

문경 부운령지역에서 옥천대의 지질구조

강지훈* · 原郁夫¹ · 宮本隆實¹ · 옥수석²

안동대학교 지구환경과학과, ¹일본 히로시마대학 지구혹성시스템학과, ²경성대학교 물리학과

Geological structure of the Ogcheon belt in the Buunnyeong area, Mungyeong, Korea

Ji-Hoon Kang*, Ikuo Hara¹, Takami Miyamoto¹ and Soo Seok Ock²

Department of Earth and Environmental Sciences, College of Natural Science, Andong National University, Andong 760-749, Korea

¹Department of Earth and Planetary Systems Science, Hiroshima University, Higashi-Hiroshima 724, Japan

²Department of Physics, Kyungsung University, Pusan 608-736, Korea

요약: 조선누층군, 평안누층군, 대동층군 등이 분포하는 문경 부운령지역에서 옥천대의 주요 지질구조는 현 지성 지구조단위(부운령 지구조단위)의 상부로 충상하는 동남동향 지구조단위(단곡 지구조단위)와 서북서향 지구조단위들(삼실과 부곡리 지구조단위들)의 발달을 특징으로 한다. 문경 부운령지역에서 옥천대의 지질구조는 적어도 세 번의 변형작용에 의해 형성되었다. 첫 번째 변형작용은 서북서-동남동 방향의 압축 지구조환경하에서 부운령 지구조단위에 북북동 방향의 하나의 직립-개방 습곡(부운령-I 습곡)을 형성시켰다. 두 번째 변형작용은 역시 서북서-동남동 방향의 압축 지구조환경하에서 단곡, 삼실, 부곡리 지구조단위들을 발달시켰다. 이들 지구조단위의 발달에 의해 부운령-I 개방습곡은 밀착습곡으로 변형되고, 대동층군의 기저역암에 해당하는 역질암의 구성역들은 신장하게 되며, 부운령과 단곡 지구조단위들에는 각각 북북동 방향의 횡의습곡(부운령-II 습곡)과 깔뎀습곡(단곡 습곡) 등이 형성되었다. 세 번째 변형작용은 고각으로 침강하는 습곡축을 갖는 킹크 습곡을 형성시켰다. 서북서-동남동 방향의 동일한 압축 지구조환경하에서 발생한 첫 번째와 두 번째 변형작용은 상부 트라이아스기-하부 쥐라기 대동층군이 퇴적되기 이전과 퇴적된 이후에 각각 발생하여 연구지역의 조선누층군과 평안누층군에 북북동-남남서 방향의 광역적인 지질구조를 형성시켰다.

핵심어: 지구조단위들, 부운령-I 습곡, 부운령-II 습곡, 단곡 습곡, 킹크습곡

Abstract: The main geological structure of the Ogcheon belt in the Buunnyeong area, Mungyeong, which consists of three stratigraphic sequences, Joseon and Pyeongan Supergroups and Daedong Group, is characterized by the development of ESE-vergence structural unit (Dangok unit) and WNW-vergence structural units (Samsil and Bugongni units) onto an autochthonous unit (Buunnyeong unit). Three phases of deformation are recognized in this area. The first phase of deformation occurred under the WNW-ESE compression, forming an upright-open fold (Buunnyeong-I fold) with NNE axial trend in the Buunnyeong unit. The second phase of deformation also under the WNW-ESE compression formed the Dangok, Samsil and Bugongni units, resulting in the further closing of the Buunnyeong-I open fold, the elongation of pebbles in the conglomerate rocks of a basal sequence of the Daedong Group, recumbent folds (Buunnyeong-II fold) and drag folds (Dangok fold) with NNE axial trend in the Buunnyeong and Dangok units, respectively. The third phase of deformation formed kink folds with its axis plunging subvertically. The first and second phases of deformation took place before and after the deposition of the Daedong Group of the Upper Triassic - Lower Jurassic, respectively. These first two deformation events, which occurred under the same WNW-ESE compressional field, produced the regional NNE trend of geological structure in the Joseon and Pyeongan Supergroups of this area.

Key words: structural units, Buunnyeong-I fold, Buunnyeong-II fold, Dangok fold, kink fold

*Corresponding author: Tel. 82-54-820-5474, E-mail. jhkang@andong.ac.kr

서론

한반도 중남부 지역에 북동-남서 방향으로 발달하고 있는 옥천대는 주로 선캠브리아기 편마암 복합체로 구성된 경기육괴와 영남육괴에 의해 그의 북서부와 남동부가 경계져 있고, 제천과 문경을 경계로 주로 고생대 및 중생대 퇴적암류들이 분포하는 북동부 옥천대(태백산대)와 주로 옥천누층군이 분포하는 남서부 옥천대(옥천변성대)로 구분된다(Fig. 1). 북동부 옥천대의 광

역적인 지질구조는 북북동-남남서 방향성을 보이고, 북동부 옥천대의 광역적인 지질구조의 형성은 주로 대동층군이 퇴적되기 이전의 지구조운동과 관련된 해석(Cluzel *et al.*, 1991a; 1991b)과 주로 대동층군이 퇴적된 이후의 지구조운동과 관련된 해석(김정환 외, 1991; Kim *et al.*, 1992; Kim and Koh, 1992) 등이 있다.

북동부 옥천대와 남서부 옥천대의 동쪽 경계부에 위치하는 문경지역(Fig. 1)에 대한 지질은 문경탄전을 중심으로 小島新夫(1929)에 의해 처음 조사·연구된 이

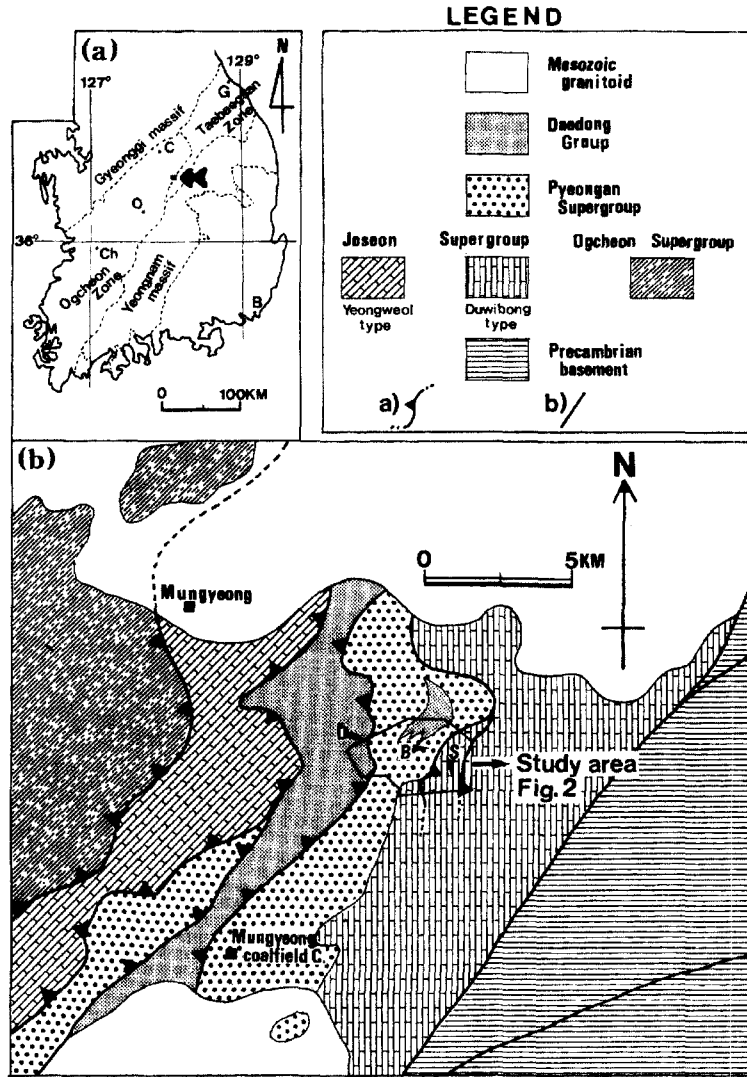


Fig. 1. (a) Index map showing the locality (arrow mark) of the Buunyeong area, Mungyeong. G: Gangneung, C: Chungju, O: Ogcheon, Ch: Cheonju, M: Mokpo, B: Busan. (b) Geological map showing the division of structural units and stratigraphic sequences with the locality of the study area. D: Dangok, P: Buunyeong, S: Samsil. In legend, a): boundaries of structural units, b): faults.

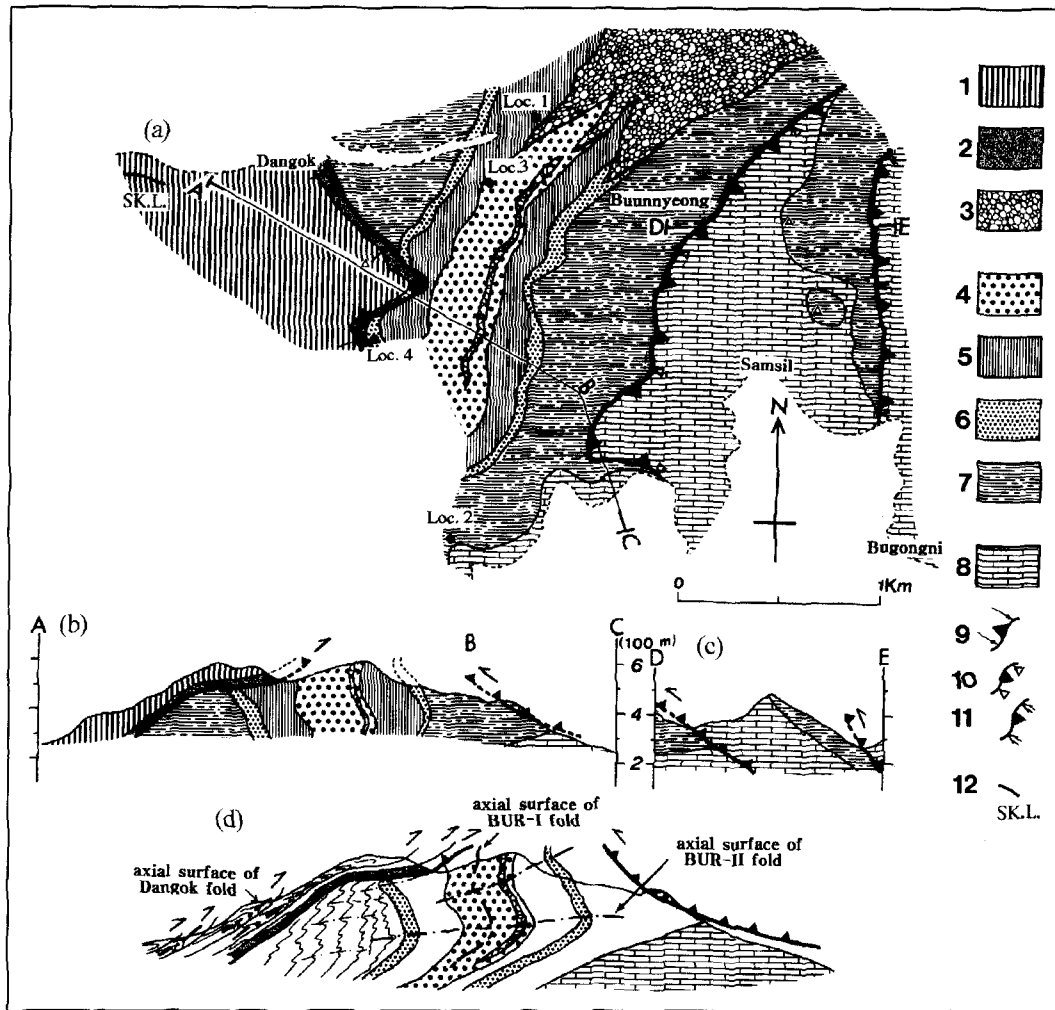


Fig. 2. Geological map (a) and profile sections (b, c) of the study area, and schematic diagram (d) illustrating of its main geological structure (BUR: Buunnyeong). 1-3: Daedong Group (1: shales partly intercalated with sandstones and coal beds, 2: sandstones, 3: conglomerate rocks), 4-7: Pyeongan Supergroup (4: very coarse-grained sandstones partly intercalated with shales or sandy shales, 5: shales with thicker coal and limestone beds, 6: medium-grained sandstones, 7: shales with sandstone, thinner coal and limestone beds), 8: Joseon Supergroup (limestones with sandstones), 9: Dangok thrust, 10: Samsil thrust, 11: Bugongni thrust, 12: sketch line of Fig. 7, A-B-C and D-E: lines of profile sections.

래 지금까지 함탄층의 층서 및 지질구조 등을 파악하기 위해 다양한 지질분야에서 많은 연구가 수행된 바가 있다. 그러나, 문경지역에 분포하는 고생대 및 중생대 구성지층군에서 화석산출 불량과 암상의 유사성 등으로 인해 이들 구성지층군의 층서는 아직까지 밝혀지지 않고 있다(정창희와 김봉균, 1962; 구자학, 1964; 김남장 외, 1967; 손치무와 백광호, 1972; 엄상호 외, 1977). 문경지역의 지질구조 역시 습곡작용에 의한 함탄층의 반복을 주장하는 습곡론(구자학, 1964; 김남장

외, 1967; 손치무와 백광호, 1972; 박정서, 1974; 엄상호 외, 1977; 최현주, 1981)과 총상단층운동에 의한 함탄층의 반복을 주장하는 총상단층론(김일석 외, 1984; 김정환, 1986; 김정환 외, 1989) 등으로 양분되어 있다.

하부 고생대의 조선누층군, 상부 고생대의 평안누층군, 하부 중생대의 대동층군 등 옥천대를 구성하는 주요 고생대 및 중생대 지층군들이 분포하고 있는 문경부운령지역(Fig. 1)은 이들 지층군 사이의 지질학적인 관계를 직접 조사할 수 있으므로 옥천대의 지구조 발

달과정을 연구하기 위한 중심지역이라고 생각된다. 그러나, 문경 부운령지역에 분포하는 이들 지층군 사이의 유사한 암상류에 대한 기존 층명의 다양함은 문경 부운령지역의 지질구조를 이해하는데 많은 어려움을 주고 있다. 따라서, 본 연구에서는 문경 부운령지역에서 옥천대의 지질구조를 파악하기 위해 이들 지층군에 대한 지층명을 부여하기보다는 암상단위 구분에 의한 새로운 지질도 작성을 시도하였다. 본 논문에서는 암상단위 구분에 의해 작성된 상세한 지질도와 변형단계별 암석구조를 바탕으로 문경 부운령지역에서 옥천대의 지질구조 발달사를 규명하고 그 연구결과를 기존 연구결과와 비교·검토하여 옥천대의 지체구조론적 의미를 고찰해 보고자 한다.

지질개요

문경도폭의 남동부 일부 영역을 점하고 있는 부운령 지역은 일반적으로 북북동 방향의 대상분포를 보이는 오오도비스기의 조선누층군, 중부 석탄기-상부 페름기의 평안누층군, 상부 트라이아스기-하부 쥐라기의 대동층군 등으로 구성되어 있다(김남장 외, 1967; Reedman and Um, 1975; Lee, 1987)(Fig. 2). 연구지역의 구성지층군에 대한 층서 및 층명은 기존 연구자들에 의해 다양하게 분류된 바가 있다(정창희와 김봉균, 1962; 구자학, 1964; 김남장 외, 1967; 손치무와 백광호, 1972; 엄상호 외, 1977). 여기서는 야외지질조사 결과 구분된 연구지역의 주요 구성암상들을 문경도폭의 기존 층명에 대비하여 기재한다.

조선누층군은 연구지역의 동부에 분포하는데 주로 백색 내지 회색의 석회암으로 구성되어 있으며, 암회색 세립질 사암이 렌즈상으로 협재된다(Fig. 2). 이들 구성암류는 조선누층군의 부곡리층(김남장 외, 1967)에 대비된다.

평안누층군은 연구지역의 중앙부에 주로 분포하나 부분적으로 동부에도 산출된다. 평안누층군은 우세한 암상에 따라 (1) 녹회색 내지 암회색 세립질 사암과 얇은 탄층 그리고 렌즈상의 담홍색 내지 담갈색의 석회암을 협재하고 주로 암회색 내지 녹회색 세일로 구성된 세일대(이하, 녹회색 내지 암회색 세일대), (2) 약 100m의 두께를 보이며 흑색 세일을 협재하고 주로 회색 내지 암회색의 중립질 사암으로 구성된 사암대(이하, 중립질 사암대), (3) 암회색의 세립질 내지 중립질 사암과 두꺼운 탄층과 렌즈상의 회색 석회암을 협재하고 주로 흑색 내지 암회색 세일로 구성된 세일대(이하, 암회색 세일대), (4) 흑색의 세일 내지 사질세일을

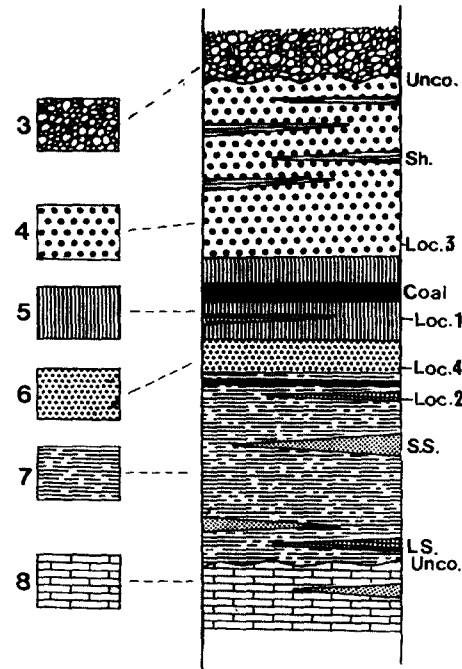


Fig. 3. Columnar section of constituent rocks in the Buunyeong unit. 3-8: predominant lithofacies (see 3-8 in Fig. 2), Sh.: shale, S.S.: sandstone, L.S.: limestone, Unco.: unconformity.

협재하고 주로 유백색 내지 담회색의 조립질 내지 극조립질 사암으로 구성된 사암대(극조립 사암대) 등 4개의 암상대로 구분된다(Figs. 2 and 3). 녹회색 내지 암회색 세일대는 김남장 외(1967)의 홍점층과 사동층의 일부에, 중립질 사암대와 암회색 세일대는 사동층의 일부에, 그리고 극조립 사암대는 고방산층에 각각 대비된다. 박수인과 정창희(1989)는 녹회색 내지 암회색 세일대 내에 협재된 약 1.5m 두께의 렌즈상 담갈색 석회암(위치: Figs. 2 and 3의 Loc. 2)으로부터 중부 석탄기의 코노돈트를, 암회색 세일대내에 협재된 약 3m 두께의 렌즈상 암회색 석회암(위치: Figs. 2 and 3의 Loc. 1)으로부터는 상부 석탄기와 하부 페름기의 코노돈트를 각각 보고한 바가 있다.

대동층군은 연구지역의 서부와 북부에 분포한다(Fig. 2). 북부의 대동층군은 염리상의 역질암으로 주로 구성되어 있고, 이들 역질암은 대동층군의 기저역암에 해당하는 부운령역암층(김남장 외, 1967)에 대비된다. 역질암의 기질암상은 주변 암상에 좌우되어 중립질 내지 조립질 사암, 사질세일, 이암 등으로 다양하게 나타난다. 역의 종류는 주로 석영립, 사암, 규암, 이암, 화강

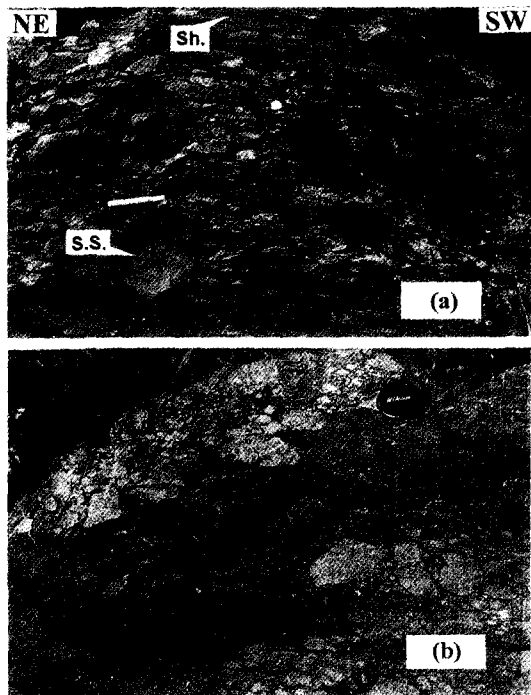


Fig. 4. Photographs of rock structures in conglomerate rocks of the Buunnyeong unit. (a) Pebble elongation (Sh.: shale, S.S.: sandstone). (b) Sedimentary slump structure.

암 등으로 인지되고, 역의 크기는 수 mm에서 수 십 cm까지 다양하게 나타난다. 역의 신장도는 기질암상들과 역들 사이의 연성도 차이에 좌우되어 다양하게 나타나며 일반적으로 이암으로 구성된 역들은 탁월하게 신장되어 있다(Fig. 4a). 그리고 불안정한 지구조환경하에서 퇴적되었음을 지시하는 슬럼프구조는 역질암에서 종종 관찰된다(Fig. 4b). 북동부에서 광범위하게 산출하는 역질암은 남서부에서 평안누층군의 모든 암상대를 마치 설상으로 피복한다(Fig. 2). 김정환 외(1989)는 이러한 엽리상 역질암을 드러스트 단층의 전면부에 분포하는 일종의 구조적 델란지 암상으로 해석하여 문경지역의 주요 지질구조를 충상단층대로 설정한 바가 있다.

서부의 대동층군은 주로 사암대와 셰일대로 구성되어 있고(Fig. 2), 이들 구성암류는 대동층군의 단산층(김남장 외, 1967)에 대비된다. 북부 대동층군과 설상으로 분포하는 평안누층군과 서부의 대동층군을 구성하는 사암들에 대한 광물조성을 편광현미경하에서 정밀 분석해 보면(Table 1), 평안누층군의 사암들(평균: 석영 97.3%, 장석 0.8%, 쇄편 1.9%)은 거의 석영으로만 구성되어 있는 반면에 서부 대동층군의 사암들(평

균: 석영 90.6%, 장석 2.2%, 쇄편 7.2%)에는 소량의 쇄편들도 관찰된다. 김남장 외(1967)와 엄상호 외(1977)는 몇 조의 사암과 탄층을 협재하는 단산층의 셰일대로부터 트라이아스 말기 - 쥐라기 초기의 다량의 식물 화석을 보고한 바가 있다: *Baiera gracilis*, *Podozamtes lanceolatus*, *Podozamtes distance* and *Pterophyllum subaequale*.

부운령지역의 주요 지질구조는 구성지층군들 사이의 구조적인 불연속성에 의해 인지되는 단곡, 부운령, 삼실, 부곡리 등 4개의 지구조단위들의 발달에 의해 특징지워진다(Figs. 2 and 5). 연구지역의 중앙 서부에 위치한 부운령 지구조단위는 상호 부정합적인 관계를 보이는 남부의 조선누층군(부곡리층), 중앙부의 평안누층군, 북부의 대동층군(부운령역암층) 등 3개의 지층군으로 구성되어 있다. 연구지역의 서부에 위치한 단곡 지구조단위는 대동층군의 단산층으로 구성되어 있다. 단곡 지구조단위의 구성암류는 동남동 방향의 충상운동에 의해 부운령 지구조단위의 서부 구성암류(평안누층군)를 구조적으로 절단한다. 연구지역의 중앙 동부에 위치한 삼실 지구조단위는 상호 부정합적인 관계를 보이는 조선누층군(부곡리층)과 평안누층군(녹회색 내지 암회색 셰일대)으로 구성되어 있다. 삼실 지구조단위의 구성암류는 서북서 방향의 충상운동에 의해 부운령 지구조단위의 동부 구성암류(조선누층군과 평안누층군)를 구조적으로 절단한다. 연구지역의 동부에 위치하고 조선누층군(부곡리층)으로 구성된 부곡리 지구조단위는 역시 서북서 방향의 충상운동에 의해 삼실 지구조단위의 구성암류를 구조적으로 절단한다. 이들 지구조단위의 발달과 관련된 보다 상세한 기제는 후술하기로 한다.

암석 및 지질 구조

부운령-I 습곡

부운령 지구조단위는 서로 부정합적인 관계를 보이는 3개의 지층군으로 구성되어 있다: 하위의 조선누층군(부곡리층), 중위의 평안누층군, 상위의 대동층군(부운령역암층)(Figs. 2 and 3). 부운령 지구조단위의 대부분을 차지하는 중위의 평안누층군은 우세한 암상에 따라 4개의 암상대로 구분된다. 이들 구성암상대는 북북동 방향의 대상분포를 보이며 극조립 사암대를 중심으로 대칭적으로 분포한다(Fig. 2): 회색 내지 암회색을 띠며 약 100 m의 두께를 보이고 연속성이 양호한 중립질 사암대의 구조적 상부에 암회색 셰일대와 구조적 하부에 녹회색 내지 암회색 셰일대. 이러한 대칭적인

Table 1. Composition of sandstones in the Buunyeong area, Mungyeong. (Total point=500, unit=%)

Sample Number	Total 100%						Total 100%			
	Quartz	K-sp	Pl	R. F.	M. F.	Matrix	Quartz	feldspar (K-sp + Pl)	fragment (R. F. + M.F.)	
Dangok unit (Daedong Group)	302	72.0	0.0	1.8	10.6	0.8	14.8	84.5	2.1	13.4
	305	81.0	0.0	3.4	5.0	0.0	10.6	90.6	3.8	5.6
	311	74.4	0.8	1.2	9.2	0.2	14.2	86.7	2.3	11.0
	315	68.6	0.0	1.0	12.8	2.0	15.6	81.3	1.2	17.5
	318	74.4	2.0	1.6	8.2	1.6	12.2	84.7	4.1	11.2
	340	84.8	0.4	1.0	1.4	0.6	11.8	96.1	1.6	2.3
	319	74.2	2.4	1.0	5.0	2.8	14.6	86.9	4.0	9.1
	3115	79.0	2.8	1.2	4.0	1.2	11.8	89.6	4.5	5.9
	3116	94.0	0.0	0.0	0.2	0.4	5.4	99.4	0.0	0.6
	3118	94.2	0.0	0.0	0.2	0.0	5.6	99.8	0.0	0.2
	3120	89.8	0.0	0.4	1.0	0.8	8.0	97.6	0.4	2.0
Buunyeong unit (Pyeonggan Supergroup)	322	83.0	0.0	2.2	2.8	1.8	10.2	92.4	2.4	5.1
	362	91.2	0.0	0.4	0.4	0.4	7.6	98.7	0.4	0.9
	364	95.6	0.0	0.0	0.2	0.0	4.2	99.8	0.0	0.2
	366	88.2	0.0	0.0	0.0	1.4	10.4	98.4	0.0	1.6
	372	88.6	0.0	0.0	1.0	0.0	10.4	98.9	0.0	1.1
	396	93.4	0.0	0.4	0.8	0.0	5.4	98.7	0.4	0.8
	3102	86.2	0.0	0.2	2.8	0.8	10.0	95.8	0.2	4.0
	3107	93.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	100.0	0.0	0.0
	3139	91.4	0.0	0.6	3.0	0.2	4.8	96.0	0.6	3.4
	3144	90.0	0.0	4.2	1.2	0.8	3.8	93.6	4.4	2.1

K-sp: K-feldspar, Pl: plagioclase, R. F.: rock fragment, M. F.: mineral fragment

분포로부터 부운령 지구조단위의 평안누층군에는 극조립질 사암대를 축부로 하고 암회색 세일대, 중립질 사암대, 녹회색 내지 암회색 세일대를 양 날개부로 하는 북북동 방향의 직립 밀착습곡의 발달이 인지된다.

부운령 지구조단위의 평안누층군에는 직립 밀착습곡의 측면엽리에 해당하는 벽개면들이 탁월하게 발달한다. 층리면과 벽개면 사이의 사교관계는 직립 밀착습곡의 축부 주변에서 대칭적으로 변화하고, 축부에서 층리면과 벽개면의 사교관계는 일반적으로 고각으로 나타난다(Fig. 6a). 또한, Fig. 2와 Fig. 3의 Loc. 3의 극조립질 사암대와 Loc. 4의 중립질 사암대에서는 각각 정상층위의 사층리(Fig. 6b)와 접이층리(Fig. 6c) 등과 같은 일차적인 퇴적구조가 관찰되고, 박수인과 정창희(1989)는 녹회색 내지 암회색 세일대내에 협재된 담갈색 석회암(위치: Figs. 2 and 3의 Loc. 2)과 암회색 세일대내에 협재된 암회색 석회암(위치: Figs. 2 and 3의 Loc. 1)으로부터 각각 중부 석탄기와 상부 석탄기-하부 페름기 콘노돈트를 보고한 바가 있다. 따라서, 구성암상대의 대칭적인 분포, 층리면과 벽개면 사이의 사교

관계, 정상층위의 일차적인 퇴적구조, 박수인과 정창희(1989)의 고생물학적인 연구자료 등을 종합해 볼 때, 부운령 지구조단위의 평안누층군에는 극조립질 사암대(고방산층)를 습곡 축부로 하고 상부 석탄기-하부 페름기의 암회색 세일대와 중부 석탄기의 암회색 내지 녹회색 세일대(사동층과 홍점층)를 습곡의 양 날개부로 하는 하나의 직립 향사습곡(부운령-I 습곡)이 발달되어 있음을 명백히 알 수 있다(Fig. 2). 그리고 평안누층군 구성암상대의 북북동 방향의 대상분포 방향성은 부운령-I 습곡이 서북서-동남동 방향의 압축작용과 관련되어 형성되었음을 지시하고 평안누층군의 층리면이 습곡되어 형성된 부운령-I 습곡(Fig. 6d)은 평안누층군의 첫 번째 변형산물로 판단된다.

지구조단위들의 발달

삼실과 부곡리 지구조단위: 연구지역의 동부에 주로 분포하는 조선누층군의 오오도비스기 석회암층(김남장 외, 1967)과 평안누층군의 중부 석탄기 세일대(박수인과 정창희, 1989)의 층리면의 자세를 측정해 보면, 부

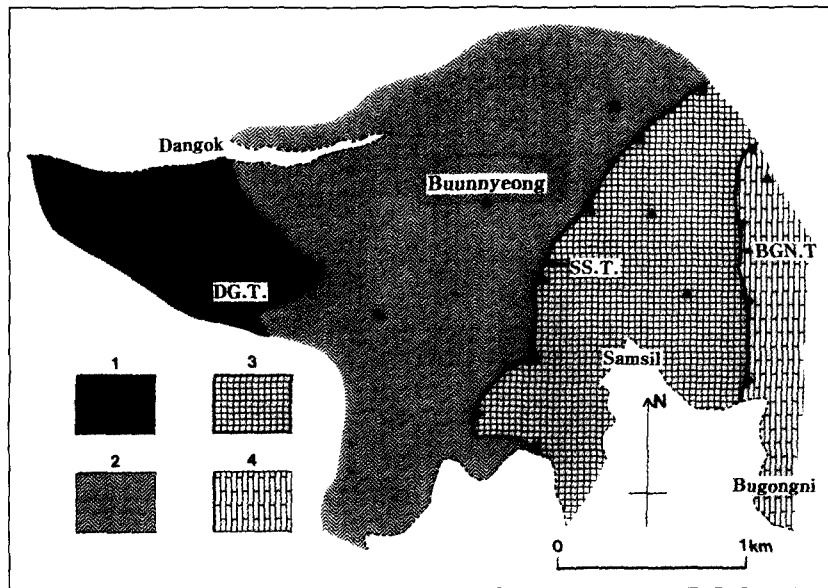


Fig. 5. Diagram showing the division of structural units in the study area. 1: Dangok unit, 2: Buunnyeong unit, 3: Samsil unit, 4: Bugongni unit. DG.T.: Dangok thrust, SS.T.: Samsil thrust, BGN.T.: Bugongni thrust.

운령 지구조단위의 오오도비스기 석회암층은 부운령-I 습곡의 동쪽 하위 날개부를 구성하는 중부 석탄기 세일대에 의해 부정합으로 피복되어 있으나, 저각 내지 중각 경사를 보이는 삼실 및 부곡리 지구조단위의 오오도비스기 석회암 지층들은 각각 부운령과 삼실 지구조단위의 중부 석탄기 세일대보다 구조적 상위에 위치함을 알 수 있다(Fig. 2). 또한, 삼실 지구조단위의 석회암층의 분포는 북부로 갈수록 점점 줄어들고, 삼실 지구조단위 석회암층의 서쪽 지층경계선은 부운령-I 습곡의 동쪽 하위 날개부를 구성하는 중부 석탄기 세일대와 오오도비스기 석회암층을 절단한다(Fig. 2). 삼실 지구조단위의 구성지층들은 동부의 부곡리 지구조단위의 석회암층에 의해 또한 절단된다. 이러한 지질학적인 관계는 부운령-I 습곡이 형성된 이후 삼실과 부곡리 지구조단위들이 각각 서북서 방향으로 충상하는 단층운동(삼실과 부곡리 드러스트 운동)에 의해 부운령과 삼실 지구조단위의 상부로 충상된 결과로 설명될 수 있다.

단곡 지구조단위: 연구지역의 서부에 분포하고 대동층군의 단산층에 대비되는 퇴적암류는 부운령-I 습곡의 서쪽 날개부를 부분적으로 절단하고, 부운령-I 습곡의 동쪽 날개부에 산출되는 오오도비스기 석회암층은 부운령-I 습곡의 서쪽 날개부에서는 관찰되지 않는다(Fig. 2). 이러한 구조적인 불연속성은 부운령-I 습곡이

형성된 이후 사암대와 세일대로 구성된 단산층이 하나의 지구조단위(단곡 지구조단위)로서 동북동 방향의 충상 단층운동(단곡 드러스트운동)에 의해 부운령 지구조단위의 상부로 충상된 결과로 설명된다.

단곡 지구조단위에는 주로 층리면을 따라 이동된 다양한 규모의 미소단층들이 관찰된다(Fig. 7). 이들 미소단층을 따라 발달된 주요 암석구조들로서는 다양한 폭을 갖는 반취성 전단대(Fig. 8a)와 층리면이 습곡되어 형성된 다양한 규모의 끌림습곡(단곡습곡)(Figs. 8b and 8c) 그리고 미소단층면상에 발달된 단층조선(Fig. 8d) 등이 인지된다. 비록 후기 변형작용에 의해 그 방향성은 분산되어 있으나, 단곡 끌림습곡은 일반적으로 동쪽 방향과 서쪽 방향 양쪽의 버전스를 보이고 전자는 단곡 지구조단위에서 우세하게 나타나는 반면에 후자는 더물게 관찰된다. 단곡 지구조단위에서 우세하게 나타나는 동쪽 버전스의 단곡 끌림 습곡작용과 관련되어 형성된 단층면상에서는 서쪽 방향으로 침강하는 단층조선들이 빈번히 관찰된다(Fig. 8d). 이들 암석구조의 방향성으로부터는 단곡 끌림습곡 형성과 관련된 미소단층들의 상반-동쪽-이동 운동감각이 결정된다. 미소단층들의 이러한 운동감각은 부운령 지구조단위와 단곡 지구조단위 사이의 구조적인 불연속성으로부터 인지된 단곡 지구조단위의 운동감각과 일치한다. 이는, 단곡 지구조단위에서 우세하게 나타나는 다양한 규모

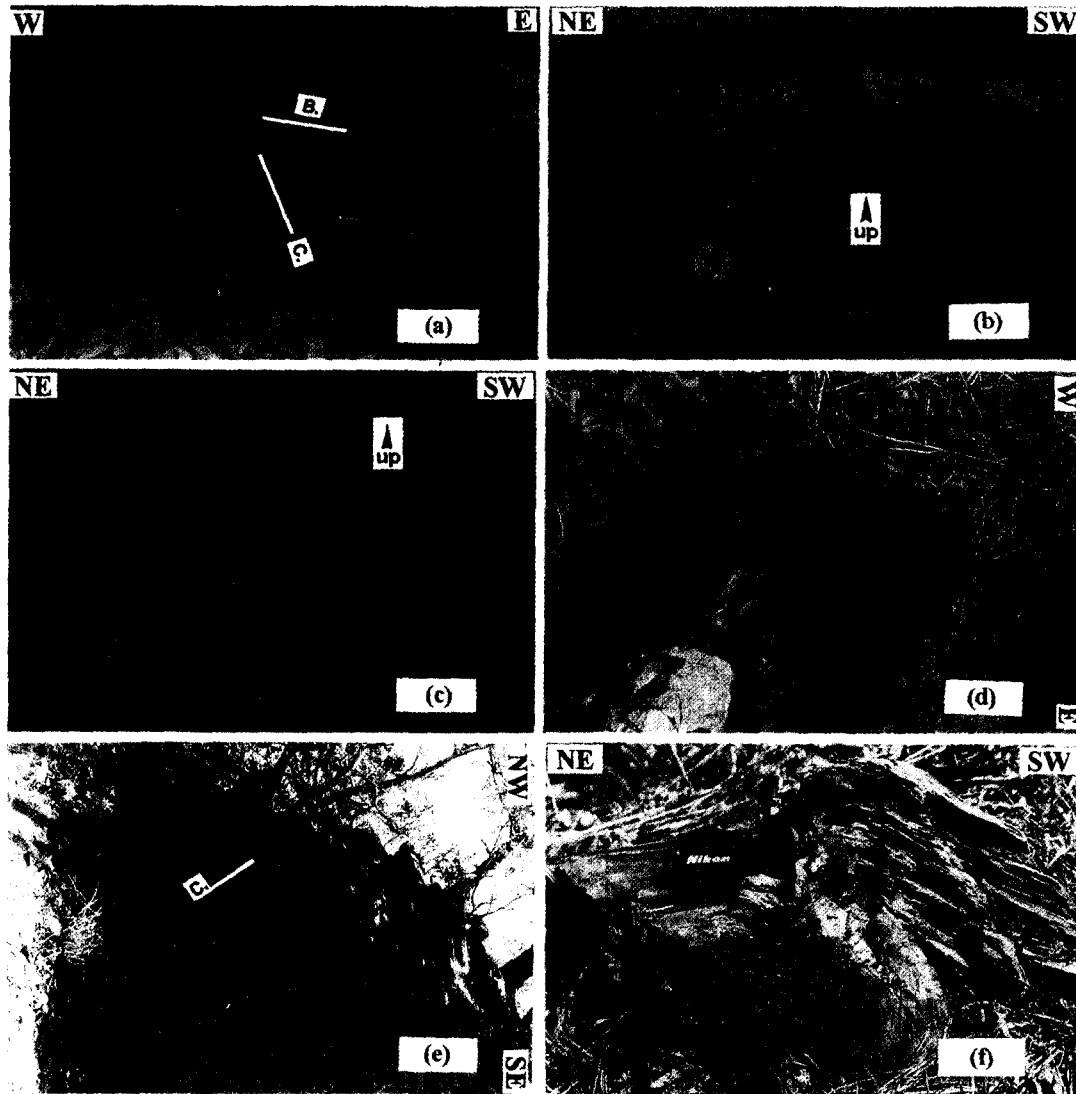


Fig. 6. Photographs of main rock structures in the Buunyeong unit. (a) High-angle intersecting relationship of the bedding (B) and the axial plane cleavage (C) of Buunyeong (BUR)-I fold in its hinge zone. (b) Cross bedding. (c) Graded bedding. (d) BUR-I upright fold. (e) BUR-II recumbent fold. (f) Kink fold.

의 미소단층들과 이에 수반되어 형성된 단곡 끌림습곡은 단곡 지구조단위의 기저단층에 해당하는 단곡 충상단층과 동시기에 형성되었음을 지시하고, 대동층군의 층리면이 습곡되어 형성된 단곡 끌림습곡은 대동층군의 첫 번째 변형산물로 판단된다.

부운령-II 습곡

부운령-I 습곡의 서쪽 날개부와 동쪽 날개부는 각각 동남동 방향과 서북서 방향으로 충상하는 단곡 지구조

단위와 삼실 지구조단위의 발달에 의해 부분적으로 절단되어 있다(Fig. 2). 이는, 단곡과 삼실 지구조단위들이 부운령 지구조단위의 상부로 이동하는 충상운동은 부운령-I 습곡이 형성된 이후에 발생하였음을 지시한다. 부운령 지구조단위에 발달된 지질도 규모의 부운령-I 습곡은 북북동 방향의 준 수평적인 습곡축을 갖고 동남동 버전스 또는 서북서 버전스를 보이는 횡와 습곡(부운령-II 습곡)에 의해 재습곡되어 있다(Fig. 2). 부운령-II 횡와습곡은 노두규모에서도 일반적으로 관찰

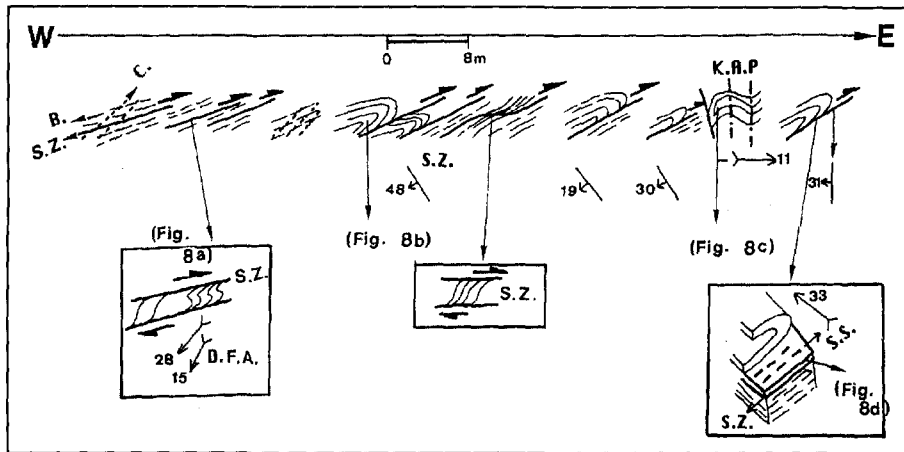


Fig. 7. Main rock structures related to minor faulting developed in the Dangok unit (sketched from SK.L. in Fig. 2a). B.: bedding, C.: axial plane cleavage of Dangok fold, S.Z.: shear zone, D.F.A.: axis of Dangok drag fold, S.S.: stria on slickenside, K.A.P.: axial trace of kink fold.

되고, 노두규모의 부운령-II 횡와습곡은 부운령-I 습곡의 측면엽리에 해당하는 탁월한 벽개면의 습곡작용에 의해 형성되어 있다(Fig. 6c). 이는, 부운령-II 습곡작용은 부운령-I 습곡이 형성된 이후에 발생하였음을 지시한다. 따라서, 부운령-II 습곡작용은 삼실과 단곡 지구조단위가 부운령 지구조단위의 상부로 충상하는 구조운동과 밀접한 관련성이 있으며, 이들 지구조단위의 충상운동과 관련되어 형성된 정암압(lithostatic pressure)은 부운령-I 습곡의 봉기와 함께 부운령-I 직립습곡의 측면엽리 벽개면을 습곡시켜 그 결과 부운령-II 횡와습곡이 형성된 것으로 판단된다.

변형단계별 선구조 요소

주요 지질구조와 중첩된 암석구조들의 선후관계로부터 문경 부운령지역에서는 적어도 세 번의 변형단계를 거쳐 형성된 선구조들이 인지된다.

첫 번째 변형단계의 선구조는 조선누층군과 평안누층군에 발달된 부운령-I 습곡의 측면엽리 벽개면과 층리면 사이의 교차선구조와 부운령-I 습곡축에 해당한다. 이들 선구조는 북쪽 방향 내지 북동 방향으로 저각 침강하는 분산된 방향성을 보이고(Fig. 9d), 이들의 방향성은 조선누층군과 평안누층군에서 측정된 층리면들의 분산된 극점배열의 π -축 가능 영역과 일치한다(Fig. 9c). 이는, 조선누층군과 평안누층군의 층리면들은 부운령-I 습곡작용에 의해 재배열 내지 분산되었음을 의미한다.

두 번째 변형단계의 선구조는 부운령-II 습곡축과 단곡 습곡축 등으로 인지된다. 이들 선구조는 남북 내지 동서 방향으로 저각 침강하는 분산된 방향성을 보인다. 단곡 습곡축(Fig. 9b)과 부운령-II 습곡축(Fig. 9f)의 방향성은 대동층군 단산층에서 측정된 층리면들의 분산된 극점배열의 π -축 가능 영역(Fig. 9a)과 부운령-I 습곡의 측면엽리 벽개면들의 분산된 극점배열로부터 인지되는 남서 방향의 π -축 가능 영역(Fig. 9e)과 각각 일치한다. 이는, 단곡 지구조단위에 분포하는 단산층의 층리면들과 부운령 지구조단위의 부운령-I 습곡 측면엽리의 벽개면들은 각각 단곡 습곡작용과 부운령-II 습곡작용에 의해 재배열 내지 분산되었음을 의미한다.

세 번째 변형단계의 선구조는 부운령-I 습곡과 단곡 습곡을 재습곡시키는 킥 습곡축으로 인지된다(Fig. 6f). 킥 습곡축은 주로 고각으로 침강하고 있으며(Fig. 9f), 이들의 방향성은 부운령-I 습곡의 측면엽리 벽개면들의 분산된 극점배열로부터 인지되는 남동 방향의 π -축 가능 영역(Fig. 9c)과 일치한다. 이는, 부운령-I 습곡의 측면엽리 벽개면들은 부운령-II 습곡작용 뿐만 아니라 킥 습곡작용에 의해서도 분산되었음을 의미한다. 추후 보다 상세한 연구가 요구되나, 문경 부운령지역에서의 세 번째 변형작용은 첫 번째와 두 번째 변형단계 동안에 형성된 구조요소들의 방향성을 분산시키는 주요 요인으로 작용하였으며(Figs. 9b, 9d and 9f), 이러한 기제는 문경탄전 북부지역의 지질구조 연구(김정환 외, 1989)를 통해서도 보고된 바가 있다.

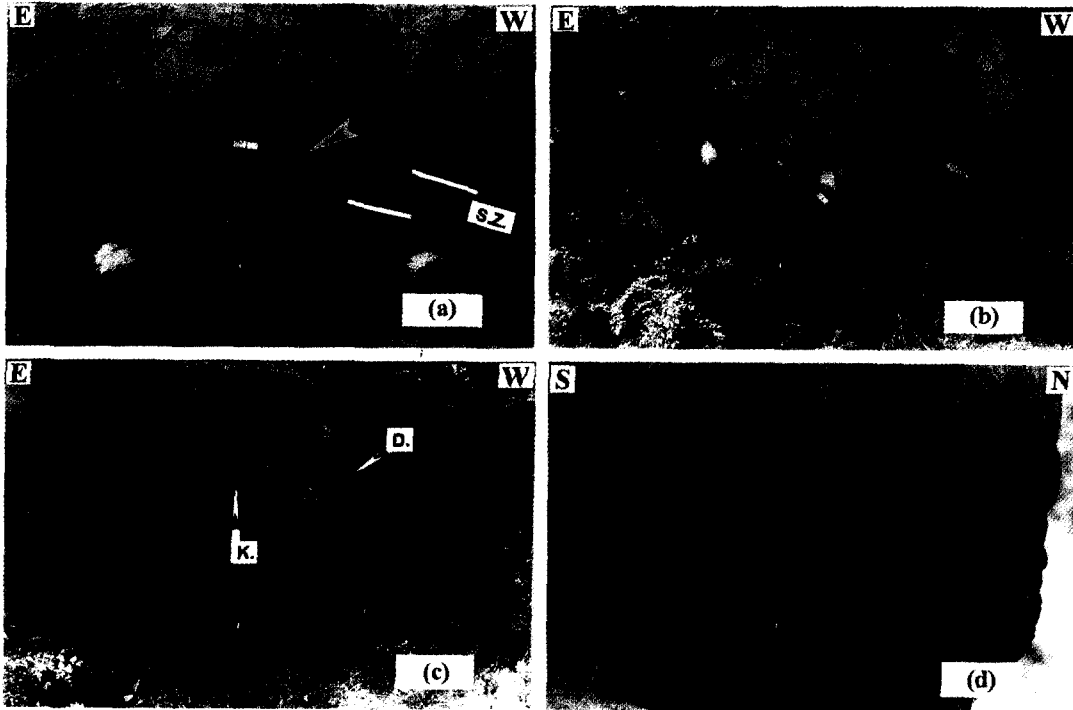


Fig. 8. Photographs of main rock structures in the Dangok unit (see Fig. 7). (a) Shear zone (S.Z.) and Dangok drag fold (arrow). (b) Dangok fold of E-vergence. (c) Dangok fold of W-vergence (arrow D.) refolded by kink fold (arrow K.). (d) Striae on slickenside.

고 찰

부운령역암층의 구조적인 위치

부운령 지구조단위에는 서로 부정합적인 관계를 보이는 하위의 조선누층군, 중위의 평안누층군, 상위의 대동층군 등이 분포한다. 부운령 지구조단위의 주요 지질구조는 평안누층군의 극조립질 사암대를 축부로 하고 중부 석탄기 세일대와 조선누층군의 오오도뷔스기 석회암층을 하위 날개부로 하는 북북동 방향의 부운령-I 향사습곡의 발달과 동북동 방향과 서북서 방향으로 이동하는 층상운동에 의해 형성된 단곡과 삼실 지구조단위들의 발달을 특징으로 한다(Fig. 2). 야외에서 정밀 측정된 엽리면들의 방향성 관계로부터 지질단면도를 작성해 보면, 단곡과 삼실 지구조단위들의 발달에 의해 양쪽 날개부가 절단되는 구조적인 불연속성을 보이는 부운령-I 습곡은 축부(밀착형)와 동쪽 날개부(개방형) 사이에 기하학적인 비조화성이 인지된다(Fig. 2). 부운령-I 습곡의 이러한 구조적인 불연속성과 기하학적인 비조화성은 북북동 방향의 부운령-I 습곡이 단곡과 삼실 지구조단위들이 발달하기 이전에는 개방습곡

이었으나 서북서-동남동 압축작용에 의해 이들 지구조단위들이 발달하는 동안에 더욱 변형되어 밀착습곡으로 변화되었을 가능성을 제시한다.

부운령 지구조단위의 북부에는 부운령 지구조단위의 상위 구성지층군에 해당하고 대동층군의 기저역암(부운령역암층)(김남장 외, 1967)에 대비되는 엽리상 역질암이 분포한다(Fig. 2). 엽리상 역질암은 부운령 지구조단위의 중위 구성지층군에 해당하는 평안누층군의 거의 모든 구성암상대와 마치 실상으로 분포하는 양상을 보이고, 이러한 역질암에는 퇴적될 당시 지구조환경이 매우 불안정하였음을 지시하는 슬럼프구조가 종종 관찰된다(Fig. 4b). 역질암의 기질암상은 주변 암상에 좌우되어 매우 다양하게 나타나고, 역질암을 구성하고 있는 역의 종류도 석영립, 사암, 규암, 이암, 화강암 등으로 다양하게 나타난다. 이들 구성역은 기질암상과의 연성도 차이에 의해 비록 신장도의 차이를 보이나 일반적으로 매우 신장되어 있으며, 신장된 역들의 장축과 중간축의 배열은 부운령-I 습곡의 축면엽리 벽개면에 평행하게 나타난다(Fig. 4b).

상술된 역질암의 퇴적환경 및 암상특성, 부운령-I 습

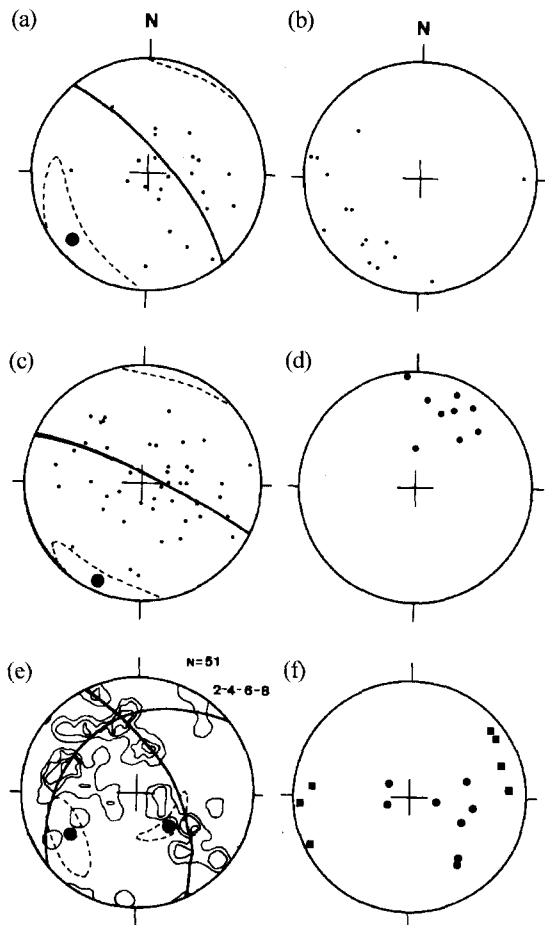


Fig. 9. Orientation of structural elements in the Buunyeong area. (a-b) Daedong Group in the Dangok unit (a: poles to bedding planes, b: Dangok fold axes). (c-f) Joseon and Pyeongan Supergroups [c: poles to bedding planes, d: BUR-I fold axes, e: poles to axial plane cleavages of BUR-I fold, f: BUR-II fold axes (solid squares) and kink fold axes (solid circles)]. Larger solid circles and dotted areas indicate -axis and possible -axis range, respectively. Lower-hemisphere equal-area projection. See the text for further explanation.

곡의 구조적인 불연속성, 축부(밀착형)와 동쪽 날개부(개방형) 사이의 기하학적 비조화성 등과 관련하여 역질암의 설상분포와 구성역들의 신장배열 등을 고찰해 볼 때, 역질암은 부운령-I 개방습곡이 형성된 이후 불안정한 지구조환경하에서 초기 부운령-I 개방 습곡체의 상부에 경사 부정합적으로 퇴적되었으며, 역질암이 퇴적된 이후 단곡과 삼실 지구조단위들의 발달로 인해 부운령-I 개방습곡이 밀착습곡으로 변형되는 과정에서 역질암은 설상으로 분포하게 되고 구성역들은 부운령

-I 밀착습곡의 측면엽리 벽개면에 평행하게 신장배열된 것으로 해석된다. 이러한 해석은 부운령역암층은 서북서-동남동의 압축 지구조환경하에서 초기 부운령-I 개방습곡이 형성된 이후와 동축의 지구조환경하에서 단곡과 삼실 지구조단위들이 발달되기 이전 동안의 구조적인 위치에서 퇴적되었음을 의미한다.

지질구조 발달사

암상단위구분에 의해 작성된 상세한 지질도와 변형 단계별 암석구조를 바탕으로 지질구조를 연구한 결과, 문경 부운령지역에서 옥천대의 지질구조 발달사는 다음과 같이 정리된다.

첫번째 변형작용은 서북서-동남동 방향의 압축 지구조환경하에서 발생하여 부운령 지구조단위에 조선누층군과 평안누층군으로 구성된 북북동 방향의 하나의 직립-개방 부운령-I 향사습곡을 형성시켰다. 두 번째 변형은 역시 서북서-동남동 방향의 압축작용하에서 단곡 지구조단위와 삼실 및 부곡리 지구조단위가 현지성 부운령 지구조단위의 상부로 충상하는 충상단층운동 발생기로서, 이들 지구조단위의 발달에 의해 부운령-I 개방습곡은 밀착습곡으로 변형되고, 대동층군의 기저역암에 해당하는 부운령역암층의 구성역들은 부운령-I 밀착습곡의 측면엽리에 평행하게 신장하게 되며, 부운령과 단곡 지구조단위에는 각각 북북동 방향의 부운령-II 횡습곡과 단곡 끌림습곡이 형성되었다. 그리고 이들 두 변형작용은 서북서-동남동 방향의 동일한 압축 지구조환경하에서 발생하여 문경 부운령지역의 조선누층군과 평안누층군에 북북동-남남서 방향의 광역적인 지질구조를 형성시켰으며, 이후 발생한 고각으로 침강하는 습곡축을 갖는 키크 습곡작용은 북북동-남남서 방향의 광역적인 지질구조를 분산 내지 재배열시켰다.

김정환 외(1989)은 문경탄전 북부지역의 지질구조 연구를 통하여 고생대 지층들은 세 번의 변형작용을 받았고 중생대 지층들은 두 번의 변형작용을 받았음을 인지하고, 첫 번째 변형작용은 중생대 지층들의 퇴적 이전, 드러스트 운동 이전에 발생하였고 두 번째 변형작용은 중생대 지층들이 퇴적된 이후 드러스트 운동에 수반되어 발생하였으며 세 번째 변형작용은 드러스트 운동 이후에 일어났음을 보고한 바가 있다. 또한, 그들은 첫 번째 변형작용과 두 번째 변형작용의 모든 지질구조요소들은 세 번째 변형작용인 동서 방향의 습곡축을 갖는 습곡작용에 의해 분산되어 뚜렷한 방향성을 인지할 수 없으나 첫 번째와 두 번째 변형작용은 중첩된 습곡구조 형태로부터 동축의 변형작용이었음을 해석한 바가 있다. 이러한 연구결과는 이번 연구결과와

거의 일치한다. 그리고, 그들은 과거에 중생대 대동층군의 기저역암으로 해석하였던 부운령역암층을 드러스트단층의 전면부에 분포하는 일종의 구조적 멜란지로 해석하여 문경탄전 북부지역의 주요 지질구조를 충상단층대로 설정한 바가 있고, 부운령역암층 상위의 함탄층 층준(?)에서 고생대 식물화석의 발견(전희영, 1984)과 함께 부운령역암층을 함탄층보다 고기 지층인 홍점층에 대비될 가능성을 제안한 바가 있다. 그러나, 본 연구결과 부운령역암층은 부운령-I 개방습곡을 형성시키는 첫 번째 변형작용 이후와 단곡과 삼실 지구조단위가 부운령 지구조단위의 상부로 충상하는 두 번째 변형작용 이전 동안의 불안정한 지구조환경하에서 초기 부운령-I 개방 습곡체의 상부에 경사 부정합적으로 퇴적된 중생대 대동층군의 기저역암으로 해석된다.

영월-에미지역(김정환 외, 1991), 영춘지역(Kim et al., 1992) 그리고 단양지역(Kim and Koh, 1992)에서의 구조 해석 결과에 따르면, 북동부 옥천대의 북북동-남남서 방향의 광역적인 지질구조는 상부 트라이아스기 이전의 지층군이 대동층군의 상부로 충상하는 대동층군 퇴적후의 지구조운동과 밀접한 연관성이 있음을 보고한 바가 있다. 그러나, 이러한 지구조운동에 대한 발생기구는 아직까지 명확하게 이해되지 않고 있다. Cluzel et al.(1991a, 1991b)의 연구결과에 따르면, 북동부 옥천대에서 조선누층군과 평안누층군의 첫 번째 변형구조는 직립습곡 내지 동남동 방향으로 횡와하는 북북동 방향의 습곡축을 갖는 개방습곡 내지 밀착습곡으로서, 이러한 습곡구조는 평안누층군이 퇴적된 이후와 대동층군이 퇴적되기 이전 동안에 북동-남서 방향의 우수 주향이동성 호남전단운동(Yanai et al., 1985)과 관련된 서북서-동남동 방향의 전단압축작용(transpression)에 의한 결과로 해석하고 있다. 그리고 조선누층군과 평안누층군의 두 번째 변형구조는 상부 트라이아스기 이전의 지층군이 대동층군의 상부로 충상하는 지구조운동과 관련되어 있으며, 이들 변형구조는 첫 번째 변형작용과 거의 동축의 지구조운동인 관계로 조선누층군과 평안누층군에서 거의 판독하기 어려우나 대동층군에서는 북동-남서 방향의 습곡구조로 인지됨을 보고한 바가 있다. 그러나, 본 연구결과 조선누층군과 평안누층군의 북북동-남남서 방향의 광역적인 지질구조는 서북서-동남동 압축방향의 동축 지구조환경하에서 두 번의 변형단계(상부 트라이아스기-하부 쥐라기 대동층군이 퇴적되기 이전의 부운령-I 직립 습곡작용과 퇴적된 이후의 부운령-II 횡와 습곡작용)를 걸쳐 형성되었음을 알 수 있었고, 이러한 두 번의 변형구조는 Cluzel et al.(1991a, 1991b)의 연구결과와 달리 문경 부운령지

역의 조선누층군과 평안누층군에서 뚜렷이 구분된다.

지금까지 알려진 바에 의하며 호남전단운동은 1회의 움직임으로서 호남전단대의 발달시기에 대한 다양한 연구결과(228-211Ma(트라이아스기 말기), 183-176Ma(쥐라기 중기), ±160Ma(쥐라기 말))(cf. 권성택과 이진한, 1997; 진명식과 장보안, 1999)가 제시되고 있다. 이미 언급한 바와 같이, 본 연구결과 문경 부운령지역에서 조선누층군과 평안누층군의 북북동-남남서 방향의 광역적인 지질구조는 서북서-동남동 압축방향의 동축 지구조환경하에서 두 번의 변형단계를 걸쳐 형성되었음을 알 수 있었는데, 이러한 연구결과는 호남전단운동이 1회의 움직임이 아니라 적어도 2회의 움직임이었을 가능성을 제시한다. 따라서, 추후 호남전단운동 시기를 결정할 호남지방 화강암류에 대한 보다 상세한 구조·암석학적인 연구를 통하여 호남전단운동의 재활동 유무를 충분히 검토할 필요가 있다고 생각한다.

결 론

암상단위구분에 의해 작성된 상세한 지질도와 변형단계별 암석구조로부터 문경 부운령지역에서 옥천대의 지질구조는 적어도 세 번의 변형단계를 거쳐 형성되었음을 알게 되었다. 본 연구결과, 문경 부운령지역에서 옥천대의 지구조 발달사 및 각 변형단계의 특성은 다음과 같다.

1. 첫 번째 변형작용은 서북서-동남동 방향의 압축 지구조환경하에서 부운령 지구조단위의 조선누층군과 평안누층군에 북북동 방향의 하나의 직립-개방 부운령-I 향사 습곡을 형성시켰다. 조선누층군과 평안누층군에서만 인지되는 첫 번째 변형작용은 평안누층군이 퇴적된 이후와 대동층군이 퇴적되기 이전 동안(폐름기 말기에서 트라이아스 말기 동안)에 발생하였다.
2. 두 번째 변형작용은 역시 서북서-동남동 방향의 압축 지구조환경하에서 발생하여 현지성 부운령 지구조단위의 상부로 충상하는 동남동향의 단곡 지구조단위와 서북서향의 삼실 및 부곡리 지구조단위들을 형성시켰다. 이들 지구조단위의 발달로 인해 부운령 지구조단위의 부운령-I 개방습곡은 밀착습곡으로 변형되고, 부운령과 단곡 지구조단위들에서는 각각 북북동 방향의 부운령-II 횡와습곡과 단곡 끝림습곡이 형성되었다. 대동층군에서도 인지되는 두 번째 변형작용은 대동층군이 퇴적된 쥐라기 초기 이후에 발생하였다.
3. 대동층군의 기저역암에 해당하는 부운령역암층은 부운령-I 개방습곡을 형성시킨 첫 번째 변형작용 이후와 단곡과 삼실 지구조단위를 부운령 지구조단위의 상

부로 충상시킨 두 번째 변형작용 이전 동안의 불안정한 지구조환경하에서 초기 부운령-I 개방 습곡체의 상부에 경사 부정합적으로 퇴적되었다. 이들 지구조단위들의 충상 지구조운동과 관련하여 구성역들은 부운령-I 습곡의 측면엽리면에 평행하게 신장 배열되었다.

4. 서북서-동남동 방향의 동일한 압축 지구조환경하에서 발생한 첫 번째와 두 번째 변형작용은 조선누층군과 평안누층군에 북북동-남남서 방향의 광역적인 지질구조를 형성시켰고, 이들 방향성은 고각으로 침강하는 습곡축을 갖는 키크 습곡작용(세 번째 변형작용)에 의해 재배열 내지 분산되었다. 동측 지구조환경하에서 발생한 첫 번째와 두 번째 변형작용은 북동부 옥천대의 광역적인 지질구조와 밀접한 관련성이 있으며, 이들 지구조운동의 발생기구를 고려해 볼때 호남전단운동의 재활동의 가능성을 제시한다.

사 사

본 연구는 1997년도 한국과학재단 특정기초연구(96-0703-07-01-3)에 의해 수행되었으며 이에 사의를 표한다. 본 논문에 대한 여러 가지 의미있는 지적과 건설적인 비평을 해 주신 부경대학교 환경지질학과 박계현 교수님과 익명의 심사자님들께 깊은 감사를 드린다.

참고문헌

- 구자학, 1964, 문경탄전 지질조사보고서. 탄전지질조사보고. 국립지질조사소, 5, 21-44.
- 권성택, 이진한, 1997, 호남전단대의 운동시기에 관한 소고. 지질학회지, 33, 183-188.
- 김남장, 최승오, 강필종, 1967, 한국지질도 (1:50,000) 문경 도폭 및 설명서. 국립지질조사소, 37p.
- 김일석, 이무녕, 이종헌, 손길상, 1984, 문경탄전 중부지역 조사보고서. 탄전지질, 대한광업진흥공사, 3, 147-252.
- 김정환, 1986, 문경탄전 오정산일대의 지질구조. 지질학회지, 22, 135-145.
- 김정환, 기원서, 김일석, 1989, 문경탄전 북부지역의 지질구조. 지질학회지, 25, 72-81.
- 김정환, 교회재, 이종대, 1991, 강원도 영월-에미지역의 지질구조. 광산지질, 24, 167-176.
- 박수인, 정창희, 1989, 문경탄전 지역의 석탄-페름계의 층서 고생물학적 연구. 지질학회지, 25, 182-191.
- 박정서, 1974, 문경탄전의 층서와 지질구조. 지질학회지, 10, 129-148.
- 손치무, 백광호, 1972, 문경탄전 일대의 지질구조. 지질학회지, 8, 181-189.
- 엄상호, 서해길, 김동숙, 최현일, 박석환, 배두중, 이호영, 전희영, 권육상, 1977, 문경탄전 정밀지질 조사보고서. 자원개발연구소, 60p.
- 전희영, 1984, 문경탄전지역에 대한 층서, 고생물학적 연구(I). 지질학회지, 20, 364.
- 정창희, 김봉균, 1962, 문경탄전 지질조사보고서. 석탄, 15, 43-47.
- 진명식, 장보안, 1999, 소백산육괴 동북부 영주-춘양지역의 트라이아스기말-จู라기초 화강암체의 열사 및 그 지구조적인 의의. 지질학회지, 35, 189-200.
- 최현주, 1981, 문경탄전 지질. 지질학회지, 17, 134-135.
- 小島新夫, 1929, 문경탄전 지방 지질개보. 지구, 23, 260-287.
- Cluzel, D., Lee, B.J. and Cadet, J.P., 1991a, Indosinian ductile dextral fault system and synkinematic plutonism in the southwest of Ogcheon belt (S. Korea). Tectonophysics, 194, 131-151.
- Cluzel, D., Jolivet, L. and Cadet, J.P., 1991b, Early middle Paleozoic intraplate orogeny in the Ogcheon Belt (S. Korea): a new insight on the Paleozoic buildup of east Asia. Tectonics, 10, 1130-1151.
- Lee, D.S., 1987, Geology of Korea. Geological Society of Korea. Kyohaksa, Seoul, 514p.
- Kim, J.H. and Koh, H.J., 1992, Structural analysis of the Dangyang area, Dangyang coalfield. Korea. Jour. Korean Inst. Mining Geol., 25, 61-73.
- Kim, J.H., Lee, J.Y. and Nam, K.H., 1992, Geological structures of the Yeongchun area, Dangyang coalfield. Korea. Jour. Korean Inst. Mining Geol., 25, 179-190.
- Reedman, A.J. and Um, S.H., 1975, The geology of Korea. Korea Insti. of Energy and Resour., Seoul, 139p.
- Yanai, S., Park, B.S. and Otoh, S., 1985, The Honam shear zone (S. Korea): deformation and tectonic implication in the far East. Sci. Pap. Coll. Arts Sci. Univ. Tokyo, 35, 181-210.

(2001년 6월 28일 접수, 2001년 8월 13일 게재승인)