

경상분지 지층들의 지질시대에 관한 고찰

강희철 · 백인성[‡]
부경대학교 지구환경과학과

요 약

여러 연구자들에 의해 보고된 경상분지 대상의 고생물 자료, 고지자기 자료, 절대연대 자료 등을 고찰하여 묘곡층을 비롯한 경상분지 각 지층의 가능한 퇴적시기의 범위를 현재의 자료 조건에서 정리한 결과, 각 지층과 층군들의 경계부 연대가 수백만 년에서 수천 만 년까지 중첩되어 나타났다. 이와 같은 결과는 경상누층군의 지층들이 암층서 지층들이므로 각 지층의 퇴적시기가 분포 지역에 따라 변화할 수 있음에 부분적으로 기인한 것으로 판단된다. 어느 한 지역에서 이루어진 암층서 지층에 대한 연대자료가 그 지층이 분포하는 모든 지역에 해당되는 것은 아님으로, 경상분지 내 각 지층의 퇴적시기를 보다 명확히 결정하기 위해서는 신뢰도 높은 절대연령의 추가적인 산출은 물론, 연대 측정의 대상 지역이 공간적으로 보다 폭 넓게 이루어져야 할 것이며, 측정 자료들에 대한 층서적인 검토와 분석이 다각적으로 뒷받침 되었을 때, 경상분지 각 지층들의 지질시대 결정이 신뢰성을 가질 수 있게 될 것이다.

주요어: 경상분지, 경상누층군, 지질시대, 암층서, 연대자료

Hee-Cheol Kang and In Sung Paik, 2013, Review on the geological ages of the formations in the Gyeongsang Basin, Korea. Journal of the Geological Society of Korea. v. 49, no. 1, p. 17-29

ABSTRACT: Paleontological, paleomagnetic, and absolute age data of the Gyeongsang Basin are reviewed to get the most probable ranges of the geological ages for the formations of the Gyeongsang Basin. The overlapping of the geological ages of the boundaries between the formations and the groups in a few million years to a few tens of million years may be attributed to that they are lithostratigraphic boundaries varying in ages laterally. Since the age data for the lithostratigraphic units in certain areas do not represent the geological ages of the units, age data should be produced in more wide areas in order to determine the exact geological ages of the formations of the Gyeongsang Basin. In addition stratigraphic analysis for the age data are needed.

Key words: Gyeongsang Basin, Gyeongsang Supergroup, geological age, lithostratigraphy, age data

(Hee-Cheol Kang and In Sung Paik, Department of Earth and Environmental Sciences, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea)

1. 서 언

한반도 백악기 지층의 분포는 옥천대 및 경기육괴 지역의 일부 소규모 분지를 제외하고는 잘 알려진 바와 같이 경상분지와 그 일원에 국한되어 있다(그림 1). 경상분지의 지층은 왜관-경주지역에서 Tateiwa (1929)에 의해 처음으로 시층서적으로 낙동통과 신라통으로 분류되었다(표 1). 이 분류는 경상분지 전 지역에 적용될 수 없다는 점과 시층서로

서의 요건이 갖추어져 있지 않은 점 등으로 인해 Chang (1975)은 암상(화산물질의 함유 여부, 퇴적 환경, 암색, 열쇠층 등)을 기초로 하여 하위로부터 경상분지의 지층을 신동층군, 하양층군, 유천층군으로 재분류하여 이를 경상누층군으로 명명하였다(표 1). 이와 함께 Chang (1975)은 지역에 따라 암상과 암층서가 상이한 것에 근거하여 경상분지를 낙동소분지, 영양소분지, 신라소분지로 나누고 신라소분지를 도평(의성)지괴와 밀양지괴로 구분하였다. 또한

[‡] Corresponding author: +82-51-629-6625, E-mail: paikis@pknu.ac.kr

Chang (1977)은 하양층군 퇴적 시 발달한 성장단층 으로부터 지역 간 차별침강이 있었음을 감안하여 경 상분지를 영양지괴, 의성지괴, 밀양지괴 등으로 나 누고 이들 지괴들이 앞서 구분한 소분지들을 이루고 있음을 보고하였다(그림 1B). 경상분지 내의 각 지괴 는 유천소분지, 의성소분지, 영양소분지로 구분되기도 한다(Won *et al.*, 1978). 경상누층군 최하부의 층 군인 신동층군의 지층구분은 경상분지 전체에 적용

할 수 있으나 하양층군의 지층들은 지역에 따라 서로 달리 세분되고 소분지간에 암상의 심한 측방변 화, 두께변화 그리고 층서대비에 필요한 열쇠층과 화석의 부족 등으로 각 소분지간의 층서대비에 이견 이 있는 상황이다. 한편 Choi, H.I. (1985)는 Chang (1975)에 의해 구분된 각각의 지층들이 경상분지의 발달과정을 통한 조구조운동, 기후변동 및 화산활동 에 의하여 지배된 것으로 해석하여 각 지층들 간의

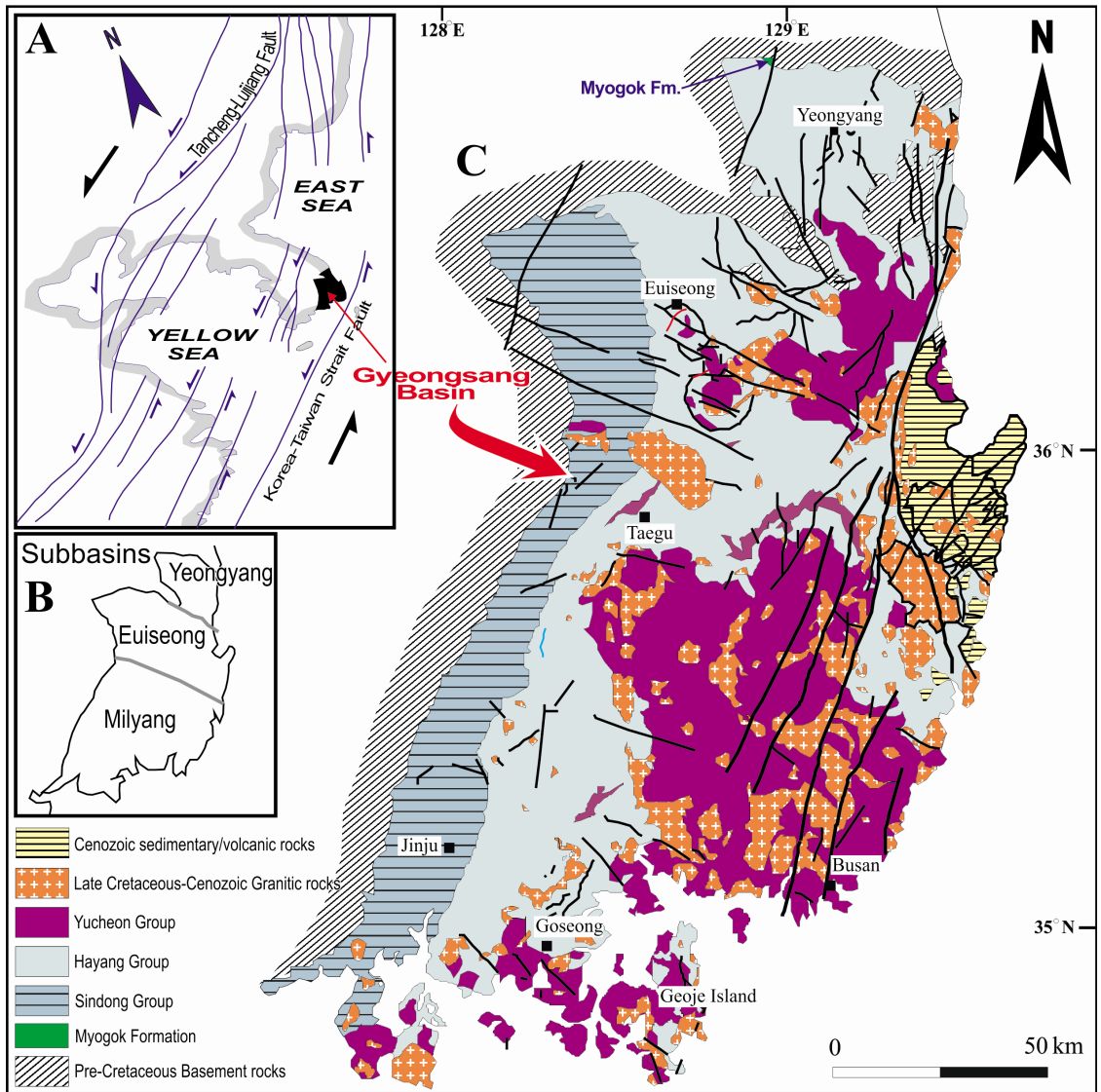


Fig. 1. Location and geological map of the Gyeongsang Basin. (a) Cretaceous sinistral strike-slip fault systems in the East Asian continental margin. (b) The Gyeongsang Basin divided into three subbasins by WNW-trending growth faults. (c) Regional geological map of the southeastern part of the Korean Peninsula (modified after Kang *et al.*, 1995).

Table 1. Stratigraphy of the Gyeongsang Basin.

Chang (1975, 1977, 2003)				Choi, H.I. <i>et al.</i> (1981)	Tateiwa (1929)	
Yeongyang Subbasin	Uiseong Subbasin	Milyang Subbasin		Uiseong Subbasin	Milyang Subbasin (Daegu area)	
		Waegwan-Gyeongju area	Jinju area			
Bulguksa Intrusive Rocks						
~Unconformity~						
Yucheon Group						
Sinyangdong Fm.		Geoncheonri Fm.		Hayang Group	Geoncheonri Fm.	
Gisadong Fm.	Chunsan Fm.	Chaeyaksan Fm.			Sinyangdong Fm.	Chaeyaksan Fm.
		Songnaedong Fm.				Jindong Fm.
Dogyedong Fm.		Banyaweol Fm.			Chunsan Fm.	
	-----		Sagok Fm.			
	Haman Fm.		Jeomgok Fm.			
Osipbong Fm. (Volcanic Rocks)	Jeomgok Fm.	Hakbong Fm. (Volcanic Rocks)			Hupyeongdong Fm.	Hakbong Fm.
Cheonryangsan Fm.		Silla Fm. (Conglomerate)			Silla Fm.	Silla Fm.
Gasongdong Fm.		Chilgok Fm.				Iljik Fm.
Donghwachi Fm.	Gugyeodong Fm.					
Ulryeonsan Fm.	Gumidong Fm.			Nakdong Series	Nakdong Series	
	Baekjadong Fm.	Iljik Fm.				
~Unconformity~		Jinju Fm.		Sindong Group	Jinju Fm.	
		Hasandong Fm.			Hasandong Fm.	
		Nakdong Fm.			Nakdong Fm.	
Myogok Fm.						

Table 2. List of previous paleontological studies and geological ages for the formations of the Gyeongsang Basin.

Group	Formation	Fossil type	Age	References
Hayang Group	Geoncheonri Fm.	Mollusk	Cenomanian-Turonian	Yang (1978)
		Palynomorph	Aptian-Albian	Choi, D.K. (1985, 1989), Choi and Park (1987)
		Charophyte	Aptian-Albian	Seo (1985), Choi (1987)
	Iljik Fm.	Mollusk, Palynomorph	Neocomian	Choi, D.K. (1985)
		Palynomorph	Aptian-early Albian	Yi <i>et al.</i> (1993)
Sindong Group	Jinju Fm.	Mollusk	early Cretaceous	Kobayashi and Suzuki (1936)
		Palynomorph	Neocomian	Choi, D.K. (1985)
		Palynomorph	Neocomian	Choi and Park (1987)
		Palynomorph	Aptian-early Albian	Yi <i>et al.</i> (1993)
		Palynomorph	Barremian	Yi <i>et al.</i> (1994)
	Hasandong Fm.	Bivalve	Aptian-Albian	Yang (1975, 1979, 1982)
		Mollusk	Aptian-Albian	Yun and Yang (2001)
	Nakdong Fm.	Plants	middle~late Jurassic	Yabe (1905)
Plants		late Jurassic	Tateiwa (1929)	
Mollusk		early Cretaceous	Kobayashi and Suzuki (1936)	
Bivalve, Plants		early Cretaceous, Berriasian	Chang (1975)	
Charophyte		Huterivian or Barremian	Seo (1985)	
Charophyte		Barremian	Choi, S.J. (1989)	
Bivalve		Barremian	Chang <i>et al.</i> (2003)	
Pre-Gyeongsang Supergroup	Myogok Fm.	Pelecypod, Plants	late Jurassic	Cheong and Lee (1966)
		Mollusk	late Jurassic	Yang (1984)
		Palynomorph	late Berriasian-Valanginian	Yi and Chun (1993)
		Gastropod	Valanginian-Hauterivian	Chang <i>et al.</i> (2003)

구분이 퇴적환경의 차이를 바탕으로 이루어질 수 있음을 제한한 바 있다.

층후가 9,000 m에 달하는 육성환경의 경상누층군은 앞서 언급한 바와 같이 퇴적시기를 한정할 수 있는 유용한 화석들의 산출이 드물어 각 지층들의 퇴적시기를 그동안 결정하기가 어려웠다. 20세기 초부터 고생물학적 방법을 통해 퇴적시기를 알아내려는 연구들이 이루어져 왔으나, 절(Age) 규모의 지질시대 대비의 어려움과 절대연령 측정 자료와의 상치된 결과 등으로 인해 절대적인 지질시대 확정에는 어려움이 있는 상태이다. 이와 함께 고지자기를 이용한 퇴적시기의 규명도 여러 차례 시도되었지만 백악기의 상당기간 동안에 정자극기가 지속되어 정밀한 연대측정에 한계와 논란이 있어 왔다. 퇴적층과 연관된 화성암의 절대연령을 측정하는 방법 역시 측정 대상이 한정되어 경상분지 전체 적용에 어려운 측면이 있다. 아울러 최하부인 신동층군의 퇴적층들이

쌓이는 동안에는 화성활동이 활발하지 않아(Chough and Sohn, 2010) 화성암에 대한 절대연령 측정법을 적용하기도 곤란한 실정이었다.

이러한 가운데에 신동층군 상위의 하양층군 내에서 여러 차례의 화성활동이 인지됨에 따라, 이들 화성활동 기록에 대한 절대연령 측정이 경상누층군의 퇴적시기를 한정하는데 매우 유용한 역할을 하고 있다. 최근에는 보다 신뢰할 수 있는 절대연령 측정 방법의 개발과 고지자기 연구들이 수행되고 나아가 더욱 상세하게 조사된 고생물학적 및 열쇠층과 관련된 층서학적 연구가 축적됨에 따라 경상누층군 각 지층들의 퇴적시기를 보다 정량적으로 한정할 수 있게 되었다. 이 논문에서는 고생물 자료, 고지자기 자료, 절대연대 자료 등을 바탕으로 영양소분지의 최하부 지층인 울련산층의 하위에 부정합 경계를 이루며 발달한 묘곡층을 비롯하여 경상분지 각 지층의 지질시대를 고찰하였다.

2. 고생물학적 연대 자료

선경상누층군으로 알려진 묘곡층과 경상분지에서 연구된 다양한 화석자료와 관련하여 지층의 퇴적 시기를 지시한 자료를 정리하면 다음과 같다(표 2). 우선 경상분지 북쪽 경계부에서 썰기상의 분포를 보이는 육성퇴적층의 묘곡층은 지질구조 및 동식물상 등이 한반도의 대동누층군 및 경상누층군의 지층들과 상이한 지층으로 알려져 있다. 이 층은 예안도폭(Lee and Lee, 1963)에 의하여 최초로 기재되고 Cheong and Lee (1966)의 비해성의 연체동물 및 식물화석 동정에 의하여 상부 쥐라기 지층으로 보고된 후, Yang (1984)은 비해성 이매패 연체동물 화석을 토대로 역시 상부 쥐라기에 대비되는 지층으로 확인하였다. 그러나 Yi and Chun (1993)은 묘곡층의 포자화분화석 연구를 통하여 이들 화석의 시대가 후기 Berriasian 내지 Valanginian 해당하는 것으로 판단했으며, Chang *et al.* (2003)은 묘곡층의 화석군이 일본의 Tatsukawa-type과 대비되는 것을 근거로 하여 본 지층을 Valanginian 내지 Huterivian으로 한정하였다.

경상분지의 지층들에 대한 화석연구는 광복이전 일본학자들에 의해 산발적으로 연구된 이후 국내 학자들의 다양한 고생물학적 연구를 통하여 각 지층들에 대한 퇴적시기가 제시되어 있다(표 2). 경상분지의 하부를 이루는 신동층군의 각 지층들의 화석연령을 살펴 보면, 낙동층의 식물화석은 후기 쥐라기(Yabe, 1905; Tateiwa, 1929), 연체동물은 전기 백악기 Barremian 이전(Kobayashi and Suzuki, 1936; Chang, 1975; Chang *et al.*, 2003), 윤조화석(Charophyta)은 Barremian(Seo, 1985; Choi, D.K., 1989)을 지시한다. 특히 Chang *et al.* (2003)은 낙동층의 화석군이 일본의 Sebayashi-type과 대비되는 것을 근거로 하여 이 지층을 Barremian으로 제한하고 묘곡층의 지각변동이 Hauterivian 말에서 Barremian 초에 발생한 것으로 해석하였다. 하산동층의 경우에는 대부분 연체동물에 의한 연구에 의해 낙동층보다 젊은 Aptian 내지 Albian에 대비되었으며(Yang, 1975, 1979, 1982; Yun and Yang, 2001), 연체동물 및 포자화분화석에 의한 진주층의 시기는 하산동층보다 다소 오래된 Barremian부터 Albian에 대비되었다(Kobayashi and Suzuki, 1936; Choi, D.K., 1985; Choi and Park, 1987; Yi *et al.*,

1993, 1994).

한편 하양층군의 화석산출은 신동층군에 비하여 극히 빈약하거나 불명한 상태이다. 하양층군 최하부 지층으로 밀양소분지의 칠곡층에 대비되는 의성소분지 일척층의 연체동물 및 포자화분 화석은 전기 백악기 Necomian (Berriasian ~ Barremian)에서부터 초기 Albian까지의 다소 넓은 지질시대를 나타낸다(Choi, D.K., 1985; Yi *et al.*, 1993). 또한 하양층군 최상부 지층인 건천리층에서 발견된 비해성 이매패 연체동물에 대한 연구(Yang, 1978)는 후기 백악기 Cenomanian 내지 Turonian으로 보고된 반면, 포자 및 윤조화석에 의한 연구에 의하면 이 지층의 시대는 보다 오래된 Aptian 내지 Albian초로 대비되었다(Choi, D.K., 1985, 1989; Seo, 1985; Choi, S.J., 1987; Choi and Park, 1987).

전술한 바와 같이 경상누층군에서 산출된 대부분의 화석연령 자료들은 화석산출의 제한성으로 인해 주로 화산활동의 산물로 이루어진 유천층군보다는 묘곡층, 신동층군 및 하양층군을 대상으로 이루어졌다. 이와 함께 산출된 화석연령의 경우에도 표준화석의 부족으로 묘곡층은 후기 쥐라기부터 전기 백악기 Huterivian까지, 경상누층군 신동층군은 후기 쥐라기로부터 전기 백악기 Albian까지, 하양층군은 전기 백악기 Necomian부터 후기 백악기 Turonian까지에 이르는 등 생층서 대비에 의한 경상누층군 지층들의 지질시대 결정에는 한계가 있는 상태이다.

3. 절대연령 자료

그 동안 경상분지 각 지층들의 퇴적시기를 결정하기 위하여 절대연령 측정이 용이한 화성활동과 관련된 지층과 암석들에 대해서 다수의 연대측정 자료들이 보고되어 왔으나 분석 자료들의 경우 측정방법과 연구자들에 따라 큰 편차를 보인다. 다행히 최근에는 정확도와 정밀도에 있어서 보다 발전된 첨단 분석법에 기초한 연령자료들이 다수 보고되어, 이러한 자료들을 중심으로 경상분지 각 지층들의 연령을 비교하여 논의하고자 한다. 현재까지 경상분지에 적용된 연령 분석방법 중 초고분해능 이온프로브(sensitive high-resolution ion microprobe, SHRIMP) 또는 레이저사막 유도결합플라즈마 질량분석기(laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometer,

Table 3. Compilation of radiometric ages for the formations of the Gyeongsang Basin.

Group	Formation	Method	Mineral	Age (Ma)	References
	Bulguksa Intrusive Rocks	LA-ICP-MS U-Pb	zircon	87.1~47.9 Ma	Park <i>et al.</i> (2005)
Yucheon Group	Goseong Fm.	SHRIMP U-Pb	zircon	92.1±3.2 Ma	Kim <i>et al.</i> (2011)
	Chaeyaksan Fm.	K-Ar	whole rock	94±4 Ma	Yun (1998)
	Jindong Fm.	K-Ar	pyroclastic grain	85~86±1.6 Ma	Kim and Paik (2001)
		SHRIMP U-Pb	zircon	103.1±1.2 Ma, 103.0±2.3 Ma	Kim <i>et al.</i> (2011)
	Haman Fm. (Gusandong Tuff)	LA-ICP-MS U-Pb	zircon	97.1±2.0 Ma, 97.3±1.8 Ma	Jwa <i>et al.</i> (2009)
Hayang Group		CHIME U-Pb	zircon	114±10 Ma	Chang <i>et al.</i> (1998)
	Silla Fm. (Silla Conglomerate)	SHRIMP U-Pb	zircon	110.4±2.0 Ma	Lee, T.-H. <i>et al.</i> (2010)
		⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar	hornblende	113.4±2.4 Ma	Kim <i>et al.</i> (2005)
	Chilgok Fm. (Cheongryongsan Basalt)	SHRIMP U-Pb	zircon	108.0±2.6 Ma	Kim <i>et al.</i> (2011)
	Ulryeonsan Fm.	SHRIMP U-Pb	zircon	109.9±3.2 Ma	Lee <i>et al.</i> (2012)
		SHRIMP U-Pb	zircon	112.4±1.3 Ma	Lee, T.-H. <i>et al.</i> (2010)
	Jinju Fm.	LA-ICP-MS U-Pb	zircon	106.0±1.9 Ma	Lee, Y.I. <i>et al.</i> (2010)
		LA-ICP-MS U-Pb	zircon	109±3.4 Ma	Lee, Y.I. <i>et al.</i> (2010)
Sindong Group	Hasandong Fm.	Ion Probe U-Pb	apatite	115±10 Ma	Sano <i>et al.</i> (2002)
		SHRIMP U-Pb	zircon	127.67±1.3 Ma	Lee <i>et al.</i> (2012)
	Nakdong Fm.	LA-ICP-MS U-Pb	zircon	118±3.0 Ma	Lee, Y.I. <i>et al.</i> (2010)
Pre-Gyeongsang Supergroup	Myogok Fm.	SHRIMP U-Pb	zircon	138.6±2.1 Ma	Lee <i>et al.</i> (2011)

LA-ICP-MS)에 의한 저어콘 또는 스피의 U-Pb 연대가 신뢰도를 갖는 것으로 평가되고 있다(Park *et al.*, 2010). 이외에 전자현미분석기(electronprobe micro analyzer, EPMA)를 이용한 저어콘과 모나자이트 등에 대한 화학연대측정법(소위 CHIME법), Rb-Sr, K-Ar, Ar-Ar 연대측정방법들은 전통적으로 많이 활용되어왔던 지질연대측정 방법이지만, CHIME법은 EPMA가 가진 본질적인 한계 때문에 매우 낮은 농도의 분석은 어렵고 그 이외의 방법은 비교적 낮은 폐쇄온도를 가지며 동시에 풍화변질에도 취약한 경향이 있다. 실제로 보고된 연령을 보더라도 U-Pb 연령과 CHIME, K-Ar, Ar-Ar 연령들 사이에 차이를 보이는 경우가 종종 발견되기 때문에 이들 자료는 참고 자료로 활용하였다. 이와 같은 자료선택 기준으로 선별된 경상분지 각 지층의 연대측정 자료는 표 3에 지층 순으로 나타내었다.

3.1 선경상누층군 묘곡층의 절대연령

묘곡층은 상위에 놓여 있는 영양소분지의 최하부

지층인 하양층군 울련산층과 부정합으로 접하며 하양층군의 지층과 달리 강한 변형작용을 받아 지층의 자세가 다양하게 나타나는 지층이다. 최근 Lee *et al.* (2011)은 묘곡층의 흑색 이질암에서 분리한 쇄설성 저어콘으로부터 SHRIMP U-Pb 연대측정을 실시하여 가장 젊은 일치곡선(concordia) 연령으로 138.6±2.1 Ma (n=7)를 구하였으며, 이로부터 묘곡층의 퇴적시기는 식물화석 연대와 조합하여 쥐라기부터 시작되어 적어도 전기 백악기인 Valanginian까지는 퇴적되었음을 제시하였다.

3.2 신동층군의 절대연령

선캄브리아기의 영남육괴와 경계하며 경상분지의 최하부를 이루는 신동층군에서 최근 몇 차례 보고된 각 지층들에 대한 절대연령 측정결과를 살펴보면 다음과 같다. 신동층군의 하부 지층인 낙동층에 대하여 Lee, Y.I. *et al.* (2010)은 밀양소분지 고령지역에서 분리한 가장 젊은 쇄설성 저어콘 입자의 LA-ICP-MS U-Pb 연령이 118.0±3.0 Ma (n=1)로 측정됨에 따라

낙동층의 퇴적시기를 Aptian에 대비하였다. 한편 Lee *et al.* (2012)은 의성소분지의 낙동층에서 분리한 저어콘으로부터 SHRIMP U-Pb 연대측정을 실시하여 가장 젊은 일치곡선 연령으로 127.67 ± 1.3 Ma ($n=19$)를 구하여 이를 낙동층의 최고 퇴적시기로 보았으며 이로부터 낙동층과 함께 경상분지는 Barremian 시기 또는 그 이후부터 퇴적이 이루어졌음을 제시하였다.

낙동층의 상부 지층인 하산동층의 퇴적시기와 관련한 연령자료를 살펴보면 밀양소분지의 하동군 해안가 노두에서 발견된 공룡 이빨화석의 인회석으로부터 구한 Ion Probe U-Pb의 일치곡선 연대가 115 ± 10 Ma로 보고되었으며(Sano *et al.*, 2002, 2006), 이 연령은 속성작용의 시기로 하산동층의 퇴적시기는 이보다 다소 오래된 것으로 보였다. 또한 Lee, Y.I. *et al.* (2010)은 밀양소분지 고령지역의 하산동층 중부의 사암에서 분리한 가장 젊은 쇄설성 저어콘 입자의 LA-ICP-MS U-Pb 연대가 109.0 ± 3.4 Ma ($n=1$)로 측정됨에 따라 하산동층의 퇴적시기를 Albian에 대비하였다.

진주층의 퇴적시기를 지시하는 연대자료로는 앞서 낙동층과 하산동층에서 연령을 구한 Lee, Y.I. *et al.* (2010)에 의하여 의성소분지의 의성지역에서 동일한 측정방법으로 106.0 ± 1.9 Ma ($n=1$)의 연령이 보고되었다. 그러나 Lee, T.-H. *et al.* (2010)은 밀양지괴에 속하는 함천원진 진주층 최하부에서 분리한 쇄설성 저어콘에 대한 SHRIMP U-Pb 측정에 의해 112.4 ± 1.3 Ma ($n=5$)의 결과를 얻었으며 이는 Lee, Y.I. *et al.* (2010)의 자료와 비교할 때 다소 오래된 연대라 할 수 있다. Lee, T.-H. *et al.* (2010)에 의하여 구해진 연령은 하산동층의 상부경계부에 매우 가까운 진주층의 시료로 이 연령은 하산동층과 진주층 경계부의 연령으로는 가장 오래된 연령으로 볼 수 있다.

3.3 하양층군의 절대연령

서론에서 언급한 바와 같이 경상분지의 하양층군은 지역에 따라 암층서가 서로 다르게 세분되어 층서대비에 어려움이 있다. 그러나 하양층군 내에는 여러 차례의 화성활동이 기록되어 있어 이들의 생성시기는 하양층군 지층들의 퇴적시기를 한정하는데 매우 유용한 역할을 할 수 있다. 따라서 하양층군을 구성하는 지층에서 보고된 절대연령 측정자료들을

종합하면 각 지층의 생성시기를 보다 좁은 범위로 한정할 수 있을 것이다.

최근에 묘곡층을 부정합으로 덮는 영양소분지의 하양층군 최하부 지층인 울련산층에서 쇄설성 저어콘의 SHRIMP U-Pb 연대가 109.9 ± 3.2 Ma ($n=5$)로 보고되었으며(Lee *et al.*, 2012), 울련산층과 층서적으로 대비되는 밀양소분지 칠곡층의 상부에 협재된 청룡사 현무암에서는 쇄설성 저어콘의 SHRIMP U-Pb 연대측정을 통해 108.0 ± 2.6 Ma ($n=9$)의 일치곡선 연령이 구해졌다(Kim *et al.*, 2011). 이들 두 자료는 층서학적으로 매우 합치되는 것으로 경상분지 하양층군은 Albian 초기부터 시작되었음을 지시한다.

밀양소분지에서 칠곡층과 함안층사이의 퇴적층으로 열쇠층의 역할을 하며 주로 화산암력으로 구성된 신라역암에 대한 절대연령은 기질부의 저어콘들로부터 구한 SHRIMP U-Pb 최소연령이 110.4 ± 2.0 Ma ($n=9$)로 이는 경상분지 퇴적 중에 일어난 규장질 화산활동을 지시하는 것으로 해석되었으며(Lee, T.-H. *et al.*, 2010), 현무암질 화산암력으로부터 구한 각섬석의 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 연령은 113.4 ± 2.4 Ma로 이 연령은 고철질 화산활동을 나타내는 것으로 보고되었다(Kim *et al.*, 2005). 이와 같이 한 지층에서 서로 다른 성분의 화산활동 시기가 서로 오차범위 안에서 중첩되는 것은 거의 동시기에 일어난 쌍모식 화산활동을 지시하는 것으로 신라역암은 고철질에서 규장질까지의 쌍모식 화산활동이 일어난 뒤 오랜 시간이 흐르지 않았을 때 퇴적되었으며, 신라역암 기질부의 저어콘들이 나타내는 최소연령 110.4 ± 2.0 Ma는 신라역암층의 최고 퇴적연령으로 해석되었다(Kim *et al.*, 2005). 그러나 앞서 언급한 신라역암의 하위층인 울련산층과 칠곡층의 연대가 오차 내에서 신라역암과 거의 동일하게 나타나는 점에 대해서는 각 자료에 대한 재검토와 지층별로 보다 정밀한 연령을 구하기 위한 추가 연구가 필요함을 시사한다.

칠곡층의 상위 지층인 함안층의 최상부에서 진동층과 경계를 이루며 연장성이 뛰어나게 발달한 구산동응회암은 하양층군 상부에서의 층서대비에 매우 유용한 열쇠층으로(Chang, 1977), 이에 대한 절대연령에 대해서는 다수가 보고되었다. Chang *et al.* (1998)은 구산동응회암의 저어콘에 대한 CHIME 연대측정 결과로 114 ± 10 Ma의 연대를 보고하였다. 한편 Jwa *et al.* (2009)은 같은 응회암층으로부터 분리

한 저어콘에 대해 LA-ICP-MS로 분석한 결과 북쪽의 응회암으로부터는 97.1 ± 2.0 Ma, 남쪽의 저어콘으로부터는 97.3 ± 1.8 Ma의 서로 잘 일치하는 U-Pb 연대를 구하였다. 이는 남쪽과 북쪽의 구산동 응회암이 거의 동일한 시기에 분출하여 만들어진 응회암임을 말해준다. 그러나 최근 Kim *et al.* (2011)은 역시 동일한 응회암층으로부터 분리한 저어콘에 대해 SHRIMP U-Pb의 연대를 측정된 결과, 북부와 남부 구산동응회암에서 각각 103.1 ± 1.2 Ma와 103.0 ± 2.3 Ma의 역시 서로 잘 일치하는 연대를 구하였다. 상기한 구산동응회암의 연대측정 자료에서 전자현미 분석에 의한 원소 농도자료로부터 연대를 계산하는 CHIME 방법에 비해 동위원소 분석자료에 의해 연대를 구하는 방법이 상대적으로 오차가 작은 방법이라고 평가할 때, 구산동응회암의 연대는 Jwa *et al.* (2009)과 Kim *et al.* (2011)의 결과에 보다 가까울 것으로 여겨진다.

밀양소분지의 진주지역에서 하양층군의 최상부 지층인 진동층의 연대측정 자료로는 지층 내에 함유된 화산쇄설성 입자들로 이루어진 두 표품에 대한 K-Ar 연대로 85.7 ± 1.7 Ma와 84.9 ± 1.7 Ma의 결과가 보고된 바 있다(Kim and Paik, 2001). 이와 함께 진동층의 중상부에 대비되는 밀양소분지 왜관-경주 지역에 분포하는 채약산층의 현무암에 대한 K-Ar의 연령은 94 ± 4 Ma로 보고된 바 있다(Yun, 1998). 한편 진동층을 관입한 화강암에 대한 LA-ICP-MS 저어콘 U-Pb 연대측정에 의해 80 ± 2 Ma의 연대가 보고되었으며(Jwa *et al.*, 2004), 진동층과 대비되는 건천리층을 관입한 맥암의 K-Ar 연대가 80.1 ± 1.6 Ma로 보고된 바 있다(Paik *et al.*, 2000).

3.4 유천층군의 절대연령

경상분지 밀양지괴의 남해안을 따라서 분포하는 하양층군의 최상부 지층인 진동층과 상위에 놓이는 유천층군 고성층과의 경계는 경사부정합을 이루며 고성층의 퇴적시기에는 화산활동이 매우 활발히 일어났던 것으로 보고되어 있다(Chang *et al.*, 1984; Paik *et al.*, 2006). 특히 고성층에는 안산암질에서 테사이트질 화산활동의 산물인 응회암들이 열쇠층으로 분포하고 있음이 특징이다. Kim *et al.* (2011)은 고성층의 하부에 분포하는 세립질의 테사이트질 응회암의 쇄설성 저어콘들로부터 측정된 SHRIMP U-Pb 연

령이 92.1 ± 3.2 Ma ($n=5$)임을 보고했다. 이는 고성층의 퇴적시기가 백악기 Turonian 시기 이후임을 시사하는 것이다. 그러나 고성층과 대비되며 부산일원 해안가에 격리되어 분포하는 다대포층(Chang *et al.*, 1983)에 대한 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 연대를 살펴보면 다대포층 기저에 분포는 테사이트에서 다소 불확실한 94 ± 7.0 Ma, 그리고 다대포층 최상부에 발달한 현무암질 안산암으로부터 68.7 ± 1.5 Ma의 연대가 도출되어 다대포층의 상한이 69 Ma 직전까지인 것으로 제시되었다(Cho *et al.*, 2011). 나아가 유천층군이 주로 분포하는 밀양지괴의 여러 장소에 구한 화산암 연대 측정 결과를 살펴보면 삼랑진 칼데라에 관련된 산성 화산암들의 Rb-Sr 전암연대가 $80.8 \pm 1.9(2\sigma)$ Ma로 보고되었으며(Hwang and Cheong, 1998), 이 연대는 진동층을 관입한 화강암 및 맥암들의 연대와 유사하다(Paik *et al.*, 2000; Jwa *et al.*, 2004).

4. 토의 및 결론

묘곡층 및 경상분지에서 연구된 각 지층별 퇴적시기의 상한 또는 하한을 설정하기 위하여 전술한 각 지층에 대한 연대자료들을 토대로 다음과 같이 정리하였으며, 요약된 결과는 표 2와 3 및 그림 2와 같다.

묘곡층에서 보고된 절대연령은 쇄설성 저어콘의 SHRIMP U-Pb 일치곡선 연령으로 138.6 ± 2.1 Ma ($n=7$)의 결과가 산출되었으며, Chang *et al.* (2003)은 연체동물화석이 일본의 Tatsukawa-type과 대비되는 연구결과로 Valanginian 내지 Huterivian으로 한정하였다. 따라서 묘곡층은 비록 식물화석의 동정에 의하여 상부 쥐라기로 보고되었지만 절대연령 자료와 낙동층의 연령자료를 고려한다면 묘곡층은 전기백악기인 Valanginian 내지 Huterivian 이후의 퇴적시기를 가지는 것으로 판단된다.

경상분지의 신동층군에 대한 화석연령은 식물화석을 제외하고는 Barremian부터 Albian으로 해석되며, 절대연령은 최근 Lee, Y.I. *et al.* (2010)의 신동층군의 퇴적층에 포함된 쇄설성 저어콘의 LA-ICP-MS U-Pb 연대측정 연구를 통해 낙동층은 118 Ma, 하산동층은 109 Ma, 진주층은 106 Ma 보다 젊은 것으로 제시되었다. 그러나 Kim *et al.* (1993a, 1993b)과 Kang (1995)의 고자기학적 연구결과 낙동층과 하산동층에서 자연잔류자기(NRM: natural remanent mag-

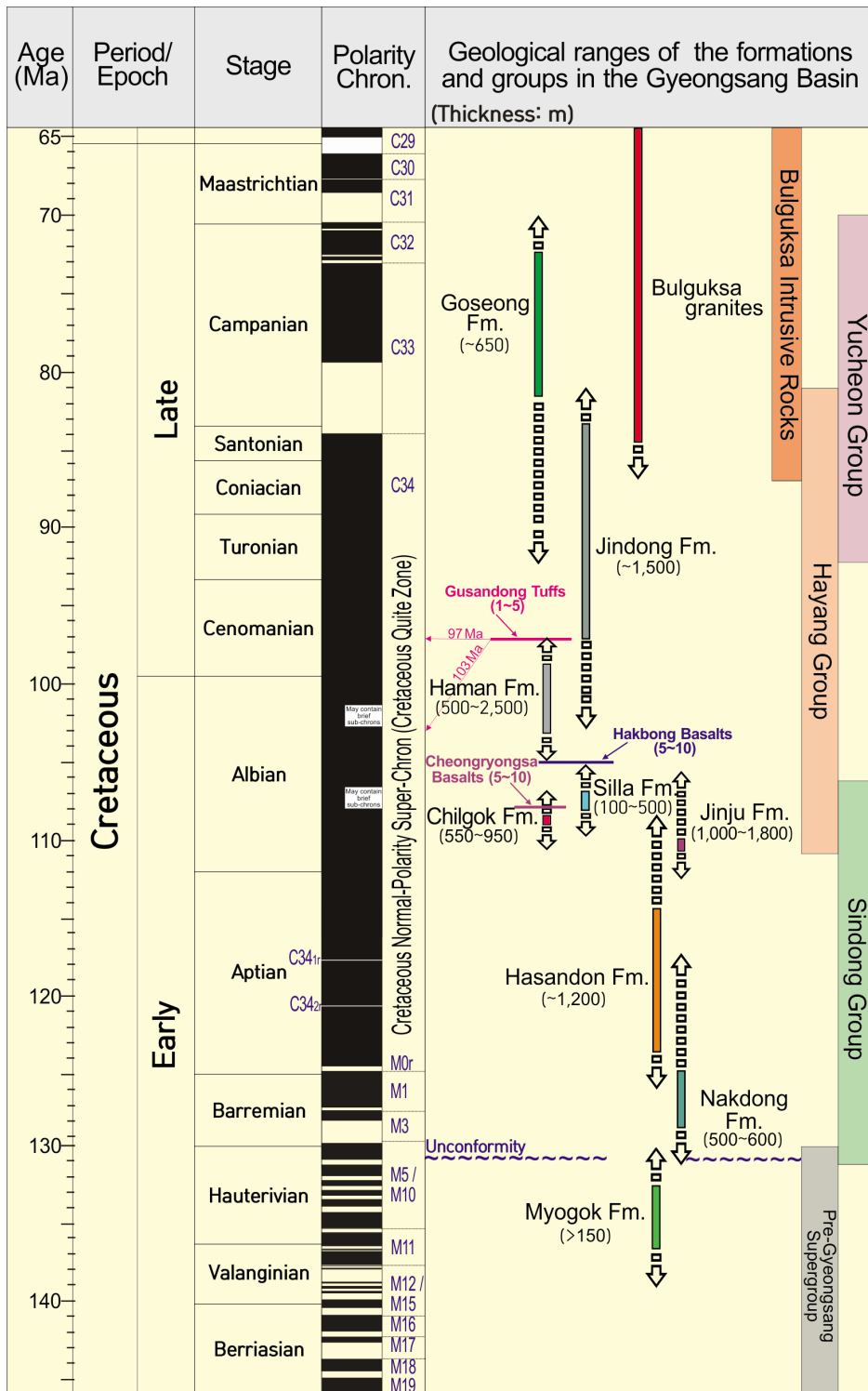


Fig. 2. Stratigraphic correlation of the Myogok Formation and Gyeongsang Supergroup based on radiometric, biostratigraphic and paleomagnetic data in Table 2 and 3. Stratigraphic chart from Walker and Geissman (2009) and paleomagnetic stratigraphy from Gradstein *et al.* (2008).

netization) 단계에서부터 역자화가 산출되는 점과 Chang *et al.* (2003)의 낙동층에 대한 연체동물군화석 연구결과, Lee *et al.* (2012)에 의해 제시된 127.67 ± 1.3 Ma ($n=19$)의 연령, 하산동층의 화석연령, 하산동층에 기록된 1번 이상의 역자화 시기 등을 종합적으로 고려할 때 낙동층의 퇴적시기는 Barremian으로 여겨진다. 한편 하산동층은 Lee, T.-H. *et al.* (2010)에 의해 제시된 진주층의 최고 퇴적시기인 112.4 ± 1.3 Ma ($n=5$)을 고려할 때 Aptian으로, 진주층은 상위 지층인 울련산층의 연령인 109.9 ± 3.2 Ma ($n=5$)와 칠곡층 상부의 청룡사 현무암의 연령인 108.0 ± 2.6 Ma ($n=9$)를 함께 고려할 때 Albian으로 판단된다.

하양층군 지층들의 퇴적시기는 화석연령과 절대연령을 고려할 때, 의성소분지 하양층군의 최하부 지층인 일직층의 화석연령은 전기백악기 Necomian에서부터 Albian 초기까지의 시간영역을 나타내고, 일직층과 대비되는 영양소분지의 울련산층과 밀양소분지 칠곡층의 절대연령을 함께 비교하면 이들 지층의 퇴적은 110 Ma인 Albian 초기에 시작되어 상한은 칠곡층 상부에 협재된 청룡사 현무암의 연령에 비추어 볼 때 약 107 Ma로 추정된다.

신라역암에서 구한 최고 퇴적연령은 110.4 ± 2.0 Ma로 이 연령은 하위 지층인 칠곡층 및 울련산층과 오차 내에서 일부 중첩이 되는 연령이다. 한편 신라역암의 상한은 신라역암 상부에 분포하는 학봉층의 현무암과 이에 대비되는 영양소분지의 오십봉층의 현무암에서 구한 다수의 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 연령 자료의 교집합에 속하는 105 Ma로 제시되었다(Kim *et al.*, 2011). 함안층과 진동층의 경계를 이루는 구산동응회암에 대한 Jwa *et al.* (2009)의 97 Ma와 Kim *et al.* (2011)의 103 Ma의 연령 자료는 모두 신뢰도가 높은 연령이지만 6 Ma의 차이가 있다. 따라서 이들 연대 차이에 대한 검토와 원인 규명이 수반되어야 할 것으로 판단되며, 이에 따라 신라역암과 함안층은 추가적인 연대측정이 요구되는 지층이다.

경상분지 하양층군과 그 상위에 놓이는 유천층군과의 경계는 경사부정합으로서 지역에 따라 유천층군 하위의 지층은 달리 나타나며, 그 경계 시기 또한 다르다(Chang *et al.*, 1984). 밀양소분지 하양층군의 최상부인 진동층과 그 상위에 놓이는 고성층과의 경계 역시 경사부정합을 이루며 고성층의 퇴적시기에는 화산활동이 매우 활발히 일어났던 것으로 보고되

어 있다(Chang *et al.*, 1984; Paik *et al.*, 2006). 특히 고성층에는 안산암질에서 데사이트질 화산활동의 산물인 응회암들이 열쇠층으로 분포하여 있음이 특징이다. Kim *et al.* (2011)은 이들 데사이트질 응회암 시료에서 쇄설성 저어콘들로부터 측정된 SHRIMP U-Pb 연령이 92.1 ± 3.2 Ma ($n=5$)임을 보고했다. 이 연대자료를 따르면 고성층의 퇴적시기가 백악기 Turonian 시기 이후임을 지시하는 것이다. 그러나 고성층과 대비되며 부산일원 해안가에 격리되어 분포하는 다대포층(Chang *et al.*, 1983)의 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 연대를 살펴보면, 다대포층 거저에 분포하는 데사이트에서 다소 불확실한 94 ± 7.0 Ma, 그리고 다대포층 최상부에 협재한 현무암질 안산암으로부터 68.7 ± 1.5 Ma의 연대가 산출되어 다대포층의 상한이 69 Ma 직전까지로 제시되었다(Cho *et al.*, 2011).

이와 함께 유천층군이 주로 분포하는 밀양지괴의 여러 장소에 구한 화산암 연대측정 결과를 살펴보면, 주사산안산암의 Rb-Sr 전암연대가 83.6 ± 11.4 Ma (Kang *et al.*, 2000), 삼랑진 칼데라에 관련된 산성 화산암들의 Rb-Sr 전암연대가 80.8 ± 1.9 Ma (Hwang and Cheong, 1998), 진해지역 화산쇄설암의 안산암편의 K-Ar 전암연대가 79.5 ± 1.9 Ma와 78.9 ± 1.6 Ma (Cho *et al.*, 2007)로 보고되었으며, 이들 연대는 각각 건천리층 및 진동층을 관입한 화강암 및 맥암들의 연대(82~80 Ma) (Paik *et al.*, 2000; Jwa *et al.*, 2004)와 유사하다. 또한 Kim *et al.* (2005)은 여수지역 적금도에서 백악기 지층 최하부 역암에 포함된 화산력들의 K-Ar 연대가 80.8 ± 1.6 Ma로부터 95.3 ± 1.9 Ma의 범위를 보이며 가장 젊은 화산력의 연대가 81~80 Ma에 집중됨에 따라 이 연대를 역암의 퇴적시기로 제시함과 동시에 하양층군과 유천층군의 경계시기로 제안한 바 있다. 그 이외 유천층군 내에 분포하는 다른 화산암들 및 광상관련 연대자료들의 대부분은 이보다 후기의 연대인 78~62 Ma의 범위를 보인다(Lee *et al.*, 1993; Yun and Sang, 1994; Shin and Jin, 1995; Kim *et al.*, 1997; Kim *et al.*, 1998; Yun, 1998; Park *et al.*, 2003). 따라서 83~80 Ma부터 활발히 시작된 화산활동이 유천층군의 시작으로 해석되는 것이 타당한 것으로 판단되며, 유천층군의 퇴적은 최소한 백악기말까지 이어진 것으로 여겨진다. 유천층군의 이와 같은 발달 시기는 Chough and Sohn (2010)의 경상분지 화산암

연대자료 고찰에 의해서도 제시된 바 있다.

이 연구는 경상분지의 각 지층에 대해 현재까지 이루어진 연대자료들을 바탕으로 각 지층의 가능한 퇴적시기의 범위를 현재의 자료 조건에서 정리한 것이다. 전술한 바와 같이 경상누층군의 각 지층은 암층서적 기준에 의해 구분된 것임으로, 비록 동일하게 설정된 지층이라도, 각 지층의 퇴적시기는 분포 지역에 따라 변화할 수 있다. 따라서 어느 한 지역에서 이루어진 특정 지층에 대한 연대자료가 그 지층이 분포하는 모든 지역에 해당되는 것은 아니다. 따라서 암층서에 의해 이루어진 경상분지 내 각 지층의 퇴적시기를 보다 명확히 결정하기 위해서는 신뢰도 높은 절대연령의 추가적인 산출은 물론, 연대 측정의 대상 지역이 공간적으로 보다 폭 넓게 이루어져야 할 것이며, 이와 함께 측정 자료들에 대한 층서적인 검토와 분석이 보다 다각적으로 뒷받침 되었을 때, 경상분지 각 지층들의 지질시대 결정이 보다 신뢰성을 가질 수 있게 될 것이다.

사 사

이 논문은 2012년도 문화재청의 '중생대 천연기념물 화석산지 보존방안 연구'의 일환으로 작성되었으며, 이에 감사드린다. 이와 함께 이 논문을 읽고 유익한 도움말을 주신 경북대학교 장기홍 교수님과 충북대학교 이철우 교수님, 그리고 손영관 편집위원장님께 감사사를 드린다.

참고문헌

- 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).
- Chang, K.H., Lee, Y.J., Suzuki, K. and Park, S.O., 1998, Zircon morphology, CHIME age and geological significance of Kusandong Tuff. *Journal of the Geological Society of Korea*, 34, 333-343.
- Chang, K.H., Suzuki, K., Park, S.-O., Ishida, K. and Uno, K., 2003, Recent advances in the Cretaceous stratigraphy of Korea. *Journal of Asian Earth Sciences*, 21, 937-948.
- Chang, T., Kang, P.C., Park, S.H., Hwang, S.G. and Lee, D.W., 1983, Geological report of Busan and Gadeok sheet (1:50,000). Korea Institute of Energy and Resources, 22 p (in Korean with English explanatory text).
- Cheong, C.H. and Lee, H.Y., 1966, The Myogog Formation and its tectonic significance. *Journal of Geological Society of Korea*, 2, 21-38.
- Cho, H., Kim, J.-S., Lee, J.-H., Jeong, J.O., Son, M. and Kim, I.-S., 2007, Characteristics and stratigraphic implications of granitic rock fragments in the pyroclastic rocks, SE Jinhae, Korea. *Journal of the Petrological Society of Korea*, 16, 116-128 (in Korean with English abstract).
- Cho, H., Kim, J.-S., Son, M. and Kim, I.-S., 2011, Petrography and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages of volcanic rocks in the Cretaceous Dadaepo Basin, Busan: Accumulation time and correlation of the Dadaepo Formation. *Journal of the Geological Society of Korea*, 47, 1-18 (in Korean with English abstract).
- Choi, D.K., 1985, Spores and pollen from the Gyeongsang Supergroup, southeastern Korea and their chronologic and paleoecologic implications. *Journal of the Paleontological Society of Korea*, 1, 33-50.
- Choi, D.K., 1989, Paleopalynology of Geoncheonri Formation (Lower Cretaceous), Geoncheon-Ahwa area, *Journal of the Paleontological Society of Korea*, 5, 1-27.
- Choi, D.K. and Park, J.B., 1987, Palynology of the Jinju Formation (Lower Cretaceous), Waegwan-Daegu and Jinju areas, Korea. *Journal of the Paleontological Society of Korea*, 3, 28-43.
- Choi, H.I., 1985, Sedimentology and its implications for stratigraphic classifications of the Cretaceous Gyeongsang Basin. *Journal of the Geological Society of Korea*, 21, 26-37.
- Choi, H.I., Son, J.D. and Oh, J.H., 1981, Sedimentology and Stratigraphy of the Cretaceous Gyeongsang strata: Implication for the origin of the Gyeongsang Basin. CCOP Technical Bulletin, No. 14, 1-15.
- Choi, S.J., 1987, Study on the Lower Cretaceous charophytes from the upper Gyeongsang Supergroup. *Journal of the Paleontological Society of Korea*, 3, 79-92.
- Choi, S.J., 1989, Fossil charophytes from the Nagdong Formation in Seonsangun, Gyeongsangbukdo, Korea. *Journal of the Paleontological Society of Korea*, 5, 28-38.
- 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.
- Gradstein, F.M., Ogg, J.G. and Van Kranendonk, M., 2008, On the geologic time scale 2008. *Newsletters on Stratigraphy*, 43, 5-13.
- 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).
- Jwa, Y.-J., Lee, Y.I. and Orihashi, Y., 2004, U-Pb zircon ages of the Gusandong Tuff and Jindong granites, and implication for age of the Jindong Formation. Fall Annual Conference of The Geological Society of Korea (Abstract), Daejeon, October 29-30, 73 p (in Korean).
- Jwa, Y.-J., Lee, Y.I. and Orihashi, Y., 2009, Eruption age of the Kusandong Tuff in the Cretaceous Gyeongsang Basin, Korea. *Geosciences Journal*, 13, 265-273.
- Kang, H.-C., 1995, Palaeomagnetism of Gyeongsang Supergroup and igneous rocks in the Gyeongsang Basin, Korea. PhD Thesis, Pusan National University, Busan, 1-190 p (in Korean with English abstract).
- Kang, H.-C., Kim, I.-S. and Yun, S.H., 2000, Paleomagnetic study on the Cretaceous rocks in the Konchonri area of the Northern Milyang Subbasin, Korea. *Journal of the Korean Geophysical Society*, 3, 1-12 (in Korean with English abstract).
- Kang, P.J., Chwae, U. and Kim, K.B., 1995, *Geological Map of Korea (1/1,000,000)*. Korea Institute of Geoscience & Mineral Resources, Dajeon.
- Kim, C.-S., Park, K.-H. and Paik, I.S., 2005, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age of the volcanic pebbles within the Silla Conglomerate and the deposition timing of the Hayang Group. *Journal of the Petrological Society of Korea*, 14, 38-44 (in Korean with English abstract).
- Kim, C.-S., Yun, S.H. and Cheong, C.-S., 1998, Volcanic stratigraphy and petrology of the Cretaceous volcanic rocks in the Mt. Sinbul-Youngchui area, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 34, 137-153 (in Korean with English abstract).
- Kim, H.J. and Paik, I.S., 2001, Sedimentary facies and environments of the Cretaceous Jindong Formation in Goseong-gun, Gyeongsangnamdo. *Journal of the Geological Society of Korea*, 37, 235-256 (in Korean with English abstract).
- Kim, I.-S., Kang, H.-C. and Lee, H.K., 1993a, Paleomagnetism of Early Cretaceous sedimentary rocks in Chingyo-Sach'on area, southwestern Kyongsang Basin. *Journal of Korean Institute of Mining Geology*, 26, 519-539 (in Korean with English abstract).
- Kim, I.-S., Lee, H.K., Yun, H. and Kang, H.-C., 1993b, Paleomagnetism of Cretaceous rocks in the Uisong area, Kyongsang Basin, Korea. *Journal of Korean Institute of Mining Geology*, 26, 403-420 (in Korean with English abstract).
- 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, S.J., Lee, H.K. and Itaya, T., 1997, K-Ar ages and geochemistry for granitic and volcanic rocks in the Euseong and Shinryeong area, Korea. *Economic and Environmental Geology*, 30, 603-612.
- Kobayashi, T. and Suzuki, K., 1936, Non-marine shells of the Naktong-Wakino Series. *Japanese Journal of Geology and Geography*, 13, 243-257.
- Lee, D.S. and Lee, H.Y., 1963, Geological report of the Yeon sheet (1:50,000). Geological Survey of Korea, 22 p (in Korean with English abstract).
- Lee, H.G., Kim, S.J., Yun, H., Choi, W.C., Song, Y.S. and Itaya, T., 1993, K-Ar age of the Keumseongssan volcanic rocks and mineralization in the southeastern part of Euseong, Gyeongsangbuk-do, Republic of Korea. *Journal of Korean Institute of Mining Geology*, 26, 445-454.
- Lee, T.-H., Park, K.-H., Chun, J.-H. and Yi, K., 2010, SHRIMP U-Pb zircon ages of the Jinju Formation and Silla Conglomerate, Gyeongsang Basin. *Journal of the Petrological Society of Korea*, 19, 89-101 (in Korean with English abstract).
- Lee, T.-H., Park, K.-H. and Yi, K., 2012, SHRIMP U-Pb zircon ages of the Nakdong and Ulyeonsan Formations in the Gyeongsang Basin. 2012 Fall Joint Annual Conference of The Geological Societies in Korea (Abstract), Jeongseon, October 24-27, 134 p (in Korean).
- Lee, T.-H., Park, K.-H., Yi, K. and Choi, S.H., 2011, SHRIMP U-Pb zircon ages of the Myogok Formation. 2011 Fall Joint Annual Conference of The Geological Societies in Korea (Abstract), JeJu, October 26-27, 43 p (in Korean).
- Lee, Y.I., Choi, T., Lim, H.S. and Orihashi, Y., 2010, Detrital zircon geochronology of the Cretaceous Sindong Group, Southeast Korea: implications for depositional age and Early Cretaceous igneous activity. *Island Arc*, 19, 647-658.
- 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).
- Paik, I.S., Kim, H.J., Lee, J.-D., Kim, I.-S., Kim, J.-S. and Moon, B.-C., 2000, Comparative sedimentology for the

- lacustrine deposits of the Upper Gyeongsang Supergroup in the southeastern Gyeongsang Basin, Korea. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 21, 423-436 (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).
- Park, K.-H., Paik, I.S. and Huh, M., 2003, Age of the volcanism and deposition determined from the Cretaceous strata of the islands of Yeosu-si. *Journal of Petrological Society of Korea*, 12, 70-78 (in Korean with English abstract).
- Park, T.H., Iwamori, H., Orihashi, Y. and Jwa, Y.J., 2005, Zircon U-Pb ages for Creta-Tertiary granites, south Korea: Implications for spatiotemporal changes in subduction-related magmatism (abstracts). *Japan Earth and Planetary Science Joint Meeting (CD-ROM)*, Oceanographic Society of Japan, Volcanological Society of Japan, Japanese Association of Mineralogists, Petrologists and Economic Geologists, Meteorological Society of Japan, Mineralogical Society of Japan *et al.*
- Sano, Y., Terada, K., Ly, C.V. and Park, E.J., 2006, Ion microprobe U-Pb dating of a dinosaur tooth. *Geochemical Journal*, 40, 171-179.
- Sano, Y., Terada, K. and Park, E.J., 2002, Ion microprobe dating of dinosaur tooth: implications for high-level lead exposure. *Goldschmidt Conference Abstracts*, A666.
- Seo, S.J., 1985, Lower Cretaceous Geology and Paleontology (Charophyta) of Central Kyongsang Basin, Korea. PhD Thesis, Kyungpook National University, Daegu, 1-177 p (in Korean with English abstract).
- Shin, S.C. and Jin, M.S., 1995, Isotope Age Map of Volcanic Rocks in Korea (1:1,000,000). Korea Institute of Geology, Mining and Materials, Daejeon, South Korea.
- Tateiwa, I., 1929, *Geologic Atlas of Korea*, No. 10, Gyeongju, Yeongcheon, Daegu, Waegwan Sheets. Geological Survey of Chosen (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).
- Yabe, H., 1905, Mesozoic plants from Korea. *Journal of the College of Science, Imperial University of Tokyo*, 20, 1-59.
- Yang, S.Y., 1975, On a new non-marine pelecypod genus from the upper Mesozoic Gyeongsang Group of Korea. *Transaction and Proceedings of the Palentological Society of Japan*, 100, 177-187.
- Yang, S.Y., 1978, On the discovery of *Nippononaia ryosekiana* from the Geongsang Group, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 14, 33-43.
- Yang, S.Y., 1979, Some new bivalve species from the Lower Gyeongsang Group, Korea. *Transaction and Proceedings of the Palentological Society of Japan*, 116, 223-234.
- Yang, S.Y., 1982, Geology around the Type-locality of *Trigonioides* (s.s.) *kodairai* and age of the Nagdong Subgroup. *Journal of the Geological Society of Korea*, 18, 67-72 (in Korean with English abstract).
- Yang, S.Y., 1984, Paleontological study on the molluscan fauna from Myogog Formation, Korea (Pt. 2). *Journal of the Geological Society of Korea*, 20, 15-27.
- Yi, M.-S., Cho, B.-H. and Chi, J.-M., 1994, Palynomorphs from the Jinju Formation in the Euseong area, Korea. *Journal of the Paleontological Society of Korea*, 10, 41-56.
- Yi, M.-S., Choi, S.-J. and Yun, H., 1993, Cretaceous palynomorphs from the Iljik Formation in the Euseong area, Korea. *Journal of the Paleontological Society of Korea*, 9, 166-179.
- Yi, M.-S. and Chun, H.-Y., 1993, Palynomorphs from the Myogog Formation, Korea and their stratigraphic significance. *Journal of the Geological Society of Korea*, 29, 246-257.
- Yun, C.-S. and Yang, S.-Y., 2001, Occurrence of Cretaceous non-marine bivalve, *Nagdongia soni*, from the lower part of the Hasandong Formation near Waegwan, Korea. *Journal of the Paleontological Society of Korea*, 17, 87-97.
- Yun, S.H., 1998, Volcanic activity and petrology of the Cretaceous volcanic complex in Yucheon volcanic field of southeastern Korea. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 19, 408-424 (in Korean with English abstract).
- Yun, S.H. and Sang, K.N., 1994, Geochronology and cauldron structure of the Cretaceous volcanic complexes in southern Kyeongsang Basin, Korea. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 15, 376-391 (in Korean with English abstract).

투 고 일 : 2012년 11월 5일

심 사 일 : 2012년 11월 7일

심사완료일 : 2012년 12월 17일