

준설토-저회-페타이어 혼합경량토의 전단 및 CBR 특성

김윤태* · 강효섭**

*부경대학교 해양공학과

**도담 E&C 지반공학부

Shear and CBR Characteristics of Dredge Soil-Bottom Ash-Waste Tire Powder-Mixed Lightweight Soil

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

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

**Geotechnical Dept., Dodam E&C, Seoul, Korea

KEY WORDS: Recycling 재활용, Waste tire powder 페타이어 분말, Lightweight soil 경량토, Triaxial compression test 삼축압축시험, CBR test 노상토 지지력비 시험

ABSTRACT: This study investigated the shear and CBR characteristics of dredge soil-bottom ash-waste tire powder-mixed lightweight soil, which was developed to recycle dredged soil, bottom ash, and waste tire powder. Test specimens were prepared with various contents of waste tire powder ranging from 0 to 100% at 50% intervals by the weight of the dry dredged soil. Several series of triaxial compression tests and CBR tests were conducted. The shear strength characteristics of the lightweight soil were compared using two different shear tests (triaxial compression test and direct shear test). The experimental results indicated that the internal friction angle of the lightweight soil obtained by the direct shear tests was greater than that by the triaxial shear tests. However, the cohesion value obtained by the triaxial shear tests was greater than that by the direct shear tests. The CBR value of the lightweight soil decreased from 35% to 15% as waste tire powder content increased

1. 서 론

연안개발 및 항만건설 등의 대규모 개발공사와 산업의 발달로 인해 산업폐기물 발생량이 증가하고 있으며, 이러한 폐기물의 처리 및 매립에 상당한 비용이 소모되며, 간혹 환경적 문제를 야기한다. 또한 천연골재의 부족과 가격상승으로 인해 공사비가 증가되며 골재의 수급문제가 대두되기도 한다. 따라서 준설토, 저회, 페타이어 등과 같은 폐재료를 재활용하여 항만구조물 뒤채움재, 도로 성토재 등으로 사용하기 위한 연구가 절실히 필요한 실정이다.

본 연구에서는 연안개발 및 항만건설에서 발생하는 준설토, 화력발전소에서 부산물로 발생하는 저회, 차량 급증에 따라 발생량이 증가하는 페타이어와 같은 폐재료를 뒤채움재, 도로성토재 등으로 재활용할 수 있도록 준설토-저회-페타이어가 혼합된 혼합경량토를 개발하였다. 폐재료를 재활용하기 위해 제안된 혼합토에 대한 선행연구를 살펴보면 다양한 실내시험 혹은 현장시험 등을 통하여 혼합경량토의 전단강도 특성, 압축 특성 및 중금속오염 용출 특성 등에 대한 다양한 연구가 진행되었다 (김홍택 등, 1996; Masad et al., 1996; Foose et al., 1996; Lee et al., 1999; Jaturapitakkul and Cheerarot, 2003; Zornberg et al.,

2004; Lok and Yu, 2006; Y; Tsuchida and Egashira, 2004; 김윤태와 강효섭, 2008; 2009). 김영진과 강병희(1998)는 페타이어를 지반의 동상방지 건설재료로 재활용하기 위하여 화강풍화토에 페타이어 조각을 몇 가지 비율로 혼합하여 동상 및 동결깊이 시험을 수행한 바 있다. 일반적으로 도로의 보조기층과 노상토 사이에 동상 방지를 위해 자갈이나 쇄석을 이용하고 있다.

이러한 동상 방지재료로서 사용되는 자갈이나 쇄석 대체재로서 준설토-저회-페타이어를 혼합한 경량토를 이용할 경우 자갈이나 쇄석의 채취과정에서 유발되는 환경과피에 대한 문제점을 줄일 수 있으며, 준설토, 저회 및 페타이어를 동시에 재활용할 수 있는 이점이 있다. 또한 준설토-저회-페타이어 혼합경량토를 항만구조물 뒤채움, 교대 뒤채움, 도로 성토, 관거 되메우기 및 교각 하부 되메우기 등에 적용할 경우 하부지반이나 구조물이 받는 토압과 하중이 경감되어 측방유동억제, 잔류침하 최소화 및 단차발생의 억제 등에 긍정적인 효과를 가져다 줄 것으로 기대된다. 뿐만 아니라 열전도율이 낮은 페타이어를 이용할 경우 도로의 동상을 방지할 수 있는 재료로도 이용할 수 있다.

그러나 준설토-저회-페타이어 혼합경량토를 항만구조물과 교대 뒤채움, 도로 성토 등에 사용하기 위해서는 혼합경량토의 기본적 물리적 특성 뿐만 아니라, 전단강도 특성 및 CBR 특성 등

교신저자 김윤태: 부산광역시 남구 대연3동 599-1, 051-629-6587, yuntkim@pknu.ac.kr

을 정확하게 파악하는 일은 중요하다. 김운태와 강효섭(2009)이 수행한 선행연구에서는 직접전단시험을 통해 페타이어 혼합경량토 전단강도 특성을 파악하였다. 직접전단시험은 시험원리가 간단하고 장비의 조작이 간편하여 전단강도를 비교적 간단히 측정할 수 있는 장점이 있는 반면, 파괴면이 미리 가정되어 있고, 수평전단시 전단상자의 Tilting 현상이 발생할 수 있으며, 유한요소해석시 필요한 응력-변형 특성을 완전히 설명할 수 없는 단점이 있다(서민우 등, 2009). 본 연구에서는 직접전단시험에서 나타난 단점을 보완하기 위해 준설토-저회-페타이어 혼합경량토에 대하여 삼축압축시험을 수행하여 전단강도정수를 파악하였고, 이를 기존 직접전단시험을 통해 측정된 전단강도정수와 비교하였다. 또한 도로 성토재료로서 혼합경량토를 사용하기 위한 적합성을 평가하기 위해 CBR 시험을 수행하였다. CBR 시험을 통해 얻어진 CBR 값은 노상, 성토 및 철도노선의 다짐관리의 판정기준으로 이용될 수 있다. 본 연구에서는 CBR 시험 결과를 성토재료 및 도로 포장과 관련된 CBR 기준과 비교 검토하여 적합성을 평가하였다.

2. 재료특성 및 실험방법

2.1 재료 특성

준설토는 부산신항 배후부지에서 채취된 것으로서 실내 물성 시험을 통해 기본적인 물리적 특성을 파악하였다. Table 1은 준설토의 물성시험 결과를 나타낸다. 준설토는 No. 200 체 통과율이 81.2%로서 점토성분에 실트가 함유된 저소성 실트질 점토이다. 저회는 삼천포 화력발전소에 발생한 저회를 이용하였으며, 일관된 시험결과를 얻기 위해 No. 4체에 통과시켜 자갈크기의 입자를 배제하였다. 페타이어 분말은 C사에서 제조한 페타이어 분말을 이용하였다.

Fig. 1과 Table 2는 준설토, 저회 및 페타이어 분말에 대한 입도분포곡선과 입도특성을 나타내었다. 페타이어 분말의 유효입경은 0.2mm이고, 균질한 입도분포를 가지는 것으로 나타났다. 저회의 비중은 2.0이고, 유효입경은 0.12mm이다. 저회의 균등계수는 11.25, 곡률계수는 1.14로 비교적 양호한 입도분포를 가진 모래와 유사한 특성을 나타내었다. 또한 XRF 분석 결과로부터 얻은 저회의 화학적 구성 성분 중 $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$ 의 함량은 83.51%로 나타났다. 이와 같은 저회의 화학적 구성성분은 준설토-저회-페타이어 혼합경량토에서 포졸란 반응을 유발하여 혼합토의 전단강도를 개선하는 것으로 알려져 있다 (Kim et al.,

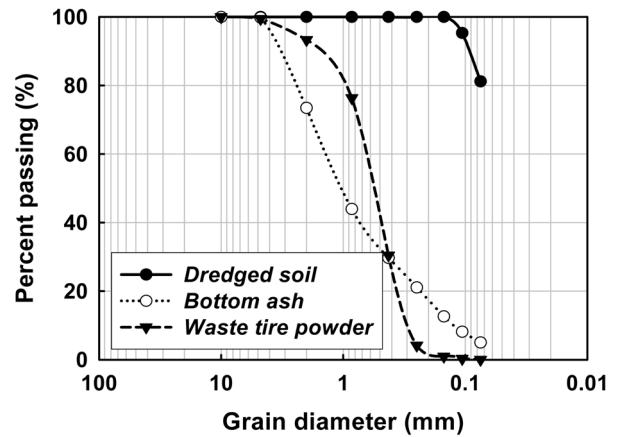


Fig. 1 The grain size distribution curves of admixtures

2010; 2011).

2.2 공시체 제작 및 시험 방법

페타이어 분말 함량에 따른 혼합경량토의 전단강도 특성을 분석하기 위해 Table 3과 같이 페타이어 분말 함량을 제외한 다른 재료에 대해서는 일정한 값으로 고정하였고, 페타이어 분말 함량을 0%, 50% 및 100%로 각각 달리 하여 공시체를 제작하였다. Table 3에 표시한 배합비는 건조준설토 무게에 대한 배합재료의 무게를 나타낸다. 예로서 저회 함량 100%는 건조준설토의 무게와 동일한 무게만큼 저회를 혼합하였다는 것을 의미한다. 함수비, 시멘트 및 저회의 함량은 단위중량 및 유동특성을 고려한 예비시험 결과를 바탕으로 결정되었다. 배합비에 따라 제작된 모든 공시체는 랩으로 밀봉하여 대기 양생하였다.

Table 4는 배합비에 따라 혼합된 페타이어 혼합경량토의 단위중량을 나타내고 있다. 페타이어 분말 함량에 따른 페타이어 혼합경량토 공시체의 단위중량은 약 $15kN/m^3$ 에서 $12kN/m^3$ 의 범위를 나타낸다. 페타이어 분말 함량이 0%에서 100%로 증가함에 따라 단위중량은 약 20% 정도 감소하는 결과를 보였다.

삼축압축시험을 위해 높이 100mm×직경 50mm인 원주형 공시체를 제작하였다. 삼축압축시험에 사용된 공시체는 28일 대기 양생한 공시체를 이용하였다. 페타이어 분말 함량(0%, 50%, 100%)에 따라 제작된 페타이어 혼합경량토 공시체에 100kPa, 200kPa, 300kPa의 구속압력을 작용시킨 상태에서 KS F2346에 제시한 방법으로 삼축압축시험을 수행하였다. 이때 축하중을 1.7mm/min의 속도로 재하하고, 배수상태에서 시험을 수행하였

Table 1 Properties of dredged soil

Initial water content (%)	Liquid limit (%)	Plastic limit (%)	Specific gravity	Percent passing No. 200 sieve (%)	USCS
57.5	39.2	18.5	2.62	81.2	CL

Table 2 Properties of waste tire powder and bottom ash

Type of material	D_{10} (mm)	D_{30} (mm)	D_{60} (mm)	Uniformity coefficient (C_u)	Coefficient of gradation (C_c)
Waste tire powder	0.20	0.25	0.44	2.25	0.70
Bottom ash	0.12	0.43	1.35	11.25	1.14

Table 3 Mixing conditions(percentage by the weight of dredged soil)

Component	Mixing condition
Water content (W _i) %	140
Cement content (C _i) %	20
Bottom ash content (BA _i) %	100
Waste tire powder content (WT _i) %	0, 50, 100

Table 4 Unit weight of lightweight soil with respect to waste tire powder content

Type of soil	Unit weight (kN/m ³)
Composite soil (WT _i 0%)	15.1
Composite soil (WT _i 50%)	13.2
Composite soil (WT _i 100%)	12.2

다. CBR 시험은 노상토 지지력비(CBR) 시험방법(KS F 2320)을 적용하여 시험을 실시하였다. 직경 50mm인 관입피스톤을 일정한 속도 1.0mm/min로 총 12.5mm까지 관입시키면서 관입피스톤에 걸리는 힘을 측정하고 표준화중과 비교하여 CBR 값을 산정하였다. CBR 시험에서는 양생일이 7일과 28일인 페타이어 혼합경량토를 대상으로 실험을 수행하여 양생일에 따른 CBR 값을 비교 분석하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 페타이어 혼합경량토의 전단특성

페타이어 분말 함량에 따라 제작된 준설토-저회-페타이어 혼합경량토 시편에 대하여 각각 100kPa, 200kPa, 300kPa의 구속압력 하에서 삼축압축시험을 수행하였다. Fig. 2는 구속압이 300kPa일 때 페타이어 분말 함량에 따른 축차응력-변형률 관계를 나타낸다. 페타이어 분말 함량이 0% 및 50%인 혼합경량토의 경우 변형률이 증가함에 따라 축차응력이 증가하다가 침두응력(Peak stress)에 도달한다. 그러나 페타이어 분말 함량이 100%인 혼합경량토의 경우 축변형률이 20%에 도달할 때까지

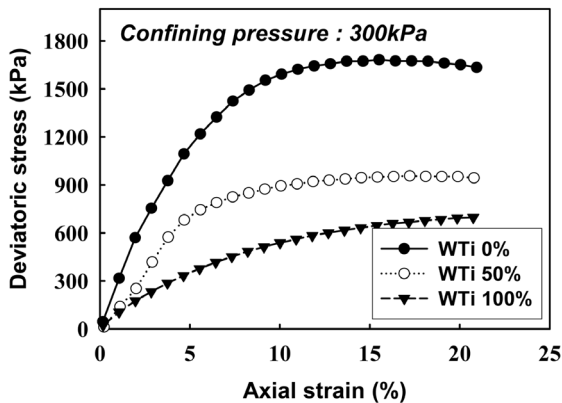


Fig. 2 Variation of deviatoric stress-strain with waste tire powder content

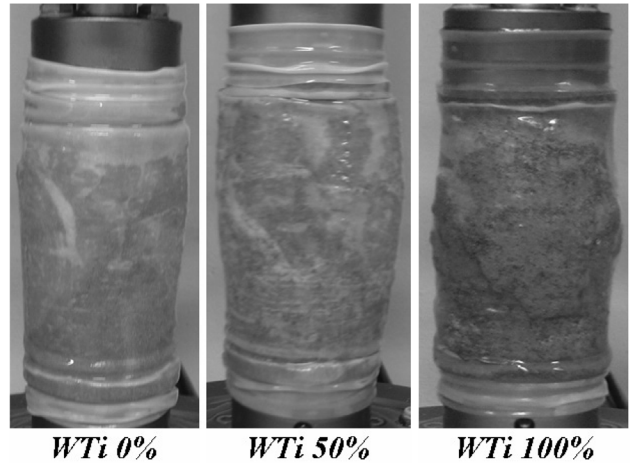


Fig. 3 Failure characteristics of composite soil with waste tire powder content

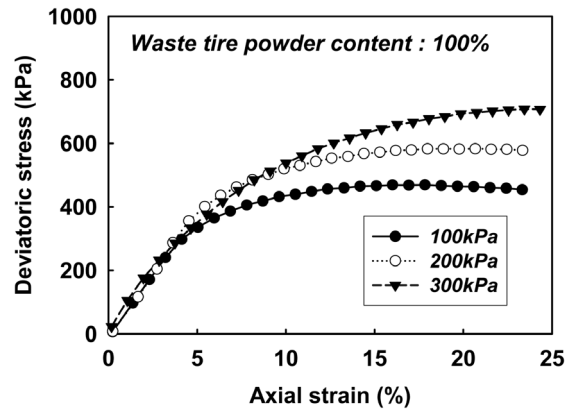


Fig. 4 Variation of deviatoric stress-strain with confining pressure

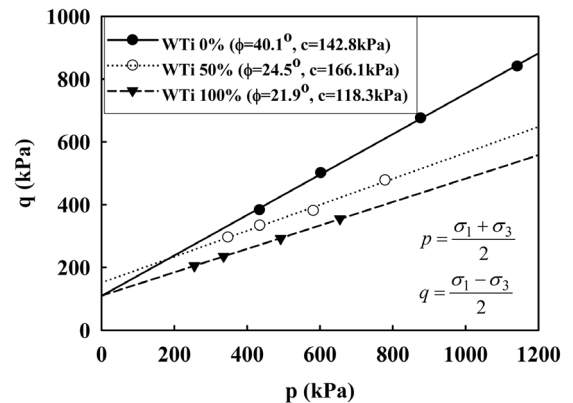


Fig. 5 The *p-q* curves of composite soil

축차응력은 서서히 증가하는 경향을 가진다. 이것은 삼축압축 시험에서 축차응력이 증가함에 따라 혼합경량토 내에 존재하는 페타이어 분말입자의 압축으로 보다 큰 응력에 저항할 수 있기 때문에 나타난 결과로서 변형이 증가됨에 따라 축차응력은 계속적으로 증가하게 된다. 즉 페타이어 분말 함량이 증가함에 따라 페타이어 압축특성이 거동특성을 지배한다고 할 수 있다. 이

러한 페타이어의 압축적 특성은 Fig. 3의 페타이어 분말 함량에 따른 혼합경량토 공시체의 파괴형상에서도 잘 나타난다. 페타이어 분말 함량이 0%, 50%인 공시체의 경우 공시체의 중앙부분이 약간 볼록해지는 벌징 형태(Bulging type)의 거동을 보이다가 전단파괴를 나타내었다. 페타이어 분말 함량이 100%인 공시체의 경우 공시체의 중앙부분이 찌그러지면서 파괴되는 전형적인 압축 형태의 파괴 거동을 보였다. 이와 같이 준설토-저회-페타이어 혼합경량토의 거동특성은 페타이어 분말 함량에 따라 달라짐을 알 수 있다.

Fig. 4는 페타이어 분말 함량이 100%일 때 구속압에 따른 축차응력-변형을 관계를 나타내고 있다. 구속압이 증가함에 따라 축차응력은 증가하는 경향을 나타내고 있다. 전반적으로 준설토-저회-페타이어 혼합경량토의 응력-변형 특성은 느슨한 모래의 거동과 비슷한 특성을 가진다.

준설토-저회-페타이어 혼합경량토에 대한 삼축압축 시험 결과를 p - q 도에 나타내면 Fig. 5와 같다. 여기서 $p=(\sigma_1+\sigma_3)/2$ 이며, $q=(\sigma_1-\sigma_3)/2$ 이다. 페타이어 분말 함량이 0%에서 100%로 증가됨에 따라 내부마찰각은 40.1° 에서 22.0° 로 감소하는 경향을 보인다. 또한 점착력은 118.3kPa에서 166.1kPa의 범위를 보였다. 페타이어 분말 함량의 증가에 따른 내부마찰각의 감소는 전단강도의 감소를 의미한다. 이것은 저회 입자사이에 있는 페타이어 분말의 압축적인 성질로 인해 페타이어 분말이 저회간의 역물림(Interlocking) 작용을 방해하는 역할을 하고 있기 때문이다 (김윤태와 강효섭, 2009).

3.2 전단강도정수 비교

준설토-저회-페타이어 혼합경량토에 대한 시험방법에 따른 전단강도정수의 변화를 파악하기 위해 직접전단시험과 삼축압축시험을 통해 얻은 전단강도정수를 비교하였다. 직접전단시험과 삼축압축시험을 위해 준비된 공시체는 동일한 배합비와 양생조건에서 각각 만들어졌다. 직접전단시험의 결과는 김윤태와 강효섭(2009)에 의해 수행된 연구결과를 이용하였다. 페타이어 분말 함량에 따른 내부마찰각과 점착력의 변화를 Fig. 6과 Fig. 7에 각각 나타내었다. 내부마찰각은 페타이어 분말 함량이 증가함에 따라 감소하는 경향이 있다 (Fig. 6). 점착력은 페타이어 분말 함량이 증가함에 따라 약간 감소하는 경향을 가지나, 변화폭은 그리 크지 않았다 (Fig. 7). 직접전단시험에서 얻어진 내부마찰각은 삼축압축시험에서 얻어진 결과보다 약 14% 정도 더 크다. 반면 점착력의 경우, 삼축압축시험에서 얻어진 점착력은 직접전단시험의 결과보다 약 27% 정도 큰 값을 가진다. 일반적인 토질 재료에서 직접전단시험을 통해 산정된 내부마찰각은 삼축압축시험에서 측정되는 값보다 약 15% 정도 큰 것으로 알려져 있다 (김용필 등, 2000). 본 연구의 결과와 비슷한 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 경향은 직접전단시험의 경우 시료의 수평방향 중앙부로 정해진 파괴면을 통해서 파괴가 발생하나, 삼축압축시험에서는 시료 내의 취약한 파괴면을 따라서 파괴되기 때문인 것에 기인한다.

3.3 혼합재료에 따른 전단강도 비교

Fig. 8은 다양한 경량혼합토를 대상으로 수행된 전단강도정수

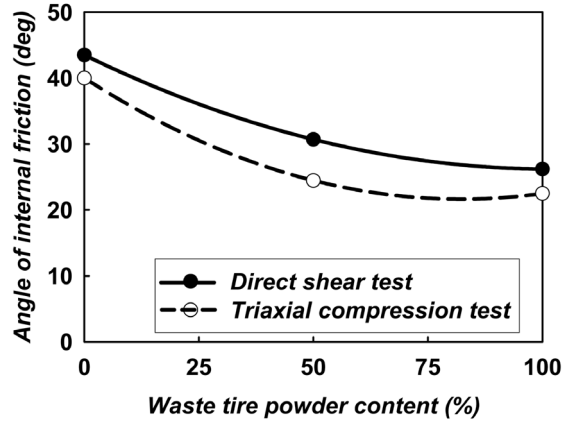


Fig. 6 Comparison of angle of internal friction with two different shear tests

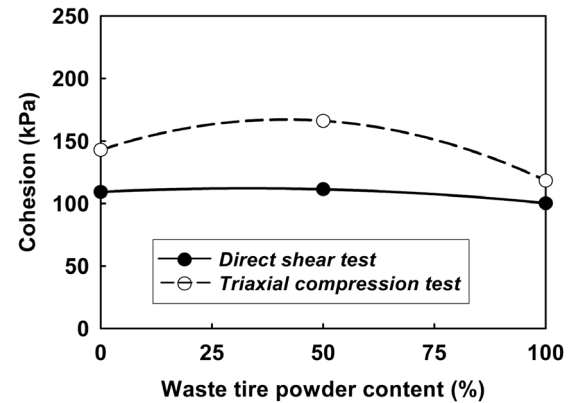


Fig. 7 Comparison of cohesion with two different shear tests

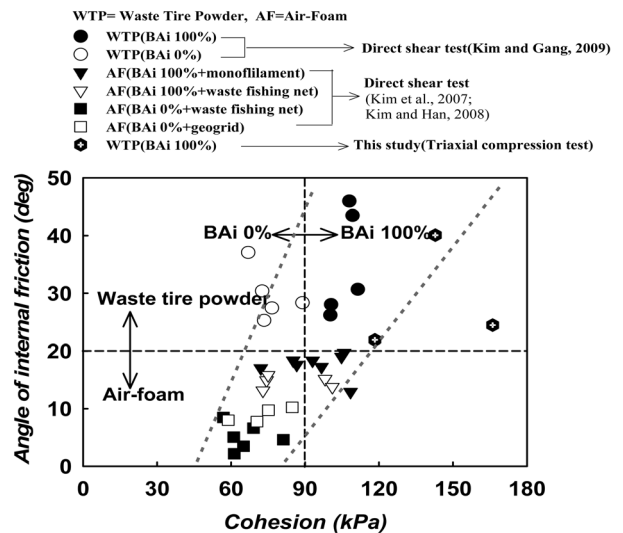


Fig. 8 The relationship between angle of internal friction and cohesion of lightweight soils

를 나타낸다. 경량재료(페타이어 분말, 기포)와 저회유무에 따른 전단강도정수의 특성을 살펴보기 위해 직접전단시험과 삼축압축시험을 통해 측정된 기존 결과와 비교하였다. 또한 본 연구의

삼축압축시험에서 측정된 전단강도정수에 대해서도 비교하였다. 가로축은 점착력을 나타내며, 세로축은 마찰각을 나타내고 있다. Fig. 8에서 알 수 있듯이 점착력이 증가할수록 대응되는 내부마찰각도 증가한다. 또한 페타이어 혼합경량토가 기포(Air-foam) 혼합경량토 보다 큰 내부마찰각을 가진다. 기포 혼합경량토의 경우 마찰각은 약 2°에서 20°의 범위를 나타내고 있으며, 준설토-저회-페타이어 혼합경량토의 경우 약 22°에서 45°의 범위로 약 20°를 기준으로 나뉘고 있음을 알 수 있다. 또한 저회가 혼합된 경량혼합토의 점착력은 약 90kPa 이상이며, 저회가 혼합되지 않은 경량혼합토의 점착력은 약 90kPa 이하이다. 즉, 저회 함량이 100%인 경량혼합토가 저회 함량이 0%인 경우보다 더 큰 점착력을 가진다. Fig. 8에 나타난 전단강도정수는 각각의 혼합토에 따라 배합비 및 시험시 적용된 수직응력에는 다소 차이가 있으나, 저회 혼합으로 인해 점착력은 증가하며, 페타이어 분말을 이용하여 경량화한 혼합경량토가 기포 혼합경량토 보다 큰 마찰각을 가짐을 알 수 있다.

3.4 준설토-저회-페타이어 혼합경량토의 CBR 특성

노상토 지지력 시험(California bearing ratio test)은 포장을 지지하는 노상토의 강도, 압축성 등을 결정하는 시험으로 미국 California 도로국에서 개발하여 전 세계적으로 널리 쓰이는 시험법이며 우리나라에서도 KS F2320(실내 CBR 시험)에 규정되어 있다. CBR 값은 포장 아래에 있는 기층이나 보조기층 또는 노상재료의 강도, 압축성 및 포화로 인한 강도손실 등과 같은 특성을 표시하는 반경험적 수치이며 예상되는 차륜하중과 관련시켜서 각 재료의 두께를 결정하는 자료가 된다. 또한 CBR 값은 노상, 성토, 철도노선의 다짐관리 또는 성토시공 중의 증장비의 주행성 등의 판정기준으로도 이용된다.

본 연구에서는 저회 함량이 각각 0%와 100%를 가지는 준설토-저회-페타이어 혼합경량토를 대상으로 재령일 7일과 28에서 CBR 시험을 수행하였다. Fig. 9는 페타이어 분말 함량(0%, 50%,100%)과 재령일(7일, 28일)에 따른 CBR 값의 변화를 나타내고 있다. 일반적으로 저회 함량이 0%에서 100%로 증가함에 따라 CBR 값은 증가하는 경향이 있다. 즉 혼합경량토에 혼합

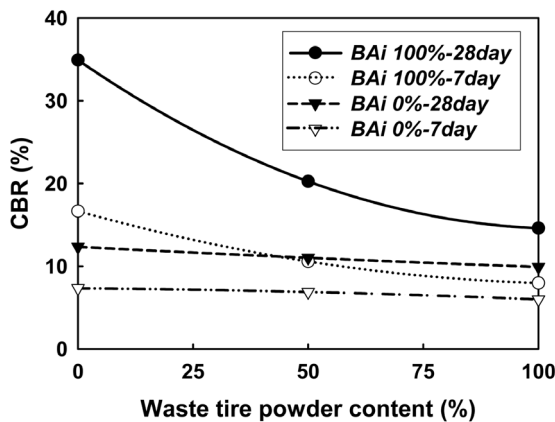


Fig. 9 Variation of normalized secant modulus with waste tire powder and bottom ash content

된 저회는 혼합경량토의 강도를 증가시키는 측면 뿐만 아니라 CBR 값을 증가시키는 데에도 기여함을 알 수 있다.

그러나 페타이어 분말 함량이 증가함에 따라 혼합경량토의 CBR 값은 감소하는 경향을 나타내고 있다. 특히 저회 함량이 100%인 혼합경량토의 경우, 재령 7일인 혼합경량토의 CBR 값은 페타이어 분말 함량이 0%에서 100%로 증가함에 따라 17%에서 8%로 감소하였으며, 재령 28일인 혼합경량토의 경우 35%에서 15%로 감소하였다. Fig. 9에서 알 수 있듯이 재령 28인 경우가 재령 7일인 경우에 비해 약 30%-50% 큰 CBR 값을 나타내었다. 이와 같은 결과를 Table 5의 도로공사표준시방서의 성토와 관련된 CBR 기준과 Table 6의 건설폐자재 재활용 도로 포장에 관련된 CBR 기준과도 비교해 볼 때 재령 28일의 혼합경량토는 보조기층(Subbase)의 CBR 기준을 제외한 나머지 기준에 대해 대부분 만족함을 보였다. 즉 본 연구의 준설토-저회-페타이어 혼합경량토는 성토재료 및 뒤채움재료로서 적용하기 위한 CBR 기준을 만족하는 것으로 나타났으며, 도로의 노상재료 및 동상방지층에 대한 재료로도 적합한 CBR 값을 가졌다.

5. 결 론

본 연구에서는 준설토-저회-페타이어 혼합경량토에 대한 삼축압축시험을 수행하여 전단강도특성을 파악하고, 선행 연구된 직접전단시험의 전단강도정수와 비교하였다. 또한 준설토-저회-페타이어 혼합경량토를 도로 건설재료로서 평가하기 위해 CBR 시험을 수행하였다. 이에 대한 결과는 다음과 같다.

페타이어 분말 함량이 0%인 경량혼합토는 침투응력을 가지는 축차응력-변형곡선을 보였으나, 페타이어 분말 함량이 100% 혼합된 경우 뚜렷한 침투값을 보이지 않았다. 이는 페타이어 분말 함량이 증가함에 따라 페타이어 자체의 압축특성이 경량혼합토의 거동특성을 지배하기 때문에 나타난 결과이다

삼축압축시험과 직접전단시험을 통해 얻은 전단강도정수의 차이를 살펴보면, 내부마찰각의 경우 직접전단시험을 통해 측정된 결과가 약 14%정도 크며, 점착력의 경우 삼축압축시험을 삼축압축시험과 직접전단시험을 통해 얻은 전단강도정수의 차이를 살펴보면, 내부마찰각의 경우 직접전단시험을 통해 측정

Table 5 The CBR standard related to fill material(Korea Highway Corporation, 2003)

Type	Subgrade		Backfill material	
	Lower subgrade	Upper subgrade	Lower backfill material	Upper backfill material
CBR (%)	5	10	5	10

Table 6 The CBR standard related to pavement of a road for recycling of waste material(Ministry of construction and transportation, 2005)

Type	Subgrade	Anti-frost layer	Subbase	Backfill material
CBR(%)	10	10	30	10

된 결과가 약 14% 정도 크며, 점착력의 경우 삼축압축시험을 통해 측정된 결과가 약 27% 정도 크다.

혼합토에 저회를 혼합할 경우 점착력은 증가하며, 페타이어 분말을 사용하여 경량화한 혼합경량토가 기포 혼합경량토보다 큰 내부마찰각을 가진다.

저회 함량이 0%에서 100%로 증가함에 따라 CBR 값은 증가하는 경향이 있다. 즉 혼합경량토에 혼합된 저회는 혼합경량토의 강도를 증가시키는 측면 뿐만 아니라 CBR 값도 증가시키는 데 기여함을 알 수 있다. CBR 시험결과로부터 준설토-저회-페타이어 혼합경량토는 성토재료 및 뒤채움재료의 CBR 기준을 만족하며, 도로의 노상재료 및 동상방지층의 CBR 기준도 만족하는 것을 알 수 있다.

후 기

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

참 고 문 헌

건설교통부 (2005). 건설폐자재 재활용 도로 포장 지침-시멘트 콘크리트 재활용, 한국건설기술연구원

김영진, 강병희 (1998). "페타이어를 이용한 지반동상 방지", 한국지반공학회 논문집, 제14권, 제1호, pp 49-58.

김홍필, 송용선, 이광영, 장용채 (2000). 지반공학 시험법 및 응용, 세진사, pp 381-393.

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

김윤태, 강효섭 (2009). "직접전단시험에 의한 페타이어 혼합경량토의 전단특성 연구", 한국해양공학회지, 제23권, 제3호, pp 20-29.

김홍택, 방윤경, 박사원, 윤기웅 (1996). "폐 EPS 조각 혼합경량토의 토질공학적 특성 연구", 대한토목학회 학술발표회논문집, pp 429-432.

서민우, 김범주, 하익수 (2009). "대형 직접전단시험과 대형 삼축압축시험에 의한 조립재료의 전단강도 비교", 한국지반환경공학회 논문집, 제10권, 제1호, pp 25-34.

한국도로공사 (2003). 도로공사표준시방서, 한국도로공사

한국산업규격 KS F 2320, 노상토 지지력비(CBR) 시험방법.

KS F 2346 3축압축시험에서 점성토의 비압밀·비배수 강도 시험 방법, 한국산업규격(KS)

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.

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.

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.

Kim, Y.T., Lee, C. and Park, H.I. (2011). Experimental Study on Engineering Characteristics of Composite Geomaterial for Recycling Dredged Soil and Bottom Ash, Marine Georesources & Geotechnology, 29 (1) pp. 1-15.

Kim, Y.T., Ahn, J., Han, W.J., Gabr, M.A. (2010). Experimental Evaluation of Strength Characteristics of Stabilized Dredged Soil, Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE. Vol. 22 No. 5, 539-544.

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.

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.

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.

2011년 3월 18일 원고 접수
 2011년 5월 19일 심사 완료
 2011년 6월 20일 게재 확정