자원환경지질, 제39권, 제2호, 129-149, 2006
Econ. Environ. Geol., 39(2), 129-149, 2006

# 한반도 동남부 백악기 경상분지의 형성과 변형에 관한 질의

유인창[1]* · 최선규[2] · 위수민[3]
[1]경북대학교 지질학과, [2]고려대학교 지구환경과학과, [3]한국교원대학교 지구과학교육과

# An Inquiry into the Formation and Deformation of the Cretaceous Gyeongsang (Kyongsang) Basin, Southeastern Korea

**In-Chang Ryu[1]*, Seon-Gyu Choi[2] and Soo-Meen Wee[3]**
[1]*Department of Geology, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea*
[2]*Department of Earth and Environmental Sciences, Seoul 136-701, Korea*
[3]*Department of Earth Science Education, Korea National University of Education, Cheongwongun, Chungbuk 363-791, Korea*

Previously published stratigraphic, sedimentologic, paleontologic, paleomagnetic and geophysical data are reviewed to make an understanding on the tectonic evolution of the Cretaceous Gyeongsang (Kyongsang) basin, southeast Korea. A stratigraphic framework and a tectonic model on the formation and deformation of the Gyeongsang Basin are newly proposed on the basis of integration these data with magmatism and mineralization ages in the basin. A newly proposed stratigraphic framework indicates that strata in the basin can be subdivided into five distinct stratigraphic units that represent pre-rifting, syn-rifting, inversion I, II, and III stages. The Gyeongsang Basin was formed initially as a pre-rifting stage due to north-south extension in the Late Jurassic prior to a syn-rifting stage that resulted from east-west extension during the Early Cretaceous. In the Late Cretaceous, the basin was deformed by three-staged sequential deformation of north-south, northwest-southeast, and east-west compressions. The tectonic history of the basin has been largely controlled by the change of motion of the Izanagi Plate from north to northwest during the Cretaceous. In the early Cretaceous, the Izanagi Plate began to subduct northward beneath the Eurasian Plate and caused the left-lateral strike-slip fault systems in the southern part of the peninsula. The left-lateral wrenching of these fault systems was causally linked to development of pull-apart basins, such as the Gyeongsang Basin in the southeastern part of the peninsula. However, northwestward movement of the Izanagi Plate during the Late Cretaceous probably led to the extensive volcanism as well as sequential deformations in the basin. The stratigraphic and tectonic model, which is newly proposed as a result of this study, may be expected to enhancing the efficiency for exploration and exploitation of useful mineral resources in the basin as well as establishing geologic history in the Cretaceous Gyeongsang Basin. Together with the spatial and temporal correlation of the Cretaceous basins in adjacent areas, this stratigraphic and tectonic model provides a new geologic paradigm to delineate the sophisticated tectonic history of East Asia during the Cretaceous.

**Key words** : Cretaceous, Geodynamics, Gyeongsang basin, Integrated geology

한반도 동남부에 위치하는 백악기 경상분지의 지구조적 진화에 대한 이해를 위해 기존에 발표되었던 층서퇴적학, 고생물학, 고지자기학 및 지구물리학 자료들이 재검토되었다. 이들 자료와 분지 내 화성활동 및 광화작용에 대한 지질연대 자료와의 통합을 통해 경상분지에 대한 새로운 층서틀 및 경상분지 형성과 변형에 관한 구조적 모델이 제안되었다. 새로운 층서틀은 경상분지 내 퇴적층이 전열개, 동시열개, 변형 I, 변형 II, 변형 III 단계로 대표되는 5개의 층서단위로 세분될 수 있다는 것을 지시한다. 경상분지는 쥬라기 말 남-북 방향의 신장응력에 의한 전열개 단계와 전기 백악기의 동-서 방향의 신장응력에 의한 동시열개 단계를 거쳐 분지가 형성되었다. 후기 백악기에 들어오면서 남-북 및 북서-남동, 동-서 방향의 3단계 순차적인 압축응력에 의해 분지가 변형되었다. 이러한 경상분지의 발달사는 백

*Corresponding author: inchang@mail.knu.ac.kr

악기 동안에 북에서 북서 방향으로 전이되어진 이자나기판의 이동 방향의 변환에 의해 지배된 것으로 나타난다. 전기 백악기에 이자나기판은 북쪽을 향하여 유라시아판 밑으로 섭입을 시작하였으며, 한반도 남부에 좌수향의 주향이동성 단층계를 형성시켰다. 이 주향이동성 단층계의 좌수향 이동에 의해 한반도 동남부에 동-서 방향의 신장응력이 발생되어 경상분지와 같은 인리형 분지들이 발달되었다. 그러나 후기 백악기 동안에 일어난 이자나기판의 북서 방향으로의 섭입은 분지 내 광범위한 화산활동과 함께 순차적인 변형을 주도하였던 것으로 판단된다. 본 연구의 결과로 제시된 경상분지에 대한 새로운 층서틀 및 분지발달 모델은 한반도 백악기 경상분지에 대한 새로운 지사의 정립과 함께 분지 내 부존되어 있는 유용자원의 탐사와 개발에 있어 효율성을 향상 시킬 수 있을 것으로 기대되며, 향후 인접 지역에 위치하는 백악기 퇴적분지들과의 시간 및 공간적 대비를 통해 동아시아 백악기 지체구조운동 발달사 연구를 위한 새로운 지질학적 사고의 틀을 제공한다.

**주요어** : 백악기, 지체구조, 경상분지, 통합지질학

## 1. 서 론

퇴적분지에 대한 연구는 분지가 형성되어 퇴적이 진행된 후, 변형작용에 의해 습곡대로 전이되기까지 시간에 따른 분지발달 과정의 구체적 정보를 제공하고 있기 때문에 지구의 역사를 규명할 수 있다는 측면에 있어서 학술적으로 매우 중요한 의미를 가진다. 아울러 퇴적분지에 대한 연구는 분지발달사를 근간으로 분지 내에서 일어났던 지질학적 인자들의 변화를 도출해 낼 수 있다는 점 때문에 분지 내에 부존되어 있는 유용자원들을 효율적으로 탐사해 내기 위한 개념들을 정립하는데 있어서 필수적 연구라는 측면에서 경제적 중요성이 인정된다. 일반적으로 퇴적분지에 대한 연구는 시간 및 공간에 따른 분지의 진화에 초점을 맞추어 수행되며, 분지형성 구조운동, 분지충진 퇴적작용, 분지변형 구조운동 및 이에 연계되어 분지 내에서 일어난 화성활동과 여러 가지 지질작용에 관한 사항들이 종합적으로 평가된다. 따라서 퇴적분지에 대한 연구는 분지 내 퇴적층의 정밀 해석을 바탕으로 고생물, 퇴적지질, 지질연대, 구조지질, 지구물리, 지화학 및 광상학 등 가능한 모든 지질 자료들의 통합에 의해 층서틀을 정립하고 이를 바탕으로 분지의 시공간적 변화를 연구해 내는 것이 일반적이며, 과학 선진국들은 90년대 말 이후 이러한 통합지질학적 접근을 통해 퇴적분지 해석에 대한 새로운 연구 분야를 창출해 내고 있다. 그러나 국내에서는 아직까지 분지연구를 위한 통합지질학적 접근이 시도되지 않고 있으며, 연구자 개인의 전문분야에 한정된 개별적인 연구가 보편화 되어있는 실정이다. 따라서 국내에서도 통합지질학적 접근을 통한 퇴적분지 해석이라는 새로운 지질학 분야가 도입되어야 하며, 이러한 연구들이 실질적으로 수행되어야 한다.

본 연구는 한반도 동남부 육상에 위치하는 백악기 경상분지에 대한 통합지질학적 접근을 통해 분지 내 퇴적층들을 분석하고 경상분지의 발달사를 새롭게 조명함으로써 동아시아 지역의 백악기 지체구조운동 변화를 규명함과 동시에 경상분지 내에 부존되어 있는 유용자원의 효율적 탐사와 개발을 위해 필수적인 새로운 고해상도의 층서틀을 수립하고자 제안되었다. 본 논문의 내용은 이러한 연구를 위한 예비단계의 연구결과로 그동안 국내에서 발표되었던 경상분지에 대한 자료들을 종합하여 새로운 층서틀을 제시하고 자료 종합 과정에서 제기되었던 지질학적 문제점들에 대한 토론을 통해 새로운 시각으로 경상분지의 형성과 변형에 관한 지체구조운동 모델을 제시하였다.

## 2. 통합지질학적 접근

본 연구에서 시도하려는 통합지질학적 접근은 지구과학 분야의 핵심인 층서학을 근간으로 그동안 퇴적분지 내 퇴적층들의 동정과 대비를 위해 독립적으로 발전되어 왔고 필요에 따라 선택적으로 적용되어 왔던 각각의 기재적 층서원리(예: 암층서, 생층서, 자기층서)들을 하나의 통합된 개념으로 묶어 퇴적분지 내 퇴적층들을 보다 정량적으로 해석하려는 시도이며, 분지형성에 관련된 구조운동, 퇴적작용 및 분지변형 구조운동 등 퇴적분지 발달사를 규제하는 주요 인자들에 대한 시 · 공간상의 대비가 가능한 고해상도의 층서틀을 제시하기 위한 시도이다.

이러한 통합지질학적 접근은 퇴적층들을 퇴적 작용이라는 단순한 물리적 현상의 산물로 이해하기 보다는 하나의 통합된 체계 속에서 물리 · 화학 · 생물학적 현상들의 상호관계에 의해 복합적으로 일어나는 역동적 현상의 산물로 이해하려는 새로운 지질학적 사고의 틀로 과학 선진국들을 중심으로 90년대 말부터 대두되기

시작하였으며, 석유 및 석탄, 천연가스 등과 같은 에너지자원의 탐사성공률을 높이는데 크게 기여하고 있다. 아울러 근래에 들어와서는 통합지질학이 국가경영에 있어서 절대적으로 필요한 전략광물자원, 지하수자원, 토양자원 등의 탐사 및 개발, 보존 분야로까지 확장되면서 여러 분야로의 응용이 가능한 기반기술로 발전하였으며, 지구물리학, 지화학, 고생물학, 환경지질학, 고고지질학 등 다양한 지구과학 분야를 근간으로 21세기를 주도해 나갈 지질학의 핵심 기술로 자리 매김을 하고 있다.

## 3. 경상분지의 지리적 분포 및 경계특성

한반도 동남부에 위치하는 경상분지는 약 20,000 $km^2$의 넓이로 남한 면적의 약 1/5를 차지하며, 경상남도 및 경상북도의 대부분 지역에 걸쳐 발달하는 대규모의 퇴적분지로 영남육괴의 시원생대 변성암을 기반암으로 약 9,000 m 이상의 백악기 퇴적층을 포함한다(Fig. 1). 분지의 서쪽과 북쪽으로는 영남육괴의 시원생대 변성암류 및 이를 관입한 쥬라기 화강암류(대보화강암)와 부정합 또는 단층으로 접하고 있으며, 동쪽으로는 신생대 화산암류 및 퇴적암류와 북북동 방향으로 발달하는 양산단층 및 북북서 방향의 울산단층에 의해 접한다(Fig. 1). 분지의 남쪽 경계는 한반도 육상에 노출되어 있지 않으나 일본 규슈 지역에 분포하는 백악기 퇴적층(예; 관몬층군)과의 대비를 통해 일본의 규슈 북서부까지 연장 분포하는 것으로 추정되었다(Koto, 1909).

분지 내 백악기 퇴적층의 지리적 분포에 따른 경상분지의 2차원적 형태는 분지의 남부와 북서부 및 북동부 지역에 따라 각기 다르게 나타난다. 밀양을 중심으로 왜관-안강-부산-진주를 경계로 하는 분지의 남부 지역에서는 북동 방향으로 발달하는 마름모 형태를 유지한다(Fig. 1). 그러나 의성 지역을 중심으로 하는 분지 북서부에서는 남부의 밀양 지역과는 달리 상주-청송-안강-왜관을 경계로 북서 방향으로 발달하는 마름모 형태를 보이고 있으며, 영양 지역을 포함하여 봉화-평해-안강-청송-봉화를 경계로 하는 분지 북동부 지역은 남쪽을 향하여 첨멸하는 독립된 쐐기 형태를 보인다(Fig. 1). 위치에 따른 경상분지의 2차원적 형태의 차이는 그동안 경상분지가 하나의 퇴적분지로 발달하는 것이 아니라 분지의 서쪽에 분지발달 초기에만 발달하는 낙동 곡구를 비롯하여 북부의 영양소분지와 남부의 도평블럭과 밀양블럭을 포함하는 신라소분지 등 독립된 소규모 분지들로 발달되어 왔을 것으로 해석되어 왔으며, 아울러 밀양블럭과 도평블럭 사이의 경계로 팔공산구조선이, 도평블럭과 영양소분지 사이의 경계로 청송릿지와 같은 구조선이 존재할 수 있음이 제안되었다(Chang, 1975) (Fig. 1).

독립된 쐐기 형태를 보이는 분지 북동부 영양 지역에서는 북쪽으로 시생대 변성암류 및 고생대 변성퇴적암류가 동-서 방향으로 발달하는 재산단층계에 의해 충상단층으로 백악기 퇴적층과 접촉한다(Figs. 1, 2). 반면, 북서 방향으로 발달하는 마름모 형태의 분지 북서부 의성 지역에서는 북쪽으로 쥬라기 화강암으로 구성된 안동저반과 접촉하고 있으며, 북쪽을 향하여 휘어져 나온 형태의 안동단층계에 의해 충상단층으로 경계를 이룬다(Figs. 1, 2). 의성 지역의 서쪽 경계는 시원생대 변성암류와 이를 관입하는 쥬라기 화강암들과 부정합 또는 단층으로 접촉하나, 지표상에서 경계 단층의 존재는 뚜렷하지 않다. 아울러, 의성 지역에는 좌수향 주향이동성 단층들로 구성된 가음단층계가 서북서 방향을 따라 특징적으로 발달한다(Figs. 1, 2). 분지 남부의 밀양 지역도 서쪽 경계가 시원생대 변성암류와 이를 관입하는 쥬라기 화강암들과 부정합 또는 단층으로 접촉하나, 의성 지역 서쪽 경계와 같이 지표상에서 경계 단층의 존재는 뚜렷하지 않다. 그러나 밀양 지역의 동쪽 경계는 북북동 방향으로 발달하는 양산단층에 의해 절단되어 있으며, 양산단층 동쪽에도 울산 지역을 중심으로 백악기 퇴적층이 분포한다(Figs. 1, 2). 울산 지역의 백악기 퇴적층은 북쪽으로 신생대 퇴적층과 접촉하고 있으며, 북북서 방향으로 발달하는 울산단층에 의해 경계되어진다(Figs. 1, 2).

## 4. 지하 심부구조

경상분지의 심부구조를 규명하기 위한 직접적인 물리탐사(예; 탄성파 및 시추탐사)는 현재까지 수행된 바는 없으나 중력탐사에 의해 대략적인 기반암 심도 및 분지의 지하 심부구조가 도출되었다(Fig. 3). 그동안 분지 내에서 수행된 중력탐사 결과는 경상분지 퇴적층과 영남육괴 변성 기반암과의 경계면이 남부 지역 마산-부산을 잇는 측선에서는 약 4.3-5.6 km 깊이에 나타나며, 마산과 창원 부근에서 최대 5.6 km 깊이에 위치한다(민경덕과 김정우, 1987). 밀양 지역에서도 기반암 경계면이 약 5.4-6.3 km 깊이에 위치하는 것으로 해석되어지며, 밀양 부근에서 최대 심도를 나타낸다(전정수와 민경덕, 1996). 북쪽으로 갈수록 기반암 경계면은

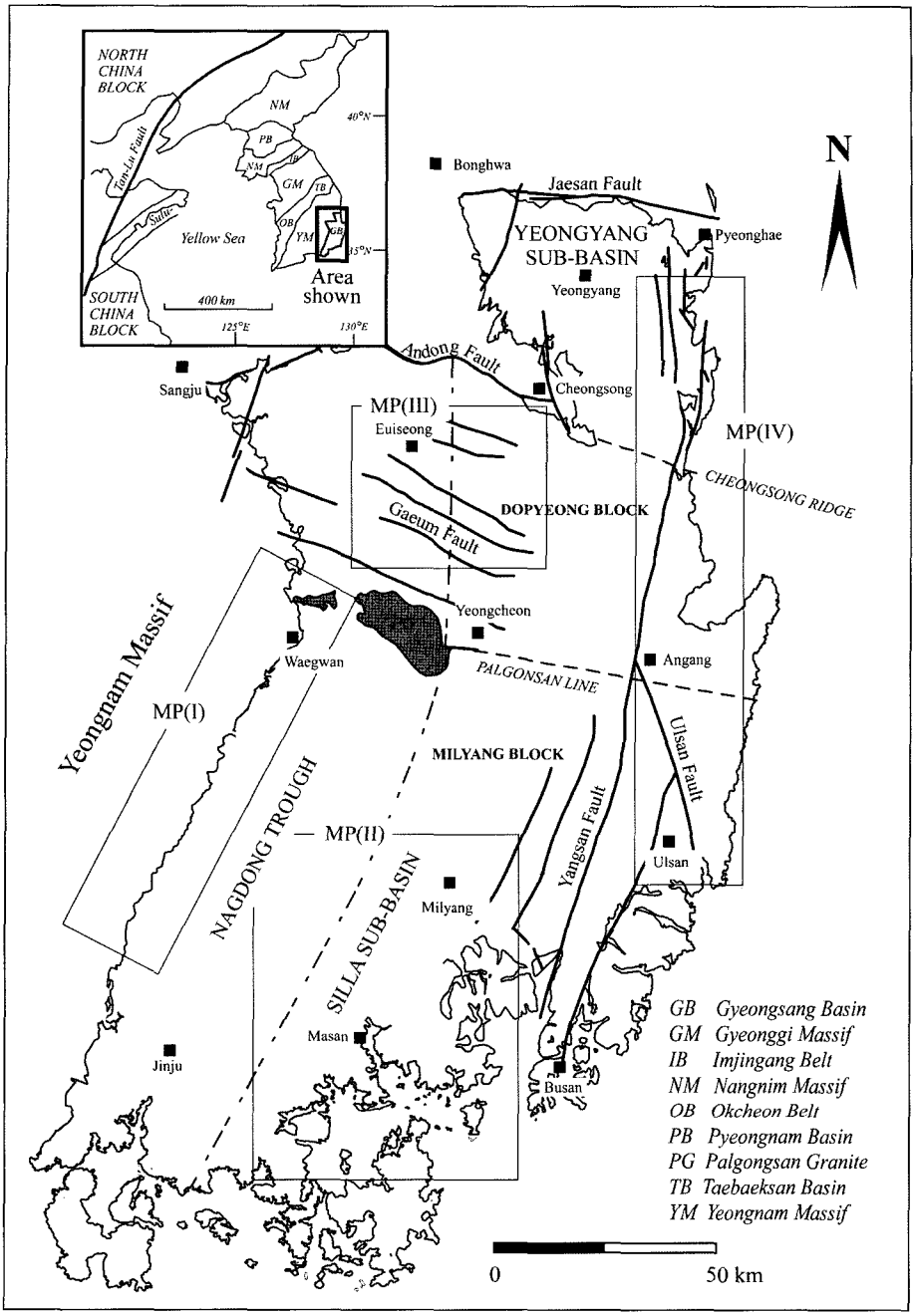


**Fig. 1.** Outline map of the Gyeongsang Basin, showing tectonic subdivision and major structural elements as well as mineralization provinces.

대구-영천 구간에서 약 7.2-8.5 km로 깊어져 경상분지 내에서 최대 기반암 심도를 유지하고 있으며(민경덕과 정종대, 1985), 의성 지역에서는 약 4.6 km의 깊이에 위치하는 것으로 추정된다(김원균 등, 2000a). 중력탐사의 결과로 해석된 경상분지의 개략적인 심부구조는 동-서 단면을 따라 서쪽에서 동쪽으로 갈수록 기반암의 심도가 급격하게 깊어지며, 마산-창원으로부터 밀양을 통과하여 대구-영천 부근을 지나는 북동 방향을 축

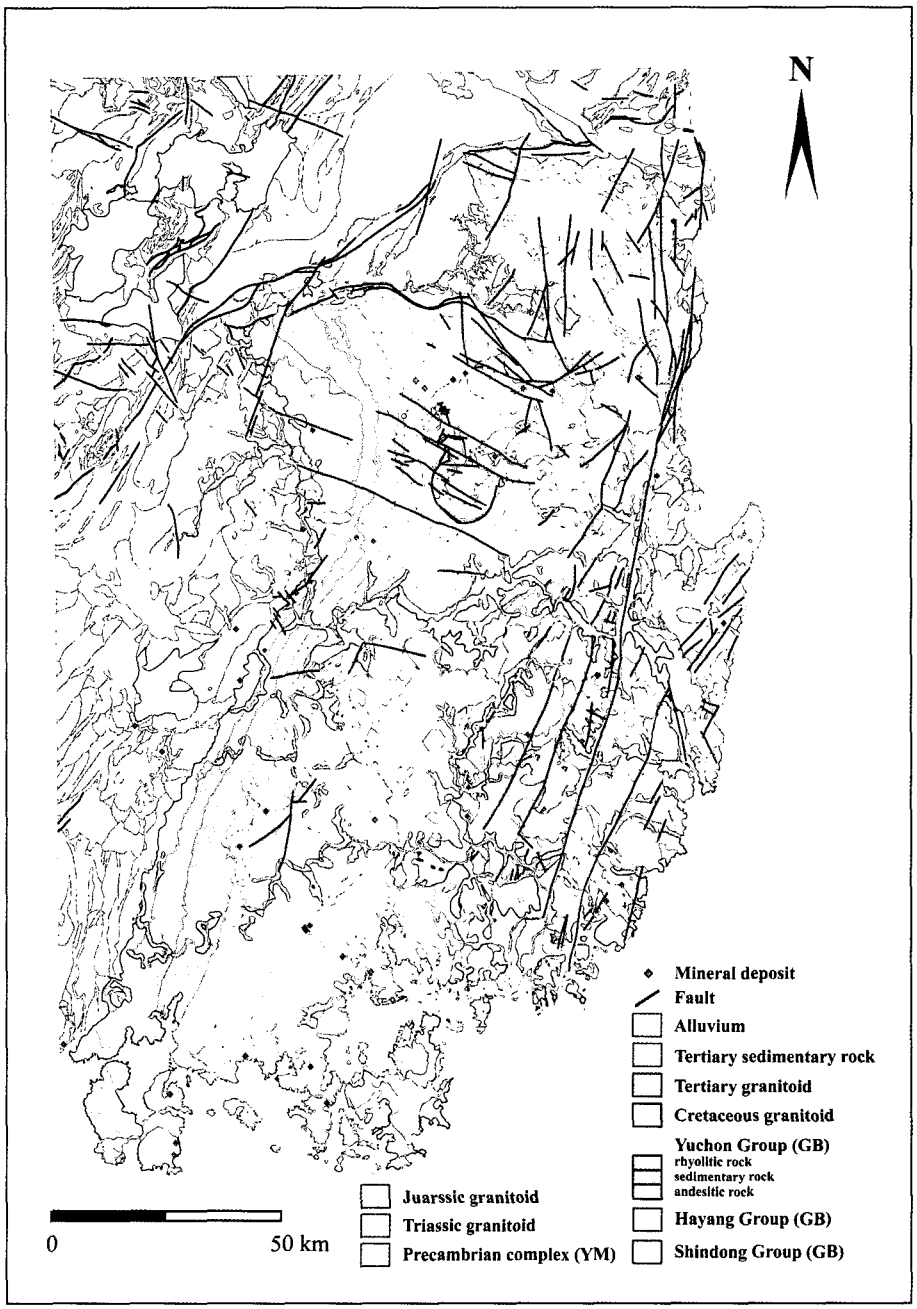


**Fig. 2.** Geologic map of the Gyeongsang Basin, southeastern Korea.

으로 최대 심도를 보인 후, 분지의 동쪽 경계인 양산 단층에 근접하면서 재차 급격하게 기반암 심도가 얕아지는 것으로 나타난다(Fig. 3).

중력탐사와 함께 경상분지 북부 의성 지역을 중심으로 수행된 자력탐사는 연구 지역 내에 북동, 북서 및 서북서 등 세 방향의 자력선구조들이 지하심부에 발달하고 있음을 보여준다(김원균 등, 2000a; 2000b). 세 방향으로 발달하는 자력선구조들의 선후 관계를 고려하면 북동 방향의 선구조가 북서 및 서북서 방향의 선구조들에 의해 절단되는 것으로부터 북동 방향의 선구

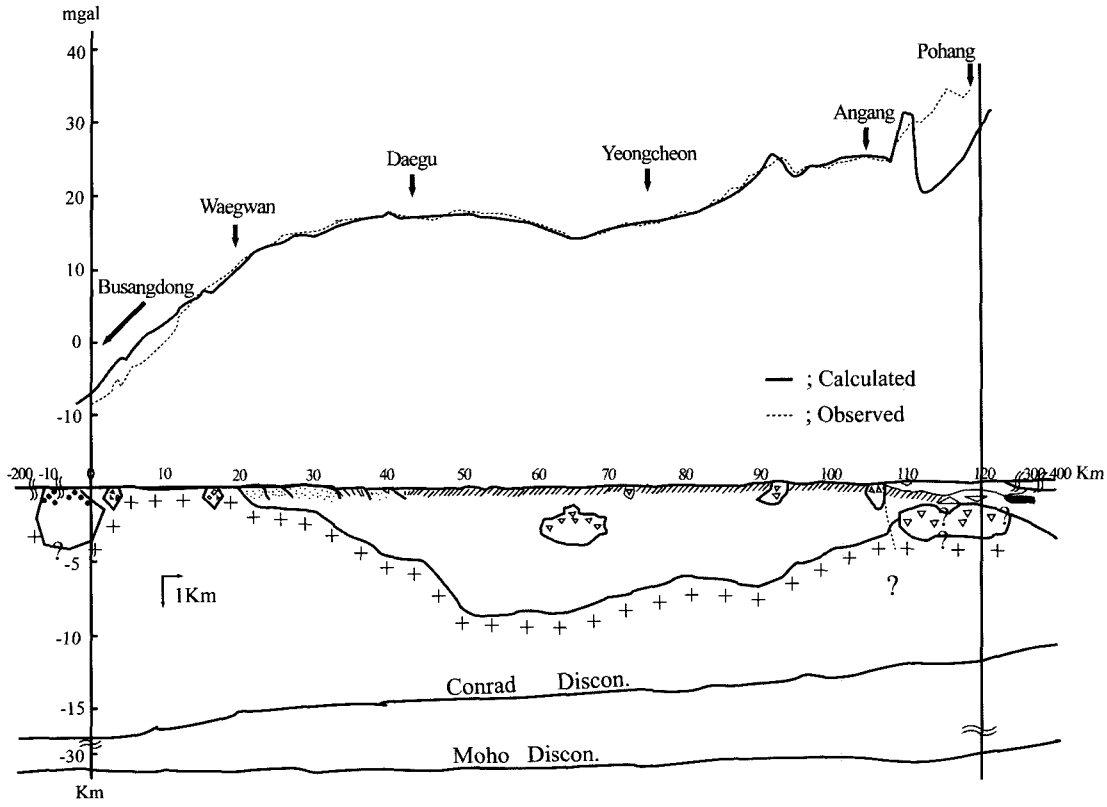


**Fig. 3.** E-W cross-section of the Gyeongsang Basin and profile of calculated gravity values (after Min and Chung, 1985).

조가 시기적으로 먼저 형성된 후 북서 및 서북서 방향의 선구조들이 형성된 것으로 해석되었다(김원균 등, 2000a; 2000b).

## 5. 층서 및 퇴적모델

경상분지 내의 퇴적층은 최초로 Koto (1903)에 의해 경상층으로 명명되었다. 이후 Koto (1909)는 경상층의 암상이 하부에는 쇄설성이, 상부에는 화산성이 우세한 점을 들어 경상층을 하부경상층 및 상부경상층으로 구분하였다.

Tateiwa (1929)는 왜관-대구-영천-경주 지역에 대한 정밀 도폭(1:50,000)을 작성하면서 경상분지의 퇴적층을 하부의 낙동통, 상부의 신라통으로 구분하고 암상을 기준으로 낙동통을 하부로부터 낙동층, 하산동층, 진주층 및 칠곡층으로, 신라통을 신라역암층, 학봉빈암층, 대구층, 채약산빈암층, 건천리층 및 주사산빈암층으로 세분하였다. 아울러 백악기 말에 이들을 관입한 화강암류와 반심성암류를 불국사통으로 명명하였다.

1970년대에 들어와 분지 전반에 걸쳐 체계적인 층서 연구가 수행되면서 경상분지 전반에 걸쳐 적용될 수 있는 암층서가 Chang (1975)에 의해 새롭게 제안되었다(Fig. 4). Chang (1975)은 경상분지 내 퇴적층을 화산활동 및 심성활동과 연관시켜 선화산활동 퇴적기, 화산활동 동시성 퇴적기, 화산활동 절정기로 나누어 각 시기에 해당되는 암석단위층을 하부로부터 신동층군, 하양층군, 유천층군으로 구분하고 이들을 묶어 경상누층군으로 명명하였으며(Fig. 4), 이들을 관입한 모든 화강암류를 불국사화강암으로 통칭하였다. 아울러, Chang (1975)은 암상을 기준으로 하부의 신동층군을 역암 및 사암이 우세한 낙동층, 사암이 우세한 하산동층, 흑색 세일이 우세한 진주층으로, 이를 정합으로 피복하는 하양층군을 사암이 우세한 칠곡층, 역암이 우세한 신라역암층, 사암이 우세한 함안층 및 흑색 세일이 우세한 진동층으로 세분하였다(Fig. 4). 하양층군을 부정합으로 피복하는 유천층군은 화산암 및 화산쇄설성 퇴적암으로 구성되며, 대체적으로 하부는 안산암질이 우세하고 상부로 갈수록 산성질 화산암류가 우세하다. 또한,

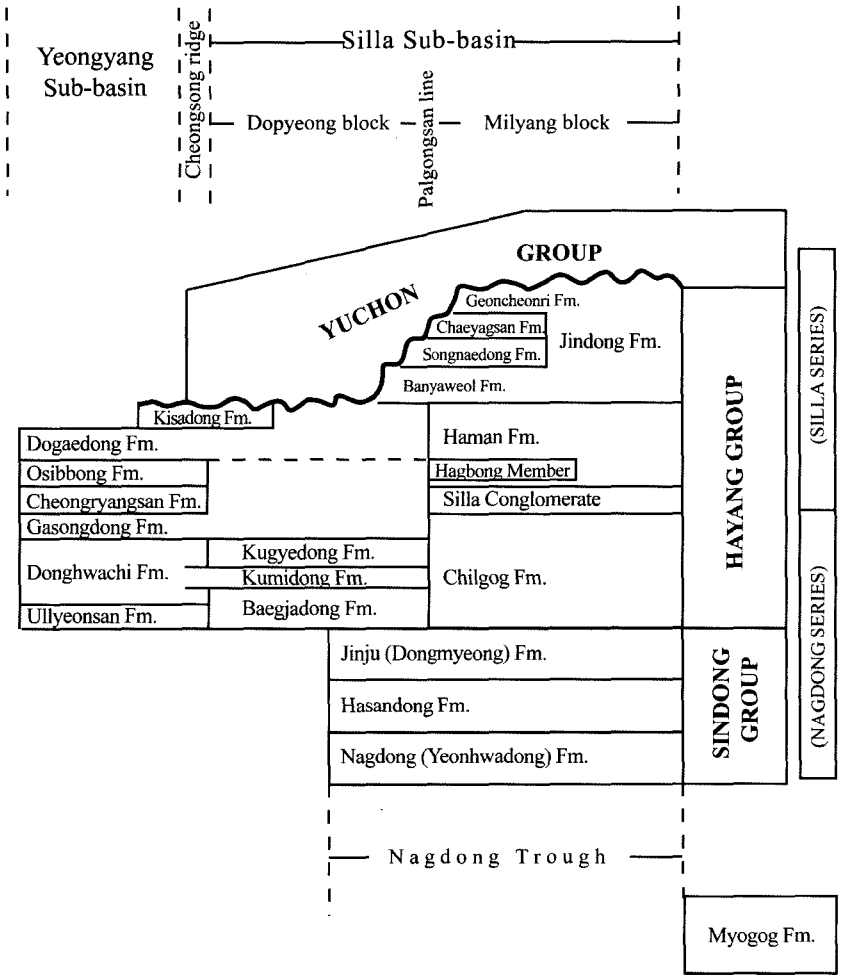


**Fig. 4.** Lateral relationships of the lithostratigraphic units of the Gyeongsang Supergroup in the basin (after Chang, 1975).

Chang (1975)은 경상분지 내 지역에 따른 층서적 상이성이 인지됨에 따라 각 지괴별로 세분화된 층서를 제안하였으며, 분지 남부의 밀양블럭과 북부의 도평블럭에는 신동층군, 하양층군, 유천층군이 분포하는 반면, 분지의 북동부인 영양소분지에는 신동층군을 결한 채로 하양층군과 유천층군만이 분포하는 것으로부터 퇴적분지가 형성될 때 각 지괴별로 차별적 침강이 있었을 것으로 유추하였다(Chang, 1975) (Fig. 4).

한편, 경상분지 내에 분포하는 퇴적층 중 경상누층군에 의해 부정합으로 피복되는 퇴적층인 묘곡층이 이하영(1965)에 의해 최초로 기재되었다. 묘곡층은 경상분지 영양지역 최북단에 소규모로 분포하며, 경상누층군에 비해 복잡한 습곡구조와 독특한 화석군을 가지므로 경상누층군 이전의 퇴적층으로 해석되었다(Cheong and Lee, 1966).

경상분지 내 퇴적층에 대한 퇴적모델은 Choi (1986)에 의해 연구되었다. Choi (1986)는 분지의 서쪽 및 북쪽의 경계 단층을 따라 침강되는 기반암 위에 장석질 사암을 주로 하는 퇴적물들이 남동쪽으로 운반되어 형성된 충적 선상지 퇴적체가 공간적으로 하류로 갈수록 충적 평야를 지나 분지 중심부의 호소성 환경으로 전이되며, 시간적으로도 분지 중심부 호소성 환경의 범위가 기후 변화에 따라 수축 또는 확장되면서 전기 백악기를 통해 퇴적이 진행되었던 것으로 해석하였다(Fig. 5). 아울러 후기 백악기에 걸쳐 일어났던 단속적인 화산활동은 지역적으로 화산쇄설암류의 퇴적과 함께 화산암류 및 심성암류들의 분출 및 관입이 병행되었다.

최근에 Jo (2003)는 의성 지역 북서부에 분포하는

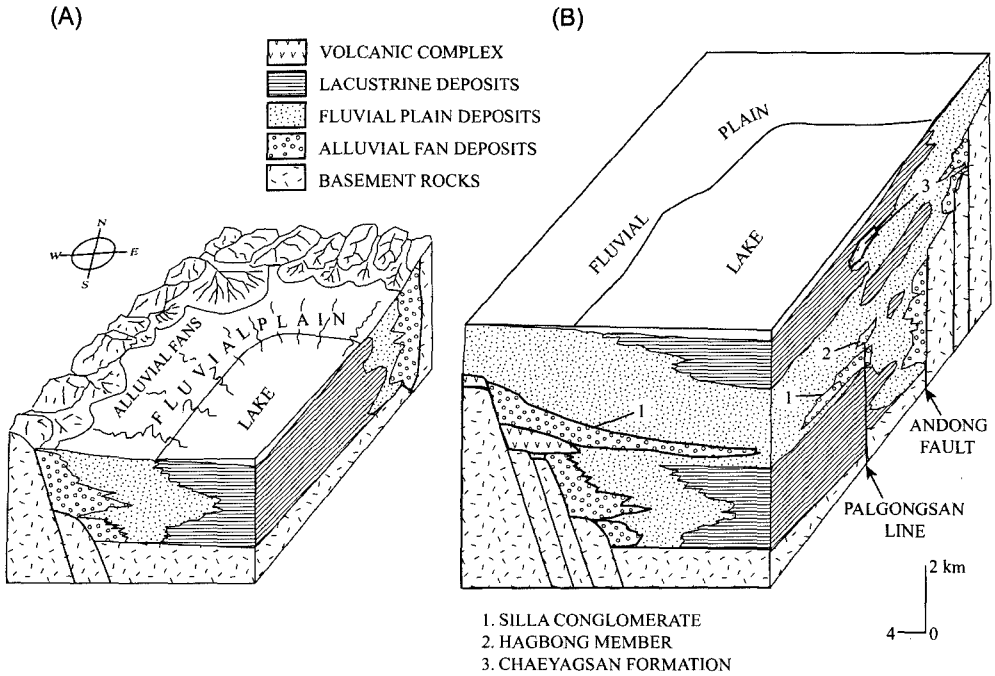


**Fig. 5.** Reconstruction of depositional framework of the Gyeongsang Basin. (a) at the end of the Sindong period. (b) at the end of the Hayang period (after Choi, 1986).

신동층군 하부 퇴적층에 대한 퇴적학적 연구를 통해 신동층군의 하부 퇴적층은 상류시스템과 하류시스템으로 구분될 수 있는 하성환경에서 퇴적되었으며, 시간에 따라 상류시스템과 하류시스템의 반복이 수직층서를 기록한다고 해석하였다(Fig. 6). 이러한 상류시스템과 하류시스템의 수직층서 상에서의 반복은 분지의 침강률에 따라 지배되며, 빠른 침강이 일어났을 때에는 퇴적가능 공간이 증가하기 때문에 하류시스템이 분지 경계를 향해 확장되는 경향이 있고, 느린 침강이 일어났을 때에는 퇴적률이 상대적으로 증가하기 때문에 상류시스템이 분지 중심 쪽으로 확장된다고 해석하였다(Jo, 2003). 따라서 경상분지 경계 부근에서 일어난 초기의 퇴적작용은 분지의 침강률에 따라 지배되었던 것으로 판단된다. 그러나 분지 중심으로 갈수록 호소성 환경 하에서 퇴적된 퇴적층들은 분지의 침강률에 의해 지배되기 보다는 기후 변화에 지배되었을 가능성이 있다.

## 6. 지질연대

경상분지 내 퇴적층들에 대한 지질연대는 퇴적층 내에서 산출되는 고생물들에 의해 연구되었다. 경상누층군에 의해 부정합으로 피복되는 묘곡층의 지질시대는 연체동물 화석군에 의해 후기 쥬라기(Yang, 1984)로, 포자화분 화석에 의해 전기 백악기(Yi and Chun, 1993)로 해석되었다. 한편, Yabe (1905)는 경상누층군의 기저부에 해당되는 신동층군으로부터 산출되는 식물화석을 통해 경상누층군 하부의 지질시대를 후기 쥬라기에 해당된다고 해석하였으며, Tateiwa (1929)는 낙동층과 하산동층에서 산출된 연체동물과 식물화석을 통해 경상누층군 하부의 지질시대는 대체적으로 후기 쥬라기 또는 전기 백악기에 해당된다고 해석하였다. 그러나 Kobayashi and Suzuki (1936)는 낙동층에서 산출되는 비해성 부족류와 복족류를 기준으로 낙동층의 지질시대를 전기 백악기인 Neocomian에 해당되는 것으로 해석하였으며, 이후 윤조류의 산출을 기준으로 서승조(1985)는 Valanginian-Hauterivian으로, Choi (1987)는 Barrreminan으로 제안하였다. 한편 양승영(1976)은 신동층군에서 산출되는 비해성 부족류 화석을 통해 신동층군의 지질시대를 전기 백악기의 Albian-Aptian에 해당된다고 제안하였다. 또한 Choi (1985, 1989)는 신동층군의 진주층 및 하양층군의 건천리층으로부터 산출되는 포자화분 화석을 통해 신동층군 및 하양층군의 지질시대를 전기 백악기에 해당된다고 해석하였다. 따라서 그동안의 고생물 연구는 대체적으로 묘곡층은 후기

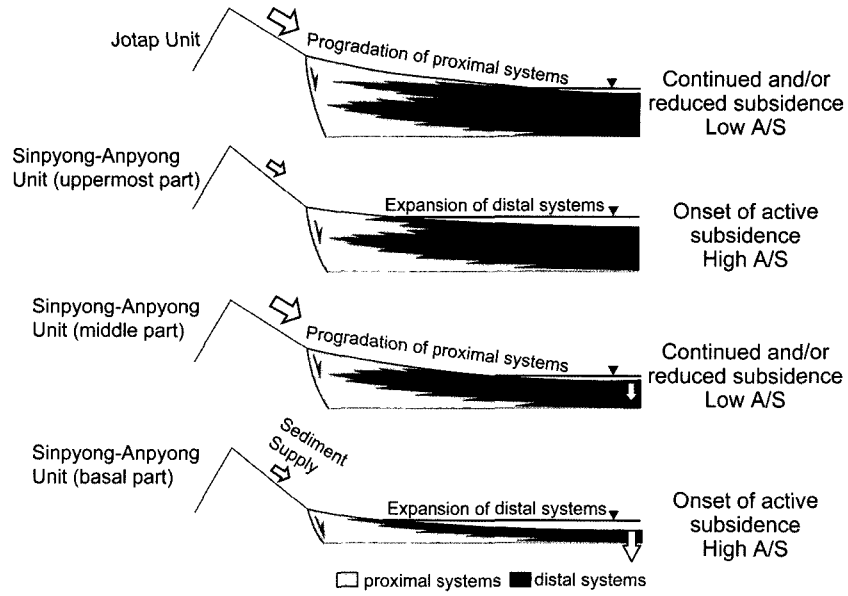


**Fig. 6.** Simplified model for evolution of non-marine depositional systems in response to repeated basin subsidence during the early Sindong time (after Jo, 2003).

쥬라기 및 전기 백악기에 걸쳐, 신동층군 및 하양층군은 전기 백악기 동안에 퇴적되었음을 지시한다. 근래에 들어와 Chang *et al.* (1999)은 북한을 포함하여 한반도 내에 분포하는 상부 중생대 퇴적층들의 층서를 종합하면서 경상분지의 퇴적층을 부정합에 의해 상하부가 경계 되는 3개의 단위층으로 구분하였으며, 최하부의 묘곡층을 Tithonian으로부터 Berriasian 사이에 퇴적된 후기 쥬라기-전기 백악기 단위층으로, 신동층군과 하양층군을 Hauterivian으로부터 Albian 중기에 걸쳐 퇴적된 전기 백악기 단위층으로, 상부의 유천층군을 Albian 중기부터 후기 백악기 포함하여 팔레오세 초기까지에 걸쳐 퇴적된 단위층으로 설정하였다 (Fig. 7).

그러나 아직까지 경상누층군 최하부의 지질시대 및 각 암층서 단위층들의 정확한 지질시대는 규명되지 못하고 있으며, 이러한 문제점을 해결하기 위해 퇴적층들에 대한 절대연령 측정이 부분적으로 수행되었다. 장기홍 등(1998)은 하양층군의 함안층과 진동층의 경계에 해당되는 구산동응회암층에서 분리해 낸 저콘에 대한 CHIME 연대측정 결과로 구산동응회암층의 지질연대를 113.6±10 Ma로 보고하였으며, 이로부터 함안층의 지질시대를 Aptian 후기로, 진동층의 지질시대를 Albian 초기로 해석하였다(Fig. 7). 그러나 최근에 좌용주 등(2004)은 구산동응회암층으로부터 분리해 낸 저콘에 대해 LA-ICP-MS (Laser Ablation ICP-MS)로 분석한 결과 96±2 Ma와 97±3 Ma의 U-Pb 연대를 구하였다. 아울러, 좌용주 등(2004)은 구산동응회암층에서 분리한 저콘 중 96±2 Ma와 97±3 Ma 연대를 갖는 저콘과는 형태가 다른 저콘으로부터 107±4 Ma의 결과를 구하였으며, 이는 장기홍 등(1998)의 결과인 113.6±10 Ma의 연대와 오차범위 내에서 일치하는 값이다. 한편, 김찬수 등(2005)은 함안층 하부의 신라역암층 내에 포함되어 있는 화산암 역의 각섬석으로부터 113.4±2.4 Ma와 113.6±4.7 Ma에 해당되는 Ar/Ar 연대를 구하였다. 이러한 연대는 신라역암층 내에 역으로 포함되어 있는 화산암편들의 생성시기를 나타내는 것으로 판단된다. 따라서 좌용주 등(2004)에 의한 구산동응회암층의 96±2 Ma 및 97±3 Ma의 U-Pb 연대는 구산동응회암층의 분출시기를, 장기홍 등(1998)에 의한 113.6±10 Ma의 연대는 구산동응회암층 분출시에 포획되었던 기존의 화산암의 지질연대로 판단된다. 따라서 신라역암층과 함안층은 Albian 초기인 112 Ma로부터 퇴적이 시작되어 Cenomanian 중기인 97~96 Ma 즈음에 퇴적이 종료되었던 것으로 판단된다. 한편, 김찬수 등(2005)은 기 발표된 절대연령 자료들을 종합하여 하양층군 최상부층인 진동층의 퇴적 시기를 구산동응회암층 퇴적 이후, Cenomanian 중기인 97~96 Ma로부터 Campanian 초기인 82~80 Ma까지로

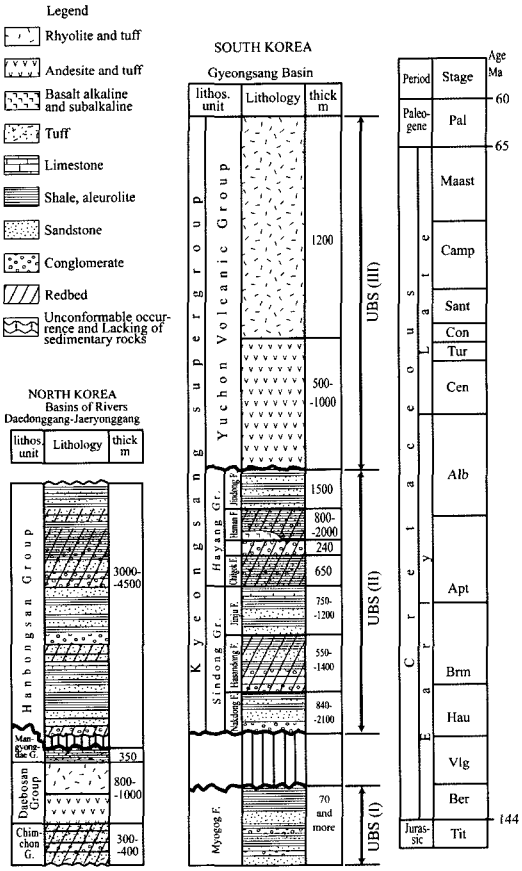


**Fig. 7.** Highly simplified geologic columnar sections representative of the Cretaceous basins in northern and southern parts of the Korean Peninsula (modified after Chang *et al.*, 1999). Note the Cretaceous succession in the Gyeongsang Basin can be subdivided into three unconformity-bounded strata (UBS) that include the Myogog Formation (UBS I), the Sindong and Hayang groups (UBS II), and the overlying Yuchon Group (UBS III).

보았으며, 따라서 하양층군과 유천층군의 경계시기를 약 81~80 Ma 정도로 제안하였다. 그러나 유천층군 하부에 나타나는 부정합은 아마도 시간에 따라 지역적으로 점이적인 시간 차이를 보이는 부정합으로 해석되기 때문에(Chang, 1975), 하양층군과 유천층군의 경계시기를 81~80 Ma로 보는 것은 분지의 전 지역이 아닌 일부 지역에만 적용될 수 있는 경계시기로 판단된다.

하양층군을 부정합으로 피복하는 유천층군 및 경상누층군을 관입하는 불국사화강암에 대한 지질연대 측정은 체계적이기 보다는 지역에 따라 산발적으로 수행되었다. 신성천과 진명식(1995a, b)은 경상분지 내 화산암과 심성암에 대해 기 발간된 지질연대 측정치들을 검토하여 실험방법 및 자료의 신뢰도를 바탕으로 이들의 지질연대 자료를 선별하여 종합하였다. 신성천과 진명식(1995a, b)에 의해 선별된 유천층군 및 불국사화강암에 대한 지질연대 자료를 시간 축에 따라 수직적으로 도시해 보면 115~100 Ma와 90~55 Ma의 두 집단으로 구분된다(Fig. 8). 대체적으로 115~100 Ma에 속하는 집단은 연속적이기 보다는 간헐적인 분포를 보이는 반면, 90~55 Ma에 속하는 집단은 비교적 연속적인 수직분포를 보인다. 따라서 115~100 Ma에 속하는 집단은 본격적인 화산활동 절정기에 앞서서 화산활동 동시성 퇴적기인 하양층군의 퇴적시기에 지역적으로 병행되었던 화산활동 및 심성활동의 결과로 해석되며, 90~55 Ma에 속하는 집단은 화산활동 절정기인 유천층군 시기에 전 분지에 걸쳐 일어났던 화산활동 및 심성활동의 결과로 판단된다. 그러나 아직까지 100~90 Ma 사이에 해당되는 심성암 연대가, 100~80 Ma 사이에 해당되는 화산암 연대가 경상분지 내에서 보고되지 않고 있으며, 90 Ma 이후 전 분지에 걸쳐 연속적인 화성활동이 있었음에도 불구하고 약 10 Ma를 단위로 80 Ma, 70 Ma 및 60 Ma를 전후하는 3번의 화성활동의 상대적 비활동기 또는 휴지기가 인지된다(Fig. 8).

## 7. 구조지질

경상분지에 대한 구조지질학적 연구는 주로 경상분지 내 퇴적층을 절단하는 단층 및 절리와 같은 취성변형 요소들의 통계 처리와 함께 기하학적 해석을 바탕으로 시간에 따른 고응력장 변화를 복원하는 수준에서 수행되었다(황재하, 1994; 이병주와 황재하, 1997; Choi *et al.*, 2002). 상기와 같은 연구들이 독립적으로 수행되었지만 그 결과들을 종합하면 경상분지 형성 이후, 백악기와 신생대 초기에 걸쳐 일어났던 분지변형 구조운동에 대한 체계적인 정보가 도출된다.

황재하(1994)는 경상분지 내 전 지역에 걸쳐 약 150여 지점으로부터 총 7,000여 개의 취성변형 요소들을 수집하였으며, 고응력 탠서 해석법을 이용하여 경상분지에 적용되었던 고응력장을 복원하였다. 황재하(1994)의 연구는 대체로 경상분지가 백악기로부터 신생대에 걸쳐 4회의 신장응력과 3회의 압축응력을 경험하였으며, 1) 남-북 방향의 신장응력, 2) 동-서 방향의 신장응력, 3) 남-북 방향의 압축응력, 4) 북동-남서 방

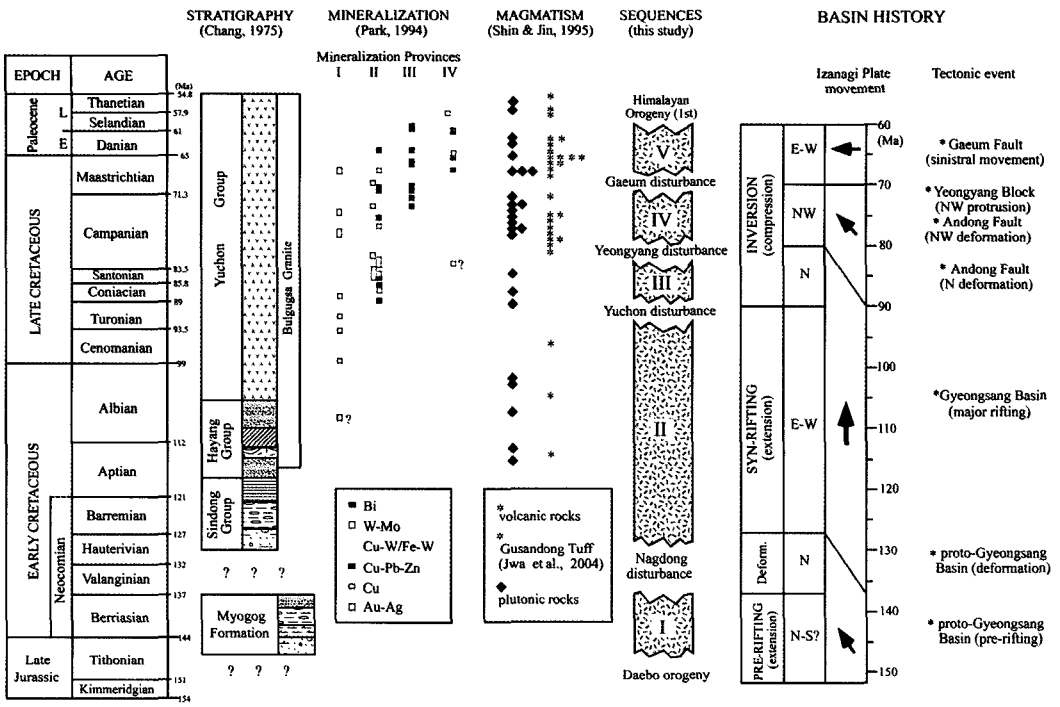


**Fig. 8.** A newly proposed stratigraphic framework of the Gyeongsang Basin. Five distinct stratigraphic units are recognized in the basin, which represent pre-rifting, syn-rifting, inversion I, II, and III stages.

향의 신장응력, 5) 서북서-동남동 방향의 압축응력, 6) 북동-남서 방향의 압축응력, 7) 북서-남동 방향의 신장응력의 순으로 고응력장이 변화되었음을 규명하였다. 아울러 이러한 고응력장 중, 네 번째인 북동-남서 방향의 신장응력은 백악기 말에서 신생대 초기에 걸쳐 경상분지의 변형을 지배하였으며, 이를 기준으로 백악기 동안에 경상분지는 최소 3회의 신장응력과 최소 1회의 압축응력을 경험하였다고 하였다. 이후 이병주와 황재하(1997)는 경상분지 북서부 의성 지역을 중심으로 고응력장의 변화를 정밀 분석하면서, 경상분지는 1) 백악기 말에 남북 방향의 압축력에 의한 동서 방향의 습곡축을 가지는 개방형 습곡의 형성, 2) 백악기 말과 신생대 초에 동서 방향의 압축력에 의한 서북서 방향의 가음단층계 및 남북 방향의 습곡축을 가지는 개방형 습곡의 형성, 3) 신생대 동안에 북동-남서 방향의 압축력에 의해 북북동 방향의 양산단층의 형성이라는 3단계의 변형이 일어났음을 제안하였다.

이병주와 황재하(1997)의 연구에 이어 Choi *et al.* (2002)은 의성 지역북쪽에 경상분지 퇴적층과 쥬라기 심성암체인 안동저반과의 경계부에 나타나는 안동단층계의 변형사를 연구하였다. 안동단층계는 상주로부터 안동과 임하를 거쳐 청송까지 약 70 km에 걸쳐 발달하는 동북동-동서-서북서 주향의 충상단층으로 북서 방향으로 발달하는 tear 단층들에 의해 5개의 분절(서쪽으로부터 묵하분절, 지보분절, 풍산분절, 안동분절, 임하분절)로 나누어지며, 동북동 주향으로 발달하는 묵하 및 지보분절에서는 좌수향으로의 변형이, 동서 주향으로 발달하는 풍산 및 안동분절에서는 우수향 및 충상단층으로의 변형이, 서북서 주향으로 발달하는 임하분절에서는 우수향으로의 변형이 우세하였음을 입증하였다(Choi *et al.*, 2002) (Fig. 9). 아울러 안동단층계가 분지형성기인 전기 백악기 동안에는 1) 동-서 방향의 인장력에 의해 일종의 transfer 단층으로 발달하였으나, 이후 후기 백악기 말인 Campanian으로부터 팔레오세 말에 걸쳐 일어난 2) 북서-남동 방향의 압축력에 의해 충상단층으로 전이되었던 것으로 해석하였다(Choi *et al.*, 2002) (Fig. 9).

이와 같은 경상분지 내 퇴적층을 절단하는 단층 및 절리와 같은 취성변형 요소들을 바탕으로 수행된 분지변형 구조운동에 대한 연구는 근래에 들어와 분지의 외연으로까지 확장되었으며, 영양 지역의 북쪽 경계에 분포하는 봉화-울진 지역의 시원생대 및 고생대 변성

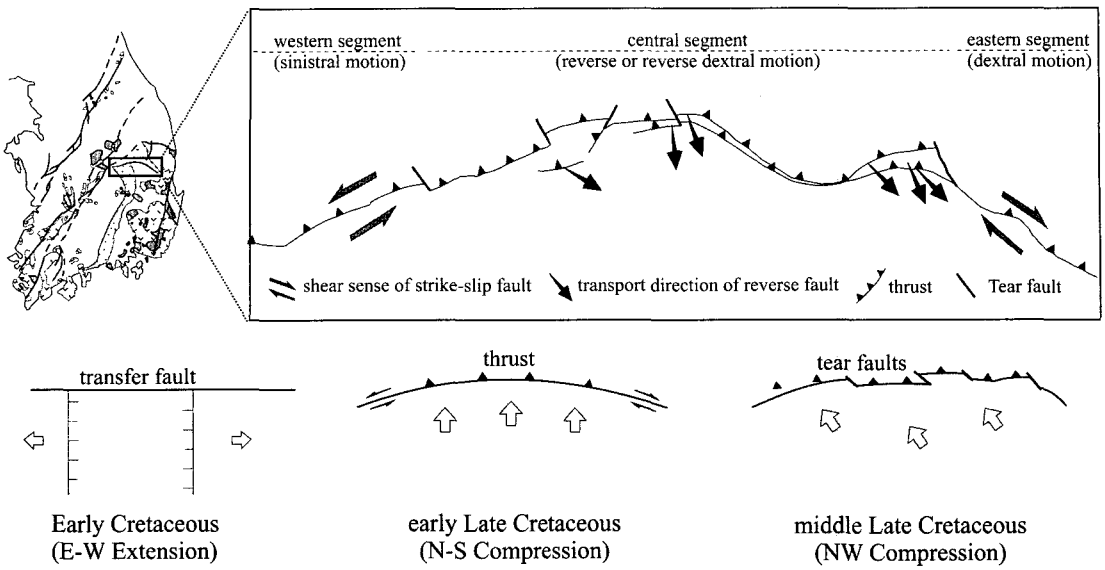


**Fig. 9.** (a) Geometry and slip vectors of the Andong fault system (northern boundary of the Euiseong block) (modified after Choi *et al.*, 2002). (b) Schematic diagrams of the evolution of the Andong fault system: a transfer fault during the opening of the Gyeongsang Basin (Early Cretaceous); the thrust formed by N-S compressional stress regime (early Late Cretaceous); and tear faults in NW-SE compressional stress regime (middle Late Cretaceous).

암류의 변형사에 대한 연구로 확대되었다. 강지훈 등 (2004)은 봉화-울진 지역에 분포하는 시원생대 및 고생대 변성퇴적암류에 대한 연구를 통해 경상분지 북동부에 해당되는 봉화-울진 지역은 1) 동-서 방향의 준 수평적인 습곡축과 북쪽으로 고각 경사하는 습곡축면을 갖는 등사습곡 형성기, 2) 우수향의 연성전단운동에 의한 동-서 방향의 신장선구조 형성기, 3) 동-서 방향의 준 수평적인 습곡축과 저각 경사하는 습곡축면을 갖는 횡와습곡 형성기, 4) 북북서-남남동 방향의 압축력에 의한 동북동-서남서 방향의 준 수평적인 습곡축을 갖는 대칭 개방 직립습곡 및 비대칭 공역성 킹크습곡과 공역성 충상단층 형성기 등 4단계의 변형이 중첩되어 있음을 규명하였다. 아울러 4단계의 변형 중 마지막 단계인 북북서-남남동 방향의 압축력에 의한 변형은 경상분지의 형성 및 발달과 관련된 지구조운동의 영향에 의한 것으로 추정하였으며, 북북서-남남동 방향의 압축변형에 의해 이전 단계에 형성되었던 구조 요소들은 남북 방향으로 재배열되었던 것으로 해석하였다(강지훈 등, 2004).

## 8. 광화작용

경상분지 내에는 후기 백악기 화성활동과 연관되어 형성된 비철금속 및 귀금속 광상이 분포하고 있으며 (Jin *et al.*, 1982), 열수광맥형 광상 이외에 스카른형, 열수교대형, 각력파이프형, 반암형 등 다양한 유형의 광상이 퇴적암, 화산암 및 화강암 등을 모암으로 하여 부존되어 있다. 그동안 경상분지 내에서 수행되었던 광화작용에 대한 연구는 각각의 광상별로 광화시기 및 광화작용의 특성 등을 밝히는 연구가 주를 이루었으나, 근래에 들어와서 분지 내에 분포하는 광상들의 성인과 광종에 따른 공간적 변화를 규명하려는 종합적 연구가 수행되었다(박희인, 1994; Koh *et al.*, 2002).

박희인(1994)은 경상분지 내에 분포하는 광상 중 46개의 주요 금속광상들에 대한 광종 및 위치, 광화시기에 대한 자료들을 종합하였으며, 98-51 Ma에 걸쳐 나타나는 분지 내 광상들의 광화시기가 서쪽으로부터 동쪽으로 갈수록 젊어지는 경향을 보인다고 하였다. 아울러 광종에 따른 분포도 북서쪽에서 동남쪽으로 가면서 Au-Ag-(Pb-Zn)대, Cu-(Pb-Zn)대, Fe (혹은 W, Mo)대의 순으로 분포하며, 이러한 분지 내 광화작용의 시공간적 변이는 백악기 말-고제3기 동안에 쿠라판과 태평양판의 경계인 해령의 섭입에 따라 관계 화성암체인 불국사화강암의 시공간적 변화에 의한 것으로 해석하였다(박희인, 1994).

이후 Koh *et al.* (2002)은 금속 및 비금속 광상들을 포함하여 경상분지 내 광화작용에 대한 종합 연구를 수행하였으며, 분지 내에서 5개의 금속 광상구(합천-고

령-성주, 마산-고성, 의성, 봉화, 영양-영덕) 및 2개의 비금속 광상구(밀양-청도, 양산)를 설정하였다. 또한 7개의 광상구를 100-80 Ma, 80-60 Ma, 60-40 Ma 등 3개의 광화시기로 구분하였으며, 100-80 Ma 동안에는 분지의 서쪽부에, 80-60 Ma 동안에는 분지 중앙부에, 60-40 Ma 동안에는 분지의 동쪽부에 광화작용이 집중되어 일어났던 것으로 추정하였다(Koh *et al.*, 2002). 이러한 경상분지 내에서 일어났던 광화작용의 시공간적 변이는 후기 백악기와 제3기 초 동안에 일어났던 쿠라판과 태평양판의 섭입에 따른 결과로 해석하였다(Koh *et al.*, 2002).

최근에 이상렬 등(2003)은 광화시기를 달리하는 경상분지 남부 함안-군북 지역의 광상들과 경상분지 북부 의성 지역에 분포하는 광상들의 성인적 특성을 정밀 비교하면서 분지 내 광화작용의 시공간적 다양성에 대한 새로운 해석을 제시하였다. 89-81 Ma 동안에 생성된 함안-군북 지역의 광상들의 열수계는 광화초기 마그마수의 영역에 해당하는 고염도의 고온성 광화유체의 특성을 보이고 있으며, 광화후기에는 점차 천수의 유입량 증가에 의한 희석과 혼합양상이 나타난다고 하였다(이상렬 등, 2003). 반면에 의성 지역 광상들의 광화시기는 70-65 Ma에 집중되어 있으며, 이와 관련된 열수계는 마그마수의 기여도가 극히 미약한 저염도, 중·저온성 광화유체에서 형성된 특징을 보인다고 하였다(이상렬 등, 2003). 따라서 경상분지 내 광화작용의 성인은 함안-군북 지역의 광상과 같은 천부 관입 화강암체와 관련된 근지성 환경의 광화대와 의성 지역의 광상과 같은 화산활동이 우세한 원지성 환경의 다금속 광화작용으로 구분할 수 있으며, 이러한 광화작용의 차이는 광화시기를 달리하는 관계화성암의 차이에 기인하는 것으로 해석하였다(이상렬 등, 2003).

## 9. 고지자기학

퇴적층에 대한 고지자기 연구는 지질구조 해석 및 퇴적시기 결정 등에 있어서 매우 중요한 정보를 제공한다. 그동안 경상분지 내에 분포하는 백악기 퇴적층에 대한 고지자기 연구도 이러한 목적을 위해 수행되었다.

도성재 등(1994)은 밀양 지역에 분포하는 경상누층군에 대한 고지자기 특성 연구를 통하여 신동층군과 하양층군은 모두 정자극기의 방향을 기록하고 있음을 인지하였으며, 약 5,000 m 이상의 누적 두께와 두 층군 사이에 부정합과 같은 대규모의 시간적 간극이 없음을 감안하여 신동층군과 하양층군의 퇴적 시기는 백악기 정자극 슈퍼크론에 대비되는 Albian 초기로부터 Santonian 사이에 해당될 수 있다고 해석하였다. 아울러 석동우와 도성재(1996) 및 도성재 등(1999)에 의해 수행된 의성 지역 및 영양 지역에 분포하는 하양층군의 고지자기 특성도 모두 정자극기를 기록하고 있기 때문에 경상분지 내에 분포하는 하양층군의 퇴적도 백악기 정자극 슈퍼크론에 대비되는 Albian 초기로부터 Santonian 사이에 일어났던 것으로 추정하였다. 이러한 고지자기 특성에 따른 신동층군 퇴적시기의 추정은 양승영(1976)에 의해 신동층군에서 산출되는 비해성 부족류 화석을 통해 신동층군의 지질시대가 전기 백악기의 Albian-Aptian에 해당된다는 해석과 합치한다.

한편, 도성재 등(1994) 및 석동우와 도성재(1996)는 경상분지 내의 밀양, 의성 및 영양 지역에 공히 분포하는 하양층군으로부터 퇴적 당시의 1차 잔류자화의 방향으로부터 각 지역별 고지자기극의 위치를 구하였다. 밀양 지역에서 구한 하양층군 퇴적 당시의 고지자기극의 위치는 66.4°N, 204.1°E이며(도성재 등, 1994), 의성 지역에서 구한 하양층군 퇴적 당시의 고지자기극의 위치는 66.1°N, 204.1°E(석동우와 도성재, 1996)로 나타난다. 이러한 밀양 지역과 의성 지역에 분포하는 하양층군으로부터 구한 극의 위치는 통계학적으로 동일한 극의 위치를 기록하고 있으며, 이는 두 지역간에는 하양층군 퇴적 이후에 상대적으로 구조적 이동이 없었음을 시사한다. 그러나 도성재 등(1999)은 영양 지역에 분포하는 하양층군으로부터 구한 고지자기극의 위치는 85.5°N, 217.4°E로, 밀양 및 의성 지역에서 구한 하양층군 고지자기극의 위치와 차이가 있음을 인지하였다. 이러한 고지자기극의 위치에 대한 자료(김인수 등, 1993; 도성재 등, 1994; 도성재와 김광호, 1994; 석동우와 도성재, 1996; 도성재 등, 1999)들을 통합하여 분석한 결과, 밀양 지역의 고지자기극을 기준으로 의성 지역의 고지자기극은 약 6.7° 정도, 영양 지역은 약 29.1° 정도 반시계 방향으로 회전되었음이 인지된다(Fig. 10). 이러한 지역간 고지자기극의 상대적 위치 차이에 대해 도성재 등(1999)도 영양 지역이 밀양 및 의성 지역에 비해 반시계 방향으로 약 25° 정도 회전되었을 가능성을 제기하였으나, 상대적 회전을 일으킨 구조운동에 대한 명확한 해석을 제시하지는 못하였다.

## 10. 토론: 경상분지의 형성과 변형

앞에서 논의된 자료들을 종합해 보면 대체적으로 경

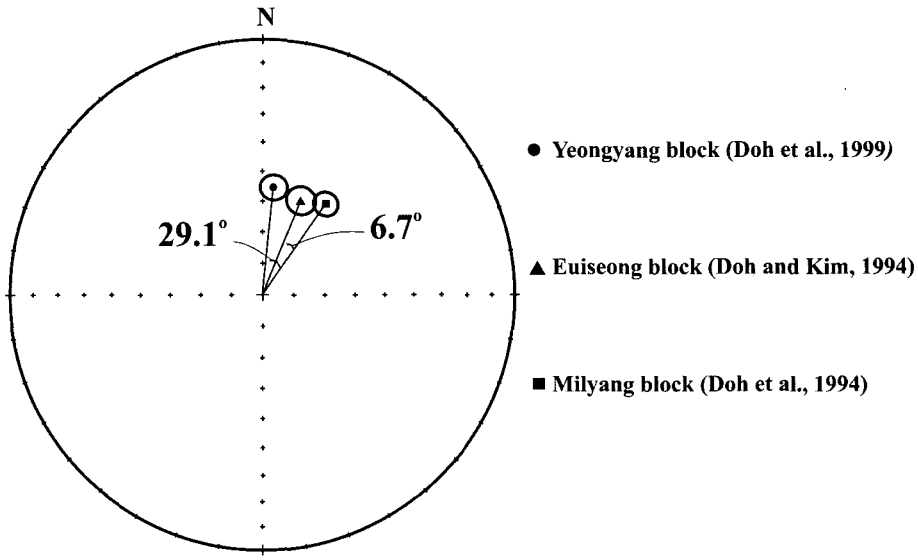


**Fig. 10.** Comparison of the Early Cretaceous paleomagnetic poles from the three blocks in the Gyeongsang Basin.

상분지는 쥬라기 말에 소규모 분지로 발달하기 시작하여 전기 백악기 동안에 본격적인 대규모 분지로 확장되었으며, 후기 백악기로 들어오면서 점차 화성활동과 광화작용이 집중되었던 것으로 해석된다. Chun and Chough (1992)는 경상분지 형성에 관한 지체구조운동 모델을 분지 발달 초기인 전기 백악기 동안에는 고태평양판의 일부인 이자나기판이 북쪽으로 이동되면서 북동-남서 방향으로 발달되어 있는 섭입대 밑으로 사각 섭입에 따라 여러 조의 주향이동단층(예; 공주 및 광주 단층계)들이 한반도 동남부에 발달되었으며, 이들의 좌수향 이동에 의해 동서 방향의 인장력이 발생하여 형성되었던 것으로 해석된다. 이후, 후기 백악기에 들어와 이자나기판의 이동 방향이 북에서 북서 방향으로 전환되면서 경상분지는 압축성 구조운동을 받게 됨에 따라 점차 변형되었으며, 아울러 이자나기판의 섭입 양태가 사각 섭입으로부터 직각 섭입으로 전이되면서 점차 화성활동이 활발해지고 그 결과로 분지 내 광화작용이 활성화되었을 것으로 판단된다.

이러한 경상분지에 대해 일반적으로 알려진 지체구조운동 발달 모델은 경상분지가 백악기 동안 동서 방향의 인장력에 의해 북동 방향으로 발달하는 마름모 형태를 보이는 하나의 인장형 분지로 발달되었음을 시사한다. 그러나 경상분지의 2차원적 분지 형태는 남부의 밀양 지역, 북서부의 의성 지역 및 북동부의 영양 지역 등 지역에 따라 차이가 인정된다(Fig. 1). 특히, 남부의 밀양 지역에서는 분지형성 시기의 형태인 북동 방향의 마름모 형태를 보이나, 북서부의 의성 지역 및 북동부의 영양 지역은 분지형성 시기의 형태와는 많은 차이를 보인다. 이러한 지역에 따른 분지 형태의 차이를 Chang (1975)은 경상분지가 분지형성 시기에 하나의 퇴적분지로 형성되기 보다는 지역에 따라 각기 다른 소분지로 발달되었을 것으로 추정하였다(Fig. 1). 아울러 분지형성 시기에 각 지괴의 차별적 침강이 있어 각 소분지에 따라 다른 퇴적작용이 일어났으며, 이에 따라 각 소분지별 층서적 차이를 보인다고 하였다 (Figs. 2, 4). 이와 같은 Chang (1975)의 추론이 맞는다면 각 소분지 별 각기 다른 분지형성 구조운동과 이를 지지할 수 있는 광역적 지체구조운동 모델이 제시되어야 한다.

분지 내에서 수행된 중력탐사 결과는 경상분지의 개략적인 심부구조를 보여준다(Fig. 3). 경상분지는 동서 단면을 따라 서쪽에서 동쪽으로 갈수록 기반암의 심도가 급격하게 깊어지며, 마산-창원으로부터 밀양을 통과하여 대구-영천 부근을 지나는 북동 방향을 축으로 최대 심도를 보인 후, 분지의 동쪽 경계인 양산단층에 근접하면서 급격하게 기반암 심도가 얕아지는 것으로 나타난다(Fig. 3). 이러한 중력탐사 자료는 분지형성 시 동-서 방향의 인장력에 의해 분지의 서부와 동부가 정단층에 의해 대칭형으로 급격히 침강하는 인리형 분지의 형태를 반영하는 것으로 해석된다(Fig. 11a).

중력탐사와 함께 경상분지 북서부 의성 지역을 중심으로 수행된 자력탐사는 북동, 북서 및 서북서 등 3가

지 방향의 자력선구조들이 심부에 잘 발달하고 있음을 보여준다(김원균 등, 2000a; 2000b). 의성 지역에서 인지된 자력선구조들의 방향성 중 북동 방향의 자력선구조는 밀양 지역의 2차원적 분지 형태와 비교해 볼 때 대체적으로 분지의 발달 방향과 일치하며, 특히 마산-창원, 밀양, 대구-영천을 지나는 경상분지 내 기반암 최대 심도의 방향성과 일치하는 것으로 보아 북동 방향의 자력선구조는 경상분지의 형성과 관련된 구조운동에 의해 만들어진 선구조로 해석된다(김원균 등, 2000a; 2000b). 한편, 북동 방향의 자력선구조는 북서 및 서북서 방향의 자력선구조들에 의해 절단되는 현상이 인지된다(김원균 등, 2000a; 2000b). 따라서 북서 및 서북서 방향의 자력선구조들은 분지 확장이 종료된 후, 분지 변형과 관련된 구조운동에 의해 형성된 선구조로 해석할 수 있다. 특히, 의성 지역을 중심으로 상주-청송-안강-왜관을 잇는 경상분지 북서부 지역의 2차원적 분지 형태가 밀양 지역과 달리 북서 방향으로 나타나는 것은 의성 지역이라 하더라도 분지 형성기에는 북동 방향으로 발달되었던 마름모 형태의 분지가 분지 변형기로 들어오면서 북서 방향으로의 압축력에 의해 변형된 분지 형태를 반영하는 것으로 해석 할 수 있다. 또한, 서북서 방향의 자력구조선들은 의성 지역에 특징적으로 발달하는 좌수향의 주향이동성 단층들인 가음단층계의 방향성과 일치하는 것과 가음단층계의 단층들이 북서 지역에서 북서 방향으로 달리는 경상분지 서측 경계를 절단하는 것으로 보아 북서 방향으로의 압축에 의한 분지 변형이 일어난 후, 동서 방향으로의 압축력에 의해 분지가 재차 변형되면서 서북서 방향으로 발달하는 가음단층계의 활동과 관련되어 형성된 자력선구조로 해석된다.

한편, 경상분지 내 퇴적층들의 취성변형 요소에 의한 자료들을 종합해 보면 분지발달과 관련하여 백악기와 신생대 초기(팔레오세) 동안에 1) 남-북 방향의 신장응력기, 2) 동-서 방향의 신장응력기, 3) 남-북 방향의 압축응력기, 4) 북서-남동 방향의 압축응력기, 5) 동-서 방향의 압축응력기의 순으로 5 단계의 응력장 변화가 있었음이 인정된다(황재하, 1994; 이병주와 황재하, 1997; Choi *et al.*, 2002). 이러한 5단계의 응력장 변화기 중 1, 2단계에 속하는 신장응력기는 분지형성 구조운동과, 3, 4, 5단계에 속하는 압축응력기는 분지 변형 구조운동과 연관이 있는 것으로 해석된다. 아울러 각 단계에 해당되는 구조층서단위(tectono-stratigraphic unit)가 설정될 수 있으며, 이를 본 연구에서는 하부로부터 단위층 I, II, III, IV, V로 구분하였다(Fig. 8). 각 구조층서단위에 대비되는 암석층서단위로는 단위층 I에는 묘곡층이, 단위층 II에는 신동층군과 하양층군 및 115-100 Ma 동안에 정치되는 불국사화강암이, 단위층 III, IV 및 V에는 유천층군 및 90-55 Ma 동안에 정치되는 불국사화강암이 각기 대비된다(Fig. 8).

경상분지 내의 암석층서단위층들에 대한 정확한 지질연대는 아직까지 정립되지 않고 있다. 따라서 본 연구에서 설정된 구조층서단위에 대한 정확한 지질연대도 정립되지 못하고 있다. 그러나 지금까지의 경상분지 내 지질연대 자료들을 종합하면 잠정적으로 각 단위층에 대한 시간층서는 단위층 I이 Tithonian으로부터 Berriasian까지, 단위층 II가 ?Hauterivian으로부터 ?Turonian까지, 단위층 III, IV, V가 Coniacian으로부터 팔레오세 초 Danian까지로 설정되며, 특히, 단위층 III, IV, V에 대한 시간층서는 대체적으로 80 Ma, 70 Ma, 60 Ma를 전후하는 3번의 화성활동의 상대적 비활동기 또는 휴지기에 의해 90-80 Ma, 80-70 Ma, 70-60 Ma로 세분될 수 있을 것으로 판단된다(Fig. 8).

한편, 박희인(1994)에 의해 종합 정리된 경상분지 내 46개 금속광상들을 이들의 지리적 위치, 광화시기 및 우세 광종 등을 고려하여 구분하면 대체적으로 분지 북서부 거창-성주-칠곡 일대의 광상구(I), 분지 남부 함안-군북 및 남해-고성-창원 일대의 광상구(II), 분지 북부 의성 일대의 광상구(III), 분지 동부의 평해-영덕-울산-양산-부산 일대의 광상구(IV) 등 4개의 광상구로 대별된다(Figs. 1, 8). 각 광상구에 대한 광화시기를 보면 분지 북서부 거창-성주-칠곡 광상구(I)에서는 약 10 Ma 동안의 시간적 간극을 두고 100-90 Ma와 80-70 Ma의 두 단계의 광화작용이, 분지 남부 함안-군북 및 남해-고성-창원 광상구(II)에서는 90-80 Ma 동안에 함안-군북을 중심으로, 80-70 Ma 동안에 남해-고성-창원을 중심으로 광화작용이, 분지 북부 의성 광상구(III)에서는 73-60 Ma 동안에, 분지 동부의 평해-영덕-울산-양산-부산 광상구(IV)에서는 70-60 Ma 동안에 광화작용이 활성화 되었던 것으로 해석된다(Fig. 8). 각 광상구의 광화작용에 관여되었던 관계화성암들은 90-55 Ma 동안에 분지 내에 정치되었던 불국사화강암으로 판단된다. 그러나 거창-성주-칠곡 광상구의 100-90 Ma 동안의 광화작용에 관여된 관계화성암은 아직까지 도출되지 않고 있다(Fig. 8). 각 광상구 별 광화시기의 차이를 분지변형 구조운동과 대비시키면 90 Ma부터 약 10 Ma를 단위시간으로 분대되며, 90-80 Ma 동안의 함안-군북 광상구로부터 80-70 Ma 동안의 남해-고성-창원 광상구를 거쳐 70-60 Ma 동안의 평해-영덕-울산

-양산-부산 광상구로 시공간적 변이가 있었던 것으로 해석된다(Fig. 8). 이외의 70-60 Ma 동안에 일어났던 의성 광상구의 광화작용은 동 시기 동안에 동-서 방향으로 적용되었던 압축력에 의해 서북서 방향으로 발달하는 좌수향의 주향이동단층인 가음단층계를 따라 지역적으로 일어났던 광화작용으로 해석된다. 또한 80-70 Ma 동안에 일어났던 성주-칠곡 일대의 광화작용은 공간적으로 인접한 팔공상화강암체의 관입시기가 75 Ma (김근수 등, 1975) 및 78 Ma (좌용주와 최원희, 2002)로 제한되는 것으로부터 80 Ma에 들어와 이자나기판의 섭입방향이 북서쪽으로 전이된 후, 분지 내에 적용되기 시작한 북서 방향의 압축력에 의해 분지의 북서부 의성 지괴(또는 도평 블럭)가 변형되기 시작하였으며, 이에 따라 의성 지괴와 밀양 지괴(또는 밀양 블록) 사이에 일정한 공간이 발생하고 이를 따라 정치되기 시작한 팔공산화강암체에 기인한 지역적 광화작용으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 단위층 III을 90-80 Ma에 해당되는 Coniacian으로부터 Campanian 초 동안의, 단위층 IV를 80-70 Ma에 해당되는 Campanian으로부터 Maastrichtian 초 동안의, 단위층 V를 70-60 Ma에 해당되는 Maastrichtian 말로부터 Danian 동안의 단위층으로 해석하였다(Fig. 8).

경상분지 발달에 있어 최초의 퇴적층으로 기록되는 묘곡층은 영양 지역 최북단인 재산면 일대에 소규모로 분포한다. 장석질 사암과 흑색 셰일을 포함하는 묘곡층은 대체적으로 서북서 주향을 따라 북경사하며, 북한 지역에 분포하는 쥬라기 말-백악기 초의 퇴적층인 자성계에 대비된다(Fig. 7). 묘곡층은 경상누층군에 의해 부정합으로 피복되며, 쥬라기 대동누층군의 퇴적과 밀접한 관계를 보인다. 남중국과 북중국의 충돌이 완료된 후 트라이아스기 말기와 쥬라기 중기에 걸쳐 퇴적된 대동누층군은 경상분지와 같이 대규모 분지로 광범위하게 발달되기보다는 소규모의 분지로 여러 군데 산재되어 발달하는 특징을 보이며, 대체적으로 호수 환경 하에서 퇴적된 함탄 쇄설성 퇴적물로 충진 된다. 이들의 분포 양상을 보면 충상단층에 의해 규제되어진 소규모 분지(예; 문경 및 단양 탄전)로 나타나거나, 정단층에 의해 규제되어진 소규모 분지(예; 충남 탄전)의 형태를 보인다. 충상단층에 의해 규제된 분지 들은 트라이아스기 및 그 이전의 퇴적층 들을 부정합으로 덮으며, 옥천 습곡대의 연변부에 북동-남서 방향을 따라 발달한다. 따라서 이들은 송림조산운동 시 압축성 구조운동의 영향으로 만들어진 충상단층들에 의해 충돌대 내에 형성된 소규모 분지들로 해석될 수 있다 (Chough *et al.*, 2000). 한편, 정단층에 의해 규제된 소규모 분지들은 시원생대 변성암을 기반암으로 하여 여러 곳에 산재 되어 분포하다. 정단층에 의해 규제된 소규모 분지들은 송림조산운동 이후 깊게 매몰되었던 기반암들이 쥬라기 동안에 지역적으로 빠르게 융기되면서 심부 지각 연성대에서 천부 지각 취성대로 전환될 때 발생하는 신장력에 의해 시원생대 기반암 위에 소규모 열개형 분지들이 형성된 것으로 해석된다(Kim *et al.*, 2000). 최근에 Han *et al.* (2005)은 정단층에 의해 규제되어진 열개형 분지들이 충상단층에 의해 규제된 분지들 보다 시기적으로 이후에 형성되었을 가능성을 시사하였다. 따라서 경상분지 발달 첫 단계에 해당되는 단위층 I은 대보조산운동이 종료될 즈음인 쥬라기 말경에 남-북 방향의 인장력에 의해 지역적으로 정단층에 의해 규제된 소규모 분지들이 형성된 후, Tithoinian으로부터 전기 백악기 초기 Berriasian 동안에 퇴적이 진행되었으며, 전기 백악기의 본격적인 분지 확장 직전에 퇴적된 전열개 단계의 단위층으로 해석된다(Fig. 8).

이후, 전기 백악기에 들어와 이자나기판의 이동 방향이 북쪽을 향하게 되면서 북동-남서 방향으로 발달된 섭입대 밑으로 사각 섭입 함에 따라 한반도 동남부에는 북동-남서 방향의 주향이동단층들이 형성되었으며, 이들이 좌수향으로 이동됨에 따라 동-서 방향의 신장력과 남-북 방향의 압축력이 발생하였다. 따라서 전기 백악기를 통해 경상분지는 북동-남서 방향으로 발달하는 단층을 서쪽 경계로, 동-서 방향으로 발달하는 transfer 단층인 안동단층을 북쪽 경계로 하여 동-서 방향으로 인장되면서 대규모의 인리형 분지로 발달하게 되었다(Fig. 11a). 침강하는 분지 경계를 따라 충적선상지 퇴적체가 퇴적되고 공간적으로 하류로 갈수록 충적 평야를 지나 분지 중심부의 호소성 환경으로 전이되었다(Fig. 5). 결과로 신동층군 및 하양층군의 하성 및 호소성 퇴적층이 분지 내에 퇴적되었으며, 후기 백악기 초인 Turonian까지 분지 확장 및 이에 따른 퇴적작용과 함께 115-100 Ma 동안에 심성활동이 병행되면서 지역적으로 거창-성주-칠곡 광상구와 같은 광화대가 형성되었던 것으로 판단된다. 따라서 단위층 II는 본격적인 분지 확장에 의한 동시열개성 단위층으로 해석된다(Fig. 8).

후기 백악기에 들어와 이자나기판의 섭입 방향은 점차 북에서 북서 방향으로 전환되기 시작하였으며, 동-서 방향으로의 신장력 보다는 남-북 방향으로의 압축력이 분지 내에 우세하게 적용되면서 분지 확장은 종

료되고 남-북 방향으로의 압축력에 의한 분지변형 단계가 시작되었다(Fig. 11b). 아울러 이자나기판의 섭입 양태가 점차 사각에서 직각으로 전이되기 시작하였으며, 결과로 분지 내 심성암체들이 정치되기 시작하였다. 그러나 분지 내 광역적인 화산활동은 일어나지 않았으며, 분지 남부의 함안-군북 광상구를 중심으로 심성암체들의 천부관입에 따라 광화대가 형성되었다. 남-북 방향의 압축력에 의해 일부 지역은 융기된 후 침식 삭박이 진행되었으며, 결과로 함안-군북 광상구에는 관계 화성암으로부터 원거리에 발달하는 저온성 광화유체에 의한 원지성 광화대는 제거되고 고온성 광화유체에 의한 근지성 광화대만이 보존되어 있는 것으로 해석된다. 이러한 남-북 방향의 압축력은 분지의 북쪽 경계인 안동단층계에도 영향을 미치기 시작하였으며, 분지 확장 시 transfer 단층으로의 역할은 종료되고 남-북 방향의 압축에 의한 변형이 일어나 북쪽으로 휘어져 나온 형태의 안동단층계가 형성되었다. 따라서 Choi *et al.* (2002)에 의한 연구와 같이 안동단층계의 서쪽은 좌수향으로의 변형이, 중심 부근에는 우수향 및 충상단층에 의한 변형이, 동부에는 우수향으로의 변형이 우세하게 일어났던 것으로 판단된다(Fig. 9). 본 연구에서는 경상분지 변형의 첫 번째 단계인 90-80 Ma 동안에 정치된 불국사화강암을 단위층 III으로 설정하며, 남-북 방향의 압축력에 의해 안동단층계를 변형시키면서 분지 전반에 걸쳐 하양층군(단위층 II)과 유천층군(단위층 IV) 사이에 부정합면을 형성시킨 구조운동을 장기홍 등(1984)에 의해 정의된 유천변동(Yuchon disturbance)에 대비시킨다(Fig. 8).

후기 백악기 중기인 80 Ma에 들어와 이자나기판의 섭입 방향이 완전히 북서쪽으로 전환이 되고 섭입 양태도 완전히 직각 섭입으로 전이됨에 따라 분지 내에는 북서-남동 방향의 압축력이 우세하게 되었으며, 점차 화산 활동이 활발해지면서 유천층군이 퇴적되기 시작하였다. 북서 방향의 압축력은 분지의 북부 지역인 의성 및 영양 지괴에 집중적인 변형을 일으켰으며, 분지 형성 시 북동 방향으로 발달되었던 마름모 형태의 분지가 압축력에 의해 북서 방향으로의 회전을 동반하면서 변형되었을 것으로 추론되며(Fig. 11c), 의성 및 영양 지괴는 반시계 방향으로 회전되기 시작하였다(Fig. 10). 아울러 Chang (1975)에 의해 제기되었던 의성 지

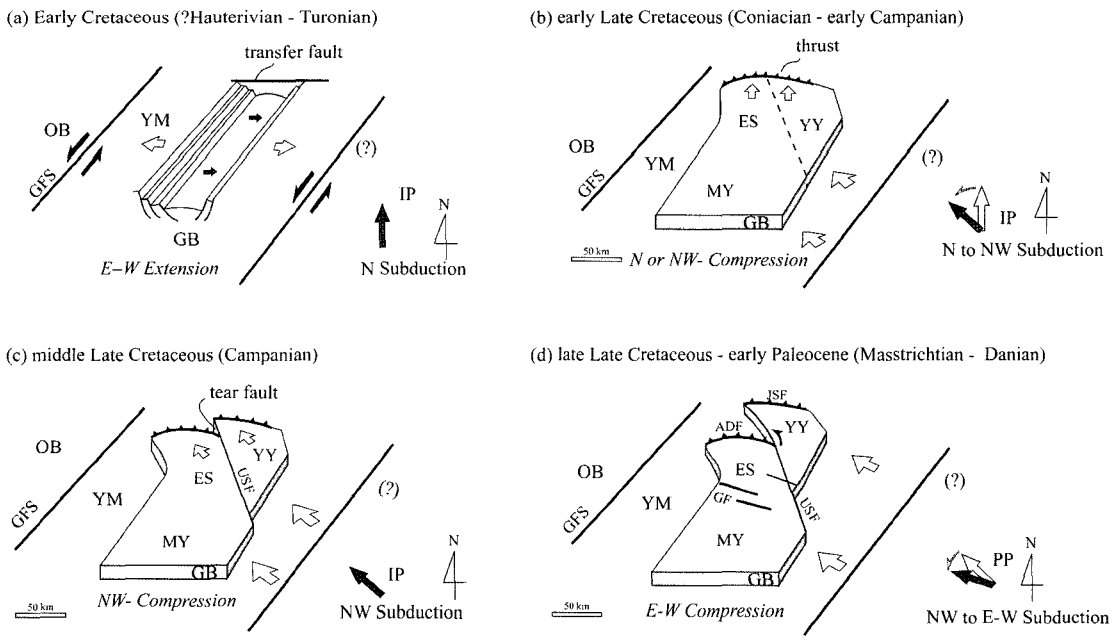


**Fig. 11.** Simplified tectonic model for the Gyeongsang Basin during the Early Cretaceous to early Palaeocene (Danian). Note the northwestward protrusion of the Yeongyang block with respect to the Milyang block during the middle Late Cretaceous. Also the E-W compressions resulted in the Gaeum faults during the late Late Cretaceous. Abbreviations in the figure: OB, Okcheon Belt; GFS, Gwangju fault system; YM, Yeongnam Massif; GB, Gyeongsang Basin; YY, Yeongyang block; ES, Euiseong block; MY; Milyang block; AFS, Andong fault system; JFS, Jaesan fault system; USF, Ulsan fault; GF, Gaeum fault; IP, Izanagi Plate; PP, Pacific Plate. Please refer to the abstract in English version for detailed explanation.

괴와 밀양 지괴의 가상적 경계선인 팔공산구조선을 따른 팔공산화강암의 관입으로부터 북서 방향의 압축력에 의한 의성 지괴의 변형이 추론된다. 김근수 등(1997) 및 좌용주와 최원희(2002)에 의한 팔공산화강암의 정치 시기는 약 78-75 Ma로 한정되며, 황종선 등(2003)에 의해 팔공산화강암의 3차원적 체적이 약 31.211 $km^3$ 정도에 달하는 것으로 규명되었다. 팔공산화강암체에 대한 시간 및 공간적 제한성은 80-70 Ma 동안에 북서 방향으로의 압축에 의해 의성 지괴가 변형되기 시작하면서 의성 지괴와 밀양 지괴 사이의 경계부에 공간이 발생하고 이를 따라 팔공산화강암이 관입하였으며, 결과로 성주-칠곡 지역에 집중적인 Au-Ag 광화작용을 일으켰던 것을 반영한다(Fig. 8). 한편, 분지 남부의 남해-고성-창원 광상구를 중심으로도 심성암체들의 천부관입에 따라 고온성 광화유체에 의한 근지성 광화작용이 일어났던 것으로 판단된다. 아울러 북서-남동 방향의 압축력은 안동단층계에도 변형을 일으켜 안동단층계가 북서 방향의 tear단층들에 의해 분절되었으며(Fig. 9), 계속적인 압축 변형에 의해 탄성한계를 지나게 되면서 영양 지괴가 경상분지로부터 분리되기 시작하여 북북서 방향으로 이동되었던 것으로 판단된다(Fig. 11c). 영양 지괴의 북북서 방향으로의 이동은 도성재 등(1999)이 제기하였던 영양 지괴가 반시계 방향으로 약 25° 정도 회전되었을 것이라는 구조운동에 대한 명확한 해석일 수 있다. 또한 강지훈 등(2004)에 의해 제기되었던 봉화-울진 지역에 분포하는 시원생대 변성퇴적암 및 고생대 퇴적암에 대한 마지막 단계의 변형인 북북서-남남동 방향의 압축변형을 주도한 구조운동이 영양 지괴의 북북서 방향으로의 이동에 의해 일어났던 것으로 판단된다. 특히 영양 지괴의 북북서 방향으로의 이동에 의해 봉화-울진 지역에서 일어났던 북북서-남남동 방향으로 작용하였던 압축력은 인접 태백산분지 동부 지역까지 영향을 미쳤을 것으로 추정되며, 태백산분지 동부 지역에 우세하게 발달하는 동서 방향의 역단층과 습곡축 및 이들을 남북 방향으로 절단하는 주향이동성 단층들의 형성에 관련된 구조운동으로 판단된다. 아울러 도성재(1993, 1995)에 의해 태백산분지 백운산향사대에서 수행한 고지자기 연구는 백운산향사대가 약 30° 정도 시계 방향으로 회전되었다는 것을 지시한다. 이러한 백운산향사대의 시계 방향으로의 회전도 백악기 말 동안에 영양지괴의 북북서 방향으로의 이동에 의해 연관되어 일어났을 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 경상분지 변형의 두 번째 단계인 80-70 Ma 동안에 분지 내에 정치된 불국사화강암 및 분출된 화산암층들을 단위층 IV로 설정하며, 북서 방향의 압축력에 의해 안동단층계를 재차 변형시킴과 동시에 영양 지괴를 북북서 방향으로 이동시켜 봉화-울진 지역 및 태백산분지 동부 지역의 변형을 주도한 변형운동을 '*영양변동(Yeongyang disturbance)*'으로 명명하기를 제안한다(Fig. 8).

영양 지괴가 경상분지로부터 분리되어 북북서 방향으로 이동됨에 따라 탄성한계를 지나면서 일어난 갑작스런 응력의 방출은 70 Ma 즈음에 들어와 분지 내에 적용되었던 수평 주응력의 방향을 변화시켰을 것으로 판단된다. 결과로, 분지 내에 적용되었던 북서 방향으로의 압축력이 동서 방향으로 변환되었으며, 이에 따라 경상분지는 동서 방향의 압축력을 받게 되었다(Fig. 8). 분지 내에 적용되었던 동서 방향의 압축력은 분지의 동부에 남북 방향의 습곡축을 가지는 개방형 습곡들과 함께 의성 지역에 서북서 방향으로 발달하는 좌수향의 가음단층계를 형성시켰던 것으로 해석된다(이병주와 황재하, 1997) (Fig. 11d). 아울러 화산활동이 우세한 원지성 환경의 다금속 광화작용으로 대표되는 가음단층계 주변의 의성 광상구 및 경상분지 동부에 남북 방향으로 발달하는 평해-영덕-울산-양산-부산 광상구를 형성시켰던 것으로 판단된다. 본 연구에서는 경상분지 변형의 세 번째 단계인 70-60 Ma 동안에 분지 내에 정치된 불국사화강암 및 분출된 화산암층들을 단위층 V로 설정하며, 동서 방향의 압축력에 의해 가음단층계의 형성을 주도한 변형운동을 '*가음변동(Gaeum disturbance)*'으로 명명하기를 제안한다(Fig. 8). 이러한 '가음변동'은 백악기 말과 팔레오세 초 동안에 형성된 통리분지(원종관 등, 1994)와의 대비를 통해 태백산분지 동부 지역에도 영향을 미쳤을 것으로 추론된다.

## 11. 결 론

백악기 경상분지의 지구조적 진화를 이해하기 위해 층서퇴적학, 고생물학, 고지자기학 및 지구물리학 자료들이 화성활동 및 광화시기의 자료들과 병합되었으며, 통합적 접근을 통하여 분지 내 퇴적층이 5개의 단위층으로 세분되었다. 세분된 각 단위층들은 부정합에 의해 상하부가 경계되어지며, 분지발달과 관련하여 전열개(pre-rifting), 동시열개(syn-rifting) 및 변형(inversion) I, 변형 II, 변형 III의 특징적인 5단계를 거쳐 경상분지가 발달되었음을 지시한다. 경상분지 5단계 발달사는 백악기 동안에 일어난 이자나기판의 이동 방향의 전이

와 이에 따른 섭입 모드의 변화에 의해 지배된 것으로 나타난다. 대보조산운동 이후 쥬라기 말과 백악기 초에 남북 방향의 인장력에 의해 소규모 분지들이 한반도 동남부에 발달하게 되어 묘곡층을 포함하는 전열개 단위층이 퇴적되었으며, 이후 낙동변동의 영향으로 전열개 단계의 단위층은 변형되었다. 전기 백악기로 들어와 이자나기판의 이동 방향이 북쪽을 향하게 되고 북동-남서 방향으로 발달된 섭입대 밑으로 사각섭입에 따라 동서 방향의 인장력이 발생하여 경상분지는 대규모 인리형 분지로 발달하게 되었으며, 신동 및 하양층군의 열개동시성 단위층이 퇴적되었다. 이러한 동서 방향으로의 분지 확장은 후기 백악기 초까지 지속되었으며, 후기 백악기에 들어와 이자나기판의 이동 방향이 점차 북에서 북서로 전이됨에 따라 남북 방향으로의 압축에 이은 북서 방향으로의 압축에 의해 경상분지는 변형되기 시작하였다. 아울러, 이자나기판의 섭입모드가 사각에서 점차 직각으로 전이됨에 따라 경상분지 내 전 지역에 걸쳐 활발한 화산활동(유천층군) 및 심성활동(불국사화강암)이 수반되기 시작하였으며, 이에 따른 영향으로 시간 및 공간에 따라 거창-성주-칠곡 광상구, 함안-군북 광상구, 남해-고성-창원 광상구, 의성 광상구 및 평해-영덕-울산-양산-부산 광상구별로 차별화된 형태의 금속광상들이 배태되게 되었다. 경상분지 내에 발달하는 금속광상들의 시공간적 분포와 함께 구조지질학적 양태의 변화는 후기 백악기 동안에 일어난 분지의 변형단계가 초기(변형 I)에는 남북 방향의 압축이, 중기(변형 II)에는 북서 방향의 압축이, 말기(변형 III)에는 동서 방향의 압축이 우세하였음을 보여준다. 특히 90-80 Ma 동안에 일어났던 변형 I 단계의 남북 방향의 압축은 분지의 북쪽 경계부인 안동단층계를 남북 방향으로 변형시켰으며, 이후 80-70 Ma 동안에 북서 방향의 압축력이 우세한 변형 II 단계를 거치면서 북서 방향으로 발달하는 단층들에 의해 절단되는 순차적 변형을 잘 보여준다. 아울러 본 연구에 병합된 고지자기학 자료들은 영양지괴가 약 25~29° 정도 반시계 방향으로 회전되었음을 지시한다. 이는 곧 영양 지괴가 북서 방향의 압축력이 우세하였던 변형 II 단계 동안에 북북서 방향으로 이동을 시작하였으며, 특히 북북서 방향으로 발달하는 영양 지괴의 서쪽 경계부를 따라 약 60 km 정도 북상하였던 것으로 판단된다. 변형 II 단계 동안에 일어난 영양 지괴의 북상은 봉화-울진 지역 및 태백산분지 동부 지역인 삼척 및 도계 지역의 변형을 주도하였던 구조운동으로 판단된다. 영양 지괴의 북북서 방향으로의 이동에 의해 분지의 변형을 주도하였던 북서 방향의 압축력은 70 Ma 이후 동서 방향의 압축력으로 전이되었으며, 경상분지는 동서 방향의 압축이 우세한 변형 III 단계로 접어들게 되었다. 변형 III 단계에 들어와 분지 내에 적용되었던 동서 방향으로의 압축력은 70-60 Ma 동안에 서북서 방향으로 발달하는 좌수향 주향이동단층인 가음단층계와 이에 수반되어 나타나는 의성 광상구를 형성시켰으며, 남북 방향의 축을 가지는 개방형 습곡과 함께 평해-영덕-울산-양산-부산 광상구의 형성에 기여하였던 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 후기 백악기 동안에 경상분지 내에서 일어났던 분지변형 구조운동 중 남북 방향의 압축력에 의해 안동단층계를 변형시키면서 하양층군과 유천층군 사이에 부정합면을 형성시킨 첫 번째 구조운동을 장기홍 등(1984)에 의해 제안된 유천변동(Yuchon disturbance)에 대비시켰으며, 북서 방향의 압축력에 의해 안동단층계를 재차 변형시킴과 동시에 영양 지괴를 북북서 방향으로 이동시켜 봉화-울진 지역 및 태백산분지 동부 지역의 변형을 주도한 두 번째 구조운동을 '*영양변동(Yeongyang disturbance)*'으로, 동-서 방향의 압축력에 의해 가음단층계를 형성한 후, 좌수향으로 이동시킨 세 번째 구조운동을 '*가음변동(Gaeum disturbance)*'으로 세분하여 명명하기를 제안한다.

## 사 사

본 연구는 한국과학재단의 특정기초연구(R01-2002-000-00407-0)지원에 의해 수행되었다. 본 논문에 대해 건설적인 비평과 함께 세심한 수정을 해주신 한국지질자원연구원 황재하 박사, 부경대학교 백인성 교수 및 익명의 심사자들께 감사를 표한다. 이외에 본 논문에 대해 여러 가지 문제점들을 지적해 주신 많은 분들께 감사를 드리며, 본 논문을 계기로 경상분지의 형성과 변형에 관한 본격적인 토론과 연구의 장이 새롭게 열리기를 기대한다.

## 참고문헌

강지훈, 김남훈, 박계헌, 송용선, 옥수석 (2004) 영양-울진 지역 선캠브리아기 변성암류의 변형작용사. 암석학회지, 13권, p. 179-190.

김근수, 김정진, 박맹언 (1997) 경상분지에 분포하는 화강암질 암체에 대한 Rb-Sr 연대. 1997년 한국암석학회

학술발표회 초록집, p. 20.
김원균, 민경덕, 원중선, 김정우 (2000a) 포텐셜 필드의 스펙트럼 대비법을 이요한 의성소분지의 지구조 연구. 자원환경지질, 33권, p. 217-228.
김원균, 민경덕, 김정우, 원중선, 박찬홍, 구성본 (2000b) 항공자력의 analytical 이상을 이용한 의성소분지의 지구조 연구. 자원환경지질, 33권, p. 229-237.
김인수, 강희철, 이현구 (1993) 경상분지 남서부 진교-사천 지역 전기 백악기 퇴적암에 대한 고지자기 연구. 광상지질, 26권, p. 519-539.
김찬수, 박계헌, 백인성 (2005) 백악기 신라역암 내 화산암력의 Ar-Ar 연대 및 하양층군의 퇴적시기에 대한 고찰. 암석학회지, 14권, p. 38-44.
도성재 (1993) 백운산향사대에 분포하는 동고층에 대한 고지자기 연구. 광산지질, 26권, p. 383-393.
도성재 (1995) 삼척지역에 분포하는 평안누층군에 대한 고지자기 연구. 자원환경지질, 28권, p. 559-569.
도성재, 김광호 (1994) 의성지역에 분포하는 백악기 지층에 대한 고지자기 연구. 자원환경지질, 27권, p. 263-279.
도성재, 석동우, 김범철 (1999) 영양소분지에 분포하는 경상누층군에 대한 고지자기 연구. 자원환경지질, 32권, p. 189-201.
도성재, 황창수, 김광호 (1994) 밀양소분지에 분포하는 경상누층군 퇴적암류에 대한 고지자기 연구. 지질학회지, 30권, p. 211-228.
민경덕, 김정우 (1987) 중력탐사에 의한 마산-부산간의 지하구조 연구. 광산지질, 20권, p. 203-209.
민경덕, 정종대 (1985) 중력탐사에 의한 경상층군 내 왜관-포항간의 지하구조 연구. 광산지질, 18권, p. 321-329.
박희인 (1994) 경상분지 내 광상의 생성시기와 광상구. 한국과학재단 연구보고서 KOSEF 91-06-00-03, p. 29-75.
서승조 (1985) 경상분지 중앙부 하부 백악계의 지질과 고생물(윤조화석). 경북대학교 박사학위논문, 177p.
석동우, 도성재 (1996) 의성지역에 분포하는 백악기 지층에 대한 특성잔류자화 방향의 재고찰. 지질학회지, 32권, p. 47-64.
손문, 정혜윤, 김인수 (2002) 한반도 남동부 연일구조선 남부 일원의 지질과 지질구조. 지질학회지, 38권, p. 175-197.
신성천, 진명식 (1995a) 1:100만 한국 심성암 동위원소연대지도. 한국자원연구소.
신성천, 진명식 (1995b) 1:100만 한국 화산암 동위원소연대지도. 한국자원연구소.
양승영 (1976) 경상누층군 화석에 관하여. 지질학회지, 12권, p. 23-30.
원종관, 이문원, 노진환, 이해경 (1994) 통리분지에서의 백악기 화산활동. 지질학회지, 30권, p. 542-562.
이병주, 황재하 (1997) 경상분지 북동부에서의 가음단층과 양산단층의 관계. 지질학회지, 33권, p. 1-8.
이상렬, 최선규, 소칠섭, 유인창, 위수민, 허철호 (2003) 한국 경상분지 백악기 비철금속 광화작용과 그 성인적 의의: 함안-군북-고성(-창원) 및 의성 광상구를 중심으로. 자원환경지질, 36권, p. 257-268.
이하영 (1965) 묘곡층(후대동계-선경상계)의 층서와 소위 대보조산운동의 시기에 관하여. 서울대학교 석사학위논문, 55p.
장기홍, 이유대, 이영길, 서승조, 오규영, 이창훈 (1984) 경상속 유천층군 기저의 부정합. 지질학회지, 20권, p. 41-50.
장기홍, 이윤종, 스즈키 카즈히로, 박순옥 (1998) 백악기 구산동응회암 저어콘 결정들의 형태, CHIME 연령 및 지사적 의의. 지질학회지, 34권, p. 333-342.
전정수, 민경덕 (1996) 경상분지 남부 지역(밀양소분지)의 심부 지질구조 규명을 위한 중력 및 자력탐사. 1996년 대한자원환경지질학회 학술발표회 초록집, p. 43-44.
좌용주, 이용일, 유지 오리하시 (2004) 구산동 응회암과 진동화강암에서 산출되는 저콘에 대한 U-Pb 연대와 진동층 퇴적시기에 대한 고찰. 2004년 대한지질학회 학술발표회 초록집, p. 73.
좌용주, 최원희 (2002) 팔공산화강암체의 냉각사와 접촉변성대. 2002년 한국암석학회-한국광물학회 공동 학술발표회 초록집, p. 112-114.
황재하 (1994) 백악기 초 이후 한반도 남동부에 작용한 고응력 복원. 지질학회지, 30권, p. 27-34.
황종선, 민경덕, 최철, 유상훈 (2003) 팔공산 화강암체와 그 인근 지역에서의 중력탐사 연구. 자원환경지질, 36권, p. 305-312.
Chang, K.H. (1975) Cretaceous stratigraphy of southeast Korea. Journal of Geological Society of Korea, v. 11, p. 1-23.
Chang K.H., Filatova, N. and Park, S.O. (1999) Upper Mesozoic stratigraphic synthesis of Korean Peninsula. Economic and Environmental Geology, V. 32, p. 353-363.
Cheong, C.H. and Lee, H.Y. (1966) The Myogog Formation and its tectonic significance. Journal of the Geological Society of Korea, v. 2. p. 21-38.
Choi, D.K. (1985) Spores and pollen from the Gyeongsang Supergroup, southeastern Korea and their chronologic and paleontologic implications. Journal of the Paleontological Society of Korea, v. 1, p. 33-50.
Choi, D.K. (1989) Paleopalynology of the Geoncheonri Formation (Lower Cretaceous), Geoncheon-Ahwa area, Korea. Journal of the Paleontological Society of Korea, v. 5, p. 1-27.
Choi, H.I. (1986) Sedimentation and evolution of the Cretaceous Gyeongsang Basin, southeastern Korea. Journal of the Geological Society of London, v. 143, p. 29-40.
Choi P.Y., Lee S.R., Choi, H.I., Hwang, J.H., Kwon, S.K., Ko, I.S. and An G.O. (2002) Movement history of the Andong Fault System: Geometric and tectonic approaches. Geosciences Journal, v. 6, p. 91-102.
Choi, S.J. (1987) Fossil Charophytes from the Nagdong Formation in Seonsangun, Gyeongsangbukdo, Korea. Journal of the Paleontological Society of Korea, v. 5, p. 28-38.
Chough, S.K., Kwon, S.T., Ree, J.H. and Choi, D.K. (2000) Tectonic and sedimentary evolution of the Korean Peninsula: A review and new view. Earth Science Reviews, v. 52, p. 175-235.
Chun, S.S. and Chough, S.K. (1992) Tectonic history of Cretaceous sedimentary basins in the southwestern Korean Peninsula and Yellow Sea. In Chough, S.K. (ed.) Sedimentary basins in the Korean Peninsula and adjacent seas. Korean Sedimentology Research Group Special Publication, p.60-76.
Han, R.H., Ree, J.H., Kwon, S.T. and Cho, D.R. (2005) SHRIMP U-Pb Zircon ages of pyroclastic rocks from the Daedong Group in hte Taebacksan Basin and their implication for the Jurassic tectonics in Korea. Gondwana Research, v. 8, (in press).
Jin, M.S., Lee, S.M., Lee, J.S. and Kim, S.J. (1982)

Lithochemistry of the Cretaceous granitoids with relation to the metallic ore deposits in southern Korea. Journal of the Geological Society of Korea, v. 18, p. 119-131.

Jo, H.R. (2003) Depositional environments, architecture, and controls of Early Cretaceous non-marine successions in the northwestern part of Kyongsang Basin, Korea. Sedimentary Geology, v. 161, p. 269-294.

Kim, J.N., Ree, J.H., Kwon, S.T., Park, Y., Choi, S.J. and Cheong, C.S. (2000) The Kyunggi shear zone of the central Korean peninsula: late orogenic imprint of the North and South China collision. Journal of Geology, v. 108, p. 469-478.

Kobayashi T. and Suzuki, K. (1936) Non-marine shells of the Nagdong-Waskino Series. Japanese Journal of Geology and Geography, v. 13, p. 243-257.

Koh, S.M., Ryoo, C.R. and Song, M.S. (2002) Mineralization characteristics and structural controls of hydrothermal deposits in the Gyeongsang Basin, South Korea. In Jin, M.S., Lee, S.R., Choi, H.I., Park, K.H, Koh, S.M. and Cho, D.R. (eds.) Mesozoic sedimentation, igneous activity and mineralization in South Korea. The 1st and 2nd Symposium on the Geology of Korea Special Publication, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, p. 89-110.

Koto, B. (1903) An orographic sketch of Korea. Journal of College of Sciences, Imperial University of Tokyo, v. 19, p. 1-61.

Koto, B. (1909) Journey through Korea. Journal of College of Sciences, Imperial University of Tokyo, v. 26, p. 1-207.

Tateiwa, I. (1929) Geological atlas of Choson, Gyeongju, Yeongchon, Daegu, and Waegwan sheets. Geological Survey of Chosen.

Yabe, H. (1905) Mesozoic plants from Korea. Journal of College of Sciences, Imperial University of Tokyo, v. 20, p. 1-59.

Yang, S.Y. (1984) Paleontological study on the Molluscan fauna from the Myogog Formation, Korea (part 2). Journal of the Geological Society of Korea, v. 20, p. 15-27.

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, v. 29, p. 246-257.

2005년 5월 18일 원고접수, 2006년 4월 24일 게재승인.