

한반도 남동부 전기 마이오세 하서분지 충전물의 암층서

윤상원 · 김민철 · 송철우 · 손 문[‡]
부산대학교 지질환경과학과

요 약

하서분지는 행정구역상 경주시 양남면 하서리 일원을 중심으로 환서리, 읍천리, 신서리 그리고 수렴리에 걸쳐 위치하며, 북북서-남남동 내지 남-북 방향의 우수향 주향이동단층과 북동-남서 방향의 정단층에 의해 경계되는 전기 마이오세의 화산암류와 퇴적암류로 충전된 퇴적분지로 정의된다. 이 분지는 백악기~고제3기초의 기반암과 단층에 의해 북쪽의 어일분지 그리고 남쪽의 정자분지와 분리된다. 분지충전물은 포함된 화산물질의 조성에 근거하여 하부로부터 효동리화산암류, 신서리층 그리고 환서리층으로 구분되며, 이들은 정합 관계를 보인다. 효동리화산암류는 데사이트질 화산암류와 이를 피복하는 안산암질 화산암류로 구성되며, 어일지역의 효동리화산암류와 암석기재적 특징이 유사하고 모두 범곡리층군 직하위의 지층이므로 암층서적으로 대비된다. 하서분지 내 효동리화산암류는 분지 내부지괴 간의 상대적 운동시기의 차이로 인해 지괴에 따라 분포양상의 차이를 보이는데, 북동구역에서는 분지 내에만 분포하는 반면, 남서구역에서는 분지 내/외부에 모두 분포한다. 신서리층은 데사이트질 화산물질을 포함하는 일련의 지층들로 구성되며, 하부는 역암과 이암에 협재하는 사암으로 구성된 쇠설성 퇴적암 그리고 상부는 데사이트질 응회암 및 응회질 퇴적암으로 주로 구성된다. 환서리층은 현무암질 화산물질을 포함하는 지층들로 구성되며, 현무암질 응회암 및 응회질 퇴적암과 이를 피복 또는 관입한 용암류와 암맥으로 구성된다. 이와 같은 화산암 및 화산퇴적물의 층서는 전기 마이오세 동안 하서분지 일원에서 데사이트질 화산활동에 이은 후기의 현무암질 화산활동으로 대표되는 이원성 화산활동이 발생되었음을 지시한다. 또한 포함된 화산물질의 조성에 근거할 때, 데사이트질 화산물질이 포함된 신서리층과 현무암질 화산물질이 포함된 환서리층은 각각 범곡리층군과 장기층군에 대비되는 것으로 판단된다.

주요어: 전기 마이오세 하서분지, 효동리화산암류, 신서리층, 환서리층, 이원성 화산활동

Sang Won Yoon, Min-Cheol Kim, Cheol Woo Song and Moon Son, 2014, Basin-fill lithostratigraphy of the Early Miocene Haseo Basin in SE Korea. Journal of the Geological Society of Korea. v. 50, no. 2, p. 193-214

ABSTRACT: The Haseo Basin, located in the Haseori, Hwanseori, Eupcheonri, Sinseori, and Sooryeomri in Yangnammyeon, Gyeongju, is filled by the Early Miocene volcanic and sedimentary rocks and surrounded by the Cretaceous to Paleogene basements with NNW- and NS-trending right-lateral strike-slip faults and NE-trending normal faults. Based on the composition of constituent volcanogenic materials, the basin-fill is divided into three stratigraphic units, *i.e.* Hyodongri Volcanics, Sinseori Formation, and Hwanseori Formation in ascending order with conformable boundaries. The Hyodongri Volcanics is composed of dacitic volcanic rocks overlain by andesitic volcanic rocks, which can be correlated with the Hyodongri Volcanics distributed in the Eoil area because they show very similar petrographic features and stratigraphic positions. The lithofacies and distribution of the Hyodongri Volcanics in the Haseo Basin are spatially variable because of the spatiotemporal variability of faulting between different fault blocks inside the basin. The Sinseori Formation, bearing dacitic materials abundantly, is represented by nonvolcanic sedimentary rocks in the lower part which consisting of conglomerate and mudstone intercalated with sandstone, whereas the upper part is composed of dacitic tuff and tuffaceous sediments. The Hwanseori Formation consists of basaltic tuff and tuffaceous sediments and overlying/intruding basaltic lavas and dikes. The composition and stratigraphic position of the volcanic record indicate that a bimodal volcanism occurred in southeastern part of Korea during the Early Miocene, which is characterized by dacitic volcanism followed by basaltic volcanism. It is also interpreted that the Sinseori Formation bearing the dacitic materials and the Hwanseori Formation bearing the basaltic materials belong to the Beomgokri and Janggi groups, respectively, based on the compositional difference of constituent volcanogenic materials.

[‡] Corresponding author: +82-51-510-2248, E-mail: moonson@pusan.ac.kr

Key words: Early Miocene Haseo basin, Hyodongri Volcanics, Sinseori Formation, Hwanseori Formation, Bimodal volcanism

(Sang Won Yoon, Min-Cheol Kim, Cheol Woo Song and Moon Son, Department of Geological Sciences, Pusan National University, Busan 609-735, Republic of Korea)

1. 서 언

퇴적분지의 진화사를 해석하기 위해서는 당시의 광역적인 지체구조와 분지 내외의 전반적인 구조적 특성 그리고 분지충전물의 퇴적상 등 다양한 자료를 수집하여 종합적으로 분석할 필요가 있다. 이를 위한 필수적인 정보들은 대부분 분지 인접부의 기반암과 분지충전물 내에 기록되어 있으므로, 기반암과 충전물 내에서 관찰되는 구조요소의 체계적인 수집은 물론, 충전물의 층서와 퇴적상의 규명이 필요하다(Spalletti and Dalla salda, 1996; Gawthorpe and Leeder, 2000; Allen and Allen, 2005). 분지가 확장되는 동안 다량의 마그마가 지각으로 공급되므로 활발한 화산활동이 수반되며, 이로 인해 분지 전반에 걸쳐 비교적 짧은 시간 내에 화산물질이 광범위하게 충전되는 것이 일반적이다(Janecke *et al.*, 1997; Busby and Bassett, 2007). 이러한 화산물질은 복잡한 구조 운동으로 절단 또는 교란된 분지 내부의 지괴 간의 지층 대비를 위한 건축으로 활용 가능하므로, 분지충전물 내에 포함된 화산암류의 특성과 선후관계를 규명하는 것이 중요하다(Fisher and Schmincke, 1984; Cas and Wright, 1987; Miall, 1990; Salvador, 1994; Altermann and Nelson, 1998; Brown and Branney, 2004).

올리고세 말부터 마이오세 동안 동아시아 일원에는 일본열도가 유라시아판에서 빠르게 분리되면서 동해가 확장되었으며, 이와 관련된 지각변형에 의해 한반도 남동부 일원에는 다수의 퇴적분지가 형성되었다(그림 1; Yoon, 1986, 1997; Han *et al.*, 1987; Kim, 1992; Yoon and Chough, 1995; Fabbri *et al.*, 1996; Son, 1998; Son *et al.*, 2007, 2013). 이와 함께 전기 마이오세 동안에는 데사이트질 화산활동 이후 현무암질 화산활동으로 대표되는 이원성 화산활동이 발생하여 오천단층계(Cheon *et al.*, 2012) 이남의 퇴적분지들 내에 이 두 화산활동에 의한 화산물질들이 순차로 퇴적되었다(Son, 1998; Son *et al.*, 2000,

2005, 2009, 2013; Lee *et al.*, 2004; Kim *et al.*, 2005, 2011; Cheon *et al.*, 2012; Jung *et al.*, 2012). 데사이트와 현무암질 화산물질은 뚜렷한 조성 차이로 야외에서 쉽게 구분된다. 따라서 최근 연구들은 Tateiwa (1924) 이후 논란이 되고 있는 마이오세 분지충전물의 암층서를 정립함에 있어, 이러한 이원성 화산물질을 건축으로 활용하여 하부의 데사이트질 화산물질을 포함하는 범곡리층군과 상부의 현무암질 화산물질을 포함하는 장기층군으로 구분할 것을 제안한 바 있다(Son, 1998; Kim *et al.*, 2005, 2011; Son *et al.*, 2013).

하서분지는 Lee *et al.* (1992)에 의해 경주시 양남면 하서리 일원에서 기반암인 백악기 암석으로 둘러싸인 마이오세 화산암류와 퇴적암류의 분포지로 최초로 언급된 이후 다수의 연구자에 의해 그 명칭이 사용되었으나(Ryu, 1996; Son, 1998; Son *et al.*, 2002, 2013; Kee *et al.*, 2007a, 2007b; Kim *et al.*, 2011; Cheon *et al.*, 2012; Jung *et al.*, 2012) 아직까지 명확히 정의된 바 없으며, 분지의 퇴적환경과 확장형식 그리고 진화사에 관한 연구 또한 주변 마이오세 분지들에 비해 자세히 수행되지 못했다. 하서분지 충전물의 층서는 Tateiwa (1924)와 Yoon (1989, 1992)에 의해 제안된 바 있으나, 암층서적 분대기준과 지층의 선후관계를 설정함에 있어 서로 차이를 보인다(표 1). 하서분지는 확장 당시 지속적인 단층운동을 겪어 지층이 단층에 의해 심하게 교란 또는 절단되어 있으며, 시기가 다른 다양한 조성의 화산암류들이 쇄설성 퇴적암류와 함께 분포하여 연구자에 따라 견해가 다른 것으로 판단된다. 이러한 논란을 해결하기 위해서는 하서분지 전반에 분포하는 화산암류의 조성과의 선후관계를 연구할 필요가 있다. 또한 하서분지 충전물 내에는 인접한 마이오세 퇴적분지들에서 최근 보고된 것과 유사한 데사이트질~현무암질 화산물질이 포함되어 있어, 인접한 분지들과의 발달사를 비교하기 위한 암층서적 대비에도 활용 가능하다.

Table 1. Comparison of stratigraphic classifications of the Haseo basin-fill by Tateiwa (1924), Yoon (1992) and this study.

Age	Group	Tateiwa (1924)	Age	Group	Yoon (1992)	Age	Group	This study
Quaternary		Yeonil Basalt	Quaternary			Quaternary		
Middle Miocene	Yeonil Group	Cheonbuk Conglomerate	Middle Miocene	Yeonil Group	Sinhyeon Formation	Middle Miocene	Yeonil Group	Gangdong Formation
					Gangdong Formation			
Early Miocene	Haseori Group	Haseori Andesitic tuff	Early Miocene	Janggi Group	Euil Basalts	Late Oligocene to Early Miocene	Janggi Group	Hwanseori Formation
		Haseori Andesite			Jeondong Formation			Beomgokri Group
								Hyodongri Volcanics
Cretaceous		Basement rocks	Cretaceous		Basement rocks	Cretaceous		Basement rocks

이번 연구에서는 하서분지를 대상으로 1:5,000 지형도를 이용한 상세한 야외조사를 실시하여 분지충전물을 새로이 분대하고 분지 전반의 구조적 특징을 고려하여 새로운 지질도(그림 2)를 작성하는 한편, 하서분지의 분포와 기하를 파악하고자 하였다. 또한 야외조사와 실내분석 결과를 종합하여 하서분지 충전물의 암층서를 새로이 수립하였으며, 국제 지층구분 지침서(Salvador, 1994)의 권고사항을 참고하여 분지충전물 내 각 지층에 대한 새로운 지층명을 부여하고 각각의 표식지역을 설정하였다. 최종적으로는 주변의 마이오세 퇴적분지의 충전물과의 암층서적 대비 가능성에 대해 논의하였다.

2. 지질학적 배경

올리고세 말~마이오세 동안 일본열도가 유라시아대륙으로부터 분리되며 남-북 내지 북북서-남남

동 방향으로 동해가 확장되었으며(Lallemand and Jolivet, 1985; Jolivet *et al.*, 1991, 1994; Jolivet and Tamaki, 1992; Son, 1998; Son *et al.*, 2013), 이로 인해 서쪽의 대륙 연변에는 지속적인 우수향 전단력이 작동되었다. 그 결과 한반도 남동부에는 광역적인 북북서 방향의 우수향 주향이동단층운동이 발생하였으며, 주향이동단층 사이의 이음부에서 수반된 북서-남동 방향의 지각신장에 의해 다수의 당겨열림형 퇴적분지(pull-apart basin)가 형성되었다(그림 1; Son and Kim, 1994; Son, 1998; Son *et al.*, 2000, 2002, 2005, 2007, 2013; Cheon *et al.*, 2012; Jung *et al.*, 2012). 이들 분지는 연구자에 따라 다양하게 구분되었다. Kim (1970)은 분포지역, 암상, 고생물학적 특징 그리고 퇴적환경 등을 고려하여 북으로부터 북평, 영해, 포항, 어일 그리고 울산분지로 구분하였으며, Yoon (1992)은 전기 마이오세 화산암과 중기 마이오세의 원양성 내지 내만성 퇴적암의 분포를 근거로

포항분지와 양남분지로 분류하였다. 이후 Son (1998)은 지리적 위치와 분지충전물의 암상과 지질연령, 구조적 특성 등에 따라 북으로부터 포항, 장기, 와읍,

어일, 하서, 정자 그리고 울산분지로 구분할 것을 제안하였다(그림 1b).

한반도 남동부 제3기 퇴적층의 층서는 최초 Tateiwa

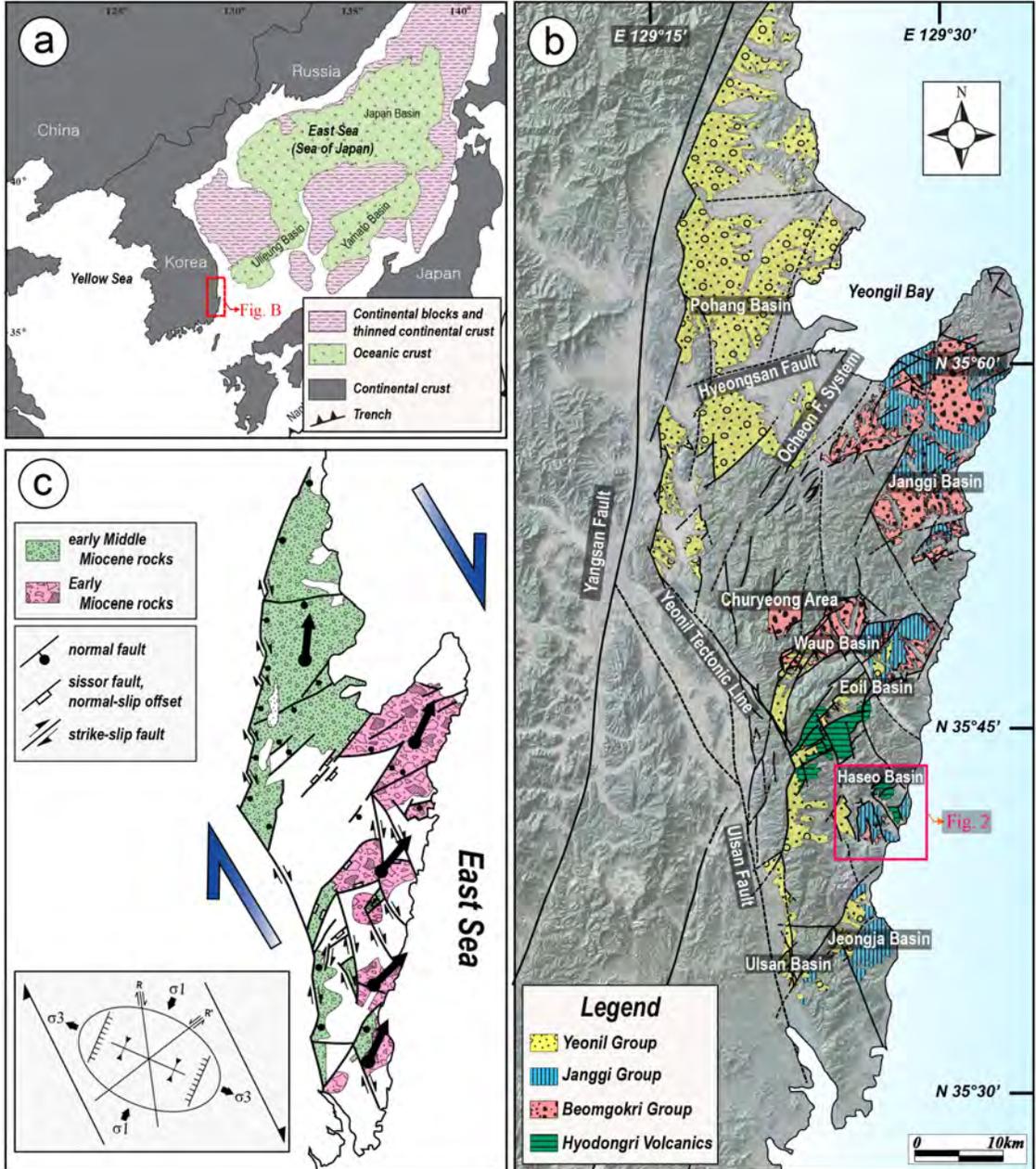


Fig. 1. (a) Simplified tectonic map of the East Sea modified after Jolivet *et al.* (1991). (b) Landsat TM satellite image of the southeastern Korean peninsula, showing distribution of the Miocene sedimentary basins and major faults (modified from Kim *et al.*, 1991; Yun *et al.*, 1991; Son, 1998; Son *et al.*, 2000, 2002, 2005, 2009; Kim *et al.*, 2011; Cheon *et al.*, 2012; Jung *et al.*, 2012). (c) Regional structural directions map of SE Korea with the Miocene stress regime. The thick black arrows indicate the mean declination directions of ChRMs. Modified from Son *et al.* (2013).

(1924)에 의해 올리고세의 장기통과 플라이오세 하부 혹은 마이오세의 연일통으로 구분되었다. 장기통은 육성기원 퇴적물과 산성 및 염기성 화산물질로 구성되고 오천단층계(Cheon *et al.*, 2012) 남쪽에서 관찰되는 반면, 연일통은 비화산성 해성퇴적물로 주로 구성되고 연일구조선(Son, 1998; Son *et al.*, 2002) 인접부인 어일, 와읍, 정자 그리고 울산분지의 일부를 제외하면 대부분 포항분지에 분포하고 있다(그림 1b; Son, 1998; Kim *et al.*, 2011; Jung *et al.*, 2012; Son *et al.*, 2013). 이후 암석연대학적 연구를 통해 장기통은 후기 올리고세(Kim *et al.*, 2005)에서 전기 마이오세(Kim *et al.*, 1986; Jin *et al.*, 1988; Shimazu *et al.*, 1990; Lee *et al.*, 1992; Shin, 2013)의 지층으로 그리고 연일통은 화석연구(Kim and Yoon, 1978; Yun *et al.*, 1989; Byun, 1995; Yi and Yun, 1995)를 바탕으로 중기 마이오세의 지층으로 보고되었다.

장기통의 경우, Tateiwa (1924)에 의해 장기층군과 이를 부정합으로 피복한 범곡리층군으로 구분되었으나, 이 두 층군의 상대적 퇴적시기와 구성 지층에 관해서는 연구자 간 견해가 다르다(Tateiwa, 1924; Lee *et al.*, 1992; Yoon, 1992; Kim and Doh, 1994; Son, 1998; Kim *et al.*, 2005, 2011; Son *et al.*, 2009, 2013; Noh and Hong, 2010). 이에 대해 최근의 연구들(Son, 1998; Kim *et al.*, 2005, 2011; Son *et al.*, 2000, 2005, 2009, 2013)은 두 층군에 대한 명확하고 객관적인 분대기준이 수립되지 않은 점을 이러한 논란의 주된 원인으로 지적하였다. 또한 이들은 전기 마이오세 동안 한반도 남동부에는 데사이트질 화산활동 이후 현무암질 화산활동이 일어난 이원성 화산활동이 발생하였음을 보고하고, 조성 차이와 선후관계가 뚜렷한 이원성 화산물질을 건층으로 각 층군을 새로이 정의하였다. 특히 Son *et al.* (2013)은 범곡리층군과 장기층군을 각각 데사이트질 화산물질과 현무암질 화산물질을 포함하는 화산암류 및 이에 수반하는 육성 퇴적층으로 재정의하고 이를 기준으로 한반도 남동부 전기 마이오세 지층을 재분류한 지질도를 그림 1b와 같이 제시하였다.

한편, Tateiwa (1924)는 경주시 양북면 어일분지 서편에 분포하는 데사이트질~안산암질의 화산암류와 응회질 퇴적암류를 묶어 효동리화산암류로 따로 분대하고 이를 장기층군에 포함시켰다. 이후 Yoon (1989, 1992)은 이 화산암류가 장기층군의 어일현무

암에 대비되는 것으로 보고하였다. Son *et al.* (2013)은 효동리화산암류를 어일분지의 경계단층 외곽에서 기반암을 부정합으로 피복하는 범곡리층군 하위의 독립적인 화산암체로 구분하였으며, 분지 내에서 관찰되지 않음을 근거로 본격적인 분지확장 이전에 발생한 대륙지각 열개 초기의 화산활동 산물로 해석하였다. 이후 Shin (2013)은 마이오세 전반의 분지충전물에 대한 암석연대학적 결과를 종합한 결과, 효동리화산암류의 중부 층준인 안산암질 용암류가 24.0 ± 0.25 Ma (Ar/Ar; Kim *et al.*, 2005), 상부층준 데사이트질 응회암이 21.6 ± 1.4 Ma (FT-zircon; Shin, 2013), 그리고 와읍분지를 충전하고 있는 범곡리층군의 데사이트질암이 21.8 ± 0.4 Ma (K/Ar; Sawada, 1988) 또는 21.2 ± 0.7 Ma와 22.3 ± 0.8 Ma (K/Ar 전암연대; Shimazu *et al.*, 1990)의 연대를 보이므로, 와읍분지 범곡리층군의 하부층준과 효동리화산암류 상부층준의 절대연령이 중첩되어 효동리화산암류 전체가 범곡리층군 내 포함될 수 있음을 주장하였다.

연구지역인 경주시 양남면 하서리 일원 제3기 지층은 조양도폭(Tateiwa, 1924)을 통해 최초로 장기통의 하서리층군, 연일통의 천북역암 그리고 제4기 연일현무암으로 구분되었다(표 1). 이에 따르면, 하서리층군은 하서리안산암과 이를 피복하는 하서리안산암질응회암으로 구성된다. 하서리안산암은 각섬석안산암과 휘석안산암으로 다시 분대되며, 하서리안산암질응회암은 하부로부터 (1) 역암, 사암 그리고 셰일을 협재하는 호층, (2) 부석질응회암, (3) 사암과 역암의 호층으로 세분된다. 이후 Yoon (1989, 1992)은 이 지층을 장기층군의 전동층과 어일현무암으로 분류하였으며, 전동층은 Tateiwa (1924)의 하서리안산암질응회암을 포함하고 어일현무암은 Tateiwa (1924)의 하서리안산암과 제4기 연일현무암을 포함하는 것으로 보고하였다(표 1). 또한 전동층의 하부에는 3매 이상의 데사이트질 화산쇄설층이 협재되는 반면, 상부는 현무암질~안산암질 비정질쇄설암(hyaloclastite)과 하이알로터프(hyalotuff)로 구성되는 것으로 기재하였다. 이후의 K/Ar 연대측정결과, 하서리안산암(Tateiwa, 1924)은 20.89 ± 0.48 Ma (Lee *et al.*, 1992), 제4기 연일현무암(Tateiwa, 1924)은 20.5 ± 0.8 Ma (Kim *et al.*, 1986), 17.16 ± 5.96 Ma 또는 19.57 ± 0.34 Ma (Jin *et al.*, 1988)의 연대를 보여 모두 전기 마이오세 지층인 것으로 밝혀졌다. 한편,

전기마이오세 분지들에 대한 고자기학 연구들(Kim and Kang, 1989, 1996; Kim et al., 1993; Kim and Doh, 1994; Min et al., 1994; Son et al., 1996)은 분지

내외 암석들의 잔류자기 편각이 시계방향으로 편향되어 있으며, 하서분지에서의 편향각은 평균 46°로 보고하였다(그림 1c).

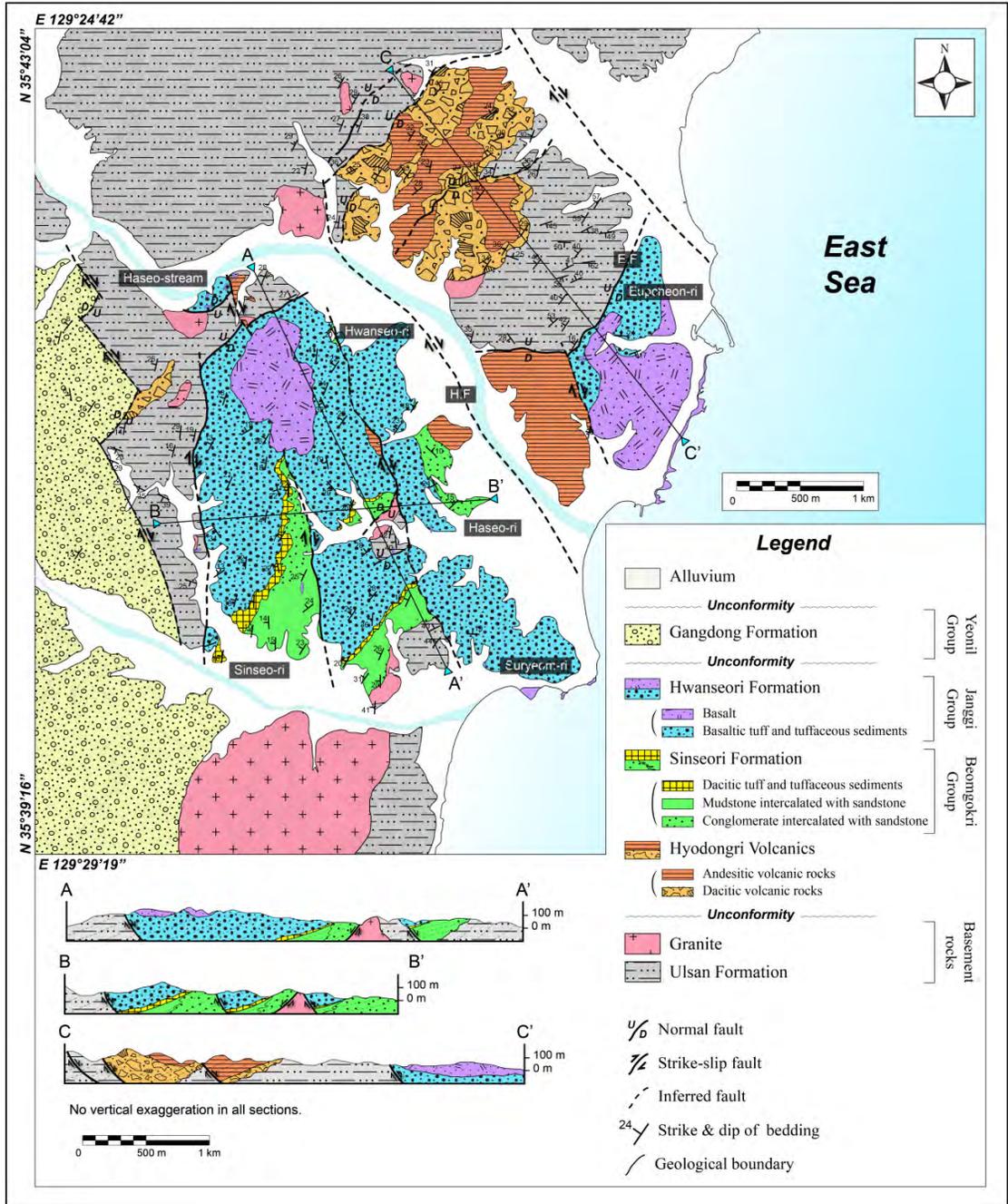


Fig. 2. Geological map and representative cross-sections of the Haseo Basin (H.F. : Haseocheon Fault, E.F. : Eupcheon Fault).

3. 암상 분대

3.1 기반암

기반암은 경상누층군 울산층과 이를 관입한 화강암으로 구성된다(그림 2, 3). 울산층은 주로 암갈색 내지 암회색의 사암과 이암으로 구성된 쇠설성 퇴적암이며, 화강암의 관입 당시의 접촉변성작용으로 혼펠스화 되어있다(Park and Yoon, 1968). 이 층은 대체로 북서향으로 경동되어 있으나(그림 3a), 국부적으로 남서 방향으로 경사진 곳도 관찰된다. 울산층은 대부분 하서분지의 외곽부에서 상대적으로 높은 고지를 형성하나, 분지 내부에도 소규모 암체로 노출되어 있다(그림 2). 울산층을 관입한 화강암은 대체로 백색 내지 회백색을 띠며, 최대 5 mm 크기의 석영과 장석의 반정을 포함한다(그림 3b). 화강암은 Kim and Kim (1980)에 의해 암질에 따라 화강섬록암, 화강반암, 석영반암, 반상화강암 그리고 장석반암으로 분류된 바 있다. 이들 기반암은 분지충전물에 의해 부정합으로 피복되어 있거나 단층으로 접한다. 화강암류에 대한 절대연령(Kim *et al.*, 1995)은 정치 시기가 신생대 초(약 60~40 Ma)임을 지시한다.

3.2 분지충전물

이번 연구에서는 분지충전물 내 포함된 화산물질의 조성과 특징적인 암상 그리고 상호 접촉관계를 이용해 하서분지 충전물을 크게 세 개의 층서 단위 즉, 하부로부터 효동리화산암류, 신서리층 그리고 환서리층으로 분대하였다(표 1; 그림 2).

3.2.1 효동리화산암류(Hyodongri Volcanics)

표식지역 : 경주시 양남면 나산리 산67임의 계곡
부부터 산72-1임의 계곡부까지

참고지역 : 경주시 양남면 나산리 산83임, 경주시 양남면 환서리 산10임, 경주시 양남면 환서리 거느골 계곡부

하부경계 : 경주시 양남면 읍천리 산29-1임과 경주시 양남면 나산리 산74임 (기반암인 울산층을 부정합으로 피복하는 데사이트질 화산력응회암의 경계)

층후 : 약 360 m

효동리화산암류는 데사이트질 화산암류와 이를 피복한 안산암질 화산암류로 구성된다(그림 4). 하서분지의 효동리화산암류는 어일분지 외곽에 분포하는 효동리화산암류(Tateiwa, 1924; Yoon, 1989, 1992; Son *et al.*, 2002)와 매우 유사한 특징을 보이므로 암층서적으로 대비 가능한 것으로 판단된다. 이 화산암류는 대부분 하서분지의 북동부에 분포하며 기반암과는 북동방향의 정단층에 의해 접촉하나, 일부는 분지의 서쪽 경계단층 외곽에서 기반암을 부정합으로 피복하기도 한다(그림 2).

하부의 데사이트질 화산암류는 데사이트질 화산력 응회암과 집괴암 그리고 이들을 관입한 데사이트질 암맥으로 구성된다(그림 4a-c). 데사이트질 화산력 응회암은 사장석, 석영 그리고 흑운모의 결정편과 화산력 크기(2~64 mm)의 부석과 암편을 다량 포함한다. 암편은 흔히 각형 내지 아각형이고 분급은

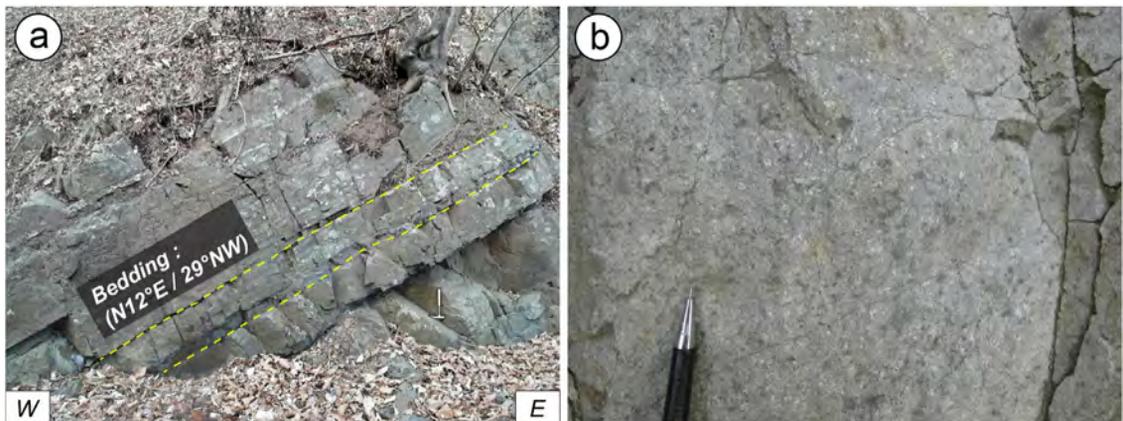


Fig. 3. Outcrop photographs of basement rocks. (a) Well-bedded strata of the Ulsan Formation predominantly dipping toward the WNW. (b) Close-up view of massive granite containing plagioclase and quartz crystals.

불량하며 기질지지 되어있다. 암편은 기반암인 울산
층과 화강암으로 구성되어 있으며, 안산암으로 동정

되는 어두운 암색의 암편도 일부 관찰된다. 이 응회
암은 층리가 매우 잘 발달해 있으며, 체계적으로 북



Fig. 4. Outcrop photographs of the Hyodongri Volcanics. (a) Well stratified dacitic lapilli tuff dipping toward the NW. (b) Massive to crudely stratified, poorly sorted and clast-supported dacitic agglomerate composed dominantly of angular to subangular dacitic lithic clasts. (c) Dacitic dike intruding the dacitic lapilli tuff. (d) Dacitic lapilli tuff is overlain by an andesitic lava with irregular contact. (e) Andesitic lavas showing massive feature. (f) Well-developed flow banding of andesitic lava dipping northwestward. (g) Massive, poorly sorted, matrix-supported andesitic lapilli tuff including subangular andesitic lithic fragments with coarse-grained sand matrix.

서향으로 경동되어 있다(그림 4a). 테사이트질 집괴암은 동종의 테사이트질 역만으로 구성된 모노믹틱(monomictic)한 특징을 보이며, 분급이 불량한 각형 내지 아각형 역이 우세하다. 대부분 역지지 되어 있고 괴상이나, 일부 미약한 층리가 발달하기도 한다(그림 4b). 집괴암의 역과 기질은 다수의 사장석과 함께 각섬석과 석영 반정이 소량 포함되는 동일한 광물조합을 보이고 있어, 용암돔(lava dome)의 붕괴에 의한 화산암괴회류(block-and-ash flow)의 가능성을 지시해준다. 사장석 반정의 경우 대부분 자형으로 취편쌍정과 누대조적이 잘 관찰되며, 석기는 사장석 미반정과 유리물질로 구성된다(그림 5a, 5b). 테사이트질 암맥은 평균 약 7 m, 최대 20 m 이상의 폭을 보이며, 관입경계부에서는 급냉 주변상(chilled margin)이 관찰된다(그림 4c). 이들은 장축의 길이가

최대 4 mm인 장석과 각섬석 그리고 석영의 광물조합을 보이며, 미약하게 주상절리가 발달하기도 한다.

한편, 테사이트질 화산암류를 정합으로 피복한 안산암질 화산암류는 대부분 용암류이며, 화산력 응회암을 일부 포함한다(그림 4d-g). 용암류는 일부를 제외하고 특징적으로 유동구조가 발달하며, 체계적으로 북서향으로 경사져있다(그림 4e, 4f). 최대 3 mm 크기의 자형 내지 반자형의 사장석과 단사휘석의 반정을 포함하며, 다량의 침상 사장석 결정이 일정한 배열을 보이며 유동한 흔적을 나타내는 조면조직(trachytic texture)이 흔히 관찰된다(그림 5c, 5d). 용암류 내에는 두께 약 5 m의 안산암 역을 포함한 괴상의 퇴적층이 국부적으로 협재되어 있는데, 기질부는 주로 사질 퇴적물로 구성되며 분급과 원마도가 불량하다.

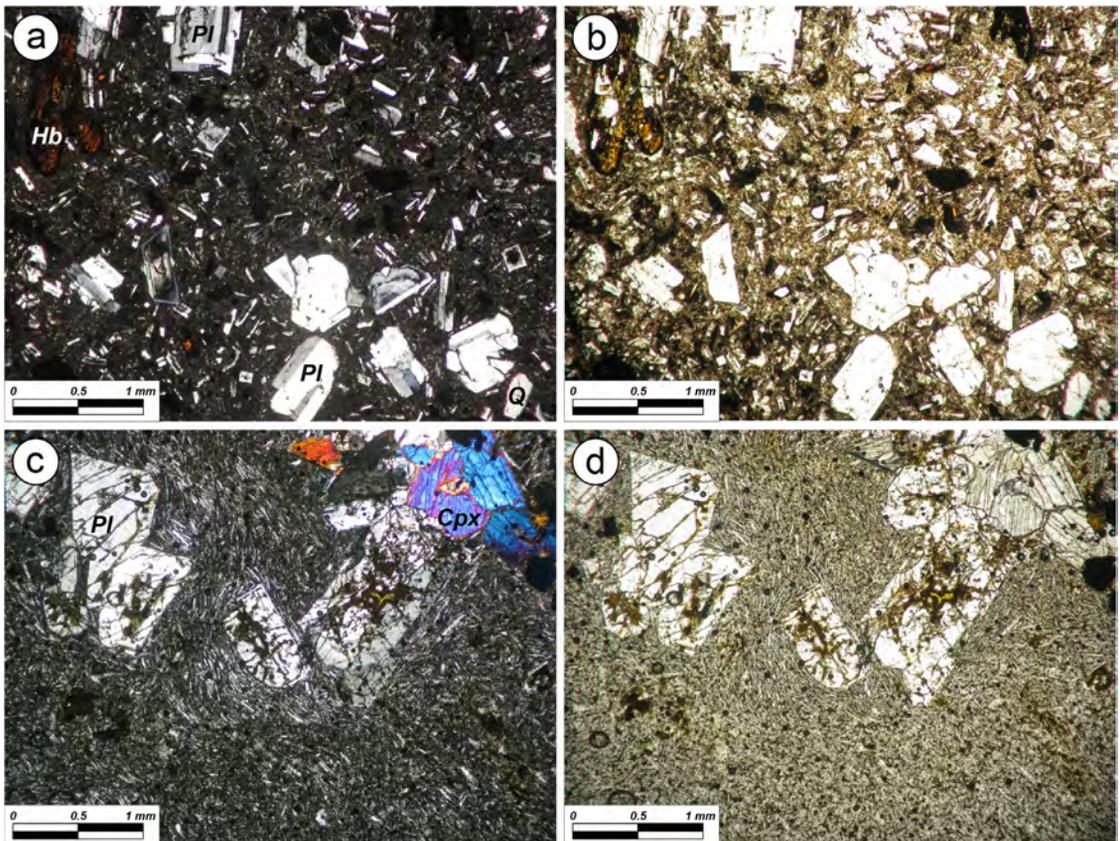


Fig. 5. Photomicrographs of Hyodongri Volcanics. Dacitic clast in the dacitic agglomerate containing of plagioclase, quartz, and hornblende in crossed (a) and open nicols (b), respectively. Andesitic lava showing trachytic texture with phenocrysts of plagioclase, clinopyroxene in crossed (c) and open nicols (d), respectively (Pl: plagioclase, Q: quartz, Hb: hornblende, Cpx: clinopyroxene).

3.2.2 신서리층(Sinseori Formation)

표식지역 : 경주시 양남면 하서리 산 159임의 북측 계곡부와 남측 계곡부

참고지역 : 경주시 양남면 신서리 산4임 서측 계곡부, 산 34임 서측 계곡부

층후 : 약 250 m

경주시 양남면 하서리 산 159임의 북쪽과 남쪽 계곡을 따라 노출된 노두들에서 신서리층의 대표적인 특징을 관찰할 수 있어 표식지역으로 선정하였으며, 층을 구성하는 지층의 암상 특징이 잘 관찰되는 노두가 밀집된 두 계곡을 참고지역으로 제시하였다. 하서분지의 남서구역에 국한되어 분포하는 신서리층은 데사이트질 화산물질을 포함하는 지층으로, 하

부는 역암과 이암 사이에 사암이 협재하는 쇄설성 퇴적암 그리고 상부는 데사이트질 응회암 및 응회질 퇴적암으로 구성된다(그림 2, 6).

쇄설성 퇴적암은 입도가 다양하고 측방으로 퇴적상의 변화가 대체로 심하나, 전반적으로 상부로 갈수록 퇴적물의 입도가 감소하는 상향세립화 특징을 보인다. 측방으로는 북쪽으로 갈수록 역암이 우세하며 남쪽으로 갈수록 퇴적물의 입도가 감소하여 이암이 우세해진다. 역암은 평균 10~15 cm 크기의 역을 포함하며, 최대 1.5 m의 거력도 관찰된다. 역은 주로 효동리화산암류, 울산층 그리고 화강암으로 구성되어 있으며, 대체로 아원형이나 간혹 아각형의 원마도를 보인다. 전반적으로 분급이 다소 불량하고 기질지진 된 것이 우세하며 역의 배열이 양호한 부분이 흔히

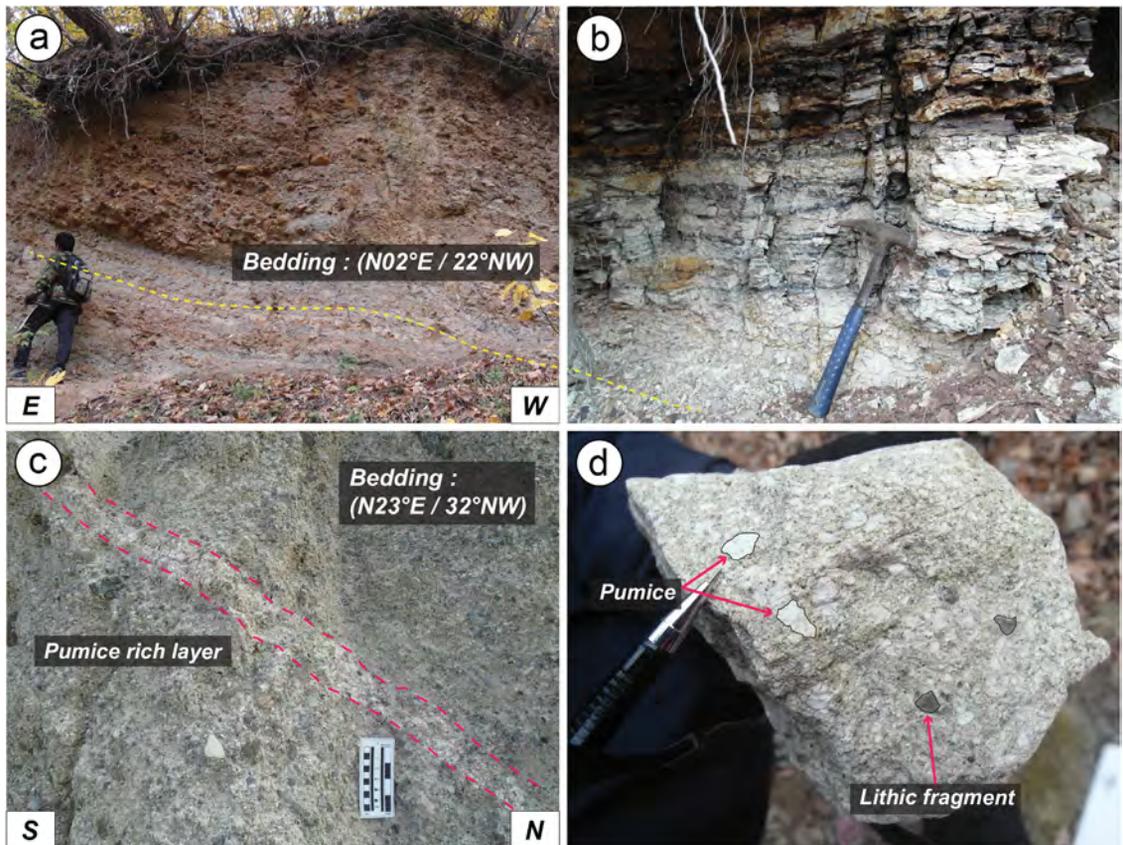


Fig. 6. Outcrop photographs of the Sinseori Formation. (a) Massive conglomerates intercalated with well-stratified sandstones dipping toward WNW. (b) Mudstones intercalated with fine-grained sandstones and thin coal layers. (c) Crudely stratified, matrix-supported, poorly sorted, and pumiceous dactylic lapilli tuff. (d) A hand specimen of dactylic lapilli tuff showing poorly sorted, angular to subangular pumice and dark coloured lithic fragments in fine-grained matrix.

관찰된다(그림 6a). 협재하는 사암은 조립질이 우세하며, 층리가 발달한다. 이암의 경우 두께 수 cm의 탄층과 세립질 사암이 협재하며(그림 6b), 층리가 발달하고 있다. 쇄설성 퇴적암은 상부에서 데사이트질 화산물질을 소량 포함하고 있으나, 상위의 데사이트질 응회암 및 응회질 퇴적암 내에 포함된 화산물질에 비해 그 양이 현저히 적다. Ryu (1996)는 쇄설성 퇴적암 중 역암이 우세한 지층은 망상하도, 이암이 우세한 지층은 하성환경의 범람원에서 각각 퇴적된 것으로 해석한 바 있다. 쇄설성 퇴적암과 효동리화산암류가 직접 접촉하는 노두는 발견되지 않았으나, 신서리층 내에 효동리화산암류의 데사이트와 안산암 역이 흔히 관찰되고 있어(그림 7a, 7b) 신서리층은 효동리화산암류 보다 후기에 퇴적된 것으로 판단된다.

신서리층 상부에 분포하는 데사이트질 응회암 및

응회질 퇴적암은 백색 내지 회백색을 띠며, 일부 담황색으로 변질된 부분도 관찰된다(그림 6c, 6d). 데사이트질 응회암에는 장석과 석영, 소량의 흑운모 등의 결정편이 나타나며, 화산력 크기의 부석과 암편이 다량으로 분포한다. 암편은 대부분 각형 내지 아각형의 울산층, 화강암 그리고 효동리화산암류로 구성되어있다. 응회암은 대부분 층리가 발달하며 북부에서 남부로 갈수록 암편의 함량이 줄어드는 경향을 보인다. 경하관찰결과 기질 내 다량의 사장석과 석영 결정편 그리고 부석이 관찰되며, 기질은 샤드(shard) 조각을 포함하는 유리질 물질로 대부분 구성되어있다(그림 7c, 7d).

3.2.3 환서리층

표식지역 : 경주시 양남면 하서리 산 143임의 불

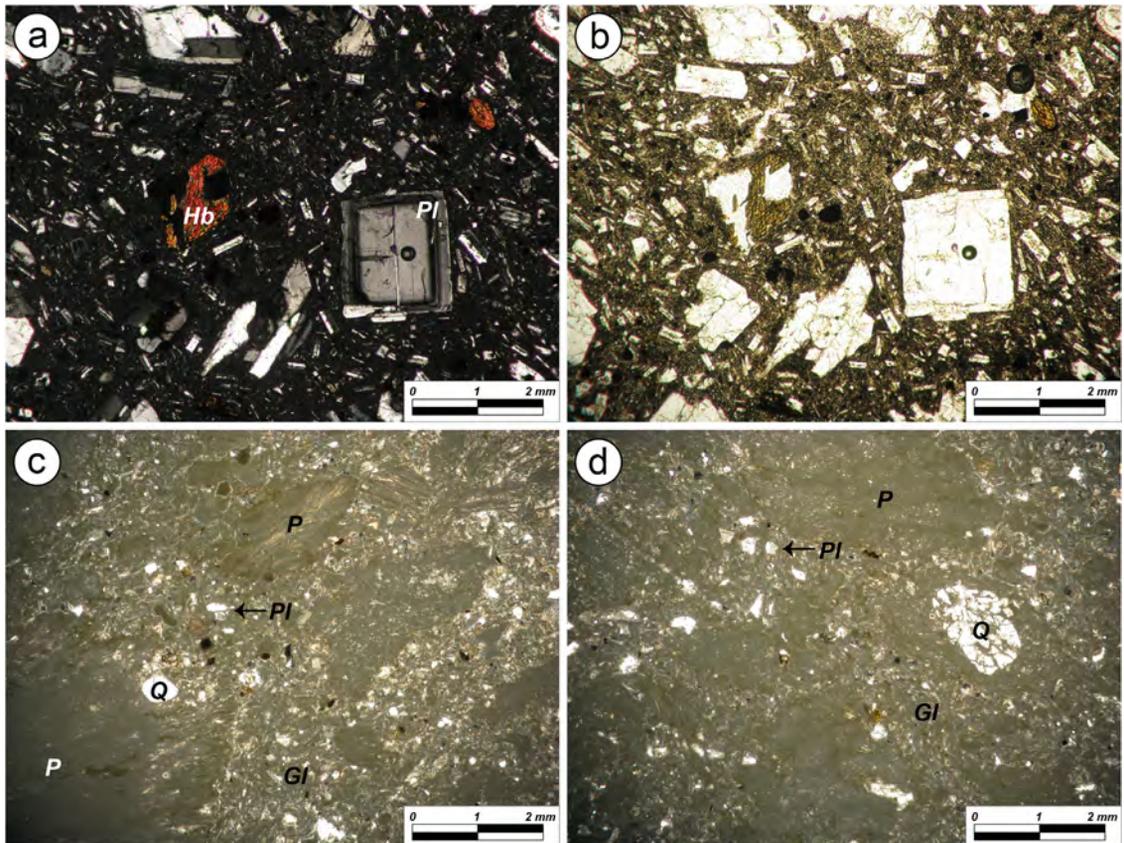


Fig. 7. Photomicrographs of the Sinseori Formation. (a and b) A clast of conglomerate in the lower part of Sinseori Formation showing similar petrographical features with the dacitic agglomerate in the lower part of Hyodongri Volcanics. (c and d) Dacitic tuff containing pumice (P), and crystal fragments of quartz (Q), plagioclase (Pl), and glass (Gl).

석채석장

참고지역 : 경주시 양남면 환서1리 전방마을 남서
방향의 계곡부 75 m에서 125 m 고도
까지

하부경계 : 경주시 양남면 하서리 산 143임의 불
석채석장

층의 두께 : 약 315 m

경주시 양남면 하서리 산 143 소재 불석채석장과 주변 노두에서 환서리층의 전반적인 특징을 관찰할 수 있어 표식지역으로 선정하였다. 양남면 환서리를 중심으로 신서리와 하서리에 분포하는 이 층은 하서분지 내 현무암질 화산활동의 산물을 총칭하며, 하부의 현무암질 응회암 및 응회질 퇴적암과 이를 피복 또는 관입한 현무암으로 구성된다(그림 2, 8).

현무암질 응회암 및 응회질 퇴적암은 대체로 암갈색 내지 회갈색을 띠며, 하위의 신서리층을 정합적으로 피복한다(그림 8a). 현무암질 응회암은 세립질 내지 조립질의 화산재로 구성된 기질부에 육안으로 관찰 가능한 2~3 mm 내외의 사장석 결정편과 화산력 내지 화산탄 등 다양한 크기의 암편을 다량 포함한다(그림 8b). 대부분의 암편은 기공이 발달하거나 반상조직을 보이는 현무암으로 구성되어 있으며, 하위의 울산층, 화강암, 효동리화산암류와 데사이트질 응회암도 나타난다. 각형 내지 아각형이 우세하며 분급은 매우 불량하다. 이 응회암은 대부분 괴상이나 일부는 희미한 층리를 보이며 기질지지되어 있다(그림 8b). 현무암질 응회암 내에는 두께 4 m 내외의 쇄설성 퇴적암이 국부적으로 협재되어 있다. 대부분 분급이 불량하나 원마도가 좋은 평균 10~15 cm 크기의 아원형 역을 다량 함유한 역암으로, 기질은 대부분 사질이며 역은 대부분 울산층, 화강암 그리고 효동리화산암류로 구성되어 있으며 상부에는 현무암의 역도 일부 포함된다. 최상부의 일부 층준을 제외하면 화산물질이 거의 포함되지 않은 것이 특징이다.

현무암질 응회질 퇴적암은 기질 내 사장석 결정편과 동종의 현무암역이 다량 포함되었다는 점에서 응회암과 상당히 유사하나, 분급이 발달하고 원마도가 비교적 좋은 아원형역이 우세하며, 층리와 점층리 등의 퇴적구조가 잘 발달된다(그림 8c). 또한

응회암에 비해 기반암역의 비율이 높으며, 중립질 사암 내지 역질 사암과 불규칙한 하도형 침식경계면을 형성한 역암도 관찰된다. 따라서 이들은 현무암질 화산활동 당시 혹은 이후 화산물질이 재동된 형태의 이차기원의 화산쇄설암인 것으로 판단된다. 현무암질 응회암 및 응회질 퇴적암은 전반적으로 북서 내지 서북서로 경동된 양상을 보인다.

상위의 현무암은 분출산상의 용암류와 소규모 관입상의 암맥으로 구성된다(그림 8d, 8e). 주로 고지대에 분포하는 용암류는 하위 지층들을 불규칙한 경계로 정합적으로 피복하며, 반상조직이 발달한 것과 세립질의 치밀한 조직을 이루는 것이 모두 관찰된다. 암맥은 대부분 세립질이며, 수 m에서 최대 20 m의 폭을 가진다. 관입경계부에서는 흔히 급냉 주변상이 관찰된다. 용암류와 암맥에서는 주상절리가 잘 발달한다(그림 8d). 현무암에 대한 경하관찰결과, 최대 3 mm 이상의 사장석과 함께 비교적 세립질인 단사휘석 그리고 감람석 반정이 확인되며, 석기 내에서 래스상(lath-shaped)의 사장석들이 일정한 방향으로 배열된 조면조직이 관찰된다(그림 9).

3.3 강동층

이 지층은 최초 Tateiwa (1924)에 의해 천북역암으로 명명되었으나, 이후 Yoon (1988)에 의해 하부의 강동층과 상부의 신현층으로 세분되었다. 강동층은 층리가 미약한 역암이 우세하고 신현층은 이암과 사암의 호층이 발달한 지층으로 기재되었다. 연구지역의 강동층은 갈색 내지 황갈색을 띠고 층리가 미약하게 발달하는 역암이 우세하며, 부분적으로 렌즈상의 사암과 이암을 협재한다(그림 10). 역의 직경은 평균 10~15 cm 정도이나, 최대 약 70 cm 이상도 관찰된다. 역은 대부분 기반암인 울산층과 화강암이며, 효동리화산암류도 소량 포함한다. 이들은 대체로 원형 내지 아원형이며, 분급은 불량하다. 기반암과 단층에 의해 이 층은 하서분지와 격리되어 독립적으로 분포한다(그림 2). 강동층과 기반암은 북북서 방향의 우수향 주향이동 단층들과 북동 방향의 정단층들이 지그재그 형태로 연결된 단층에 의해 접촉하고 있는 것으로 확인되나, 이 경계단층의 연장은 아직까지 완벽하게 추적되지 못하였다(그림 2). 강동층을 포함한 연일층군에는 중기

마이오세 초의 연체동물화석군이 산출된다(Yoon, 1988). 또한 Son *et al.* (2002)은 이 지역 일원의 연일층군은 중기 마이오세 초(약 17 Ma)부터 활발히 활

동한 연일구조선의 단층애를 따라 퇴적된 인접 돌서령 선상지 퇴적물(proximal talus fan deposits)로 해석하였다. 따라서 강동층은 하서분지 내에서

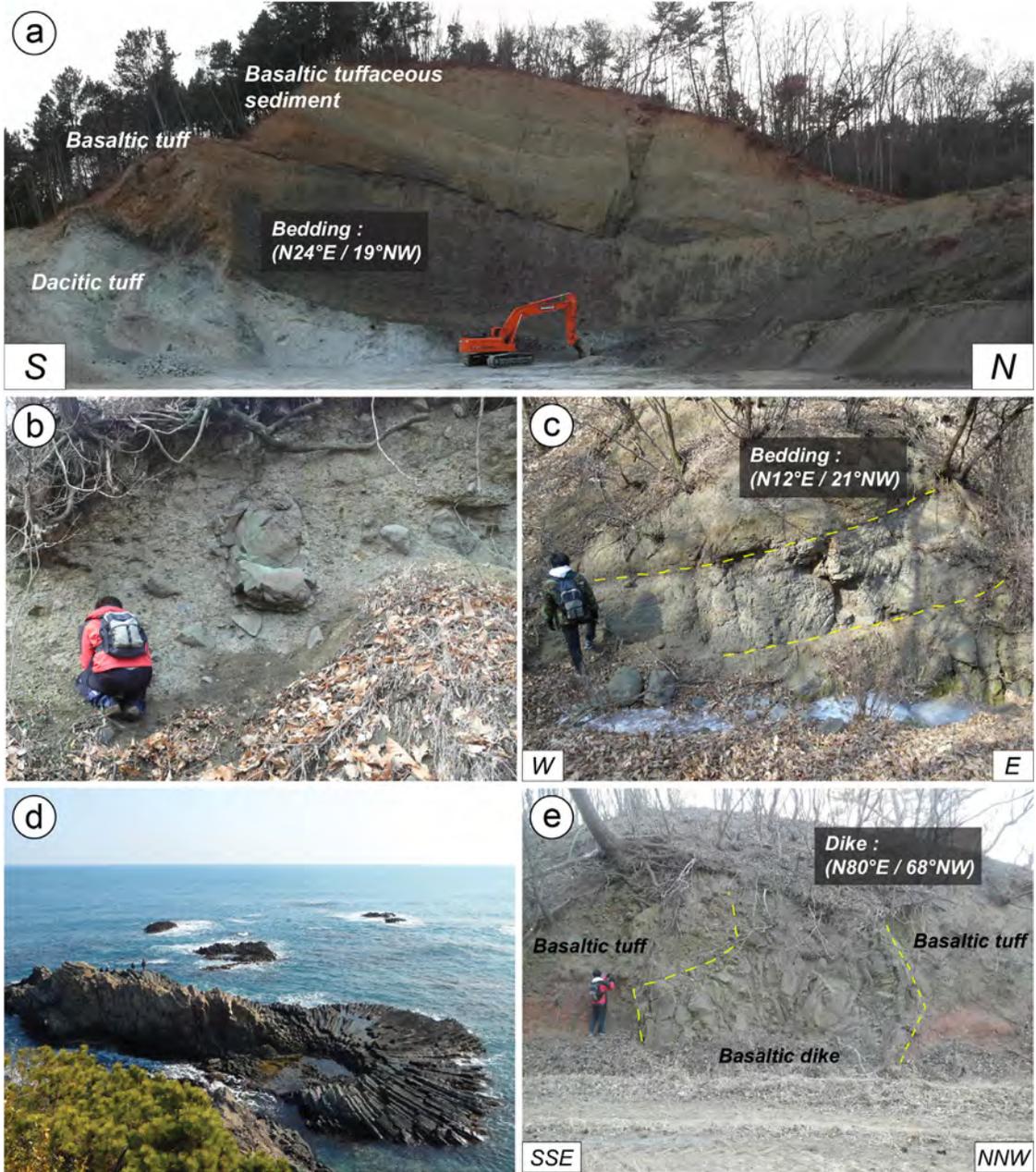


Fig. 8. Outcrop photographs of the Hwanseori Formation. (a) Conformable contact between the dacitic tuff in the uppermost part of the Sinseori Formation and the overlying basaltic tuff in the lowermost part of Hwanseori Formation. (b) Disorganized to crudely stratified basaltic tuffs containing poorly sorted, angular to subangular lapilli- to block-sized basaltic lithic fragments. (c) Well-stratified basaltic tuffaceous sediments dipping toward the NW. (d) Basaltic lava showing well-developed columnar joints. (e) Basaltic dike intruding the basaltic tuff.

관찰되는 전기 마이오세의 암석들과는 퇴적시기를 달리하며, 하서분지 확장 이후에 일어난 서편의 연

일구조선의 운동과 밀접한 관련이 있는 것으로 판단된다.

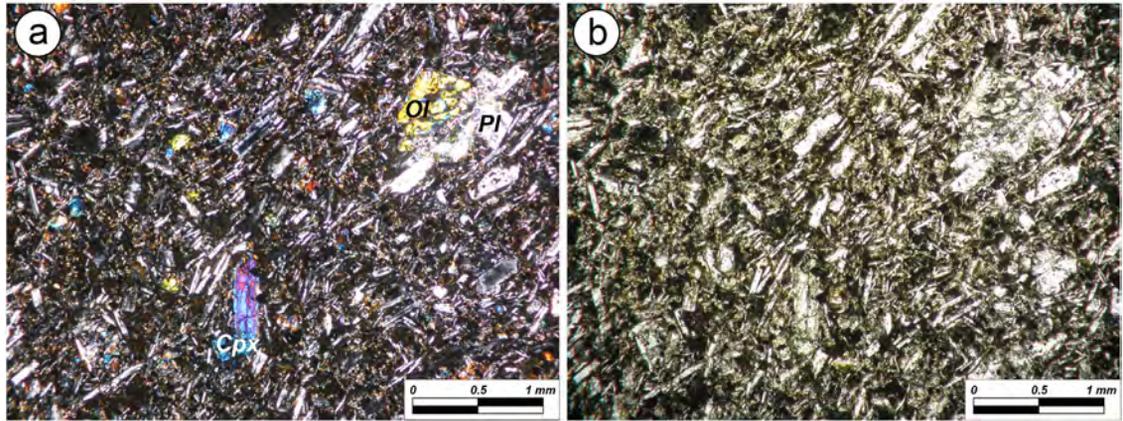


Fig. 9. Photomicrographs of basaltic lava with phenocrysts of plagioclase (Pl), clinopyroxene (Cpx) and olivine (Ol) under crossed nicol (a) and open nicols (b).

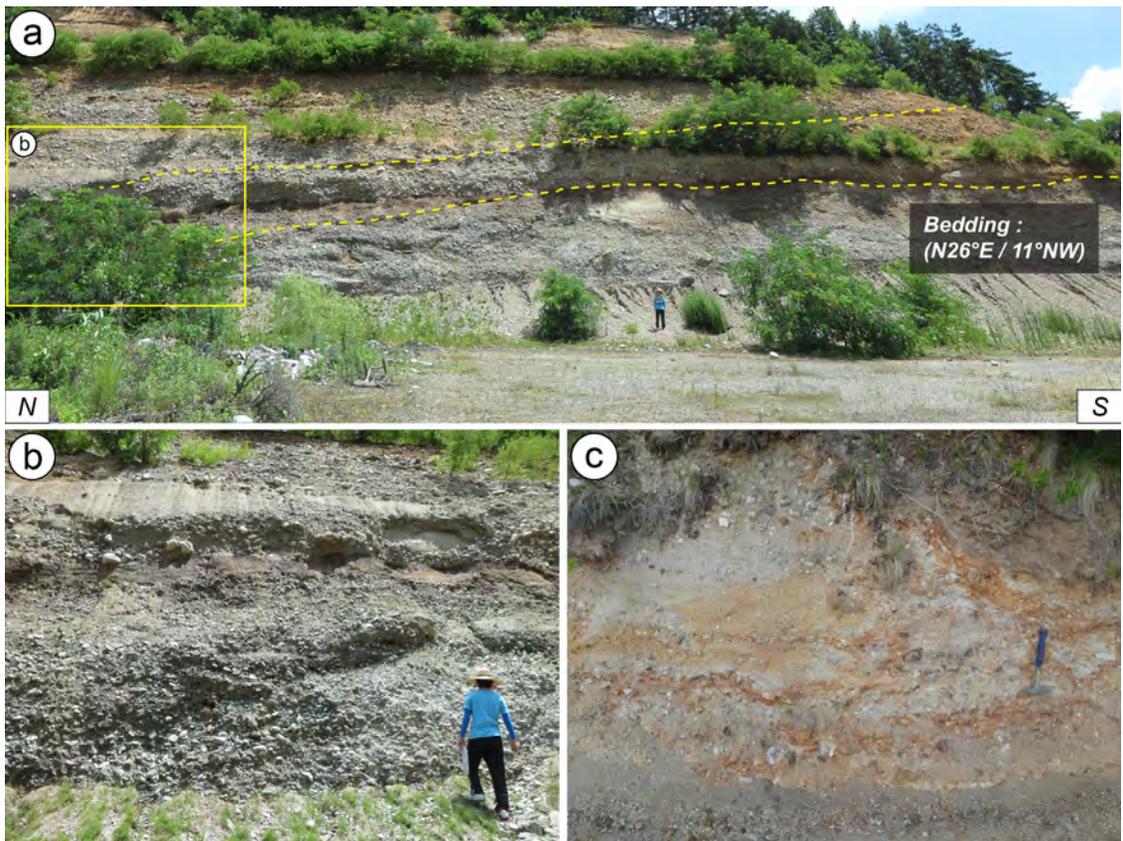


Fig. 10. Outcrop photographs of the Gangdong Formation. (a) Conglomerate intercalated with sandstone dipping west-northwestward (b) Massive to crudely-stratified, matrix- to clast-supported, poorly sorted conglomerates composed of subrounded to rounded gravel clasts. (c) Conglomerates interbedded with well-stratified sandstones.

4. 지질구조

하서분지를 구획하는 주요 경계단층들이 추적되었으며, 분지충전물들의 지층 자세를 포함한 전반적인 구조적 특성이 파악되었다. 이를 바탕으로 작성된 구조도는 그림 11과 같다. 연구지역에는 북북서 내지 남북 방향의 우수향 주향이동 단층과 북동 방향의 정단층이 발달하는 것이 특징이다. 분지의 북서쪽은 북동 방향의 정단층에 의해 그리고 분지의 서쪽은 남북 방향의 우수향 주향이동 단층에 의해 경계된다. 서쪽의 분지경계단층에서는 최소 10 m 이상의 단층파쇄대와 약 10 cm 폭을 가지는 단층점토대가 관찰되며, 우수향 주향이동 또는 정이동이 포함된 우수향 사교이동 운동갑각을 지시하는 선구조

가 잘 관찰된다. 분지의 북서쪽을 구획하는 정단층의 경우에 단층의 경사방향이 남동쪽을 향하고 있는 반면, 분지의 남동부에 노출된 기반암은 충전물과 부정합 접촉을 보여주고 있어 하서분지는 반지구형 비대칭 분지로 해석된다. 한편, 분지 내부에는 분지를 북동구역과 남서구역으로 나누는 매몰단층(하서천 단층)이 존재하며 분지 북동쪽은 북북서 방향의 우수향 주향이동 단층에 의해 경계될 것으로 추정된다.

하서분지 지괴 경동사를 파악하기 위해 분지 인근 기반암과 충전물의 층리 자세를 측정하였다. 효동리화산암류 내 안산암질 용암류의 경우에는 체계적이고 측방 연장이 양호한 유동구조가 발달하는 특징을 활용하였다. 측정된 지층의 자세를 도시한 장미도표와 경사분석 결과는 그림 12와 같다. 기반암

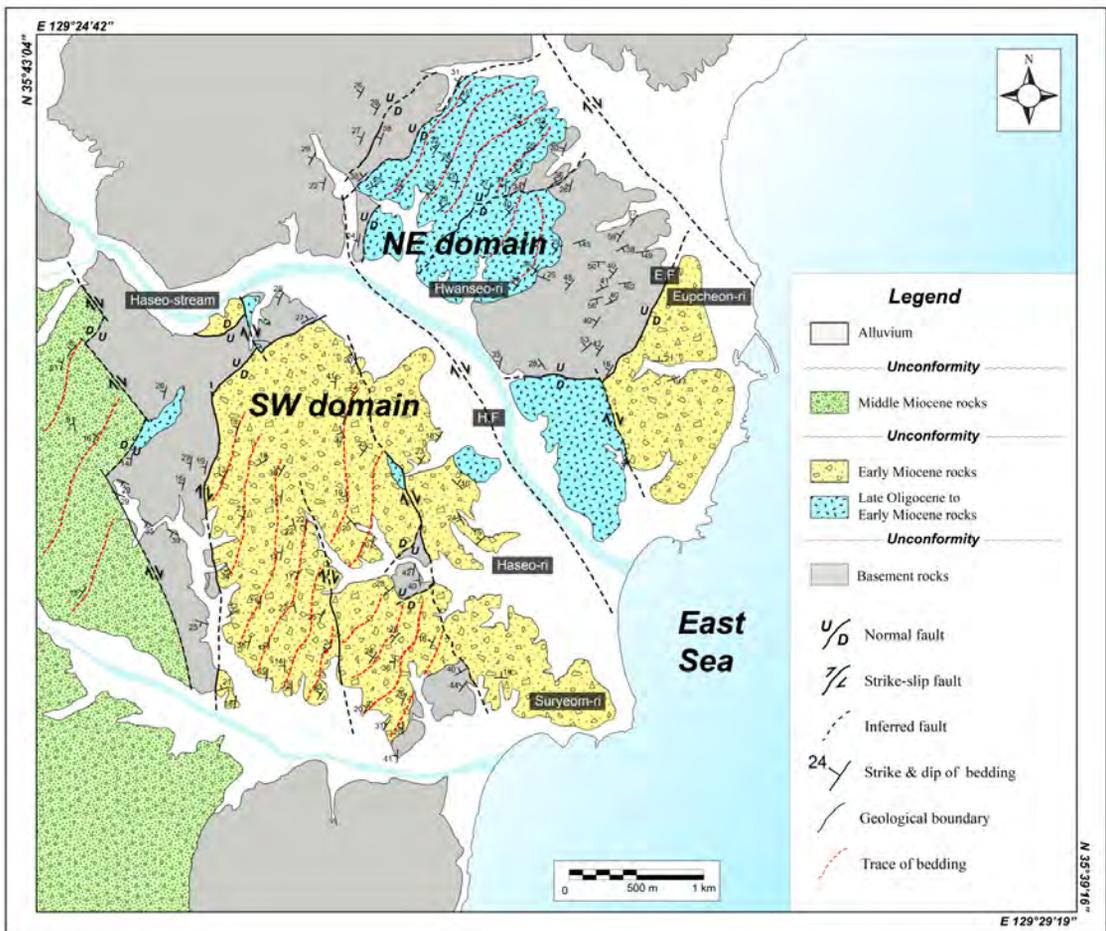


Fig. 11. Structural map of the Haseo Basin showing traces of bedding plane of the basin-fill strata and Gangdong Formation. H.F.: Haseocheon Fault, E.F.: Eupcheon Fault.

인 올산층은 일부 단층 인접부에 남서 또는 남쪽으로 경사진 것도 관찰되나 대체로 북서 방향의 우세한 경사를 보인다(그림 11). 또한 충전물의 경우에도 북서 내지 서북서로 체계적으로 경사진 특징을 보인다. 그러나 분지의 북동구역과 남서구역에서 지층의 자세는 서로 차이를 보이는데, 북동구역은 남동부 읍천리 일원 일부 지역을 제외하면 모두 효동리화산암류로 구성되어 있고 지층이 체계적으로 북서로 경동되어 있다. 반면, 남서구역은 대부분 신서리층과 환서리층으로 구성되어 있으며 전반적으로 서북서로 경사진 특징을 보인다. 지층의 경사각은 남서구역에 비해 북동구역이 평균 약 11° 더 크다(그림 12). 지층의 경사방향과 경사각 등은 하서분지의 북동구역은 북서방향의 경동운동을 겪었고, 남서구역은 서북서 방향의 경동운동을 겪었음을 지시한다. 한편 층위에 따른 경사각의 변화를 분석하면, 최상부의 현무암질 응회암 및 응회질 퇴적암을 제외하면 상대적으로 고기 지층의 경사각이 큰 경향을 보인다. 이는 하서분지 내 지괴의 경동은 퇴적과 동시기에 발생하였음을 지시하며(Wernicke and Burchfiel, 1982; Wise, 1992; Luccihitta and Suneson, 1993; Schlische, 1993), 주변 다른 마이오세 퇴적분지들에서 얻어진 분석 결과와 유사하다(Son and Kim, 1994; Son et

al., 2000, 2005; Kim et al., 2011; Cheon et al., 2012; Jung et al., 2012). 한편, 환서리층의 현무암질 응회암 및 응회질 퇴적암의 경우, 경사각이 5~45° 사이의 상대적으로 넓은 범위를 가지고 있어 퇴적 당시의 초기 경사(initial dip)의 영향이 큰 것으로 추정된다(그림 12).

5. 토 의

5.1 하서분지의 정의

이번 연구를 통해 하서분지를 구획하고 있는 경계단층의 기하와 운동학적 특성, 분지충전물의 분포와 층서 그리고 분지 전반의 지층 자세가 분석되었으며, 이를 종합하여 분지의 범위와 정의를 명확히 제시하고자 한다. 즉, 하서분지는 행정구역상 경주시 양남면 일원의 하서리를 중심으로 환서리, 읍천리, 신서리 그리고 수렴리에 걸쳐 분포하며, 북쪽의 어일분지와 남쪽의 정자분지와는 기반암(백악기 올산층과 백악기 말 ~ 고제3기초 화강암)과 분지 경계단층에 의해 구획된 전기 마이오세의 화산암류와 퇴적암류로 충전된 퇴적분지로 정의할 것을 제안한다. 분지충전물은 하부로부터 효동리화산암류, 신서리층 그리고 환서리층으로 구분된다.

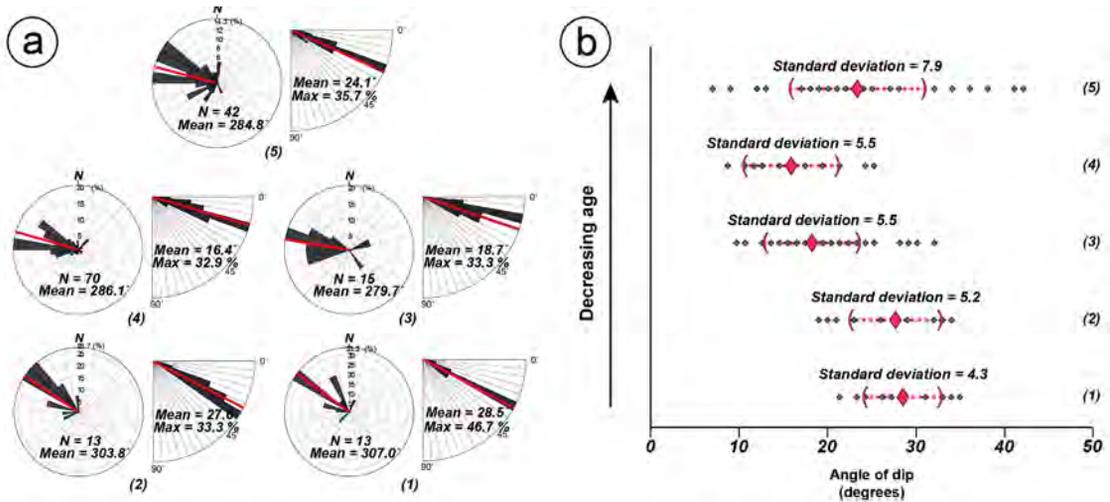


Fig. 12. Stratral attitudes of the basin-fill strata. (a) Rose diagrams showing the distributions of the dip directions and dip angles, and (b) Mean angles (diamond-shaped dots) and standard deviation of dips from (1) Dacitic volcanic rocks in Hyodongri Volcanics and (2) Andesitic volcanic rocks in the Hyodongri Volcanics, (3) Conglomerate intercalated with sandstone in the Sinserei Formation and (4) Dacitic tuff and tuffaceous sediments in the Sinserei Formation, (5) Basaltic tuff and tuffaceous sediments in the Hwanseori Formation.

5.2 제시된 층서와 기존 층서의 비교

5.2.1 효동리화산암류

이번 연구를 통해 명명된 하서분지 효동리화산암류는 Tateiwa (1924)의 하서리안산암과 Yoon (1989, 1992)의 어일현무암 일부에 해당된다(표 1). Tateiwa (1924)는 하서분지 내 효동리화산암류를 각섬석안산암과 휘석안산암으로 구성된 하서리안산암으로 구분하고 하서리층군의 하부에 포함시켰다. 이후 Yoon (1989, 1992)은 하서리안산암(Tateiwa, 1924)을 장기층군의 상부 층준인 어일현무암에 포함시켜 하서분지 충전물의 최상부 층으로 규정하였다. 그러나 본 연구에서는 효동리화산암류를 하부의 데사이트질 화산암류와 상부의 안산암질 화산암류로 분대하였으며, 특히 전자의 경우 데사이트질 화산력 응회암과 집괴암 그리고 이를 관입한 암맥을 포함한다는 점이 기존 연구와 다르다. 또한 상위의 신서리층 내부에는 효동리화산암류의 데사이트와 안산암의 역이 흔히 관찰되므로 효동리화산암류는 신서리층 보다 하위 지층이며 하서분지 충전물 중 최하부 층준에 해당되는 것으로 해석된다. 따라서 이번 연구의 효동리화산암류는 Tateiwa (1924)의 하서리안산암과는 지층의 구성이 다르고 Yoon (1989, 1992)의 어일현무암과는 화산물질의 조성과 층서적 위치가 다르다.

하서분지 효동리화산암류는 어일분지 외곽의 효동리화산암류(Tateiwa, 1924; Yoon, 1989, 1992; Son *et al.*, 2002)와 몇 가지 공통적인 특징을 보인다. 첫째, 두 화산암류는 구성 암층들의 암석기재적 특징과 순서에서 서로 유사하다. 어일지역 효동리화산암류는 Son *et al.* (2002)에 의해 데사이트에서 안산암의 조성을 가지는 수 매의 용암류와 다양한 기원의 화산쇄설물로 구성된 화산암복합체로 정의되며, 암상에 따라 크게 세 부분으로 구분된 바 있다. 즉, 하부는 데사이트질 응회암, 응회질 역암과 사암, 중부는 안산암질 용암류, 집괴암, 화산력 응회암 그리고 상부는 데사이트질 집괴암, 화산력 응회암, 응회암으로 구성된다. 따라서 하서분지 효동리화산암류를 Son *et al.* (2002)의 것과 비교할 때, 상부의 데사이트질 화산암류가 결여된 점을 제외하고는 유사하다. 둘째, 두 화산암류는 모두 데사이트 화산물질로 대표되는 범곡리층군(Son *et al.*, 2013)보다 하위에 놓인다. 먼저 하서분지 효동리화산암류는 데사이트질 화산물질이 풍부한 신서리층 보다 하위 지층이며, 따라서 신서리층

은 범곡리층군에 포함될 것으로 판단된다. 어일지역 효동리화산암류의 경우 중부의 안산암질 용암류가 24.0 ± 0.25 Ma (Ar/Ar; Kim *et al.*, 2005) 그리고 상부 데사이트질 응회암이 21.6 ± 1.4 Ma (FT; Shin, 2013)의 연령을 보여, 인근 와읍분지 내 범곡리층군 하부의 데사이트질암(21.2 ± 0.7 Ma; Shimazu *et al.*, 1990)보다 오래된 암석으로 판단된다. 따라서 하서분지와 어일분지 외곽의 효동리화산암류는 암석기재적 특징과 층서적 위치가 유사해 서로 대비될 수 있다. 국제 층서 지침(Salvador, 1994)은 두 지층이 서로 대비될 경우, 지층명의 수를 줄이기 위해 먼저 사용된 이름을 취할 것을 권하고 있어 본 연구에서는 기존의 '효동리화산암류'라는 지층명을 사용하였다.

효동리화산암류가 마이오세 퇴적분지의 충전물 인가에 관해서는 연구자에 따라 견해가 다르다(Tateiwa, 1924; Yoon, 1989, 1992; Kim *et al.*, 2005; Shin, 2013; Son *et al.*, 2013). 어일분지 지역의 경우, 이 화산암류는 분지 내부에서는 관찰되지 않으며 분지 경계단층 외곽의 고지대에서 기반암을 부정합으로 피복하고 있기 때문에 본격적인 분지확장 이전의 국지적 화산활동 산물로 해석된 바 있다(Son *et al.*, 2000, 2002). 한편, 하서분지 일원의 효동리화산암류는 구조구역에 따라 그 분포특성을 달리한다(그림 11). 북동구역의 효동리화산암류는 분지의 북서쪽 경계단층에 의해 규제되어 분지 내부 즉, 정단층의 상반 저지에만 광범위하게 분포하는 반면, 남서구역의 경우 분지 내부에 소규모로 나타나며 북서쪽 분지 외곽에도 분포하는 특징을 보인다. 또한 남서구역 북서 경계 외곽의 기반암(화강암)을 부정합으로 피복하는 효동리화산암류가 분지 경계단층인 북동 방향의 정단층에 의해 절단된 양상이 명확히 관찰된다(그림 13). 이러한 점들은 하서분지의 북동구역은 효동리화산암류가 퇴적될 당시 혹은 이전부터 분지확장을 주도한 경계단층의 운동이 활발하여 저지가 형성되어 효동리화산암류 퇴적 이전에 화산물질이 두껍게 퇴적될 수 있는 공간이 이미 형성되었음을 의미한다. 또한 효동리화산암류 퇴적 이후 이곳에서는 단층운동이 미약하였거나 발생하지 않아 남동부의 읍천단층(그림 11) 남쪽을 제외하고는 신서리층과 환서리층이 관찰되지 않는 것으로 판단된다. 한편, 남서구역에서도 효동리화산암류가 소규모이나 분지 내부에서 관찰되고 있어 당시 화

산활동기에 화산물질이 분지 내부로 유입되었음이 분명하다. 그러나 남서구역 북서쪽 분지 외곽에서 이들 화산암류가 관찰되고 경계단층에 의해 절단되었다는 점 그리고 분지 내부에 두껍게 신서리층과 환서리층이 퇴적되어 있는 점을 종합하면, 하서분지 남서구역은 효동리화산암류가 퇴적되던 시기에는 북동구역에 비해 분지침강이 미미하였으나 효동리화산암류의 퇴적 이후에는 북동구역에 비해 보다 활발한 단층운동과 분지침강이 일어나 신서리층과 환서리층이 광범위하고 두껍게 퇴적된 것으로 판단된다. 따라서 하서분지는 구조구역에 따라 확장시기와 지각침강 정도가 달랐으며, 효동리화산암류는 하서분지의 확장 초기에 주로 분지의 북동구역을 채운 충진물인 것으로 해석된다. 또한 이러한 해석은 주변의 어일, 와읍, 정자분지와 같은 다른 전기 마이오세 분지들에 비해 지각 확장이 하서분지에서 먼저 시작되었을 가능성을 시사한다.

한편 야외에서 두 지층간의 접촉관계를 직접 확인할 수는 없었으나, 효동리화산암류는 신서리층에 의해 정합으로 피복된 것으로 추정된다. 이는 야외에서 효동리화산암류의 최상부와 신서리층 최하부

에서 부정합을 암시하는 어떠한 증거도 발견되지 않았으며, 효동리화산암류와 그 상위의 지층들의 자세가 전반적으로 유사한 경사방향을 가지며 상부로 갈수록 경사각이 점진적으로 알아지는 퇴적동시성 지괴 경동의 특징을 보이고 있기 때문이다. 또한 효동리화산암류 상부와 범곡리층군의 데사이트질 화산암류에서 얻어진 기존의 연대측정결과는 큰 차이가 오차 한계 내에서 중첩된 구간이 존재하고 있어 이를 지지하고 있다.

5.2.2 신서리층과 환서리층

신서리층은 Tateiwa (1924)의 하서리안산암질 응회암과 Yoon (1989, 1992)의 전동층 일부에 해당된다(표 1). Tateiwa (1924)에 의하면 하서리안산암질 응회암은 다양한 입도의 쇄설성 퇴적암과 이에 협재된 최소 2매 이상의 부석질 응회암으로 구성된 지층으로 정의되었으며, Yoon (1989, 1992)은 전동층을 하부에 3매 이상의 데사이트질 화산쇄설층이 협재되고 상부는 현무암질~안산암질 비정질쇄설암(hyaloclastite)과 하이알로터프(hyalotuff)로 구성된 지층으로 정의한 바 있다. 그러나 이번 연구결과 효동리화산암

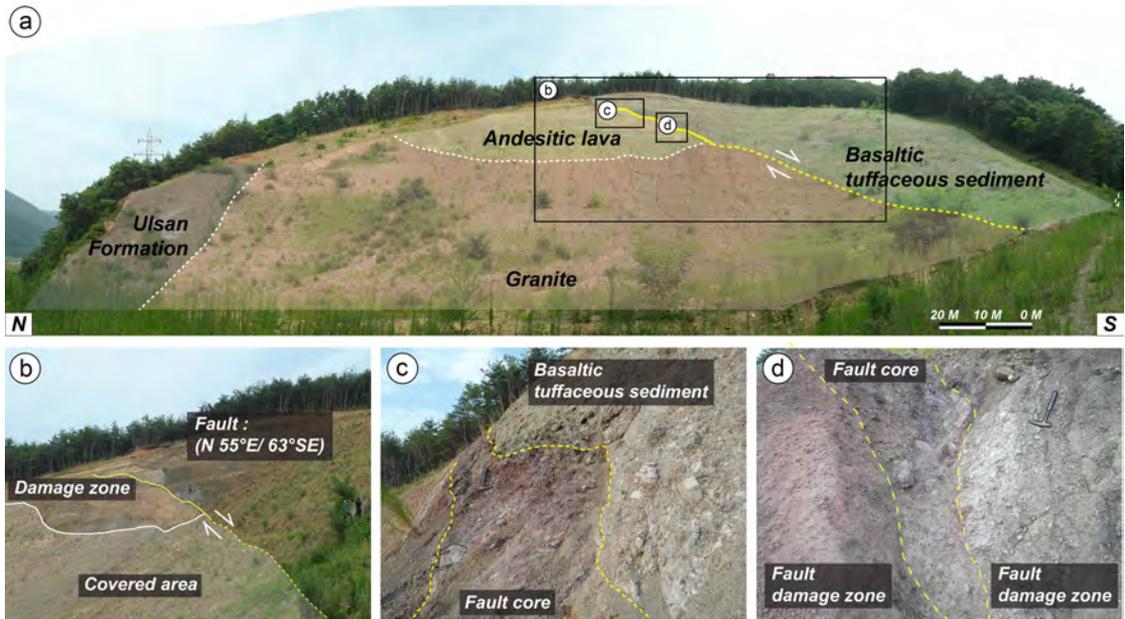


Fig. 13. Outcrop photographs of the basin bounding fault in the northwestern margin of the SW domain of the Haseo Basin. (a) Marginal normal fault bounding the granitic basement unconformably overlain by the andesitic lava (foot wall) and the basaltic tuffaceous sediment of the Hwanseori Formation (hanging wall). Close-up views of the damage zone (b) and irregular shaped fault cores (c and d).

류를 피복한 분지충전물은 조성적 차이와 선후관계가 명확한 데사이트질과 현무암질 화산물질을 포함하는 층으로 구분할 수 있음이 확인되었다. 즉, 하부의 신서리층은 다양한 입도의 쇄설성퇴적암과 데사이트질 응회암 및 응회질 퇴적암으로 구성된 지층이며, 이를 정합적으로 피복한 환서리층은 하부로부터 현무암질 화산암류와 일부 재동된 응회질 퇴적암을 포함하는 지층으로 새로이 정의하였다. 신서리층 내 응회암의 경우, 야외와 경하관찰에서 장석, 석영 그리고 흑운모의 광물편과 함께 용결된 흰색 부석을 다량 포함하고 있어 데사이트질 암석으로 동정된다. Tateiwa (1924)는 이 응회암이 각섬석안산암 또는 휘석안산암 암편을 다량 포함하고 있어 안산암질 암석으로 기재한 것으로 추측되나, 이는 대부분 초생기원의 역들이 아니라 하위의 효동리화산암류로부터 기원된 외래암편인 것으로 확인된다. 또한 신서리층과 환서리층의 경계가 야외에서 뚜렷이 관찰되므로(그림 8a), 각각을 독립적인 지층단위로 구분함이 적절하며(Salvador, 1994), Yoon (1989, 1992)이 제안한 암층서와는 확연히 다르다.

한반도 남동부 마이오세 분지충전물의 객관적인 암층서 분대를 위해서는 분포가 광범위하고 조성적 차이와 선후관계가 명확한 데사이트질과 현무암질 화산물질을 활용하여 하부의 범곡리층군과 상부의 장기층군으로 새로이 구분할 필요가 있음이 주장되어 왔다(Son, 1998; Kim *et al.*, 2005, 2011; Son *et al.*, 2013). 하서분지의 신서리층과 환서리층 내에 포함된 데사이트질과 현무암질 화산물질의 조성 및 암석기재적 특징들은 어일, 외읍, 장기분지 등에서 기재된 범곡리와 장기층군의 화산물질들의 특징(Son *et al.*, 2000, 2005, 2013; Kim *et al.*, 2011; Jung *et al.*, 2012; Sohn *et al.*, 2013)과 각각 매우 유사하다. 따라서 이들 두 지층은 범곡리층군과 장기층군에 각각 포함될 것으로 판단되며(표 1), 이번 연구에서 얻어진 두 층의 암석기재학적 특징들은 향후 다른 분지들 내 전기 마이오세 충전물과의 대비에도 유용하게 활용될 것으로 기대된다. 또한 이번 연구결과는 하서분지 일원에서 효동리화산암류가 퇴적된 이후 데사이트질 화산활동에 이은 현무암질 화산활동이 존재하였음을 지지하며, 한반도 남동부의 전기 마이오세 지각변형 과정동안 데사이트질-현무암질의 이원성 화산활동이 발생하였음을 주장한 최근의 연구결

과와 부합된다(Son, 1998; Son *et al.*, 2000, 2005, 2009, 2013; Lee *et al.*, 2004; Kim *et al.*, 2005, 2011; Cheon *et al.*, 2012; Jung *et al.*, 2012; Sohn *et al.*, 2013).

6. 결론

한반도 남동부 마이오세 하서분지의 정의를 명확히 하고 분지충전물의 암층서를 수립하기 위해, 경주시 양남면 하서리 일원에서 수행된 상세한 야외조사를 바탕으로 분지의 새로운 지질도를 작성하고 분지의 기하와 구조적 특성을 파악하였으며, 지층 분대를 위한 객관적인 기준을 설정하여 분지충전물의 새로운 암층서를 수립하였다.

1) 대부분 단층으로 구획된 하서분지는 행정구역상 경주시 양남면 하서리를 중심으로 환서리, 읍천리, 신서리 그리고 수렴리에 걸쳐 위치하며, 북쪽의 어일분지와 남쪽의 정자분지와는 기반암(백악기~고제3기초 울산층과 화강암)에 의해 격리되어 전기 마이오세의 화산암류와 퇴적암류로 충전된 퇴적분지로 정의한다.

2) 하서분지의 충전물은 포함된 화산물질의 조성 및 암석기재적 특징에 근거하여 하부로부터 효동리화산암류, 신서리층 그리고 환서리층으로 구분되며, 각각은 모두 정합적 관계를 가진다.

3) 하서분지의 효동리화산암류는 데사이트질 화산암류와 이를 피복한 안산암질 화산암류로 구성되며, 어일지역의 효동리화산암류와 암석기재적 특징과 층서적 위치가 서로 유사하므로 암층서적으로 대비될 것으로 판단된다. 연구지역의 효동리화산암류는 분지 내부지괴 간의 상대적 운동시기와 침강 정도의 차이로 인해 공간적인 분포와 특성을 달리하는 분지 초기 충전물로 판단된다.

4) 신서리층은 데사이트질 화산물질을 포함하는 지층이며, 하부는 사암을 협재하는 역암과 이암 등의 쇄설성 퇴적암, 상부는 데사이트질 응회암 및 응회질 퇴적암으로 각각 구성된다. 환서리층은 현무암질 화산물질을 포함하는 지층이며, 현무암질 응회암 및 응회질 퇴적암과 이를 피복 또는 관입한 현무암질 용암류와 암맥으로 구성된다.

5) 이상의 연구결과는 전기 마이오세 동안 하서분지 일원에서 데사이트질 화산활동에 이은 후기의 현

무암질 화산활동으로 대표되는 이원성 화산활동이 발생하였음을 지시하며, 신서리층과 환서리층은 각각 범곡리층군과 장기층군에 포함될 수 있다.

사 사

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었다. 심사과정에서 아낌없이 유익한 조언을 주신 한국지질자원연구원 황인걸 박사님과 경상대학교 손영관 교수님께 감사드립니다.

REFERENCES

- Allen, P.A. and Allen, J.R., 2005, Basin analysis: Principles and Applications (2nd edition). Blackwell Publishing, USA, UK, Australia, 549 p.
- Altermann, W. and Nelson, D.R., 1998, Sedimentation rate, basin analysis and regional correlations of three Neoproterozoic and Palaeoproterozoic sub-basins of the Kaapvaal craton as inferred from precise U-Rb zircon ages from volcanoclastic sediments. *Sedimentary Geology*, 120, 225-256.
- Brown, R.J. and Branney, N.J., 2004, Event-stratigraphy of a caldera-forming ignimbrite eruption on Tenerife: The 273 ka Poris Formation. *Bulletin of Volcanology*, 66, 392-416.
- Busby, C. and Bassett, K., 2007, Volcanic facies architecture of an intra-arc strike-slip basin, Santa Rita Mountains, Southern Arizona. *Bulletin of Volcanology*, 70, 85-103.
- Byun, H., 1995, Cenozoic dinoflagellate cysts from the Pohang basin and the southern margin of the Ulleung basin. Ph.D. Thesis, Chungnam National University, Daejeon, 283 p (in Korean with English abstract).
- Cas, R.A.F. and Wright, J.V., 1987, Volcanic Successions: Modern and Ancient. Allen and Unwin, London, 450 p.
- Cheon, Y., Son, M., Song, C.W., Kim, J.-S. and Sohn, Y.K., 2012, Geometry and kinematics of the Ocheon Fault System along the boundary between the Miocene Pohang and Janggi basins, SE Korea, and its tectonic implications. *Geoscience Journal*, 16, 253-273.
- Fabbri, O., Charver, J. and Fournier, M., 1996, Alternate senses of displacement along the Usushima fault system during the Neogene based on fracture analyses near the western margin of the Japan Sea. *Tectonophysics*, 257, 275-295.
- Fisher, R.V. and Schmincke, H.-U., 1984, Pyroclastic Rocks. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, 472 p.
- Gawthorpe, R.L. and Leeder, M.R., 2000, Tectono-sedimentary evolution of active extensional basins. *Basin Research*, 12, 195-218.
- Han, J.H., Kwak, Y.H., Son, J.D. and Son, B.K., 1987, Tectonic evolution and depositional environments of the Tertiary sedimentary basin, southeastern part of Korea. Report KR-86-2-(B)-4, Korea Institute of Energy and Resources, Seoul, 109 p.
- Janecke, S.U., Hammond, B.F., Snee, L.W. and Geissman, J.W., 1997, Rapid extension in an Eocene volcanic arc: Structure and paleogeography of an intra-arc half graben in central Idaho. *Geological Society of America Bulletin*, 109, 253-267.
- Jin, M.S., Kim, S.J. and Shin, S.C., 1988, K/Ar and fission-track datings for volcanic rocks in the Pohang-Kampo area. Report KD-87-27, Korea Institute of Energy and Resources, Daejeon, 51-88 (in Korean with English abstract).
- Jolivet, L., Huchon, P., Brun, J.P., Chamot-Rooke, N., Le Pichon, X. and Thomas, J.C., 1991, Arc deformation and marginal basin opening, Japan Sea, as a case study. *Journal of Geophysical Research*, 96, 4367-4384.
- Jolivet, L. and Tamaki, K., 1992, Neogene kinematics in the Japan Sea Region and volcanic activity of the Northeast Japan Arc. In: Proceedings of the Ocean Drilling Program Scientific Results 127/128(2), pp. 1311-1327.
- Jolivet, L., Tamaki, K. and Fournier, M., 1994, Japan Sea, opening history and mechanism: a synthesis. *Journal of Geophysical Research*, 99, 22237-22259.
- Jung, S., Kim, M.C., Cho, H., Son, M. and Sohn, Y.K., 2012, Basin fills and geological structures of the Miocene Yangpo subbasin in the Janggi-myeon, Pohang, SE Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 48, 49-68 (in Korean with English abstract).
- Kee, W.-S., Kim, B.C., Hwang, J.H., Song, K.-Y. and Kihm, Y.-H., 2007a, Structural Characteristics of Quaternary reverse faulting on the Eupcheon Fault, SE Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 43, 311-333 (in Korean with English abstract).
- Kim, B.K., 1970, A study on the Neogene Tertiary deposits in Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 6, 77-96 (in Korean with English abstract).
- Kee, W.-S., Kim, B.C., Hwang, J.H., Song, K.-Y. and Kihm, Y.-H., 2007b, The Eupcheon fault, SE Korea. In: Kee, W.-S., Kim, Y.-H., Song, K.-Y. (eds.), Quaternary Tectonics of Southeastern Korea, 119-149.
- Kim, B.K. and Yoon, S., 1978, Some mollusk fossils from the uppermost part of the Neogene deposits of the Pohang Basin. *Journal of the Geological Society of Korea*, 14, 1-12.
- Kim, G.-S., Kim, J.-Y., Jung, K.K., Hwang, J.-Y. and Lee, J.-D., 1995, Rb-Sr whole rock geochronology of the granitic

- rocks in the Kyeongju-Gampo Area, Kyongsangbugdo, Korea. *Journal of Korean Earth Science Society*, 16, 272-279 (in Korean with English abstract).
- Kim, H.S. and Kim, B.G., 1980, Copper-bearing porphyry from weolseong, southeastern part of Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 16, 47-61 (in Korean with English abstract).
- Kim, I.-S., 1992, Origin and tectonic evolution of the East Sea (Sea of Japan) and the Yangsan fault system: a new synthetic interpretation. *Journal of the Geological Society of Korea*, 28, 84-109 (in Korean with English abstract).
- Kim, I.-S. and Kang, H.-C., 1989, Palaeomagnetism of Tertiary rocks in the Oil (Eoil) basin and its vicinities, southeast Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 25, 273-293 (in Korean with English abstract).
- Kim, I.-S. and Kang, H.-C., 1996, Palaeomagnetism of Tertiary basins in Southern Korea: 1. Changgi basin. *Economic and Environmental Geology*, 29, 357-367 (in Korean with English abstract).
- Kim, J.S., Son, M., Kim, J.-S. and Kim, J., 2005, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages of the Tertiary dike swarm and volcanic rocks, SE Korea. *Journal of the Petrological Society of Korea*, 14, 93-107 (in Korean with English abstract).
- Kim, K.H. and Doh, S.-J., 1994, Paleomagnetic study of the Tertiary formations in the Yangnam basin. *Journal of Korean Earth Science Society*, 15, 36-45 (in Korean with English abstract).
- Kim, K.H., Doh, S.-J., Hwang, C.-S. and Lim, D.S., 1993, Paleomagnetic study of the Yeonil Group in Pohang Basin. *Journal of the Korean Institute of Mining Geology*, 26, 507-518 (in Korean with English abstract).
- Kim, K.H., Won, J.K., Matsuda, J., Nagao, K. and Lee, M.W., 1986, Paleomagnetism and K-Ar age of volcanic rocks for Guryongpo area. *Journal of the Korean Institute of Mining Geology*, 19, 231-239.
- Kim, M.-C., Kim, J.-S., Jung, S., Son, M. and Sohn, Y.K., 2011, Classification and stratigraphy of the Miocene basin fills in the northern area of the Janggi-myeon, Pohang, SE Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 47, 585-612 (in Korean with English abstract).
- Lallemand, S. and Jolivet, L., 1985, Japan Sea: a pull-apart basin?. *Earth and Planetary Science Letters*, 76, 375-389.
- Lee, H.K., Moon, H.-S., Min, K.D., Kim, I.-S., Yun, H. and Itaya, T., 1992, Paleomagnetism, stratigraphy and geologic structure of the Tertiary Pohang and Changgi basins: K-Ar ages for the volcanic rocks. *Journal of the Korean Institute of Mining Geology*, 25, 337-349 (in Korean with English abstract).
- Lee, J.H., Yun, S.H. and Koh, J.S., 2004, Petrography of the Miocene volcanic rocks of the Eoil Basin, southeastern part of Korean Peninsula. *Journal of the Petrological Society of Korea*, 13, 64-80 (in Korean with English abstract).
- Lucchitta, I. and Suneson, N.H., 1993, Dips and extension. *Geological Society of America Bulletin*, 105, 1346-1356.
- Miall, A.D., 1990, *Principles of Sedimentary Basin Analysis*. 2nd ed., Springer-Verlag, New York, 668 p.
- Min, K.D., Kim, W.K., Lee, D.H., Lee, Y.S., Kim, I.-S. and Lee, Y.-H., 1994, Paleomagnetic study on the Tertiary rocks in Pohang area. *Economic and Environmental Geology*, 27, 49-63 (in Korean with English abstract).
- Noh, J.H. and Hong, J.S., 2010, Pyroclastic lithology and stratigraphy of the Beomgokri Group of Tertiary age in Janggi area. *Journal of the Geological Society of Korea*, 46, 141-156 (in Korean with English abstract).
- Park, Y.D. and Yoon, H.D., 1968, Explanatory text of the geological map of Ulsan sheet. *Geological survey of Korea*, 20 p.
- Ryu, C.-K., 1996, Tertiary formations of the Haseo area in the Yangnam basin. Master. Thesis, Pusan National University, Busan, 56 p (in Korean with English abstract).
- Salvador, A., 1994, *International Stratigraphic Guide: A Guide to Stratigraphic Classification, Terminology, and Procedure* (2nd edition). Geological Society of America, Boulder, Co.
- Sawada, Y., 1988, K-Ar age results of volcanic rocks in Southeast Korea (unpublished report).
- Schliche, R.W., 1993, Anatomy and evolution of the Triassic-Jurassic continental rift system, eastern North America. *Tectonics*, 12, 1026-1042.
- Shimazu, M., Yoon, S. and Tateishi, M., 1990, Tectonics and volcanism in the Sado-Pohang Belt from 20 to 14 Ma and opening of the Yamato Basin of the Japan Sea. *Tectonophysics*, 181, 321-330.
- Shin, S.-C., 2013, Revised Fission-track ages and chronostratigraphies of the Miocene basin-fill volcanics and basements, SE Korea. *Journal of the Petrological Society of Korea*, 22, 83-115 (in Korean with English abstract).
- Sohn, Y.K., Ki, J.S., Jung, S., Kim, M.-C., Cho, H. and Son, M., 2013, Synvolcanic and syntectonic sedimentation of the mixed volcanoclastic-epiclastic succession in the Miocene Janggi Basin, SE Korea. *Sedimentary Geology*, 288, 40-59.
- Son, M., 1998, Formation and evolution of the Tertiary Miocene basins in southeastern Korea: Structural and paleomagnetic approaches. Ph.D. Thesis, Pusan National University, Busan, 233 p (in Korean with English abstract).

- Son, M., Chong, H.-Y. and Kim, I.-S., 2002, Geology and geological structures in the vicinities of the southern part of the Yonil Tectonic Line, SE Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 38, 175-197 (in Korean with English abstract).
- Son, M., Kang, H.-C. and Kim, I.-S., 1996, Palaeomagnetism of Tertiary basins in southern Korea: 3. Chongja-Ulsan basins and its vicinities. *Economic and Environmental Geology*, 29, 509-522 (in Korean with English abstract).
- Son, M. and Kim, I.-S., 1994, Geological structures and evolution of the Tertiary Chongja basin, southeastern margin of the Korean peninsula. *Economic and Environmental Geology*, 27, 65-80 (in Korean with English abstract).
- Son, M., Kim, I.-S. and Sohn, Y.K., 2005, Evolution of the Miocene Waup basin, SE Korea, in response to dextral shear along the southwestern margin of the East Sea (Sea of Japan). *Journal of Asian Earth Sciences*, 25, 529-544.
- Son, M., Kim, J.-S., Chong, H.-Y., Lee, Y.H. and Kim, I.-S., 2007, Characteristics of the Cenozoic crustal deformation in SE Korea and their tectonic implications. *The Korean Society of Petroleum Geology*, 13, 1-16 (in Korean with English abstract).
- Son, M., Kim, S.-H., Kim, J.S., Song, C.-W. and Kim, I.-S., 2009, Age and Structural Origin of the Tertiary Churyeong Breccia in the Gyeongju City, Korea. *Journal of the Petrological Society of Korea*, 18, 137-151 (in Korean with English abstract).
- Son, M., Seo, H.J. and Kim, I.-S., 2000, Geological structures and evolution of the Miocene Eoil basin, southeastern Korea. *Geosciences Journal*, 4, 73-88.
- Son, M., Song, C.W., Kim, M.-C., Cheon, Y., Jung, S., Cho, H., Kim, H.-G., Kim, J.S. and Sohn, Y.K., 2013, Miocene crustal deformation, basin development, and tectonic implication in the southeastern Korean Peninsula. *Journal of the Geological Society of Korea*, 49, 93-118.
- Spalletti, L.A. and Dalla salda, L.H., 1996, A pull-apart volcanic related Tertiary basin, an example from the Patagonian Andes. *Journal of South American Earth Sciences*, 9, 197-206.
- Tateiwa, I., 1924, 1:50,000 Geological atlas of Chosen, No. 2, Ennichi, Kuryuho and Choyo sheets. Geological Survey of Chosen (in Japanese).
- Wernicke, B. and Burchfiel, B.C., 1982, Modes of extensional tectonics. *Journal of Structural Geology*, 4, 105-115.
- Wise, D.U., 1992, Dip domain method applied to the Mesozoic Connecticut valley rift basins. *Tectonics*, 11, 1357-1368.
- Yi, S. and Yun, H., 1995, Miocene calcareous nannoplankton from the Pohang basin, Korea. *Palaeontographica (B)*, 237, 113-158.
- Yoon, S., 1986, Tectonic history of the Tertiary Pohang and Yangnam basins, Korea. In Nakagawa, H., Kotaka, T. and Takayanagi, Y. (eds.), *Essays in Geology Professor Nobu Kitamura Commemorative Volume*, 637-644.
- Yoon, S., 1988, Tertiary stratigraphy of the Southern Korean Peninsula. Korea Science and Engineering Foundation research report, 25 p.
- Yoon, S., 1989, Tertiary stratigraphy of the southern Korean Peninsula. In Liu, G., Tsuchi, R. and Lin, Q. (eds.), *Proceedings of the international Symposium: Pacific Neogene Continental and Marine Events, IGCP-246*, Nanning University Press, 95-207.
- Yoon, S., 1992, Geology of the Tertiary Yangnam and Pohang basins, Korea. *Bulletin of the Mizunami Fossils Museum*, No. 19, 13-31.
- Yoon, S., 1997, Miocene-Pleistocene volcanism and tectonics in southern Korea and their relationship to the opening of the Japan Sea. *Tectonophysics*, 281, 53-70.
- Yoon, S.H. and Chough, S.K., 1995, Regional strike slip in the eastern continental margin of Korea and its tectonic implications for the evolution of Ulleung basin, East Sea (Sea of Japan). *Geological Society of America Bulletin*, 107, 83-97.
- Yun, H., Min, K.D., Moon, H., Lee, H.K. and Yi, S.S., 1991, Yun, H., Min, K.D., Moon, H., Lee, H.K. and Yi, S.S., 1991, Biostratigraphic, chemostratigraphic, paleomagnetostratigraphic, and tephrochronological study for the correlation of Tertiary formations in southern part of Korea: Regional tectonics and its stratigraphical implication in the Pohang Basin, Korea. *Journal of the Paleontological Society of Korea*, 1, 1-12.
- Yun, H., Paik, K.-H. and Chang, S.K., 1989, Paleocology of the Eoil basin based on the organic and calcareous microfossils. *Journal of the Paleontological Society of Korea*, 51, 65-90.

투 고 일 : 2014년 1월 28일

심 사 일 : 2014년 2월 4일

심사완료일 : 2014년 4월 3일