

# 화강암 석산 지역에서의 레이더 탐사의 적용

설순지<sup>1)</sup>, 김정호<sup>1)</sup>, 조성준<sup>1)</sup>, 이명중<sup>1)</sup>, 정승환<sup>1)</sup>

## 1. 서론

파쇄대와 같은 불균질대의 분포 및 위치를 영상화하고 암석의 신선도를 평가하기 위하여 경상남도 거창군 웅양면에 위치하는 화강암 석재 광산에 쌍극자 안테나를 이용한 시추공 레이더 반사법 탐사, 방향탐지 안테나를 이용한 반사법 탐사, 레이더 토모그래피 등의 종합적인 시추공 레이더 탐사를 적용하였다. 쌍극자 안테나를 이용한 시추공 레이더 반사법 탐사는 시추공 반경 약 60 m 내에 부존하는 파쇄대의 발달 상황을, 방향탐지 안테나를 이용한 탐사는 쌍극자 안테나에서 감지된 파쇄대의 3차원적 발달 방위를 확인함에, 그리고 레이더 토모그래피는 암질의 신선도를 영상화함에 각 탐사의 목적을 두었다. 일부 토모그래피 탐사자료에서 화강암에서는 나타나기 어려운 이방성이 확인되었으며, 이와 같은 자료에 대해서는 이방성 토모그래피 알고리즘을 이용하여 해석하였다. 시추공 레이더 탐사에 부가하여 시추공 탐사로는 영상화하기 어려운 지표 천부의 불균질대를 영상화하기 위하여 GPR 탐사 또한 적용하였다.

이 연구를 통하여, 동일한 지하의 불연속면이 개개의 탐사결과에서 모두 영상화 될 수 있음은 물론, 각종의 레이더 탐사방법에 의한 영상을 종합적으로 해석함으로써 파쇄대 또는 단층 등의 3 차원적인 부존 상황을 알아낼 수 있음을 보이고자 한다.

## 2. 현장탐사와 자료처리

Fig. 1은 북쪽에서 남쪽을 향하여 촬영한 탐사지역의 전경사진으로, 채석에 의해 드러나 육안으로 확인되는 주요 파쇄대 MF1과 MF5-1의 주향과 경사를 함께 표시한 것이다. 이 두 파쇄대는 물리탐사에 앞선 지질조사에 의해 대규모의 단층 열극대로 판정되었다 (박 용순 등, 1999). 이 지역에는 탐사를 위하여 총 6개의 시추공을 시추하였는데 BH-1에서 BH-4까지의 4개의 시추공은 사진에서 파쇄대 MF5-1의 앞쪽인 북쪽에, 나머지 두 시추공은 사진에서 아직 가행되지 않은 산쪽인 남쪽에 있다. 모든 시추공에서 쌍극자 안테나와 방향탐지 안테나를 이용한 시추공 레이더 반사법 탐사를 수행하였고, 레이더 토모그래피는 이웃하는 두 개의 시추공들이 형성하는 7개의 단면에 대해 수행하였다.

방향탐지 안테나를 포함한 모든 시추공 레이더 탐사에는 스웨덴 Malå Geoscience사의 RAMAC/Borehole 시스템을 사용하였다. 쌍극자 안테나를 이용하는 반사법 탐사와 토모그래피 탐사에서 모두 중심 주파수가 20 MHz인 쌍극자 송, 수신 안테나를 사용하였다. 20 MHz 쌍극자 송신 안테나는 방향탐지 안테나를 위한 반사법 탐사의 송신원으로도 사용되었다. 지표레이더 탐사인 GPR 탐사는 Malå Geoscience사의 RAMAC/GPR 시스템을 사용하였고, 사용된 안테나의 중심주파수는 100 MHz 이다.

시추공 레이더 반사법 탐사와 GPR 탐사의 자료처리에는 한국지질자원연구원의 전기전자 연구실에서 개발된 RADPRO for Windows를 사용하였다. 또한 토모그래피 탐사를 위한 자료 처리도 동일 연구팀에서 개발된 레이더 토모그래피 자료처리 프로그램인 TOMORAD를 사용하였다. 특히 본 조사 지역 중 일부에서는 파동의 전파 방향에 따라 전파 속도가 달라지는 이방성이 나타났는데 이러한 지역에서 얻은 자료에 대해서는 TOMORAD의 이방성 토모그래피 알고리즘을 적용시켰다 (김정호 등, 1996; Cho and Kim, 1997).

### 3. 탐사결과 종합해석 및 토의

조사지역 내 6개의 시추공에서 수행한 시추공 레이더 탐사법과 지표에서 수행한 GPR 탐사의 결과를 종합하여 얻은 주요 파쇄대의 3차원적 분포를 Fig. 2에 나타내었다. 그림에서와 같이 탐사지역의 파쇄대 또는 단층의 분포는 아직 채색이 진행되지 않은 시추공 BH-5와 BH-6 주변인 남쪽으로 갈수록 그 빈도수가 증가한다.

시추공 레이더 토모그래피를 통하여 주요 파쇄대 및 암질의 변화를 영상화하였다. 특히 단층 파쇄대 MF1은 파쇄대가 위치하는 여러 토모그램 상에서 저속도층으로 영상화되었다. 단층 파쇄대 MF2 및 MF5-1은 저속도 층으로 영상화되지는 않았으나 이들 단층이 암질 변화의 경계가 됨을 잘 보여주었다. 또한 일부지역에서 미세 열극이 일정방향으로 배열되어 발달하여 이방성을 나타냄을 알아내었는데, 이러한 이방성의 분포를 분석한 결과 조사지역의 시추공 BH-1, BH-2 및 BH-5 주변의 암석내에 미세 열극의 발달 빈도가 높은 것으로 해석하였다. 이방성이 나타나는 단면의 분포, 토모그래피, 레이더 반사법, GPR 탐사 영상을 종합 해석한 결과, 단층 파쇄대 MF2와 MF5 사이의 암석이 상대적으로 암질이 우수할 것으로 예측된다. 한편 다른 단층 파쇄대, 특히 MF1은 시추공 심도 이상으로 지하의 상당 심도까지 연장하여 발달할 것으로 예상된다.

시추공 및 지표를 이용한 각종 레이더 탐사법을 동일 석산 지역에 적용하여 동일한 지하의 불연속면이 개개의 탐사결과에서 모두 영상화 될 수 있음을 보였다. 또한 이 연구를 통하여 조사지역의 주요 파쇄대의 3차원적 분포 및 암질에 대한 체계적인 정보를 얻기 위해서는 모든 탐사 결과의 종합적인 해석이 무엇보다 중요함을 알았다. 특히 방향탐지 안테나를 이용한 반사법 탐사는 쌍극자 안테나에 비해 S/N 비가 낮아 시추공 주변의 대규모 파쇄대의 영상만을 제공하나 주요 파쇄대의 방향을 알려 줌으로써 쌍극자 안테나를 이용한 반사법 결과만으로는 해석하기 어려운 각 반사대 들의 3차원적 위치를 해석하는데 결정적인 도움을 주었다. 또한 시추공을 이용하여 얻을 수 없는 천부의 자료는 지표레이더 탐사인 GPR 탐사를 통하여 얻어낼 수 있었다. 한편 토모그래피 탐사 결과는 주요 파쇄대의 영상뿐만이 아닌 반사법 탐사만으로는 알기 어려운 암질에 대한 정보를 제공하였다.

### 4. 사 사

이 연구는 산업자원부 출연 연구과제인 “석재자원 조사 및 산업화 연구”의 일환으로 수행되었으며, 현장 실험에 많은 도움을 주신 위 광호, 신 인철씨께 감사드립니다.

### 5. 참고문헌

- 김 정호, 조 성준, 이 명중, 정 승환, 1996, 이방성 매질 내에서의 레이더 토모그래피: 석재자원조사연구, 한국자원연구소, KR-96(C)-12, 407 - 446.
- 박 용순, 이 병태, 이 춘오, 고 인세, 신 현모, 1999, 경남 거창지역 석재자원 개발을 위한 정밀조사연구: 석재자원조사연구, 산업자원부, 1999R-T102-P-06, 257 - 330.
- Cho, S. J., and Kim, J. H., 1997, Radar traveltime tomography in anisotropy media - in the application of limestone area, Expanded abstracts of the 59th EAGE conference and technical exhibition, EAGE, Geneva, Switzerland, May 26-30, 1997, p084.

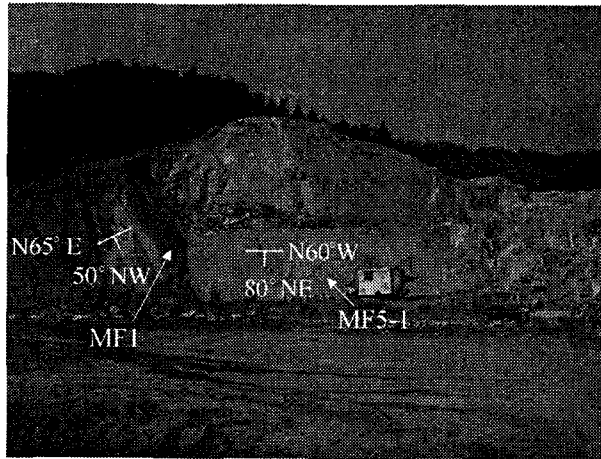


Fig. 1. Photographic view of survey area. The main fractures, MF1 and MF5-1, are exposed by excavation.

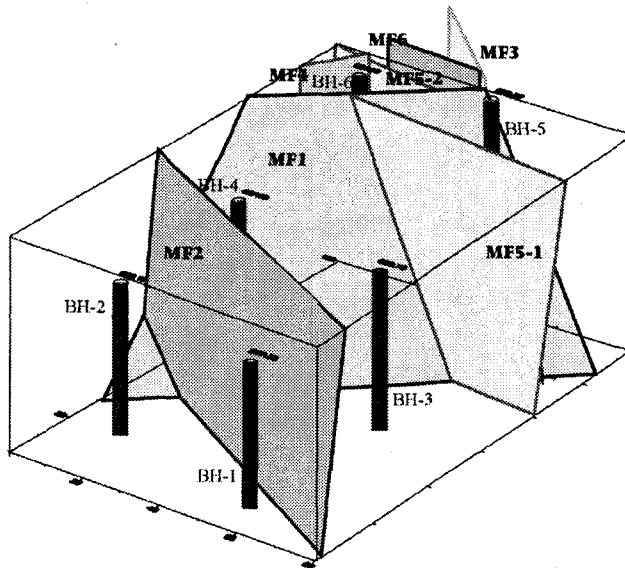


Fig. 2. Distribution of major fractures detected by borehole radar and GPR surveys.

주요어: 시추공 레이더 탐사, 토모그래피, GPR, 화강암 석산, 이방성, 파쇄대

1) 한국지질자원연구원