

Table 1. Physical properties of soils tested

Type of soil sample	Uniformity coefficient(Cu)	Curvature coefficient(Cc)	Liquid limit (LL)(%)	Plastic Index (PI)(%)	Remarks
WG	33.3	1.5	39.1	10.6	Well graded soil
MG	7.1	1.1	37.4	11.3	Moderately graded soil
PG	1.9	1.1	35.4	10.4	Poorly graded soil

사용하여 성공적으로 시공한 사례가 보고되었다. 이 사례에서는 EPS를 블록으로 사용하였으며, 공사비가 고가이기 때문에 연약지반의 교대 뒷채움에 제한적인 용도로 사용되었다.

폐EPS를 경량성토재료로 사용가능함을 검토하기 위하여 본 연구에서는 실트질 모래와 EPS 파쇄편을 섞은 혼합토의 다짐특성과 토공재료로서의 지지력특성을 검토하고 EPS 파쇄편의 크기에 따른 혼합토의 적절한 혼합비를 제시하고자 한다.

II. 시험재료

1. 흙시료

본 시험에서 사용된 흙시료는 공기 중에서 건조시킨 후 불순물을 제거하고 체가름을 통하여 필요한 입경별로 분리한 후 다양한 현장조건의 재현을 위하여 각기 다른 균등계수 Cu와 곡률계수 Cc를 갖는 시료로 조제하였다.

이 흙의 비중은 2.825이며 조제된 흙시료의 물리적 특성은 Table. 1과 같고 입도분포는 Fig. 1과 같다. Table 1에서 보는 바와 같이 각각의 입도구분은 균등계수값의 변화에 의하였으며, 액성한계는 점토의 함량이 줄어들수록 낮은 값을 보인다.

2. 발포폴리스티렌

발포폴리스티렌은 일반적으로 제조공정에 따라서 비드(bead)발포법에 의해 만든 EPS와 압출발포법으로 만든 XPS(Extruded polystyrene)로 나뉜다. 우리나라에서는 KS 규정에 따라 보호판 1

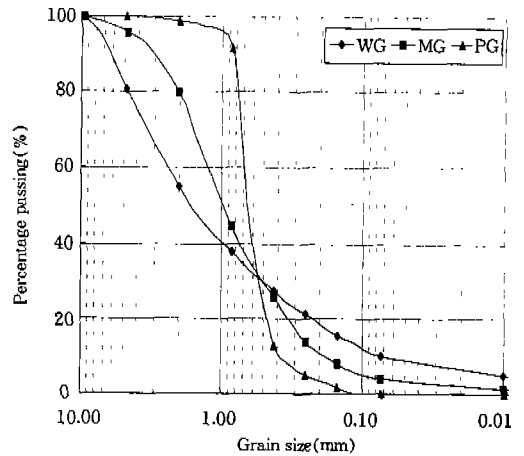


Fig. 1. Grain size distribution curves of soils tested

Table 2. Physical properties of EPS

Type	Unit weight (t/m ³)	Suction (g/100cm ²)	Friction coefficient
D-25	0.025	1.0	dry sand: 0.46~0.58 wet sand: 0.25~0.52

호(0.030t/m³)부터 보호판 4호(0.015t/m³)까지 네 종류를 생산하고 있으며 포장재료는 보호판 2호(D-25)가 가장 많이 사용된다. 본 연구에서 보호판 2호(D-25)를 사용하였으며 물리적, 역학적, 화학적 특성은 Table 2 및 Table 3과 같다.

흙과 혼합하기 위하여 EPS재료는 10×10×10mm와 20×20×20mm의 크기로 절단하였다.

Table 4는 공시체 제작에 사용된 흙과 혼합비를 정리한 것이다.

Table 3. Mechanical and chemical properties of EPS

Type	Compressive stress(tf/m ²)	Acceptable compressive stress(tf/m ²)	Elastic modulus (kgf/cm ²)	Poisson's ratio	Inflammability	Thermal durability
D-25	14.0	7.0	65~85	0.13~0.16	no	safe to 70°C

Table 4. Mixing ratio of soil and EPS by volume

Type of soil sample	EPS dimension (mm)	Soil : EPS
WG	10×10×10 20×20×20	1 : 0.0
		1 : 0.5
		1 : 1.0
		1 : 1.5
		1 : 2.0
		1 : 3.0
MG	10×10×10 20×20×20	1 : 0.0
		1 : 0.5
		1 : 1.0
		1 : 1.5
		1 : 2.0
		1 : 3.0
PG	10×10×10 20×20×20	1 : 0.0
		1 : 0.5
		1 : 1.0
		1 : 1.5
		1 : 2.0
		1 : 3.0

III. 시험방법

1. 다짐시험

일반적으로 다짐시험에 의한 다짐에너지는 현장과는 달리 공시체에 대한 동적인 다짐에너지를 가함으로서 다짐을 하게 된다. 흙이 아닌 EPS 파쇄편을 혼합할 경우, 과다한 다짐에너지로 인하여 EPS 파쇄편이 크게 변형을 일으킬 우려가 있다. 따라서, 본 시험에서는 KS 규정에서 표준다짐 A 방법을 기준으로 50% 다짐에너지를 사용하였으며, 이는 사전에 다짐시험을 통하여 조사한 EPS 파쇄편의 변형정도를 기준으로 한 것이며 이때 변형을 10% 이내로 제한하도록 한 것이다.

2. CBR 시험

CBR시험(노상토 지지력 시험)은 도로나 활주로 의 포장두께를 결정하기 위하여 포장을 지지하는 노상토의 강도, 압축성, 팽창성, 수축성 등을 결정하는 시험으로서 본 연구에서는 실내 CBR 시험(KS F 2320)법에 준하여 시험을 행하였다. 또한 최적함수비와 최대건조밀도의 결정은 KS F 2312-A 방법의 50% 다짐에너지로 실험하여 얻었다.

흡수팽창시험은 흙수나 갑작스러운 지하수위상승으로 함수비가 증가할 때 성토의 안정성을 조사하기 위하여 96시간의 수침동안의 시료의 팽창여부를 측정하는 시험이다. EPS 파쇄편 혼합토에 대한 흡수팽창시험은 EPS가 갖는 경량성으로 인하여 수침시에 발생할 우려가 있는 부력에 대한 안정성검토를 하기 위하여 실시해야 할 필수적인 시험이다. 본 시험에서는 72시간이 지난 후에 상부에 물이 스며들지 않을 경우 British Standard 규정에 따라 물을 부어주어 인위적인 수침상태를 재현하였다. 흡수팽창시험의 종료는 통상 96시간으로 하지만 그 전에 더 이상의 변화가 없다고 판단될 때 시험을 종료시켰다. 시험이 끝난 공시체는 수침조로부터 꺼내어 15분 정도 정착시킨 다음 관입시험을 행하였다.

관입시험은 도로의 설계두께를 구하기 위한 CBR 값을 구하는 시험으로서 EPS 파쇄편에 대한 관입시험을 통하여 기존의 토질재료와의 비교를 통하여 CBR 값의 범위를 알아보기 위하여 실시하였다. 관입시험은 직경 5.0cm의 관입피스톤을 흡수팽창시험과 동일한 하중조건(5kg)에서 중심에 위치시킨 후 실시하였다. 관입피스톤에 걸리는 표준단위하중은 Table 5에 보이는 바와 같이 2.5mm 관입량에 대해서 70kgf/cm², 5.0mm 관입량에 대해서 105kgf/cm²를 사용한다. 보통 2.5mm 관입에

Table 5. Standard force-penetration relationship for CBR test

Penetration(mm)	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5
Unit load(kgf/cm ²)	70	105	134	162	183
Total load(kgf)	1,370	2,030	2,630	3,180	3,600

Table 6. CBR values and soil classification by U.S.C.S.

CBR	Usage	U.S.C.S.
0~3	subgrade	OH, CH, MH, OL
3~7	subgrade	OH, CH, MH, OL
7~20	sub-base	OL, CL, ML, SC, SM, SP
20~50	sub-base, base	GM, GC, SW, SM, SP, GP
> 50	base	GW, GM

대한 지지력비를 CBR 값으로 채택하며, 이 값보다 5.0mm 관입에 대한 지지력비가 더 크면 시험을 재 실시하고 그래도 다시 동일한 결과가 나오면 5.0mm에 대한 값을 채택하게 된다.²⁾ Table 6은 도로성토재료로서 사용 가능한 CBR 값의 범위와 그에 해당하는 통일분류법상의 흙의 종류를 나타낸 것이다.

IV. 시험결과 및 고찰

1. 다짐시험 결과

다른 입도를 갖는 세 종류의 흙시료와 두 종류의 EPS파쇄편을 혼합하여 다짐시험을 행하였으며 각각의 혼합도에 대한 다짐특성을 조사하였다.

Figs. 2와 3에서 보는 바와 같이 혼합비가 증가함에 따라서 최대건조단위중량은 감소하지만, 최적함수비는 입도와 혼합비에 따라서 1:1.5까지는 증가하였으나 그후 감소하였다. 비흡습성인 EPS 부피의 증가와 흙의 함수능력의 한계 때문에 혼합비 1:0.5일 경우가 EPS를 혼합하지 않을 경우보다 급격히 건조단위중량이 감소하며 이후 혼합비가 증가함에 따라 일정비율로 건조단위중량이 감

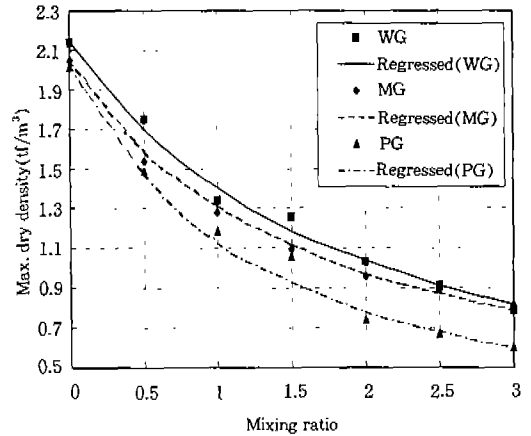


Fig. 2. Change in γ_{dmax} for mixing ratio with 1 cm EPS

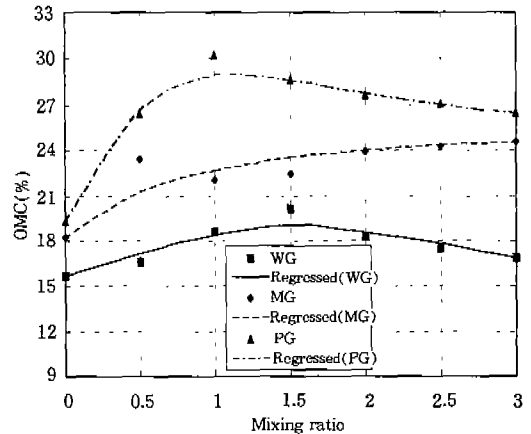


Fig. 3. Change in OMC for mixing ratio with 1 cm EPS

소하는 경향을 보였다.

최대건조단위중량의 95% 다짐도를 기준으로 볼 때 수침에 대하여 안전한 조건은 1tf/m³보다 큰 경우라 한다면, 본 시험에서는 모든 혼합조건에 대해서 혼합비 1:1이하에서는 수침에 의한 부력에 안전하였다.

2. CBR 시험 결과

CBR 시험 중 흡수팽창시험은 수침시의 성토

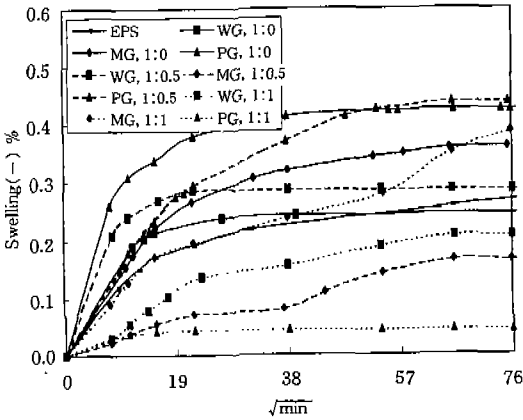


Fig. 4. Swelling curves with 1 cm EPS

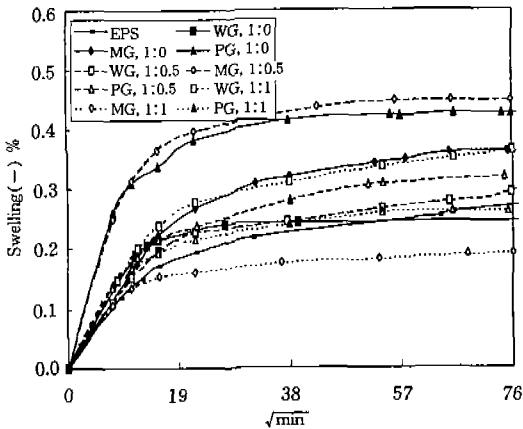


Fig. 5. Swelling curves with 2 cm EPS

의 팽창정도를 판단하기 위한 시험으로 Fig. 4와 5는 흡수팽창시험의 실험결과를 나타낸 것이다. 팽창율이 부(負)값을 보이는 것은 수침 초기에 상재하중에 의한 수축으로 판단되며, 24시간이 경과하기 전에 일정한 값으로 수렴하는 경향을 보인다.

EPS 과쇄편의 크기가 1cm인 경우보다 2cm인 경우가 0.18~0.44% 정도로 변화폭이 좁게 나타났으며, 시험종료시의 최종변형량은 과쇄편의 크기에 관계없이 0.5% 미만의 작은 값을 나타낸다. 이는 EPS 자체로는 0.26% 정도의 변형률을 보이나

사용한 흙시료가 점토가 거의 없는 실트질 모래이기 때문에 더욱 변형이 억제되었다고 사료된다. 鈴木義英 등의 수압에 따른 혼합토의 변형특성시험에서도 최종변형량이 1% 미만에서 수렴하는 결과를 얻었다.

96시간의 흡수팽창시험을 마친 공시체에 대해서 관입시험을 실시하였다. 여기서 관입량에 따른 관입하중의 관계를 통하여 EPS 과쇄편을 혼합하므로써 CBR 값에 주는 영향을 검토하였다.

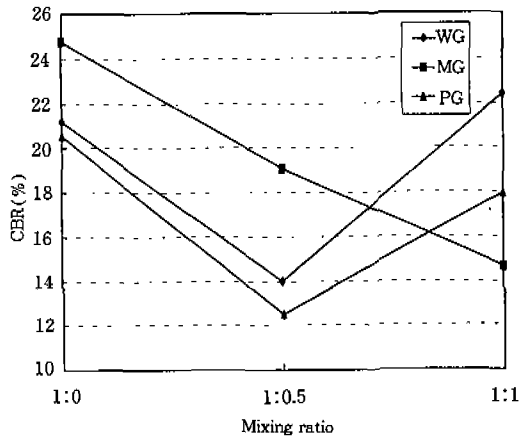


Fig. 6. Change in CBR value for mixing ratio with 1cm EPS

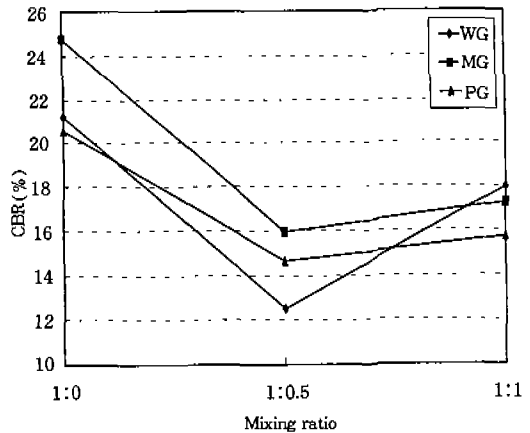


Fig. 7. Change in CBR value for mixing ratio with 2cm EPS

Fig. 6과 7은 EPS 파쇄편의 혼합비에 따른 CBR 값의 결과를 나타낸다. EPS 파쇄편을 혼합하지 않은 경우의 CBR 값이 20.5~24.8% 사이의 값을 갖지만, 혼합비 1:0.5에선 감소하였다가 1:1에서 증가하며 그 범위는 12.5~22.4%이었다. EPS 자체의 CBR 시험에서 파쇄편만의 경우에는 4.4%, 파쇄되지 않은 경우에는 54%의 CBR 값을 보였다. 일반적으로 CBR 값이 20~50%의 실트질 모래는 기층재료로서 적당하며, 7~20%는 보조기층재료로서 사용가능한 범위이다.

EPS 파쇄편 혼합토와 비혼합토의 CBR 값을 비교할 때, 혼합비 1:0.5의 경우에는 비혼합토의 60~70%, 혼합비 1:1의 경우에는 70~105%의 범위를 보였다.

V. 요약 및 결론

경량성토재료인 EPS 파쇄편혼합토의 다짐 및 지지력 특성을 조사하기 위하여 다짐시험 및 CBR 시험을 실시하였다. EPS 파쇄편 혼합토의 다짐 및 지지력에 영향을 주는 인자로서 EPS 파쇄편의 크기, 흙의 입도분포, 혼합비를 고려하였다.

연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. EPS 파쇄편 혼합토의 다짐특성에 있어서 최대건조단위중량은 EPS 파쇄편의 혼합비가 증가할수록 감소하는 경향을 보였으며, 양호한 입도분포일 경우가 불량한 입도일 때보다 다소 크게 나타났다. 성토재료로서 사용가능한 건조단위중량의 한계인 $1.0\text{tf}/\text{m}^3$ 를 기준으로 할 때, 혼합비 1:1 이하일 때 입도에 구분없이 최대건조단위중량의 95% 다짐도에서 안전성을 가졌다.

2. 다짐시험에서 최적함수비의 변화는 혼합비의 영향보다는 흙의 입도분포에 따라서 크게 영향을 받았으며, 전체적인 경향은 찾을 수 없었지만 혼합비가 1:1.5까지는 증가하였고 그보다 큰 혼합비일 때 변화양상이 다양하였다.

3. EPS 파쇄편 혼합토는 수침되었을 때 최종변형률이 0.5% 미만으로 상당히 작은 값이었으며, EPS 파쇄편 혼합토에 대한 수침에 의한 안정성은

혼합비 1:1.0까지는 안정됨을 알 수 있다.

4. 흙시료만의 CBR 값은 20.5~24.8%, EPS 파쇄편을 혼합하였을 때의 CBR 값은 12.5~22.4%이었다. 본 EPS 파쇄편혼합토는 보조기층으로서 사용가능한 조건인 CBR 값이 7~20%를 만족하였다.

5. EPS 파쇄편혼합토의 CBR 값은 파쇄편의 크기에 상관없이 혼합비가 1:0.5에서는 흙만을 사용한 CBR 값의 60~70%로 감소하지만, 1:1.0에서는 70~105%까지 증가하는 경향을 보였다.

6. 양호한 입도분포의 경우 혼합비에 따른 CBR 값의 변화가 두드러지나, 나머지 중간입도와 불량한 입도분포의 경우에는 파쇄편의 크기가 2cm로 될 경우 혼합비의 영향을 덜 받았다.

7. 위에서의 다짐결과와 CBR 값에 의해서 성토재료로서의 사용에 있어서 사용가능한 혼합비는 입도분포가 양호할 경우 1:1.5, 중간입도일 경우 1:1.5, 불량한 입도일 경우 1:1이었으며, 이 중 CBR 값의 변화를 감안할 때 가장 합리적인 혼합비는 입도분포에 관계없이 1:1로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 강성, 1997, "破碎된 發泡폴리스티렌을 利用한 輕量混合土의 多量特性에 對한 研究" 서울대학교대학원 석사학위논문 pp.1-39.
- 2.尹忠燮 외, 1992, 토질역학, 건국대학교 출판부, pp.274~293.
- 3.장용채, 1995, 연약지반상 교대변위 대책공법으로서 EPS토목공법의 적용성에 관한 연구, EPS토목공법 국제학술세미나 논문집, pp.159~198.
4. Kamon M., Nontananandh S. and Tomohisa S., Environmental Geotechnology for Potential Waste Utilization, 1994, Proc. of the 9th Asian Regional Conf., pp.397~400.
5. Tej B.S. Pradhan, Goro Imai and Masami Uchiyama, Mechanical Properties of Stabilized Light Soil Using Expanded Polystyrene, 1994, In First Int. Congress On

- Environmental Geotechnics, pp.755~760.
6. 山田純男, 長坂勇二, 西田 登, 白井忠雄, 1989, 發泡スチロール片と砂とを混合した輕量土, 土と基礎, 37-2(373), pp.25-30.
 7. 烏津晃臣, 1989, 輕量盛土工法の進展, 土と基礎, 37-2(373), pp.7~12.
 8. 加藤俊昭, 大野睦雄, 長坂勇二, 1991, 廢棄發泡スチロール破砕片を用いた輕量盛土の施工, 第26回土質工學研究發表會講演集, pp.49~50.26. 鈴木義英, 内山正美, 今井五郎, ブラダンテ-ジ, 杉体裕哉, 1993, 發泡スチロール粒を用いた輕量土の力學特性:水壓ガ土の性狀に及ぼす影響, 土木學會第48回年次學術講演會, pp.662~663.
 9. 長坂勇二, 山田純男, ブラダン・テ-ジ, 1994, 發泡ビ-ズと建設發生土を用いた輕量混合土, 土と基礎, 42-10(441), pp.25~30.
 10. ブラダン・テ-ジ, 平野義昭, 田辺恒彰, 富士榮昭, 1994, 發泡ビ-ズを用いた輕量土の力學特性に及ぼす水壓の影響, 土木學會第49回年次學術講演會, pp.1602~1603.