

전류에 의한 자기장에 대한 중학생의 시각적 표상 해석, 구성, 적용 능력

조광희 · 조한국¹ · 윤혜경^{2*}

조선대학교 · ¹단국대학교 · ²춘천교육대학교

Middle school students' interpretation, construction, and application of visual representations for magnetic field due to a current

Kwanghee Jo · Hunkoog Jho¹ · Hye-Gyoung Yoon^{2*}

Chosun University · ¹Dankook University · ²Chuncheon National University of Education

Abstract : The magnetic field due to a current is one of the core concepts in electromagnetism which has been taught in secondary science education. In addition, it is a representative example of using visual representations to explain the relation between invisible physical quantities: current and magnetic field. In this study we investigated middle school students' representational competence into three components: interpretation, construction, and application of visual representations. According to the analysis, more than 75 % of the respondents interpreted the meaning of the arrows for current and magnetic field correctly. However, half of them confused the movement of electric charges with the direction of magnetic field. Over 60 % of the students constructed the magnetic field representation as circular closed curves, but many of them could not express the density of field lines properly. In application of visual representations, more than half failed to draw the direction of compass needle correctly. The scores were in order of interpretation, construction and application. There were also significant correlations among three components of representational competence. More attention and research on students' representational competence and effective use of visual representations is needed to better support science learning and teaching.

keywords : visual representation, representational competence, magnetic field, current, middle school student

I. 서론

시각적 표상(visual representation)은 미시적, 비가시적, 추상적, 상징적인 과학 개념을 설명하고

이해하는 과정에서 유용하게 쓰인다(Gilbert, 2005). 과학자들은 현상을 설명하고 의사소통을 하는 도구로 그래프, 사진, 다이어그램, 기호 등과 같은 시각적 이미지를 다양하게 사용한다(Lemke,

*교신저자: 윤혜경 (yoonhk@cnu.ac.kr)

**이 논문은 2014년 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다(NRF-2014S1A5A2A01012115).

***2017년 2월 11일 접수, 2017년 3월 26일 수정원고 접수, 2017년 4월 15일 채택

<http://dx.doi.org/10.21796/jse.2017.41.1.152>

1998). 언어적 의사 표현의 기반이라고 할 수 있는 텍스트보다 시각적 표상이 오히려 더 많은 정보를 함축적, 직관적으로 나타내기도 한다(Schnotz, 2002). 따라서 과학 탐구나 학습에서 다양한 시각적 표상의 의미를 파악하고, 표상을 구성하여 의사소통하는 능력은 매우 중요하다.

이러한 측면에서 과학교육 분야에서 시각적 표상의 의미와 역할에 주목하는 연구가 수행되어 왔다. 예를 들어 Ainsworth, Prain & Tytler(2011)는 과학 학습에서 표상의 생성과 사용에 대한 학습이 중요하며 관련 활동이 과학적 의사소통이나 추론 과정 등에 영향을 준다고 주장하였다. 또한 Eliam & Poyas(2008)는 단일 표상보다 다중 표상에 의한 학습이 더 효과적이라는 증거를 제시하였다. 시각적 표상에 대한 연구는 다른 분야에 비해 화학교육 분야에서 좀 더 활발하게 진행되어 왔으며 이와 관련된 연구들이 서적 형태로 출판되기도 하였다(Gilbert & Treagust, 2009; Roth, Lilian & Han, 2005; Tytler *et al.*, 2013 등). 이러한 연구들에서는 다양한 표상을 이해하고, 생성하고, 전환하고, 또 문제 해결의 도구로 사용할 수 있는 능력을 표상 능력(representational competence)이라는 용어로 표현하고 있다. Kozma & Russel(2005)은 이러한 표상 능력을 7가지로 범주화하였고, Nitz *et al.* (2014)은 4가지(해석, 구성, 적용, 평가)로, Yoon, Jo & Jho(2016)는 3가지(해석, 구성, 적용)로 구분하였다.

시각적 표상의 연구는 화학 교육에서 주로 분자 단위 이하의 미시적 현상과 과정을 설명하기 위해 시작되었으나(Johnstone, 1993; Kang, Sung & Noh, 2007; Kozma & Russell, 1997; Treagust & Chittleborough, 2001), 물리 교육 분야의 연구도 점차 늘어나고 있다. 예를 들어 Kohl & Finkelstein(2005)은 문제를 표상하는 과정과 표상의 형태 등이 물리 학습자의 문제 풀이에 유의미한 영향을 끼침을 보고하였다. Rosengrant, Etkina & Heuvelen(2007)은 다중 표상을 다룬 16개의 물리교육 분야 연구를 분석하여 문제 풀이 과정에서 어떻게 표상을 활용하는지, 서로 다른 표상 형태가 문제 풀이에 어떻게 영향을 미치는지 등에 관해 시

사점을 찾고자 하였다. 국내에서도 교과서 분석 연구(Jo, Song & Suh, 2010; Jo, Jho & Yoon, 2015)를 중심으로 물리 영역에서의 시각적 표상에 대한 연구가 이루어지고 있다.

특히 전하의 움직임이나 장(field)에 관한 직접적인 관찰이 거의 불가능하므로 전자기 교육에서 시각적 표상 활용의 중요성이 부각되고 있다. 고전 전자기학의 완성은 19세기 Maxwell에 의해 전기와 자기가 장의 개념을 통해 수학적으로 통합되면서 이루어졌고, 그 계기가 된 것은 Oersted의 직선 도선에 의해 형성된 자기 현상이었다(Jho, 2013, 2015). 또한 교육과정에도 따르면 전기와 자기의 상호작용은 중학교 3학년에 본격적으로 도입되며 물리 I-II에서도 반복적으로 다루어지고 있다(MEST, 2011). 그러나 전류의 방향과 자기장의 방향 등을 직접 관찰할 수는 없으므로 학생들이 이해하기 어려운 측면이 있다.

그래서 전자기 학습을 개선하고자 하는 연구들이 다양한 학습자 연령층을 대상으로 꾸준히 이루어지고 있다. Park & Hyun(2014)은 전류의 자기 작용을 초등학교 실험 수업에서 다룰 때 발생하는 문제점을 분석하였다. 예를 들어 전류가 흐르는 전선 부근에서 나침반 자침의 움직임이 잘 관찰되지 않는데, 이는 주로 전기 회로를 구성할 때 사용하는 전구의 저항 때문인 것으로 나타났다. 전류와 자기장의 상호 작용에 관한 과학고 학생들의 개념을 조사한 후 새로운 설명 전략을 제안한 연구도 있다(Jo & Kim, 2008). 이 연구에서는 기존의 교과서가 자기장을 2차원 이미지로 제시하고 있음을 지적하면서, 막대자석에 의한 자기장이 3차원적으로 형성됨을 보여주는 시험 실험이나 그림 활용을 대안으로 제시하였다. Jo(2016)는 예비 물리 교사들을 대상으로 전류에 의한 자기장 생성과 관련한 개념 이해의 어려움을 살펴보고, 수학적으로 회전(curl) 연산자를 이용한 계산을 할 수 있더라도 실제 미분 개념을 물리학적으로 활용하는 대학생이 10% 미만임을 보고하였다. 그리고 이 결과를 바탕으로 미분 개념을 시각화하여 '4엽 바람개비' 설명 모형을 제안하였다. 이러한 선행 연구들은 전류에 의한 자기장의 생성과 관련한 여러 가지 대안을 제시하고

있다. 그러나 추상적, 비가시적 개념을 시각화하는 시각적 표상을 중심으로 우리나라 중학생들의 전자기 개념 이해와 추론 능력을 조사한 경우는 최근에 거의 보고되지 않고 있다. 앞서 언급한 바와 같이 중학교 교육과정에서 전기와 자기의 상호 작용을 다루고 있으며 별개로 학습한 전기와 자기 개념을 융합하는 과정에서 표상을 이해하고 활용하는 능력이 요구되므로, 중학생을 대상으로 한 전자기 관련 표상 연구를 시도할 필요가 있다.

따라서 이 연구에서는 시각적 표상의 관점에서 중학생의 과학 학습을 탐색하기 위해 '전류에 의한 자기장'에 관한 중학생의 표상 해석, 구성, 적용 능력을 조사하고 시사점을 찾고자 하였다. 이때 3가지 표상 능력의 의미는 선행 연구(Yoon, Jo & Jho, 2016)에서 사용한 정의를 준용하였다. 표상 해석 능력은 주어진 표상에 나타난 기호나 구성 요소의 의미를 알고 표상이 나타내는 현상을 이해하는 능력을, 표상 구성 능력은 관찰 현상을 설명하기 위하여 표상을 직접 표현하는 능력을, 표상 적용 능력은 새로운 현상을 설명하기 위해 기존의 표상을 활용하는 능력을 뜻한다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구에서는 중학교 3학년 과학에서 전기와 자기 단원 내용을 학습한 학생들을 대상으로, 단원 수업이 끝난 직후 설문을 실시하였다. 연구 참여자들은 우리나라 중부 지방에 위치한 중소도시의 3개 중학교 소속 3학년 학생들이었다. 전체 응답자는 118명이었으나 일부 문항에 대한 응답 누락자, 불성실 응답자 등을 제외하여 실제 분석 대상자는 112명이었다. 연구 참여자에 대한 구성 정보는 Table 1에 제시하였다.

Table 1. Participants information

학교	성별		계
	남	여	
A중학교	22	18	40
B중학교	0	34	34
C중학교	38	0	38
전체	60	52	112

2. 조사 과정

연구 절차의 개요는 다음과 같다. 첫째, 예비 설문 문항을 개발하였다. 2009 개정 중학교 과학과 교육과정과 시각적 표상에 관한 선행 연구를 검토하고 교과서를 분석하여, 연구진이 대표적인 문제 상황과 표상을 선정하였다. 전형적인 문제 상황을 중심으로 설문 초안을 작성하였고, 수차례의 회의 및 내부 논의를 거쳐 초본에 해당하는 설문 문항을 제작하였다.

둘째, 예비 설문 문항에 대한 전문가 검토 및 예비 조사를 진행하였다. 예비 물리교사 1인, 물리교육을 전공하는 대학원 석사 과정 1인, 과학교육 박사 학위를 소지한 20년 경력의 현직 중학교 교사 1인을 중심으로 심층 검토 및 면담을 실시하였다. 이 과정에서 나온 의견을 토대로 연구진 회의를 거쳐 예비 설문 문항을 수정하였다. 이와 같은 방식으로 타당성을 점검한 후에, 서울 지역 중학생 12명을 대상으로 예비 조사를 실시하였다. 본 설문 내용의 특성을 고려하여, 해당 단원을 학습한 학생들을 대상으로 조사하였다. 이 결과를 연구진이 각각 독립적으로 먼저 검토하고, 다시 종합적으로 회의를 통해 수정하는 과정을 거쳐 최종 설문 문항을 도출하였다.

셋째, 해당 단원을 학습한 중학교 3학년 학생들(Table 1)을 대상으로 본 설문을 실시하였다. 설문은 학생들이 관련 내용을 배운 직후에 진행하였다. 연구진이 제작한 설문에는 학생이 직접 시각적 표상을 그리도록 하는 부분(표상 구성에 관한 문항)이 있는데, 한 문항이 다른 문항의 풀이에 영향을 주거나 실마리가 될 수 있다는 의견이 검토 과정에서 제기되었다. 이런 이유로 한꺼번에 검사를 시행하

지 않고 2차에 걸쳐 진행하였다. 먼저 연구 참여자에게 표상 구성 능력에 관한 설문을 하도록 하였다. 1차 설문지를 모두 회수한 후에, 표상 해석 및 적용에 관한 2차 설문지를 유사한 방식으로 배부하였다. 설문 조사에 협조한 교사에게 설문의 의도와 방법을 사전에 자세히 안내하였으며, 학생들에게는 설문에 응답할 수 있는 충분한 시간을 주었다.

3. 설문 내용 및 분석 방법

설문은 크게 3가지 시각적 표상 능력에 관한 내용으로 이루어졌고 분석 기준도 이를 고려하여 설정하였다. 분석 기준을 도출하기 위하여 먼저 예비 설문의 결과를 토대로 분석 기준 초안을 작성하였다. 또한 본 검사를 실시한 후에 무작위로 10명분의 설문 응답을 추출하여 연구진이 각자 분석 기준 초안에 따라 코딩을 진행하였고 이 과정에서 수

정안을 마련하였다. 이후 연구자간 일치 여부를 확인하고, 일치하지 않는 부분에 대해서는 논의를 통해 분석 기준을 다시 수정하였다. 10명에 대한 모든 연구진의 분석 결과가 동일해질 때까지 이 과정을 반복하여, 최종 분석 기준을 정하였다.

이후 한 명의 연구자가 주도적으로 나머지 설문 응답 자료를 분석하였다. 예외적이거나 반복되는 답변 등은 따로 정리하여 연구자 간 심층 논의를 진행한 후 분석하였다. 설문 조사는 표상 구성이 먼저였지만, 전체적인 연구의 논리를 고려하여 이후 서술은 시각적 표상의 해석, 구성, 적용 순으로 제시하고자 한다. 설문 분석 기준은 다음 Table 2와 같다.

중등학교 교육과정 및 교과서를 살펴보면, 전류에 의한 자기장의 학습에서는 직선 도선 주위의 자기장을 먼저 일차적으로 다루고 있고 이후 원형 전류 및 코일에 의한 자기장 등을 제시하고 방식으로

Table 2. The assessment rubric for interpretation, construction, and application of visual representation for magnetic field due to a current

시각적 표상 능력의 범주	채점 기준 요소	채점 방법	
기호의 이해	- 전류(전류의 방향 등) - 자기장(자기력선의 방향 등)	각 1점	
해석 (4점) 표상이 나타내는 현상, 과정, 지식의 이해	- 동그라미의 간격이 좁은 것으로 보아 자기장은 도선에 가까울수록 세다 - 도선을 중심으로 볼 때, 왼쪽과 오른쪽에서 자기장의 방향은 반대이다	2개를 모두 바르게 선택하면 2점, 하나만 바르게 선택하면 1점	
구성 (3점)	- 모양: 원형 폐곡선 - 방향: 반시계 방향 - 분포: 중심일수록 간격 조밀	각 요소별 1점	
적용 (4점)	유사한 상황 (전류가 반대 방향일 때의 자기장)	- 모양: 원형 폐곡선 - 방향: 시계 방향 - 분포: 중심일수록 간격 조밀	각 요소별 1점
	새로운 상황 (나침반을 사용했을 때 자침의 방향)	- 나침반의 바늘이 4개 모두 시계 방향으로 정렬	자침의 방향이 맞으면 1점

다루고 있다(MEST, 2011). 이를 고려하여 본 연구에서는 가장 기초적인 시각적 표상으로 직선 전류에 의한 자기장을 다루는 것으로 한정하였다. 해석 능력을 알아보는 문항에서는 시각적 표상에서 화살표 기호가 각각 전류, 자기장임을 알고 있는지를 단답형으로 작성하게 하였다. 그리고 시각적 표상이 나타내고 있는 과학적 지식을 이해하고 있는지 선택형 문항에 답하도록 하였다. 각각의 화살표가 전류, 자기장의 방향임을 알고, 선택형 문항에서 올바른 선택지를 2개 고르면 총 4점 만점이 되도록 하였다.

표상 구성과 관련해서는 학생들에게 직선 도선 주위의 자기장을 직접 그리도록 하였다. 그리고 응답자의 그림을 보고 자기력선의 모양이 원형 폐곡선인지, 방향이 반시계 방향인지, 중심부에서 조밀한 동심원인지를 분석하였다. 이 3가지 요소에 1점씩 배정하여 총 3점 만점이 되도록 하였고 세 범주의 점수를 비교할 때에는 4점 만점으로 환산하였다.

표상 적용 능력에 관한 문항은 두 문항인데, 첫 문항에서는 전류의 방향을 표상 구성 문항과 반대로 제시한 후 자기장을 그리게 하였다. 표상 구성과 같은 분석 기준으로 3점을 배정하였다. 둘째 문항은 자기력선이 아니라, 나침반을 이용하여 자기장의 방향을 나타내도록 하는 방식이었다. 이 문항에서는 나침반 바늘의 방향이 맞으면 1점을 부여하였다. 이렇게 해서 총 4점 만점이 되도록 하였다.

위와 같이 채점을 진행하고 서술 통계 방식으로 정리하여 연구 결과에 제시하였다. 연구 방법론의 측면에서 보면 일종의 편의 표집에 해당하기에 이 연구의 참여자들이 모집단을 대표한다고 보기는 다소 무리가 있다. 이런 이유로 전체적인 결과 분석에서 추론 통계를 사용하지 않고, 탐색적인 관점에 충실하게 빈도 분포 및 상관관계 등을 중심으로 기술하였다. 이와 더불어 학생들이 구성한 표상에서 의미 있는 유형을 찾기 위하여, 분석적 채점 방식

과는 별개로 학생들의 응답에 대해 유형화를 시도하였다.

Ⅲ. 연구 결과 및 논의

1. 시각적 표상의 해석 능력

시각적 표상 해석에 관한 설문은 기호의 의미와 관련된 지식을 묻는 문항으로 이루어져 있다. Figure 1과 같이 직선 도선에 흐르는 전류 및 자기장에 관한 시각적 표상을 응답자에게 제공하였다. 직선 도선에 표시된 화살표의 의미를 묻는 문항에서 전류 또는 전류 방향 등으로 답한 응답자는 전체 112명 중 95명(84.8%)으로 대다수의 학생들이 과학적으로 타당하게 답하였다. 도선 주위의 원형 화살표에 대해서도 85명(75.9%)이 자기장, 자기력선의 방향 등과 같이 적절하게 응답하였다.

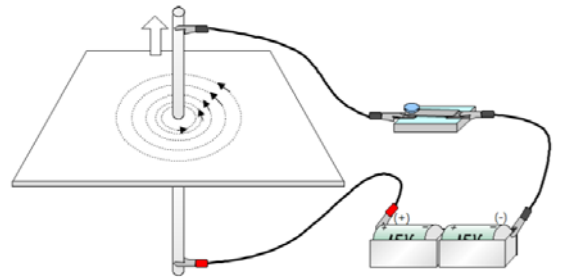


Figure 1. Image used for visual representation interpretation about magnetic field due to a current

이어서 여기에 사용된 표상의 의미를 5개의 선택지 중에서 모두 고르도록 하였다. Table 3이 응답 결과인데, 과학적으로는 2번과 4번이 타당하다. 2번이 75.9%로 가장 많았고 5번(50.9%), 4번

*물리학적으로 보면 자기력은 자기장과 수직이기 때문에 '자기력선'이라는 표현은 논란의 여지가 있으나, 연구 대상이 중학생이므로 이 연구에서는 교과서 표현을 고려하여 자기력선을 주로 사용하였다.

Table 3. Students' answers on visual representation interpretation about magnetic field due to a current

선택지 내용	빈도 (%)**	
① 동그라미가 커지는 것으로 보아 자기장은 도선에서 멀수록 세다.	7	(6.3)
②* 동그라미의 간격이 좁은 것으로 보아 자기장은 도선에 가까울수록 세다.	85	(75.9)
③ 도선에서 가까운 곳과 먼 곳의 자기장의 세기는 같다.	12	(10.7)
④* 도선을 중심으로 볼 때, 왼쪽과 오른쪽에서 자기장의 방향은 반대이다.	44	(39.2)
⑤ 동그라미를 따라 전하가 움직인다.	57	(50.9)

*과학적으로 타당한 응답

**복수 선택을 허용하였으므로 합계는 100%가 아님.

(39.2%) 순이었다. 5번은 오답에 해당하는 선택지 중에서 가장 높은 빈도를 보였는데, 응답자의 과반이 전하의 흐름과 자기장의 방향을 혼동하고 있음을 보여준다. 정답에 해당하는 2번과 4번을 모두 고른 응답자는 26.8%였고, 56.3%는 적어도 둘 중 하나를 선택하였다. 관련 단원을 학습한 직후 임에도 불구하고 3분의 1 미만의 학생만 시각적 표상을 올바르게 해석하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 전하가 자기력선을 따라 원형으로 움직인다고 응답한 학생들이 50%를 넘었음을 주목할 필요가 있다. 물리학적으로 보면 움직이는 전하는 자기장에 수직인 방향으로 로렌츠 힘(Lorentz force)을 받는데, 다수의 학생들은 자기장을 따라 전하가 나란하게 이동한다고 답하였다. 앞서 자기장의 기호에 대하여 적절하게 답한 학생이 75% 이상임을 고려하면, 기호에 대한 혼란보다는 자기력에 대한 일종의 오개념으로 볼 수 있다. 이는 선행 연구(Song *et al.*, 2004)의 결과와도 유사한 측면이 있는데, 해당 연구에서는 중학교 3학년 응답자의 약 60%는 양전하가 자석의 영향을 받는다고 응답하였다.

그리고 이 문제는 자기장(magnetic field)을 표현하기 위한 선을 여전히 자기력선(magnetic force line, line of magnetic force)으로 표기하고 있는 교육 현실과도 관련이 있을 수 있다. 전기장을 나타내는 선을 '전기력선'으로 표기하여도, 두 물리량의 벡터 방향이 같으므로 적어도 방향에 대

해서는 혼동의 여지가 거의 없다. 그러나 자기장의 방향은 그에 따른 힘(Lorentz force)의 방향과 다르므로, 자기력선이라는 표현 자체가 부적절하다(Young, 1992). Faraday(1852)가 처음 역선(lines of force)이라는 용어를 사용하였기에 전통적으로 '자기력선'이라는 용어를 사용하고 있지만, 정확한 개념어의 사용 및 학습에 미치는 영향 등을 고려하면 학교 과학에서도 B-field를 나타내는 선을 '자기장선'으로 바꿀 필요가 있다. 실제로 대표적인 대학 전자기학 교재(Griffiths, 2012)에서는 field line을 사용하고 있으며, 이 책의 국내 번역서도 '장선'이라는 표현을 쓴다. 참고로 2009 개정 과학과 교육과정(MEST, 2011), 한국물리학회 물리학 용어집(The Korean Physical Society, 2016) 등에 여전히 자기력선(line of magnetic force)으로 제시되어 있다. 그런데 이 자료들은 교과서나 교재 집필, 국가 수준의 평가 문항 개발 등에 있어 기준이 된다. 그러므로 이 용어의 수정에 관한 적절한 논의 및 수정이 필요하다.

2. 시각적 표상의 구성 능력

직선 도선 주변의 자기장에 관해 표상을 구성하는 능력을 알아보기 위하여, 자기장을 설명하기 위한 자기력선을 학생들에게 그리도록 하였다. 3가지 분석 기준(모양, 방향, 분포)을 중심으로 학생들의 응답을 분석하여 그 결과를 Table 4에 제시하였다.

Table 4. Students' visual representation construction about magnetic field due to a current

분석 요소	내용	빈도	(%)	
모양이 원형 폐곡선인가?	과학적 표현	70	(62.5)	
	비과학적 표현	원형이나 폐곡선이 아님	12	(10.7)
		원형이 아닌 곡선형(나선 등)	14	(12.5)
		기타	2	(1.8)
		결측	14	(12.5)
소계	112	(100.0)		
방향이 반시계 방향인가?	과학적 표현	76	(67.9)	
	비과학적 표현	시계	9	(8.0)
		시계, 반시계 혼합	5	(4.5)
		방향 표시 없음	6	(5.4)
		기타	3	(2.7)
결측	13	(11.6)		
소계	112	(100.0)		
분포가 중심일수록 조밀한 동심원 형태인가?	과학적 표현	7	(6.3)	
	비과학적 표현	단일(원 하나만)	22	(19.6)
		균일	50	(44.6)
		입체적이나 간격 파악 곤란	10	(8.9)
		기타	9	(8.0)
결측	14	(12.5)		
소계	112	(100.0)		

학생들이 구성한 시각적 표상을 살펴보면 과학적으로 타당한 원형 폐곡선으로 나타난 사례가 전체의 62.5%이었다. 그러나 일부 학생들은 Figure 2와 같이 나선이나 열린 곡선으로 자기장을 표현하였다(23.2%).

둘째, 자기장을 나타내는 화살표의 방향을 분석한 결과에 따르면, 반시계 방향이 67.9%였다. 다른 학생들은 시계 방향으로 표시하거나(8.0%), 방향을 표시하지 않거나(5.4%), 두 방향을 혼합하여 나타내기도(4.5%) 하였다.

셋째, 동심원으로 그리되 중심일수록 조밀하게 표현한 비율은 다른 2요소에 비해 상대적으로 정답률이 낮았다(6.3%). 가장 많은 사례(44.6%)는 균일하게 표현한 경우(Figure 3)였다. 상대적으로 중학

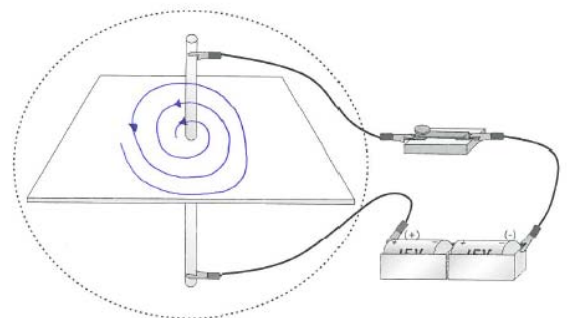


Figure 2. Example of student's drawing about magnetic field due to a current as a spiral pattern

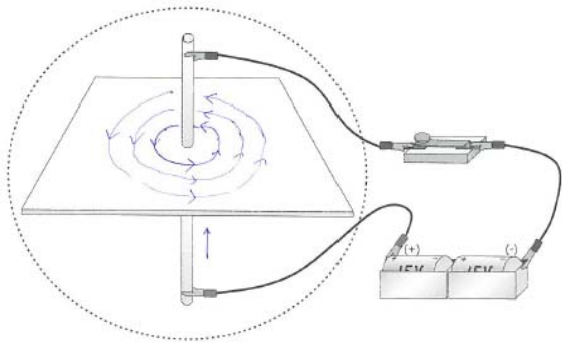


Figure 3. Example of student's drawing about magnetic field due to a current with equal gaps without considering the distance

교 과정에서 자기장의 조밀함 정도를 중요하게 다루지 않기 때문일 것으로 추정되지만, 실제로 중학교 교과서에는 해당 이미지와 관련 내용이 제시되어 있다(Park *et al.*, 2012).

특히 이 부분은 해석 문항과 연계하여 더 자세히 살펴볼 필요가 있다. 선택형 문항에서 '동그라미의 간격이 좁은 것으로 보아 자기장은 도선에 가까울수록 세다'를 85명(75.9%)이 골랐던 것이다. 표상 구성 문항에서 도선에 가까울수록 조밀하게, 과학적으로 타당하게 그린 7명(6.3%)은 모두 해석 문항에서도 이 선택지를 택하였다. 그러나 나머지 78명(69.6%)은 자신이 옳다고 고른 선택지의 내용과 다르게 그림을 그렸다. 이 두 결과의 비교를 통해, 중학교 학생들의 표상 해석과 표상 구성 능력 사이에 간극이 존재함을 알 수 있다.

Table 5. Students' drawing on representation application about magnetic field due to a current

분석 요소	내용	빈도 (%)	
모양이 원형 폐곡선인가?	과학적 표현	79 (70.5)	
	비과학적 표현	원형이나 폐곡선이 아님	4 (3.6)
		원형이 아닌 곡선형(나선 등)	5 (4.5)
		기타	1 (0.9)
		결측	23 (20.5)
소계	112 (100.0)		
방향이 시계 방향인가?	과학적 표현	77 (68.8)	
	비과학적 표현	반시계	9 (8.0)
		시계, 반시계 혼합	2 (1.8)
		방향 표시 없음	1 (0.9)
		기타	1 (0.9)
결측	22 (19.6)		
소계	112 (100.0)		
분포가 중심일수록 조밀한 동심원 형태인가?	과학적 표현	6 (5.4)	
	비과학적 표현	단일(원 하나만)	13 (11.6)
		균일	67 (59.8)
		입체적이나 간격 파악 곤란	3 (2.7)
		기타	0 (0.0)
결측	23 (20.5)		
소계	112 (100.0)		

3. 시각적 표상의 적용 능력

표상 적용 능력을 알아보기 위해 두 문항을 제시하였다. 한 문항은 주어진 문제 상황의 일부를 변형한 것이고, 이어지는 다른 문항은 표상 기호를 바꾼 것이다. 먼저 첫 문항은 표상 구성 문항과 거의 동일하나, 전선에 흐르는 전류의 방향을 반대 방향으로 바꾼 후 학생들에게 자기장의 특성이 드러나도록 자기력선을 그리라고 하였다. 일반적으로 교과서(Park *et al.*, 2012)에서 전류의 방향이 위로 향하고 오른손 엄지손가락도 위로 치켜드는 이미지가 주로 제시됨을 고려하여, 이와는 반대로 적용 문항을 제작하였다.

역시 3가지 요소로 분석하였는데 원형 폐곡선의 형태로 그린 응답자가 70.5%, 시계 방향으로 옳게 표시한 응답자가 68.8%로 상대적으로 정답에 해당하는 비율이 높았다(Table 5). 그러나 도선에서 떨어진 거리와 자기장의 세기를 적절하게 표현한 사례는 전체의 5.4%로 여전히 낮게 나타났다. 앞서 구성 문항에서는 각각 62.5%, 67.9%, 6.3%였는데, 원형 폐곡선에 해당하는 사례가 8% 증가한 것을 제외하면, 구성의 경우와 1명(0.9%)만 차이가 날 정도로 거의 유사하였다.

표상 적용에 관한 둘째 문항에서는 유사한 상황

을 다른 표상 기호로 바꾸어 나타내도록 하기 위하여 자기력선 대신 나침반을 그리도록 하였다. Table 6에서 볼 수 있듯이, 직선 도선 주변의 자기장을 나침반으로 나타낼 때 과학적 표현(시계 방향)이 51명(45.5%)으로 가장 많았다. 그러나 앞서 시계 방향으로 자기력선을 그린 응답자가 77명(68.8%)이었음을 고려하면(Table 5), 물리학적 관점에서는 동일한 상황임에도 표상의 기호가 바뀐에 따라 과학적으로 적절하게 표현한 응답자가 전체적으로 26명(23.3%) 줄었다. Table 6에 따로 제시하지 않았지만 추가로 교차표(pivot table)를 만들어 본 결과, Table 5의 77명 중 47명(전체의 42.0%)만이 자기력선과 나침반이라는 두 종류의 표상에서 모두 과학적으로 타당하게 표현하였다. 이는 학생들이 실제 거시적 현상과 추상적 표상 간의 차이점이나 관련성을 올바르게 이해하지 못하기 때문으로 추정되며, 학생들의 표상 전환 능력이 부족하다는 것을 추측할 수 있다.

오답에 해당하는 사례로는 방사형으로 그린 학생들이 13.4%로 가장 많았다(Figure 4 참조). 이외에 반시계 방향(7.1%), 주어진 전류 방향(6.3%) 등과 같이 그린 경우가 있었다. 무응답에 해당하는 결측을 제외하고 약 40%가 이처럼 비과학적 표현을 하였다.

Table 6. Students' drawing on representation application about magnetic field due to a current with compasses

내용	빈도 (%)	
과학적 표현	51	(45.5)
반시계 방향	8	(7.1)
방사형	15	(13.4)
아래 방향(주어진 전류의 방향)	7	(6.3)
비과학적	7	(6.3)
오른쪽이나 왼쪽 방향	7	(6.3)
기타	6	(5.4)
결측	18	(16.1)
계	112	(100.0)

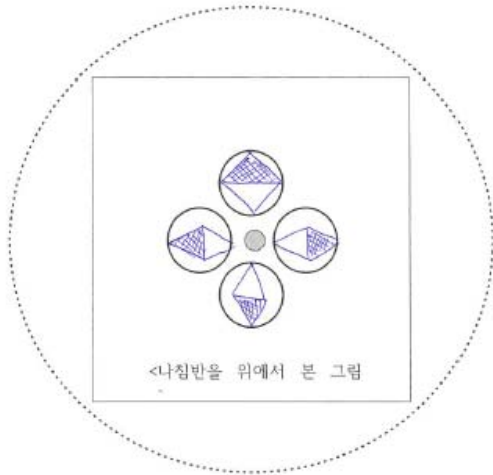


Figure 4. Example of student's drawing about magnetic field due to a current as a radial pattern with compasses

4. 표상 해석, 구성, 적용 능력 사이의 관계

앞서 제시한 분석 기준을 토대로 분석 결과를 수치화하고, 비교를 위하여 4점 만점으로 환산하면 해석 능력은 평균 2.67(표준 편차 1.09), 구성 능력은 평균 2.08(표준 편차 1.05), 적용 능력은 평균 1.90(표준 편차 1.23)에 해당하였다. 평균을 살펴보면 해석, 구성, 적용 능력 순이었었는데, 특히 '적용'에서 평균이 가장 낮고 편차도 크게 나타났다. 표상 해석 능력은 학습한 것을 재인하는 것에 가깝고, 표상의 적용은 상황의 변화와 표상 간의 전환을 포함하기 때문에 보다 복잡적이고 고차적인 것이라고 추정할 때 이러한 결과는 예견할 수 있는

것이라 할 수 있다. 그러나 앞서 도선으로부터 거리에 따른 자기장의 세기를 올바르게 해석한 학생들이 이를 잘 구성하지 못한 것에서 나타났듯이 이 3가지 표상 능력 사이에 엄밀한 위계 관계가 성립하는 것은 아닐 수 있다.

3가지 표상 능력 요소 사이의 상관계수는 다음 Table 7과 같다. 이에 따르면 해석-적용 사이가 .522로 가장 상관 계수가 높았고 구성-적용이 .339, 구성-해석이 .309로 나타났다. 세 수치는 대체로 0.3~0.5 사이에 분포하였다. 일반적으로 상관 계수가 .4 수준이면 상관이 있다고 보기 때문에, 이 세 표상 능력 사이에 연관성이 있음을 시사한다. 상관계수가 매우 높으면 거의 비슷한 요인으로 볼 수 있고, 상관 계수가 낮으면 서로 관련이 없다고 분석할 수 있는데, 현재 나온 수치는 세 표상 능력이 서로 관련이 있지만 완전히 동일하지는 않고, 독립적인 측면이 있음을 보여준다. 이는 세 가지 요소가 표상 능력을 구성하는 독립적인 요소로 취급될 수 있음을 시사한다.

IV. 결론 및 제언

전류가 흐르는 직선 도선 주위의 자기장은 중등학교에서 전기와 자기의 관계를 학습할 때 가장 기초가 되는 핵심적인 내용이다. 이 연구에서는 이 물리적 상황을 중심으로 중학생의 표상 해석, 구성, 적용 능력을 조사하고 이들 간의 관계를 살펴보고자 하였다. 조사를 통해 밝혀낸 연구 결과 및 논의를 요약하면 다음과 같다.

Table 7. Correlations among scores of interpretation, construction, and application of visual representations

	해석	구성	적용
해석	1	.309	.522
구성		1	.339
적용			1

첫째, 표상 해석과 관련하여 학생들이 전류와 자기장을 나타내는 화살표의 의미는 올바르게 파악하고 있었으나(약 75%), 전체적으로 3분의 1 미만의 학생만이 주어진 시각적 표상을 올바르게 해석하였다. 또 응답자의 절반 가량은 자기장을 따라 전하가 움직인다고 응답하여, 자기장과 전하 운동 사이의 관계에 대한 오개념을 가진 것으로 나타났다.

둘째, 직선 도선 주위의 자기장을 직접 그려 표상을 구성하도록 하는 문항에서 60% 이상의 학생이 자기력선의 모양과 방향을 비교적 적절하게 그렸지만, 중심에 가까울수록 조밀하게 표현한 경우는 상당히 적었다(6.3%). 전체 학생의 44.6%는 자기력선의 간격을 일정하게 그렸고, 일부 학생들은 나선형으로 자기력선을 그리거나 시계-반시계 방향을 혼잡하여 제시하였다.

셋째, 표상 적용 능력을 조사한 결과에 따르면, 특히 표상 기호를 바꾸어 나침반 바늘의 방향을 그리도록 한 문항에서 정답률이 낮았다. 직선 도선의 전류 방향만 바뀐 문항에서는 표상 구성 능력에 대한 문항과 유사한 정답 비율을 보였다. 그러나 자기력선 대신에 나침반 바늘로 자기장의 방향을 그리도록 하자, 과학적으로 표현한 학생의 비율이 25.0%p가 감소한 45.5%로 나타났다. 이는 학생들이 자기력선이라는 추상적 표상과 나침반처럼 실물을 활용한 표상 간의 관련성과 차이점을 올바르게 이해하지 못함을 의미한다.

넷째, 세 표상 능력을 수치화하면 평균은 해석, 구성, 적용 능력 순으로 높게 나타났고, 상관계수 값은 0.309~0.522 사이였다. 표상 해석이 수동적이면서 재인에 가까운 능력을 요구한다는 점, 표상 적용이 확장적인 사고와 표상의 변환을 포괄한다는 점에서 타당한 결과라고 할 수 있다. 아울러 상관계수가 0.4 안팎이므로 세 표상 능력이 서로 연관이 있으면서도 독립적인 측면이 있음을 시사한다.

결론적으로 전류에 의한 자기장에 관한 표상 관련 능력을 조사한 결과, 연구에 참여한 중학생들은 대체로 표상의 피상적인 의미는 알고 있었지만 표상에 근거하여 과학적 현상을 해석하거나 자신이 알고 있는 바를 표상으로 나타내는 능력이 다소 미흡하며, 특히 유사 상황을 제시하였을 때 다른 표

상으로 나타내는 능력이 부족한 것으로 나타났다. 또한 표상의 해석, 구성, 적용 능력 간에는 유의미한 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 다만 본 연구가 특정 전자기 현상에 국한된 것이라는 점 그리고 일부 지역의 학생들을 대상으로 탐색적인 차원에서 진행되었다는 점에서 연구 결과를 일반화하기에는 한계가 있다. 그러므로 더 자세하고 구체적인 결과를 수집하기 위하여, 연구 대상의 폭을 넓히고 더 많은 개념과 현상을 포괄하여 표상 능력에 대한 연구 조사를 수행할 필요가 있다.

아울러 표상의 해석, 구성, 적용 능력을 동시에 고려한 교수-학습 방법에 관한 연구를 제안하고자 한다. 본 연구에 따르면 75.9%의 학생은 제시된 표상을 보고 도선에 가까울수록 자기장이 세어진다고 해석하였으나, 이를 표상 구성에서 제대로 나타낸 학생은 전체의 6.3%에 불과하였다. 또 같은 물리적 상황을 자기력선과 나침반으로 각각 타당하게 표현한 응답자의 비율은 25.0%p 만큼 차이 났다. 다시 말해 학생이 표상을 통하여 현상을 해석하고 표상으로 표현하며 다른 상황에서 이를 적용하는 능력은 동일한 능력이 아닌 것으로 볼 수 있다. 이는 물리량에 관한 뜻 쓰기, 수식 풀이, 다이어그램 해석 및 그리기 등을 하는 과정에서 예비 교사들조차 상당수가 물리적으로 같은 상황을 다르게 표현한다는 연구 결과(Jo, 2016)와도 관련이 있다. 따라서 시각적 표상의 해석, 구성, 적용 능력을 효과적으로 높이기 위한 체계적인 교수 설계와 그에 관한 실증적 연구가 필요하다.

세 가지 능력은 서로 관련이 있지만 어느 하나만 집중하는 교육으로는 전체적인 표상 관련 능력의 향상을 기대하기는 힘들다. 현재 이루어지고 있는 중학교의 전자기 학습은 대체로 대형 화면을 통해 표상을 보여주거나 교사가 칠판에 그림으로써, 표상 해석 측면에 집중될 가능성이 크다. 단순히 표상의 의미나 역할을 명시적으로 지도하는 것에 그치지 않고, 직접 표상을 구성하고 다른 상황에 적용시켜 봄으로써 주어진 현상과 관련된 과학적 원리나 미시적 세계의 움직임을 표상을 통해 이해하고 의사소통에 사용할 수 있도록 안내해야 할 것이다. 그리고 학생들이 나침반과 같은 실물을 활용한

탐구 활동과 추상적인 자기력선의 표상을 비교하는 과정을 거쳐, 물리적으로 같은 현상이 다양하게 표현될 수 있음을 이해하고 서로 다른 수준의 표상들을 활용할 수 있도록 제시할 필요가 있다. 또 표상의 설명 과정에서 여러 가지 용어나 기호들이 가지는 의미를 설명하거나 확인하는 것도 필요하다.

무엇보다 학생의 표상 능력과 과학 학습에서 시각적 표상의 역할에 대한 이론적 논의와 기초 연구가 더 풍부하게 진행되어야 한다. 표상 능력은 기존의 학생 개념 이해와 연관되어 있지만 이 두 요인은 같지 않고 서로 구분할 수 있는 요인이라는 것이 밝혀지고 있으나(Nitz *et al.*, 2014), 아직 과학 학습 과정을 시각적 표상의 관점에서 분석한 연구는 부족한 편이다. 앞으로 표상과 개념의 포함 관계, 표상 능력과 학생 개념 사이의 상호 작용 등에 관한 심화 연구가 수행된다면, 표상의 활용을 강조한 다양한 교수-학습법이 개발되어 더욱 효과적으로 현장에 접목될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- Ainsworth, S., Prain, V., & Tytler, R. (2011). Drawing to learn in science. *Science*, 333(6046), 1096-1097.
- Eilam, B., & Poyas, Y. (2008). Learning with multiple representations: Extending multimedia learning beyond the lab. *Learning and instruction*, 18(4), 368-378.
- Faraday, M. (1852). On the physical character of the lines of magnetic force. Reprinted in M. Faraday (Ed.) (1855), *Experimental researches in electricity* (Vol. 3, pp. 407-437).
- Gilbert, J. K. (Ed.). (2005). *Visualization in science education*. Dordrecht, The Netherlands: Springer.
- Gilbert, J. K., & Treagust, D. (Eds.). (2009). *Multiple representations in chemical education*. New York, NY: Springer Science & Business Media.
- Griffiths, D. J. (2012). *Introduction to electrodynamics* (4th ed.). London, UK: Pearson Education.
- Jho, H. (2013). Analysis of undergraduate physics textbooks related to the concept of an electric field. *New Physics: Sae Mulli*, 63(12), 1346-1352.
- Jho, H. (2015). Analysis of electricity and magnetism presented in middle-school textbooks from the perspective of the history of science. *New Physics: Sae Mulli*, 65(10), 982-993.
- Jo, K. (2016). University students' understanding of the curl of the magnetic field in upper-level electromagnetism and development of an explanation model. *New Physics: Sae Mulli*, 66(5), 560-570.
- Jo, K. H., Song J. W., & Suh, J. A. (2010). Development of an analytical framework for the exemplification type of a science textbook. *New Physics: Sae Mulli*, 60(3), 283-292.
- Jo, K., Jho, H., & Yoon, H. G. (2015). Analysis of visual representations related to electromagnetism in primary and secondary science textbooks. *New Physics: Sae Mulli*, 65(4), 343-357.
- Jo, O., & Kim, Y. (2008). Investigation of science high-school students' perceptions and suggestion for a strategy to explain the interaction between an electric current and an external magnetic field. *New Physics: Sae Mulli*, 57(6), 373-380.
- Johnstone, A. H. (1993). The development of chemistry teaching: A changing response to changing demand. *Journal of chemical education*, 70(9), 701.

- Kang, H. S., Sung, D. Y., & Noh, T. H. (2007). The influences of small group discussion and students' visual learning style on learning with multiple representations using drawing and writing: Focused on chemical concepts. *Journal of The Korean Association For Science Education*, 27(1), 28-36.
- Kohl, P. B., & Finkelstein, N. D. (2005). Student representational competence and self-assessment when solving physics problems. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 1(1), 010104.
- Kozma, R. B., & Russell, J. (1997). Multimedia and understanding: Expert and novice responses to different representations of chemical phenomena. *Journal of research in science teaching*, 34(9), 949-968.
- Kozma, R., & Russell, J. (2005). Students becoming chemists: Developing representational competence. In J. K. John (Ed.), *Visualization in science education* (pp. 121-145). Dordrecht, The Netherlands: Springer Netherlands.
- Lemke, J. L. (1998). Multiplying meaning: Visual and verbal semiotics in scientific text. In J. R. Martin & R. Veel (Eds.), *Reading Science* (pp. 87-113). London, UK: Routledge.
- Ministry of Education, Science and Technology [MEST]. (2011). *The 2009 revised science curriculum* (No. 2011-361). Seoul: Author.
- Nitz, S., Ainsworth, S. E., Nerdel, C., & Prechtl, H. (2014). Do student perceptions of teaching predict the development of representational competence and biological knowledge?. *Learning and instruction*, 31, 13-22.
- Park, H., Jung, D., Shin, H, Kim, J. et al. (2012). *Middle school science 3*. Seoul: Kyohaksa.
- Park, S. W., & Hyun, D. G. (2014). Theoretical approach to problems related to magnetic interactions of electric currents in elementary-school science classes. *New physics: Sae Mulli*, 64(4), 405-416.
- Rosengrant, D., Etkina, E., & Van Heuvelen, A. (2007). *An overview of recent research on multiple representations*. In L. McCullough, L. Hsu, & P. Heron (Eds.), AIP Conference proceedings (Vol. 883, No. 1, pp. 149-152). AIP.
- Roth, W., Lilian, P., & Han, Y. H. (2005). *Critical graphicacy: Understanding visual representation practices in school science*. New York, NY: Springer Science+Business Media B.V.
- Schnotz, W. (2002). Commentary: Towards an integrated view of learning from text and visual displays. *Educational psychology review*, 14(1), 101-120.
- Song, J., Kim, I., Kim, Y., Kwon, S., Oh, W., & Park, J. (2004). *Students' misconceptions on physics*. Seoul: Bookshill.
- The Korean Physical Society. (KPS) (2016). *2016 Korean-English translation for physics words*. Retrieved from <http://conf.kps.or.kr/Contents/page.asp?pageCode=0402>
- Treagust, D. F., & Chittleborough, G. (2001). Chemistry: A matter of understanding representations. In Emerald Group Publishing Limited, *Subject-specific instructional methods and activities* (Vol. 8, pp. 239-267). Oxford, UK: Elsevier. Emerald Group Publishing Limited.
- Tytler, R., Prain, V., Hubber, P., & Waldrip, B. (Eds.). (2013). *Constructing representations to learn in science*. New York, NY: Springer Science & Business

Media.

Yoon, H. G., Jo, K., & Jho, H. (2016). Middle school students' interpretation, construction, and application of visual representations for electrostatic induction. *New Physics: Sae Mulli*, 66(5), 580-589.

Young, H. D. (1992). *University physics* (8th ed). Addison-Wesley Publishing Company.

국 문 요 약

직선 도선 주위에 자기장이 생기는 현상은 중등 교육과정에서 다루는 전자기학의 핵심 개념 중 하나이다. 아울러 비가시적인 전류와 자기장의 관계를 설명하는 과정에서 시각적 표상이 사용되는 대표적 사례이다. 이 연구에서는 중학교 3학년 남녀 112명을 대상으로 전류가 흐르는 직선 도선 주위의 자기장에 관한 문제 상황을 제시하고, 시각적 표상에 관련하여 표상 해석, 구성, 적용 능력을 조사하였다. 분석 결과에 따르면 75

% 이상의 응답자가 전류와 자기장을 뜻하는 화살표의 의미를 타당하게 해석하였다. 그러나 50% 남짓은 전하가 자기장을 따라 운동하는 것으로 혼동하였고 주어진 시각적 표상을 전체적으로 올바르게 해석한 학생은 3분의 1미만이었다. 또 전체 응답자의 60% 이상이 직선 도선의 자기장을 원형 폐곡선 모양으로 표현했지만 자기력선의 조밀함을 올바르게 나타낸 경우는 6.3%에 불과했다. 또 나침반의 방향으로 상황을 바꾸어 표상 적용 능력을 조사한 결과, 과학적 표현에 해당하는 응답자의 비율이 상당히 줄어들었다. 학생들의 표상 능력을 점수화 한 결과 시각적 표상의 해석, 구성, 적용 능력의 순으로 점수가 나타났고 이들 사이에는 유의미한 상관관계(0.3~0.5)가 있는 것으로 나타났다. 이는 세 가지 표상 능력 요소가 서로 연관이 있으면서도 독립적임을 시사한다. 이러한 연구 결과들은 과학 학습 과정에서 시각적 표상을 효과적으로 활용하고 학생들의 표상 능력을 높일 수 있는 방안에 대한 연구가 필요함을 시사한다.

주제어: 시각적 표상, 표상 능력, 전류에 의한 자기장, 중학생