

공주퇴적분지의 송선리층(백악기)에서 산출된 버섯화석의 예비연구

김종현

공주대학교 사범대학 지구과학교육과

요 약

형태가 완전히 보존된 버섯화석 한 개체가 공주퇴적분지의 송선리층에서 산출되었다. X선 회절 분석결과, 버섯화석은 저결정도의 비정질 석영, 경석고, 마그네슘-탄산염 광물 및 물라이트로 구성되어 있다. 버섯화석은 공주퇴적분지의 형성 전 인근에 위치했던 어느 소규모의 퇴적분지에서 비교적 빠른 기간 동안에 충전작용에 의해서 규화 및 석회화된 것으로 추정되며, 그 후 버섯화석은 공주퇴적분지의 형성 후 이차화석으로 재퇴적된 것으로 판단된다. 자실체의 형태가 완전히 보존된 버섯화석의 산출은 동아시아 중생대 지층에서 최초의 보고이다.

주요어: 버섯화석, 충전작용, 이차화석

Kim, J.H., 2000, A Preliminary Report of the Mushroom Fossil from the Songseonri Formation (Cretaceous), Gongju Sedimentary Basin, Korea. Journal of the Geological Society of Korea. v. 36, no. 4, p. 371-382

ABSTRACT: A well preserved mushroom fossil occurred from the Songseonri Formation of the Gongju Sedimentary Basin. As a result of X-ray diffraction analysis, the fossil is composed of low degree of crystallinity of amorphous quartz, Anhydrite, Mg-bearing carbonate mineral and Mullite. It is inferred that the mushroom fossil was silicified and calcified by permineralization (filling) in relatively short period in the small sedimentary basin situated near the Gongju area before the formation of Gongju Sedimentary Basin, and the fossil was re-sedimented as secondary fossil during the formation of Gongju Sedimentary Basin. The mushroom fossil with well preserved fruiting body is the first report in the Mesozoic strata of East Asia.

Key words: mushroom fossil, permineralization, secondary fossil

(Kim, J.H., Department of Earth Sciences, College of Education, Kongju National University, Kongju 314-701, Korea)

1. 서 론

공주 퇴적분지에 분포하는 송선리층 내의 역암 층으로부터 규화 및 석회화된 버섯화석 한 개체가 처음으로 산출되었다. 이 화석은 규모와 대가 붙어있는 상태로 산출되었으며 보존 상태가 매우 양호하고 외견상 현생의 버섯과 아주 비슷하다. 이와 같은 버섯은 분류상 동물도 식물도 아닌 균류(fungi)에 속하는 생물이다. 균류는 일반적으로 포자로 번식하며, 균류가 포자를 만드는 경우에

는 보통 자실체를 형성한다. 버섯이란 균류의 생식구조, 즉 자실체를 가리키는 용어이다(이지열·홍순우, 1985).

지질시대의 균류화석은 Dilcher (1965)를 비롯하여, Seward (1969), Taylor (1981) 등에 의하여 포괄적으로 언급되었다. 균류의 대다수는 부서지기 쉽고 연약한 상태임에도 불구하고 그들에 대한 화석 기록은 선캄브리아 시대까지 추적이 가능하고, 고생대에서부터 신생대를 통하여 다양한 종류가 알려져 있다(Taylor, 1981). 고생대의

Table 1. Stratigraphic correlation of Kongju Basin.

Shimamura (1931)	Kim <i>et al.</i> (1976)	Lee (1990)	Choi <i>et al.</i> (1997)
Aengbongsan F.	Shale	Hwayangri F.	Aengbongsan F.
Cheongsori F.	Conglomerate	Sinheungri F.	Sinheungri F.
		Songseonri F.	Songseonri F.

석탄기에 이미 현재의 모든 강에 속하는 그룹들이 출현한 것으로 보아 균류화석의 다양성은 고생대를 통하여 증가했다고 볼 수 있다(Taylor *et al.*, 1994). 이와 같은 균류화석의 대부분은 모두 자실체에서 분리된 포자이거나 생육부로서 현미경적 섬유로 구성된 균사와 같은 미화석의 기록들이다(Dennis, 1968; Alvin and Muir, 1970; Millay and Taylor, 1978; Daghlian, 1978; Taylor *et al.*, 1994). 현재의 화석과 같이 버섯의 자실체가 그대로 보존된 화석은 Brown (1940)에 의해 미국의 제3기 지층에서 *Fomes idahoensis*로 보고된 바가 있지만 중생대의 지층에서는 아직 보고된 바가 없다. 그러므로 한반도의 하부 백악기에서 버섯화석의 산출은 지질시대에 포자를 남긴 어느 버섯류의 존재를 확인케 해주는 강력한 증거의 하나이며, 아시아에서는 물론 세계적으로도 매우 희귀한 일로써 귀중한 자료임에 틀림이 없다.

본 연구에서는 버섯화석의 일반적인 특징을 기술하고 버섯의 화석화작용과 규화 및 석회화작용에 대하여 고찰한다. 현재의 버섯화석이 현생의 어느 종과 유연 관계가 있는지에 대해서는 현재 연구 중으로 추후에 발표할 것이다.

2. 층서

공주 지역의 퇴적분지는 한반도의 중앙부에 북동-남서방향으로 발달하는 옥천습곡대와 경기육괴의 경계부를 따라서 분포하며, 공주도폭(Kim *et al.*, 1976), 청양도폭(Shimamura, 1931), 광정도폭(강필중·임주환, 1974)에 포함되고 길이가 약 25 km 폭이 약 4 km에 이르는 마름모꼴의

형태로 북동-남서방향으로 분포한다(Lee, 1990).

공주 퇴적분지의 북서부에는 경기육괴 연장부의 호상편마암이 넓게 분포하고, 남서부에는 화강편마암과 운모편암이 분포하고 있다(Kim *et al.*, 1976). 그리고 퇴적분지의 서북단에는 화산암이 분포하며 주로 현무암, 현무암질응회암 및 응회질각력암으로 구성된다. 현무암의 K-Ar 연령은 93.21 ± 2.1 Ma를 나타내며, 이 값은 경상분지의 주사산과 순창분지의 백양사 화산활동기들과 대비된다(이문원 외, 1992).

공주 퇴적분지에 분포하는 퇴적암류는 Shimamura (1931)에 의해 역암우세층은 청소리층, 상위의 세일우세층은 앵봉산층으로 명명되었으며, 암상에 의하여 이들은 경상누층군의 신라통에 대비되었다. Kim *et al.* (1976)은 공주분지의 퇴적암류를 하부의 역암과 상부의 세일로 구분하였으나, Lee (1990)는 공주분지의 퇴적암류를 일괄하여 공주층군으로 명명하고 암상에 의하여 하부로부터 송선리층, 신흥리층 및 화양리층으로 구분하였다. 최근 Choi *et al.* (1997)은 퇴적암류를 하부로부터 송선리층, 신흥리층, 앵봉산층으로 구분하였으며, 암상과 운조류 화석에 의해 최상부층인 앵봉산층을 경상분지의 하양층군에 대비하였다. 이들의 층서 관계를 요약하면 표 1과 같다. 본 연구에서는 Choi *et al.* (1997)에 의한 층서 구분을 따른다.

지금까지 공주분지에서 발견된 화석은 모두 인상화석이며 대부분 보존상태가 불량하고 종수에 있어서도 단조롭다. Lee (1990)는 최초로 최상부층인 화양리층에서 *Frenelopsis* sp. (구과류)와 *Equisites* sp. (유절류)의 화석을 발견하였다. *Frenelopsis* sp.는 우리 나라의 대구 경주 지역에 분포하는 대구층과 진안 지역에 분포하는 산수동

층에서도 발견된 바가 있다(立岩, 1976). 최근 Choi *et al.* (1997)은 최상부층인 앵봉산층에서 구과류의 *Frenelopsis* sp., *Cupressinocladus* sp. 등을 비롯하여 생흔화석, 화분화석 및 운조류 화석을 보고하였다.

이번에 발견된 버섯화석은 최하부층인 송선리층의 상부에서 처음 발견된 것이다. 송선리층은

주로 역암으로 구성되어 있으며 금강을 낀 양측부에 대상으로 분포한다.

3. 화석산출 지점

버섯화석이 산출된 장소(그림 1)는 위도 36° 23' 24", 경도 127° 15' 49" 이며, 행정 구역상

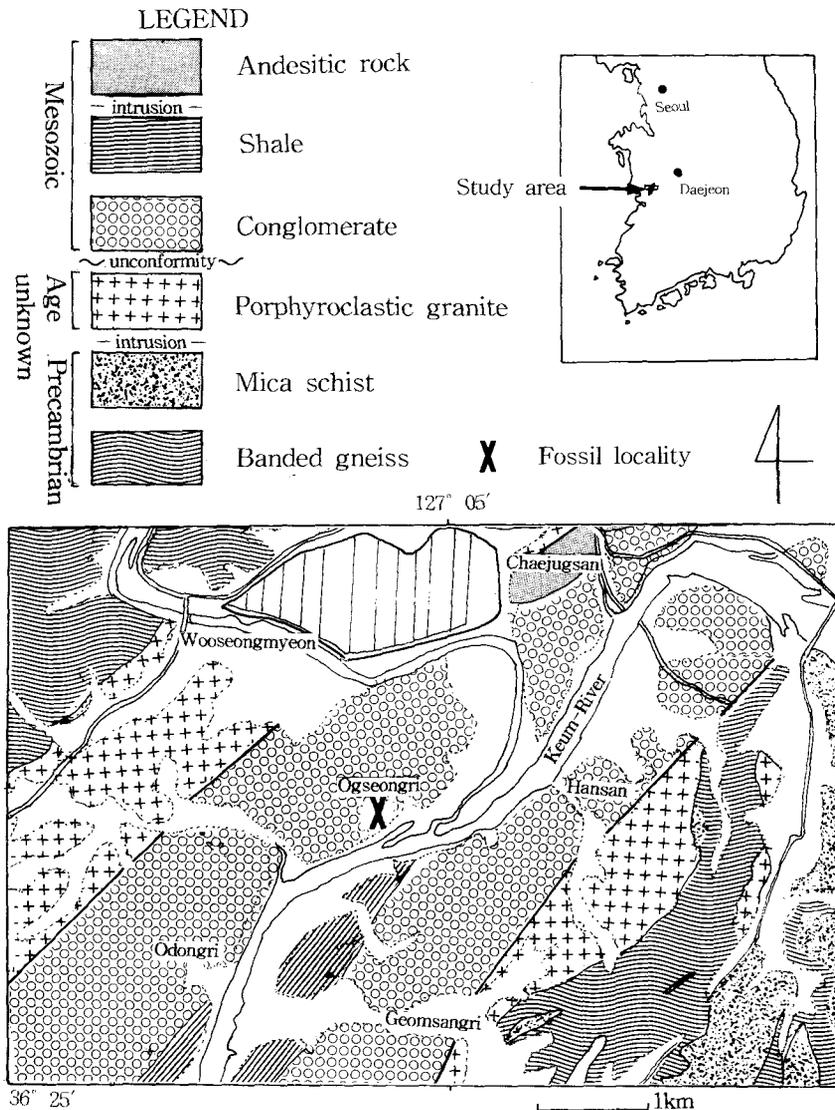


Fig. 1. Geological map of the study area showing the fossil locality (partly redrawn after Kim *et al.*, 1976).

으로는 공주시의 서북부인 우성면 옥성리에 속한다. 옥성리 일대에는 금강변을 따라서 역암이 두껍게 노출하고 있는데 노두에서는 풍화가 상당히 진행되어 부서지기 쉬운 상태로 되어 있고, 때로는 곳곳에서 무너져 내린 곳도 있다. 버섯화석은 야산의 끝에 수직으로 나타난 절개지의 바닥에 절개지의 사면에서 떨어져 나온 돌더미 속에서 발견되었다. 이곳은 금강의 하상에서 수평적으로 100 m 이상 떨어져 있으며 하상보다 30 m 이상 높은 곳에 위치하고 있고 개인 농가의 뒤쪽에 있다.

버섯화석이 발견된 지역의 주상도는 그림 2와 같다. 이곳의 역암은 분급이 불량하고, 역은 원마도가 비교적 양호하며, 역종은 규암, 호상편마암, 편암 등으로 구성되어 있다.

4. 결과 및 토의

4.1 버섯화석의 특징

버섯화석은 갓과 대로 구성된다(그림 3). 갓의 모양은 편평형이며 그 직경은 5.7 cm에 이른다. 갓의 표면은 장식이 없이 매끈하고, 갓의 가장자리는 안쪽으로 올라간 말린형이다. 대가 붙는 쪽의 표면은 깔때기와 같은 모양을 이루며 약간 울퉁불퉁하지만 현생의 민주름버섯류와 같이 어떠한 주름살의 모양이 나타나지 않는다. 그리고 안쪽 표면의 끝 가까이에는 원형의 홈이 있고, 홈 안에는 실같은 유기물체들이 밀집하여 나타난다(그림 3의 6). 대의 크기는 직경이 2 cm, 길이가 1.5 cm이며, 대의 발생 상태는 편심생이다.

한편 갓 표면의 한쪽이 오목하게 들어간 곳(그

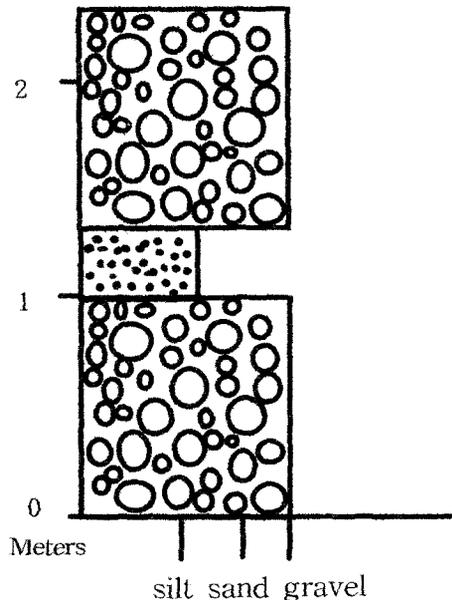


Fig. 2. Columnar section of the Ogseongri area which the mushroom fossil was discovered.

림 3의 1, 5, 6)은 마치 버섯이 나무에 붙어있을 때 생긴 흔적처럼 보이지만, 자세히 살펴보면 이 부분은 부착흔이 아니라 운반 과정에서 한 부분이 떨어져나갔기 때문에 생긴 것으로 생각된다.

버섯 화석의 구성 광물을 알아내기 위하여 분말시료의 X-선 회절 분석을 실시하였다. 분석기기는 Rigaku D/Max-II B였고, X-선은 $\text{CuK}\alpha$ 에 조건은 30 kV, 15 mA였다. X-선 회절분석 결과, 이 버섯화석은 주로 비정질로 이루어져 있으며, 일부 결정화도가 아주 낮은 경석고, Mg-방해석, 물라이트(Mullite) 및 석영이 검출되었다.

4.2 버섯화석은 일차화석인가? 이차화석인가?

공주분지에서 발견된 버섯화석은 노두에서 직접 산출된 것은 아니지만 화석이 발견된 장소의 인접 역암층에서 산출된 것으로 판단되는 근거는 다음과 같다. 첫째는 버섯화석과 함께 발견된 역의 크기와 종류가 바로 옆의 역암층에 있는 것들과 비슷하고, 둘째로 약간 붉은 색을 띠는 버섯화석 표면의 색이 역암층 기질의 색과 같으며, 셋째로 버섯화석이 발견된 곳은 개인 농가의 뒤쪽에 있으며 이곳은 금강의 하상에서 수평적으로 100 m 이상 떨어져있고, 하상보다는 30 m 이상 높은 곳에 위치하고 있는 곳이므로 버섯화석이 유수에 의해 발견장소까지 운반되었을 가능성은 없다고 본다.

버섯화석의 보존 상태와 역암층내의 특징으로부터 버섯의 화석화는 다음과 같은 과정을 통하여 일어났을 것으로 추정된다. 역들의 원마도가 좋은 것으로 보아 이들은 원거리의 이동을 지시한다. 그러므로 단단한 부분이 없는 버섯이 처음부터 역들과 함께 운반, 퇴적되는 환경 하에서는 버섯의 원형이 그대로 유지되면서 화석으로 보존된다고 하는 것은 거의 불가능한 일이다. 또한 버섯이 공주분지의 가까운 곳에서 유입이 되었다고 해도 퇴적물과 역들의 압력에 의하여 그 형태가 크게 변형되었거나 잘게 부서졌을 것이다. 이러한 예는 청양 부근에 분포하는 남포층군의 조계리층에 협재된 역암층에서 발견된 규화목(연구중)의 예에서 잘 나타난다.

그러므로 버섯화석은 공주분지의 역암층이 퇴

적되기 이전에 이미 존재한 것으로 생각해야 하며, 또한 버섯의 구성광물이 대부분 저결정도의 광물들로 구성되어 있다는 것은 버섯이 규화된 후 속성작용을 크게 받지 않았다는 것을 의미한다. 여기에서 먼저 생각해야 할 것은 버섯이 처음 어디에서 화석화작용이 일어났는가 하는 것이다. 위에 언급한 사항들을 고려하면 다음의 두 가지 경우를 생각할 수 있다.

첫째는, 공주분지에서 어느 정도 떨어진 인근 지역에서 화석화가 일어났을 가능성이 있다. 즉, 정확한 위치는 모르지만 공주 분지로 연결된 유로의 상류 부근 어딘가에 소규모의 퇴적분지가 있었고, 그 장소에 버섯이 다른 퇴적물들과 함께 유입되어 규화된 다음에 다시 침식과 운반작용을 거쳐 현재의 역암층에 재퇴적된 경우이다. 이 경우는 버섯이 규화되는데 걸리는 시간이 문제이다. 그러나 아래에 기술하는 버섯의 규화작용에서 언급한 바와 같이 규화목의 생성실험에서 목제가 규화되는데 그다지 많은 시간이 걸리지 않는다는 것을 고려하면 시간의 문제는 해결이 가능한 일이다. 그리고 역암층에 들어있는 다양한 종류의 역은 공주분지의 주변부에 분포하는 암석에서 유입된 것들이 대부분이다. 그러므로 공주분지의 형성 과정에서 구조적인 압력에 의해 인근에 존재하고 있던 소규모의 퇴적분지가 파괴되면서 버섯화석이 이탈되어 운반되어 왔을 가능성은 충분하다.

둘째는, 공주 지역 이외의 다른 지역에 분포하는 퇴적암으로부터 기원되었을 가능성이 있다. 실제로 공주 분지의 북동부에 위치한 청양 부근에는 트라이아스기 후기~쥬라기 초기로 알려진 남포층군의 일부가 대상으로 분포하고 있으므로 (Shimamura, 1931), 이곳으로부터 운반되어 왔을 가능성을 검토해 볼 수 있다. 그러나 버섯화석이 남포층군 기원이라고 한다면 역들도 같이 운반되어 왔을 것이나 공주 분지의 역암층 내에는 남포층군 기원의 퇴적암 역편들이 포함되어 있지 않으며, 기타의 어떤 다른 직접적인 증거도 나타나지 않는다. 그러므로 남포층군으로부터 기원되었을 가능성은 희박하다.

결론적으로 역들의 원마도를 고려하면 버섯화

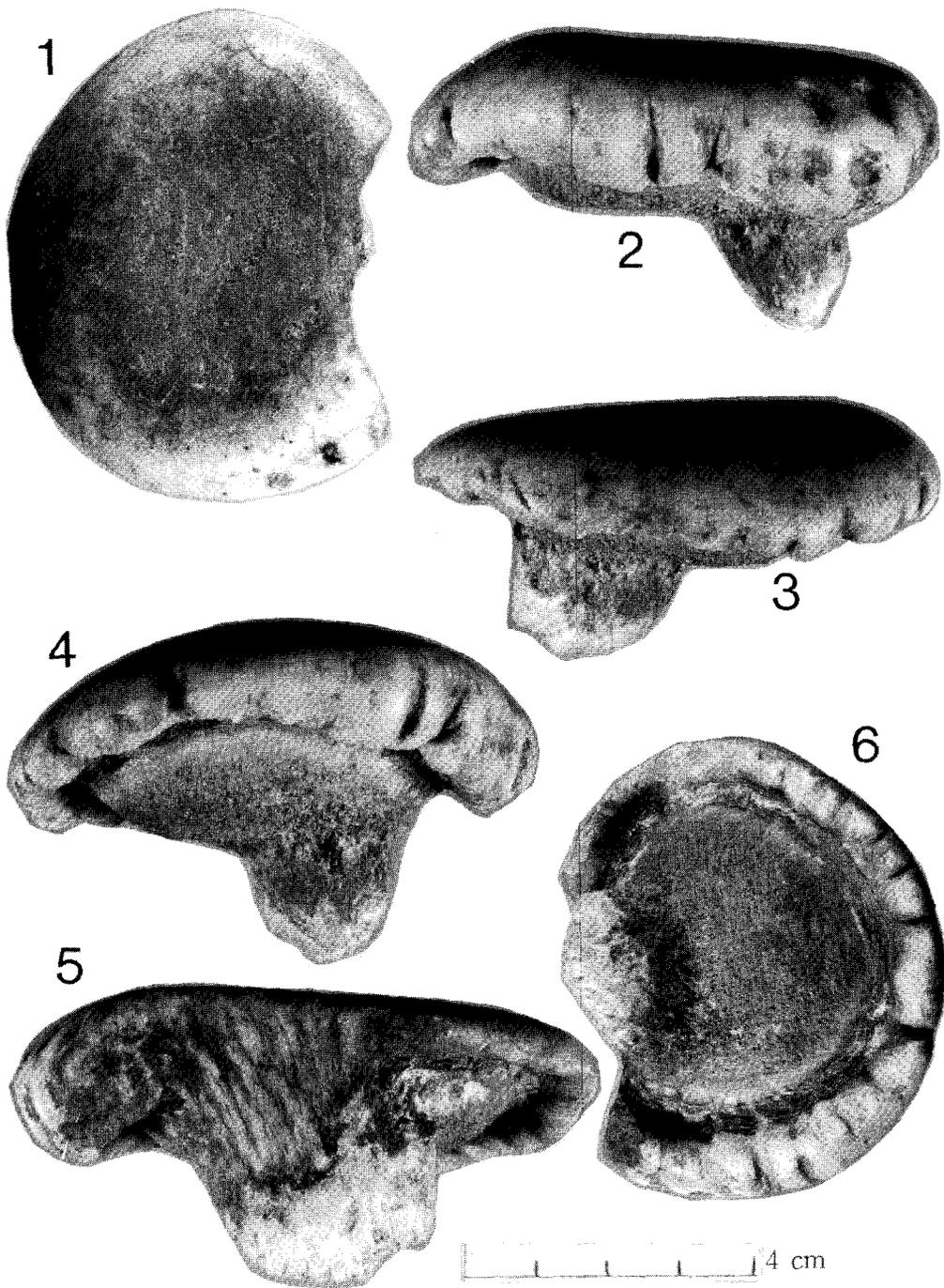


Fig. 3. Photograph of mushroom fossil 1: 1: Upper surface view of cap, 2: Side view of the mushroom fossil, showing eccentric stalk, 3: Opposite side view of 2, 4: Right side view of 3, showing cap, inner surface and stalk, 5: Opposite side view of 4, 6: Inner view of mushroom fossil.

석은 공주분지에서 어느 정도 떨어진 지역의 어느 장소에서 먼저 규화된 다음에 침식과 운반 과정을 거쳐 공주분지의 역암층에 재퇴적된 이차화석이라고 볼 수 있다. 이것이 사실이라고 한다면 우리 나라의 백악기 초기에 이미 현생과 비슷한 버섯이 존재했다는 것을 시사한다.

4.3 버섯의 규화 및 석회화작용

버섯 중에는 현생의 영지버섯과 같이 단단한 것도 있지만, 대다수는 부드러운 물질로 구성되어 있어 부패하기 쉽다. 그러므로 버섯이 자신의 생활장소로부터 원형을 유지한 채로 우연히 퇴적장소까지 운반되어 퇴적물 속에 빨리 매몰되었거나, 환원환경 하에 놓여있었다고 해도 단단한 부분이 없는 버섯과 같은 유기물은 곧 부패해 버릴 것이다. 그러나 특수한 환경 하에서는 생물체가 분해되지 않고 규화나 석회화되어 화석으로 나타나는 경우가 있다(Ohana and Kimura, 1993; Saiki, 1996). 희귀한 예로, 피자식물의 꽃의 경우 버섯보다 더 약한 구조로 되어 있음에도 불구하고 완전한 형태의 화석으로 나타나는 경우가 있다. 예를 들면 1981년 스웨덴의 스카니아 지방에서 발견된 백악기의 이암 속에서 발견된 꽃의 화석(龜井, 1985), 일본 북해도의 중기 백악기의 암모나이트의 석회암 단괴(Nishida and Nishida, 1988) 그리고 일본 북해도의 상부 백악기의 석회암(Ohana *et al.*, 1999)에서 발견된 꽃의 화석들이 있다. 이들의 암석에서 보이는 공통점은 화석을 포함하는 모암이 모두 세립질 퇴적물이며, 연체부가 모두 규화나 석회화된 상태로 나타난다는 것이다.

이들로부터 추리해 보면, 꽃이나 버섯과 같은 연체부가 빠른 매몰에 의해 세립질 퇴적물로 덮이는 경우, 퇴적물의 두께가 너무 두껍거나 계속적으로 많이 쌓이게 되면 연체부가 부패하지 않는다해도 퇴적물 자체의 무게에 의해 그 형태가 변형되거나 부서지게 될 것이다. 그러므로 연체부가 변형되지 않기 위해서는 느린 퇴적속도가 요구되고, 빠른 시간 동안에 규화나 석회화가 되어야 한다. 일단 연체부가 광물질로 치환된 후에는 속성작용의 진행에 따라서 주변의 퇴적물과

같이 석화되기 때문에 원형이 부서지지 않고 그대로 보존될 가능성이 크다. 위에서 언급한 것은 버섯이 그대로 퇴적물 속에 유입된 경우의 화석화작용이지만, 경우에 따라서는 버섯이 건조한 기후 하에서 자연 건조된 상태로 유입되는 경우도 있을 것이다. 이 경우는 버섯이 그대로 유입된 경우보다 원형의 보존에 있어 보다 유리한 조건이다.

어느 쪽이든 위의 과정에서의 문제는 규화되는데 걸리는 시간이다. 이러한 문제에 정량적으로 해답을 줄 수 있는 연구는 현재까지 없다. 단지 규화목의 경우, 규화목의 형성에 필요한 기간이 수백만 년 내지 수천만 년을 요하는 것이 통설로 알려져 있지만, pH 3의 강산 온천수에 현생의 나무 조각을 담가 놓고 행한 규화목의 형성 실험 결과에 의하면, 규화목은 수 년에서 수십 년이라는 비교적 짧은 기간 동안에 형성되었을 가능성이 시사되었다(赤羽 외, 1999). 그러나 Buurman (1972)이 언급한 바와 같이 신생대 제 4기의 지층에서는 규화목이 발견되지 않는 것으로 보아 퇴적물 내에서 규산이 침투된 재목이 고화되어 화석이 되기 위해서는 赤羽 외(1999)가 추정된 시간범위보다는 더 많은 시간을 요하는 것으로 추정된다.

버섯과 같은 유기물은 단단한 목재에 비하여 더 빨리 규화가 일어났을 것으로 생각된다. 만약 퇴적물 내에서 규화가 일어나는데 많은 시간이 걸린다고 한다면 버섯은 두꺼운 퇴적물의 자체 무게에 의하여 규화가 되는 도중에 변형이 되었거나 파괴되었을 것이다.

X-선 회절분석 결과는 그림 4와 같다. 전체적으로 피크가 뚜렷하게 나타나지 않는 것으로 보아 버섯화석을 구성하는 광물은 저결정도의 광물로 이루어져 있음을 알 수 있다. 그리고 대부분 비정질 석영으로 구성되어 있으며 약간의 경석고, 마그네슘-탄산염 광물 및 플라이트가 포함되어 있다. 버섯화석의 표면에 묽은 염산을 떨어뜨리면 약한 반응이 나타나나, 정확한 화학조성을 알기 위해서는 정량분석이 필요하다. 그러나 화학분석을 위해서는 버섯을 파괴하여야 하므로 본 연구에서는 화학분석을 생략하였다.

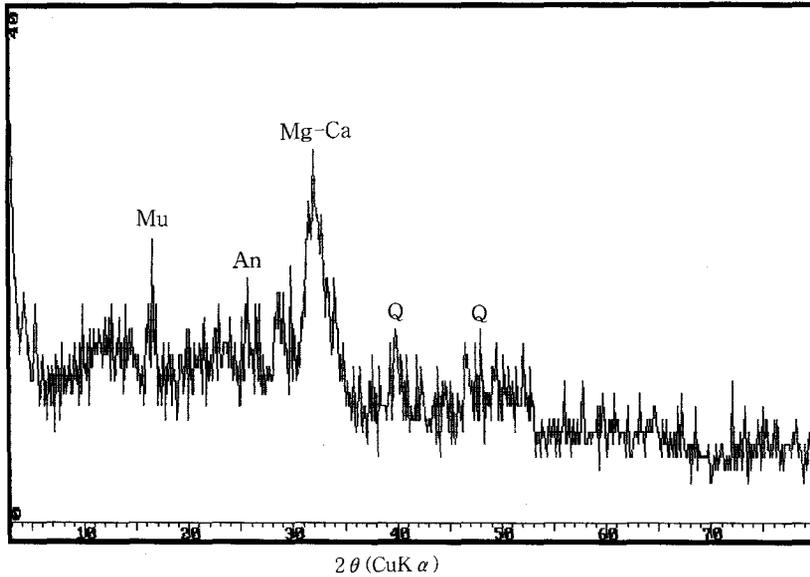


Fig. 4. X-ray diffraction pattern of mushroom fossil. Q: Quartz, An: Anhydrite, Mg-Ca: Ma-bearing Calcite, Mu: Mulite.

한편 버섯화석의 주요 구성 광물이 비정질 석영이라고 하는 것은 공극수 내에 규산이 주요한 용질로 되어 있다는 것을 의미한다. 그러므로 실리카의 기원, 규산 용액의 생성 그리고 규산 용액으로부터 규산의 침전에 대해 고찰해 볼 필요가 있다.

규화작용을 일으키는 규산은 화산쇄설암의 풍화가 주요한 기원이라고 생각되며, 토양에서도 공급될 수 있다(Buurman, 1972). 그리고 응회암도 규산의 주요한 공급원으로 알려져 있다(Murata, 1940). 현재 정확한 시기는 알 수 없으나 공주분지에서 화산암의 형성은 퇴적층 형성 이전과 퇴적작용 이후에, 그리고 퇴적층 형성시 동안 모두 있었던 것으로 추정되는 것으로 보아(정대교, 2000), 규산의 주요 공급원은 안산암과 응회암일 가능성이 크다. 이들로부터 기원된 규산용액이 포화되면 졸상의 함수규산 형태로 침전하게 되나, 규산 포화용액으로부터 규산의 침전속도와 규산의 용해도는 온도, 유속, pH 등의 영향을 크게 받는다(赤羽 외, 1999). Chigira and Watanabe (1994)에 의하면, 동일 농도용액 하에

서 규산의 침전속도는 저온, 고유속, 저pH에서 빨라진다고 한다. 규산의 용해도는 결정화된 규산(석영)에 비하여 비정질인 규산이 훨씬 높고, 고온, 고평에서 특히 pH 9~10에서 급격히 높아진다(Goto, 1956; Alexander *et al.*, 1954). 그러나 pH 9 이하에서는 실리카의 용해도는 거의 변화가 없다고 한다(Krauskopf, 1979). 한편 규산 용액으로부터 규산의 겔화는 pH 2와 pH 9 이상에서 가장 늦지만, pH 5.5 부근의 약산성 조건에서는 가장 빨리 일어난다(淺野, 1968).

그러므로 자연 조건하에서 규산 포화용액이 만들어지기 위해서는 비정질 규산의 용해도가 높은 강알칼리 조건이 필요하다. 즉 퇴적물을 구성하는 쇄설성 석영 입자와 점토광물로부터 부분적인 용해가 일어나기 위해서는 pH가 9 이상에 달해야 한다. 그러나 현재의 바다, 석호, 호수, 하천 등 실제의 예로부터 퇴적층에 있는 물의 pH가 9보다도 훨씬 높다는 것은 일반적으로 상상하기 어려우며, 또한, pH가 5 이하로 되는 것도 어렵다. 그것은 퇴적물이 퇴적되고 있는 동안에 퇴적물은 얇은 정체 수저에 있게되고, 이산화탄소나

유기물의 분해에 의해 생긴 유기산에 의해 약산성으로 되어있기 때문이다(淺野, 1968). 한편 특수한 예로서 호주의 Coorong 지역에 일시적으로 형성되는 호수에서 규산이 무기적으로 침전하여 처트가 만들어지는 것이 알려져 있다(이용일, 1994). 거기에서는 계절적으로 호수에 사는 조류의 활발한 광합성 작용에 의해 pH가 높아져서 쇄설성 석영 입자와 점토광물의 부분적인 용해가 일어나고, 그리고 규산으로 포화된 용액의 pH가 낮아지거나 증발에 의해 물의 부피가 감소하면 물 속에 용존되어 있는 규산의 침전이 일어난다고 한다.

버섯화석이 최초 만들어진 곳에서 담수의 pH를 높인 원인이 무엇인지 현재로서는 정확히 알 수 없지만 공주퇴적분지에 많이 분포하는 화산암과 화산재에 관련이 있는 것 같다. 일반적으로 화산암이나 화산유리질 성분이 풍부할 때 특히 이산화탄소가 존재하는 조건하에서는 알칼리탄산염이 생김과 동시에 pH가 증가하고, 그리고 이들이 분해될 때에 유리되는 교질규산은 수용액중의 용질로 된다(淺野, 1968). 또한 Hay (1966)에 의하면, 담수퇴적 환경에서 화산유리질로부터 몬모릴로나이트(montmorillonite)가 형성될 때 담수의 pH는 현생 퇴적층의 연구 결과 pH 9 정도의 알칼리성을 나타낸다고 한다. 위와 같은 과정에 의해서 규산이 주요한 용질로 된 용액이 만들어지고 그 용액은 강알칼리성으로 되었을 것이다. 그리고 양적으로 적기는 하지만 Mg/Ca의 비가 큰 탄산염(돌로마이트), 물라이트 및 경석고와 같은 광물도 약간 포함되어 있었을 것이다. 위와 같은 조건에서 만들어진 강알칼리성의 규산용액은 정체된 수지에서 이산화탄소, 유기물에 의해 생성된 유기산 그리고 증발에 의한 물의 부피의 감소 등에 의해 담수의 pH가 점차로 낮아져 약산성 조건으로 변했을 것이다. 이에 따라서 약알칼리 단계에서 규산 용액으로부터 규산과 일부의 돌로마이트 성분과 경석고 성분이 버섯 내부로 침전되었다고 판단된다.

Krumbein and Garrels (1952)에 의해 도시된 퇴적물에서 흔히 산출되는 자생광물의 pH와 Eh의 안정영역도에 의하면, 규산이나 탄산염이 퇴

적되기 위해서는 pH 7 이상의 약알칼리 조건이 요구된다. 그러나 일본에서 행해진 목재의 규화목 형성 실험에 의하면, 규산으로 과포화된 pH 3의 강산 조건하에서도 규산이 침전되어 목재에 규화가 진행되고 있음을 언급하고 있다(赤羽 외, 1999). 그러므로 규산의 침전 범위는 일반적으로 생각하고 있는 것보다 훨씬 넓은 범위에서 일어난 것으로 볼 수 있다.

버섯이나 나무가 퇴적물 내에서 규화되어 화석으로 변하는 과정은 기본적으로 같다고 생각된다. 생물체가 규화되는 기구에 대하여 지금까지 많은 논의가 되어왔지만 크게 치환과 충전이라는 2개의 작용이 고려된다. Felix (1897)는 치환을 규화작용의 진정한 과정으로 생각하였으나, Schopf (1971) 등은 반대로 충전을 주장하였다. Buurman (1972)에 의하면, 치환과 충전은 각기 다른 두 개의 과정으로 나타나며, 치환은 오로지 무질서한 인규석(disordered tridymite)으로 구성된 표본에서만 발견된다고 하였다. 그리고 인규석은 규산(석영)의 불완전한 형태의 하나로서 속성작용을 통하여 점차적으로 석영으로 변해간다. 그러나 규화작용은 인규석의 중간 단계를 거치지 않고도 석영이나 옥수가 직접 도관이나 가도관을 통하여 세포내강을 충전하는 과정에 의해서도 일어난다.

최근 赤羽 외(1999)의 규화목 생성 실험에 의하면, 규화는 규산의 구상체(赤羽, 1993)가 목재 조직의 세포내강을 충전하여 일어나며, 목재에 포함된 규산의 구상체는 비정질의 오팔 A와 같은 것으로 확인되었다. 그러나 Buurman (1972)은 콜로이드와 같은 구상체는 세포벽을 통과하기 어려우나 규산의 진정용액은 보다 쉽게 세포벽을 통과할 수 있다고 보는 점에서 赤羽 외(1999)의 견해와 다르다. 이와 같은 견해의 차이는 서로 다른 연구재료에서 기인한 것으로 생각한다.

결론적으로 버섯화석이 대부분 비정질 석영으로 구성되어 있다는 점에서 일본에서 행한 현생의 목재 실험에서 규명된 것과 비슷하다(赤羽 외, 1999). 따라서 본 연구에서는 버섯화석의 규화작용의 기구는 치환보다는 충전작용에 의해 만들어진 것으로 결론을 내린다. 淺野(1968)가 언급한 바와 같이, 화석에서의 규화작용은 금속광상의

모암의 규화작용과는 내용적으로 전혀 다른 현상이고, 오히려 일반의 퇴적물 입자 사이를 규산이 교결하는 작용과 비슷하다는 것을 강조하고 있다.

4.4 분류학적 연구

다음으로 생각해 보아야 할 문제는 분류학적인 문제이다. 규류의 번식은 일반적으로 포자로 이루어지지만, 포자에는 유성생식에 의하여 만들어지는 것과 무성생식에 의하여 만들어지는 것이 있다. 규류를 분류하는데 있어서 가장 중요한 기준이 되는 것은 전자이며, 이 경우 자낭포자 또는 담자포자가 만들어진다(今關 외, 1970; 이지열·홍순우, 1985). 규류가 이와 같은 포자를 만드는 경우 보통 자실체를 형성한다. 따라서, 버섯의 정확한 생식구조를 알지 못하는 한 현재의 특징만으로는 속종의 동정이 어렵기 때문에 일시적으로 미정종으로 분류해 둔다.

4.5 고기후

공주분지에 분포하는 퇴적암 중 상부층에 해당하는 화양리층의 세일층으로부터 Lee (1990)에 의해 발견된 *Frenelopsis*속은 분류상 구과식물에 속하며 중생대를 통하여 번성하였고 백악기 말에 절멸한 화석식물이다. *Frenelopsis*속의 화석식물은 우리 나라와 일본의 하부 백악계 지층을 비롯하여(立岩, 1976; Kimura et al., 1985; Saiki, 1997) 북반구 세계 각지의 하부 백악기 지층으로부터 많이 보고되어 있다(Alvin, 1982; Alvin and Pais, 1978). 이것으로 보아 공주분지의 퇴적암은 식물화석에 의해 국내외의 하부 백악계 지층에 대비할 수 있다.

한편 *Frenelopsis*속은 열대나 아열대 건조 기후의 지시자로서 잘 알려져 있으며(Alvin, 1982), 또한 호열성 식물로도 잘 알려져 있다(Saiki, 1997). 그러므로 공주 퇴적분지를 비롯한 우리나라의 하부 백악계 지층에 *Frenelopsis*속의 존재는 당시의 고기후가 열대 내지 아열대의 건조한 기후였다는 것을 추정할 수 있다. 이러한 기후는 퇴적물의 색에 의해서도 확인할 수 있다. 공주분지의 퇴적암류에 포함된 세일이나 실트스톤의 색이 대체로 적색을 띠는 것은 건조기후와 관련이

있다고 생각된다.

5. 결론

송선리층의 역암층에서 산출된 버섯화석은 공주분지의 형성 전에 공주분지의 인근 지역에서 이미 화석화가 된 것으로 판단되며, 이 경우 비교적 빠른 기간 동안에 충전작용에 의해 규화 및 석회화가 일어난 것으로 추정된다. 그 후 버섯화석은 침식작용과 운반작용을 거쳐 공주 퇴적분지로 유입되어 이차화석으로 재퇴적된 것으로 판단된다. X-선 회절분석 결과, 버섯을 이루는 광물은 저결정도의 비정질 석영, 탄산염 광물(돌로마이트), 경석고 및 플라이트로 구성되어 있다. 이것으로부터 판단하면 강알카리 조건에서 약간의 탄산염, 경석고 및 플라이트 성분을 포함한 규산의 과포화용액이 만들어진 후에 여러 가지 요인에 의해 담수의 pH가 낮아짐에 따라서 규산을 비롯한 여러 광물성분들이 버섯 내부로 침투되어 버섯의 조직을 충전하였다고 추정된다. 버섯화석의 외부형태는 현생의 버섯과 비슷한 것이 여러 가지 있지만 아직 연구가 진행 중에 있기 때문에 일시적으로 미정종의 화석으로 분류하였다.

참고문헌

- 강필중, 임주환, 1974, 한국지질도(1:50,000), 광정도 폭 및 설명서. 국립지질광물 연구소, 13 p.
- 이문원, 원종관, 김광호, 1992, 경기 육괴 내에서의 화산활동과 암석학적 연구. 지질학회지, 28, 314-333.
- 이용일, 1994, 퇴적암석학. 우성, 333 p.
- 이지열, 홍순우, 1985, 한국동식물도감, 28, 고등균류편(버섯류), 문교부, 952 p.
- 정대교, 2000, 백악기 공주 퇴적분지 퇴적층에 대한 퇴적상 해석. 대한지질학회 추계 공동학술발표회 초록집, 6 p.
- 龜井 節夫, 1985, 太古の世界を探る. 東京書籍出版, 207 p.
- 今關 六也, 本郷 次雄, 椿 啓介, 1970, 菌類, 標準原色圖鑑全集, 14, 175 p.
- 淺野 五郎, 1968, 松岩の産狀と顯微鏡的性質. 九州鑛山學會誌, 32, 181-201.
- 立岩 巖, 1976, 朝鮮-日本列島地帶地質構造論考(朝

- 鮮地質調査研究史). 東海大學出版, 654 p.
- 赤羽 久忠, 1993, 富山縣立山温泉新湯における蛋白石の生成. 岩鑛雜誌, 88, 469-477.
- 赤羽 久忠, 古野 毅, 宮島 宏, 後藤 道治, 太田 敏孝, 山本 茂, 1999, 温泉水の流れの中における硅化木形成實驗(硅化速度測定硅酸浸透機構). 日本地質學雜誌, 105, 108-115.
- Alexander, G.B., Heston, W.M. and Iler, R.K., 1954, The solubility of amorphous silica in water. *Journal of Physical Chemistry*, 58, 453-455.
- Alvin, K.L., 1982, Cheirolepidiaceae: Biology, structure and paleoecology. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 37, 71-98.
- Alvin, K.L. and Pais, J.J.C., 1978, A *Frenelopsis* with opposite decussate leaves from the Lower Cretaceous of Portugal. *Palaeontology*, 21, 873-879, pls. 101-102.
- Alvin, K.L. and Muir, M.D., 1970, An epiphyllous fungus from the Lower Cretaceous. *Biological Journal of Linne Society*, 2, 55-59.
- Brown, R.W., 1940, A bracket fungus from the late Tertiary of southwestern Idaho. *Journal of the Washington Academy of Sciences*, 30, 422-424.
- Buurman, P., 1972, Mineralization of fossil wood. *Scripta Geologica*, 12, 1-43.
- Chigira, M. and Watanabe, M., 1994, Silica precipitation behavior in a flow field with negative temperature gradients. *Journal of Geophysical Research*, 99, 15539-15548.
- Choi, S.J., Chun, H.Y., Kim, Y.B. and Kim, B.C., 1997, Stratigraphy and paleontology of the Cretaceous Sedimentary strata in the Kongju Basin. KIGAM Research Report, KR-97(C)-1, 58 p.
- Daghlian, C.P., 1978, A new melioid fungus from the Early Eocene of Texas. *Palaeontology*, 21, 171-176.
- Dennis, R.L., 1968, Fossil Mycelium with clamp connections from the Middle Pennsylvanian. *Science*, 163, 670-671.
- Dilcher, D.L., 1965, Epiphyllus fungi from Eocene deposit in western Tennessee, USA. *Palaeontographica*, B 116, 1-54.
- Felix, J., 1897, Untersuchungen über den Versteinungsprozess und Erhaltungszustand pflanzlicher membranen. *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, 49, 182-192.
- Goto, K., 1956, Effect of pH on polymerization of silica acid. *Journal of Physical Chemistry*, 60, 1007-1008.
- Hay, R.L., 1966, Zeolite and Zeolitic reaction in sedimentary rocks. *Geological Society of America, Special Paper*, 85, 130 p.
- Kim, S.W., Yoo, H.S. and Woo, Y.K., 1976, Geological atlas of Korea(1:50,000), Gongju sheet and the explanatory text. *Korea Research Institute Geoscience and Mineral Resources*, 29 p.
- Kimura, K., Saiki, H. and Arai, T., 1985, *Frenelopsis choshiensis* sp. nov., a Cheirolepidaceae conifer from the Lower Cretaceous Choshi Group in the Outer Zone of Japan. *Proceeding of the Japan Academy*, 61, 426-429.
- Krauskopf, K.B., 1979, *Introduction to Geochemistry*. Second edition, McGraw-Hill International Series in the Earth and Planetary Sciences, 617 p.
- Krumbein, W.C. and Garrels, R.M., 1952, Origin and classification of chemical sediments in terms of pH and oxidation-reduction potentials. *Journal of Geology*, 60, 1-33.
- Lee, J.Y., 1990, Structural Evolution of the Gongju Basin. Ph.D. thesis, Seoul National University(in Korean with English abstract), 219 p.
- Millay, M.A. and Taylor, T.N., 1978, Chytrid-like fossils of Pennsylvanian age. *Science*, 200, 1147-1149.
- Murata, K.J., 1940, Volcanic ash as a source of silica for the silification of wood. *American Journal of Science*, 238, 586-596.
- Nishida, H. and Nishida, M., 1988, *Protomonimia kasai-nakajhongii* gen. et. sp. nov. : a Permineralized Magnolialean Fructification from the Mid-Cretaceous of Japan *Botanical Magazine, Tokyo*, 101, 397-426.
- Ohana, T. and Kimura, T., 1993, Permineralized *Brachyphyllum* leafy branches from the Upper Yezo Group(Coniacian-Santonian), Hokkaido, Japan. *Bulletin National Science Museum, Tokyo, Ser. C*, 19, 41-64.
- Ohana, T., Kimura, T. and Chitaley, S., 1999, *Keraocarpon* gen. nov., magnolialean fruits from the Upper Cretaceous of Hokkaido, Japan. *Paleontological Research*, 3, 294-302.
- Saiki, K., 1996, *Pinus mutoi*(Pinaceae), a new species of permineralized seed cone from the Upper Cretaceous of Hokkaido, Japan. *American Journal of Botany*, 83, 1630-1636.
- Saiki, K., 1997, *Frenelopsis pombetsuensis*: a new cheirolepidiaceae conifer from the Lower Cretaceous (Albian) of Hokkaido, Japan. *Paleontological Research*, 1(2), 126-131.
- Seward, A.C., 1969, *Fossil plants* 1. 2nd printing, Hafner Publishing Company, 452 p.
- Shimamura, S., 1931, Geological atlas of Korea (1:50,000), Cheongyang, Daecheon, Buyeo and Nampo sheets and the explanatory text. *Geological Survey of Chosen(Korea)(in Japanese with English summary)*, 13, 11 p.

- Schopf, J.M., 1971, Notes on plant tissue preservation and mineralization in a permian deposit of peat from Antarctica. *American Journal of Science*, 271, 522-543.
- Taylor, T.N., 1981, *Paleobotany. An introduction to fossil plant biology*. McGraw-Hill, Inc., 589 p.
- Taylor, T.N., Galtier, B. J. and Axsmith, B. J., 1994, Fungi from the Lower Carboniferous of central France. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 83, 253-260.

투 고 일 : 2000년 8월 29일

심 사 일 : 2000년 8월 29일

심사완료일 : 2000년 12월 1일