화개지역에서 영남육괴 지리산 변성암복합체의 지질구조

이덕선 · 강지훈*

안동대학교 지구환경과학과

Geological Structure of the Jirisan Metamorphic Complex of the Yeongnam Massif in the Hwagae Area, Korea

Deok-Seon Lee and Ji-Hoon Kang*

Department of Earth and Environmental Sciences, Andong National University,
Andong, Gyeongsangbuk-do 760-749, Korea

요약: 영남육괴 지리산지구의 남동부에 위치하는 화개지역은 주로 선캄브리아기 지리산 변성암복합체로 구성되어 있으며, 선캄브리아기 구성암류는 남-북 방향의 밀착습곡과 동-서 방향의 개방습곡 형태의 암상분포를 보인다. 이 논문에서는 하동 화강암복합체의 서부에 위치하는 화개지역에서 지리산 변성암복합체의 변형된 암석구조에 대한 운동학적·기하학적 특징과 중첩된 변형구조들의 선후관계로부터 연구지역의 지질구조를 연구하였다. 그 결과, 연구지역의 지질구조는 적어도 세 번의 연성 변형단계를 거쳐 형성되었음을 알게 되었다. (1) D_1 변형과 관련된 구조요소는 대부분 D_2 변형에 의해 전위되어 $S_{0-1,2}$ 복합엽리로 인지된다. (2) D_2 변형은 동-서 방향의 압축 지구조환경 하에서 남-북 방향의 F_2 습곡과 F_2 습곡축면에 (준)평행하게 발달하는 D_2 연성전단대를 형성시켰다. (3) D_3 변형은 남-북 방향의 압축 지구조환경 하에서 발생하여 그 이전 형성된 구조요소들의 방향성을 국부적으로 동북동 내지 서북서 방향으로 재배열시켰다. 이는 선캄브리아기 구성암류의 광역적인 남-북 방향의 밀착습곡과 동-서 방향의 개방습곡 형태의 암상분포는 각각 D_2 변형, D_3 변형과 밀접한 관련이 있음을 의미한다.

핵심어: 영남육괴, 지리산지구, 화개지역, 지리산 변성암복합체, 지질구조

Abstract: Hwagae area, which is situated in the southeastern part of the Jirisan province, Yeongnam massif, Korea, is mainly composed of Precambrian Jirisan metamorphic rock complex (JMRC). Lithofacies distribution of the Precambrian constituent rocks mainly shows NS-trending tight fold and EW-trending open fold. This paper researched deformational phased structural characteristics of JMRC based on the geometric and kinematic features and the forming sequence of multi-deformed rock structures, and suggests that the geological structure of this area was formed through at least three phases of ductile deformation. (1) Most of structural elements related to the D_1 deformation were recognized as $S_{0-1,2}$ composite foliation which was transposed by the D_2 deformation. (2) The D_2 deformation occurred under the EW-directed tectonic compression, and formed the NS-trending F_2 fold and D_2 ductile shear zone which is (sub)parallel to the axial plane of F_2 fold. (3) The D_3 deformation occurred under the NS-directed tectonic compression, and partially reoriented the pre- D_2 structural elements into ENE or WNW direction. It indicates that the distribution of Precambrian lithofacies showing NS and EW-trending folds in the Hwagae area is closely associated with the D_2 and D_3 deformations, respectively.

Key words: Jirisan province, Yeongnam massif, Hwagae area, Jirisan metamorphic complex, geological structure

*Corresponding author
Tel: 054-820-5474
E-mail: jhkang@andong.ac.kr

서론

영남육괴는 북서부의 옥천대와 남동부의 경상분지와 경계를 이루며, 점촌지역을 중심으로 북동부의 소백산지구와 남서부의 지리산지대로 구분된다. 영남육괴 지리산지구 남동부에 위치하는 화개지역은 주로 선캄브리아기 지리산 변성암복합체(이하, 변성암체)로 구성되어 있다(Reedman and Um, 1975; Lee, 1987)(Fig. 1).

선캄브리아기 지리산 변성암체는 성인에 따라 퇴적기원의 준편마암류와 화성기원의 정편마암류로 구분되며(Lee, 1980; Lee *et al.*, 1981; Kim *et al.*, 1991; Kim, 1999)(Fig. 1), 이들 지리산 변성암체에 대한 변성암석학적 연구(Kim, 1970; Lee, 1980; Lee *et*

al., 1981; Lee and Kim, 1984; Song and Lee, 1989; Song, 1999), 백립암상 차노카이트에 대한 연구(Kim *et al.*, 1998; Park *et al.*, 2001; Kim *et al.*, 2002), 지구연대학적 연구(Turek and Kim, 1995, 1996; Park *et al.*, 2000, 2001), 지체구조 및 구조 지질학적 연구(Lee and Kang, 2012, 2013) 등 다수의 연구자들에 의해 수행된 바가 있다.

화개지역에 분포하는 지리산 변성암체는 한반도의 일반적인 지체구조 방향인 북동-남서 방향과 달리 남-북 방향으로 발달한다(Fig. 1). 그러나 남-북 방향의 지리산 변성암체의 산출양상과 관련된 변형단계별 구조적 특성에 대한 연구는 거의 수행된 바가 없다(Lee and Kang, 2012, 2013). 최근 Lee and Kang(2012, 2013)은 선캄브리아기 하동 북부 및 남부 회장암복합

Fig. 1. (a) Tectonic province map of the southern part of Korean Peninsula and (b) simplified geological map of the Jirisan province of the Yeongnam massif with the locality of study area (modified from Lee and Kang, 2012). B: Bonghwa, G: Gwangju, Ga: Gangneung, Gc: Geochang, Gi: Gimcheon, Hd: Hadong, Hy: Hamyang, J: Jeomchon, Je: Jeonju, Jj: Jinju, Jn: Jinan, Mo: Mokpo, Mt.J: Jirisan, Mt.S: Sobaeksan, Nw: Namweon S: Sunchang, Sc: Sancheong, Se: Seoul, Su: Subi, W: Wando, Y: Yecheon, Ye: Yeongkwang.

체(이하, 회장암체)와 그 주변에 분포하는 지리산 변성암체의 지질구조는 최소 세 번의 변형단계에 걸쳐 형성되었으며, 남-북 방향의 지체구조는 동-서 방향의 압축작용과 관련된 두 번째 변형작용과 관련된 것으로 보고하였다.

이 논문은 하동 회장암체의 서부에 위치하는 화개 지역에서 지리산 변성암체의 변형된 주요 암석구조에 대한 운동학적·기하학적 특징과 중첩된 변형구조들의 선후관계로부터 연구지역의 지질구조를 연구하였다.

지질개요

연구지역은 주로 선캄브리아기 지리산 변성암체로 구성되어 있다(Figs. 1, 2). 지리산 변성암체는 백립암상(Kim, 1970; Kim *et al.*, 1998; Song, 1999; Park *et al.*, 2001; Kim *et al.*, 2002), 상부 각섬암상, 각섬암상 그리고 녹염석·각섬암상 내지 녹색 편암상(Lee, 1980; Song, 1981; Lee *et al.*, 1981; Lee and Kim, 1984) 등의 최소 4번의 변형작용이 중첩되어 나타난다.

연구지역에 분포하는 화강암질 편마암, 반상변정질 편마암에서 측정된 석류석의 Sm-Nd 광물연대는 1.7-1.8 Ga(Song, 1999)로 나타나며, Turek and Kim (1996)은 화강암질 편마암과 잔류반상 화강편마암에 대한 저어콘 U-Pb 연대측정 결과로 각각 2.1과 1.9 Ga의 생성연대를 보고한 바가 있다. Lee *et al.* (2001)은 반상변정질 편마암을 기원과 조직적 특성에 따라 잔류반상 화강편마암(blastoporphyratic granite gneiss)으로 명명하였다.

최근 Lee and Kang(2012, 2013)은 선캄브리아기 하동 북부 및 남부 회장암체와 그 주변부의 지리산 변성암체에 대한 지질구조 연구를 통하여 상부-남동부-이동 대규모 연성전단변형, 동-서 방향의 압축작용, 남-북 방향의 압축작용 등의 최소 3회의 변형작용을 보고하였으며, 이들 3회의 변형작용 시기는 하동-산청 회장암체가 관입한 전기 원생대(1,792±90 Ma, Sm-Nd 연대: Kim *et al.*, 2000) 이후 북동 방향의 염기성 암맥군의 관입 집중기에 해당하는 고생대 말(약 260 Ma의 SHRIMP U-Pb 저어콘 연대: Kim *et al.*, 2010, 2011) 이전으로 보고하였다. 또한, 구성암

Fig. 2. Geological map of the Hwagae area (modified from Choi *et al.*, 1964 and Son *et al.*, 1964).

류의 남-북 방향의 지체구조는 하동 북부 및 남부 회 장암체와 지리산 변성암체의 동쪽 경계부를 따라 나타나는 하동전단대 형성과 관련된 D_2 변형작용의 결과로 해석한 바가 있다.

암석기재

단성 지질도폭(Choi *et al.*, 1964)의 동부 일부 영역과 화개 지질도폭(Son *et al.*, 1964)의 서부의 일

부 영역을 점하고 있는 연구지역은 주로 선캠브리아기 편암, 화강암질 편마암, 혼성암질 편마암, 우백질 편마암, 흑운모 편마암, 잔류반상 화강편마암, 화강편마암 등의 지리산 변성암체로 구성되어 있다(Fig. 2).

편암은 흑운모 편마암 내에 남-북 방향의 대상 분포를 보이며 연구지역의 북동부에 소규모 산출한다(Fig. 2). 화강암질 편마암은 주로 잔류반상 화강편마암 내에 남-북 방향의 밀착습곡 형태와 동-서 방향의 개방습곡 형태의 분포를 보이며 연구지역의 중부와

Fig. 3. Outcrop photographs of major rocks in the study area. (a) Granitic gneiss, (b) migmatitic gneiss, (c) leucocratic gneiss, (d) biotite gneiss, (e) porphyroblastic gneiss, (f) granite gneiss.

북서부에 소규모 산출한다(Fig. 2). 주 구성광물은 석영, 사장석, 흑운모, K-장석으로 되어 있고, 신장된 석영이나 장석 또는 유색광물의 정향배열에 의한 편마구조가 발달한다(Fig. 3a). 혼성암질 편마암은 연구지역의 동부에 분포하는 우백질 편마암 내에 소규모 산출하며(Fig. 2), 편마구조는 유색광물대와 무색광물대가 반복하는 불규칙한 대상구조를 보인다(Fig. 3b). 우백질 편마암은 흑운모 편마암의 동쪽과 흑운모 편마암 내에 남-북 방향의 등근 납작한 형태의 분포를 보이며 각각 연구지역의 동부와 중부에 산출한다(Fig. 2). 주 구성광물은 석영, 사장석, 흑운모, K-장석이며, 유색광물의 정향배열에 의한 편마구조가 발달한다(Fig. 3c). 흑운모 편마암은 주로 잔류반상 화강편마암의 동쪽에 분포하며 일부 화강암질 편마암과 잔류반상 화강편마암 사이에 소규모 산출한다(Fig. 2). 일반적으로 화강암질 편마암, 화강편마암과 유사하나 유색광물의 함량이 많고, 잔류반상 화강편마암과는 K-장석 반상이 없는 점으로 구별된다(Fig. 3d). 잔류반상 화강편마암은 주로 연구지역의 서부에 광역적으로 분포하며, 일부 흑운모 편마암내 남-북 방향의 대상 분포를 보이며 소규모 산출한다(Fig. 2). 주 구성광물은 석영, 사장석, 흑운모, 석류석, 백운모로 되어있고 거정의 K-장석 반정을 갖는다(Fig. 3e). 화강편마암은 연구지역의 남서부에 소규모 분포한다(Fig. 2). 일반적으로 중립 내지 조립질로 균질하며 주로 석영, 사장석, K-장석, 흑운모로 되어있고, 흑운모 편마암에 비해 유색광물의 함량이 적다(Fig. 3f). 화강암질 편마암과 잔류반상 화강편마암은 남-북 방향의 갈고리 형태와 동-서 방향의 개방 습곡 형태로 분포하고 편암, 우백질 편마암, 흑운모 편마암 등은 남-북 방향의 대상 분포를 보인다.

지질구조

주요 연성변형구조들의 기하학적·운동학적 특성과 중첩된 연성변형 암석구조들의 선후관계로부터 선캠브리아기 지리산 변성암체에 대한 변형단계별 구조요소를 연구한 결과, 연구지역의 지질구조는 D_n 변형 작용에 의해 형성된 S_n 엽리가 형성된 이후 적어도 세 번의 변형단계를 걸쳐 형성되었음을 알게 되었다. 따라서, 통상적으로 D_n 변형 이후의 변형단계를 발생 순서에 따라 D_{n+1} , D_{n+2} , D_{n+3} 변형 등으로 표기하고, 이들 각각의 변형작용에 의해 형성된 엽리와 습곡들을

을 각각 S_{n+1} , S_{n+2} , S_{n+3} 엽리와 F_{n+1} , F_{n+2} , F_{n+3} 습곡 등으로 표기하여 변형단계별 지질구조를 기재하나, 이 논문에서는 편의상 D_n 변형에 의해 형성된 S_n 엽리를 S_0 엽리라고 표기하고, 그 이후에 발생하는 D_{n+1} , D_{n+2} , D_{n+3} 변형을 발생순서에 따라 D_1 , D_2 , D_3 변형 등으로, 각 변형단계 동안에 형성된 엽리와 습곡들을 각각 S_1 , S_2 , S_3 엽리와 F_1 , F_2 , F_3 습곡 등으로 구분하여 지리산 변성암체의 변형단계별 지질구조를 기재하고자 한다.

광역엽리

광역엽리는 연구지역에서 일반적으로 관찰되며, D_1 변형 이전에 형성된 S_0 엽리, D_1 변형에 의해 형성된 S_1 엽리 내지 S_{0-1} 복합엽리, D_2 변형에 의해 형성된 S_2 엽리 내지 S_{0-2} 복합엽리 등으로 확실하게 구분할 수 없는 구조적 엽리로서, 이들은 변성이질암 내 판상광물들의 정향배열에 의한 편리, 화강암질 편마암, 우백질 편마암, 흑운모 편마암, 화강편마암, 잔류반상 화강편마암 내 주로 석영과 장석의 최대신장 방향과 중간신장 방향과 안구상구조 그리고 유색광물의 정향배열에 의해 인지되는 편마구조 등으로 정의된다. 또

Fig. 4. (a) Orientation of the regional foliation and stretching lineation measured on the regional foliation, and (b) stereoplots of the poles to the regional foliation (contours at 3-6-9-12% of area). Lower-hemisphere equal-area projection.

한 광역엽리면 상에서 인지되는 신장선구조는 역시 D_1 변형 이전에 형성된 것인지를, D_1 변형 내지 그 이후에 형성된 것인지 확실히 구분할 수 없는 선구조로서, 신장된 석영, 장석, 흑운모, 각섬석 집합체 등의 선상 정향배열에 의해 정의된다.

광역엽리의 극점 배열은 남동($46^\circ S 54^\circ E$) 내지 동남동($41^\circ S 75^\circ E$) 방향으로 중각 침강하는 집중된 방향성을 보이며 분산되어 있다(Fig. 4a, 4b). 이러한 광역엽리의 방향성(Fig. 4a)은 연구지역의 중심부에 남-북 내지 동-서 방향의 갈고리 형태로 분포하는 화강암질 편마암과 잔류반상 화강편마암의 암상분포 방향과 유사하다. 신장선구조는 북서 방향으로 중각 침강($31^\circ N 53^\circ W$)하는 방향성을 보이며, 광역 엽리면에 사교하는 방향으로 발달한다(Fig. 4a).

D_1 변형과 D_2 변형

하동 회장암체와 그 주변부에서 발달하는 F_1 칼집 내지 “A”형 습곡, S_{0-1} 복합엽리, D_1 연성전단대 등을 형성시킨 D_1 변형구조(Lee and Kang, 2012, 2013)는 연구지역에서 쉽게 관찰할 수 없으며, 대부분 S_2 엽리로 전위되어 S_{0-1-2} 복합엽리로 인지된다(Fig. 3f).

D_2 변형구조는 동-서 방향의 압축 지구조환경 하에서 이전에 형성된 S_1 엽리 내지 S_{0-1} 복합엽리와 F_1 습곡을 (재)습곡시키는 남-북 방향의 F_2 습곡과 F_2 습곡측면에 (준)평행하게 발달하는 D_2 연성전단대 등으로 인지된다(Figs. 5a-5c, 6a). F_2 습곡은 변형강도에 좌우되어 층간, 밀착, 개방 습곡 등으로 나타난다(Fig. 5b, 5d, 5e). F_2 습곡측면에 해당하는 S_2 엽리는 D_2 연성전단대의 전단면의 방향과 일치하며(Fig. 5b, 5c, 6a), 이들의 방향성은 주로 북북동~북북서 주향에 서쪽으로 중각 내지 고각 경사하고, F_2 습곡축은 주로 북북동 내지 남남서 쪽으로 저각 침강한다(Fig. 7a, 7b). 연구지역에서 F_2 습곡과 D_2 연성전단대는 남-북 방향의 밀착습곡 형태의 분포를 보이는 연구지역 중앙부의 화강암질 편마암과 잔류반상 화강편마암에서 주로 인지되며, 이들 D_2 변형구조의 특징은 No. 284 노두에서 잘 나타난다(Figs. 2, 5).

No. 284 노두는 화강암질 편마암으로서 특징적인 D_2 변형구조는 S_{0-1} 복합엽리를 습곡시키는 F_2 개방, 밀착, 층간 습곡과 F_2 습곡의 양날개부에서 S_{0-1} 복합엽리의 연장성을 부분적으로 절단시키며 F_2 습곡의 측면엽리 $N18^\circ W 74^\circ SW$ 에 평행한 $N22^\circ W 85^\circ SW$ 방

Fig. 5. (a) Photographs of rocks structures related to D_2 and D_3 deformations in No. 284 outcrop (granitic gneiss). (b) F_2 rootless fold and D_2 shear zone developed along its axial plane. (c) D_2 shear zone cutting S_{0-1} composite foliation. (d, f) F_2 , F_3 tight and open folds and D_3 shear zone. (d) Superposed F_2 and F_3 folds. (f) F_2 and F_3 refolding pattern of S_{0-1} composite foliation, D_3 shear zone is also developed along F_3 axial plane. (e, g) F_3 tight fold and D_3 shear zone cutting and refolding S_{0-1-2} composite foliation. Ap: axial plane of fold, SZ: shear zone.

Fig. 5. Continued.

향으로 발달하는 D_2 연성전단대이다(Fig. 5a-5d). 이 노두에서 S_{0-1} 복합엽리는 F_2 습곡이 개방 내지 밀착된 노두 위치에서는 보다 쉽게 인지된다(Fig. 5c, 5d). 그러나 F_2 습곡이 밀착되어 층간습곡으로 발달하는 노두 위치에서 S_{0-1} 복합엽리는 F_2 습곡의 측면엽리로 완전히 전위되어 S_{0-1-2} 복합엽리를 형성하고 있으므로 거의 인지할 수 없으며(Fig. 5b), 이 노두에서

이러한 S_{0-1-2} 복합엽리는 광역엽리로서 우세하게 발달한다(Fig. 5a).

D_3 변형

D_3 변형구조는 남-북 방향의 압축 지구조환경 하에서 이전에 형성된 구조요소들을 재습곡시키거나 불연속적으로 굴곡시키는 동-서 방향의 F_3 습곡과 D_3 연

Fig. 6. Outcrop photographs of major rock structures related to D_2 and D_3 deformations. (a) F_2 open and tight folds (porphyroblastic gneiss) and D_2 shear zone. (b) D_3 shear zone (porphyroblastic gneiss). Ap: axial plane of fold, SZ: shear zone.

성전단대 등으로 인지된다(Figs. 5d-5g, 6b). F_3 습곡은 역시 변형강도에 좌우되어 개방, 밀착 습곡으로 발달하고, 습곡축면이 서북서와 동북동 등 양방향으로 발달하는 공액성 형태를 취하기도 한다(Fig. 5d, 5e). D_3 연성전단대는 역시 F_3 습곡의 축면엽리에(준)평행하게 발달하고 S_{0-1} 복합엽리 내지 S_{0-1-2} 복합엽리의 방향성을 서북서 내지 동북동 방향으로 굴곡시킨다(Fig. 5f, 5g). 연구지역에서 서북서 내지 동북동 방향의 D_3 연성전단대는 화강암질 편마암과 잔류반상 화강편마암이 동-서 방향의 개방습곡 형태로 분포하는 연구지역의 북부에서 관찰되며, D_3 변형구조의 특징 역시 No. 284 노두에서 잘 나타난다(Figs. 2, 5, 7).

No. 284 노두에서 F_3 습곡은 S_{0-1} 복합엽리 내지 F_2 습곡축면(S_2 엽리)을 (재)습곡시키며 동북동과 서남서 방향의 습곡축면(S_3 엽리)을 갖는 공액성 개방 내지 밀착 습곡으로 인지된다(Fig. 5d, 5e). D_3 연성

Fig. 7. (a) Orientation of the F_2 fold and D_2 and D_3 shear zones, and (b, c) stereoplots of D_2 shear zone (b) and D_3 shear zone (c). SZ: shear zone.

전단대는 S_3 엽리에 평행하게 발달하고, 남-북 방향의 S_{0-1-2} 복합엽리의 연장성을 부분적으로 절단한다(Fig. 5d-5g).

고 찰

최근 Lee and Kang(2012, 2013)은 하동 북부 및 남부 회장암체와 그 주변지역에 분포하는 지리산 변성암체의 지질구조는 적어도 세 번의 변형단계를 거쳐 형성되었으며, D_1 변형작용은 S_0 엽리의 상부가 남동쪽으로 이동하는 대규모 연성전단변형에 의해 북동 방향의 F_1 칼집 내지 “A”형 습곡을 형성시켰고, D_2 변형작용은 동-서 방향의 압축 지구조환경 하에서 남-북 방향의 F_2 습곡과 D_2 연성전단대를 형성시켰으며, D_3 변형작용은 남-북 방향의 압축 지구조환경 하에서 동-서 방향의 F_3 습곡과 D_3 연성전단대를 형성시키고, 이들 세 번의 변형작용은 하동 회장암체가 관입한 전기 원생대 말(1,792±90 Ma, Sm-Nd 연대: Kim *et al.*, 2000) 이후 (북)북동 방향의 열기성 암맥군의 관입 집중기에 해당하는 고생대 말(약 260 Ma의 SHRIMP U-Pb 저어콘 연대: Kim *et al.*, 2010, 2011) 이전에 발생하였음을 보고하였다. 또한,

이들은 한반도의 일반적인 북동-남서 방향의 지체구조와 달리하는 하동 회장암체와 지리산 변성암체의 남-북 방향의 지체구조는 동-서 방향의 압축작용과 관련된 D_2 변형작용과 관련하여 형성된 것으로 보고한 바가 있다.

지금까지 언급한 선캠브리아기 지리산 변성암체가 분포하는 화개지역의 변형단계별 구조적 특징은 다음과 같다. 연구지역의 S_1 엽리 내지 S_{0-1} 복합엽리의 대부분은 F_2 습곡작용에 의해 완전히 전위되어 $S_{0-1,2}$ 복합엽리로 나타난다. D_2 변형은 동-서 방향의 압축 지구조환경 하에서 이전에 형성된 D_1 변형 구조요소를 (재)습곡시키는 남-북 방향의 F_2 습곡과 D_2 연성전단대를 형성시켰다(Figs. 5a-5d, 6a). D_3 변형은 남-북 방향의 압축 지구조환경 하에서 이전에 형성된 구조요소를 불연속적으로 굴곡시키는 F_3 습곡과 D_3 연성전단대를 형성시켰다(Figs. 5d-5g, 6b). Lee and Kang(2012, 2013)에 의해 보고된 F_1 칼집 내지 “A”

형 습곡과 D_1 연성전단대 형성과 관련된 S_1 엽리는 화개지역에서 대부분 S_2 엽리로 전위되어 거의 인지할 수 없으나, D_2 변형과 D_3 변형과 관련된 구조요소들의 특징은 Lee and Kang(2012, 2013)의 연구결과와 일치하고, 화개지역에서 이러한 D_2 변형구조와 D_3 변형구조의 중첩된 기하적인 양상은 지질도 규모에서도 인지된다(Fig. 2). D_2 변형과 관련하여 하동 북부 및 남부 회장암체와 동쪽에 분포하는 지리산 변성암체의 경계부를 따라 연장성이 우세한 하동전단대(Lee and Kang, 2012, 2013)가 발달한다. 그러나 화개지역에서 이들 D_2 연성전단대들은 하동 회장암체와 주변지역에서 인지되는 D_2 연성전단대와 달리 연장성이 짧고 전단대의 폭이 좁게 나타난다(Figs. 5b-5d, 6a, 7). 연구지역의 중부에 분포하는 화강암질 편마암과 잔류반상 화강편마암은 남-북 방향의 갈고리 형태와 동-서 방향의 개방 습곡 형태의 분포를 보인다. 남-북 방향의 갈고리 형태의 암상 분포는 D_2 동-서

Fig. 8. Trajectories of main D_1 - D_3 structural elements in the study area.

방향의 압축작용과 관련된 것으로 보이며, 동-서 방향의 개방 습곡 형태의 분포양상은 D_3 남-북 방향의 압축 작용과 관련되어 형성된 것으로 고찰된다.

Fig. 8은 각 변형단계에 형성된 구조요소들의 방향성, 연장성, 출현빈도, 습곡 밀착도, 중첩된 변형구조의 특성 등을 종합적으로 고려하여 작성한 구조요소 연결도이다. S_{0-1} 복합엽리의 방향성은 북북동~동서~북북서 방향의 변화를 보이며, S_2 엽리는 연구지역의 남부에서는 주로 남-북 방향으로 나타나며, 북부에서는 북서~남북~북동 방향의 변화를 보인다. S_3 엽리는 주로 동-서 방향으로 나타나며, 연구지역의 북부에서는 동북동 내지 서북서 방향으로 나타난다. 이들 구조요소들의 방향성은 연구지역의 구성암류의 분포와 잘 일치한다. 연구지역의 남부에 남-북 방향의 갈고리 형태의 암상분포를 보이는 화강암질 편마암과 잔류반상 화강편마암에서 S_{0-1} 복합엽리는 남-북 방향의 F_2 밀착습곡(S_2 엽리) 형태의 방향성 변화를 보이며, 연구지역의 북부에 동-서 방향의 개방습곡 형태의 암상분포를 보이는 화강암질 편마암과 잔류반상 화강편마암에서 S_2 엽리는 F_3 개방습곡(S_3 엽리) 형태의 방향성 변화를 보인다. 이는 화개지역에 분포하는 지리산 변성암체들의 남-북 방향의 밀착습곡과 동-서 방향의 개방습곡 형태의 암상분포는 각각 D_2 변형과 D_3 변형에 의해 형성되었음을 의미한다.

결론

1. 화개지역의 지질구조는 적어도 세 번의 변형단계를 거쳐 형성되었다. D_1 변형에 의해 형성된 S_1 엽리 내지 S_{0-1} 복합엽리는 대부분 D_2 변형에 의해 S_2 엽리로 전위되어 S_{0-1-2} 복합엽리로 인지된다. D_2 변형은 동-서 방향의 압축 지구조환경 하에서 F_2 습곡과 D_2 연성전단대가 형성되었다. D_3 변형은 남-북 방향의 압축 지구조환경 하에서 D_3 변형 이전의 구조요소들을 국부적으로 동북동 내지 서북서 방향으로 재배열시켰다.

2. 지질도 규모에서 남-북 방향의 밀착습곡과 동-서 방향의 개방습곡 형태로 분포하는 화강암질 편마암과 잔류반상 화강편마암의 암상분포 방향은 각각 D_2 와 D_3 변형작용과 밀접한 관련이 있으며, 하동 북부 및 남부 화강암체와 그 주변지역에 비해 화개지역은 D_2 변형구조와 D_3 변형구조가 더 광역적으로 나타나며, D_1 변형구조는 거의 인지하기 어렵다.

사사

이 논문은 한국지질자원연구원이 한국에너지기술평가원의 사업으로 수행한 2013년도 ‘국내 희유금속자원 탐사 및 활용기술개발’ 과제의 일환으로 수행되었다. 본 논문을 심사하여 건설적이고 유익한 심사의견을 주신 류충렬 박사님과 손문 교수께 감사를 드린다.

References

- Choi, Y.K., Cheong, C.H., Lee, D.S., Kim, S.W. and Kim, S.J., 1964, Geological report of the Danseong sheet (1:50,000), Korea. Institute of Energy and Resources, 28p.
- Kim, D.-Y., Park, K.-H. and Song, Y.-S., 2000, Development ages of charnockites and anorthositic rocks of Jirisan area and their genetic relationship(Abstract). Proceedings of the Annual Joint Conference, Petrological Society of Korea and Mineralogical Society of Korea, 37.
- Kim, D.-Y., Song, Y.-S. and Park, K.-H., 1998, Petrological, Geochemical and Geochronological Studies of Charnockite of Eastern Jirisan Area(Abstract). Proceedings of the Annual Conference, Geological Society of Korea, 35-36.
- Kim, D.-Y., Song, Y.-S. and Park, K.-H., 2002, Petrogenesis and Metamorphism of Charnockite of Eastern Jirisan Area. Journal of the Petrological Society of Korea, 11, 138-156.
- Kim, H.S., 1970, Regional Metamorphism of the South-Western Part of Korea. Journal of the Geological Society of Korea, 6, 97-118.
- Kim, H.S., 1999, The oldest known rock in the world "Tonalite gneiss". Journal of the Petrological Society of Korea, 8, 125-129.
- Kim, J.-S., Ahn, S.-H., Cho, H.S., Song, C.-W., Son, M., Ryoo, C.-R. and Kim, I.-S., 2011, Occurrences of Fe-Ti Ore Bodies and Mafic Granulite in the Sancheong Anorthosites, Korea. Journal of the Petrological Society of Korea, 20, 115-135.
- Kim, J.-S., Cho, H.S., Ahn, S.-H., Song, C.-W., Son, M. and Kim, I.-S., 2010, SHRIMP U-Pb age of the Sancheong Anorthositic Rocks and Dyke Swarms, Yeongnam Massif, Korea(Abstract). Joint conference of the Geological Science and Technology of Korea, 125-126.
- Kim, Y.-J., Lee, C.-S. and Kang, S.-W., 1991, Petrochemistry on Intermediated-Basic Plutons in Jirisan Area of the Ryongnam Massif. Journal of the Korean Earth Science Society, 12, 100-122.
- Lee, C.-H., Lee, S.-W., Ock, S.-S., Song, Y.-S., 2001, Petrology of the Blastoporphyratic Granite Gneiss in the Southwestern Part of the Sobaegsan Massif. Journal of the Korean Earth Science Society, 22, 528-547.

- Lee, D.-S., 1987, Geology of Korea. Geological Society of Korea, Kyohaksa, Seoul, 514p.
- Lee, D.-S. and Kang, J.-H., 2012, Geological Structures of the Hadong Northern Anorthosite Complex and its surrounding Area in the Jirisan Province, Yeongnam Massif, Korea. *Journal of the Petrological Society of Korea*, 21, 287-307.
- Lee, D.-S. and Kang, J.-H., 2013, Deformational Phased Structural Characteristics of Jirisan Metamorphic Complex in the Hwagae Area, to the Western Part of the Hadong Anorthosite Complex, Korea(Abstract). *Proceedings of the Annual Joint Conference, Petrological Society of Korea and Mineralogical Society of Korea*, 106-107.
- Lee, S.M., 1980, Some Metamorphic Aspects of the Metapelites in Jirisan(Hadong-Sancheong) Region. *Journal of the Geological Society of Korea*, 16, 1-15.
- Lee, S.M. and Kim, H.S., 1984, Metamorphic Studies on the so-called Yulri and Weonnam Groups in the Mt. Taebaeg Area. *Journal of the Geological Society of Korea*, 20, 195-214.
- Lee, S.M., Na, K.C., Lee, S.H., Park, B.Y. and Lee, S.W., 1981, Regional Metamorphism of the Metamorphic Rock Complex in the Southeastern Region of the Sobaeksan Massif. *Journal of the Geological Society of Korea*, 17, 169-188.
- Park, K.-H., Kim, D.-Y. and Song, Y.-S., 2001, Sm-Nd mineral ages of charnockites and ilmenite-bearing anorthositic rocks of Jirisan area and their genetic relationship. *Journal of the Petrological Society of Korea*, 10, 27-35.
- Park, K.-H., Song, Y.-S., Park, M.-E., Lee, S.-G. and Ryu, H.-J., 2000, Petrological, Geochemical and Geochronological Studies of Precambrian Basement in Northeast Asia Region: 1. Age of the Metamorphism of Jirisan Area. *Journal of the Petrological Society of Korea*, 9, 29-38.
- Reedman, A.J. and Um, S.-H., 1975, Geology of Korea. Korea Institute of Energy and Resources, Seoul, 139p.
- Son, C.M., Lee, S.M., Won, C.G., Chang, K.H., Kim, Y.C., 1964, Geological report of the Hwagae sheet(1:50,000), Korea. Institute of Energy and Resources, 22p.
- Song, Y.-S., 1981, Study on metamorphism of the metamorphic rocks in hadong-sancheong area. Ph. D. dissertation, Seoul National University, 44p.
- Song, Y.-S., 1999, Granulite xenoliths in porphyroblastic gneiss from Mt. Jiri area, SW Sobaegsan massif, Korea. *Journal of the Petrological Society of Korea*, 8, 34-45.
- Song, Y.S. and Lee, S.M., 1989, Petrology of the Precambrian Metamorphic Rocks from the Central Sobaegsan Massif, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 24, 451-468.
- Turek, A. and Kim, C.-B., 1995, U-Pb zircon ages of Mesozoic plutons in the Damyang-Geochang area Ryongnam massif, Korea. *Geochemical Journal*, 29, 243-258.
- Turek, A. and Kim, C.-B., 1996, U-Pb zircon ages for Precambrian rocks in southwestern Ryeongnam and southwestern Gyeonggi massif, Korea. *Geochemical Journal*, 30, 231-249.

2013년 12월 4일 접수
 2013년 12월 5일 심사개시
 2013년 12월 18일 채택