

## 석회암 매장량 산출의 기초자료 계산을 위한 지구물리탐사법의 적용

### Application of Geophysical Prospecting Method to Calculate Basic Data of Limestone Deposit Production

서 백 수 (Beak Soo Suh)  
김 영 화 (Young Hwa Kim)  
진 호 일 (Ho Ill Chin)

강원대학교 지구시스템공학과 교수  
강원대학교 지구물리학과 교수  
강원대학교 석재복합신소재제품연구센터 전임연구원

#### 요약 / ABSTRACT

최근까지 석회암 매장량 산출은 주로 지질조사와 시추에 의존하여 계산하여 왔다.

본 연구에서는 매장량 계산을 위하여 탄성파 및 전기탐사법을 적용하여 석회암 매장량 산출의 기초자료를 얻고자 하였다. 탄성파 반사법을 이용하여 기반암의 깊이를 계산하고, 전기 비저항 탐사법을 이용하여 석회암의 지층경계면을 조사하였다. 탐사결과 기반암의 깊이는 약 17m이며 지층경계면은 지질조사에 의한 경계면과 약간의 차이를 보여주었다.

**주요어** : 석회석, 탄성파 반사법 탐사, 전기 비저항 탐사

Until recently, limestone yield production is mainly depend on geological investigation and boring.

In the study seismic and electrical method are applied to calculate the basic data of limestone yield production. the result of geophysical prospecting, the depth of bed rock is approximately 17m. And there is a slightly difference between the limestone layer boundary which is drawn by electrical prospecting method and that of geological investigation.

**Key Words** : limestone, seismic reflection method, electrical resistivity survey

#### 서 론

강원도의 태백, 삼척, 영월 지역 및 충북 제천

지역에는 다량의 석회암이 넓게 분포되어 있다.(대한광업진흥공사, 1994) 이제까지 석회암 개발을 위한 조사는 주로 지질학 및 광상학적인 접근 방법을

통하여 이루어져 왔으나 주로 지표에 드러난 노두에 의존해야 하므로 지하의 지질구조를 정밀하게 파악하는 데는 한계가 있다. 또한 복잡한 국내 지질조건은 지하 지질구조의 해석을 더욱 어렵게 하며, 특히 상부층이 충적층으로 덮인 지역에서는 지표지질 조사가 매우 어려운 상황이 된다.

본 연구는 석회암 지역에 지구물리탐사법을 적용하여 석회암 매장량 산출의 기초자료를 구하고자 한다. 탄성과 반사법을 이용하여 천부 지하의 지질구조를 조사하여 기반암의 깊이를 탐지하고, 전기비저항 탐사법을 이용하여 석회암의 연장 깊이 및 지층 경계면을 파악한다.(김규환외, 1999; 김정호, 1987; 서상용외, 1998; 정승환, 1995) 지금까지 지질조사 및 시추에만 의존하여 산출하는 매장량 산정에 보다 상세한 기초자료를 제공하고자 한다. 이상과 같은 연구에 의하여 정확한 천부 지질구조와 지층 경계면의 정보를 요구하는 대형 건설공사 등에도 많은 도움을 줄 수 있을 것이다.(민경덕외, 1994; 현병구와 서정희, 1997)

### 위치 및 지질개요

조사 지역은 행정구역상 강원도 삼척시 근덕면 금계리에 해당되는 약 3km<sup>2</sup>의 지역으로서 삼척시의 중심부로부터 약 7km 남쪽에 위치하고 있다. 조사 지역에는 현재 폐교된 맹방초등학교 금계분교가 있는 금계마을과 그로부터 남남동 방향으로 약 1km 떨어진 곳에 찰골마을이 위치하고 있으며, 조사 지역내의 북서부에는 안향산(358.6m)이 자리잡고 있다. 조사지역내의 몇몇 지점에서 발달되어 흐르는 작은 여러 개의 수계가 금계마을에서 합류되어 하맹방리를 거쳐 동해안으로 유입되고 있다. Fig. 1은 탐사 축선의 위치이며 이는 광구번호 삼척 47호에 해당하고 인근에 (주) 쌍용양회의 삼척사업소가 소재하고 있다. Fig. 2는 Fig. 1 지역의 지질도를 나타낸다. 이 지역은 지구조적으로 고생대 캄브리아기와 오오도비스기에 속하는 조선누층군에 해당되며 상동층군, 상부삼척층군, 하부삼척층군 등으로 구성되어 있다.(Table. 1)

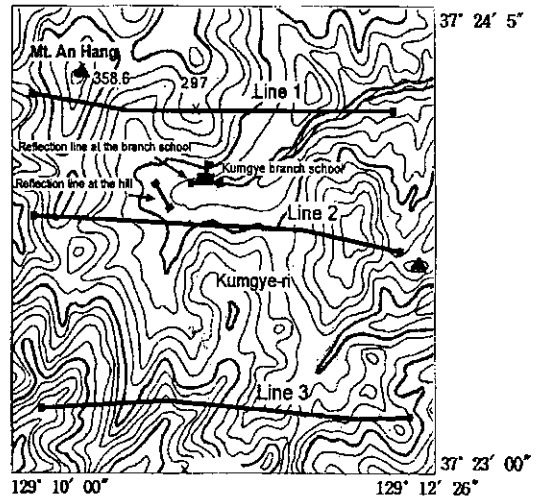


Fig. 1. Location map of the survey area

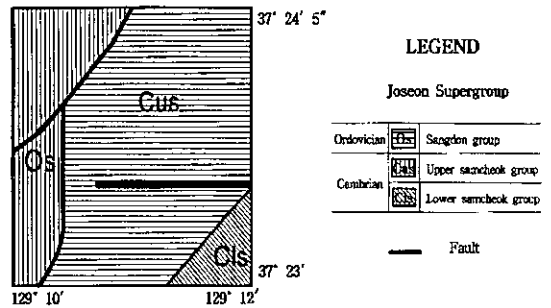


Fig. 2. Geologic map of the survey area

Table. 1. Geology of detection area.(Kangwon-do Office of Education, 1993)

고 생 대	오오도비스기	조 선 누 층 군	상 동 층
	캠브리아기		상부삼척층군
			하부삼척층군

### 현장조사 및 해석

#### 반사법 탐사

비교적 평탄한 맹방초등학교 금계분교와 분교앞 능선지역을 측정지역으로 선정하였으며 끝점전개방식을 이용하였다. 분교 운동장 지역에서는 EW를 측정방향으로 하여 최근접 수신기 거리(near

offset) 10m, 수신기 간격 1m로 측정하여 총 43개의 자료를 획득하였으며, 분교앞 능선지역에서는 N45° E를 측선방향으로 오프셋 8m, 수신기 간격 1m로 총 46회의 자료를 획득하였다. 사용한 수신기의 고유주파수는 100Hz이며 자료 획득시 아날로그 필터를 적용하지 않았으며 심도에 따른 이득조절도 주지 않았다. 공발점 자료의 기록시간은 256ms이며 125 $\mu$ s의 샘플링 간격으로 기록하였다. 측선별 수신기 및 진원점 배열 상황은 Fig. 3, 4에 나타내었으며 자료획득시 사용된 장비는 Geometrics 사의 12채널 탐사기기인 Smartseis를 사용하였다.

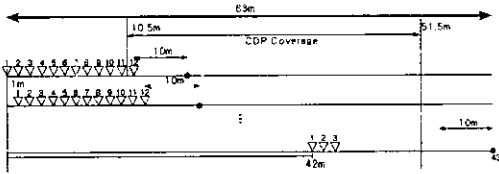


Fig. 3. Survey line at the branch school.

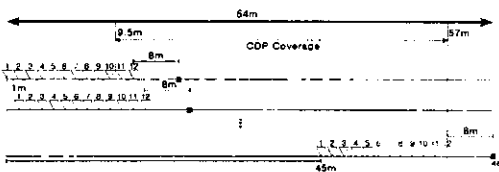


Fig. 4. Survey line Sam-chok at the hill.

반사법 탐사자료의 전산처리는 Linux 운영체제를 기반으로 하는 PC에서 실시하였다. 자료처리 소프트웨어는 국내 최초의 체계화된 탄성과 자료처리 모델인 Geobit(서상용, 오진용, 1994)을 사용하였다. Geobit은 2차원 탄성과 자료처리가 가능하며 대화식 속도 분석 방법을 도입하여 속도분석, 동보정(Normal Moveout 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.

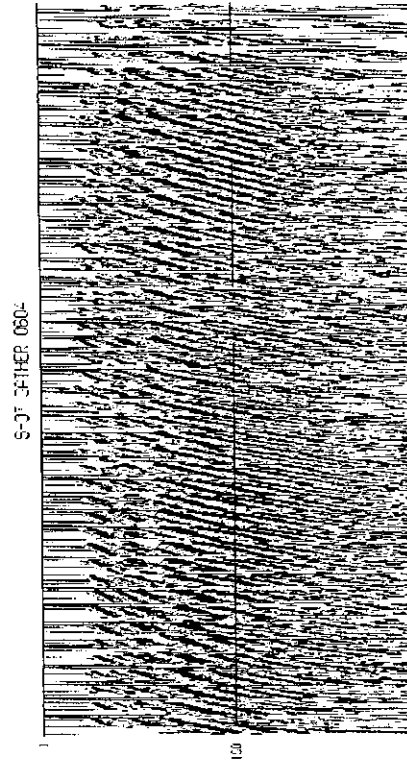
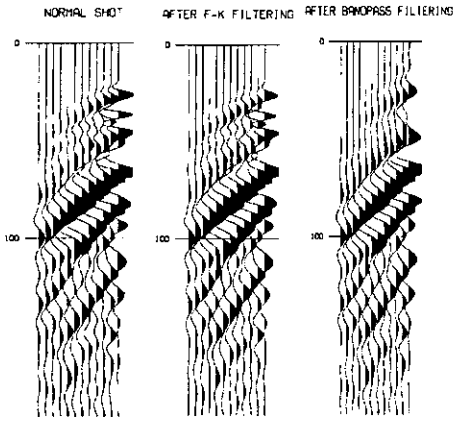


Fig. 5. Shot gather at the hill.

능선 지역에서는 공심점 분류를 최대 6 fold를 갖도록 배열하였다. Fig. 5는 공발점 기록 모음이며, 그중 하나를 추출하여 필터링을 적용시킨 것이 Fig. 6. (a), (b), (c)이며, (c)의 대역필터(band-pass filtering)에 의해 잡음이 많이 감쇄한 것을 볼 수 있다. Fig. 7은 설정된 필터링 방법을 적용시킨 공발점 기록 모음으로 f-k 필터와 대역필터를 모두 적용시킨 것이다. 필터링을 실시하기 전보다 후에 더 잘 정돈된 이벤트들이 확인된다.



(a) Raw-data (b) f-k filter (c) Band-pass Filter  
Fig. 6. Example of filtering.

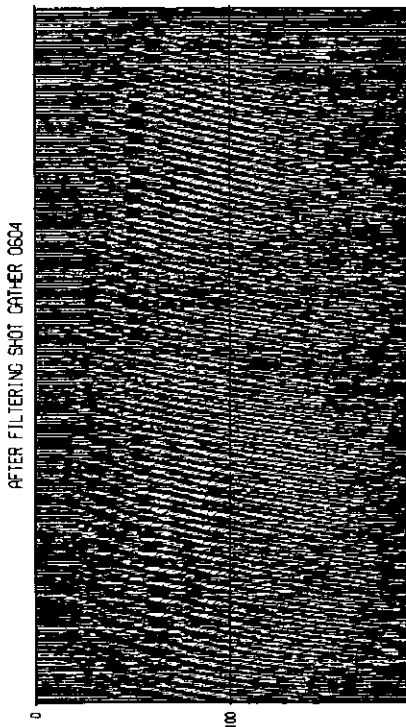


Fig. 7. Shot gather after filtering of Fig. 5.

Fig. 8은 개략적인 단면을 보여주는 Near trace gather이다. 이때 상부 2개의 메인 이벤트는 표토층 또는 풍화대의 영향으로 간주되며 가장 뚜렷이 나

타나는 이벤트인 60ms 정도의 이벤트를 기반암으로 파악하여 자료 처리를 실시하였으며 그 결과 Fig. 9의 최종중합단면을 완성하였다.

이때 기반암의 깊이는 약 17m로 표토층의 속도는 대략 600m/sec인 것으로 판단된다.

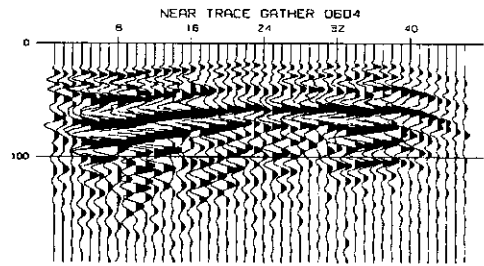


Fig. 8. Near trace gather at the hill.

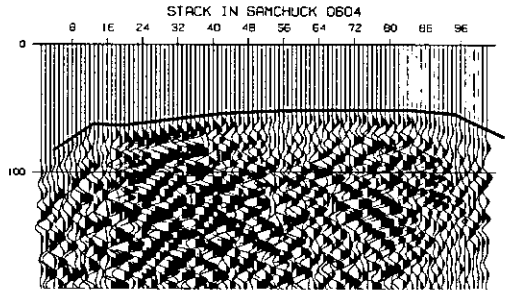


Fig. 9. CDP stacked section at the hill.

#### 전기비저항 탐사

Fig. 1에서와 같이 각각의 구간 연장은 line 1은 약 1km, line 2는 약 1.5km, line 3은 약 1.5km 이다. line 1과 line 2 중간 지역은 민가 지역이므로 최대한 영향을 주지 않도록 축선을 설정하였다. line 1과 line 2의 해발고도는 최대가 약 300m 내외의 비교적 평탄한 지역이다. line 3의 해발고도는 약 500m 지역으로 상대적으로 급경사 지역이고, 산림이 우거져 자료 획득에 애로사항이 많았다.

#### 축선계획 및 탐사

석회석의 채광 계획을 기초로 하여 전기비저항 탐사의 쌍극자 간격은 40m로 결정하였으며 전극전 개수는 산악지형을 고려하여 8개로 하였다. 이 경우, 가탐 심도는 약 200m에 해당한다.

석회암 매장량 산출의 기초자료 계산을 위한 지구물리탐사법의 적용

본 조사에서 사용한 탐사기기는 프랑스 Iris사의 Syscal Junior로서 최대 400V까지 입력전압을 걸어 줄 수 있으며 모든 측선에서 일정하게 400V로 측정을 수행하였다.

1) 측선 line 1 탐사

본 지역은 산정상 부근에서 측정한 구간으로 총 연장은 약 1km이다. Fig. 10은 본 조사에서 얻어진

탐사결과를 칼라영상으로 나타낸 것이다.

Fig. 10을 통해 지형보정을 통한 2차원 지하구조 해석단면을 전체적으로 보면 대체적으로 10000 $\Omega$ m 이상의 고비저항을 갖는 지역이 측선의 대부분을 차지하고 있음을 볼 수 있다. 우측의 1000 $\Omega$ m 이하의 저비저항 지역은 지형도상 민가 지역과 일치함을 알 수 있다. Station 18, 19지역은 지표에 상당히 고비저항 지역이 나타나는데 이는 노두가 돌

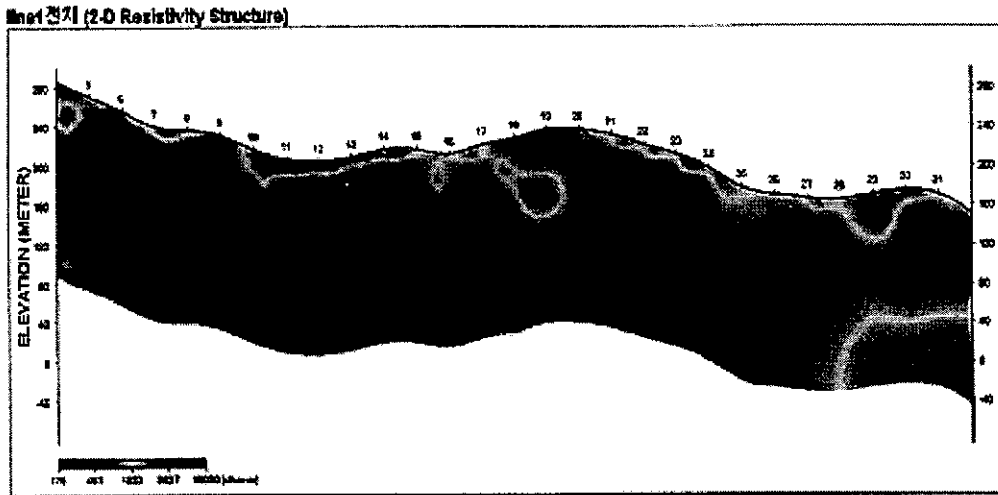


Fig. 10. Resistivity structure of line 1 using dipole-dipole electrical prospecting method.

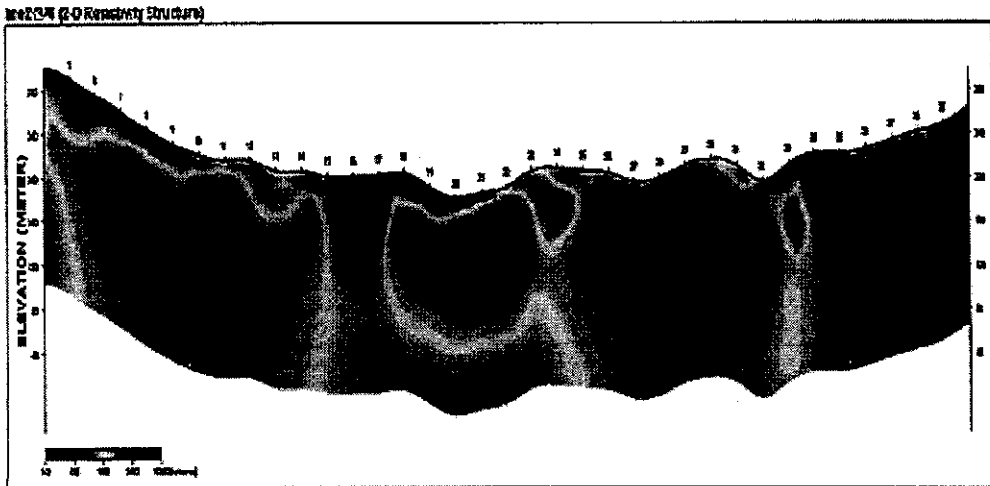


Fig. 11. Resistivity structure of line 2 using dipole-dipole electrical prospecting method.

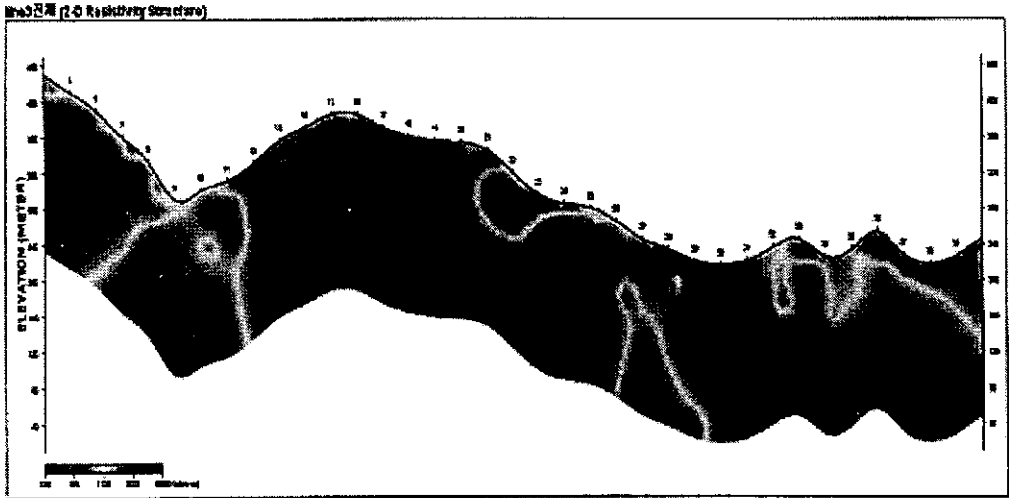


Fig. 12. Resistivity structure of line 3 using dipole-dipole electrical prospecting method.

출한 지역과 잘 일치되고 있다. 이 탐사지역은 전체적으로 절리가 없는 신선한 석회암 지역으로 추정된다.

### 2) 측선 line 2 탐사

측선은 고도 250m 내외의 평이한 지역으로서 총 연장은 약 1.5km이다. Fig. 11은 line 2 조사에서 얻어진 탐사 결과를 칼라 영상으로 나타낸 것이다. 역산 결과인 지하구조 해석 단면의 비저항 분포를 보면 대체적으로 10000  $\Omega m$  이하의 값을 갖는다. 붉은 색으로 표현된 지역은 2000~5000  $\Omega m$  사이로 변화하는 양상을 보이고 있다. 통상적으로 저비저항대라된함은 약 1000  $\Omega m$  미만의 비저항치를 가지는 경우를 의미하므로 station 15~17 지역은 지형도를 통해서도 계곡과 이어지는 농경지 지역으로서 지하수의 유입이 집중되어 나타나는 현상으로 추정된다. Station 32~34 지역도 역시 계곡 지역으로서 저비저항대를 나타낸다. Station 34~39 지역은 상대적으로 고비저항 지역으로 심부로 갈수록 비저항값이 높아지는 이상적인 형태를 보여주고 있다. 전체적으로 line 1, line 3에 비해 비저항값이 낮게 나타나는데 이는 상대적으로 지형이 평탄하고 지하수의 유입에 의한 것으로 생각된다.

### 3) 측선 line 3 탐사

본 지역은 조사측선의 세 번째 line으로서 최대 고도가 450m 정도이며 비교적 급경사 지역이고, 총 연장은 약 1.5km이다. Fig. 12은 line 3 전체에 대한 본 조사에서 얻어진 탐사 결과를 칼라 영상으로 나타낸 것이다. 역산결과인 지하구조 해석단면을 검토해 보면 기반암으로 추정되는 전기비저항 분포가 상당히 높은 값을 보이며 몇 만에서 몇 십만  $\Omega m$ 를 넘는 경우도 보인다. 이러한 고비저항값을 나타내는 것을 토대로 기반암의 전기비저항을 대략 10000  $\Omega m$ 이라고 간주하고 해석단면을 도시하였다. 이러한 고비저항대와 수직하게 발달된 저비저항대로 구분 할 수 있는데 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 있으며 지형적인 영향으로 지하수의 유입이 집중되어 주변과 비교하여 상대적으로 낮은 비저항대를 보이는 지역이라고 말할 수 있다. station 11~28 지점은 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.

지층 경계면 해석

쌍극자 전기비저항 탐사법에 의한 측선 line 1에서는 station 27, 28 부근에서 저비저항 분포가 나타나 지층경계면으로 해석하였다. 측선 line 2에서는 station 5, 6에서 비교적 낮은 저비저항 분포가 나타나 지층경계면으로 해석하였으며 우측으로 갈수록 고비저항 분포가 잘 나타나 본조사에 의한 지층경계면과 지질조사에 의한 석회암의 지층경계면과는 많은 차이를 보여 주었다. 측선 line 3에서는 전극번호 8, 9, 10에서 아주 낮은 저비저항 분포가 나타나 지층경계면으로 해석하였으며, station 38, 39 부근에서도 비교적 낮은 저비저항 분포가 나타나 지층경계면으로 해석하였다. 상기 해석결과(점선)와 기존의 지질조사에 의한 지층경계면(A)과 비교하여 나타내면 Fig 13과 같이 석회석 지층의 경계면을 나타낼 수 있다.

본 연구의 전기비저항 탐사자료의 해석 소프트웨어는 세계적 수준으로 개발되어 이미 국내에 널리 보급 실용화 되어있는 자원연구소 개발 칼라 프로그램(김정호, 1989)인 DIPRO를 사용하였다.

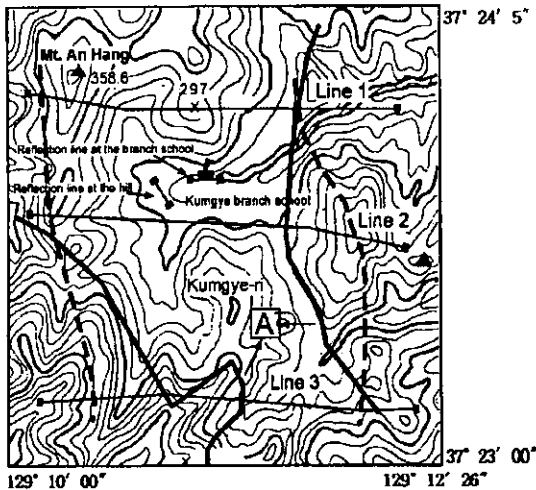


Fig. 13. The boundary of limestone area.

매장량산정

매장량 산정의 일반적인 계산법은 광체의 주향과 대체로 직각인 방향으로 단면선을 그어 단면적을 구하고 인접단면과의 평균 단면적을 구하고, 여기에 단면간 거리와 비중(약 2.7)을 곱하여 구간별

도학적 매장량을 구한다. 도학적 매장량 중 제도 및 지형 오차 등을 고려하여 30%를 공제한 구간별 양을 합하여 매장량을 산출한다. 일반적으로 산출된 매장량 중 시료채취점인 지표로부터 60m 심도까지는 추정매장량, 추정매장량 하부에서 100m까지는 예상매장량으로 계산한다.

본 연구에서 탄성과 반사법 탐사에서는 기반암의 심도가 약 17m 정도임을 알 수 있었다. 전기비저항 탐사에서 200m 심도까지 전기비저항 해석단면도를 작성해 본 결과 석회석으로 예상되는 부분이 추정 매장량, 예상 매장량 산출에 필요한 깊이 160m 이상으로 위치함을 알 수 있었다.

시료채취 및 성분분석

이 연구를 위하여 조사 지역내에서 가능한 일정한 간격으로 Fig. 14와 같이 14개의 석회석 시료를 각각 약 3kg씩 채취하였다. 성분 분석을 위해서는 채취한 시료를 세척하고 건조한 후에 보관용 시료를 제외한 나머지 시료들을 핸드 헤머와 스테인레스 철구를 사용하여 파분쇄하고 잘 혼합한 후, 사분법에 의해 시료의 양을 약 100g씩 선택한 다음, 볼밀(Mixer/Mill-Spex 8000)을 이용하여 전량 -200



Fig. 14. Sampling site of limestone area.

mesh로 미분쇄하였으며 대한광업진흥공사 기술연구소에서 적정 분석법에 의해 CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 등 3가지의 원소를 분석하였다.(Table. 2)

분석결과 돌로마이트화된 일부 시료(KL-04)를 제외하고는 대체로 중-고품위의 비교적 양호한 품위를 보여 시멘트용 또는 제철용으로도 사용이 가능할 것으로 판단된다.

Table 2. Chemical composition of limestone samples

Elements Samples	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
KL-01	54.0	1.50	0.11
KL-02	50.5	1.08	0.13
KL-03	51.2	0.49	0.06
KL-04	30.7	2.31	0.82
KL-05	50.5	4.01	0.41
KL-06	52.1	1.50	0.17
KL-07	53.1	1.33	0.21
KL-08	51.4	3.40	0.54
KL-09	46.7	8.23	0.79
KL-10	49.6	4.54	0.55
KL-11	48.1	7.90	0.82
KL-12	51.7	2.63	0.14
KL-13	52.4	2.60	0.28
KL-14	51.4	0.87	0.10
Avg.	49.5	3.03	0.37
Std.	5.74	2.44	0.29

Avg. : Average (unit in wt.%)

Std. : Standard deviation

## 결 론

이상과 같은 연구에 의해서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 탄성과 탐사를 통하여 개략적으로 600ms의 속도를 갖는 지층으로 덮인 17m의 표토층을 반사

법 탐사를 이용하여 찾아내어 기반암의 깊이를 찾아 낼 수 있었다.

2) 전기 비저항 탐사의 결과 같이 기존 지질조사에 의한 석회석 지층의 경계면을 더욱 정확하게 파악할 수 있었다.

3) 기존 매장량 산출법(광업진흥공사, 1994년)을 참고로하여 단면적(평균단면적 : 1,875,000m<sup>2</sup>), 단면간 거리(160m), 비중(2.7), 공제율(30%)을 적용하면 약 5억 6천만 톤의 총 매장량이 산출된다.

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

## 감사의 글

본 연구는 1997년도 학술진흥재단 대학부설연구소(과제번호 : KRF-97-005-E00060) 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사를 드립니다.

## 참 고 문 헌

- 김규한, 공영세, 오진용, 이정모, 1999, 반사법 탄성과 탐사를 이용한 천부 지질구조, 지구 물리탐사학회지, 2(1), 8-16.
- 김정호, 1987, 2차원 전기비저항 탐사자료의 역산, 서울대학교, 공학박사 학위논문.
- 광업진흥공사, 1994, 삼척광산 매장량 보고서.
- 민경덕, 서정희, 권병두, 1994, 응용지구물리학, 546-665.
- 서상용, 정부홍, 장성형, 1998, 대화식 탄성과 속도 분석, 한국자원연구소 연구보고서, KR-98(C)-3, 9-52.
- 정승환, 김용태, 안대영, 1995, 전기비저항 토모그래피에 의한 지하영상화 및 적용사례, 지반사고 예방을 위한 물리탐사활용, 한국자원공학회 특별 심포지엄 논문집, 한국자원공학회, 113-140.
- 현병구, 서정희, 1997, 물리탐사의 기본원리, 서울대학교 출판부, 167-177.



서백수

강원대학교 공과대학 지구시스템공학과

200-170 강원도 춘천시 효자동

Tel : 033-250-6254

Fax : 033-256-3566

e-mail : bssuh@cc.kangwon.ac.kr

Dept. of Geosystem Engineering, Kangwon  
National University, Chunchon, Kangwondo,  
200-701, Korea

김영화

강원대학교 자연과학대학 지구물리학과

200-170 강원도 춘천시 효자동

Tel : 033-250-8582

Fax : 033-244-8580

e-mail : yhkim@cc.kangwon.ac.kr

Dept. of Geosystem Engineering, Kangwon  
National University, Chunchon, Kangwondo,  
200-701, Korea

진호일

강원대학교 석재복합신소재제품연구센터

200-170 강원도 춘천시 효자동

Tel : 033-241-7405

Fax : 033-241-7405

e-mail : hichin@cc.kangwon.ac.kr

Research Center for Advanced Mineral Aggregate  
Composite Products, Kangwon National  
University, Chunchon, Kangwondo,  
200-701, Korea