

# 인산석고-EPS 조각을 활용한 경량혼합토의 공학적 특성

## Engineering Characteristics of the Light Weight Soil Using Phosphogypsum and EPS Beads

김 영 상<sup>†</sup> · 서 동 은<sup>1)</sup> · 김 원 봉<sup>2)</sup> · 이 우 범<sup>3)</sup>

Kim, Youngsang · Suh, Dongeun · Kim, Wonbong · Lee, Woobum

**ABSTRACT** : The current study developed light-weighted mixed soil that can solve problems related with soft soil such as ground subsidence, sliding and lateral displacement of ground. By reducing weight of reclaimed soil through mixing phosphogypsum and recycled EPS beads with the weathered granite soil. A series of geotechnical laboratory tests including physical index test, compaction test, CBR test, and direct shear test were performed and engineering properties were reviewed in order to assess applicability of the light-weighted mixed soil for roads and abutment and various back-filling materials at the reclamation area. Based on the laboratory test results, it was found that the maximum dry unit weight of the light-weighted soil ranges 14.32~15.79 kN/m<sup>3</sup> and the optimum water content ranges 21.91~24.23%, which means there is 11~19.3% weight decrease effect when comparing with general weathered granite soil. Also it was found that the corrected CBR value ranges 10.4~18.4% satisfying the domestic regulations on road subgrade and back-filling material. In addition, as for shear strength parameter, cohesion ranges 10.79~18.64 kPa and internal frictional angle ranges 35.4~37.2°, which are similar with those of general construction soil and back-filling material used in Korea. So it can be concluded that light-weighted mixed soil with phosphogypsum can be used effectively for soft reclamation ground as actual filling material and back-filling material. From the current study, it was found that light-weighted mixed soil with phosphogypsum has not only weight reduction effect, but also has no special problems in shear strength and bearing capacity. Therefore, it is expected that phosphogypsum can be recycled in bulk as road subgrade and back-filling material at the reclamation area.

**Keywords** : Light-weighted soil, Phosphogypsum, EPS beads, Compaction characteristics, Shear strength, CBR

**요 지** : 본 연구에서는 산업부산물인 인산석고와 EPS 조각을 기존의 성토용 토사에 혼합하여 지반응력을 감소시킴으로써 고풍수 비로 준설매립된 공유수면 내 초연약지반의 침하, 활동파괴, 측방유동 등의 문제를 해결할 수 있는 경량혼합토를 개발하였다. 개발된 경량혼합토는 공유수면 매립지역에서 대량이용이 가능한 도로 및 교대의 성토재료, 각종 뒤채움재료의 사용에 대한 적용성을 평가하기 위하여 기본물성시험, 다짐시험, CBR시험, 전단강도시험 등 일련의 실내시험을 수행하였고 지반공학적 특성을 검토하였다. 시험결과, 경량혼합토의 최대건조단위중량은 14.32~15.79kN/m<sup>3</sup>, 최적함수비는 21.91~24.23%로 일반 화강풍화토와 비교할 때 9.4~19.3%의 하중감소 효과가 있으며, 수정 CBR값은 10.4~18.4%로 국내 도로노상 및 뒤채움재에 대한 규정을 만족하는 것으로 나타났다. 또한 전단강도정수는 점착력 10.79~18.64kPa, 내부마찰각 35.4~37.2°로 각각 나타나 국내에서 일반적으로 사용되는 성토재료 및 뒤채움재 범위를 충족시키는 것으로 평가되어 실제 성토재료 및 뒤채움재로 연약지반에서 효과적으로 활용이 가능할 것으로 판단되었다. 본 연구를 통하여 개발된 인산석고 경량혼합토는 하중감소 효과가 있으면서도 전단강도와 지지력면에서 큰 문제가 없어서 연약한 임해매립지반의 도로 노상도 및 뒤채움재로 사용될 수 있어 인산석고의 대량 재활용방안이 될 것으로 판단된다.

**주요어** : 경량혼합토, 인산석고, EPS 조각, 다짐특성, 전단강도, CBR

## 1. 서 론

우리나라의 골재 수요는 현재 연간 2.35억m<sup>3</sup>를 넘고 있으며 현재의 건설 활동 추세를 감안할 때, 앞으로도 연평균 5%이상 수요가 증가할 것으로 전망되고 있다. 표 1의 자료에 의하면, 우리나라의 골재 부존량은 채취 가능량을 기준으로 할 때 80억m<sup>3</sup> 수준에 달하고 있으며 이는 현재의 골재

수요량이 유지된다고 가정할 때 33년 정도 공급이 가능한 물량이다. 따라서 특별한 수급 대책이 수립되지 않는 한 향후 20~30년 이후로는 골재 자원의 고갈 현상이 심화될 것으로 전망된다(건설교통부, 2005). 한편, 최근 양질의 천연 골재 고갈에 따라 석산골재(부순골재)나 해사(세척사)를 이용하는 비중이 절대적이나 이 또한 환경파괴에 대한 우려와 생태계 교란 등의 이유로 그 한계성이 점차적으로 나타나고

† 정회원, 전남대학교 건설·환경공학부 조교수(E-mail : geoyoungkim@chonnam.ac.kr)

1) 비회원, (주)EJ tech 토목설계부 사원

2) 비회원, 전남대학교 건설·환경공학과 석사과정

3) 비회원, 전남대학교 건설·환경공학부 교수

있는 실정이다. 따라서 천연자원의 고갈에 따른 대체 자원의 개발과 다양한 산업부산물의 지반공학적 활용 가능성에 대한 연구가 매우 절실하다.

인산비료 생산과정에서 발생하는 인산석고는 연간 150만 톤에 이르고 있으며 건축자재인 석고보드, 시멘트원료, 비료충진제 등으로 주로 재활용되고 있지만 그 재활용 비율이 발생량의 50%정도여서 매년 누적량이 꾸준히 증가하여(한국건설기술연구원, 2001) 2008년 예상 누적량이 2000만톤에 이르며 몇 년 이내로 석고적치장이 포화상태에 놓일 실정이다. 인산석고의 재활용 방안과 관련한 그간의 연구로, 한국건설기술연구원(2001), 이용수 등(2001), 이용수(2002)는 인산석고와 화강풍화토의 혼합재료가 성토재료로 적합한지에 대하여 공학적·환경적 특성을 분석하였다. 인산석고의 용출시험 결과 국내 폐기물 관리법과 토양환경보전법, 미국 RCRA 기준 이하의 중금속 농도를 나타냈으며, 혼합토에 대한 용출시험 결과도 기준치 이하의 중금속 농도를 나타냈다. 또한, 인산석고 자체는 pH 2.2~2.6의 강산이나 일반토사와 7:3으로 혼합한 혼합토에서는 pH 6~7정도로 환경적으로 그 유해성이 적다고 보고하였다. 한편, 지반공학적 시험결과, 석고혼합토의 수정 CBR값이 최소기준 5이상으로 나타나 해안매립재, 성토재, 도로노반재, 폐기물매립시설 복토재 등으로 활용이 가능하다고 평가하였다.

EPS 혼합토와 관련한 기존의 연구로서, 김홍택 등(1996)과 신방웅 등(2000)은 일반적으로 기존성토재료 사용하고 있는 화강풍화토에 폐 EPS조각을 혼합하여 실내역학시험을 수행한 결과, 경량성이 뛰어나고 강도특성이 우수한 것으로 나타나 추후 배합비와 고화재에 따른 역학 특성이 규명된다면 널리 활용될 수 있을 것으로 전망하였다. 방윤경 등(2003)은 화강풍화토에 부산석회와 폐 EPS조각을 혼합하여 경량성토재료로서의 활용방안에 대하여 시험연구를 통해 분석한 결과, 최대 25.4% 정도의 하중감소효과와 수정 CBR 값 5.3~11.8%의 범위로 일부 경우를 제외하고는 노체, 노상 및 뒤채움재료로서의 국내 규정을 만족하고 용출시험 결과도 국내 수질환경보전법에 의한 배출수 허용기준에 만족하는 것으로 나타나 경량성토재료로서의 활용가능성을 제시한 바 있다.

표 1. 우리나라 골재 부존량 및 이용가능량 조사 결과(건설교통부, 2005)

단위 : 백만 <sup>3</sup>	부존량	개발 가능량	채취 가능량
계	17,317	11,419	8,065
바다골재	3,851	1,877	1,656
산림골재	5,421	4,075	3,547
하천·육상골재	8,045	5,467	2,862

본 연구에서는 산업부산물인 인산석고와 EPS 조각을 활용하여 지반공학 분야에 필요한 인공경량성토재 및 인공골재 개발의 기초연구로서, 인산석고의 품질변동에 활용이 크게 좌우되지 않고 대량 이용이 가능할 것으로 예상되는 도로 및 교대의 성토재료, 뒤채움재 분야로의 활용방안을 모색하고자 한다. 이를 위하여 인산석고, 화강풍화토 및 EPS 조각을 혼합한 새로운 형태의 경량혼합토를 고안하였고, 다양한 배합비로 제작된 경량혼합토 시료에 대하여 실내시험을 실시하여 EPS 석고혼합토의 지반공학적 특성을 파악하였다.

## 2. 실험재료 및 방법

### 2.1 실험재료의 기본적 특성

본 연구에 사용된 흙시료는 국내에서 가장 널리 분포하고 있는 화강풍화토로 전남 여수지역에서 채취하였으며, 노건조상태로 혼합하여 물리적 특성시험과 역학적 특성시험을 수행하였다. 물리적·역학적 실험 결과는 표 2에 요약하였다. 인산석고 시료는 석고매립장에 야적되어 있는 것을 사용하였으며 기본적인 특성은 기존의 연구결과(이용수 등, 2001)와 동일하다. EPS 조각은 EPS 블록을 파쇄하여 직경

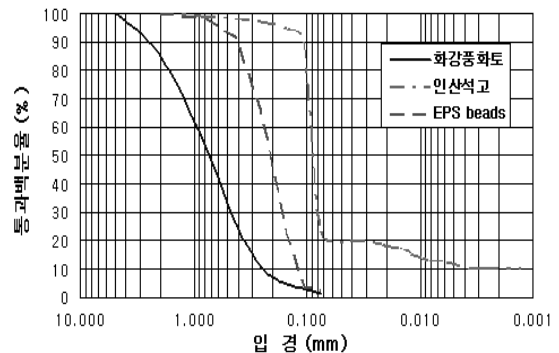


그림 1. 실험재료의 입도분포곡선

표 2. 실험재료의 물리적·역학적 기본특성

항 목	화강풍화토	인산석고
비중	2.69	2.45
함수비(%)	10.21	18.17
최대건조밀도(kN/m <sup>3</sup> )	17.76	12.95
최적함수비(%)	15.24	25.74
점착력(kPa)	27.47	8.83
내부마찰각(°)	39.1	31.1
균등계수	3.62	3.59
곡률계수	0.87	2.61
통일분류	SP	ML

0.5~5.0mm 정도의 구형입자 크기로 상분화한 것을 사용하였으며, 단위중량은 0.147~0.261kN/m<sup>3</sup> 정도이다.

## 2.2 실험방법

본 연구에서는 인산석고, 화강풍화토 및 EPS 조각을 각각 다양한 비율로 혼합하여 경량혼합토를 제작하였고, 제작된 시료가 성토 및 도로재료로서 적합인가 여부를 판단하기 위하여 다짐, CBR, 전단시험 등 역학적 실험을 실시하였다. 경량혼합토의 배합비는 폐기물관리법(2008)에 근거하여 재활용이 허용된 배합비인 화강풍화토와 인산석고를 7:3의 비율로 혼합하였고, 여기에 경량성을 확보하기 위하여 EPS 조각을 추가로 혼입하였다. 예비시험결과와 기준문헌을 참고하여 혼합비는 중량비 0.05~0.2%의 범위로 결정하였다. 표 3은 본 연구에서 검토한 경량혼합토의 인산석고와 EPS 조각의 배합비이다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 인산석고 경량혼합토 다짐특성

경량성토재는 그 재료 자체의 단위중량이 경량성토재료로서의 활용가능성에 대한 판단기준이 되므로 단위중량의 산정은 매우 중요하다. 본 연구에서는 혼합비별로 KS F 2312 규정에 따라 D다짐을 실시하여 최대건조단위중량과 최적함수비를 산정하였다. 그림 2는 경량혼합토의 다짐 후 발췌한 시료의 모습이며, 다짐시험결과는 그림 3과 표 4에 요약하였다. 시험결과, EPS 조각을 혼합한 경량혼합토의 최대건조단위중량은 약 14.32~15.79kN/m<sup>3</sup>의 범위이며, 최적함수

표 3. 경량혼합토의 인산석고와 EPS 조각 혼합비

혼합비 (화강풍화토:인산석고)	EPS 조각 (중량비)
1 : 0	-
7 : 3	-
	0.05%
	0.1%
	0.2%

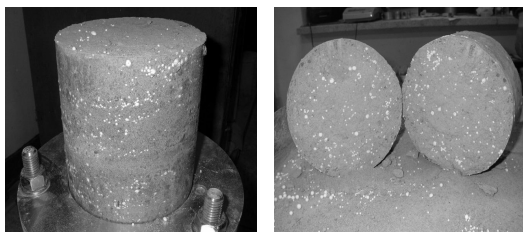


그림 2. 인산석고와 EPS 경량혼합토의 다짐시료

비는 약 21.91~24.23%의 범위로 각각 나타났다. 한편 그림 4와 5에는 다짐시험결과 인산석고 혼합토에 EPS의 혼합비 증가에 따른 최대건조단위중량과 최적함수비의 변화경향을 나타내었다. 그림과 표에 정리된 바와 같이 인산석고와 EPS 조각의 함유량이 증가할수록 최대건조단위중량은 감소하고 최적함수비는 증가하는 것으로 나타났다. 화강풍화토에 인산석고를 7:3으로 혼합할 경우의 건조단위중량 감소율 9%와 비교할 때 EPS를 0.2% 혼합하면 추가로 건조단위중량 10%의 감소가 나타나 총 19%정도의 건조단위중량 감소효과가 나타났으며, 함수비 증가량도 유사하게 나타났다. 이는 화강풍화토와 인산석고에 비해 밀도가 낮은 EPS 조각을 혼합함으로써 단위중량은 감소하나 입경이 상대적으로 큰 EPS 조각을 중심으로 다른 입자들이 붙기 위해 많은 함수량이 필요하기 때문에 최적함수비는 증가하는 것으로 사료된다. 인산석고와 EPS를 혼합한 화강풍화토의 단위중량 감

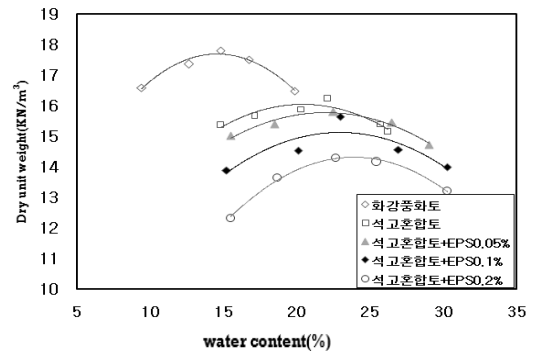


그림 3. EPS 혼합율에 따른 석고혼합토의 다짐곡선변화

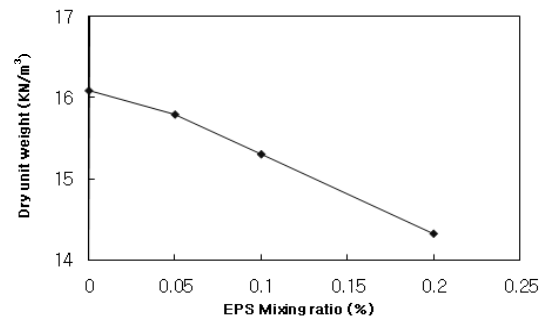


그림 4. EPS 혼합율 증가에 따른 석고혼합토의 최대건조단위중량 변화

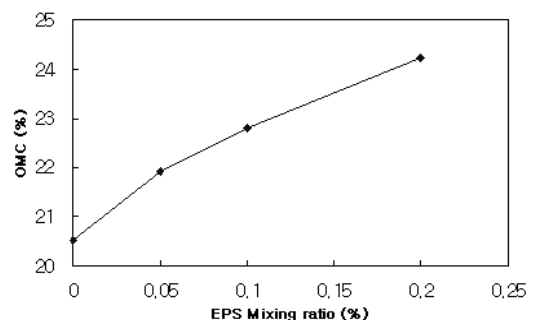


그림 5. EPS 혼합율 증가에 따른 석고혼합토의 최적함수비 변화

표 4. 인산석고 경량혼합토의 다짐특성

혼합비 (화강풍화토:인산석고)	EPS beads	$\gamma_{dmax}$ (kN/m <sup>3</sup> )	OMC (%)	$\frac{\gamma_{dmax}(\text{경량혼합토})}{\gamma_{dmax}(\text{화강풍화토})}$
1 : 0	-	17.76	15.24	-
	-	16.09	20.51	0.91
7 : 3	0.05%	15.79	21.91	0.89
	0.1%	15.30	22.80	0.86
	0.2%	14.32	24.23	0.81

소는 기존 연구 중 8:2의 배합비로 제작된 부산석회 혼합토(방윤경 등, 2003)의 약 11.4%와 부산석회 혼합토에 EPS beads 0.1%를 혼합할 경우 약 15% 단위중량 감소효과와 비교할 때 더 큰 단위중량 감소효과가 있는 것으로 나타났다. ML 성분의 석고를 혼합함으로써 최적함수비가 5%가량 증가하는 것으로 나타났으며 EPS를 혼합함으로써 건조단위중량이 감소하는 것으로 나타났다. 이로부터 화강풍화토에 인산석고만을 혼합하는 경우에도 건조단위중량의 감소효과가 나타나지만, EPS를 추가함으로써 혼합토의 건조단위중량의 감소효과가 더욱 크게 나타나 경량성토재로서 경쟁력이 확보될 것으로 판단된다.

### 3.2 CBR특성

인산석고 경량혼합토를 도로성토 및 교대 뒤택음재로 활용하기 위해서는 지지력이 확보되어야 하며 이를 평가하기 위해 실내 CBR시험을 수행하였다. 본 연구에서는 KS F 2320 규정에 따라 CBR시험을 실시하였으며, 표 3의 각 배합비별 혼합토를 실내다짐시험 결과에서 얻어진 최대건조단위중량의  $\pm 95\%$ 내에서 다짐하여 시료를 제작하였다. 인산석고 EPS 경량혼합토의 CBR시험 결과를 보정하여 표 5와 그림 6에 수정 CBR값으로 요약하여 나타내었다. 표 5를 살펴보면, 인산석고 경량혼합토의 수정 CBR값은 약 10.4~20.1%의 범위로 나타났다. 화강풍화토가 24%의 수정 CBR값을 보이며 인산석고를 7:3으로 혼합한 석고혼합토는 20.1%의 수정 CBR 값을 보여 큰 변화가 없다. 그러나 EPS 혼합비가 증가함에 따라 수정 CBR값은 감소하며 EPS beads를 0.1%와 0.2% 혼합한 경우 각각 15.3%와 10.4%의 수정 CBR값을 보였다. 방윤경 등(2003)이 부산석회와 화강풍화토를 8:2로 혼합하고 0.1%의 EPS beads를 혼합한 경우의 수정 CBR 값이 11.8%로 나타난 점을 고려할 때 인산석고 경량혼합토가 상대적으로 높은 결과를 나타내 산업부산물 재활용 분야에서 비교적 우수한 성능을 보이는 것으로 판단된다. 한편 경량혼합토를 도로성토재료나 뒤택음재로 활용하기 위한 관련 기준을 살펴보면, 건설교통부(2000)와 한국도로공사(2001)에서 노체의 경우 수정 CBR값이 2.5% 이상, 하부노상은 5.0%,

표 5. 인산석고 경량혼합토의 수정 CBR

혼합비 (화강풍화토:인산석고)	EPS beads	수정 CBR(%)
1 : 0	-	24.0
	-	20.1
7 : 3	0.05%	18.4
	0.1%	15.3
	0.2%	10.4

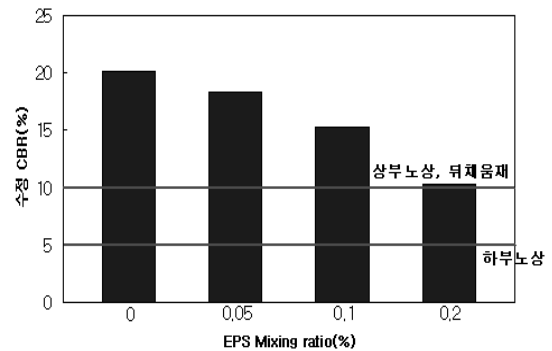


그림 6. 인산석고 경량혼합토의 수정 CBR 변화

상부노상은 10.0%, 뒤택음재는 10%이상으로 명시되어 있다. 그림 6에 도시한 바와 같이 본 연구에서 대상으로 시험한 인산석고 EPS 경량혼합토는 모두 수정 CBR값이 10.0% 이상으로 국내 규정에 의하면 도로재료와 뒤택음재로 충분히 활용이 가능한 것으로 확인 되었다. 현재 폐기물관리법 시행규칙(2008)에 근거하여 인산석고 혼합토의 활용이 공유수면 지역으로 제한된 점을 고려한다면, 연약한 준설매립된 공유수면 지역에서의 도로성토 및 뒤택음재료로서 충분히 활용 가능할 것으로 판단된다.

### 3.3 전단강도특성

EPS 인산석고 경량혼합토의 지반공학적 설계 시 필요한 강도정수( $c, \phi$ )를 구하기 위해 KS F 2343 규정에 따라 상재하중을 15.69kPa, 31.39kPa, 62.78kPa 세단계로 구분하여 직접전단시험을 실시하였다. 직접전단시험 결과, 전단응력과 변위관계를 그림 9에 도시하였다. 상재하중이 증가할수록 높은 침투강도(Peak Strength)를 나타냈으며 대부분 침투강

표 6. 인산석고와 EPS Beads 혼합비에 따른 전단특성

혼합비 (화강풍화토:인산석고)	페 EPS beads	점착력 (kPa)	내부 마찰각 (°)
1 : 0	-	27.57	39.1
7 : 3	-	20.60	38.8
	0.05%	18.64	37.2
	0.1%	13.73	36.8
	0.2%	10.79	35.4

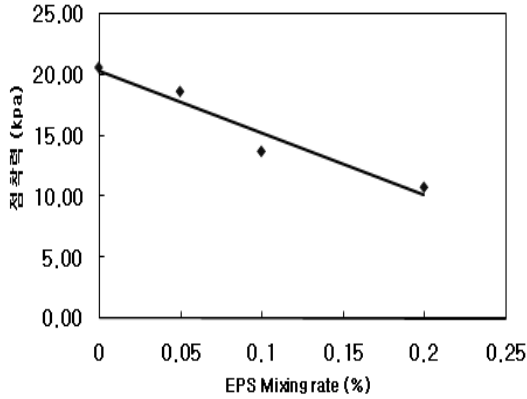


그림 7. 인산석고 경량혼합토의 점착력 변화

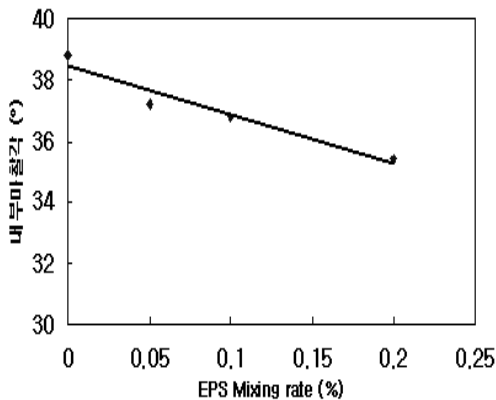


그림 8. 인산석고 경량혼합토의 내부마찰각 변화

도 후 연화(softening)현상을 보였다. 얻어진 연직응력과 전단강도들로부터 결정된 내부마찰각( $\phi$ )과 점착력( $c$ )은 표 6에 정리되어 있다.

표 6을 살펴보면, 화강풍화토에 인산석고만을 혼합하는 경우에는 점착력이 27.47kPa에서 20.6kPa로, 내부마찰각은 39.1°에서 38.8°로 감소하는 경향을 나타내고 있다. 점착력의 감소효과는 내부마찰각의 감소효과보다 크게 나타나며 이는 인산석고가 통일분류법 상 ML로 분류되어 실트질 특성을 나타내기 때문인 것으로 판단된다. 그림 7과 그림 8은 석고혼합토에 EPS 조각의 혼합한 경우의 점착력과 전단저항각 변화로 EPS 혼합비에 따라 점착력은 10.79~18.64kPa, 내부마찰각은 35.4°~37.2°의 범위로 EPS beads의 혼합비가 증가함에 따라 점착력과 내부마찰각이 감소하

표 7. 설계 토질정수(건설교통부, 2000)

구분	종류	상태	내부 마찰각
성토재	자갈 및 자갈섞인 모래	다져진것	40°
		입도가 좋은것 입도가 나쁜것	35° 30°
	모래	다져진것	25°
뒤채움재	사질토	-	35°
	자갈	-	30°

는 경향을 나타내었다. 기존 연구 중 부산석회 혼합토(방운경 등, 2003)에 EPS beads를 혼합한 경우 점착력 23.54~35.32kPa, 내부마찰각 23°~26°로 나타나 점착력은 부산석회 혼합토의 경우가 약간 크나 내부마찰각은 인산석고 경량혼합토의 경우가 더 큰 것으로 나타났다. 표 7에 건설교통부(2000)에서 제시하는 성토재와 뒤채움재의 재료의 상태에 따른 내부마찰각이 나타나 있다. 그림 7 및 8에서 도시한 것과 같이 본 연구에서 대상으로 하는 인산석고 혼합토내 EPS 조각의 혼합비가 증가할수록 점착력 및 내부마찰각은 감소하는 경향을 나타내고 있지만, 표 7에서 제시하는 성토재와 뒤채움재의 내부마찰각 범위가 25°~40°로 본 연구에서 개발하고자 하는 인산석고 경량혼합토의 내부마찰각 범위가 성토 및 뒤채움재로서 사용하는데 충분한 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는, 산업부산물인 인산석고와 EPS의 재활용 방안으로, 도로성토재료 및 뒤채움재로 활용하기 위하여, 화강풍화토와 인산석고 혼합토에 EPS를 혼합하여 새로운 형태의 경량혼합토를 제작하였으며, 경량혼합토의 지반공학적인 특성을 파악하여 그 활용 가능성을 평가하였다.

- (1) 화강풍화토에 인산석고만을 7:3의 비율로 혼합하는 경우에도 건조단위중량이 9% 감소효과가 나타나지만, EPS를 0.2% 혼합함으로써 혼합토의 건조단위중량이 추가로 10% 정도 더욱 크게 감소하는 것으로 나타나, EPS를 혼합한 인산석고 혼합토가 경량성토재료로서 충분한 활용 가능성이 있는 것으로 판단된다.
- (2) 인산석고 경량혼합토의 수정 CBR값은 EPS 조각의 혼합비가 증가함에 따라 감소하는 경향이 있으나, 10.4~18.4% 범위이며, 국내 도로설계 규정에 의하면 상부 및 하부 노상, 뒤채움재 규정을 충족시키는 것으로 나타나, 연약한 공유수면 매립지역에서 실제 도로의 노

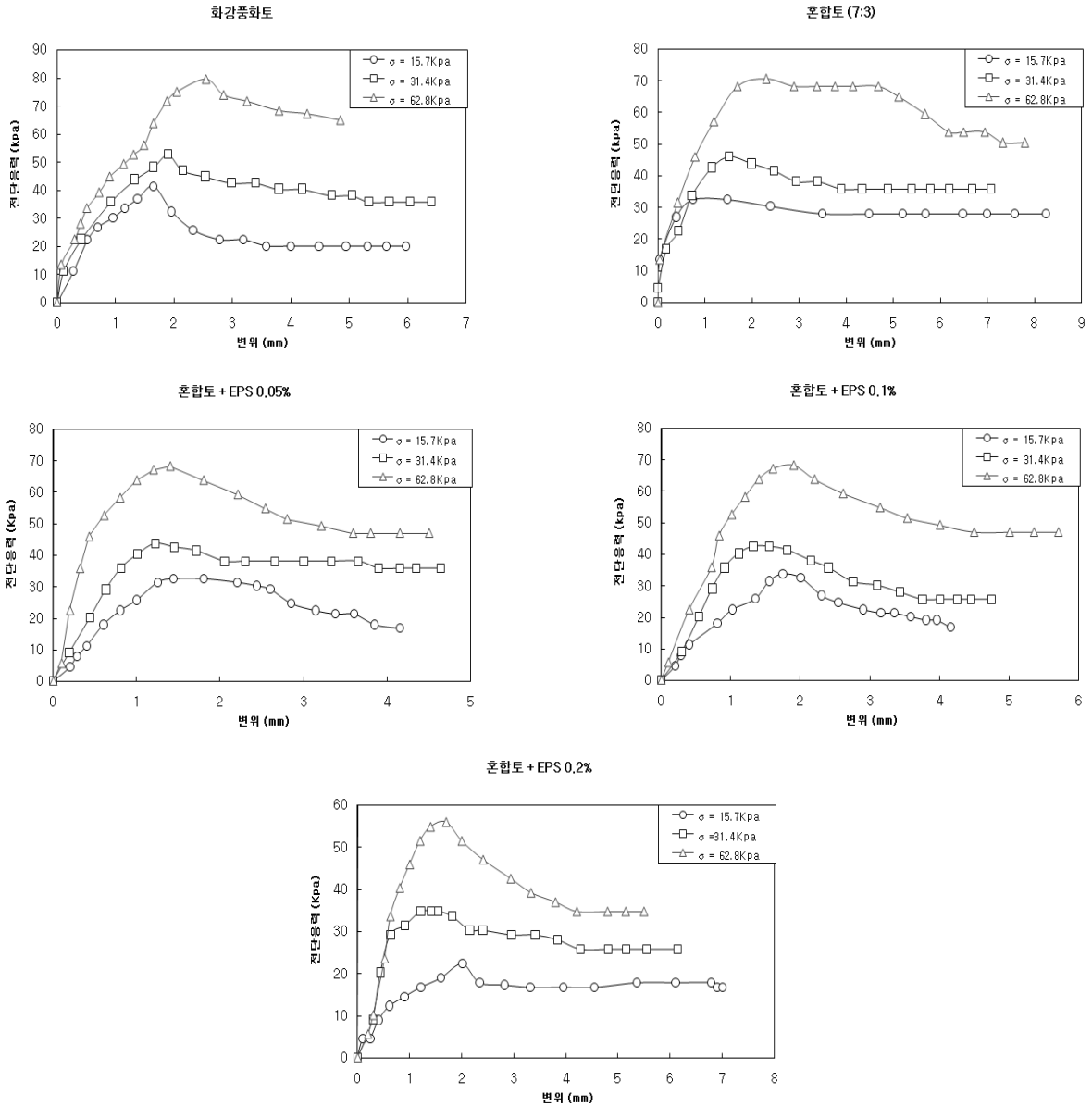


그림 9. 인산석고와 EPS 혼합비에 따른 직접전단시험 결과

상재료로서 또한 교대부의 경량성토 및 뒤채움재로 연약지반에서 효과적으로 활용이 가능할 것으로 판단 된다.

- (3) 인산석고 경량혼합토의 직접전단시험 결과, 점착력은 10.79~18.64kPa, 내부마찰각은 35.4~37.2°를 나타내며, EPS 조각의 혼합비가 증가할수록 화강풍화토에 비해 점착력 및 내부마찰각이 감소하는 경향이 있다. 그러나 인산석고 경량혼합토의 내부마찰각이 도로설계편람(2000)에서 규정하는 성토 및 뒤채움재의 내부마찰각 범위를 만족하는 것으로 나타나, 제작된 EPS 인산석고 경량혼합토가 성토재료로서 지반공학적인 성능이 충분히 확보됨을 확인하였다.

## 감사의 글

본 연구는 지식경제부와 한국산업단지공단의 생태산업 구축사업의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참고 문헌

1. 건설교통부 (2000), 도로설계편람 제 4편 토공 및 배수, pp. 405-1~7, 407-1~4, 408-24~26.
2. 건설교통부 (2005), 골재채취업무편람, 건설선진화본부 건설지원팀, pp. 4~8
3. 김홍택, 방윤경 (1996), 지오그리드-페 EPS 조각 혼합경량토의 마찰특성, 한국지반공학회지, 제12권, pp. 163~183.
4. 방윤경, 김홍택, 김승욱, 박민용, 박성철 (2003), 경량성토재료서의 부산석회 재활용 방안 연구, 한국지반환경공학회 가을

학술 발표회 논문집, pp. 19~26.

5. 신방웅, 이종규 (2000), 페스티로폴 입자와 현장발생토를 활용한 경량혼합토의 공학적 특성, *한국지반환경공학회논문집*, 제1권 1호, pp. 43~50.
6. 이용수, 정형식, 정하익 (2001), 성토재료로서 인산석고의 공학적·환경적 특성, *한국지반공학학회논문집*, 제17권, 4호, pp. 331~339.
7. 이용수 (2002), *인산석고 혼합 준설점토의 물리·화학적 특성*

과 환경적 영향, 박사학위논문, 한양대학교, pp. 71~147.

8. 정하익 등 (2001), *인산부산석고의 매립성토재 및 지반재료로서 유효활용에 관한 연구*, 건기연 2001-026, 남해화학주식회사, pp. 5~252.
9. 한국도로공사 (2001), *도로설계요령, 제 2권 토공 및 배수*, pp. 85~102.
10. 환경부령 제316호 (2008), *폐기물관리법 시행규칙*, 66조 3항 관련 별표 16의2.

(접수일: 2009. 2. 20 심사일: 2009. 3. 18 심사완료일: 2009. 8. 24)