

물리탐사 자료에 대한 3차원 지반 모델링 적용 사례 연구

허승^{1*} · 박준영¹ · 도정록¹ · 유인걸²

¹(주)지오제니컨설턴트 자원사업부

²대한광업진흥공사 기술연구소

The Case Study on Application of 3 Dimensional Modeling Method with Geophysical Data

Seung Heo^{1*}, Joonyoung Park¹, Junglok Do¹ and Inkol Yoo²

¹GeoGeny Consultants Group Inc., Resource & Business Department

²Korea Resource Corporation, Technology Research Institute

요약: 최근 자원개발 분야에서는 다양한 자료를 3차원 공간 데이터베이스로 구성하여 매장량, 품위 분포 등 경제성 평가에서부터 광산설계, 채굴계획 수립 및 가행단계의 공정관리 등 광산개발의 전주기에 대한 3차원 모델링 기법에 널리 활용하고 있다. 자원개발 분야와 토목분야에서 물리탐사는 현지 여건, 기술적, 경제적 제한 때문에 대부분 2차원 단면에 대한 탐사를 주로 하고 있다. 현장에서 획득된 탐사 자료는 2차원 가정을 전제로 한 2차원 역산을 통해 지하 매질의 물성 분포를 계산하는데 이용된다. 그러나 실제로 획득된 자료는 3차원 공간에서의 지하 매질의 반응이므로, 2차원 역산의 결과는 3차원 지형 정보와 지질구조, 시추조사 결과 등과 같은 부가적인 정보를 고려하여 종합적으로 해석함으로써 2차원 가정에 의한 오류를 최소화하고 실제 지하 매질의 특성을 파악할 수 있다. 이 연구에서는 토목 및 자원개발 분야에서 수행된 물리탐사 자료에 대하여 3차원 지반 모델링 기법을 적용한 사례 연구를 통해 3차원 지반 모델링 기법의 활용성과 다양한 적용 가능성을 검토하였다.

주요어: 물리탐사 자료, 3차원 지반 모델링 기법, 데이터베이스, 3차원 공간

Abstract: The three dimensional model method is widely applied in resource development for feasibility study, mine design, excavation planning and process management by constructing the database of various data in 3 dimensional space. Most of geophysical surveys for the purpose of engineering and resource development are performed in 2 dimensional line survey due to the restriction of the field situation, technical or economical situation and so on. The acquired geophysical data are used as the input for the 2 dimensional inversion under the 2 dimensional assumption. But the geophysical data are affected by 3 dimensional space. Therefore in order to reduce the error caused by 2 dimensional assumption, the 2 dimensional inversion result must be interpreted considering the additional information such as 3 dimensional topography, geological structure, borehole survey etc. The applicability and usability of 3 dimensional modeling method are studied by reviewing the case study to the geophysical data acquired in field of engineering and resource development.

Keywords: geophysical data, 3 dimensional modeling method, database, 3 dimensional space

서 론

자원개발 및 토목공사 등 땅을 대상으로 하는 현장에서 수행되는 각종 조사, 즉 측량, 지표지질조사, 물리탐사, 지구화학 탐사, 시추조사 및 각종 실내시험은 궁극적으로 3차원 공간상의 대상 위치에 대한 각종 정보를 측정하는 과정이다. 이러한 3차원 공간상의 정보는 조사 방법에 따라 지형, 지질구조, 광상의 형태, 탄성파 속도, 전기비저항, 암석강도 및 수리특성 등

으로 구분되지만, 모든 정보는 “측지학적 위치 정보+물리적/화학적/역학적 물성 정보”의 형태로 표현될 수 있다. 이러한 각종 정보는 3차원 위치정보와 함께 공간 데이터베이스로 구축할 수 있으며, 이렇게 구성된 공간 데이터베이스를 이용하여 특정 정보를 가지는 통일된 형태의 자료로 변환함으로써 대상 지역의 특성 정보를 추가적으로 추정할 수 있다. 이와 같이 3차원 공간 데이터베이스를 구성하여 매장량, 품위 분포 등의 경제성 평가에서부터, 광산설계, 채굴계획 수립 및 가행단계의 공정관리 등 광업 전반에 활용하고 있다. 이러한 3차원 지반 모델링 기법은 광업 분야에서 뿐만 아니라 건설 및 토목 분야에서도 성토 및 굴착량 산정, 기초심도 결정, 노선 선정 등의 과정에서 활용될 수 있는 가능성이 높다. 특히 토목 설계 시

2008년 7월 21일 접수; 2008년 8월 7일 채택

*Corresponding author

E-mail: metal@geogeny.biz

Address: 807-2 Bangbae Dong, Seocho Gu, Seoul, Korea

지형, 지질, 지층 분포 등의 지반정보를 3차원 지반 모델링 기법으로 통해 활용한다면 구조물의 위치선정 및 안정성 검토의 기본 자료로써 활용도가 높다고 판단된다.

이번 사례 연구에서는 Gemcom Software 사의 GEMS를 사용하였으며, GEMS는 광업 분야에서 3차원 지질 모델링 및 광산설계, 채굴계획 수립 등에 이용되어온 3차원 지반모델링 프로그램이다(Fig. 1). GEMS는 데이터베이스 기반의 프로그램으로 사용자가 원하는 항목의 특성을 다양하게 편집하여 분석할 수 있으며 복잡한 지형 및 지질을 모사하는데 있어서 여타의 3차원 지반모델링 프로그램에 비해 우수한 성능을 발휘한다. GEMS의 기본이 되는 공간 데이터베이스 방식의 자료구조는 원래 목적인 광업 분야뿐만 아니라 토목분야에서도 유연하게 적용할 수 있다.

GEMS를 이용한 3차원 모델링기법은 2차원 단면의 직선 보간에 의해 발생할 수 있는 오류를 최소화하고 지형 및 지질조사 자료를 3차원 공간 데이터베이스화하여 현실에 가깝게 지형, 지질, 품위, pit과 터널 등을 모사함으로써 직접적인 3차원 체적에 기반한 분석을 수행할 수 있다. 또한, 이렇게 작성된 3차원 지반 모델과 3차원 지구통계학기법을 이용하여 기본적 매장량평가 및 품위별 매장량산출 뿐만 아니라 광산의 조사-설계-운영에 관련된 전반적인 요소들에 대한 분석이 가능하다(Gemcom Software International Pty. Ltd., 1998).

댐 건설 예정 부지에 대한 물리탐사와 3차원 지반모델링의 적용

대상 지역의 지질과 지반공학적 특성

대상 지역은 광역적으로 선캠브리아기의 화강편마암을 기반

으로 중생대의 화강섬록암과 백악기 복운모 화강암 등이 관입하였고, 중생대 쥬라기 이후 이들을 관입한 염기성 암맥이 분포하는 지역이다(한국동력자원연구소, 1989). 이 지역의 화강섬록암은 중생대에 관입한 화강암류로 입자크기가 2~5 mm 정도의 극조립질이며, 석영, 장석(주로 사장석) 및 흑운모로 구성되어 있다. 화강섬록암은 인근 기반암인 편마암류보다 풍화에 취약하며, 절리면이나 관입 암맥류의 주변을 따라 급속도로 풍화가 진전되는 전형적인 화강암의 풍화 특성을 보인다. 일반적으로 화강암은 점이적인 풍화 양상을 보이나 열수작용이 심하거나 절리의 발달이 우세한 경우 핵석 등과 같이 급격한 풍화양상을 보이기도 한다. 특히 단층이나 과쇄대 등의 구조선과 인접한 경우에는 풍화 심도와 풍화 상태의 급격한 변화가 관찰되며, 이러한 풍화 구간의 급격한 변화는 땜과 같은 대형 토목 구조물의 기초 설계시 신중하게 고려되어야 하는 지반정보이다.

댐 설계에 있어서 구조물 기초의 위치 선정은 전체 구조물

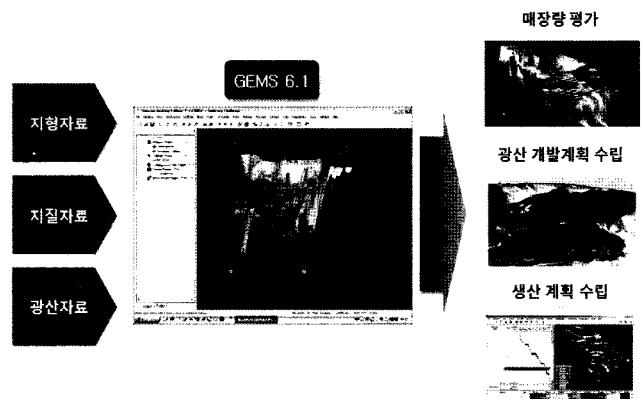
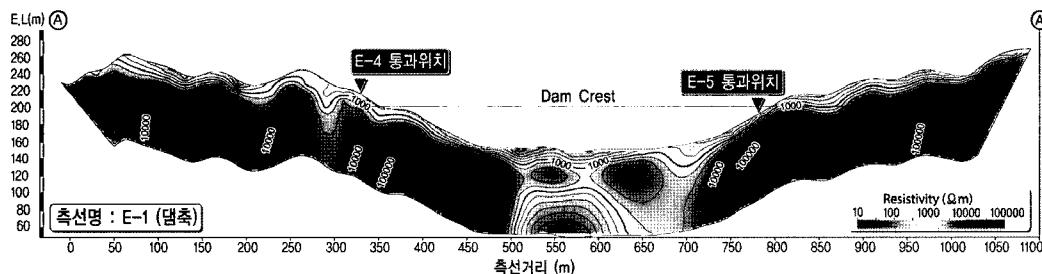
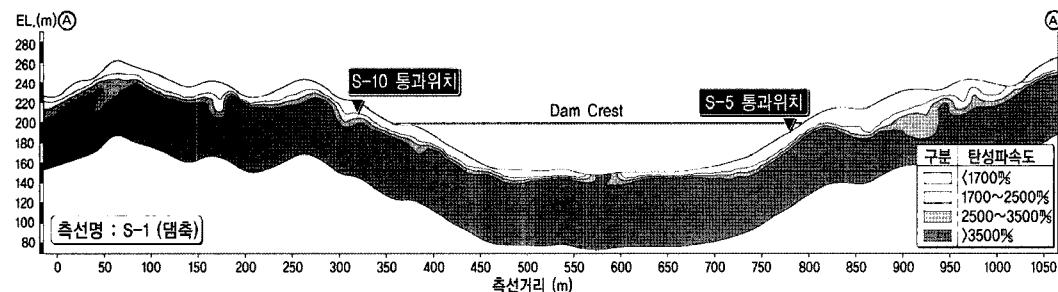


Fig. 1. Schematic diagram of 3D data modeling using GEMS.



(a) Result of resistivity survey



(b) Result of the seismic refraction survey

Fig. 2. Geophysical survey results along the dam axis.

의 안정성 및 댐체의 차수 설계에 직접적 영향을 미치므로 정확한 기반암선에 대한 3차원 분포에 대한 정보가 필수적이다. 이 사례에서는 단층 및 파쇄대의 분포 특성 확인을 위해 7개 측선 총연장 5.2 km에 대한 전기비저항 탐사를 수행하였으며, 기반암선의 심도 분포를 확인하기 위해서 11개 측선 총연장 4.3 km에 대한 격자형 탄성파 굴절법 탐사를 수행하였다. 또한 지표물리탐사 결과를 바탕으로 주요 구조물 하부에 46개소의 시추조사를 수행하였다.

물리탐사 결과와 풍화심도 분포 특성

이 지역의 경우, 주요 지질 구조 확인을 위한 기초조사와 상세 설계를 위한 정밀조사를 구분하여 물리탐사 및 시추조사를 수행하였다(한국수자원공사, 2006). 기초조사는 댐 예정지점에서 댐축을 따라 물리탐사 및 시추조사를 수행하였으며(Fig. 2), 측선거리 850~950 m 지점에서 전기비저항 탐사 및 탄성파 굴절법 탐사 결과에서 급격한 풍화심도의 변화에 의한 물성 변화가 관찰되었다. 이러한 탐사 결과를 확인하기 위해 시추조사를 수행하였으며(Fig. 3), 조사 결과 수평거리로 13.5 m 이격된 두 시추공 사이에서 경암층의 수평적 심도 변화가 최소 20.5 m 이상으로 확인되었다. 또한 댐 예정 지역에 대한 풍화 민감도 분석을 수행한 결과, 급격한 기반암선 변화가 확인된 지역에서 상대적으로 풍화민감도가 높게 분석되었으며(Fig. 4) 이는 시추조사 및 물리탐사 결과와 일치하였다.

이와 같이 단층대 및 열수변질대의 발달에 의해 차별풍화가 진행된 화강섬록암 지역에서 댐의 기초부 위치 선정이 전체

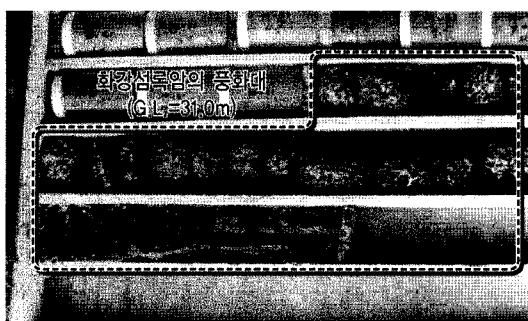


Fig. 3. Picture of core samples of the weathered granodiorite.

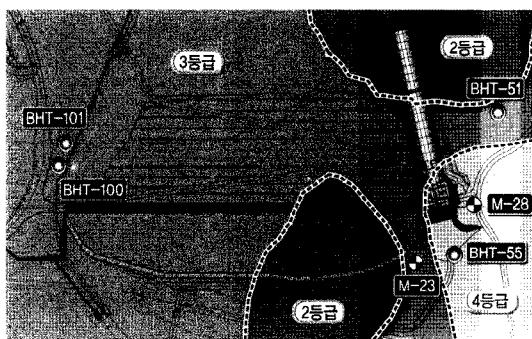
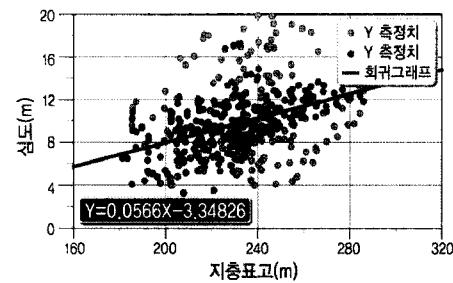


Fig. 4. The result of weathering sensitivity test.

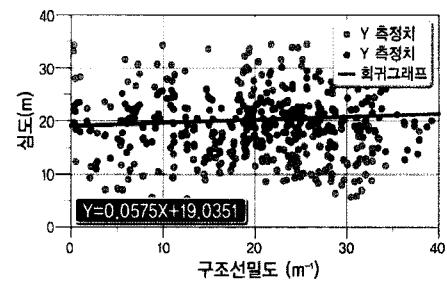
구조물 설계에서 중요한 고려 항목으로 대두되었으며, 이를 위해 3차원 지반 모델링을 적용하여 댐 구조물의 기초를 설치할 수 있는 기반암의 3차원 정보를 추출하여 댐 기초부 위치선정에 활용하고자 하였다.

기반암 심도 분포 확인을 위한 3차원 지반 모델링의 적용

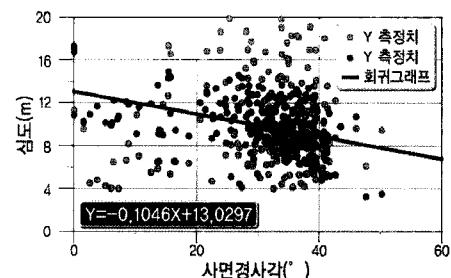
기반암선의 심도 분포 확인을 위해 시추조사 결과와 탄성파



(a) Weathering depth vs. topographic elevation



(b) Weathering depth vs. lineament density



(c) Weathering depth vs. slope angle

Fig. 5. The relationship between weathering depth and geotechnical control factors.

등급	표현	묘사
1	불민감	불연속면이 발달되지 않은 괴상
2	거의불민감	불연속면이 거의 발달되지 않은 괴상
3	약간민감	불연속면들이 조금 발달된 암석
4	보통민감	불연속면들이 발달한 암석
5	매우민감	점토광물의 함량이 10%이상인 암석
6	극히민감	점토광물의 함량이 50%이상인 암석

굴절법 탐사 결과를 토대로 풍화심도와 사면 경사가, 지표 표고, 지형상의 위치, 구조선과의 관계 등에 대한 다중회귀분석을 수행하였다. 다중 회귀 분석 결과, 분석에 사용된 변수에 따라 분산도의 차이는 있으나, 풍화심도는 사면경사가, 지표표고, 구조선 밀도 등과 상대적으로 높은 상관관계를 가짐을 확인하였다(Fig. 5). 대상 지역의 기반암선에 대한 3차원 지반 모델링 구성을 위해서 수치지형도를 사용하여 지표면을 구성하였으며 (Fig. 6 (a)), 시추조사 결과와 시추조사 자료의 형태로 변환된 탄성파 굴절법 탐사 자료를 이용하여 각 지층의 경계면에 대한 3차원 위치 정보를 입력하였다(Fig. 6 (b)). 입력 자료를 바탕으로 GEMS의 Laplace gridding 기법을 이용하여 각 지층 경계면에 삼각망을 구성하였으며(Fig. 7), 각 지층면에 대한 삼각망을 이용하여 지층 경계면에 대한 3차원 등고선도를 작성하였다(Fig. 8).

이상 설명한 바와 같이, 물리탐사 결과를 이용하여 지층 분포에 대한 3차원 지반 모델링을 수행함으로써, 기존의 지층 분포에 대한 2차원 단면 정보와 기술자의 경험적 판단에 의존하였던 평면적 설계의 한계를 극복하고, 지층의 심도별 등고선도를 작성함으로써 땅기초 위치선정 및 굴착심도 결정 등의 구조물 설계에 활용하였고, 3차원 지반 모델 위에 구조물의 수치 모형을 삽입하여 지층과 구조물의 3차원적인 접촉관계 등을 검토함으로써 구조물의 안정성 검토에 활용하였다.

고령토 광상의 물리탐사 결과에 대한 3차원 모델링의 적용

비금속광상에서의 물리탐사는 탐사 대상 광상의 물성 차이가 크지 않아 적용한 사례가 많지 않다. 최근 국내에서 고령토 광산에서 전기비저항탐사, 유도분극탐사를 실시하여 전기비저항탐사의 적용가능성을 제시한 바 있으며(정현기 외, 2004), 2005년에 고령토, 석회석 등 비금속광에 대한 물리탐사기법의 현장 적용 사례를 발표한 바 있다(정현기 외, 2005). 또한, 벤토나이트광상 탐지에 전기비저항탐사, 유도분극탐사, 소형루프전자탐사, 자연전위탐사 등을 적용하였다(이유진 외, 2006).

이 사례 연구에서는 점토광물에 대한 물리탐사기법의 적용성 검토에 대한 기존의 연구결과를 바탕으로 회장암 지역에 존재하는 고령토 광상의 분포 특성 파악을 위해 전기비저항탐사와 탄성파 굴절법 탐사를 이용하여 풍화대 심도 및 주요 지질구조를 확인하였으며, 수치지형도, 지질구조, 시추조사 결

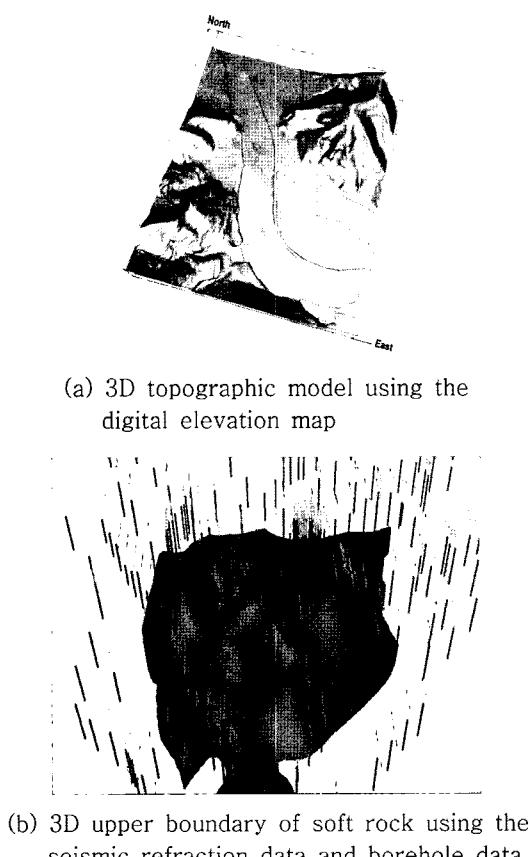


Fig. 6. 3D model of surface and rock type boundaries.

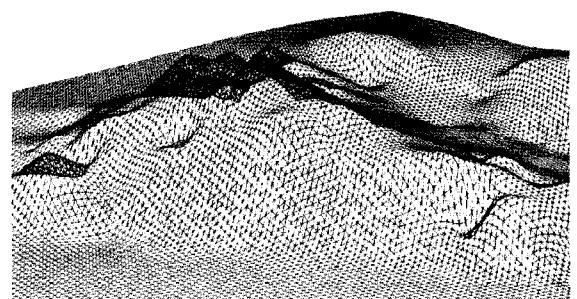


Fig. 7. TIN (triangulated irregular network) of rock type boundary using Laplace gridding method of GEMS.

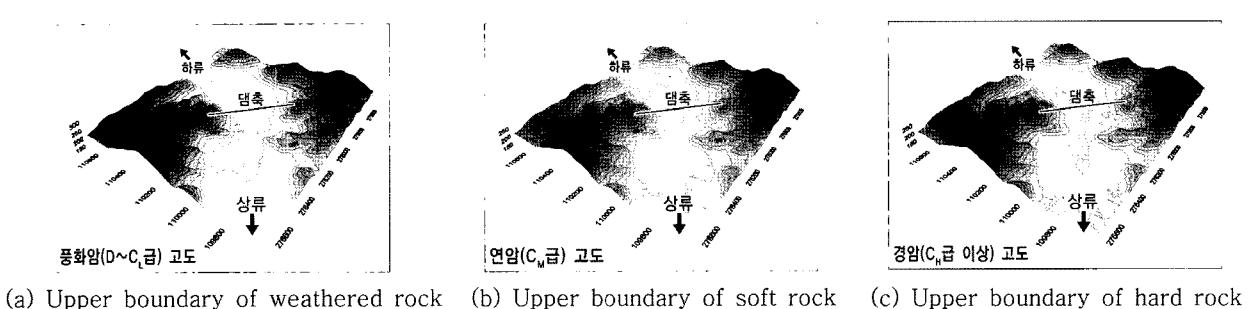


Fig. 8. 3D contour map of rock type boundaries.

과 등과 물리탐사 결과를 통합하는 3차원 지반 모델링을 수행하여 고령토 광상의 매장량 산출에 적용하였다.

대상 지역의 지질 및 광상 특성

조사 대상 지역은 영남육괴의 서측에 해당하는 지역으로, 비교적 변성도가 높은 선캠브리아기의 지리산편마암복합체가 기저를 형성하고 있으며, 후기에 시대미상의 회장암과 중생대의 해인사화강암이 북북동-남남서 방향으로 관입분포하고 있다. 이 지역의 회장암은 약 16~17억 년 전에 생성된 고기 심성암(김동학 외, 1998)으로서, 반려암질마그마의 마그마 분화 작용에 의한 결정분화작용에 의해 생성된 암석 중 사장석의 함량이 90% 이상일 경우에 이를 회장암(anorthosite)이라 하고, 유색광물(각섬석, 희석, 감람석, 흑운모 등)의 함량이 20% 이상일 경우에 반려암(gabbro)으로 분류한다. 이 지역의 회장암은 산사면 또는 저지대에 주로 분포하고 있으며, 고령토 광상의 모암이다.

조사 지역 내에는 보성광산이 과거 1960년대부터 40년 이상 대량의 고품위 고령토를 생산하였다. 현재 대부분의 고품위 광상은 채진되어 복구가 완료된 상태이며, 구정 76호 광구에 신규 작업장을 개설하여 월간 50~100여 톤의 고령토를 채굴하고 있으며, 고품위 고령토 광상에 대한 탐광 작업을 실시하고 있다(도정록 외, 2007).

대한광업진흥공사에서는 국내 일반광 개발 활성화를 위해

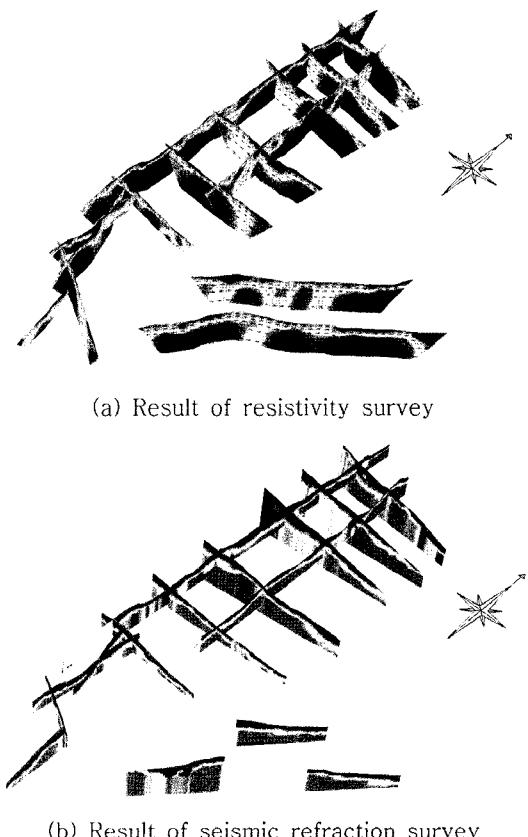


Fig. 9. 3D fence diagram of geophysical surveys.

「2007년도 일반광 정밀조사 사업」의 일환으로 구정 65호, 75호, 76호 등 3개의 단위형 광구의 고령토 광상을 대상으로 지표지질조사, 광상조사, 물리탐사, 탐광시추조사, 광물특성연구 및 매장량 산출 등을 수행하였다(도정록 외, 2007). 이번 사례연구는 일반광 정밀조사 대상 광구 중 구정 75호 지역을 대상으로 한다. 정밀 조사의 일환으로 구정 75호 광구 일원에서 총 10공에 대한 탐광시추조사를 수행하였으며, 그 결과 풍화심도는 7.5~24.5 m(평균 17.1 m)의 분포를 보인다. 특히 07-6 호공의 경우, 고품위 고령토 광상이 착백되었다.

대상 지역의 물리탐사 결과

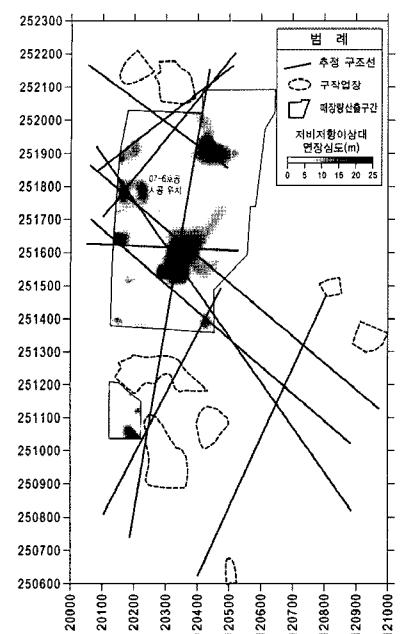
구정 75호 광구 일원에 대하여 전기비저항 탐사와 탄성파 굴절법 탐사를 수행하였으며, 자료처리를 통해 도출된 전기비저항 단면과 탄성파속도 단면을 3차원 분석 프로그램에 입력하여 입체적인 분석을 수행하였다(Fig. 9).

전기비저항 탐사는 구정 75호 광구 서측을 중심으로 총 15개 측선에 대하여 총 연장 6.8 km에 대하여 수행하였다. 현장 여전 상 2차원 전기비저항 탐사를 수행하였으며, 2차원 역산 결과의 해석 상의 단점을 보완하기 위해 탐사 측선을 격자형으로 설정하였다. 측정된 전기비저항 자료는 한국지질자원연구원에서 개발된 DIPRO를 이용하여 역산을 수행하였다(Fig. 9 (a)).

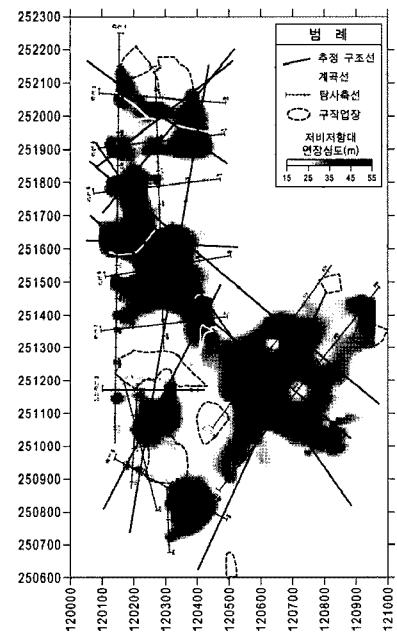
조사 지역의 고령토 광상은 풍화잔류와 열수변질의 혼재형 광상으로 경제성이 있는 광체는 지표 풍화대 하부와 풍화암 직상부의 사질대를 경계로 하는 구간에 분포하는 것으로 보고 되었다(노진환, 2007). 일반적으로 현장에서 획득한 전기비저항 탐사 결과에서 낮은 전기비저항 분포를 보이는 구간은 점토가 존재하거나 파쇄대 혹은 단층대 인근의 투수성이 높은 부분에서 나타나며, 조사 지역의 지표 인근 저비저항대는 고령토의 배태에 의한 현상으로 추정되며 이는 시추조사 결과에서도 확인되었으며(Fig. 10 (a)), 점토광물인 고령토는 낮은 전기비저항값을 갖는 것으로 보고된 결과(정현기 외, 2005)와도 일치한다.

한편 지하 심부까지 연장되는 저비저항대는 파쇄대 혹은 단층 등의 지질구조와 연관되어 있을 것으로 추정되며, 이러한 저비저항대는 선형구조 분석 결과와 일치함을 확인할 수 있다. 이러한 지질구조는 고령토 광상의 생성원인 중의 하나인 열수의 통로로 작용하였을 것으로 추정된다(Fig. 10 (b)).

조사 대상 지역의 전기비저항 분포 특성과 탄성파 속도 분포 특성을 비교 검토할 수 있도록 탄성파 굴절법 탐사의 측선을 전기비저항탐사 측선과 동일하게 설정하였으며, 총 16개 측선에 대하여 총연장 6.6 km 구간에서 현장 자료를 획득하였다. 현장에서 측정된 탄성파 굴절법 탐사 결과에 대한 초동 발췌를 수행하고, 빌체된 초동 주시를 입력 변수로 사용하는 셀 매개변수법을 적용한 역산을 이용하여 지하 매질의 속도분포를 산출하였다. 역산을 통해 획득한 탄성파 속도 분포는 심도



(a) Low resistivity zone of near surface



(b) Low resistivity zone of deeper sub-surface

Fig. 10. Resistivity distribution of study area.

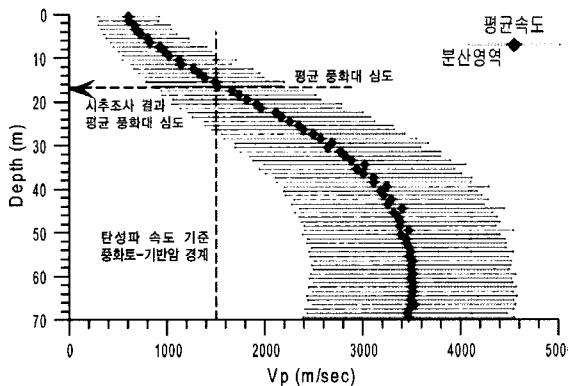
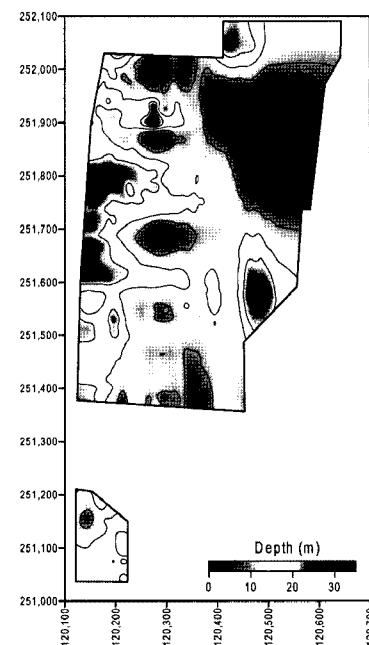


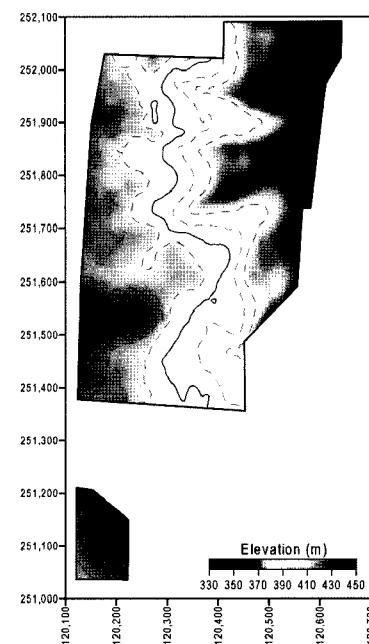
Fig. 11. Seismic velocity distribution along depth.

가 증가함에 따라 평균속도가 증가하는 양상을 보이며, 탄성파 속도값의 분산 또한 심도가 깊어질수록 증가하는 양상을 확인 할 수 있는데(Fig. 11), 이는 심도가 깊을수록 속도 분포의 다양성이 증가하는 현상과 역산결과의 오차가 커지는 특징에 의한 영향으로 판단된다.

탄성파 굴절법 탐사 자료처리를 통해 획득한 탄성파속도 단면을 3차원 분석 프로그램에 입력하여 입체적 분석을 수행한 결과, 상호 교차하는 측선에서 속도 분포 특성이 대체적으로 일치하는 것을 확인하였으며, 전기비저항 단면 분석에 확인된



(a) Depth distribution



(b) Elevation distribution

Fig. 12. Contour map of lower boundary of weathered soil zone.

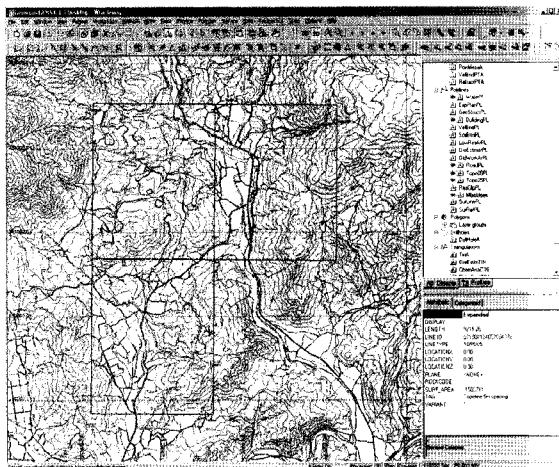
지질구조와 기반암의 저속도 구간이 일정한 연관성을 보임을 확인할 수 있었다(Fig. 12).

물리탐사 결과에 대한 3차원 지반모델링의 적용

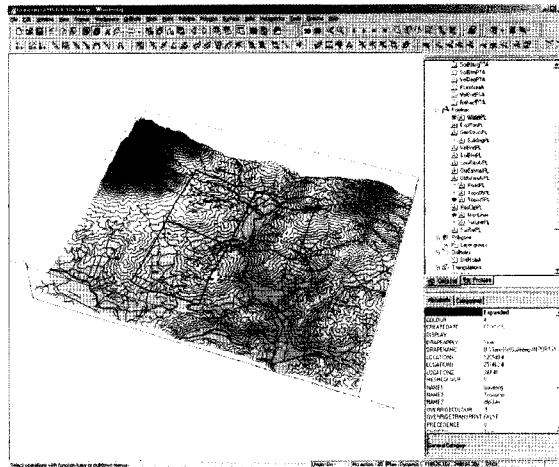
구정 75호 광구 일원에 대한 3차원 지반 모델을 구축하기 위해 수치지형도, 수치지지도 및 위성 영상을 입력 자료로 사용하였다. 3차원 지반 모델의 기본 지형 모델을 구축하기 위해 수치지형도의 3차원 정보 즉, 고도 정보가 포함된 등고선 자료를 사용하였으며, 지질 모델을 구축하기 위해 수치지지도에 표시된 지질 경계를 입력 자료로 사용하였다. 또한, 산계수 계 분석에 활용하기 위해 인공위성 영상을 3차원 모델에 결합하여 조사 대상 지역을 가시화하는데 활용하였다(Fig. 13). 또한 3차원 위치 정보가 포함된 물리탐사 자료와 시추조사 자료를 지반 모델에 통합하여(Fig. 14 (a)) 종합적인 자료 분석을 수행하였다. 3차원 지반 모델에 통합된 조사 자료는 3차원 위치 정보가 포함되어 있으므로, 자료의 분석을 위해 심도별로 자료로 정렬하는(Fig. 14 (b)) 것과 같이 다양한 측면에서의 자

료 분석과 검토가 용이하다. 이러한 3차원 지반 모델의 다양한 분석 기능을 활용하여 매장량 산출을 위한 풍화대 체적 산정(Fig. 14(c))과 추정된 풍화대와 각각의 조사 자료에 대한 비교 분석에 활용하였다(Fig. 14 (d)).

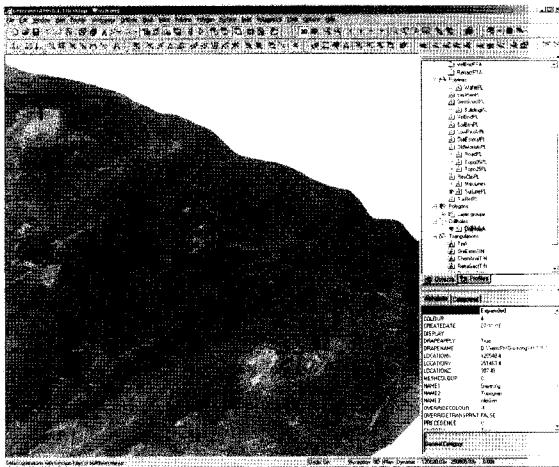
조사를 수행한 지역의 고령토 광상은 지형이나 지표면의 발달 양상과 뚜렷한 연계성이 없어 국지적으로 고령토가 산출되는 특징을 보이는 것으로 확인되었으며, 지표 풍화대 하부와 풍화암 직상부의 사질대를 경계로 하는 구간에 분포하는 것으로 보고되었다(노진환, 2007). 따라서 고령토 광상의 매장량 산정을 위한 기초 자료로 풍화대의 체적을 산출하는 것이 필요하며 이를 위해서 3차원 지반 모델에 통합된 탄성파 속도 자료를 사용하였다. 풍화대의 체적 산출을 위해서는 풍화대의 경계를 추출하는 과정이 필수적이다. 이를 위해서 탄성파 굴절법 탐사 결과와 시추자료를 비교하여 탄성파 속도를 기준으로 풍화대 경계면을 추출하였다. 이번 연구에서 구성된 3차원 모델에는 시추공 위치와 각 시추공에서의 풍화대 심도가 포함되어 있으므로, 시추공 주변의 풍화대 영역의 탄성파 속도를 추



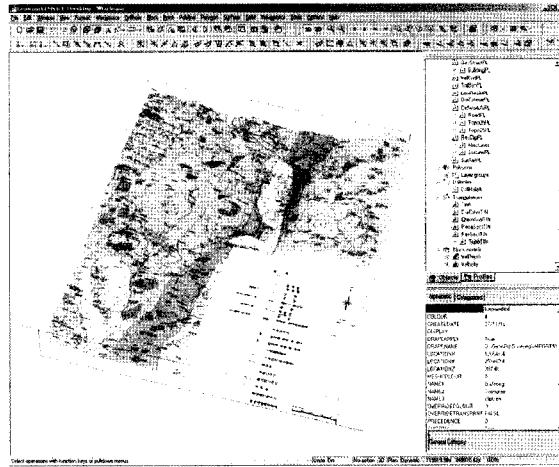
(a) 3D topographic model using digital elevation map



(b) Mountain and water system analysis



(c) Location of survey lines and boreholes overlapped with satellite image



(d) 3D geological model using digital geological map

Fig. 13. Application of 3D modeling method with various data.

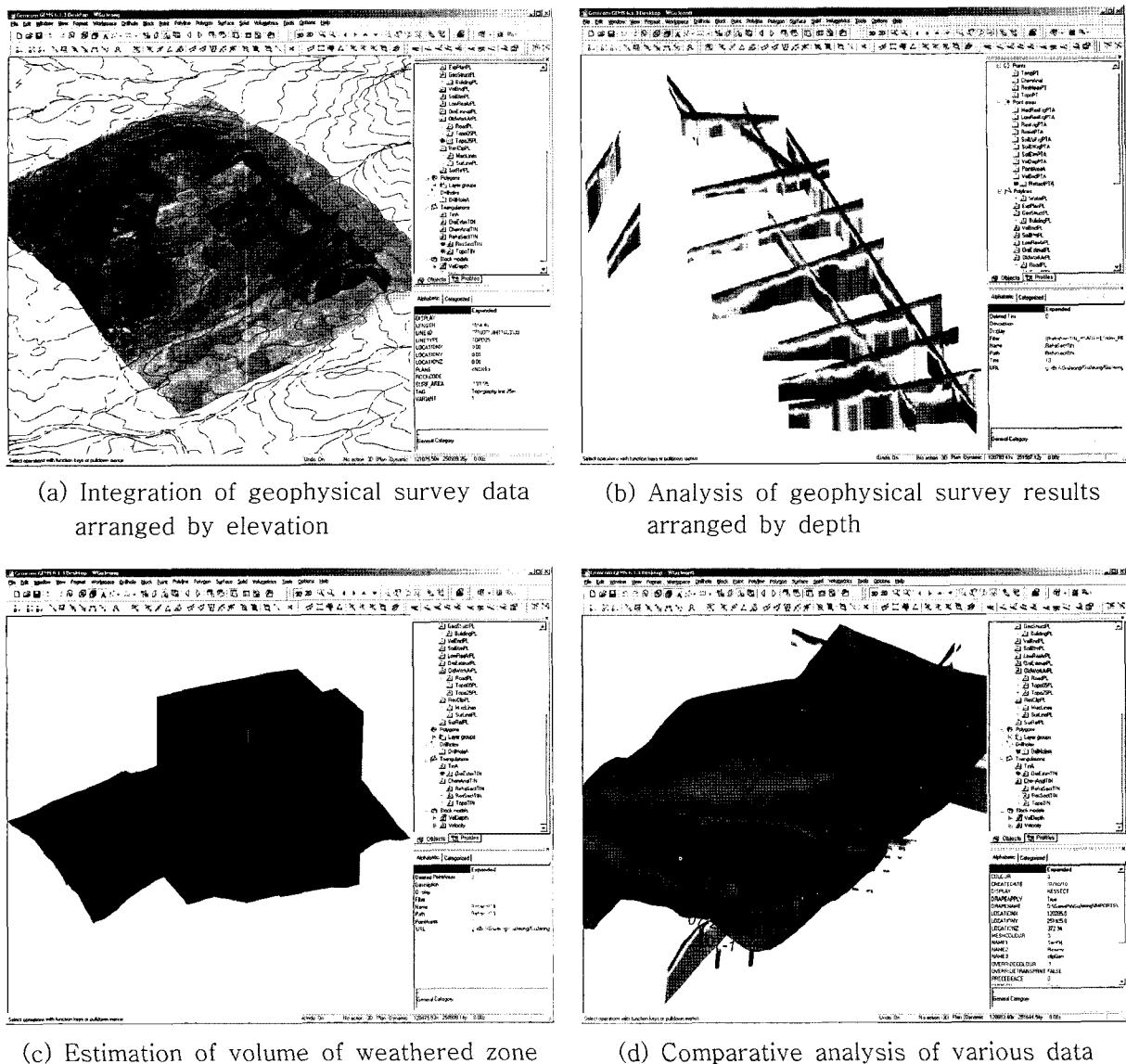


Fig. 14. Application of 3D model integrated with geophysical survey results.

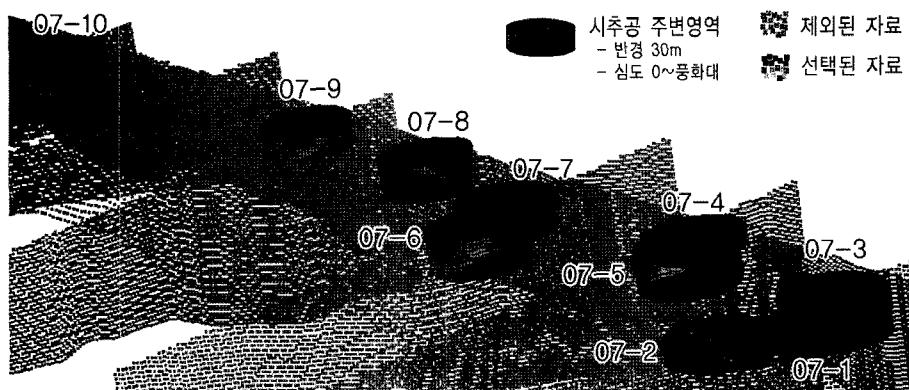


Fig. 15. Selection of seismic velocity data around the borehole using GEMS.

출하여(Fig. 15) 이를 분석하였다. 시추조사에서 확인된 풍화대 주변 영역의 탄성파 속도는 300 ~ 2,000 m/sec 구간에 대부분 존재하고 탄성파 속도 1,500 m/sec 이내에 95% 이상이 분포한다(Fig. 16 (a)). 또한, 풍화대 구간에서 심도의 증가에 따

라 탄성파 속도도 증가하는 일반적인 양상이 확인되었으며, 속도의 급격한 변화는 관찰되지 않았다(Fig. 16 (b)). 앞서 설명한 바와 같이, 시추조사에 확인된 풍화대의 평균 심도는 17.1 m이며, 심도별 평균 탄성파 속도 분포에서 1,500 m/sec 인 지

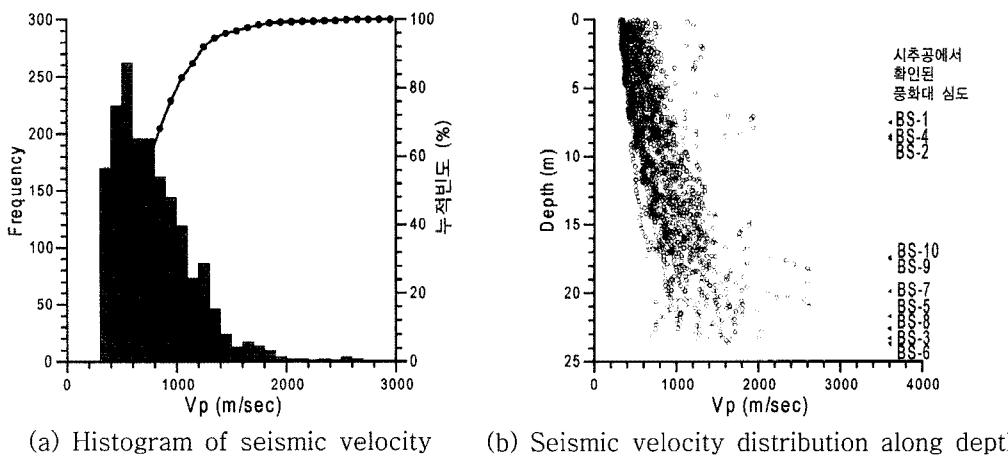


Fig. 16. Analysis of seismic velocity of weathered zone around boreholes.

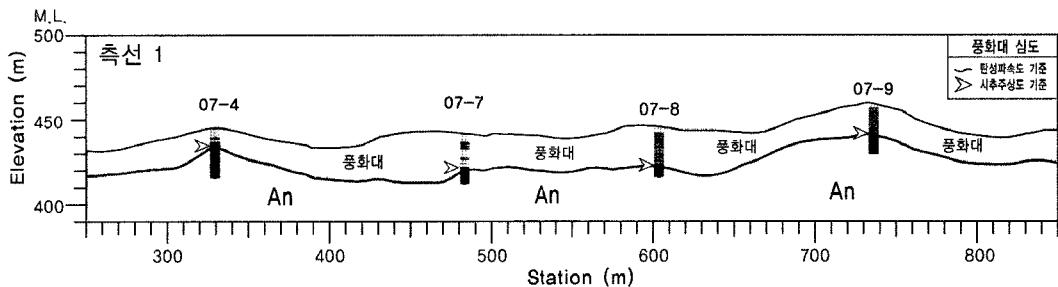


Fig. 17. Comparison of borehole data with estimated weathered soil boundary from seismic velocity distribution.

점은 약 16.6 m (Fig. 11)이므로 조사 대상 지역에서의 풍화대 하부 경계를 탄성파 속도 1,500 m/sec를 기준으로 설정하였다. 시추조사 결과와 탄성파 속도 자료를 기준으로 산출한 풍화대 하부 경계를 입력 변수로 하여 지구통계학적 분석을 수행하였으며, 그 결과를 3차원 지반 모델에 통합하였다. 지구통계학적 분석을 통해 산출한 풍화대 하부 경계와 시추조사 결과를 비교분석 하였으며(Fig. 17), 탄성파 속도에 의한 풍화대 경계가 시추조사 결과와 비교적 잘 일치함을 확인할 수 있다.

결 론

이번 사례 연구는 물리탐사 자료를 통합한 3차원 지반 모델링의 적용 사례를 살펴봄으로써, 2차원 역산을 통해 획득된 물리탐사 결과에 대한 분석과 해석에 있어서의 3차원 지반 모델링 기법의 적용성을 검토하였다.

현장 여건이나 기술적 경제적 여건 등의 한계로 인하여 조사 대상 지역에 대한 3차원 물리탐사를 수행할 수 없을 경우, 격자형 측선에서 획득된 물리탐사 결과에 대한 3차원 지반 모델링 기법을 적용함으로써 탐사 자료의 다양한 분석과 통합적 해석이 가능하며, 해석 결과를 3차원 공간에서의 정보로 도출 할 수 있기 때문에 탐사 결과의 활용성도 향상되었음을 토목 분야와 자원개발 분야에서의 사례 연구를 통해 확인하였다.

최근의 컴퓨터 성능 향상과 기술 발달에 따라 3차원 역산

기술의 발전과 함께 3차원 분석 도구의 필요성이 증대되고 있으며, 다양한 분야에서 물리탐사 결과에 활용이 요구되고 있는 상황을 고려할 때, 물리탐사 결과에 대한 분석과 해석 및 활용에 필요한 효과적인 도구로서 3차원 지반 모델링 기법의 적용 범위와 활용이 더욱 활발해질 것으로 기대된다.

참고문헌

- 김동학, 황재하 외, 1998, 1:250,000 부산지질도록 설명서, 과학 기술부.
- 노진환, 2007, 보성 고령토 광산의 광석 유형 및 응용광물학적 특성 평가, (사)산업광물은행.
- 도정록, 김학수, 혀승, 박준영, 이성암,김장하, 신영진, 이준호, 2007, 정밀조사보고서(고령토, 구정지구), 대한광업진흥공사.
- 이유진, 유영준 외, 2006, 정밀조사보고서(벤토나이트: 경주·양 남지구), 대한광업진흥공사.
- 정현기, 김대업, 성기성, 2004, 비금속 광물자원 물리탐사 신기술 개발 및 현장응용, 한국지질자원연구원, 산업자원부.
- 정현기, 김대업, 성기성, 2005, 비금속 광물자원 물리탐사 신기술 개발 및 현장응용, 한국지질자원연구원, 산업자원부.
- 한국동력자원연구소, 1989, 1:50,000 김천도록 및 지질보고서.
- 한국수자원공사, 2006, 부항다목적댐 건설공사, 지질 및 지반조사보고서(I), SK 건설.
- Gemcom Software International Pty, Ltd., 1998, Gemcom for Windows User Manual, Gemcom Software International, p. 4104.