

페타이어-저회가 혼합된 유동성 복합지반재료의 공학적 특성

김윤태* · 강효섭**

*부경대학교 해양공학과

**도담이앤씨 지반터널부

Engineering Properties of Flowable Composite Soil with Waste Tire and Bottom Ash

Yun-Tae Kim* and Hyo-Sub Kang**

*Department of Ocean Engineering, Pukyong National University, Busan, Korea

**Geotechnical & Tunnel Dept., Dodam Engineering & Construction CO., LTD, Gyeonggi-Do, Korea

KEY WORDS: Recycling 재활용, Bottom ash 저회, Waste tire powder 페타이어 분말, Unconfined compressive test 일축압축시험, Flow test 유동성 시험

ABSTRACT: This study investigated the engineering properties of waste tire powder-bottom ash added composite soil, which was developed to recycle dredged soil, bottom ash, and waste tire powder. Test specimens were prepared using 5 different percentages of waste tire powder content (0%, 25%, 50%, 75%, and 100% by weight of the dry dredged soil), three different percentages of bottom ash content (0%, 50%, and 100% by weight of the dry dredged soil), and three different particle sizes of waste tire powder (0.1~2 mm, 0.9~5 mm, and 2~10 mm). Several series of unconfined compression tests, direct shear tests, and flow tests were conducted. The experimental results indicated that the waste tire powder content, particle size of waste tire powder, and bottom ash content influenced the strength and stress-strain behavior of the composite soil. The flow value increased with an increase in water content, but decreased with an increase in waste tire powder content.

1. 서 론

전 세계적으로 산업폐기물을 이용하여 지반공학적 재료로 재활용하고자하는 관심이 증대되고 있는 추세이다. 최근 국내에서도 준설토, 저회 및 페타이어 등과 같은 산업폐기물의 발생량이 증가하고 있다. 국내의 준설토 발생량은 연안개발 및 항만건설 등의 대규모 개발공사와 선박의 대형화 등으로 인해 2000년대 초반부터 급증하고 있으나, 준설토에 대한 처리 및 재활용 기술 부족으로 상당량의 준설토가 매립 및 외해투기 되고 있는 실정이다. 이로 인해 준설토의 처리비용 역시 증가하고 있다. 화력발전소에서 부산물로 발생하는 석탄회는 비회와 저회로 구성되어 있다. 전력사용량의 증가로 인해 석탄회 발생량은 매년 증가하고 있으며, 2010년경에는 약 600만톤에 이를 것으로 예상되고 있다(산업자원부, 2002). 비회는 시멘트 원료나 콘크리트 혼화재로서 널리 재활용되고 있다. 하지만 전체 석탄회량의 약 15%에서 20%를 차지하는 저회는 재활용 비율이 낮아 회사장(Ash pond)에 단순 폐기되고 있는 실정이라서 전체 저회 양은 전국적으로 수백만 톤에 이른다. 자동차의 부산물로 발생하는 페타이어는 전 세계적으로 매년 수 억개에 달하고 있으며, 국내에서는 매년 약 2000만개의 페타이어가 발생되어 약 70%가 회

수되는 것으로 나타났다(코오롱건설, 2001). 회수나 처리되지 못한 페타이어는 미관 훼손 및 화재 위험성으로 인해 환경적, 사회적 문제를 야기하고 있다.

이러한 준설토, 저회 및 페타이어와 같은 산업폐기물을 처리 혹은 매립하기 위해 상당한 비용이 소요되고, 환경적인 문제가 야기되고 있는 실정이다. 또한 천연골재의 부족과 가격 상승으로 인한 공사비 증가와 골재 채취과정에서의 환경과피로 인해 골재의 수급문제가 크게 대두되고 있다. 따라서 산업폐기물을 지반공학적 재료로 재활용하기 위한 연구가 절실히 필요하다.

본 연구에서는 준설토, 저회 및 페타이어 분말을 재활용하여 경량성이 확보된 유동성 복합지반재료를 개발하는데 목적이 있다. 이를 위해 페타이어 분말을 이용하여 경량성을 확보할 뿐만 아니라, 강도보강을 위해 저회를 혼합한 페타이어-저회 혼합경량토를 개발하였다. 페타이어-저회 혼합경량토를 대상으로 혼합되는 재료의 함량과 특성에 따른 공학적 특성을 분석하기 위해 유동성 시험, 일축압축시험 및 직접전단시험을 수행하였다. 다양한 실험결과를 바탕으로 저회 함량과 페타이어 분말 입경에 따른 페타이어-저회 혼합경량토의 물리적·역학적 특성을 파악하였다.

2. 연구 동향

2.1 지반재료로서 페타이어 활용

페타이어를 사용한 선행 연구를 살펴보면, 페타이어 조각을 모래와 혼합하여 뒷채움재, 도로성토재 등으로 재활용하기 위하여 이들 혼합토에 대한 역학적 특성을 연구한 것들이 주류를 이루고 있다(Zornberg et al., 2004; Masad et al., 1996; Foose et al., 1996; Lee et al., 1999; Lok and Yu, 2006; Youwai and Bergado, 2003; Ghazavi and Sakhi, 2005a; 2005b). 또한 Ghazavi and Sakhi(2005a), Masad et al.(1996), Zornberg et al.(2004)에 의해 타이어 너비와 길이, 함량에 따른 역학적 특성과 최적 배합특성에 대한 연구도 수행되었다. 페타이어를 이용한 유동성 채움재에 대한 연구를 살펴보면, Pierce and Blackwell (2003)은 타이어 조각과 비회를 혼합하여 유동성 채움재에 대한 연구를 수행하였으며, 전형적인 유동성 채움재와 강도특성을 비교하여 교대배면에 경량 뒷채움재로서 이용할 수 있다고 제안하였다. Wu and Tsai(2009)은 실트질 모래와 타이어 조각을 혼합한 경량성 CLSM(Controlled low strength material)에 대한 연구를 수행하였다. 이와 같이 페타이어를 이용하여 지반공학 적 재료로 재활용하고자 했던 기존 연구는 페타이어 조각과 모래를 혼합한 연구가 대부분이다. 그러나 유동성이 있는 뒷채움재 및 지반재료에 대한 연구는 아직 미진한 상태이다.

따라서 본 연구에서는 별도의 처리 없이는 지반재료로서 부적합한 흙인 준설토, 역학적·화학적 특성이 비회 보다 떨어지는 저회, 경제성장과 함께 매년 발생하는 페타이어를 각각 이용하여 유동성을 갖춘 복합지반재료를 개발하였다. 이를 통해 실질적인 산업폐기물의 재활용률을 높이고, 현장에 쉽게 활용할 수 있는 시공성과 경제성을 가진 지반재료를 개발하고자 하였다.

2.2 경량재료로서의 페타이어

기포(Air-foam)를 혼합한 경량기포혼합토에 대한 연구는 1990년대 일본에서 본격적으로 시작되어 현재까지도 연구가 진행되고 있다. 최근에는 항만구조물 뿐만 아니라 육상의 옹벽 및 교대와 같은 토목구조물의 뒷채움재 및 지하구조물의 충전재 등 광범위한 분야에 적용되고 있다(Tsuchida and Egashira, 2004). 그러나 기포를 이용한 경량기포혼합토의 경우, 조립질 및 유기물질의 함량이 많아지면 양생되는 동안 기포가 소포될 우려가 있다(Tsuchida and Egashira, 2004). 이와 같이 기포를 이용할 경우 배합재료, 배합시간 및 양생조건 등에 따라서 기포가 소포되는 문제점을 가지고 있으며, 시공전에 현장에서 직접 발표해야 하는 공간적 제약도 따르고 있다(김윤태와 강효섭, 2008). 따라서 기포 대신 비중이 1.13인 페타이어 분말을 이용함으로써 기포소포에 따른 문제점을 해결할 수 있을 뿐만 아니라 혼합되는 재료의 다양성 및 시공성에서도 큰 이점이 있다.

2.3 저회 혼합에 따른 역학적 특성 변화

화력발전소에서 에너지를 얻기 위해 석탄을 태우고 남은 부산물은 크게 비회와 저회로 나뉜다. 비회는 포졸란 재료로서 많은 양이 시멘트 혼화제로 사용되고 있다. 포졸란이란 활성이 큰

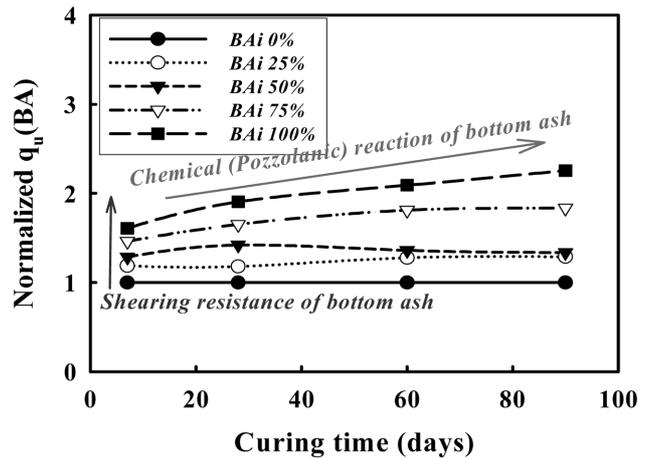


Fig. 1 Increase of normalized compressive strength as a function of curing time and bottom ash content

비결정의 실리카(Silica)와 알루미나(Alumina)를 가지고 있는 물질을 말하며 그 자체로는 결합성이 없으나, 수분 존재하에 $Ca(OH)_2$ 와 반응하여 C-S-H($CaO \cdot SiO_2 \cdot 2H_2O$), C-A-H($CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2H_2O$)를 형성할 수 있는 물질을 말한다. 이러한 반응은 비교적 장기간에 걸쳐 다양한 접착성 물질을 생성하며 이에 따라 토립자의 간극이 채워짐으로써 더 조밀한 구조가 된다(이용수 등, 2005). 일반적으로 저회와 비회는 생성되는 기원이 동일하며, 그 화학적 구성성분 또한 유사하다. Jaturapitakkul and Cheerarot(2003)은 저회 함량에 따른 시멘트 몰타르의 강도특성 연구에서 저회의 입자가 작은 경우에 더 큰 강도증진 효과를 나타내고 있음을 밝히고 있다. 이와 같이 저회 역시 포졸란 반응을 통해 강도 증진에 효과를 줄 수 있음을 알 수 있다. Fig. 1은 준설토와 저회를 혼합한 경량토에서 저회 함량과 재령일에 따른 정규화된 일축압축강도를 나타냈다. 정규화된 일축압축강도는 다음 식 (1)과 같이 구할 수 있다.

$$\text{Normalized } q_u (BA) = q_{u,BAi} / q_{u,BAi 0\%} \quad (1)$$

여기서 $q_{u,BAi 0\%}$ 는 저회함량이 0%일 때의 일축압축강도이며, $q_{u,BAi}$ 는 저회함량(25%, 50%, 75%, 100%)에 대응하는 일축압축강도를 나타낸다. Fig. 1에서와 같이 저회의 굵은 입자 특성으로 인해 임의의 재령일에서 저회 함량이 증가할수록 정규화된 일축압축강도는 증가한다. 또한 동일한 저회 함량에서 재령일이 증가함에 따라 저회의 화학적 반응 특성으로 인해 강도는 증가하는 것으로 나타났다(김윤태 등, 2007). 이처럼 준설토와 저회를 혼합한 경우 입자간의 전단특성과 화학적 반응특성에 기인하여 강도가 증가하는 것으로 판단된다.

3. 재료특성 및 실험방법

3.1 재료특성

본 연구에서 사용된 준설토는 부산신항 배후부지에서 채취된 시료로서 No. 200체 통과율이 81.2%로 점토성분에 실트가 함유된 실트질 점토로 확인되었다.

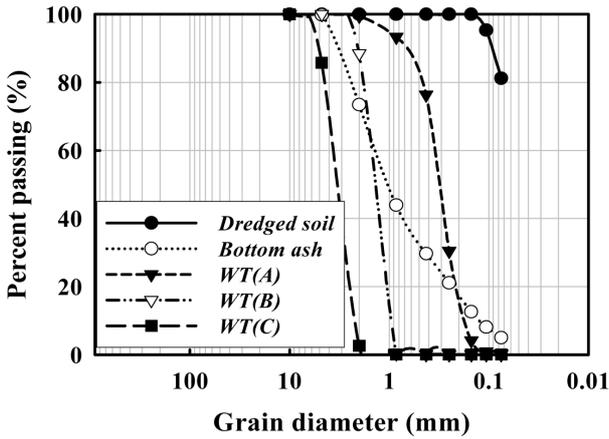


Fig. 2 The grain size distribution curves of admixtures

저회는 삼천포 화력발전소에서 발생한 것으로 균등한 공시체 제작을 위해 No. 4체를 통과시켜 자갈크기의 입자를 배제하였다. 저회의 비중은 2.0이고, 유효입경(D_{10})은 0.12mm이다. 저회는 비교적 양호한 입도분포를 가진 모래와 유사한 특성을 나타낸다. 또한 XRF(X-ray fluorescence)와 XRD(X-ray diffractogram)을 통하여 나타난 저회의 화학적 성분은 실리카(SiO_2)와 알루미늄(Al_2O_3) 성분이 많이 함유된 것으로 확인되었으며, 주요결정상은 Quartz(SiO_2)와 Mullite($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$)로 나타났다. 페타이어 분말은 C사에서 제조된 타이어 분말로서 입경에 따라 페타이어 분말을 A, B, C로 구분하였다. 페타이어 분말 A, B, C의 입경 범위는 각각 0.1mm~2mm, 0.9mm~5mm, 2mm~10mm이다. Fig. 2는 준설토, 저회 및 3가지 종류의 페타이어 분말에 대한 입도분포곡선을 나타내고 있다. 입도분포곡선을 통해 나타난 페타이어 분말 A, B, C의 유효입경(D_{10})은 각각 0.2mm, 0.93mm, 2.16mm이다.

3.2 배합 특성

저회 함량, 페타이어 분말의 함량 및 입경에 따른 페타이어-저회 혼합경량토의 역학적 특성을 파악하기 위해 Table 1과 같은 배합비로 공시체를 제작하였다. 본 연구에 앞서 수행된 예비 시험 결과를 바탕으로 함수비(140%)와 시멘트 함량(20%)은 일정하다. 저회 함량에 따른 페타이어-저회 혼합경량토의 역학적 특성을 파악하기 위해 저회 함량을 건조 준설토 중량 대비 0%, 50%, 100%로 변화시켜 공시체를 제작하였다. 또한 페타이어 분말 입경에 따른 강도특성을 파악하기 위해 입경이 서로 다른 페타이어 분말 A, B, C에 대하여 혼합 함량을 건조 준설토 중량 대비 0%, 25%, 50%, 75%, 100%로 각각 변화시켰다. 이때의

Table 1 Mixing conditions (percentage by the weight of dredged soil)

Component	Mixing condition
Bottom ash content (BAi) %	0, 50, 100
Waste tire powder content (WTi) %	0, 25, 50, 75, 100
Type of waste tire powder	A, B, C

기준 저회 함량은 100%이다. 모든 공시체는 28일 양생 후에 시험을 수행하였다.

3.3 실험방법

페타이어 분말 입경(A, B, C)과 저회 함량(BAi 0%, 50%, 100%)을 변화시켜 제작된 공시체를 28일간 양생시킨 후 강도 및 응력-변형 거동 특성을 파악하기 위해 일축압축강도 시험(KS F2314)을 수행하였다. 일축압축용 공시체 크기는 직경 72mm, 높이 148mm이며, 일축압축시험시 축변형률은 1%/min로 제어하였다.

페타이어-저회 혼합경량토의 유동특성을 파악하기 위해 유동성 시험을 수행하였다. 유동성 시험은 JHS A 313(몰드: 직경 8cm, 높이 8cm)과 ASTM D 6103(몰드: 직경 7.5cm, 높이 15cm)의 두 시험방법을 적용하여 유동성 시험을 실시하였으며, 시험 방법에 따른 흐름값의 차이를 살펴보았다. 일반적인 흐름값의 최적범위는 20 ± 5 cm이다.

또한 본 연구에서는 페타이어 입경에 따른 전단특성을 파악하기 위해 순수한 페타이어 분말을 대상으로 직접전단시험을 수행하였다. 전단공시체의 크기는 100mm × 100mm × 60mm로서 직육면체이다. 전단시 적용된 수직응력은 30kPa, 60kPa, 90kPa, 120kPa이며, 전단변형률은 1.0%/min으로 제어하였다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 단위중량 특성

Fig. 3은 페타이어 분말의 입경(A, B, C)과 함량에 따른 페타이어-저회 혼합경량토의 단위중량 특성을 나타내고 있다. 페타이어 분말 함량이 증가할수록 페타이어 분말의 가벼운 중량으로 인하여 단위중량은 감소하는 경향을 나타내고 있다. 또한 동일한 페타이어 분말 함량에서 분말 입경이 작을수록 단위중량이 작은 값을 가진다. 이러한 경향은 페타이어 분말의 입자가 작을수록 비표면적이 커지므로 단위중량당 페타이어 분말의 부피가 증가하기 때문에 나타난 결과이다.

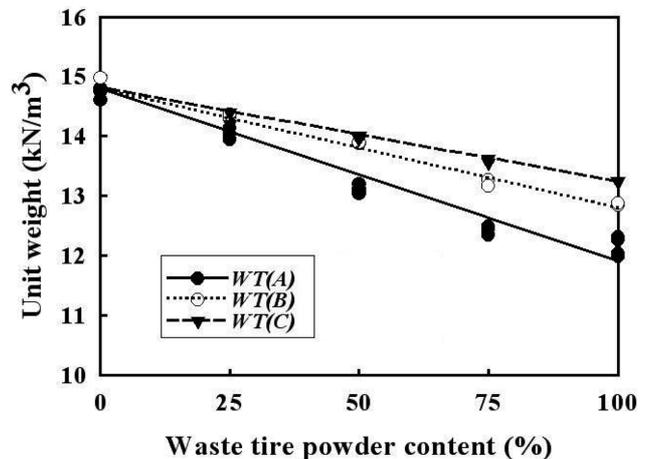


Fig. 3 Variation of unit weight with waste tire powder content and particle size

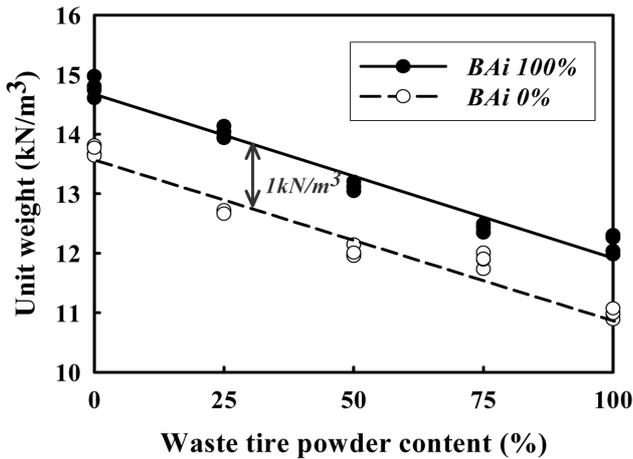


Fig. 4 Variation of unit weight with waste tire powder and bottom ash content

Fig. 4는 저회 함량이 각각 0%와 100%인 페타이어-저회 혼합 경량토의 페타이어 분말 함량에 따른 단위중량의 변화를 나타내고 있다. 동일한 페타이어 분말 함량에서 저회의 혼합 유무에 따라 약 1kN/m^3 의 단위중량 차이를 보이며, 페타이어 분말 함량이 0%에서 100%로 증가함에 따라 단위중량은 약 20% 감소한다.

4.2 저회 함량에 따른 영향

Fig. 5는 페타이어 분말 함량이 75%일 때 저회 함량(0, 50, 100%)에 따른 응력-변형 곡선을 나타내고 있다. 저회 함량이 클수록 침투강도는 뚜렷하게 나타나며, 최대강도 이후 하중이 급격하게 떨어지는 취성적인 응력-변형 곡선을 가진다. 저회 함량이 0%인 경우는 항복응력 이후 축변형률이 증가함에 따라 응력은 미소하게 증가하며 연성적인 응력-변형곡선을 가진다. 그러나 저회 함량이 증가함에 따라 페타이어-저회 혼합경량토의 응력-변형 곡선은 취성적인 경향을 가진다.

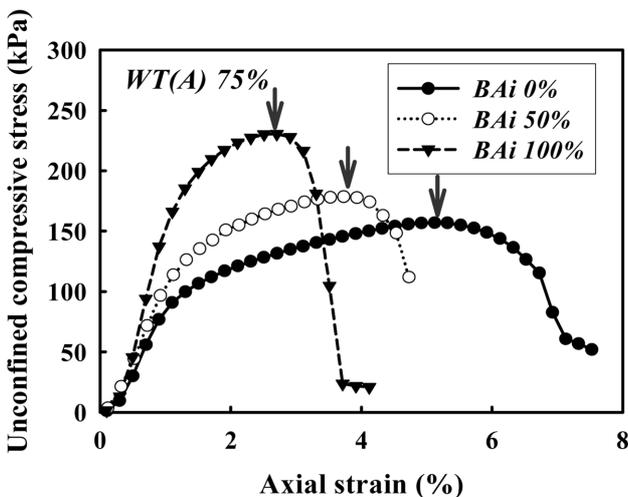


Fig. 5 Stress-strain curves of composite soil with bottom ash content

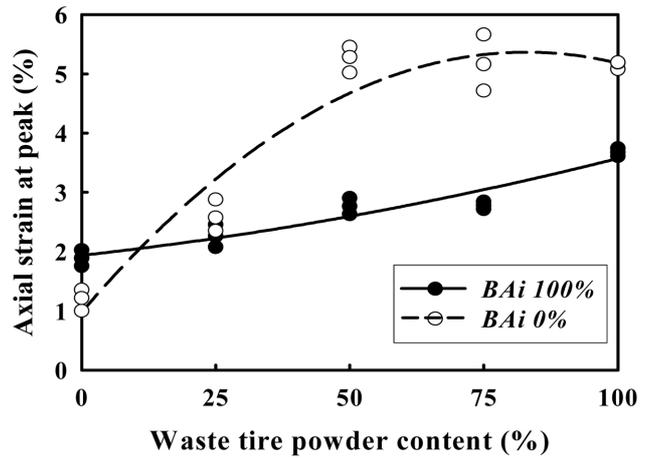


Fig. 6 Variation of axial strain at peak with waste tire powder and bottom ash content

Fig. 6은 페타이어 분말과 저회 함량에 따른 최대강도에 대응하는 축변형률을 나타낸다. 페타이어 분말 함량이 증가함에 따라 최대강도시 축변형률은 증가하는 경향을 나타내고 있다. 저회 함량이 0%인 경우 페타이어-저회 혼합경량토의 최대강도시 축변형률은 약 1~5%이며, 저회 함량이 100%인 경우 최대강도시 축변형률은 약 2~3%이다. 전체적으로 저회가 혼합되지 않은 페타이어 혼합경량토의 최대강도시 축변형률이 높게 나타났다. 이와 같이 페타이어-저회 혼합경량토의 강도와 응력-변형 특성은 저회와 페타이어 분말 함량에 따라 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

Fig. 7은 페타이어 분말 함량과 저회 함량에 따른 페타이어-저회 혼합경량토의 일축압축강도를 나타낸 것으로 전체적으로 페타이어 분말 함량이 증가함에 따라 일축압축강도는 감소하는 경향을 나타내고 있다. 페타이어 분말 함량이 적게 혼합된 경우에는 저회 함량에 따른 강도차이가 크게 나타났다. 그러나 페타이어 분말 함량이 증가함에 따라 저회 함량에 따른 강도차이는

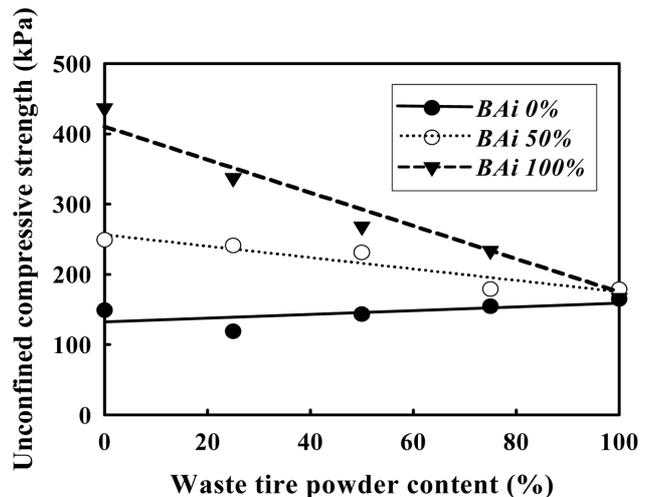


Fig. 7 Variation of unconfined compressive strength with waste tire powder and bottom ash content

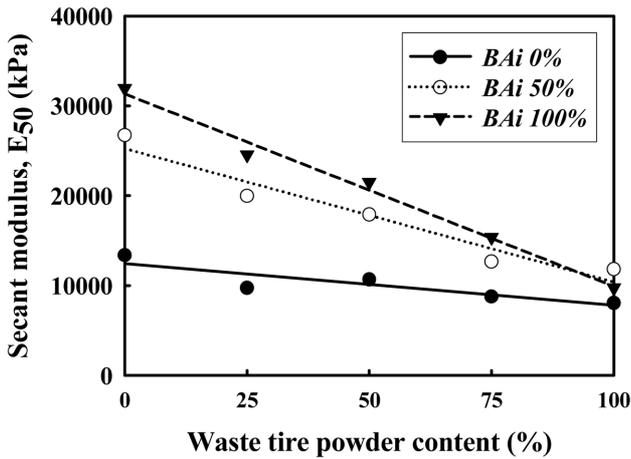


Fig. 8 Variation of normalized secant modulus with waste tire powder and bottom ash content

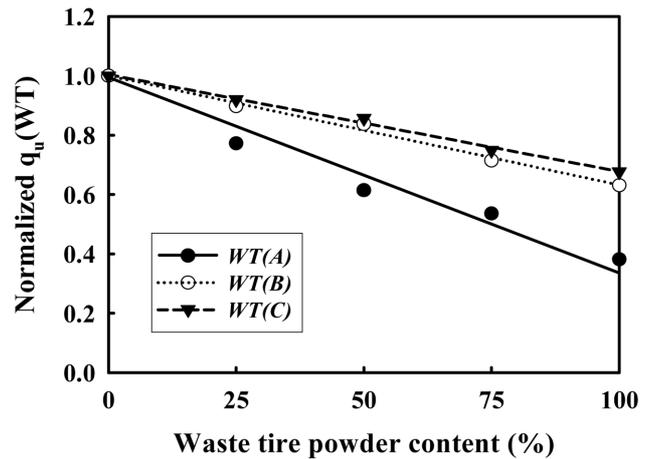


Fig. 9 Variation of normalized compressive strength with waste tire powder content and particle size

작게 나타난다. 특히 페타이어 분말 함량이 100%인 경우 저회 혼합 유무에 관계없이 강도는 약 200kPa에 수렴한다. Fig. 8은 페타이어 분말 함량과 저회 함량에 따른 할선탄성계수를 나타내고 있다. 할선탄성계수는 초기점과 일축압축강도의 1/2인 점을 연결한 직선의 기울기를 이용하여 산정하였다. 페타이어 분말 함량이 증가함에 따라 할선탄성계수는 감소하는 경향을 나타내고 있다. 저회 함량에 따른 할선탄성계수는 일축압축강도 특성과 유사한 경향을 가진다. 페타이어 분말 함량이 100%일 때 페타이어-저회 혼합경량토의 할선탄성계수는 약 10,000kPa에 수렴한다. 이와 같이 페타이어 분말 함량이 적을 경우 저회 혼합에 따른 강도 및 강성 증가효과는 크게 기대할 수 있지만, 페타이어 분말 함량이 클 경우(예로서, 페타이어 분말 함량이 100%인 경우) 저회 혼합에 따른 강도 및 강성 증가효과는 크게 기대할 수 없음을 알 수 있다. 이것으로부터 페타이어 분말 함량이 증가할수록 페타이어-저회 혼합경량토의 강도 특성은 페타이어 분말이 지배하고 있음을 알 수 있다.

4.3 페타이어 분말 입경에 따른 영향

페타이어 분말 입경에 따른 페타이어-저회 혼합경량토의 일축압축강도를 살펴보기 위해 3종류(A, B, C)의 입경을 가진 페타이어 분말을 혼합한 페타이어-저회 혼합경량토를 제작하여 일축압축시험을 수행하였다. Fig. 9는 페타이어 분말 함량과 입경에 따른 정규화된 일축압축강도를 나타내고 있다. 정규화된 일축압축강도는 다음 식 (2)과 같이 구할 수 있다.

$$\text{Normalized } q_u(WT) = q_{u,WTi} / q_{u,WTi 0\%} \tag{2}$$

여기서 $q_{u,WTi 0\%}$ 는 페타이어 분말 함량이 0%일 때의 일축압축강도이며, $q_{u,WTi}$ 는 페타이어 분말 함량(25%, 50%, 75%, 100%)에 대응하는 일축압축강도를 나타낸다. 페타이어 분말 함량이 증가함에 따라 일축압축강도는 감소하는 경향을 나타내고 있다. 입경이 커질수록 강도 감소율은 작아지는 것을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 페타이어 분말 입경이 커짐에 따라 페타이어 분말간의 역물림 작용이 크게 발생하는 것에 기인하는 것으로 판단된다.

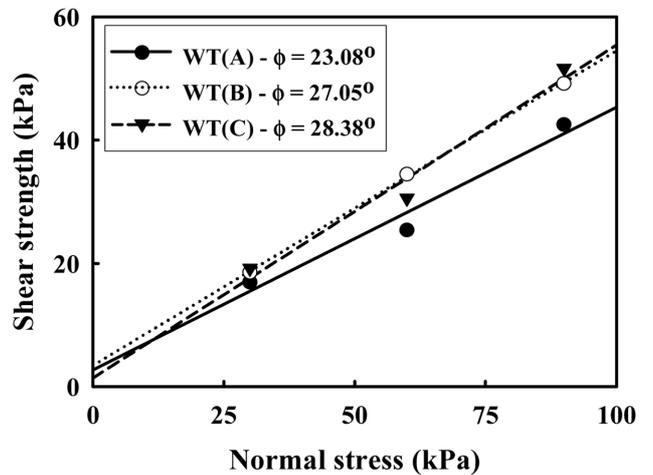


Fig. 10 Relationship between shear strength and normal stress with particle size of waste tire powder

이러한 페타이어 분말 입경에 따른 역물림 작용을 평가하기 위해 순수한 페타이어 분말에 대하여 직접전단강도 시험을 수행하였다. Fig. 10은 3종류의 페타이어 분말 입경에 따른 수직응력과 전단응력 관계를 나타낸다. 페타이어 분말 입경이 큰 경우 즉, WT(C)에서 전단강도와 마찰각이 크게 나타났다. 이와 같은 결과를 종합해 볼 때 페타이어 분말 입경이 커짐에 따라 재료간의 역물림 작용이 크게 발생되어 강도증진에 영향을 주고 있음을 알 수 있다.

4.4 흐름값 특성

일반적으로 흐름값은 함수비의 영향을 크게 받는다. 김운태와 강효섭(2008)는 페타이어 혼합경량토에서 페타이어 분말 함량이 증가할수록 흐름값은 감소하며, 함수비가 증가함에 따라 흐름값은 증가하는 결과를 보고하였다. 본 연구에서는 시험방법에 따른 흐름값의 차이를 분석하기 위해 ASTM D 6103 방법과 JHS A 313 방법을 이용하였다. Fig. 11과 같이 전체적으로

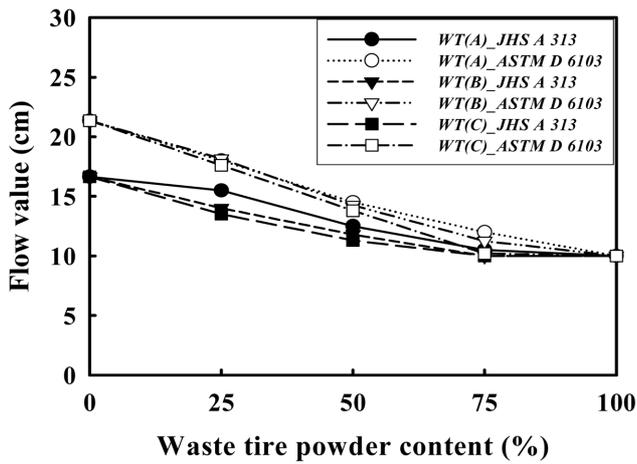


Fig. 11 Variation of flow value with waste tire powder content and particle size

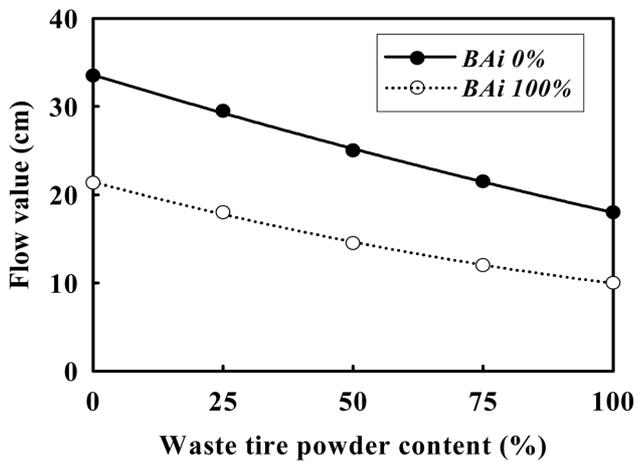


Fig. 12 Variation of flow value with waste tire powder content and bottom ash

ASTM D 6103 방법에 의한 흐름값이 JHS A 313 방법에 의한 흐름값 보다 약 20% 크게 나타났다. 따라서 시험방법에 따라 흐름값이 차이남을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 시험에 사용된 몰드의 높이 차이에 기인한다. JHS A 313 방법이 다소 보수적인 흐름값을 가진다. 페타이어 분말 함량이 증가함에 따라 흐름값은 감소하는 경향을 가진다. 페타이어 입경에 따른 흐름값의 변화를 살펴보면 페타이어 분말 입경이 클수록 흐름값은 감소하는 경향을 보이고 있지만, 전체적으로 미소한 차이를 보이고 있다.

Fig. 12는 페타이어 분말과 저회 함량에 따른 흐름값을 변화를 나타내고 있다. 저회가 0% 혼합된 경우의 흐름값은 100% 혼합된 경우보다 약 40% 큰 값을 가진다. 이와 같이 페타이어-저회 혼합경량토에서 저회를 혼합함으로써 강도증진 효과는 기대할 수 있으나, 흐름값은 감소되는 요인으로 작용함을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 준설토, 저회 및 페타이어 분말과 같은 산업폐

기물을 재활용하기 위하여 페타이어-저회 혼합경량토를 제작하였다. 실내시험을 수행하여 저회 함량, 페타이어 분말의 입경 및 함량에 따른 역학적 특성을 파악하였다. 실험결과로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

페타이어-저회 혼합경량토의 일축압축강도는 페타이어 분말 함량이 증가할수록 감소하나, 저회 함량이 증가할수록 증가한다. 페타이어 분말 함량이 증가할수록 저회 함량에 관계없이 일축압축강도와 할선탄성계수는 일정한 값에 수렴하는 경향을 나타낸다. 이것으로부터 페타이어-저회 혼합경량토의 강도 및 강성 특성은 페타이어 분말 함량이 증가할수록 페타이어 분말의 영향을 크게 받고 있음을 알 수 있다.

페타이어 분말 입경이 커짐에 따라 동일한 배합비에서 더 큰 강도를 가진다. 또한 순수한 페타이어에 대한 직접전단시험 결과 페타이어 분말의 입경이 클수록 전단강도와 마찰각이 크게 나타났다. 페타이어 분말의 입경이 커짐에 따라 재료간의 역물림 작용이 크게 발생되어 강도증진에 영향을 주는 것으로 나타났다.

시험방법에 따른 흐름값의 차이이며, ASTM D 6103 방법이 JHS A 313 방법 보다 약 20% 큰 흐름값을 가진다. 또한 페타이어 분말 입경에 따른 흐름값의 차이는 미미하다. 페타이어 분말 함량이 증가함에 따라 흐름값은 감소하며, 저회의 혼합 유무에 따른 흐름값의 차이는 약 40%로 저회 함량이 0%인 경우가 더 크게 나타났다.

후 기

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. 2009-0086833)의 일부이며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

김윤태, 강효섭 (2008). "유동성 뒷채움재인 페타이어 혼합경량토에 대한 실험적 연구", 한국해양공학회지, 제22권, 제5호, pp 112-118.

김윤태, 한우중, 정두희 (2007). "준설토와 Bottom Ash 재활용을 위한 복합지반재료 개발", 한국 지반공학회 논문집, 제23권, 제11호, pp 77-85.

산업자원부 (2002). 자원활용·소재 및 리사이클링 기술동향 분석연구, 최종보고서, pp 22-25.

이용수, 조진우, 유준, 김세호, 정하익 (2005). "산업부산물의 포졸란 반응성과 지반개량제의 공학적 특성", 한국폐기물학회지, 제22권, 제1호, pp 17-26.

코오롱건설 (2001). 페타이어 고무분말 특성분석 및 국내·외 시장조사를 통한 마케팅 전략 수립, 코오롱건설주식회사.

American Society for Testing and Materials (ASTM). Test Method for Flow Consistency of Controlled Low Strength Material (CLSM), ASTM D 6103.

Foose, G., Benson, C. and Bosscher, P. (1996). "Sand Reinforced

- with Shredded Waste Tires", *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol 122, No 9, pp 760-767.
- Ghazavi, M. and Sakhi, M.A. (2005a). "Influence of Optimized Tire Shreds on Shear Strength Parameters of Sand", *International Journal of Geomechanics*, Vol 5, No 1, pp 58-65.
- Ghazavi, M. and Sakhi, M.A. (2005b). "Optimization of Aspect Ratio of Waste Tire Shreds in Sand-Shred Mixtures Using CBR Tests", *Geotechnical Testing Journal*, Vol 28, No 6, pp 564-569.
- Jaturapitakkul, C. and Cheerarot, R. (2003). "Development of Bottom Ash as Pozzolan Material", *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol 15, No 1, pp 48-53.
- Lee, H.J., Salgado, R., Bernal, A. and Lovell, W.C. (1999). "Shredded Tires and Rubber-Sand as Lightweight Backfill", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol 125, No 2, pp 132-141.
- Japan Highway Public Corporation (1992). Mortar Flow Test, Japan Highway Public Corporation Test Method, JHS A 313-1992.
- Lok, M.H. and Yu, H.J. (2006). "Laboratory Study on the Mechanical Behavior of Tire Chip-Sand Mixture", *Pavement Mechanics and Performance (GSP 154)*, ASCE, pp 157-164.
- Masad, E., Taha, R., Ho, C. and Papagiannakis, T. (1996). "Engineering Properties of Tire/Soil Mixtures as a Lightweight Fill Material", *Geotechnical Testing Journal*, Vol 19, No 3, pp 297-304.
- Pierce, C.E. and Blackwell, M.C. (2003). "Potential of Scrap Tire Rubber as Lightweight Aggregate in Flowable Fill", *Waste Management*, 23, pp 197-208.
- Tsuchida, T. and Egashira, K. (2004). *The Lightweight Treated Soil Method*, New Geomaterials for Soft Ground Engineering in Coastal Areas, A.A. Balkema Publisher, London.
- Wu, J.Y. and Tsai, M. (2009). "Feasibility Study of a Soil-Based Rubberized CLSM", *Waste Management*, Vol 29, No 2, pp 636-642.
- Youwai, S. and Bergado, D.T. (2003). "Strength and Deformation Characteristics of Shredded Rubber Tire-Sand Mixtures", *Canadian Geotechnical Journal*, Vol 40, No 2, pp 254-264.
- Zornberg, J.G., Cabral, A.R. and Viratjandr, C. (2004). "Behavior of Tire Shred-Sand Mixtures", *Canadian Geotechnical Journal*, Vol 41, No 2, pp 227-241.

2010년 1월 13일 원고 접수

2010년 5월 24일 심사 완료

2010년 6월 18일 게재 확정