

화학평형과 평형이동에 대한 대학생과 교사들의 개념 조사

朴鍾倫* · 朴賢珠

이화여자대학교 사범대학 과학교육과
(2001. 8. 21 접수)

Identification of College Students' and Teachers' Conceptions for Chemical Equilibrium and Equilibrium Shift

Jong-Yoon Park* and Hyun-Joo Park

Department of Science Education, Ewha Womans University, Seoul 120-750, Korea

(Received August 21, 2001)

요 약. 본 연구에서는 화학평형과 평형이동에 관한 대학생들과 교사들의 개념형성 정도를 조사하기 위하여 개념검사 문항을 이용하여 서울지역 대학교 1학년 학생 53명, 3학년 학생 28명, 4학년 학생 26명과 고등학교 교사 10 명에게 지필검사를 실시하였다. 개념검사 문항의 내용은 기체의 부분압력과 농도 계산, 기체상 반응의 평형상수 계산과 비활성 기체 첨가에 의한 평형이동, 약산 수용액에서의 농도 계산과 물 또는 공통이온 첨가에 의한 평형이동에 관한 것으로 르사블리에 원리의 적용이 어려운 상황에서 반응지수의 변화를 이용하여 평형이동 방향을 예측할 수 있는가에 초점을 두었다. 응답 내용을 분석한 결과, 교사와 물리화학을 배운 3학년 학생들의 정답률이 일반화학을 배운 1학년 학생들이나 물리화학을 배우지 1년 정도 지난 4학년 학생들보다 유의미하게 높은 것으로 나타났다. 그리고 선수 개념인 부분압력과 농도 계산에 대한 정답률은 높았으나 이와 동일한 조건에서 화학평형이동 방향을 예측하는 문항의 정답률은 낮게 나타나 계산 능력보다는 반응지수를 이용한 평형이동의 예측에 대한 개념 형성이 부족한 것으로 드러났다.

주제어: 화학평형, 평형이동, 르사블리에 원리, 반응지수, 개념조사

ABSTRACT. A concept test was administered to college students and teachers to identify their understanding of chemical equilibrium and equilibrium shift. The subjects were 53 freshmen in the General Chemistry class, 28 juniors in the Physical Chemistry class and 26 seniors from a university and 10 high school teachers in Seoul. Test items include the calculations of partial pressure and concentration of the gas in the mixture, the equilibrium constant calculation and the prediction of equilibrium shift when an inert gas is added to the gaseous reaction system, and the equilibrium concentration calculation and the prediction of equilibrium shift when water or common ion is added to the weak acid solution. The test was focused to identify whether the subjects can predict equilibrium shift using the reaction quotient change for the situations in which Le Chatelier principle is difficult to apply. The results showed that the achievements of teachers and juniors were significantly higher than those of freshmen and seniors. Many students had difficulties in predicting equilibrium shift using the reaction quotient while they could calculate partial pressure and concentration for the same situation. It means they are lack of conceptual understanding of chemical equilibrium shift.

Keywords: Chemical Equilibrium, Equilibrium Shift, Le Chatelier Principle, Reaction Quotient, Identification of Conception

서 론

과학교육의 주요 목표는 과학 개념의 이해와 탐구 방법의 습득을 통한 문제해결력의 신장과 과학적 태도를 함양하는 것이다. 그러므로 과학학습에서 학생들에게 올바른 과학 개념을 습득하게 하는 것은 과학교육의 중요한 목적 중의 하나이다. 그러나 학생들은 학습과정에서 항상 가르쳐 주는대로 과학개념을 받아들이는 것은 아니다. 구성주의 학습이론에 기반을 둔 그 동안의 연구들에 의하면 학생들은 수업 전에 나름대로의 선개념을 가지고 있으며, 새로 배운 내용을 이러한 선개념과 연관하여 학생 스스로 개념을 구성해 간다는 것이다.¹ 따라서 모든 학생들이 교사가 의도한대로 개념을 형성하는 것은 아니며, 같은 내용을 배워도 학생들마다 다른 개념을 가질 수 있다. 그리고 학생들의 선개념은 일반적으로 가르치고자 하는 현재의 과학 개념과는 다르고(이 경우 오인 또는 오개념, 대체개념이라고도 함), 때로는 올바른 과학 개념을 받아들이는데 방해요소로 작용하기도 하는 것으로 드러났다.^{1,2} 따라서 효과적인 학습전략을 수립하기 위해서는 학생들이 수업 전에 가지고 있는 선개념과 수업 후에 학생들이 습득한 개념을 파악하는 것은 필수적인 요소이다.

학생들의 개념 조사와 개념변화에 대한 연구는 전세계적으로 중요한 연구 주제이며, 1970년대 후반부터 많은 연구 결과들이 보고되고 있다. 국내에서는 1980년대에 학생들의 개념과 관련된 구성주의 이론이 소개되었고,³ 이와 관련하여 현재까지 80여편의 논문이 학술지에 게재되었다. 이러한 국내외 연구들의 연구 분제는 학생들은 어떤 오개념들을 가지고 있는가, 그 오개념은 어디서 유래한 것인가, 오개념은 얼마나 널리 퍼져 있는가, 학습 후에도 오개념이 계속 지속되는 이유는 무엇인가, 학생들의 개념변화를 위해서 교사가 할 수 있는 것은 무엇인가 등이다.⁴

화학평형은 화학에서 가장 중요한 개념 중의 하나로서, 산염기 반응, 산화환원 반응, 용해침전 반응, 기체의 용해도 등을 이해하는데 필수적인 개념이며,⁵ 일상 생활, 공업 및 환경 문제에도 널리 적용되고 있다. 그러나 이 개념은 여러 가지 종속적인 개념의 이해와 함께 형성적인 사고를 필요로 한다.^{6,7} 따라서 학생들이 이해하기 어렵고 또한 가르치기도 어려운 개념 중의 하나로서, 많은 학생들이 다양한 오개념을 가지고 있는 것으로 드러났다. 그 동안 화학평형에 대한 오개념을 조사

하기 위한 연구들은 여러 연구자들에 의해 진행되었고, 현재도 계속해서 보고되고 있다.^{4,6,10-28}

그 동안 화학평형에 대해 밝혀진 학생들의 오개념은 선수 개념의 부족과 잘못된 적용(이상기체법칙, 부분압력, 농도, 화학 양론, 반응속도 등), 평형상수와 평형상수식에 대한 잘못된 인식, 르사틀리에 원리의 기계적 적용 등 매우 다양하다. 특히 화학평형 이동과 관련된 르사틀리에 원리의 잘못된 적용에 대한 연구들이 많은데, 많은 학생들이 원리에 대한 이해보다는 단순한 암기에 의해 원리를 기계적으로 적용하기 때문에 잘못된 결론을 이끌어내는 것으로 밝혀졌다. 이것을 Furio 등은 기능적 고착(functional fixedness)이라고 하였다.¹²

르사틀리에 원리는 단순한 원리 적용으로 평형이동의 방향을 쉽게 알아낼 수 있기 때문에 문제해결에서 학생들이 즐겨 사용하지만 평형계의 조건에 따라 적용에 한계가 있기 때문에 잘못된 결과를 초래할 수 있다. Gold와 Gold는 르사틀리에 원리의 한계점과 보호할 면을 지적하면서 반트호프(van't Hoff)의 법칙과 같은 열역학적인 이론으로 설명할 것을 주장하였고,¹³ Allsop과 George,¹⁴ Quilez-Pardo와 Solaz-Portoles¹⁵는 화학평형의 조건 변화에 따른 평형이동의 방향을 예측하는데는 반응지수(reaction quotient)를 사용하는 것이 더 편리함을 지적하였다.

그러므로 본 연구에서는 우리 나라 대학생과 교사들의 화학평형과 평형이동에 대한 선수 개념의 정립 정도를 확인하고, 평형계에 비활성 기체를 첨가하거나 온도를 변화시키는 등의 변화를 주었을 때 평형이동의 방향을 예측하고 그 이유를 르사틀리에 원리의 이용과 반응지수를 이용하는 방법으로 모두 설명하게 하여 화학평형과 평형이동에 대한 대학생과 교사들의 개념형성 정도를 자세히 알아보려 한다.

연구 방법

연구 대상. 서울 지역의 한 여자대학교 사범대학 학생들과 고등학교 화학 교사를 임의로 선정하였으며, 그 구성을 Table 1에 제시하였다. 대학생들은 학습 정도에 따른 비교를 위하여 같은 학교 학생들을 선정하였다. 학생 집단은 일반화학을 수강하는 1학년 학생, 물리화학의 열역학을 수강하는 3학년 학생, 일반화학과 물리화학을 모두 수강한 4학년 학생들로 구성하였다. 교사 집단은 고등학교에서 공통과학이나 화학을 가르친 경

Table 1. Groups of subjects

Group	Class	Number
Freshman	General Chemistry	53
Junior	Physical Chemistry	28
Senior	Finished above two	26
Teacher		10

력이 있는 사람으로 선정하였으며, 경력 3년 미만은 3명, 3년 이상이 7명이고, 성별로는 남자 4명, 여자 6명이다. 교사 집단은 인원수가 적어 집단간 비교에 큰 의미가 없을 수도 있으나 본 연구 대상에 국한하여 논의하고자 하였다.

개념검사지 개발. 화학평형과 평형이동에 대한 학생들과 교사들의 개념형성 정도를 조사하기 위하여 선행 연구들을 바탕으로 개념검사지를 개발하였다. 개발된 문항들은 대학교 2학년 학생들을 대상으로 예비 조사를 실시하여 수정·보완한 후, 화학전공 교수 1명과 화학 교사 3명으로부터 타당도를 검증받았다. 최종 확정된 개념검사지는 3개의 범주로 구성된 총 14문항이며, 모든 문항은 객관식 문항과 이에 대한 이유를 서술하도

록 한 서술형 문항으로 구성되어 있다(Table 2).

[문항 1]은 화학평형과 평형이동에 대한 선수개념인 기체의 부분압력과 농도 계산에 관한 것으로 5개의 소문항으로 구성되어 있다. 즉, 반응을 하지 않는 기체 혼합물이 든 용기의 부피를 변화시키거나 용기에 기체를 더 주입했을 때, 성분 기체의 부분압력과 농도를 계산해보게 하는 문항이다. 이 문항들은 [문항 2]에 포함된 반응계의 조건 변화에 따른 기체의 부분압력과 농도 변화를 계산할 수 있는지를 알아보기 위한 것이다.

[문항 2]는 기체반응에 대하여 비활성 기체의 첨가나 반응계의 온도 변화에 따른 평형이동에 관한 것으로 5개의 소문항으로 구성되어 있다. 기체 반응계에 대하여 평형에 도달했을 때 평형상수를 계산하는 것이 1문항, 반응계의 조건 변화에 따른 평형이동 방향을 예측하고 그 이유를 브샤틀리에 원리와 반응지수를 이용하여 설명하도록 한 것이 4문항이다.

[문항 3]은 수용액에서 산해리 평형에 관한 것으로 4개의 소문항으로 되어 있다. 산해리 평형에 대한 평형이동은 교과서에서 잘 다루지 않으므로 학생들이나 교사들에게 친숙하지 않다. 그러므로 해법의 암기에 의한

Table 2. Items of the concept test

Category	Number	Content
[Item 1] Calculation of partial pressure and concentration of gas mixture	1-1	Calculation of partial pressure of gas in mixture when volume, total pressure and mole of each gas are given
	1-2	Calculation of partial pressure when volume of container is changed at constant temperature
	1-3	Calculation of partial pressure when known amount of a constituent gas is added at constant volume and temperature
	1-4	Calculation of partial pressure when known amount of a constituent gas is added and the volume of container is changed at constant temperature
	1-5	Calculation of concentration of gas when known amount of a constituent gas is added at constant volume and temperature
[Item 2] Equilibrium shift of gas phase reaction	2-1	Calculation of equilibrium constant when initial partial pressures of reactants and equilibrium partial pressure of product are given
	2-2	Prediction of equilibrium shift when volume is changed at constant temperature
	2-3	Prediction of equilibrium shift when inert gas is added at constant volume and temperature
	2-4	Prediction of equilibrium shift when inert gas is added at constant pressure and temperature
	2-5	Prediction of equilibrium shift when temperature is changed
[Item 3] Equilibrium shift of weak acid solution	3-1	Calculation of equilibrium concentration of hydronium ion when equilibrium constant is given
	3-2	Calculation of new equilibrium concentration of hydronium ion when water is added
	3-3	Prediction of equilibrium shift when water is added
	3-4	Prediction of equilibrium shift when salt containing common ion is added

풀이는 없을 것으로 생각되며, 평형이동에 대한 개념을 새로운 상황에 적용할 수 있는가를 알아볼 수 있을 것으로 생각된다. 분항의 구성은 약산 수용액의 산해리 평형에 대하여 H_3O^+ 이온의 농도를 계산하는 2분항과 반응계의 조건 변화에 따른 평형이동 방향을 예측하고 그 이유를 르사틀리에 원리와 반응지수를 이용하여 설명하도록 한 2분항으로 되어 있다.

개념조사 실시. 1학년 학생들은 일반화학 강의에서 화학 평형, 산염기 평형, 용해와 침전 평형을 배운 후에 개념검사를 정규시험에 포함하여 실시하였다. 3학년 학생들도 물리화학 강의에서 화학평형과 상평형을 배운 후에 개념검사를 정규시험에 포함하여 실시하였다. 4학년 학생들은 학생들의 동의를 얻어 학년 말에 조사를 하였다. 교사들은 인편으로 개념검사를 해당 교사에게 보내어 조사를 실시하고 그 자리에서 회수하였다. 따라서 1학년과 3학년은 개념검사지 내용이 시험 범위에 포함되므로 미리 준비를 한 상태이고, 4학년과 교사는 사전 준비없이 개념조사를 실시한 것이다. 조사 시간은 50분으로 하였다.

채점 및 결과 분석. 각 소분항들은 객관식 문항에서 답을 선택하고, 그 답을 선택한 계산 과정이나 이유를 쓰도록 한 서술형 문항으로 구성되어 있다. 배점은 객관식 문항은 1점, 서술형 문항은 2점으로 하여 소분항당 3점 만점으로 하였다. 그러나 평형이동의 방향을 묻는 문항에서는 그 이유를 르사틀리에의 원리로 설명하고, 또 반응지수도 설명하게 했으므로 서술형 문항이 2개가 되어 5점 만점이 된다. 따라서 [분항 1]은 15점 만점, [분항 2]는 23점 만점, [분항 3]은 16점 만점이 되어 총점은 54점 만점이 된다. 단, 1학년은 [분항 2-5]의 서술형 문항이 1개이므로 [분항 2]가 21점 만점이고 총점은 52점 만점이다. 서술형 문항의 응답은 그 내용에 따라 정답 유형, 오답 유형, 기타, 무응답으로 분류하였으며, 이로부터 응답자의 개념형성 정도를 분석하였다.

결과 및 고찰

전체 문항에 대한 정답률 분석. 각 집단별로 개념검사 점수의 평균과 표준편차를 Table 3에 제시하였다. 개념검사 점수의 총점은 54점(1학년은 52점) 만점이므로 편의상 평균 점수를 100점 만점으로 환산한 정답률도 함께 나타내었다.

전체 문항에 대한 평균 점수(정답률)는 교사 집단이

Table 3. The mean and the standard deviation of the concept test scores for each group

Group	Mean(%) ^a	Std. Dev.
Freshman(n=53)	23.5(45.2)	8.1
Junior(n=28)	34.1(63.2)	9.0
Senior(n=26)	24.7(45.8)	10.0
Teacher(n=10)	38.2(70.7)	11.7

^aThe full score is 52 for the freshman and 54 for the other groups. The % is the mean score converted to the full score of 100.

38.2점(70.7%)으로 가장 높고, 그 다음이 3학년으로 34.1점(63.2%)이다. 1학년과 4학년은 각각 23.5점(45.2%), 24.7점(45.8%)으로 비슷하며, 50% 미만의 정답률을 보인다. t-test 결과 1학년과 4학년, 3학년과 교사 사이에는 유의미한 차이가 없었으며($p > .05$), 나머지 경우에는 모두 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다($p < .01$).

4학년의 경우에 1학년과 비슷한 정답률을 나타낸 것은 의외인데, 4학년은 개념검사에 대비해 미리 준비하지 않은 것이 주된 이유로 생각된다. 4학년들은 물리화학에서 화학평형을 배운지 1년 정도 지난 시점이므로 화학평형에 대한 개념이 유의미하게 정착되지 않고 시간이 지남에 따라 기억 효과가 감소한 것으로 볼 수 있다. 한편, 교사들의 경우에는 대체로 높은 정답률을 나타내 대학에서 배운지는 오래 되었지만 현장에서 학생들을 가르치기 위해 지속적으로 공부해온 것으로 생각된다.

다음은 각 분항별로 분석한 결과이다.

[문항 1]에 대한 분석. [분항 1]은 화학평형의 선수 개념인 기체의 부분압력과 농도에 대한 이해 정도를 알아보기 위한 것으로 기체 혼합물에서 조건 변화에 따라 부분압력과 농도를 계산하는 문항으로 구성되어 있는데, 소분항별 정답률을 Table 4에 제시하였다.

같은 분항에 대해 객관식 문항의 정답률과 서술형 문항의 정답률을 비교해보면 두 정답률이 같은 경우도 있으나 대체적으로 서술형 문항의 정답률이 낮은 것으로 나타났다. 그러므로 대상 집단의 개념형성 정도는 서술형 문항의 정답률을 기준으로 논의하는 것이 타당할 것으로 생각된다. 그리고 교사 집단은 표집의 수가 적으므로 참고자료 정도로 활용해야 할 것으로 생각된다.

서술형 문항의 정답률을 보면 전체적으로 1학년이 다소 낮은 정답률(45.7%)을 보였으나 나머지 집단은 60%

Table 4. The percentage of correct answers for [item 1]

Item	Freshman(n=53)		Junior(n=28)		Senior(n=26)		Teacher(n=10)	
	Multiple Choice	Essay	Multiple Choice	Essay	Multiple Choice	Essay	Multiple Choice	Essay
1-1	90.6	81.1	100.0	100.0	100.0	92.3	100.0	100.0
1-2	84.9	79.2	100.0	100.0	96.2	92.3	100.0	100.0
1-3	64.2	34.0	100.0	92.9	73.1	53.8	70.0	60.0
1-4	50.9	22.6	71.4	57.1	57.7	38.5	70.0	50.0
1-5	18.9	11.3	46.4	32.1	30.8	30.8	50.0	30.0
Total	61.9	45.7	83.6	76.4	71.5	61.5	78.0	68.0

*Shaded areas indicate below 40%.

이상의 정답률을 나타내었다. 1학년은 일반화학에서 화
학평형을 배우기 이전에 이미 기체 법칙과 부분압력,
농도에 대해 배웠지만, 절반 정도의 학생들은 이 개념
들에 대한 이해가 부족한 것으로 생각된다. 각 소문항
별로 자세히 살펴보면 다음과 같다.

[문항 1-1]은 용기의 부피, 전체 압력, 성분 기체의 몰
수가 주어졌을 때 성분 기체의 부분압력을 계산하는 문
제로 객관식과 서술형 문항에서 모든 집단이 80% 이상
의 높은 정답률을 나타내었다. 기체 혼합물에 대한 돌
턴의 부분압력법칙은 고등학교 화학에서 처음 나오는
데, 이 문항의 경우 단순한 비례논리에 의거한 계산분
제이므로 별 어려움이 없는 것으로 보인다. 점수를 받
지 못한 응답자들은 대부분 무응답에 의한 것이다.

[문항 1-2]는 일정한 온도에서 용기의 부피를 변화시
켰을 때 기체의 부분압력을 계산하는 문제로, 객관식과
서술형 문항에서 모든 집단이 80% 정도 이상의 정답률
을 나타내었다. 그러므로 중학교 과정부터 도입되는 보
일의 법칙을 이용한 계산에는 익숙하다는 것을 알 수
있다. 이 문항에서도 점수를 받지 못한 응답자들은 대
부분 무응답에 의한 것이다.

[문항 1-3]은 용기의 온도와 부피가 일정한 조건에서
성분 기체 한 가지를 더 첨가했을 때 다른 성분 기체의
부분압력을 계산하는 문제이다. 객관식과 서술형 문항
에서 3학년 학생들은 90% 이상의 높은 정답률을 보인
반면, 1학년 학생들은 객관식에서 60% 이상의 정답률
을 보였지만 서술형에서는 40% 미만의 정답률을 나타
내었다. 이 문항도 대부분 무응답에 의해 정답률이 낮
아졌으나 일부 응답자의 경우(1학년 18.9%, 3학년 7.1%,
4학년 15.4%) 기체가 더 첨가되면 전체 압력이 증가하
는 사실을 간과하여 오답을 제시하였다. 그러므로 1
학년들은 부분압력법칙을 사용하여 계산은 하지만 기
체 혼합물 계에 대한 종합적인 사고가 부족한 것으로

생각된다.

[문항 1-4]는 일정한 온도에서 용기의 부피 변화와 함
께 성분 기체를 첨가한 조건 변화로 두 가지의 조작변
인이 포함된 문제이다. 전반적으로 조작변인이 하나인
[문항 1-3]에 비해 정답률이 상당히 하락하였으며, 1학
년과 4학년은 서술형 문항에서 40% 미만의 정답률을
나타내었다. 이 문항도 무응답이 많았으며, 오답으로는
[문항 1-3]에서와 동일하게 첨가된 기체에 의한 전체 압
력의 증가를 고려하지 못하고 부피 변화에 따른 압력
증가만 고려한 경우가 대부분이었다(1학년 24.5%, 3학
년 35.7%, 4학년 26.9%). 이러한 오답자의 수가 [문항
1-3]보다 현저히 늘어난 것은 흥미있는 결과이다. 즉, 조
작변인이 한 가지일 때는 올바르게 계산하는 학생들도
조작변인이 두 가지가 되면 오류를 범하는 것을 알 수
있다.

[문항 1-5]는 용기의 온도와 전체 압력이 일정한 조
건에서 한 성분 기체를 더 첨가하였을 때 다른 성분 기
체의 농도를 계산하는 문제로, 기체의 첨가에 의한 용
기의 부피 증가를 인식하는지 알아보기 위한 것이다.
앞의 문항들에 비해 정답률이 상당히 하락하였으며, 모
든 집단의 서술형 문항 정답률이 40% 미만으로 나타났
다. 특히 1학년 학생들은 11%로 아주 낮았으며, 교사
들도 30%밖에 되지 않았다. 무응답을 제외하면 예상한
대로 용기의 부피 증가를 고려하지 못한 오답이 대부분
이었다(1학년 43.4%, 3학년 46.4%, 4학년 34.6%, 교사
70.0%). [문항 1-3]의 결과와 비교해 보면 용기의 부피
가 일정할 때 기체의 몰 수에 따라 압력이 증가하는 것
을 이해하는 응답자들은 용기의 압력이 일정하면 기체
의 몰 수가 증가할 때 용기의 부피가 늘어난다는 것은
깨닫지 못하는 것을 알 수 있다. 그러므로 대학생뿐만
아니라 교사들까지도 친숙하지 않은 문제 상황에서는
오류를 범하고 있어 기체법칙에 대한 개념형성이 완벽

하지 못한 것을 알 수 있다.

이상의 결과로부터 학생들이나 교사들은 기체를 더 첨가하는 조건 변화에 대하여 용기의 전체 압력이나 부피 변화를 인식하는데 어려움을 느끼는 것을 알 수 있다. 그리고 문제 상황이 단순하고 친숙할 때는 기체법칙과 부분압력법칙을 적용하여 계산을 잘 하지만, 친숙하지 않은 문제 상황이나 조작변인이 두 가지인 경우에는 기체 혼합물 계에 대한 종합적인 사고를 하지 못함을 알 수 있다.

[문항 2]에 대한 분석. [문항 2]는 주어진 조건에서 기체의 부분압력을 이용하여 평형상수를 구하는 문항과 여러 가지 조건 변화에 따른 평형이동의 방향을 르샤틀리에 원리와 반응지수 또는 열역학 이론(van't Hoff 식)을 이용하여 설명하는 문항으로 되어 있다. 여기에 포함된 비활성 기체의 첨가에 의한 평형이동은 르샤틀리에 원리의 적용이 쉽지 않은 경우이고, 반대로 온도의 변화에 따른 평형이동은 르샤틀리에 원리로는 쉽게 답할 수 있으나 열역학적인 이론의 근거는 친숙하지 못한 경우이다. [문항 2]에 대한 소문항별 정답률은 Table 5에 제시하였다.

[문항 2]의 전체적인 정답률은 [문항 1]에 비해 교사 집단을 제외하고는 상당히 낮아졌는데, 특히 1학년과 4학년은 서술형 문항의 정답률이 30% 미만으로 아주 낮은 정답률을 보였다. 교사들은 거의 대부분의 문항에서 좋은 정답률을 보였다.

[문항 2-1]은 반응물의 초기 부분압력과 평형에 도달

한 후 생성물의 부분압력을 주고 평형상수를 계산하게 한 문항이다. 학생들 중에서는 의외로 1학년의 정답률이 가장 높고, 3학년의 정답률이 가장 낮게 나타났다. 가장 많은 오답 유형은 평형에서의 부분압력 대신 초기 상태의 부분압력을 평형상수식에 그대로 대입한 경우로 1학년 26.4%, 3학년 57.1%, 4학년 30.8%, 교사 20.0%의 아주 높은 오답률을 보였다. [문항 2-1]은 [문항 2]의 소문항 중에서 3학년 학생들의 정답률이 다른 집단에 비해서 가장 낮은 유일한 문항으로, 3학년들의 개념 형성이 부족하다기보다는 문제 이해에서의 단순한 실수로 생각된다. 이와 같은 계산 문제의 경우에는 문제 풀이의 연습 정도에 따라 영향을 받을 것으로 보이며, 일반화학 교과서에는 이러한 유형의 문제가 예제 형태로 제시되는데 비해, 물리화학 교과서에는 구체적인 계산 문제보다는 원론 위주로 설명되어 있기 때문이 아닌가 생각된다.

[문항 2-2]는 평형에서 반응 용기의 부피를 감소시켰을 때 평형이동의 방향을 예측하는 문항으로 이윤슬 문은 서술형은 르샤틀리에 원리의 적용과 반응지수를 이용하여 각각 진술하도록 되어 있다. 전체적으로 1학년과 4학년의 정답률이 낮았는데, 객관식 문항에 대한 정답률은 모두 60% 이상으로 나타났으나 서술형 문항에 대한 정답률은 낮았다.

르샤틀리에의 원리로 설명하라는 서술형 문항에는 1학년과 4학년이 50% 정도의 정답률을 나타내었다. 가장 많은 오답으로는 반응 용기의 부피를 감소시키면 반

Table 5. The percentage of correct answers for [item 2]

Item	Freshman(n=53)		Junior(n=28)		Senior(n=26)		Teacher(n=10)	
	Multiple Choice	Essay	Multiple Choice	Essay	Multiple Choice	Essay	Multiple Choice	Essay
2-1	58.5	56.6	25.0	25.0	46.2	46.2	90.0	80.0
2-2	60.4	47.2	82.1	71.4	65.4	50.0	100.0	90.0
		11.3	42.9	26.9		60.0		
2-3	43.4	11.3	82.1	64.3	23.1	15.4	100.0	90.0
		11.3	67.9	19.2		80.0		
2-4	1.9	0.0	82.1	67.9	23.1	15.4	100.0	70.0
		0.0	42.9	15.4		60.0		
2-5	69.8	67.9	67.9	57.1	46.2	38.5	100.0	90.0
		-	64.3	11.5		30.0		
Total	46.8	25.7	67.9	56.0	40.8	26.5	98.0	72.2

*Shaded areas indicate below 40%.

용 용기의 부피를 증가시키기 위해 몰 수가 증가하는 방향인 역반응 쪽으로 평형이 이동한다는 것이었다(1학년 24.5%, 3학년 10.7%, 4학년 26.9%). 이것은 용기 부피의 감소를 기정 사실로 받아들이지 않고 이 변화를 되돌리려 한 것으로 브샤틀리에 원리를 잘못 적용한 예이다.

반응지수를 이용하여 설명하라는 서술형 문항에서는 정답률이 훨씬 낮아졌는데, 특히 1학년은 11.3%에 불과했다. 가장 많은 오답으로는 반응 용기의 부피가 감소하면 반응물과 생성물의 부분압력이 모두 증가한다는 사실을 인지하지 못하고, 반응물 또는 생성물 어느 한 쪽의 변화만 생각하여 응답한 것이다(1학년 24.5%, 3학년 17.9%, 4학년 23.1%, 교사 20.0%). 1학년 학생들의 경우 무응답 비율도 26.4%로 나타나 일반화학만을 배웠을 때는 반응지수와 평형상수 이용에 대한 이해가 부족함을 보여준다.

Quilez-Pardo와 Solaz-Portoles⁴가 스페인의 대학교 1학년 학생 170명을 대상으로 조사한 연구에서는 반응 용기의 부피를 변화시켰을 때 평형이동의 방향을 예측하고 설명하게 한 문항에서 평형이동의 방향을 올바르게 예측한 학생은 40%, 설문까지 제대로 한 학생은 31%로 본 연구의 결과보다는 다소 낮은 정답률을 보였다. 이유 설명에서 브샤틀리에 원리를 이용한 학생이 21%, 반응지수를 이용한 학생은 10%로 나타나 반응지수를 이용한 학생은 본 연구 결과와 비슷한 비율로 나타났다.

[분항 2-3]은 평형에서 온도와 부피의 변화없이 비활성 기체를 첨가하였을 때 평형이동 방향을 예측하는 문제이다. [분항 2-2]의 결과와 비교했을 때, 3학년과 교사는 유사한 정답률을 보였으나 1학년과 4학년은 객관식과 브샤틀리에 원리 적용의 서술형에서 정답률이 크게 하락하였다. 그러므로 비활성 기체의 첨가에 의한 평형이동은 브샤틀리에 원리만으로 설명하기는 쉽지 않다는 것을 확인할 수 있다.

브샤틀리에 원리 적용에서 나타난 오답 유형으로는 반응 용기의 전체 압력이 증가하므로 이를 감소시키기 위하여 몰 수가 감소하는 정반응으로 평형이 이동한다는 것(1학년 28.3%, 3학년 3.6%, 4학년 42.3%)과 비활성 기체는 반응에 관여하지 않으므로 평형에 영향을 주지 않는다(1학년 26.4%, 3학년 3.6%)가 것이었다. 무응답의 비율도 1학년 28.3%, 3학년 21.4%, 4학년 23.1%, 교사 10.0%로 상당히 높게 나타났다.

반응지수를 이용한 설명에서 나타난 오답 유형은 브샤틀리에 원리 적용 경우와 마찬가지로 비활성 기체의 첨가는 평형에 영향을 주지 않는다는 것(1학년 20.8%)과 비활성 기체 첨가에 의해 전체 압력 증가와 함께 반응물과 생성물의 몰분율이 감소한다고 생각하는 것(1학년 7.5%, 4학년 23.1%)이 많았다. 무응답의 비율도 1학년 41.5%, 3학년 17.9%, 4학년 30.8%, 교사 20.0%로 높게 나타났다. 그러므로 1학년과 4학년의 경우에는 반응지수 이용에 대한 개념 정립이 부족함을 알 수 있다. 또한 대학생들의 경우 반응지수로 설명하는 서술형의 정답률이 브샤틀리에의 원리로 설명하는 서술형의 정답률에 비해 같거나 높게 나타났는데, 이는 비활성 기체를 첨가한 경우 성분 기체의 부분압력의 변화를 이해할 수 있어야 브샤틀리에의 원리를 사용할 수 있음을 나타낸다고 볼 수 있다. 즉, 비활성 기체 첨가에 따른 부분압력의 변화를 이해할 수 있으면 반응지수를 이용하여 설명할 수 있고, 또한 브샤틀리에 원리를 적용할 수 있다고 볼 수 있다.

Quilez-Pardo와 Solaz-Portoles⁴의 연구에서 이와 유사한 문항에 대한 대학교 1학년 학생들의 정답률은 평형이동의 방향 예측에서 65%, 이유 설명에서 9%로 나타나 본 연구 결과와 비슷하게 이유 설명에서 정답률이 대폭 감소하였다. 오답의 유형은 본 연구 결과와 유사하였다. 이유 설명에서 정답자로 분류한 9%의 학생 중 브샤틀리에 원리를 사용하거나 반응지수를 완벽하게 사용한 학생은 한 명도 없는 것으로 나타나 이러한 유형의 문제에서 브샤틀리에 원리의 적용만으로 문제 해결이 어렵다는 위의 설명을 뒷받침한다고 볼 수 있다.

[분항 2-4]은 평형에서 온도와 전체 압력을 일정하게 유지하면서 비활성 기체를 첨가하였을 때 평형이동 방향을 예측하는 문항이다. [문항 2-3]에서는 반응 용기의 부피가 일정하므로 비활성 기체를 첨가하면 전체 압력이 높아지지만 여기서는 반응 용기의 압력이 일정한 조건이므로 비활성 기체를 첨가하면 반응 용기의 부피가 증가하게 된다. 1학년을 제외하고는 [분항 2-3]의 경우와 비슷한 정답률을 나타내었다. 1학년은 정답률이 객관식 1.9%, 서술형 두 가지가 모두 0%로 아주 낮게 나타나 주어진 조건에서 반응 용기의 부피 증가를 전혀 인식하지 못한 것으로 드러났다. 따라서 이 문항에서는 물리화학을 배운 집단과 배우지 않은 집단간에 큰 차이가 있음을 알 수 있다.

브샤틀리에 원리를 이용한 설명에서 1학년과 4학년

의 정답률은 아주 낮았지만 3학년과 교사 집단은 높은 정답률을 보였는데, 비활성 기체의 첨가에 의해 반응 용기의 부피가 늘어나 성분 기체의 부분압력이 감소하므로 볼 수가 증가하는 역반응 쪽으로 평형이 이동한다고 하였다. 오답으로는 앞서와 같이 비활성 기체의 첨가는 평형에 아무 영향을 주지 않는다고 생각하는 것(1학년 37.7%, 4학년 26.9%)과 기체 첨가로 부피가 늘어나므로 부피를 감소시키는 정반응 쪽으로 이동한다는 것(1학년 18.9%, 4학년 23.1%) 그리고 전체 압력이 일정하면 기체 첨가로 부피는 늘어나나 부분압력에는 영향을 주지 않는다는 것(1학년 11.3%, 4학년 11.5%)이 있었다.

반응지수를 이용한 설명에서는 3학년과 교사들의 정답률이 다소 낮아졌다. 대표적인 오답 유형은 르샤틀리에 원리 이용의 경우와 유사하였고, 부응답의 비율이 높았다(1학년 34.0%, 3학년 25.0%, 4학년 23.1%, 교사 20.0%).

Quilez-Pardo와 Solaz-Portoles⁴의 연구에서도 이와 유사한 문항에서 대학교 1학년 학생들의 정답률이 평형 이동의 방향 예측은 12%, 이유 설명은 10%로 낮게 나타나 비활성 기체의 첨가로 인한 용기의 부피 증가를 인식하는 학생은 별로 많지 않음을 알 수 있다. 같은 연구에서 교사들도 30%만 부피 증가를 인식하는 것으로 나타났다. Furio 등⁵의 연구에서도 유사한 문항에서 이유 설명까지 모두 맞은 경우는 대학교 1학년 3%, 3학년 12%로 낮게 나타났다.

[문항 2-2]에서 [문항 2-4]까지는 모두 평형에서의 조건 변화에 따라 평형이동의 방향을 예측하는 문항인데, 물리화학을 방금 배운 3학년 학생들의 정답률이 모든 문항에서 높게 나온 반면, 일반화학만을 배운 1학년 학생들의 정답률이 가장 낮게 나왔다. 특히 비활성 기체 첨가에 관한 문항의 정답률이 낮았고, 그 중에서도 부피보다는 전체 압력을 통제 변인으로 설정한 경우의 정답률이 매우 낮게 나타났다. 즉 반응지수의 이용보다는 르샤틀리에 원리의 단순 적용에 익숙한 1학년 학생들의 경우 비활성 기체를 첨가하는 상황의 이해가 부족한 뿐 아니라 조건 변화에 따른 부피 변화에 대한 이해도 부족하다는 것을 알 수 있다. 그 결과 문제 상황을 제대로 이해하지 못하고 암기한 내용을 기계적으로 적용하는 기능적 고착(functional fixedness)이나 문제 해결에 필요한 모든 변인들을 고려하지 못하고 일부 조건만 생각하여 문제를 해결하는 기능적 환원(functional

reduction)에 해당하는 오답들이 많았다.¹² 따라서 올바른 문제 해결을 위해서는 화학평형에 관한 근본적인 이해와 함께 적절하게 변인을 통제할 수 있는 능력이 함께 수반되어야 한다는 것을 알 수 있다.

[문항 2-5]는 반열반응에서 평형계의 온도를 증가시켰을 때 평형이동 방향을 예측하는 문항으로 서술형 문항은 르샤틀리에 원리로 설명하는 것과 열역학 이론에 기초한 평형상수의 온도 의존도로 설명하는 두 가지로 구성되어 있다. 서술형의 두 번째 문항은 1학년에게는 어려운 것으로 생각하여 개념검사지에 포함하지 않았다. 이 문항의 결과는 특이하게 색관식과 르샤틀리에 원리를 적용한 서술형에서 1학년 학생들의 정답률이 가장 높게 나왔는데, 온도 변화에 따른 평형이동의 경우 르샤틀리에 원리를 암기함으로써 쉽게 적용할 수 있기 때문에 나타난 결과로 볼 수 있다. 김진구²⁶의 연구에서도 일반화학만 배운 집단과 물리화학을 배운 집단의 정답률이 40% 내외로 비슷하게 나타났다.

르샤틀리에 원리 적용에서 오답 유형은 온도를 높이면 분자운동이 활발해져 압력이 높아지므로 압력을 감소시키는 정반응 쪽으로 이동한다는 것과 문제에 주어진 $\Delta H^{\circ} < 0$ 를 흡열반응으로 잘못 이해한 것이 있었다.

평형상수의 온도 의존도로 설명하는 문항에서는 4학년과 교사의 정답률이 대폭 낮아졌는데, 열역학을 방금 배운 3학년에 비해 문제에 주어진 열역학 관계식을 변형하여 평형상수의 온도 의존도를 알아내는 것이 어려웠던 것으로 생각된다. 그러므로 무응답이 많았으며(3학년 7.1%, 4학년 34.6%, 교사 50.0%), 오답으로는 온도가 올라가면 평형상수가 감소하는 것은 알았으나 평형상수를 크게 하기 위해 정반응 쪽으로 이동한다는 것(4학년 26.9%)과 온도가 높아지면 무조건 평형상수가 커진다는 것, 대수식에서 독립변수의 부호 변화에 따른 종속변수의 크기 변화에 대한 이해 부족이 있었다.

이상의 결과로부터 비활성 기체의 첨가에 의한 평형 이동은 르샤틀리에 원리만으로는 설명이 어렵고, 반응지수의 변화에 대한 이해가 있으면 쉽게 문제를 해결하는 것을 알 수 있다. 그리고 온도 변화에 따른 평형상수의 변화는 교과서에서 평형이동과 연관시켜 설명하고 있지 않은 생소한 문제이기 때문에 교사들도 정답률이 낮았던 것으로 생각된다. 1학년들은 단순한 계산이나 르샤틀리에 원리의 적용에서는 정답률이 높았지만 기체의 부분압력이나 반응지수에 대한 개념은 부족한 것으로 드러났다. 그러나 열역학을 방금 배운 3학년들

Table 6. The percentage of correct answers for [item 3]

Item	Freshman(n=53)		Junior(n=28)		Senior(n=26)		Teacher(n=10)	
	Multiple Choice	Essay	Multiple Choice	Essay	Multiple Choice	Essay	Multiple Choice	Essay
3-1	83.0	88.7	82.1	82.1	65.4	69.2	90.0	70.0
3-2	66.0	56.6	64.3	53.6	57.7	53.8	70.0	80.0
3-3	60.4	49.1	35.7	21.4	53.8	23.1	20.0	20.0
		7.5		10.7		0.0		0.0
3-4	84.9	77.4	82.1	78.6	80.8	73.1	100.0	90.0
		43.4		64.3		61.5		80.0
Total	73.6	53.8	66.1	51.8	64.4	46.8	70.0	56.7

*Shaded areas indicate below 40%.

은 이러한 개념들을 대체로 잘 연관시켜 문제를 해결하는 것으로 나타났다.

[문항 3]에 대한 분석. [문항 3]은 화학평형 개념을 수용액의 산해리 평형에 적용할 수 있는지를 알아보기 위한 것으로 평형에서 생성물의 농도 계산, 물 또는 공통이온을 첨가했을 때 평형이동의 방향을 예측하는 문항으로 구성되어 있다. 이에 대한 소문항별 정답률을 Table 6에 제시하였다.

약산의 산해리 평형에 대한 [문항 3]에 대해서는 전체적으로 [문항 2]보다는 높은 정답률을 보이며, 집단별로 거의 차이가 없는 것으로 나타났다. 그러나 [문항 3-3]에 대해서는 정답률이 상당히 낮게 나타났는데, 산해리 평형은 평형이동에서 별로 다루지 않은 문제로 응답자들에게 친숙하지 못한 분제상황이기 때문으로 생각된다.

[문항 3-1]은 약산의 이온화 상수가 주어졌을 때 H_2CO_3 이온의 평형 농도를 계산하는 문항으로 객관식과 서술형 문항의 정답률이 모두 60% 이상으로 나타났다. 여기서도 1학년의 정답률이 높으면 일반화학 교과서에서 이러한 유형의 문제를 쉽게 접할 수 있기 때문으로 생각된다.

[문항 3-2]는 약산 수용액에 물을 가하여 희석시켰을 때 $[H_2CO_3]$ 를 계산하는 문항으로 [문항 3-1]과 유사한 문제이지만 조금 낮은 정답률을 보이고 있다. 서술형 문항의 응답을 분석한 결과, 물을 첨가하였을 때 용액의 전체 부피를 잘못 인식한 학생들이 있었다.

[문항 3-3]은 평형에 있는 약산 수용액에 물을 가하여 희석시켰을 때 평형이동 방향을 예측하는 문항으로 상당히 낮은 정답률을 나타내었다. 특히 앞 문항들의

분석을 통해 평형에 대한 개념이 상대적으로 잘 정립되어 있다고 생각된 3학년 학생들과 교사들의 정답률이 1학년과 4학년 학생들에 비해 낮게 나타났다.

르샤틀리에 원리로 설명하는 문항에서는, 물의 첨가로 반응물과 생성물의 농도가 감소하므로 이를 증가시키기 위해 물 수가 증가하는 정반응 쪽으로 평형이 이동한다는 완벽한 응답은 아주 극소수였으며(1학년 1.9%, 3학년 3.6%). 대부분의 정답자들은 단순히 물을 반응물로 생각하여 평형계에 반응물을 첨가하면 평형이 정반응 쪽으로 이동한다는 응답을 보였다. 오답 유형 중 가장 많은 응답은 물은 용매이므로 농도가 일정하고 반응에 영향을 미치지 않기 때문에 평형이동이 없다는 것(1학년 15.1%, 3학년 28.6%, 4학년 15.4%, 교사 20.0%)으로 용액에 용매를 첨가하면 용질의 농도가 감소된다는 사실을 간과하였다. 이러한 응답은 기체 평형계에 비활성 기체를 첨가했을 때의 응답과 유사하다. 다른 오답으로는 기체 평형계에서의 응답과 같이 용질의 농도가 감소하는 것은 알고 있으나 반응물 또는 생성물에만 그 사실을 적용한 경우이다.

반응지수로 설명하는 문항에 대한 정답률은 더욱 낮았는데, 이로부터 위의 르샤틀리에 원리 적용에서 설명한 바와 같이 평형이동의 방향을 올바르게 예측한 대부분의 응답자들이 물의 첨가에 의한 용질의 농도 변화물 제대로 인식하지 못하고, 단순히 평형계에 반응물을 첨가한 것으로 보고 르샤틀리에 원리를 기계적으로 적용하였음을 알 수 있다.

Quilez-Pardo와 Solaz-Portoles⁴⁾의 연구에서도 평형 이동의 방향은 31%가 올바르게 예측했으나 이유 설명까지 맞은 학생은 9%밖에 되지 않는 것으로 나타났다.

[문항 3-4]는 평형에 있는 약산 수용액에 공통이온이 포함된 연을 첨가하였을 때 평형이동의 방향을 예측하는 문항으로 전체적으로 모든 집단의 정답률이 높게 나타났다. 공통이온 효과는 고등학교 때부터 다부어온 익숙한 분해 상황이고, 브샤틀리에 원리를 쉽게 적용할 수 있기 때문인 것으로 생각된다. 그러나 1학년의 경우 반응지수를 이용하여 설명하는 문항에서는 정답률이 43.4%로 낮게 나타나 반응지수를 이용하는데 익숙하지 않음을 보여주고 있다.

이상의 결과로부터 산해리 평형에서 평형농도의 계산이나 공통이온 효과에 의한 평형이동에 대해서는 학생들이 잘 이해하고 있으나, 용매의 첨가에 의한 평형이동의 예측과 같이 생소한 문제 상황에서는 학생들뿐만 아니라 교사들도 상당히 어려워함을 알 수 있다.

연관 문항에 대한 분석. 본 연구에 사용된 개념적사 문항은 서로 연관된 문항들을 포함하고 있는데, 다음의 세 범주로 되어 있다.

A. 평형 이동의 예측에 필요한 선수 개념인 부분압력 또는 농도의 계산.

B. 브샤틀리에 원리를 적용하여 평형이동의 방향 예측하기.

C. 조건 변화에 따른 반응지수의 변화를 적용하여 평형이동의 방향 예측하기.

서로 연관된 문항들은 네 가지 상황에서 주어졌는데, 각각에 대하여 차례대로 살펴보고자 한다.

부피 변화에 따른 평형이동 방향 예측. 기체상 평형에서 부피를 변화시킨 경우에 해당하는 연관 문항은 [문항 1-2]와 [문항 2-2]이다. [문항 1-2]는 용기의 부피 변화에 따른 성분 기체의 부분압력을 계산하는 문제로 범주 A에 해당하며, [문항 2-2]는 같은 조건 변화에 대하여 브샤틀리에 원리를 이용하여 평형이동 방향을 예측하는 범주 B와 반응지수를 이용하여 평형이동 방향을 예측하는 범주 C에 해당한다. 각 범주에 해당하는 질문에 대한 정답 여부를 Table 7에 제시하였다. [문항 1-2]는 객관식과 서술형이 모두 맞은 경우를 정답으로 하여 O로 나타내고, 나머지는 오답으로 하여 X로 나타내었다. [문항 2-2]도 정답은 O로 오답은 X로 나타내었다.

세 가지 범주 A, B, C에 대하여 모두 바른 답을 한 (O, O, O) 유형의 비율은 1학년이 11.3%로 가장 낮고, 3학년이 39.3%로 학생들 중에서 가장 높았다.

선수 개념인 부분 압력의 계산 능력에 대한 범주 A와 평형이동 방향을 반응지수로 설명하는 범주 C의 관

Table 7. The distribution of responses for volume change in item 1-2 and item 2-2 (Frequency(%))

Response (A, B, C)	Freshman (n=53)	Junior (n=28)	Senior (n=26)	Teacher (n=10)
(O, O, O)	6 (11.3)	11 (39.3)	7 (26.9)	6 (60.0)
(O, O, X)	14 (26.4)	9 (32.1)	6 (23.1)	3 (30.0)
(O, X, X)	22 (41.5)	7 (25.0)	11 (42.3)	1 (10.0)
(O, X, O)	0 (0.0)	1 (3.6)	0 (0.0)	0 (0.0)
(X, O, X)	5 (9.4)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
(X, X, X)	6 (11.3)	0 (0.0)	2 (7.7)	0 (0.0)

계를 살펴보면, 학생들의 경우 범주 A는 정답이나 범주 C는 오답인 (O, O, X)와 (O, X, X) 유형의 합이 50% 이상으로 나타났다. 그러므로 부피를 조작변인으로 하였을 때 부분압력을 계산할 능력은 있으나 이를 반응지수에 적용하여 평형이동을 설명하는 능력은 부족한 것을 알 수 있다. 특히 1학년과 4학년의 경우 부분압력 계산만 맞은 (O, X, X) 유형이 가장 높게 나타나 평형이동에 대한 개념 자체가 잘 정립되어 있지 않음을 보여준다.

조건 변화에 따른 평형이동 방향을 브샤틀리에 원리로 설명하는 범주 B와 반응지수로 설명하는 범주 C의 정답률을 살펴보기 위하여, 범주 B와 C에 모두 정답을 한 (O, O, O) 유형과 범주 B는 정답이나 범주 C는 오답인 (O, O, X) 유형을 비교해보면 (O, O, X) 유형도 상당히 많음을 알 수 있다. 특히 1학년들은 (O, O, X) 유형이 (O, O, O) 유형보다 두 배 이상 높게 나타나 평형이동에 대한 기본개념이 없이 브샤틀리에 원리를 기계적으로 적용하여 문제를 해결하는 학생도 많음을 보여준다. 또한 1학년에서는 다른 집단에서 볼 수 없는 (X, O, X) 유형이 9.4%로 나타나 기본적인 선수 개념이나 반응지수에 대한 이해가 없어도 브샤틀리에의 원리만을 암기하여 평형이동의 방향을 예측할 수 있음을 보여주고 있다. 한편 (O, X, O) 유형은 거의 없는 것으로 보아 반응지수를 이용하여 평형이동을 설명할 수 있으면 브샤틀리에 원리로도 설명할 수 있음을 알 수 있다.

온도와 부피가 일정할 때 비활성 기체의 첨가에 따른 평형이동 방향 예측. 용기의 온도와 부피가 일정한 조

Table 8. The distribution of responses for adding inert gas at constant volume and temperature in item 1-3 and item 2-3 (frequency(%))

Response (A, B, C)	Freshman (n=53)	Junior (n=28)	Senior (n=26)	Teacher (n=10)
(O, O, O)	5 (9.4)	15 (53.6)	4 (15.4)	7 (70.0)
(O, O, X)	0 (0.0)	2 (7.1)	0 (0.0)	0 (0.0)
(O, X, X)	12 (22.6)	6 (21.4)	10 (38.5)	0 (0.0)
(O, X, O)	1 (1.9)	3 (10.7)	0 (0.0)	0 (0.0)
(X, O, O)	2 (3.8)	1 (3.6)	0 (0.0)	1 (10.0)
(X, O, X)	1 (1.9)	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (10.0)
(X, X, O)	0 (0.0)	0 (0.0)	1 (3.8)	0 (0.0)
(X, X, X)	32 (60.4)	1 (3.6)	11 (42.3)	1 (10.0)

전에서 비활성 기체를 첨가한 [문항 1-3]과 [문항 2-3]에 대한 응답 분포를 Table 8에 나타내었다.

여기서도 (O, O, O)유형의 비율은 3학년과 교사들은 높게 나왔으나 1학년과 4학년의 비율이 상당히 낮게 나타났다. 아울러 1학년과 4학년은 (X, X, X)유형의 비율이 40% 이상으로 높게 나타나 상당수의 학생들이 비활성 기체를 첨가하는 상황에 대한 부분압력 계산과 평형이동을 제대로 이해하지 못함을 보여준다.

범주 A와 범주 C의 관계를 살펴보면 전체적으로 (O, X, X)유형이 20% 이상으로 나타나 조건 변화에 따른 부분압력의 계산 능력이 있는 경우에도 평형이동에 대한 설명을 마르게 하지 못하는 학생들도 많음을 보여준다.

범주 B와 범주 C의 관계를 살펴보면 (O, O, X)유형과 (X, O, X)유형이 거의 없는 것으로 보아 비활성 기체를 첨가할 경우 르샤틀리에 원리의 단순 적용이 어렵다는 것을 알 수 있다. 특히 (O, X, O)유형도 몇 사람 있었는데, 이는 반응지수를 이용하여 평형이동을 설명할 수 있음에도 르샤틀리에 원리로는 설명을 하지 못한 경우에 해당한다.

온도와 전체 압력이 일정한 조건에서 비활성 기체의 첨가에 따른 평형이동 방향 예측, 온도와 전체 압력을

Table 9. The distribution of responses for adding inert gas at constant pressure and temperature in item 1-5 and item 2-4 (frequency(%))

Response (A, B, C)	Freshman (n=53)	Junior (n=28)	Senior (n=26)	Teacher (n=10)
(O, O, O)	0 (0.0)	5 (17.9)	2 (7.7)	4 (40.0)
(O, O, X)	0 (0.0)	3 (10.7)	0 (0.0)	0 (0.0)
(O, X, X)	6 (11.3)	1 (3.6)	6 (23.1)	1 (10.0)
(X, O, O)	0 (0.0)	6 (21.4)	2 (7.7)	2 (20.0)
(X, O, X)	0 (0.0)	5 (17.9)	0 (0.0)	1 (10.0)
(X, X, O)	0 (0.0)	1 (3.6)	0 (0.0)	0 (0.0)
(X, X, X)	47 (88.7)	7 (25.0)	16 (61.5)	2 (20.0)

일정하게 유지하면서 비활성 기체를 첨가한 [문항 1-5]와 [문항 2-4]에 대한 응답 분포를 Table 9에 나타내었다.

이 조건 변화에 대해서는 전체적으로 (O, O, O)유형의 비율이 상당히 낮음을 알 수 있다. 앞서 설명한대로 동일한 비활성 기체의 첨가인데도 Table 8에 비해 현저하게 (O, O, O)유형의 비율이 낮아지고 (X, X, X)유형의 비율이 높아진 것은 전체 압력이 일정한 조건에서는 반응 용기의 부피가 증가한다는 사실을 간과했기 때문이다.

범주 A와 범주 C의 관계를 살펴보면 (X, X, X)유형의 비율도 높지만 (O, X, X)유형도 다수 있어 부분압력의 계산 능력은 있으나 평형이동에 대한 설명을 하지 못하는 학생들도 있음을 보여준다. 이외는 반대로 (X, O, O)유형도 다수 있었는데 범주 A와 범주 C의 문제는 반응계의 조건 변화가 동일함에도 단순 계산인 범주 A에서는 오답을 하고 평형이동까지 설명하는 범주 C에서는 정답을 하는 경우도 있었다.

범주 B와 범주 C의 관계를 살펴보면 3학년에서 (O, O, X)유형과 (X, O, X)유형이 다수 있어 반응지수를 이용한 설명은 못하지만 르샤틀리에 원리에 의해 정성적으로 평형이동을 예측할 수도 있음을 보여준다. 이것은 단순히 르샤틀리에 원리를 암기하여 적용한 것으로 보기는 어려운데, 문제의 특성상 반응 용기의 부피 변화를 인지해야만 평형이동 방향을 예측할 수 있기 때문이다. 따라서 개념형성이 부족한 다른 학년에서는 이러

Table 10. The distribution of responses for adding water to the weak acid solution in item 3-2 and item 3-3 (frequency(%))

Response (A, B, C)	Freshman (n=53)	Junior (n=28)	Senior (n=26)	Teacher (n=10)
(O, O, O)	2 (3.8)	2 (7.1)	0 (0.0)	0 (0.0)
(O, O, X)	13 (24.5)	2 (7.1)	4 (15.4)	2 (20.0)
(O, X, X)	15 (28.3)	11 (39.3)	10 (38.5)	5 (50.0)
(X, O, O)	2 (3.8)	1 (3.6)	0 (0.0)	0 (0.0)
(X, O, X)	9 (17.0)	1 (3.6)	2 (7.7)	0 (0.0)
(X, X, X)	12 (22.6)	11 (39.3)	10 (38.5)	3 (30.0)

한 유형이 나타나지 않았다.

약산 수용액에서 물의 첨가에 따른 평형이동 방향 예측, 약산 수용액에 물을 첨가한 [문항 3-2]와 [문항 3-3]에 대한 응답 분포를 Table 10에 나타내었다.

이 조건 변화에 대해서도 전체적으로 (O, O, O)유형의 비율이 매우 낮고 (X, X, X)유형의 비율이 높음을 알 수 있다. 그러므로 약산 수용액에 물을 첨가하면 용액 부피의 증가로 반응물과 생성물의 농도가 감소하는 것을 인지하지 못하는 것으로 앞의 비활성 기체의 첨가에 의한 부피 변화의 경우와 유사하다. 특히 3학년과 교사의 정답률도 낮은 것은 지금까지의 교과 내용이나 교수 방식을 생각할 때 수용액에서의 평형이동이 기체상에서의 평형이동만큼 많이 다루어지지 않아 학생들과 교사들 모두가 익숙하지 않기 때문인 것으로 볼 수 있다.

범주 A와 범주 C의 관계를 살펴보면 (O, O, O)유형에 비해 (O, O, X)유형과 (O, X, X)유형의 비율이 모든 집단에서 높으므로 전수 개념인 농도 계산을 못해서 반응지수를 구하지 못하는 것은 아님을 알 수 있다. 범주 B와 범주 C의 관계에서는 (O, O, X)유형과 (X, O, X)유형의 비율이 높게 나와 르샤틀리에 원리 적용에서 물의 첨가에 의한 부피의 변화를 인식했다기보다 단순히 물을 반응물로 보고 르샤틀리에 원리를 적용한 것임을 알 수 있다.

이상의 결과를 종합해보면 범주 A에서는 정답을 했으나 범주 C에서는 오답을 한 경우가 많은 것으로 보아 조건 변화에 따른 부분압력이나 농도의 계산 능력은

있으나 평형이동의 방향을 제대로 설명하지 못하는 것을 알 수 있다. 또한 범주 B에서는 정답을, 범주 C에서는 오답을 한 경우는 별로 많지 않아 비활성 기체의 첨가나 물의 첨가에 의한 평형이동은 르샤틀리에 원리만으로는 설명이 어려움을 알 수 있다.

결론 및 제언

본 연구에서는 대학생과 교사들의 화학평형과 평형이동에 대한 개념형성 정도를 알아보기 위하여 개념검사를 사용하여 조건 변화에 따른 부분압력과 농도의 계산, 평형에서의 조건 변화에 따른 평형이동 방향을 르샤틀리에 원리와 반응지수를 이용하여 어떻게 설명하는가를 조사하였다.

개념검사에 대한 정답률은 대학교 1학년 45.2%, 3학년 63.2%, 4학년 45.8%, 교사 70.7%로 나타나 학생들 중에서는 물리화학을 배운 3학년들의 정답률이 1학년과 4학년보다 유의미하게 높은 것으로 나타났다. 물리화학을 배우지 1년 정도 지난 4학년들의 정답률이 3학년보다 낮은 것은 개념검사를 위해 복습할 기회를 주지 않은 원인도 있지만 학생들의 개념이 유의미하게 정착되지 못하여 지속 효과가 줄어드는 것으로 생각할 수 있다.

화학평형의 필수 개념인 부분압력과 농도 계산은 대체로 잘하는 것으로 나타났으며, 문제 상황이 단순하고 친숙할 때는 기체법칙과 부분압력의 법칙을 잘 적용하는 것으로 나타났다. 그러나 용기의 압력을 일정하게 유지하면서 기체를 더 첨가하였을 때 용기의 부피가 증가한다는 사실을 인식하지 못하는 학생들이 30~50%나 되어 친숙하지 않은 문제 상황에서는 기체 혼합물 계에 대한 종합적인 사고를 하지 못하는 것으로 드러났다. 특히 1학년의 경우에는 기체를 더 첨가하는 문항에 대한 정답률이 모두 낮게 나타나 기체법칙에 대한 개념형성이 완전하지 못한 것을 알 수 있었다.

기체 반응계에 대해 조건 변화에 따른 평형이동을 예측하고 설명하는 문항에서 3학년들은 정답률이 높았으나 1학년과 4학년들은 개념형성이 부족한 것으로 나타났다. 특히 비활성 기체의 첨가에 따른 평형이동은 르샤틀리에 원리만으로는 설명하기 어려운 것으로 드러났으며, 반응지수의 변화를 이해할 수 있어야 르샤틀리에 원리도 적용할 수 있음을 알 수 있었다. 그리고 같은 조건 변화에 대하여 부분압력의 변화를 계산하지 못

해 신수 개념이 부족한 학생들도 있었지만, 부분압력을 계산할 수 있는 학생들도 상당수가 평형이동은 제대로 설명하지 못하여 반응지수를 적용하는 능력이 부족하였다. 특히 1학년 학생들은 반응지수에 대한 이해가 부족하고 르샤틀리에 원리 적용도 단순한 경우에만 가능하였다. 그러므로 일반화학에서부터 르샤틀리에 원리를 가르칠 때 반응지수와 병행하여 가르치는 것이 필요할 것으로 생각된다. 한편, 평형에서 온도를 변화시켰을 때 평형이동의 방향을 르샤틀리에 원리로써 대부분 쉽게 예측하였으나 그 이유를 온도 변화에 따른 평형상수의 변화로 설명하는 것은 생소한 문제로 4학년과 교사들은 제대로 설명하지 못하였다.

수용액에서 산해리 평형에 대해 물을 첨가했을 때 평형이동을 예측하게 한 문항에서는 물을 반응물로 생각하여 르샤틀리에 원리로 설명한 학생들은 상당수 있었으나 물의 첨가로 반응물과 생성물의 농도가 감소하여 평형이동이 일어난다고 응답한 학생은 극소수에 불과하였다. 이 문항은 앞에서 설명한 기체 반응계에 비활성 기체를 첨가한 경우와 유사한 것으로 물의 첨가에 의한 농도 변화 계산을 제대로 한 학생들이 각 학년 모두 50%가 넘지만, 이들 중 대부분이 반응지수를 이용하여 평형이동을 설명하지는 못했다. 반면에 공통이온의 첨가에 의한 평형이동은 정답률이 아주 높은 것으로 나타나 학생들에게 친숙한 문항과 친숙하지 않은 문항에 대해 상당한 차이가 있음을 알 수 있었다.

이상의 결론으로부터 다음 몇 가지를 제안하고자 한다.

첫째, 르샤틀리에 원리는 평형이동의 방향을 쉽게 예측할 수 있는 장점이 있으나 비활성 기체의 첨가나 용매의 첨가와 같이 르샤틀리에 원리의 단순 적용이 어려운 경우에는 학생들이 문제해결을 포기하거나 르샤틀리에 원리를 잘못 적용하는 것을 알 수 있었다. 그러므로 르샤틀리에 원리를 가르칠 때는 반드시 반응지수를 이용한 문제해결 방법을 함께 제시하여 르샤틀리에 원리가 성립되는 이론적인 근거를 이해하게 하는 것이 필요한 것으로 생각된다.

둘째, 학생들은 조건 변화에 따른 부분압력이나 농도의 변화를 계산할 수 있는 능력이 있는데도 반응지수를 이용하여 평형이동의 방향을 제대로 설명하지 못하는 것으로 드러났다. 이는 대부분의 화학시험 문제가 용어의 정의나 수리적인 조작 능력을 확인하는데 중점을 두고 있기 때문에 학생들은 개념의 이해보다는 문제의 해법을 암기하는데 치중하기 때문인 것으로 생각된다. 그

러므로 일상적인 평가에서 학생들의 기본 개념과 그 적용을 평가할 수 있는 문항을 제작하여 사용하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

셋째, 화학평형과 평형이동에 대한 학생들의 올바른 개념 심리를 위하여 수업 계획을 할 때 본 연구의 개념 검사에서 밝혀진 학생들의 오류와 오개념들을 참조하면 좋을 것으로 생각된다.

넷째, 본 연구의 개념검사 결과 대학교 3학년 학생들의 정답률이 높은데 비하여 4학년 학생들의 정답률이 낮게 나타나 한 번 형성된 개념이 지속성을 유지하지 못하는 것으로 생각된다. 그러므로 주요 개념들에 대해서 학습 후 개념의 지속 정도를 체계적으로 밝히는 연구가 필요한 것으로 생각된다.

인용 문헌

1. Wandersee, J. H.; Mintzes, J. J.; Novak, J. D. In *Handbook of research on science teaching and learning*. Gable, D. L., Ed.; Macmillan Publishing Co.: New York, 1994; pp. 177-210.
2. Pfund, H.; Duit, R. *Bibliography: Students' alternative frameworks and science education*. Kiel: Institute of Science Education, University of Kiel, 1993.
3. Cho, H.-H. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education* **1984**, *4*(1), 34.
4. Quilez-Pardo, J.; Solaz-Portoles, J. *Journal of Research in Science Teaching* **1995**, *32*(9), 939.
5. Bergquist, W. C.; Heikkinen, I. *Journal of Chemical Education* **1990**, *67*(12), 1000.
6. Wheeler, A. E.; Kass, H. *Science Education* **1978**, *62*(2), 223.
7. Park, J.-Y.; Kang, S.; Kim, S.-Y.; Kim, S.-H.; Kim, I.-J.; Lee, J.-H. *Chemical Education* **1993**, *20*(4), 285.
8. Park, J.-Y.; Kang, S. *Chemical Education* **1996**, *23*(5), 335.
9. Park, S.-Y. *A comparative study between the cognitive levels of general high school students in 2nd grade of science major and the demanded cognitive level of chemistry II textbooks of the 6th curriculum*. M.Ed. Thesis. Ewha Womans University, 1997.
10. Allsop, R. T.; George, N. H. *Education in Chemistry* **1984**, *21*, 54.
11. Banerjee, A. C. *International Journal of Science Education* **1991**, *13*(4), 487.
12. Furio, C.; Calatayud, M. L.; Barcenas, S. L.; Padilla, O. M. *Science Education* **2000**, *84*(5), 545.
13. Gold, J.; Gold, V. *Education in Chemistry* **1985**, *22*, 80.
14. Gorodetsky, M.; Gussarsky, E. In *Proceedings of the*

- 2nd international seminar: Misconception and educational strategies in science and mathematics*. Novak, J. D., Ed.: Cornell University, 1987; pp. 187.
15. Gussarsky, E.; Gorodetsky, M. *Journal of Research in Science Teaching* **1990**, 27(3), 197.
 16. Hackling, M. W.; Garnett, P. J. *European Journal of Science Education* **1985**, 7(2), 205.
 17. Hameed, H.; Hackling, M. W.; Garnett, P. J. *International Journal of Science Education* **1993**, 15(2), 221.
 18. Huddle, P. A.; Pillay, A. E. *Journal of Research in Science Teaching* **1996**, 33(1), 65.
 19. Niaz, M. *International Journal of Science Education* **1995**, 17(3), 343.
 20. Niaz, M. *Journal of Science Education and Technology* **2001**, 10(2), 205.
 21. Solomonidou, C.; Stavridou, H. *Education and Information Technologies* **2001**, 6(1), 5.
 22. Tyson, L.; Treagust, D. F.; Bucat, R. B. *Journal of Chemical Education* **1999**, 76(4), 554.
 23. Van Driel, J. H.; de Vos, W.; Verloop, N. *Journal of Chemical Education* **1999**, 76(4), 559.
 24. Voska, K. W.; Heikkinen, H. W. *Journal of Research in Science Teaching* **2000**, 37(2), 160.
 25. Kang, S. *A study on the students' conceptions about chemical equilibrium: For the freshman*. M.Ed. Thesis, Seoul National University, 1993.
 26. Kim, J. G. *Analysis of the students' conception on chemical equilibrium by the level of learning*. M.Ed. Thesis, Korea National University of Education, 1994.
 27. Park, M.-A. *The study on the chemical equilibrium concepts of students*. M.Ed. Thesis, Chungbuk National University, 1993.
 28. Jeong, J. P. *An analysis of conception about chemical equilibrium of high school students*. M.Ed. Thesis, Korea National University of Education, 1994.
-