

## 지표투과레이더(Ground Penetrating Radar)를 이용한 온양편마암의 풍화특성 고찰

신성렬<sup>1)</sup> · 박부성<sup>2)</sup> · 장원일<sup>1)</sup>

### Weathering Characteristics of On-Yang Gneiss using Ground Penetrating Radar

Sung Ryul Shin, Boo Seong Park and Won Il Jang

**요 약 :** 본 연구에서는 온양편마암이 분포하는 지역을 대상으로 지표지질조사, 핸드오거 보링, 시추조사 및 GPR탐사 등을 통하여 변성암의 풍화특성을 파악하였다. 지표지질조사 및 시추조사 결과 조사대상 구간의 호상편마암은 엽리를 따라 발달된 수평절리 및 2 Sets의 수직절리가 발달하고 성인에 기인한 조성광물의 배열에 따른 차별풍화로 우백대가 우흑대보다 훨씬 높은 강도특성을 보였다. GPR탐사 결과, GPR단면도는 엽리의 방향성을 명확히 보여주며, 편마암 특유의 조성광물 배열상태와 조성광물 및 불연속면의 발달정도에 기인한 차별풍화의 전형적인 형태를 보였다. 특히 힐버트변환을 통한 순간위상 단면도는 엽리의 방향성 및 연속성을 명확히 보여주었다. 그러나 호상편마암에 대한 GPR탐사시 광물조성에 따라 뚜렷한 반사특성을 보이므로 토사층 및 기반암의 심도 파악이 매우 어렵기 때문에 반드시 시추 및 굴절법 탄성파탐사 등을 이용, 결과물을 상호비교하는 것이 바람직하다.

**Abstract :** We investigated the weathering characteristics of On-Yang gneiss by means of geological survey and Ground Penetrating Radar(GPR). The results of geological survey and boring show the two sets of vertical joint and horizontal joint developed by foliation which is composed of salic and melanic layers. GPR section evidently shows foliation direction and differential weathering due to discontinuity and mineral composition of metamorphic rock. The GPR section for instantaneous phase attribute based on complex trace analysis evidently shows continuity and foliation direction of metamorphic rock. The strong reflection amplitude which is derived from the banded structure of weathered rock can be incorrectly interpreted as a reflection of bedrock. The depth of rock basement should be estimated from the overall exploration result such as boring, seismic method, and electrical resistivity method.

**Keywords :** GPR 탐사, 호상편마암, 풍화특성, 힐버트 변환

## 서 론

산업경제의 급속한 발전과 개발에 따라 건설공사용 골재 자원은 콘크리트용 조골재, 조경석, 건축 마감 석재, 댐 및 항만 건설을 위한 호안 축조용 등 광범위한 목적에 사용되고 있으며, 이러한 골재원의 확보가 매우 중요한 문제로 대두되고 있다. 콘크리트용 조골재의 경우, 하상골재가 거의 고갈되었고 개발에 따른 수질 등 환경문제를 야기시킴으로 인해 적절한 암질의 석산을 개발하여 수요에 대처하고 있다. 해양 항만공사의 경우, 건설경비의 대부분이 재료비인 사석이 차지하므로 현장 인근에 적절한 암질 및 규모를 가진 석산의 확보가 무엇보다 중요하다.

골재자원을 확보하기 위한 석산개발 단계에서 고려되는 사항은 토사층의 심도, 사토장 확보여부, 접근성, 현장과의 거

리 등에 따른 운송비, 재료의 적합성 여부, 매장량, 생산단가 등이다. 일반적으로 토사층의 심도와 암질 및 매장량 등을 파악하기 위하여 지질 및 시추조사와 더불어 탄성과 굴절법 탐사, 전기비저항 탐사 등의 물리탐사를 수행한다.

본 연구에서는 석산개발을 위한 사전단계로서 지표지질조사를 통하여 개략적인 지질구조를 파악하고, 시추조사 및 강도조사, 핸드오거 보링, GPR탐사와 자료처리 및 분석을 통하여 재료의 적합성 여부와 함께 변성암 지역에 대하여 풍화특성 및 토사층의 심도를 파악하고자 하였다.

## 지표지질 및 시추조사

### 광역지질 및 지형

현장 지질조사 및 GPR 현장시험이 수행된 지역은 충청남

\*1998년 10월 8일 접수

1) 한국해양대학교 해양에너지자원공학과 (Korea Maritime University)

2) 쌍용건설(주) 기술연구소 (Institute of Construction Technology, Ssangyong Engineering & Construction Co. Ltd.)

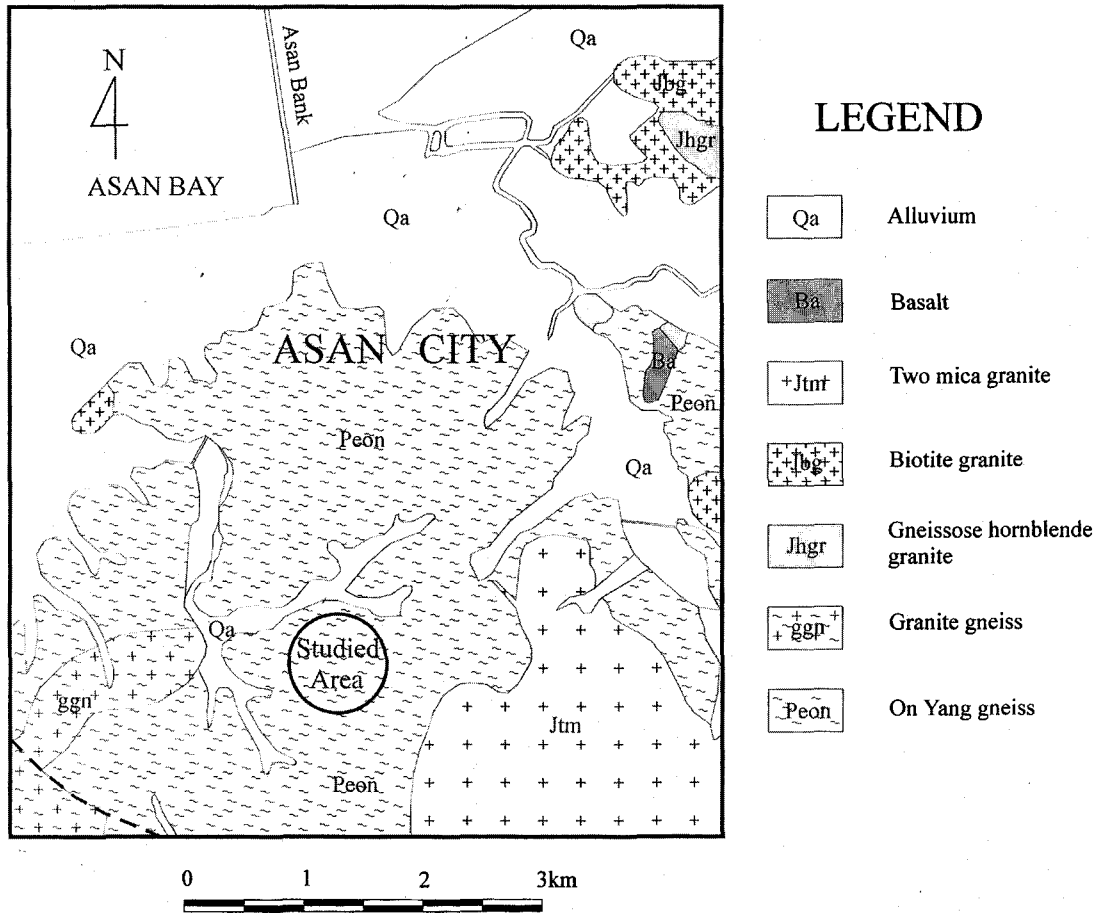


Fig. 1. Geologic map of the Asan area, Korea.

도 아산시 영인면 일대로서 조사지역의 지질은 대체로 선캠브리아기에 해당되는 장기간의 광역변성작용을 받은 퇴적기원의 변성암류로 구성되어 있고 주변부에는 본 암류를 관입한 후기의 화강암류가 분포하고 있다. 이들은 수차의 조구조 운동을 받아 지질구조가 심히 교란되어 있을 뿐만 아니라 화성활동의 영향을 받아 기원암의 성분과 구조, 그리고 변성정도 및 상태에 따라 다양한 암종별로 세분된다<sup>1)</sup>. 본 조사지역의 구성암석인 온양편마암의 엽리발달 양상은 20~30°, 32° 내지 30~50°, 40~50°로서 아산만의 발달방향과 같이 NW-SE의 축을 갖는 배사형을 이루고 있다. 본 지역에 대한 광역지질도는 Fig. 1에 나타내었다.

지형은 서해안 인접지역에서 흔히 볼 수 있는 한반도 특유의 노년기 최후 단계인 완만한 구릉지를 형성하고 있다. 지형적으로 조사대상 구역의 형상은 완경사를 이루며 지질구조적으로 대규모 단층 및 파쇄대의 발달 양상은 발견되지 않았으나 계획부지 경계부에 형성된 소규모 골짜기를 따라 N10~20E/70~90NW 방향의 소규모 파쇄대가 발달하고 있으므로 인접부의 암질상태는 다소 파쇄되어 불량한 암질상태를 보일 것으로 사료된다.

지표지질 및 시추조사

지표지질조사는 Fig. 2의 현장조사 위치 및 축선도에 나타난 바와 같이 노두를 대상으로 시행되었으며, 지형의 형상을 고려하여 구조대의 방향 및 발달가능성 또한 세밀하게 조사하였다. 암종은 선캠브리아기 경기변성암복합체에 해당하는 편마암으로서 암석 성분상 화강암질 편마암에 속하며, 광물 배열 형태상 우백질부가 우세하고 부분적으로 흑운모 등의 Mafic Mineral Band 발달에 의한 호상구조(Banded Structure)를 보인다.

편마암화 작용에 의해 형성된 본 호상편마암은 광물의 종류 및 함유정도에 따라 우백대(Salicy Layer)와 우흑대(Melanicy Layer)로 구분할 수 있다. 조사대상 구간의 호상편마암을 구성하고 있는 우백대의 주 구성광물은 석영 및 장석류, 부 성분광물은 흑운모로서 담회색~회백색을 띠는 반면, 우흑대의 주 구성광물은 흑운모, 부 성분광물은 석영 및 장석류로서 암회색~흑색을 띠며, 대체로 우백대의 발달정도가 우세하며 부분적으로 우흑대가 발달하고 있다. 특히, 흑운모는 세편상의 벽개면이 발달된 광물로서 풍화 및 변질에 의해 쉽게 점토화(녹니석화 또는 Vermiculite화)되는 경향이 있으므로 우흑대 뿐만아니라 전체암반의 강도를 저하시키는 요인으로 작용하고 있다.

지표지질조사 결과 엽리 및 절리로 구성된 불연속면은 대

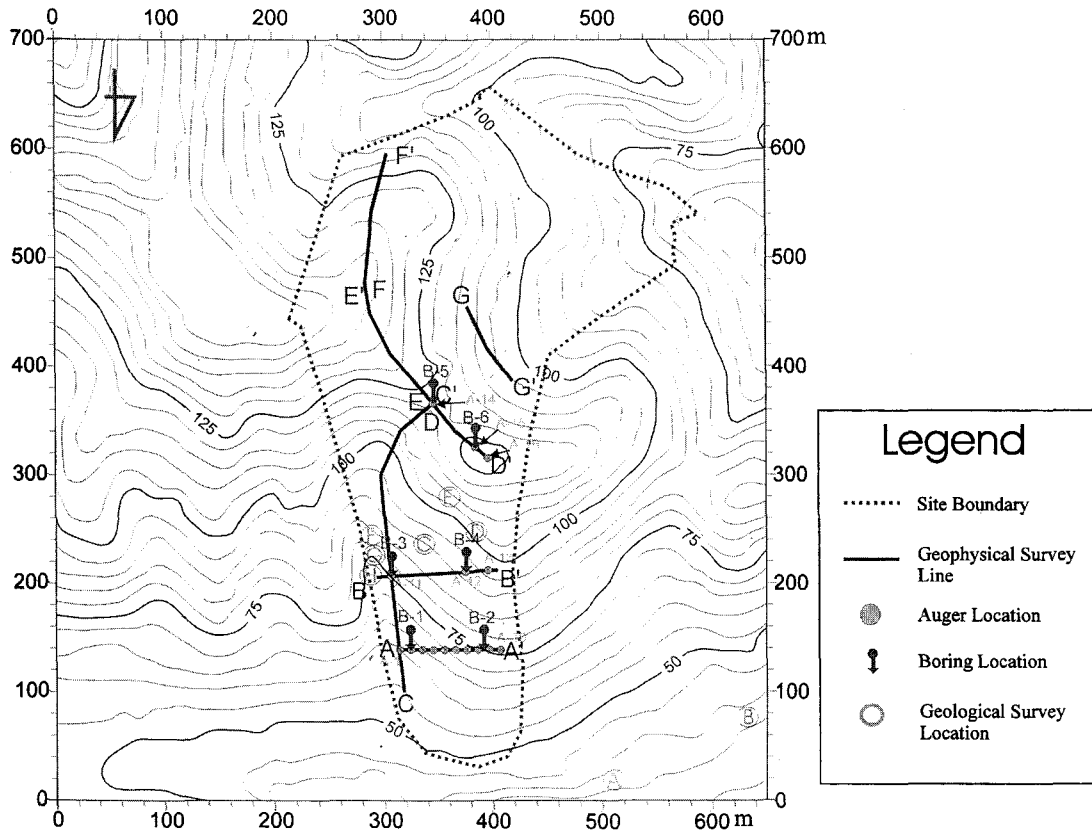


Fig. 2. Location map of GPR test lines and geological survey positions.

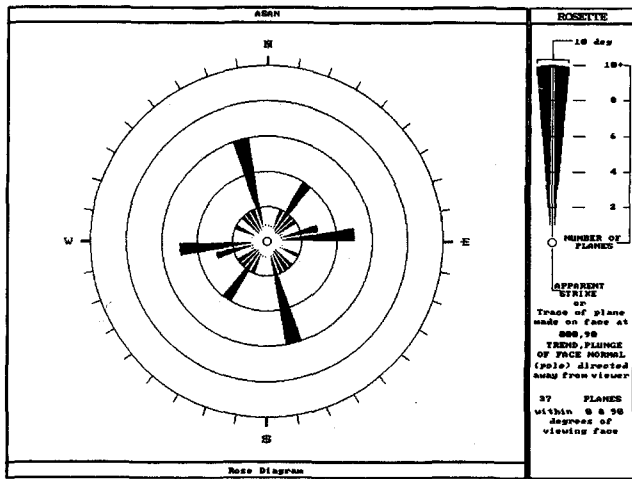
체로 3Sets 내외, 즉 엽리를 따라 발달된 수평절리(0~30° 내외 경사) 및 2Sets의 수직절리(70~90° 내외 경사)가 발달하고 있다. 불연속면의 간격은 대체로 0.2~0.6m이고, 부분적으로 일부 엽리를 따라 6~20 cm 인 블록상을 보이며 RQD는 평균 64~80의 양호한 상태(Fair)이고 풍화정도는 대체로 약간풍화(S.W) 또는 부분적 중간풍화(M.W)로서 양호한 암질상태를 보인다. 조사대상 암반의 불연속면들의 방향성 및 분포상태를 보여주는 Rose Diagram과 불연속면의 밀도분포도(Contour Diagram)는 Fig. 3에 나타내었다.

조사대상 지역에 대한 지층의 구성상태 파악, 특히 토사층의 심도를 확인하기 위하여 핸드오거 보링을 실시하였다. 조사결과 핸드오거 보링에 의한 심도 범위는 0.6~2.7m 내외, 평균 1.6m의 심도를 나타내었으나 GPR 탐사 및 시추조사 결과 자료와 비교, 분석한 결과 다소 신뢰도가 떨어진 결과를 보였다. 이는 심도가 증가할수록 하부 표토층이 매우 조밀한 상태로 구성되어 있어 인력작업의 한계 또는 천부에 핵석 및 암편이 존재하는 경우 오거작업을 더 이상 진행하지 못하기 때문이라 사료된다.

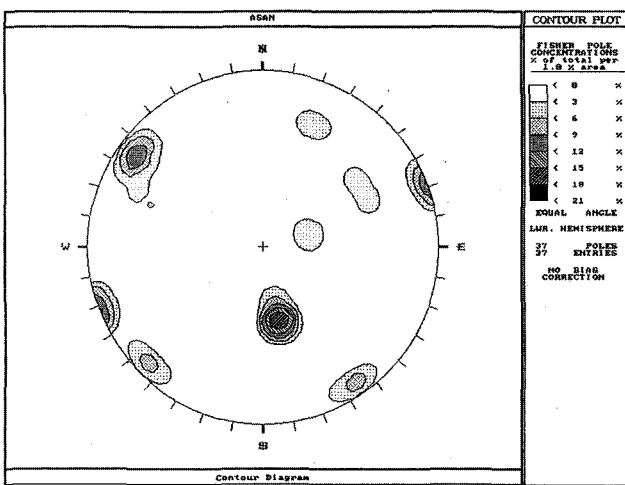
지표지질조사, Hand Auger Boring 및 GPR 탐사 등의 결과 자료와 상호 비교하고 본 부지를 형성하고 있는 지층의 정보 즉 암종, 암질상태, 불연속면의 발달상태, 단층, 습곡, 파쇄대 등을 파악하기 위하여 NX Size로 시추공 조사를 실시하였으며, 시추공 위치는 Fig. 2의 현장조사 위치 및 축선도에 나타

내었다. 시추코아에 의한 조사결과는 표토층, 풍화암층, 연암층, 보통암층 및 경암층으로 구성되어 있으며 지층구분은 국내의 암반분류기준을 이용하여 수행되었고 암종, 광물배열 형태 및 불연속면의 발달상태 등은 지표지질조사와 거의 유사한 결과를 보였으며 지질구조적으로 단층 및 파쇄대의 발달이나 대규모 습곡작용에 의해 교란된 양상은 나타나지 않았다.

표토층은 황갈색, 실트질 점토로 구성된 부식토와 담회색~회백색~연갈색의 실트질 모래로 구성된 풍화잔류토로 구성되어 있다. 풍화암층은 암편 및 실트~모래질의 모암 분해물로 구성되며 심한풍화(H.W)~완전풍화(C.W) 상태의 풍화정도를 보이며 RQD는 0%를 보인다. 연암층은 절리간격이 대체로 6~20 cm 내외, 부분적 <6 cm의 조밀한 상태로 RQD 20~60% 내외를 보이며, 부분적으로 엽리 발달부를 따라 심한풍화(H.W) 및 파쇄상태를 보이기도 한다. 대체로 풍화정도는 중간풍화(M.W)~심한풍화(H.W) 상태를 보이며 불연속면을 따라 철산화물 및 망간산화물이 피복되어 있고 강도가 다소 저하된 상태를 보인다. 보통암층의 불연속면 간격은 대체로 0.2~0.6m 내외, 부분적 6~20 cm로서 RQD 50~80% 내외를 보이며 풍화상태 또한 절리면만 약간 변색된 약간풍화(S.W) 상태의 양호한 암질상태이다. 경암층은 공변 B-4의 7m 하부에서 산출되며 장주상의 거의 완전한 형태의 코아를 보이며 RQD 또한 90% 내외의 매우 우수(Excellent)한 상태



(a)



(b)

Fig. 3 (a) Rose Diagram of discontinuity obtained from geological survey and (b) Contour Diagram.

이며 풍화정도는 신선함(Fresh) 상태를 보이고 있다.

### GPR탐사

#### 자료획득

GPR탐사는 송신안테나로부터 방출된 펄스형의 전자기파가 전자기적 물성이 다른 물체를 만나 반사된 신호를 수신안테나에서 탐지하고, 이를 처리하여 단면도로 작성, 해석하여 조사대상물의 내부상태를 파악하는 탐사법이다. 조사심도는 사용 안테나에 따라 수십cm에서 수십m까지 조정 가능하므로 지하매설물 조사, 완공된 콘크리트 구조물의 비파괴조사 및 지반조사분야등에 사용되고 있으며<sup>2)</sup>, 시추공 레이더 반사법과 시추공 토모그래피는 화강암 석산의 석재자원조사, 석재 재질평가, 석회암 공동지역 탐지등에 사용된 바 있다<sup>3)</sup>.

탐사결과는 주로 유전상수(Dielectric Constant), 전기전도도(Electric Conductivity)와 같은 전파 매질의 전자기적 특성에 의해 크게 영향을 받는다. 각종 매질에서 전자파의 전달속

도는 유전상수에 의해, 파의 감쇠는 전기전도도에 의해 크게 영향을 받는다. 유전율은 매질이 균질할 경우 수분함량과 공극률에 의해 영향을 받으며 전기전도도는 매질내의 수분 및 전도성 물질의 함량에 의해 영향을 받는다<sup>4,5)</sup>. 탐사결과는 사용안테나의 중심주파수, 안테나 간격, 안테나 이동간격, 샘플링 간격 등으로 구성되는 탐사설계의 여러 요소들에 의해 어느 정도 영향을 받게 된다. 조사에 사용된 GPR장비는 미국 GSSI(Geophysical Survey Systems Inc.) 제품 SIR(Subsurface Interfacing Radar) System-2이다. 가탐심도가 깊은 16~120 MHz 주파수대역의 저주파수안테나는 현장여건 상 사용하기 어려운 관계로 현장의 작업환경을 고려함과 동시에 분해능이 높고 가탐심도가 비교적 깊은(2~5m 정도) 400MHz 안테나를 사용하였다. 탐사측선은 Fig. 2와 같이 능선 및 골짜기 주변 소로를 대상으로 총 7개 측선(A-A'~G-G')이며 총연장은 895m이다. 편마암 엽리의 주향에 대하여 수직인 측선과 평행한 2개의 대표적인 측선에서의 결과를 Fig. 4와 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 4는 엽리의 주향에 수직인 B-B' 측선 중에서 10~20m구간에 대한 GPR단면도이다. Fig. 5는 편마암 엽리의 주향과 평행한 측선인 C-C' 가운데 10~20m 구간에 대한 GPR단면도로서 반사이벳트가 거의 수평으로 나타나고 있다.

#### 자료처리

지하지질구조를 보다 명확하게 나타내기 위하여 GPR탐사 자료에 대한 자료처리과정은 필수적이며, 통상 적절한 이득함수를 주거나, 디콘볼루션, 구조보정 등의 처리과정을 거친다. 본 연구에서는 디콘볼루션, 구조보정 등 통상적인 자료처

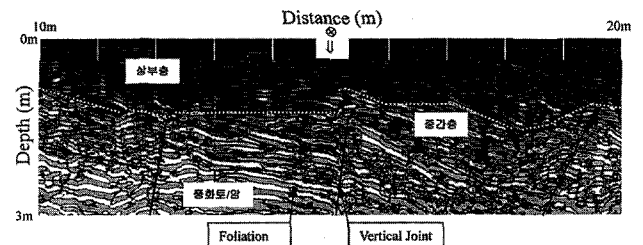


Fig. 4. GPR section of 10~20m range in survey line B-B'. GPR section evidently shows foliation direction and differential weathering due to discontinuity and mineral composition of metamorphic rock. The symbol ↓ denotes hand auger boring position and the symbol boring hole position.

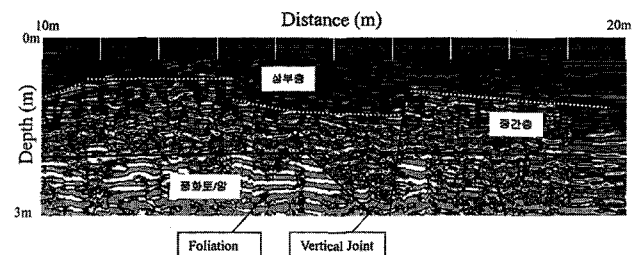


Fig. 5. GPR section of 10~20m range in survey line C-C' which is parallel to strike of foliation.

리와 함께 GPR탐사자료의 힐버트변환을 통하여 복소수트레이스로 변환하였다. 이때 나타나는 반사강도(Reflection strength), 순간위상(Instantaneous phase), 순간주파수(Instantaneous frequency) 등의 속성(Attribute)은 다음과 같이 구할 수 있다<sup>9)</sup>. 기록된 GPR자료를 시간  $t=0$  이후에만 값을 갖는 유인함수인 트레이스  $f(t)$ 를 복소신호(complex signal)  $F(t)=f(t)+if^*(t)$ 의 실수성분으로서 취급하자. 허수성분  $f^*(t)$ 는 아래의 두가지 조건을 만족하면  $f(t)$ 로부터 구할 수 있다.

1)  $f^*(t)$ 는 선형콘볼루션연산(linear convolution operation)에 의하여  $f(t)$ 로부터 결정되어진다.

2) 모든 실수값  $A$ ,  $\theta$ 와  $\omega > 0$ 에 대하여  $f(t)=A \cos(\omega t + \theta)$ 이라면,  $f^*(t)=A \sin(\omega t + \theta)$ 가 된다.

실수성분 트레이스  $f(t)$ 의 진폭과 위상이 시간에 따라 변한다면 식 (1)과 같으며, 허수성분 트레이스  $f^*(t)$ 와 복소수 트레이스  $F(t)$ 는 식 (2), 식 (3)과 같다.

$$f(t) = A(t) \cos \theta(t) \quad (1)$$

$$f^*(t) = A(t) \sin \theta(t) \quad (2)$$

$$F(t) = f(t) + if^*(t) = A(t)e^{i\theta(t)} \quad (3)$$

한편, 반사강도(Reflection strength)  $A(t)$ 는 아래와 같다.

$$A(t) = [f^2(t) + f^{*2}(t)]^{1/2} = |F(t)| \quad (4)$$

순간위상(Instantaneous phase)  $\theta(t)$ 는 아래와 같다.

$$\theta(t) = \tan^{-1}[f^*(t)/f(t)] \quad (5)$$

시간에 따른 위상의 변화율은 아래와 같이 시간에 따른 주파수가 된다.

$$\frac{d\theta(t)}{dt} = \alpha(t) \quad (6)$$

식 (6)을 콘볼루션 형태로 표현하면 아래의 식 (7)과 같다.

$$\alpha(t) = \int_{-\infty}^{\infty} d(\tau) \theta(t - \tau) d\tau \quad (7)$$

이 때,  $d(\tau)$ 는 미분연산자(differentiation filter)이다.

순간주파수(Instantaneous frequency)는 식 (5)의 미분으로부터 구할 수 있으며, 아래와 같다.

$$\alpha(t) = \frac{f(t) \frac{df^*(t)}{dt} - f^*(t) \frac{df(t)}{dt}}{f^2(t) + f^{*2}(t)} \quad (8)$$

이때,  $f(t)$ 와  $f^*(t)$ 는 식 (7)과 같이 콘볼루션 형태로 계산될 수 있다.

### 자료분석

호상구조의 편마암에서 석영, 장석 등 우백대의 유전상수는 4~7정도, 우흑대인 흑운모의 유전상수는 6~9정도, 핸드오거 보링에 의한 토사입도는 실트 종류로서 유전상수는 약 9~

23으로서 각 구성물질이 유전상수 및 전기전도도에 차이를 가지고 있으므로<sup>4,9)</sup> GPR자료의 반사특성은 지질구조 및 광물 배열상태 또는 엽리의 방향성 등을 정성적으로 나타내어 줄 것으로 사료된다. Fig. 4의 GPR단면도에서 강한 반사 이벤트는 토사 내에 함유된 암편/전석 또는 모암구조를 유지하고 있는 풍화토 또는 풍화암에 의한 반응이라 사료되며 편마암 엽리의 방향성과 차별풍화의 특징을 잘 보여주고 있다. Fig. 5는 축선방향이 엽리의 주향에 평행하여 전체적으로 수평 이벤트만 나타나 보인다.

Fig. 6(a)는 Fig. 4의 GPR단면도를 지층의 반사계수 함수로 나타내기 위하여 역필터링한 디콘볼루션 결과를 나타낸 단면도로서, Fig. 4에 비하여 전체적으로 각 트레이스는 고주파수 성분이 많이 포함되며 심도 0~1m 사이의 미세한 반사이벤트도 나타나고 있다. Fig. 6(b)는 Kirchhoff 합산구조보정(summation migration)의 결과를 나타낸 그림으로서 Fig. 6(a)에 비하여 회절양상이 제거되었으며 엽리의 경사는 10°~30° 정도이다.

GPR자료를 복소수 트레이스로 간주하여 힐버트변환을 통하여 구한 반사강도, 순간위상, 순간주파수 등과 같은 속성을 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7(a)는 반사강도를 나타낸 것으로서 탄성과파자료에 나타나는 큰 반사강도는 부정합면, 석유탐사시 가스층 등 인접한 지층 사이의 주요한 암상 변화와 관계된다. 통상적으로 반사강도는 위상과 무관하며 최대반사강도는 힐버트 변환 전의 GPR자료와 다른 양상을 보일 수 있다. Fig. 7(a)에서는 주요한 엽리의 경사방향 및 반사이벤트가 뚜렷하게 나타나고 있다. Fig. 7(b)는 순간위상을 나타낸 그림으로서, 순간위상은 반사이벤트의 연속성이 강조되므로 불연속면, 핀치아웃(pinchoff), angularities, 서로 다른 지층간의 경사각등을 나타내는데 효과적이다. 위상은 반사강도와 무관하기 때문에 약한 코히런트 신호를 더욱 명확하게 나타낼 수 있다. Fig. 7(b)에서도 엽리의 연속성을 명확히 보여주고 있다. Fig.

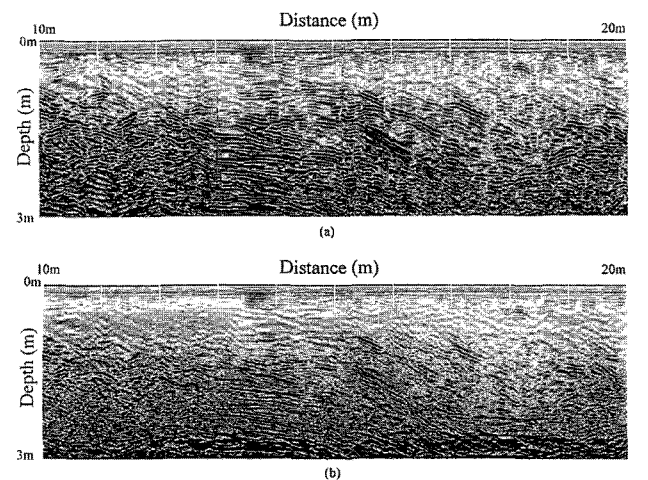


Fig. 6. The processed GPR section with Fig. 4. (a) Deconvolution section and (b) Kirchhoff migration section.

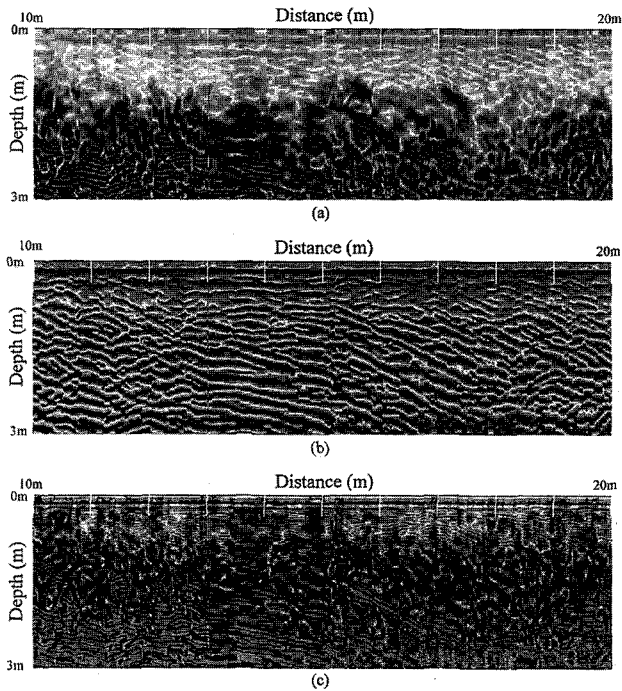


Fig. 7. GPR section of attribute measurement based on complex trace analysis for GPR section of Fig. 4. (a) Reflection strength section (b) Instantaneous phase and (c) Instantaneous frequency.

7(c)는 순간주파수를 나타낸 그림으로서 층후 또는 암상이 점이적으로 변화하면 반사이벤트 또한 점이적인 변화가 나타나지만 순간주파수는 순간위상과 비슷하게 점이적인 층의 경계면을 명확히 나타내는 특성이 있다. Fig. 7(c)에서는 상부층과 중간층의 경계를 보다 명확히 구분시켜준다.

탄성과 층서해석과 유사하게 퇴적환경 및 구성물질의 종류에 따른 레이더자료 반사특성(Type of Reflection Configuration)에 대한 연구결과<sup>7)</sup>를 바탕으로 본 GPR자료를 해석하면 실트질 점토로 구성된 부식토인 상부층은 비교적 균일한 매질로 구성되어 특이한 반사이벤트가 나타나지 않는다. 치밀하고 단단한 실트질 점토와 암편이 포함된 중간층은 반사이벤트가 주로 회절 점상으로 나타나며 풍화정도에 따라 반사진폭 크기가 다르지만 엽리방향의 연속성은 양호한 편이다. 모암구조를 유지한 실트질 모래 또는 풍화받은 모암이 전석으로 존재하는 풍화잔류토층은 엽리방향의 연속성이 뚜렷이 나타나며 매우 큰 반사진폭을 나타내고 있다. GPR자료 반사상 해석으로부터 표토층의 풍화양상은 상부층(실트질 점토로 구성된 부식토), 중간층(치밀하고 단단한 실트질 점토로 구성, 부분적 암편포함), 풍화잔류토층(실트질 모래로 구성, 모암구조 유지, 풍화받은 모암이 전석으로 존재)으로 구분할 수 있다.

### 풍화특성

조사대상 구역내의 표토층 및 하부 암반의 풍화양상은 암종, 암질상태, 불연속면 발달상태 및 GPR 탐사자료에 의한

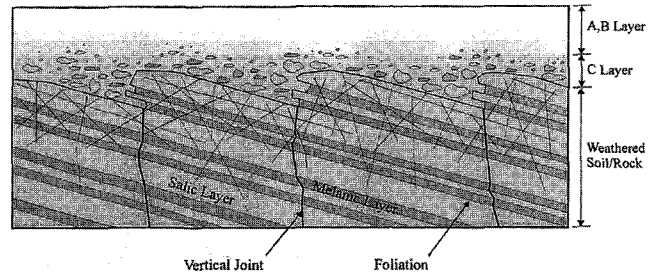


Fig. 8. A schematic illustration for weathering characteristics of metamorphic rock in the studied area.

해석결과로부터 차별풍화(Differential Weathering)에 의한 양상임을 추정할 수 있다. 일반적으로 차별풍화는 암석의 특성 및 암반 내에 발달하는 지질구조가 주 원인이다. 신선한 기반암에서 보다는 엽리나 절리, 단층을 따라 풍화 및 변질작용이 훨씬 빨리 일어나며 암상이나 지질구조가 복잡한 지역에서는 풍화대의 깊이가 매우 불규칙하게 나타난다.

본 지역에 분포하는 편마암은 거의 수평(0~30° 내외의 경사)인 엽리 및 2Sets의 수직절리(70~90° 내외의 경사)가 발달되어 이러한 불연속면이 지하수의 유로를 형성하여 풍화가 촉진되었으며, 또한 현장의 편마암이 우백대 및 우흑대의 발달에 의한 호상구조를 보이므로 엽리의 발달이 미약하고, 풍화에 강한 석영 및 장석으로 구성된 괴상의 우백대는 상대적으로 풍화에 저항력이 크나, 엽리가 발달하고 풍화에 약한 흑운모의 함량이 많은 우흑대는 쉽게 풍화된다. 이러한 제요소에 의해 차별풍화가 발생되며 Fig. 8에 본 현장암반의 차별풍화에 의한 추정 모식도를 나타내었다. 이러한 결과가 GPR 탐사자료에서도 거의 유사하게 나타났으며, 현지 암반의 풍화양상은 상부로부터 상부층(부식토), 중간층(치밀하고 단단한 점토질 또는 점토질 모래, 부분적 암편포함), 풍화토(점토와 모래의 혼합토, 모암구조 유지, 풍화받은 모암이 전석으로 존재), 풍화암(풍화받은 모암과 풍화토가 혼재), 신선하거나 풍화를 다소 받은 암석의 순으로 발달하고 있음을 알 수 있다.

## 결론

석산개발 예정부지에서 변성암 지역에 대한 풍화특성을 파악하고자 지표지질조사, 강도조사, 핸드오거 보링, 시추조사 및 GPR탐사를 수행한 후, 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1) 호상편마암에 대한 GPR탐사 결과 GPR단면도는 엽리의 방향을 명확히 보여주며, 변성암의 조성광물 배열상태에 따라 풍화에 대한 저항정도가 다른 차별풍화의 전형적인 형태를 정성적으로 보여준다. 특히, 힐버트변환을 통한 속성 가운데 순간위상 단면도는 엽리의 경사, 방향성, 연속성에 대한 정보를 매우 분명하게 보여준다.

2) 호상편마암 지역은 광물조성 및 배열에 따라 뚜렷한 GPR 반사특성이 나타나므로 토사층 및 기반암의 심도추정은

반드시 시추 및 굴절법 탄성파탐사 등의 결과를 상호비교후 기반암의 심도를 추정하는 것이 바람직하다.

3) 핸드오거 보링조사 결과 토사입도에 대한 정보는 제공되나, 토사층의 심도에 대한 정보는 GPR 탐사 및 시추조사 자료와 비교한 결과 매우 신뢰도가 떨어졌다.

향후에는 사용 안테나의 주파수대역에 따른 반응을 비교하고 전기비저항탐사, 탄성파탐사등 종합적인 물리탐사방법을 통한 자료해석 및 변성암의 풍화특성 파악이 필요하다.

### 참고문헌

1. 김동학, 최위찬, 오인섭, 1979, 한국지질도 아산 도폭 및 설명서: 한국자원연구소.
2. 배성호, 김학수, 윤운상, 1996, 지반공학과 구조물 진단분야

에서의 GPR기술 응용: 한국지반공학회 논문집, v 12, No. 4, pp. 179-193.

3. 김정호, 정승환, 전정수, 신인철, 송윤호, 이희일, 조인기, 1994, 화강암 석산 지역에서의 시추공 레이더 탐사: 석재자원조사연구, KR-94(C)1-8, 한국자원연구소.
4. 김정호, 정승환, 조인기, 1996, 암반내 레이더 탐사를 위한 암석의 유전율 측정: 한국자원공학회지, v. 33, No. 5, pp. 383-390.
5. Nabighian, M. N., 1988, Electromagnetic methods in applied geophysics-Theory: SEG reprint series, v. 1, pp. 13-51.
6. Taner, M. T., Koehler, F., and Sheriff, R. E., 1979, Complex seismic trace analysis: Geophysics, v. 44, No. 6, pp. 1041-1063.
7. Milan, B. Jr., Haeni, F. P., 1991, Application of Ground-Penetrating-Radar methods in hydrogeologic studies: Ground water, v. 29, No. 3, pp. 375-386.