

## 기후변화와 관련된 과학영재들의 지구시스템 사고 특성

박 경 진

전북대학교

정 덕 호

전북대학교

이 연구는 기후변화와 관련된 미래문제해결 과정에서 나타난 과학영재들의 지구시스템 사고와 관련된 인식을 알아보기 위한 것이다. 이를 위하여 문헌 연구를 통해 미래의 기후변화와 관련된 문제를 개발한 후 37명의 과학영재를 대상으로 수업을 실시하였다. 이 과정에서 산출된 과학영재의 해결 아이디어를 언어네트워크분석을 이용하여 분석하였다. 분석 결과 과학영재들은 주어진 문제에 대해 ‘물 층으로 인한 햇빛의 양 변화, 지구의 온도 변화, 기압의 변화, 바람 및 날씨 변화’순의 개념 연결을 주로 보이고 있었다. 한편 미래문제해결에 대한 지구시스템 사고와 관련하여 과학영재들은 대기권에 대한 하위요소를 가장 많이 사용하였으며, 생물권, 지권, 수권 요소는 상대적으로 적게 사용하였다. 그러나 지구시스템 관련 하위요소 사이의 구조적 관계를 분석해 본 결과 생물권, 지권, 수권 관련 요소가 네트워크 구조에서 중요한 역할을 수행하고 있었다. 이를 통해 과학영재들은 기후변화로 인해 지구시스템 관련 요소가 서로 영향을 미칠 수 있다는 것을 잘 이해하고 있다는 것을 알 수 있다.

주제어: 과학영재, 미래문제해결, 기후변화, 지구시스템 사고

### I. 서 론

시대적 상황에 따라 사회가 요구하는 인재의 모습은 변화하기 마련이다. 현대의 지식 기반 사회는 한 사람의 창의적 인재가 수백만 명을 먹여 살릴 수 있는 시대로 변화하고 있기 때문에 우수한 잠재능력을 가진 인재를 조기에 발굴하고 육성하기 위한 노력이 어느 때보다 강조되고 있다(손충기, 김명철, 2007). 이런 측면에서 창의적인 영재의 조기 발견 및 육성을 목표로 하는 영재교육은 국제 경쟁력 향상이라는 측면에서 이미 시대적 추세라 할 수 있다(김지영, 하지희, 박국태, 강성주, 2008). 그러나 영재를 어떻게 정의할 것인지는 연구자에 따라 다소 차이를 보이지만 창의성은 문화적 배경에 관계없이 대체로 영재들이 가지는 공통적인 특성 중의 하나로 인식되고 있다(Reis & Small, 2005). 이는 그만큼 창의성이 영재성을 판단하는 중요한 근거가 되며, 다른 한편으로는 영재교육에서 중요한 것이 창의성 교육이라

교신저자: 정덕호(earthchung@jbnu.ac.kr)

는 것을 의미한다(김희수 외, 2002).

이에 따라 우리나라에서도 영재들이 가지는 창의성의 특성을 규명하기 위한 노력이 지속적으로 이루어져 왔으며(박선옥, 정덕호, 2011; 박신규 외, 2011; 손충기, 김명철, 2007; 한기순, 신지은, 정현철, 최승언, 2002), 다른 한편으로는 영재들의 창의성을 높이기 위한 여러 프로그램들이 개발되고 있다(최은열, 문성환, 2010; 황요한, 박종석, 2010; 김미숙, 2004). 창의성을 신장시키기 위한 프로그램은 여러 가지가 있지만 그 중에서 창의적 문제해결(Creative Problem Solving; CPS)과 미래문제해결(Future Problem Solving; FPS)이 대표적이라 할 수 있다. 여기서 CPS와 FPS는 근본적으로 뿌리가 같지만 CPS가 현실 문제를 다루는데 반해 FPS는 미래 지향적인 상상을 하고 미래를 위한 창의적 사고에 초점을 맞추고 있다는 점에서 차이를 보인다(김영채, 2004). 그렇기 때문에 FPS에서는 불확실한 미래 상황에서 관심 있게 다루질 수 있는 내용인 물 부족, 우주쓰레기, 식량문제, 기후변화와 관련된 주제가 주로 활용되고 있다(Treffinger, Solomon, & Woythal, 2012). 이와 같은 FPS를 적용한 수업은 학생들에게 미래에 대해 창의적으로 사고하는 방법을 가르칠 수 있을 뿐 아니라 다양한 과학적 문제 해결능력과 미래에 대한 인식을 높이고 스스로 미래를 그려볼 수 있는 기회를 제공할 수 있다는 점에서 의미를 가진다(김대성, 이용섭, 2012).

FPS는 Torrance(1972)에 의해 개발된 이후 지속적인 변화와 보완을 거듭하면서 대표적인 창의력 영재교육 프로그램으로 발전해 왔다. 국내외에서도 참여대상과 주제를 달리한 여러 연구가 수행되어 왔으며(김대성, 이용섭, 2012; 이승해, 이해자, 2012; 이명숙, 박상범, 2011; 전명남, 박상범, 2013; Cramond, 2009; Treffinger, 2011), 이들의 연구 결과는 FPS가 학생들의 과학적 태도, 창의성 향상 등에 효과적인 방법이라는 것을 알려주고 있다. 하지만 FPS가 근본적으로 인류가 경험해 보지 못한 미래 상황에서 연구 주제를 찾지 때문에 이 과정에서 산출한 해결 아이디어는 학생들이 미래의 문제에 대해 어떻게 인식하는지, 그리고 어떤 방식을 통해 과학적인 문제를 해결하는지를 살펴볼 수 있다는 점에서 중요한 의미를 가진다. 그럼에도 불구하고 이에 대해 심도 있게 분석한 연구는 몇몇 사례를 제외하면 찾아보기 힘들다. 예를 들어, 지구온난화 및 기후변화를 FPS의 연구 주제로 삼아 과학수업을 실시한 김세현(2014)은 학생들이 생성한 해결 아이디어를 점수화하여 최선의 아이디어를 찾고자 하였으나 채점 방식에 의한 결과는 학생의 내면을 이해하기 어렵다는 점을 지적하면서 생각의 강점과 약점을 파악하는 방식으로 해결 아이디어를 평가하였다. 그러나 이와 같은 방식도 몇몇 학생의 사례 연구는 가능하지만 전체적인 학생들의 아이디어에 대한 내면을 파악하기는 어렵다는 한계를 가진다.

한편 FPS에서 관심을 가지는 자연 현상은 한 가지 원인에 의해 나타난 것이 아니라 지구를 구성하는 여러 하위요소의 상호작용에 의한 결과라 할 수 있다. 예를 들어 현재 문제가 되고 있는 기후변화와 같은 현상은 단지 대기권만의 변화가 아니라 수권, 지권, 생물권 그리고 인간 활동 등 지구를 구성하는 하위요소의 상호작용에 의한 결과이기 때문에 불확실성이 크고 그로 인해 변화의 양상을 예측하기 어렵다. 그렇기 때문에 미래의 지구에서 발생할 수 있는 여러 문제를 과학적으로 해결할 수 있는 인재를 양성하기 위해 과학영재교육에 대한

관심이 지속적으로 증가하고 있으며(Benzvi-Assaraf & Orion, 2005; Kali, Orion & Eylon, 2003), 다른 한편으로는 지구를 하나의 계(system)로 여기는 지구시스템(earth system) 관점에서 자연 현상을 접근하려는 노력이 지속적으로 이뤄지고 있다(이효녕, 권영륜, 2007; 문병찬 외, 2004; Benzvi-Assaraf & Orion, 2005). 이런 측면에서 미래 지구환경 문제를 해결하는데 선도적인 역할을 수행하게 될 과학영재들이 문제를 해결하는 과정에서 보이는 지구시스템 사고와 관련된 인식을 분석하는 것은 국가가 요구하는 인재를 양성한다는 측면에서 매우 중요하다.

따라서 본 연구는 FPS에 대한 문헌 연구를 통해 ‘기후변화’를 주제로 선정하여 과학영재에게 제시한 후 이들이 산출한 해결 아이디어를 지구시스템 관점에서 알아보고자 하였다. 이를 위하여 학생들이 산출한 해결 아이디어를 지구시스템 관점에서 해석할 수 있는 분석틀(framework)을 개발하였다. 그리고 과학영재들을 대상으로 FPS를 적용한 수업을 실시한 후 이 과정에서 산출한 해결 아이디어를 분석하였다. 왜냐하면 과학영재들이 산출한 해결 아이디어는 문제 해결과정에서 획득한 정보와 기존 인지구조와의 상호작용을 통해 획득한 지식을 문자 언어로 나타낸 것이기 때문에 이들이 특정 주제에 대해 어떻게 인식하고 있는지를 나타낸 표상이라 할 수 있기 때문이다(조규성, 정덕호, 서은선, 박경진, 2013; Doerfel & Barnett, 1999). 따라서 해결 아이디어를 구성하는 지구시스템 하위요소 사이의 구조적 관계를 분석하는 것은 과학영재들의 지구시스템 사고와 관련된 인식을 심층적으로 이해할 수 있는 정보를 제공해 준다.

이를 위하여 이 연구에서는 단어 사이의 구조적 관계 파악에 적절한 분석 방법인 언어네트워크분석(Semantic Network Analysis; SNA)을 이용하였다. 여기서 SNA는 한 문장 내에서 함께 출현하는 단어를 하나의 선(link)으로 연결하여 단어 사이의 구조적 관계를 언어 네트워크(semantic network)로 시각화할 수 있기 때문에 학생들이 특정 주제를 어떻게 인식하고 있는지를 표현하고 파악하는데 효과적이다(이준기, 하민수, 2012). 따라서 이를 활용한 분석 결과는 과학영재들이 미래 지구의 환경 변화에 대한 지구시스템 사고와 관련된 인식을 파악함으로써 향후 과학영재들을 위한 지구시스템 교육에 중요한 자료를 제공할 수 있을 것이다. 이를 위하여 본 연구에서 설정한 구체적인 연구 문제는 다음과 같다.

- 연구문제 1. 기후변화와 관련하여 과학영재들이 사용한 주요 단어는 어떤 특성이 있는가?  
 연구문제 2. 기후변화와 관련된 과학영재들의 지구시스템 사고와 관련된 인식은 어떤 특성이 있는가?

## II. 연구방법

### 1. 연구 대상

이 연구를 위해 참여한 학생들은 전라북도 소재 대학부설 과학영재교육원에 재학 중인 학생 37명(남자 25명, 여자 12명)을 대상으로 하였다. 이들은 과학영재교육원의 선발 전형인 동기, 영재성 검사, 인성 및 가치관 검사, 학문 적성 등에 관한 두 차례의 전형을 거쳐 선발

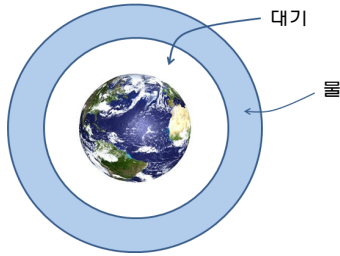
되어 과학에 대한 지적 능력과 영재성이 검증되었기 때문에 과학영재로 정의하였다. 또한 이렇게 선발된 과학영재들은 대부분 전라북도 소재 중학교 1학년에 재학 중인 학생들로서 본인의 선택에 따라 과학영재교육원에서 운영하는 심화과정의 과학 분과(물리, 화학, 생물, 지구과학)에 소속되어 수학 중이다.

## 2. 연구 설계

이번 연구는 FPS 과정에서 산출된 과학영재들의 해결 아이디어에 대한 지구시스템 사고와 관련된 인식을 알아보기 위한 것이다. 이를 위하여 먼저 연구의 목적에 맞는 주제를 선정하기 위해 FPS에 대한 문헌 연구를 실시하였다. FPS는 불확실한 미래 상황에서 이슈를 찾고 이 가운데 다양한 해결 아이디어를 산출할 수 있는 핵심 문제를 선정하도록 권장하고 있다 (Treffinger et al., 2012). 특히 FPS에서 제시하는 미래장면은 물 부족, 우주쓰레기, 식량문제, 기후 변화 등 미래에서 관심 있게 다루어질 수 있는 내용이라면 무엇이든 가능하지만 이슈와 관련하여 특정한 미래 상황이나 교과 내용에 국한하지 않고 융통성 있게 문제를 개발할 수 있다(김영채, 2009; Treffinger, 2011). 이런 측면에서 김세현(2014)은 FPS를 위한 과제 선정을 위해 문헌 연구를 수행한 결과 글로벌 이슈(global issue) 중의 하나로 ‘지구온난화와 기후변화’를 연구 주제로 선택한 바 있다. 따라서 이번 연구에서는 FPS의 주제로 적합한 ‘기후변화’를 주요 이슈로 선정할 후 김세현(2014)이 제안한 미래장면을 본 연구의 목적에 맞게 수정하였다. 즉, 과학영재들이 문제와 관련된 다양한 해결 아이디어를 산출할 수 있도록 하되, 지구시스템 관점에서 대기권의 변화에 따라 유발될 수 있는 다른 하위 요소의 변화를 어떻게 인식하는지 알아보았다. 이를 위한 구체적인 연구 문제는 미래의 지구가 지구온난화로 인해 대기 중 수증기의 양이 많아져서 물 층이 지구 주위를 감싼다고 할 때 바람과 날씨 등과 관련된 기후는 어떻게 변화하겠는지에 대해 지구시스템 관점에서 설명하도록 개발하였다. 이처럼 지구온난화로 인해 물 층이 지구 주위를 둘러싼 상황을 문제로 제시한 이유는 기후변화에 대해 과학영재들의 다양한 관점을 알아봄과 동시에 특정 상황의 문제를 해결하는 과정에서 보이게 될 지구시스템 사고와 관련된 인식을 알아보기 위해서였다. 이렇게 개발된 연구 문제는 과학교육을 전공하는 박사과정 3인, 석사과정 2인과의 논의를 거쳐 내용을 수정 및 보완하였으며, 수정된 문항은 다시 과학교육 전문가 2인과의 논의를 거쳐 개발된 문항의 타당도를 검증받았다. 이렇게 개발된 문제는 [그림 1]과 같다.

한편 FPS를 적용한 수업은 미래장면 개발과 교수학습 과정으로 구분될 수 있으며 교수학습 과정은 다시 문제의 이해, 아이디어의 생성, 실행을 위한 계획 개발의 세 가지 과정으로 이루어진다(김세현, 2014). 이는 다시 예비 단계를 제외한 도전문제 확인, 핵심문제 선정, 해결아이디어 선정, 판단준거 선정, 판단준거의 적용, 실행계획의 개발 등 여섯 단계로 구성된다(김영채, 2009). 이번 연구는 FPS에서 도출된 최선의 해결 아이디어를 선정하여 실천적인 활동 계획을 설계하는 것에 초점을 맞춘 것이 아니라 과학영재들이 산출한 해결 아이디어에서 나타나는 지구시스템 사고와 관련된 인식을 알아보기 위한 것이기 때문에 특히 FPS의 여러 단계 중 핵심문제에 대한 다양하고 독특한 해결 아이디어를 생성하는 단계에 주목

산업혁명 이후 대기 중으로 배출된 온실기체의 양은 계속 증가하고 있으며 이로 인해 지구의 온도도 지속적으로 상승하고 있다. 이와 같은 지구온난화로 인해 해수면은 상승하고 생물의 다양성은 감소하여 여러 생물이 멸종위기에 처해 있으며, 한편으로는 기상이변으로 인한 자연재해도 빈번해지고 있다. 특히, 지구온난화로 인해 대기 중에 포함할 수 있는 수증기의 양은 증가하고 그로 인해 사막화 현상이 유발되기도 한다. 만약 지구온난화가 가속화되어 아래 그림처럼 물이 지구 주위를 감싸는 상황이 지속된다면 미래 지구에서 바람과 날씨 등과 관련된 기후는 어떻게 변화하게 될지 지구시스템의 구성요소와 관련지어 생각해 보자.



[그림 1] 기후변화와 관련된 미래문제해결의 연구 주제

하였다. 이를 위하여 과학영재들을 대상으로 지구시스템의 특성에 대한 수업을 실시한 후 개발된 연구 문제를 제시하고 브레인스토밍(brainstorming) 과정을 통해 다양한 해결 아이디어를 산출하게 하였으며, 이렇게 산출된 아이디어 중 가장 적합한 것을 활동지에 작성하도록 하고 이를 분석하였다.

또한 FPS의 해결 아이디어에서 나타난 과학영재의 지구시스템 사고와 관련된 인식을 알아보기 위해 지구시스템 구성요소를 추출하였다. 이를 위하여 지구시스템과 관련된 문헌 연구를 통해 ‘대기권(atmosphere; AS), 수권(hydrosphere), 지권(geosphere), 생물권(biosphere), 인간 활동(human)’을 추출하였다. 또한 학생들이 작성한 활동지에서 주요 개념을 추출하였으며, 이렇게 추출된 개념은 다시 유사한 항목을 반복적으로 묶는 귀납적 범주화 과정을 거쳐 분석틀의 초안을 마련하였다(유은정, 고선영, 2013). 이때 과학영재들은 연구 문제에서 물 층이 지구를 감싸는 것과 같은 문제를 제시하여 해결 아이디어를 산출할 때 지구를 둘러싼 물 층에 깊은 관심을 가졌으며, 이로 인한 태양에너지(또는 햇빛)의 변화를 중요한 요소로 인식하여 자주 사용하였다. 이에 지구시스템 구성요소는 아니지만 중요한 분석 요소로 작용할 수 있을 것이라는 과학교육 전문가의 의견을 수용하여 ‘햇빛(sun light; SL)’과 ‘물 층(water layer; WL)’을 하위 요소로 추가하였다. 또한, 연구 문제에서 바람과 날씨 등의 대기권 변화를 주로 논의하도록 제시하여 학생들이 해결 아이디어 중 이에 대한 진술이 많아 대기권은 다시 강수현상(precipitation; pr), 기압과 바람(air pressure and wind; aw), 날씨변화(weather change; wc), 온도변화(temperature change; tc), 상태변화(state change; sc), 대기 성분(composition; co)의 하위 요소로 세분하였다. 이런 과정을 거쳐 최종적으로 만들어진 분석틀(<표 1>)을 이용하여 연구자와 석사과정 1인이 각각 코딩하였으며, 그 결과를 서로 비교해보고 일치하지 않는 것은 연구자와의 논의와 합의를 통해 일치시키는 과정을 반복하였다.

< 표 1 > 해결 아이디어의 지구시스템 사고 특성 파악을 위한 분석틀

하위요소		주요 개념	코드
지구 시스템 요소	강수현상(pr)	비, 눈, 우박, 구름	ASpr
	기압과 바람(aw)	바람, 기압, 고기압, 저기압	ASaw
	대기권 (AS)	태풍, 날씨, 기후변화	ASwc
	온도 변화(tc)	기온 상승, 하강, 온도변화	AStc
	상태 변화(sc)	수증기, 얼음 변화	ASsc
	대기 성분(co)	산소, 이산화탄소, 가스	ASco
	수권(Hydrosphere)	바다, 강, 지하수, 호수, 홍수	Hydrosphere
	지권(Geosphere)	지구, 육지, 산, 암석	Geosphere
	생물권(Biospehre)	식물, 동물, 유기물, 인간	Biosphere
	인간활동(Human Activity)	산성비, 오염, 소비	Human
기타 요소	햇빛(Sun Light)	태양, 햇빛, 빛, 열에너지	SL
	물 층(Water Layer)	물 층, 물 층의 두께	WL

### 3. 자료 처리 및 분석

이번 연구에서 FPS의 해결 아이디어에서 나타난 지구시스템 사고와 관련된 인식을 알아 보기 위해 SNA를 이용하여 분석하였다. 이를 위하여 먼저 학생들이 작성한 개방형 활동지의 모든 내용을 텍스트(text) 형태로 변환한 후 문장 단위로 구분된 파일을 생성하고 주요 단어를 확인하기 위해 조사나 접속사 등을 제거하는 전처리(cleaning) 과정을 거쳤다. 이런 과정을 거친 자료는 한국어 텍스트 분석 소프트웨어인 Krkwic을 이용하여 과학영재들이 사용한 단어의 출현 빈도를 산출하였고, 또한 한 문장 내에서 단어들이 출현한 빈도를 기초로 단어 사이의 구조적 관계를 파악하기 위한 공출현 매트릭스(co-occurrence matrix)를 산출하였다. 이렇게 산출한 공출현 매트릭스는 언어네트워크 전문 분석 프로그램인 UCINET 6 for windows를 통해 사용 단어의 여러 분석지표를 계산하였고, UCINET 내에 포함된 네트워크 시각화 프로그램인 NetDraw를 이용하여 과학영재들의 해결 아이디어를 언어네트워크 형태로 시각화한 후 분석지표와 교차적으로 분석하였다(조규성 외, 2013).

한편 과학영재들이 산출한 해결아이디어를 시각화한 네트워크 구조의 특성을 분석하기 위해 산출한 지표는 사용빈도, 연결 중심성, 매개 중심성, 근접 중심성, 경로길이, 군집계수 그리고 허브 점수 등이다. 여기서 사용빈도(frequency)는 과학영재들이 작성한 개방형 활동지에서 해당 단어가 사용된 횟수를 의미하며, 연결 중심성(degree centrality)은 언어 네트워크를 이루는 단어가 다른 단어와 함께 얼마나 많이 연결되어 있는지를 나타내는 지표로 다른 단어와 함께 자주 사용된다는 측면에서 전체 네트워크에서 핵심적인 역할을 수행한다(김용학, 2011). 또한 매개 중심성(betweenness centrality)은 한 단어가 다른 단어와 네트워크를 구성하는데 중재자(broker) 혹은 다리(bridge) 역할을 얼마나 충실히 수행하느냐를 측정하는 것으로 매개 중심성이 높을수록 전체 네트워크 사이의 정보 흐름과 교환에 중요한 역할을 수행한다(손동원, 2008). 그리고 근접 중심성(closeness centrality)은 한 단어가 다른 단어와 얼마만큼 가깝게 있는가를 의미하는 개념으로 연결 중심성이 직접적으로 연결된 단어를 기준으로 측정한다면, 근접 중심

성은 직접적인 연결뿐 아니라 간접적으로 연결된 모든 단어 사이의 거리를 측정한다. 다시 말해 가장 중심이 되는 단어는 네트워크상에서 연결된 모든 단어와 가장 거리가 짧은 단어라 할 수 있다(박지영, 김태호, 박한우, 2013). 한편, 경로길이(path length)는 각각의 단어가 다른 단어와 직접적으로 거치게 되는 최단 경로길이의 평균화된 거리를 나타낸 지표로 이 값이 작을수록 직접적인 연결 관계를 이루고 있다고 할 수 있으며, 군집계수(clustering coefficient)는 함께 연결된 주변 단어에 대한 밀도를 나타낸 것으로 모든 단어에 대한 평균화된 값을 나타낸다(조규성 외, 2013). 또한 사용된 전체 단어 중에서 네트워크를 서로 긴밀하게 연결시켜 주는데 중요한 역할을 하는 허브(hub) 단어를 찾을 수 있는데, 일반적으로 허브로 사용된 단어는 높은 연결 중심성, 높은 매개 중심성, 낮은 경로길이, 낮은 군집계수를 갖는 특징이 있다. 이와 같은 허브 단어는 언어 네트워크를 구성하는 전체 단어 중 기준이 되는 분석지표의 상위 20%에 해당하는 단어에 1점을 부여하고 그렇지 않은 단어에 0점을 부여하는 방식으로 계산하여 그 값이 2 이상인 단어로 선정할 수 있다(Heiter et al., 2012).

### III. 연구 결과 및 논의

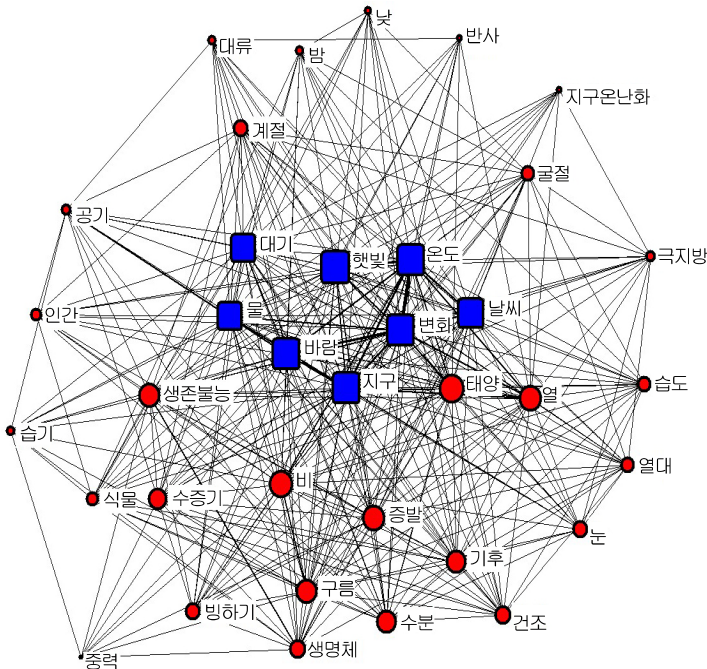
#### 1. 과학영재들이 기후변화와 관련하여 사용한 주요 단어의 특성

과학영재들이 기후변화와 관련된 FPS 과정에서 나타난 지구시스템 사고와 관련된 인식을 분석하기에 앞서 사용된 주요 단어의 특성을 알아보았다. 이를 위하여 먼저 과학영재들이 산출한 아이디어에 사용된 단어의 빈도를 Krkwic을 이용하여 분석한 결과 과학영재들은 132개의 단어를 사용하였으며, 단어 사이의 선(link)의 수는 2,176개로 나타났다. 사용된 단어에 비해 선의 수가 많은 것으로 보아 단어가 별개로 존재하기보다 서로 복잡하게 연결된 상태를 보이고 있었으며, 이 때문에 전체 네트워크의 밀도는 0.45로 비교적 높은 값을 보였다. 여기서 밀도(density)는 네트워크를 이루는 단어들이 얼마나 많은 관계를 맺고 있는지를 나타내는 지표로 연결 가능한 전체 선의 수에서 실제로 연결된 모든 선의 수가 차지하는 비율로 계산된다(김용학, 2011). 즉, 기후변화로 인해 물 층이 지구 주위를 감싸는 상황인 과학적 상상과 창의성을 요구하는 과제임에도 불구하고 과학영재들은 여러 단어를 사용하였을 뿐 아니라 한 문장 내에서 함께 사용된 단어의 빈도가 높기 때문에 밀도가 높은 값으로 산출된 것으로 보인다.

또한 과학영재들은 주어진 문제를 해결하는 과정에서 다양한 관점의 아이디어를 산출하였다. <표 2>는 과학영재들이 이렇게 산출한 아이디어에서 사용된 단어 중에서 주요 단어에 대한 분석지표를 나타낸 것이며, [그림 2]는 주요 단어 사이의 구조적 관계를 네트워크 형태로 시각화한 것이다. 과학영재들이 문제를 해결하는 과정에서 사용한 단어의 빈도를 살펴보면 ‘온도(126회), 변화(123회), 지구(101회), 바람(88회), 햇빛(74회), 비(57회), 날씨(53회), 대기(32회), 물(32회), 태양(32회)’ 등의 순으로 나타났다. 이때 단어의 사용빈도가 높다는 것은 주어진 문제를 해결하는 과정에서 반복적으로 사용한 것이기 때문에 연구 주제를 가장 잘 표현하는 핵심 단어라 할 수 있다(남인용, 박한우, 2007). 또한 네트워크를 이루는 전체 단어의 평균 연결 중심성은 3.0, 매개 중심성은 1.3, 경로길이 1.4, 군집계수 4.9를 보이고 있다. 각 단어에 대한 세부적

<표 2> 과학영재들이 사용한 주요 단어에 대한 분석지표 산출 값

단어	사용 빈도	연결 중심성	매개 중심성	경로 길이	군집 계수	허브 점수	단어	사용 빈도	연결 중심성	매개 중심성	경로 길이	군집 계수	허브 점수
온도	126	13	3	1.03	2.77	4	증발	28	3	1	1.28	5.06	0
지구	101	10	3	1.03	2.86	4	생존불능	27	3	1	1.31	5.18	0
바람	88	7	5	1.06	3.15	4	열	26	4	2	1.25	4.60	0
햇빛	74	7	5	1.00	2.93	4	기후	25	3	1	1.36	6.21	0
날씨	53	5	3	1.11	3.63	4	생명체	20	2	1	1.44	7.00	0
물	32	5	3	1.11	3.61	4	구름	19	3	1	1.31	5.21	0
변화	123	12	2	1.03	2.76	3	공기	18	1	0	1.58	8.25	0
대기	38	4	3	1.11	3.65	3	습도	16	1	0	1.53	8.57	0
비	57	5	2	1.17	4.02	1	수증기	14	2	1	1.39	6.27	0
태양	32	4	3	1.17	3.96	1	인간	14	1	0	1.58	9.67	0



[그림 2] 기후변화에 대한 과학영재들의 언어 네트워크(■ : 허브 단어)

인 분석지표를 살펴보면 대체로 사용빈도가 높은 ‘온도, 변화, 지구, 바람, 햇빛’ 등의 단어가 연결 중심성도 높은 값을 보이고 있음을 알 수 있다. 즉, 사용빈도가 높은 단어일수록 한 문장 내에서 다른 단어와 함께 사용된 횟수가 많기 때문에 전체 네트워크를 긴밀하게 연결시켜 주는 데 중요한 역할을 수행하고 있다. 반면, ‘바람과 햇빛’의 사용 빈도는 ‘온도, 지구, 변화’에 비해 작지만 매개 중심성이 5로 평균인 1.3보다 4배 가까이 큰 값을 보인다. 매개 중심성이 네트워크 내의 단어를 서로 연결시켜주는 다리 역할을 한다는 측면에서 볼 때 이들 단어의 사용빈도가



낮더라도 해당 단어가 전체 네트워크 내에서 제외된다면 다른 단어 사이의 원활한 소통이 어려울 수 있다(박지영 외, 2013). 이는 과학영재들이 FPS 과정에서 바람과 햇빛의 사용 빈도는 낮지만 온도 변화의 원인을 햇빛의 양의 변화에서 찾고 있으며, 그로 인해 바람의 변화가 유발된다는 점을 중요하게 인식하고 있다는 특성을 확인할 수 있다. 특히, ‘햇빛, 온도, 지구, 바람, 변화’ 등의 단어는 경로길이 값이 1.00~1.06으로 작은 값을 보여 한 문장 내에서 다른 단어와 함께 직접적인 연결 관계를 하고 있는 것을 통해서도 확인할 수 있다.

한편 전체 단어 중에서 허브 점수가 높은 단어는 그 특성상 네트워크의 주요 위치를 점하고 있으면서 여러 단어를 서로 긴밀하게 연결시켜 주거나 정보의 흐름 및 교환에 중요한 역할을 하게 된다(이준기, 하민수, 2012). 이런 측면에서 과학영재들의 네트워크를 이루는 주요 단어를 허브 점수(hub score) 측면에서 살펴보면, ‘온도, 지구, 바람, 햇빛, 날씨, 물, 변화, 대기’ 등이 허브 단어로 사용되고 있다. 이들 단어는 사용 빈도가 높은 단어로서 [그림 2]에서 볼 수 있는 것과 같이 네트워크의 중앙에 위치해 있으면서 정보의 흐름과 교환에 중요한 역할을 수행하고 있다. 또한 이 단어들이 동시에 출현하는 관계를 기준으로 단어 간의 연결 강도를 확인할 수 있는데, 이를 통해 이 단어들이 어떤 맥락에서 등장하며 어떤 단어들과의 관계를 통해 존재하는지 살필 수 있다(박지영 외, 2013). 여기서는 ‘온도-변화-지구’와 같은 단어를 중심으로 ‘햇빛, 바람, 날씨’와 같은 허브 단어가 서로 강한 연결 상태를 보이고 있다.

이와 같은 분석지표의 결과를 정리해 보면 과학영재들은 기후변화로 인해 물 층이 지구 주위를 감싸는 상황이 지속될 때 미래 지구에서 나타날 수 있는 변화라는 과학적 상상과 창의성이 요구되는 문제를 해결하는 과정에서 다양한 관점으로 자신의 아이디어를 산출하고 있었다. 이때 대부분의 과학영재들은 지구를 둘러싼 물 층으로 인해 지구에서 발생 가능한 환경적 요소의 변화, 그 중에서도 지구로 입사되는 햇빛의 양이 달라지기 때문에 발생하는 온도 변화를 중요한 요소로 인식하고 있었으며, 이로 인해 발생하는 바람 및 날씨 변화를 중요한 변화 요소로 이해하고 있다는 것을 알 수 있다. 이와 같은 특성은 과학영재들이 작성한 개방형 활동지를 통해서도 직접 확인할 수 있다.

학생 A: 만약 물이 지구 주위를 감싸고 있다면 태양 빛이 물을 통과하지 못하게 되어 지구의 온도는 급격히 떨어질 것이다. 그로 인해 엄청난 양의 눈과 우박과 같은 것이 내리게 될 것이다. 또한 지구에서 일어나는 바람의 세기는 약해질 것이다. 왜냐하면 바람은 찬 공기와 따뜻한 공기가 있어야 생성되는데 지구의 온도가 내려가면 찬 공기 밖에 남지 않기 때문에 바람의 세기가 약해질 것이라 생각된다.

(과학영재 A의 활동지 중에서...)

학생 B: 대기를 물이 감싸고 있다면 태양으로부터 지구로 오는 햇빛의 양이 물에 의해 줄어들고, 바람은 원래 온도 차이 때문에 생기는 것인데 햇빛으로부터 받게 되는 열의 양이 줄어들면서 온도 차이가 잘 나지 않으며 바람이 많이 불지 않게 될 것이다. 또한 바다나 호수 등 증발한 수증기가 구름이 되는 곳에서는 물이 많이 증발하지 않아서 비가 내리지 않기 때문에 건조기후 지역이 늘어날 것이다. 식물들은 햇빛의 양이 줄어들기 때문에 광

합성을 하기 어려워 인간에게 산소를 공급하는 양이 줄어들기 때문에 인간이 살아가기 힘들 것이다. ... (중략) ... 만약 물이 지구를 둘러싸고 있다면 인간이 생존하는 것은 불가능하며 바람도 많이 불지 않고 비도 잘 내리지 않을 것이다.

(과학영재 B의 활동지 중에서...)

이와 같이 과학영재들이 사용한 주요 단어의 구조적 특성을 세부적으로 살펴본 결과 전체 37명 중 23명의 학생들은 ‘물 층으로 인한 햇빛의 굴절 및 반사 → 지구 표면에 입사되는 태양에너지 감소 → 지구의 온도 차이 감소 → 기압의 차이 감소 → 바람의 세기 약화 → 날씨 변화’라는 개념의 연결을 주로 보이고 있으며, 이는 과학영재들을 대상으로 바람이 부는 이유에 대해 분석한 선행 연구(오준영, 김상수, 조운행, 2009)와 유사한 결과를 보였다. 이처럼 많은 과학영재들이 비슷한 응답을 보인 이유는 비록 연구문제에서 물 층이 지구 주위를 둘러싼 특정 상황이 주어졌음에도 불구하고 초등학교에서 바람이 부는 이유와 날씨의 변화 등에 관한 학습 경험으로부터 비롯된 것이라 판단된다. 반면 4명의 과학영재들은 동일한 문제에 대해 ‘태양에너지의 물 층 투과 → 지구의 온도 상승 → 지구복사에너지 방출 → 지구복사의 물 층에서 흡수 → 지구의 온도 재상승 → 날씨와 바람의 변화’라는 개념 연결을 보이고 있었다. 이 또한 지구온난화의 원인이 되는 온실효과에 대한 사전 학습 경험의 결과로 해석된다. 여기서 볼 수 있는 것과 같이 전체 과학영재 중 27명이 물 층으로 인해 지구에서 나타날 바람과 날씨 변화를 태양에너지로부터 원인을 찾는 것은 동일하지만 전자는 태양에너지가 물 층을 투과하지 못할 때, 후자는 투과할 때를 가정했을 때 나타난 결과라는 점에서 차이를 보인다.

본 연구에서 주어진 주제는 미래 상황에서 일어날 수 있는 특정 상황을 가정하여 제시한 것이기 때문에 정해진 답이 있는 것은 아니며, 과학영재들이 제시한 두 가지 변화 모두 나름대로의 과학적인 논증 과정을 통해 접근한 결과라 할 수 있다. 그러나 앞서 제시한 두 가지 결과를 도출하기 위해서 무엇보다 중요한 가정은 물 층의 두께라 할 수 있다. 왜냐하면 물은 대기에 비해 햇빛을 산란하는 정도가 크기 때문에 물 층의 두께에 따라 햇빛이 통과할 수 있는 깊이가 달라질 수 있으며, 이로 인해 지표면에서 나타날 수 있는 여러 환경적인 변화가 유발될 수 있기 때문이다. 그러나 전체 과학영재 중 단 2명만이 물 층의 두께에 따라 나타날 수 있는 변화에 대한 두 가지 경우를 모두 제시했을 뿐이며, 27명의 과학영재들은 한 가지 요인만을 고려하고 있었다. 한편 이를 제외한 8명은 문제해결과 관련된 과학적인 논증 과정보다는 오존층, 소행성과 같이 문제해결에 큰 영향을 미치지 않는 직관적인 개념을 제시하여 설명하는데 그치고 있었다. 이와 같은 결과는 우리가 지금까지 경험해보지 못한 미래의 문제를 해결하기 위해서는 과학적이고 객관적인 논리 또는 증거를 통해 여러 가지 해결 가능한 아이디어의 산출이 무엇보다 중요하다는 측면에서 볼 때 과학영재들이 최선의 아이디어를 산출할 수 있도록 다양하고 많은 생각들을 하는 발산적 사고를 함양할 수 있는 적절한 교수·학습 자료 개발이 필요하며, 또한 교수·학습 상황에서 한 가지 문제에 대해서도 다양하게 생각해 볼 수 있도록 지도하는 것이 필요할 것으로 생각된다.

## 2. 과학영재들의 기후변화에 대한 지구시스템 사고와 관련된 인식

이 연구에서는 지구시스템 사고와 깊은 관련이 있는 것으로 알려진 기후변화에 대한 문제에서 보이는 과학영재들의 지구시스템 사고와 관련된 인식을 분석하였다. 과학영재들은 기후변화로 인해 물 층이 지구 주위를 감싸는 상황이 지속될 때 미래 지구에서 나타날 수 있는 변화라는 과학적 상상이 요구되는 문제에 대해 다양한 관점에서 자신의 생각을 제시하였다. 앞서 살펴본 바와 같이 과학영재들은 지구를 둘러싼 물 층으로 인해 지구 표면으로 들어오는 햇빛의 양이 변화하기 때문에 지구에 바람과 날씨 등이 변화할 것이라는 진술을 많이 하고 있으나 진술 내용 중 일부는 과학적 오류가 있었으며, 또한 과학적인 논증에 의한 진술이 아닌 본인의 직관에 의한 진술이 포함되어 있어 지구시스템 사고 특성을 파악하기 어려웠다. 이에 과학교육 전문가와의 협의를 통해 분석에 부적절한 것으로 판단되는 진술은 분석에서 제외하였다.

<표 3>은 과학영재들이 연구 문제를 해결하는 과정에서 산출된 아이디어를 지구시스템 관점에서 해석하기 위해 개발된 분석틀에 따라 코딩한 후 각각의 하위요소에 대한 분석지표를 산출하여 순위에 따라 제시한 것이다. 과학영재들은 지구온난화로 인해 물 층이 지구 주위를 감싸는 상황이 지속될 때 미래 지구에서 생길 수 있는 기후변화를 지구시스템의 구성요소와 관련지어 설명하라는 문제를 해결하는 과정에서 418개의 하위요소를 사용하였다. 이 중에서 대기권 관련 요소가 299개로 가장 많았으며, 지권 48개, 생물권 42개, 수권 28개, 그리고 인간 활동 관련 요소는 1개로 가장 적게 사용되었다. 반면, 지구시스템 구성 요소는 아니지만 햇빛 관련 요소는 78개, 물 층 관련 요소 69개로 높은 사용빈도를 보였다. 이런 결과는 본 연구에서 제시한 문제가 물 층이 지구 주위를 둘러싸는 상황이 지속될 때 나타나는 바람과 날씨는 어떻게 변화할지 설명하는 문제가 주어졌기 때문에 대기권, 태양에너지, 물 층과 관련된 하위요소의 빈도가 높게 나타난 것으로 보인다. 반면 상대적으로 지권, 생물권, 수

<표 3> FPS 과정에서 보인 과학영재들의 지구시스템 구성요소의 분석지표

순위	사용빈도		연결 중심성		매개 중심성		근접 중심성	
	하위요소	값	하위요소	값	하위요소	값	하위요소	값
1	AStc	84	SL	28.7	Biosphere	11.7	Biosphere	100
2	SL	78	WL	27.9	Hydrosphere	8.0	Geosphere	92
3	WL	69	AStc	26.3	Geosphere	4.2	Hydrosphere	92
4	ASaw	60	Geosphere	17.1	AStc	1.1	WL	86
5	ASwc	53	ASpr	16.9	ASco	0.8	ASwc	86
6	ASpr	49	ASwc	15.8	ASwc	0.4	ASpr	86
7	Geosphere	48	ASaw	15.1	WL	0.4	ASaw	86
8	Biosphere	42	Biosphere	13.2	SL	0.4	SL	86
9	ASsc	32	ASsc	12.5	ASsc	0.4	ASsc	86
10	Hydrosphere	28	Hydrosphere	9.4	ASaw	0.4	ASth	80
11	ASth	14	ASth	2.9	ASpr	0.4	AStc	75
12	ASco	7	ASco	2.2	ASth	0.0	ASco	63
13	Human	1	Human	0.7	Human	0.0	Human	57
	Mean			14.5		2.2		83

권 및 인간 활동에 대한 요소는 낮은 사용 빈도를 보였는데, 이는 탄소 순환에 대한 시스템 사고 특성을 분석한 선행 연구(문병찬 외, 2004)와 유사한 결과를 보였다.

지구시스템 구성요소를 여러 분석지표 중 사용빈도 측면에서 살펴보면 AStc(온도 변화)가 84회, SL(햇빛) 78회, WL(물 층) 69회, ASaw(기압과 바람) 60회, ASwc(날씨 변화) 53회, ASpr(강수 현상) 49회 등의 순으로 나타났다. 또한 지구시스템 구성요소를 연결 중심성에서 보면 SL(햇빛), WL(물 층), AStc(온도 변화)가 26.3~28.7의 값을 보여 평균인 14.5보다 크게 나타났다. 연결 중심성이 해당 단어와 다른 단어와 얼마나 많이 연결되어 있는지를 나타내는 지표라는 점에서 볼 때 과학영재들은 위의 세 가지 요소를 주로 사용하여 설명하고 있음을 알 수 있다. 즉, 위에서 제시한 세 가지의 요소는 노출빈도가 높은 동시에 다른 요소와 함께 등장하며 전체 문장의 흐름을 주도하고 있는 하위요소라 할 수 있다. 한편, 연결 중심성을 제외한 매개 중심성과 근접 중심성 측면에서 보면 각 하위요소의 분석지표가 서로 차이가 있었다. 즉, Biosphere(생물권), Geosphere(지권), Hydrosphere(수권) 등의 하위요소는 사용빈도와 연결중심성은 낮은 순위에 나타났지만, 매개 중심성과 근접 중심성에서는 상대적으로 높은 순위에 나타난 것으로 확인되었다(<표 3>).

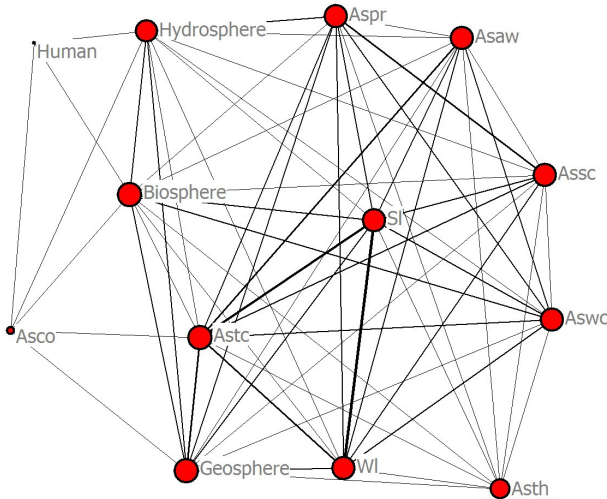
<표 4> 하위요소 사이의 중심성 상관관계

		연결중심성	매개중심성	근접중심성
연결중심성	Pearson 상관계수	1	-.073	.441
매개중심성	Pearson 상관계수		1	.594*
근접중심성	Pearson 상관계수			1

\* $p < .05$

<표 4>는 하위요소 사이의 중심성에 대한 상관관계를 피어슨(Pearson) 분석을 통해 비교한 것이다. 연결 중심성과 매개 중심성은 상관계수 -.073으로 부적 상관을 보이지만 상관관계가 거의 없는 것으로 나타났으며, 연결 중심성과 근접 중심성은 상관계수 .441로 정적 상관관계가 다소 높은 것으로 나타났지만 유의미한 결과는 아닌 것으로 나타났다. 반면, 매개 중심성과 근접 중심성은 상관계수가 .594로 비교적 높은 상관관계를 나타냈을 뿐 아니라 유의미한 결과를 보였다( $p < .05$ ). 이와 같은 하위요소 사이의 중심성에 대한 상관관계는 각 하위요소에 대한 분석지표의 특성을 다각적으로 해석할 수 있는 자료를 제공해 줄 수 있다(박지영 외, 2013). 즉, 연결 중심성이 단어들의 사용 빈도와 관련된 것을 고려한다면 사용빈도가 높다 하더라도 매개 중심성이 낮게 나타날 수 있다는 것을 의미한다. 또한 연결 중심성이 직접적으로 연결된 단어와의 관계를 측정하는 것과 달리 근접 중심성은 직접적인 연결 뿐 아니라 간접적으로 연결된 모든 단어 사이의 거리를 측정하며, 매개 중심성과 근접 중심성이 비교적 높은 상관관계를 보인다는 점에서 볼 때 과학영재들이 미래문제를 해결하는 과정에서 사용된 지구시스템 관련 하위요소 중 매개 중심성과 근접 중심성이 높은 하위요소는 전체 네트워크에서 중심적인 위치를 차지하고 있다고 해석할 수 있다. 다시 말해 매개 중심성과 근접 중심성이 높은 값을 보인 Biosphere(생물권), Geosphere(지권), Hydrosphere(수권)

은 전체 네트워크에서 사용빈도는 적지만 문맥에서 중심적인 역할을 수행하고 있는 것으로 해석할 수 있다.



[그림 3] 과학영재들의 지구시스템 관련 하위요소에 대한 언어네트워크 구조

FPS 과정에서 나타난 과학영재들의 지구시스템 사고와 관련된 인식을 정리해 보면 연구문제가 물 층이 지구 주위를 감싸는 상황이 지속될 때 미래 지구에서 나타날 수 있는 바람과 날씨 등 기후 변화를 지구시스템 구성요소와 관련지어 설명하라는 것이었기 때문에 대기권에서 나타날 수 있는 변화를 중심으로 주로 인식하고 있었다. 이러한 결과는 과학영재들이 문제를 해결하는 과정에서 사용된 지구시스템 하위요소의 개수로 볼 때는 낮은 수준의 시스템 사고를 보이고 있다는 선행연구 결과(문병찬 외, 2004)와 유사하다고 할 수 있다. 그러나 생물권, 수권, 지권 등의 요소는 다른 하위요소에 비해 상대적으로 사용빈도나 연결 중심성은 낮지만 매개 중심성과 근접 중심성이 높게 나와 중요한 요소로 인식하고 있다. 즉, 기후변화와 관련하여 미래 지구에서 일어날 수 있는 불확실한 상황에 대해 과학영재들은 지구시스템을 구성하는 여러 하위 요소와의 상호 관련성을 비교적 잘 인식하고 있는 것으로 나타났다. 이처럼 하위요소가 사용된 횟수가 아니라 이들 사이의 구조적 관계에서 볼 때 사용빈도가 적은 지구시스템 하위요소(예, 생물권, 수권, 지권)라 할지라도 전체 네트워크에서 중요한 의미를 가진다는 이 연구의 결과를 통해 과학영재들은 지구시스템 사고와 관련된 인식이 대체로 높다고 할 수 있다. 다시 말해 과학영재들은 미래 지구에서 발생할 수 있는 기후변화와 관련된 대기권의 환경 변화로 인해 수권, 지권에서 나타날 수 있는 변화를 중요한 요소로 함께 인식하고 있으며, 궁극적으로는 생물권의 하위 요소인 인간을 비롯한 동·식물 등의 생존에 큰 위협이 될 수 있을 것이라는 미래 지구에 대한 인식을 가지고 있는 것으로 판단된다.

#### IV. 결론 및 제언

이 연구는 불확실한 미래 상황에서 발생할 수 있는 기후변화와 관련된 문제를 해결하는 과정에서 나타난 과학영재들의 지구시스템 사고와 관련된 인식을 알아보고자 하였다. 이를 위해서 지구온난화로 인해 지구 주위를 물 층이 감싸고 있는 상황이 지속될 때 미래 지구에서 나타날 수 있는 바람과 날씨 등과 관련된 기후는 어떻게 변화할지 지구시스템 관점에서 설명하도록 활동지를 개발하였다. 이렇게 개발된 활동지는 FPS를 적용한 수업의 학습 자료로 사용하였으며, 연구 문제에 대한 해결과정에서 산출된 아이디어를 SNA로 분석하여 과학영재들의 지구시스템 사고와 관련된 인식을 알아보았다. 이를 바탕으로 도출한 결론은 다음과 같다.

첫째, 과학영재들은 지구온난화로 인해 물 층이 지구 주위를 둘러싼 특정 상황이 제시된 문제를 해결하는 과정에서 다양한 관점에서 자신의 아이디어를 산출하였으며, 이때 ‘온도, 바람, 햇빛, 날씨, 물, 변화, 대기’ 등의 단어를 주로 사용하였다. 즉, 과학영재들은 지구를 둘러싼 물 층으로 인해 지구에서 발생 가능한 환경적 요소의 변화로 지구로 입사되는 햇빛의 양이 달라지기 때문에 발생하는 온도 변화, 그리고 이로부터 일어날 수 있는 바람 및 날씨 변화를 중요한 요소로 이해하고 있었다.

둘째, 물 층이 지구 주위를 둘러싼 특정 상황을 과학적으로 해결하기 위해서는 무엇보다 물 층의 두께가 클 때와 작을 때의 두 가지 상황을 가정하여 발생할 수 있는 태양에너지의 변화가 중요한 요소가 된다. 그러나 전체 37명의 과학영재 중 단 2명만이 두 가지 요소를 모두 고려하여 설명하였으며, 27명은 한 가지 요인만을 고려하였고, 나머지 8명은 과학적인 논증보다는 직관적인 개념을 제시하여 설명하고 있었다.

셋째, 과학영재들은 기후변화와 관련된 미래문제를 해결하는 과정에서 여러 가지 지구시스템 관련 하위요소를 사용하였다. 이 중에서 대기권 관련 요소가 가장 많았으며, 상대적으로 생물권, 지권, 수권 관련 요소의 사용빈도는 낮게 나타났다. 그러나 지구시스템 구성요소 사이의 구조적 관계를 살펴본 결과 생물권, 지권, 수권 관련 요소는 비록 사용 빈도는 낮지만 전체 네트워크 내에서 중심적인 역할을 수행한다는 결과를 보이고 있었다. 이를 통해 과학영재들은 지구시스템 관련 하위요소가 긴밀하게 상호작용하고 있다는 것을 이해함으로써 지구시스템 사고와 관련된 인식이 대체로 높다고 할 수 있다.

위의 결과로 볼 때 과학영재들은 불확실한 미래 상황에서 발생할 수 있는 기후변화와 관련된 네트워크 구조는 크게 몇 가지 유형으로 구분할 수 있었다. 경험해 보지 못한 미래 상황에 대한 문제를 해결하는 과정에서 과학영재들은 과거의 학습 경험을 활용하여 나름대로의 과학적인 논증 과정을 거쳐 해결 아이디어를 산출하였지만 일부는 직관적인 개념의 나열에 그치고 있다. 그러나 미래의 상황은 너무나도 불확실하기 때문에 정해진 답이 있는 것은 아니며, 가능한 모든 아이디어를 산출해야 한다는 점에서 볼 때 과학영재들의 창의성을 발휘하고 함양할 수 있는 다양한 학습 자료의 개발과 함께 교사를 통한 적절한 교수·학습 처치가 필요할 것이다.

한편 이 연구는 과학영재들이 미래의 불확실한 상황에서 나타날 수 있는 문제를 해결하면서 나타난 아이디어를 SNA를 통해 알아본 것이다. 제시된 연구 문제에 따라 나타나는 과학영재들의 지구시스템 사고는 다소 차이가 있을 수 있지만 각 지구시스템 구성요소의 사용 빈도로 볼 때 선행연구 결과와 대체로 유사한 결과를 보였다. 그러나 구성요소 사이의 구조적 관계를 통해 보면 앞서 설명한 것과 같이 지구시스템 관련 하위 요소와의 상호작용에 대한 이해가 높은 것으로 나타났다. 이는 학습자가 특정 내용을 어떤 방식으로 인식하고 네트워크를 형성하고 있는지를 파악하는 데 용이한 SNA를 적용해 얻은 결과라는 점에서 연구의 목적에 따라 다방면의 연구에서 SNA가 활용될 수 있을 것이라 생각된다. 그러나 SNA는 그 자체로 완벽한 분석 방법이라 할 수 없다. 즉, SNA는 한 문장 내에서 사용된 단어 사이의 의미론적 연관성을 기반으로 단어 사이의 구조적 관계를 분석하는 방법이기 때문에 단어 사이의 연관성에 대한 진위 여부는 확인할 수 없다는 문제점도 있다. 그렇기 때문에 자료를 분석하기 위한 전처리 과정에서 이에 대한 세심한 주의가 필요할 것이다.

또한 이 연구는 37명이라는 적은 수의 과학영재를 대상으로 한 결과이기 때문에 모든 과학영재에게 일반화할 수는 없으며, 기후변화와 관련된 연구 문제를 제시하였지만 물 층이 지구 주위를 둘러싼 특정 상황을 가정하였기 때문에 다른 기후변화와 관련된 연구 결과와도 차이가 날 수 있다는 점에서 한계가 있다. 그러나 불확실한 미래 상황에서 발생 가능한 문제를 해결하는 과정에서 나타난 과학영재들의 다양한 해결 아이디어를 SNA를 통해 다각적으로 분석함으로써 지구시스템 사고와 관련된 인식을 밝혔다는 데 그 의미가 있을 것이다. 따라서 이 연구 결과는 학생들의 창의력 신장을 위한 교육 프로그램인 FPS를 보완 및 발전시킬 뿐 아니라 과학영재들을 위한 지구시스템 교육에 있어 중요한 자료로 활용될 수 있을 것이다.

## 참 고 문 헌

- 김대성, 이용섭 (2012). 미래문제해결 프로그램이 창의성과 과학적 태도에 미치는 효과. **대한지구과학교육학회지**, 5(1), 51-59.
- 김미숙 (2004). 탐구형 영재과학 프로그램이 유아영재의 창의성 및 문제해결력 향상에 미치는 효과. **영재와 영재교육**, 3(1), 5-31.
- 김세현 (2014). 미래문제해결 모형을 적용한 과학수업에서 중학교 영재들의 과학지식과 과학에 대한 태도 및 과학창의성 분석. 박사학위논문. 이화여자대학교.
- 김영채 (2004). **CPS: 창의적 문제해결**. 서울: 박영사.
- 김영채 (2009). **창의적 문제해결: 창의력 수업을 위한 코칭 가이드**. 경기: 교육과학사.
- 김용학 (2011). **사회 연결망 분석(제3판)**. 서울: 박영사.
- 김지영, 하지희, 박국태, 강성주 (2008). 중학교 과학 영재의 과학 창의성 신장을 위한 문제 해결형 탐구 실험에서의 학생 간 대화 분석. **영재교육연구**, 18(1), 1-21.
- 김희수, 김종현, 윤근철, 이희권, 김정민, 이봉재 (2002). 과학 창의성 검사지 개발. **영재교육연구**, 12(4), 27-45.

- 남인용, 박한우 (2007). 대권 예비후보자 관련 신문기사의 네트워크 분석과 홍보전략. **한국 정당학회보**, 6(1), 79-107.
- 문병찬, 정진우, 경제복, 고영구, 윤석태, 김해경, 오강호 (2004). 예비교사들의 탄소 순환에 대한 지구시스템의 관련 개념과 시스템 사고의 적용. **한국지구과학회지**, 25(8), 684-696.
- 박선옥, 정덕호 (2011). 과학영재와 일반학생들의 창의적 사고 편향에 대한 분석. **영재교육연구**, 21(1), 175-191.
- 박신규, 정원우, 박영관, 홍순천, 박경미, 김중욱 (2011). 초등과학영재들의 창의성 유형 분석. **영재교육연구**, 21(4), 885-905.
- 박지영, 김태호, 박한우 (2013). 의미연결망 분석을 통한 셀러브리티의 SNS 메시지 탐구. **방송통신연구**, 통권82호, 36-74.
- 손동원 (2008). **사회네트워크 분석**, 서울: 경문사.
- 손충기, 김명철 (2007). 초·중학생 창의성 영재 선발 검사에 나타난 창의성 요인별 특성 연구. **영재교육연구**, 17(2), 307-337.
- 오준영, 김상수, 조운행 (2009). 바람이 부는 이유에 대한 과학영재들의 대안개념 특성. **과학영재교육**, 1(1), 65-78.
- 유은정, 고선영 (2013). 과학영재들의 우주개발사업에 대한 가치판단과 의사결정 글쓰기 분석. **영재교육연구**, 23(6), 861-879.
- 이명숙, 박상범 (2011). FPSP를 활용한 과학과 프로젝트 수업이 통합창의성에 미치는 효과. **교육심리연구**, 25(2), 367-390.
- 이승해, 이혜자 (2012). 미래문제해결프로그램(FPSP)을 적용한 친환경 의생활 수업이 창의·인성 함양에 미치는 영향. **한국가정교육학회지**, 24(3), 143-173.
- 이준기, 하민수 (2012). 언어네트워크분석법을 통한 중학교 과학영재들의 사실, 가설, 이론, 법칙과 과학적인 것의 의미에 대한 인식 조사. **한국과학교육학회지**, 32(5), 823-840.
- 이효령, 권영륜 (2008). 지구계 주제 중심의 지구과학 모듈 개발 및 적용. **한국지구과학회지**, 29(2), 175-188.
- 전명남, 박상범 (2013). FPSP 팀 문제해결 프로그램이 창의적 문제해결 교육 관련 교사 효능감과 창의적 성격에 미치는 효과. **창의력교육연구**, 13(2), 5-27.
- 조규성, 정덕호, 서은선, 박경진 (2013). 야외지질학습에서 학습한 퇴적환경에 대한 과학영재와 일반학생의 언어네트워크 비교. **영재교육연구**, 23(6), 881-898.
- 최은열, 문성환 (2010). 초등학생의 창의성 신장을 위한 PBL 기반 과학영재프로그램 개발. **교과교육학연구**, 14(2), 411-431.
- 한기순, 신지은, 정현철, 최승인 (2002). 남학생은 여학생보다 창의적인가?: 영재들의 과학 창의성을 중심으로. **한국지구과학회지**, 23(4), 324-333.
- 황요한, 박중석 (2010). 과학영재의 창의성 신장을 위한 CNP 모형의 개발과 적용. **영재교육연구**, 20(3), 847-866.



- Benzvi-Assaraf, O., & Orion, N. (2005). Development of system thinking skills in the context of earth system education. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(5), 518-560.
- Cramond B. L. (2009). Future problem solving in gifted education. In L.V. Shavinina (Ed.), *International Handbook on Giftedness*. (pp. 1143-1156). New York: Springer.
- Doerfel, M. L., & Barnett, G. A. (1999). A semantic network analysis of the interactional communication. *Human Communication Research*, 25, 589-603.
- Heitger, M., Ronsse, R., Dhollander, T., Dupont, P., Caeyenberghs, K., & Swinnen, S. (2012). Motor learning-induced changes in functional brain connectivity as revealed by means of graph theoretical network analysis. *Neuroimage*, 61, 633-650.
- Kali, Y., Orion, N., & Eylon, B. S. (2003). Effect of knowledge integration of the Earth's crust as a cyclic system. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(6), 545-556.
- Reis, S. M., & Small, M. A. (2005). The varied and unique characteristics exhibited by diverse gifted and talented learners. *Methods and materials for teaching the gifted*, 3-32.
- Torrance, E. (1972). Predictive validity of the Torrance tests of creative thinking. *Journal of Creative Behavior*, 6(4), 236-252.
- Treffinger, D. J. (2011). *Future problem solving program international: Catalyst for talent recognition and development*. Center for Creative Learning, Inc.
- Treffinger, D. J., Solomon, M., & Woythal, D. (2012). Four decades of creative vision: Insights from an evaluation of the future problem solving program international (FPSPI). *The Journal of Creative Behavior*, 46(3), 209-219.

= Abstract =

## The Characteristics of Earth System Thinking of Science Gifted Students in relation to Climate Changes

**Kyeong-Jin Park**

*Chonbuk National University*

**Duk-Ho Chung**

*Chonbuk National University*

This study aimed to investigate the perception of earth system thinking of science gifted students in future problem solving (FPS) in relation to climate changes. In order to this study, the research problem associated with climate changes was developed through a literature review. The thirty seven science gifted students participated in lessons. The ideas in problem solving process of science gifted students were analyzed using the semantic network analysis method. The results are as follows. In the problem solving processes, science gifted students are 'changes of the sunlight by water layer', 'changes of the Earth's temperature', 'changes of the air pressure', 'change of the wind and weather' were represented in order. On other hand, regard to earth system thinking for climate changes, while science gifted students were used sub components related to atmospheres frequently, they were used sub components related to biosphere, geosphere, and hydrosphere a little. But, the analytical results of the structural relationship between the sub components related to earth system, they were recognised that biosphere, geosphere, and hydrosphere used very important in network structures. In conclusion, science gifted students were understood well that components of the earth system are influencing each other.

**Key Words:** Science gifted students, Future problem solving, Climate change, Earth system thinking

1차 원고접수: 2014년 4월 4일
수정원고접수: 2014년 4월 15일
최종게재결정: 2014년 4월 22일