

트라이아스기 후기의 아미산층에서 발견된 빗방울자국

김종헌^{1,*} · 김영태² · 이상규³

¹공주대학교 사범대학 지구과학교육과, 314-701 충남 공주시 신관동 182

²부여고등학교, 323-800 충남 부여군 부여읍 가탑리 259

³홍동중학교, 350-810 충남 홍성군 홍동면 구정리 716

Raindrop Imprints from the Late Triassic Amisan Formation of Nampo Group, Korea

Jong-Heon Kim^{1,*} · Young-Tae Kim² · Sang-Gyu Lee³

¹Department of Earth Science Education, Kongju National University, Chungnam 314-701, Korea

²Buyeo High School, Buyeo-Gun, Chungnam 323-800, Korea

³Hongdong Middle school, Hongseon-Gun, Chungnam 350-810, Korea

Abstract: Seven specimens of raindrop imprints are discovered from the Late Triassic Amisan Formation of Nampo Group distributed in the Myeongam area of Boryeong-City, Chungcheongnam-do. The raindrop imprints are interpreted to had been formed in lacustrine environments under subtropical humid climate during the lowered period of the surface of the water by temporally or seasonally arid climate. The raindrop imprints are the first finding in the Lower Mesozoic Nampo Group, Korea.

Key words: Late Triassic, Amisan Formation, raindrop imprints, subtropical humid climate

요약: 충남 보령시 명암 지역에 분포하는 트라이아스기 후기의 아미산층으로부터 7개의 빗방울자국 표본이 발견되었다. 빗방울자국은 습윤한 아열대의 호성환경하에서 일시적 또는 계절적으로 건조한 기후에 수면의 저하시기에 형성된 것으로 해석된다. 이들 빗방울자국은 하부 중생대 남포층군에서는 처음으로 발견된 것이다.

주요어: 트라이아스기 후기, 아미산층, 빗방울자국, 아열대의 습윤기후

서론

충청남도 보령시 명암 지역에 분포하는 트라이아스기 후기의 아미산층에서 빗방울자국이 처음으로 발견되었다. 빗방울 자국은 운석충돌구와 같은 모양을 하고 있으며 보존 상태가 비교적 양호하다.

빗방울자국은 주로 육성층에서 발견되며, 실트암이나 사암층의 층리면에 캐스트로서 흔히 나타난다(Pettijohn, 1975). 이러한 빗방울자국은 1845년 Deane에 의해 처음으로 기재된 이래(Shrock, 1948), 세계 각지의 여러 시대의 지층으로부터 보고되어 왔다(Lyell, 1851; Twenhofel, 1960). 가장 오래된 빗방울자국은 Westhuizen *et al.*(1989)에 의해서 남아프리카의 Late Archean -

Early Proterozoic Ventersdrop 누층군으로부터 보고되었다.

우리 나라에서 빗방울자국은 Kobayashi(1966)에 의해 강원도 동점의 캄브리아기의 화절층에서 처음 보고되었고, 이어서 장기홍(1967)에 의해 백악기의 대구층 최하부로부터 빗방울자국이 보고되었다. 그 후 국내의 여러 연구자들에 의하여 주로 백악기 경상누층군의 육성층에서 빗방울자국이 보고되었다(장기홍, 1967; 장기홍, 1992; Choi, 1996; 백광석 · 서승조, 1998). 한편 우리 나라에서 가장 오래된 빗방울자국은 Kim *et al.*(1999)에 의하여 용진군 소청도의 후기 원생대 상원계 지층으로부터 보고된 바 있다.

빗방울자국의 존재는 퇴적물이 국부적으로 공기 중에 노출되었던 시기를 지시하는 증거로서 퇴적 환경 해석과 지층의 상하 관계를 판단하는 증거로 사용될 수

*E-mail: jongheon@mail.kongju.ac.kr

있다는 점에서 매우 중요한 자료이다(Shrock, 1948). 이 연구는 트라이아스기 후기의 아미산층에서 발견된 빗방울자국을 기재하고, 현생에서 생성되는 빗방울자국과 비교함으로써 빗방울자국의 생성 과정 및 빗방울자국을 포함하는 퇴적암에 대한 퇴적 환경을 해석하고자 한다.

연구 지역의 지질

연구 지역의 아미산층을 포함하고 있는 충남탄전은 경기 육괴의 남서부에 위치하고 있으며 선캄브리아시대의 변성암류를 부정합으로 덮고 있다. 충남탄전에 대한 지질학적 연구는 일본의 지질학자인 Shimamura (1931)에 의해 처음 이루어졌고, 그 후, 임상호 외 (1965), 손치무 외(1967), 이돈영 외(1974), 서해길 외

(1980) 등에 의하여 수행되었다. 이들의 연구는 주로 석탄자원의 개발과 매장량 조사를 위한 연구의 일환으로서 수행되었다.

서해길 외(1980)에 의하면, 충남탄전의 남포층군은 하부로부터 하조층, 아미산층, 조계리층, 백운사층, 성주리층으로 구분되며, 이들 층은 호성 내지 하성의 퇴적 환경에서 형성되었다고 해석되었다(최현일, 1987; 최현일 외, 1988). 이들 층의 형성 시기는 대체적으로 트라이아스기 후기부터 쥐라기 전기까지로 추정되고 있으나(Kimura and Kim, 1984; 전희영 외, 1988), 아미산층과 백운사층에서 고기형에 속하는 식물 화석이 많이 산출되는 점으로 보아 트라이아스기 후기로 추정된다(Kim, 1989; Kim and Kimura, 1987, 1988).

빗방울자국이 산출된 지층은 아미산층의 중부 세일대이며, 그 위치는 Fig. 1과 같다.

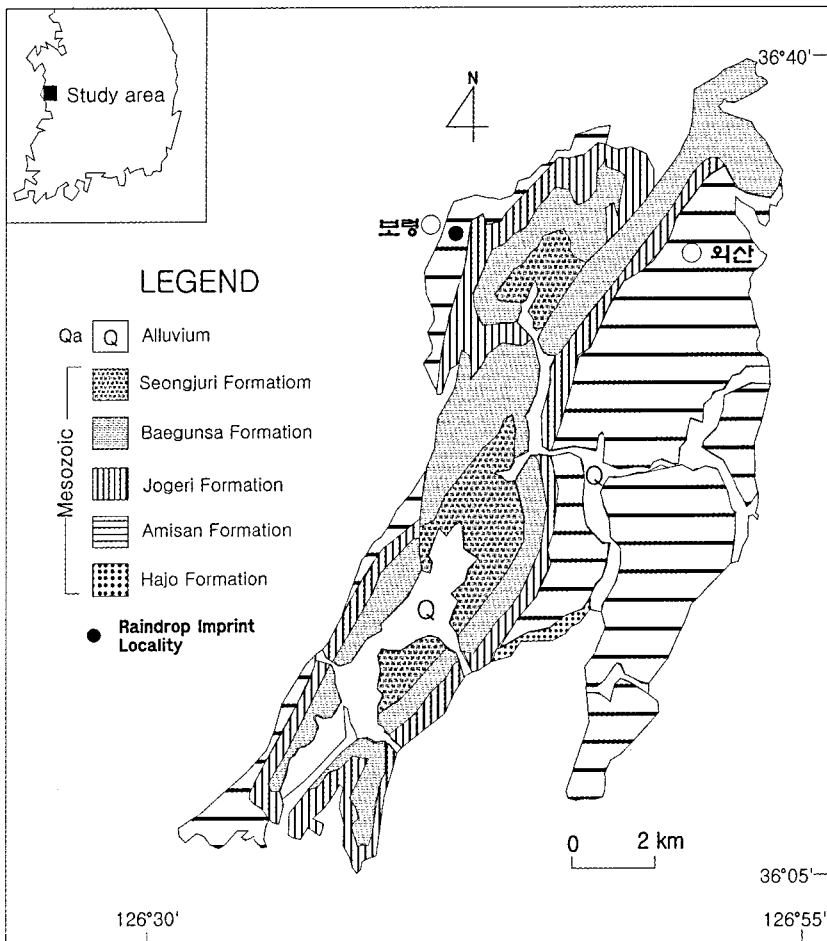


Fig. 1. Geologic map of the study area (after Choi *et al.*, 1986) and raindrop imprints locality.

빗방울자국의 산출

빗방울자국은 사용자에 따라 조금씩 다르게 표현되고 있다. 예를 들면, 영어의 표현으로는 rain print, raindrop imprint, raindrop impression, rain-pits 등이 있으며, 한글 용어로는 우흔, 우적흔, 빗자국, 빗방울자국 등이 사용되고 있다. Glossary of Geology(Bates and Jackson, 1980)에서는 raindrop imprint 보다는 rain print에 대한 설명을 자세히 하고 있지만 빗방울에 의한 자국을 강조하기 위하여 영어 표현으로는 raindrop imprint를, 한글 용어로는 빗방울자국을 사용하는 것이 합리적인 용어라고 생각된다.

빗방울자국이 발견된 곳은 충남 보령시 명암 지역에 분포하는 아미산층의 중부 세일대이며(Fig. 2), 과거에 버루의 원석인 청석을 채굴하였던 곳으로 층리가 잘 발달되어 있는 세일층이 분포하고 있다. 이곳에서는 식물 화석을 비롯하여 절지동물과 수서 곤충의 화석이 함께 산출되고 있다.

이 지역에 노출된 세일층의 두께는 약 50m이며 부분적으로 사질 세일, 사암 및 이암 등이 얇게 협재되어 있다. 빗방울자국을 포함하는 세일층의 주향은 N40E, 경사는 80SE로서 거의 수직에 가깝다.

이 지역에서 발견된 빗방울자국은 모두 7개이나 그 중 1개만이 Fig. 2의 중부 세일대의 층리면에서 산출되었고, 나머지 6개는 빗방울자국을 포함하는 지층 주변의 전석에서 발견되었다. 빗방울자국이 보존된 암석을 자세히 관찰해 보면 암질이 조금씩 다르게 나타나

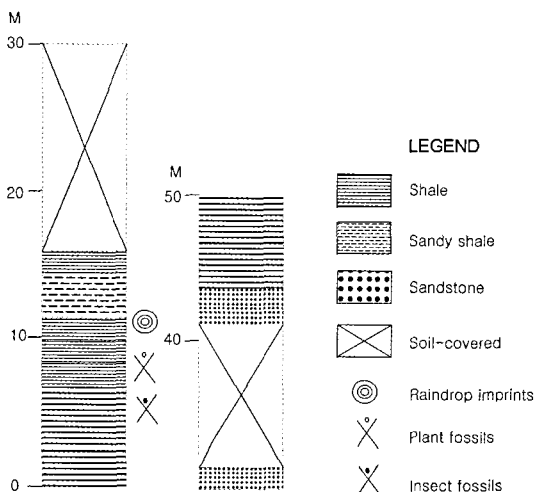


Fig. 2. Columnar section of the study area in which the raindrop imprints were discovered.

나 크게 흑색 세일과 사질 세일로 구분할 수 있다.

Fig. 3의 1(표본 1)은 5개의 표본 중 빗방울자국의 모양이 비교적 뚜렷하고 등굴게 나타난다. 빗방울자국의 크기는 1mm에서 4mm까지의 분포를 보이며, 분포 밀도는 4~5개/cm²이다.

Fig. 3의 2(표본 2)는 세일층의 층리면에서 발견된 빗방울자국이지만 수평적인 연속성은 나타나지 않으며, 그 크기는 1~3mm 정도이고, 분포 밀도는 11~14개/cm²이다. 그러나 퇴적물이 공기 중에 장기간 노출되었을 때 나타나는 건열 구조는 층리면과 그 주변에서 발견되지 않는다. 빗방울자국이 발견된 세일층은 하부의 세일과는 달리 매우 얇게 쪼개지고 부서지기 쉬우며, 층리면을 따라서 식물 화석의 파편과 곤충 화석 그리고 결핵체가 부분적으로 나타난다. 식물 화석은 모두 파편상을 이루고 있어 주변에서 이동하여 들어온 것임을 알 수 있고, 수서 곤충은 대부분 유충 화석이 많다.

Fig. 3의 3(표본 3)은 사질 세일 위에 형성된 것으로 그 크기는 3~7mm 정도이고, 분포밀도는 3~4개/cm²이다.

Fig. 3의 4(표본 7)에 나타난 빗방울자국은 상당히 크고 가장 뚜렷하게 나타나며, 그 형태는 원형내지 타원형을 이루고 가장자리가 약간 울라간 특징을 갖는다. 이들의 두 표본은 빗방울자국의 형태와 크기가 서로 비슷한 것으로 보아 처음부터 같은 층리면에 보존되었던 것이 후에 분리된 것으로 판단된다. 여기에 나타난 빗방울자국의 대부분은 다른 물질로 채워져 있다.

이 지역에서 발견된 빗방울자국들의 특징은 Table 1과 같다.

현생 빗방울자국의 형성 과정

퇴적암에서 발견되는 빗방울자국은 그 형성 과정을 추정하기가 어려우며, 실험을 통하여 빗방울자국을 재현하는 것 역시 쉽지 않다. 그러나 때로는 현생에서 빗방울자국이 만들어지는 과정을 관찰할 수 있는데, 1998년 여름 보령시 오천면의 채석장 부근에서 우연히 관찰 할 수 있었던 빗방울자국의 형성 과정은 다음과 같다.

채석장 주변에는 공사 과정에서 나온 많은 흙더미가 있는데, 비가 내리면 이들은 지표수와 함께 아래 쪽으로 흘러 내려가게 된다. 이 때 유수는 여러 종류의 퇴적물을 운반하여 저지대에 퇴적시키며, 경사가

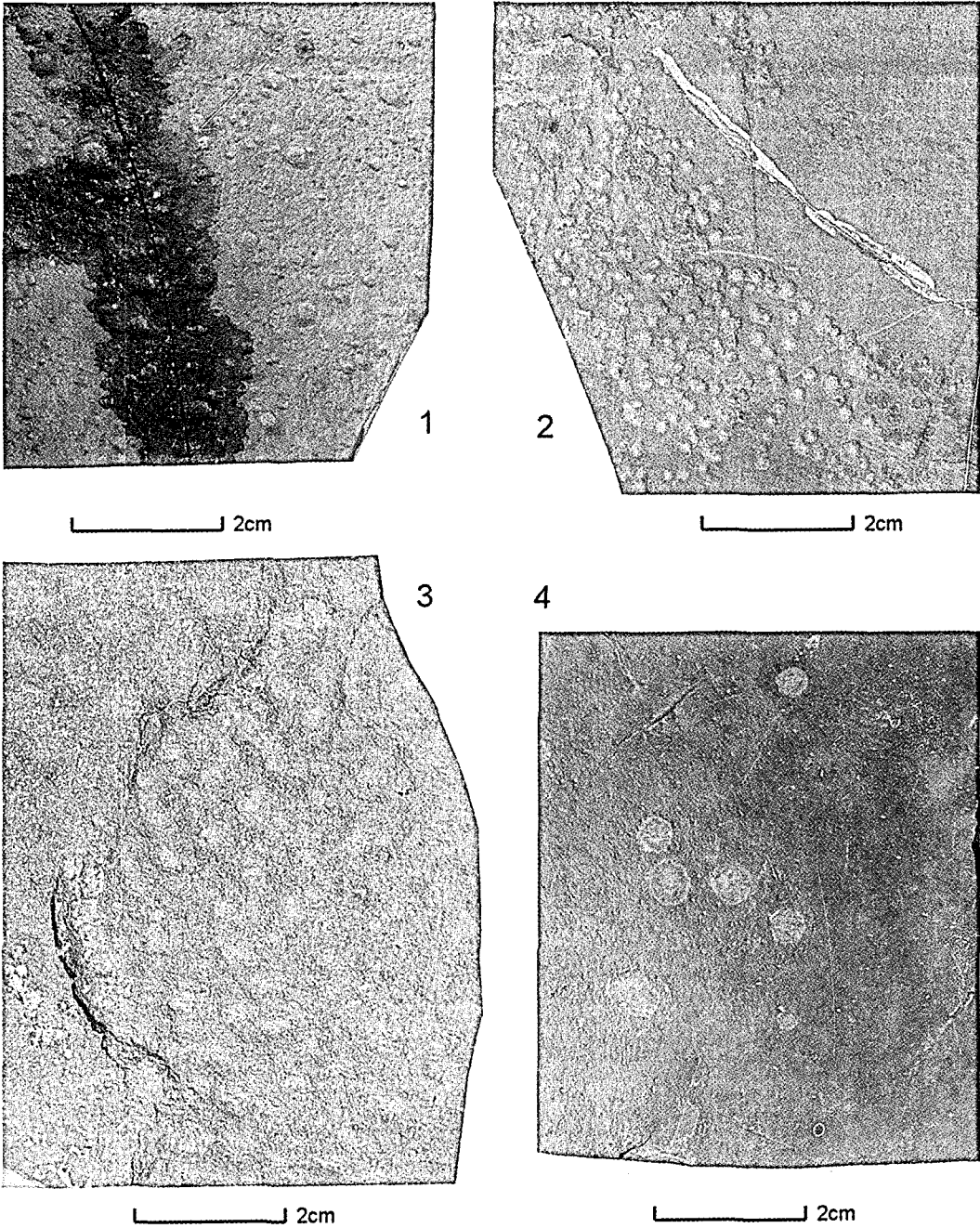


Fig. 3. Photographs of the raindrop imprints discovered from the study area.

낮은 지역에서는 점토 또는 실트와 같은 세립질 퇴적물이 층을 이루게 된다. 비가 그치면 이들 세립질 층은 공기 중에 바로 노출되게 된다. 이때 비가 내리면 Fig. 4의 1과 같이 다양한 크기를 갖는 현생 빗방울자국이 만들어지게 되는데, 그 형태는 운석충돌구

와 같이 원형 내지 타원형을 이루며 가장자리가 약간 올라간 특징을 갖게 된다.

빗방울자국이 만들어진 후 물이 완전히 마르면 건조열이 나타나기 시작하는데(Fig. 4의 2), 이러한 상태가 계속되면 퇴적물은 단단하게 굳어져 버린다. 일단

Table 1. Characteristics of raindrop imprints from the Amisan Formation.

Character	Sample number	1	2	3	4	5	6	7
lithology		black shale	black shale	sandy shale	black shale	sandy shale	black shale	black shale
density		4 ~ 5/cm ²	11 ~ 14/cm ²	3 ~ 4/cm ²	1 ~ 2/cm ²	3 ~ 4/cm ²	1/cm ²	1/cm ²
diameter		1 ~ 4 mm	1 ~ 3 mm	3 ~ 7 mm	4 ~ 10 mm	2 ~ 5 mm	4 ~ 8 mm	3 ~ 8 mm
shape		circular	circular	circular, elliptical	elliptical, polygonal	circular, elliptical	circular	circular

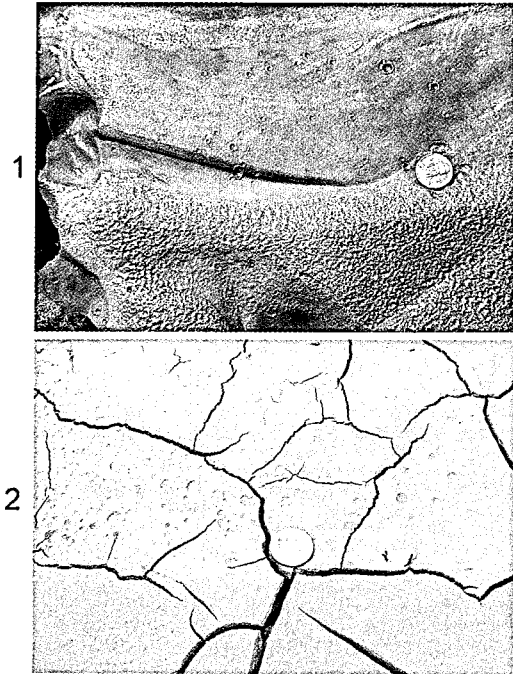


Fig. 4. The present raindrop imprints and mud cracks (The diameter of the coin is 2.3 cm).

굳어진 퇴적물에는 빗방울이 떨어져도 빗방울자국이 만들어지기는 어렵다. 결과적으로 빗방울자국이 만들어지기 위해서는 세립질 퇴적물이 공기 중에 노출된 후 굳어지기 전까지의 잠깐 사이에 비가 내려야만 한다는 전제 조건이 필요하다.

또한, 빗방울자국은 동시에 형성되어도 그 모양과 크기가 다양한데 그 이유는 빗방울의 크기와 떨어지는 각도에 따라 모양과 크기가 달라지기 때문이며 수직으로 떨어지면 원형 모양, 비스듬히 떨어지면 타원형의 모양이 만들어진다.

그러나, 위와 같은 과정에 의해 빗방울자국이 만들어졌다고 해서 반드시 퇴적 구조로 보존되는 것은 아니다. 장기홍(1967)에 의해 이미 언급된 바와 같이 현생 빗방울자국이 만들어진 퇴적물 위에 다른 퇴적

물이 빗방울자국을 손상시키지 않고 조용히 쌓일 수 있는 조건에서 빗방울자국이 퇴적구조로서 보존될 수 있다.

빗방울자국의 산출과 그 의의

Collinson and Thompson(1982)에 의하면 빗방울자국은 흔히 건열과 함께 산출되며 층리면에 산점상으로 나타나지만 그 간격은 일정하지 않다. 이들의 모양은 원형, 또는 드물게 타원형을 이루며, 어떤 것은 직경이 1cm에 달하고, 깊이는 수 mm에 이른다. 빗방울자국이 표면을 완전히 덮고 있을 때는 다각형으로 보이기도 하는데 이러한 특징이 표본 4에서(Table 1) 잘 나타나고 있다.

현생 빗방울자국의 경우, 그 형태가 운석충돌구와 같은 모양으로 원형 내지 타원형을 이루며 가장자리가 약간 올라가 있는 특징이 잘 나타나지만 연구 지역에서 발견된 빗방울자국은 원형이나 타원형의 모양을 하고 있으나 현생 빗방울자국과 같이 가장자리의 융기된 윤곽은 그리 뚜렷하지 않다. 원형의 빗방울자국이 나타나는 것은 수직으로 떨어진 빗방울에 의해서 형성된 것임을 알 수 있으며, 타원형의 빗방울자국은 비스듬히 떨어진 빗방울에 의해 만들어진 것이다(Clifton, 1977).

빗방울자국이 발견된 아미산층의 중부 세일대는 주로 엽층리가 잘 발달된 세일과 실트스톤으로 구성되어 있는데, 이 지층에서 산출된 담수어류, 패각류, 식물 화석은 호수환경을 지시한다.

또한, 남포층군에서 산출되는 식물 화석의 연구 결과에 의하면 빗방울자국이 발견된 층이 생성될 당시의 고기후는 습윤한 열대(Kobayashi, 1942) 또는 아열대의 습윤한 기후(Kimura and Kim, 1984)로 추정되고 있다. 그리고 평양 부근의 대동층군에서 산출된 규회목(Shimamura, 1931)에 연륜이 나타나는 것으로 보아 그 당시 계절이 존재했다고 판단된다. 그러므로

아미산층 내의 빗방울자국은 습윤한 기후가 계속되는 중에 일시적 또는 계절적인 건조 또는 반건조한 기후 동안에 있었던 수면의 저하 시기에 형성된 것으로 생각된다.

수면의 저하가 일어나는 원인에는 여러 가지가 있을 수 있다. 보통 외부 수계와 연결된 호수의 경우 계절적으로 건조한 날씨에 의해 수면의 저하가 일어날 수 있다. 그리고 강수의 양에 따라 호수에 유입되는 유량의 차이에 의해 수면의 변동이 일어날 수 있으며, 두 가지 경우의 복합에 의해서도 일어날 수 있다. 그러므로 연구 지역의 빗방울자국은 습윤한 기후가 계속되던 시기 중에 수면의 저하가 있었으며 이때 지상에 노출된 호수 주변부의 세립질 퇴적물에 간헐적으로 내린 비에 의해 빗방울자국이 만들어 진 후 단단하게 굳어졌으며, 이들이 풍화 되기 전에 수면에 잠겨서 새로운 퇴적물이 빗방울자국 위에 조용히 퇴적됨으로써 퇴적 구조로서 보존된 것으로 해석된다. 그러나 빗방울자국이 발견된 명암 부근에서 건열 구조가 수반되지 않는 것으로 보아 퇴적물의 공기중 노출은 극히 짧았던 것으로 판단된다.

한편, 빗방울자국은 생흔 화석이나 공기방울의 배출자국 등과 혼동할 수 있으나 이는 밑에 있는 지층에 교란의 흔적이 없다는 점에서 서로 다르다(Collinson and Thompson, 1982; 조성권 외, 1995). 우박이 퇴적물에 떨어졌을 경우 빗방울자국과 비슷한 우박자국을 만들게 되는데 우박자국은 일반적으로 빗방울자국보다 규모가 크고, 깊으며, 모양이 불규칙하고 가장자리가 더 거칠게 나타난다(Lyell, 1851; Reineck and Singh, 1980).

빗방울자국은 세립질 퇴적물이 공기 중에 노출되는 환경에서 만들어질 수 있다. 범람원, 호수의 가장자리, 조간대 등의 장소가 빗방울자국이 보존되기에 아주 좋은 장소이다(Picard and High, 1973). 우리나라에서 빗방울자국은 범람원, 조간대, 호성층, 하성층 등의 다양한 환경에서 보고되어 있다(Kim et al., 1999). 이들 중 대부분은 백악기의 경상누층군으로부터 보고된 것이며, 선캄브리아시대와 고생대의 지층에서는 각각 1천석의 산출이 알려져 있다. 그러나 전기 중생대층에 속하는 남포층군에서는 지금까지 빗방울자국의 산출이 보고된 적이 없다. 따라서, 본 연구 지역에서의 빗방울자국의 발견은 매우 의의가 크며, 앞으로 이 지역의 세부적인 퇴적 환경을 구명하는데 많은 도움이 될 것으로 판단된다.

결 론

충남 보령시 명암 지역에 분포하는 트라이아스기 후기의 아미산층에서 처음으로 빗방울자국이 발견되었다. 빗방울자국의 모양은 원형 또는 타원형으로 현생 빗방울자국과 비슷하지만 현생의 빗방울자국과 같이 가장자리의 윤곽이 뚜렷하지 않다. 아미산층에서 발견된 빗방울자국은 남포층군이 형성될 당시 습윤한 기후가 계속되던 기간에 수면의 저하가 있었고, 이 시기에 공기 중에 노출된 세립질 퇴적물에 간헐적으로 내린 비에 의하여 형성된 것으로 보인다. 또한 빗방울자국이 건열 구조와 동반되지 않는 것으로 보아 공기 중에 노출된 기간은 극히 짧았던 것으로 판단된다.

사 의

이 연구는 공주대학교 과학교육연구소의 학술연구비 지원으로 수행되었다.

참고문헌

- 백광석 · 서승조, 1998, 경남 고성군 동해면 일대 진동층에서 발견된 공룡 생흔화석. 한국고생물학회지, 14(1), 81-98.
- 서해길 · 김동숙 · 박석환 · 임순복 · 조민조 · 배두중 · 이창범 · 이돈영 · 유양수 · 박정서 · 장윤환, 1980, 충남탄전(1) 성주지역. 석탄자원 보고서. 자원개발연구소, 42 p.
- 손치무 · 정창희 · 김봉균 · 이상만, 1967, 충남탄전 정밀조사 보고서. 제 6, 119-156.
- 이돈영 · 유양수 · 강기우 · 예종근 · 류병화, 1974, 충남탄전 정밀조사보고서. 상공부, 동아 응용지질콘설턴트, 50 p.
- 엄상호 · 최승오 · 김승우, 1965, 충남탄전지질조사보고. 국립지질조사소, 6, 67-94.
- 장기홍, 1967, 백악기 화석 빗자국의 한 산출. 지질학회지, 3(1), 64-67.
- 장기홍, 1992, 한국 백악기 육성층의 빗자국(특히 천연기념물 제196호). 천연기념물(화석, 암석류) 및 공룡발자국 화석류 조사보고서, 대한지질학회, 85-99.
- 전희영 · 봉필운 · 이호영 · 최성자, 1988, 함탄퇴적 분지의 층서연구(충남탄전 지역을 중심으로). 지사연구, 한국동력자원연구소, KR-87-28, 52 p.
- 조성권 · 이철우 · 손영관 · 황인걸, 1995, 퇴적학. 우성, 512 p.
- 최현일, 1987, 충남탄전 동부지역 대동지층의 퇴적환경 및 분지 발달. 석탄자원조사연구(V), 한국동력자원연구소, KR-86-2-10, 1-55.
- 최현일 · 김동숙 · 서해길, 1988, 충남탄전 대동지층의 층서, 퇴적환경 및 분지발달. 한국동력자원연구소, KR-87-(B)-

- 3, 97 p.
- Bates, R.L. and Jackson, J.A., 1980, Glossary of Geology. Second edition, American Geological Institute Falls Church, Virginia, 751 p.
- Choi, Y.S., 1996, Structural evolution of the Cretaceous Eumseong Basin, Korea. Ph.D. thesis, Seoul National University, Seoul, 158 p.
- Clifton, H.E., 1977, Rain impact ripples. *Journal of the Sedimentary Petrology*, 47, 678–679.
- Collinson, J.D. and Thompson, D.B., 1982, *Sedimentary structures*. George Allen and Unwin Ltd., 194 p.
- Kim, J.H., 1989, *Sphenophyllum* sp. (Sphenophyllales) newly found from the Upper Triassic Baegunsa Formation, Nampo Group, Korea. *Bulletin of the National Science Museum, Tokyo, Series 2*, 15(3), 93–96.
- Kim, J.H. and Kimura, T., 1987, Fossil plants from the Baegunsa Formation, Nampo Group, Korea (abstract). Pacific Science Congress Association, 16th Congress, p. 271.
- Kim, J.H. and Kimura, T., 1988, *Lobatannularia nampoensis* (Kawasaki) Kawasaki from the Upper Triassic Baegunsa Formation, Nampo Group, Korea. *Proceedings of Japan Academy Science, Series B*, 64(8), 221–224.
- Kim, J.Y., Kim, K.S., and Kim, T.S., 1999, Raindrop imprints from the Late Proterozoic Sangwon System of the Socheong Island of Ongjin-gun, Incheon, Korea. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 20(1), 55–60.
- Kimura, T. and Kim, B.K., 1984, Geological age of the Daedong flora in the Korean Peninsula and its phytogeographical significance in Asia. *Proceedings of the Japan Academy Science, Series B*, 60(9), 337–340.
- Kobayashi, T., 1942, On the climatic bearing of the Mesozoic floras in Eastern Asia. *Japan Journal of the Geology and Geography*, 18(4), 157–196.
- Kobayashi, T., 1966, Stratigraphy of the Chosen Group in Korea and South Manchuria and its relation to the Cambro-Ordovician formations of other area. *Journal of the Faculty of Science, University of Tokyo, Section II*, 16(2), 209–311.
- Lyell, C., 1851, On fossil rain-marks of the Recent, Triassic, and Carboniferous Periods. *Geological Society of London Quarterly Journal*, 7, 238–247.
- Pettijohn, F.J., 1975, *Sedimentary Rocks*. Third edition, Harper & Row, Publishing, 628 p.
- Picard, M.D. and High, L.R., 1973, *Sedimentary structures of ephemeral streams*. Elsevier Science Publishing Company, 223 p.
- Reineck, H.E. and Singh, I.B., 1980, *Depositional Sedimentary Environment*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 549 p.
- Shimamura, S., 1931, *Geological Atlas of Chosen (1:50,000)*, Cheongyang, Daecheon, Buyeo and Nampo Sheets and the explanatory text. Geological Survey of Chosen (Korea), 13 p.
- Shrock, R.R., 1948, *Sequence in Layered Rocks*. McGraw Hill, New York, N. Y., 407 p.
- Twenhofel, W.H., 1960, *Principles of Sedimentation*. Second edition, McGraw-Hill, 673 p.
- Westhuizen, W.A., Grobler, N.J., Looock, J.C., and Tordiffe, E.A.W., 1989, Raindrop imprints in the Late Archean-Early Proterozoic Ventersdrop Supergroup, South Africa. *Sedimentary Geology*, 61, 303–309.

2001년 2월 21일 원고 접수
 2001년 4월 7일 수정원고 접수
 2001년 4월 7일 원고 채택