

EPS 성토공법을 이용한 도로확폭 수직벽체의 시험시공 및 평가 Evaluation and Application of Vertical Wall System Using EPS Blocks in Road Enlargement

조 삼 덕¹⁾, Sam-Deok Cho, 김 진 만²⁾, Jin-Man Kim

¹⁾ 한국건설기술연구원 지반연구실 수석연구원, Research Fellow in Geotechnical Engineering Division
Korea Institute of Construction Technology

²⁾ 한국건설기술연구원 지반연구실 선임연구원, Senior Researcher in Geotechnical Engineering Division
Korea Institute of Construction Technology

개요(SYNOPSIS) : Since the first use of the EPS blocks for the bridge abutment backfill on the soft clay ground in 1993, EPS Construction method has been widely used in Korea. The total volume of EPS consumed in Korea reached approximately 190,000m³ up to May, 1996. However, the major consumption of EPS blocks was for the backfilling of bridge abutment and for embankment filling on soft ground. To diversify the application of EPS construction method in Korea, this study performed full scale tests for vertical wall using EPS blocks.. Technical aspects of the EPS construction method for vertical wall were evaluated based on the field performance monitoring data.

주요어(Key words) : 경량성토공법, EPS 성토공법, 연약지반 대책공법

1. 서론

EPS (Expanded Polystyrene)는 폴리스티렌 수지에 발포제를 첨가한 후 가열, 연화시켜 만든 발포수지 재료로서, 국내에서는 1970년대 초에 EPS를 생산하기 시작하여 그동안 포장재나 건물의 단열재 등으로 활용되어 왔다. EPS가 토목용 재료로서 적용되기 시작한 것은 1972년 노르웨이 국립도로연구소(NRRL)에서 연약지반 침하 대책공법의 하나로서 부피 1m³(예 : 2m×1m×0.5m) 이상의 대형 EPS 블럭을 성토재로 적용하기 시작하면서 부터이다(Aaboe, 1987). EPS 성토공법은 대형 EPS 블럭들을 순차적으로 적층하여 성토체를 형성하는 단순한 성토공법으로, 일반토사의 1/100 정도밖에 안되는 초경량성, 간편하고 신속한 시공성, 작은 흡수성, 탁월한 내구성, 자립성 등의 장점을 갖고 있어, 연약지반 상의 성토, 옹벽·교대의 뒷채움, 도로확폭 성토, 매설 구조물 기초구축 및 보호 등 각종 토목구조물에 폭넓게 활용가능한 공법으로 평가되고 있다(加藤恒夫 등, 1994 ; 石原公明 등, 1994).

EPS 토목공법은 현재 노르웨이를 중심으로 한 북유럽 국가들과 북미, 일본 등지에서 활발하게 사용되고 있는데, 특히 1986년에 노르웨이로부터 기술이전을 받은 일본은 1995년말 현재 약 90만 m³ 이상의 EPS 사용량을 보여주고 있고 1995년에만 약 18만 m³ 정도의 EPS 블럭을 사용해 EPS 성토공법의 최대 사용국가로 평가받고 있다. 국내에서는 1993년 10월에 서해안 고속도로 건설시 교대 뒷채움재로 1,400 m³의 EPS 블럭이 사용된 이래 매년 급격한 사용량의 증가를 보여 1996년 5월 현재 약 19만 m³의 EPS가 사용될 정도로 급속한 발전을 하고 있다.(조삼덕, 1995)

본 연구에서는 국내 EPS 성토공법의 활성화를 도모하고자, 지금까지 국내에서 적용된 EPS 성토공법

의 사용규모, 용도 및 적용형태 등을 선진외국의 경우와 비교하여 분석하고(久藥 등, 1989 ; EDO, 1988) 국내에서 시험시공을 수행한 도로확폭 수직벽 구조 1개소에 대한 현장계측결과 분석을 통해 EPS 성토 구조물의 효율성을 평가하였다.

2. 국내외 EPS 성토공법의 사용실적 분석

1972년 노르웨이에서 EPS 성토공법이 개발된 이래 북유럽을 중심으로 북미, 일본, 동남아시아 등지에 서 EPS 성토공법의 사용이 활성화되고 있으며, 최근에는 각 국가별로 EPS 관련연구의 확대와 더불어 EPS의 적용분야도 초기의 연약지반 침하대책공에서 토압경감 효과를 이용한 교대·옹벽의 뒷채움재 및 임해공원 성토재, 매설관 기초재, 열차 플랫폼 확장성토재, 낙석 방호시설 보호재 등으로 다양화되면서 EPS 토목공법의 사용량은 급속한 증가를 하고 있다.

표 1에서는 각각 유럽과 일본에서의 1991년까지의 연도별 EPS 블럭 사용량을 보여 주는데, 특히 1986년에 노르웨이 NRRL로부터 기술이전을 받은 일본에서는 1995년 12월까지의 EPS 블럭 사용량이 약 90만 m³에 달해 EPS 성토공법의 개발국가인 노르웨이에서의 사용량 약 25만 m³(1972~1990)를 훨씬 능가하는 급성장을 보여주고 있다(EDO, 1996). 또한 일본에서 사용된 EPS 성토공법을 적용용도에 따라 분석해 보면, 도로 (66.9%), 공원 (12.1%), 건물 (10.3%) 등에 적용된 것이 약 90% 정도를 점유하고 있으며, 약 10% 정도가 하천, 항만, 매설관 등에 적용된 것으로 나타났다. 시공형태에 따라 분석해 보면 EPS 총사용량의 51% 정도가 성토분야에 적용되었으며, 구조물 배면, 확폭성토, 구조물 방호, 교대 배면, 기초, 호안 분야 등 다양한 형태로 적용되었음을 알 수 있다.

표 2에서는 국내에서의 EPS 성토공법 적용실적을 연도별, 용도별, 시공형태별로 정리하였다. 표 2에서 보는 것처럼 국내에서는 1993년 10월에 교대 뒷채움재로 1,400 m³의 EPS 블럭이 최초로(장용채, 1994) 사용된 이래 그 사용량이 1994년 12,100 m³, 1995년 111,800 m³로 급격한 증가를 보여주고 있으나, 아직까지 대부분이 도로건설시의 교대 뒷채움재나 성토재로 사용되고 있어 국내 EPS 성토공법의 활성화를 위해서는 EPS 성토공법의 적용분야를 다양화하는 것이 시급한 과제로 판단된다.

3. EPS 성토공법의 적용분야

EPS는 경량성, 자립성, 시공성 등이 우수하여 연약지반상의 성토 및 옹벽·교대의 뒷채움, 자립벽, 또는 매설관 기초 등의 각종 구조물에의 적용이 가능하다. 또한, 시공시 대형 건설기계가 필요치 않으므로 건설기계의 지지력 확보가 곤란한 경우나 근접시공을 필요로 하는 경우, 소음·진동 등의 주변환경에의 배려가 필요한 경우 등에도 적용성이 우수하며, 급속 시공이 필요한 경우나 가설도로 등의 적용시 시공과 복구 등이 간단하므로 이에 따른 공기단축 효과도 얻을 수 있다.

현재까지 적용되고 있는 EPS 성토공법의 주요 적용분야는 성토분야, 구조물 뒷채움 분야, 기초분야, 구조물 보호분야, 구조물 채움분야, 구조물 확장분야, 가설·복구분야 등을 들 수 있으며, 성토분야의 적용형태는 그림 1과 같다. 실제 EPS 성토공법의 계획·설계시에는 대상 흙구조물의 종류, 규모, 중요성 등을 고려하여, 다른 공법과의 종합적인 비교를 통해 EPS 성토공법의 장점을 최대한 발휘할 수 있도록 하는 것이 중요하다.

4. EPS 블럭을 사용한 도로확폭 수직벽체의 시험시공 및 평가

4.1 시험시공 개요

본 시험시공 현장은 국내에서 최초로 도로확폭을 위한 EPS 수직벽체를 시공한 현장으로, 전남 여천시에 소재한 삼성 제일모직(주) 여천공장내의 제품 상차장 도로의 확장을 위해 수행되었다. 본 시험시공 현장은 철도와 인접하고 있는 연장 145m, 사면경사 1:1.7, 높이 8~10m의 흙사면 도로를 확장하기 위해 EPS 수직벽체를 건설하는 현장으로 EPS 블럭의 사용량이 10,000 m³ 이다. 공사완료 후에는 폭 20m의 새로운 도로를 확보하게 된다.

표 1. 유럽 및 일본에서의 EPS 블럭 사용실적

국 가 명	총 사용량 (1972-1990)		1991년도 사용량 (m ³)
	시공건수(건)	사용량 (m ³)	
노르웨이	150	250,000	30,000~40,000
스웨덴	> 25	150,000	30,000~50,000
영국	> 3	?	35,000~50,000
프랑스	20(?)	> 15,000	5,000~10,000
네덜란드	20(?)	> 55,000	-
일본	271	222,850	120,200

표 2. 국내에서의 EPS 블럭 사용실적

(a) 년도별 사용량

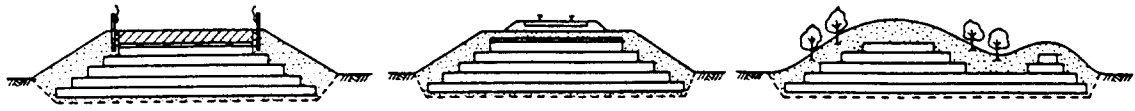
년 도	시공건수(건)	사용량 (m ³)
1993	1	1,400
1994	9	12,100
1995	31	111,800
1996. 5	17	65,200
총 계	58	190,500

(b) 용도별 사용량 (1993~1996. 5)

용 도	시공건수(건)	사용량 (m ³)	사용비율(%)
도 로	34	154,800	81.3
건 물	15	23,500	12.3
항 만	1	5,500	2.9
기 타	8	6,700	3.5
총 계	58	190,500	100.0

(c) 시공형태별 사용량 (1993~1996. 5)

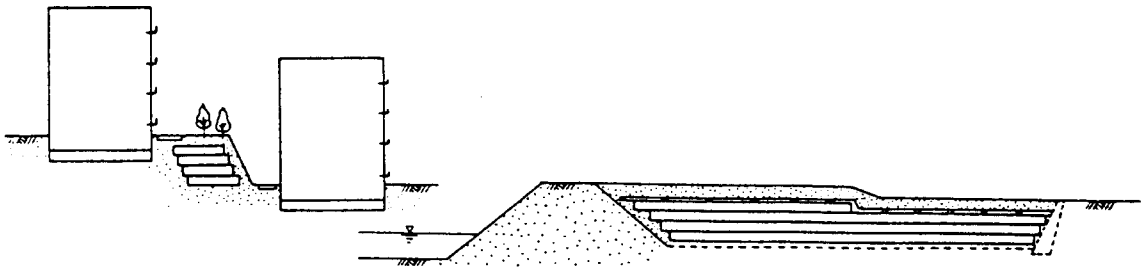
시공형태	시공건수(건)	사용량 (m ³)	사용비율(%)
성 토	13	44,600	23.4
교대뒤택움	22	106,100	55.7
옹벽뒤택움	8	16,200	8.5
구조물 채움	6	18,700	9.8
기 타	9	4,900	2.6
총 계	58	190,500	100.0



(도로성토)

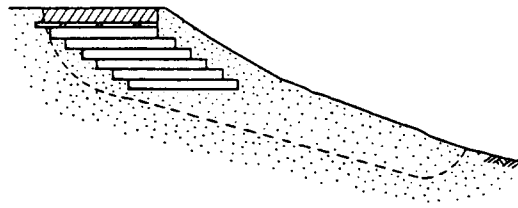
(철도성토)

(공원성토)

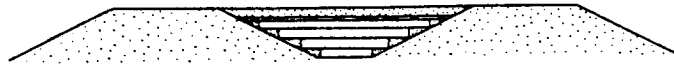


(주택지 성토)

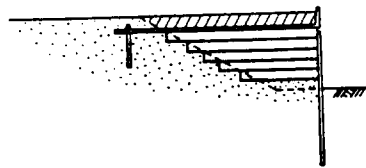
(제방 배면 성토)



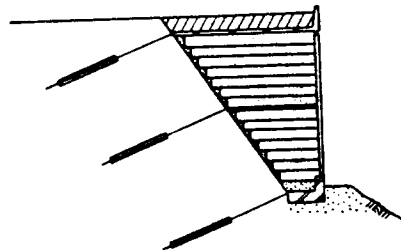
(사면활동지역에서의 성토)



(기설 성토사이의 신설 성토)



(완경사지 확폭)



(급경사지 확폭)

그림 1. EPS 성토공법의 적용 유형(성토분야)

본 현장의 기초지반은 기반암인 퇴적암위에 기반암이 풍화된 상태인 풍화토(4.0m~9.4m)~풍화암층(3.8m~12.9m)이 존재하며, 그 상부에 충적층 지반인 모래질 점토나 점토질 모래층(1.5m~2.5m)이 분포하고 있다. 충적지반 상부와 기존 흙 도로사면은 점토, 실트, 모래, 자갈, 잡석 등이 혼재되어 있는 매립층(1.3m~4.0m)으로 구성되어 있다. 각 층의 표준관입시험값은 풍화암층 50이상, 풍화토층 19~50, 모래질 점토 및 점토질 모래층은 4~8, 매립층 8~39 정도이다(중앙지하개발,1994).

수직벽체 건설을 위해 기초지반 상부에 20cm의 잡석을 포설하고 높이 0.5m×폭 2.0m의 기초 콘크리트를 타설하였다. 기초 콘크리트에 연결된 H형강의 크기는 200×200×12×10mm 이며, 사용된 MCB 판넬의 크기는 2.0m×0.5m 이다. 사용된 EPS 블럭은 1.8m×0.9m×0.6m 크기의 D-20 (밀도 : 20kg/ m³) 이고, 4~5개의 EPS 블럭 성토후에는 두께 12cm~15cm의 콘크리트 슬래브를 설치하였다.

4.2 계측개요

본 현장에서는 EPS 성토에 의한 수평토압 경감효과와 수직하중 분산효과, 기초지반과 EPS 성토체의 침하량 평가, 사면활동 평가 등을 위해 경사계 1개, 지중침하계 4개, 토압계 15개, 스트레인 게이지 4개, EL 빔센서 1개 등을 설치하였다. 시공단면 및 계측기 배설위치는 그림 2와 같다(신평 컨설턴트, 1996).

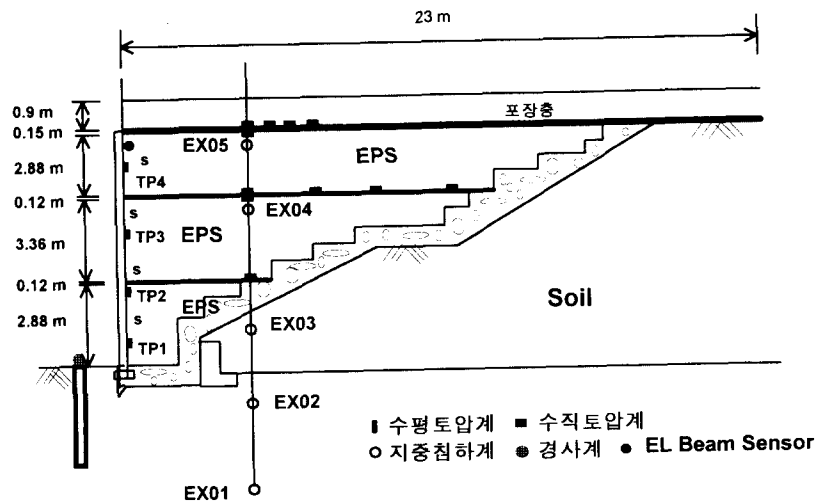


그림 2. 시공단면 및 계측기 배치

4.3 계측결과 분석 및 평가

(1) 수평토압 경감효과

그림 3에서는 시공기간 중의 EPS 성토체의 수평토압의 변화를 보여준다. 이 그림에서 보듯이 대부분의 토압계는 중간 슬래브 및 포장층 타설시의 충격에 의해 급격한 응력증가를 보여주나, 포장층 포설후에는 응력이 서서히 감소하여 안정된 값으로 접근하고 있음을 알 수 있다. 또한 포장층 시공후의 안정된 수평토압값이 벽체높이에 관계없이 0.022 kg/cm²이하로 나타나, EPS 성토체에서는 상재하중의 10% 정도가 전 벽체높이에 균등하게 수평토압으로 작용한다고 고려하고 있는 현 설계법은 안전측인 것으로 평가할 수 있다.

(2) 수직하중 분산효과

EPS 성토체의 하중분산효과를 평가하기 위해 총중량 58 t 트레일러 트럭(후륜하중 : 7.2 t)과 36 t 덤프트럭 (후륜하중 : 5.3 t)을 각각 그림 4와 같이 재하한 후 매설된 수직토압계의 응력증가를 조사하였

다. 그림 4에서 보듯이 최상단 슬래브 표면에 설치된 토압계에서의 응력증가는 차량 바퀴하중의 작용점에서 멀어질수록 급격히 감소되는 형태로 나타났으나, 가장 큰 응력증가값 (바퀴하중 직하, JP09)이 하중분산 각도를 45°로 했을 때의 계산값보다 작게 나타나므로 포장층에서의 하중분산 각도는 45° 이상일 것으로 판단된다. 또한 콘크리트 슬래브를 포함한 EPS 성토층에서는 토압계 (JP01~JP06)의 응력 증가값이 계산값보다 조금 크게 나타났으나, 전체적인 증가 응력분포로 보아 60° 정도의 하중분산효과를 보여주는 것으로 판단된다. 따라서 현재 EPS 성토 설계시에 사용하고 있는 하중분산 각도 45° (EDO, 1993)는 안전측으로 평가된다.

(3) 기초지반 및 EPS 성토체의 침하 및 사면활동 평가

그림 5에서는 지중침하계 매설위치별로 도로 포장층의 시공개시후 시간경과에 따른 침하량의 변화형태를 보여준다. 이 그림으로 부터 포장층 설치에 따른 기초지반 및 EPS층 내의 침하량은 시간경과에 따라 큰 변화없이 일정한 값을 보여주고, 기초지반은 5mm 정도, 5m 높이의 EPS층에서는 24mm 정도

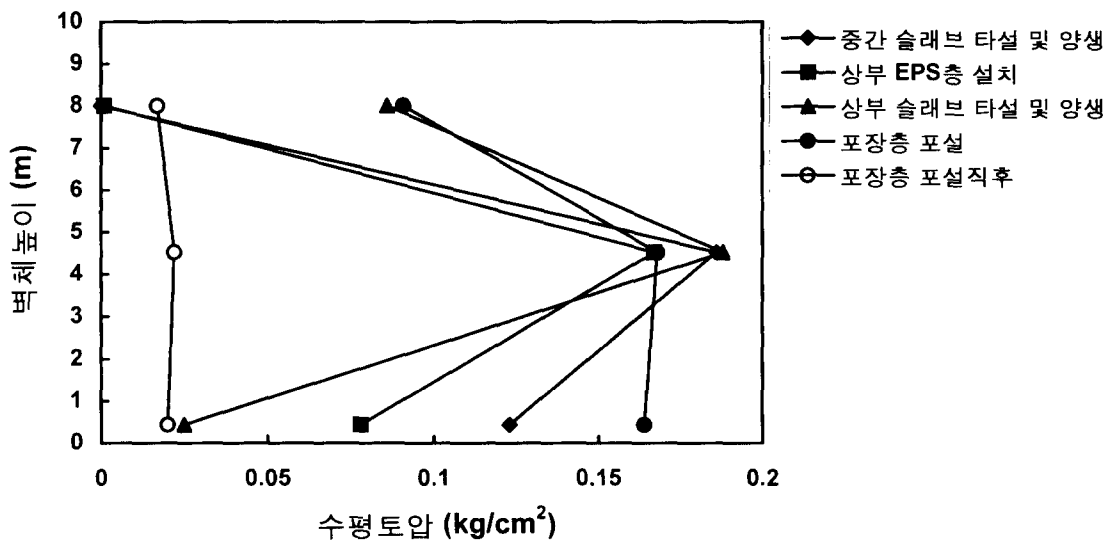


그림 3. 벽체높이에 따른 시공기간 중의 최대수평토압 변화

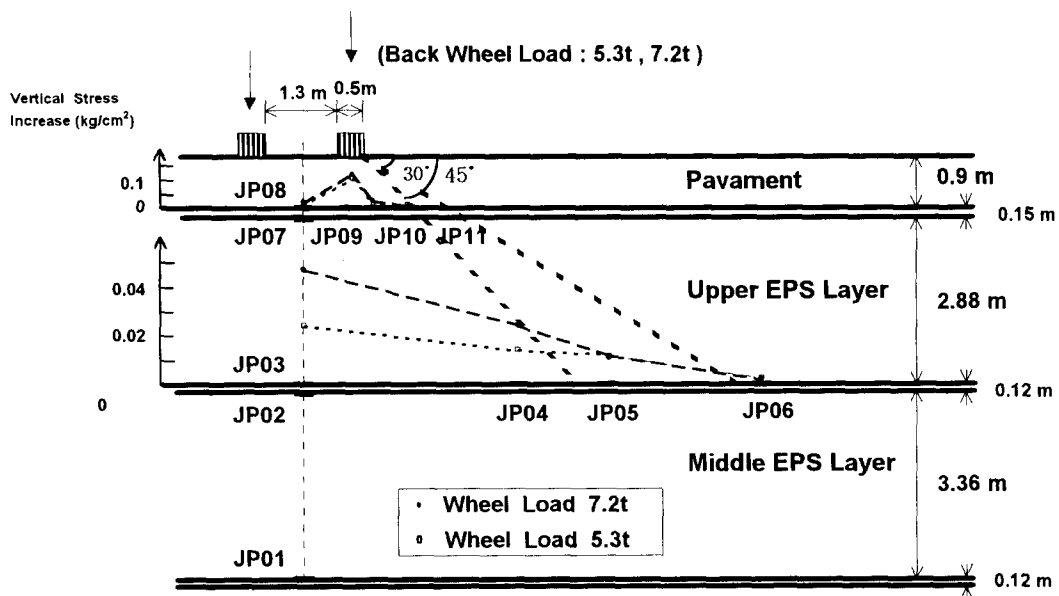


그림 4. EPS 성토층의 하중분산성 효과

의 침하가 발생하였음을 알 수 있다. EPS층에서의 침하는 포장하중에 의한 EPS 블록의 탄성침하와 시공시 EPS블럭의 균등한 포설을 위해 삽입시킨 모래의 밀착에 의해 발현된 것으로 판단된다. 이러한 즉시침하의 영향은 포장층으로 부터 멀어질수록 급격히 떨어짐을 알 수 있으며, 포장하중에 의한 EPS 성토층의 초기침하는 EPS 성토층 높이의 0.5% 정도가 발생할 수 있음을 알 수 있다.

그림 6에서는 수직벽체의 전면에 설치된 경사계의 계측결과를 보여주는데, 포장층 시공 전과 후의 벽체방향의 수평변위가 거의 변화가 없으며, 변위량도 포장층 시공중 최대 5mm 정도로 나타난후 시간경과에 따라 중장비의 다짐 및 반입에 따른 잔류응력의 영향이 제거되면서 최대변위도 4.5mm로 감소되는 추세를 보였다. 시공완료후 100일이 경과된후 4m, 7m, 10m,지점의 수평변위는 원지반(수평변위 0 mm)에 수렴하는 형태를 보여 사면활동의 징후는 보이지 않고 있다. 또한 H형강의 상부에 설치한 EL Beam Sensor의 포장층 시공후의 계측값(수평변위)도 최대 0.1mm 정도로 안정한 상태를 보여주고 있다.

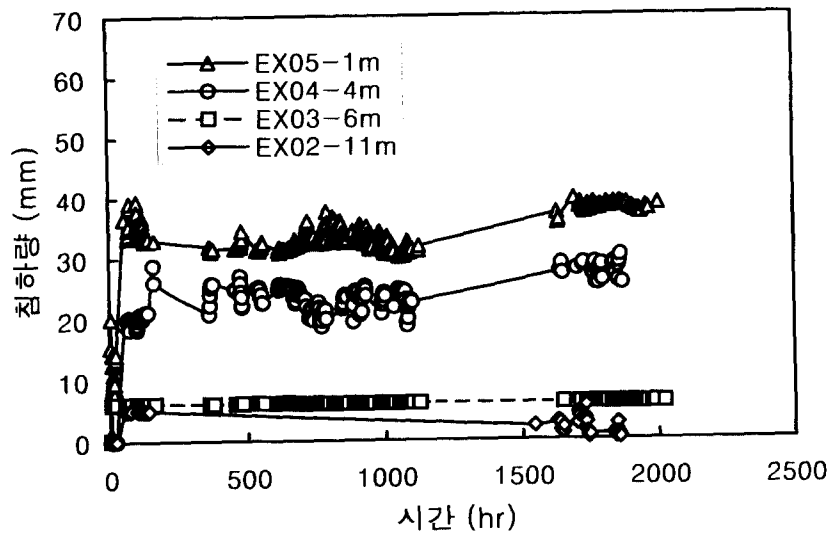


그림 5. 시공기간중 EPS층 및 기초지반의 침하형태

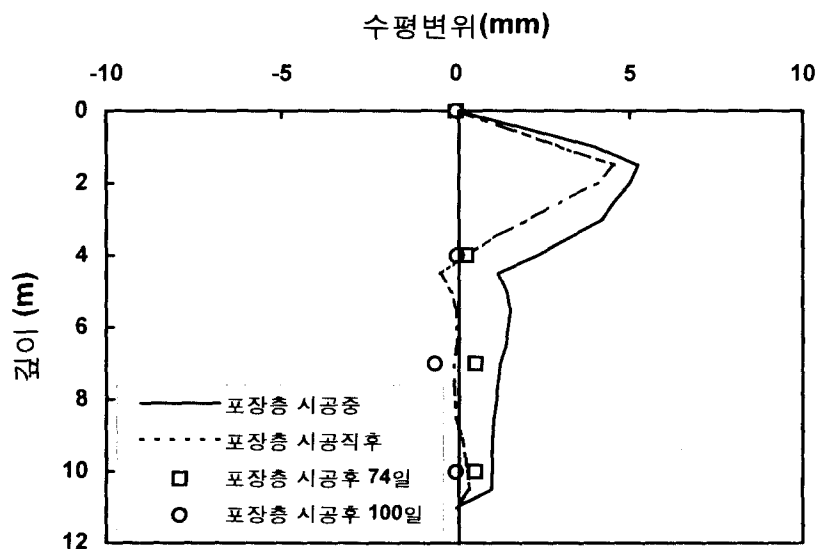


그림 6. 경사계 계측결과

5. 결 론

- 1) EPS 성토층에서의 상재하중에 의해 발생하는 수평토압값은 전면벽의 높이에 관계없이 상재하중의 10% 이하의 작은 값으로 평가된다.
- 2) 콘크리트 슬래브를 포함한 EPS 성토층에서의 하중분산 각도는 약 60° 정도로 평가할 수 있어, 현재 EPS 성토 설계시에 사용하고 있는 하중분산 각도 45° 는 안전측으로 고려된다.
- 3) 포장층 시공 및 차량하중에 의한 EPS 성토층의 초기침하와 EPS 블록의 탄성침하와 EPS 블록의 균등한 포설을 위해 삽입시킨 모래가 밀착됨에 따라 발생하는 것으로 판단되며, 초기 침하량은 EPS 성토층 높이의 0.5~1.0% 정도 발생하는 것으로 평가된다.
- 4) 본 논문에서 분석한 EPS 성토구조물에서는 사면활동이나 전도 등의 징후없이 보다 안정한 상태를 보여주고 있어 EPS 성토공법의 경량성과 토압경감효과 등에 의한 효율성을 확인할 수 있다.
- 5) 국내에서의 EPS 블록 사용량은 1995년 현재 10만 m³ 이상으로 급격한 증가를 보이고 있으나, 아직 까지 대부분이 도로건설시의 교대 뒷채움재나 성토재로 사용되고 있어 국내 EPS 성토공법의 활성화를 위해서는 EPS 성토공법의 지속적인 신뢰성 평가 연구와 적용분야의 다양화 노력이 필요할 것이다.

참고문헌

1. Aaboe, R (1987), "13 years of experience with EPS as a lightweight fill material in road embankments", Plastic Form in Road Embankments, Meddelelse nr 61, NRRL, pp. 21~27.
2. 加藤恒夫 등 (1994), 發泡スチロールを用いた橋台背面土壓輕減工法の 事例, 基礎工, Vol. 22, No. 10, pp. 37~43.
3. 石原公明 등 (1994), 橋台接續部段差防止工へのEPS工法の適用, 基礎工, Vol. 22, No. 10, pp. 44~51.
4. 조삼덕 (1995), "EPS 토목공법의 현황과 기술적 검토", EPS 토목공법 국제 학술세미나 논문집, 한국 건설기술연구원, pp. 67~101.
5. 久藥 등 (1989), 輕量盛土材としての發泡スチロールの 利用技術に關する實驗と考察, 土と基礎, Vol. 37, No. 2, pp. 49~54.
6. 發泡スチロール 土木工法開發機構 (1988), EPS工法實物大實驗工事 報告書, 129 pp.
7. EPS Development Organization (1996), EPS NEWS, No. 2, 10 pp.
8. 장용채 등 (1994), EPS 성토공법 연구(Ⅲ), 도로연 94-15-4, 한국도로공사 도로연구소, 176 pp.
9. 중앙지하개발 (1994), 여천공장 ABS 증설부지 지반조사 보고서, 28 pp.
10. 신평 컨설턴트 (1996), 여천공장 도로확장공사 EPS 성토공법을 위한 계획계획서
11. 發泡スチロール 土木工法開發機構, (1993), EPS工法, 309 pp.