

언어 네트워크 분석법을 통한 중학교 과학영재들의 사실, 가설, 이론, 법칙과 과학적인 것의 의미에 대한 인식 조사

이준기* · 하민수¹

전북대학교 · ¹오하이오주립대학교

Semantic Network Analysis of Science Gifted Middle School Students' Understanding of Fact, Hypothesis, Theory, Law, and Scientificness

Lee, Jun-Ki* · Ha, Minsu¹

Chonbuk National University · ¹The Ohio State University

Abstract: The importance of teaching the nature of science (NOS) has been emphasized in the science curriculum, especially in the science curriculum for science-gifted students. Nevertheless, few studies concerning the structure and formation of students' mental model on NOS have been carried out. This study aimed to explore science-gifted students' understanding of 'fact', 'hypothesis', 'theory', 'law', and 'scientificness' by utilizing semantic network analysis. One hundred ten science-gifted middle school students who were selected by a national university participated in this study. We collected students' written responses of five items and analyzed them by the semantic network analysis(SNA) method. As a result, the core ideas of students' understanding of 'fact' were proof and reality, of 'hypothesis' were tentativeness and uncertainty, of 'theory' was proven hypothesis by experimentation, of 'law' were absoluteness and authority, and of 'scientificness' were factual evidence, verifiability, accurate and logical theoretical framework. The result of integrated semantic network illustrated that the viewpoint of science-gifted students were similar to absolutism and logical positivism (empiricism). Methodologically, this study showed that the semantic network analysis method was an useful tool for visualization of students' mental model of scientific conceptions including NOS.

Key words: nature of science, semantic network analysis(SNA), science gifted students, mental model

I. 서 론

과학의 본성은 과학교육의 중요한 목표로 인식되어져 왔으며, 과학 교육의 중심에 두어야 한다는 것이 과학교육계 전반에서 늘 강조되어왔던 내용이다(Lederman, 2007; Meichtry, 1993). 과학의 본성은 학생들에게 과학 내용을 학습하는데 도움을 주며, 과학자 공동체의 준거를 이해하는데 도움을 준다. 또한 과학을 동시대적 문화의 주요한 요소로 인정하는데 필요하고, 사회-문화적 이슈를 이해하고 의사결정에 참여하는데 필요한 요소이며, 과학을 이해하고 기술적 산물과 기술적 과정을 이해하는 데에도 도움을 준다(박은이, 홍훈기, 2010; Driver *et al.*, 1996). 이 가운데에서도 학생들이 이론이나 법칙과 같은 서로 다른 과학지식들의 차이와 개념을 올바르게 이해하

고, 어떤 것이 '과학적'인 것인가에 대해 바른 관점을 견지하는 문제는 과학의 본성을 이해하고 학생 스스로 탐구를 실천하는데 있어 핵심적인 영역이다. 하지만 그럼에도 불구하고 이에 대한 연구는 충분히 이루어지지 않고 있다(Kugler, 2002; 이은아, 박병건, 2008).

과학자들에게 있어서 과학의 본성은 연구자의 세계관을 통해 그들의 탐구과정 전반 - 예를 들어 자연현상에 대한 관찰, 사실증거의 수집, 가설생성, 이론의 정립, 문제해결 과정, 의사결정 과정 등 - 에 영향을 줄 수 있다(Bybee, 1997; 정충덕, 강경희, 2008). 따라서 장차 미래 과학계를 이끌고 나아갈 과학영재들이 과학의 본성을 올바르게 이해하는 것은 중요하다 할 수 있다. 특히나 다양한 과학지식의 개념과 이에 따른 차이점을 이해하는 것은 장차 과학의 최전선에

*교신저자: 이준기(junki@jbnu.ac.kr)

**2012.01.30(접수) 2012.05.16(1심통과) 2012.06.13(2심통과) 2012.07.27(최종통과)

서 새로운 과학지식의 생성을 도맡을 과학영재들에게는 없어서는 안 될 인식론적 기초라 할 수 있다(Liu & Lederman, 2002; 김정대 등, 2006; 박은이, 홍훈기, 2010). 더욱이, 다양한 과학의 본성 요소들 중 과학탐구 과정에서 빠지지 않고 사용되는 사실, 가설, 이론, 법칙과 같은 과학지식에 대한 올바른 이해와 이를 기반으로 한 과학적인 것에 대한 인식은 중요하다(Tuberty *et al.*, 2011).

과학의 본성에 대한 학생들의 개념을 조사하는 연구는 1945년 Wilson에 의해 시작된 바 있으며(Lederman, 2007), 이후 많은 연구자들에 의해 다양한 도구와 방법으로 학생과 교사의 과학의 본성에 대한 개념구조를 알아내려는 연구가 줄을 이었으며, 이제는 하나의 분명한 연구 분야로 자리매김하고 있다(소원주, 1998; 나지연, 송진웅, 2010). 과학의 본성에 대한 바른 인식을 함양하고자 다양한 교수-학습 방법이 구상되고 발표되고 있으나(Abd-El-Khalick & Akerson, 2004; 박종원, 김두현, 2008; 박은이, 홍훈기, 2010; 장명덕 등, 2002) 수업전략의 개발보다도 더욱 중요한 것은 학생이나 교사 스스로 어떤 과학 철학적 관점을 견지하고 있는지를 확인할 수 있는 명확한 개념 생태적 구조의 진단일 것이다.

구성주의적 교수법에서는 수업을 계획하기 이전에 학생들의 사전 지식이나 사전 개념 구조를 확인하는 것을 중요한 단계로 강조한다(Hammer, 1996). 과학의 본성에 관한 수업을 계획하는데 있어서도 학생들의 과학의 본성에 관한 지식이나 선개념을 확인해야 될 것이다. 이에 지난 20여 년간 국내·외 과학교육 연구자들은 과학의 본성과 관련된 다양한 검사도구들을 목적에 맞게 개발하고 활용해 왔다(나지연, 송진웅, 2010). 과학의 본성에 대한 검사방법은 국내에서는 선택식 검사도구의 활용빈도가 높고 통계적인 방법을 활용하여 학생들의 과학에 대한 본성의 이해를 전체적으로 확인하는 방법을 활용한다(김지나 등, 2008; 백성혜 등, 2005; 이은아, 박병건, 2008; 노태희 등, 2002; 송진웅, 권성기, 1992; 양일호 등, 2005; 장병기, 2004), 국외의 연구들은 개방형 검사지나 면담법을 활용한 질적 연구(Schwartz *et al.*, 2004)가 선호되고 있다(나지연, 송진웅, 2010).

학생들이 어떤 형태로 과학 개념을 이해하고 있는지에 관한 인지심리학자들의 다양한 견해가 있지만, 이 연구에서는 ‘조각난 지식(fragmented knowledge)’

의 관점으로 접근하고자 한다. diSessa(2008)는 학생들의 과학 지식은 다양한 조각들이 유기적으로 뭉쳐진 형태라고 하였다. 개개의 학생들은 다른 형태의 조각 지식들을 가지고 있으며 각 조각지식들의 구조 역시 다르다. diSessa(2008)의 관점을 근거로 보았을 때 가설, 이론, 사실 등과 같은 과학적 개념에 대한 학생들의 이해 역시 다양한 형태로 존재할 수 있다는 것이다. 하지만, 교사가 수업을 계획할 때 굉장히 다양한 형태의 학생들의 이해를 반영할 수 없을 것이다. 비록 개개인의 학생들을 위한 맞춤형의 수업이 이상적인 형태일 수 있지만 교사의 입장에서는 학생들의 개념 수준에 대한 전체적인 구조에 대한 이해가 있어야 교실 수업을 위한 구성주의적 수업계획안을 작성할 수 있을 것이다. 기존에 널리 사용되고 있는 마인드맵이나 개념도로 학생들의 개념구조를 파악하는 데에는 용이할 수 있으나(김정여, 김영수, 2006), 이들 자료를 통합하여 전체적인 통합정신모형 구축에는 곤란하였다. 그 외에도 개념생태 연구에서 종종 사용되는 ‘지식상태분석법(knowledge state analysis)’은 지식공간론을 이용한 방법론으로 Doignon과 Falmagne(1999)에 의해 주장된 지식의 위계성에 바탕을 두고 있다. 지식상태분석법은 통상 핫세 다이어그램(Hasse diagram)을 통해 구조적으로 시각화 하며, 평가결과를 해석할 때, 학생들의 점수나 성적 등의 숫자 요소를 사용하지 않고, 단지 문항을 맞추었느냐 그렇지 않았느냐의 사실만을 다루는 것을 특징으로 한다(송하영, 김영신, 2010). 그러나 이 방법은 간단한 위계구조를 파악하는 데는 좋으나 구조 생성을 위해 반드시 피험자의 문제풀이 과정이 선행되어야만 하고, 정신모형 내의 개념들에 관한 전체적인 구조면이나 특정 개념의 관계를 통한 창발적 매개 능력 등은 알아내기 어려운 단점이 있다.

이와 같은 기존의 방법의 단점을 보완하고 개개인의 학생들의 조각난 지식들을 데이터로 활용하여 전체적인 그림을 그릴 수 있는 방법이 ‘언어 네트워크 분석법’이다. 언어 네트워크 분석법은 본래 사회 네트워크 분석법에서 파생된 연구 방법으로 응답자들이 생성한 어휘의 의미구조 연결을 네트워크적으로 이해하고 이를 통해 인지적 프레임이나 특정 개념의 정신모형 등을 파악하는데 주력하고 있다. 언어 네트워크 분석법의 활용범위는 교과서 내의 과학용어 연계성 맥락(박별나 등, 2010), 특정 학문 분야의 공저자 연

계성(임병학, 2011), 일정 시기 동안의 연구 동향 구조 변화 파악(최영출, 박수정, 2011), 설득에 따른 갈등 프레임의 변화관찰(심준섭, 2011) 등과 같이 다양하다. 따라서 이 연구에서는 중학교 과학영재들이 인식하고 있는 과학의 본성적 측면 중 사실, 가설, 이론, 법칙 그리고 과학적인 것의 의미에 대하여 새롭게 등장하고 있는 언어 네트워크 분석법을 통해 이들의 개념구조에 관한 정신모형을 구축하고 그 특성을 비교해 보고자 하였다.

II. 이론적 배경

언어 네트워크 분석(Semantic Network Analysis: SNA) 혹은 언어 연결망 분석은 구성 요소들 간의 관계를 찾아내어 시스템의 구조를 파악하는 (Wasserman & Faust, 1994) 사회네트워크 분석법을 언어에 적용한 새로운 방법론이다. 언어 네트워크 분석법¹⁾은 공유된 상징적인 의미를 기반으로 하여 개념 사이의 관계를 파악해 내는데 편리하다. 언어 네트워크 분석법은 언어가 인간의 기억 속에 층위적으로 군집한다는 학습 이론에 바탕을 두고 있다(Collins & Quillian, 1972). 언어, 즉 상징으로서의 커뮤니케이션 메시지는 인지적인 요소로 구성된 사회 시스템의 하나로 볼 수 있으며(박한우, Leydesdorff, 2004), 구성단위는 단어이며 이들 간의 관계는 특정한 의미의 표상을 나타낸다고 유추해 볼 수 있다(Barnett & Woelfel, 1988). 이러한 이론에 바탕을 둔 Atkinson과 Shiffrin(1968)의 연결 네트워크 모형은 인간의 기

억구조가 어떻게 구성되어있고 이것이 어떤 과정을 거쳐서 저장되고 인출되는가에 대한 설명을 제공하는 대표적 이론 중 하나이다. 그들의 모형에 따르면 인간의 기억구조는 관련 개념끼리 일종의 네트워크를 통해 연결된 상태로 저장되어 있으며, 따라서 이러한 기억정보들의 인출시에는 네트워크 적인 연쇄 활성화가 중요하다고 역설하였다. 이는 과학교육에서도 학습자의 개념형성에 대한 오랜 연구를 통해 강조되어 왔으며(diSessa, 2008; Hammer, 1996), 현대 인지신경 과학(cognitive neuroscience)에서도 점화 이론(priming theory) 등을 통해 실험적으로 여러 차례 확인된 바 있다(Dehaen *et al.*, 2001; Nakamura *et al.*, 2007).

Anderson(1983)은 이러한 네트워크적인 개념의 형성과 인출 현상에 대해 활성화 확산이론(Spreading activation theory)을 들어 설명하고 있다. 활성화 확산 이론은 기억 속에 입력된 개념은 각기 개별적인 노드(node)가 되고, 이들이 연관관계에 따라 연결고리(link)로 연결되어 그림 1과 같은 과정을 통해 인지구조 형태로 자리 잡게 된다. 인간의 장기기억 속에 입력된 정보들은 이처럼 네트워크 조직을 형성하여 저장되며, 어떤 정보에 노출 될 때 그 정보와 연결된 다른 정보들이 연상되고 이렇게 연상된 관계가 다시 저장되는 식의 반복과정을 무수히 거치면서 고차적인 개념학습과 인지구조 형성이 이루어진다(Collins & Loftus, 1975).

이러한 네트워크들은 서로 통합되고 분리되면서 독특한 학습자들마다의 인지구조인 스키마(schema)를 형성한다. 그러나 일단 형성된 작은 단위의 네트워크

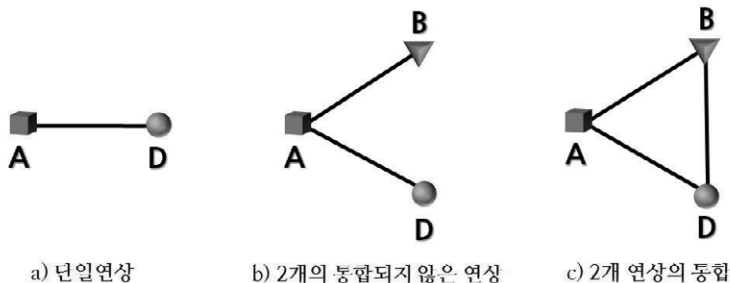


그림 1 활성화 확산에 의한 개념 네트워크 형성과정(이혜준 등, 2010)

1) 엄밀한 의미에서 언어네트워크 분석법은 하나의 방법론은 아니다. 언어네트워크분석법은 공유된 의미(shared meaning)에 기초하여 그 관계를 명확히 분석하기 위해 네트워크라는 그래프 기법을 이용하는 다양한 분석방법들을 한데 아울러 이르는 개념이다(심준섭, 2011; Doerfel, 1998). 현재까지 텍스트 데이터를 이용하여 네트워크 분석을 하는 다양한 분석방법들이 알려져 있는데 대표적인 것으로 네트워크텍스트분석(network text analysis: Popping, 2000), 중심화공명분석(centering resonance analysis: Corman *et al.*, 2002), 지도분석(map analysis: Carley, 1988), 단어네트워크분석(word network analysis: Danowski, 1993), 지식그래핑(knowledge graphing: Baker, 1987) 등의 변형된 분석방법들이 연구목적에 따라 활용되고 있다. 이 연구에서 활용한 언어네트워크분석은 여러 분석기법들 중 '단어네트워크분석법'에 해당한다.

인 개별 콤포넨트(component)만으로는 복잡한 문제 해결이나 과학적 설명의 생성에 도달하기는 어렵다.(그림 2-b) 때문에 전문성을 지닌 문제해결자는 비전문가에 비해서 네트워크적으로 연쇄 발화가 쉬운 유기적으로 통합된 형태의 스키마(그림 2-a)를 가지고 있다고 보고되고 있다(Sabella, 1999).

학습자가 특정 개념에 대해 인출해 놓은 언어정보는 그것이 음성언어이든 문자언어이든시간에 자신이 연결 네트워크(associative network)를 통해 인지구조 내에 구조화 시켜 놓은 의미에 대한 표상인 것이다. 결국 학습자의 언어적 응답에 대해 언어 네트워크 분석을 수행하였다는 것은 마치 집단 내의 개인처럼, 인지구조라는 공간 내에서 벌어지는 인지 요소들 간의 사회 시스템 구조연결이라고 유추해 볼 수 있다(박한우, Leydesdorff, 2004).

언어 네트워크를 분석함에 있어 어휘의 맥락구조는 사회 네트워크 분석과정에서와 동일하다. 인지구조라는 사회에서 하나의 상징적 구성원은 단어가 된다. 이때 네트워크적 관점에서 중요한 것은 핵심(prominent) 단어 간의 의미론적 연관(semantic association)이다. 언어네트워크 분석은 의미 네트워크 분석으로도 불리며 많은 연구방법들이 개발되어 활용되고 있다. 최근 활용되고 있는 의미구조를 찾기 위한 방법론으로는 다차원 척도(MDS, Multidimensional scaling), 군집 분석(Cluster analysis), 네트워크 분석(Network analysis), 불리안 대수학(Boolean algebra), 서열분석(Sequence analysis) 등의 다양한 방법이 있다. 이중 네트워크 분석은 개념 사이의 연결양식을 분석하여 가시화함으로써 추상적인 의미구조를 구체화하는데 용이하다. 언어 혹은 의미 네트워크 분석(SNA, semantic network analysis)은 공

유된 상징적인 의미를 기반으로 하여 개념 사이의 관계를 파악하는 것을 기초로 하는 분석 방법이다(이혜준 등, 2010; Doerfel & Barnet, 1999). 종래의 개념구조 파악에 있어 사용되어 온 다른 분석 방법들의 경우, 단순히 빈도 분석을 통해 주요 개념들의 반복 언급 횟수를 정량적으로 제시하여 중요도를 강조하거나, 또는 문장의 의미를 연구자의 주관에 의존하여 분석하는 등 개념사이의 관계를 나타내는데 취약한 반면, 언어 네트워크 분석법은 개념들 사이의 관계를 시각적으로 묘사하여 중요한 개념과 각 개념들 사이의 관계 강도까지 한 눈에 알아 볼 수 있다는 장점을 가지고 있다(이혜준 등, 2010; 한관중, 2003). 이러한 언어 네트워크 분석법을 활용하면 활성화 확산을 통해 발생한 주요 과학개념들의 연상 네트워크를 추적 조사하는 것이 가능하고 아울러 이러한 구조에 대한 도식화가 용이할 것으로 전망된다.

Ⅲ. 연구 방법

1. 연구 참여자

남부권 소재 종합대학교 부설 과학영재교육원 소속 중학교 과학영재 110명(남 79명, 여31명)이 연구에 참여해 주었다. 대상 학생들은 해당 지역 중학교 학생들로서 추천, 창의적 문제해결력 검사, 면접의 3단계 과정으로 구성된 선발과정을 거쳐 과학영재교육원 프로그램에 참가하게 된 학생들이다.

2. 자료수집 및 전처리

중학교 과학영재들이 과학의 본성 영역중 과학지식

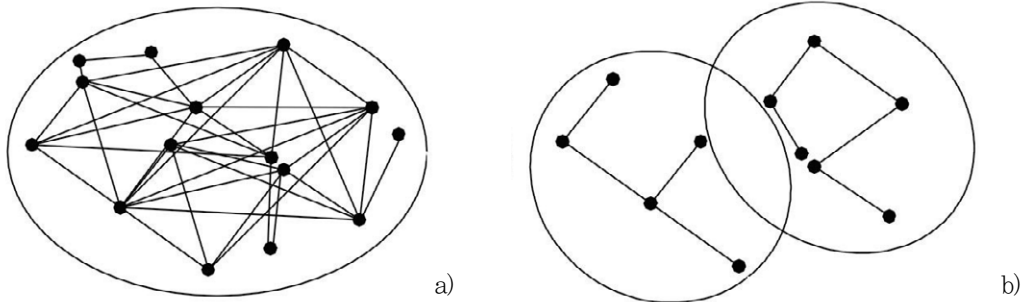


그림 2 부분적으로 형성된 네트워크 콤포넨트들의 통합에 의한 전문적 스키마의 형성. a) 유기적으로 통합되어 연쇄발화가 쉬운 전문적 문제해결자의 스키마 네트워크, b) 의미연결이 약한 비전문적 문제해결자의 스키마 네트워크(Sabella, 1999).

들(사실, 가설, 이론, 법칙)에 대한 내용과 과학적인 것의 의미를 어떻게 인식하고 있는지 알아보기 위하여 개방형의 검사지를 구성하였다. 검사지는 연구자들에 의해 제시된 개방형 문항(예를 들어, 과학에서 사용되는 ‘가설’이라는 용어의 의미를 설명해 주세요)에 대해 학생들이 자유롭게 자신들의 설명을 제시하는 방식으로 제작되었다. 이렇게 제작된 검사지를 통해 수집된 학생들의 응답은 모두 텍스트 파일(예, fact_text.txt)로 변환된 후 각 항목별로 통합되었다. 문장단위로 통합된 하나의 파일을 생성한 뒤에 문장 내의 단어만 남기고 조사와 서술어(동사)를 삭제하여 명사만 남기는 정제(cleaning)·작업(pre-processing, 텍스트 자료의 전처리)을 수행한다. 이 과정에서 그 자체로 의미를 갖지 않는 모든 단어를 함께 제거하고 아울러 의미상 서술어와 함께 연동 인식되는 명사는 의미가 유사한 단어로 교체해 준다. 예를 들어 ‘이’, ‘그’, ‘저’ 등의 관형사, ‘등’, ‘들’, ‘~적’ 등의 접미사, ‘그리고’, ‘그러나’, ‘그런데’ 등의 접속사는 정제 과정에서 삭제하였고 ‘확실하지 않은’의 경우는 의미 왜곡을 막기 위하여 ‘불확실’로 명사화한 후 교체하여 전 처리 하였다(박한우, Leydesdorff, 2004; 심준섭, 2011). 또한 설명과정에서 제시어 자신을 반복 사용한 경우는 제거하였다. 예를 들어 ‘사실’을 설명하는 과정에서 등장한 ‘사실’이라는 단어는 삭제하였다.

3. 언어 네트워크 분석 방법

이 연구는 중학교 과학영재들의 사실, 가설, 이론, 법칙 및 과학적인 것에 대한 의미를 어떻게 생각하고 있으며 이들 간의 의미연결 관계는 어떠한지 알아보기 위해 언어 네트워크 분석법을 활용하였다. 이를 위해 수집된 데이터는 정성적 조사 및 정량적 조사를 활용하여 분석되었다. 응답자들이 자유롭게 기입한 개방형의 조사 데이터를 분석하여 연구문제에 답하기 위하여 한국어 기반 대용량 언어 분석 프로그램인 KrKwic²⁾을 활용하였다. 전처리를 마친 텍스트 자료에 대해 KrKwic 프로그램을 이용하여 단어출현의 빈도를 점검하였다. 이 연구에서는 출현빈도 상위 20위에 드는 단어들을 핵심어로 선정하여 이후의 항목별

언어 네트워크 분석에 활용하였다. 최종적으로 선정된 각 항목별 20개의 핵심단어들을 통해 단어들 간의 ‘단어×단어’ 공출현 매트릭스가 만들어졌다. 마지막으로 이렇게 만들어진 공출현 매트릭스를 투입자료로 하여 사회 네트워크 전문 분석 프로그램인 UCINET 6.430를 활용하여 각종 분석지표들[밀도(Density), 연결 정도 중심성(degree centrality), 매개 중심성(betweenness centrality), 중심화지수(centralization)]을 도출해 내고, 같은 프로그램 내의 네트워크 지도화 프로그램인 NetDraw를 이용하여 핵심어 공출현 매트릭스를 시각화 하였다. 이때 네트워크 내의 동심원은 핵심어들 즉 노드(node)를 그리고 선(link)은 어휘가 동시에 출현한 빈도를 나타낸다. 언어 네트워크상에서 원의 크기는 중심성에, 선의 굵기는 공출현 빈도에 비례한다.

IV. 연구 결과 및 논의

1. 과학지식의 유형별 언어 네트워크

KrKwic 프로그램을 사용해 중학교 과학영재들이 응답한 설문지 원문을 분석한 결과 각 과학지식 유형별로 사용된 단어들의 리스트는 사실 142개, 가설 173개, 이론 184개, 법칙 161개, 과학적 192개였으며, 이들을 분석해 본 결과 과학지식의 유형별로 4개의 언어 네트워크로 나타낼 수 있었다. 언어 네트워크의 유의미한 분석을 위하여 KrKwic 언어분석 결과에서 이들 가운데 각 분석 영역별로 5회 이상 출현하는 핵심어이자 상위 20위 내에 소속된 것들에 대해서만 핵심어들 사이의 네트워크 텍스트 분석을 실시하였다(최영출, 박수정, 2011).

이러한 결과를 바탕으로 연구 참여자들이 응답한 내용을 전체 문장(full text) 단위로 분석하여 주요 단어간 공출현(co-occurrence) 빈도에 의한 코사인 매트릭스를 구하였다(심준섭, 2011). 또한 공출현 빈도 매트릭스의 결과를 바탕으로 응답 문장 속에서 발견되는 단어 사이의 관계를 보다 명확하게 규명하기 위하여 각 과학지식들 마다 언어 네트워크 지도를 작성하였다. 네트워크 지도상에서 각각의 원은 단어를 시

2) 'KrKwic' 프로그램은 박한우, Leydesdorff(2004)가 기존에 영어를 대상으로 한 내용분석 소프트웨어인 'Full text' 프로그램을 한국어에 맞도록 변형한 소프트웨어이다. KrKwic 프로그램은 세 가지의 서브프로그램으로 구성되는데, 화자의 단어사용 빈도를 계산해주는 KrKwic, 화자의 단어사용을 문장단위로 분석해주는 KrTitle, 화자의 단어 사용을 문단 단위로 분석해 내는 KrText이다. 이들 세 소프트웨어는 모두 무료로 사용할 수 있는 프리웨어이며 웹을 통해 손쉽게 다운로드 할 수 있다.

각화 한 것이며 이때 중심성 값이 높을수록 상대적으로 지름이 큰 원이 노드에 위치하게 된다. 또한 각 단어를 연결하고 있는 선과 화살표는 상호 동시 언급된 경우를 나타내는 것이다. 아울러 선의 굵기는 일종의 가중치(weighted value)로서 두 단어 사이의 관계의 정도에 비례하여 굵게 나타난다. Kamada와 Kawai (1989)의 Spring Embedded 알고리즘을 바탕으로, 다른 단어와 동시에 출현하는 빈도가 높은 단어는 언어 네트워크 지도상에서 중앙에 위치하게 되며, 두 단어 사이의 관계가 강하면 강할수록 상호간에 근접하게 위치하는 경향을 보인다. 이러한 노드를 이루는 단어들은 대체로 높은 중심성 값을 갖게 된다(이원준, 2010).

분석결과 나타난 중학교 과학영재들이 나타난 과학 지식과 ‘과학적’이라는 의미 표상에 대한 네트워크의 특성은 전체 구조 측면에서 살펴볼 때, 핵심어 사이의 네트워크는 전형적인 ‘작은세상 네트워크(small world network)’ 모형을 따른다. 작은 세상 네트워크 모형을 따른다는 사실은 한편으로는 다양해 보이

는 과학의 본성 인식 구조에 관한 정신모형의 네트워크가 개념별로 별도로 존재하기 보다는 거미줄같이 서로 유기적으로 연관되어 개념을 형성하고 또한 표상되고 있으며, 다른 한편으로는 핵심어 가운데에도 허브(hub)의 역할을 담당하는 핵심어가 존재한다는 사실을 의미한다. 계량적으로 도출된 결과와 네트워크 그래프를 개별 과학지식의 유형별로 제시해 보면 다음과 같다.

1) 사실(fact)

중학교 과학영재들의 과학지식에 대한 응답 중 ‘사실’에 대한 내용은 구조적인 면에서는 작은세상 네트워크를 형성한다(그림 3). 계량적 분석지표³⁾들을 살펴보면, 밀도(Density) 0.11, 평균 연결 정도 중심성(degree centrality) 12.82, 평균 매개 중심성(betweenness centrality) 2.11, 중심화지수(centralization) 0.11을 나타내는 언어 네트워크임을 알 수 있다.(표 1)

밀도란 한 네트워크에서 노드들 사이의 연결된 정

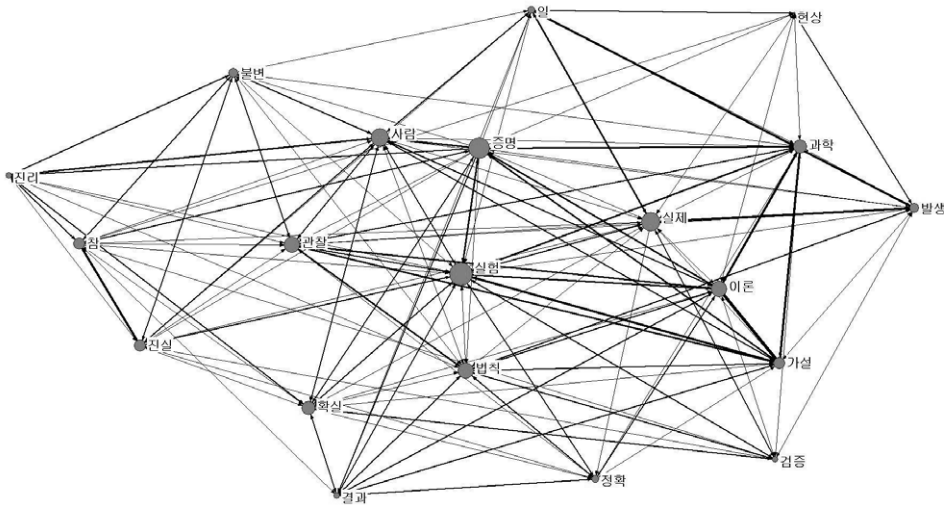


그림 3 중학교 과학영재들의 과학지식에 대한 응답 중 ‘사실’에 대한 언어 네트워크

3) 네트워크 밀도, 중심성, 중심화지수를 산출하는 방법은 각기 다음과 같다. 밀도 $D = \frac{l}{(p-1)/2}$ (D : 네트워크 밀도, l : 네트워크에 존재하는

링크의 수, p : 네트워크에 존재하는 노드의 수), 연결 정도 중심성 $(P_k) = \sum_{i=1}^n a(P_i, P_k)$ ($C_D(P_k)$: 노드 P_k 의 연결 정도 중심성, n : 네트워크 내

의 전체 노드의 수, a 링크에 의해 P_i 노드와 P_k 노드가 연결되어 있으면 $a(P_i, P_k) = 1$ 연결되어있지 않다면 0), 매개 중심성 $C_D(i) = \sum_{j < k} g_{jk}(i) / g_{jk}$

(g_{jk} 는 네트워크 내 특정 두 점(j 와 k) 사이에 존재하는 최단거리 경로에 대한 경우의 수이고, $g_{jk}(i)$ 는 두 점 j 와 $k(j \neq k)$ 사이에 존재하는 점 l 를

경유하는 횟수를 의미), 중심화지수는 집중도로도 불리며 연결정도 중심성의 계산방식에서 파생되며 $C_D = \sum_{i=1}^n [C_D(n^*) - C_D(n_i)] / [(g-1)(g-2)]$ 로 표현된다(손동원, 2008).

도를 의미한다. 다시말해, 네트워크 내 전체 구성요소가 서로 얼마나 많은 관계를 맺고 있는가를 표현하기 위한 개념이다. 통상적으로 어떤 네트워크가 얼마나 완벽하게 구축되어 있는가를 알아보는 척도이며, 완벽한 밀도는 네트워크 내의 모든 점들이 서로 연결된 상태에서 성립된다. 사회 네트워크 혹은 언어 네트워크에서의 밀도는 0~1 사이의 값을 가지게 된다. 밀도 0은 아무런 연결이 형성되지 않은 상태의 네트워크를, 밀도 1은 모든 점들이 서로 연결된 상태의 네트워크를 나타낸다(손동원, 2008).

연구에 참여한 중학교 과학영재들의 과학지식 영역 중 '사실'에 대한 인식의 정도를 밀도를 통해 살펴보면 ($D_{fact} = 0.11$), 시각적으로는 전체적인 노드가 서로 긴밀하게 연결되어 보이지만 개별 노드들이 가질 수 있는 잠재적인 링크에 비해 실제 연결된 링크가 상대적으로 적으며 특정 노드로 쏠려 있는 형태를 띠고 있다. 이는 언어 네트워크가 활성화되지 못하고 있음을 의미하며 이러한 경우 해당 개념에 대한 응답자의 인식수준은 낮은 것으로 생각해 볼 수 있다(이혜준 등, 2010).

다음으로 빈도를 살펴보면 사실에 대해 설명하면서 '증명' (25회)을 가장 많이 그리고 '실제' (23회), '참' (18회) 등의 순으로 빈번히 언급했으며 '정확' (7회)이라는 단어도 사용되었다. 이는 중학교 과학영재들이 과학에서의 '사실'을 인식함에 있어 증명여부와 실제성의 문제 그리고 '확실', '불변', '진리', '정확' 등의 단어 활용으로 볼 때 과학에서 사용되는 '사실'이라는 과학지식은 반드시 참이라는 전제를 인식의 중심에 놓고 있다는 것을 의미한다(박은이, 홍훈기, 2010; 백성혜 등, 2005; Meyling, 1997). 그러나 이들은 중심성면에서 다른 양상을 나타내었다.

연결정도 중심성이 높다는 것은 네트워크상에서 많은 연결들의 중심에서 있다는 뜻으로 링크가 많아 해당 개념이 다른 인접 개념들로 확산이 용이하며, 이는 차후 응답자의 정신모형 내에서 설명이 구성될 때 영향력 있는 개념으로 행사될 수 있다는 것을 의미한다. 증명, 이론, 실험, 가설은 사실에 대한 응답에서 20 이상의 높은 연결정도 중심성을 나타냈으며 네트워크 내에서 강한 영향력을 행사하고 있다. 아울러 매개 중심성이 높다는 것은 인접 개념 간의 중재자 역할을 수행하는 것을 의미하는데, 예를 들어 A개념이 B개념과 반드시 C개념을 통해서만 관계 맺을 수 있는 경우 C개념은 매개 중심성이 높다고 말할 수 있다. 즉, 이런

경우 C개념은 학습자의 정신모형에서 해당 개념의 인식에 대한 브로커(broker) 혹은 문지기(gate-keeper)의 역할을 하게 되는 것이다(손동원, 2008). 중학교 과학 영재들의 사실에 대한 응답에서는 실험, 실제, 참, 이론의 매개 중심성이 3 이상으로 높게 나타났다. 이는 과학에서의 사실을 생각할 때 이들이 항시 인접개념들을 유기적으로 이끌어 낸다는 의미이며 인식의 핵이라는 뜻이다. 특히 이 중 '실험'의 경우는 매개 중심성 5 이상의 아주 높은 영향력을 보였다. 즉, 영재들은 과학에서의 사실은 일상어에서의 사실과 의미가 다르며 실험을 통해 얻어진 것을 사실로 간주하는 것으로 생각해 볼 수 있다. 정작 탐구에 있어서 '관찰을 통한 사실의 획득'이라는 측면(변정호 등, 2009)에서 중요한 어휘인 '관찰'은 중간정도의 연결정도 중심성과 매개 중심성을 기록하는데 그쳤다(표 1).

2) 가설(hypothesis)

중학교 과학영재들의 과학지식에 대한 응답 중 '가설'에 대한 내용은 구조적인 면에서는 작은세상 네트워크를 형성한다(그림 4). 계량적 분석지표들을 살펴보면, 밀도 0.15, 평균 연결 정도 중심성 19.83, 평균 매개 중심성 1.01, 중심화지수 0.014를 나타내는 언어 네트워크임을 알 수 있다(표 2).

중학교 과학영재들의 가설에 대한 응답에서 사용된 언어들에 구성된 언어 네트워크의 구조적 특징은 앞서 '사실'의 네트워크에서 설명한 바와 같이 밀도 ($D_{hypothesis} = 0.15$)를 통해 파악할 수 있다. 네트워크 이론이 제시하고 있는 밀도의 정의와 대역을 기준으로 생각해 볼 때 연구에 참여한 중학교 과학영재들의 과학지식 영역 중 '가설'에 대한 인식정도는 낮은 편이며, 이들의 언어 네트워크는 구조적으로 활성화되지 못한 양상임을 확인 할 수 있다.

다음으로 어휘의 빈도를 살펴보면 연구에 참여한 중학교 과학영재들은 '실험' (46회)을 가장 많이 그리고 '결과' (37회), '사실' (35회) 등의 순으로 빈번히 언급했으며, 상위 20개 단어 목록 중 가장 적게 사용된 것으로 '과학자' (8회)이라는 단어도 일부 사용하면서 법칙에 대해 설명하고 있다. 이는 중학교 과학영재들이 가설에 대해 항시 실험과정에서의 필요성 그리고 '자신', '불확실' 등의 단어 활용으로 볼 때 과학에서 사용되는 '가설'이라는 과학지식은 지극히 개인적이고 불확실도가 높은 지식임(Jeong & Kwon, 2006)

표 1
중학교 과학영재들의 '사실'에 대한 설명내용에서 등장하는 단어의 빈도와 연결정도 중심성

단어	빈도	연결정도 중심성*	매개 중심성**	단어	빈도	연결정도 중심성	매개 중심성
증명	25	20.84	1.62	진실	12	10.47	1.87
실제	23	13.14	3.82	관찰	11	15.18	2.20
참	18	9.73	3.61	일	10	9.36	1.67
이론	16	22.30	3.61	결과	9	8.65	0.92
과학	15	15.94	2.91	불변	9	9.24	1.16
발생	14	12.03	1.75	진리	9	8.54	0.26
실험	14	22.31	5.58	현상	9	5.14	0.43
확실	13	10.01	2.40	검증	7	7.47	0.84
가설	12	20.56	1.31	법칙	7	12.78	2.71
사람	12	15.63	2.61	정확	7	7.13	0.83

*연결정도 중심성은 'NrmDegree(표준화된 연결정도 중심성지수)' 값을 나타내었음

** 매개 중심성은 'nBetweenness(표준화된 매개 중심성지수)' 값을 나타내었음

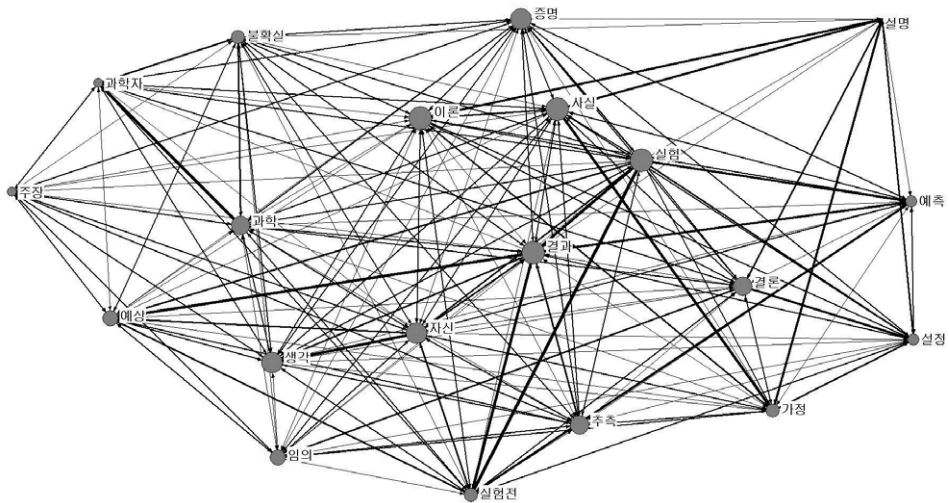


그림 4 중학교 과학영재들의 과학지식에 대한 응답 중 '가설'에 대한 언어 네트워크

을 고려하여 인식하고 있다는 것을 의미한다. 이는 과학철학자 및 과학교육학자들이 언급한 바 있는 가설의 잠정성(hypothesis-as-tentative explanation)을 상징하는 것 볼 수 있다(Hempel, 1966; Reese, 1980; Jeong & Kwon, 2006). 아울러 '가정', '설정'의 활용은 가설에 대한 가장 일반적 인식인 가정으로서의 가설(hypothesis-as-assumption)과 일치하며, '예상', '예측'의 활용으로 보아 예측으로서의 가설(hypothesis-as-prediction)도 일부 견지하고

있는 것으로 판단된다(Flew, 1985; Parker, 1989; Walker, 1988; Jeong & Kwon, 2006).

빈도 뿐 아니라 네트워크 중심성분석 결과도 유사하게 나타났는데, 중심성면에서 살펴보면, 실험, 결과, 사실, 생각, 이론, 자신, 실험전, 가정이 연결정도 중심성 20 이상으로 비교적 강한 영향력을 행사하고 있으며, 아울러 결과, 사실, 이론, 증명이 매개 중심성 2 이상으로 학생들이 가설에 대해 표상할 때 다른 개념들을 서로 연결해주는 중요한 연결고리 역할을 해

주고 있다. 즉, 중학교 과학영재들이 가설에 대해 생각할 때 실험전에 과학자 개인이 생성하는 지극히 개인적인 설명이라는 인식을 갖고 있는 것으로 판단되며, 결과, 사실, 이론, 증명 등의 매개성이 높은 이유는 비록 중간적 지식의 한 종류(권용주 등, 2011)이기는 하지만 가설을 하나의 독립된 과학지식으로 간주하기 보다는 불완전하고 반드시 증명을 통해 이론으로 나아가야하는 미숙한 전단계의 지식유형으로 여기고 있는 것으로 볼 수 있다. 이러한 통념은 선행연구

(Rhodes & Schaible, 1989; Homer & Rubba, 1979; Campbell, 1953)에서 많이 보고 된 것으로 과학영재들에게 과학지식의 본성적 측면의 지도가 더욱 필요하다고 여겨지는 부분이다.

3) 이론(theory)

중학교 과학영재들의 과학지식에 대한 응답 중 ‘이론’에 대한 내용은 구조적인 면에서는 작은세상 네트워크를 형성한다(그림 5). 계량적 분석지표들을 살펴

표 2
중학교 과학영재들의 ‘가설’에 대한 설명내용에서 등장하는 단어의 빈도와 연결정도 중심성

단어	빈도	연결정도 중심성*	매개 중심성**	단어	빈도	연결정도 중심성	매개 중심성
실험	46	32.18	0.46	예상	17	19.37	0.53
결과	37	29.47	2.01	설정	14	18.73	0.47
사실	35	22.60	2.24	결론	12	19.26	1.20
생각	31	21.67	1.45	불확실	12	15.81	0.92
이론	26	21.52	2.24	설명	12	15.83	0.22
자신	25	24.41	1.45	예측	11	16.58	0.47
추측	24	16.93	1.13	과학	10	20.07	0.83
증명	22	18.02	2.02	주장	10	10.78	0.12
실험전	20	23.35	0.86	임의	9	12.68	0.58
가정	18	20.53	0.62	과학자	8	16.85	0.36

*연결정도 중심성은 NrmDegree(표준화된 연결정도 중심성지수) 값을 나타내었음

** 매개 중심성은 ‘nBetweenness(표준화된 매개 중심성지수) 값을 나타내었음

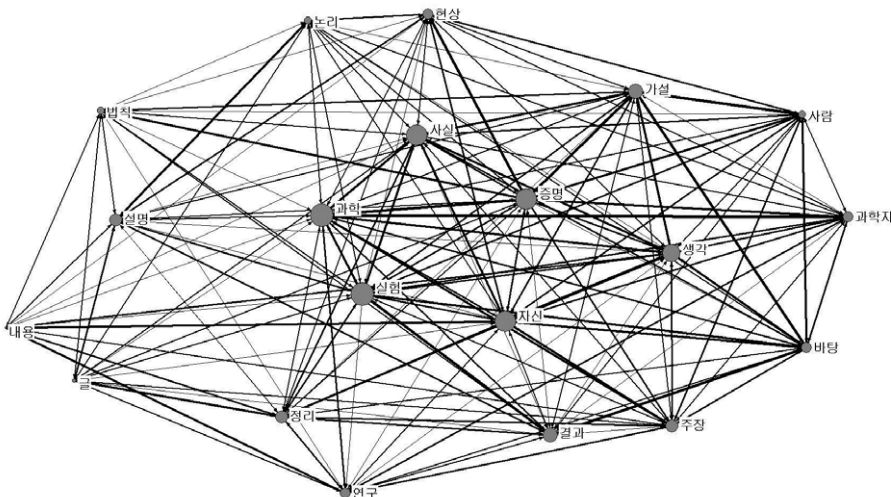


그림 5 중학교 과학영재들의 과학지식에 대한 응답 중 ‘이론’에 대한 언어 네트워크

보면, 밀도 0.15, 평균 연결 정도 중심성 28.12, 평균 매개 중심성 1.26, 중심화지수 0.17을 나타내는 언어 네트워크임을 알 수 있다(표 3).

밀도를 통해 네트워크 활성화 구조를 살펴보면 ($D_{theory} = 0.15$), 이들의 언어 네트워크는 구조적으로 활성화되지 못한 양상임을 확인 할 수 있다. 다시 말해 구조적 측면에서만 본다면, 연구에 참여한 중학교 과학영재들의 과학지식 영역 중 '이론'에 대한 인식 정도는 낮은 편으로 생각해 볼 수 있다. 이는 어떤 개념이 설명됨에 있어 언어 네트워크에서 구조적 연쇄 발화가 쉽지 않은 상태임을 의미한다.

다음으로 빈도를 살펴보면 이론에 대해 설명하면서 '증명' (33회)을 가장 많이 그리고 '실험' (32회), '사실' (29회) 등의 순으로 빈번히 언급했으며 '연구' (8회)라는 단어도 사용되었다. 빈도 뿐 아니라 네트워크 중심성 분석 결과도 유사하게 나타났는데, 중심성면에서 살펴보면, 증명, 실험, 사실, 과학, 가설, 생각, 자신, 바탕이 연결정도 중심성 30 이상으로 강한 영향력을 행사하고 있으며, 아울러 실험, 사실, 과학, 자신이 매개 중심성 2 이상으로 학생들이 이론에 대해 표상할 때 다른 개념들을 서로 연결해주는 중요한 연결고리 역할을 해주고 있다. 즉, 중학교 과학영재들이 이론에 대해 생각할 때 실험에 의해 증명된 가설이라는 위계형의 전통적 통념(Ryan & Aikenhead, 1992; Meyling, 1997)을 지니고 있으며, 지극히 개인

적인 설명이라는 인식을 보여주고 있음을 알 수 있다.

4) 법칙(law)

중학교 영재들의 과학지식에 대한 응답들 중 '법칙'에 대한 내용은 밀도 0.14, 평균 연결 정도 중심성 26.01, 매개 중심성 1.33, 중심화지수 0.22를 나타내는 언어 네트워크를 형성하였다(표 4, 그림 6).

중학교 과학영재들의 법칙에 대한 응답에서 사용된 언어들이 구성한 언어 네트워크의 구조적 특징은 밀도($D_{law} = 0.14$)를 통해 파악할 수 있다. 법칙에 대한 언어 네트워크는 다른 과학지식들에 대한 네트워크와 마찬가지로 낮은 수준의 밀도 값이 나타났다. 이를 바탕으로 연구에 참여한 중학교 과학영재들의 과학지식 영역 중 '법칙'에 대한 인식 정도는 언어 네트워크 구조적 측면에서 볼 때 낮은 것으로 생각해 볼 수 있다.

다음으로 어휘의 빈도를 살펴보면 연구에 참여한 중학교 과학영재들은 '이론' (29회)을 가장 많이 그리고 '증명' (28회), '사실' (27회) 등의 순으로 빈번히 언급했으며, 상위 20개 단어 목록 중 가장 적게 사용된 것으로 '공식' (6회)이라는 단어도 일부 사용하면서 법칙에 대해 설명하고 있다. 이 연구와 같은 중학교 과학영재들을 대상으로 연구한 박은이, 홍훈기(2010)의 연구에서도 과학영재들은 법칙에 대해 설명하면서 '실험', '증명', '불변'이라는 단어를 가장 많이 사용했다고 보고 하였다. 이는 이 연구와 일치되는 과학

표 3

중학교 과학영재들의 '이론'에 대한 설명내용에서 등장하는 단어의 빈도와 연결정도 중심성

단어	빈도	연결정도 중심성*	매개 중심성**	단어	빈도	연결정도 중심성	매개 중심성
증명	33	38.81	0.47	내용	11	17.89	0.46
실험	32	37.10	2.54	논리	11	17.69	0.73
사실	29	34.18	2.40	사람	10	26.93	0.47
과학	25	41.10	2.71	정리	10	26.03	0.99
가설	21	34.61	1.41	현상	10	22.95	0.87
생각	21	36.23	1.79	글	9	14.63	0.53
설명	21	22.50	1.27	주장	9	27.06	1.06
결과	14	24.99	1.48	과학자	8	26.74	0.65
자신	14	43.44	2.31	바탕	8	32.84	0.59
법칙	13	16.79	1.10	연구	8	19.85	1.33

*연결정도 중심성은 $NrmDegree$ (표준화된 연결정도 중심성지수) 값을 나타내었음

** 매개 중심성은 $nBetweenness$ (표준화된 매개 중심성지수) 값을 나타내었음

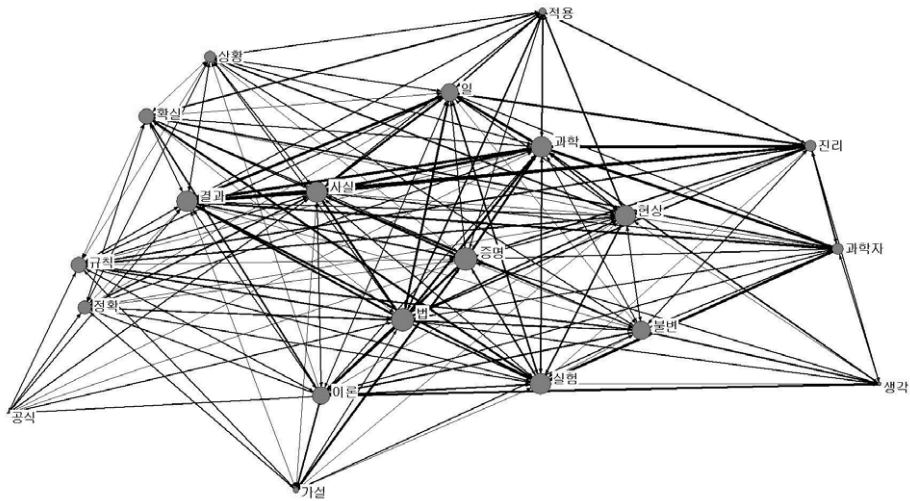


그림 6 중학교 과학영재들의 과학지식에 대한 응답 중 '법칙'에 대한 언어 네트워크

철학적 관점이다(표 4).

빈도 뿐 아니라 네트워크 중심성 분석 결과도 유사하게 나타났는데, 중심성면에서 살펴보면, 증명, 사실, 과학, 결과, 일, 법, 진리가 연결정도 중심성 30 이상으로 강한 영향력을 행사하고 있으며, 아울러 증명, 사실, 현상, 과학, 실험, 결과, 법이 매개 중심성 2 이상으로 학생들이 이론에 대해 표상할 때 다른 개념들을 서로 연결해주는 중요한 연결고리 역할을 하고 있다. 즉, 어휘의 내용을 살펴보면 과학지식으로서

의 법칙에 대한 절대성과 권위를 상징하는 것들이 많음을 알 수 있다. 이는 최근의 구성주의 과학관이 견지하는 가치-상대주의와는 배치되는 면이라 할 수 있다(백성혜 등, 2005).

2. '과학적인 것(scientificness)'의 의미에 관한 언어 네트워크

중학교 과학영재들의 '과학적'인 것'의 의미에 대

표 4

중학교 과학영재들의 '법칙'에 대한 설명내용에서 등장하는 단어의 빈도와 연결정도 중심성

단어	빈도	연결정도 중심성*	매개 중심성**	단어	빈도	연결정도 중심성	매개 중심성
이론	29	29.95	0.26	확실	12	20.75	0.52
증명	28	33.91	2.94	상황	11	14.72	0.24
사실	27	38.54	2.53	가설	11	12.74	0.04
현상	22	23.17	2.46	법	9	41.46	3.08
과학	19	45.98	2.80	정확	9	15.41	0.88
실험	19	32.81	3.08	과학자	9	25.25	0.36
결과	18	40.76	2.53	적용	8	18.94	0.15
규칙	13	19.00	1.47	생각	8	14.17	0.02
일	13	32.73	1.03	진리	6	30.32	0.60
불변	12	20.17	1.58	공식	6	9.43	0.04

*연결정도 중심성은 NrmDegree(표준화된 연결정도 중심성지수) 값을 나타내었음

** 매개 중심성은 nBetweenness(표준화된 매개 중심성지수) 값을 나타내었음

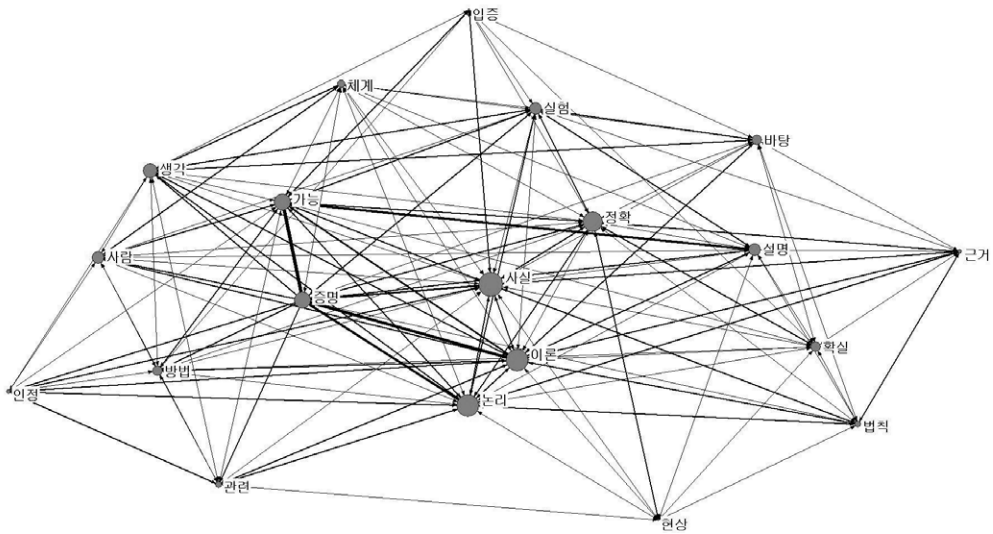


그림 7 중학교 과학영재들의 '과학적인 것의 의미에 대한 언어 네트워크

한 응답 내용으로 구성된 언어 네트워크 역시 과학지식들에 대한 네트워크에서 나타난 바와 같이 구조적인 면에서는 작은세상 네트워크를 형성하였다. 계량적 분석 지표들을 살펴보면, 밀도 0.11, 평균 연결 정도 중심성 11.11, 평균 매개 중심성 1.92, 중심화지수 0.17을 나타내는 언어 네트워크임을 알 수 있다(표 5, 그림 7).

중학교 과학영재들이 무엇을 '과학적'인 것으로 여기는지에 대한 응답을 통해 구성된 언어 네트워크는 다른 과학지식들에 대한 네트워크들에 비해 거의 차이가 없는 낮은 밀도 값($D_{scientific} = 0.11$)을 나타내었다. 즉, 네트워크의 구조적 측면에서 노드간의 연결된 링크가 이상적인 기대 링크비율에 비해 실제의 네트워크는 많이 부족한 연결이 이루어지고 있으며 아울러 몇몇 노드로 쏠림현상이 벌어지고 있는 것을 확인할 수 있다. 이는 연구에 참여한 중학교 과학영재들의 '과학적'인 것에 대한 언어 네트워크가 유기적으로 활성화 되어있지 못하다는 것을 의미하며, 구조적인 측면에서 이에 대한 인식의 정도도 높지 않은 것을 의미한다.

과학적인 것의 의미를 설명하는 과정에서 활용된 단어들의 빈도를 살펴보면 우선 '증명' (30회)을 가장 많이 그리고 '가능' (27회), '사실' (21회) 등의 순으로 빈번히 언급했으며 '현상' (5회)이라는 단어도 사용되었다. 빈도 뿐 아니라 네트워크 중심성분석 결과도 유사하게 나타났는데, 중심성면에서 살펴보면, 증명, 가능, 이론이 연결정도 중심성 20 이상으로 강한 영향력

을 행사하고 있으며, 아울러 사실, 정확, 논리, 이론이 매개 중심성 3 이상으로 학생들이 과학적인 것에 대해 생각할 때 다른 개념들을 서로 연결해주는 연결고리 역할을 해주고 있다. 결국, 중학교 과학영재들이 어떤 현상에 대해 과학적이라고 여기는 주요한 근거는 명백한 사실을 얻을 수 있어야하고, 증명 가능하며, 정확하고 논리적인 이론체계 여부 인 것으로 생각해 볼 수 있다.

3. 과학지식과 과학적인 것의 의미에 대한 개념표상의 클러스터 네트워크

과학지식들(사실, 가설, 이론, 법칙)과 과학적인 것의 의미 사이에 존재하는 언어 의미상의 군집을 살펴보기 위하여 통합 네트워크를 구성해 보았으며 그 결과는 그림 8과 같다. 통합 네트워크 분석을 실시한 결과 '사실', '가설', '이론', '법칙', '과학적'은 각각 연결성이 우수한 5개의 노드로 네트워크의 축을 형성하였으며 의미에 따라 5개의 덩이를 형성하는 클러스터 분리 양상을 보이고 있다.

언어 네트워크 분석법에서는 응답자가 한 가지 주제에 대해 언급하는 문장 내에 포함되는 단어들 사이에는 특징적인 관계가 형성될 수 있다. 따라서 단어의 연상관계에 따른 의미 네트워크가 형성되는 것이 가능할 것이므로 이렇게 구성된 각 의미군은 하위 네트워크로 구분되기도 한다. 하위 네트워크는 네트워크

립된 언어 클러스터를 형성되었으며, 둘째, 가설에 대해서는 ‘불확실’, ‘설정’, ‘실험전’, ‘결론’, ‘추측’, ‘가정’, ‘임의’, ‘예측’, ‘예상’이 또 하나의 독립된 언어 클러스터를 형성하였으며, 셋째, 이론에 대해서는 ‘정리’, ‘글’, ‘내용’, ‘연구’가 또 하나의 독립된 언어 클러스터를 형성하였고, 넷째, 법칙에 대해서는 ‘법’, ‘적용’, ‘공식’, ‘규칙’, ‘상황’이 별도의 언어 클러스터를 이루고 있었으며, 마지막으로 과학적인 것의 의미에 대해서는 ‘방법’, ‘관련’, ‘근거’, ‘입증’, ‘인정’, ‘체계’, ‘가능’이 독립적인 언어 클러스터를 보여주고 있음을 확인 할 수 있다(그림 8).

특히 통합 네트워크 그래프를 살펴보면 ‘실험’과 ‘증명’은 중학교 과학영재들이 과학지식과 과학적인 것이라는 의미를 인식함에 있어 항상 표상하는 사고의 허브라는 것을 알 수 있다(그림 8). 즉, ‘실험’과 ‘증명’은 이들이 과학의 본성적 측면에 대한 그 어떤 것을 생각하더라도 항상 거쳐 가게 되는 정신모형(mental model)의 중심축이 되는 견고한 핵인 것이다. 또한 통합 네트워크를 살펴보면, ‘과학자’ 노드가 ‘이론’, ‘가설’, ‘법칙’과는 링크가 형성되나 ‘사실’과는 연결되어있지 않은 것을 발견할 수 있다. 이것은 학생들이 과학지식 유형 중 사실에 대해서만 별도의 기준을 통해 인식하고 있음을 확인시켜주고 있다. 다시 말해 ‘사실’이 과학자의 과학적 탐구과정에서 관찰에 의해 자연스럽게 생성되는 하나의 대등한 과학지식이라기보다 과학지식들이 실험과 증명 등을 통해 불변의 진리로 자리매김한 후의 단계로 혹은 일반인들이 일상생활에서 사용하는 직관적 언어로서의 ‘사실’로 인식하고 있는 것을 의미한다. 뿐만 아니라 ‘생각’의 경우 연구대상 항목 요소들 중 ‘사실’에서만 링크가 제외된 네트워크 유형을 보여주고 있다. 이것은 사실 지식의 생성에 있어 그 어떤 인지구조도 개입될 수 없다는 과학의 절대성과 논리-실증주의적 견해를 나타낸다. 즉, 영재들의 정신모형 내에서 ‘사실’은 연구자의 존재여부와 관계없이 자연에 그대로 존재하는 존재자이며, 인간의 생각으로 구성되는 지식체계는 아니라는 것이다. 언어 네트워크 구조의 의미 연결망을 통해 구현된 영재들의 정신모형은 이 외에도 연결구조의 파악을 통한 다수의 창발적 정보들을 제공해 줄 수 있을 것으로 기대한다.

V. 결론 및 제언

중학교 과학영재들의 과학지식(사실, 가설, 이론, 법칙)과 과학적인 것에 대한 의미를 어떻게 인식하고 있는지 알아보기 위하여 언어 네트워크 분석법을 활용하여 이들의 정신모형을 시각화 해 보았다. 이 연구를 통해 알 수 있는 결론은 다음과 같다.

첫째, 중학교 과학영재들은 사실에 대해 인식함에 있어 증명여부와 실제성 문제를 가장 중요한 인식의 핵으로 하고 있으며, 과학적 관찰과 사실지식을 연관하여 표상하는 것에는 미숙하였다. 또한 과학지식 생성과정에서 나타나는 하나의 지식체계로서 인식하기 보다는 자연현상 그대로를 연상하기 때문에 다른 과학지식들과는 독립적으로 표상하는 것으로 나타났다.

둘째, 가설에 대해서는 잠정성과 불확실성을 중심으로 개념형성을 하고 있으며 실험전에 생성하는 과학자의 지극히 개인적인 견해로 차후에 이론으로 발전한다는 일반적 통념을 견지하고 있었다. 아울러 예측에 대한 연결 형성을 통해 예상과 인과적 의문에 대한 잠정적 설명으로서의 가설을 혼동하고 있음을 확인할 수 있었다.

셋째, 이론은 실험에 의해 증명된 가설이라는 형태로 인식의 틀을 형성하고 있었으며 이것은 과학지식의 유형들 간에 위계가 존재한다는 선형적 발전구조형의 통념과 일치하였다. 이론 역시 가설에서처럼 과학자의 지극히 개인적인 ‘학설’일 뿐이라는 표상구조를 나타내고 있었다.

넷째, 법칙을 표상함에 있어서는 항상 절대성과 권위를 상징하는 언어 네트워크가 의미 있게 매개되어 있음을 알 수 있었다. 이는 법칙을 과학지식의 최상위 발전단계로 여기고 있음을 의미하며 법칙이 ‘많은 실험을 토해 증명된 이론’이라는 통념으로 인식되어 있다는 것으로 볼 수 있다.

다섯째, 마지막으로 연구에 참여한 중학교 과학영재들은 어떤 현상에 대해 과학적이라고 여기는 주요한 근거로 명백한 사실을 얻을 수 있어야하고, 증명 가능하며, 정확하고 논리적인 이론체계를 동반해야 하는 것으로 인식하고 있음을 네트워크 연결구조를 통해 파악할 수 있었다.

이 연구에서는 최근 복잡계 양상을 띠는 현상을 설명하기 위해 집단 사회학, 사회 물리학 등에서 널리 활용되고 있는 사회 네트워크 분석법을 학생의 언어

에 적용하여 언어 네트워크를 구성하였다. 이를 통해 영재학생들의 과학지식 및 과학적인 것을 어떤 의미로 생각하는지 그들의 과학관을 점검해 보았다. 그 결과 연구에 참여한 110명의 중학교 과학영재들은 절대주의적이고 논리-실증주의적인 과학관을 형성하고 있는 것을 알 수 있었다. 이는 현대 구성주의에 의한 가치-상대주의 과학관이라는 과학교육목표와 비교해 볼 때 심각한 결과라 판단된다. 따라서 앞으로의 과학영재교육에 있어서는 단지 심화된 속진형 심화학습이나 흥미로운 첨단과학 관련 콘텐츠들 혹은 창의력 배양과 관련되는 내용들을 활용하는 것도 좋지만 영재들이 장차 그들 스스로 과학탐구를 체험해 나가는데 있어 평생 활용하는 기본 문법과도 같은 인식의 틀인 과학의 본성 측면을 더욱 강화하여 초기에 보충 교육해 줄 필요가 있다. 또한 이 연구에서 활용된 언어 네트워크 분석법은 학습자가 보이지 않는 특정 내용을 어떤 방식으로 인식하여 개념구조를 형성하고 있는지 시각화 하고, 학습자 개개인 및 지식별 통합적 정신모형을 구축하는데 기존의 방법들 보다 용이한 것을 확인해 볼 수 있었다. 앞으로 과학의 본성 및 과학철학 관점 전반과 기타 교과 필수 개념들과 관련된 인식 네트워크의 점점형성, 개인별 차이, 일반아와 영재의 네트워크적 차이, 종단적 네트워크 통합변화, 특정 교수-학습 처치에 따른 학생 개인의 인식 네트워크 변화 등을 다각적으로 알아볼 필요가 있다.

국문 요약

과학교육과정에서 과학의 본성은 교육의 중심에 있었으며, 특히 과학영재교육에서의 중요성은 더욱 크다고 할 수 있다. 그럼에도 불구하고 과학영재들의 과학의 본성에 대한 개념구조가 어떻게 형성되어있는지의 연구는 많지 않다. 이 연구에서는 언어 네트워크 분석법을 통해 중학교 과학영재의 사실, 가설, 이론, 법칙 그리고 과학적인 것의 의미에 대한 이들의 인식을 탐색하는 것을 목표로 하였다. 연구 목적 달성을 위해 개방형 검사지에서 얻은 응답들을 언어 네트워크 분석법을 통해 분석하였다. 연구 참여자들의 총 110명의 대학부설 과학영재교육원 소속 중학교 과학영재들이 연구에 참여하였으며 이들의 응답에 의해 5가지의 언어 네트워크를 얻었다. 네트워크 분석결과 이들이 인식하고 있는 사실은 증명여부와 실제성 문

제, 가설은 잠정성과 불확실성, 이론은 실험에 의해 증명된 가설이라는 통념, 법칙은 절대성과 권위를 상징하는 언어들, 과학적인 것은 사실근거, 증명 가능 여부, 정확하고 논리적인 이론체계 동반을 가장 중요한 인식의 핵으로 하고 있었다. 통합네트워크 분석결과, 연구에 참여한 중학교 과학영재들은 절대주의적이고 논리-실증주의적인 과학관을 형성하고 있는 것을 알 수 있었다. 이 연구에 활용된 언어 네트워크 분석법은 학습자의 보이지 않는 특정 내용을 어떤 방식으로 인식하여 개념구조를 형성하고 있는지 시각화 하고, 학습자 개개인 및 지식별 통합적 정신모형을 구축하는데 유용할 것으로 기대된다.

참고 문헌

- 권용주, 정진수, 신동훈, 이준기, 이일선, 변정호 (2011). 과학 지식의 생성과 평가. 서울, 학지사.
- 김경대, 강순민, 임재향(2006). 과학영재들의 과학의 본성에 대한 인식. 한국과학교육학회지, 26(6), 743-752.
- 김용학 (2011). 사회 연결망 분석. 서울, 박영사.
- 김정여, 김영수 (2006). 경기도 과학 교사들의 개념 체계도에 대한 인식 및 활용 실태 조사. 한국생물교육학회지, 34(4), 497-507.
- 김지나, 김선경, 김동욱, 김현경, 백성혜 (2008). 초등학생들의 과학의 본성에 대한 명시적 교수 효과 분석. 초등과학교육, 27(3), 261-272.
- 나지연, 송진웅 (2010). 과학의 본성에 대한 검사 도구를 활용한 연구의 개관과 분석. 초등과학교육, 29(3), 292-306.
- 노태희, 김영희, 한수진, 강석진 (2002). 과학의 본성에 대한 초등학생들의 견해. 한국과학교육학회지, 22(4), 882-891.
- 박별나, 이윤경, 구자을, 홍영수, 김학용 (2010). 고등학교 과학 및 생물교과서 과학용어 네트워크 분석. 한국콘텐츠학회논문지, 10(5), 427-435.
- 박은이, 홍훈기 (2010). 과학 영재를 대상으로 한 명시적 과학의 본성 프로그램의 효과. 한국과학교육학회지, 30(2), 249-260.
- 박종원, 김두현 (2008). 과학의 본성 지도자료 개발과 과학영재를 대상으로 한 시험적용. 한국과학교육학회지, 28(2), 169-179.

- 박한우, Leydesdorff, L. (2004). 한국어의 내용 분석을 위한 KrKwic 프로그램의 이해와 적용: Daum.net에서 제공된 지역혁신에 관한 뉴스를 대상으로. *Journal of the Korean Data Analysis Society*, 6(5), 1377-1388.
- 백성혜, 김윤기, 최은희, 김성애 (2005). 고등학생과 과학교사의 과학철학적 관점에 대한 연구. *대한화학회지*, 49(5), 503-512.
- 변정호, 이준기, 권용주 (2009). 과학교육에서 제시하는 과학적 관찰의 의미와 과정에 대한 분석. *한국과학교육학회지*, 29(5), 531-540.
- 서재교, 배순한, 백승익 (2010). 온라인 커뮤니티의 중심성 변화에 대한 탐색적 연구: 사회연결망 분석을 이용하여. *지식경영연구*, 11(2), 17-34.
- 소원주 (1998). 과학교사의 과학 철학적 관점과 과학 서술방식이 중학생들의 과학관의 변화에 미치는 영향. *한국교원대학교 대학원 박사학위논문*.
- 손동원(2008). 사회 네트워크 분석. 서울, 경문사.
- 송진웅, 권성기 (1992). 과학철학을 수강하는 대학원생의 과학의 본성에 대한 인식의 변화. *한국과학교육학회지*, 12(1), 1-9.
- 송하영, 김영신 (2010). 지식상태분석법을 이용한 고등학생의 유전관련 개념의 위계 분석. *과학교육연구지*, 34(2), 237-245.
- 심준섭 (2011). 언어네트워크분석 기법을 활용한 갈등 프레임의 분석. *한국행정연구*, 20(2), 183-212.
- 양일호, 한기갑, 최현동, 오창호, 조현준 (2005). 초등 신규교사의 과학 본성에 대한 신념. *초등과학교육*, 24(4), 360-379.
- 옥경영, 한상만 (2009). 온라인 커뮤니티 사이트에서 하위 네트워크의 특성이 정보의 초기 확산에 미치는 영향에 관한 연구. *소비자학연구*, 20(1), 37-64.
- 이강춘 (2007). 우수연구센터의 네트워크 구조와 성과에 관한 연구. *한국공공관리학보*, 21(4), 201-224.
- 이원준 (2010). 소비자의 루머 인식과 브랜드 태도. *한국콘텐츠학회논문지*, 10(11), 363-370.
- 이은아, 박병진 (2008). 과학 이론과 과학 법칙의 차이에 대한 고등학생들의 인식 연구. *한국지구과학학회지*, 29(1), 91-97.
- 이혜준, 이동일, 이주현 (2010). 의미 네트워크 분석을 통한 프랜차이즈 교육 프로그램 개발. *경영교육연구*, 14(2), 105-128.
- 임병학 (2011). 사회 네트워크 분석을 활용한 물류 공저자들의 협력 네트워크 구조 분석. *물류학회지*, 21(2), 205-229.
- 장병덕, 홍상욱, 정진우 (2002). 중학교 2학년 과학영재들의 과학지식에 대한 과학철학적 관점과 이에 대한 토론 및 읽기 활동의 효과. *한국지구과학학회지*, 23(5), 397-405.
- 장병기 (2004). 과학의 본성에 대한 학생의 생각을 조사하기. *초등과학교육*, 23(2), 159-171.
- 정충덕, 강경희 (2008). 과학 영재들의 STS에 대한 관점. *한국과학교육학회지*, 28(2), 150-158.
- 최영출, 박수정 (2011). 한국행정학의 연구경향 분석: 네트워크 분석방법의 적용. *한국행정학보*, 45(1), 123-139.
- 한관중 (2003). 사회과학 방법론으로서의 연결망 분석기법 적용의 의의와 연구과제. *사회과학연구*, 10(2), 219-235.
- Abd-El-Khalick, F., & Akerson, V. L. (2004). Learning as conceptual change: Factors mediating the development of pre-service elementary teachers' views of nature of science. *Science Education*, 88(5), 785-810.
- Anderson, J. R. (1983). A spreading activation theory of memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 22, 261-295.
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). *Human Memory: A Proposed System and Its Control Process*, *The Psychology of Learning and Motivation*, Vol 2. ed, K. Spence, New York: Academic Press.
- Baker, R. R. (1987). *Knowledge Graphs: Representation and Structuring of Scientific Knowledge*. Unpublished Doctoral dissertation, University of Twente, Enshede.
- Barnett, G. A., & Woelfel, J. (1988). *Readings in Galileo system: Theory, methods and applications*. Doboque, IA: Kendall/ Hunt.
- Bybee, R. W. (1997). *Achieving scientific literacy: From purposes to practices*. Portsmouth, NH: Heineman.
- Campbell, N. R. (1953). *What is Science?*

New York: Dover Publications.

Carley, K. M. (1988). Formalizing the Social Expert's Knowledge. *Sociological Methods and Research*, 17(2), 165-232.

Collins, A. M., & Loftus, E. F. (1975). A spreading activation theory of semantic processing. *Psychological Review*, 82(6), 407-428.

Collins, A. M., & Quillian, M. R. (1972). Experiments on semantic memory and language comprehension. In Gregg, L. W. (Ed.), *Cognition in learning and memory* (pp. 117-138). New York: Wiley.

Corman, S. R., Kuhn, T., McPhee, R. D., & Dooley, K. J. (2002). Studying complex discursive systems: Centering resonance analysis of communication. *Human Communication Research*, 28, 157-206.

Danowski, J. A. (1993). Network analysis of message contents. In G. Barnett & W. Richards (Eds.), *Progress in communication sciences* (pp. 197-222). Norwood, NJ: Albex.

Dehaene, S., Naccache, L. Cohen, L. Le Bihan, D. Mangin, J., Poline, J., & Rivière, D. (2001). Cerebral mechanisms of word masking and unconscious repetition priming. *Nature Neuroscience*, 4(7), 752-758.

diSessa, A. A. (2008). A bird's-eye view of the 'pieces' vs. 'coherence' controversy. In S. Vosniadou (Ed.), *International handbook of research on conceptual change* (pp. 35-60). New York: Routledge.

Doerfel, M. L. (1998). What constitutes semantic network analysis? A comparison of research and methodologies. *Connections*, 21(2): 16-26.

Doerfel, M. L., & Barnet, G. A. (1999). A semantic network analysis of the interactional communication association. *Human Communication Research*, 25(4), 589-603.

Doignon, J., & Falmagne, J. (1999). *Knowledge Spaces*. Berlin, Germany:

Springer-Verlag.

Driver, R. Leach, J., Miller, R., & Scott, P. (1996). *Young peoples images of science*. Bristol, PA, Open University Press.

Flew, A. (1985). *A dictionary of philosophy*. London, The Macmillan Press, Ltd.

Hammer, D. (1996). Misconceptions or p-prims: How may alternative perspectives of cognitive structure influence instructional perceptions and intentions. *The Journal of the Learning Sciences*, 5(2), 97-127.

Hempel, C. G. (1966). *Philosophy on natural science*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

Horner, J. K. & Rubba, P. A. (1979). The laws are mature theories fable. *The Science Teacher*, 46(2), 31.

Jeong, J. S., & Kwon, Y. J. (2006). Definition of scientific hypothesis: A generalization or a causal explanation? *한국과학교육학회지*, 26(5), 637-645.

Kamada, T., & Kawai, S. (1989). An algorithm for drawing general undirected graph. *Information Letters*, 131(1), 7-15.

Koponen, I. T., & Pehkonen, M. (2010). Coherent knowledge structures of physics represented as concept networks in teacher education. *Science & Education*, 19, 259-282.

Kugler, C. (2002). Darwin's Theory, Mendel's Law: Label & The Teaching of Science. *The American Biology Teacher*, 64(5), 341-351.

Lederman, N. G. (2007). Nature of Science: Past, present, and future. In Abell, S. & Lederman, N. (Eds.) *Handbook of research on science education*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.

Liu, S., & Lederman, N. G. (2002). Taiwanese Gifted Students' View of Nature of Science. *School Science and Mathematics*, 102(3), 114-123.

Meichtry, Y. J. (1993). Influencing student understanding of nature of science: Data from

a case curriculum development. *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 389–407.

Meyling, H. (1997). How to change students' conceptions of the epistemology of science. *Science & Education*, 6, 397–416.

Nakamura, K., Dehaene, S., Jobert, A., Bihan, D. L., & Kouider, S. (2007). Task-specific change of unconscious neural priming in the cerebral language network. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 104(49), 19643–19648.

Parker, S. P. (1989). *McGraw-Hill dictionary of scientific and technical terms*. New York, NY: McGraw-Hill Book Company.

Popping, R. (2000). *Computer-assisted text analysis*. London, Thousand Oaks: Sage Publications.

Reese, W. L. (1980). *Dictionary of philosophy and religion: Eastern and western thought*. Highlands, NJ: Humanities Press Inc.

Rhodes, G., & Schaible, R. (1989). Fact, law, and theory: Ways of thinking in science and literature. *Journal of College Science Teaching*, 18(4), 228–232.

Ryan, A. G., & Aikenhead, G. S. (1992). Students' perceptions about the epistemology of science. *Science Education*, 76, 559–580.

Sabella, M. S. (1999). *Using the Context of Physics Problem Solving to Evaluate the Coherence of Student Knowledge*. Unpublished Doctoral dissertation, University of Maryland. Available online at <http://www.physics.umd.edu/perg/dissertations/Sabella/> (accessed 2012).

Schwartz, R. S., Lederman, N. G., & Crawford, B. A. (2004). Developing view of nature of science in an authentic context: An explicit approach to bridging the gap between nature of science and science and scientific inquiry. *Science Education*, 88(4), 610–645.

Tuberty, B., Dass, P., & Windelspecht, M. (2011). Student understanding of scientific hypotheses, theories & Law: Exploring the influence of a non-majors college introductory biology course. *International Journal of Biology Education*, 1(1), 23–44.

Walker, P. M. B. (1988). *Chambers science and technology dictionary*. New York, NY: W & R Chambers Ltd and Cambridge University Press.

Wasserman, S., & Faust, K. (1994). *Social network analysis: Methods and applications*. The Press Syndicate of the University of Cambridge.