

끓는점과 녹는점에 대한 교과서 내용 분석 및 과학교사들의 인식조사

金聖秀^{*} · 白盛惠^{*}

¹김천여자중학교

한국교원대학교 화학교육과

(2001. 7. 23 접수)

An Analysis of Textbooks and an Investigation of Science Teachers' Views on 'Boiling Point' and 'Melting Point'

Sung-Soo Kim^{*} and Seong-Hey Paik^{*}

¹Gim Cheon Girls' Middle School, Gim Cheon 740-100, Korea

Department of Chemistry Education, Korea National University of Education, Chungbuk 363-791, Korea

(Received July 23 2001)

요 약. 이 연구는 끓는점과 녹는점에 관련된 실험 장치를 교육과정의 변화와 교과서의 유형에 따라 분석하고, 중등 과학교사들을 대상으로 이에 관련된 실험값과 교과서에 제시된 값이 다른 경우에 대한 인식을 조사하였다. 그리고 분별 증류, 온도계 보정의 실험 장치와 실험 결과에 대한 인식도 조사하였다. 연구 결과, 교육과정과 교과서의 종류에 따라 끓는점과 녹는점에 관련된 실험 장치의 유형은 다양하게 변화되어 왔으며, 교사들의 인식도 전공과 근무 학교에 따라 다양하게 나타났다. 또한, 많은 교사들이 분별 증류 실험에서 실험값이 교과서에 제시된 값과 다른 원인을 교과서 내용의 잘못이나 실험 자체의 문제로 인식하고 있었다. 그리고 중학교에서 온도계 보정의 필요성에 대한 교사들의 인식은 다양하게 나타났는데, 화학을 전공한 교사들이 비화학 전공교사들보다 온도계 보정 필요성에 대한 인식이 더욱 높았다.

주제어: 실험장치, 과학교사, 끓는점, 녹는점, 과학교과서

ABSTRACT. In this study, the experimental apparatus for boiling point and melting point in science textbooks of various curriculums were analyzed. Science teachers' views on the difference between the experimental value and the value written in textbooks were inquired, too. Their views on the experimental apparatus, and results of freezing point, melting point, boiling point, fractional distillation, and thermometer calibration were also investigated. The results of this study showed that the types of experimental apparatus for boiling point and melting point were somewhat different with science textbooks and curriculum. The teachers' views were also various according to their background. In the experiment of the fractional distillation, a large number of teachers recognized mismatch between the experimental value and the value written in textbooks as mistake of textbook contents or problem of experiment itself. The teachers of chemistry background take higher recognition of the requirement of thermometer calibration than those of non-chemistry background in middle school.

Keywords: Experimental Apparatus, Science Teacher, Boiling Point, Melting Point, Science Textbook

서 론

연구의 필요성과 목적. 끓는점이나 녹는점, 어는점은 물질의 고유한 성질로 제6차 과학교육과정에서는 중학교 1학년에 제시하고 있다. 이러한 물질의 고유한 성질을 확인하기 위하여 실험을 하도록 되어 있는데, 실험의 결과와 교과서에 제시된 문헌값이 다른 경우가 종종 발생한다.

특히 이러한 문제점은 끓는점 측정에서 두드러지기 때문에 이부상 등은 개칭된 중학교 교과서 중에서 끓는점 측정 실험의 비교분석 및 개선이라는 연구에서 실험 결과와 문헌값이 나르고 그래프에서 수평선이 나타나지 않아 끓는점을 구하기가 어렵다는 점을 지적하였다. 그리고 이를 개선하기 위한 제안을 하였다. 송호봉 등²도 새로운 중학교 과학 교과서의 화학 실험과 보형에 관한 연구에서 보다 정확한 끓는점 값을 얻기 위한 실험 장치의 연구 결과를 제시하였다. 노석구 등³도 '물질이 상태 변화할 때의 온도'에 대한 학생들의 개념이라는 연구에서 현재의 교과서 실험의 규모와 조건통일이 되지 않은 상황에서는 계(system)와 주위(surrounding)에 대한 부배려, 실험기구와 장치의 부적절, 측정 대상물에서의 온도계의 위치의 차이, 온도계 눈금 자체의 불확실성과 측정 방법의 차이 등에서 오는 오차 때문에 실험 결과와 문헌값이 일치하지 않을 것이라고 지적하였다.

이러한 선행연구들의 지적에서도 볼 수 있듯이, 현행 과학 교과서에서 제시하고 있는 실험 장치로는 문헌에 제시된 끓는점 등을 확인하기가 쉽지 않다. 그러나 아직까지 이에 대한 해결 방안이 중학교 과학 교과서나 교육 현장에 명확하게 제시되지 못하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 끓는점 뿐만 아니라 녹는점 실험에서 발생할 수 있는 이러한 문제점의 원인을 실험 장치로부터 찾아보고, 어느 교육과정의 과학 교과서부터 이러한 차이가 발생되었는지 살펴보고자 한다. 그리고 이러한 실험 장치와 실험 현상에 관한 현장 과학 교사들의 생각을 알아보고자 한다.

연구 내용을 구체적으로 제시하면 다음과 같다.

1. 제1차 교육과정에서 제6차 교육과정까지의 중학교 과학 교과서에 제시된 끓는점에 관련된 실험 방법을 분석한다. 그리고 순수물질의 용결점을 이용하여 끓는점을 측정하는 실험 방법의 문제점과 혼합물의 증류 실험 방

법과의 유사성도 분석한다.

2. 제1차 교육과정에서 제6차 교육과정까지의 중학교 과학 교과서에 제시된 녹는점에 관련된 실험 방법을 분석한다. 그리고 어는점을 이용하여 녹는점을 측정하는 실험 방법의 문제점을 분석한다.

3. 중등 과학교사들을 대상으로 어는점, 녹는점, 끓는점, 분별증류 등의 실험 장치와 실험 결과에 대한 인식을 설문지를 통하여 조사하고 그 유형을 분석한다.

선행연구 고찰. 어는점이나 녹는점 측정에 비해 끓는점 측정을 위한 실험 장치에 대한 생각은 연구자나 문헌마다 차이를 보인다. 송호봉 등²은 제6차 교육과정의 중학교 1학년 8종 교과서에 수록된 끓는점 장치에서 가지 달린 시험관의 가지 부분에 온도계를 장치하여 물의 끓는점을 측정했을 때 물의 끓는점은 표준상태에서 99.2°C(5회 평균값)로 나타난다고 하였다. 그리고 온도계를 물 속에 담고 물의 끓는점을 측정했을 때는 표준상태에서 100.3°C(5회 평균값), 온도계를 액체 표면으로부터 1 mm 위에 장치하여 물의 끓는점을 측정했을 때 표준 상태에서 100.1°C(5회 평균값)의 정확한 측정값을 얻을 수 있었다고 하였다. 따라서 이들은 온도계를 액체 표면으로부터 1 mm 위에 장치하고 끓는점을 측정하도록 제안하였다.

Lawson⁴은 탄화수소의 끓는점을 측정하는 실험에서 온도계의 끝 부분을 액체 탄화수소의 표면 2 cm 위에 위치시키고 온도를 측정하였다. 그리고 온도계의 끝 부분에서 탄화수소 방울이 규칙적으로 똑똑 떨어질 때의 온도가 끓는점이라고 정의하였다.

김범기 등⁵은 끓음(boiling)이 온도 뿐만 아니라 압력에도 달려 있다는 점을 강조하였다. 그리고 압력에 따른 물의 끓는점을 알아보기 위한 실험 장치에서 온도계를 물 속에 담고 측정하는 것으로 제시하였다.

한정태 등⁶이 저술한 일반화학실험에서는 온도계 보정에 대해 제시하고 있다. 온도계 보정을 위하여 물의 끓는점을 이용하는데, 물의 끓는점을 알아보기 위하여 다음과 같이 장치하였다. 즉, 시험관을 유리관과 온도계를 뿔은 고무마개로 막은 후 시험관 바닥으로부터 2-3 cm 높이가 되도록 증류수를 넣고, 온도계의 수은구를 증류수의 수면보다 약간 높은 위치에 고정시킨 다음 가열하면서 온도계의 눈금이 일정한 위치에서 머물게 되면 그 값을 읽어 물의 끓는점을 측정하도록 제시하였다. 이 장치에서 온도계의 끝부분은 송호봉 등²과 Lawson⁴이 제안한 것과 같이 수면에서 약간 떨어진 곳

에 위치하고 있으며, 대기압과의 평형을 고려하여 고무 나개에는 유리관을 꽂았다. 압력을 고려하였다는 점은 김법기 등의 제안과 일치한다. 이 실험장치의 중요한 의미는 온도계 보정에 있다. 대다수의 선행 연구에서는 물질의 끓는점을 측정하기 위하여 사용하는 온도계의 보정에 대해 고려하지 않고 있기 때문이다. 따라서 측정된 온도가 보정된 값이 아닌 경우 물질의 끓는 온도가 우연히 문헌값과 일치하기는 쉬운 일이 아닐 것이다.

연구 방법 및 절차

분석 대상 교과서. 제1차 교육과정부터 제6차 교육과정까지의 과학 교과서를 중심으로 끓는점과 어는점, 녹는점, 그리고 분별종류에 관련된 실험 방법과 실험 장치의 변화 과정을 살펴보았다.

연구 대상. 중등 과학교사 90명을 대상으로 설문 조사를 하였다. 응답자 중 남자는 54명이고, 여자는 36명이었다. 교직 경력은 5년 이하가 10.0%, 5년 이상에서 10년 미만이 33.3%, 10년 이상에서 15년 미만이 40.0%, 15년 이상이 16.7%이었다. 교사들 중 중학교 근무교사는 47.8%, 고등학교 근무교사는 52.2%이었다. 교사들이 대학교에서 전공한 과목은 화학(교육) 44.4%, 물리(교육) 32.2%, 생물(교육) 10.0%, 지구과학(교육) 13.3%이었다.

설문지. 설문지는 7문항으로 구성하였다. 1번, 2번, 6번 문항에서는 녹는점과 어는점, 끓는점, 분별종류 실험에 관련된 교과서의 실험 결과가 문헌값과 다른 경우를 제시하고, 그 원인이 실험 장치, 학생의 능력 부족, 실험 방법 자체의 문제, 교과서에 제시된 내용의 분제 중에서 무엇 때문이라고 생각하는지 알아보았다.

3번 문항에서는 2번 문항의 온도계 위치가 가지 달린 시험관의 가지 부분인 것과 대조하여 액체 표면 바로 위로 변형하였을 경우 실험 결과가 문헌값과 같게 나온다면 이에 대해 어떻게 생각하는지를 조사하였다. 즉, 온도계의 위치 잘못 때문에 문헌값과 같은 실험값이 나와도 틀렸다고 생각하는지, 아니면 문헌값과 일치하는 것이 중요하므로 교과서의 실험 장치를 이와 같이 수정하는 것이 바람직하다고 생각하는지, 혹은 온도계의 위치 자체는 중요하지 않고 일정한 수평 구간이 관측되는 것이 더 중요하다고 생각하는지 등에 대한 교사의 생각을 조사하였다.

4번과 5번 문항은 모두 물 속에 온도계를 넣고 끓는점을 측정하는 장치에 대한 견해를 알아본 것이다. 이

러한 장치에 의해서는 문헌값과 실험값이 다르게 나오지만, 4번의 경우에는 물의 온도 변화 측정이라는 점에 충실하기 위해서 온도계를 물 속에 담그는 것이 타당하다고 생각하는지 알아보았고, 5번에서는 외국의 자료 중 하나를 예로 들어 실제로 물의 끓는점 측정 실험에서 온도계를 물 속에 담가 측정하도록 학생들에게 가르치는 경우에 대하여 교사들의 생각이 바뀌는지 조사하였다.

그리고 7번 문항에서는 대학 일반화학 실험⁶⁾ 내용을 인용하여 온도계 보정에서 끓는점 측정을 위해 액체 바로 위에 온도계를 장치하는 실험을 소개하고, 중학교 교육과정에서 온도계 보정 방법을 가르치는 것에 대한 교사의 인식을 조사하였다.

결과 및 논의

교육과정 변천에 따른 끓는점 실험 내용의 변화 분석.

제1차부터 제6차까지 교육과정의 변화에 따라 개정된 과학 교과서에서 끓는점에 관련된 실험 방법의 변화를 조사하였다. 특히 실험 장치 중에서 온도계의 위치와 끓는점으로 제시된 온도를 비교하여 봄으로써 이 내용들이 항상 같은지, 아닌지를 확인하고자 하였다. 이를 Table 1에 제시하였다.

제1차와 제2차 교육과정에서 개발된 과학 교과서에서는 액체 바로 위에 온도계를 장치하고 액체의 끓는점을 측정하도록 되어 있었다. 제3차 교육과정의 교과서에서는 물 속에 온도계를 장치하는 것으로 변화되었다. 제4차와 5차 교육과정에서는 시험관의 가지 부분에 온도계를 장치하고 끓는점을 측정하는 교과서가 나타났다. 물론 물 속에 온도계를 넣고 끓는점을 측정하는 교과서도 일부 있었다. 그러다가 제6차 교육과정의 교과서에서는 일제히 온도계를 시험관의 가지 부분에 장치하는 실험으로 바뀌었다. 따라서 이러한 변화가 일어난 것에 대한 타당성이 논의될 필요가 있다고 본다.

온도계의 위치를 시험관의 가지 달린 부분에 장치하는 경우에는 가지를 통해 기체가 응결되어 액체로 나오는 부분의 온도를 측정하는 것이다. 즉 끓는점을 측정하는 장치가 실제로는 그 물질의 응결되는 온도를 측정하는 것이다. 1966년에 발간된 중학교 1학년 교과서⁷⁾에서는 '한 물질에서 비등점과 응결점은 서로 같다'고 제시되어 있는데, 바로 이러한 생각이 이러한 장치에는 가정되어 있다고 할 수 있다.

Table 1. Experimental apparatus related to boiling point according to middle school science curriculum

Curriculum	Science Textbook	Position of Thermometer	Boiling point(°C)			Material	Distillation graph
			Water	Methanol	Ethanol		
The First	Dae Dong Dang	above the liquid	100	-*	-*	water	-*
The Second	Samhwa	3 cm above the liquid	100	-*	-*	water	-*
The Third	Korea middle school textbook company	in the liquid	100	64.7	78.3	water, ethanol	-*
The Fourth	National textbook company(Jung, <i>et al.</i>)	in the liquid	100	64.1	78.3	water, methanol	horizontal
	National textbook company(Sin, <i>et al.</i>)	near the branch of test tube	100	64.1	78.3	water, ethanol	horizontal
The Fifth	Jihaksa	near the branch of test tube	100	-*	78.5	ethanol	rise a little bit
	Donga	in the liquid	100	64.5	78.3	water, ethanol	horizontal
	Gyumsung	in the liquid	100	-*	78.5	water, methanol	horizontal
	Kyohaksa(Jung, <i>et al.</i>)	in the liquid	100	-*	79.0	water, ethanol	horizontal
	Kyohaksa(Song, <i>et al.</i>)	near the branch of test tube	100	65.0	78.0	ethanol	horizontal
The Sixth	Hansam	near the branch of test tube	100	-*	78.5	water	horizontal
	Donghwaso	near the branch of test tube	100	64.5	78.5	ethanol	rise a little bit
	Kyohaksa(Jung, <i>et al.</i>)	near the branch of test tube	100	-*	79.0	ethanol, acetone	rise a little bit
	Jihaksa	near the branch of test tube	100	65.0	78.0	methanol, ethanol	rise a little bit
	Kyokaksa(Song, <i>et al.</i>)	near the branch of test tube	100	64.0	79.0	water, ethanol	horizontal
Doosan	near the branch of test tube	100	64.5	78.3	ethanol	horizontal	
Gyumsung	near the branch of test tube	100	-*	78.5	ethanol	horizontal	
Chunjae	near the branch of test tube	100	65.0	79.0	ethanol	rise a little bit	

*The temperature is not represented in the textbook.

그러나 대부분의 문헌^{8,12}에서는 끓는점을 정의할 때 외부 기압과 수증기압의 평형으로 제시한다. 기체가 응결되는 온도를 끓는점이라고 정의하지 않는 이유 중 하나는 응결이 일어나는 온도가 끓는점과 달리 일정하지 않고, 외부 대기의 수증기압이나 응결핵, 열적 평형 등과 같은 다양한 조건에 더 많은 영향을 받기 때문일 것이다.

순수한 액체의 끓는점을 측정하기 위하여 가지 달린 시험관의 가지 부분에 온도계를 꽂는 실험 장치는 액체 혼합물을 분리하는 분별증류의 장치와 매우 유사하다. 분별증류를 통해 분리된 액체의 경우, 기체가 응결되는 온도를 이용하여 분리된 물질의 확인할 수 있기 때문이다.

그러나 순수물의 끓는점을 측정하는 경우에도 이러한 분별증류와 같은 원리를 가지는 장치를 사용해야 할

이유는 없다고 본다. 여러 문헌에서도 지적하였듯이 액체로부터 멀리 떨어진 곳에 위치한 온도계로는 액체의 본래 끓는점보다 훨씬 낮은 온도를 측정할 수밖에 없기 때문이다. 더구나 시험관의 가지 부분에 위치한 온도계의 경우, 초기에 측정하는 온도는 액체의 온도가 아니라 바로 시험관 내부 공기의 온도이고, 비록 초기에 액체와 공기 사이에 온도 평형이 이루어졌다고 하더라도 가열하면서 공기는 좋은 단열제이기 때문에 액체의 온도를 바로 공기의 온도로 측정할 수는 없을 것이다. 따라서 액체로부터 증기가 다량 방출되는 온도에 도달하여야 비로소 액체로부터 나온 증기의 온도를 온도계가 측정할 수 있다는 분리가 있기 때문에 교과서에 제시된 액체의 온도 상승 곡선과 같은 그래프가 실제 실험을

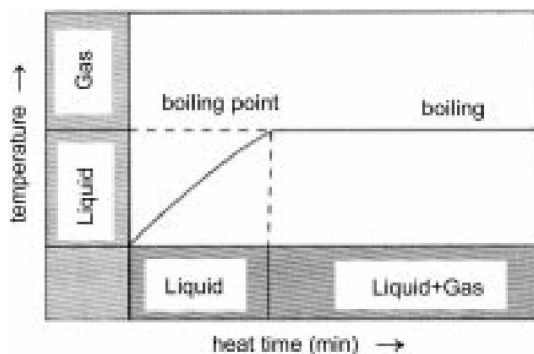


Fig. 1. Graph represented in a textbook.

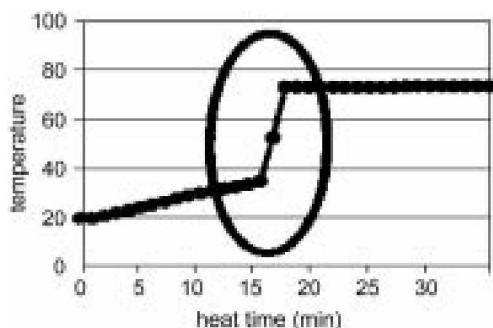


Fig. 2. Graph obtained from experiment.

통해 관찰되기는 어렵다. 백성혜¹⁵⁾도 교과서에 제시된 액체의 끓는점 그래프(Fig. 1)와, 실제 실험에서 온도계로 측정된 온도 그래프(Fig. 2) 사이에는 차이가 난다고 주장하였다.

이러한 문제점에도 불구하고 제6차 교육과정의 과학 교과서에서 가지 달린 부분의 온도계 위치를 고집하는 이유는 아마도 순물질의 성질을 이용한 혼합물의 분리에 대한 시각을 명료하게 하기 위해서일 것이다.

그러나 일부 문헌¹²⁻¹⁴⁾에서 제시한 바와 같이 끓는점과 같은 물질의 성질은 입자 사이의 결합력에 관련된 것이다. Brady와 Holm¹⁴⁾에 따르면 "순수한 액체는 어떠한 것이든지 끓는 동안에는 일정한 온도를 유지한다. 이 온도를 액체의 끓는점(boiling point)이라고 부른다. .. 중략 .. 높은 끓는점들은 강한 분자간 인력에 기인한다." 라고 설명하고 있다.

순물질의 경우 구성 입자가 한 종류이기 때문에 입자간에 작용하는 인력이 같은 크기일 것이라고 볼 수 있지만, 혼합물의 경우에는 두 종류 이상의 입자들이 섞여있기 때문에 같은 종류의 입자끼리 작용하는 인력처

럼 균일하지 않고, 입자의 종류에 따라 서로 다른 크기의 인력을 나타내게 될 것이다. 또한 혼합물을 가열하게 되면 끓는점이 낮은 액체가 기체 상태로 더 많이 변화하게 된다. 따라서 액체 혼합물 안에 존재하는 입자의 구성비가 점차 변화하여 보다 강한 인력으로 결합하는 입자들의 분포가 증가하게 된다. 즉 끓는점이 점차 상승하게 되는 것이다.

이러한 점 때문에 사실상 두 액체를 섞은 혼합 용액의 끓는점은 순수한 두 용액을 각각 끓였을 때의 곡선을 합하여 놓은 것과 같은 형태로 얻어지기 어렵다. 증류의 경우에도 완만하게 변화하는 용액의 온도 변화 곡선으로부터 일정 온도 구간 안에서 수집하는 일종의 불순물이 섞인 용액을 얻을 수밖에 없다. 증류를 통해 100% 순수한 순물질로 두 용액을 분리할 수는 없는 것이다.

그럼에도 불구하고 제4차 교육과정의 교과서 2종류, 제5차 교육과정의 교과서 4종류, 제6차 교육과정의 교과서 4종류에서 두 용액을 섞은 혼합물을 증류하면 순수한 각각 용액의 끓는점 온도가 포개진 것 같은 그래프를 얻을 수 있는 것처럼 제시한다(Fig. 3).

분별증류 실험에 관련된 최분영¹⁶⁾의 논문에도 다양한 용액 혼합물의 증류 실험 결과를 제시하였는데, 어떠한 혼합 용액의 경우에도 실험 결과가 Fig. 4와 같이 순물질의 경우와는 다르게 온도가 조금씩 높아졌다.

따라서 혼합물을 증류할 경우와 순물질의 끓는점을 측정하는 경우는 상황이 매우 다르므로, 혼합물의 경우 분류에 이용되는 이슬점을 순물질의 끓는점 측정에 적용함으로써 실험 자료의 혼란을 야기시킬 필요는 없을 것이라고 본다.

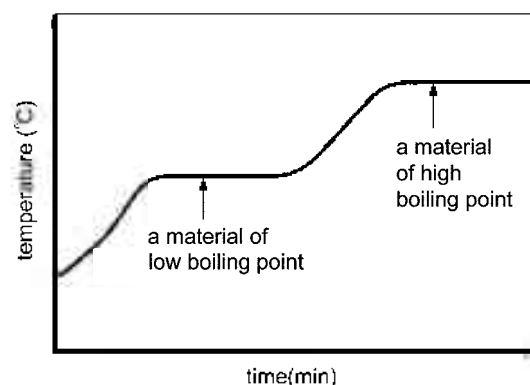


Fig. 3. Distillation graph represented in a textbook.¹⁴⁾

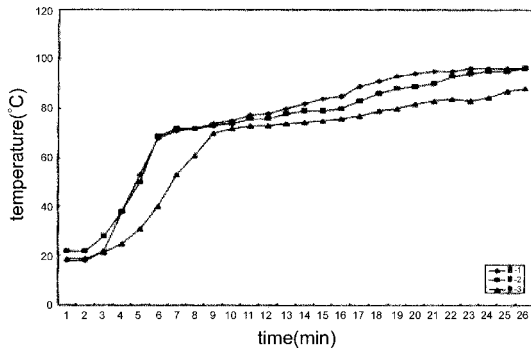


Fig. 4. Experimental data of water-methanol mixture.

끓는점 실험과 관련하여 과학교육과정의 변화에 따라 나타나는 또 다른 두드러진 특징 중 하나는 끓는점의 온도를 제시하는 것이다. 그러나 제시된 온도는 볼의 경우를 제외하고는 교과서의 종류에 따라 끓는점 값이 다소간 차이를 보인다. 교과서뿐만 아니라 전문서적 등^{17,18}에서도 제시하는 끓는점의 온도는 제각각 다르다. 예를 들어 이화학대사전¹⁷에서는 메탄올의 끓는점을 64.56°C, 에탄올의 끓는점을 78.3°C로 제시하였는데, TECHNIQUES OF CHEMISTRY VOLUME II¹⁸에서는 메탄올의 끓는점을 64.70°C, 에탄올의 끓는점을 78.29°C로 제시하고 있다. 교과서나 문헌마다 끓는점이 다르게 표기되었다는 점을 통해 끓는점의 숫자 자체가 절대적인 값이 아니고, 압력과 같은 다른 조건에 따라 달라질 수 있음을 의미하는 것이라고 볼 수 있다.

끓는점의 정의에도 포함되어 있듯이 끓는점은 주위의 압력에 따라 달라질 수 있다.^{17,18} 예를 들어 외부압력이 0.03126기압이면 25°C에서 물을 끓게 되나, 외부압력이 2.0기압이면 온도가 121°C가 되어야만 끓게 된다.¹⁸ 끓는점 실험 장치에 따라 온도계가 온도를 측정하는 순간의 기압은 변화될 수 있기 때문에 이러한 상황을 고려하지 않고 단순히 에탄올의 끓는점은 78.3°C라거나 혹은 79.0°C라는 점을 강조하는 것은 큰 의미가 없다고 본다.

그 외에도 실험실에서는 온도계를 보정하지 않고 그냥 사용하는 경우가 빈번하기 때문에 이러한 보정의 문제, 실험실 주변의 온도변화 등도 끓는점 측정에 영향을 미치는 변인으로 고려되어야 한다. 특히 온도계가 가리키는 눈금을 신뢰하기 위해서는 보정이 필요한데, 보정하려면 기본적으로 물을 이용하게 된다. 그런데, 물 자체의 끓는점이 일정한 것이 아니라고 한다면 온도계

보정은 무의미하다는 것을 의미한다. 제1차와 제2차 교육과정의 교과서, 제6차 교육과정의 한 교과서에서 이러한 문제가 발견되었다.

또한 실험으로 끓는점을 직접 측정해야 할 물질의 끓는점을 미리 교과서에 제시하는 경우가 있다. 물은 온도계 보정의 차원에서 끓는점이 제시될 수 있다고 보아도, 다른 물질의 경우 끓는점이 미리 제시되면 끓는점이 압력에 따라 변할 수 있다는 사실을 학생들이 간과할 수 있다. 제3차와 제4차 교육과정의 교과서, 제5차 교육과정의 교과서 중 4종류, 제6차 교육과정의 모든 종류의 교과서가 이러한 문제를 내포하고 있다.

끓는점 측정 실험 결과를 해석할 때에는 어떤 특정 온도값에 초점을 두기보다는 순물질의 경우 가열을 하여도 일정한 구간에서 온도의 변화가 일어나지 않는다는 점을 관찰하는 것에 초점을 두는 것이 더 타당한 것이라고 생각한다. 주어진 다양한 실험 여건에도 불구하고 어떤 특정 실험 상황의 분헌값이 관측될 것이라고 기대하는 것은 무리가 있기 때문이다. 그러나 어떠한 상황에서도 순물질의 경우에는 일정한 시간 동안 일정한 온도를 유지하는 구간이 관측되기 때문에 이 점에 학습의 초점을 맞추는 것이 더 타당하리라 본다. 그리고 어느 정도의 온도 범위 안에서 이러한 끓는점이 관찰된다면 어떤 순물질이라고 추리할 수 있음을 가르치는 데에 초점을 둘 필요가 있다.

그럼에도 불구하고 끓는점 측정 실험에 관련된 선행 연구들^{12,16}은 대부분 교과서에 제시된 문헌값을 얻을 수 있도록 실험 장치를 고안해 내는 데에 연구의 초점을 두고 있다. 이러한 연구는 많은 연구자들이 끓는점 실험을 통해 특정한 분헌값이 관측되기를 희망하는 것을 반영한다고 볼 수 있다.

교육과정 변천에 따른 어는점과 녹는점 실험 내용의 변화 분석. 제1차부터 제6차까지 교육과정의 변화에 따라 개정된 과학 교과서에서 녹는점에 관련된 실험 내용의 변화를 조사하였다 (Table 2).

보세관을 이용하여 녹는점을 관찰하는 실험 장치의 그림은 Fig 5와 같다. 이러한 장치를 사용하는 이유는 가열 과정에서 열이 고르게 고체에 전달되기 어렵기 때문에 녹는점을 정확하게 관찰하기 어려운 문제점을 해결하기 위한 것으로 보인다. 따라서 소량의 고체를 보세관에 넣고 주변의 물의 온도와 열평형을 유지시키면서 온도계로 고체 시료의 녹는점을 눈으로 직접 확인하고 측정하도록 되어 있다. 이 장치에 의하면 녹는점이

Table 2. Experimental apparatus related to melting point according to middle school science curriculum

Curriculum	Science Textbook	Experiment	Material	Melting point(°C)
The First	Dae Dong Dang	-*	paraffin	-*
The Second	Samhwa	measure of melting point	paradichloro-benzene	-*
The Third	Korca middle school textbook company	using of a capillary	-*	-*
	National textbook company(Jung, <i>et al.</i>)	-*	-*	-*
The Fourth	National textbook company(Sim, <i>et al.</i>)	measure of melting point & using of a capillary	naphthalene	80.5
	Jihaksa	measure of melting point	sodium acetic acid	16.6
	Donga	measure of melting point	naphthalene	80.5
The Fifth	Gyumsung	measure of melting point	paradichloro-benzene	-*
	Kyohaksa(Jung, <i>et al.</i>)	measure of melting point & using of a capillary	paradichloro-benzene	53.0
	Kyohaksa(Song, <i>et al.</i>)	measure of melting point	paradichloro-benzene	54.0
	Hansam	measure of melting point	ice	0.0
	Donghwasa	measure of melting point	paradichloro-benzene	-*
The Sixth	Kyohaksa(Jung, <i>et al.</i>)	measure of melting point	paradichloro-benzene	53.0
	Jihaksa	measure of melting point	naphthalene	81.0
	Kyokaksa(Song, <i>et al.</i>)	measure of melting point	paradichloro-benzene	53.0
	Doosan	measure of melting point & using of a capillary	paradichloro-benzene	-*
	Gyumsung	measure of melting point	paradichloro-benzene	-*
	Chunjae	measure of melting point	paradichloro-benzene	53.0

*The temperature is not represented in the textbook.

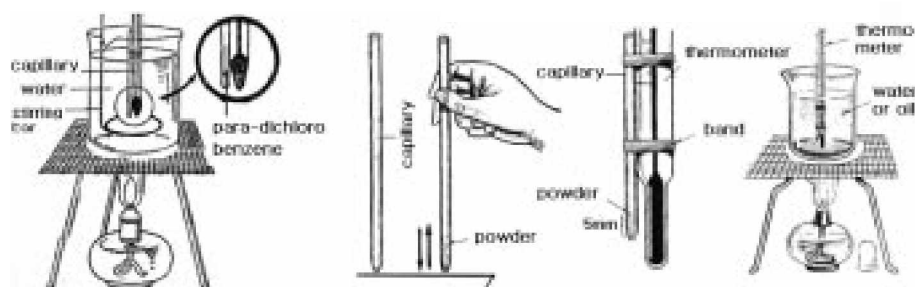


Fig. 5. Experiment apparatus using a capillary.

관찰되는 그 순간의 온도를 바로 관찰자가 측정할 수 있다.

녹는점 대신 어는점을 측정하여 녹는점을 유추하는 경우는 실험장치로부터 정확한 녹는점을 측정하기 어렵기 때문이다. 대부분 교과서에서 제시하는, 어는점과 녹는점을 동시에 관찰할 수 있는 실험 장치는 다음과 같다.

그러나 Fig. 6과 같은 장치를 통해 녹는점과 어는점을 측정하게 되면 Fig. 7과 같은 곡선을 얻게 된다.

즉, 어는점은 수평한 부분이 관찰되지만 녹는점에서는 수평한 부분이 관찰되기 어렵다. 그러나 대부분의 교과서에서는 다음과 같은 자료가 얻어진다고 제시되어 있다.

교과서에서 녹는점 측정 실험에 사용되는 파라디클로로벤젠이나 나프탈렌, 파라핀 등의 경우 보편적으로 Fig. 7과 같이 일정한 시간 동안 일정한 온도로 유지되는 온도를 발견해 내기는 어렵다. 반면 냉각하는 경우에는 일정 구간 내에서 어는점을 결정하기 쉽다. 따라서 교과서에 제시한 그림과는 달리 실제 실험을 통해서서는 어는점만을 관찰할 수 있으므로, 어는점이 바로 녹는점과

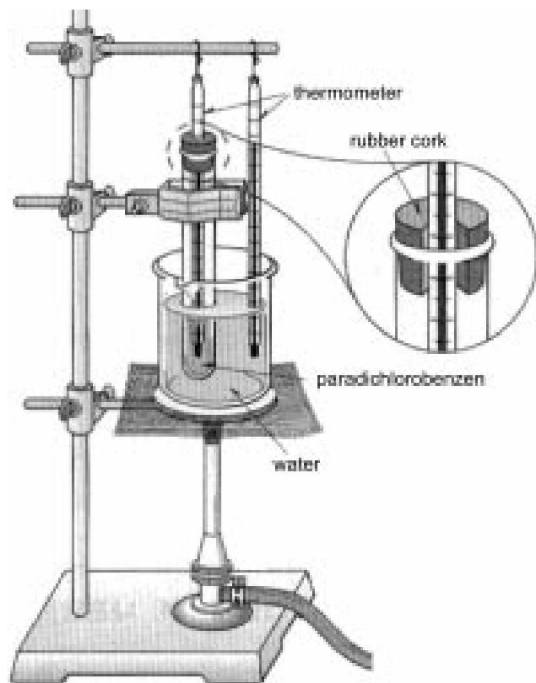


Fig. 6. Experimental apparatus for measuring melting point and freezing point.

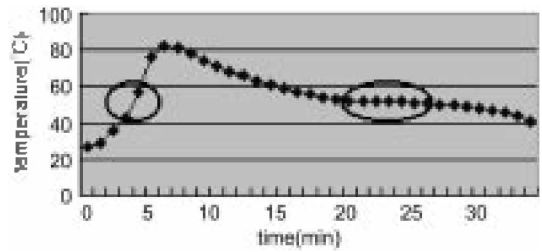


Fig. 7. Experimental data of heating and cooling paradichlorobenzene.

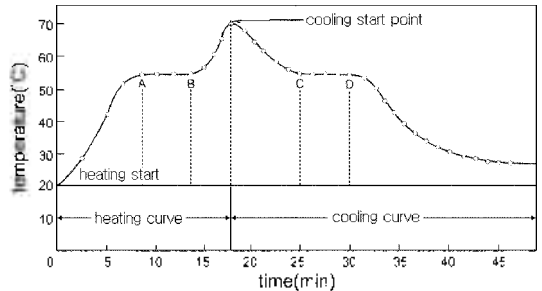


Fig. 8. A graph related to heating and cooling of paradichlorobenzene represented in a textbook.¹⁹

같다는 것을 이론적으로 알고 있어야 파라디클로로벤젠의 녹는점을 알 수 있게 된다. 즉 학생들은 실험을 통해서 어는점과 녹는점이 동일하다는 것을 알게 되는 것이 아니라, 역으로 이미 이러한 지식을 가지고 있어야 하는 것이다.

끓는점 실험의 경우 보편적으로 끓는점이 교과서에 제시된 것과는 달리, 녹는점 실험은 제2차 교육과정과 제3차 교육과정의 교과서, 그리고 제5차 교육과정의 1종류, 제6차 교육과정의 3종류 교과서에서 사용하는 시료의 녹는점을 제시하지 않았다. 그리고 실험을 통해 학생들이 스스로 녹는점을 찾아도록 하였다는 차이점이 있다.

실험값과 문헌값이 다른 경우 실험 장치에 대한 교사의 인식 조사. 교과서의 실험 장치를 분석한 결과 제시한 문제점들 때문에, 교과서에 제시된 실험을 통해서 얻는 녹는점과 어는점, 끓는점, 분별증류에 관련된 실험의 결과가 문헌값과 같게 나오기 어렵다. 녹는점과 어는점의 경우에는 사용하는 시약의 특성상 또는 실험 내용 자체의 문제 때문에, 끓는점의 경우에는 실험 장치의 문제 때문에, 분별증류의 경우에는 혼합물과 순물질의 성질이 다르다는 점을 간과한 교과서 실험 내용의

Table 3. Teachers' views on the difference of experimental data and data represented in a textbook(%)

Teachers' view	Melting and freezing point	Boiling point	Distillation
Error from the experimental apparatus	51 (56.7)	47 (52.2)	31 (34.4)
Error from inexperienced students	1 (1.1)	1 (1.1)	2 (2.2)
Problem of the experiment	31 (34.4)	35 (38.9)	43 (47.8)
Problem of the textbook content	1 (1.1)	4 (4.4)	14 (15.6)
Others	6 (6.7)	3 (3.3)	0 (0.0)

제시 때문에 실험값이 문헌값과 같지 않게 나올 가능성이 높다. 교육 현장에서 교사들은 실험값과 문헌값이 다른 경우, 그 원인을 실험 장치의 문제, 학생의 능력 부족, 실험 내용 자체의 문제, 교과서 실험 내용의 오류 중에서 무엇 때문이라고 생각하는지 조사하여 Table 3에 제시하였다.

녹는점과 어는점 실험과 끓는점 실험의 경우에 많은 교사들이 실험 기구 및 실험 장치에 의한 오차에 의해 실험값이 문헌값과 다르게 나온다고 생각하는 것으로 나타났다. 그 다음 원인으로 실험 내용 자체의 문제를 꼽았다. 상대적으로 분별 종류 실험의 경우에는 실험 장치의 문제라기 보다는 실험 내용 자체에 문제가 있다고 인식하는 교사가 47.8%로 더 높았다. 그러나 학생들의 능력 부족이나 교과서 실험 내용의 오류를 지적하는 비율은 낮지 않았다.

문헌값과 실제값이 다른 이유를 실험 기구 및 실험

장치의 문제점으로 인식한 경우에는 실험 장치나 내용을 개선함으로써 보다 문헌값에 가까운 실험값을 얻기 위하여 많은 노력을 기울인다. 끓는점 측정에 관련된 실험연구들은 주로 이러한 시각을 반영하였다. 예를 들어 송호봉 등은 실험을 통해 문헌값을 얻기 위하여 실험 장치를 개선하여야 한다고 주장하였다.

그러나 이러한 노력은 실험실 여건의 다양성을 고려한다면 큰 의미를 가지기 어렵다. 앞서 교과서 분석에서도 지적하였듯이 끓는점이나 어는점의 온도를 나타내는 숫자 자체는 주어진 실험 조건이나 장치, 온도계, 기압 등에 따라 달라질 수 있기 때문에 이러한 점을 고려하는 것이 중요하다.

또한 끓는점이나 녹는점과 같은 개념에서는 온도를 나타내는 숫자 자체보다는 일정한 수평 구간의 관찰과, 이러한 수평 구간의 온도가 물질마다 일정하기 때문에 물질의 고유한 성질에 해당하는 점을 강조하는 것이

Table 4. Teachers' views on the difference of experimental data and data represented in a textbook according to major and duty place(%)

Experiment	Teacher		Apparatus	Student	Experiment	Textbook	Others	Cause
Melting	Major	Total	51 (56.7)	1 (1.1)	31 (34.4)	1 (1.1)	6 (6.7)	
		Chemistry	17 (42.5)	0 (0.0)	20 (50.0)	0 (0.0)	3 (7.5)	
		Others	34 (68.0)	1 (2.0)	11 (22.0)	1 (2.0)	3 (6.0)	
	Duty place	Middle school	26 (60.5)	1 (2.3)	14 (32.6)	0 (0.0)	2 (4.7)	
		High school	25 (53.2)	0 (0.0)	17 (36.2)	1 (2.1)	4 (8.5)	
Boiling	Major	Total	47 (52.2)	1 (1.1)	35 (38.9)	4 (4.4)	3 (3.3)	
		Chemistry	21 (52.5)	0 (0.0)	16 (40.0)	2 (5.0)	1 (2.5)	
		Others	26 (52.0)	1 (2.0)	19 (38.0)	2 (4.0)	2 (4.0)	
	Duty place	Middle school	22 (51.2)	1 (2.3)	19 (44.2)	0 (0.0)	1 (2.3)	
		High school	25 (53.2)	0 (0.0)	16 (34.0)	4 (8.5)	2 (4.3)	
Distillation	Major	Total	31 (34.4)	2 (2.2)	43 (47.8)	14 (15.6)	0 (0.0)	
		Chemistry	13 (32.5)	0 (0.0)	21 (52.5)	6 (15.0)	0 (0.0)	
		Others	18 (36.0)	2 (4.0)	22 (44.0)	8 (16.0)	0 (0.0)	
	Duty place	Middle school	10 (23.3)	1 (2.3)	25 (58.1)	7 (16.3)	0 (0.0)	
		High school	21 (44.7)	1 (2.1)	18 (38.3)	7 (14.9)	0 (0.0)	

더 필요하다고 본다. 실험 조건에 따라 끓는점 자체의 온도는 다소 변하겠지만, 같은 조건에서 같은 물질은 같은 끓는점을 가질 것이므로 이를 물질의 고유한 성질로 확인하는 것에 더욱 큰 교육적 의미를 부여할 수 있을 것이다.

전공과 근무지별로 응답 경향에 차이가 있는지를 분석하여 Table 4에 제시하였다.

화학을 전공한 교사들은 녹는점과 분별종류의 실험 결과가 분헌값과 다른 원인을 실험 내용 자체의 문제로 인식한 비율이 가장 높은 반면, 화학 비전공자는 실험 기구의 오차로 인식한 비율이 높았다.

그리고 중학교에 근무하는 과학 교사들은 분별종류 실험에서 문헌값과 다른 결과의 원인을 실험 내용 자체의 문제로 인식한 비율이 가장 높았고, 고등학교 교사들은 실험 기구의 오차로 인식한 비율이 높았다.

그러나 보편적으로 전공이나 근무지별 경향성은 전체적인 경향성과 크게 다르지 않았다.

실험 장치 개선 방법에 대한 교사의 인식 비교. 교과서에서 제시한 온도계 위치가 가지 달린 시험관의 가지 부분이라고 알고 있는 교사들에게 온도계의 위치를 액체 표면 바로 위로 변화시켰을 때 실험 결과가 분헌값과 같게 나온다면 이에 대해 어떻게 생각하느냐를 조사하였다. 즉, 온도계의 위치 잘못 때문에 분헌값과 같은 실험값이 나와도 틀렸다고 생각하는지, 아니면 문헌값과 일치하는 것이 중요하므로 교과서의 실험 장치를 이와 같이 수정하는 것이 바람직하다고 생각하는지, 혹은 온도계의 위치 자체는 중요하지 않고 밀접한 수평 구간이 관찰되는 것이 더 중요하다고 생각하느냐 등에 대한 교사의 생각을 조사하였다.

또한 이와 대조적으로 비록 실험값이 문헌값과 차이를 보이지만, 물의 온도 변화를 측정한다는 이론에 충실하여 물 속에 온도계를 넣고 온도의 변화를 관찰하는

실험의 경우에 대한 교사들의 인식을 조사하였다. 그리고 이러한 실험이 외국의 근거 자료와 일치하는 경우 교사들의 인식이 어떻게 변화하는지 알아보았다. 분석 결과는 Table 5에 제시하였다.

온도계의 위치를 변화시키므로써 실험값이 분헌값과 같게 나오는 상황에서도 교사들의 52.2%는 그보다 온도계의 위치가 더 중요하다고 생각하는 것으로 나타났다. 문헌값인 100 °C가 나오는 것이 중요하다고 생각하여 온도계의 위치를 변화시키는 것에 찬성하는 교사는 31.1%이었다. 그러나 온도계의 위치보다는 온도의 수평 부분의 관찰이 더 중요하다고 생각하는 교사는 14.4%로 상대적으로 매우 적었다.

온도계를 물 속에 넣고 물의 온도 변화를 측정하는 실험의 경우에도 온도계의 위치를 강조하는 교사들과 온도의 수평 부분을 관찰하는 것이 더 중요하다고 생각하는 교사들의 비율은 거의 변화하지 않았다. 그러나 100 °C 라는 것이 중요하다고 생각하는 교사 중 절반 가량인 약 15% 정도의 교사들이 이론적으로 타당한 것이 더 중요하다고 생각하는 쪽으로 이동하였다.

이 두 경우만 비교해 보면 절대적으로 교사들은 온도계가 가지 달린 부분에 위치해야 한다는 생각을 매우 강하게 가지고 있음을 알 수 있다. 그런데 이러한 생각은 외국의 자료를 인용하여 물 속에 온도계를 장치하는 것의 타당성을 묻는 질문에서 크게 달랐다. 즉 온도계의 위치가 시험관의 가지 부분에 있어야 한다고 생각하던 비율이 매우 줄어들고 상대적으로 온도의 수평 부분을 관찰하는 것이 중요하다고 생각하는 비율이 증가하였다. 이 장치에 의해 관찰되는 끓는점이 분헌값과 다르다는 점을 분항에 제시하였기 때문에 이 분항을 통해 100 °C 라는 것이 중요하다고 생각하는 비율은 크게 증가하지 않았다. 이를 통해 교사들이 끓는점 실험에서 중요하다고 생각하는 내용에 대한 판단이 확고하지 못

Table 5. Teachers' views on different experimental apparatus(%)

Teachers' view	Accordance of experimental data and data represented in a textbook (above the liquid)	Theoretical validity (in the liquid)	Foreign data (in the liquid)
Thermometer must be near the branch of test tube.	47 (52.2)	38 (42.3)	25 (27.7)
100°C is important.	28 (31.1)	14 (15.6)	16 (17.8)
Horizontal line of the graph is important.	13 (14.4)	17 (18.9)	26 (28.9)
Validity of theory is important.	-	15 (16.7)	18 (20.0)
Others	2 (2.2)	6 (6.7)	5 (5.6)

Table 6. Teachers' views on the different experimental apparatus difference according to major and duty place^(%)

Teachers' view			Accordance of data	Theoretical validity	Foreign data
Thermometer must be near the branch of test tube.	Major	Total	47 (52.2)	38 (42.3)	25 (27.7)
		Chemistry	22 (55.0)	18 (45.0)	12 (30.0)
		Others	25 (50.0)	20 (40.0)	13 (26.0)
	Duty place	Middle school	23 (53.5)	19 (44.2)	12 (27.9)
		High school	24 (51.0)	19 (40.5)	13 (27.7)
100 °C is important.	Major	Total	28 (31.1)	14 (15.6)	16 (17.8)
		Chemistry	11 (27.5)	7 (17.5)	6 (15.0)
		Others	17 (34.0)	7 (14.0)	10 (20.0)
	Duty place	Middle school	10 (23.3)	5 (11.6)	6 (14.0)
		High school	18 (38.3)	9 (19.1)	10 (21.3)
Horizontal line of the graph in important.	Major	Total	13 (14.4)	17 (18.9)	26 (28.9)
		Chemistry	7 (17.5)	9 (22.5)	12 (30.0)
		Others	6 (12.0)	8 (16.0)	14 (28.0)
	Duty place	Middle school	8 (18.6)	7 (16.3)	12 (27.9)
		High school	5 (10.6)	10 (21.3)	14 (29.8)
Validity of theory is important.	Major	Total	-	15 (16.7)	18 (20.0)
		Chemistry	-	4 (10.0)	7 (17.5)
		Others	-	11 (22.0)	11 (22.0)
	Duty place	Middle school	-	9 (20.9)	11 (25.6)
		High school	-	6 (12.8)	7 (14.9)
Others	Major	Total	2 (2.2)	6 (6.7)	5 (5.6)
		Chemistry	0 (0.0)	2 (5.0)	3 (7.5)
		Others	2 (4.0)	4 (8.0)	2 (4.0)
	Duty place	Middle school	2 (4.7)	3 (7.0)	2 (4.7)
		High school	0 (0.0)	3 (6.4)	3 (6.4)

함을 알 수 있다.

이 연구에서 제시한 외국의 자료는 외국의 실험 내용을 대표하는 자료는 아니었지만, 외국 자료라는 정보로부터 교사들의 신뢰감이 형성되면 다르게 반응하는지 알아보려고 한 것이었다.

온도계가 시험관의 가지 부분에 위치하는 것이 중요하다고 생각하는 교사들은 전공별이나 근무지별로 큰 차이를 보이지 않았고 보편적으로 가장 많았다. 온도계의 위치를 수면 바로 위로 바꾸어 측정된 온도가 100 °C가 되는 것이 중요하다고 생각하는 교사들은 비화학 전공자가 상대적으로 많았다. 그리고 온도계의 위치가 이론적으로 타당한 물 속이어야 한다고 생각하는 교사나 외국 자료에 의존하는 비율은 비화학 전공자가 높았다.

온도계 보정에 대한 교사들의 인식. 액체의 정확한 끓는점 온도를 측정하기 위해서는 보정된 온도계를 사용하는 것이 필수적이다. 일정 온도의 실험실 안에 비치된 온도계가 저마다 다른 온도를 나타내는 현상을 현

히 관찰할 수 있기 때문이다. 그럼에도 불구하고 저울의 영점 조절에 대한 인식과 달리 온도계 보정에 대한 인식은 보편적이지 못하다.

온도계 보정에 대한 절차는 대학교 일반화학 실험서에 제시되어 있다. 실험 내용은 시험관에 유리관과 온도계를 끼운 고무마개로 막고, 시험관 바닥으로부터 2-3 cm 높이가 되도록 증류수를 넣고, 온도계의 수은구를 증류수의 수면보다 약간 높은 위치에 고정시킨 장치로 끓는점을 측정하여 온도계를 보정하는 것이다(Fig. 9). 이 때 측정되는 온도계의 온도를 100 °C로 환산하고, 얼음물 속에 담근 온도계가 측정한 온도를 0 °C로 환산하여 온도계를 보정하도록 되어 있다.

이러한 보정법에 따라 온도계를 보정하게 되면, 물의 끓는점은 액체 수면 바로 위에 위치시켜야 100 °C가 된다. 따라서 온도계를 시험관의 가지 부분에 위치시키면 실제적으로 100 °C 보다 낮은 온도가 측정될 것이다.

이러한 문제점을 교사들이 인식하고 있는지 알아보

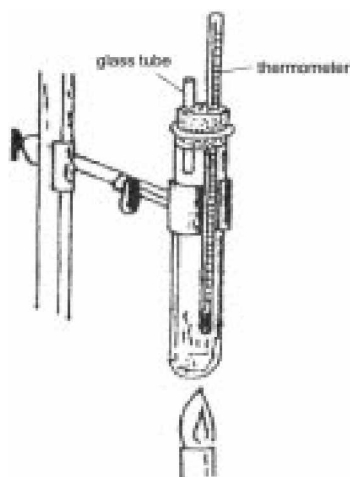


Fig. 9. Revision method of thermometer represented in General Chemistry Experimental textbook.

기 위하여 온도계 보정 방법을 소개하고 이에 대한 교사들의 인식을 조사하여 Table 7에 제시하였다.

대학 교육과정의 일반화학 실험서에 제시된 실험 방법에 의해 끓는점을 측정하는 데에 사용하는 온도계를 보정하는 것에 대하여, 중등 과학교사의 18.9%는 온도계의 위치가 가지 달린 시험관의 가지 부분에 장치하지 않았기 때문에 적절하지 않다고 인식하고 있었다. 그리고 35.6%의 교사는 이 방법을 통하여 중학교 교육과정에서 온도계를 보정하는 것이 적절하다고 인식하고 있었고, 22.2%의 교사들은 끓는점 실험을 할 때 온도계의 보정이 필요하지 않다고 인식하였다. 그리고 이와 같은 문제에 대하여 확고한 생각을 가지고 있지 않은 교사도 23.3%나 있었다.

전공별로는 화학 전공교사들이 온도계 보정의 필요성을 인식한 교사가 40.0%로 비전공자보다 높았다. 그러나 근무지별 인식 경향의 차이는 나타나지 않았다.

결론 및 제언

과학 교과서에서 제시하고 있는 끓는점과 녹는점에 관련된 실험 장치를 교육과정의 편찬과 교과서의 종류에 따라 분석한 결과, 매우 다양하게 변화되어 왔음을 알 수 있다. 따라서 이러한 실험 장치들을 이용한 경우 다양한 실험값을 얻게 되어 문헌값과 다를 가능성이 높다. 그러나 이 연구에서 분석한 결과에 따르면 교과서에 제시된 실험 장치로 자료를 얻기에는 부적절한 형태의 자료 제시가 많았다.

또한 이 연구에서는 중등 과학교사들을 대상으로 불의 끓는점 측정 장치에서 온도계의 위치를 시험관의 가지 부분, 액체의 상단, 물 속에 각각 장치하여 나타나는 실험 결과에 대한 교사의 인식을 조사하여 분석하였다. 그리고 제6차 교육과정 중 중학교 과학 교과서에 제시된 파라디클로로벤젠의 녹는점과 어는점, 불과 메탄올의 분별증류 실험에 대한 교사들의 인식과 대학 일반화학 실험서에 제시되어 있는 실험 장치보 물의 끓는점을 측정하여 온도계를 보정하는 방법을 중학생들에게 가르치는 것에 대한 교사들의 인식을 조사하여 분석하였다.

연구 결과, 실험 장치에 대한 교사들의 견해는 제시된 상황에 따라 매우 다양하게 나타났다. 이는 교사들도 실험값과 문헌값의 차이에 대해 혼동과 감응을 겪고 있음을 알 수 있었다. 이러한 혼동의 경향성은 전공, 근무 학교 등에 따라 다르게 나타났다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서는 교사 연수 등을 통해 교사들이 실험 장치나 조건 등에 따라 달라지는 실험값을 이해하고, 교육 현장에서 이를 고려하는 태도의 변화가 일어나야 한다고 본다. 또한 온도계의 경우에는 이를 사용하기에 앞서 저울과 마찬가지로 온도계를 보정하는 방법에 대한 고려가 교과서에 반드시 제시될 필요가 있으리라 생각한다.

Table 7. Teachers' views on the revision method of thermometer(%)

Teacher		Revision				
		Improper	Proper	Unnecessary	No idea	Others
Major	Total	17 (18.9)	32 (35.6)	20 (22.2)	19 (21.1)	2 (2.2)
	Chemistry	6 (15.0)	16 (40.0)	6 (15.0)	10 (25.0)	2 (5.0)
	Others	11 (22.0)	16 (32.0)	14 (28.0)	9 (18.0)	0 (0.0)
Duty place	Middle school	8 (18.6)	15 (34.9)	9 (20.9)	10 (23.3)	1 (2.3)
	High school	9 (19.1)	17 (36.2)	11 (23.4)	9 (19.1)	1 (2.1)

인용 문헌

1. 이부상: 여수동: 여환진: 배준용: 이광필: 이우봉: 권영숙: 남상일 *화학교육* **1997**, *24*, 326.
2. 송호봉: 차기성 *화학교육* **1996**, *23*, 178.
3. 노석구: 이원식 *화학교육* **1992**, *19*, 105.
4. Lawson, A. E.; Birk, J. P. *Chemistry: A Critical Thinking Approach*; National Science Foundation under Grant No. TPE-9054933; United States of America, 1994; p 155.
5. 김빙기: 정진우: 조선희: 김도옥: 김화숙: 김효남 *기초자연과학* 학문사: 서울, 1996; p 120.
6. 한정태: 이근복: 김노수: 조찬휘 *일반화학실험*: 진영사: 서울, 1996; p. 15.
7. 권영태: 이길상: 강영선: 심문택: 안세희 *과학 1학년*: 삼화출판사: 서울, 1966; p. 99.
8. Masterton, W. L.; Hurley, C. N. (역자: 일반 화학 교재 연구회) *일반화학* 제3판: 자유 아카데미: 서울, 1998; p. 296.
9. Ebbing, D. D.; Wrigton, M. S. (역자: 강영기 외 26인) *일반화학* 교보문고: 서울, 1996; p. 445.
10. Zumdahl, S. S. (역자: 김태린 외 15인) *일반화학* 일신사: 서울, 1995; p. 428.
11. Masterton, W. L.; Hurley, C. N. (역자: 일반 화학 교재 연구회) *일반화학* 제2판: 자유 아카데미: 서울, 1995; p. 273.
12. Oxtoby, D. W.; Nachtrieb, N. H. (역자: 박영동 외 23인) *현대일반화학*: 자유아카데미: 서울, 1995; p 139.
13. 백성혜 *화학교육* **2000**, *27*, 71.
14. Brady, J. E.; Holum, J. R. (역자: 일반화학교재연구회) *일반화학*: 자유아카데미: 서울, 1995; p. 363.
15. 김시중: 정완호: 한복수: 우종욱: 이종면: 임경배: 정근화: 민경덕: 구창현: 이광석: 최돈 형: 김병규: 이상진: 박범익 *중학교 과학*: 금성출판사: 서울, 2000; p. 218.
16. 최분영. 한국교원대학교 석사학위 논문, 1999.
17. 진학세: 성백능: 김기수: 조병하 *최신 이화학 대사전*: 법경출판사: 서울, 1993; 751.
18. Riddick, J. A.; Bunger, W. B. *Techniques of Chemistry Volume II*; Wiley-Interscience: New York, 1970; p 145.
19. 송인명: 이춘우: 오제직: 최식남: 박영철: 문형태: 우영균: 박종흠 *중학교 과학*: 교학사: 서울, 2000; p 169.