

## 수학적 모델링에서 집단창의성 발현사례

정혜윤(서울대학교 대학원 학생)  
이경화(서울대학교 교수)<sup>†</sup>

### I. 서론

수학적 모델링은 실세계 현상에 대한 분석과 해석으로부터 출발하여 수학적 모델을 구성하고 이를 다시 실세계에 적용하는 과정(English & Sriraman, 2010; Gravemeijer, 2002)으로, 학생들의 수학적 사고력 신장과 탐구학습의 기회를 제공할 수 있는 수학교육의 한 방안으로서 그 중요성이 꾸준히 강조되고 있다(정혜윤, 이경화, 백도현, 정진호, 임경석, 2018). 이에 따라, 국내외의 여러 수학교육 연구자들(김민경, 홍지연, 김혜원, 2010; Bliss & Libertini, 2016; Galbraith & Stillman, 2006; Lesh, Cramer, Doerr, Post, & Zawojewski, 2003) 역시 수학적 모델링 활동과 관련하여 그 의미와 과정, 그리고 역할 및 효과 측면에서 다면적인 논의를 진행해 왔다. 특히, 최근에는 수학적 모델링 활동에 의한 수학적 창의성의 촉진 가능성 및 사례분석 연구(박진형, 2017; 이경화, 2016; Chamberlin & Moon, 2005; Palsdottir & Sriraman, 2017; Sriraman, 2005)가 다수 이루어짐으로써 수학적 모델링에서의 수학적 창의성 발현을 이론적, 실증적으로 검토하고 확인하고자 하였다.

하지만 이들 선행연구는 모두 개인의 수학적 창의성에 주목했다는 점에서 아쉬움이 남는다. 최근 창의성 발현 시 사회적 구성주의 관점에서 의사소통과 협동의 중요성이 부각(유경훈, 2015; Zhou & Luo, 2012)되고 수학과 교육과정의 목표 중 하나로 다른 사람과 상호작용하고 의사소통하는 능력이 제시(교육부, 2015)되는 등 집단 중심 활동의 필요성이 높아지고 있는바, 개인 창의성뿐

아니라 집단창의성에 대한 관심이 증가하고 있기 때문이다(성지현, 이종희, 2017a, 2017b; Woodman, Sawyer, & Griffin, 1993). 특히, 수학적 모델링의 경우, 실제 소집단 구성을 통한 수학적 모델링 활동 연구(Galbraith & Stillman, 2006; Kaiser, 2007; Vorhölter, 2017; Vorhölter, Krüger, & Wendt, 2017)가 다수 진행된바, 수학적 모델링 활동 시 개인이 아닌 집단 활동에 초점을 둔 집단창의성에 대한 연구의 필요성이 높다.

이에 본 연구에서는 수학적 모델링에서 집단창의성의 발현과정과 그 효과를 분석하고자 한다. 이와 같은 논의는 수학적 모델링이 지니는 교육적 의미를 추가적으로 모색하고, 실제 학교 현장에서 집단창의성 교육을 위한 수학적 모델링 활동을 구현하는 데에도 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

한편, 그동안 수학적 모델링 및 창의성 관련 연구는 주로 영재 학생을 대상으로 수행되었다(이경화, 2016; 정혜윤 외, 2018). 하지만 최근 수학교육연구(박진형, 2017; 이경화, 2016) 및 수학과 교육과정(교육부, 2015)에서는 일반 학생들을 대상으로 한 수학적 모델링, 그리고 창의성 연구에 대한 필요성을 제시하고 있다. 이에, 본 연구에서는 일반 학급의 일상적인 상황에서 나타날 수 있는 수학적 모델링에서의 집단창의성 발현사례와 그 효과를 고찰해 보고자 한다.

구체적인 연구목표는 다음과 같다. 첫째, 수학적 모델링 과정에서 나타나는 집단창의성 발현사례를 확인하고, 집단창의성이 수학적 모델링 활동에 미치는 효과를 살펴본다. 둘째, 집단창의성 발현을 위해 수학적 모델링 수업 시 요구되는 교수학습 전략을 확인한다.

### II. 이론적 배경

이 장에서는 첫째, 수학적 모델링의 의미를 살펴본다.

\* 접수일(2018년 9월 5일), 수정일(1차: 2018년 10월 14일, 2차: 2018년 10월 26일), 게재확정일(2018년 10월 27일)

\* ZDM분류 : M14

\* MSC2000분류 : 97D99

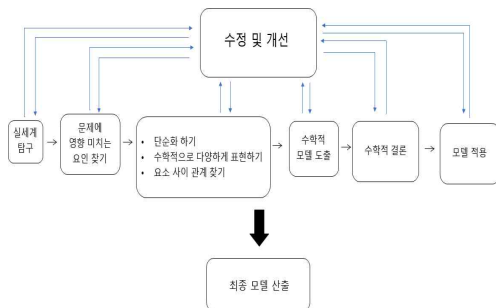
\* 주제어 : 수학적 모델링, 집단창의성, 상호작용

† 교신저자

둘째, 집단창의성의 의미를 명확히 하고, 집단창의성 발현과정으로서 소집단 활동에서 나타나는 집단 내 상호작용의 유형을 확인한다. 이에 대한 논의는 수학적 모델링 과정에서 나타나는 집단창의성 발현과정에 대한 사례분석의 토대가 된다.

1. 수학적 모델링

수학적 모델링은 연구자들에 따라 다양하게 정의되고 있지만(Chan, 2008; English, 2006; Palsdottir & Sriraman, 2017), 다양한 연구의 분석에서 공통적으로 드러나는 의미는 수학적 모델링이 ‘과정’으로 제시된다는 것이다. 실제로 수학적 모델링 관련 연구(김민경, 홍지연, 김은경, 2009; Doerr, 2007; Verschaffel, Greer, & De Corte, 2002)를 살펴보면, 연구자들마다 실세계 탐구에서 최종 모델 산출에 이르기까지 여러 단계로 구성된 과정으로서의 수학적 모델링을 제시하고 있음을 알 수 있다. 특히 최근에는 실세계 탐구로부터 최종 모델 산출에 이르기까지의 모델링 과정을 선형적 과정이 아닌 반복적, 순환적 과정으로 보는 관점이 부각되고 있다([그림 1] 참고). 즉, 수학적 모델링 활동 시 수정 및 개선의 기회를 제공함으로써 학생들 스스로 실세계 상황에 맞는 적절한 수학적 모델을 찾아갈 수 있도록 하는 것이다(박진형, 이경화, 2014; 신은주, 이종희, 2004; 정혜윤, 이경화, 백도현, 정진호, 임경석, 2018; Galbraith & Stillman, 2006).



[그림 1] 수학적 모델링(정혜윤 외, 2018)  
[Fig. 1] Mathematical Modeling(Jung et al., 2018)

수학적 모델링 활동 시 집단의 구성은 여러 연구(Galbraith & Stillman, 2006; Kaiser, 2007; Vorhölter, 2017; Vorhölter et al., 2017)에서 제안하고 있는 바이다.

Vorhölter(2017)는 수학적 모델링 활동을 집단 활동으로 간주하면서 집단 내 사고의 주체가 집단을 구성하는 각각의 개인이 아닌 집단 그 자체가 되어야 함을 언급하였으며, 정혜윤 외(2018)의 수학적 모델링 역시 집단 활동을 염두에 두고 있다. 나아가, Vorhölter et al(2017)은 수학적 모델링 활동 시 집단 구성을 통한 집단 내 상호작용이 필수적임을 주장하면서, 집단 내 많은 구성원들의 사고가 공유될 때에만 수학적 모델링 과제의 해결이 가능함을 언급한 바 있다. 이와 관련하여 Vorhölter (2017)와 Blmhøj(2011)는 수학적 모델링에서 나타나는 집단의 메타인지역량을 제시하기도 하였는데, 이는 집단 구성원 개개인의 역량의 합을 뛰어넘는 것으로 개인의 메타인지역량과는 차별화되는 개념이다.

이 같은 논의는 집단 구성을 통한 수학적 모델링 활동의 가능성과 함께 그 필요성을 보여준다. 동시에 집단 구성을 중심으로 한 수학적 모델링의 과정과 의미를 보여주는데, 이는 여러 학생이 수학적 모델링 과정에 참여하여 공동의 모델을 구성, 수정하고 발달시키는 과정이라고 할 수 있다. 특히, 모델링 과정에서 소집단 구성원들 사이의 상호작용이 나타나게 되는데(Vorhölter, 2017), 학생들은 상호작용을 통해 사회문화적인 관점에서 새로운 지식 내용을 공동으로 학습하고 내면화(Zhou & Luo, 2012)하게 된다. 이러한 특징은 개인이 홀로 수행하는 수학적 모델링과의 가장 큰 차이점으로 볼 수 있다.

2. 집단창의성과 상호작용

1) 집단창의성의 의미

집단창의성의 개념은 연구자들에 따라 다양하게 정의되지만, 집단창의성에 관한 선행연구(김부미, 2018; 김영채, 2007; 유경훈, 2015; Paulus, 2000; Woodman et al., 1993; Zhou & Luo, 2012)를 분석하면, 공통적으로 집단 구성원의 상호작용 속에서 개인이 할 수 있는 것보다 뛰어난 산출을 해내는 집단 수준의 창의적 시너지를 갖는 것이 핵심이 됨을 알 수 있다. 이때, 집단 내 상호작용이란 서로의 정보를 교환하고 발전시켜 나가는 과정으로, 사회적 맥락에서의 검증과 구성원들의 합의를 포함한다(Paulus, 2000; Paulus & Nijstad, 2003, pp. 5-6; Zhou & Luo, 2012). 또한, 창의적 시너지란 상호작용 과정과 그 결과에서 나타나는 개인보다 뛰어난 집단 수준의 창

의적 문제 해결 능력 혹은 지식의 구성으로, 상호작용 과정과 결과의 두 측면에서 나타나는 효과를 모두 포함한다(김선연, 2017; Pakeltienė & Ragauskaitė, 2017). 본 연구 역시 이와 같은 연구의 흐름을 받아들여, 집단창의성을 집단 내 구성원들에 의해 제시된 사고가 상호작용을 통해 집단 내에서 공유되어 가는 과정 또는 그 과정에서 변환을 거쳐 창의적 시너지를 갖게 된 결과물로 정의하고자 한다.

위와 같은 집단창의성의 개념은 개인 창의성과 구별되는 집단창의성의 특징으로 연결된다. 김현진, 설현도(2014)와 Woodman et al(1993)은 집단창의성이 개인 창의성을 필요로 하긴 하나, 집단 구성원 간의 상호작용에 따라 그 결과가 서로 다르게 형성될 수 있으므로 개인 창의성과는 차별화됨을 제시하였다. 이는 집단창의성이 단순히 개인 창의성의 합이 아님을 강조한다(Woodman et al, 1993; Zhou & Luo, 2012). 상호작용 과정에서 나타나는 구성원들의 정보 수집과 검증 등은 창의적 시너지를 발생시킴으로써 집단창의성 발현에 기여하게 되는데(성지현, 이종희, 2017a; Suh, Matson, & Seshaiyer, 2017), 마치 눈덩이가 불어나듯이, 집단 내 다른 구성원들과 상호작용 하는 과정에서 특정 사고가 그룹 내로 퍼져나가는 집단 내 상호작용을 통해 개인 능력의 합 이상의 집단창의성이 발현될 수 있다는 것이다. 또한, 개인 창의성 관련 연구에서 집단의 구성과 집단 내 상호작용을 개인 창의성에 영향을 미치는 요소의 측면으로 보고 개인 창의성 발현을 위한 선택적 투입요소로 간주하였다면(James, 2015), 집단창의성에서는 개인을 자원으로 간주(Zhou & Luo, 2012)하며 집단 내 상호작용을 창의성 발현과정에서 나타나는 필수 요소로 여긴다.

## 2) 집단창의성 발현과정으로서 집단 내 상호작용의 세 가지 유형

앞에서의 논의로부터 집단창의성 발현과정이 곧 집단 내 상호작용 과정으로 나타남을 알 수 있다. 즉, 집단창의성 발현과정을 확인하기 위해서는 집단 내 상호작용 과정을 살펴보는 것이 필요하다. 하지만 Sawyer(2012, pp. 243-244)가 지적하였듯이, 지금까지의 선행연구는 실제 집단창의성 발현과정에서 나타나는 상호작용에 대한 논의를 적극적으로 수행하지 못하였으며, 이로 인해 집

단창의성 발현과정을 명확히 확인하지 못했다는 한계를 지닌다. 이에, 최근 집단창의성 발현과정으로서 상호작용 과정에 대한 실제적 연구를 수행하려는 시도가 성지현, 이종희(2017a)에 의해 진행되었다. 이들은 수학적 문제해결 시 나타나는 집단창의성 발현과정에서의 상호작용으로 상보, 긴장, 발생이라는 세 가지 상태에서의 상호작용을 제시하였는데, 이때 상보적 상태는 구성원의 다양한 사고를 수집하는 상호보완적 상호작용을, 긴장 상태는 사고의 불일치로 인한 갈등 기반 상호작용을, 발생 상태는 새로운 관계의 발견 혹은 연결이 나타나는 메타인지적 상호작용을 유도한다. 이들은 모두 구성원의 정보를 수집, 교환하고 합의해 나가는 과정으로, 집단창의성 발현에 기여하는 맥락을 좀 더 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 상호보완적 상호작용이란 서로 대립하지 않는 구성원들의 다양한 사고가 수집되고 누적되는 과정을 의미한다. 수집된 사고는 집단 내에 공유되는데, 집단창의성을 논의한 대부분의 선행연구(조무정, 진석연, 2016; Milliken, Bartel, & Kurtzberg, 2003, p. 34; Nemeth, Brown, & Rogers, 2001; Nijstad, Diehl, & Stroebe, 2003, pp. 148-151; Paulus & Nijstad, 2003, p. 6)는 집단 내 다양성에 기반한 지식공유를 가장 중요한 조건으로 보았다. 집단 내 사고의 다양성은 집단의 풍부한 자원을 의미하는 것으로, 자원으로 간주되는 개인의 다양한 지식과 역량 등이 결합됨으로써 개인의 사고 수준을 뛰어넘는 집단 수준의 창의적 시너지 발생에 기여한다고 본 것이다. Zhou & Luo(2012) 역시 집단창의성 발현을 위해선 지식구성의 과정과 같이 개인의 암묵지가 집단으로 외재화되는 과정, 즉, 구성원의 사고가 공유되는 상호보완적 상호작용이 우선적으로 필요함을 주장하였다. Paulus(2000)와 Paulus & Brown(2003, p. 126)은 집단 내 상호보완적 상호작용의 중요성을 강조하기 위하여 브레인스토밍과 같이 집단 내 다양한 지식공유를 높일 수 있는 방안을 제시하기도 하였다.

둘째, 갈등 기반 상호작용이란 구성원들 간의 사고 불일치로 인해 갈등이 유발되고 해결되는 과정을 의미한다. 집단 내 상호보완적 상호작용을 강조한 대부분의 연구에서는 갈등 기반 상호작용을 동시에 강조한다. 특히, 사고의 다양성 자체가 사고의 재결합 등을 통한 발산적

사고를 제공할 수도 있지만, 갈등을 통해 다양한 관점을 활용하게 함으로써 창의성을 발현시킬 수 있다고 보았다 (Kurtzberg & Amabile, 2001; Sawyer, 2012, p. 234). 다른 관점을 지닌 반대의견은 추가적인 창의적 활동을 자극할 수 있으므로 (Milliken et al., 2003, p. 35), 이러한 다양한 관점을 활용하지 못한다면 집단 내 추가적인 창의적 활동을 자극하지 못한다는 것이다 (성지현, 이종희, 2017b).

셋째, 메타인지적 상호작용이란 집단의 공동 평가 및 반성과 같은 비판적 사고를 통해 공유된 사고 사이에 새로운 관계가 발견되거나 연결되는 과정을 의미한다. Milliken et al. (2003, p. 34)에 따르면, 메타인지적 상호작용은 상호보완적 상호작용과 갈등 기반 상호작용에 의해 공유된 지식의 다양성과 갈등으로부터 창의적 시너지를 발현시키기 위해 요구되는 상호작용이다. 집단 내 사고의 다양성과 갈등을 조정 및 검증함으로써 집단 내 사고 공유의 폭을 넓혀주며 나아가 집단창의성 발현에 기여하게 된다는 것이다. 예를 들어, 성지현, 이종희(2017b)는 집단 구성원들이 지닌 다양한 관점을 이용하지 못하고 다른 사람의 아이디어를 비판적으로 바라보지 못한다면 집단창의성이 발현되기 어렵다고 보았다. 이신영 외 (2012) 역시 비판적 검토에 기반한 상호작용이 배제되는 경우 새로운 모델에 대한 모색이 수행되지 않음으로써 한 개인에 의해 제시된 모델이 정제될 수 있음을 제시하였다.

이상의 논의를 토대로 수학적 문제해결 활동의 상황에서 나타날 수 있는 집단창의성 발현과정을 정리하면, 상호보완적, 갈등 기반, 메타인지적 상호작용의 반복적인 제시를 통한 사회적 맥락에서의 정보 수집과 공유 및 검증의 과정이라고 할 수 있다. 그리고, 수학적 모델링 활동이 수학적 문제해결의 한 유형 (English & Sriraman, 2010)임을 상기할 때, 수학적 모델링에서의 집단창의성 역시 위 논의의 연장선에서 바라볼 수 있다. 이와 같은 논의는, 집단창의성 발현을 위해서는 개인이 아닌 집단 수준에서 서로의 정보가 수집, 교환되고 발전해야 함을 의미하는 것이기도 하다. 집단창의성의 정의에서도 알 수 있듯이, 집단의 활동은 집단 구성원 개개인의 무의미한 행동이 아닌, 하나의 공동 목표를 보유한 집단 구성원들의 인지 자원을 적극적으로 활용하는 방향으로 이루어

어지는 것이 바람직하다.

### III. 연구방법

질적 연구방법은 연구 참여자의 인위적이지 않은 자연 그대로의 상황에서 다양한 자료를 수집하여 복잡한 상황에 대한 묘사를 바탕으로 특정 주제가 연구 참여자에게 지니는 의미를 파악하는 데 적용되는 연구방법이다 (Creswell, 2014, pp. 224-227). 특히, 질적 연구방법 중 하나인 사례분석은 제한된 체계 또는 하나의 단위에 대한 집중적인 묘사와 분석을 수행하는 것으로, 상황과 그 안에 포함된 의미에 대한 심층적인 이해를 얻기 위해 설계되며, 결론보다는 과정에, 특정의 변수보다는 맥락에, 확증보다는 발견에 관심을 두는 연구이다 (우정호 외, 2014, p. 112).

본 연구에서 수행하려는 수학적 모델링 활동에서 나타나는 집단창의성, 특히 그 발현과정으로서 상호작용의 사례 연구는 지금까지 충분히 이루어지지 못한 상태이다. 일반적인 상황의 집단창의성 발현과정으로서 상호작용 역시 상당 부분 이론적 연구를 통해 추측되었을 뿐이다. 이에, 본 연구는 수학적 모델링 활동 사례의 상호작용 발생 상황에 대한 묘사를 바탕으로 모델링 과정에서 발현된 집단창의성과 그 효과에 대한 이해를 얻고자 하는바, 이와 같은 목적에 사례 연구가 가장 적합하다고 판단하였다.

위의 논의를 토대로, 이 장에서는 사례분석을 적용하여 수학적 모델링 과정에서의 집단창의성 발현사례를 상호작용의 세 가지 유형에 비추어 분석하고자 한다. 특히, 이론적 배경에서의 논의를 토대로 하여, 관찰된 특정 사례 자체를 이론적인 측면에서 해석하고자 하려는 바, 사례연구 중에서도 해석적 사례연구 (우정호 외, 2014, p. 115)를 수행하고자 한다.

#### 1. 연구 참여자 및 연구맥락

본 연구는 일반 학생들의 수학적 모델링 과정에서의 집단창의성 발현사례를 분석하려는 것으로, 연구에 참여한 학생들은 서울 소재 인문계 고등학교인 G고등학교에 속한 학생 6명이다. 이들은 모두 2학년이며, 문과 소속 학생 1명을 제외한 모든 학생이 이과에 속한다. 전국연

합모의고사를 기준으로, 2명은 2등급 이상을, 그 외에는 3~4등급 이하의 성적을 받는 학생들이다. 학생들은 3명씩 두 개조(이후 A조, B조)로 나누어서 연구에 참여하였으며, 성적 분포를 고려하여 각 조에 2등급 이상을 받는 학생들을 한 명씩 배치하였다. 전사 자료에서 A조와 B조 학생들을 각각 A1, A2, A3와 B1, B2, B3로 제시하였다. 수업을 담당한 교사는 해당 학교에 재직 중인 수학 교사로, 연구에 참여하는 학생들을 정규 수업 시간에 지도한 경험은 없다. 전사 자료에서 교사는 T로 제시하였다.

연구 참여자들은 본 연구에 자발적으로 참여 의사를 밝힌 학생들로, 연구자들은 이 학생들과의 사전 면담을 통해 연구 내용 및 일정에 대한 정보를 제공하였다. 이후, 학부모의 동의를 얻은 뒤 연구를 진행하였다. 교사는 적극적인 개입이 아닌 방향을 제시하는 안내자 역할을 하였으며, 연구자는 수업에 참여하지 않은 채 완전한 관찰자로서 수업의 전 과정을 관찰하였다(Creswell, 2014, p. 231).

2. 수학적 모델링 과제 및 수업설계

1) 수학적 모델링 과제

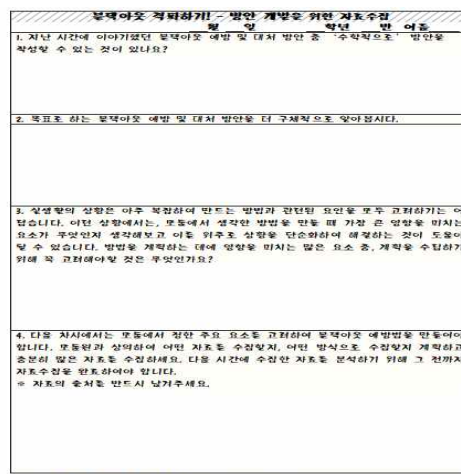
수학적 모델링 과제는 학생들에게 실제계의 불확실한 상황을 제공함으로써 다양한 방식으로 해석되고 표현될 수 있어야 하며(English, 2006; Kaiser, 2007; Sheffield, 2006), 학생들에게 각자 나름의 수학적 모델을 발산적으로 생성할 수 있는 기회를 줄 수 있어야 한다(Blum & Ferri, 2009). 즉, 실세계 상황과 수학적 모델의 두 가지 측면에서 모두 다양한 방식의 해석과 해결이 가능한 과제이어야 한다.

위의 논의에 따라, 본 연구에서는 수학적 모델링 과제로 ‘블랙아웃을 예방하거나 블랙아웃 발생 시 대처할 수 있는 방안은 무엇이 있는가?’를 제시하였다(정혜윤 외, 2018). 해당 과제는 ‘블랙아웃’이라는 불확실한 실세계 상황에서 태양광 미니 발전기, 전기저장장치 등 다양한 방식을 적용하는 것으로 접근할 수 있다. 그리고 실생활 문제를 수학적으로 해결하기 위하여, 문제 해결을 위해 요구되는 여러 자료를 수집하는 통계적 자료수집 활동을 기반으로 발전기 등의 설치 비용 문제를 해결하기 위한 함수 구성 혹은 통계적 추측과 같은 수학적 모

델을 구성할 수 있다. 예를 들어, 정혜윤 외(2018)는 주어진 과제에 대한 수학적 모델로 한 달에  $x(kWh)$ 를 사용했을 때의 전기요금  $g(x)$ , 월 사용량  $x(kWh)$ , 태양광 미니 발전기 전기발전량  $a(kWh)$ 라 할 때, 아낀 전기요금  $h(x)$ (원)에 대해 함수식  $h(x) = g(x) - g(x-a)$ 를 구성할 수 있다고 하였다.

2) 수업설계

본 연구에서는 수학적 모델링 과정에서의 집단창의성 발현에 대한 해석적 사례연구를 위하여, [그림 1]에 나타난 수학적 모델링 과정에 맞추어 수업을 진행해 나가는 과정 중 집단창의성 발현을 위한 교수·학습 방안을 적용하는 수업을 설계하였다.



[그림 2] 학생들에게 제공된 활동지의 예  
[Fig. 2] Examples of activity sheet provided to students

먼저, 50분씩 총 3차시로 구성된 수업에서, 1차시에서는 실세계 탐구와 문제에 영향 미치는 요인 찾기 단계를, 2차시에서는 단순화하기에서 수학적 모델 도출에 이르기까지, 3차시에서는 수학적 결론에서 최종 산출물에 이르기까지의 활동을 수행할 수 있도록 하였다. 다만, 학생들에게 수학적 모델링의 각 단계를 수행할 수 있는 충분한 시간을 제공하기 위해 학생들의 활동 속도에 맞추어 필요에 따라 수업 진행 시간을 조절할 수 있도록 하였다. 또한, 순환적, 반복적인 수학적 모델링 활동의 특성에 따라, 학생들이 필요한 경우 자율적으로 활동 순서

를 변경할 수 있도록 하였다. 그리고 학생들이 수학적 모델링을 수행할 수 있도록 [그림 2]와 같이 각 단계별 발문이 제시된 활동지를 제공하였다. 학생들은 수업 진행에 맞추어 제공된 활동지를 자유롭게 작성하였다. 제시된 발문에 대한 답을 먼저 작성한 뒤 집단 내 상호작용을 통해 공유하였으며, 집단 내 상호작용을 통해 공유된 정보를 추가로 작성하거나 집단 내 구성원들과 함께 가장 적절하다고 생각하는 답에 표시하기도 하였다.

다음으로, 집단창의성과 관련한 선행연구(조무정, 진석연, 2016; Milliken et al., 2003; Nemeth et al., 2001; Nijstad et al., 2003; Paulus & Nijstad, 2003)에서 공통적으로 제안하고 있는 집단창의성 발현을 위한 교수학습 방안을 참고하여, 다음과 같은 방안을 적용하였다. 먼저, 수업환경과 관련하여, 충분한 논의 시간과 자유로운 토론이 가능한 수업 분위기를 제공하였으며, 집단의 다양성을 위해 다양한 학습수준의 학생들로 소집단을 구성하였다. 또한, 교사 역할과 관련하여, 개입을 최소화하면서 활동 방향을 제시해 주는 안내자 수준에 머물도록 하였으며, 필요한 경우 ‘추가 의견이 없을까?’, ‘혹시 반대의견은 없을까?’, ‘친구가 제시한 의견에 대한 본인의 생각을 말해 볼까?’와 같은 발문을 통해 상호보완적, 갈등 기반, 메타인지적 상호작용을 촉진하도록 하였다. 마지막으로, 활동지 발문 구성과 관련하여, ‘블랙아웃을 예방하고 대처하기 위해서 결정해야 할 것들에 대한 생각을 공유해 봅시다.’와 같은 발문을 제시하고 브레인라이팅이 이루어질 수 있도록 하여, 교사의 발문에서 의도한 바와 같은 상호작용을 촉진 시키고자 하였다.

학생들에게는 실세계 자료수집 시의 편의를 위해 컴퓨터와 같은 공학적 도구가 제공되었다. 이를 이용하여 학생들이 통계청과 인터넷 검색창 등을 이용하여 수학적 모델링 과제 해결에 필요한 자료를 직접 수집할 수 있도록 하였다.

### 3. 자료수집 및 분석 방법

자료 분석 시 정보의 정확성에 대한 타당성을 높이기 위하여 자료수집을 수업 관찰, 연구자의 관찰 일기, 학생 활동지의 세 가지로 다원화(우정호 외, 2014, p. 129)하였다. 각각의 자료수집절차는 다음과 같다. 먼저, 수업 관찰과 관련하여, 모든 수업의 전체 수업 장면을 녹화 및

녹음하였으며, 이와 별도로 각 소집단의 활동 장면에 대해서도 각각 녹화 및 녹음을 진행하였다. 이들 자료는 모두 전사되었는데, 수업 장면에 대한 구체적이고 명확한 이해를 위해 영상을 통해 확인할 수 있는 학생들의 행동을 함께 기록하였다. 완전한 관찰자인 연구자는 수업 진행 장면을 관찰하며 학생들의 활동과정 중 특징적인 장면이나 발언을 기록하였다. 마지막으로, 학생 활동지와 관련하여, 각 차시별 활동이 끝난 후 학생들이 모델링 활동 절차에 맞추어 자유롭게 작성한 활동지를 모두 수집하여 스캔하였다.

위와 같은 절차로 수집된 자료를 선행연구(우정호 외, 2014; Creswell, 2014; Guest, MacQueen, & Namey, 2011)에서 제시하고 있는 사례분석 절차를 토대로 분석하였다. 이때, 이론적 배경에서 집단창의성이 상호보완적, 갈등 기반, 메타인지적 상호작용의 반복적인 제시로 발현됨을 확인한바, 자료 분석의 초점을 수학적 모델링 과정에서 위의 세 가지 상호작용의 발생과 그 과정에서 나타나는 사고 수집, 공유 및 검증, 그리고 그 효과에 대한 관찰에 두었다. 구체적인 절차는 다음과 같다.

첫째, 모든 자료를 읽고 확인한다. 특히, 수집한 세 가지 자료를 함께 살펴봄으로써 자료의 전반적인 상황과 의미를 되돌아본다. 예컨대, 녹화 및 녹음에 대한 전사 자료를 보며 확인할 수 있는 학생 발언과 행동에 맞추어 학생 활동지를 같이 살펴보면서 수업 진행 시의 상황과 의미를 구체적으로 확인한다.

둘째, [그림 1]의 수학적 모델링 활동을 참고하여, 전사 자료 옆에 해당하는 수학적 모델링 활동을 표기한다.

셋째, 자료의 ‘키질하기(winnow)’를 통해 본 연구 목적에 부합하는 자료와 그렇지 않은 자료를 분류한다. 이때, 연구 목적에 부합하는 자료는 연구의 분석 대상이 된다. 본 연구의 분석대상은 두 번째 절차를 통해 확인한 수학적 모델링 활동에 해당하는 자료이다.

넷째, 키질하기를 통해 분석 대상으로 선정된 내용 중 수학적 모델링의 각 단계에 해당하는 내용의 장면을 구분하여 독립된 분석 단위로 정한다. 예를 들어, 키질하기를 통해 분석 대상으로 선정된 전사 자료 중 실세계 탐구 단계에 해당하는 장면과 수학적 모델 선정 단계에 해당하는 장면은 각각 독립된 분석 단위가 된다. 이와 같은 분석 단위의 선정은 이후 수학적 모델링의 각 단계

에서 어떠한 유형의 상호작용이 발생하는지에 대한 정보를 제공할 수 있다.

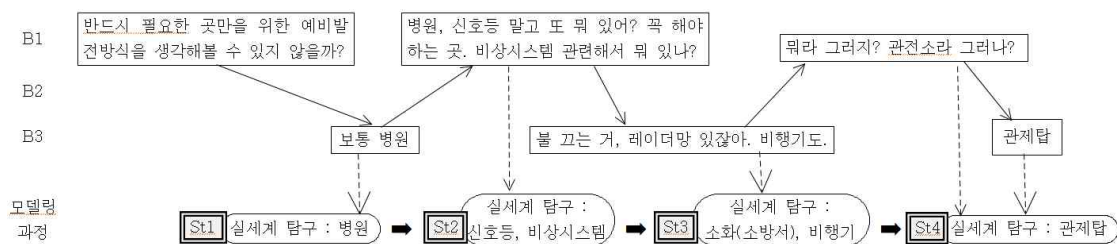
다섯째, 분석 단위를 [그림 3]과 같이 모델링 과정과 구성원 간의 상호작용이 포함된 틀로 표현한다. [그림 3]은 Núñez-Oveido, Clement, & Rea-Ramirez(2008)가 모델링 과정에서 나타나는 상호작용과 그에 따른 모델 발달 과정을 표현한 틀을 수정한 것으로, 시간의 흐름에 따른 모델링 과정과 각 과정에 공동으로 기여하는 소집단 구성원들의 상호작용을 살펴볼 수 있다는 이점을 지닌다. 순환적, 중첩적으로 나타나는 모델링 과정을 분리하여 보여줌으로써(Núñez-Oveido et al., 2008), 전자 자료에서 한눈에 살펴보기 어려운 시간의 흐름에 따른 모델링의 각 단계별 실행과 실행과정에서 나타나는 구성원 발언 사이의 연결을 확인할 수 있게 하는 것이다(이신영 외, 2012). 궁극적으로, 학생 발화와 모델링 과정을 연결함으로써 학생들의 발화 속에 내재된 상호작용을 드러내 보임과 동시에 상호작용이 모델링에 미치는 효과를 보여줄 수 있다.

[그림 3]은 모델링 과정에서 나타나는 구성원(B1, B2 등으로 표시) 간의 담화를 중심으로 집단 내 구성원들에 의해 제시된 사고가 공유 및 확장되어 가는 과정과 그 결과로서 수학적 모델링의 각 단계별 진행 과정(St1, St2 등으로 표시)을 제시한다. 학생들의 발화 및 모델링 과정은 왼쪽에서 오른쪽으로 진행된다. 발화 내용을 사각형에 제시한 뒤 발화 간의 연결을 나타내기 위하여, 먼저 발언한 학생의 발화로부터 뒤에 발언한 학생의 발화로 실선 화살표를 표시한다. 이때, 앞뒤의 발화가 연결되면 화살표 표시를 하고 연결되지 않으면 화살표 표시를 하지 않는다. 서로 다른 구성원 간의 연속적인 화살

표 연결은 상호작용이 이루어진 것으로 간주할 수 있으며(이신영 외, 2012), 연결이 이루어지지 않았다면 비 상호작용으로 볼 수 있다. 수학적 모델링의 각 단계별 결과물을 모서리가 둥근 사각형에 제시하고 굵은 화살표로 그 흐름을 보여준다. 학생들의 발언과 모델링 과정 사이에 나타나는 점선 화살표는 해당 발언으로부터 확인할 수 있는 모델링의 결과물을 보여준다. 예를 들어, B1의 첫 번째 발언으로부터 연속적으로 연결되는 실선 화살표는 소집단 B의 구성원 간 상호작용이 발생한 것으로 간주할 수 있다. 또한, B3의 첫 번째 발언과 St1 사이의 점선 화살표는 B3의 발언으로부터 B3이 블랙아웃 대처를 위한 예비발전기 설치 장소 중 하나로 병원을 제시하는 등 실세계 탐구 단계를 수행했다는 사실을 보여준다.

여섯째, [그림 3]에 제시된 개별 발화를 기반으로 하여, 발화 간의 연결 속에 내재된 상호작용을 세 가지 유형의 상호작용으로 범주화하고 모델링의 각 단계에서 나타나는 상호작용이 모델링에 미치는 효과를 해석한다. 이때, 이들 세 가지 유형의 상호작용은 상호작용 내용의 특징에 따른 범주화의 성격을 지닌다(Mercer, 1995). 이에 따라, 수학 문제해결과정에서 나타나는 학생들 간의 상호작용을 그 맥락에서 확인되는 내용적 성격에 따라 구분한 선행연구(조미경, 김민경, 2016; Mercer, 1995)를 참고하여 상호작용 유형의 범주화를 수행한다. 각 유형의 상호작용에 해당하는지 여부 판단 기준은 이론적 배경에 제시한 유형별 상호작용의 특징에 따른다. 이를 다시 간략하게 제시하면 다음과 같다.

화살표의 진행에 따라 논의되는 주제, 즉, 논의가 속한 모델링 단계와 관련하여 상대방의 의견과 대립하지 않는 의견들이 반복적으로 제시되면서 사고가 수집되고



[그림 3] 수학적 모델링 과정에서 관찰된 상호작용과 모델링 과정의 표현틀

[Fig. 3] Representation framework of interaction and modeling process observed in mathematical modeling process

축적되는 과정이 이루어졌다면 상호보완적 상호작용에 속한다고 본다. 그리고 구성원들 사이에 서로 다른 의견이 존재하고 각각의 견해를 뒷받침하는 생각이나 증거가 제시되는 형태로 다른 구성원의 주장에 대한 반박이 이루어졌다면 갈등 기반 상호작용에 속한다고 본다. 또한, 상대방 혹은 자신의 의견에 대한 평가, 반성을 거쳐 새로운 합의에 도달하게 되었다면 메타인지적 상호작용에 속한다고 본다. 예를 들어, 위의 [그림 3]에서는 화살표의 진행에 따라 ‘블랙아웃’이라는 실세계 탐구를 위한 논의가 진행되고 있다. 이때 집단 구성원들이 블랙아웃의 대처방안 등에 대해 상대방의 의견과 대립하지 않는 본인들의 견해를 반복적으로 제시함으로써 집단 내 실세계 탐구를 위한 사고가 수집, 축적되고 있는바, 집단 내 상호보완적 상호작용이 발생했으며, 동시에 상호보완적 상호작용을 통해 실세계 사례에 대한 사고의 폭이 확장되는 효과가 나타났다고 판단할 수 있다.

마지막으로, 해석 결과의 타당성 확보를 위해 각 분석 단위에 대한 풍부한 서술을 제시하고, 동료 보고를 진행한다. 해석 결과에 대해 의견이 일치하지 않은 부분은 동료 보고자와의 논의 후 해석 결과에 대한 합의를 거쳐 조정한다.

#### IV. 결과 분석 및 논의

연구결과<sup>1)</sup>, 수학적 모델링 과정에서 세 가지 유형의 상호작용을 통한 집단창의성 발현사례가 관찰되었으며, 이를 통해 집단 내 사고가 공유 및 확장되는 등의 효과를 확인하였다. 이 장에서는 첫째, 세 가지 유형의 상호작용을 중심으로 수학적 모델링 과정에서 나타나는 집단

창의성 발현사례를 확인한다. 둘째, 각 유형의 상호작용이 수학적 모델링에 미치는 효과를 살펴본다. 셋째, 수학적 모델링 과정에서 비 상호작용이 나타난 사례를 확인하고, 상호작용 사례분석과의 비교를 토대로 수학적 모델링 과정에서 집단창의성 발현을 위한 상호작용을 이끌어낼 수 있는 교수학적 전략을 확인한다.

##### 1. 수학적 모델링 과정에서 집단창의성 발현사례

이 절에서는 수학적 모델링 과정에서 나타난 상호작용의 유형 및 특징 확인과 함께 각 유형의 상호작용이 수학적 모델링에 미치는 효과를 살펴본다. 이와 같은 논의는 궁극적으로 수학적 모델링 활동에서 집단창의성 발현사례를 보여줌과 동시에 집단창의성이 수학적 모델링 활동에 미치는 효과를 확인할 수 있게 한다.

##### 1) 실세계 탐구와 문제에 영향 미치는 요인 찾기 단계에서 관찰된 상호보완적 상호작용 사례

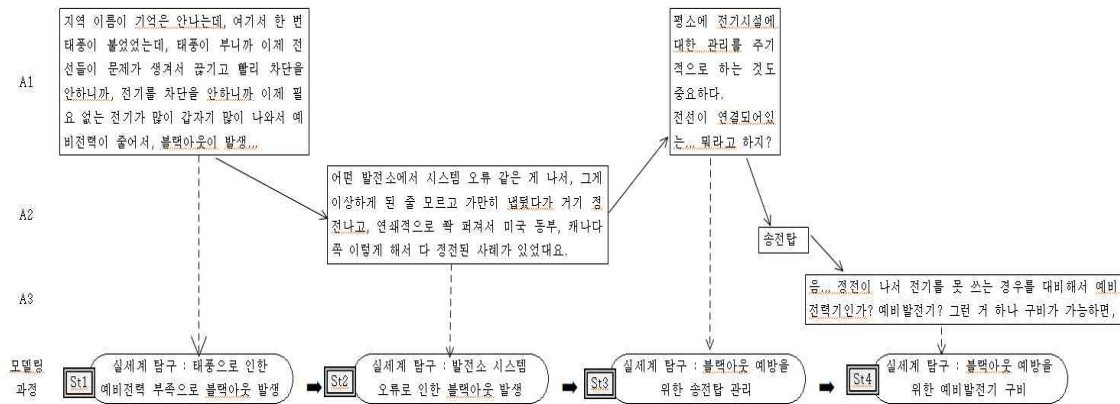
실세계 탐구와 문제에 영향 미치는 요인 선정 단계에서는 상호보완적 상호작용이 활발하게 나타났다. 특히, 다음의 상호작용이 관찰되었다. 첫째, 실세계 현상과 문제에 영향 미치는 요인에 대한 사고가 추가적으로 수집됨으로써 집단 내 사고가 확장되는 사례가 관찰되었다. 둘째, 단순화하기 단계의 주요 요인 선정 시 구성원 간 갈등을 유발하는 원인으로 작용하는 사례가 관찰되었다.

##### (1) 실세계 현상과 문제에 영향 미치는 요인에 대한 사고의 추가적인 수집 사례

[그림 4]는 A조의 블랙아웃 해결방안 모색을 위한 실세계 탐구 사례를 나타낸다. 연결된 화살표의 진행 방향에 따라 블랙아웃과 관련한 실세계 사례가 반복적, 연속적으로 수집됨으로써 집단 내 사고가 축적되는 과정이 나타난다. 좀 더 자세히 살펴보면, 처음에 A1이 태풍으로 인한 예비전력 부족으로 블랙아웃이 발생했다는 블랙아웃 발생 원인에 대한 실세계 사례(St1)를 제시하자, A2가 이어서 발전소 시스템 오류로 인한 블랙아웃 발생 사례(St2)를 추가로 제시하였다. 이후 A1이 블랙아웃 예방을 위해 실제 송전탑 관리를 해야 한다는 의견(St3)을 연속적으로 제시하자, A3가 이어서 예비발전기 구비를 블랙아웃 예방을 위한 사례(St4)로 추가 제시하였다.

1) 논의 내용에 대한 이해를 높이기 위해, 각 소집단에서 산출물을 다음과 같이 제시하였음을 미리 밝힌다. A조는 블랙아웃 대처 방안으로 아파트 한 동별 예비발전기 설치를 제안한 뒤, 종로구의 한 동별 세대수에 대한 표본추출 결과를 바탕으로 대푯값을 구한 후 ‘한 동별 예상전력량=한 동별 세대수×한 세대별 사용량’ 식을 이용하여 설치에 드는 비용을 계산하는 수학적 모델을 제시하였다. B조는 블랙아웃 대처 방안으로 주요 시설에 대한 에너지저장장치 설치를 제안한 뒤, 설치가 필요한 주요 시설을 구체적으로 선정하고, 사적 연산을 이용하여 주요 시설에 대한 에너지 저장장치 설치에 드는 비용을 계산하였다. 두 소집단 모두 필요한 정보를 얻기 위해 통계청을 이용한 자료수집과 분석을 수행하였다.





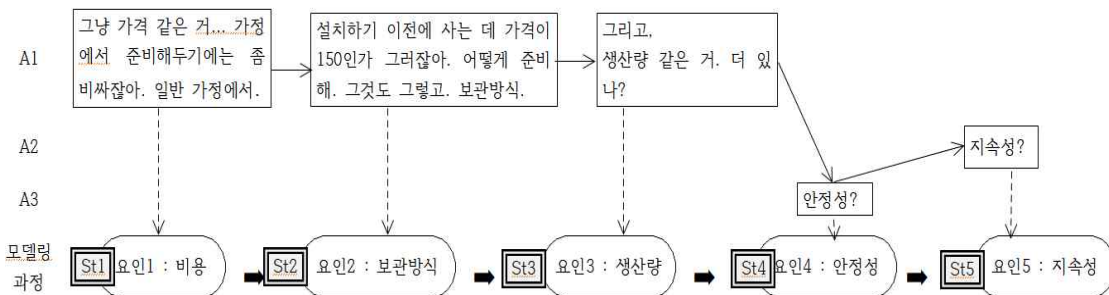
[그림 4] 실세계 탐구 단계에서 관찰된 A조의 상호보완적 상호작용 사례  
 [Fig. 4] Example of mutually complementary interaction observed in the real-world inquiry stage of group A

[그림 4]에서 실세계 탐구를 마친 A조 구성원들은 이후 블랙아웃에 대처하기 위해 블랙아웃 예방법으로 사고를 이어갔다. 실세계 탐구를 통해 블랙아웃을 예방하기 위한 방안으로 예비발전기 설치([그림 4]의 St4에 해당)를 선정 한 뒤, [그림 5]와 같이 예비발전기 설치에 영향 미치는 요인을 수집하기에 이르렀다. [그림 5]는 연결된 화살표의 진행 방향에 따라 집단 구성원들이 예비발전기 설치 시 고려해야 하는 요인, 즉, 영향 미치는 요인을 수집하는 과정을 보여준다. 좀 더 자세히 살펴보면, 처음에 A1이 비용(St1)과 보관방식(St2), 생산량(St3)을 고려할 것을 연속적으로 제안하자 A3가 안정성(St4)을, A2가 지속성(St5)을 추가적으로 제시하였다.

위의 두 사례에서 개인의 사고는 각각 집단의 사고를 풍부하게 하는 자원 역할을 하며, 암묵지였던 개인의 사

고가 집단으로 외재화되는 과정, 즉, 자원의 수집 및 공유로 인해 개인 수준의 사고에 비해 집단 내 사고가 더 풍부해졌음을 확인하였다. 실세계 탐구 단계([그림 4])의 경우 구성원 개인의 수준에서 A1이 두 가지(St1, St3), A2와 A3가 각각 한 가지(각각 St2, St4) 사례에 대한 사고를 하였지만, 집단 수준에서는 총 네 가지 블랙아웃 사례가 축적되었으며, 문제에 영향 미치는 요인 찾기 단계([그림 5])의 경우 구성원 개인의 수준에서 A1이 세 가지(St1, St2, St3), A2와 A3가 각각 한 가지(각각 St4, St5) 사례에 대한 사고를 하였지만, 집단 수준에서는 총 다섯 가지 요인이 축적된 것이다. 이는 다른 구성원의 의견과 대립하지 않는 사고들이 반복적으로 수집, 축적되는 과정으로 상호보완적 상호작용으로 볼 수 있다.

수학적 모델링 과정의 실세계 탐구와 문제에 영향 미



[그림 5] 문제에 영향 미치는 요인 찾기 단계에서 관찰된 A조의 상호보완적 상호작용 사례  
 [Fig. 5] Example of mutually complementary interaction observed in the factor-finding stage of group A

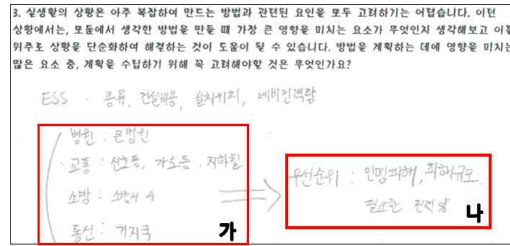
치는 요인 찾기 단계는 일반적인 수학 문장제 문제에서 실제 상황을 수학 용어로 번역하는 데 초점을 두는 것과 차별화되는 과정으로(Gravemeijer, 2002), 제시된 실세계 상황을 수학 활동으로 연결짓기 위해서는 문제 상황에 포함된 여러 조건과 지표들에 대한 파악이 필요하다(황해정, 2007). 실세계 상황에 담긴 여러 자료의 수집이 요구되는 것인데, 위에서 관찰된 상호보완적 상호작용 사례는 블랙아웃이라는 실세계 상황에 담긴 원인과 예방 조건에 대한 구성원 각자의 의견을 개진 및 공유케 하여 집단 사고를 개인 사고보다 확장(성지현, 이종희, 2017b; Artzt & Armour-Thomas, 1992)시킨다는 점에서 여러 가지 자료수집을 요구하는 수학적 모델링 활동에 긍정적인 효과를 주었다고 볼 수 있다. 곧, 위의 사례는 실세계 탐구와 문제에 영향 미치는 요인 찾기 단계에서 상호보완적 상호작용이 나타날 수 있음과 동시에 상호보완적 상호작용이 수학적 모델링 활동의 결과물을 더욱 풍부하게 해주는 효과를 가져올 수 있음을 보여준다.

(2) 갈등 기반 상호작용과의 연결 사례

상호보완적 상호작용은 갈등 기반 상호작용을 발생시키는 토대가 되기도 한다. 앞서 제시한 [그림 3]은 B조의 블랙아웃 해결방안 모색을 위한 실세계 탐구 사례를 보여준다. [그림 3]의 연결된 화살표의 진행 방향에 따라 살펴보면, B조는 블랙아웃 해결방안으로 예비발전기 설치를 선택한 뒤 실세계에서 예비발전기 설치가 반드시 필요한 장소를 누적으로 수집하고 있다. 이때, B1이 제시한 질문에 B3이 답하며 예비발전기 설치 장소로 병원(St1)을 제시하였다. 이후 B1은 신호등과 비상시스템이 필요한 장소를 추가(St2)하였는데, 이 과정에서 본인이 알지 못하는 비상시스템이 작동하는 장소에 대해 B3에게 질문하고 B3가 다시 이에 답함(St3)으로써 상호보완적인 사고의 수집이 이루어졌다. 이어서 B3가 언급한 비행기와 관련한 설치 장소에 대해 B1이 추가 질문하고 또다시 B3가 답함으로써 집단 내 사고의 보완적, 추가적인 수집이 이루어졌다.

이 과정에서 B1은 본인이 생각하지 못한 장소에 대한 정보를 확인(병원, 소방서, 관제탑)할 수 있었으며, B3는 본인이 처음에 고려하지 않았던 장소(비상시스템과 관련한 소방서, 비행기)를 고려하게 되었다. 이는 상호작용을

통해 한 집단 구성원이 생각하지 못한 사례를 다른 집단 구성원이 보완해 줌으로써, 집단 구성원 개인이 할 수 있는 것보다 뛰어난 산출을 해내는 집단 수준의 창의적 시너지가 발생함(Zhou & Luo, 2012)을 보여준다. 더불어, 이 사례 역시 앞의 두 사례([그림 4], [그림 5])와 마찬가지로 암묵지였던 개인의 사고가 외재화되는 과정에서 집단의 사고를 풍부하게 하는 자원 역할을 함을 보여준다.



[그림 6] B조의 모델링 과정에서 관찰된 상호보완적 상호작용과 갈등 기반 상호작용의 연결 사례

[Fig. 6] Example of connection between mutually complementary and conflict-based interaction observed in the modeling process of group B

한편, 위의 상호보완적 상호작용 사례는 갈등 기반 상호작용으로 연결된다. [그림 3]의 상호작용 이후 B조는 여러 종류의 예비발전기 중 에너지 저장장치(ESS)를 최종 대안으로 선정하였다. [그림 6]의 '가' 영역은 B조가 블랙아웃 해결책으로 ESS 설치를 제시한 뒤, ESS 설치 시 고려해야 할 요소에 대한 각 구성원들의 사고를 수집한 결과를 보여준다. 이는 [그림 3]에 나타난 상호작용의 결과를 활동지에 작성한 것이기도 하다. 말하자면, '가' 영역에 제시된 여러 제안들은 B조 구성원 개인의 사고를 집단 내에 공유한 결과이다.

이후 집단 구성원들은 상호보완적 상호작용에 의해 수집된 장소가 많아 이들 중 우선순위에 따라 몇 군데 장소를 선발해야 할 필요가 있음을 인식하게 된다. [그림 6]의 '가' 영역에서 '나' 영역으로 화살표가 표시되어 있는데, 이는 구성원들이 '가' 영역에 제시된 여러 설치 장소에 대해 인명피해, 피해 규모 등을 기준으로 한 우선순위 선정이 필요함을 인식하였음을 보여준다. 모델링을 위해 실세계 요소를 모두 고려할 수는 없는데, 공유된 다양한 요소들을 단순화하려는 것이다. 이후 B조는

우선순위 선정의 고려 기준으로 인명피해를 택하였는데, 인명피해 기준에 부합하는 요소를 택하여 설치 장소를 단순화하는 과정에서 갈등 기반 상호작용이 발생하게 되었다. B조의 소집단 모델링 과정에서 나타난 상호보완적 상호작용으로부터 갈등 기반 상호작용으로의 이동은 사고의 다양성이 갈등을 유발함으로써 집단창의성 발현에 기여한다는 Milliken et al(2003, p. 35)의 관점과 동일한 맥락으로 볼 수 있다. 이에 대한 자세한 논의는 다음 절에서 다룬다.

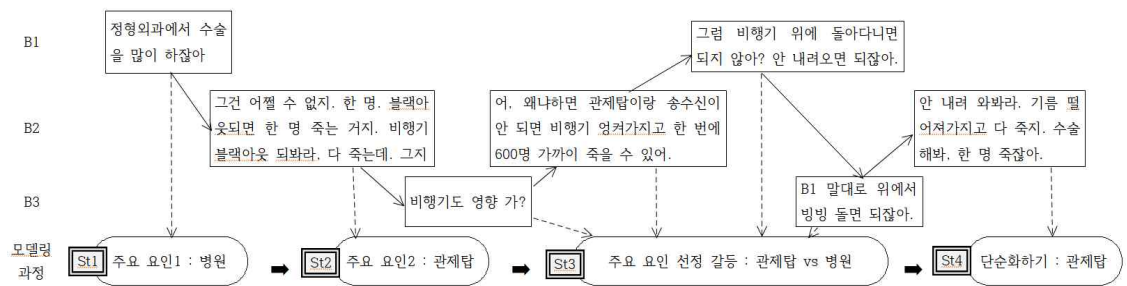
2) 단순화하기 단계에서 관찰된 갈등 기반 상호작용 사례

단순화하기는 앞서 찾은 여러 요인 중에서 문제 해결에 가장 직접적으로 관련된 중요한 요인만을 선택하는 것을 의미한다. [그림 7]은 이와 같은 단순화하기를 위한 주요 요인 선정 과정에서 구성원 사고 간의 불일치가 갈등 기반 상호작용을 유발하였음을 보여준다. 앞선 논의에서 확인하였듯이, B조의 경우 블랙아웃 대처 방안으로 ESS를 선정하고, ESS 설치 장소를 정하기 위해 장소 선정의 고려 기준으로 ‘인명피해’를 택하였다. [그림 7]의 연결된 화살표의 진행 방향에 따라 논의를 살펴보면, 어떤 인명피해를 막아야 하는지와 관련하여 구성원 간의 의견이 불일치 하는 상황을 볼 수 있다. B1은 환자를 살려야 하므로 정형외과 등 수술이 필요한 병원(St1)에 설치해야 한다는 의견을 제시하고, B2는 수술을 받는 환자는 소수인 반면 비행기에 탑승한 사람은 다수이므로 다수의 인명피해를 막기 위해 비행기와 연락을 주고받는 관제탑(St2)에 설치해야 한다고 주장하였다. 이 과정에서

각자의 견해를 뒷받침하는 생각이 함께 제시되면서 주요 요인 선정에서의 갈등(St3)이 나타났는데, 논의 과정에서 B2의 제안이 인명피해 최소화라는 기준에 더 부합된다고 구성원들이 암묵적으로 동의함으로써 B2의 제안이 수용되어 ESS 설치에 영향 미치는 주요 요인으로 병원이 제외되고 관제탑(St3)이 선정되었다. 이후 B조 구성원들은 주요 요소 선정 기준에 맞추어 다른 설치 장소들을 추가로 선정한 뒤, 해당 장소에 ESS를 설치하기 위한 필요경비를 추측하였다.

위의 사례는 Galbraith & Stillman(2006)의 연구에서 모델링에 참여한 집단 구성원들이 적절한 모델 선정 전까지 서로 다른 요인에 주목하는 등 해당 과정에서 구성원들의 다양한 의견이 제시됨과 함께 의견 불일치로 인한 갈등이 반복적으로 발생할 수 있음을 보여준 것과 같은 맥락에 있다. 즉, 수학적 모델링 중 적절한 방안을 선택해야 하는 과정을 마주하게 되었을 때 집단 내 사고의 불일치로 인해 갈등이 발생할 수 있다. 이는 수학적 모델링 과정이 결코 단순한 활동이 아니며(김선희, 김기연, 2004), 모델링을 위한 상호작용 과정에서 집단 구성원 간 사고의 공유와 함께 사고의 불일치, 즉, 갈등이 발생할 수 있음(Paulus, 2000)을 보여준다.

제시된 사례에서 갈등 기반 상호작용은 갈등 해결을 위해 각자의 생각을 뒷받침하는 근거를 제시함으로써, 궁극적으로 주요 요인으로 선정된 요인의 근거를 풍부하게 제시해 주는 방향으로 집단의 사고를 확장하는 등 집단 내 창의적 시너지가 발생하는 데 기여하였다. 병원과 관제탑 사이의 선택이라는 갈등 상황에서 B1과 B2는 각각 인명피해를 위급한 환자의 생명보호 관점과 다수의



[그림 7] 단순화하기 단계에서 관찰된 B조의 갈등 기반 상호작용 사례

[Fig. 7] Example of conflict-based interaction observed in the simplification stage of group B

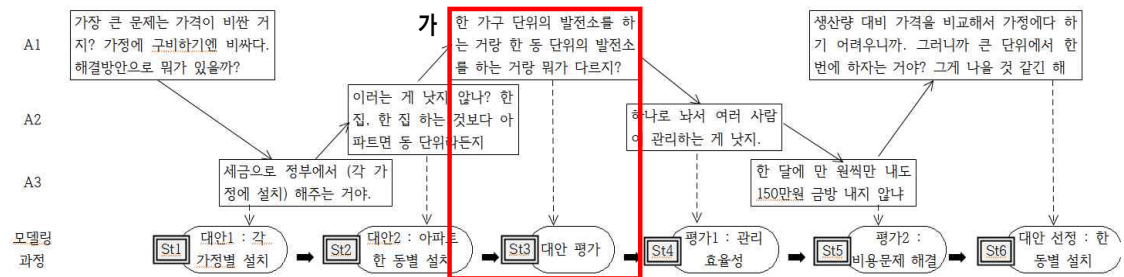
인명피해 예방 관점에서 사고함으로써, 주요 요인으로 관제탑이 선정되기까지 고려된 집단 내 사고의 근거를 더욱 풍부하게 해준 것이다. 이는 Kurtzberg & Amabile(2001)가 갈등을 통해 다양한 관점을 활용할 수 있다고 언급한 것과 동일한 맥락이다. 더불어, ‘인명피해’라는 기준을 ‘인명피해의 최소화’라고 구체화하는 등 논의 과정에서 주요 요소 선정의 기준을 다시 한번 명확하게 보여줌(성지현, 이종희, 2017b)으로써, 선정된 요소의 타당성을 확보해 주었다. 곧, 위의 사례는 단순화하기 단계에서 갈등 기반 상호작용이 발생할 수 있음과 동시에 갈등 기반 상호작용이 수학적 모델링 활동의 결과물에 대한 타당성을 높여주는 효과를 가져올 수 있음을 보여준다.

3) 단순화하기와 수학적 모델 도출 단계에서 관찰된 메타인지적 상호작용 사례

수학적 모델링 과정에서 학생들이 공유된 사고의 적절성 등에 대해 공동으로 평가함으로써 실세계 상황을 단순화하고, 단순화된 상황에 가장 적절하다고 생각되는 수학적 모델을 도출하기 위해 노력하는 모습이 관찰되었다. A조는 문제에 영향 미치는 요인 찾기 단계([그림 5]) 이후 단순화하기 단계에서 주요 요인으로 비용과 보관방식([그림 5]의 St1, St2에 해당)을 선택한 뒤, 이를 충족시키는 방안으로 아파트의 한 동마다 예비발전기를 설치할 것을 제안하였다. 이 과정에서 A는 예비발전기 설치 장소로 가정별 설치와 아파트 한 동별 설치 중 어떤 방식이 적절한지 각자의 의견을 제시하고 이에 대해 공동 평가를 함으로써 최적의 방안으로 아파트 한 동별 설치라는 방안을 이끌어냈다. 그 뒤, 예비발전기 설치를 위해

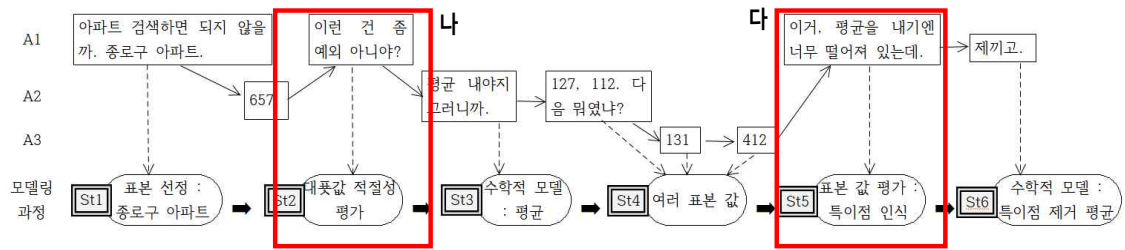
예상전력량 확인이 필요하며 예상전력량 확인을 위해서는 다시 한 동의 세대수에 대한 정보가 필요하다고 보았다<sup>2)</sup>. A조는 한 동의 세대수 평균을 확인하기 위해 종로구 소재 아파트 단지를 표본으로 하여, 표본추출을 수행한 뒤 한 동의 세대수 평균을 추측하였다. 이 과정에서 추출한 표본값의 적절성에 대한 평가가 이루어졌으며, 그 결과 수학적 모델이 개선되기도 하였다.

먼저, [그림 8]은 예비발전기 설치 장소에 대한 단순화하기 단계에서 나타난 메타인지적 상호작용 사례를 보여준다. 연결된 화살표의 진행 방향에 따라 살펴보면, A조 학생들은 비용문제를 고려해야 함을 알고 해결방안을 찾고자 하였다. 이때, A3이 세금을 이용한 비용 해결을 주장하며 가정별 설치(St1)를 주장하였는데, A2는 이에 대응하여 아파트 한 동별 설치(St2)를 새롭게 제안하였다. A2의 이와 같은 제안은 A1의 주장이 실제로 이루어지기에 힘들 것이라는 판단에 따른 것으로 보인다. 이후, A2와 A3의 서로 다른 주장에 대해 A1은 두 개의 방안이 어떻게 다른지에 대한 평가를 제안(St3)하였고, A2와 A3는 각각 관리의 효율성(St4)과 비용문제 해결 가능성(St5) 측면에서 A2의 제안(St2)이 더 낫다는 평가를 하였다. 이때, A3는 본인의 주장과 다른 A2의 주장에 대한 긍정적인 평가(St5)를 제시하였는데, 이는 A3 스스로 본인의 주장 이후 제기된 A2의 주장이 더 타당하다는 판단을 한 것으로 보인다. 이후 A1 역시 A2와 A3의 의견을 바탕으로 A2가 제시한 대안이 더 낫다고 판단(St6)함에 따라 A조는 예비발전기의 한 동별 설치로 실세계 상황을 단순화하였다. [그림 8]의 이와 같은 상호작용은 ‘가’ 영역을 중심으로 단순화를 위해 제시된 대안의 적절성에 의문의 제기하고 구성원들이 함께 대안을 검증해



[그림 8] 단순화하기 단계에서 관찰된 A조의 메타인지적 상호작용 사례

[Fig. 8] Example of metacognitive interaction observed in the simplification stage of group A



[그림 9] 수학적 모델 도출 단계에서 관찰된 A조의 메타인지적 상호작용 사례

[Fig. 9] Example of metacognitive interaction observed in the mathematical model derivation stage of group A

나가는 과정으로, 메타인지적 상호작용으로 볼 수 있다. 다음으로, [그림 9]에서 연결된 화살표의 진행 방향에 따라 살펴보면, A조 학생들은 A1의 제안에 따라 종로구 소재 아파트를 표본으로 선정(St1)한 뒤 표본에 속한 아파트의 한 동별 세대수를 무작위 추출하여 해당 아파트의 한 동별 세대수를 파악하고자 하였다. 이때, 자료수집 과정에서 A2가 제시한 값(657)에 대해 A1이 ‘예외적인 상황’이라고 평가(St2)하며 값의 적절성에 의문을 제기하자, A2가 이에 동의하며 표본 하나의 값을 대푯값으로 정하기보다 평균을 대푯값으로 할 것을 제안(St3)하였다. 이후, 평균을 위해 여러 표본이 추출(St4)되는 도중, A1이 추출된 다른 표본들(127, 112, 131)과 편차가 큰 값(412)에 대해 ‘평균을 내기엔 너무 떨어져 있다’는 평가(St5)를 하였다. 이는 특이점을 지적한 것으로 볼 수 있다. A1의 평가에 다른 구성원들이 암묵적으로 동의하였으며, 결과적으로 특이점을 제외한 표본들의 평균값을 대푯값으로 할 것이 제안(St6)되었다. [그림 9]에서 확인할 수 있는 A조의 이와 같은 상호작용은 ‘나’와 ‘다’ 영역을 중심으로 자료의 적절성을 구성원들이 함께 비판적으로 검토하는 과정으로, 메타인지적 상호작용으로 볼 수 있다. 이러한 상호작용은 대푯값의 정확성과 타당성을 검토함으로써 제시된 모델을 뒷받침하는 근거를 높여준다.

황혜정(2007)과 Vorhölter et al(2017)은 점검의 과정이 집단 구성원들로 하여금 다양한 의견들을 세련화하거나 검증하는 활동을 하고 앞선 갈등들을 해결함으로써 점점 더 정교화된 수학적 모델을 도출할 수 있게 한다고

하였다. [그림 8]에서는 제시된 의견 검증을 통해 수학적 모델 도출의 기반이 마련되었으며, [그림 9]에서는 처음에 제시된 수학적 모델인 평균이 특이점을 제외한 평균이라는 좀 더 정교화 된 수학적 모델로 개선되었다. 이는 단순화하기와 수학적 모델 도출 단계에서 나타나는 집단창의성 발현과정으로서 메타인지적 상호작용이 더욱 정교화된 수학적 모델을 도출하는 데 기여함을 의미한다. 집단 내 공동 평가를 통해 집단 내 사고의 폭이 넓혀지는 창의적 시너지 발생에 기여하게 되는 것이다. 결과적으로, 위의 사례는 단순화하기와 수학적 모델 도출 단계에서 메타인지적 상호작용이 발생할 수 있음과 동시에 메타인지적 상호작용이 수학적 모델의 정교성을 높여주는 창의적 시너지 효과를 가져올 수 있음을 보여준다.

한편, [그림 8]과 [그림 9]의 과정은 수학적 모델이 수정 및 개선되는 과정으로도 볼 수 있다. [그림 8] 제시 이후 구성원들은 한 동별 예상전력량을 구하기 위해 [그림 9]의 활동을 이어갔다. 그리고 [그림 9]의 St2 제시 이후 구성원들은 자연스럽게 평균을 구하기 위한 값들을 수집함으로써 모델을 개선해 나갔으며, 이후 개선된 St5의 수학적 모델을 이용하여 얻은 한 동별 예상전력량과 예상전력량에 근거한 발전기 설치 개수가 A조의 최종 산출물로 제시되었다. 집단 모델링 활동에서 나타나는 메타인지적 상호작용은 수학적 모델링의 수정 및 개선 활동으로 연결되며, 수정 및 개선 과정에서 모델이 점점 정교화되는 창의적 시너지를 통해 집단창의성의 발현을 가져온다(성지현, 이종희, 2017b).

2. 수학적 모델링 과정에서 집단창의성 발현을 위한 상호작용 촉진 전략

본 연구의 수학적 모델링 과정 중 비 상호작용 사례

2) A조는 ‘한 동별 예상전력량=한 동별 세대수×한 세대별 사용량’의 값을 계산하고자 하였다.

가 관찰되기도 하였다. 여기에서는 분석 단위 중 상호작용이 발생하지 않은 사례를 추가로 살펴본다. 이후 각 유형별 상호작용 사례에서 발견된 교사 및 학생 활동과의 특징을 비교한 뒤, 수학적 모델링 과정에서 집단창의성 발현을 위한 상호작용 촉진 전략을 교사와 학생 활동의 측면에서 각각 제시한다.

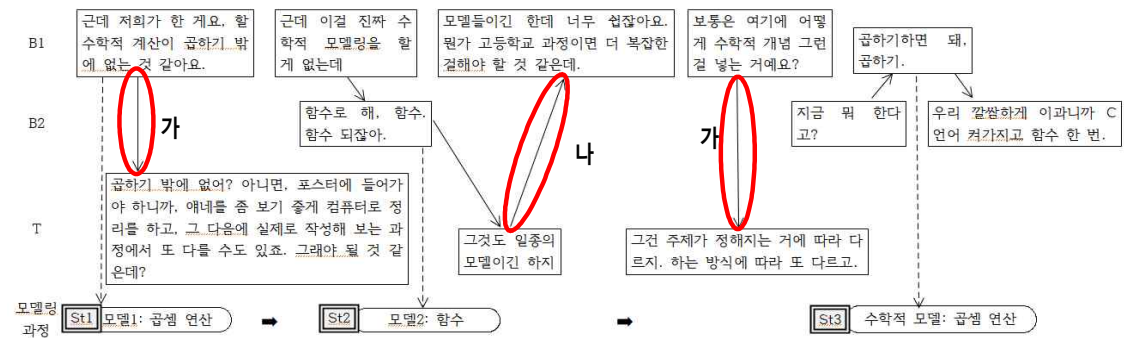
1) 수학적 모델 도출 단계에서 관찰된 비 상호작용 사례

[그림 10]은 수학적 모델 도출 과정에서 관찰된 B조의 사례를 보여준다. B조는 블랙아웃을 해결하기 위해 ESS를 설치하려고 하였으며, ESS 설치에 필요한 예산을 제시할 수 있는 수학적 모델을 선정하고자 했다. 이 과정을 화살표 진행 방향에 따라 살펴보면, B1은 수학적 모델 도출이 필요한 상황에 이르자 근거의 제시 없이 곱셈 연산을 모델로 제시(St1)하였는데, 자신의 견해에 대해 집단 구성원이 아닌 교사의 의견을 요구(‘가’ 화살표)함으로써 집단 내 상호작용의 기회를 차단하였다. 교사의 발언 이후 화살표가 더 이상 연결되지 않고 해당 대화와 관련한 논의가 집단 내에서 추가로 이루어지지 않은 점도 상호작용의 기회가 차단된 것을 뒷받침한다. 이후, B1의 수학적 모델링 발언에 B2가 함수 연산을 모델로 제안(St2)하였음에도, B1은 이에 직접 반응하지 않고 B2가 제시한 모델에 대한 교사의 반응에 대응(‘나’ 화살표)하는 모습을 보였다. 이때 교사가 B2의 모델에 대해 긍정적인 반응을 보였음에도 B1은 B2가 제시한 모델을 ‘쉬운 모델’로 간주한 채 상호작용을 차단하였다. 즉, B2

가 추가적인 수학적 모델을 제시하였음에도, 이에 대해 또 다른 추가 모델을 제시함으로써 상호보완적 상호작용을 유도하거나, B2가 제시한 모델의 부적합성을 제시함으로써 갈등 기반 상호작용을 유도하거나, 모델을 함께 평가함으로써 메타인지적 상호작용을 유도하는 것과 같은 집단창의성을 이끌어낼 수 있는 상호작용을 이끌어내는 데 실패한 것이다.

이후 B1은 집단 구성원들과의 합의 없이 곱셈 연산을 수학적 모델로 채택(St3)하였다. B1은 곱셈 연산을 선택한 이유를 여전히 제시하지 않음으로써 집단 내 상호작용의 기회를 한 번 더 차단하였고, 모델의 타당성 역시 확보하지 못하였다. 한편, B1의 곱셈 모델 선택 후 B2가 함수 모델을 한 번 더 언급하긴 하였으나, B2 역시 함수를 모델로 제시한 타당한 근거를 제시하지 못하고 B1이 제시한 곱셈 모델을 비판적으로 검토하지 못함으로써 집단창의성 발현을 위한 상호작용을 유도하는 데 실패하였다. 즉, 최종적으로 선정된 모델은 제시된 소집단 내에서 구성원 간의 상호작용을 거치지 않은 채 B1에 의해 선택된 것으로, 소집단의 합의된 공동모델로 볼 수 없다. 이후 B조는 곱셈 연산(소방서를 위한 ESS 설치비용=소방서 개수×한 소방서당 ESS 설치비용)을 이용하여 최종 산출물을 제시하였다. 정리하자면, [그림 10]은 B조가 수학적 모델을 도출하는 과정에서 구성원 간의 사고가 공유되지 않는 비 상호작용 발생 사례를 보여준다.

2) 비 상호작용 사례에 나타난 교사와 학생 활동의 특징



[그림 10] 수학적 모델 도출 과정에서 관찰된 B조의 비 상호작용 사례  
 [Fig. 10] Example of non-interaction observed in the mathematical model derivation stage of group B

앞의 절에서 살펴본 세 가지 유형의 상호작용 사례와 위에서 논의한 비 상호작용 사례를 살펴보면, 학생 반응 측면에서 차별화되는 특징이 확인되며, 비 상호작용 사례의 경우 교사 발문에서 한계점이 관찰된다. 여기에서는 비 상호작용 사례에서 나타나는 교사와 학생 활동 측면의 문제점을 확인함으로써 이후 집단창의성 발현을 위한 상호작용 촉진 전략 제시의 근거로 삼고자 한다.

먼저, 학생의 상호작용 대상과 관련하여, 상호작용이 발생한 사례에서는 집단 내 구성원 간의 상호작용에 집중하는 경향이 높은 반면, 비 상호작용이 발생한 사례에서는 교사와의 상호작용에 의존하려는 경향이 나타났다. 하지만, 교사와의 상호작용에 의존한다고 하여 교사의 발문에 적극적으로 반응하고 지속적인 상호작용을 이끌어내려는 노력이 관찰되진 않았다. 그보다 자신의 견해에 대한 옳고 그름을 판정하거나 교사로부터의 힌트 얻기에 주목하고 있다는 점이 한계점으로 나타났다.

둘째, 학생의 상호작용 참여와 관련하여, 상호작용이 발생한 사례에서는 집단 구성원들이 상대방이 제시한 사고를 적극적으로 수용하고 공유된 사고 간의 불일치를 인식하고 평가하는 등 상대방의 사고에 적극적으로 반응하는 태도를 보인 반면, 비 상호작용이 발생한 사례에서는 그렇지 않은 태도를 보였다. 이는 다른 구성원들의 사고에 대한 무관심이 비 상호작용으로 이어짐을 보여주는 것이다.

마지막으로, [그림 10]의 비 상호작용 사례에서 관찰된 교사 발문과 관련하여, 집단 내 비 상호작용이 발생하고 있음에도 교사는 상호작용을 유도하기 위한 발문보다 학생들의 개별적인 질문이나 반응에 개별적으로 답하는 데 머무르고 있다. 소집단 활동 시 교사가 안내자 역할을 해야 함을 상기할 때, 집단 내 비 상호작용이 발생하고 있는 상황에서는 학생 개인을 대상으로 활동을 안내하기보다 소집단 전체를 대상으로 상호작용을 안내하는 것이 적절한 조치라고 볼 수 있다. 즉, 비 상호작용 사례에서 교사의 적절한 개입 실패가 나타났다.

3) 수학적 모델링에서 집단창의성 발현을 위한 상호작용 촉진 전략

위의 비 상호작용에서 관찰된 학생 활동의 특징으로 는 소집단 구성원보다 교사에 의존하려는 경향과 구성원

의 사고에 대한 무관심이 나타났으며, 교사 활동의 특징으로는 소집단 내 상호작용을 유도하기 위한 안내의 실패로 나타났다. 위의 논의를 토대로, 아래에서는 집단창의성 발현을 위한 수업설계 시의 시사점을 각각 학생과 교사의 역할 측면에서 제시하고자 한다.

첫째, 소집단 구성원들에게 각각의 사회적 역할을 부여(role play)하는 것이 필요하다. 예컨대, 각각의 구성원들에게 다른 구성원이 제시한 견해에 대한 긍정적인 추가 의견 제시자, 부정적인 의견 제시자, 비판자의 역할을 부여한다. 이는 활동에 참여하는 소집단 구성원들의 사회적 관계를 설정하는 것으로, 활동 중 사고의 다양성과 갈등, 비판적 사고가 지속될 수 있게 함으로써 비 상호작용을 어느 정도 해결할 수 있을 것으로 보인다(김영채, 2007; 조무정, 진성연, 2016; Nemeth & Nemeth-Brown, 2003, pp. 75-76). [그림 10]의 비 상호작용 사례에서 관찰되었듯이, 구성원이 다른 구성원의 사고에 관심을 갖지 않거나 집단 내 상호작용을 회피한 채 교사에 의존하는 경우 비 상호작용으로 인해 모델 개선의 기회를 잃게 된다. 소집단 구성원들이 각자 역할을 맡게 된다면, 역할 수행을 위해 다른 구성원의 사고에 관심을 갖고 적극적으로 반응하게 될 것이다. 그리고 이로 인해 교사에 의존하기보다 집단 내 상호작용에 집중하게 될 것이다.

둘째, 교사의 지도 측면에서, 학생의 개별적인 질문에 답하는 경우에도 집단 내 상호작용을 촉진하는 방향으로의 답변이 필요하다. 본 연구의 수업설계 시 교사가 상호보완적, 갈등 기반, 메타인지적 상호작용을 안내할 수 있는 발문을 구성하였음에도 [그림 10]의 교사 발문에는 이러한 특징이 드러나지 않은바, 이는 예상치 못한 개별 질문에 대해 적절하지 못한 대응이 이루어진 것으로 볼 수 있다. 즉, 교사는 개별적인 질문에 대해서도 개인 활동의 방향이 아닌 집단 내 상호작용을 안내하는 방향으로 발문을 준비해야 한다. 예컨대, [그림 10]의 첫 번째 교사 응답의 경우 B1의 질문에 개별적인 답을 하기보다 'B2와 B3도 곱하기밖에 없다는 데 동의하니?'와 같은 발문을 제공한다면, B1의 의견을 집단 내에서 비판적으로 점검하고 공유할 수 있는 안내를 할 수 있을 것이다.

## V. 결론 및 제언

본 연구에서는 수학적 모델링 과정에서 집단창의성 발현사례를 살펴보았다. 이를 본 연구에서 제시한 연구 목표와 관련하여 살펴보면, 첫째, 수학적 모델링 과정 중 실세계 탐구와 문제에 영향 미치는 요인 찾기 단계에서 상호보완적 상호작용, 단순화하기 단계에서 갈등 기반 상호작용, 단순화하기와 수학적 모델 도출 단계에서 메타인지적 상호작용을 통한 집단창의성 발현사례가 관찰되었다. 특히, 상호보완적 상호작용의 경우 사고의 추가적인 수집 사례와 사고의 불일치로 연결되는 사례라는 두 가지 유형의 상호작용이 관찰되었다. 이는 수학적 모델링이 집단창의성 발현을 위한 방안으로 제시 가능함을 보여준다. 둘째, 각 유형의 상호작용을 통한 집단창의성 발현이 수학적 모델링에 미치는 효과가 아래의 [표 1]과 같이 관찰되었다. 이는 수학적 모델링에서 집단창의성 발현이 수학적 모델링 활동의 개선에 도움이 될 수 있음을 보여준다. 셋째, 수학적 모델링 과정 중 비 상호작용도 관찰되었으며, 상호작용이 관찰된 사례와의 비교를 통해 학생의 교사의존도, 집단 내 공유된 사고에 대한 구성원들의 적극적인 반응 여부, 교사의 적절한 개입 등에서 차이가 존재함을 확인하였다. 넷째, 집단창의성 발현을 위한 교수·학습방안으로 학생의 역할 부여와 교사의 상호작용을 촉진하는 방향으로의 발문 제시가 필요함을 제시하였다. 이러한 결과는 교수학습 전략의 추가적인 보완을 통해 수학적 모델링에서 집단창의성이 좀 더 적극적이고 다양한 형태로 발현될 수 있음을 의미한다.

[표 1] 각 유형의 상호작용이 수학적 모델링에 미치는 효과

[Table 1] Effects of each type of interaction on mathematical modeling

상호작용 유형	수학적 모델링에 미치는 효과
상호보완적	· 실세계 현상과 문제에 영향 미치는 요인에 대한 다양한 측면에서의 탐구 가능성 확대 · 갈등 유발을 통한 사고의 확장 가능성 부여
갈등 기반	· 단순화 과정에서 주요 요인에 대한 풍부한 근거 제공 · 주요 요인 선정 기준 명확화
메타인지적	· 정교화된 수학적 모델 도출 · 모델의 수정 및 개선 유도

본 연구는 다음과 같은 두 가지 측면에서 선행연구와 연결성을 지니며 동시에 연구의 폭을 확장하였다고 볼 수 있다. 첫째, 수학적 모델링 과정에서 창의성을 논의한 선행연구(박진형, 2017; 이경화, 2016; Chamberlin & Moon, 2005; Palsdottir & Sriraman, 2017; Sriraman, 2005; Suh et al., 2017)가 개인의 창의성 발현에 초점을 맞추었다면, 본 연구에서는 집단창의성 발현에 초점을 맞추었다는 측면에서 수학적 모델링과 창의성과의 관련성을 확장하였다는 의미를 지닌다.

둘째, 본 연구는 집단창의성 관점에서 수학적 모델링 과정에서 나타나는 상호작용을 분석하였다는 의미를 지닌다. 그동안 선행연구에서는 집단창의성 발현과정으로서 상호작용 과정에 대한 실제적 연구의 필요성을 이론적으로 강조해 왔을 뿐 실제 분석을 수행한 연구를 보기는 힘들었다(Sawyer, 2012, pp. 243-244). 특히, 여러 선행연구(Kaiser, 2007; Suh et al., 2017; Vorhölter, 2017; Vorhölter et al., 2017)에서 이미 수학적 모델링 활동 시 소그룹 구성을 제안하고 있음에도 불구하고, 수학적 모델링 과정에서의 상호작용에 초점을 둔 논의는 찾아보기 힘들었다. 본 연구는 수학적 모델링에서 나타나는 상호작용 사례를 구체적으로 제시함으로써 최근 강조되고 있는 협업에 기반한 집단창의성 발현을 수학적 모델링에서 확인하였다는 의미를 지닌다.

셋째, 본 연구는 연구 참여자로 일반 학생을 제시한 바, 그동안 영재 학생 중심으로 논의되어 온 수학적 모델링과 창의성 교육의 가능성(이경화, 2016)을 일반 학생으로 확장하였다는 의미를 갖는다.

그동안 여러 선행연구에서 수학적 모델링의 교육적 의미가 논의되었다. 본 연구는 이에 더하여 수학적 모델링의 교육적 의미를 집단창의성 관점에서 찾고자 하였으며, 실제로 모델링 과정에서 집단창의성 발현과 그 효과를 확인하였다. 다만, 본 연구에서는 주로 실세계 탐구로부터 수학적 모델 선정에 이르는 과정에서의 집단창의성 발현이 확인된바, 이후의 단계에서 발현되는 집단창의성에 대한 자세한 논의를 후속연구로 제안하는 바이다. 더불어, 향후 다양한 수준과 연령대의 학생을 대상으로 수학적 모델링 과정의 집단창의성 발현과정에 대한 논의가 이루어지길 기대한다.



## 참 고 문 헌

- 교육부 (2015). 수학과 교육과정. 교육부 고시 제2015-74호 [별책 8]. 서울: 저자.
- Ministry of Education. (2015). *Mathematical curriculum*. Seoul: Author.
- 김민경, 홍지연, 김은경 (2009). 수학적 모델링 사례 분석을 통한 초등 수학에서의 지도 방안 연구. 수학교육 48(4), 365-385.
- Kim, M. K., Hong, J. Y., & Kim, E. K. (2009). Exploration of teaching method through analysis of cases of mathematical modeling in elementary mathematics. *The Mathematical Education* 48(4), 365-385.
- 김민경, 홍지연, 김혜원 (2010). 수학적 모델링 적용을 위한 문제상황 개발 및 적용. 수학교육, 49(3), 313-328.
- Kim, M. K., Hong, J. Y., & Kim, H. W. (2010). A study on development of problem contexts for an application to mathematical modeling. *The Mathematical Education* 49(3), 313-328.
- 김부미 (2018). 모바일, 온/오프라인 연계수학 학습에서 집단창의성 발현을 위한 과제 특성. 수학교육학논총 52, 159-161.
- Kim, B. M. (2018). Characteristics of tasks for group creativity in mathematics learning related with mobile, on/off-line. *Proceedings of the 52<sup>nd</sup> Conference on Mathematics Education* 52, 159-161.
- 김선연 (2017). 집단 협력학습에서 시너지의 심층적 개념 분석. 교육공학연구 33(1), 75-104.
- Kim, S. Y. (2017). An in-depth conceptual analysis of synergy in group collaborative learning. *Journal of Educational Technology* 33(1), 75-104.
- 김선희, 김기연 (2004). 수학적 모델링 과정에 포함된 추론의 유형 및 역할 분석. 학교수학 6(3), 283-299.
- Kim, S. H. & Kim, K. Y. (2004). Analysis on types and roles of reasoning used in the mathematical modeling process. *School Mathematics* 6(3), 283-299.
- 김영채 (2007). 집단창의의 가능성과 한계. 사고개발 3(1), 1-26.
- Kim, Y. C. (2007). Group creativity: How it could be effective?. *The Journal of Thinking Development* 3(1), 1-26.
- 김현진, 설현도 (2014). 개인창의성과 집단창의성의 관계에서 통합능력과 지식공유의 매개효과. 지식경영연구 15(4), 223-247.
- Kim, H. J. & Seol, H. D. (2014). Mediating effects of integrative capability and knowledge sharing on the relationship between individual creativity and group creativity. *Knowledge Management Research* 13(4), 223-247.
- 박진형 (2017). 수학적 모델링 활동에 의한 창의적 사고 촉진 사례 연구. 수학교육학연구 27(1), 69-88.
- Park, J. H. (2017). Fostering mathematical creativity by mathematical modeling. *Journal of Educational Research in Mathematics* 27(1), 69-88.
- 박진형, 이경화 (2014). 모델링 활동을 통한 메타수준 학습에 대한 연구. 학교수학 16(3), 409-444.
- Park, J. H. & Lee, K. H. (2014). A study on meta-level learning through modeling activities. *School Mathematics* 16(3), 409-444.
- 성지현, 이종희 (2017a). 수학영재의 집단창의성 발현 모델 개발. 수학교육학연구 27(3), 557-580.
- Sung, J. H. & Lee, C. H. (2017a). A study on the manifestation process model development of group creativity among mathematically gifted students. *Journal of Educational Research in Mathematics* 27(3), 557-580.
- 성지현, 이종희 (2017b). 수학영재의 집단창의성 발현에서 나타나는 산출 및 과정 손실 분석. 한국초등수학교육학회지 21(3), 505-530.
- Sung, J. H. & Lee, C. H. (2017b). An analysis on the products and process losses of group creativity among mathematically gifted students. *Journal of Elementary Mathematics Education in Korea* 21(3), 505-530.
- 신은주, 이종희 (2004). 모델링 과정에서 지각적, 인지적, 메타인지적 활동의 상호작용에 관한 사례연구. 학교수학 6(2), 153-179.
- Shin, E. J. & Lee, C. H. (2004). An analysis of the interaction of perceptive, cognitive, and metacognitive activities on the middle school students' modeling activity. *School Mathematics* 6(2), 153-179.
- 우정호, 정영옥, 박경미, 이경화, 김남희, 나귀수, 임재훈 (2014). 수학교육학 연구방법론. 서울: 경문사.
- Woo, J. H., Chong, Y. O., Park, K. M., Lee, K. H., Kim, N. H., Na, G. S., Yim, J. H. (2014). *Research methodology in mathematics education*. Seoul: Kyungmoonsa.

- 유경훈 (2015). 초중고 학생들의 개인창의성과 집단창의성 및 환경변인의 집단별 영향력 비교연구. 영재와 영재교육 14(1), 201-222.
- Lew, K. H. (2015). A comparative study on effects of home and classroom environment on individual creativity and group creativity. *The Journal of the Korean Society for the Gifted and Talented* 14(1), 201-222.
- 이경화 (2016). 현실적 수학교육 이론의 재미-수학적 창의성 교육의 관점에서. 수학교육학연구 26(1), 47-62.
- Lee, K. H. (2016). Reanalysis of realistic mathematics education perspective in relation to cultivation of mathematical creativity. *Journal of Educational Research in Mathematics* 28(1), 47-62.
- 이신영, 김찬중, 최승언, 유준희, 박현주, 강은희, 김희백 (2012). 소집단 상호작용에 따른 심장 내 혈액 흐름에 대한 소집단 모델 발달 유형과 추론 과정 탐색. 한국 과학교육학회지 32(5), 805-822.
- Lee, S. Y., Kim, C. J., Choe, S. U., Yoo, J. H., Park, H. J., Kang, E. H., Kim, H. B. (2012). Exploring the patterns of group model development about blood flow in the heart and reasoning process by small group interaction. *Journal of the Korean Association for Science Education* 32(5), 805-822.
- 정혜윤, 이경화, 백도현, 정진호, 임경석 (2018). 수학적 모델링 관점에 의한 <수학과제 탐구> 과목용 과제의 설계. 학교수학 20(1), 149-169.
- Jung, H. Y., Lee, K. H., Baek, D. H., Jung, J. H., & Lim, K. S. (2018). Design for <Mathematical Task Inquiry> subject's task based on the mathematical modeling perspective. *School Mathematics* 20(1), 149-169.
- 조무정, 진석언 (2016). 초등학교 과학 영재학생의 집단 창의성 발현과정 경험에 대한 현상학적 연구. 창의력 교육연구 16(2), 35-59.
- Cho, M. J. & Jin, S. U. (2016). A phenomenological study on group creativity emerging process experiences of gifted students in elementary schools. *The Journal of Creativity Education* 16(2), 35-59.
- 조미경, 김민경 (2016). 비구조화된 수문제의 해결에서 교사의 스케폴딩 제공에 따른 학생 간 상호작용. 초등교육연구, 29(4), 227-255.
- Cho, M. K. & Kim, M. K. (2016). A study on peer interactions according to a teacher's scaffolding in ill-structured mathematical problem solving. *The Journal of Elementary Education*, 29(4), 227-255.
- 황혜정 (2007). 수학적 모델링의 이해. 학교수학 9(1), 65-97.
- Hwang, H. J. (2007). A study of understanding mathematical modelling. *School Mathematics* 9(1), 65-97.
- Artzt, A. F. & Armour-Thomas, E. (1992). Development of a cognitive-metacognitive framework for protocol analysis of mathematical problem solving in small group. *Cognition and Instruction*, 9(2), 137-175.
- Bliss, K. & Libertini, J. (2016). What is mathematical modeling? In Garfunkel, S., & Montgomery, M. (Eds.), *Guidelines for Assessment & Instruction in Mathematical Modeling Education(GAIMME)* (pp. 7-21).
- BlmhØj, M. (2011). Modelling competency: Teaching, learning and assessing competencies - Overview. In G. Kaiser, W. Blum, R. Borromeo Ferri, & G. Stillman (Eds.). *Trends in teaching and learning of mathematical modelling* (pp. 343-347). Dordrecht: Springer.
- Blum, W. & Ferri, R. B. (2009). Mathematical modelling: Can it be taught and learnt? *Journal of Mathematical Modelling and Application*, 1(1), 45-58.
- Chan, C. M. E. (2008). The use of mathematical modeling tasks to develop creativity, In E. Veikova, & A. Andzans (Eds.), *Promoting creativity for all students in mathematics education* (pp. 207-216). Bulgaria: University of Rousse.
- Chamberlin, S. A. & Moon, S. M. (2005). Model-eliciting activities as a tool develop and identify creatively gifted mathematicians. *The Journal of Gifted Education*, 17(1), 37-47.
- Creswell, J. W. (2014). 연구방법 : 질적, 양적 혼합적 연구의 설계 (정종진, 김영숙, 성용구, 성장환, 류성림, 박관우, 유승희, 임남숙, 임청환, 허재복 역), 서울: 시그마프레스. (원저 2013년 출판)

- Doerr, H. M. (2007). What knowledge do teachers need for teaching mathematics through applications and modelling?. In W. Blum, P. L. Galbraith, H-W. Henn, & M. Niss (Eds.), *Modelling and applications in mathematics education* (pp. 69-78). New York: Springer.
- English, L. D. (2006). Mathematical modeling in the primary school. *Educational Studies in Mathematics*, 63(3), 303-323.
- English, L. D. & Sriraman, B. (2010). Problem solving for the 21st century. In B. Sriraman, & L. English (Eds.), *Theories of Mathematics Education* (pp. 263-301). Berlin: Springer.
- Galbraith, P. & Stillman, G. (2006). A framework for identifying student blockages during transitions in the modelling process. *ZDM*, 38(2), 143-162.
- Gravemeijer, K. (2002). Preamble: From models to modeling. In K. Gravemeijer, R. Lehrer, B. Oers, & L. Verschaffel (Eds.), *Symbolizing, Modeling and Tool Use in Mathematics Education* (pp. 7-22).
- Guest, G., MacQueen, K. M., & Namey, E. E. (2011). *Applied thematic analysis*. Thousand Oaks, CA : Sage.
- James, M. A. (2015). Managing the classroom for creativity. *Creative Education*, 6(10), 1032-1043.
- Kaiser, G. (2007). Modelling and modelling competencies in school. In C. Haines, P. Galbraith, W. Blum, & S. Khan, (Eds.), *Mathematical modelling (ICTMA 12): Education, engineering and economics* (pp. 110-119). Chichester: Horwood Publishing.
- Kurtzberg, T. R. & Amabile, T. M. (2001). From Guilford to creative synergy: Opening the black box of team-level creativity. *Creativity Research Journal*, 13(3-4), 285-294.
- Lesh, R., Cramer, K., Doerr, H., Post, T., & Zawojewski, J. (2003). Model development sequences. In R. Lesh, & H. Doerr (Eds.), *Beyond constructivism: Models and modeling perspectives on mathematics teaching, learning, and problem solving* (pp. 35-58). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Mercer, N. (1995). *The guided construction of knowledge talk amongst teachers and learners*. Neil Mercer. [Electronic Resource].
- Milliken, F. J., Bartel, C. A., & Kurtzberg, T. R. (2003). Diversity and creativity in work group: A dynamic perspective on the affective and cognitive processes that link diversity and performance. In P. B. Paulus, & B. A. Nijstad, (Eds.), *Group creativity: Innovation through collaboration* (pp. 32-62). Oxford University Press.
- Nemeth, C. J., Brown, K. S., & Rogers, J. (2001). Devil's advocate versus authentic dissent: Stimulating quantity and quality. *European Journal of Social Psychology*, 31, 707-720.
- Nemeth, C. J. & Nemeth-Brown, (2003). Better than individual? The potential benefit of dissent and diversity for group creativity. In P. B. Paulus, & B. A. Nijstad, (Eds.), *Group creativity: Innovation through collaboration* (pp. 63-84). Oxford University Press.
- Nijstad, B. A., Dieha, M., & Stroebe, W. (2003). Cognitive stimulation and interference in idea-generating groups. In P. B. Paulus, & B. A. Nijstad, (Eds.), *Group creativity: Innovation through collaboration* (pp. 137-159). Oxford University Press.
- Núñez-Oveido, M. C., Clement, J., & Rea-Ramirez, M. A. (2008). Developing complex mental modes in biology through model evolution. In J. J. Clement, & M. A. Rea-Ramirez (Eds.), *Model based learning and instruction in science* (pp. 173-193). Netherlands: Springer.
- Pakeltienė, R. & Ragauskaitė, A. (2017). Creative synergy as a potential factor for the development of social innovations. *Research for Rural Development*, 2, 174-181.

- Palsdottir, G. & Sriraman, B. (2017). Teacher's views on modeling as a creative mathematical activity. In R. Leikin, & B. Sriraman, (Eds.), *Creativity and giftedness* (pp. 47-55). Switzerland: Springer.
- Paulus, P. B. (2000). Groups, teams, and creativity: The creative potential of idea-generating groups. *Applied Psychology: An International Review*, 49(2), 237-262.
- Paulus, P. B. & Brown, V. R. (2003). Enhancing ideation and creativity in Groups. In P. B. Paulus, & B. A. Nijstad, (Eds.), *Group creativity: Innovation through collaboration* (pp. 110-136). Oxford University Press.
- Paulus, P. B. & Nijstad, B. A. (2003). Group creativity. In P. B. Paulus, & B. A. Nijstad, (Eds.), *Group creativity: Innovation through collaboration* (pp. 3-11). Oxford University Press.
- Sawyer, R. K. (2012). Group creativity. In R. K. Sawyer (Ed), *Explaining creativity: The science of human innovation account*. (pp. 231-248). New York : Oxford University Press.
- Sheffield, L. J. (2006). Developing mathematical promise and creativity. *Research in Mathematics Education*, 10(1), 1-11.
- Sriraman, B. (2005). Are mathematical giftedness and mathematical creativity synonyms? A theoretical analysis of constructs. *Journal of Secondary Gifted Education*, 17(1), 20-36.
- Suh, J. M., Matson, K., & Seshaiyer, P. (2017). Engaging elementary students in the creative process of mathematizing their world through mathematical modeling. *Education Sciences*, 7(2), 62.
- Verschaffel, L., Greer, B., & De Corte, E. (2002). Everyday knowledge and mathematical modeling of school word problems. In K. Gravemeijer, R. Lehrer, B. van Oers, & L. Verschaffel (Eds.), *Symbolizing, modeling and tool use in mathematics education* (pp. 257-276). Dordrecht: Springer.
- Vorhölter, K. (2017). Conceptualization and measuring of metacognitive modelling competencies: Empirical verification of theoretical assumption. *ZDM*, 50(1-2), 343-354.
- Vorhölter, K., Krüger, A., & Wendt, L. (2017). Metacognitive modelling competencies in small groups. In T. Dooley, & G. Gueudet (Eds.), *Proceedings of the tenth congress of the european society for research in mathematics education*. Dublin, Ireland: DCU Institute of Education and ERME.
- Woodman, R. W., Sawyer, J. E., & Griffin, R. W. (1993). Toward a theory of organizational creativity. *The Academy of Management Review*, 18(2), 293-321.
- Zhou, C. & Luo, L. (2012). Group creativity in learning context: Understanding in a social-cultural framework and methodology. *Creative Education*, 3(4), 392-399.

## Manifestation examples of group creativity in mathematical modeling

**Jung, Hye Yun**

Department of Mathematics Education, Graduate School of Seoul National University  
E-mail : hy0501@snu.ac.kr

**Lee, Kyeong Hwa<sup>†</sup>**

Department of Mathematics Education, Seoul National University  
E-mail : khmath@snu.ac.kr

The purpose of this study is to analyze manifestation examples and effects of group creativity in mathematical modeling and to discuss teaching and learning methods for group creativity. The following two points were examined from the theoretical background. First, we examined the possibility of group activity in mathematical modeling. Second, we examined the meaning and characteristics of group creativity. Six students in the second grade of high school participated in this study in two groups of three each. Mathematical modeling task was "What are your own strategies to prevent or cope with blackouts?". Unit of analysis was the observed types of interaction at each stage of mathematical modeling. Especially, it was confirmed that group creativity can be developed through repetitive occurrences of mutually complementary, conflict-based, metacognitive interactions. The conclusion is as follows. First, examples of mutually complementary interaction, conflict-based interaction, and metacognitive interaction were observed in the real-world inquiry and the factor-finding stage, the simplification stage, and the mathematical model derivation stage, respectively. And the positive effect of group creativity on mathematical modeling were confirmed. Second, example of non interaction was observed, and it was confirmed that there were limitations on students' interaction object and interaction participation, and teacher's failure on appropriate intervention. Third, as teaching learning methods for group creativity, we proposed students' role play and teachers' questioning in the direction of promoting interaction.

---

\* ZDM Classification : M14

\* 2000 Mathematics Subject Classification : 97D99

\* Key words : mathematical modeling, group creativity, interaction

† Corresponding author