

# 지반 침하지역에서의 3차원 탄성과 반사법에 의한 지하구조 영상화 사례

고광범, 이두성  
(한성대학교 영상화 기술 연구실)

## A case study of 3D seismic reflection imaging in an area of ground subsidence

Kwang Beom Ko and Doo Sung Lee  
(Imaging Technology Research Laboratory, Hansung University)

**요 약:** 강원도 삼척시 도계읍 늑구리 남풍갱 부근의 채굴 공동에 의한 지반침하 지역에서 지하구조를 영상화하고자 3차원 탄성과 탐사를 실시하였다. 자료획득에는 Full range 3D 배열을 적용하였고, 자료처리 시 속도분석은 상속도 중합단면을 이용하였으며 정보정은 공통 발파점 및 공통 수신점에 따라 중합한 결과를 토대로 발파점 및 수신점 보정량을 추출, 적용하였다. 남풍갱 지역의 지반침하 양상을 가장 특성있게 표현하는 축선을 선정, 중합단면을 검토한 결과 침하에 의한 전반적인 지반붕괴의 양상을 확인하였다. 데이터의 질이 불량하여 공동의 경계, 크기 등 공동의 기하학적인 정보를 추출하기 위해서 전처리 및 보다 정밀한 속도 분석 및 정보정이 필요할 것으로 사료된다.

**주요어 :** 3차원 탄성과 탐사, 지반침하, 속도분석

**Abstract:** In order to visualize mine cavities, 3D seismic reflection data were acquired at the ground subsidence sites near Nampung coal mine area, Neukguri, Dogye, Samchuck. Full range 3D array with complete range of azimuths on the bins was considered in the data acquisition design. Because of poor S/N data, we estimated the stacking velocities by CVS method, and we estimated the shot and receiver statics on the shot and receiver stack data. We could confirm that features of ground collapse that were expected from the subsidence. In order to visualize the cavities, we need to apply more sophisticated processing schemes, such as velocity analysis, residual statics correction.

**Keywords :** 3D seismic reflection, ground subsidence, full range 3D array

### 1. 서 론

우리나라의 석탄자원은 무연탄으로 전체 매장량의 85%가 고생대 석탄기에서 중생대 트라이아스기에 걸친 평안누층군 중에 부존하고 있다. 그중 삼척탄전은 태백산지구에서 남북방향으로 8-20km, 동서방향으로 약 30km 범위에 걸쳐 있으며 태백시에서 서쪽방향으로 길게 분포하고 있다. 무연탄은 평안누층군 중 특히 장성층 중상부에 발달하는, 상위층인 함백산층 기저로부터 약 40m 하위에 발달하는 석탄층이 우리나라의 주 가행탄층으로 개발되는 부분이다. 본 연구의 조사지역은 삼척탄전 중 강원도 삼척시 도계읍 늑구리 부근의 남풍갱 인근 지역으로 중부향사 동익부에 해당하는 탄층으로서 남풍갱 부근 탄층 노두를 채굴(김중

광,1999)하기 시작하여 점차 지질 경사를 따라 심부로의 개발, 80년대 말까지 진행되었다. 가행되었던 탄전지대는 지반이 견고하지 못하거나 혹은 견고하더라도 과도하게 개발함으로써 채굴적은 붕괴될 가능성이 많다. 채굴적이 붕괴될 경우 주변영역의 암반이 이완, 파쇄되어 붕락하기 시작하며 심한 경우 그 영향이 지표면까지 이르게 되면 지반침하 현상이 나타나게 된다. 본 조사지역인 남풍갱 부근도 이러한 지반침하를 겪는 대표적인 지역 가운데 하나이며 기간시설인 영동선 철도가 침하지역 서쪽 부분을 통과한다. 영동선 철도의 침하에 의한 파손을 막기 위하여 석탄산업 합리화 사업단에 의해 남풍갱 부근의 보강공사가 현재 시행되고 있다.

본 연구는 지반침하를 겪고 있는 남풍갱 부근의 지역, 특히 기간시설에 인접해 있는 지역을 조사대상으로 지반조사를 위한 3차원 탄성과 반사법의 성공적 적용사례를 도출하기 위한 연구의 일부이며 보강공사가 완료되면 2차로 반사법 자료를 재차 획득함으로써 보강효과의 모니터링 연구도 수행예정에 있다. 본 연구에서는 지반침하 지역에 적합한 배열을 설계 (Stone,1994; Vermeer,1998; Yilmaz, 1987), 이용하여 남풍갱 지역에서 탄성과 자료를 획득, 자료처리를 거쳐 3차원 중합단면을 작성하였다. 자료처리 과정에서는 일반적인 처리순서 (Siahooki et. al., 1996; Buker et. al, 1998)를 따랐으나 육상 천부 반사법의 공통적인 어려움으로 지적되는 그라운드롤에 의한 초동뮤트, 속도분석 등을 신중히 검토하였으며 정보정은 공통 발파점 및 공통 수신점에 따라 중합한 결과를 토대로 보정량을 추출, 적용하였다. 본 연구의 지향하는 바가 시설물의 안전과 관련한 공학적인 목적도 있으므로 영동선 철도를 포함하여 지표에서 지반침하 일어난 정도에 따른 세 개의 축선을 선정하고 3차원 중합단면을 작성, 해석하였다.

## 2. 지형 및 지질 개요

한반도에 분포하는 고생대 석탄기에서 중생대 트라이아스기 초기에 걸쳐있는 지층을 평안누층군이라 한다. 평안누층군은 무연탄층을 포함하고 있어 탄전으로 개발되어 왔다. 조사지역은 태백산 지구로서 도계역과 고사리 지역의 중간지점으로 도계역으로부터 약 2.2km 거리에 위치하며 행정구역상으로는 강원도 삼척시 도계읍 늑구리로 영동선 철도와 태백-삼척간 38번 국도가 지나가는 오십천 주변의 남풍갱 부근이다(그림 1). 이 지역은 수개 조의 단층 및 습곡구조들이 발달하며 일반적인 주향은 N30° -40° E 이며 경사는 습곡의 영향으로 NW 방향과 SE 방향으로 나타난다. 오십천 일대의 오십천 대단층은 수직 내지는 서쪽으로 급경사지며 이에 의해 평안누층군의 함백산층이 직접 대석회암통과 경계를 이루고 있으며, 북부에서는 홍전스리스트에 의해 만항층이 함백산층과 접하며 중앙부의 중부단층등 비교적 규모가 큰 단층에 의해 함탄대가 중첩 분포되기도 한다. 단층면의 주향은 N20° -40° E이며 30° 내외로 북서경한다. 이 단층에 의해 이 지역의 동부 배사구조 서익부와 서부의 향사구조가 접하며 중첩 분포하게 된다. 배사 및 향사 구조들은 일반적으로 N20° -40° E 방향의 축을 가지며 남서측으로 약 10° 내외의 저각도로 프런지하고 있다.

조사지역인 남풍갱 부근은 삼척탄전 중앙부에 위치하는 함백산 대단층의 동부에 발달한 오십천 대단층 근방에 위치하고 있으며 여러 차례의 변형작용에 의한 단층, 습곡 등의 복잡한 지질구조를 보이며 오십천 단층을 중심으로 서부에는 석탄기의 금천층을 최하위 지층으로 하여 페름기의 장성층, 함백산층 및 제 4기 충적층이 분포하고 있으며 동부에는 캄브로-오르도비스기의 대석회암층군이 분포한다. 북부에는 홍전트리스트에 의하여 석탄기의 만항층

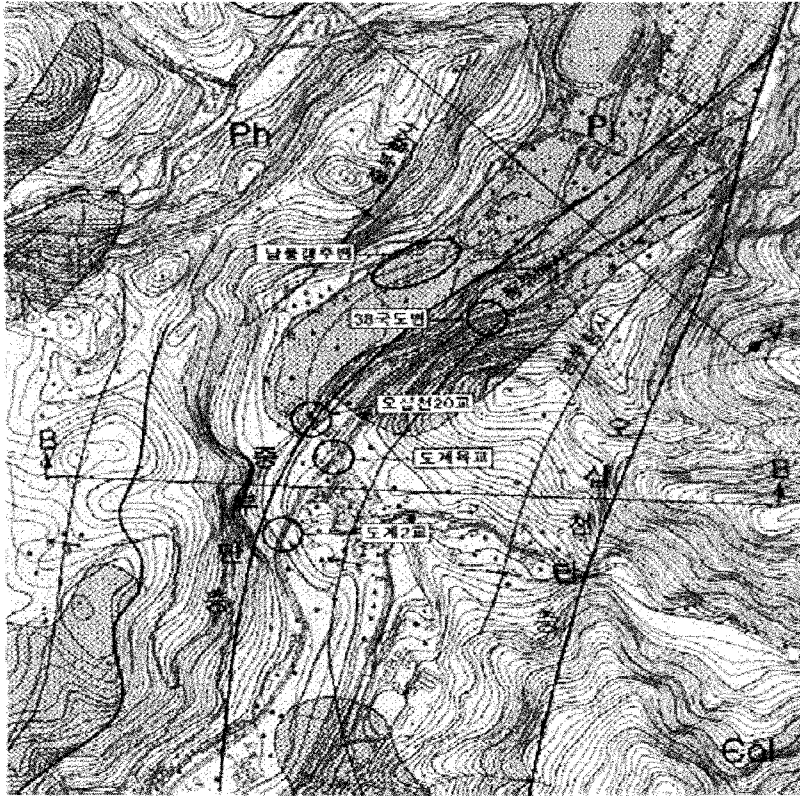


Fig. 1 Location map of study area in Dogye, Kangwon.

In the area of seismic profile, Jangsung formation is exposed (After Coal Industry Promotion Board, 1999).

이 함백산층 상부에 놓여 있으며 남부지역에서는 다양한 습곡구조를 가지는 장성층이 넓게 분포하고 있다(그림 2). 장성층은 금천층을 부정합으로 덮고 함백산층에 의하여 정합 또는

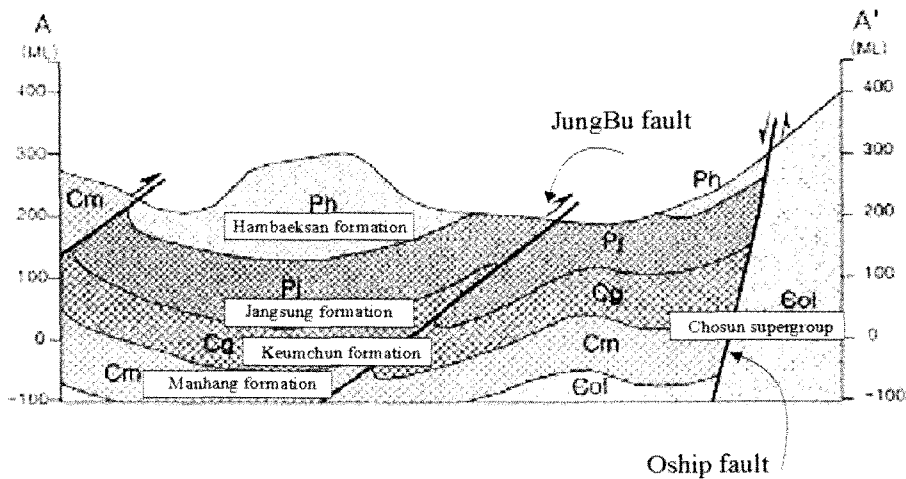


Fig. 2 Geologic cross-section map of study area.

Three to five beds of coal are in the Jangsung formation with thickness of about 1.5m to 5m.

Several faults, such as Jungbu and Oship faults are developed (After Coal Industry Promotion Board, 1999).

부정함으로 덮인다. 장성층은 암회색 내지 흑색의 사암과 셰일의 호층으로 되어 있으며 셰일 중에는 2-3 개의 석탄층이 협재되어 있다. 장성층은 통상 4개의 윤회층으로 구분되며 장성층의 평균두께는 평균 120m이며 한 윤회층은 보통 하부로부터 상부로 사암-셰일-탄질 셰일-석탄층-셰일의 순으로 이루어져 있다.

남풍갱 지역 주변에는 반경 80m 가량의 Trough형 및 인장균열과 Sink-hole 형 침하현상 등이 발생하였다(그림 3). 그림 3에서 영동선 철도를 포함하여 붉은 선으로 표시한 지역이 침하가 일어난 부분이며 자료를 획득한 영역은 87m × 95m의 사각형 영역으로 표시되어 있으며 침하지역을 최대한으로 포함시키도록 하였다.

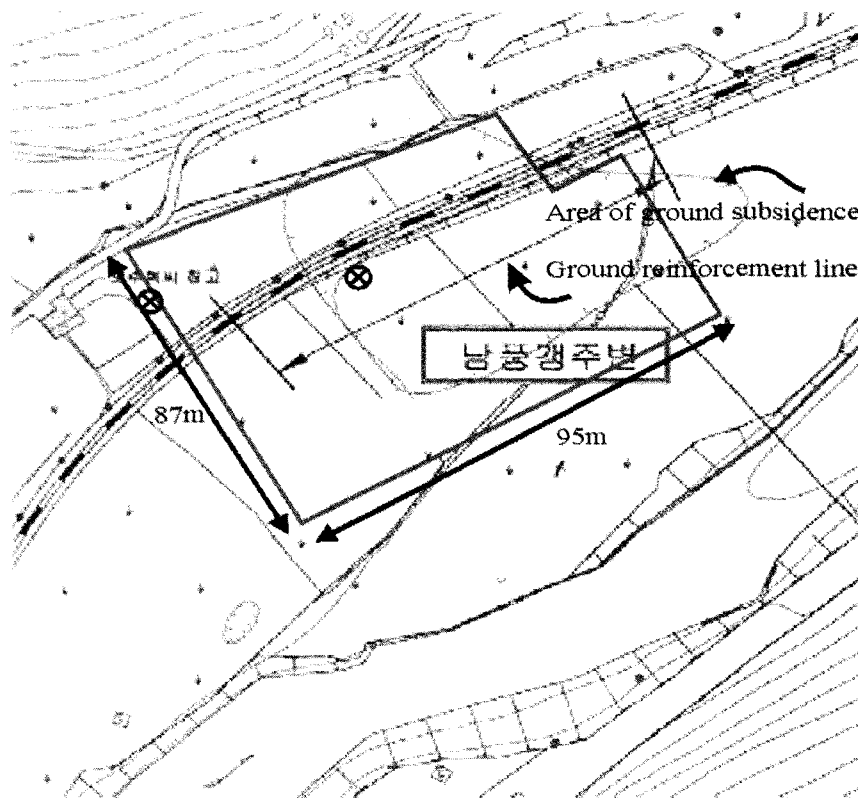


Fig. 3 The location of survey area.

(After Coal Industry Promotion Board)

대상지역에는 금풍갱 및 남풍갱이 있으며 중부향사 동익부 저경사 탄층(평균탄폭 2.0-3.0m)을 심도 25m에서 65m로 연층으로 개발하였다. 시추조사(석탄산업 합리화 사업단, 1999) 결과 암회색의 중, 조립질 사암이 우세하며 박층의 셰일층이 협재하고 회색내지 암회색 사암으로 구성된 연암층이 빈번하게 나타나고 전구간에 걸쳐 파쇄대가 발달하고 있다. 채굴공동은 보완 2 시추지점에서 37.4m, 보완3에서 43.9m 추가 2에서 54.0m, B-3에서 27.8m, B-4에서 23.6m에서 공동을 확인하였다. 한편 지하수위는 채굴적의 영향으로 누수현상이 심하며 채굴적 하부지층에서 지하수의 유동흔적이 관찰되며 이를 통하여 인접한 수계(오십천)로 흘러 들어가는 것으로 판단된다. BIPS(Borehole Image Processing System) 탐사결과(석탄산업 합리화 사업단, 1999) 채굴공동 함몰로 인한 암반의 이완현상이 지표하부 9m 정도(보완 3호공)에서 22m(추가 1호공) 심도에서 관측되며 공동함몰에 의한 상부지반의 10cm 이상의 폭을 가지는 공동은 추가 1호공에서 대략 33m에서 65m 사이에, 추가 2호공에서 16m에서

53.6m 사이에 걸쳐 있음을 확인하였다. 관련 시추공을 대상으로 한 RMR에 의한 암반의 분류기준에 의한 지반의 안정도는 평균치가 42.8로 남풍갱 지역 전반적인 암반상태는 비교적 양호한 3등급에 해당하며 탄층 발달상태는 빈약한 편이나 국부적인 부광대를 채탄한 채굴적이 구조물 직하부에 위치하고 있으며 지표로부터 25m 하부로 탄층 및 채굴공동이 확인되며 공동의 규모로 보아 탄폭은 최대 3.0m로 추정되고 채굴적 상반암석의 이완현상이 다수 발견되어 전체적인 지반상태는 불안정한 것으로 보고되고 있다.

### 3. 3차원 탄성과 반사법 자료획득

남풍갱 부근은 철도변에 인접하여 밭으로 경작을 하고 있는 지역이다. 3차원 탄성과 자료는 1999년 11월 농한기에 획득하였으며 탐사 소요기간은 총 20일이다. 탐사 장비로서 Geometric사의 Strata-View 24채널 두 대를 이용, 트리거 신호를 싱크로나이즈시키는 방법으로 48채널 반사법 자료를 얻었다. 사용한 파원은 8kg 해머이다. 3차원 천부 반사법 자료 획득에 사용된 획득변수를 테이블 1에 나타내었다. 3차원 배열은 그림 4에 나타낸 Full range 3D 배열(고광범 등, 2000)을 사용하였다. 크로스라인 방향으로 1m 간격으로 타격을 하였으며 인라인방향으로의 타격 축선 간의 간격은 2m이다. 수신기는 인라인 방향으로 5m 간격으로 설정하였으며 인라인 방향으로 12채널, 총 4개의 5m 간격을 가지는 수신기 배열을 채택하였다.

**Table 1. 3-D data acquisition parameters**

<ul style="list-style-type: none"> <li>· Survey area : 강원도 삼척시 도계읍 늑구리 남풍갱 부근</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>· Data acquisition equipment : Geometrics Strataview(24 channel)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>· Survey methodology : 3-Dimensional shallow seismic reflection method</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>· Object of survey : To establish suitable 3-D data acquisition parameters To propose the successful visualization of mine cavities</li> </ul>
<p><b>3-Dimensional data acquisition parameter setup</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· Source type : 8kg sledgehammer</li> <li>· Number of vertical stack : unit stack</li> <li>· Geophone to be used : 28Hz geophone</li> <li>· Survey array : Typical cross-line array(Full range 3D array)</li> <li>· Number of channel : 48 channel (trigger sync. Strataview 24 channel 2 system)</li> <li>· Sampling interval : 0.5msec</li> <li>· Record length : sufficient for length of 0.5sec</li> <li>· Geophone spacing : 5m(inline)</li> <li>· Interval between geophone line : 5m(crossline)</li> <li>· Shot spacing : 1m(crossline)</li> <li>· Interval between shot line : 2m(inline)</li> <li>· Size of common-cell(bin) : 0.5m(crossline) by 1m(inline) in array design. 1m(crossline) by 1m(inline) in data processing.</li> </ul>

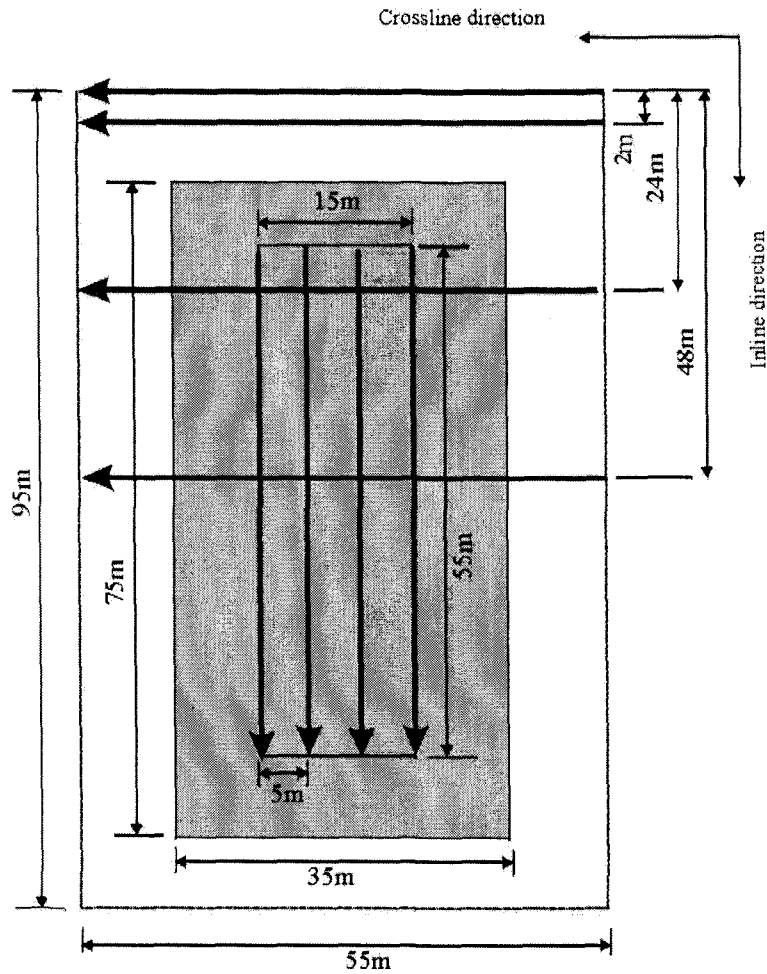


Fig. 4 Source - receiver template.

Four parallel receiver lines with 12 geophones were deployed. Source and receiver lines were orthogonal each other.

Shading is the bin coverage by unit template.

Full range 3D 배열에 의한 템플리트의 bin 커버리지는 그림에서 음영진 부분으로 도시하였으며 그 크기는 크로스라인 방향으로 35m, 인라인 방향으로 75m이다. 이러한 배열에서의 최대 최소오프셋과 최소 최대오프셋은 각각 5.4m와 30m이다. 하나의 템플리트에 대하여 자료획득을 완료하면 다음 템플리트로 이동, 설치하고 자료를 획득하게 되며 이러한 과정이 전 조사지역을 커버할 때까지 반복적으로 수행된다. 이때 하나의 템플리트에 대하여 다음 템플리트로의 이동간격이 중요하다. 템플리트 간의 이동간격은 보통 미리 결정한 CMP 중합수를 만족하는 범위 내에서 적절한 간격이 결정되며 본 조사에는 템플리트 간의 이동간격을 20m로 하였으며 남풍강 부근의 본 조사지역은 총 4개의 템플리트로 구성된다. 그림 5 및 6은 Full range 3D 배열을 이용하여 자료를 획득한 타격점 및 지오폰의 위치를 각 템플리트에 대하여 나타낸 것이다. 각 템플리트의 이름을 서쪽에서 오십천이 흐르는 동쪽방향으로 swath1, swath2, swath3 및 swath4라고 명명한다. 그림 5-a)의 swath1은 도로와 보리밭이 인접하고 영동선 철도를 포함하므로 자료를 얻은 지역이 한정되어 나타난다. 그리고 축선도

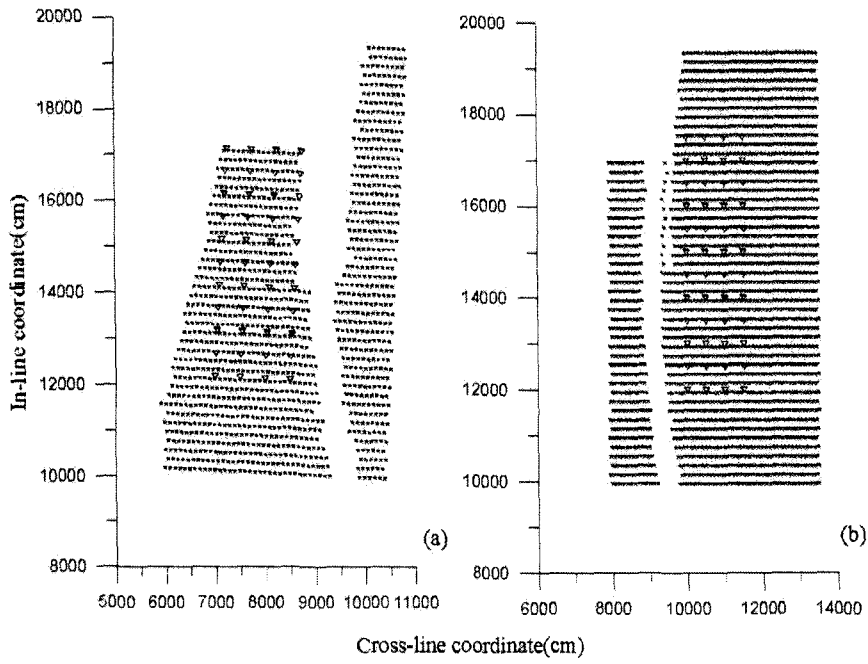


Fig. 5 Source and receiver geometry  
(a) swath1 and (b) swath2.

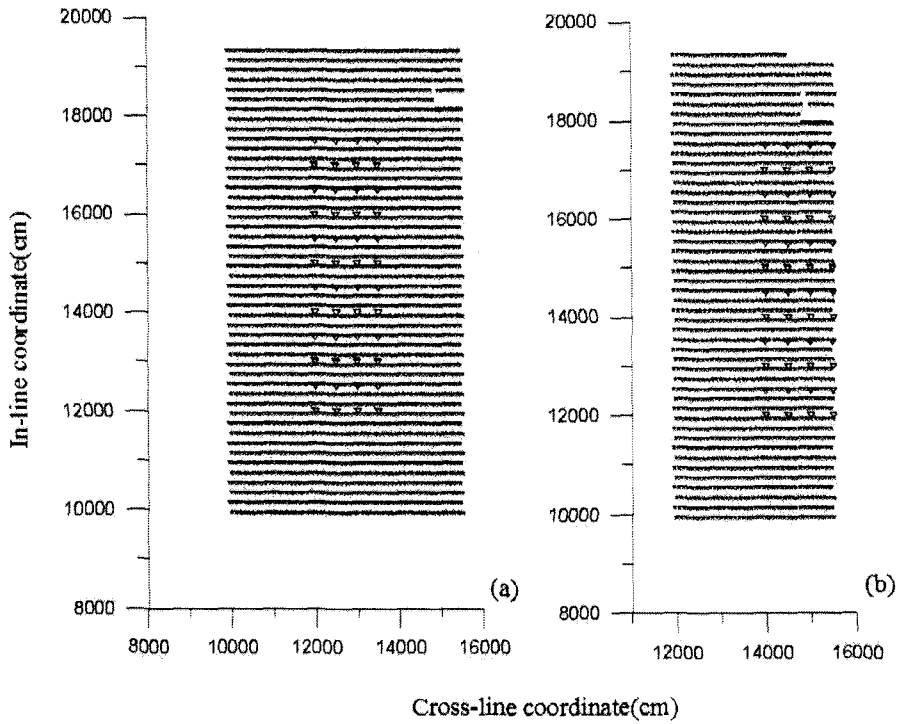


Fig. 6 Source and receiver geometry  
(a) swath3 and (b) swath4.

다른 템플릿에 비하여 동쪽방향으로 약간 기울어져 있는데 이는 가능한 최대한 자료를 얻기 위하여 영동선 철도와 평행한 방향으로 배열을 설정한 결과이다. 그림 5-b)는 swath1에서 20m 간격으로 동쪽으로 위치한 swath2이다. 역시 보리밭과 영동선 철도등으로 자료를 획득하지 못한 구역을 나타내고 있다. 그림 6-a)의 swath3은 Full range 3D 배열로서 자료

를 획득할 수 없는 방해물이 거의 없는 템플릿로서 발간의 경계부에 쌓여있는 돌담부분을 제외하고는 모든 지역에서 자료를 획득하였다. 그림 6-b)의 swath4는 오십천 방향으로 발간 경계부를 포함하며 오십천 방향으로의 발 지역에서는 자료를 획득하지 못하였다. 그림 7은 자료를 획득한 4개의 템플릿 모두를 합하여 나타낸 타격점 및 지오폰의 위치를 나타낸 것이다. 그림 8은 자료를 가장 적게 획득한 swath1과 최대로 얻은 swath3의 CMP 중합수를 나타낸 결과이다. CMP bin의 크기는 인라인, 크로스라인  $1\text{m} \times 1\text{m}$ 이며 최대 중합수는 swath1이 90, swath3이 100개이며 그림 9는 이러한 4개의 템플릿에 구성되는 탐사영역 전체의 CMP bin 중합수를 나타낸 것이다.

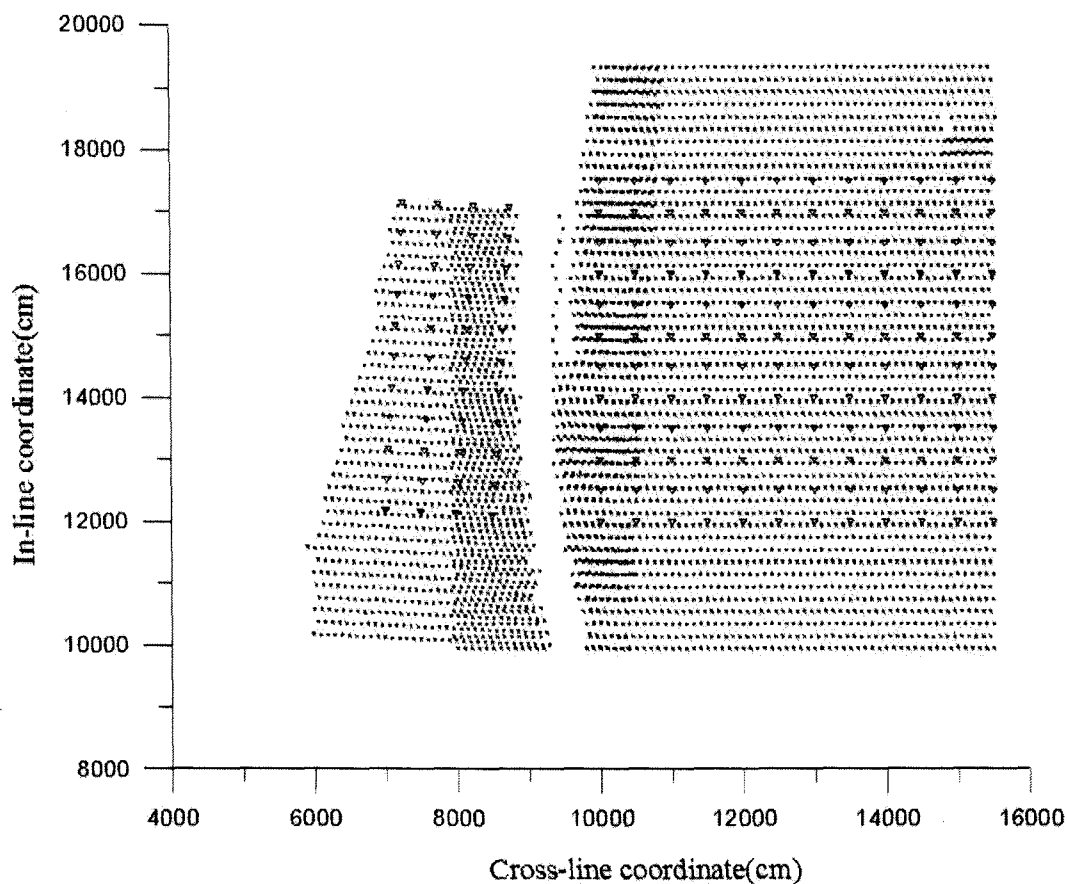


Fig. 7 Source and receiver geometry of entire survey area.

#### 4. 자료처리 및 해석 사례

남풍경 부근에서 획득한 3차원 반사법 자료처리는 그림 10에 나타낸 바와 같이 통상적인 자료처리 과정을 따랐다. 천부 탄성과 반사법 자료의 처리에서 특히 중요한 부분은 초동 및 그라운드를 뮤트와 속도분석부분이다. 속도분석에서는 샘플런스나 NMO 속도분석 보다는 석유탐사에서 개략적인 지질구조를 판단하는데 보편적으로 쓰이고 있는 상속도 중합단면 (constant velocity stack)을 이용하는 방법을 채택하였는 바(그림 11), 그 이유는 획득자료가 최대 전개거리가 약 80m이고 오프셋 대부분이 60m 정도로서, 오프셋이 매우 짧아 반사파 이벤트의 파악 및 속도정보를 얻는 것이 어렵기 때문이다. 그림 11은 임의의 CMP 몇 개를



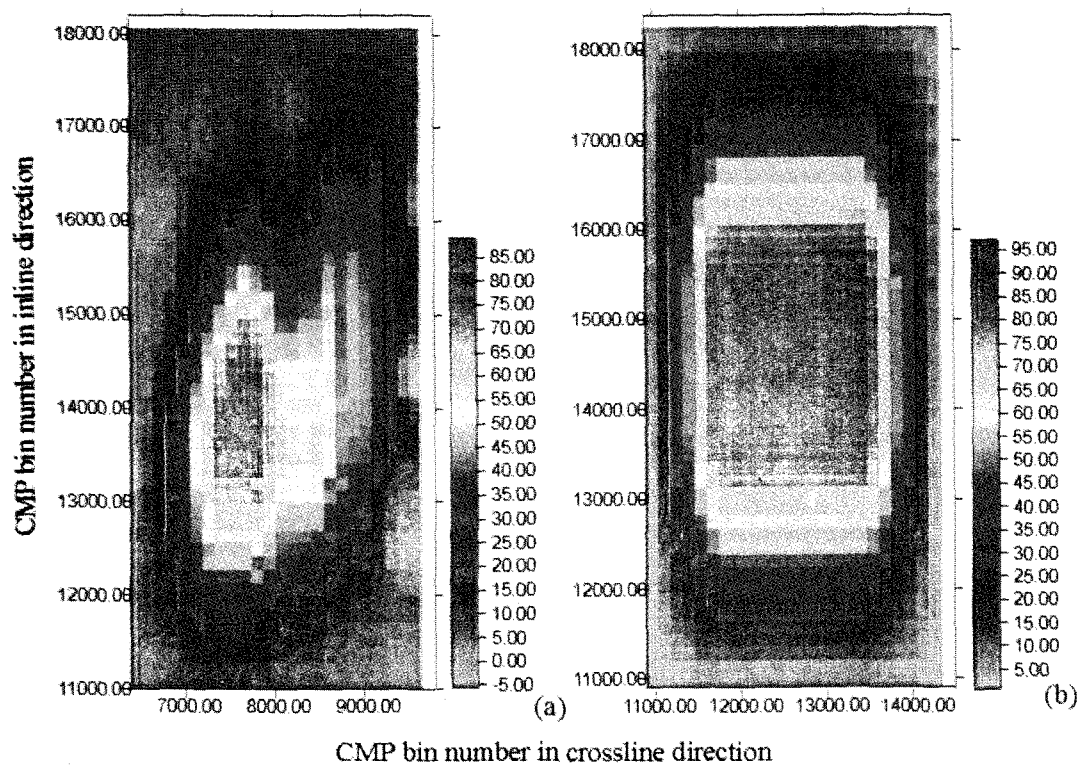


Fig. 8 Distribution of number of bin fold (a) swath1 and (b) swath3.

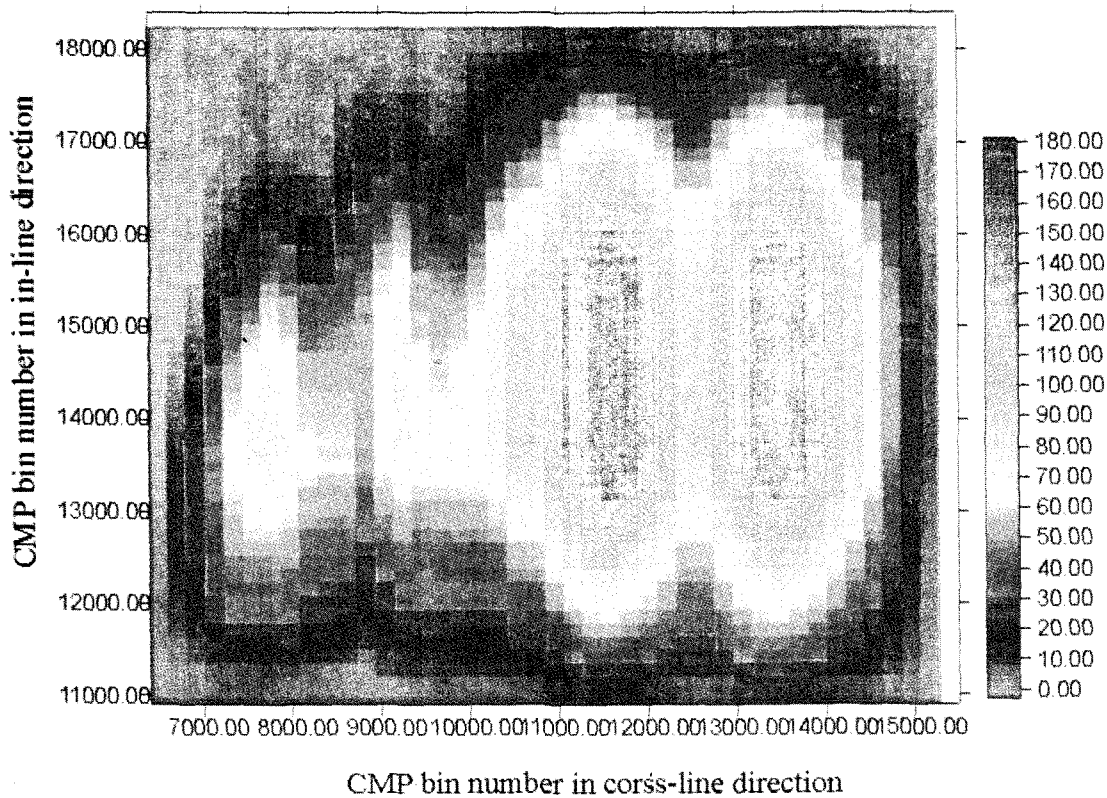


Fig. 9 Distribution of number of bin fold over the entire survey area.

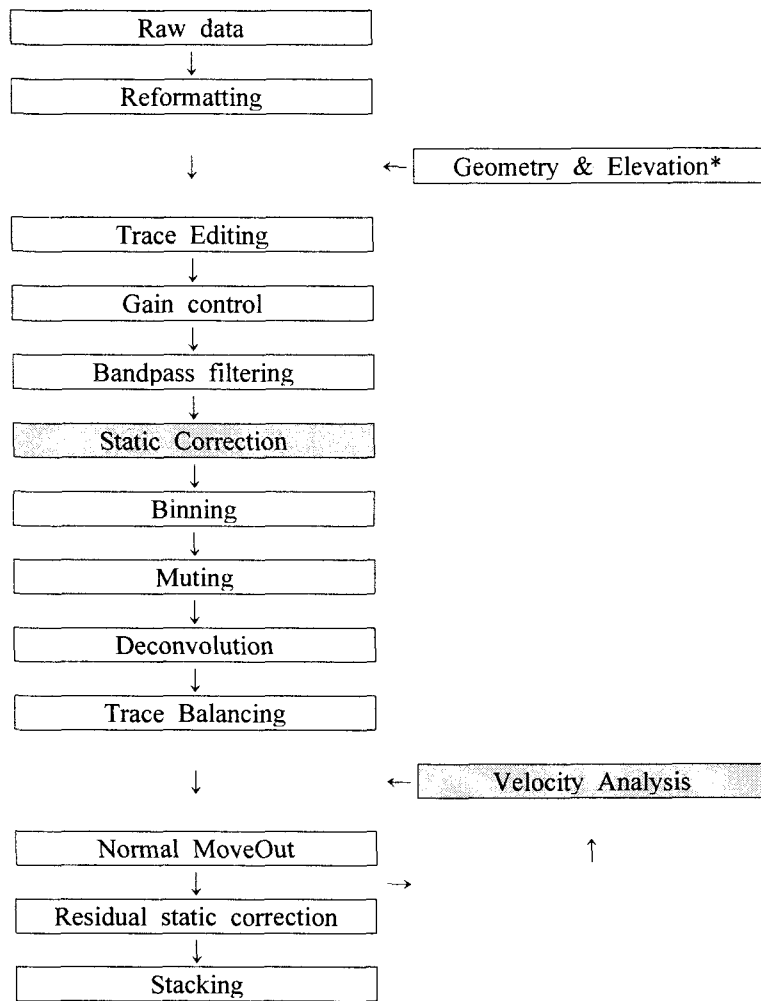


Fig. 10 Processing Procedure used in this study.

선택하여 NMO속도를 1000m/sec에서 1900m/sec까지 변화시키면서 구한 상속도 중합단면이다. 속도의 변화에 따른 중합단면상의 이벤트의 분해능의 변화정도가 육안으로 충분히 판단할 수 있을 정도의 양상으로 만족할 만한 결과를 나타내었다. 지반침하 지역인 남풍갱 부근의 NMO속도 분포는 이로부터 대략 1200m/sec에서 1800m/sec까지 범위를 가진다는 것을 확인하였으며 통상적인 암반의 속도보다 매우 낮은 NMO 속도를 가지며 침하로 인하여 암반이 붕괴, 파쇄되었음을 뒷받침한다.

한편 본 연구의 정보정 과정에서 3차원 탄성과 자료를 발파점 및 수신점에 따라 중합한 결과를 토대로 발파점 및 수신점 보정량을 추출하였다. 그림 12는 제 과정을 거친후의 탄성과 기록을 공통 측정점 기록을 보여준다. 이벤트의 오프셋에 따른 양상이 부드럽게 재정렬되었음을 알 수 있다.

일반적으로 지하구조는 3차원이므로 CMP bin에서의 NMO속도는 방위각에 따라 다르며 정확한 속도분석을 위해서는 bin의 CMP를 방위각에 따라 분류하여 각각 속도분석을 하여야 한다. 방위각에 따른 속도분석을 검토하여 본 결과 조사지역인 남풍갱 부근은 지반침하의 영향으로 방위각에 따른 속도분포의 변화양상은 크게 차이를 보이지 않음을 확인하였다.

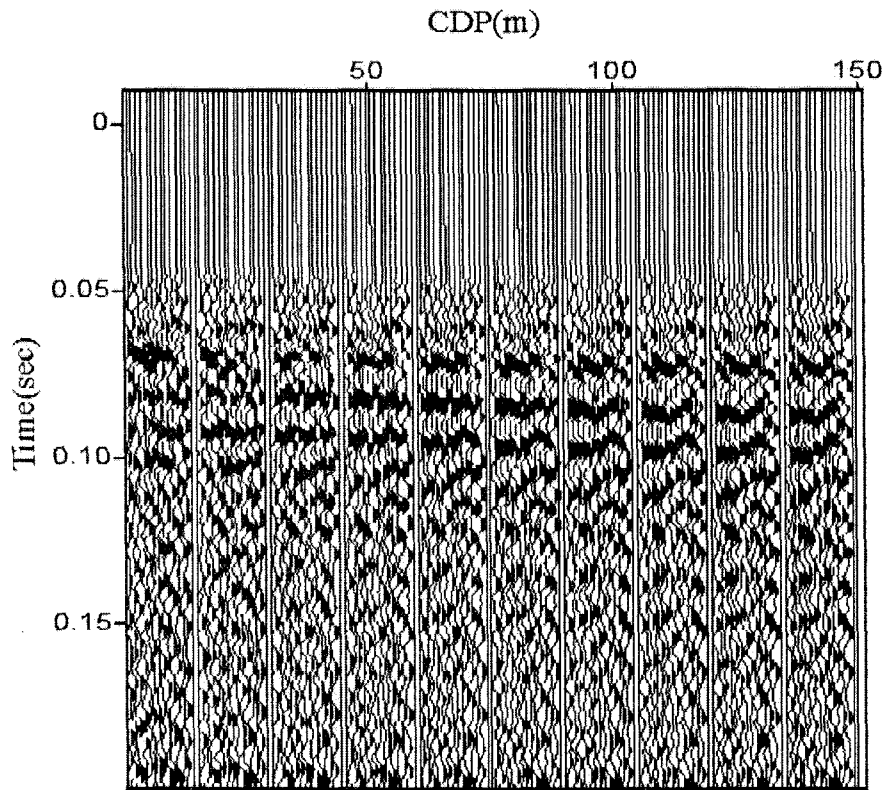


Fig. 11 Constant velocity stack section in the velocity range of 1000m/sec and 1900m/sec.

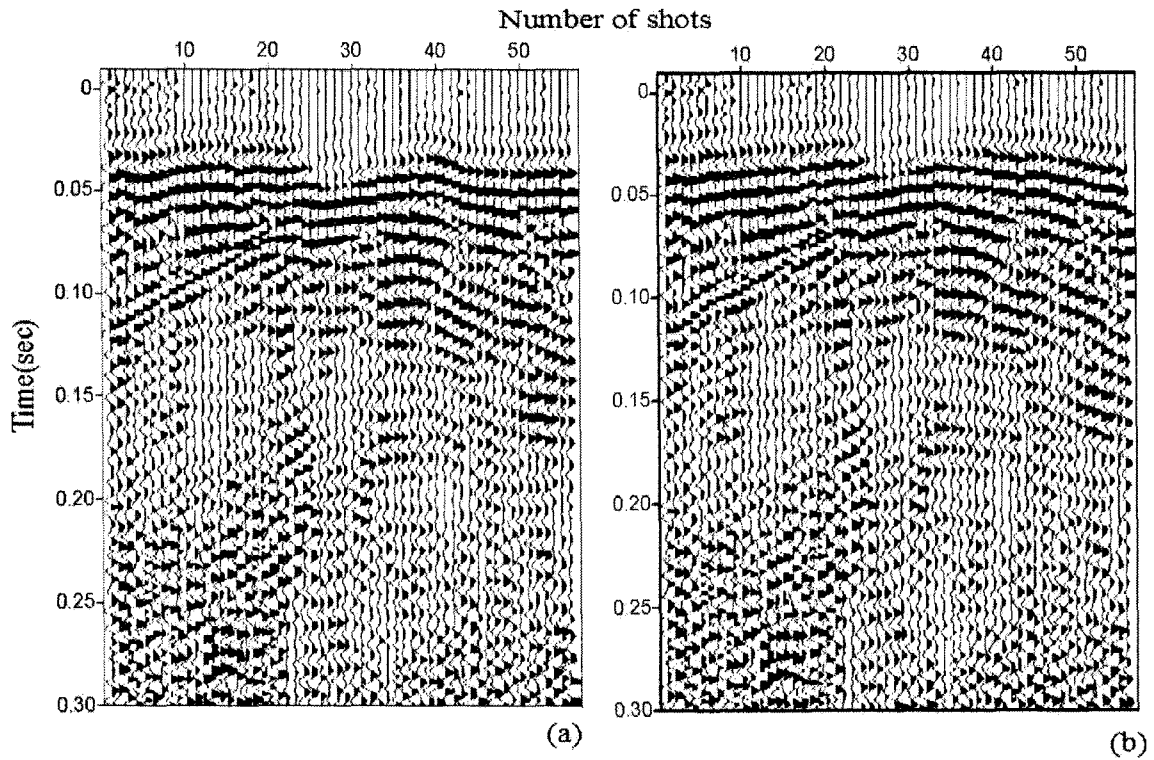


Fig. 12 Example of before(a) and after(b) static correction with source and receiver stack technique.

이는 지반의 파쇄로 인하여 침하지역 전체의 전반적인 저속도화 및 획일화된 결과라고 생각된다. 반면 방위각에 따른 속도의 변화보다는 그에 의하여 분류된 CMP 취합자료의 오프셋에 대한 영향이 보다 크게 나타남을 알 수 있다. 그림 13은 3차원 자료의 해석단면을 방위각에 따라 세가지로 나눈 최종 해석단면을 나타낸 것이다. 방위각 분포는 각각 0도에서 60도, 180에서 240도 및 60도에서 120도, 240도에서 300도, 그리고 120도, 180 그리고 300 및 360도 사이이다. 그림에서 보면 그림 13-a,c)의 경우 중합단면은 그림 13-b) 비교하여 천부의 이벤트를 좀더 잘 표현하고 있으며 3차원 템플릿상에서 볼 때 가장자리에 해당하는 자료로서 근거리 오프셋(30m 및 -30m, 그림 14-b,d)이 주로 분포하고 있어 상대적으로 천부의 지질구조를 보여주는 중합단면에 해당한다.

그림 13-b)는 인라인 상의 CMP자료가 집중적으로 분포하는 지역으로 템플릿의 배열구조상 중앙쪽으로는 원거리 오프셋이 집중적으로 분포하므로(그림 14-c) 상대적으로 심부의 이벤트를 잘 표현하게 되며 0.07초 부근의 이벤트를 잘 표현하고 있음을 알 수 있다. 이와같이 원거리 오프셋에 의한 중합단면이 천부의 이벤트를 잘 보여주지 못하는 이유는 근거리 오프셋 자료가 원거리 오프셋 자료에 비해 진폭이 월등히 크기 때문이고 또한 NMO 보정을 실시할 때 원거리 오프셋 자료에 대한 스트레치 뮤트를 수행하는 바, 천부의 반사이벤트가 잘려지기 때문이다.

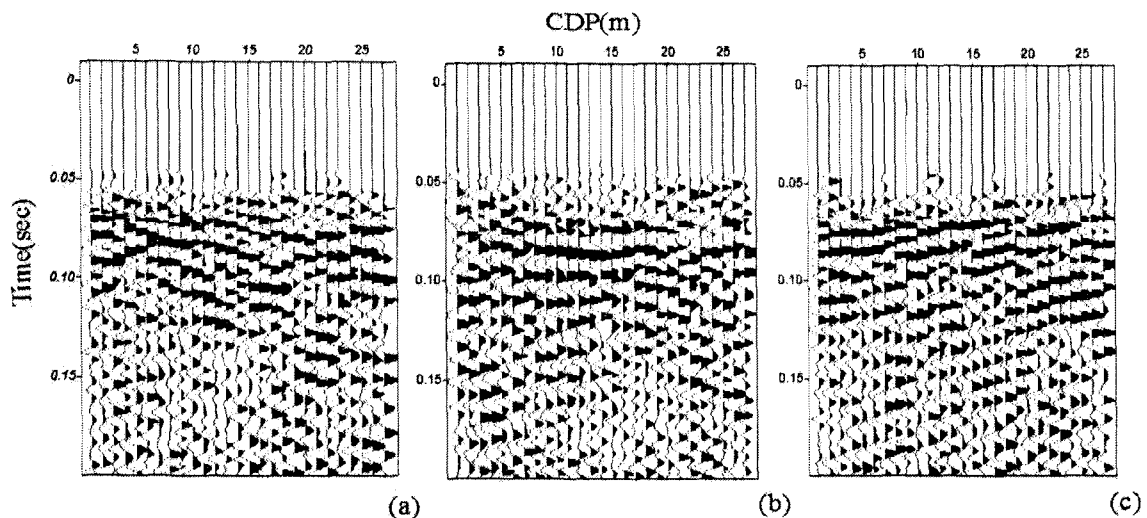


Fig. 13 Azimuth dependent constant velocity stack section.

- (a) azimuth in the range of 0 and 60, 180 and 240 degree
- (b) azimuth in the range of 60 and 120, 240 and 300 degree
- (c) azimuth in the range of 120 and 180, 300 and 360 degree

그림 15는 동서방향의 크로스라인 축선 중 태백에서 삼척방향의 영동선 철도를 포함하고 침하 징후가 보이지 않는 축선 상(a), 지반침하 경사가 가장 큰 크로스라인 중간부분(b) 그리고 축선 전체가 Trough형 침하가 일어나 평평한 지형을 보이는 축선 상(c)의 3차원 탄성과 중합단면이다. 그림 15-a)의 경우, 축선상의 지형이 지반침하의 징후가 없음에도 오수혁씨 창고가 인접한 곳에서의 반사이벤트가 미약함을 관찰할 수 있는 데 지반상태가 부분적으로 심하게 교란되었다고 생각된다. 침하가 일어났다는 것은 채굴적 상부의 지반이 이완, 또는 파쇄가 일어나면서 깨어진 암석등이 채굴적을 매우므로 채굴적 부근 영역에서의 반사파

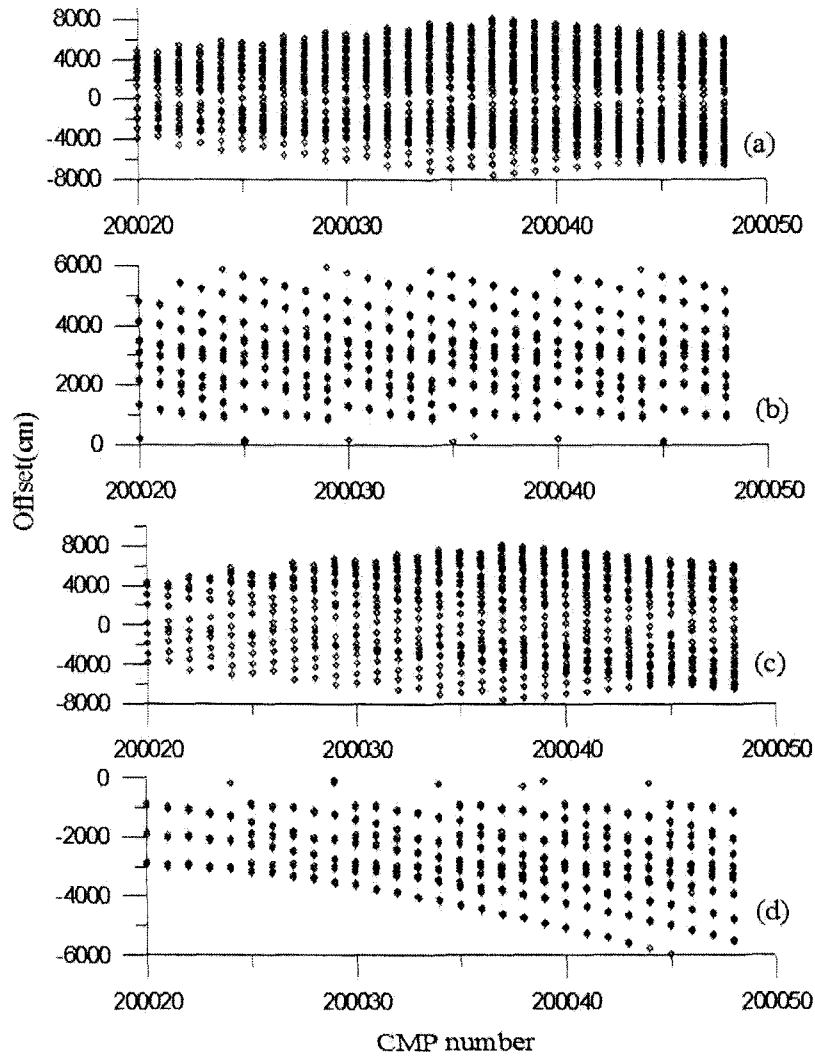


Fig. 14 Offset distribution used in the previous section.  
 (a) azimuth of 0 and 60, 180 and 240 degree  
 (b) azimuth of 60 and 120, 240 and 300 degree  
 (c) azimuth of 120 and 180, 300 and 360 degree

이벤트는 심한 산란 및 감쇠로 인하여 상대적으로 미약한 양상을 나타낼 것이다. 또한 상부 지반이 가라앉으면서 부분적으로 파쇄가 일어날 것이므로 불연속 이벤트도 나타날 것이다. 그림 15-b)와 15-c)를 비교해 보면 두 경우 모두 다수의 불연속 이벤트를 인지할 수 있으며 채굴적이 붕괴하면서 심하게 파쇄되었다는 것을 의미한다. 그리고 그림 15-b)의 0.08초 이후의 반사 이벤트가 그림 15-c)의 경우와 비교하여 볼 때, 상대적으로 미약한 양상을 보이고 있는 것으로 미루어 채굴적의 매움 및 다져진 상태가 불량한 것으로 판단되며 따라서 시간이 경과하면서 주변의 계속적 침하 진행 가능성이 농후하다고 보여진다. 채굴적이 붕괴된 침하지역에서의 채굴공동에 의한 이상적인 반사 이벤트는 인지하기는 어렵다고 사료되며 분석 가능한 반사면 이벤트는 시간단면에서 대략 0.15초까지로 볼 수 있으나 데이터의 질이 불량하여 공동의 경계, 크기 등 공동의 기하학적인 정보를 추출하기 위해서 전처리 및 보다 정밀한 속도 분석 및 정보정이 필요할 것으로 사료된다.

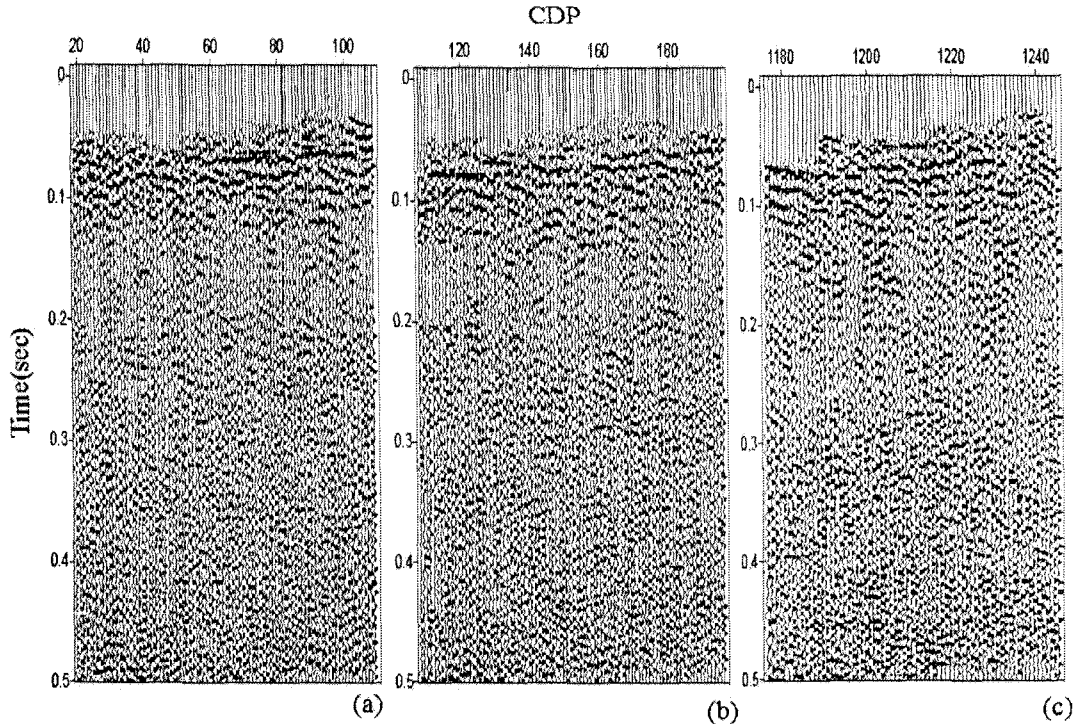


Fig. 15 Examples of stack section in the subsidence area, Dogye.

- (a) crossline 122 profile(no ground subsidence)
- (b) crossline 148 profile(having steepest gradient of subsidence)
- (c) crossline 175 profile(subsided, but flat line)

## 5. 결론

강원도 삼척시 도계읍 늑구리 남풍갱 부근의 채굴 공동에 의한 지반침하 지역에서 지하구조를 영상화하고자 3차원 탄성과 탐사를 실시하였다. 본 연구의 목적은 탄층을 따라 채굴한 공동을 성공적으로 영상화하기 위함이며 아울러 탄층이 포함된 장성층의 층서를 규명하는 부차적인 목표도 가진다.

자료획득에는 Full range 3D 배열을 사용하였으며 자료처리에는 일반적인 방법을 따랐으나 속도분석에는 최대 전개거리가 짧은 육상 천부 반사법 자료의 특성을 감안하여 상속도 중합 단면을 이용하는 방법을 채택하였다. 또한 정보정은 3차원 탄성과 자료를 발파점 및 수신점에 따라 중합한 결과를 토대로 발파점 및 수신점 보정량을 추출, 적용하였다.

남풍갱 지역의 지반침하 양상을 가장 특성있게 표현하는 방향인 크로스라인 축선상의 중합 단면을 검토하였다. 채굴적 부근 영역에서의 반사파 이벤트는 연속성의 검토로부터 채굴적이 붕괴하면서 지반상태의 파쇄가 심하게 일어났음을 확인하였다. 또한 반사 이벤트의 상대적인 크기 비교에 의하여 계속적인 침하가 일어날 가능성이 있다고 판단하였다.

## 사 사

이 연구는 국가지정 연구실 사업(NRL) 과제 “ 탄성과 영상화 기술 연구개발 및 응용 ” 의 일부로 수행되었다. 한국 과학기술 평가원(KISTEP) 재정지원에 감사한다.

## 참고문헌

- 고광범, 지준, 이두성, 2000, 천부 탄성과 탐사 자료획득을 위한 3차원 축선배열 설계: 한국 자원공학회지, **37**, 232-239.
- 김종광, 1999, *Personal communication*.
- 석탄산업 합리화 사업단, 1999, 고사리지역 지반보강공사 실시설계 보고서, 25.
- 석탄산업 합리화 사업단, 1999, 고사리지역 지반보강공사 실시설계 지반조사 보고서, 142-152.
- Büker, B., Green, A. G., and Horstmeyer, H., 1998, Shallow 3-D seismic reflection surveying: Data acquisition and preliminary processing strategies: *Geophysics*, **63**, 1434-1449.
- Nestvold, E. O., 1992, 3-D seismic: " Is the promise fulfilled ? ": *The Leading Edge*, **11**, 12.
- Siahkoohi, H. R., and Geldart, L. P., 1996, 3-D seismic imaging of complex structures in glacial deposits: *66th Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts*, 873-876.
- Steeple, D. W., and Miller, R. D., 1998, Avoiding pitfalls in shallow seismic reflection surveys: *Geophysics*, **63**, 1213-1224.
- Stone, D. G., 1994, Designing seismic surveys in two and three dimensions: Geophysical References Series 5: *Soc. Expl. Geophys.*
- Vermeer, G. J. O., 1998, 3-D symmetric sampling in theory and practice: *The Leading Edge*, **17**, 1514-1519.
- Yilmaz, O., 1987, Seismic Data Processing: *Soc. Expl. Geophys.*, 526 p.