

중학교 과학 교과서에 기술된 끓는점 측정 방법 분석 및 개선점 제안

노 을 · 장낙한*

공주대학교

Analysis and Improvement for Method of Boiling Point Measurement described in Middle School Science Textbooks

Eul Noh · Nak Han Jang*

Kongju National University

Abstract : We have analyzed affecting factors of boiling point measurement and proposed to improve these after identifying errors of boiling point experiment in 7th grade science textbooks of 2009 revised curriculum. In the result of analyzing affecting factor of boiling point measurement for nine kinds of science textbooks, we have identified six affecting factors like as types of thermometer, heating instrument, sealing or not of stopper, position of thermometer, shape of container, and volume ratio of material and container. When performing experiment of boiling point measurement, we identified the best results when heating with a hot plate, positioning thermo sensor of MBL near neck branch after filling and sopping 10% volumes of material in round bottom flask. Based on this result, we have compared nine kinds of 7th grade science textbooks and found many errors that must be corrected in most of textbooks. Therefore it should be improved the experiment of science textbooks to enhance the understanding of students and to prevent from misconceptions for boiling point measurement.

Keywords : Science textbook, experiment, boiling point, affecting factor,

I. 서론

학교현장에서 수업을 진행함에 있어서 교사의 획일적인 강의식 수업보다 학생이 주도적으로 참여하는 것을 강조하고 있다(팽애진, 백성혜, 2005; 최혜정, 정진수, 김상호, 2015). 과학을 학습함에 있어

서도 중요한 방법 중 하나는 교과서에 제시된 이론을 가지고 실제로 실험을 수행하여 확인하는 것이다. 과학실험은 종합적인 사고력과 과정적인 지식을 가르치는데 있어서 중요한 가치를 지니며, 학생들의 탐구 능력 향상과 과학적 태도 배양에 중요한 역할을 하고 있다(김성실, 2013; 황찬숙, 2014). 다

*교신저자 : 장낙한(nhjang@kongju.ac.kr)

**본 논문은 노 을의 2015년도 석사 학위논문에서 발췌 정리하였음.

***2015년 10월 12일 접수, 2015년 11월 16일 수정원고 접수, 2015년 12월 1일 채택

양한 실험 자료를 적용한 실험 집단은 전통적 수업을 실시한 통제집단에 비해 과학 태도의 신장에 효과적이며 과학 태도의 네 가지 하위영역인 '과학탐구에 대한 태도', '과학적 태도의 수용', '과학적 태도의 수용', '과학 수업에 대한 즐거움'에 각각 효과적인 것으로 나타났다(정영선 등, 2004; Oloruntegbe, 2011). 또한 실험 활동은 학생들이 과학적 방법과 과학의 정신, 본성을 인식하는데 도움이 되며, 실험 경험은 다양한 상황에 대한 일반화의 효과가 있는 기술 개발을 촉진시키고, 학생들은 대체로 실험 활동을 즐기며, 과학 학습의 동기 유발에 기여하므로 효과적이다. 그러나 교과서 속 개념을 확인하기 위해 수행한 실험에서 제시된 이론값과 실제 측정되는 값이 다른 경우가 종종 발생하고 있다.

끓는점 측정은 제1차 교육과정을 시작으로 현재 2009 개정 교육과정에 이르기까지 지속적으로 제시되어 왔는데 물질을 가열해 온도를 측정하고 이를 통해 상태변화 시 출입하는 열에너지의 관계를 알아볼 수 있는 상태변화 실험은 가열 기구를 이용한다는 점만 주의하면 실험 내용도 어렵지 않아 일선 학교에서 수업시간에 종종 실시하는 실험이다. 그러나 막상 수업시간에 끓는점 측정 실험을 실시해보니 모든 모둠이 이론값과 다른 결과 값을 나타내었다. 학생들은 평소 자신이 알고 있던 물의 끓는점과 실제 측정된 결과가 다르게 나왔을 때 저마다 다양한 추측을 하면서 인지부조화를 겪었다(신혜승, 1995; 신동로, 이강남, 2005). 대다수의 학생들은 이와 같은 실험 결과를 단순한 자신의 조작 실수이거나 온도계의 눈금을 읽을 때 메니스커스로 인한 오차로 여기고 여전히 인지구조 속에는 이론값만 인식한 채 넘어간다. 간혹 실험 결과가 이론과 다른 이유를 궁금해 하는 학생들은 끊임없는 질문을 하게 되고, 미처 예상하지 못한 결과로 인해 교사에게도 당혹스러웠던 시간으로 기억될 수 있다. 이는 학생들의 동기유발이나 과학적 태도 향상에 도움이 되지 않을뿐더러 교사가 실험을 기피하고자 하는 결과를 가져올 수 있으므로 실험 수행의 의미가 퇴색될 수 있다.

그동안 교과서와 실제 끓는점 사이의 차이에 대

한 많은 연구들이 이루어져왔다. '끓는점과 녹는점에 대한 교과서 내용 분석 및 과학교사들의 인식조사'에서는 제 1차 교육과정에서부터 제6차 교육과정 과학교과서에 제시된 끓는점 측정 실험 방법을 분석하고 그에 따른 과학 교사들의 인식과 관련된 연구를 수행(김성수, 백성혜, 2002) 하였으며, '개정된 중학교 교과서 중에서 끓는점 측정 실험의 비교분석 및 개선'에서는 제 6차 교육과정의 끓는점 측정 방법에 대한 교과서 분석과 제시된 실제 실험을 수행하여 실험 결과와 이론값이 다른 점을 지적하였다(이무상 등, 1997). 따라서 현재 실시되고 있는 2009 개정 교육과정과는 시간상으로도 많이 동떨어져 있다.

이무상 등(1997)은 에탄올의 끓는점 측정을 수행하였는데 교과서의 내용대로 300mL의 물증탕에서 실험한 결과 실험시간이 대부분 30분을 초과하였다. 이는 수업을 실시하는 45분 내에 실험과 결과 정리, 결과에 대한 토의 및 뒷정리를 할 시간이 부족함을 뜻한다. 또한 끓는점 그래프가 수평을 이루지 않고 끊임없이 변동하므로 정확한 끓는점을 측정하기 어려운 점을 지적하고 있다. 따라서 증탕 대신 직화로 가열하고, 50mL 둥근 바닥 플라스크와 소형 냉각기가 연결된 일체형 끓는점 측정 장치의 사용을 제안하였다

김성수와 백성혜(2002)는 제 1차 교육과정에서 제 6차 교육과정까지의 실험 장치 변화 중 온도계의 위치를 비교함으로써 이 내용들이 항상 같은지, 아닌지를 비교하였다. 제 1, 2차 교육과정에서는 액체 바로 위에 온도계를 장치하였으나 제3차 교육과정에서는 물속에 온도계를 장치하는 것으로 변화되었다. 제4, 5차 교육과정에서는 시험관의 가지 부분에 온도계를 장치하는 교과서와 액체 속에 온도계를 장치하는 교과서가 혼재되어 있고, 제 6차 교육과정에서는 일체형 온도계를 시험관 가지에 장치하는 실험으로 바뀐 것을 알 수 있었다(천영숙, 2000).

박금홍 등(2008)은 물과 에탄올의 끓는점 측정 학습에 있어서 MBL 실험은 실험 데이터 수집과 그래프 그리는 시간을 절약하여 토론활동에 더 많은 시간을 활용함으로써 그래프 해석 능력이 효과적으

로 증가한 것으로 판단했다. MBL을 이용하여 끓는 점을 이해하는데 많은 도움이 되었다고 생각한 학생이 76.1%이며 기존 실험 활동과 비교했을 때 집중도가 높다고 응답하였다. 따라서 MBL을 과학 수업에 도입하면 학생들의 학습 동기를 높일 수 있고, 실험 시간이 짧게 걸리는 장점을 이용해 개념 이해 및 토론에 많은 시간을 할애함으로써 실험 결과 분석력이 증가할 것이라고 판단하였다.

본 연구는 2009 개정 교육과정 7학년 과학 교과서 9종 중 끓는점 측정과 관련된 단원의 이론과 실험을 분석하고, 끓는점 측정에 영향을 미치는 요인을 분석하여 실제 현장에서 준비 가능한 실험기구를 이용해 실험을 수행함으로써 이론값에 가까운 결과가 나타나는 실험 방법을 찾아보고자 한다(Herron & Nurrenbern, 1999). 또한 이를 교과서와 대조함으로써 교과서에 제시된 실험 방법의 오류를 확인하고 개선하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

2009 개정 교육과정의 중학교 7학년 과학 1 교과서 9종을 대상으로 하였으며, 연구의 공정성을 기하기 위해 명칭에 상관없이 임의의 기호(A~I)로 정하였다(박희송 등, 2012, 신영준 등, 2012, 이규석 등, 2012, 이문원 등, 2012, 이상인 등, 2012, 이면우 등, 2012, 이진승 등, 2012, 임태훈 등, 2012, 현종오 등, 2012).

2. 연구 절차

2009 개정 교육과정에 따른 9종의 7학년 과학 1 교과서 물질 단원의 끓는점 측정 관련 실험을 분석한 후, 교과서에서 제시하는 방법을 항목별로 정리하였다. 7학년 과학 교과서 9종에서 제시하는 끓는점 측정 실험을 분석한 후 실험을 수행하여 끓는점에 영향을 미치는 요인을 선정한 후, 요인들을 변화시켜가면서 실험을 수행하여 이론값에 가까운

끓는점 측정 실험 방법을 모색하였다. 실제 학교에서 실험을 수행하는데 도움을 주기 위한 연구이므로 최대한 일선 학교에서 수업시간 중에 실험을 끝마칠 수 있는 조건들을 고려하여 최적의 방법을 모색한 후, 이를 실제 교과서와 비교하여 교과서에 제시된 실험의 문제점을 확인하였다.

3. 자료 수집 및 분석 방법

과학 교과서의 물질 단원에서 끓는점 측정 실험이 기술된 부분을 온도계의 종류, 가열도구, 플라스크의 밀폐 여부, 온도계의 위치, 가열용기의 종류, 실험물질 및 양의 요인으로 분석하였다. 또한 최적의 끓는점 측정 실험 방법을 제안하기 위해 과사용인에 따라 실험을 수행하여 문제점에 대한 자료를 수집하였다. 이에 분석을 근거로 하여 최적의 끓는점 실험에 대한 장치로 제안한 후 교과서 실험과 비교하고 분석하였다.

III. 연구 결과 및 토의

1. 끓는점 측정 실험 분석

2009 개정 교육과정 7학년 과학 1 교과서에 제시된 끓는점 측정 실험 방법을 분석한 결과는 다음과 같았다(표 1).

대부분 교과서에 등장하는 끓는점 측정 실험 방법이 비슷하게 제시되어 있음을 확인할 수 있다. 대다수의 학생과 교사들은 교과서에 제시된 내용이나 사진 자료를 참고하여 실험을 수행하게 되는데 구체적으로 실험 과정이 제시된 교과서도 있으나 실험기구가 장치된 사진을 제시하고 과정 자체는 간단히 서술된 교과서도 있어 이와 같은 경우에는 사진을 참고하여 실험 방법을 분석하였다.

2. 끓는점 측정에 영향을 미치는 요인 분석

과학 교과서 9종 분석을 바탕으로 끓는점 측정에 영향을 미치는 요인으로는 온도계의 종류, 가열도

표 1. 2009 개정 교육과정 7학년 과학 1 교과서 기술된 물질의 끓는점 측정 실험 분석

교과서	온도계 종류	가열도구	밀폐 여부	온도계 위치	가열용기	실험물질/양
A	알코올	알코올램프	밀폐	액체 속	가지달린 시험관	에탄올(1/3) 물중탕
B	알코올	알코올램프	밀폐	액체 속 (바닥 위)	가지달린 등근바닥 플라스크	에탄올40ml 물중탕
C	알코올	알코올램프	밀폐	액체 속	가지달린 시험관	에탄올20ml 물중탕
D	알코올	알코올램프	개방	액체 속	비커	더운물(1/2)
E	알코올	알코올램프	밀폐	액체 속	가지달린 등근바닥 플라스크	물150mL
F	디지털	핫플레이트	개방	액체 속	비커	증류수(2/3)
G	MBL	알코올램프	밀폐	액체 속	가지달린 등근바닥 플라스크	물100ml
H	알코올	알코올램프	밀폐	액체 속 (끝부분만 닿게)	가지달린 등근바닥 플라스크	에탄올(1/3) 물중탕
I	알코올	알코올램프	밀폐	액체 속	가지달린 등근바닥 플라스크	에탄올40ml 물중탕

구, 밀폐여부, 온도계의 위치, 가열 용기의 모양, 가열 용기의 크기, 가열하는 실험 물질의 양을 선정하였다. 이 중에서 가열 용기의 크기와 실험 물질의 양의 경우 해당 조합이 너무 많기 때문에 이 두 변인을 용기의 부피비로 통합하여 이를 조작, 측정하였다. 따라서 위의 6가지 변인을 한 가지씩 조작하여 실험을 통해 이론값과 차이가 나는 요인으로 판명되면 버리고 이후 실험에서 앞선 결과 중 최선의 방법으로 통일시킴으로써 실험의 복잡성을 줄이고자 하였다. 조작변인 외의 나머지 조건을 통제하여 다른 요인이 측정값에 미치는 영향을 최소화 하였으며 사전 실험 결과 에탄올의 경우 물중탕으로 인한 시간이 오래 걸리고, 에탄올 증기로 인해 실험실 환경오염 및 학생들의 건강에도 유해하다고 판단하여 실험 물질로는 각 학교에서 쉽게 구할 수 있는 수돗물을 이용하여 실험을 수행하였다.

과학 교과서에 등장하는 끓는점 측정 실험에 큰 영향을 미치는 요소로는 압력이 있는데 대부분

의 실험실 상황에서 압력을 조절하기 어렵기 때문에 본 연구에서는 이를 조작변인으로 설정하지 않고 실험 당시의 기압을 측정하여 이에 부합하는 끓는점의 이론값(Clausius-Clapeyron 식에 대입)을 계산하여 측정된 측정값과 비교하였다. 또한 끓는점은 온도가 1분 이상 일정하게 유지될 때 끓는점으로 판명하였다. 과학 교과서에 제시된 끓는점 측정에 영향을 미치는 요인은 다음과 같았다(표 2).

3. 끓는점 측정에 영향을 미치는 요인에 따른 실험

1) 온도계의 종류

수은 온도계와 알코올 온도계의 경우 시계로 시간을 측정하면서 온도까지 읽어야 하므로 규칙적인 시간 간격으로 온도를 측정하는데 어려움이 있었다 (Bahlke & Wilson, 1924; Bloomfield, 1962;

표 2. 2009 개정 교육과정 7학년 과학 교과서에 제시된 끓는점 측정에 영향을 미치는 요인

끓는점 측정에 영향을 미치는 요인						
종류	온도계 종류	가열도구	밀폐 여부	온도계 위치	용기 모양	물질과 용기의 부피비
세부 조작 내용	수은 알코올 MBL	알코올램프 핫플레이트	개방 밀폐	액체 속 가지부근 액체 바로 위	비커	10%
					시험관	30%
					동근바닥플라스크	50%
					삼각플라스크	70%
						90%
통제 변인	물질의 종류 : 수돗물, 실험 횡수 1분간 일정 온도 유지 시 끓는점으로 판명					

Foster, 2005). 그러나 MBL의 경우 측정 간격과 시간을 정해두면 규칙적이면서 미세한 부분까지 측정 가능하였다. 온도계의 눈금 간격은 알코올 온도계의 경우 1°C, 수은 온도계의 경우 2°C로 두 눈금 사이에서는 어렵짐작해야 한다는 단점이 있어 정확한 값을 읽어내기 어려웠다. 수은 온도계의 경우 고온과 저온에서 정확도가 알코올 온도계보다는 좋았다(Quiggle, et. al., 1934; Simmons, 1947). 그러나 이 두 온도계의 경우 충전재가 액체로 구성되어 있어 메니스커스가 존재하고 이 또한 오차의 원인이 되므로 앞으로 실험을 수행할 때 알코올 온도계와 수은 온도계를 배제하고 MBL 온도 센서(또는 디지털 온도계)을 이용하여 측정하였다(Ongley, et. al., 2008).

2) 가열 도구

알코올램프와 핫플레이트를 이용하여 가열을 하였는데 같은 날 실험을 수행하지 못해 실험 당시의 기압이 서로 다르게 측정되었다. 따라서 이론적인 끓는점 또한 다르게 나타났다.

실험 데이터를 비교해보면 두 실험 모두 측정 중 온도가 증가하다가 감소하는 미세한 변화를 보이게 되는데 이러한 편차가 알코올램프의 경우 더 크게 나타났다. 알코올램프의 경우 불꽃이 바람에 흔들리거나 알코올램프의 높이에 따라 화력의 차이가 크게 나타나는데, 핫플레이트의 경우 알코올램프보다 안정적으로 실험을 수행할 수 있었다. 다만 고

온이 지속되면 중간에 퓨즈가 작동하여 가열이 일정 시간 멈추는 경우가 나타나지만 데이터 상에서 온도가 크게 변동되지 않았다. 초기 온도에 따라 실험 시간에 영향을 받겠지만 70°C 도달한 후 끓는점까지의 측정 시간이 평균적으로 알코올램프의 경우 500초, 핫플레이트의 경우 200초 정도로 핫플레이트가 훨씬 빠른 결과를 가져왔다(그림 1). 알코올램프의 경우 실험에 미숙한 학생들이 조작하기에는 화재의 위험이 있으므로 오차율이 작고 실험값의 안정성과 시간의 경제성 측면을 고려하여 핫플레이트로 실험을 수행하는 것이 바람직하였다.

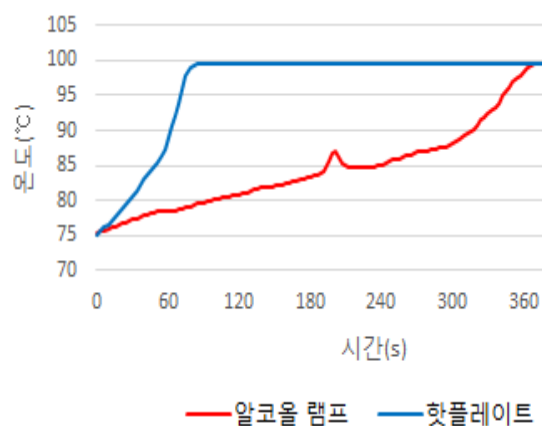


그림 1. 가열 도구에 따른 물의 끓는점 측정 그래프

3) 용기의 밀폐 여부

마개를 개방한 경우, 온도가 올라가는 동안 밀폐한 경우에 비해 온도의 요동이 심하여 그래프가 들쭉날쭉한 경향을 보였으며, 10회 측정 중 5회는 일정한 끓는점이 측정되었지만 5회는 일정한 온도가 측정되지 않고 계속 실험 데이터가 변화하는 양상을 보여 끓는점을 측정하기 어려웠다. 또한 온도 상승까지 걸리는 시간도 밀폐한 경우보다 오래 걸렸다(그림 2).

마개의 경우 끓는점에 큰 영향을 미치는 것으로 확인되었으며, 따라서 실험할 때 마개를 밀폐하는 것이 보다 정확한 값을 측정하는데 도움이 되었다.

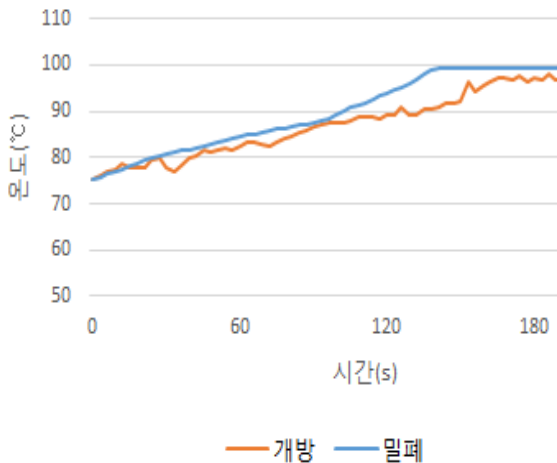


그림 2. 마개 밀폐 여부에 따른 물의 끓는점 측정 그래프

4) 온도계 위치

액체 내부의 경우 온도 변화가 지속적으로 변하며 100°C 이상으로 온도가 상승하여 그 이후에도 온도변화가 계속 나타남이 확인되었다(그림 3). 이는 액체의 끓는점보다 열원과의 거리 때문에 끓는점 이상의 온도가 측정된 것으로 생각된다. 결과적으로 액체 내부와 가지 부근의 이론값과 실제 측정값을 비교한 결과 액체 내부보다는 가지 부근에서 측정된 값이 이론값에 훨씬 가깝다는 결론을 내릴 수 있다. 액체가 더 많은 열을 받아 기체로의 상태가 변화되었기 때문에 액체의 경우는 아직 끓지 않

은 상태이다. 따라서 액체의 온도는 끓는점이라고 하기 어렵고 기체의 경우 액체가 끓고 난 이후의 온도까지 올라가므로 기체의 온도를 측정하는 것이 보다 끓는점에 가깝다고 할 수 있다(Davis, 1933; Eblin, 1950).

액체 바로 위와 가지부근을 살펴보면 두 경우 모두 대체적으로 안정적인 가열이 이루어졌다. 그러나 액체 바로 위의 경우 가지부근에 비해 비교적 액체로부터 직접적인 영향을 많이 받는 위치로, 가지부근에 비해 액체 및 증기의 복잡다단한 상태변화가 계속적으로 일어나기에 오차율이 더 큰 결과가 나왔다고 추정하였다. 또한 결과의 재현성 역시 가지부근이 더 높게 나타났기에 때문에 가지부근에 온도계를 위치시키는 것이 더 정확한 측정값을 얻을 수 있다.

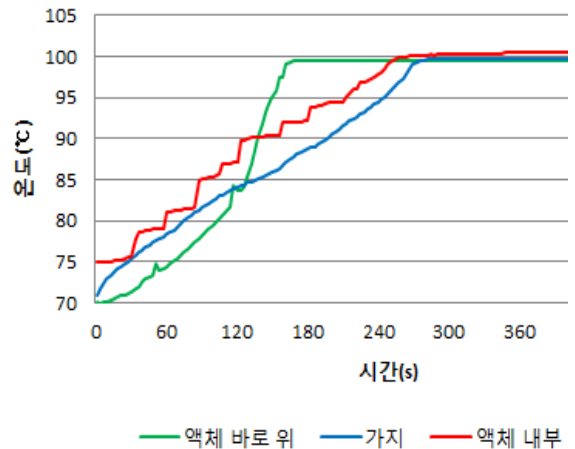


그림 3. 온도계 위치에 따른 물의 끓는점 측정 그래프

5) 가열 용기의 모양

비커의 경우 변인 통제를 위한 가지가 존재하지 않을 뿐만 아니라 입구가 커서 밀폐를 하는데도 어려움이 있다. 또한 제대로 밀폐가 안돼서인지 물이 끓기도 전에 많은 양의 물이 기화되어 사라지는 양상을 보였다. 실험실에서는 비커를 주로 사용하지만 보다 정확한 끓는점을 측정하기 위해서는 비커를 사용하지 않는 것이 좋다는 결론을 내리게 되

었다.

시험관의 경우 가열 장치에 닿는 면적이 좁아서 70°C이후부터 끓는점까지 도달하는데 걸리는 시간이 평균적으로 120초 정도 소요되었다. 또한 끓는 동안 돌비 현상이 심하게 나타나 끓는점을 측정하는 동안 온도그래프가 요동치는 모습을 관찰할 수 있었다.

둥근바닥 플라스크와 삼각 플라스크의 경우 모두 가열하는 동안 안정적으로 온도가 상승하였으며 끓는점 구간도 큰 변화 없이 일정하게 나타났다(그림 4). 그러나 80°C 이후부터 끓는점이 나타나는 구간까지 걸린 시간도 크게 차이 나지 않았다. 끓는점 측정값을 이론값과 비교해 봤을 때 둥근바닥 플라스크가 비교적 오차가 작게 나타났다. 또한 용기의 구조적인 측면에서 봤을 때 삼각플라스크는 바닥이 편평하여 안정적이고 실험장치가 간편하다는 장점이 있긴 하지만, 대류로 인한 열전달이 고르게 일어날 수 있는 둥근바닥 플라스크가 본 실험과 같이 액체를 가열하는 경우 보다 더 정확하고 재현성 있는 결과를 얻을 수 있다.

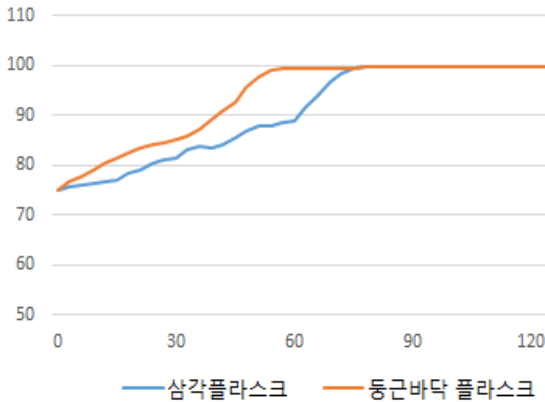


그림 4. 가열 용기 모양에 따른 물의 끓는점 측정 그래프

6) 물질과 용기의 부피비

Clausius-Clapeyron 식을 이용한 이론적 끓는점은 다음과 같이 계산할 수 있다(Labutin &

Labutina, 2001).

$$p = p^* e^{-x} \quad x = \frac{\Delta_{\text{vap}}H}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T^*} \right)$$

$$\ln \frac{p^*}{p} = \frac{\Delta_{\text{vap}}H}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T^*} \right)$$

$$\ln \frac{760}{751.412} = \frac{40.7 \times 10^3}{8.314} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{373.15} \right)$$

$$T = 372.83 \text{ K} = 99.68 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$(1\text{atm} = 760\text{mmHg}, \Delta_{\text{vap}}H = 40.7 \text{ kJ/mol}, R = 8.3145 \text{ J/mol K})$$

물질과 용기의 부피비가 10%~90%의 다섯 가지 경우 모두 안정적으로 온도가 증가하였고 끓는점도 일정하게 나타났으나, 용기를 채운 물질의 양이 적을수록 끓는점까지 도달하는데 소요되는 시간이 평균적으로 짧게 나타났다(그림 5). 이를 바탕으로 중학교 수업시간이 45분임을 감안할 때 실험 설계 및 수행, 결과 수집부터 정리까지 수업 중에 끝내기 위해서는 최대한 실험 수행 시간이 짧게 하기 위해 용액의 양은 최소로 하면서 시간을 더욱 단축시키고 또한 차가운 용액을 가열하는 것보다 어느 정도 온도가 높은 용액을 학생들에게 제공하는 것이 실험에 더 효율적일 수 있다.

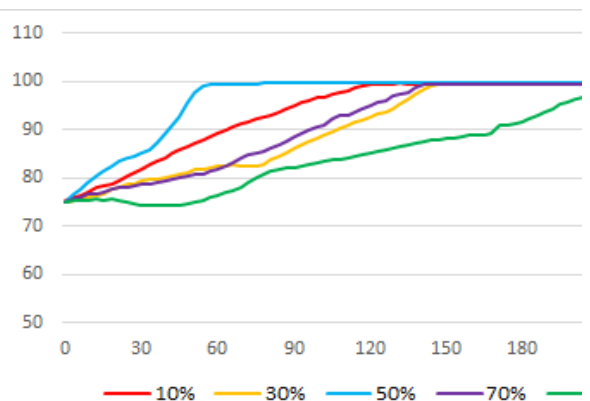


그림 5. 물질과 용기의 부피비에 따른 물의 끓는점 측정 그래프

용기의 대부분이 비어있거나(10%) 용기가 가득 차 있을 때(90%)가 비교적 오차율이 적은 양상을 나타내었다. 이는 액체와 기체상태의 두 개의 상이 비슷한 비율로 공존할 때 보다 10%의 경우나 90%의 경우처럼 단일 상에 가까운 비율로 존재할 때 이론값에 가까운 경향성을 보이는 것으로 생각할 수 있다. 여러 번의 측정값을 비교해보면 부피비가 적을수록 측정값의 표준편차가 작아지는 경향을 나타내었다. 측정값의 안정적인 재현성 또한 중요한데 10%의 경우 거의 일정한 값을 나타내고 있다. 따라서 시간과 실험값의 정확성, 재현성을 모두 고려할 때 용기와 액체의 부피비가 10%정도 일 때, 최적의 결과를 나타낸다고 생각할 수 있다.

IV. 결론 및 제언

2009개정 교육과정 7학년 과학 교과서 9종을 분석한 결과 끓음에 대한 현상적인 정의보다 가해준 열에너지를 상태 변화에 모두 사용하여 온도가 일정해지는 것으로 정의하고 있고, 학생들은 대부분 끓음에 대해 액체 속에서 기포가 발생하는 현상학적으로만 이해하고 있다.(강희준, 2009; 박지은 등, 2013; 송인범, 2005). 이 후 학년이 증가함에 따라 끓음에 대한 설명이 교과서의 여러 부분에서 산발적으로 제시되어 있기 때문에 끓음에 대한 여러 가지 관점이 각기 독립적으로 이해될 우려가 있다(백성혜 등, 2004). 이에 추가로 분자사이 인력, 분자운동과 같은 입자적 관점, 기화의 지점, 압력과의 관계 등이 통합적으로 다루어질 필요가 있다.

끓는점 실험에 영향을 미치는 요인에 따른 실험한 결과를 고려하였을 때 물질의 끓는점을 측정하는데 있어서 최적의 실험 방법은 다음과 같다(표 3).

또한 물의 끓는점을 측정하는데 있어서 제안된 최적의 실험 방법과 교과서에 기술된 실험을 비교·분석하였을 때 다음과 같은 시사점이 있었다.

1) 온도계의 종류

대부분의 교과서에서 알코올 온도계를 사용하고 있고 단 2종의 교과서에서만 MBL과 같은 디지털 온도계를 사용하였다. 이는 알코올 온도계가 학교 현장에서 쉽게 구할 수 있기 때문으로 생각되지만 관측자에 따라 오차의 원인이 될 수 있으므로 가능하다면 MBL이나 디지털 온도계를 사용하는 것이 보다 안정적이며 재현성 있는 측정값을 나타낼 것으로 생각된다. 또한 온도 측정에 걸리는 시간을 절약함으로써 결과 토의, 정리에 더 많은 시간을 투자할 수 있게 되므로 MBL을 사용하는 것이 보다 유익할 것이다.

2) 가열도구

9종 교과서 중 단 1종에서만 핫플레이트를 사용하였고 나머지 8종에서는 알코올램프를 사용하였다. 이는 측정값에 큰 영향을 미치지 않지만 시간의 경제성 및 안정적인 가열유도, 무엇보다 실험시 안전을 위해 가능한 핫플레이트를 사용하는 것이 좋다. 만약 불가하다면 실험 전 학생들에게 안전교육을 충분히 실시하는 것이 화재 예방에 도움이 될 것이다.

표 3. 물의 끓는점을 측정하는데 있어서 최적의 실험 방법

끓는점 측정에 영향을 미치는 요인						
종류	온도계 종류	가열도구	밀폐 여부	온도계 위치	용기 모양	물질과 용기의 부피비
최적의 방법	MBL	핫플레이트	밀폐	액체 가지부근	등근바닥 플라스크	10%

3) 용기 밀폐 여부

끓는점 측정값에 가장 큰 영향을 미치는 것은 용기 입구의 밀폐 여부였는데 2종(D, F)은 입구를 개방하고 나머지 7종의 교과서는 밀폐 후 실험을 수행하도록 안내하고 있다. 게다가 밀폐하지 않은 2종(D, F)의 경우 용기로 비커를 사용하고 있으므로 결과가 이론값에 훨씬 못 미치고 가열곡선 또한 들쭉날쭉한 경향을 보일 것은 자명한 일이므로 이 두 교과서의 경우 실험 방법의 개선이 반드시 필요할 것으로 생각된다.

4) 온도계의 위치

액체 속에 온도계를 위치하였을 때 가장 이론값에서 벗어나는 측정값이 측정된다는 사실을 알게 되었는데 9종의 교과서 모두 액체 속에 온도계를 위치하고 있었다. 따라서 교과서에 제시된 방법대로 실험을 수행한다면 이론값과 다른 측정값이 얻어질 것이고 학생들과 교사에게 혼란을 야기할 것으로 예상됩니다. 따라서 모든 교과서에서 온도계의 위치를 수정해야 할 필요가 있다.

5) 용기 모양

9종 교과서 중 2종(D, F)은 비커를 사용하였고 2종(A, C)은 시험관을 사용하였다. 비커의 경우 실험실에서 가장 많이 사용하기는 하지만 밀폐시키기 어려워 정확한 끓는점을 측정할 수 없고, 시험관의 경우 물증탕용으로는 적합하나 직접 가열하기에는 열을 받게 되는 면적이 적어 가열하는데 시간이 오래 걸린다. 따라서 이 4종의 교과서(A, C, D, F)의 경우 용기의 개선이 필요할 것으로 생각된다.

6) 물질과 용기의 부피비

물질이 용기를 거의 채우지 않았거나(10%), 거의 가득 채운 경우(90%)의 오차율이 가장 적은 것으로 나타났는데 이는 하나의 상(phase)에 가까운 상태로 존재하기 때문에 이론값에 가깝게 나타나는 것으로 생각된다. 9종 과학 교과서 중 가장 적은 부피비(B)가 20%였으며 이밖에 8종이 물질과 가열용기의 부피비가 30%가 넘었다. 이는 실험 수행 시간을 증가시킬 뿐만 아니라 이론값과의 오차, 측정

값의 재현성에도 영향을 미칠 수 있으므로 여러 가지 요인을 고려할 때, 현재 제시된 물질의 양보다 적은 양으로 실험 방법을 안내한다면 수업시간 내에 보다 이론값에 가까운 실험을 수행할 수 있을 것으로 생각된다.

2009개정 7학년 과학 1 교과서 9종을 분석해보면 모든 교과서에서 온도계를 액체 속에 위치시키며 대부분의 교과서에서 알코올램프 및 알코올 온도계를 사용하고, 소수는 입구를 개방한 비커를 사용했다. 이러한 실험 방법들은 본 연구결과와 비교하였을 때 상당한 오차를 유발시킬 것으로 예상된다. 실제 수업에서 이런 일이 발생한다면 학생들에게는 이론과 실제 사이의 차이로 인해 인지부조화를 일으킬 수 있고, 교과서를 신뢰하는데 어려움이 있을 것이다. 또한 교사에게는 여러 가지 업무와 수업준비로 인해 실험을 준비하는 것도 어렵는데 실험 결과마저 이론과 다르게 나타난다면 실험실 활용에도 도움이 되지 않을 것이므로 유의미한 교수·학습을 위해 필히 개선되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- 강희준 (2009). 과학 교과서에 제시된 물질의 상태와 상태 변화 개념 및 학생의 개념 유형 분석. *선문대학교 박사학위 논문*.
- 김성수, 백성혜 (2002). 끓는점과 녹는점에 대한 교과서 내용 분석 및 과학교사들의 인식조사. *대한화학회지*, 46(3), 252-264.
- 김성실 (2013). 인지갈등 전략을 활용한 초등 과학 수업에서 물의 상태변화에 대한 학습자 특성별 개념변화. *경인교대 석사학위 논문*.
- 박금홍, 구양삼, 이국행, 고석범, 최병순 (2008). 중학교 과학수업에서 MBL실험 수업의 효과. *한국과학교육학회지*, 28(4), 331-339.
- 박지은, 박예슬, 강순희 (2013). '과학1' 중학교 교과서의 물질의 상태 변화와 분자 운동 내용이 요구하는 인지 수준 분석(제III보). *대한화학회지*, 57(5), 640-655.

- 박희송, 정대영, 신학수, 김재혁, 허성일, 조성이, 유종남, 이흥우, 김진영, 이성작, 최병수, 강석철, 오성환 (2012). 중학교 과학1, 서울: (주) 교학사
- 백성혜, 정애경, 고영환 (2004). 중등 과학교과서에서 증발, 끓음의 설명에 제시된 개념간의 관련 정도 분석. 한국과학교육학회지, 24(3), 429-441.
- 송인범 (2005). 물질의 상태 변화 수업에 적용한 MBL 실험의 효과 연구. 공주대학교 교육대학원 석사학위 논문.
- 신동로, 이강남 (2005). 중학생들의 물질의 상태변화에 대한 오개념 분석. 교육방법연구, 17(2), 223-242.
- 신영준, 한문정, 정은영, 강석진, 배영혜, 임희연, 진만식, 이기영, 강진철, 손정우, 이봉우, 하은선 (2012). 중학교 과학 1, 서울: (주) 천재교과서.
- 신혜승 (1995). 녹는점과 끓는점에 대한 중학생들의 선입 개념들을 고려한 교수 학습 방안 개발 및 효과. 이화여자대학교 교육대학원 석사학위 논문.
- 이규석, 김성진, 김태일, 안형수, 박가영, 최미화, 김홍석, 김혜경, 권효식, 박현영, 이재면, 오현선, 조현재, 윤현조, 정흥채, 이진우, 류형근, 최근수, 문무현, 오민재 (2012). 중학교 과학 1, 서울: (주) 미래엔.
- 이무상, 여수동, 여환진, 이우봉, 이광필, 배준웅 (1996). 6차 교육과정에서 따른 개정된 8종의 중학교 과학 교과서 중에서 끓는점 측정 실험의 비교분석 및 개선. 과학교육연구지, 20, 213-223.
- 이문원, 권석민, 김광수, 이효녕, 채광표, 광영직, 강충호, 하윤경, 조은미, 조향숙, 권용주, 이일선, 권대준 (2012). 중학교 과학 1, 서울: (주)금성출판사
- 이상인, 조봉제, 전병희, 남경식, 황성용, 김영호, 어진영, 노동규, 김규태, 백승용, 김찬우, 김영귀, 박래원, 신석주, 권오성 (2012). 중학교 과학 1, 서울: (주)지학사.
- 이면우, 김명환, 류상호, 박정애, 노석구, 이재호, 장철한, 이병룡, 강희정, 조은경, 박정웅, 김연귀, 황석규 (2012). 중학교 과학 1, 서울: 천재교육.
- 이진승, 김상협, 김호련, 김호성, 박권태, 박명숙, 박소영, 박연옥, 배미정, 송성재, 이세연, 임혁, 정대홍, 홍준의 (2012). 중학교 과학 1, 서울: 두산동아.
- 임태훈, 노석호, 백종민, 이복영, 강대훈, 장효순, 김주성, 이용철, 황인신, 고현덕, 신미영 (2012). 중학교 과학 1, 서울: 비상교육
- 정영선, 오재경, 김기룡 (2004). 다양한 실험수업이 과학태도에 미치는 영향. 인하대학교 석사학위 논문.
- 천영숙 (2000). 제6차 교육과정에 의거 개정된 8종의 중학교 1학년 교과서 중에서 끓는점 측정 실험의 비교 분석 및 개선. 경북대학교 석사학위 논문.
- 최혜정, 정진수, 김상호 (2015). 중·고등학생의 과학과 자기주도학습에 대한 관심수준 및 실행수준 분석. 과학교육연구지, 39(1), 28-43.
- 팽애진, 백성혜 (2005). 과학 실험 수업에 대한 중등 과학 교사의 신념 사례 연구. 한국과학교육학회지, 25(2), 146-161.
- 황찬숙 (2014). 끓음과 끓는점에 대한 화학교사들의 관찰과 추론 활동 및 반성적 사고 분석. 이화여자대학교 교육대학원 석사학위 논문.
- 현종오, 김형석, 윤혜경, 강태욱, 최우석, 한인옥, 박미연, 김경숙, 지재화, 김병인, 김미경, 손연아, 이태원, 조현수, 박창용, 윤명섭, 이정은 (2012). 중학교 과학 1, 서울: 좋은책신사고.
- Bahlke, W. H., & Wilson, R. E. (1924), A Boiling Point Correction Chart for Normal Liquids. Industrial & Engineering Chemistry, 16(11), 1131-1132.
- Bloomfield, J. J. (1962). Magnetic stirring promotes smooth boiling. Journal of Chemical Education, 39(7), 355.
- Cadbury, W. E. (1935). The boiling point of

- the constant-boiling mixture HCl-H₂O. A correction to an error occurring in many textbooks. *Journal of Chemical Education*, 12(6), 292.
- Davis, H. L. (1933). An Improved Boiling Point Apparatus. *Journal of Chemical Education*, 10(1), 47-49.
- Eblin, L. P. (1950). An improved apparatus for obtaining boiling points of liquid mixtures. *Journal of Chemical Education*, 27(2), 67-68.
- Foster, B. L. (2005). Mercury Thermometer Replacements in Chemistry Laboratories. *Journal of Chemical Education*, 82(2), 269-270.
- Herron, J. D., & Nurrenbern, S. C. (1999). Improving Chemistry Learning. *Journal of Chemical Education*, 76(10), 1354-1361.
- Labutin, V. A., & Labutina, A. V. (2001). Calculating the Boiling Point of a Multicomponent Liquid-Phase Mixture. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 35(5), 520-522.
- Oloruntegbe, K. O. (2011). Ecocultural Factors in Students' Ability To Relate Science Concepts Learned at School and Experienced at Home: Implications for Chemistry Education. *Journal of Chemical Education*, 88(3), 266-271.
- Ongley, L. K., Kern, C. S., & Woods, B. W. (2008). A Non-Mercury Thermometer Alternative for Use in Older Melting Point Apparatuses. *Journal of Chemical Education*, 85(9), 1263-1264.
- Quiggle, D., Tongberg, C. O., & Fenske, M. R. (1934). Apparatus for Boiling Point and Boiling Range Measurements. *Industrial & Engineering Chemistry. Analytical Edition*, 6(6), 466-468.
- Simmons, L. M. (1947). Apparatus for determining boiling point. *Journal of Chemical Education*, 24(5), 233-234.

국문요약

2009 개정 7학년 과학 1 교과서에 제시된 끓는점 실험을 할 때 측정에 영향을 미치는 요인을 분석하였으며, 실험을 통해 교과서에 제시된 실험 방법의 오류를 확인한 후 이를 개선하기 위한 방안을 제안하였다. 2009 개정 7학년 과학 1 교과서 9종에 제시된 끓는점 측정 실험을 분석하여 끓는점에 영향을 미치는 요인을 찾아보았더니 온도계의 종류, 가열 도구, 마개 밀폐 여부, 온도계의 위치, 가열 용기의 모양, 물질과 가열용기의 부피비와 같은 6종류의 요인을 확인하였다. 물질의 끓는점을 측정하는 실험을 수행할 때, 둥근바닥 플라스크의 10%만 물질로 채운 후 MBL 온도 센서를 가지 부근에 위치하게 하고, 마개를 막아 핫플레이트로 가열하는 것이 가장 효과적인 결과를 나타내는 것을 확인하였다. 이를 토대로 2009 개정 7학년 과학 1 교과서 9종과 비교하였더니 대부분의 교과서에서 수정되어야 할 점이 많은 오류가 있음을 발견하였다. 따라서 끓는점 측정에 대한 학생들의 학습 이해도를 높이고 오개념을 방지하기 위해 과학 1 교과서에 제시되어 있는 실험들이 보다 정확하게 개선되어야 할 것이다.

주요어 : 과학 교과서, 실험, 끓는점, 영향을 주는 요소