

중학교 과학 교과서 분별 증류 실험의 비교 분석 및 개선

柳五鉉 · 崔文永 · 宋周眩 · 權頌權 · 白盛惠 · 朴國泰*

한국교원대학교 화학교육과

(2001. 6. 21 접수)

A Comparative Analysis and Improvement of the Fractional Distillation Experiments in the Middle School Science Textbooks

Oh-Hyun Ryu, Moon-Young Choi, Ju-Hyun Song, Jung-Geun Kwon,
Seoung-Hey Paik, and Kuk-Tae Park*

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

(Received June 21, 2001)

요 약. 이 연구의 목적은 제 6차 교육과정에 의한 중학교 1학년 과학 교과서 분별 증류 실험의 문제점을 파악하고, 중학생들이 분별 증류 실험을 능률적으로 수행할 수 있는 실험 방법을 제시하고자 하는 것이다. 이를 위한 첫 번째 단계로서 현재 사용되고 있는 8종의 과학 교과서를 분별 증류 실험 장치와 액체 혼합물의 종류에 따라 6가지로 분류하였다. 두 번째 단계로서 액체 혼합물을 가열 방법에 따라 직접가열과 물 중탕 가열로 나누어 교과서 실험과정에 따라 같은 실험을 세 번 실시하였다. 세 번째 단계로서 실험 결과의 문제점을 해결하기 위한 대안 실험을 실시하였다. 대안 실험에서는 알코올 램프로 직접가열 하는 방법과 기름 중탕으로 가열하는 방법, 그리고 가열 맨틀을 사용하여 가열하는 방법을 사용하였다. 연구결과, 가지 달린 둥근 플라스크를 직접 가열하는 실험 결과가 가지 달린 시험관을 물 중탕으로 가열하는 실험 결과보다 이론적인 결과에 근접하였다. 그리고 가지 달린 둥근 플라스크를 직접 가열하는 실험에서 플라스크 윗 부분을 보온해 주는 실험이 보온하지 않은 실험보다 실험 결과가 더 나왔다. 대안 실험에서는 액체 혼합물의 증류 온도 증가를 보면서 가열 맨틀의 가열 온도를 올려 준 실험의 결과가 이론적인 결과에 가장 가까웠다. 이러한 연구 결과로부터 가지 달린 시험관을 물 중탕으로 가열하는 분별 증류 실험 장치는 탐구 실험 수업에 부적절한 것이므로 개선이 요구되며, 중학교 과학실 여건을 고려할 때, 액체 혼합물의 증류 온도 증가를 보면서 가열 맨틀의 가열 온도를 변화시키는 분별 증류 실험이 가장 능률적인 방법임을 알 수 있었다.

ABSTRACT. The purpose of this study was to find out the problems on the fractional distillation experiments in the middle school science textbooks based on the 6th curriculum and to suggest an efficient experiment method for the middle school students. The first step was the classification of the experiments in 8 science textbooks according to heating apparatus and liquid mixtures. The second step was doing each experiment 3 times followed by the experimental process in the textbooks. The third step was developing the alternative experiments for solving the problems found in the second step. The heating method used in the alternative experiments were direct heating, oil bath, and heating mantle. The results of the second step showed that the direct heating experiment of branched round flask was more close to the theoretical prediction than the experiment of water bath heating of branched test tube. Also the direct heating experiment of thermally insulated branched round flask was better than the result of the experiment which was not insulated. The results of the third step showed that the experiment using heating mantle regulated heating power by observing the temperature of distillate gave the closest result to the theoretical prediction. From the above results, it is con-

cluded that the experiment using branched test-tube with water bath heating is not adequate for the fractional distillation and an alternative experiment using insulated branched round flask with heating mantle regulated heating power during experiment is recommended.

서 론

제 3차 교육과정에서부터 제 7차 교육과정에까지 중학교 과학과의 총괄 목표는 탐구 활동을 통한 탐구 능력 신장을 중요시하고 있다. 탐구 능력을 향상시키기 위해서는 학생들이 직접 과학의 과정을 경험해 보는 것이 중요하고, 이것이 바로 과학 교과에서 실험 실습을 통한 수업을 강조하고 있는 이유이기도 하다. 특히, 실험 활동은 학생들에게 새로운 개념이나 이론을 탐색할 수 있는 구체적인 학습 경험을 제공해 줄뿐만 아니라 과학에 대한 긍정적인 태도를 개발하도록 도와줄 수 있다고 하였다.¹ 실험 활동의 핵심적인 목표는 사실과 설명들에 대해 심도 있게 이해하는 학습을 돕는 것이라고 보았으며,² 실험은 추상적인 과학 지식을 학습 지도하는데 효과적이며, 과학의 본질을 이해시키고 과학에 대한 태도를 함양시키는데 유용한 교수법이라고 하였다.³ 이처럼 과학 교육자들은 과학 교육에서의 실험 활동이 지적 발달을 도모하고, 관찰과 조작의 기술을 향상시키며, 구체적인 경험을 통해 탐구 능력과 문제 해결 능력을 신장시킬 뿐만 아니라, 과학 개념의 이해를 돕는다고 주장하고 있다.

연구의 필요성 및 목적. 중학교에서 교과서는 교육과정의 주된 실천 자료의 하나로서,⁴ 교육과정의 복잡 다양한 교육 목표를 성취하는데 있어서 가장 기본적, 중심적, 경제적, 그리고 간편한 교육 자료이다. 특히, 우리나라의 경우는, ‘교과서는 교육과정이다’라고 할만큼 교과서의 비중이 크다.⁵ 학교에서 교과서는 주된 학습 교재로 사용되고 있고, 교과서에 실린 내용들은 아무리 사소한 것이라도 중요한 의미를 가진 것으로 다루어지고 있다.⁶ 따라서, 과학 교육과정의 교과서 내용 구성에 있어서 탐구 과정의 중요성을 생각한다면 교과서에 제시되는 실험 장치와 실험 방법에서 어떤 내용을 어떤 형태로 조직하느냐 하는 것은 매우 중요한 과제이다. 그러나 실험 장치와 실험 방법에 잘못이 있거나, 실험 결과와 일치되지 않는 정의가 교과서에 제시된다면, 학생들은 학습을 통해 오히려 오개념을 획득하는 결과를 낼 수 있다.

중학교 제 6차 교육과정 과학 교과서의 구성은 물질의 물리적 성질로 끓는점과 어는점, 그리고 밀도 등을

가르치고 나서, 액체 혼합물을 분리하기 위하여 분별 증류라는 방법을 사용하고 있다. 증류란 용액을 부분적으로 증발시켜서 증기를 회수하여 잔류액과 나뉘어서 용액을 분리시키는 방법으로서, 분별 증류는 증기가 빠져 나오는 냉각기 사이에 분별 증류관을 삽입하여 용액의 끓는점 차이로 물질을 분리하는 방법을 말한다.⁷ 모든 중학교 과학 교과서가 혼합물 분리를 위한 증류 실험 장치로 냉각기와 분별 증류관이 없는 분별 증류 실험 장치를 제시하고 있다.

이무상 등⁸은 중학교 제 6차 교육과정 과학 교과서에서 공통으로 다루고 있는 에탄올 끓는점 측정 실험을 교과서의 내용대로 300 ml의 물 증탕에서 실험한 결과, 대부분의 실험 시간이 30분을 초과하였고, 끓는점의 그래프가 수평을 이루지 않고 계속 변동하여 정확한 끓는점을 구할 수가 없어서, 그 대안으로 물 증탕 대신 식자로 가열하고, 50 ml, 둥근 바닥 플라스크와 소형 냉각기가 연결된 일체형 끓는점 측정장치를 사용하여 끓는점의 문제점을 해결하였다. 송호봉과 차기성⁹은 끓는점 실험 장치에서 불-에탄올 혼합물을 물 증탕으로 교과서 안내대로 실험을 하였을 경우, 물의 끓는점은 표준상태에서 99.2 °C로 나타나 이론적인 값과의 차이가 있어 그 개선책으로 온도계를 액체 혼합물 상단 1 mm 위에 장치하여 기름 증탕에 의한 가열로 물의 끓는점을 측정했을 때 표준상태에서 100.1 °C로 나타나 정확한 측정값을 얻었다고 보고하고 있으나, 온도계의 위치가 증류되어 나가는 물질을 측정하는 것이 아니므로 액체 혼합물의 분별 증류 실험 개선안이라고 할 수 없는 것이다.

따라서, 이 연구에서는 제 6차 교육과정에 의한 중학교 과학 교과서에 제시된 분별 증류 실험 장치의 문제점을 실험을 통해서 분석하여, 중학교 실험실에서 실험하기에 안전하고 편리한 실험 장치와 중학교 과학 교육 목표에 부합되는 실험 결과를 얻을 수 있는 분별 증류 실험 방법을 제시하고자 한다.

연구 내용 및 방법

연구 내용. 제 6차 교육과정에 의한 중학교 1학년 과

Table 1. 분별 증류 실험 장치와 실험 방법 분류

| | 실험 | 혼합물 종류 및 부피 | 실험 장치 | 가열 기구 | 가열 방법 |
|--------|-------|---------------------|----------------------|--------|-------------|
| 교과서 실험 | 실험 1 | 물(10 mL)-에탄올(10 mL) | 가지 달린 둥근 플라스크 | 알코올 램프 | 지침 가열 |
| | 실험 2 | 물(10 mL)-메탄올(10 mL) | | | |
| | 실험 3 | 물(10 mL)-아세트(10 mL) | | | |
| | 실험 4 | 물(10 mL)-에탄올(10 mL) | 가지 달린 시험관 | 알코올 램프 | 물 증탕 |
| | 실험 5 | 물(10 mL)-메탄올(10 mL) | | | |
| | 실험 6 | 물(10 mL)-아세트(10 mL) | | | |
| 대안 실험 | 실험 7 | 물(10 mL)-메탄올(10 mL) | 가지 달린 시험관 직접 가열 | 알코올 램프 | 기름 증탕 |
| | 실험 8 | 물(10 mL)-아세트(10 mL) | | | |
| | 실험 9 | 물(10 mL)-메탄올(10 mL) | | | |
| | 실험 10 | 물(10 mL)-아세트(10 mL) | | | |
| | 실험 11 | 물(10 mL)-에탄올(10 mL) | 보온함 가지 달린 둥근 플라스크 | 가열 맨틀 | 향온 가열 |
| | 실험 12 | 물(10 mL)-메탄올(10 mL) | | | |
| | 실험 13 | 물(10 mL)-아세트(10 mL) | | | |
| | 실험 14 | 물(10 mL)-에탄올(10 mL) | | | 가열 온도 변화 |
| | 실험 15 | 물(10 mL)-메탄올(10 mL) | | | |
| | 실험 16 | 물(10 mL)-아세트(10 mL) | | | |

학 교과서의 혼합물 분리 단원에서 공통적으로 다루고 있는 분별 증류 실험이 8종의 과학 교과서에 어떻게 제시되어 있는지 비교하고, 제시된 실험 방법대로 실험을 각각 세 번씩 실시한 후 실험 결과를 분석한다. 그리고 실험 결과에 나타난 문제점을 개선할 수 있는 분별 증류 실험 장치와 방법을 제시하고, 그 실험 결과를 분석한다.

연구 방법. 이 연구에서는 Table 1과 같이 제 6차 교육과정에 의한 중학교 1학년 과학 교과서의 분별 증류 실험에서 사용하는 혼합물 종류, 실험 장치, 가열 기구, 가열 방법에 따라 분별 증류 실험을 분류하여 연구자가 각각의 실험을 같은 실험 장치로 시간 간격을 두고 세 번씩 실시하였다. 실험 기구는 비커(300 mL), 눈금실린더(10 mL, 50 mL), 가지 달린 시험관, 가지 달린 둥근 플라스크(250 mL), 알코올 램프, 가열 맨틀(M TOPC, MS-E102)을 사용하였으며, 알코올 온도계(-20~100 °C)는 온도계 보정 방법¹⁾에 의해 보정하여 사용하였다. 그리고 시약으로는 아세트(CH₃COCH₃, 동양화학 95% 시약용, 끓는점 56 °C), 메탄올(CH₃OH, 동양화학 99.0% 시약용, 끓는점 65 °C), 에탄올(C₂H₅OH, 동양화학 95% 시약용, 끓는점 78 °C), 증류수를 사용하였다.

제 6차 교육과정에 의한 중학교 1학년 과학 교과서의 분별 증류 실험 장치는 가지 달린 둥근 플라스크를 알코올 램프로 직접 가열하는 방법과 가지 달린 시험관을 알코올 램프로 사용하여 물 증탕으로 가열하는 방

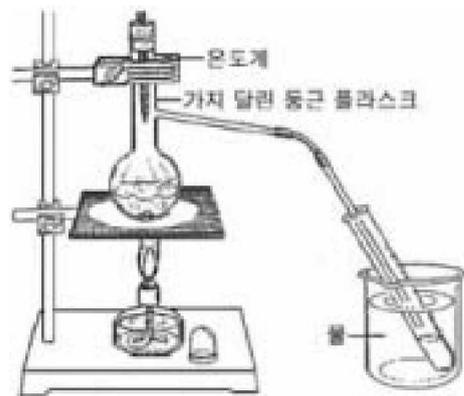


Fig. 1. 가지 달린 둥근 플라스크를 알코올 램프로 직접 가열하여 분별 증류하는 실험 장치.

법이 사용되고 있다. 그러나 대안 실험에서는 가지 달린 시험관을 알코올 램프로 직접 가열하는 방법과 기름 증탕으로 가열하는 방법, 그리고 보온함 가지 달린 둥근 플라스크를 가열 맨틀로 가열하는 방법을 사용하였다.

가지 달린 둥근 플라스크를 알코올 램프로 직접 가열한 실험. 이 실험 방법을 사용한 실험은 Table 1의 실험 1, 2, 3이고, 실험 장치는 Fig. 1과 같다. 같은 실험을 세 번 실시하여 얻은 실험값의 분별 증류 곡선을 각각 Fig. 4-6에 나타내었다.

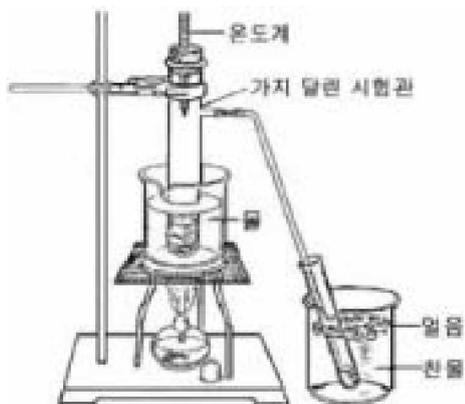


Fig. 2. 가지 달린 시험관을 알코올 램프를 사용하여 물 중탕으로 가열하여 분별 증류하는 실험 장치.



Fig. 3. 보온형 가지 달린 둥근 플라스크를 가열 맨틀로 가열하여 분별 증류하는 실험 장치.

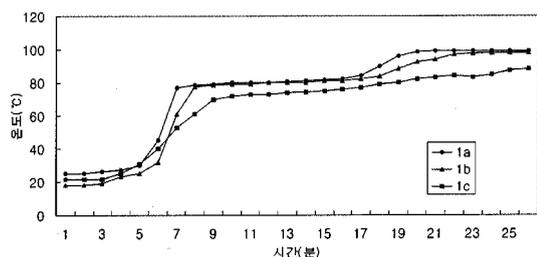


Fig. 4. 실험 1에 의한 물-에탄올 혼합물 분별 증류 곡선.

가지 달린 시험관을 알코올 램프를 사용하여 물 중탕으로 가열한 실험. 이 실험 방법을 사용한 실험은 Table 1의 실험 4, 5, 6이고, 실험 장치는 Fig. 2와 같다. 같은 실험을 세 번 실시하여 얻은 실험값의 분별 증류 곡선을 각각 Fig. 8-9에 나타내었다.

대안 실험. 대학교 실험실이나 화학자들은 둥근 플라스크와 냉각기 사이에 여러 가지 분별 증류관을 사용한

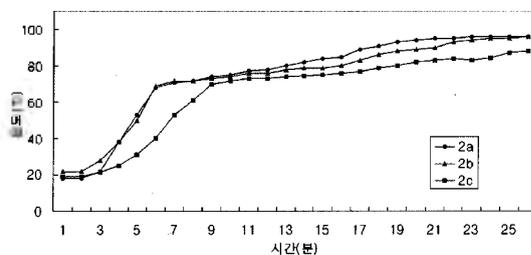


Fig. 5. 실험 2에 의한 물-메탄올 혼합물 분별 증류 곡선.

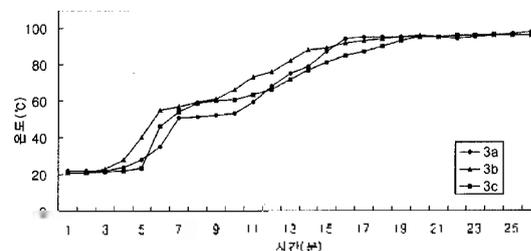


Fig. 6. 실험 3에 의한 물-아세톤 혼합물 분별 증류 곡선.

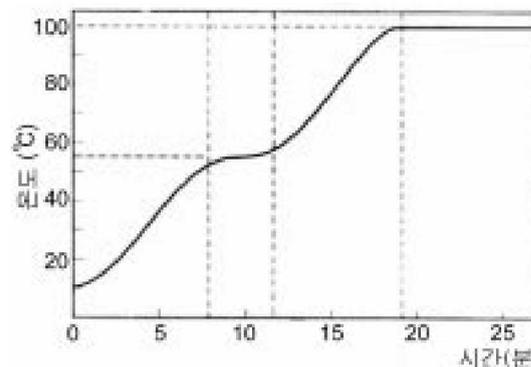


Fig. 7. C 과학 교과서에 제시된 물-아세톤 혼합물 분별 증류 곡선.

수 있고, 가열 방법을 다양하게 할 수 있는 분별 증류 장치를 사용한다. 그러나 중학교 실험실에는 분별 증류관이나 냉각기와 같은 실험기구가 미비되어 있고, 냉각기를 사용할 수 있는 수도시설이 되어 있지 않아 다음과 같은 대안 장치를 고안하였다.

첫 번째 대안 실험은 가지 달린 시험관을 알코올 램프를 사용하여 물 중탕 대신 기름 중탕으로 가열하는 방법으로서 Table 1의 실험 7, 8과 같다. 같은 실험을 세 번 실시하여 얻은 실험값의 분별 증류 곡선은 각각 Fig. 11과 12에 나타나있다. 두 번째 대안 실험은 가지 달린 시험관을 알코올 램프를 사용하여 직접 가열하는

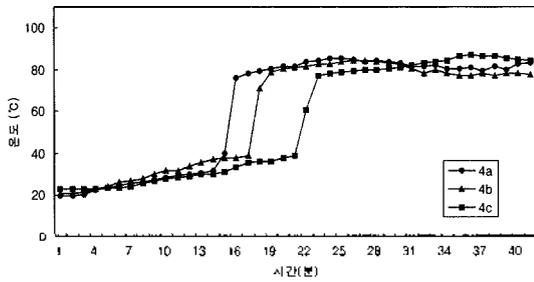


Fig. 8. 실험 4에 의한 물-에탄올 혼합물 분별 증류 곡선.

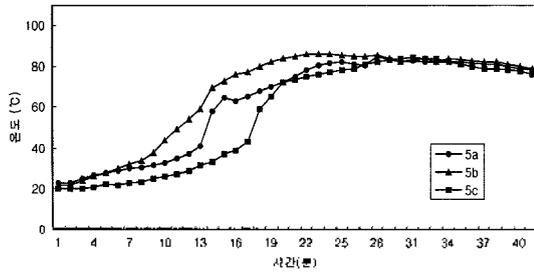


Fig. 9. 실험 5에 의한 물-에탄올 혼합물 분별 증류 곡선.

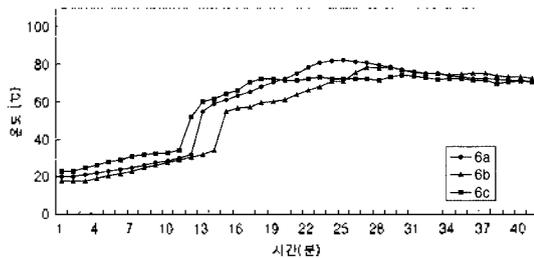


Fig. 10. 실험 6에 의한 물-아세톤 혼합물 분별 증류 곡선.

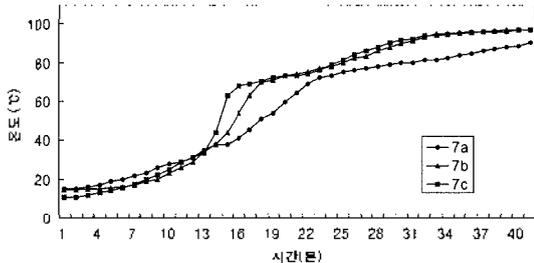


Fig. 11. 실험 7에 의한 물-에탄올 혼합물 분별 증류 곡선.

방법으로서 Table 1의 실험 9, 10과 같다. 같은 실험을 세 번 실시하여 얻은 실험값의 분별 증류 곡선은 각각 Fig. 13과 14에 나타나있다. 세 번째 대안 실험은 보온형 가지 달린 둥근 플라스크를 가열 맨틀로 가열하는 방법으로서 실험 장치는 Fig. 3과 같다. 가열 맨틀로 가

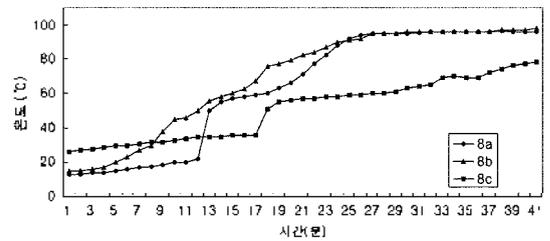


Fig. 12. 실험 8에 의한 물-아세톤 혼합물 분별 증류 곡선.

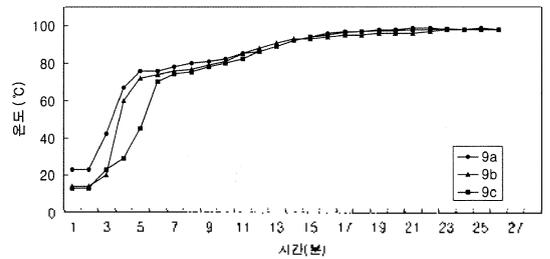


Fig. 13. 실험 9에 의한 물-메탄올 혼합물 분별 증류 곡선.

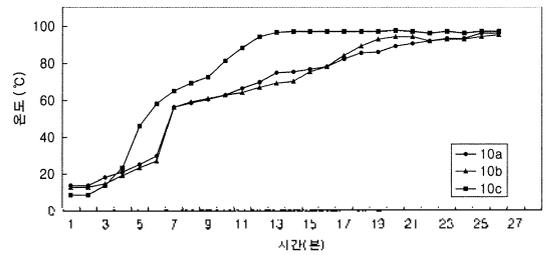


Fig. 14. 실험 10에 의한 물-아세톤 혼합물 분별 증류 곡선.

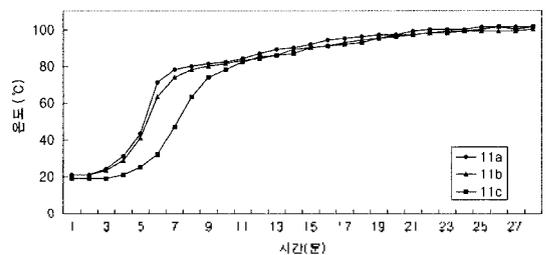


Fig. 15. 실험 11에 의한 물-에탄올 혼합물 분별 증류 곡선.

열 온도를 일정하게 한 실험은 Table 1의 실험 11, 12, 13이다. 같은 실험을 세 번 실시하여 얻은 실험값의 분별 증류 곡선은 각각 Fig. 15-17에 나타나있다. 액체 혼합물의 증류 온도 증가를 보면서 가열 맨틀의 가열 온도를 변화시키는 실험은 Table 1의 실험 14, 15, 16이다. 같은 실험을 세 번 실시하여 얻은 실험값의 분별 증류 곡선은 각각 Fig. 18-20에 나타나있다.

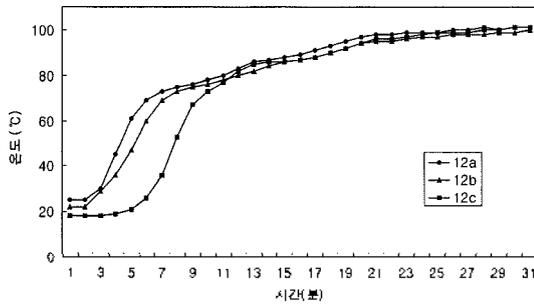


Fig. 16. 실험 12에 의한 물-메탄올 혼합물 분별 증류 곡선.

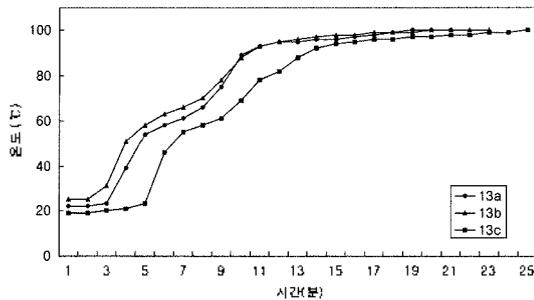


Fig. 17. 실험 13에 의한 물-아세톤 혼합물 분별 증류 곡선.

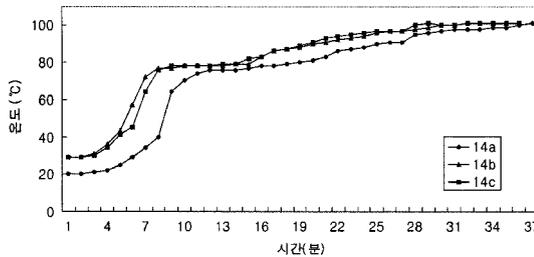


Fig. 18. 실험 14에 의한 물-에탄올 혼합물 분별 증류 곡선.

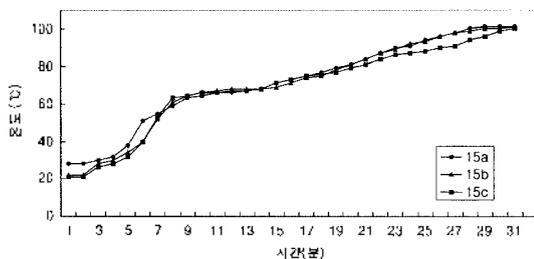


Fig. 19. 실험 15에 의한 물-메탄올 혼합물 분별 증류 곡선.

연구 결과 및 논의

제 6차 교육과정에 의한 중학교 1학년 8종 과학 교과서 분석, 제 6차 교육과정에 의한 중학교 1학년 8종

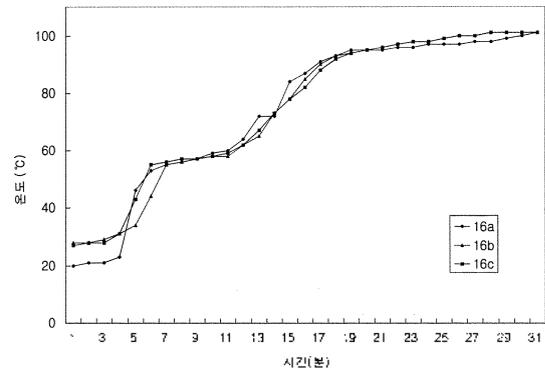


Fig. 20. 실험 16에 의한 물-아세톤 혼합물 분별 증류 곡선.

과학 교과서의 분별 증류 실험을 액체 혼합물의 종류와 실험 장치, 그리고 가열 방법에 따라 분류해 보면 6가지로 분류할 수 있다. 한편, 가열 방법은 두 가지를 사용하고 있다. 즉, Fig. 1과 같이 가지 달린 둥근 플라스크를 직접 가열하는 방법은 A.¹⁰ B.¹¹ C.¹² 과학 교과서 3종에 있고, Fig. 2와 같이 가지 달린 시험관을 알코올 램프로 사용하여 불 중탕으로 가열하는 방법은 D.¹³ E.¹⁴ F.¹⁵ G.¹⁶ H.¹⁷ 과학 교과서 5종에 있다. 또한, 액체 혼합 물로는 물과 에탄올, 물과 메탄올, 그리고 물과 아세톤과 같이 세 가지 종류가 있다.

가지 달린 둥근 플라스크를 알코올 램프로 직접 가열한 실험, Table 1의 실험 1에 의한 보온형 가지 달린 둥근 플라스크를 사용하여 불(10 mL)과 에탄올(10 mL)의 혼합물 분별 증류 결과는 Fig. 4와 같다. 이 실험은 Table 2의 과학 교과서 A에 제시된 분별 증류 실험과 같은 것이다.

물-에탄올 혼합물에서 에탄올은 거의 일정한 온도에서 증류되지 않고, 77°C에서 84°C 범위에서 서서히 증가하면서 증류되는 것을 Fig. 4의 증류 곡선에서 볼 수 있다. 이 분별 증류 곡선의 수평 부분에 해당하는 증류액으로부터 순수한 에탄올을 분리할 수는 없지만 거의 일정한 수평 부분을 나타내고 있다. 물과 에탄올의 혼합물은 용액 내에서 분자간의 상호 작용으로 최소 끓는점 공비 혼합물(minimum-boiling azeotropic mixture)을 형성하여 순도 95.6%의 에탄올만을 얻을 수 있으므로,⁷ 분별 증류의 액체 혼합물로 사용할 때는 이점을 고려해야만 한다. 긴 분별 증류관을 사용하지 않는 Fig. 1과 같은 분별 증류 실험 장치로는 액체 혼합물의 성분들 간에 끓는점 차이가 많이 나는 것이 혼합물의 분별 증류를 보다 효과적으로 나타낼 수 있는데, 8종의 과학

Table 2. 중학교 1학년 8종 과학 교과서의 분별 증류 실험 장치와 실험 방법 분석

| 교과서 분류명 | 지은이 | 출판사 | 혼합물 종류 | 실험 장치 | 가열 방법 |
|---------|-------|--------|--------|-------------------|-------|
| A | 권재술 등 | 한샘 출판사 | 물-에탄올 | 보온형 가지 달린 둥근 플라스크 | 직접가열 |
| B | 박봉상 등 | 동화사 | 물-메탄올 | 가지 달린 둥근 플라스크 | 직접가열 |
| C | 정창희 등 | 교학사 | 물-아세톤 | 가지 달린 둥근 플라스크 | 직접가열 |
| D | 공구영 등 | 지학사 | 물-에탄올 | 가지 달린 시험관 | 물 증탕 |
| E | 송인병 등 | 교학사 | 물-메탄올 | 가지 달린 시험관 | 물 증탕 |
| F | 강영희 등 | 두산동아 | 물-메탄올 | 가지 달린 시험관 | 물 증탕 |
| G | 김시중 등 | 금성교과서 | 물-아세톤 | 가지 달린 시험관 | 물 증탕 |
| H | 유규환 등 | 천재교육 | 물-아세톤 | 가지 달린 시험관 | 물 증탕 |

교과서에 제시된 액체 혼합물 중에서 물과 에탄올의 끓는점 차이가 가장 적으므로 탐구 학습의 교육 목표에 부응하는 분별 증류 곡선을 얻기 어렵다.

Table 1의 실험 2에 의한 물(10 mL)과 메탄올(10 mL)의 혼합물 분별 증류 결과는 Fig. 5와 같다. 이 실험은 Table 2의 과학 교과서 B에 제시된 분별 증류 실험과 같은 것이다.

Fig. 5에서 보는 바와 같이 68 °C 정도에서 증류 곡선이 계속 증가하지만 가지 달린 둥근 플라스크 윗 부분에 보온이 되어 있지 않아 공기 냉각으로 인하여 최고의 증류 온도로 96 °C까지만 얻을 수 있었다. 따라서, 이 실험은 물과 메탄올 혼합물이 분별 증류로 분리될 수 있다는 것을 나타내기에는 문제점이 있는 것이다.

Table 1의 실험 3에 의한 물(10 mL)과 아세톤(10 mL)의 혼합물 분별 증류 결과는 Fig. 6과 같다. 이 실험은 Table 2의 과학 교과서 C에 제시된 분별 증류 실험과 같은 것이다.

실험 3도 실험 2와 같이 가지 달린 둥근 플라스크 윗 부분에 보온이 되어 있지 않아 공기 냉각으로 인하여 Fig. 6에서 보는 바와 같이 물의 끓는점인 100 °C에 가까운 증류 온도를 얻을 수가 없었다. 그러나 물과 아세톤의 끓는점 차이가 커서 효율적인 분별 증류가 일어날 수 있어 분별 증류 곡선에서 아세톤과 물이 분리되는 부분이 비교적 잘 나타나고 있다.

Table 1의 실험 1, 2, 3 중에서 실험 1은 가지 달린 둥근 플라스크의 윗 부분에 봉대를 감은 보온형으로 공기에 의한 냉각을 많이 줄였기 때문에 Fig. 4와 같이 분별 증류 곡선에서 물질이 분리되어 나오는 수평부분이 비교적 잘 나타나고 있다. 그러나 실험 2, 3은 보온형 가지 달린 둥근 플라스크를 사용하지 않아서 물의 끓는점에 가까운 증류 온도를 얻을 수 없었다. 그리고 실험

1, 2, 3의 에탄올과 메탄올, 그리고 아세톤은 인화성 물질이므로 가지 달린 둥근 플라스크에 알코올 램프로 직접 가열하는 분별 증류 실험은 화재와 같은 실험실 안전 사고가 일어날 수 있는 문제점을 지니고 있다.

Table 2의 과학 교과서 C는 실험 3의 분별 증류 실험 결과로 Fig. 7의 분별 증류 곡선을 제시하고, "혼합물 용액에서 아세톤과 물의 끓는점은 1기압에서 각각 56.5 °C와 100 °C이다." 라고 설명하고 있다. 그러나 실제 실험 결과인 Fig. 6에서는 아세톤의 끓는점을 쉽게 찾을 수가 없다. Fig. 7은 순수한 아세톤과 물의 증류 온도를 감안한 이론적인 분별 증류 곡선으로 혼합물에서의 물질 간 상호 작용을 고려하지 않은 것이라고 할 수 있다. 따라서, 이런 이유로 인하여 학생들은 자기가 실제로 실험을 하여 얻은 실험 결과가 과학 교과서의 분별 증류 곡선과 다르므로 실험이 틀렸다고 생각할 수 있게 할 수 있다.

가지 달린 시험관을 알코올 램프를 사용하여 물 증탕으로 가열한 실험. Table 1의 실험 4, 5, 6에 의한 액체 혼합물 분별 증류 실험 결과들은 Fig. 8, 10과 같다. 이 실험들은 Table 2의 과학 교과서 D, E와 F, G와 H에 제시된 실험 방법이다.

가지 달린 시험관을 사용하여 물 증탕으로 가열한 경우는 액체 혼합물의 증류에 관계없이 모든 실험 시간이 40분을 넘었고, 공기 중으로 노출된 가지 달린 시험관 윗 부분의 공기 냉각으로 인하여 최고의 증류 온도로 물의 끓는점인 100 °C에 훨씬 못 미치는 90 °C까지도 얻을 수가 없었으며, 돌비 현상과 공기 냉각 등으로 실험값이 매우 불규칙적이었다. 그러므로 물 증탕에 의한 수용액의 분별 증류 실험은 물의 증류 온도인 100 °C를 근본적으로 얻을 수 없으므로 탐구 학습을 위한 효율적인 실험 장치라고 할 수 없다. 그러나 화재와 같은 실험

험실 안전 사고를 방지할 수 있는 실험 장치이므로 끓는점이 80 °C 이하인 인화성 물질들의 분별 증류 실험 장치로는 사용할 수 있을 것이다.

Table 2의 과학 교과서 D. E. G는 Fig. 2의 가지 달린 시험관을 불 증탕으로 가열하는 분별 증류 실험 장치로 각각 물-에탄올, 물-메탄올, 물-아세톤 혼합물을 실험한 결과들이 Fig. 8, 9, 10과 같은 분별 증류 곡선들로 나타나는데도 마치 순수한 물질이 독립적으로 분리될 수 있는 것처럼 과학 교과서에 이론적인 수용액의 분별 증류 곡선인 Fig. 7과 같은 모양으로 제시하여 설명하고 있다. 이는 과학 교과서의 혼합물 분리 단원의 성격상 끓는점이 물질의 고유한 성질을 지나치게 강조한 나머지 혼합물을 이루고 있는 각각의 물질들이 순물질의 물리적 성질을 그대로 가지고 있다고 생각하여 제시한 것일 수 있다.¹⁸

가지 달린 시험관을 기름 증탕으로 가열한 대안 실험. 제 6차 교육과정에 의한 중학교 1학년 8종 과학 교과서를 가열 형태에 따라 분류하여 실험해 본 결과 뚜렷한 차이가 있었다. 액체 혼합물을 직접 가열했을 경우에는 물의 끓는점인 100 °C에 가까운 증류 온도를 얻을 수 있었다. 그러나 불 증탕으로 가열했을 경우에는 공기 냉각으로 인하여 증류 온도를 90 °C까지도 얻을 수가 없었다. 따라서, 불 증탕 가열 방법의 대안으로 100 °C 이상의 온도를 유지할 수 있는 기름 증탕 가열 방법을 생각해 보았다. 기름 증탕 가열 방법을 사용하여 물-메탄올과 물-아세톤 혼합물을 분별 증류한 실험 결과들은 Fig. 11과 12와 같다.

가지 달린 시험관을 기름 증탕으로 가열한 대안 실험에 의한 액체 혼합물의 분별 증류 실험 결과들인 Fig. 11과 12를 살펴보면, 최고의 증류 온도는 100 °C에 가깝게 올라가지만 알코올 램프의 가열 형태에 따라 실험값의 변화가 심하게 나타나고, 매 실험마다 다른 모양의 분별 증류 곡선이 나타나므로 재현성이 떨어진다. 그러므로 가지 달린 시험관을 기름 증탕으로 가열하는 분별 증류 실험을 교과서 실험 보다 더 나은 대안 실험으로 생각하기에는 문제점을 가지고 있는 것이다.

가지 달린 시험관을 직접 가열한 대안 실험. Fig. 1과 같이 가지 달린 둥근 플라스크를 알코올 램프로 직접 가열하는 실험도 경우에 따라서는 실험 시간이 30분을 초과하는 경우가 있었다. 일반적으로 중학교 수업은 45분이므로 분별 증류 실험이 30분 이내에 끝나야만 가능할 것이다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위한 방

안으로 용기의 공간 면적이 적은 가지 달린 시험관을 알코올 램프로 직접 가열하는 방법을 대안으로 생각해 보았다. 가지 달린 시험관을 알코올 램프로 직접 가열하는 방법을 사용하여 물-메탄올과 물-아세톤 혼합물을 분별 증류한 실험 결과들은 Fig. 13과 14와 같다.

Fig. 13과 14에 나타난 액체 혼합물들의 분별 증류 실험 결과들을 살펴보면, 실험 종료까지의 시간은 거의 25분 이내이었다. 그리고 물의 끓는점인 100 °C에 가까운 증류 온도도 얻을 수 있었지만, 시험관 상부와 하부의 심한 온도차로 인한 증기압의 변화와 돌비 현상 등으로 실험값이 매우 불규칙하게 나타났다. 또한, 알코올 램프로 직접 가열하므로 인화성 물질로 인한 화재와 같은 실험실 안전 사고가 일어날 수 있는 문제점을 지니고 있다. 그러므로 가지 달린 시험관을 알코올 램프로 직접 가열하는 분별 증류 실험이 교과서 실험 보다 더 나은 대안 실험이라고 생각할 수가 없는 것이다.

가지 달린 둥근 플라스크를 가열 맨틀로 가열한 대안 실험. 지금까지의 과학 교과서 실험과 대안 실험들의 혼합물 분별 증류 실험 결과들을 분석해 보면, 실험값이 불규칙하게 나오는 가장 큰 이유는 공기 냉각과 돌비 현상. 그리고 일정한 온도로 가열되지 못했기 때문으로 판단된다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 알코올 램프 대신에 가열 맨틀을 사용하여 온도를 일정하게 가열할 수 있게 하고, 가지 달린 시험관에서 일어나는 돌비 현상을 줄이기 위하여 가지 달린 둥근 플라스크를 사용하였다. 또한, 실험 1의 보온형 가지 달린 둥근 플라스크와 같이 가지 달린 둥근 플라스크의 윗 부분을 봉대로 잡아 보온함으로 공기에 의한 냉각 요인을 줄일 수 있는 Fig. 3과 같은 혼합물 분별 증류 실험 장치를 고안해 보았다.

Table 2의 중학교 1학년 8종 과학 교과서에 사용한 물-에탄올과 물-메탄올, 그리고 물-아세톤 혼합물을 Fig. 3과 같이 보온형 가지 달린 둥근 플라스크를 사용하여 가열 맨틀로 가열 온도를 일정하게 한 실험 11과 12, 그리고 13의 실험 결과들은 Fig. 15-17과 같다. 여기서 가열 온도를 일정하게 가열하였다는 것은 (에서 7까지 온도 조절 눈금을 가진 150 W 220 V 가열 맨틀의 온도 조절 눈금을 4에 고정하였음을 의미한다.

Fig. 3의 대안 실험 장치에 의한 가열 온도를 일정하게 한 액체 혼합물의 분별 증류 실험 결과들인 Fig. 15-17을 살펴보면, 실험이 모두 30분 이내에 끝났으며, 물-아세톤 혼합물의 분별 증류 곡선은 혼합물이 분리되

는 구간이 비교적 잘 나타나지만, 나머지 두 혼합물의 분별 증류 곡선은 만족스럽지 못하였다. 따라서, 액체 혼합물의 전체 양이 20 mL인 대안 실험들과 달리 각 불질을 30 mL씩 액체 혼합물의 전체 양이 60 mL가 되게 하여 세 가지 액체 혼합물들에 대한 분별 증류 실험을 실시해본 결과, 액체 혼합물의 전체 양이 20 mL인 경우에 비하여 이론적인 분별 증류 곡선에 더 접근함을 볼 수 있었지만, 실험 소요 시간이 30분을 초과하는 문제점이 발견되어 권장할 만한 대안 실험으로 생각할 수가 없다.

혼합물의 증류 온도 증가를 보면서 가열 맨들의 가열 온도를 변화시키는 대안 실험. Fig. 18-20은 Fig. 3의 대안 실험 장치를 사용하여 액체 혼합물의 증류 온도를 증가를 보면서 가열 맨들의 가열 온도를 변화시킨 분별 증류 실험 14-16의 실험 결과들이다. 이 실험들에서 처음에는 가열 맨들의 온도 조절 눈금을 4로 하여 액체 혼합물을 가열하다가 액체 혼합물 중에서 끓는점이 낮은 물질의 끓는점보다 10°C 아래 정도의 증류 온도에 서부터는 가열 맨들의 온도 조절 눈금을 2로 하여 가열 하였으며, 끓는점이 낮은 물질의 끓는점 이상의 증류 온도에서는 다시 가열 맨들의 온도 조절 눈금을 4로 하여 가열하였다.

Fig. 3의 대안 실험 장치에 의한 액체 혼합물의 증류 온도를 보면서 가열 맨들의 가열 온도를 변화시킨 분별 증류 실험 결과들인 Fig. 18-20을 살펴보면, 가열과 환류비(reflux ratio)가 적절하게 조절되어 액체 혼합물의 분별 증류 곡선이 끓는점 차이를 이용하여 혼합물을 분리할 수 있다는 것을 잘 나타내 준다. 특히, 불-아세트 혼합물의 분별 증류 곡선인 Fig. 20은 수용액의 이론적인 분별 증류 곡선과 거의 비슷하며, 액체 혼합물의 분별 증류를 가장 잘 나타내 주는 것이다. 또한, 실험 소요 시간도 30분 정도이며, 화재와 같은 실험실 안전 사고를 걱정할 필요가 없는 실험이다. 그러므로 Fig. 3과 같은 분별 증류 실험 장치와 액체 혼합물의 증류 온도 증가를 보면서 가열 맨들의 가열 온도를 변화시키는 실험 방법이 중학교 실험실에서 능률적이고 안전한 액체 혼합물의 분별 증류 실험 장치와 방법으로 생각된다.

결론 및 제언

이 연구는 제 6차 교육과정에 의한 중학교 1학년 8종 과학 교과서 중에서 분별 증류 실험에 대한 문제점을

파악하여, 개선책을 마련해보고자 하는 것이 목적이었다. 연구 결과들을 종합하여 얻은 결론은 다음과 같다.

첫째, 중학교 1학년 8종 과학 교과서 분석 결과, 분별 증류 실험을 실험 장치와 가열 방법에 따라서 분류하면, 가지 달린 시험관을 불 중탕으로 가열하는 실험 방법이 제시된 과학 교과서가 5종으로 제일 많았으며, 가지 달린 둥근 플라스크를 직접 가열하는 실험 방법이 제시된 과학 교과서는 3종이었다. 둘째, 과학 교과서에서 제시한 실험 방법에 따라 같은 실험을 세 번씩 실시해 본 결과, 보온형 가지 달린 둥근 플라스크를 알코올 램프로 직접 가열하는 분별 증류 실험은 불질의 끓는점이 비교적 일정하게 유지되는 부분은 나타났으나, 알코올 램프로 직접 가열함으로써 인화성 물질의 사용에 따른 화재와 같은 실험실 안전 사고가 일어날 수 있는 문제점을 가지고 있었다. 셋째, 4종의 과학 교과서에서 제시한 혼합물의 분별 증류 곡선은 이론적인 것으로 실제의 실험에서 얻은 분별 증류 곡선과는 기리가 멀어 학생들에게 자신의 실험 결과가 틀린 것이라는 생각을 가질 수 있도록 하였다. 넷째, 가지 달린 시험관을 물 중탕으로 가열하는 분별 증류 실험 장치는 실험 수행상 안전성은 있지만, 돌비 현상과 공기 냉각 등으로 인하여 분별 증류 곡선이 불규칙하게 나타났을 뿐만 아니라, 증류 온도를 불의 끓는점인 100°C까지 얻을 수 없으므로 수용액의 분별 증류 실험 장치로는 적절하지 못한 장치이다. 다섯째, 대안 실험 중에서 기름 중탕을 사용한 실험은 증류 온도를 100°C에 가깝게는 얻었지만 실험 소요 시간이 30분을 초과하였고, 실험의 재현성이 떨어졌다. 또 다른 대안 실험인 가지 달린 시험관을 알코올 램프로 직접 가열한 실험은 실험 소요 시간을 30분 이내로 줄일 수는 있었지만, 돌비 현상이 심하게 일어났고, 분별 증류 곡선이 불규칙하여 실험의 재현성이 없었다. 여섯째, 이 연구에서 개선책으로 제시한 보온형 가지 달린 둥근 플라스크를 가열 맨들을 사용하여 일정한 온도로 가열한 대안 실험에서는 불-아세트 혼합물을 사용한 분별 증류 실험이 끓는점 차이로 액체 혼합물을 분리할 수 있음을 비교적 잘 나타내 주었다. 그리고 액체 혼합물의 증류 온도 증가를 보면서 가열 맨들의 가열 온도를 변화시킨 대안 실험의 분별 증류 곡선은 수용액에서 분리되는 불질의 끓는점을 비교적 잘 나타내 주었으며, 끓는점의 실험값이 이론값에 가장 근접하였고, 실험 소요 시간도 30분 정도였다. 특히, 불-아세트 혼합물의 분별 증류 곡선은 수용액의 이론적인

분별 증류 곡선과 모양이 거의 비슷하였다.

이상의 연구 결과들로부터 이상적인 액체 혼합물 분별 증류 장치를 사용하기 어려운 중학교 과학실 여건과 실험실의 안전 사고 방지, 그리고 중학생들의 실험 능력을 고려 할 때, 보존형 가열된 등근 플라스크를 가열 맨틀로 가열하는 분별 증류 실험 장치와 물-아세트 혼합물이 중학교 과학 교육과정 중 혼합물의 분별 증류 실험 장치와 액체 혼합물의 종류로 가장 적합한 것이므로, 이 연구에서 개선책으로 제시하고자 하는 바이다. 그리고 제 7차 교육과정에서는 액체 혼합물의 분별 증류 실험이 중학교 2학년 과학 교육과정에 편성되어 2002학년도부터 실시될 예정이므로, 이 연구의 결과가 과학 교과서 집필에 반영되기를 바라는 바이다.

인 용 문 헌

1. 김희백, 김도옥, *한국중등과학 교육학회지* **1995**, *14*, 163.
2. White, R. T. *International Journal of Science Education* **1996**, *18*, 761.
3. Tamir, P. *Training teachers to teach effectively in the laboratory science education* **1988**, *73*, 59.
4. 정완호, *생물 교육* **1981**, *9*, 3.
5. 김효진, 김위규, 박현주, *대한화학회지* **1999**, *43*, 5.
6. 한국교육개발원, *한국교육개발원 연구 보고서* 1995, PR95-17.
7. Adams, R.; Johnson, J. R.; Wilcox, Jr. C. F. *Laboratory Experiments in Organic Chemistry*, 7th ed.; Macmillan Publishing Co., Inc.: New York, U.S.A., 1979; pp 19-53.
8. 이무상, 어수동, 이환진, 배준응, 이광필, 이우봉, 천영숙, 남상대, *화학교육* **1997**, *24*, 326.
9. 송호봉, 자기성, *화학교육* **1996**, *23*, 179.
10. 원재술, 김범기, 최병순, 원종오, 이길재, 임진일, 정진우, 이연우, 홍성일, *중학교 과학 I*, 한샘출판사, 1997.
11. 박봉상, 이정쌍, 박희송, 김운우, 정대영, 허성일, 서광호, 최병수, *중학교 과학 I*, 동화사, 1997.
12. 정창희, 이원식, 강만식, 이인규, 송희성, 윤홍식, 이금휘, 한인섭, 박은호, 문찬호, *윤용 중학교 과학 I*, 교학사, 1997.
13. 공구영, 김진규, 이광만, 허 등, 김택중, 정문호, 이기성, 김병국, 안태근, 김영국, 김수용, 정의원, 박병훈, *중학교 과학 I*, 지학사, 1997.
14. 송인명, 이춘우, 오세적, 최석남, 박영철, 문형태, 우영규, *박종흠 중학교 과학 I*, 교학사, 1997.
15. 강영희, 조완규, 권숙일, 나일성, 소현수, 조희구, 이민호, 윤길수, 하효명, 서평웅, 김종권, 이영만, 목창수, *중학교 과학 I*, 두산 동아, 1997.
16. 김시중, 정완호, 한복수, 우종욱, 이종면, 임경배, 정근화, 민정덕, 구창현, 이광식, 최동형, 김병국, 이상진, 박범익, *중학교 과학 I*, 금성출판사, 1997.
17. 우규환, 홍종배, 안태인, 권병두, 진황운, 손영진, 이평윤, 전성용, *중학교 과학 I*, 천재교육, 1997.
18. 백성례, *화학교육* **2000**, *27*, 71.