

석회암 지역의 기반암 및 경계면 조사를 위한 지구물리 탐사법의 적용

The Application of Geophysical Prospecting for Detecting Substructure and Boundary of Layer in Limestone Area

서 백 수*
Suh, Beak-Su

이 덕 재**
Lee, Duk-Jae

Abstract

In 1970's, the analysis of shallow substructure was the interests of geological engineering and environmental problems. And seismic refraction method was applied to detect those structures. From 1980's, digital electric industry is rapidly developed and high resolution prospecting equipment is supplied. And seismic reflection method is applied to achieve various data gathering and data analysis.

In this study, geophysical prospecting method is applied to calculate the basic data of limestone yield production. Seismic shallow reflection method is used to detect the depth of bedrock and electrical resistivity method is used to detect of limestone layer boundary.

키워드 : 탄성과 반사법 탐사, 전기 비저항 탐사, 토모그램

Keywords : seismic reflection method, electrical resistivity survey, tomogram

1. 서 론

탐사지역은 석회석 광산지역으로써 강원도 삼척시 근덕면을 선정하였으며, 이 지역은 지구조적으로 육천습곡대의 일부로써 주로 고생대 캄브리아기와 오오도비스기에 속하는 조선누층군이다.

본 연구는 석회암 지역에서 천부 지하의 지질구조를 조사하여 기반암을 탐지하고 또한 지층 경계면을 구분하여 지금까지 지질조사 및 시추에만 의존하여 산출하는 매장량 산정에 보다 정확한 정보

를 제공하고자 한다.

본 연구를 수행하기 위하여 기존에 제시된 매장량 지질도폭을 세 구역으로 나누어 전기 비저항 탐사를 실시하여 지층 경계면을 확인하고, 이 구역 내에 한 지역에서 기반암을 확인하기 위하여 탄성과 반사법 탐사를 실시하였다.

이상과 같은 연구에 의해서 정확한 천부 지하 구조와 지층의 경계면의 정보를 요구하는 건설공사 등에 많은 도움을 줄 수 있을 것이다.

1.1 지형 및 지질개요

(1) 지형

조사 지역은 행정구역상 강원도 삼척시 근덕면 금계리에 해당되는 약 3km²의 지역으로서 삼척시

* 강원대학교 지구시스템공학과 교수

** 강원대학교 대학원 지구시스템공학과 석사과정

의 중심부로부터 약 7km 남쪽에 위치하고 있으며, 1:50,000 지형도에서는 삼척도폭의 우측 중앙부에 해당되고, 1:25,000 지형도에서는 삼척도폭의 중앙 하부에 해당되는 지역이다. 조사 지역에는 현재 폐교된 맹방초등학교 금계분교가 있는 금계마을과 그로부터 남남동 방향으로 약 1km 떨어진 곳에 찰갈마을이 위치하고 있으며, 조사 지역내의 북서부에는 안향산(358.6m)이 자리잡고 있다. 조사지역 내의 몇몇 지점에서 발달되어 흐르는 작은 여러 개의 수계가 금계마을에서 합류되어 하행방리를 거쳐 동해안으로 유입되고 있다. 그림 1은 탐사 축선의 위치이다.

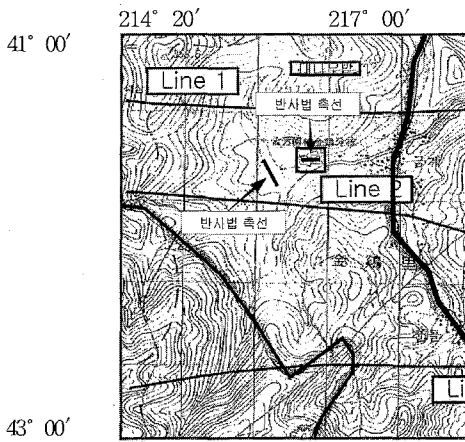


그림 1. 탐사 축선 위치

(2) 지질개요

이 지역은 지구조적으로 옥천습곡대의 일부로서, 1:250,000 삼척도폭 지질도의 좌측 하단부에 해당되며, 주로 고생대 캄브리아기와 오오도비스기에 속하는 조선누층군으로서 하부로부터 묘봉층과 풍촌층, 화절층, 동점층, 두무동층(두무골층), 막동층(막골층) 등으로 구성되어 있다(표 1).

고생대 캄브리아기의 묘봉층은 그 하부의 장산층을 정합으로 덮고 있으며, 암회색의 셰일내지 점판암, 세립내지 조립질의 사암, 역질 사암, 석회질 이암 및 석회암 등으로 구성되어 있고, 상부로 갈수록 암회색 내지 암녹색을 띤다. 조사 지역에서는 동측부에서 소규모로 나타나고 있는데, 주로 슬레이트와 셰일이 호층을 이루고 있으며, 부분적으로 유백색의 석회암이 박층으로 협재되어 있다.

묘봉층을 정합으로 덮고 있는 풍촌층은 유백색과 암회색 및 담홍색의 괴상석회암, 돌로마이트질 석회암, 역질석회암 및 층리가 발달된 석회암 등으로 이루어져 있다. 조사지역에서 나타나는 풍촌층은 회색내지 암회색을 띤 미립 또는 세립의 괴상석회암으로서 부분적으로 미약한 층리를 보인다.

화절층은 풍촌층을 정합으로 덮고 있으며 이회암과 점판암, 세립질 사암, 규암, 사질 셰일, 회색의

표 1. 조사지역의 지질 (강원도교육청, 1993).

고 생 대	오오도비스기	조 선 누 층 군	막동층(막골층)
			두무동층(두무골층)
캠 브 리 아 기			동점층
			화절층
			풍촌층
			묘봉층

석회암 등으로 이루어져 있다. 조사지역에서는 남측부에 소규모로 분포하고 있으며, 슬레이트가 주구성암석이고 석회암과 사암 등이 부분적으로 협재되어 있는데, 석회암과 슬레이트가 교호되어 있는 곳에서는 층식상의 풍화 양상을 보이고 있다.

고생대 오오도비스기에 해당되는 동점층은 화절층을 정합으로 피복하고 있으며, 암회색과 담갈색의 세립내지 중립질의 석영질 사암으로 구성되어 있고, 부분적으로 석회질 미사암과 석영질 이암, 석회질 사암, 평력석회암, 세립내지 중립의 규암 등이 협재되어 있다.

2. 현장조사 및 해석

2.1 반사법 탐사

(1) 축선설정

삼척지역에서는 비교적 평탄한 지역으로 맹방초등학교 금계분교와 분교앞 능선지역을 추정지역으로 선정하였으며 끝점전개방식을 이용하였다. 분교 운동장 지역에서는 EW를 축선방향으로 하여 offset 10m, 수진기 간격 1m로 하여 측정하여 총 43개의 자료를 획득하였으며, 분교앞 능선지역에서는 N45° E를 축선방향으로 오프셋 8m, 수진기 간격 1m로 총 46개의 자료를 획득하였다. 사용한 수진기의 주주파수는 100Hz이며 자료 획득시 어떠한 필터링 기법을 적용하지 않았으며 심도에 따른 이득조절도 주지 않았다. 공발점 자료의 기록시간은 256ms이며 0.125μs의 간격으로 기록하였다. 야외자료 기록과정에서 어떠한 필터도 적용하지 않았으며, 이득조절도 실시하지 않았다. 각각의 개요는 그림 2, 3에 나타내었다.

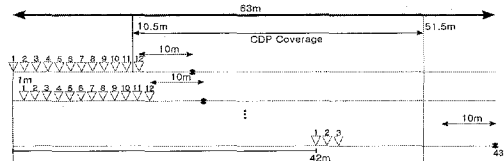


그림 2. 축선설정(분교)

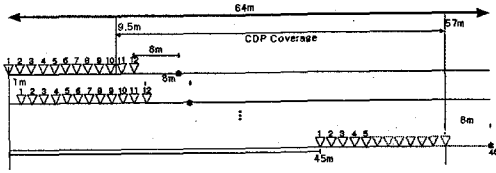


그림 3. 축선설정(능선)

(2) 자료처리

반사법 탐사자료의 전산처리는 Linux 운영체제를 기반으로 하는 PC에서 실시하였다. 자료처리 소프트웨어는 국내 최초의 체계화된 고유한 탄성과 자료처리 모델인 Geobit을 사용하였다. Geobit은 2차원 탄성과 자료처리가 가능하며 대화식 속도 분석 방법을 도입하여 속도분석, 동보정(Normal Moveout [NMO] correction), 뮤트, 중합을 같이 처리할 수 있어서 능률적인 자료처리를 할 수 있다. 공심점 방법의 반사법 탐사자료를 위한 기본적인 전산처리 작업의 목적은 야외측점 자료로부터 중합단면도를 만드는 것으로 세분하면 일차적으로 공발점자료로부터 공심점 분류를 한 후 속도분석을 통해 구한 속도를 이용하여 동보정하며 마지막으로 뮤트(mute) 시킨 공심점 자료를 중합한다. 그리고, 공심점 분류를 실시하기 전에 자료분석을 실시하며, 중합이전에는 필터링(filtering) 및 디콘(deconvolution) 등 여러 가지 자료처리에 필요한 변수를 결정하는 시험을 실시한다. 주요 단계로는 야외자료의 변환 및 분석, 공심점 분류, 필터링, 속도분석, 중합이다. 획득된 야외자료는 SEG2 양식이므로 SEG-Y 양식으로 변환시킨 후 Geobit 작업을 통해 측정자료를 입력하였다.[1]

(3) 분교지역 반사법 탐사

분교 지역에서는 공심점 분류를 최대 6 fold를 갖도록 배열하였으며, 27m 이후 지점은 매몰지점으로 파악되어 신호가 좋지 않은 편이었다.

그림 4는 공발점 기록 모습이며, 그중 하나를 추출하여 필터링을 적용시킨 것이 그림 5 (a), (b), (c)이며, (c)의 대역필터(band-pass filtering)에 의해 잡음이 많이 감소한 것을 볼 수 있다. 그림 6은 설정된 필터링 방법을 적용시킨 공발점 기록 모습으로 f-k 필터와 대역필터를 모두 적용시킨 것이다.

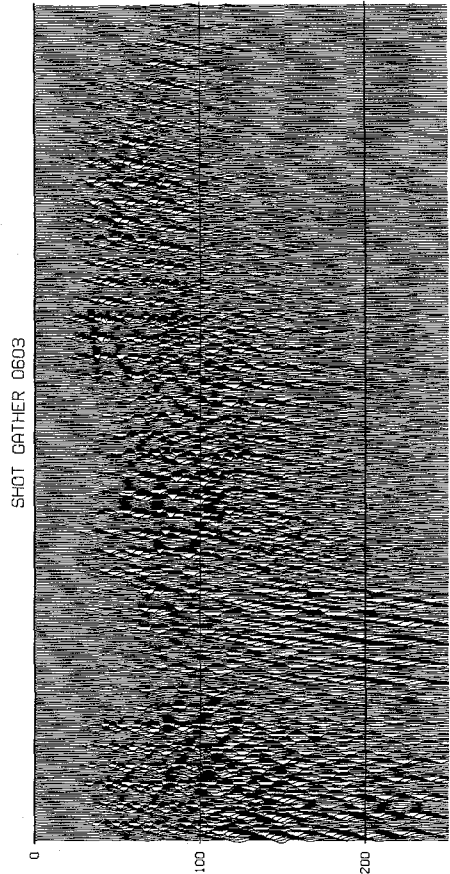
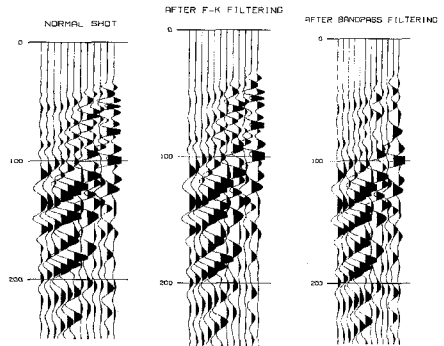


그림 4. 공발점 모습(분교)



(a) Raw-data b) f-k filter (c) band-pass filter

그림 5. 필터링의 적용(분교)

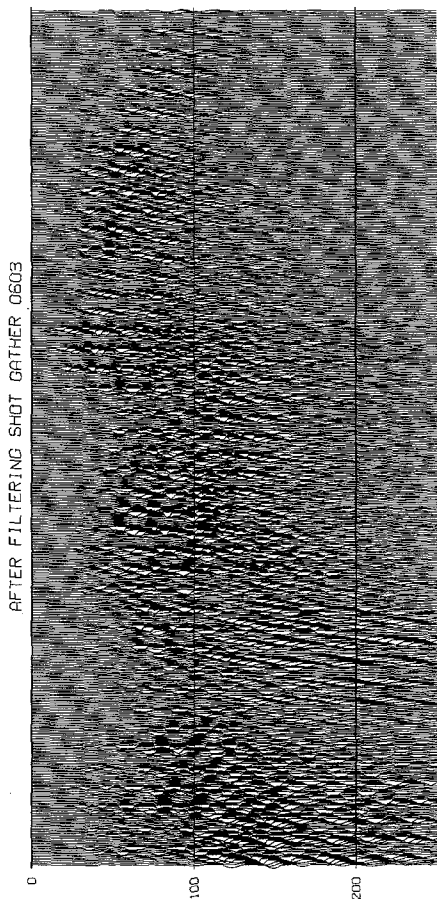


그림 6. 필터링을 적용시킨 공발점 모음(분교)

그림 7은 지하구조의 개략적인 단면을 나타내어 주는 최근거리모음(near trace gather)이고 이것을 토대로 처리한 결과 그림 8과 같은 최종 종합 단면도를 얻게 되었다. 최종종합단면을 살펴보면 특별히 지층구조라고 할 수 있을 부분을 내세우기가 어렵다. 이는 이 지역이 운동장이기 때문에 성토 등의 작업이 실시되었던 것으로 사료되며 그 결과로 매몰지점 등이 있어 신호의 전파가 용이하지 않기 때문에 위와 같은 결과를 얻게되었다고 생각된다.

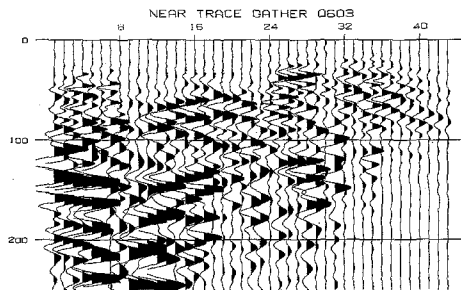


그림 7. 최근거리모음(분교)

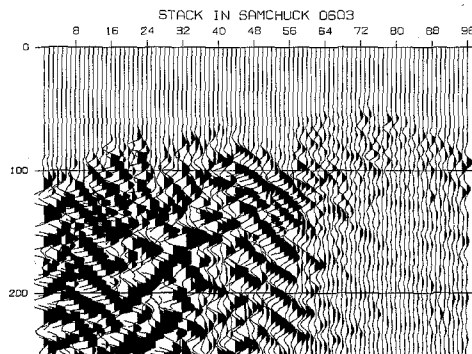


그림 8. 최종종합단면(분교)

(4) 능선지역 반사법 탐사

능선 지역에서는 공심점 분류를 최대 6 fold를 갖도록 배열하였다. 그림 9는 공발점 기록 모음이며, 그중 하나를 추출하여 필터링을 적용시킨 것이 그림 10 (a), (b), (c)이며, (c)의 대역필터(band-pass filtering)에 의해 잡음이 많이 감소한 것을 볼 수 있다. 그림 11은 설정된 필터링 방법을 적용시킨 공발점 기록 모음으로 f-k 필터와 대역필터를 모두 적용시킨 것이다. 다음 그림 10은 필터링을 실시한 결과로 선정된 것이며, (a)는 현장자료이며, (b)는 f-k 필터링을 실시한 경우, (c)는 대역 필터링을 실시한 경우이다. 필터링을 실시하기 전보다 후에 더 잘 정돈된 이벤트들이 확인된다.[2]

다음 그림 11은 획득된 현장자료에 선정된 필터링을 적용시킨 결과로 공발점 기록 모음이다.

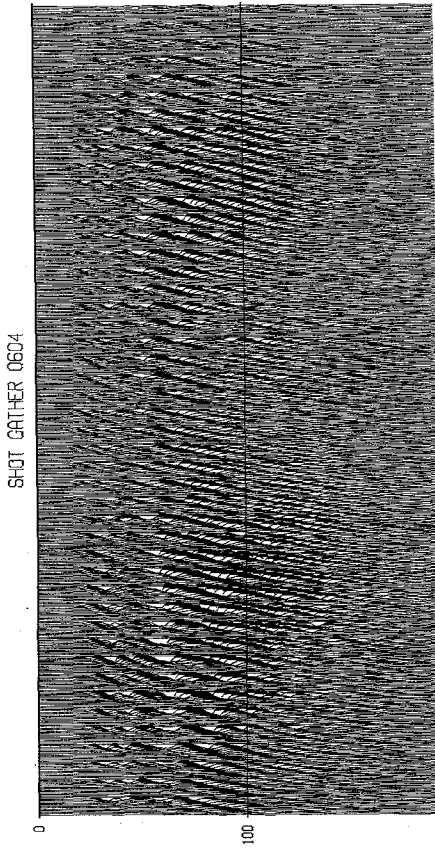
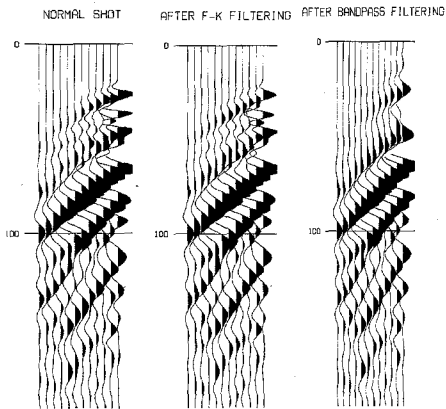


그림 9. 공발점 모음(능선)



(a) Raw-data (b) f-k filter (c) band-pass Filter

그림 10. 필터링의 적용(능선)

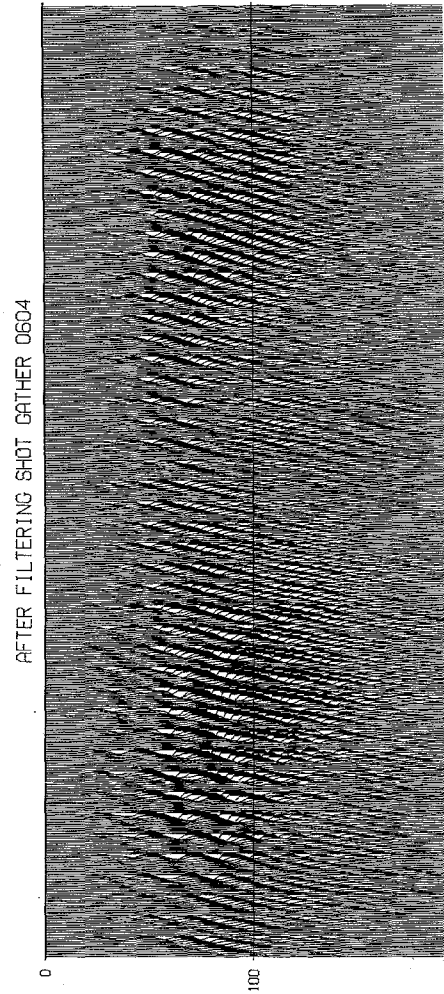


그림 11. 필터링을 적용시킨 공발점 모음(능선)

그림 12는 개략적인 단면을 보여주는 Near trace gather이며 가장 뚜렷이 나타나는 이벤트인 60ms 정도의 이벤트를 기반암으로 파악하여 자료 처리를 실시하였으며 그 결과 그림 13인 최종중합 단면을 완성하였다.

그림 13은 최종중합단면으로 기반암의 깊이는 약 17m로 표토층의 속도는 대략 600m/sec 인 것으로 판단된다.

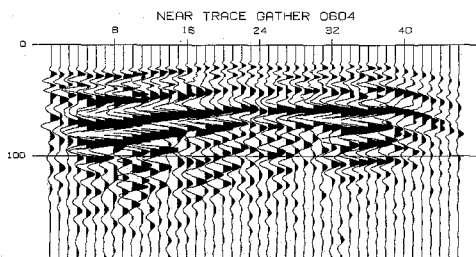


그림 12. 최근거리모음(능선)

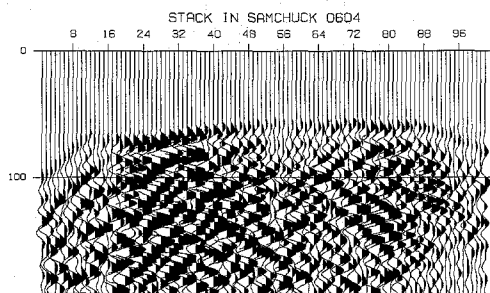


그림 13. 최종중합단면(능선)

2.2. 전기비저항 탐사

각각의 구간 연장은 line 1은 약 1Km, line 2는 약 1.5km, line3은 약 1.5km 이다. line1 과 line2 중간 지역은 민가 지역이므로 최대한 영향을 주지 않기 위한 축선을 설정하였다. line1과 line2의 해발고도는 최대가 약 300m 내외의 비교적 평탄한 지역이다. line3의 해발고도는 약 500m 지역으로 상대적으로 급경사 지역이고, 산림이 우거져 자료 획득에 애로사항이 많았다.

석회석의 채광 계획을 기초로 하여 전기비저항 탐사의 쌍극자 간격은 40m로 결정하였으며 전극전개수는 산악지형을 고려하여 8로 하였다. 이 경우, 가탐심도는 약 200m에 해당한다.

일반적으로 산악지형은 지하수면이 상당히 낮고 산림이 울창한 관계로 전극을 지표면에 꽂을 때 세심한 주의가 필요하다. 또한 인공적, 자연적 요인으로 통상 지하에 몇십 mV의 자연전위 (self-potential)가 항상 존재하므로 이에 대한 적절한 보상과 함께 측정시 자연전위 변화양상에도 주의할 기울여야 한다. 자연전위가 측정점에서 큰 값을 보이는 경우, 인접한 지점을 살펴보아 접지 등 다른 인위적 요인에 의한 것인지 확인하는 작업이 필요하며 무엇보다 잡음을 극복하기 위해서 가능한 많은 전류를 흘려보낼 수 있도록 하여야 한다. 본 조사에서 사용한 탐사기기는 프랑스 Iris사의 Syscal Junior로서 최대 400V까지 입력전압을 걸어 줄 수 있으며 모든 축선에서 일정하게 400V로

측정을 수행하였다.[3][4]

1) line 1

본 지역은 산정상 부근에서 측정된 구간으로 총 연장은 약 1km이다. 그림 14는 본 조사에서 얻어진 탐사결과를 칼라영상으로 나타낸 것이다. 그림 14의 상단은 현장에서 구한 겉보기 전기비저항 자료의 가단면도이며 그림에서 제거된 부분은 획득 자료의 질을 검토하면서 제외시킨 측정점을 말한다. 파란색은 낮은 전기비저항을, 붉은 색으로 갈수록 높은 전기비저항 값을 나타낸다. 그림의 하단은 측정된 겉보기 비저항자료를 토대로 구한 2차원 전기비저항 분포도이며 지형효과를 고려하여 도시한 최종 지하구조 해석단면이며 중간부분의 그림은 해석단면에 의하여 이론적으로 계산한 결과를 도시한 가단면도이다. 또한 그림 15는 등고선도로 나타낸 가단면도와 2차원 지하구조 해석단면이다.[5][6]

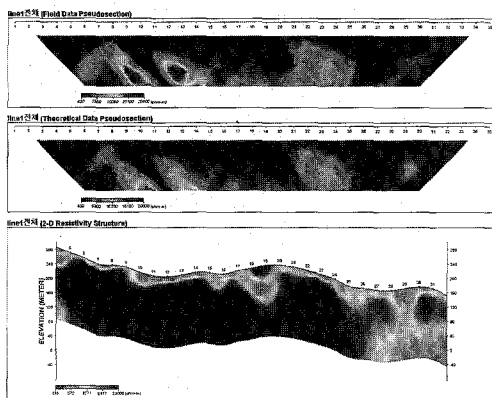


그림 14. Line 1 쌍극자배열 전기비저항 탐사 가단면도 및 해석단면

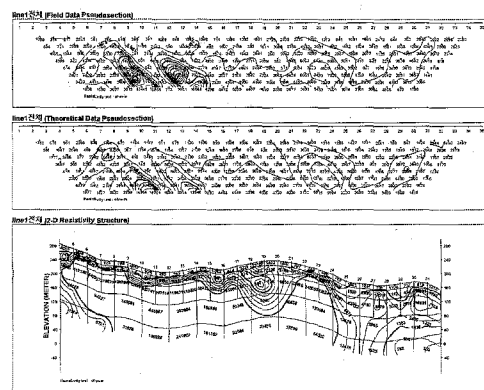


그림 15. Line 1 쌍극자배열 전기비저항 탐사 가단면도 및 해석단면

그림 15를 통해 지형보정을 통한 2차원 지하구조 해석단면을 전체적으로 보면 대체적으로 10000 Ωm 이상의 고 비저항을 갖는 지역이 축선의 대부분을 차지하고 있음을 볼 수 있다. 우측의 1000 Ωm 이하의 저비저항 지역은 지형도상 먼가 지역과 일치함을 알 수 있다. station 18, 19 지역은 지표에 상당히 고비저항 지역이 나타나는데 이는 노두가 돌출한 지역과 잘 일치되고 있다. 이 탐사지역은 전체적으로 절리가 없는 신선한 석회암 지역으로 추정된다.

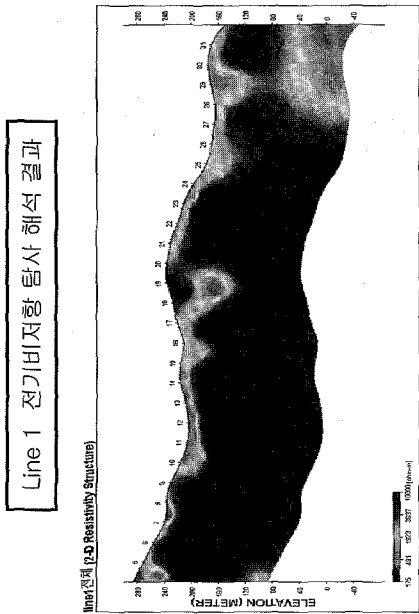


그림 16

2) line 2

본 축선은 탐사 지역의 2번째 축선으로서 고도 250m 내외의 평이한 지역으로서 총 연장은 약 1.5km 이다. 그림 17은 line2 전체에 대한 본 조사에서 얻어진 탐사 결과를 칼라 영상으로 나타낸 것이며, 그림 18은 등고선도로 나타낸 가단면도와 역산 결과로 얻어진 2차원 해석단면의 전기비저항 값을 도시한 그림이다. 역산 결과인 지하구조 해석단면 그림 19을 검토해 보면, 대체적으로 10000 Ωm 이하의 값을 갖는다. 붉은색으로 표현된 지역은 약 2000 ~ 5000 Ωm 사이로 변화하는 양상을 보이고 있다. 통상적으로 저비저항대라 함은 약 1000 Ωm 미만의 비저항을 가지는 경우를 의미하므로 station 15~17 지역은 지형도를 통해서도 계곡과 이어지는 농경지 지역으로서 지하수의 유

입이 집중되어 나타나는 현상으로 추정된다. station 32~34 지역도 역시 계곡지역으로서 저비저항 지대를 나타내나, 비저항 값이 1000 Ωm 이상을 나타내는 것을 통해, 지하수의 유입이 약간 있었으리라 생각된다. station 34~39 지역은 상대적으로 고비저항 지역으로 심부로 갈수록 비저항 값이 높아지는 이상적인 형태를 보여주고 있다. 전체적으로 line1, line3에 비해 비저항 값이 낮게 나타나는데 이는 상대적으로 지형이 평탄하고 지하수의 유입에 의한 것으로 생각된다.

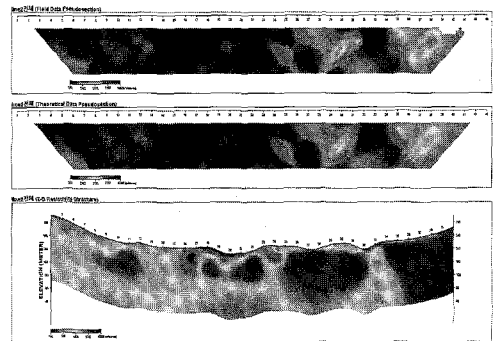


그림 17. Line 2 쌍극자배열 전기비저항 탐사 가단면도 및 해석단면.

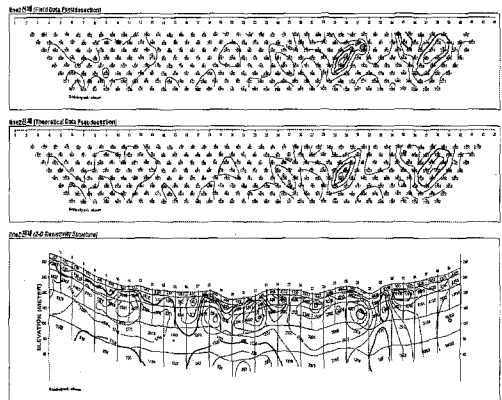


그림 18. Line 2 쌍극자배열 전기비저항 탐사 가단면도 및 해석단면.

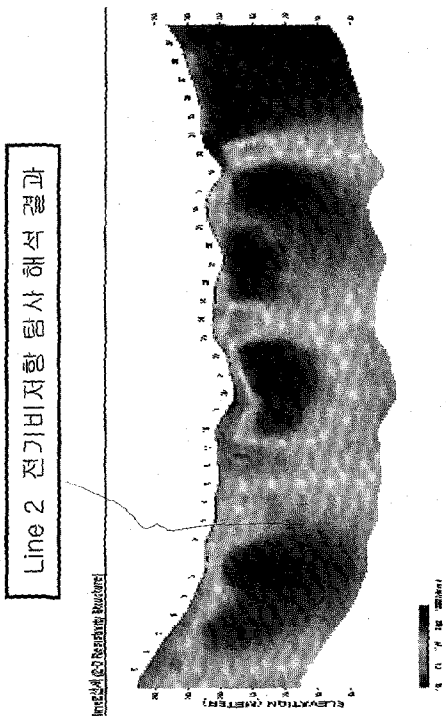


그림 19

그림 19. 쌍극자배열 전기비저항탐사 line2

있으며 지형적인 영향으로 지하수의 유입이 집중되어 주변과 비교하여 상대적으로 낮은 비저항대를 보이는 지역이라고 말할 수 있다. station 11~28 지형은 심도에 따라 고비저항을 나타내는 이상적인 반응을 보이고 있다. station 22 지점은 주위에 송전탑이 위치하고 있어 상대적으로 자료의 신뢰도가 떨어지리라 생각된다. 대체적으로 계곡을 사이에 두고 넓게 석회암 지대가 발달했으리라 생각된다.

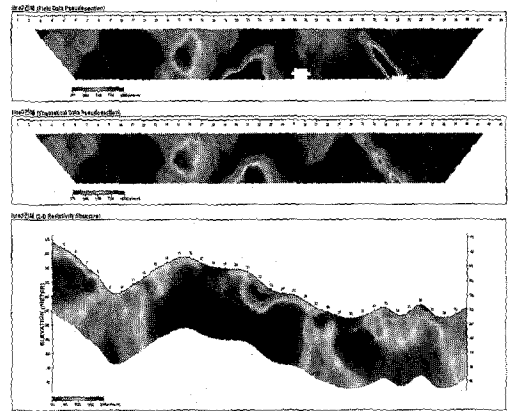


그림 20. Line 3 쌍극자배열 전기비저항 탐사 가단면도 및 해석단면.

3) line 3

본 지역은 조사축선의 3번째 line으로서 고도가 450m 정도의 상당히 급경사 지역이고, 총 연장은 약 1.5km 이다. 그림 20은 line3 전체에 대한 본 조사에서 얻어진 탐사 결과를 칼라 영상으로 나타낸 것이며, 그림 21은 등고선도로 나타낸 가단면도와 역산 결과로 얻어진 2차원 해석단면의 전기비저항 값을 도시한 그림이다. 역산결과인 지하구조 해석단면 그림 22를 검토해 보면 기반암으로 추정되는 기반암의 전기비저항 분포가 상당히 높은 값을 보이며 몇만에서 몇십만 Ωm 를 넘는 경우도 보인다. 이러한 고비저항 값을 나타내는 것을 토대로 기반암의 전기비저항을 대략 $10000\Omega m$ 라고 간주하고 해석단면을 도시하였다. 이러한 고비저항치를 가지는 여러 지역에 걸쳐 심도연장으로 수직하게 발달된 저 비저항대를 가지는 지역을 구분할 수 있는데 그 위치는 대략 두 군데로 대표될 수 있으며 그 위치는 station 8~10, station 26~28 지점이다. 특히 station 8~10 지점은 전기비저항이 최저 $135\Omega m$ 로 아주 낮은 전기비저항 분포를 보이고

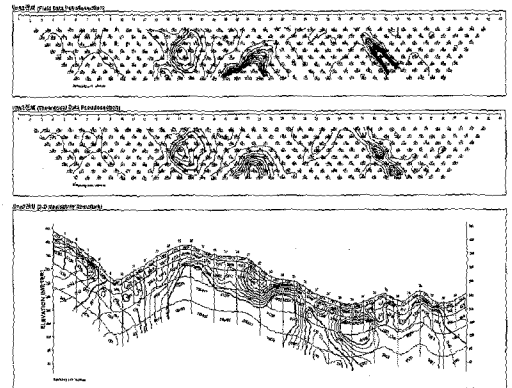


그림 21. Line 3 쌍극자배열 전기비저항 탐사 가단면도 및 해석단면.

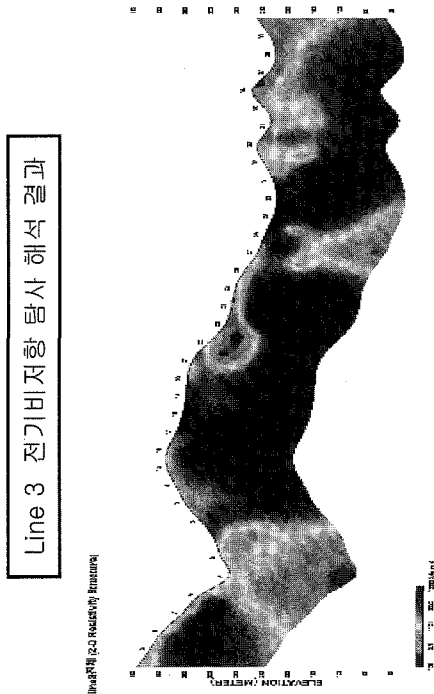


그림 22

3. 결론

이상과 같은 연구에 의해서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 탄성과 탐사를 통하여 개략적으로 600ms의 속도를 갖는 지층으로 덮인 17m의 표도층을 반사법 탐사를 이용하여 찾아내어 기반암의 깊이 찾아 낼 수 있었다.
- 2) 전기 비저항 탐사의 결과 그림 23과 같이 기존 지질조사에 의한 석회석 지층의 경계면을 더욱 정확하게 파악할 수 있었다.

이상과 같은 결론에 의해서 앞으로 석회석 매장량 산정에 더욱 정확한 정보를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

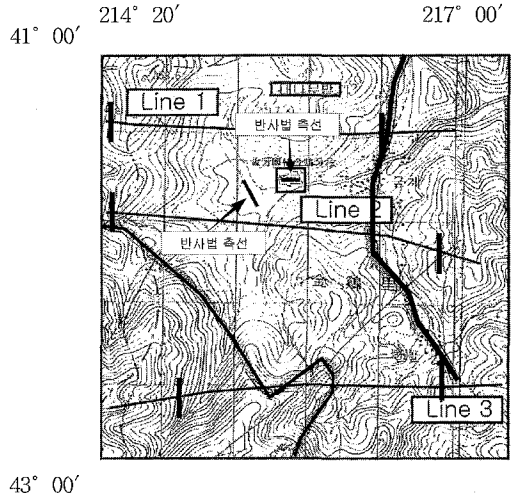


그림 23. 전기비저항 탐사 축선 및 경계면

참 고 문 헌

- [1] 서상용, 정부홍, 장성형, “대화석 탄성과 속도 분석”, 한국자원연구소 연구보고서, KR-98(C)-3, pp. 9-52, 1998.
- [2] 김규한, 공영세, 오진용, 이정모, “반사법 탄성과 탐사를 이용한 천부 지질구조”, vol. 2, No 1, pp. 8-16, 1999.
- [3] 민경덕, 서정희, 권병두, 응용지구물리학, pp. 546-665, 1994.
- [4] 현병구, 서정희, 물리탐사의 기본원리, 서울대학교 출판부, pp. 167-177, 1997.
- [5] 김정호, 2차원 전기비저항 탐사자료의 역산 : 공학박사 학위논문, 서울대학교, 1987.
- [6] 정승환, 김용태, 안대영, “전기비저항 토모그래피에 의한 지하영상화 및 적용사례”, 지반사고 예방을 위한 물리탐사활용, 한국자원공학회 특별 심포지엄 논문집, 한국자원공학회, 113-140, 1995.