

# 암반 내 단열망 분포 평가를 위한 지하투과레이더 탐사의 적용: KURT 내 예비평가

권장순<sup>1\*</sup>, 백승호<sup>1,2</sup>, 김승섭<sup>2</sup>, 고용권<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

<sup>2</sup>충남대학교, 대전광역시 유성구 대학로99

\*jskwon@kaeri.re.kr

## 1. 서론

지하구조물 건설에 따른 오랜 기간 동안의 안전성을 확보하기 위해서는 암반 내 존재하는 단열대의 공간분포 파악이 매우 중요하다. 특히 사용후핵연료의 심지층처분의 경우 단열대는 지하수의 유입 경로 및 핵종의 이동경로가 될 수 있기 때문에 더욱 정밀한 이해가 필요하다. 본 연구에서는 원자력연구원 내 처분연구시설인 KURT 내에 존재하는 단열망의 공간분포를 파악하기 위하여 지하투과레이더 장비를 활용한 지구물리 탐사법의 활용 방안 및 적용 가능성을 검토하였다. 또한 단열망에 대한 지구물리적 고해상도 영상을 구축하는 기법을 개발하고자 하였다.

## 2. 본론

### 2.1 지하투과레이더

지하투과레이더(Ground Penetrating Radar, GPR)란 고주파영역의 전자기파를 송신기(transmitter)를 통하여 지표면에 입사시킨 후 연속적으로 매질 경계면에서 반사되어 되돌아오는 파를 수신기(receiver)를 통해 감지함으로써 매질 특성을 영상화하는 물리탐사 방법 중 하나이다. 이때 전자기파가 통과하는 매질에 따라 유전율과 전도율이 다르기 때문에 전자기파의 전파속도 및 파장, 반사 특성이 달라지는 원리를 이용하여 대상물의 두께 및 위치, 매질 간의 경계면, 내부 균열 및 공동의 존재 등을 알 수 있다[1]. 지하투과레이더 방식은 다른 지구물리 탐사법과는 달리 고주파영역의 전자기파를 사용하므로 주어진 공간에 대하여 높은 해상도의 지하영상을 얻을 수 있는 동시에, 비파괴 탐사기법으로서 주변 지질구조에 영향을 주지 않는다는 장점이 있다.

### 2.2 KURT 내 현장조사

KURT 대부분의 내면은 터널 내 안전을 확보하기 위하여 그라우팅(grouting) 시공이 되어 있다.

그라우팅은 시멘트, 물, 점토 등의 혼합물로서 경화되지 않은 점토의 물성은 높은 전도도를 가지기 때문에 GPR 탐사/조사 시 전자기파 에너지를 흡수하는 역할을 한다. 이는 GPR 탐사의 전자기파의 내부 확산을 저해하므로 적용불가하기에 그라우팅 처리가 되어 있지 않은 KURT 벽체를 대상으로 100, 200, 500 MHz 및 1 GHz의 다양한 주파수를 사용하여 현장 실험을 실시하였다.

다양한 현장 실험 중 본 지면에서는 KURT 내부 다이아몬드 절단면 벽체(Fig. 1)를 대상으로 실시한 100, 200 MHz 저주파 영역에서의 측선조사와, 500 MHz 및 1 GHz 고주파 영역의 격자조사 결과를 수록하였다.

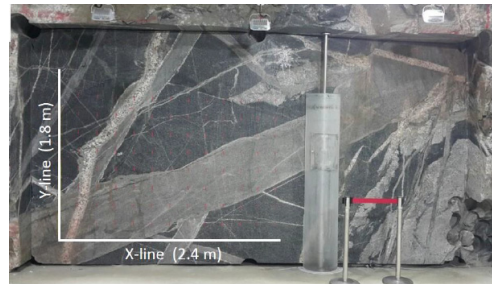


Fig. 1. Diamond-ground wall in the KURT. The dimension and location of the GPR grid survey are denoted as white solid lines.

### 2.3 연구결과

연구결과의 분석에 앞서 측선 및 격자조사에서 관측된 자료들은 전용 자료처리 프로그램을 활용하여 기본적인 Grain, Band-pass filter, Migration 등을 적용하여 해석에 용이한 자료로 생성하였다. 이에 앞서 ATA(Average Trace Amplitude) 분석을 통해 탐사 가능 깊이(가탐심도)를 추정하였다.

100 및 200 MHz 주파수 영역대를 이용한 탐사의 ATA 분석을 통하여 각 가탐심도가 약 11 m 및 6 m임을 확인할 수 있었다(Fig. 2a). 100 MHz 영상에서는 깊이 3.5 m에서 강한 신호가 나타나 선형구조의 단열대가 있음을 확인할 수 있으며 200 MHz 영상에서는 깊이 약 1.8 m에서도 강한 반사면이 추가로 관측되었다(Fig. 2b,c).

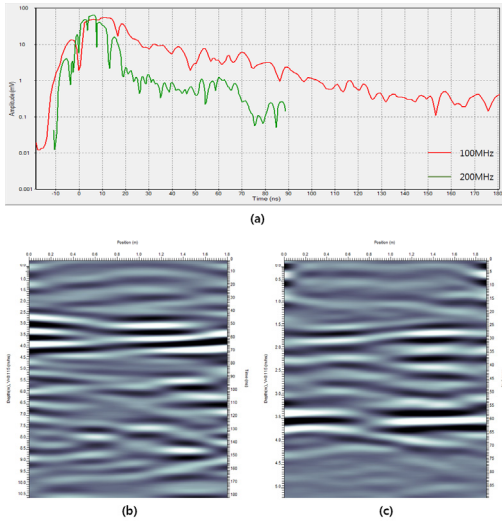


Fig. 2. Comparison of the ATA with 100 and 200 MHz investigation (a), and scan images of 100 MHz (b) and 200 MHz (c).

100 MHz 결과에서 나타나는 3.5 m 심도에 존재하는 반사면의 경우 position 0.7 m를 기준으로 반사파의 위상이 달리 나타나고 있으며(Fig. 2b), 이는 단열 내부를 채우고 있는 물질의 물성 변화에 기인함을 지시한다. 이에 화강암체 내에 작은 균열을 만들고 내부가 각각 공기 또는 물로 채워지는 가상모델을 만들어 GPR 영상을 생성해 보았다. 그 결과 서로 다른 위상이 도출되었으며, 해당 3.5 m 심도에 위치하는 단열의 경우 좌측에는 물이, 우측에는 공기로 채워져 있음을 확인할 수 있었다.

500 MHz 및 1GHz의 ATA 그래프 분석 결과 500 MHz의 경우 45 ns(2.587 m)보다 깊은 가탐심도를, 1 GHz의 경우 46 ns 정도의 가탐심도를 보였다. 전반적으로 고주파영역대의 탐사에 있어 2.5 m 이상의 가탐심도를 보이지만 송신신호의 구형발산에 의해 에너지 손실이 일어나 하부의 영상이 잘 구현되지 않음을 확인할 수 있었다.

고주파영역의 격자조사를 통하여 심도 1 m 이내의 단열망의 3D 모델 중합 영상화를 실시하였으며(Fig. 3), 3차원의 영상에서 2개의 주 반사면이 교차하여 존재하는 단열망을 확인할 수 있었다.

일반적으로 영상의 손실을 막기 위해서는 max. gain 값을 높게 설정해줘야 하지만 이 경우 다른 영상의 왜곡을 초래하여 정확한 해석을 실시하기 어렵다. 이를 해결하기 위하여 보통 3D 모델을 구간별로 나누어 영상화하는 방법을 이용해 볼 수 있다.

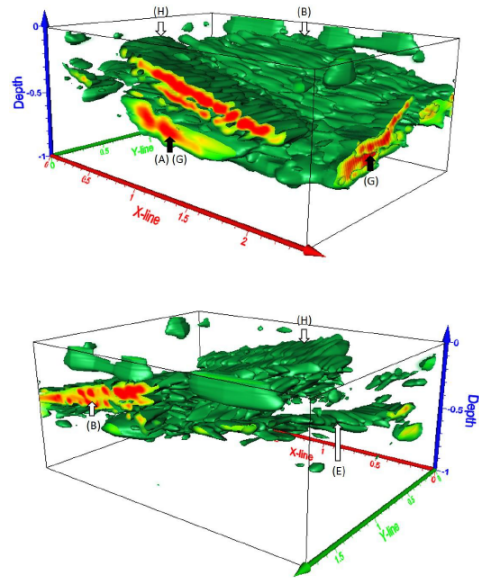


Fig. 3. The 3D subsurface image conducted by using both 500 MHz and 1 GHz grid data. The identified fractures are indicated arrows, where the white arrow point to fractures and the black arrows point to the void.

### 3. 결론

본 연구에서는 KURT 내에 존재하는 단열의 공간분포를 파악하기 위하여 GPR 장비를 활용한 지구물리탐사법의 활용방안 및 적용가능성을 살펴보았다. 단열의 규모 및 단열내부 채움 매질에 따라 신호의 강도와 위상의 변화가 다르게 관측되었으며, 단열망의 분포를 정밀한 3차원 영상으로 생성할 수 있었다. 이로 비파괴 지구물리탐사가 지하처분장의 안전성을 확보하는데 매우 효과적이며 효율적으로 사용될 수 있음을 제안한다.

### 4. 감사의 글

본 연구는 미래창조과학부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(핵연료주기사업)입니다.

### 5. 참고문헌

[1] H.M. Jol, "Ground Penetrating Radar: Theory and Application", 1 ed., Elsevier Science.