

발포폴리스티렌(EPS)을 이용한 초경량 성토공법

이기홍/ 토목기술부 대리

본고는 '95년 7월부터 10월까지 필자가 파견근무했던 부산컨테이너 배후수송도로 건설공사(수영도로1공구) 현장의 원동고가교 시점부 Ramp옹벽의 기초공법에 대해 검토한 내용이다.

공사개요

수영도로1공구 현장은 부산지방의 도심로에 적체되어있는 컨테이너에 의해 발생하는 도심교통체증해소를 목적으로 부산광역시 종합건설본부에서 발주한 컨테이너 전용도로 공사 가운데 1공구 공사이다. 본 구간은 일반 성토도로부터, 원동고가교 및 중점부의 Rahmen교로 구성되어 있다.

○ 토공구간 : B=30.0~35.0m

L=1840m

○ 교량구간

원동고가교

(강합성형교 B=23.5m L = 12@50=600m)

Rahmen교

(RC Rahmen교 B=14~19.5m L=300.0m)

검토내용

당 현장의 지층은 상부로부터 매립층, 연약점토층, 사력층, 풍화암의 순으로 분포되어 있고 특히 N 값이 2~3정도의 연약점토층이 평균 15m의 두께로 분포하고 있어서 적절한 옹벽기초공법의 선정이 요구된다.

본고에서는 옹벽기초공법중 발포폴리스티렌(EPS)

을 이용한 초경량 성토공법을 중심으로 기술하고자 한다.

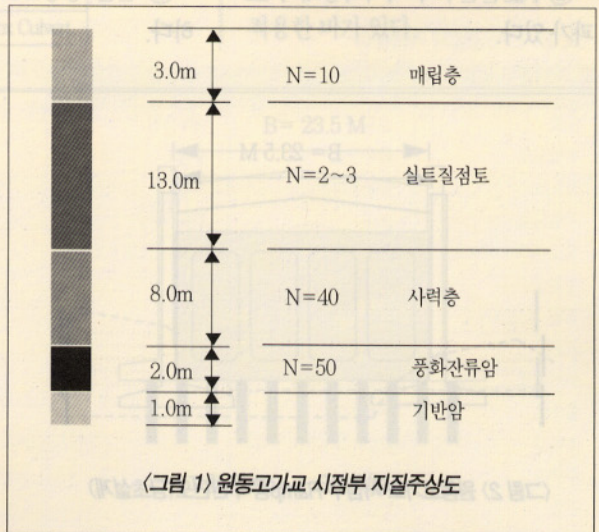
기초공법의 비교

1. 기초공법의 변경경위

원동고가교 시점부는 지층구조가 다른 위치보다 매우 불리한 상태로 당초 설계시 Ramp옹벽의 기초가 직접기초로 설계되었다.

이는 시공중이나 향후 유지관리시 옹벽구조물의 구조적 거동측면으로 볼때는 측방하중이나 수압등에 의한 구조물의 콘크리트 인장강도가 증가하고 상부하중 작용에 의한 지지력 부족, 또한 재료적 거동으로 볼 때는 구조부재의 인장변형률, 압축변형률이 각각 철근의 극한변형률 $\epsilon_y = \sigma_y / E_s$ 과 콘크리트의 극한변형률 $\epsilon_c = 0.003$ 을 초과하여 균열이 발생하고 지반침하 등의 결과를 초래할 것으로 판단되어 기초공법의 변경이 불가피하였다.

시점측 Ramp옹벽의 당초 설계단



면은 <그림 2>와 같다.

2. 기초공법의 비교

기초공법으로 검토된 내용은 아래의 5가지 공법이었다.

- 1) SIP기초 (Pile기초)
 - 2) Box구조 (직접기초)
 - 3) Box+SIP기초 (직접기초+Pile기초)
 - 4) EPS공법 (초경량성토공법)
 - 5) Box+EPS공법
- 1) SIP기초

SIP기초공법은 Auger장비로 지반을 선굴착하고 굴착공내에 Cement Paste를 주입한 후 말뚝을 삽입하여 기초를 타설하는 공법이다. 선단층에 부배합의 Cement Paste를 주입, 교반하여 선단 지지층을 형성하고 최종적으로 기성 말뚝을 관입시킨다.

(1) 장점

- ① 일반 타입말뚝에 비해서 굴착심도가 크다.
- ② Pile선단부의 지지력증대의 효과가 있다.

- ③ 침하에 대한 우려가 없다.
 - ④ 보통 강관Pile에 비해 부식의 우려가 적다.
 - ⑤ 공사비가 저렴하다.
- (2) 단점
- ① Auger장비로 선단지반 천공시 진동, 소음에 의한 민원발생의 우려가 있다.
 - ② 연암층이상의 지반굴착이 불가능하다.
 - ③ 옹벽사이의 연약지반의 침하로 인한 옹벽Pile(L=20~25m)의 휨변형 및 측방유동(Heaving)의 우려가 있다.

2) Box구조 (직접기초)

이 공법은 양측 옹벽(B=23.5m) 사이를 Box구조체로 연결하여 지지지반의 재하면적을 증가시키고 Box구조로 치환되는 성토체 제거함으로써 상부하중 경감에 의한 지지력 확보 및 침하안정에 대한 대책공법이다.

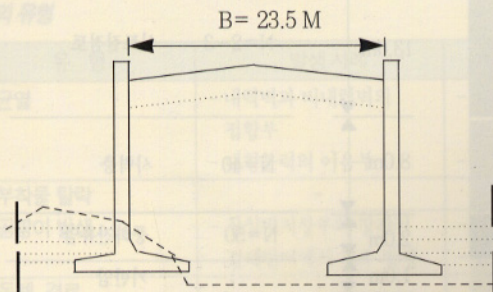
(1) 장점

- ① 단순 공종으로 시공성이 양호하다.

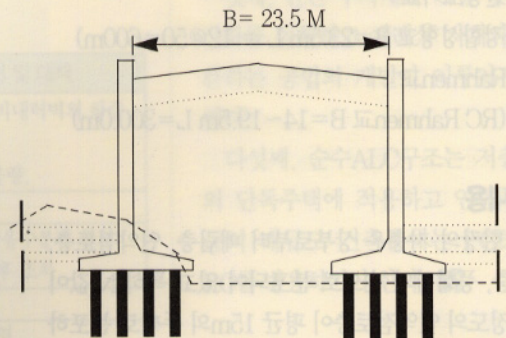
- ② 민원발생의 우려가 없다.
- (2) 단점
- ① 구조검토 결과 전체 Box구조로 하여도 지지력이 부족하며, 침하의 우려가 있다.
 - ② 압밀침하량이 커서 장기압밀침하로 인한 옹벽구조에 구조적 거동 및 재료적거동에 문제가 발생한다.
 - ③ 공사비가 다소 고가이다.
- 3) Box + SIP 기초
- 이 공법은 1)과 2)의 복합형식으로 본 구조는 Box구조로 시공하며, 기초는 SIP로 시공함으로써 지반침하 및 지지력확보를 위한 공법이다.

(1) 장점

- ① 지지력 확보 및 침하에 대한 우려가 없다.
 - ② Box구조+SIP(Pile기초)로 측방유동(Heaving)의 우려가 다소 감소된다.
 - ③ 굴착심도가 크다.
- (2) 단점
- ① 진동, 소음에 의한 민원발생의



<그림 2> 원동고교 시점부 Ramp옹벽 단면도(당초설계)



<그림 3> SIP 기초 단면도

EPS공법은 성토 본체의 중량을 경감하여 원지반에 미치는 하중의 영향을 작게 하는 경량성토공법으로 지반침하를 줄이고 성토체의 안정을 기하는 대책공법이다.

우려가 있다.

② 공사비가 고가이다.

당시 위의 3가지 공법에 대해서는 적용하기 어려운 공법으로 결정되어 다음의 초경량성토공법(EPS공법)에 대하여 검토를 실시하였다.

EPS공법

1. 공법 개요

일반적으로 연약지반 및 사면 등의 지반지지력 및 강도가 작은 곳에 성토 및 옹벽등의 구조물을 시공하

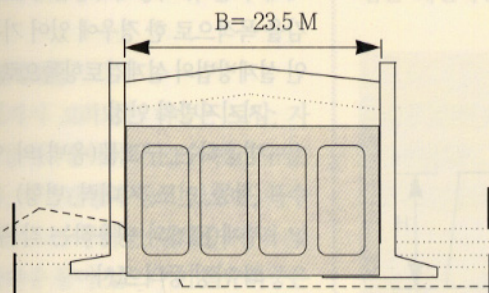
는 경우에는 성토하중이나 구조물에 작용하는 하중에 의하여 지반침하를 촉진시켜 잔류침하량을 작게 하거나 (재하하중공법, Vertical Drain공법), 지반의 활동저항을 증가시켜 지반강도를 증가시키는 공법(Sand Drain공법,고결공법)등이 사용되어 왔으나, EPS공법은 성토 본체의 중량을 경감하고 원지반에 미치는 하중의 영향을 작게 하는 경량성토공법으로 침하 및 안정에 대한 대책공법이다.

즉, 성토재료로 흙대신에 비중이 흙의 1/100 정도로 경량인 발포폴리스티렌(Expanded Poly-Styrene)을 사용하는 것으로 Norway에서 약 20년 전에 처음 적용 성공하였으며, 현재 일본에서는 많은 현장에서 적용하고 있다.

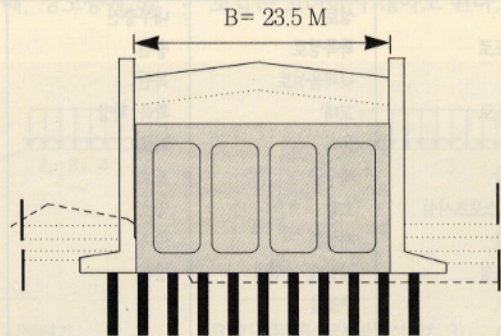
국내에서도 그 적용 빈도는 적지만 서해안고속도로 서창J/C Ramp교, 남해고속도로의 하동-광양간 진성천교 그리고 양산-구포간 고속도로에 적용한 바가 있다.

〈표 1〉 경량성토재와 단위체적중량

경량성토재	단위체적중량(tf/m ³)	비 고
경량스티로폼	0.01 ~ 0.03	합성수지발포체
발포Mortar	0.3 정도 이상	고화제와 기포재의 양으로 자동조정
유동화처리토	0.5 정도 이상	발생토와 물과 고화제와 경량재의 혼합
혼합처리토	1.0 전후	발생토와 경량재와 고화제의 혼합
소각탄	1.0 정도	
석회탄	1.2 ~ 1.3 정도	
수쇄Slag	1.2 ~ 1.3 정도	입상재
화산회토	1.2 ~ 1.5	천연재료
중공구조물	1.0 전후	Corrugate Pipe, Box Culvert



〈그림 4〉 Box 구조 단면도



〈그림 5〉 Box + SIP 기초

참고로 <표 1>에 경량성토재의 종류에 따른 단위체적중량을 나타내었다.

2. EPS공법의 특징

EPS공법은 발포폴리스티렌(Expanded Poly-Styrene)의 화성재료를 대형블럭화하여 사용하는 공법으로 EPS의 초경량성, 내압축성, 자립성, 내수성 및 시공성의 특징을 활용한 공법이다.

1) 초경량성

EPS의 단위체적중량은 일반 토사의 약 1/100로 기존 경량성토재료의 1/10 ~ 1/50정도의 초경량재료이다. 연약지반등의 지반강도가 작은 곳에 하중경감대책으로 이용되며, 취급이 용이하여 급속시공 및 증축 혹은 복원재로 활용이 가능하다.

2) 내압축성

EPS의 일축압축강도는 EPS단위

체적중량에 따라서 변화하나 탄성영역에 있는 허용압축강도가 3~14 t/m²로 성토재료로 적용이 가능하다. 또한, 흙과는 달리 소성영역에 있어서도 일축방향의 압축력이 커서 명확한 전단영역이 발생하지 않고, 점착력 및 내부마찰각의 개념이 없고 내압축재로써의 블럭을 쌓아올려 성토를 구축하는 것이다.

3) 자립성

EPS를 직립으로 쌓아올린 경우 직립면이 형성되고 재하중이 작용할 경우에도 측방으로의 변형은 극히 작아 교대 및 옹벽에 적용시 배면토압을 크게 경감시킨다.

4) 내수성

EPS는 합성수지의 발포체로 독립기포를 내장한 집합체이며, 그 기포내에 물이 침투하지 못하므로 물의 흡수에 따른 재료특성의 변화는 발생하지 않는다. 한편, 지하수위 이하에 시공되는 경우 기포간(기포내는 아님)에

흡수가 이루어지나 Norway의 보고에 의하면 9년간 지하수위에 설치된 EPS의 최대흡수량은 체적의 크기로 9% 정도인 것으로 보고되어 있다.

5) 시공성

EPS는 경량으로 현장에서 가공, 절단이 용이하며 인력운반이 가능하고 설치 또한 인력으로 가능하여 대형장비가 진입할 수 없는 협소한 장소나 점성토지반 등에서 매우 신속하게 시공할 수 있다.

3. 적용분야

본 공법은 연약지반상의 성토 및 옹벽, 교대의 충진등에 사용되며, 시공시 건설기계의 지지력을 확보할 수 없을 경우나, 중요구조물 근접시공시, 소음, 진동등 환경에의 배려가 필요한 경우 매우 효과적이다.

설 계

1. 개요

EPS공법은 종래 옹벽등의 설계기법을 그대로 적용할 수 있으며, EPS재료의 초경량성 특성을 고려하여 설계해야 한다. 하중재하경감과 토압저감을 목적으로 한 경우에 있어 기본적인 설계방법의 설계검토항목으로는

- 지지지반의 안정
- 병용하는 구조물(옹벽)의 안정(활동, 전도, 지내력, 변형)
- 부재(EPS와 병용하는 각 부재)의 안정 등의 조사
- 부상(지하수위 영향이 미치는 경우)에 대해서 검토한다.

또한, 이외에도 기설구조물과의

<표 2> EPS공법의 적용분야

용 도	구조형태	사용목적(형태)
도로	성토	내부충진
농업도로	확폭성토	충진
보도	뒷채움성토	복원
가설도로	교대	확폭, 확장
철도	옹벽	기초
정류장	배수구	보호
공원, 스포츠시설	호안	방호
골프장	매설관	증축
토지조성	직립벽, 자립벽	방진
활주로	구조물	
주차장	수로	
주택지	터널	
건물	방호시설	

용도		경량성	자립성	시공성	특징	주요작용분야
성토	성토	◎		○	침하저감, 유지관리비저감, 활동안전율확보	도로, 철도, 공원, 주택, 조경지, 매립지, 활주로
	확폭성토	◎		○	부등침하의 방지, 주변의 영향완화	차선확폭, 용지확폭, 제방, 배면성토
	확폭성토 (보호벽)	○	◎	○	토류구조물의 간이화, 용지의 유효이용, 활동안전율 확보	차선확폭, 용지확폭(조경지, 골프장, 공원, 주차장, 보도)
구조물 배면성토	교대내부진	○	◎	◎	구조물배면의 토압저감, 측방유동의 저감, 단차의 방지	교대배면, 구조물배면, 반지하구조물
	자립벽	○	◎		침하의 저감, 기초대책의 경감, 용지의 절약	교대뒷채움성토, 교체교차부성토
	옹벽, 호안 내부, 충전	○	◎		구조물배면토압의 저감, 구조물안전율의 향상	옹벽, 호안 등 토압구조물 배면
기초		○		○	침하의 저감, 부등침하의 방지, 기초의 일체화	매립관, 수로기초, 저층구조물기초, 간이구조물의 보호
구조물 보호		○	○		기설구조물의 하중경감, 부등침하, 국부침하의 방지	지하매립물의 보호, 기설구조물의 보호
중간충진, 복원		○		◎	구조물의 하중경감, 부등침하, 국부침하의 방지	아치교, 대규모교각 등의 내부충진, 중공부충진, 좁고 깊은곳의 성토
확폭, 증축공사		○	○	◎	급속시공, 간이시공, 기설구조물에 하중경감	Plat Foam 확장, 증축공사, 옥상, 조경지성토
가설, 복구		○		◎	급속시공, 급속철거, 시공용이, 공간확보	가설도로, 무대, 환경시설대성토, 재해복구

접합방법, 배수시설, EPS블럭의 적립방법, 방호방법 등에 대한 검토도 필요하다.

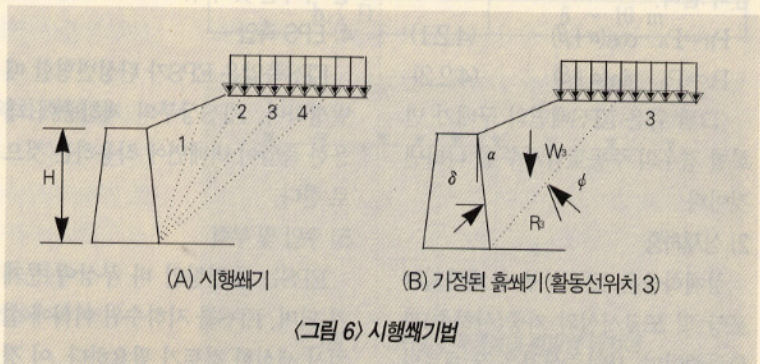
2. 설계하중

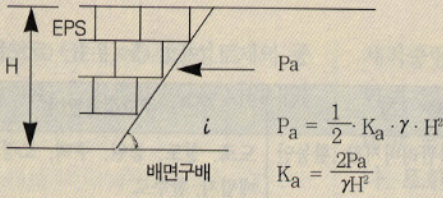
설계시 고려되는 하중은 토압, 자중, 상재하중 이외의 EPS축압, 수압, 부상, 지진관성력 등이 있으며, 특수하중으로는 풍하중, 설하중, 충격 및 제동하중 등이 있으나 이 특수하중은 적용목적 및 환경조건에 따라 달리 적용한다.

1) 토 압

쌓아올린 EPS배면에 작용하는 토압은 배면지반의 구배, 강도등에 좌

우된다. 즉, 배면지반의 구배가 안정 구배보다 작으면 EPS에 작용하는 토압은 고려하지 않아도 된다. 한편,





(그림 7)

$$P_a = \frac{1}{2} K_a \cdot \gamma \cdot H^2$$

$$K_a = \frac{2P_a}{\gamma H^2}$$

(표 4) 배면토압계수 K_a

ϕ i	40	35	30	25	20
90	0.200	0.244	0.297	0.361	0.438
80	0.139	0.180	0.232	0.295	0.375
70	0.088	0.126	0.174	0.237	0.319
60	0.047	0.078	0.121	0.181	0.264
50	0.015	0.036	0.071	0.124	0.205
40	0	0.005	0.025	0.065	0.137
30	0	0	0	0.012	0.058
20	0	0	0	0	0

(표 5) 각 재료의 일반적인 단위체적중량

재 료	단위체적중량(tf/m ³)
철근콘크리트	2.50
아스팔트콘크리트	2.30
	2.00
모래, 사질토	1.90
침적토, 점성토(WL ≤ 50%)	1.80

(표 6) EPS의 단위체적중량

호칭	제조법	발포배율	단위체적중량(kgf/m ³)
DX-29	압출발포법	34.5	29
D-30	형내발포법	33.3	30
D-25	"	40.0	25
D-20	"	50.0	20
D-16	"	62.5	10

안정구배보다 급한 경우에는 일반적
옹벽과 같이 시행책기법으로 계산하
며 (그림 6)과 같이 EPS배면토사중
의 임의의 활동면을 가정하여 각각
의 활동면에 있어서 흙찌기에 대한 힘의
평형으로부터 토압을 구하여, 그중
최대치를 주토압력 P_a 로 하고 작용
점은 저면부에서 $H/3$ 점으로 한다.
 P_a 의 수직, 수평성분 P_v , P_H 는 다
음과 같다.

$$P_H = P_a \cdot \cos(\alpha + \beta) \quad (4.2.1)$$

$$P_v = P_a \cdot \sin(\alpha + \beta) \quad (4.2.2)$$

(그림 7)은 EPS배면의 구배가 변
화할 경우의 주동토압계수를 나타낸
것이다.

2) 상재하중

상재하중은 EPS상부에 재하되는
포장 및 도로시설의 자중(사하중)과
활하중이며, 사하중산정은 각 재료의

일반적인 단위체적중량 (표 5)로부
터 산정된다.

활하중은 도로의 경우 등분포하중
으로 통상 $q = 1.0 \text{ t/m}^2$ 으로 하며

철도의 경우 등분포하중으로 통상
 $q = 3.0 \text{ t/m}^2$ 을 적용한다.

3) EPS 자중

EPS의 표준단위체적중량이 사용
되며 (표 6)은 EPS의 종류 및 중량
을 나타낸 것이다.

4) EPS 측압

EPS측압은 EPS가 탄성변형할 때
발생하며, EPS상부의 재하중에 대
응한 측압이 벽배면에 작용하는 것으
로 한다.

5) 수압 및 부력

EPS는 초경량인 바 부상이 문제
가 되며, EPS를 지하수위 이하에 설
치시 세심한 검토가 필요하다. 이 경

우의 부력은 수위하의 동등체적의
물중량이 상향의 방향으로 작용하는
것으로 고려되며, 또 EPS 설치개소
에서 지하수면과 차이가 있는 경우
그 수위차에 상당하는 정수압을 고
려한다.

결론

필자가 현장파견시 검토되었던 원
동고가고 시점부 Ramp옹벽의 기초
공법은 위에서 기술한 EPS공법이
공사비가 다소 고가이고 국내에서는
아직까지 적용한 실적이 많지 않은
관계로 채택되지 않았으나, 향후 당
사의 시공현장 중에서 본 사례와 같
은 경우에 EPS공법에 대한 적극검
토가 이루어지기를 바란다. SS