

교육대학교 학생들의 ‘전기’ 용어의 연상 단어 및 정의에 대한 네트워크 분석

송영욱*
한국교육대학교

Network Analysis on Associative Words and Definitions of ‘Electricity’ Terminology of Education University Students

Youngwook Song*
Korea National University of Education

ARTICLE INFO

Article history:

Received 23 September 2016

Received in revised form

5 October 2016

27 October 2016

Accepted 27 October 2016

Keywords:

electricity terminology,
associative words,
definitions of electricity,
network analysis

ABSTRACT

This research aimed to identify core words used as associative words and definitions for expressing ‘electricity’ terminology and to find how core ones are activated to form a cognitive structure, using network analysis. The participants targeted 83 university freshmen students in the University of Education located in suburbs. Depending on their gender, whether or not they completed physics in high school, the associative words and definitions were analyzed using the network method, classifying two sections: before-lesson and after-lesson. The result is as follows: At before-lesson associative words for ‘electricity’ terminology, a slightly different network construction was revealed based on their two properties. However, after the class, they showed similar network structure irrespective of their distinctive characteristics. When it comes to other ‘electricity’ definitions, before taking the course, they had similar network connection across the gender but based on physics education status, there appeared subtle differences. Ultimately, after the class they demonstrated similar network structure regardless of their features. In conclusion, this paper suggests educational implications on network analysis, which covers ‘electricity’ terminology of university students.

1. 서론

과학 용어는 과학 학습에서 교수자가 학습자에게 과학 개념을 가르칠 때 중요한 매개체 역할을 한다. 용어의 사전적 의미는 ‘일정한 분야에서 주로 사용하는 말’로써 용어는 전문 분야의 개념이 언어로 표현된 형태이며, 전문 분야의 지식을 대표하는 단위이다(Yun & Park, 2014). 과학에서 중요하게 사용하는 과학 용어는 과학시간에 학습자들이 배워야 하는 중요한 과학 개념이다. 과학 용어는 개념을 표현하는 도구 혹은 수단으로 소통을 위한 언어적 기능을 수행하며(Yun & Park, 2013). 올바른 과학 개념을 학생들이 가지도록 하는데 중요한 도구가 된다(Lee, 2012). Yager (1983)는 과학 수업에서 교수자와 학습자가 의사소통 수단으로 과학 용어를 사용하기 때문에 수업에서 사용되는 과학 용어에 대한 이해는 매우 중요하다고 하였다. 따라서 과학 학습에서 학습자들이 과학 용어에 대하여 어느 정도 이해하고 있으며 정확하게 사용하는지를 아는 것은 필수적이다(Lee & Choi, 2008).

특히 물리 영역에서 ‘전기’는 초·중등 과학과 교육과정에서 중요하게 다루는 개념이지만 학습자들이 어려워하는 개념이다(Kwon & Lee, 2004; Jho, 2015). 많은 과학 교사들이 학생들이 전기 단원이 매우 어렵다고 말하는 것을 경험한다(Maja, 2006). 중학생들은 과학 과목 중에서 물리 영역이 가장 재미없는 것으로 인식하고 있으며,

물리 단위 중에서는 ‘전기’ 관련 단원을 가장 어려운 단원으로 여긴다(Kim & Lee, 2006). 중·고등학교 학교 현장에서도 ‘전기’ 단원은 학생들이 매우 어렵게 생각하고 물리에 대한 부담이나 어려움을 느끼게 하는 단위이며, 과학 교사 자신도 ‘전기와 자기’ 개념에 대한 이해도가 높지 않은 편이다(Kim *et al.*, 2008). Lim & Jhun (2014)은 초등학교 교사들이 ‘전기’ 단원에서 가장 큰 곤란을 느끼는 원인은 교과서와 교육과정의 요인에 있으며 ‘전류가 흐르는 방향’에 대한 교수 곤란도가 가장 높다고 하였다. Kim & Hann (1996)의 연구에서는 교육대학교 학생들의 전기 개념에 대한 이해도를 조사한 결과 정답률이 매우 낮은 것으로 나타났다. 이처럼 ‘전기’ 개념이 어려운 이유는 물리 개념 중에서 비교적 추상적 개념으로 학생들이 직접 눈으로 볼 수 있는 물리량이 아니기 때문이다(Kim & Hann, 1996). ‘전기’가 일으키는 여러 가지 현상은 주로 눈에 보이지 않는 극히 작은 알갱이인 전자가 원인이 되어 나타나는 것이므로 이해하기가 어려운 것이다(Choe, 2003). Ji & Marcia (2011)는 학생들은 정전기를 전하, 입자, 에너지의 세가지 관점으로 갖고 있다고 하였다. 그들은 학생들이 일상생활에서 관찰하는 정전기 현상을 가시화하고 과학적으로 설명하도록 하여 올바른 전기 개념을 이해하도록 했다. 또한 ‘전기’는 일상생활에서 자주 사용하는 용어이지만 다양한 의미로 혼용되어 사용되기 때문에 개념에 혼란을 가져와 어려움을 야기한다. ‘전기’라는 용어는 과학적 의미에서 전기 현상만을 뜻하지만 일상생활에서는 전하, 전류, 전력,

* 교신저자 : 송영욱 (songyw@knue.ac.kr)
<http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2016.36.5.0791>

전기 에너지와 같이 전기 현상과 관련된 여러 물리량을 나타내는 데에 사용하며(Choi & Jeon, 2009), 교과서에서도 ‘전기’와 관련된 여러 비슷한 용어인 전하, 전류, 전압, 저항 등을 동시에 다루므로 학생들은 각 용어들을 정확히 구별하는 데에 어려움을 느끼게 된다(Kim & Oh, 2004). 그러므로 학생들이 ‘전기’라는 용어를 어떻게 개념화하고 구조화하고 있는지를 살펴보고 용어의 관계를 분석하는 것은 교수·학습에 중요한 의미를 가진다.

개념은 한 단위로 취급하는 단일적 관점이 아니라 지식의 조각들이 상황에 따라 활성화되어 관계를 이루는 연합적 관점이다. diSessa (1993)은 개념을 구성하는 지식의 조각들을 ‘현상론적 초인(Phenomenological Primitives, p-prims)’으로 제안하였다. ‘p-prims’는 상황과 관련된 인지 구조를 활성화 시키는 역할을 하며 물리 현상에 대한 학생들의 직관적 설명을 의미한다. Hammer & Elby (2002)는 diSessa의 p-prims과 유사한 지식의 조각들을 ‘자원(resources)’이라는 용어를 사용하여 개념의 구조를 설명하였다. ‘자원’은 p-prims보다 평범하게 사용되는 용어이며 학생들의 개념이 그보다 더 작은 단위의 자원으로 구성된다는 관점이다(Oh, 2015). 자원들은 상황에 따라 다르게 활성화되며, 활성화된 자원들은 서로 네트워크를 이루어 개념을 이룬다. 개념은 많은 자원들이 상황에 따라 다르게 조합되어 나타난 결과이다(Hammer *et al.*, 2005). 자원은 어느 상황에 일반적으로 적용되는 것이 아니라 상황에 따라 다르게 나타나며, 특정한 상황에 고유한 활성화 패턴이 있다. 특정한 상황에 대한 고유한 활성화 패턴은 상황에 대한 개념의 ‘프레임(frame)’이 된다. ‘프레임(frame)’은 어떤 상황에 대한 해석적 틀을 의미하며(Goffman, 1974), 활성화된 자원들은 한 곳에 일정하게 네트워크를 이룬다(Hammer *et al.*, 2005).

최근에는 학습자의 인지 구조를 이해하기 위하여 네트워크 분석법을 활용하고 있다. 네트워크 분석법은 본래 사회 네트워크 분석법에서 파생된 연구 방법으로 응답자들이 생성한 어휘의 의미 구조 연결을 네트워크로 이해하고 이를 통해 인지적 ‘프레임’이나 특정 개념의 정신모형 등을 파악하는 데 사용하는 방법이다(Lee & Ha, 2012). 학습자의 인지 구조를 파악하기 위하여 사용해 온 기존의 분석 방법은 응답자의 단순한 빈도 분석을 통해 반복적으로 언급한 횟수를 정량적으로 제시하거나 분석결과를 연구자의 주관에 의존하여 분석하였으므로 개념 사이의 관계를 나타내는 데에 취약한 부분이 있었다. 하지만 네트워크 분석법은 개념들 사이의 관계를 시각적으로 묘사하고 중요한 개념과 각 개념들 사이의 관계 강도까지 한 눈에 알아볼 수 있다(Lee, Lee & Lee, 2010). 이러한 네트워크 분석법의 특징 때문에 다양한 연구에서 네트워크 분석법을 활용하고 있다. 최근 네트워크 분석법을 활용한 연구들은 과학과 생물에서의 ‘실험’의 의미(Lee, Shin & Ha, 2015), 과학학습의 목적에 대한 인식(Park *et al.*, 2014), 생각하는 과학의 의미(Kim, 2013), STEAM 교육의 연구 논문 주제(Kim & Kim, 2014), 과학적 기업에 대한 신념(Peters-Burton & Baynard, 2013), 공통과학 교과서의 과학 용어 분석(Cui *et al.*, 2012) 등과 같이 다양한 연구에서 활용되었다. 하지만 네트워크 분석법을 통해 과학과 관련된 학습자의 인식은 많이 연구되었지만, 상대적으로 학습자의 인지 구조를 파악하는 연구는 미흡한 편이다. 또한 ‘전기’ 개념에 대한 초·중학생들이나 과학 교사를 대상으로 하는 연구는 많이 연구되었지만, 초등학교 교사 및 대학생들을 대상으로 하는 연구는 부족한 편이다.

이 연구에서는 네트워크 분석법을 활용하여 교육대학교 학생들이 수업 전과 후의 ‘전기’ 용어에 대한 연상 단어 및 정의에 사용하는 핵심 단어가 무엇인지를 살펴보고, 대학생들의 특성에 따라 핵심 단어가 어떻게 활성화되어 인지 구조를 이루는지 알아보려고 한다.

II. 연구 내용 및 방법

1. 연구 대상

이 연구는 충남 소재 교육대학교 1학년 중에서 ‘자연과 개론’ 과목을 수강하는 대학생을 연구 대상으로 하였다. 연구 대상 인원은 수업 전 83명, 수업 후 82명이다. Table 1은 연구 대상의 성별과 고등학교 때 물리 과목을 이수한 비율이다. 남학생은 수업 전 21명(25.3%), 수업 후 22명(26.8%)이고, 여학생은 수업 전 62명(74.7%), 수업 후 60명(73.2%)이다. 고등학교 때 물리 과목을 이수하지 않은 학생은 수업 전과 후 49명(59.0%)으로 동일하고, 물리 I 또는 물리 II를 이수한 학생은 수업 전 34명(41.0%), 수업 후 33명(40.2%)이다. 수업 전후에 같은 연구 대상이 참여했으나, 수업 후 설문지에 백지를 낸 학생을 인원에서 제외하였다.

Table 1. Number of students who enrolled in Physics class of their high-schools and gender

구분	수업 전 (%)	수업 후 (%)	
성별	남	21(25.3)	22(26.8)
	여	62(74.7)	60(73.2)
물리 I 또는 II 이수 여부	안함	49(59.0)	49(59.8)
	이수	34(41.0)	33(40.2)
합계(%)	83(100.0)	82(100.0)	

2. 분석 내용

‘전기’ 용어에 대한 대학생들의 인지 구조 변화를 알아보기 위하여 ‘전기’ 용어의 연상 단어 및 정의에 대한 네트워크 구조를 분석하였다. 과학 용어에 대한 단어 연상 검사 및 정의의 검사는 학습자의 개념을 알아보는 방법으로 사용한다(Gussarsky & Gorodetsky, 1988; Park, Choi & Kim, 2004). 단어 연상 검사는 과학 용어를 30초에서 1분 정도 제시하고 다른 연상되는 단어들을 순서대로 기록하게 한다. 정의의 검사는 과학 용어를 제시하고 그 개념의 정의를 쓰게 하는 것이며 개념들 간의 관계에 대한 특성을 기술하게 한다(Park *et al.*, 2004). ‘전기’ 용어에 대한 대학생들의 인지 구조 변화를 알아보기 위하여 ‘전기’ 단위 수업 전과 후로 나누어 조사하였다. ‘전기’ 단원을 학습하기 전에 ‘전기’ 용어에 대해 떠오르는 연상 단어를 5개 이상 기록하도록 하였고, ‘전기’ 용어에 대한 정의를 자유롭게 기술하도록 하였다. 수업 후는 1학기가 끝나는 기말고사 기간에 조사하였다. 대학생들의 특성에 따라 ‘전기’ 용어에 대한 네트워크 구조가 다른지를 알아보기 위하여 성별과 고등학교 때 물리 과목 이수 여부로 나누어 조사하였다. 수업은 동일한 강의자가 하였고, 수업 시간은 2차시로 하였다. 대학 교양 물리 수준으로 교육대학교 대학생들이 물리 개념을 정리하는 데 도움 되도록 수업 내용을 구성하였다. 전기 단원의 내용은 전기

력과 전하, 전기장, 전위, 전류, 저항, 옴의 법칙, 전기회로 등이다. 수업은 먼저, 전기하면 떠오르는 단어와 정의를 기록하도록 하고, 조별로 토론하여 발표하도록 하였다. 발표 후에 전기 관련 수업 내용을 진행하였다.

3. 분석 방법

Choi & Seo (2012)와 Lee & Ha (2012)의 네트워크 분석 방법을 참고하여 네트워크 분석을 4단계로 진행하였다. 첫째, 정제화 작업을 한다. 학생들이 기술한 정의의 문장을 단어로 정제화 한다. 동사를 명사화하거나 필요 없는 동사나 조사를 생략하고, 의미가 같은 여러 단어는 하나의 단어로 통일한다. 둘째, 핵심 단어 및 공출현 빈도를 구한다. 한글 분석 프로그램을 통해서 많이 사용되는 단어의 빈도와 단어와 단어 사이의 공출현 빈도를 구한다. 셋째, 단어와 단어 관계를 시각화 한다. 단어의 빈도 및 공출현 빈도를 시각화하는 프로그램을 활용한다. 넷째, 네트워크 구조를 분석한다. 단어의 출현 빈도, 연결선 기준(강도), 연결 중앙성, 매개 중앙성 등을 분석하여 네트워크 구조를 분석한다. 이 연구에서는 용어와 단어를 구분하여 사용하였다. 용어는 전문 분야의 개념이 언어로 표현된 형태로, 전문 분야의 지식을 대표하는 단위로(Yun & Park, 2014) '전기'는 용어로, 학생들이 단순히 떠올린 생각이나 정의에 사용한 것은 용어와 구분하여 단어로 사용하였다. 출현 빈도 상위 20에 있는 단어들을 핵심 단어로 선정하였다. 선정된 상위 20개 핵심 단어를 메인 노드로 하여 두 단어 간의 1모드 공출현 빈도 대칭형 매트릭스를 구하였다. 이렇게 만들어진 공출현 행렬을 바탕으로 네트워크의 구조적 특성을 나타내는 각종

지표들을 산출하였다. 연결 중앙성(degree centrality)과 매개 중앙성(betweenness centrality)을 통해서 핵심 단어가 다른 단어등과 연결되는 정도와 네트워크 구조 내에서 한 노드가 담당하는 매개자 역할의 정도를 조사하였다.

III. 결과 및 논의

1. '전기' 용어에 대한 대학생들의 연상 단어

'전기'하면 대학생들의 머릿속에 떠올리는 연상 단어로 사용된 단어의 수는 수업 전 111개, 수업 후 93개였다. Table 2는 수업 전과 후의 출현 빈도가 높은 순서대로 상위 20개를 핵심 단어로 선정하여 다른 단어들 간의 네트워크 분석 지표를 나타낸다. 수업 전에 대학생들이 '전기'하면 머릿속에 떠올리는 핵심 단어의 출현 빈도를 살펴보면 에너지(36회), 번개(24회), 감전(23회), 전류(22회), 전자(18회), 콘센트(17회), 전압(15회), 빛(13회), 정전기(12회), 피카츄(11회), 발전소(10회), 양극과 음극(10회) 순이었다. '전기' 단위 수업 전 대학생들이 '전기'하면 가장 많이 머릿속에 떠올리는 단어는 '에너지'인 것을 알 수 있다. 수업 후에 대학생들이 '전기'하면 머릿속에 떠올리는 핵심단어를 살펴보면 전류(46회), 전자(41회), 전압(32회), 전하(32회), 전력(19회), 저항(16회), 에너지(11회), 전구(9회), 전기장(9회) 순이었다. 대학생들이 '전기'하면 가장 많이 떠올리는 단어가 수업 전 '에너지'에서 수업 후 '전류', '전자'로 변화한 것을 볼 수 있다.

네트워크 분석에서 각 단어가 다른 단어와 연결되는 중앙성을 분석한 네트워크 분석 지표는 Table 2와 같다. 연결 중앙성은 하나의 단어

Table 2. Top 20 words' frequency and centrality for the network on the associative words of 'electricity' terminology

수업 전					수업 후				
순위	단어	빈도	연결 중앙성	매개 중앙성	순위	단어	빈도	연결 중앙성	매개 중앙성
1	에너지	36	0.894737	0.028665	1	전류	46	1.000000	0.055177
2	번개	24	0.894737	0.028665	2	전자	41	1.000000	0.055177
3	감전	23	0.894737	0.031472	3	전압	32	0.947368	0.048779
4	전류	22	0.894737	0.038744	4	전하	32	0.842105	0.032447
5	전자	18	0.947368	0.039884	5	전력	19	0.842105	0.028216
6	콘센트	17	0.736842	0.013193	6	저항	16	0.631579	0.007565
7	전압	15	0.842105	0.033397	7	에너지	11	0.684211	0.011701
8	빛	13	0.578947	0.003382	8	전구	9	0.631579	0.005238
9	정전기	12	0.789474	0.029954	9	전기장	9	0.631579	0.009176
10	피카츄	11	0.684211	0.012462	10	옴	8	0.473684	0.003086
11	발전소	10	0.736842	0.017583	11	양성자	7	0.631579	0.013204
12	양·음극	10	0.684211	0.010019	12	전하량	7	0.421053	0.001706
13	볼트	9	0.631579	0.004401	13	건전지	6	0.631579	0.015277
14	전력	9	0.684211	0.022469	14	빛	6	0.421053	0.002054
15	건전지	8	0.631579	0.011634	15	전선	6	0.473684	0.001657
16	저항	5	0.473684	0.010087	16	정전기	6	0.578947	0.009591
17	전하	5	0.631579	0.009879	17	발전기	5	0.526316	0.010206
18	옴	4	0.315789	0.001323	18	전지	5	0.842105	0.026513
19	전기세	4	0.368421	0.000000	19	직렬	5	0.684211	0.012209
20	흐름	4	0.473684	0.003664	20	병렬	4	0.684211	0.007746

가 다른 단어들과 연결되는 정도를 나타내는 네트워크 분석지표이고 매개 중앙성은 네트워크 내에서 한 노드가 담당하는 매개자 역할의 정도를 나타내는 네트워크 분석 지표이다(Wasserman & Faust, 1994). 핵심 단어 출현 빈도가 높다고 반드시 중앙성 값이 높은 것은 아니다. 수업 전 ‘전자’는 출현 빈도가 18회로 5번째 순위이지만, 중앙성 값은 가장 높았다. 이는 출현 빈도가 가장 높은 ‘에너지’보다 ‘전자’가 다른 단어와 동시에 출현한 정도가 높으며 동시에 다른 단어와 더 많은 매개자 역할을 한다는 것을 의미한다. 수업 후에는 전류, 전자, 전압, 전하 출현 빈도순으로 중앙성 값도 높았다. 특히 수업 후에 출현 빈도가 높은 ‘전류’와 ‘전자’는 다른 단어와 공출현 빈도도 높고, 다른 단어의 매개자 역할도 높은 것을 볼 수 있다.

Figure 1은 빈도 분석에서 선정된 상위 20개 핵심 단어를 메인 노드로 하여 두 단어 간의 1모드 공출현 빈도 대칭형 매트릭스를 네트워크 분석하여 시각화한 것이다. 핵심 단어 20개의 노드 간 연결 수는 수업 전 262개, 수업 후 258개로 수업 전과 후의 연결 수의 차이는 없었다. Figure 1과 같이 출현 빈도가 높은 단어는 노드의 면적이 넓고, 다른 단어와 동시에 출현한 빈도가 높은 단어는 네트워크상에서 중앙에 놓이게 되며, 두 단어 사이 연결선이 두꺼울수록 상호 관계가 강하다고 분석한다(Kim & Kim, 2014). 노드 간 연결선 기준(강도)의 숫자는 단어와 단어의 동시 출현 빈도를 의미한다. 노드 간 연결선 기준(강도)의 숫자가 높을수록 두 단어의 상호 관계가 더 강하게 연결되어 있다. 수업 전에는 에너지, 변개, 감전, 전자, 전류가 출현 빈도와 노드 간 연결선 기준(강도)이 높았고, 노드 간 연결선 기준(강도)은 에너지와 변개(11), 에너지와 전류(9), 전류와 전압(10), 전류와 감전(7), 감전과 변개(8) 순이었다. 수업 전에 대학생들이 ‘전기’ 용어를 들었을 때 머릿속에서 가장 많이 떠올리는 단어들은 ‘에너지’와 동시에 변개, 전류이고, ‘전류’와 동시에 전압, 감전이었다. 수업 후에는 전류, 전자, 전압, 전하, 전력의 출현 빈도와 다른 단어가 동시에 출현한 빈도가 높았고, 노드 간 연결선 기준(강도)은 전자와 전하(29), 전자와 전류(24), 전류와 전압(27), 전류와 전하(24), 전하와 전압(17) 순으로 나타났다. 수업 전 대학생들은 전기 용어에 대한 일상단어로 일상생활에서 경험한 변개, 감전, 콘센트 등의 단어들을 떠올린다는 것을 알 수 있다. 수업 후에는 일상생활에서 경험한 단어들보다 수업 시간에 배운 전류, 전자, 전압 등의 단어들을 많이 떠올리며 연결선

강도가 증가하였다. 이는 ‘전기’ 단위 수업 시간에 학습된 내용에 의해서 대학생들의 인지 구조에 전자, 전류, 전하 등의 단어들이 더욱 강하게 연결된 것을 의미한다.

대학생들의 성별과 고등학교 때 물리 과목 이수 여부에 따라 ‘전기’ 용어에 대한 차이가 있는지 네트워크 분석을 하였다. 핵심 단어들의 연결망 노드 수를 간소화하기 위해 연결선 강도의 값이 1~4 이하인 연결선을 생략하여 Table 3과 같이 간략하게 시각화하였다. 성별에 따른 네트워크 분석 결과는 Table 3과 같다. 수업 전 남학생들의 핵심 단어의 출현 빈도는 에너지, 전자, 변개, 전류, 발전소 순이고, 노드 간 연결선 기준(강도)은 에너지와 변개, 에너지와 전류, 전자와 전류, 전자와 에너지 순이었다. 여학생들의 핵심 단어의 출현 빈도는 에너지, 감전, 변개, 전류 순이고, 노드 간 연결선 기준(강도)은 전류와 전압, 변개와 감전, 에너지와 전류 순으로 나타났다. 남학생들은 ‘에너지’를 중심으로 변개, 전류, 전자로 네트워크 구조를 이루고 있는 반면 여학생들은 감전, 변개, 에너지, 전류를 중심으로 다른 네트워크 구조를 이루고 있다. 수업 후 남학생들의 핵심 단어의 출현 빈도는 전자, 전류, 전하, 전압 순이고, 노드 간 연결선 기준(강도)은 전하와 전류, 전류와 전압, 전류와 전자 순이었다. 여학생들의 핵심 단어의 출현 빈도는 전류, 전자, 전압, 전하 순이고, 노드 간 연결선 기준(강도)은 전하와 전류, 전하와 전자, 전류와 전압 순으로 나타났다. 수업 후 남·여학생들의 ‘전기’ 용어에 대한 네트워크는 전압, 전류, 전자, 전하를 중심으로 비슷한 네트워크 구조를 이루는 것을 볼 수 있다.

고등학교 때 물리 과목 이수 여부에 따른 네트워크 분석 결과는 Table 3과 같다. 수업 전 고등학교 때 물리 과목을 이수하지 않은 대학생들의 핵심 단어의 출현 빈도는 에너지, 감전, 변개, 전류 순이고, 노드 간 연결선 기준(강도)은 에너지와 전류, 에너지와 변개, 감전과 전류, 발전과 발전소 순이었다. 고등학교에서 물리를 이수한 대학생들의 핵심 단어의 출현 빈도는 에너지, 변개, 전자, 감전, 전류, 전압 순이고, 노드 간 연결선 기준(강도)은 전자와 변개, 전압과 전류, 음과 전류 순이었다. 고등학교 때 물리 과목을 이수하지 않은 대학생들은 ‘에너지’를 중심으로 전류, 변개, 감전으로 네트워크 구조를 이루고 있으며, 반면에 물리를 이수한 대학생들은 전자와 변개, 전류와 전압 중심으로 다른 네트워크 구조를 이룬다. 수업 후 고등학교 때 물리를 이수하지 않은 대학생들의 핵심 단어의 출현 빈도는 전류, 전자, 전압,

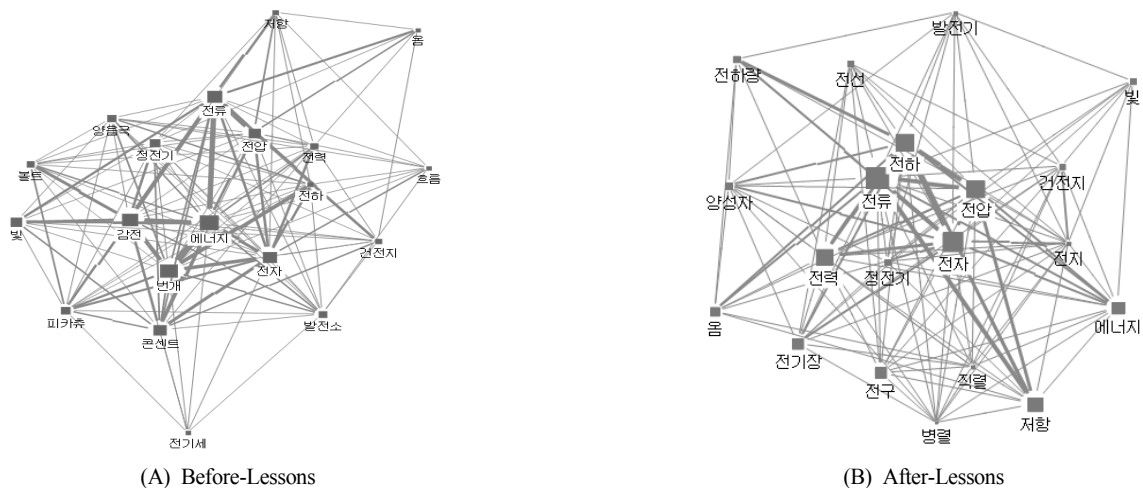


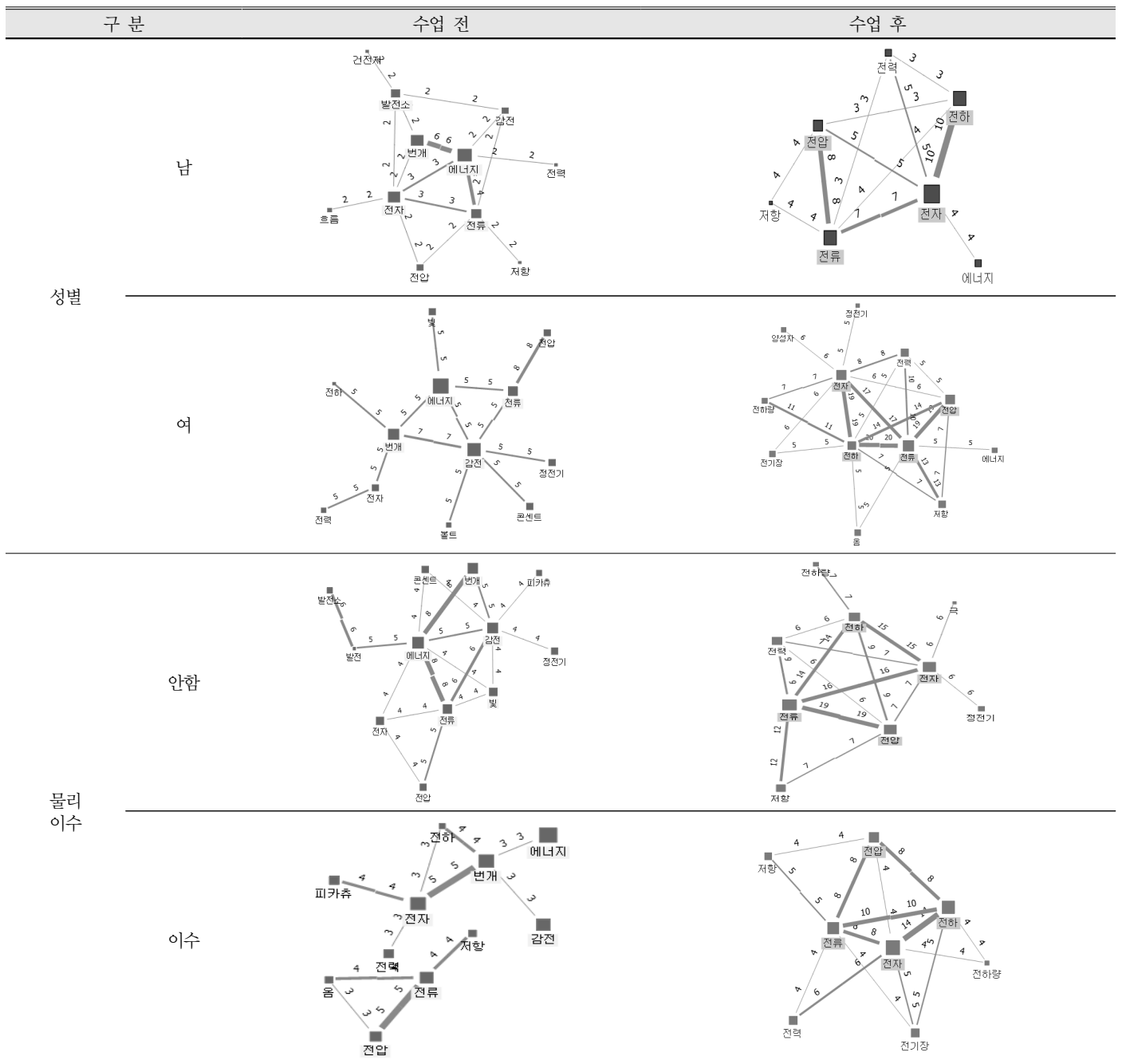
Figure 1. Network analysis on the associative words of ‘electricity’ terminology

전하 순이고, 노드 간 연결선 기준(강도)은 전류와 전압, 전류와 전자, 전류와 전하, 전하와 전자 순이었다. 고등학교 때 물리를 이수한 대학생들의 핵심 단어의 출현 빈도는 전자, 전하, 전류, 전압 순이고, 노드 간 연결선 기준(강도)은 전자와 전하, 전류와 전하, 전자와 전류, 전압과 전하, 전류와 전압 순이었다. 수업 후에는 고등학교 때 물리 과목 이수 여부에 상관없이 전하, 전류, 전압, 전자를 중심으로 비슷한 네트워크 구조를 이루고 있는 것을 알 수 있다. 수업 전에는 대학생들의 성별과 고등학교 때 물리 과목 이수 여부에 따라 다른 네트워크 구조를 이루고 있지만 수업 후에는 대학생들의 특성에 상관없이 비슷한 네트워크 구조를 이룬다. 이는 수업 전 학습자의 특성에 따라 '전기' 용어에 대한 다른 인지 구조를 가지며 수업 후에는 학습 내용에 의해서 대학생들의 특성에 상관없이 유사한 인지 구조를 갖게 되었다고 해석할 수 있다.

2. '전기' 용어에 대한 대학생들의 정의

대학생들이 '전기' 용어의 정의에 사용한 단어의 수는 수업 전 85개, 수업 후 79개였다. 한 정의문에 보통 3개~6개의 단어를 사용하였다. Table 4와 같이 수업 전과 후의 출현 빈도가 높은 순서대로 상위 20개를 핵심 단어로 선정하였다. 수업 전 대학생들이 '전기' 용어의 정의에 사용한 핵심 단어의 출현 빈도를 살펴보면 에너지(47회), 흐름(36회), 전자(24회), 발생(22회), 이동(17회), 전류(13회), 전하(9회) 순이었다. 수업 후 '전기' 용어의 정의에 대한 핵심 단어의 빈도를 살펴보면 전자(42), 이동(34회), 전하(32회), 에너지(31회), 발생(29회), 흐름(29회), 전류(16회), 땀(15회), 성질(10회) 순이었다. 대학생들이 '전기' 용어를 정의할 때 가장 많이 사용한 단어는 수업 전 '에너지', '흐름', '전자'에서 수업 후 '전자', '이동', '전하'로 변화한 것을 볼 수 있다.

Table 3. Network analysis of Gender and the completion of physics class on the associative words of 'electricity' terminology



네트워크 분석에서 각 단어가 다른 단어와 연결되는 중앙성을 분석한 결과는 Table 4와 같다. 수업 전에는 에너지, 흐름, 전자, 발생 출현 빈도 순위로 중앙성 값도 높았다. 그 중에서 에너지와 흐름은 다른 단어와 연결 정도도 높으며, 그 중에서 ‘흐름’이 에너지보다 더 높은 매개자 역할을 하였다. 이는 수업 전 대학생들이 ‘전기’를 정의할 때 전자나 전하의 흐름을 통한 에너지의 발생을 중심으로 ‘전기’에 대한 인지 구조를 이루고 있음을 보여주고 있다. 수업 후에는 ‘전자’의 출현 빈도가 가장 높지만 전자, 이동, 전하, 에너지가 다른 단어와 연결되는 정도와 매개자 역할이 같았다. 이는 수업 전에는 ‘에너지’에 대한 의미가 크지만 수업 후에는 ‘전자’나 ‘전하’의 흐름에 대한 의미가 강조되는 것으로 해석할 수 있다.

Figure 2는 빈도 분석에서 선정된 상위 20개 핵심 단어를 메인 노드로 하여 두 단어 간의 1모드 공출현 빈도 대칭형 매트릭스를 구현 후에 네트워크로 분석하여 시각화한 것이다. 핵심 단어 20개의 노드 간에 연결 수는 수업 전 156개, 수업 후에는 250개였다. 연상 단어에서는 수업 전과 후 노드 간 연결 수의 차이가 거의 없었지만 정의에서 사용한 단어들의 노드 간 연결 수는 크게 증가하였다. 노드 간 연결 수의 증가는 장기기억 속에 입력된 정보들이 네트워크 조직을 형성하여 저장되며, 어떤 정보에 노출 될 때 그 정보와 연결되어 나타난다 (Collins & Loftus, 1975). 이는 대학생들의 머릿속에서 수업 시간에 학습한 개념들이 인지적으로 연결되어 정의되는 것으로 해석할 수 있다. 수업 전에는 에너지, 흐름, 전자, 발생, 이동의 출현 빈도와 다른

Table 4. Top 20 words' frequency and centrality for the network on the definition of 'electricity' terminology

수업 전					수업 후				
순위	단어	빈도	연결 중앙성	매개 중앙성	순위	단어	빈도	연결 중앙성	매개 중앙성
1	에너지	47	0.842105	0.162107	1	전자	42	1.000000	0.062947
2	흐름	26	0.842105	0.179205	2	이동	34	1.000000	0.062947
3	전자	24	0.789474	0.125404	3	전하	32	1.000000	0.062947
4	발생	22	0.526316	0.015762	4	에너지	31	1.000000	0.062947
5	이동	17	0.578947	0.031008	5	발생	29	0.842105	0.030050
6	전류	13	0.578947	0.063847	6	흐름	29	0.894737	0.037567
7	전하	9	0.526316	0.028571	7	전류	16	0.684211	0.012341
8	힘	6	0.368421	0.006252	8	땀	15	0.736842	0.012353
9	생활	5	0.210526	0.005361	9	성질	10	0.631579	0.006426
10	작동	5	0.157895	0.001462	10	물체	7	0.578947	0.004964
11	만들	4	0.315789	0.005263	11	힘	6	0.631579	0.008995
12	양·음극	4	0.315789	0.002005	12	나타남	5	0.578947	0.004674
13	이용	4	0.315789	0.014133	13	양·음극	5	0.631579	0.002883
14	형태	4	0.368421	0.007171	14	양성자	4	0.473684	0.003082
15	감전	3	0.157895	0.001170	15	전압	4	0.315789	0.000000
16	방향	3	0.210526	0.000000	16	현상	4	0.421053	0.000000
17	사이	3	0.368421	0.007992	17	극	3	0.631579	0.002883
18	양·음전하	3	0.263158	0.000835	18	양·음전하	3	0.526316	0.002112
19	운동	3	0.263158	0.002437	19	전하량	3	0.263158	0.000000
20	전압	3	0.210526	0.000835	20	생성	3	0.315789	0.000000

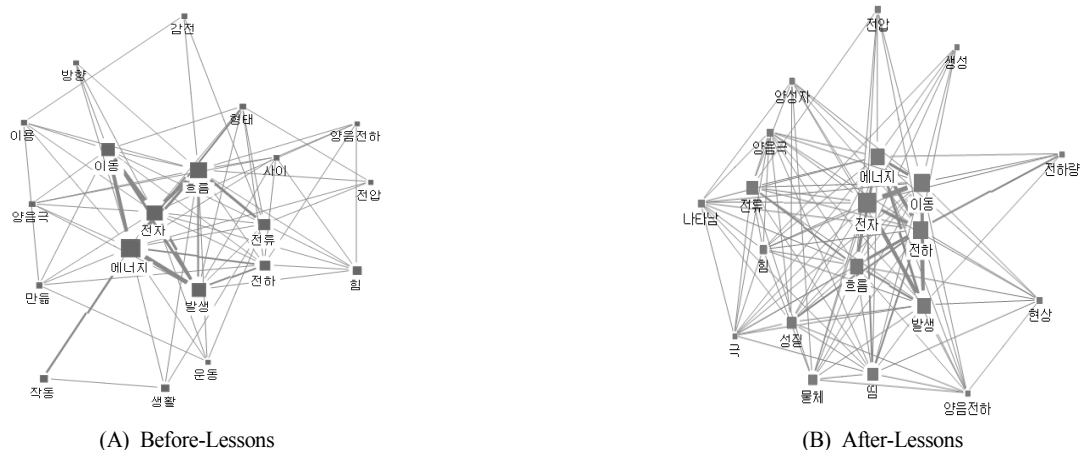


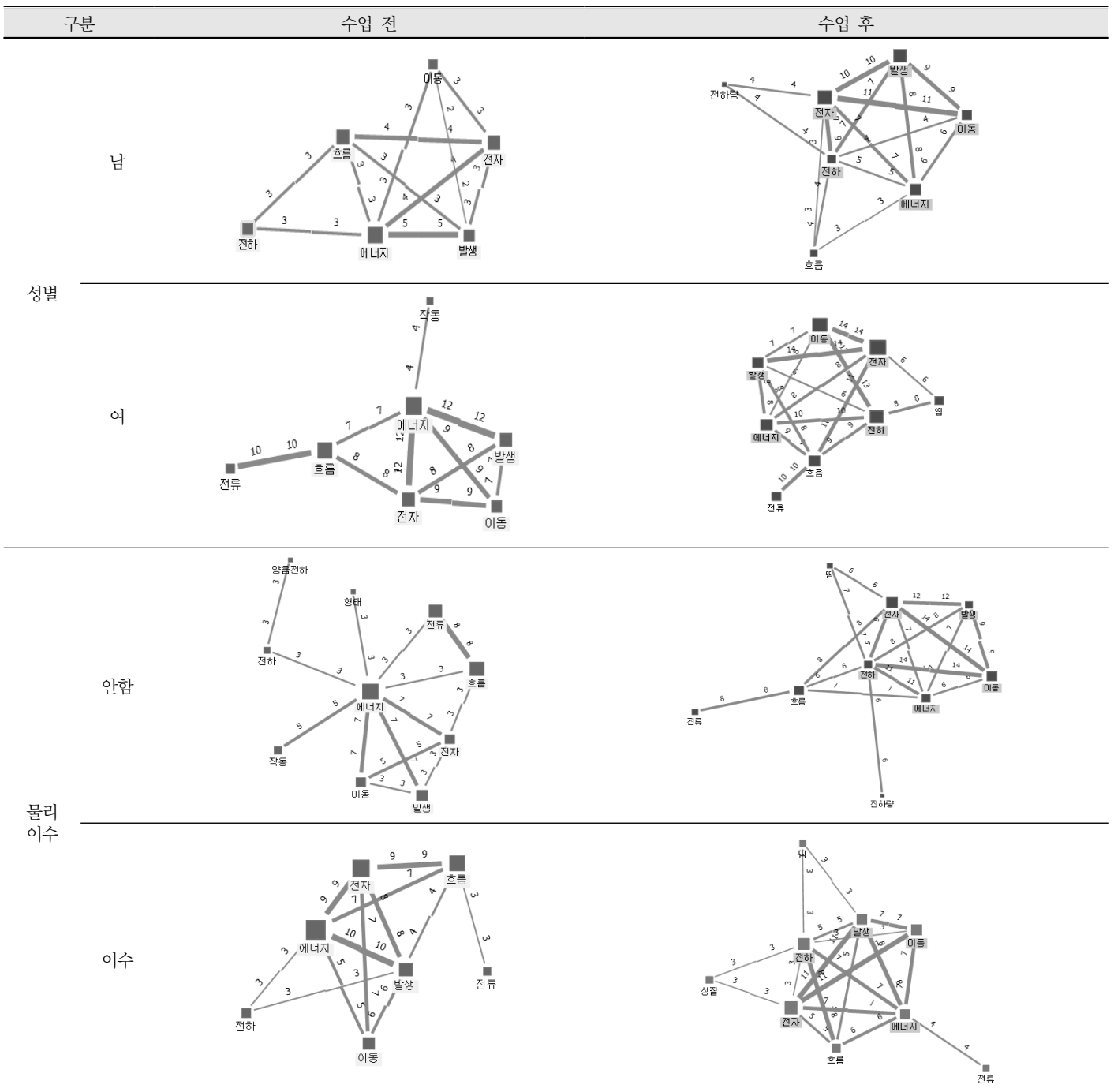
Figure 2. Network analysis on the definition of 'electricity' terminology

단어가 동시에 출현한 빈도가 높았고, 노드 간 연결선 기준(강도)은 에너지와 발생(17), 에너지와 전자(16), 에너지와 이동(12), 에너지와 흐름(10), 전자와 흐름(12) 순이었다. 수업 전 대학생들은 '전기'를 정의할 때 '에너지'를 가장 많이 사용하며 에너지와 관련하여 전자, 이동, 흐름 등으로 '전기'에 대한 인지 구조를 갖고 있었다. 수업 후에는 전자, 이동, 전하, 에너지, 발생의 출현 빈도와 다른 단어가 동시에 출현한 빈도가 높았고, 노드 간 연결선 기준(강도)은 전자와 이동(25), 전자와 발생(23), 전하와 에너지(18), 전하와 이동(17), 전하와 발생(13)순으로 나타났다. 수업 후에는 대학생들이 '전기'를 정의할 때 전자, 전하, 이동, 발생 등을 가장 많이 사용했다. 수업 전 대학생들이 전기를 정의할 때 '전기관 전자들의 움직임으로 생기는 에너지이다'라는 진술이 가장 많은 반면, 수업 후에는 '전기관 전자의 이동 또는

전하의 이동으로 생기는 것이다'란 진술이 가장 많았다. 이는 수업 전 대학생들이 '전기'를 정의할 때 Figure 2의 (A)에서 보는 것과 같이 '에너지'를 중심으로 발생, 이동, 흐름 등으로 네트워크 구조를 이루는 것을 볼 수 있다. 하지만 수업 후에는 Figure 2의 (B)에서 보는 것과 같이 '전자'나 '전하'를 중심으로 발생, 이동, 흐름 등으로 네트워크 구조를 이루고 있으며, 연결선도 여러 선으로 강하게 연결된 것을 볼 수 있다. 이는 대학생들이 갖고 있는 '전기'에 대한 인지 구조가 수업을 통해서 새로운 인지 구조로 변형된 것을 의미한다.

대학생들의 성별과 고등학교 때 물리 과목 이수 여부에 따라 '전기'의 정의에 대한 차이가 있는지 네트워크 분석을 하였다. 핵심 단어들의 연결망 노드 수를 간소화하기 위해 연결선 강도를 다르게 하여 Table 5와 같이 간략하게 시각화하였다. 성별에 따른 네트워크 분석

Table 5. Network analysis of Gender and the completion of physics class on the definition of 'electricity' terminology



결과는 Table 5와 같다. 수업 전 남학생들의 핵심 단어 출현 빈도는 에너지, 흐름, 전자, 발생 순이고, 노드 간 연결선 기준(강도)은 에너지와 발생, 에너지와 전자, 전자와 흐름 순이었다. 여학생들의 핵심 단어의 출현 빈도는 에너지, 발생, 이동, 전자 순이고, 노드 간 연결선 기준(강도)은 에너지와 전자, 에너지와 발생, 에너지와 이동, 전자와 이동 순이었다. ‘전기’ 용어를 정의할 때 남학생이나 여학생들은 에너지, 발생, 이동, 전자 중심으로 비슷한 네트워크 구조를 이루었다. 이는 성별에 상관없이 ‘전기’를 정의할 때 에너지의 발생이나 이동 및 전자의 이동으로 비슷한 인지 구조를 이루고 있다고 볼 수 있다. 수업 후 남학생들의 핵심 단어 출현 빈도는 전자, 발생, 에너지, 이동, 전하 순이고, 노드 간 연결선 기준(강도)은 전자와 이동, 전자와 발생, 전자와 전하 순이었다. 여학생들의 핵심 단어 출현 빈도는 전자, 이동, 흐름, 전하, 에너지 순이고, 노드 간 연결선 기준(강도)은 전자와 이동, 전자와 발생, 전하와 이동, 전자와 흐름 순으로 나타났다. 수업 후 남·여학생들의 ‘전기’ 용어의 정의에 대한 네트워크 구조는 ‘전자와 이동’, ‘전자와 발생’, ‘전하와 전하’를 중심으로 비슷한 인지 구조를 형성하는 것을 볼 수 있다.

고등학교 때 물리 과목 이수 여부에 따른 네트워크 분석 결과는 Table 5와 같다. 수업 전 고등학교 때 물리를 이수하지 않은 대학생들의 핵심 단어의 출현 빈도는 에너지, 흐름, 전류, 발생, 이동 순이고, 노드 간 연결선 기준(강도)은 전류와 흐름, 에너지와 전자, 에너지와 발생, 에너지와 이동 순이었다. 고등학교 때 물리를 이수한 대학생들의 핵심 단어의 출현 빈도는 에너지, 전자, 흐름, 발생, 이동 순이고, 노드 간 연결선 기준(강도)은 에너지와 발생, 전자와 흐름, 전자와 에너지, 전자와 발생, 전자와 흐름 중심으로 다른 네트워크 구조를 이루고 있다. 수업 후 고등학교 때 물리를 이수하지 않은 대학생들의 핵심 단어의 출현 빈도는 전자, 이동, 흐름, 에너지, 전하 순이고, 노드 간 연결선 기준(강도)은 전자와 이동, 전하와 이동, 전자와 발생 순이었다. 고등학교 때 물리 과목을 이수한 대학생들의 핵심 단어의 출현 빈도는 전자, 전하, 발생, 이동, 에너지 순이고, 노드 간 연결선 기준(강도)은 전자와 이동, 전자와 발생, 전하와 흐름 순이었다. 수업 후에는 고등학교 때 물리 과목 이수 여부에 상관없이 ‘전자와 이동’, ‘전자와 발생’, ‘전하의 이동’을 중심으로 비슷한 네트워크 구조를 형성하는 것을 볼 수 있다.

수업 전 대학생들은 성별에 상관없이 ‘전기’ 용어의 정의에 대해서 비슷한 네트워크 구조를 갖고 있으며, 고등학교 때 물리 과목 이수 여부에서는 다른 네트워크 구조를 이루고 있었다. 하지만 수업 후에는 대학생들의 성별이나 고등학교 때 물리 과목 이수 여부와 상관없이 비슷한 네트워크 구조를 갖는다. 이는 수업 전 고등학교 때 물리 과목 이수 여부에 따라서는 다른 인지 구조를 갖지만 수업 후에는 학습 내용에 의해서 대학생들의 특성에 상관없이 비슷한 인지 구조를 갖게 되었다고 해석할 수 있다.

IV. 결론 및 제언

이 연구에서는 네트워크 분석법을 통해서 수업 전과 후의 ‘전기’

용어에 대한 대학생들의 연상 단어 및 정의에 사용하는 핵심 단어가 무엇인지 살펴보고, 대학생들의 성별과 고등학교 때 물리 과목 이수 여부에 따라 핵심 단어들이 어떻게 활성화되어 네트워크 구조를 이루는지 알아보고자 하였다.

이 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다. 수업 전 대학생들이 ‘전기’하면 가장 많이 머릿속에 떠올리는 단어는 ‘에너지’이었다. 머릿속에 떠올리는 단어들은 대부분 일상생활 속에서 경험한 것이었다. 수업 후에는 ‘에너지’에서 ‘전류’, ‘전자’로 변화되었다. 수업 후에는 일상생활 속에서 경험한 단어들보다는 수업 시간에 배운 전류, 전자, 전하, 전압 등의 단어들을 많이 떠올리며 연결선 강도가 증가하였다. 이는 수업시간에 배운 학습내용에 의해서 대학생들의 인지 구조에 전자, 전류, 전하 등의 단어들이 더욱 강하게 연결된다는 것을 의미한다. 대학생들의 성별과 고등학교 때 물리 과목 이수 여부에 따라서는 다른 네트워크 구조를 이루고 있었지만, 수업 후에는 학습자의 특성에 상관없이 비슷한 네트워크 구조를 이루었다. 이는 수업 전 학습자의 특성에 따라 ‘전기’ 용어에 대한 각기 다른 특정한 인지 구조를 갖고 있지만 수업 후에는 학습 내용에 의해서 학습자의 특성에 상관없이 유사한 인지 구조를 갖는다는 것을 의미한다.

수업 전 대학생들이 ‘전기’ 용어를 정의할 때 가장 많이 사용한 단어는 ‘에너지’, ‘흐름’, ‘전자’였다. 대학생들이 ‘전기’를 정의할 때 에너지, 발생, 이동, 흐름으로 네트워크 구조를 이루고 있었다. 수업 후에는 ‘에너지’에서 ‘전자’나 ‘전하’의 흐름에 대한 의미로 변화하였다. 수업 후 ‘전자’, ‘이동’, ‘전하’는 대학생들의 ‘전기’의 정의에 중요한 인지 구조를 이룬다. 대학생들이 기술한 전기의 정의를 살펴보면 “전기란 전자의 이동 또는 전하의 이동으로 생기는 것이다”란 진술이 가장 많았다. 이는 ‘전자’나 ‘전하’를 중심으로 발생, 이동, 흐름 등으로 네트워크 구조를 이루고 있으며 연결선도 여러 선으로 강하게 연결된 것을 볼 수 있다. 대학생들이 가지고 있는 ‘전기’의 정의에 대한 인지 구조가 수업을 통해서 새로운 인지 구조로 변화되었다. 수업 전 대학생들은 성별에 상관없이 비슷한 네트워크 구조를 갖고 있으며, 고등학교 때 물리 과목 이수 여부에서는 다른 네트워크 구조를 이루었다. 하지만 수업 후에는 대학생들의 성별이나 고등학교 때 물리 과목 이수 여부에 상관없이 비슷한 네트워크 구조를 가지게 된다. 이는 수업 전 대학생들은 ‘전기’ 용어에 대해 학습자의 특성에 따라 각기 다른 특정한 인지 구조를 갖고 있지만 수업 후에는 학습 내용에 의해서 학습자의 특성에 상관없이 유사한 인지 구조를 갖는다는 것을 의미한다.

연구 결과를 통해서 얻은 결론은 다음과 같다. 첫째, ‘전기’는 에너지, 전류, 전하, 전력 등과 같은 물리량이 아니고 전기적 현상을 의미한다는 것을 가르칠 필요가 있다. ‘전기’라는 용어는 과학적 의미에서 전기 현상만을 뜻한다(Choi & Jeon, 2009). 그러나 일상생활에서 전기 기구, 전기 에너지, 전기 제품, 전기세 등의 용어로 많이 사용하며, 전기 제품을 작동 시키는 데에 필요한 에너지로 이해한다(Kim & Oh, 2004). 또한 초·중등 과학과 교육과정에서 ‘전류’, ‘전압’, ‘저항’, ‘전하’, ‘전력’ 등의 비슷한 용어들을 교과서에서 동시에 배우게 되므로 각 용어를 구별하는 데에 어려움을 느낀다(Kim & Oh, 2004). 연구 결과를 보면 수업 전 대학생들이 ‘전기’하면 가장 많이 머릿속에 떠올리는 단어는 ‘에너지’였다. 머릿속에 떠올리는 단어들은 감전, 번개, 콘서트 등과 같이 대부분 일상생활 속에서 경험한 단어들로 네트워크

구조를 이루었다. 수업 후에는 전자, 전류, 전하, 전력 등과 같이 수업 내용과 관련하여 네트워크 구조를 이루었다. 대학생들이 전기를 정의할 때 수업 전에는 “전기란 전자들의 움직임으로 생기는 에너지이다”라는 진술이 가장 많은 반면, 수업 후에는 “전기란 전자의 이동 또는 전하의 이동으로 생기는 것이다”란 진술이 가장 많았다. 이는 수업 후에도 전기의 개념을 전류 개념으로 생각한다는 것을 알 수 있다. 이는 전자, 전하, 전류, 저항, 전력 등과 같이 ‘전기’와 관련된 용어를 사용하는 데에 별로 주의하지 않고 대부분의 용어에 전기를 대체해서 사용하기 때문이다(Choi & Jeon, 2009). 또한 과학 교과서에서 ‘전기’의 의미를 설명하지 않으며(Kim & Oh, 2004), 대학 물리학 교재에서도 구체적으로 설명하지 않고 있다. 과학 수업에서 교수자와 학습자의 의사소통 수단으로 과학 용어를 사용하기 때문에 수업에서 사용되는 과학 용어에 대한 이해는 매우 중요하다(Yager, 1983). 과학 용어에 대한 교사의 이해는 학생들의 과학 용어에 영향을 미친다(Carrier, 2013). 미래의 교사가 될 교육대학교 대학생들에게 에너지, 전자, 전류, 전하, 전력 등의 단어들과 구분하여 ‘전기’에 대한 의미를 구체적으로 가르칠 필요가 있다. 대학생들로 하여금 ‘전기’ 용어에 대한 올바른 과학적 개념을 갖고 사용하도록 지도하여야 한다.

둘째, ‘전기’ 용어에 대한 네트워크 분석 결과는 학습자 이해 및 학습자의 학습을 돕기 위한 교수·학습 자료로 활용할 수 있다. 네트워크 분석법은 학습자가 보이지 않는 특정 내용을 어떤 방식으로 인식하여 인지 구조를 형성하고 있는지 시각화 하고, 학습자의 특성에 따른 통합적 정신모형을 구축하는 데에 기존의 방법들보다 용이한 장점이 있다(Lee & Ha, 2012). 이 연구에서 네트워크 분석을 통해서 ‘전기’ 용어에 대한 대학생들의 인지 구조를 시각화하여 살펴 볼 수 있었다. 수업 전 ‘전기’하면 가장 많이 떠올리는 단어가 무엇이고 어떤 단어와 단어들이 ‘전기’를 정의할 때 강하게 연결되어 네트워크 구조를 이루는지를 학습자의 특성에 따라 알아보았다. 수업 전 대학생들은 ‘전기’를 정의할 때 에너지를 중심으로 발생, 이동, 흐름 등으로 네트워크 구조를 이룬다. 하지만 수업 후에는 전자나 전하를 중심으로 발생, 이동, 흐름 등으로 네트워크 구조를 이루며 연결선도 강하게 연결되었다. 대학생들이 갖고 있는 ‘전기’ 개념에 대한 인지 구조가 수업을 통해서 새로운 인지 구조로 변화된 것을 확인했다. 대학생들의 ‘전기’ 용어에 대한 네트워크 분석법을 통해서 대학생들의 성별이나 고등학교 때 물리과목 이수 여부에 따른 다른 네트워크 구조를 확인할 수 있었다. 연구 결과를 통해서 알게 된 대학생들의 ‘전기’ 용어에 대한 연구결과들은 전기 단원을 학습할 때 학습자들의 학습을 돕기 위한 교수 전략이나 학습 자료를 개발하는 데에 활용할 수 있다.

이 연구에서는 대학생들에게 특정한 상황에서 ‘전기’ 용어에 대한 연상 단어 및 정의를 하도록 제한을 두지 않았다. 특정한 상황을 예로 들어 일상생활이나 과학적 상황으로 나누어 질문을 했다면 다른 네트워크 구조가 나타날 수도 있다. 그러므로 특정한 상황에 따른 과학 용어에 대한 학습자의 네트워크 구조를 분석할 필요가 있다. 또한 교수자의 특성이나 특정한 교수 전략에 따른 학습자의 네트워크 구조의 변화가 생길 수 있다. 학습자의 네트워크 구조의 변화를 분석하여 교수자의 특성이나 수업 처치의 따른 효과를 검증하는 데에 활용할 수 있을 것이다.

국문요약

이 연구의 목적은 네트워크 분석법을 활용하여 ‘전기’ 용어에 대한 연상 단어 및 정의에 사용한 핵심 단어가 무엇인지 확인하고, 핵심 단어들이 어떻게 활성화되어 인지 구조를 이루는지 알아보는 데 있다. 연구대상은 지방 소재 교육대학교 1학년 대학생 총 83명으로 하였다. 대학생들의 성별과 고등학교 때 물리 과목 이수 여부에 따라 수업 전과 수업 후로 나누어 ‘전기’ 용어에 대한 연상 단어 및 정의를 네트워크 분석하였다. 연구 결과 대학생들이 ‘전기’하면 가장 많이 떠올리는 단어는 수업 전 ‘에너지’이고 수업 후에는 ‘전류’, ‘전자’이다. 그리고 ‘전기’ 정의에 가장 많이 사용한 단어는 수업 전 ‘에너지’, ‘흐름’, ‘전자’이고 수업 후에는 ‘전자’, ‘이동’, ‘전하’이다. ‘전기’ 용어의 연상 단어에는 성별과 고등학교 때 물리 과목 이수 여부에 따라 조금 다른 네트워크 구조를 이루고 있었지만, 수업 후에는 대학생들의 특성에 상관없이 비슷한 네트워크 구조를 보였다. ‘전기’ 용어의 정의에서는 수업 전 성별에 따라서는 비슷한 네트워크 구조를 갖고 있었고, 고등학교 때 물리 과목 이수 여부에 따라서는 조금 다른 네트워크 구조를 보였다. 하지만 수업 후에는 대학생들의 특성에 상관없이 비슷한 네트워크 구조가 나타났다. 끝으로 대학생들의 ‘전기’ 용어에 대한 네트워크 분석 결과에 대한 교육적 시사점을 논의하였다.

주제어 : 전기 용어, 연상 단어, 전기의 정의, 네트워크 분석

References

- Carrier, S. J. (2013). Elementary preservice teachers' science vocabulary: Knowledge and application. *Journal of Science Teacher Education*, 24(2), 405-425.
- Choe, Y. (2003). International comparison of curricula about electricity and magnetism in primary and secondary school. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 23(1), 86-99.
- Choi, J. & Jeon, D. (2009). How mixed use of 'electricity' and 'charge' misleads scientific ideas and suggestions for improvement. *Sae Mulli*, 59(1), 8-17.
- Collins, A. M., & Loftus, E. F. (1975). A spreading activation theory of semantic processing. *Psychological Review*, 82(6), 407-428.
- Cui, X., Wen, J., Yoon, C., Shung, J., & Han, S. (2012). Network analysis of two different types of common science textbooks: Modular and integrative types. *New Physics: Sae Mulli*, 62(4), 343-351.
- diSessa, A. A. (1993). Toward an epistemology of physics. *Cognition and Instruction*, 10(2&3), 105-225.
- Goffman, E. (1974). *Frame analysis: An essay on the organization of experience*. NY: Harper & Row.
- Gussarsky, E., & Gorodetsky, M. (1988). On the chemical equilibrium concept: Constrained word associations and conception. *Journal of Research in Science Teaching*, 25(5), 319-333.
- Hammer, D., & Elby, A. (2002). On the form of a personal epistemology. In B. K. Hofer & P. R. Pintrich (Eds), *Personal epistemology: The psychology of beliefs about knowledge and knowing* (pp. 169-190). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Hammer, D., Elby, A., Scherr, R. E., & Redish, E. F. (2005). Resources, framing, and transfer. In Mestre (Eds), *Transfer of learning from a modern multidisciplinary perspective* (pp. 89-120). Greenwich, CT: Information Age Publishing.
- 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.
- Ji, S., & Marcia, C. L. (2011). A technology-enhanced unit of modeling static electricity: Integrating scientific explanations and everyday observations. *International Journal of Science Education*, 33(12), 1597-1623.
- Kim, D. (2013). An analysis of scientific concepts pre-service elementary school teachers have through semantic network analysis. *Journal of*

- Korean Elementary Science Education, 32(3), 327-345.
- Kim, E., & Hann, A. (1996). Investigation of elementary education major students' understanding of concepts in electricity and magnetism related to the simple circuits taught in elementary school. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 15(1), 29-44.
- Kim, B., & Kim, J. (2014). Analysis of articles related STEAM education using network text analysis method. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 33(4), 674-682.
- Kim, H., & Lee, B. (2006). Why do secondary students perceive physics is uninteresting and difficult? *Sae Mulli*, 52(6), 521-529.
- Kim, J., & Oh, W. (2004). Junior high-school students' thoughts on dividing static electricity and electricity. *Sae Mulli*, 49(3), 224-231.
- Kim, T., Shin, K., Lee, S., & Lee, B. (2008). A survey of middle school science teacher's concepts of electricity and magnetism. *Sae Mulli*, 57(5), 318-331.
- Kwon, S., & Lee, J. (2004). Elementary school students' psychological proximity of electricity and magnetism concepts. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 23(3), 199-207.
- Lee, M. (2012). A study on the changes and meanings of geological terminologies for elementary school science level. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 31(4), 424-435.
- Lee, B., & Choi, E. (2008). Effect of learning chinese characters on understanding the vocabulary of physics. *Sae Mulli*, 57(2), 115-119.
- Lee, J., & Ha, M. (2012). Semantic network analysis of science gifted middle school students' understanding of fact, hypothesis, theory, law, and scientificness. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 32(5), 823-840.
- Lee, H., Lee, D., & Lee, J. (2010). Development of franchise education program through semantic network analysis. *Korea Business Review*, 14(2), 105-128.
- Lee, J., Shin, S., & Ha, M. (2015). Comparing the structure of secondary school students' perception of the meaning of 'experiment' in science and biology. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 35(6), 997-1006.
- Lim, A., & Jhun, Y. (2014). An Analysis of teachers and students' difficulties in the classes on 'electric circuit' unit of elementary school science curriculum. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 33(3), 597-606.
- Maja, P. (2006). Assessment of difficulties of some conceptual areas from electricity and magnetism using the conceptual survey of electricity and magnetism. *American Journal of Physics*, 74(12), 1143-1148.
- Oh, P. (2015). A theoretical and trial application of the 'Resources-Based View'(RBV) as an alternative cognitive theory. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 35(6), 971-984.
- Park, J., Choi, K., & Kim, M. (2004). *Physics education introduction*. Seoul: Bookshill Publication Co.
- Park, K., Chung, D., Ha, M., & Lee, J. (2014). High school teachers' and students' perceptions on the purpose of science learning based on the sematic network analysis. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 34(6), 571-581.
- Peters-Burton, E., & Baynard, L. (2013). Network analysis of beliefs about the scientific enterprise: A comparison of scientists, middle school science teachers and eighth-grade science students. *International Journal of Science Education*, 35(17), 2801-2837.
- Wasserman, S., & Faust, K. (1994). *Social network analysis: Methods and applications*. The press Syndicate of the University of Cambridge.
- Yager, R. E. (1983). The importance of terminology in teaching K-12. *Journal of Research in Science Teaching*, 20(6), 577-588.
- Yun, E., & Park, Y. (2013). Analysis of physics terminology in science textbooks for teaching science words. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 33(4), 735-750.
- Yun, E., & Park, Y. (2014). Consistency among the Glossary for a Textbook, the Glossary of Physics Terminology and the Pyojun Korean Unabridged Dictionary on the basis of the words used in middle-school science textbooks. *New Physics: Sae Mulli*, 64(2), 180-187.