

## 말레이시아 랑카위 지질공원의 고생대 퇴적층: 한반도 고생대 퇴적층과의 대비

유 인 창\*

경북대학교 지질학과

### Paleozoic Strata in the Lankawi Geopark, Malaysia: Correlation with Paleozoic Strata in the Korean Peninsula

In-Chang Ryu\*

Department of Geology, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

The Lankawi archipelago is located in 30 km western offshore near the Thailand-Malaysia border in west coast of the Malay Peninsula and consists of 99 (+5) tropical islands, covering an area of about 478 km<sup>2</sup>. Together with biodiversity in flora and fauna, the Lankawi archipelago displays also geodiversity that includes rock diversity, landform diversity, and fossil diversity. These biodiversity and geodiversity have led to the Lankawi islands as a newly emerging hub for ecotourism in Southeast Asia. As a result, the Lankawi islands have been designated the first Global Geopark in Southeast Asia by UNESCO since July 1st, 2007. The geodiversity of Lankawi Geopark today is a result of a very long depositional history under the various sedimentological regimes and paleoenvironments during the Paleozoic, followed by tectonic and magmatic activities until the early Mesozoic, and finally by surface processes that etched to the present beautiful landscape. Paleozoic strata exposed in the Lankawi Geopark are subdivided into four formations that include the Machinchang (Cambrian), Setul (Ordovician to Early Devonian), Singa (Late Devonian to Carboniferous), and Chuping (Permian) formations in ascending order. These strata are younging to the east, but they are truncated by the Kisap Thrust in the eastern part of the islands. Top-to-the-westward transportation of the Kisap Thrust has brought the older Setul Formation (and possibly Machinchang Formation) from the east to overlay the younger Chuping and Singa formations in the central axis of the Lankawi islands. Triassic Gunung Raya Granite intruded into these sedimentary strata, and turned them partially into various types of contact metamorphic rocks that locally contain tin mineral deposits. Since Triassic, not much geologic records are known for the Lankawi islands. Tropical weathering upon rocks of the Lankawi islands might have taken place since the Early Jurassic and continues until the present. This weathering process played a very important role in producing beautiful landscapes of the Lankawi islands today.

**Key words :** Lankawi Geopark, geodiversity, Paleozoic strata, Kisap thrust, Gunung Raya granite

랑카위 군도는 말레이 반도 서부해안 타이랜드-말레이시아 국경 부근 30 km 서쪽 해상에 위치하고 있으며, 약 479 km<sup>2</sup>에 걸쳐 99(+5)개의 섬으로 구성되어 있다. 동식물에서의 생물학적 다양성과 함께 랑카위 군도는 암석의 다양성, 풍광의 다양성 및 화석의 다양성을 포함하는 지질학적 다양성도 보여준다. 이러한 생물학적 다양성과 지질학적 다양성은 랑카위 군도를 동남아시아의 새롭게 떠오르는 생태관광 중심지로 이끌었으며, 결과로 2007년 7월 1일 유네스코에 의해 동남아시아 최초의 세계지질공원으로 지정되었다. 오늘날의 랑카위 지질공원의 지질학적 다양성은 고생대 동안의 다양한 퇴적계와 고환경 하에서의 오랜 퇴적사와 함께 중생대 초까지 일어났던 지구조 및 마그마 활동에 이어 현재의 아름다운 풍광으로 침식시킨 지표작용의 결과이다. 랑카위 지질공원에 노출되어 있는 고생대 퇴적층은 하부로부터 캄브리아기의 Machinchang층, 오오도비스-데본기 초기의 Setul층, 데본기 후기-석탄기의 Singa층 및 페름기의 Chuping층을 포함하는 4개의 층으로 세분된다. 이러한 퇴적층은 섬의 동쪽으로 갈수록 젊어지나, 섬의 동부에서 Kisap 트러스트에 의해 단절되어진다. 상부가 서쪽으로 이동되어진 키삽 트러스트는 시대가 오래된 Setul층(그리고 아마도 Machinchang층과 함께)을 동쪽으로부터 이동시켜 섬의 중앙 축 부근에서 시대가 젊은 Chuping층 또는 Singa층 상위에 올려놓았다. 트라이아스기 Gunung Raya 화강암은 고생대 퇴적층들을 관입하여 부분적으로 다양한 접촉 변

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

성작용을 일으켜 지역적으로 주석을 함유하는 광상을 형성시켰다. 트라이아스기 이후의 지질역사는 랑카위 군도에서는 잘 알려져 있지 않고 있어 주라기 초기 이후 랑카위 군도의 암석들은 열대성 풍화의 영향을 받아왔으며 그 영향은 현재까지 지속되고 있다. 이러한 열대성 풍화 현상은 오늘날의 랑카위 군도의 아름다운 풍광을 만들어 내는데 매우 중요한 역할을 하였다.

**주요어 :** 랑카위 지질공원, 지질학적 다양성, 고생대 퇴적층, Kisap 트러스트, Gunung Raya 화강암

## 1. 서론

말레이 반도(Malay Peninsula) 말레이시아 북서부 해안의 태일랜드 접경으로부터 30 km 서쪽 해상에 위치한 랑카위 군도(Langkawi Archipelago)는 랑카위 섬을 본 섬(main island)으로 주변의 중소규모 99(+5)개의 섬으로 구성되어 있다(Fig. 1). 랑카위 군도에는 열대 원시림을 비롯하여 맹그로브 숲, 카르스트 지형, 석회동굴, 해변 침식지형, 모래해변 등 다양한 볼거리들과 함께 최상급의 휴양 시설들이 있어 태일랜드의 푸켓, 타루타오와 함께 열대 해변의 이색적인 풍광을 즐길 수 있는 세계적인 휴양지 중 하나로 각광을 받고

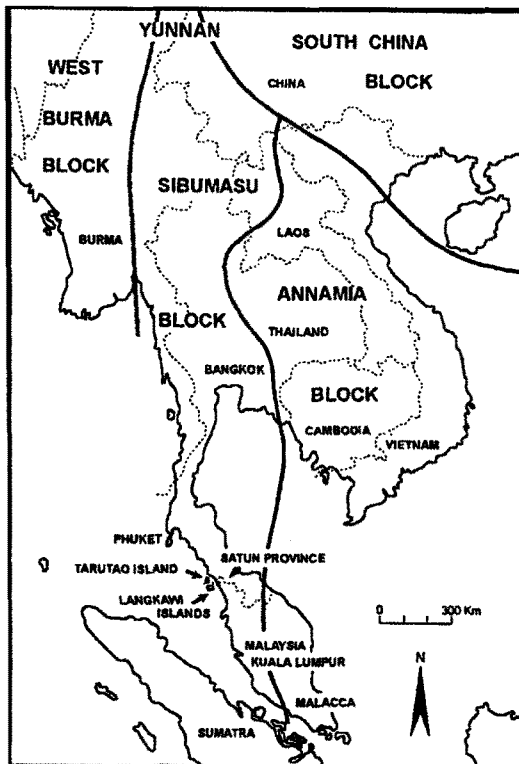


Fig. 1. Map of south-eastern Asia, showing the tectonic boundaries of the Sibumasu and neighbouring terranes (after Cocks *et al.*, 2005).

있다. 랑카위 군도가 세계적인 휴양지로 주목을 받는 이유는 다양한 볼거리와 최상급의 휴양 시설 이외에 랑카위 섬을 중심으로 주변의 약 478 km<sup>2</sup>에 걸쳐 약 90여 곳 이상의 지질학적으로 보존가치가 있는 지질명소(geosite)들이 집중적으로 분포되어 있기 때문이며, 근래에 들어와 지질명소들의 가치를 발굴하기 위해 노력하는 관련단체(Geological Heritage Group of Malaysia 또는 Kumpulan Warisan Geologi Malaysia 및 Lankawi Development Authority)들에 의해 지질명소들이 정비되기 시작하면서 인접 관광 인프라와 연계된 지질관광(geotourism)이 체계화되고 있기 때문이다(Leman *et al.* 2008). 최근에 이들 지질명소들에 대한 보존가치(conservation value)와 함께 랑카위 섬 전체에 대한 지질학적 다양성(geodiversity)이 인정되어 2007년 7월 1일 유네스코(UNESCO: United Nations Educational Scientific and Cultural Organization)에 의해 랑카위 섬 일대 478 km<sup>2</sup>가 동남아시아 최초의 세계지질공원(Global Geopark)으로 지정되었다. 현재까지 랑카위 세계지질공원 내에 분포하는 90여 곳 이상의 지질명소들은 3곳의 지질숲공원(geoforest park)과 3곳의 지질학적 유물(geological monument) 및 30곳의 보호지질유산(protected geoheritage)들로 분류되어 보존되고 있다(Fig. 2).

본 지질답사에서는 랑카위 세계지질공원 내 3곳의 지질숲공원을 3일에 걸쳐 답사하고 이곳에 보존되어 있는 지질명소들의 지질학적 의미와 함께 공공적 보존가치와 지질학적 다양성에 대한 토론을 목적으로 한다. 아울러 본 랑카위 세계지질공원 내에 분포하는 고생대 퇴적층을 한반도 태백산 지역에 분포하는 고생대 퇴적층(캠브로-오오도비스기의 조선누층군 및 석탄기 후기 삼척기 초기의 평안누층군)과의 층서대비를 통해 향후 한반도 태백산 지역의 지질공원 수립에 대한 타당성 조사를 위한 기초 자료들을 수집토록 한다.

## 2. 일반 지질 및 층서

랑카위 섬의 지질은 시원생대 화강편마암류(약

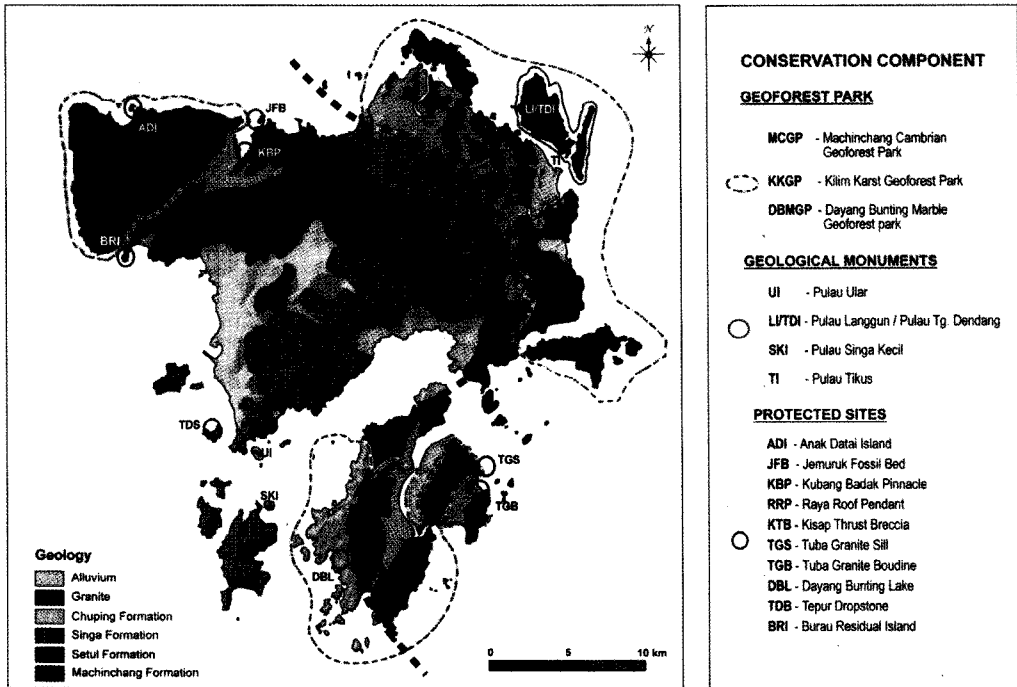


Fig. 2. Simplified geologic map of the Lankawi Island, Malaysia. Black dotted line represents the Kisap Thrust (modified from Ali *et al.*, 2008).

13~18억 년의 고기 원생대 및 중기 원생대 기반암를 기반으로 하부로부터 캄브리아기 및 오오도비스기 초기 동안에 퇴적된 Machinchang층, 오오도비스기와 실루리아기, 데본기 초기 동안에 퇴적된 Setul층, 데본기 후기와 페름기 초 사이에 퇴적된 Singa층, 페름기와 삼첩기 초기에 걸쳐 퇴적된 Chuping층 및 삼첩기 말기에 이들을 관입하는 Gunung Raya 화강암 등으로 대별된다(Figs. 2, 3). 기반암 위의 퇴적암층들은 남동쪽으로 갈수록 시대가 젊어지나, 섬의 동부에는 상반이 서쪽으로 이동되어진(top-to-the-west) Kisap 층상 단층에 의해 최상부의 퇴적층인 Chuping층 위에 층서적 하위의 Setul층이 단층으로 접촉한다(Fig. 2).

기반암을 이루는 고기 원생대와 중기 원생대 화강편마암류는 본 랑카위 섬 내에는 분포하고 있지는 않지만 말레이 반도 내 Sibumasu 지괴의 기반암과 대비하여 약 13~18억 년의 화강편마암류로 구성되어 있는 것으로 추정되며, 참고로 인접 Indochina 지괴의 비교적 시대가 젊은 9~14억 년의 중기 원생대 및 신기 원생대 기반암류와 구분된다(Metcalf, 2000).

원생대 기반암을 부정합(?)으로 피복하고 있는 캄브리아기-오오도비스기 초기(550~480 Ma)의 Machinchang 층은 주로 사암으로 구성되어 있으며, 셰일 및 이암,

역암 등이 교호되어 나타난다. 약 2,830 m의 층후를 보이는 본 층은 랑카위 섬 내에서 가장 오래된 암석이며, 섬의 북서쪽 Machinchang Cambrian Forest Park에 주로 분포한다(Fig. 2). 곡사층리(trough cross-bedding), 평사층리(planar cross-bedding), 청어뼈형 사층리(herringbone cross-bedding)와 같은 다양한 종류의 사층리와 견열, 연흔, 짐 구조 같은 퇴적구조들이 나타나며, 상부로 갈수록 폭풍의 영향을 나타내는 허모키형 사층리(hummocky cross-bedding)도 나타난다. 본 층의 상부에서 캄브리아 후기를 지시하는 삼엽충과 완족류를 포함한 개체화석이 다양한 종류의 흔적화석과 함께 산출된다. 본 층은 조간대를 포함하고 있는 삼각주(tide-dominated delta) 환경에서 대부분 퇴적되었으며, 상부로 갈수록 해침에 의해 점차 깊어지면서 폭풍과 파도의 영향을 받은 천해(storm and wave-dominated shallow marine) 환경으로 전이되었던 것으로 해석된다(Lee, 2006).

Machinchang층을 정합으로 피복하는 Setul층은 오오도비스기 중기부터 데본기 중기 사이(460~390 Ma)에 퇴적된 층으로 석회암과 사암, 셰일의 쇄설성 퇴적암이 교호로 나타난다. 층의 총 두께는 약 1,550 m에 이르며, 섬의 북동부 Kilim Karst Geoforest Park 및

AGE	GEOLOGICAL AGE	STRATIGRAPHY	GEOLOGY	GEOLOGICAL EVENT
0 - 206 m.y.	JURASSIC - RECENT			- Weathering and erosion
206 - 248 m.y.	TRIASSIC		<b>GUNUNG RAYA GRANITE</b> - predominantly coarse-grained granite with some porphyritic granite	- Granite emplacement, metamorphism and tectonic events
248 - 290 m.y.	PERMIAN		<b>CHUPING FORMATION</b> - thin to thickly bedded limestone and dolomite, often light in colour	- Limestone deposition dominates as sea-level continuously rising and climate getting warmer - SIBUMASU broke apart from Gondwanaland and moving northward
290 - 354 m.y.	CARBONIFEROUS		<b>SINGA FORMATION</b> - predominantly siltstone and mudstone with alternating sandy facies (2) - the black mudstone / siltstone often containing glacially derived clasts and blocks - the basal part of the formation (1) forms redbed with dropstone, the upper part contains several limestone lenses (3)	- Continuous rising in sea-level with deposition of glacial diamictite and limestone lenses - Deposition of glacial diamictite alternated with shallower sandy facies (rise and fall of sea-level)
354 - 417 m.y.	DEVONIAN		Paraconformity	- The deposition of redbed with dropstone - Non-deposition
417 - 443 m.y.	SILURIAN		<b>SETUL FORMATION</b> - predominantly thin to thickly bedded limestone often dolomitic with intervals of clastic rocks (1) Basal Limestone member (2) Lower Limestone member (3) Lower Detrital member (4) Upper Limestone member (5) Upper Detrital member	- Continuous shallowing allowing shallow marine clastic to dominate - Shallowing period with deposition of limestone - Deposition of deep marine clastic sediment
443 - 490 m.y.	ORDOVICIAN		<b>MACHINCHANG FORMATION</b> - predominantly cross-bedded sandstone with subordinate shale, mudstone and conglomerate	- Continuous transgression allowing the deposition of shallow marine limestone above the clastic sediment of Machinchang Formation
490 - 543 m.y.	CAMBRIAN			- Continuous transgression - Short regression period - Deposition in detritic environment
543 m.y. - 4.6 b.y.	PRE-CAMBRIAN			Basement formation

Fig. 3. Stratigraphic nomenclature and major geologic events of the Paleozoic strata, Lankawi Island (after Ali *et al.*, 2008).

남동부 Dayang Bunting Marble Geoforst Park을 따라 주로 분포한다(Fig. 2). Setul층은 암상에 따라 하부로부터 상부로 갈수록 하부 석회암층원(Lower Limestone Member), 하부 쇄설성층원(Lower Detrital Member), 상부 석회암층원(Upper Limestone Member), 상부 쇄설성층원(Upper Detrital Member)의 특징적인 4개 층원으로 구분된다. 하부 석회암층원에는 복족류, 두족류 및 코노돈트가 산출되며, 하부 쇄설성층원에는 삼엽충과 필석류 등의 화석들이 산출된다. 상부 석회암층원에는 삼엽충, 두족류, 해백합류 등의 다양한 개체화석과 생흔화석들이 산출되나, 상부 쇄설성층원에는 화석의 산출이 매우 빈약하다. 산출된 화석군집에 따라 하부 석회암층원은 오오도비스기 동안에, 하부 쇄설성층원은 실루리아기 초기 동안에, 상부 석회암층원은 실루리아기 후기 동안에, 상부 쇄설성층원은 데본기 초기 동안에 각기 퇴적된 퇴적층으로 해석된다(Ali *et al.*, 2008). 오오도비스 중기 동안에 형성되었던 탄산염 대지 환경 하에서 퇴적되었던 하부 석회암층원은 점진적인 해침에 의해 점차 심해성의 퇴적환경으로 전이되어 하부 쇄설성층원이 퇴적되었으며, 이후 점진적인 해퇴에 의해 다양한 생물종들이 살 수 있었던 탄산

염 대지 환경으로 전이되어 상부 석회암층원이 퇴적되었고 이후로 계속되는 해퇴에 의해 점차 육성환경으로 전이되어 상부 쇄설성층원이 퇴적되었던 것으로 해석된다. 데본기 중기 까지 점진적으로 지속된 해퇴는 상부 쇄설성층원의 상부에 부정합면을 형성시켰던 것으로 해석된다(Fig. 3).

Setul층을 부정합으로 피복하는 Singa층은 데본기 후기부터 페름기 초기 사이(380~290 Ma)에 퇴적된 층으로 최하부에는 적색의 이질암층이 나타나나, 상부로 갈수록 피상의 흑색 실트암과 이암으로 구성되어 있으며, 종종 다양한 기원의 다양한 크기와 모양, 원마도를 보여주는 역들을 포함한다(Fig. 3). 이 역들은 피상의 세립질의 기질 속에 간헐적으로 포함되어 있어 대륙붕빙기원의 퇴적물로 해석된다(Ali *et al.*, 2008). 일부 이암질 퇴적층은 대규모의 저각의 사층리가 잘 나타나며, 종종 퇴적 동시성 단층과 슬럼핑 구조를 보여준다. 층의 두께는 약 2,100m에 이르며, 상부로 갈수록 렌즈상의 석회암이 협제한다(Fig. 3). 렌즈상의 석회암층 내에서 산출되는 화석과 Singa층을 정합으로 피복하는 Chuping층 하부의 석회암층 내에서 산출되는 화석은 두 층의 경계가 대체적으로 페름기 초기임을 지지한다

(Ali *et al.*, 2008).

Singa층을 정합으로 피복하는 Chuping층은 페름기 초기부터 삼첩기 초기 사이(290~250 Ma)에 퇴적된 층으로 밝은 회색을 띠는 괴상의 백운암질 석회암으로 구성되어 있다. 본 층의 두께는 약 900 m에 이르며, 층의 하부 구간에서 페름기 초기~중기의 화석들이 집중적으로 산출된다. 그러나 본 층 상부 구간은 화강암 관입에 의한 변성작용의 영향으로 화석이 산출되지 않으며, 층서적 하위층인 Setul층과 층상단층으로 접촉되어 있기 때문에 본 층의 상부 경계면은 알려져 있지 않다.

고생대 퇴적암들을 관입하면서 랑카위 섬 도처에 산재되어 있는 크고 작은 규모의 화강암 암주들을 반정질 화강암과 조립질 또는 세립질의 등립질 화강암으로 구성되어 있으며, 흔치는 않지만 관입암상의 페그마타이트 및 세립질의 애플라이트가 나타난다(Fig. 2, 3). 이들 화강암류들은 Gunung Raya 화강암으로 명명되었으며, 대체적으로 삼첩기 후기와 주라기 초기 동안에 고생대 퇴적암들을 관입하면서 접촉변성을 일으켜 주변 모암에 전기석, 티탄철석, 저어콘, 석류석 같은 광물들을 침전시켰다(Ali *et al.*, 2008).

### 3. 지구조운동 발달사 : 곤드와나로부터 판게아까지

유라시아 대륙과 인도차이나 반도를 통해 연결되는 동남아시아는 판구조적으로 중소규모의 원지성 지판들로 구성되어 복합체(allochthonous crustal lithospheric complex)로 각각의 지판들은 시원생대 이후 곤드와나(Gondwana) 대륙으로부터 분리되어졌으며, 삼첩기에 들어와 판게아(Pangea)로 합쳐진 이후, 다시 분리되면서 유라시아 판에 순차적으로 병합되어 현재의 유라시아 판, 인도-호주 판, 태평양 판 사이에 위치하게 되었다(Fig. 4). 랑카위 섬이 속해 있는 Sibumasu 지판은 Shan-Thai 지판으로도 알려져 있으며, 북쪽으로는 티벳 지역에 위치하는 Qiangtang 지판과 연결되어 버마 동부와 타이랜드 북부 산악지대의 Shan-Thai 지역을 거쳐 남쪽의 Sumatra 남부까지 연결되는 하나의 지판으로 알려져 있다(Fig. 4). Sibumasu 지판은 시원생대 이후 실루리아기까지 곤드와나 대륙의 북서 연변부에 위치하였으며, 캄브리아기와 실루리아기 동안에 북위 30° 근처로부터 적도 지역까지 이동하였던 것으로 해석된다(Fig. 5) (Metcalf, 2006). 이 시기에 쇄설성 Machinchang층과 탄산염과 쇄설성 퇴적층이 교호되는 Setul층이 순차적으로 퇴적되었다(Fig. 3).

데본기에 들어오면서 남쪽으로 이동을 계속하는 곤드와나 대륙의 영향으로 Sibumasu 지판은 적도를 지나 남반구로 들어오게 되었으며, 곤드와나 대륙으로부터 South China, Tarim, Indochina, North China 지판들이 분리(rifting)되어 북쪽으로 이동하면서 고테티스(Paleo-Tethys) 바다가 형성되기 시작하였다(Fig. 6). 이의 영향(해저확장에 따른 해저열곡대 하부에 위치하는 마그마 챔버의 체적감소?)으로 해수면 하강에 의해 탄산염 퇴적층의 퇴적이 끝나게 되고 Setul층 최상부의 상부 쇄설성층원(육성층)이 퇴적되었다(Fig. 3, 6). 데본기 후기에는 Sibumasu 지판이 곤드와나 대륙 연변부에서 고테티스의 심해와 직접 접하게 되면서 대륙사면을 따라 발생하는 용승작용의 영향(?)으로 데본기 후기의 Singa층 최하부의 적색질 이암층이 퇴적되었던 것으로 사료된다(Fig. 3).

석탄기 동안에도 곤드와나 대륙은 남극 쪽으로 이동을 지속하였으며, 결과로 대륙빙하가 곤드와나 대륙의 연변부인 대륙봉으로까지 확장되면서 Sibumasu 지판에

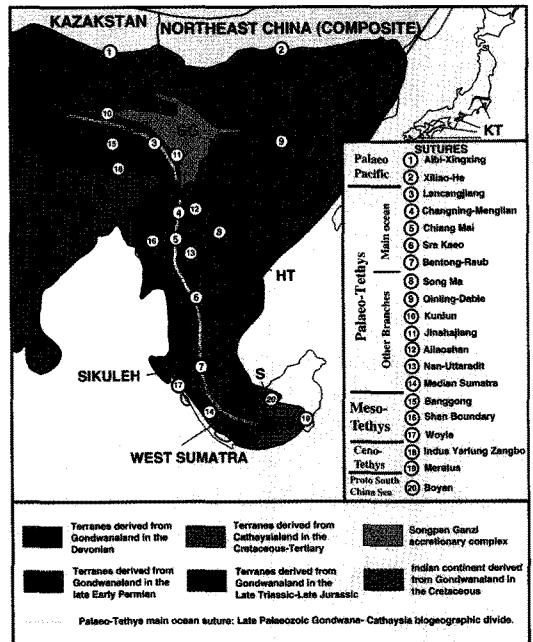


Fig. 4. Distribution of principal continental terranes and sutures of East and Southeast Asia. WB=West Burma; SWB=Southwest Borneo; S=Semtau Terrane; HT=Hainan Island terranes; L=Lhasa Terrane; QT=Qiangtang Terrane; QS=Qamdo-Simao Terrane; SI=Simao Terrane; SG=Songpan Ganzi accretionary complex; KL=Kunlun Terrane; QD=Qaidam Terrane; AL=Ala Shan Terrane; KT=Kurosegawa Terrane (after Metcalf, 2006).

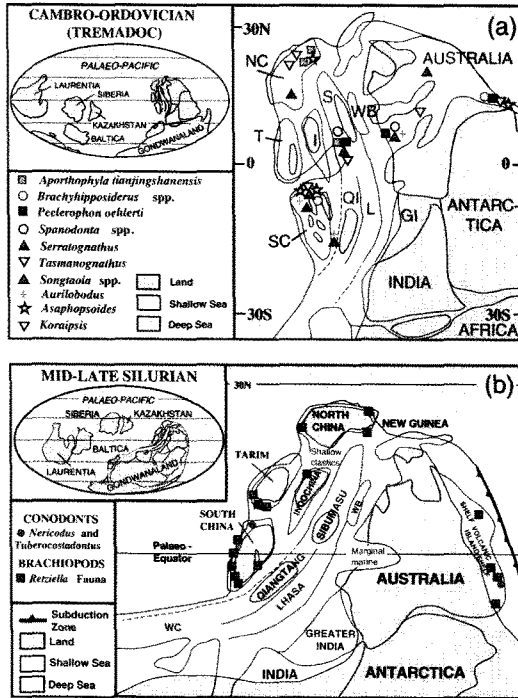


Fig. 5. Reconstructions of eastern Gondwanaland for (a) Cambro-Ordovician (Tremadoc) and (b) Mid-Late Silurian showing the postulated positions of the East and Southeast Asian terranes, distribution of land and sea, and shallow-marine fossils that illustrate Asia-Australia connections at these times. NC=North China; SC=South China; T=Tarim; I=Indochina/East Malaya/West Sumatra; QI=Qiangtang; L=Lhasa; S=Sibumasu; WB=West Burma; WC=Western Cimmerian Continent; GI=Greater India (after Metcalf, 2006).

까지 빙하 퇴적층인 Singa층이 퇴적되었다(Fig. 3, 7a). 석탄기 후기에 대륙 빙하가 최대로 확장되었으나 페름기에 들어와 빙하가 후퇴하기 시작하였다.

페름기에 곤드와나 대륙이 로렌시아 대륙 및 기타 중소규모의 지판들과 병합되어 하나의 초대륙인 판게아가 형성되었다(Fig. 7b). 이후, Sibumasu 지판과 Qiangtang 지판은 West Cimmerian 지판과 함께 페름기 중기와 후기에 걸쳐 판게아로부터 분리되기 시작하였으며, 점차 북상하여 삼첩기 초기-중기 동안에 적도를 지나 북위 20° 근처까지 이동하였다(Figs. 7c, 7d, 8). 이 시기 동안에 Chuping층이 퇴적되었으며, 지속적인 압축력에 의해 충상단층(예; Kisap 충상단층)이 발달하게 되었다(Fig. 2). 삼첩기 후기에는 Indochina 지판과 충돌에 의해 두 지판 사이에 Bentong-Raub 봉합대가 형성되고 두꺼워진 대륙 지각을 녹이면서 Gunung Raya 화강암류들이 관입을 시작하였으며 유라기 초기

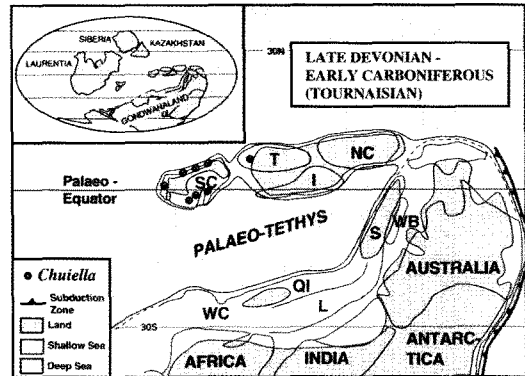


Fig. 6. Reconstruction of eastern Gondwanaland for the Late Devonian to Lower Carboniferous (Tournaisian) showing the postulated positions of the East and Southeast Asian terranes, distribution of land and sea, and opening of the Palaeo-Tethys ocean at this time. Also shown is the distribution of the endemic Tournaisian brachiopod genus *Chuiella*. NC=North China; SC=South China; T=Tarim; I=Indochina/East Malaya/West Sumatra; QI=Qiangtang; L=Lhasa; S=Sibumasu; WB=West Burma; WC=Western Cimmerian Continent (after Metcalf, 2006).

까지 화성활동이 지속되었다(Fig. 8).

#### 4. 화강암의 관입과 Southeast Asian Tin Belt의 형성

다양한 규모의 화강암과 화강암류들이 말레이 반도를 따라 넓게 분포한다(Fig. 9). 이들을 분포 양태와 암석화학적 특징에 따라 분류하면 서부 화강암 지구(Western Granite Province), 중앙 화강암 지구(Central Granite Province 또는 Main Range Granite Province) 및 동부 화강암 지구(Eastern Granite Province)로 구분된다(Fig. 9) (Metcalf, 2006).

서부 화강암 지구에 분포하는 화강암류들은 주로 백악기 후기와 에오세 동안에 West Burma 지판과 Sibumasu 지판의 충돌에 의해 발생하는 S-type ilmenite 계열의 화강암과 함께 Indo-Australian 지판이 Eurasia 지판 밑으로 섭입되면서 발생하는 calc-alkaline I-type 계열의 화강암류가 분포한다(Fig. 9) (Metcalf, 2006). 동부 화강암 지구의 화강암류들도 calc-alkaline I-type 계열의 화강암류로 대부분 페름기와 삼첩기 동안에 관입하였으며, 동 시기의 유문암-안산암질 화산암류들을 동반한다. 동부 화강암 지구의 화강암류들은 페름기 초기에 Indochina 지판 남쪽 전사면에 섭입대가 형성되면서 Sibumasu 지판이 Indochina

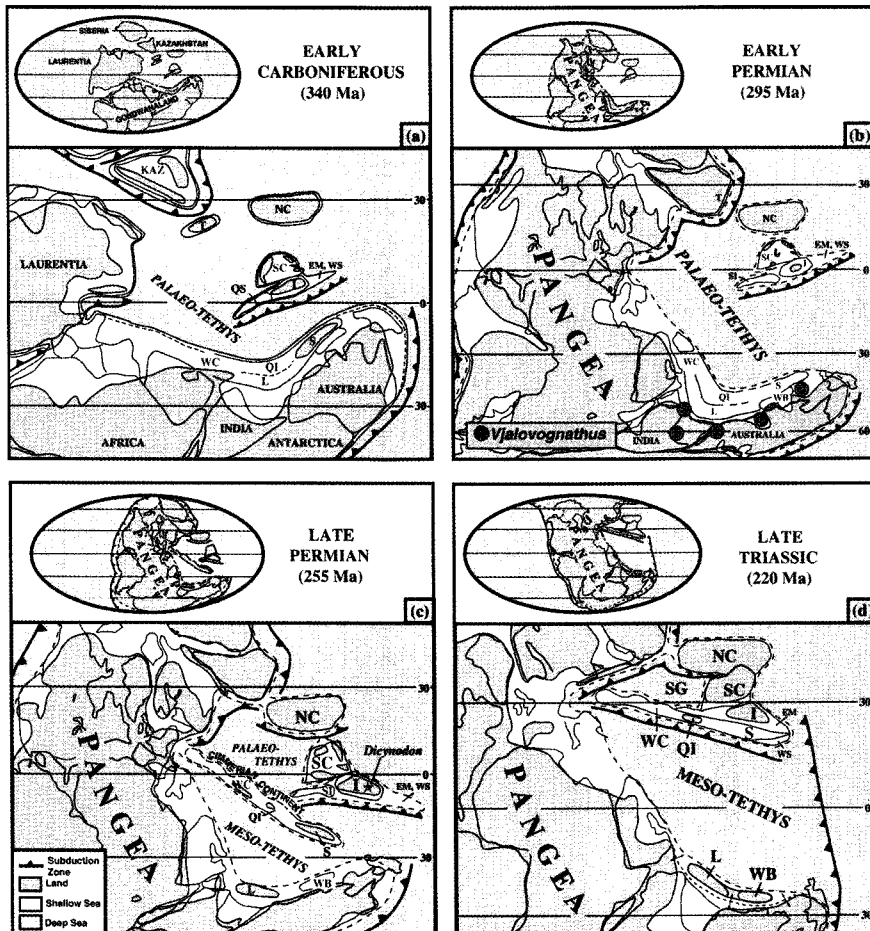


Fig. 7. Palaeogeographic reconstructions of the Tethyan region for (a) Early Carboniferous, (b) Early Permian, (c) Late Permian and (d) Late Triassic showing relative positions of the East and Southeast Asian terranes and distribution of land and sea. Also shown is the distribution of the Early Permian cold-water tolerant conodont *Vjalovognathus*, and the Late Permian *Dicyonodon* locality on Indochina in the Late Permian. SC=South China; T=Tarim; I=Indochina; Em=East Malaya; WS=West Sumatra; NC=North China; SI=Simao; S=Sibumasu; WB=West Burma; QI=Qiangtang; L=Lhasa; WC=Western Cimmerian Continent (after Metcalf, 2006).

지판 밑으로 섭입되면서 Indochina 지판 내부에 발생하는 calc-alkaline I-type 계열의 화강암류로 해석된다 (Fig. 9) (Metcalf, 2006).

중앙 화강암 지구의 화강암류들은 암석화학적으 서부와 동부지구의 화강암류들과는 달리 주석을 함유하는 S-type ilmenite 계열의 흑운모 화강암으로 분류된다 (Fig. 9) (Metcalf, 2006). 이들은 주로 삼척기 후기와 쥐라기 초기에 관입하였으며, 고생대 퇴적암들을 접촉 변질시켜 풍화에 강하게 됨에 따라 말레이 반도의 중앙산맥을 이룬다. 우리나라와 토륨이 부화되어 있으며,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  초기 값이 0.7159~0.7512로 높게 나타나 화강암들의 근원물질이 대륙성 지각이었을 것

로 해석된다 (Metcalf, 2006). 따라서 중앙 화강암 지구의 화강암류들은 폐름기 동안에 Sibumasu 지판이 Indochina 지판 밑으로의 섭입에 의해 두 지판 사이에 존재하였던 고테티스 바다가 완전히 소멸되고 삼척기 초기부터 대륙과 대륙의 충돌이 일어나면서 두 지판 경계부에 Bentong-Raub 봉합대가 형성되기 시작하였으며, 이후 두꺼워진 대륙 지각을 녹이면서 천부지각까지 상승하는 마그마의 관입에 의해 형성된 것으로 해석된다 (Fig. 8) (Metcalf, 2006).

중앙 화강암 지구에 주로 분포하는 S-type ilmenite 계열의 흑운모 화강암들은 주석을 포함하고 있기 때문에 중앙 화강암 지구를 따라 바마로부터 타이랜드, 말

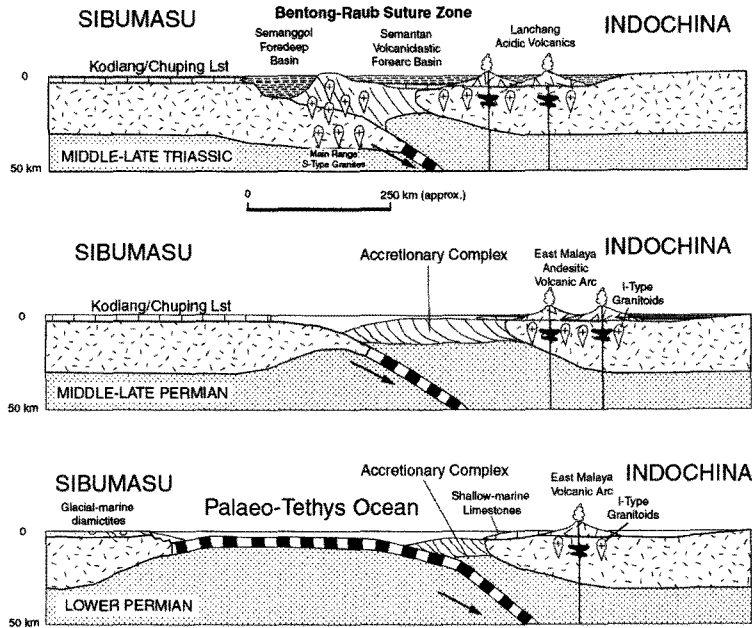


Fig. 8. Conceptual cross-sections illustrating formation of the Bentong—Raub Suture by subduction of the Palaeo-Tethys Ocean and collision of the Sibumasu and Indochina terranes (after Metcalf, 2000).

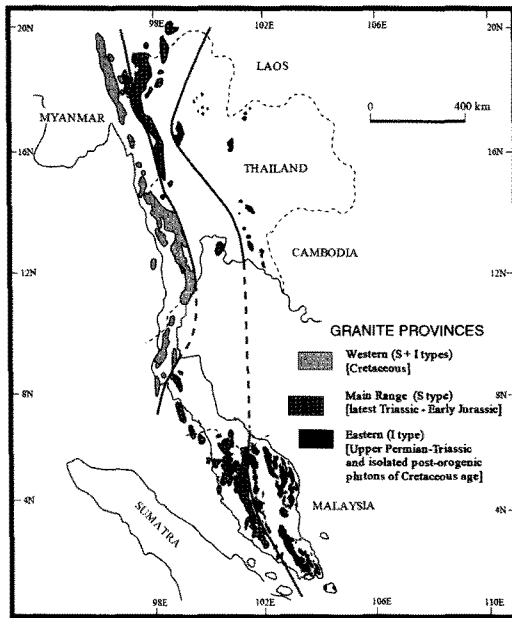


Fig. 9. Granitoid Provinces of Southeast Asia (after Cocks et al., 2005).

레이 반도를 거쳐 인도네시아의 주석 섬(Tin Island)까지 남북으로 약 2,800 km, 폭 약 400 km에 달하는

대규모의 동남아시아 주석벨트(Southeast Asian Tin Belt)가 형성되었다(Schwartz, 1995). 동남아시아 주석 벨트가 발견된 이후, 약 100년 동안에 생산된 주석의 누적 생산량은 약 960만 톤에 이르며, 전 세계 생산량의 54%를 차지한다(Schwartz, 1995). 현재는 년 간 약 10,000톤 정도가 생산되고 있으며, 대규모 천부 광체의 과도한 개발로 인해 채굴 심도가 점차 심부화되고 있어 지하 심부에 분포하는 소규모 다층광체 개발을 위한 새로운 정밀탐사 기법이 요구되고 있는 실정이다(Bank Negara Malaysia, 2007).

### 5. 토 의 : 랑카위에서 태백산으로

한반도를 포함하는 동아시아 지역의 지구조 분대에 관한 지금까지의 연구결과를 종합해보면 동아시아 지역은 두 개의 지판인 North China 지판과 South China 지판으로 구성되어 있으며, 두 지판의 충돌대인 친링-다비-수루대(Qinling-Dabie-Sulu Belt)와 충돌 이후에 South China 지판이 North China 지판으로 만입(indentation)됨에 따라 형성된 좌수향 주향이동단층인 탄루단층(Tan-Lu Fault)에 의해 두 지판이 경계되어 있는 것으로 알려져 있다(Fig. 10). 한편, 한반도의 지구조 분대는 북쪽으로부터 낭림육괴(Nangrim



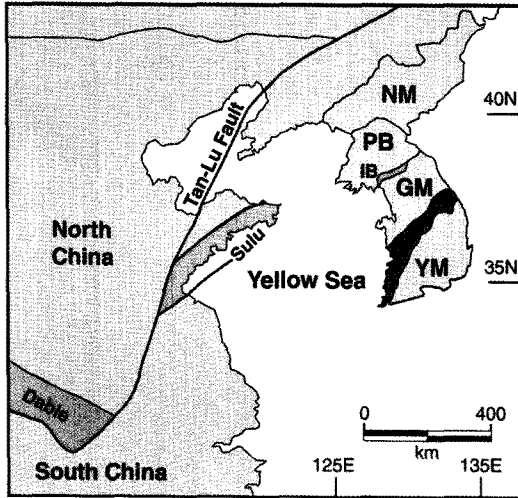


Fig. 10. Crustal blocks and massifs of the Korean Peninsula and adjacent northeast Asia. NM: Nangrim Massif; PB: Pyongnam Basin; IB: Imjingang Belt; GM: Gyeonggi Massif; OB: Okcheon Belt; YM: Yeongnam Massif (after Chough *et al.*, 2000).

Massif), 경기육괴(Gyeonggi massif), 영남육괴(Yeongnam Massif) 등 3개의 육괴와 낭림육괴와 경기육괴 사이의 임진강대(Imjingang Belt) 및 경기육괴와 영남육괴 사이에는 옥천대(Okcheon Belt)로 구분한다(Fig. 10). 한반도와 주변 동아시아 지역의 지구조 분대는 Indochina 반도의 지판들의 구성과 비교해 볼 때 비교적 단순하나 이들의 시공간적 대비에 있어서는 많은 논란이 있어 왔으며, 아직까지 한반도의 낭림육괴, 경기육괴, 영남육괴들이 North China 지판 또는 South China 지

판과 시공간적으로 어떻게 대비되는가에 대한 명확한 지질학적 해석이 없다. 일부 임진강대에 대한 구조-변성암석-지연대학적 연구를 바탕으로 임진강대를 South China 지판과 North China 지판의 충돌대로 해석하였으며, 경기육괴를 South China 지판의 일부로, 낭림육괴를 North China 지판의 일부로 대비하였다(Ree *et al.*, 1996). 그러나 최근에는 경기육괴 내부에 충돌대가 존재하고 있을 가능성에 대해 연구가 진행되고 있다.

경기육괴와 영남육괴 사이에 위치하는 옥천대는 변성도와 구조적 변형에 따라 북동부 태백산 지역의 변형이 적은 비변성대와 남서부 옥천-대전-전주 지역의 변형이 심한 변성대로 구분하며, 북동부 태백산 지역의 비변성대에는 캄브로-오오도비스기 동안에 퇴적된 조선누층군과 석탄기-삼첩기 초기 동안에 퇴적된 평안누층군이, 남서부 옥천-대전-전주 지역의 변성대에는 시대 미상의 옥천층군이 분포한다. 근래에 들어와 임진강대를 South China 지판과 North China 지판의 충돌대로 해석하는 의견(Ree *et al.*, 1996)을 배경으로 경기육괴를 South China 지판의 일부로, 낭림육괴와 영남육괴를 North China 지판의 일부로 대비하여 북동부 태백산 지역의 비변성대는 North China 지판의 연변부에, 남서부 옥천-대전-전주 지역의 변성대는 South China 지판의 연변부에 각기 위치하고 있었으며, 삼첩기 초기에 SKTL(South Korean Tectonic Line)을 따라 두 지판의 충돌이 일어나 현재의 옥천대가 형성되었다는 해석이 제기되었다(Chough *et al.*, 2000).

옥천대 북동부 태백산 지역의 고생대 퇴적층은 캄브로-오오도비스기의 조선누층군과 석탄기-삼첩기 초기의 평안누층군으로 대별된다(Fig. 11). Cheong(1969)는

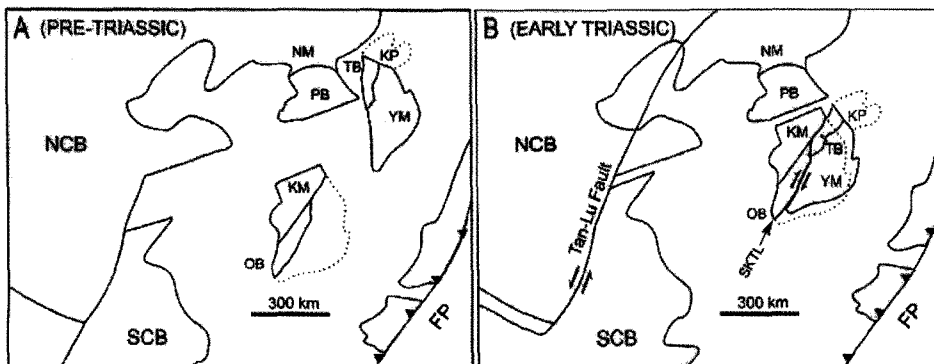


Fig. 11. Paleogeographic map of northeast Asia. A. Pre-Triassic. B. Early Triassic. NCB=North China Block, SCB=South China Block, NM=Nangrim Massif, PB=Pyongnam Basin, TB=Taebaeksan Basin, KM=Kyonggi Massif, YM=Yeongnam Massif, OB=Okcheon Basin, FP=Farallon Plate, IP=Izanagi Plate, KP=Korea Plateau, HSZ=Honam Shear Zone, SKTL=South Korean Tectonic Line (after Chough *et al.*, 2000).

조선누층군을 캄브리아기의 삼척층군과 오오도비스기의 상동층군으로 구분하였으며, 삼척층군은 하부로부터 장산규암, 묘봉슬레이트, 풍촌(대기)석회암, 화절층으로 상동층군은 동점규암, 두무골셰일, 막골석회암, 직운산셰일, 두위봉석회암으로 세분하였다(Fig. 11). 조선누층군은 암상과 퇴적상을 기준으로 4번의 해침과 해퇴에 의해 천천히 침강하는 퇴적분지의 퇴적층으로 해석되었다. 조선누층군을 평행부정합으로 피복하는 석탄기-삼엽기 초기의 평안누층군은 만항층, 금천층, 장성층, 함백산층, 도사곡층, 고한층, 동고층으로 세분된다.

랑카위 군도의 고생대 퇴적층을 한반도 태백산 지역에 분포하는 고생대 퇴적층과 대비를 하면 몇 가지 흥미로운 점들이 도출된다. 랑카위 군도의 지질명소들은 대부분 오오도비스기와 데본기 중기 사이에 퇴적된 Setul층과 석탄기 동안에 퇴적된 Singa층 내에 발달한다. Setul층과 Singa층에 지질명소들이 집중되어 있는 이유에는 첫째로 Setul층은 해침과 해퇴에 의해 퇴적된 쇄설성 퇴적암과 탄산염 퇴적암이 4개의 특징적인 층원으로 교호되어 있으며, Singa층 하부는 대륙사면의 용승현상과 연계되어 퇴적된 적색 퇴적암과 상부에는 대륙빙방 기원의 흑색 퇴적암 등 다양한 암석으로 구성되어 있기 때문이다. 둘째로 Setul층의 탄산염암과 쇄설성 퇴적암은 풍화에 따라 차별적으로 침식을 받아 다양한 형태의 구릉, 섬, 봉우리, 동굴, 해변 침식지형 등이 형성될 수 있었고, 셋째로 삼엽층, 필석류, 복족류, 두족류, 이미패류, 해박합류, 산호류 등 다양한 개체화석과 흔적화석들이 Setul층과 Singa층 내에 잘 보존되어 있기 때문이다. 랑카위 군도가 UNESCO에 의해 세계지질공원으로 선정된 이면에는 이러한 암석의 다양성(rock diversity), 풍광의 다양성(landform diversity), 화석의 다양성(fossil diversity) 등 3가지 장점이 평가되었기 때문이며, 이와 함께 최상급의 휴양시설과 인접 관광 인프라와 연계된 지질관광의 체계화가 주요하였던 것으로 평가되었다(Leman *et al.* 2008).

한반도 태백산 지역의 고생대 퇴적층을 랑카위 세계지질공원과 비교해 볼 때 암석의 다양성, 풍광의 다양성, 화석의 다양성 등 3가지 장점에서 결코 뒤떨어지지 않는다. 태백산 지역 고생대 퇴적층에도 랑카위 세계지질공원과 유사하게 탄산염암과 쇄설성 퇴적암이 교호되어 있으며, 더 나아가 고기 카르스트에 의한 탄산염각력암, 대륙사면의 용승현상과 연계되어 퇴적된 적색 탄산염암 등 다양한 암석으로 구성되어 있다. 아울러 이들의 차별침식에 의해 만들어진 석회암 동굴, 카르스트 지형, 강변 침식지형 등 아름다운 풍광들이 잘

보존되어 있고, 캄브리아기로부터 페름기까지의 다양한 개체화석뿐만 아니라 생흔화석들이 잘 보존되어 있는 등 랑카위 세계지질공원이 가지는 3대 장점을 공유하고 있다. 그러나 아직까지 태백산 지역 고생대 퇴적층이 지질공원으로 주목을 받지 못하고 있는 이유로는 태백산 지역 고생대 퇴적층 내의 지질명소들을 발굴해 내고 이들을 지질공원으로 체계화시키는 연구와 발굴된 지질명소들을 인접 관광 인프라와 연계시켜 지질관광으로 활성화시키는 방안에 대한 종합적인 연구가 수행되지 않고 있기 때문이다. 향후 태백산 지역 고생대 퇴적층에 대한 세계지질공원 인증을 위해 이러한 연구가 필수적이며, 이번 랑카위 세계지질공원 답사를 통해 한반도 내 세계지질공원 설립에 필요한 기초 자료를 수집토록 한다.

## 6. 2010 지질과학 해외공동 야외지질 답사 일정

### 6.1. Day 1

섬 북동부 지역 Kilim Geoforst Park에 대한 답사 일정이며, Ayer Hangat, Tanjung Rhu, Gua Cherita, Kisap, Pulau Langgun, Pulau Timum, Selat Pancor와 Tanjung Dagu의 루트를 따라 이동하면서 섬 동부 지역에 분포하는 Setul층을 주로 관찰할 예정이다(Fig. 2). 주요 관찰사항으로는 ①Tanjung Rhu에서의 강 하구 퇴적작용, ②Gua Cherita에서의 현생 카르스트 동굴, ③Kisap에서의 층상단층 및 이와 연관되어 형성되는 지질작용(예; 단층비지 및 단층각력암 등), ④Pulau Langgun에서의 Setul층 표식층서단면(type section) 등이 있다.

### 6.2. Day 2

섬 남부 지역 Dayang Bunting Marble Geoforst Park에 대한 답사 일정이며, Pulau Dayang Bunting과 Pulau Tuba를 따라 이동하면서 섬 남부 지역에 분포하는 Setul층과 Chuping층을 관찰할 예정이다(Fig. 2). 주요 관찰사항으로는 ①Pulau Dayang Bunting에서의 Doline와 민물호수 형성과정, ②Pulau Tuba에서의 화강암 관입, ③석회암의 차별침식에 의해 형성되는 다양한 해변 침식지형 등이 있다.

### 6.3. Day 3

섬 북서부 지역 Machinchang Cambrian Geoforst Park에 대한 답사 일정이며, Gunung Machinchang의

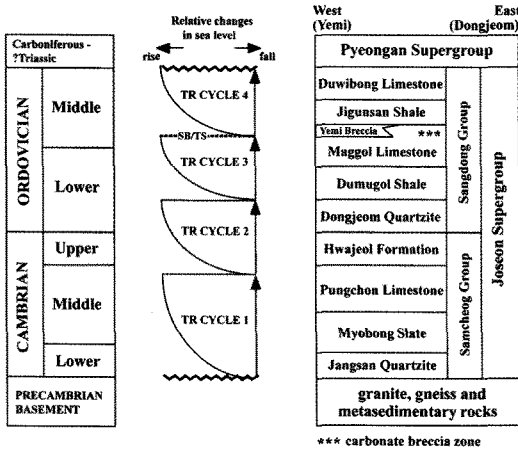


Fig. 12. Stratigraphic classification of the Cambro-Ordovician Joseon Supergroup, Taebaeksan Basin, Korea (modified from Cheong, 1969).

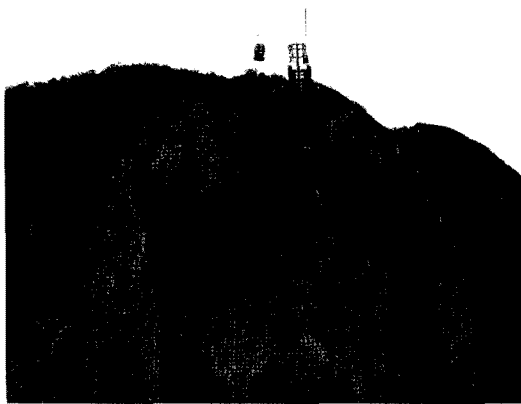


Fig. 13. Outcrop photograph of the Cambrian Machinchang Formation in the Cambrian Geoforest Park (after Lee, 2006).

케이블카를 이용하여 Machinchang층을 주로 관찰할 예정이다(Figs. 2, 13). 주요 관찰사항으로는 ①Gunung Machinchang 절벽에 나타나는 대규모의 평행사층리 및 곡사층리, ②산 정상부의 산책로를 따라 노출되어 있는 소규모 노두들 내에 발달하는 사층리, 연흔, 건열 등 다양한 퇴적구조들이 있다.

사 사

본 안내서 작성과 답사에 있어 경북대 BK21 에너

지자원 및 환경지질 사업팀의 재정적 지원이 있었으며 이에 감사드립니다. 아울러 본 야외지질답사 안내서 작성을 위해 여러 가지 자료를 제공해 주시고 완성을 독려해주신 학회 회장단과 학회지에 실릴 수 있도록 귀중한 기회를 만들어 주신 편집위원장에게 감사드리며, 답사 시 현장에서 약 두 시간에 걸쳐 동남아시아 Tin Belt의 형성과 화강암의 관입에 대한 강의를 해 주신 서울대학교 전효택 교수와 활발한 토론을 이끌어 주신 부경대학교 박맹언 교수께 감사드립니다.

참고문헌

Ali, C.A., Mohamed, K.R., Leman, M.S., Komoo, I. and Unjah, T. (2008) Field guide to geology of Langkawi Geopark. Universiti Kebangsaan Malaysia, 82p.  
 Bank Negara Malaysia (2007) Annual report 2006: Kuala Lumpur, Malaysia, Bank Negara Malaysia, 142p.  
 Cheong, C.H. (1969) Stratigraphy and paleontology of the Samcheog coalfield, Gangweondo, Korea (1). Journal of the Geological Society of Korea, v. 5, p. 13-56.  
 Chough, S.K., Kwon, S.-T., Ree, J.-H. and Choi, D.K. (2000) Tectonic and sedimentary evolution of the Korean peninsula: a review and new view. Earth-Science Reviews, v. 52, p. 175-235.  
 Cocks, L.R.M., Forteya, R.A. and Lee, C.P. (2005) A review of Lower and Middle Palaeozoic biostratigraphy in west peninsular Malaysia and southern Thailand in its context within the Sibumasu Terrane. Journal of Asian Earth Sciences, v. 24, p. 703-717.  
 Lee, C.P. (2006) The Cambrian of Malaysia. Palaeoworld, v. 15, p. 242-255.  
 Leman, M.S., Komoo, I., Mohamed, K.R., Ali, C.A., Unjah, T., Othman, K. and Yasin, M.H.M. (2008) Geology and geoheritage conservation within Langkawi Geopark, Malaysia (unknown source).  
 Metcalfe, I. (2006) Palaeozoic and Mesozoic tectonic evolution and palaeogeography of East Asian crustal fragments: The Korean Peninsula in context. Gondwana Research, v. 9, p. 24-46.  
 Metcalfe, I. (2000) The Bentong-Raub Suture Zone. Journal of Asian Earth Sciences, v. 18, p. 691-712.  
 Ree, J.H., Cho, M., Kwon, S.T. and Nakamura, E. (1996) Possible eastward extension of Chinese collision belt in South Korea: The Imjingang belt. Geology, v. 24, p. 1071-1074.  
 Schwartz, M.O., Rajah, S.S., Askury A.K., Putthapiban, P. and Djaswadi, S. (1995) The Southeast Asian tin belt. Earth-Science Reviews, v. 38, p. 95-293.