용성이 크다(Necati, 1994).

현장의 지층은 한 개의 층으로 구성되어 있는 것이 아니라 다층의 압밀층으로 구성되어있는 경우가 많다. 또한, 다층의 연약 지반에 드레인재를 타입 했을 경우 피압층을 포함하고 드레인재가 타입 되지 않은 심도까지의 압밀 해석을 위해서는 2차원 해석이 불가피하며 이러한 경우 안정성 및 경제적인 측면에서의 효과적인 모델링 개발 및 해석은 중요하다.

다층 지반을 연속적으로 해석하기 위해서는 모델링 지반의 경계면 조건을 적용해야한다. 2개의 서로 다른 층이 연속적임을 감안한 식을 사용하였고 배수재가 설치된 지반과 설치되지 않은 지반을 포함한 경계조건을 적용하였다.

2. 유한차분식

2.1 2차원 압밀 방정식

드레인재가 포함된 지반과 포함되지 않은 지반의 2차원 압밀 해석을 위해서는 Terzaghi 식과 Barron 식을 사용해야 한다.

우선, Terzaghi의 2차원 압밀 방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_h \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + C_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (1)$$

여기서, C_h 와 C_v 는 각각 수평방향 및 수직방향 압밀 계수이다.

식(1)을 Explicit Scheme로 차분화 하면 다음과 같은 식이 된다.

$$\frac{u_{i,j}^{n+1} - u_{i,j}^n}{\Delta t} = \frac{C_h}{\Delta x^2} (u_{i,j-1}^n - 2u_{i,j}^n + u_{i,j+1}^n) + \frac{C_v}{\Delta z^2} (u_{i-1,j}^n - 2u_{i,j}^n + u_{i+1,j}^n) \quad (2)$$

여기서, Δt 는 시간간격, Δx 는 수평방향 거리, Δz 는 수직방향 거리를 나타낸다. 또한, 첨자 i 는 row, j =column을 의미한다. 이것을 그림으로 나타내면 Fig. 1과 같다.

식(2)은 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$u_{i,j}^{n+1} = \frac{C_h \cdot \Delta t}{\Delta x^2} (u_{i,j-1}^n - 2u_{i,j}^n + u_{i,j+1}^n) + \frac{C_v \cdot \Delta t}{\Delta z^2} (u_{i-1,j}^n - 2u_{i,j}^n + u_{i+1,j}^n) + u_{i,j}^n \quad (3)$$

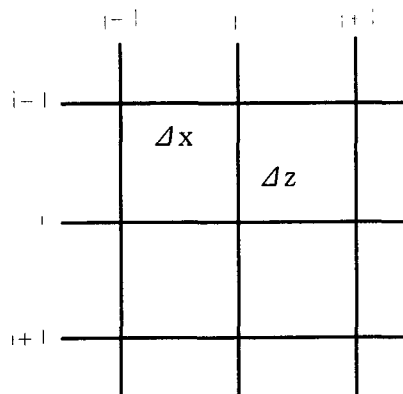


Fig. 1 Element mesh

4. 결론

본 연구에서는 폐콘크리트의 토질공학적 및 환경적특성 분석 등을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 연구대상 폐콘크리트의 pH는 염기성으로 나타나며 유기물 함량은 5%미만으로 나타났다. 또한, 폐콘크리트에 대하여 중금속류를 분석한 결과, 폐기물관리법 기준치를 모두 만족하였다.
- 2) 폐콘크리트에 대하여 장기 연속식 용출시험을 한 결과, 초기에 용출된 중금속류 대부분이 시간이 지남에 따라 검출되지 않았음을 알 수 있었다.
- 3) 폐콘크리트의 비중은 2.62~2.67, 소성지수는 비소성(NP), 유효입경 D_{10} 은 0.17~0.34mm이고 #200체 통과량은 0.7~5.2의 범위로 나타났다.
- 4) 폐콘크리트의 다짐특성중 최적함수비는 11.5~14.3%, 최대건조단위중량은 $1.761\sim 1.935\text{g/cm}^3$ 이고 CBR치는 평균 12.3으로 나타났다.
- 5) 일반가옥에서 발생하는 폐콘크리트의 마모감량은 47.21~52.3으로 나타났다.

참고문헌

1. 최의소(1990), “폐기물처리와 자원화”, 청문각
2. 환경부(1997), “폐기물공정시험법”
3. 건설교통부(1995), “건설사업 폐기물의 리사이클링 시스템 및 재활용 기술개발에 관한 연구”
4. 서울시정개발연구원(1995), “건축물폐재료의 적정처리 및 재활용 방안”
5. 건설교통부(1999), “건설폐기물의 재활용 및 처리기술개발”
6. 한국건설기술연구원(1989), “국내 콘크리트구조물의 내구성 평가를 위한 조사연구”
7. 本多淳裕(1994), “建設副産物・廢棄物のリサイクル”
8. 한국지반공학회(1994), “성토재로서의 폐콘크리트 활용성평가 학술용역 보고서”
9. 한국자원재생공사(1995), “건설폐기물 재활용 가이드 라인 설정 및 재활용 촉진방안”