

# 섭입경계에서의 마그마 형성에 대한 고등학교 「과학」 교과서 분석

임동일<sup>1,\*</sup> · 박경은<sup>2</sup> · 안건상<sup>3</sup>

<sup>1</sup>한국해양연구원 해저환경자원연구본부, <sup>2</sup>광주광역시 정광고등학교

<sup>3</sup>조선대학교 사범대학 지구과학교육학과

## Analysis of High School 「Science」 Textbook on the Magma Formation in the Subduction Boundary

Dhong-Il Lim<sup>1,\*</sup>, Kyung-Eun Park<sup>2</sup>, and Kun-Sang Ahn<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Marine Geoenvironment and Resources Research Division, Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea

<sup>2</sup>Jeonggwang High School, Gwangju 506-040, Korea

<sup>3</sup>Department of Earth Sciences Education, Chosun University, Gwangju 501-759, Korea

**Abstract:** The purpose of this study is to analyze the seventh curriculum textbooks and teacher's guides of high school science courses in relation to the generation (mechanism) of magma in subduction boundary and find the incorrect descriptions of the texts and the figures (illustrations) and then suggest some improved schemes. According to the result, there are many discrepancies in definition of "magma" among the textbooks and further little scientific explanations about the formation mechanism of magma in most textbooks, and even no descriptions about that. In addition, the figures are inconsistent with the description of the text and also have some incorrect depiction which might contribute to the forming and reinforcing misconceptions about Plate Tectonics as well as a volcanic activity in subduction boundary. On the basis of the previous researches, therefore, some improved schemes (text descriptions and figures) are suggested. The results of this study should be used as a reference for publishing science textbook, developing science curriculum, and teaching effectively in the high school.

**Keywords:** generation of magma, subduction boundary, science textbook

**요약:** 본 연구에서는 제7차 교육과정에 의해 편찬된 21종의 과학 교과서와 지도서에 나타난 섭입경계에서의 마그마 형성 관련 내용에 대한 본문 진술과 제시된 그림들을 분석하여 문제점을 지적하고 그 개선방안을 모색하였다. 분석 결과 교과서간 마그마의 정의에 일관성이 없었으며, 대부분의 교과서에서 마그마의 생성기원에 관한 과학적 개념 진술이 정확하지 않거나 기재되지 않았다. 또한 교과서에 제시된 그림들은 본문 내용과 일치하지 않았으며, 판구조론과 섭입경계에서의 화성활동에 대한 학생들의 과학적 개념형성에 부족하고 잘못된 내용을 포함하고 있다. 이들은 주로 마그마의 생성기작(형성과정), 기원물질, 생성위치와 관련된 것들로서, 본 연구에서는 최근에 발표된 연구결과들을 바탕으로 섭입경계에서 분출되는 대부분의 중성마그마가 쇄기맨틀의 부분용융에 의해 형성된다는 사실을 종합적으로 이해할 수 있는 적절한 개념도를 제시하였다.

**주요어:** 섭입경계, 마그마 형성, 판구조론, 과학교과서

## 서론

제7차 교육과정의 과학 교과목은 국민 공통 기본 교과인 "과학"과 일반 선택 과목으로 새로이 시도되

는 "생활과 과학" 그리고 심화 선택과목으로 "물리, 화학, 생물, 지구과학"의 I와 II로 구성되며, 수준별 학습과정의 제시와 STS적 소재의 사용이 특징적이다. 즉, 7차 교육과정은 학생들이 자신의 생활 주변에서 경험하는 일들을 교육을 통하여 과학적 개념으로 바꾸어 이해하기를 추구하고 있으며, 이를 위해서는 교사와 학생 모두가 첨단 실험장비와 실험시설을 통하여 직·간접으로 과학적 원리와 개념을 이해하는 것

\*Corresponding author: oceanlim@kordi.re.kr

Tel: 82-31-400-6192

Fax: 82-31-416-4511

**Table 1.** The list of high school Science textbooks analyzed in this study

출판사	저자	출판년도	관련 페이지	표시
서울교육정보	이연우 외 7명	2001. 7.26	232-236	A
*서울교육정보	이연우 외 7명	2001. 7.26	242-250	AA
(주)도서출판 디딤돌	김찬중 외 7명	2001. 7.26	250-255	B
(주)중앙교육진흥연구소	우규환 외 11명	2001. 7.26	268-275	C
*(주)중앙교육진흥연구소	우규환 외 11명	2001. 7.26	259-261	CC
대한교과서(주)	이규석 외 9명	2001. 7.26	260-261	D
*대한교과서(주)	이규석 외 9명	2001. 7.26	266-273	DD
(주)금성출판사	이문원 외 13명	2001. 7.26	286-289	E
*(주)금성출판사	이문원 외 13명	2001. 7.26	262-268	EE
홍진P&G	송호봉 외 7명	2001.11.26	260-265	F
*홍진P&G	송호봉 외 7명	2001.11.26	261-262	FF
(주)지학사	이면우 외 11명	2001.11.22	248-252	G
*(주)지학사	이면우 외 11명	2001.11.22	258-264	GG
(주)교학사	강만식 외 11명	2001.11.22	258-269	H
*(주)교학사	강만식 외 11명	2001.11.22	266-268	HH
(주)문원각	성민웅 외 10명	2001. 7.26	271-274	I
*(주)문원각	성민웅 외 10명	2001. 7.26	256-257	II
(주)천재교육	차동우 외 10명	2001.11.22	232-237	J
*(주)천재교육	차동우 외 10명	2001.11.22	234-241	JJ
(주)교학사	정완호 외 9명	2001. 7.26	253-261	K
*(주)교학사	정완호 외 9명	2001. 7.26	250-256	KK

\*: 교사용 지도서

이 필수적이다. 그러나 현실적으로 일선 학교 현장에서 이러한 교육 여건은 제한적이고, 충분치 않기 때문에 아직도 교과서는 학교에서 가장 중요한 학습 자료가 되고 있다. 따라서 교과서는 학생들에게 과학적 개념과 이론정립을 효과적으로 이해시키기 위해 명확하고 정확한 본문 내용의 진술과 그림(또는 도표)이 제시되고 구성되어야 한다. 예를 들면, 거대한 지구를 대상으로 하는 지구과학의 학습에 있어서 실험의 어려움이나 이론에 맞는 적절한 실험방법이 부족하기 때문에 교과서에 제시된 그림은 과학적 개념을 이해하는데 현실적이고 매우 중요한 학습 자료이다. 따라서 교과서에 제시되는 그림은 정성적 그리고 정량적 의미 뿐만 아니라 과학적 현상이 일어나는 과정도 함께 포함되어야 한다(국동식, 2002). 또한 교과서 개정에 따른 교육과정을 개발할 때는, 교사와 학생들이 가지고 있는 기존 개념이 새로운 지식의 학습에 절대적 영향을 미치므로, 교사 및 학생들의 기존 개념에 대한 충분한 조사 연구가 필요하다(Munson, 1994). 특히 과학은 이론과 개념들이 날로 발전하기 때문에 이에 맞는 새로운 학습내용(본문과 그림)이 효과적으로 제시되어야 한다.

제7차 교육과정에서 새롭게 개정된 고등학교 과학

교과서 내용 중, 지구과학분야에서 눈에 띄게 강조된 부분이 판구조론이다. 그러나 현대 지구과학사에서 혁명적 발견으로 간주되는 판구조론, 특히 판의 경계 중 수렴경계에 해당하는 섭입 경계에서의 화성활동과 마그마 형성에 대한 고등학교 교사들의 지식은 이와 관련된 최근의 연구결과와 상당한 차이를 보인다. 일부 교사들은 “호상열도에서 활동하는 마그마는 해양 판이 섭입하면서 생기는 마찰열에 의해 해양지각(베니오프대)이 용융되어 생성된다”고 알고 있다. 그러나 화산이 분출하는 호상열도의 직하부에 위치하는 베니오프대의 온도는 암석을 용융시킬 만큼 충분히 높지 않다. 또한 해양지각이 용융되어 생성되는 중성 내지 산성암은 호상열도에서 산출되는 안산암질 암석과는 화학적 특성이 판이하게 다른 물질이다. 따라서 이에대한 교사들의 오개념은 교과서에 제시된 부적절한 학습자료(본문과 그림), 즉 교과서 개정시 최근의 연구결과를 반영하지 않았기 때문으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 새롭게 개정된 제7차 고등학교 1학년 과학 교과서의 5번째 지구단원에서, 특히 해양 지질과학에서 중요하게 다루고 있는 판구조론에 해당하는 판의 섭입 경계에서의 화성활동(마그마의 기원과 형성과정)에 대한 본문 내용과 이와 관련하여 제

시된 그림들을 교과서별로 비교·분석하였다. 더 나아가 교과서의 내용을 오개념 유발의 가능성 측면에서 분석하고, 최근 새롭게 전개된 연구결과들을 바탕으로 판구조론을 바르게 이해하고, 지도하는데 기여할 수 있는 적절한 학습내용과 자료를 제시하고자 한다.

본 연구는 제7차 고등학교 1학년에 해당하는 10학년 과학 교과서 11종과 교사용 지도서 10종 등 총 21종을 대상으로 하였으며, 각 교과서에 대한 명칭은 편의상 Table 1에 표기된 알파벳 기호로 대신하였다.

**섭입경계에서 현무암질 마그마의 생성 기작**

최근 연구결과에 의하면, 섭입경계에서 일어나는 가장 근본적인 마그마 생성 기작은 ①연약권에서 함수광물의 탈수작용과 함께 일어나는 썩기맨틀의 부분 용융(현무암질 마그마)이며, 예외적으로 ②끓고 뜨거운 해양지각이 부분용융되어 아다카이트(adakite)가 생성되거나, ③섭입하는 퇴적물이 용융하여 고마그네슘 안산암(high magnesian andensite, HMA)이 만들어지는 특별한 경우가 있다.

물의 공급과 현무암질 마그마: 일반적으로 마그마는 압력이 일정할 때 온도의 상승, 압력감소에 따른 응집 하강, 온도와 압력이 일정할 때 물과 같은 불활성 기체 등의 첨가로 인한 응집의 하강 그리고 이들의 상호 복합적인 작용 등에 의해 생성된다. 이상적 조건에서 화강암질 마그마는 650°C의 온도에서 생성되지만, 맨틀물질이 용융되어 현무암질 마그마가 생성되려면 1000°C 이상의 높은 온도가 필요하다. 그러나 높은 압력의 조건하에서 물은 암석의 구성광물을 구성하는 규소와 산소의 결합을 파괴하여 광물의 용점을 크게 하강시킨다. 실험결과에 의하면, 중압 하에서 화강암에 함유된 물은 10 kbar(지하 약 35 km 깊이)에서 화강암의 용융 온도를 900°C(건조상태)에서 약 650°C까지 하강시킨다(Tuttle and Bowen, 1958). 이러한 사실은 섭입경계에서 암석의 온도가 낮음에도 불구하고 현무암질 마그마가 형성될 수 있음을 의미한다.

최근 연구에서도 호상열도에서 나타나는 대부분의 화산암들이 섭입하는 암석권에서 일어나는 탈수반응에 의해 방출되는 물을 포함하는 유체의 공급으로 인하여 호상열도 하부의 썩기맨틀의 부분 용융에 의해 생성된 현무암질 마그마로부터 기원되었음을 보여준다(Gill, 1981; Defant and Nielsen, 1990, Plummer

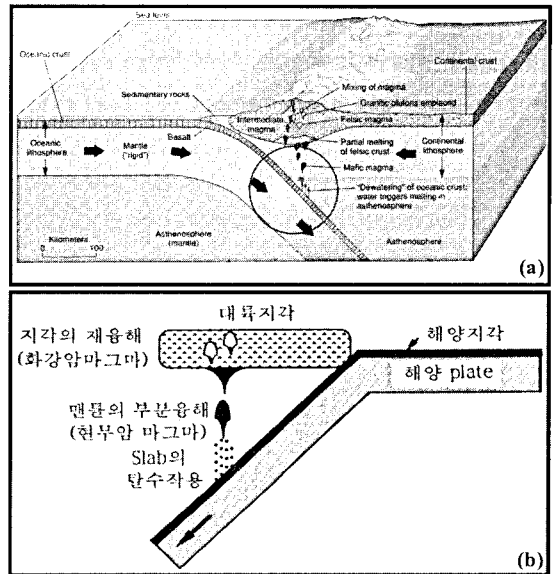


Fig. 1. (a) Representative illustration (after Plummer et al., 2003) and (b) schematic diagram showing the formation process of basaltic magma in subduction zone.

et al., 2003). 다시 말하면, 호상열도로 상승하는 중성마그마의 기원물질인 현무암질 마그마는 섭입하는 해양지각 내에 포함된 함수광물에서 빠져나온 물이 썩기맨틀에 공급되어 암석의 용융점을 크게 낮춘 결과 맨틀의 초염기성암이 부분적으로 용융되어 형성된다(Fig. 1).

그러나 물을 공급하는 함수광물의 종류와 운반과정 그리고 마그마 형성 위치에 영향을 주는 물 공급의 깊이(탈수 깊이) 등은 아직도 연구자들 사이에 이견이 있는 것으로 보인다. 예를 들면, Tatsumi(1986)는 물을 공급하는 최종 함수광물은 각섬석-감람암으로, Iwamori(2000)는 사문석-감람암으로 주장하고 있으며, 탈수 깊이 또한 각각 110 km와 100~200 km로 차이를 보인다. 그러나 이들 연구에서도 섭입하는 해양판에서 물을 공급받아 썩기 맨틀을 구성하는 초염기성암이 부분 용융되어 현무암질 마그마가 생성된다는 점은 동일하다.

한편, Fig. 1에 나타난 것처럼, 생성된 현무암질 마그마는 상승하여 지각하부까지 도달하며 지각에 균열이 많은 경우에는 직접 지표까지 도달하여 분출되거나, 균열이 적은 경우에는 지각 내부에 마그마 챔버를 형성하고 결정분화작용을 진행하기도 한다. 이때 마그마 챔버 바로 위에 놓인 지각하부를 부분용융시켜 산

성마그마를 형성한다. 또한 초기에 생성된 염기성 마그마와 새로 만들어진 산성 마그마의 혼합작용이나, 규장질 지각의 암석과의 동화작용 그리고 염기성 마그마의 결정분별작용으로 중성마그마가 형성된다.

아다카이트(Adakite): 최근의 미국의 알류산 열도에서 현무암질 마그마와 관련이 없는 안산암, 테사이트(dacites), 나트륨질유문암, 토날나이트 등이 발견되었는데, 이들은 섭입하는 암석권으로부터 직접 기원된 용융물질의 지화학적 특징을 가진다(Defant and Drummond, 1990). 이들의 지화학적 성분 특성은 무거운 희토류원소의 함량이 낮으며, 높은 Sr/Y 비를 나타내는데, 이는 호상열도에서 산출되는 일반적인 중성 내지 산성암과는 다른 성분 특성을 갖는다. 이러한 사실은 섭입대에서 썩기맨틀의 부분용융에 의한 현무암질 마그마 형성 이외에 또 다른 기작이 있음을 의미한다.

일반적으로 섭입대의 온도구조는 수렴백터(수렴속도와 경사)와 함께 섭입하는 암권의 연령에 의해 좌우된다. 해령과 가까운 곳의 젊은 암권은 오래된 암권과 비교하여 상대적으로 얇고 뜨겁기 때문에 전혀 다른 온도구조를 형성하며, 이러한 높은 온도는 암석 용융에 큰 도움을 줄 것이다(Morris, 1998, Fig. 2). 기존의 다른 연구결과에서도 호상열도에서 섭입하는 해양판의 연령이 25 Ma 이하의 비교적 젊고 뜨거우며, 수화된 해양지각(hydrated ocean crust)이 섭입하는 경우에 에클로자이트 변성상 정도의 조건 하에서 해양지각의 일부가 용융되어 규소가 풍부한(56wt% 이상) 화강암질 마그마가 형성되는 사실이 밝혀졌다(Defant and Drummond, 1990; Rapp and Watson, 1995). 이러한 종류의 마그마를 “아다카이트(adakite)”라고 하며, 최근의 호상열도(modern arc islands)에서 부분적으로 생성된다.

한편, 젊고 뜨거운 해양지각이 섭입되는 곳에서는 아다카이트와 함께 때때로 높은 함량의 마그네슘을 함유하는 안산암, 즉 “high magnesian andesites (HMA)”가 발견된다. 이는 해양 지각 위를 덮고 있는 해양 퇴적물이 용융되어 형성된 것으로 해석된다(Yogodzinski et al., 1995). 그러나 아다카이트와 함께 HMA는 암석으로 섭입하는 판의 연령, 관계되는 대륙지각의 두께, 섭입각과 속도 등 여러 가지 특정 조건의 섭입환경에서 매우 드물게 발견되며, 이에 관한 연구가 최근까지 활발하게 이루어지고 있어 본

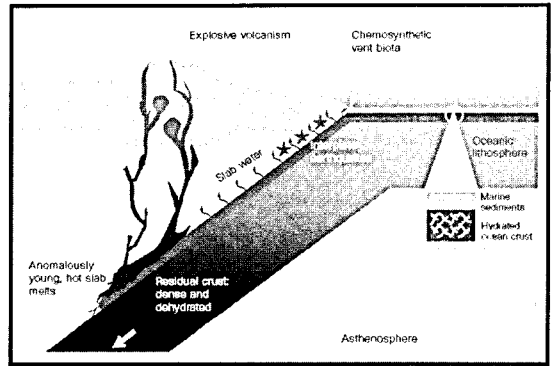


Fig. 2. Representative illustration showing hydrated ocean crust melting beneath modern volcanic arcs (after Morris, 1998). Note that this scheme applies only to a few modern arcs, where very young and hot ocean crust is subducting and melting at depth.

연구에서는 언급하지 않기로 한다.

### 교과서 내용 및 그림의 분석 결과와 개선 방향

교과서 및 지도서의 내용 분석: 고등학교 과학 교과서와 교사용 지도서의 지구과학 단원중 섭입경계에서 나타나는 화산활동과 마그마 형성에 관한 본문 진술과 그림 분석 결과를 Table 2에 제시하였다. 표의 결과에서 알 수 있듯이 거의 모든 교과서와 지도서에서 섭입경계에서의 마그마 정의가 매우 미흡하거나 심지어 기재되지 않았으며, 교과서 D의 경우에는 판의 경계 부분을 탐구활동으로 학습활동을 전개시키고 있어 학생들은 수업이나 다른 학습 자료를 통하여 판의 경계에서의 지각변동을 이해할 수 밖에 없다. Table 3은 교과서와 지도서에 제시된 마그마의 발생 원인과 발생위치 등에 관한 내용을 출판사별로 정리·분류한 결과이다. 대부분의 교과서와 지도서들에서 마그마의 발생원인 및 위치 그리고 생성과정(기작)에 관한 내용이 언급되지 않았거나 미흡하며, 각 교과서별로 서로 다르다. 특히 학습자가 오개념을 가질 수 있는 잘못된 내용들이 발견되기도 하였다. 따라서 섭입경계에서 일어나는 마그마 형성에 대한 정확한 내용을 이해하기 위해 수정해야 할 몇 가지 본문 내용을 살펴보면 다음과 같다.

첫째, Tables 2와 3에 제시된 것처럼 교과서 또는 지도서 마다 서로 다른 진술 내용으로 인하여 이들 학습 자료가 오히려 교사와 학생 모두에게 섭입경계에서의 화산활동과 마그마의 생성, 더 나아가 일본

Table 2. The analytical result of the descriptions and figures of textbooks on the magma formation in the divergent boundary

교과서	마그마 생성과 관련된 내용 분석		마그마 생성에 관한 그림 분석	
	주요 본문 내용	마그마의 발생 원인과 종류(변화과정) 기재 여부	그림에 제시된 마그마의 발생 장소와 원인	그림
A	[침입한 판의 일부가 녹아 생성된 마그마가 지표에 분출하여 호수열도가 만들어진다.] [현편 판이 섭입하는 지하 깊은 곳에 도달하면 지하 물질이 녹아 마그마로 되며, 마그마가 지표로 분출하여 해구 부근에서 화산 활동이 활발하게 일어난다.]	원인: 지각 물질의 용융 종류: 언급되지 않음	a. 지각내에서부터 암석권 깊이까지에서 해양판의 상부가 용융되어 발생 b. 암석권 깊이의 해양판 상부에서 발생	a. 그림 V-13, 232p b. 그림 V-17, 236p
AA	지형에 관한 내용만 기재	언급되지 않음		
B	[한쪽이 해양판인 경우는 해양판이 대륙판 아래로 경사지게 밀려들어간다. 이 때에는 수심이 매우 깊은 해구가 생기고, 지하에서 암석이 녹아서 마그마가 발생한다.]	원인: 암석의 용융 종류: 언급되지 않음	연약권 깊이의 해양판 상부에서 발생	그림 V-10, 250p
C	마그마 형성등의 화성활동에 대한 언급 없음	언급되지 않음	연약권 깊이에서 해양판의 상부가 용융되어 발생	그림 6,7,8 나, 269p
CC	[일본열도 부근의 화산은-일본 내륙쪽에 주로 분포한다. 이것은 해양판이 기어들이면서 유라시아 판 내부에 부분 용융된 맨틀이 마그마를 형성하여 화산 분출로 이어졌기 때문이다.]	원인: 맨틀의 부분 용융 종류: 언급되지 않음	연약권 깊이에서 해양판의 상부가 용융되어 발생	260p. 그림
D	판의 경계에 대한 설명 없음 (범구활동으로 학습활동 전개)	언급되지 않음	a. 연약권 깊이에서 해양판의 상부가 용융되어 발생 b. 암석권에서 연약권 깊이까지의 해양판의 상부가 용융되어 발생	a. 260p 평가그림 b. 261p 평가그림
DD	[현부암질 마그마와 안산암질 마그마가 생성되어 화산 활동을 일으킨다.]	원인: 언급되지 않음 종류: 현부암질과 안산암질	연약권 깊이에서 해양판의 상부가 용융되어 발생	273p 자료그림
E	마그마 형성등의 화성활동에 대한 언급 없음	언급되지 않음	a. 암석권 깊이에서 부터 마그마 발생(해양판의 해양지각(검은색)이 너무 짙음) b. 연약권 깊이에서 해양판의 상부가 용융되어 발생	a. 286p 자료그림 b. 그림 14-24, 288p
EE	마그마 형성등의 화성활동에 대한 언급 없음	언급되지 않음	암석권 깊이부터 연약권 깊이까지의 해양판 상부에서 발생	그림 5.11, 263p
F	마그마 형성등의 화성활동에 대한 언급 없음	언급되지 않음	연약권 깊이에서 해양판의 상부가 용융되어 발생	그림 12-10, 251p
FF	[수렴 경계에서는 해양판에 실려서 내려가던 현무암이 부분 용융되어 안산암질 화산활동을 일으킨다.]	원인: 해양판의 부분용융 종류: 안산암질	암석권 깊이에서 해양판의 상부가 용융되어 발생	258p. 그림,
G	마그마 형성등의 화성활동에 대한 언급 없음	언급되지 않음	연약권 깊이에서 해양판의 상부가 용융되어 발생	
GG	[호상열도는 대륙판 밑으로 섭입하는 해양판의 상부에서 마찰 열과 휘발성 성분의 영향으로 마그마가 발생하여 생성된다.]	원인: 마찰열에 의한 해양판의 용융 종류: 언급되지 않음	암석권 깊이에서 해양판의 상부가 용융되어 발생	

Table 2. Continued

교과서		마그마 생성과 관련된 내용 분석		마그마 생성에 관한 그림 분석	
	주요 본문 내용	마그마의 발생 원인과 종류(변 화과정) 기계 여부	그림에 제시된 마그마의 발생장소와 원인		그림
H	마그마 형성등의 화성활동에 대한 언급 없음	언급되지 않음	연안권 깊이에서 해양판의 상부가 용융되어 발생	그림 V-2, 259p, 264p 자료그림 265p 자료그림	
HH	마그마 형성등의 화성활동에 대한 언급 없음	언급되지 않음	연안권 깊이에서 해양판의 상부가 용융되어 발생	그림 12-6, 271p	
I	[따라서 해구쪽에서 대륙쪽으로 갈수록 진원의 깊이가 깊어지게 된다. 마찰이 일어나는 곳에서 암석의 일부분이 녹아 마그마를 형성하게 되고 이 마그마가 지각의 약한 곳을 뚫고 올라와 해구와 나란하게 일본열도와 같은 화산성이 만들어진다.]	원인: 마찰에 의한 해양판의 용융 종류: 언급되지 않음	연안권 깊이에서 해양판의 상부가 용융되어 발생	그림 12-6, 271p	
II	[해구쪽으로 이동한 판은 수렴형 경계에서 대륙지각 아래로 휨 강하면서 약 200 km 깊이에서 판의 마찰과 물의 작용으로 부분 용융을 일으켜 마그마가 만들어진다.]	원인: 마찰과 물의 작용에 의한 판(해양판)의 용융 종류: 언급되지 않음	연안권 깊이에서 해양판의 상부가 용융되어 발생	그림 12-6, 271p	
J	마그마 형성등의 화성활동에 대한 언급 없음	언급되지 않음	a. 연안권 깊이의 해양판 상부에서 발생 b. 암석권에서부터 연안권 깊이까지의 해양판의 상부에서 또는 상부가 직접 용융되어 발생 c. 암석권 깊이에서 해양판의 상부가 용융되어 발생	a. 그림 V-9, 232p b. 그림 V-15, 236p, 그림 V-17, 240p c. 238p 평가그림	
JJ	[침입대(중앙 해령에서 생겨난 해양판이 침강하여 맨틀로 되돌아 가는 장소)의 약 100 km 이상 되는 깊이에서 판의 물질이 용융하여 생성된 마그마는 상승하면서 관입하여 판을 뚫고 올라와 화산을 만들기도 한다.]	원인: 판의 물질 용융 종류: 언급되지 않음	연안권 또는 연안권 깊이에서 해양판의 상부가 용융되어 발생	238p 그림, 241p 그림	
K	[이러한 경계형태에서 화산 활동이 일어나면 인산암질 마그마의 물질이 주로 생성되어 올라오며 이러한 경계 부근에서는 화산과 지진이 빈번하다.]	원인: 언급 되지 않음 종류: 인산암질	연안권 깊이에서 침입하는 해양판의 상부에서 발생	256p 자료그림	
KK	[지하 깊은곳에서 마그마가 형성되어 지표로 올라오고 화산활동과 지진이 빈번하게 발생한다.]	언급되지 않음	연안권 깊이에서 침입하는 해양판의 상부에서 발생	253p 그림	

**Table 3.** The classification of Science textbooks on the basis of the origin and depth of magma

발생원인	교과서 및 지도서	발생 위치(깊이)	교과서 및 지도서
섭입하는 해양판의 용융	A, B, FF, GG, I, II, JJ	섭입하는 해구 부근의 지각내에서 발생	A(a),
맨틀의 부분 용융	CC	암석권 깊이의 해양판 상부	A(b), E(a), GG, I, J(c), JJ,
지하물질의 용융	B, KK	암석권에서부터 연약권 깊이까지의 해양판 상부	D(b), F, J(b),
발생 기원에 대한 기재 없음	AA, D, E, EE, F, G, H, HH, J, K	연약권 깊이의 해양판 상부	B, C, CC, D(a), DD, E(b), G, H, J(a), JJ, K, KK

(a) 또는 (b)는 표2에 제시된 그림을 지시

열도 같은 호상열도의 형성에 대한 기작을 정확히 전달하지 못하고 있다. 예를 들면, 대부분의 교과서에서 마그마의 성인을 “암석 또는 지각물질”(교과서 A, B, D), “판의 물질 또는 해양판”(교과서 I; 지도서 FF, GG II, JJ), “맨틀 물질”(지도서 CC) 등으로 다양하게 표현하고 있다(Table 3). 이는 마그마의 정의를 단순히 “지구 내부에서 지각(또는 지하)물질의 용융체”로 애매모호하게 전달하고 있으며, 각 교과서별로 다른 용어를 사용하고 있어 오히려 혼란을 초래하는 오류를 범하고 있다. 따라서 섭입경계에서 생성되는 주요한 마그마의 기원 물질이 연약권의 쉐기맨틀과 관련이 있음을 명확히 제시하여야 한다.

둘째, 지도서 GG의 경우 [호상열도는 대륙판 밑으로 섭입하는 해양판의 상부에서 마찰열과 휘발성 성분의 영향으로 마그마가 발생하여 생성된다]로 진술하고 있지만 대부분의 마그마는 섭입하는 해양판의 상부에서 생성되는 것이 아니라 연약권의 쉐기맨틀에서 부분용융으로 형성된다. 또한 마그마의 형성 원인으로 마찰열과 휘발성 성분을 주요인으로 기술하고 있으나 이 또한 잘못된 설명이라 할 수 있다. 섭입하는 해양판의 암석을 구성하는 함수광물에서 물이 빠져나오면 이 물이 연약권에 침투, 연약권의 용융점을 낮추게 되며 이로 인해 마그마가 생성된다고 표현함이 옳다. 또한 지도서 II의 경우 [해구 쪽으로 이동한 판은 수렴형 경계에서 대륙지각 아래로 침강하면서 약 200 km 깊이에서 판의 마찰과 물의 작용으로 부분 용융을 일으켜 마그마가 만들어진다]로 진술하고 있다. 여기에서도 “마찰과 물의 작용”이라는 함축적 의미를 부여하여 정확한 마그마 형성에 대한 기작을 이해하기가 어렵다. 또한 “어디에서”라는 위치가 설명되어 있지 않으며, 함수광물의 탈수작용과 현무암질 마그마 형성(연약권내 쉐기맨틀에서의 부분용융)에 대한 좀더 과학적 접근 방법의 서술이 필요하다.

결론적으로 위에서 제시된 최근의 연구결과들에 근거하여 섭입경계면에서의 주요한 마그마 발생과정(메커니즘) 즉, 연약권에서 탈수작용(dehydration)과 쉐기맨틀의 부분용융(현무암질 마그마)에 관한 과학적 개념이 명확히 제시되어야 한다.

셋째, 마그마의 종류는 거의 모든 교과서에서 언급되어 있지 않으며, 일부 교과서와 지도서에서는 현무암질로 기재하고 있어 섭입대에서는 한 종류의 마그마가 생성되는 것으로 잘못 해석될 수 있으며, 더욱이 마그마의 발생과정(변화과정)에 대한 설명이 없어 단순한 암기위주의 내용을 전달하고 있다. 어떤 과정에 의해 어떤 종류의 마그마가 형성되는지를 마그마의 형성과정과 함께 분화(변화)과정 또한 명확히 제시되어야 한다. 연약권의 맨틀의 부분용융에 의해서 현무암질 마그마가 주로 생성되지만, 부분적으로 화강암질 마그마 그리고 이들의 혼합 마그마가 형성될 수도 있다.

교과서 및 지도서의 그림 분석: 교과서에 제시되는 그림은 학생들이 개념 이해를 효과적으로 할 수 있도록 표현되어야 한다. 즉, 교과서의 그림은 본문에서 진술된 내용을 과학적으로 뒷받침하는 정성-정량적 의미뿐만 아니라 과학적 현상이 일어나는 과정을 이해할 수 있도록 시각적으로 그리고 효과적으로 제시되어야 한다. 이러한 관점에서 섭입경계에서의 마그마 형성과 관련된 그림은 마그마의 생성과정, 즉 생성기작, 기원 물질, 위치 등에 관한 내용을 이해할 수 있도록 종합적으로 표현되어야 한다. 그러나 현재 교과서에 제시된 대부분의 관련 그림들은 섭입경계에서의 마그마 생성에 대한 과학적 내용을 충분히 반영하고 있지 않으며, 본문 내용과도 맞지 않을 뿐만 아니라 심지어 잘못된 내용을 포함하고 있다.

Tables 2와 3에 제시된 것처럼, 총 10종 이상의 교

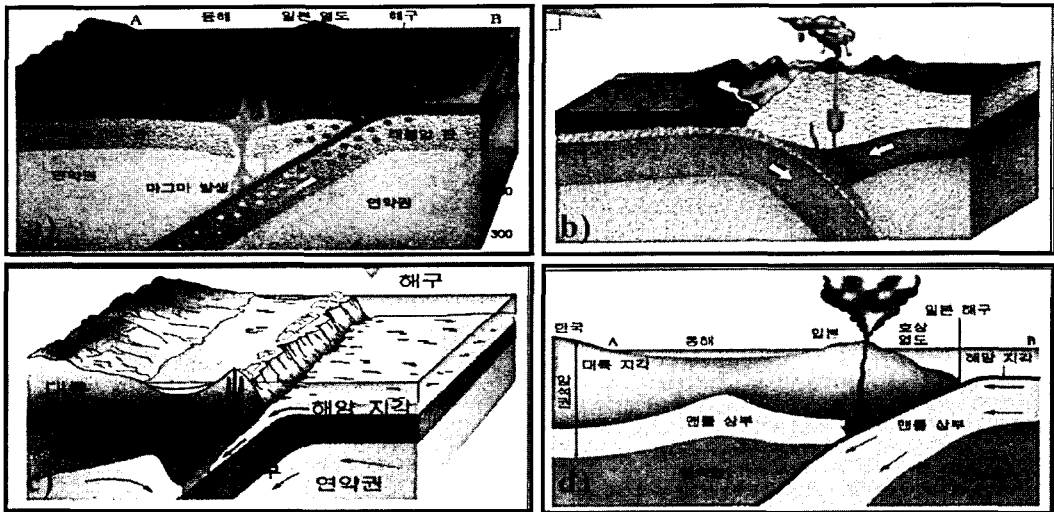


Fig. 3. Illustrations showing volcanic activity and location of magma formation suggested in high school science textbooks (a) E, (b) D and (c, d) A.

과서와 지도서에서 마그마가 연약권 깊이에서 해양판의 상부물질이 마찰에 의해 용융되는 것으로 잘못 표현되고 있다. 이외에도 섭입하는 해구 부근의 지각 내, 암권 깊이의 해양판 상부 그리고 암권에서부터 연약권 깊이까지의 해양판 상부 등 교과서별로 마그마의 생성위치가 다르게 그려져 있다(Fig. 3, Tables 2 and 3). 예를 들면, 교과서 E(교과서 그림 14-24, 288 p), G(교과서 그림 12-10, 251 p) 그리고 H(교과서 자료그림, 264 p)의 경우 연약권 깊이에서 섭입하는 해양판의 상부가 녹아서 마그마가 발생하고 있음은 잘못된 묘사이다(Fig. 3a). 또한 연약권에서 발생한 마그마가 지각의 하부에 마그마 챔버를 형성하고 여기서 다시 마그마 변화과정-결정분화작용, 동화작용, 혼합작용 등을 거쳐 마그마의 종류가 결정됨을 설명할 수 있는 그림이라 추론할 수 있으나, 교과서의 내용에는 마그마의 발생과 종류(변화과정)를 설명하고 있지 않다. 교과서 D(교과서 그림 탐구5, 261 p)의 경우 단순히 섭입하는 해구 뒷부분의 암권 깊이에서부터 해양판의 상부가 직접 용융하여 마그마가 분출하는 것으로 묘사하고 있으며, 이는 잘못된 표현이다(Fig. 3b). 교과서 A에 제시된 두 개의 그림(교과서 그림 V-13, 232 p와 그림 V-17, 236 p)을 비교하면 같은 교과서라도 각각 다르게 해석될 수 있다. 두 그림의 공통점은 섭입하는 해양판의 상부가 직접 용융한다는 것이고, 다른 점은 마그마의 발생위치가 하나는 섭입하는 해구부근의 지각 내에서부터 암권 깊

이에서 마그마의 용융이 일어나며, 다른 하나는 암권 깊이에서만 마그마의 용융이 일어난다는 점이다(Fig. 3c, d). 이러한 현상은 같은 교과서에서도 다르게 해석이 되는 4개의 그림(교과서 J의 그림 V-9, 232 p; 그림 V-15, 236 p; 평가그림, 238 p; 그림 V-17, 240 p)을 제시한 교과서 J에서도 찾아볼 수 있다. 또한 대부분의 그림에서 마그마가 연약권 깊은 곳에서 다량으로 올라오는 그림 표현 역시 잘못된 것이며, 마그마의 종류(변화과정)를 이해할 수 있는 명확한 그림은 찾아볼 수 없다.

결과적으로 모든 교과서에서 마그마의 발생위치를 보면 섭입하는 해양판의 상부(benioff zone)에서 해양판의 상부 물질이 용융하여 마그마가 발생하는 잘못된 그림을 수록하고 있으며, 단지 교과서마다 마그마의 발생이 시작되는 위치(깊이)만 다를 뿐이다. 이는 마그마가 연약권의 췌기맨틀 내에서 생성된다는 사실과 다른 내용이다. Fig. 4는 위에서 토의된 내용과 제시된 Figs. 1과 2를 바탕으로 마그마의 생성기작과 변화과정, 기원물질 그리고 생성위치 등을 전체적으로 표현한 것이다. 그러나 이들 세가지의 마그마 형성기작이 동시에 일어나지 않으며, 아다카이트와 HMA는 매우 특정한 환경에서 형성되기 때문에 고등학교 과학교과서(또는 지구과학 II)에서는 일반적인 섭입대(오래된 해양판이 섭입하는 경우)에서 일어나는 “현무암질 마그마 형성 메커니즘”만을 다루는 것이 적절한 것으로 사료된다.



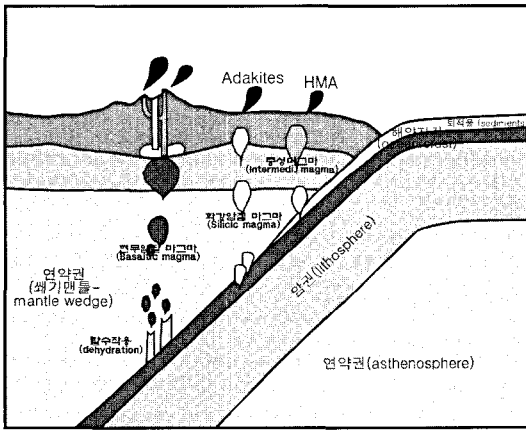


Fig. 4. Illustration synthetically showing three formation mechanisms of magma studied in several subduction zones. Note that adakite and HMA applies only to a few modern arcs, where very young and hot oceanic crust is subducting and melting at depth.

### 결론 및 제언

본 연구는 고등학교에서 사용되는 과학교과서의 내용(교과서와 지도서 총 21종)중 섭입대에서의 마그마 형성에 대한 내용 서술과 제시된 그림을 분석하여 부적절한 설명이나 그림을 지적하고 그 개선 방향을 제시하였다. 비록 10학년 과학교과서가 화성암의 생성과정에 대한 개념이 없이 화성활동의 결과만을 제시하여 판구조론의 개념을 이해시키려는 방향으로 제시되고 있지만, 교과서의 내용과 그림은 정확한 과학적근거에 의해 서술되어야 한다. 따라서 본 연구가 부분적으로 심도있는 지구과학 II의 내용을 다루고 있으나, 새로운 교육과정 편성이나 교과서 편집시 또는 학교 현장에서 효과적인 학습지도 방안을 모색하는데 참고가 되기를 기대한다. 본 연구를 통하여 얻은 결론과 제언은 다음과 같다.

1) 대부분의 교과서와 교사용 지도서에서 섭입경계에서의 마그마 발생 기원(메커니즘)에 대한 기제가 전무한 상태이거나 미흡하다. 지구과학 교과목에서 판 구조론에 대한 내용은 학생들에게 중요한 단원임을 고려할 때 발생원인에 대하여 정확하게 과학적으로 기술되어야 할 것이다.

2) 마그마 생성에 관한 서술이 교과서마다 다르고, 마그마의 정의 또한 애매모호한 “지각 또는 지하 물질의 용융체”로 서술하고 있다. 이는 “연약권 맨틀물질의 용융 물질” 의미로 수정되어야 한다. 또한 몇몇

교과서와 지도서에서 섭입하는 판이 마찰을 일으켜 온도가 상승하여 판이 직접 용융하고 있다는 설명은 섭입경계에서 대부분의 마그마가 물과 관련하여 썰기 맨틀의 부분용융으로 생성된다는 연구결과에 근거할 때 미흡하거나 잘못된 설명이라 하겠다.

3) 그림을 통해 분석한 결과 마그마 발생 위치가 교과서마다 다르며, 모든 교과서에서 섭입하는 해양 판의 상부 또는 지각 물질이 직접 용융하고 있는 것으로 표현되었다. 그러나 이러한 그림 내용은 교과서 진술 내용과 일치하지 않거나 섭입경계에서의 마그마 생성과정을 이해할 수 없다. 또한 마그마 발생위치와 기원물질 표시에 대한 묘사에 있어 수정 보완이 필요하다.

4) 이에 대한 내용을 재조명하면, 호상열도 하부에서 현무암질 마그마는 섭입하는 해양판이 연약권으로 미끄러져 들어가는 약 110 km 깊이에서 해양판으로부터 탈수되어 나온 물이 연약권(썰기맨틀) 내부로 유입되어 생성된다. 즉, 탈수된 물이 유입되면 썰기 맨틀을 구성하는 초염기성암의 용융온도가 내려가, 부분용융이 일어나고 이들이 모여 현무암질 마그마가 생성된다. 맨틀에서 생성된 현무암질 마그마는 지각 하부에 커다란 마그마 챔버를 형성하기도 하고, 바로 위에 놓인 지각 하부를 부분 용융시켜 산성 마그마를 형성하기도 한다. 이러한 경우에는 현무암질 마그마와 함께 화강암질 마그마 그리고 이들이 혼합된 중성마그마가 생성되기도 한다.

5) 따라서 일반적인 호상열도에서 산출되는 마그마 생성과 관련한 고등학교 과학교과서에 적합한 모식도는 Fig. 1의 내용이 하나의 좋은 예로 제시된다.

### 감사의 글

본 연구는 조선대학교 2003년도 학술연구비(판구조론적 섭입대에서의 마그마의 형성과 변화에 관한 연구)에 의해 수행되었으며, 연구비를 지원해 주신 조선대학교에 감사드립니다. 본 논문을 세심히 읽어주시고, 검토해주신 신인현 교수님과 이종익 박사님께 진심으로 감사드립니다.

### 참고 문헌

강만식, 정창희, 이원식, 한인섭, 권숙일, 이민호, 박수인, 윤용, 이강석, 이태욱, 정규효, 양영주, 2001, 고등학교

- 과학. (주)교학사, 248-252.
- 강만식, 정창희, 이원식, 한인섭, 권숙일, 이민호, 박수인, 윤용, 이강석, 이태욱, 정규효, 양영주, 2001, 고등학교 과학. (주)교학사 지도서, 258-264.
- 국동식, 2002, 온실효과에 대한 고등학교 공통과학교과서 분석. 한국지구과학회지, 23, 455-460.
- 김찬중, 서만석, 김희백, 심재호, 현종오, 한인욱, 권성기, 박성식, 2001, 고등학교 과학. (주)도서출판 디딤돌, 250-255.
- 성민웅, 김봉근, 조성동, 강대훈, 강충호, 구자욱, 노일환, 이용철, 임태훈, 최범선, 한은택, 2001, 고등학교 과학. (주)문원각, 271-274.
- 성민웅, 김봉근, 조성동, 강대훈, 강충호, 구자욱, 노일환, 이용철, 임태훈, 최범선, 한은택, 2001, 고등학교 과학. (주)문원각 지도서, 256-257.
- 송호봉, 정용순, 유병선, 이운상, 김여상, 정태연, 이하원, 윤덕열, 2001, 고등학교 과학. 흥진 P&M, 260-265.
- 송호봉, 정용순, 유병선, 이운상, 김여상, 정태연, 이하원, 윤덕열, 2001, 고등학교 과학. 흥진 P&M 지도서, 261-262.
- 우규환, 이춘우, 오두환, 김영유, 경재복, 이경훈, 박태윤, 이영직, 김병인, 김봉래, 이기영, 2001, 고등학교 과학. (주)중앙교육진흥연구소, 268-275.
- 우규환, 이춘우, 오두환, 김영유, 경재복, 이경훈, 박태윤, 이영직, 김병인, 김봉래, 이기영, 2001, 고등학교 과학. (주)중앙교육진흥연구소 지도서, 259-261.
- 이규석, 조희형, 박봉상, 박문수, 심국석, 심중섭, 최진복, 장정찬, 이창진, 이용준, 2001, 고등학교 과학. 대한교과서(주), 260-261.
- 이규석, 조희형, 박봉상, 박문수, 심국석, 심중섭, 최진복, 장정찬, 이창진, 이용준, 2001, 고등학교 과학. 대한교과서(주) 지도서, 266-273.
- 이면우, 장병기, 고재덕, 윤상학, 이진승, 여상인, 김홍석, 임채성, 배진호, 백승용, 이성진, 최변각, 2001, 고등학교 과학. (주)지학사, 248-252.
- 이면우, 장병기, 고재덕, 윤상학, 이진승, 여상인, 김홍석, 임채성, 배진호, 백승용, 이성진, 최변각, 2001, 고등학교 과학. (주)지학사 지도서, 248-252.
- 이문원, 전성용, 최병수, 권석민, 노태희, 허성일, 김출배, 강석진, 박희송, 김경호, 김규상, 채광표, 김진만, 정대영, 2001, 고등학교 과학. (주)금성출판사, 286-289.
- 이문원, 전성용, 최병수, 권석민, 노태희, 허성일, 김출배, 강석진, 박희송, 김경호, 김규상, 채광표, 김진만, 정대영, 2001, 고등학교 과학. (주)금성출판사 지도서, 286-289.
- 이연우, 강석본, 김인석, 김성진, 이진우, 안종제, 배미정, 전화영, 2001, 고등학교 과학. 서울교육정보, 232-236.
- 이연우, 강석본, 김인석, 김성진, 이진우, 안종제, 배미정, 전화영, 2001, 고등학교 과학. 서울교육정보 지도서, 242-250.
- 정완호, 권재술, 김대수, 김범기, 신영준, 우종욱, 이길재, 정진우, 최병순, 황원기, 2001, 고등학교 과학. (주)교학사, 253-261.
- 정완호, 권재술, 김대수, 김범기, 신영준, 우종욱, 이길재, 정진우, 최병순, 황원기, 2001, 고등학교 과학. (주)교학사 지도서, 253-261.
- 차동우, 김희수, 이명석, 이현주, 최종한, 이복영, 옥준석, 윤세진, 이원경, 정남식, 신동원, 2001, 고등학교 과학. (주)천재교육, 232-237.
- 차동우, 김희수, 이명석, 이현주, 최종한, 이복영, 옥준석, 윤세진, 이원경, 정남식, 신동원, 2001, 고등학교 과학. (주)천재교육 지도서, 232-237.
- Defant, M.J. and Drummond, M.S., 1990, Derivation of some modern island arc magmas by melting of young subducted lithosphere. *Nature*, 347, 662-665.
- Defant, M.J. and Nielsen, R.L., 1990, Interpretation of open system petrogenetic processes: phase equilibria constraints on magma evolution. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 54, 87-102.
- Gill, J.B., 1981, *Orogenic Andesites and Plate Tectonics*. Springer, New York, 350 p.
- Iwamori, H., 2000, Deep subduction of H<sub>2</sub>O and deflection of volcanic chain towards backarc near triple junction due to lower temperature. *Earth and Planetary Science Letters*, 181, 41-46.
- Morris, J.D., 1998, Hot stuff under southern Chile. *Nature*, 394, 523-524.
- Munson, B.H., 1994, Ecological misconceptions. *Journal of Environmental Education*, 25, 30-34.
- Plummer, C.C., McGeary, D. and Carlson, D.H., 2003, *Physical Geology* (9th ed.), Macgraw-Hill Press, 574 p.
- Rapp, R.P. and Watson, E.B., 1995, Dehydration melting of metabasalt at 8-32 kbar: implications for continental growth and crust-mantle recycling. *Journal of Petrology*, 36, 891-931.
- Tatsumi, Y., 1986, Origin of subduction zone magma. *Volcano*, 30, 153-172.
- Tuttle, O.F. and Bowen, N.L., 1958, Origin of granite in the light of experimental studies in the system NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>-KAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O. *Geologic Society of America Memoir*, 74, 1-153.
- Yogodzinski, G., Kay, R.W., Volynets, O.N., Koloskov, A.V. and Kay, S.M., 1995, Magnesian andesite in the western Aleutian Komandorsky region: implications for slab melting and processes in the mantle wedge. *Geological Society of America Bulletin*, 107, 509-519.