

경기도 탄도분지의 백악기 퇴적암에서 산출된 유기물의 열성속도와 지질학적 의미

이상헌^{1,*} · 이웅남² · 이성주³

¹한국지질자원연구원 지질환경재해연구부

²한국지질자원연구원 지질기반정보연구부

³경북대학교 지질학과

요 약

경기도 안산시 탄도일원에 분포한 백악기 암회색의 이암으로부터 유기물 추출 결과, 화분·포자화석은 전혀 산출되지 않았지만, 식물껍질파편과 나뭇잎파편 등 식물파편만으로 구성된 팔리노데브리 일부 시료에서 미약하게 산출되었다. 팔리노데브리들은 대부분 장경이 150-185 μm 크기로 분급도는 보통이지만, 원마도는 불량하며, 멀지 않은 곳에 서식하였던 이들의 모식물들의 파편이 물에 의해 운반되어 쇄설성 퇴적물과 함께 하·호성 또는 충적평원에서 퇴적되었던 것으로 보인다. 이처럼 대기 중에 쉽게 노출될 수 있는 환경에서 산화작용 등에 의해 유기물들이 일차적으로 부식을 많이 받았던 것으로 판단된다. 또한, 이들 유기물질들은 퇴적된 후, 이차적인 지구조사건인 단층에 의해 발달된 균열대를 따라 화산체의 관입 혹은 분출에 의해 단시간에 심하게 변질작용을 받아 완전히 탄화 혹은 파괴되어 최종적으로 불투명한 검정색 유기물만이 미량으로 퇴적암 속에 보존되어있는 것으로 해석된다. 탄화된 유기물질들은 Batten(1996)의 열변질지수(TAI) 6-7에 해당하며, 이 수치는 이들이 약 $\pm 200^{\circ}\text{C}$ 온도조건에서 변질작용을 받았다는 것을 지시한다.

주요어: 백악기, 탄도분지, 유기물, 열변질지수

Sangheon Yi, Yuong-Nam Lee and Seong-Joo Lee, 2004, Palynofacies of the Cretaceous sediments in the Tando Basin, West Korea: thermal maturation and its geological implication. *Journal of the Geological Society of Korea*. v. 40, no. 4, p. 431-439

ABSTRACT: A few of palynodebris such as wood fragments and cuticles are yielded without pollen and spores from the palynological outcrop samples of the Tando Basin in the Tando area of Ansan City, Gyeonggi-do. The palynofacies consisting of these palynodebris implies both syn- and post-depositional environmental and geological events. The paleoenvironments are interpreted to be fluvio-lacustrine and/or alluvial plain as indicated by an opaque and black palynodebris (150-185 μm in long axis) with normal sorting and poor roundness. The palynodebris had been firstly oxidized in the fluvio-lacustrine and/or alluvial plain by being easily exposed to the air. And then, the volcanic emplacements and eruptions occurred along the faults after the deposition made the organic matters metamorphosed so that they became opaque and black in color. The color of the palynofacies is correlated with 6-7 of Thermal Alteration Index (TAI), which indicates that the palynodebris were thermally altered at about $\pm 200^{\circ}\text{C}$ (Batten, 1996).

Key words: Cretaceous, Tando Basin, Organic matter, Thermal maturation

(Sangheon Yi, Geological and Environmental Hazards Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 30 Gajeong-dong, Yuseong-gu, Daejeon, 305-350, Korea; Yuong-Nam Lee, Geology and Geoinformation Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 30 Gajeong-dong, Yuseong-gu, Daejeon, 305-350, Korea; Seong-Joo Lee, Department of Geology, Kyungpook National University, 1370 Sangyuk-dong, Buk-gu, Daegu 702-701, Korea)

* Corresponding author: Tel. +82-42-868-3135, E-mail. shyi@kigam.re.kr

1. 서론

중생대는 나자식물이 가장 번성하였던 시대로서, 그 당시의 식생은 공룡과 같은 거대 초식동물들의 주 먹이가 되었다. 중생대 초기(Barremian)에는 피자식물이 처음으로 출현하고(Kemp, 1968; Hughes *et al.*, 1979), 후기에는 다양화가 급격히 높아지는 고식물학적으로 아주 중요한 시기였다(Lidgard and Crane, 1990). 오늘날 지표상에서 관찰할 수 있는 것처럼, 중생대에도 특정지역에서만 적응하여 서식하는 고유 식물종(endemic taxa)들이 존재하였다. Khlonova(in Henggreen and Khlonova, 1983)는 지리적인 식물분포도 작성에 고유 식물종의 화분화석을 기준(leading criterion)으로 고식물지리구(phytogeoprovince)를 설정할 것을 처음으로 제안하였다. 중생대 후기(백악기)는 고식물학적으로도 매우 독특한 고식물군락(paleovegetation community)을 보여주고 있다. 이 시기 동안, 오늘날 러시아의 우랄산맥과 평행하게 발달하였던 내륙해(inland sea)와 북미의 서부 대륙에 남북으로 발달하였던 내륙해가 식물들의 이동을 방해하는 장애물(barrier)역할을 함으로써, 태평양을 중심으로 하는 동북아시아대륙과 북미대륙서부지역을 포함하는 열대-아열대성의 고식물지리구(*Aquilapollenites* phytogeoprovince)가 잘 발달하였던 것으로 알려졌다(Henggreen and Chlonova, 1981).

한반도 주변에서는 백악기 후기의 화분·포자화석연구를 통해서 *Aquilapollenites* phytogeoprovince의 존재가 이미 확인된바 있지만(Song *et al.*, 1981; Takahashi and Shimono, 1982; Yi and Batten, 2002; Yi *et al.*, 2003), 한반도 육상의 백악기 퇴적분지에서는 이들의 존재여부가 아직까지 확인된 바 없다. 시화호 일대에 분포한 남양분지와 탄도분지는 백악기 후기(80-90 Ma, Turonian-Campanian)퇴적분지로서 10개의 암상과 5개의 상조합으로 구분된다고 보고 하였다(Park *et al.*, 2000). 탄도지역의 퇴적암에서 산출되는 화분·포자화석의 군집변화 분석을 통해 한반도의 중생대 후기 고식물지리구의 존재 여부와 식생변화, 퇴적환경 유추 및 지질시대 설정이 이번 연구의 목

적이며, 또한 유기질 식물파편으로 구성된 팔리노데브리(palynodebris)의 유기물 열변질상(thermal alteration)을 분석하여 퇴적암 속에 함유된 유기물이 어떤 지질학적인 영향을 받았나에 관하여 고찰해 보고자 한다.

2. 연구지역

한반도의 남서지역에 백악기동안 형성된 소규모 육성기원 퇴적분지들은 옥천습곡대를 주위로 북동-남서방향의 주향이동단층계(strike-slip fault system)를 따라 양측에 산재하여 분포하고 있다(Chough *et al.*, 2000). 일반적으로 이들 분지들은 북동-남서를 장축으로 하는 길쭉한(elongate) 형태이며, 백악기 전·후기동안 주로 충적-호수(alluvio-lacustrine) 퇴적물로 충진되었다(Lee, 1999; Chough *et al.*, 2000). 최근까지 한반도 육상의 백악기 분지들에 대한 연구는 주로 퇴적학/층서학적 연구(Chun and Kim, 1995; 박정웅·이용일, 1997; Rhee *et al.*, 1998; Park *et al.*, 2000)와 분지형성과 관련된 지구조적 진화에 대한 연구(Lee *et al.*, 1991; 이철우 외, 1995; Ryang and Chough, 1997; 정대교·김경희, 1999; Park *et al.*, 2000)가 수행되었다. 이에 비해 시화호일대에 분포하는 탄도분지와 남양분지에 대한 층서/퇴적학적 연구는 상대적으로 미약하다(Park *et al.*, 2000; Kim, 2003).

탄도분지의 존재는 남양도폭에서 처음으로 언급되었다(박노영·김정환, 1972). 분지명은 Park *et al.*(2000)가 처음 사용하였으며, 육성기원의 백악기 쇠설성 퇴적층으로 충진 되어있다. 탄도분지는 주로 안산시 탄도일대에 분포하고 있으며, 행정구역상으로 경기도 화성군 서신면, 송산면 일부와 경기도 안산시 탄도, 불도, 고림, 석산을 포함한다(그림 1). 탄도분지가 분포하는 지역의 기반암은 대부분 선캄브리아기 화강암질 편마암으로 이루어져있으며, 소규모의 선캄브리아기 백운모편암도 분포한다. 기반암에는 대부분 북동-남서 혹은 북서-남동 방향의 절리가 잘 발달하고 있으며, 백악기의 산성맥암이 관입하고 있다. 분지자체는 북-남 방향, 북동-남서 방향으로 추정되는 단층에

의해 기반암과 구분된다. 또한 분지의 남서부에는 역암, 사암 등 조립질 퇴적암이 분포하지만, 중앙부와 동부에는 주로 사암과 이암 등으로 구성된 세립질 퇴적암이 분포한다. 분지의 경계부와 그 외 많은 지역은 제4기 충적층에 의해 피복되어 있다(Park *et al.*, 2000)(그림 1).

3. 시료 및 실험방법

탄도 횃집촌지역의 해안절벽에 잘 발달한 암회색 이암의 노두(그림 2)로부터 표면 20 cm 정도 걷어내고 신선한 암석시료를 채취하여 유기질 미화석 추출을 위한 표준 실내실험을 수행하였다(Moore *et al.*, 1991). 20g의 시료는 직경 1-2 mm 크기로 잘게 분쇄하였으며, 석회질성분을 분해하기 위해 염산(30% 농도)을 넣고 24시간 후드(hume hood) 속에서 방치한 후, 중성화가 될 때까지 증류수로 5회 세척을 하였다. 규질성분을 분해하기 위해 불산(45% 농도)을 넣고 24시간 후드

속에서 방치한 후, 다시 증류수로 5회 정도 세척하여 중성화를 시켰다. 위 두 과정을 끝낸 후, 10 μ m 나일론망사 체(nylon sieve)를 이용하여 체질을 한 후, 체 위에 남은 유기질 잔류물로 먼저 유기질미화석상 분석을 위해 시료 당 2개의 박편을 제작하였다. 후속단계에서는 화분·포자화석 분석만을 위해 처리하였다. 앞 단계를 통해서 무기질 잔류물과 유기질 잔류물만이 남게 되는데, 염화아연비중액($ZnCl_2$, 2.0 비중)을 이용하여 불필요한 무기질 잔류물은 제거하였다. 그런 후 농축된 식물질 유기물 중, 불필요한 셀룰로즈나 부식(humic)물질을 제거하여 원하는 포자·화분화석의 농집(concentration)을 높이기 위해 수산화칼륨액(KOH, 10% 농도)을 잔류물에 붓고 중탕기 속에서 10~15분정도 반응처리 하였다. 최종적으로 남은 포자·화분화석은 보존병(vial)에 옮긴 다음, 유기잔류물이 완전히 바닥에 가라앉으면 빨대를 이용하여 물을 제거하고, 잔여 수분은 에탄올을 이용하여 완전히 제거하였다. 중탕기로 가

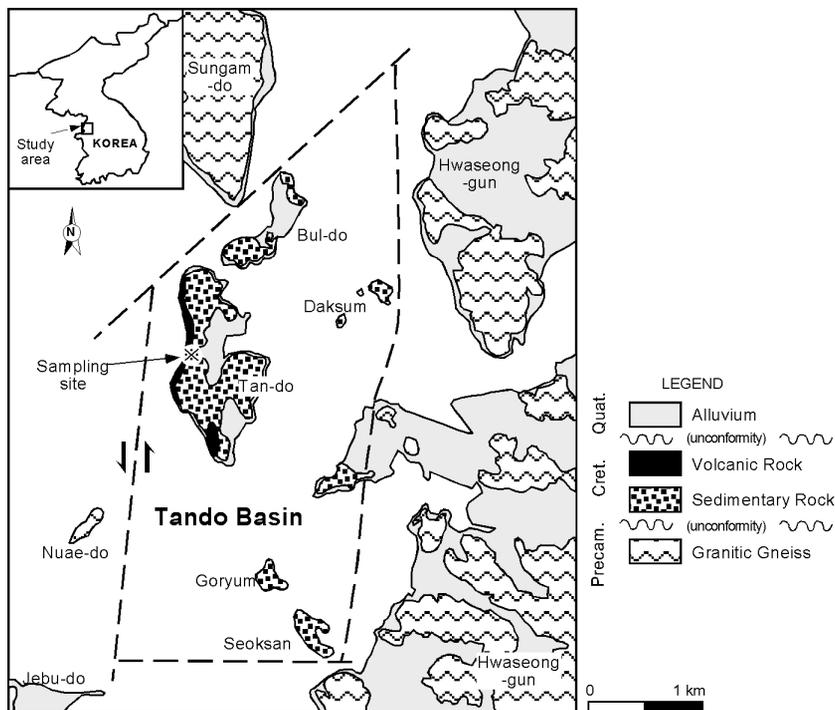


Fig. 1. Geologic map of the Tando Basin and adjacent area (modified from Park *et al.*, 2000).

열하여 액체화된 글리세린젤리의 일정량을 보존병에 부은 후 유기잔류물과 잘 섞어 희석시킨 다음, 정밀도 높은 마이크로피펫을 이용하여 slide warmer 위에서 정량적으로 희석된 잔류물을 유리 슬라이드에 부은 후 유리덮개(cover glass)로 접촉하여 박편을 제작하였다. 이렇게 하여 제작된 박편은 광학현미경(transmitted light microscope)에서 400배 확대하여 관찰하였다.

시료처리 결과 총 50개의 시료에서 화분·포자 화석은 전혀 산출되지 않았지만, 일부 시료에서 유기질 식물파편으로 구성된 팔리노데브리만이 미량으로 산출되었다. 이들 물질들은 아마도 산화 혹은 열변질 작용에 의해 심하게 탄화를 받았던 것으로 광학현미경하에서 불투명의 검은색을 나타낸다(그림 3).

4. 유기질미화석상(Palynofacies)

Combaz(1964)에 의해 처음으로 도입된 유기질미화석상이란 용어는 모든 종류의 유기물질이 박편에서 광학현미경으로 관찰할 때 나타내는 상(facies)을 지칭한다. 유기질미화석상은 화분·포자 화석과 같이 정형을 갖춘 팔리노모र्फ(palynomorph)와 그 외 식물파편(phytoclast)인 나무껍질파편(wood fragment)과 나뭇잎파편(cuticle), 조류잔류물(algal remain) 및 불특성 기원물질의 조직(uncertain origin's tissue) 등으로 구성된 팔리노데브리(palynodebris)로 이루어진다. 이것들의 절대적, 상대적 산출비율, 크기 및 보존상태를 분석하는 것이 유기질미화석상 연구이다(Combaz, 1964; Tyson, 1995; Batten, 1996). 이들 유기질미화석상은 고환경 해석뿐만 아니라(Batten, 1982; Tyson, 1995) 케로젠(kerogen)타입에서 근원암의 분석 및 유기지화학적 성숙도 결정에도 이용되고 있다(Batten, 1983; Tissot and Welte, 1984; Tyson, 1995).

일반적으로 팔리노데브리의 크기는 쇄설성 퇴적물의 세립 사질과 실트에 대비되지만, 비중은 실트와 같다(Traverse, 1988; Chumura and Liu, 1990). 따라서 물에 의해 운반 퇴적되는 곳은 실트와 점토가 퇴적되는 동일한 퇴적환경에서 이루

어진다. 이런 경향으로 크기가 크고 문양(ornamentation)이 발달한 포자·화분과 팔리노데브리는 하성(fluvial), 배후습지(backswamp) 혹은 델타(delta) 같은 곳에 더 많은 퇴적이 이루어진다(Mudie, 1982). 일반적으로 물에 의해 운반되는 팔리노데브리가 하호성(fluvio-lacustrine) 환경조건에 퇴적될 때, 조립질은 주로 초입부(proximal)와 천부지역(littoral)에, 반면에 세립질은 말단부(distal)와 중앙부에 퇴적된다(Chen, 1987; Holmes, 1994).

탄도지역에서 산출된 팔리노데브리는 전체적으로 분급도는 보통이지만 원마도는 불량하다(그림 3). 이들은 주로 장경이 150-185 μm 크기의 식물파편들로 이루어졌고, 나뭇잎껍질은 장경이 45-67 μm 크기를 가진 것들로 구성되었다(그림 4). 이런 팔리노데브리들은 비중이 비슷한 쇄설성 퇴적물과 함께 물에 의해 운반되어 가까운 하성환경 혹은 충적평원에서 퇴적되었음을 시사한다. 따라서 이들 유기물들이 퇴적될 시기와 퇴적된 후, 빈번히 대기에 노출되어 유기물들이 산화, 부식되는 보존되기에 부적합한 환경이었을 가능성을 배제할 수 없다. 이런 퇴적환경해석은 퇴적학적 연구에 의해서도 비교적 잘 일치된다. 탄도지역의 퇴적상은 전체적으로 적갈색의 이암상내에 균질 역암상, 균질 사암상, 정상점이층리 사암상, 역점이층리 사암상, 엽층리 사암상이 분포하며 하도상, 썩기형태 또는 판상의 층은 공기 중에 노출된 망상하천(braided stream)에 의한 자갈 바(gravel bar)의 이동이나 하도상 하천류와 소규모의 하도 충전작용에 의한 퇴적상이라 해석하였다(Park *et al.*, 2000). 또한, 분지 안쪽(이번 연구의 암석시료가 채취된 지역)의 초입부는 점차 적갈색의 사암과 이암을 교대하는 얇은 렌즈상의 역암과 판상(sheet)역암 단위로 바뀌는데, 이런 양상은 충적선상지의 말단부에서 역질 망상하천(gravelly braided stream)에 의해 퇴적된 것으로 해석하였다(Park *et al.*, 2000). 이렇듯 퇴적환경은 일차적으로 산화작용을 쉽게 받을 수 있는 조건이었음을 지시한다.

다음으로 퇴적 후의 지구조적인 작용에 의한 유기물질의 보존성에 대한 또 다른 개연성에 대해 고찰해 보았다. 팔리노모र्फ와 팔리노데브리



Fig. 2. Sedimentary outcrop in coastal cliff located at the Hoeijip-chon, Tando. Samples were taken at dark grey mudstone bed underlying the volcanics. W: abbreviation for sample code.

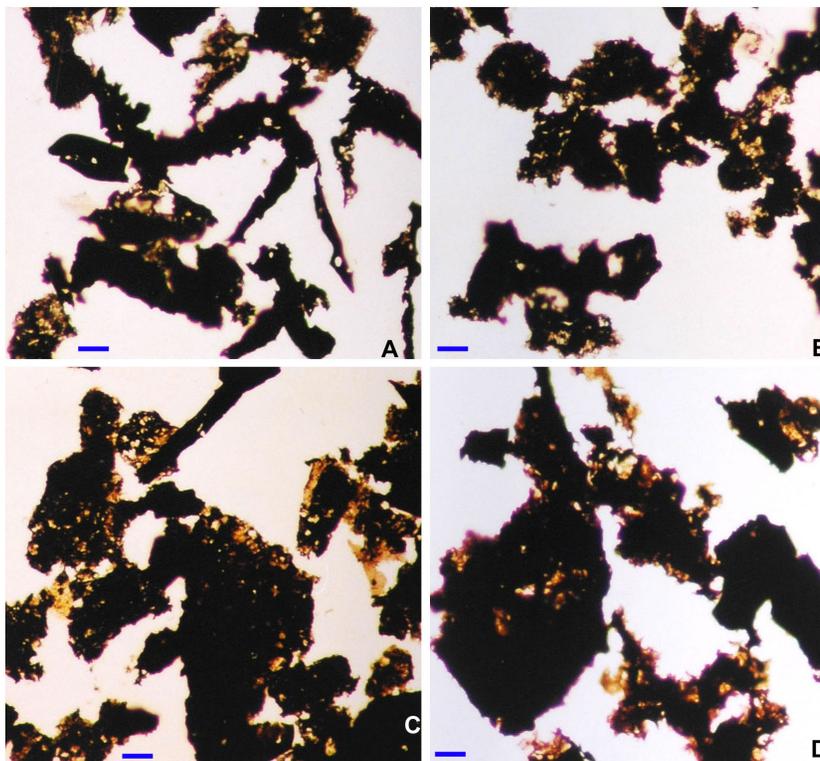


Fig. 3. Metamorphosed palynofacies represented by organic phytoclast in Tando area. Scale bar: 20 μ m. A: Elongated black wood fragments and cuticles; B: Black wood fragments; C: Degraded wood fragments; D: Entirely large black or black with brown margins.

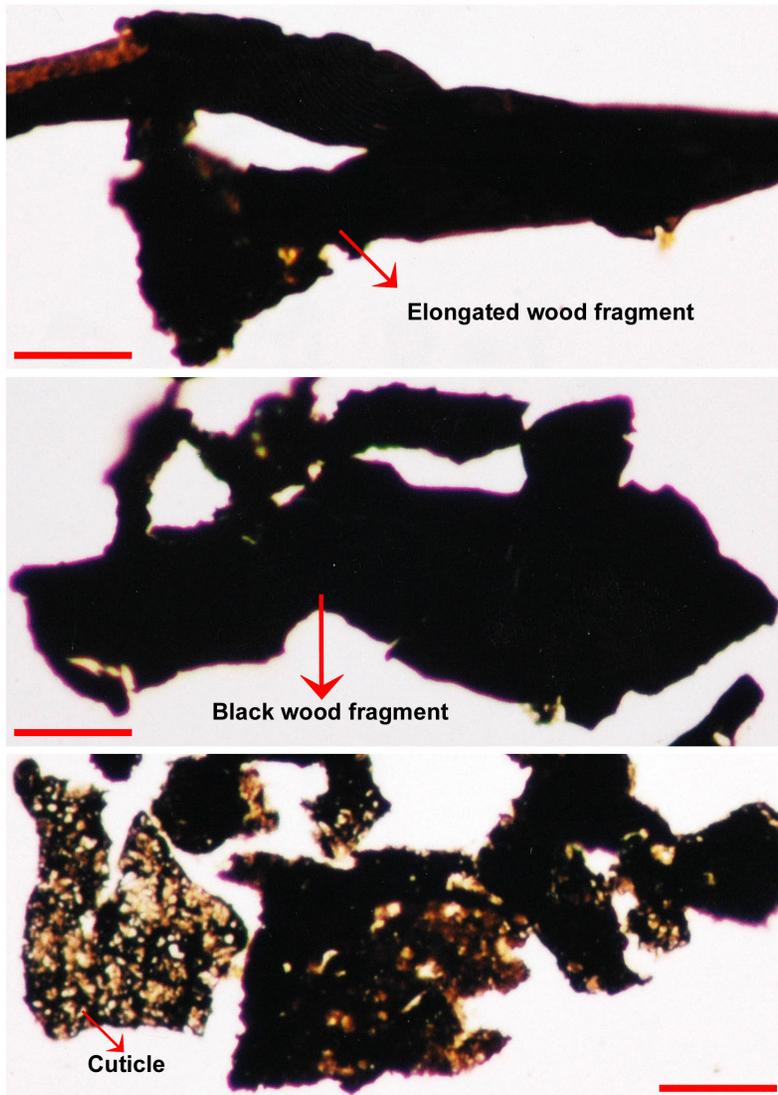


Fig. 4. Phytoclast recorded in Tando area. Scale bar: 30 μ m

순수한 자연환경조건하에서 유기물이 퇴적물과 함께 퇴적된 후에 발생한 열변질, 산화 등 사건에 의해 유기물의 색깔이나 미세구조가 변질되는 과정과 정도를 반영한다. 따라서 유기질미화석상을 분석하면 최종적인 고유의 자연환경조건과 더불어 환경변화의 과정을 해석할 수 있다. 화분·포자의 겉껍질과 식물파편은 주로 탄화수소(CH-)계열로 구성된 부식성에 견고한 복합성 유기물질인 스포로폴레닌(sporopollenin, $C_{30}H_{142}O_{27}$)으로 이

루어졌다(Erdtman, 1969; Hesslop-Harrison, 1973). 이 유기물질은 변질 전의 고유색깔은 투명하며 밝은 노란색으로 열 혹은 산화작용의 영향을 받으면 탄화수소계열의 수소성분(H^+)이 녹아 떨어져 나가면서 상대적으로 탄소성분이 많이 존재하므로 최종적으로 불투명하며 검은색으로 변질 및 탄화되어, 최종단계에서는 완전히 녹아 없어진다(Raynaud and Robert, 1976; Tissot and Welte, 1984; Traverse, 1988). 탄화도의 상(phase)과 온도

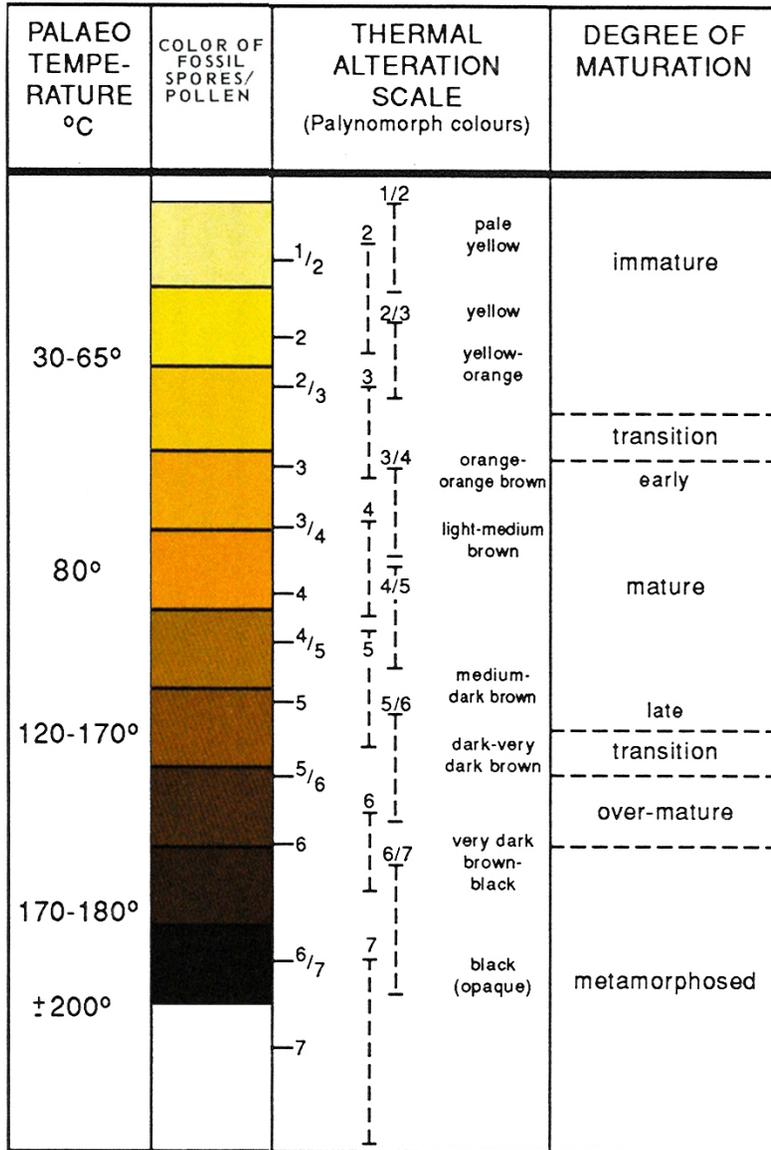


Fig. 5. Correlation of palynomorphs exine coloration with thermal maturation indicators in sedimentary rocks (modified Traverse, 1988; Batten, 1996).

조건의 상관관계를 나타내는 도표는 온도가 유기질 미화석의 보존에 얼마나 중요한 영향을 주는지 잘 보여주고 있다(그림 5, Traverse, 1988; Batten, 1996). 특히, 스포로폴레닌은 화산체 관입과 같은 고온의 영향을 받는 환경에서는 단시간에도 쉽게 변질되거나 파괴되어 없어진다(Batten, 1982; Traverse, 1988).

위에서 언급한 바와 같이, 탄도지역에서 산출된 모든 유기질미화석상은 상당한 탄화작용과 부식작용을 받아 생성된 불투명한 검은색의 식물파편과 나뭇잎파편들로 구성된 팔리노데브리뿐이다(그림 3). 이런 특징의 유기질미화석상은 Batten (1996)의 열변질지수(TAI) 6-7에 해당하며, 약 ±200°C의 온도에 의해 열변질 작용을 받았음을 시사한다(그

림 5). 탄도분지 내에 화산암류는 탄도, 불도, 딱섬 일대에 분포하며, 특히 이번 연구를 위해 암석시료를 채취한 탄도에서는 화산암류가 사암층 사이 두 곳에 분포한다(그림 1). 층서적으로 상부에 놓인 화산암류는 10 m 이상의 두께를 가지며 퇴적암의 층리면을 자르고 단층과 접해 있다. 이와 같은 하도상의 화성쇄설암은 분지 확장과 관련된 정단층이 발생하여 균열대를 따라서 화산암류가 분출한 것으로 해석되었다(Park *et al.*, 2000). 결과적으로 유기질미화석상에서 나타나는 팔리노데브리에 영향을 준 것은 퇴적 후 단층에 의해 형성된 균열대를 따라 화산체 관입과 분출에 의한 열변질작용이 가장 지배적이었던 것으로 해석된다.

5. 결론

이번 연구의 유기질미화석상 분석을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다. 육상기원의 화분·포자 화석은 전혀 산출되지 않았지만, 식물과편과 나뭇잎과편 등으로 구성된 팔리노데브리만이 미약하게 산출되었다. 따라서 화분·포자 화석을 이용한 고식생 복원과 지질시대 설정은 이루어지지 못했다. 팔리노데브리 입자의 장경은 150-185 μm 의 크기로 분급도는 보통이며 원마도는 다소 불량하다. 이들은 주로 물에 의해 근원지로부터 멀리 않는 하·호성 혹은 층적평원에서 퇴적되었음을 나타낸다. 이렇듯 대기에 노출되기 쉬운 환경 하에서 산화작용 등으로 인하여 일차적으로 유기물들이 산화와 부식을 많이 받았던 것으로 판단된다. 또한, 이들은 퇴적 후에 이차적인 지구조적 사건에 의해 심하게 열변질을 받은 것으로 추정된다. 즉, 단층작용에 의한 탄도분지의 경계부에 발달한 균열대를 따라 화산암체의 관입과 분출작용으로 단시간에 고온의 열변질을 받아 최종적으로는 유기물질들이 불투명한 검은색으로 탄화 혹은 완전히 파괴되어 퇴적암 속에 미량으로 남게 되었다. 탄화된 유기물질들은 열변질지수(TAI) 6-7에 해당하며, 약 $\pm 200^{\circ}\text{C}$ 의 온도조건에서 변질을 받은 것으로 해석된다.

사 사

이 연구는 한국지질자원연구원에서 수행하였던 “공룡알 화석산출지 보존처리: 시화분지의 퇴적암에서 산출되는 미화석을 이용한 고환경 및 지질시대 설정 연구”과제의 지원으로 이루어졌다. 원고의 심사를 통해 많은 지적과 제안으로 보dana은 논문이 될 수 있도록 심사해 주신 연세대학교 이명석 박사와 익명의 심사위원께 진심으로 감사한다.

참고문헌

- 박노영, 김정환, 1972, 한국지질도(1:50,000), 남양도폭. 국립지질조사소, 13 p.
- 박정웅, 이용일, 1997, 백악기 무주분지의 층서 재정립. 지질학회지, 33, 65-77.
- 이철우, 백창훈, 이동우, 1995, 천수만층의 형성과 진화. 한국지구과학회지, 16, 222-231.
- 정대교, 김경화, 1999, 백악기 풍암분지의 생성진화와 퇴적물기원. 한국석유지질학회지, 7, 28-34.
- Batten, D.J., 1982, Palynofacies, palaeoenvironments and petroleum. *Journal of Micropalaeontology*, 1, 107-114.
- Batten, D.J., 1983, Identification of amorphous sedimentary organic matter by transmitted light microscopy. In: Brooks, J. (ed.), *Petroleum geochemistry and exploration of Europe*. Geological Society, London, Special Publication, 11, pp. 275-287.
- Batten, D.J., 1996, Palynofacies and palaeoenvironmental interpretation. In: Jansonius, J. and McGregor, D.C. (eds.), *Palynology: principles and applications*. American Association of Stratigraphic Palynologists Contribution Series No. 21, pp. 1011-1064.
- Chen, Y., 1987, Pollen and sediment distribution in a small crater lake in Northeast Queensland, Australia. *Pollen et Spores*, 29, 89-110.
- Chough, S.K., Kwon, S.T., Ree, J.H., Choi, D.K., 2000, Tectonic and sedimentary evolution of the Korean Peninsula: a review and new view. *Earth-Science Review*, 52, 171-235.
- Chumura G.L. and Liu, K.B., 1990, Pollen in the lower Mississippi River. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 64, 253-261.
- Chun, S.S. and Kim, S.B., 1995, The Cretaceous Kyokpori Formation, SW Korea: Sublacustrine steep-sloped delta facies. *Journal of the Geological Society of Korea*, 31, 215-236.

- Combaz, A., 1964, Les palynofacies. *Revue de Micropaleontologie*, 7, 205-218.
- Erdman, G., 1969, *Handbook of Palynology*. Munksgaard, Copenhagen, 486 p.
- Hemgreen, G.F.W. and Chlonova, A.F., 1981, Cretaceous microfloral provinces. *Pollen et Spores*, 23, 441-555.
- Hemgreen, G.F.W. and Khlonova, A.F., 1983, Cretaceous palynofloristic provinces of the world. *Trudy Instituta Geologii i Geofiziki, Akademiia Nauk SSSR, Sibirskoe Otdelenie*, 556, 134 p.
- Hesslop-Harrison, J., 1973, *Pollen: development and physiology*. Butterworth, London, 378 p.
- Holmes, P.L., 1994, The sorting of spores and pollen by water: experimental and field evidence. In: *Traverse, A. (ed.), Sedimentation of organic particles*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 9-32.
- Hughes, N.F., Drewry, G.E. and Laing, J.F., 1979, Barremian earliest angiosperm pollen. *Palaeontology*, 22, 513-535.
- Kemp, E.M., 1968, Probable angiosperm pollen from the British Barremian to Albian strata. *Palaeontology*, 11, 421-434.
- Kim, Y.G., 2003, Depositional systems and environments of Cretaceous Shiwha Formation. M.Sc. thesis of Seoul National University, 55 p (unpublished).
- Lee, D.W., 1999, Strike-slip fault tectonics and basin formation during the Cretaceous in the Korean Peninsula. *Island Arc*, 8, 218-231.
- Lee, D.W., Chi, J.C. and Lee, K.C., 1991, Stratigraphy of the strike-slip fault-controlled Yongdong Basin, Korea: A genetic study in the northern part of the basin. *Journal of the Geological Society of Korea*, 27, 246-258.
- Lidgard, S. and Crane, P.R., 1990, Angiosperm diversification and Cretaceous floristic trends: a comparison of palynofloras and leaf macrofloras. *Paleobiology*, 16, 77-93.
- Moore, P.D., Webb, J.A. and Collinson, M.E., 1991, *Pollen Analysis*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 216 p.
- Mudie, P.J., 1982, Pollen distribution in recent marine sediments, eastern Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 19, 729-747.
- Park, S-D., Chung, G-S., Jeong, J-G., Kim, W-S., Lee, D-W., Song, M-Y., 2000, Structure and physical property of the crust of mid-west Korea: analysis of sedimentary basins in the Namyang and Tando areas, Kyeonggi Province, Korea. *Journal of Korean Earth Science Society*, 21 (5), 563-582 (in Korean with English Abstract).
- Raynaud, J.F. and Robert, P., 1976, Les methodes d'etude optique de la matiere organique. *Bulletin du Centre de Recherches Pau-SNPA (Societe Nationale des Petroles d'Aquitaine)*, 10, 109-127.
- Rhee, C.W., Jo, H.R. and Chough, S.K., 1998, An allostratigraphic approach to a non-marine basin: the north-western part of Cretaceous Kyongsang Basin, SE Korea. *Sedimentology*, 45, 449-472.
- Ryang, W.H. and Chough, S.K., 1997, Sequential development of alluvial/lacustrine system: southeastern Eumsung Basin (Cretaceous), Korea. *Journal of Sedimentary Research* 67, 274-285.
- Song, Z.C., Zheng, Y.H., Liu, J.L., Ye, P.Y., Wang, C.F. and Zhou, S.F., 1981, Cretaceous-Tertiary palynological assemblages from Jiangsu. *Geological Publishing House, Beijing*, 268 p.
- Takahashi, K. and Shimono, H., 1982, Maestrichtian microflora of the Miyadani-gawa Formation in the Hida District, Central Japan. *Bulletin of Faculty of Liberal Arts, Nagasaki University (Natural Science)*, 22, 11-188.
- Tissot, B.P. and Welte, D.H., 1984, *Petroleum formation and occurrence (2nd ed.)*. Springer-Verlag, Berlin, 699 p.
- Traverse, A., 1988, *Paleopalynology*. Unwin Hyman, Boston, 600 p.
- Tyson, R.V., 1995, *Sedimentary Organic Matter -Organic facies and palynofacies-*. Chapman and Hall, London, 615 p.
- Yi, Sangheon and Batten, D. J., 2002, Palynology of Upper Cretaceous (uppermost Campanian-Maastrichtian) deposits in the South Yellow Sea Basin, offshore Korea. *Cretaceous Research*, 23, 687-706.
- Yi, Sangheon, Yi, Songsuk, Batten, D. J., Yun, H. and Park, S-J., 2003, Cretaceous and Cenozoic non-marine deposits of the Northern South Yellow Sea Basin, offshore western Korea: palynostratigraphy and palaeoenvironments. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 191, 15-44.

투 고 일 : 2004년 10월 26일

심 사 일 : 2004년 11월 16일

심사완료일 : 2004년 11월 19일