

보일, 샤를법칙의 간편한 정량실험이 가능한 변형주사기 실험기구 개발

서울사대부고 교사 김미숙

I. 연구의 필요성 및 목적

1. 연구의 필요성

2009 개정 교육과정에서 샤를법칙은 중학교 1학년 과학의 ‘분자운동과 상태변화’ 단원과 고등학교 화학Ⅱ의 ‘다양한 모습의 물질’ 단원에서 기체의 성질과 분자 운동을 배우는 과정의 하나로 이론수업과 실험수업으로 다루어지고 있으며 전문교과 화학실험 교과서에서는 실험수업으로 다루어진다. 이 내용은 2009 개정 교육과정 이전의 교육과정에서도 중등과학에서 필수적으로 다루어졌다.

하지만 샤를법칙, 즉 ‘기체의 부피는 온도에 비례한다’는 기체의 정량적 성질을 교과서 내용으로 설명은 하고 있으나 대부분의 중학교 과학 교과서의 탐구과정에서는 온도가 높아지면 기체의 부피가 증가한다는 정도의 정성적인 관찰을 하는 것에 그치고, 이에 따른 보완책으로 주어진 자료의 해석을 통해 온도와 기체부피의 관계가 비례관계라는 것을 이해하도록 하고 있었다. 고등학교 화학Ⅱ 교과서 4종 중 2종의 교과서에서는 탐구과정이 아예 생략되었는데, 고등학교 과정에서는 정성실험은 실험의 의미가 없는데다 정량실험을 할 수 있는 적절한 실험기구의 부재 때문으로 사료된다. 다른 2종의 화학Ⅱ 교과서에서는 정량실험이 소개되기도 하였으나 제시된 실험 기구를 제작하기가 어려울 뿐만 아니라 수업시간 1시간으로 실험시간이 부족하였다.

이러한 이유로 샤를법칙 정량실험을 수행할 수 있도록 다양한 연구가 진행되었으나 복잡한 기계장치를 사용함으로써 간결성 측면과 비용적 측면의 문제, MBL과 같은 컴퓨터 인터페이스를 사용함으로써 관찰력 저하 측면과 비용적 측면의 문제, 유리 세공이 필요하여 3시간 이상 소요되는 시간적 측면의 문제, 학생들에게 위험한 수은 사용 문제, 또는 수증기압 보정 문제 등으로 학교 현장의 실험에 적용하기가 여전히 어렵다.

교과서에 제시된 보일법칙 정량실험 기구는 1기압 이상에서만 실험이 가능하거나, 또는 ‘압력에 따른 기체부피의 변화’라는 실험제목과 달리 ‘기체부피에 따른 압력의 변화’를 관찰하는 실험으로 구성할 수밖에 없어 변인과 결과가 뒤바뀌는 문제가 있다.

따라서 학교 여건에 맞는 제한적 실험 수업 시간 내에 학생들이 복잡한 실험도구나 컴퓨터 인터페이스에 의존하지 않고 체험적으로 보일법칙, 샤를법칙 정량실험을 할 수

있는 간편한 실험도구의 개발이 필요하다.

2. 연구의 목적

본 연구는 중.고등학교 학생들이 배우는 보일법칙과 샤를법칙 정량실험을 1시간의 실험수업 시간 안에 효과적으로 수행하면서도, 간결하여 원리를 쉽게 이해할 수 있는 체험적 실험기구를 개발하는 데 있다.

특히 요즘 과학기술계에 혁신을 가져온 3D 프린팅 기술을 과학 실험기구 제작에 도입하고, 학교실험실에 상비되어 있는 일반 실험기구를 실험목적에 맞게 조금 변형시키면 또 다른 실험목적을 위한 훌륭한 실험도구가 될 수 있다는 것을 교육적으로 보여주 고자 한다.

Ⅱ. 연구를 위한 선행 조사

1. 보일법칙, 샤를법칙 이론¹⁾

가. 보일법칙

일정한 온도에서 기체의 압력 P 가 $2P$, $4P$, ……로 증가하면 기체의 부피 V 는 $\frac{1}{2} V$, $\frac{1}{4} V$, ……로 감소한다. 이때 각각의 경우 기체의 압력과 부피의 곱은 항상 일정하므로 기체의 압력과 부피는 반비례 관계에 있다. 이와 같이 일정한 온도에서 일정량의 기체의 부피(V)는 압력(P)에 반비례한다. 이것을 **보일법칙**이라고 하며, 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$PV = k \text{ (} k: \text{상수)}$$

기체의 양과 온도가 일정할 경우, 압력이 P_1 일 때 기체의 부피를 V_1 , 압력이 P_2 일 때 기체의 부피를 V_2 라고 하면 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

1) 노태희외 7인(2011) 고등학교 화학Ⅱ, (주)천재교육, P22

나. 샤를법칙

프랑스의 과학자 샤를(Charles, J.: 1746~1823)은 기체의 종류에 관계없이 기체의 부피는 온도에 따라 일정하게 변한다는 것을 알아내어 ‘압력이 일정할 때 일정량의 기체의 부피는 기체의 종류에 관계없이 온도가 1°C 높아질 때마다 0°C 때 부피의 $\frac{1}{273}$ 만큼씩 증가한다’고 정리하였다. 이를 샤를 법칙이라고 하고, 다음과 같은 관계식으로 나타낼 수 있다.

$$V_t = \frac{V_0}{273}t + V \quad (V_t : t^{\circ}\text{C} \text{ 때 기체의 부피, } V_0 : 0^{\circ}\text{C} \text{ 때 기체의 부피})$$

샤를 법칙에 의해 기체의 부피가 0이 될 수 있는 온도인 -273°C 를 절대 영도(0K)라고 하고, 절대 영도를 0으로 하여 섭씨온도와 같은 간격으로 나타내는 온도를 절대 온도(T)라고 한다. 그러나 기체 상태의 물질은 0K에 도달하기 이전에 모두 액체 또는 고체로 변하기 때문에 샤를의 법칙이 적용되지 않으므로 이러한 상태가 실현되지 않는다. 그림 2에서 점선으로 표시된 부분은 물질이 액체나 고체로 되어 샤를 법칙이 적용되지 않는 구간을 나타낸 것이다.

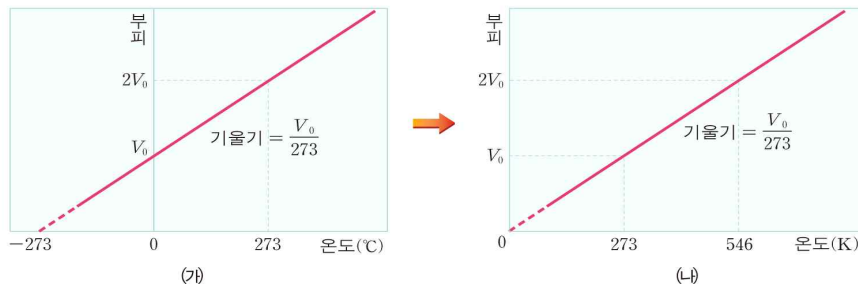


그림 2. 기체의 부피와 섭씨온도 및 절대 온도의 관계

그림 2의 그래프 (가)를 절대 영도가 원점이 되도록 다시 그리면, 그래프 (나)와 같이 절대 온도와 기체의 부피가 정비례함을 알 수 있다. 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$V = \frac{V_0}{273}T = kT$$

일정한 압력에서 일정량의 기체의 온도가 T_1 일 때 그 부피를 V_1 이라 하고, 온도가 T_2 일 때 그 부피를 V_2 라고 하면 다음과 같은 관계식이 성립한다.

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = k$$

2. 2009 개정 교육과정 교과서에 실린 보일법칙, 샤를법칙 실험분석

2009 개정 교육과정 중학교 1학년 과학 교과서, 고등학교 화학Ⅱ 교과서의 보일법칙,

샤를법칙 탐구내용 및 설명에 관해 분석하였다. 보일법칙은 교과서 탐구 내용이 거의 비슷하나 샤를법칙은 각 중·고등학교 과학 교과서의 관련 내용이 서로 다른 방식으로 반영되거나 기술되어 있다. 교과서 분석은 교육 내용으로서 보일법칙, 샤를법칙이 얼마나 중요하게 다루어지고 있는지, 특히 샤를법칙 관련하여서 학교 급별에 따라 탐구활동과 내용전개가 어느 정도 깊이 있게 전개되고 있는 지 파악할 수 있게 할 것이며 탐구활동의 실험이 효과적으로 학습될 수 있는 성격의 활동인 지 알 수 있게 할 것이다. 또한 샤를법칙 실험을 중심으로 실험들에서 활용한 기구들을 살펴보고 장점과 단점 등을 분석하였다. 분석된 교과서는 다음과 같다.

가. 2009 개정 교육과정 중학교 1학년 과학 교과서

- (주) 교학사(박희송 외 12인, 2010, 이하 “중1-1”)
- (주) 금성출판사(이문원 외 12인, 2010, 이하 “중1-2”)
- 동아출판 (주)(이진승 외 13인, 2010, 이하 “중1-3”)
- (주) 미래엔(이규석 외 19인, 2010, 이하 “중1-4”)
- (주) 비상교육(임태훈 외 10인, 2010, 이하 “중1-5”)
- (주) 좋은책신사고(현종오 외 16인, 2010, 이하 “중1-6”)
- (주) 지학사(이상인 외 14인, 2010, 이하 “중1-7”)
- (주) 천재교육(신영준 외 11인, 2010, 이하 “중1-8”)
- (주) 천재교육(이면우 외 12인, 2010, 이하 “중1-9”)

나. 2009 개정 교육과정 고등학교 화학Ⅱ 교과서

- (주) 교학사(박종석외 4인, 2011, 이하 “화Ⅱ-1”)
- (주) 비상교육(류해일외 7인, 2011, 이하 “화Ⅱ-2”)
- (주) 상상아카데미(김희준외 8인, 2011, 이하 “화Ⅱ-3”)
- (주) 천재교육(노태희외 7인, 2011, 이하 “화Ⅱ-4”)

7차 교육과정이나 2007 개정 교육과정에서는 샤를법칙에 대해 정량적인 측정을 위한 실험은 거의 없고 온도변화에 의한 부피변화의 현상을 통해 원리를 이해하고 공식을 적용하는 형식의 학습방법이 제시되어 있었다.²⁾ 이는 학교 현장에서 샤를 법칙의 정량실험을 할 수 있는 적절한 실험 기구의 부재에 따른 결과이다.

이에 따라 학교 현장을 중심으로 샤를법칙 실험기구 개발 연구가 다양하게 이루어졌다. 하지만 2009 개정 교육과정의 탐구과정에서도 이러한 실험기구들을 사용하는 정량실험이 총 13종의 중·고등학교 교과서 중 딱 2개 교과서에만 도입되었다. 이는 실험기구 제작의 어려움과 사용법의 불편함으로 인해 보급이 어렵기 때

2) 김현태 (2007) “정량적인 측정을 위한 보일과 샤를의 법칙 실험기구” 53회 전국과학전람회 (출품작), P30

문이다.

교과서에 도입된 보일법칙 정량실험 기구는 크게 2가지이다. 압력계-주사기 연결 실험기구가 주를 이루었는데(9종의 중학교 과학 교과서 중 8종의 교과서에 실험) 이는 샤를법칙 정량실험 기구가 교과서마다 다르게 실린 것과 달리 이 실험 기구가 간편하면서도 정량실험을 잘 수행할 수 있는 기구라는 것을 보여준다. 하지만 압력계-주사기 연결 실험기구를 이용한 실험은 “압력에 따른 기체부피의 변화”라는 제목과 반대로 “기체부피에 따른 압력의 변화”를 관찰하는 실험으로 구성되어 있어 변인과 결과가 뒤 바뀌는 구조이다. 다른 하나는 고전적인 보일법칙 실험장치로 이 기구로는 1기압 이상에서만 실험이 가능하고 기체개폐밸브가 쉬 망가져 장치를 지속적으로 사용하기 어렵다.

표 1-1. 중학교 1학년 과학 교과서에 소개된 보일법칙, 샤를 법칙과 관련된 내용 및 탐구 분석

교과서	대단원명	소단원명	페이지	내용분석	조별실험장치		특이점		샤를 법칙 포함 개념
					보일법칙	샤를법칙	보일법칙	샤를법칙	
중 1-1	VI. 물질의 상태와 분자 운동	2. 분자 운동	P246 - P263	설명 + 탐구/ 자료 해석			보일법칙 실험 장치	- 정성 실험(시범실험) - 찌그러진 탁구공/물 중탕/비커 - 자료 해석으로 비례 관계 유추	단계 2
중 1-2	VI. 분자 운동과 상태 변화	6-1. 분자 운동	P212 - P231	설명 + 탐구/ 자료 해석			압력계와 주사기	- 정성 실험 - 주사기/물중탕/비커 - 자료 해석으로 비례 관계 유추	단계 3, 4
중 1-3	VI. 분자 운동과 상태 변화	1. 분자 운동	P250 - P271	설명 + 탐구/ 실험			압력계와 주사기	- 정량 실험으로 비례 관계 유추 - 4mL바이알/1mL피펫/글리세롤마개/물 중탕/비커 - 실리콘 튜브의 밀폐 어려움 - 글리세롤의 증기압 문제 - 부피변화 부분(피펫)은 물중탕 안됨	단계 2

※ 포함 개념의 단계 설명

- 단계 1: 기체부피가 온도가 상승함에 따라 증가한다.
- 단계 2: 기체부피가 온도변화에 비례한다.
- 단계 3: 기체부피가 온도 1℃ 상승할 때 마다 0℃때 부피(V_0)의 1/273씩 증가한다.
- 단계 4: 절대 영도(-273℃) 개념

표 1-2. 중학교 1학년 과학 교과서에 소개된 보일법칙, 샤를 법칙과 관련된 내용 및 탐구 분석

교과서	대단원명	소단원명	페이지	내용 분석	조별실험장치		특이점		샤를 법칙 포함 개념
					보일 법칙	샤를 법칙	보일 법칙	샤를 법칙	
중 1-4	VI. 분자 운동과 상태 변화	1. 분자 운동	P.224-P.245	설명 + 탐구/자료 해석			압력계와 주사기	- 정성 실험 (시범실험) - 풍선/삼각플라스틱/알콜램프/얼음 - 자료 해석으로 비례관계 유추	단계 2
중 1-5	VI. 분자 운동과 상태 변화	1. 분자 운동	P231-P255	설명 + 탐구/실험			압력계와 주사기	- 정량 실험으로 비례관계 유추 - 시약병/유리관/잉크물마개/물중탕 - 고무찰흙의 완전 밀폐 어려움 - 잉크물의 증기압 문제 - 20, 40, 60℃ 부피측정	단계 3
중 1-6	VI. 분자 운동과 상태 변화	3. 기체의 온도와 부피의 관계	P224-P241	설명 + 탐구/자료 해석			압력계와 주사기	- 정량 실험으로 비례관계 유추 - 4mL 바이알/1mL 피펫/글리세롤마개/물중탕/비커 - 실리콘 튜브의 밀폐 어려움 - 글리세롤의 증기압 문제 - 부피변화 부분(피펫)은 물중탕 안됨	단계 2

표 1-3. 중학교 1학년 과학 교과서에 소개된 보일법칙, 샤를 법칙과 관련된 내용 및 탐구 분석

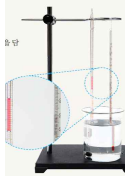
교과서	대단원명	소단원명	페이지	내용 분석	조별실험장치		특이점		샤를 법칙 포함 개념
					보일법칙	샤를법칙	보일 법칙	샤를법칙	
중 1-7	VI. 분자 운동과 상태 변화	1. 분자 운동	P240-P269	설명 + 탐구/자료 해석			압력계와 주사기	- 정성 실험 - 플라스틱 주사기/물 중탕/수조/상온물 더운물 - 자료 해석으로 비례 관계 유추	단계 3, 4
중 1-8	VI. 분자 운동과 상태 변화	1. 분자 운동	P234-P259	설명 + 탐구/자료 해석			압력계와 주사기	- 정성 실험 - 유리 주사기/물 중탕/비커/가열하면서 부피 변화 관찰 - 자료 해석으로 비례 관계 유추 - 온도 10~80까지 10℃ 간격으로	단계 2
중 1-9	VI. 분자 운동과 상태 변화	1. 분자 운동	P262-P281	설명 + 탐구/자료 해석			압력계와 주사기	- 정성 실험 - 1mL 피펫/색소물마개/물 중탕/비커 - 자료 해석으로 비례 관계 유추 - 1/273 개념 없음	단계 2

표 2. 고등학교 화학II 교과서에 소개된 보일법칙, 샤를 법칙과 관련된 내용 및 탐구 분석

교과서	대단원명	소단원명	페이지	내용 분석	조별실험장치		특이점		샤를 법칙 포함 개념
					보일법칙	샤를법칙	보일법칙	샤를법칙	
화 II-1	I. 다양한 모습의 물질	1. 물질의 상태 1-2. 기체	P.21-P.35	설명	보일실험 없음	샤를실험 없음	탐구 수업 없음	- 탐구수업 없음	단계 2, 4
화 II-2	I. 다양한 모습의 물질	1. 물질의 상태 02. 기체	P.18-P.34	설명 + 탐구/실험			보일 법칙 실험 장치	- 정량 실험 - 1mL 피펫/ 색소물 마개/물중탕/눈금 실린더 - 더운물 찬물 상온물 부피 측정 - 고무찰흙의 완전 밀폐 어려움 - 색소물의 증기압 문제	단계 3, 4
화 II-3	I. 다양한 모습의 물질	2. 기체는 어떤 성질을 나타낼까?	P.22-P.37	설명 + 탐구/실험			보일 법칙 실험 장치	- 정량 실험 - 삼각플라스크/플라스틱 주사기/물중탕 - 가열하면서 부피변화 측정 - 부피변화 부분(주사기)은 물중탕되지 않음	단계 3, 4

3. 선행 연구 조사

가. 본 연구와 관련된 전국과학전람회 출품작의 특징

1) 이광재 등(2010)은 주사기와 자동차용 디지털 에어게이지, 등산용 손목시계, 진공보존 용기를 합체하여 보일법칙 정량적 실험이 가능한 실험기구 제작하였으나 압력게이지와 주사기 연결부위의 완전 밀폐 측면에서 문제가 있다. 삼각플라스크, 피펫, 실리콘 오일을 이용하여 샤를 법칙 정량적 실험기구를 제작 연구하였으나 밀도가 큰 실리콘 오일의 압력을 무시한 데에 따른 오차와 기체가 담긴 플라스크의 일부만 물중탕 되어 기체의 온도는 측정된 온도(물의 온도)보다 전체적으로 낮아 역시 오차의 원인이 된다. 또한 기체 부피 변화의 직접적 관찰이라기보다 기체의 압력에 의한 실리콘오일의 기둥이 높아지는 것을 관찰하는 것으로 보일 수 있다.

2) 김현태(2007)는 전열기와 온도센서, 디지털온도계, 자동온도조절장치, 전원장치, 모세관, 압력게이지, 파이렉스 유리관 등을 이용하여 샤를법칙의 정량적 실험 기구를 제작하였으나, 복잡한 기계장치를 사용하면서 온도에 따른 부피변화에 대한 학생들의 체험적 인지가 오히려 어렵고, 비용 측면에서 문제가 있었다.

3) 이은협 등(1990)은 기체의 부피와 온도, 압력사이의 관계, 기체의 압축과 팽창시의 온도변화, 기체의 압력, 부피변화에 따른 온도변화를 측정하여 부피변화와 기체의 분자운동 상태를 연구하였으나 실험기구가 복잡할 뿐만 아니라 기체의 압력으로 인한 고무관의 팽창을 무시한 데에 따른 오차, 기체의 부피 팽창량 측정시 U 자관 양쪽의 물기둥의 높이차에 의해 생기는 수압에 의한 기체의 부피 변화를 무시해야 하는 문제점이 있었다.

나. 본 연구와 관련된 논문 조사

1) 민정숙 등(2009)의 샤를법칙의 실험 장치는 기체의 부피와 온도의 선형적 관계를 확인하는 정량적인 문제를 성공적으로 해결하였다. 그러나 실험 기구를 만드는 데 유리 세공의 과정이 필요하고, 실리콘 튜브로 바이알과 유기관의 연결부위를 완전 밀폐하기 어려운 문제가 있었다. 기체의 온도를 조절하면서 실험을 위해 필요한 시간이 1시간을 넘어가는 등 실제 학교 현장에서 적용하기엔 어려운 점이 있었다.

2) 안지훈 등(2012)은 물마개를 이용한 빨대기구를 개발하여 낮은 온도구간에서 샤를법칙 정량실험을 어느 정도 보여주었으나 물의 증기압이 부피에 영향을 많이 주어 보정이 필요했고 빨대를 밀봉함으로써 발생하는 부피의 오차를 보정해주어야 하며 부피변화를 측정하는 부분은 물중탕 비커 밖으로 나와 있어 기체의 온도가 일정하지 않는 등의 문제가 있었다. 이러한 문제들로 인하여 낮은 온도에서만 수행할 수 있도록 실험을 설계하여 수증기압을 배우지 않는 중학교 과정에서나 적용할 수 있는 기구로 논문에서도 제시하고 있었다.

Ⅲ. 연구의 설계

1. 연구 대상(영역) : 중학교 1학년 과학, 고등학교 화학Ⅱ

2. 연구 단위

교육과정	영역	연구 단위
2009 개정 교육 과정	중학교 1학년 과학 고등학교 화학Ⅱ	Ⅵ. 분자의 운동과 상태변화(과학Ⅰ) 1. 분자 운동 Ⅰ. 다양한 모습의 물질(화학Ⅱ) 1. 물질의 상태 01. 기체

3. 연구 주제 : 보일법칙, 샤를법칙의 간편한 정량실험이 가능한
변형주사기 실험기구 개발

4. 연구 기간 : 2015년 3월 ~ 2015년 8월

5. 연구 절차

단 계	내 용	일 정
기초 자료 수집	- 교과서 실험기구의 문제점 분석 및 대안 구상 - 선행 연구 검토	3월
연구 계획 수립	- 실험기구 개발 방향과 적용 방법 구상 - 연구 계획서 작성 및 제출	4월
실험기구 개발	- 기존 실험기구에서 파악된 문제점을 토대로 개선된 정량실험 기구 개발 - 개선된 정량실험 기구 비교 분석 및 검토 - 관련 교과 교사 및 교수 자문	5월, 6월
실험기구 적용	- 고등학교 3학년 대상으로 개발한 정량실험 기구를 적용한 실험 수행 - 적용 결과 분석 및 개선점 도출 - 관련 교과 교사 조언 반영	7월
연구 결과물 정리	- 연구 보고서 작성 - CD 제작 - 연구 결과물 제출	8월 9월4일

Ⅳ. 연구의 실제

1. 연구의 개요

실험값의 정밀도 면에서는 변인에 의한 약간의 오차 발생 한계는 있으나, 간단한 실험기구를 이용하여 체험적으로 간편하게 보일법칙, 샤를법칙 정량실험을 할 수 있도록 기존의 주사기를 변형한 실험기구의 연구개발을 실시하였다.

2. 연구과제 I : 감압기에 넣어, 간편한 정량실험이 가능한 보일법칙 변형주사기 개발

가. 기존 보일법칙 정량 실험장치의 문제점 분석

1) 예시 1(중학교 1학년 과학 교과서³⁾)

탐구 2 작은 실험실 기체의 압력과 부피의 관계

- 보일 법칙 실험 장치의 펌프를 열고 기체 측정관의 눈금을 6 mL로 맞춘 후 펌프를 잠근다.
- 보일 법칙 실험 장치 위에 추 1개를 올려 놓고 부피 측정관의 부피를 측정한다.
- 추 1개씩을 계속해서 올려놓으면서 부피 측정관의 부피를 측정한다.

<준비물>
보일 법칙 실험 장치, 추

<유의점>

- 대기압은 1기압이고, 기체의 온도는 일정하다고 가정한다.
- 보일 법칙 실험 장치에서 추 1개의 압력은 1기압을 나타낸다.

2) 실험 결과

추의 개수(개)	0	1	2	3
압력(기압)	1	2	3	4
부피(mL)	6.0	3.5	2.5	2
압력×부피	6	7	7	8

표 3. 중학교 1학년 과학 교과서에 실린 보일법칙 실험을 통해 얻은 실험값

3) 결과 분석 및 문제점 분석

가) 그래프

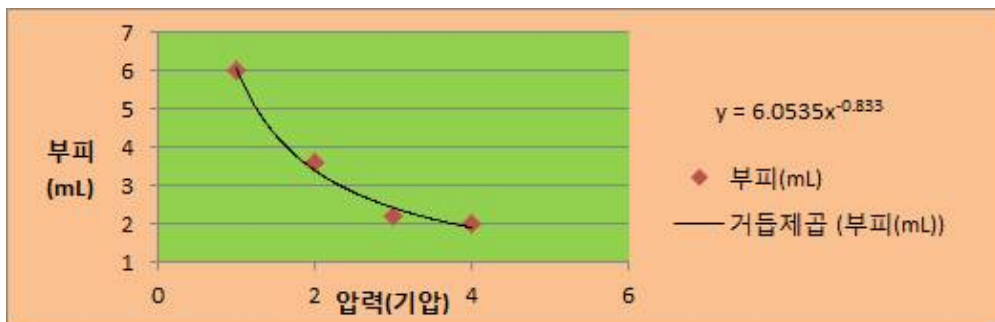


그림 3. 중학교 1학년 과학 교과서의 보일법칙 실험을 통해 얻은 압력-부피 그래프

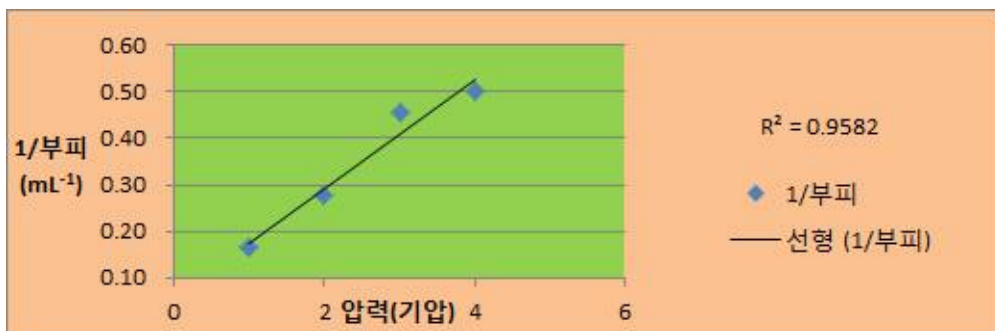


그림 4. 중학교 1학년 과학 교과서의 보일법칙 실험을 통해 얻은 압력-1/부피 그래프

나) 문제점 분석

- ① 그림 3에서 압력-부피가 관계가 반비례를 보이거나 추세선의 함수식이 $y=6.2857x^{-0.807}$ 로 반비례관계에서 많이 벗어난다.
- ② 대기압을 1기압으로 가정하였고, 보일법칙 실험장치의 가스개폐 밸브가 쉬 망가져 가격 대비 효용가치가 길지 못하다.
- ③ 1기압 이하의 압력에서는 기체의 부피 변화를 측정할 수 없다.
- ④ 기압계-주사기 연결 장치(MBL 포함)가 중학교 1학년 과학 교과서 9종 중 8종에서 보일법칙 정량실험 장치로 쓰여 부피-압력 관계의 정량실험을 성공적으로 수행할 수 있다. 하지만 실험제목은 “압력에 따른 기체부피의 변화”인데 실험과정은 “기체부피에 따른 압력의 변화”를 관찰하는 실험으로 변인과 결과가 뒤 바뀌는 구조이다.

나. 보일법칙 변형주사기 정량실험 장치 개발

1) 목적 : 학교 실험실에서 상비되어 있는 감압기와 10mL(또는 20mL) 플라스틱 주사기를 이용하여 1기압 이내의 압력에서 보일법칙 정량실험을 하는데 목적이 있다. 이를 위해 주사기의 피스톤을 약 75% 잘라내어 감압기 속에서 주사기 내의 부피가 최대까지 증가(3배 이상의 부피 증가 가능)해도 피스톤이 방해하지 않도록 한다.

2) 제작 과정

- ① 10mL(또는 20mL) 루어락 플라스틱 주사기를 준비한다.
- ② 고무패킹이 눈금실린더의 10mL(또는 20mL) 눈금에 오도록 피스톤을 조정하고 엄지받침대 높이와 나란한 위치에 팬으로 표시한다.
- ③ 피스톤을 실린더에서 빼내 ②에서 표시한 위치를 절단한다.
- ④ 피스톤을 실린더에 넣는다.
- ⑤ 피스톤의 위치는 학용품 가위를 이용하여 조절한다.
- ⑥ 감압기에 넣어 1기압 이하의 낮은 압력에서 압력-부피의 관계 정량실험을 한다.

3) 제작 과정 사진

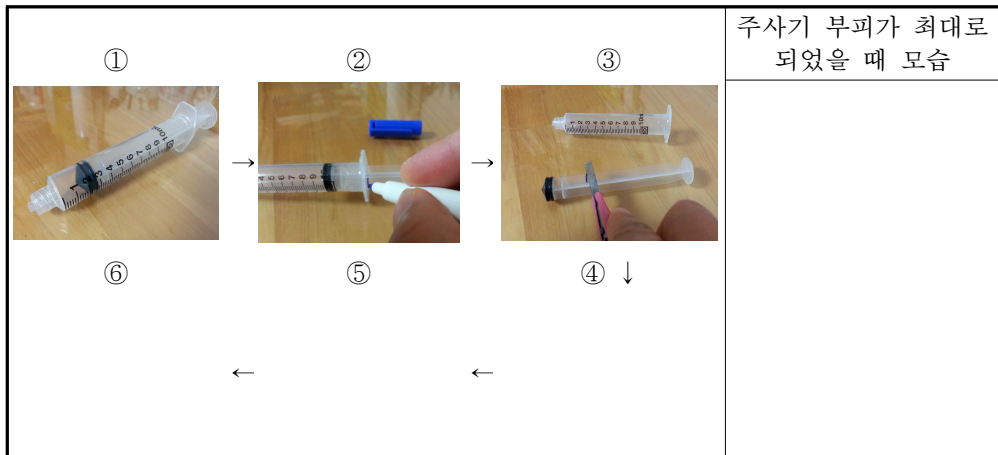


그림 5. 보일법칙 변형주사기 정량실험 장치 제작 과정

다. 변형주사기를 이용한 보일법칙 정량실험

1) 실험 과정

- ① 실험실의 기압 값을 측정한다.
- ② 10mL 변형주사기의 피스톤을 학용품 가위로 조절하여 눈금을 4.0mL에 맞춘다.
- ③ 변형주사기의 아래 팁을 마개로 막는다.
- ④ ③의 마개에 고무찰흙을 붙여 감압기 속에 넣어 세운다.
- ⑤ 감압기 뚜껑을 닫고 압력계를 보면서 진공펌프로 압력을 낮춘다.
- ⑥ 압력계의 바늘이 0, -100, -200, -300, -400mmHg



그림 6. 보일법칙 변형주사기 정량실험 장치

2) 실험 결과

압력(P) (mmHg)		750 (대기압)	650 (대기압-100)	550 (대기압-200)	450 (대기압-300)	350 (대기압-400)
부피 (V) (mL)	1차 실험	4.0	4.7	5.6	6.8	8.7
	2차 실험	4.0	4.6	5.5	6.6	8.6
	3차 실험	4.0	4.7	5.7	6.8	8.8
	4차 실험	4.0	4.6	5.5	6.7	8.6
	5차 실험	4.0	4.5	5.4	6.6	8.5

표 4. 보일법칙 변형주사기 정량실험을 통한 실험값

압력(P) (mmHg)	750 (대기압)	650 (대기압-100)	550 (대기압-200)	450 (대기압-300)	350 (대기압-400)
평균 부피 (V) (mL)	4.0	4.6	5.5	6.7	8.6

표 5. 보일법칙 변형주사기 정량실험을 통한 실험값 평균

3) 결과 분석

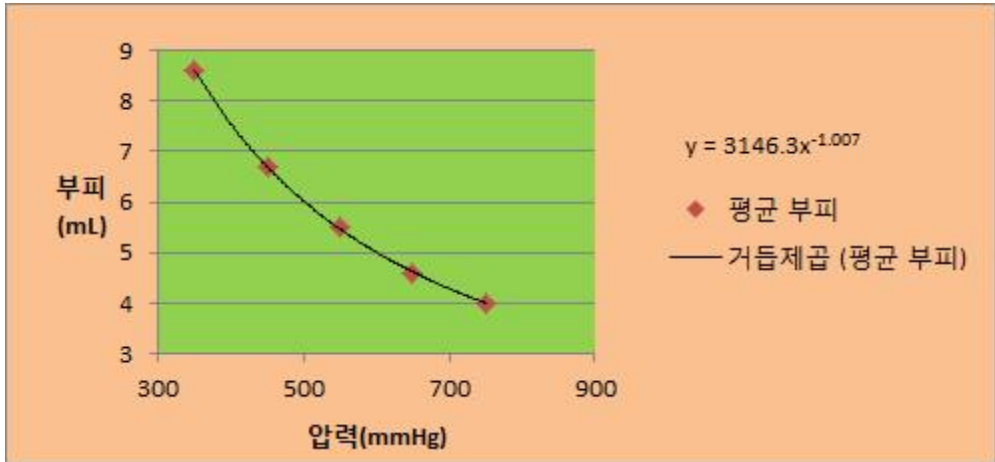


그림 7. 보일법칙 변형주사기 정량실험을 통한 압력-부피 관계 그래프

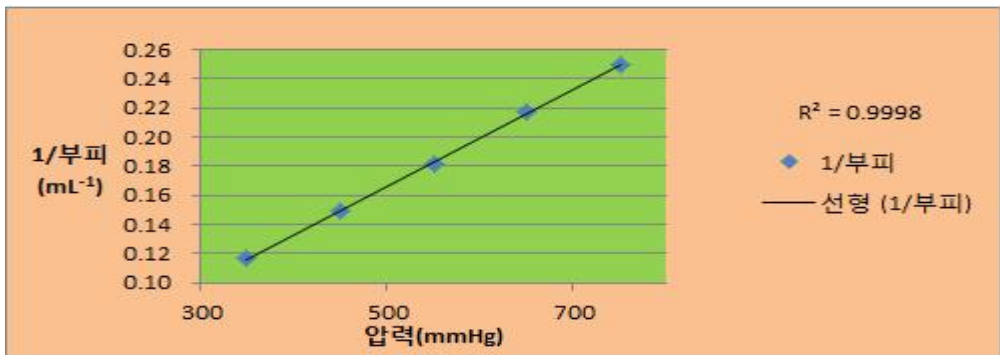


그림 8. 보일법칙 변형주사기 정량실험을 통한 압력-1/부피 관계 그래프

- ① 보일법칙 변형주사기 정량실험을 통해 얻은 그림 7과 8의 그래프는 기체의 압력-부피가 반비례 관계에 있다는 것을 잘 보여준다.
- ② 보일법칙 변형주사기 정량실험 장치는 실험장치가 매우 간편함에도 불구하고 1기압 이하에서 압력에 따른 기체의 부피변화 관계를 잘 보여준다.
- ③ 학생들이 1시간의 실험 시간 내에 눈에 보이는 간단한 원리의 체험적 실험을 수행하고 보일의 법칙 내용을 보다 잘 이해할 수 있다.

3. 연구과제 II: 3D 프린팅 제작, 간편한 정량실험이 가능한 샤를법칙 변형주사기 개발

가. 기존 샤를법칙 정량 실험장치의 문제점 분석

- 1) 예시 2(고등학교 화학 II 교과서4))

탐구 실험 | 기체의 온도와 부피의 관계

과정

- 1 구멍 1개가 뚫린 고무마개에 온도계를 설치하고, 잘 건조시킨 100 mL 삼각 플라스크에 꽂는다.
- 2 과정 ①의 삼각 플라스크에 꽂힌 고무마개에 주삿바늘을 꽂는다.
- 3 500 mL 비커에 물 200 mL를 넣고 과정 ②의 삼각 플라스크를 담근다.
- 4 고무마개에 꽂힌 주삿바늘에 유리 주사기를 연결한 후, 가열 교반기를 이용해서 증탕하면서 온도 변화에 따른 주사기의 부피 변화를 측정한다.
- 5 삼각 플라스크에 물을 가득 채운 후 눈금 실린더를 이용하여 부피를 측정한다.



정리

1. 온도에 따른 공기의 부피 변화를 측정할 때 공기의 전체 부피는 어떤 과정과 어떤 과정을 이용하여 계산할 수 있는지 생각해 보자.
2. x 축을 섭씨온도로 하여 온도에 대한 부피 변화를 그래프로 나타내어 보자.
3. 위 그래프에서 직선을 연장하여 부피가 0이 되는 온도를 구해보자.

가) 실험 결과

가열 전 물의 온도는 26.21°C, 주사기의 부피는 0이었다. 그러나 주사기 아래에 100mL 삼각플라스크를 연결하였으므로 초기의 기체 부피는 삼각플라스크 부피에 해당하는 100mL이다. 따라서 온도 상승에 따른 기체 부피의 실험값은 삼각플라스크 부피 100에 주사기의 증가한 눈금을 더한 값으로 계산한다.

온도	$t(^{\circ}\text{C})$	26.0	28.0	30.0	32.0	34.0
	$T(\text{K})$	299.0	301.0	303.0	305.0	307.0
1차 실험	부피(mL)	100	100.62	101.83	102.53	102.81
	증가한 부피	0	0.62	1.83	2.53	2.81
2차 실험	부피(mL)	100	100.58	101.61	102.38	102.74
	증가한 부피	0	0.58	1.61	2.38	2.74
3차 실험	부피(mL)	100	100.69	101.48	102.45	102.78
	증가한 부피	0	0.69	1.48	2.45	2.78
4차 실험	부피(mL)	100	100.37	101.42	102.57	102.92
	증가한 부피	0	0.37	1.43	2.57	2.92
5차 실험	부피(mL)	100	100.88	101.60	102.37	102.62
	증가한 부피	0	0.88	1.60	2.37	2.62
6차 실험	부피(mL)	100	100.64	101.90	102.42	102.79
	증가한 부피	0	0.64	1.90	2.42	2.79
평균 부피	$V_t(\text{mL})$	100.00	100.63	101.64	102.45	102.78

표 6. 고등학교 화II 교과서에 실린 실험을 통해 얻은 실험값

온도	t(℃)	26.0	28.0	30.0	32.0	34.0
	T(K)	299.21	301.32	303.16	305.24	307.01
평균 부피	$V_t(\text{mL})$	100.00	100.63	101.64	102.45	102.78

표 7. 고등학교 화II 교과서에 실린 실험을 통해 얻은 실험값의 평균

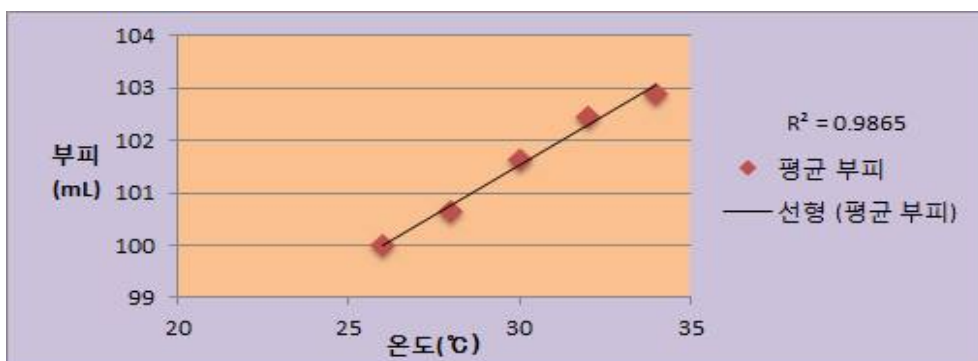


그림 9. 고등학교 화II 교과서에 실린 실험을 통해 얻은 “온도-기체의 부피 관계” 그래프

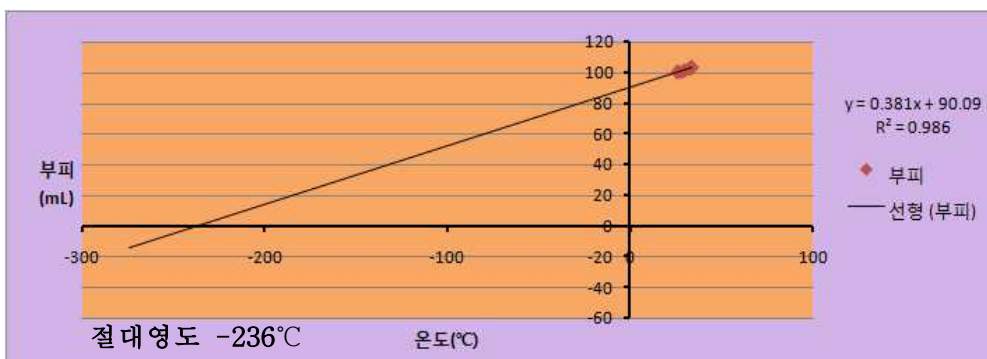


그림 10. 고등학교 화II 교과서에 실린 실험을 통해 얻은 절대영도 예측 그래프

나) 결과 분석 및 문제점

- (1) 그림 9을 보면 온도(℃)와 부피(mL)가 비례관계에 있음을 알 수 있다.
- (2) 문제점 : 그림 10에서 보이는 것처럼 예측한 절대영도에 -236℃로 -37℃(=-273-(-236))의 오차가 있었다.

다) 문제점(오차) 원인 분석

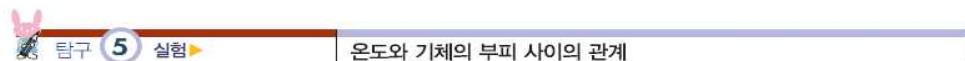
- (1) 부피변화를 측정하는 주사기는 물중탕 되지 않고 공기 중에 나와 있어서 주사기 내부에 있는 기체의 온도는 삼각플라스크 내부에 있는 기체의 온도와 같지 않다.
- (2) 삼각플라스크도 아래 부분만 물중탕 되어 있어 기체의 온도가 일정 하지 않다.

- (3) 고무마개에 구멍을 뚫어 온도계를 꽂았는데 그 구멍에서 기체가 새어나 오고 주사바늘을 연결한 팁 부분도 완전 밀폐가 되지 않는다.
- (4) 온도 상승에 따라 늘어난 부피가 주사바늘을 통해 주사기로 이동되어 늘어난 부피가 측정되는데 주사바늘의 단면적이 매우 작아 이동되는데 압력이 작용하여 기체가 세게 하는 요인이 된다.
- (5) 유리 주사기의 피스톤의 무게(압력)로 인하여 늘어난 부피가 실제로 다 작게 측정된다.

라) 간편하고 정밀한 정량실험을 위해 요구되는 개선 사항

- (1) 부피변화를 측정하는 부분까지 모두 물중탕 되도록 기구의 높이를 작게 만든다.
- (2) 부피구조를 일원화시켜야 한다. 즉 삼각플라스크와 주사기가 완전 합체된 단일 기구를 만든다.
- (3) 플라스틱 주사기를 응용하여 피스톤의 무게로 인한 오차를 줄인다.

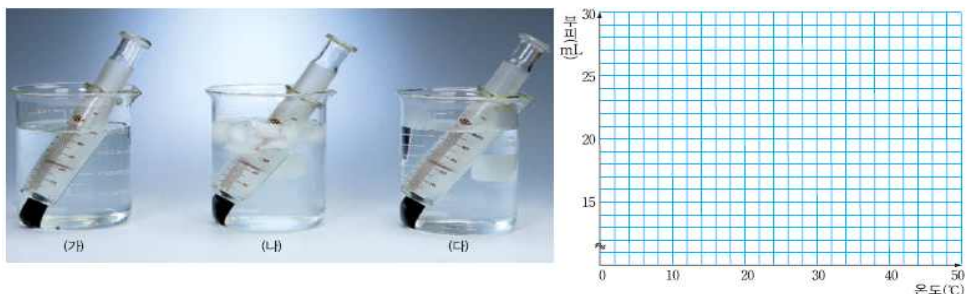
2) 예시3(중학교 1학년 과학 교과서5))



나. 온도와 기체의 부피 사이의 관계

다음은 압력이 일정할 때, 온도에 따른 기체의 부피 변화를 측정하여 얻은 결과이다. 이 결과를 그래프로 나타내 보자.

온도(℃)	10	20	30	40	50
부피(mL)	21.6	22.4	23.2	23.9	24.7



가) 실험 결과

온도(℃)	0(얼음물)	26.3(상온의 물)	68.2(따뜻한 물)
부피(mL)	24.7	25.3	29.1

표 8. 중학교 1학년 과학 교과서에 실린 샤를실험을 통해 얻은 실험값

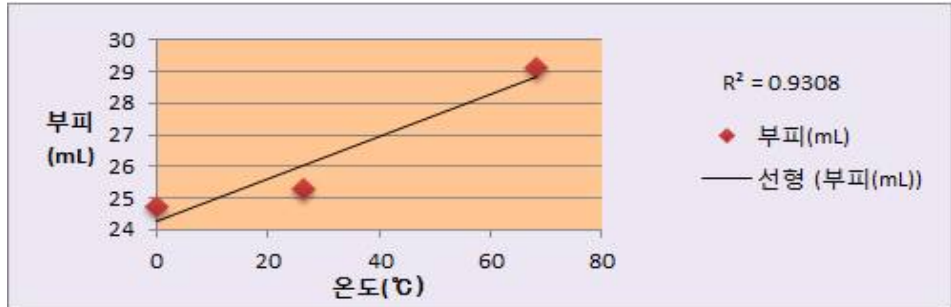


그림 11. 중학교 1학년 과학 교과서에 실린 샤를실험을 통해 얻은 실험값 그래프

나) 결과 분석

.온도가 상승할수록 기체 부피가 증가한다. 하지만 비례관계를 얻을 수 없다.

※자료해석을 통해 온도-기체 부피 비례관계를 알게 함으로써 정량실험을 대신함

다) 정량실험이 될 수 없는 원인

- (1) 초기 부피가 25mL일 경우 10℃ 온도변화 시 부피변화가 약 0.9이므로 부피변화는 작는데 그에 비해 측정 오차범위가 매우 크다.
- (2) 실험준비물이 복잡하여 변인이 많다.

라) 정량실험으로의 발전을 위해 요구되는 개선 사항

- (1) 작은 온도변화에도 부피변화가 크게 나타나도록 초기 부피를 크게 한다.
- (2) 작은 부피 변화라도 정밀하게 측정할 수 있도록 측정 눈금 단위를 작게 한다.
- (3) 하나의 정량 실험기구를 냉각 또는 가열하면서 부피변화를 측정하여 변인을 최소화한다.

나. 3D 프린팅으로 제작, 샤를법칙의 간편한 정량실험이 가능한 변형주사기

실험기구 개발 및 적용

- 1) 개발 실험기구(기구 명 가칭 : 샤를법칙 변형주사기 정량실험 기구)

가) 설계도

(1) 재질

- ① 변형주사기 본체와 피스톤 : 반투명 플라스틱
- ② 패킹 : 고무
- ③ 주사기 팁 구멍의 마개 : 실리콘

(2) 전체 기체의 양은 크게 하고 증감하는

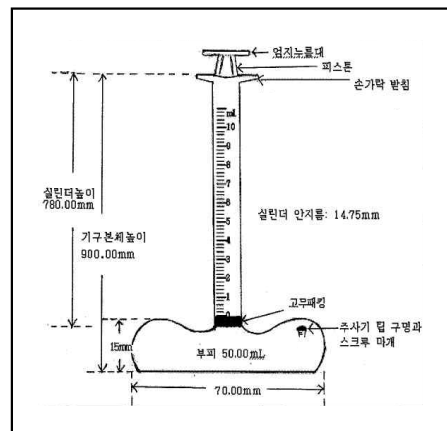


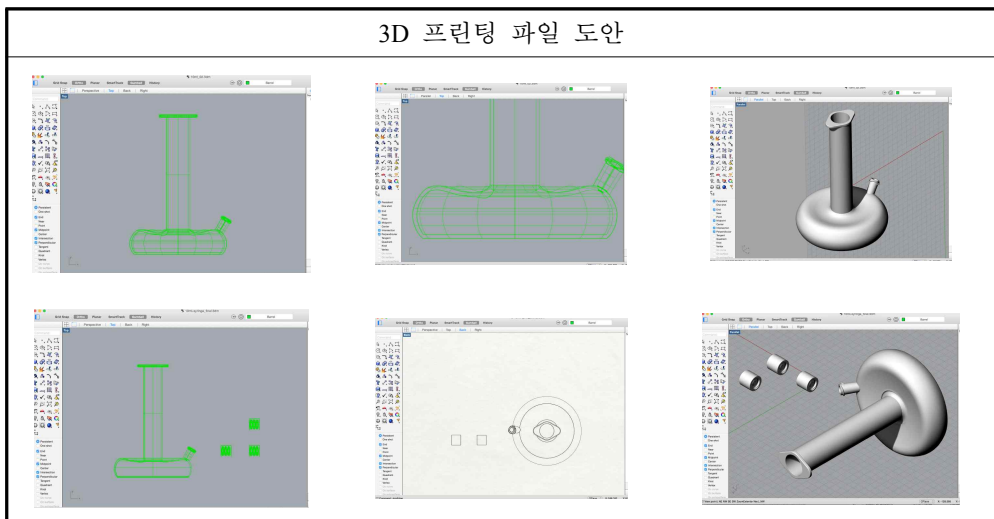
그림 12 샤를법칙 변형주사기 정량실험 기구의 설계도

부피를 측정하는 부분은 정밀하게 하기 위해 50mL의 기체를 담는 통에 10mL 주사기를 연결한 형태로 하고, 피스톤을 움직여 기체의 부피를 조절할 때 기체가 출입할 수 있는 주사기 팁 구멍을 내도록 설계

나) 제작 방법 : 3D 프린팅

- (1) 3D 프린팅 재질 중 고무 재질이 없어 3D 프린팅 방법으로 고무패킹을 제작할 수가 없었다. 따라서 상용화 되고 있는 S사의 10mL 주사기의 고무패킹을 활용하기로 하였다. 고무패킹이 실린더와 잘 맞아서 실린더와의 마찰을 최소화 하면서 공기가 새어나가지 않게 하기 위해서 S사 10mL 주사기 실린더의 0mL, 5mL, 10mL 부분을 절단하여 안지름을 정밀하게 스캔하는 것이 매우 중요하였다. 또한 주사기 팁 구멍이 실리콘 마개를 이용하여 완전히 밀폐될 수 있도록 구멍의 입구를 스크루 형태로 설계하였다.
- (2) 실린더의 눈금은 실린더의 안지름을 이용하여 부피를 계산하는 방법과 물을 넣어 실측하는 방법을 병행하여 만든 후 방수투명스티커용지에 인쇄하여 붙였다.
- (3) 3D 프린팅 파일은 자녀의 도움을 받아 직접 만들었으며 3D 프린팅은 3D 프린트 회사에 맡겼다. 1차, 2차, 3차 제작 과정을 거치면서 고무패킹의 마찰이나 구멍의 완전 밀폐 등이 지속적으로 수정 보완 되었다.

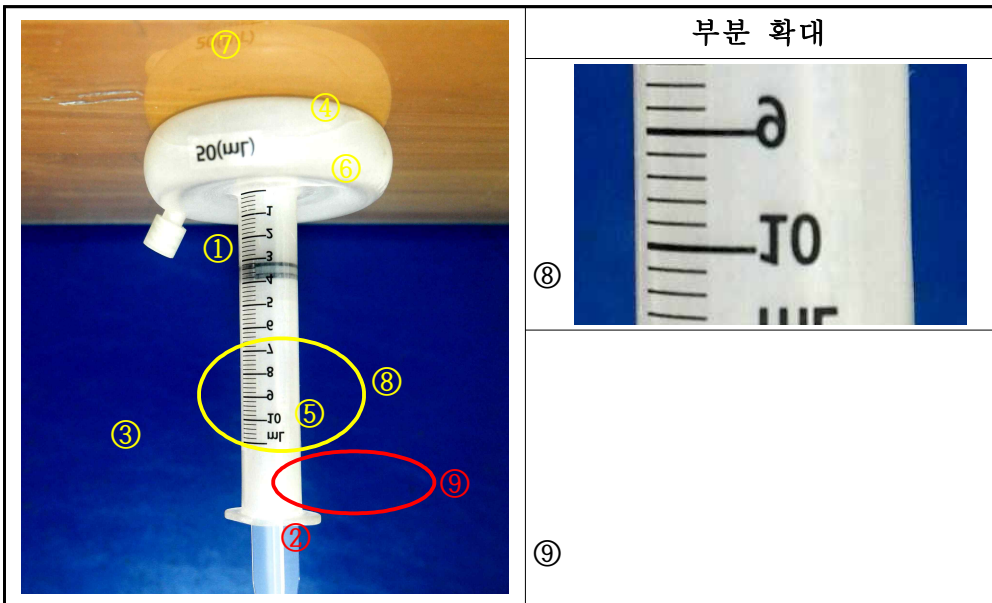
다) 3D 프린팅 파일 도안 및 3D 프린팅 직 후 개발 실험기구



3D 프린팅 직 후 샤를법칙 변형주사기 실린더



라) 완성된 샤를법칙 변형주사기 실험 기구 사진 및 각 부위 설명



- ① 주사기 실린더 : 내경 14.75mm, 길이 9cm, 측정부피 10mL
 - ② 초기기체 통 : 초기기체를 담는 통, 부피 50mL
 - ③ 주사기 팁과 실리콘 스크루마개 : 기체의 출입구
 - ④ 피스톤 : S사의 10mL주사기 피스톤을 그대로 사용(고무패킹을 3D 프린팅으로 제작할 수 없어서 기존 제품을 활용함)
 - ⑤ 고무패킹 : 피스톤이 움직일 때 실린더와의 마찰이 적고 기체가 새지 않음
 - ⑥ 손가락 받침, ⑦ 엄지누름대
 - ⑧ 실린더 눈금 : 0.2mL 간격의 눈금, $\pm 0.1\text{mL}$ 오차 범위로 읽을 수 있음
 - ⑨ 초기기체 통의 곡선설계 : 부피는 크게 하면서 통의 높이는 낮게 하기 위해 곡선으로 설계함. 변형주사기 전체가, 즉 늘어난 부피를 측정하는 실린더 부분까지 물중탕 되도록 만들
- ※ 변형주사기의 전체 높이는 10.5cm, 통의 직경은 7.5 cm로 500mL 비커에 넣어 물중탕 할 수 있는 크기임

표 6. 샤를법칙 변형주사기 정량실험 기구의 각 부위 명칭 및 설명

2) 변형주사기를 사용한 샤를 법칙 정량실험 과정

- ① 변형주사기 실험기구의 통 부분에 있는 스크루 마개를 연다.
- ② 피스톤을 조절하여 주사기 눈금을 0 또는 2mL로 하고, 스크루 실리콘 마개를 닫는다.
- ④ 변형주사기 실험기구에 고무찰흙을 납작하게 붙이고 500mL 비커 바닥에 붙여 고정한다.

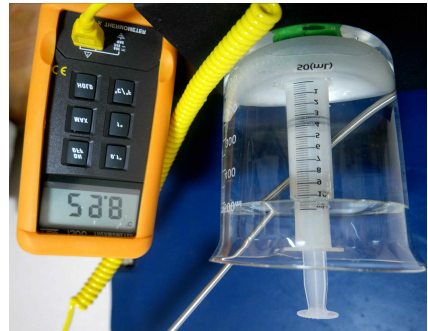


그림 13. 샤를법칙 변형주사기 정량실험 장치

- ⑤ 그림 13의 실험 장치와 같이 ④의 비커에 60~70℃ 온도의 물을 2/3정도 넣고 디지털온도계의 탐침 끝을 변형주사기 통 가까이 설치한다.
 - ⑥ 온도 변화가 멈추면 그 때의 온도와 눈금실린더의 부피를 측정한다.
 - ⑦ 온도변화가 약 2, 4, 6, 8, 10℃일 때 정확한 온도와 눈금실린더의 부피를 측정한다.
- ※ 온도와 부피는 각각 0.1℃, 0.1mL 단위로 측정하고, 실험값 측정 시 **육안으로는 온도와 부피를 동시에 읽는 것이 불가능하므로 사진을 찍어서 실험값을 읽는다.**
- ⑧ 측정한 온도와 부피를 표에 기록한다.
 - ⑨ 엑셀을 활용하여 온도(℃)-부피(mL) 그래프를 그리고 온도-부피의 상관 관계와 절대영도 예측 그래프를 그린다.

3) 실험 결과

3D 프린팅으로 제작한 실험기구를 사용하여 실험을 하고 싶었으나 실험기구가 적절하지 못하여 원하는 실험결과를 얻을 수 없었음.

가) 이유 및 개선점

이유	개선점
① 실린더의 직경과 피스톤의 직경이 서로 잘 맞아떨어지는 매우 정밀도 높은 작업인 까닭에 일반 초자기구 만드는 과학상사에서 유리 재질의 시제품을 만들 수가 없었다.	유리 주사기를 전문으로 만드는 회사에서 제작 가능하나 개인이 요청하기에는 여러 가지 제약이 있다.

이유	개선점
② 3D 프린팅 재질 종류에 유리가 없어서 그 대체 재질로 반투명 플라스틱 재료로 변형주사기를 만들었더니 온도에 따른 부피 변화가 눈금실린더를 통해 나타나는 것이 아니라 통 자체가 부풀거나 압축되는 것으로 나타났다.	미국의 Shapeways 라는 3D 프린팅 회사에서는 현재 유리 재질로도 3D 프린팅이 가능하므로 우리나라에서도 곧 상용화 될 것이다. ★ 생각의 전환 : 투명 재질만 고집할 것이 아니라 압력에 의해 팽창 압축이 되지 않은 단단한 재질로 변형주사기를 만들고, 실린더에 눈금을 새기는 대신 실린더 위로 올라오는 피스톤에 눈금을 새긴다.

V. 활용 및 교육적 효과

1. 활용

- 가. 학교 실험실에서 상비되어 있는 감압기와 10mL(또는 20mL) 주사기를 이용하여 1기압 이내의 압력에서 보일법칙 정량실험을 간편하게 수행할 수 있어 일반 학교에서 활용이 용이하다.
- 나. 샤를법칙 변형주사기 실험기구가 전체 부피와 부피변화 측정부분이 하나로 일원화되어 있어 실험 준비가 간편하다.
- 다. 샤를법칙 변형주사기는 500mL의 비커에 맞는 크기로 제작하여 중탕하는 물의 냉각 속도가 빨라 1시간의 수업시간에 샤를법칙 정량실험을 효과적으로 수행할 수 있다.
- 라. 변형주사기를 이용한 보일법칙 실험과 샤를법칙 실험 모두 단순한 원리를 통해 체험적으로 압력에 따른, 온도에 따른 기체부피의 정량적 관계를 확인함으로써 보일법칙과 샤를법칙의 내용의 이해를 도울 수 있다.
- 마. 초등~고등학교까지 학교 급에 맞게 실험을 구성할 수 있다.

2. 교육적 효과

- 가. 요즘 과학기술계에 혁신을 가져온 3D 프린팅 기술을 과학실험기구 제작에 도입함으로써 학생들이 과학계의 시대흐름에 관심을 갖게 할 수 있다.
- 나. 간편하고 시각화된 실험기구로서 초·중·고교 실험교육에 크게 기여할 것으로 예견된다.
- 다. 실험을 안전하게 할 수 있고, 쉽게 처리할 수 있어 학습효과를 증대시킬 수

있다.

라. 주사기를 조금 변형한 간단한 도구로도 정밀한 실험을 할 수 있다는 것을 체험하게 함으로써 학생들의 과학교구에 대한 관심을 높일 수 있다.

참고문헌

1. 이광재, 황용주 (2010) “기체법칙에 관한 체험적 탐구방법의 개발과 활용” 56회 전국과학전람회 (출품작)
2. 김현태 (2007) “정량적인 측정을 위한 보일과 샤를의 법칙 실험기구” 53회 전국과학전람회 (출품작)
3. 이은협, 박경호 (1990) “기체 분자 운동에 관한 실험적 고찰” 36회 전국과학전람회 (출품작)
4. 민정숙, 김성희, 정대홍 (2009) “학교 현장에 적용 가능한 ‘샤를의 법칙’ 실험방법의 분석 및 개발”, 대한화학회지 53(2): P175-188
5. 안지훈, 백종호, 김미숙 (2012) “보일의 법칙과 샤를의 법칙 정량 실험에 모두 사용 가능한 빨대 기구 개발”, 현장과학교육 6(1) P41-49
6. Raymond Chang (2005) General Chemistry. Mc Graw Hill the 3rd edition: P151-157