

# 산 염기 중화반응에 따른 부피 증가의 원인 탐구

박현미<sup>1</sup> · 서정쌍<sup>2\*</sup> · 정대홍<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 서울대학교 화학교육과, 서울특별시 151-742

<sup>2</sup> 서울대학교 화학부, 서울특별시 151-742

## Investigation of Volume Increase Followed by Acid-Base Neutralization

Hyunmi Park<sup>1</sup>, Jung Sang Suh<sup>2\*</sup> and Dae Hong Jeong<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Chemistry Education, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

<sup>2</sup>School of Chemistry, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

### 요 약

본 연구에서는 고등학교 과학 교과서에 제시된 중화반응 실험에서 반응이 일어날 때 부피가 증가하는 현상에 대한 학생들의 인식을 조사하고 이에 관한 실험을 수행하여 그 원인을 분석하였다. 서울 소재 대학교 화학전공 2학년 학생들을 대상으로 이 현상의 원인에 대한 인식을 조사하였다. 조사 결과 학생들의 대답은 단순히 물의 생성에 의한 부피 증가, 중화열에 의한 부피 팽창, 분자의 배열 변화 등의 의견을 가지고 있었다. 온도를 통제된 실험을 설계하여 염산과 수산화나트륨의 중화반응을 수행하였을 때 온도의 영향은 측정 오차범위 안으로 들어갈 만큼 적게 나타났다. H<sup>+</sup>와 OH<sup>-</sup> 이온으로 존재할 때와 물로 존재할 때의 부피 차이로 물의 생성에 의한 부피 증가의 영향은 이온과 물 분자의 크기를 비교했을 때 그 영향이 크지 않은 것으로 추정되었다. 이온에 의한 물 속 분자들의 배열 변화의 영향은 관찰된 중화반응에 부피 증가량과 비슷한 값을 주어 이 영향이 실질적 원인으로 분석되었다. 즉, H<sup>+</sup>와 OH<sup>-</sup> 이온의 주변으로 물 분자가 방향을 가지고 모이면서 물 분자 사이의 배열이 달라지고 전체적으로 물의 부피가 축소되어 있던 것이 중화반응이 일어나면서 H<sup>+</sup>와 OH<sup>-</sup> 이온의 수가 급격하게 줄어들면서 부피가 증가한 것으로 해석되었다.

**주제어** : 중화반응, 염산과 수산화나트륨의 반응, 부피 변화, 온도의 영향, 수화

### 서 론

과학 교과서에 나와 있는 실험들 중에는 실제 학교 현장에서 실험을 수행하였을 때 실험 결과가 교과서나 교사용 지도서에서 제시된 결과와 다르거나 이론에 따라 예상한 것보다 크게 차이가 나는 것이 발견된다(고영신 등, 2004). 그 원인이 학생들이 실험에 대해 정확한 이해나 기술적인 능력이 부족하여 제시된 대로 실험을 수행하지 못한 경우에는 교사의 지도 아래 수정이 가능하다(류오현 등, 2001). 하지만 관찰한 현상

이 예측된 결과와 다르거나 교과서 및 지도서에 안내되지 않은 결과이고 그 이유를 알 수 없을 때가 빈번하게 있다. 학교 실험실에서 발견되는 이 같은 문제들은 수많은 사람에 의해서 반복해서 경험되지만 그 문제들이 해결되기보다는 지나치는 경우가 많다. 특히, 발견된 문제를 두 가지 이상의 요인으로 설명할 수 있을 때 각 요인의 기여 정도에 차이가 있음에도 불구하고 정성적으로 현상을 설명하면 타당한 설명으로 인정하는 경향이 있다. 그러나 정교하게 설계된 실험으로 각 요인에 대한 통제 실험을 수행하였을 때 예상한 결과와 다르게 나올 수 있으며 실제로 타당한 설명이 무엇인지 확인하고 밝히는 것은 매우 중요하다.

중화반응 실험은 제 6차 교육과정에서 중학교 3학년 과학교

\*교신저자 1: jeongdh@sun.ac.kr, Tel: 02-880-8012, Fax: 02-889-0749

\*교신저자 2: jssuh@snu.ac.kr, Tel: 02-880-7763, Fax: 02-875-6636

과서에 도입되었고 제 7차 교육과정에서 고등학교 1학년 과학 교과서에 소개된다. 중화반응 실험에 대해서 여러 가지 측면에서 연구 결과가 보고되었다. 이광필(1997)은 중화반응 실험의 최적화에 대한 연구를 보고하였고, 김재현과 최석남(1985)은 중화반응 학습용 시뮬레이션 프로그램을 개발하였다. 최근 전영화 등(2004)은 HCl-NaOH 적정에서 페놀프탈레인의 탈색 및 적정 후 염 생성 확인을 위한 가열과정에서 발생하는 색 변화 등의 현상에서 쉽게 이해되지 않는 문제점을 발견하고 이에 대한 분석 연구를 보고한 바 있다. 강순희와 이순자(2005)는 중화반응과 관련된 오개념을 이온화도, 염의 액성, 중화점에서의 액성 등과 관련하여 광범위하고 포괄적인 연구를 발표하였다.

본 연구에서는 중화반응을 수행하면서 관찰되는 현상 중에서 중화반응으로 용액의 부피가 증가하는 현상에 대한 원인을 고찰하고자 한다. 구체적으로 염산과 수산화나트륨의 중화반응에서 혼합한 두 용액의 합보다 부피가 증가하는 것으로 관찰되는데 이에 대한 원인으로 중화반응에 의해서 발생한 열에 의한 온도 상승으로 부피가 증가된 것으로 이해하는 견해와 이온의 영향으로 물속 분자 사이의 배열의 변화에 따른 것으로 이해하는 견해 및 단순히 물이 생성되었기 때문에 부피가 증가했다는 의견 등 다양한 의견이 있다. 이에 본 연구에서는 간단한 실험과 문헌 연구를 통해서 실질적으로 기여하는 원인을 고찰하고자 한다.

이 현상에 대해서 어떤 견해가 존재하는지 알아보기 위해서 고등학교 교육과정을 마치고 대학에서 화학을 전공하고 있는 학생을 대상으로 현상을 보여주고 그 원인을 답하도록 하였다. 조사 대상은 서울 소재 대학교 2학년 학생 47명에게 질문하여 학생들의 답변 유형을 분석하였다.

주로 실험은 질량 측정과 부피 측정으로 이루어졌는데, 학교 현장에서 재현할 수 있는 도구를 사용하되 본 실험 과정 안에서는 일관성 있는 결과가 나올 수 있도록 사용한 기구 간의 부분 보정을 하였다. 예를 들면, 부피 플라스크와 눈금 실린더를 사용하는데 있어서 100 mL 부피 플라스크를 이용하여 계량이 최대한 일치하는 200 mL 눈금 실린더를 선택하였으며 차이가 나는 부분을 보정하여 측정하였다. 부피 측정은 디지털 카메라로 촬영하여 그림 편집용 프로그램을 이용하여 가능한 한 정확하게 정량하였다. 질량 측정에 사용한 저울은 소수점 아래 넷째 자리까지 측정할 수 있는 정밀 분석 저울(Ohaus Corporation, AS200S)을 사용하였다. 그러나 2.5 mL 간격의 눈금이 매겨진 눈금 실린더를 이용하였기 때문에 부피 측정에 있어서 정밀한 측정에는 한계가 있었다.

물은 3차 증류수를 사용하였고, 시약은 별도의 정제과정 없이 구입한 대로 사용하였다. 시약은 NaOH(대정화금주식회사, 98.0%), HCl(동양제철화학주식회사, 35%) 및 MgSO<sub>4</sub>(Aldrich, 99%)를 사용하였다.

## 연구 내용 및 방법

중화반응은 제 7차 교육과정에 따라 고등학교 1학년 교과에 해당하는 내용이다. 염산과 수산화나트륨의 중화반응 실험에서 1.0 M HCl 수용액 100.0 mL와 1.0 M NaOH 수용액 100.0 mL를 섞었을 때 부피가 200.0 mL보다 커지는 현상이 관찰된다.

## 결과 및 논의

### 학생 응답 분석

염산과 수산화나트륨 수용액의 중화반응에 수반되는 부피 증가 현상에 대해서 학생들이 어떻게 인식하고 설명하는지를

표 1. 질문에 대한 학생들의 응답 유형

응답 유형	구체적인 응답 예	빈 도
생성된 물의 부피	물이 생성되므로 총 물의 양은 증가 생성된 물 분자들끼리의 수소결합에 의해 부피 증가	27
열에 의한 팽창	중화반응으로 온도가 올라가고 열팽창으로 인해 물의 부피가 증가됨	15
분자들의 배열 변화	생성된 물은 H <sup>+</sup> 또는 OH <sup>-</sup> 로 있을 때보다 차지하는 공간이 큼 물이 만들어지면서 용액 속 물질들의 배열이 달라짐	10
기타 및 무응답	Na <sup>+</sup> 와 Cl <sup>-</sup> 주위를 물이 용매화함으로써 부피 증가 HCl 및 NaOH 수용액과 증성 물의 밀도 차이로 부피 증가 전기음성도 차이의 영향으로 부피 증가	11

조사하였다. 중화반응은 고등학교 1학년에서 중요하게 다루어지는 주제이지만 부피 증가 현상을 설명하기 위하여 다양한 개념이 동원될 수 있기 때문에 고등학교 교육과정을 마친 대학생 을 대상으로 질문하여 학생들의 응답을 분석하였다. 사용된 질문은 다음과 같다.

*Question : 100.0 mL of HCl solution (pH 0) and 100.0 mL of NaOH solution (pH 14) were mixed. Then, the total volume was observed to be slightly more than 200.0 mL. Explain what caused this phenomenon.*

질문에 응답한 학생은 47명이었으며 이 중 10명의 학생이 복수의 의견을 적어서 총 57 개의 응답을 내용에 따라 표 1과 같이 분류하였다. 57 개의 응답 중 27 개의 응답은  $H^+$ 와  $OH^-$ 의 부피에 대한 고려를 하지 않고 단순히 생성된 물 분자 수에 해당하는 만큼 용액의 부피가 증가한다고 설명하였다. 15 개의 응답은 중화반응이 발열과정임을 고려하여 열팽창에 의해서 부피가 증가한다고 설명하였다. 전자는 '생성된 물의 부피'로 분류하였고, 후자는 '열에 의한 팽창'으로 분류하였다. 중화반응에 의한 pH 변화에 따른 용액 내 분자사이 배열의 차이로 부피가 증가한다는 취지의 응답 10 개는 '분자들의 배열 변화'로 분류하였으며, 기타 응답의 응답 내용을 이해할 수 없거나 타당성이 떨어지는 응답 및 무응답 11 개는 따로 '기타 및 무응답'으로

분류하였다. 이 중에서 가장 빈도가 높은 '생성된 물의 부피'에 해당하는 응답은 중화반응 전후에 대한 비교가 없이 단순히 생성된 물의 부피만을 이유로 기술하였는데 암시적으로  $H^+$ 와  $OH^-$  상태로 존재할 때 차지하는 공간이 물로 존재할 때의 차지하는 공간보다 작다는 것을 가정한 것으로 이해하였다.

### 중화반응에 의한 부피 변화의 관찰

학생들의 응답에서 높은 빈도로 나온 열팽창의 영향 및 기타 영향을 조사하기 위하여 온도 요인이 통제된 실험을 수행하였다. 사용한 염산과 수산화나트륨의 농도가 매우 묽으면 중화반응에 의한 온도 상승의 효과를 측정하기 어렵고 또 대부분의 물 분자가 이온의 영향을 받지 않을 것이다. 그래서 두 요인에 대한 영향을 살펴보기 위하여 다소 농도가 높은 pH 0 의 염산과 pH 14 의 수산화나트륨 수용액을 실험에 사용하였다. 순수한 물에서 물의 농도가 약 56 M이므로 pH 0 인 염산과 pH 14 인 수산화나트륨 수용액을 사용하면 대략 하나의 이온당 물 분자 20-30 개가 주변에 있게 되기 때문에 온도 상승효과와 이온에 의한 물 분자들의 배열의 변화가 일어난다면 측정이 가능할 것으로 예상하였다.

염산과 수산화나트륨 수용액을 만들기 위해서 100 mL 크기 부피 플라스크 하나를 이용하였고, 만들어진 용액은 혼합하기 전에 각각 별도의 용기에 담아두었다. 두 용액을 혼합할 때는

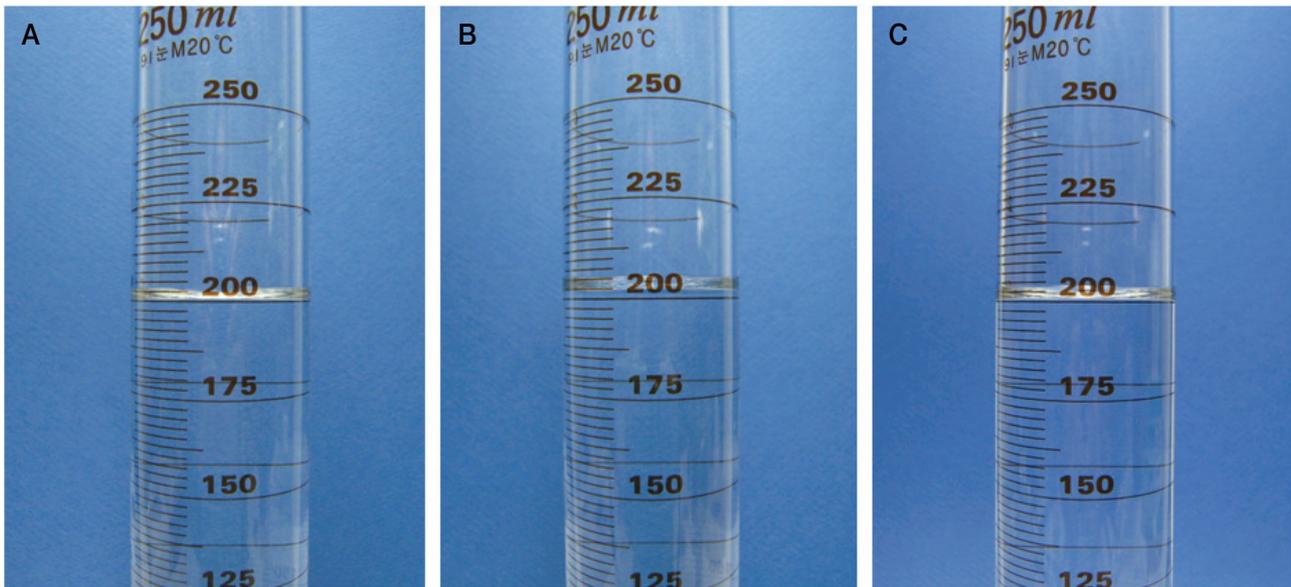


그림 1. 중화반응에 의한 부피 변화 관찰. (A) 증류수 100.0 mL와 증류수 100.0 mL를 섞은 후, (B) pH 0 인 HCl 수용액 100.0 mL와 pH 14 인 NaOH 수용액 100.0 mL를 섞고 처음 온도로 돌아온 후, (C) pH 1인 HCl 수용액 100.0 mL와 pH 13인 NaOH 수용액 100.0 mL를 섞고 처음 온도로 돌아온 후.

250 mL 눈금 플라스크에 직접 부어 중화반응을 시켰다. 온도의 영향을 고려하기 위해서 용액을 혼합하기 직전 온도를 25°C로 유지하였다. 이 눈금 플라스크와 부피 플라스크의 부피 눈금에 서로 오차가 있을 수 있기 때문에 통계 실험으로 순수한 물 100.0 mL씩 두 용액을 준비하고 250 mL 눈금 플라스크에 혼합하여 측정의 오차를 확인하여 200 mL 눈금에 가장 근사하게 관찰되는 눈금 플라스크를 선택하였다. 그림 1(a)는 선택된 눈금 플라스크에 부피 플라스크로 측정된 순수한 물 100.0 mL 용액 두 개를 섞었을 때 측정된 부피를 보여주는 사진이다. 이 때 관찰된 부피는 200.6 mL로 이 후 실험에서 이 값을 200.0 mL로 보정하여 사용하였다.

동일한 유리 기구를 사용하여 염산과 수산화나트륨의 중화반응 후 부피 변화를 관찰하였다. 25°C에서 부피 플라스크를 이용하여 pH 0 인 염산과 pH 14 인 수산화나트륨 수용액을 각각 100.0 mL씩 준비하였다. 이 두 용액을 250 mL 크기의 눈금 플라스크에 섞었다. 이 때 측정된 부피(보정값)는 201.6 mL이고 온도는 30.7°C로 측정되었다. 이 후 용액을 대기 중에서 냉각하여 온도가 25°C가 되었을 때 다시 부피를 측정하였는데, 사용된 눈금 플라스크에서는 차이를 관찰할 수 없이 동일한 값으로 측정되었다(그림 1(b)). 동일한 실험을 pH 1 인 염산과 pH 13 인 수산화나트륨 수용액을 이용하여 반복하였는데, 두 용액을 혼합한 직 후 온도는 2.9°C만큼 상승했지만 다시 25°C로 온도가 내려가는 동안 부피 변화는 관찰되지 않았고 25°C에

서 부피(보정값)는 200.2 mL로 측정되었다(그림 1(c)).

순수한 물의 밀도는 25°C에서 0.9970480 g·mL<sup>-1</sup>, 27.9°C에서 0.9962655 g·mL<sup>-1</sup>, 30.7°C에서 0.9954377 g·mL<sup>-1</sup>이다(Lide, 2002-2003). 밀도를 이용하여 25°C의 순수한 물 200 mL가 27.9°C와 30.7°C로 온도가 올라갈 때 팽창하는 부피를 계산하면 각각 0.16 mL와 0.32 mL가 된다. 사용한 눈금 플라스크의 눈금 하나의 부피가 2.5 mL임을 고려할 때 이 값의 대략 10 분의 1에 해당하는 값이므로 온도에 의한 영향은 존재하지만 사용한 실험 조건과 기구를 고려할 때 측정 오차의 범주에 들어갈 만큼 부피 변화가 작다고 볼 수 있다. 또, 계산에 사용된 밀도는 순수한 물의 밀도를 사용했지만, 실제 측정된 시료는 비록 산 염기는 중화가 되었지만 Cl<sup>-</sup> 이온과 Na<sup>+</sup> 이온이 그대로 존재하는 용액으로 순수한 물의 밀도보다 큰 값을 갖는다. 예를 들면 바닷물은 밀도가 대략 1.03 g·mL<sup>-1</sup>이다(Beicher, 2000). 따라서 위의 계산이 실험과 정확히 일치하지는 않을 것으로 예상된다.

### 부피 변화에 대한 분석 및 논의

pH 0인 HCl 수용액 100.0 mL와 pH 14인 NaOH 수용액 100.0 mL의 중화반응 실험에서 부피 합 200.0 mL에 대해서 0.8%에 해당하는 1.6 mL만큼 부피가 증가하였다. 부피 증가의 원인 중 하나로 고려되는 온도 상승에 따른 팽창 효과는 측정 오차 범위 안에 있었다.

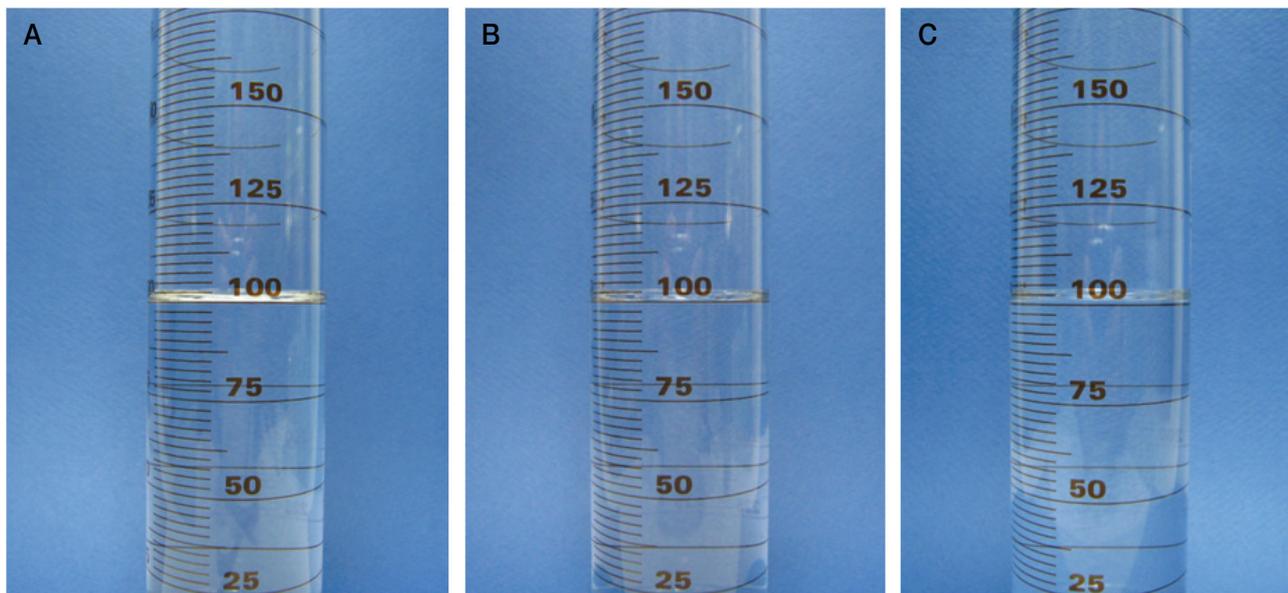


그림 2. 염의 용해에 의한 부피 변화 관찰. (A) 증류수 100.0 mL를 넣은 후, (B) 증류수 100.0 mL에 0.1 몰의 NaOH를 넣은 후, (C) 증류수 100.0 mL에 0.1 몰의 MgSO<sub>4</sub>를 넣은 후.

이온에 의한 물 분자들 배열의 변화로 전체 부피의 변화가 나타난다면 이는 물 속 이온의 종류와 수에 영향을 받을 것이다. 염산의 경우  $\text{Cl}^-$  이온과 수산화나트륨 수용액의  $\text{Na}^+$  이온은 중화반응으로 용액의 부피가 두 배가 되면서 농도가 희석된 영향은 있지만 여전히 물속에 남아있어서 이 이온들에 의한 영향은 변화가 거의 없을 것으로 여겨진다. 단지 변한 것은 염산 속의  $\text{H}^+$  이온( $\text{H}_3\text{O}^+$  등의 형태로 존재)과 수산화나트륨 수용액 속의  $\text{OH}^-$  이온이 중화반응으로 물로 변하면서 이온의 수가 급격하게 줄어든 것이다. 이 때 두 가지 측면에서 부피 증가 요인을 생각할 수 있다. 하나는 이온의 수가 줄어들면서 수용액 속의 대부분을 차지하는 물 분자들 간의 배열에 변화가 생긴 것이고, 다른 하나는  $\text{H}^+$  이온과  $\text{OH}^-$  이온으로 존재하면서 차지하는 부피보다 두 이온이 결합하여 물로 존재하면서 차지하는 부피가 커진다는 것이다.

먼저 분자간의 배열 변화가 미치는 영향을 알아보기 위해서 다음과 같은 실험을 수행하였다. 순수한 물에 이온이 들어갔을 때의 영향을 관찰하기 위하여 NaOH 0.1 몰을 순수한 물 100.0 mL에 녹이고 부피 변화를 관찰하였다(그림 2). NaOH를 넣은 경우 처음 부피와 동일한 100.0 mL로 측정되었다(그림 2(b)). 수화반경을 고려하지 않은  $\text{Na}^+$ 의 이온반경은 1.02 Å이고  $\text{OH}^-$ 의 이온반경은 1.35 Å으로(Shannon, 1976) 100.0 mL 물속에서 이 이온들이 차지하는 최소한의 공간을 계산하면 약 0.9 mL(0.27 mL ( $\text{Na}^+$ ) + 0.61 mL ( $\text{OH}^-$ )) = 0.88 mL)가 된다. NaOH 수용액 전체 부피가 100.0 mL이고 이 중 이온이 차지하는 부피가 0.9 mL이므로 물이 차지하는 공간은 99.1 mL이다. 따라서 이온에 의해서 순수한 물의 부피가 100.0 mL에서 0.9 mL만큼 줄었음을 알 수 있다. 물속에서 이온의 수는 동일하고 이온의 전하의 크기가 달라질 때 영향을 비교하기 위해서 두 이온의 전하가 2가인  $\text{MgSO}_4$  수용액에 대해서 동일한 실험을 수행하였다.  $\text{MgSO}_4$  0.1 몰을 순수한 물 100.0 mL에 넣었을 때 전체 부

피는 101.2 mL로 관찰되었다(그림 2(c)). 수화반경을 고려하지 않은  $\text{Mg}^{2+}$  이온의 반경은 0.72 Å이고  $\text{SO}_4^{2-}$  이온의 반경은 2.06 Å이다(Polovikhina and Zverev, 1995). 이 값을 이용하여 이 이온들이 차지하는 최소한의 공간을 계산하면 2.3 mL(0.09 mL ( $\text{Mg}^{2+}$ ) + 2.21 mL ( $\text{SO}_4^{2-}$ )) = 2.30 mL)가 된다. 전체 부피 101.2 mL에서 이온만의 부피 2.3 mL를 빼면 물만의 부피가 98.9 mL가 된다. 이는 이온의 영향으로 물의 부피가 1.1 mL 감소한 것을 의미한다. NaOH와 마찬가지로  $\text{MgSO}_4$ 도 물이 차지하는 부피를 감소시키는 것으로 나타났다. 하지만, NaOH와 비교하면 이온 전하량이 2배가 되었지만 전하량의 차이에 대한 효과가 크지 않았다.

전하를 띤 이온은 물에 녹으면 물에 의해서 수화(hydration)된 상태로 존재한다. 이온 주위에 물이 수화되면 이 물 분자들 사이의 구조는 이온의 영향이 없는 상태의 물의 구조와는 차이가 난다. 물은 원자 세 개의 작은 분자 크기를 가지면서 매우 큰 이중극자 모멘트를 가지고 또 강력한 수소 결합을 하기 때문에 물 분자가 독립적으로 떨어져서 존재하기 보다는 여러 물 분자들이 연결된 구조를 가지고 있다. 이 때문에 물의 분자 수준의 구조를 정확하게 규명하는 일은 대단히 어렵고 복잡하다. 진동 분광 스펙트럼 연구를 통해서 밝혀진 물의 구조는 대부분이 물 분자의 산소 원소를 중심으로 두 개의 수소 결합을 하고 있거나 하나의 수소결합을 하고 있거나 하나의 수소원자만 수소결합에 참여하여 전체적으로 여러 물 분자들이 서로 연결된 형태이다(그림 3)(Clark and Hester, 1981). 많은 수의 물 분자들이 이렇게 수소결합으로 서로 연결되어 있으면 얼음 구조와 비슷하게 되고 물 분자 하나가 차지하는 평균 부피는 커져서 밀도가 낮아진다. 반대로 연결되어 있는 분자 수가 작아지면 물 분자 하나가 차지하는 평균 부피는 작아지고 전체적으로 밀도는 높아진다. 이온 주위의 물은 이온과 극성 물 분자 간의 강한 정전기적 인력의 영향으로 이온 전하와 반대 극성을 띤 방

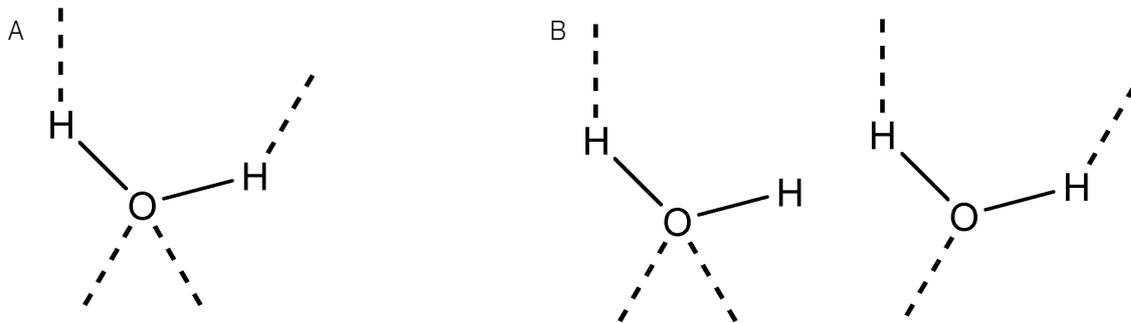


그림 3. 수소결합물 분자의 구조. (A) Tetrahydrally coordinated water (B) Tricoordinated water.

향으로 모여 있는 형태로 분포한다(Israelachvili and Wennerström, 1996). 이러한 구조는 분자들 사이의 수소 결합으로 뭉쳐져 있는 물의 구조를 깨뜨리기 때문에 이 상태의 물은 순수한 물보다 작은 공간을 차지한다. 이온 전하에 의한 정전기적 인력은 거리가 멀어짐에 따라 줄어들는데 이 영향에 더해 이온 주위에 일정한 방향으로 배열된 물 분자들은 그 주위의 물 분자에 다시 강한 쌍극자간 인력을 작용하고 이 같은 영향이 반복되어 나노미터에서 때로는 마이크로미터 거리까지 이온의 영향이 미친다(Israelachvili and Wennerström, 1996). 특히,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ , F, OH 등 이온은 이들 이온의 수화껍질(hydration shell) 주위에 분포하는 물 분자들의 배열을 깨는 물질로 알려져 있다.

$\text{H}^+$  이온과 OH 이온으로 존재하면서 차지하는 부피와 두 이온이 결합하여 물로 존재하면서 차지하는 부피의 차이를 정확하게 판단하는 것은 현실적으로 쉽지 않지만 이온의 크기와 물 분자의 크기를 이용하여 대략적인 비교를 해볼 수 있다.  $\text{H}^+$  이온은  $\text{H}_2\text{O}$ 와 결합하여  $\text{H}_3\text{O}^+$ 의 형태로 존재한다. 그래서  $\text{H}^+$  이온으로 존재하는 부피는  $\text{H}_3\text{O}^+$ 와  $\text{H}_2\text{O}$ 의 크기 차이에 해당할 것이다. 또 OH 이온으로 존재하는 크기는 마찬가지로  $\text{H}_2\text{O}$ 의 크기 차이에 해당할 것이다. 그런데  $\text{H}_3\text{O}^+$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , OH 이들 세 이온 및 분자의 크기는 단지 그 크기를 무시할 만큼 작은  $\text{H}^+$  이온이 더 있고 없음의 차이이므로 이들 사이의 크기 차이는 거의 없다고 볼 수 있다. 따라서 물의 생성에 참여하는 이온 및 물 분자의 물리적인 크기의 차이로 인한 부피 증가 효과는 거의 없을 것으로 추정된다.

### 결론 및 제언

이 연구는 제7차 교육과정의 고등학교 과학 교과서에 제시되어 있는 중화반응 실험에서 중화반응이 일어나면서 용액 전체 부피가 증가하는 현상에 대해서 연구하였다. 대학교에서 화학을 전공하고 있는 학생들을 대상으로 이 현상의 원인에 대한 인식을 조사하였다. 학생들의 응답을 분석한 결과에서  $\text{H}^+$ 와 OH 이온으로 존재할 때의 크기와 물로 존재할 때의 크기 차이로 물이 생성되면서 부피가 증가했다는 설명과 발열반응에 의한 온도 상승으로 부피 팽창이 원인이라는 설명과 이온 환경의 변화로 물 속 분자들의 배열의 변화가 원인이라는 설명이 주를 이루었다.

온도를 통제한 실험에서 온도의 효과는 측정 오차 범위 안에 있을 만큼 적으며, 물의 생성에 의한 이온 및 물 분자의 물리적

인 크기 차이에 의한 영향은 거의 없는 것으로 판단하였다. NaOH와  $\text{MgSO}_4$ 의 수화에 의한 영향을 실험을 통해 분석하였을 때 물의 부피 변화가 중화반응에 따른 부피 변화와 비슷한 수준으로 나타났다. 따라서 중화반응에서 부피 증가의 지배적인 요인은 이온에 의한 수화 및 이온 주위로의 물 분자들 사이의 배열 변화와 관련 있는 것으로 설명할 수 있었다. 즉, 중화반응 전에는  $\text{H}^+$ 와 OH 이온이 다량 존재하다가 중화반응이 일어나면 이들 이온이 없어지고 물로 존재하게 되면서 이온에 의한 수화 및 배열의 영향을 받는 물 분자 수가 급격하게 줄어든다. 이로 인해서  $\text{H}^+$ 와 OH 이온의 영향으로 감소되어 있던 물의 부피가 중화반응 이후에  $\text{H}^+$ 와 OH 이온이 없어지면서 회복된 것으로 해석하였다.

### ABSTRACT

In this study, we analyzed the factors causing a volume increase in neutralization reaction experiment presented in high school science textbook. Second graders majoring in chemistry at a university in Seoul were investigated on their conceptions of the experimental result. Students showed such opinions that the volume increased just as much as the amount of water produced, the volume expanded due to the heat of neutralization, molecular rearrangement caused volume change, and so on. Experiments were performed to decide factors that have dominant effects. In an experiment controlling temperature factor, volume change was observed to be within measurement error range. The effect of volume increase by the amount of water produced was also estimated to be negligible. The volume change due to molecular rearrangement by ion in the water was estimated to be similar to the amount of the observed volume in neutralization reaction. Concludingly, it was understood that the volume of water being reduced by  $\text{H}^+$  and OH ions, resumed back with a drastic decrease of  $\text{H}^+$  and OH ions when the neutralization reaction occurred.

**Key words :** neutralization reaction, reaction of hydrochloric acid and sodium hydroxide solutions, volume change, effect of temperature, hydration effect

### 참고문헌

- 고영신, 김세경, 이해경 (2004) 초등학교 과학과 이산화탄소 발생실험의 개선에 관한 연구. 초등과학교육 23: 152.  
류오현, 최문영, 송주현, 권정근, 백성희, 박국태 (2001) 중학교

- 과학 교과서 분별 중류 실험의 비교 분석 및 개선. 대한화학회지 45: 481.
- 이광필 (1997) 중학교 3학년 과학교과서 실험(화학분야) 중에서 중화반응 실험의 비교 분석과 최적의 실험법 제시. 중등교육연구 39: 231.
- 김재현, 최석남 (1985) 산·염기 중화적정 학습용 Computer Simulation Program 연구. 화학교육 12: 25.
- 전영화, 홍란선, 강영진, 강성주 (2004) 산·염기 중화반응 실험의 문제점 분석 및 개선 방안. 대한화학회지 48: 189.
- 강순희, 이순자 (2005) 산·염기 및 중화개념에 대한 고등학생들의 오개념 유형 제시. 교과 교육학 연구 9: 151.
- Lide DR CRC Handbook of Chemistry and Physics, 83rd Ed, Chap 6, p5.
- Beicher RJ (2000) Physics for Scientists and Engineers. Orlando: Saunders College.
- Shannon RD (1976) Revised Effective Ionic Radii and Systematic Studies of Interatomic Distances in Halides and Chalcogenides, A32: 751-767.
- Polovikhina LA and Zverev MP (1995) Fibre Chemistry. 27: 423-426.
- Clark RJH and Hester RE (1981) Advances in Infrared and Raman Spectroscopy. 2: 236-262.
- Israelachvili J and Wennerström H (1996) Role of hydration and water structure in biological and colloidal interactions. Nature 379: 219.