

## 터널구간에 위치하는 단층대의 특성 파악을 위한 지질조사 및 지구물리탐사 사례



**차성수**  
정회원, SK건설 과장



**이진무**  
정회원, SK건설 부장



**최경철**  
새터기술(주) 상무



**최웅근**  
지오제니(주) 이사



**유웅석**  
SK건설 전문,  
토목사업본부장

### 1. 개요

최근 터널설계를 위한 조사에서 터널공사의 커다란 장애요인으로 작용하는 단층대나 파쇄대에 대한 정밀한 조사를 위하여 많은 노력이 경주되고 있다. 본 조사는 ○○도로 4차선확장공사를 위한 대안설계를 위한 조사로 실시되었다. 산악지역에 건설되는 터널의 공사중 장애요소로 단층이 가장 큰 비중을 차지한다. 본 지역에 존재하는 단층은 지질도폭에는 나타나지 않으나 터널설계를 위한 조사시 인지되었다.

터널설계에 필요한 적절한 자료를 얻기 위해서는 조사계획 및 방법선정이 매우 중요하다. 범기단층을 파악하기 위한 조사계획 및 절차는 조사 각 단계의 특성을 정확히 반영하고 방법상의 적절성이 검토되었다. 본 지역이 양산 단층과 동래단층의 사이에 위치하므로 단층의 영향이 의심되어 광역적인 지질구조를 파악하기 위하여 지질도폭을 검토하였으나 도폭상에서는 단층의 언급이 없었다. 인공위성 영상자료와 입체항공사진, DEM(Digital Elevation Model) 분석에서 터널예정구간에 뚜렷한 선구조가 발견되었다. 선구조의 성격을 규명하기 위하여 광역지질조사 및 전기탐사에 의한 확인 작업이 진행되었다. 전

기비저항탐사에서는 단층 추정지역에서 광범위한 전기저비저항대가 나타났고, 지표지질조사에서는 단층의 상부에 표토가 덮혀있어 직접적인 확인이 어려웠으나 단층과 같은 방향에서 염기성 암맥들이 존재하는 것을 확인할 수 있었다. 전기비저항탐사는 단층의 방향을 해석하기 위하여 터널노선과 양쪽 200m 이격된 노선에 격자형 탐사로 실시되었으며, 암반의 물성 및 단층대의 자료를 비교하기 위한 대심도 토모그래피가 병행 실시되었다. 추정된 단층 위치에서 수직시추를 실시하여 단층파쇄대를 확인하였고, 단층점토를 채취하여 제반시험에 활용하였다. 단층의 활성여부를 파악하기 위하여 단층점토에 대한 ESR연대측정을 실시하였고, 단층점토의 성분을 파악하기 위한 XRD분석을 실시하였다. 단층의 특성에 대한 안정해석을 위하여 단층주변부의 암석코아에 대한 Creep시험을 실시하여 Burger모형을 적용하기 위한 Kelvin정수 및 Maxwell정수를 산정하여 수치해석에 이용하였다. 단층대 주변 불연속면의 방향을 시추공에서 확인하기 위하여 초음파주사검층을 실시하였으며, 수압시험 및 수리시험을 실시하여 지하수의 분포상태 및 수리특성을 확인하였다. 수직시추로는 단층의 폭과 방향 등을 정확히 파악할 수 없어서 단층의 예상주향과 수직하는 양방향으로 경사

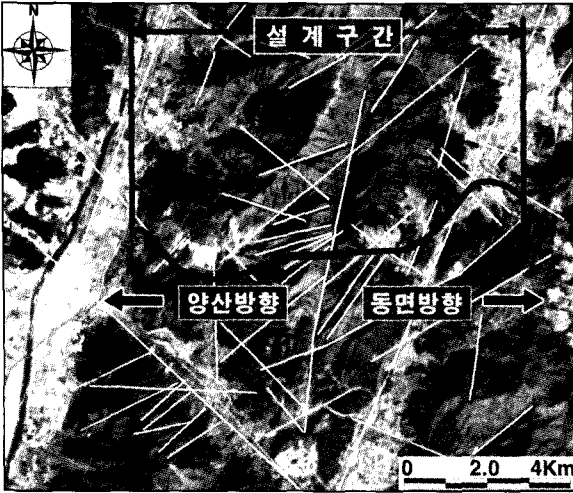


그림 1. JERS-1영상에 의한 선구조분석

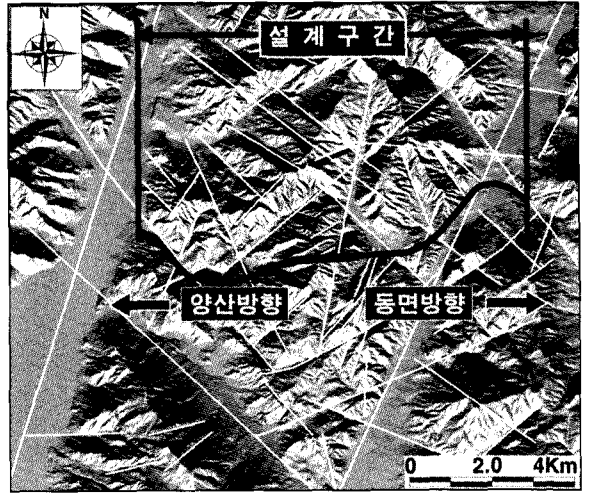


그림 2. DEM분석에 의한 선구조분석

시추를 실시하였으며, 시추결과로 단층의 폭과 경사방향 등을 추정할 수 있었다. 단층의 경사, 주향 및 규모 등을 확인하기 위하여 수직시추공을 이용한 VSP(Vertical Seismic Profiling)탐사를 실시하여 단층의 경사를 확인 할 수 있었다.

1:50,000) 및 지형도(축척 1:25,000, 1:5,000)등의 문헌을 분석하여 조사의 방향과 범위를 설정하였는데, 지질도폭에는 터널대상지역이 동일암종 지역으로 지표상의 노두에서 단층의 증거를 확보하지 못하여 단층에 대한 분석이 불충분하였다. 지질도폭으로부터 본 조사지역의 암종분포등을 확인한 후, 인공위성영상을 이용한 선구조분석을 실시하였다.

## 2. 인공위성영상 및 DEM에 의한 선구조분석

인공위성영상은 계획노선을 중심으로 13.9km × 11.8km 영역의 JERS-1 OPS 위성영상을 이용하였다. 위성영상으로부터 법기단층의 뚜렷한 선구조를 얻을 수 있었으며

현장조사를 실시하기 전에 기발간된 지질도폭(축척

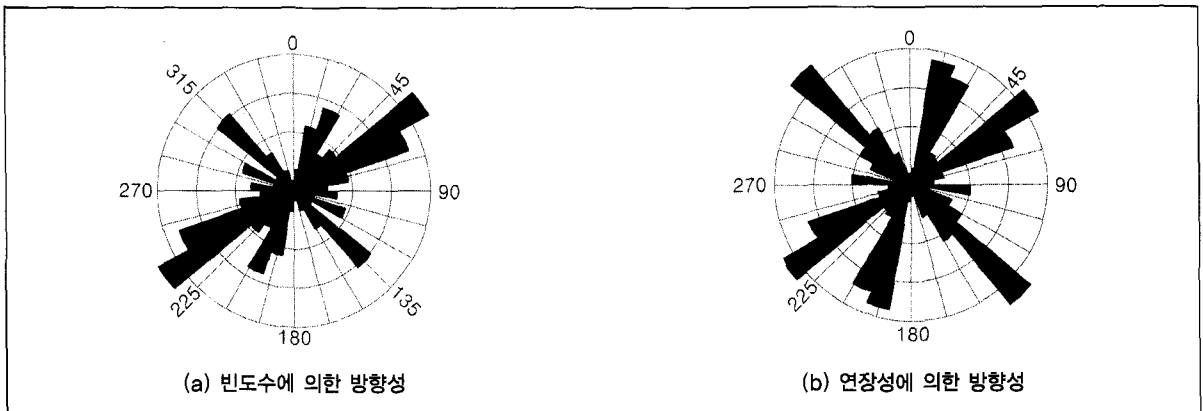


그림 3. 선구조 방향성



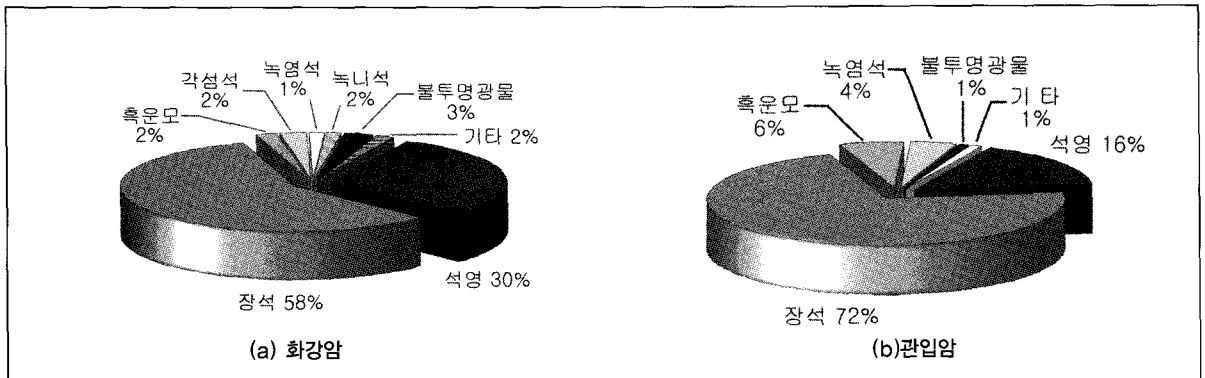


그림 5. Modal 분석도

류 및 이에 포획된 석영섬록암, 화강섬록암으로 구성되어 있으며, 맥암류는 조사지역 전반에 걸쳐 중성암맥으로 구성되어 있다. 광물조성은 화강암류의 경우 각 암종에 따라 석영함량이 16~45%로 나타나며, 관입암의 경우 장석이 주류를 이루며 변성광물(녹염석, 녹니석)을 함유하고 있다 (그림 5).

표 1. 불연속면의 방향성

| 구분 | 주향/경사 |                    |
|----|-------|--------------------|
| 절리 | J1    | N5~30E / 70~85NW   |
|    | J2    | N50~80W / 70~80SW  |
|    | J3    | N30~45W / 30SW     |
| 단층 | F10   | N60E / 83SE        |
|    | F11   | N60E / 80SE        |
|    | F12   | N10E / 80NW (범기단층) |
|    | F13   | EW / 80NW          |
|    | F14   | N10E / 80NW        |

표 2. 절리의 특성

| 항목                       | J1      | J2      | J3       |
|--------------------------|---------|---------|----------|
| 간격(m)                    | 1.29    | 0.98    | 1.48     |
| 연속성(m)                   | 2.68    | 3.48    | 3.45     |
| 거칠기                      | 10      | 9.5     | 9.3      |
| 강도(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 1,604   | 1,608   | 1,042    |
| 간극(mm)                   | <1      | 2~3     | 3~5      |
| 충전물                      | 없음      | 철 피복    | 철 피복     |
| 지하수                      | dry~wet | dry~wet | wet~flow |

### 3.2 불연속면의 분포특성

지표지질조사에서 나타난 터널구간의 절리특성은 주절리군 대부분이 고각을 이루며, 부분적으로 저각의 절리도 발달되어 있다. 고각의 절리들이 전 방위에 걸쳐 분포하며, 각 방향에 대한 빈도수의 집중도가 떨어진다.

## 4. 지구물리탐사

단층의 특성과 규모를 파악하기 위하여 전기비저항탐사 및 탄성과 탐사를 복합적으로 실시하여 상호보완적으로 각 탐사법의 특성을 살리는 탐사를 실시하였다. 전기비저항탐사는 일반적으로 단층대의 존재에 대해서는 예민하나 정략적인 규모를 파악하는 데는 다소 과장되는 경향이 있는데 이는 전자기 포텐셜을 다루는 탐사법에서 일반적으로 잘 나타난다. 터널설계의 제 매개변수와 대상부지의 전반적인 탄성파속도분포를 파악하기 위하여 탄성과 토모그래피를 실시하였다. 대심도 토모그래피의 경우는 시추공간격 및 획득되는 자료의 량등의 제약요소로 화소로 표현되는 해상도상에 일정정도 한계를 가지고 있다. 단층의 기하학적 형상이나 두께 등을 파악하기 위하여 VSP탐사를 병행하여 실시하였다.

터널구간에 위치하는 단층대의 특성파악을 위한 지질조사 및 지구물리탐사 사례

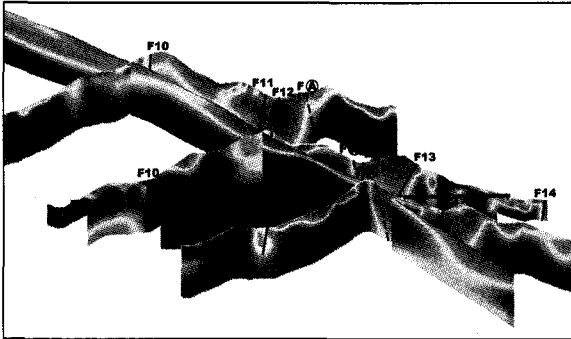


그림 6. 격자형 전기비저항탐사

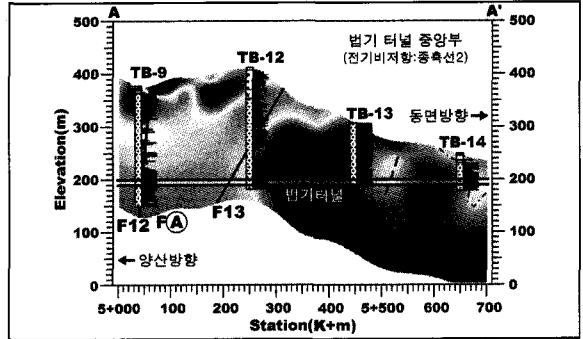


그림 7. 법기단층 주변 전기비저항탐사 결과

VSP탐사는 석유탐사분야에서 발달하였는데, TSP나 HSP와 같은 터널내 탐사와 원리가 같다.

#### 4.1 전기비저항탐사

선구조분석에서 파악된 단층의 방향성과 규모를 파악하기 위하여 전기비저항탐사를 실시하였다. 일반적으로 터널노선을 따라 1측선을 실시할 경우, 단층의 방향을 알기 어렵고, 2차원 탐사의 한계로 인하여 인접한 지질구조 등의 간섭영향에 대한 판단이 어려우므로 격자형 탐사를 실시하여 단층대의 방향성 등을 정확히 파악하고자 하였다. 단층선은 격자탐사 노선에 모두 나타났으며, 이로 인한 방향성 및 규모의 추정이 가능하였다.

법기단층부근의 탐사측선은 터널노선의 종단을 따라 중앙에 1측선, 중앙측선에 200m이격하여 2측선을 실시하고 횡단으로 1측선을 실시하였다.

탐사결과 선구조분석에서 추정된 법기단층의 위치에서 모두 광범위한 저비저항대를 나타내며, 방향도 선구조와 일치한다. 법기단층의 구간에서는 1,500Ω m이하의 저비저항대가 전반적으로 폭넓게 분포한다. 이러한 넓은 영역의 저비저항대는 종단측선과 고각을 이루는 2개의 단층대와 저각을 이루는 1개의 단층대에 의하여 형성된 것으로 추정된다. 그림 7에서 F12로 표현된 것은 양산단층 및 동래단층과 같은 주향을 나타내는 법기단층이며, F13은

EW방향에 가까운 단층파쇄대이다.

#### 4.2 대심도 탄성파탐사

터널 전구간에 걸친 탄성파속도의 분포와 저속도대에 의한 단층파쇄대의 분포를 파악하고 전기비저항탐사 결과와 비교하기 위하여 대심도 탄성파탐사를 실시하였다. 대심도 탄성파탐사는 토모그래피와 굴절법등을 혼합하여 탄성파 속도단면을 형성하는 접근법을 사용하였다.

송신 강도와 수신 감도가 자료의 질을 좌우하므로 지표 송수신외에도 시추공내 송수신을 병행하였으며, 자료의 반복성 및 일관성을 위해 한번의 송신에 대해 96채널의 시추공자료와 40채널의 지표자료를 획득하였다. 발파시 발생할 수 있는 지연시간오차를 제거하기 위하여 탐사용 특수뇌관을 사용하였다.

탐사결과는 단층파쇄대가 예상되는 구간을 제외하고는 대부분의 구간에서 5000m/sec이상의 속도를 나타내었다. 전기비저항탐사에서 저비저항값을 보인 단층파쇄대 구간(F12, F13, F14)에서 역시 상대적인 저속도분포(4,200m/sec내외)를 보여주었다(그림 7). 국부적인 속도 변화는 모암의 속도에 영향을 받으며, 주변암과 10%이상의 차이를 보이는 지역에 대하여 파쇄대나 풍화대로 평가하였다. 탄성파속도 분포와 함께 암질평가를 위해 터널 계획고에서의 탄성파속도 변화를 산정하였다.

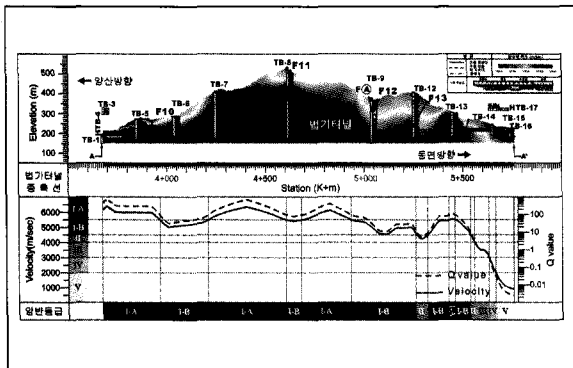


그림 8. 대심도 탄성파탐사 결과 및 터널계획고에서의 탄성파속도 분포곡선

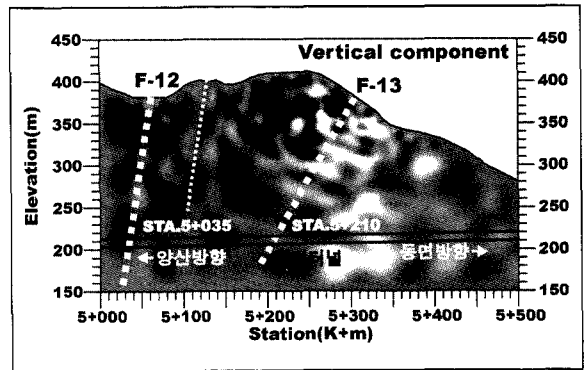


그림 9. VSP탐사 수직성분 결과

### 4.3 VSP(Vertical Seismic Profiling)탐사

다른 종류의 물리탐사나 시추조사에 의해 확인하기 어려운 단층의 정확한 위치와 경사 및 방향성을 파악하기 위해서 VSP탐사를 실시하였다. VSP탐사를 통하여 단층의 경사를 정확히 파악하여 터널과 관통하는 위치를 추정하였다. VSP탐사를 위하여 3성분 지오폰을 각 성분별로 분석하여 정확성을 높였으며, 반사파 수신이 용이하도록 탐사계획을 수립하고 송신에너지를 조절하였다. 자료처리로 역시간 구조보정(Reverse-time Migration)을 수행하였다.

수직성분에 대한 탐사결과는 법기단층(F-12)에 의한 반사파가 주종을 이룬다. 반사파는 법기단층과 60m정도

이격된 단층파쇄대에 대해서도 발생하며 경사는 82° 정도로 파악된다. 법기단층주변에서는 전반적으로 많은 반사파들이 보이며 이는 법기단층 주변의 다양한 형태의 파쇄대들이 혼재하는 것을 보여준다(그림 9).

수평성분에 대한 탐사결과는 진동이 탐사측선에 수직인 방향과 탐사측선의 방향으로 나누어진다. 탐사측선에 수직인 성분방향의 결과는 지표지질조사에서는 파악되지 않고 전기비저항탐사에서 나타났던 F②계열의 파쇄대가 반사파의 주종을 이룬다. 파쇄대는 3조 확인되며 경사는 81°이며 F②에서 60m와 110m이격된 지점에서도 반사를 얻을 수 있다. 탐사측선에 수직인 방향에서 F②계열이 잘 파악되는 것은 탐사측선과 30° 정도 엇각을 지니는 것으로 분석된다(그림 10).

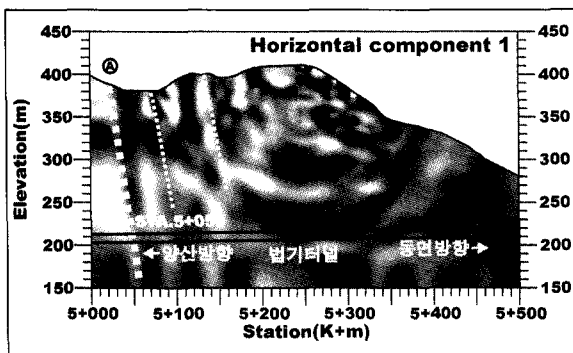


그림 10. VSP탐사 수평성분 결과 (탐사측선에 수직인 성분)

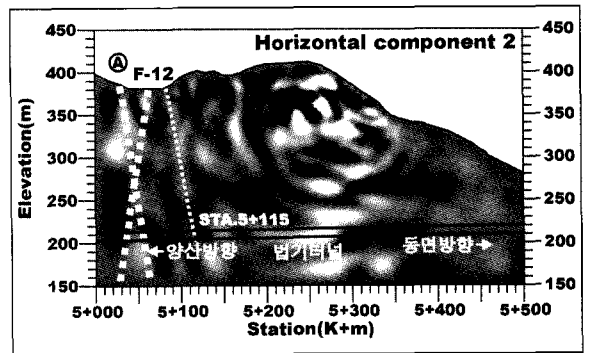


그림 11. VSP탐사 수평성분 결과 (탐사측선에 수직인 성분)

탐사측선 방향성분의 결과는 F12와 F@계열이 모두 확인된다. 탄성파의 진동 방향을 고려하면 본 구간에 존재하는 단층파쇄대의 존재를 가장 잘 확인할 수 있다.(그림 11)

## 5. 시추조사 및 시험

### 5.1 시추조사

지구물리탐사 및 지리지질조사에서 파악된 단층을 확인하기 위하여 수직시추를 실시하였다.

법기단층지역의 수직시추공에서는 GL-64m에서 -154m에 이르는 90m 구간에서 단층파쇄대가 발견되었다. 파쇄는 시추공의 전반에 나타나나 GL-73.8~78.8m, 84.3~84.7, 90.8~101.1m, 109.8~124.7m, 135~136.4m, 144~145m, 152.5~154m구간이 가장 파쇄가 심한 양상으로 나타났다. 법기단층지역의 기반암인 화강암은 염기성 관입암이 혼재하여 분포하며, 단층파쇄대를 제외하고는 치밀하고 견고하다. 관입암은 화강암을 관입한 양상으로 산출되며 암반내에서 잠재균열 및 방해석 세맥들을 함유하여 비교적 연약하다. 수직시추는 법기단층의 직상부에서 수행되었고, 단층의 경사방향과 규모를 파

악하기 위하여 양방향으로 경사시추를 실시하였다(그림 12). 수직시추와 경사시추의 결과에서 단층은 N10E의 주향에 80NW의 경사 방향을 가진 것으로 판단되었으며, 두께는 15m정도로 파악된다.

### 5.2 초음파 주사검층(Televiewer)

법기단층에 실시한 시추공에서 암반의 주요 불연속면의 분포상태 및 주향, 경사를 파악하고, 음파검층을 통한 현지 암반의 동탄성계수를 분석하며, 초음파에 의한 암반의 상대적 강도를 파악하기 위하여 초음파 주사검층이 실시되었다. 탐사는 TB-9 시추공의 14.2~155.7m구간에서 실시되었고, 탐사결과 총 888개의 불연속면이 관찰되었다. 불연속면의 주방향성은 287/85이며, 분포양상은 산발적이나 NS 내지 NE계열 및 EW계열의 방향성이 우세하다. 경사각은 NS 내지 NE계열의 경우 60~90°의 고경사각이 우세하고, EW계열의 경우 30~60°의 중경사각이 우세하다. GL-64m를 내외 경계로 상부 염기성 암맥 구간은 양호한 경암에 해당하고, 하부 화강암구간은 단층의 영향으로 파쇄가 두드러져있다. GL-154m하부 경암의 탄성파속도는 P파속도가 5,300m/sec, S파속도가 3,000m/sec로 이에 따른 동적포아송비는 0.26, 동적영률은 62.26GPa로 나타났고, 초음파 상대암석강도는 경

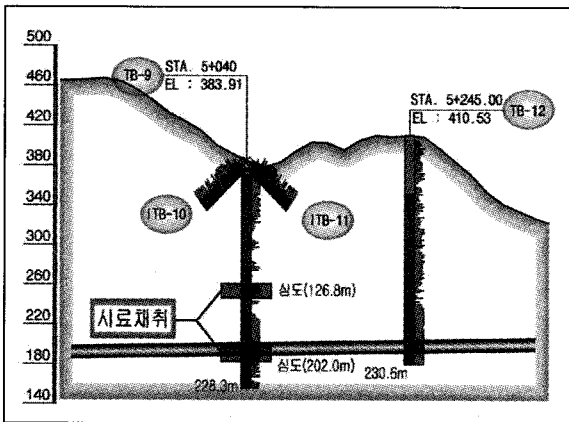


그림 12. 법기단층대 시추위치 및 암석시험시료채취위치



사진 2. 단층점토

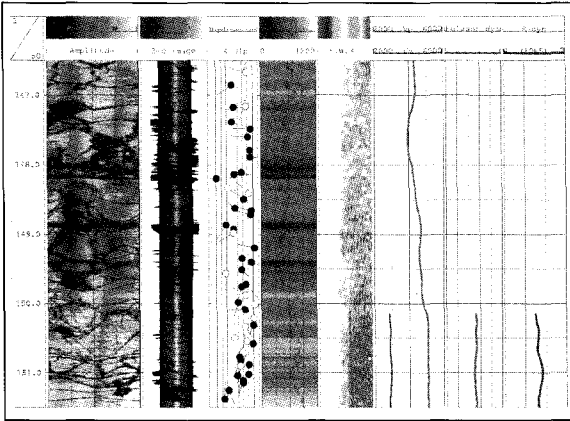


그림 13. 초음파 주사검증 결과

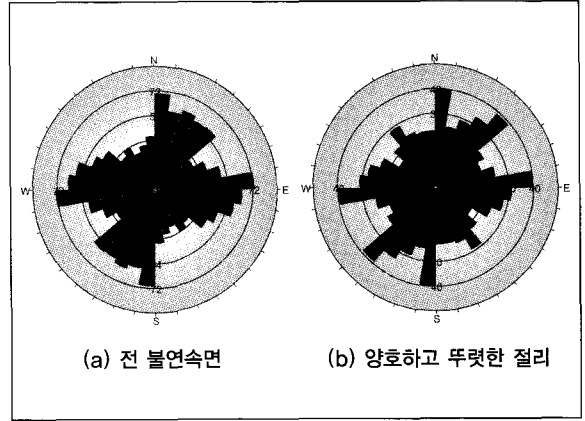


그림 14. 불연속면의 방향성

암층이  $800 \text{ kg/cm}^2$  이상을 나타내었다.

양호하고 뚜렷한 불연속면의 특성은 법기단층과 유사한 방향인 주향 N5E에서 평균을 보이고 26.8%의 점유율을 지닌 군, 주향 N40E에서 평균을 보이고 35.5%의 점유율을 지닌 군, 주향 N80W에서 평균을 보이고 37.6%의 점유율을 지닌 3개의 군으로 구분된다.

### 5.3 수압시험

법기단층에서 실시된 수압시험 결과(그림 12, 시추공번 TB-9), 파쇄대의 투수계수는  $1.98 \times 10^{-5} \text{ cm/sec}$ 로 주변 암반보다 상대적으로 높은 값을 보이며, 단층파쇄대의 상부에서 0.7bar의 피압이 관측되었다. 단층파쇄대의 피압 지하수는 단층파쇄대를 따라 관입한 관입암들에 의하여 지하수방벽이 형성되어 발생한 것으로 추정되며, 피압지하수는 터널굴착시 다량의 지하수 용출을 발생시킬 위험

표 3. 법기단층에서의 수압시험결과

| 공번   | 시험구간 (GL, m) | 평균 RQD | 투수계수 (cm/sec)         | Lugeon 값 |
|------|--------------|--------|-----------------------|----------|
| TB-9 | 55~67        | 45     | $2.56 \times 10^{-6}$ | 0.17     |
|      | 67~163       | 29     | $1.98 \times 10^{-5}$ | 0.95     |
|      | 163~228      | 80     | $2.74 \times 10^{-7}$ | 0.01     |

이 존재하므로 단층대 통과 설계시 차수계획 및 대책의 기본자료가 된다.

### 5.4 XRD 시험과 ESR에 의한 단층연령측정

법기단층구간 시추공(TB-9)에서 채취한 단층점토의 팽창성을 확인하기 위하여 실시하였다. 시험결과 팽창성 단층점토와 비팽창성 단층점토가 혼재하며 장석류가 다량으로 함유된 단층점토에서는 팽창성 점토인 몬모릴로 나이트가 10.7%를 함유하여 단층점토의 팽창성에 대한 대비가 필요한 것으로 판단된다.

법기단층은 활성여부 논란이 있는 주변의 양산단층과 동래단층과 관련이 깊은 것으로 보이며, 이에 대한 활성성을 파악하기 위하여 절대연령측정을 실시하였다. 단층대에서 채취한 시료에 대해 전자자기공명분광계(JES-TE 200)을 이용하여 ES 절대연령측정을 실시하였다. ESR 절대연령은 E' 신호를 통하여 측정하였고, 단층의 마지막 활동시기는  $138 \pm 0.18$ 만년으로 활성단층은 아닌 것으로 판단된다.

### 5.5 실내 및 현장시험



표 4. 암석물성시험결과

| 암종  | 밀도<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | 습수율<br>(%) | 포아송비 | 탄성계수<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 점화력<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 내부마찰각<br>(°) | 인장강도<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | 압축강도<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) |
|-----|----------------------------|------------|------|--------------------------------|-------------------------------|--------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 화강암 | 2.74                       | 0.18       | 0.20 | 5.3×10 <sup>5</sup>            | 320                           | 62.4         | 160                            | 2,620                          |
| 관입암 | 2.51                       | 3.86       | 0.23 | 1.9×10 <sup>5</sup>            | -                             | -            | -                              | 660                            |

표 5. 암석 creep 시험결과

| 암종  | applied stress<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | compressive strength<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | stress ratio<br>(%) | creep rate<br>(10 <sup>-3</sup> /hr) | Maxwell unit                 |                              | Kelvin unit                  |                              |
|-----|--|--|---------------------|--------------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
|     |  |  |                     |                                      | Em<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | ηm<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | Em<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) | ηm<br>(kgf/cm <sup>2</sup> ) |
| 화강암 | 450                                      | 640  | 0.7                 | 8.4                                  | 4.32×10 <sup>5</sup>         | 1.403×10 <sup>14</sup>       | 118.7×10 <sup>5</sup>        | 0.2161×10 <sup>14</sup>      |
| 관입암 | 370                                      | 530  | 0.7                 | 10.2                                 | 4.21×10 <sup>5</sup>         | 1.903×10 <sup>14</sup>       | 56.4×10 <sup>5</sup>         | 0.1036×10 <sup>14</sup>      |

표 6. 공진주 시험 결과

| 시료종류  | S파속도<br>(m/sec) | Rod파속도<br>(m/sec) | P파속도<br>(m/sec) | Damping factor       |                  | 포아송비 | 전단계수<br>(GPa) | 탄성계수<br>(GPa) | 구속 탄성계수<br>(GPa) |
|-------|-----------------|-------------------|-----------------|----------------------|------------------|------|---------------|---------------|------------------|
|       |                 |                   |                 | Half-power bandwidth | Frequency -phase |      |               |               |                  |
| 단층변질대 | 2,480           | 3,700             | 3,750           | 1.95                 | 2.41             | 0.11 | 1.57          | 3.50          | 6.61             |
| 관입암   | 2,150           | 3,240             | 3,330           | 2.23                 | 1.84             | 0.14 | 1.16          | 2.64          | 2.80             |
| 화강암   | 3,300           | 5,040             | 5,270           | 0.43                 | -                | 0.16 | 2.89          | 6.75          | 7.37             |

### 5.5.1 일반암석시험

단층파쇄대에 대한 시료채취는 대체로 어려워 암석 시험은 단층대 하부의 기반암에 대하여 주로 수행되었다. TB-9 시추공 단층하부 암반에 대한 물성시험결과 단층 파쇄에 의한 부분을 제외하고는 대체로 양호한 암질의 특성을 보여주어 단층과 대비를 보여준다. 시험은 GL-189.5~191.4m의 화강암과 GL-203.8~205.2m의 관입암에 대해 실시하였다.

### 5.5.2 암석 creep 시험

단층대 주변의 creep 현상에 대한 수치모델링을 하기 위하여 Burger 모델 물성치를 산정하기 위한 시험을 실시하였다. 시료는 TB-9번 시추공에서 법기단층 주변의 연암강도 시료를 선별하여(그림 12) GL-126.84m의 화강암과 GL-202.0m의 관입암에 대하여 실시하였다..

### 5.5.3 공진주 시험

법기단층은 양산단층 및 동래단층과 같은 영향권에 있으며 지진시 단층 주변부가 가장 많은 영향을 받을 것으로 지반의 동적특성을 파악하고자 공진주 시험을 실시하였다.

시험시료는 단층변질대(TB-12, GL-110m), 관입암(TB-9, 54.6m), 화강암(TB-9, 169.5m)을 대하여 선정하였다(그림 12참조). 결과분석은 Rod파와 S파를 이용하여 포아송비와 재료감쇠비를 측정하였으며, 재료 감쇠비는 half-power bandwidth를 이용하였다.

## 6. 종합분석 및 결론

단층의 경사가 80° 이상의 고각인 경우 정확한 위치를 선정하지 않으면 시추조사로 확인하기 어렵다. 특히 지표

에서 단층의 증거들을 충분히 확보하지 못하여 시추조사로 최종확인을 해야하는 경우에는 더욱더 그러하다.

JERS-1 OPS, DEM분석, 입체항공사진분석 등에서 뚜렷하게 선구조가 나타난 N10E의 법기단층을 확인하기 위하여 실시한 격자형 전기비저항탐사로부터 법기단층의 주향이 대체로 선구조와 일치할 것으로 판단되었으나 전기저비저항대의 분포 범위가 광범위하여 단층의 규모를 정확하게 파악하는 것에는 한계가 있었다. 이러한 광범위한 저비저항대는 법기단층이 수조의 소규모 단층대들을 동반하거나 전기비저항탐사의 종측선과 저각으로 교차하는 단층대의 가능성이 예상되어졌다. 대심도 탄성파토모그래피의 경우는 설정된 화소의 크기나 수신 및 발진의 조건에 따라 결과가 좌우되므로 대심도를 대상으로 하는 경우 전반적인 탄성파속도의 분포파악에는 의미가 있으나 단층대에 대한 정확한 조사를 위해서는 대심도보다는 규모를 줄여 대상을 보다 정밀게 파악하는 것이 유리한 것으로 판단된다. 단층영향범위에 대한 정밀지표지질조사시 단층의 징후는 상부표토로 인하여 용이하지 않았으나 단층대와 방향이 같은 대규모의 관입암들을 다수 발견

하여 단층대에 대한 지질학적 이해를 증진하였다. 예상단층 위치에서 실시한 수직시추에서 90m구간의 파쇄대가 나타났고 이는 단층대를 따라 시추가 진행된 것으로 판단되었다. 수직시추로는 단층의 정확한 폭과 방향을 파악하기 어려워서 VSP탐사를 실시하였고, 여기서 단층의 각도가 80° 내외라는 것과 경사방향도 SE방향이라는 것을 확인할 수 있었으며, 또한 수조의 단층대들의 경사 및 방향성을 파악할 수 있었다. 단층의 정확한 방향을 찾기 위하여 실시한 양방향의 경사시추로 법기단층을 최종확인하고 단층 폭이 15m내외이고 관입암을 동반하고 있음을 파악할 수 있었다. 법기단층에서 채취된 시료에 대한 연령측정은 법기단층이 약 130만년정도의 비활성단층임을 밝혀주었고 단층점토의 성분분석으로는 팽창성점토인 몬모릴로나이트를 10.7%정도를 함유하는 것으로 분석되었다. 수압시험결과 파쇄대의 투수계수는 주변 기반암과 10배정도의 차이를 보이며 파쇄대의 상부에서는 0.7bar의 피압을 보여 팽창성점토와 함께 터널굴착시 과다용수 및 붕괴등의 위해요소로 작용할 수 있다.