

영동분지(백악기) 북부 지역에 대한 지표물리탐사

김지수* · 한수형** · 이철우* · 김복철*** · 양우현****
*충북대학교 · **지오제니 · ***한국지질자원연구원 · ****전북대학교

요 약

영동분지 북부지역 내의 퇴적층서에 외곽으로 접하고 있는 단층면 또는 부정합면의 구조 및 이에 대한 물성정보를 고찰하기 위해 전기비저항 쌍극자탐사와 탄성과굴절법 및 반사법탐사를 실시하였다. 전기비저항탐사는 퇴적분지와 기반암의 전기비저항 대비, 탄성과굴절법으로 속도구조, 탄성파반사법으로 천부구조의 경계 및 그 연장성 규명하는데 목적을 두었다. 전기비저항탐사결과 분지 경계는 약 2000 ohm-m를 기준으로 구분되고 있으며 분지 동쪽 및 서쪽 경계는 각각 급경사(70°이상) 및 완경사(30°이하)로 특징되는 단층경계와 부정합경계의 특성을 보이는 것으로 해석된다. 또한 이러한 특성은 북서 경계의 탄성과속도와 전기비저항 값이 북동 경계에 비해 작게 나타나고 있는 점으로 뒷받침될 수 있다.

주요어: 영동분지, 전기비저항쌍극자탐사, 탄성굴절법탐사, 탄성파반사법탐사.

Kim, J.S., Han, S.H., Rhee, C.W., Kim, B.C., and Ryang, W.H., 2002, Surface geophysical surveys the northern part of the Yongdong basin (Cretaceous), Korea. Journal of the Korean Geophysical Society, v. 5, n. 4, p. 329-336

ABSTRACT: Electrical resistivity dipole-dipole, seismic refraction, and seismic reflection methods were performed to delineate the boundaries the Yongdong basin(Cretaceous) in terms of physical properties and to ultimately identify the margin architectures of the faults or unconformities. Higher resistivities (approximately >2000 ohm-m) most likely originate from the basement of the basin, contrasting with the lower resistivities from infilled sedimentary rocks. Faults at the eastern margin and unconformities at the western boundary are characterized as high-slope(70°) and gentle-slope(30°) gradients in the resistivity sections, respectively. Such features for the boundaries are also suggested by the lower values of seismic velocity and resistivity for the western margin.

Key words: Yongdong basin, electrical resistivity dipole-dipole, seismic refraction, seismic reflection

(Kim, J.S. and Rhee, C.W., Department of Earth and Environmental Sciences, Chungbuk University, Cheongju, Korea, 361-763; Han Soo-Hyung, Geogeny Consultants Group Inc. 938-7 BangbaeDong SeochoGu, Seoul, 137-060; Kim, B.C., Geological Research Division, Korea Institute of Geology, mining&materials; Ryang, W.H., Chnubuk University, E-mail: geop22@chungbuk.ac.kr)

1. 서 론

주향이동 분지의 형성과 충진에 대한 Crowell (1982) 모형 이래 대부분의 주향이동분지의 해석은 주로 지표 지질 자료에 근거하여 연구되었다 (Aydin and Nur, 1982; Mann *et al.*, 1983; Christie-Blick and Biddle, 1985). 그러나 분지 형성과 충진에 대한 총체적인 이해는 자세한 지표 자료와 함께 분지 충진층과 내부구조를

반영하는 지구물리 자료의 상관해석을 필요로 한다 (Dickinson, 1993, 1997; Ingersoll and Busby, 1995).

영동분지의 북쪽지역에 해당하는 연구지역은 북동쪽으로는 좌수향 주향이동단층인 영동단층을 경계로 영남육괴와 접하고 있으며 북서쪽으로는 시대미상의 천매암, 페름기의 변성퇴적암 및 페름기-쥬라기의 화강암과 외견상 부정합으로 접하고 있어 비대칭성 퇴적분지로 해석되고 있다(Kim, 1996;

Chough *et al.*, 2000). 그 동안 영동분지 동쪽경계부에 발달하는 단층에 대해서는 야외에서 주향 이동 단층의 증거들이 명확히 인지되었다. 그러나 영동분지의 형성과 관련하여 분지의 좌우 경계를 안행형(en-echelon) 단층으로 간주하고 영동분지를 인리형(pull-apart) 퇴적분지로서 해석하는 등 (Lee, 1900) 분지의 북서쪽 경계부가 단층 관계인지 또는 부정합 관계인지에 대하여는 논란이 제기되어왔다. 영동분지 북쪽지역의 형성과정에 대한 이러한 논의는 퇴적계의 자세한 해석과 함께 분지 경계단층과 내부 층진층의 지하구조적 특성을 보여줄 수 있는 지구물리학적 연구에 의해 규명될 수 있다.

이 연구는 영동분지 남동부 지역에서 김지수 등(2000)에 의해 지구물리탐사로 확인된 영동단층의 북부지역으로의 연장성을 알아보고 또한 분지의 진화과정의 열쇠가 되는 북부지역의 분지경계(부정합 및 단층)의 기하학적 특성을 파악하기 위해 전기비저항쌍극자 및 탄성과탐사(굴절법, 반사법)를 수행하였다. 전기비저항자료에서 단층 및 부정합경계의 특성은 고/저비저항 경계의 기울기 및 비저항값의 대비로서 알아 보았다. 또한 초동역산자료를 이용하는 탄성과 굴절법자료는 수평

층서의 연속성 및 속도 대비 측면에서 검토해 보았고 반사법자료는 중심점(CDP) 중합단면도의 수평층서의 연속성 및 진폭 대비로서 검토해 보았다.

2. 연구지역 및 지질개요

영동분지(면적: 8~10 × 40 km²)는 옥천대와 영남육괴의 경계부를 따라 분포하는 백악기 육성기원 소퇴적분지 중의 하나이다. 영동분지는 옥천대와 영남육괴 사이에 발달한 주향이동단층운동에 의해서 형성된 반지구(half-graben) 형태의 비대칭성 퇴적분지이다(Kim, 1996). 분지의 북동쪽은 좌수향주향이동단층인 영동단층으로 영남육괴의 편마암류 및 편암류와 접하고 있으며, 분지의 북서쪽은 시대미상의 천매암, 페름기의 변성퇴적암 및 페름기~쥬라기의 화강암과 부정합으로 접하고 있다.

이번 연구의 대상지역인 영동분지 북부지역은 상주시 모동면과 모서면 일대로서 1:50,000 축척의 청산도폭(김동학과 이병주, 1986)과 상주도폭(원종관과 김기태, 1969)의 동정리층, 선유동층, 회동리층 및 영동도폭(김규봉과 황재하, 1986) 북부

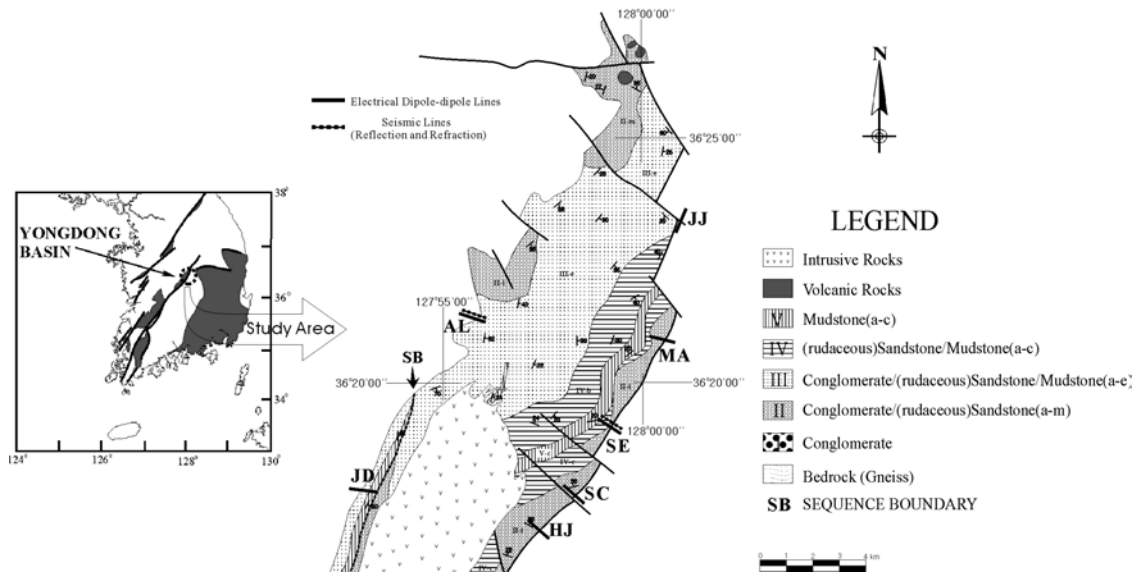


Fig. 1. Geology map and surveys lines for the northern part of the Yongdong basin. Electrical dipole-dipole lines(HJ, SC, SE, MA, JJ, AL, JD) and seismic lines(SE, AL) are chosen to delineate the basin-fault boundaries and unconformity boundaries.

의 동정리층과 선유동층 분포지의 일부를 포함한다. 이번 연구에서는 동정리층, 선유동층, 회동리층의 분포가 동일암상임에도 불구하고 도폭에 따라 지층명이 다르게 명명되어져 혼란을 초래하는 부분도 있고, 아울러 분지 내 퇴적물의 분포를 보다 명확하게 제시하기 위해서 지층을 세분하였다.

영동분지 내 퇴적암은 역암, 역질 사암, 사암, 자색 및 암회색/녹회색 이암으로 구성되며 이들은 퇴적상 분포, 퇴적상 조합, 퇴적물 입도 및 암층의 구성비율에 따라 5개의 암상단위, 즉 역암대(I), 역암/(역질) 사암대(II), 역암/(역질) 사암/자색 이암대(III), (역질) 사암/암회색 이암대(IV) 및 암회색 이암대(V)로 나눌 수 있다(Fig. 1). 여기서 동정리층과 회동리층은 역암/(역질) 사암대(II), 역암/(역질) 사암/자색 이암대(III), (역질) 사암/암회색 이암대(IV) 및 암회색 이암대(V)로 분대되며, 선유동층은 (역질) 사암/암회색 이암대(IV)와 암회색 이암대(V)로 분대된다.

역암 및 역질 사암(I & II)은 주로 분지의 북서단과 남동단의 분지경계부를 따라서 분포하며, 이들은 분지쪽으로 가면서 역질 사암/자색 이암 및 암회색 이암대(III, IV & V)로 전이되면서 역암/역질 사암->역질 사암/이암->이암의 상향세립화 분지충전연계층(upward-fining basin-fill sequence)을 형성한다. 이들 분지충전연계층은 분지 전체로 볼 때 북쪽으로 가면서 총 3회가 반복되며, 이는 분지의 충전이 3회의 퇴적중심부 이동(depocenter migration)을 거치면서 진행되었음을 지시한다. 영동분지 북부지역은 층서적으로 분지 내 퇴적층의 최상부인 3번째 분지충전연계층을 구성한다. 각각의 분지충전연계층은 지질학적 시간개념으로 볼 때 동시대에 형성된 퇴적계들로서 분지 경계부에 인접한 충적선상지 환경과 이로부터 분지쪽으로 발달한 하천환경, 홍수평원 및 호수환경을 포함한다.

3. 자료수집 · 처리

3.1. 전기비저항탐사

단층 및 부정합면의 특성을 알아보기 위해 단층면 경계에서 5측선(JJ(장자골), MA(모야골못), SE

(상이), SC(신천), HJ(화장)) 그리고 부정합면 경계에서 2측선(AL(아랫쇠골), JD(작도))을 선정하여 전기비저항탐사를 실시하였다(Fig.1).

자료수집은 ABEM Terrameter SAS300C 및 Booster를 이용하였고 전류는 신호대 잡음(S/N)을 최대한 높이기 위해 250 mA를 투입하였다. 가탐심도(available target depth)는 전극간격을 a=40 m, 전극 n=21, 측선길이 l=800 m, 전극간 개수 n=9로 하여 200 m가 되도록 하였다. 획득한 자료들은 역산을 위해 각 면적 셀과 이에 대한 전기비저항을 추정변수로 작성된 자료처리 소프트웨어인 Dipro(1996)를 사용하였다.

3.2. 탄성파탐사 자료수집

전기비저항탐사 결과에 따른 전기비저항값의 대비로 규명되었던 단층경계(AL) 및 부정합 경계(SE)에 대한 탄성과 특성을 알아보기 위해 탄성과 굴절법 및 반사법탐사를 실시하였다(Fig. 1). 자료수집은 24 채널 ABEM Terraloc Mark 6를 사용하였다. 파워으로는 4.7 kg 해머를 선택하였으며 굴절법과 반사법 탐사에 사용된 지오폰 규격은 100 Hz로 모두 3 m 간격으로 설치하였다. 자료의 S/N을 높이기 위해 기록당 8회 연속 타격하여 (반사법의 경우 10회 타격) 수직 중합(stack) 하였으며 샘플링 간격은 0.05 ms, 저주파제거 필터

Table 1. Data acquisition parameters.

source type	Hammer
record length	409.6ms
data format	SEG 2
sampling interval	0.05ms
shot interval	3m
geophone interval	3m
receiver type	100Hz geophone
number of channels	24ch
coverage	1200%
low-cut filter	12Hz
high-cut filter	out

(low-frequency cut filter)는 12 Hz로 설정하였다 (Table 1).

굴절법탐사 자료는 일반화된 선형역산법 (generalized linear inversion)을 적용한 교육용 프로그램 GLI3D(1998)를 이용하여 처리하였다.

반사법탐사 자료를 위해서는 개방형 프로그램 SU(1995) 및 상업용 소프트웨어 VISTA(1999)를 사용하였으며 처리는 기본적인 처리과정(트레이스 편집, 대역 필터링, AGC, CDP 분류, NMO 보정, 스트레치 뮤팅, 중합, 대역 필터링)과 S/N 향상시키기 위한 잔여정보보정, F-K 필터링, T-V 필터링을 거쳤다(Fig. 2).

4. 분지의 북동 및 북서 경계의 특성

분지의 북동 경계에 해당되는 측선 HJ, SC,

SE, MA, JJ와 분지의 북서 경계에 해당되는 측선 AL, JD의 자료 해석결과 예상 경계선을 기준으로 저비저항대의 퇴적암은 분지 밖의 결정질암과 뚜렷이 구분되고 있다(Figs. 3, 4). 또한 분지 밖의 풍화대는 공통적으로 약 40 m의 깊이를 보이고 있다.

분지 경계는 동쪽과 서쪽에서 모두 약 2000 ohm-m를 기준으로 구분되고있다. 그러나 분지 안의 전기비저항은 동쪽 경계의 측선 SE에서는 200-500 ohm-m(Fig. 3c), 서쪽 경계의 측선 AL에서는 100 ohm-m 이하(Fig. 4a)로서 뚜렷이 구분되고 있는데 이것은 동쪽 단면과 서쪽 부정합면과의 반응 특성이라기 보다는 분지 경계 부근에서의 암석분포(동쪽 경계: 역암, 서쪽 경계: 역질 사암 및 이암)에 대한 특성으로 해석된다. 또한 동쪽의 분지경계(Fig. 4c)는 서쪽 경계(Fig. 5a)

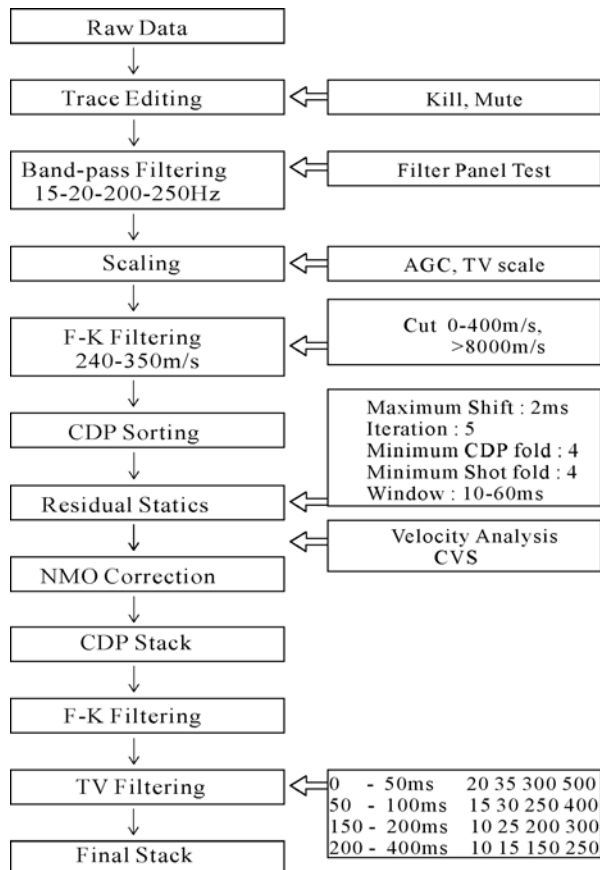


Fig. 2. Processing flowchart used for data processing.

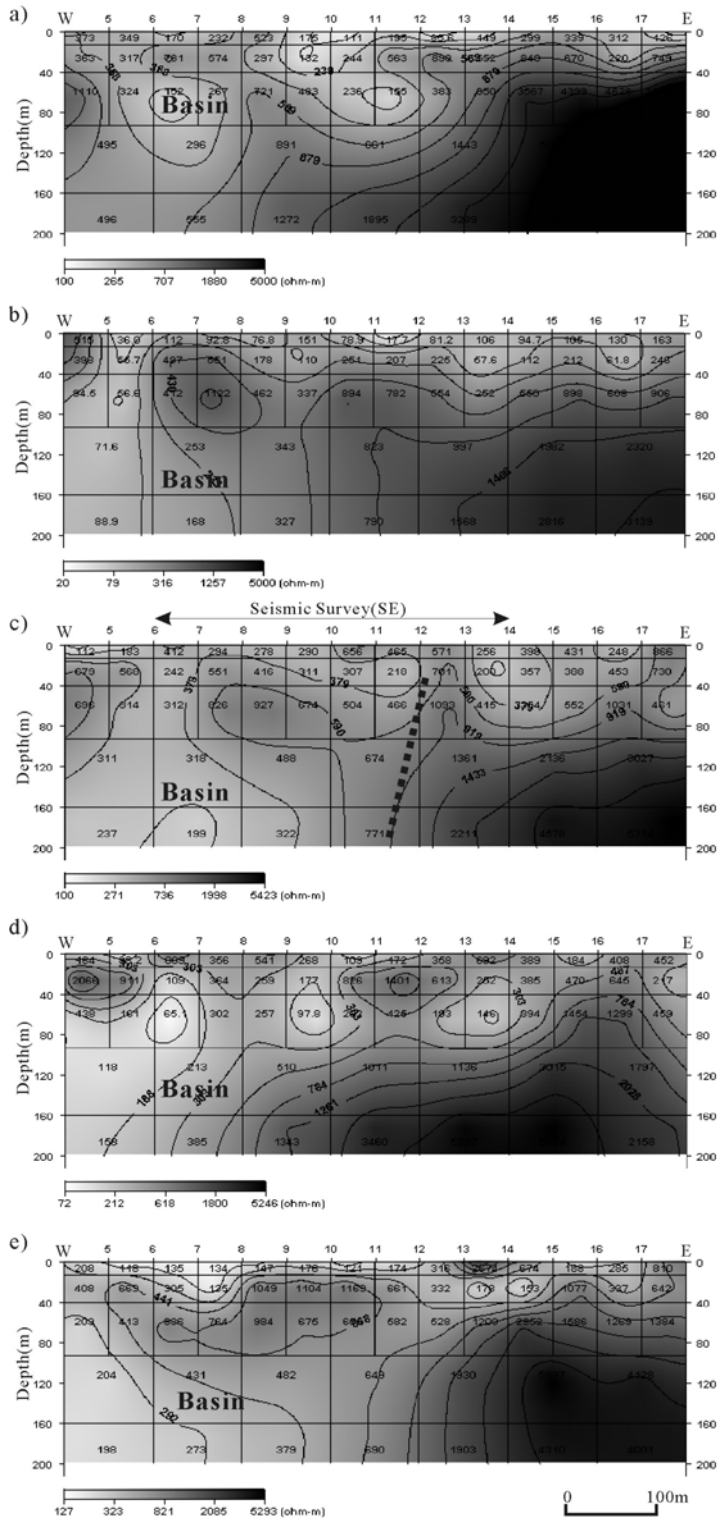


Fig. 3. Dipole-dipole resistivity sections for the lines of (a) HJ, (b) SC, (c) SE, (d) MA, and (e) JJ.

보다 비교적 급한 경사를 보이고 있는데 이 특성들은 각각 단층면과 부정합면의 구조와 부합될 수 있는데 이에 대한 정확한 해석을 위해서는 다른 지질자료 및 지구물리자료가 추가 해석되어야 할 것으로 보인다. 서쪽 경계의 JD 축선 전체에 걸쳐 고비저항대가 두루 나타나는 것은 분지의 중앙지역에 우세하게 분포하는 화산암의 영향으로 해석된다.

분지 경계에 대한 탄성과 반응은 각 지역의 구조 및 지질구조에 따라 달리 나타날 수 있는데 여기서는 분지의 동쪽 경계가 되는 단층면과 서쪽 경계가 되는 부정합면에 대한 탄성과 반응을 살펴보고자 축선 SE와 축선 AL의 부분에서 탄성과 반사법 탐사를 실시하였다.

분지내의 반사면은 대체로 3개의 주요 반사면을 보이는데(Fig. 5a) 30-40 ms에 분포하는 상부 이

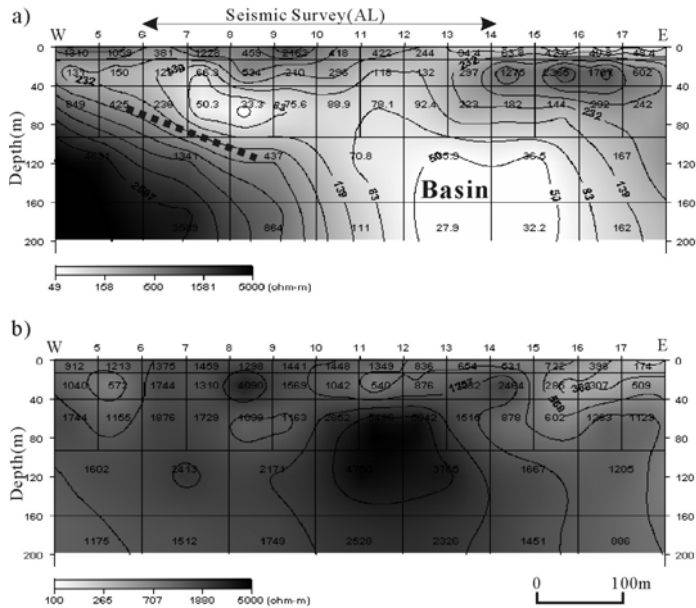


Fig. 4. Dipole-dipole resistivity sections for the lines of (a) AL and (b) JD.

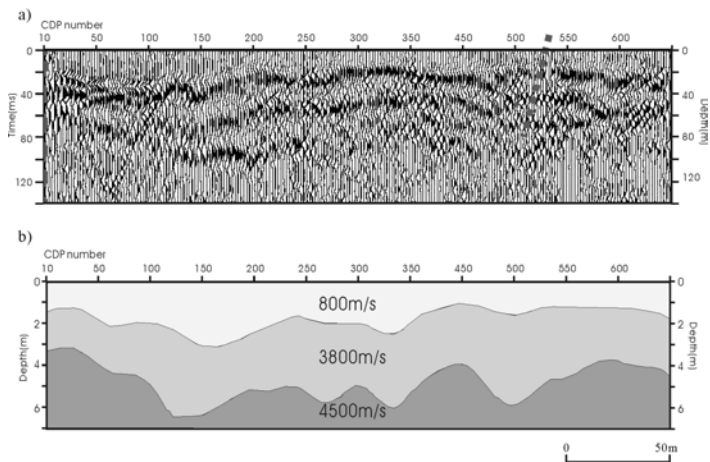


Fig. 5. Seismic results for the line SE. (a) reflection section, (b) refraction GLI inversion.

벤트는 전기비저항단면도에서 해석된 저비저항대의 풍화대 깊이에 해당된다(Fig. 3a). CDP 번호 525 부근의 급경사(70° 이상) 구조는 단층선으로 해석하였는데(Fig. 5a) 단층구간에서는 진폭이 상당히 감쇠되어 있고 분지 안에 발달된 층서들은 분지 밖의 기반암환경에서는 일관되게 나타나지 않는다. 반사법탐사에서 수반된 파의 방사(radiation) 효과로 충분히 규명되지 못한 30-40 m 이하의 불연속면을 굴절법 초동으로 분석하였는데 역산결과 전기비저항탐사와 탄성파반사법탐사에서 확인된 경계가 여기서도 효과적으로 나타난다.

서쪽 경계에 대한 탄성파반사법 단면도(Fig. 6a)에서는 분지 안의 층서들이 일관되게 보이는데, 이것은 전기비저항 단면도(Fig. 4a)에서 분지 경계면이 지표까지 나타나지 않고 있다는 점과 일치한다. 이로써 서쪽 경계면은 보다 완만하게 경사져 있음(35° 이하)을 추측할 수 있는데 이 점이 부정합면을 가리키는 한 지시자가 될 수 있다. 탐사자료에서 해석된 탄성파속도(Figs. 5b, 6b)와

전기비저항값은 서쪽 경계가 동쪽 보다 작게 나타나고 있는 점으로 뒷받침될 수 있다(Table 2).

5. 결론

영동분지 북부 지역의 동쪽경계와 서쪽경계에서 얻어진 전기비저항 및 탄성파탐사자료의 해석 결과는 다음과 같다.

1. 분지의 동쪽경계에 해당되는 HJ(화장), SC(신천), SE(상이), MA(모야골못), JJ(장자골)와 분지의 서쪽경계에 해당되는 AL(아랫쇠골), JD(작도) 축선의 자료 해석결과 동쪽 경계와 마찬가지로 예상 경계선을 기준으로 저비저항대의 퇴적암은 분지 밖의 결정질암과 뚜렷이 구분되고 있다.
2. 분지 동쪽 및 서쪽경계는 각각 급경사(70° 이상) 및 완경사 (35° 이하)로 특징되는 단층면과 부정합면의 특성을 보인 것으로 해석된다
3. 탐사자료에서 해석된 탄성파속도와 전기비저항 값을 참고로 할 때 서쪽 경계 및 동쪽 경계

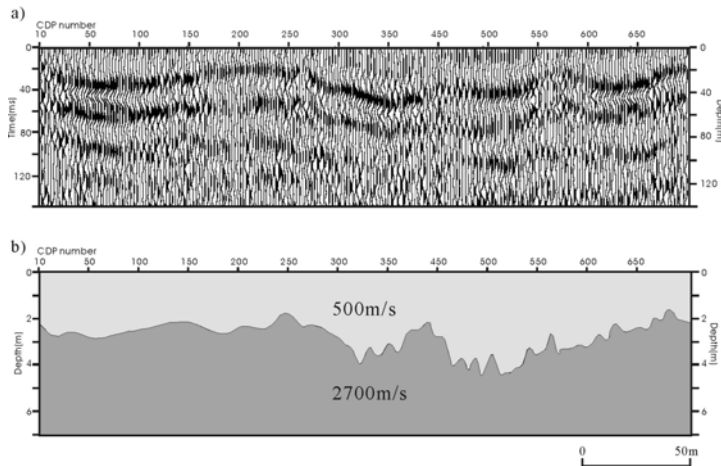


Fig. 6. Seismic results for the line AL. (a) reflection section, (b) refraction GLI inversion.

Table 2. Physical properties and geometry of the eastern and western margins.

	Eastern Margin	Western Margin
Electrical resistivity of basin fills (ohm-m)	200-500 ohm-m	less than 100 ohm-m
Seismic velocity of the top and second layers (m/s)	800 m/s, 3800 m/s	500 m/s, 2700 m/s
Dipping trend of basin boundaries	subvertical(>70°)	gentle(<35°)

는 각각 단층과 부정합의 특성을 가진 것으로 보인다.

4. 단층면과 부정합면의 구조에 대한 정확한 해석을 위해서는 다른 지질자료 및 지구물리자료가 추가 해석되어야 할 것으로 보인다.

사 사

이 연구는 한국과학재단 특정기초과제(98-0703-02-01-3)에 의한 연구결과이며 재단의 재정적 지원에 감사드립니다.

참고문헌

김규봉, 황재하, 1986, 1:50000 영동도폭, 국립지질조사소.
 김동학, 이병주, 1986, 1:50000 청산도폭, 국립지질조사소.
 김지수, 한수형, 이철우, 김복철, 양우현, 손호웅, 손영관, 2000, 영동분지(백악기) 남동부의 전기비저항 및 탄성파탐사자료 해석, 대한지구물리학회지, 3, 77-90.
 원종관, 김기태, 1969, 1:50000 상주도폭, 국립지질조사소.
 Aydin, A. and Nur, A., 1982, Evolution of pull-apart basins and their scale independence, *Tectonics*, 1, 91-105.
 Chough, S.K., Lee, H.J., and Yoon, S.H., 2000, *Marine Geology of Korean Seas*, Elsevier, Amsterdam, 313.
 Christie-Blick, N. and Biddle, K.T., 1985, Deformation and basin formation along strike-slip faults: in *Strike-Slip Deformation, Basin Formation and Sedimentation*, K.T. Biddle and N. Christie-Blick, Eds,

SEPM Spec. Publ., 37, 1-34.
 Crowell, J.C., 1982, The tectonics of Ridge Basin, southern California: in *Geologic History of Ridge Basin, Southern California*, J.C. Crowell and M.H. Link, Eds., Pacific Section, SEPM, Los Angeles, 25-41.
 Dickinson, W.R., 1993, Basin geodynamics, *Basin Research*, 5, 195-196.
 Dickinson, W.R., 1997, Panel throws down gauntlet, *GSA Today*, 9, 25.
 Dipro, 1996, Electrical resistivity dipole-dipole data processing software, Hi-Song Ltd., Korea.
 GLI3D, 1998, Hampson and Russell Software Services Ltd.
 Ingersoll, R.V. and Busby, C.J., 1995, Tectonics of sedimentary basins: in *Tectonics of Sedimentary Basins*, C.J. Busby and R.V. Ingersoll, Eds., Blackwell Scientific Publications, Cambridge, 1-51.
 Kim, B.C., 1996, Sequential development of depositional systems in a strike-slip basin: southern part of the Cretaceous Yongdong Basin, Korea, Ph.D. thesis, Yonsei University, 334.
 Lee, D.W., 1990, Sedimentation and tectonic evolution of the Cretaceous Yongdong Basin, Korea, Ph.D. thesis, Korea University, Seoul, 273.
 Mann, P., Hempton, M.R., Bradley, D.C. and Burke, K., 1983, Development of pull-apart basins. *Journal of Geology*, 91, 529-554.
 SU, 1995, Seismic Unix, Colorado School of Mines.
 Vista, 1999, seismic data processing software, SiS Ltd., Canada.

2002년 11월 6일 원고접수
 2002년 12월 23일 원고채택