



경상분지 유천층군의 시층서적 의미

황상구^{1,2} · 김상욱³ · 김성규¹ · 안웅산⁴ · 조인화⁵ · 이소진² · 김정진^{1,*}

¹안동대학교 지구환경과학과

²안동대학교 기초과학연구소

³경북대학교 지질학과

⁴제주특별자치도 세계유산본부

⁵한국기초과학지원연구원 환경과학연구부

요 약

경상분지 유천층군에 대해 현재까지 측정된 신뢰성 높은 절대연대 자료들을 바탕으로 그 암층서에 대한 시층서적 의미를 분석하였다. 유천층군은 암층서적으로 크게 주사산아층군, 운문사아층군, 옥지아층군과 사랑아층군으로 구분할 수 있으며, 저어콘 U-Pb 연대자료에 의한 각 아층군의 연대범위로부터 시층서적 의미를 부과시킬 수 있다. 유천소분지 중앙부와 남부에서 주사산아층군의 분출시기는 94.4~88.8 Ma 범위로서 투로니언에 해당되며, 운문사아층군의 분출시기는 88.9~80.4 Ma 범위로서 코니아시안에서 캄파니안 전기에 해당된다. 한편 옥지아층군은 유천소분지의 중앙부에서 78.40 Ma를 하한으로 설정하고 남부에서 73.01 Ma를 상한으로 잡으면 그 활동시기는 78.4~73.0 Ma 범위로서 캄파니안의 후기에 해당된다. 사랑아층군은 유천소분지 남부와 의성 및 영양소분지에서의 연대범위를 합하면 그 활동시기가 71.7~60.1 Ma 범위로 확대되며 마스트리치안에서 셀란디안에 해당된다. 시층서에 기반한 유천층군 아층군들의 구분이 앞으로 유천층군의 층서대비에 활용될 수 있기를 기대한다.

주요어: 유천층군, 암층서, 연대자료, 시층서, 아층군

Sang Koo Hwang, Sang Wook Kim, Seong-Kyu Kim, Ung San Ahn, In Hwa Jo, So Jin Lee and Jeong Jin Kim, 2019, Chronostratigraphic implication of the Yucheon Group in Gyeongsang basin, Korea. Journal of the Geological Society of Korea. v. 55, no. 5, p. 633-647

ABSTRACT: Based on the reliable absolute chronological data measured in the Yucheon Group, Gyeongsang Basin, the chronostratigraphic implication for the lithostratigraphy was investigated. The Yucheon Group can be largely divided into the Jusasan, Unmunsa, Yokji and Saryang subgroups by lithostratigraphy, which can be correlated with chronostratigraphic implication from the age ranges of each subgroup by zircon age data. In the central and southern parts of the Yucheon Subbasin, the eruption age of the Jusasan Subgroup ranges from 94.4 to 88.8 Ma, which correspond to the Turonian. And the eruption age of the Unmunsa Subgroup in the same areas show a range of 88.9 to 80.4 Ma, which corresponds to the Coniacian to the early Campanian. Meanwhile, the activity period of the Yokji Subgroup ranges from 78.4 Ma to 73.0 Ma, corresponding to late Campanian, if the U-Pb age of 78.40 Ma measured in the central part and 73.01 Ma in the southern part of the Yucheon Subbasin are regarded as the lower and upper limits, respectively. The active period of the Saryang Subgroup, from 71.7 to 60.1 Ma age, which corresponds to the Maastrichtian to Selandian, based on the combined data in the southern part of the Yucheon Subbasin, and in Uiseong and Yeongyang subbasins. It is expected that the classification of subgroups based on the chronostratigraphy can be utilized for stratigraphic correlation in the Yucheon Group.

Key words: Yucheon Group, lithostratigraphy, age data, chronostratigraphy, subgroup

(Sang Koo Hwang, Seong-Kyu Kim and Jeong Jin Kim, Department of Earth and Environmental Sciences, Andong National University, Andong 36729, Republic of Korea; Sang Koo Hwang and So Jin Lee, Institute of Basic Sciences, Andong National University, Andong 36729, Republic of Korea; Sang Wook Kim, Department of Geology, Kyungpook National University, Daegu 41566, Republic of Korea; Ung San Ahn, World Heritage Office, Jeju Special Self-governing Provincial Government, Jeju 63341, Republic of Korea; In Hwa Jo, Division of Environmental and Material Sciences, Korea Basic Science Institute, Ochang 28119, Republic of Korea)

* Corresponding author: +82-54-820-5038, E-mail: jjkim@anu.ac.kr

1. 서 언

한반도 백악기 지층은 옥천대 및 경기육괴 지역의 일부 소규모 분지를 제외하고는 대부분 경상분지에 분포한다(그림 1). 경상분지의 백악기 지층은 암상과 화산물질의 함유 여부에 따라 하부로부터 신동층군, 하양층군과 유천층군으로 분류되었다(Chang, 1975). 이와 함께 경상분지는 지역에 따라 암층서의 차이에 근거하여 낙동곡분, 영양소분지, 의성소분지와 유천

소분지로 구분된다(Chang, 1975, 1977; Won *et al.*, 1978).

경상분지에서 유천층군은 대부분 화산암류로 구성되고 퇴적암류가 매우 적게 협재되므로 화석 혹은 절대연대에 의해 지층들의 형성시기를 결정하기가 어려웠다. 한편 절대연대는 여러 방법으로 측정할 수 있었지만, 큰 오차와 방법 간의 상치된 결과 등으로 인해 절대연대의 확정에는 상당한 한계가 있는 상태이다. 그러나 최근에는 더욱 신뢰할 수 있는 절대

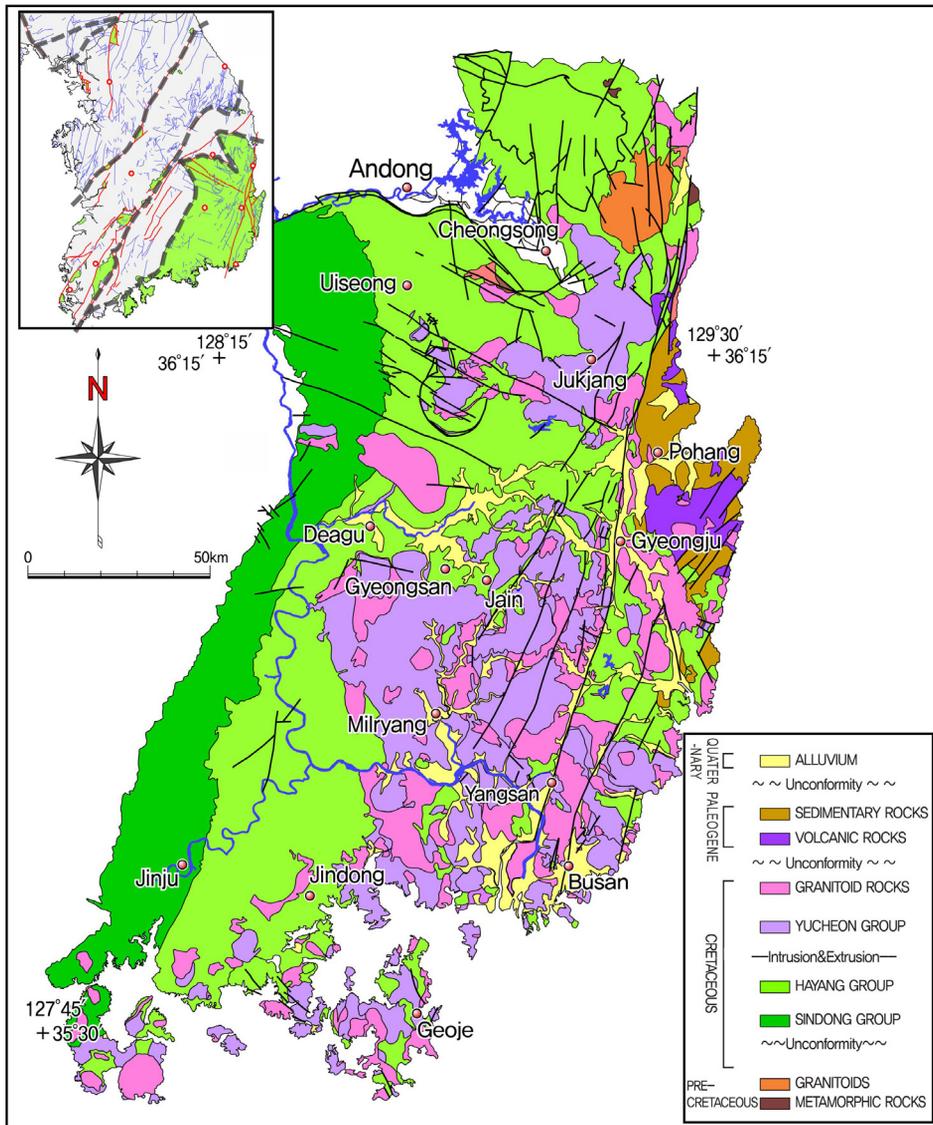


Fig. 1. Geological map of the Gyeongsang basin with a location map (modified from Hwang *et al.*, 1996; Kim *et al.*, 1998).

연대 측정법이 개발되고 이들에 의한 연대측정 자료가 축적됨에 따라 유천층군 각 지층의 형성시기를 보다 정량적으로 제한할 수 있게 되었다. 따라서 이 연구에서는 상대적으로 신뢰도가 높은 연대측정법인 초고분해능이온탐침(SHRIMP; sensitive high-resolution ion microprobe) 및 레이저작마 유도결합플라즈마 질량분석기(LA-ICP-MS; laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometer)를 이용한 저어콘 U-Pb 측정법으로부터 얻어진 절대연대자료를 바탕으로 유천층군에 대한 시층서(chronostratigraphy)와 층서대비(stratigraphic correlation)에 대해 고찰하였다.

유천층군 암층서의 경우는 화산의 중첩성과 화구로부터 거리에 따른 암상 연결성의 부족과 변화 등으로 인해, 암상만으로 광역적인 층서대비를 논하기란 매우 어려운 문제이다. 더욱이 유천층군은 소분지 내에서 수백 km 떨어지거나 혹은 인접 소분지 간에 암상에 의존하여 층서를 대비하기란 거의 불가능한 일이다. 그러므로 우리는 암상과 상호관계에 의한 암층서를 바탕으로 하면서 주요 화산암층에 대해 저어콘 U-Pb 연대측정 자료를 결부함으로써 유천층군의 시층서를 체계화시켜 광역적인 층서대비에 적용하고자 한다.

2. 지질개관

경상분지에서 경상누층군의 하부와 중부에 해당하는 신동 및 하양층군은 주로 육성 환경에서 유래된 퇴적암류로 구성되고 화산암류를 협재하는 반면에, 상부에 해당하는 유천층군은 주로 화산암류(용암과 화성쇄설암)로 구성되고 소량으로 층회암(tuffite; Fisher, 1961)을 협재한다. 신동 및 하양층군의 연대는 백악기 초엽과 후엽 전기를 나타내며, 뒤에서 언급되었지만 유천층군은 대개 백악기 후엽 후기를 나타낸다.

경상분지에서 백악기 화산암류는 하양층군의 하부로부터 여러 층위에 현무암이 협재되어 있으므로 이들로부터 화산활동의 시기와 양상을 알아낼 수 있다. 경상분지에서의 화산층서는 Yamanari (山成不二磨, 1924)에 의해 분지 내에 중성 및 산성 화산암류가 넓게 분포함이 알려졌고, Tateiwa (立岩巖, 1929)에 의해 산출 위치에 따라 학봉빈암, 채약산빈암, 주

사산빈암 순으로 분류되었다. 경상누층군은 화산활동의 유무 및 강도와 심성활동에 따라 신동층군, 하양층군, 유천층군과 불국사관입암군으로 구분되었다(Chang, 1975). 하양층군에는 현무암과 응회암이 퇴적암층의 여러 층위에 협재되어 있으며, 유천층군은 대부분 안산암질 내지 유문암질의 용암과 화성쇄설암으로 이루어져 있다. 특히 유천층군은 최하부에 고성층이 놓이는데, 이 층에서 기저역암의 존재와 그 하위의 진동층 상부의 침식을 근거로 하여 진동층군과 부정합 관계로 보고 있다(Chang *et al.*, 1984; Lee *et al.*, 2018). 한편 이 고성층은 마산지역에서 정병산층에 대비되며 진동지역에서는 그 하부와 상부가 각각 중산층과 정병산층에 대비된다(Chang *et al.*, 1984).

유천층군의 층서는 대부분 화산암층에 의해 구분되지만 각 지층의 분출시기에 대한 이해는 아직 미해결 상태이다. 그러나 최근에 많이 보고된 저어콘의 U-Pb 연대측정 결과를 바탕으로 분출시기를 정확하게 알아낼 수 있게 되어, 유천층군에 대한 시층서적 대비가 가능하게 되었다.

3. 유천층군의 암층서

유천층군의 화산암류는 경상분지 동남부와 남해안에 걸쳐 분포하며 이에 수반된 심성암류를 합쳐서 경상호(Hwang and Kim, 1994) 혹은 경상화산호라고 칭하였다(Chough and Sohn, 2010). 유천층군은 칼크알칼리 계열에 속하는 용암과 화성쇄설암으로 주로 구성되고 부수적으로 응회질 퇴적암층을 협재한다.

유천층군은 유천소분지 중앙부에서 하부의 중성 화산암류와 상부의 산성 화산암류의 경계가 확실하게 구분되므로 암층서적으로 각각 주사산안산암질암류(혹은 주사산아층군)와 운문사유문암질암류(혹은 운문사아층군)로 구분 명명되었다(Kim and Lee, 1981).

유천소분지 남부에서 유천층군은 기저로부터 하부 안산암질암류, 하부 유문암질암류, 상부 안산암질암류와 상부 유문암질암류로 구분되며, 전자 둘은 각각 주사산안산암질암류(혹은 주사산아층군)과 운문사유문암질암류(혹은 운문사아층군)와 대비되고, 후자 둘은 각각 육지안산암질암류(혹은 육지아층군)과 사랑유문암질암류(혹은 사랑아층군)으로 명명되었다(Hwang *et al.*, 2016a, 2016b).

Table 1. Stratigraphy of the Yucheon Group in the central Yucheon subbasin.

Area	Stratigraphy		Description	Remarks
	Rock group	Unit		
Central Yucheon subbasin	Upper andesitic rocks	Beomdori Andesite	andesitic lavas with their tuffs at the base	
		accretionary lapilli tuff	accretionary lapilli tuffs with rhyolitic ash-flow tuffs on the top	
		Hwajeri Formation	sedimentary rocks with some tuffites on the Yangsan caldera floor	
	Unmunsa Rhyolitic Rocks	Samrangjin Tuff	rhyodacitic welded ash-flow tuffs with bedded tuffs at the base	Samrangjin caldera
		Wondong Tuff	rhyolitic welded ash-flow tuffs with fallout tuffs at the base	Wondong caldera
	Jusasan Andesitic Rocks	Yangsan Tuff	dacitic welded ash-flow tuffs with tuff breccias at the base	Yangsan caldera
		Jeonggaksan Formation	tuffites intercalated with rhyolitic ash-flow tuffs	
		Miryang Andesite	andesitic lavas with a lot of plagioclase phenocrysts	
		Saengcheolli Tuff	andesitic lapilli tuffs with a lot of andesitic fragments	
		Jongnamsan Andesite	andesitic lavas with aphyric texture	
	Palyongsan Tuff	andesitic lapilli tuffs in the lower part, and tuffaceous sandstones, shales and conglomerates in the upper part		

3.1 유천소분지 중앙부

유천소분지에서 주사산안산암질암류는 하양층군의 건천리층(혹은 진동층) 위에 놓이며 대구-부산 사이에서 높은 능선부를 제외한 낮은 구릉에 광범위하게 분포한다. 이들은 대부분 안산암질 용암과 화성쇄설암으로 구성되고 응회질 퇴적암인 층회암을 협재한다.

주사산안산암질암류는 화성쇄설물과 용암류를 번갈아 형성한 안산암질 화산활동이었으며, 퇴적지가 수증일 때 층리가 양호한 화산쇄설물의 퇴적을 가능케 하였다. 이 과정에서 탄생한 산물이 팔용산응회암과 주사산안산암질암이다(Kim and Kim, 1963). 이와 같은 과정은 여러 차례 반복되었지만 지역에 따라 혹은 시기에 따라 화산쇄설암과 용암의 양적 비율의 차이가 있었을 것이다. 즉 초기에는 화산쇄설암이 더 높은 비율을 차지하였지만 차츰 용암이 더 높은 비율로 증가하다가, 결국에는 대부분 용암만으로 구성되는 두꺼운 밀양안산암을 탄생시켰던 것이다. 다시

말하면 초기에는 폭발성 분출(explosive eruption)이 더 우세하였고 후기로 가면서 폭발력이 점차 감소되어 분류성 분출(effusive eruption)로 전환되었던 것이다.

특히 유천소분지 중앙부의 밀양 일대에서 주사산안산암질암류는 하부로부터 팔용산응회암, 비반상안산암(중남산안산암), 안산암질 라필리응회암(생철리응회암)과 밀양안산암 순으로 구성된다(표 1; Kim and Hwang, 1988). 팔용산응회암의 하부층은 라필리응회암과 응회암으로 구성되며 대개 안산암질 쇄설암이지만 간혹 유문암편과 세일편을 함유하며, 상부층은 응회질 사암, 세일 및 역암으로 구성된다.

운문사유문암질암류는 유천소분지 중앙부에서 밀양-양산 사이의 운문산, 가지산, 천황산, 신불산, 천태산, 토곡산, 무척산 등의 산릉부에 주로 분포하며 주사산안산암질암류 위에 놓인다. 대부분 유문암질 내지 데사이트질 용결응회암으로 구성되고 약간의 유문암 관입체를 포함한다.

이 운문사유문암질암류는 대부분 회류용회암(ash-flow tuff)들로 구성되며, 이들은 중간에 강하용회암(fallout tuff)이 협재되고 암상과 조성 차이를 바탕으로 하부로부터 응회각력암, 데사이트질 회류용회암, 데사이트, 유문암질 강하용회암, 유문암질 회류용회암, 화제리층, 누적라필리용회암 순으로 세분되었다(Hwang and Kim, 1990). 그 후 이 지역에서 양산칼데라, 원동칼데라, 삼랑진칼데라가 추가로 확인되면서 이들 칼데라 형성과 함께 회류용회암과 강하용회암이 밀접히 관계되어 있음을 인식하여, 각 칼데라 형성과 관계된 분출암을 하나로 묶어 각각 양산용회암, 원동용회암 및 삼랑진용회암으로 명명되었다(표 1; Hwang and Kim, 1990). 이 칼데라들은 형성 후속 단계의 산물로서 환상암맥 및 플러그, 중앙도움, 소생관입체 등을 노출하여 회류용회암-칼데라-환상암맥으로 조합되는 복합체를 이룬다(Hwang and Kim, 1990).

3.2 유천소분지 남부

유천소분지 남부는 경상분지 남동부에 발달하는 경상호의 중간 부분에 해당하는 곳으로(Hwang, 2012), 유천층군 화산암류의 대규모 분출 후에 심성암류가 분포한다. 이 지역의 유천층군 화산암류는 안산암질 각력암, 용결용회암과 용암으로 주로 구성되고 데사이트질 내지 유문암질 용결용회암이 그 중간에 협재되거나 그 위를 덮고 있다. 이 지역에서 유천층군 화산암류는 하부로부터 고성층, 하부 안산암질암류(주사산아층군), 하부 유문암질암류(운문사아층군), 상부 안산암질암류(옥지아층군)와 상부 유문암질암류(사랑아층군)로 구분된다(표 2; Hwang *et al.*, 2016a).

하부 안산암질암류는 문어포안산암, 윗섬안산암, 한산도층, 두억리안산암, 장곡용회암, 연대도안산암, 웅방산안산암 순으로 놓이고 하부 유문암질암류는 풍화리용회암, 장평리층, 봉화산용회암, 추도용회암, 자부포용회암, 노대도용회암, 갈도용회암으로 구분된다. 상부 안산암질암류는 미륵산안산암, 마동데사이트, 달아안산암, 아랫섬안산암, 두미도안산암 순으로 놓이며, 상부 유문암질암류는 오비도층, 곤리도용회암, 남산유문암, 사랑도용회암 순으로 놓인다(표 2; Hwang *et al.*, 2016a).

하부 안산암질암류는 주로 층회암으로 구성되는 고성층 위에 놓이며, 한산도, 미륵도, 사랑도와 연대

도 등에서 층회암층, 화성쇄설암층과 용암층의 교호에 의해 문어포안산암, 윗섬안산암, 한산도층, 두억리안산암, 장곡용회암, 연대도안산암 순으로 구분되고 남해도에서 웅방산안산암이 분리되어 분포한다.

하부 유문암질암류는 모두 화산쇄설암으로 구성되며 미륵도와 한산도에서의 층회암층 협재와 여러 도서에서의 고립된 분포특성에 의해 풍화리용회암, 장평리층, 봉화산용회암, 추도용회암, 자부포용회암, 노대도용회암, 갈도용회암으로 구분된다.

상부 안산암질암류는 하부 운문사유문암질암류 위에 부정합적으로 놓인다. 남쪽 주변부의 통영 미륵도에서 상부 안산암질암류는 화성쇄설암층의 협재에 의해 하부로부터 미륵산안산암, 마동데사이트, 달아안산암 순으로 구분되고, 서쪽 지역에서 아랫섬안산암과 두미도안산암 순으로 구분된다(표 2; Hwang *et al.*, 2016a). 미륵도에서는 이 암층들의 동심원상 분포와 환상암맥의 발달 등이 성층화산과 칼데라의 존재를 제시해 준다. 즉, 미륵산안산암을 중심으로 하여 마동데사이트가 그 외곽부에 정합적으로 놓이고, 또 다시 그 외곽부에 달아안산암이 정합적으로 놓이며 이들의 자세는 외측으로 방사상 경사를 나타낸다. 이와 같이 세 층서단위가 미륵산을 중심으로 방사상 분포와 경사를 이루는 성층화산을 형성한다.

상부 유문암질암류는 상부 안산암질암류와 마찬가지로 유천소분지의 남쪽 주변부에 주로 분포하며 상부 안산암질암류 위에 놓인다. 이 지역의 상부 유문암질암류는 통영에서 하부로부터 오비도층, 곤리도용회암, 남산유문암, 사랑도용회암 순으로 구분된다(표 2; Hwang *et al.*, 2016a).

3.3 의성 및 영양소분지

의성소분지의 북동부와 영양소분지 남부에 해당되는 곳에도 화산암류가 분포하며 이 지역을 주왕산 화산지역이라 부른다(Hwang, 2002a). 이 화산암류는 하양층군 신양동층 위에 부정합으로 놓이며(Chang *et al.*, 1984), 하부로부터 현무암질과 안산암질의 용암 및 화산쇄설암으로 구성되고, 중부와 상부는 대부분 유문암질과 데사이트질 화쇄류에 의한 큰 용적의 용회암들로 구성된다. 한편 중부와 상부에서 이 용회암층 사이에는 안산암질 용암층과 퇴적암층 및 안산암질 용암층이 협재되어 있어 이들을 기준으로 여러 암층이 설정되었다(Hwang, 2002a; Hwang and Kim,

Table 2. Stratigraphy of the Yucheon Group in the southern Yucheon subbasin.

Area	Stratigraphy		Description	Remarks
	Rock group	Unit		
Southern Yucheon subbasin	Upper rhyolitic rocks	Saryangdo Tuff	rhyodacitic welded ash-flow tuffs rich in plagioclase crystals	
		Namsan Rhyolite	flow-banded or porphyritic lavas and intrusives	
		Gonrido Tuff	rhyolitic ash-flow tuffs with welding foliations in the upper part	Mireukdo caldera
		Obido Formation	consists of shales, sandstones and conglomerates, and locally tuffaceous conglomerates	
	Upper andesitic rocks	Dumido Andesite	andesitic lavas with their lapilli tuffs or hyaloclastic breccias at the base	
		Araetseom Andesite	andesitic lavas intercalated with a little of autoclastic breccias.	
		Dara Andesite	andesitic lavas with their welded tuffs, lapilli tuffs, and locally hyaloclastic breccias at the base.	
		Madong Dacite	porphyritic dacitic lavas with their welded lapilli tuffs at the base.	Stratovolcano
	Lower rhyolitic rocks	Mireuksan Andesite	andesitic lavas with their lapilli tuffs at the base.	
		Galdo Tuff	rhyodacitic welded ash-flow tuffs with nonwelding zone at the base	
		Nodaedo Tuff	rhyolitic welded ash-flow tuffs with tuff breccias at the base	
		Jabupo Tuff	rhyolitic welded ash-flow lapilli tuffs with conspicuous eutaxitic fabrics	
		Chudo Tuff	rhyolitic ash-flow tuffs with bedded lapilli tuffs at the base	
		Bonghwasan Tuff	rhyolitic welded ash-flow tuffs with eutaxitic fabrics	
Jangpyeongri Formation		consisting of tuffites, and sandstones and conglomerates		
Punghwari Tuff		dacitic to rhyolitic ash-flow tuffs, locally having welding texture		
Ungbansan Andesite		andesitic to dacitic lavas with welded lapilli tuffs at the base		
Yeondaedo Andesite		andesitic to dacitic lavas with breccias at the base		
Lower andesitic rocks	Janggok Tuff	interbedding of andesitic tuffs and lapilli tuffs		
	Dueokri Andesite	dacitic to andesitic lavas		
	Hansando Formation	almost shales and sandstones intercalated with tuffaceous mudstones and conglomerates, and tuff breccias		
	Witseom Andesite	basaltic andesitic lavas with autoclastic breccias at the base.		
	Muneopo Andesite	porphyritic andesitic lavas with surface breccias and locally lapilli tuff.		
	Goseong Formation	greenish gray tuffaceous mudstones and sandstones, purple tuffaceous mudstones, tuffaceous conglomerates, and tuffs		

Table 3. Stratigraphy of the Yucheon Group in the Uiseong and Yeongyang subbasins.

Area	Stratigraphy		Description	Remarks
	Rock group	Unit		
Uiseong and Yeongyang subbasins	Upper rhyolitic rocks	Guamsan Tuff	rhyolitic ash-flow tuffs intercalated with fall-out tuffs, breccias and tuffites	Guamsan caldera
		Myeonbongsan Tuff	rhyolitic ash-flow tuffs, intercalated with bedded tuffs in the middle part	Myeonbongsan caldera
		Unjusan Tuff	rhyolitic ash-flow tuffs	Jayang caldera
		Muposan Tuff	rhyodacitic ash-flow tuffs with greenish gray color	
		Neogudong Formation	tuffaceous mudstones, cherts, shales, sandstones and conglomerates, intercalated with andesite lavas,	
		Juwangsan Tuff	rhyolitic welded ash-flow tuffs with non-welding zone at base and top	
		Naeyeonsan Tuff	dacitic to rhyolitic welded ash-flow tuffs	
		Jukjang Volcanics	interbedding of andesitic to dacitic pyroclastics and lavas	
		Jipum Volcanics	rhyolitic ash-flow tuffs and flow-banded lavas, associated with tuffaceous sandstones, hyaloclastites, tuffaceous conglomerates and andesite lavas	
		Upper andesitic rocks	Ipbong Andesite	basaltic andesitic lavas with their lapilli tuffs at the base.

2006; Hwang *et al.*, 2007a, 2019).

주왕산 화산지역의 기저부에는 입봉빈암(Hatae, 1936)으로 기재된 입봉안산암이 놓이며, 그 위에 상부 유문암질 내지 테사이트질암류에 해당하는 지품화산층, 죽장화산층, 내연산응회암, 주왕산응회암, 너구동층, 무포산응회암, 운주산응회암, 면봉산응회암과 구암산응회암이 차례로 놓인다(표 3).

이들 중 내연산, 주왕산 및 무포산응회암층은 서로 다른 공급지에서 유래되었으며(Ahn and Hwang, 2007; Hwang *et al.*, 2007b; Jo and Hwang, 2017), 또한 운주산, 면봉산 및 구암산 응회암은 각 칼데라에서 유래되었다(Hwang, 2002a; Hwang *et al.*, 2019).

4. 유천층군의 절대연대자료

지금까지 보고된 유천층군 각 지층들에 대한 절대연대자료들의 경우, 측정법과 연구자에 따라 큰 편차를 보이거나 발전된 분석법에 기초한 연대자료들이 다수 보고되어, 이들 자료들을 중심으로 유천층군 각

지층의 연대를 비교 논의하였다. 지금까지 유천층군에 대해 적용된 절대연대 측정법 중에서 SHRIMP와 LA-ICP-MS를 이용한 저어콘 또는 스피의 U-Pb 연대가 높은 신뢰도를 갖는 것으로 평가되었다(Park *et al.*, 2010). 이외에 전자현미분석기(EPMA; electronprobe micro analyzer)를 이용한 저어콘과 모나자이트 등에 대한 화학연대측정법(소위 CHIME 법)과, Rb-Sr, K-Ar, Ar-Ar 측정법들은 전통적으로 많이 이용되어왔던 절대연대 측정법이다. 하지만, CHIME 법은 EPMA가 가진 본질적인 한계 때문에 매우 낮은 농도의 분석은 어렵고, 그 이외의 방법은 비교적 낮은 폐쇄온도를 가지며 동시에 풍화변질에도 취약한 점이 있다. 따라서 이 논문에서는 저어콘 U-Pb 측정연대자료만을 이용하였고 CHIME, K-Ar, Ar-Ar, Rb-Sr 측정 자료는 참고로만 활용하였다.

4.1 유천소분지 중앙부

유천소분지 중앙부에서 지금까지 화산암층에 대해 구해진 LA-ICP-MS U-Pb 저어콘 일치곡선 연대

Table 4. Zircon U-Pb age data for the volcanic rocks of the Yucheon Group.

Area	Stratigraphy		Zircon U-Pb dating			Subgroup
	Rock group	Stratigraphic unit	Method	Age	References	
Central Yucheon subbasin	Upper andesitic rocks	Beomdori Andesite	LA-ICP-MS	78.4±1.5 Ma	Zhang <i>et al.</i> (2012)	Yokji Subgroup
		Samrangjin Tuff	LA-ICP-MS	88.0±0.8 Ma	Zhang <i>et al.</i> (2012)	
	Unmunsa Rhyolitic Rocks	Wondong Tuff	LA-ICP-MS	88.0±0.7 Ma	Zhang <i>et al.</i> (2012)	Unmunsa Subgroup
		Jeonggaksan Formation	LA-ICP-MS	88.7±0.7 Ma	Zhang <i>et al.</i> (2012)	
	Jusasan Andesitic Rocks	Miryang Andesite	LA-ICP-MS	88.8±1.0 Ma 94.3±2.0 Ma	Zhang <i>et al.</i> (2012)	Jusasan Subgroup
		Jongnamsan Andesite	LA-ICP-MS	94.4±0.8 Ma	Zhang <i>et al.</i> (2012)	
Upper rhyolitic rocks	Saryangdo Tuff	SHIRIMP	69.16±0.66 Ma 69.72±0.69 Ma	Lee <i>et al.</i> (2019)	Saryang Subgroup	
	Namsan Rhyolite	SHIRIMP	71.74±0.47 Ma	Hwang <i>et al.</i> (2018b)		
Southern Yucheon subbasin	Upper andesitic rocks	Dara Andesite	SHIRIMP	73.01±0.75 Ma	Hwang <i>et al.</i> (2018b)	Yokji Subgroup
		Galdo Tuff	SHIRIMP	80.43±0.53 Ma	Hwang <i>et al.</i> (2018a)	
	Lower rhyolitic rocks	Nodaedo Tuff	SHIRIMP	81.30±0.54 Ma	Hwang <i>et al.</i> (2018a)	Unmunsa Subgroup
		Jabupo Tuff	SHIRIMP	82.06±0.55 Ma	Hwang <i>et al.</i> (2018a)	
		Chudo Tuff	SHIRIMP	82.56±0.95 Ma	Hwang <i>et al.</i> (2018b)	
		Andesitic ash tuff	LA-ICP-MS	85.0±0.3 Ma	Lee <i>et al.</i> (2018)	
		Bonghwasan Tuff	SHIRIMP	86.69±0.78 Ma	Lee <i>et al.</i> (2019)	
		Punghwari Tuff	SHIRIMP	88.95±0.44 Ma	Hwang <i>et al.</i> (2018b)	
Lower andesitic rocks	Goseong Formation	La-ICP-MS	89.1±0.4 Ma	Lee <i>et al.</i> (2018)	Jusasan Subgroup	
		SHIRIMP	92.1±3.2 Ma	Kim <i>et al.</i> (2011)		
Uiseong and Yeongyang subbasins	Upper rhyolitic rocks	Guamsan Tuff	SHIRIMP	60.1±1.8 Ma 63.77±0.94 Ma	Hwang <i>et al.</i> (2017b)	Saryang Subgroup
		Myeonbongsan Tuff	SHIRIMP	65.03±0.66 Ma	Hwang <i>et al.</i> (2017a)	
		Unjusan Tuff	SHIRIMP	66.08±0.62 Ma 66.65±0.96 Ma	Hwang <i>et al.</i> (2019)	
		Muposan Tuff	SHIRIMP	67.08±0.96 Ma	Hwang <i>et al.</i> (2016)	
		Jipum Volcanics	SHIRIMP	68.5±1.6 Ma	Hwang (2017)	

측정 결과(표 4)를 살펴보면 다음과 같다. 하부 안산암질암류는 밀양 하남읍에서 종남산안산암(비반상안산암)이 94.4±0.8 Ma (n=20)로 측정되었고, 밀양 안산암은 밀양 상남면에서 94.3±2.0 Ma (n=7)와 양산 원동면에서 88.8±1.0 Ma (n=10)로 측정되었다(Zhang *et al.*, 2012).

하부 유문암질암류는 밀양 단장면에서 정각산층 하부에 협재된 유문암질 응회암이 88.7±0.7 Ma (n=18)로 측정되었고, 양산 원동면에서 원동응회암이 88.0±0.7 Ma (n=15)로 측정되었으며, 밀양 삼랑진읍에서 삼랑진응회암은 88.0±0.8 Ma (n=14)로 측정되었다(Zhang *et al.*, 2012). 한편 삼랑진 칼데라에 관련된 유문암맥

에 대한 Rb-Sr 전암연대가 80.8 ± 1.9 Ma(Hwang and Cheong, 1998)로 측정된 바 있다. 따라서 이들은 층서적으로 하부 안산암질암류를 주사산안산암질암류(주사산아층군)로, 그리고 하부 유문암질암류를 운문사유문암질암류(운문사아층군)로 분류한 것(Kim and Lee, 1981)에 대비할 수 있다(그림 2).

그러나 범도리안산암은 밀양 단장면에서 이보다 훨씬 늦은 78.4 ± 1.5 Ma (n=3)로 측정되었는데(Zhang *et al.*, 2012), 이 연대는 범도리안산암이 지금까지 주사산안산암질암류의 상부로 알려진 것과 크게 다르다. 따라서 이러한 조성과 연대는 범도리안산암이 위의 분류와 전혀 다른 상부 안산암질암류로 구분되어야 함을 시사하며, 층서적으로 아래에서 언급될 상부 안산암질암류로 설정할 필요성을 가진다(그림 2).

한편 밀양 삼랑진 칼데라에 관련된 산성 유문암맥 등의 관입암 연대는 화산층서를 해석함에 있어 상당한 혼란을 야기할 수 있으므로 논의에서 배제하였다.

4.2 유천소분지 남부

남해안과 여러 섬에 분포하는 유천층군의 화산암층에 대해 지금까지 측정된 SHRIMP U-Pb 저어콘 연대(표 4)를 살펴보면 다음과 같다. 유천소분지의 남해안을 따라서 분포하는 유천층군 고성층은 하양층군의 최상부 지층인 진동층과 경사부정합을 이루며 화산쇄설물을 상당히 많이 함유한다(Chang *et al.*,

1984; Paik *et al.*, 2006). 특히 고성층은 안산암질에서 테사이트질 응회암들을 협재한다. 이들 중에서 하부에 협재하는 세립질의 응회암은 분리된 쇄설성 저어콘들로부터 SHRIMP U-Pb 일치곡선 연대가 92.1 ± 3.2 Ma (n=5)로 측정되었고(Kim *et al.*, 2011), 상부에 협재하는 화산재 응회암은 쇄설성 저어콘들로부터 LA-ICP-MS U-Pb 일치곡선 연대가 89.1 ± 0.4 Ma로 측정되었다(Lee *et al.*, 2018). 이 두 응회암층의 조성이 테사이트질인 것은 아마도 맥동적 분출에서 용암에 선행하는 폭발성 분출이 그 안산암질 용암보다 더 규질인 테사이트질로 일어난 경우, 운반 이동되면서 테사이트질 세립질 화산재들로 분별될 경우, 혹은 다른 지역 화산에서 테사이트질의 폭발성 분출로부터 기인하는 경우라고 생각할 수 있다. 이들 연대는 이 응회암의 분출시기를 나타내지만 고성층의 퇴적시기가 백악기 투로니안(Turonian) 이후이라는 것도 시사해준다. 그런데 이들 응회암은 고성층 퇴적시기에 지배적인 화산활동에 의한 것이라기보다 차라리 안산암질 화산활동에 수반되는 것으로 생각된다. 왜냐하면 고성층 내에 협재하는 역암에는 안산암역이 상당히 산출되는데 비해 테사이트역은 관찰되지 않기 때문이다(Lee *et al.*, 2018)

하부 안산암질암류는 저어콘의 분리가 쉽지 않아 아직 측정 자료가 없지만, 하부 유문암질암류는 저어콘 분리가 쉬워 SHRIMP U-Pb 저어콘 연대자료가 많이 보고되었다. 남해도에서의 봉화산응회암은

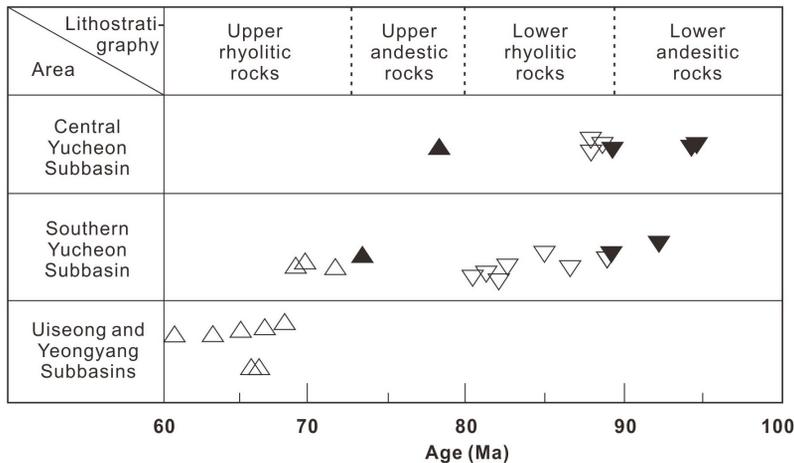


Fig. 2. Distribution diagram of U-Pb ages correlating to lithostratigraphy in three area of the Gyeongsang basin. Open normal triangles represent the upper rhyolitic rocks; Solid normal triangles, the upper andesitic rocks; Open inverted triangles, the lower rhyolitic rocks; Solid inverted triangles, the lower andesitic rocks.

86.69±0.78 Ma (n=10) 연대를 나타내고(Lee *et al.*, 2019), 미륵도에서의 풍화리응회암은 88.95±0.44 Ma 연대(n=11)를 나타내며 추도에서의 추도응회암은 82.56±0.95 Ma (n=10) 연대를 나타낸다(Hwang *et al.*, 2018a). 그리고 욱지도에서 자부포응회암이 82.06±0.55 Ma (n=14), 상노대도에서 노대도응회암이 81.30±0.54 Ma (n=14), 갈도 해안에서 갈도응회암이 80.43±0.53 Ma (n=15)를 나타낸다(Hwang *et al.*, 2018b). 한편 고성층 위에 놓이는 소규모의 안산암질 화산재응회암은 상부에 협재하는 화산재 응회암의 저어콘들로부터 LA-ICP-MS U-Pb 일치곡선 연대가 85.0±0.3 Ma로 측정되었다(Lee *et al.*, 2018). 이 응회암층은 아마도 하부 유문암질암류 내에 얇은 안산암질 응회암층이 협재되어 있거나, 혹은 다른 지역 화산에서 안산암질의 폭발성 분출에 의해 세립질 화산재가 멀리 운반된 것으로 볼 수 있다. 이들 모든 연대는 유천소분지 중앙부의 유문사유문암질암류의 연대와 거의 유사하다(그림 2).

상부 안산암질암류에서 SHRIMP U-Pb 저어콘 일치곡선 연대자료를 보면, 미륵도의 달아안산암은 73.01±0.75 Ma 연대(n=11)를 나타낸다(Hwang *et al.*, 2018a). 이 연대는 유천소분지 중앙부의 상부 안산암질암류의 연대와 조성에 접근한다(그림 2).

상부 유문암질암류에서 SHRIMP 저어콘 U-Pb 일치곡선 연대자료에 의하면 미륵도에서의 남산유문암은 71.74±0.47 Ma (n=14), 사랑도응회암은 수우도에서 69.72±0.69 Ma (n=12)와 사랑도에서 69.16±0.66 Ma (n=12)를 보여준다(Lee *et al.*, 2019). 이들 연대는 아래에서 언급하는 의성 및 영양소분지의 유문암질암류의 연대 및 조성과 유사하다(그림 2).

4.3 의성소분지 및 영양소분지

경상분지의 의성소분지 동부와 영양소분지 남부에서 지금까지 구해진 화산암 연대측정 결과(표 4)를 살펴보면 다음과 같다. 이 지역에는 하부에 안산암질암류가 소규모로 분포하고 대부분 유문암질암류가 분포한다. 따라서 유문암질암류로부터 연대측정이 많이 이루어졌으며 모두 상부 유문암질암류에 대한 결과이다(그림 2).

상부 유문암질암류의 여러 화산층에 대한 SHRIMP U-Pb 저어콘 일치곡선 연대측정에 의하면, 영덕 지품면에서 지품화산층의 유문암질 응회암이 68.5±1.6

Ma (n=11)로 측정되었고(Hwang, 2017), 청송 부동면에서 무포산응회암이 67.08±0.96 Ma (n=13)로 측정되었다(Hwang *et al.*, 2016c). 한편 이 무포산응회암은 Rb-Sr 전암연대 측정에 의하면 63.6±3.4 Ma(2σ)로 나왔는데(Hwang and Kim, 2006), 이 연대는 U-Pb 저어콘 연대보다 상당히 젊은 결과이다. 또한 주왕산응회암은 Rb-Sr 전암연대가 63±13 Ma(2σ)로 측정되었는데(Hwang *et al.*, 2007a), 이 연대는 무포산응회암이 암층서적으로 주왕산응회암보다 아래층이라는 것에 상충되기 때문에 이용하는데 무리가 있다. 한편 영천 기계면의 자양 칼데라에서 유래된 운주산응회암의 연대는 칼데라 내부에서 66.65±0.96 Ma (n=15)으로, 칼데라 외부에서 66.08±0.62 Ma (n=14)으로 측정되었으며(Hwang *et al.*, 2019), 청송 현서면의 면봉산 칼데라 내부에서 면봉산응회암의 연대는 65.03±0.66 Ma (n=13)를 나타낸다(Hwang *et al.*, 2017a). 한편 청송 부남면의 구암산 칼데라 내부에서 구암산응회암의 연대는 하부에서 63.77±0.94 Ma (n=12) 및 상부에서 60.1±1.8 Ma (n=4)를 나타내는데(Hwang *et al.*, 2017b), 이 연대는 고신기(Paleogene) 초엽에 해당하는 지질시대이다. 또한 이 구암산응회암은 Rb-Sr 전암연대 측정에 의하면 56±11 Ma(2σ)로 나왔는데(Hwang, 2002b), 이 연대는 U-Pb 저어콘 연대보다 상당히 젊기에 비교하는데 무리가 있다.

한편 Rb-Sr 전암연대는 결과적으로 U-Pb 저어콘 연대보다 모두 젊게 나왔음을 알 수 있고 같은 화산층에서 U-Pb 저어콘 연대치의 일치성을 보여주지 않는다. 그러므로 Rb-Sr 전암연대는 같은 방법으로 측정된 연대와 비교할 수는 있지만, U-Pb 저어콘 연대와 함께 비교를 위한 층서대비에 있어서 큰 혼란을 야기할 수 있으므로 이 논의에서 배제하였다.

5. 토 의

5.1 유천층군의 화산층서

일반적으로 화산암류의 지층들은 대개 화구에서 멀어지면서 얇아져 침멸되거나 또는 다른 화구에서 나온 다른 암질의 지층으로 점이적으로 바뀌기 때문에 광역적인 층서대비에 어려움이 있다. 한편 두 화산 사이의 점이대는 화산 형태가 존재하는 현재의 화산지역에서는 층서분류와 대비가 가능하지만, 유천층군과 같이 지질시대에 발달했던 화산활동 기록

들의 경우에는 화산체 상부의 침식 삭박으로 하부만 남는 경우가 일반적이며 화산뿌리부에서 관입암의 혼란이 흔하고 열쇠층과 같은 기준층이 부재함에 따라 먼 지역 간의 층서대비가 매우 어려워진다.

따라서 유천층군은 국지적인 층서분류와 인접 지역 간의 층서대비는 가능하나, 여러 화산에서의 동시다발적인 분출기록으로 인해 먼 지역 간의 층서대비가 아직까지 이루어지지 못하였다. 즉 유천층군은 국지적으로 암층서 분류만 여러 곳에서 수행됨으로써 상대층서가 수립되었으며 그에 따른 암상해석에 의해 분출상 및 분출과정, 그리고 칼데라 함몰과정 등을 다루는 화산과정이 해석되었다.

5.2 각 지역의 암층서와 연대범위

유천층군은 국지적으로 암층서에 의한 상대적 층서분류가 이루어졌지만, 대부분 화산암류로 구성되고 퇴적암류를 매우 적게 협재하며 화석이 거의 산출되지 않기 때문에 지금까지 퇴적암류에서 전통적

으로 수행해온 화석에 의한 시층서가 수립될 수 없었다. 하지만 최근 연대측정의 발전에 의해 신뢰도가 높은 연대자료가 많이 보고되면서 유천층군 화산암류에 대한 연대 정립이 가능해졌다.

연대자료는 유천층군의 여러 층서단위 중에서 선택적으로 측정되었던 것들이다. 저어콘 U-Pb 연대 측정 자료에 의하면, 유천소분지 중앙부에서 주사산 아층군의 절대연대는 중남산안산암이 94.4±0.8 Ma로서 최고치이고, 밀양안산암이 상부에서 88.8±1.0 Ma로서 최소치이며, 그 연대범위가 94.4~88.8 Ma로서 거의 투로니언에 속한다(그림 3). 또한 운문사 아층군의 절대연대는 정각산층에 협재된 응회암이 88.7±0.7 Ma로서 최고치이고, 삼량진응회암이 88.0±0.8 Ma로서 최소치이며, 그 연대범위가 88.7~88.0 Ma로서 코니아시안(Coniacian)에 속한다(그림 3). 한편 범도리안산암은 78.4±1.5 Ma로 나타내며 육지아층군의 시간범위에 속한다. 이들 저어콘 U-Pb 측정치는 암층서와 부합되게 상위층으로 가면서 젊어지

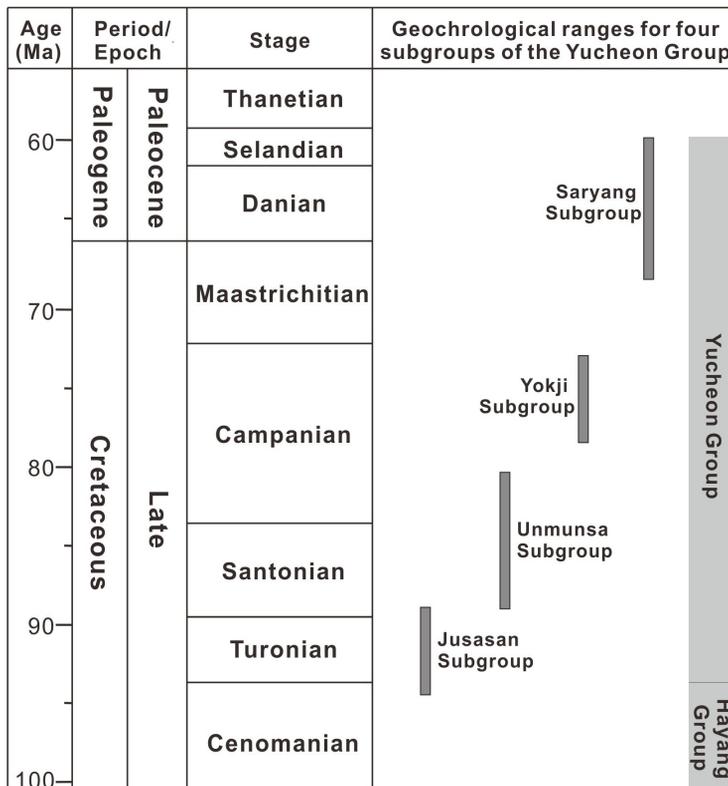


Fig. 3. Stratigraphic correlation of four subgroups of the Yucheon Group based on zircon U-Pb age data in Table 5. Geological time table modified from Walker and Geissman (2009).

는 경향을 나타내는 비교적 정연한 상관관계를 보여 준다. 그러므로 주사산아층군과 운문사아층군의 연대범위는 유천층군의 하부에서 시층서적 대비의 역할을 하며 다른 지역의 층서단위와 대비를 위한 기준이 될 수 있다.

유천소분지 남부에서 고성층의 연대는 하부에서 92.1 ± 3.2 Ma와 상부에서 89.1 ± 0.4 Ma로서 투로니안에 해당하며 유천소분지 중앙부의 주사산아층군의 시간범위에 속한다. 이곳에서 운문사아층군은 풍화리응회암이 88.95 ± 0.44 Ma로서 최고치이고, 그리고 갈도응회암이 80.43 ± 0.53 Ma로서 최소치이므로 $88.95 \sim 80.43$ Ma의 연대범위를 보인다. 따라서 코니아시안에서 캄파니안(Campanian)의 전기를 나타낸다(그림 3). 또한 육지아층군은 달아안산암의 연대가 73.01 ± 0.75 Ma로서 유천소분지 중앙부 범도리안산암과 시층서적으로 대비된다. 사랑아층군의 연대는 남산유문암이 최고치인 71.74 ± 0.47 Ma이고 사랑도응회암의 상부가 최소치인 69.16 ± 0.66 Ma로, $71.74 \sim 69.16$ Ma의 연대범위를 보이므로 마스트리치안(Maastrichtian) 전기에 속한다(그림 3). 따라서 유천층군 화산암류에 대한 저어콘 U-Pb 측정치는 암층서와 일치하는 상관관계를 보여주며, 이 연대치에 의해 시층서의 설정이 가능하다.

의성 및 영양소분지에서 사랑아층군의 절대연대는 지포화산층이 68.5 ± 1.6 Ma, 구암산응회암의 상부에서 60.1 ± 1.8 Ma이며, $68.5 \sim 60.1$ Ma 범위로서 마스트리치안에서 셀란디안(Selandian)에 속한다(그림 3). 이 지역 사랑아층군 화산암류의 저어콘 U-Pb 측정치 또한 암층서와 부합되게 정연한 상관관계를 나타내며, 이 연대치에 따라 시층서적 의미를 가질 수 있다.

5.3 지역간 시층서적 대비

경상분지 유천층군의 화산층서는 암층서와 절대연대에 의해 주사산아층군, 운문사아층군, 육지아층군과 사랑아층군 등의 4개 아층군으로 구분된다.

최하부의 주사산아층군은 유천소분지 중앙부에서 $94.4 \sim 88.8$ Ma의 연대범위를 보이며, 이 범위는 다른 지역과 시층서의 기준이 될 수 있다(그림 3). 왜냐하면 이 아층군은 유천소분지 중앙부에서 매우 넓고 두껍게 산출되는 반면에 유천소분지 남부 혹은 의성 및 영양소분지에서 매우 적게 산출되고 아직 절대연대자료가 없기 때문이다. 한편 유천소분지 남

부에서 고성층 내의 응회암이 92.1 Ma와 89.1 Ma로서 위의 범위에 포함된다.

운문사아층군은 유천소분지 중앙부에서 $88.7 \sim 88.0$ Ma 연대범위이고, 유천소분지 남부에서 $88.95 \sim 80.43$ Ma의 연대범위를 보이는데, 이는 그 화산활동 무대가 대체로 유천소분지 중앙부에서 남부로 점차 이동했음을 의미한다. 그리고 두 연대범위에서 유천소분지 중앙부의 운문사아층군은 유천소분지 남부의 운문사아층군 하부와 중첩되므로 서로 대비시킬 수 있다. 따라서 경상분지에서 운문사아층군은 연대범위가 $88.9 \sim 80.4$ Ma 범위(표 5)로 확대되며 코니아시안에서 캄파니안 전기에 해당된다(그림 3).

한편 유천소분지 중앙부의 범도리안산암은 과거 주사산아층군의 최상부로 보았지만 78.4 Ma의 연대를 보이므로 연대치로 판단하면 육지아층군으로 분류해야 한다. 그리고 유천소분지 남부에서 달아안산암이 73.01 Ma이므로 사랑아층군으로 볼 수 없고 육지아층군에 속해야만 한다. 따라서 이 두 연대에 따르면 육지아층군은 $78.4 \sim 73.0$ Ma의 연대범위를 가지므로 캄파니안의 후기에 해당된다(그림 3).

사랑아층군은 유천소분지 남부에서 $71.74 \sim 69.16$ Ma 연대범위이고 의성 및 영양소분지에서 $68.5 \sim 60.1$ Ma의 연대범위를 나타내는데, 그 화산활동 장소가 유천소분지 남부에서 의성 및 영양소분지로 크게 이동했다고 해석할 수 있다. 그리고 두 지역의 사랑아층군은 그 연대범위가 중첩되지 않지만 서로 단절된다고 볼 수 없고 조성이 거의 같기에 서로 대비시킬 수 있다. 따라서 경상분지에서 사랑아층군은 절대연대범위가 $71.7 \sim 60.1$ Ma 범위(표 5)로 확대되며 마스트리치안에서 셀란디안 전기에 해당된다(그림 3).

그런데 주사산아층군의 최상부 연대(88.8 Ma)와 바로 상위에 놓이는 운문사아층군의 최하부 연대(88.9 Ma) 사이에 시간적 역전이 나타난다. 이 두 연대는 오차범위 내에서 같다고 할 수 있으며, 전자는 LA-ICP-MS 측정법에 의한 것이고 후자는 SHRIMP 측정법에 의한 것이기에 측정방법에 따른 역전이 있을 수도 있다고 본다. 아울러 각 아층군의 연대자료들은 각 아층군의 하한과 상한의 연대를 반영하는 것이 아니며, 앞으로 더 많은 자료가 추가된다면 그 범위가 약간 더 확대될 수도 있다. 이 연대범위는 단지 시층서적 의미를 부여하는 것이며 앞으로 시층서적 층서대비에 활용할 수 있기를 기대한다.

Table 5. Chronological range of four subgroups classified from the zircon U-Pb age data for volcanic rocks of the Yucheon Group.

Stratigraphy	Age data in main volcanic areas			Chronological range	Lithology
	Central Yucheon subbasin	Southern Yucheon subbasin	Uiseong and Yeongyang subbasins		
Saryang Subgroup		69.16±0.66 Ma 69.72±0.69 Ma 71.74±0.47 Ma	60.1±1.8 Ma 63.77±0.94 Ma 65.03±0.66 Ma 66.08±0.62 Ma 66.65±0.96 Ma 67.08±0.96 Ma 68.5±1.6 Ma	60.1 ~ 71.7 Ma	Upper rhyolitic rocks
Yokji Subgroup	78.4±1.5 Ma	Ma73.01±0.74 Ma		73.0 ~ 78.4 Ma	Upper andesitic rocks
Unmunsa Subgroup	88.0±0.8 Ma 88.0±0.7 Ma 88.7±0.7 Ma	80.43±0.53 Ma 81.30±0.54 Ma 82.06±0.55 Ma 82.56±0.95 Ma 85.0±0.3 Ma 86.69±0.78 Ma 88.95±0.44 Ma		80.4 ~ 88.9 Ma	Lower rhyolitic rocks
Jusasan Subgroup	88.8±1.0 Ma 94.3±2.0 Ma 94.4±0.8 Ma	89.1±0.4 Ma 92.1±3.2 Ma		88.8 ~ 94.4 Ma	Lower andesitic rocks

6. 결론

이 연구에서는 경상분지 유천층군의 각 화산층에 대해 현재까지 이루어진 저어콘 U-Pb 연대자료들을 바탕으로 각 아층군의 가능한 분출시기의 범위를 현재의 자료 조건에서 정리하였다.

경상분지 유천층군은 유천소분지 중앙부와 남부, 그리고 의성 및 영양소분지에서 지역적으로 암상 분석에 의해 암층서의 분류가 수행되었다. 이에 따라 유천층군의 암층서는 크게 주사산아층군, 운문사아층군, 옥지아층군과 사랑아층군으로 구분된다.

각 지역에서 작성된 유천층군은 암층서를 바탕으로 주요 층서단위에 대해 측정된 절대연대자료를 결부시키면 4개의 아층군에 대해 시층서적 의미를 부여할 수 있다. 유천소분지 중앙부와 남부의 연대자료에 의하면, 주사산아층군의 분출시기는 94.4~88.8 Ma의 연대범위를 보이므로 투로니언조에 해당되며, 운문사아층군의 분출시기는 88.9~80.4 Ma 연대 범위를 보이므로 코니아시안에서 캄파니안 전기에

해당된다. 한편 옥지아층군은 유천소분지의 중앙부에서 측정된 78.40 Ma와 73.01 Ma를 각각 하한과 상한으로 잡으면 그 활동시기는 78.4~73.0 Ma 범위이므로 캄파니안의 후기에 해당된다. 사랑아층군은 그 연대범위가 중첩되지 않지만 합치면 그 활동시기가 71.7~60.1 Ma 범위이므로 마스트리치안에서 셀란디안에 해당된다. 이번 연구에서 종합한 유천층군 아층군들에 대한 시층서적 구분이 앞으로 더 많은 연대측정 연구에 의해 보완되어 층서대비에 활용되기를 기대한다.

감사의 글

이 논문은 지금까지 유천층군에서 수행된 저어콘 U-Pb 연대를 수합함으로써 작성되었다. 심사과정에서 이 논문을 읽고 건설적 비평으로 우리의 사고와 해석을 명확하게 해주신 부경대 백인성 교수님과 익명의 심사위원, 그리고 원고를 매끄럽게 정리해주신 편집위원회 사의를 표한다.

REFERENCES

- Ahn, U.S. and Hwang, S.K., 2007, Determination of flow direction from flow indicators in the Muposan Tuff, southern and eastern Cheongsong, Korea. *Economic and Environmental Geology*, 40, 319-330 (in Korean with English abstract).
- Chang, K.H., 1975, Cretaceous stratigraphy of Southeast Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 11, 1-23.
- Chang, K.H., 1977, Late Mesozoic stratigraphy, sedimentation and tectonics of southeastern Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 13, 76-90.
- Chang, K.H., Lee, Y.D., Lee, Y.G., Seo, S.J. and Oh, K.Y., 1984, Unconformity at the base of the late Cretaceous Yucheon Group. *Journal of the Geological Society of Korea*, 20, 41-50 (in Korean with English abstract).
- Chough, S.K. and Sohn, S.K., 2010, Tectonic and sedimentary evolution of a Cretaceous continental arc-backarc system in the Korean peninsula: New view. *Earth-Science Reviews*, 101, 225-249.
- Fisher, R.V., 1961, Proposed classification of volcanoclastic sediments and rocks. *Geological Society America Bulletin*, 72, 1409-1414.
- Hatae, N., 1936, Geological maps of Korea, No. 18 (Yeonghae and Yeongdeok Sheets). Geological Survey of Korea Vicelegal, 22 p.
- Hwang, J.H., Kim, D.H., Cho, D.R. and Song, K.Y., 1996, Explanatory Note of The Andong Sheet, 1:250,000. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 67 p.
- Hwang, S.K., 2002a, Collapse type and evolution of the Guamsan caldera, southeastern Cheongsong, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 38, 199-216 (in Korean with English abstract).
- Hwang, S.K., 2002b, Magmatic evolution of volcanic rocks related with the Guamsan caldera, southeastern Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 38, 341-359 (in Korean with English abstract).
- Hwang, S.K., 2012, Tectonic setting and arc volcanisms of the Gyeongsang Arc in the southeastern Korean Peninsula. *Journal of the Petrological Society of Korea*, 21, 367-383 (in Korean with English abstract).
- Hwang, S.K., 2017, Magmatic processes of the Juwangsang Tuff, southeastern Cheongsong. *Journal of the Geological Society of Korea*, 43, 65-81 (in Korean with English abstract).
- Hwang, S.K. and Cheong, C.S., 1998, Magmatic evolution of igneous rocks related with the Samrangjin caldera, southeastern Korea. *Journal of the Petrological Society of Korea*, 7, 161-176 (in Korean with English abstract).
- Hwang, S.K., Jo, I.H., Son, Y.S., Song, K.-Y. and Yi, K., 2019, SHRIMP U-Pb zircon dating and volcanic process of the volcanic rocks around the Jayang caldera, northern Yeongcheon, Korea. *Journal of the Petrological Society of Korea*, 28, in review (in Korean with English abstract).
- Hwang, S.K., Jo, I.H. and Yi, K., 2016c, SHRIMP zircon U-Pb dating and stratigraphical relationship of the Bunam Stock and Muposan Tuff, Cheongsong. *Journal of the Geological Society of Korea*, 52, 405-419 (in Korean with English abstract).
- Hwang, S.K., Jo, I.H. and Yi, K., 2017a, SHRIMP U-Pb datings and igneous processes of the igneous rocks around the Myeonbongsan caldera, Cheongsong, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 53, 781-796 (in Korean with English abstract).
- Hwang, S.K., Jo, I.H. and Yi, K., 2017b, SHRIMP U-Pb datings and volcanic processes of the volcanic rocks in the Guamsan caldera, Cheongsong, Korea. *Economic and Environmental Geology*, 50, 467-476 (in Korean with English abstract).
- Hwang, S.K. and Kim, S.H., 2006, Magmatic processes of the Muposan Tuff, southern and eastern Cheongsong, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 42, 253-271 (in Korean with English abstract).
- Hwang, S.K. and Kim, S.W., 1990, Silicic ash-flow tuffs with calderas in the terrane between Miryang and Yangsan, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 26, 329-340 (in Korean with English abstract).
- Hwang, S.K. and Kim, S.W., 1994, Petrology of Cretaceous volcanic rocks in Miryang-Yangsan area, Korea: Proliferation setting. *Journal of the Geological Society of Korea*, 30, 229-241 (in Korean with English abstract).
- Hwang, S.K., Lee, B.J. and Reedman, A.J., 2007a, Magmatic processes of the Juwangsang Tuff, southeastern Cheongsong, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 43, 65-81 (in Korean with English abstract).
- Hwang, S.K., Lee, B.J. and Reedman, A.J., 2007b, Folw lineations and emplacement processes of the Juwangsang Tuff, eastern Cheongsong, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 43, 463-476 (in Korean with English abstract).
- Hwang, S.K., Lee, S.J., Song, K.Y. and Yi, K., 2018a, SHRIMP U-Pb dating and chronostratigraphy of the volcanic rocks around the Mireukdo Island, Tongyeong, Korea. *Journal of the Petrological Society of Korea*, 27, 67-78 (in Korean with English abstract).
- Hwang, S.K., Lee, S.J., Song, K.Y. and Yi, K., 2018b, SHRIMP zircon U-Pb dating and stratigraphical implication of the volcanic rocks around the yokjido Island, Tongyeong, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 54, 269-280 (in Korean with English abstract).

- stract).
- Hwang, S.K., Park, S.H. and Song, K.-Y., 2016a, Explanatory text of the geological map of Mijo-Mireukdo Sheets. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 78 p.
- Hwang, S.K., Seo, S.H., Park, S.H. and Song, K.-Y., 2016b, Explanatory text of the geological map of Yokjido-Yeonhwado-Maemuldo Sheets. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 65 p.
- Jo, N.S. and Hwang, S.K., 2017, Determination of flow direction from flow indicators and lateral grading in the Naeyeonsan Tuff, northern Pohang, Korea. *Journal of the Petrological Society of Korea*, 26, 153-163 (in Korean with English abstract).
- Kim, D.W., Hwang, J.H., Park, G.H. and Song, G.Y., 1998, Explanatory note of the geological map of Pusan sheet, 1:250,000, Korea research Institute of Geoscience and Mineral Resources, 62 p.
- Kim, J.A. and Kim, 1963, Explanatory text of the geological map of Masan Sheet. Geological Survey of Korea, 26 p.
- Kim, J.-S., Cho, H., Son, M. and Sohn, Y.K., 2011, Geological age of the Gyeongsang Supergroup. 2011 Fall Joint Annual Conference of The Geological Societies in Korea (Abstract), JeJu, October 26-29, 20 p (in Korean).
- Kim, K.B. and Hwang, S.K., 1988, Explanatory text of the geological map of Miryang Sheet. Korea Institute of Energy and Resources, 26 p.
- Kim, S.W. and Lee, Y.G., 1981, Volcanic petrology and geological structures of Cretaceous volcanic rocks in the northeastern Yucheon basin. *Mining Geology*, 14, 35-49 (in Korean with English abstract).
- Lee, S.J., Hwang, S.K., Song, K.-Y. and Yi, K., 2019, SHRIMP U-Pb zircon dating and stratigraphy of the Cretaceous volcanic rocks in Namhae and Saryang islands, southernmost Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 55, 621-632 (in Korean with English abstract).
- Lee, Y., Cheon, Y., Ha, S., Kang, H.-C. and Son, M., 2018, Distribution, age, and structural evolution of the Goseong Formation in the southern Gyeongsang basin, SE Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 54, 359-381 (in Korean with English abstract).
- Paik, I.S., Kang, H.-C., Huh, M. and Yang, S.-Y., 2006, Goseong Formation (Yucheon Group) in the southern part of the Gyeongsang Basin, Korea: Occurrences and stratigraphy. *Journal of the Geological Society of Korea*, 42, 483-505 (in Korean with English abstract).
- Park, K.-H., Kim, M.J., Yang, Y.S. and Cho, K.O., 2010, Age distribution of the Jurassic plutons in Korean peninsula. *Journal of the Petrological Society Korea*, 19, 269-281 (in Korean with English abstract).
- Tateiwa, I., 1929, Geological Maps of Korea, No. 10 Gyeongju, Yeongcheon, Daegu and Waegwan Sheets (1:50,000). Geological Survey of Korea.
- Walker, J.D. and Geissman, J.W., 2009, GSA geologic time scale. *GSA Today*, 19, 60-61.
- Won, C.K., Kang, P.C. and Lee, S.H., 1978, Study on the tectonic interpretation and igneous pluton in the Gyeongsang Basin. *Journal of the Geological Society of Korea*, 14, 79-92 (in Korean with English abstract).
- Yamanari, 1924, Geological atlas of Korea no. 1, Milyang and Yuchon sheet. Geological Survey of Korea, Seoul.
- Zhang, Y.-B., Zhai, M., Hou, Q.-L., Li, T.-S., Liu, F. and Hu, B., 2012, Late Cretaceous Volcanic rocks and associated granites in Gyeongsang Basin, SE Korea: Their chronological ages and tectonic implications for cratic destruction of the North China Craton. *Journal of Asian Earth Sciences*, 47, 252-264.

Received : July 26, 2019

Revised : September 30, 2019

Accepted : October 21, 2019