

## 창발적 사고를 위한 산-염기 교육 콘텐츠 개발

백성혜\*, 허 현\*\*, 김성기<sup>o</sup>

\*한국교원대학교

<sup>o</sup>\*\*광주과학고등학교

e-mail: shpiak@knue.ac.kr\*, heohyun73@gmail.com\*\*, mcarey2000@nate.com<sup>o</sup>

## Development of Acid-Base Educational Content for Emergent Thinking

Seong-hey Paik\*, Hyeon Heo\*\*, Sungki Kim<sup>o</sup>

\*Dept. of Chemistry Education, Korea National University of Education

<sup>o</sup>\*\*Gwangju Science Academy

### ● 요약 ●

본 논문은 화학에서 사용되는 2가지 산, 염기 모델에 대한 이해를 높이고자 각 모델의 핵심 알고리즘이 반영된 단계별 교육용 콘텐츠를 개발하는데 목적이 있다. 이를 위해 먼저 Arrhenius와 Brønsted-Lowry 모델이 갖는 핵심 알고리즘을 탐색하였으며, 이러한 핵심 알고리즘을 반영된 단계별 교육용 콘텐츠를 JAVA를 이용하여 개발하였다. 개발된 교육용 콘텐츠는 총 5단계로 구성되어 있다. 1단계는 화학에서 다루어지는 입자들이 개별적으로 무작위하게 운동함으로 표현하였으며, 2단계는 화학반응이란 이러한 무작위적 운동 중 입자 간 충돌에 의해 반응이 개시됨을 보여주었다. 3단계에서는 단일입자에 대해 정반응과 역반응을 동시에 고려한 진행되는 상황을, 4단계는 여러 입자가 동시다발적으로 정반응과 역반응에 참여한 상황을 구현하였다. 마지막 5단계는 정반응과 역반응의 공존의 비율이 다른 상황을 통해 평형상수의 의미를 고찰하도록 하였다. 창발적 사고의 핵심은 여러 입자를 생각하는 확률적 사고와 이러한 여러 입자가 개별적으로 움직인다는 사고가 반영되어야 한다. 이 연구에서 개발한 교육 콘텐츠를 활용한다면 학생들이 보다 창발적 사고를 하는데 도움을 줄 것으로 기대된다.

**키워드:** 창발(emergence), 과학 모델(scientific model), 산-염기(acid-base)

### I. Introduction

화학에서 산, 염기 모델은 교육과정과 무관하게 초등학교부터 대학교까지 지속적으로 가르치는 핵심 과학 모델 중 하나이다. 저학년에서는 현상 중심에서 산, 염기를 다루다가 중학교에서 처음으로 Arrhenius 모델이 도입되며, 고등학교부터는 Brønsted-Lowry 모델이 도입된다. 이러한 과학 모델의 순차적 도입은 역사적으로 모델이 도입된 순서와 동일하다. 하지만 이러한 모델의 순차적 도입은 학생들이 이후에 배운 모델을 이전 모델의 확장판으로 생각하는 오류를 갖게 된다.

실제로 Brønsted-Lowry 모델과 Arrhenius 모델은 그러한 관계가 아니며, 김성기 등(2017)과 백성혜(2015)에 따르면 관점 자체가 다른 모델이다. 특히, 여러 연구에서 Brønsted-Lowry 모델 학습의 어려움을 보고하고 있는데, 이는 Arrhenius 모델과 달리 Brønsted-Lowry는 여러 입자를 고려해야하고, 이 입자들의 정반응과 역반응을 동시다발적으로 고려하는 창발적 사고가 필요하다(최희 등, 2018).

여러 과학 모델들은 자연에서 규칙을 발견하고, 그러한 규칙을 들어내는 핵심 알고리즘이 있다. 이러한 알고리즘은 컴퓨터 프로그램의 알고리즘과 유사하게 주어진 조건에서는 예외 없이 예상된 결과를

보여준다. 이러한 점에서 코딩과 관련된 과학교육은 많은 가능성을 갖고 있다.

본 연구는 이러한 점에 착안하여 과학 모델이 갖는 핵심 알고리즘을 추출한 후, 이러한 알고리즘을 단계별로 제시하는 교육용 콘텐츠를 개발함으로써 학생들의 창발적 사고를 보다 촉진하고자 한다.

### II. Exploring scientific model

#### 1. Algorithm of Arrhenius Model

Arrhenius 산 염기 모델은 물에의 상황을 전제로 해리되는 이온이  $H^+$  이면 산으로 분류되고,  $OH^-$  이면 염기로 분류된다. 또한 실제 이 모델이 만들어질 당시 산과 염기에 대한 분류는 모두 강산과 강염기에 국한되었다. 그렇기 때문에 이 모델은 정반응의 산-염기 반응만 진행되며, 역반응의 산-염기 반응은 일어나지 않는다(Fig. 1).

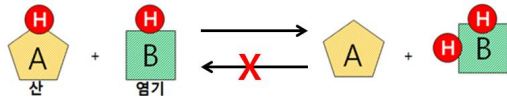


Fig. 1. Representative of Arrhenius model

이 모델이 작동되기 위해서는 먼저 무질서하게 움직이는 산과 염기라는 두 입자가 운동을 통해 만나야 하며(충돌), 이러한 충돌에 의해 산인 물질이 염기인 물질에게  $H^+$ 를 준다. 하지만 생성된 새로운 산( $BH^+$ )은 정반응의 산( $HA$ )에 비해 매우 약하므로 역반응은 진행되지 않는다(Carr, 1984).

## 2. Algorithm of Bronsted-Lowry Model

Bronsted-Lowry 모델은 물에서의 상황으로 국한되지 않는다. 또한 Bronsted-Lowry 모델에서는 만나는 두 물질이 산일지 염기일지가 먼저 결정되지 않는다. 두 물질의 상대적 산의 세기(산 평형상수  $K_a$ )에 따라 산과 염기가 결정된다. 그러한 의미에서 이 모델은 과정적 관점의 모델이라 할 수 있다(Chi et al., 1994). 상대적 산의 세기에 따라 진행되는 정반응의 산-염기 반응의 산물인 짝산, 짝염기가 다시 만나 산-염기 반응을 하게 된다.



Fig. 2. Representative of Bronsted-Lowry model

이와 같이 정반응과 역반응의 산-염기 반응을 모두 고려하는 Bronsted-Lowry 모델을 이원 산-염기 반응이라고 한다.

이 모델에서 정반응과 역반응에서의 산의 세기에 따라 전체 반응계에서 우세하게 일어나는 반응의 정도가 결정된다. Arrhenius 모델과 달리 이 모델은 정반응과 역반응을 모두 고려해야 하며, 개별적 입자들의 산발적 반응을 모두 고려해야 한다. 그렇기 때문에 입자수가 많은 상황을 고려해야 하며, 이러한 산발적 반응에서 전체 계에서 일어나는 반응을 결정짓는 사고가 필요하다. 이러한 사고를 창발적 사고라 하며, 이 모델의 이해는 창발적 사고가 반드시 수반되어야 한다.

## 3. Extraction of Model key components

위에 분석한 두 가지 산, 염기 모델을 토대로 창발적 사고를 위한 단계별 핵심 내용은 Table 1과 같다. 두 모델 모두 입자의 무질서한 운동이 전제가 되어야 한다(step1). 이후 이러한 무질서한 운동을 통해 충돌한 산과 염기가 강산인 경우 염기에 양성자를 주고 완전히 해리되는 경우로 이는 Arrhenius 모델에 해당된다. Bronsted-Lowry 모델은 정반응과 역반응 모두를 고려해야하기 때문에 단계 3에서는 단일 입자에 대해서 정반응과 역반응의 산-염기 반응이 일어남을 이해할 필요가 있다. 이후 여러 입자에 대해 동시다발적으로 정반응과 역반응을 모두 고려한 경우가 필요하다. 끝으로 정반응과 역반응이 일어나는 확률이 동일하지 않으며, 이중 보다 더 우세하게 일어나는 반응이 있다. 즉, 개별 입자들은 정반응과 역반응을 진행하지만, 이

확률에 의해 전체 반응계에서 지배적으로 일어나는 반응이 결정된다. 이처럼 창발적 사고는 학생들이 이해하기 위해서는 여러 단계로 나누어 제시할 필요가 있으며, 이러한 일련의 단계를 통해서 학생들은 창발적 사고를 이해할 수 있게 된다.

Table 1. Key component by steps

Step	Key component
Step1	Individual motions of particles: Random movements
Step2	Acid-base reaction by collision: Complete dissociation of strong acid
Step3	Simultaneous consideration of forward reaction and reverse reaction: For single particles
Step4	Simultaneous consideration of forward reaction and reverse reaction: For multiple particles
Step5	Determination of the response of the total system according to the probability of the forward reaction and the reverse reaction

## III. Educational Contents Development

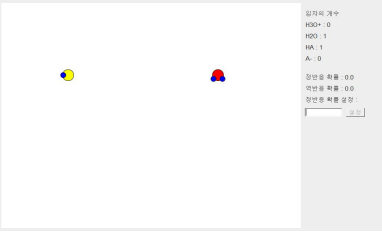
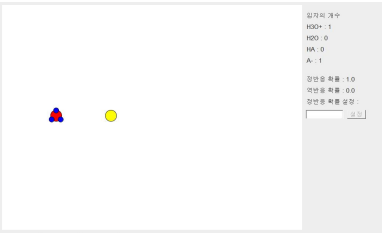
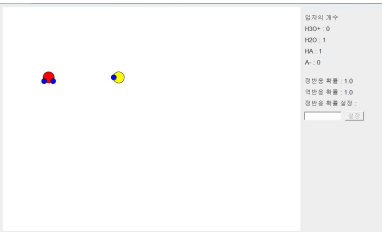
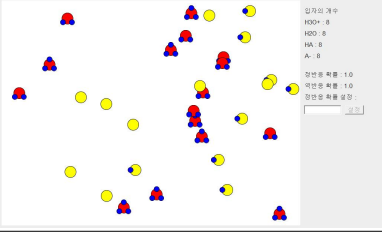
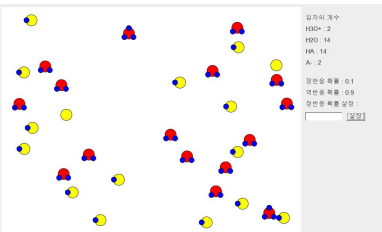
본 연구에서 교육 콘텐츠 개발은 JAVA 프로그램을 활용하였다. 다른 프로그래밍 언어를 사용할 수 있었음에도 구현 시 JAVA를 사용하게 된 이유는 첫 번째로, 입자들의 개별적인 거동을 표현하는 데에 JAVA프로그래밍 언어만의 객체지향적 특성이 적합했기 때문이며, 두 번째로, JAVA의 플랫폼 독립적인 특성을 통해 서로 다른 환경의 기기에서도 프로그램이 원활하게 작동할 수 있기 때문이다. Table 2와 같이 창발적 사고를 위한 콘텐츠는 5단계로 구성되어 있으며, Table 1의 요소가 들어나도록 하였으며 이에 대한 핵심 코딩을 기재하였다. 각 단계의 핵심 요소는 누적적으로 적용되며, 이에 하나의 요소가 더 추가되도록 하였다. 특히 코딩의 요소들에서 입자 개별에 대해 명령을 주면서 각 객체들을 개별적으로 분리하여(병렬화) 제시하였으며, 개별화된 객체들이 명령에 의해 자동적으로 움직이도록 하였다(자동화).

구체적으로 1단계에서는 산과 염기인 입자가 1개씩 존재하며, 각 개별 입자가 독립적으로 무작위하게 움직이도록 구현하였다. 2단계에서는 그러한 무작위적 움직임에서 두 입자가 만나는 경우 산인 물질이 염기인 물질에  $H^+$ 를 주게 되는 경우로 이때 역반응이 일어나지 않는다. 이 단계가 바로 Arrhenius의 모델에 해당된다. 3단계에서는 2단계의 아이디어에 역반응을 추가적으로 고려하도록 하였다. 역반응에 대한 아이디어는 Bronsted-Lowry 모델의 핵심 아이디어이지만, 여기에 확률적 사고를 더하기 위해서는 많은 입자를 동시다발적으로 고려해야 한다. 그래서 4단계에서는 여러 입자에 대해 정반응과 역반응을 모두 고려한 반응을 고려하게끔 구현하였다. 여기까지는 정반응과 역반응이 일어날 확률이 동일한 경우로, 평형상수(K)로 표현하면 1인 반응이다. 하지만 실제로 물질들마다 평형상수가 다르다. 때문에 5단계에서는 정반응과 역반응이 일어날 확률을 조절할 수 있도록 고안하였으며, 이를 통해 평형상수의 개념을 이해하도록 하였다.

## IV. Discussion

본 연구는 산-염기 모델에 대한 이해를 돕는 창발적 사고 신장을

Table 2. System Environment

Step	Simulation	Key coding
1		<pre>// 반응하지 않으며, 입자간 충돌했을 때 튕김이 없는 계를 생성 resetWorld(false, false, 0.0, 0.0); public Particle(double x, double y, Vector2D speed, String type){ // 입자의 초기 위치, 속도벡터, 입자의 종류를 바탕으로 입자를 생성한다. // 모든 입자는 객체로써 구성되어 있기 때문에 입자들은 각자 독립적으로 거동하게 된다. this(x,y,speed); // 입자를 생성하는 부분 this.type = type; // 입자의 종류를 설정 public void move(World w){ // 입자의 이동을 담당하는 메소드 x = x + speed.getX(); // x축 방향 이동 y = y + speed.getY(); // y축 방향 이동 wallCollision(w); // 벽과의 충돌을 처리</pre>
2		<pre>// 반응이 일어나며, 입자간 충돌했을 때 튕김이 없는 계를 생성 // 정반응은 100% 확률로 일어나며 역반응은 0% 확률로 일어난다 resetWorld(false, true, 1.0, 0.0); if(w.isReact){ // 충돌 시 만약 이 계가 반응이 일어나는 계라면 reaction(w.freactionrate,w.rreactionrate, p); // 두 화합물 사이의 반응을 확인 } if(this.getType().equals("H2O") &amp;&amp; p.getType().equals("HA")){ // 두 입자가 각각 H2O와 HA라면 if(rand &lt;= freactionrate){ //정반응이 일어났을 때 this.setType("H3O+"); // H2O를 H3O+로 변경 p.setType("A-"); // HA를 A-로 변경</pre>
3		<pre>// 반응이 일어나며, 입자간 충돌했을 때 튕김이 없는 계를 생성 // 정반응과 역반응 모두 100%확률로 일어난다 resetWorld(false, true, 1.0, 1.0); if(this.getType().equals("H2O") &amp;&amp; p.getType().equals("HA")){ // 두 입자가 각각 H2O와 HA라면 if(rand &lt;= freactionrate){ //정반응이 일어났을 때 this.setType("H3O+"); // H2O를 H3O+로 변경 p.setType("A-"); // HA를 A-로 변경 else if(this.getType().equals("H3O+") &amp;&amp; p.getType().equals("A-")){ // 두 입자가 각각 H3O+와 A-라면 if(rand &lt;= rreactionrate){ //역반응이 일어났을 때 this.setType("H2O"); // H3O+를 H2O로 변경 p.setType("HA"); // A-를 HA로 변경</pre>
4		<pre>// 반응이 일어나며, 입자간 충돌했을 때 튕김이 없는 계를 생성 // 정반응과 역반응 모두 100%확률로 일어난다 resetWorld(false, true, 1.0, 1.0); // H2O입자와 HA입자를 각각 무작위적인 위치와 속도로 16개씩 생성 for(int i=1; i&lt;=16; i++){ // 16회 반복 world.addParticle(new Particle(random.nextInt(800-36)+18,random } for(int i=1; i&lt;=16; i++){ // 16회 반복 world.addParticle(new Particle(random.nextInt(800-36)+18,random } }</pre>
5		<pre>// 반응이 일어나며, 입자간 충돌했을 때 완전 탄성 충돌하는 계를 생성 // 모든 입자의 질량은 같다고 생각한다. // 정반응과 역반응은 주어진 확률에 따라서 일어난다. (초기에는 각각 50%) resetWorld(true, true, 0.5, 0.5); // H2O입자와 HA입자를 각각 무작위적인 위치와 속도로 16개씩 생성 for(int i=1; i&lt;=16; i++){ // 16회 반복 world.addParticle(new Particle(random.nextInt(800-36)+18,random.nexttr } for(int i=1; i&lt;=16; i++){ // 16회 반복 world.addParticle(new Particle(random.nextInt(800-36)+18,random.nexttr } } // 0 이상 1 이하의 실수 r을 입력받아 정반응 확률과 역반응 확률을 결정하는 부분 if(r &lt;= 1.0 &amp;&amp; r &gt;= 0.0){ // 0이상 1이하의 실수를 입력 받았을 때 world.freactionrate = r; // 입력받은 수를 정반응 확률로 설정한다 world.rreactionrate = 1.0d - r; // (1-정반응 확률)을 역반응 확률로 설정한다.</pre>

위해 JAVA를 이용하여 교육용 콘텐츠를 개발하였다. 개발된 콘텐츠는 창발적 사고를 할 수 있도록 5단계로 나누어 구성하였으며, 각 단계별 요소는 산-염기 모델을 이해하는데 필요한 핵심 요소를 반영하였다. 이 연구에서 개발된 교육용 콘텐츠는 학생들이 어려워하는 창발적 사고를 단계별로 제시하고, 이를 가시적인 도구로 보여준다는 데 의미가 있으며 이를 학교 현장에서 화학교사가 활용할 측면에서 유용성이 있다. 다만, 본 콘텐츠에는 코딩을 이용한 과학교육의 핵심인 실제 학생들이 과학모델의 알고리즘을 직접 코딩하고 이를 구현하는

과정이 결여되어 있기 때문에 개발된 콘텐츠는 이러한 교육을 진행하는 화학교사에게 이를 지도하는 가이드라인으로 활용될 수 있을 것이다. 뿐만 아니라, 코딩이 직접 일어질 수 없는 교실 수업환경에서 수업 보조 자료로 활용될 수 있다.

본 연구는 산-염기 과학 모델의 핵심 요소를 추출하고, 이를 이반으로 단계별 사고를 위한 교육용 콘텐츠를 개발하였다. 때문에 개발된 콘텐츠가 실제 학교현장에서 학생의 창발적 사고를 촉진하는데 어느 정도 효과가 있을지에 대한 후후 연구가 필요할 것이다.

## REFERENCES

- [1] Kim, S., Park, C., Choi, H., & Paik, S., "An analysis of chemistry textbooks' and teachers' conceptions on Brønsted-Lowry Acid-Base," *Journal of the Korea Chemical Society*, Vol. 61, No. 2, pp. 65-75, 2017.
- [2] Paik, S., "Understanding the relationship among arrhenius, brønsted-lowry, and lewis theories," *Journal of Chemical Education*, Vol. 92, No. 9, pp. 1484-1489, 2015.
- [3] Choi, H., Park, C., Kim, S., & Paik, S., "Analysis of explanations and examples of the Brønsted-Lowry model presented in chemistry textbooks developed by 2009 revised curriculum," *Journal of the Korea Chemical Society*, Vol. 62, No. 4, pp. 279-286, 2018.
- [4] Carr, M. "Model confusion in chemistry," *Research in Science Education*, Vol. 14, No. 1, pp. 97-103, 1984.
- [5] Chi, M. T., Slotta, J. D., & De Leeuw, N. "From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts", *Learning and instruction*, Vol. 4, No. 1, pp. 27-43, 1994.