

페타이어 입경에 따른 페타이어-저회 혼합토의 전단특성

Shear Properties of Waste Tire-Bottom Ash Mixture with Different Particle Size of Waste Tire

김 윤 태¹ Kim, Yun-Tae

강 효 섭² Kang, Hyo-Sub

Abstract

This paper investigates the shear properties of waste tire-bottom ash mixture with various particle size of waste tire powder. Test specimens were prepared at 5 different percentages of waste tire powder content (i.e., 0%, 25%, 50%, 75%, 100% by weight of the dry bottom ash), and with three different particle sizes of waste tire powder (i.e., 0.1 mm~2.0 mm, 0.9 mm~5 mm and 2 mm~10 mm). In this study several series of direct shear tests were carried out. The experimental results indicate that the mechanical characteristics of waste tire-bottom ash mixture are strongly influenced by the particle size as well as waste tire powder content. It is shown that the shear strength and internal friction angle of waste tire-bottom ash mixture decrease with an increase in waste tire powder content. However, the shear strength and internal friction angle of the mixture increase due to interlocking effect between waste tire powder and bottom ash as the particle size of waste tire powder increases.

요 지

페타이어 분말 입경에 따른 페타이어-저회 혼합토의 전단특성에 관한 연구를 수행하였다. 건조된 저회 중량을 기준으로 5개의 페타이어 분말 함량(0%, 25%, 50%, 75%, 100%)과 3종류의 페타이어 분말 입경(0.1mm~2.0mm, 0.9mm~5mm, 2mm~10mm)에 따라 공시체를 준비하였다. 직접전단시험을 수행한 결과 페타이어-저회 혼합토의 역학적 특성은 페타이어 분말 입경과 함량에 크게 의존하는 것을 알 수 있다. 페타이어 분말 함량이 증가함에 따라 혼합토의 전단강도와 내부마찰각은 감소하나, 페타이어 분말 입경이 커짐에 따라 입자간의 역물림 효과에 의해 전단강도와 내부마찰각은 증가하는 경향을 가진다.

Keywords : Bottom ash, Interlocking, Recycling, Size effect, Waste tire powder

1. 서 론

최근에 경제성장에 따라 저회 및 페타이어 등과 같은 산업폐기물의 발생량이 증가하고 있다. 이러한 산업폐기물의 처리 및 매립으로 인해 상당한 비용이 소요될 뿐만 아니라 매립부지 확보로 인해 사회적·환경적 문

제를 야기할 때도 있다. 또한 천연골재의 부족과 가격 상승으로 인해 공사비 증가와 골재의 수급문제가 대두되고 있다. 따라서 산업폐기물을 지반공학적 재료로 재 활용하기 위한 연구가 절실히 필요한 시점이다.

화력발전소에서 부산물로 발생하는 석탄회량은 매년 급증하여 2010년 경에는 발생량이 약 600만 톤에 이

1 정희원, 부경대학교 해양공학과 부교수 (Member, Associate Prof. Dept. of Ocean Engrg., Pukyong National Univ., yunkim@pknu.ac.kr, 교신저자)

2 정희원, 부경대학교 해양공학과 석사과정 (Member, Graduate Student, Dept. of Ocean Engrg., Pukyong National Univ.)

* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2010년 8월 31일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

를 것으로 예상되고 있다(산업자원부, 2002). 저회(bottom ash)는 석탄회 발생량의 15~20%로서 비회(fly ash) 보다 상대적으로 적게 발생된다. 시멘트 원료 및 콘크리트 혼화제로 널리 재활용되는 비회와는 달리 저회는 재활용 비율이 낮아 수십년 동안 Ash pond에 단순 매장되는 실정이라서 전체 저회양은 전국적으로 수백만 톤에 이른다.

또한 페타이어는 산업의 고도성장과 경제생활의 향상과 더불어 자동차수가 매년 증가함에 따라 페타이어 발생량이 매년 증가하고 있는 추세이다. 국내에서는 매년 약 2000만 본의 페타이어가 발생되어 약 70%가 회수되고 있는 것으로 나타났다(코오롱 건설, 2001). 그러나 회수 또는 처리되지 못한 페타이어는 미관 훼손 및 화재의 위험성 등으로 인해 환경적, 사회적 문제를 야기하고 있다.

따라서 본 연구는 저회와 페타이어 분말을 재활용하기 위해 경량성이 확보된 복합지반재료를 개발하는데 목적을 두고 있다. 페타이어를 지반재료로서 재활용함으로써 경량성, 단열성, 내구성 등과 같은 건설적인 측면에서 이점이 있을 뿐만 아니라 저회-페타이어의 비축량을 감소시킴으로써 매립공간과 부지확보 문제 해결 등과 같은 환경적인 측면에서도 장점이 있다. 또한 골재 자원으로 재활용함으로써 폐기물 처리비용 절감과 같은 경제적인 측면에서도 이점을 준다. 이처럼 산업폐기물인 저회 및 페타이어의 재활용은 자원 재활용 측면 뿐만 아니라 건설, 환경 및 경제적인 측면에서 큰 장점을 가진다.

김윤택과 강효섭(2008a; 2008b; 2009)은 입경이 0.1mm~0.2mm 범위인 페타이어 분말과 준설토, 저회 및 시멘트를 혼합한 유동화된 혼합경량토에 대한 실험적 연구를 수행함으로써 혼합경량토의 유동 특성 및 역학적 특성을 분석하였다. 페타이어 분말은 분말의 입경이 작을수록 재활용률은 높아지는데 비해 가공비용은 일반적으로 증가한다. 따라서 본 연구에서는 서로 다른 입경(0.1mm~2.0mm, 0.9mm~5.0mm, 2mm~10mm)을 가지는 3가지 종류의 페타이어 분말을 이용하여 페타이어 분말과 저회를 혼합한 혼합토를 대상으로 페타이어 분말의 입경과 배합비에 따른 역학적 특성을 파악하고자 하였다. 이를 위해 페타이어-저회 혼합토를 대상으로 직접전단시험을 수행하여 페타이어 분말의 입경(3가지)과 배합비(5가지)에 따른 전단강도 정수 및 전단응력-변형 거동 특성을 파악하였다.

2. 페타이어-저회 혼합토

페타이어를 사용한 선행 연구를 살펴보면, 페타이어 조각(tire chips, scrap tires)을 뒷채움재, 도로성토재 등으로 활용하기 위해 모래와 페타이어 조각을 혼합하고, 이들 재료에 대한 역학적 특성을 주로 연구하였다(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; Ghazavi and Sakhi 2005b). 또한 Ghazavi와 Sakhi(2005a), Masad 등(1996), Zornberg 등(2004)에 의해 타이어 너비와 길이, 함량에 따른 역학적 특성과 최적배합 특성에 대한 연구도 수행되었다. 페타이어를 이용하여 지반공학적 재료로 재활용하고자 했던 기존 연구는 페타이어 조각을 주로 대상으로 하였다. 또한 페타이어 조각과 모래를 혼합한 연구가 대부분이다. 따라서 저회와 페타이어 분말을 혼합한 페타이어-저회 혼합토에 대한 연구는 아직 미진한 실정이다. 모래 대체재료로서 저회를 혼합함으로써 모래 부족 문제를 해결할 수 있고, 페타이어 분말을 혼합함으로써 혼합토의 경량성을 확보할 수 있다. 궁극적으로 저회와 페타이어와 같은 산업부산물의 재활용률을 높일 수 있다. 경량성이 확보된 페타이어-저회 혼합토는 일반 토사와 비교하여 경량화된 재료이므로 안벽이나 옹벽의 뒷채움재로 사용시 토압을 저감할 수 있고, 압축성 지반에서 침하를 경감할 수 있는 장점이 있다.

3. 혼합재료 및 시험방법

3.1 재료 특성

저회는 삼천포 화력발전소에서 발생한 것으로서 균등한 공시체 제작을 위해 No.4체를 통과시켜 자갈크기의 입자를 배제하였다. 표 1은 비중시험, 입도분석시험, 다짐시험 및 X-선 분석을 통해 구한 저회의 물리적 특성을 나타내고 있다. 저회의 비중은 2.0이고, 유효입경(D_{10})은 0.12mm이다. 저회의 균등계수는 11.25, 곡률계수는 1.14로 비교적 양호한 입도분포를 가진 모래와 유사한 특성을 가진다. 다짐시험을 통해 구한 저회의 최적함수비와 최대 건조단위중량은 각각 15.3%와 10.5kN/m³으로 나타났다. 또한 XRF(X-ray Fluorescence)와 XRD(X-ray Diffractogram)을 통하여 저회의 화학적 성분 및 주요결정상을 분석하였다. 표 1은 XRF 분석 결과로부

터 구한 저희의 화학적인 성분을 나타낸 것으로 실리카(SiO₂)와 알루미늄(Al₂O₃) 성분이 많이 함유되었다. XRD 분석 결과로부터 얻은 저희의 주요결정상은 Quartz(SiO₂)와 Mullite(Al₂O₃·2SiO₂)로 나타났다(김윤탈과 강효섭(2008a)).

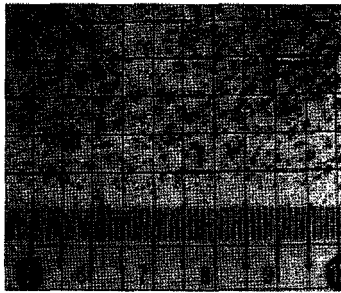
페타이어 분말은 C사에서 제조된 타이어 분말로서 사진 1과 같이 입자크기에 따라 페타이어 분말을 A, B, C로 구분하였다. 본 연구에서 사용된 페타이어 분말은 상온에서 절단된 페타이어 조각을 동결조(Freezer, -120°C)

에 투입하여 유리온도(T_g=-68°C) 이하에서 동결, 분쇄하여 철심과 섬유질이 제거된 분말이다.

그림 1은 3가지 종류의 페타이어 분말에 대한 입도분포곡선을 나타내고 있다. 입도분포곡선을 통해 구한 페타이어 분말 A, B, C의 입경 분포는 각각 0.1mm~2.0mm, 0.9mm~5.0mm, 2.0mm~10.0mm이며, 유효입경(D₁₀)은 각각 0.18mm, 0.93mm, 2.16mm이다. 각각의 페타이어 분말의 건조단위중량을 측정하기 위해 표준다짐을 실시하였다. 내경 100mm, 높이 127.3mm의 표

표 1. 저희의 물리적 특성

비중시험	G _s	2.0
입도시험	D ₁₀ (mm)	0.12
	D ₃₀ (mm)	0.43
	D ₆₀ (mm)	1.35
	균등계수(C _u)	11.25
다짐시험	곡률계수(C _c)	1.14
	최적함수비(w _{opt})	15.3%
	최대건조단위중량(r _{dmax})	10.5kN/m ³
X-선 분석(XRF, XRD)	주요구성성분(함량)	SiO ₂ (52.7%), Al ₂ O ₃ (19.3%)
	주요결정상	Quartz, Mullite



(a) Type A



(b) Type B



(c) Type C

사진 1. 입자크기에 따른 페타이어 분말

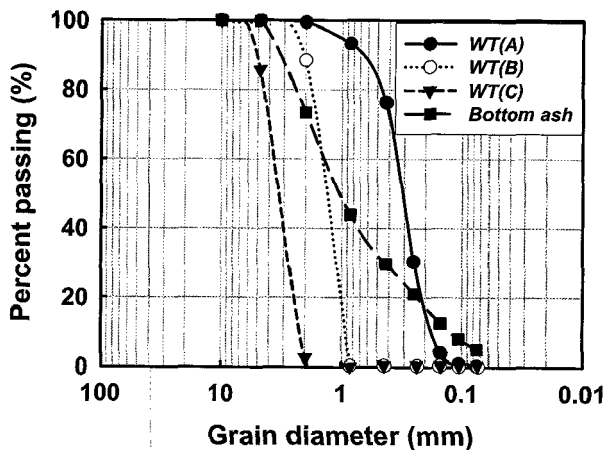


그림 1. 저희와 페타이어 분말의 입도분포곡선

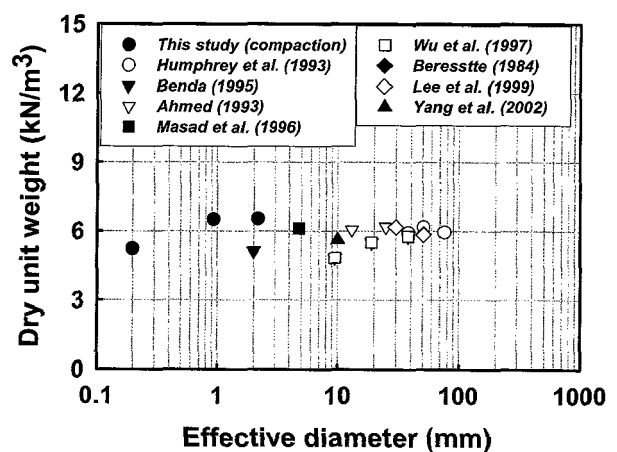


그림 2. 페타이어 유효입경에 따른 건조단위중량

준몰드에 시료를 3층으로 넣고 각 층마다 2.5kgf의 해머를 30cm의 높이에서 25회씩 떨어뜨려 다짐하는 방법을 적용하였다. 표준다짐시험으로 얻어진 페타이어 분말의 건조단위중량은 약 5.24kN/m³에서 6.55kN/m³의 범위로 나타났다. Epps(1994)는 다짐된 페타이어 조각의 단위중량 범위는 3.16kN/m³에서 7.11kN/m³이라고 보고하였다. 그림 2는 여러 연구자들에 의해 보고된 페타이어의 유효입경에 따른 건조단위중량을 나타내고 있다. 대부분 4.8kN/m³에서 6.6kN/m³의 범위를 나타내고 있음을 알 수 있다. 그림 2와 같이 건조단위중량은 페타이어 유효입경에 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 본 연구에서 사용한 페타이어 분말의 건조단위중량은 Epps(1994)의 실험결과 값과 그림 2의 여러 연구자들에 의해 얻어진 값의 범위 안에 포함되어 있음을 알 수 있다.

3.2 직접전단시험

페타이어 입경에 따른 페타이어-저회 혼합토의 전단강도 특성을 파악하기 위해 표 2와 같이 저회, 페타이어(A, B, C) 및 페타이어-저회 혼합토(WT-BA mixture)를 대상으로 직접전단시험을 수행하였다. 페타이어-저회 혼합토는 건조된 저회의 무게에 대한 페타이어 분말의 비율을 다양하게 혼합(0%, 25%, 50%, 75%, 100%)하여 시편을 제작하였다. 전단상자의 크기는 100cm×100cm×60cm

로서 직육면체 형태이다. 전단시 적용된 연직응력은 30kPa, 60kPa, 90kPa, 120kPa이며, 전단변형률은 1.0%/min으로 제어하였다.

저회, 페타이어 및 페타이어-저회 혼합토에 대한 직접전단시험 시 각각의 시료의 초기 조건을 동일하게 유지하기 위해 초기 상대밀도를 일정하게 유지함으로써 시험에 대한 일관성을 확보하였다. 저회 및 페타이어-저회 혼합토의 초기 상대밀도를 각각 60%로 설정하였다. 그러나 순수한 페타이어 분말의 경우 직접전단시험 시 수직하중에 의한 페타이어 분말의 큰 압축성을 고려하여 상대밀도를 90%로 설정하였다. 상대밀도는 페타이어-저회 혼합토의 최대 건조단위중량과 최소 건조단위중량을 바탕으로 산정되었다. 최대 건조단위중량은 표준다짐방법을 사용하여 측정하였다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 건조단위중량

표 2와 그림 3은 페타이어-저회 혼합토의 배합비에 따른 최대 및 최소 건조단위중량의 변화를 나타낸다. 페타이어-저회 혼합토의 단위중량은 일반 토사의 단위중량에 비해 훨씬 작아서 경량성을 확보할 수 있음을 알 수 있다. 페타이어 분말 함량이 증가함에 따라 페타이어

표 2. 페타이어-저회 혼합토의 배합조건과 직접전단시험 결과

번호	종류	배합비 (BA:WT)	상대밀도 (D _r , %)	γ_{dmax} (kN/m ³)	γ_{dmin} (kN/m ³)	점착력 (kPa)	마찰각 (°)	파괴시 기준응력
1	BA	1 : 0	60	10.90	8.32	20.07	50	Peak
2	WT(A)	0 : 1	90	5.24	3.43	2.72	23.1	13% ϵ
3	WT(B)	0 : 1	90	6.52	4.57	3.41	27.1	13% ϵ
4	WT(C)	0 : 1	90	6.55	4.63	1.39	28.4	13% ϵ
5	WT(A)-BA Mixture	1 : 0.25	60	9.17	7.50	17.32	34.4	Peak
6		1 : 0.50	60	8.33	6.58	11.24	30.0	Peak or 13% ϵ
7		1 : 0.75	60	7.58	5.75	8.5	27.0	13% ϵ
8		1 : 1.00	60	7.27	5.37	7.9	25.0	13% ϵ
9	WT(B)-BA Mixture	1 : 0.25	60	9.73	7.63	17.84	37.4	Peak
10		1 : 0.50	60	9.30	7.10	16.06	35.0	Peak
11		1 : 0.75	60	8.98	6.86	16.77	33.3	Peak or 13% ϵ
12		1 : 1.00	60	8.34	6.48	15.86	29.2	13% ϵ
13	WT(C)-BA Mixture	1 : 0.25	60	9.48	7.96	33.2	45.9	Peak
14		1 : 0.50	60	9.35	7.39	24.97	43.9	Peak
15		1 : 0.75	60	8.79	7.08	24	36.5	Peak
16		1 : 1.00	60	8.64	6.76	30.69	31.2	Peak or 13% ϵ

BA: bottom ash, WT: waste tire powder

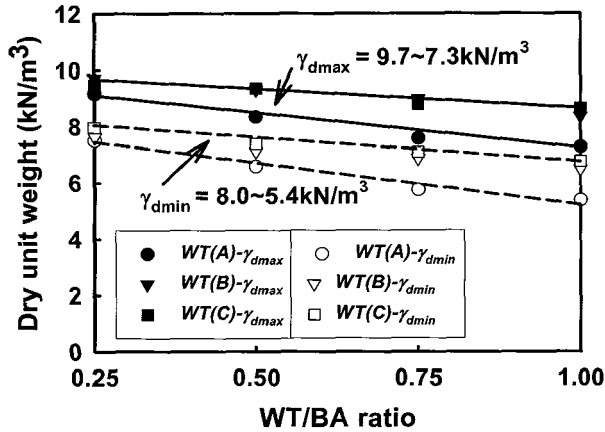


그림 3. 저회와 페타이어 분말 혼합비에 따른 건조단위중량

의 경량성으로 인해 페타이어-저회 혼합토의 최대 및 최소 건조단위중량은 점진적으로 감소한다. 최대 건조단위중량은 약 7.3~9.7kN/m³, 최소 건조단위중량은 약 5.4~8.0kN/m³의 범위에 있다. 또한 최대 건조단위중량은 최소 건조단위중량 보다 약 20% 큰 값을 가진다.

4.2 전단응력-변형 곡선

그림 4는 연직응력 60kPa 하에서 페타이어(A)-저회 혼합토의 전단시험 결과를 나타낸다. 이 결과에서 알 수 있듯이 순수한 저회(BA:WT=1:0)의 경우 뚜렷한 첨두강도와 잔류강도를 가진다. 순수한 페타이어 분말(BA:WT=0:1)의 경우는 축 변형률이 증가함에 따라 전단응력이 계속해서 증가하는 경향을 나타내고 있다. 일반적으로 타이어 조각 또는 분말은 압축성이 크고 연성이 큰 재료이기 때문에 순수한 페타이어의 응력-변형곡선은 뚜렷한 첨두강도를 나타내지 않고, 축변형률이 커짐에 따라 전단응력이 증가하는 경향을 나타낸다. Zornberg 등(2004)은 타이어 조각-모래 혼합토의 거동 연구에서 이와 비슷한 결과를 보고하였다. 또한 그림 4에서 페타이어-저회 혼합토의 경우 페타이어 분말 함량이 증가함에 따라 순수한 페타이어 분말(BA:WT=0:1)의 응력-변형곡선과 유사한 형태로 거동하는 것을 알 수 있다. 이러한 경향은 그림 5의 저회 함량과 페타이어 분말 함량에 따른 페타이어 혼합경량토의 일축압축시험 결과에서도 나타내고 있다. 페타이어 분말 함량이 증가함에 따라 저회 함량에 관계없이 페타이어 혼합경량토의 일축압축강도(UCS)는 일정한 값에 수렴한다. 즉 페타이어 분말 함량이 증가함에 따라 혼합토의 강도 및 응력-변형 특성은 페타이

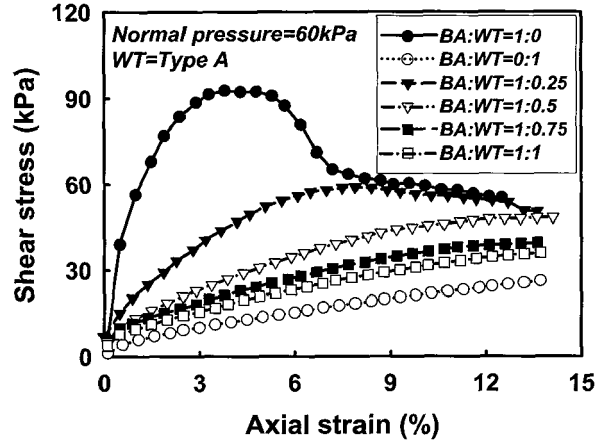


그림 4. 페타이어(WT(A))-저회 혼합토의 전단응력-변형곡선

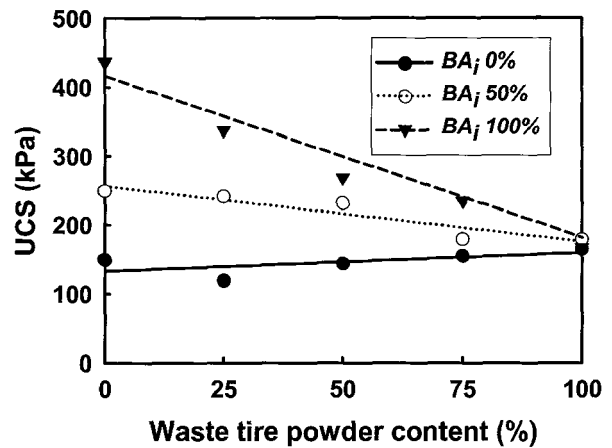


그림 5. 저회와 페타이어 분말 함량에 따른 페타이어 혼합경량토의 일축압축강도(Kang and Kim, 2009)

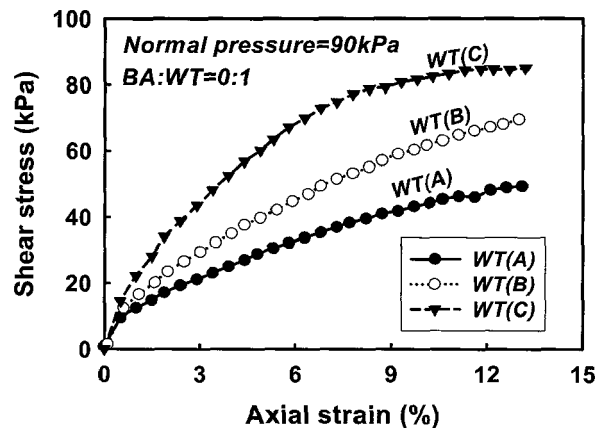


그림 6. 순수한 페타이어 분말(A, B, C)에 대한 전단응력-변형곡선

어 분말에 크게 의존함을 알 수 있다.

그림 6은 페타이어 분말 입경에 따른 순수한 페타이어 분말의 응력-변형곡선을 나타낸다. 연직하중은 90kPa이다. 페타이어 분말 입경이 클수록 전단강도가 크게 발

현되고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 결과로부터 페타이어 분말 입경이 클수록 입자간 역물림(interlocking) 현상이 크게 발생된다는 것을 알 수 있다.

4.3 전단강도 정수

그림 7과 같은 전단응력-변형 곡선의 거동 특성에 따라 침두응력 또는 수평변형률 13%에 대응하는 전단응력을 이용하여 전단강도 정수를 산정하였다. 순수한 페타이어 분말의 경우 응력-변형을 관계에서 침두응력이 뚜렷하지 않기 때문에 수평변형률 13%에 대응하는 전단응력을 바탕으로 전단강도 정수를 산정하였다. 표 2는 직접전단시험을 통해 구한 저회, 페타이어, 페타이어-저회 혼합토에 대한 전단강도 정수를 나타낸 것으로 페타이어 입경과 배합비에 따라 전단강도 정수를 정리하였다.

4.3.1 페타이어 분말 입경에 따른 영향

표 2에서 알 수 있는 것과 같이 직접전단시험을 통해 구한 순수한 저회의 내부마찰각은 약 50°로서 상당히 큰 값을 가진다. 이와 같은 결과는 저회의 입자가 모나고 각진 입자의 형태를 가지고 있기 때문인 것으로 사료된다. 또한 순수한 페타이어 분말의 내부마찰각(BA:WT=0:1)은 표 2 혹은 그림 8과 같이 페타이어 분말의 종류, 즉 입경에 따라 약 23.1°에서 28.4°의 범위를 나타내고 있다. 입경이 클수록 입자간의 역물림 작용으로 인하여 내부마찰각이 크게 나타남을 알 수 있다. 이러한 경향은 페타이어-저회(WT/BA)의 배합비가 0.5인 그림 8의 연직응력과 전단응력 관계에서도 잘 나타난다. 페타이어

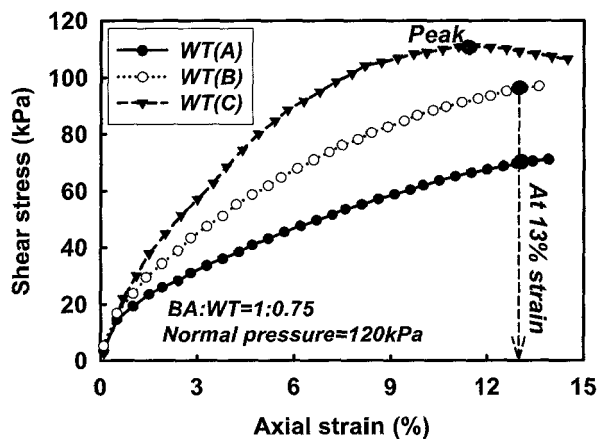


그림 7. 페타이어 분말 입경에 따른 전단응력

분말 입경이 커짐에 따라 동일한 연직응력하에서 전단강도가 증가하며, 내부마찰각도 약 30.0°에서 43.5°로 증가하고 있다. Lambe과 Whitman(1979)은 실험적 연구를 통해 각진 입자는 둥근 입자에 비해 입자간의 역물림이 더 양호하기 때문에 내부마찰각도 더 크다고 보고하였다. 사진 1과 같이 페타이어 분말의 입경이 커짐에 따라 각짐성(angularity)이 커져 내부마찰각에 영향을 주는 것으로 판단된다.

그림 9는 페타이어-저회 배합비와 페타이어 분말 입경에 따른 전단강도 관계를 나타내고 있다. 연직응력은 60kPa이다. 페타이어 분말의 유효입경이 커짐에 따라 입자간 역물림 작용에 의해 전단강도가 증가하였다.

4.3.2 페타이어 분말 함량에 따른 영향

그림 10은 페타이어-저회 배합비에 따른 내부마찰각의 변화를 보여주고 있다. 페타이어 분말 함량이 증가함에 따라 내부마찰각은 감소하는 경향을 나타내고 있다. 내부마찰각의 감소는 그림 9에서도 알 수 있듯이 전단강도

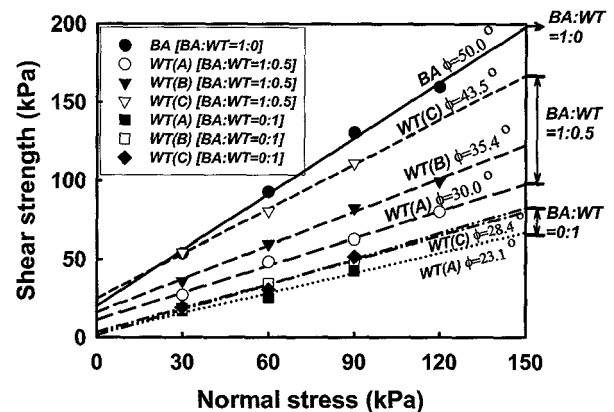


그림 8. 각각의 순수한 페타이어 분말에 대한 연직응력과 전단응력 관계

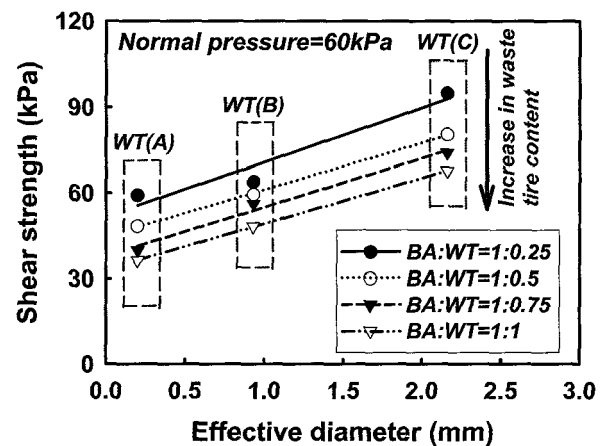


그림 9. 페타이어 분말 입경과 전단강도 관계

의 감소를 의미한다. 이것은 페타이어 분말 함량이 증가함에 따라 페타이어-저회 입자간의 역물림(interlocking) 작용이 감소하는 것에 기인한다. 준설토-페타이어-저회 혼합경량토의 전단특성에서도 유사한 결과가 보고되었다(김윤태과 강효섭, 2009). 그림 11은 준설토, 시멘트, 페타이어 및 저회가 혼합된 유동성 혼합경량토의 역물림 작용을 나타내고 있다. 전단시 저회 입자사이에 있는 페타이어 분말의 탄성적인 성질로 인해 페타이어 분말의 함량이 증가함에 따라 저회간의 역물림 작용을 방해하는 역할을 하고 있다. 이처럼 페타이어-저회 혼합토의 전단특성은 페타이어 분말 함량에 크게 의존하고 있음을 알 수 있다. 페타이어-저회 혼합토의 전단강도 정수와 전단응력-변형 곡선을 종합해 볼 때 페타이어 분말 입경이 클수록 전단특성에 긍정적인 영향을 주고 있으나, 페타이어 분말 함량이 증가함에 따라서 전단특성에 부정적인 영향을 주고 있음을 알 수 있다.

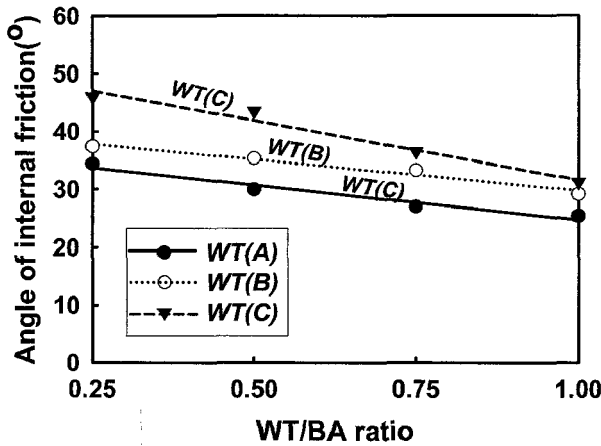


그림 10. 페타이어 분말/저회 배합비에 따른 내부마찰각 변화

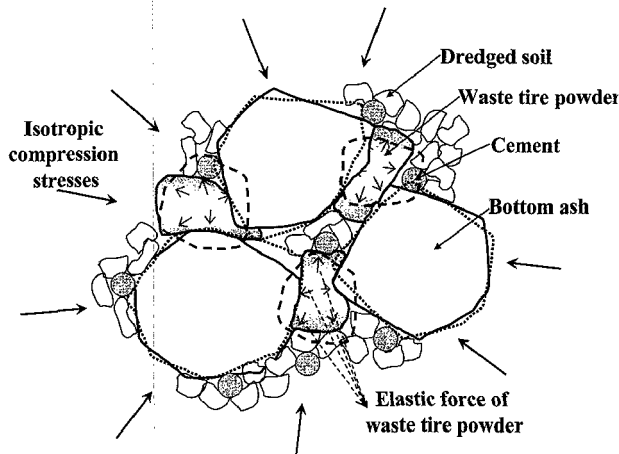


그림 11. 페타이어 혼합경량토의 역물림 작용(김윤태와 강효섭, 2009)

5. 결론

페타이어 분말 입경과 함량에 따른 페타이어-저회 혼합토의 역학적 특성을 파악하기 위해 저회 및 페타이어 분말을 다양하게 배합한 혼합토를 대상으로 직접전단 시험을 수행하였다. 시험결과로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 순수한 페타이어 분말의 건조단위중량은 약 5.24kN/m^3 에서 6.55kN/m^3 의 범위로 나타났다. 페타이어-저회 혼합토의 경우 페타이어 분말 함량이 증가함에 따라 페타이어의 경량성으로 인해 최대 및 최소 건조단위중량은 각각 9.7kN/m^3 에서 7.3kN/m^3 , 8.0kN/m^3 에서 5.4kN/m^3 로 감소한다.
- (2) 순수한 저회의 전단응력-변형 곡선은 첨두응력이 뚜렷이 나타나는 반면, 순수한 페타이어 분말의 전단응력-변형 곡선은 변형률이 증가함에 따라 전단응력이 계속 증가하는 경향을 나타낸다. 페타이어-저회 혼합토에서 페타이어 분말 함량이 증가함에 따라 순수한 페타이어 분말의 전단응력-변형 곡선과 유사한 거동특성을 가진다.
- (3) 직접전단시험 결과, 순수한 저회의 내부마찰각은 약 50° 로 나타났고, 순수한 페타이어의 내부마찰각 입경에 따라 23° 에서 28° 의 범위를 가진다. 또한 페타이어 입경이 커짐에 따라 내부마찰각은 증가하는 경향을 가진다. 페타이어 분말의 입경이 커짐에 따라 역물림 작용이 보다 강하게 작용하여 전단강도 및 내부마찰각 증가에 영향을 주는 것으로 판단된다.
- (4) 페타이어-저회 혼합토의 직접전단시험 결과 페타이어 분말 함량이 증가함에 따라 내부마찰각은 감소한다.

후 기

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2009-0086833).

참 고 문 헌

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

2. 김윤태, 강효섭 (2008a), “페타이어 분말을 이용한 혼합경량토의 역학적 특성 연구”, *대한토목학회논문집*, 제28권, 제4C호, pp.247-253.
3. 김윤태, 강효섭 (2008b), “유동성 뒷채움재인 페타이어 혼합경량토에 대한 실험적 연구”, *한국해양공학회지*, 제22권, 5호, pp.112-118.
4. 산업자원부 (2002), *자원활용·소재 및 리사이클링 기술동향 분석연구*, 최종보고서, pp.22-25.
5. 코오롱건설 (2001), *페타이어 고무분말 특성분석 및 국내·외 시장조사를 통한 마케팅 전략 수립*, 코오롱건설주식회사.
6. Ahmed, I. (1993), *Laboratory Study on Properties of Rubber-Soils*, Purdue University, Indiana, Joint highway Research Project, Report No.FHWA/IN/JHRP-93/4.
7. Benda, C. C. (1995), *Engineering Properties of Scrap Tires Used in Geotechnical Applications*, Report No. 95-1, Vermont Agency of Transportation, Montpelier, VT
8. Bressette, T. (1984), *Used Tire Material as An Alternative Permeable Aggregate*, Report No. FHWA/CA/TL-84/07, Office of Transportation Laboratory, California Department of Transportation, Sacramento, CA.
9. Epps, Jon A. (1994), *Use of Recycled Rubber Tires in Highways*, National Cooperative Highway Research Program Synthesis of Highway Practice No. 198, Transportation Research Board, Washington, DC.
10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. Humphrey, D. and Sandford, T. (1993), *Tire Chips as lightweight subgrade fill and retaining wall backfill*, Proc., Symp. on Recovery and Effective Reuse of Discarded Materials and By-Products for Constr. of Hwy. Fac., Federal highway Administration, Denver, Colo., 5-55-5-68.
14. Kang, H. S., and Kim, Y. T. (2009), “Strength and Mechanical Behavior of Waste Tire Powder-Added Lightweight Soil”, *International Conference on Civil and Environmental Engineering, ICCEE-2009*, Busan.
15. 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.
16. Lambe, T. W., and Whitman, R. V. (1979), *Soil Mechanics(SI Version)*, John Wiley and Sons.
17. 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.
18. 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.
19. Wu, W. Y., Benda, C. C., and Cauley, R. F. (1997), “Triaxial Determination of Shear Strength of Tire Chips”, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol.123, No.5, pp.479-482.
20. Yang, S., Lohnes, R. A., and Kjartanson, B. H. (2002), “Mechanical Properties of Shredded Tires”, *Geotechnical Testing Journal*, Vol.25, No.1, pp.44-52.
21. 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.
22. 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.

(접수일자 2010. 1. 14, 심사완료일 2010. 2. 25)