

## 백악기 풍암 퇴적분지의 생성 진화와 퇴적물 기원

# Basin evolution and provenance of sediments of the Cretaceous Poongam sedimentary Basin

정대교 (Daekyo Cheong) · 김경희 (Kyunghee Kim)

### 요 약

백악기 풍암 퇴적분지는 강원도 홍천군 서석면과 횡성군 청일면 일대에 분포하는데 퇴적층은 역암, 사암, 이암과 화산 쇄설암으로 구성되어 있으며 분지는 주향이동 단층대를 따라 발달한 단층 연변 침하지 (fault margin sag) 또는 횡압축 분지 (transpressional basin)로서 생성된 것으로 추정된다. 분지 형성 초기에는 단층 경계로 접촉하고 있는 주변의 기반암과 근원암으로부터 초기엔 많은 양의 쇄설성 퇴적물을 선상지 환경 하에서 공급받았으나, 후기에 이르러는 주변 지역에서의 화산 분출에 의한 화산 쇄설물의 추가 공급으로 호성과 선상지 환경 하에 두꺼운 퇴적층이 축적되었다. 풍암분지 퇴적층을 구성하는 사암은 기질의 함량이 높고 장석이 풍부한 장석질 잡사암 내지 암편질 잡사암에 해당된다. 퇴적층의 하부에서 상부로의 광물조성의 뚜렷한 변화는 관찰되지 않으며, 지역에 따라라도 광물조성의 별다른 차이를 보이지 않는다. 풍암분지 퇴적암 내에 포함되어 있는 화산암편과 화산쇄설물 및 관입화산암에 대한 절대 연령 측정 결과 퇴적층 내 함유된 화산암과 퇴적 후 관입한 화산암은 대략 70~84 Ma의 비슷한 연대를 보이고 있는데 이는 퇴적층의 형성 이전과 퇴적작용 진행 중에, 그리고 퇴적층 생성 이후에 여러 번에 걸쳐 화산암의 생성과 화산쇄설물의 분출이 이루어졌음을 시사해주는 것이다. 즉 퇴적분지의 생성과 퇴적물의 유입과 분지 충전, 그리고 퇴적 직후의 화산암 관입과 분출이 백악기 후기의 비교적 짧은 기간 내에 연속적으로 발생했고 이러한 급격한 지구조 운동과 화산활동의 영향으로 풍암 퇴적분지 퇴적층은 전반적으로 지구조 우세의 전형적인 퇴적상인 조직적으로 미성숙한 조립질 쇄설성 퇴적상을 보이는 것으로 추정된다.

**주요어 :** 백악기 풍암분지, 단층 연변 침하지, 횡압축 분지, 암편질 잡사암, 절대 연령 측정, 지구조 우세 퇴적상

**Abstract :** The Cretaceous Poongam sedimentary Basin in Kangwon-do, Korea consists alluvial deposits of conglomerates, sandstones, mudstones or siltstones, and volcanoclastics. The Poongam Basin was formed as a fault margin sag or a transpressional basin developed along a strike-slip fault zone, and received huge amount of clastic sediments from the adjacent fault-scarp. It formed an aggrading alluvial fan system and a volcanoclast-supplied marginal lake environment, while tectonic activity and volcanism attenuated toward the end of basin formation. Following the Folk's classification, the sandstones of the Poongam Basin are identified as lithic wackes or feldspathic wackes. The areal and sequential variation of the mineral composition in the sandstones is not distinct. The results of K-Ar age dating from the intruding andesites, volcanoclastics and volcanic fragments in sedimentary rocks show a range of 70 Ma to 84 Ma. It suggests that volcanism occurred sequentially within a relatively short period as the pre-, syn-, and post-depositional events. It was the short period in the late Cretaceous that the basin had evolved i.e., the basin formation, the sediment input and fill, and the intrusion and extrusion of volcanic rocks occurred. The Poongam sedimentary sequence is a typical tectonic-controlled coarse sedimentary facies which is texturally immature.

**Key words :** Cretaceous Poongam Basin, fault margin sag, transpressional basin, feldspathic litharenites, K-Ar age dating, tectonic-controlled facies

### 서 론

백악기 풍암 퇴적분지는 강원도 홍천군 서석면과 횡성군 청일면 일대에 걸쳐 분포하는 소규모 백악기 육성 퇴적분지로서 현재 퇴적층의 전체적인 분포 규모는 북동-남서 방향을 따라 폭 7 km, 길이 20 km이고, 두께 약 300-500 m로 추정된다. 그러나 화산암이 퇴적층을 곳곳에서 중간에 절단하고 있어 실제 퇴적암의 분포면적은 이보다 훨씬 좁은 상태이다. 이는 유사한 시기에 형성된

것으로 보고되어 있는 공주 퇴적분지, 음성 퇴적분지 등의 퇴적층과 비교하여 보면, 상대적으로 층후는 얇고 폭은 좁으나 길이는 단층대를 따라 남북 방향으로 길게 신장되어 있는 편이다 (그림 1).

현재까지의 풍암 퇴적분지에 대한 지질학적 연구는 지질도폭 보고서 (강필중과 진명서, 1972; 원종관 외, 1989)와 이희권 (1998), 김경희와 정대교 (1999)를 제외하곤 없다. 풍암분지의 백악기 퇴적층은 북서쪽에서 단층 접촉에 의해 선택브리아기의

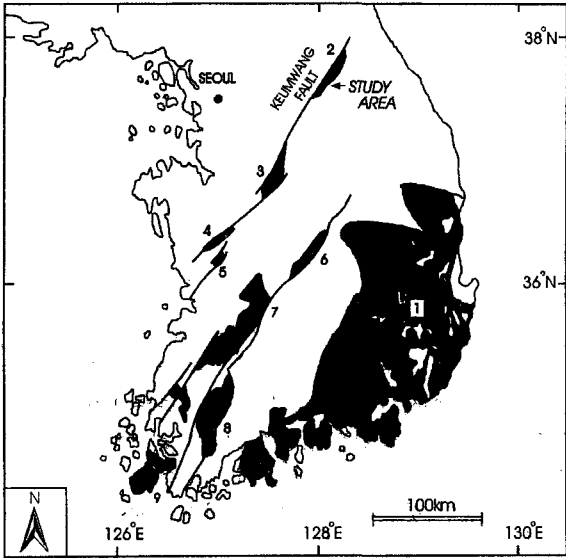
흑운모 편마암과 복운모 화강암과 접하고 있으며 주요 암상은 장석 사암과 자색의 사암, 이암 또는 실트암과 역암이다 (그림 1).

금번 연구에서는 백악기 육성 퇴적분지의 하나로서 전형적인 주향이동 (strike-slip) 단층에 의해 형성된 것으로 추정되는 풍암분지 퇴적층에 대한 야외조사를 실시하여 퇴적분지 형성에 관여한 것으로 추정되는 지구조운동에 대한 분석과 퇴적암 내에 관입 또

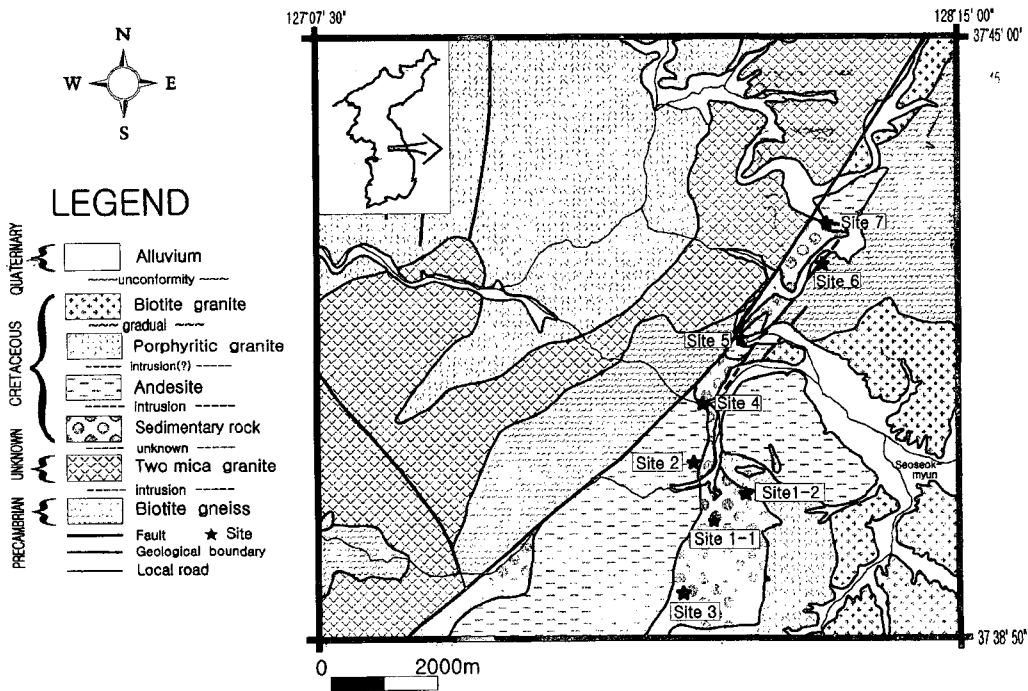
는 포획되어 있는 화산암의 연대 측정을 통해 풍암분지의 생성 및 진화과정을 해석하고, 특히 사암에 대한 퇴적암석학적 연구를 통해 퇴적 당시 분지 주변의 지질환경을 밝히고자 하였다.

**풍암분지의 생성에 관여한 지구조 운동**

중생대 동안 아시아대륙은 소규모의 여러 대륙들이 연속적으로 충돌하여 보다 큰 대륙으로 성장하였는데 (Taira *et al.*, 1983; Zhang *et al.*, 1984, 1990; Zhang, 1991; Maruyama *et al.*, 1986), 특히 트라이아스기 동안에는 Indosinian 조산운동 (한반도에서는 송림변동)을, 쥐라기-백악기 동안에는 Yenshanian 조산운동 (한반도에서는 대보조산운동)을 경험하였다. Indosinian 조산운동은 북중국 대륙과 남중국 대륙판의 충돌에 의해, Yenshanian 조산운동은 중국대륙과 인도차이나 대륙판과의 충돌에 의해 야기되었는데, 특히 Yenshanian 운동은 한반도의 지각변동에 많은 영향을 주어 화강암의 관입, 광화작용, 대규모 단층 작용 및 화산 분출과 같은 강력한 구조운동을 초래케 한 것으로 추정된다. 또한 Yenshanian 조산운동은 중국 대륙 내에도 Tanlu Fault와 Shikote Alin Fault와 같은 수 백 km의 긴 단층작용을 일으켰고 Yenshan Thrust Zone, Shanxi Fold Zone, 양자강 일대의 인장 변형대의 형성, 화성활동 등 다양한 형태의 구조 운동을 초래하였다 (Kimura and Kim, 1984). 이 시기 동안의 주향이동단층은 NNE-SSW 방향의 우수향 이동단층으로 (Ichikawa, 1981) 북중국판은 북쪽으로 이동하고 시베리아판 남쪽의 해양지각은 북중국판 아래로 침강하였으며 (Zhang *et al.*, 1984; McElhinnt *et al.*, 1981; Klimetz, 1986) 이로 인하여 한반도에서는 경상 퇴적분지를 비롯하여 크고 작은 육성 퇴적분지가 형성되었다 (Lee, 1990; 이제룡,



**Fig. 1.** Distribution of the Cretaceous sedimentary basins and fault pattern in the Korea Peninsular (Ryang, 1998). Numbers indicate Cretaceous nonmarine basins. 1; Gyeongsang, 2; Poongam, 3; Eumsung, 4; Gongju, 5; Buyeo, 6; Yeongdong, 7; Jinan, 8; Neungju, 9; Haenam Basins.



**Fig. 2.** Geologic map and sampling sites.

1990; 이영업, 1992). 따라서 이 시기에 형성된 한반도 남부의 육성 퇴적분지들은 대부분 유라시아판과 태평양판 (또는 Kula판) 사이 경계부에서 발생한 해령 섭입 (ridge subduction)과 관련된 주향이동단층에 의한 인리형 (pull-apart) 기원의 퇴적분지로 해석되고 있다 (이영업, 1992). 이 결과 경상분지를 비롯한 한반도 남부의 퇴적분지들은 초기에는 변환연변형 (transform margin type)의 구조 응력인 전단 (shear)과 인장 (tension)운동을 주로 경험하다가 후기에는 사각운동 (oblique-slip)에 의한 압축 (compression)운동을 받게 되면서 분지로서의 역할을 마치게 된 것으로 해석된다 (Yanai et al., 1985). 한반도 옥천변성대의 양 연변부에는 트라이아스기 동안 우수향 주향이동 단층인 연성전단대 (ductile shear zone)가 형성되었는데 (Yanai et al., 1985; Cluzel, 1992; Kim and Kee, 1994) 이 연성전단대가 후기 백악기에는 좌수향 이동의 쇄성단층대 (brittle fault zone)로 전이함으로써 이와 연관되어 소규모의 후기 백악기 분지가 형성된 것으로 추정된다 (그림 1)(Cluzel et al., 1991; Koh, 1995). 옥천변성대 연변부에 존재하는 주향이동 단층의 운동방향의 전이는 중생대 한반도 주변의 지구조적 환경에 변화가 발생하였음을 시사한다. 연성전단대 (ductile shear zone)에 관하여 구조지질학적, 암석학적, 지구물리학적 연구들이 최근에 다시 수행되고 있으나 연성전단대가 좌수향의 쇄성전단대 (brittle shear zone)로 변화됨으로써 발생한 구제적인 지질구조요소의 제시나 주향이동 단층대를 따라서 형성된 인리형 분지 (pull-apart basin)(예: 남동부 - 영동분지, 진안분지, 북서부 - 부여분지)의 형성 메커니즘과 차후의 변형작용, 그리고 이의 근본적인 원인인 후기 백악기 한반도의 동아시아의 지구조적 환경에 관한 상세한 연구 결과는 아직 제시되지 않았다.

이희권 (1998)의 연구에 의하면 풍암분지 내 고경사를 가지는

좌수향 주향이동 단층대인 금왕단층대는 분지의 남서부에서 중앙부, 북동부로 가면서 주향이 N 45°E, N 53°E, N 35°E의 변화를 보이고 있으며, 풍암분지는 생성 당시 좌수향 주향이동의 압축형 변형환경 하에 있었던 것으로 추정하였다. 특히 풍암분지 북서측 연변부 퇴적암은 퇴적 이후 전단변형 작용을 받아 폭이 20 ~ 400 m인 단층대로 남아있는데, 이는 인리형 분지로 알려진 백악기의 부여분지 (김정환 외, 1994), 공주분지 (이제룡, 1990), 음성분지 (최영섭, 1996, 양우현, 1998)와는 달리 풍암분지는 압축형 주향이동작용으로 형성된 단층연변 침하지 (fault margin sag) 또는 횡압축 분지 (transpressional basin)로서 최초 형성된 것으로 해석되었다 (이희권, 1998). 현재 풍암분지 퇴적층은 후기의 안산암 또는 화강암의 관입으로 그 분포가 심하게 교란되어 있으나 전체적으로는 분지 중앙부는 넓고 분지의 남북단은 비교적 좁은 반달모양으로 형성된 것으로 추정된다. 분지 내부에 퇴적층이 형성된 후 분지는 금왕단층대의 계속된 재동에 의한 주향이동 변형작용으로 분지의 남서쪽에서는 주단층대와 45°미만의 각을 이루는 습곡축이 발달하였고 북서쪽에서는 주단층대와 45°이상의 각으로 사교하는 습곡축이 형성되었다. 주단층대도 북쪽 방향으로 가면서 N 53°E에서 N 35°E로의 주향 변화를 보여주는데 이는 퇴적층 형성 이후 금왕단층 남동쪽 지괴의 회전에 의해 풍암분지가 압축형 주향이동 운동영역에서 인장형 주향이동 변형환경으로 전이했기 때문인 것으로 추정된다 (이희권, 1998).

사암층에 퇴적암석학적 연구

의의조사시 채취된 사암 표품을 층준에 따라 선택하여 박편으로 제작, 광물 조성, 분급도, 원마도 등을 관찰하였으며 특히 각

Table 1. Mineral compositions of the sandstones in the Poongam Basin. Sampling sites refer to Fig. 2.

Sample no. (Site)	Quartz(%)		Feldspar(%)		Rock Fragment(%)			Mica(%)	Matrix(%)
	Monocry.	Polycry.	K-Feld.	Pagiocl.	Sedim.	Igneou.	Metam.		
1(Site 3)	41.3	3.8	2.3	23.3	2.6	4.8	3.0	2.4	16.5
2(Site 3)	42.3	5.5	1.0	23.8	1.3	4.6	3.7	2.3	15.5
3(Site 3)	45.5	4.7	1.8	20.0	1.5	4.8	2.1	4.0	15.6
4(Site 3)	49.1	4.3	2.0	18.8	1.1	3.5	4.5	2.4	14.3
5(Site 1-1)	48.4	6.0	0.0	25.9	0.0	0.6	7.5	3.5	8.1
6(Site 1-2)	47.8	6.9	1.1	11.6	5.1	7.8	6.5	0.4	12.8
7(Site 1-2)	43.1	6.8	1.0	14.6	4.5	10.5	4.1	4.0	11.4
8(Site 1-2)	48.8	10.3	1.0	22.2	0.1	7.3	0.6	3.6	6.1
9(Site 1-2)	48.9	5.8	0.4	13.2	2.1	10.2	1.3	7.6	10.5
10(Site 1-2)	46.1	7.6	1.1	16.5	1.0	10.1	5.8	3.0	8.8
11(Site 2)	48.6	7.0	0.3	19.7	0.3	9.1	2.8	3.6	8.6
12(Site 2)	50.8	9.2	2.8	17.5	0.0	0.5	10.6	2.8	5.8
13(Site 2)	47.0	10.8	2.0	20.1	0.0	0.2	9.5	2.1	8.3
14(Site 2)	57.4	5.4	2.4	21.0	1.6	0.0	3.2	2.4	6.6
15(Site 2)	58.2	8.5	1.0	11.8	0.5	5.6	1.1	6.8	6.5
16(Site 2)	49.0	1.7	1.1	17.0	0.8	19.8	3.5	0.4	6.7
17(Site 2)	55.8	4.2	1.0	20.8	1.8	0.2	1.4	5.0	9.8
18(Site 2)	50.0	7.6	1.1	15.1	0.8	1.0	17.5	2.0	4.9

박편 별로 500점의 점셈 (point counting)을 실시하여 사암의 광물조성에 따라 퇴적물의 기원지 지구조 환경을 추정해 보았다 (Dickinson *et al.*, 1983). 연구지역에 분포하는 사암은 세립질의 사암과 분급이 매우 불량한 조립질 사암으로 나뉘어지는데 점셈 시는 이를 고려하여 두개의 유형으로 나누어 분석하였다 (표 1).

풍암분지 퇴적암들은 대부분 기질의 함량이 높아 잡사암 (wacke)에 해당하며 퇴적층의 층수에 따른 광물조성의 변화 양상은 관찰되지 않는다. Folk(1968)의 사암 분류안에 따르면 대부분 장석질 잡사암 내지는 암편질 잡사암에 속한다 (그림 3). 또한 Dickinson *et al.*(1983)에 의한 QFL 삼각 그림 (여기서 Q: Quartz, F: Feldspar, L: Rock fragments)에 도시하면 기원지가 RO (recycled orogen)인 구역에 속한다 (그림 4). 그리고 풍암분지 내에 분포하고 있는 사암들의 지역별 또는 층준별 기원지 지구조 환경의 차이를 추적하고자 LmLvLs 삼각그림에 도시하여 보았으나 그림 5와 같이 변성암편과 화성암편의 암편들이 산재하여 나타나고 있어 차이를 구분하기 어려웠다.

풍암분지 내 퇴적층을 층수에 따라 하부로부터 배열하여 보면 퇴적층의 가장 하부 층수에 해당하는 암석은 어론리 황정골 노두 (Site 1-1)와 황정골 시추코어 (Site 1-2)에서 관찰되는 암석이다 (그림 2). 시추코어는 총 138 m인데 그 중 퇴적암은 123 m

깊이에서 약 8 m 깊이까지 연속적으로 산출하고 있으며 부분적으로는 안산암체가 이를 관입하고 있다 (그림 6. (a), (b)). 시추코어의 최하부에서는 흑운모 화강암이 기반암으로 분포하고 있고 바로 그 상부에는 기반암으로부터 직접 유래한 것으로 보이는 쇄설물로 구성된 기저 역암층 (일명 그루스(grus))이 기반암을 부정합으로 덮고 있다. 시추코어 하부를 구성하는 퇴적층의 주된 암상은 역암상이며, 우백색 또는 자색을 보인다. 상부로 가면서 암상은 역암상과 이암 또는 실트스톤상이 교호하며 나타나고 간혹 사암상이 협재하기도 한다. 어론리 황정골에 위치하는 노두 (Site 1-1)는 코어가 시추된 장소 (Site 1-2)에서 수평 거리로 약 150 m 떨어져 있는 퇴적체로서 암상은 역암상과 이암 또는 실트스톤상이 교호하며 나타난다.

시추코어 (Site 1-2) 사암 시료의 주 구성 광물은 석영, 장석, 암편 등이며 석영의 함량은 평균 54.4%로 직소광을 보이는 석영이 우세하게 관찰되며 층수에 따라 뚜렷한 변화 양상은 관찰되지 않는다. 장석의 함량은 25.9%로 비교적 높은 편이고 시추코어 시료의 하부에서는 정장석이 보다 많이 관찰되나 상부로 갈수록 정장석과 사장석이 서로 비슷하게 나타난다. 암편의 함량은 8.1%로 시추코어 시료 하부에서는 주로 화강암편이 우세하나 상부로 갈수록 규암편 등의 변성암편의 함량이 증가하는 경향을 보인다. 그 외에 운모류가 소량 관찰된다. 어론리 황정골 노두 (Site 1-1)에 분포하고 있는 사암은 석영의 함량이 49.9~54.7%이고 대체로 아각상 (subangular)을 보이며 복결정질보다는 단결정질 석영이 우세하다. 장석의 함량은 12.7~23.2%이고 대부분 석영의 입자보다 더 조립으로 나타난다. 암편의 함량은 8.0~19.1%로 규암편 등의 변성암편과 화성암편이 우세하게 나타난다 (그림 6. (c), (d)).

풍암분지 퇴적층의 중부에 해당되는 홍천군 서석면 어론 삼거리 부근 444번 지방도를 따라 약 300여 m의 길이와 45 m 정도의 폭으로 노출되어 있는 퇴적암 노두 (Site 2)는 주로 사암으로 구성되어 있으나 상부는 역암층이, 하부는 실트암층이 잘 연장된 수평층리를 보이며 산출된다. 사암 및 역암층은 밝은 회색을 띠

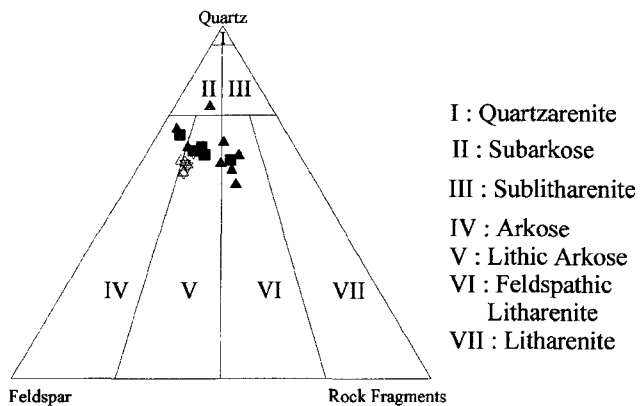


Fig. 3. QFL diagram of the sandstone in the study area after Folk's classification (1968). Each symbol represents the sandstone from different localities in the study area.

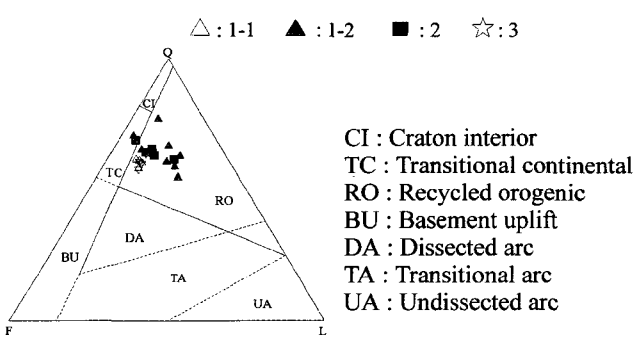


Fig. 4. QFL triangular plot, to interpret provenance of sandstones, after Dickinson *et al.* (1983).

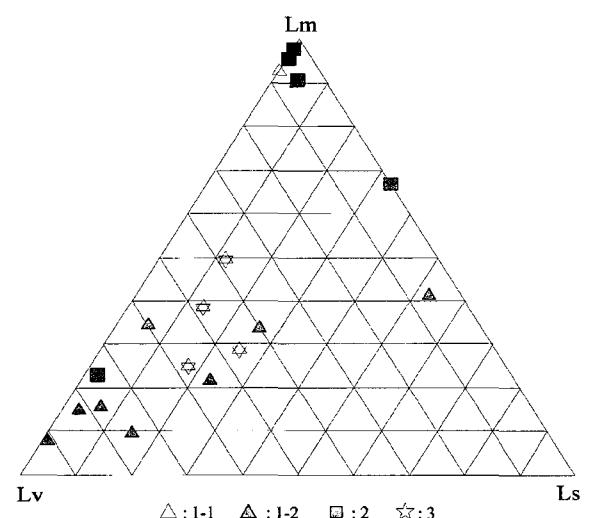


Fig. 5. LmLvLs diagram of the sandstones in the study area. (Lm: metamorphic lithic fragments, Lv: volcanic lithic fragments, Ls: sedimentary lithic fragments.)

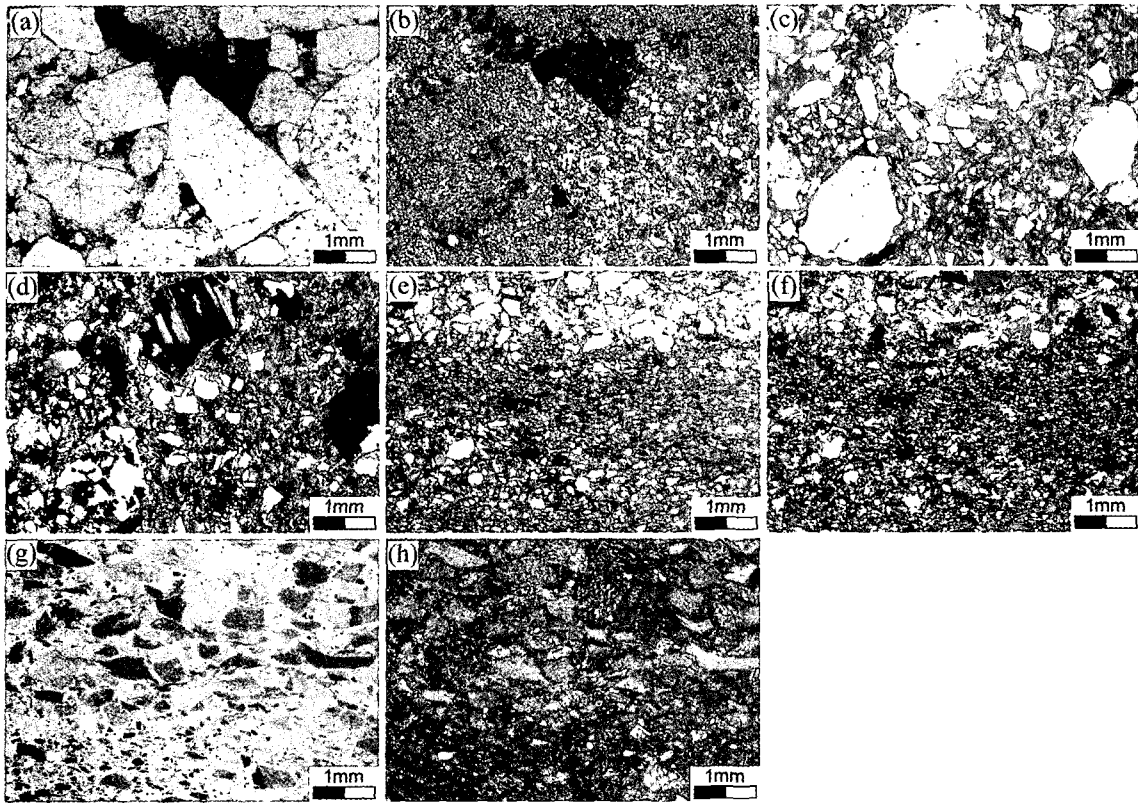


Fig. 6. (a) Photomicrograph of the thin section of the andesite, PPL  $\times 10$ , (b) andesite, XPL  $\times 10$ , (c) feldspathic litharenite, PPL  $\times 10$ , (d) litharenite, XPL  $\times 10$ , (e) horizontal-bedded sandstone, PPL  $\times 10$ , (f) sandstone, XPL  $\times 10$ , (g) volcaniclastic rock, PPL  $\times 10$ , (h) volcaniclastic rock, XPL,  $\times 10$ .

고 협재되어 나타나는 이암 또는 실트암은 자주색을 띤다. 이암 또는 실트암상은 층내에서는 괴상으로 2 m 이상 매우 두껍게 나타나는 것이 특징이다. 일반적으로는 퇴적층의 측방 연속성이 매우 양호하나 일부 역암층은 렌즈상의 깎고 채움 (cut and fill)의 형태를 띤다. 역암에 포함되어 있는 역은 주로 규암 성분이고 각상 (angular)에서 아각상 (subangular)을 보이며 분급 또한 불량하다. 입자 조직의 측방 변화가 심한 편이다.

444번 지방 도로변 노두 (Site 2) (그림 2)의 사암은 상향 세립화 (fining upward)의 양상을 희미하게 보이며 엽층리 (lamination)를 갖기도 한다 (그림 6. (e), (f)). 주구성 광물은 석영, 장석 및 암편, 기질과 소량의 백운모이다. 석영의 함량은 50.7~66.7%의 함량을 보이고 대개는 단결정질이며 파동소광 및 직소광을 보이는 석영들이 모두 나타난다. 장석의 함량은 12.8~23.4%이고 일부는 변질되어 건운모화되어 나타난다. 장석은 대부분 석영입자보다 조립으로 나타나며 드물게 자형 또는 반자형의 모습을 띠기도 한다. 암편의 함량은 3.4~24.1%로서 조립질의 사암에서는 규암 등의 변성암편이, 세립질의 사암에서는 안산암 등의 화성암편이 우세하게 나타난다. 운모류의 함량은 0.4~5.0%로 주로 백운모가 관찰된다. 비교적 작은 크기로 나타나며 흑운모는 거의 관찰할 수 없다. 기질의 함량은 5.8~9.8% 정도이다. 사암 내 입자들의 분급도는 매우 불량하며 원마도는 조립질 사암의 경우는 아원상 (subrounded)을 보이나 세립질 사암은 아각상 (subangular)에서 각상 (angular)을 보인다.

풍암분지 퇴적층의 상부 층준에 해당하며 대부분이 화산쇄설물로 구성된 횡성군 청일면 봉명리 수리봉 근처의 표고 700~800 m 정도의 능선에 발달하는 퇴적암 노두 (Site 3) (그림 2)는 수평, 수직적으로 약 10여 m의 규모로 연장되어 나타나는데 점층리, 수평층리, 엽층리, 사층리 등의 퇴적구조를 포함하고 있고 전체적으로는 엽층리 또는 얇은 층리를 잘 보여준다. 입자들은 개별 층후에 비해 매우 조립질 (대체로 왕모래와 약간의 잔자갈)인데 주로 안산암편 및 장석질 결정과 드물게 나타나는 석영들로 구성되어 있고 원마도는 매우 불량 (angular)하나 분급도는 비교적 양호한 (sorted) 편이다. 입자간은 미결정질의 처어트로 충전되어 있는데 처어트로 충전되어 있는 층은 하부의 조립질 층과 아주 뚜렷한 경계를 보인다.

석영의 함량은 45.1% (처어트질 포함)이고 화산암 기원으로 추정되는 마름모 (bipyramidal) 형태의 석영들도 관찰되는데 층리면에 평행하게 배열되어 있다. 장석의 함량은 25.6%로 높으며 주로 반자형으로 나타나고 간혹 외부 충격에 의해 깨진 것처럼 매우 각진 형태를 띠기도 하고 응형 (cast)을 이루는 것도 있다. 암편의 함량은 10.4%로 주로 안산암편 등의 화산암편이고 기질의 함량은 16.5%이고 운모류는 발견되지 않는다 (그림 6. (g), (h)).

#### 풍암분지 화산암 및 화산쇄설암의 연대 측정 결과

풍암 퇴적분지 내에는 여러 차례에 걸쳐 형성된 안산암이 관입

**Table 2.** Result of the K-Ar dating of the andesites silling(A, B) and intruding(C, D) sedimentary rocks, andesitic pebbles from conglomerates(E, F), and tuffs(G, H) in the study area. Sampling sites refer to Fig. 2.

Sample no. (site)	Type	K (wt%)	Wt (g)	Ar36	Ar40*	uncertainty	Age (Ma)	uncertainty	Air (%)
A(Site 7)		2.581	0.04573	15.417	742.334	0.240	72.612	2.135	5.78
B(Site 7)		4.586	0.03400	15.284	1726.806	0.704	94.483	2.762	2.55
C(Site 5)		2.607	0.03369	18.220	727.589	0.083	70.501	2.074	6.89
D(Site 5)		2.695	0.04354	13.954	902.925	0.421	84.308	2.471	4.37
E(Site 4)	whole rock	3.112	0.03271	12.559	951.270	0.221	77.076	2.264	3.75
F(Site 6)		0.382	0.03330	19.664	127.820	0.038	84.203	2.468	31.25
G(Site 3)		2.832	0.04452	18.369	906.903	0.381	80.665	2.367	5.65
H(Site 3)		2.832	0.03447	17.775	867.406	0.104	77.226	2.268	5.71

또는 분출상으로 덮고 있는데 강필종 등 (1972)은 이러한 안산암들이 퇴적층 형성 이후 퇴적층을 관입한 것으로 해석하였다. 그러나 정밀 야외조사 결과 역암 내 포함되어 있는 안산암편을 일부 노두에서 관찰할 수 있었는데 이는 일부 안산암이 퇴적층 형성 이전에 이미 분포하고 있었음을 지시해 주는 것이다.

이번 연구에서는 풍암분지에 분포하고 있는 퇴적층의 생성 시기와 화산암의 형성 연대를 밝히기 위해 퇴적암을 현재 분출상으로 덮고 있는 안산암 (Site 7의 시료 A, B), 퇴적암층을 관입하고 있는 안산암 (Site 5의 시료 C, D), 그리고 퇴적층 내부에 포함되어 있는 화산암편 (Site 4의 시료 E, Site 6의 시료 F)과 화산쇄설성 퇴적암 (Site 3의 시료 G, H) 각각 선정하여 K-Ar 방법에 의한 절대 연령 측정을 기초과학지원연구소에 의뢰하여 실시하였다 (그림 2, 표 2).

이 지역에 분포하고 있는 화산암과 화산암편의 절대 연령 측정 결과는 표 2와 같다. 우선 모든 시료가 백악기 후기의 연령을 나타내고 있으며 시료 B의 시기가 제일 오랜 연령을, 시료 C가 가장 젊은 연령을 갖는 것으로 분석되었다. 대체로 퇴적암 내에 포함되어 있는 안산암편은 비교적 오래된 연령을 보여주고 있고 현재 관입상이나 분출상으로 산출하고 있어 퇴적층 생성 이후 형성된 것으로 추정되는 안산암들은 대체로 젊은 시기를 지시하고 있다. 이는 분지 내 퇴적작용이 일어나기 전 시기와 퇴적작용과 거의 같은 시기에, 그리고 퇴적층 형성 이후에도 마그마 관입에 따른 화산암의 생성이 계속적으로 일어났음을 시사해 주는 것이다.

## 토의 및 결론

백악기 풍암 퇴적분지는 강원도 홍천군 서석면과 횡성군 청일면 일대에 분포하며 퇴적층은 역암, 사암, 이암과 화산 쇄설암으로 구성되어 있으며 공주, 음성, 부여 등 다른 백악기 육성 분지 (인리형 분지; pull-apart)와는 달리 단층 연변 침하지 (fault margin sag) 또는 횡압축 분지 (transpressional basin)로 형성된 것으로 추정된다 (이희권, 1998).

풍암분지 퇴적층을 구성하고 있는 사암은 대개 기질이 많으며 장석의 함량도 풍부한 장석질 잡사암 내지 암편질 잡사암이다. 석영의 함량 변화는 45.1~62.8%로 하부에서 상부로 갈수록 점진적으로 감소하는 것이 특징이며, 장석은 12.7~25.9%로 비교적 높은 함량을 보이며 석영 입자보다 대부분 더 조립으로 나타난

다. 암편은 3.4~24.1%로 함량의 변화가 크고 변성암편, 화성암편, 퇴적암편 모두를 매우 다양하게 포함하지만 특히 변성암편과 화성암편이 우세한 편이다. 퇴적층의 하부로부터 상부로의 광물 조성 상의 변화 양상은 잘 관찰되지 않으며 또한 지역별로도 뚜렷한 차이는 보이지 않는다. 이러한 퇴적암석학적 분석 결과는 풍암분지 퇴적층이 전반적으로 비교적 활발한 지구조 운동에 수반된 단층 연변부의 퇴적환경에서 형성된 전형적인 지구조 우세의 퇴적상 (tectonic-controlled sedimentary facies)으로 구성되어 있음을 잘 보여주고 있다. 또한 비교적 수직적, 수평적인 퇴적암상의 변화를 크게 보이지 않음은 퇴적당시에는 풍암분지가 소규모의 육성 퇴적환경으로 빠른 퇴적작용이 일어났던 장소였으나 (김경희, 정대교, 1999) 퇴적층 생성 이후에는 지반이 융기하여 상부의 퇴적층인 비교적 조직적으로 성숙한 세립질 퇴적층들이 대부분 삭박되어 사라진 것으로 해석된다. 풍암분지 내 퇴적암층을 관입하거나 분출상으로 덮고 있는 안산암과 퇴적층 내부에 포함되어 있는 화산암편과 화산쇄설성 퇴적암에 대하여 절대 연대 측정을 실시한 결과 모든 암석은 백악기 후기에 형성되었음을 지시해 주고 있다. 특히, 퇴적암 내에 포함되어 있는 안산암편은 비교적 오래되었고 현재 관입상이나 분출상으로 산출하고 있어 퇴적층 생성 이후 형성된 것으로 추정되는 안산암들은 대체로 보다 후기의 연령을 나타내므로, 퇴적작용이 일어나기 전과 퇴적작용과 거의 같은 시기, 그리고 퇴적층 형성 이후에도 마그마 관입에 따른 화산암의 생성이 계속적으로 일어났음을 시사해 주고 있다.

즉 풍암 퇴적분지는 주향이동 단층대를 따라 발달한 단층 연변 침하 (fault margin sag) 또는 횡압축 분지 (transpressional basin)로 형성되어 주변 단층 경계의 기반암과 근원암 지역으로부터 초기엔 많은 양의 쇄설성 퇴적물을 선상지 환경 하에서 공급받았으며 후기에 이르러서는 주변 지역의 화산 폭발에 의한 화산 쇄설물이 추가로 공급되어 호성과 선상지 환경 하에 두꺼운 퇴적층을 축적할 수 있었다 (김경희, 정대교, 1999). 또한 퇴적작용 동안에는 주변 지역의 활발한 지구조 운동과 화산활동의 수반에 의해 조립질의 미성숙 퇴적층이 단층대를 따라 평행하게 형성되었으나 이후 이러한 활발한 지구조 운동은 분지 형성 구조운동의 변화를 초래하여 퇴적분지로서의 기능을 조기에 종료시킨 요인이 되기도 하였다. 분지를 폐쇄한 이러한 지구조 운동의 영향으로 퇴적층은 습곡과 단층, 절리와 같은 변형구조를 갖게 되었고 또한 화산암 (안산암)이 활발하게 관입하여 현재의 퇴적층과 같이 그 분포가 매우 단

속적이고 심하게 변형된 모습을 보이게 된 것이다 (정대교, 1998). 이러한 풍암 퇴적분지의 지구조우세 퇴적상 모델은 현재까지 연구된 한반도 남부에 분포하고 있는 백악기의 다른 소규모 육성 퇴적분지들 (예: 음성분지, 무주분지, 진안분지, 영동분지)과 많은 공통적인 요소를 갖기도 하지만 (예: 미성숙 쇄설성 퇴적상, 주향이동 단층에 의한 분지 형성, 화산 쇄설성 퇴적층의 분포) (이영엽, 1992; 이동우, 1989; 양우현, 1998; 박정웅, 1998), 분지 생성 기원이 다른 소규모 육성분지들의 경우 대부분 인리형 분지로서 형성된 것에 비해 풍암분지는 연변 침하지 혹은 횡압축분지로서 추정되는 점, 퇴적층 생성 이전에 안산암이 기반암으로서 분포하였고, 호성 응회암상이 다량 분포하는 점 등 다른 육성 퇴적분지에서는 아직 보고된 적이 없는 독특한 퇴적상과 분지생성 메커니즘을 보이고 있어 한반도 내 다른 백악기 육성 퇴적분지 연구시 좋은 모델로서 활용될 수 있을 것이다.

## 사 사

이 연구는 한국과학재단의 연구비 지원 (과제번호: 961-0401-003-2, 핵심전문연구)에 의해 수행되었고 이에 대해 동 재단에 감사드린다. 야외 조사시 시료 채취 및 주상도 작성에 많은 도움을 준 강원대학교 최우일, 김우선, 김용인, 김선량 등에게 감사드리고, 또한 강원대학교 자원개발연구소의 부분적인 지원에도 감사드린다. 이 논문의 심사를 통해 유익한 조언을 주신 전북대학교 이영엽교수님께 감사드린다.

## 참고문헌

- 강광중, 진명식, 1972, 지질도폭설명서 (풍암도폭, 1:50,000), 국립지질조사소
- 김경희, 정대교, 1999, 강원도 홍천 백악기 풍암분지 퇴적층의 퇴적상 해석, 지질학회지, 35(4), 279-296.
- 박정웅, 1998, 백악기 무주분지의 층서, 퇴적 시스템, 기원암 및 분지 진화, 서울대학교 대학원, 박사학위 논문, 273 p.
- 양우현, 1998, 백악기 음성 분지의 퇴적학적 연구, 서울대학교 대학원, 박사학위 논문, 125 p.
- 이동우, 백광호, 1989, 영동분지(백악기)내의 영동단층대 주변의 퇴적학적 특성, 지질학회지, 25, 259-272.
- 이영엽, 1992, 백악기 진안분지의 층서, 퇴적학적 및 진화에 관한 연구, 서울대학교 대학원, 박사학위 논문, 287 p.
- 이제룡, 1990, 공주분지의 구조조운동 연구, 서울대학교 대학원, 박사학위 논문, 219 p.
- 이희련, 1998, 백악기 풍암분지에 대한 구조지질학적 연구, 지질학회지, 32, 122-136.
- 최영섭, 1996, 음성분지의 지구조운동 연구, 서울대학교 대학원, 박사학위논문, 158 p.
- Cluzel, D., 1992, Formation and tectonic evolution of early Mesozoic intramontane basins in the Ogcheon Belt (South Korea); a reappraisal of the Jurassic 'Daebo Orogeny', Journal of South-East Asian Earth Sciences, 7, 223-235.
- Cluzel, D., Lee, B. J. and Cadel, J. P., 1991, Indosinian dextral ductile fault system and synkinematic plutonism in the southwest of the Ogcheon Belt (South Korea), Tectonophysics, 127, 131-152.
- Dickinson, W. R., Beard, L. S., Brakenridge, G. R., Erjavec, J. L., Ferguson, R. C., Inman, K. F., Knepp, R. A., Lindberg, F. A., and Ryberg, P. T., 1983, Provenance of North America Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting, Geological Society of America Bulletin, 94, 225-235.
- Faura, M., Caridroit, M. and Charvet, J., 1986, The late Jurassic oblique collisional orogen of SW Japan. New structure data and synetics, Tectonics, 5, 1089-1114.
- Folk, R., 1968, Petrology of sedimentary rocks, Austin, Hemphill's Book Store, Texas, 170 p.
- Ichikawa, K., 1981, Closure of the Jurassic sea in and around Ryokuroseqawa region, In: I, Hara (ed.), Symposium of Tectonics of Paired Metamorphic Belts(Hrshima), 113-116.
- Kim, J. H. and Kee, W. S., 1994, Structural characteristics of the Soonchang Shear Zone, Korea, Journal of South-East Asian Earth Sciences, 9, 417-428.
- Kimura, G. and Kim, B. K., 1984, Geological age of the Deadong florula the Korean Peninsula and its phytogeographical significance, Proceeding of Japan Academy, 60, Series B, 337-340.
- Klimetz, M. P., 1986, Remnants of Triassic-Jurassic ocean basin and convergent plate margin process in central East Asia: the enigmatic Mongol-okhotsk fold belts, EOS, Translations of American Geophysical Union, 67(16), 313.
- Kob, H. J., 1995, Structural analysis and tectonic evolution of the Ogcheon Supergroup, Goesan, Central part of the Ogcheon Belt, Korea, Ph.D. thesis (unpublished), Seoul National University, 282 p.
- Lee, D. W., 1990, Sedimentation and Tectonic Evolution of the Cretaceous Yongdong Basin, Korea, A thesis for Degree of Doctor of Korea University, 273 p.
- Maruyama, S., and Sakai, H., 1986, Tectonics of Asia as a Composite continent, Monograph of Associations of Geological Collaborations of Japan, 31, 487-518.
- McElhinny, M. W., Embleton B. J. J., Ma, X. H. and Zhang, Z. K., 1981, Fragmentation of Asia in the Permian, Nature, 293, 212-215.
- Ryang, W. H. and Chough, S. K., 1997, Sequential development of alluvial/lacustrine system: southern Eumsung Basin (Cretaceous), Korea, Journal of Sedimentary Research, 67, p. 274-285.
- Taira, A., Saito, Y. and Hashimoto, M., 1983, The role of oblique subduction and strike-slip tectonics in the evolution of Japan, American Geophysical Union Geodynamic Series, 11, 303-316.
- Yanai, S., Park, B. S. and Otoh, S., 1985, The Honam Shear Zone (South Korea): Deformation and tectonic implication in the far east, Sciences, Papers of College of Arts and Sciences, University of Tokyo, 35, 181-210.
- Zhang, P., Burchfiel, B. C., Molnar, P., Zhang, W., Jiao, D., Deng, Q., Qang, Y., Leigh, R. and Song, F., 1990, Late Cenozoic tectonic evolution of the Ningxia-Hui Autonomous Region, China, Geological Society of America Bulletin, 102, 1484-1498.
- Zhang, Z. H., 1991, Amount and style of late Cenozoic deformation in the Liupan Shan area, Ningxia Autonomous Region, China, Tectonics, 10, 1111-1129.
- Zhang, Z. H., Liou, J. G. and Colenan, R. G., 1984, An outline of the plate tectonics of China, Geological Society of America Bulletin, 95, 295-312.