

## <Review>

# 우리나라 구조지질학 발전의 발자취: 고찰

김정환

서울대학교 명예교수

### 요 약

이 논문은 그동안 우리나라에 구조지질학이 어떤 경로를 통하여 현재에 이르게 되었는지를 살펴보고, 필자가 생각하는 앞으로의 조사 연구 방향을 제안하는데 그 목적이 있다. 우리나라에 현대적인 구조지질학을 처음으로 소개해 준 사람들은 영국지질조사소의 A.J. Reedman 박사와 C.J.N. Fletcher 박사이다. 이들을 통해 국내 학자들이 구조지질학의 국제적 현황에 대해 눈을 뜨게 되었고, 구조지질학을 공부하고자 하는 동기가 부여되었다. 국내 대학에서의 전공자에 의한 구조지질학 강의는 박봉순 교수에 의해 경북대학교 지질학과에서 처음으로 시작되었다. 이후에 서울대학교 구조지질학 연구실에서 본격적으로 연구를 시작한 대상은 함탄층을 규제하고 있는 지질구조를 이해함으로써 함탄층을 효율적으로 추적하는데 그 목적을 두고, 삼척탄전을 시작으로 하여 국내의 모든 탄전들에 대해서 지질조사를 하게 되었다. 이 과정에서 삼척탄전에서는 백악기 지층의 상위에 오르도비스기 지층이 놓이는 드러스트 단층을 확인하여 백악기 지층 퇴적 후에 드러스트 운동이 있었음을 알게 되었다. 단양탄전 지역에서는 중생대 반송층의 퇴적을 전후로 드러스트 운동이 있었음이 확인되어, 이를 토대로 한반도 남부에서 중생대에 3번에 걸쳐 서로 다른 드러스트 운동이 있었음을 확인하게 되었다. 또한 압쇄작용을 받은 화강암을 발견하여 국내에도 연성전단대가 있음이 알려지게 되었으며, 이에 대한 연구들도 이루어졌다. 고생대의 평안층군, 조선누층군과 시대미상의 옥천층군 내에 발달하고 있는 지질구조들의 특성을 종합하여 이들이 모두 같은 시기에 변형작용들을 받았음을 확인하고, 이를 통하여 국내에서의 중생대 조산운동의 특성을 종합하였다. 그러나 아직도 우리나라에는 확인되지 않은 연성전단대나 활성단층대에 대하여 더 많은 조사가 필요하리라 생각되며, 이를 기초로 하여 고생대 이전의 조산운동에 대하여도 깊은 관심을 가지고 이에 대한 연구도 이루어지기를 바란다.

**주요어:** 함탄층, 드러스트 단층, 연성전단대, 조산운동

**Jeong Hwan Kim, 2017, Footprints of structural geology in Korea: Review. Journal of the Geological Society of Korea. v. 53, no. 1, p. 5-33**

**ABSTRACT:** This paper is a review for the footprints of structural geology in Korea from past to present. Modern structural geology was firstly introduced to Korea by Drs Reedman, A.J. and Fletcher, C.J.N. from the Institute of Geological Sciences (present British Geological Survey) in 1971, who had worked for the Hwanggangri area with Korean geologists under the Joint Programme of Korea and United Kingdom. They introduced structural geology in the field and lab to members of Geological Survey of Korea. The first Korean structural geologist, Prof. Park, B. S. firstly opened structural geology course in Kyungpook National University, Korea. In 1983, Structural Geology Group of Seoul National University had begun structural mapping in Korean coalfields, starting from the Samcheog Coalfield to understand the geometry and the structural control of the coal beds. During this time, they recognised Ordovician limestone strata thrust over Cretaceous sedimentary and volcanic rocks. Therefore, this thrust movement was interpreted as after the formation of Cretaceous rocks. In the Danyang Coalfield, there are two different ages of thrust movements based on the relationship with the sedimentation of Mesozoic Bansong Formation. The orogenic event prior to the Bansong Formation was corresponded to the Songnim orogenic period and the event post to the Bansong Formation was corresponded to the Daebo orogenic period. Therefore, there were three different ages of thrust movements in Korea during Mesozoic Era. Deformed and mylonitized granites were also found in the southern part of the Korean peninsula, which were recognised as ductile shear zones. However,

‡ Corresponding author: +82-31-262-6689, E-mail: [jeongkim@snu.ac.kr](mailto:jeongkim@snu.ac.kr)

still numerous unstudied active faults and ductile shear zones exist and it is necessary to do detailed investigation in the near future.

**Key words:** coal measure, thrust fault, ductile shear zone, orogeny

(Jeong Hwan Kim, Emeritus professor of Seoul National University, Seoul 08826, Republic of Korea)

## 1. 서 언

우리나라에서 지질학이 학문으로서 자리잡기 시작한 것은 1946년에 서울대학교 문리과대학에 지질학과가 개설된 이후부터라 할 수 있다. 이 가운데서도 구조지질학은 1955년도 입학생들의 교과과정에 들어있음을 보아, 이 시기부터 강의가 시작된 것으로 보인다. 그러나 서울대학교에 구조지질학을 전공한 전임교수가 1983년에 처음 부임하여, 이때부터 본격적인 구조지질학 강의를 진행되었다고 볼 수 있다. 따라서 이때까지 구조지질학을 전공한 인원수도 부족하고 구조지질학적 관점의 지질조사도 부족했기 때문에, 구조지질학 분야의 연구는 그동안 외국인 학자들의 연구가 주류를 이루어 왔다.

이 논문에서는 그동안 우리나라에서의 구조지질학 발전과정을 살펴보고, 최근까지 국내 학자들에 의해 이룩한 연구 성과들을 통하여 앞으로 우리나라 구조지질학자들이 해야 할 일들에 대해서 제안하고자 한다.

### 1.1 초창기(1945년 이전부터 1970년까지)

1945년 이전에 지질학을 전공한 사람은 고(故) 박동길 박사님 외에 9분으로, 대부분이 일본의 제국대학 내에 있는 지질학과에서 공부를 하셨으며, 해방 후에 대부분이 대학교의 교수로, 또는 국립지질조사소나 광업회사에서 근무하셨다.

한반도의 지체구조에 관하여 최초로 언급한 사람은 독일인 Richthofen (1882)으로, 그는 한반도 산맥의 발달에 일정한 방향성이 있음을 보고 북북서-남남동 산맥방향을 한국방향(Korean direction), 북동-남서방향을 지나방향(Sinian direction), 중국 북동부와 화북지방 일부에서 우세한 거의 동-서방향을 요동방향(Liaotung direction)으로 설정하였다. 후에 일본인 학자 Koto (1903)는 추가령지구대를 설정하였다. 이러한 산맥들의 방향성은 후에 암석 내에 발달하고 있는 구조선의 방향과도 일치함이 밝혀져,

이들 방향이 우리나라의 지질구조를 지배하는 것으로 자리잡게 되었다.

일본의 식민지배로부터 벗어난 후에도 6·25 전쟁으로 인해 지질학은 더 이상 발전이 없었다. 1953년에 일본 동경대의 Kobayashi 교수는 지난 식민지 시대에 조사한 한반도의 모든 지질학 자료들을 종합하여 영문판 Geology of South Korea를 발표하였다. 그는 이 책자에서 한반도의 지체구조구 개념을 설정하였는데, 이 개념이 한반도의 지체구조구를 분할하는 기초가 되었으며, 이는 후에 Kim (1972), Lee (1972, 1974)과 Kim *et al.* (1980) 등에 의해 수정완료되었다.

우리나라에서 지질학의 교육은 1946년에 서울대학교, 1953년에 부산대학교, 그리고 1961년에 경북대학교에 지질학과가 설립됨으로써 시작되었고, 이미 언급한 바와 같이 구조지질학은 서울대학교에서 1955년에 처음으로 강의가 개설되었다. 우리나라 지질학계의 초창기 역사는 2007년에 발간된 대한지질학회 60주년사(The Geological Society of Korea, 2007) 자료집을 참고하기 바란다. 대부분의 교과목은 현재의 것과 유사하며, 이 시기의 특징은 야외지질학이 매우 강조되었다는 점이다.

1961년 대한지질학회와 국립지질조사소가 공동으로 주관하여 태백산지역을 조사하여 태백산지구의 지질도(GICTR, 1962)를 발간함으로써 야외지질조사의 질을 높이는 계기가 되었다. 현재는 축척 1:5만 지질도가 한반도 남부의 거의 전역에 걸쳐 조사 완료되어 있지만, 초기에는 거의 백지상태에서 지질도를 작성해야만 했다. 대부분의 지질학자들은 현장에서 야외지질조사를 하면서 가장 필요한 것이 구조지질학의 지식이라고 인정하였지만, 이를 해결할 수 있는 별다른 방법은 없었다. 1960년대 국립지질조사소에 Turner and Weiss (1963)의 'Structural Analysis of Metamorphic Tectonite'란 책이 있었지만, 그 책을 읽은 사람이 별로 없었던 것 같다. 사실은 읽어도 이해가 되지 않았던 것이 사실일 것이다. 이러한 결과로 지질조사보고서나 지질도폭설명서에 지질구조를

기술할 때는 그 지역에서 관찰된 습곡구조, 단층, 관입 그리고 부정합의 존재여부만을 기술하였다.

## 1.2 도입기(1971년~1982년)

1971년은 우리나라 지질학계에 새로운 바람이 불기 시작한 해이다. 즉 우리나라의 국립지질조사소(현재의 한국지질자원연구원)가 영국의 지질과학연구소(Institute of Geological Sciences, 현재는 다시 British Geological Survey로 환원)와 공동연구가 시작된 해이다. 영국에서는 Drs A.J. Reedman, D.R. Workman 과 C.J.N. Fletcher, 그리고 지구물리학자로 R.B. Mr Evans가 참여하여 국립지질조사소의 지질학자들과 함께 충북 황강리 지역의 광화대 연구를 시작하게 되었다.

이들은 야외에 나가지 않는 1~2월 동안에는 국립지질조사소에 근무하는 지질학자들에게 강의와 실습을 통하여 현대적인 구조지질학을 소개해 주어, 이들에게 구조지질학에 대한 무한한 호기심을 일게 하였다. 후에 Dr Fletcher는 이 강의안을 종합하여 'Structures in Folded Rock'을 1975년에 발간하였다. 이 책에는 한국에 분포하는 노두에서 관찰한 지질구조들을 설명한 것으로, 당시 국립지질조사소에 근무하던 필자가 우리말로 번역하여 한국어와 영어로 된 책이 발간되었다. 이는 국내에서 발간된 구조지질학에 관한 최초의 책으로, 당시 구조지질학 입문서의 역할을 하였다.

Dr Reedman *et al.* (1973)은 그동안 공동연구하던 황강리 지역에 대한 "황강리 광화대 지질보고서"를 제출하였는데, 이는 우리들에게는 너무나 획기적인 보고서였다. 이 보고서에서 Reedman *et al.* (1973)는 황강리 지역에 분포하는 옥천층군 내의 지질구조를 해석하면서 습곡구조의 생성순서는 물론이고, 이를 입체적인 단면으로 복원하여 우리들을 놀라게 하였다.

당시의 국내 학자들은 국내의 지질분포에 대해서는 잘 알고 있었지만, 국내에 발달하고 있는 지질구조들이 어떤 모양을 가지고 있는지? 이들의 생성 시기는 언제인지? 왜 이런 형태의 지질구조가 만들어졌는지? 등에 대해서는 거의 문외한이었다. 왜냐하면 그러한 것들을 생각해 본 적도 없고, 배워본 적도 없고, 누구한테 들은 적도 없었기 때문이다. 그 당시에는 외국의 논문을 접할 기회가 거의 없었고, 외국에서 거행되는 학술회의에도 자유롭게 참석할 수 없

었다. 이런 상황에서 외국 학자들이 국내에 머물면서 한국 지질학자들의 안내를 받으면서 지질조사를 하여 한국에 관한 논문들을 발표하게 된 것이다.

외국학자들의 영향도 있었지만, 국내의 대학에서도 구조지질학에 대하여 관심을 가지기 시작하였다. 국립지질조사소에 근무하던 박봉순 연구원이 경북대학교 교수로, 이후에는 고려대학교 교수로 재직하면서 구조지질학을 강의하였다. 박봉순 교수는 1974년에 일본 동경대학교로 구조지질학을 공부하기 위해 떠났다. 또한 국립지질조사소에 근무하던 필자도 1975년에 영국 Leeds 대학교로 유학을 가, 그곳에서 J.G. Ramsay 교수와 M.P. Coward 교수의 지도하에 스코틀랜드의 '모인드러스트단층대(Moine Thrust Zone)'에 대하여 연구한 후 귀국하여 축척 1:5만 청평도폭과 신흥도폭을 조사하면서 그동안 영국에서 배운 구조지질학 지식을 국내에 적용하기 시작하였다. 그러나 얼마 후 박봉순 교수는 지병으로 일찍이 유명을 달리하게 되었고, 후에 필자는 서울대학교 교수로 부임하였다.

Reedman and Um (1975)은 영어로 쓰인 'Geology of Korea'를 발간하여, 한국의 지질에 대한 연구가 외국인들에 의하여 계속되고 있음을 보여준다. 또한 Reedman and Fletcher (1976)는 국내의 옥천층군 중에서 황강리층을 빙하퇴적층으로 설명하고, 이 층을 중국 남중국 내의 빙하퇴적층에 대비하였다. 그 당시만 해도 우리나라는 마치 섬나라와 같아서 외국과의 교류가 활발하지 못하였고, 또한 우리 자료의 중요성도 충분히 인식하지 못하고 있을 때였기 때문에 이웃나라의 것과 무엇을 어떻게 대비할지도 모를 때였다. 단지 한 가지씩 우리가 무엇을 가지고 있는지를 확인해 가기 시작한 단계였다.

Reedman *et al.* (1973)에 의한 황강리 광역광화대 조사연구에서, 이들은 이 지역에 분포하는 소위 옥천층군 내의 지질구조를 종합하여 이 지역 지층의 변형사를 기술하였다. 이들은 습곡구조들의 습곡축 방향을 기준으로 하여 북서-남동, 북동-남서 그리고 동-서 방향의 순서로 습곡작용이 있었음을 보고하였는데, 이 내용이 우리나라 최초로 특정 지역에서 지층의 변형사를 기록한 것이다.

후에 Kim *et al.* (1981)은 청평도폭(1:5만) 지질조사를 종합하면서 그 지역에 분포하는 편마암에 발달한 엽리구조, 선 구조, 습곡구조 등의 지질구조들과

편마암에 관입한 염기성 맥암류 및 화강암질 암맥들과의 선후관계를 결정하였다. 특히 습곡구조에서는 이들이 중첩된 습곡구조의 특성을 이용하여 시기를 구분하였다. 이들을 종합하여 청평지역 내에서는 세 번의 변형작용이 있었음을 기록하였는데, 이들은 방향성에 기인한 것이 아니라 서로 간섭한 현상들과 관입의 증거들을 이용하여 해석한 것으로, 이 변형작용들은 모두 선캠브리아 이언에 일어난 것이다. 이후로 지질구조에 관련된 연구논문이나 지질도폭설명서에는 자연스럽게 그 지역의 변형사 또는 변형작용의 순서에 대해 기록하게 되었다.

이 시기까지 국내에서 연성전단대나 압쇄암에 대한 기록은 없었다. 그러나 일부 지질도폭 설명서에 있는 암석의 현미경 사진들(예: 옥동 도폭; Lee, 1966) 중에 압쇄암(mylonite)의 특징을 보여주는 것들이 많이 있었다. 특히 전북 순창지역 일대에 분포하는 소위 '편상 화강암' 내에서 이러한 압쇄구조들이 잘 발달해 있었다. 그러나 그동안 이러한 암석들은 단순히 변성작용을 받은 염리상화강암 또는 화강편마암으로 기재되어 있었을 뿐이었다.

1981년 겨울에 Dr Reedman과 필자는 백악기 화산암의 분포지에 따라 그들의 성분변화를 조사하기 위하여 충북 음성분지 남부인 증평지역을 답사하였다. 백악기의 퇴적암 및 화산암과 기반암과의 접촉 관계를 조사하던 중 그 경계부에서 압쇄암을 발견하였다. 아마도 이것이 국내에도 압쇄암이 분포하고 있다는 것을 알려주는 시초가 되었을 것이다. 당시 국내에서는 압쇄암이라는 용어와 그 생성과정이 잘 알려져 있지 않은 상황에서, 압쇄암이 국내에도 분포 발달하고 있다는 사실을 확인할 수 있었던 것은 매우 고무적인 일이었다. 1982년에 김정환과 황재하는 축적 1:5만 오수도폭을 조사하던 중에 과거에 편상화강암으로 기재되었던 암석의 상당 부분이 화강암이 압쇄작용을 받아 압쇄염리가 발달한 것으로 해석하였으며, 이에 따라 압쇄대 또는 전단대에 대한 관심이 점차 커지게 되었다.

## 2. 연구 성과

현대적인 구조지질학을 전공하고 귀국한 필자가 서울대학교 교수로 부임하면서, 대학원생들과 함께 야외지질조사를 통하여 국내 지질학 분야에서 구조

지질학의 연구범위를 넓혀가게 되었다. 1980년대 중반까지는 석탄이 우리나라의 중요한 에너지원이었기 때문에 전국 각지에 분포하는 함탄층 내에 발달하고 있는 지질구조를 조사하여 함탄층을 규제하고 있는 지질구조의 특성을 이해하게 되었으며, 이를 토대로 후기 고생대의 지층들인 평안누층군 및 전기 고생대 조선누층군 내의 지질구조의 특성을 이해하게 되었다. 1980년대 후반부터는 탄광들이 폐광되기 시작하여, 연구의 초점을 고생대의 최하부 지층과 기반암과의 관계, 그리고 백악기 퇴적분지들에 대한 연구 등으로 연구의 주제가 확장되었다. 이에 대해 주제별로 설명하고자 한다.

### 2.1 국내 드러스트 단층대의 특성

#### 2.1.1 기존연구 및 드러스트 단층의 특성

한반도 지역에서 드러스트 단층에 관련된 최초의 논문은 Yamanari (1926)의 강원도 일대에 발달한 인편상 구조에 관련된 것이다. 그 후 Kobayashi (1953)에 의해 태백산 지역에 분포하는 고생대 지층과 중생대 지층에 발달한 드러스트 단층들이 기재되었고, 해방 후에는 미국 지질조사소의 Reinemund (1957)에 의해 영월군 마차리 일대의 탄전지질도에서 마차리 드러스트가 기재되었다. 태백산지구지하자원조사단(GICTR, 1962)은 기존에 보고된 일부 드러스트 단층들은 그대로 인정하였는데, 대표적인 것들로 태백지역에서 평안층군 위로 오르도비스기의 석회암 지층을 충상시킨 매봉산 드러스트, 그리고 캄브로-오르도비스기의 조선누층군을 중생대 반송층군 위에 올려놓은 각동드러스트와 문경대단층 등이 있다.

종래의 개념으로 드러스트 단층은 일종의 역단층으로, 단층면의 경사가 매우 저각도인 경우에만 드러스트 단층이라고 하였다. 그러나 드러스트의 단층면은 거의 수평인 것에서부터 인편상 구조를 형성하고 있는 경우에는 단층면들이 매우 고각을 이루기도 하기 때문에 단층면의 경사각만 가지고 드러스트 단층 여부를 규정할 수는 없다. 드러스트 단층들은 그들만의 고유하고도 독특한 기하학적 형태(geometry)를 가지고 있기 때문에 이러한 특징들을 이해한다면 쉽게 드러스트 단층을 구별할 수 있을 것이다(Boyer and Elliot, 1982; Butler, 1982). 드러스트 단층을 이해하기 위해서는 그 지역 일대의 층서를 정확하게 알아야 하며, 드러스트 단층의 주향방향에 수직으로 절

단한 지질단면도에서 단층작용이 있기 전의 상태로 복원하는 복원단면도(Balanced cross section; 그림 1)를 작성하여 그 지질단면이 제대로 해석되었는지를 점검해야 한다. 만약에 복원이 제대로 되지 않았다면, 그 지질단면도에는 더 많은 설명, 또는 재해석이 필요하다(Dahlstrom, 1969; Elliot, 1983; Kim, 2002).

단층의 형성시기는 그 단층에 의해 절단된 지층보다는 젊고, 그 단층을 덮고 있는 지층보다는 오래 되었다고 해석하는 것이 일반적인 해석방법이다. 이와 마찬가지로 드러스트 단층의 경우도 이 단층이 절단하고 있는 지층들 가운데서 가장 후기의 지층보다도 더 후에 단층활동이 있었다는 것을 의미한다. 그렇기 때문에 드러스트 단층이 발달해 있다면, 그의 운동시기와 운동방향도 함께 밝혀져야 한다.

단층들은 각각의 발달시기 및 특성에 따라서 운동 방향을 달리한다. 드러스트 단층에서 운동방향은 보통 단층면의 주향에 직각인 경사방향을 따라 상부로 올라가는 방향으로 운동한다고 정의되어 있다(Butler, 1987). 그리고 드러스트 단층들은 개별적으로 발달하는 것이 아니라 거의 서로 평행한 여러 조의 단층들이 함께 발달하여 일종의 대(帶; zone)를 이루고 있는 것이 일반적이긴 하지만, 때로는 주 운동방향의 반대방향으로 발달한 것도 볼 수 있는데 이를 'Back Thrust'라고 한다. 이와 같은 단층들도 복원지질단면도를 작성하여 어느 지점에서 Back thrust가 발생했는지 규명할 필요가 있다. 또한 Elliot (1976)가 제안한 '활과 화살 방법(Bow and Arrow Rule)'을 이용하여 단층의 운동방향을 결정할 수 있다.

이와 같은 드러스트 단층의 기본 특성과 자료들

을 종합하여 그동안의 연구 성과들을 지역별로 간단히 설명하고자 한다.

### 2.1.2 태백산지역

태백산지역 내에는 선캠브리아 이연의 화강암질 편마암과 변성퇴적암류를 기반암으로 하여 고생대 지층들과 백악기의 퇴적암 및 화산암류가 분포하며, 동-서방향의 백운산향사가 발달하고 있다(그림 2). 태백시 서쪽에 발달한 함백산대단층을 기준으로 하여 그 동부와 서부는 지질분포와 지질구조의 특성이 다르다. 일반적으로 층리면의 주향과 경사는 지역에 따라 습곡구조의 영향으로 많은 변화가 있지만, 점판벽개의 주향과 습곡구조의 방향성은 북서-남동, 북동-남서 그리고 동-서방향의 것이 우세하다. 단층들도 그 방향성에 따라 대략 동-서방향의 드러스트 단층과 남-북방향의 주향이동단층으로 대별된다.

백운산향사에는 캠브리아기의 장산규암층을 기저로 하여 트라이아스기(일부 학자는 페름기로 본다)의 동고층까지 고생대 지층들이 분포하며, 향사구조의 남익부는 대략 30~50°로 거의 일정하게 북쪽으로 경사하지만, 북익부는 그 경사가 남쪽으로 70°~역전에 이르기까지 경사각의 변화가 크다. 이뿐만 아니라 북익부에서 경사가 역전된 곳에 따라서는 드러스트 단층이 발달하기도 한다(Kim and Choi, 1990).

태백산지역 동부의 도계~통리 일대에는 거의 남-북방향의 오십천단층이 발달하여 있으며, 백악기의 퇴적암류 및 화산암류가 넓게 분포하고 있다. 과거 Kobayshi (1953)나 태백산지구지하자원조사단(GICTR, 1962)에서는 이 화산암류를 관입암류로 해석하였으

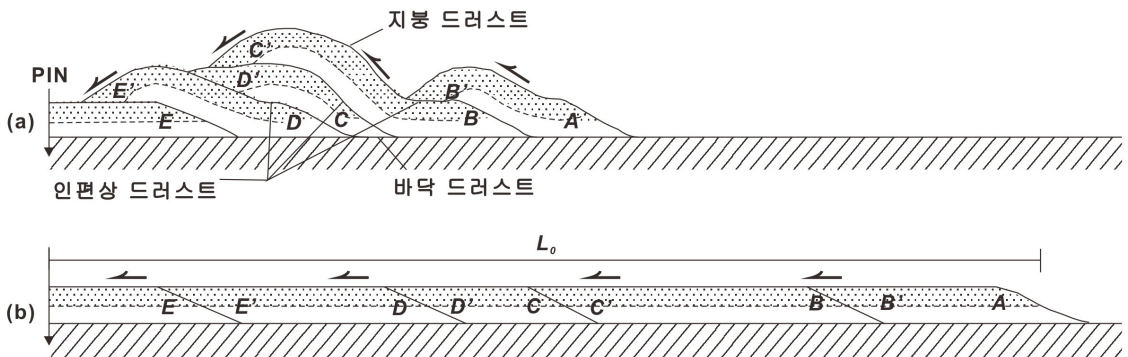


Fig. 1. Balanced cross section. Before (a) and after (b) restored cross section (Kim, 2002).

나, 후에 정밀조사를 통하여 이들이 분출암류 및 응회암으로 구성된 것으로 밝혀졌다(그림 3).

Yamanari (1926)는 이 지역에서 인편상 구조(imbricate structures)를 기재하였으며, 태백산지구지하자원조사단(GICTR, 1962)이나 Cheong (1976)은 이를 과습곡(overtured fold) 구조로 해석하였는데, 이는 함탄층이 단절됨이 없이 연속된다는 점을 근거로 삼고 있었다. 그러나 Kim, B.K. *et al.* (1986), Choi (1986)와 Kim, J.H. *et al.* (2000)은 도계지역과 통리지역을 조사한 결과, 이 일대를 지배하고 있는 동-서방향의 드리스트 단층들이 백악기 화산암류 위에 오르도비스기의 두위봉석회암층을 올려놓아 이들 화산암류가 드리스트 단층의 영향을 받은 것임을 확인하였다. 함탄층이 단절되지 않은 것처럼 보이는 것은 함탄층에 미끄러짐이 집중되어(slippage zone) 함탄층이 단층면에 따라 상반에서는 더 많이 끌려 올라가고, 하반에서는 더 많이 끌려 내려가는 등 실제로는 변위되어 있지만, 그 상황을 이해하지 못한 채 연속된 것으로 해석하였기 때문이라 생각된다.

그동안 지질구조에 대해서는 각각의 지질구조들이 그들의 방향성이나 특징에 따라서 각기 다른 시기

에 형성된 것으로 해석되어 왔다. Yamanari (1926)와 Cheong (1976)은 동-서 방향의 드리스트 단층들은 쥬라기 후기 내지 백악기 초기의 대보조산운동의 영향에 의해 생성된 것으로 해석하였다. 그 이유는 북한의 평양탄전에서는 쥬라기의 대동계(대동층군) 퇴적 이후에 일어난 조산운동을 대보조산운동으로 그리고 대동층군이 퇴적되기 이전의 단층운동이나 습곡작용을 송림변동이라 하였다. 그러나 한반도 남부 지역에서는 대보조산운동이 가장 강렬한 조산운동으로 알려져 왔지만, 송림변동이나 백악기 후기의 불국사운동에 대해서는 알려진 바가 없었다.

그러나 도계~통리일대에서 백악기의 퇴적암층이나 화산암류 상위에 오르도비스기의 석회암 지층들이 놓여 있다는 점은 오르도비스기 지층들을 백악기 지층들 위로 올려놓은 드리스트 단층의 시기가 최소한 백악기 지층의 퇴적이나 화산활동 이후로, 쥬라기 말~백악기 초의 대보조산운동과는 시기적으로 다른 것임을 시사하고 있다. 통리지역에 분포하는 화산암류에 대한 방사성연대는 66.9~49.4 Ma로 알려져 있다(Park *et al.*, 1988; Jin *et al.*, 1989; Won *et al.*, 1994). Lim *et al.* (1992)에 의한 통리지역에서의

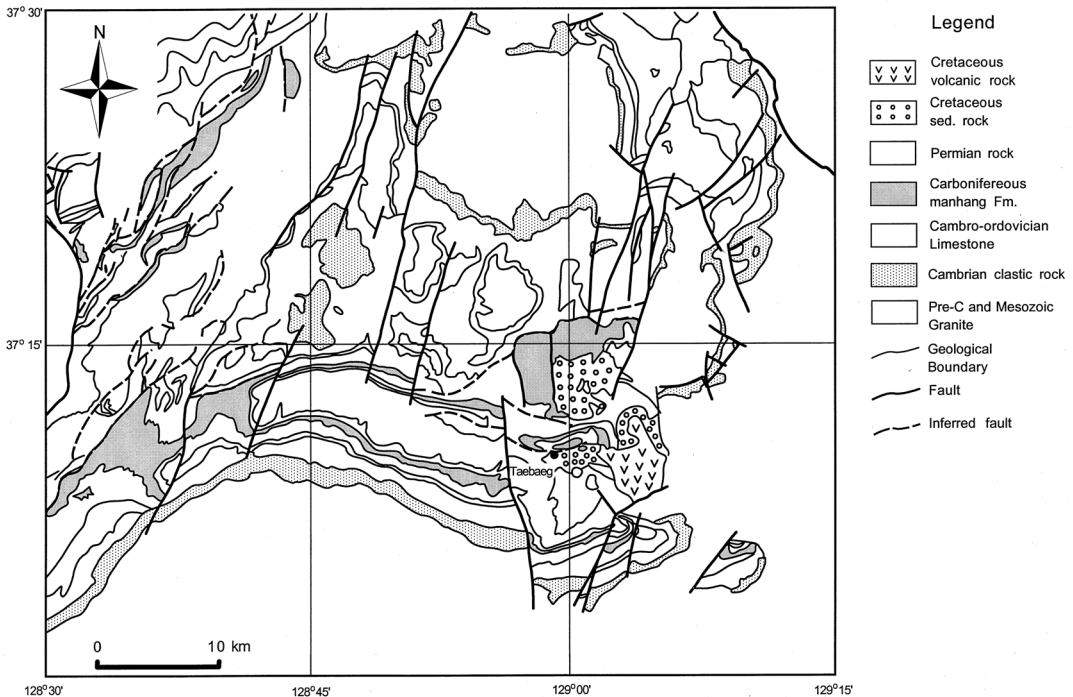
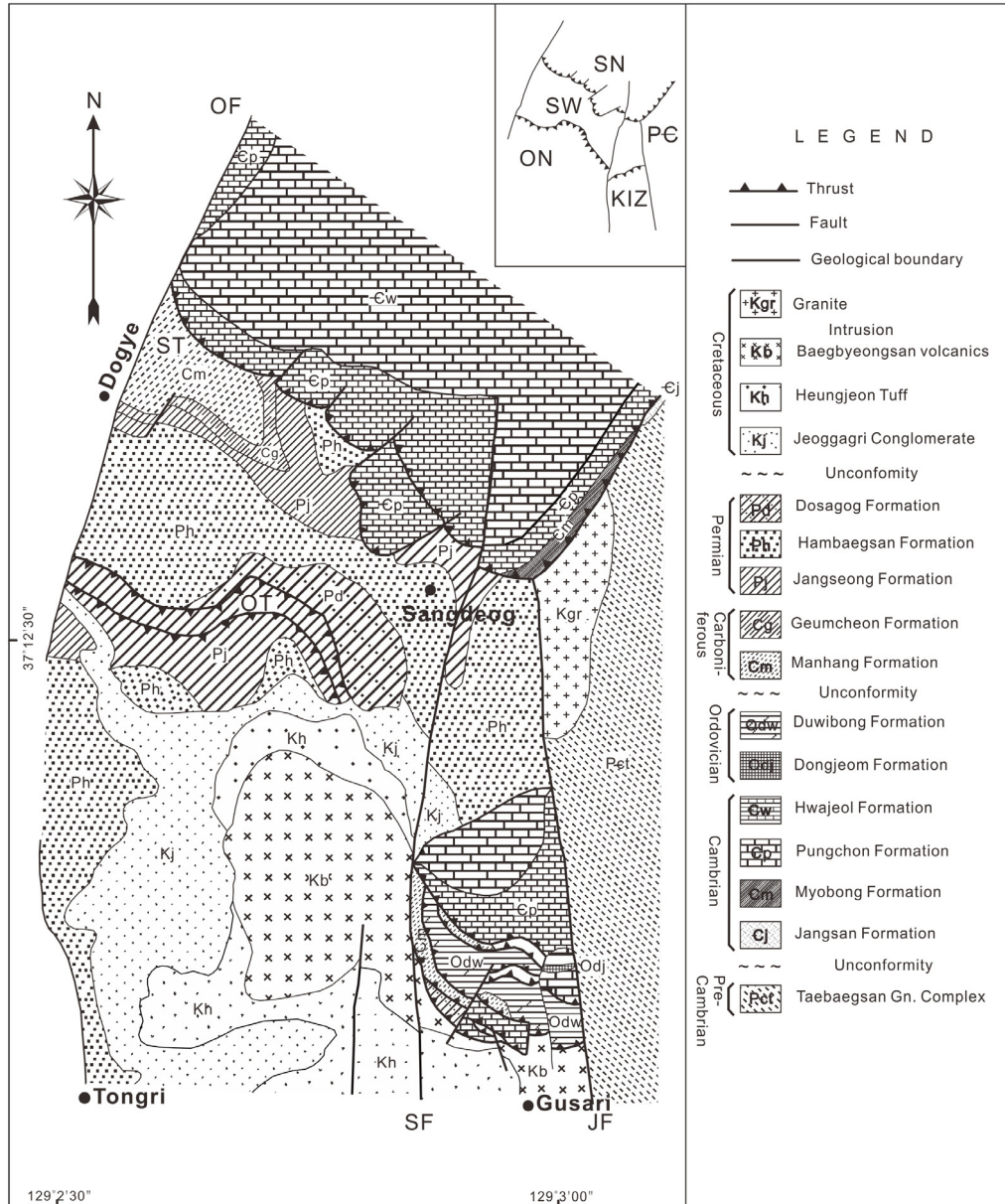


Fig. 2. Geological map of the Taebaegsan region.



광산 갱내지질조사 결과를 보면, 어떤 분출화산암류는 드러스트 운동의 영향을 받은 반면에 어떤 관입암들은 드러스트 단층면을 관입한 것으로 보고된 바 있다. 이에 따라 암석의 연령과 드러스트 단층운동의 시기를 가늠해 보면, 이 드러스트 단층활동은 66.9 Ma와 49.4 Ma 사이에 일어난 것으로 보이며, 이는

대보조산운동의 시기와는 별개인 불국사조산운동의 산물이라 해석된다. 종래에 우리나라의 불국사조산운동은 화강암 관입 외에, 화산활동과 퇴적암층 내에 완만한 요곡작용만 있는 것으로 알려져 왔었다. 도계~통리지역에 발달한 드러스트 단층과 관련된 지질구조로는 드러스트 단층의 기본 형태인 인편상



**Fig. 3.** Geological map of the Tongri area (Modified from Choi, 1986). JF: Jeoggagri Fault, OF: Osipcheon Fault, OT: Obangsan Thrust, ST: Sangdeog Thrust, KIZ: Kusari imbricate zone, SN: Sangdeog Nappe, ON: Obangsan Nappe, SW: Sangdeog Window.

구조, 단층면 상반의 배사구조, 배사형 스택(antiformal stack) 구조 등이 있는데, 이들은 노두에서나 광산의 갱내에서도 관찰된다(Kim *et al.*, 2000).

일반적으로 드러스트 판의 이동 중에 이 드러스트 판의 위치나 운동영역에 따라서 매우 상이한 지질구조들이 형성된다. 즉, 드러스트 판들은 전체가 동일한 움직임을 보이는 것이 아니라 때로는 차별적인 운동을 하여 인열단층(tear fault)을 생성시키기도 하는데, 이러한 인열단층은 주향이동단층의 성격을 갖는다. 또한 드러스트 판의 전면부에서는 습곡구조들이 발달하기도 한다. 이렇듯 드러스트 운동과 관련하여 주향이동단층이나 습곡구조들이 발달하기도 하기 때문에, 이들은 모두가 다 동일시기에 형성된 것으로 보아야 한다.

도계~통리지역을 포함하여 태백산지역 전역에 걸쳐 발달하고 있는 거의 남-북방향 또는 북북동-남남서방향의 주향이동단층들은 곳에 따라 드러스트 단층들을 절단하고 있지만, 이들은 드러스트 단층의 운동과 같은 시기의 것으로 생각된다. 이 지역에 발달한 동-서방향의 주향이동단층들은 거의가 좌수향 운동을 보임이 특징이다. 이 단층들이 백악기 지층들을 절단하고 있어 이 지역에서 가장 후기의 단층으로 보인다.

함백산대단층의 서부지역, 특히 태백시의 황지지역에 인편상구조가 발달해 있는데, 이들의 연장은 지표상에서도 상당한 거리에 걸쳐 추적할 수 있기 때문에, 이 지역은 지질학적으로 매우 흥미로운 곳이다. 태백산지구지하자원조사단(GICTR, 1962)에 의하여 매봉산드러스트가 보고된 이래, 이 지역에는 그 외에 별다른 드러스트 단층이 발달하지 않는 것으로 해석되어 왔다. 황지 시내의 북쪽, 매봉산드러스트의 하반에 해당되는 구(舊) 한성탄광과 황지탄광 구역에서는 함탄층이 층층적으로 반복되는 현상으로 해석되어 오다가 Seo *et al.* (1979)에 의해 그동안 알려지지 않았던 드러스트 단층들의 발달에 기인한 것으로 확인된 것이다.

백운산향사에는 캠브리아기의 장산규암층을 기저로 하여 페름기의 동고층까지 고생대지층이 연속적으로 분포한다. 백운산향사의 습곡축적 방향은 대략 동-서방향이다. 그동안 지질학자들은 대부분 이 향사구조에만 집중하였을 뿐 이 향사구조에 대응하는 배사구조에 대해서는 관심을 갖지 않았었다. 정

선군의 중봉산 일대에는 향사구조에 대응하는 배사구조가 발달해 있으며, 대향사구조에 수반되는 층간 습곡구조의 발달도 확인된다. 이러한 층간습곡구조들에는 중첩된 습곡구조들도 있으며, 이들은 두 번에 걸친 습곡작용의 영향을 받은 것으로 보인다.

백운산향사를 거의 남-북방향으로 절단하고 있는 주향이동단층들은 거의 다 우수향 이동을 하였으며, 이 단층운동과 수반되어 끌림습곡구조(Drag fold)가 발달하고 있다. 이 습곡구조들은 단층의 우측부에 주로 발달하였는데, 이러한 부위에서 함탄층이 부광대를 이루고 있어서 대부분의 대형 탄좌들이 이 부분을 집중적으로 채굴하였었다.

### 2.1.3 정선지역

강원도 정선지역은 태백시의 북서쪽에 위치하며, 소위 '정선형 조선누층군'이 분포하는 지역이다 (그림 2의 북서부). 정선 지역에도 북동-남서방향의 드러스트 단층들이 여러 조(組) 발달해 있지만, 실제로 야외에서 이들을 확인하기가 어려운데, 이는 단층들이 주로 석회암층 분포지 내에 발달하고 있기 때문이다.

그러나 여량 일대의 야외조사 결과에 의하면, 석회암층 중간 중간에 만항층의 적자색 셰일층들이 분포하고 있어서 이것이 드러스트 단층의 증거가 되고 있다. 즉 만항층은 동쪽에 분포하는 석회암층과는 부정합의 관계이지만, 서측에 분포하는 석회암층과는 드러스트 단층 관계이다. 그러나 만항층이 렌즈상으로 분포하고 있기 때문에 실질적으로 이를 추적하기는 어렵다.

### 2.1.4 영월지역

영월지역에는 영월형 조선누층군이 분포하는 지역이다. 이 누층군의 특색은 돌로마이트 우세층과 석회암 우세 지층이 반복하여 분포하고 있어서 각 지층의 특징을 이해하면 이들을 구분하기는 어렵지 않다. 단지 이러한 것을 규명하기 위해서는 정확한 지표지질조사가 수행되어야 한다.

Reinemund (1957)는 영월탄전 마차리 일대에 분포하는 함탄층을 조사하고, 이 지역에 드러스트 단층을 기재하였다. 특히 마차리드러스트는 평안(누)층군 위로 조선누층군을 놓이게 한 단층으로 이 지역에서 가장 뚜렷한 드러스트 단층이기도 하다. 석회암층 내에 발달한 드러스트 단층들은 대부분 60도 이



상의 고각도를 유지하고 있는데, 이는 서쪽으로부터 오는 점진적인 응력에 의하여 단층면의 경사가 더 급해진 것으로 보인다.

삼척탄전에 발달한 있는 드리스트 단층들은 태백시의 북부를 중심으로 한 지역에서는 동-서방향의 주향을 가지며, 그 단층의 운동은 북에서 남으로 이동하였음을 보여준다. 그러나 정선이나 영월지역에 발달하는 드리스트 단층들은 북동-남서방향의 주향에 북서쪽으로 경사져 있어서 그 이동방향이 북서쪽에서 남동쪽으로 이동한 것으로 해석되어, 이들은 삼척탄전 내의 드리스트 단층과 그 발달시기가 다른

을 알 수 있다.

2.1.5 단양지역

단양지역 내에는 동쪽에서 서쪽으로 가면서 선캄브리아 이언의 화강암을 기반암으로 하여 고생대의 조선누층군과 평안(누)층군, 그리고 트라이아스기 후기 내지 쥐라기 초기의 반송층군이 분포하고 있다.

단양지역에는 거의 북동-남서방향으로 발달하고 있는 여러 조의 드리스트 단층들이 있는데, 이들의 단층면도 북서방향으로 경사져 있다. 그렇기 때문에 각동드리스트나 각동드리스트 동쪽에 발달하고 있는

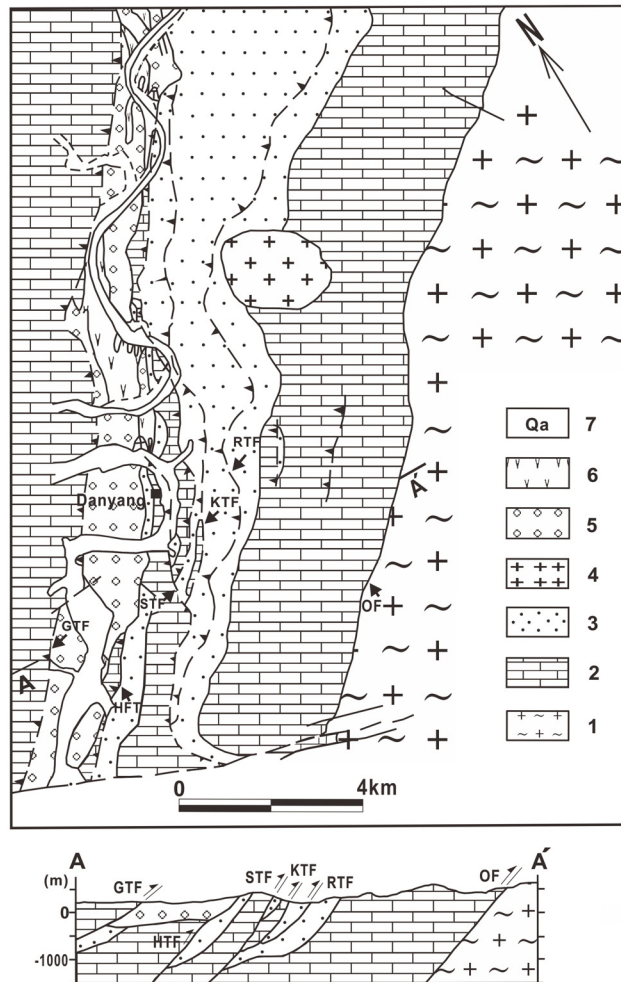


Fig. 4. Geologic map and cross section(A-A') of the Danyang area. (1) Precambeian granitoids, (2) Cambro-Ordovician Choseon Supergroup, (3) Carboniferous to Early Triassic Pyeongan Supergroup, (4) Pre-Jurassic granite, (5) Late Triassic to Early Jurassic Bansong Group, (6) Pre-Jurassic volcanic rocks, (7) Quarternary alluvium. GTF: Gagdong Thrust Fault; HTF: Hyeoncheonri Thrust Fault, STF: Seuleumsan Thrust Fault; KTF: Kichon Thrust Fault; RTF: Rodongri Thrust Fault, and OF: Okdong Fault (after Kim, 1996).

드러스트 단층들 사이에는 방향성에 큰 차이가 없어, 이들의 운동시기를 구분하기는 쉽지 않다(그림 4).

Kim, J.S. (1981)는 단양지역 내에 발달하고 있는 드러스트 단층의 운동 시기에 대하여 처음으로 이전의 해석과 다른 점을 제기하였다. Park *et al.* (1975), Kim, J.S. (1981)와 Lee *et al.* (1985)의 단양탄전 지질도를 보면, 반송층 분포지의 동쪽에 발달하고 있는 현천리 드러스트 단층을 비롯한 여러 단층들이 북동쪽으로 가면서 반송층군을 절단하지 못할 뿐 아니라 더 이상 연장하여 발달하지 않는다는 점을 인식하였다(그림 4). 그러나 단양지역을 조사 연구한 기존의 연구자들은 반송층 분포지의 동쪽에 발달한 드러스트 단층들도 대보조산운동의 산물인 각동 드러스트와 같은 시기의 것으로 해석하였다.

그러나 Kim *et al.* (1994a)은 반송층의 동측에 발달하고 있는 드러스트 단층들이 반송층에 의하여 덮여있는 것을 확인하고, 이 지역에서의 선주라기 드러스트 운동이 있었음을 보고하였다(그림 4). 이들은 송림조산운동 시 형성된 드러스트와 대보조산운동 시 형성된 드러스트들은 서로 평행할 뿐만 아니라 이들의 운동방향도 북서에서 남동방향으로 이동하여 반송층이 분포하지 않는 지역에서는 이들을 구별하기가 어렵다는 점도 지적하였다. 특히 현천리 드러스트나 슬음산 드러스트 그리고 기촌 드러스트를 그들의 주향방향으로 추적해 보면, 이들이 모두 반송층에 의하여 피복되는 것을 확인할 수 있다. 그렇기 때문에 이들은 반송층의 퇴적이전에 생성된 드러스트 단층으로 해석하였으며, 이는 한반도 남부에도 송림조산운동이 활발하게 일어났음을 알려주는 열쇠가 되었다.

또한 그림 4의 지질단면도는 현천리 드러스트가 반송층에 덮이는 것을 명백하게 보여준다. 그리고 현천리 드러스트 동편에 발달하고 있는 드러스트 단층들은 단면도에서 보여주는 바와 같이 슬음산 드러스트 단층의 '후방 가장자리 인편구조(Trailing edge imbrication)' 형태로 발달하였음을 알 수 있다.

표 1은 단양지역의 지질구조와 지층의 분포 방향에 대해 직각으로 남부, 중부와 북부에 단면선을 그리고, 각 단면선과 교차하는 지층이나 단층을 그대로 표기한 것이다. 이 표를 통하여 드러스트 단층들이 주로 어떤 지층들과 관련이 있는지, 그리고 드러스트 단층들이 분기되는 양상, 그리고 반송층과 접하는 모습을 잘 보여준다. 이 표 단면에서 가장 서쪽에

있는 지층들은 영흥층으로 각동드러스트(GTF) 상반에 놓이는 것을 분명하게 보여준다.

각동 드러스트의 동편에는 반송층이 분포하는데, 이 반송층은 충북 단양에서 강원도 정선에 이르기까지 북동방향으로 협장하게 분포하는 것이 특징이다. 그리고 단양지역 동부에서는 선캠브리아 이연의 기반암이 옥동단층(Kim *et al.*, 1989; OF)을 경계로 캄브리아기의 장산규암층과 접하고 있다. 이 경계선에 따라서 부정합면은 보이지 않으며, 경계면에 따라 압쇄작용으로 인하여 암석들이 석영압쇄암이나 화강압쇄암의 특징을 보여준다.

단양지역의 남부에서는 동측에 옥동단층을 비롯하여 석탄기의 금천층과 오르도비스기의 막골석회암층 사이에 슬음산드러스트 단층이, 그리고 그 상위에서는 폐름기의 장성층과 막골석회암층 사이에 현천리드러스트 단층이 있는데, 이들은 현천리에서 반송층에 의해 덮인다. 중부지역에서는 동측에서부터 옥동단층, 로동리드러스트, 기촌드러스트, 슬음산드러스트 그리고 서측에 각동드러스트가 발달해 있다.

슬음산드러스트와 기촌드러스트 각 상반에는 막골석회암층이 놓이지만, 로동리드러스트는 장성층 분포지 내에 발달하였음이 특징이다. 이것은 함탄층이 다른 지층에 비해 미끄러지기 쉬우므로, 이 지층들이 미끄러지기 쉬운 존(slippage zone)의 역할을 한 것으로 보인다. 더 북쪽지역에서는 중부지역과 마찬가지로 단층들이 계속해서 발달하지만, 단층의 위치가 점차적으로 상위의 지층으로 영향을 미쳤음을 보여준다.

단양지역의 남부에는 동-서방향의 좌수향 주향이동성 죽령단층이 발달해 있는데, 이 단층은 기존의 모든 지질구조들을 절단하고 있으므로, 이 지역에서 가장 후기에 발달한 지질구조이다. 죽령단층은 한조의 단층으로 발달한 것이 아니라 4조의 단층이 서로 평행하게 발달하였다(Choi, 2001; 그림 4).

### 2.1.6 문경지역

문경지역은 동쪽의 편마암을 기반암으로 하여 고생대 석회암층과 단층접촉을 하며, 석회암층 상위에 평안(누)층군이 분포한다(그림 5). 문경지역 북부의 봉명산지역이나 남서부의 가은지역에는 중생대 지층들이 넓게 분포한다. 북부지역에 분포하는 부운령 역암은 그 기질이 심히 변형되어 있으며, 역들도 곳

**Table 1.** Tectono-lithostratigraphic units of the Danyang area.

	South		Central		North
	Oh		Oh		Oh
GTF		GTF		GTF	
	Jb		Jb		Jb
	~		~		~
	Omg		Cm		Omg
HTF			Omg	STF	
	Pj	STF			Pd
	Cg		Cg		Ph
	Cm		Cm		Pj
	Omg		Omg		Cg
STF		KTF			Cm
	Cg		Pd		Omg
	Cm		Ph	KTF	
	Omg		Pj		Pg
	Odu	RTF			Pd
	Od		Pj		Pj
	€w		Cg	RTF	
	€p		Cm		Ph
	€m		Omg		Pj
	€j		Odu		Cg
OF			Od		Cm
	PCgr		€w		Omg
			€p		Odu
			€m		Od
			€j		€w
		OF			€p
			PCgr		€m
					€j
				OF	
					PCgr

PCgr: Precambrian granitic gneiss, €j: Cambrian Jangsan Fm., €m; Myobong Fm., €p; Pungchon Fm., €w: Hwajeol Fm., Od; Ordovician Dongjeom Fm., Odu; Dumugol Fm., Omg; Maggol Fm., Cm: Carboniferous Manhang Fm., Cg: Geumcheon Fm., Pj: Permian Jangseong Fm., Ph: Hambaegsan Fm., Pd: Dosagol Fm., Jb: Jurassic Bansong Group, Oh: Ordovician Yeongheung Fm. OF: Okdong Fault, RTF: Rodongri Thrust Fault, KTF: Kichon Thrust Fault, STF: Seuleumsan Thrust Fault, HTF: Hyeoncheonri Thrust Fault, GTF: Gagdong Thrust Fault.

에 따라 매우 신장되어 있다.

문경대단층은 드리스트 단층으로 단양~영월지역의 각동드리스트와 대비될 수 있으며, 중생대 지층 위로 오르도비스기의 석회암층을 올려놓은 단층이다. 이 단층 상반의 석회암층은 영월형 조선누층군

에 대비될 것으로 보인다.

문경지역은 지역에 따라 서로 다른 지질학적인 특성을 보여준다. 봉명산~단산을 중심으로 한 북부 지역에서는 후기 중생대 주라기의 봉명산층이나 단산층이 상부 고생대 지층의 상위에 분포하며, 특징

적으로 동-서방향의 배사구조를 보여주는데, 이 배사구조의 축 방향은 문경대단층을 지나 문경역저탄장에 분포하는 석회암층에까지 그 영향을 미쳤다(Kee, 1987; Kim *et al.*, 1989). 이로 보아 이 동-서방향의 습곡작용은 이 지역에서 후기의 운동으로 보인다.

오정산~불정을 중심으로 한 중부지역은 대성탄좌가 무연탄을 개발하던 지역으로, 이 지역의 지질에 관해서는 그동안 많은 학자들의 연구와 보고서들이 있다(Koh, 1985). 이곳의 석탄층은 주로 사암층 내에 협재되어 있는 것으로 알려져 왔는데, 이러한 함탄층은 5회 반복하여 발달해 있다. 따라서 이 함탄층들의 위치와 지질시대에 대해서 많은 논란이 있어 왔다. 이 함탄층들은 주로 사암층 내에 협재되어 있는데, 이 사암층들은 한동안 고방산통 또는 함백산

층에 대비되어 왔다. 그러나 우리나라의 문헌에서 고방산통이나 함백산층 내에서 석탄이 산출되었다는 보고는 없었다. 따라서 이 지역에 대한 정밀조사 결과, 이 다섯 조의 함탄층은 각각 별개의 것들이 아니라 하나의 함탄층이 단층으로 인해 여러 갈래로 갈라진 일종의 '물매단층 구조(splay fault fan)'에 의한 것으로 밝혀졌다. 야외에서 관찰된 이러한 단층구조를 증명하기 위하여 대성탄좌에서는 각 편(片)별로 함탄층의 위치를 추적하여 본 결과, 이 함탄층들은 지하심부로 내려가면서 하나의 함탄층으로 합쳐지는 것을 보여주었다. 따라서 대성탄좌의 함탄층은 함백산층 내의 것이 아니라 장성층이 반복되어 나타난 현상이다. 이뿐만 아니라 이 지역 내에도 가섭드러스트 단층을 비롯하여 여러 조의 드리스

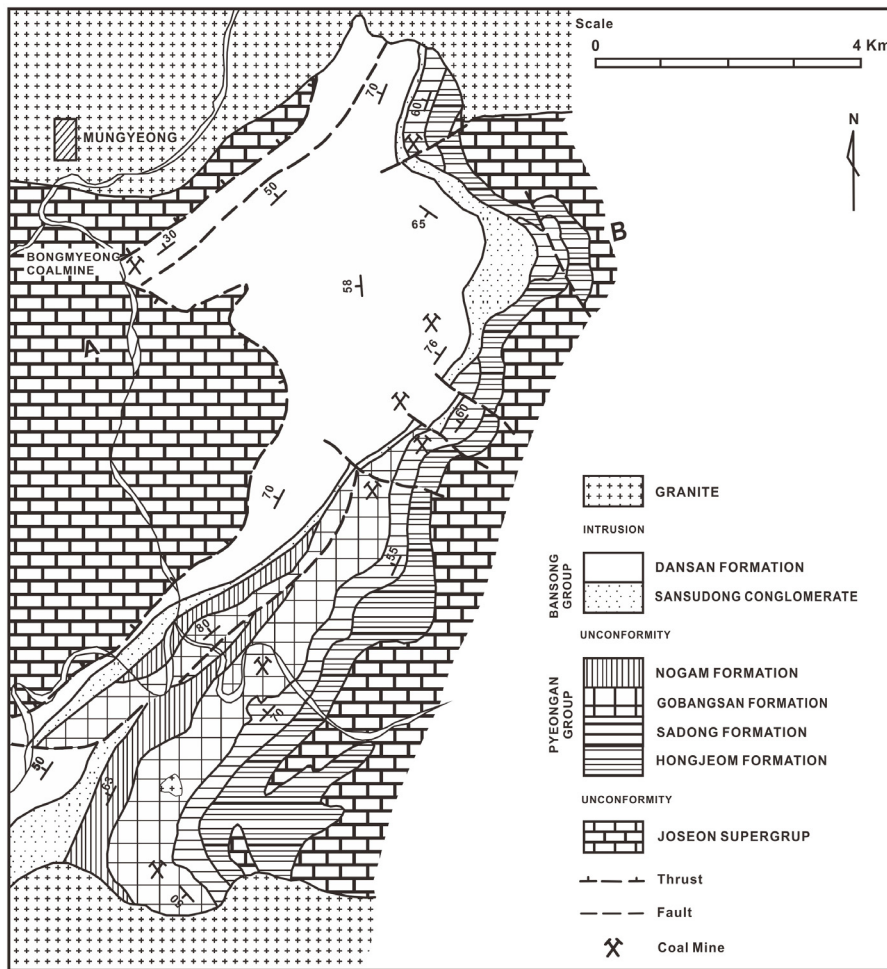


Fig. 5. Geologic map of the Mungyeong Coalfield (after Reedman and Um, 1975).

트 단층들이 발달하고 있다. 문경탄전의 남부지역인 어룡산 일대에도 함탄층이 부존하여 채굴되었으며, 이 지역에서는 습곡작용이 두드러지게 발달하고 있다(Cheong, 1987). 그리고 이 일대의 함탄층은 트라이아스기의 화강암류에 의해 관입당했다.

### 2.1.7 기타지역

보은탄전지역은 상부고생대의 지층들과 소규모의 중생대 지층들이 분포한다. 이들은 지역에 따라 심한 변성작용과 변형작용을 받아 함탄층은 거의 흑연화 되어 있다.

또한 우리나라 남부의 화순탄전에도 상부 고생대 지층들이 분포하는데, 이들의 대부분이 백악기 퇴적암류 및 화산암류에 덮여 있어 지표에 노출된 부분이 흩어져 있기 때문에 동일한 지층이라도 조사자에 따라 서로 다른 지층명이 부여되어 혼란을 야기해 왔다. 이 지역에서는 40미터 두께의 괴탄층이 발달하고 있음이 보고되어 있어, 지질구조는 그리 복잡한 것 같지는 않다. 화순탄전 남부에서 다수의 드리스트 단층들이 발달해 있음이 1980년대 초에 밝혀졌으며, 이로써 동일한 함탄층이 여러 갈래로 반복해서 분포해 있음이 규명되었다(Choi, 1986). 화순탄전 지역의 동부에 관입암맥으로 발달하고 있는 변성반암은 압쇄작용을 받은 반암으로 밝혀졌으며, 이 같은 압쇄암이 발달한 지역이 순창전단대 연장부의 일부임이 밝혀졌다(Kee, 1993).

### 2.1.8 국내의 드리스트 단층에 대한 결론

우리나라 탄전의 함탄층을 규제하고 있는 지질구조에 대해 조사하는 과정에서 탄전지역에 따라 드리스트의 생성시기와 운동방향이 각기 다르다는 것이 밝혀지게 되었다. 따라서 국내에 발달하고 있는 드리스트 단층의 시기를 구분하면 다음과 같다.

태백시 북동부나 도계~통리지역에 동-서방향으로 발달하고 있는 드리스트 단층들은 백악기 지층들에 영향을 미쳤기 때문에 백악기 지층의 퇴적 이후에 일어난 것이 확실하며, 이들은 북에서 남쪽으로 운동하였다. 단양지역에 발달하고 있는 드리스트 단층들은 중생대의 반송층이 퇴적되기 전의 드리스트 운동과 퇴적 이후의 드리스트 운동으로 구분된다. 이 두 시기의 드리스트 단층들은 주향방향이나 경사방향이 거의 동일하고, 또 운동방향도 유사하여 반

송층이 분포하지 않는 지역에서는 이들을 구분하기가 쉽지 않다. 이와 같은 양상 때문에 대부분의 학자들이 단양 지역에 발달하고 있는 드리스트 단층들이 모두 반송층이 퇴적 이후에 있었던 대보조산운동의 산물이라고 생각하여 왔던 것 같다.

세계에서 가장 강력한 조산운동으로는 유럽의 칼레도니아(Caledonian) 조산운동과 바리스크(Variscan) 또는 헬시니아(Hercynian) 조산운동을 들 수 있는데, 이들은 각각 오르도비스기 이후와 석탄기~페름기 동안에 일어났다. 두 조산운동의 결과로 칼레도니아 운동시기에는 북동-남서방향의 주향과 남동방향의 경사를 가진 영국의 모인드리스트단층(Moine Thrust Fault)과 연관된 지질구조들이 발달하게 되었으며, 헬시니아(Hercynian)조산운동 중에는 동-서방향의 드리스트 단층과 지질구조들이 발달되었다. 이와 같이 조산운동은 발달시기에 따라 각각 그들만의 특징을 지니고 있다.

그동안 국내에서 조산운동이라 하면 대보조산운동을 떠올릴 만큼 대표적인 조산운동으로 알려져 왔으며, 이와 연관된 지질구조들로는 북동-남서 방향의 지질구조들과 단층들로 대표되어 왔다. 오랫동안 국내에서는 송림조산운동에 의한 지질구조들은 평양탄전에만 발달하는 것으로 생각해 왔는데, 근래에 단양지역에서 반송층이 덮고 있는 드리스트 단층들이 발견됨으로 인하여 한반도의 남부에도 송림조산운동이 활발하게 있었음이 확인되었다.

이상의 결과를 종합해 보면, 단양지역에서 반송층 분포지의 동편에 발달해 있는 드리스트 단층들은 반송층 퇴적 이전에 있었던 송림조산운동의 산물이며, 각동드리스트를 대표로 하는 반송층 퇴적 이후에 있었던 단층들은 대보조산운동의 산물이라고 요약할 수 있다. 그동안 국내에서 불국사 조산운동은 단순히 화성활동과 퇴적암의 요곡작용만 있었던 것으로 알려져 왔었지만, 태백시 북동부에서 백악기의 퇴적암층과 화산암층이 생성된 이후에 형성된 드리스트 단층을 포함한 여러 지질구조들이 확인되어 있으므로, 이들은 불국사조산운동의 산물이라 생각된다.

## 2.2 고생대 및 중기 중생대 지층 내의 지질구조 특성

우리나라의 고생대 지층들은 주로 평양탄전이나 태백산지역 일대에 집중적으로 분포하고 있으며, 그



외의 지역에 소규모로 산재하여 분포한다(그림 2). 또한 중생대 지층들은 경상분지와 능주분지, 그리고 옥천대와 경기육괴 내에 소규모로 분포하고 있는데, 본문에서는 주로 태백산지역을 중심으로 하여 설명하고자 한다.

중생대 및 고생대지층 내의 지질구조 특성은 다음과 같다. 즉, 변형작용의 결과로 퇴적암층에 발달하고 있는 지질구조들로는 2차 면구조인 점판벽개, 파랑벽개와 선 구조, 광물신장 선구조, 교차 선구조 등이 있는데 이들의 방향성을 이용하여거나 중첩된 습곡구조나 습곡된 선구조들을 이용하여 이들의 선후관계를 구별할 수 있다. 이러한 변형작용의 결과로 만들어진 지질구조들은 중기 중생대 지층이나 고생대 지층에서 모두 관찰된다(그림 6a, 6b, 6c). 그러나

이들의 방향성을 살펴보면, 정선~단양 일대의 중생대 반송층이나 문경지역의 단산층과 봉명산층에서는 동-서방향과 북동-남서방향의 습곡구조나 선구조, 즉 두 방향의 지질구조들이 관찰되지만, 고생대 지층들 내에서는 동-서방향, 북동-남서방향에 더하여 북서-남동방향, 즉 세 방향의 지질구조들이 관찰된다. 즉, 중생대 지층들은 두 번의 변형작용을 받았음에 반하여 고생대 지층들은 세 번에 걸쳐서 변형작용을 받은 것이다.

Reedman *et al.* (1973)은 옥천대의 옥천층군에 발달한 습곡축의 방향에 따라서 북서-남동방향, 북동-남서방향과 동-서방향의 습곡구조가 순차적으로 형성된 것으로 설명한 바 있다. 특히 문경탄전의 북부에서는 단산층과 봉명산층이 동-서방향의 배사구조를 이루고 있는데, 이 배사구조가 문경대단층을 지나서 문경역 주변에 분포하는 석회암층까지 연장되는 것으로 보아, 이 동-서방향의 지질구조가 대보조산운동 보다는 후기에 형성되었음이 명백해진다(Kim *et al.*, 1989). 그러므로 동-서방향의 지질구조들은 백악기 불국사조산운동 시에, 북동-남서 방향의 지질구조들은 대보조산운동과 송림조산운동 기간에, 그리고 북서-남동방향의 습곡구조들은 주로 송림조산운동 초기에 형성된 것으로 해석된다.

**2.3 하부 고생대층과 기반암의 접촉관계**

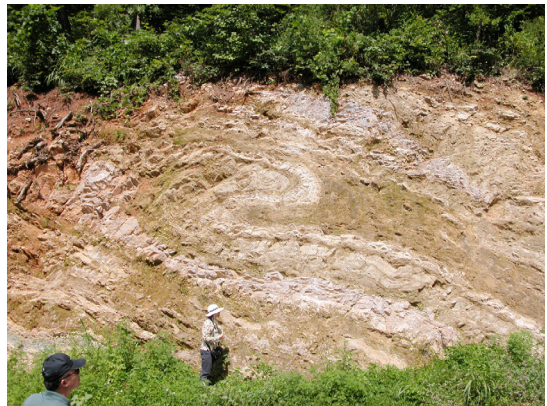
태백산지구지하자원조사단(GICTR, 1962)에 의해 조사된 태백산지역 지질도에는 캄브리아기의 최하부 지층인 장산규암층과 기반암의 관계에 대해서



**Fig. 6a.** Precambrian-Cambrian contact boundary at the Darian, Danyang. Left hand side is Cambrian Quartzite and right hand side is Precambrian granite.



**Fig. 6b.** Inclined anticline of the Maggol limestone Formation, Danyang.



**Fig. 6c.** Refolded folds in the Maggol limestone Formation, Danyang.



자세히 설명된 바는 없지만, 그 기반암과의 관계는 부정합 내지 난정합으로 표시되어 있으며, 기반암의 대부분은 화강암질편마암과 변성퇴적암류인 태백산통으로 구성되어 있다.

장산규암층이 캄브리아기의 지층이고 그 하부에 선캄브리아 이연의 기반암이 있다면, 이들 간의 관계는 정확하게 해석되어야 하지만, 대부분의 지질도폭에서는 장산규암층과 기반암과의 접촉관계만이 단순하게 설명되어 있었다. 그러나 다른 곳에서와는 달리 옥동도폭(Lee, 1966)에서는 장산규암층 기저부에 편암층이 분포하고 있음을 보고하였다. 충북 단양에서부터 녹전지역까지는 북동-남서방향으로 분포하던 고생대 지층들이 녹전부터 태백지역까지는 동서방향으로 분포해 있다. 이러한 북동방향과 동서방향의 장산규암층과 기반암에 대해서는 충분히 조사한 바는 없지만, Kim *et al.* (1989)는 녹전에서 단양까지 장산규암층과 기반암과의 접촉관계를 조사하였다(Kim *et al.*, 1989; 그림 6a).

조사결과 이 지역에서는 장산규암층의 기저역암이 확인되지 않았고, 옥동도폭 설명서에 설명한 대로 편암층만이 분포하고 있었다. 이 편암층은 녹니석편암, 견운모편암과 활석을 수반하는 편암상으로 변성되어 그중의 일부는 견운모와 활석 광산으로 채굴되기도 하였다. 이 편암층에 대하여 Yun (1983)은 K/Ar 방법으로 절대연령을 측정하고, 석영-우세부에서는  $562 \pm 5$  Ma, 석영-견운모-우세부에서는  $266 \pm 5$  Ma 그리고 견운모-우세부에서는  $233 \pm 5$  Ma의 지질연대를 보고한 바 있다.

Kim *et al.* (1989)에 따르면, 장산 규암층과 기반암의 경계부를 따라서 여러 번의 단층운동이 있었음을 보고하였다. 이들은 옥동에서 점촌까지 이 단층의 연장선을 추적하면서 지역에 따라 단층암의 차이가 있음을 확인하였다. 즉, 옥동지역에서는 단층비지(fault gouge)가 발달해 있으며, 옥동의 남부지역에서부터 단양 남부의 대강면에 이르는 일대에는 압쇄암(그림 6a)이, 그리고 대강면 덕촌리에는 압쇄화강암이, 점촌지역(현재 문경시) 가까이 가면서 이들은 초압쇄암으로 변하는 것을 보고하였다.

장산규암층과 기반암과의 특이한 관계는 태백산 지구의 북부인 임계지역에서도 관찰된다. 태백산지구 지질도 중 임계도폭에는 장산규암층이 북쪽에 분포하는 화강암류의 관입으로 인해 일부분 분포하지

못하고, 화강암과 묘봉층이 직접 접촉하는 것으로 표기되어 있다. 그러나 Kim and Kee (1991)는 이러한 접촉관계가 화강암 관입에 의한 것이 아니라 단층에 의하여 단절된 것임을 확인하였다(Kim *et al.*, 1996).

이와 유사한 장산규암층과 기반암의 관계는 평창 지역에서도 관찰되는데, 이곳에서는 이들의 경계부에 압쇄화강암이 넓게 분포하는 것이 특징이다. 또한 강원도 평창군의 방림 지역에서는 기반암이 고생대의 석회암층 상위에 클리페 형태로 놓여 있어, 단순히 압쇄작용만이 있었던 것이 아니라 드리스트 운동도 있었음이 확인되었다(Kim *et al.*, 1997, 1999). 물론 장산 규암층과 기반암과의 접촉관계가 백운산향사의 남익부에서는 어떤 상황인지는 확인되지 않았다. 이와 같이 문제의식을 가지고, 그 접촉관계를 바라본다면 우리가 기대하는 이상의 지질현상을 규명할 수 있으리라 생각된다.

#### 2.4 옥천층군의 지질구조

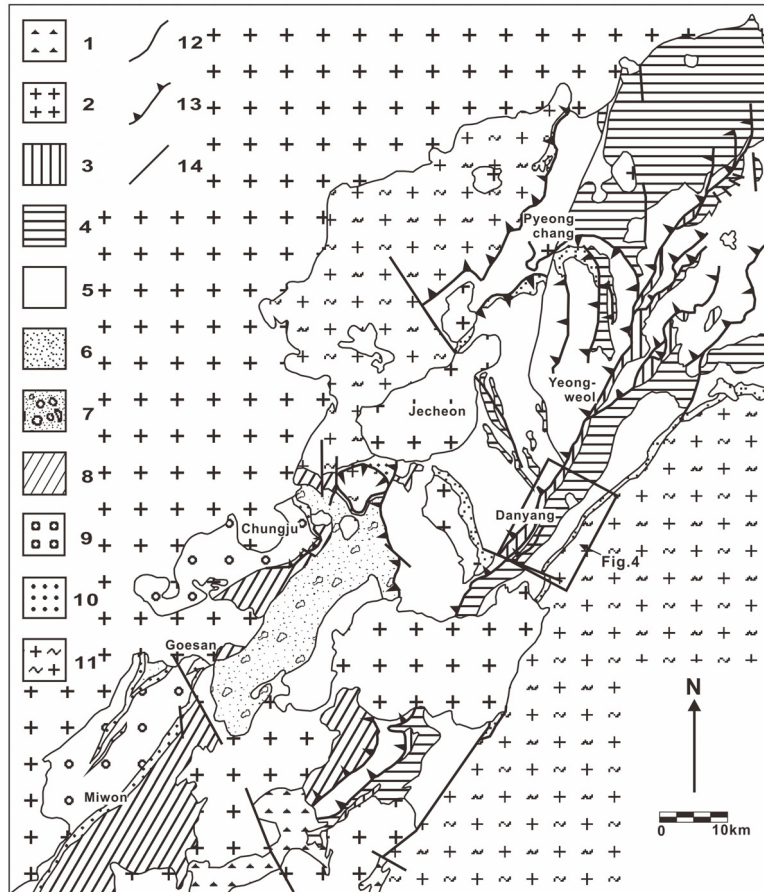
한반도 남부지역에 북동방향으로 발달하고 있는 옥천대는 동쪽으로는 영남육괴와 접하고, 북서쪽으로는 경기육괴와 접하고 있다. 옥천대 내에는 고생대와 중생대 지층만이 분포하고 있는 것이 아니라 아직까지 그 지질시대가 명백히 밝혀지지 않은 변성퇴적암층과 변성화산암류로 구성된 옥천층군이 분포하고 있다. 옥천층군에 관해서는 그동안 다양한 견해와 연구결과들이 보고되고 있지만, 그 근본적인 문제에는 아직 접근을 하지 못하고 있는 것 같아 그 간의 옥천층군에 대한 연구 결과와 함께 앞으로의 연구방향을 제시하고자 한다. 옥천층군에 대한 연구연혁과 연구역사에 관해서는 한국의 지질(Geological Society of Korea, 1998, p. 58)에 매우 자세하게 기술되어 있기 때문에 여기서는 왜 이러한 문제가 생기게 되었는지 고찰해보고자 한다.

시대미상의 옥천층군에 대한 조사는 충주도폭(Kim and Lee, 1965)과 황강리도폭(Lee and Park, 1965)으로부터 시작되었는데, 이 두 지질도폭(1:5만)으로부터 옥천층군의 분포, 층서, 그리고 그 암상이 알려지게 되었다. 그러나 이후에 계속된 지질도폭 조사에서부터 문제가 시작된 것 같다. 즉, 지질도폭 조사의 연계성이나 연속성이 결여되어 지층의 대비나 연속성에 중점을 두지 않고 조사자의 판단에 따라 지

층명을 부여하다 보니 암상이 동일한 지층이라 할지라도 도폭에 따라서 다양한 명칭을 갖게 된 것 같다. 옥천층군에 속하는 지층의 특성이나 암상의 차이에 따른 상하관계를 확인하여 지층의 층서를 수립해야 함에도 불구하고 이러한 점이 부족하지 않았나 생각된다.

필자는 한국지질자원연구원의 연구과제를 수행하기 위하여 한반도 남쪽 끝의 해남 도폭에서부터 태백지역까지 옥천대 내에 속해있는 각 지질도폭 내의 지층의 특성들을 조사한 바 있다. 이를 통해서 옥천층군의 지층명이 도폭에 따라 암상은 동일하나 지층명이 다르든지 아니면 지층명은 동일한데 암상은 다른 것을 확인할 수 있었다. 이는 조사자들이 다르기 때문에 생긴 일이라 생각된다.

또한 옥천층군에 속해야 하는 지층들의 특성에 관한 것이다. 어느 지층부터 어느 지층까지를 옥천층군에 포함시켜야 하는가 하는 점이다. 현재까지 많은 지층명이 거론되어 있고, 학자들에 따라서 지층들의 비교와 대비도 많이 되어 있는데 그 기준을 어디서부터 정하느냐 하는 점이다. 이 또한 연구자들이 자기들의 관점만을 주장하다 보니 실제로 통합된 결정이 나기가 쉽지 않다. 따라서 이를 해결하기 위해서는 옥천층군 연구전담반을 만들어 정밀하게 조사한다면 이 문제를 해결할 수 있으리라 생각된다. 그러나 먼저 유의해야 할 점은 함께 전국을 다니며 함께 확인 한 후에 이를 결정하는 것이다. 옥천층군 연구에는 전담연구팀과 지속성이 있어야 한다.



**Fig. 7.** Geologic map of the Ogcheon Belt (after Kim, 1996). (1) Cretaceous volcanics, (2) Mesozoic granites, (3) Late Triassic to Early Jurassic Bansong Group, (4) Carboniferous to Early Triassic Pyeongan Supergroup, (5) Ordovician to Silurian Great Limestone Group, (6) Cambrian Yangdeog Group, (7-10), Ogcheon Group (7) Diamictite dominated, (8) Pelite dominated, (9) Psammite dominated, (10) Quartzite); (11) Precambrian gneiss and schist complex, (12) geologic boundary, (13) Thrust fault, (14) Fault.

그 다음 생각해야 할 문제는 옥천층군이 분포하는 퇴적분지에 관한 것이다. 대부분의 옥천층군에 속하는 지층들은 변성작용을 받은 퇴적암이거나 변성 및 변형작용을 받은 화산암류로 구성되어 있다. 과거에는 옥천층군에 속하는 지층들을 모두 변성암으로 생각하여 퇴적암 내에 발달하고 있는 일차적인 퇴적구조에 대해 거의 생각해보지 않았다. 그러나 이제는 대부분의 연구자들이 이들의 암상을 이해하게 된 만큼, 새로운 시각으로 암석들을 바라보아야 한다. 현재까지 알려진 일차적인 퇴적구조들은 정상적인 관계, 즉 서쪽으로 향하면서 지층이 젊어지는 경향을 보여준다. 역전된 일차구조는 아직 보고된 바 없다.

또한 옥천층군이 퇴적된 퇴적분지를 생각해야 한다면, 퇴적분지의 윤곽도 생각해야 하고, 분지의 경계도 찾아야 한다. 그렇게 해야만 퇴적분지 내의 층서를 바로 세울 수 있기 때문이다. 한 지층 내에서 암상의 변화는 얼마든지 있을 수 있다. 그렇기 때문에 암상이 변한다고 해서 바로 지층의 경계를 정하는 것도 주의해야 할 점이다. 그리고 옥천분지 내에 분포하는 지층들이 모든 방향으로부터 일정한 층준을 갖는다고 생각하는 것도 재고해야 할 것 같다. 그렇기 때문에 옥천분지의 동쪽에서 서쪽으로의 층서와 서쪽에서 동쪽으로의 층서가 어디서 만날까 하는 점도 유의해야 한다. 이와 같은 방법으로 연구를 한다면, 옥천층군의 기반암이 정해질 것이며, 기반암과 상부층과의 관계를 정립해나가면서 층서를 수립할 수 있을 것이다.

옥천층군 중에서 가장 동쪽에 분포하는 지층은 서창리층 또는 창리층으로, 미사암층을 기저부에 두고 점판암층과 천매암층으로 변해간다. 그리고 서창리층 동부에는 오르도비스기의 석회암층이 분포한다. 이제까지 서창리층 또는 창리층은 점판암과 천매암으로만 구성되어 있다고 보고되어 왔는데, 실제로는 최하부에 미사암층이 분포하고 있다는 것을 간과했다. 그리고 어떤 학자들은 서창리층은 오르도비스기의 석회암층보다 지질시대가 더 오래되었다고 가정하여 이 경계에 따라 드리스트 단층을 설정하고 있다. 그러나 증평지역(Lee and Kim, 1971)의 조사결과에 의하면, 석회암으로 구성된 고운리층이 상부로 가면서 박층의 점판암층을 협재하며, 더 상부로 가면서 미사암층이나 점판암층이 덮이게 된

다. 따라서 이 관계는 정합적이지 단층관계가 될 수 없다. 또한 층주에서부터 남쪽으로 대전 남쪽의 금산 지역으로 가면 이곳에서도 오르도비스기의 석회암층 상부에 점판암과 천매암으로 구성된 창리층이 놓여있다(Hong and Chwae, 1978). 옥천대에 따라서 옥천층군의 하부지층인 미사암층, 점판암과 천매암으로 구성된 서창리층은 오르도비스기 석회암층 상위에 정합적으로 놓인다. 그런데 이 미사암층은 그 암색과 성분이 계명산층의 변성사암층과 너무나 유사하여 실제로 이 둘을 육안으로 분간하기는 어렵다. 그러나 서창리층에 속하는 미사암층은 그 상부에 점판암층이 놓이기 때문에 계명산층의 사암층과는 구분이 가능하다. 이러한 혼란 때문에 새로운 지층명을 붙이게 된 것으로 보인다.

서창리층 상위에는 명오리층이 놓인다. 명오리층은 세립질 사암층에 투명한 석영입자들을 포함하고 있음이 특징이다. 그리고 이들은 황강리층에 의해 피복된다. 북노리층과 황강리층은 동일 층의 반복으로 생각된다.

옥천대 서측의 층주지역에는 계명산층의 사암 우세층이 선캠브리아 편마암 위에 놓여있다. 과거에 대향산규암층과 향산리돌로마이트층으로 불리던 지층들은 그들의 주향방향으로 추적하여 보면, 이들은 곳에 따라 렌즈상의 분포를 보인다(Park, 2005). 계명산층 동측에는 팔봉산 화산복합체가 분포한다. 기존의 문주리층은 서로 다른 암상을 가진 암층들이 혼재되어 있어 이에 대한 새로운 정의가 필요하다. 그리고 변성화산암류에 대한 분포와 이들이 접하고 있는 지층들을 분류한다면 이 지역에서의 층서를 수립할 수 있으리라 생각된다.

서창리층의 동측에 분포하는 석회암층에 대해서는 정밀한 연구가 이루어져 있지 않았지만, 청풍지역에서 돌로마이트층 내에 해백합 줄기의 파편과 완족류 화석이 산출되어 이 지층의 지질시대가 오르도비스기에 해당할 것으로 보고된 바 있다(Lee, 1997). 따라서 서창리층과 그 상부의 지층들은 이 석회암층의 지질시대보다는 후기의 것으로 보인다.

옥천대 내의 지질시대와 층서해석에 혼돈을 주는 요소로는 염기성암의 분포이다. 물론 이 염기성암들은 다양한 암성을 보여줄 뿐만 아니라 산출상태도 다양하다. 즉 어떤 곳에서는 분출암의 암상을 보여 주나 다른 곳에서는 관입상의 암상을 보여주기도 한

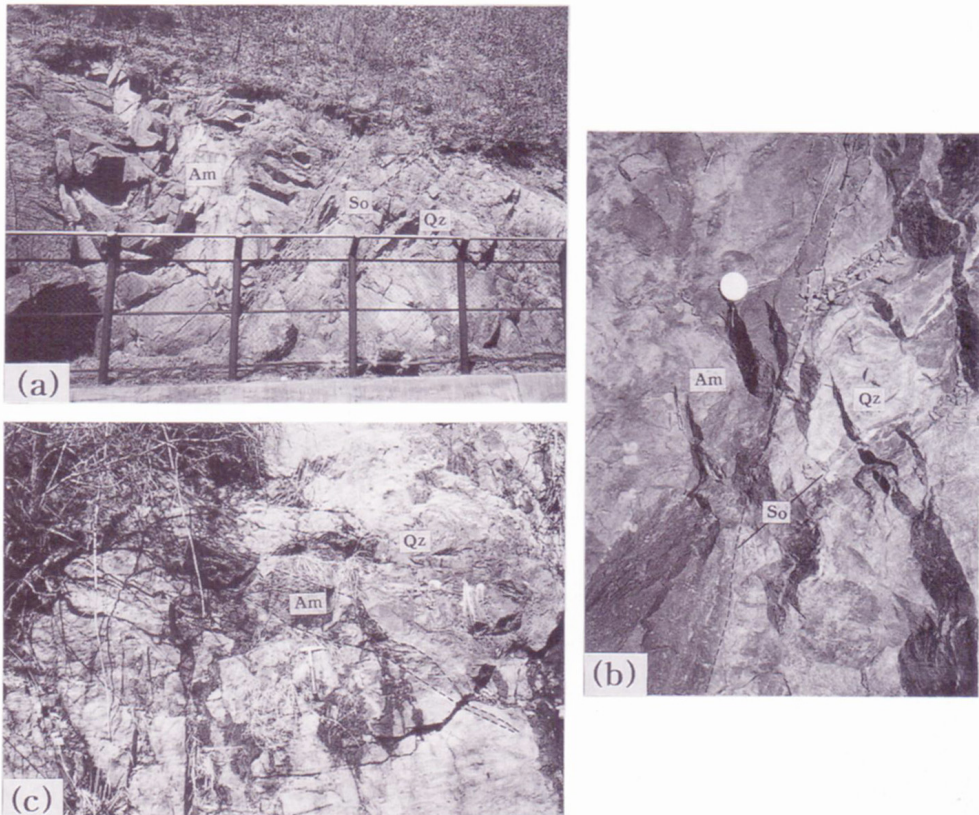
다. 가장 중요한 것은 이러한 암석들이 접하고 있는 주변 암석과의 상호관계이다.

제천 남부의 덕산지역에서는 엽기성암이 석회암층과 규암층을 관입하고 있어서 이들은 석회암층 보다는 후기의 관입암이 분명하다(Khim *et al.*, 1996; 그림 8). 그러나 다른 지역에서 엽기성 암석의 연령이 선캠브리아 이연으로 보고된 바 있기 때문에, 비록 암상은 유사하더라도 그 시기가 다를 수 있으므로 이들을 구분하는 것이 매우 중요하다. 비록 엽기성암이 변형작용을 받아 엽리구조가 발달해 있다고 해서 더 오래된 것이라 말할 수 없다는 점을 유의해야 한다. 덕산리 지역에서 엽기성암과 주변 모암과의 관계는 그림 8에서 잘 보여주고 있다. 황강리층의 분포지를 따라 추적해보면, 황강리층은 옥천층군의 모든 지층들과 접하고 있음을 알 수 있는데, 이는 황강리층이 이 층군 내에서 가장 상부층이라는 것을 암시하고 있는 것이다.

## 2.5 국내에 발달한 연성전단대

1981년 겨울에 필자가 영국지질조사소의 Reedman 박사와 함께 백악기 퇴적분지 내의 화산암류에 대해 조사하던 중, 중평도폭지역의 백악기 화산암류와 기반암 사이에 압쇄암이 발달해 있는 것을 관찰한 것이 국내에서 압쇄암에 대한 최초의 발견이었다는 것은 이미 앞에서 설명한 바 있다. 1982년에 필자와 황재하 박사는 오수도폭을 조사하던 중에 과거에 편상 화강암이라고 알려진 것들의 대부분이 연성전단작용에 의한 변형작용을 받은 화강암 또는 압쇄화강암 (deformed granite, 또는 mylonitic granite)이라는 것을 알게 되면서 압쇄암과 연성전단대의 존재를 인식하게 되었다.

Ramsay and Graham (1970)에 의한 연성전단대에 관한 연구 이래로 세계의 많은 학자들이 이에 대한 연구를 수행하여 왔지만, 국내에서는 압쇄암이나 연성전단대에 대해 거의 알려진 바가 없었다. 국내



**Fig. 8.** Photographs of outcrops. (a) Amphibolite clearly cut the bedding trace (So) of quartzite bed. (b) close views of (a). (c) Apophysis of amphibolite into the quartzite bed (after Khim *et al.*, 1996).

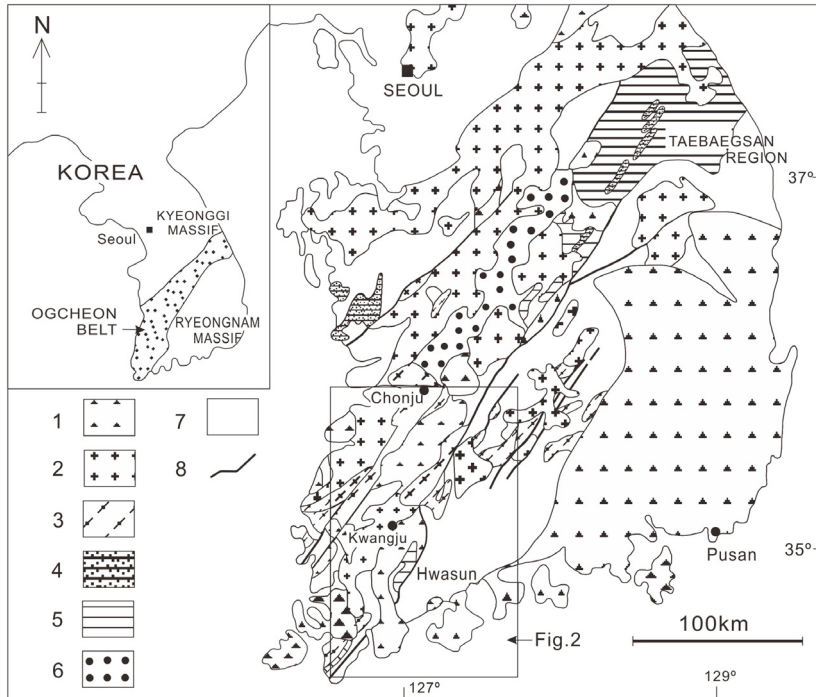


학자들 대부분이 화강암이 변형작용을 받아 압쇄암화 되었다는 것 자체를 이해할 수도 없었고, 어떻게 화강암이 변형작용을 받아 엽리가 형성될 수 있겠는가에 대해서 의문을 품는 학자들도 일부 있었다. 그러나 국내에서 전단대나 압쇄암의 존재에 대하여 알려지고 그에 관한 연구가 서서히 진행되고 있는 사이에 외국의 학자들이 국내에 발달해 있는 전단대에 대해 논문을 발표하기 시작하였다. 실제로 압쇄암(mylonite)이라고 하면, 그 종류에 따라서 구분되어야 하고, 압쇄대의 폭과 연장, 그리고 전단지시자에 의한 운동방향과 그 운동시기가 결정되어야 한다. 그동안 국내 학자들이 연성전단대나 압쇄암의 존재를 인지하지 못했던 것은 압쇄암의 정의나 특징을 깨닫지 못하였기 때문이다.

한반도의 전단대(shear zone)에 대해 처음으로 발표된 논문은 Yanai *et al.* (1985)에 의한 'The Honam Shear Zone', 즉 '호남전단대'이다. 이들은 한반도 남부에 여러 개의 전단대들이 발달해 있으며, 이 전단대들은 한반도 남부지역 거의 전체에 걸쳐서 북동

-남서방향으로 분포해 있는 것으로 보고하였다. 이후에 Cluzel (1988)도 'The Honam Shear Zone'에 대해서 논문을 발표했으며, Cluzel *et al.* (1991b)은 이 'Honam Shear Zone'을 따라서 전단대의 동쪽지역이 우수향으로 200 km 이동하였다고 보고하였다. 그러나 이 두 'The Honam Shear Zone'은 명칭은 같지만, 그 위치나 운동 시기에 차이가 있다. 문제는 국내 학자들이 이 'The Honam Shear Zone'이란 용어를 그들의 논문에 인용하면서 그 차이점을 완전히 이해하지 못하고 있는 것 같았다. Cluzel *et al.* (1991b)의 호남 전단대는 옥동 단층(Kim *et al.*, 1989)을 근간으로 하고 있음이 특징이다. 그러나 이 옥동단층을 중심으로 해서 200 km의 변위는 불가능한 것으로 보이는데, 그 이유는 옥동단층을 따라서 캄브리아기의 장산규암층과 선캄브리아 이연의 화강암이 연성전단대로 밀접하게 접촉하고 있기 때문이다.

이후에 국내에 여러 조의 전단대가 발달해 있음이 밝혀졌다(그림 9). 그러나 많은 학자들이 각기 그들의 연구결과에 따라 전단대의 명칭을 다르게 부르

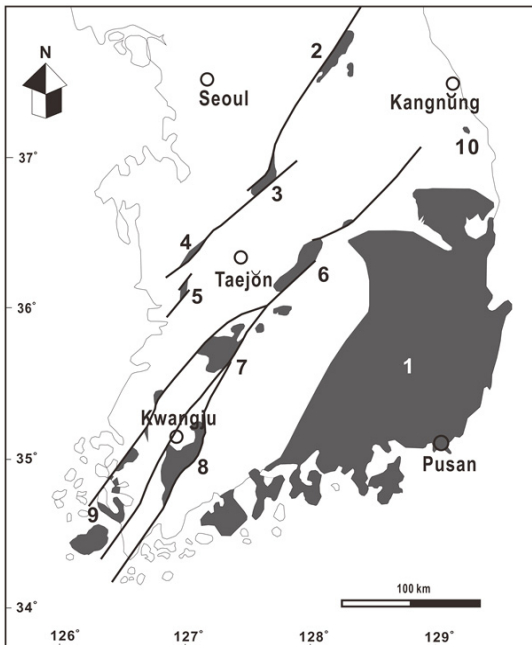


**Fig. 9.** Geologic map showing the distribution of the ductile shear zones in Korea modified after Cluzel *et al.* (1991b). (1) Creataceous and Tertiary rocks, (2) Jurassic granites, (3) Triassic foliated granites, (4) Bansong Group. (5) Paleozoic sediments. (6) Ogccheon Group, (7) Precambrian gneisses and schists and (8) ductile shear zones (after Kim and Kee, 1994).

는 탓에 혼란이 야기되었다. 이에 1990년 제 45차 대한지질학회 정기학술발표회 기간 중에 구조지질학 분과위원회에서는 국내의 전단대에 대한 그간의 연구를 종합정리하고, 광역적으로 크게 인지되는 연성 전단대에 대해 모든 회원들이 공통적으로 사용할 수 있도록 새로운 명칭을 부여하였다. 즉, 여러 전단대 중에서, 진안~순창~해남을 잇는 선을 따라 발달된 것을 '순창전단대', 전주~무안~목포 선의 것은 '전주전단대', 전주전단대에 평행하게 광주 일대에 발달해 있는 것을 '광주전단대', 그리고 영광 부근에서 전주전단대로부터 분리되어 동-서방향으로 발달하고 있는 것을 '영광전단대'라 명명하였다. 물론 이외에도 아직 연구되지 않은 많은 연성전단대가 존재할 것이다. 우리나라는 비교적 노두 상태가 좋은 편이기 때문에, 뜻이 있고 의지만 있다면 더 많은 전단대 연구가 이루어질 수 있으리라 생각된다.

**2.6 백악기 퇴적분지의 발달과정**

퇴적암이 형성되려면 그 지역에 그 퇴적물이 퇴



**Fig. 10.** Map showing relationships between major faults and Cretaceous sedimentary basins. (1) Gyeongsang, (2) Pungam, (3) Eumseong, (4) Gongju, (5) Puyo, (6) Yeongdong, (7) Jian, Muju, (8) Neungju, (9) Haenam, Mokpo and (10) Tongri basins (after The Geological Society of Korea, 1998).

적될 수 있는 환경이 만들어져야 한다. 그렇기 때문에 퇴적암의 연구는 먼저 퇴적분지가 어떻게 해서 만들어졌는지부터 시작해야 한다. 본문에서는 국내의 여러 백악기 퇴적분지 중에서 경기육괴와 옥천대의 경계부에 발달하고 있는 퇴적분지들의 형성, 즉 분지의 진화과정에 대해서 살펴보고자 한다. 그림 10에서 보는 바와 같이, 경기육괴와 옥천대의 경계부에 따라 백악기의 퇴적분지들이 일정한 방향으로 배열되어 있다. 즉, 단층들과 연관되어 형성된 분지들이 안행상 배열을 하고 있는 것이다. 이러한 분지들에 대해서 Kobayashi (1953)는 공주분지를 지구(地溝: graben)로 설명하였지만, 그 외의 다른 논문들에서는 단순히 함몰대 또는 침강분지로 설명하고 있었다.

이와 같은 배경에서 먼저 퇴적분지 내의 층서를 확립하고, 분지의 경계단층을 확인하고 구조운동에 대해서 연구를 한 결과, 대부분의 퇴적분지들은 경계단층의 좌수향 이동운동에 따른 확장운동(transension)에 의하여 마름모꼴의 분지가 형성되었음을 알 수 있었다. 분지가 형성되면서 지각이 얇아져 화산활동을 수반한 퇴적작용이 있었으며, 퇴적작용이 끝난 후에는 수축운동(transpression)에 의하여 퇴적암층에 습곡구조 및 단층작용에 의한 꽃구조(flower structure)가 발달하였다. 경기육괴와 옥천대의 경계부에 따라 형성된 백악기 퇴적분지의 발달은 풍암분지, 음성분지, 공주분지와 부여분지가 거의 동일한 과정을 거친 것으로 밝혀졌다(Lee, H.K., 1986; Cheong, 1987; Lee, J.Y., 1990; Kim *et al.*, 1994b; Choi, 1996).

그러나 이러한 주향이동단층에 의한 분지의 형성 과정이 모든 백악기 퇴적분지에 적용될 수 있는지의 여부는 확신할 수 없다. 왜냐하면 분지 경계단층의 존재여부와 그들의 운동방향, 그리고 분지의 형태에 따라서 서로 다른 모양을 보일 수도 있기 때문이다. 아니면 분지의 경계단층이 분지의 폐쇄단계에서 꽃구조와 같은 과정으로 퇴적암이 위로 솟아 올라와 경계단층을 덮을 수도 있기 때문이다. 모든 퇴적분지들이 음성분지나 공주분지와 같지 않을 수 있기 때문에 이들의 연구에 특히 관심을 기울여야 한다.

**2.7 우리나라의 조산운동 특성**

우리나라의 조산운동과 관련하여 그의 지질시대 그리고 조산운동의 결과로 생성된 지질구조의 특성 등에 대해서 연구된 바는 거의 없다고 해도 과언이



아니다. 그동안 조산운동에 관해서는 과거의 지식에 기반을 두고 판구조론적 관점에서 한반도의 지체구조를 설명하는데 그쳤다.

조산운동하면 먼저 오르도비스기에서 사일루리아기에 걸쳐 범세계적으로 격렬하게 일어난 조산운동을 들 수 있다. 이를 유럽에서는 칼레도니아 조산운동, 북아메리카 대륙에서는 타코니안(Taconian) 조산운동이라 부르며, 중국에도 칼레도니아 조산운동이 보고되어 있다(Ren *et al.*, 1987). 한반도 남부에서도 칼레도니아 조산운동에 대비되는 조산운동이 보고된 바 있다(Cluzel *et al.*, 1991a). 즉 Cluzel *et al.* (1991a)은 옥천대에 분포하는 옥천층군의 변성퇴적암과 화산암류들이 4회에 걸쳐서 변형작용을 받았는데, 그 중에서 첫 번째와 두 번째 변형작용은 드러스트 단층운동을 수반하였다고 하여 이를 옥천구조운동이라 명명하고 유럽과 중국의 칼레도니아 조산운동에 대비시켰다. 그러나 옥천층군의 지질시대가 아직 명확하게 밝혀진 것도 아니고, 또한 드러스트 운동이 있었다고 해서 그것만으로 조산운동으로 명명하기에는 부족함이 있어 보인다.

또 Lee and Cluzel (1988)은 한반도에서의 칼레도니아 조산운동의 증거로 석탄기 만항층과 조선누층군 사이의 경사부정합을 예로 제시하기도 하였는데, 우리나라 대부분의 지역에서 만항층과 조선누층군 최상부층의 관계는 평행부정합이므로, 그 근거 또한 미약하다고 할 수 있다. Koh (1995)는 옥천층의 변성퇴적암, 조선누층군 및 평안(누)층군의 변형사를 수립하고, 이들은 모두 평안(누)층군이 퇴적한 후에 일어난 조산운동의 영향을 받았다고 함으로써, 한반도 내에서의 칼레도니아 조산운동에 대해서는 더욱 정밀한 연구가 계속되어야 한다고 하였다. 물론 고생대 기간 중인 오르도비스기와 석탄기 사이의 대결층이 있을 당시에 한반도에 어떤 지질학적 사건이 있었는지는 알려져 있지 않지만, 고생대 지층이나 옥천층군의 지질구조들을 비교하면, 이들은 고생대 기간 중에 변형작용을 받은 증거를 보여주지는 않고 있다.

필자는 국내에 분포하는 함탄층에 형성된 드러스트 단층들의 주향방향과 운동방향 등 드러스트 단층운동 연구를 통하여, 시기를 각기 달리하는 세 번의 드러스트 단층운동이 있었음을 확인하였다. 또한 중기 중생대 지층의 일부가 습곡작용과 드러스트 작용

을 받은 고생대 지층들을 피복하고 있다는 것도 확인하였다. 또한 중첩된 습곡구조 등을 연구하여 세 번의 습곡작용이 있었음을 알게 되었는데, 이는 옥천대에서의 Reedman *et al.* (1973) 및 Koh (1995)의 연구 내용과도 일치하고 있다. 또한 한반도 남부의 여러 지역에 연성전단대가 발달해 있음도 알게 되었다. 이러한 모든 자료들은 종합하여 중생대의 조산운동의 특성들을 요약한 것이 표 2이다.

중생대의 지각운동은 한반도 전역에 걸쳐서 가장 강렬하게 일어난 것으로, 한중(韓中) 지괴의 동부지역에 큰 영향을 미쳤다. 이 시기에 습곡작용, 변성작용, 드러스트 단층과 단층 지괴의 형성, 그리고 광역적인 마그마 활동이 있었다. 한반도에 일어난 중생대 지각운동은 아시아대륙에서의 특징인 반복적이고 주기적으로 발생한 변형작용이 중첩된 것이 특징이다. 이러한 특징을 이해한다면, 한반도의 지구구조운동에 대해서 더욱 면밀히 연구하여 더욱 발전시킬 수 있으리라 생각한다.

Kim (1996)는 우리나라 중생대의 지각운동을 다섯 단계로 구분하였는데(대한지질학회, 1998, p. 353 참조), (1) 연성 또는 취성 전단대의 발달, (2) 주향이동단층운동에 따른 확장운동(extensional movement) 또는 transtension에 의한 분지 형성, (3) 분지 내 퇴적작용, (4) 수축운동 또는 압축운동(transpression), 그리고 (5) 화성활동이다. 그러나 이러한 지각운동은 시간과 장소에 따라 달라지기도 한다. 이를 요약한 것이 표 2이다.

이는 기본적으로 이미 지질시대가 밝혀진 지층들의 퇴적작용을 기준으로 하여 조산운동을 구분한 것이다. 즉, 중생대 반송층의 퇴적 이전과 이후의 운동, 백악기 퇴적암층의 퇴적 후에 일어난 운동 등을 종합한 것이다. 또한 퇴적암을 생각하면 퇴적암을 퇴적시킨 분지를 생각해야 하며, 분지의 형성기작을 생각하지 않을 수 없는 것이다. 표 3은 중국과 우리나라의 중생대 조산운동의 시기를 비교한 것이다. 물론 중국의 자료들도 저자에 따라 차이가 약간 있긴 하지만, 그래도 Ren *et al.* (1987)의 자료보다는 Wan and Sun (1993)의 자료가 우리나라의 것과 잘 대비된다. 중국의 Indosinian 조산운동은 그 초기에는 송림조산운동과 그리고 후기는 대보조산운동, Yanshanian 조산운동은 우리나라의 대보조산운동, 그리고 Sichuanian 조산운동은 불국사조산운동에 대비된다.

**Table 2.** Characteristic features of Mesozoic tectonics in Korea (after Kim, 1996).

Tectonic event	Characteristic features
Bulgugsa orogeny	Volcanism (69~78 Ma) Transpression by sinistral strike-slip faults East-west trending folding East-west trending thrusting from north to south North-south trending strike-slip fault within thrust zone Basin fills of pull-apart basin and volcanism (98~66 Ma)
Daebo orogeny	I-type granite intrusion (135~60 Ma) Deposition of Gyeongsang Supergroup in the Gyeongsang Basin Deposition of Myogog Formation (Late Jurassic to Early Cretaceous)  Extensional phase: formation pull-apart basins due to sinistral strike-slip faults Reactivation of mylonite zone northeast-trending thrusting from northwest to southeast Formation of northeast-trending foldings and lineations  S-type granite intrusion (190~135 Ma) Deposition of Bansong Group of Late Triassic to Early Jurassic Emplacement of Triassic unfoliated granite (211 Ma)
Songnim orogeny	Late stage Extensional phase: formation of the Bansong basins by normal faults of domino fault system Northeast-trending thrust form northwest to southeast Northeast-trending folds and lineations  Early stage Northwest-trending folding event in Paleozoic rocks Ductile shear zone with dextral sense (205~222 Ma)

## 2.8 우리나라의 지질과 중국 지질과의 대비에서 발생한 문제점

1945년 이전의 상황을 보면, 일제의 조선총독부는 농상공부 산하에 광무과를 두고 기존의 광산들과 출원광구 지역을 정략적으로 조사하여 그 결과를 13개도(道) 별로 '조선광상 조사보고'란 책자와 주요 광종과 광상들에 대한 '광상조사요보'로 발간하였다. 1918년에 조선총독부 지질조사소를 설립하고, 축적 1.5만 지질도폭과 전락자원에 대한 지질조사를 시작하였다.

1945년 해방 후 설립된 '중앙지질광산연구소'는 조선총독부 시절의 모든 연관업무를 계승하였다. 이후 중앙지질광산연구소는 '중앙지질광물연구소'를 거쳐, 1961년에 '국립지질조사소'로 개편되었다. 1961년에 대한지질학회와 국립지질조사소가 합동으로 태백산지구의 지질과 자원을 조사하여 "태백산지구지질도와 보고서"를 작성하였는데, 이는 우리나라 지질학자들로부터 구성된 조사단이 이루어 낸 큰 성과였다. 이를 통하여 태백산 일대에 분포하는 지질의 특

성과 각종 지하자원의 분포를 어느 정도 알게 되었고, 그 결과는 우리나라의 지질학 발전과 산업발전의 기초가 되었다.

그러나 이러한 상황 아래서 우리가 우리나라 지질에 대해 제대로 이해하기도 전에 외국인들이 한국의 지질에 관하여 책이나 논문을 쓰기 시작하였고, 우리들은 그들의 논문만이 신뢰할 수 있는 것으로 취급하게 되었다. 우리에게는 우리나라의 지질뿐만 아니라 주변 국가의 지질에 대한 정보도 별로 없었다.

Kobayashi (1953)는 'Tectonic Lineament'를 분석하여 영남육괴를 남중국으로, 옥천대를 남중국 분지로 연결하였다. 아마도 이것이 한반도와 중국지괴들과의 연결고리가 되지 않았나 싶다. Reedman and Fletcher (1976)는 옥천대의 황강리층을 빙하퇴적물로 해석하고, 이를 남중국의 빙하퇴적물에 대비하였다. 실제로 중국의 북중지괴나 남중지괴에는 두 곳 모두 빙하퇴적물이 분포하고 있다. 북중지괴에서는 친링(秦嶺) 벨트 부근, 즉 북중지괴의 남쪽 연변에 빙

**Table 3.** Mesozoic tectonic events in Korea and China (after Kim, 1996).

Geologic period	Epoch (Ma)	Ren <i>et al.</i> (1987)	Wan and Sun (1993)		Kim (1988)	Cluzel (1991a)	This study
			E, Eurasian continent	Pacific side			
Tertiary	Pleistocene	1.6	Himalayan				
	Pliocene	5.3			Yeonil		Yeonil
	Miocene	23.7	North Sinian				
	Oligocene	36.6	Himalayan				
	Eocene	57.8	Sichuanian				Bulgugsa
	Paleocene	66.4			Bulgugsa		
Cretaceous	Late	97.5	Yanshanian				
	Early	144		Yanshanian		Daebo 2 <sup>nd</sup> phase	
Jurassic	Late	163			Daebo	Daebo 1 <sup>st</sup> phase	Daebo
	Middle	187	Indosinian		Songnim		Songnim
	Early	208	Indosinian				
Triassic	Late	230				Songnim	
	Middle	240					
	Early	245					
Permian	Late	258					
	Early						

하퇴적물이 분포하는데, 이는 호상점토층과 빙하퇴적물로 구성되어 있다. 그리고 남중지괴에 분포하는 Nantou Formation은 전형적인 선캠브리아의 빙하퇴적물로 우리나라의 황강리층과 대비될 수 있는 암층들이 아니다. 현재에 황강리층은 빙하기원의 diamictite로 알려져 있는데, 이러한 지층의 특성은 태국 푸켓섬의 동해안에 분포하는 페름기의 diamictite가 좋은 본보기가 될 것 같다. 그동안 우리나라 학자들이 이러한 외국의 자료들을 접할 기회가 없었기 때문에, 많은 사람들이 Reedman and Fletcher (1976)의 글을 참고하고 인용하지 않았나 생각된다.

아시아대륙과 인도대륙의 충돌로 인해 파생되는 대규모 지질구조를 재현한 Tapponnier *et al.* (1982)의 'Extrusion model 또는 Indentation model'은 세계적인 관심을 불러 일으켰으며, 이러한 지판의 충돌로 단층이 발생할 수 있는 기작에 대해서도 관심들이 집중되었다. 실제로 이들의 모델에 합당하게 적

용되는 단층들이 많이 있는데, 그 중에서도 중국 서부에 있는 'Red River Fault'가 대표적이라 할 수 있다. 이는 단순한 모델이 복잡한 지질현상을 이해하는데 큰 도움을 준 예(例)가 되겠다. 이와 때를 같이 하여 우리나라에 발달해 있는 단층들에 대해서 관심을 갖게 된 것이 Yannai *et al.* (1985)의 'Honam Shear Zone'이다.

Xu *et al.* (1987)과 Xu and Tong (1988)는 그동안 알려져 있지 않았던, 중국 동부에 거의 남-북 방향으로 발달한 거대한 'Tan Lu Fault'에 대해 발표하면서 이 단층이 단순히 한 개의 단층으로 존재하는 것이 아니라 여러 개의 단층으로 이루어진 'system'으로 발달하였다고 해석하고, 우리나라의 양산단층까지도 여기에 포함시켰다. 뿐만 아니라 북중국 지괴와 남중국지괴가 '친링 습곡대'에서 충돌하였으며, 이의 연장부가 'Tan Lu Fault'의 동쪽에서 한반도로 향한다고 하였다. 이후에 많은 외국 학자들이 한반

도의 지질에 관해 더욱 관심을 많이 갖게 되었다. 여기에 힘을 받은 외국 학자들은 한반도에 발달한 여러 단층과 연성전단대를 명명하기 시작했다. Cluzel (1988)은 한반도에서의 거대한 연성전단대로 'Honam Shear Zone'을 발표하였다.

1991년에 중국 연길에서 한민족과학자대회가 개최되었는데, 남북한 학자, 재외한인학자, 중국 내의 동포학자들이 모여 지질학, 수학, 물리학, 화학과 생물학에 대한 학술발표회가 있었다. 필자는 중국 북경 대학의 안태상 교수(An, 1991)가 'Sino-Korean Plate of Middle Ordovician~Lower Carboniferous'란 주제로 발표한 내용 중에서 북중국 지괴에서의 오르도비스기와 석탄기 사이의 결층이 한반도에서도 동일하다는 사실에 주목하였다. 또한 북한 자원개발부 중앙광물조사단의 리죽남 박사가 '중부 조선 일대에 발달하는 데본기 립진계층에 대하여', 그리고 김일성종합대학의 강진건은 '조선의 오르도비스기 상세~데본기의 지층과 고지리에 대하여'라는 논문을 발표하는 것을 듣고, 한반도 내에도 사일루리아기와 데본기의 지층들이 분포한다는 점에 대하여 처음으로 알게 되었다. 북한이 발행한 'Geology of Korea' (Park *et al.*, 1993)에서는 이른바 '림진 벨트(Rimjin Belt; Ri and Ri, 1990)'를 중국의 '친링 습곡대'의 연장부에 대비시켰다. 이에 고무된 Yin and Nie (1993)는 한반도 중남부의 지체구조를 Tapponier *et al.* (1982)의 'Indentation Model'을 적용하여 Cluzel *et al.* (1991b)의 논문을 확대 해석하기에 이르렀다.

그동안 북중국 지괴 및 남중국지괴의 지질과 특성을 알 수 없었던 국내의 학자들은 외국학자들의 의견을 추종할 수밖에 없었을 것이다. 그러나 이제 중국논문들을 살펴본다면, 동북아의 지질에 관한 조사, 연구 내용이 발전해 간다는 것을 파악할 수 있을 것이다. 또 중국대륙을 친링습곡대를 기준으로 볼 때, 북중국지괴와 남중국지괴의 진화과정이 서로 다르다는 것도 확실히 알 수 있다. 남중국지괴에는 캄브리아기부터 페름기에 이르기까지 고생대의 모든 지층들이 질서 정연하게 분포할 뿐만 아니라, 오르도비스기에는 활발한 화산활동도 있었으며, 그곳에는 침상용암(pillow lava)이 발달하고 있다(Ren *et al.*, 1987). 그러나 북중국 지괴에는 캄브리아기로부터 오르도비스기까지의 지층이 퇴적된 이후에 결층의 시기가 있었다가 석탄기부터 다시 퇴적작용이 일어

났다. 즉, 사일루리아기~데본기 동안의 결층이 핵심 포인트가 된다. 북중국 지괴에서의 이와 같은 현상은 한반도에서 북한의 평양탄전에서부터 남한의 태백산지역, 단양지역, 문경과 보은 및 화순탄전지역에 이르기까지 모두 동일하다(Kim *et al.*, 2001; 그림 11).

이와 같은 사실에 기초하여 중국의 학자들은 북중국지괴와 한반도는 동일한 진화과정을 밟아 온 것으로 믿고 있는데 반하여, 국내 학자들은 아직도 확신을 하지 못하는 것 같다. 한국의 지질을 답사한 중국지질학자들은 오르도비스기와 석탄기 사이의 결층을 확인하고는 한반도와 북중국 지괴와의 동질성에 대해서 확신을 하고 돌아간다.

위의 그림은 중국과 우리나라에서의 오르도비스기와 석탄기 지층들의 추상도를 비교한 것이다. 이 그림에서의 특징은 오르도비스기와 석탄기 사이에 북중국에서나 우리나라에서 동일하게 결층이 있다는 점이다. 중국의 자료는 중국 북경의 Western Hill 부근의 Hui Yu와 Se Shu Fen에 노출되어 있는 접촉경계선에서의 추상도이다. Tan-Lu 단층의 동편에서 친링벨트의 연장선이 어디로 가느냐에 대해서 오랫동안 많은 논란이 있었으나, 최근에는 황해 바다에 큰 단층선을 설정하고, 친링 벨트는 한반도로 오지 않은 것으로 해석을 하는 경향이 우세하다.

이제까지 우리나라의 지질이나 지체구조에 대해서 외국인들이 선도해 온 점에 대해서 물론 감사를 해야 하겠지만, 야외증거에 근거를 둔 지체구조 해석이 아니라면, 그것은 우리에게 아무런 도움이 되지 않는다는 것을 알아야 할 것이다.

### 3. 앞으로의 과제

대한지질학회의 구조지질학 분과위원회에서는 1999년에 한국과 일본 학자들과 학생들이 서로 교류하며 방문하여 논문을 발표하고 야외답사를 하였다. 일본은 산에 나무가 무성하여 야외조사는 노두가 비교적 노출되어 있는 하천변을 따라 정밀조사하여 기존의 지질도를 수정보완하고 있었다. 우리나라도 이제는 산에 산림이 무성해져서 노두 찾기가 쉽지 않다. 그러나 일본에서와 같이 계곡이나 도로변을 정밀하게 조사한다면, 더 좋은 지질자료들을 얻을 수 있으리라 생각된다.

과거에 비하여 현재는 외국의 문헌들을 자유롭게

볼 수 있고 참고할 수 있고 또한 방문할 수 있기 때문에, 이를 바탕으로 더 자세하고 유익한 논문들을 재 생산할 수 있으리라 생각한다. 우리가 아무 것도 모르고 있었을 때는 모든 것이 새로웠지만, 구조지질학 책에 실려 있는 지질구조와 관련된 노동사진들과 유사한 멋있는 노동들이 우리나라에도 많이 있다는 것을 인식하면 좋겠다.

우리나라 지질구조의 특성을 알아가는 것이 무엇보다 중요하다. 우리의 것을 정확하게 알아야 하며, 그것을 우리나라와 가장 가까운 곳에서부터 시작하여 더 넓은 곳으로 비교하고 대비하는 것이 중요하다. 이렇게 하면 우리나라의 구조지질학이 한 단계 더 도약할 수 있으리라 확신한다. 연구를 하다보면 그 영역이 점차 넓어지기 마련인데, 이를 이루기 위해서는 어느 정도의 도전의식도 필요하지만, 이는 어디까지나 야외에서의 증거를 기본으로 할 때만이 가능한 이야기이다.

최근에 한국지질자원연구원의 고희재 박사팀이 동티모르에 가서 도폭지질 조사를 해 준 일, 또 같은 연구원의 최위찬 박사가 동티모르의 지질학자들에게 지식을 전달해준 일은 우리가 앞으로 지향해야

과제들 가운데 하나이다. 과거 우리가 영국의 지질학자들로 배운 지식과 연구방법을 다른 나라 사람들에게 전수한다는 것은 매우 자랑스럽고 본받을 일이라 생각한다.

또한 그동안 활성단층연구가 주로 제4기층을 절단하고 있는 소규모 단층연구에 집중되어 있었다면, 2016년 9월 12일에 발생한 경주지진을 계기로 우리나라의 활성단층에 대한 개념과 정의를 새롭게 하여 지진에 안전한 나라를 이루는데 큰 역할을 감당해야 하리라 생각된다. 앞으로의 해야 할 일들은 이렇게 많으니 우리가 더욱 분발하여야 하리라 생각한다,

### 사 사

정년퇴임한지도 오래되어 논문을 쓰기가 쉽지 않았음에도 이런 기회를 주신 대한지질학회 구조지질분과위원장 김영석 교수에게 감사를 드린다. 이 논문의 내용들은 우리 자신을 더 알자는 뜻에서 작성한 것이다. 이 내용들은 그동안 필자와 함께 그 무더운 여름에 땀을 흘려가며 야외지질조사를 감당해준 서울대학교 구조지질학연구실의 모든 대학원생들

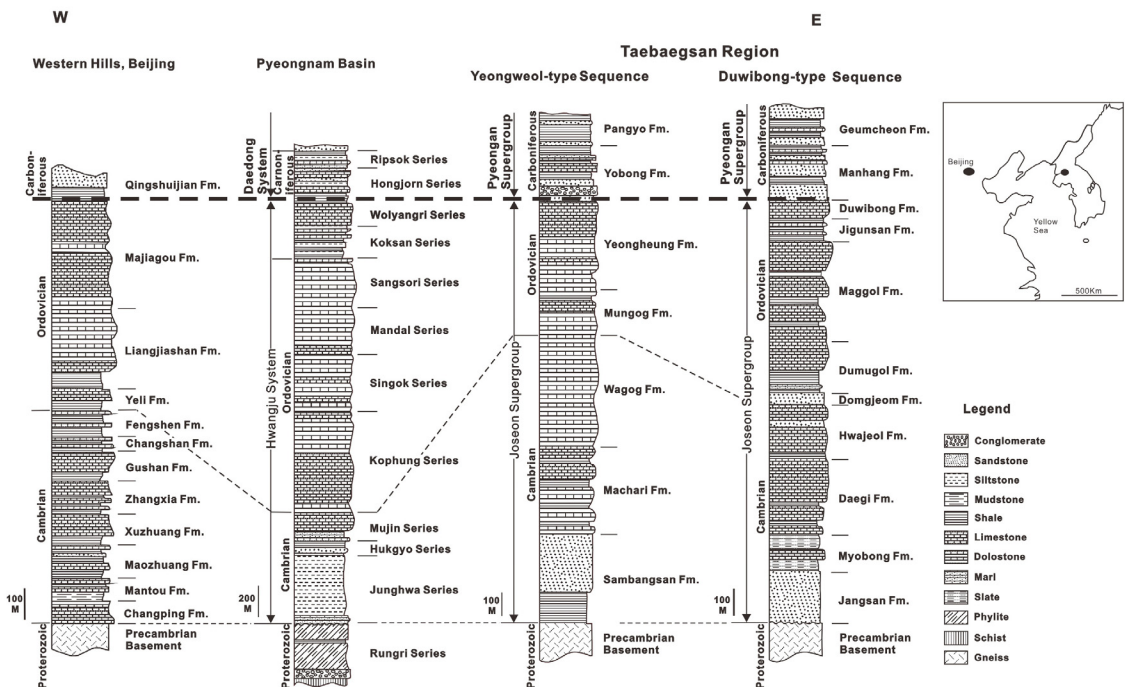


Fig. 11. Location of the study areas in the inset. From the west to the east they are Western Hill near Beijing, China and Pyeongnam, Yeongweol, and Duwibong areas in the Korean Peninsula (Kim *et al.*, 2001).

과 함께 이루어 낸 것이다, 이 자리를 빌어 그들 모두와 또한 그동안 함께 동역해 준 남호현, 김일석, 박환구 사장과 또한 바쁘신 가운데서도 이 논문을 위하여 많은 수고를 해주신 두 분의 심사위원, 임순복 박사와 황재하 박사에게도 심심한 감사를 드린다. 또한 논문의 뒷마무리를 해준 부경대학교 이진현, 김태영, 이준호, 최성욱, 정지연 학생들에게도 감사의 뜻을 전하고자 한다.

## REFERENCES

- An, T., 1991, Middle Ordovician-Lower Carboniferous of Sino-Korean platform. In: International Symposium of Science and Technology, Yanzi, China (in Korean abstract).
- Boyer, S.E. and Elliot, D., 1982, Thrust Systems. *Bulletin of American Association Petroleum Geologists*, 66, 1196-1230.
- Butler, R.H.W., 1982, The Terminology of structures in Thrust Belts. *Journal of Structural Geology*, 4, 239-245.
- Cheong, C.H., 1976, Geologic structures of the Samcheog Coalfield, Korea. *Journal of National Academy of Science Series*, 247-277 (in Korean with English abstract).
- Cheong, P.Y., 1987, Geological Structures of Eoryongsan area in the southern part of the Mungyeong coalfield. Unpublished Msc Thesis, Seoul National University, 49 p (in Korean with English abstract).
- Cheong, S.W., 1987, Study on the Geological Structures in the northern part of Cretaceous sedimentary Basin, Jeungpyeong-Eumseong Area, Korea. unpublished Msc Thesis, Seoul National University, 68 p (in Korean with English abstract).
- Choi, D.S., 1986, Structural analysis of Dogye area, Kangweon Province, S. Korea. Unpublished Msc Thesis, Seoul National University, 64 p (in Korean with English abstract).
- Choi, J.W., 2001, Characteristics of the Jukryeong Fault Zone in Danyang area, Chungcheongbuk-do, Korea. Unpublished Msc Thesis, Seoul National University, 120 p (in Korean with English abstract).
- Choi, Y.S., 1986, Study on the Geological Structures in the northern part of the Hwasun coalfield. Unpublished Msc Thesis, Seoul National University, 60 p (in Korean with English abstract).
- Choi, Y.S., 1996, Structural Evolution of the Eumseong Basin. unpublished PhD Thesis. Seoul National University, 158 p (in Korean with English abstract).
- Cluzel, D., 1988, The Honam Shear Zone (S. Korea): A Major late Triassic dextral ductile shear fault. Abstract of International Symposium on Evolution of the Eastern Eurasian Margin, p. 42, Paris France.
- Cluzel, D., Jolivet, L. and Cadet, J.P., 1991a, Early-middle Paleozoic intraplate orogeny in the Ogcheon belt (South Korea): A new insight on the Paleozoic build-up of east Asia. *Tectonics* 10, 1130-1151.
- Cluzel, D., Lee, B.J. and Cadet, P.J., 1991b, Indosinian dextral ductile fault system and synkinematic plutonism in the southwest of the Ogcheon Belt (South Korea). *Tectonophysics*, 194, 131-151.
- Dahlstrom, C.D.A., 1969, Balanced cross sections. *Canadian Journal of Earth Science*, 6, 743-757.
- Elliot, D., 1976, Energy balance in thrusts and deformation mechanism of thrust sheets. *Proceedings of the Royal Society of London*, A283, 289-312.
- Elliot, D., 1983, The construction of balanced cross-sections. *Journal of Structural Geology*, 5, 101.
- Fletcher, C.J.N., 1975, Structures in Folded Rocks. Geological and Mineral Institute of Korea, 73 p (in English and Korean).
- Geological Investigation Corps of Taebaegsan Region (GICTR), 1962, Geological Maps of Taebaegsan Region. Geological Survey of Korea and Geological Society of Korea (in map only).
- Hong, S.H. and Chwae, W.C., 1978, Geologic map of Korea, Geumsan Sheet (1:50,000). Geological Mineral Institute of Korea, 35 p (in Korean with English abstract).
- Jin, M.S., Kim, S.Y., Seo, H.J. and Kim, S.J., 1989, K-Ar whole rock ages of rhyolitic rocks at Punggog in Jangseong Sheet, Taebaegsan area. *Journal of Korean Institute of Mining Geology*, 22, 17-20 (in Korean with English abstract).
- Kang, J.G., 1991, Study on the Upper Ordovician-Devonian formations and Paleogeography. In: International Symposium of Science and Technology (Abstracts), Yanzi, China (in Korean).
- Kee, W.S., 1987, Geological Structures in Bongmyeongsan-Dansan area. Unpublished Msc Thesis, Seoul National University, 53 p (in Korean with English abstract).
- Kee, W.S., 1993, Structural Evolution of the Hwasun coalfield, Korea. Unpublished PhD Thesis, Seoul National University, 236 p (in Korean with English abstract).
- Khim, Y.H., Kim, J.H. and Koh, H.J., 1996, Geology of the Deogsan-myeon area, Jecheon-gun, Chungcheongbuk-do, Korea: Contact between the Choseon and Ogcheon supergroups. *Journal of the Geological Society of Korea*, 32, 483-499.
- Kim, B.K., Cheong, C.H., Paik, K.H., Kim, J.H. and Kim, J.Y., 1986, Crustal Evolution of the Korean Peninsula -in the eastern part of Mt. Taebaeg area-. *Journal of the*



- Geological Society of Korea, 22, 21-39.
- Kim, J.H., 1996, Mesozoic tectonics in Korea. *Journal of the Southeast Asian Earth Sciences*, 13, 251-265.
- Kim, J.H., 2002, *Structural Geology*. Woosung Publisher, 315 p (in Korean).
- Kim, J.H. and Choi, W.H., 1990, Geological Structures of Jeungsan-Sabuk area, Samcheog Coalfield, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 26, 154-164 (in Korean with English abstract).
- Kim, J.H. and Kee, W.S., 1991, Geological Structures of the Imgye Area, Kangweondo, Korea. *Journal of the Korean Institute of Mining Geology*, 24, 43-55 (in Korean with English abstract).
- Kim, J.H. and Kee, W.S., 1994, Structural characteristics of the Sooncahn Shear Zone, Korea. *Journal of the Southeast Asian Earth Sciences*, 9, 417-428.
- Kim, J.H., Cheong, C.S., Son, Y.C. and Koh, H.J., 1997, Geology and Sr, Nd and Pb isotopic compositions of Precambrian granitoids in the Pyeongchang area, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 33, 27-35 (in Korean with English abstract).
- Kim, J.H., Kee, W.S. and Kim, I.S., 1989, Geological Structures in the northern Part of the Mungyeong Coalfield, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 25, 72-81 (in Korean with English abstract).
- Kim, J.H., Kee, W.S. and Seo, S.K., 1996, Geological structures of the Yeoryang-Imgye area, northern part of Mt. Taebaeg Region, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 32, 1-15 (in Korean with English abstract).
- Kim, J.H., Koh, H.J. and Kee, W.S., 1989, The Okdong Fault. *Jour. Korean Institute of Mining Geology*, 22, 285-291 (in Korean with English abstract).
- Kim, J.H., Lee, J.Y. and Nam, K.H., 1994a, Pre-Jurassic Thrust Movement in Danyang Coalfield, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 30, 35-40 (in Korean with English abstract).
- Kim, J.H., Lee, J.Y. and Kee, W.S., 1994b, Structural Evolution of the Cetaceous Puyeo Basin, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 30, 182-192 (in Korean with English abstract).
- Kim, J.H., Park, S.W. and Lee, B.J., 1981, Geological map of Korea, Cheongpyeong sheet(1:50,000), (in Korean with English abstract). KIER.
- Kim, J.H., Son, Y.C. and Koh, H.J., 1999, Characteristic of the so called Banglim Fault and structures of its adjacent area, Pyeongchang, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 35, 99-116 (in Korean with English abstract).
- Kim, J.H., Yoon, W.S., Choi, J.W., Kwon, H.S., Bae, K.H. and Cheong, S.W., 2000, Geological Structures in the Tongri-Dogye and Sangdeog areas in the eastern part of the Samcheog Coalfield, Korea. *Geosciences Journal*, 4, 153-163.
- Kim, J.H., Lee, Y.I., Li, M. and Bai, Z., 2001, Comparison of the Ordovician-Carboniferous Boundary Between Korea and NE China: Implications for Correlation and Tectonic Evolution. *Gondwana Research* 4, 39-53.
- Kim, J.S., 1981, Geology of the Danyang Coalfield. *Journal of the Geological Society of Korea*, 17, 131-133 (in Korean).
- Kim, K.W. and Lee, H.K., 1965, Geologic map of Korea, Chungju Sheet (1:50,000). Geological Survey of Korea, 35 p (in Korean with English abstract).
- Kim, O.J., 1972, Precambrian geology and structures of the Central region of South Korea. *Journal of Korean Institute of Mining Geology*, 5, 231-240 (in Korean with English abstract).
- Kim, O.J. *et al.*, 1980, On the study of Analysis of Seismotectonics in Korea. Ministry of Science and Technology, 159 p (in Korean with English abstract).
- Kobayashi, T., 1953, Geology of South Korea. *J. Fac. Sci. Univ. of Tokyo*, sec 2.7.10. 145-293.
- Koh, H.J., 1985, Study on the Geological Structures in the Ojeongsan area, Mungyeong coalfield. Unpublished Msc Thesis, Seoul National University, 60 p (in Korean with English abstract).
- Koh, H.J., 1995, Structural Analysis and tectonic evolution of the Ogcheon Supergroup, Goesan, central part of the Ogcheon Belt, Korea. unpublished PhD thesis, Seoul National University, 282 p.
- Koto, B., 1903, An Orographic sketch of Korea. *J. Coll. Sci. Imp., Univ. Tokyo*, 26-2.
- Lee, B.J. and Cluzel, D., 1988, The unconformity at the base of the middle Carboniferous Pyeongan Group and its Tectonic significance. In: *International Symposium on Geodynamic Evolution of Eastern Eurasian Margin*, Paris, 69 p.
- Lee, C.H. and Kim, J.H., 1971, Geologic map of Korea, Jeungpyeong Sheet (1:50,000). Geological Survey of Korea (in Korean with English abstract).
- Lee, D.S., 1966, Geologic map of Korea. Okdong Sheet (1:50,000). Geological Survey of Korea (in Korean with English abstract).
- Lee, H.K., 1986, Geological Structures of the northern part of the Gongju Basin. unpublished MSc thesis of Seoul National University, 80 p (in Korean with English abstract).
- Lee, J.W., 1997, Structural characteristics of sedimentary rocks in the area of Cheongpoong-myeon, Choongcheong Bukdo, Korea. unpublished Msc thesis, Seoul National University, 98 p (in Korean with English abstract).

- Lee, J.Y., 1990, Structural Evolution of the Gongju Basin. unpublished PhD Thesis. Seoul National University. 219 p (in Korean with English abstract).
- Lee, M.R., Lee, C.H. and Choi, H.K., 1985, Report in geology of the Danyang Coalfield. Geology of Coalfield, 4, 1-64. Korea Mining Promotion Cooperation (KMPC) (in Korean with English abstract).
- Lee, M.S. and Park, B.S., 1965, Geologic map of Korea, Hwanggangri Sheet (1:50,000). Geological Survey of Korea (in Korean with English abstract).
- Lee, S.M., 1972, Metamorphic Facies and Facies Series in Relation to the Tectonics of South Korea. 27th International Geological Congress, Section 2, 81-87.
- Lee, S.M., 1973, Application of Metamorphic Facies and Facies Series to the Tectonics of South Korea, 27th IGC sect 2, 81-87.
- Lee, S.M., 1974, Tectonic Setting of Korea, with relation to plate tectonics. Journal of the Geological Society of Korea, 10, 25-26.
- Lim, S.B., Lee, C.B. and Kim, D.S., 1992, Geology and coal seam structures of the Baegbyeongsan area in the Samcheog Coalfield. Research on Coal Resources (XI); KIGAM Research Report, 3, 3-102 (in Korean with English abstract).
- Park, H.I., Chang, H.W. and Jin, M.S., 1988, K-Ar ages of mineral deposits in the Taebaeg Mountain area. Journal of Korean Institute of Mining Geology, 21, 57-67 (in Korean with English abstract).
- Park, J.S., Shin, M.S., Chung, C.S., Lee, M.H., Yoon, Y.D., Kim, S.H. and Hwang, H.S., 1975, Geological Investigation report of Danyang Coalfield. Geological Mineralogical Institute of Korea (GMIK), 54 p (in Korean with English abstract).
- Park, R.J., Kan, H.G., Jon, P., Kim, Y.M. and Kim, Y.H., 1993, Geology of Korea. Foreign Language Books, Publishing House, Pyongyang, 619 p.
- Park, S.I., 2005, Geology and Stratigraphy of the Ogcheon Group in Jogog area, Goesan-gun, Chungcheongbuk -do. Unpublished Msc Thesis, Seoul National University, 118 p (in Korean with English abstract).
- Ramsay, J.G. and Graham, R.H., 1970, Strain variation in shear belts. Canadian Journal of Earth Sciences, 7, 786-813.
- Reedman, A.J. and Fletcher, C.J.N., 1976, Tillites of the Ogcheon Group and their stratigraphic significance. Journal of the Geological Society of Korea, 12, 107-112.
- Reedman, A.J., Fletcher, C.J.N., Evans, R.B. and Workman, D.R., 1974, Geological, geophysical and geochemical investigation in the Hwanggangri area. Geol. Min. Instit. Korea, Report of Min. Explor., Part II, 1, 1-18.
- Reedman, A.J., Fletcher, C.J.N., Evans, R.B. and Workman, D.R., Yoon, K.S., Rhu, H.S., Jeong, S.H. and Park, J.N., 1973, The Geology, of the Hwanggangri mining district. Republic of Korea, Geol. Min. Instit. Korea, Report Geol. Min. Explor, 118 p.
- Reedman, A.J. and Um, S.H., 1975, Geology of Korea. Geol. Mineral Inst. Korea, 139 p.
- Reinemund, J.A., 1957, Geology of Macha-ri coalfield. U.S. Geological Survey Bull., 1041-c, 11-47.
- Ren, J., Jiang, C., Zhang, Z. and Qin, D., 1987, Geotectonic Evolution of China. Springer-Verlag, Berlin, 203 p.
- Ri, J.M., 1991, Devonian Rimjin System distributed in the central part of the Korean peninsula, In: International Symposium of Science and Technology, Yanzi, China (in Korean abstract).
- Ri, J.N. and Ri, J.C., 1990, Geological constitution of Korea. 6 Industrial Publishing House, 216 p.
- Richtofen, F.V., 1882, China, Ergebnisse einiger Reisen und daraf Gegrundeter Studien, Bd. 2. In: Ro S.W.(ed.) Geology of Korea, Publishing House of the Sci. and Encyclo., p. 332.
- Seo, H.G., Kim, D.S., Park, S.W., Cho, M.J., Bae, D.J., Lee, D.Y., Park, J.S. and Chang, Y.H., 1979, Detailed Geological map and Report of the Samcheog Coalfield. Geological and Mineral Institute of Korea, 50 p (in Korean with English abstract).
- Tapponnier, P., Peltzer, G., Le Dain, A.Y., Armizo, R. and Cobbold, P., 1982, Propagating extrusion tectonics in Asia: New insights from simple experiments with plasticene. Geology, 10, 611-616.
- The Geological Society of Korea, 1998, Geology of Korea. Sigma Press, 802 p (in Korean).
- The Geological Society of Korea, 2007, Special Collected Materials of the 60th anniversary of the foundation of the Geological Society of Korea, 260 p.
- Turner, E.J. and Weiss, L.E., 1963, Structural analysis of metamorphic tectonites. New York, McGraw-Hill.
- Wan, T. and Sun, O., 1993, On the accretion, intraplate deformation and mineralization for the eastern Eurasian continent since Triassic. abstracts 3rd International symposium IGCP 321, Gondwana dispersion and Asian Accretion, 36-37.
- Won, C.K., Lee, M.W., Noh, J.H. and Lee, H.K., 1994, Cretaceous volcanic activity in Tongri Basin. Journal of the Geological Society of Korea, 30, 542-562 (in Korean with English abstract).
- Xu, J. and Tong, W., 1988, Some tectonic relationships between China continent and Korean Peninsula in Pre-Jurassic. Report 3 of the IGCP Project 224: Pre-Jurassic Evolution of Eastern Asia, Osaka, Japan, 58-72.
- Xu, J.W., Zhu, G., Tang, W., Cui, K. and Liu, Q., 1987, Formation and evolution of the Tancheng-Lujiang wrench

- fault system: A major shear system to the northwest of Pacific Ocean. *Tectonophysics*, 134, 273-310.
- Yamanari, F., 1926, On the imbricated structures in Kogendo. *Geogr. Rev. Japan*. v. 2(1).
- Yanai, S., Park, B.S. and Otoh, S., 1985, The Honam Shear Zone (South Korea): Deformation and tectonic implication in the Far East. *Sci. Paper, coll. of Arts & Sci. The Univ., Tokyo*, 35, 181-210.
- Yin, A. and Nie, S., 1993, An indentation model of the north and south China collision and development of the Tan-Lu and Honam fault system, Eastern Asia. *Tectonics*, 12, 810-813.
- Yun, H.S., 1983, K-Ar ages of micas from Precambrian and Paleozoic rocks in the northeastern part of Republic of Korea. *Schweiz Mineral Petror. Mitt.*, 63, 296-300.
- 
- Received : November 25, 2016  
Revised : February 9, 2017  
Accepted : February 22, 2017