

화석 형성 과정에 대한 중학생들의 이해

황구근^{1,*} · 조규성² · 허민³

¹거문중초도분교장, 556-855, 전라남도 여수시 삼산면 초도리 산 456

²전북대학교 과학교육학부/과학교육연구소, 561-756, 전주시 덕진구 덕진동 1가 644-14

³전남대학교 지구환경과학부/한국공룡연구센터, 500-757, 광주광역시 북구 용봉로 333

Understanding on the Fossilization of Middle School Students

Koo-Geun Hwang^{1,*}, Kyu-Seong Cho², and Min Huh³

¹Branch school of Geomun Middle School, Jeonnam 556-855, Korea

²Division of Science Education/Institute of Science Education, Chonbuk National University, Chonbuk 561-756, Korea

³Faculty of Earth Systems and Environmental Sciences and Korea Dinosaur Research Center, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea

Abstract: Experiments to explain fossilization have been introduced in elementary and middle school science textbooks. Most of them have explained the processes by the mold and cast formed by imprint of bivalve or leaf. The processes explained in the textbooks are more similar to that of trace fossil than body fossil, because the external molds from experiment are imprints after the model was taken off. However fossils of the figures in the textbooks are mostly body fossils. Therefore, the students may be willing to equate the experiment process with the fossilization of the body fossils. The misconceptions were confirmed in this study by the questionnaire which asked 9th grade students on this subject. Many students thought that the body fossils were fossilized imprints and the fossils of terrestrial organism were formed on land without transportation, that is, they did not understand well about biostratigraphy and crustal movement. The misconception about the environment in which fossils formed was already reported in a survey on the elementary school students, but has not revised until ninth grade. Therefore, to remove the misconception related to the fossilization, the fossil models in the experiments may be replaced by trace fossils, or new experiments for body fossil should be designed.

Keywords: science textbook, experiment, fossilization, middle school student, misconception.

요약: 초·중학교 과학 교과서에 생물의 화석화 과정을 설명하기 위하여 화석 만들기 실험이 소개되어 있다. 대부분의 실험들은 조개나 잎을 이용하여 몰드와 캐스트를 만드는 실험으로 생물체가 빠져나간 후 흔적이 화석화되는 생흔 화석의 형성 과정과 유사하게 설계되어 있다. 그러나 교과서에 제시된 대다수의 화석 자료들은 사체가 속성 작용을 겪은 후 보존되는 실제 화석으로 학생들은 이 실제 화석의 화석화 과정을 실험 과정과 동일시할 우려가 있다. 이러한 오개념은 9학년들을 대상으로 실시한 설문 조사에서 확인할 수 있었는데 그 결과 다수의 학생들이 실제 화석을 생흔 화석으로 생각하는 것으로 나타났다. 또한, 육상 생물들이 사체의 이동 없이 육상에서 화석화된다고 생각하여 화석의 퇴적 과정과 지각 변동도 정확히 이해하지 못하고 있었다. 이와 같은 화석화 과정에 대한 오개념은 이미 초등학생을 대상으로 한 연구에서 확인된 바 있는데 이번 연구 결과 이 오개념이 9학년 학생까지 유지되고 있는 것으로 나타났다. 따라서 화석화 과정과 관련된 오개념을 수정하기 위해서는 실험에 사용되는 모델을 생흔 화석으로 바꾸거나 실제 화석의 화석화 과정을 위한 새로운 실험 과정이 설계되어야 할 것으로 생각된다.

주요어: 과학 교과서, 실험, 화석화 과정, 중학생, 오개념

*Corresponding author: kghwang@korea.kr

Tel: 82-61-666-8542

Fax: 82-61-666-8560

서론

화석은 과거 지질시대에 형성된 퇴적층의 선후 관계를 밝히고 퇴적 당시 퇴적 환경을 복원시키는 데 유용하게 사용되기 때문에 지구의 역사와 생물의 진화를 설명해 주는 중요한 역할을 해 왔다. 화석은 이러한 학술적 중요성뿐만 아니라 멸종한 생물일지라도 현재에 와서 그 생물을 다시 만날 수 있다는 흥미로운 주제로 지질시대에 생존했던 동물을 복원하고 이들의 생활을 통해 과거 환경을 유추할 수 있다는 점에서 인간들에게 오랫동안 호기심의 대상이 되어 왔다. 이러한 화석에 대한 관심으로 최근 국내에서도 공룡과 익룡, 거북, 절지 동물 등(Fig. 1) 다양한 화석 보고가 증가하고 있다(백광석과 양승영, 1998; 황구근 외, 2002, 2004; Dong et al., 2001; Hwang et al., 2002, 2008; Huh et al., 2003, 2006). 학교 교육에서도 이러한 관심을 반영하듯이 공룡을 포함하는 다양한 화석 관련 내용이 초·중·고등학교의 교과서에 포함되고 학습자 역시 화석에 대한 흥미와 관심(김정률과 이정선, 1999)이 높아 학습 동기를 부여하는 데 좋은 학습 자료가 되고 있다.

지금까지 교과서의 화석 관련 연구는 주로 고등학

교 교과서를 대상으로 이루어 졌는데 이들 연구로는 양승영(1998)이 공통과학과 지구과학I, II 교과서를 대상으로 화석 관련 내용을 분석한 교재로서의 화석 연구, 이정선과 김정률(1999)의 고등학교 교과서의 화석 관련 내용 분석 연구, 정철환 외(2005)의 화석 사진의 산출 지역 및 척도 표기 분석 연구, 김정률과 이정선(1999)의 교사와 고등학교 학생의 화석에 대한 흥미도와 이해도 조사 등이 있다. 이 중 김정률과 이정선(1999)의 연구는 학생들이 화석에 대한 흥미도는 높으나 이해도가 낮음을 지적하고 교과서의 설명이 좀 더 효과적이고 체계적인 소개가 필요하다고 기술한 바 있다. 또한, 배영부와 이유미(2000)는 초등학교를 대상으로 연구하였는데 지층과 화석 단위를 구성주의 입장에서 재구성하여 학생들의 적극적 참여와 흥미를 높일 수 있었다고 보고하였다.

한편, 2005학년도 학업성취도 평가에서도 화석 관련 문항을 살펴보면 초등학교의 경우는 화석을 이용한 지층 대비를 중학생의 경우는 표준화석에 대한 개념이 부족한 것으로 나타나 화석에 대한 이해도가 낮다는 그 동안의 연구 결과와 마찬가지로 평가에서도 낮은 정답률을 보였다(이창훈 외, 2006).

현재, 초·중학교 교과서의 화석 관련 내용 증 화

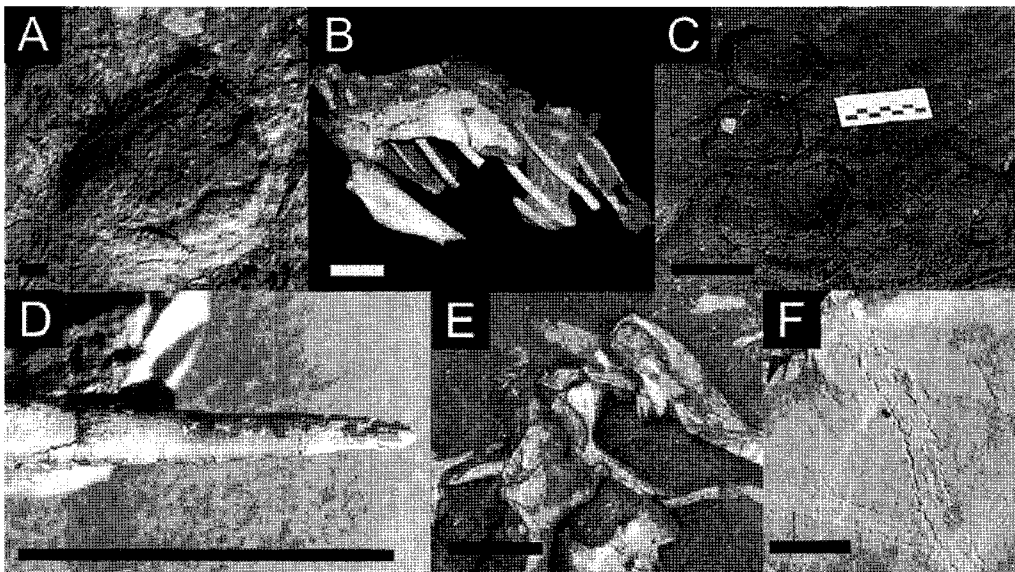


Fig. 1. Various fossils recently found in southern Korea. (a) A sauropod pes track from the Jindong Formation (Hwang et al., 2004). (b) Dinosaur bones from the Boseong dinosaur fossil site (Huh et al., 2006). (c) Dinosaur eggs from the Boseong dinosaur fossil site (Huh et al., 2006). (d) A pterosaur teeth from the Jinju Formation (Yun and Yang, 2001). (e) Turtle bones from the Boseong dinosaur fossil site (Huh et al., 2006). (f) Arthropod tracks from the Uhangri Formation (Hwang et al., 2002). Scale bars=5 cm.

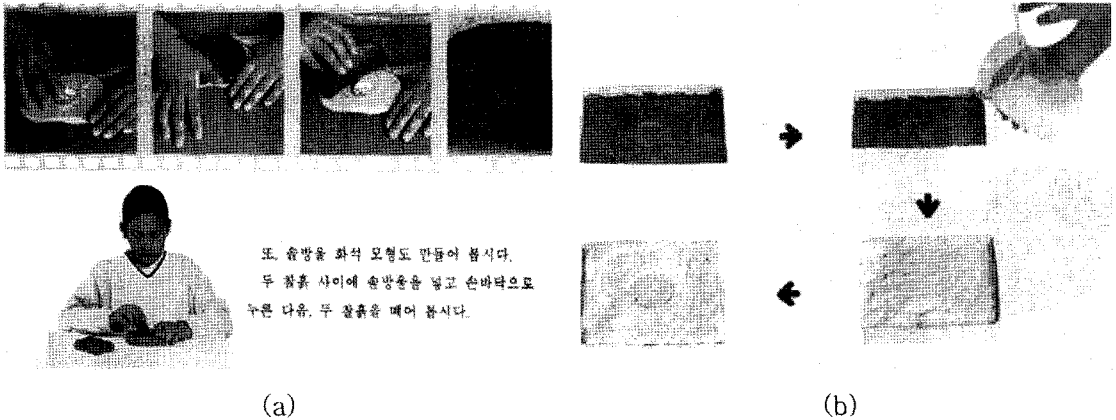


Fig. 2. Experiments related to fossilization in the elementary (a) and a middle school science textbook (b).

석의 형성 과정을 설명하는 내용은 주로 몰드를 만드는 실험을 통해 학습하도록 되어 있다. 그러나 이 실험에 사용된 실험 재료들은 주로 실제 화석으로 보존되는 것들로 학생들이 다른 실제 화석의 형성 과정도 실험 과정과 동일시할 가능성이 있다.

따라서 본 연구는 화석화 과정과 관련된 초·중학교 과학 교과서의 교과 내용을 비교 분석하고 중학생을 대상으로 화석화 과정에 대한 이해 정도를 조사하여 학습자가 화석화 과정을 바르게 이해하기 위한 방안을 모색하고자 하였다.

연구 내용 및 방법

화석 관련 단원은 모든 초, 중학교 교과서에 포함되어 있으며 화석의 형성 과정은 화석 만들기 실험을 중심으로 학습하도록 구성되어 있다(Fig. 2). 본 연구에서는 사망(necrolysis), 화석 퇴적 과정(biostratinomy), 속성 작용(diagenesis) 등 화석화 과정과 교과서에 포함된 내용을 비교하여 분석하고(Table 1-4), 학생들이 가지고 있는 화석화 과정에 대한 개념을 질문지를 이용하여 조사하였다(Fig. 3).

교과 내용 분석

초·중학교 교과서의 화석 관련 단원의 구성을 조사하고 단원에서 설명하는 화석화 과정을 화석화 과정별로 포함 여부를 비교하였다(Table 1). 그리고 화석의 형성 과정을 설명하는 화석 만들기 실험과 그림들이 화석의 형성 과정을 잘 반영하고 있는지 분석하였다(Table 2와 3).

연구 대상

관련 내용이 8학년 과정에 포함되어 있으므로 이 내용을 학습한 9학년을 대상으로 화석의 형성 과정에 대한 이해 정도를 조사하였다. 이를 위하여 8개 중학교를 임의로 선정하고 각 학교의 한 학급을 대상으로 설문 조사를 실시하였으며 256명의 학생이 참여하였다.

설문 도구

질문지는 교과서 실험과 실제 화석에서 화석화 과정을 이해하고 있는지를 단답형이나 선택형, O, X 문항 등으로 구성하여 조사하였다(Fig. 3).

질문에 제시된 실험은 모든 교과서에서 공통으로 제공하고 있는 조개를 이용한 실험을 선택하였으며 이어서 실제 조개 화석의 사진을 제시하고 이 화석의 화석화 과정을 어떻게 이해하는지 조사하였다. 그리고 교과서에 제시된 다양한 실제 화석과 생흔 화석 사진들을 제시하고 학생들이 이들의 화석화 과정을 어떻게 이해하고 있는지 조사하였다. 문항은 생흔 화석과 실제 화석의 구분 능력, 화석의 퇴적 환경, 지각변동 및 화석화에 필요한 시간 등을 실험과 실제 화석을 대상으로 반복하여 질문하도록 제작하였다(Fig. 3).

제한점

중학교의 경우 9종의 교과서가 있어 다른 교과서로 학습한 경우, 설문 결과에 영향을 줄 수 있다. 이 영향을 최소화하기 위하여 설문지에는 초등학교와 9종의 중학교에 공통적으로 포함된 조개 화석의 형성

Table 1. The contents related to fossilization in the science textbooks of elementary and middle school

Grade Contents	Elementary school (4th)				Middle school (8th)					
	EM	K (J)	K (K)	KS	DI	DH	DS	DD	BB	JH
Definition of fossils	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Distinction between body and trace fossils	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Experiment about fossilization	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Drawing explaining fossilization of body fossil	0	x	x	x	x	x	0	0	0	x
Sedimentary environment for fossilization	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Biostratinomy	0	x	x	x	x	x	0	0	x	x
Diagenesis of fossils	x	x	x	x	x	x	x	0	0	x
Conditions for fossil preservation	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Crustal movement	0	x	x	0	x	x	x	0	0	0
Excavation	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Index and facies fossils	x	0	0	0	0	0	0	0	0	0

EM, Ministry of Education and Human Resources Development; K, Kyohak; KS, Kumsung; DI, Daeil; DH, Donghwa; DS, Doosan; DD, Didimdol; BB, Blackbox; JH, Jihak

Table 2. Comparisons of drawings for fossilization in the science textbooks

Grade	Elementary school (4th)	Middle school (8th)		
Company	EM	DS	DD	BB
Fossil	Fish, Bivalve, Asteroids	Quadrupeds	Quadrupeds, Molluscs	Molluscs
Sedimentary environment	Aquatic	Aquatic	Subaerial	Subaerial
Mortality	Included	Included	Included	Included
Biostratinomy	Burial	Burial	Burial	Burial
Diagenesis	Not included	Not included	Recrystallization, Internal mold	Internal mold
Crustal movement	Included	Included	Included	Not included
Excavation	Included	Not included	Included	Not included

실험을 이용하였다. 하지만 학습 당시 지도 교사가 설명한 내용이나 학습자가 교과서 밖(참고서, 학원 등)에서 학습한 내용에 따라 학습자의 화석화 과정에 대한 이해 정도가 달라질 수 있다.

설문 조사는 중학교 8개교를 대상으로 실시하였으므로 조사한 결과를 모든 학생에게 일반화하기 위해서는 좀 더 폭넓은 조사와 분석이 필요할 것이다.

연구 결과

교과서 분석

화석과 관련된 내용은 초등학교의 경우는 4학년 2학기 과학 교과서 4단원 ‘화석을 찾아서’에서, 중학교는 2학년 과학 교과서 6단원 ‘지구의 역사와 지각 변동’에 소개되고 있다.

이들 단원의 교과 내용을 살펴보면 초등학교 교과서는 사진 자료를 이용한 화석의 소개와 화석 만들기 실험, 화석 형성 과정을 설명하는 도면, 화석을

이용한 층서 대비, 환경 유추 및 공룡 화석 조사 등으로 구성되어 있다. 즉, 화석에 대한 정의, 형성 과정과 표준화석과 시상화석의 개념을 고루 다루고 있다(교육부, 2002). 이에 비해 중학교 교과서의 교과 내용은 지층, 화석 형성 과정, 화석의 형성 조건, 표준화석과 시상화석의 설명 등으로 구성되어 있고, 설명은 초등학교 교과 내용보다 더 간결해졌으나 화석의 보존 조건과 종류를 좀 더 자세하게 설명하고 있다(정완호 외, 2001; 강만식 외, 2001; 이성목 외, 2001; 최돈형 외, 2001; 박봉상 외, 2001; 소현수 외, 2001; 김찬중 외, 2001; 김정률 외, 2001; 이광만 외, 2001).

화석에 대한 정의는 모든 교과서가 ‘퇴적암의 지층 속에 과거에 살았던 여러 가지 유해나 흔적이 보존되어 있는 것’으로 설명하고 있어 실제 화석과 생흔 화석을 모두 포함하여 화석으로 소개하고 있다. 그러나 실제 화석과 생흔 화석을 구분해서 그 차이점을 설명하지 않고 있다.

Table 3. The fossil photographs in the science textbooks of the elementary and middle schools

Grade	Publishing company	Fossil photograph	
		Trace fossils	Body fossils
Elementary school (4th)	EM	Dinosaur footprints and eggs, Bird footprints	Fishes, Gastropods, Leaves, Trilobites, Crab, Dinosaurs, Silicified-woods, Asteroids, Echinoids, Brachiopods, Fern
	K (J)	Dinosaur footprints	Trilobites, Ammonoids, Fern
	K (K)	Dinosaur footprints	Leaves, Bivalve, Dragonfly, Coral, Fusullina, Ammonoids, Fern
	KS	Dinosaur footprints	Silicified-woods, Ammonoids, Insects, Coral, Fern, Leaves
	DI	Dinosaur footprints	Dinosaurs, Bivalve, Fishes, Trilobites, Leaves, Insects.
Middle school (8th)	DH	Dinosaur and bird footprints	Coral, Stromatolite, Trilobites, Brachiopods, <i>Archaeopteryx.</i> , Fern, Dinosaurs, Ammonoid, Leaves
	DS	Dinosaur footprints	Fern, Coral, Stromatolite, Trilobites, Dinosaurs, Ammonoid, <i>Archaeopteryx.</i> , Brachiopods
	DD	Dinosaur footprints, Coprolites	Dinosaurs, Insects, Leaves, Mammoth, Fern, Coral, Trilobites, Ammonoids
	BB	Dinosaur footprints Bird footprints	Silicified-woods, Trilobites, Coral, Dinosaurs, Fern
	JH	Dinosaur eggs	Leaves, Fish, Dinosaurs, Insects, Fern, Trilobites, Jelly fish

Table 4. Comparisons of experiments for fossilization in the science textbooks

Grade	Elementary school (4th)		Middle school (8th)							
	EM	K (J)	K (K)	KS	DI	DH	DS	DD	BB	JH
Company	EM	K (J)	K (K)	KS	DI	DH	DS	DD	BB	JH
Materials	B, P	B	B	B	B, L	B	B	B	B, L	G, L
Method	Imprint	Imprint	Imprint	Imprint	Body fossil	Imprint	Imprint	Imprint	Imprint	Imprint
Sedimentary Environment	subaerial	subaerial	subaerial	subaerial	subaerial	subaerial	subaerial	subaerial	subaerial	subaerial
Mortality	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Biostratinomy	Burial	Burial	Burial	Burial	Burial	Burial	Burial	Burial	Burial	Burial
Diagenesis	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Crustal movement	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

B: Bivalve, L: Leaf, G: Gastropoda, P: Pine cone, x: not included

화석의 형성 과정 설명은 공통적으로 화석 만들기 실험을 통하여 설명하고 있으며 다만, 일부 교과서에서 그림을 이용하여 화석화 과정을 추가로 설명해 주고 있다(Table 1과 2). 실험 과정은 중학교 1종의 교과서를 제외한 모든 중학교와 초등학교 교과서에서 화석 모형의 찍힌 흔적을 이용해 화석을 만들도록 설계되어 있다. 따라서 사체가 화석화 과정에 포함되는지 여부가 실제 화석과 생흔 화석의 주된 차이점을 고려할 때(Benton and Harper, 1997) 이러한 실험 설계는 실제 화석보다는 생흔 화석의 형성 과정을 설명하는 데 더 적합해 보인다.

화석화 과정 중 사후에 겪게 되는 사체의 이동에 대한 내용은 초등학교와 일부 중학교 교과서에서 그림을 통해 사체가 퇴적층에 묻힌 모습을 보여주고 있을 뿐 이에 대해 언급한 교과서는 없었다. 그리고 용해, 재결정, 광염 작용(Impregnation), 외피 덮임(Encrustation) 및 내부 모형(Internal mould) 등과 같

은 다양한 속성 작용 역시 현재 중학교 교과서에서 거의 설명이 이루어지고 있지 않고 있으며 단지 중학교 한 종의 교과서만이 그림을 이용하여 용해와 내부 모형을 설명하고 있다(Table 1과 2).

지각변동은 화석화 과정과 직접적인 관련은 없으나 하성이나 해성 퇴적층에 보존된 화석이 발견되기 위해 필요한 과정으로 화석의 퇴적 환경과 상호 보완적인 개념이다. 현재 화석 관련 단원에서는 지각변동에 대해 서술한 교과서는 없고 단지 그림을 제시한 교과서만이 이를 통해 설명하거나 추론하도록 되어 있으며 이어지는 지각변동 단원에서 초등학교 교과서와 3종의 중학교 교과서만이 습곡산맥에서 화석이 발견되는 이유를 학습하도록 되어 있다. 따라서 교과서에서 제공하는 화석화 과정 설명은 흔적으로 형성되는 몰드가 주 내용으로 화석 퇴적 과정이나 속성 작용 그리고 지각변동 등에 대한 내용은 거의 없다.

화석의 보존 조건에 대한 내용은 초등학교 교과서

실문지

중학교 2학년

다음 실험은 여러분이 공부하고 보았던 때 배웠던 화석만들기 실험과정입니다. 이 실험을 할때 다음 물음에 답해 주시기 바랍니다.

● 실험과정 : 1) 석회 반죽을 만든다. 2) 손에 바셀린을 바른 종이한다. 3) 석회를 물기에 넣고 조형물 그 위에 놓아 손으로 누른다. 4) 석회가 마르면 조형을 빼어내고 마른 석회위에 바셀린을 바른다.

아) 어떤 식물이나 짐승 반죽을 해서 쓰나?
 바) 석회와 보통 같은데 서로 빼어내어 보물함을 만든다.

1. 위 실험을 읽고 화석에 대한 설명으로 맞은 것을 선택하십시오.

1) 위 실험 결과 화석이 되는 것은? 조형물 조형물

2) 위 실험에서 고생물의 무늬가 되는 것은 어떤 것입니까? 조형물 조형물

3) 조형물 주변에 화석으로 보존되는 것에는? 석회 바셀린 물 공기

2. 오른쪽 사진은 영국에서 발견된 조형물이다. 이 화석에 대한 설명으로 맞은 것, 틀린 것 모두 알려주세요.

1) 조형물은 고대식물의 흔적이 되었다. X

2) 조형물은 바셀린으로 만들어 지는 조형물이다. X

3) 화석이 화석화 되어 보존된 것이다. X

4) 바셀린 같은 조형물은 고대식물 화석이 될 수 있다. X

5) 조형물은 바셀린에 바셀린을 바른다. X

3. 다음은 여러 화석의 사진입니다. 물음에 해당하는 사진의 번호를 적으시오.

1. 나비화석 2. 물고기화석 3. 곤충화석

4. 식물화석 5. 조개화석 6. 잎화석

1) 물고기는 바셀린과 석회로 만든 모형이 화석이 될 경우 보존될 수 있습니까? 2, 3, 4

2) 나비와 같은 꽃이없는 곤충의 화석은 어떻게 보존될 수 있습니까? 산 산

3) 물고기와 같은 동물은 어떻게 보존될 수 있습니까? 산 산

4. 화석에서 발견되는 화석에 대한 설명으로 맞은 설명에 O, 틀린 설명에 X 표시하십시오.

1) 화석이 되기 위해서는 밑에 구멍이 있어야 해서 남아 있을 수 없습니다. X

2) 물은 화석을 이루고 대부분 화석은 육안 화석에서 발견됩니다. X

3) 도르래 화석은 석회로 되어 있다. 석회 화석은 발견하면 다른 화석은 발견할 수 없다. O

4) 화석의 형태는 석회로 되어 있다. O

***** 감사합니다 *****

Fig. 3. Questionnaire used to investigate student's understanding related to fossilization.

에는 제시되지 않고 있으나 중학교의 모든 교과서에는 이 조건이 제시되거나 질문 형태로 학습하도록 하고 있다. 이 보존 조건들은 사체가 빨리 퇴적물로 덮여야 한다든가, 뼈와 껍데기가 있어야 화석화되기 쉽다는 조건들로 실제 화석이 형성되기 위한 조건들이며 흔적이 보존되기 위한 조건은 서술되어 있지 않다.

화석은 초등학교를 제외한 모든 중학교 교과서에서 시상화석과 표준화석 2종류로 구분해 설명하고 있는데, 대표적인 예로 삼엽충, 공룡과 암모나이트 등을 표준화석으로 고사리와 산호 등을 시상화석으로 소개하여 대부분 교과서들이 실제 화석을 이용하여 설명하고 있다. 다만, 중학교 교과서 1종만이 생흔 화석인 공룡 발자국을 표준화석의 예로 설명하고 있다.

따라서 교과서에서 제공하는 화석 내용은 화석 정의에서는 실제 화석과 생흔 화석을 모두 소개하고 있지만, 실험은 흔적이 보존되는 과정으로 그 외의 설명은 실제 화석을 기준으로 설명되고 있어 형성 과정이 다른 생흔 화석과 실제 화석의 학습 내용이 혼재되어 있다. 교과서에 제시된 화석 사진들도(Table 3) 실제 화석 사진과 생흔 화석 사진이 구분 없이 제

시되어 일부 교과서에서는 실제 화석의 보존 조건을 제시하고 그 예로 생흔 화석의 사진이 제시된 경우도 있다.

화석 만들기 실험

초·중학교 교과서에서 소개하는 화석 형성 실험은 지층 속에 남아 있는 화석 재료를 관찰하도록 하고 있는 1종의 중학교 교과서를 제외하고 모든 교과서가 조개나 솔방울 등을 찰흙에 찍어서 남겨진 흔적을 관찰하도록 되어 있거나 이 흔적을 이용하여 몰드나 캐스트를 만들도록 설계되어 있다(Table 4).

이 실험 과정과 유사한 실제 화석의 화석화 과정으로는 중학교 1종의 교과서에 제시된 그림 설명처럼 사체의 각이 용해되고 그 공간이 충진 되어 몰드와 캐스트가 만들어 지는 경우가 있으나(김정률 외, 2001), 교과서의 실험에서 만들어지는 화석 모형들은 화석 재료에 바셀린이나 식용유를 발라 실험 재료가 빠지도록 설계되어 있으므로 차이가 있다. 또 다른 경우로 사체의 흔적이 남아 실제 화석으로 해석되는 경우도 있겠으나 실험 설계처럼 조개 껍데기가 빠져 나가면서 흔적만 선택적으로 남겨지는 경우는 조개의

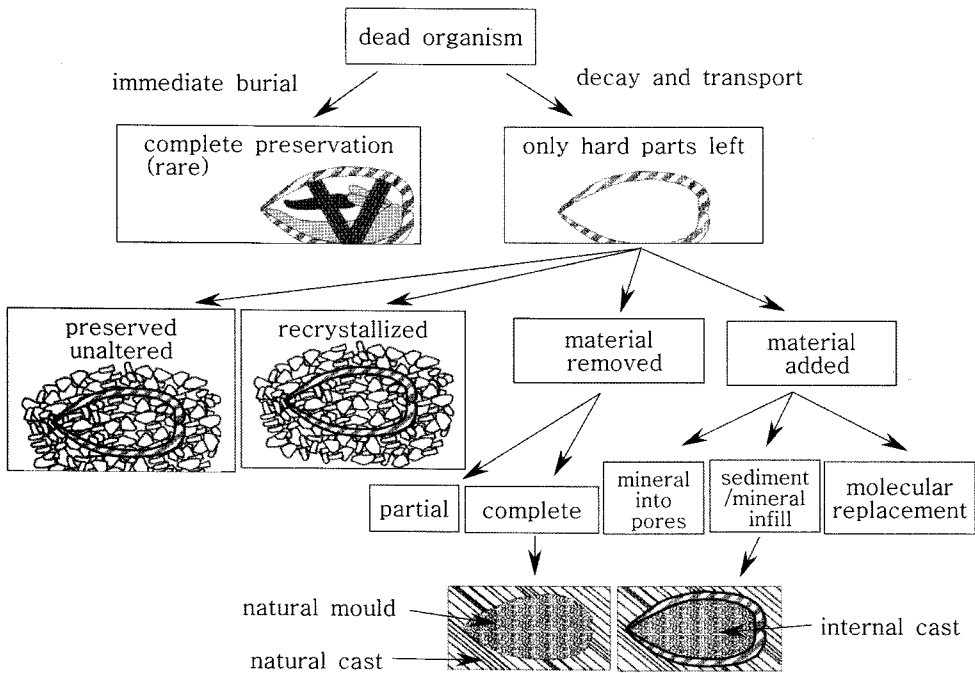


Fig. 4. After the death of the bivalves, they have preserved in various ways. Moulds and casts could be formed as the result of the diagenesis (redrawn from Benton and Harper, 1997).

화석화 과정(Fig. 4)에서 설명되지 않는다(Benton and Harper, 1997; Clarkson, 1998; Taylor and Lewis, 2005).

화석으로 보존되기 위해서 사체는 주로 수중에서 빠른 매몰 과정을 거쳐야 하지만 교과서에 제시된 실험은 물에 잠기지 않은 상태에서 화석 모형을 만드는 과정으로 설계되어 학습자가 물에 의한 운반이나 퇴적 작용을 연상하기 힘들게 되어 있다(Table 4). 만일, 실험이 물속에서 진행되도록 재설계된다면 화석이 습곡 산맥과 같은 육상에서 발견되기 위해 필요한 지층의 융기 과정 역시 자연스럽게 학습될 수 있을 것이다.

실험에서 사용되는 실험 재료는 조개 외에도 나뭇잎, 소라, 멸치 등이 있는데 이 중 멸치를 제외한 모든 재료들은 위에서 설명한 실험 과정과 동일하게 설계되어 있다(Table 4). 그러나 이 화석들은 사체가 화석화 과정을 겪은 후 실제 화석으로 보고되는 것들로 교과서에서도 조개류를 포함해 완족류, 암모나이트, 나뭇잎, 고사리, 어류 등의 실제 화석 사진들이 제시 되어 있다. 따라서 학습자는 이들 실제 화석의 형성 과정을 실험 과정과 동일하게 생각하려 할 것이다.

이러한 학습자의 혼돈을 막기 위해서는 조개나 잎과 같은 실험 대상보다는 동물의 발과 같은 대상을 이용하여 생흔 화석이 생성 되도록 하거나 또는 일부 교과서에서 제시하고 있는 그림의 설명에 맞춰 실험 재료들을 퇴적층에 남겨 퇴적층에서 화석 모형을 발굴하도록 설계함으로써 일반적인 화석화 과정을 실험하도록 설계되어야 할 것이다.

중학생들의 인식 조사

화석의 형성 과정과 관련된 학생들의 인식을 조사하기 위하여 질문지를 제작하여 조사하였으며 학습자가 화석 만들기 실험 과정과 실험에 사용된 조개와 교과서에 제시된 실제 화석의 화석화 과정을 모두 잘 이해하는지 조사하였다(Fig. 3).

화석 만들기 실험에 대한 조사에서는 약 71% 학생들이 '조개 흔적'이 남아 화석 모형을 만든다고 대답하여 실험 과정을 대체로 바르게 인지하고 있었다(Fig. 5a). 그리고 실험의 퇴적 환경을 물속이라고 대답하는 학생이 75%에 달해 예상과 달리 육지라는 학생의 수는 적었다. 화석화에 걸리는 시간은 95% 이상의 학생이 실험 시간보다 길다고 하여 시간에 대한 개념은 잘 이해하고 있었다.

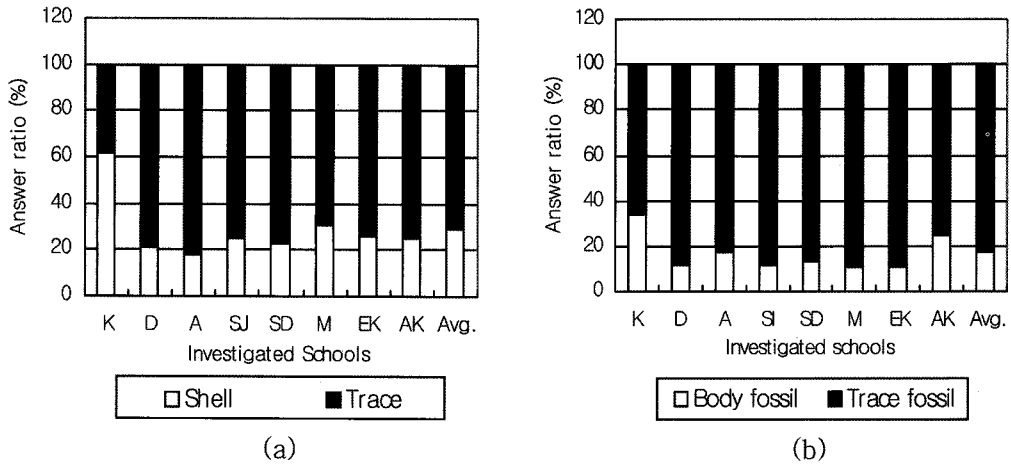


Fig. 5. Answer ratios to the queries about fossil model preserved as the result of the experiments in the science textbooks (a) and the fossil type of the bivalve presented on the questionnaire (b). Many students thought that both fossil models and fossils were originated from shell imprint although they had undergone different fossilizations.

그러나 조개의 껍데기가 잘 보존된 화석 사진을 이용한 조사에서는 약 83%의 학생이 생물체는 빠져나가고 그 흔적이 남아 만든 화석이라고 대답함으로써 교과서의 화석 형성 과정을 조개의 실제 화석 형성 과정까지 그대로 적용하고 있었다(Fig. 5b).

이러한 화석화 개념이 다른 화석에도 확장되어 적용되는지 알아보기 위해 잠자리, 나뭇잎, 새 발자국, 암모나이트, 물고기, 공룡 골격 등 교과서에 제시된 실제 화석의 사진 자료를 제시해 조사하였다. 그 결과 약 87%에 해당하는 대다수의 학생이 생흔 화석을 구분해 내지 못했으며 대부분의 학생들은 실제 화석들까지도 생물체가 빠져나간 흔적이 화석화되었다고 생각하고 있었다(Fig. 6). 즉, 조사 대상의 대부분 학생들이 화석화 과정에 사체가 포함되는지의 여부를 고려하지 못하고 있음을 보여주었다.

화석별로 그 응답률을 살펴보면 약 70%에 해당하는 학생이 발자국 화석을 생흔 화석 중 하나로 생각해 가장 많았고 2종의 교과서에서 흔적을 만드는 재료로 사용한 나뭇잎과 납작하게 보존된 어류 화석, 각의 흔적처럼 보이는 암모나이트 화석 등은 약 40-50%의 높은 오답률이 나왔다. 반면, 골격으로 복원된 공룡 화석은 20%로 가장 낮은 오답률이 나왔다. 특히, 발자국 화석만을 바르게 선택한 학생은 약 13%에 불과해 생흔 화석을 정확하게 구별한 학생은 매우 적었다(Fig. 6).

화석의 형성 장소에 대한 인식은 실험이 의미하는 환경을 물속으로 해석하는 학생의 비율이 높았으나

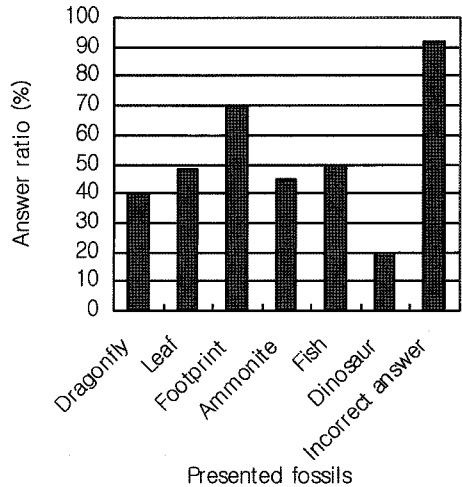


Fig. 6. The ratios which student regarded the presented fossils in the questionnaire as trace fossils.

질문지를 통하여 조사한 결과는 Fig. 7에서 보여 주듯이 약 88-92%의 학생들이 잠자리와 나뭇잎, 새, 공룡 등 육지에 살던 생물들은 육지에서 퇴적되고 암모나이트(86%)나 어류(97%)와 같은 동물들은 물속에서 화석이 된다고 생각해 생물체의 서식지와 화석의 형성 장소를 동일시하고 있었다. 이는 조사 대상 학생 대부분이 생물체가 서식하던 장소에서 사후 이동 없이 그대로 화석화되는 것으로 생각하고 있음을 보여준다. 따라서 실험 과정을 물속으로 해석한 것도 조개의 서식지와 관련이 있어 보인다. 이러한 학생들의 인식은 초등학교를 대상으로 실시한 연구(배영부

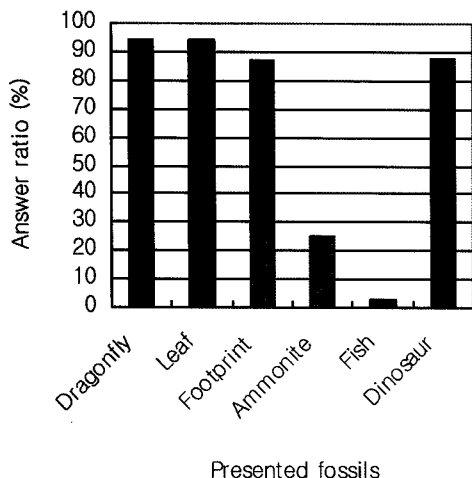


Fig. 7. The ratios which student answered that the presented fossils in the questionnaire were formed in a sub-aerial environment.

와 이유미, 2000)에서 ‘뼈가 퇴적층에 찍어져 만들어진다’거나, ‘사체가 땅 위에서 진흙으로 덮여 화석이 된다’, 또는 ‘사체가 땅속으로 들어가 만들어진다’라는 오개념과 관련 있는 것으로 화석의 퇴적 과정과 관련된 오개념이 중학교 때까지 유지되고 있음을 보여 준다.

본 연구를 통하여 조사된 중학생들의 화석의 형성 과정에 대한 이해는 Fig. 8에서 보여 주듯이 대부분 항목에서 매우 낮게 나왔다.

이 중 화석화 과정에서 사체의 포함 여부와 지각 변동과 관련된 문항을 모두 바르게 응답한 학생은 2%에 불과했고 화석의 퇴적 과정과 관련 문항을 모두 바르게 대답한 학생이 없었다. 그러나 지각변동과 퇴적 환경에 대한 답을 일부 맞게 답하여 혼돈 상태에 있는 학생이 다수 존재했다. 특히, 화석화 과정에서 사체의 포함 여부를 묻는 질문들에 대하여 모두

오답을 택한 학생이 다수 존재해 이에 대한 오개념을 많은 학생들이 가지고 있는 것으로 조사되었다. 그러나 화석이 만들어지는 시간 개념과 관련된 문항에 모두 바르게 대답한 학생은 78%로 조사되어 화석이 형성되는데 실험 시간보다 많은 시간이 소요됨을 잘 이해하고 있었다(Fig. 8).

논 의

화석은 크게 생흔 화석과 실체 화석으로 나뉜다. 생흔 화석은 살아 있던 생물의 활동으로 남겨진 발자국 화석, 위석, 분화석, 서식지 알과 먹이 흔적 등이 있으며 흔적을 남긴 사체는 포함되지 않는다. 반면, 실체 화석은 사체가 화석으로 남은 것으로 뼈와 치아, 조직과 각질 등이 있다. 그러나 살아 있던 생물이 남긴 것인지 사체가 만든 화석인지 구분이 불가능한 경우에는 화석을 두 종류로 구분하기 어려운 경우가 있을 수도 있다(Benton and Harper, 1997; Dodd and Stanton, 1990; Thulborn, 1990). 따라서 현재의 실험처럼 솔방울이나 나뭇잎 등의 흔적을 이용해 제작된 화석 모형들은, 비록 형성 과정은 생흔 화석과 유사할지라도, 전형적인 생흔 화석이나 실체 화석이 되지 못한다. 그리고 사진으로 제시되는 대부분의 화석들도 실험 과정과 다른 화석화 과정을 겪은 실체 화석들이므로 현재의 실험은 발자국 같은 생물의 활동 흔적을 화석으로 만드는 과정으로 변경하거나 생물의 골격 모형 등을 퇴적층에 묻혀 사체가 화석화되는 과정을 실험하도록 재설계되어야 할 것으로 생각된다.

사체가 실체 화석으로 남기 위해서는 생물체는 사망 후 부패하고 분해되는 사체분해 과정(necrolysis)과 사체가 퇴적물에 포함되어 층서학적 기록의 일부가 되기 위한 퇴적 과정(biostratinomy), 화석을 용해

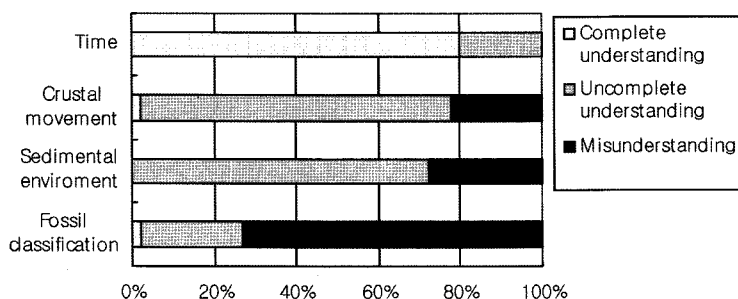


Fig. 8. Student's understandings of each concepts relating to the fossilization.

하거나 변화시키는 화학적 과정인 화석 속성 작용 (fossil diagenesis) 등 크게 세 단계의 화석화 과정을 겪게 된다(Dodd and Stanton, 1990). 그러나 현재의 교과 내용에는 사체가 보존되는 실체 화석의 화석화 과정이 소개되지 않고 있을 뿐 아니라 생물체가 사후에 겪는 화석 퇴적 과정이나 속성 작용의 설명도 거의 제공되지 않아 학생들이 화석화 과정을 전체적으로 이해하기 위해서는 교과서의 정보가 부족한 상태이다(Table 1과 2).

생물이 실체 화석으로 보존되기 위해서는 중학교 교과서에 소개되어 있듯이 적당한 보존 조건이 필요하게 된다. 따라서 노출로 보존 조건이 열악한 육상은 사체가 보존될 기회가 매우 희박하고 주로 퇴적 작용이 활발한 호수나 하천, 삼각주 등과 같은 수중 환경에서 사체가 보존되어 화석화 과정을 거치게 된다(Dodd and Stanton, 1990). 그러나 생흔 화석은 퇴적층에 남겨진 흔적이 물드 역할을 하기위해서 고화되는 시간이 필요하고 이 때문에 주로 노출된 퇴적층에 남겨지게 된다는 점이 실체 화석의 형성 과정과 사투 다르다(Lockley and Hunt, 1995; 황구근 외, 2002, 2004). 이처럼 화석의 종류에 따라 보존 조건에 차이가 있으나 현재는 실체 화석의 보존 조건만 교과서에 제시되어 있으므로 비록 생흔 화석의 보존 조건은 제공하지 않더라도 학습자가 교과서에 제시된 조건을 생흔 화석의 보존까지 확대하여 적용하지 않도록 이 조건이 실체 화석에 한정된 보존 조건임을 언급해 줄 필요가 있을 것이다.

설문 결과, 대상 학생들은 대체적으로 화석화 과정에 대한 이해도가 매우 낮았는데(Fig. 8), 이 중 화석 퇴적 과정이나 속성 작용에 대한 개념은 교과 내용에 포함되지 않으므로 그 원인에 대한 조사는 이루어지지 않았으나 학생들이 실체 화석의 화석화 과정을 생흔 화석의 화석화 과정과 동일시하는 이유는 실험 학습의 영향이 있는 것으로 나타났다(Table 5).

실험에서 화석 모형을 조개 껍데기로 응답한 그룹과 흔적이라고 응답한 두 그룹으로 나누어 결합 확률을 비교해 보면 화석 모형을 흔적이라는 그룹에서 조개 화석을 흔적이라고 대답한 응답률이 87%로 껍데기가 화석화되었다고 대답한 67%에 비해 높게 나타났다, 화석 모형이 조개 껍데기로 만들어졌다고 대답한 그룹에서는 조개 화석을 껍데기가 화석화되었다고 응답한 학생이 33%로 흔적이 화석화되었다는 13%보다 훨씬 높게 나타났다. 이러한 확률 결과는

Table 5. The joint probability table showing that understandings on the fossilization of the experiment and fossil mollusc are dependant

	P(I)	P(S)	Sum
P(T)	P(TI)=0.87	P(TS)=0.67	0.81
P(B)	P(BI)=0.13	P(BS)=0.33	0.19
Sum	0.71	0.29	1

P(I): The trace made fossil model in the experiment, P(S): The shell made fossil model in the experiment, P(T): The trace made the fossil mollusc, P(B): The shell made the fossil mollusc

조개 화석의 화석화 과정에 대한 판단이 실험 학습과 종속 관계에 있음을 보여 주는 것으로(Table 5) 학생들이 화석화 과정을 해석하는 데 실험에서 학습한 내용이 영향을 주고 있음을 말해 준다. 따라서 교과서에 제시된 대부분의 화석 자료와 설명이 실체 화석을 기준으로 구성되어 있는 것을 고려할 때 화석 만들기 실험도 실체 화석의 화석화 과정을 기준으로 설계되는 것이 더 타당해 보인다.

이와 같은 학생들의 화석화 과정에 대한 개념을 바탕으로 학생들이 이해하는 대표적인 화석화 과정을 구성해 보면 ‘생물체는 사후에 이동 없이 자신의 서식지에 흔적을 남기고 빠져나가며 그 남은 흔적이 화석화된다’라고 할 수 있을 것이다. 이러한 결과는 관련 단원과 실험 분석에서 화석의 사후 이동과 퇴적 환경에 대한 설명이 부족하다는 지적과 일치하는 것으로 학생들이 화석화 과정을 전체적으로 이해하기 위해서는 화석화 과정이 고르게 반영된 실험이나 도면의 제공이 필수적임을 보여 준다.

한편, 국내에서도 중생대 퇴적층에서 다수의 화석지가 발견되어 다양한 실체 화석과 생흔 화석이 보고되고(Huh et al., 2003, 2006; Hwang et al., 2002, 2008; Kim et al., 2006; Yang et al., 1995) 고생물 화석지와 화석을 전시하는 자연사 박물관도 증가 추세에 있다. 따라서 체험 학습 등 다양한 현장 학습 프로그램을 통해 학습자의 화석 접근 빈도가 증가할 것이므로 학교 교육에서도 화석에 대한 좀 더 심도 깊은 정보 제공이 필요하다고 생각된다.

결론 및 제언

초·중학교 교과서에서 화석화 과정의 설명은 대부분의 교과서가 화석 만들기 실험을 통해 이루어지고

있다. 그러나 이 실험들은 흔적을 이용해 모델을 만드는 단순한 과정으로 설계되어 현재 교과서에서는 화석 퇴적, 숙성 작용 등 화석화 과정을 설명하는 내용이 부족한 것으로 조사되었다. 또한 이 실험들은 실제 화석으로 보존되는 대상을 이용하여 이들의 흔적이 화석화되는 과정으로 설계되어 학습자가 실제 화석의 화석화 과정을 실험 과정과 동일하게 이해할 우려가 있다.

이러한 가능성이 본 연구에서 실시한 설문 조사에서 확인되었는데 다수의 학생들이 조개 껍데기가 잘 보존된 조개 화석이나 다른 실제 화석까지도 실험 과정과 마찬가지로 흔적이 보존된 화석으로 이해하고 있어 화석화 과정에서 사체의 보존 여부를 고려하지 못했으며 사체가 서식지에서 이동 없이 화석화된다고 생각함으로써 화석의 퇴적 과정이나 화석이 발견되기 위해 겪는 지각변동을 이해하지 못했다.

특히, 실험의 조개 모형을 흔적으로 생각하는 학생이 조개의 실제 화석을 흔적으로 생각하는 확률이 높아 사체의 보존 여부에 관한 오개념은 실험의 영향이 있는 것으로 나타났다. 따라서 이 같은 학습자의 오개념을 줄이기 위해서는 실험 대상을 발자국 화석과 같은 생존 화석으로 수정하여 학습자의 혼동을 예방하거나 실제 화석처럼 사체가 퇴적층에 묻혀 보존되는 화석화 과정으로 실험이 재설계되어야 할 것으로 생각된다. 그리고 새로운 실제 화석의 실험을 설계할 때는 실험이 수중에서 진행되도록 함으로써 화석 퇴적 과정과 숙성 작용 그리고 퇴적층의 용기 등의 개념이 동시에 설명될 수 있도록 설계할 것을 제안한다.

감사의 글

이 논문에 대한 세심한 지적과 제안을 해 주신 익명의 심사위원님들께 감사드리며 설문조사에 협조해 주신 강삼구, 김주영, 송남진, 송남욱, 송영숙, 이문재, 정병효, 조인기 선생님께 감사드립니다.

참고문헌

강만식, 정창희, 이원식, 한인섭, 박은호, 이창진, 김일희, 장병기, 정병훈, 윤용, 이태욱, 한천욱, 2001, 중학교 과학 2. 교학사, 서울, 287 p.
 교육부, 2002, 초등학교 자연과 교과서(4-2), 국정교과서주식회사, 서울, 96 p.

김정률, 고현덕, 김재현, 김남일, 임용우, 동효관, 김선주, 남철주, 김영순, 이준용, 2001, 중학교 과학2. 블랙박스, 경기도, 272 p.
 김정률, 이정선, 1999, 지구과학교사와 고등학생들의 화석에 대한 흥미도와 이해도에 관한 연구. 한국지구과학회지, 20, 143-150.
 김찬중, 김희백, 박시진, 오차환, 양재철, 장홍식, 정진문, 조현수, 최후남, 한승희, 현종오, 홍경희, 김명수, 2001, 중학교 과학 2. 디딤돌, 경기도, 292 p.
 박봉상, 김윤우, 홍달식, 박문수, 정대영, 심국석, 심중섭, 최진복, 장정찬, 최병수, 진만식, 2001, 중학교 과학 2. 동화사, 서울, 296 p.
 배영부, 이유미, 2000, 구성주의 관점에 의한 자연과 '지층과 화석' 단원의 교수-학습. 한국지구과학회지, 21, 219-229.
 백광석, 양승영, 1998, 한국 함안층 하부에서 발견된 백악기 새 발자국에 관한 일차 보고. 지질학회지, 34, 94-104.
 소현수, 안태인, 최승언, 박건식, 목창수, 김종권, 김득호, 구수길, 박완규, 김원섭, 김영산, 2001, 중학교 과학 2. 두산, 경기도, 263 p.
 양승영, 1998, 교재로서의 화석표본. 한국지구과학회지, 19, 495-504.
 윤철수, 양승영, 2001, 한국최초의 대형 익룡 이빨 화석. 고생물학회지, 17, 69-76.
 이광만, 허동, 이경운, 정문호, 방대철, 이기성, 안태근, 정상윤, 복환근, 정익현, 박병훈, 박정일, 정수도, 김경수, 박지규, 송양호, 이천기, 2001, 중학교 과학 2. 지학사, 경기도, 279 p.
 이상목, 채광표, 김기대, 이문원, 권석민, 손영운, 노태희, 정지오, 서인호, 김영수, 김윤택, 이세영, 2001, 중학교 과학 2. 금성출판사, 303 p.
 이정선, 김정률, 1999, 지구과학 교과서의 화석 관련 내용 분석에 관한 연구. 한국지구과학회지, 20, 151-155.
 이창훈, 정은영, 최원호, 2006, 2005년 국가수준 학업성취도 평가 연구 과학. 한국교육과정평가원, 서울, 237 p.
 정완호, 권재술, 김범기, 김성하, 백성해, 우종욱, 이봉호, 이석형, 정진후, 최병순, 2001, 중학교 과학 2. 교학사, 서울, 278 p.
 정철환, 문병찬, 김해경, 2005, 제7차 교육과정 지구과학 관련 교과서에서의 화석사전에 대한 산출지역 및 척도 표기 분석. 한국지구과학회지, 26, 477-488.
 최동형, 김동영, 김봉래, 김재영, 노석구, 신영준, 이기영, 이대형, 이면우, 이명재, 이상인, 전영석, 2001, 중학교 과학 2. 대일도서, 서울, 296 p.
 황구근, 허민, 백인성, 2002, 마산시 호계리 부근의 백악기 진동층에서 산출된 용각류 공룡발자국화석. 지질학회지, 38, 361-375.
 황구근, 허민, 백인성, 2004, 경상남도 창녕군 도천리의 백악기 진동층에서 산출된 용각류 공룡의 보행열. 지질학회지, 40, 145-159.
 Benton, M. and Harper, D., 1997, Basic Palaeontology. Longman, Hong Kong, China, 342 p.

- Clarkson, E.N.K., 1998, *Invertebrate palaeontology and evolution*. Blackwell Science, Malden, USA, 452 p.
- Dong, Z., Paik, I.S., and Kim, H.J., 2001, A preliminary report on a sauropod from the Hasandong Formation (Lower Cretaceous), Korea. In Deng, T. and Wang, Y. (eds.), *Proceedings of the Eighth Annual Meeting of the Chinese Society of Vertebrate Paleontology*. China Ocean Press, Beijing, China, 41-53.
- Dodd, J.R. and Stanton, R.J.Jr., 1990, *Paleoecology*. John Wiley and Sons, NY, USA, 713 p.
- Huh, M., Hwang, K.G., Paik, I.S., Chung, C.H., and Kim, B.S., 2003, Dinosaur tracks from the Cretaceous of South Korea: Distribution, occurrences and paleobiological significance. *Island Arc*, 12, 132-144.
- Huh, M., Lim, J.D., Paik, I.S., Hwang, K.G., Lee, Y.I., and Paik, K.H., 2006, A research report on the Boseong dinosaur egg site, Korea. *Korea Dinosaur Research Center*, Gwangju, Korea, 229 p.
- Hwang, K.G., Huh, M., Lockley, M.G., Unwin, D., and Wright, J.L., 2002, New pterosaur tracks (Pterachinidae) from the Late Cretaceous Uhangri Formation, SW Korea. *Geological Magazine*, 139, 421-435.
- Hwang, K.G., Lockley, M.G., Huh, M., and Paik, I.S., 2008, The reinterpretation of dinosaur footprints with internal ridges from the Upper Cretaceous Uhangri Formation, Korea. *Palaeogeography, palaeoclimatology, Palaeoecology*, 258, 59-70.
- Kim, J.Y., Kim, S.H., Kim, K.S., and Lockley, M.G., 2006, The oldest record of webbed bird and pterosaur tracks from South Korea (Cretaceous Haman Formation, Changseon and Sinsu Islands): More evidence of high avian diversity in East Asia. *Cretaceous Research*, 27, 56-69.
- Lockley, M.G. and Hunt, A.P., 1995, *Dinosaur tracks and other fossil footprints of the western United States*. Columbia University press, NY, USA, 338 p.
- Taylor, P.D. and Lewis, D.N., 2005, *Fossil invertebrates*. Harvard Natural History Museum, London, UK, 208 p.
- Thulborn, R.A., 1990, *Dinosaur tracks*. Chapman and Hall, London, UK, 410 p.
- Yang, S.Y., Lockley, M.G., Greben, R., Erickson, B.R., and Lim, S.K., 1995, Flamingo and duck-like bird tracks from the Late Cretaceous and Early Tertiary: Evidence and implications. *Ichnos*, 4, 21-34.

2009년 3월 9일 접수

2009년 4월 1일 수정원고 접수

2009년 4월 29일 채택