

화학 평형 이동시 반응 속도 변화에 대한 고등학생들의 이해 조사

박종윤* · 유현희
이화여자대학교 과학교육과
(2007. 1. 11 접수)

Identification of High School Students' Understanding on the Reaction Rate Change During Chemical Equilibrium Shift

Jong-Yoon Park* and Hyun-Hee Yu
Department of Science Education, Ewha Womans University, Seoul 120-750, Korea
(Received January 11, 2007)

요 약. 본 연구에서는 고등학교 3학년 학생 100명을 대상으로 세트화 된 질문지를 사용하여 화학 평형 이동시 반응 속도 변화에 대한 학생들의 이해 정도를 조사하고, 반응 속도의 기본 개념에 대한 질문이 화학 평형 이동시의 반응 속도 변화를 이해하는데 도움이 되는지를 조사하였다. 질문지는 A, B, A' 세 개의 세트로 구성하였으며, A, B, A' 순서대로 응답하도록 하였다. A세트는 화학 평형 이동시의 반응 속도 변화에 대한 문항, B세트는 반응 속도의 기본 개념에 대한 문항으로 되어 있으며, A'세트는 A세트와 동일한 문항으로 되어 있다. 학생들의 응답을 분석한 결과 화학 평형 이동시 반응 속도 변화에 대해 정반응 속도 변화보다 역반응 속도 변화에 대한 이해가 낮았다. 그리고 평형에서 농도 변화에 따른 반응 속도 변화에 대한 이해는 어느 정도 되어 있으나 온도 변화에 따른 반응 속도 변화에 대한 이해도는 아주 낮았다. 그러나 반응 속도 기본 개념에 대한 정답률은 아주 높아 평형 이동시 반응 속도 변화에 대한 낮은 이해도는 반응 속도에 대한 기본 개념이 부족한 것이 아니라 이를 화학 평형 이동에 제대로 연계시키지 못한 결과로 생각된다. A세트와 A'세트의 정답률을 비교한 결과 A'세트의 정답률이 통계적으로 유의미하게 높게 나타나 B세트의 문항이 A'세트의 문항 해결에 도움이 된 것으로 해석할 수 있다. 그러므로 이와 같은 세트화 된 질문지가 학생들의 개념 연결에 도움을 줄 수 있는 가능성을 확인하였다.

주제어: 화학 평형 이동, 화학 반응 속도, 학생 개념, 세트화 된 질문지

ABSTRACT. The purpose of this study is to investigate the students' conceptions about the reaction rate changes during the chemical equilibrium shifts and also whether the questions about basic concepts of the reaction rate are helpful for the students' understanding of reaction rate changes during the chemical equilibrium shifts. The subjects were 100 students in the 12th grade. The questionnaires were composed of A, B, and A' set, which had to be answered sequentially. The A set consisted of questions asking the change of reaction rate when chemical equilibrium was shifted, the B set was to testify the basic concepts of the reaction rate, and the A' set was the same as the A set. The results showed that the students' understanding of the reverse reaction rate change was lower than that of the forward reaction rate change during the equilibrium shift. Also it was found that students' understanding of the reaction rate change caused by adding the reactant was fairly good while their understanding of the reaction rate change caused by temperature increment was very poor. Since the students marked very high scores in the B set questions, their poor understanding for the reaction rate changes during the equilibrium shifts was not seemed to be due to the lacks of the basic knowledge of reaction rate. Instead, it was due to the failure of applying the basic knowledge of reaction rate to the changes of reaction conditions.

It was also found that the average scores of A' set were statistically higher than those of A set. It means the B set items were helpful for the students to solve the A' set items. These results evidenced the possibility of set questionnaires could help the students to connect the related concepts in solving the problems.

Keywords: Chemical Equilibrium Shift, Reaction Rate, Students' Conception, Set Questionnaires

서 론

화학 평형과 평형 이동은 화학에서 가장 중요한 개념 중의 하나로서 그 적용 범위가 넓어 산-염기 반응, 산화 환원 반응, 용해 침전 반응, 기체의 용해도 등을 이해하는 데 필수적인 개념이다. 그러나 화학 평형과 평형 이동을 이해하는 데는 형식적인 사고가 요구되며 여러 가지 선수 개념들이 복합적으로 적용되기 때문에 학생들이 배우는 데는 상당히 어려운 개념이기도 하다.^{1,2} 따라서 그 동안 국내외적으로 화학 평형과 평형 이동에 관한 학생들의 개념 이해 정도를 조사하고 학생들의 개념 변화를 유도하기 위한 많은 연구들이 보고되고 있다.¹⁻²⁶

그 동안의 연구 결과 밝혀진 학생들의 화학 평형에 대한 오개념은 매우 다양한데, 질량과 농도 개념, 반응 속도 개념, 평형 상수 개념, 동적 평형 개념, 르샤틀리에 원리, 완전 기체 법칙, 아보가드로 법칙 등에 대한 개념 부족과 이러한 개념의 잘못된 적용 등이 보고되었다.^{1,2,11,13,16,17,23,26} 따라서 학생들이 화학 평형과 평형 이동에 관한 문제를 해결하지 못하는 이유는 이러한 선수 개념들을 모르는 경우, 잘못 알고 있는 경우, 알고 있지만 그 문제와 연관시켜 제대로 적용하지 못하는 경우 등으로 나누어 볼 수 있다.¹⁴ 선수 개념을 잘못 적용하는 하나의 예로 화학 평형 이동에 대한 르샤틀리에 원리의 잘못된 적용을 들 수 있는데, 많은 학생들이 원리에 대한 이해보다는 단순한 암기에 의해 원리를 기계적으로 적용하기 때문에 잘못된 결론을 이끌어내는 것으로 밝혀졌다.^{2,11,13,16,17,26} 르샤틀리에 원리는 단순한 원리 적용으로 평형 이동의 방향을 쉽게 알아낼 수 있다는 이점 때문에 널리 가르쳐지고 있지만 이와 같이 잘못 적용하는 학생들이 있고, 더 근본적으로는 평형 이동의 방향만 예측할 수 있을 뿐 왜 그러한 방향으로 평형 이동이 일어나는 지에 대한 이유를 제시하지는 못하기 때문에 비판을 받고 있다.²⁴

르샤틀리에 원리를 사용하지 않고 평형 이동의 방

향을 예측하기 위해서는 열역학적인 접근과 반응 속도론적인 접근을 할 수 있다.²⁴ 열역학적인 접근은 평형 상수와 반응 지수의 비교로 평형 이동의 방향을 예측하는 것이고, 반응 속도론적인 접근은 정반응 속도와 역반응 속도를 비교하여 평형 이동의 방향을 예측하는 것이다. 반응 속도론적으로 평형 이동을 설명하기 위해서는 반응 조건의 변화에 따른 정반응 속도와 역반응 속도의 변화를 예측할 수 있어야 하는데, 이를 위해서는 반응 속도의 농도 의존도, 반응 속도 상수의 온도 의존도에 대한 개념이 정립되어 있어야 한다.

화학 평형 이동시 반응 속도 변화에 대한 학생들의 이해 정도를 조사한 연구를 보면, 김진구와 최병순의 연구에서는 화학 평형 이동시 정반응과 역반응의 속도 변화를 묻는 문항에서 고등학교 3학년 학생들의 정답률은 4.0%, 일반화학을 수강한 대학교 2학년 학생들은 5.3%, 물리화학을 수강한 대학교 3, 4학년 학생들은 2.8%로 낮았다.⁴ 그리고 Banerjee의 연구에서도 발열반응에서 온도를 높였을 때 정반응 속도가 증가한다고 바르게 이해하고 있는 대학생은 25%였고, 화학 교사의 경우에는 4%밖에 되지 않았다. 대학생 50%와 화학 교사 86%는 평형이 역반응 쪽으로 이동하기 때문에 정반응 속도가 감소한다고 응답하여 대학생뿐만 아니라 교사들도 화학 평형 이동시 반응 속도 변화에 대한 이해가 부족함을 알 수 있다.¹¹

이와 같이 평형 이동시 반응 속도 변화에 대한 정답률이 낮은 이유는 반응 속도에 대한 기본 개념이 부족하거나 또는 반응 속도의 기본 개념은 알고 있으나 이를 평형 이동에 연관시켜 적용하지 못하기 때문인 것으로 볼 수 있다. 그러므로 평형 이동시 반응 속도 변화에 대한 이해를 증진시키기 위해서는 우선 그 원인을 알아야 할 필요가 있는 것으로 생각되며, 이를 위해서는 화학 평형 이동시 반응 속도 변화에 대한 이해 조사와 함께 반응 속도 기본 개념에 대한 이해 조사를 해볼 필요가 있다.

한편, Niaz는 일련의 연관된 네 개의 질문을 조직적으로 배열하여 제시함으로써 첫 번째 질문에는 오답을 하였으나 이 질문과 동일한 개념을 물어보는 네 번째 질문에서는 정답을 하는 학생들이 있음을 발견하였다.²² 이에 대해 Niaz는 학생들이 두 번째와 세 번째 질문에 답을 하는 동안에 네 번째 질문(첫 번째 질문에 대한 답을 스스로 찾은 것으로 설명하였다. 즉, 하나의 질문에 답을 하는 동안에 얻은 지식이 그 다음 질문의 답을 찾는 데 전이된 것으로 이를 점진적 전이(progressive transition)라고 하였다. 이러한 연구 결과는 연관 개념의 문항 제시만을 통해서도 학생들의 응답 변화 또는 점진적 전이를 기대할 수 있음을 시사한다. 그러므로 반응 속도 기본 개념에 대한 문항을 풀이한 이후에 평형 이동시 반응 속도 변화에 대한 학생들의 응답이 변화하는지 알아보는 것도 흥미 있을 것으로 생각된다.

따라서 본 연구에서는 고등학생들을 대상으로 화학 평형 이동시 반응 속도 변화와 그 선수 개념에 해당하는 반응 속도 기본 개념에 대한 이해 정도를 함께 조사하여 학생들이 화학 평형 이동시 반응 속도 변화를 제대로 이해하지 못하는 원인을 알아보고, 또한 반응 속도 기본 개념 문항을 풀이함으로써 화학 평형 이동시 반응 속도 변화에 대한 학생들의 응답이 변화할 수 있는지 알아보고자 한다.

연구방법

연구대상

본 연구의 대상은 인천 지역의 한 인문계 남자고등학교 3학년 학생 100명이며, 이들은 모두 화학 II를 선택한 학생들이다.

검사 도구 및 방법

화학 평형 이동시 반응 속도의 변화, 그리고 반응 속도에 대한 기본 개념의 이해 정도를 조사하고, 반응 속도의 기본 개념에 대한 질문이 화학 평형 이동시의 반응 속도 변화를 예측하는 데 도움이 되는지를 알아보기 위하여 A, B, A'으로 세트화 된 검사지를 개발하였다. A세트는 화학 평형 이동시 반응 속도의 변화를 물어보는 6개의 문항으로 되어 있고, B세트는 반응 속도에 대한 기본 개념을 물어보는 5개의 문항으로 되어 있다. 그리고 A'세트는 A세트와 동

일한 문항으로 하였다.

A세트 문항은 화학 평형 이동시의 반응 속도 변화를 알아보기 위한 것으로 객관식 물음과 이유진술 형태로 구성하였다. 문항의 내용은 처음 반응물을 넣고 반응이 시작되어 평형에 도달하는 과정에서 정반응과 역반응의 속도 변화(문항 1, 2), 평형에서 반응물을 더 첨가하였을 때의 정반응과 역반응의 속도 변화(문항 3, 4), 발열반응의 경우 평형에서 온도를 올렸을 때의 정반응과 역반응의 속도 변화(문항 5, 6)로 하였다.

B세트 문항은 반응 속도에 대한 기본 개념을 물어보는 것으로 모두 객관식 물음만으로 구성하였다. 문항의 내용은 반응물을 넣고 반응시켰을 때 반응물과 생성물의 농도 변화(문항 1, 2), 반응물의 농도가 증가 또는 감소할 때의 반응 속도 변화(문항 3, 4), 그리고 온도를 올렸을 때의 반응 속도 변화(문항 5)로 하였다.

학생들은 A, B, A'세트를 순차적으로 풀게 된다. 따라서 A세트는 평형 이동시 반응 속도의 변화에 대한 학생들의 이해 정도를 파악하기 위한 것이고, B세트는 반응 속도의 기본 개념에 대한 학생들의 이해 정도를 파악하기 위한 것이다. 학생들은 그 후에 A세트의 문항과 동일한 A'세트를 풀게 되는데, 이는 학생들이 B세트를 푸는 동안에 반응 속도에 대한 기본 개념을 스스로 확인하게 되므로 A세트에서 오답을 한 학생들이 A'세트에서는 정답을 할 수 있는지 알아보기 위한 것이다.

이와 같이 세트화 된 검사지를 사용함으로써 학생들의 개념 이해 조사와 함께 화학 평형 이동시의 반응 속도 변화에 대해 설명하기 어려워하는 이유도 학생들의 응답으로부터 분석할 수 있을 것으로 생각된다. 예를 들면, 문항 A에 오답을 한 학생이 문항 B는 정답, 문항 A'에는 오답을 했다면 이 학생은 반응 속도에 대한 기본 개념은 알고 있으나 평형 이동과 반응 속도 개념을 서로 연계시키지 못한 경우에 해당하고, 문항 A, B, A'에 모두 오답을 하였다면 이 학생은 반응 속도의 기본 개념에 대한 이해가 부족한 것으로 볼 수 있다. 또한 동일한 질문인 문항 A와 문항 A'에 대해 학생이 다르게 응답한다면 문항을 풀이하는 과정에서 학생 스스로 모순점을 인식하여 응답을 변화한 것으로 추정할 수 있다. 즉, 문항 A에 오답을 한 학생이 동일한 질

문인 문항 A'에서는 정답을 했다면 이 학생은 문항 B를 푸는 동안에 문항 A'에 대한 올바른 답을 찾은 것으로 생각할 수 있다. 이 경우에 학생은 문항들을 해결하면서 B문항과 A문항을 연계시켰다고 볼 수 있다.

개발한 검사 문항은 화학교육 전문가 1인과 고등학교 화학 교사 3인으로부터 내용 타당도를 점검받았다. 검사 문항 내용 타당도 점검표를 이용하여 5단계 리커트 척도로 평균을 구해 본 결과 각 문항별로는 평균 4~5점, 전체 평균은 4.36점이 나왔다.

검사의 실시는 화학 평형 단원의 진도가 다 끝나고 학교에서 기말고사를 본 후에 하였으며 검사 시간은 50분으로 하였다. 문항을 순차적으로 풀도록 하기 위해 A세트 문항을 먼저 풀게 하여 거둔 후에 B와 A'세트를 나누어 주고 풀게 하였다.

문항 응답지의 분석 방법 및 통계 처리

각 세트 검사지의 문항별로 객관식 물음과 주관식 인 이유진술 물음에 대해 각각 정답률을 구하였다. 그리고 A세트와 A'세트의 결과를 비교하기 위하여 각 문항별로 객관식 물음과 이유진술 물음이 모두 맞은 경우를 정답으로 하여 1점씩을 부여하였다. A세트와 A'세트의 점수를 비교하기 위해서는 SPSS 12.0 통계 처리 프로그램을 이용하여 대응 표본 t 검정을 실시하였다.

연구 결과 및 고찰

문항별 정답률 분석

각 문항별 정답률을 비교해보기 위하여 화학 평형 이동시 반응 속도 변화에 대한 A세트와 A'세트의 객관식 정답률과 주관식 정답률을 Table 1에, 그리고 반응 속도 기본 개념을 물어본 B세트의 객관식 정답률을 Table 2에 제시하였다.

A세트와 A'세트의 문항 1, 2, 3은 객관식과 주관식 정답률이 모두 44% 이상으로 다소 높게 나타났으나, 문항 4, 5, 6의 정답률은 36% 이하로 낮게 나타났다. 특히 문항 5, 6의 주관식 정답률은 4% 이하로 매우 낮은 것을 볼 수 있다(Table 1). 그러나 B세트의 반응 속도 기본 개념에 대한 정답률은 모두 94% 이상으로 아주 높았다(Table 2). 따라서 학생들은 반응 속도 기본 개념에 대한 이해는 잘 되어 있는 것으로 생각되나 이 개념들을 화학 평형 이동시 반응 속도 변화에 잘 연계시키지 못한 것을 알 수 있다.

A세트와 A'세트 내에서 문항 1과 문항 2, 그리고 문항 3과 문항 4를 비교해보면 정반응 속도 변화에 대한 정답률이 역반응 속도 변화에 대한 정답률보다 더 높은 것을 알 수 있다(대응 표본 t 검정 결과 각 세트 내에서 문항 1이 문항 2보다, 그리고 문항 3이 문항 4보다 정답률이 유의미하게 높음($p < 0.05$)). 이 결과는 고등학생을 대상으로 하여 정반응과 역반응

Table 1. Percentages of correct responses on the sets A and A' for the changes of reaction rate during chemical equilibrium shift

Items	Set A		Set A'	
	Multiple	Reason	Multiple	Reason
1. Forward rate change before reaching equilibrium	72	66	74	71
2. Reverse rate change before reaching equilibrium	53	44	59	56
3. Forward rate change after adding more reactant at equilibrium	71	57	68	60
4. Reverse rate change after adding more reactant at equilibrium	19	17	25	24
5. Forward rate change after temperature jump at equilibrium	2	0	3	2
6. Reverse rate change after temperature jump at equilibrium	34	0	36	4

Table 2. Percentages of correct responses on the set B for the basic concepts of the reaction rate

Items	%
1. Reactant concentration change after starting the reaction	94
2. Product concentration change after starting the reaction	94
3. Rate change by increasing reactant concentration	97
4. Rate change by decreasing reactant concentration	97
5. Rate change by increasing reaction temperature	94

속도를 함께 물어본 실험 연구에서도 유사하게 나타났다.⁶ 이는 대부분의 교과서에서 반응 속도의 농도 의존도를 설명할 때 정반응만을 예로 들어 설명하기 때문에 학생들이 정반응에 대해서만 익숙하기 때문인 것으로 생각된다. 반응 속도의 농도 의존도 관점에서 보면 정반응 속도가 반응물의 농도에 의존한다면 역반응 속도는 생성물의 농도에 의존함을 쉽게 알 수 있음에도 불구하고 이를 적용하지 못하는 학생들이 상당수 있음을 알 수 있다.

농도 증가에 따른 반응 속도 변화(A세트와 A'세트 내에서 분항 3, 4)에 대한 정답률과 온도 증가에 따른 반응 속도 변화(A세트와 A'세트 내에서 분항 5, 6)에 대한 정답률을 비교해 보면, 농도를 증가시켰을 때의 정답률이 더 높게 나타났다(대응 표본 t 검정 결과 각 세트 내에서 문항 3, 4의 정답률이 문항 5, 6의 정답률보다 유의미하게 높음($p < 0.05$)). 따라서 온도를 증가시켰을 때의 반응 속도 변화에 대한 개념 형성률이 농도를 증가시켰을 때보다 훨씬 낮은 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 실험 연구에서도 유사하게 나타났다.^{5,8,9} 한편, B세트의 문항 5에 대한 정답률은 94%로 대부분의 학생들이 온도가 높아지면 반응 속도가 빨라진다는 기본 개념은 알고 있는 것으로 나타났다(Table 2). 그럼에도 불구하고 학생들은 온도가 높아지면 평형 이동의 방향에 상관없이 정반응과 역반응 속도가 모두 빨라짐을 인식하지 못하고, 더 나아가 발열반응의 경우는 역반응의 활성화 에너지가 더 크기 때문에 역반응 속도 상수가 정반응 속도 상수보다 더 많이 커져 평형 이동이 역반응 방향으로 일어난다는 것을 거의 이해하고 있지 못함을 알 수 있다. 그런데 A세트와 A'세트에서 분항 6의 객관

Table 3. Percentages of answer choices for the item 1 and 2 in set A

Answer choice	%	
	Item 1	Item 2
① Getting faster gradually	1	53*
② Getting slower gradually	72*	19
③ Remain unchanged	4	1
④ Getting faster and then getting slower	21	11
⑤ Getting slower and then getting faster	1	13
⑥ Others	1	2

*Correct choice.

식 정답률은 각각 34%와 36%로 주관식 정답률보다는 상당히 높은 것을 볼 수 있다. 이는 학생들이 온도 변화에 따른 반응 속도 상수의 변화는 제대로 이해하고 있지 못하지만 르샤를리에 원리를 적용하여 평형 이동이 역반응 방향으로 일어남을 알고 객관식 정답을 찾은 것으로 볼 수 있다.

문항별 응답 분포 분석

평형 이동시 반응 속도 변화에 대한 학생들의 이해 정도를 좀 더 자세히 알아보기 위하여 A세트의 각 문항별 객관식 답지의 선택 분포를 Table 3(문항 1, 2)과 Table 4(문항 3-6)에 제시하였다.

문항 1은 반응 시작 후 평형 도달 전까지 정반응의 속도 변화를 물어본 것으로 정답인 답지 ②번의 “점점 느려진다”를 선택한 학생이 72%로 정답률이 높았다. 오답을 한 학생들의 대부분인 21%의 학생들은 답지 ④번 “빨라지다가 느려진다”를 선택하였다. 답지 ⑤번을 선택한 학생들은 대부분(19%) 이유진술에서 “처음에는 반응물의 양이 많아 빠르게 반응하

Table 4. Percentages of answer choices for the items 3-6 in set A

Answer choice	%			
	Item 3	Item 4	Item 5	Item 6
① Getting faster gradually	6	19*	25	38
② Getting slower gradually	3	9	19	4
③ Remain unchanged	8	7	8	6
④ Sudden jump and then getting slower	71*	20	23	34*
⑤ Sudden jump and then getting faster	1	3	2*	5
⑥ Sudden drop and then getting faster	3	33	10	5
⑦ Sudden drop and then getting slower	3	5	8	2
⑧ Others	4	2	1	1

*Correct choice.

다 반응물의 양이 줄어들어서 속도가 감소한다"고 응답하여 대체로 정답에 가까운 이유를 진술하였다. 그러나 답지 ④번을 선택한 것으로 보아 이 학생들은 처음에 반응 속도가 "0"에서 시작하여 증가했다가 감소하는 것으로 생각함을 짐작할 수 있다.

문항 2는 문항 1과 동일한 상황에서 역반응의 속도 변화를 물어본 것인데 정답인 답지 ①번 "점점 빨라진다"를 선택한 학생이 53%로 정반응 속도 변화에 대한 정답률보다 낮았다. 답지 ②번인 "점점 느려진다"를 선택한 학생들(19%) 중 일부는 이유진술에서 "역반응이 일어나 생성물질의 농도가 감소해서 역반응 속도는 점점 느려진다"고 응답하여 이 학생들은 정반응과 역반응이 동시에 일어남을 고려하지 못하고 역반응만 일어나는 것으로 생각함을 알 수 있다. 답지 ③번을 선택한 학생들(13%)의 과반수는 문항 1에서 답지 ④번을 선택한 학생들로 이들은 역반응 속도 변화는 정반응 속도 변화와 반대라고 생각하고 있음을 알 수 있다.

문항 3은 평형에서 반응물을 더 첨가하였을 때 새로운 평형에 도달하기 전까지의 정반응 속도 변화를 물어본 것으로 정답인 답지 ④번의 "갑자기 빨라졌다가 점점 느려진다"를 선택한 학생이 71%였다. 오답은 특별히 지중되어 있지는 않으나 8%의 학생들이 답지 ③번인 "일정하다"를 선택하였다. 이들은 이유진술에서 "나머지 한 반응물의 농도는 한정되어 있으므로 반응 속도는 일정하다", "평형은 온도에 따라 변하므로 반응 속도는 일정하다"라고 응답하였다.

문항 4는 문항 3과 동일한 조건에서 역반응의 속도 변화를 물어본 것인데 정답인 답지 ①번 "점점 빨라진다"를 선택한 학생이 19%로 문항 3의 정답률인 71%에 비해 현저히 낮았다. 오답 중에서는 답지 ③번 "갑자기 느려졌다가 점점 빨라진다"를 선택한 학생들이 33%로 가장 많았는데, 이는 정반응 속도 변화인 답지 ④번과 반대되는 것이다. 이 학생들은 이유진술에서도 "반응물의 증가로 정반응이 빨라지니까 역반응은 느려지고 생성물이 증가함에 따라 역반응이 빨라진다"고 응답하여 역반응 속도 변화가 정반응 속도 변화와 반대라고 생각하고 있음을 알 수 있다. 답지 ④번을 선택한 학생들도 20%나 되었는데, 이들은 이유진술에서 "생성물의 농도가 증가하면서 속도가 빨라졌다가 생성물의 농도가 감소하면서 느려진다"로 응답해 반응물의 농도 변화와 생성물의 농

도 변화를 동일하게 생각함을 알 수 있다. 또 일부 학생들은 "평형 상태에 도달하기 위해 속도가 빨라졌다가 평형에 도달하면서 점점 느려진다"고 응답해 역반응 속도 변화를 정반응 속도 변화와 동일하게 생각하는 것으로 짐작할 수 있다.

문항 5는 발열반응의 경우 평형에서 온도를 갑자기 높인 후 일정하게 유지하였을 때 새로운 평형에 도달하는 동안 정반응의 속도 변화를 물어본 것으로 정답인 답지 ⑤번 "갑자기 빨라졌다가 점점 빨라진다"를 선택한 학생은 2%에 불과하였다. 오답 중에서는 답지 ①번 "점점 빨라진다"를 선택한 학생들이 25%로 가장 많았는데, 온도가 올라가면 일단 반응 속도가 빨라지고 그 다음에 평형 이동에 의해 정반응 속도가 점점 빨라지는 것인데 이 학생들은 처음 반응 속도가 빨라지는 것을 간과한 것으로 생각된다. 반면에 답지 ④번을 선택한 23%의 학생들은 처음 반응 속도 증가는 생각하였으나 평형 이동이 역반응 방향으로 일어나므로 정반응 속도는 점점 느려지는 것으로 생각한 경우이다. 따라서 학생들은 평형에서 온도를 변화시킬 경우 르사틀리에 원리를 적용하여 평형 이동이 역반응 방향으로 일어남을 예측할 수는 있으나 이를 반응 속도의 변화를 통해 이해하고 있지는 못함을 알 수 있다. 답지 ③번을 선택한 19%의 학생들은 평형 이동이 역반응 방향으로 일어나므로 정반응 속도는 느려진다고 생각하는 것으로 짐작된다.

문항 6은 문항 5와 동일한 조건에서 역반응의 속도 변화를 물어본 것으로 정답인 답지 ④번 "갑자기 빨라졌다가 점점 느려진다"를 선택한 학생이 34%로 문항 5에 비해 상대적으로 높았다. 그러나 이유진술에서 온도 상승에 의한 반응 속도의 증가와 그 이후 평형 이동에 의한 반응 속도의 감소를 모두 바르게 설명한 학생은 한 명도 없었다. 20%의 학생들은 이유진술에서 "르사틀리에 원리에 의해 흡열반응인 역반응을 촉진시켜 반응 속도가 빨라졌다가 점차 농도가 감소하여 느려진다"고 응답하여 평형 이동이 역반응 방향으로 일어남은 알고 있었으나 초기에 온도 상승에 의한 반응 속도의 증가는 설명하지 못하였다. 나머지 학생들은 "온도가 올라가면 활성화 에너지 이상의 에너지를 갖는 분자 수가 많아져(또는 유효 충돌 수가 증가하여) 반응 속도가 빨라진다"고 응답하여 온도 상승에 의한 반응 속도의 증가만 설명하였다. 오답 중 가장 많이 선택한 것은 답지 ①번으로

38%의 학생들이 “점점 빨라진다”를 선택하였다. 이 학생들은 이유진술에서 “르사틀리에 원리에 의해 흡열반응인 역반응을 촉진시켜 반응 속도가 빨라진다”고 응답하여 르사틀리에 원리에 의해 평형 이동이 역반응 방향으로 일어남은 알고 있지만 반응 속도의 변화에 대해서는 구체적으로 알고 있지 못하였다.

문항 5와 문항 6의 응답을 통해 온도 변화에 따른 평형 이동에 대하여 학생들은 르사틀리에 원리를 적용하여 평형 이동의 방향을 예측하기는 하지만 이에 따른 정반응과 역반응의 속도 변화에 대해서는 생각해본 적이 없는 것으로 생각된다. 특히 평형 이동이 일어나는 방향의 반대 방향인 정반응 속도 변화에 대해서는 거의 이해하지 못하고 있음을 알 수 있다. 그러므로 르사틀리에 원리를 가르칠 때 정반응과 역반응의 속도 변화도 함께 가르친다면 평형 이동이 일어나는 원리를 이해할 수 있을 것으로 생각된다.

반응 속도 기본 개념 문항 제시 전후의 정답률 비교

Table 1에서 A세트와 A'세트의 동일한 문항의 정답률을 비교해보면 문항 3의 객관식 물음을 제외하고는 모두 A'세트의 정답률이 높게 나타나 반응 속도 기본 개념에 대한 B세트의 문항을 쫓 후에 정답률이 상승한 것을 알 수 있다. 이러한 차이가 통계적으로 유의미한지를 알아보기 위하여 대응 표본 t 검정을 하였고, 그 결과를 Table 5에 나타내었다.

A세트와 A'세트의 전체 평균은 각각 1.85점과 2.16점으로 A'세트의 평균이 높았으며, 이는 통계적으로 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다($p < 0.05$). 그러므로 B세트의 반응 속도 기본 개념에 대한 문항을 풀어본 것이 A'세트 문항을 푸는데 도움이 되었다고 볼 수 있다.

그러나 A세트와 A'세트가 동일한 문항이므로 반복 검사에 의한 차이일 가능성도 고려해 보아야 한다. 즉, 이러한 차이가 B세트 문항의 영향이라기보다 A 세트 문항의 영향일 가능성도 있다. 반복 검사에 의한 영향은 검사할 때마다 결과가 다르게 나타날 수 있는 재검사 신뢰도 문제와 기억 효과에 의한 문제를 생각해볼 수 있다. 재검사 신뢰도 문제는 우선 A 세트와 A'세트의 평균이 통계적으로 유의미한 차이가 있으며, 또한 재검사 신뢰도를 구해본 결과 $r = 0.518$ 로 아주 낮게 나온 것으로 보아 단순히 검사-재검사에 의한 영향만은 아닌 것으로 볼 수 있다. 기억 효과 문제는 A, B, A'세트 문항을 연속적으로 풀었기 때문에 A세트 문항을 풀어본 기억으로 인해 B세트 문항과 상관없이 A'세트 문항을 더 잘 풀 수 있는 가능성이 있다. 그러나 본 연구에서는 쉬는 시간 없이 문항을 연속적으로 풀게 하였으므로 다른 학생들과는 의하거나 책을 찾아보아 정답을 알 수 있는 기회가 없었고, 문항을 푸는 시간을 충분히 주었기 때문에 처음에는 시간이 모자라서 못 풀었다가 두 번째는 동일한 문항이므로 시간을 절약할 수 있어 풀 수 있는 가능성도 없었을 것으로 생각된다. 또한 문항의 물음이 기본적인 개념을 단도직입적으로 물어보는 것이므로 기억 효과가 별 영향을 주지 않았을 것으로 생각된다. 따라서 A세트와 A'세트의 평균의 차이는 반복 검사에 의한 차이라기보다는 B세트 문항을 풀면서 반응 속도의 기본 개념을 회상하게 되어 A'세트 문항을 푸는데 도움이 된 것으로 볼 수 있다.

Table 5에서 각 문항별로 t 검정한 결과를 보면 문항 2와 문항 6에서만 유의미한 차이를 보이고, 나머지 문항들은 유의미한 차이를 보이지 않았다. 문항 2는 반응 시작 후 역반응의 속도 변화를 물어본 것

Table 5. Means, standard deviations and the results of paired t-test for the sets of A and A'

Items	M(SD)		t	p
	Set A	Set A'		
Total	1.85(1.21)	2.16(1.38)	-2.428	0.017*
1	0.67(0.47)	0.71(0.46)	-0.894	0.374
2	0.44(0.50)	0.56(0.50)	-2.514	0.014*
3	0.57(0.50)	0.59(0.49)	-0.364	0.717
4	0.17(0.38)	0.24(0.43)	-1.714	0.090
5	0.00(0.00)	0.02(0.14)	-1.421	0.158
6	0.00(0.00)	0.04(0.20)	-2.031	0.045*

* $p < 0.05$.

으로 반응 속도 기본 개념의 회상을 통해 역반응 속도는 생성물의 농도에 의존한다는 것을 알아낸 학생들이 있음을 나타낸다고 볼 수 있다. 문항 6은 평형에서 온도를 상승시킨 후 역반응의 속도 변화를 물어본 것인데, 문항 2와 유사하게 해석할 수 있으나 정답률이 너무 낮아 큰 의미는 없는 것으로 생각된다. 그러나 전체적인 경향을 보면 정반응 속도와 관련된 문항 1, 3, 5에 비해 역반응 속도와 관련된 문항 2, 4, 6의 유의 확률이 모두 낮게 나온 것으로 보아($p < 0.1$) 반응 속도 기본 개념 문항을 풀어본 것이 역반응 속도 변화를 알아내는데 도움을 준 것으로 볼 수 있다.

연관된 문항들의 응답 분석

A세트와 A'세트 문항은 화학 평형 이동시 반응 속도 변화에 대한 문항이고, B세트 문항은 반응 속도의 기본 개념에 대한 문항이다. A, B, A'세트의 문항들은 서로 연관성을 가지고 있으므로 순차적으로 응답한 학생들의 응답 유형을 분석해보면 문항을 푸는 동안 학생들의 개념 변화에 대한 정보를 얻을 수 있으며 또한 각 학생들의 개념 변화를 유도하기 위한 방안을 마련할 수 있을 것으로 생각된다. A세트와 A'세트의 문항별 평균 비교에서 유의미한 차이가 있었던 문항 2에 대해 연관된 문항들의 응답 분석 결과를 예로 제시하면 다음과 같다.

A세트의 문항 2는 처음에 반응물을 넣고 반응시켰을 때 반응 시작 후 평형 도달 전까지의 역반응 속도 변화를 묻는 것으로 B세트의 문항 2, 3과 연관되어 있다. B세트의 문항 2는 반응물만 넣고 반응시켰을 때 반응 시작 후 생성물의 농도 변화를 묻는 문항이고, 문항 3은 반응물의 농도가 증가할 때 반응 속도 변화를 묻는 문항이다. 따라서 B세트의 문항 2, 3은 A세트 문항 2를 해결하는데 필요한 선수 개념에 해당한다. A세트 문항 2와 연관된 문항들에 대한 학생들의 응답을 유형별로 분류하여 각 유형별 응답 비율을 Table 6에 제시하였다. 각 문항들에 대해 맞는 응답은 O로, 틀린 응답은 X로 나타내었는데, A세트와 A'세트는 객관식과 이유진술이 모두 맞은 경우를 O로 하였다.

응답 유형 1은 38%로 A, B, A'세트의 연관 문항을 모두 맞은 학생들이다. 응답 유형 2는 30%로 A-2와 A'-2에 오답을 하였으나 B-2와 B-3에는 정답을 한 학

Table 6. The distribution of response types for item 2 in set A and related items in set B and set A'

Response type	A-2	B-2	B-3	A'-2	%
1	O	O	O	O	38
2	X	O	O	X	30
3	X	O	O	O	18
4	O	O	O	X	5
5	X	X	O	X	5
6	X	O	X	X	3
7	O	X	O	X	1
Total					100

생들이다. 이들은 반응 속도에 대한 기본 개념은 알고 있으나 이를 화학 평형으로 접근하는 과정에서의 역반응 속도 변화를 물어보는 문항에 적용시키지 못하였다. 따라서 이 유형의 학생들에게는 반응 속도 기본 개념에 대한 교육보다는 이를 적용시키는 능력을 길러주는 것이 필요함을 알 수 있다. 응답 유형 3은 18%로 처음에 A-2에서 오답을 하였으나 B-2와 B-3의 응답을 통해 A'-2에서는 정답을 한 학생들이다. 이들은 B세트 문항을 푸는 동안에 A'-2 문항의 정답을 스스로 알게 된 것으로 볼 수 있으며, 세트화된 문항으로부터 개념을 서로 연계시킨 것으로 볼 수 있다. 한편, 응답 유형 4의 경우는 A-2, B-2, B-3에서 모두 정답을 하였으나 A'-2에서 오답을 한 경우로 이들 5%의 학생들은 B세트 문항을 풀면서 오히려 혼란을 느낀 것으로 볼 수 있다. 따라서 이 학생들은 개별적인 면담을 통하여 혼란을 초래한 원인을 밝혀서 개념을 바로잡아 주는 것이 필요한 것으로 생각된다. 응답 유형 5, 6에 해당하는 학생들은 반응 속도 기본 개념이 불완전하게 정립되어 있기 때문에 화학 평형으로 접근하는 과정에서의 역반응 속도 변화를 이해하지 못하는 것으로 볼 수 있다. 그러므로 이 유형의 학생들에게는 반응 속도 기본 개념부터 가르치는 것이 필요함을 알 수 있다. 이와 같이 서로 연관되는 개념들의 세트화된 질문지는 개별 학생들에 대한 지도 방안을 마련하는 데도 유용하게 사용될 수 있으리라 생각된다.

결론 및 제언

본 연구에서는 고등학교 학생들을 대상으로 화학 평형 이동시 반응 속도 변화에 대한 질문과 반응 속

도 기본 개념에 대한 질문을 세트로 구성하여 순차적으로 적용함으로써 해당 개념에 대한 학생들의 이해 정도를 조사하고, 또한 반응 속도 기본 개념에 대한 질문이 화학 평형 이동시 반응 속도 변화의 이해에 도움이 되는지를 알아보았다.

화학 평형 이동시 반응 속도 변화에 대한 질문에서 농도 변화에 의한 평형 이동시 반응 속도 변화에 대한 개념은 어느 정도 정립되어 있으나 온도 변화에 의한 평형 이동시 반응 속도 변화에 대해서는 거의 개념이 정립되어 있지 않은 것으로 나타났다. 따라서 온도 변화에 따른 평형 이동을 지도할 때 르샤틀리에 원리만 가르치지 말고 정반응과 역반응의 속도 변화를 통해 르샤틀리에 원리가 적용되는 이유를 이해할 수 있도록 가르치는 것이 필요한 것으로 생각된다. 또한 평형 이동시 정반응 속도 변화보다 역반응 속도 변화에 대한 이해가 더 낮은 것으로 나타났는데, 역반응의 경우에도 정반응과 동일한 방법으로 문제를 해결할 수 있음을 일깨워주는 것이 필요한 것으로 생각된다.

한편, 반응 속도 기본 개념에 대한 정답들은 매우 높게 나타나 학생들이 평형 이동시 반응 속도 변화를 잘 이해하지 못하는 것은 반응 속도 기본 개념의 부족에 의한 것이 아니라 이를 평형 이동에 연계시켜 적용하지 못하기 때문임을 알 수 있었다. 그러므로 반응 속도 기본 개념을 화학 평형 이동시 반응 속도 변화에 적용시키는 능력을 키워주는 방안을 구상하는 것이 필요한 것으로 생각된다.

반응 속도 기본 개념에 대한 문항을 풀기 전후의 화학 평형 이동시 반응 속도 변화에 대한 정답물을 비교해본 결과 반응 속도 기본 개념 문항을 풀 이후에 정답률이 상승하였으며, 특히 역반응 속도 변화에서 두드러지게 나타났다. 이러한 결과는 반응 속도 기본 개념 문항을 풀이한 이후에 학생들 스스로 이를 평형 이동시 반응 속도 변화에 연계시켜 적용한 것으로 볼 수 있다. 따라서 화학 평형 이동을 지도할 때 반응 속도 기본 개념을 회상시켜주는 것이 평형 이동을 이해하는데 도움이 될 수 있을 것으로 생각된다. 그러나 일부 학생들은 반응 속도 기본 개념에 대한 문항을 풀 이후에 오히려 혼란을 초래한 경우도 있었는데, 이에 대해서는 좀 더 심층적인 연구를 통해 그 이유를 밝힐 필요가 있는 것으로 생각된다.

본 연구의 결과는 연관 개념들의 세트화 된 질문

지의 사용을 통해 학생들 스스로 개념을 연계시킬 수 있는 가능성을 시사하므로 추후 이에 대한 연구를 계속할 필요가 있는 것으로 생각된다. 또한 이러한 세트화 된 질문지는 학생들의 진단 평가에도 유용하게 사용할 수 있을 것으로 기대된다. 학생들의 응답을 통해 어떤 선수 개념이 부족한지 또는 어떤 선수 개념의 적용 능력이 부족한지를 알 수 있으므로 개별 학생들에 대한 지도 방안을 마련하는 데도 도움이 될 수 있기 때문이다.

인용문헌

1. 박종윤; 박현주. *대한화학회지*, 2002, 46(3), 265-278.
2. Quilez-Pardo, J.; Solaz-Portoles, J. *Journal of Research in Science Teaching*, 1995, 32(9), 939-957.
3. 강석진. *화학평형에 대한 학생들의 개념 연구: 대학교 신 입생을 대상으로*. 서울대학교 대학원 석사 학위 논문, 1993.
4. 김진구; 최병순. *화학교육*, 1994, 21(2), 76-86.
5. 류시경. *화학평형 개념 형성을 위한 시범실험과 컴퓨터 동영상을 연계한 수업의 효과*. 한국교원대학교 교육대학원 석사 학위 논문, 2002.
6. 박국태; 김경수; 박광사; 김은숙; 김동진. *대한화학회지*, 2006, 50(3), 247-255.
7. 박미애. *학생들의 화학평형 개념에 대한 연구*. 충북대학교 교육대학원 석사 학위 논문, 1993.
8. 서형근. *컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 수업이 화학평형개념 형성에 미치는 영향*. 한국교원대학교 교육대학원 석사 학위 논문, 2001.
9. 이봉주. *시범실험을 이용한 수업이 화학평형에 미치는 효과*. 한국교원대학교 대학원 석사 학위 논문, 1997.
10. 정재표. *화학평형에 대한 고등학생들의 개념 조사*. 한국교원대학교 대학원 석사 학위 논문, 1993.
11. Banerjee, A. C. *International Journal of Science Education*, 1991, 13(4), 487-494.
12. Bergquist, W. C.; Heikkinen, H. *Journal of Chemical Education*, 1990, 67(12), 1000-1003.
13. Camacho, M.; Good, R. *Journal of Research in Science Teaching*, 1989, 26(3), 251-272.
14. Chiu, M.-H.; Chou, C.-C.; Liu, C.-J. *Journal of Research in Science Teaching*, 2002, 39(8), 688-712.
15. Furio, C.; Calatayud, M. L.; Barceñas, S. L.; Padilla, O. M. *Science Education*, 2000, 84(5), 545-565.
16. Gussarsky, E.; Gorodetsky, M. *Journal of Research in Science Teaching*, 1990, 27(3), 197-204.
17. Hackling, M. W.; Garnett, P. J. *European Journal of Science Education*, 1985, 7(2), 205-214.
18. Hameed, H.; Hackling, M. W.; Garnett, P. J. *Interna-*

- tional Journal of Science Education*, **1993**, *15*(2), 221-230.
19. Harrison, A. G.; De Jong, O. *Journal of Research in Science Teaching*, **2005**, *42*(10), 1135-1159.
20. Huddle, P. A.; Pillay, A. E. *Journal of Research in Science Teaching*, **1996**, *33*(1), 65-77.
21. Niaz, M. *International Journal of Science Education*, **1995**, *17*(3), 343-355.
22. Niaz, M. *Journal of Science Education and Technology*; **2001**, *10*(2), 205-211.
23. Piquette, J. S.; Heikkinen, H. W. *Journal of Research in Science Teaching*, **2005**, *42*(10), 1112-1134.
24. Tyson, L.; Treagust, D. F.; Bucat, R. B. *Journal of Chemical Education*, **1999**, *76*(4), 554-558.
25. Voska, K. W.; Heikkinen, H. W. *Journal of Research in Science Teaching*, **2000**, *37*(2), 160-176.
26. Wheeler, A. E.; Kass, H. *Science Education*, **1978**, *62*(2), 223-232.
-