

## 구포 기차 전복사고 지역의 지반상태 파악을 위한 탄성파 토모그래피 응용

### Application of Seismic Tomography to the Investigation of Underground Structure in Gupo Train Accident Area

---

김 중 열(Kim, Jung Yul)  
장 현 삼(Chang, Hyun Sam)  
김 유 성(Kim, Yoo Sung)  
현 혜 자(Hyun, Hye Ja)  
김 기 석(Kim, Ki Seog)

한국자원연구소  
삼성건설기술연구소  
한국자원연구소  
한국자원연구소  
한국자원연구소

---

#### 요약/Abstract

1993년 3월 부산 북구 경부선 복선 철도 구간에서 지반 침하로 인한 대형 기차전복 참화는 많은 인명 피해는 물론 막대한 재산 손실을 초래하였다. 여기서 관심의 초점이 된 지반함몰 원인은 우선 다양한 재래 지질조사법에 의해 조사되었으며 그 결과 ① 선로 하부 약 39 m 지점에서 NATM 터널굴착을 위한 화약 발파, ② 기반암 경계면의 급격한 변화가 무엇보다 지반 침하에 대한 직접적인 동기가 된 것으로 추정되었다. 그런데 기존 조사기법은 거의 시추 데이터에 의존하기 때문에 현실적으로 주어진 불리한 탐사 여건(예: 선로면 위에서는 빈번한 열차 주행으로 인하여 시추가 불가능함)은 바로 초점이 되고 있는 선로 하부 지반상태 파악을 불가능하게 하였다. 따라서 상기 결여된 지질정보는 우선 함몰 경위에 대한 두가지 가정을 낳게 하였으며 이러한 불확실성은 시공 과실에 대한 판단을 흐리게 하는 계기를 부여한 것이다.

본 논문은 우선 상기 불리한 탐사 여건을 극복하면서 동시에 각 암층 경계면을 고분해능으로 재현할 수 있는 하나의 첨단 물리탐사법 즉, 탄성파 토모그래피 기법을 소개하고 있으며 나아가서 그의 응용 결과는 바로 토목설계 내지 시공설계를 위한 귀중한 기초 자료(예: 탄성파

속도, 탄성율)로 반영될 수 있음을 보여주고 있다.

A train overturn accident occurred on March 1993 in the Gupo area, northern part of Pusan, unfortunately had taken a heavy toll of lives and caused a great loss of property as well. The reasons for the subsidence of the basement under the railroads, which presumed to be the main cause of the accident, have been investigated from many different angles, including conventional geotechnical investigation methods. The deduced main reasons of the subsidence were: 1. blasting for tunnel excavation (NATM) at about 39 meter under the railroads, and 2. unexpected change of bedrock conditions along the direction of tunnel. But this accident was derived mainly from the lack of geological and geotechnical information under railroad area because it was impossible to drill beneath the railroads.

This paper introduces a new geophysical survey technique - seismic geotomography, and shows some results of the method applying to investigate the underground structure of the accident area. This method not only overcomes the unfavourable environment which many conventional investigation methods cannot face, but produces an image of underground structure with high resolution. Furthermore, the outputs from geotomographic analysis could provide very valuable in-situ basic parameters (like seismic velocities, elastic moduli, etc.) which is essential to the design and construction.

## 서 론

**사고 현황:** 1993년 3월 28일 오후 5시 25분경 행정구역상 부산시 북구 덕천 2동 경부선 복선 철도구간에서 지반 침하로 인한 기차 전복사고가 발생되었다. 본 사고가 당시 크게 부각된 원인은 하나의 인위적인 재해로서 그로 인한 막대한 재산 피해는 차치하더라도 우선 많은 인명피해(사상자 200 여명)가 유발되었고 동시에 극심한 교통장애가 발생된 데 있었다.

Fig. 1은 사고 현장이 임시 복구된 상태를 보여주고 있으며, Fig. 2는 함몰 지점 현장을 확대하여 나타내고 있다. 함몰된 범위는 점선으로 표시되어 있으며 그 사이에는 복선

간선 철도가 놓여 있다. 여기서 지반침하가 급격히 유발된 직접적인 동기는 철도면으로부터 지하 약 39 m(터널상단 E.L. 약 -30m) 지점에서 터널방향이 철로 비스듬히 가로질러(Fig. 2 참조) 철로구간을 침범하면서 화약 발파에 의한 터널 굴착(북부산 S/S - 구포선 거리간 전력구 건설 공사)이 진행된 데 있었으며 동시에 빈번한 열차왕래(약 4~5분마다 기차가 지나감)는 예기치 못한 철로 노면 상태의 변화에 대한 신속한 판단의 결여로 인하여 바로 대형 사고로 이어지게 된 것이다.

**지반 상태:** 낙동강 하류 지역(부산 일대)은 국내에서 가장 연약한 지반으로 알려져 있으며 특히 본 사고 지역은 지형상 구하상



Fig. 1. A panoramic view of the Gupo train accident area near Pusan.

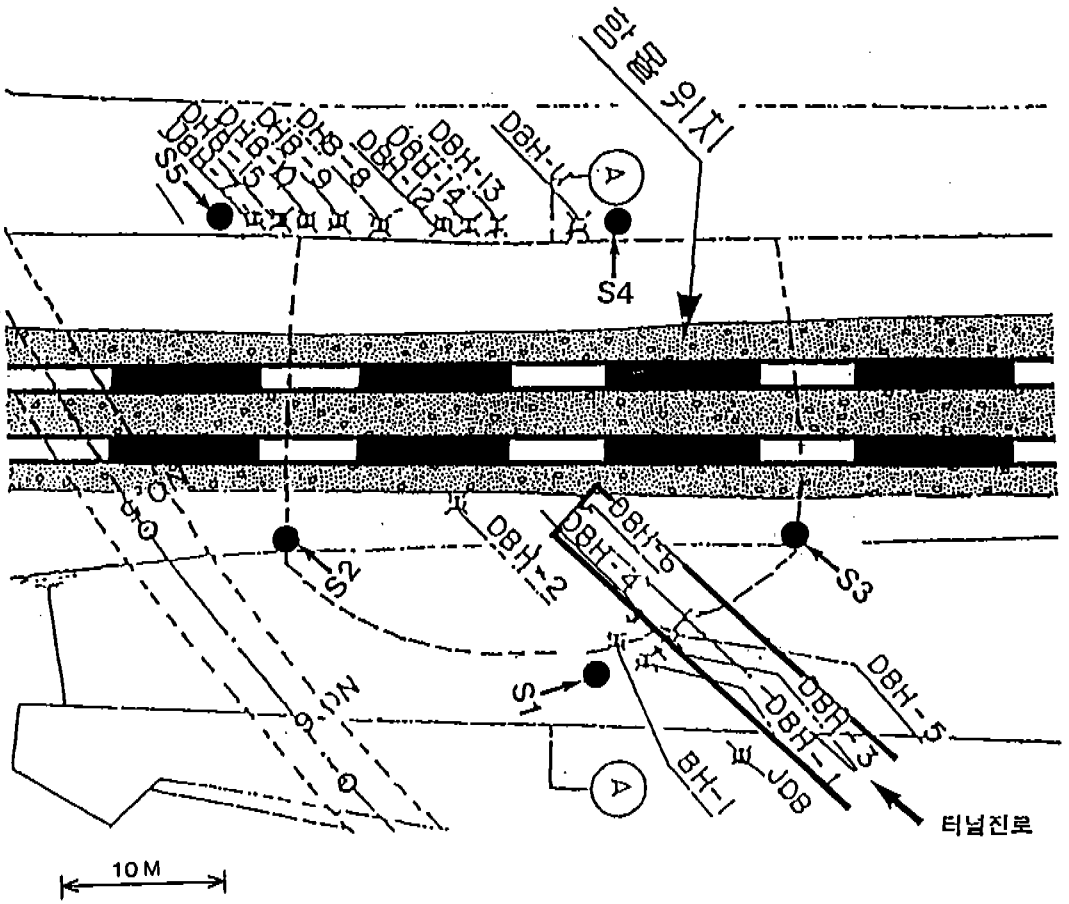


Fig. 2. Borehole locations for the Gupo geomographic survey area.

흔적이 관찰된 곳이었다. 이 지역 일대의 지층구조는 대체로 점토층-자갈층-기반암 형태를 이루고 있다. 터널 설계를 위한 시추조사는 철로선을 사이에 두고 상당히 떨어진 (약 110 m) 위치에서 이루어졌으며 그에 따른 시추공 주상도에 의하면 계획된 터널 심도가 기반암선 상부와 충분한 간격을 유지하고 있기 때문에 NATM(New Austrian Tunneling Method) 굴착공법 응용에는 기술적인 문제가 뒤따르지 않을 것으로 판단되었다. 그러나 터널 굴착이 철로 방향으로 진행

됨에 따라 기반암은 서서히 깊어가고 동시에 암반내 절리 내지 파쇄 현상이 점차 발달되고 있음이 관찰되었다. 더구나 선로 주변 연약 지반에 시설된 여러 구조물들은 지반 부동침하로 인하여 변형이 일어나고 있었다.

사고 직후 함몰원인 규명을 위한 지반조사 및 터널 막장위치 확인작업이 진행되었다. 이를 위해 철로주변 내지 철로가에 최대한 인접하여(Fig. 2 참조) 다양한 시추작업이 좁은 공간내에서 밀집하게(약 28개공) 수행되었으며 그에 따른 코아 및 토질 분석 결과는

다음과 같이 요약되었다(박성재, 1993).

1. 기반암 상부 토사층은 자연 함수비가 높고 어떤 충격이나 진동 혹은 지진에 의해 교란될 때 전단 강도를 잃어 액상화가 될 가능성이 큰 지층이다.
2. 시추공 S3 주위(Fig. 2 참조) 기반 암선은 계획된 터널 상단의 심도보다 높게 (약 2~3 m) 나타나고 있으나, 반면시추공 S4, S5, S2 주위 기반암선은 오히려 터널 상단 심도 보다 낮게 관찰되었다. 즉, 기반암선이 시추공 S3에서 시추공 S4, S5, S2 방향으로 급경사를 이루는 양상을 보여주었다.
3. 코아 분석에 의하면 기반암의 암반 상태는 절리 및 파쇄대의 발달로 인하여 대체로 불량하였다.
4. 시추공 DBH-6가 터널을 관통하였음이 확인되었는 바 (암반 두께 약 2m)터널 막장위치는 그로부터 선로 중심부 방향으로 떨어져 있음이 판단되었다.

**함몰 경위 추정 :** 상기 제반 지질분석(예: 시추공 주상도 작성, 연약층의 함수비 측정, 표준 관입시험, 코아 회수율(core recovery), RQD(Rock Quality Designation) 분석 및 현장 자료 수집에 근거하여 본 사고 지점의 지반침하 형태는 다음과 같은 두가지 경우로 대별될 수 있었다(박성재, 1993). 그 하나는 Fig. 3에 나타난 바 터널굴착이 자갈층 경사면에 인접된 경우이다. 막장 상단 화약발파는 우선 인접된 자갈층의 구성물(자갈, 모래, 점토 등)을 터널내로 유입케 하고 동시에 그때까지 평형을 유지하던 토압이 급기야 이완되면서 대량의 연약층 구성물(점토, 모래 등)이 터널을 통하여 빠른 속도로 흘러 들

게 됨으로써 급격한 지반 침하가 발생하였다.

Fig. 4는 함몰형태의 또 다른 경우를 나타내고 있다. 이번에는 터널이 자갈층 하부 경계면까지 인접하여 가까스로 굴착되었을 때 터널 상부의 얇고 연약한(절리 내지 파쇄대의 발달) 암반이 붕락하여 이전과 동일하게 구성물이 터널내로 유입된 상태이다.

비록, 막대한 경비와 노력을 들여 함몰형태 규명에 임하였으나 단지 철로면 위의 시추작업이 빈번한 철도 주행 관제로 불가능하다는 탐사여건이 무엇보다 재래의 지질조사법의 이용 한계를 불러 일으키게 하였으며 따라서 선로 하부 지질구조(특히 기반암 경계면)에 대한 정보 결여는 바로 함몰형태에 대한 상기 두개의 가정을 낳게 하였다고 볼 수 있다. 한편, 이러한 불확실성은 예를 들어 시공 과실에 대한 정확한 판단을 흐리게 할 수 있는 것이기도 하였다.

국내 현존하는 제반 조사기법에 비추어 상기 주어진 탐사여건을 극복하면서 동시에 노선하부의 지반상태를 입체적으로 보다 정확히 파악하기 위해서는 다른 첨단 물리탐사법 즉, 탄성과 지오토모그래피(이하 “토모그래피”라 칭함) 기술 도입이 불가피하며 본 조사목적 달성을 위해서 이것은 유일한 탐사기법이 될수있다. 참고로, 단지 Fig. 2에 나타난 시추공 S1~S5만으로도 터널 진로위치 및 노선 하부 지반상태 파악을 위한 토모그래피 응용을 위해서 충분한 탐사여건이 되고 있다.

다음은 본 사고 지역의 토모그래피 응용 사례이며, 또한, 그로부터 추출되는 모든 지질정보가 바로 토목설계는 물론 토목공사 안전성을 위해 귀중한 자료가 될 수 있음을 보

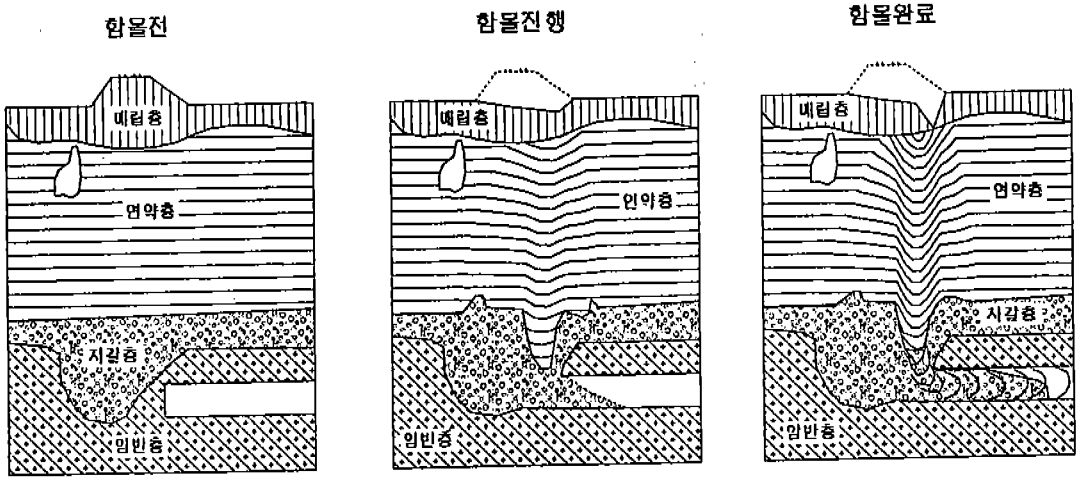


Fig. 3. Basement subsidence procedure at the accident area (scenario 1).

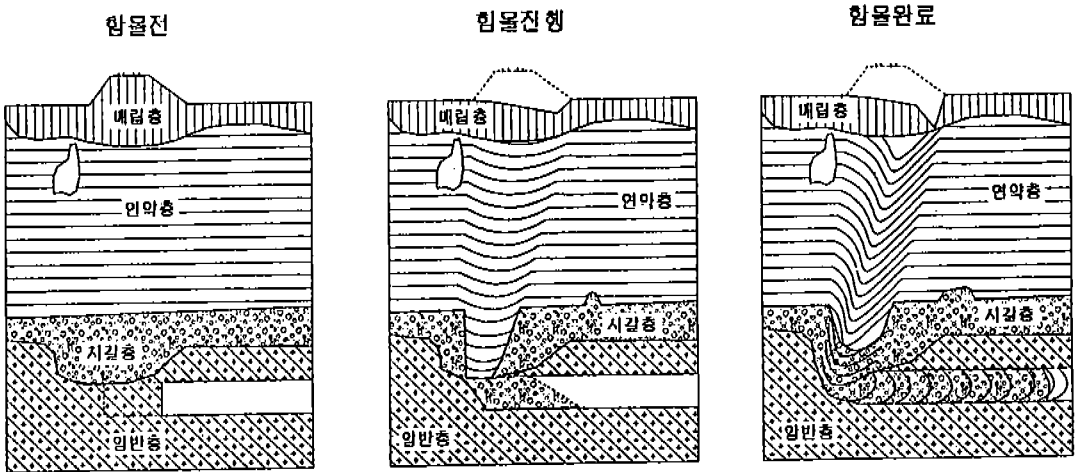


Fig. 4. Basement subsidence procedure at the accident area (scenario 2).

여주고 있다.

## 탄성과 토모그래피 응용

### 근본 원리

탄성과 토모그래피는 의료용 CT(Computerized Tomography) 촬영기법의 근본 원리가 탄성과 이용 기술 분야에 도입되어 연구

개발된 일종의 첨단 정밀 탐사기술이다. Fig. 5는 토모그래피 분야에서 그 응용성이 가장 높은 시추공-시추공 측정과정을 나타내고 있다.

하나의 시추공에는 탄성과 발생원 장치를, 또 다른 시추공에는 수신기 장치를 삽입하여 각 발생점으로부터 매질을 통해 전달(투과)되는 탄성파를 모든 수신점에서 받아들여

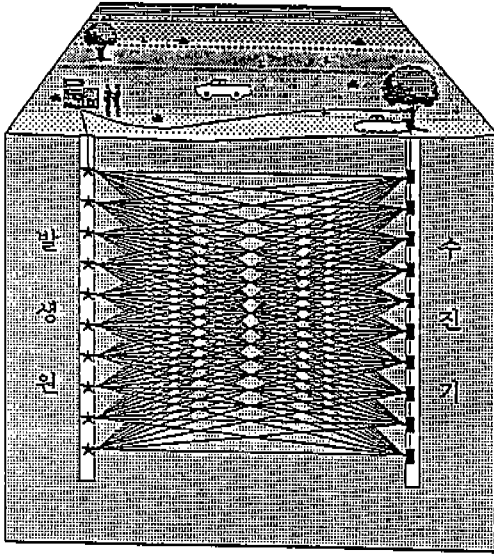


Fig. 5. Principle of geotomographic measurement.

한다. 이 때 각 수신점에서 감지되는 P파의 초동주기를 발체하여 전산처리(주시역해)하면 두 시추공 사이 단면에 대한 탄성파 속도 분포(흔히 “토모그램”이라 부른다)가 구해진다. 이러한 기법 즉, 주시 토모그래피는 토모그래피 응용에서 보편화 되고 있다. 지오토모그래피 기법에 대한 이론 전개는 국내 문헌(김중열 외, 1991~1993; 윤왕중, 1991; 임해룡, 1992)에서도 쉽게 찾을 수 있으며 특히 본 탐사를 위한 독자적인 측정시스템 및 방대한 소프트웨어는 과거 특정과제 연구 보고서(김중열 외, 1993)에 상술되어 있다.

### 측정데이터 분석

토모그래피 응용을 위해 사용된 시추공들(S1~S5)의 위치는 철로가에 인접하여 있으며(Fig. 2 참조) 그로부터 도합 다섯개의 단면측정이 수행되었다. 즉, S3-S1 단면은 무엇보다 터널위치 확인을 위한 것이었으며 그

의 S3-S2 단면은 철로면과 평행하고 S3-S4 단면, S3-S5 단면, S2-S4 단면은 철로면을 가로지르고 있다. 각 시추공의 깊이는 약 50 m이며 시추공들 간의 간격은 약 16 m~40 m에 달한다. 다음은 하나의 보기로써 S3-S4 단면에 대한 측정 및 전산 처리를 통한 분석과정을 예시하고 있다.

Fig. 6은 시추공 내 발생원(S3 시추공, 발생점 1~37)- 및 수신기 배열(S4 시추공, 수신점 1~41) 상태를 나타내고 있으며 각 발생원- 및 수신기 간격은 공히 1 m이다. 그들의 위치는 EL(Elevation Level) 및 GL(Ground Level)에 의해 상호 대조하였다. 발생원으로서 시추공 탄성파 발생원 전용 뇌관이 사용되었으며(김중열 외, 1993), 수신장치는 24개의 hydrophone으로 구성되어 있다. 한편, 시추코야 분석에 의한 시추공 주상도 대비시킴으로써 데이터 해석의 이해를 높이고자 하였다.

Fig. 7은 Shot no. 11에 대한 탄성파기록(샘플링 간격 0.125 ms)을 나타내고 있다. 여기서 파동이 시작하는 시점이 바로 P파 초동주시에 해당하며 그에 대한 진폭크기(탄성파 에너지) 관찰은 바로 지층경계면에 대한 정보를 제시하게 된다. 예를 들면, 24번째 수신점(혹은 trace no. 24) 이후에는 탄성파 에너지가 크게 약화되어 상대적으로 파의 진폭이 거의 관찰되지 않고 있다. 이는 바로 그 위치에서 자갈층, 점토층 경계면(Fig. 6 참조)이 존재하고 있음을 의미한다(대체로 점토층은 탄성파 흡수성이 높다). 이와 유사하게 12번째 수신점은 암반/자갈층 경계면에 대응된다. 특히 자갈층 내부(trace no. 12 ~ trace no. 24)에서도 초동 진폭변화에 비추어

# Geometry for Tomographic Analysis

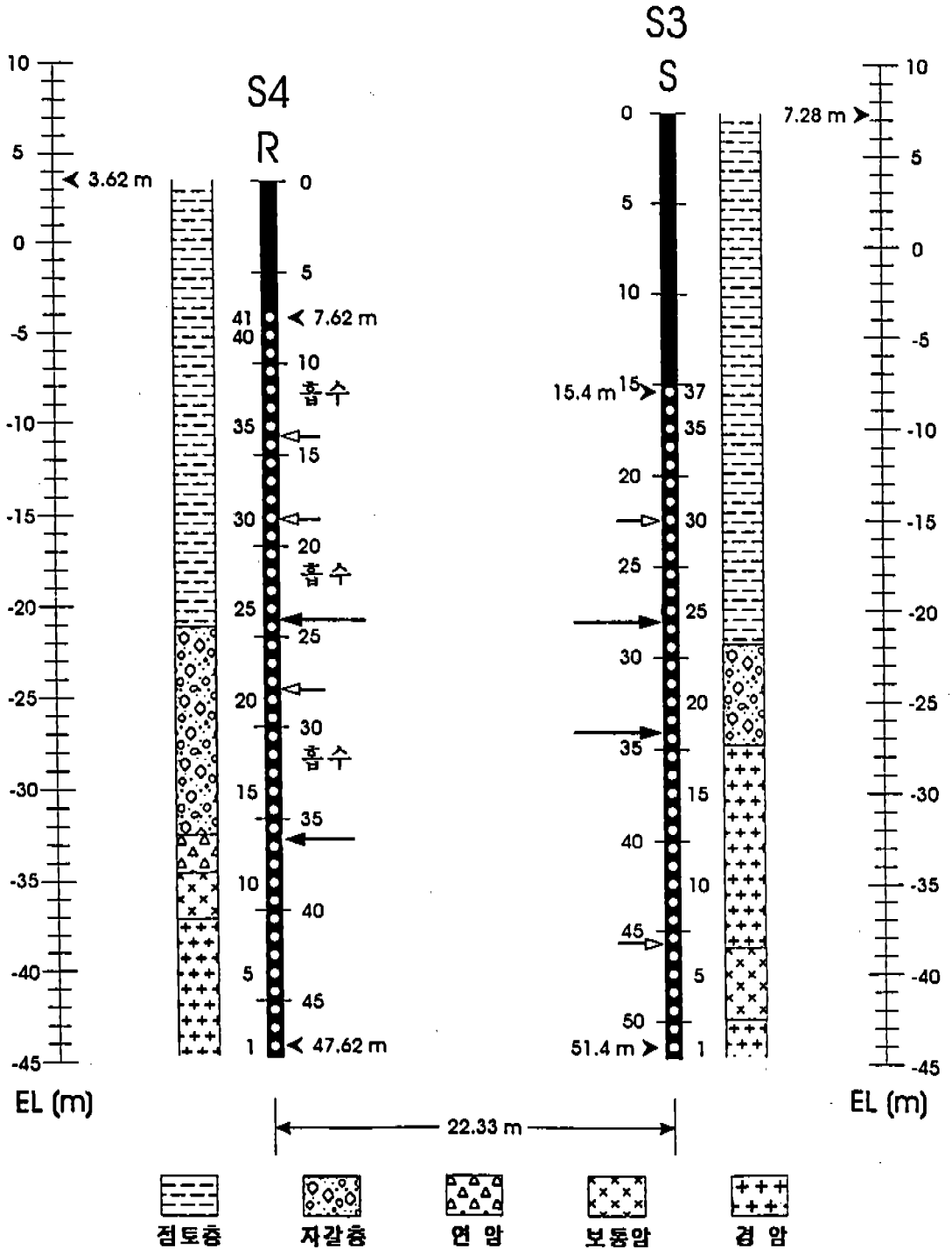


Fig. 6. Source and receiver locations for the S3-S4 cross section. Rock boundaries (indicated with arrows) derived from the raw crosshole data are contrasted with those from borehole core analysis.



Crosshole common shot gather (section S3-S4)  
S No. = 11, R No. = 1 - 41

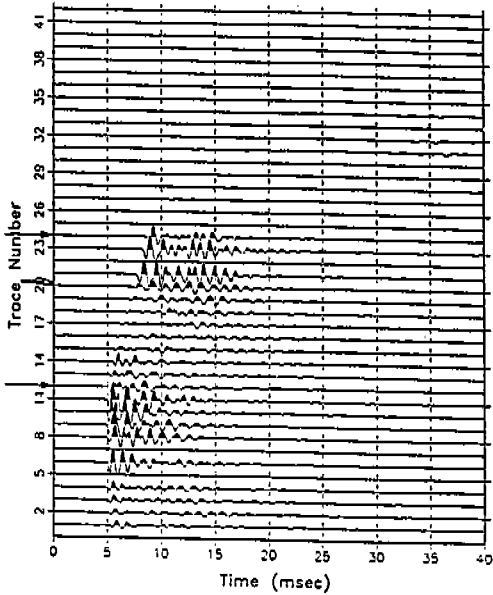


Fig. 7. An example of crosshole data (shot point 11) for the estimation of rock boundaries.

Crosshole common shot gather (section S3-S4)  
S No. = 18, R No. = 1 - 41

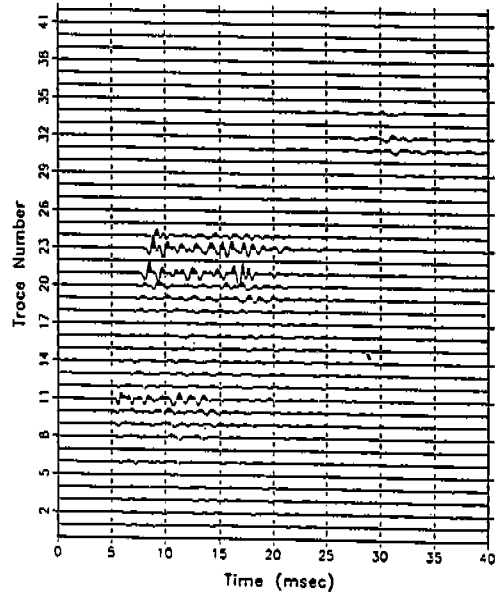


Fig. 8a. An example of crosshole data (shot point 18) for the estimation of rock boundaries.

trace no. 20 주위에 경계면(작은 화살표 표시)이 있음을 추측할 수 있다. 즉, trace no. 12에서 trace no. 20사이에서는 점토질이 많이 포함된 자갈층으로 판단될 수 있다.

Fig. 8은 Shot no. 18~20에 대한 기록(흔히 shot gather라 부른다)을 나타내고 있다. 여기에는 발생원 위치가 Shot no. 18에서 Shot no. 19로 옮겨짐에 따라 수신기에 도달되는 탄성파의 주파수 내용이 전체적으로 급격하게 저주파수를 띠고 있음을 관찰할 수 있다. 즉, 이 부근에서 지층의 변화(암층→자갈층)가 있음이 판단된다. 시추공 S3 하부 또 다른 지층의 변화(자갈층→점토층)는 Fig. 9에서 관찰되는 진폭의 급격한 변화에 의해 쉽게 확인된다.

이번에는 모든 발생원으로부터 하나의 고정된 수신기에 이르는 탄성파 도달을 취합하

Crosshole common shot gather (section S3-S4)  
S No. = 19, R No. = 1 - 41

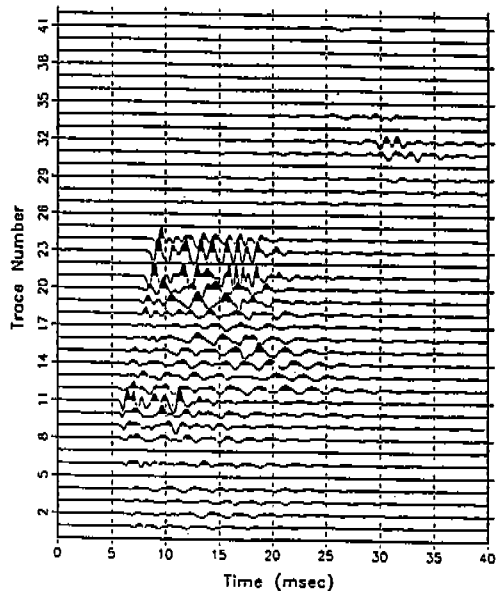


Fig. 8b. An example of crosshole data (shot point 19) for the estimation of rock boundaries.

Crosshole common shot gather (section S3-S4)  
S No. = 20 , R No. = 1 - 41

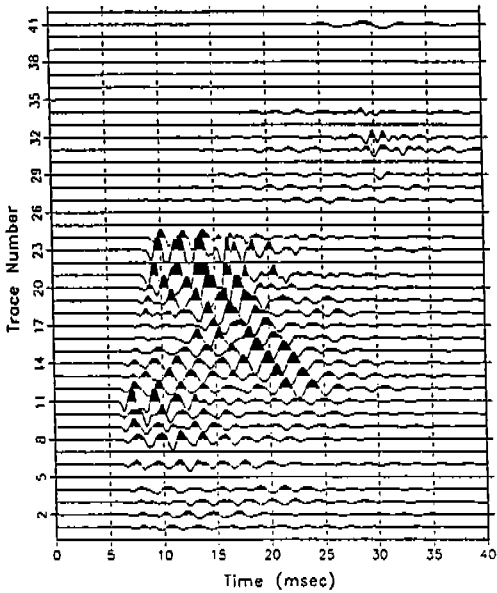


Fig. 8c. An example of crosshole data (shot point 20) for the estimation of rock boundaries.

Crosshole common shot gather (section S3-S4)  
S No. = 25 , R No. = 1 - 41

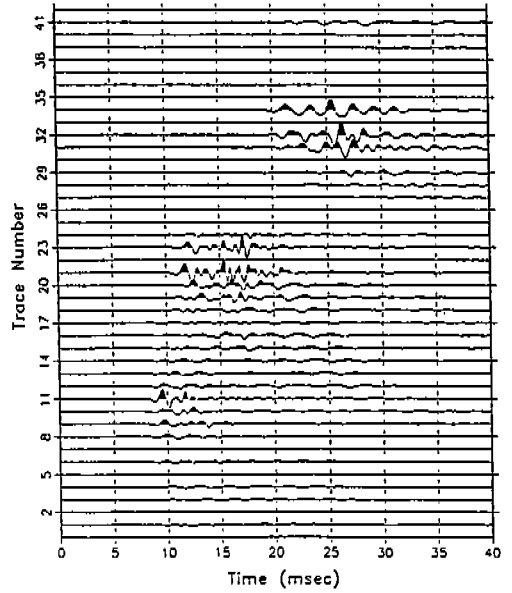


Fig. 8b. An example of crosshole data (shot point 25) for the estimation of rock boundaries.

Crosshole common shot gather (section S3-S4)  
S No. = 24 , R No. = 1 - 41

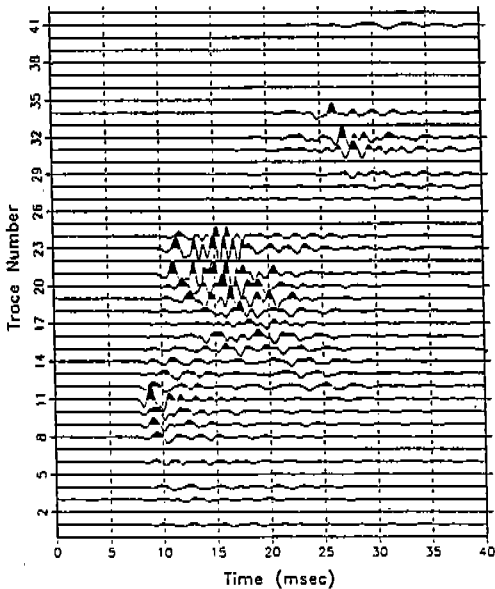


Fig. 9a. An example of crosshole data (shot point 24) for the estimation of rock boundaries.

Crosshole common shot gather (section S3-S4)  
S No. = 26 , R No. = 1 - 41

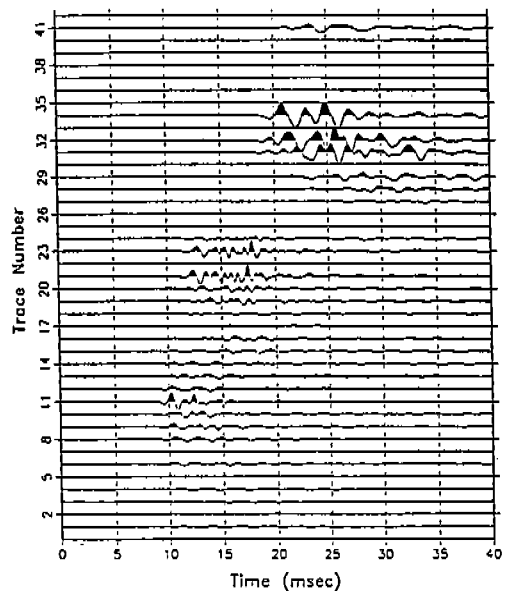


Fig. 9c. An example of crosshole data (shot point 26) for the estimation of rock boundaries.

여(흔히 receiver gather라 한다) 관찰하기로 한다.

Fig. 10은 수신점 8에 대한 기록들을 나타내고 있으며 그로부터 주시, 주파수 및 진폭 변화를 통하여 상기 판단된 두개의 지층경계면(시추공 S3 하부)이 재확인 되고 있다. 나아가서 수신점 32에 대한 기록(Fig. 11 참조)에서는 점토층 내에서도 주시의 큰 변화를 초래하는 또 다른 경계면(작은 화살표 표시)이 존재하고 있음이 관찰되며 또한 자갈층/점토층 경계면도 소위 상향파 (upgoing wave- 화살표 표시) 발달로 인하여 재입증되고 있다.

상기 두 시추공 사이 교신된 많은 양의 기록(37 shots × 41 receivers = 1517 traces) 그 자체는 매질을 통과한 탄성파의 물리적인

Crosshole common shot gather (section S3-S4)  
R No. = 32 , S No. = 1 - 37

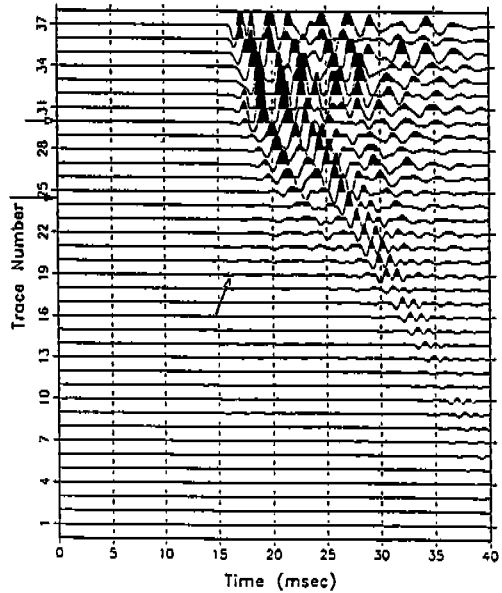


Fig.11. An example of crosshole data (receiver point 32) for the estimation of rock boundaries.

Crosshole common shot gather (section S3-S4)  
R No. = 8 , S No. = 1 - 37

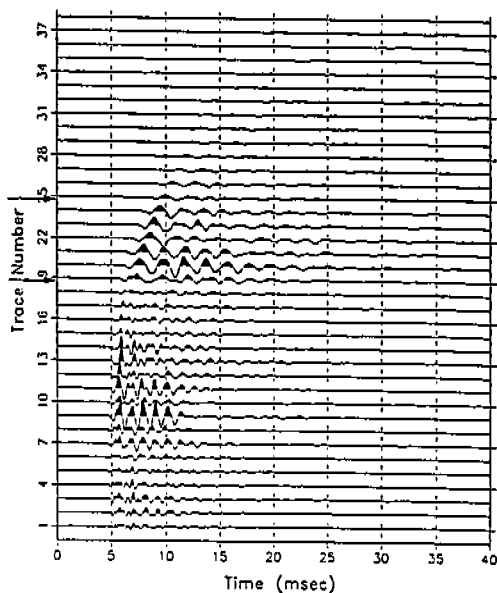


Fig.10. An example of crosshole data (receiver point 8) for the estimation of rock boundaries.

현상을 대변하고 있기 때문에 그에 대한 정밀한 분석은 암층경계면 규명은 물론 매질의 탄성 내지 이상대(예:지하 공동) 규명에도 상당한 기여를 할 수 있는 것이다.

Fig. 6에는 단순한 데이터(raw data) 분석에 의해 얻게된 암층경계를 시추공 주상도와 대조하고 있다. 여기서 데이터 분석에 의해 별도로 인식된 경계면(작은 화살표로 표시)은 그것이 매질의 탄성상태 관찰에 의해 판단되었기 때문에 각 층의 물리적인 특성(예: 흡수성)을 이해하는 데 큰 의의가 있는 것이다.

다음은 토모그래피 본연의 기능인 주시역해 과정을 서술하고 있다.

### 토모그램 분석

측정 데이터로부터 바람직한 토모그램(속

도분포 단면)을 얻기 위해서는 크게 다음과 같은 세가지 전산처리 단계 즉, ① P파 초동주시 발췌(first onset picking), ② 발췌된 데이터의 교정, ③ 주시역해(travel time inversion)를 받게 된다(김중열 외, 1991).

첫 단계로써 모든 측정기록(1517 traces)으로부터 P파 초동주시를 발췌한다. 이러한 발췌 과정이 어떠한 기법(수동 혹은 자동)으로

이루어지는 그들 주시 데이터에 대한 점검 내지 교정(예: 트리거 주시 지연 현상, 매질의 이방성, 돌발적 및 규칙적인 발췌오류)은 대단히 중요한 전산처리 과정이 되고 있다(김중열과 김유성, 1994). 여기에는 무엇보다 다양한 도형화 기법이 요구되고 있으며 그로 인해 처리된 데이터는 각 발생원 및 수신기의 정확한 좌표 관리(geometry control)와

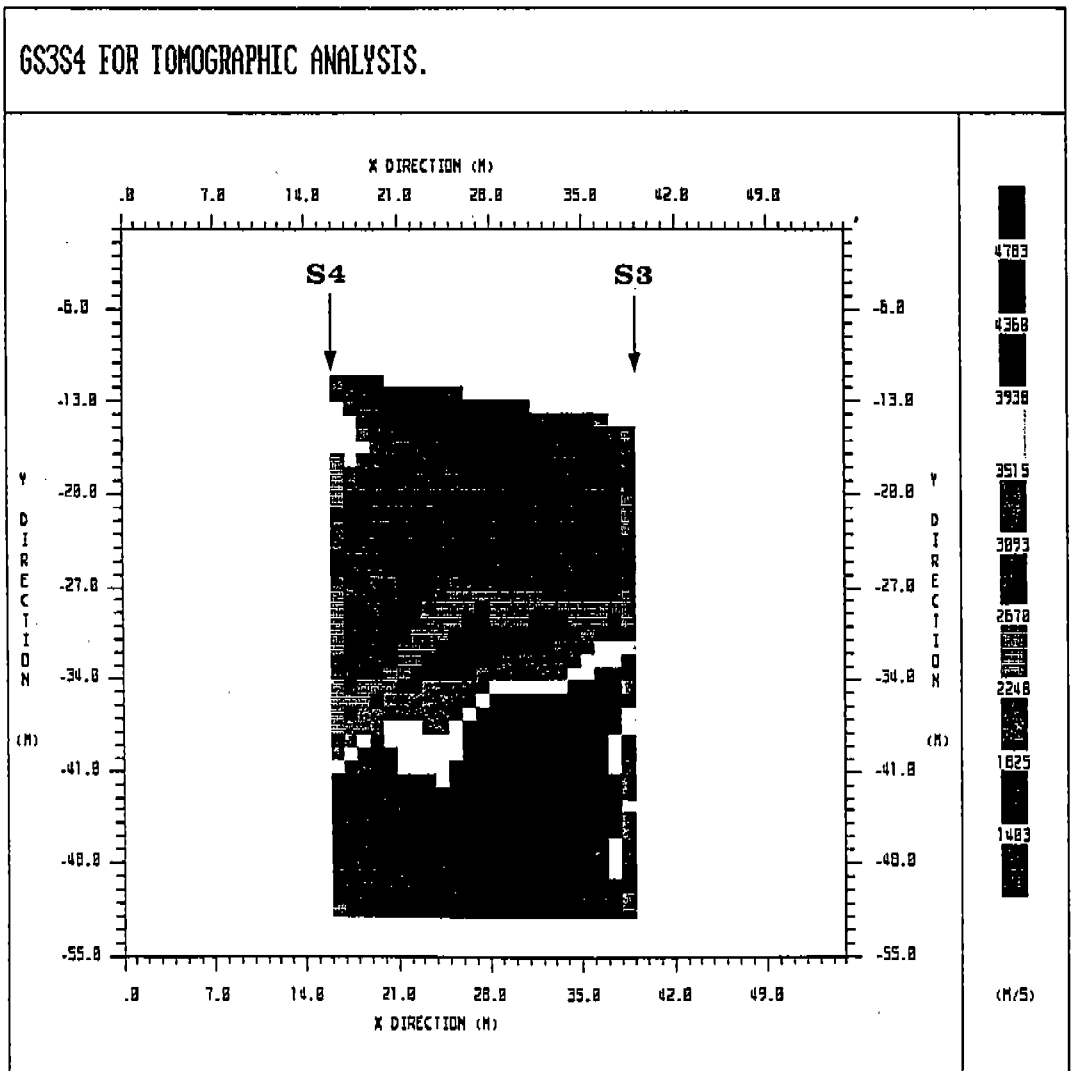


Fig.12. Geotomographic velocity distribution of the S3-S4 cross section.

더불어 주시역해 프로그램(주로 반복적 역산 기법 : SIRT 혹은 ART)에 입력되어 토모그램으로 출력된다. 일반적으로 주시역해 매개변수(예: iteration)에 따라 여러 개의 토모그램이 계산되며, 경험에 비추어 만약 토모그램 내용에서 특이점이 발견되면 전산처리 전체 과정이 반복되는 경우도 흔히 있게 된다. Fig. 12는 S3-S4 단면 측정에 대해 계산된 하나의 토모그램을 나타내고 있다. 대체로 경사를 이룬 기반암 경계면과 연약층에 대한 물성변화가 훌륭하게 표현되고 있다. 그러나 토모그램 분해능 측면에서는 곳곳에서 팔목할 만한 왜곡현상도 관찰된다. 이러한 분해능 손상은 경우에 따라 그 정도는 달

리하겠으나 토모그래피 응용에 따른 기본 이론면에서 무엇보다 다음과 같은 요인으로 인하여 불가피한 것이다.

① 시추공-시추공 토모그래피가 허용하는 발생원- 및 수신기 배열은 어디까지나 제한된 ray coverage를 갖는다.

② 본 탐사 지역에서는 각 지층들간의 속도차가 대단히 크기 때문에 파선의 휨에 의한 영향이 있을 것으로 생각된다.

따라서 상기 토모그램을 해석하기 위해서는 무엇보다 측정 데이터에 대한 정밀한 분석과 또한 전산처리 경험이 병행되어야 함이 바람직한 것이다.

### Geological Interpretation of Cross-section S4-S3

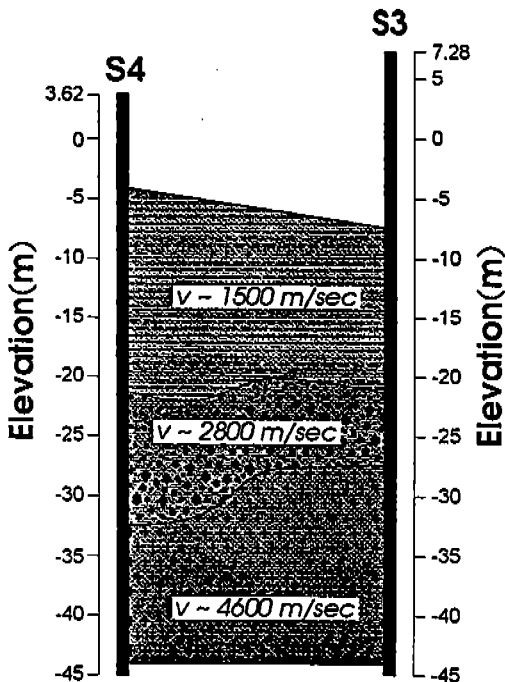


Fig.13. Interpreted boundaries of rocks and estimated P-wave velocities for the S3-S4 cross section.

### 해석단면도

Fig. 13은 S3-S4 단면에 대한 토모그램 및 측정 데이터 분석 결과가 동시에 고려되어 하나의 지질학적 층서구분(지층경계면)을 나타낸 것(해석단면도)이며 여기서 각 층에 기재된 탄성과 속도는 P파의 평균 속도를 의미한다. 본 탐사의 목적에 비추어 각 단면도에는 단지 세계의 암층 즉, 기반암(적색), 자갈층(적갈색), 점토층(청색)으로 구분되어 나타나고 있다.

Fig. 14(a)는 기반암 경계면에 대한 시각적인 이해를 돕기 위해 모든 단면 측정에 의해 얻게된 해석단면도(S1-S3, S2-S3, S3-S4, S3-S5, S2-S4)를 이용하여 작성된 기반암 상부 등고선도를 나타내고 있으며 또한 여기에 지표 기차선로도 별도로 부가하였다(Fig. 14(b)). 참고로 Fig. 15에는 그 경계면(기반암)을 입체화하였다. 여기서 또 다른 흥미의 대상은 터널 진행 방향(Fig. 14(a) 및 Fig. 16 참조)에 대한 기반암 단면도(Fig. 17)가

# GUPO BASE ROCK STRUCTURE

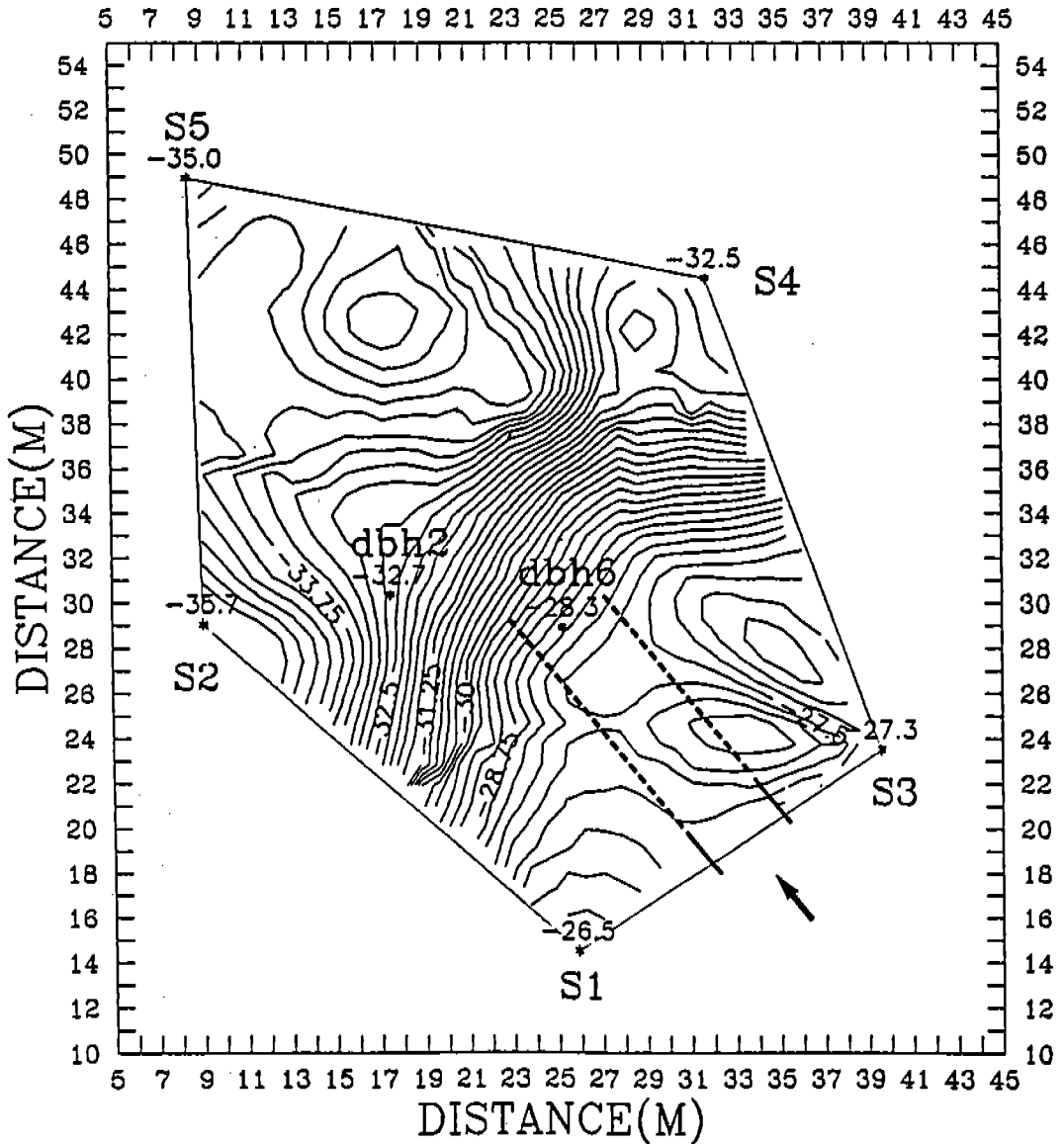


Fig.14. Gupo geomographic survey.

(a) Contour display of the interpreted base rock structure.

The direction of tunnel(about -30m E.L.) is indicated by an arrow.

# GUPO BASE ROCK STRUCTURE

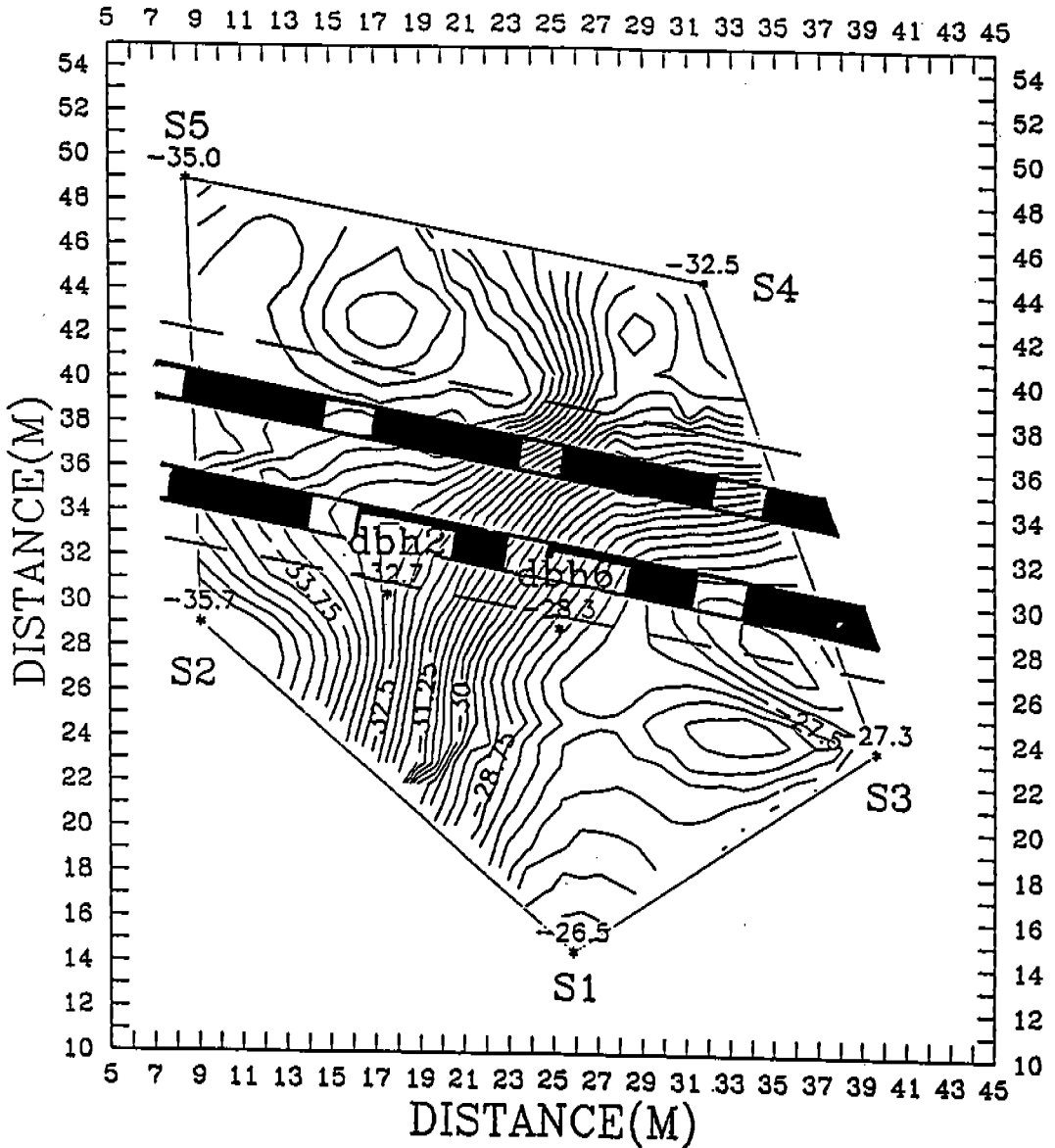


Fig.14. (continued). (b) The interpreted base rock structure overlaid by existing rail road locations.

## GUPO BASE ROCK STRUCTURE

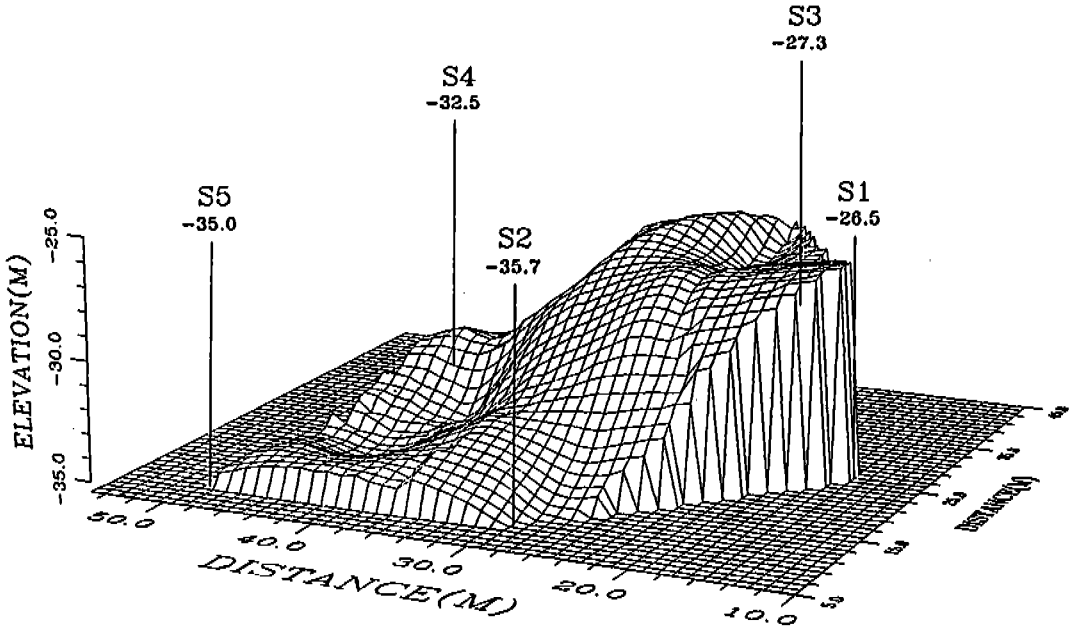


Fig.15. A topographic view of base rock structure of Gupo survey area.

되겠다. 그림에서 터널의 진로는 점선으로 표시하였다.

이 결과는 무엇보다 다음과 같은 두가지 사실을 대변하고 있다. 즉,

- ① DBH6 시추에 의해 터널이 확인된 바 터널의 막장 위치는 기반암선의 급경사로 인하여 그로부터 약 3m이상은 떨어질 수 없다.
- ② 단면도에서 보여주는 기반암 상태에 비추어 막장까지는 터널이 붕락되지 않았음이 관찰된다. 이러한 해석은 터널 상부 기반암 두께(약 2 m) 및 터널의 높이(약 4.3 m)와의 상대성을 고려한다면 더욱 그러하다고 할 수 있다. 끝으로 Fig. 18은 자갈층 상부 경계면에 대한 등고선도를 나타내고 있다. 여기서 특

기할 점은 예상된 터널 막장 전방에 자갈층 두께의 급격한 변화가 관찰되고 있다는 것이다.

## 결언 및 제언

대형 기차 전복사고를 초래한 지반침하는 우선 직접적으로 선로 하부(약 39 m 지점) 터널 굴진을 위한 화약 발파와 또한 그 주위의 예기치 못한 암층 구조에 의해 유래된 것으로 판단되었다. 그런데 이를 뒷바침해야 할 근거(함몰 경위)를 마련하기 위해서는 무엇보다 그곳의 정확한 지반 상태 파악이 선행되어야 하였으며 이를 위해 사용된 다양한 재래 지질조사법(예: 시추)은 단지 철로면위



# GUPO BASE ROCK STRUCTURE

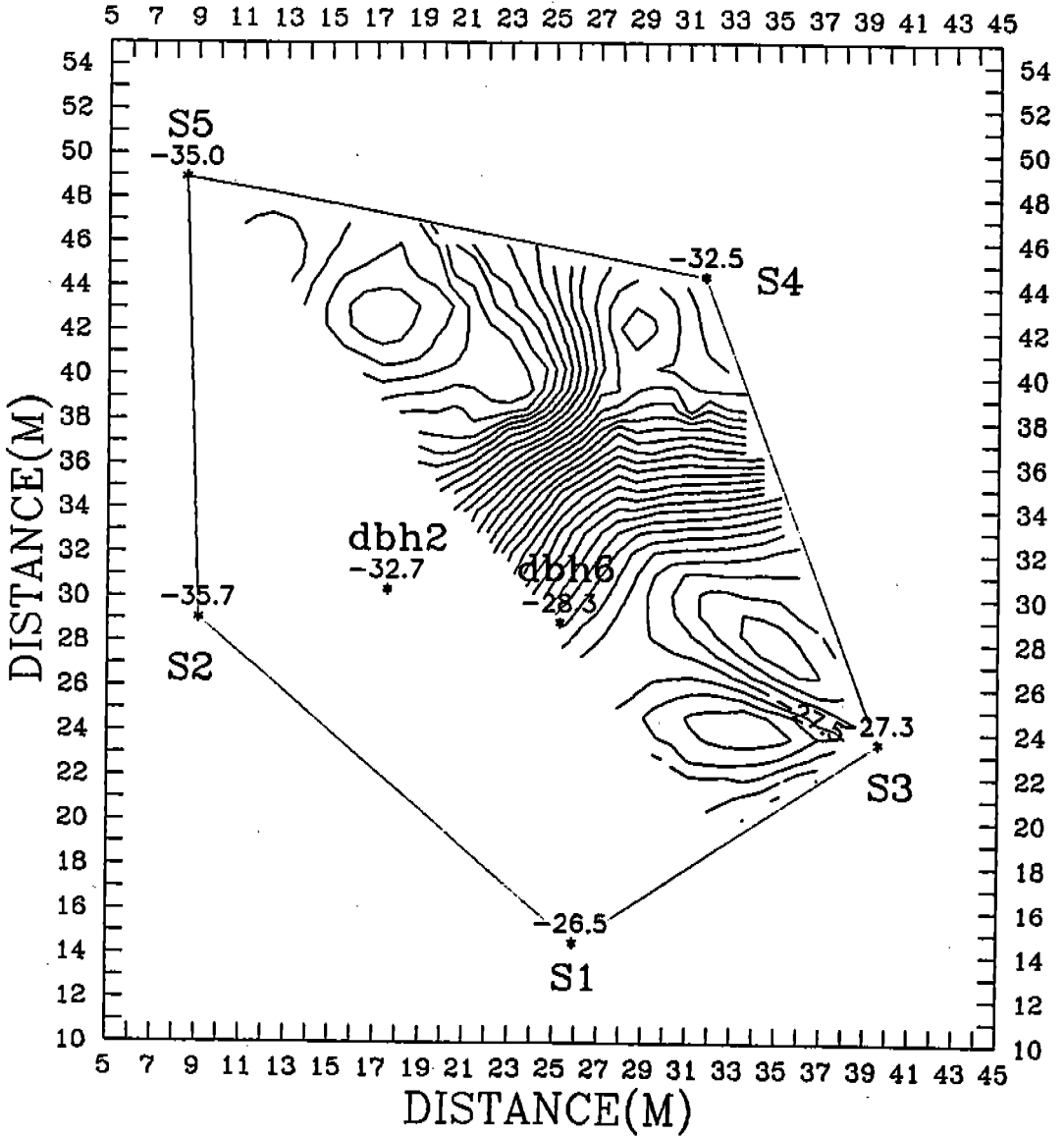


Fig.16. A contour display of base rock structure cut out along the direction of tunnel.

## GUPO BASE ROCK STRUCTURE

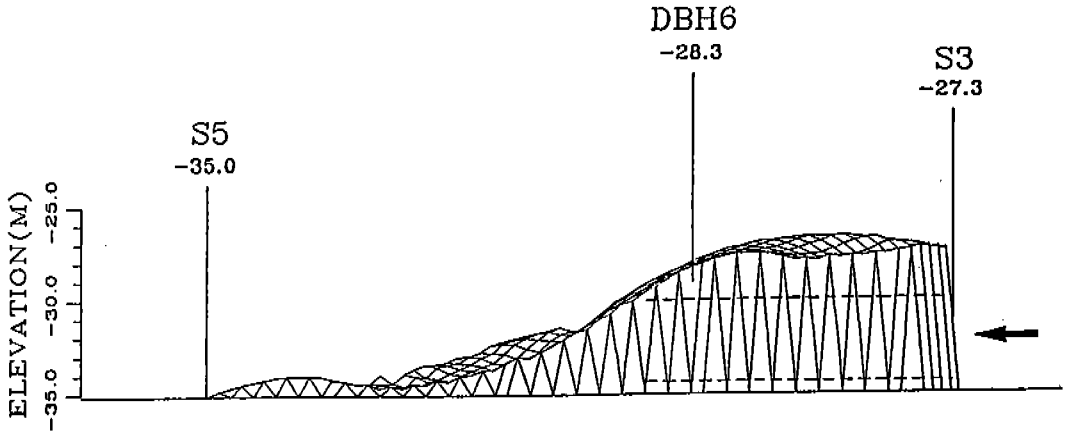


Fig.17. A 3-dimensional cross-sectional view from the cut-out shown in Fig. 16. The location of the tunnel is shown in dashed line.

에서는 시추가 불가하다는 이유만으로 그 응용성의 한계를 드러내게 되었다. 그에 따른 결여된 지질 정보는 바로 함몰 형태에 대한 두가지 가정을 낳게 하였으며 한편 이러한 불확실성은 예를 들어 시공 과실에 대한 판단을 흐리게 하는 계기가 된 것이었다.

본 지반 조사를 위해 도입된 첨단 물리탐사법 즉, 탄성파 토모그래피는 상기 불리한 탐사 여건을 극복하여 각 암층 경계면을 고분해능으로 재현(토모그램)하므로써 우선 함몰경위에 대한 명확한 해답을 제시할 수 있었다. 더구나 단면 측정에 의한 방대한 데이터는 그 자체로서 암석의 물성(예: 흡수성, 탄성율)을 대변할 수 있는 탄성파의 주시-, 진폭- 및 주파수 내용 변화를 내포하고 있기 때문에 그들 각각의 분석은 부차적으로 지질 구조에 대한 또 다른 정보를 마련할 수 있었던 것이다.

지금까지 무수히 발생한 국내 터널공사 사고원인이 대부분 지반 상태의 불균질성에 귀

결되고 있는 반면 정작 지반상태 파악에 대한 노력은 터널 설계 내지 시공단계에서 극히 미흡하다는 것은 주지되어야 할 현실이다.

이번 터널굴착을 위해 사용된 NATM 공법이 하나의 사고 원인으로 지적된다면 최근 첨단 터널공법으로 일컬어지는 소위 shield 공법의 응용에서도 지반상태에 대한 사전정보가 주어지지 않는다면 역시 무사함이 기대될 수 없다고 본다.

여기서 결코 간과될 수 없는 것은 지금까지 난제로 되어온 제반 지반상태(예: 암층의 급격한 변화, 지하공동, 절리)는, 본 탐사기법이 하나의 보기로써 나타낸 바, 최근 개발된 다양한 첨단 물리탐사법(예: borehole scanner)에 의해 쉽게 파악될 수 있다는 사실이며 동시에 이러한 기법들이 모든 토목 분야에서 필요에 의해 또한 막대한 재산 및 인명 피해를 막기 위해서라도 활용되어야 한다는 것이다.

### GUPO GRAVEL LEVEL

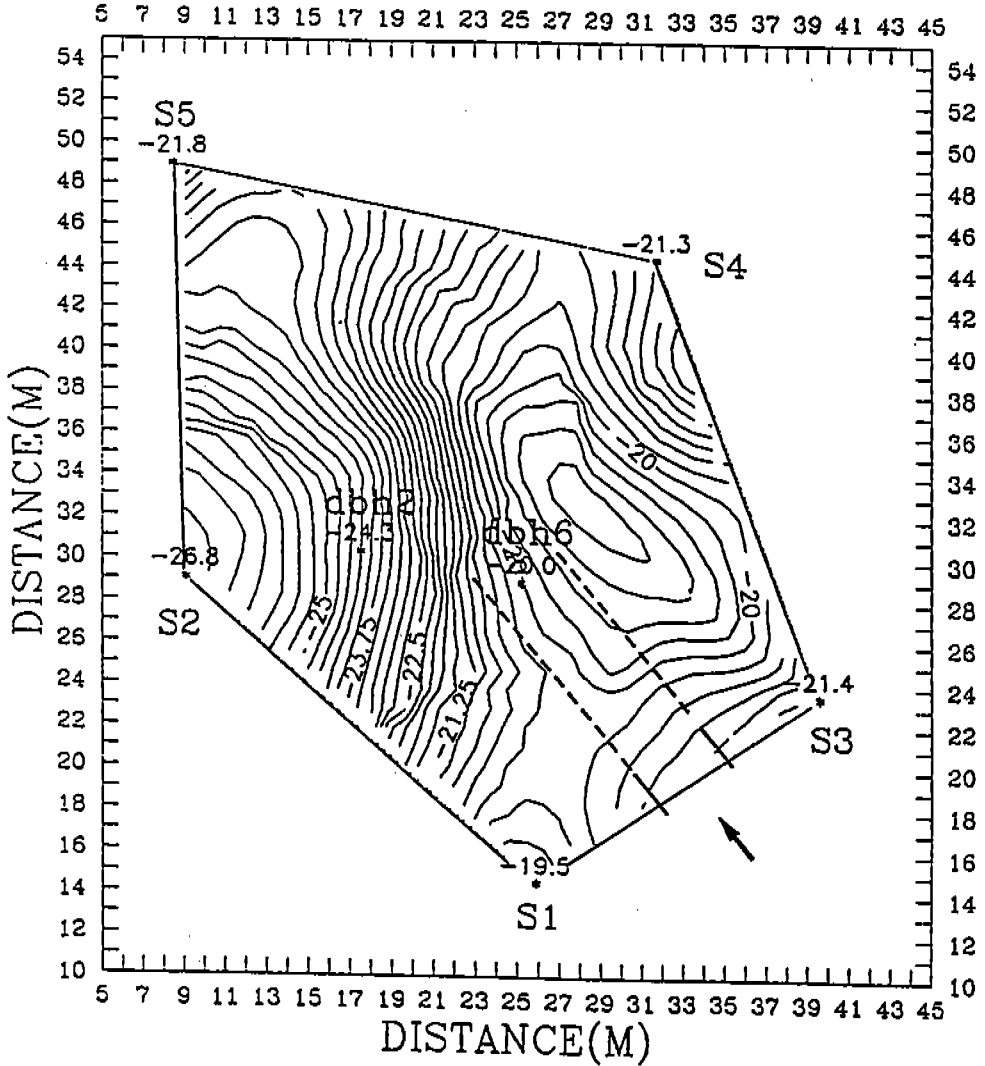


Fig.18. A contour view of the upper surface of the gravel layer. An arrow indicates the tunnel direction

## 참고문헌

- 김중열, 현혜자, 김기석, 김유성, 성낙훈, 1991, Geotomography에 의한 암반 구조 연구 (I), 한국동력자원연구소, 과학기술처, 262 p.
- 김중열, 장현삼, 김유성, 현혜자, 김기석, 성낙훈, 1992, Geotomography에 의한 암반 구조 연구(II), 한국자원연구소, 과학기술처, 215 p.
- 김중열, 장현삼, 김유성, 현혜자, 김기석, 1993, Geotomography에 의한 암반 구조 연구 (III), 한국자원연구소, 과학기술처, 266 p.
- 김중열, 김유성, 1994, 탄성파 토모그래피 응용에서 대두되는 제반 문제점 및 응용 한계성 연구, 한국자원공학회지, 논문제출중.
- 박성재, 1993, 구포 철도 전복사고 원인 조사 분석, 부산 북구 경찰서, 270 p.
- 윤왕중, 1991, 대수적 영상재구성법에 의한 탄성파 지오토폴로그래피의 연구, 서울대학교 대학원 공학박사 학위논문, 75 p.
- 임해룡, 1992, Fermat 원리 및 수정된 파선 경로를 이용한 비선형 파선 토모그래피 연구, 서울대학교 대학원공학박사학위논문, 73 p.

---

김중열, 김유성, 현혜자, 김기석  
한국자원연구소  
대전시 유성구 가정동 30번지,  
305-350  
TEL: (042)868-3178  
FAX: (042)861-9720

장현삼  
삼성건설기술연구소  
서울시 강남구 역삼동 667-25  
135-080  
TEL: (02)727-0242  
FAX: (02)771-8018