

고등학교 과학 교과서에 제시된 화학반응속도 측정을 위한 기본적인 실험의 분석 및 개선

박국태* · 김은선 · 박광서 · 김명희

한국교원대학교 화학교육과

(2004. 9. 17 접수)

Analysis and Improvement of the Fundamental Experiments for Measuring Chemical Reaction Rates in the High School Science Textbooks

Kuk-Tae Park*, Eun-Sun Kim, Kwang-Seo Park, and Myoung-Hee Kim

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

(Received September 17, 2004)

요약. 이 연구의 목적은 고등학교 과학 교과서에 제시된 화학반응속도 측정을 위한 기본적인 실험의 문제점을 분석하고 학생수준과 학교 과학실 여건을 고려한 개선 실험을 제시하는 것이다. 이를 위하여 고등학교 9종 과학 교과서에 제시된 화학반응속도 측정을 위한 기본적인 실험을 실험 방법에 따라 분류하였다. 그리고 교과서에 제시된 실험 방법에 따라 초·중등 과학을 담당하고 있는 9명의 현직 교사와 5명의 예비 교사에게 실험을 수행하게 한 후 문제점을 분석해서 개선 실험을 고안하였고, 이를 9명의 예비교사에게 수행하게 하였다. 연구 결과에 의하면, 고등학교 과학 교과서에 제시된 화학반응속도 측정을 위한 기본적인 실험에서 발생하는 기체의 생성량을 측정하는 방법에는 주사기 측정법과 수상 치환법이 있었다. 그리고 고등학교 과학 교과서에 제시된 주사기 측정법과 수상 치환법의 문제점인 실험 기구와 실험 조건 및 실험 방법의 미비한 제시를 개선한 실험으로 화학반응속도를 재현성이 있게 측정할 수 있었다. 이러한 연구 결과로 볼 때, 화학반응속도 측정을 위한 기본적인 실험에서 실험 수행뿐만 아니라 실험 결과 해석에 어려움을 느끼는 학습자들이 재현성이 있는 실험으로 탐구 실험을 한다면 화학반응속도에 대한 과학적 개념을 이해하는데 도움이 될 것이다.

주제어: 화학반응속도 측정, 고등학교 과학 교과서, 실험 개선

ABSTRACT. The purpose of this study was to find out the problems in the fundamental experiments for measuring chemical reaction rates in the high school science textbooks and to suggest an improved experimental method considering the student's level and laboratory circumstances. For this study, the fundamental experiments for measuring chemical reaction rates presented in 9 high school science textbooks were classified by their experimental method. Along with 5 preliminary teachers, 9 science education teachers in elementary and middle schools participated in the fundamental experiments. Subsequently, an analysis was performed on the problems in the experiments and some improved experiments were devised. As many as 9 preliminary teachers performed the improved experiments. The results of the experiments were put into a comparative analysis. According to the results of this study, the fundamental experiments for measuring chemical reaction rates presented in the high school science textbooks were classified by the methods of syringe measurement and aquatic transposition when the chemical reactions produced gas. By improving the problems of insufficient specification of tools, conditions, and methods of the experiments in the high school science textbooks, the improved experiments facilitated the reproducible measurements of the chemical reaction rates. From this study

result, it was suggested that the reproducible experiments would help the students understand the scientific concepts regarding the chemical reaction rates.

Keywords: Measuring Chemical Reaction Rates, High School Science Textbooks, Improved Experiments

서 론

제7차 과학과 교육과정에서 과학 교과목의 목표로 가장 강조하고 있는 것은 탐구이며, 10학년 탐구를 ‘과학자가 하는 일, 과학에서의 탐구, 과학이 인간 생활에 미치는 영향을 이해한다.’로 제시하였다.¹ 이러한 탐구는 학습자가 스스로 과학자가 되어 탐구함으로써 과학과 인간을 이해하는 과정에서 이루어진다고 하였다. 그리고 과학교육에서는 오직 과학의 지식만을 가르치는 것이 아니라 학생들에게 과학적인 탐구 방법과 과학적인 태도를 함양하도록 하는 것이 중요하다고 하였다.²

학생들의 탐구 능력을 향상시키기 위해서는 학생들이 직접 과학의 과정을 경험해 보는 것이 필요하므로 과학 교과목에서 실험 실습을 통한 탐구 수업을 강조하고 있다. 특히, 실험 활동은 추상적인 과학 개념을 지도하는데 유용한 교수법이며,³ 학생들에게 새로운 개념이나 이론을 탐색할 수 있는 구체적인 학습 경험을 제공해 줄뿐만 아니라 과학에 대한 긍정적인 태도를 가질 수 있도록 한다.⁴

학교에서 교과서는 교육과정의 주요 실천 자료의 하나로⁵ 주된 학습 교재로 사용되고 있고, 교과서에 실린 내용들은 사소한 것이라도 중요한 의미를 가진 것으로 다루어지고 있다.⁶ 따라서 과학 교과서에 제시되어 있는 실험 장치와 실험 방법은 학생들이 실험 활동을 하는데 있어 어떤 내용을 어떤 형태로 설계하느냐에 매우 중요한 것이다. 그러나 과학 실험에서 잘못된 실험 장치와 실험 방법으로부터 얻은 재현성이 없는 실험 결과들로 인하여 실험 결과 해석에 어려움이 따르며, 이로 인한 과학 실험의 기피 현상과 잘못된 실험 결과들로 인한 비과학적인 개념 도출 등의 문제들이 발생하고 있다.⁷ 이에 과학 교과서에 제시된 탐구 실험의 개선에 대한 연구들⁸⁻¹¹이 발표되고 있다. 특히 고등학교 과학 교과서의 화학반응속도 단원은 학생들과 교사들이 어렵게 생각하는 학습 주제 가운데 하나인데, 탐구 실험 방법에 대한 연구들이 주로 국회에서만 수행되고 있다.¹²⁻¹⁵

따라서 이 연구에서는 제7차 교육과정에 의해 고등학교 과학 교과서에 제시되어 있는 화학반응속도 측정을 위한 기본적인 실험 방법인, 화학반응으로 발생하는 기체의 생성량을 반응시간에 따라 주사기로 측정하는 실험 방법과 수상 치환으로 메스실린더에 모아 측정하는 실험 방법을 학생들이 학교 과학실에서 재현성 있게 수행할 수 있도록 하기 위하여, 실험 기구와 실험 조건 및 실험 방법에 대한 문제점을 분석하여 개선안을 제시하고자 한다.

연구 방법

연구 자료. 제7차 교육과정에 의해 고등학교 과학 교과서에 제시되어 있는 화학반응속도 측정을 위한 기본적인 실험 방법을 알아보기 위하여 고등학교 9종의 과학 교과서¹⁶를 분석하였다. 이 연구에 사용된 고등학교 과학 교과서의 종류와 약어는 Table 1과 같다.

Table 1의 고등학교 9종 과학 교과서에 제시되어 있는 화학반응속도 측정을 위한 기본적인 실험 방법은 화학반응으로 생성되는 생성물의 양을 반응시간에 따라 측정하는 방법으로 분류하였다. 즉, 화학반응에 의해 발생하는 기체의 생성량을 반응시간에 따라 측정하는 실험 방법에 따라 분류하였다.

연구 절차. 제7차 교육과정에 의한 고등학교 과학 교과서의 화학반응속도 측정을 위한 기본적인 실험의 문제점 분석 및 개선을 위하여, 과학 교과서에 제시되어 있는 실험 기구와 실험 방법에 따라 화학반응속도 측정 실험을 수행하여 문제점을 분석한 다음 개선 방안에 의한 실험을 실시하여 개선 실험을 제안하였는데, 구체적인 연구 절차는 다음과 같다.

첫 번째 단계로 고등학교 과학 교과서에 제시되어 있는 화학반응속도 측정을 위한 기본적인 실험 기구와 실험 방법에 따라 H대학교 대학원에 재학 중인 9명의 초·중등 과학담당 현직 교사와 5명의 예비 교사가 2인 1조를 이루어 실험을 수행하도록 하였다. 이때 고등학교 과학 교과서에 제시되어 있지 않은 실험 조건이나 실험 방법은 실험자가 스스로 알아서 실험

Table 1. High school science textbooks

Textbook	Author	Publisher	Year of publication
A	Lee, Moon-Won <i>et al.</i>	Keumsung	2002
B	Lee, Gyu-Seok <i>et al.</i>	Daehan	2002
C	Kim, Chan-Jong <i>et al.</i>	Didimdol	2002
D	Lee, Yeon-Woo <i>et al.</i>	Seoulkyoyook	2002
E	Woo, Gyu-Hwan <i>et al.</i>	Joongang	2002
F	Lee, Myon-Woo <i>et al.</i>	Jihaksa	2002
G	Cha, Dong-Woo <i>et al.</i>	Cheonjae	2002
H	Jeong, Wan-Ho <i>et al.</i>	Kyohaksa	2002
I	Sung, Min-Woong <i>et al.</i>	Moonwongak	2002

을 수행하도록 하였다. 그리고 실험 결과들을 분석하여 문제점을 파악하고, 문제점을 해결하기 위한 개선 방안을 고안하였다.

두 번째 단계로 고등학교 과학 교과서에 제시되어 있는 화학반응속도 측정을 위한 기본적인 실험과 개선 방안에 의한 개선 실험을 동시에 H대학교 대학원에 재학 중인 9명의 예비 교사가 2-3인 1조를 이루어 실험을 수행하도록 하였다. 이때 각 실험을 3회 반복해서 수행하도록 하였다. 그리고 실험 결과들을 비교 분석하여 고등학교 과학 교과서의 화학반응속도 측정을 위한 기본적인 실험으로 적합하다고 생각되는 개선 실험을 제안하였다.

연구 결과 및 논의

화학반응속도 측정 실험 방법의 분류

고등학교 9종 과학 교과서에 제시되어 있는 화학반응속도 측정을 위한 기본적인 실험은 화학반응으로 발생하는 기체의 단위 시간당 생성량을 주사기의 부피 증가로 측정하는 주사기 측정법(실험 a)과 수상 치환법(실험 b)으로 분류하였다(Table 2).

화학반응속도 측정을 위해 주사기 측정법(실험 a)

Table 2. A classification of the experimental method for gas measurement in the high school science textbooks

Method of experiment	Symbol	Textbook
Method of syringe measurement	Experiment a	A
Method of water substitution	Experiment b	B, C, F

과 수상 치환법(실험 b)을 사용하고 있는 고등학교 과학 교과서에서 화학반응 시약의 양 제시 유무와 실험 기구의 용량 제시, 그리고 반응물의 혼합 방법 제시 유무를 Table 3에 나타내었다.

Table 3을 살펴보면, A, C, F의 과학 교과서에는 반응물의 농도 및 사용량이 제시되어 있으나, B 과학 교과서에는 부분적으로 제시되어 있다. 실험 기구의 용량이 A, B, C의 과학 교과서에는 부분적으로 제시되어 있으나, F 과학 교과서에는 제시되어 있지 않다. 이러한 경우에 실험 기구가 너무 작거나 커서 발생하는 기체의 부피 변화가 너무 크거나 너무 작은 경우에는 기체의 생성량 변화를 제대로 측정할 수가 없을 것이다. 반응물의 혼합 방법은 A, B, C, F의 과학 교과서 모두에 제시되어 있다.

한편, D, E, G의 과학 교과서에는 붉은 염산과 금속 마그네슘의 화학반응에서 단위 시간당 발생하는 수소 기체의 생성량 자료를 이용해서 화학반응속도

Table 3. An analysis of presentment in the experimental method for gas measurement

Textbook	Method of experiment	Presentment of quantity of reagents	Presentment of volume of reaction vessel	Presentment of mixing method
A	Experiment a	○	△	○
B	Experiment b	△	△	○
C	Experiment b	○	△	○
F	Experiment b	○	-	○

○: presentation, △: partial presentation, -: no presentation.

를 측정하도록 하는 자료 해석형 탐구 활동이 제시되어 있었다. 또한, H 과학 교과서에도 5초마다 비누막의 이동 거리를 측정한 자료를 이용하여 과산화수소의 분해 속도를 구하도록 하는 자료 해석형 탐구 활동이 제시되어 있었다. 그리고 I 과학 교과서에는 금속이 연소되는 시간을 재어 화학반응속도를 측정하는 탐구 실험이 제시되어 있었다.

화학반응속도 측정 실험 방법의 문제점 분석 및 개선

고등학교 과학 교과서에서 염산과 마그네슘의 화학 반응¹⁴에 대한 화학반응속도 측정을 위한 기본적인 실험 방법인 주사기 측정법과 수상 치환법의 문제점을 분석하여 개선 실험을 제시하였다.



주사기 측정법 문제점 분석. 주사기 측정법의 문제점을 알아보기 위한 실험은 A 과학 교과서에서 제시하고 있는 실험 방법을 따랐다. A 과학 교과서에는 반응물의 농도 및 사용량, 혼합 방법은 제시되어 있었지만, 실험 기구의 용량은 일부만 그림으로 제시되어 있었다(Table 3).

주사기 측정법에 의한 과학 교과서 실험으로 60 mL 용량의 삼각 플라스크에 4% HCl 50 mL와 5 cm 마그네슘 리본(0.057 g)을 넣고, 25 mL 주사기와 기체 유도관으로 고무 튜브를 사용한 실험 조건(실험 1)에서 실험을 3회 수행하여 반응 시간에 따른 수소 기체의 생성량을 측정된 결과들을 Fig. 1에 1a, 1b, 1c로 나타내었다.

Fig. 1을 살펴보면, 주사기의 기체 유도관으로 고무 튜브를 사용한 실험 1에서 반응 시간에 따라 발생하는 수소 생성량을 주사기로 측정한 실험 결과들에 재현성이 없으며, 또한 수소 기체 총 생성량이 측정 주

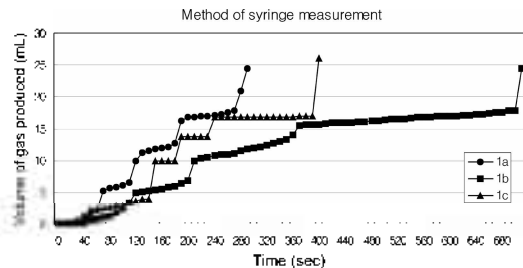


Fig. 1. Science textbook experiment 1; using 4% HCl and 0.057 g Mg ribbon.

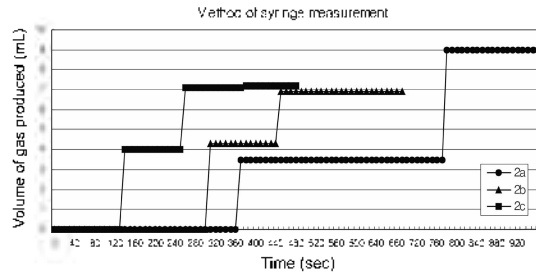


Fig. 2. Science textbook experiment 2; using 4% HCl and 0.024 g Mg ribbon.

사기의 용량을 넘어선 것을 알 수 있다. 실험 1에서 수소 기체의 발생에 따라 주사기의 피스톤이 지속적으로 움직여야 반응 시간에 따른 수소 기체의 생성량을 제대로 측정할 수 있는데, 주사기 피스톤과 주사기 내부 벽과의 마찰 때문에 주사기 피스톤의 움직임이 지속적이지 못하여 가끔 정지하는 경우들이 있어서 실험 결과들에 재현성이 없었다.

실험 1에서 반응 생성물인 수소 기체의 총 생성량이 측정 주사기의 용량을 넘었기 때문에 이를 해결하기 위하여 실험 1의 실험 조건에서 5 cm 마그네슘 리본 대신에 2 cm 마그네슘 리본(0.024 g)을 사용한 실험 조건(실험 2)에서 실험을 3회 수행하여 얻은 실험 결과들을 Fig. 2에 2a, 2b, 2c로 나타내었다.

Fig. 2로부터 알 수 있듯이, 반응 시간에 따라 발생한 수소 기체의 총 생성량이 25 mL 주사기의 측정 용량을 넘지 않았으나, 반응 생성물인 수소 기체의 생성량 증가가 계단 모양으로 나와서 화학반응속도를 측정할 수 없는 실험 결과들이 얻어 졌다. 이러한 실험 결과들은 주사기 피스톤과 주사기 내부 벽과의 마찰력이 커서 수소 기체의 발생에 의한 압력 증가에 따라 주사기의 피스톤이 지속적으로 예민하게 움직이지 못했기 때문에 얻어진 것이다.

주사기 측정법 개선 실험. 고등학교 과학 교과서에서 제시하고 있는 주사기 측정법에 의한 실험 1과 실험 2에서 나타난 문제점들을 개선하기 위하여, 우선적으로 주사기 피스톤과 주사기 내부 벽과의 마찰을 줄여 주사기 피스톤이 수소 기체의 발생에 따라 지속적으로 예민하게 움직일 수 있도록 주사기 피스톤의 고무 밸브에 고진공용 실리콘 그리스를 골고루 바른 뒤 주사기 피스톤을 좌우로 움직여 실리콘 그리스가 주사기 내부 벽과 피스톤의 고무 밸브에 골고루 발라지도록 하였다. 그리고 염산과 마그네슘의 화학반응

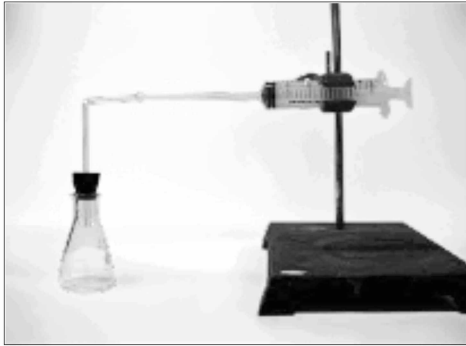


Fig. 3. Improved experiment apparatus for syringe measurement of H₂ gas.

에 의하여 발생한 수소 기체를 주사기까지 보내주는 기체 유도관으로 신축성이 크고 밀봉성이 적은 고무 튜브 대신에 신축성이 적고 밀봉성이 뛰어난 PVC 수액 줄을 사용하여, 유리관 및 주사기 연결 부위를 밀봉함으로써 수소 기체의 누출을 완전하게 차단할 뿐만 아니라, 수소 기체의 발생에 의한 압력 증가를 바로 주사기 피스톤에 전달할 수 있도록 하였다. 또한, 60 mL 용량의 삼각 플라스크를 막는 고무마개에 꽂는 기체 유리관의 직경이 PVC 수액 줄의 직경과 같은 것으로 일자 모양으로 제작하여 Fig. 3과 같이 설치하였다.

주사기 측정법의 개선 실험 장치(Fig. 3)를 사용하여 4% HCl 50 mL와 2 cm 마그네슘 리본(0.024 g)을 사용한 실험 조건(실험 3)에서 실험을 3회 수행하여 얻은 실험 결과들을 Fig. 4에 3a, 3b, 3c로 나타내었다.

Fig. 4로부터 알 수 있는 바와 같이, 주사기 측정법의 개선 실험 장치를 사용한 실험 3에서 반응 시간에 따라 발생한 수소 기체 생성량이 반응 초기에 선형으로 나타나므로 반응 초기속도를 측정할 수 있는 실험

결과들이 얻어졌고, 실험의 재현성도 뛰어나다. 실험 3에서 마그네슘이 완전히 반응하는데 약 10분 정도의 시간이 걸렸고, 발생한 수소 기체의 총 생성량은 대략 17 mL 이었다. 이러한 실험 결과들로부터 주사기 측정법의 개선 실험인 실험 3의 실험 기구와 실험 조건은 고등학교 과학에서 염산과 마그네슘이 반응하여 수소 기체가 발생하는 반응¹⁴⁾에 대한 화학반응속도 측정을 위한 기본적인 실험으로 적합한 것이다.

수상 치환법 문제점 분석. 수상 치환법의 문제점을 알아보기 위한 실험은 B, F 2종 과학 교과서에서 제시하고 있는 실험 방법을 따랐다. F 과학 교과서에는 반응물의 농도 및 사용량이 제시되어 있었으나, B 과학 교과서에는 반응물의 농도만 제시되어 있었다. 실험 기구의 용량이 B 과학 교과서에 일부가 그림으로 제시되어 있었으나, F 과학 교과서에는 제시되어 있지 않았다. 반응물의 혼합 방법은 두 교과서 모두에 제시되어 있었다(Table 3).

수상 치환법에 의한 과학 교과서 실험으로 60 mL 용량의 삼각 플라스크에 5% HCl 50 mL와 4 cm 마그네슘 리본(0.047 g)을 넣고, 50 mL 메스실린더를 사용한 실험 조건(실험 4)에서 실험을 3회 수행하여 수상 치환으로 반응 시간에 따른 수소 기체의 생성량을 측정된 실험 결과들을 Fig. 5에 4a, 4b, 4c로 나타내었다.

Fig. 5로부터 알 수 있는 바와 같이, 5% HCl과 0.047 g 마그네슘 리본을 사용한 실험 4에서 화학반응속도가 너무 빨라 수소 기체 생성이 3분 만에 거의 종결되므로, 단위 시간당 발생하는 수소 기체의 생성량을 측정하는데 어려움이 따를 수 있으며, 또한 화학반응의 초기속도를 정확하게 측정하기 어려운 문제점이 있다.

실험 4에서 반응 생성물인 수소 기체의 생성 속도가 너무 빠르기 때문에 이를 해결하기 위하여 실험 4의

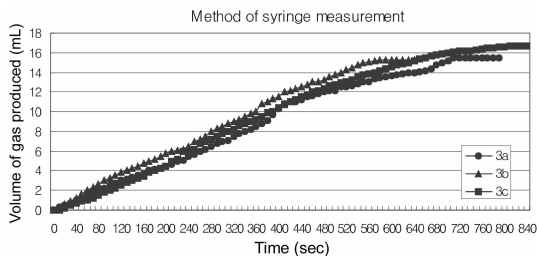


Fig. 4. Improved experiment 3; using 4% HCl and 0.024 g Mg ribbon.

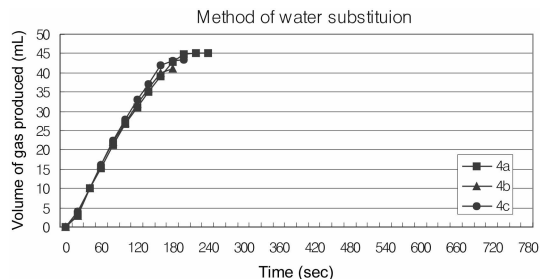


Fig. 5. Science textbook experiment 4; using 5% HCl and 0.047 g Mg ribbon.

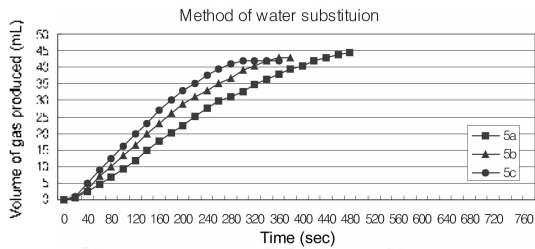


Fig. 6. Science textbook experiment 5: using 4% HCl and 0.047 g Mg ribbon.

5% HCl 대신에 4% HCl을 사용한 실험 조건(실험 5)에서 실험을 3회 수행하여 얻은 실험 결과들을 Fig. 6에 5a, 5b, 5c로 나타내었다.

Fig. 6으로부터 알 수 있듯이, 4% HCl과 0.047 g 마그네슘 리본을 사용한 실험 5에서 수소 기체 생성 반응이 6분 만에 거의 종결되므로 5% HCl을 사용한 실험 4(Fig. 5)에 비해서는 수소 기체 생성 반응이 많이 느려 졌지만, 고등학생들이 수상 치환법으로 단위 시간당 수소 기체의 생성량을 측정하는 실험으로써는 수소 기체의 생성 속도가 좀 빠른 것이다.

수상 치환법 개선 실험. 고등학교 과학 교과서에서 제시하고 있는 수상 치환법에 의한 실험 4와 실험 5에서 나타난 문제점들을 개선하기 위하여, 수소 기체 발생 반응에 사용한 염산의 농도를 묽힘으로써 수소 기체의 발생 속도를 줄였다. 즉, 수상 치환법의 개선 실험의 실험 조건으로 100 mL 삼각 플라스크를 반응 용기로 사용하였으며, 반응물로는 3% HCl 50 mL와 4 cm 마그네슘 리본(0.047 g)을 사용하였다. 이러한 실험 조건(실험 6)에서 실험을 3번 수행하여 얻은 실험 결과들을 Fig. 7에 6a, 6b, 6c로 나타내었다.

Fig. 7로부터 알 수 있는 바와 같이, 수상 치환법의 개선 실험에서 수소 기체 생성 반응이 종결되는데 약

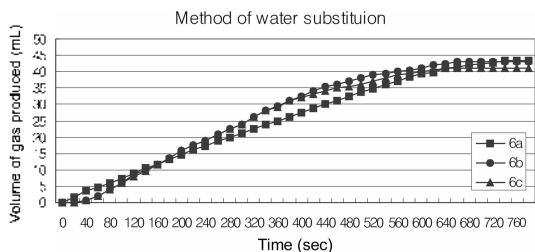


Fig. 7. Improved experiment 6: using 3% HCl and 0.047 g Mg ribbon.

12분 정도 걸렸고, 반응 초기에 단위 시간당 수소 기체의 생성량이 완만한 선형으로 나타나므로 단위 시간당 수소 기체의 생성량 측정이 용이한 것이다. 그리고 실험의 재현성도 뛰어나다. 따라서 수상 치환법의 개선 실험인 실험 6의 실험 조건은 고등학교 과학에서 염산과 마그네슘의 반응으로 수소 기체가 발생하는 반응에서 수상 치환으로 단위 시간당 수소 기체의 생성량을 측정하여 화학반응속도를 측정하는 기본적인 실험으로 적합한 것이다.

결론 및 제언

이 연구에서는 제7차 교육과정에 의한 고등학교 9종 과학 교과서에 제시되어 있는 화학반응속도 측정을 위한 기본적인 실험의 문제점을 분석하여, 학생수준과 학교 과학실 여건을 고려한 개선 실험을 제시하였다. 이를 위하여 고등학교 9종 과학 교과서에 제시되어 있는 화학반응속도 측정을 위한 기본적인 실험을 실험 방법에 따라 분류하였고, 과학 교과서에 제시되어 있는 실험 기구와 실험 방법에 따라 화학반응속도 측정 실험을 수행하여 문제점을 분석한 다음, 문제점을 해결하기 위한 개선 방안에 의한 실험을 실시하여 화학반응속도 측정을 위한 기본적인 실험으로 적합하다고 생각되는 개선 실험을 제안하였다.

고등학교 9종 과학 교과서를 분석해본 결과, 화학반응속도 측정을 위한 기본적인 실험에서 반응 생성물의 단위 시간당 생성량을 주사기의 부피 증가로 측정하는 주사기 측정법과 수상 치환으로 메스 실린더에 모아 부피 증가를 측정하는 수상 치환법을 실험 방법으로 사용하고 있었다. 주사기 측정법은 1종의 고등학교 과학 교과서에서, 수상 치환법은 3종의 고등학교 과학 교과서에서 사용하고 있었다.

고등학교 과학 교과서에 제시되어 있는 염산과 마그네슘과의 화학반응에 대한 화학반응속도 측정을 위한 기본적인 실험 방법인 주사기 측정법과 수상 치환법의 문제점을 분석하기 위하여 과학 교과서에 제시된 실험 기구와 실험 방법에 따라 현직 교사와 예비 교사가 실험을 수행해본 결과, 실험 기구의 문제점과 실험 조건 및 실험 방법의 미미한 제지로 재현성이 없는 실험 결과들이 얻어져서, 고등학생들이 탐구 활동으로 화학반응속도 개념을 이해하는데 어려움을 줄 수 있었다.

고등학교 과학 교과서에 제시되어 있는 화학반응속도 측정을 위한 기본적인 실험 방법인 주사기 측정법과 수상 치환법의 문제점인 실험 기구와 실험 조건 및 실험 방법의 미비한 제시를 개선한 실험으로 화학반응속도를 재현성이 있게 측정할 수 있었다. 또한 개선 실험은 고등학교 탐구 실험 수업 환경에 맞게 화학반응속도 측정 실험을 30분 이내에 끝낼 수 있도록 반응물의 농도와 사용량을 제시하고, 이에 맞는 실험 기구와 측정 기구를 사용하도록 함으로써 화학반응속도 측정을 위한 기본적인 실험이 고등학교 과학실에서 재현성이 있는 탐구 실험으로 수행될 수 있도록 하였다.

따라서 이러한 연구 결과는 고등학교 과학실에서 고등학생들이 재현성 있는 화학반응속도 측정을 위한 기본적인 실험을 수행할 수 있게 하므로 고등학생들이 화학반응속도에 대한 과학적 개념을 이해하는데 실질적인 도움을 줄 것이다. 그리고 고등학교 과학 교과서에 제시되어 있는 화학반응속도에 미치는 온도와 농도, 촉매의 영향을 측정하는 실험에 대한 문제점을 분석하여 개선 방안을 제시하는 후속 연구들이 중등학교에서 탐구 실험의 활성화를 위해서 필요하다.

인용문헌

1. Ministry of Education *Science Curriculum*. Daehan Textbook Publishing: Seoul, Korea, 2001. pp 13-17.
2. Kwon, J.-S.; Kim, B.-G.; Woo, J.-O.; Jeong, W.-H.; Jeong, J.-W.; Choi, B.-S. *Theory of Science Education*, Education Science Publishing: Seoul, Korea, 2003. pp 1-9.
3. White, R. T. *Int. J. Sci. Educ.* **1996**, *18*, 761.
4. Kim, H.-B.; Kim, D.-U. *J. Kor. Assoc. Res. Elem. Sci. Educ.* **1995**, *14*, 163.
5. Jeong, W.-H. *J. Kor. Bio. Soc.* **1981**, *9*, 3.
6. Kim, H.-J.; Kim, W.-G.; Park, H.-J. *J. Kor. Chem. Soc.* **1999**, *43*, 5.
7. Ryu, O.-H.; Choi, M.-Y.; Song, J.-H.; Kweon, J.-G.; Baik, S.-H.; Park, K.-T. *J. Kor. Chem. Soc.* **2001**, *45*, 481.
8. Ryoo, J.-J.; Park, W.-K. *J. Kor. Chem. Soc.* **2003**, *47*, 401.
9. Jang, R.-H.; Lee, K.-O.; Lee, J.-S.; Seo, J.-S. *J. Kor. Chem. Soc.* **2003**, *47*, 79.
10. Sin, D.-H.; Lee, S.-K.; Choi, B.-S. *J. Kor. Chem. Soc.* **2002**, *46*, 363.
11. Lee, K.-P.; Seo, H.-K.; Lee, M.-S. *J. Kor. Chem. Soc.* **2000**, *44*, 74.
12. Vetter, T. A.; Colombo, Jr. D. P. *J. Chem. Educ.* **2003**, *80*, 788.
13. Pacer, R. A. *J. Chem. Educ.* **1997**, *74*, 543.
14. Birk, J. P.; Walters, D. L. *J. Chem. Educ.* **1993**, *70*, 587.
15. Summerlin, L. R.; Ealy, Jr. J. L. *Chemical Demonstrations*. 2nd ed.; American Chemical Society: Washington, D.C., U. S. A., 1988; Vol. 1, pp 99-115.
16. Lee, M.-W.; Jeon, S.-Y.; Choi, B.-S.; Kwon, S.-M.; No, T.-H.; Hur, S.-I.; Kim, C.-B.; Gang, S.-J.; Park, H.-S.; Kim, G.-S.; Chae, K.-P.; Kim, J.-M.; Jeong, D.-Y. *High School Science*, Keumsung Publishing: Seoul, Korea, 2002; pp 174-195.
17. Lee, G.-S.; Jo, H.-Y.; Park, B.-S.; Park, M.-S.; Sim, K.-S.; Sim, J.-S.; Choi, J.-B.; Jang, J.-C.; Lee, C.-J.; Lee, Y.-J. *High School Science*, Daehan Textbook: Seoul, Korea, 2002; pp 159-175.
18. Kim, C.-J.; Seo, M.-S.; Kim, H.-B.; Sim, J.-H.; Hyun, J.-H.; Han, I.-O.; Gweon, S.-G.; Park, S.-S. *High School Science*, Didimdol Publishing: Seoul, Korea, 2002; pp 146-164.
19. Lee, Y.-W.; Gang, S.-B.; Kim, I.-S.; Lee, J.-W.; An, J.-J.; Bae, M.-J.; Jeon, W.-Y. *High School Science*, Seoul Education Information Publishing: Seoul, Korea, 2002; pp 136-157.
20. Woo, G.-H.; Lee, C.-W.; Oh, D.-W.; Kim, Y.-Y.; Kyeong, J.-B.; Lee, K.-H.; Park, T.-Y.; Lee, Y.-J.; Baek, S.-K.; Kim, B.-I.; Kim, B.-R.; Lee, G.-Y. *High School Science*, Joongang Education Development Center Publishing: Seoul, Korea, 2002; pp 164-181.
21. Lee, M.-W.; Jang, B.-K.; Go, J.-D.; Yun, S.-H.; Lee, J.-S.; Rye, S.-I.; Kim, H.-S.; Lim, C.-S.; Bae, J.-H.; Baek, S.-Y.; Lee, S.-J.; Choi, B.-G. *High School Science*, Jihak Publishing: Seoul, Korea, 2002; pp 156-172.
22. Cha, D.-W.; Kim, H.-S.; Lee, M.-S.; Choi, J.-H.; Lee, B.-Y.; Ok, J.-S.; Yun, S.-J.; Lee, W.-K.; Jeong, N.-S.; Sin, D.-W. *High School Science*, Cheonjae Education Publishing: Seoul, Korea, 2002; pp 136-154.
23. Jeong, W.-H.; Kwon, J.-S.; Kim, D.-S.; Kim, B.-G.; Sin, Y.-J.; Woo, J.-O.; Lee, G.-J.; Jeong, J.-W.; Choi, B.-S.; Hwang, W.-G. *High School Science*, Kyohak Publishing: Seoul, Korea, 2002; pp 156-173.
24. Sung, M.-W.; Kim, B.-G.; Jo, S.-D.; Kang, D.-H.; Kang, C.-H.; Goo, J.-O.; No, I.-H.; Lee, Y.-C.; Lim, T.-H.; Choi, B.-S.; Han, E.-T. *High School Science*, Moonwongak Publishing: Seoul, Korea, 2002; pp 170-189.
25. Frost, A. A.; Pearson, R. G. *Kinetics and Mechanism*, 2nd ed.; John Wiley & Sons, Inc.: New York, U.S.A., 1961; pp 45-46.