

생흔상(Ichnofacies)의 중요성 및 활용

장은경*, 신선자, 전승수

전남대학교 지구환경과학과, fresh4516@naver.com

1. 서론

퇴적물은 퇴적이 된 이후에도 파랑, 해류 또는 압밀작용과 같은 물리적 작용, 산소변화 또는 광물의 분해 및 결합과 같은 화학적 작용, 동물이나 식물들에 의해 퇴적물이 재동되는 등의 생물학적 작용에 의해 지속적으로 변화를 겪는다. 퇴적암(물)의 역사와 형성작용을 이해하는 데 도움을 주는 조직(texture), 배열(fabric), 퇴적구조(sedimentary structure) 등의 퇴적학적 인자들은 퇴적 후에 생물학적 작용에 의해 거의 대부분의 특징들이 지워져 버리는 경우가 많다. 그러므로 이러한 퇴적학적 인자들의 이해와 함께 생물학적 인자들의 역할과 작용에 대한 이해는 퇴적학적 연구를 위해 매우 중요하다. 퇴적 후 퇴적체에 미치는 생물학적 영향 및 변형에 대해 연구하는 것이 바로 “생흔학(ichnology)”으로서, 이는 생물들에 의해 만들어진 흔적에 대해 전반적으로 연구하고, 그들에 대해 설명, 분류 및 해석하는 것을 포함한다. 생물들이 남긴 흔적들의 특성 및 형태 분류를 바탕으로 정리된 생흔구조의 조합이 생흔상(ichnofacies)이며, 이러한 생흔상은 퇴적학적 자료에서 이해되지 못하였던 많은 환경요소에 대한 열쇠를 제공한다. 생흔상 연구는 생물의 행동학적 특성과 기질의 상호 관련성의 특징에 대한 연구를 포함하며, 식물이나 동물이 퇴적물에서 그들의 행동을 어떻게 기록으로 남기는가에 초점을 맞추고 있다. 생흔화석(trace fossil)은 그 특성상 화석학적 존재도 될 수 있으며, 퇴적학적 존재도 될 수 있으므로 생흔학은 고생물학, 층서학, 퇴적학, 퇴적환경과 고생태학 등과 같은 퇴적환경학의 전반적인 분야를 연구하는데 중요하게 활용될 수 있다(Ekdale et al., 1984 and Pemberton et al., 2001). 이 논문은 최근 석유지질학의 발전에 매우 큰 기여를 하고 있는 생흔상에 대한 기본적인 원리와 최근의 퇴적학 및 석유지질학 연구에 어떻게 활용되고 있는지에 대해 간략하게 제시하고자 한다.

2. 생흔학 연구의 흐름

생흔학은 고생흔학(Paleoichnology)을 시작으로 중생대층에서 공룡 발자국을 포함한 생흔화석 연구에서 비롯되었다. 학술용어로서의 “ichnology”는 1858년 최초로 사용되었다(Hitchcock, 1858). 그러나 실제로 무척추동물의 생흔화석에 대한 연구는 19세기 초에 이미 시작되었다. 현생 무척추동물의 연구인 neoichnology는 찰스 다윈이 다모류에 의한 생흔구조(bioturbation)를 관찰하면서 시작되었다고 할 수 있다. 이처럼 생흔학은 상대적으로 젊은 과학으로서 20세기 후반에서야 비로소 그 중요성과 활용성이 국제적으로 인식되기 시작했다. 해양환경과 관련하여 1920년대에 북해 조간대의 현생 생물흔적들을 연구했던 Rudolf Richter는 동일과정의 법칙들(uniformitarian principles)의 보다 넓은 이해를 이끌었다. 특히 1950년대 Adolph Seilacher의 연구는 무척추동물 생흔학과 생흔화석의 행동학적, 보존학적 분류의 시작으로 생흔학에서 생흔상(ichnofacies)의 개념을 제시하기 시작하여 생흔학의 발전에 혁명적인 요소가 되었다. 생흔학에 관한 연구는 1960년대와 1970년대를 거쳐 증가되었고, 미국의 고생물학자인 Robert Frey와 영국 고생물학자들인 Peter Crimes와 James Harper의 노력의 결과 지질학자들 사이에 그 주제가 대중화되는 기회를 제공한 생흔화석과 관련된 여러 권의 책이 출간되었다. 퇴적환경의 해석에서 생흔학의 활용성은 석유탐사에 적용이 되었고, 활용 가능성은 George Pemberton 그룹의 지속적인 연구에 의해 지속적으로 입증되어 왔다. Ichnofabric과 생흔화석들의 다른 특성에 대한 논의는 Ichnofabric Workshop을 통해 진행되어 왔으며 이는 1991년에 시작되어 지금까지 2년마다 국제적인 행사로 성공리에 진행되고 있다.

3. 생흔학의 활용

3-1. 퇴적학/석유지질학에서의 활용

생물의 작용이나 생물의 분비물 등에 의해 퇴적물이 고화되거나 혹은 입자에 변화가 생길 수 있으며, 퇴적구조들의 붕괴와 재설립 등의 재동(reworking)작용이 일어날 수 있다. 따라서 퇴적구조 연구에 있어 물리적·화학적 작용에 의한 것과 생물에 의해 발생한 특징적 구조를 구분하여 인지하는 것은 중요하며, 이에 따른 해석도 달라져야 한다. 일정한 방향성을 갖

거나 정렬된 burrow들은 흐름(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).

생흔구조는 퇴적역학적 특징의 변동에 민감하여 사건층(event bed)과 퇴적양상(sedimentation pattern)을 인지하는데 중요하다(그림 1, 2).

퇴적체가 형성되기 위해서는 퇴적(퇴적물의 집적), 생교란(퇴적물의 변형), 침식(퇴적물의 제거)의 3 가지 퇴적학적 과정들이 독립적으로 상호작용한다. 퇴적물이 생교란물을 능가할 때는 1차 층리의 특징과 물리적 퇴적구조들이 우세하게 나타난다. 반대로 생교란이 퇴적물을 훨씬 능가한다면, 1차 층리는 희미해지고, 생물학적 퇴적구조가 우세해진다. 또한 퇴적과 침식작용에 따른 생물들의 주둔 깊이를 맞추기 위한 평형작용에 의해 나타나는 탈출구조나 중첩된 구조 및 구조 내부의 spreiten의 변화를 통해 퇴적과정을 유추 할 수도 있다(그림 3).

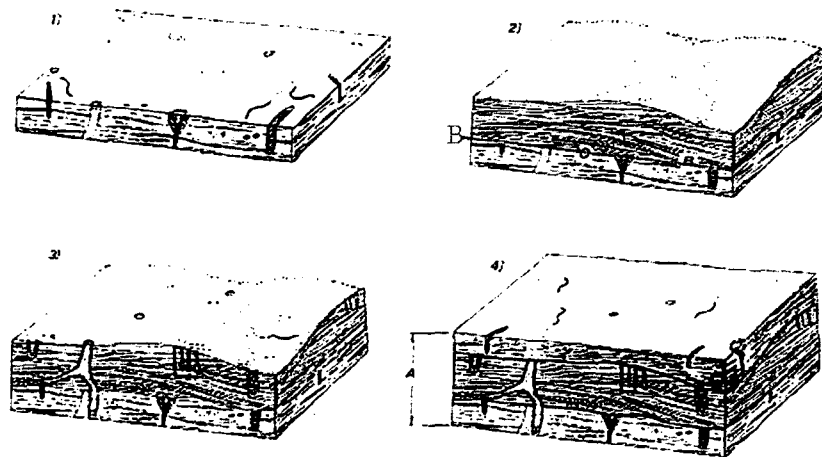
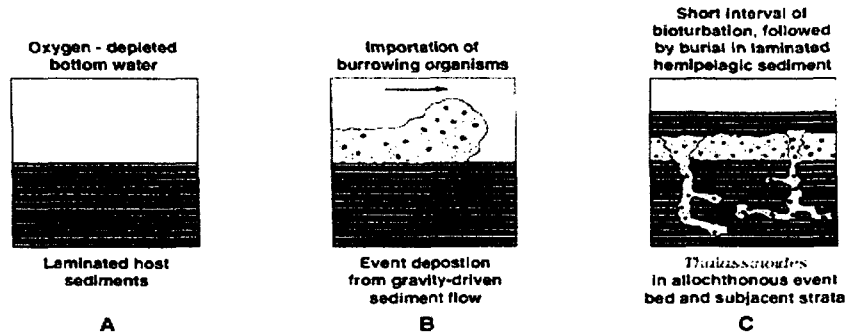


그림 1. 전형적인 연안환경에서 폭풍퇴적층(tempestite) 발생을 모식화한 것. (1) 고요한 상태일 때 grazing, feeding burrow 존재, (2) 침식면(B) 위에 세립질 sand의 폭풍퇴적체와 함께 간헐 가능성이 있는 동물의 성층과 유층의 존재, (3) 폭풍에 의한 퇴적작용의 휴지기 뒤의 기회주의적 동물에 의한 균체화, (4) 폭풍휴지기(fair-weather) 상태에 따른 퇴적재개와 원래 거주종이 회복되고 기회주의적인 생물종이 제거됨(Pemberton et al., 1992).

The Concept of Doomed Pioneers



The Doomed Pioneers Concept: Critical Observations

그림 2. 저탁류에 의한 중력류 퇴적체내에서의 생흔화석의 특징을 모식화 한 그림. 산소가 부족한 퇴적환경(심해)으로 중력류 퇴적체가 운반될 때, 퇴적체와 함께 천해생물들이 함께 운반되어 와서 일시적으로 군체를 형성한다. 단기간의 군체 형성 후, 다시 심해 퇴적물들이 퇴적되어 산소가 고갈된다. 이때 중력류 퇴적층과 그 바로 아래 놓인 층 내에만 존재하는 *Thalassinoides*와 *Ophiomorpha*와 같은 갑각류의 dwelling burrow와 세립질 입자 사이의 선택적인 생교란과 같은 특징들이 사건층의 존재를 지시한다(Grimm and Föllmi, 1990).

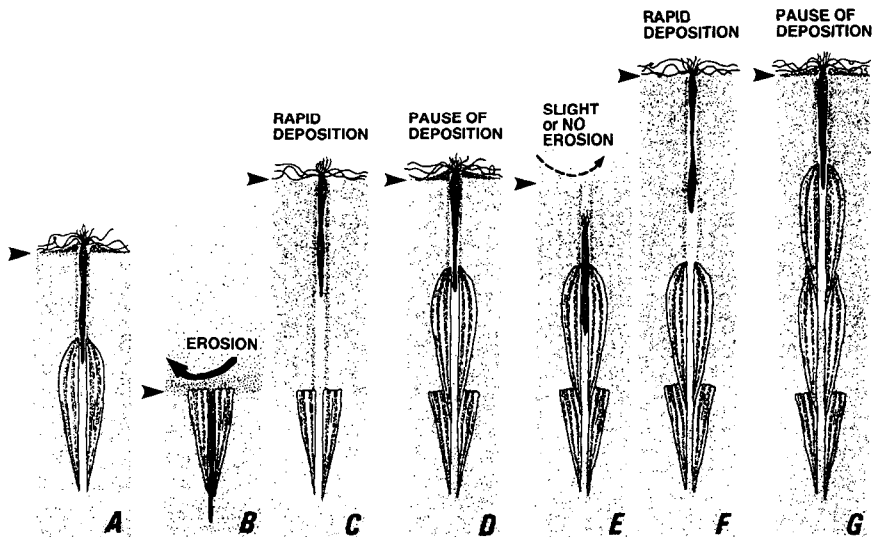


그림 3. A와 같은 *rosselia*가 침식이나 퇴적 같은 퇴적패턴에 따라 중첩된 구조를 나타내고 있다. 이러한 중첩된 *rosselia*의 흔적을 통해 당시의 퇴적환경을 유추 할 수 있다(Nara, 1997).

생층서학에서 생흔화석은 체화석이 존재하지 않을 때에 총체적 층서학을 정립할 수 있도록 중요한 역할을 하는 경우가 있다. 일부 암석 (특히 조립질 쇄설암) 또는 주로 거주생물이 연체동물인 환경(호수 또는 심해분지)에서는

생흔화석만이 기록으로 남아있다. 따라서 생흔화석은 종종 분지의 환경을 지시하는 퇴적체의 층서학적 건층으로 사용되기도 한다. 국부적 범위에서 skolithos가 풍부한 사암이나 ophiomorpha가 풍부한 지대는 그 지역의 노두에서 매우 쉽게 인지되므로 지질학자들에게 그 지역을 mapping하고 층서를 결정하는데 많은 도움을 줄 수 있다.

또한 생흔학은 성인적 층서학(genetic stratigraphy) 및 사건(event) 층서학과 관련하여 층서학적으로 중요한 경계를 제시함으로써 가장 중요한 화석그룹 중의 하나로 인지되기도 한다(Pemberton et al., 2001). 생흔학은 연속적이지 않은 지층이나 폭풍과 같은 사건적인 요소에 의한 지층의 인지와 도해 및 해석에 매우 중요한 역할을 하며, 불확실한 경계나 구분하기 어려운 사건층에 대해서도 기회주의적인 종의 급속한 확산과 정착종의 집단 소멸 등을 통해 그것을 인지하고 해석할 수 있는 결정적 자료를 제공한다(그림 1). 또한 생흔구조는 기질 특성에 대한 민감한 지시자로서, 기질 특성에 따라 나뉘는 Trypanites, Glossifungites, Teredolites 생흔상(ichnofacies)은 순차층서학(sequence stratigraphy)에서 층서학적 불연속면을 지시해주는 중요한 요소가 된다.

체화석들과 암석학적(퇴적학적) 정보와 관련된 생흔화석들의 연계조합(combined assemblage)은 고기 환경변수들에 대한 훌륭한 단서들을 제공한다. 원래의 퇴적환경을 해석하기 위한 고기 퇴적체의 보존되는 모든 부분에서 발견되는 모든 변수들을 조합하여 해석을 하는 것을 상분석이라고 한다.

Adolph Seilacher에 의해 지질학에서 처음 언급된 이래로 생물의 행동학적, 생태학적 변수에 대한 상분석의 시도로서 생흔상(ichnofacies)의 개념은 고기 환경을 해석하기 위한 퇴적상의 고생물학적 도구가 되었다. 생흔상의 개념은 석유탐사의 목적으로 정밀한 퇴적환경 해석을 통해 잠재적 저류암과 근원암에 접근하는데 적용되어 왔다. 석유나 가스 탐사 시 일반적으로 노두 보다는 core를 더 많이 이용하게 된다. Core 시료 채취 시에는 다양한 방법과 종류의 core를 이용하는데, 그 특성상 일부 core는 채취하는 과정에서 많은 시간과 노력, 그리고 자본이 필요하다. 따라서 최소한의 core 샘플을 가지고 최대한 많은 자료와 정보를 획득하는 것은 중요하다. 적은 직경의 core에서 관찰되는 물리적 작용에 의한 1차 퇴적구조만으로 수평적 범위 혹은 어떤 수평

적 변화의 특징, 퇴적환경 등을 상세히 연구하는 것이 용이하지 않으므로, 이때 생흔화석을 퇴적환경을 유추하고, 수평적인 변화를 판단하는데 보완적으로 이용할 수 있다. 예를 들어, core에서 언덕사층리와 swaley 사층리를 구분하여 인지하는 것은 어려운데, 이때 특징적인 흔적화석의 양상은 폭풍퇴적물 해석에 결정적인 도움을 줄 수 있기 때문에 석유자료의 해석에 매우 유용하다.

3-2. 고생태학에서의 활용

화석연구에서의 생흔학은 체화석(body fossil)으로 남을 수 없는 연체동물들의 형태나 행동학적 특징의 흔적이 암석이나 퇴적체에 나타남으로써 연체동물의 화석 기록으로 인지될 수 있다. 연체동물은 그 환경내의 생물량(biomass)의 우세한 구성요소이기 때문에 중요하다. 또한 체화석이 남기 어려운 산소가 풍부하거나 퇴적률이 낮은 환경에서도 생흔화석은 많은 양이 존재할 수 있으므로, 이러한 환경에서의 고화석 연구에도 도움이 된다(Gibert et al., 2000). 고기 암석 속에서 나타나는 생물의 행동적 특징과 현생동물의 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 직접적으로 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 반영한다고 볼 수 있다.

Frey와 Seilacher(1980)는 수심측량학, 온도, 퇴적되거나 침식되는 퇴적체, 기질 결합력과 안정성처럼 변하기 쉬운 것들은 그 결과 생기는 흔적화석들의 분포와 형태학에 깊은 영향을 미친다고 하였다. 따라서 생흔구조는 원래의 생물학적, 퇴적학적 상태를 동정하는데 사용될 수 있다. 생태학적 변수들은 확인하기 어렵지만 이러한 변화에 민감한 생흔화석의 모델을 통해 염분

과 산소의 양과 같은 변수들의 변화를 인지하는데 도움이 된다.

고환경 분석에 대한 생흔구조의 적용은 전체적인 또는 전형적인 생흔상의 단순한 모델을 제시하는 것 이상의 효과가 있다. 이를테면, 천해(shallow-water)나 연안주변부의 환경들은 많은 물리학적, 생태학적 변수들로 인해 크게 변하기 쉬운 퇴적학적 소환경으로 구성되어 있다. 암석기록으로 그러한 지역의 전체적인 퇴적학적 역사와 진화를 이해하기 위해서는, 반드시 이러한 변수들의 미묘한 변화를 확실히 구별해내는 방법을 가져야 한다. 이러한 의미에 있어서 비슷한 퇴적환경 속에서 미묘한 생태학적 변수의 차이에 의해 구성되는 소환경에 대한 정보를 생흔상이 포함하고 있기 때문에 최근의 석유지질학에서 층서트랩의 중요성이 높아지고, 4차원 탐사가 활발해짐에 따라 지질학에서 생흔학은 매우 중요한 분야로 점차 각광을 받고 있다.

4. 서해안 조간대의 생흔상 연구

4-1. 개방형 조간대: 영광 두우리

한반도 서남해안에 위치한 두우리 조간대는 사주와 보호섬이 없는 개방형 조간대로 파랑의 영향이 우세하게 작용하며, 평균 대조차는 약 6.8 m, 평균 조차 약 3.9 m를 보이는 대조차 조간대이다. 박스형 코아러(can corer)를 이용하여 획득된 주상시료를 정밀하게 제작한 에폭시 필(peel)을 통하여 생흔 화석상을 연구하였다.

90% 이상의 모래로 구성된 조수해빈(100m 이내)은 괴상의 사질 퇴적체로 일부 희미하게 평행엽층리가 보인다. 필에서는 전체적으로 울룩불룩한 형태의 cryptobioturbation으로 생각되는 흔적이 나타나는데 이는 계절에 따라 나타나는 밀집도가 다르다. 또한 수직의 skolithos가 나타나며, conichnus로 판단되는 burrow가 보인다. Conichnus는 사질의 고에너지 환경에서 나타나는 burrow로 퇴적률과 침식 사건변화에 대해 평형을 맞추려는 행동학적 반응을 반영하는 것이다.

전체적으로 평행엽층리, 우상층리 및 연흔 사층리의 1차 퇴적 구조가 잘 발달하는 혼성 조간대(500m 지점)에서는 하부 평행엽층리에 rhizocorallium이 나타나며, skolithos는 peel 전체에서 부분적으로 나타난다. Condrites와 planolites가 층리 내에서 3~4개씩 집단적으로 나타나며, planolites와 함께

palaeophycus가 나타나기도 한다. Palaeophycus는 사질함량이 높은 곳에서 나타나는 생흔구조로 폭풍 퇴적체와 함께 발견되기도 한다. 상부에 선명한 침식면에 의해 절단된 arenicolites가 보이며, 일부 peel에서는 rosselia가 나타나는 경우도 있다. 상대적으로 강한 에너지 환경에서 퇴적된 평행엽층리에는 skolithos가 일부 나타나거나 혹은 거의 생흔화석이 나타나지 않는다(그림 4A).

계절적으로 약간 차이는 있지만 주로 혼성 조간대 퇴적상을 보이는 900m 지점에서는 니질은 주로 괴상이거나 희미하게 엽리가 보이는 반면 사질에서는 평행엽층리와 연흔 사층리가 나타난다. 사질의 평행엽층리에서는 주로 skolithos가 나타나며, 측면을 보이는 diplocraterion이 나타나기도 한다. 사질 퇴적상에서는 planolites와 palaeophycus가 간혹 나타나며, 계절에 따라 상부에 생교란된 흔적을 보여주는 것도 있다.

청어뼈 구조와 언덕 사층리, 연흔 사층리 및 평행엽층리의 1차 퇴적 구조가 보이는 사질 조간대 퇴적상(1,300m)에서는 거의 skolithos와 planolites 및 paleophycus의 생흔화석 외에는 burrow가 보이지 않는다. 특정 필에서는 정확한 생흔속(ichnogenus)을 파악할 수 없는 흔적이 나타나기도 한다.

연흔 사층리와 괴상의 니질 퇴적상 혹은 완전히 생교란된 니질 퇴적상이 교호되어 나타나는 혼성 조간대 퇴적상(1,700m)에서는 skolithos와 planolites가 나타나며, 하부 평행엽층리에서 rhizocorallium이 일부 필에서 나타나기도 한다. 여름에 채취된 시료에서는 필의 하부와 상부의 사질 퇴적상에서 cryptobioturbation으로 생각되는 흔적이 나타나며, 일부 실지렁이(thread-worm)에 의해 형성된 작은 burrow들도 존재한다.

여름의 혼성 조간대 퇴적상을 제외하고는, 사질에 가까운 퇴적상이 나타나는 지점(2,100m)에서는 전체적으로 평행한 층리를 보이며, skolithos와 상부가 절단되어 하부만 보존되어 있는 arenicolites가 나타난다. 측면으로 절단되거나 완전히 보존된 diplocatreion이 나타나기도 하며, 하부에 asterosoma가 관찰되기도 한다.

혼성 조간대 퇴적상이 우세한 2,400m 지점에서는 전반적으로 생교란 밀도가 매우 높아 상부는 거의 완전히 교란되어 물리적 퇴적구조를 알아보기 어렵거나, 간헐적으로 연장성이 없는 구조가 나타난다. 하부는 평행엽층리가

다소 보존되어 있으며, *asterosoma*와 *thalassinoides*가 나타난다(그림 4B).

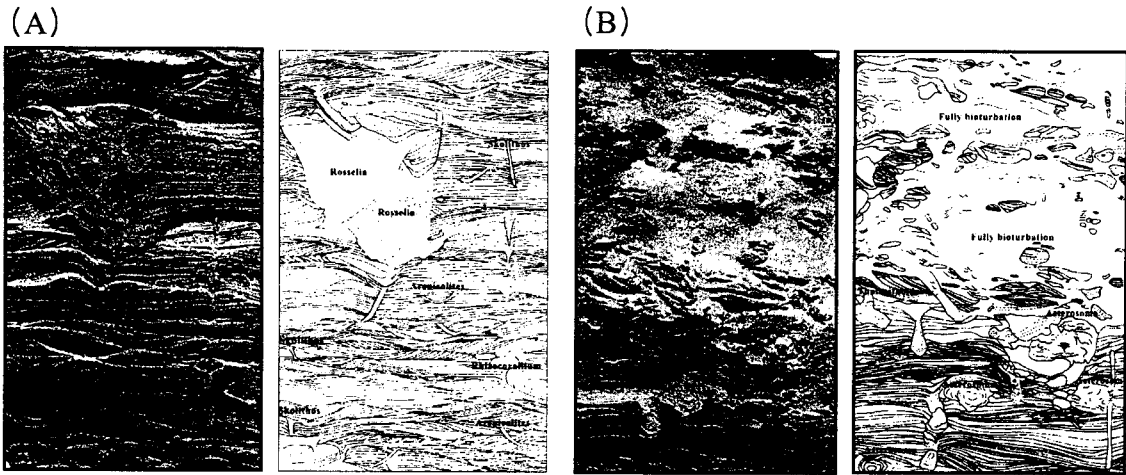


그림 4. 영광 두우리 조간대. (A) 혼합형 퇴적상: 500m 지점의 주상시료와 생흔상 도식, (B) 혼합형 퇴적상: 2,400m 지점의 주상시료와 생흔상 도식.

4-2. 하구형 조간대 : 강화도 여차리

4-2-1. 하구환경에서의 생흔학과 그 중요성

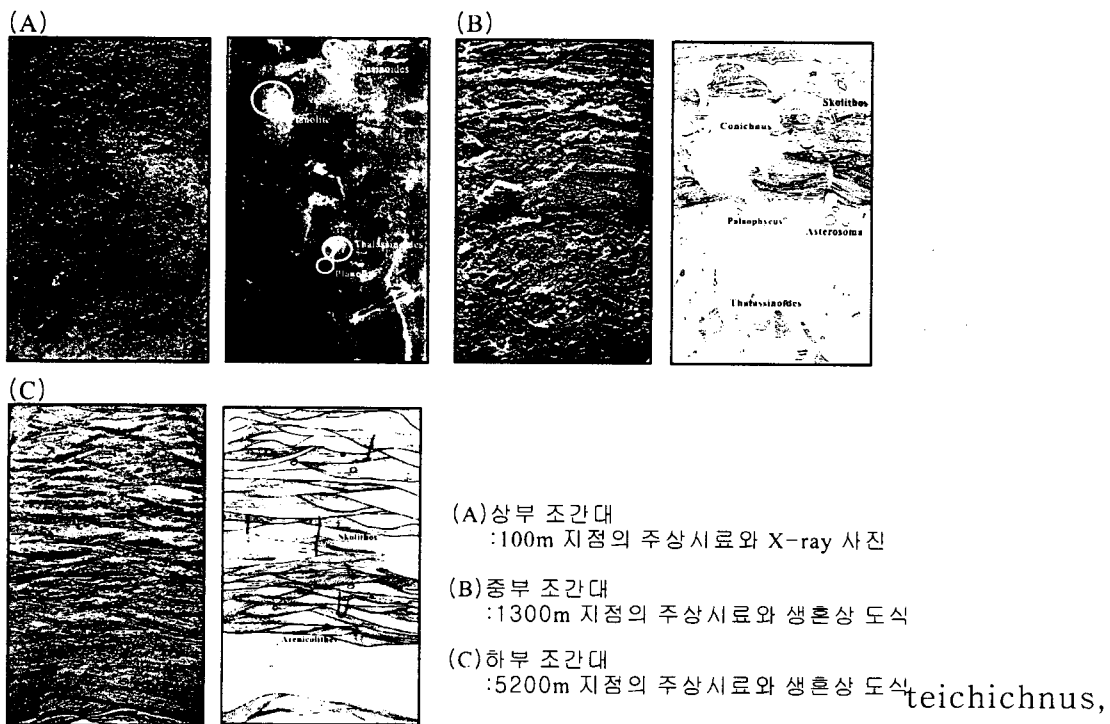
최근 석유탐사의 빠른 발전에 따라 암석기록에서 연안환경(조수하천, 하구 언, 만, 석호, 삼각주 평원 등)에 대한 정밀한 환경분류의 연구가 활발히 진행되고 있다. 연안환경은 온도, 난류(turbulence), 노출, 용존산소, 염분의 변화가 심하여 매우 복잡한 소환경으로 세분될 수 있지만 고기 퇴적층에서 이러한 세밀한 해석은 매우 어렵다는 문제점이 있다. 또한 이러한 환경에서는 수많은 생물집단에게 생리적으로 스트레스가 심한 환경을 형성하므로 내서 동물들에 의한 퇴적물 내 생흔구조가 풍부하다.

강화 갯벌(조간대)은 임진강, 예성강들로부터 유입된 퇴적물이 하구에 퇴적되어 형성되었으며 조석의 작용이 매우 우세한 우리나라의 대표적인 하구형 갯벌이다. 하구환경은 다른 연안환경처럼 염분변동 및 온도, 퇴적률 등 다양한 생태학적 변수들의 변동에 의해 생물들의 서식환경이 제한된다. 이러한 기수환경 퇴적물에 대한 올바른 연구를 위해서는 통합적인 연구(퇴적학적, 생흔학적, 지화학적 연구)가 필요하다. 그 중 생흔학적 연구는 다른 연구와 비교하여 모호한 점을 최소화 하고 가장 쉽게 접근 할 수 있는 자료이다. 기수환경의 생흔구조는 담수환경과 해양환경과는 다른 독특한 특성을 갖는다. 생흔구조의 다양성이 낮고 스트레스가 심한 환경에 맞추어 살아가는 tropic

generalists에 의해 단순한 구조가 형성되며 단일 생흔상이 우세한 환경이다. 또한 수직적인 생흔상인 skolithos 생흔상과 수평적인 생흔상인 cruziana 생흔상이 함께 존재하는데 이는 Adolph Seilacher의 수심측량학적인 cruziana 생흔상에서 나타나는 혼합된 Skolithos와 Cruziana 생흔상과는 다르다. Cruziana 생흔상에서 나타나는 혼합된 생흔구조는 fair weather 환경에 간헐적인 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 환경에 대한 인지가 가능하고 나아가 이러한 환경의 물리적, 생흔학적 변수들의 미묘한 변화를 확실히 구별해내는 방법으로 자리매김 할 수 있을 것이다.

4-2-2. 강화도 여차리 조간대의 생흔상

강화도 여차리 지역의 상부 조간대는 니질의 기질로 주로 응집성이 있는 기질 내에 여러분기로 갈라지는 거주구멍인 thalassinoides나 수평적 섭식 구조인 planolite 등의 생흔속(ichnogenus)으로 이루어진 Cruziana 생흔상이 우



(A) 상부 조간대
: 100m 지점의 주상시료와 X-ray 사진

(B) 중부 조간대
: 1300m 지점의 주상시료와 생흔상 도식

(C) 하부 조간대
: 5200m 지점의 주상시료와 생흔상 도식

그림 5. 강화도 여차리 조간대

세하게 관찰된다. 중부조간대는 사질과 니질이 교호하거나 주로 사질로 된 교호쌍으로 이루어지며 skolithos, conichnus, arenicolithes, bergaueria 생흔속들로 이루어진 Skolithos 생흔상과 rhizocorallium, asterosoma, thalassinoides 등의 Cruziana 생흔상이 함께 존재한다. 하부조간대는 사질로 구성되며 상대적으로 에너지가 가장 큰 환경이다. 따라서 사질에서 나타나는 사층리나 평행엽층리등의 물리적 구조가 뚜렷하다. 하부조간대는 여름과 겨울의 특징이 다소 뚜렷하게 대비된다. 여름은 겨울에 비해 Cruziana 생흔상의 생흔속과 함께 Skolithos 생흔상이 우세한 생흔구조가 물리적 구조와 함께 뚜렷하게 나타나고, 겨울에는 여름보다 에너지가 강하여 분명한 물리적 구조가 나타나는 것과 달리 생흔구조는 Skolithos 생흔상만이 희미하게 나타난다.

5. 결 론

생흔상에 대한 연구는 지질학의 전 분야에 걸쳐 활용이 되는 분야이며, 현재 국내외적으로 그 중요성이 많이 부각되어 연구가 활발히 진행되고 있다. 하지만 대부분의 연구가 고기 퇴적층을 통해 주로 이루어지고 있으며, 현생 퇴적 환경에서의 연구는 상대적으로 매우 미흡한 편에 속한다. 특히 국내에서는 생흔상에 관한 연구 자체가 상대적으로 거의 이뤄지지 않고 있는 실정이다. 따라서 서해안의 조간대 지역에서의 생흔상에 대한 연구는 한반도 현생환경에서의 생흔학적인 연구라는 점에서 중요한 의미가 있다.

현재 진행된 연구결과에 따르면 영광 두우리 조간대는 여름철에 우세하게 나타나는 일부 지역의 니질 퇴적상을 제외하고는 사질 퇴적상, 니질과 사질의 혼성 퇴적상이 주로 나타난다. 전체적으로 필에서 나타나는 생흔구조는 평균 3.5개 정도의 생흔속(ichnogenus)으로 제한되며, 각 생흔속의 빈도도 평균 3~4개 정도이다. 특히 평행엽층리 내에서는 거의 생흔구조가 나타나지 않거나, skolithos가 우세하며, 간혹 diplocraterion과 rhizocorallium이 나타나기도 한다. 사질 퇴적상에서는 층 내의 밀도가 매우 높은 cryptobioturbation으로 생각되는 생흔구조가 나타나기도 하는데 이에 대한 자세한 연구가 필요하다. 두우리 조간대는 파랑의 작용이 우세하게 작용하는 지역으로 고에너지 환경을 나타내는 특징들이 우세한 것으로 판단된다.

강화도 여차리 조간대 내에 생흔상은 상부, 중부, 하부 조간대에 따라 크게 분류할 수 있으며 각 조간대는 퇴적상의 특징에 따라 니질 퇴적상, 니질과 사질의 혼성 퇴적상, 사질퇴적상으로 크게 나누어진다. 생흔상은 니질의 상부에서는 Cruziana 생흔상이 우세하게 분포하고, 혼성 퇴적상의 중부 조간대에서는 국부적 환경 차에 의해 Skolithos와 Cruziana 생흔상이 함께 분포한다. 하부 조간대는 물리적 구조가 가장 잘 보존되는 부분으로 미세한 Skolithos 생흔상을 보여준다. 여차리 조간대는 축선을 따라 수평적으로 상부, 중부, 하부의 퇴적상의 변화와 함께 다른 생흔상을 나타내며, 한 정점 내에 수직적 환경변화에 따라서도 생흔상이 달라지는 양상을 보인다.

이 논문에서 발표되는 결과는 아직 완성된 결론이 아니라 진행 중인 연구 결과를 1차적으로 발표하는 것으로 앞으로 계속적인 연구를 통해 각 축선별 주상시료의 세부적인 생흔상을 기술하고 해석할 것이다. 개방형 조간대와 하구환경에 따른 생흔상의 분포 형태를 비교하여 두 연안 환경 내의 특징적인 생흔상을 제시하고, 계절별 퇴적상 분포의 변화에 따른 생흔상의 변화양상에 대한 지속적인 연구도 진행할 것이다.

6. 사 사

이 논문은 한국과학재단의 지원(KOSEF, R01-2001-00081)을 받아 수행된 연구결과를 기초로 작성되었다. 이 연구를 수행하는 중에 현장조사 및 실내 실험에서 많은 토론과 실질적인 도움을 주었던 전남대학교 퇴적환경연구실의 백영숙, 김종관, 장강석에게 고마움을 표하고 싶다.

7. 참 고 문 헌

- 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: p. 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.

Warne, 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: Louisiana State Univ., Misc. Pub. 71-1, p. 27-43.