

서남 옥천변성대 옥천층군의 층서 및 암석화학에 대한 예비연구

유인창^{1*} · 김성원² · 오창환³ · 이덕수³

¹고려대학교 지구환경과학과, ²전북대학교 기초과학연구소, ³전북대학교 지구환경과학과

A Preliminary Study on Stratigraphy and Petrochemistry of the Okcheon Group, Southwestern Okcheon Metamorphic Belt

In-Chang Ryu^{1*}, Sung Won Kim², Chang Whan Oh³ and Deok Su Lee³

¹Department of Earth and Environmental Sciences, Korea University, Seoul 136-701, Korea

²Basic Science Research Institute, Chonbuk National University, Chonju 561-756, Korea

³Department of Earth and Environmental Sciences, Chonbuk National University, Chonju 561-756, Korea

The Okcheon Group in the southwestern part of the Okcheon Metamorphic Belt is subdivided into two distinct tectonostratigraphic units: the Boeun unit in the south and the Pibanryeong unit in the north. The Boeun unit consists of pelites, psammites, carbonaceous pelites, limestones and pebble-bearing quartzites. The Pibanryeong unit is composed of pelites, well-sorted fine-grained psammites, carbonaceous psammites and quartzites. In order to outlining stratigraphy and depositional environments of the Okcheon Group, detailed stratigraphic sections were measured in three locations; one section(Gosan section) of the Boeun unit and two sections(Sorongjae and Hwangryeongjae sections) of the Pibanryeong unit. The Gosan section of the Boeun unit is interpreted to be deposited in the shallow marine environments, whereas the Sorongjae and Hwangryeongjae sections of the Pibanryeong unit appear to be deposited in slope and deep basin environments. This result indicates rapid subsidence between deposition of the Boeun and Pibanryeong units in sedimentary environment. The trace of sedimentological environments in the Hwasan area was investigated by geochemical analysis of 109 metapelitic and psammitic rock samples. Distinct chemical variations of pelitic and psammitic rocks from the Boeun and Pibanryeong units in the study area are evident from plots of major elements and Al_2O_3/SiO_2 versus Basicity Index($Fe_2O_3^*+MgO$)/($SiO_2+K_2O+Na_2O$). The rocks show a progressive chemical trend from the Boeun unit to the Pibanryeong unit on these diagrams. They in the southern sector of the Boeun unit display lower values and a comparatively wide range of Al_2O_3/SiO_2 and Basicity Index, as compared with those from the northern sector of the Boeun and Pibanryeong units. The southern sector of the Pibanryeong unit including narrow staurolite-bearing zone is characterized by values that are transitional between the Boeun and Pibanryeong units. These data, combined with depositional environment progressively deepened towards the northwest, support a half-graben model for the Okcheon basin, as proposed by Cluzel *et al.*(1990).

Key words : Okcheon Metamorphic Belt, tectonostratigraphic unit, stratigraphy, petrochemistry, half-graben

옥천변성대 서남부 화산지역은 남동부의 보은과 북서부의 피반령의 2개의 지구조 단위로 나누어진다. 보은 단위는 주로 변성퇴적암인 이질암, 사질암, 함탄질 이질암, 석회암 및 함력 규질암으로 구성되며, 피반령 단위는 이질암, 잘분급된 세립질 함탄질 사질암 및 규암으로 구성된다. 화산지역의 퇴적환경에 대한 층서개요의 연구를 위하여 보은단위에서 1개 지점(고산) 및 피반령 단위에서 2개 지점(소룡재 및 황룡재)의 노두를 선정하여 각 단면에 대한 정밀 기재를 실시하였다. 고산지점에서는 천해성 역암들이 특징적으로 인지되나 소룡재 및 황룡재 지점들에서는 저탁류성의 퇴적체가 보여진다. 이러한 퇴적상의 공간적 분포는 분지의 남동쪽보다 북서쪽의 침강이 우세하였던 것으로 해석될 수 있다. 화산지역의 퇴적환경을 유추하기 위하여 109개의 변성이질-사질암 시료를 채취하여 각 암석 시료들에 대한 화학 성분을 조사하였다. 화산지역에서 채취한 암석 시료들의 화학 성분 변화는 주성분원소들의 성분도와(Al_2O_3/SiO_2)

*Corresponding author: inchang@korea.ac.kr

대($\text{FeO}^* + \text{MgO}$)/($\text{SiO}_2 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$)(Basicity Index : B.I.)의 분별도에 의해 남동부의 보은 단위층과 북서부의 피반령 단위층이 뚜렷이 구분되어 지며, 보은 단위층에서 피반령 단위층으로 갈수록 화학적인 성분의 변화가 점진적으로 증가하는 경향을 보여준다. 남부의 보은 단위층의 암석들은 북부의 보은단위 및 피반령 단위층의 암석들보다 상대적으로($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$) 및 Basicity Index가 낮고 넓은 성분범위의 값을 보여준다. 십자석을 포함하는 좁은 대를 가지는 피반령 단위층 남부지역 즉, 보은 단위층과 피반령 단위층의 경계를 이루는 지역에서 채취된 암석 시료들은 보은 단위층에서 피반령 단위층으로 전이되는 중간 성분 값의 특징을 보인다. 이러한 암석 화학 성분 차이는 남동에서 북서로 갈수록 점진적으로 깊어지는 퇴적환경학적 해석과 함께 비교할 때 Cluzel *et al.*(1990)에 의해 제시된 옥천분지의 반지구대(half graben) 모델과 잘 부합된다.

주요어 : 옥천변성대, 구조층서 단위, 층서, 암석화학, 반지구대

1. 서 론

한반도 내 선캠브리아기 경기육괴와 영남육괴 사이에 북동방향을 따라 발달하는 옥천대는 한반도를 포함, 동북아시아의 지체구조 발달사를 이해하는데 있어서 매우 중요한 위치를 차지한다. 변성퇴적암류로 구성되어 있는 옥천대는 제천-문경선을 기준으로 북동부의 옥천비변성대(또는 태백산 분지, 이하 옥천비변성대)와 최소한 두 번의 광역변성작용을 경험한 서남부의 옥천변성대로 나누어진다. 그 동안 옥천대에 대한 여러 가지 형태의 연구가 수행되었으며, 결과로 북동부의 옥천비변성대에 대해서는 퇴적층들의 층서가 확립되어 있어 체계적인 연구가 진행되고 있으나, 서남부의 옥천변성대에 대한 연구 결과들은 상반된 해석들이 존재하는 등, 현재까지의 연구 결과에 많은 논란이 그치지 않고 있다. 이러한 이유에는 서남 옥천변성대의 퇴적층들이 북동 옥천비변성대의 퇴적층들에 비해 심한 변형을 받아 구조적으로 복잡할 뿐만 아니라 화석 산출이 극히 불량하여 지체구조 발달사 연구에 있어서 결정적 정보를 제공하는 퇴적층들의 퇴적시기 및 퇴적환경에 대한 연구에 어려움이 많기 때문이며, 특히 옥천변성대 내의 퇴적층들의 공간상 대비를 위한 층서가 아직까지 정립되어 있지 않다는 점이 주요 원인이다. 옥천변성대 연구에 있어서 이와 같은 어려움에도 불구하고 옥천변성대에 대한 변성암석학적 연구는 90년대 중반 이후부터 비교적 체계적으로 진행되어 왔다(김현철 등, 1995; 오창환 등, 1995, 1998, 1999; Min and Cho, 1998; Kim and Cho, 1999; 조문섭과 김현철, 2002; Kim *et al.*, 2002). 그러나 옥천변성대의 지체구조 발달사에 대한 연구는 앞서 밝힌 바와 같이 구조의 복잡성 및 확립된 층서 틀의 부재로 아직까지 정확히 이해되지 못하고 있는 상태이며, 기존에 제시된 층서들도 주로 암상만을 기준으로 하는 기재적 층서단위(예: 암층서단위)의 한계를 벗어나지 못

하고 있는 실정이다(이종혁, 1995; 이병주 등, 1996). 이러한 기재적 층서단위들은 퇴적층의 동정 및 지역간 대비에 있어 시공간상에서 일어날 수 있는 퇴적작용의 다양성에 대한 개념이 본질적으로 결여되어 있기 때문에 퇴적분지 전반에 걸쳐 일어나는 퇴적작용의 시공간적 변화 및 성인적 층서관계 등, 실제적 퇴적분지 발달사를 연구하는데 있어서 문제점으로 지적되고 있다. 이러한 문제점은 기존의 기재적 층서단위를 기본으로 한 그 동안의 옥천대 퇴적층에 대한 연구 결과에 있어서 심각한 해석적 오류가 있을 수 있음을 반영한다. 최근에 제기된 옥천대 북동부 비변성대(태백산분지) 내 조선누층군의 층서 및 퇴적작용에 대한 재 고찰의 필요성(유인창 등, 1997; Ryu *et al.*, 2002)도 바로 같은 문제점을 인식한 것으로 볼 수 있다. 이러한 기재적 층서단위의 문제점은 퇴적층들을 punctuated aggradational cycle(PAC; Goodwin and Andreson, 1985) 또는 준연계층(parasequence; Van Wagoner, 1985)과 같은 성인적 층서단위(genetic unit)로 나누어 퇴적층들에 대한 보다 성인적 접근을 시도함으로써 해결될 수 있으며, 이와 같은 퇴적층들에 대한 성인적 접근은 90년대에 들어와 새로운 층서적 사고의 틀로 꾸준히 발전되어 오고 있는 순차층서학의 개념을 적용함으로써 가능해 질 수 있다. 따라서 이와 같은 성인적 층서학의 개념을 현재까지도 논란의 대상이 되고 있는 서남 옥천변성대에 적용하여 서남 옥천변성대의 퇴적진화사를 밝힐 수 있다면, 한반도를 포함한 동북아시아의 지체구조운동 발달사를 이해하는데 있어 매우 중요한 정보를 제공할 수 있을 것이다.

본 연구의 목적은 현재까지 많은 논란의 대상이 되고 있는 서남 옥천변성대의 변성퇴적암류에 대한 층서를 순차층서학적 개념을 적용하여 이들의 퇴적체계 및 시공간적 변화 양상을 바탕으로 서남 옥천변성대의 퇴적진화사를 유추해 내는데 있다. 본 연구를 위하여 옥

천변성대 중 비교적 구조적 변형이 심하지 않으며 지질(오창환 등, 2002), 구조(장태우 등, 1988; Cluzel *et al.*, 1991), 변성작용 및 변성 연대의 연구(오창환 등, 1995, 1998; Oh *et al.*, 1995; Kim *et al.*, 2002)가

체계적으로 수행된 옥천변성대 서남부 화산지역에 분포하는 옥천층군을 주 연구 대상으로 선정하였다(Fig. 1). 기 발간된 지질도를 바탕으로 연구지역에 대한 지질조사를 수행한 후, 야외노두의 발달 상태가 양호하

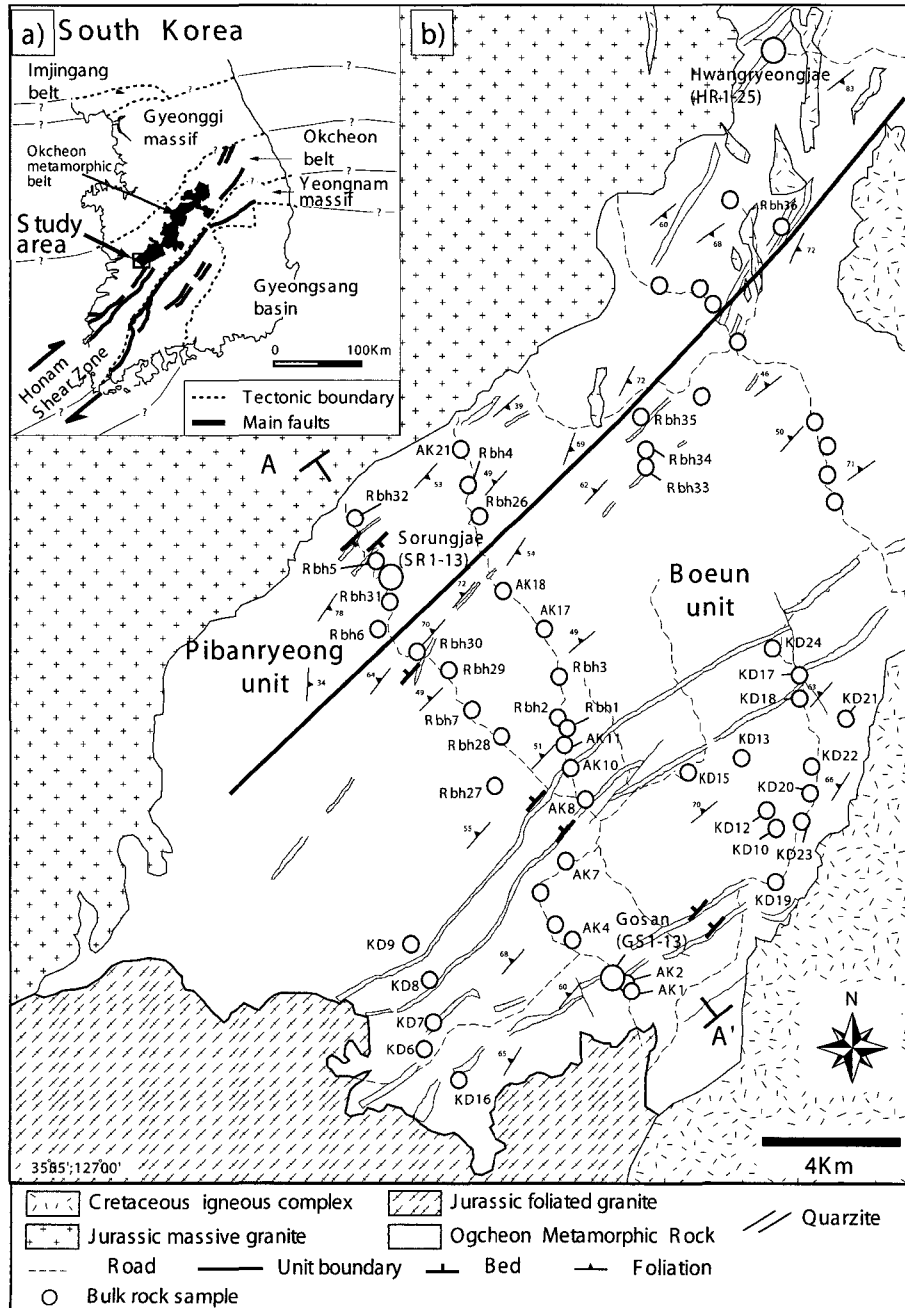


Fig. 1. Geologic map of the southwestern part of the Okcheon Metamorphic Belt(OMB), showing bulk rock sample localities. The Boeun unit in the southeast and the Pibanryeong unit in the northwest of the study area are interpreted as being a transitional domain between the outer shelf and a deeper part of the basin, respectively.

고 1차 퇴적구조가 잘 관찰되는 3개 지점(고산, 소룡재 및 황룡재)의 신선한 노두를 선정하여 순차층서학적 개념을 적용, 각 단면에 대한 정밀 기재와 함께 퇴적환경에 대한 해석을 실시하였다. 아울러, 연구지역 전체와 정밀 기재된 각 단면상에서 비교적 같은 간격으로 암석 시료를 채취하여 전암 분석(XRF)을 수행하였으며, 각 단면상에서 수직층서에 따른 성분변화와 각 단면의 공간상 분포를 기준으로 연구지역 전체에 대한 공간상의 성분변화를 통해 연구지역에 분포하는 옥천층군의 퇴적진화사를 유추하였다.

2. 연구지역의 일반지질 및 선행연구

연구지역은 옥천변성대의 서남부 화산지역에 위치하고 있으며, 변성사질암 및 변성이질암, 규암으로 구성된 옥천층군이 북동방향의 주향을 따라 대상으로 발달한다. 연구지역의 옥천층군은 연구지역 북동부 미원 및 충주지역에 분포하는 옥천층군과 비교하여 구조적으로 변형이 심하지 않으며, 층리가 잘 발달된 규암층들이 좁은 대상(폭 20~100 m)으로 주향방향과 평행하게 연구지역 전체에 걸쳐 연장 분포하는 것이 특징이다(Fig. 1). 규암층을 포함한 변성퇴적암류들의 층상광물들은 대체적으로 북동-남서방향의 주 엽리면을 보이며, 연구지역의 북서쪽에서는 남동쪽으로의 경사가 우세한 반면 남동쪽에서는 북서쪽으로의 경사가 우세하다(Fig. 2). 그러나 전체 노두에서 관찰되는 규암층의 층리면과 변성퇴적암 내의 층상광물들의 엽리면은 일반적으로 평행하지 않고 사교한다(Fig. 2). 연구지역의 북측과 서측에는 주라기 화강암체들이 변성퇴적암류를 관입하거나 일부는 변성퇴적암류와 단층으로 접촉하고 있으며(오창환 등, 1995), 동쪽에는 대부분 백악기 화산암류에 의해 부정합으로 피복되고 있으며 일부 백악기 불국사

화강암인 알칼리 화강암들에 의해 관입되어 있다.

장태우 등(1988)은 연구지역 내의 옥천층군을 암상과 지질구조를 바탕으로 연구지역 중앙부에 분포하는 대치리층과 연구지역 남동부 및 북동부지역에 분포하는 화산리층으로 구분하였으며, 중앙부 대치리층의 분포지역을 따라 발달하는 큰 역전배사가 북동방향으로 달리고 있어 배사구조의 중심부에 분포하는 대치리층은 화산리층의 하위에 놓이게 된다고 해석하였다. 이병주 등(1996)은 연구지역의 옥천층군을 암상만을 기준으로 변성사질암대와 천매암대로 구분하였으며, 구조적으로 변성사질암대의 경사 방향이 북서쪽에서는 남동쪽으로, 남동쪽에서는 북서쪽으로 되어 있어 북서쪽에 분포하는 변성사질암대와 남동쪽에 분포하는 변성사질암대가 배사구조에 의해 반복되어진 것으로 해석하였다. 따라서 연구지역 중앙부의 분포하는 천매암대가 북서 및 남동부의 변성사질암대보다 층서적으로 상위에 놓이는 것으로 보였다. 한편, Cluzel *et al.*(1990)은 연구지역 내 옥천층군을 구조적 위치에 따라 북서부의 피반령 단위층과 남동부의 보은 단위층 등 두개의 구조층서 단위층(tectonostratigraphic unit)으로 세분하였으며, 두 단위층의 암상 차이를 근거로 하여 옥천층군의 퇴적은 반 지구대와 같은 비대칭형의 분지가 발달하기 시작하여 남동부의 천해성 환경 하에서는 보은 단위층이, 북서쪽의 상대적으로 수심이 깊은 환경 하에서는 피반령 단위층이 퇴적된 것으로 해석하였다(Fig. 1).

한편, 오창환 등(1999)은 연구지역을 포함하여 미원 및 청주에 걸쳐 분포하는 서남 옥천변성대 옥천층군에 대한 체계적인 변성암석학적 연구를 수행하였으며, 서남 옥천변성대는 대체적으로 중압형의 광역변성작용을 받았던 것으로 해석하였다. 특히 오창환 등(2002)은 연구지역의 변성퇴적암류를 광물조합을 바탕으로 흑운모

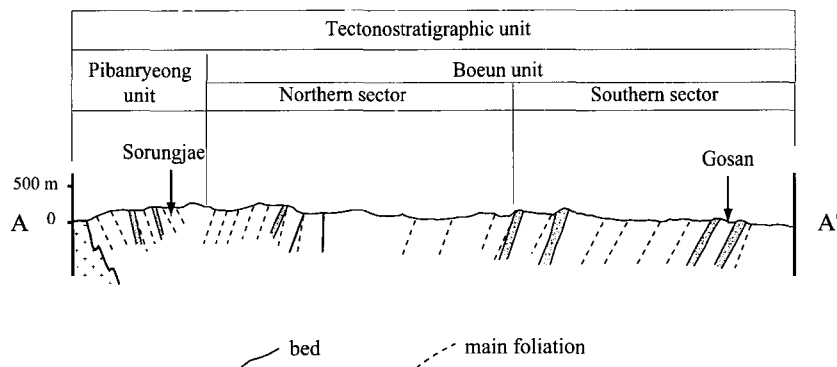


Fig. 2. NW-SE cross section from geologic map of Fig. 1.

대, 석류석대 및 십자석대의 3개 변성대로 분대하였다. 오창환 등(2002)에 의해 세분된 변성대를 Cluzel *et al.*(1990)에 의해 구분된 구조층서단위층과 비교하면 흑운모대와 석류석대는 남동부의 보은 단위층에, 십자석대는 북서부의 피반령 단위층에 각기 대비될 수 있다. 남동부의 보은 단위층은 이질암, 사질암, 규암 및 결정질 석회암으로 구성되며, 이질암 내에는 탄질을 포함하는 흑색 셰일층들이 대상으로 넓은 지역에서 산출되는 특징을 보인다. 반면에 북서부의 피반령 단위층은 남동부의 보은 단위층과 유사한 이질암, 사질암, 규암 및 결정질 석회암으로 구성되어 있으나, 피반령 단위층 내에는 탄질 셰일층이 협재되어 있지 않으며, 십자석 및 석류석을 포함하는 알루미늄(Al)이 풍부한 암석들이 피반령 단위층 하부 층준의 좁은 구간에 걸쳐 대상으로 산출되는 특징을 보인다. 따라서 두 단위층은 비슷한 암상의 변성 퇴적암으로 구성되어 있으나 퇴적상에 있어서 차이를 보이는 것으로 해석될 수 있다. 이러한 암상의 차이 외에도 남동부의 보은 단위층에서 북서부의 피반령 단위층으로 갈수록 변성도가 증가하는 경향이 있음이 인지된다(Oh *et al.*, 1995; 오창환 등, 2002; Kim *et al.*, 2002). 상대적으로 변성도가 낮은 남동부의 보은 단위층의 특징적인 광물조합으로 흑운모+백운모±녹니석+사장석 등이 나타나며, 드물게 좁은 지역에 걸쳐서 황적 연장성을 가지고 흑운모+백운모+K-장석+사장석이 산출된다. 보은 단위층 하부의 변성이질암 및 변성사질암에는 기질 내에 세립질의 흑운모 이외에 야외에서 육안으로 식별이 가능한 흑운모 반상변정이 산출된다. 반면 북서부 피반령 단위층에서의 특징적인 광물조합은 석류석±십자석+흑운모+백운모±녹니석+사장석 등이 나타난다. 아울러, 류라기 및 백악기 화강암 접촉부에는 화강암의 접촉변성작용 영향으로 형성된 홍주석, 규선석, 근청석등이 변성퇴적암 내에 국부적으로 관찰된다.

3. 보은 및 피반령 구조층서단위층 노두단면의 정밀기재

본 연구를 위하여 비교적 야외노두의 발달 상태가 양호하고 1차 퇴적구조가 잘 발달되어 있는 보은 단위층에서 1개 단면(고산) 및 피반령 단위층에서 2개 단면(소룡재 및 황룡재)의 신선한 노두를 선정하여 각 단면에 대한 정밀 기재를 실시하였다(Fig. 3).

3.1. 고산 단면

고산 단면은 연구지역의 남동쪽에 위치하며 북동-남

서 방향의 주향을 따라 북서쪽으로 경사되어 있다. 본 단면의 하부 층준에는 변성이질암이 우세하나 상부로 갈수록 주로 규암역을 포함하는 역암과 규암이 우세해지며, 일부 이질암 및 탄층이 협재한다. 본 단면의 퇴적층들은 1:25만 지질도에 변성사질암대로 표시되어 있으며, 미원 지역의 운교리층이나 계명산층에 대비되는 것으로 해석되었다(이병주 등, 1996).

정밀 기재에 따라 본 단면 내에서 이질암상, 함력 이질암상, 탄질암상, 규암상 및 역암상 등의 5개 암상이 인지되었다(Fig. 3a). 이 중 탄질암은 극히 일부 구간에서만 박층으로 협재하기 때문에 일반적이지 못하며, 대체적으로 본 단면의 하부에는 이질 및 함력 이질암이 우세하고 상부로 갈수록 규암과 역암이 우세해진다. 우세한 암상과 퇴적구조, 각 암상의 두께 변화 및 이들이 교호하는 양상을 기준으로 고산 단면의 퇴적층은 10개의 특징적인 단위층으로 세분된다.

수직층서상 최하부 0~30 m 구간의 단위층(cycle 0)은 괴상의 이질암이 우세하며, 일부 역점이(inverse grading) 층리를 보이는 10~40 cm 두께의 역암이 간헐적으로 협재한다. 일부 이질암 내에 평행 염층리가 발달하나 일반적이지 못하며, 간혹 규암 역을 포함하는 함력 이질암이 본 단위층 내에 발달한다. 그러나, 본 단위층 상위의 30~50 m 구간(cycle 1)은 주로 규암이 우세하며, 상부로 갈수록 역암에서 규암으로 정점이(normal grading)하는 층들이 우세해진다. 한편, 50 m 상위의 단위층들(cycle 2~9)은 공히 하부에는 이질암이 우세하고 상위로 갈수록 점차 규암이 우세해지다가 괴상 또는 역점을 보이는 역암상으로 전이되며, 다시 그 다음 상위 단위층들의 이질암에 의해 피복되는 특징적인 교호 양상을 보인다. 아울러, 각 단위층들의 상부 층준에 우세하게 나타나는 규암 및 역암층에는 1차 퇴적구조로 보이는 평행층리(parallel stratification) 및 사층리(cross-stratification)들이 뚜렷이 발달한다. 특히, 50 m 상위의 단위층들은 각 단위층들의 두께가 10~15 m 정도를 유지하면서 상위로 갈수록 체계적으로 감소하는 경향이 인지된다.

30 m 상위의 각 단위층들은 단위층 내의 구성 암상의 체계적인 교호 양상에 비추어 상대적 해수면 변동에 따른 해침과 해퇴의 층서적 기록인 퇴적운회로 해석될 수 있으며, 따라서 성인적 층서단위의 하나인 준연계층(parasequence)에 대비된다고 볼 수 있다. 즉 하나의 단위층은 최초로 상대적인 해수면이 상승함에 따라 수심이 깊어져 각 단위층들의 하부에는 저 에너지 환경이 형성되어 이질암들의 퇴적이 진행된 후, 상

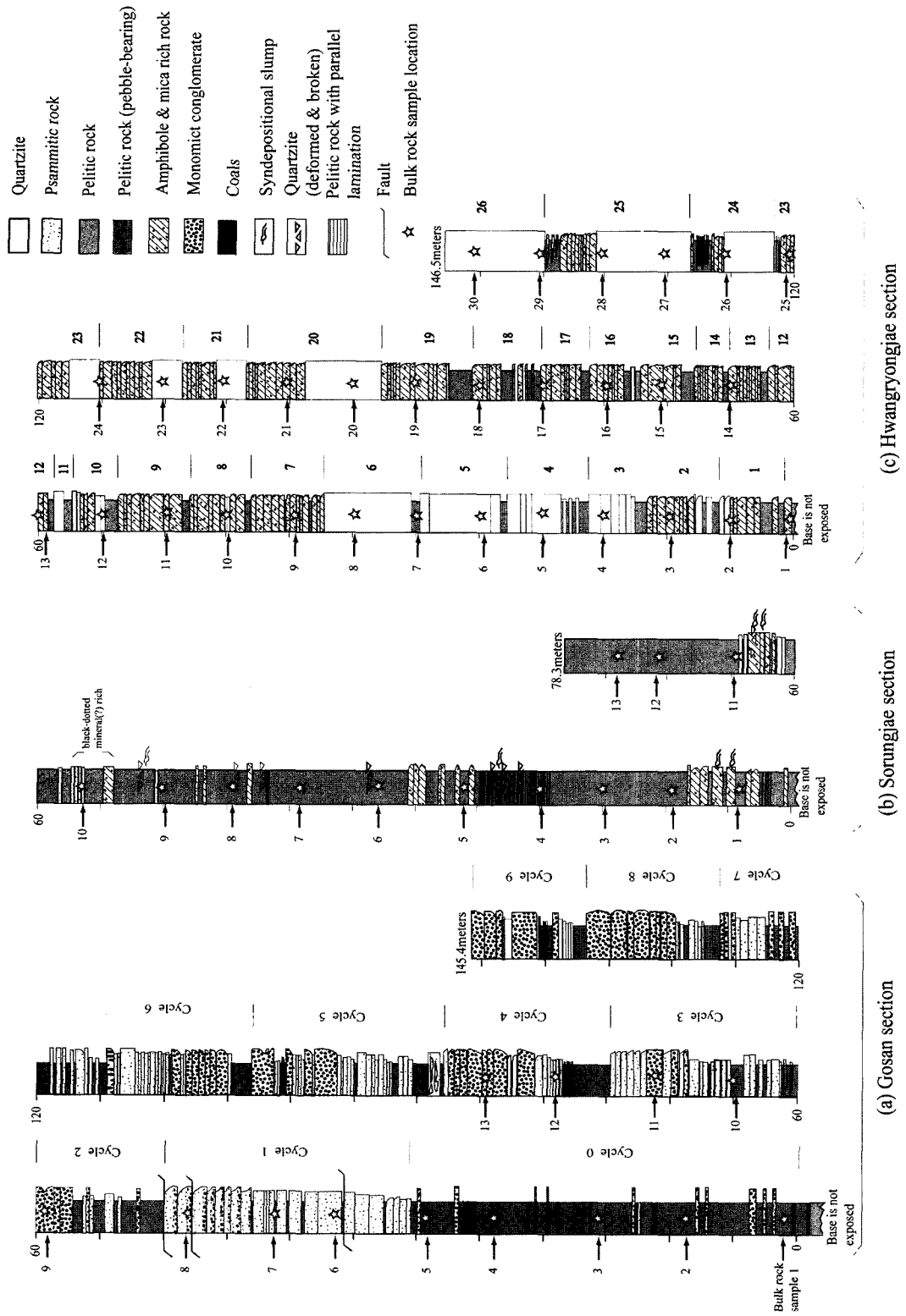


Fig. 3. Three stratigraphic measured sections from the Boeun (a) and Pibanryeong (b) units in the study area.

대적 해수면이 하강함에 따라 점차적으로 수심이 얕아지게 되어 고 에너지 환경이 형성되면서 평행층리 및 사층리를 보이는 규암과 역암들이 순차적으로 퇴적된 상향천심화(shallowing-upward)의 퇴적층으로 해석될 수가 있다. 이러한 상향천심화의 퇴적층들은 대체적으로 상대적 해수면의 변화에 퇴적이 민감하게 반응하는 해안 전면부나 천해 환경을 따라 잘 발달되며, 해안 전면부를 따라 발달한 삼각주 퇴적체가 상대적 해수면의 상승과 하강에 의해 천해 환경 속으로 전진과 후퇴를 반복함에 따라 퇴적된 것으로 판단된다. 따라서 각 단위층들의 경계면은 수심이 갑자기 깊어지는 해침면(marine flooding surface)에 해당되며, 아울러 각 단위층들의 두께가 상위로 갈수록 체계적으로 감소하는 경향으로 보아 시간이 경과함에 따라 삼각주 퇴적체들이 점차적으로 천해 환경 쪽으로 전진 구축(progradation)했던 것으로 해석된다. 한편, 본 고산 단면 하부 30 m 구간에 나타나는 단위층은 주로 이질암으로 구성되어 있어 대체적으로 저 에너지의 천해 환경 하에서 퇴적된 단위층으로 해석되며, 역점이 층리를 보이는 역암들이 협재되는 양상으로 보아 간헐적으로 고 에너지 환경의 암설류들이 유입되었던 것으로 판단된다. 따라서 본 고산 단면상에서 나타나는 수직층서상의 변화는 비교적 수심이 깊은 저 에너지의 천해 환경이 형성된 후 간헐적으로 암설류들이 유입된 후, 해안 전면부를 따라 발달한 고 에너지 환경의 삼각주 퇴적체가 상대적 해수면의 변동에 따라 전진과 후퇴를 반복하면서 점차적으로 천해 환경 쪽으로 전진 구축 하였던 것으로 해석 될 수 있다.

3.2. 소룡재 단면

소룡재 단면은 연구지역의 북서쪽에 위치하며 북동-남서 방향의 주향을 따라 남동쪽으로 경사되어 있다. 본 단면의 주 구성 암석은 이질암이며, 간헐적으로 각섬석 편암이나 수 cm 두께의 박층의 규암층들이 협재한다. 본 단면의 퇴적층들은 1:25만 지질도에 변성사질암대로 표시되어 있으며, 역시 미원 지역의 운교리층이나 계명산층에 대비되는 것으로 해석되었다(이병주 등, 1996).

정밀 기재에 따라 본 단면 내에서 이질암상, 엽리를 보이는 이질암상, 각섬석 편암상, 규암상 등의 4개 암상이 인지되었다(Fig. 3b). 이러한 암상들은 고산 단면에서와 같이 수직층서상 규칙적인 변화를 보이지는 않으며, 불규칙적으로 교호하는 양상을 보인다. 특히 협재되어 있는 각섬석 편암이나 규암층들이 심하게 교란

되어 있으며, 심한 경우에는 박층의 규암층들이 깨져 있어 이질암 내에 각력이나 부딘(boudine)과 같은 형태로 존재한다. 또한, 이질암의 일부 구간에서 슬럼프(slump)와 같은 퇴적 동시성 변형구조가 관찰되기도 한다. 따라서 본 단면상에서의 퇴적층들은 대체적으로 불안정한 사면을 따라 퇴적된 것으로 판단되며, 천해성 환경으로부터 수심이 갑자기 깊어지는 대륙사면 환경 하에서 주로 이질암과 함께 간헐히 박층의 저탁류성 퇴적층들이 퇴적된 후, 이러한 퇴적층들이 덜 고화된 상태로 사면을 따라 미끄러지면서 퇴적 동시성의 슬럼프와 같은 연성 변형을 일으켰던 것으로 해석된다.

3.3. 황룡재 단면

황룡재 단면은 연구지역의 북동쪽에 위치하며 북동-남서 방향의 주향을 따라 남동쪽으로 경사되어 있다. 본 단면은 주로 규암과 각섬석 편암으로 구성되어 있으며, 간헐적으로 박층의 이질암들이 규암과 각섬석 편암 사이에 협재한다(Fig. 3c). 본 단면의 퇴적층들은 1:25만 지질도에 변성사질암대로 표시되어 있으며, 역시 미원 지역의 운교리층이나 계명산층에 대비되는 것으로 해석되었다(이병주 등, 1996). 그러나 구성 암상만을 기준으로 미원 지역의 운교리층과 비슷하다고 할 수는 있지만, 야외 노두 관찰시 여러 면에 있어서 미원 지역의 운교리층과는 현격한 차이를 보이고 있어 본 단면의 퇴적층을 운교리층과 대비시키는데 있어서 문제가 있는 것으로 판단된다. 이러한 문제점이 바로 기재적 층서단위(예: 암층서단위)를 기준으로 퇴적층을 대비할 때 발생하는 공간상에서 일어나는 퇴적작용의 다양성을 무시한 전형적인 기재적 층서단위의 문제점이라 할 수 있다. 본 단면의 퇴적층들은 암상을 포함, 여러 면에서 미원 지역의 운교리층보다는 운교리층 하위의 증평층과 잘 대비되는 것으로 판단된다.

정밀 기재에 따라 본 단면 내에서는 각섬석 편암상, 규암상 및 이질암상 등의 3개 암상이 인지된다. 각섬석 편암들은 약 20~50 cm의 두께를 가지며, 각섬석이 우세한 하부 부분과 운모들이 우세한 상부 부분의 두 부분으로 나눌 수 있다. 운모들이 우세한 상부 부분에는 평행 엽리의 발달이 현저하며, 각섬석이 우세한 하부로부터 운모들이 우세한 상부까지 뚜렷하지는 않지만 희미한 정점이 인지되기도 한다. 이러한 각섬석 편암들은 단면상에서 반복적으로 나타나며, 일부 구간에서는 박층의 이질암들을 협재한다. 규암상은 괴상이며, 대체적으로 3~8 m의 두께를 가지면서 수직층서상 각섬석 편암이 우세한 구간과 규칙적으로 교호한다. 우

Table 1. Bulk compositions of the southern sector of Boeun unit in the Hwasan area.

| Lito Unit | The southern sector of Boeun unit | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|--|--|
| | Sample | KD6-1 | KD6-2 | KD7-2 | KD9 | KD10 | KD12 | KD13 | KD13-1 | KD15 | KD16 | KD16-2 | KD17-1 | KD17-2 | KD18 | KD19-2 | KD20-1 | KD20-2 | KD21 | KD22 | | |
| | SiO ₂ | 63.79 | 78.56 | 67.14 | 61.22 | 65.74 | 78.71 | 78.56 | 80.89 | 59.32 | 65.58 | 77.72 | 67.08 | 61.93 | 78.76 | 80.42 | 59.76 | 80.38 | 73.39 | 71.44 | | |
| | TiO ₂ | 0.78 | 0.50 | 1.03 | 0.78 | 0.73 | 0.56 | 0.49 | 0.55 | 0.81 | 0.72 | 0.39 | 0.84 | 0.97 | 0.51 | 0.48 | 0.87 | 0.47 | 0.51 | 0.52 | | |
| | Al ₂ O ₃ | 17.82 | 9.02 | 19.88 | 16.81 | 14.56 | 9.84 | 10.22 | 9.44 | 18.38 | 14.07 | 9.51 | 19.49 | 20.55 | 11.09 | 8.20 | 17.79 | 8.23 | 8.34 | 9.09 | | |
| | Cr ₂ O ₃ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | |
| | Fe ₂ O ₃ * | 4.40 | 4.14 | 1.26 | 7.24 | 6.62 | 3.05 | 3.91 | 2.85 | 6.39 | 5.57 | 1.38 | 1.23 | 3.60 | 2.08 | 3.01 | 8.20 | 3.34 | 4.47 | 3.86 | | |
| | MnO | 0.06 | 0.04 | 0.01 | 0.02 | 0.04 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.04 | 0.09 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.08 | 0.06 | | |
| | MgO | 1.99 | 2.08 | 0.42 | 2.36 | 3.30 | 0.43 | 0.47 | 0.44 | 3.72 | 2.61 | 0.57 | 1.04 | 1.34 | 0.65 | 1.35 | 4.25 | 1.78 | 2.55 | 2.13 | | |
| | CaO | 1.84 | 1.76 | 0.09 | 0.20 | 1.47 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 3.81 | 2.28 | 0.15 | 0.13 | 0.33 | 0.07 | 0.87 | 0.30 | 0.66 | 2.62 | 4.52 | | |
| | Na ₂ O | 0.24 | 0.99 | 0.21 | 0.14 | 1.17 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.87 | 0.86 | 0.04 | 0.15 | 0.51 | 0.10 | 0.04 | 0.11 | 0.39 | 0.45 | 0.97 | | |
| | K ₂ O | 6.27 | 1.77 | 6.01 | 4.96 | 3.67 | 2.80 | 2.57 | 2.83 | 4.43 | 3.49 | 2.72 | 6.47 | 6.95 | 3.13 | 2.25 | 4.13 | 2.10 | 1.90 | 1.99 | | |
| | P ₂ O ₅ | 0.19 | 0.12 | 0.04 | 0.07 | 0.14 | 0.04 | 0.07 | 0.03 | 0.16 | 0.17 | 0.03 | 0.15 | 0.18 | 0.04 | 0.13 | 0.15 | 0.12 | 0.13 | 0.14 | | |
| | L.O.I. | 2.18 | 0.74 | 3.36 | 3.17 | 2.30 | 3.33 | 3.18 | 2.58 | 1.77 | 4.50 | 2.63 | 3.12 | 3.23 | 3.12 | 3.07 | 4.51 | 2.32 | 5.11 | 4.89 | | |
| | total | 99.56 | 99.72 | 99.45 | 96.97 | 99.74 | 98.92 | 99.63 | 99.77 | 99.70 | 99.94 | 95.15 | 99.71 | 99.61 | 99.56 | 99.86 | 100.10 | 99.82 | 99.55 | 99.61 | | |

| Lito Unit | The southern sector of Boeun unit | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | Sample | KD-23 | AK-4 | AK-7 | AK-2 | AK-8 | AK-10 | GS-1 | GS-2 | GS-3 | GS-4 | GS-5 | GS-6 | GS-8 | GS-9 | GS-10 | GS-11 | GS-12 | GS-13 |
| | SiO ₂ | 77.61 | 61.67 | 64.29 | 78.29 | 81.32 | 71.33 | 66.98 | 66.50 | 72.84 | 63.72 | 70.24 | 72.12 | 74.14 | 65.25 | 82.39 | 73.52 | 79.17 | 77.75 |
| | TiO ₂ | 0.49 | 0.80 | 0.86 | 0.60 | 0.45 | 0.80 | 0.70 | 0.73 | 0.70 | 0.76 | 0.70 | 0.69 | 0.66 | 0.89 | 0.58 | 0.80 | 0.71 | 0.79 |
| | Al ₂ O ₃ | 8.37 | 18.23 | 17.11 | 10.07 | 11.38 | 15.87 | 13.21 | 15.74 | 13.82 | 16.92 | 14.14 | 12.95 | 12.97 | 18.13 | 10.29 | 15.28 | 11.69 | 13.09 |
| | Cr ₂ O ₃ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | Fe ₂ O ₃ * | 3.74 | 6.64 | 4.56 | 3.46 | 0.90 | 3.16 | 9.39 | 6.29 | 3.71 | 7.31 | 5.10 | 6.02 | 3.50 | 4.35 | 1.10 | 1.97 | 1.63 | 0.52 |
| | MnO | 0.04 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.01 | 0.03 | 0.02 | 0.04 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| | MgO | 1.79 | 2.73 | 2.17 | 1.38 | 0.23 | 1.04 | 1.82 | 1.69 | 1.27 | 1.45 | 1.54 | 1.32 | 1.63 | 0.88 | 0.39 | 0.55 | 0.53 | 0.62 |
| | CaO | 1.95 | 0.64 | 3.85 | 0.82 | 0.14 | 0.13 | 0.93 | 3.07 | 1.35 | 1.49 | 1.66 | 0.58 | 0.95 | 0.14 | 0.07 | 0.08 | 0.07 | 0.07 |
| | Na ₂ O | 0.97 | 0.40 | 1.48 | 1.21 | 0.18 | 0.24 | 0.16 | 0.36 | 0.31 | 0.16 | 0.24 | 0.18 | 0.23 | 0.22 | 0.10 | 0.15 | 0.10 | 0.10 |
| | K ₂ O | 2.04 | 6.12 | 3.29 | 2.72 | 3.51 | 5.22 | 4.54 | 3.67 | 3.84 | 5.57 | 3.86 | 4.12 | 3.89 | 5.48 | 3.18 | 4.51 | 3.60 | 4.29 |
| | P ₂ O ₅ | 0.13 | 0.13 | 0.17 | 0.17 | 0.11 | 0.02 | 0.03 | 0.06 | 0.06 | 0.05 | 0.07 | 0.06 | 0.09 | 0.03 | 0.05 | 0.06 | 0.02 | 0.02 |
| | L.O.I. | 2.65 | 2.34 | 1.81 | 1.03 | 1.56 | 2.06 | 1.94 | 1.75 | 1.72 | 2.58 | 2.49 | 1.76 | 1.73 | 4.62 | 1.78 | 2.74 | 2.12 | 2.31 |
| | total | 99.78 | 99.75 | 99.63 | 99.79 | 99.79 | 99.89 | 99.73 | 99.89 | 99.65 | 100.02 | 100.07 | 99.82 | 99.83 | 100.01 | 99.94 | 99.67 | 99.65 | 99.57 |

Lito unit, Lithotectonic unit; Fe₂O₃* is total Fe as Fe₂O₃.

Table 2. Bulk compositions of the northern sector of Boeun unit in the Hwasan area.

| Sample | The northern sector of Boeun unit | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--|--|
| | AK-11 | AK-17 | AK-18 | AK-21 | RBH-1 | RBH-2 | RBH-3 | RBH-20 | RBH-21 | RBH-22 | RBH-23 | RBH-25 | | |
| SiO ₂ | 82.75 | 80.59 | 70.61 | 66.37 | 62.02 | 64.20 | 66.39 | 62.37 | 66.95 | 70.47 | 59.76 | 76.23 | | |
| TiO ₂ | 0.40 | 0.50 | 0.59 | 0.80 | 0.77 | 0.64 | 0.80 | 0.70 | 0.74 | 0.64 | 0.69 | 0.55 | | |
| Al ₂ O ₃ | 7.12 | 9.09 | 11.99 | 14.91 | 17.44 | 13.96 | 15.03 | 13.44 | 15.27 | 12.91 | 13.95 | 10.27 | | |
| Cr ₂ O ₃ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | |
| Fe ₂ O ₃ * | 3.71 | 3.09 | 6.06 | 4.72 | 6.97 | 8.70 | 5.72 | 4.62 | 4.61 | 6.13 | 5.51 | 4.61 | | |
| MnO | 0.01 | 0.02 | 0.04 | 0.06 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.02 | | |
| MgO | 1.76 | 1.69 | 1.50 | 4.41 | 2.84 | 3.05 | 2.87 | 2.16 | 2.21 | 2.27 | 3.77 | 2.29 | | |
| CaO | 0.19 | 0.21 | 1.65 | 2.45 | 0.82 | 1.14 | 0.57 | 1.22 | 0.54 | 0.31 | 4.69 | 0.24 | | |
| Na ₂ O | 0.84 | 1.09 | 0.35 | 0.29 | 0.72 | 0.96 | 0.72 | 1.26 | 0.85 | 1.32 | 1.07 | 0.97 | | |
| K ₂ O | 1.21 | 1.66 | 3.09 | 4.44 | 5.08 | 3.93 | 4.68 | 3.22 | 3.89 | 3.24 | 4.43 | 2.69 | | |
| P ₂ O ₅ | 0.12 | 0.13 | 0.10 | 0.12 | 0.11 | 0.11 | 0.15 | 0.08 | 0.08 | 0.13 | 0.14 | 0.14 | | |
| L.O.I. | 1.55 | 1.70 | 3.64 | 1.19 | 2.98 | 2.78 | 2.69 | 5.08 | 4.82 | 2.19 | 1.86 | 1.86 | | |
| total | 99.66 | 99.77 | 99.62 | 99.76 | 99.80 | 99.52 | 99.67 | 94.18 | 99.99 | 99.65 | 95.92 | 99.87 | | |

| Sample | The northern sector of Boeun unit | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|-----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|--|--|--|--|--|--|
| | RBH-27 | RBH-28 | RBH-29 | RBH-30 | RBH-33 | RBH-34 | RBH-35 | | | | | | | |
| SiO ₂ | 60.43 | 64.65 | 77.76 | 82.69 | 73.02 | 80.63 | 60.05 | | | | | | | |
| TiO ₂ | 0.82 | 0.86 | 0.71 | 0.42 | 0.64 | 0.54 | 0.72 | | | | | | | |
| Al ₂ O ₃ | 17.31 | 16.46 | 9.59 | 7.43 | 12.13 | 6.38 | 17.52 | | | | | | | |
| Cr ₂ O ₃ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | | | | | | |
| Fe ₂ O ₃ * | 7.34 | 5.37 | 4.01 | 3.55 | 4.51 | 3.15 | 8.24 | | | | | | | |
| MnO | 0.03 | 0.02 | 0.04 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.17 | | | | | | | |
| MgO | 4.81 | 3.87 | 2.06 | 1.39 | 2.42 | 3.23 | 3.36 | | | | | | | |
| CaO | 0.41 | 0.36 | 0.77 | 1.46 | 2.87 | 1.92 | 2.46 | | | | | | | |
| Na ₂ O | 0.77 | 0.65 | 1.09 | 0.54 | 0.77 | 0.93 | 0.59 | | | | | | | |
| K ₂ O | 4.14 | 4.54 | 2.33 | 1.52 | 2.46 | 1.62 | 4.99 | | | | | | | |
| P ₂ O ₅ | 0.12 | 0.17 | 0.25 | 0.11 | 0.11 | 0.09 | 0.11 | | | | | | | |
| L.O.I. | 3.75 | 2.85 | 1.12 | 0.63 | 0.71 | 1.17 | 1.64 | | | | | | | |
| total | 99.93 | 99.80 | 99.73 | 99.78 | 99.67 | 99.69 | 99.85 | | | | | | | |

Table 3. Bulk compositions of Pibamnyeong unit in the Hwasan area.

| Sample | Pibamnyeong unit | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|------------------|-------|-------|-------|----------|----------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | RBH-4 | RBH-5 | RBH-6 | AK-21 | RBH-26-1 | RBH-26-2 | RBH-30 | RBH-31 | RBH-32 | RBH-36 | SR-1 | SR-2 | SR-3 | SR-4 | SR-5 | SR-6 |
| SiO ₂ | 77.78 | 59.02 | 62.33 | 66.37 | 66.82 | 62.97 | 82.69 | 65.64 | 60.78 | 59.56 | 60.08 | 57.68 | 58.75 | 60.12 | 59.64 | 62.31 |
| TiO ₂ | 0.49 | 0.88 | 0.78 | 0.80 | 0.81 | 0.82 | 0.42 | 0.80 | 0.79 | 0.90 | 0.75 | 0.83 | 0.83 | 0.81 | 0.78 | 0.80 |
| Al ₂ O ₃ | 10.28 | 17.78 | 17.23 | 14.91 | 16.54 | 17.81 | 7.43 | 14.09 | 17.13 | 18.51 | 17.02 | 16.27 | 17.97 | 17.39 | 17.60 | 15.77 |
| Cr ₂ O ₃ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Fe ₂ O ₃ * | 4.08 | 7.35 | 7.41 | 4.72 | 5.19 | 6.44 | 3.55 | 6.69 | 5.92 | 7.20 | 7.50 | 6.97 | 7.38 | 7.11 | 7.52 | 7.09 |
| MnO | 0.03 | 0.10 | 0.11 | 0.06 | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.10 | 0.06 | 0.09 | 0.06 | 0.09 | 0.07 | 0.06 | 0.07 | 0.09 |
| MgO | 1.67 | 3.65 | 3.10 | 4.41 | 1.99 | 2.43 | 1.39 | 3.53 | 2.58 | 3.70 | 3.27 | 3.70 | 3.52 | 3.61 | 3.33 | 3.55 |
| CaO | 0.30 | 5.37 | 1.07 | 2.45 | 0.24 | 0.21 | 1.46 | 4.03 | 3.76 | 0.61 | 3.33 | 7.71 | 5.29 | 6.13 | 2.31 | 5.08 |

Table 3. Continud.

| Lito Unit | Phanryeong unit | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|-----------------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|
| | HR-1 | HR-2 | HR-3 | HR-4 | HR-5 | HR-6 | HR-7 | HR-8 | HR-9 | | | | | | | |
| Na ₂ O | 0.90 | 1.02 | 1.03 | 0.29 | 0.21 | 0.54 | 0.47 | 0.86 | 2.16 | 0.82 | 1.40 | 0.53 | 0.57 | 0.66 | | |
| K ₂ O | 2.75 | 3.45 | 4.19 | 4.44 | 5.11 | 5.30 | 3.17 | 6.10 | 4.29 | 3.19 | 3.37 | 3.03 | 5.33 | 3.32 | | |
| P ₂ O ₅ | 0.10 | 0.16 | 0.14 | 0.12 | 0.13 | 0.11 | 0.17 | 0.15 | 0.14 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.15 | 0.16 | | |
| L.O.I. | 1.44 | 1.00 | 2.43 | 1.19 | 3.21 | 0.63 | 1.02 | 1.66 | 1.06 | 2.36 | 1.02 | 1.09 | 2.41 | 0.95 | | |
| total | 99.82 | 99.78 | 99.82 | 99.76 | 99.81 | 99.78 | 99.71 | 99.79 | 99.66 | 99.77 | 99.75 | 100.03 | 99.71 | 99.78 | | |
| Lito Unit | Phanryeong unit | | | | | | | | | | | | | | | |
| | SR-7 | SR-8 | SR-9 | SR-10 | SR-11 | SR-12 | SR-13 | HR-1 | HR-2 | HR-3 | HR-4 | HR-5 | HR-6 | HR-7 | HR-8 | HR-9 |
| SiO ₂ | 60.06 | 58.99 | 58.66 | 60.08 | 62.06 | 58.44 | 58.99 | 87.16 | 84.82 | 60.59 | 84.26 | 90.43 | 93.97 | 90.97 | 89.02 | 79.63 |
| TiO ₂ | 0.84 | 0.81 | 0.87 | 0.88 | 0.77 | 0.85 | 0.83 | 0.34 | 0.35 | 0.75 | 0.33 | 0.27 | 0.10 | 0.18 | 0.16 | 0.43 |
| Al ₂ O ₃ | 16.18 | 15.91 | 17.84 | 16.13 | 13.34 | 18.40 | 17.51 | 4.31 | 5.76 | 17.16 | 6.34 | 3.71 | 1.55 | 2.98 | 2.16 | 5.97 |
| Cr ₂ O ₃ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Fe ₂ O ₃ * | 7.02 | 7.30 | 6.86 | 6.46 | 6.46 | 7.11 | 7.39 | 1.53 | 2.23 | 6.66 | 1.82 | 1.21 | 0.89 | 0.98 | 1.75 | 3.35 |
| MnO | 0.09 | 0.11 | 0.08 | 0.07 | 0.10 | 0.08 | 0.08 | 0.05 | 0.08 | 0.66 | 0.05 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.08 | 0.09 |
| MgO | 3.55 | 3.61 | 3.46 | 3.51 | 3.74 | 3.42 | 3.70 | 1.43 | 1.93 | 1.73 | 1.73 | 1.20 | 0.79 | 0.95 | 2.40 | 3.02 |
| CaO | 6.08 | 6.57 | 5.52 | 5.15 | 6.10 | 6.32 | 1.87 | 1.87 | 1.56 | 4.16 | 2.05 | 1.00 | 1.16 | 1.26 | 2.63 | 4.97 |
| Na ₂ O | 0.76 | 0.76 | 1.80 | 1.24 | 0.87 | 2.54 | 0.43 | 0.23 | 0.34 | 0.84 | 0.27 | 0.13 | 0.11 | 0.20 | 0.14 | 0.17 |
| K ₂ O | 3.26 | 3.07 | 3.27 | 2.93 | 2.46 | 3.40 | 3.42 | 1.39 | 2.15 | 6.00 | 1.48 | 0.80 | 0.41 | 0.56 | 0.14 | 0.93 |
| P ₂ O ₅ | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.17 | 0.16 | 0.15 | 0.15 | 0.07 | 0.07 | 0.09 | 0.07 | 0.06 | 0.05 | 0.03 | 0.03 | 0.08 |
| L.O.I. | 1.80 | 2.56 | 1.27 | 2.45 | 3.74 | 1.28 | 0.97 | 1.35 | 1.17 | 1.45 | 1.26 | 0.89 | 0.84 | 1.70 | 1.20 | 0.87 |
| total | 99.80 | 99.76 | 99.79 | 99.07 | 99.80 | 99.77 | 99.79 | 99.73 | 99.83 | 99.69 | 99.66 | 99.73 | 99.90 | 99.84 | 99.71 | 99.51 |
| Lito Unit | Phanryeong unit | | | | | | | | | | | | | | | |
| | HR-10 | HR-11 | HR-12 | HR-13 | HR-14 | HR-15 | HR-16 | HR-17 | HR-18 | HR-19 | HR-20 | HR-21 | HR-22 | HR-23 | HR-24 | HR-25 |
| SiO ₂ | 88.53 | 90.79 | 62.72 | 91.51 | 74.29 | 60.71 | 55.42 | 63.24 | 80.42 | 79.15 | 89.07 | 69.05 | 91.76 | 85.97 | 61.42 | 87.33 |
| TiO ₂ | 0.14 | 0.25 | 0.68 | 0.21 | 0.68 | 0.78 | 0.31 | 0.84 | 0.32 | 0.25 | 0.14 | 0.50 | 0.12 | 0.39 | 0.71 | 0.32 |
| Al ₂ O ₃ | 2.65 | 3.39 | 13.96 | 2.41 | 11.91 | 17.85 | 5.79 | 18.14 | 5.02 | 3.91 | 2.46 | 10.85 | 1.72 | 5.70 | 14.72 | 3.54 |
| Cr ₂ O ₃ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Fe ₂ O ₃ * | 1.95 | 1.01 | 8.86 | 1.42 | 1.46 | 4.59 | 1.66 | 3.41 | 4.93 | 4.13 | 2.29 | 4.88 | 1.10 | 1.18 | 7.03 | 1.42 |
| MnO | 0.05 | 0.02 | 0.06 | 0.06 | 0.02 | 0.03 | 0.08 | 0.03 | 0.07 | 0.11 | 0.06 | 0.11 | 0.05 | 0.04 | 0.06 | 0.05 |
| MgO | 1.70 | 0.86 | 3.75 | 1.20 | 1.44 | 2.21 | 1.50 | 1.76 | 3.27 | 4.75 | 1.99 | 4.60 | 1.57 | 1.43 | 2.44 | 2.28 |
| CaO | 2.70 | 0.97 | 2.30 | 1.58 | 1.95 | 5.58 | 18.40 | 8.32 | 3.52 | 5.31 | 1.95 | 5.26 | 1.81 | 1.74 | 6.20 | 2.24 |
| Na ₂ O | 0.10 | 0.23 | 0.30 | 0.15 | 0.32 | 0.71 | 0.20 | 0.41 | 0.25 | 0.20 | 0.10 | 0.31 | 0.10 | 0.42 | 0.28 | 0.17 |
| K ₂ O | 0.54 | 1.17 | 4.62 | 0.29 | 6.69 | 4.85 | 1.84 | 1.95 | 0.35 | 0.60 | 0.55 | 1.48 | 0.73 | 1.77 | 4.56 | 1.03 |
| P ₂ O ₅ | 0.03 | 0.05 | 0.11 | 0.03 | 0.12 | 0.09 | 0.13 | 0.10 | 0.07 | 0.05 | 0.04 | 0.10 | 0.05 | 0.07 | 0.16 | 0.07 |
| L.O.I. | 1.30 | 1.09 | 2.46 | 0.88 | 0.95 | 2.22 | 14.38 | 1.30 | 1.36 | 1.08 | 1.04 | 2.46 | 0.66 | 0.98 | 2.02 | 1.09 |
| total | 99.69 | 99.83 | 99.82 | 99.74 | 99.83 | 99.62 | 99.71 | 99.50 | 99.58 | 99.54 | 99.69 | 99.60 | 99.67 | 99.69 | 99.60 | 99.54 |
| Lito Unit | Phanryeong unit | | | | | | | | | | | | | | | |
| | HR-26 | HR-27 | HR-28 | HR-29 | HR-30 | | | | | | | | | | | |
| SiO ₂ | 86.81 | 91.76 | 91.97 | 91.41 | 89.65 | | | | | | | | | | | |
| TiO ₂ | 0.34 | 0.14 | 0.17 | 0.16 | 0.22 | | | | | | | | | | | |
| Al ₂ O ₃ | 3.93 | 2.45 | 2.20 | 2.71 | 3.46 | | | | | | | | | | | |
| Cr ₂ O ₃ | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | | | | | | | | | | | |
| Fe ₂ O ₃ * | 1.59 | 0.97 | 1.02 | 0.96 | 1.35 | | | | | | | | | | | |
| MnO | 0.06 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | | | | | | | | | | | |
| MgO | 2.40 | 0.78 | 1.53 | 1.25 | 1.31 | | | | | | | | | | | |
| CaO | 2.76 | 1.49 | 1.68 | 1.39 | 1.41 | | | | | | | | | | | |
| Na ₂ O | 0.30 | 0.10 | 0.10 | 0.09 | 0.10 | | | | | | | | | | | |
| K ₂ O | 0.51 | 0.61 | 0.77 | 0.71 | 0.95 | | | | | | | | | | | |
| P ₂ O ₅ | 0.08 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | | | | | | | | | | | |
| L.O.I. | 0.82 | 1.50 | 1.23 | 0.98 | 1.22 | | | | | | | | | | | |
| total | 99.60 | 99.87 | 100.75 | 99.73 | 99.76 | | | | | | | | | | | |

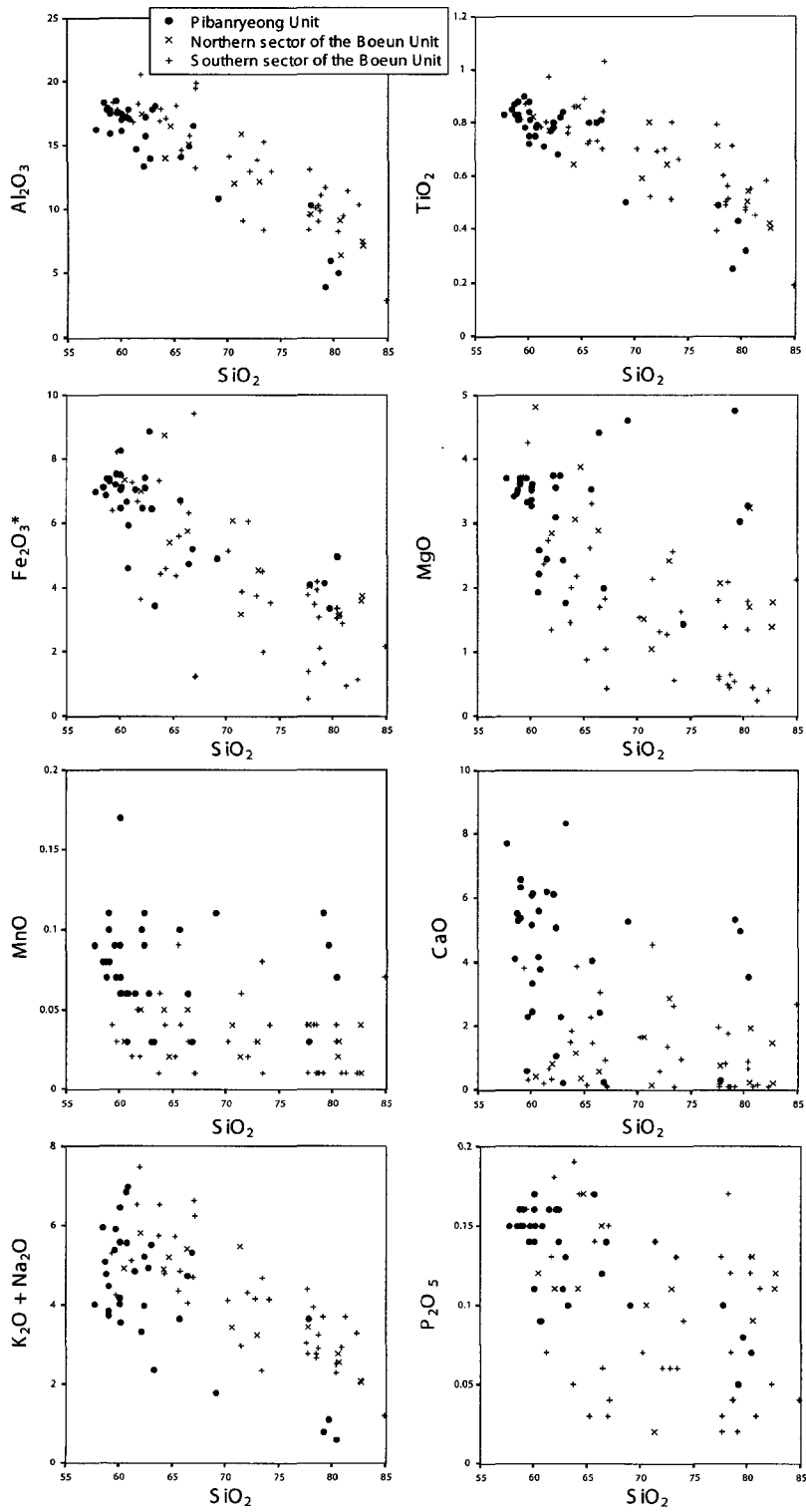


Fig. 4. SiO₂ versus Al₂O₃, TiO₂, Fe₂O₃*, MgO, MnO, CaO, K₂O+Na₂O and P₂O₅ for metapelitic and met psammitic rocks from the Boeun and Pibanryeong units in the study area.

세한 암상과 퇴적구조, 각 암상의 두께 변화 및 이들이 교호하는 양상을 기준으로 본 단면의 퇴적층은 26개의 특징적인 단위층으로 세분될 수 있다. 단위층 1로부터 단위층 19까지는 각 단위층들의 기저부에 20-100 cm의 이질암이 나타나며, 그 상위에 각섬석 편암이나 괴상의 규암들이 반복되는 특징을 보이나, 단위층 20으로부터 단위층 26까지는 괴상의 규암층을 기저로 하여 그 상위에 각섬석 편암들이 반복되어 나타난다. 일부 단위층(예: 단위층 23, 24 및 25)에는 규암층을 기저로 각섬석 편암들이 반복된 후, 5 cm 미만의 박층의 각섬석 편암들을 포함하는 이질암이 나타나기도 한다.

각 단위층 내에서 이질암을 기저로 하여 그 상위에 각섬석 편암들이 반복적으로 교호되는 양상을 보면 대체적으로 동 단위층들은 대륙사면의 기저부로부터 경사가 다시 급격히 완만해지는 분지 바닥의 환경 하에서 저탁류들에 의해 퇴적된 것으로 판단된다. 특히, 단위층 1로부터 단위층 6까지의 퇴적 양상을 보면 단위층들의 두께가 체계적으로 두꺼워짐과 동시에 상부로 갈수록 괴상의 규암층들이 증가하는 경향이 인지되는데 이는 분지 바닥을 따라 전진 구축하는 분지 바닥 선상지(basin-floor fan)의 퇴적 양상인 것으로 해석될 수 있다. 아울러, 단위층 7로부터 단위층 19까지는 주로 각섬석 편암이 교호하는 단위층으로 구성되어 있으며, 각 단위층들의 두께 변화가 단위층 11까지는 점차적으로 감소하나 단위층 12로부터는 점차적으로 증가하는 현상이 인지된다. 이러한 현상은 분지 바닥 선상지가 전진 구축되면서 시간이 흐름에 따라 점차적으로 퇴적 중심을 횡적으로 이동(lateral migration) 시켰던 것으로 판단된다. 그러나, 단위층 20부터는 규암층을 기저로 그 상위에 각섬석 편암들이 나타난다. 이러한 단위층들은 주로 분지 바닥 선상지가 퇴적된 후 상대적으로 해수면이 상승하면서 퇴적되는 channel-levee complex의 양상을 보이는 것으로 해석되며, 괴상의 규암층은 channel을, 각섬석 편암층은 channel이 충전된 후, inter-channel 지역에 overflow하는 저탁류성의 퇴적체들인 것으로 해석될 수 있다.

4. 전암분석 및 암석화학

연구지역 내에서 Cluzel *et al.*(1990)에 의해 제시된 남동부의 보은 단위층 및 북서부의 피반령 단위층을 기준으로 각각 56개와 53개의 변성이질암 및 변성사질암 시료를 채취하여 각 시료들에 대한 주성분 원소를

분석하였다. 이들 분석은 한국 지질자원 연구원 XRF 분광분석기(MXF-2100)를 이용해 수행하였다. 분석시 MXF-2100을 가속전압 40 kV, 전류 70 mA의 분석조건 하에서 시료를 용융시켜 만든 유리원판(glass disc, glass bead)을 다채널 방식으로 주원소들을 동시 측정하였다. 분석결과는 Table 1, 2, 및 3에 제시하였으며 전철의 양은 $Fe_2O_3^*$ 로 나타내었다.

전반적으로 남동부의 보은 단위층 및 북서부의 피반령 단위층의 구조층서 단위층에서 구한 주성분 원소의 분석결과는 다음과 같다(Fig. 4). 보은 단위층에서 피반령 단위층으로 갈수록 평균 SiO_2 함량이 줄어드나 Al_2O_3 , TiO_2 , $Fe_2O_3^*$, MgO , MnO , CaO , K_2O+Na_2O , P_2O_5 평균 함량은 증가하는 경향을 보여주며, 일부 피반령단위의 사질암의 성분경향을 제외하고는 두 단위층의 평균 주성분 원소 범위 값은 뚜렷한 차이를 보여준다(Table 3 and Fig. 4). 특히 Al_2O_3 , TiO_2 , $Fe_2O_3^*$, MgO 와 P_2O_5 는 보은 단위층보다 피반령 단위층에서 뚜렷하게 높은 함량을 가진다. Roser (1996)의 (Al_2O_3/SiO_2) 대 $(FeO^*+MgO)/(SiO_2+K_2O+Na_2O)$ (Basicity Index: B.I.)의 분별도에 성분 자료를 도시하면(Fig. 5), 주성분원소의 분석결과와 같이 피반령 단위의 일부 사질암을 제외하고는 보은 단위층에서 피반령 단위층으로 갈수록 화학적인 성분의 변화가 점진적으로 증가하는 경향을 보여주며, 보은 단위층은 비교적 넓은 성분 범위의 값을 보여주나, 피반령 단위층에서는 상대적으로 보은

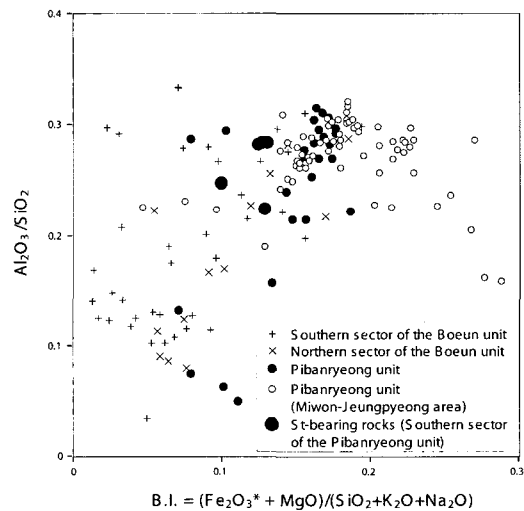


Fig. 5. The discrimination diagram of Al_2O_3/SiO_2 versus $B.I. = (Fe_2O_3^* + MgO)/(SiO_2 + K_2O + Na_2O)$ for metapelitic and psammitic rocks from the Boeun and Pibanryeong units in the study area, and Pibanryeong unit in the Miwon-Jeungpyeong area. B.I.=basicity index.

단위층과 비교해 (Al_2O_3/SiO_2) 및 Basicity Index가 높고 좁은 성분범위의 값을 보여준다. 또한 십자석을 포함하는 피반령 단위층 남부지역 즉, 보은 단위층과 피반령 단위층의 경계를 이루는 지역에서 채취된 암석 시료들은 두 단위층 사이의 중간 성분 값을 지시하며 보은 단위층에서 피반령 단위층으로 전이되는 성분영역에 도시된다. 유인창 등(준비중)은 화산지역의 피반령 단위층보다 좀더 깊은 분지 중심의 환경으로 판단되는 미원층 평지지역의 피반령 단위층에서 약 80여개의 암석 시료를 채취하여 전암 분석을 수행하였으며, 이들 성분 값은 화산지역 피반령 단위층에서 얻은 성분 경향과 비슷하거나 좀더 높은 Basicity Index 값을 가진다(Fig. 5).

보은 단위층에서 1개 지점(고산) 및 피반령 단위층에서 1개 지점(소룡재)의 정밀 기재된 신선한 노두에서 수직 층서상 하부로부터 상부까지 일정한 간격으로 채취되었다(Fig. 6). 고산단면(보은 단위층)의 주성분 원소의 변화 경향은 층서상 하부인 이질성분의 암상과 상부의 사질암상이 Al_2O_3/SiO_2 -B.I. 분별도 및 A'KF 삼 성분도에서 뚜렷한 성분영역 및 경향을 보여 준다(Fig. 6a, b). Al_2O_3/SiO_2 -B.I. 분별도에서 보은 단위층의 전체 성분 영역(Fig. 4)과 고산단면의 성분 영역이 일치하는 점이 특징이다. A'KF 삼 성분도에서 고산단면의 주성분 원소의 화학성분 변화 경향은 층서상 하부로부터 상부로 갈수록 A' 성분 ($Al_2O_3-Na_2O-CaO-K_2O$)과 K(K_2O) 성분이 증가하며 F($Fe_2O_3^*+MgO+MnO$) 성분이 점진적으로 감소한다. 이에 반해 소룡재단면의 이질암의 화학성분은 좁은 범위의 영역에 집중되어 분포하며 고산하부의 이질암보다 낮은 A' 성분과 높은 F 성분을 보여준다(Fig. 6). 또한, 황룡재 단면에서 채취한 이질암들은 피반령 단위층 전체에서 채취한 이질암의 성분에 비해 SiO_2 함량이 상대적으로 높고 Al_2O_3 , TiO_2 , $Fe_2O_3^*$, K_2O+Na_2O , P_2O_5 함량이 낮은 경향을 보여준다. 이는 간헐적으로 박층의 이질암들이 규암과 각섬석 편암 사이에 협재하기 때문에 이질암의 주원소 성분경향이 규암과 각섬석 편암의 주원소 성분과 혼합되었을 가능성을 지시한다. 따라서 정밀 기재된 지점들에서의 주성분 원소의 성분 변화도에서 제외하였다.

전반적으로 연구지역 내 전체지역과 정밀 기재된 단면들에 대한 주원소 성분 변화 경향을 퇴적환경과 비교할 때 천해성 환경이 인지되는 보은 단위층에서 대륙사면을 거쳐 분지 중심의 환경이 인지되는 피반령 단위층으로 갈수록 주원소 성분 변화 경향이 뚜렷한 차이를 보여주지만 실질적으로 퇴적분지에서 퇴적공간상의 환경을 유추할 지시자로 전암분석 자료가 사용 될 수 있

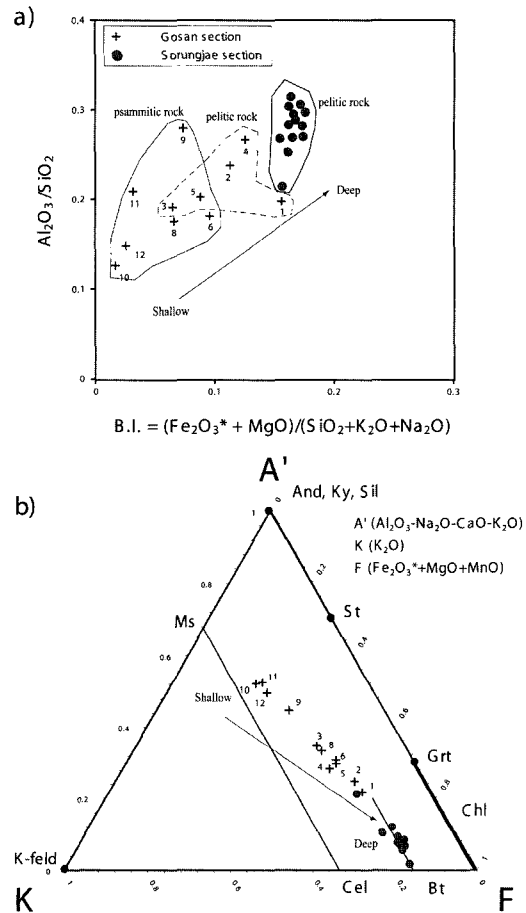


Fig. 6. (a) Discrimination diagram of Al_2O_3/SiO_2 versus $B.I. = (Fe_2O_3^* + MgO) / (SiO_2 + K_2O + Na_2O)$ and (b) A'KF diagram for bulk rock chemistry in metapelitic and psammitic rocks from the Gosan section of the Boeun unit and the Sorungjae section of the Pibanryeong unit in the study area.

을 것인가는 차후 해결해야 할 과제 중에 하나이다.

5. 퇴적상의 공간적 분포에 따른 분지형성 구조운동의 유추

연구지역 내에서 정밀 기재된 단면들에 대한 퇴적환경을 종합하면 대체적으로 남동부에서는 천해성 환경(고산단면)이 인지되나, 북서쪽으로 갈수록 대륙사면(소룡재단면)을 거쳐 분지 중심의 환경(황룡재단면)으로 전이되는 경향을 보인다(Fig. 7). 이러한 퇴적상의 공간적 분포는 분지의 남동쪽보다 북서쪽의 침강이 우세하였던 것으로 해석 될 수 있으며, 이는 곧 분지가 형성될 때 비대칭의 침강을 보이면서 분지가 열개

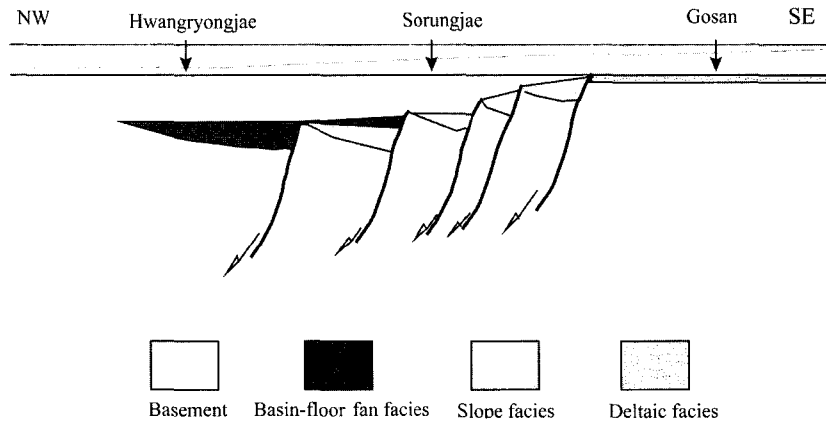


Fig. 7. Schematic diagram showing the depositional environment of the Okcheon Metamorphic Belt. Note the stratigraphic relationships between the Gosan, Sorungjae, and Hwangryongjae sections.

(rifting) 되었음을 의미한다. 이와 같은 해석은 Cluzel *et al.*(1990)의 해석과 일치한다.

연구지역 내에서 인지된 퇴적상들의 공간적 분포는 기재적 층서단위를 기준으로 한 옥천층군에 대한 기존의 연구에 있어 해석적 오류가 있음을 잘 보여준다. 장태우 등(1988)은 연구지역 중앙부의 대치리층 분포 지역에 따라 큰 역전배사가 북동 방향으로 달리고 있어 배사구조의 중심부에 분포하는 대치리층은 남동부 및 북동부에 분포하는 화산리층 하위에 놓인다고 해석하였다. 따라서 남동부 및 북동부의 화산리층을 동일층으로 해석하였지만, 본 연구의 결과는 이들의 암상이 변성사질암으로 동일하다 하더라도 남동부 및 북동부의 화산리층 즉 보은 단위층 및 피반령 단위층의 퇴적환경은 각기 천해성과 심해성으로 해석되기 때문에 동일한 퇴적층으로 해석될 수 없음을 지시한다. 또한 전암 분석에서 얻어진 주원소들의 성분 경향도 두 퇴적층 사이에 뚜렷한 차이가 있음을 보여준다. 이병주 등(1996)에 의한 1:25만 대전 지질 도폭에서 연구지역 내에 남동부와 북서부에 분포하는 옥천층군의 변성사질암대를 운교리층에 대비시켜 같은 층으로 판단하여 습곡에 의해 반복된 것으로 해석하였다. 그러나, 본 연구 결과는 남동부의 변성사질암대는 미원 지역의 운교리층에, 북서부의 변성사질암대는 운교리층보다 층서적으로 하위에 있는 증평층에 각기 대비되며, 남동부와 북서부의 변성사질암대가 시공간상에서 일어날 수 있는 퇴적작용의 다양성에 기인함을 잘 보여주고 있다. 아울러, 현재 진행 중인 미원 지역의 옥천층군(예: 증평층 및 운교리층)에 대한 퇴적지질학적 연구에서도 연구지역에서 인지된 공간상의 퇴적상 분포와 상응하는

퇴적상의 변화가 시공간상에서 일어나고 있는 것으로 인지된다(유인창 등, 준비 중).

6. 결 론

1. 연구지역 내에서 정밀 기재된 단면들에 대한 퇴적환경을 종합하면 대체적으로 남동부의 보은 단위층은 천해성 환경 하에서, 북서부의 피반령 단위층은 대륙사면을 거쳐 분지 중심의 환경 하에서 퇴적된 것으로 해석된다. 이러한 퇴적상의 공간적 분포는 분지의 남동쪽보다 북서쪽의 침강이 우세하였던 것으로 판단되며, 이는 곧 분지가 형성될 때 비대칭의 침강을 보이는 반지대 형태로 분지가 열개되었음을 의미한다.
2. 연구지역 내의 전체지역과 정밀 기재된 단면들에 대한 주원소 성분 변화 경향과 퇴적환경과 비교할 때 천해성 환경으로 해석되는 보은 단위층과 대륙사면을 거쳐 분지 중심의 환경으로 해석되는 피반령 단위층은 주원소 성분 변화 경향에 있어 뚜렷한 차이를 보여준다. 그러나 이들 주원소 성분 변화 경향이 실질적으로 퇴적분지에서 퇴적공간상의 환경을 유추할 지시자로 사용 될 것인 가는 차후 해결되어야 할 과제이다.

사 사

본 연구는 한국과학재단의 특정기초연구비(RO1-2000-00062)와 2002년 전북대학교 박사 후 과정 프로그램에 의해 지원되었다. 아울러 논문을 심사하시고 부족한 점을 지적해 주신 전북대학교 이정후 교수님과 공주대학교 이동우 교수님께 감사드립니다.

참고문헌

- 김현철, 조문섭, 고희재 (1995) 증평-덕평지역에 분포하는 중부 옥천 변성대의 변성 지구조적 진화. 지질학회지, 31권, p. 299-314.
- 오창환, 김선태, 이정후 (1995) 옥천변성대 서남부지역부에서의 변성진화과정. 지질학회지, 31권, p. 21-31.
- 오창환, 김성원, 이정후 (1998) 옥천변성대 남서부지역의 광역변성작용과 접촉변성작용에 관한 연구, 지질학회지, 34권, p. 311-332.
- 오창환, 권용환, 김성원 (1999) 청주-미원지역 중부옥천대의 변성진화과정. 암석학회지, 8권, p. 106-124.
- 오창환, 김성원, 유인창, 이덕수 (2002) 옥천변성대 서남부지역 변성퇴적암. 2002년도 한국암석학회 학술답사 안내서, 38p. 유인창, 도성재, 백광호, 최선규 (1997) 삼척 탄전 장성 지역에 분포하는 폐렴기 장성층의 층서에 대한 재고찰. 대한지질학회지, 33권, p. 78-86.
- 이병주, 김동학, 최현일, 기원서, 박기화 (1996) 한국지질도(1:250,000) 대전 지질 도폭 지질도 및 설명서. 한국자원연구소, 59p.
- 이종혁 (1995) 옥천누층군의 지질. 서남 옥천대의 지질-이종혁 교수 정년퇴임 기념 논집, p. 17-130.
- 장태우, 이재영, 윤선 (1988) 옥천대 남부지역 옥천층군의 지질구조 및 층서. 지질학회지, 24권, p. 340-355.
- 조문섭, 김현철 (2002) 중부 옥천변성대의 변성진화: 최근의 연구결과 논평 및 문제점. 암석학회지, 11권, p. 121-137.
- Cluzel, D., Cadet, J.P and Lapierre, H. (1990) Geodynamics of the Ogcheon belt (South Korea). Tectonophysics, v. 183, p. 41-56.
- Cluzel, D., Jolivet, L. and Cadet, J.P (1991) Early Middle Paleozoic intraplate orogeny in the Ogcheon Belt (South Korea): A new insight on the Paleozoic buildup of East Asia. Tectonics, v. 10, p. 1130-1151.
- Goodwin, P.W. and Anderson, E.J. (1985) Punctuated aggradational cycles: A general hypothesis of episodic stratigraphic accumulation. Journal of Geology, v. 93, p. 515-533.
- Goodwin, P.W. and Anderson, E.J. (1985) Punctuated aggradational cycles: A general hypothesis of episodic stratigraphic accumulation. Journal of Geology, v. 93, p. 515-533.
- Kim, H., and Cho, M. (1999) Polymetamorphism of Ogcheon Supergroup in the Miwon area, central Ogcheon metamorphic belt, South Korea. Geoscience Journal, v. 3, p. 151-162.
- Kim, S. W., Itaya, T., Hyodo, H. and Matsuda, T. (2002) Metamorphic K-feldspar in low-grade meta-sediment from the Ogcheon metamorphic belt in South Korea. Gondwana Research, v. 5, p. 849-855
- Min. K. and Cho, M. (1998) Metamorphic evolution of the north western Ogcheon metamorphic belt, South Korea. Lithos, v. 43, p. 31-51.
- Oh, C.W., Kim S.T. and Lee, J.H. (1995) The P-T Condition and Timing of the Main Metamorphism in the Southwestern Part of the Okchon Metamorphic Belt. Journal of the Geological Society of Korea, v. 31, p. 343-361.
- Roser B.P (1996) Sandstone geochemistry, provenance, and tectonic setting: 2.-Effects of the grain size on the Al_2O_3/SiO_2 -Basicity Index diagram, and application to recycled and medium-grade metamorphic terranes of New Zealand. Earth Science (Chikyu Kagaku), v. 50, p. 238-250.
- Ryu, I.-C., Doh, S.-J. and Choi, S.-G. (2002) Carbonate breccias in the Lower-Middle Ordovician Maggol Limestone (Taebaeksan Basin, South Korea): Implications for regional tectonism. Facies, v. 46, p. 35-56.
- Van Wagoner, J.C. (1985) Reservoir facies distribution as controlled by sea-level change (Abs. and poster session): SEPM Mid-Year Meeting, Golden, Colorado, p. 91-92.

2003년 8월 1일 원고접수, 2003년 10월 2일 게재승인.