한국과학교육학회지, 31권 6호, pp. 942-957(2011. 10) J Korea Assoc. Sci. Edu, Vol. 31, No. 6, pp. 942-957(2011. 10)

연소에 대한 초등교사의 개념
- 기체변화를 중심으로 -

신애경* · 문현숙 · 강민석
제주대학교

Elementary School Teachers' Concept of Combustion
- Focus on Change of Gases -

Shin, Ae-Kyung* · Moon, Hyun-Sook · Kang, Min-Seog
Jeju National University

Abstract: The purpose of this research was to examine the concept of elementary school teachers of combustion. The participants were selected from the elementary school teachers who had various career experiences, 6th grade science teaching experiences, and academic backgrounds on science. For the purpose of this study, 12 elementary school teachers took the concept-test formed five questions on combustion and were interviewed. The concept-test was composed with 'The definition of combustion', 'The reason that the candle was blown out when glass was closed.', 'The existence of oxygen and carbon dioxide of before and after combustion in glass', 'Combustion of iron', 'Combustion products'. And the collected data by semi-structured interviews based on responses to the concept-test.

During the analysis of the data, additional interviews by phone, e-mail and Internet messenger were conducted if necessary. The answers to each question were classified into three levels: (Scientific-concept(S), Partial-concept(P), Misconcept(M)). The research results showed that all teachers had misconceptions or partial-concept of more than 50 percent of each question. Teachers who had the 6th grade science teaching experience acquired scientific concepts of the combustion more than teachers who did not have the 6th grade science teaching experience. We should develop visualization materials about the change of gases during combustion and use these materials for implementation of the scientific concept.

Key words: concept of combustion, elementary school teacher's misconcepiont, change of gases during combustion, a case study on scientific concept

Ⅰ. 서 론

학생들이 과학수업을 통해 과학개념을 형성하는 것은 과학과 교육과정에서 요구되는 중요한 교육목표 중의 하나이다(교육과학기술부, 2008). 이러한 목표를 달성하기 위해 교사들은 다양한 탐구 방법을 이용하여 학생들이 과학적 개념을 형성할 수 있도록 도와주지만, 학생들은 과학적 개념과는 다른 원리나 내용으로 인지하는 오개념의 상태로 머무르는 경우가 종종 나타난다. 오개념의 형성 요인은 관점에 따라 여러 가지로 나눌 수 있는데, 권재술, 김범기(1993)는 오개념의 형성 요인을 내적 요인과 외적 요인으로 분류하였다. 이 중 외적 요인으로 교사에 의한 요인이 존재하는데, 교사가 잘못된 개념을 가지고 있게 되면 교사와 학생간의 교수-학습 활동을 통해 학생들의 잘못된 개념 획득에 직접적으로 영향을 주게 된다는 것이다. 교사들이 갖고 있는 오개념으로 인해 학생들도 과학개념에 대해 혼동을 일으키게 되는 것이다(박규석, 2003).

연소에 대한 개념은 초등학교 과학과 교육과정 중 물질 영역에서 중요하게 다루어지는 개념으로 교육과정이 바뀌어도 계속 포함되는 내용이다. 그동안 연소에 대한 학생들의 오개념 연구가 많이 진행되어 왔다(김선주, 2005; 문미정, 김용권, 2009; 엄상수 등, 2000; 한문정, 1990). 하지만 교사들 중 약 75%가 수업 전에 학생들의 오개념을 전혀 고려하지 않고 있고

*교신저자: 신애경(akshin@jejunu.ac.kr)
**2011.05.18(접수) 2011.07.11(1심통과) 2011.08.29(2심통과) 2011.09.01(최종통과)

(장명덕, 2009), 또한 오개념의 형성 요인 중 외적 요인까지 모두 알고 있는 예비교사는 45%에 불과하다(장명덕, 2010). 이는 대부분의 교사가 오개념에 대해 관심이 없거나, 오개념을 변화시키기 위한 교수 방법을 제대로 알지 못한다는 Gomez-Zwiep(2008)의 연구와 일치한다. 또한, 교사도 연소에 대해 오개념을 가지고 있는 것으로 드러나는 연구(김도욱, 1991; 정미숙, 2003; De Jong, 1995)들도 발표되었다. 그리고 초등교사는 중등교사에 비해 과학에 대한 전문 지식이 부족하여 과학수업에서 어려움을 겪고 있다고 보고되고 있다(이수아 등, 2007; 최선영, 노석구, 2008).

이렇듯 학생과 교사들이 연소에 대해 체계적인 개념을 가지지 못하고, 교사가 이를 지도하는데 어려움을 겪고 있다는 연구들이 존재한다. 하지만 연소에 관련하여 교사의 오개념 연구는 과학사적 관점이나 질량변화에 초점을 두어 진행되었을 뿐(김도욱, 1991; 정미숙, 2003), 아직까지 연소에 대한 교사의 개념 연구 중 산소와 이산화탄소라는 기체의 변화에 초점을 두어 진행된 연구는 없었다. 따라서 이 연구에서는 초등학교 교육과정에 나타난 연소에 대한 개념을 찾아 초등교사들이 개념을 어떻게 형성하고 있는지 산소와 이산화탄소 기체의 변화에 초점을 두어 알아보고자 한다.

Ⅱ. 연구 방법 및 절차

1. 연구 대상

이 연구는 제주도 지역 총 9개 초등학교의 교사 12명을 대상으로 하였다. 다양한 배경을 가진 연구 대상을 선정하기 위해 성별, 교육 경력, 6학년 과학교과 지도 경험, 과학 관련 업무 수행 경험, 과학 관련 학력 여부 등을 기준으로 하였고, 이에 대한 정리는 〈표 1〉과 같다. 교육 경력 3년 미만의 교사는 현재 2급 정교사 자격의 교사이고, 이 이외의 교사는 1급 정교사 자격의 교사이다. 특히, '연소와 소화' 단원이 있는 6학년 과학교과를 최근 10년 이내에 지도한 경험의 유무 역시 고려하여 연구 대상을 정하였다. 과학 관련 학력 여부는 고등학교에서 이과 출신이거나 교육대학에서 심화과정으로 과학을 전공하였거나 대학원에서 과학교육을 전공하고 있는 경우를 의미한다.

2. 검사 도구

연소에 대한 개념을 연소의 정의, 조건, 연소 후 생성물 세 부분으로 나누고, 각 부분에서 제시되는 과학적 개념과 오개념에 대한 문헌 자료를 수집하였다. 수집된 자료를 토대로 연소에 대한 개념 검사지를 개발하였다. 이 연구에서 사용한 개념 검사지는 연구 대상들의 개념 이해 정도를 알아보기 위하여 작성한 것이므로, 구체적인 면담 과정에서 교사들의 사고를 도출할 수 있도록 구성하였다. 학생을 대상으로 한 선행연구(문미정, 김용권, 2009)에서 연소와 소화 단원에 대한 학생 개념 검사지와 초등학교 과학 교육과정 해설서(교육과학기술부, 2008)를 참고하였다. 검사지의 내용은 '1. 연소의 정의', '2. 집기병으로 덮었을 때 촛불이 꺼지는 이유', '3. 집기병 속 연소 전과 후의 산소와 이산화탄소', '4. 철솜의 연소', '5. 연소 후 생성물' 에 대한 개념을 묻는 총 5개의 문항으로 구성하였다. 1번부터 5번 문항까지 모두 기체의 변화와 관련이 있다. 3번 문항의 경우 생각을 좀 더 잘 표현할 수 있도록 그림으로 그리게 하였으며, 4개의 하위 문항으로 구성되어 있다(표 2). 연소 후 생성물을 가장 마지막 문항으로 구성한 이유는 초와 철솜의 연소를 물은 후 일반화 시켜 물질의 연소 후 생성물에 대한 생각을 알아보기 위해서였다. 검사지는 초등과학교육 전문가 2인으로부터 타당도를 검증받았고, 교사 2인

Table 1
연구 대상의 특성

성별		교육 경력		6학년과학 지도 경험		과학 업무		과학 관련 학력 여부	
남	5	3년 미만	4	유	7	유	6	유	7
		10년 미만	5						
여	7	10년 이상	3	무	5	무	6	무	5
								계	12

을 대상으로 예비검사를 실시한 후 검사 문항과 면담 시 질문 내용을 수정, 보완하였다.

3. 자료 수집 및 분석

개발한 연소 개념 검사지를 바탕으로 교사의 생각을 좀 더 명확히 알아보기 위해 반구조화된 면담을 실시하였으며, 각 교사별로 면담 시간은 약 30분 정도 소요되었다. 면담한 내용은 모두 녹음하였으며, 녹음된 자료를 전사하여 이를 문서화하였다. 전사할 때, 연구자의 물음은 핵심 내용만을 기록하였으나, 응답자의 응답은 답한 그대로를 전사하고자 노력하였다. 이 후, 문서화된 자료를 분석하면서 의문 나는 점이나 부족한 자료에 대해서는 전화, e-mail, 인터넷 메신저를 통하여 추가 자료를 수집하였다.

수집된 자료를 이용해 각 문항별로 개념 수준을 과학적 개념(S: Scientific concept)과 부분개념(P: Partial concept), 오개념(M: Misconcept)으로 분류하였다. 개념 검사지의 각 문항별 내용과 개념수준에 대한 기준은 〈표 2〉와 같다. 이 때 부분 개념이나 오개념의 수준을 정도에 따라나누어 분류하였다. 예를 들면, '3-4. 연소 과정 중 이산화탄소의 위치' 에 대한 응답 중 오개념 1단계인 M1 수준으로 분류된 것은 이산화탄소가 공기보다 무겁다는 인식을 못하고 이산화탄소가 위부터 쌓일 것이라는 응답이고, M2로 분류된 것은 이산화탄소가 공기보다 무거워 아래부터 쌓인다고 응답을 한 경우이다. '5. 연소 후 생성물' 의 부분개념도 수준에 따라 P1과 P2 수준으로 분류하였다. 부분 개념은 반응물과 생성물에 대한 화학변화의 측면에서 이해하고 설명하는 수준으로, P2 수준은 반응물에 탄소, 수소가 있어서 초등교육과정 상에 나와 있는 이산화탄소, 수증기(또는 물)를 연소 후 생성물로 이해하는 경우이고, 이산화탄소만을 언급한 경우는 P1 수준으로 분류되었다. 검사지 내용과 교사의 면담

Table 2
문항 내용과 각 문항에 대한 기준

문항		기준 (S:과학적 개념, P:부분개념, M:오개념)	예시 사례
1. 연소의 정의		S 산소와 반응하여 빛과 열을 내면서 화학변화를 일으키는 현상 P 산소와 결합하여 타는 것 또는 물질이 열과 빛을 내며 타는 현상 M 고체에서 기체로 변하는 현상	 사례 1 사례 2
2. 집기병으로 덮었을 때 촛불이 꺼지는 이유		S 산소의 부족 P 산소의 부족과 이산화탄소에 의한 소화 M 산소가 모두 사라짐	 사례 3 사례 4
3. 집기병 속 연소 전과 후의 산소와 이산화탄소	3-1. 연소 전 산소와 이산화탄소의 농도	S 산소(약 21%), 이산화탄소(약 0.03%)를 유사하게 응답 P 산소의 대략적인 농도만 앎 M 연소 전 기체의 양을 알고 있지 못함	 사례 5 사례 6
	3-2. 연소 후 산소의 농도	S 연소 후 산소의 농도(16~17%)를 유사하게 응답 P 산소가 완전히 소모되지 않고 약간 남아있다고 생각 M 산소가 완전히 소모되었다고 생각	사례 7 사례 8
	3-3. 연소 후 이산화탄소의 농도	S 산소가 줄어든 양보다 이산화탄소가 늘어난 양이 적음 M2 산소가 줄어든 만큼 이산화탄소가 늘어남 M1 산소가 줄어든 양과 관련짓지 못하고 이산화탄소가 가득 차 있음	사례 9 사례 10 사례 11
	3-4. 연소 과정 중 이산화탄소의 위치	S 가열되어 위에 있다가 식으면서 평형상태를 이룸 P 가열되어 위에 있다가 식으면서 아래로 쌓임 M2 이산화탄소가 무거워 아래부터 쌓임 M1 이산화탄소가 위부터 쌓임	사례 12 사례 13 사례 14 사례 15
4. 철솜의 연소		S 산화철 언급, 이산화탄소가 생성되지 않는다는 것 앎 P 이산화탄소의 생성을 언급했지만 의구심을 가짐 M 초의 연소 생성물과 동일하게 생각	사례 16 사례 17 사례 18
5. 연소 후 생성물		S 연소 전 반응물에 따라 생성물도 달라짐 P2 반응물에는 탄소, 수소가 있어 생성물로 이산화탄소, 물이 생김 P1 반응물에는 탄소가 있어 생성물로 이산화탄소가 생김 M 연소 후 생성물을 화학반응으로 설명하지 못함	 사례 19,21 사례 20 사례 22

내용을 분석하기 위해 과학교육 전문가 2인과 5회의 만남을 가졌고, 내용을 하나씩 검토하면서 분석 작업을 같이하였다.

Ⅲ. 연구 결과 및 논의

1. 초등교사의 연소에 대한 개념분석

연소에 대한 개념 분석을 한 후 각 교사별로 정리해 〈표 3〉으로 나타내었다. T는 교사를 의미하고, 12명의 연구 대상자를 T1~T12로 나타내었다. 각 문항의 마지막에는 개념의 수준별(M, P, S)로 빈도를 나타내었다. 즉, 과학적 개념을 가진 S 수준의 교사, 부분개념을 가진 P 수준의 교사, 오개념을 가진 M 수준의 교사의 빈도를 나타낸 것이다. 그리고 각 빈도별로 괄호 안에 퍼센트로 교사들의 개념 분포 정도를 나타내었다. 빗금의 경우 그 영역의 개념 수준이 나타나지 않은 경우를 나타낸다.

연소의 정의를 묻는 1번 문항의 경우, 과학적 개념(S)을 가진 교사는 5명(41.7%)이고 부분 개념(P)을 가진 경우는 6명(50.0%)으로 전체 빈도의 대부분을 차지한다. 집기병으로 덮었을 때 촛불이 꺼지는 이유에 대해 묻는 2번 문항의 경우, 산소의 부족(S)으로 설명하는 교사는 4명(33.4%), 산소가 다 사라진다고 응답(M)한 경우가 7명(58.3%)으로 역시 전체 빈도의 대부분을 차지한다. 3번 문항의 경우 연소 전 기체의 양(3-1번 문항)을 이해하지 못하는 경우(M)가 7명(58.3%), 연소 후의 산소의 농도(3-2번 문항)는 산소가 남아있지 않을 것이라 예측(M)한 교사가 7명(58.3%), 연소 후 기체의 변화(3-3번 문항)를 예측하지 못하는 경우(M)가 11명(91.7%)으로 가장 빈도가 높았다. 연소 과정 중 이산화탄소의 위치(3-4번 문항)에 대해서도 이산화탄소가 무거워 아래부터 쌓인다고 응답(M2)한 경우가 7명(58.3%)으로 가장 많았다.

4번 문항의 경우 철솜의 연소 후 이산화탄소가 생길 것으로 예측하는 경우(M)가 10명(83.4%)으로 가장 높은 빈도를 나타냈다. 5번 문항의 경우 연소 후

Table 3
각 문항에 대한 교사들의 응답 수준 및 분포

빈도(%)

문항 \ 교사		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	M (M1 M2)	P (P1 P2)	S
1. 연소의 정의		P	P	S	P	M	S	S	P	P	P	S	S	1 (8.3)	6 (50.0)	5 (41.7)
2. 집기병으로 덮었을 때 촛불이 꺼지는 이유		M	M	M	M	M	P	S	S	S	S	M	M	7 (58.3)	1 (8.3)	4 (33.4)
3. 집기병 속 연소 전과 후의 산소와 이산화탄소	3-1. 연소 전 산소와 이산화탄소의 농도	S	P	P	M	M	M	P	M	M	P	M	M	7 (58.3)	4 (33.4)	1 (8.3)
	3-2. 연소 후 산소의 농도	M	M	M	M	M	P	P	P	P	S	M	M	7 (58.3)	4 (33.4)	1 (8.3)
	3-3. 연소 후 이산화탄소의 농도	S	M1	M2	M2	M2	M2	M2	M2	M1	M1	M2	M2	11 (91.7) (3 8)		1 (8.3)
	3-4. 연소과정 중 이산화탄소의 위치	M2	M2	M2	M1	S	M2	P	M2	S	P	M2	P	7 (58.3) (1 6)	3 (25.1)	2 (16.6)
4. 철솜의 연소		M	P	M	M	M	M	S	M	M	M	M	M	10 (83.4)	1 (8.3)	1 (8.3)
5. 연소 후 생성물		P2	P1	P1	P1	M	P2	S	P2	P1	P1	P1	P2	1 (8.3)	10 (83.4) (6 4)	1 (8.3)

생성물에서는 화학반응에 대해서는 이해하고 있지만, 반응물에 따라 생성물이 달라진다는 것을 설명하지 못하는 경우(P)가 10명(83.4%)으로 가장 높은 빈도를 나타냈다. 이렇듯 모든 문항에서 일반적으로 연소와 관련된 과학적 개념을 가진 교사가 적다는 것을 알 수 있고, 연소의 개념에 대해 교사들마다 오개념 또는 부분개념을 부분적으로 가지고 있음을 알 수 있다. 즉, 모든 문항에서 고루 과학적 개념을 가진 교사는 존재하고 있지 않다. 이에 대해 각 문항별로 교사의 개념에 대한 사례와 분석을 다음에서 제시하고자 한다.

1) 연소의 정의

연소의 정의를 묻는 1번 문항의 경우, '물질이 빛이나 열 또는 불꽃을 내면서 빠르게 산소와 결합하는 현상이다.' 라는 과학적 개념에 따른 각 교사들의 응답을 〈표 2〉와 같이 총 3가지로 분류하였다. 이 중 과학적 개념(S)을 가진 교사는 5명(41.7%)이고, 연소의 과정에서 산소와의 화학적 반응을 이해하고 있지만, 연소의 정의를 설명하기에는 다소 불충분(P)한 교사는 6명(50.0%)이었다(사례 1). 연소를 고체에서 기체로 변하는 상태변화의 측면에서 설명(M)하고 있는 교사는 1명(8.3%)으로 나타났다(표 3).

정미숙(2003)의 초등교사를 대상으로 한 연구에 따르면 연소의 정의에 대해 '산소와 결합' 으로 설명하는 교사가 33%라고 보고하고 있다. 이 연구에 나타난 과학적 개념(S)의 형성 정도는 41.7%로 선행연구에 비교하면 상대적으로 높은 수준이지만, 학생에게 과학적 개념을 가르쳐야 하는 교사들에게 요구되는 형성 정도는 더 높아져야 할 것으로 생각된다.

T10 교사는 연소의 정의에서 '탄소를 포함한 물체' 라고 언급을 하였기에 P 수준으로 분류되었다. T10 교사는 개념 검사지를 수행할 때 '5. 연소 후 생성물' 에 관한 문항에 응답한 후, '1. 연소의 정의' 에 관한 문항으로 되돌아와 맨 앞에 '탄소를 포함한 물체' 라고 추가하여 연소의 정의를 기술하였다. 연소 가능한 모든 물체는 탄소를 가지고 있으며, 따라서 연소 후 이산화탄소가 반드시 생성된다고 생각하고 있었다. 또한 T1 교사의 경우에는, 연소의 정의를 적은 검사지만으로는 S 수준으로 분류될 수 있었으나, 면담 도중 빛과 열 중 하나만을 충족해도 연소의 조건에 부합한다고 응답하는 것으로 보아, S 수준에는 미흡하다고 판단하여 P 수준으로 분류하였다. P 수준 T1 교사와의 면담 내용을 살펴보면 다음과 같다.

〈사례 1〉 1. 연소의 정의 : P 수준

연구자 1번 문항 연소의 정의는 어떻게 적어주셨나요?

T1 연소의 의미를 물질이 산소와 반응하여 열과 빛을 내며 타는 현상이라고 적었습니다.

연구자 어떤 현상을 생각하며 탄다고 쓰셨나요?

T1 <u>우리가 흔히 보는 불꽃이 보이는 것도 타는 것이고, 눈에 보이지 않더라도 열을 내더라도 탄다고 생각했습니다. 둘 중 하나라도 만족시키면 연소라고 생각했습니다(P 수준).</u>

연구자 빛과 열을 모두 만족시켜야 연소일까요?

T1 꼭 그런 것은 아니고, 빛과 열 둘 중 하나만 만족시켜도 연소라고 생각했습니다.

그리고 연소의 정의를 물질의 상태변화에 초점을 맞추어 설명(M)하고 있는 교사는 교육 경력 10년차의 T5 교사이다. 산소가 있어서 불이 붙는다고는 했지만, 물질이 양초라는 고체에서 연기나 그을음이라는 기체가 되기도 하고, 물의 경우는 액체에서 기체로 변할 것이라고 설명하고 있었다. 연소의 3요소인 산소, 발화점 이상의 온도, 탈 물질에 대한 이해는 물론이고, 열과 불꽃을 내는 화학반응이라는 점에 대한 이해 역시 부족해 보였기 때문에 M 수준으로 분류했다. 문미정, 김용권(2009)의 연구에서도 학생들의 30%가 연소 현상을 '녹는다. 기체가 된다.' 라고 상태변화의 측면에서 설명하고 있다. 교사가 가지고 있는 오개념이 학생들의 오개념 형성에 영향을 미칠 수 있음을 이러한 연구 결과를 통해 짐작 할 수 있다. M 수준 T5 교사와의 면담 내용을 살펴보면 다음과 같다.

〈사례 2〉 1. 연소의 정의 : M 수준

연구자 1번 문항 연소의 정의에 대해 말씀해 주세요.

T5 연소는 산소가 있어 불이 붙고, <u>물체가 고체에서 기체로 변하는 현상이라고 적었습니다(M 수준).</u>

연구자 산소를 사용한다고 하셨고, 물질이 고체에서 기체로 변한다고 하셨는데, 어떤 고체에서 어떤 기체로 변할까요?

T5 꼭 물질이 고체에서 기체로 변하지 않는다

고 하더라도, 양초 같은 경우에는 초에서 연기나 그을음이 나올 것 같고, 물 같은 경우는 액체에서 기체로 수증기로 나올 것 같습니다. 지방은 고체에서 에너지로 변화하는 현상이 아닌가요?

2) 집기병으로 덮었을 때 촛불이 꺼지는 이유

촛불을 집기병으로 덮었을 때 불이 꺼지는 이유에 대한 2번 문항의 경우, 〈표 2〉와 같이 3가지로 분류하였다. 산소의 부족(S)이라고 설명하는 경우가 5명(41.7%), 산소의 부족과 함께 이산화탄소에 의한 소화까지 제시(P)한 경우가 1명(8.3%), 산소가 다 사라졌기 때문(M)이라고 응답한 경우가 6명(50.0%)으로 나타났다(표 3).

P 수준과 M 수준의 사례를 살펴보면, P 수준의 T6 교사는 최근에 6학년 과학을 가르친 경험도 있고 교육 경력도 13년 이상인 베테랑 교사이다. 하지만, 집기병으로 덮었을 때 촛불이 꺼지는 이유에 대해서 산소의 부족과 함께 6학년 교과서에서 소화를 다룰 때 나오는 이산화탄소의 증가(P)로 설명하고 있었다. 즉, 이산화탄소의 증가를 산소 차단의 원인으로 연결 짓지 못하는 것이다. 7차 과학 교과서에 이산화탄소가 불을 끄는 성질이 있다고 제시되고 있고, 6차 자연 교과서에서도 이산화탄소를 부어 높이가 다른 초의 불을 끄는 실험이 존재했었기 때문이다. 하지만 이산화탄소처럼 스스로 타는 성질이 없으면서 산소를 차단할 수 있다면, 다른 기체들도 불을 끌 수 있다는 점에서 이는 과학적 개념에 속하지 않는다. 권혁순(1991)의 중학교 2학년 학생들을 대상으로 한 연구에 따르면 많은 학생들이 이산화탄소가 불을 끄는 성질이 있다고 생각하고 있다는 것을 알 수 있다. 이처럼 학생들이 가지고 있는 오개념이 교사에게도 나타나고 있음을 알 수 있다. P 수준 T6 교사와의 면담 내용을 살펴보면 다음과 같다.

〈사례 3〉 2. 집기병으로 덮었을 때 촛불이 꺼지는 이유 : P 수준

연구자 촛불을 집기병으로 덮었을 때, 왜 촛불이 꺼지는 것이라고 생각하시나요?

T6 이유로는 크게 두 가지입니다. 첫 번째는 초가 탈 수 있는 조건 중에, 산소가 있는 데요. 처음에는 집기병 속의 어느 정도의 기체 속에 들어있는 산소가 있기 때문에 초가 타는 거지만, 초가 타면서 나오는 물질 중에 물, 이산화탄소, 그을음이 있습니다. 그 중에 이산화탄소가 집기병 안에 차면서 이산화탄소는 소화를 시키게 됩니다. 즉, <u>산소 부족과 이산화탄소에 의한 소화 이 두 가지가 이유입니다(P 수준).</u>

반면 연소 후에는 집기병 안에 산소가 아예 남아있지 않을 것(M)이라 생각하는 교사들도 많았는데, 그 중 6학년 과학 교과를 4년째 가르치고 있는 M 수준 T12 교사와의 면담 내용을 살펴보면 다음과 같다.

〈사례 4〉 2. 집기병으로 덮었을 때 촛불이 꺼지는 이유 : M 수준

연구자 촛불을 집기병으로 덮었을 때, 왜 촛불이 꺼지게 될까요?

T12 집기병 안이 외부와 차단되었기 때문에 산소가 공급되지 않습니다. 양초가 타는 과정에서 탈 물질은 있지만 산소가 서서히 줄어들어 촛불이 꺼지는 것으로 알고 있습니다.

연구자 연소 전 산소의 농도를 알고 있습니까?

T12 정확한 농도는 모르겠지만 <u>연소 중에 산소가 모두 쓰여서 연소 후에는 남지 않는 것으로 알고 있습니다(M 수준).</u>

3) 집기병 속 연소 전과 후의 산소와 이산화탄소

3-1) 연소 전 산소와 이산화탄소의 농도

3번 문항의 경우 연소 전, 중, 후의 집기병 속 산소와 이산화탄소의 농도와 위치에 대해 물었다. 먼저 연소 전 산소와 이산화탄소의 농도에 대해 〈표 2〉와 같이 3가지 수준으로 분류하였는데, 연소 전 기체의 양을 유사하게 알고 있는 경우(S)는 1명(8.3%)이었다. 또한, 산소의 농도만이라도 유사하게 알고 있는 경우(P)가 4명(33.4%)이었고, 연소 전 산소와 이산화탄소의 농도를 알고 있지 못하는 경우(M)가 7명(58.3%)이었다(표 3).

S 수준, P 수준, M 수준의 사례를 살펴보면, 유일하게 연소 전의 산소(약 20~21%)와 이산화탄소(약 0.03%)의 농도를 정확하게 알고 있는 S 수준의 교사

는 T1 교사이다. T1 교사는 바로 전 해에 6학년을 가르쳤던 경험이 있는 교육 경력 3년의 교사이다.

아래 P 수준의 T2 교사처럼 기억을 더듬으며 산소의 농도는 약 20%라는 과학적 개념의 응답을 하는데 반해서, 이산화탄소는 3% 정도일 것이라는 응답이 많이 나타난다. 이는 교사들이 학생시절 과학과 교육과정을 배워오면서, 또는 교사시절 연소 단원을 가르치면서 0.03%의 '3'이라는 숫자를 들어본 경험에서 나오는 응답이 아닌가 여겨진다. P 수준 T2 교사와의 면담 내용을 살펴보면 다음과 같다.

〈사례 5〉 3-1. 연소 전 산소와 이산화탄소의 농도 : P 수준

연구자 연소 전 산소와 이산화탄소의 양을 퍼센트 농도로 말씀해 주실래요?

T2 공기 중에는 산소만 있는 것이 아니기 때문에 한 20% 있고, 이산화탄소는 3% 있지 않을까요(P 수준)? 잘 모르겠습니다.

이에 반해 연소 전 산소와 이산화탄소의 농도에 대해서 전혀 예측하지 못하거나, 옳지 않은 응답을 한 M 수준 T4 교사와의 면담 내용을 살펴보면 다음과 같다.

〈사례 6〉 3-1. 연소 전 산소와 이산화탄소의 농도 : M 수준

연구자 연소 전의 공기 중 산소, 이산화탄소의 양을 알고 계신가요?

T4 퍼센트요? 연소 전에는 산소가 30%, 이산화탄소가 5% 정도(M 수준)라고 생각합니다. 연소 중간에는 산소가 점점 줄고, 이산화탄소가 늘어날 것 같아요.

3-2) 연소 후 산소의 농도

연소가 끝난 후, 집기병 안의 촛불이 꺼졌을 때의 산소의 농도를 묻는 질문에 대한 응답은 〈표 2〉와 같이 3가지 수준으로 분류하였다. 연소 후의 산소의 농도를 16~17%로 유사하게 예측(S)한 교사는 T10 교사 1명(8.3%)이었다. 연소 후에 산소가 완전히 소모되지 않고 약간 남아있다(P)고 생각한 교사는 4명(33.4%), 산소가 완전히 소모되었다(M)고 생각한 교사는 7명(58.3%)이었다(표 3). 즉, 연소 후 산소가 0~10% 이내로 있을 것이라고 응답한 교사가 총 12명 중 11명(91.7%)으로 대부분을 차지하고 있다. 개념 수준을 나누는데 있어 면담 시 구체적인 농도를 물었던 것은 객관화된 기준을 통해 교사의 수준을 분류하기 위해서였다. 하지만, 실제적으로는 연소 후 산소의 농도를 예측한 경우(S)와 약간 남아있다고 생각(P)하는 경우, 그리고 거의 없을 것(M)이라고 생각하는 경우로 분류했다. 개념 검사지에서는 이 문항은 연소 반응이 일어나면 산소가 소모된다는 것을 알고 있다는 전제하에 어느 정도 소모될 것인가를 예측해 보도록 한 것이다. 연소 시 산소의 소모를 묻는 연구(문미정, 김용권, 2009; 엄상수, 1998)가 있었으나, 연소 후 산소의 농도에 대한 개념을 분석한 연구는 없는 실정이다. 문미정, 김용권(2009)의 연구에 따르면 많은 학생들이 산소의 소모를 이해하고 있는 과학적 개념 수준에 있다고 보고 있다. 그러나 산소의 소모가 연소 후에 산소가 모두 없어졌다는 것을 의미할지 모른다는 점에서 이를 파악할 필요가 있었다. 과학적 개념의 출처는 명확하지 않지만, 연소 후 산소에 농도에 대해 알고 있는 S 수준 T10 교사와의 면담 내용을 살펴보면 다음과 같다.

〈사례 7〉 3-2. 연소 후 산소의 농도 : S 수준

연구자 3번 문항에서 촛불이 꺼진 이유에 대해서는 어떻게 작성해 주셨나요?

T10 '연소에 필요한 산소가 부족해지기 때문에'라고 적었습니다. 대기 중 산소가 약 20%가 되는 것으로 알고 있습니다. 연소가 될 때는 정확하지는 않은데… 산소가 약 15%인가 뭐.. 이하로 떨어지면 연소가 안 된다고 들은 기억이 있어서…(S 수준) 그 이하로 떨어지기 때문에…

연구자 어디서 그런 내용은 들어 보셨나요?

T10 지도서에서 봤나? 어디서 봤지?

반면 연소에 의해 산소가 거의 다 소모되었기 때문에 촛불이 꺼진다고 생각(M)하는 교사들이 다수였다. T1 교사는 M 수준으로 분류되었는데, 개념 검사지 상에 '산소가 모두 소모되었다.'라고 응답했고 기체의 변화를 나타내는 그림에도 아무것도 남아있지 않은 것으로 그렸기 때문이다. 또한 철솜의 연소에 관한 면담 중에도 초의 연소와 마찬가지로 산소가 남아있지 않다고 언급한 것 등을 종합적으로 분석하였을 때, T1

교사는 M 수준이라고 판단되었다. 아래의 T3 교사 역시 사전 개념 검사지에 '산소가 모두 사라져서'라는 표현을 했고, 면담 중에도 산소가 거의 없을 것이라는 응답을 했다. M 수준 T3 교사의 면담내용을 살펴보면 다음과 같다.

〈사례 8〉 3-2. 연소 후 산소의 농도 : M 수준

연구자 연소 후의 기체는 어떠한 변화가 있을까요?

T3 산소가 거의 없고(M 수준), 이산화탄소는 산소가 사라진 만큼 생기지 않을까요?

3-3) 연소 후 이산화탄소의 농도

연소가 끝난 후, 집기병 안 촛불이 꺼졌을 때의 이산화탄소의 변화를 묻는 질문에 대한 응답은 〈표 2〉와 같이 3가지 수준으로 분류하였다. 초가 연소한 후 이산화탄소와 물이 생성되므로 산소가 줄어든 양보다 이산화탄소가 생성되는 양이 적게 된다. 이를 바르게 예측(S)한 교사는 T1 교사로 1명(8.3%)이고, 산소가 줄어든 만큼 이산화탄소가 늘어날 것이라고 응답(M2)한 교사는 8명(66.6%)으로 가장 높은 비율을 나타내고 있다. 산소가 줄어든 양과 관련짓지 못하고 이산화탄소가 가득 차 있을 것이라고 응답(M1)한 교사는 3명(25.1%)이었다(표 3). S 수준 T1 교사의 면담내용을 아래와 같이 살펴보면 연소 후 이산화탄소의 농도를 이미 알고 있었던 것은 아니지만, 면담 도중 나름의 논리적인 추리를 통해 응답한 것을 알 수 있다. 실제 연소 후 이산화탄소가 2~3% 남아있는 것을 알려주자, 자신의 응답이 맞았다는 것에 본인 스스로 굉장히 놀라워했다. T1 교사의 면담 내용을 살펴보면, 연소 전 산소와 이산화탄소의 농도를 이미 알고 있었고, 산소가 줄어든 양보다 이산화탄소가 늘어난 양을 적게 예측하고 있었다. 이러한 면담 내용에 더해 좀 더 심층적인 정보를 얻고자, 면담 후 전화 통화를 통해 연소 후 이산화탄소가 늘어난 양을 2~3%로 예측한 이유를 물었다. 이에 연소 후 물이 생성되기 때문에 이산화탄소가 생각보다 적게 늘어날 것 같다고 생각했었다고 답변했다. 면담 및 전화 내용을 종합적으로 판단해 본 결과, 나름의 논리적 추리라고 판단되어 S 수준으로 분류하였다. T1 교사의 면담 내용을 살펴보면 다음과 같다.

〈사례 9〉 3-3. 연소 후 이산화탄소의 농도 : S 수준

연구자 연소 전과 후의 이산화탄소의 농도는 어떻게 될까요?

T1 공기 중에 이산화탄소의 양은 굉장히 적은 것으로 알고 있는데, 글쎄요. 거기까지는 생각을 안 해봤습니다.

연구자 여기 그림에도 표현을 안 하셨는데, 연소 전에는 약 몇 퍼센트일까요?

T1 0.03% 정도 된다고… 1% 이내였던, 아무튼 굉장히 작을 것이고…

연구자 연소 후에 이산화탄소의 농도를 예상 해 보신다면 어떻게 될까요?

T1 그 전보다는 많고, 잘 모르겠어요. 3%, 2%(S 수준)?

시종일관 직접 실험했던 경험을 덧붙여 설명을 하던 T7 교사의 경우에도 가장 일반적인 응답인, 산소가 줄어든 만큼 이산화탄소가 늘어날 것이라고 응답했다. 하지만 실제로 측정해 보면 산소의 농도가 약 4~5% 떨어지는 것에 반해 이산화탄소는 약 2~3%만 늘어난다. 이는 연소 후 이산화탄소뿐만 아니라 수증기도 생기기 때문에 이러한 수증기의 농도를 반영해야 함에도 이를 미처 생각하지 못하기 때문이다. 이는 뒤의 연소 후 생성물에 대한 5번 문항 분석을 살펴보면 수증기(또는 물)의 생성에 대한 예측을 어려워하는 양상과 같다. M2 수준 T7 교사와의 면담 내용을 살펴보면 다음과 같다.

〈사례 10〉 3-3. 연소 후 이산화탄소의 농도 : M2 수준

연구자 (공기 중 이산화탄소의 농도가 0.03%라고 알려드린 후) 연소가 끝난 후, 이산화탄소의 변화에 대해서는 어떻게 예상하시나요?

T7 산소가 줄어든 만큼, 이산화탄소가 늘어날 것이라 생각합니다(M2 수준).

연소 후의 이산화탄소의 농도를 가득 차 있다고 예측(M1 수준)한 T2 교사와의 면담 내용을 살펴보면 다음과 같다.

〈사례 11〉 3-3. 연소 후 이산화탄소의 농도 : M1 수준

연구자 연소 중에는 기체의 변화를 어떻게 예상하시나요?

T2 이산화탄소가 점점 밑에서 양이 늘어나면서 위로 올라올 것 같습니다.
연구자 연소 후에는 어떻게 될까요?
T2 이산화탄소가 가득 차겠죠(M1 수준)?
연구자 연소 후가 되면 이산화탄소는 어느 정도의 농도로 변할까요?
T2 이산화탄소가 많이 늘어날 것 같은데, 50% 이상은 되지 않을까요?

3-4) 연소 과정 중 이산화탄소의 위치

연소의 과정과 연소가 끝난 후의 이산화탄소의 위치에 대한 응답은 〈표 2〉와 같이 4가지 수준으로 분류하였다. 집기병 속의 초의 연소 과정에서는 촛불에 의해 대류가 일어나 이산화탄소가 위에부터 쌓이다가 점차 아래로 내려오게 된다. 그리고 촛불이 꺼진 후 시간이 지나면 평형 상태에 이르러 이산화탄소가 집기병 안에 고르게 분포되는 것(S)이다. 이를 정확하게 예측한 S 수준의 교사는 2명(16.6%)이었다. 평형상태에 이르는 것까지는 예측하지 못했지만, 이산화탄소가 위에부터 쌓이다가 점차 아래로 내려오는 것까지 예측(P)한 교사는 3명(25.1%)이었다. 즉, 5명(41.7%)의 교사가 열에 의한 대류현상을 이해하고 있었다. 하지만 이산화탄소가 공기보다 무겁기 때문에 이산화탄소를 하방치환으로 모은다는 사전 지식만을 가지고 이산화탄소가 아래부터 쌓일 것으로 응답(M2)한 경우가 6명(50.0%)으로 가장 많았다(표 3).

〈사례 14〉에서 T6 교사는 6학년 과학전담 경험 1년, 과학탐구실험대회 지도 경험이 3년, 교육 경력이 10년 이상 된 교사임에도 불구하고 M2 수준의 응답을 하고 있다. 이는 7차 과학 교과서에서 드라이아이스 실험을 통해 이산화탄소가 공기보다 무겁다고 제시하고 있기 때문에, M2 수준의 응답이 일반적일 수밖에 없었다고 생각된다. 반면 이산화탄소가 공기보다 무겁다는 사전 지식 조차 없어서, 이산화탄소가 위에 있을 것이라고 응답(M1)한 교사도 1명(8.3%)이 있었다.

S 수준의 교사 2명은 모두 6학년 2학기의 '연소와 소화' 단원이 들어있는 과학 교과를 가르쳐본 경험이 있는 교사로서, 그 중 T5 교사의 면담 내용을 살펴보면 다음과 같다.

〈사례 12〉 3-4. 연소 과정 중 이산화탄소 위치 : S 수준
연구자 연소 과정에서 산소와 이산화탄소의 위치는 어떻게 변화 될 것이라고 생각하시나요?
T5 위치요? 기체는 순환하지 않나요? 거의 비슷할 것 같아요. 연소 중에는 이산화탄소가 위에 많이 있다가, 점점 내려오지 않을까요? 그리고 꺼지면 고루 분포 될 것 같아요(S 수준).
연구자 그렇게 생각하신 특별한 이유라도 있나요?
T5 초가 불타는 곳이 중간 아래쪽에 위치하고 있지만, 위로 올라가는 힘이 있겠죠. 타고 올라가니까…

T12 교사는 대류현상을 언급하고는 있지만, 시간이 지난 후에는 이산화탄소가 아래로 쌓인다고 응답하고 있기 때문에 P 수준으로 분류되었다. 즉, 열에 의한 대류현상으로 이산화탄소가 위에부터 있다가 점차 아래로 쌓인다고는 잘 답하였지만, 그 후 이산화탄소가 공기 중에 고르게 분포되어 평형상태에 이를 것이라는 예측까지는 하지 못하였기 때문이다. P 수준의 교사 3명은 모두 6학년 과학교과 지도 경험이 있는 교사들이지만 S 수준으로 발전하지는 못한 모습이었다. P 수준 T12 교사와의 면담 내용을 살펴보면 다음과 같다.

〈사례 13〉 3-4. 연소 과정 중 이산화탄소 위치 : P 수준
연구자 연소 과정 중의 산소와 이산화탄소의 위치는 어떻게 될까요?
T12 이산화탄소가 바닥 층부터 아마 쌓일 텐데, 차곡차곡 쌓인다기보다는 촛불의 열에 의해서 대류현상이 일어나니까, 촛불이 꺼진 후에는 이산화탄소가 아래 부분에 많이 있겠죠(P 수준). 이산화탄소가 무겁기 때문에…

연소 과정 중 이산화탄소의 위치에 관해서 이산화탄소가 공기보다 무겁다는 생각만을 가지고, 연소 중 이산화탄소가 점점 아래쪽에 쌓이면서 그 상태를 유지한다고 생각(M2 수준)하는 경우가 가장 많았다. 박진홍, 정진우(1999)은 붉은인의 실험과정에서 나오는 기압 개념에 대해 중학교 2학년 학생들을 대상으로 면담을 통해 조사한 결과, 밀폐된 공간에 갇힌 공기는 더 이상 움직이지 못한다고 생각하는 오개념을 많이 가지고 있다고 밝히고 있다. 교사나 학생 모두 밀폐된 공간 안에서 대류현상이 일어남을 이해하기 힘들어하는 것으로 보인다. M2 수준 T6 교사와의 면담 내용을

살펴보면 다음과 같다.

〈사례 14〉 3-4. 연소 과정 중 이산화탄소 위치 : M2 수준

연구자 연소 후 이산화탄소의 위치는 어떻게 될까요?

T6 이산화탄소는 원래 기체보다 무겁기 때문에 아래로 가라앉아 있다고 배운 적 있습니다. 이산화탄소가 아래쪽에 더 많을 것 같습니다.

연구자 연소 중에 이산화탄소는 어떤 모습을 띨까요?

T6 연소 중에도 점점 아래로 내려가다가, 완전히 끝나도 그것이 유지되면서, 연소 전보다 더 아래쪽으로 쏠릴 것 같습니다(M2 수준).

다음의 T4 교사는 이산화탄소가 공기보다 무겁다는 사전지식조차 가지고 있지 않았다. 연소 전과 후 모두 이산화탄소가 연소되는 촛불보다 위에 분포할 것이라고 응답했기 때문에 M1 수준으로 분류되었다. M1 수준 T4 교사의 면담 내용을 살펴보면 다음과 같다.

〈사례 15〉 3-4. 연소 과정 중 이산화탄소 위치 : M1 수준

연구자 연소 중의 이산화탄소의 위치에 대해서는 어떻게 생각하시나요?

T4 연소 전과 후 모두 이산화탄소가 좀 더 위에 있을 것 같아요. (M1 수준)

4) 철솜의 연소

4번 문항은 철솜의 연소 후에는 초의 연소와 달리 이산화탄소가 생성되지 않는다는 것을 알고 있는지를 분석하기 위해 만들어졌다. 철솜의 연소 후 변화에 대한 4번 문항의 응답은 〈표 2〉와 같이 3가지 수준으로 분류하였다. 철솜의 연소 후에는 산화철이 생긴다는 것을 알고, 이산화탄소가 생성되지 않는다는 것 또한 인식(S)하고 있는 교사는 1명(8.3%)이었다. 또한, 철솜의 연소 후 생성물로 이산화탄소를 언급하였지만 이에 대해 의구심을 가지는 경우(P)도 1명(8.3%)으로 나타났다. 초의 연소 실험과 동일하게 연소 후에도 이산화탄소가 생길 것으로 예측하는 경우(M)가 10명(83.4%)으로 가장 일반적으로 나오는 응답 유형이었다. 정미숙(2003)의 연구에 따르면 철가루의 산화물이 산화철임을 알지 못하는 초등교사의 비율이 약 48.2%로 나타나고 있는데 이는 91.7%보다 상대적으로 매우 낮은 비율을 나타내고 있다. 이러한 결과는 이 연구에서는 철솜의 연소에 관해 구체적으로 '철가루의 산화물'을 묻지 않고, 주관식의 형태로 '철솜의 연소 후의 생성물'에 대해 묻고 있기 때문이라고 생각된다. T7 교사는 과학관련연구회의 회장직을 역임했던 분으로 철솜의 연소를 과학연수를 지도하셨을 때, 실제로 준비하고 지도한 경험이 있었기 때문에 S 수준이 가능했다고 응답했다. 실제 실험을 해 본 경험이 교사의 개념 수준을 높일 수 있다는 점에서, 교육과정 상에 나타나 있는 실험들만이라도 교사들이 직접 해 볼 수 있는 기회가 필요하다고 생각된다. 또한 T7 교사의 경우, 7차 초등교육과정 상에 제시되어 있지 않은 철솜의 연소 후 질량변화에 대해서도 정확하게 예측했다. S수준 T7교사와의 면담내용을 살펴보면 다음과 같다.

〈사례 16〉 4. 철솜의 연소 : S 수준

연구자 철솜에 연소에 대해 어떤 응답을 하셨나요?

T7 이것도 실질적으로 태워본 경험이 있어서, 참 빛이 강하게 나오더라고요. 급격하게 불꽃을 내면서, 다른 연소처럼 모아지는 것이 아니라, 튕겨져 나오면서 연소하는 현상을 볼 수 있었던 것으로 기억합니다. 이것은 특이하게, 다른 것은 타고나면 많이 사라져버리는데, 철솜은 오히려 타고나서 사라지는 것이 아니라, 오히려 처음 양보다 더 불어난 것을 볼 수 있었습니다.

연구자 철솜의 연소 후 생성물은 무엇이 있을까요?

T7 여기는…그… 양초의 경우에 탄소성분이 있어서 이산화탄소로 바뀌는 거지만, 여기서는 철이 산화철로 바뀌는 거잖아요. 우리가 철이 녹슬기만 해도 부피가 상당히 커지는 것을 보이는데, 그처럼 못이 녹슬어서 부피가 늘어나고 커지듯이 산화철도 그런 현상을 볼 수 있는 것이라고 생각되는데, 아무래도 기체인 산소는 사용되었지만, 이산화탄소가 생기는 것은 아니(S 수준)라고… 그렇게…

T2 교사는 연소 후 이산화탄소의 생성을 언급하기는 하였지만, 무엇인가 다른 것이 생길 수도 있다고

생각하여 P 수준으로 분류되었는데 면담 내용을 살펴보면 다음과 같다.

〈사례 17〉 4. 철솜의 연소 : P 수준

연구자 철솜의 연소 후 생성물은 무엇이 있을까요?

T2 철솜이 들어가다 보니까, 정확히 이것은 산소와 이산화탄소만의 문제가 아닐 것도 같아서 아래 그림에도 이산화탄소를 적으면서도 이게 아닐 수도 있다는 생각을 했습니다(P 수준). 뭔가 다른 기체가 생길 수도 있다는 생각이 드는데요.

하지만 M 수준의 교사들은 철솜 실험에 대해서 굉장히 낯설어 하면서 답변을 피하거나, 앞의 초의 연소 실험과 동일하게 응답하고 있다. 지난해 6학년 과학 전담을 하였고, 과학 관련 대회나 행사 지도 경험이 있는 T6 교사 역시 철솜의 연소에서 이산화탄소가 생성된다고 생각하고 있었다. 정미숙(2003)의 연구에 따르면 수소, 철가루 등의 연소 후 생성물에 대해서 중 · 고등학교 교사들이 초등학교 교사들에 비해 훨씬 더 과학적이라고 보고하고 있다. 그 이유를 교과서에서 찾아보면, 중 · 고등학교에서는 수소와 철솜 등 다양한 연소의 소재가 다루어지고 있지만, 초등학교에서는 그렇지 못하기 때문이다. 철솜의 연소 후에도 초의 연소처럼 이산화탄소가 발생된다고 생각하는 M 수준 T6 교사와의 면담 내용을 살펴보면 다음과 같다.

〈사례 18〉 4 철솜의 연소 : M 수준

연구자 철솜의 연소 후 생성물은 무엇이 있을까요?

T6 철솜도 이산화탄소가 생길 것이라고 생각이 듭니다(M 수준).

연구자 왜 그렇게 생각하시나요?

T6 철솜에 대해서 알고 있는 것이 없어서 초랑 같다고 생각했어요.

5) 연소 후 생성물

연소 후 생성물에 대한 5번 문항의 경우, 응답을 〈표 2〉와 같이 4가지 수준으로 분류하였다. 연소 후 생성물은 연소 전 반응물에 따라 달라진다고 응답(S)한 교사는 T7 교사로 1명(8.3%)이었다. 반응물로 탄소, 수소를 생각하면서 생성물로 이산화탄소와 물(또는 수증기)을 설명한 경우는 P2 수준으로 4명(33.3%)이었고, 반응물로 탄소를 생각하면서 생성물로 이산화탄소만을 설명한 경우는 P1 수준으로 6명(50.0%)이었다. 반면 연소의 화학반응을 이해하지 못해, 반응물에 대한 언급 없이 생성물로 이산화탄소가 반드시 생긴다고 생각(M)하는 교사는 1명(8.3%)이었다(표 3). 이처럼 초의 연소에 국한되었지만, 연소에 의한 화학변화를 이해하고 반응물인 탄소에 의해 생성물로 이산화탄소가 생긴다고 응답한 P 수준(83.3%)의 교사가 가장 많았다. 아래의 T1 교사와 같이 연소 후 생성물에 관한 문항에서 화학반응을 설명하는 경우가 대부분이지만, 문항 5에서의 면담 내용은 아니었지만 다른 문항의 면담 과정 중 이를 설명하였다면 P 수준으로 분류하였다. 예를 들어 〈사례 20〉의 T2 교사는 철솜의 연소 후 생성물에 관련한 답변에서 '화학기호를 떠올려보면, 탄소 성분이 철솜에는 없기 때문에 다른 것이 생길 것이라는 생각을 했습니다.' 라고 응답했다. P2 수준 T1 교사와 P1 수준 T2 교사와의 면담 내용을 살펴보면 다음과 같다.

〈사례 19〉 5. 연소 후 생성물 : P2 수준

연구자 연소 후 생성물에 대하여 '물, 이산화탄소 등' 이라고 쓰셨는데, 여기서 언급하신 '등' 의 의미는 무엇인가요?

T1 그냥, 이산화탄소가 안 되는 일산화탄소가 있을 것 같고, 그 밖의 기체가 있을 것 같아서…

연구자 5번 문항 아래의 '왜 그렇게 생각하나요?, 는 어떻게 답하셨나요?

T1 공기 중의 산소가 기존의 물질에 있던 수소, 탄소와 만나서 물, 이산화탄소가 생긴다고 썼습니다(P2 수준).

〈사례 20〉 5. 연소 후 생성물 : P1 수준

연구자 철솜의 연소 후 생성물로 이산화탄소 말고도 다른 것이 생길 수 있다는 생각은 어떤 이유 때문인가요?

T2 화학기호를 떠올려보면(P1 수준), 탄소 성분이 철솜에는 없기 때문에 다른 것이 생길 수 있다는 생각을 했습니다. 하지만, 아이들의 입장에서는 화학기호를 설명하기

어렵기 때문에 힘들 것 같네요.

……(중간 생략)

연구자 연소 후 생성물로 이산화탄소, 재(P1 수준)를 적어주셨는데, 재는 어떠한 이유에서 적으셨나요?

T2 타다가 다 타지 못한 물질, 불완전연소에 의해서 남은 물질이라고 생각했습니다.

위와 같이 화학반응의 측면에서 설명하는 P 수준이라 할지라도, 이산화탄소는 언급하고 있지만 수증기(또는 물)에 대해서는 생각하지 못하는 P1 수준의 응답이 가장 많이 나타났다. 문미정, 김용권(2009)의 연구에서도 연소 후 생성물 중 수증기가 생성되는 원인에 대해서 23.5%만이 과학적 개념을 가지고 있었고, 59.1%의 학생은 '공기 중의 수증기가 물방울이 되었다.' 라고 응답했다. 이처럼 학생들은 물이 화학반응에 의해 생성되는 것이 아니라, 처음부터 존재하는 것으로 생각하고 있었다. 7차 초등학교 6학년 과학교과서에서 초의 연소 후 물이 생성되는 것을 염화코발트 종이로 확인하는 실험이 제시되어 있지만, 위 연구의 학생들과 마찬가지로 이 연구 결과에서도 교사들이 초의 연소 후 물의 생성에 대해 인식하는 것을 힘들어하고 있었다.

연소 후 생성물에 관한 문항은 초의 연소와 철솜의 연소 다음 문항으로 배치했다. 이는 연소 후 생성물을 초의 연소 생성물에만 한정하지 않고, 철솜의 연소 등 모든 연소 가능한 대상의 생성물까지 폭넓게 생각했으면 하는 바람 때문이었다. 하지만 대부분의 교사들은 초의 연소 생성물에만 국한 짓는 것은 물론, 물을 제외한 이산화탄소만을 응답한 P1 수준이 가장 많았다. 또한 화학반응을 이해하고 있는 교사들이 오히려, 생성물로 이산화탄소가 생겨야 하기 때문에 반응물에는 탄소가 있어야 한다고 역으로 추론하는 경우가 나타나고 있었다. 아래의 T8 교사는 연소 후 생성물에 대해 응답한 후, 연소의 정의를 변경했다. 이는 6학년 과학교과 지도 경험이 2년째인 T10 교사에게도 나타난 현상이었으며, T10 교사는 '형태가 있으면 모두 탄소를 포함하고 있다.' 는 언급을 하기도 했다. P2 수준 T8 교사와의 면담내용을 살펴보면 다음과 같다.

〈사례 21〉 5. 연소 후 생성물 : P2 수준

연구자 연소의 의미는?

T8 처음에는 그냥 어떤 물질이 산소와 만나서 타는 현상이라고 생각했는데, 중간에 갑자기 생각난 것이, 물질이라는 것이 탄소를 포함한 물질이 산소와 결합해서 빛을 내며 타는 현상이 아닌가 생각했습니다.

……(중간 생략)

연구자 연소 후 생성물은?

T8 물, 이산화탄소(P2 수준)라고 썼습니다.

연소 후 생성물에 대해 '이산화탄소' 를 언급하였다 할지라도 아래 T5 교사와 같이 연소를 상태변화의 측면에서 설명하면서, 화학반응이라는 것을 이해하지 못하는 경우는 M 수준으로 분류하였다. M 수준 T5 교사와의 면담내용을 살펴보면 다음과 같다.

〈사례 22〉 5. 연소 후 생성물 : M 수준

연구자 초는 연소 후 어떻게 될까요?

T5 초는 불에 의해 태워져서, 기체로 되어, 또는 그을음도 되고, 또는 물기로도 변하고 해서 공기 중으로 흡수(M 수준)되거나… 어쨌든 초 자체는 없어질 것 같습니다.

……(중간 생략)

연구자 마지막 5번 문항에서 연소 후 생성물로는 어떤 것을 적어주셨나요?

T5 이산화탄소, 빛, 열, 잔해 … 탄 물질들의 잔해라고 적었습니다.

2. 교사들의 특성에 따른 연소 개념 분석

1) 6학년 과학교과 지도 경험에 따른 교사들의 연소 개념

연구 대상을 선정하기 위해 교사의 교육 경력, 6학년 과학교과 지도 경험, 과학 업무 수행 경험, 과학관련 학력 여부 등 다양한 특성을 고려하였다. 초등교사의 연소에 대한 개념 형성에는 교사의 교육 경력, 과학 업무 수행 경험, 과학 관련 학력 여부 등에 따라서는 차이가 없었으나, 6학년 과학교과 지도 경험에 따라서는 차이를 보였다. 이는 자신의 생각을 발현하는데 중요한 것이 교과내용에 대한 지식 다음으로 동일 학년을 가르쳐 본 경험을 포함한 교육 경력임을 말한 박재원 등(2007)의 연구와 일치한다. 6학년 과학교과 지도 경험에 따른 교사들의 개념분석 결과는 〈표 4〉와 같다.

먼저 연소의 정의(1번 문항)를 이해하는 측면에서 6학년 과학교과 지도 경험이 있는 7명의 교사는 모두 과학적 개념(57.2%)을 가지고 있거나 부분개념(42.8%)을 가지고 있었다. 6학년 과학교과 지도 경험이 없는 5명의 교사는 과학적 개념(20.0%), 부분개념(60.0%), 오개념(20.0%)으로 나타났다. 즉, 6학년 과학교과 지도 경험자의 경우 57.2%가 과학적 개념을 가지고 있는 반면, 미경험자의 경우는 20.0%가 과학적 개념을 가지고 있는 것이다.

각 문항별로 하나씩 살펴보더라도 거의 모든 문항에서, 6학년 과학교과 지도 경험이 있는 교사의 과학적 개념(S)을 가진 비율이 더 높다. 6학년 과학교과 지도 경험자의 경우, 촛불이 꺼진 이유(2번 문항) 역시 42.8%로 높은 비율을 차지하고 있고, 그 외 모든 문항에서도 1명(14.4%)이 과학적 개념을 가지고 있다. 하지만 6학년 과학교과 지도 미경험자의 경우, 과학적 개념(S)이 차지하는 비율을 살펴보면, 1, 2번과 3-4번 문항(20.0%)을 제외하고는 모두 0.0%로 나타난다.

각 문항별로 오개념(M)의 비율을 살펴보더라도 촛불이 꺼진 이유(2번 문항)에서, 6학년 과학교과 지도 경험자의 경우 42.8%의 비율이 나타나는데 반해, 미경험자의 경우는 80.0%로 높은 비율을 차지한다. 3-1번 문항부터 3-4번 문항까지 역시 상대적으로 미경험자의 경우가 오개념(M)의 비율이 더 높다. 반면 철솜의 연소(4번 문항)에서는, 경험자의 경우가 다소 높은 오개념의 비율을 나타내고 있다. 이는 7차 초등학교 과학교육과정 상에 철솜의 연소에 대해 다루고 있지 않아 6학년 과학교과 지도 경험이 의미가 없었기 때문일 것이다.

나이와 경력이 비슷한 T1, T4 교사(만 27세, 교육경력 약 3년)와 T5, T6 교사(30대 후반, 교육경력 약 10년)는 6학년 과학교과 지도 경험 유무에서 차이가 나는데, 연소에 대한 개념 수준이 상대적으로 차이가 나고 있다. T6 교사와 T7, T9, T10 교사는 6학년 과학교과를 가르쳐본 경험이 있음은 물론, 과학관련 대회를 지도해 보거나 과학교육학회 등에 가입하여 활

Table 4
6학년 과학교과 지도 경험의 유무에 따른 응답 수준 및 분포 *빈도(%)*

문항 \ 교사	6학년 과학교과 지도 경험자							M		P		S	6학년 과학 지도 미경험자					M		P		S
	T1	T6	T7	T9	T10	T11	T12	M1	M2	P1	P2		T2	T3	T4	T5	T8	M1	M2	P1	P2	
1. 연소의 정의	P	S	S	P	P	S	S	0 (0.0)		3 (42.8)		4 (57.2)	P	S	P	M	P	1 (20.0)		3 (60.0)		1 (20.0)
2. 집기병으로 덮었을 때 촛불이 꺼지는 이유	M	P	S	S	S	M	M	3 (42.8)		1 (14.4)		3 (42.8)	M	M	M	M	S	4 (80.0)		0 (0.0)		1 (20.0)
3-1. 연소 전 산소와 이산화탄소의 농도	S	M	P	M	P	M	M	4 (57.1)		2 (28.5)		1 (14.4)	P	P	M	M	M	3 (60.0)		2 (40.0)		0 (0.0)
3-2. 연소 후 산소의 농도	M	P	P	P	S	M	M	3 (42.8)		3 (42.8)		1 (14.4)	M	M	M	M	P	4 (80.0)		1 (20.0)		0 (0.0)
3-3. 연소 후 이산화탄소의 농도	S	M2	M2	M1	M1	M2	M2	6 (85.6)	2 4			1 (14.4)	M1	M2	M2	M2	M2	5 (100)	1 4			0 (0.0)
3-4. 연소 과정 중 이산화탄소의 위치	M2	M2	P	S	P	M2	P	3 (42.8)	0 3	3 (42.8)		1 (14.4)	M2	M2	M1	S	M2	4 (80.0)	1 3	0 (0.0)		1 (20.0)
4. 철솜의 연소	M	M	S	M	M	M	M	6 (85.6)		0 (0.0)		1 (14.4)	P	M	M	M	M	4 (80.0)		1 (20.0)		0 (0.0)
5. 연소 후 생성물	P2	P2	S	P1	P1	P1	P2	0 (0.0)		6 (85.6)	3 3	1 (14.4)	P1	P1	P1	M	P2	1 (20.0)		4 (80.0)	3 1	0 (0.0)

발하게 활동한 경험이 있는 교사들이었다. 이처럼 과학에 관심이 있고, 실제로 지도해 본 것은 교사의 개념 수준 형성에 미치는 영향이 큰 만큼, 초등교사 중 과학 전문 교사에 대해 혜택을 부여하고 관련 업무에 매진할 수 있도록 배려해 주는 것이 필요하다.

또한 이 연구에 참여한 초등교사들은 6학년 지도 경험이 있다 할지라도 초의 연소 후 생성물만을 중점적으로 생각하는 경향이 강했다. 이는 7차 교육과정상에 초의 연소 후 생성물을 확인하는 실험만이 존재하고 지도서에서도 이 수준의 내용만 기술하고 있다. 앞으로 개정되는 교육과정에 의해 만들어지는 지도서에서는 연소를 반응물과 생성물의 관계로 설명하고, 이산화탄소가 생기지 않는 다양한 연소 현상에 대해 소개될 필요가 있다.

장명덕(2010)의 연구에 따르면 거의 모든(96.67%) 예비 교사가 수업 전에 해당 차시 수업 주제와 관련된 학생들의 오개념을 미리 확인할 필요가 있다고 응답하였다. 또한 대부분(86.67%)의 예비교사들이 오개념의 사전 확인의 필요성에 대해 적절한 이유를 제시하였다. 하지만 초등학생을 통해 직접 오개념을 찾아낸다는 것은 현장의 근무 환경을 고려할 때 동일한 학년을 여러 해 경험하는 것 외에는 현실적으로 불가능하다고 할 수 있다. 6학년 과학교과를 여러 해 가르쳤던 교사에게서 좀 더 과학적 개념에 근접한 수준의 응답을 들을 수 있던 이유는, 가르치는 과정 속에서 학생들의 오개념을 파악할 수 있고 교사 자신의 오개념도 과학적 개념으로 변화 되었을 것으로 판단된다.

2) 6학년 과학교과 지도 경험 이외의 특성에 따른 교사들의 연소 개념

지금까지의 여러 연구들에서는 교육 경력과 교수 내용의 지식 사이에는 상관을 가지지 않는 것으로 나타나고 있다. 임청환(2003)의 3~6학년 교사 120명을 대상으로 한 연구에서 교육 경력은 전체적으로 볼 때 교수 내용 지식과 통계적으로 유의미한 상관이 나타나지 않았다고 보고하고 있고, 8명의 초등 수학 교사를 대상으로 연구한 Marks(1991) 역시 유사한 주장을 하고 있다. 이 연구에서도 6학년 과학교과 지도 경험 이외의 특성인 교육 경력, 과학 업무 수행 경험, 과학 관련 학력 여부 등에 따라 교사의 개념을 M, P, S 수준으로 분류했을 때 유사한 비율을 보여 차이가 없는 것으로 판단되었다.

Ⅳ. 결론 및 제언

이 연구에서는 연소에 관련된 초등교사들의 개념을 개념 검사지와 면담을 통해 조사하였다. 연구 대상으로 성별, 교육 경력, 6학년 과학교과 지도 경험, 과학 관련 학력 여부 등 다양한 기준을 고려하여 12명의 초등교사를 선정하였다.

연구 결과 연소의 정의 측면에서는, 부분 개념을 가지고 있는 교사가 가장 높은 비율을 나타냈고, 다음으로 과학적 개념을 가지고 있는 교사의 비율이 높았다. 부분 개념을 가지고 있는 교사들은 연소의 정의에 대해 탄소를 포함한 물질이 산소와 만나는 것으로 설명하였고, 오개념을 가지고 있는 교사들은 연소를 고체에서 기체로 변하는 현상으로 설명하였다.

두 번째로 집기병으로 덮었을 때 촛불이 꺼지는 이유에 대해서, 산소가 모두 없어졌기 때문이라는 오개념을 가진 교사의 비율이 가장 높았고, 다음으로 산소가 부족하기 때문이라는 과학적 개념을 가지고 있는 교사의 비율이 높았다. 7차 교육과정에 의해 집필된 과학과 교사용 지도서에서 '질식 소화법'에 대해 언급하면서 '대기 중의 산소의 농도가 낮으면 불은 탈 수 없다.'라고 기술하고 있지만, 많은 교사들이 연소가 끝났다는 것은 산소가 완전히 소모되었기 때문으로 인식하는 것으로 나타났다.

세 번째로 집기병 속 연소 전과 후의 산소와 이산화탄소의 농도에 대해서는 대다수의 교사가 변화를 바르게 예측하지 못하고 있었다. 7차 교육과정에 따른 과학과 교과서 삽화에 공기의 조성이 원그래프로 나타나있지만 이에 대해 아는 교사는 거의 없었고, 이에 면담 과정 중, 연소 전의 산소(약 21%)와 이산화탄소(약 0.03%)의 농도를 알려주고 연소 후의 수치를 예상해 보게 했다. 하지만 이 역시 연소가 끝난 후, 산소가 아예 없거나 있더라도 극소량 있을 것이라고 응답하는 경우가 다수였고, 이산화탄소의 농도 역시 가득 차 있다고 답하여 공기의 조성 중 질소와 다른 기체에 대해 고려하지 못하고 연소가 끝났으므로 이산화탄소의 농도가 매우 높다고 생각하였다. 그리고 산소가 줄어든 만큼 이산화탄소가 늘어날 것이라고 응답한 경우가 다수였다. 또한, 연소 중의 이산화탄소의 위치에 대해서도 대다수의 교사가 이산화탄소는 무겁기 때문에 아래부터 쌓일 것이라는 오개념을 가지고 있었다.

네 번째로 초의 연소와 동일하게 철솜을 연소시키

면 이산화탄소가 생성된다는 오개념을 가지고 있는 것으로 나타났다. 이산화탄소의 생성에 의구심을 가지거나 연소 후 이산화탄소가 생기지 않는다는 것을 확신하는 교사는 각각 1명에 불과했다. 이는 7차 초등학교 과학과 교과서에서 초의 연소만을 다루기 때문에, 초의 실험 결과를 가지고 과일반화시키고 있음을 알 수 있다. 거의 모든 교사들이 중학교에서 철솜의 연소에 대해서 배웠음에도 불구하고 이에 대한 지식은 잊어버려 교사의 지식이 초등 교과서 수준에 머물러 있다는 것을 알 수 있다.

마지막으로 연소 후 생성물에 대해서도 대다수의 교사가 화학반응은 이해하고 있지만, 연소 전 반응물에 따라 생성물이 달라진다고 설명하지 못하고 있다. 이는 7차 교육과정 내에서 초의 연소 후 생성물로 이산화탄소와 수증기를 확인하는 석회수, 염화코발트 실험이 존재하기 때문에 이에 대한 기억이 교사에게도 확고하게 유지되고 있기 때문이다. 반면 이산화탄소에 비해 수증기에 대한 인식은 덜 유지되고 있다. 이는 연소라는 개념을 산소 소모와 이산화탄소 생성이라는 것으로 간략하게 요약하고 있기 때문이라고 여겨진다.

이는 연소에 대한 교사들의 개념은 초등 교과서에서 제시되고 있는 수준에 머물러 있고, 교과서 실험 결과에 대해서 단정적인 해석을 하고 있는 것으로 보인다. 예를 들면, 산소가 완전히 소모되었다고 생각, 산소가 소모된 만큼 이산화탄소가 생성된다는 생각, 또는 이산화탄소는 무겁기 때문에 아래에 쌓인다는 생각, 물질이 연소하면 이산화탄소가 생긴다는 생각 등은 상황에 관계없이 하나의 사실 또는 지식을 가지고 해석하려는 경향이다. 이는 기체는 눈으로 직접 확인할 수 없고 오직 추론에 의존해서 다루는 개념이기 때문에 나타나는 현상이라 여겨진다.

교사의 특성에 따른 연소의 개념에 대한 전체적인 경향성을 분석해 보면, 교사들의 여러 가지 특성 중 6학년 과학교과 지도 경험이 개념 분포에 차이가 있는 것으로 나타났다. 6학년 과학교과 지도 경험이 있는 교사가 미경험자에 비해 상대적으로 연소에 대해 과학적 개념을 많이 가지고 있는 것으로 나타났다. 이는 6학년 과학 수업을 준비하는 과정과 수업을 통해서 교사의 교수 내용 지식이 높아진 것으로 여겨진다.

이러한 연구 결과를 통해 연소에 대한 개념을 가능한 시각화시킬 수 있는 자료가 개발될 필요가 있고, 이를 이용해 교사 연수 또는 예비교사 교육에 활용함으로써 교사들이 연소에 대한 과학적 개념을 형성할 수 있도록 도와주어야 한다. 교사들의 과학적 개념 형성은 결국 초등학생들의 과학 오개념 형성 정도를 줄일 수 있는 방안이 될 것이다. 이 연구의 결과는 앞으로 교사들이 가지고 있는 연소에 대한 오개념을 교정하기 위한 효과적인 프로그램 개발을 위한 연구의 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

국문 요약

이 연구는 연소에 대해 초등교사가 가지고 있는 개념 수준을 파악하는데 그 목적이 있다. 성별, 경력, 6학년 과학교과의 지도 경험, 과학 관련 학력이 고루 분포되도록 하여 12명의 초등교사를 연구 대상으로 선정 하였다.

연구 대상자들에게 5개의 주관식 문항으로 구성된 개념 검사지를 투입하여 개념 정도를 알아본 후, 좀 더 구체적으로 개념 수준 정도를 알아보기 위해 반구조화된 면담을 실시하여 데이터를 수집하였다. 개념 검사지의 내용은 '연소의 정의', '집기병으로 덮었을 때 촛불이 꺼지는 이유', '집기병 속 연소 전과 후의 산소와 이산화탄소', '철솜의 연소', '연소 후 생성물' 에 관한 것으로 구성되었다.

그리고 교사별 각 문항에 대한 응답을 과학적 개념(S), 부분개념(P), 오개념(M)의 수준으로 분류하여 정리하였다. 그 결과 모든 문항에서 오개념 또는 부분개념을 가진 교사가 50% 이상이었다. 또한 6학년 과학교과 지도 경험이 있는 교사들이 경험이 없는 교사들에 비해 연소에 대한 과학적 개념 형성 비율이 높다는 것도 알 수 있었다. 눈에 보이지 않는 기체를 다루는 연소 개념을 눈으로 볼 수 있는 시각화 자료가 개발되어야 하며, 이를 이용해 교사 연수 또는 예비교사 교육이 이루어진다면 교사들의 과학적 개념 형성에 도움이 될 것이다.

참고 문헌

교육과학기술부(2008). 초등학교 교육과정 해설(Ⅳ): 수학, 과학, 실과. 한솔사.

권재술, 김범기(1993). 과학 오개념 편람. 한국교원대학교 물리교육연구실, 327-342.

권혁순(1991). 과학 수업에 의한 학생들의 개념 변화 연구: 중학교 2학년의 연소 개념 대상으로. 서울대학교 대학원 석사학위논문.

김도욱(1991). 몰 개념의 학습에서 오인을 감소시키기 위한 수업모형의 효과. 서울대학교 대학원 박사학위논문.

김선주(2005). 물질에 대한 중학생의 개념 분석과 그 변화에 대한 연구. 연세대학교 대학원 석사학위논문.

문미정, 김용권(2009). 초등학생들의 연소에 대한 개념 조사 및 과학사를 활용한 오개념 교정 프로그램 제안. 초등과학교육, 28(4), 487-475.

박규석(2003). 원소에 관한 중등학교 과학 교사들의 오인 분석. 한국교원대학교 교육대학원 석사학위논문.

박재원, 원정애, 백성혜(2007). 물속에서의 무게와 압력에 대한 초등 교사의 교수 내용 지식 분석. 초등과학교육, 26(2), 226-241.

박진홍, 정진우(1999). 붉은인의 실험에 대한 중학교 학생들의 기압 개념 이해. 한국지구과학학회지, 20(4), 334-341.

엄상수(1998). 산소와 이산화탄소 단원에서 과학적 개념형성을 위한 교수 전략의 효과. 한국교원대학교 교육대학원 석사학위논문.

엄상수, 고영환, 백성혜, 박국태(2000). 산소와 연소 단원에서 과학적 개념 형성을 위한 수업 전략의 효과. 초등과학교육, 19(2), 75-82.

이수아, 전영석, 홍준의, 신영준, 최정훈, 이인호(2007). 초등 교사들이 과학 수업에서 겪는 어려움 분석. 초등과학교육, 28(1), 97-107.

임청환(2003). 초등 교사의 과학 교과교육학 지식의 발달이 과학 교수 실제와 교수 효능감에 미치는 영향. 한국지구과학학회지, 24(4), 258-272.

장명덕(2009). 초등 교사들의 과학 오개념에 대한 인식과 수업전략. 초등과학교육, 28(4), 425-439.

장명덕(2010). 학생들의 과학 오개념에 관한 초등 예비 교사들의 이해. 초등과학교육, 29(1), 32-46.

정미숙(2003). 과학사적 관점에서 본 연소에 대한 초등학교 교과서 분석 및 초등 교사들의 개념 조사. 한국교원대학교 교육대학원 석사학위논문.

최선영, 노석구(2008). 초등과학 수업 컨설팅에 대한 교사들의 인식조사. 초등과학교육, 27(1), 23-30.

한문정(1990). 연소와 녹스는 현상에 대한 학생들의 개념 조사 -초 · 중 · 고등학생을 대상으로-. 서울대학교 대학원 석사학위논문.

De Jong, O. A., & Verdonk, A. (1995). Problems in teaching the topic of redox reactions: actions and conceptions of chemistry teachers. Journal of Research in Science Teaching, 33(2), 1097-1110.

Marks, R. (1991). When should teachers learn pedagogical content knowledge?. Paper presented at the AERA Annual Meeting. California.

Gomez-Zwiep, S. (2008). Elementary teachers' understanding of students' science misconceptions: implications for practice and teacher education. Journal of Science Teacher Education, 19(5), 437-454.