

생흔학의 중요성 및 활용

Importance and Application of Ichnology

김종관 (JongKwan Kim)* · 전승수 (SeungSoo Chun)*, ** · 백영숙 (Young-Sook Baek)* ·
장은경 (Eun-Kyong Chang)* · 신선자 (Sun-Ja Shin)*

요약 : 생흔학이란 암석내의 생물들에 의해 만들어진 흔적에 대해 연구하는 학문으로 그들에 대한 설명, 분류 및 해석하는 것을 포함한다. 생흔의 형태, 생물의 행동 및 기질의 특성을 바탕으로 정리된 생흔구조의 조합인 생흔상은 정밀한 퇴적작용과 퇴적환경을 해석하는데 중요한 자료를 제시한다. 생흔학 연구는 퇴적학, 층서학, 석유탐사, 고생물학과 고생태학 등과 같은 퇴적환경학의 전반적인 분야를 연구하는데 다양하게 활용되어져 왔다. 퇴적학 분야에서는 퇴적환경의 물리적인 특성 이해, 퇴적양상에 대한 이해 및 사건층의 인지 등에 직접적인 증거가 될 수 있다. 층서학에서는 순차층서학에서 중요하게 다루어지는 주요 경계면의 인지 및 생층서학적 불연속면의 경계등을 인지하는데 활용된다. 또한 적은 양의 자료로 퇴적환경을 해석하는데에 중요한 정보를 제공함으로써 석유탐사분야에서 비용을 절감하는데 많은 도움이 된다. 이 외에도 화석학적 자료로 사용이 가능하며, 퇴적환경의 고생태를 복원하는 데도 중요한 자료로 활용될 수 있다. 강화도 조간대에서 시범적으로 적용된 생흔상 변화는 조간대의 위치에 따라 상이한 계절변화가 관찰되었다. 생흔상의 조간대의 위치에 따라 상이한 계절변화는 고기퇴적층에서의 계절적 특성, 정밀 퇴적환경, 보존 잠재성 등을 파악할 수 있는 좋은 자료가 될 수 있을 것이다. 현생 연안환경에 해당되는 한반도 서해안 조간대에서의 생흔에 대한 연구결과는 퇴적학은 물론 석유지질학에의 활용 가능성이 높은 것으로 판단된다.

주요어 : 퇴적환경학, 퇴적작용, 생흔학, 생흔상, 사건층, 석유지질학

Abstract : Ichnology is the study of traces made by various organisms, which includes classification and description of traces, and interpretation of sedimentary process, behavior of organism and depositional environment based on traces and organism behavior. Ichnofacies, which is defined as the association of several traces related together with substrate characteristics and sedimentary processes, is closely related to depositional environment. Ichnology has been applied to sedimentology (to understand physical characteristics of depositional environment, sedimentation pattern and event bed), sequence stratigraphy (to recognize sequence boundaries and biostratigraphic discontinuities such as MFS, TSE and RSE), oil exploration (providing of many information without big cost) and palaeocology. Preliminary ichnological study on the Ganghwa intertidal flat shows that dominant ichnofacies are changing with season and location, suggesting that their seasonal variation would be a good indicator to understand the seasonal change of sedimentary processes, the small-scale change of sedimentary environment and the preservation potential of such units. Ichnology on intertidal flat in western coast of Korea has a great potential to apply its results to petroleum geology as well as sedimentology.

Keywords : ichnology, ichnofacies, sedimentary environment, sedimentary process, event bed, petroleum geology

서론

퇴적환경학 분야의 연구는 대부분 퇴적물의 조직 (Texture), 배열 (Fabric)과 퇴적구조 (Sedimentary structure) 등의 퇴적학적 인자에 주로 의존해 왔다. 그러나 생물학적 작용에 의한 이들 퇴적학적 인자의 파괴, 전혀 다른 환경에서도 나타날 수 있는 유사한 형태의 퇴적학적 인자들이나 퇴적학적 정보의 제한적인 획득 때문에 퇴적학적 인자만을 사용하여 퇴적환경을 재구성하는 것은 많은 상상을 필요로 한다. 이에 따라 퇴적작용과 퇴적환경을 재구성하는데 도움이 될 수 있는 추가적인 정보들에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 생물의 흔적

(생흔, Trace)은 유숙, 수심, 퇴적물의 입도, 온도, 퇴적이나 침식작용과 기질의 결합력이나 안정성 등의 물리적이거나 화학적 환경에 따라 그 분포와 형태를 달리한다(Frey *et al.*, 1985). 즉, 생흔의 분포와 형태적 특성은 퇴적환경 내의 물리적 또는 화학적 환경을 반영함으로써 퇴적환경을 재구성 하는데 있어 부가적인 정보를 제공할 수 있다. 이와 같은 이유로 최근 생흔의 분포와 형태에 대하여 연구하는 학문인 생흔학의 중요성이 커지고 있다. 특히, 연안환경처럼 수심과 지형에 따라 다변적인 물리화학적 변수들을 갖는 고기 환경에 대한 해석은 쉽지 않다. 이런 복잡한 환경을 이해하는데 있어서 생흔학은 많은 도움을 줄 것이다.

*전남대학교 지구환경과학부 (Faculty of Earth Systems and Environmental Sciences, Chonnam National University, 500-757, Korea)

**교신저자: sschun@chonnam.ac.kr

국외에서는 생흔학의 중요성이 빠르게 증가되고 있는 반면에 우리나라에서는 생흔학에 대한 연구가 활발하게 진행되지 못하고 있는 실정이다. 이에 이 논문을 통하여 생흔학에 대한 간단한 소개, 중요성 및 퇴적환경학의 전반적인 분야에서 구체적으로 어떻게 활용되고 있는지 간단하게 소개하고자 한다.

생흔학의 출발과 흐름

생흔학은 중생대 퇴적암에서 관찰되는 공룡 발자국을 포함하는 고생흔학을 중심으로 시작되었고, 1858년 Hitchcock에 의해 학술용어로서 처음 사용되었다 (Hitchcock, 1858). 그러나 실제로 19세기 초에 찰스 다윈에 의해 현생환경에서 무척추동물인 다모류의 생물교란 (bioturbation)의 형태가 관찰 및 보고되었고, 생흔학 연구는 이때부터 시작되었다고 할 수 있다. 1920년대에 Richter는 북해 조간대에 나타나는 생흔을 연구하여 동일과정의 법칙들 (uniformitarian principles)의 보다 넓은 이해를 이끌었고 (Richter, 1927), 1930년대부터 1950년대까지 주로 척추동물의 생흔에 대한 활발한 연구가 이루어졌다. 1950년대 Seilacher가 무척추동물의 생흔을 보고하고, 그 결과를 바탕으로 무척추동물 생흔의 행동학적, 보존학적 분류인 생흔상 (ichnofacies)의 개념을 제시하면서 생흔학이 급속히 발전하게 되었다 (Seilacher, 1953). 1960년대에서 1970년대를 거쳐 생흔학에 대한 관심이 점차 증가되었으며, 1970년대에는 생흔학과 관련된 여러 권의 책이 출판되었다 (Crimes and Harper, 1970, 1977; Frey, 1975). 1990년대에는 석유탐사에서 생흔학이 퇴적환경의 해석에 이용되었고, 그 가능성이 계속적인 연구 결과에 의해 지속적으로 예증되어 왔다

(Pemberton *et al.*, 1992). 최근에는 생흔학에 대한 다양한 연구가 이루어지고 2년마다 국제학회가 열리는 등 생흔학에 대한 관심은 꾸준히 증가하고 있다.

생흔학과 생흔상

지구상에 생물들이 출연한 이후로 지구상에 존재하는 모든 환경에는 생물이 존재하고 있고, 각 환경에서 생물들은 그 환경에 적합한 거주, 이동, 섭식과 휴식형태를 가진다. 생물의 서로 다른 행동형태는 다양한 생흔들을 만들며, 이런 흔적들을 연구하는 학문이 생흔학 (ichnology)이다. 생흔학은 생물들에 의해 만들어진 흔적을 관찰, 기술하고 분류하며, 이를 통해 생물의 행동 양상과 거주환경에 대한 연구를 수행한다. 생흔학은 크게 과거의 생흔을 연구하는 고생흔학 (Paleoichnology)과 현생의 생흔을 연구하는 현생생흔학 (Neoichnology)으로 나뉘어진다 (Frey, 1971, 1973; Pemberton *et al.*, 2001). 대부분의 생흔학자들은 고생흔학을 연구하지만 흔적화석들에 대한 현생의 동등체 (Trace)의 비교를 위해 현생생흔학을 연구하기도 한다.

생흔은 생물의 일부분이 아니기 때문에 생물학에서 일반적으로 사용되는 린네의 이명법을 사용할 수 없음에도 불구하고 국제적 의사소통을 위해 종과 속이 주어진다. 하나의 생흔은 그 특징에 따라 각각의 생흔속 (ichnogenus)으로 분류되고 생흔속은 다시 여러 가지 특징에 따라 다양한 생흔종 (ichnospecies)으로 세분된다. 생흔구조를 형성한 생물의 행동과 유사한 과정을 통하여 보존되는 생흔속의 집합을 생흔상이라고 한다. 각각의 생흔상들은 퇴적환경과 밀접하게 관련되어 있다.

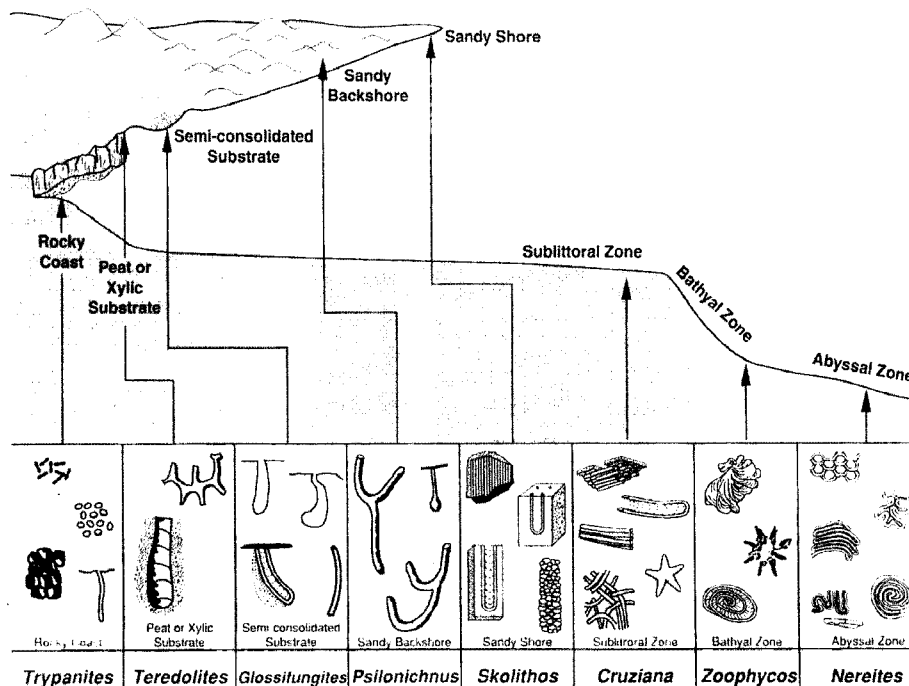


Fig. 1. Synoptic diagram illustrating recurring marine ichnofacies set in a representative, but not exclusive, suite of environmental gradients (Modified from Frey and Pemberton, 1985).

생흔상은 기질에 따라 단단한 기질과 부드러운 기질에서 관찰되는 생흔상으로 크게 구분된다. 단단한 기질에서 나타나는 생흔상은 암석화된 기질에서 관찰되는 *Trypanites*, 탄질 등의 기질에서 나타나는 *Teredolites*, 단단하지만 암석화하지 않은 기질에서 나타나는 *Glossifungites*가 있다. 부드러운 기질에서 나타나는 생흔상은 수심의 변화에 의한 환경변화에 따라 주로 구분되며 수심이 증가 할수록 *Psilonichmus*, *Skolithos*, *Cruziana*, *Zoophycos*, *Nereites*로 세분화 된다 (Fig. 1; Pemberton *et al.*, 2001).

생흔학의 활용

퇴적학 분야

퇴적환경의 물리적인 특성을 이해하는 것은 퇴적학에 있어서 중요한 문제이며, 생흔학은 퇴적환경의 물리적인 특성을 이

해하는데 많은 도움을 줄 수 있다. 특히, 활발한 생물활동에 의해 퇴적학적 인자가 지워지거나 제한적인 정보만의 수집이 가능한 상황 하에서 관찰되는 생흔은 더욱 중요하게 이용될 수 있다.

먼저, 퇴적암에서의 생흔학 연구는 퇴적암이 퇴적 될 당시의 에너지 상태에 대한 정보를 제공할 수 있다. 예를 들어 *Skolithos* 생흔상과 *Cruziana* 생흔상을 비교해보면, *Skolithos* 생흔상은 *Cruziana* 생흔상에 비교하여 고 에너지 환경에서 거주와 섭식 (거주구멍에 몸을 고착시키고 강한에너지에 의해 부유한 유기물을 섭취)을 위한 수직적 형태의 생흔이 우세하다. 반면에 *Cruziana* 생흔상은 저 에너지 환경에서 섭식 (저 에너지의 낮은 퇴적률을 보이는 곳에서 상부에 제한적으로 존재하는 유기물을 섭취)을 위한 수평적 형태의 생흔이 우세하다 (Fig. 2; Pemberton *et al.*, 2001).

두 번째로 일정한 방향성을 가지고 정렬된 거주구멍들

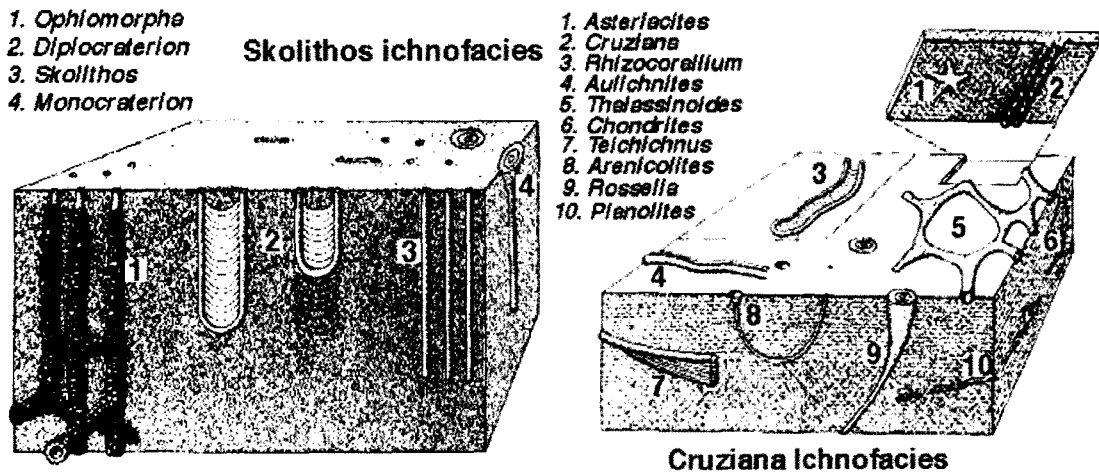


Fig. 2. The comparison of the *Skolithos* ichnofacies and *Cruziana* ichnofacies (Modified from Pemberton *et al.*, 1992).

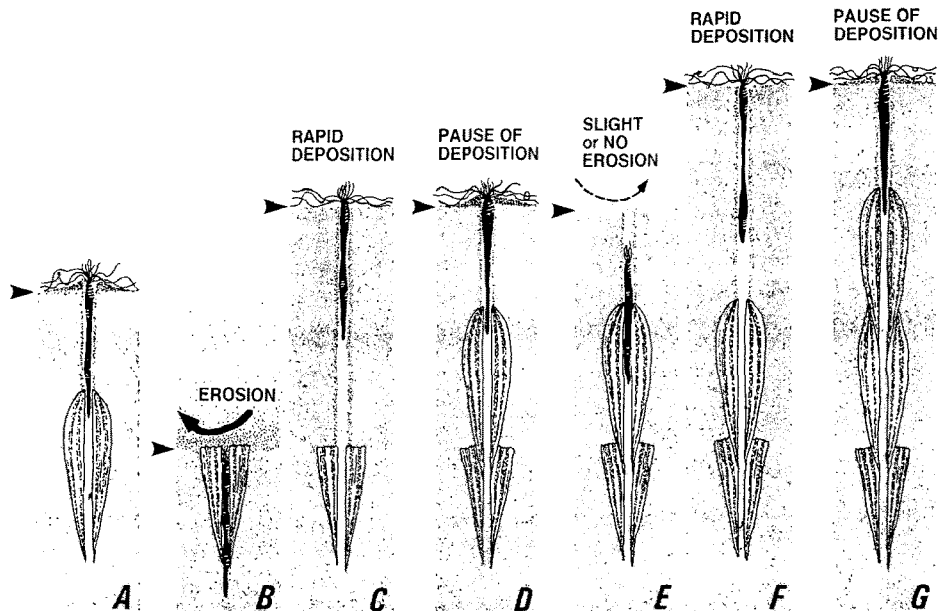


Fig. 3. Developmental process of the stacked *Rosselia socialis* with diverse pattern of erosion and deposition (Nara 1997).

(burrows)은 유수 (current)의 세기와 방향을 지시하는 중요한 증거가 될 수 있다. 예를 들어, 다모류 (Polychaeta)인 *Diopatra cuprea*의 교착질 관은 전형적으로 유수에 영향을 받는 방향으로 존재한다 (Myers, 1970, 1972).

세 번째로 퇴적환경에서 침식이나 퇴적 등의 퇴적양상 (Sedimentation pattern)을 인지하는데 활용할 수 있다. 예를 들어 *Terebellid polychaete*에 의해 형성되는 *Rosselia*는 *Terebellid polychaete*의 일정한 깊이에서 생활하는 특성에 의해 퇴적과 침식에 따라 *Rosselia*의 잘림이나 탈출에 의한 중

첨구조 등을 관찰할 수 있다 (Fig. 3; Nara, 1997).

네 번째로 대부분의 퇴적기록들은 연속적인 퇴적과정의 기록들이 아니라 일시적인 불연속을 포함한 기록들이다 (Dott, 1983). 이러한 이유로 하나의 퇴적체내에서 사건층 (Event bed)을 동정하는 것은 매우 중요하다. 특히 연안환경은 미묘한 환경적 변화에 의해 달라지는 다수의 퇴적환경들로 구성되어 있기 때문에 사건층의 인지와 해석에 어려움이 있다. 이때 생흔학은 폭풍이나 저탁류에 의해 형성되는 사건층을 인지하는데 결정적인 증거를 제시할 수가 있다. 예를 들어 하부의 세

Ichnological Characteristics of Storm Derived Units

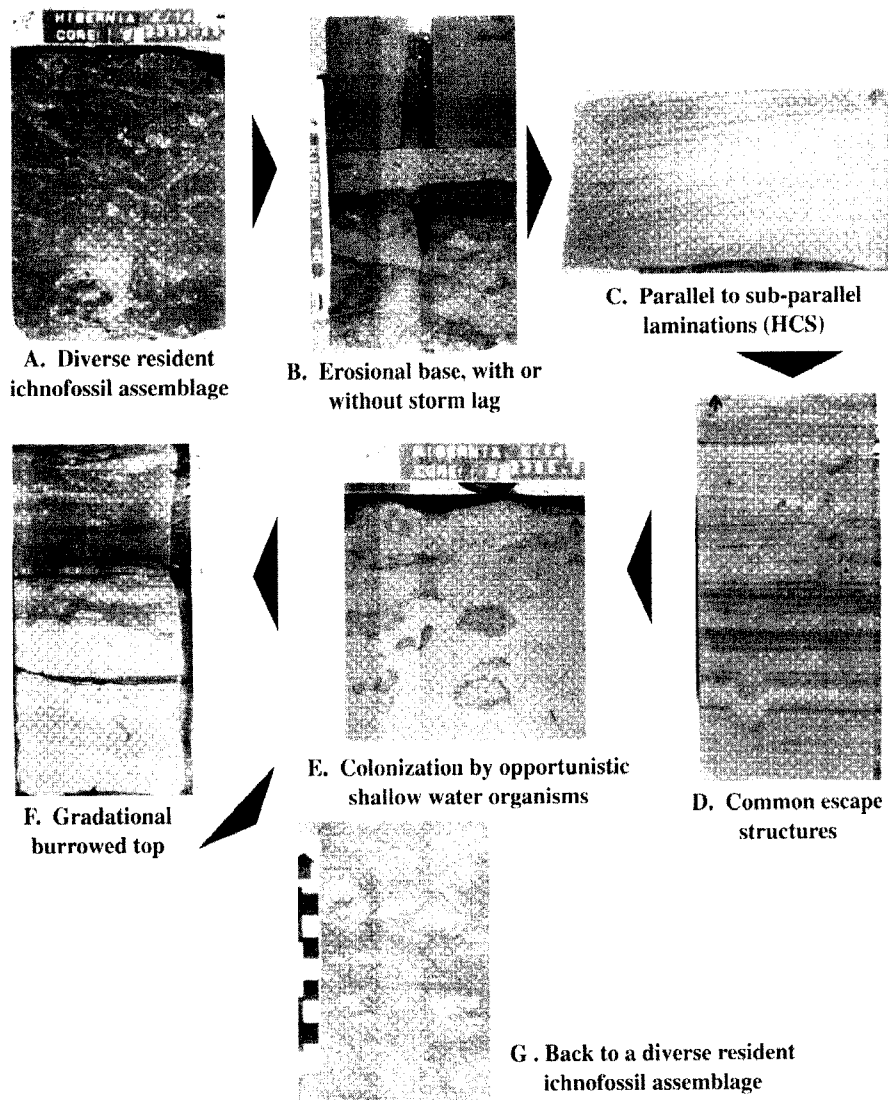


Fig. 4. Summary of the ichnological features in idealized storm succession. (A) The succession comprising elements of the *Cruziana* ichnofacies in fair-weather condition. (B) This assemblage is interrupted by the storm event. (C) The main body of the storm deposit consists of parallel to subparallel lamination, representing HCS. (D) The storm-generated stratification may contain escape structures, recording the attempt of organisms to burrow through the event bed. (E) The top of the storm bed commonly biogenically disturbed by dwelling burrows of opportunistic organisms. (F) Following storm abatement, fair-weather depositional patterns resume and the equilibrium resident assemblage is re-established, producing a gradational burrowed top to the event bed. (G) The fair-weather assemblage continues to flourish (Modified from Pemberton *et al.*, 1992).

ICHOLOGICAL-SEDIMENTOLOGICAL TEMPESTITE MODEL

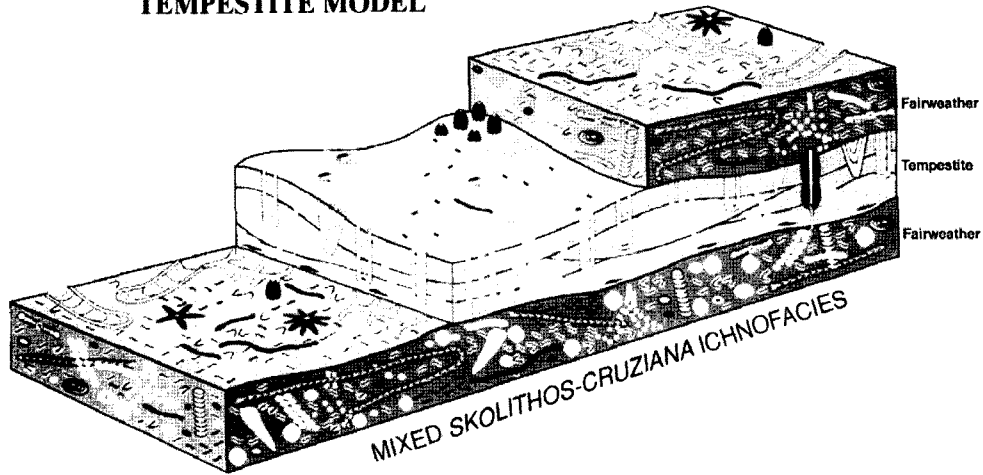
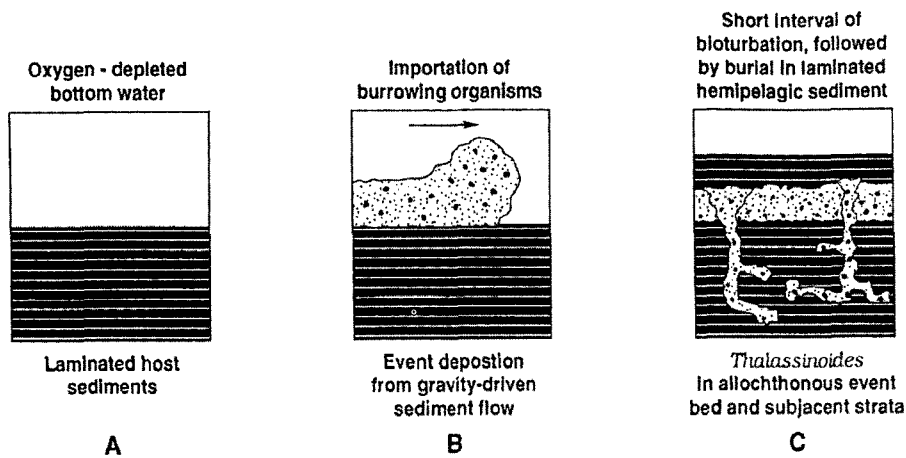


Fig. 5. Idealized ichnological-sedimentological model of a high diversity mixed *Skolithos-Cruziana* ichnofacies (Pemberton et al., 1992).

The Concept of Doomed Pioneers



The Doomed Pioneers Concept: Critical Observations

Fig. 6. Schematic diagram illustrating the doomed pioneers model to explain the exclusive association of allochthonous event deposits with bioturbation (Modified from Grimm and Flmi, 1990).

립질 퇴적층 내의 다양한 생흔들이 상부의 조립질 퇴적층에 잘린 구조적인 단절이 관찰되며, 조립질 퇴적층 내에는 생물들의 탈출에 의한 생흔(탈출구조)과 일시적인 환경변화에 적응할 수 있는 기회주의적인 종들에 의해 형성된 생흔들이 관찰된다. 이 후 평온한 날씨가 지속되면 기회주의적인 종들이 사라지고 다시 이전의 생흔들이 관찰된다 (Fig. 4). 이와 같은 일련의 생흔학적 특성의 변화는 일련의 폭풍퇴적체 (tempestite)의 인지자로서 역할을 할 수 있다 (Fig. 5; Pemberton et al., 1992).

또 다른 예로 조립질 퇴적층과 그 바로 아래 놓인 세립질 퇴적층 내에만 존재하는 *Thalassinoides*와 *Ophiomorpha*와 같은 갑각류의 거주구멍과 세립질 입자 사이의 선택적인 생교란과 같은 생흔학적 특징들은 중력류 사건층의 존재를 지시한다 (Grimm and Flmi, 1990). 이는 산소가 부족한 퇴적환경(심해)으로 중력류가 퇴적물을 운반 할 때, 퇴적물과 천해생물들

이 함께 운반되어 일시적으로 생흔을 형성한 후, 다시 심해 퇴적물들이 퇴적되어 산소가 고갈되면서 천해 생물이 사라지는 일련의 과정을 보여준다 (Fig. 6).

층서학 분야

생흔구조는 기질 특성에 대한 민감한 지시자로서, 순차층서학 (sequence stratigraphy)적 경계의 종류를 밝혀주는 중요한 요소가 된다. 예를 들어 기질의 특성에 따라 구분된 *Trypanites*, *Glossifungites*, *Teredolites* 생흔상은 기질의 특성에 따라 조합된 생흔상으로 그 특성에 따라 MFS (Marine Flooding Surface), TSE (Transgressive Surface of Erosion)와 RSE (Retrogressive Surface of Erosion)의 존재를 밝히는 중요한 지표로 사용된다 (Fig. 7). 그 중 *Glossifungites* 생흔상은 퇴적, 반 고화, 침식과 생흔발달의 과정을 통하여 형성되며 (Fig. 8), 반 고화된 층을 인지하는데 중요한 증거로

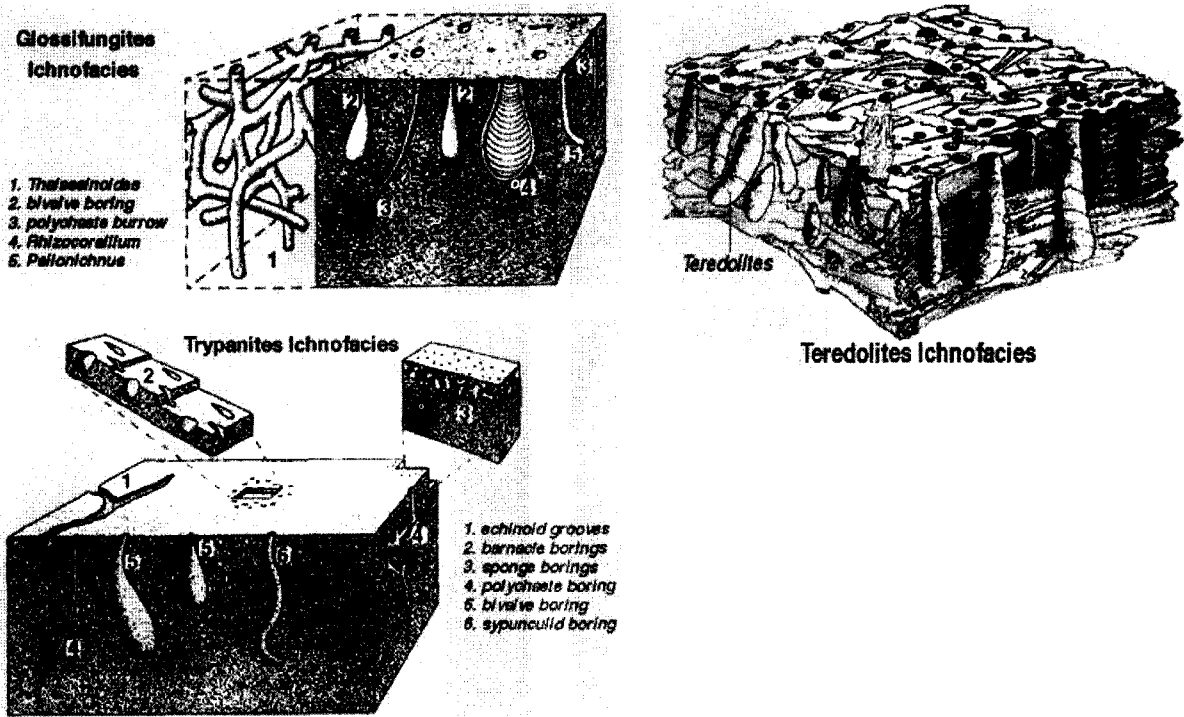


Fig. 7. Schematic diagrams of the *Glossifungites* ichnofacies, *Trypanites* ichnofacies and *Teredolites* ichnofacies (Modified from Pemberton *et al.*, 1992).

Stage Development of *Glossifungites* Ichnofacies

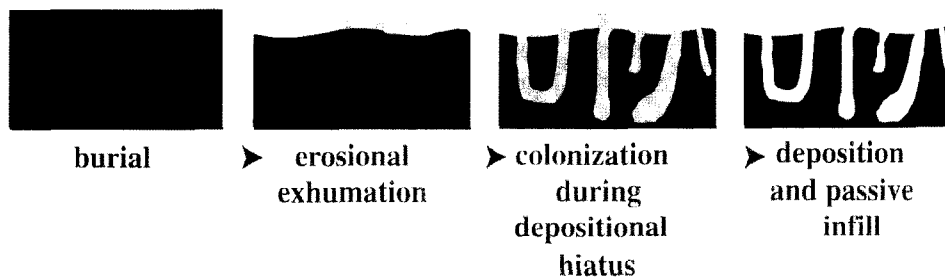


Fig. 8. Schematic development of a *Glossifungites* demarcated erosional discontinuity (Pemberton *et al.* 1992).

활용되며, 이는 순차층서학적 경계를 지시하는 지시자로 활용된다.

생층서학에서 생흔화석은 체화석이 존재하지 않을 때 층서학을 정립할 수 있도록 중요한 역할을 할 수 있다. 일부 암석 (특히 조립질 쇄설암) 또는 주로 거주생물이 연체동물인 환경(호수 또는 심해분지)에서는 생흔화석만이 기록으로 남아있다. 따라서 생흔화석은 분지의 환경을 지시하는 층서학적 건층으로 사용될 수 있다. 예를 들어 국부적 범위에서 *Skolithos* 나 *Ophiomorpha*가 풍부한 사암에서 쉽게 인지되므로 지질학자들에게 그 지역의 층서를 결정하는데 많은 도움이 된다.

생흔학은 성인층서학 (genetic stratigraphy) 및 사건층서학과 관련하여 층서학적으로 중요한 경계를 제시함으로써 가장 중

요한 화석그룹 중의 하나로 인지되기도 한다 (Pemberton *et al.*, 2001).

석유탐사 분야

석유탐사는 지하의 저류암과 근원암에 대한 잠재적 가능성을 밝히기 위하여 다양한 종류의 코어 시료를 다양한 방법으로 획득한다. 수 cm 직경의 시료에서 관찰 가능한 퇴적학적 정보는 수평적 혹은 수직적인 특성들에 대한 상세한 정보를 제공하지 못하므로, 정확한 퇴적환경을 이해하기 위해서 많은 수의 시료를 필요로 한다. 하지만 시료를 획득하는 과정에는 많은 시간, 노력과 자본이 소모된다. 그러므로 적은양의 시료로 최대한 많은 양의 정보를 획득하는 것은 석유탐사분야

에 있어서 중요한 관심분야 가운데 하나이다. 생존학적인 정보들은 공간적으로 제한된 정보를 이용하여 퇴적환경을 이해하는데 중요하게 사용될 수 있다. 예를 들어, 시료에서 언덕사층리와 사층리를 구분하여 인지하는 것은 어려운데, 이때 특징적인 흔적화석의 양상은 폭풍퇴적물 해석에 결정적인 도움을 줄 수 있기 때문에 석유자료의 해석에 매우 유용하다.

고화석학 및 고생태학 분야

고화석학 연구에서 생존학은 체화석 (body fossil)이 보존되기 어려운 환경에서의 생존과 체화석의 보존이 어려운 연체동

물들의 생존은 생물의 형태나 행동학적 특징의 인지를 가능하게 한다 (Gibert *et al.*, 2000). 연체동물은 대부분의 환경에서 많은 생물량 (biomass)을 보이므로 중요하다. 생존을 통하여 퇴적 당시의 특징과 현생 동물의 행동 양상을 비교함으로써 같은 종에 속하는 동물들의 진화 정도와 환경에 따른 생물의 행동변화를 통해 생물의 적응력을 파악하는데도 유용하게 이용이 된다.

생물은 그 종류에 따라 사는 환경이 다르며, 같은 종의 생물이라도 행동양식에 의해 다른 구조를 만들기도 한다. 즉, 동물과 식물들의 분포가 다양한 물리적 환경변수들에 의해 직접

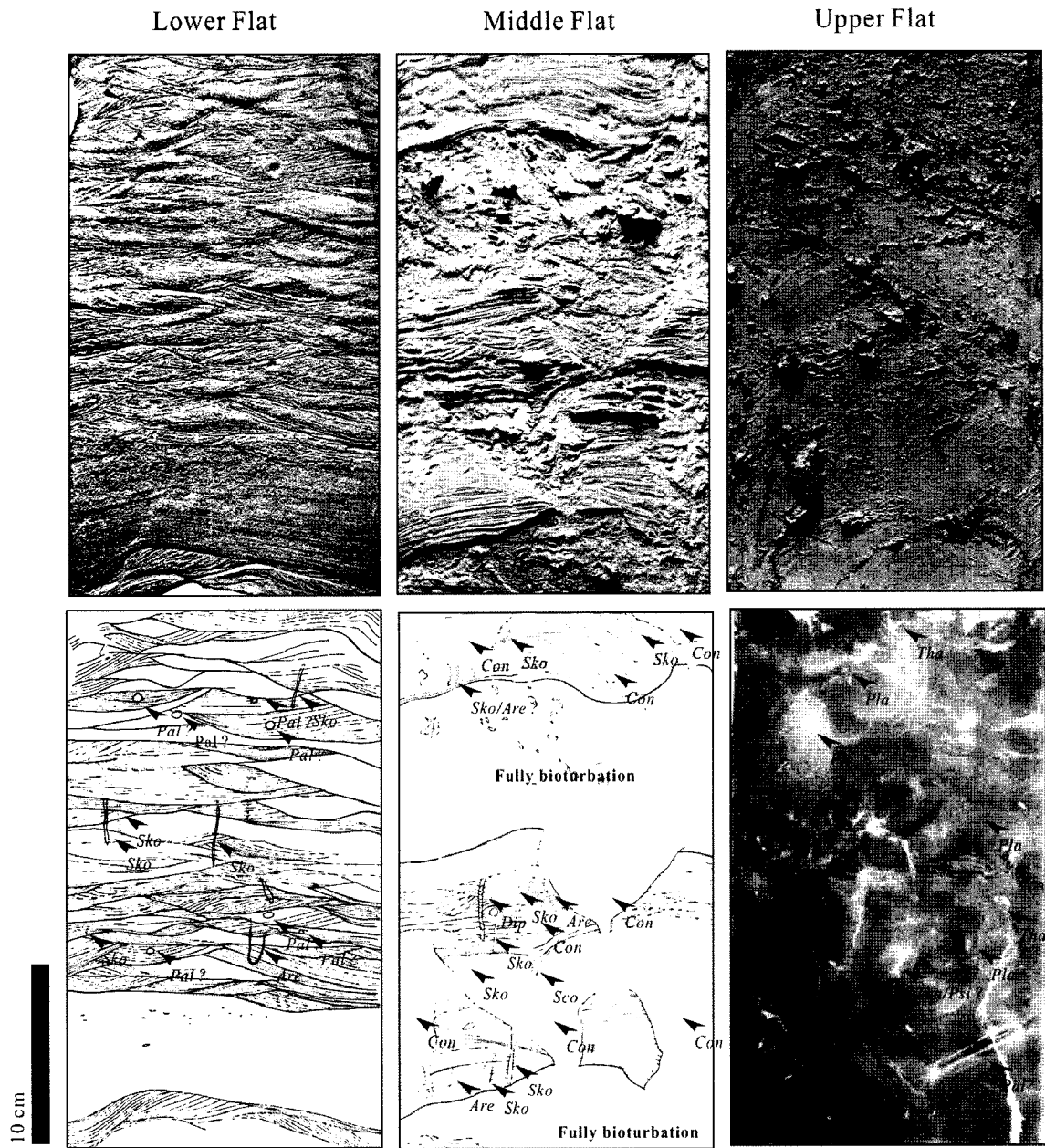


Fig. 9. Photograph, schematic drawing and X-ray photograph of sedimentary peels (15×30 cm) obtained in the southern intertidal-flat of Gwanghwa Island. In terms of ichnology, the upper flat can be characterized by horizontal traces (*Cruziana* ichnofacies) such as *Psilonichnus* (*Psi*), *Palaeophycus* (*Pal*), *Planolite* (*Pla*) and *Thalassinoides* (*Tha*). The middle flat shows commonly vertical burrows including *Conichnus* (*Con*), *Skolithos* (*Sko*), *Arenicolites* (*Are*) and *Diplocraterion* (*Dip*) and horizontal burrows including *Scolicia* (*Sco*). The lower flat is dominated by vertical burrows including *Skolithos* (*Sko*).

적으로 영향을 받는 것처럼, 그들이 형성하는 생흔화석 기록 또한 주어진 생태학적 변수들에 따라 각각의 생물들은 독특한 흔적을 나타낸다 (Frey, 1975). 이러한 흔적들은 2차적 이동이 거의 없으므로, 그들이 형성될 당시의 환경에 대한 직접적인 정보를 가지고 있는 것이다. 따라서 생흔구조는 흔적을 남긴 생물의 고생태학적 요소들을 그대로 반영한다. 그러므로 생흔학은 고생태를 복원하는데 중요한 정보를 제공할 수 있다.

서해안 조간대에서의 생흔학 연구

생흔학 연구에 대한 실제적인 적용성을 알아보기 위하여 강화도 남부 조간대에서 획득한 주상퇴적물 시료 28개에 생흔상 분석을 실시하였다. 강화도 남부 조간대는 조석우세 하구형 조간대로 기수환경의 특성을 갖는다. 기수환경의 생흔구조는 담수환경과 해양환경과는 달리 다양성이 낮고, 스트레스가 심한 환경에 맞추어 살아가는 생물에 의해 단순한 구조가 형성된다. 하나의 소환경에 특징적인 생흔상들이 우세하게 관찰된다. 또한 수직적인 생흔상인 *Skolithos* 생흔상과 수평적인 생흔상인 *Cruziana* 생흔상이 함께 존재하는데 이는 Adolph Seilacher의 수심측량학적인 *Cruziana* 생흔상에서 나타나는 혼합된 *Skolithos*와 *Cruziana* 생흔상과는 다르다. *Cruziana* 생흔상에서 나타나는 혼합된 생흔구조는 일반적인 날씨와 폭풍 등의 사건적 환경에 의한 수평적 구조들과 수직적 구조들의 혼합이지만 기수환경은 국부적 에너지의 차이에 의해 수직적 생흔상과 수평적 생흔상이 공존한다. 이러한 생흔상을 분류함으로써 기수환경 내에 국부적으로 다양한 환경을 인지 할 수 있고, 나아가 이러한 환경의 물리적, 생흔학적 변수들의 미묘

한 변화에 대한 확실히 구별이 가능하다.

강화도 남부 조간대의 상부조간대는 니질의 기질로 주로 응집성이 있는 기질 내에 여러 분기로 갈라지는 거주구멍인 *Thalassinoides*나 수평적 섭식 구조인 *Planolite* 등의 생흔속(ichnogenus)으로 이루어진 *Cruziana* 생흔상이 우세하게 관찰된다. 중부 조간대는 사질과 니질이 교호하거나 주로 사질로 된 교호쌍으로 이루어지며 *Skolithos*, *Conichnus*, *Arenicolithes*, *Bergaueria* 생흔속들로 이루어진 *Skolithos* 생흔상과 *Rhizocorallium*, *Asterosoma*, *Teichichnus*, *Thalassinoides* 등의 *Cruziana* 생흔상이 공존한다. 하부조간대는 사질로 구성되며 상대적으로 에너지가 가장 큰 환경으로 사층리나 평행엽층리 등의 물리적 구조가 뚜렷하다. 하부조간대는 여름과 겨울의 특징이 다소 뚜렷하게 대비된다. 여름은 주로 *Skolithos* 생흔상이 우세하게 관찰되며, 일부 *Cruziana* 생흔상이 일부 관찰된다. 겨울에는 *Skolithos* 생흔상만이 희미하게 나타난다 (Table 1, Fig. 9). 이러한 생흔상의 조간대의 위치에 따라 상이한 계절변화는 고기퇴적층에서의 계절적 특성, 정밀 퇴적환경, 보존잠재성 등을 파악할 수 있는 좋은 자료가 될 수 있을 것이다.

결론

수심, 온도, 퇴적작용, 침식작용, 기질 결합력과 안정성처럼 변하기 쉬운 것들은 그 환경 내에 살아가는 다양한 생물의 생태와 밀접하게 관련된다. 생물의 생활은 서로 다른 분포와 형태를 가지는 흔적화석들을 만든다 (Frey and Seilacher, 1980). 그러므로 생흔학은 퇴적학, 층석학, 석유탐사, 고화석학

Table 1. Ichnological-sedimentological facies based on primary sedimentary structures and ichnofacies in the southern intertidal flat on the Ganghwa Island

Sedimentary Facies	Ichnogenus	Ichnofacies	Combined assemblage
Mh	<i>Cruziana</i> <i>Planolite</i> , <i>Thalassinoides</i>	<i>Cruziana</i>	M-Cr
sMb	<i>Cruziana</i> <i>Asterosoma</i> , <i>Planolite</i>	<i>Cruziana</i>	
S/Mt	Skolithos : <i>Skolithos</i> , <i>Conichnus</i> , <i>Cylindrichnus</i> , <i>Arenicolites</i> , <i>Bergaueria</i>	<i>Skolithos</i>	S/M Sk_Cr
S/Mb	Cruziana : <i>Planolite</i> , <i>Asterosoma</i> , <i>Teichichnus</i> , Skolithos : <i>Palaeophycus</i>	<i>Cruziana</i> - <i>Skolithos</i>	
S/Mw	Cruziana : <i>Planolite</i>	<i>Cruziana</i>	
mSf	Cruziana : <i>Scolicia</i> , <i>Rhizocorallium</i> Skolithos : <i>Skolithos</i> , <i>Conichnus</i> , <i>Diplocraterion</i> , <i>Palaeophycus</i>	<i>Skolithos</i> - <i>Cruziana</i>	
Sc	Cruziana : <i>planolite</i> Skolithos : <i>Conichnus</i> , <i>Palaeophycus</i> , <i>Psilonichnus</i>	<i>Skolithos</i>	S-Sk
Scl	Skolithos : <i>Conichnus</i> , <i>Arenicolites</i> , <i>Psilonichnus</i>	<i>Skolithos</i>	
Sp	Skolithos : <i>Skolithos</i> , <i>Conichnus</i>	<i>Skolithos</i>	
Sc	Skolithos : <i>Rhizocorallium</i> , <i>Skolithos</i> , <i>Diplocraterion</i> , <i>Arenicolites</i>	<i>Skolithos</i>	
Sp	Skolithos : <i>Skolithos</i> , <i>Arenicolites</i>	<i>Skolithos</i>	

과 고생태학등의 퇴적환경학의 전반적인 분야에서 폭넓게 활용될 수 있다. 현생환경인 강화도 남부 조간대에 나타나고 보존되는 생흔에 대한 분석 결과는 그 활용에 대해 시사하는 바가 크다.

사 사

이 논문은 한국학술진흥재단의 지원(KRF-2004-015-C00593)을 받아 수행되었던 연구결과에 기초하여 작성되었다. 한국학술진흥재단의 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- Ekdale, A.A., Bromley, R.G., and Pemberton, S.G., 1984, Ichnology: The Use of Trace Fossils in Sedimentology and Stratigraph: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Short Course Notes Number 15, 317 p.
- Frey, R.W., 1975, The study of trace fossils: Springer-Verlag, New York, 562 p.
- Frey, R.W., and Seilacher, A., 1980, Uniformity in marine invertebrate ichnology. *Lethaia*, 13, 180-207.
- Hitchcock, E., 1858, Ichnology of New England. A Report of the Sandstone of the Connecticut Valley Especially Its Footprints. Boston, W. White, 220 p.
- Gibert, J.M., Fregenal-Martanez, M.A., Buatois, L.A., and Mangano, M.G., 2000, Trace fossils and their palaeonecological significance in Lower Cretaceous lacustrine conservation deposits, El Montsec, Spain, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 156, 89-101.
- Grimm, K.A., and Föllmi, K.B., 1990, Doomed pionners: Event deposition and bioturbation in anaerobic environments. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 74, 666-666.
- Masakazu, N., 1997, High-Resolution Analytical Method for Event Sedimentation using *Rosselia socialis*, *Palaios*, 12, 489-494.
- Myers, A.C., 1970, Some paleoichnological observations on the tube of *Diopatra cuprea* (Bosc): Polychaeta, Onuphidae, in Cremes, T.P., and J.C. Harper, Trace fossils: Seel House Press, Liverpool, p. 331-334.
- Myers, A.C., 1972, Tube-worm-sediment relationships of *Diopatra cuprea*(Polychaeta: Onuphidae), *Marine Biology*, 11, 255-261.
- Osgood, R.G., and Sxmuc, E., 1971, The trace fossil Zoophycos as an indicator of water depth. *Bulls. Amer. Paleontol.*, 62, 1-22.
- Pemberton, S.G., Ranger, M.J., and MacEachern, J.A., 1992, The conceptual framework of ichnology: in S.G. Pemberton ed., Application of Ichnology to Petroleum Exploration, A Core Workshop, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Core Workshop Notes 17, p. 1-32.
- Pemberton, S.G., Spila, M., Pulham, A.J., Saunders, T., MacEahern, J.A., Robins, D. and Sinclair, I.K., 2001, Behavioral Classification, Ichnology & Sedimentology of Shallow to Marginal Marine Systems, Geological Association of Canada, Short Course Notes, V. 15, 343 p.
- Richter, R., 1927, Die fossilien Fährten und Bauten der Würmer, ein Überblick über ihre biologischen Grundformen und deren geologische Bedeutung, *Paläont. Zeitschr.*, 9, 193-240.
- Seilacher, A., 1974, Flysch trace fossils: evolution of behavioural diversity in the deep-sea: *Neues Jahrbuch Fur Geologie Und Palaontologie-Monatshefte* 1974, 233-245.
- Seilacher, A., 1977, Evolution of trace fossil communities, in Hallam, A., ed., Patterns of evolution: Elsevier, Amsterdam, p. 359-376.
- Warme, J.E., and Olson, R.W., 1971, Lake Brownwood Spillway, in Perkins, B. F., Trace fossils: a field guide to selected localities in Pennsylvanian, Permian, Cretaceous and Tertiary Rocks of Texas and related papers: ouisiana State Univ., Misc. Pub. 71-1, p. 27-43.

(2006. 9. 11. 원고 접수)

(2006. 11. 12. 수정본 채택)