

고해상도 탄성파자료를 이용한 풍암분지 북동부의 퇴적구조 및 퇴적환경 연구

김기영* · 허식**

* 강원대학교 지구물리학과 · **한국해양연구소 해양지질연구단

요 약

백악기 육성 퇴적분지의 하나인 풍암 퇴적분지 북동부 경계부근에서 획득한 고해상도 탄성과 중합단면을 탄성과 층서학적인 측면에서 해석하고, 지표 지질 및 구조 연구 결과와 비교하여 분지 경계의 지층 특성을 구명하였다. 분지의 경계단층, 부정합면 등의 지질구조를 인지하였고, 퇴적층을 연대가 젊은 층부터 차례로 층군 I, II, III의 3개 층군으로 구분하였다. 단층 양태 및 반사파 특성으로부터 풍암분지 북동부는 주향이동단층에 의해 분지가 형성되었고, 단층대를 따라 횡인장 운동에 의해 정단층들이 분지 경계부근에 발달한 것으로 생각된다. 퇴적층은 350-400 m 정도의 두께로 음향기반암인 선캠브리아기 흑운모 편마암을 피복하고 있으며, 음향기반암의 배사구조와 관련하여 층군 III의 퇴적층은 서쪽으로 경사진 층상구조를 보인다. 또한 층군 II의 하부층이 퇴적된 이후에 동쪽의 단층대가 급격히 상승하여, 상승된 부분이 침식되면서 퇴적물이 서쪽으로 이동하여 두꺼운 퇴적층을 형성하였을 것으로 추측된다. 특히 퇴적층내의 반사특성이 뚜렷한 경향을 보이지 않는 것은 퇴적물이 분지내에 충전된 후 주향이동의 지구조 운동을 받아 변형되었음을 암시한다.

주요어: 풍암분지, 고해상도 탄성파, 탄성파 층서학, 단층대, 음향기반암

Kim, Ki Young and Huh, Sik, 1999, Interpretation of Sedimentary Structure and Depositional Environment Based on a High-Resolution Seismic Profile across the Northeastern Boundary of the Pungam Basin. Journal of the Korean Geophysical Society, v. 2, n. 2, p. 91-99.

ABSTRACT: A high-resolution seismic profile acquired across the northeastern boundary of the Pungam Basin, one of the Cretaceous sedimentary basins in Korea, has been interpreted to delineate subsurface geological structures across the basin boundary. We identified boundary faults and unconformity surfaces of the basin and divided sediment body into three seismic depositional units (Units I, II, and III from youngest to oldest). Inferred from fault geometry and type, northeastern part of the Pungam Basin has been formed by a strike-slip fault whereas the normal faults near the boundary were formed by transtensional movement along a fault zone. A 350-400 m thick sediment layer is overlying the Precambrian gneiss. Bedding planes of Unit III are dipping westward and are closely related to an anticline in the acoustic basement. Unit II is also tilted westward, suggesting that the eastern part of the fault zone was uplifted after deposition of lower part of the sedimentary body. Afterward, the uplifted sediment layers were eroded and transported to the western part of the basin. Chaotic reflection pattern of sedimentary Units II and III may suggest that strike-slip movement along the fault zone deformed basin-filled sediments.

Key words: Pungam Basin, high-resolution seismic, depositional units, fault zone, acoustic basement

(Kim, Ki Young, Department of Geophysics, Kangwon National University, 192 Hyoja-2-dong, Chuncheon, 200-701, Korea; Huh, Sik, Marine Geology and Geophysics Division, Korea Ocean Research & Development Institute Ansan P.O. Box 29, Ansan, 425-600, Korea. e-mail: kykim@cc.kangwon.ac.kr)

1. 서 론

1980년대부터 급속히 발전되고 있는 고해상도(high-resolution) 반사파 조사법은 고주파 성분을 많이 사용하여 지표 근처의 지질구조 등을 구명하는데 적용되기 때문에 석유나 가스 탐사를 목적으로 하는 전통적인 반사파 탐사와는 자료 획득 및 처리 방법에 차이가 있다(Burger, 1992).

이러한 고해상도 반사법은 여러 지질공학 분야 및 환경분야에 널리 적용되고 있다. 대표적인 적용 사례로는 지하수 개발 및 감시(Liberty, 1998; Bachrach · Nur, 1998), 핵폐기물 처리 부지조사(Green · Mair, 1983; Juhlin, 1995), 지하공동 탐지(Miller *et al.*, 1997; Kourkafas · Goultz, 1996), 댐체 주변조사(Butler *et al.*, 1990) 등이 있고, 그 밖의 해양환경(Nielsen *et al.*, 1990) 및 육상 환경조사(Steeple · Miller, 1990) 등이 발표된 바 있다. 또한 단층탐지(Bruner · Landa, 1991; Shtivelman *et al.*, 1998), 빙퇴적구조 및 기반암면 영상화(Büker *et al.*, 1998; Goforth · Hayward, 1992), 조간대 퇴적층 연구(Corsmit *et al.*, 1988; Jongerius · Helbig, 1998) 등의 순수 학술 목적으로도 널리 사용되고 있다.

국내에서 고해상도 탄성파 반사법 적용은 매우 제한적이며, 수년 전부터 일부 결과가 발표되고 있다. Kim (1995)은 반사법으로 춘천 하도의 현생 퇴적구조를 밝힌 바 있으며, 김기영 외(1996, 1997), 정성태 외(1996), 김현규 · 김기영(1998), Kim · Kim (1997)은 진안 퇴적분지와 풍암 퇴적분지가장자리에서 이 방법을 적용시켜 지하 지질구조를 연구하였다. 그 밖의 최근 연구사례로는 김규한 외(1999)에 의한 동래단층 지역의 천부 지질구조 연구와 서만철(1999)의 택지개발을 위한 기반암 상태에 관한 연구 등이 보고되고 있다.

이 연구는 김현규 · 김기영(1998)이 단층해석을 실시한 바 있는 풍암 퇴적분지 경계부의 고해상도 탄성파 중합단면을 탄성파 층서학적인 측면에서 해석하고, 지표 지질 및 구조 연구 결과와 비교하여 분지 경계의 지층 특성을 구명할 목적으로 실시하였다. 논문의 독립성을 위하여, 당시 적용한 자료 획득 및 전산처리 내용에 관하여 간결하게 소개한다.

2. 일반 지질

풍암분지(Fig. 1)는 한반도 중부의 강원도 홍천군과 횡성군 일부에 걸쳐 분포하는 비교적 작은 규모의 중생대 백악기 퇴적분지로서, 한반도를 북동-남서 방향으로 가로지르는 주향이동 단층대를 따라 분포하고 있는 여러 육상 퇴적분지 중의 하나이다. 역암, 사암, 이암, 응회암, 화산력암 등의 쇄설성 퇴적암으로 구성되어 있는 이 지역 퇴적암층은 300-500 m 정도의 두께로 7×20 km의 면적에 노출되어 있고, 기반암인 선캄브리아기 편마암류와 시대 미상의 복운모 화강암을 부정합적으로 덮고 있다(강필중 · 진명식, 1972).

Cheong · Kim (1997)은 이 분지내의 퇴적암을 암종과 입도, 일차 퇴적구조 및 퇴적층 형태에 따라 12개의 퇴적상으로 분류한 바 있으며, 퇴적 환경을 선상지 및 충적평원과 이에 인접한 호수 환경의 상부, 중부, 하부로 해석하였다. 분지 발달 과정에서 화산퇴적물이 가장 우세하였고 결국 퇴적층은 쇄설암으로부터 화산쇄설성 암석으로 변화되었다.

풍암분지는 압축형 주향이동 변형환경에서 형성된 단층연변 침하지(fault margin sag) 또는 횡압축분지(transpressional basin)로, 이 분지의 백악기 퇴적암 내에 발달된 지질구조 요소분석 결과, 분지의 북동쪽과 남서쪽에서 각각 금왕단층의 인장형과 압축형 주향이동 운동에 의해 분지가 형성되었다(이희권, 1998).

3. 자료 획득

분지 경계의 지질구조 및 퇴적층서 연구를 위하여 조사측선은 지질도 상에 퇴적암과 편마암의 경계로 추정되는 곳을 가로지르도록 설정되었다(Fig. 1). 조사지 주변에는 하천이 흐르고 있으며, 지표는 대부분 왕자갈(boulder) 및 모래로 덮여 있다. 자료획득변수는 Table 1에 요약하였다. 측선상의 3 m 간격 측정마다 광파거리 측량기를 이용하여 측정오차 ±3 mm/km 이내로 고도를 측정하였으며(Geotronics AB, 1996), 측정자료는 자료처리 정보정 단계에 이용되었다. 100 kg 철구를 2.3 m 높이에서 철판 위에 자유낙하시켜 지진파를 발생시켰으며(Fig. 2), 12채널 Bison 8012A 장비를 이용하여 총 107개 기록을 얻었다. 타격 및 지오폰 간격을 모두 3 m로 하여 600%의 공심점(common midpoint) 자료를 얻었다. 0.2 ms 샘플간격으로

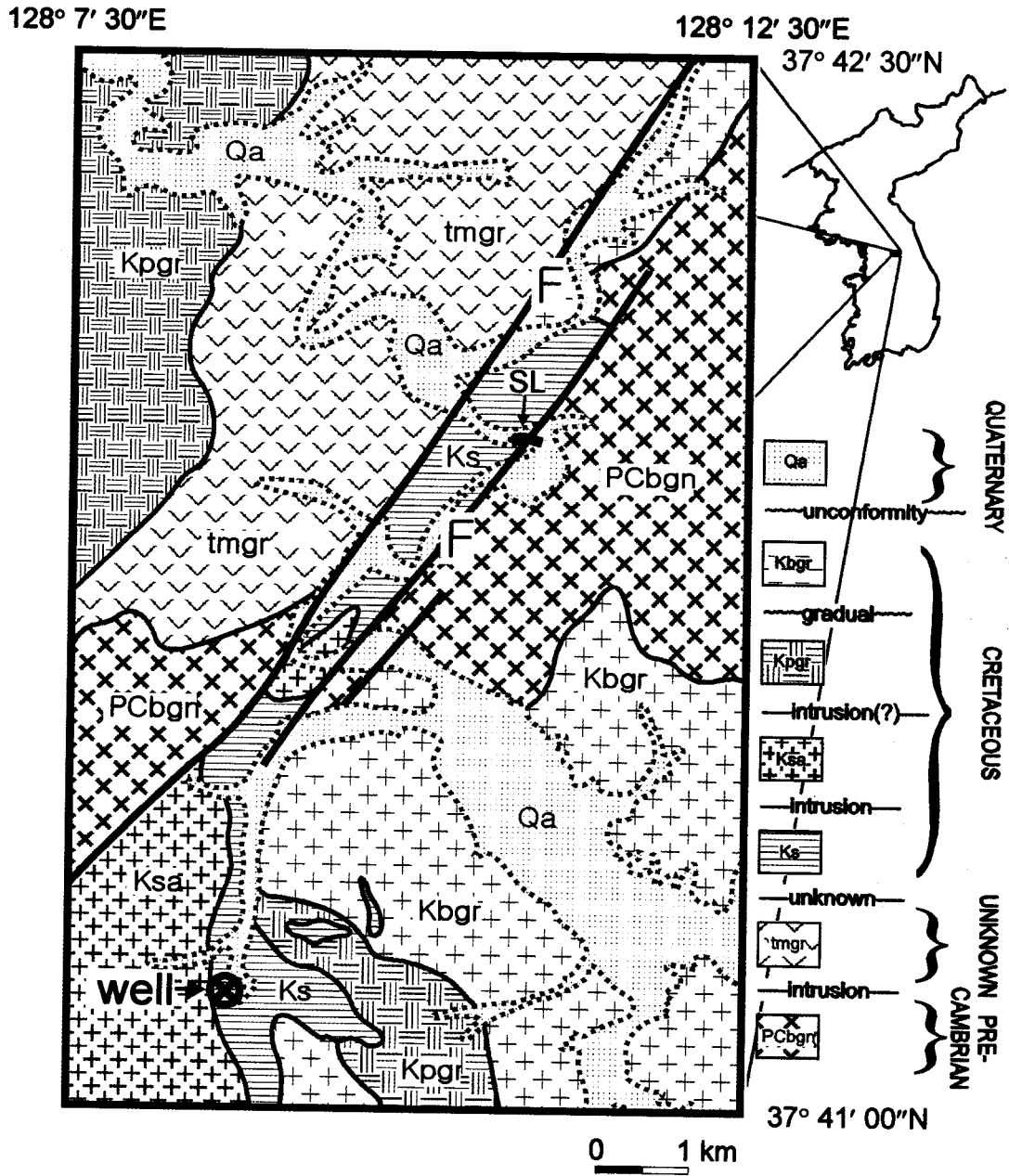


Fig. 1. Geologic map of the study area. Symbol 'SL' indicates location of the seismic profile across the northeastern boundary of the Pungam sedimentary basin. The Keumwang fault zone and the well location are indicated with 'F' and '⊗', respectively.

Table 1. Acquisition parameters.

Source	
Type	100 kg weight at 2.3 m $\phi=40$ cm, $t=3$ cm steel plate
Shot interval	3 m
Receiver	
Type	100 Hz geophone
Interval	3 m
Recorder	
Record length	192 ms
Sampling interval	0.2 ms
Analog filter	75-475 Hz (Butterworth)
Gain type	Programmed (6 dB/48 ms)
Layout	
Shooting method	End-on
Number of channel	12
Near-trace offset	18 m
CMP coverage	Nominal 600 %

192 ms 동안 기록하였으며, 6 dB/48 ms의 계단형 이득함수를 사용하여 장비의 다이내믹 범위를 넓혔다. 고주파 성분을 많이 기록하기 위하여 파원 및 수신 배열을 사용하지 않았으며, 근거리 율셋을 18 m로 정하고 100 Hz 고해상도 지오폰과 75 Hz 고주파 통과필터를 사용하여 레일리파가 최소한으로 기록되게 하였다.

4. 자료 처리

자료처리 순서는 일반적인 처리과정을 따랐다 (Fig. 3). 전처리로는 포맷 변환, 실진폭 회수, 고도 보정 등의 과정이 포함된다. 레일리파 감쇠를 위하여 주파수-파수 필터를 공발점(common shot point)과 공수점(common receiver point) 모음자료에 각각 적용시킴으로서, 레일리파를 비롯한 1500 m/s 보다 작은 속도의 탄성과 에너지를 효과적으로 감쇠시켰다. 반사파 도달 이전의 일관성 잡음인 직 접파 및 굴절파와 반향파들은 각각 초기뮤트와 중합전 디콘볼루션 과정을 통하여 제거하였다. 수직 해상도를 높이기 위하여 예측 디콘볼루션을 적용하였으며, 적용한 변수로는 연산자 길이 88 ms, 예측거리 9 ms, 백색잡음 수준 0.1%이다. 또한 100-350 Hz, 75-150 Hz, 50-150 Hz의 대역을 갖는 시변대역필터(time-variant bandpass filter)를 적용하여, 지표 근처의 세밀한 구조 파악과 깊은 부분의



Fig. 2. Generation of seismic wave using the 100 kg weight-drop system driven by a DC electric motor.

지질구조 영상화를 동시에 이루도록 하였다.

속도분석은 상속도 중합법(constant velocity stack)을 이용하였으나, 낮은 신호대 잡음비, 600%의 공심점 중첩도, 최대 51 m의 짧은 전계거리 등으로 정확한 속도분석에 어려움이 있었다. 이를 보완하기 위하여 상부층 속도는 굴절파로부터, 하부층의 경우는 김기영·김현규(1997)가 이 퇴적분지내의 시추공에서 수직탄성파(VSP) 방법으로 측정한 결과를 이용하였다. 지표의 기복, 풍화대 두께, 풍화대 속도의 급격한 변화 등의 효과를 제거하기 위하여 중합단면도(Fig. 4a) 상의 공심점 1번 반사주시 35 ms와 공심점 200번, 반사주시 20 ms를 연결하는 반사면을 기준으로 중합전 잔여 정보정을 실시하였다.

5. 자료 해석

연구지역의 퇴적층은 북동쪽에서 단층접촉에 의해 선캠브리아기의 편마암과 접하고 기반암인 흑

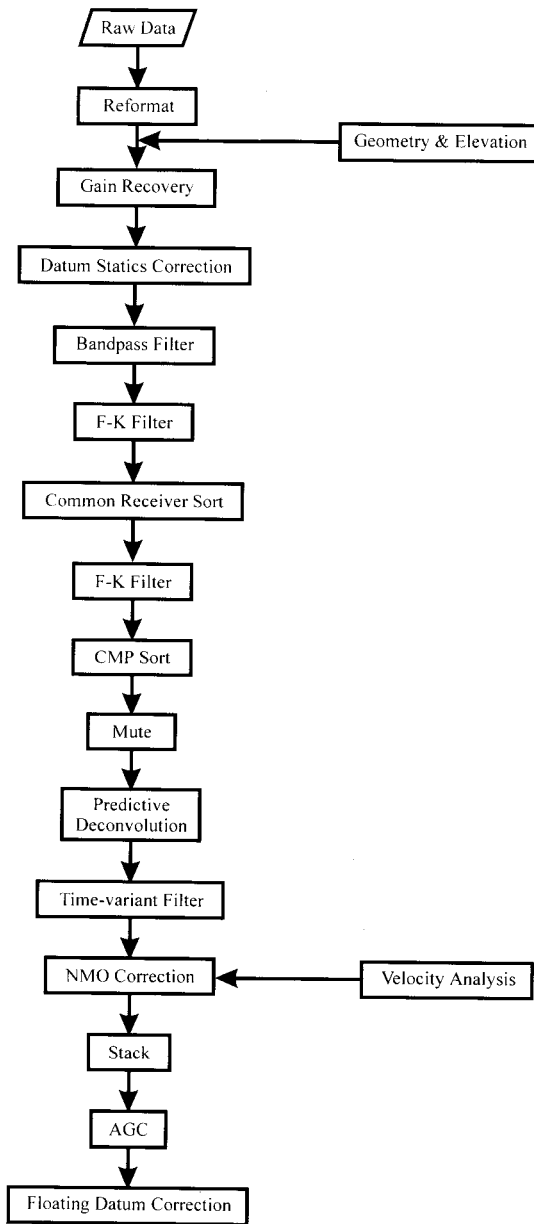


Fig. 3. Major processing sequence.

운모 편마암을 피복하고 있다(Fig. 1). 풍암분지의 주요 지질구조로서, 고경사 좌수향 주향이동 단층대인 금왕단층대(이희권, 1998)는 탄성과 단면도 동쪽에 나타나고 있으며, 단면도상의 음향기반암에 나타난 정단층들은 주향이동 운동에 의한 전단

응력에 의해 생성되었으리라 추정된다(Fig. 4b). 특히 시추공 남쪽 약 2 km 지점에 위치한 봉명리 부근에 나타난 노두는 표고 700-800 m 정도의 능선에 발달한 화산쇄설성 퇴적암 노두로 정단층 구조를 잘 보여주고 있다. 이 노두는 현재 심하게 속성 변질을 받은 상태로 노출되어 있으며, 점이층리, 수평층리, 엽층리, 사층리 등의 퇴적구조가 잘 발달되어 있다(김경희, 1998). 이러한 정단층 구조들은 백악기 퇴적암이 퇴적된 후 풍암분지 북동쪽 지역에서 계속적인 신장형 주향이동변형을 받으며, 화강암의 관입, 광화작용 및 화산분출 등에 의해 퇴적암내에서 생성되었다.

연구지역의 퇴적층은 VSP 자료 및 굴절과 분석을 통한 속도분석(김현규·김기영, 1998)에 기초하여 연대가 젊은 층부터 층군 I, II, III 으로 나누고 탄성과 층서학적 경계면을 설정하였다. 연구지역의 퇴적층내에는 많은 정단층이 존재하며, 퇴적암과 편마암의 경계인 공심점 185-210 사이(30 ms 길이)에 40 m 정도의 폭을 갖는 단층대가 존재한다. 퇴적암과 편마암의 경계단층은 공심점 180-185 사이의 왕복주시 40 ms에서 음향기반암 하부까지 연장되어 나타난다.

연구지역내 퇴적층의 최상부에 위치한 층군 I은 탄성과 속도정보로부터 2개의 지층으로 구성되어 있는 것으로 분석되나, 중합단면도 상에서는 수직 해상도의 문제로 구분되지 않는다(Fig. 4b). 층군 I의 하부 지층은 구간속도(interval velocity)가 3,200 m/s로써 약간 풍화된 퇴적암이며 거의 일정한 두께를 보인다. 층군 I 상부의 지표는 속도가 1,500 m/s 정도인 미교결 토사층으로 구성되어 있고, 단면도상의 서쪽으로 가면서 두꺼워지는 경향을 보인다. 층군 I에는 단층구조가 나타나지 않는 것으로 보아 지구구조운동이 멈춘 안정된 상태에서 퇴적물이 퇴적되었음을 알 수 있다. 단지 동쪽 금왕단층 상부의 단층구조가 층군 I의 하부층까지 영향을 미친 것을 알 수 있다. 층군 I의 최대 두께는 40 ms이며 굴절과 속도를 이용하여 구한 표층의 두께는 약 4 m로 계산된다.

측선상의 층군 II와 III의 경계는 선상지 환경의 침식 부정합면으로, 반사면 경사와 반사특성에 뚜렷한 차이를 보인다. 즉, 단층에 의하여 단절된 반사형태를 보이는 하지만 중합속도를 이용하여 구한 층 경계면의 겉보기 경사가 30° W인데 반해, 층군 II의 지층면의 겉보기 경사는 평균 6° W로 이보다 훨씬 작으며, 층군 II내의 반사면이 위

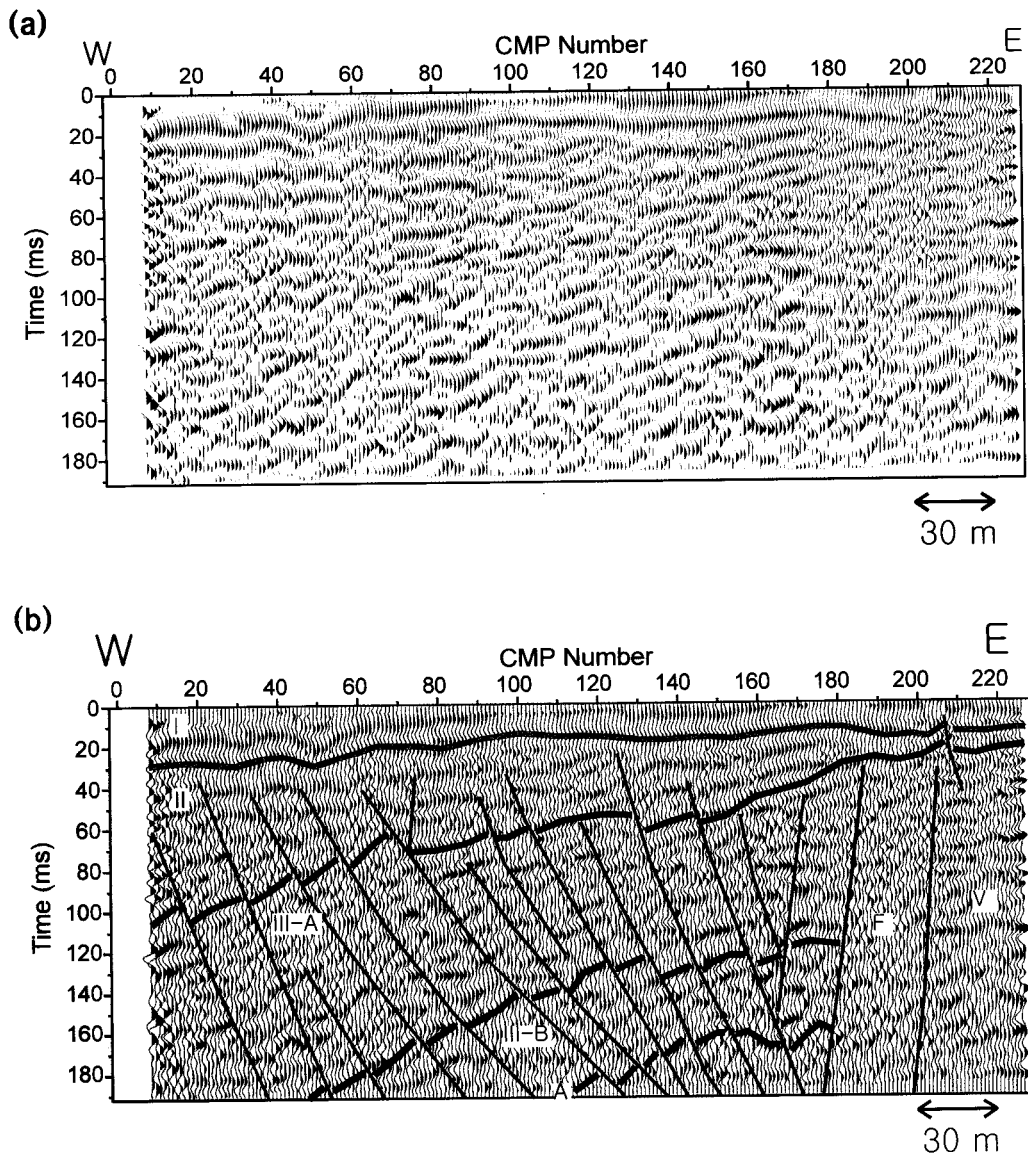


Fig. 4. Stack sections after residual static correction (after Kim and Kim, 1998): (a) uninterpreted and (b) interpreted sections. The interpreted section shows three major sedimentary units (Units I, II, and III) and the fault zone (F) between the sedimentary body and the biotite gneiss (Unit IV).

걸침(onlap)하는 형태로부터 추론할 수 있다. 속도 분석으로 구한 RMS (root mean square) 속도로부터 구간속도를 계산한 결과 층군 II는 평균 4,098 m/s 값을 보이며, 층의 최대 두께는 80 ms이다. 층의 두께는 서쪽으로 가면서 분산성 썸기(divergent wedge) 형태로 급격히 증가한다. 이는 층군 II의 하부층이 퇴적된 이후에 공심점 180-220 부근의 단층대(fault zone)가 급격히 상승하여, 상승된 부분과 단층 경계 주변의 기반암 및 근원암이 침식되면서 퇴적물이 서쪽으로 이동하여 퇴적되었기 때문으로 추론된다. 특히 층군 II의 중부층까지만 정단층의 영향이 미치는 것도 이 사실을 뒷받침한다. 층군 II의 하부층은 공심점 125를 기준으로 서쪽으로는 퇴적층내의 반사특성이 뚜렷한 경향을 보이지 않는데, 이는 조립질 퇴적물과 화산쇄설물을 많이 함유하고 있는 퇴적층이 분지내에 충진되며(Cheong · Kim, 1997) 주향이동의 지구조 운동을 받아(이희권, 1998) 변형되었음을 암시한다. 이러한 화산쇄설성 퇴적암상들의 조합은 심한 속성작용으로 현재는 많이 변질되어 있다. 화산쇄설물이 단층경계 하부에 쌓이게 된 재동작용과 화산활동 시 공중으로 분출했던 화산재가 주변부로 낙하하여 퇴적된 과정 등은 자료의 부족으로 추정하기가 힘들다. 단지 구성입자들이 상당부분 조립질 퇴적물과 화산쇄설물들이고(김경희, 1998) 깨진 입자들로 구성되어 있는 점은 반사형태의 불연속적인 퇴적양상으로부터 추론할 수 있다. 층군 II의 공심점 90-125 반사주시 26-40 ms 부근에 위치한 2개의 연속적인 둔덕(mound) 형태의 탄성과 유형은 야외 조사 결과를 토대(김경희, 1998)로 화산쇄설물, 역암 혹은 석회질 단괴일 가능성이 크다.

층군 III의 최대 두께는 130 ms이며 층의 두께가 서쪽으로 가면서 약간 증가한다. 이 층군은 탄성과 속도, 진폭의 상대 크기, 연장성 등을 기준으로 최대 두께 90 ms의 III-A와 60 ms의 III-B의 두 부분으로 나눌 수 있다. 층군 III의 속도는 VSP 자료로부터 평균 5,346 m/s로 구해지는데, 퇴적암의 속도가 이처럼 높은 이유는 이 지역의 화산암질 퇴적암이 열적 변질을 받아 공극률이 감소된 때문으로 분석된다(김기영 · 김현규, 1997). 층군 III의 퇴적층들이 서쪽으로 경사진 층상구조를 보이는 것은 공심점 115-180 사이에 보이는 음향기반암의 배사구조 형태와 밀접한 관계가 있다. 풍암분지는 금왕단층이 주향이동운동을 할 때 기반암 부분이 상승하여 형성되었기 때문에(이희권,

1998) 퇴적층내 정단층 구조들의 중심이 음향기반암 구조에 수렴되어 있으며, 화산쇄설류(volcaniclastic flow) 및 역암으로 추정되는 퇴적물이 퇴적 후 지하내부의 변형작용에 의해 생긴 경사를 따라 상부 선상지 환경(Cheong · Kim, 1997)에서 퇴적물이 이동하였을 것이다. 풍암분지 남동쪽에서 수행된 기존의 연구(김경희, 1998)와 비교하면, 음향기반암과 직접 접촉하는 퇴적층 III-B에는 편마암 또는 규암편이 많이 함유된 역암이 우세하게 관찰되리라 추정되는데, 이는 풍암분지 생성초기에 편마암 주변에서 최하부 퇴적층이 형성되었음을 시사한다. 이 유형의 상호합은 분지가 형성된 직후 선상지 환경에서 쇄설류에 의해 퇴적된 것으로 해석되며, 분지를 형성시킨 경계단층에 인접하여 이 선상지가 발달한 것으로 추정된다.

연구지역의 퇴적층은 선캠브리아기의 흑운모 편마암을 피복하고 있는데, 반사면 A를 음향기반암의 상부 경계면으로 해석할 경우, 이 퇴적분지의 퇴적암층 두께는 약 350-400 m이다. 풍암분지는 금왕단층의 계속된 재활동에 의해 주향이동 변형작용을 받아(이희권, 1998) 분지내 퇴적암에 습곡, 단층, 절리 등의 지질구조 요소들을 발달시켰다. 따라서 음향기반암의 많은 정단층 구조는 분지형성 초기부터 연구지역에 장력이 작용하고 있었음을 보여준다. 공심점 220, 왕복주시 20 ms 부근의 반사면에서 굴절된 파로부터 계산한 층군 IV의 편마암 속도는 약 5,083 m/s이며, 경계단층 부근의 편마암층은 매우 심한 울림현상(ringing)을 보여주고 있다. 지표와 편마암 사이의 반사계수가 크고 지표층이 얇으며 편마암내에 뚜렷한 층리가 없어 이러한 단주기 다중반사파가 강하게 나타나는 것으로 보인다.

6. 결론

백악기 육성 퇴적분지의 하나로서 전형적인 주향이동운동(strike-slip) 기원의 강원도 풍암분지에서 고해상도 반사파 탐사를 실시하여 자료를 해석하였다. 낮은 신호대잡음비와 불량한 반사면에도 불구하고 분지의 경계단층과 선상지 환경의 침식 부정합면 등의 지질구조를 인지할 수 있으며, 이로부터 분지의 생성 및 진화를 추론하였다.

연구지역의 퇴적층은 350-400 m 정도의 두께로 선캠브리아기의 흑운모 편마암을 피복하고 있는데, 이 음향기반암에도 정단층 구조를 보여 분지형성

초기부터 연구지역에는 장력이 작용하고 있었음을 알 수 있다. 수하리 일대의 분지 북동부 경계에 위치한 연구지역에는 울림현상이 심한 편마암과 퇴적암 사이에 폭 40 m 가량의 단층파쇄대가 존재한다.

연구지역의 퇴적층은 연대가 젊은 층부터 층군 I, II, III의 3개 층으로 나누었는데 각 층군의 특징을 살펴보면, 층군 I의 하부층은 약간 풍화된 풍화암이며, 상부의 지표는 속도가 비교적 느린 미교결 토사층으로 구성되어 있다. 층군 I에는 단층 구조가 나타나지 않아 지구조운동이 멈춘 안정된 상태에서 퇴적물이 퇴적되었음을 알 수 있다. 층군 II의 퇴적층 두께는 서쪽으로 가면서 분산성 켜기 형태로 급격히 증가한다. 이는 층군 II의 하부층이 퇴적된 이후에 단층대가 급격히 상승하여, 단층 경계 주변의 기반암 및 근원암이 침식되면서 퇴적물이 서쪽으로 이동하여 퇴적되었기 때문으로 추론된다. 또한 퇴적층내의 반사특성이 뚜렷한 경향을 보이지 않는 것은 퇴적층내의 조립질 퇴적물과 화산쇄설물이 분지를 충진하며 주향이동의 지구조 운동을 받아 심하게 변형되었음을 암시한다. 층군 III의 퇴적층들이 서쪽으로 경사진 층상구조를 보이는 것은 음향기반암의 상승한 배사구조 형태와 밀접한 관계가 있으며 퇴적층내 정단층 구조들의 중심은 이 음향기반암 구조에 수렴되어 있다.

이와같이 풍암분지 북동부에는 단층경계의 기반암과 근원암 지역으로부터 많은 양의 쇄설성 퇴적물을 공급받았다. 퇴적층의 형성과정 동안과 형성 이후에는 주변 지역의 활발한 지구조 운동과 화산 활동이 수반되어 화산쇄설물이 선상지 환경하에서 경계단층대를 따라 두껍게 퇴적되었다. 또한 퇴적층은 정단층, 습곡, 절리 등의 구조를 포함하여 퇴적층의 분포가 단속적이고 심하게 변형된 모습을 보인다. 풍암분지 퇴적암은 조립질 퇴적물과 화산 쇄설물이 가장 우세하여 연속성이 적은 반사면을 이루고 있고, 이들이 열변질 작용을 받아 공극률이 감소되어 일반 퇴적암보다 훨씬 높은 탄성파 속도를 갖는다.

사 사

이 논문은 한국과학재단에서 지원한 핵심전문연구(과제번호 961-0403-010-2)의 일환으로 수행되었음을 밝히며, 강원대학교 자원개발연구소의 부분

적 지원에 사의를 표합니다. 풍암 퇴적분지의 퇴적층서 및 지질구조에 관하여 좋은 의견을 주신 강원대학교 지질학과 정대교, 이희권 교수님과 퇴적학, 구조지질학 연구실 대학원생들, 그리고 심사과정에서 좋은 의견을 많이 제시하여 주신 군산대학교 이광훈 교수님과 한국자원연구소의 유동근 박사님께 진심으로 사의를 표합니다. 마지막으로, 뜨거운 햇살 아래 무거운 중력추를 운반하며 함께 땀 흘린 강원대학교 지구물리학과 대학원 및 학부 과정 학생들에게도 감사드립니다.

참고 문헌

- 강필중, 진명식, 1972, 한국 지질도 (1:50,000), 풍암도폭 및 설명서, 국립 지질조사소, 31 p.
- 김경희, 1998, 강원도 홍천군 북부지역 백악기 풍암분지 퇴적층의 퇴적학적 연구. 강원대학교 석사학위논문.
- 김규한, 공영세, 오진용, 이정모, 1999, 반사법 탄성파 탐사를 이용한 천부 지질 구조, 물리탐사학회지, 2, 8-16.
- 김기영, 정성태, 홍종국, 1996, 진안분지 경계 부근에서의 고해상도 반사파 조사 연구. 지질공학회 학술발표회 (확장 초록), 서울 중소기업회관, 6-13.
- 김기영, 김현규, 1997, 풍암분지 퇴적층의 지진파 속도 및 탄성계수 산출, 지질학회지, 33, 111-116.
- 김기영, 김현규, 정미숙, 우남철, 1997, 풍암 퇴적분지 어론리 경계 부근에서의 고해상도 반사파 조사 연구. 대한지질학회 제52차 학술발표회 (초록), 서울 한국과학기술회관, 14.
- 김현규, 김기영, 1998, 중력추를 이용한 풍암분지 경계 부근에서의 고해상도 반사파 탐사, 자원환경지질학회지, 31, 519-526.
- 서만철, 1999, 경북 포항시 일월동 택지개발지구의 지반상태 파악을 위한 탄성파 탐사, 지구물리, 2, 45-56.
- 이희권, 1998, 백악기 풍암분지에 대한 구조지질학적 연구, 지질학회지, 34, 121-136.
- 정성태, 김기영, 홍종국, 1996, 고해상도 반사파를 이용한 진안분지 경계 해석 연구. 대한지질학회 제51차 학술발표회 (초록), 부산 부경대학교, 65.
- Bachrach, R. and Nur, A., 1998, High-resolution shallow-seismic experiments in sand, Part I: Water table, fluid flow, and saturation, Geophysics, 63, 1225-1233.
- Bruner, I. and Landa, E., 1991, Fault interpretation from high-resolution seismic data in the northern Negev, Israel, Geophysics, 56, 1064-1070.
- Büker, F., Green, A.G., and Horstmeyer, H., 1998, Shallow

- seismic reflection study of a glaciated valley, *Geophysics*, 63, 1363-1370.
- Burger, H.R., 1992, Exploration Geophysics of the Shallow Subsurface, Prentice Hall, Englewood Cliffs.
- Butler, D.K., Llopis, J.L., Dobecki, T.L., Wilt, M.J., Corwin, R.F., and Olhoeft, G., 1990, Comprehensive geophysics investigation of an existing dam foundation, *The Leading Edge*, 9, 44-53.
- Cheong, D. and Kim, K., 1997, Sedimentary basin analysis of the tectonic-controlled cretaceous Poongam basin in mid Korea: in Jang, B.A. and Cheong, D., Eds., *Crustal Evolution in Northeast Asia*, 4th Korea-China Joint Geology Symposium. Chunchon, 133-139.
- Corsmit, J., Versteeg, W.H., Brouwer, J.H., and Helbig, K., 1988, High-resolution 3D reflection seismics on a tidal flat: acquisition, processing and interpretation, *First Break*, 6, 9-23.
- Geotronics A.B., 1996, Geodolite 506 User Manual (Preliminary), Publication Number 571-701-081, Geotronics AB, Sweden.
- Goforth, T. and Hayward, C., 1992, Seismic reflection investigations of a bedrock surface buried under alluvium, *Geophysics*, 57, 1271-1227.
- Green, A.G. and Mair, J.A., 1983, Subhorizontal fractures in a granitic pluton: Their detection and implimentations for radioactive disposal, *Geophysics*, 48, 1428-1449.
- Jongerijs, P. and Helbig, K., 1998, Onshore high-resolution seismic profiling applied to sedimentology, *Geophysics*, 53, 1276-1283.
- Juhlin, C., 1995, Imaging fo fracture zones in the Finnsjön area, central Sweden, using the seismic reflection method, *Geophysics*, 60, 66-75.
- Kim, H.K. and Kim, K.Y., 1998, High-resolution seismic survey using weight-drop at the boundary of Pungam Basin, *Econ. Environ. Geol.*, 31, 519-526.
- Kim, K.Y., 1995, Shallow seismic profiling on Hah island in Chuncheon, Korea, AGU Fall Meeting, San Francisco, U.S.A., 401.
- Kim, K.Y. and Kim, H.K., 1997, High-resolution seismic survey in the Pungam sedimentary basin of Korea. AGU Spring Meeting, Baltimore, U.S.A., 210.
- Kourkafas, P. and Gouly, N.R., 1996, Seismic reflection imaging of gypsum mine workings at Sherburn-in-Elmet, Yorkshire, England, *European Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 1, 53-63.
- Liberty, L., 1998, Seismic reflection imaging of a geothermal aquifer in an urban setting, *Geophysics*, 63, 1285-1294.
- Miller, R.D., Villella, A., and Xia, J., 1997, Shallow high-resolution seismic reflection to delineate upper 400 m around a collapse feature in central Kansas, *Environmental Geophysics*, 4, 119-126.
- Nielsen, T., Dreyer, J.M., Frederiksen, K.M., and Rasmussen, G.J., 1990, Using shallow seismics in marine environmental studies, *First Break*, 8, 166-175.
- Shtivelman, V., Frieslander, U., Zilberman, E., and Amit, R., 1998, Mapping shallow faults at the Evrona playa site using high-resolution reflection method, *Geophysics*, 63, 1257-1264.
- Steeple, D.W. and Miller, R.D., 1990, Seismic reflection methods applied to engineering, environmental, and groundwater problems, in Ward, S.H. ed. *Geotechnical and Environmental Geophysics, Investigations in Geophysics*, n. 5, p. 1-30, Society of Exploration Geophysicists.

1999년 2월 11일 원고접수

1999년 6월 2일 원고채택