

## 목 차

### 기술자료

- PC Anchoring 공법에 의한 사면안정 ..... 1  
(울산광역시상수도현장 토목과장 장두희)
- 철근의 피복두께에 대한 소고 ..... 14  
(상원구조 소장 강석규)
- 건설소음 - 진동의 기초이론 ..... 19  
(건설기술연구소 토목기사 박진형)
- EPS를 이용한 토목공법 ..... 42  
(건설기술연구소 토목기사 김호비)
- 고속도로 설계 - 시공기술 향상 방안에 대한 기술토론회 ..... 58  
(건설기술연구소 토목대리 육일동, 토목기사 김호비)

### 시공사례

- Stainless Roof System의 시공사례 ..... 84  
(대구공항확장공사현장 소장 정우호, 건축대리 최승복)

### 기술단신

- 산업재산권 등록 및 출원 ..... 92

# PC Anchoring 공법에 의한 사면안정

울산광역시상수도현장 토목과장 장두희

## 1. 서 언

대곡댐 건설사업과 관련하여 여수로 좌안사면 굴착공사를 시행 중 2000년 7월 23일 67.0mm의 강우가 있는 후 Sta. No. 1 2, EL. 137 134m 지점에 균열이 발생하였다. 이에 대한 안정대책을 수립하고자 지표지질조사 및 평사투영법에 의한 안정성을 검토하고 굴착 후 예상되는 불안정 요소를 고려하여 사면의 부분적인 추가절취 및 Pre-stress가 가능한 SSL PC Anchoring에 의한 억지공법을 수립하였다.

## 2. 안정대책 수립을 위한 지질조사

### 2.1 균열발생 현황

여수로 좌안사면은 2000년 4월 27일에 굴착을 시작하여 작업을 시행하는 도중에 7월 23일 13:00 24일 04:00까지 67.0mm의 강우가 있는 후 Sta. No. 1 2, EL. 137 134m 지점에 단층면을 따라서 균열이 발생하였다.(<그림 2-1>)

균열은 최대 70.3cm의 폭과 깊이 5m가 확인되었다.



<그림 2-1> 대곡댐 여수로 좌안사면 전경



<그림 2-2> 균열발생부 전경

## 2.2 균열발생의 원인

균열의 발생원인은 사면 배후의 CR-7 도로와 경계를 형성하는 부분에 발달된 전단 단층대에 협재하는 단층점토가 굴착으로 인한 응력의 이완과 강우에 의해 전단강도가 저하되어 발생한 것으로 추정된다.(<그림 2-2>)

## 2.3 지표지질조사

### 2.3.1 목적

안정대책의 수립 및 사면을 구성하고 있는 지층에 대한 구조지질학적 고찰을 위하여 균열 발생부와 주변의 CR-7 도로부에 대한 지표지질조사를 실시하였다.

### 2.3.2 조사결과

#### 1) 굴착현황

현 굴착사면은 195/63의 기하학적 자세와 약 20m의 사면고를 가지고 있다.

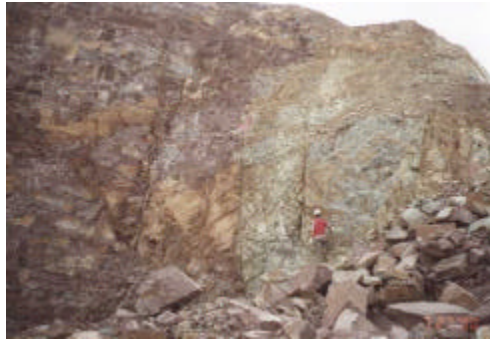
#### 2) 구성암석 및 지질구조

사면은 우리나라 지질계통상 중생대 백악기 경상누층군의 신라통 대구층에 대비되는 사암 및 셰일로 구성되어 있고, 사면의 정상부에서 Sta. No.2 방향으로 232/87의 방향으로 안산암질 암맥이 약 3m의 층후로 관입하여 있으나, 관입한 안산암질 암맥이 연속되는 CR-7 도로측에서 인지되지 않는 점은 구조운동에 의해 발달이 규제됨을 의미한다. CR-7 도로 시점부는 적색의 사암과 협재하는 적색 셰일이 224/11의 층리면을 보이나, 여수로 좌안사면부에서는 134 140/13 19의 층리면을 보인다. 이는 주향이동성 단층에 의해 층리면이 부분적으로 회전한 것으로 단층대는 CR-7 도로사면과 여수로 사면의 경계부에서 11 19/77 84의 자세로 인지된다.

단층대는 CR-7 도로측은 적색사암이, 여수로사면 측에는 녹색사암이 좌수향 주향이동성 단층운동(Sinistral Strike-Slip Faulting)을 받았음이 균열이 발생한 단층면에서 인지되었다.(<그림 2-3, 4>) 그리고, CR-7 도로사면부에는 인장절리를 충진한 석영으로 구성된 Tension gash가 3 10/83 90의 방향으로 발달하나, CR-7 도로의 종점부로 갈수록 감소함이 인지되는 것 역시 주향이동 단층운동이 있었음을 지시한다.(<그림 2-5>) 즉, 단층대가 좌수향 주향이동성 단층운동을 받아서 여수로측 사면부를 구성하는 단층면에 인접한 지층의 회전을 유발하였으며, 그 결과로 CR-7 도로사면은 적색사암, 여수로측 사면은 녹색사암이 분포하게 되었다. 단층대는 여수로 굴착사면에서 CR-7 도로사면 방향으로 거의 수직을 이루고 있으므로 현 굴착사면 하부로



<그림 2-3> 대곡댐 여수로 좌안사면  
및 CR-7 도로사면



<그림 2-4> 좌안사면부에 발달한  
좌수향 주향이동성 단층대

굴착할 경우에 노출될 가능성이 낮은 것으로 판단된다. 균열은 단층대 중 녹색사암부에서 발달한 것으로 단층면은 하부로부터 상부로 갈수록 38/76→47/73으로 전이하고, 약 20~30cm의 단층점토(Fault clay), 단층 각력암(Fault gouge)이 협재하며, 이와 사교하는 층리면에도 단층면이 발달하여 약 3cm 정도의 황갈색 점토가 협재하여 있음을 확인하였다.

단층면에서는 부분적으로 지하수의 용출이 인지되고, 단층면 전면 지층의 하부는 녹색사암, 상부는 적색사암이 약 3m의 층후를 보이고, 209° 218/17° 19'의 자세로 CR-7 도로의 지층과 유사한 자세를 보인다. 이것 역시 단층면에 인접한 지층의 자세가 회전하였음을 반영하는 것이다.



<그림 2-5> 사면에 발달한 석영이  
충진한 Tension gash

## 2.4 불연속면 조사

암반사면 안정성에 영향을 미치는 요소인 불연속면의 발달 상태를 조사하기 위하여 구성암석, 지질구조, 사면의 절취방향을 고려하여 3부분으로 구분하였다.

1) Sta. No. 1+10 ~ 2+20.5(EL. 135m 이하)

EL. 135m 이하 사면부로 굴착작업이 하향으로 진행중인 지역으로 현 사면고는 7m 이내로 주로 사암과 세일로 구성되며, 끝부분에서 안산암질 암맥이 관

입하여 있음을 인지하였다. 가장 우세한 불연속면(J1)은 134 140/13 19 자세의 층리면으로 사암부는 30cm이상, 셰일부는 5cm이하의 간격을 보인다. 국부적으로 층리면 단층이 발달하였으며, 최대 3cm의 단층점토가 협재하여 있고, 지하수가 소량 유출하고 있음을 확인하였다. J2는 252 258/58 62의 자세로 20cm의 Spacing, J3는 166 175/79 89의 자세와 30cm의 Spacing을 보인다. F1은 균열이 발생한 단층면으로 30 47/73 84이며, 20 30cm의 단층점토, 단층각력암이 협재하고, F2는 230 240/75 84의 자세이며 1m의 비교적 넓은 Spacing을 보인다. 사면의 파괴부에 대한 Failure mechanism을 살펴본 결과 F1의 응력이완에 의한 Opening이 발생→J1과 F2의 교차에 의한 켜기파괴의 발생→J2방향의 평면파괴→F1의 전도파괴의 순으로 추정되었다.

2) Sta. No. 1+10 2+16.5(EL. 151 135m)

Sta 2+2.5 12.8m 구간은 셰일이 우세한 지역으로 절리면이 다소 풍화된 상태이며, 12.8m 이후 구간은 안산암질 암맥이 280/52의 방향으로 관입하여 있다. 층리면에 해당하는 J1은 155 165/10 13, J2는 316 338/72 88, J3는 246/81, 54/79, J4는 48 52/74 78, Random은 280/52의 방향성을 보여주며, 단층의 발달이 미약한 점을 제외하고는 Sta. No. 1+10 2+20.5(EL. 135m 이하)지역과 동일하다.

3) Sta. 0 1+10(EL. 145m 이하)

균열이 발생한 단층면을 기준으로 굴착부 전면에 해당하는 지역으로 구성암석은 상부는 약 3m 층후의 적색사암, 하부는 녹색사암이 괴상으로 분포한다. 층리면과 일치하는 J1은 209 218/17 19의 자세로 CR-7 도로사면과 일치하며, J2는 204 215/76 89, J3는 142/88, 290 321/83으로 다소 점이적 변화를 보인다. J4는 적색 사암부에만 발달하여 290/50 62의 자세를 보인다.

Failure mechanism은 J4와 J3의 교차에 의한 켜기파괴→J2에 의한 평면파괴의 순으로 예상된다. 균열이 발생한 지점의 전면에 위치하여 안정대책 시행시 제거되는 부분이나, 향후 하부사면의 굴착시 파괴 가능성에 대한 검토를 위해서 분석이 요구된다.

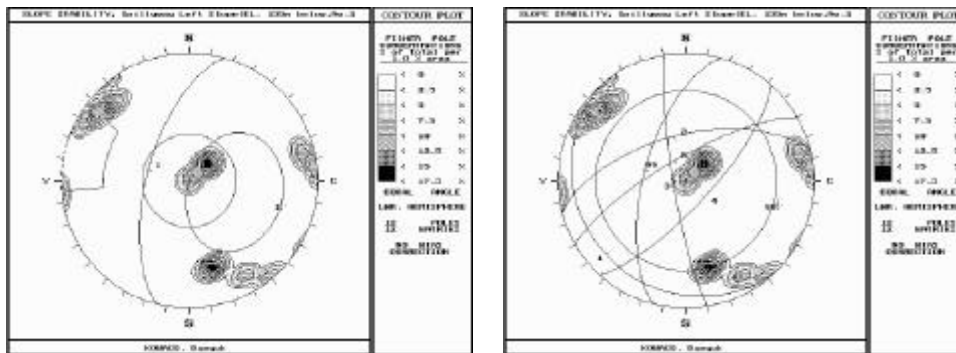
### 3. 안정대책 수립을 위한 분석작업

#### 3.1 Stereographic Projection

야외조사시 측정된 불연속면의 사면안정성에 대한 검토를 위해서 실내에서 사면의 절취방향과 불연속면의 기하학적인 관계만을 이용하여 사면의 안정성 여부를 평가하는 Stereographic Projection(평사투영법)에 의한 분석시 마찰각은 괴상의 사암과 셰일이 혼재하는 암반사면이나, 단층면의 발달과 단층점토, 단층각력암의 협재를 고려하여 30도로 가정하고 실시하였다.

Stereographic Projection은 평면파괴와 전도파괴 및 켜기파괴를 Hoek & Bray (Rock Slope Engineering 3nd, 1981) 방법에 따라 수행하였다.

#### 1) Sta. No. 1+10 2+20.5(EL. 135m 이하)



(a) Planar & Toppling Failure

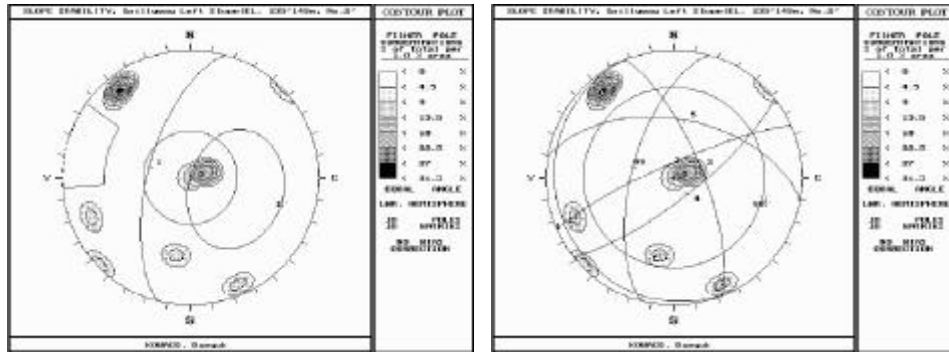
(b) Wedge Failure

<그림 3-1> Sta. No.1+10 2+20.5(EL.135m Below) Part of Stereographic Projection

분석결과 평면파괴는 인지되지 않고 전도파괴 가능성이 있는 불연속면은 F1 단층면으로 인지된다. 켜기파괴에 대한 분석결과 켜기파괴 영역에 투영되는 교선은 없으나, J1과 F1, J1과 F2, J1과 J2의 상호 교차에 의한 켜기면이 125° 175°/75° 80°의 교선방향으로 투영됨을 보여준다. 이는 불연속면의 상호교차에 의한 직접적인 켜기파괴의 가능성보다는 야외 조사시 추정된 파괴양상과 유사한 J1과 사교하는 방향으로 1차적인 파괴는 아니나, 2차적인 파괴의 가능성을 의미한다.

#### 2) Sta. No. 1+10 2+16.5(EL. 151 ~ 135m)

분석결과 평면파괴, 전도파괴의 가능성은 없다. 켜기파괴에 대한 분석결과 Sta. No. 1+10 2+20.5(EL. 135m Below)와 마찬가지로 불연속면의 교선이 직접적으로 불안정 영역에 투영되지 않고 105° 155°/85°의 방향으로 발달한다.

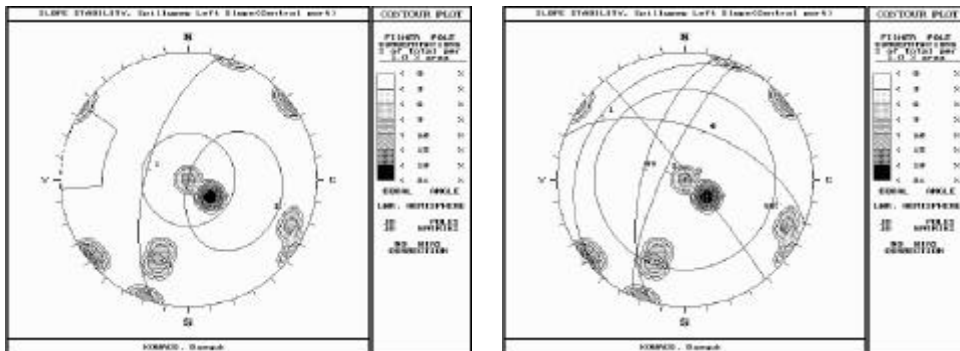


(a) Planar & Toppling Failure

(b) Wedge Failure

<그림 3-2> Sta. No.1+10 2+16.5(EL. 151 135m) Part of Stereographic Projection

3) Sta. No. 0 1+10(EL. 145m 이하)



(a) Planar & Toppling Failure

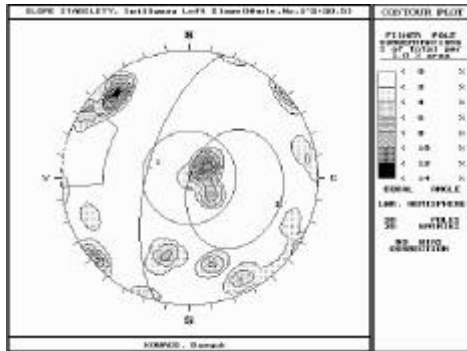
(b) Wedge Failure

<그림 3-3> Sta. No. 0 1+10(EL. 145m Below) Part of Stereographic Projection

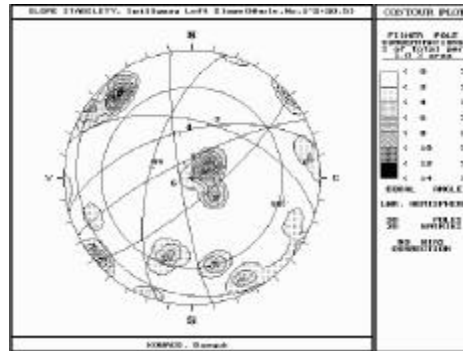
분석결과 평면파괴의 가능성은 없으나 J2 불연속면의 전도파괴가 약간 내포한다.

4) 전체사면 검토

분석결과 평면파괴의 가능성은 없고, 전도파괴는 균열이 발생한 단층면의 가능성이 일부 인지된다. 분석결과 켄기파괴의 불안정 영역에 직접적으로 투영되는 교선은 인지되지 않으나, 불연속면의 교선이 135 170/80의 방향을 보여 2차적인 파괴양상의 가능성이 있음을 시사한다.



(a) Planar &amp; Toppling Failure



(b) Wedge Failure

<그림 3-4> Sta. No. 0 2+20.5 (EL. 151 128m) Part of Stereographic Projection

#### 5) 분석의 종합결론

여수로 좌안사면의 Failure mechanism은 야외조사시 추정된 F1의 응력이완에 의한 Opening이 발생→J1과 F2의 교차에 의한 켜기파괴의 발생→J2방향의 평면파괴→F1의 전도파괴의 순으로 진행하고 있음을 확인하였다.

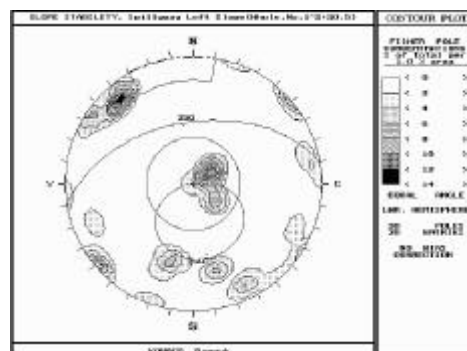
### 4. 사면안정 대책 방안

균열이 발생한 여수로 좌안사면에 대한 지표지질조사, 지질구조 및 불연속면조사 및 Stereographic Projection에 의한 안정성 검토결과 다음과 같은 방안을 수립하였다.

#### 4.1 사면 굴착방향을 변경하는 방안 (제1안)

여수로 좌안사면에 발달한 단층에 의해 균열이 형성되므로 이의 영향범위를 벗어나는 방향으로 사면 굴착방향을 변경하는 방안을 고려할 수 있다.

Stereographic상에서 굴착방향을 260/50으로 변경하면 전도파괴의 위험성이 사라진다. 그러나, 이 방향으로의 굴착



<그림 4-1> The Stereographic of cutting of 260/50 Trend

은 인접한 CR-7 도로사면중 가배수터널 입구부 상부사면을 넘어서는 범위까지 굴  
되어야 하므로 경제성, 시공성을 고려할 때 시공이 불가능하다.

또한 공기의 연장이 불가피하므로 최적의 사면안정 방안이라 할 수 없다.

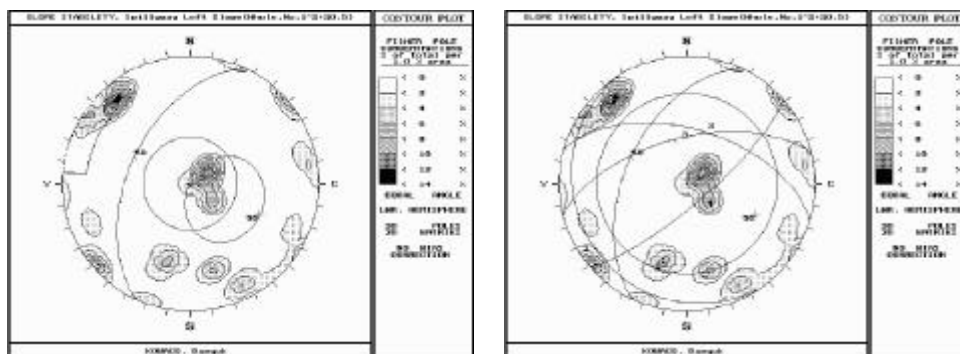
#### 4.2 사면의 경사를 완화하고 Pre-Stress Anchor 보강공법을

##### 병행하는 방안 (제2안)

현 굴착사면에서 안정성의 저해요인은 CR-7 도로사면 경계부에 발달한 단층대  
를 따른 Opening과 연속으로 진행되는 켜기파괴이므로 이완된 암괴부위의 제거  
및 추가적인 보강공법이 고려될 수 있다. 이완부위의 제거는 돌출된 암반부위의  
응력이완에 기인하므로 사면의 선형을 가능한 Rounded하게 하면 안정성에 유리하  
므로 지표지질조사에 의해 획득된 단층대의 분포양상을 고려하여 사면의 굴착방  
향을 10도 회전시킴과 동시에 EL. 125m 소단부를 현 계획보다 1m 배후로 수평이  
동한 후 상부로 갈수록 사면 경사를 완화시켜 205/50→205/45로 재굴착함이 타당  
하다. 계획된 재굴착 사면의 방향성에 대한 Stereographic Projection 결과는 현 굴  
착 사면에 비하여 켜기파괴 발생 가능성이 있는 교선의 방향이 굴착사면과 거의  
직각을 이루게되어 안정성이 매우 향상될 것으로 사려된다.

또한, 굴착사면의 방향변경과 사면경사 완하시 인접한 CR-7 도로사면의 추가  
굴착이 없으므로 굴착량이 260/50 방향으로의 굴착안에 비하여 매우 감소하고, 시  
공은 사면 배후에 형성된 임시도로를 통한 장비의 진입이 가능하다.

상기 계획대로 사면굴착이 시행되면 단층대 전면의 이완부위는 대부분 제거되  
나, CR-7 도로사면을 지지하는 암괴의 제거로 CR-7 도로사면의 안정성에 대한  
보강이 요구된다.



(a) Planar & Toppling Failure

(b) Wedge Failure

<그림 4-2> The Stereographic of cutting of 205/50 Trend

인접한 CR-7 도로사면은 201 205/ 11 15의 층리면을 가지고 있고, 석영이 인장절리를 충진한 Tension gash가 4 7/83 87의 방향으로 현저하게 발달함이 지표지질조사시 인지되었다. 여수로 좌안사면이 굴착되고 나면 Tension gash의 Opening이 우려되며 동시에 현재 지하수의 유출이 발생하고 있는 층리면을 통한 암반의 거동 가능성이 잠재되어 영구적인 안정성 확보가 우려된다.

#### 4.2.1 보강공법에 대한 검토

[표 4-1] 보강공법에 대한 비교표

| 공법  | PC Anchoring 공법                                                                                                                   | H-Pile을 이용한 억지말뚝공법                                                                                                                                                                |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 주안점 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 층리면, Tension gash와 사교하는 방향으로 Anchoring 시공</li> <li>- 암반내 활동면에 대해 억지력을 가함</li> </ul>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 사면의 예상 활동에 대한 억지말뚝 효과를 기대</li> </ul>                                                                                                     |
| 장점  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 사면보강 효과가 탁월</li> <li>- 시공성이 양호</li> <li>- 굴착작업에 영향이 적음</li> <li>- 짧은 공기내 시공가능</li> </ul> |                                                                                                                                                                                   |
| 단점  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 전문가에 의한 시공이 필요</li> </ul>                                                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 국부적 사면거동 방지 곤란</li> <li>- 시공성이 불량</li> <li>- 대형장비가 필요</li> <li>- 천공작업과 굴착작업 연계가 불가</li> <li>- 공사비가 고가</li> <li>- 비교적 긴 공기가 소요</li> </ul> |
| 채택안 | ○                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                   |

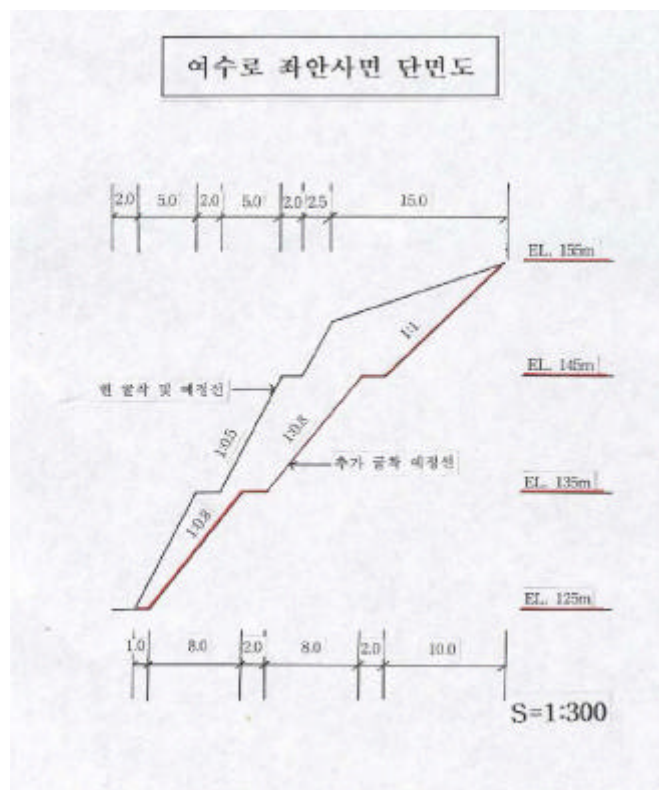
[표 4-2] PC Anchoring 공법 비교표

| 구분     | V S L 공 법                                                                                                                                                | S S C 공 법                                                                                                                                                          | S S L 공 법                                                                                                                                                                                       |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 개<br>요 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Grout 부착력에 의하여 인장력에 대응하는 공법</li> <li>- 국내에 최초로 도입, 설계, 시공된 공법</li> <li>- 자재비가 저렴하여 가설 Anchor로 최적의 공법</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Grout 압축력에 의하여 인장력에 대응하는 선단 압축형 공법</li> <li>- Vsl공법의 단점인 Grout 응력집중에 의한 진행성 파괴를 개선하기 위해 Grout에 압축력을 받도록 고안한 공법</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anchor체가 암반 지압되는 힘에 의해 인장력에 대응하는 공법</li> <li>- 방식, 방청에 강한 자재를 사용하고 정착체장이 타공법에 비하여 짧아 천공심도가 타공법에 비하여 짧다.</li> <li>- Grout의 진행성 파괴가 발생하지 않는다.</li> </ul> |

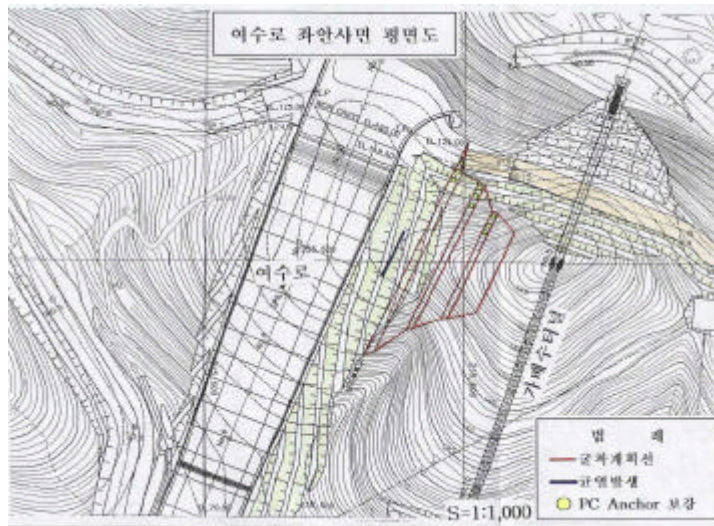
|                                 |                                                                                                                                      |                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                           |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 정<br>착<br>체<br>정<br>착<br>방<br>법 | 정착장내에서 Grout에 의하여 구근을 형성 인장재와 Grout, Grout와 암반의 부착력으로 소요 인장력에 대응                                                                     | 선단에 별도의 압축판부를 설치하고, 피복된 강연선을 사용하여 Grout에 압축력을 전달하므로, Grout와 암반과의 주면 마찰저항으로 소요 인장력에 대응                                                   | 전장이 방청 피복된 Un-bond P.C Strand에 별도의 정착체를 설치하여 Grout의 구속력을 받지 않고, 정착체에 힘을 전달.<br>Wedge 형태로 암반에 밀착 암반의 지압강도에 의하여 소요 인장력에 대응                                                                                  |
| 사<br>용<br>자<br>재<br>내<br>구<br>성 | Grout에 의해 인장력을 확보하는 공법으로 정착장부는 Sheath, Grout 피복만이 이루어지며 자유장부는 그리이스와 Pe Hose로 피복. 인장시 Grout 인장 균열에 의한 누수의 우려가 있다.                     | 전장이 방청 피복된 Un-Bond P.C Strand를 사용하며, 압축판부는 방수 코팅하여 내구성을 향상. 인장시에도 Grout에 압축력이 가능해지므로 Grout의 인장 균열이 없어 누수의 염려는 없다.                       | 전장이 방청 피복된 Un-Bond P.C Strand를 사용하며 정착체는 부식에 강한 구상 흑연 주철을 사용 Grout 주입재 자체는 Hole을 밀폐하는 기능을 가지므로 누수 및 내구성이 가장 뛰어나다.                                                                                         |
| 시<br>공<br>성                     | 시공 방법이 일반화되어 보편적으로 시공되는 공법 자재의 공장조립이 원칙이며, 현장조립시 품질 관리 및 방식 방청에 문제가 발생.                                                              | 공장 조립된 제품을 시공자가 구매하므로 별도의 공정이 필요치 않아 시공이 간편.                                                                                            | 완전 방청된 제품과 내구성이 우수한 자재를 사용함으로 방식, 방청 효과가 확실.<br>현장 조립을 원칙으로 현장 상황에 즉시 대응할 수 있고, 동일 조건의 현장에서 천공 심도 및 천공 구경이 줄어 공기가 단축.                                                                                     |
| 경<br>제<br>성                     | 기본 자재비가 저렴하나, 천공심도가 길고, 별도의 방청 처리 비용 및 인장력 감소에 따른 유지관리비가 발생.                                                                         | Anchor체만을 생산하여 판매함으로 재료비가 Ssl-Anchor보다 고가.                                                                                              | 별도의 정착체를 사용하므로 자재비가 고가이나, 천공심도가 짧아 Save 효과가 있고, 전체 공사비는 Vsl Anchor와 경쟁력이 있음.                                                                                                                              |
| 장<br>점                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 설계, 시공이 일반화 되어 있다.</li> <li>- 시공 현장의 예가 많다.</li> <li>- 자재비가 저렴하여 가설 Anchor로서 적합.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 시공이 간단.</li> <li>- 공장 조립 완제품 사용으로 시공이 간편.</li> <li>- Grout 응력 집중에 의한 장기 진행성 파괴가 없다.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 인발(引拔)이 되지 않는 구조를 가지고 있어 인장력 감소가 없다.</li> <li>- 별도의 Anchor체에 의하여 지압 정착되므로 천공심도가 타공법에 비하여 짧다.</li> <li>- 공기 단축의 효과가 있다.</li> <li>- 방식, 방청이 우수한 자재를 사용.</li> </ul> |

|     |                                                                                                                                              |                                                                                                                                    |                                                                    |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| 단점  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Grout에 응력이 집중되어 장기 진행성 파괴가 발생</li> <li>- 인장력 감소가 발생.</li> <li>- 방식, 방청 효과가 타 공법에 비하여 부실.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 시공 사례가 적다.</li> <li>- 자재비가 고가.</li> <li>- 생산, 시공이 별도로 분리되어 하자 발생시 책임의 한계가 불분명.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 전문가에 의한 시공이 필요</li> </ul> |
| 채택안 |                                                                                                                                              |                                                                                                                                    | ○                                                                  |
| 비고  |                                                                                                                                              |                                                                                                                                    | 보령댐 좌안진입도로 사면 보강시 시공                                               |

CR-7번 도로사면의 잠재된 거동 요소인 층리면과 Tension gash의 두 불연속면에 대한 보강을 위해 90° 120/45° 방향으로 Pre-Stress가 가능한 SSL 지압형 Anchor를 굴착과 병행 시행하여 CR-7번 도로사면의 거동을 유발하는 Key Block의 역지를 도모하면 사면 안정성이 확보될 수 있다. 이상의 안정대책 방안은 사면의 안정성, 시공성, 경제성을 고려할 때 최적의 방안으로 판단된다.



<그림 4-4> 여수로 좌안사면 안정대책방안 단면도



<그림 4-5> 여수로 좌안사면 안정대책방안 평면도

[표 4-3] 여수로 좌안사면 안정대책 방안별 비교표

| 구분    | 안정대책 방안                                                                                    |                                                                                                                                      |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|       | 제 1 안                                                                                      | 제 2 안                                                                                                                                |
| 주안점   | - 인장균열이 발생하는 단층대의 전도를 방지하는 방향으로 굴착                                                         | - 이완된 균열부의 제거<br>- 굴착경사 변화로 상재하중 제거<br>- 굴착에 따른 CR-7 도로사면의 잠재 불안정 요인을 보강                                                             |
| 개요    | - 사면굴착 방향전환<br>(65° 회전 : 195→260도 방향)<br>- 사면경사 완화<br>(1:0.5→1:0.8)                        | - 사면굴착 방향전환<br>(10° 회전 : 195→205도 방향)<br>- 사면 소단부 수평이동(1m)<br>· 위치 : EL. 125m 소단<br>- 사면경사 완화 (1:0.5→1:0.8 1:1)<br>- PC Anchoring 시행 |
| 장점    | - 사면의 전도파괴 방지가능                                                                            | - 영구적 사면 안정성 확보가능<br>- 시공성이 양호<br>- 공사비가 비교적 저가<br>- 안전한 시공이 가능                                                                      |
| 단점    | - 공기연장 필요 - 공사비가 고가<br>- 공사시 안전사고 발생가능성 잔존<br>- 하부 도로의 통제가 필요<br>- 사면에서의 불안정 요소 잔존 가능성이 잠재 | - 복합공법으로 철저한 품질관리가 요구됨                                                                                                               |
| 예상 공기 | 12개월                                                                                       | 2개월                                                                                                                                  |
| 채택안   |                                                                                            | ○                                                                                                                                    |

## 5. 결론

균열이 발생한 여수로 좌안사면에 대한 지표지질조사를 실시한 결과 균열발생의 원인은 상재하중 제거에 의한 응력이완 및 강우에 의한 전단강도의 약화로 기형성된 단층대를 따라서 발생한 것으로 판단된다.

Failure mechanism은 야외조사시 추정된 F1의 응력이완에 의한 Opening이 발생→J1과 F2의 교차에 의한 켜기파괴의 발생→J2방향의 평면파괴→F1의 전도파괴의 순으로 진행하고 있음을 확인하였다. 지표지질조사시 측정된 불연속면에 대한 Stereonet Projection Method(평사투영법)를 활용한 분석결과 사면의 경사방향을 65도 회전시켜 265도 방향으로 재 굴착하면 영구적이 안정성이 확보되나 현장 여건상 경제성, 시공성이 불합리한 방안으로 판단된다.

조사 및 분석결과를 바탕으로 한 최적의 사면안정 대책방안은 현 굴착사면의 방향을 10도 회전시켜 경사방향이 205도 방향이 되도록 하고, 균열부의 완전한 제거를 위해 EL. 125m 소단을 1m 수평이동시킨 후 상부사면을 1:0.8 1:1로 재 굴착함이 타당하다. 사면의 추가굴착이 시행되면 인접한 CR-7 도로사면에 대한 지지력이 감소하여 층리면과 석영이 충전된 Tensional fracture(Tension gash)의 Opening이 예상되어 전체 사면의 안정성을 저해할 가능성이 잠재된다. 이를 방지하고자 재 굴착되는 사면에서 Pre-stress가 가능한 SSL 지압형 PC Anchoring 공법을 병행하여 시행한다면 안정성이 확보될 것으로 판단된다.

PC Anchoring에 대한 세부 계획은 불안정 사면의 영역에 대한 응력검토를 수행하고 시행할 예정이다.

## [참 고 문 헌]

1. 이 정인, 1995, 암반사면공학, 엔지니어즈, p459
2. A. G. Sylvester., 1988, Strike-slip faults, Geol. Soc. of Am. Bull. v. 100, p1666-1703
3. Bucher, W.H., 1994, The stereographic projection, a handy tool for the practical geologist. Journal of Geology. 52, 191-212
4. E. Hoek & J. Bray, 1981. Rock Slope Engineering 3rd, The institution of Mining and Metallurgy, London, 358p
5. Markshak, S. & Mitra, G., 1988, Basic Methods of Structural Geology. Prentice hall. 446p

# 철근 피복두께에 대한 소고

- 1999년도에 개정된 건교부 규준을 중심으로 -

상원구조 소장 강석규

## 1. 일반사항

일반적으로 철근콘크리트구조물의 철근 피복은 철근 표면으로부터 콘크리트 표면까지의 최단거리로서, 다음 조건들을 고려하여 결정된 최소값이다.

- 노후화에 따른 중성화 방지
- 철근의 부식 방지
- 철근의 부착응력 확보
- 화재 시의 내구성 확보

또한 피복두께는 위에서 언급한 사용성에 관련된 조건들 외에 구조부재의 내력에 관계된 값이다. 구조 부재의 내력은 아래 식에서와 같이 철근 중심에서 압축측 콘크리트 표면까지의 거리인 유효층  $d$ 에 대부분 비례하기 때문에 철근의 피복두께는 부재 내력과 밀접한 관련이 있게 된다. 따라서 기준에 규정된 최소 피복두께를 준수하되 필요이상으로 할 필요는 없으며, 현장 여건에 의하여 피복두께가 과다하게 되었을 경우, 부재 내력의 부족으로 인한 균열이 발생하게 되므로 필히 구조검토를 수행하여 부재 안전성을 확인하여야 한다. 특히 상단근인 경우 시공과정 중에 이러한 사례가 많이 발생하므로 주의하여야 한다.

$$\text{휨모멘트 내력} : \Phi M_n = \Phi A_s f_y (d - a/2)$$

$$\text{전단 내력} : \Phi V_n = \Phi (f_{ck} b d + A_{sv} f_y d / s)$$

그리고 철근의 정착길이를 산정하는 아래의 식을 보면 피복두께와 관련된 계수  $c/d_b$ 와 정착길이는 서로 반비례하기 때문에 아래에 언급된 최소피복두께는 필히 준수하여야 하며, 철근 직경별로 적절한 피복두께(권장  $2d_b$ )를 확보하여야 한다.

$$\text{인장 이형철근의 정착길이 } L_d = \frac{0.285d_b f_y}{\sqrt{f_{ck}}} \frac{1}{(\frac{c}{d_b})}$$

$f_y, f_{ck}$  = 철근과 콘크리트의 강도

$c$  = 철근 중심에서 콘크리트 표면까지의 최단거리

$d_b$  = 철근 직경

## 2. 최소 피복두께

건교부에서 제정한 콘크리트구조설계기준(건교부, 1999년)에 기술된 현장치기 콘크리트 구조물에 대한 최소피복두께와 관련한 사항은 다음과 같다.

- 1) 현장치기 콘크리트의 최소피복두께는 [표 2-1]에 따른다.

[표 2-1] 현장치기 콘크리트의 최소피복두께

| 표면조건                            | 부재          | 철근            | 피복두께<br>(cm)    |
|---------------------------------|-------------|---------------|-----------------|
| 흙에 묻히거나 수중에 있는 경우 <sup>1)</sup> | 모든 부재       | 모든 철근         | 8               |
| 흙에 접하거나 옥외에 노출되는 경우             | 모든 부재       | D29 이상        | 6               |
|                                 |             | D25 이하        | 5               |
|                                 |             | D16 이하 철근, 철선 | 4               |
| 흙 또는 옥외에 접하지 않는 경우              | 슬래브, 벽체, 장선 | D35 초과        | 4               |
|                                 |             | D35 이하        | 2               |
|                                 | 보, 기둥       | 모든 철근         | 4 <sup>2)</sup> |
|                                 | 셀, 질판       | 모든 철근         | 2               |

- 주) 1. 흙에 묻히는 경우란 흙의 표면을 구조체 치수 확보를 위하여 거푸집이나 버림 콘크리트 등으로 마감하지 아니하고 콘크리트를 타설한 경우로 본다.  
 2. 옥외의 공기나 흙에 직접 접하지 않는 콘크리트는 보, 기둥의 경우 콘크리트 설계기준강도  $f_{ck}$ 가  $400\text{kg/cm}^2$  이상이면 규정된 값에서 최소피복두께를 1cm 저감시킬 수 있다.

- 2) 다발철근의 피복두께는 다발철근의 등가지름 이상으로 하여야 하지만 6cm 보다 크게 할 필요는 없다. 다만, 흙에 접하거나 영구히 흙에 묻히거나 또는 수중에 있는 경우는 피복두께를 8cm 이상으로 하여야 한다. (콘크리트구조설계기준 5.4.4절 참조)
- 3) 내화를 필요로 하는 구조물의 피복두께는 화열의 온도, 지속시간, 사용골재의 성질 등을 고려하여 슬래브의 경우 3cm 이상, 기둥 및 보의 경우에 5cm 이상을 철근의 피복두께로 하여야 한다. 만약 용접철망을 배치하는 경우는 피복두께가 3cm 이상이어야 한다. 장시간 고열을 받는 굴뚝 내면과 같은 경우 특수한 보호 공사나 최소피복두께보다 더 큰 피복두께를 필요로 한다.

(콘크리트구조설계기준 5.4.6절 참조)

- 4) 콘크리트가 심한 침식 또는 염해를 받는 해안환경에 노출되거나 심한 화학 작용을 받는 경우는 피복두께를 적절히 증가시켜야 하며, 다음 [표 2-2]의 값이상의 피복두께를 확보하여야 한다. (콘크리트구조설계기준 5.4.5절 참조)

[표 2-2] 부식환경에 노출된 콘크리트의 최소피복두께

| 현장치기 콘크리트 | 부재      | 최소피복두께(cm) |
|-----------|---------|------------|
|           | 벽체, 슬래브 | 5          |
|           | 기타 부재   | 7          |

주) 구조물을 장차 증축할 목적으로 표면에 노출시키는 강재의 경우 부식으로 부터 보호되어야 한다.

### 3. 검토 의견

#### 3.1 최소피복두께의 비교

다음의 [표 3-1]은 현재 국내에 적용되고 있는 콘크리트 구조설계기준과 콘크리트 표준시방서에 표현된 최소피복두께를 비교하기 위하여 작성한 것이고, [표 3-2]는 토목 도로교 표준시방서에 기술된 최소피복두께이다.

[표 3-1] 철근의 최소피복두께

| 조건 |                                          | 부재            | 철근 직경 | 최소피복두께(cm) |   |   |
|----|------------------------------------------|---------------|-------|------------|---|---|
|    |                                          |               |       | ①          | ② | ③ |
| 1  | 흙이나 옥외 공기에 직접 노출되지 않는 경우                 | 슬래브, 벽체, 조이스트 | > D35 | 4          |   |   |
|    |                                          |               | ≤D35  | 2          | 3 | 2 |
|    |                                          | 보, 기둥, 셸, 절판  | 모든 철근 | 4          | 4 | 3 |
|    |                                          |               | 모든 철근 | 2          |   |   |
| 2  | 흙에 접하거나, 옥외 공기에 직접 노출되는 경우               | 모든 부재         | ≥D29  | 6          | 5 | 4 |
|    |                                          |               | ≤D25  | 5          | 5 | 4 |
|    |                                          |               | ≤D16  | 4          | 4 | 4 |
| 3  | 흙에 접하여 콘크리트를 친 후 영구히 흙에 묻혀 있거나 수중에 있는 경우 | 모든 부재         | 모든 철근 | 8          | 7 | 6 |

- 주) ① "콘크리트구조설계기준" (건교부제정, 1999)  
 ② "건축공사표준시방서" (건교부제정, 1996)  
 ③ "건축물의 구조내력에 관한 기준" (건교부제정, 1996)

### 특기사항

- 1) 구조계산은 "콘크리트구조설계기준"에 의하므로 최소피복두께는 ①에 의한다.
- 2) 별도의 특기사항이 없는 경우에는 ②에 의한다.

[표 3-2] 도로교 표준시방서의 최소피복두께

| 부 위                                      |                | 피복두께<br>(cm) |
|------------------------------------------|----------------|--------------|
| 콘크리트가 흠에 접해 있을 때                         |                | 8            |
| 콘크리트가 흠에 접해 있거나, 기상작용의 영향을 받을 때          | 주철근            | 6            |
|                                          | 스터럽, 띠철근, 나선철근 | 5            |
| 기상작용이 양호한 곳에서의 콘크리트 바닥판 슬래브              | 상부철근           | 5            |
|                                          | 하부철근           | 2.5          |
| 부식에 대한 방지책이 없고, 염분에 자주 노출되는 콘크리트 바닥판 슬래브 | 상부철근           | 6            |
|                                          | 하부철근           | 2.5          |
| 기상작용의 영향을 받지 않거나 흠에 접해 있지 않은 콘크리트        | 주철근            | 4            |
|                                          | 스터럽, 띠철근, 나선철근 | 2.5          |
| 콘크리트파일이 흠에 접해 있을 때                       |                | 5            |

### 3.2 최소피복두께의 권장

앞에서 언급된 사항들과 콘크리트구조설계기준을 참조하여 구조설계 및 현장에 적용할 수 있는 적절한 피복두께는 다음 [표 3-3]과 같다.

### 특기사항

- 1) 내구성상 유효한 마감이 있는 경우, "조건 1"을 적용할 수 있다.
- 2) 지붕슬래브의 상부근 - 방수재와 누름콘크리트가 있는 경우 : 조건 1  
 없는 경우 : 조건 2
- 3) 외기에 노출된 면의 철근 - 타일 등 외부마감재가 있는 경우 : 조건 1  
 없는 경우 : 조건 2
- 4) 흠에 접한 면의 철근 - 방수재와 버림콘크리트가 있는 경우 : 조건 1  
 버림콘크리트만 있는 경우 : 조건 2

버림콘크리트도 없는 경우 : 조건 3

- 5) 슬래브에서 철근 D19 이상을 사용할 경우, 피복두께 2d<sub>b</sub>를 사용하는 것이 좋다.
- 6) 위의 조건을 적용하고자 할 경우, 필히 감독자와 협의하여야 한다.

[표 3-3] 건축구조물의 최소피복두께 (권장사항)

| 조건 |                                          | 부재            | 철근 직경 | 최소피복두께<br>(cm) |
|----|------------------------------------------|---------------|-------|----------------|
| 1  | 흙이나 옥외 공기에 직접 노출되지 않는 경우                 | 슬래브, 벽체, 조이스트 | > D35 | 4              |
|    |                                          |               | ≤D35  | 3              |
|    |                                          | 보, 기둥         | 모든 철근 | 4              |
|    |                                          | 셀, 절판         | 모든 철근 | 3              |
| 2  | 흙에 접하거나, 옥외 공기에 직접 노출되는 경우               | 모든 부재         | ≥D29  | 6              |
|    |                                          |               | ≤D25  | 5              |
|    |                                          |               | ≤D16  | 4              |
| 3  | 흙에 접하여 콘크리트를 친 후 영구히 흙에 묻혀 있거나 수중에 있는 경우 | 모든 부재         | 모든 철근 | 8              |

# 건설소음 · 진동의 기초이론

건설기술연구소 토목기사 박진형

## 1. 서언

산업의 고도화 · 기계화 등으로 생활수준의 향상에 따라 사람들의 의식구조도 점차 변해가고 있다. 사람이라면 누구나 쾌적한 환경에서 생활하고픈 욕망이 있고 특히 현대사회에서는 환경의 중요성에 대해 대중매체나 환경단체들을 통해 전달 되어 대부분의 일반인들에게까지 깊이 인식되어 있는 실정이다. 과거 건설공사에 대해 공익성을 갖는 국책사업으로서 어느 정도의 불편함은 인내하고 감수하는 것이 일반적인 사고방식이었으나 점차 국민의 쾌적한 생활에 대한 권리를 찾고자 하는 소리가 높아지면서 건설사업의 주체인 발주기관이나 시공업체 모두 환경문제를 외면하면서 공사를 수행할 수는 없는 실정이다.

환경문제는 대기오염, 수질오염, 폐기물, 소음 · 진동으로 대별할 수 있으나 환경부 보고에 의하면 건설공사로 인한 소음 · 진동피해분쟁이 매년 60%이상에 달하고 있어, 주변주민들이 가장 많이 불편을 호소하는 것이 소음 · 진동피해임을 알 수 있다. 또한 공사수행으로 인한 소음 · 진동공해측면 이외에 최근 건설교통부와 환경부에서 공동 운영하는 「주거환경 우수주택제도」가 도입되어 평가지표 중 실내 환경이 한 부문으로 마련되어 있어, 그동안 소음진동 제어행위가 수동적이었다면 앞으로는 점차 자발적이고 능동적으로 대처해 나가야 할 것이다.

이에 건설기술자로서 알아야 할 소음진동이론의 기초이론, 건설소음진동의 특성, 각국의 진동규제기준 등을 익혀 현장업무에 유연하게 대처할 수 있도록 해야 할 것이다.

## 2. 소음 · 진동의 전파이론

### 2.1 소음의 기초이론

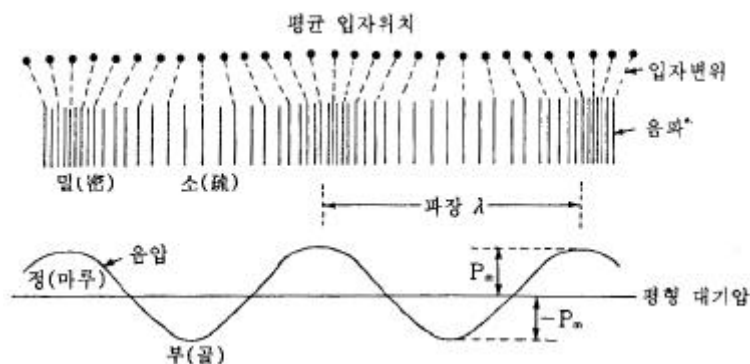
#### 2.1.1 음의 발생

음을 발생시키는 발음원에 대해서는 충격, 타격, 마찰 등의 힘에 의해 물체의

진동으로 음이 발생하는 기계적 원인과 압축가스가 분출될 때의 음 또는 폭발음과 같은 경우의 유체 와류현상이나 압력변동 등에 기인하는 유체역학적 원인에 의해 발생된다.

### 2.1.2 음의 전파

음이 전파되기 위해서는 음을 전달할 수 있는 매질의 존재가 불가피하며, 매질이 탄성이어야 한다. 음의 전파는 매질하나하나의 입자가 스프링처럼 탄성으로 튕겨진 하나의 입자는 튕겨진 다음에 재차 고유한 힘에 의하여 원래 위치를 지나치는 단진동 현상이 되풀이되어 이루어진다. 이런 매질의 존재에 의해 소밀파(또는 탄성파)로 전파하게 되어 진행방향과 매질입자의 단진동방향이 같은 선상에서 이루어지기 때문에 종파라 한다. 즉, 공기중에서 물체가 진동하면 그 주변의 공기입자(매질)가 순간적으로 압축되어 밀(密)하게 되고 탄성에 의해 소(疏)하게 되어 연속적으로 압력변동의 형태가 되어 <그림 2-1>과 같은 모형으로 공기중으로 퍼져 나간다.

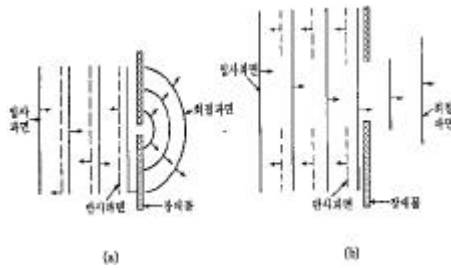


<그림 2-1> 대기중에서의 소음전달 모형

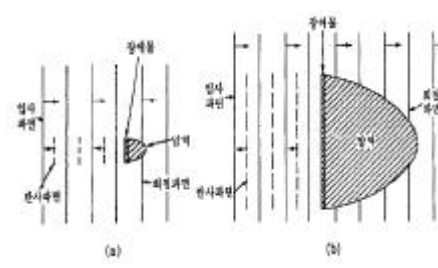
### 2.1.3 음의 성질

#### 1) 회절(Diffraction)

음은 파동에 의해 전파되므로 장애물 뒤쪽에도 어느 정도 음이 전달하게 되는데 이런 현상을 회절이라 한다. 회절현상은 음의 파장이 큰 저주파일수록, 장애물이 작을수록 회절이 잘 이루어진다. 평면파가 입사할 경우 회절현상이 파장에 비해 틈새가 작은 경우, 틈새가 큰 경우 및 장애물이 작은 경우와 큰 경우의 회절현상을 <그림 2-2> 및 <그림 2-3> 평면파의 회절현상에 나타내었다.



<그림 2-2> 틈새에서의 평면파의 회절현상



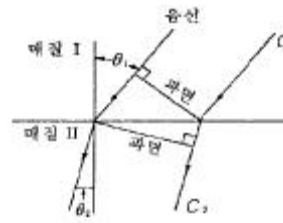
<그림 2-3> 장애물에 의한 평면파의 회절현상

## 2) 굴절(Refraction)

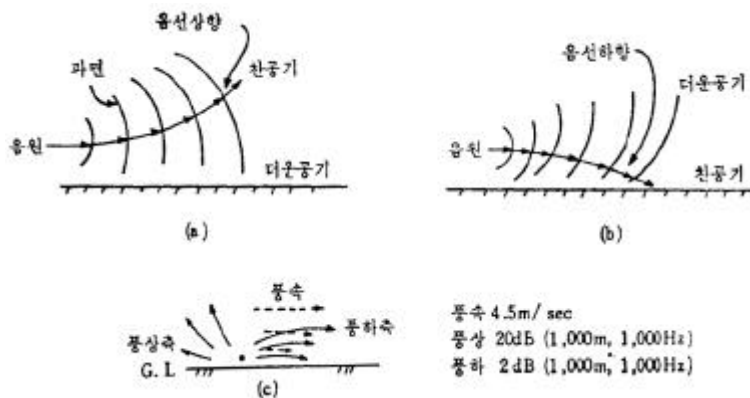
음파는 한 매질에서 다른 매질로 통과할 때, 또는 동일매질이라도 온도차에 의해 구부러지는 현상을 굴절이라 한다. 두 매질사이의 음속비는 (식 2-1)과 같으며 <그림 2-4>에 나타내었다.

$$c_1 / c_2 = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} \quad (\text{식 2-1})$$

또한 온도차에 의한 굴절현상은 음선이 온도가 낮은쪽으로 구부러져 전파되며 <그림 2-5>과 같다.



<그림 2-4> 매질간 음파의 굴절

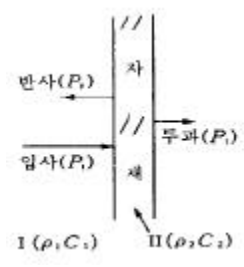


<그림 2-5> 온도차에 의한 음파의 굴절현상

### 3) 반사(Reflection) · 투과(Transmission) · 흡수(Absorption)

음이 어떤 자재에 입사되면, 그 음에너지의 일부는 반사되고 자재에 흡수되어 열에너지로 변환되며, 나머지는 투과된다.

이들의 특성을 식으로 나타내면 다음 (식 2-2)와 같고,



<그림 2-6> 소음의 전달특성

$$P_i + P_r = P_t \quad (\text{식 2-2})$$

$$v_i + v_r = v_t = \frac{P_i}{\rho_1 C_1} - \frac{P_r}{\rho_1 C_1} = \frac{P_t}{\rho_2 C_2} \quad (\text{식 2-3})$$

반사계수  $\gamma$ 는 다음 식과 같다.

$$\gamma = P_r / P_i = (\rho_2 C_2 - \rho_1 C_1) / (\rho_2 C_2 + \rho_1 C_1) \quad (\text{식 2-4})$$

이로서 반사율  $\sigma$ , 흡음률  $\alpha$ , 투과율  $\tau$ 를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sigma = (I_r / I_i) = \gamma^2 = [(\rho_2 C_2 - \rho_1 C_1) / (\rho_2 C_2 + \rho_1 C_1)]^2 \quad (\text{식 2-5})$$

$$\alpha = (I_i - I_t) / I_i = 1 - \gamma^2 = 4(\rho_2 C_2 \times \rho_1 C_1) / (\rho_2 C_2 + \rho_1 C_1)^2 \quad (\text{식 2-6})$$

$$\tau = I_t / I_i \quad (\text{식 2-7})$$

### 4) 간섭(Interference)

2개 이상의 음파가 동시에 존재할 때 두 음파의 상호작용, 즉 두 음파의 마루와 마루가 겹쳐 보강되거나 마루와 골이 겹쳐 소멸되는 현상을 간섭이라 한다.

## 2.2 음의 전파 이론

### 2.2.1 음의 파동방정식 및 전파속도

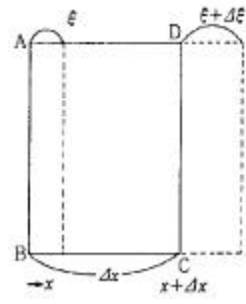
음의 전파이론을 파동방정식으로 표현하면 <그림 2-7>처럼 음파가  $\chi$ 방향으로 진행하고 그 진행방향에 수직으로 단위면적이 놓여있다고 가정하여 설명할 수 있다.  $\chi$ 점(AB면)의 음압을  $P$ ,  $\chi + \Delta \chi$ (CD면) 점의 음압을  $P + \Delta P$ 라 하면, AB면에서는 힘  $P$ 가 작동하고 CD면에서는  $-\chi$ 방향으로  $P + \Delta P = P + (\partial P / \partial \chi) \cdot \Delta \chi$ 의 힘이 작용되어  $\chi$ 방향으로 작용하는 순수한 힘이 된다. 이로 인해 AB면에  $\xi$ 만큼의 변위가 일어났다면 다음과 같이 나타낼 수 있고,

$$-\frac{\partial P}{\partial \chi} = \rho \left( \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} \right) \quad (\text{식 2-8})$$

$$\therefore \left( \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} \right) = -\frac{1}{\rho} \left( \frac{\partial P}{\partial \chi} \right) \quad (\text{식 2-9})$$

또한 음압 P가 작용하여 체적 V가 dV만큼 수축될 때 힘과 수축율과의 관계  $-\frac{P}{dV/V} = K$  의 식에  $dV/V = \partial \xi / \partial \chi$ 의 관계식을 대입하면,

$$P = -K \frac{\partial \xi}{\partial \chi} \text{로 나타나고, 이론식 (식 2-9)에}$$



<그림 2-7> 미소체적에  $\chi$  방향으로 작용하는 음파

대입하여 정리하면,

$$\left( \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} \right) = \frac{K}{\rho} \left( \frac{\partial^2 \xi}{\partial \chi^2} \right) \quad (\text{식 2-10})$$

이 된다.

한편 <그림 2-7>에서의 입자속도는 시간변화에 대한 입자변위 값으로

$$v = \frac{\partial \xi}{\partial t} = \frac{\partial \xi}{\partial \chi} \frac{\partial \chi}{\partial t} \quad (\text{식 2-11})$$

로 나타낼 수 있고, 음파가 전파하는 속도, 즉 음속  $C = \frac{\partial \chi}{\partial t}$  라 하면

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} = C \frac{\partial \xi}{\partial \chi} \quad (\text{식 2-12})$$

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = C^2 \left( \frac{\partial^2 \xi}{\partial \chi^2} \right) \quad (\text{식 2-13})$$

위와 같이 매질입자의 변위를 진동가속도로 표현하면 (식 2-10) 또는 (식 2-13)으로 되고 속도 및 음압을 이들 식과 같은 형태로 표현하는데 이를 파동방정식이라 한다.

한편 음속 C는 (식 2-10)과 (식 2-13)의 관계에 의해  $C^2 = K/\rho$ ,  $C = \sqrt{K/\rho}$ 로 되고, 밀도, 비열비, 압력, 온도와 팽창계수의 관계에 의해

$$C = \sqrt{b \cdot P / \rho_o} \times \sqrt{1 + \alpha t} \quad (\text{식 2-14})$$

로 나타낼 수 있다.

예를 들어, 표준상태(0°C, 1기압)에서의 음속을 구해보면,

$$C = \sqrt{b \cdot P / \rho_o} \times \sqrt{1 + \alpha t} = \sqrt{1.402 \times 1.013 \times 10^5 / 1.293} \times 1 = 331.42 \text{ m/s 가 된다.}$$

$$(\rho = 1.293 \text{ (kg/m}^3\text{)}, P = 1.013 \times 10^5 \text{ (N/m}^2\text{)}, b = 1.402)$$

따라서 음속은 절대온도의 평방근에 비례함을 알 수 있고, 습도 및 기압에도 영향을 받는다.

### 2.3 진동의 기초이론

정현적 가진에 의해 발생한 진동의 가장 단순한 형태는 <그림 2-8>의 조화진동 (Harmonic Vibration) 파형으로 나타낼 수 있다.

진동변위  $x$ 는

$$x = x_0 \sin(\omega t - \phi)$$

로 나타낼 수 있다.

진동수  $f$ 는  $f = \omega / 2\pi$  (Hz)

(식 2-16)

$\omega$ 는 강제 각진동수 rad/sec로 되고,  $2\pi$ rad은 360°로서 한 cycle을 의미한다. 즉, 진동수  $f$  (Hz)는 진동주기  $T$ 의 역수로 아래 (식 3-2)와 같다.

$$f = 1/T = \omega / 2\pi \text{ sec}^{-1}$$

(식 2-17)

위의 그림 및 식은 변위-시간에 대해 나타낸 것이며, 단위시간으로 1차, 2차 미분하여 속도 및 가속도치를 구하여 구할 수 있다.

$$\text{변위 } x = x_0 \sin(\omega t - \phi)$$

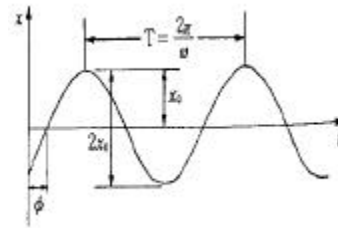
(식 2-18)

$$\text{속도 } x' (v) = dx/dt = \omega x_0 \cos(\omega t - \phi)$$

(식 2-19)

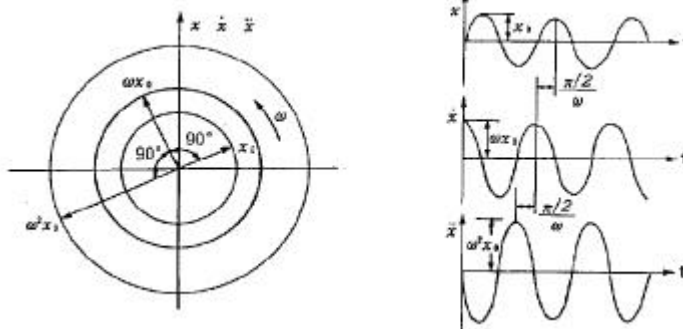
$$\text{가속도 } x'' (A) = d^2x/dt^2 = -\omega^2 x_0 \sin(\omega t - \phi)$$

(식 2-20)



<그림 2-8> 조화진동의 파형

(식 2-15)



<그림 2-9> 조화진동의 벡터표시 및 변위, 속도, 가속도의 위상도

위에서 위상각을 무시하고 sin함수로만 표시하면,

$$x = x_0 \sin \omega t$$

(식 2-21)

$$x'(v) = \omega x_0 \cos \omega t = \omega x_0 \sin(\omega t + \pi/2) \quad (\text{식 2-22})$$

$$x''(A) = -\omega^2 x_0 \sin \omega t = \omega^2 x_0 \sin(\omega t + \pi) \quad (\text{식 2-23})$$

와 같으며 변위, 속도, 가속도의 벡터표시와 위상을 그림으로 나타내면 다음과 같다.

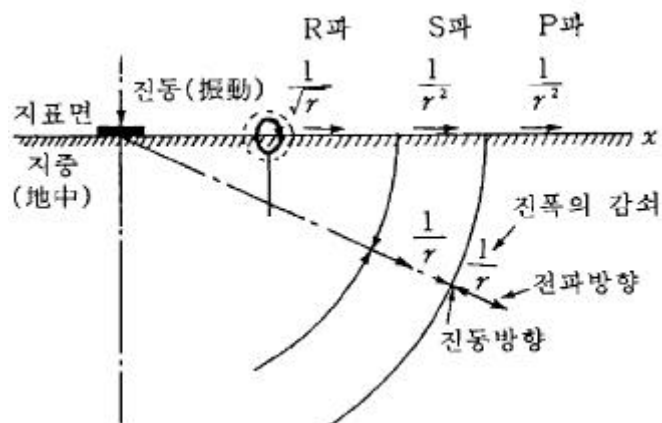
## 2.4 진동의 전파이론

### 2.4.1 진동의 발생원

진동의 발생원은 기계의 회전운동에 의한 관성력, 왕복운동에 의한 관성력, 특히 건설공사에 투입되는 항타기 등의 중량물 낙하에 의한 충격력 그리고 발파에 의한 진동을 들 수 있다.

### 2.4.2 진동의 전파특성

진동은 매질의 탄성응력에 의해 전파되어 가는 것이다. 체적압축파 한가지만의 응력파형이 존재하는 기체 및 액체와 비교하여, 지반이나 건물에서에서의 진동은 탄성 즉 고체에서는 전단파(Shear wave)가 존재하며 이는 비틀림의 파형을 이룬다. P파와 S파는 모두 3차원공간을 전파하는 입체파이다. 파가 상이한 매질 즉 지반과 공기, 지반과 물, 매우 다른 탄성을 지닌 지층을 지날때에는 다른 형태의 표면파가 발생하는데 이것이 우리가 진동중에서 가장 중요시 여기는 Rayleigh파이다. P파는 소음의 소밀파와 같은 형태의 전파특성을 갖는 것으로 지표면에서 P파의 진폭은 진동원으로부터 거리  $r$ 의 제곱에 반비례하고, 지중에서는 거리에 반비례한다.



<그림 2-10> 진동파의 전파특성 및 진폭감쇠

다음으로 횡파가 전파하는데 전단파 또는 S파라 칭하고 파의 진행방향에 따라 지표면에 연직방향으로 진동하는 파를 SV파, 수평방향으로 진동하는 파를 SH파로 구분한다. 횡파의 진폭은 지표면에서 거리의 제곱  $r^2$ , 지중에서 거리  $r$ 에 반비례하여 감쇠하고 이들 종파(P파)와 횡파(S파)를 총칭하여 실제파라 한다.

이들 각 파의 거리에 따른 진폭감쇠와 진동파의 전파형태를 <그림 2-10>에 나타내었다.

#### 2.4.3 진동파의 종류

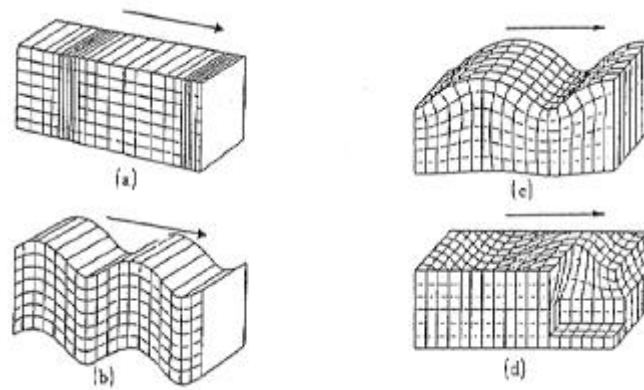
진동원에서 발생한 진동은 지반을 따라 전파속도  $V$ 로 전파되고, 주요 진동파로는 진동을 전달하는 매질입자의 진동방향이 파의 전파방향과 일치하는 종파(P파), 매질의 진행방향이 전파방향과 직각인 횡파(S파), 그리고 매질이 파의 진행방향을 포함하는 연직면내에서 타원진동하고 진동파의 진폭이 지표면에서 깊어짐에 따라 현저히 감소하는 표면파가 있다.

파의 종류에 따라 간단히 기술하면 다음과 같다.

- ① 종파(P파) : 매질의 체적변화에 대한 저항이 원인이 되어 발생되며, 종파는 음이 공기중을 전파하는 것과 같이 압축파의 형태로 진동의 진행방향으로 전파되는 파를 말한다.
- ② 횡파(S파) : 매질의 변형에 대한 저항이 원인이 되어 발생하는 파로서 전단파라고도 한다. 또한 파가 지표면을 따라 전파될 때 지표면과 수직방향으로 전파되는 파를 SV파와 수평방향으로 전파되는 SH파로 구별된다.
- ③ 표면파 : Rayleigh파와 Love파로 나누어지며, Rayleigh파는 원통형으로 타원진동하고 거리에 따른 감쇠가 적고 파 에너지의 약 67%를 차지하여 표면파의 주종을 이룬다. Love파는 기반위에 비교적 연약한 표층이 있는 경우에 존재한다.

지표면에 가진한 진동의 전파형태를 <그림 2-11>에 나타내었다.

각 파의 전파방향, 입자진동방향 나타낸 것이 <그림 2-11>이며, 지반매질에 따른 진동파 전파속도의 개략치를 [표 2-1]에 나타내었다. 이는 진동의 전파속도는 P파>S파>R파(표면파)로 S파는 P파의 58%, R파는 53%로 이며, 파 에너지는 Rayleigh파 67%, 횡파 26%, 종파 7%의 비율로 표면파가 주종을 이루고 있음을 알 수 있다.



Body waves : (a) longitudinal wave (b) transverse wave

Surface waves : (c) rayleigh wave (d) love wave

<그림 2-11> 탄성파의 형태

[표 2-1] 진동파의 전파속도의 예

| 매질의 종류 |         | P파 속도 $U_p$ (m/s) | S파 속도 $U_s$ (m/s) | 밀도 $\rho$ ( $\text{kg/m}^3$ ) | 비 고                 |
|--------|---------|-------------------|-------------------|-------------------------------|---------------------|
| 층적층    | 점성토     | 250 700<br>(1500) | 80 160            | 1200 1600                     | 지표면<br>↑<br>↓<br>지중 |
|        | 사질토     |                   | 60 200            | 1600 1800                     |                     |
|        | 사력(砂礫)  |                   | 250 350           | 1800 2000                     |                     |
| 홍적층    | 흙(loam) | 1000 2000         | 140 200           | 1400 1600                     |                     |
|        | 점성토     |                   | 160 250           | 1400 1600                     |                     |
|        | 사질토     |                   | 200 350           | 1700 1900                     |                     |
|        | 사력(砂礫)  |                   | 300 600           | 1800 2200                     |                     |
| 암      | 연이암(泥巖) | 2000 3000         | 600 1000          | 2200 2600                     | 지중                  |
|        | 암사암(砂巖) | 2000 3500         | 700 2000          | 2500 2700                     |                     |
| 석      | 경화강암    | 4000 5700         | 2100 3300         | 2600 2800                     |                     |
|        | 암현무암    | 4000 6700         | 2500 3800         | 2800 3000                     |                     |

### 3. 소음진동 계측단위의 이해

#### 3.1 소음 단위의 이해

##### 3.1.1 데시벨(dB : deci bel)

소음의 크기를 나타내는데 사용되는 단위로서, 사람의 감각량은 자극량에 대수적으로 변한다는 Weber-Fechner의 법칙에 의해 설명된다.

$\Delta S$ 는 감각량의 변화량,  $\Delta I$ 는 자극량인 음의 세기 변화량이라고 하면

$$\Delta S = \frac{\Delta I}{I} \quad (\text{식 3-1})$$

이를 적분하면

$$\Delta S = K \log I \quad (\text{식 3-2})$$

최소가청음의 세기를  $I_0$ , 그때의 레벨을  $SIL_0$ 라 하면

$$SIL - SIL_0 = K \log I - K \log I_0 = K \log \left( \frac{I}{I_0} \right) \quad (\text{식 3-3})$$

$$SIL = K \log \left( \frac{I}{I_0} \right) \quad (\text{식 3-4})$$

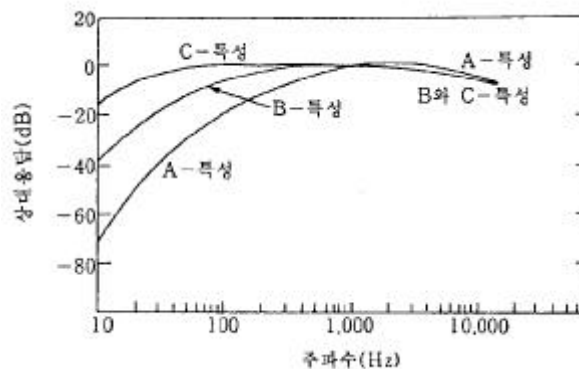
$K=1$  일 때 단위가 B(Bel)로 사람이 가청할 수 있는 최소가청음의 세기  $10^{-12} \text{ W/m}^2$ 에서부터 최대가청음의 세기 까지를  $10 \text{ W/m}^2$  까지를 B로 나타내면 0 ~ 13에 지나지 않는다. 따라서 이를 좀 더 세분하여 나타내기 위하여  $K=10$ 으로 한 dB(decibel) 단위를 쓰면 0 ~ 130dB로 표현할 수 있으므로 이 단위를 쓴다. 즉 dB은 소음의 무차원 비교단위 값이다.

### 3.1.2 소음레벨 (SL : Sound Level, 소음도)

소음계의 청감보정회로 A, B, C를 통하여 측정한 값을 말하며, 음압레벨(SPL : Sound Pressure Level)에 주파수에 따른 청감보정회로에 의한 주파수 대역별 보정치를 가한 값으로 사람이 느끼는 정도의 소음레벨을 dB(A)로 환경법에서 규정하고 있다.

$$SL = SPL(SIL) + L_R \text{ dB(A)} \quad (\text{식 3-5})$$

$L_R$  : 주파수 대역별 보정치



<그림 3-1> 청감보정회로별 상대응답

### 3.1.3 등가소음도(Leq : Energy Equivalent Sound Level)

변동이 심한 소음의 평가법으로 소음에너지를 시간적으로 평균하여 이를 대수 변환시킨 값이다. 현행 환경법에서 건설소음의 경우 등가소음도를 적용하고 있다.

$$L_{eq} = 10 \log \left( \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} 10^{L_i/10} dt \right) \text{dB(A)} \quad (\text{식 3-6})$$

또는

$$L_{eq} = 10 \log \left( \sum_{i=1}^n f_i \times 10^{L_i/10} \right) \text{dB(A)} \quad (\text{식 3-7})$$

여기서,  $f_i$  : 일정소음레벨  $L_i$ 의 지속시간율,  $L_i$  :  $i$ 번째의 소음레벨

## 3.2 진동 단위의 이해

### 3.2.1 진동가속도레벨(VAL : Vibration acceleration level)

소음에서의 음압레벨과 같이 물체나 지반에서의 진동가속도를 비교단위인 dB로 나타내는 물리량의 크기로 다음 식으로 정리된다.

$$VAL = 20 \log \left( \frac{A}{A_0} \right) \quad (\text{식 3-8})$$

$A_0$ 는 사람이 느낄 수 있는 최소진동가속도 실효치로서 한국, 일본, 미국에서는  $10^{-5} \text{m/s}$ , 유럽에서는  $10^{-6} \text{m/s}$ 이 사용되고 있다. 한편 실효치의 의미는 정현진동에서 한 주기간의 정부(正負)진폭을 합할 경우 에너지 작용이 있었음에도 불구하고 진폭의 합은 0이 되는 점을 배제하기 위해 진동변화량을 제공한 후 소요시간으로 나누어 평방근한 값을 실효치라 한다. 이를 식으로 나타내면 (식 3-9)와 같다.

$$A = \sqrt{(1/T) \cdot \int_0^T A_i^2 dt} = A_m / \sqrt{2} \quad (\text{식 3-9})$$

$A$  : 진동가속도 순시치 ( $A_m \sin \omega t$ )       $A_m$  : 진동가속도 피크치

### 3.2.2 진동레벨(VL : Vibration level)

위의 진동가속도레벨은 인체감각을 고려하지 않은 그 자체 물리량의 표시이나, 진동이 인체 또는 건물 등에 미치는 영향은 진폭 및 진동수에 의존하며 연직진동과 수평진동에서 감지방법이 다르다. 따라서 ISO에서의 인체의 진동에 대한 폭로기준에 의하여 진동가속도레벨에 주파수에 의한 인체진동 감각을 하고 있어, 연직방향에 대한 주파수를 보정한 진동레벨은 (식 3-10)과 같다.

$$VL = VAL + W_n \text{ dB(V)} \quad (\text{식 3-10})$$

$W_n$ 은 (식 3-8)의 VAL에 있어  $A_0$ 를 다음 식과 같이 주파수마다 보정하여 적

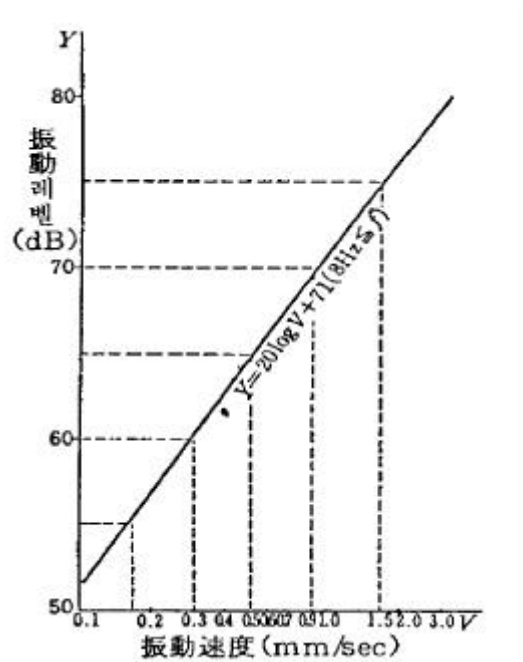
용한 것으로 한 것이다.

$$\left. \begin{array}{ll} 1 \leq f \leq 4 & A_0 = 2 \times 10^{-5} f^{-1/2} \text{ m/sec}^2 \\ 4 \leq f \leq 8 & A_0 = 10^{-5} \text{ m/sec}^2 \\ 4 \leq f \leq 8 & A_0 = 0.125 \times 10^{-5} f \text{ m/sec}^2 \end{array} \right\} \quad (\text{식 3-11})$$

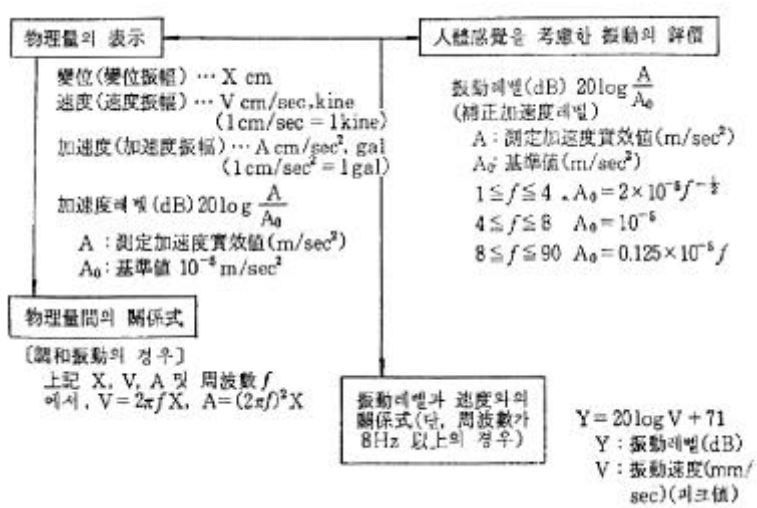
또한 단순조화진동에서 진동속도의 peak치와 진동레벨과의 사이에서 진동수 8Hz 이상에서는 이론적으로 다음의 관계식이 성립한다.

$$Y(\text{dB}) = 20 \log V(\text{mm/s}) + 71 \quad (\text{식 3-12})$$

<그림 3-2>는 이 관계를 도시한 것이며, 변위, 속도, 가속도레벨, 진동레벨의 관계를 연직방향에 대해 도식화 한 것이 <그림 3-3>과 같다.



<그림 3-2> 진동레벨과 진동속도와의 관계



<그림 3-2> 진동의 단위관계

## 4. 건설소음 · 진동의 특이성(발생원)

### 4.1 건설소음 및 진동의 특성

건설소음 · 진동은 공장, 도로교통, 철도 및 항공기 소음 · 진동 등과 달리 많은 특징을 갖고 있다. 건설소음진동이 다른 소음진동과 뚜렷이 다른 점을 살펴보면 다음과 같다.

- 건설공사가 진행되는 동안만 발생하여 다른 소음 · 진동과 같이 영속적이지 않다.
- 해당 공종에 따라 소음 · 진동도의 범위가 크게 변화된다.
- 서로 다른 음색을 갖는 음이 복합된 소음이다.
- 충격성을 갖고 있다.
- 음원의 위치가 고정되어 있지 않고, 이동하며 현장을 출입하는 대형트럭 등으로 소음 · 진동영향의 대상권이 넓어진다.

### 4.2 발생공종 및 장비별 소음진동도

건설공사를 수행함으로 인해 발생하는 장비별 · 거리별 소음진동도를 살펴보면 대략 다음과 같다.

[표 4-1] 공종별 건설기계의 작동원리에 따른 소음도

| 공 종          | 기 계 명                             |         | 작동원리 | O.A 소음도(dB(A))   |          |                 |          | 측정<br>대수 | 비고                          |
|--------------|-----------------------------------|---------|------|------------------|----------|-----------------|----------|----------|-----------------------------|
|              |                                   |         |      | 7m               |          | 15m             |          |          |                             |
|              |                                   |         |      | 범위               | 평균       | 범위              | 평균       |          |                             |
| 지반정지<br>공사   | 굴삭기<br>굴삭기<br>불도우저<br>로우더<br>그레이더 |         | 유압식  | 73/94            | 82       | 66/85           | 75       | 41       | 작업중<br>high idle중           |
|              |                                   |         | 〃    | 72/86            | 81       | 65/81           | 74       | 11       |                             |
|              |                                   |         | 〃    | 80/90            | 84       | 73/84           | 78       | 14       |                             |
|              |                                   |         | 〃    | 70/94            | 87       | 69/84           | 80       | 9        |                             |
|              |                                   |         | 〃    | 78/90            | 83       | 69/82           | 77       | 8        |                             |
|              | 다짐<br>기계                          | 로울러     | 정압식  | 74/90            | 81       | 67/85           | 75       | 17       | 비전동식<br>전동식<br>휴대용<br>굴삭기장착 |
|              |                                   | 로울러     | 원심식  | 76/86            | 82       | 69/81           | 74       | 15       |                             |
|              |                                   | 램머, 콤팩터 | 충격식  | 78/80            | 79       | -               | -        | 2        |                             |
|              |                                   | 법면다짐기   | 충격식  | -                | 90       | -               | -        | 1        |                             |
|              |                                   |         |      |                  |          |                 |          |          |                             |
| 콘크리트<br>공사   | 콘크리트플랜트<br>콘크리트 믹서<br>콘크리트 펌프카    |         | -    | -                | 82       | -               | -        | 1        | 플랜트1조<br>믹서에서<br>1m         |
|              |                                   |         | -    | 87/95            | 90       | -               | 80       | 3        |                             |
|              |                                   |         | 유압식  | 80/88            | 84       | 72/81           | -78      | 3        |                             |
| 포장공사         | 아스팔트 플랜트<br>아스팔트 피니셔              |         | -    | 79/92            | 85       | 76/86           | 80       | 6        | 플랜트 1조<br>작업중               |
|              |                                   |         |      | 76/83            | 80       | 71/77           | 74       | 4        |                             |
| 파괴 및<br>해체공사 | 브레이커<br>압쇄기                       |         | 유압식  | 90/ 103<br>81/84 | 98<br>82 | 84/ 97<br>76/80 | 91<br>78 | 11<br>3  | 작업중                         |

[표 4-2] 공사장비별 진동레벨

| 기계명    | 진동레벨(dB(V)) |     |     |     |
|--------|-------------|-----|-----|-----|
|        | 포장으로부터의 거리  |     |     |     |
|        | 5m          | 10m | 20m | 30m |
| 디젤파일햄머 | 84          | 78  | 72  | 68  |
| 진동파일드릴 | 80          | 73  | 66  | 63  |
| 타이어로다  | 82          | 72  | 60  | 52  |
| 드롭햄머   | 84          | 76  | 67  | 62  |
| 불도저    | 75          | 73  | 70  | 67  |
| 포장파쇄기  | 77          | 72  | 68  | 62  |
| 덤프트럭   | 66          | 62  | 56  | 49  |

#### 4.3 발파 소음·진동

발파소음진동은 발생하는 시간이 대부분 수초 이내로 소음 및 진동지속시간이 짧지만, 불편을 호소하는 경우가 많고 비교적 멀리까지 전달되는 특징을 가지고 있다. 발파의 경우 소음·진동도의 증감에 미칠 수 있는 영향인자가 많아 공사관

계자들을 당황시키는 일이 종종 발생한다. 따라서 발파로 인한 소음진동을 보다 정확히 예측하고 이로 인한 피해를 최소화하기 위해서는 시험발파를 통해 현장상황에 적합한 방법을 선정하는 것이 중요하다. 시험발파에 의한 소음·진동 예측식을 얻기 위해서는 최소한 30개 이상의 데이터가 필요하다는 주장이 있으나, 가능한 많은 데이터를 토대로 하여야 할 것이다.

#### 4.3.1 발파소음의 예측

발파풍압이 일반 건설소음과 다른 점은 비교적 저주파로서 감쇄가 없이 멀리까지 전달되며, 구조물에 미치는 영향은 크지 않으나 건물이나 유리창 등에 반사되어 2차적인 소음의 영향을 미치게 된다. 발파풍압의 예측은 진동 예측식과 같이 환산거리에 의한 방법과 장약량에 의한 방법으로 나눌 수 있다.

##### i. 환산거리에 의한 방법

$$P = K \left( \frac{R}{W^{1/3}} \right)^n \quad (\text{식 4-1})$$

##### ii. 장약량에 의한 방법

$$P \text{ (mbar)} = 700 \frac{Q^{1/3}}{R} \quad (\text{식 4-2})$$

#### 4.3.2 발파진동속도의 예측식

발파진동속도는 지발당 장약량 및 거리와 밀접한 관계를 갖고 있다. 그리고 발파장소와 인근 구조물의 기하학적 형태, 대상암반의 지질학적 특성 및 역학적 성질 등 입지조건과 폭약의 종류, 장약량, 기폭방법, 전색상태, 자유면 수 등 여러 발파조건에 따라 발파진동의 전파특성이 결정된다.

지금까지 많은 학자들에 의해 연구되어 적용가능한 식이 발표되어 왔으나 환산거리식이 가장 많이 사용되고 있다. 환산거리식은 다음과 같이 정의된다.

$$v = K \left[ \frac{D}{b\sqrt{W}} \right]^{-n} \quad (\text{식 4-3})$$

|              |                       |
|--------------|-----------------------|
| $v$ : 최대진동속도 | $D$ : 진원과 구조물 사이의 거리  |
| $W$ : 단당 장약량 | $K$ : 입지상수            |
| $n$ : 감쇠지수   | $b$ : 장약형상에 따라 2 또는 3 |

$SD = \frac{D}{b\sqrt{W}}$  를 환산거리라 하며,  $b$ 가 2인 경우 자승근 환산거리, 3인 경우 삼승근 환산거리라 한다. 이는 통계적 처리를 위해 로그정규분포의 표준편차를 적

용할 수 있도록 최소한 30개 이상의 자료(환산거리에 따른 최대진동속도치)를 획득하여 95% 신뢰도를 갖는 선형 회귀분석식을 사용하여야 한다.

Hendron과 Oriad의 자승근 환산거리와 삼승근 환산거리 관계를 보면 30m 이상의 거리에서는 자승근 환산거리가 그리고 6m 이하의 거리에서는 삼승근 환산거리가 안전율이 높은 것으로 나타났다. 따라서 일반적으로 가까운 거리에서 발파작업을 할 경우 삼승근환산거리를, 원거리에서는 자승근 환산거리를 적용하는 것이 안전하다고 볼 수 있다.

## 5. 구조물에의 허용진동기준에 대한 고찰

구조물에의 진동규제기준은 구조물자체의 손상과 진동발생 즉시 피해가 발생되지 않더라도 잠재적인 손상요인으로 작용할 수 있고 구조물내에 설치되어 있는 기기에의 영향 등 여러요인들에 대한 포괄적인 기준을 설정하는 것은 어려운 일이다. 또한 넓은 가옥에서부터 견고한 구조물까지 구조물의 구성요소 및 종류에 따라 다른 진동기준이 적용되어야 하나 아직 그렇게 세부적인 기준이 마련되어 있지 않은 실정이다.

더구나 우리나라에서는 아직 구조물에 대한 진동규제기준이 마련되어 있지 않아 외국의 기준을 무분별하게 도입하여 적용하는 사례가 많다. 이에 외국의 주요 기준들을 살펴보고, 이들을 적용함에 있어 좀더 타당성이 있는 배경을 갖출 필요가 있을 것이다.

### 5.1 국내기준

#### 1) 서울지하철 및 주택공사 등에서의 원용기준

국내의 통상허용기준은 구체적인 규제조항은 아직 규정되어 있지 않은 상태이며 서울시 지하철공사 발파작업에서 통상 적용하고 있는 기준은 독일의 DIN4150(1971년)을 기초로 하였으며, 진동주파수에 관계없이 대상구조물 형태를 4종류로 분류하여 0.2cm/s 에서부터 4.0cm/s 까지의 기준을 적용하고 있다.

| 건물형태                | 문화재, 컴퓨터 시설물 주변 | 주택, 아파트 | 상 가 | R.C건물 및 공장 |
|---------------------|-----------------|---------|-----|------------|
| 최대허용속도치<br>(cm/sec) | 0.2             | 0.5     | 1.0 | 1.0 4.0    |

2) 최근 제안된 기준(안) - (1996. 환경부, 한국자원연구소)

| 민감도<br>등급 | 대 상 건 축 물                                | 진동속도(mm/s) |           |        |
|-----------|------------------------------------------|------------|-----------|--------|
|           |                                          | <10Hz      | 10 ~ 40Hz | >40Hz  |
| I         | 공업지역 및 상업지역의 철근<br>콘크리트조의 산업용과 상업용<br>건물 | 15         | 15-45     | 45-50  |
| II        | 주거지역의 콘크리트,<br>벽돌조의 주거건물                 | 10         | 10-20     | 25-30  |
| III       | 조적조의 시멘트 블록조의<br>주거건물, 학교, 종교시설,<br>병원건물 | 5          | 5-15      | 15-20  |
| IV        | III등급의 건물이 개축된 건물,<br>역사적 보호건물           | 2.5        | 2.5-7.5   | 7.5-10 |

## 5.2 외국기준

### 5.2.1 독일의 진동기준(DIN 4150 part 3, 1986개정)

DIN 4150은 오랜기간에 걸쳐 수행된 실증적 실험 및 실제 사례의 분석결과를 토대로 마련된 것이며, 구조물에 미치는 진동영향의 평가와 관련된 주요한 평가항목을 포괄적으로 다루고, 그 방법 및 절차가 매우 합리적이고 체계적으로 짜여져 있는 것으로 정평이 나있다. 따라서 DIN4150에 대해서는 조금 상세한 고찰이 필요하다. 독일의 DIN 4150-Part 3(1986)은 일시진동과 정상진동(연속진동)에 대한 기준을 별도로 마련하고, 구조물 전체에 대한 것과 구조물 부재에 대한 것을 구분한 것이 특징이다. 그리고 진동속도치(입자속도)외에는 응력을 기준한 평가 및 특히 피로효과에 대한 내용, 나아가 진동침하에 대한 고려의 필요성을 언급하는 등 매우 세심하고 짜임새 있는 기준을 제시하고 있어 진동기준에 대한 하나의 표준적인 모델을 제공하고 있다.

#### 1) 정상진동(연속진동)

| Type of Structure                                                                                                                                                  | Horizontal Vibration Velocity in<br>mm/sec |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 1. Buildings used for commercial purpose<br>industrial buildings & buildings of<br>similar design                                                                  | 5                                          |
| 2. Dwellings and buildings of similar<br>design and/or use                                                                                                         | 5                                          |
| 3. Structures that because of their<br>particular sensitivity to vibration, do<br>not correspond to those listed in item<br>1 & 2 and are of great intrinsic value | 통계자료 없음                                    |

## 2) 일시진동(충격진동)

| Type of Structure                                                                                                                                                     | Vibration velocity, Vi, in mm/sec |          |           |                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|----------|-----------|----------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                       | Foundation                        |          |           | Plane of floor<br>of uppermost<br>full story |
|                                                                                                                                                                       | At a frequency of                 |          |           |                                              |
|                                                                                                                                                                       | less than<br>10Hz                 | 10- 50Hz | 50- 100Hz | Frequency<br>mixture                         |
| 1. Buildings used for commercial<br>purpose industrial buildings &<br>buildings of similar design                                                                     | 20                                | 20 to 40 | 40 to 50  | 40                                           |
| 2. Dwellings and buildings of similar<br>design and/or use                                                                                                            | 5                                 | 5 to 15  | 15 to 20  | 15                                           |
| 3. Structures that because of their<br>particular sensitivity to vibration,<br>do not correspond to those listed<br>in item 1 & 2 and are of great<br>intrinsic value | 3                                 | 3 to 8   | 8 to 10   | 8                                            |

### 5.2.2 미 국

국가규준으로 제정한 것은 없고, 특히 발파진동과 관련, 잘 알려진 미광무국(USBM) 및 노천광산국(OSM)의 기준을 토대로 "2 ips(inch per second)" 안전치 기준이 통용되고 있다.

#### 1) 미광무국(USBM) 기준

주파수 40Hz를 기준으로 40Hz이상의 진동주파수를 갖는 발파진동에 대해서는 5cm/s가 안전기준치로서 적용될 수 있으나 40Hz이하의 낮은 진동주파수를 갖는 발파진동에는 손상받을 확률이 높아 안전기준을 1.2cm/s로 낮추어야 할 것이 보고되었다.

| Type of Structures                                   | $f < 40\text{Hz}$ | $f > 40\text{Hz}$ |
|------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|
| Modern homes-drywall interiors                       | 0.75 in/s         | 2 in/s            |
| Older homes-plaster on wood lath for interiors walls | 0.5 in/s          | 2 in/s            |

#### 2) 노천채광청(OSM) 기준

가까운 거리에 있어서는 고주파수가 우세하고 먼거리에서는 저주파수가 우세하다 건물은 저주파 특성을 갖고 있으므로 공진할 경우 손상이 발생할 확률이 높으므로 먼거리에서의 허용입자속도 기준은 0.75inch/sec로 낮고 환산 거리는 65로 규정되어있다. 반면 가까운 거리에서의 허용입자속도 기준은

1.25in/ sec이고 환산거리 허용치는 50이다.

| Distance from the<br>blasting site | Max. allowable peak<br>particle velocity | Scaled distance factor to be<br>applied without seismic<br>monitoring |
|------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| ft                                 | in/ sec                                  |                                                                       |
| 0 - 300                            | 1.25                                     | 50                                                                    |
| 301 - 5000                         | 1.0                                      | 55                                                                    |
| 5001 and beyond                    | 0.75                                     | 65                                                                    |

### 5.2.3 스위스(1978년)

스위스도 독일처럼 국가규준으로 제정·적용하고 있다. 허용진동치를 발파진동과 교통·기계진동으로 명확히 구분하고 이들에 의한 탁월주파수 대역별로 허용진동 속도치를 규정하고 있는 것이 특징이다.

| 구조물 종류                                                                                                  | 발파진동    |          | 교통·기계진동 |          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|----------|---------|----------|
|                                                                                                         | 주파수범위   | 입자속도     | 주파수범위   | 입자속도     |
|                                                                                                         | 10 90Hz | (mm/sec) | 10 90Hz | (mm/sec) |
| 강구조 및 철근 콘크리트 구조물 :<br>공장건물/ 옹벽구조물/ 교량/ 철탑/ 개수로<br>구조물 : 지하터널 및 지하공동                                    | 10 60   | 30       | 10 30   | 12       |
|                                                                                                         | 60 90   | 30 40    | 30 60   | 12 18    |
| 기초벽이 있고 콘크리트 슬래브 콘<br>크리트 또는 석조재 벽체로 축조된<br>건물 ; 석조식 옹벽 느슨한 지층내<br>관거 : 지하터널 및 지하공동 중 석<br>조재 라이닝 처리한 것 | 10 60   | 18       | 10 30   | 8        |
|                                                                                                         | 60 90   | 18 25    | 30 60   | 8 12     |
| 석조재 벽체와 함께 목재 천장을 갖<br>고 있는 건물                                                                          | 10 60   | 12       | 10 30   | 5        |
|                                                                                                         | 60 90   | 12 25    | 30 60   | 5 8      |
| 역사적 가치가 있는 구조물 및 진동<br>예민 구조물                                                                           | 10 60   | 8        | 10 30   | 3        |
|                                                                                                         | 60 90   | 8 12     | 30 60   | 3 5      |

### 5.2.4 스웨덴 (Langefors등 1978년)

국가 전체기준은 없으나, 기초지반의 강성도를 고려하고, 구조물 진동속도(V)와 기초지반의 압축파 전파속도(VP)의 비율(V/VP)을 손상정도를 예측하는 척도로 제시한 것이 특징이다.

| 지반조건<br>진동범위               | 지하수 수준<br>이하의<br>점토,모래,자갈 | 회석(Morain),<br>슬레이트(Slate)<br>연약한 석회석 | 강한 석회석,<br>석영질 사암,<br>편마암,화강암,현무암 | 피해정도                    |
|----------------------------|---------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| 종파(P파)의<br>전파속도<br>(m/sec) | 300- 1500                 | 2000- 3000                            | 4500- 6000                        |                         |
| 발파진동속도<br>(cm/sec)         | 0.4- 1.8                  | 3.5 이하                                | 7.0 이하                            | 피해없음                    |
|                            | 0.6- 3.0                  | 5.5                                   | 11.0                              | 무시할 수<br>있는피해<br>(피해한계) |
|                            | 0.8- 4.0                  | 8.0                                   | 16.0                              | 균열생성                    |
|                            | 1.2- 6.0                  | 11.5 이상                               | 23.0 이상                           | 상당한<br>피해발생             |

## 6. 소음진동의 저감방안

건설소음·진동은 일반산업기계 소음진동과 크게 다른점은 발생원의 위치와 사용장비가 공중에 따라 변하고 영속적이지 않다는 것이다. 따라서 음색이나 진동 특성이 다른 사용장비 또는 발생원 수음(진)위치가 바뀔때마다 그에 적합한 대책을 강구하기는 쉽지 않을 것이다. 현실적으로 건설현장에서 시공성 및 경제성을 고려할 경우 눈에 띄만한 방음·방진대책을 현재로서는 찾기 힘든 실정이다.

다만, 기본적인 원인과 대책을 살펴보고 이를 토대로 응용하여 적용할 수 있는 방안을 마련하는 노력이 필요할 것이다.

### 6.1 건설소음의 저감방안

방음대책으로서는 다음과 같이 크게 3가지로 나눌 수 있다.

#### 6.1.1 음원 대책

실제적으로 건설공사에서 음원대책은 현재로서는 크게 효과적인 방안이 거의 없는 실정이다. 장비의 대부분이 대형으로 엔진의 흡·배기음 자체를 저감하는 것은 어려운 일이고, 항타기, 브레이커 등은 장비의 에너지를 작게 할 경우 원하는 작업효과를 얻을 수 없어 에너지를 한없이 작게 할 수도 없다. 하지만 가능한 소음의 발생을 줄이고 공사를 수행할 수 있도록 다음의 일반적인 방법을 검토할 필요가 있겠다.

- ① 등록된 저소음형 장비를 사용한다.

- ② 항타기 : 오거 천공기로 대체 사용하는 방법 또는 이동식 방음벽으로 타입하는 부분을 감싸 소음의 외부방출을 억제, 램이 충격하는 파일의 상부에 완충재를 사용하여 고음의 타격음 발생을 억제하는 방법 등을 들 수 있겠다.
- ③ 브레이커 : 유압식 파쇄기로 대체하거나, 암(岩) 소할(小割)이 목적이라면 소음의 영향이 없는 곳으로 이동하여 작업. 암을 파쇄하는 브레이커 날이 날카로운 것을 사용하여 필요이상의 타격음 발생을 억제.
- ④ 발파 : 다단발파, Nonel 또는 MS/LP 조합 등 가능한 단차를 늘려 지발당 장약량을 적게 한다. 전색깊이를 크게 하여 지표로부터 멀리서 폭발되도록 하며, 저폭속 폭약의 사용, 1회 굴진장을 줄여 작업하는 방법 등을 고려할 필요가 있겠다.

#### 6.1.2 전파경로 대책

소음의 전파 특성에 따라 소음원으로부터 전파되는 경로를 차단하는 방법으로 방음벽 설치로 흡음 또는 차음처리, 거리감쇠, 지향성변환을 들 수 있다.

방음벽 설치에 있어서는 경제성, 저감 목표량 등을 고려하여 사용할 방음벽을 선택할 필요가 있으며, 특히 발생음 특성(주파수 등)을 파악하여 그에 적합한 시공방법을 선정함이 중요하다. 지향성을 고려한 작업은 스피커 앞부분이 뒤쪽보다 큰 것이 좋은 예가 될 수 있다. 브레이커나 백호 작업시 가능한 소음영향대상을 뒤쪽에 위치한 상태에서 작업을 하는 것이 바로 그러한 방법중의 하나이다.

#### 6.1.3 수음점 대책

마스킹 효과(음폐효과)와 수음지점에 직접 방음처리를 하는 것이다. 마스킹 효과의 대표적인 예는 공사현장 부근에 가축사육지역이 있을 경우 공사가 시작되기 전 사육장에 음악을 틀어놓는 것이다. 점차 큰 음에 적응할 수 있도록 하여 음악 소리가 공사소음을 마스킹 하게끔 하는 방법이다. 발생원 지점에 방음처리가 불가할 경우 수음지점에 방음처리를 하는 방법으로 일반적으로 발생원쪽에서의 처리보다는 어렵고 효과가 작은 특징이 있다.

### 6.2 건설진동의 저감방안

방진대책 또한 방음대책과 같이 크게 3가지로 나눌 수 있다.

### 6.2.1 발생원대책

발생원 대책으로서 가진력감쇠, 탄성지지, 동적흡진 등이 있으나 영속적이지 않고, 공중에 따라 변화가 심한 건설현장에서는 현실적으로 위의 감쇠 방안을 적용하기는 어렵다. 다만 필요이상의 가진에너지를 제거하는 것과 특히 발파의 경우 과장약을 방지하는 방법이 있겠다. 또한 발파의 경우 진동의 크기는 지발당 장약량에 크게 의존하므로 지발당 장약량을 줄이는 방법으로 다단발파나 MS/DS 조합, 비전기식 뇌관(Nonel)을 사용한 발파 등으로 단차를 늘려 진동을 제어할 수 있는 방법과, 암특성에 맞는 폭약의 사용 및 1회 굴진장을 작게 하여 1회 발파 폭약사용량을 줄이는 방법 또한 있겠다.

### 6.2.2 전달경로대책

대표적인 것으로 방진구를 설치하는 방법과 방진벽 등이 있으나 실제 적용에는 여러 어려움이 있다. 방진구의 경우 실험보고에 의하면 방진구 깊이  $h = \lambda/4$  이상이 되어야 효과가 있어야하며, 매질의 차이를 이용한 방진벽설치 또한 실제로 적용하기가 매우 힘들다. 암을 파쇄하는 발파의 경우 pre-splitting과 같은 방법이 있지만, 실제로 큰 효과는 없는 것으로 알려져 있다.

### 6.2.3 수진점 대책

가진점의 탄성지지와 마찬가지로 수진측의 탄성지지 방법이 있으나 이 또한 현실적으로 어려운 문제이다.

## 7. 결 언

지금까지 소음/진동의 기초적인 이론과 건설현장에서의 소음진동 특성, 규제 기준 및 저감대책 등을 살펴보았다. 건설회사에 몸담고 있는 기술자라면 비록 비전문가라도 기본적으로 알고, 현장업무에 도움이 될 수 있는 내용들을 위주로 하려 노력하였다.

아쉽게도 아직까지 건설현장에 경제적이고 효과적으로 소음과 진동을 제어할 수 있는 방법이 그다지 많은 편이 못된다. 바꾸어 생각하면 우리들이 발견해내지 못한 방법들이 상대적으로 많이 있다고 볼 수 있겠다. 이들이 우리가 앞으로 현장 업무를 수행해 가면서 찾아가야 할 중요한 과제임을 인식하고 현장실무에서 이에 대한 관심과 노력이 필요할 것이다.

[참 고 문 헌]

1. 정일록, "소음 · 진동학", 신광출판사, 1999
2. 정일록, "소음진동 이론과 실무" 신광문화사 1995
3. 천병식 · 오재응, "건설기술자를 위한 지반진동 영향과 대책", 건설연구사, 1993
4. 양형식 역, "발파진동학" 구미서관, 1994
5. 소음진동공학회, " 건설공사장 소음 · 진동 저감방안 세미나", 1997
6. 강대우, "알기쉬운 발파공학", 구미서관, 1998
7. 대우 건설기술연구소, " 건설진동의 영향평가 및 대책에 관한 연구", 1988

# EPS를 이용한 토목공법

건설기술연구소 토목기사 김호비

## 1. 서 론

EPS(Expanded PolyStyrene)란 폴리스티렌 수지에 발포제를 첨가하여 가열·경화시켜 만든 재료로서 1952년 독일 BASF사에서 최초로 개발되어 명명된 '스티로폴'이라는 상품명으로 불린다. 그러나 실제 공학적 명칭은 'EPS' 또는 '발포폴리스티렌'이며 어업, 농업, 가전제품 등에 사용되어 온 EPS가 최초로 토목공법에 사용된 계기는 도로의 동상방지를 위한 것이었다. 최초의 EPS성토공법은 노벨상 수상자로 유명한 노르웨이 오슬로 동쪽 15km 지점 159번 국도에 도로포장층의 사하중 및 이탄층지반으로 인해 30년 동안 발생한 연간 10cm 정도의 침하를 해결하기 위해 1972년 노르웨이국립도로연구소(NRRL)에서 초경량성을 가진 EPS를 이용한 도로성토공법을 제안하였고 1973년 초까지 시공된 EPS는 시공 후 7년여까지 연평균 1cm 가까운 침하량을 보이다가 현재에는 침하가 거의 멈춘 상태이다.

이와 같이 노르웨이국립도로연구소에서 개발된 EPS 성토공법은 1977년 스웨덴 국립토질연구소(SGI), 1979년 프랑스 국립토목연구소(LCPC), 1986년 일본 EPS 토목공법 개발기구(EDO)등으로의 기술이전과 1985년 오슬로에서 처음 개최된 EPS 성토공법 국제회의 등을 통하여 전 세계적으로 알려지기 시작하였다

토목재료로서의 EPS는 토사의 1/100 정도의 초경량성(D-20(20kg/m<sup>3</sup>) 기준), 자립성, 시공의 우월성, 내압축성, 내수성 등의 뛰어난 장점을 지니고 있어 도로, 뒤채움지반의 성토, 구조물기초, 가설 및 복구분야 등에 폭넓은 적용이 가능하다.

본고에서는 "EPS배수재를 이용한 콘크리트옹벽시스템 연구"의 일환으로 분석된 EPS의 재료특성, 적용분야, 설계 및 시공방법, 국내사용실적에 대해 서술하여 EPS관련 기본사항 및 활용방법에 대해 간단히 소개하고자 한다.

## 2. EPS의 재료특성

EPS의 역학적 특성은 ASTM 등의 규정에 의해 일축압축시험, 삼축압축시험,

직접전단시험, 크리프시험 등을 통하여 평가할 수 있으나 여기서는 사용성 측면에서 살펴본 EPS의 재료특성에 대해서 살펴보기로 한다.

#### 1) 초경량성

EPS의 단위체적중량은 토사의 약 1/100정도이고 기존의 경량성토재와 비교하여도 약 1/10 - 1/50의 초경량재료이다. 연약지반이나 경사지역 등의 지반 강도가 작은 곳에 성토하면 하중을 크게 경감시켜 침하와 지지력문제를 해결할 수 있고 옹벽이나 교대 뒷채움재, 암거위 성토재로 사용하여 하중경감 대책으로 이용할 수 있으며 경량블럭체로서의 취급이나 인력에 의한 급속시공, 축조, 또는 매립재로도 활용 가능하다.

#### 2) 내압축성

EPS의 압축강도는 EPS의 단위체적중량에 따라 변화하지만 탄성영역내에서의 허용압축강도가  $0.3 - 1.4\text{kg/cm}^2$ 이므로 성토재료로서 적용 가능하다. 또한 EPS는 일축방향의 압축력을 초과하더라도 명확한 전단파괴가 발생하지 않는 특징이 있다. 따라서 EPS는 점착력이나 내부마찰각에 의해 구현되는 전단강도의 개념은 아니고 내압축재로서의 블럭을 쌓아올려 성토를 구축하는 것이다.

#### 3) 자립성

EPS 블럭을 연직으로 쌓아올리는 경우, 자립면이 형성되고 상단에 상재하중이 작용에 의해 유발되는 수평토압은 극히 작다. EPS블럭도 자립벽체의 자중은 무시할 수 있을 정도로 작으므로 수평토압은 발생하지 않는다. 따라서 EPS를 교대나 옹벽 등의 뒷채움재로 이용하는 경우에 구조물에 작용하는 수평토압을 대폭 경감시킬 수 있다. 또한 경사지에 확폭성토를 시행하는 경우에도 자중에 의한 토압은 발생하지 않으며, 벽면도 방호벽과 같은 구조물로 간편화할 수 있다.

#### 4) 내수성

EPS는 독립기포를 내장한 발포립의 집합체이므로 물과 결합하지 않는다. 그러므로 강우에 의한 침투수가 발생하는 일반적인 시공조건에서는 물의 흡수에 따른 재료 특성의 변화는 나타나지 않는다. 그러나 지하수위 아래에 EPS 블럭이 장기간 수침되는 경우, 기포들 사이로 물이 흡수될 수 있고, 연구결과에 의하면 9년간 수침된 EPS 블럭의 최대 흡수량은 체적의 약 9%정도인 것으로 나타났다.<sup>A aboe, 1987</sup>

#### 5) 시공성

EPS는 경량이기 때문에 시공시 대형 건설기계가 필요하지 않으며 인력시공

이 가능하므로 시공속도가 매우 빠르다. 따라서 급속시공이 요구되는 경우나 연약지반, 급경사지, 시공공간이 좁은 장소 등 대형기계의 사용이 어려운 곳에서의 시공이 용이하다.

#### 6) 경제성

EPS블록을 이용하여 연약지반상의 성토공사를 실시하면 지반개량공법이 불필요하며, 완성 후 계속되는 잔류침하 또한 발생하지 않기 때문에 보수 등의 유지관리비가 적게 들어 경제적이다. 또한 경사지에서의 성토공사, 확폭공사 등에서는 공사용지와 가설공사의 규모 등을 최소로 할 수 있으며, 신속한 시공에 의한 공기단축 및 인력시공에 의한 공기절감 효과 등을 얻을 수 있다.

### 3. EPS 성토공법의 적용분야

EPS는 블록 형태로 제조되어 토목공사에 이용된다. EPS블록을 연약지반상의 성토재로 적용한 경우, 침하 및 측방유동에 대한 활동이 억제되며 대폭적인 지반개량 등의 대책이 필요없다. 또한, EPS블록 상단에 콘크리트 슬래브 등의 포장인상재하중의 영향을 분산시키므로 도로 등의 성토재료로 이용하여도 차량하중에 대한 지지가 가능하다. 사면상에 성토를 하는 경우에도 EPS블록을 활용함으로써 안정된 상태가 가능하며 도로 및 골프장의 확장 등에도 이용할 수 있다.

EPS블록의 경량성과 자립성을 이용하여 암거위에 포설하는 경우 암거상단의 하중을 경감시킬 수 있고, 옹벽과 교대배면의 뒷채움재로 이용하였을 경우 수평토압을 상당히 감소시킬 수 있다. 특히 EPS블록 배면의 흠이 자연사면구배를 이루고 있다면 이론적으로는 벽체에 토압이 작용하지 않는다. 그밖에 재해복구 및 가설도로의 성토 등에 이용 가능하다.

#### 1) 성토분야

##### 가) 일반성토

침하저감, 부등침하 억제, 사면활동에 대한 안전을 확보, 유지관리비 절감



(도로 및 철도성토)



(기존 성토사이의 신설 성토)



(주택지 성토)

(사면활동 지역에서의 성토)

&lt;그림 3-1&gt; 일반성토에 EPS 블록의 적용

## 나) 일반 확폭성토

부등침하의 방지, 주변의 영향 완화, 성토의 조기 완성



&lt;그림 3-2&gt; 일반확폭 성토에 EPS 블록의 적용

## 다) 수직벽을 갖는 확폭성토

사면활동에 대한 안전율의 확보, 토류구조물의 간이화, 용지의 유효이용



(완경사지 확폭)

(급경사지 확폭)

&lt;그림 3-3&gt; 수직벽을 갖는 확폭성토에 EPS 블록의 적용

## 2) 구조물 뒷채움 분야

## 가) 교대 뒷채움

배면토압의 경감, 측방유동의 저감, 단차방지



&lt;그림 3-4&gt; 교대 뒷채움에 EPS 블록의 적용

나) 옹벽 및 호안 뒷채움

수평토압의 경감, 측방유동의 저감, 구조물 안전율 증진



(옹벽 뒷채움) (호안 뒷채움)  
<그림 3-5> 옹벽 및 호안 뒤채움에 EPS 블록의 적용

다) 자립벽

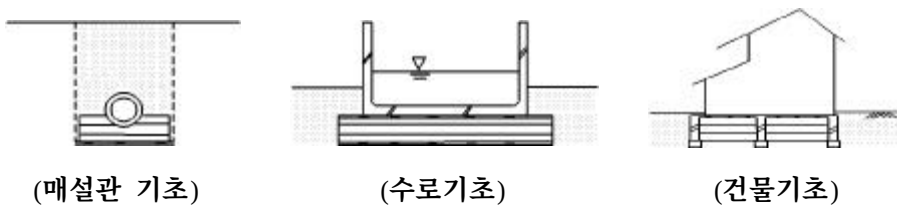
침하의 저감, 기초대책의 경감, 용지의 절약



(L형 자립벽) (U형 자립벽)  
<그림 3-6> 자립벽에 EPS 블록의 적용

3) 기초분야

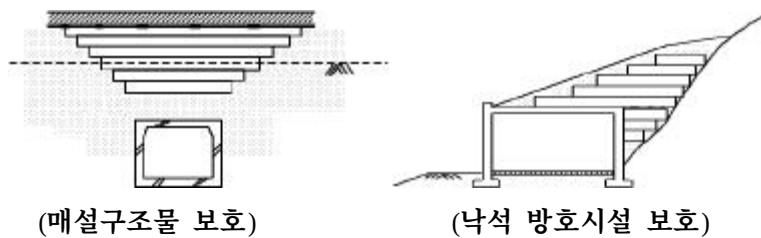
침하의 저감, 부등침하의 방지, 기초의 일체화



(매설관 기초) (수로기초) (건물기초)  
<그림 3-7> 기초분야에 EPS 블록의 적용

4) 구조물 보호분야

기존 구조물에서의 하중경감, 부등침하, 국부침하 방지



(매설구조물 보호) (낙석 방호시설 보호)  
<그림 3-8> 구조물 보호 분야에 EPS 블록의 적용

## 5) 구조물 채움분야

구조물의 하중경감, 다짐문제 해결, 공간활용



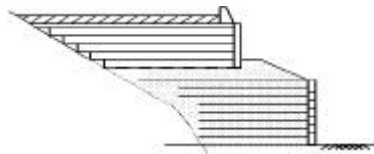
(구조물 사이의 채움)

(경사지 폐공간 채움)

&lt;그림 3-9&gt; 구조물 채움분야에 EPS 블록의 적용

## 6) 구조물 확장분야

급속시공, 간이시공, 기설 구조물에서의 하중경감



&lt;그림 3-10&gt; 보강토 구조물 확장에 EPS 블록의 적용

## 7) 가설·복구 분야

급속시공 및 철거, 시공의 간편성



(재해복구 성토)

(가설도로)

&lt;그림 3-11&gt; 가설 및 복구 분야에 EPS 블록의 적용

## 4. EPS 성토공법의 설계 및 시공

## 4.1 설계하중

일반적으로 EPS 성토공법의 설계에서 고려하는 설계하중은 토압, 자중, 재하하중, EPS 블록의 축압, 수압, 부력 등이 있다. 이러한 설계하중 이외에 고려대상 구

조물의 종류에 따라 풍하중, 적설하중 및 충격·제동하중 등이 있으나, 이러한 하중에 대해서는 EPS 공법의 적용목적 및 환경조건을 고려한 후 설계에 반영하는 것이 바람직하다.

#### 4.1.1 토압

EPS 성토공법의 적용분야 중 옹벽, 교대, 수직벽 분야 등은 원지반이나 혹은 성토층의 사면의 경사 정도에 의해 EPS 측압 뿐만아니라 토압을 고려해야 한다. 이때 구조물 배면에 작용하는 토압은 흙 성토층의 배면경사 및 지반강도 등에 의해 좌우된다. 즉, 대상 구조물 배면의 작용 토압은 배면경사( $i$ ) 및 뒷채움 흙의 내부마찰각( $\Phi$ )을 려하여 배면지반 경사가 흙의 내부마찰각 보다 작은 경우 토압을 고려하지 않고, 내부마찰각 보다 급한 경우 토압의 적용을 고려한다. 이때 배면토압의 크기 및 작용위치는 일반적인 옹벽에서와 같이 시행책기법으로 산정한다. [표 4-1]에서는 시행책기법으로 계산된 배면경사( $i$ ) 및 뒷채움 흙의 내부마찰각( $\Phi$ )에 따른 주동토압계수( $K_a$ )를 보여준다.

#### 4.1.2 상재하중

설계시 고려되는 상재하중은 적용 용도에 따라 다르나 일반적으로 EPS 상부에 재하되는 포장 및 도로시설 등의 자중(사하중)과 활하중이다. 이때 사하중 및 활하중 산정에 있어서 필요로 하는 각 재료의 일반적인 단위체적중량은 [표 4-2]와 같으며, 기본적으로 한국도로공사 도로설계요령의 기본값을 사용하는 것이 바람직하다.

[표 4-1] 배면경사( $i$ ) 및 뒷채움 흙의 내부마찰각( $\Phi$ )에 따른 주동토압계수( $K_a$ )

| $i \backslash \Phi$ | 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 4-2] 각 재료의 일반적인 단위체적중량

| 재 료       | 단 위 체 적 중 량           |
|-----------|-----------------------|
| 철근 콘크리트   | 2.50 t/m <sup>3</sup> |
| 무근 콘크리트   | 2.30 t/m <sup>3</sup> |
| 아스팔트 콘크리트 | 2.30 t/m <sup>3</sup> |
| 사질토 (다진것) | 1.90 t/m <sup>3</sup> |
| 성토 (다진것)  | 1.80 t/m <sup>3</sup> |

활하중은 도로의 경우 등분포하중으로써 통상  $q = 1\text{t/m}^2$ 으로 한다. 이것은 TL-20 하중을 그 차량점유면적( $7\text{m} \times 2.75\text{m}$ )으로 분포시킨 경우에 상당한다. 한편, 철도의 경우 활하중은 등분포하중으로  $q = 3\text{t/m}^2$ 로 한다.

#### 4.1.3 EPS 자중

현재 국내에서 성토용으로 사용되고 있는 EPS 블록의 생산규격은  $1.8\text{m} \times 0.9\text{m} \times 0.6\text{m}$ 이고, 일본에서의 표준규격은 EPS의 경우  $2\text{m} \times 1\text{m} \times 0.5\text{m}$ , XPS의 경우  $2\text{m} \times 1\text{m} \times 0.1\text{m}$ 이다. EPS는 폴리스틸렌 비드를 발포시킬 때의 발포 배율에 따라 밀도가 결정되는데, KS규격에서는 밀도크기에 따라  $30\text{kg/m}^3$ ,  $25\text{kg/m}^3$ ,  $20\text{kg/m}^3$ ,  $15\text{kg/m}^3$ 의 4종류로 EPS를 분류하고 있다. [표 4-3]에서는 EPS의 종류별 단위중량을 제시한 것이다.

[표 4-3] EPS의 종류별 단위중량

| 호 칭   | 제조법   | 발포배율 | 단위체적중량               |
|-------|-------|------|----------------------|
| DX-29 | 압출발포법 | 34.5 | 29 kg/m <sup>3</sup> |
| D-30  | 형내발포법 | 33.3 | 30 kg/m <sup>3</sup> |
| D-25  | 형내발포법 | 40.4 | 25 kg/m <sup>3</sup> |
| D-20  | 형내발포법 | 50.5 | 20 kg/m <sup>3</sup> |
| D-16  | 형내발포법 | 62.5 | 16 kg/m <sup>3</sup> |

#### 4.1.4 EPS 측압

옹벽 및 교대 등의 배면에 EPS를 사용하는 경우, EPS는 교통하중이나 토피하중과 같은 상재하중의 영향에 의해 재하응력에 상응하는 포아슨비 만큼의 수평방향 변형이 유발된다. 이때 EPS의 수평변형에 의한 발생 측압은 EPS의 탄성거동을 가정하여 벽체배면에 보통 상재하중의 10%를 설계측압으로 산정한다.

#### 4.1.5 수압 및 부력

EPS는 공학적 장점인 초경량성에 기인하여 설계시 부력에 대한 문제를 반드시 고려해야 한다. 따라서 EPS 성토공법의 적용은 현장 지하수위, 강우조건 등에 대한 세심한 검토를 필요로 한다. EPS를 지하수위 이하에 포설하는 경우, 부력은 지하수위하에 포설된 EPS 블록과 동등한 체적의 물의 단위중량( $\gamma_{whw}$ )이 안전율( $=1.2$ )을 고려하여 상향으로 작용하는 것으로 가정한다. 또한, EPS 설치개소에서 지하수면과 차이가 있는 경우는 그 수위차에 상당하는 정수압을 고려한다.

한편, EPS는 지하수위 아래에 장기간 침수된 경우, 내부에 물이 침입하여 단위중량이 증가한다. 일반적으로 EPS는 물을 흡수하지 않는 것으로 알려져 있으나, 지하수위 근처에서는 모관상승고(capillary rise; 약 20cm 정도)에 의해서, 지하수위 아래에서는 발포입자 사이의 틈새를 통해 흡수한다. 흡수량은 침수후 1~2일 사이에 대부분 발생하고 그 이후에는 서서히 증가하며, 수압이 클수록 흡수량도 증가하는 것으로 알려져 있다.

흡수량을 고려한 EPS의 단위중량은 설계시의 EPS 밀도 설정에 중요한 요소로서, EPS가 지하수위 위에 설치될 경우에는 1%(부피 백분율) 미만, 계절적으로 침수되는 경우에는 4%, 영구히 침수되는 경우에는 8~9% 정도를 고려하는 것이 일반적이다. 예를 들면 D-20(밀도  $20\text{kg/m}^3$ )의 EPS를 지하수위 아래에 사용할 경우, EPS 하중 계산에는 8% 정도의 흡수량을 고려하여 EPS 단위중량을  $100\text{kg/m}^3$ 로, 부력 계산시에는 안전율을 고려하여  $20\text{kg/m}^3$ 로 보고 설계하고 있다.

### 4.2 EPS 성토공법의 설계 원리 및 방법

EPS 성토공법의 설계는 전술한 바와 같이 EPS 블록의 초경량성, 자립성, 내수성, 내압축성, 시공성 및 경제성 등에 영향을 받으며, 특히 초경량성 및 자립성은 설계시 일반 흙과 다른 특성으로 인해 많은 이점 및 상이한 접근방식을 요구한다.

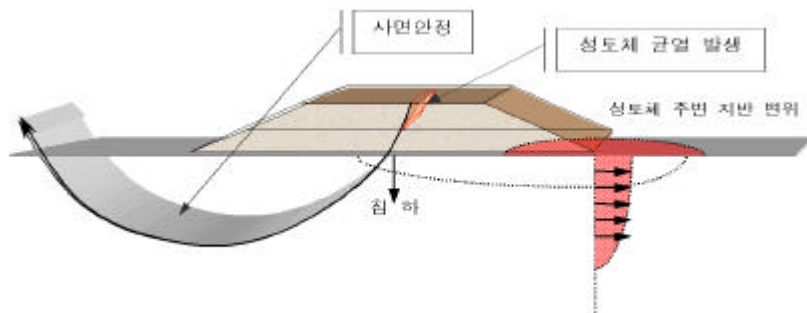
EPS 성토공법의 적용은 초경량성 및 자립성을 이용한 하중저감대책 및 토압저감대책으로 구분할 수 있다.

#### 4.2.1 하중저감대책

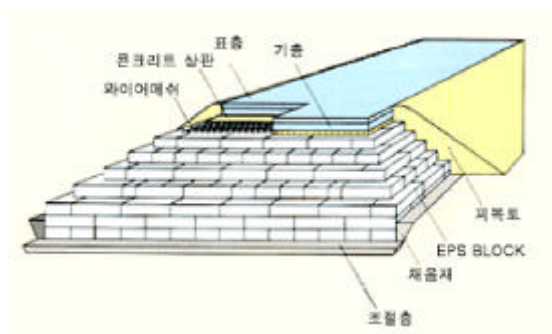
연약지반은 충적평야, 소택지, 산간의 계곡부 등 퇴적한 충적층의 자연지반으로 함수비가 높고, 지지력이 작은 퇴적층으로 이루어져 있다. 국내 도로건설에서 연약지반 판정은 점성토의 경우 N치 6 이하, 사질토의 경우 N치 10이하의 지반을 연약지반으로 간주한다. 한국도로공사 도로설계기준

연약지반상 도로건설은 성토하중에 의한 연약지반의 침하, 변형, 활동파괴, 그

에 따른 구조물의 변형 및 파괴 등을 야기시킨다. <그림 4-2>에서는 연약지반상 도로성토에 따른 주요 문제점을 보여주는데 이러한 지반구조물 파괴의 주요 원인은 도로성토에 따른 하중증가이다. 따라서 EPS 성토공법을 이용한 연약지반상의 도로구축은 EPS 블록의 경량성을 이용하여 원지반인 연약지반의 하중증가를 최대한 억제함으로써 전체적인 구조물의 안정성을 구축한다는 개념이다. 일반적으로 하중저감대책으로서 연약지반상 EPS 성토공법은 <그림 4-3>과 같고 (a)도로성토에 따른 EPS 부재응력 검토, (b)도로하중을 고려한 EPS 치환단면 설정, (c)지반침하의 검토, (d)현장 지하수위를 고려한 부력대책, (e)지반활동에 대한 안정성 등을 검토해야 한다.



<그림 4-2> 연약지반상 도로성토에 따른 주요 문제점



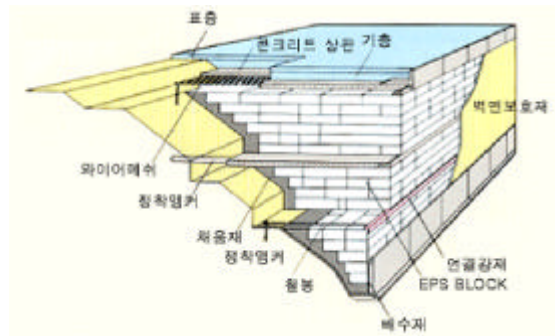
<그림 4-4> 하중경감대책

#### 4.2.2 토압저감대책

EPS 성토공법은 교대, 옹벽, 매설관거 및 암거의 토압저감 용도로도 활용될 수 있다. 일반적으로 지반에서의 수평토압은 토체 자중 및 상재하중과 전단저항에 의한 토체의 변형에 의해서 좌우된다. 그러나 EPS 블록에 의한 수평토압은 입자성

에 기초한 흙의 전단저항과 달리 자립성에 기인하므로 토압발생 메커니즘이 다르며 상재하중에 의해 유발되는 토압도 10% 정도로 매우 작은 특성을 가지고 있다. 건설재료의 관점에서 흙과 EPS 블록의 전단특성 차이를 살펴보면, 흙입자는 일반적으로 구속응력의 증가에 의해 전단강도가 커지는 경향을 보이는 반면에 EPS 블록은 구속응력에 정비례하여 전단강도가 커지지 않는다. EPS 블록은 원형의 비드를 발포시키고, 발포된 비드 상호간의 결합력 증대를 위해 코팅처리 후 가공기에서 블록형태로 열융합시킨 재료이므로, 구형의 단위 발포셀의 외력에 대한 압축저항성에 의해 전단강도가 발휘된다. 만약 EPS에 대한 구속응력을 지속적으로 증가시킨다면 EPS는 단위 발포셀의 파괴로 인한 블록 파괴에 도달하게 된다.

토압저감대책으로서의 EPS 성토공법은 <그림 4-4>와 같고 (a)상재하중에 의한 EPS부재응력 검토, (b)연직, 수평토압을 고려한 EPS 치환단면 설정, (c)지반침하의 검토, (d)현장 지하수위를 고려한 부력대책, (e)지반활동에 대한 안정성 검토 등을 수행해야 한다.



<그림 4-5> 토압저감대책

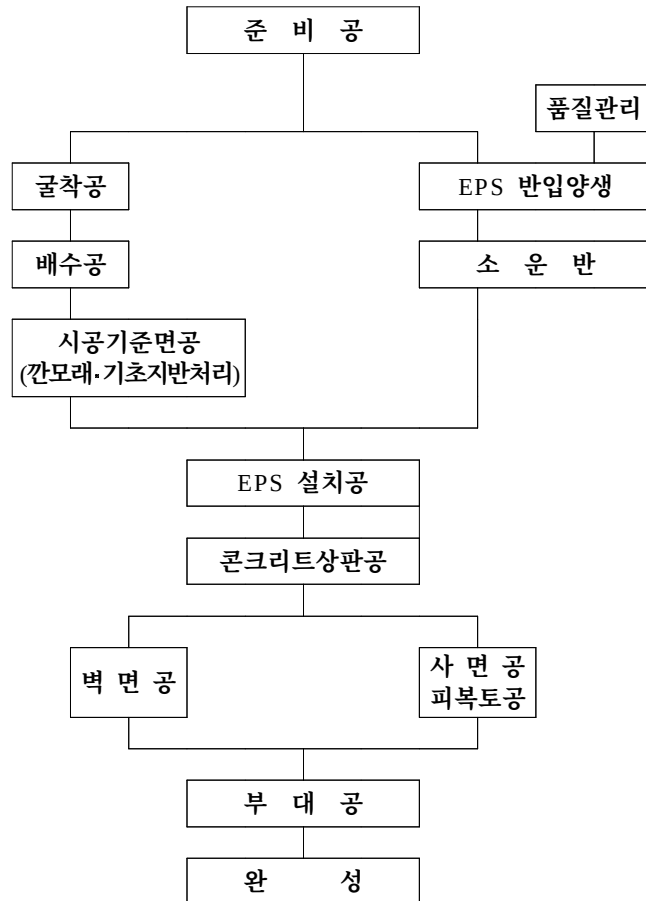
#### 4.3 EPS 성토공법의 시공방법

일반적으로 EPS의 시공은 EPS 블록의 겹쳐쌓기의 반복 작업으로, 특수한 건설기계 및 고도의 시공기술을 요구하지 않는다. 그러나 구조물의 장기적인 안정성을 확보하기 위해서는 정밀한 조립, 부대구조물과의 연결 등에 대해 철저한 사전조사를 실시한 후 시공계획에 반영해야 한다. 또한, 현장 작업원에게 시공수순, 주의점을 주지시켜 정밀하게 시공하도록 한다.

<그림 4-6>에서는 EPS 성토공법의 일반적인 시공순서를 보여주는데 EPS공법은 시공전 준비 정도에 따라 공사의 진척 및 완공이 타공사에 비해 상대적인 영향이 크므로 이에 대한 철저한 사전작업이 필요하다. 특히, EPS 성토공법은 인력

에 의해 시공하므로 현장이 협소한 경우를 제외하면 재료의 반입운영이 시공성 향상에 중요한 관건이므로 EPS 블럭 소운반의 동선 설정에 유의해야 한다.

현재 국내의 EPS 시공은 한국도로공사의 기술교재인 『EPS 성토공법(설계, 시공 및 품질관리)』을 준용하여 시행되고 있으므로 EPS 시공에 관련된 세부사항은 『EPS 성토공법의 시공』편의 한국도로공사 지침서를 참조하기 바란다<sup>한국도로공사, 1996</sup>



<그림 4-6> EPS 공법 시공 순서

## 5. EPS 성토공법의 사용실적 및 국내현황

### 5.1 국내외 시공실적

1972년 노르웨이에서 EPS 성토공법이 개발된 이래 북유럽을 중심으로 북미,

일본, 동남아시아 등지에서 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 성토공법의 사용량은 급속한 증가를 하고 있다.

[표 5-1]과 [표 5-2]에서는 각각 유럽과 일본에서의 연도별 EPS 블럭 사용량을 보여 주는데, 특히 1986년에 노르웨이 NRRL로부터 기술이전을 받은 일본에서는 1995년 12월까지의 EPS 블럭 사용량이 약 90만<sup>m³</sup>에 달해 EPS 성토공법의 개발국가인 노르웨이에서의 사용량 약 25만<sup>m³</sup>(1972~1990)를 훨씬 능가하는 급성장을 보여주고 있다(阿部正, 1994 ; EPS Development Organization, 1996). 또한 일본에서 1995년에 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 총 사용량의 51% 정도가 성토분야에 적용되었으며, 구조물 배면, 확폭성토, 구조물 방호, 교대 배면, 기초, 호안 분야 등 다양한 형태로 적용되었음을 알 수 있다.

[표 5-3]에서 보는 바와 같이 국내에서는 1993년 10월에 교대 뒷채움재로 1,400<sup>m³</sup>의 EPS 블럭이 최초로 사용된 이래 그 사용량이 1994년 12,100<sup>m³</sup> 1998년 121,000<sup>m³</sup>로 급증일로에 있다. 최근 서해안고속도로, 동해안고속도로에만도 30만 <sup>m³</sup>의 EPS가 설계에 반영되고 있는 걸 보면 앞으로 EPS공법의 급속한 발전이 예상된다.

[표 5-1] 유럽에서의 EPS 블럭 사용실적 조삼덕, 1997

| 국 가 명 | 총 사용량 (1972- 1990) |                       | 1991년도 사용량 ( <sup>m³</sup> ) |
|-------|--------------------|-----------------------|------------------------------|
|       | 시공건수(건)            | 사용량 ( <sup>m³</sup> ) |                              |
| 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              |                              |

[표 5-2] 일본에서의 EPS 블록 사용실적 조삼덕, 1997

## (a) 연도별 사용량

| 년 도  | 시공건수(건) | 사용량 (m <sup>3</sup> ) | 비 고                                  |
|------|---------|-----------------------|--------------------------------------|
| 1985 | 2       | 500                   | 삿또로에서 연약지반상<br>교대 뒷채움재로 EPS<br>최초 적용 |
| 1986 | 5       | 1,100                 |                                      |
| 1987 | 16      | 6,450                 |                                      |
| 1988 | 32      | 30,800                |                                      |
| 1989 | 100     | 90,700                |                                      |
| 1990 | 116     | 93,300                |                                      |
| 1991 | 190     | 120,200               |                                      |
| 1992 | 222     | 115,000               |                                      |
| 1993 | 267     | 172,000               |                                      |
| 1994 | 320     | 120,000               |                                      |
| 1995 | -       | 180,000               |                                      |
| 총 계  | -       | 930,000               |                                      |

## (b) 용도별 사용량 (1995년)

| 용 도 | 사용량 (m <sup>3</sup> ) | 사용비율(%) | 용 도     | 사용량 (m <sup>3</sup> ) | 사용비율(%) |
|-----|-----------------------|---------|---------|-----------------------|---------|
| 도 로 | 120,400               | 66.9    | 매설관     | 4,700                 | 2.6     |
| 공 원 | 21,800                | 12.1    | 하천 및 항만 | 11,700                | 6.5     |
| 건 물 | 18,500                | 10.3    | 기 타     | 2,900                 | 1.6     |

[표 5-3] 국내에서의 EPS 블록 사용실적

## (a) 연도별 사용량

| 연 도  | 시공건수(건) | 사용량 (m <sup>3</sup> ) |
|------|---------|-----------------------|
| 1993 | 1       | 1,400                 |
| 1994 | 9       | 12,100                |
| 1995 | 31      | 111,800               |
| 1996 | 30      | 110,800               |
| 1997 | 30      | 44,400                |
| 1998 | 51      | 121,000               |
| 총 계  | 152     | 401,500               |

(b) 용도별 사용량 (1993 ~ 1998)

| 용 도 | 시공건수(건) | 사용량 (m <sup>3</sup> ) | 사용비율(%) |
|-----|---------|-----------------------|---------|
| 도 로 | 69      | 223,900               | 55.8    |
| 건 물 | 61      | 82,600                | 20.5    |
| 항 만 | 1       | 15,500                | 3.9     |
| 기 타 | 21      | 79,500                | 19.8    |
| 총 계 | 152     | 401,500               | 100.0   |

## 5.2 EPS 토목공법의 향후 전망

연약지반과 같이 지반조건이 불량한 현장이나 산악지역과 같이 시공여건이 열악한 현장에서의 건설공사는 나날이 증가되고 있는 반면, 모래 등과 같은 일반 성토재의 구입은 점점 어려워져 가는 상황에서 초경량성토재료이고 시공성이 우수하며 공기단축 효과가 있는 EPS 성토공법의 사용은 향후에도 급증할 것으로 전망된다. 특히, 그동안 일본, 노르웨이 등을 중심으로 세계 각국의 많은 시공사례와 연구 등을 통해 EPS 성토공법의 기술성과 효율성 등이 입증되면서 최근에는 한개의 프로젝트에 대규모 물량의 EPS가 계획, 사용되는 사례가 증가하고 있어 EPS 성토공법 발전의 큰 전환점이 될 것으로 기대된다.

향후 국내 EPS 성토공법은 연약지반상 도로성토 분야, 산악지 도로 확폭 분야, 옹벽분야, 옥상 조경분야 등에서 활용될 수 있으리라 본다. 특히, 산악지 도로 확폭 분야의 경우 전 국토의 70% 이상이 산악지로 구성되어 있고, 교통량의 증가와 함께 산악도로의 확폭 및 선형개량 사업이 증가하고 있어 산악도로에서 시공성이 우수하고 시공기간이 짧은 EPS 성토공법의 사용이 활성화될 것으로 기대된다.

## 6. 결 론

EPS 토목공법은 1972년 개발된 이래 여러 가지 용도의 공사에 사용되고 있으며 최근 국내에서도 서해안고속도로공사에만 100,000m<sup>3</sup>이상의 물량을 사용할 예정에 있다.

1994, 1995년에 국내에서 개최된 EPS관련 2회의 국제세미나는 국내기술진에게 EPS공법에 관한 이해를 도왔으며, EPS공법은 기존의 연약지반처리공법, 경량성토공법 등을 대체할 수 있는 좋은 공법이 될 수 있다는 인식의 전환을 가져다주는

계기가 되었다. EPS공법은 비싼 공법으로 인식되어 있으나 5년전과 비교하여 EPS블록의 가격이 상승하지 않은 점을 살펴보면 공법경쟁력은 상승하였으며 연약지반처리공법과 같은 대체공법과의 경제성 검토시 좀 더 세심한 검토가 필요하다.

#### [참 고 문 헌]

1. 강인준(1995), "부산 구포대교 EPS 공법 정밀변위 측량", EPS(Expanded Polystyrene)토목공법 국제학술세미나 논문집, 한국건설기술연구원, pp. 239 260
2. 김성진(1999), "매설암거위에 포설된 EPS블럭에 의한 연직토압 경감효과 연구", 경희대학교 석사학위논문
3. 장용채(1995), "연약지반상 교대변위 대책공법으로서 EPS 토목공법의 적용성에 관한 연구", EPS(Expanded Polystyrene)토목공법 국제학술세미나 논문집, 한국건설기술연구원, pp. 159 198
4. 조삼덕(1995), "EPS공법의 현황과 기술적 검토", EPS(Expanded Polystyrene)토목공법 국제학술세미나 논문집, 한국건설기술연구원, pp. 159 198
5. 한국건설기술연구원(1998), "EPS 성토공법의 현장 적용성 평가 연구", 한국건설기술연구원 보고서
6. 한양대학교(1994), "도로성토재료로서의 EPS 활용에 관한 연구", 한양대학교 부설 산업과학연구소 보고서
7. 홍성완(1994), "EPS의 공학적 특성", 발포스티렌(EPS)이용 성토공법 국제심포지엄 논문집, 한국지반공학회, pp. 53 80

# 고속도로 설계 · 시공기술 향상방안에 대한 기술토론회

- 구조 및 토질분야(한국도로공사)-

건설기술연구소 토목대리 육일동  
토목기사 김호비

## 1. 서 론

최근 국내 건설업의 수주환경변화와 함께 새로이 대두된 '설계시공 일괄입찰방식(턴키발주 : Design-Build)'에 의해 설계, 시공회사는 서로 출혈경쟁을 하면서도 바뀐 환경에 적응하며 시장에 참여하고 있다. 그러나 새로운 시장의 변화는 여러 가지 문제점을 도출하고 있으며 이에 한국도로공사에서는 9월 26일에 '고속도로 기술 및 설계자문위원 초청 기술토론회'라는 제목아래 '고속도로 설계 · 시공기술 향상방안'이라는 주제로 도로 및 교통, 구조, 토질 및 기초의 세 분야로 나누어 현 설계방법의 여러 사항과 문제점 등에 대한 발표 및 자문위원 토론을 실시하였다.

본고에서는 3분야 중 2개분야(구조, 토질 및 기초)에 대해 각 분야별로 발표자가 제시한 현 설계방법 및 시공현황, 이에 대한 문제점과 함께 자문위원이 밝힌 현설계, 시공의 개선방향 및 향후 발전방향에 대하여 기술하도록 한다.

## 2. 내구수명을 고려한 콘크리트 구조의 내구성 설계 및 시공

### 2.1. 설계 개념

#### 2.1.1 내구설계 대상 및 목적

안정성 및 사용성에 관한 설계방법과 별도로 내구성 설계방법은 최소 콘크리트의 덮개, 최대 물-시멘트비, 최소시멘트량, 균열폭 제한, 공기량, 사용 시멘트 종류, 콘크리트와 철근의 표면도막처리 및 철근의 종류와 같은 세부사항들을 주 대상으로 한다. 상기 열거한 세부사항들에 내구성 설계를 도입하여 구조물의 사용기간 동안 구조적인 소요성능을 만족하면서 내구적으로도 안전한 콘크리트 구조물을 건설하는 데 그 목적이 있다.

## 2.1.2 내구연한 설정 및 내구성 설계기법

## 1) 내구설계의 필요성

- 가) 현재의 구조물 설계기준과 공사표준시방서를 준용하여 사회기반시설 건설 시 현 환경조건하에서 50년의 내구수명의 확보가 보장될 수 없다.
- 나) 현재의 기준과 표준시방서는 내구수명을 고려한 설계방법을 명확히 제시하지 못하고 있으며, 막연히 내구성을 확보하라는 규정만 제시하고 있다.
- 다) 설계용역 및 발주자가 목표수명을 제시하지 않고 있다.

## 2) 내구설계의 목적

- 가) 구조물의 목표내구 수명의 설정
- 나) 기본유지관리 기간의 설정
- 다) 안정성, 사용성, 시공성, 경제성 및 내구수명을 고려한 구조물의 내구성설계
- 라) 내구성 설계조건을 맞추기 위한 시공 및 유지관리 방안의 수립
- 마) 시공중 및 사용중 내구수명의 문제가 발생할 경우에 대한 대책 방안 수립

## 3) 목표 내구수명과 기본 유지관리 기간의 설정

- 가) 구조물의 목표 내구수명(외국기준)

[표 2-1] 구조물에 대한 법규상의 내용연수 (감가상각자산을 기초)

| 구조물 등급 | 구조물의 중요도               | 목표 내구연한 |
|--------|------------------------|---------|
| 1 등급   | 특별히 고도의 내구연한이 요구되는 구조물 | 100     |
| 2 등급   | 일반 구조물                 | 70      |
| 3 등급   | 비교적 짧은 내구연한이 필요한 구조물   | 30      |

(도로시설물의 경우 2등급을 목표 수명으로 설정함이 적절함)

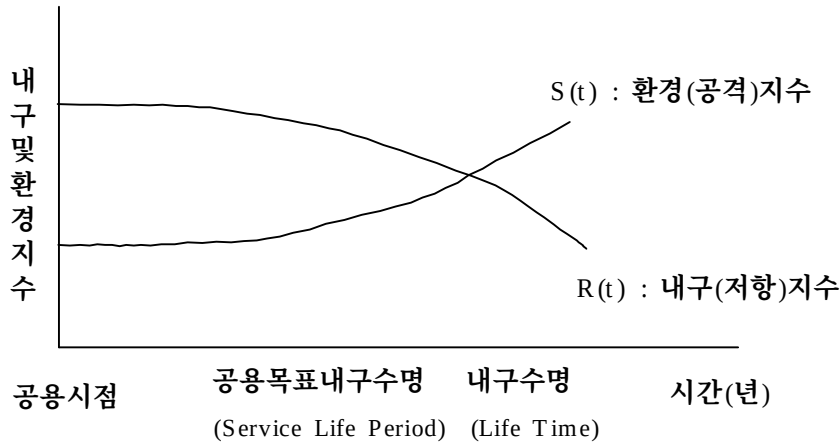
## 나) 기본유지관리 기간의 설정

기본유지관리 기간이란 일상 및 정기점검 등에 의해 구조물이 내구적이고 성능상 특별한 문제가 없다고 판단되어 특별한 보수 및 보강 없이 유지할 수 있는 기간을 의미한다. 외국에서는 설계기준, 시방서, 구조물의 중요도, 경제성 등을 고려하여 10년 50년 중에서 필요 기간을 설정하고 있으며 국내 설계기준, 시방서, 시공의 품질을 고려할 때 도로교시설물의 기본유지관리기간을 40년으로 설정함이 적절할 것으로 사료된다.

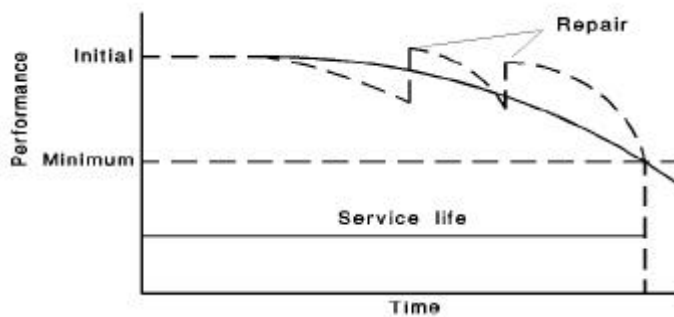
## 다) 기본 설계 개념

내용연수는 내구적으로 저항하는 저항력선(R곡선)과 환경에 의한 환경외

력선(S곡선)이 만나는 시간으로 나타낼 수 있다. R곡선과 S곡선은 확실적인 분포를 가지므로 설계상의 사용수명은 이론적인 내용년수보다 짧게 선정한다.



<그림 2-1> 내구성 설계의 기본개념

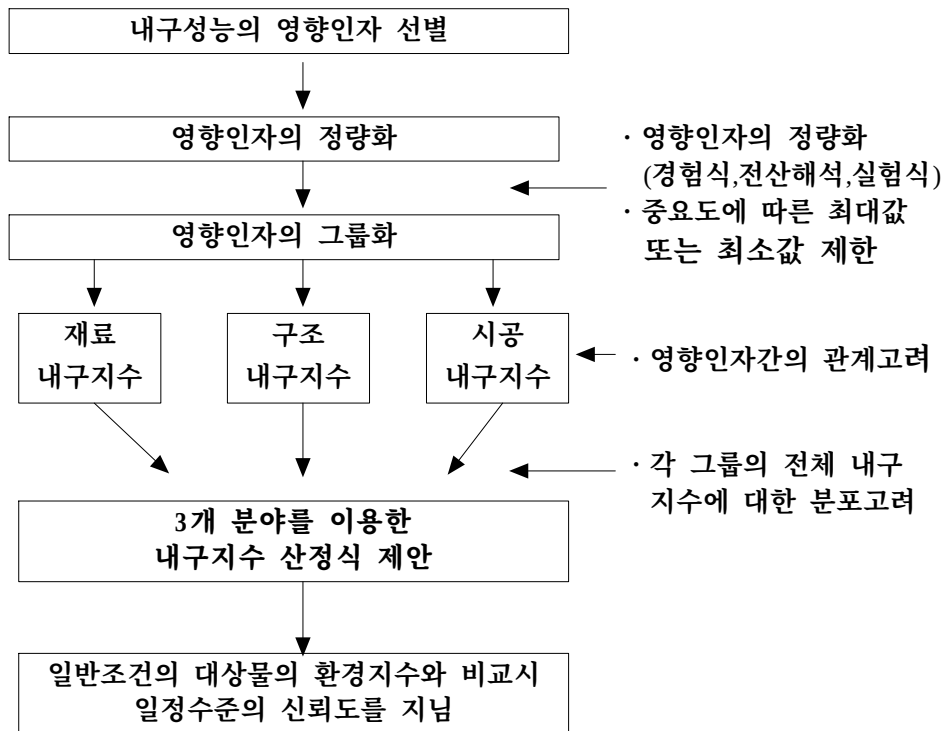


<그림 2-2> 보수에 의한 사용수명 기간내의 수명연장

## 2.2 내구지수의 설정

### 2.2.1 기본 내구지수 및 내구지수의 증분치

내구지수는 구조물이 가지고 있는 기본적인 내구 저항치를 나타내며, JSCE (1989)에서는 50으로 설정되었으나 1995년 내구지수 증분치를 수정하여 30으로 조정하였으며, 본 모델에서도 30의 값을 사용하고 있다. 내구지수의 증분치는 JSCE (1995)에서 제안한 재료, 설계, 시공분야의 항목을 국내 상황에 맞추어 재해석한 후 사용자가 적용하기 용이하도록 수정할 수 있게 되어있다.



<그림 2-3> 내수지수의 도출 과정

## 2.2.2 내구지수의 산정

아래와 같이 각 분야의 상세 항목에 대한 내구지수를 산정한다

- 1) 재료 분야 : 시멘트의 종류, 골재의 흡수율, 골재의 입도, 혼합재의 종류, 유동성 및 재료분리 저항성, 물-시멘트비, 단위수량, 염화물함유량 등
- 2) 설계 분야 : 설계주임기술자의 수준, 철근의 덮개, 배근의 세부사항, 가외철근비, 시공이음, 설계도면의 명시여부, 허용균열폭, 거푸집의 종류 등
- 3) 시공 분야 : 주임기술자의 수준정도, 콘크리트 반입과정, 운반/타설/다짐과정, 표면마무리와 양생, 철근의 가공/조립, 거푸집공, 동바리공, 그라우트공 등

[표 2-2] 시공 분야 / 주임기술자의 수준정도 예

| 항 목             | 내구 지수 | 항 목          | 내구 지수 |
|-----------------|-------|--------------|-------|
| 1 등급 : 품질시험 기술사 | 25    | 3 등급 : 기사 1급 | 5     |
| 2 등급 : 시공기술사    | 15    | 4 등급 : 기사 2급 | - 10  |

## 2.3 환경 지수의 설정

### 2.3.1 기본 환경지수

#### 1) 기본유지관리기간을 고려한 기본환경지수

JSCE(1995)의 내구성 평가는 기본유지관리기간(Maintenance Free)을 50년으로 제한하고 있으며 이는 내구적인 안정성을 최대한 확보할 수 있는 기간으로 평가할 수 있으며 구조물의 사용기간과는 구별되는 개념이다.

#### 2) 기본유지관리 기간에 따른 기본환경지수의 조정

콘크리트 표준시방서와 구조설계기준을 근거로 내구지수를 산정하며, 내구지수와 환경지수가 같아질 때의 기본유지관리 기간을 구하면 37~44년 정도의 기간을 가지게 되는데 이를 근거로 40년 정도 이후에 적극적인 유지관리를 병용한다. 본 연구에서는 기본환경지수를 85년으로 제안한다.

### 2.3.2 환경지수 증분치의 설정 방법 및 제안

JSCE(1995)에서는 환경지수 증분치를 염해에 대해서 10~70을 동결융해에 대해서만 10~50을 제안하고 있으나 그 외 조건에 대해서는 명확하게 구분하고 있지 않다. 본 연구에서는 내구한계기간산정법의 계산을 이용하여 중성화, 염해, 동결융해, 황산염침해에 대한 환경지수 증분치를 제안하고 있다.

## 2.4 결론 및 평가

콘크리트 내구성 설계는 구조물의 사용기간 동안 발생될 수 있는 여러 가지 요인들을 사전에 점검하고, 이에 대한 대비를 통하여 구조물의 수명이 다할 때까지 충분한 기능 발휘를 할 수 있도록 하는데 그 목적이 있다. 본 설계법을 활용하여 보다 안전하고 확실한 구조물을 설계 시공함으로써 구조물의 내구연한동안 충분한 내구성을 발휘할 수 있게 하기 위한 것이다.

1999년 제정한 "콘크리트 구조설계 기준"에 "내구성 설계"편을 신규 삽입하였으나 기본적인 사항만을 거론하고 있어 본래 취지의 설계 및 시공이 현실적으로 어려운 현실이다. 이에 본 연구를 통하여 국외 사례를 소개하여 향후 발전 방향을 제시함은 국내 콘크리트 기술발전에 기여하는 바가 크다할 수 있다. 그러나 관련 자료 조사 및 인용의 대부분은 일본의 규정들을 사용하고 있으며 본 연구에서 제시하고 있는 각각의 수치 데이터는 국내의 현황을 충분히 반영하지 않은 추정치로 판단된다. 일본과 비교하여 국내의 건설 기술 정도, 사용재료 및 지역적 특성이 다른 상황에 있으므로 본 연구에 대한 추가적인 검증 및 심도 있는 연구를 통하

여 빠른 시일 내에 실질적인 내구성 설계가 가능할 수 있도록 해야할 것으로 판단된다.

### 3. 유지관리를 고려한 강교량 대체형식(무도장 내후성 강교량)

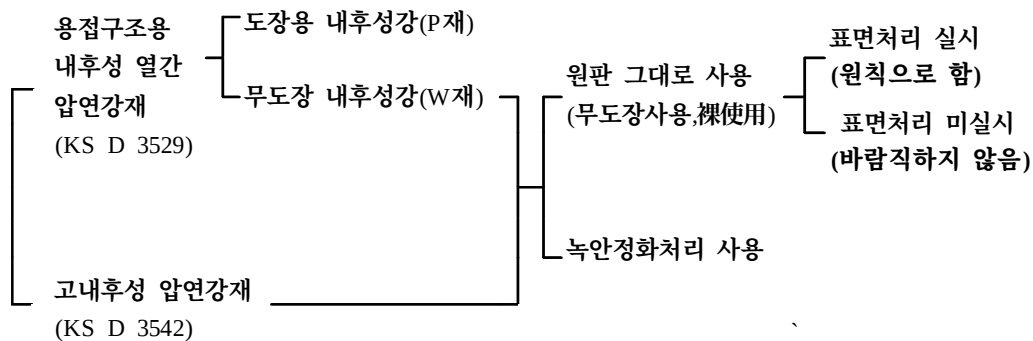
#### 3.1 내후성강의 개요

내후성이란 대기 중에서 부식에 견디는 성질을 말하며, 내후성강은 일반강에 내식성이 우수한 크롬, 구리, 니켈, 인 등의 원소를 소량 첨가한 저합금강으로서 일반강에 비해 4 ~ 8배의 내식성을 갖는 강재를 말한다.

내후성강이 대기에 노출되면 초기에는 일반강과 유사한 녹이 발생하지만 시간이 경과함에 따라 Cr성분을 함유한 녹층이 모재에 빈틈없이 밀착하여 안정녹층(보호산화 피막 : Protective Oxide Film)을 형성하고, 이 안정녹은 대기 부식에 대한 보호막이 되어 더 이상의 부식 진행을 억제하게 된다.

##### 3.1.1 내후성강의 종류

내후성강에는 용접구조용 내후성 열간압연강재와 고내후성 압연강재가 있다. 용접구조용 내후성 열간압연강재는 도장을 실시하여 사용하는 도장용 내후성강(P재)과 무도장 상태로 사용하는 무도장 내후성강(W재)이 있다.



<그림 3-1> 내후성 강재의 분류

본고에서 논하는 무도장 내후성강교량은 용접구조용 내후성 열간압연강재 중 무도장 내후성강(W재)에 해당한다. 이 강재를 사용한 국내 교량 적용 실적은 아래 표와 같다.

[표 3-1] 국내 내후성강 교량 현황 (2000년 5월 31일 현재)

| 교량명    | 현 황<br>(완공) | 위 치     | 발주기관      | 교 폭<br>(M) | 교량연<br>장(M) | 강재량<br>(톤) | 비 고        |
|--------|-------------|---------|-----------|------------|-------------|------------|------------|
| 마정육교   | 94.8(완)     | 경기 파주시  | 한국토지공사    | 46.0       | 190         | 2,600      | 국내 최초      |
| 지하철고가교 | 95.5(완)     | 경기 성남시  | 서울지하철건설본부 | 31.2       | 40          | 500        | 철도교        |
| 용담대교   | 96.12(완)    | 경기 양평군  | 서울지방국토관리청 | 10.7       | 2,380       | 8,700      | 국내 최장      |
| 북포과선교  | 98.11(완)    | 경기 양평군  | 서울지방국토관리청 | 30.0       | 150         | 1,096      | 상수원 보호     |
| 신양수대교  | "           | 경기 남양주시 | 서울지방국토관리청 | 19.5       | 1,610       | 8,700      | 상수원 보호     |
| 봉안교    | "           | 경기 남양주시 | 서울지방국토관리청 | 19.5       | 750         | 4,700      | 상수원 보호     |
| 팔당육교   | "           | 경기 남양주시 | 서울지방국토관리청 | 19.5       | 450         | 2,407      | 상수원 보호     |
| 용평교    | 97.5(완)     | 충북 청주시  | 대한주택공사    | 20.0       | 150         | 800        | 상수원 보호     |
| 보성육교   | 96.11(완)    | 전남 보성군  | 익산지방국토관리청 | 20.0       | 300         | 2,300      | 과선교        |
| 정산교    | 98.12(완)    | 전남 광양시  | 여수지방해운항만청 | 11.6       | 1,320       | 6,000      | 강바닥판<br>교량 |
| 오월교    | 99.6(완)     | 강원 춘천시  | 원주지방국토관리청 | 11.3       | 280         | 780        | 상수원 보호     |
| 오탄교    | 98.2 (완)    | 강원 춘천시  | 원주지방국토관리청 | 11.3       | 123         | 325        | 상수원 보호     |
| 풍영교    | 설계완료        | 경북 문경시  | 부산지방국토관리청 | 12.0       | 600         | 4,000      | -          |
| 서상1교   | "           | 춘천댐 아래  | 원주지방국토관리청 | 10.9       | 1,850       |            | 상수원 보호     |
| 갈월교    | "           | 춘천호     | 홍천국도유지사무소 | 11.0       | 100         |            | "          |
| 원평교    | "           | 춘천시     | 원주지방국토관리청 | 11.3       | 95          |            | "          |
| 반변천교   | "           | 안동시     | 부산지방국토관리청 | 20.9       | 648         |            | 녹안정화처리     |

### 3.1.2 무도장 내후성강의 안정녹 형성과정

대기 노출 후 안정녹 형성과정 중의 색상은 오렌지색에서 밝은 갈색으로 변하며 이 때 녹은 가루형상으로서 손으로 문지르면 쉽게 떨어진다. 수년이 경과하면 짙은 갈색으로 변해가면서 모재에 단단히 밀착되고 손으로 문질러도 녹이 거의 떨어지지 않는 안정녹이 형성된다.

## 3.2 무도장 내후성강의 적용환경

### 3.2.1 적용환경조건

본 강재의 적용성은 구조물 가설지점의 환경 조건에 일차적으로 좌우되며 안정녹층의 형성에 영향을 미치는 환경인자는 염분(NaCl, CaCl<sub>2</sub>) 강재표면이 젖어 있는 시간, 유황산화물(SO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S 등)의 농도이다.

상기 인자들 중 염분의 영향이 가장 크므로 교량 가설 장소의 환경적 요인이 본 강재의 사용에 적합한지의 여부는 주로 염분량에 의해 판단된다. 또한 가설 장소의 환경적 요인과는 무관하지만 누수·체수 등으로 물과 장기간 접촉하면 안정 녹이 형성되지 않는 것에 유의하여야 한다.

### 3.2.2 사용상 주의를 요하는 경우

#### 1) 비례염분량이 0.1 mdd를 초과하는 지역(해안 인접지역)

염분에 지속적으로 노출되면 안정녹이 생성되지 않는다. 여기서 비례염분량이란 공기 중에 흩어진 해수의 미립자인 해염입자의 양을 말하며, 단위는  $100\text{cm}^2$ 의 면적에 집적되는 1일 평균 염분량을 나타내는 mdd ( $\text{mg}/\text{dm}^2/\text{dat}$ )를 사용한다. 국내에서는 0.1mdd 이하일 경우 무도장 내후성강을 적용할 수 있도록 하고 있다.

#### 2) 지속적 누수 및 체수가 발생하는 부위

본 강재가 수분에 장기간 접촉되는 것을 피해야 하며, 교량의 설계 및 시공 시 가장 주의할 사항이다.

#### 3) 상대습도 80% 초과일수가 220일 이상인 매우 습한 지역

강우와 습도가 빈번하게 높은 지역, 짙은 안개가 자주 발생하는 지역에서는 강재 표면의 습한 상태가 지속되므로 사용할 수 없다.

#### 4) $\text{SO}_3$ 의 농도가 2.1 mdd 이상인 공업단지 내

$\text{SO}_3$ 는 강재 표면에 부착하여 녹이 지속적으로 발생하도록 하는 특성이 있다. 화학 공장 지대 등에서 내후성강 교량을 무도장 적용할 때에는 주의하도록 한다. (본 내용은 영국 교통국의 STANDARD BD/7/81에서 제시된 기준)

#### 5) 하천과의 형하공간이 2.4m 이하인 경우(정체수의 경우는 3.0m 이하인 경우)

수면상에 위치하는 교량의 경우에는 하부공간이 부족할 경우, 내후성 강재 표면에 수분이 응결되는 현상이 발생하여 안정녹의 형성에 장애가 될 수 있으므로 적절한 최소 형하공간이 필요하다. 평균 수위에 대해 유수의 경우 2.4m, 정체수의 경우 3.0m 이상을 확보하여야 한다.

#### 6) 물속에 잠기거나 지중에 매입되는 구조

무도장 내후성 강재가 물속에 지속적으로 잠기어 있는 경우 및 지반에 매입되는 경우는 일반강과 마찬가지로 지속적으로 부식이 진행되어 보호산화막을 형성하지 못하므로 내후성 강재의 무도장 사용을 피한다.

### 3.3 무도장 내후성강교량의 점검 및 유지관리

#### 3.3.1 점검

무도장 내후성강 교량은 정상적인 상태에서 초기도장 및 재도장이 필요 없는 경제적인 교량 형식이지만 유지관리가 필요 없는 교량은 아니며, 일반 강교량과 같이 기본적인 점검은 필요하다. 또한, 무도장 내후성강 교량만의 문제로서 녹 진행상태를 정기적으로 조사할 필요가 있으므로 정확히 말하자면 저비용 유지관리 (low maintenance) 교량이라고 할 수 있다.

##### 1) 점검항목

무도장 내후성강교량 고유의 점검 항목은 주로 녹상태의 좋고 나쁨에 관한 것이며, 일반 강교량에서 도장의 열화 및 부식의 점검에 해당된다.

- 층상박리녹 발생의 유무
- 신축이음부의 누수 및 교대, 교각부의 체수
- 배수관의 막힘
- 주형 내부의 체수
- 수평부재 상에 과도한 토사 퇴적

##### 2) 층상박리녹

검은 색상을 보이며 조직이 거칠고 낙엽 크기 정도의 층상으로 박리되는 녹 층으로 해안지역에 가설된 교량이나, 누수 및 체수에 의해 장기간 습한 부위 (주로 신축이음부)에서 발생할 수 있다. 층상박리녹의 유무는 안정녹 형성의 판단 기준이 되므로 무도장 내후성강교량의 주요 점검항목이다. [표 3-2]와 같이 녹이 발견된 경우에는 그 정도와 부재의 중요도를 고려하여 대응하는 것으로 한다.

[표 3-2] 층상박리녹 혹은 거친 녹이 발견된 경우의 대응 방안

| 녹의 상태  | 분포 정도    | 주 부 재                                              | 부 부 재                                                      |
|--------|----------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| 층상 박리녹 | 부재 전체 분포 | ① 무도장 사용에서 도장 사용으로의 변경에 대하여 조속히 검토하여야 한다.          | ③ 누수가 원인이 되어 다른 구조적 손상을 유발하지 않는지 조사해서 조속히 대책을 세운다.         |
|        | 부분적으로 존재 | ② 누수가 원인이 되어 다른 구조적 손상을 유발하지 않는지 조사해서 조속히 대책을 세운다. | ④ 누수가 원인이 되어 유발된 다른 구조적 손상이 쉽게 확인될 경우, 그 대책을 세우는 것이 바람직하다. |

|      |           |                                                            |                                                            |
|------|-----------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| 거친 녹 | 부재 전체에 분포 | ⑤ 지속적 점검 및 추이 관찰                                           | ⑦ 누수가 원인이 되어 유발된 다른 구조적 손상이 쉽게 확인될 경우, 그 대책을 세우는 것이 바람직하다. |
|      | 부분적으로 존재  | ⑥ 누수가 원인이 되어 유발된 다른 구조적 손상이 쉽게 확인될 경우, 그 대책을 세우는 것이 바람직하다. | ⑧ 지속적 점검 및 추이 관찰                                           |

주) 주부재, 부부재의 구분은 교량의 내하력, 내구성 측면에서 다음과 같다.

- 주부재 : 주형, 가로보, 세로보, 바닥판, 받침장치, 낙교방지 장치 등
- 부부재 : 수평 및 수직 브레이싱, 배수시설, 부속물 등

### 3.3.2 주요 점검부위

무도장 내후성강교량에서 녹상태의 양호 여부에 대해 중점적으로 점검해야 하는 부분은 일반 강교량에서 도막의 열화 손상이 발생하기 쉬운 부분과 동일하며 다음과 같다.

- I-단면 부재에서 하부플랜지의 상·하면, 하부플랜지와 복부판의 용접부
- 상자형교의 내부, 하부 플랜지 하면과 그 돌출부
- 부재들이 교차하는 격점부
- 주형 단부 및 지점 부근, 교량받침부, 교대 및 교각의 교좌면
- 볼트 이음부
- 게르버형의 내부 힌지부, 핀-행어 연결부
- 신축장치, 배수장치 및 그 인접부
- 배수 구멍

### 3.3.3 점검빈도

녹상태가 악화되지 않는 한 무도장 내후성강 교량이라고 해서 강교량 이상으로 점검 내용이 복잡해지는 것은 아니다. 한편, 교량 전체의 유지관리를 적절히 수행함과 아울러 무도장 내후성강 교량 녹상태의 점검을 교량 점검의 일부로 편성하는 것이 바람직하다. 이러한 측면에서 무도장 내후성강 교량의 점검을 건설교통부의 「교량유지관리지침」에 나타나 있는 일반 강교량의 점검 빈도와 같은 빈도로 행하는 것으로 한다.

### 3.4 무도장 내후성강교량의 유지관리

### 3.4.1 유지관리 방안

원활한 녹안정화에 방해가 되는 사항에 대해 다음과 같이 조치하도록 한다.

- 느슨하게 퇴적된 찌꺼기는 압축공기분사 또는 진공청소기로 제거한다.
- 젖은 퇴적물 및 녹안정화에 불리한 인자, 특히 염분으로 오염된 강재 표면은 고압 호수로 씻어 낸다.
- 우천시 누수부를 찾아내고 누수 신축이음부를 보수한다.
- 배수구 및 배수홈통을 청소한다.
- 볼트이음부 또는 불연속 용접이음부에서 틈새 부식이 심한 경우 에폭시주입 또는 밀봉용접으로 틈새를 막는다.
- 얇은 층상박리녹은 떨어내고 후속 점검시 재검토한다.
- 점검시 녹안정화가 원활하지 않고 층상박리녹 및 거친 녹이 발견될 때는 앞의 [표 5-5]에 따라 대응한다.

### 3.4.2 보수도장

무도장 내후성강교량에서 보수도장을 실시한 예는 드물지만, 미국 북부 지역(snow-belt) 교량에서 겨울철에 살포한 제설제(염소성분 함유)가 배수식 신축이음부(finger joint type)의 누수로 인해 과도한 부식이 발생하여 보수도장을 실시한 사례가 있다. 점검 결과 과도한 층상박리녹이 발생한 경우에는 층상박리녹의 발생 원인을 철저히 분석하고 그 결과 향후 추가적인 부식을 방지할 수 있는 것으로 판명된다면 보수도장을 곧바로 실시할 필요는 없다. 만약 그렇지 않고 곧바로 보수도장을 실시해야 한다면 보수도장 시스템은 에폭시 zinc-rich(하도), 에폭시 폴리아미드(중도), 우레탄(상도)으로 하는 것이 좋은 것으로 보고되고 있다.

### 3.5 결론 및 평가

무도장 내후성 강교량은 약 40년 전에 최초로 사용된 이래 세계 각국에서 해를 거듭할수록 가설교량수가 증가하고 있는 추세이다. 이것은 세계적으로 강교량의 유지관리비가 차지하는 비중이 점차 커짐으로 해서 이에 대한 부담을 줄이기 위한 하나의 방법으로 무도장 내후성 강교량을 선호하는 것으로 판단된다. 현재 국내에는 12개의 교량이 완공되어 있는 실정으로 우리의 기후조건이나 산간벽지에 위치하는 교량설치 위치 등을 감안할 때 앞으로 많은 수의 무도장 내후성 강교량이 필요할 것으로 예상된다. 다만 여러 기술자의 이에 대한 정확한 이해 부족이나 교량색상에 대한 다소의 부정적 시각 등이 교량형식 선정시 저해 요인이라고 생각되나, 향후 교량의 내구연한동안 유지관리를 고려한 경제성 면에서는 월등

히 우수하기 때문에 무도장 내후성 강교량의 활용범위를 점차 넓혀 가는 것이 바람직하다고 사료된다.

## 4. 지반구조물의 최근 설계동향

### 4.1 개 요

사면, 터널 및 연약지반 등의 지반구조물 시공에 기술적 판단이 가장 많이 요구되고 있는 분야가 조사기술이다. 토목설계의 타분야는 주로 계획과 인위적인 기술이 강조되는 반면에 지반은 거대한 자연이며, 시공 목적물의 크기와 연장은 면적 혹은 입체적인 요소인데 반하여, 계획 및 조사시 시행된 물량은 일차원(point)적인 요소이므로 시행착오라는 근본적인 문제점을 내포하고 있기 때문이다. 따라서 3차원인 목적물의 계획시에 1차원적인 조사결과를 적절히 활용하는 것이 공사비, 공기 및 각종 사고를 최소화시킬 수 있는 관건이 되며, 여기에 지반기술자의 숙달된 경험이 필요하다.

지반구조물은 시공의 기본자료가 되는 설계과정에서 기술자의 정확한 판단이 필요하며, 이를 위해서는 자료의 충실도와 정확도가 기본적인 재료로 확보되어야 한다. 따라서 여기에서는 설계개선에 관한 특정한 문제보다는 지반분야에서 발생한 자료를 통하여 문제점을 도출하고 대안을 제시하고자 한다.

근래 국내에서 실시된 지반조사를 살펴보면 동일한 기술진에 의해 수행되었다 할지라도 발주방식의 차이에 의해 현저한 수준차이를 나타내고 있다. 설계시공일괄입찰(이하 "경쟁설계")에서는 경쟁이라는 특수상황 외에, 조사의 미비로 발생하는 공사비 추정의 불확실성에 대한 부담을 최소화하기 위하여 지반조사에 상대적으로 많은 노력과 비용을 투입하고 있다. 그러나 일반설계인 경우에는 설계자와 시공자가 다르고, 제약된 예산에서 시행된 지반조사의 미비 등에 의한 설계변경이 건설의 최종단계인 시공자에게 전가되고 있는 실정이다. 기술자에게 경쟁설계 혹은 일반설계에 따라 조사 및 설계에 임하는 자세가 달라지는 것은 기술자의 최소 윤리와 배치되는 사항이지만, 이윤을 추구하는 입장에서는 예산이라는 한계를 무시할 수가 없다. 따라서 일반설계와 경쟁설계를 위한 지반조사의 차이를 살펴보고 합리성과 경제성이 확보되는 최적의 조사방향도 검토한 후 이에 대한 자문위원의 종합적인 제언을 서술하도록 한다.

## 4.2 터 널

일반공사의 터널설계에서는 갱구부의 조사 시 기본설계 및 실시설계의 기준에 명시된 간격에 따라 시추조사가 수행되어야 하지만, 터널통과부분의 장비접근로가 확보되지 않을 때에는 현실적으로 조사 없이 협의에 의하여 조사가 종결되고 있다. 이러한 경우, 터널설계에서 가장 문제가 되는 것은 구조대의 확인과 지보형태를 결정하는 것으로서, 복잡한 지질특성을 지닌 우리나라에서는 공사중 막장의 안정성확보와 공사비산정에 [표 4-1]과 같이 피할 수 없는 오차를 수반하게 된다.

[표 4-1] 6개터널의 전체연장에 대한 지보형태의 비율(설계변경/원설계)

| 지보형태<br>Case | T 1            | T 2            | T 3            | T 4           | T 5           | T 5-1      | T 6          | S 1        | S 2        | S 3          | 비고         |
|--------------|----------------|----------------|----------------|---------------|---------------|------------|--------------|------------|------------|--------------|------------|
| 1            | 14.3<br>18.7   | 35.9<br>13.2   | 28.7<br>19.4   | 13.1<br>17.4  | 1.8<br>25.0   | 0.8<br>0.7 | 0.4<br>1.0   | 3.5<br>0.8 | 1.4<br>3.1 | 0.0<br>0.8   | 화강암<br>편마암 |
| 2            | 16.0<br>22.2   | 47.2<br>12.9   | 13.1<br>22.6   | 16.1<br>16.4  | 2.1<br>19.1   | 1.6<br>1.4 | 1.1<br>1.0   | 7.1<br>1.6 | 3.4<br>2.3 | 0.0<br>0.8   | 흑운모<br>화강암 |
| 3            | 0.0<br>7.2     | 20.1<br>61.3   | 24.6<br>11.9   | 42.2<br>9.9   | 5.1<br>1.7    | 0.0<br>0.0 | 0.5<br>0.5   | 4.0<br>4.0 | 0.0<br>0.0 | 3.5<br>3.5   |            |
| 4            | 0.0<br>8.1     | 21.3<br>59.3   | 27.7<br>11.9   | 36.0<br>8.8   | 3.8<br>1.7    | 2.4<br>2.4 | 1.3<br>0.5   | 2.7<br>2.7 | 1.3<br>1.3 | 3.5<br>3.5   |            |
| 5            | 0.0<br>0.0     | 31.92<br>12.5  | 21.76<br>25.83 | 41.68<br>26.0 | 0.00<br>33.67 | 0.0<br>0.0 | 4.64<br>3.00 |            |            |              |            |
| 6            | 41.38<br>43.47 | 35.02<br>32.86 | 9.80<br>11.43  | 7.20<br>6.43  | 1.40<br>0.71  | 0.0<br>0.0 | 2.99<br>2.86 |            |            | 2.21<br>2.24 |            |

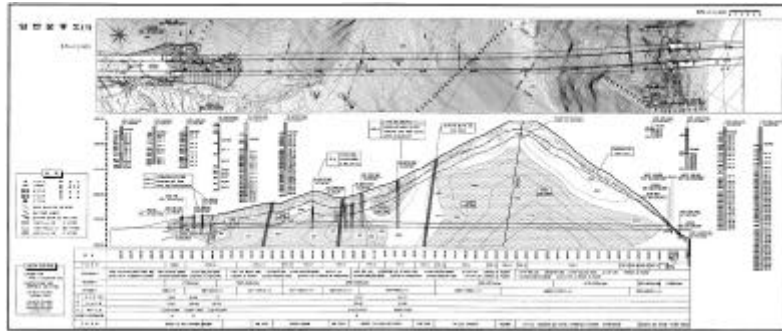
1996년 이후 국가정책에 의하여 경쟁설계가 증가함에 따라 터널분야의 조사기법 및 수량이 급격히 증가되었다. 그러나 앞에서 언급한 것과 같이 조사방법의 합리성 여부에 대하여 검토할 필요가 있으므로 1998년, 1999년 및 2000년에 이미 시행된 경쟁설계의 자료를 검토한다.

[표 4-2] 터널 경쟁설계의 조사물량

| 용역명 | 길이<br>(Km) | 시추조사공수       |            | 총연장/<br>공수 | BIPS | PMT | 수압시험 | 수압파쇄<br>시험 | 비 고    |
|-----|------------|--------------|------------|------------|------|-----|------|------------|--------|
|     |            | 터널부<br>(갱구부) | 총연장<br>(m) |            |      |     |      |            |        |
| A   | 1.0        | 5(10)        | 304.7      | 61         | 1    | 22  | 24   | 1          | '98년시행 |
| B   | 3.5        | 12(2)        | 794.3      | 66         | 7    | 22  | 35   | 1          | '99년시행 |
| C   | 2.5        | 6(2)         | 432.2      | 72         | 2    | 11  | 15   | -          |        |
| D   | 1.2        | 3(1)         | 174.0      | 58         | 1    | 6   | 8    | -          |        |
| E   | 4.5        | 10(7)        | 632.7      | 63         | 4    | 16  | 16   | 2          | '00년시행 |

※ A E 전구간에서 전기비저항탐사와 탄성파탐사 실시

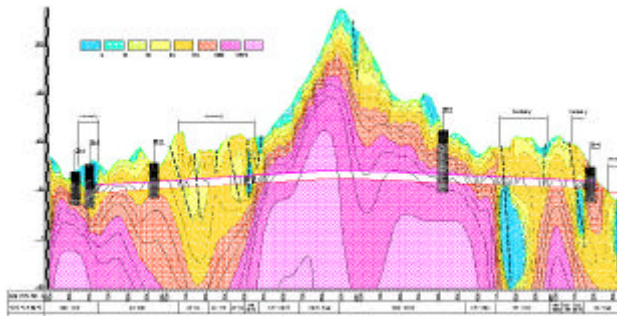
[표 4-2]에서 볼 수 있는 것과 같이 터널길이와 조사공의 수는 상관관계를 나타내지 않는다. 공내재하 및 수압시험은 공당 2~3회로 터널상부, 터널부 및 터널하부의 터널직경 범위에서 거의 고정적으로 시행된 것으로 나타나고 있다. 한편 공내촬영은 터널길이의 증가에 따라 시행횟수가 약 1km당 1회 정도 시행된 경향을 보이지만 지질여건에 따라 달라지고 있다. <그림 4-1>은 A의 경우에서 시행된 제반시험의 결과를 종합하고 있다.



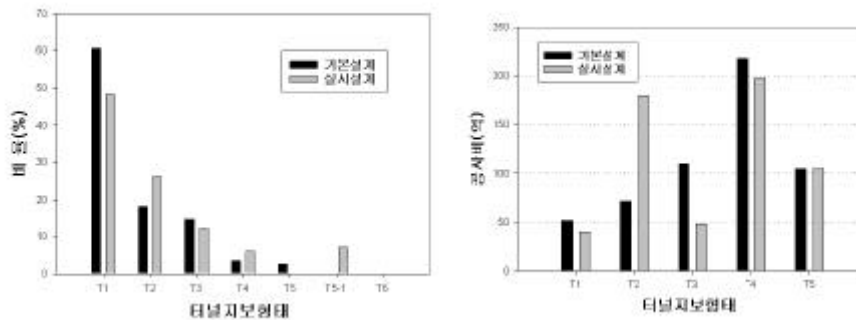
<그림 4-1> A 경우에 제시된 종단면도

<그림 4-1>에서 보는 바와 같이 터널부의 시추조사위치는 장비의 접근성에 따라 터널축과 다소 차이가 있으며 종단도상에 등고선으로 표기된 것은 전기비저항탐사의 결과이며 상부에 나타난 선들은 탄성파탐사에 의하여 지층경계를 추정한 것이다. 탄성파탐사결과는 지보형태의 결정에는 전혀 이용되지 않았고, 대심도부의 예상단층대와 전기비저항탐사결과에 의한 3개의 추정구조대가 나타나고 있다. 이와 같이 물리탐사를 시행하고도 이를 이용하지 않거나 각 데이터를 유기적으로 활용하지 못하는 것이 현재 실시되고 있는 설계의 현실이다.

<그림 4-2> <그림 4-3>은 고속도로가 아닌 정부 발주의 예를 제시한 것이다. 이 경우에는 기본설계시 예산상의 이유에 의하여 탄성파탐사 등의 제반 선행조사가 시행되지 못하고 지질도와 갱구부에 대한 시추조사로 터널의 지보형태를 결정하여야 했다. 따라서 기완공된 터널에서 시행되었던 지보형태의 비율을 참고하여 지보형태를 분류하였으나 지반기술자로서는 매우 위험한 시도였다. 충분한 예산으로 실시설계를 위하여 위성, 항공사진 및 지표지질조사와 제반 탐사를 시행한 결과에 의하여 <그림 4-2>와 같은 종단면도를 작성할 수 있었고 이를 이용하여 지보형태의 변화를 나타내면 <그림 4-3>과 같다.



<그림 4-2> 식시설계를 위하여 시행한 제반 현장조사의 종합도



(a) 지보형태의 비율

(b) 지보형태별 추정공사비

<그림 4-3> 지보형태별 비율 및 추정공사비

<그림 4-3> (a)에서 볼 수 있는 것과 같이 지보형태 T1, T3, T5는 감소한 반면에 나머지 형태는 증가하였다. 사업비의 측면을 살펴보면 <그림 4-3> (b) 와 같은데 지보형태별 공사비의 변동은 T2에서 약 110억이 증가하고 T3에서는 60억 이 감소할 것으로 예상되지만 터널공사 전체의 설계가는 약 550억에서 580억으로 30억이 증가하여 5% 정도의 변동이 있었다. 이상에서 살펴본 바와 같이 초기조사를 철저히 시행하여 얻을 수 있는 경제적인 이윤은 공사비 전체에 비하여 5%이지만, 눈에 보이지 않는 이익은 구조대를 사전에 파악하고 지하수의 흐르는 방향을 예측할 수 있으므로 막장에 대한 사전정보와 정보화시공에 의한 정보를 종합하여 합리적이고 과학적으로 막장사고를 미연에 방지할 수 있다는 점이다.

#### 4.3 사 면

사면과 관련된 설계변경 등의 문제는 대부분 암반사면에서 나타나며 여기서 조사된 분석대상현장 5개의 설계변경건수는 [표 4-2]와 같다.

[표 4-2] 각현장의 사면설계변경건수

| Case | 전체길이<br>(m) | 설계변경  |       | 사면갯수 |           | 시추조사<br>공수 | 조사공의<br>평균간격(m) |
|------|-------------|-------|-------|------|-----------|------------|-----------------|
|      |             | 길이(m) | 비율(%) | 원설계  | 설계변경      |            |                 |
| 1    | 4970        | 480   | 9.66  | 36   | 3(8.30%)  | 7          | 710             |
| 2    | 4350        | 625   | 14.37 | 21   | 4(19.0%)  | 14         | 310             |
| 3    | 6346        | 4526  | 71.32 | 40   | 24(60.0%) | 25         | 254             |
| 4    | -           | 2454  | -     | -    | 7         | -          | -               |
| 5    | -           | -     | -     | 2    | -         | -          | -               |

[표 4-2]와 같이 Case1 3의 경우를 살펴보면 설계변경이 모두 발생하였고, Case3의 경우는 전체사면중 60%에 대하여 설계변경이 시행된 것을 알 수 있다. Case3은 기반암이 퇴적암이고 Case1, 2는 화성암과 변성암종이다. 조사간격을 비교하면 Case1은 평균 710m, Case3은 254m간격으로 비교적 시방에 가깝게 조사가 수행되었지만 시추조사의 빈도와 설계의 정확성은 일치하지 않는다는 것을 알 수 있다. 이와 같이 지반조사의 빈도가 더 높다 할지라도 기술자의 판단 및 발주처의 정책 등에 의해 설계값은 실제 현장과 더 큰 차이를 보일 수 있다. [표 4-3]은 분석대상의 전체에 대하여 설계변경의 원인을 나타낸 것이다.

[표 4-3] 분석대상 사면의 설계변경원인

| Case | 설계변경전체 | 원 인     |         |
|------|--------|---------|---------|
|      |        | 사 면 파 괴 | 암 선 변 경 |
| 1    | 3      | 2       | 1       |
| 2    | 4      | 4       | -       |
| 3    | 24     | 7       | 17      |
| 4    | 7      | 4       | 3       |
| 5    | 2      | 2       | -       |
| 계    | 40     | 19      | 21      |

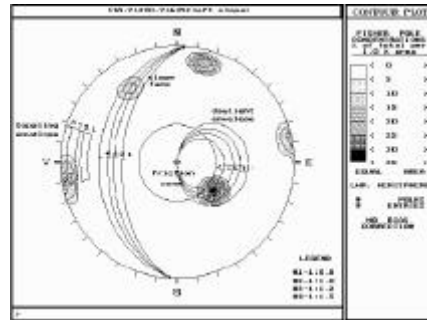
[표 4-3]에서 볼 수 있는 것과 같이 사면설계변경은 크게는 같은 범주의 원인에서 출발하지만 사면파괴와 암선변경은 2가지 범주로 나눌 수 있다.

- 1) 암반사면의 파괴는 주로 불연속면에 따라 발생하는 평면, 켜기, 전도파괴로서 이들에 대한 설계 및 조사시 관찰된 암반의 절리 등의 불연속면에 대한 정보를 충분히 활용하여 설계변경을 최소화시킬 수 있다. 그러나 분석대상에 사용된 자료에서는 조사 및 설계시 이들에 대한 개념은 언급하였으나 각종 강도정수를 구하기 위한 조사 및 설계가 시행되지 않았다. 특히 Case3은 기반암이 퇴적암으로서 퇴적암의 거동을 결정하는 특징인 층리면에 대한 시험

및 분석이 전혀 행하여지지 않았다. <그림 4-4(a)>는 붕락이 발생한 일부구간의 절개면으로서, 기반암은 층리가 약  $58^\circ$  정도로 발달된 붉은세일이였다.



(a) Case 3의 절개면



(b) Case 3의 평사투영결과

<그림 4-4> Case 3의 절개면 및 평사투영결과

설계시에는 시추조사를 통하여 1:0.8의 경사를 두었으나, 시공시 붕락이 발생하여 설계변경을 위하여 현장조사를 시행하고 분석한 결과, 절리면의 강성을 고려하여 1:1.2의 경사를 추천하였고, 시행처에서 1:1.6의 경사를 추천한 후 재차 현장을 방문하여 절리면을 관찰한 결과에 따라 1:1.6으로 변경한 경우이다. 이와 같이 퇴적암에 대한 설계시에는 층리면의 주향과 경사 및 층리면의 조건이 사전에 충분히 조사되어야 할 것이다.

- 2) 한국도로공사 기준에 의하면 암선의 변경은 절토부의 높이에 따라 시추조사 빈도와 간격을 결정하게 되어 있으므로, 앞서 언급한 바와 같이 점적인 조사 결과를 이용하여 평면 혹은 입체로 구성하고, 시추코아를 이용하여 RQD와 TCR에 의하여 공사비를 산정하는 현재의 방법은 근본적인 오차를 포함할 수 밖에 없다. 때에 따라서는 보완적으로 탄성파탐사를 시행하여 속도값에 따라 공사비를 산정할 수 있으나 이 역시 정밀도가 떨어지고 있는 실정이다. 터널인 경우에는 막장관찰을 통한 지보형태의 변경이라는 NATM의 기본이론에 의하여 어느 정도의 설계변경은 불가피한 실정이므로 이러한 상황이 반영되고 있으나 사면의 경우, 설계변경이 필요할 시에 추가용지매입에 따른 제반 행정절차에 의한 공기지연 등이 발생하게 된다.

#### 4.4 연 약 지 반

연약지반설계 및 시공에서 관심의 초점은 침하량과 압밀기간 산정 및 성토체의 안정성문제이다. 침하량 산정은 공용개시후의 침하량 즉 잔류침하량을 관리기

준이내에 계산하여야 하며, 시간의 증가에 대한 강도증가비율을 적정히 계산하여 단계성토고 및 방치시간의 결정과 교대부 등의 구조물의 안정성을 확보하는 것이 중요하다.

압밀도에 따른 강도증가율을 해석하기 위하여 Skempton식이나 삼축압축시험에 의한 증가율 산정방법 등이 이미 제시되고 있고 기타 새로운 이론이 제시되고 있으나 압밀침하량의 산정과 압밀도 산정에는 현재 사용되고 있는 Terzaghi의 일차원압밀이론을 사용할 시에는 흐름의 방향이 일차원적임을 기본가정으로 식을 유도하였으나, 실제 발생하는 침하는 2차원 혹은 3차원이며, 금속이론에 적용되는 미소변형율(small strain)을 채택하므로 연약지반에 적합한 large strain을 고려하지 못하고 있다는 한계점을 가지고 있다. 따라서 압밀량의 산정과 안정성의 확보에도 피할 수 없는 오차의 범위를 내포하고 있다. 이러한 문제는 이론적이므로 실무에서 문제가 되는 침하량과 시간의 문제에 대하여 초점을 맞춘다. 국내외의 사례를 통해 이론침하량과 실제 침하량의 차이를 살펴보면 [표 4-4]와 같다.

[표 4-4] 설계침하량과 실제침하량의 비교

| Case | 연약층의<br>심도(m) | 침하기간<br>(년) | 침하량(m) |       |       | 차이(%)     |            | 비 고          |
|------|---------------|-------------|--------|-------|-------|-----------|------------|--------------|
|      |               |             | 이 론    | 실 제   | ■     | ■<br>/ 실제 | 실제<br>/ 이론 |              |
| 1    | 13.8          | 2.8         | 2.638  | 3.645 | 1.007 | 27        | 138.2      | 국내           |
| 2    | 10.4          | 3.4         | 2.360  | 2.848 | 0.488 | 17        | 120.7      |              |
| 3    | -             | 3.4         | 1.928  | 2.591 | 0.663 | 26        | 134.4      |              |
| 4    | 7.0           | 0.6         | 1.310  | 2.520 | 1.21  | 44        | 192.4      |              |
| 5    | -             | 12          | 0.2    | .34   | 0.14  | 41        | 170.0      | 일본名神<br>고속도로 |
| 6    | -             |             | 1.23   | 1.40  | 0.17  | 12        | 113.8      |              |
| 7    | -             |             | 1.50   | 1.67  | 0.17  | 10        | 111.3      |              |
| 8    | -             |             | 1.12   | 1.60  | 0.48  | 30        | 142.9      |              |
| 9    | -             |             | 1.21   | 1.37  | 0.16  | 12        | 113.2      |              |

[표 4-4]에서 볼 수 있는 것과 같이 국내의 경우, 실측치와 이론치의 차이가 Case2, 3은 동일한 침하기간이었음에도 불구하고 차이가 각각 120.7%와 134.4%이고, 일본의 경우는 공용후 12년이 경과하였으나 일정한 차이를 나타내지 않고 있다. 동일한 계측관리기법이 사용된 것으로 유추됨에도 불구하고 이러한 차이가 발생하는 이유는 계산 및 판단상의 오차보다는 지반조사 정도에서 발생하는 차이로 사료된다. 연약지반에서 설계침하량이 토공량, 즉 공사비와 직결된다는 점을 감안하고 매우 큰 차이가 발생한 것을 알 수 있다.

#### 4.5 지반조사물량에 대한 검토

[표 4-8]은 최근에 시행된 전체 조사물량을 나타낸 것이다. 이들 중에서 눈에 띄는 항목은 Core절리 mapping, SASW 이며, 항목에는 나열되어 있지만 대부분 이 점토광물에 대하여 XRD시험을 행하였다. 최근 경쟁설계를 위하여 상당한 노력과 예산을 투입한 반면 방대한 자료를 충분히 활용하지 못하고 있는 실정이며 자료의 상호보완적인 검토가 부족하다는 것이다. 예를 들면 표준관입시험에서 타격 에너지가 기준에너지보다 적게 산출되어 N값이 과대평가되고 있으나 에너지보정은 물론 가장 기본적인 토질, rod길이, 상재하중에 대한 보정을 시행한 흔적이 없으며 각 물성치의 상관관계 또한 추정된 사례를 찾아보기 힘들다.

[표 4-5] 최근 경쟁설계에서 집행한 조사내용

| 항 목  |                        | 수량      |       |         |      |
|------|------------------------|---------|-------|---------|------|
|      |                        | '99년 시행 |       | '00년 시행 |      |
|      |                        | A       | B     | C       | D    |
| 지표지질 | 위성사진(식)                | 1       | 1식    | 1       | 1    |
|      | 항공사진(식)                | 1       |       | 1       | 1    |
|      | 현장노두(Km <sup>2</sup> ) | 5.6     | 전노선   | 전노선     | 전노선  |
|      | 현미경관찰(회)               | 10      | 1식    | -       | -    |
|      | 지질도작성(식)               | -       | 1     | 1       | 1    |
| 현장시험 | 탄성파(Km)                | 16.07   | 18.99 | 2.08    | 2.31 |
|      | 전기비저항(Km)              | 28.99   | 2.54  | 7.12    | 8.16 |
|      | EM(Km)                 | -       | -     | 2.2     | 2.48 |
|      | SASW                   | -       | -     | -       | 3개소  |
|      | 시추조사(공)                | 91      | 97    | 67      | 69   |
|      | 시험굴(공)                 | 5       | 12    | 10      | 7    |
|      | HAB(공)                 | 3       | 7     | 5       | 7    |
|      | Core절리맵핑(면)            | 6847    | -     | -       | -    |
|      | SPT(회)                 | 232     | 1식    | 332     | 270  |
|      | PMT(회)                 | 97      | 50    | 44      | 36   |
|      | BIPS(개소)               | 14      | 3     | 4       | 3    |
|      | 음파검층(공)                | -       | 9     | -       | -    |
|      | BST(공)                 | -       | 3     | -       | -    |
|      | 평판재하시험(회)              | -       | -     | -       | 9    |
|      | BHTV(개소)               | 2       | 9     | 1       | 2    |
|      | C.T(단면)                | 1       | 2     | 3       | 2    |
|      | 수압파쇄(개소)               | 2       | 2     | 3       | 2    |
|      | 수압(회)                  | 91      | 37    | 30      | 23   |
|      | 현장투수(회)                | 37      | 27    | 10      | 19   |
|      | 지하수유향, 유속(개소)          | 3       | -     | -       | -    |
|      | 지하수질분석(개소)             | 3       | -     | -       | -    |
| 실내시험 | 토질(식)                  | 29      | 61    | 24      | 81   |
|      | 암석(식)                  | 85      | 38    | 23      | 39   |
|      | 절리면 전단(식)              | 21      | 5     | 28      | 9    |
|      | 점하중(회)                 | 91      | -     | 725     | 11   |

※ 토질시험: 토성시험기준 암석시험: 일축압축시험 기준

## 5. 지반구조물의 합리적인 설계방향

### 5.1 개 요

합리적인 지반조사방향은 관련분야의 발전에 의한 신이론, 신장비 등의 활용을 주장하는 새로운 개념보다는 <그림 5-1>과 같이 교과서적인 지반조사방법을 효율적으로 수행하기 위해 노력하는 것이 선행되어야 한다. 그러나 현행일반공사를 위한 설계에서는 조사비용의 한계에 의하여 지반기술자의 지식과 경험을 충분히 활용하지 못하고 있는 실정이다.



<그림 5-1> 조사의 일반적 과정

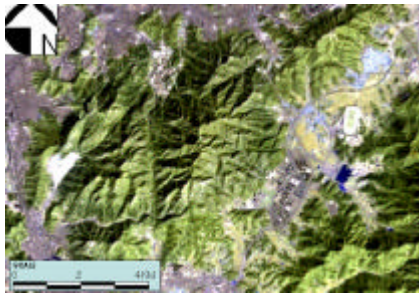
본조사에서는 실행가능한 예산범위 내에서 효율적인 접근방안이 필요하며 이를 위하여 예비조사시에 과업대상지역 및 구역에 대한 충분한 정보를 취득할 필요가 있다. 예비조사는 여러단계로 나눌 수 있으나 [표 5-1]과 같이 기존자료분석 및 광역지질조사와 탐사로 구분할 수 있다.

[표 5-1] 지반의 예비조사

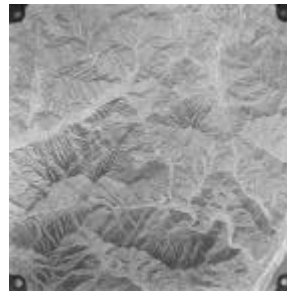
| 예비조사                | 항 목                         | 내 용                                            |
|---------------------|-----------------------------|------------------------------------------------|
| 기존 자료분석 및<br>광역지질조사 | 인공위성사진, 항공사진 분석<br>정밀지표지질조사 | 재해(지진, 홍수), 인접지역 공사, 광역<br>선구조 선구조세부분석, 지질분포상태 |
| 지구물리 탐사             | 탄성파탐사<br>전기비저항탐사            | 횡단 및 종단불량구간, 속도층분포심도<br>사면구배 및 굴착방법            |

### 5.2 원격탐사기술

터널, 암사면과 같은 암반구조물설계에서 선진기술의 응용 등의 문제를 고려하지 않을 경우에도 지반기술자에게 가장 큰 문제는 지보형태의 결정과 공사비산정이다. 특히 지보형태의 결정은 제한된 시추공과 일반적인 지질도를 사용하여서는 오차의 범위를 줄이기가 매우 힘든 실정이므로 지표지질조사에 의한 암반의 거동에 영향을 미칠 수 있는 불연속면을 파악하기 이전에 다음과 같이 사전작업과정을 거쳐 조사의 방향을 결정하는 것이 바람직하다.



a) 위성사진

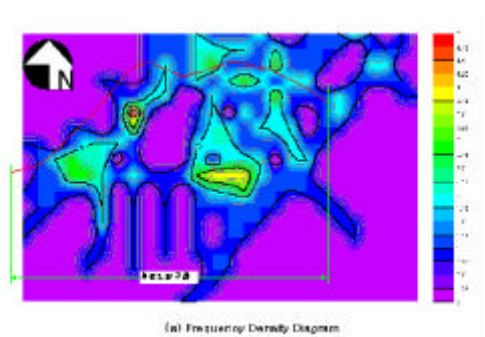


b) 항공사진

<그림 5-2> 위성 및 항공사진의 예

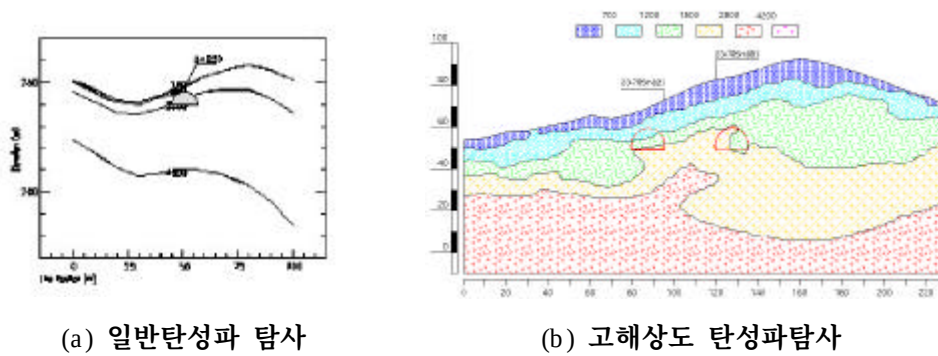
<그림 5-2>에서 나타난 항공사진과 위성사진은 원격탐사기술의 일종으로서 위성사진은 광역적인 선구조의 분석, 항공사진은 좀더 상세하게 대상구역의 선구조 분석에 사용될 수 있는 기술이다. 위성사진인 경우에는 토목전반에 대한 활용성이 매우 크다. <그림 5-3>은 <그림 5-2>의 위성 및 항공사진을 이용하여 노선구간에 발생하는 불연속면의 빈도를 분석한 예이다. 계획되고 있는 노선에는 장대터널이 있으므로 초기 계획시에 시점부에 대한 우려가 많았다. 분석결과에 의하면 시점부에는 터널축과 평행하지만 멀리 떨어진 불연속면이 발생하여 시추조사를 확인하여 지보형태의 등급이 상향조정되었다. 그러나 종점부에서는 불연속면이 터널축과 교차하고 시추조사를 통하여 불연속에 의한 단층대 및 파쇄대를 확인하여 지보등급이 하향조정된 경우를 나타내고 있다.

이와 같이 암반의 불연속면에 대한 사전검토를 실시하지 않고 지반조사를 시행하였을 경우에 터널의 설계가와 시행가가 맞지 않을 뿐만 아니라 시공시 설계변경의 여지가 상당히 많이 발생할 수 있다. 탄성파탐사는 현재 가장 많이 사용되고 있는 물리탐사기술 중의 하나로서, 터널에서는 지보형태를 결정하는 방법으로 사면에서는 굴착방법의 기준으로 통용되고 있다.



<그림 5-3> 선구조분석결과  
불연속면 발생빈도

그러나 기존의 탄성파탐사에서 널리 사용되고 있는 굴절법은 속도대를 단순히 분석하므로 정확한 암의 분포상태를 파악하는데 한계점을 내포하고 있다. <그림 5-4>는 터널부에 대하여 횡단탐사를 한 경우이다.



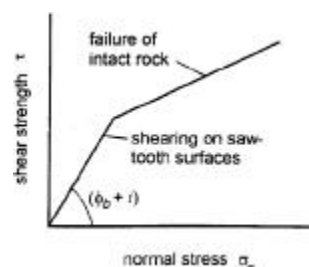
<그림 5-4> 탄성과 굴절법의 비교

<그림 5-4> (a)는 일반탄성과탐사로서 표층에서 하부로 갈수록 탄성과속도의 증가에 따라 일정한 속도대를 기준으로 층을 분리한 것이다. 이 경우에는 터널지보공 선정시에 시추조사결과와 함께 단순하게 지보형태를 결정할 수 있다. 그러나 <그림 5-4> (b)인 경우에는 고해상도 기법을 사용하여 암반층 구성을 더욱 명확하게 판단할 수 있다. 좌측 상행선인 경우에는 천단부와 측벽, 하행선인 경우에는 천단부를 중심으로 1/2씩 암의 구성이 달라지므로 시추조사의 결과에 따라 필요시 확인시추를 수행하여 보다 근접한 지보설계를 할 수 있다.

### 5.3 암반강도이론의 도입 및 새로운 탐사기술의 범용화

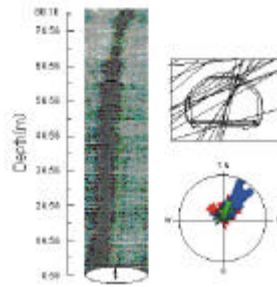
현재 많이 사용되고 있는 탐사기술중의 하나로서 공내촬영기법이 있다. 공내촬영기법에는 BIPS와 텔레뷰어기법이 있으며 이들을 적절히 운용하여 터널 및 사면 설계의 효과를 증진시킬 수가 있다. <그림 5-5>는 터널설계를 위하여 시추공내에서 BIPS를 실시한 예이다. 현재 일반공사를 위한 설계에서는 거의 이용되지 않고 있으나 경쟁설계에서는 적극 활용되고 있는 방법으로 공내에서 촬영한 불연속면의 발달방향을 실제 터널이 시공될 부분에 투영하므로 시공중 터널막장과 사면 절개면을 관찰하는 것과 유사한 효과를 설계에 반영할 수 있다.

암반의 전단강도를 산정할 때 고려할 요소는 암석 자체의 강도가 아니라 절리, 층리 등과 같은 불연속면의 강도가 매우 중요하다. 암반구조물을 포함하고 있는 현장에서 발생한 암의 설계변경은 대부분 불연속면 때문에 발생한다. 토질역학에서 주로 사용되는 파괴규준은 Mohr-Coulomb이지만 암반역학에서는 암반의 특성과 구속응력의 크기



<그림 5-5> BIPS의 예

에 대한 파괴규준을 다르게 적용해야 하는 경우가 대부분이다. 토질역학에서 전단강도를 설명하기 위하여 Interlocking효과를 도입하는 것과 유사하게 암반역학에서는 불연속면에 강도를 고려하기 위해 <그림 5-6>과 같은 이론을 도입하고 있다. 구속응력이 클 경우에는 암반의 강성이 중요하지만 구속응력이 작을 경우에는 분리하여 설계에 반영할 필요가 있다. 즉 사면과 같이 구속응력이 작으면 초기의 파괴선, 터널과 같이 구속응력이 클 경우에는 후반부의 파괴선을 사용하는 것이 타당한 것으로 사료된다.



<그림 5-6> 절리면 전단시험  
(Bilinear failure criteria)

따라서 사면설계에서는 불연속면에 대한 전단시험을 시행하여 설계에 반영하여야 하며, 시험시에 대상 구조물의 가장 위험한 상태가 전기인지 우기인지를 구분하여 시료의 수침여부를 결정하는 것도 중요한 것으로 사료된다.

#### 5.4 연약지반의 시료채취와 물성치 산정

최근 토목관련분야의 기술이 발전하여 설계에 필요한 제반 자료를 현장시험 및 실내시험을 통하여 구할 수 있으나 유일하게 압밀시험만은 현장시험을 행할 수 없으므로, 압밀침하에 필요한 기술자의 경험과 판단은 상대적으로 매우 중요하고 조사시 시료채취 위치와 방법에 따라 전체 과업의 방향을 좌우할 수 있다.

- 1) 교란시료의 채취 : 연약지반을 형성하고 있는 지층이 하나일 경우에는 동일한 분석을 할 수 있지만 그렇지 않을 경우에는 분리하여 분석하여야 한다는 것을 간과하는 경우가 있다. 연약지반인 경우에 초기의 시추조사를 통하여 N치 혹은 교란시료를 관찰한 후에 비교란시료(U/D)를 어디서 채취하여야 할 것인가를 검토하는 것이 원칙이다. 따라서 심도의 증가에 대하여 몇 개의 U/D를 채취할 것인가를 결정할 것이 아니라 층의 구성에 따라 U/D를 채취하고 시험하여 이를 설계에 반영하는 것이 필요하다.
- 2) 실내시험의 시방 : 설계자가 시험을 의뢰할 때 제시하는 자료에는 시험물량과 단가가 대부분을 차지하고 있다. 그러나 시험항목에 대하여 어떻게 시험해 달라는 시방이 분명히 기술되어 있어야 한다. 이것은 설계자의 설계방향을 사전에 결정짓는 방법임을 인식할 필요가 있다. 예를 들어 다음과 같은 사항에 대한 기술자의 시방이 필히 명기되어야 한다.
  - 시료의 성분에 따라 함수비 측정시 사용할 온도

- 압밀시험의 목적에 따른 표준압밀, CRS, CGC시험에 대한 결정
  - 삼축압축시험시 포화도를 검증하기 위하여 B-value의 설정과 Af값의 측정
  - 삼축압축시험시 파괴시까지 하중 혹은 변형을 측정범위 설정
- 3) 압축지수의 결정 : 압밀시험에서 구한 압축지수( $C_c$ )를 적용할 때에 시료채취에 의한 교란효과를 보정하기 위한 "Schmertmann 보정법"이 있지만 각종 지반보고서를 살펴보면 해당 기술자의 판단에 의해서인지 이에 의한 보정을 하는 경우를 찾아볼 수가 없다.
- 4) 선행압밀하중( $p_c'$ )의 결정 : 선행압밀하중은 Casagrande의 방법에 의하여 결정하는 것이 일반적인 관례로 되어 있으나, 동일한 시험자료를 이용하여 검토한 예는 [표 5-2]와 같다.

[표 5-2]  $p_c'$  결정법의 비교

| 방 법           | $p_c'$ (kg/cm <sup>2</sup> ) |      |           |
|---------------|------------------------------|------|-----------|
|               | Loading                      |      | Reloading |
|               | 하 중                          | 비 율  |           |
| Casagrande    | 0.79                         | 1.00 | 3.33      |
| Burmister     | 0.85                         | 1.08 | -         |
| Schmertmann   | 0.85                         | 1.08 | -         |
| Strain energy | 0.90                         | 1.14 | 2.67      |
| Janbu         | 0.69                         | 0.87 | 2.95      |
| Jose          | 0.85                         | 1.08 | 2.80      |

[표 5-2]와 같이 같은 데이터도 해석방법에 따라 87% ~ 114%의 오차가 발생하고 있다. 따라서 압밀시험결과를 검토할 때에 기존의 방법에는 개인의 오차 등에 의하여 값이 달라질 수 있으므로 여러 가지의 방법에 의하여 구한 값을 검토하여 결정하여야 한다.

- 5) 압밀계수의 결정 : 압밀계수는 압밀기간과 잔류침하량을 결정하는데 결정적인 역할을 하는 것으로, 일반적으로  $C_v$ 는 압밀시험결과에서 구하고  $C_h$ 는  $C_v$ 에서 추정하여 사용하고 있다.

표준 압밀시험결과에 의해 압밀계수를 산정하는 방법은  $\log t$ 법을 비롯한 7 ~ 8가지 방법이 있다. 그러나 어떠한 방법이든 간에 시료채취과정에서 교란의 영향을 받으므로 현장시험으로부터 구하는 방법을 추천한다. 특히 수평배수설계를 위하여 Piezocone에 의한 간극수압소산시험을 행하는 것이 바람직하다. 이 시험은 Cone을 관입하면서 발생하는 과잉간극수압이 소산되는 시간으로부터 투수계수와 압밀계수를 구하는 직접법이지만 시험비 및 대기시간이 장시간 소요되므로 실무적용사례가 드문 형편이다.

## 5.5 결 언

이제까지 4 5단원에 걸쳐 근래 진행된 지반구조물의 설계방법과 이에 대한 합리적인 방향을 살펴보았다. 위에서 살펴본 바와 같이 대체적으로 지반구조물의 설계는 그 대상인 지반조사가 가장 중요한 항목이라는 것에 이의가 없는 듯하다. 이를 토대로 토론회 발표자가 밝힌 결론 및 학계·업계의 자문위원이 말한 현재 설계법의 문제점, 개선방향에 대해 간략히 설명한다.

### 5.5.1 결 론

#### 1) 지질공학의 적극활용

본조사의 경제적인 수행을 위하여 예비조사시에 지질기술자의 지식을 적극적으로 활용하여야 한다. 현재 관행에는 한국자원연구소에서 발행한 지질도폭을 중심으로 형식적인 지표지질조사를 시행하고 있으나 지질적인 특성에서 발생할 수 있는 공학적인 문제를 사전에 점검하여야 한다. 따라서, 경쟁설계에 이용되고 있는 위성 및 항공사진과 같은 원격탐사기술과 지표지질조사의 종합적인 판단이 필요하며, 이를 위하여 예비조사에 대한 적절한 예산이 수립되어야 한다.

#### 2) 사면설계

현재 암중에 무관하게 고정되어 있는 조사의 수량은 기반암중에 따라 조사의 수량을 증감하여야 하며 시추공내에서 BIPS와 같은 물리탐사를 실시하여 사면의 거동에 영향을 미치는 불연속면을 파악해야 한다. 암사면의 안정을 지배하는 것은 불연속면이므로 절리면전단시험 등을 시행하여 전단강도를 구하며 이에 대한 합리적인 해석을 시행하여야 한다.

#### 3) 터널설계

터널이 장대터널이거나 대심도터널일 경우에 현재 기준에 의하여 시추조사를 시행하기 힘들므로, 터널의 거동에 영향을 미치는 불연속면을 파악하기 위하여 전기비저항 혹은 EM탐사를 시행하여 취득한 정보를 바탕으로 시추조사의 간격을 조정할 필요가 있다. 제반 물리탐사에 의하여 결정된 시추조사의 위치는 주로 불연속면 및 이상대에 집중하여야 하며, 필요시 현재의 규정정보보다 많은 시추조사를 투입할 수도 있는 정부 관계기관의 제도적 뒷받침이 마련되어야 한다. 불연속면 및 이상대에 대한 조사를 시행시에는 지하수의 이동방향에 대해 시험해야 하고 터널구간에 대한 PMT 등의 현장시험은 터널의 영향권 즉 종단축의 상하부 1D 이내에서 3개소 정도의 시험을 시행하는 것이 바람직하다.

## 4) 연약지반설계

비교란시료를 채취하기 위하여 시추조사를 시행하여 층의 구성이 다르다고 판단될 때에는 지층별로 시료를 채취하여야 하고 현장시험에 의한 강도추정은 SPT보다 Field-vane, CPT에 의하여 강성을 구하는 것이 합리적이며, CPT를 시행할 시에는 간극수압소산시험을 실시해야 한다. 실내시험으로부터 얻은  $C_c$ ,  $p_c'$ 와 같은 토질정수는 제반의 방법을 통하여 검증되어야 한다.

## 5) 강도정수

설계를 위하여 토질 및 암석시험을 시행하여 강도정수를 구하였으나 대부분이 이 값을 사용하지 않고 문헌이나 시방규정에 의하여 강도정수가 채택되는 관습은 지양되고, 시험에서 구한 강도정수를 적극적으로 활용되어야 한다.

## 5.5.2 제 언

- 1) 시행청의 발주방식에 따라 수주항목별 계약비율이 있고, 이에 직접경비인 조사비도 동일한 비율로 수주하게 된다. 따라서 수행사의 일반관리비를 제외하면 실제 수행할 수 있는 예산의 한계가 정해지므로 지반기술자의 창의성과 탄력성에 제한을 받게 되고 직접경비인 지반조사에 동일한 비율을 적용하는 것은 다소 불합리하다고 사료되므로 발주부서의 이에 대한 검토가 필요하다.
- 2) 최근 경쟁설계가 정책적으로 시행됨에 따라 지반분야의 기술향상이 이루어진 것은 다행한 일이다. 그러나, 조사결과와 상호보완적인 활용성을 무시한 경쟁적이고 전시적인 조사물량증대가 발생하고 있는 점에 대한 지반기술자의 각성이 필요하다. 필요에 따라 독보적인 기술을 제시할 필요는 있으나 자료를 보정하여 사용하는 노력이 없는 기술은 지양되어야 할 것으로 사료된다. 또한 발주처에서는 지반기술자가 지반조사자료를 충분한 시간에 검토, 분석할 수 있는 여건을 마련해 주어야 한다.
- 3) 지반기술자의 현재 위치에 대한 반성이 필요하다. 지반기술자가 용역을 수행하면서 정당한 용역비를 집행받을 수 있는 분야는 터널과 연약지반처리정도인 것으로 사료된다. 그러나 실제 사면 및 기초설계분야에도 많은 시간을 할애하고 있지만, 지반조사보고서를 작성하는 도중에 파생되는 부분으로 치부받고 있다. 기술의 발전은 경제행위에 수반되는 것이므로, 적극적으로 과업을 수행하려는 자세와 부단한 연구를 하지 않고는 자리매김할 수 없음을 자각할 필요가 있다.

## Stainless Roof System의 적용사례

대구공항공사현장 소장 정우호  
건축대리 최승복

### 1. 공사개요

#### 1.1 전체 공사개요

|       |                                                                                                  |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 공 사 명 | 대구 공항 확장공사                                                                                       |
| 공사기간  | 1998. 7. 28      2001. 5. 23 (1,030일)                                                            |
| 건물개요  | 지하 1층, 지상 3층 (건물길이 : 192m, 폭 : 74m, 높이 : 19.6m)                                                  |
| 연 면 적 | 28,568m <sup>2</sup>                                                                             |
| 건물구조  | 철골, 철근콘크리트(SRC) + Roof Truss<br>외벽 : 알루미늄 커튼월, 화강석 마감<br>지붕 : Stainless Roofing System (EPDM 방수) |



영남지역의 산업과 문화를 주도하는 중심도시인 대구광역시는 21세기 세계속의 대구, 패션도시 대구를 꿈꾸며 2001년 세계 J.C대회, 2002년 월드컵 축구, 2003

년 하계 유니버시아드대회 유치와 함께 대구를 이태리 밀라노와 같은 세계적인 패션도시로 탈바꿈시킨다는 야심에 찬 "밀라노 프로젝트"를 활발히 추진하고 있다. 바로 이 세계화의 출발점에 위치한 대구공항은 금번 확장공사를 통해 지하 1층, 지상 3층, 연면적 24,076m<sup>3</sup>인 국제선 여객터미널과 지상 2층, 연면적 2,695m<sup>3</sup>인 편의시설, 대형 여객기 3대를 동시 수용하는 22,076m<sup>2</sup>의 국제선 계류장, 48,152m<sup>2</sup>의 국제선 주차장 및 진입도로를 건설하는 공사로 1998년 7월에 착공하여 현재 공정을 76%로 2001년 5월 준공을 목표로 그 웅장한 위용을 서서히 드러내고 있다.

## 1.2 지붕마감 공사 개요

- 1) 공 사 명 :-STAINLESS 지붕 마감 공사
- 2) 공사기간 : 1999. 7. 1      2000. 5. 31
- 3) 시공물량 :-SST ROOF (7,737 m<sup>2</sup>)

## 2. Stainless Roof System

### 2.1 Stainless Roof System 개요

- 1) 공사 설명 :-지붕 고유의 역할 및 곡선미를 최대한 부각시킨 지붕공사로서 대규모 지붕공사에 최근 보급되고 있는 경량, 첨단공법이다.
- 2) 설계 기준 :-쾌적한 실내환경, 내구성 및 내화, 단열, 내후, 차음, 방수성능 만족
- 3) 주요 물량 : Sst Roof 마감면적 7,737m<sup>2</sup>
- 4) 주요 부재 :  
하부재 : 철골 + Deck Plate 1.6T + 단열재 50T + 경질목모시멘트 25T  
상부재 : E.P.D.M 방수층+Sst Sheet 0.4T (P&P System)
- 5) 시공 특징 : 신축변형 및 곡선지붕 처리능력 우수, 하나의 Span으로 지붕시공이 가능하여 누수문제점을 해결하고 조종사들의 눈부심 방지로 조면 및 엠보싱 처리 가능

### 2.2 상부재 Stainless 채용시 적용공법의 검토

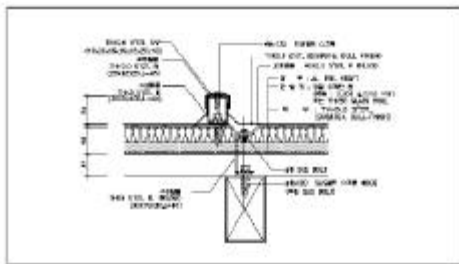
#### 2.2.1 설계안(Batten 공법)

Batten 공법은 이음부와 끝단부를 캡을 씌워 마감하는 형태로 안전배수의 한계

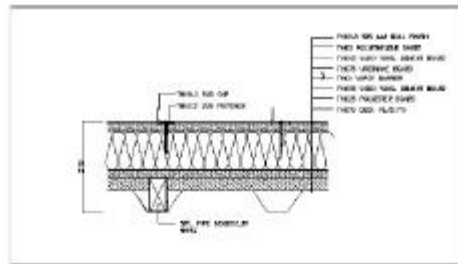
시 누수의 가능성이 크며, 상부재의 끝단부 처리가 기밀하지 않아 틈새바람이 유입되어 풍압에 취약할 수 있다.

### 2.2.2 대안(Seam Welding 공법)

Seam Welding 공법은 모든 이음부와 절단부를 선용접 처리하여 담수 및 적설 시에도 누수에 의한 하자요인이 없으며, Seam Welding 처리되어 지붕재의 완전 밀폐를 기할 수 있어 풍압에 대하여 안전하고, Batten공법에 비해 형태적으로 평평하기 때문에 자재의 소모량이 적어 약 30% 이상의 자재 절감이 가능한 공법이다.



(a) 설계안(Batten 공법)



(b) 대안(Seam Welding 공법)•

<그림 2.1> 설계안 및 대안의 비교

## 2.3

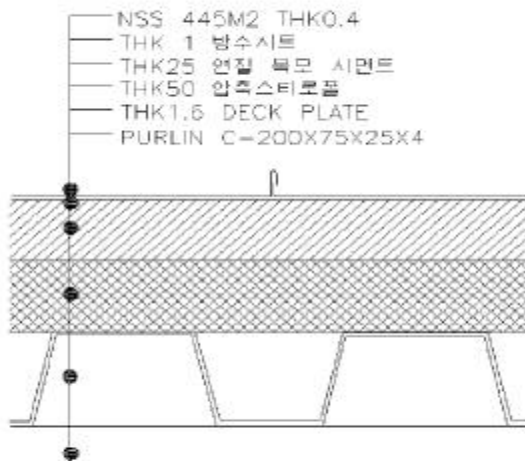
### 2.3.1

1

2

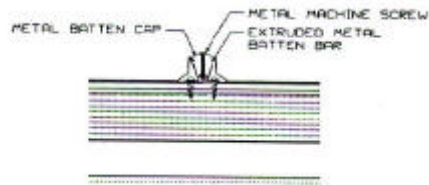
3

4



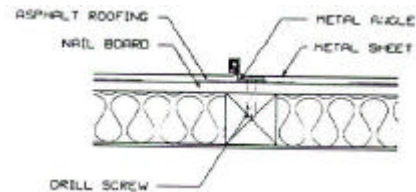
### 2.3.2 Batten System

마감재의 신축변형에 대한 적응력이 양호하나 상부재 끝단부의 처리 관계로 풍압에 취약함



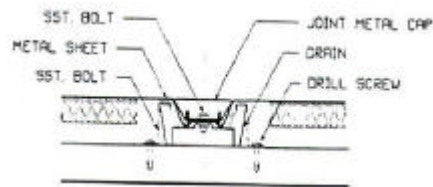
### 2.3.3 Standing System

접기이음에 의한 고정방식으로 시공성이 용이하여, 공기단축이 가능하나, 수축 팽창력이 약해 소규모 건물에 적합함



### 2.3.4 Flat System

Metal Roof 전체의 의장적 요소결핍과 이 중 System에 의한 단가가 상승함



## 3. 공법의 적용

### 3.1 P&P Stainless 시공순서

당 현장에 적용한 Permanent Perfect Stainless의 시공순서를 나타내었다.



<현장성형>



<고정핀 박기>



<면재 깔기>



<Spot 용접>



<선용접(자동용접)>



<돌기부분 용접>



<캡 씌우기>



<시공 완료>

### 3.2 각 단계별 시공과정

Deck Plate 깔기에서부터 각 단계별 시공과정을 나타내었다.



① Deck Plate 설치



② 50M/M 단열재 시공



③ 목모시멘트 25M/M 시공



④ 목모시멘트 위 프라이머 도포



⑤ E.P.D.M (4M/M) 방수작업



⑥ SST (0.4M/M) 지붕시공



⑦ 우수드레인 및 SST 지붕재 1차 수동 용접



⑧ 1차 자동용접 완료



⑨ SST 지붕재 마감(Cap 시공완료)

### 3.3 공법특성

#### 1) 풍압

시공 초기단계부터 완벽한 풍압대비를 위해 풍압 구조 계산을 통하여 태풍에 대비한 시공준비를 하였고, SST 지붕 끝 부분을 별도로 설계변경 하여 같은 재질의 SST Panel로 동시에 일체 용접함으로서 풍압에 완벽하게 대비할 수 있도록 시공

#### 2) 누수

원래 설계안을 재검토한 결과 기둥 내부 원형 선홈통 구조의 지붕장시간 체수로 인한 구조적 위험과 누수우려를 말끔히 해소하고자 건물외부에 우수관을 설치토록 설계변경을 실시하였고, 백강관으로 대체시공하고, Gutter와 수평누수관 사이도 동일 SST 제품을 용접, 완벽한 누수예방이 되도록 시공

#### 3) 반사

비행기 조종사의 눈부심을 최대한 줄이기 위하여 반사도 60 ~ 78(포스코 측정기 Ericson 기준)로 국산 자재인 STS.Pos445 사용하였고 특히, 0.4T 특성에 맞추어 R.B 형태로 절곡 가공 사용

위의 특성을 가진 고합금 저탄소강, 오스테나이트 계통의 Size : 500 × 50,000으로 내구성, 내식성이 우수하며, 다양한 표면처리 가능하고 용접 · 납땜 등이 가능한 특성을 가지고 있다.

## 4. 공법 개선

초기 계획시 선정된 공법과 당 현장에서 개선한 공법을 비교하여 나타내었다.

#### 4.1 개선사항

##### 4.1.1 재질적 측면

외산 자재(일본산 Stainless-445M2, 0.4T)를 국산(Stainless-Pos445, 0.4T)으로 대체 시공하고, EPDM 방수재의 기존 2mm를 4mm로 변경 시공하여 SST 패스너 시공후 양질의 마감성을 확보할 수 있었다.

##### 4.1.2 공법적 측면

- 1) 우수 드레인이 원안은  $\Phi 120$  SST Pipe가 내부에 매입되는 것이었으나, 매입시 보수가 불가능하고 강우시 배수량 부족 등의 문제점이 예상되어 외부로 돌출시키는 변경시공하였다.
- 2) 지붕마구리를 기존 알루미늄 Sheet(3T)에서 SST Sheet(1.2T)로 변경하여 지붕 전체의 동질감을 확보하고, 동일 자재의 용접으로 완벽한 마감성을 확보할 수 있었다.

#### 4.2 개선결과

외산자재의 국내산 대체 시공으로 운송기간의 단축 등으로 인하여 약 1개월의 공기단축 효과와 기계화 시공으로 인해 안정적인 품질을 확보할 수 있었다.

또한 일반공법(RC+방수+마감)보다 건물의 경량화, 완벽한 누수 차단, 건물의 예술성 확보 등 많은 장점을 가지고 건축물에 적용시킬 수 있었다.

#### 4.3 향후 추진방향

앞에서 언급한 많은 장점을 가지지만, 현재 기술 의존도가 높아 일반공법보다 약 3~4배 정도의 고가라는 단점을 지니고 있다. 그러나 기술의 국산화 및 표준화 등을 통하여 경쟁력을 확보하면 향후 대형건축물에 적용시킬 수 있을 것이다.

## 산업재산권 출원

### 1. EPS를 이용한 배수용 블록 I, II, III

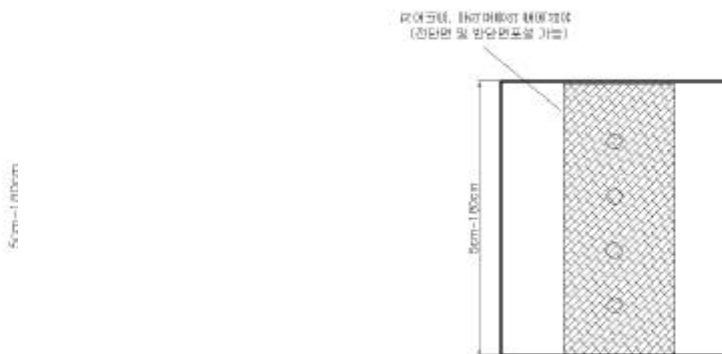
(2000. 8. 30 특허출원)

2000년도 산·연 공동으로 연구하고 있는 「EPS를 이용한 콘크리트옹벽시스템 연구」과제 성과의 일부로 출원된 특허의 내용을 요약한다.

본 발명은 도로 및 교대의 경량 성토재료로서 효과적으로 활용되고 있는 EPS 블록을 이용하여 기존의 교대 및 옹벽 배수시스템 문제점을 보완하기 위한 토목용 EPS 배수재의 형태 및 시공 방법에 관한 것이다.

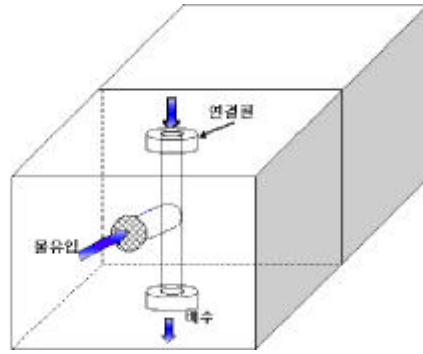
현재 토목 현장에서 일반적으로 사용되고 있는 배수시스템은 모래, 쇄석 등의 자연골재 및 부직포, PVC관을 통한 배수방법을 들 수 있다. 일반적으로 모래, 쇄석과 같은 배수재는 채취시 자연경관의 훼손 및 시공시 유발되는 분진 등에 의해 주변 주민과의 민원이 야기될 소지가 있고 자연골재는 시공시 포크레인이나 다짐 장비 등이 사용되는 등 시공상의 상당한 번거로움이 있으며, 장비다짐에 의한 흡진효과가 없어 뒤채움 성토시 구조물에 손상이 발생하는 문제점이 있어 이에 대한 효과적인 보완이 요구되었다.

본 발명의 목적은 전술한 모래·쇄석과 같은 자연골재를 이용한 배수시스템의 문제점인  
기 이하의 (



(1) 계란형 배수시스템

(2) 부직포형 배수시스템



(3) 일체형 배수시스템

## 2. 보기 시스템 및 그를 이용한 중량물 로드-아웃 공법

(2000. 9. 6 특허출원)

본 발명은 육상에서 제조된 교량과 같은 길이가 긴 중량물 운송시 보기(Bogie)에 유압잭을 장착하고 유압잭에 발생하는 압력을 자동 및 수동으로 전달할 수 있는 제어 시스템으로 구성된 보기 시스템을 이용함으로써 중량물 자중을 기초 지반에 균등하게 전달할 수 있게 고안된 장치 및 이를 이용한 로드-아웃(Load-Out) 공법에 관한 것이다.

본 발명의 보기 시스템을 이용함으로써 기존 공법에서 일반적으로 적용하는 미끄럼 마찰을 이용하는 방법을 사용하지 않고 마찰 계수가 적은 구름 마찰을 이용함에 따라 적은 용량의 견인 장비를 사용할 수 있다. 본 발명의 공법은 인위적이고 강제적인 기존의 로드-아웃 공법에서 탈피하여 본래의 구조물의 원형을 최대한 보존한 상태에서 실제 작업에 적용함으로써 공법 적용에 무리가 있는 부분이 없으며 최소한의 초기 시설 투자만 이루어지면, 추가 비용없이 지속적인 적용이 가능하여 타 공법보다 월등히 효율적이며 경제적인 공법이다.

상기에서 언급한 본 발명에 따른 장점을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 본래의 구조물의 형상을 그대로 활용한 공법 적용으로 본래의 구조물의 성능을 최대한 보장할 수 있는 공법이다.
- 2) 안전하고 효율적인 공법 적용으로 관련 작업이 안전하고 무리가 없이 진행될 수 있어서 본 구조물의 손상을 최대한 방지할 수 있다.
- 3) 본 발명의 공법 적용을 위한 설비를 초기에 최소화하여 투자한다면 거의 영구적으로 사용할 수 있으며, 추가 비용이 거의 없는 경제적인 공법이다.

- 4) 사용 장비를 최소화시킬 수 있어서 장비 수급 및 활용도 측면에서 우수한 공법이다. 기존의 일반적인 공법 적용시에는 외국 장비를 대거 임차하여 사용해야 함으로써 경제적인 손실이 크다.
- 5) 본 발명의 공법 적용시 초대형 중량물의 일괄 로드-아웃이 가능하므로 중량물의 인위적인 분리로 인한 품질 확보의 문제점 보완이 용이하며, 공기 단축 측면에서도 효과가 큰 공법이다.

### 3. 일체형 콘크리트 날개식 교량점검대 제조방법

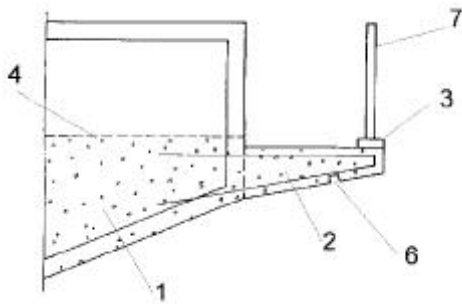
(2000. 10. 24 특허출원)

본 발명은 교량 상부구조 및 교좌장치(shoe)의 지속적인 점검과 유지관리를 위해 점검자가 교량 상부구조 및 교좌장치에 접근하여 구조물의 기능, 노후 정도, 결함 유무를 점검하기 위한 교량 점검대의 제작, 시공 방법에 관한 것으로서, 종래의 콘크리트 교각공사 완료 후 교각 및 교각두부에 앵커로 고정장치를 삽입하여 철

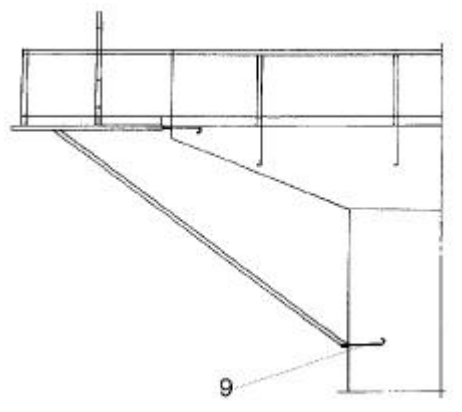
대로 제작된 점검로를 부착 설치하는 방법과 달리 교각두부 콘크리트 타설시 교량 점검대까지 일체로 시공함으로써 안전시공, 우수한 미관 확보, 유지 관리 및 공사비를 절감할 수 있는 특징을 가진 콘크리트 교량 점검대에 관한 것이다.

본 발명에 의한 일체형 콘크리트 날개식 교량점검대의 장점은 다음과 같다.

교각 슈 시공시 별도의 가시설물이 필요 없이 안전시공 확보가 가능하고, 교각 두부와 일체시공으로 미관이 좋고, 교량유지보수 작업시 자재, 기구 운영에 유리하고, 반영구적 사용으로 유지관리비가 절감되며, 공사비 절감 효과가 있다. 특히, 본 발명에서는 교량점검시설의 점검로 바닥판을 교각 구체 콘크리트와 일체식으로 구조를 개선하고 난간만 철재 구조물 또는 스텐레스로 설치하는바, 이에 의해 종래 기술이 채용하고 있는 가시설물의 설치가 전혀 필요치 않으므로 가시설물의 임대비, 가시설물 설치를 위한 인건비와 장비비용 및 일정한 가설, 해체공기를 완전히 제거시켜 그로 인한 시공비의 절감을 꾀할 수 있으며, 또 점검로 위에 형성시킨 배수용 홈은 빗물이나 눈등의 고임을 방지하여 점검로에서의 작업능률을 향상시키는 효과를 갖는다.



(당사 특허 출원공법)



(기존 사용 공법)