

## 해륙풍 원리 이해를 위한 대류상자 재설계와 활용에 관한 연구

양미선<sup>1</sup> · 윤성호<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>울량초등학교, 360-819, 충북 청주시 상당구 울량동 1034

<sup>2</sup>부산대학교 사범대학 지구과학교육과, 609-735, 부산광역시 금정구 장전동 산 30

### A Study on Redesign and Utilization of a Convective Circulation Box for Observations of Land and Sea Breezes

Mi-Seon Yang<sup>1</sup> and Sung-Hyo Yun<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>Yullyang Elementary School, Chungbuk 360-819, Korea

<sup>2</sup>Department of Earth Science Education, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

**Abstract:** A convective circulation box was redesigned after analyzing reasons why adolescent elementary school students could not derive a convective circulation concept from the convection circulation box experiments. Even though students were in the formal operational period of Piaget, the adolescents felt difficult to understand a concept of the natural phenomena they have never seen before. Thus, we designed a method to help students increase their scientific understandings about the concept through developing a miniature convective circulation box. Findings indicated that an application of redesigned convective circulation box in the classroom experiment significantly increased the students' understanding about the convective circulations of land and sea breezes, and as well as their participation in the activities. In addition, the redesigned convective circulation box motivated students to develop their scientific thinking skills by allowing them to decide where to put visible incenses inside the box and to directly observe the smoke currents circulation formed accordingly. Redesigning and using a convective circulation box as a miniature of natural phenomenon helps students avoid having misconceptions. The biggest merits of the box are that it is observable in all directions, it provides much clearer convective circulations comparing to the extant box, and it requires low production costs.

**Keywords:** convection, circulation, convective circulation box

**요약:** 대류 상자 실험을 통해 대류 순환 모형을 유추하지 못하는 학생들의 원인을 분석하여 대류 실험을 재설계하였다. 초기 형식적 조작기에 있는 학생들이지만 직접 보지 못한 자연 현상에 대해서는 유추하기가 어려우므로 자연 현상을 축소한 대류 상자를 개발하여 학생들의 과학적 이해도를 높일 수 있는 방법을 연구하였다. 기존 대류 상자 실험의 문제점을 개선하여 제작한 대류 상자를 통해 수업에 적용한 결과 학생들의 이해도가 크게 증가하였다. 바람의 이동 현상만을 관찰하는 것이 아니라 향을 여러 위치에서 넣어봄으로써 과학적 사고를 자극하고 직접 관찰할 수 있었다. 또한 자연 현상의 축소판에 가깝게 설계하여 학생들이 과학적 오개념을 갖지 않는다. 모듈원이 양방향에서 관찰함으로써 수업의 참여도가 높아졌다. 새로 개발된 대류상자는 기존 대류상자에 비하여 저렴한 비용으로 제작할 수 있으며, 선명한 대류 현상을 볼 수 있다.

**주요어:** 대류, 순환, 대류상자

## 서론

학생들에게 과학에 대한 정확한 이해를 돕고 과학에 흥미와 관심을 유발하는 데에 있어서 실험 수업

은 매우 유용하다. 초등학교 과학 5학년 대류현상을 관찰하는 실험에서는 다음과 같은 몇 가지 문제점이 제기된다.

첫째는 후속학습을 위한 선행 실험이 미흡하다는 점이다. 현재 5학년 1학기 3단원 「기온과 바람」 5차시(바람이 부는 까닭 알아보기)를 통해 학생들은 바람의 이동현상을 배우고 있다. 하지만 학생들은 지표

\*Corresponding author: yunsh@pusan.ac.kr

Tel: 82-51-510-2723

Fax: 82-51-513-7495

면에서 일어나는 현상을 관찰할 뿐 다음 차시에 나오는 해풍과 육풍의 순환 모형을 이해하기 어려웠다. 대부분의 학생들이 형식적 조작기보다 구체적 조작기에 머물러 있기 때문에 유추라는 과학적 탐구 방법을 통해 대류의 순환 모형을 그려내지 못한 것이다.

둘째는 자연 현상을 보여주어야 하는 실험이 자연성을 띠지 못하고 있다. 현재 7차 교육과정에서는 짧은 시간 안에 대류 현상을 극명하게 보여주기 위하여 바다와 육지를 상징하는 물과 모래를 얼음과 가열한 모래를 사용하고 있다. 자연 현상을 보여주기 위한 교육과정의 한 부분임에도 불구하고 실험의 편의성을 위해 인위적인 실험을 학생들에게 보여주고 있는 것이다(양일호 외, 2006). 이 과정을 통해 학생들에게 줄 수 있는 과학적 오개념은 학생들의 과학적 사고에 큰 영향을 줄 수 있다.

셋째는 대류 현상을 관찰할 수 있는 과학교구의 불편함을 들 수 있다. 과학실에서는 모둠 활동을 통한 실험을 통해 과학적 사고와 활동을 높이고 있다. 하지만 현재 사용하고 있는 대류상자 교구는 모둠 전체가 양방향에서 관찰할 수 없다. 작은 한 면만을 통해 모둠원들이 오밀조밀하게 현상을 관찰해야 하는 불편함이 있다. 또한 현재 대부분의 학교에서 쓰이고 있는 대류 상자의 관찰할 수 있는 유리창은 관찰할 수 있는 적정 반사율을 넘어 관찰이 매우 어렵다. 단지 대류상자 위에 세워놓은 굴뚝을 통해 연기가 나가는 것만을 관찰하고 있다. 그리고 어둠상자와 겹층으로 쓰이는 대류상자의 교구 특성상 여러 면에 구멍이 뚫려 있어 실험의 준비를 어렵게 하고 있다.

위의 의문점들을 해결하기 위해 본 연구에서는 현재 교육과정과 선행 연구를 분석하고 다양한 관점에서 실험을 계획 및 수행(정진우 외, 2006)하였으며, 이를 바탕으로 비열차에 의한 차등가열을 통해 대류 순환과 해륙풍을 효과적으로 관찰할 수 있는 교구를 설계 제작하였다.

## 이론적 배경

### 지면이 수면보다 빨리 데워지는 이유

초등학교 과학 5학년 1학기 교사용 지도서(교육부, 2007)에서 제시하는, 지면이 수면보다 빨리 데워지는 이유는 다음과 같다.

- 물의 온도를 1°C 높이는 데 필요한 열량(비열)이

같은 질량의 흙의 온도를 1°C 높일 때 보다 더 크기 때문이다. 따라서 같은 열을 주더라도 흙은 물보다 빨리 가열된다.

- 물은 투명하여 태양 빛이 깊이 투과되어 큰 부피의 물에 흡수되지만, 흙은 불투명하여 빛이 얇게 투과되어 상대적으로 적은 부피의 표면에만 흡수된다.
- 물은 증발되면서 열을 빼앗아가므로 온도가 쉽게 올라가지 않는다.
- 물은 흐르거나 파도에 의해서 상하방향으로 물이 잘 섞이게 된다. 따라서 햇빛을 받아 따뜻해진 물이 그 아래의 차가운 물과 섞이게 되므로 수면의 온도 변화가 작다.

### 바람이 부는 원인

초등학교 과학 교사용 지도서(교육부, 2007)에서는 아래와 같이 기술하고 있다.

공기의 수평 방향 흐름을 바람이라 하고, 수직 방향 흐름을 기류라고 한다. 이러한 공기의 이동은 온도가 높은 곳의 공기가 상승하고, 상대적으로 온도가 낮은 공기가 그 곳을 채우기 위해서 움직이는 현상이다. 또, 상승하는 공기는 점점 온도가 낮아지고 상대적으로 무거워져 다시 하강하게 된다. 이것이 공기의 대류 현상이다. 대류 현상은 두 곳에 온도차가 있을 때 이를 해소하기 위해서 일어나는 평형화 과정이다. 이와 같이 초등학교 과학 교사용 지도서(교육부, 2007)에서는 바람의 원인이 되는 기압차에 대한 개념은 제외되어 있다.

해륙풍은 해안지역에서 잘 알려진 현상으로, 해상보다 육상의 경계층내의 일변화가 크기 때문에 오후에는 경계층내의 기온은 육상 쪽이 해상보다 높아지고, 기압은 육상 쪽이 해상보다 낮다. 이 때문에 바다에서 육지를 향해서 바람이 불어 들어오게 되는데 이를 해풍(sea breeze)이라 부른다. 낮에 태양 복사에 의해 가열된 육지는 그 위의 공기를 팽창시킨다. 한편 해수면의 온도는 하루 중 거의 변화가 없기 때문에 바다 위의 공기는 열적 변화가 거의 없다. 육상에서 일어나는 공기 기둥의 팽창 때문에 상층에서 먼저 기압 경도가 나타나게 되고, 상층의 공기는 육지에서 바다 쪽으로 불어나간다. 육지에서 바다로 공기가 빠져나갔기 때문에 해풍에서는 육지가 저기압, 바다 위가 고기압이 되어 하층에서는 바다에서 육지로 바람, 즉 해풍이 불게 된다. 야간에는 반대로 하

층에서는 육지에서 바다를 향해서 육풍(land breeze)이 분다. 이렇게 하루를 주기로 교대로 부는 해풍과 육풍을 합하여 해륙풍(land and sea breeze)이라 한다(곽중흠과 소선섭, 1999). 해륙풍의 강도는 지형이나 일사량의 강도 등에 크게 영향을 받는다(Cenedes et al., 2000; 이현숙과 김재환, 2000).

따라서 바람이 부는 것은 근본적으로 기압의 차이에 의한 것이며, 기압의 차이는 곳에 따라 지표면이 가열되거나 냉각되는 정도가 달라 온도차가 생기기 때문이다. 이러한 온도차의 원천은 태양 에너지이므로, 바람이 불게 되는 에너지의 원천은 태양 에너지이다. 이러한 대류 운동은 지역 간의 온도차가 클수록 왕성하게 일어나며, 그 규모도 여러 가지이다(Cussler, 2001).

**연구의 한계점**

근본적으로 재설계된 대류상자를 통하여 대류 현상만을 관찰 할 수 있으며, 공기의 팽창 현상을 육안으로 관찰할 수 없기에 대기과학적으로 설명하고 있는 해륙풍의 발생 원리를 설명하기에는 무리가 있으며, 육지와 해양에서의 비열차에 의한 차등가열을 통해 해륙풍의 발생 원리를 이해할 수 있을 것으로 판단된다.

**과학 교육과정 및  
선행 연구 분석 및 고찰**

**초등학교 과학 7차 교육과정 분석**

5학년 과학 교사용지도서(교육부, 2006, 2007)의 3단원 개관에서는 실험을 통해 지면과 수면이 가열되는 정도가 다름을 확인하고, 지면 위의 공기와 수면

위의 공기의 온도 변화가 다름을 추리하게 한다. 그리고 대류 상자 실험을 통하여 바람은 두 곳의 기온차에 의해 일어나는 현상임을 알고, 이러한 원리를 적용하여 해풍과 육풍이 부는 현상을 이해하도록 하고 있다. 위 교육과정대로 학습한 충북 청주시의 Y 초등학교 5학년 7개반(196명)과 6학년 8개반(257명) 학생들을 대상으로, 한국교원대학교 자연과학연구소(2004)의 과학탐구수업 지도 자료에 각 차시별로 나와 있는 문제를 학생들에게 쪽지 시험을 내어 풀게 한 뒤 면담을 통해 이해도를 확인한 결과, 3단원의 3-4차시까지 자연 현상을 이해하고 자료 해석을 할 수 있었다. 하지만 5차시 대류 상자를 통해 바람의 이동을 이해하고 다음 차시인 해풍과 육풍을 추리하는 과정에서는 어려워했다. 이 부분의 이해도를 해결하기 위해 단원의 학습 계열을 살펴보았다. 나선형 교육과정을 고려한다면 대류 순환 모형은 후속학습인 물의 여행 단원을 통해 순환 모형이 확고해져야한다. 하지만 물의 여행 단원을 마친 6학년 학생들을 대상으로 조사한 바에 의하면 아직도 대류 순환 모형을 완전히 이해하지 못하고 있다. 이와 같이 선수 학습이 되지 않은 상황에서 일기 예보 단원의 기압 형성을 배우는 데는 무리가 있었다.

위와 같은 문제점은 5차시에 실시되는 실험 방법에서의 문제점을 들 수 있다. 5차시에서 실험하는 원리는 Fig. 1과 같다. 아래의 그림처럼 대류 상자 실험을 통해 바람의 이동 현상만을 관찰할 뿐 상승된 공기의 온도가 낮아져 다시 내려온다는 순환과정을 추리하지 못한다.

실험 절차에서도 문제점을 발견할 수 있다. 자연을 대변할 수 있는 육지와 바다를 인위적으로 설정한 것이다. 바다의 상징으로 소금을 뿌린 얼음 조각을

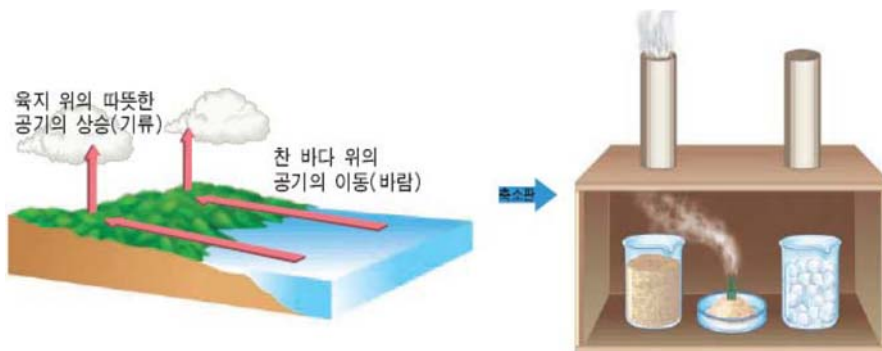


Fig. 1. Wind model and its lab activity in the textbook.

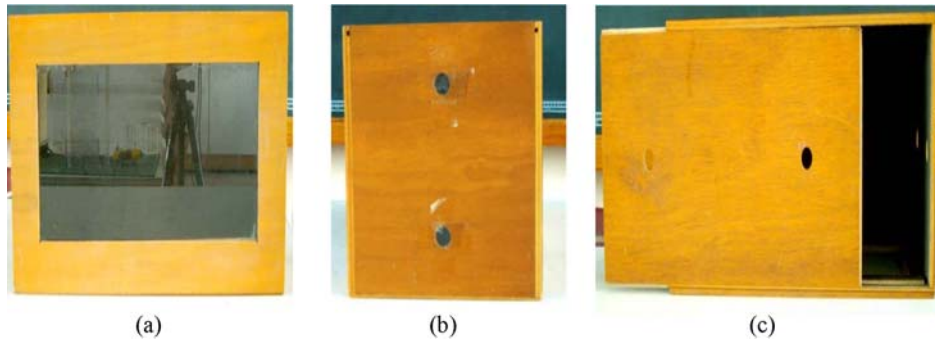


Fig. 2. Shapes of the extant convective circulation box. (a) Front observation side, (b) Right and left side, (c) Base side.

선택한 것이다. 대류 현상을 잘 관찰하기 위한 인위성이 오히려 학생들에게 과학적 오개념을 만들어 줄 수 있다.

교육과정 분석과 설문 조사를 통해 구체적 조작기에 있는 학생들에게 과학적 개념을 넣어주기 위하여 직접 대류 현상을 관찰할 수 있는 실험이 필요하다(한국교육연구원 자연과학연구소, 2004)는 것을 알 수 있다. 또한 현 교육과정의 실험에서는 물과 모래의 온도차를 크게 하기 위해 인위적으로 모래를 가열하거나 물을 냉각한 실험 재료를 학생들에게 제시하고 있다. 자연 현상을 대표하는 물질이 아닌 단지 뜨거운 모래와 차가운 얼음의 온도차에 의해 실험 결과가 나온다고 생각할 수 있다. 자연현상의 축소판을 생각한다면 초등학교 학생의 지적 발달 시기에 맞춰(UAF, 2006; MUSD, 2009), 육지와 바다, 그리고 태양을 대변할 수 있는 모래와 물에 전등으로 가열하는 자연 실험이 학습자의 이해도를 높일 수 있고 또 올바른 과학적 개념 형성에 큰 도움을 주는 것을 알 수 있다.

#### 기존 대류상자 분석

현재 대부분의 학교에서 학습교구로 사용하고 있는 대류 상자는 Fig. 2와 같다.

대류상자는 가로 40 cm, 세로 20 cm, 높이 20 cm 인 직육면체의 나무 상자이다. 옆 면 중의 한 면이 유리로 되어 있어 안을 관찰하고 위쪽의 밀면을 여닫으며 상자 안에 향을 넣을 수 있도록 되어있다. 또 실험 교구인 어둠상자와 겸용으로 되어있어 세로변의 양 옆면과 위의 밀면에 직경 1 cm의 구멍이 뚫려있다. 이러한 대류 상자를 통해 실험을 하면서 많은 문제점이 발생함을 경험하였다.

첫째, 모둠활동을 통한 양 방향적인 관찰이 어렵다는 것이다. 과학실의 모둠 책상을 통해 다각도에서 관찰이 가능하여야 하지만 한쪽 면에만 관찰창이 있어 모둠원 모두가 관찰하는데 무리가 있다.

둘째, 관찰할 수 있는 유리창의 광선 투과율이 낮아 상자 안에서 일어나는 현상을 명확하게 관찰하기가 어렵다. 셋째, 대류 상자에 향을 넣는 방법과 향의 위치에 관한 문제점을 들 수 있다. 대류 상자 실험 시 500 mL 비커에 모래와 얼음을 채워 대류 상자에 넣는다. 그리고 향에 불을 피워 대류 상자 위의 밀면을 열어 향을 넣고 문을 닫는다. 이 과정에서 이미 대류 상자 안에 데워진 공기의 열이 상자 밖으로 나가게 된다. 또한 상자 안에 넣은 향불의 열로 인해 향 연기의 와류가 형성되어 관찰이 어렵다.

위와 같이 기존 대류 상자의 문제점을 통해 광선 투과율이 높은 재료를 찾아 대류 상자 면을 구성하고, 다각도에서 관찰할 수 있으며, 향을 넣는 위치를 변경하여 대류 순환 모형이 잘 나타날 수 있는 새로운 대류 상자를 제작하였다.

#### 선행 연구 분석

실제 교육현장에서 학생들을 지도하면서 경험한 대류 실험의 불편함을 개선하기 위하여 관심있는 교사들이 원활한 실험을 하기 위한 새로운 대류상자를 만드는 시도가 전국과학전람회 등을 통하여 있었다.

김상목과 남석윤(1983)은 「대류현상을 잘 볼 수 있는 대류상자는 어떤 조건을 갖추어야 할까?」라는 연구에서 반구의 함석판 속에 물과 모래를 나눠놓고 모래와 물의 온도 변화가 대류현상에 미치는 영향, 대류 상자의 크기와 모양이 대류 현상에 미치는 영향, 모래와 물의 양, 물통과 모래통을 놓은 위치가

대류 현상에 미치는 영향, 가열방법 등에 대하여 실험 연구를 하였다. 최상덕(1985)은 「현상이 뚜렷한 대류상자 개발에 관한 연구」에서 모래와 물의 온도차가 온도장에 미치는 영향, 대류상자의 외·내부조건에 관한 탐색 및 모래와 물의 양이 대류현상에 미치는 영향, 선풍의 위치에 따른 대류현상 변화 등의 실험을 통해 대류현상을 관찰 연구하였다.

김상목과 남석운(1983)과 최상덕(1985)의 연구에서는 타원형 모양의 대류상자를 이용하여 대류 실험을 하였으나 대류 현상이 잘 보이지 않았고 정량화된 자료가 없었다. 최상덕(1985)은 ‘달개를 덮는 여부에 대해서 대류 관찰 시에 차이가 없다’고 하였으나, 유리달개로 모래와 물통을 덮고 전구로 가열을 하면 전구의 열이 물과 모래뿐만 아니라 상자안의 공기까지도 가열되어 대류 현상이 잘 나타나지 않는다.

### 재설계된 대류상자

#### 대류 상자 재료에 대한 연구

대류 상자의 재질: 대류 상자의 면을 구성하는 재료는 크게 목재, 유리, 아크릴을 들 수 있다. 이 중에서 다각도적인 관찰을 생각한다면 유리와, 아크릴로 좁힐 수 있다. 이 두 가지 재료의 광선 투과율과 비용, 관리 면에서 비교해 보았다. 단, 비용은 대류 상자의 크기를 가로 34 cm, 세로 19.5 cm, 높이 24.5 cm로 제작할 때 발생하는 비용으로 하였다.

과학실의 모둠 책상을 통하여 모둠원이 일시에 여러 방향에서 관찰하기 위해서는 재질은 투명하지 않은 목재보다는 투명한 유리 또는 아크릴이 적합하다.

시중에서 쉽게 구입할 수 있는 투명한 유리와 아크릴 중에서 광선투과율과 제작비용을 비교하여 보면, 같은 크기의 대류 상자를 제작하는 비용은 아크릴이 유리 재질보다는 저렴하므로 경제적이다. 그리고 아크릴이 관리 및 안전성이 유리보다 우수하다. 그러므로 우리는 대류상자의 재질로 아크릴이 적합하다고 판단하고 선택하였다.

전구: 백열전구의 열은 필라멘트에서 발생한다. 실험실에 비치되어 있는 전기스탠드에 사용할 수 있는 백열전구의 규격은 100, 200 W 전구이다. 이 두가지 전구를 통해 실험활동(Fig. 3) 내에서 실험 적정 온도를 올려줄 수 있는 전구를 탐색해 보았다.

실험의 통제변인으로는 ① 중앙이 막힌 가로 14 cm, 세로 5 cm, 높이 5 cm인 아크릴 상자를 준비한다. ② 상자의 밑면부터 2 cm 간격으로 온도 센서는 양 쪽에 부착한다. ③ 왼쪽 통엔 물을, 오른쪽 통엔 모래를 넣는다. ④ 물과 모래 표면으로부터 필라멘트의 거리는 6.5 cm로 한다. ⑤ 10분간 가열한 후 10분 동안 온도 변화를 측정하였다. 조건 변인으로는 상자 중앙에 100, 200 W 전구로 가열하였다.

실험의 결과는 Fig. 4와 같다. 센서 1과 2 보다는 열원(전구)에서 가까운 센서 3에서 가장 큰 온도 변화가 관찰되었다. 센서 3에서 약 10분후에 최대의 온도 변화를 나타내었는데, 100 W 전구에서는 10분 동안에 물 11.6°C, 모래 27.3°C의 온도 변화가 나타났으며, 200 W 전구는 10분 동안에 물 15.7°C, 모래 37.1°C의 온도 변화가 나타났다. 10분 동안 100 W 전구에 비하여 200 W 전구로 가열한 온도 차이는 물

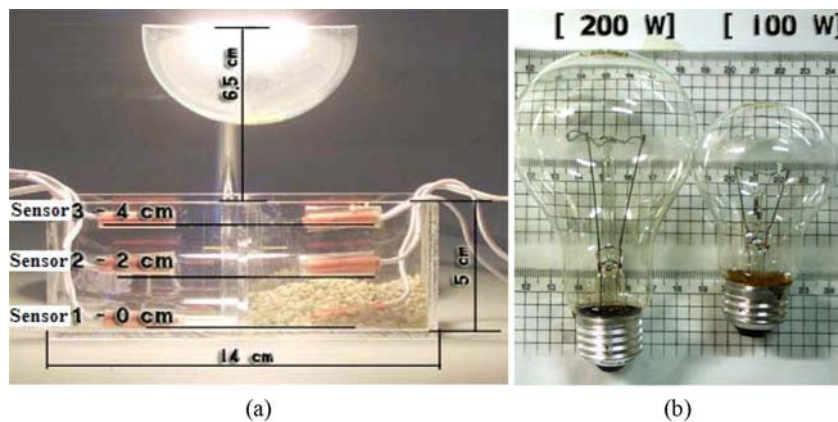


Fig. 3. Experiment kit using 200 W incandescent lamp. (a) Kit for 200 W incandescent lamp, (b) Two types of incandescent lamp.

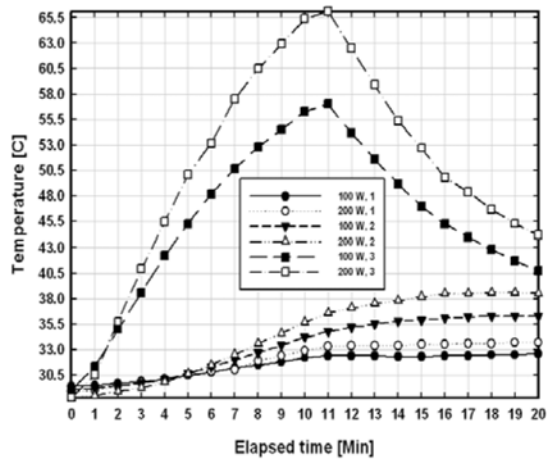
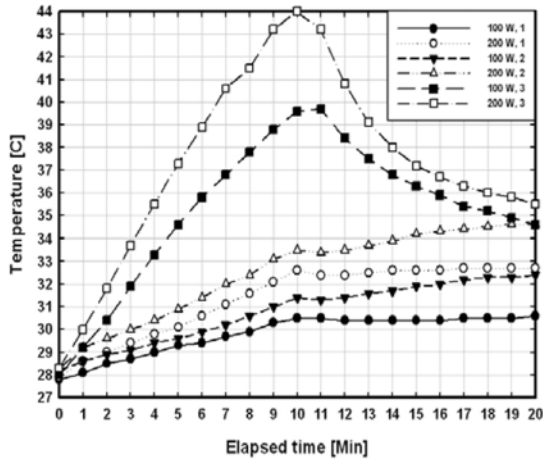


Fig. 4. Temperature variation of water (left) and sand (right) using 100 W and 200 W lamp.

에서는 4.1°C, 모래에서는 9.8°C이다. 실험 결과에 근거하여 우리는 온도 변화를 쉽게 관찰할 수 있는 200 W 전구가 대류 상자 실험에 적합하다고 판단하고 선택하였다.

모래 굵기: 체(sieve)를 이용하여 모래를 지름 1, 2, 3 mm의 모래를 구분하여 모래 입자의 크기에 따른 실험을 하였다.

실험의 통제 변인으로는 ① 중앙이 막힌 가로 14 cm, 세로 5 cm, 높이 5 cm인 아크릴 상자를 준비한다. ② 상자의 밑면부터 2 cm 간격으로 온도 센서는 각각 2개씩 부착한다. ③ 왼쪽 통엔 물을 넣는다. ④ 물과 모래 표면으로부터 200 W 전구 필라멘트의 거리는 6.5 cm이다. ⑤ 10분간 가열한 후 10분 동안 온도 변화를 측정하였다. 조건 변인으로는 Fig. 4의 오른쪽 통엔 모래 1번(1 mm), 2번(2 mm), 3번(3 mm)을 넣는다.

실험 결과, 10분 가열 후 온도 변화는 표면의 3번 센서에 가장 크게 관찰되었으며, 표면 온도는 굵은 모래 62.8°C, 가는 모래 58.6°C이며, 이들 간에는 4.2°C의 온도차가 나타났다. 같은 시간 2번 센서인 2 cm 깊이의 온도는 굵은 모래 35.7°C, 가는 모래 33.4°C이며, 표면에서의 온도차보다는 작은 2.3°C의 온도차를 보였다(Fig. 5). 1번 센서와 2번 센서에서는 시간이 경과함에 따라 온도변화가 점차 점진적으로 증가하는 경향을 보이는 데 전체적으로 굵은 모래가 가는 모래보다 평균 3-4°C 높은 온도 변화의 폭을 나타내었다. 우리는 실험 수업의 시간적 효율성을 고려

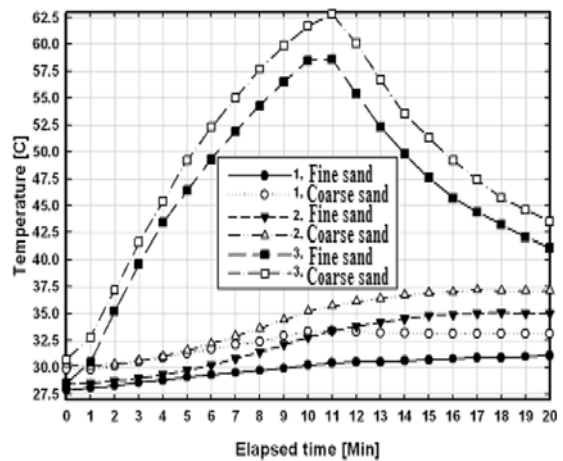


Fig. 5. Temperature variation according to sand grain size.

하여 가는 모래보다는 굵은 모래를 사용하는 것이 더 적합하다고 판단하였다.

모래와 물을 가열하는 방법: 실험의 통제 변인으로는 ① 중앙이 막힌 가로 34 cm, 세로 19.5 cm, 높이 24.5 cm인 유리 상자를 준비한다. ② 상자의 윗부분부터 5, 10, 15, 20, 24.5 cm 밑에 온도 센서를 양쪽에 부착한다. ③ 왼쪽 통과 오른쪽 통에 물과 모래를 500 mL 넣는다. ④ 200 W 전구를 상자의 윗 밑면에 설치한다. ⑤ 10분간 가열한 후 상자를 덮고 8분 동안 온도 변화를 측정하였다. 조건 변인으로는 유리 상자를 덮는다. 물과 모래를 짧은 시간에 높은 열을 얻을 수 있는 가열 방법을 찾기 위해 덮개를 조작



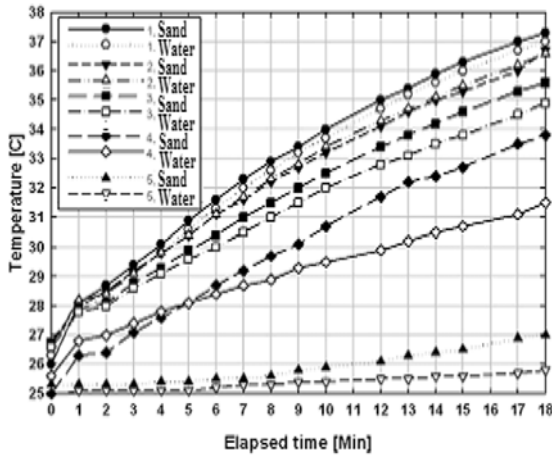


Fig. 6. Temperature variation inside of the convective circulation box covered up a lid.

변인으로 설정하였다.

실험 결과, Fig. 6과 같이 10분 동안 가열한 물과 모래의 표면 온도가 각각 29.5, 30.7°C로 물과 모래의 온도차가 1.2°C이었다. 물과 모래뿐만 아니라 대류 상자 안의 공기도 가열하여 물과 모래의 온도차가 작게 나타났다. 따라서 대류 상자 덮개를 덮지 않고 직접 가열해야 한다.

**대류 상자 크기에 대한 연구**

본 연구를 위한 대류 상자의 크기를 결정하기 위하여 X, Y, Z 축을 Fig. 7과 같이 설정하였다.

물과 모래 통의 X 축 길이에 대한 실험: 실험은 다음과 같이 진행하였다. ① Fig. 8에서와 같이, 중앙이

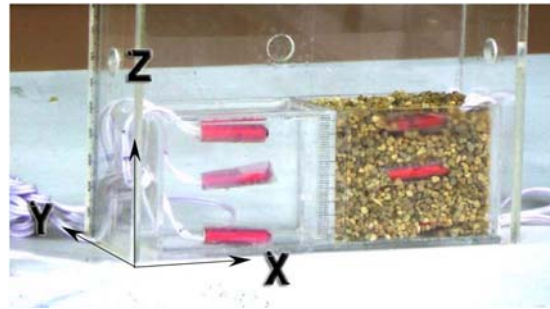


Fig. 7. Dimension of axis of the convective circulation box.

막힌 가로 28 cm, 세로 5 cm, 높이 5 cm인 아크릴 상자를 준비하였다. ② 상자의 왼쪽 면을 기준으로 0.5, 3.5, 7.0, 10.0, 13.0 cm 지점에 온도 측정 센서를 부착하였다. ③ 왼쪽 통과 오른쪽 통에 각각 물과 모래를 넣었다. ④ 물과 모래 표면으로부터 200 W 전구 필라멘트의 거리는 6.5cm이었다. ⑤ 10분간 가열한 후 상자를 덮고 10분 동안 온도 변화를 측정하였다.

실험 결과, Fig. 9에서 보는 바와 같이, 10분간 가열 후 센서 1-5번의 온도는 각각 46.0, 42.9, 39.1, 34.5, 32.6°C였다. 덮개를 덮고 3분 후에 측정한 온도는 각각 43.7, 42.4, 38.7, 34.4, 32.4°C였다. 센서 1번은 물통과 접촉하여 냉각이 빠르게 진행되었으나 다른 센서는 대류 상자 속 공기 온도와 비슷하여 열 손실이 적었다. 센서 1번과 4번 및 5번의 온도차가 각각 9.3°C와 11.3°C가 되어 모래 표면 위에서 대류 현상을 유발할 가능성이 있으므로, 대류 현상을 방지하기 위해서 온도 차이가 5°C 정도 차이를 나타내는 센서 3의 위치인 7 cm를 X축의 길이로 정하였다.

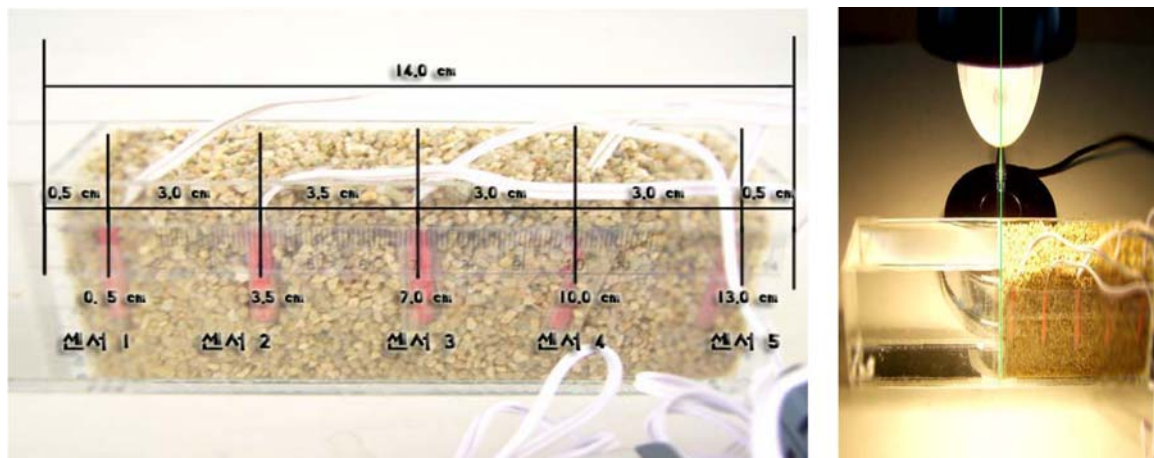


Fig. 8. Experiment kit for temperature variation according to the length of X-axis.

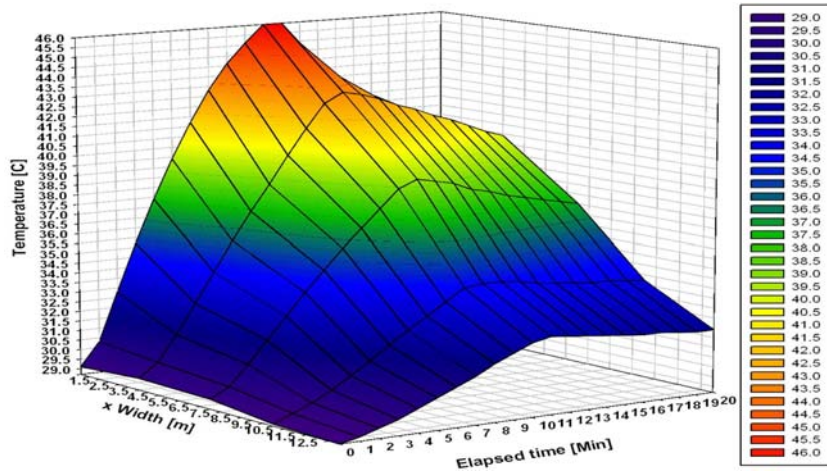


Fig. 9. Temperature variation according to the length of X-axis.

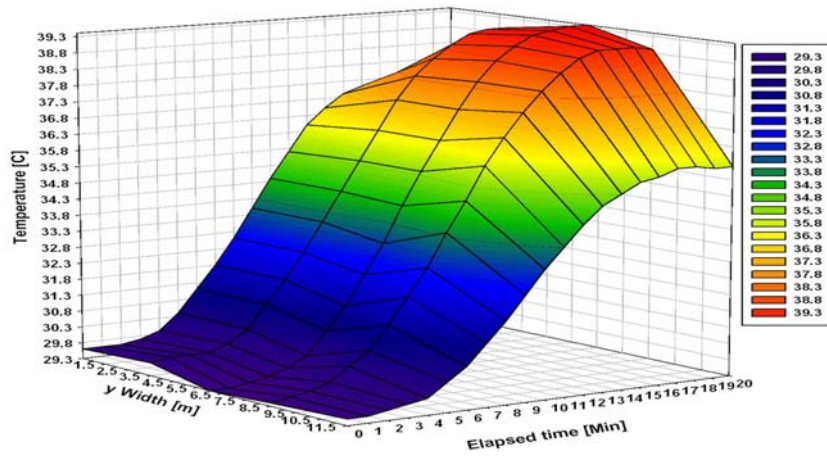


Fig. 10. Temperature variation according to the length of Y-axis.

물과 모래 통의 Y 축 길이에 대한 연구: 실험은 다음과 같이 진행하였다. ① 중앙이 막힌 가로 11 cm, 세로 12 cm, 높이 3 cm인 아크릴 상자를 준비하였다. ② 모래와 물의 경계면으로부터 3 cm 떨어져 온도 센서를 부착하였다. ③ 통의 위쪽을 기준으로 0.5, 3.5, 6.0, 8.5, 11.5 cm 지점에 온도 측정 센서를 부착하였다. ④ 왼쪽 통과 오른쪽 통에 각각 물과 모래를 넣었다. ⑤ 물과 모래 표면으로부터 200 W 전구 필라멘트의 거리는 6.5 cm이었다. ⑥ 10분간 가열한 후 상자를 덮고 10분 동안 온도 변화를 측정하였다.

모래와 물의 경계면으로부터 3 cm 떨어져 온도 센서를 부착한 이유는 앞의 실험에서 1번 온도 센서의 모래 온도가 물의 영향을 받아 급속하게 온도가 떨어지는 것을 볼 수 있었다. 그래서 물의 영향을 배제

하기 위해 거리를 두어 측정하였다.

실험 결과는 Fig. 10과 같으며, 대류 현상을 관찰할 수 있는 10분 후의 온도 분포를 보면 가장 고르게 분포한 영역은 센서 2-4번이다. 온도 측정 부분 센서 2-4번 영역의 길이는 5 cm이다. 실험을 통해 적당한 Y축 길이를 5 cm로 결정하였다.

물과 모래 통의 Z 축 길이에 대한 연구: 실험은 다음과 같이 진행하였다. ① 중앙이 막힌 가로 20 cm, 세로 5 cm, 높이 7 cm인 아크릴 상자를 준비하였다. ② 상자의 위의 밑면을 기준으로 1 cm(센서 4번), 3 cm(센서 3번), 5 cm(센서 2번), 7 cm(센서 1번) 지점에 온도 측정 센서를 부착하였다. ③ 왼쪽 통과 오른쪽 통에 각각 물과 모래를 넣었다. ④ 물과 모래 표면으



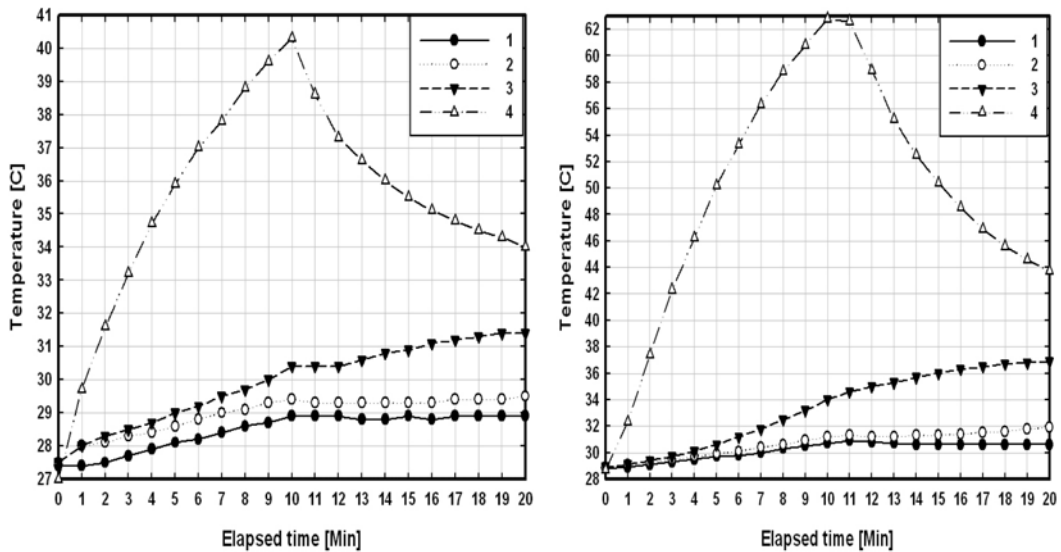


Fig. 11. Temperature variation of water (left) and sand (right) according to the length of Z-axis.

로부터 200 W 전구 필라멘트의 거리는 6.5 cm이었다. ⑤ 10분간 가열한 후 상자를 덮고 10분 동안 온도 변화를 측정하였다.

실험 결과는 Fig. 11과 같으며, 센서 3, 4번과 비교하여 센서 1번과 2번의 온도 변화는 아주 작게 나타났다. 센서 1, 2번의 온도 변화로 보아 Z축의 길이는 센서 2번의 길이로 하였다. 실험을 통한 Z축 길이(두께)는 5 cm이었다.

대류 상자 덮개의 높이에 대한 연구

대류 상자 덮개 안의 온도 변화: 대류 상자 덮개 안의 온도 변화를 관찰하기 위하여 다음과 같이 실험을 하였다. ① 중앙이 막힌 가로 14 cm, 세로 5 cm, 높이 5 cm인 아크릴 통을 준비하였다. ② 왼쪽 통과 오른쪽 통에 각각 물과 모래를 넣었다. ③ 물과 모래 표면으로부터 200 W 전구 필라멘트의 거리는 6.5 cm이다. ④ 10분간 가열하였다. ⑤ 가열 후 가로 14 cm, 세로 5 cm, 높이 20 cm인 아크릴 상자로 덮는다. ⑥ 덮개 상자의 위의 면을 기준으로 2 cm(센서 5), 10 cm(센서 4), 18 cm(센서 3), 21 cm(센서 2), 23 cm(센서 1) 지점에 온도 센서를 부착하고 10분 동안 온도를 관측하였다.

대류 상자 덮개 높이에 따른 향(연기)의 움직임: 실험의 통제 변인은 다음과 같다. ① 중앙이 막힌 가로 14 cm, 세로 5 cm, 높이 5 cm인 아크릴 통을 준비한

다. ② 왼쪽 통과 오른쪽 통에 각각 물과 모래를 넣는다. ③ 물과 모래 표면으로부터 200 W 전구 필라멘트의 거리는 6.5 cm이다. ④ 10분 동안 가열한 후 바로 덮개를 덮는다. ⑤ 10분 후에 연기를 넣고 2초 간격으로 연기의 이동 현상을 촬영한다(Fig. 12). 조건 변인은 대류상자 덮개의 높이는 모래 표면으로부터 15 cm와 20 cm이다.

대류 상자 덮개 안의 온도 변화와 대류 상자 덮개 높이에 따른 향의 움직임 실험 결과는 다음과 같다.

Fig. 13에서 덮개를 덮고 1분 후에 관측했을 때, 모래와 물의 표면으로부터 18 cm 거리에 있는 센서 5번의 온도는 모래 31.6°C, 물 30.6°C로 1°C 차이가 났고, 3분에는 0.5°C, 6분에는 0.1°C의 온도 차이를 보였다. 따라서 덮개 높이가 18-20 cm일 때 실험을 진행하였으며, 이 때 대류 현상이 가장 선명하게 나타났다. 실험을 통한 대류 상자 덮개의 높이는 20 cm로 결정하였다.

향 연기를 넣는 위치에 대한 연구: 실험의 통제 변인은 다음과 같다. ① 중앙이 막힌 가로 14 cm, 세로 5 cm, 높이 5 cm인 아크릴 통과 대류상자 덮개의 높이가 20 cm인 상자를 준비한다. ② 왼쪽 통과 오른쪽 통에 각각 물과 모래를 넣는다. ③ 물과 모래 표면으로부터 200 W 전구 필라멘트의 거리는 6.5 cm이다. ④ 10분간 가열한다. ⑤ 10분 후에 연기를 넣고 2초 간격으로 연기의 이동 현상을 촬영한다. 조건 변인은

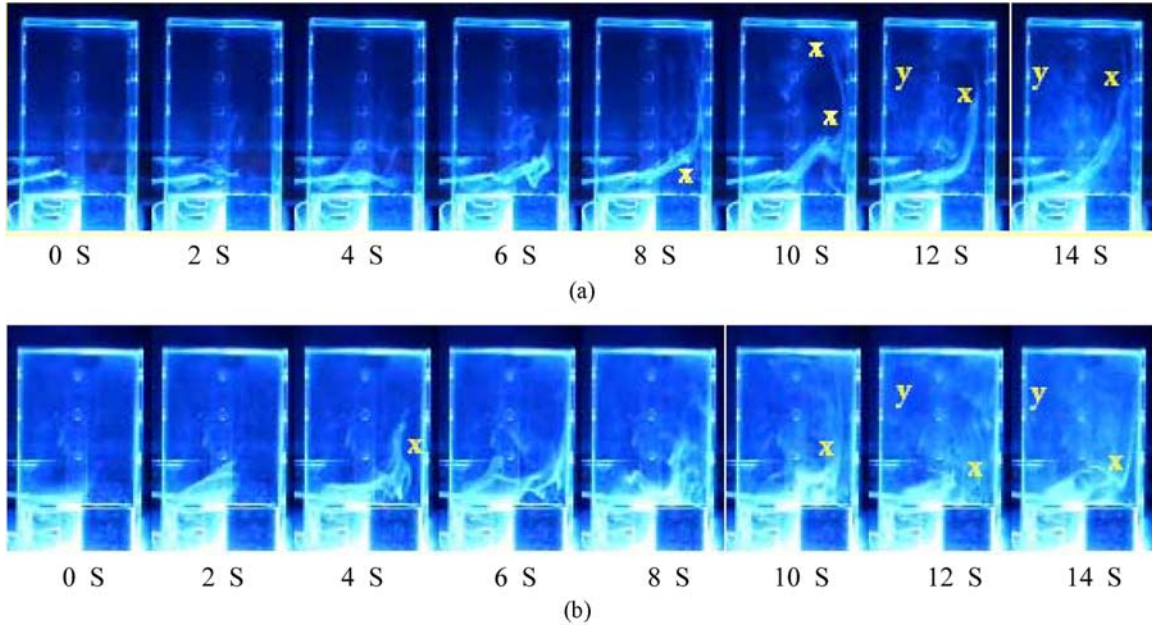


Fig. 12. Convection of smoke at the height 15 cm and 20 cm on the convective circulation box. (a) Height 20 cm- convection box, (b) Height 15 cm- convection box, x; rising circulation, y; descending circulation. S; seconds.

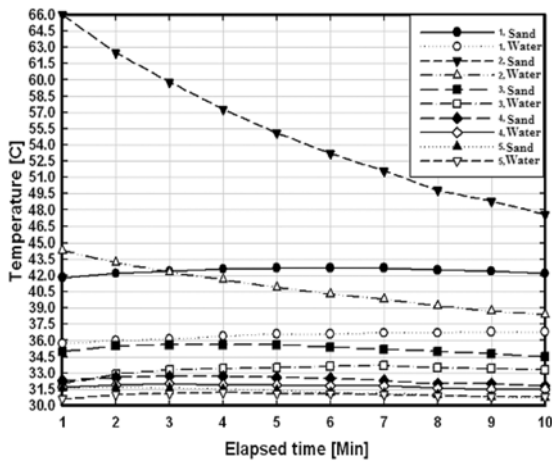


Fig. 13. Temperature variation inside of the convective circulation lab box covered up a lid.

로는 대류 상자의 3면에서 연기를 넣어본다. 덮개 상자의 위의 면을 기준으로 10 cm(연기 주입구 2)와 23 cm(연기 주입구 5) 지점을 대류상자의 상·하 연기 주입구로 선택하고, 전면은 숫자 5로, 왼쪽 면은 5'와 2', 오른쪽 면은 5"와 2"로 각각 표기하였다(Fig. 14).

실험 결과, 모든 지점에서 연기의 움직임을 잘 관찰할 수 있었으나, 모래보다 수면 위에 연기를 넣는

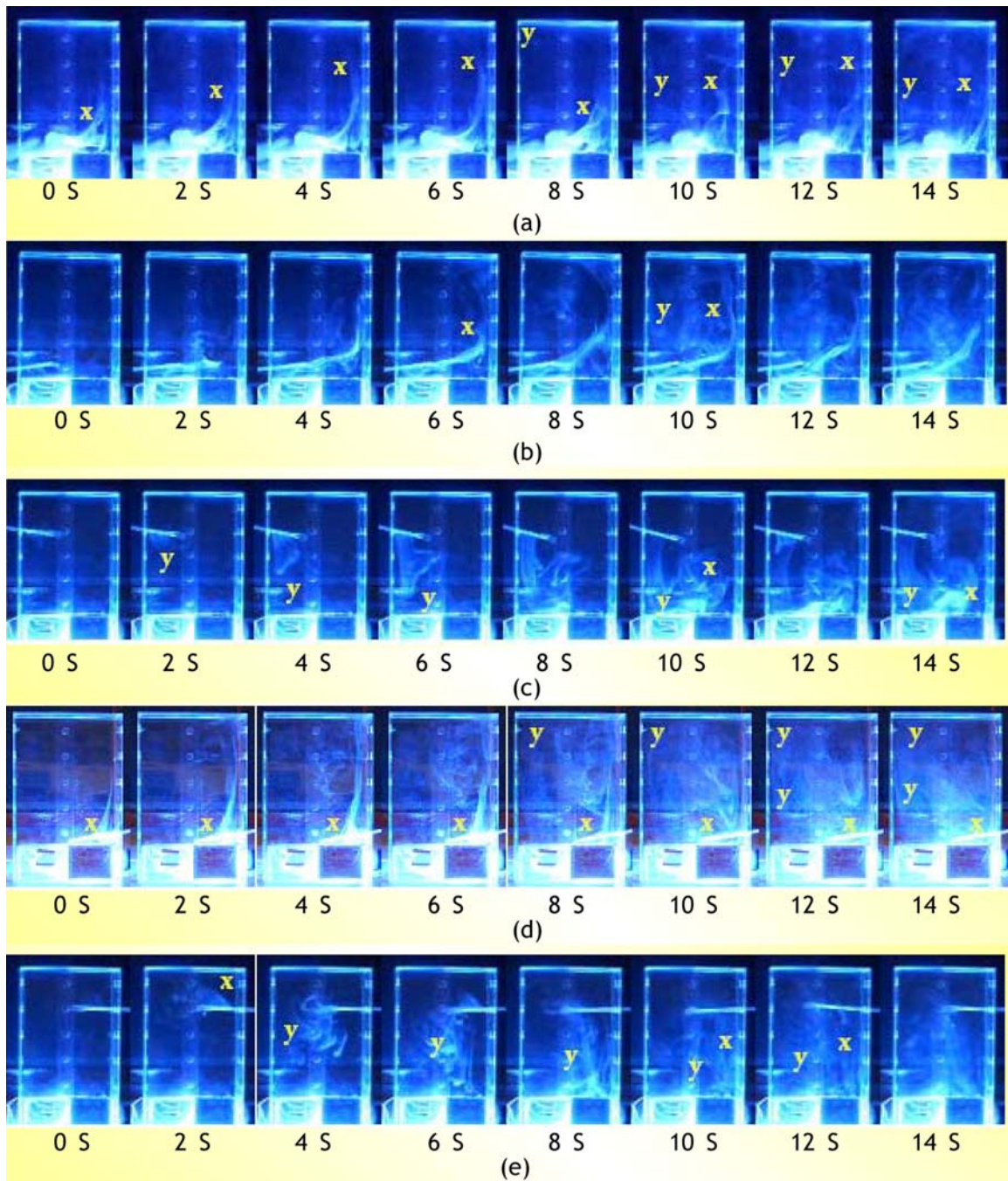
것이 선명한 대류현상을 관찰할 수 있다(Fig. 14).

육풍 관찰을 위한 연구: 실험은 다음과 같이 수행하였다. ① 중앙이 막힌 가로 14 cm, 세로 5 cm, 높이 5 cm인 아크릴 통과 대류상자 덮개의 높이가 20 cm인 상자를 준비한다. ② 왼쪽 통과 오른쪽 통에 각각 물과 모래를 넣는다. ③ 물과 모래 표면 위에 드라이 아이스를 담은 아크릴 통을 올려놓는다. ④ 10분간 냉각하고 10분 후엔 연기를 넣고 2초 간격으로 연기의 이동 현상을 촬영한다(Fig. 15).

심화 학습을 위해 해풍 실험을 끝내고 가열했던 모래와 물 위에 드라이아이스를 올려놓고 10분간 냉각한 결과(Fig. 16), 센서 3번 지점의 모래와 물의 온도가 각각 41.8, 38.9°C에서 7.4, 30.4°C로 되었다. 모래의 온도 변화는 34.4°C이고 물은 8.5°C이었다. 그리고 연기를 주입하였을 때 해풍 실험에 의한 대류도 선명하게 나타났다.

### 토 의

청주시내 초등학교에 근무하는 과학교과담당 교사 40명을 대상으로 한 연수에서 시범 실험을 실시하고 교사들과의 토론과 면담을 한 결과, 기존 교구를 사



**Fig. 14.** Convection of smoke according to smoke-injection point at No. 2 and No. 5. (a) Smoke injection at No. 5 point, (b) Smoke injection at No. 5' point, (c) Smoke injection at No. 2' point, (d) Smoke injection at No. 5'' point, (e) Smoke injection at No. 2'' point, x; rising circulation, y; descending circulation. S: seconds.

용하여 대류 상자 실험을 할 경우 대류 상자 안에서의 연기 이동이 잘 보이지 않고 모래를 불에 데워 쓰는 불편함을 겪고 있었다. 또한 대류 상자는 한 쪽

면만을 통해 관찰함으로써 모둠학습에서 몇몇 학생들의 수업 참여도가 낮아지는 상황이 벌어진다고 하였다. 이러한 불편함을 개선하여 직접 제작한 교구를



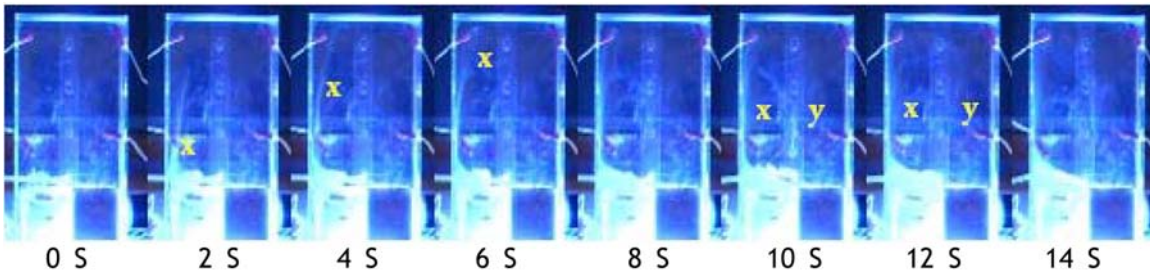


Fig. 15. Convection of smoke according to cooling. x; rising circulation, y; descending circulation. S: seconds.

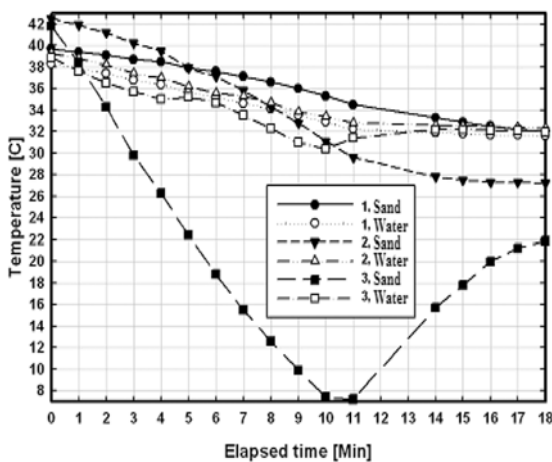


Fig. 16. Temperature change of water and sand according to cooling.

교사들에게 시연 및 설명하였다. 모든 교사들이 제작 교구에 매우 긍정적인 반응을 보였다.

우선 기존 교구보다 시각적인 효과가 뛰어나 학생들의 참여가 많아지고 양 방향에서 관찰함으로써 학생들 모두가 수업에 집중할 수 있었다. 또한 기존 대류 상자보다 크기가 작아 6-8모듬에 공급해야하는 물과 모래의 준비양이 적어짐으로써 재료의 질적 면을 향상시킬 수 있었다.

청주시의 Y초등학교 5학년 7개반(196명)과 6학년 8개반(257명) 학생들을 대상으로 제작한 교구로 대류 상자 실험을 하였다. 우선 학생들이 모듬으로 앉아 양방향에서 모두가 관찰할 수 있었다. 또한 기존 대류 상자와 비교해 볼 때, 시각적인 면이 학생들의 흥미와 집중력을 유발하였다. 수업의 진행은 학생들과 문답법을 통해 하였으며, 연기를 넣는 위치가 다양해짐으로써 “물의 표면 위에 넣은 연기는 어떻게 될까?”

리는 질문으로 학생들의 과학적 탐구 사고를 자극하고 직접 보여줌으로써 과학적 현상에 관한 기본 개념을 바로 잡을 수 있었다. 실험 후에 학생들은 기존 대류상자보다 관찰이 쉽다고 하였다.

모래 쪽의 데워진 공기를 따라 연기가 올라가고 물 쪽으로 연기가 내려오는 현상을 직접 관찰할 수 있어 매우 큰 흥미를 보였다. 연기를 넣는 위치도 달리하여 유추해 보고 실험을 직접 관찰한 학생들의 이해도가 훨씬 높았다. 또한 기존 대류 상자를 통해서만 데워진 모래 쪽으로만 연기가 올라가고 끝인 줄 알았는데 올라간 연기의 온도가 낮아져 다시 내려온다는 사실을 이번 제작 교구 실험을 통해 처음 알았다고 한다. 수업 내용에 대한 이해도 역시 제작한 교구 실험을 통해 높일 수 있었다.

우리는 새로운 대류실험 상자를 현재 전국 초등학교에 보급되는 대류상자의 절반 가격으로 저렴하게 교구를 제작하였다. 다량으로 생산하게 된다면 더욱 저렴한 가격으로 과학적 현상을 효과적으로 관찰할 수 있고 과학적 개념의 이해를 높일 수 있는 효율적인 과학 교구가 될 것임에 틀림없다고 본다.

교육과정 분석에서 언급한 바와 같이 교사용 지도서의 5차시에서 실험하는 원리는 기존의 대류 상자 실험을 통해 바람의 이동 현상만을 관찰할 뿐이었으나, 새로 제안된 대류상자 실험에서는 상승된 공기의 온도가 낮아져 다시 내려온다는 순환과정을 추리할 수 있는 장점을 가진다.

그러나 해륙풍이 단순히 공기의 온도가 낮아져 발생하는 것이 아니고, 온도차에 의한 열적 차이가 기압의 차이를 유발하여 순환이 발생함(곽중흠과 소선섭, 1999; Ahn et al., 2009)을 염두에 두고 학생들에게 수업할 필요가 있음을 밝혀둔다.

## 결 론

본 연구에서는 기존의 대류상자가 학생들이 대류 순환 모형을 쉽게 유추하지 못하는 문제점을 발견 경험하고 대류 순환 모형을 학생들이 쉽게 이해할 수 있는 대류상자를 재설계 제작하기 위하여 다양한 변인을 두어 연구하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

해륙풍 관찰을 위해 우리가 개발한 대류상자의 재질은 제작비용이 저렴하고, 실험시 안전성이 우수하고, 광선투과율이 높아 학생들이 양 방향에서 관찰이 가능하고, 아울러 대류 순환 모습을 잘 관찰할 수 있는 투명 아크릴을 사용하였다. 실험에서 초등학교 수업 시간을 고려하여 200 W 전구와 지름이 3 mm인 굵은 왕 모래를 사용하는 것이 효율적이었다. 물과 모래의 표면을 백열전구를 사용하여 직접 가열하였다. 실험을 통해 대류상자의 크기가 모래통과 물통의 크기는 X-축 14 cm, Y-축 5 cm, Z-축 5 cm일 때, 대류 상자 덮개의 크기는 X-축 14 cm, Y-축 5 cm, Z-축 20 cm일 때, 가장 선명한 대류 현상을 관찰할 수 있었다. 향 연기를 넣는 위치는 온도가 높은 모래 쪽보다 물 쪽에 넣는 것이 대류 현상을 잘 관찰할 수 있었으며, 이 경우 연기의 외류를 일으키지 않았다. 해풍 실험 후 드라이 아이스로 모래 표면을 냉각시키면 심화학습으로 바로 육풍 실험을 할 수 있었다. 이장치를 이용하여 변화한 온도에 따른 공기의 움직임을 유추하고 해풍과 육풍 실험을 단위시간인 40분 내에 진행할 수 있었다.

## 사 사

본 연구에서는 부족한 점을 지적하여 주시고 건설적인 제언과 문장을 개선해 주신 익명의 심사자에게 감사드린다.

## 참고문헌

- 곽중홍, 소선섭, 1999, 일반기상학. 교문사, 서울, 347 p.  
 교육부, 2002, 초등 과학과 교육과정. 교육부, 광주, 289 p.  
 교육인적자원부, 2006, 초등학교 교사용 지도서. 대한교과서, 서울, 105 p.  
 교육부, 2007, 초등학교 과학 5학년 1학기 교사용 지도서. 대한교과서, 서울, 200 p.  
 김상목, 남석윤, 1983, 대류현상을 잘 볼 수 있는 대류상자는 어떤 조건을 갖추어야 할까? 제29회 전국과학전람회 지구과학, 국립중앙과학관, 대전, 9 p.  
 안중배, 김준, 류찬수, 박선기, 서명석, 이화운, 정일웅, 정형빈, 2009, 대기과학. 시그마프레스, 서울, 602 p.  
 양일호, 정진우, 김영신, 김민경, 조현준, 2006, 중등학교 과학실험 수업에 대한 실험 목적·상호작용·탐구 과정의 분석. 한국지구과학회지, 29, 509-520.  
 이현숙, 김재환, 2000, 중학생들의 대기압에 대한 개념을 향상시키기 위한 실험방법 개선안. 한국지구과학회지, 21, 647-654.  
 정진우, 이근준, 김진국, 2006, 중학교 교과교사 실험 수업에서 초임 과학 교사들의 탐구지도 수준 분석. 한국지구과학회지, 27, 364-373.  
 최상덕, 1985, 현상이 뚜렷한 대류상자 개발에 관한 연구. 제31회 전국과학전람회 지구과학, 국립중앙과학관, 대전, 19 p.  
 한국교원대학교 자연과학연구소, 2004, 과학 탐구수업 지도 자료. 교학사, 서울, 61 p.  
 Cenedese, A., Miozzi, M., and Monti, P., 2000, A laboratory investigation of land and sea breeze regimes, Experiments in Fluid (Supplement). Springer-Verlag, NY, USA, S291-S299.  
 Cussler, E.L., 2008, Diffusion: Mass transfer in fluid systems. Cambridge University Press, NY, USA, 656 p.  
 Monrovia Unified School District, 2009, Instructional pacing guide 2009-2010, "World Class Schools for World Class Students", Earth Science-6th Grade. Monrovia Unified School District(MUSD), California, USA, 3 p.  
 University of Alaska Fairbanks, 2006, 2006-2008 ACMP (Arctic Climate Modeling Program) lessons B: Convection and Wind. Geophysical Institute of University of Alaska Fairbanks, Alaska, USA, 1-5.

2009년 11월 7일 접수

2010년 2월 9일 수정원고 접수

2010년 5월 11일 채택