creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

교육학석사 학위논문

중학생 소집단의 과학적 모형의 사회적 구성수업에서 제약조건의 양상과 영향

Aspects and Effects of Constraints in Students' Scientific Model Co-construction

2015년 2월

서울대학교 대학원

과학교육과 지구과학 전공

김 유 진

중학생 소집단의 과학적 모형의 사회적 구성수업에서 제약조건들의 양상과 영향

Aspects and Effects of Constraints in Students' Scientific Model Co-construction

지도교수 김 찬 종

이 논문을 교육학석사 학위논문으로 제출함
2015 년 1 월

서울대학교 대학원
과학교육과 지구과학 전공
김 유 진

김유진의 석사 학위논문을 인준함
2015 년 1 월

위 원 장 최 승 언 (인)

부위원장 김 찬 종 (인)

위 원 유 준 희 (인)

국문초록

과학은 자연 현상을 탐구하는 학문으로서 과학자들은 관찰한 자연 현상의 패턴을 설명하고 그 본성에 대해 깊게 탐구하기 위하여 모형을 개발하여 평가·수정하는 활동을 수행한다(Passmore et al., 2009). 학생들은 과학자와 마찬가지로 다양한 정보들, 즉 데이터나 리소스들을 바탕으로 과학적 모형을 사회적으로 구성한다. 그러나 실제 과학적 모형의 사회적 구성 수업에서는 수많은 교사와 학생들이 어려움을 겪고 있으며 많은 학생들이 과학적 모형의 사회적 구성을 원활히 해내지 못하고 있다. 과학적 모형 구성 과정은 우연적으로 이루어지는 것이 아니며 그 중에서도 학생들은 특정 정보에 관심을 가지고 선택하여 과학적 모형을 구성하는데 이용한다. 따라서 학생들의 모형 구성 과정에서 조건을 발생시키고 모형 구성을 제약할 수 있는 모든 형태의 정보들을 제약조건(Constraint)라는 의미를 부여하고 그 양상과 과학적 모형 구성 과정에서의 영향이 어떠한지 이해할 필요가 있다.

이를 위하여 '흑점의 이동', '내행성의 위상변화'를 주제로 7차시 수업 모듈을 개발하여 서울 소재 중학교 2학년 6개 반에 적용하였다. 그 중 '흑점의 이동'을 주제로 한 전체 수업 과정과 학생들의 소집단 활동은 촬영 후 모두 전사하여 질적으로 분석하였고 학생들의 활동지와 사후 인터뷰, 수업 당시 작성한 연구자의 수업 관찰 자료도 분석에 이용하였다. 학생들의 소집단에서 과학적 모형을 사회적으로 구성하는 과정에서 사용하는 제약 조건들을 유형화 하고, 과학적 모형과 관련하여 Clement(2008)와 Nersessian(2008) 등의 모형 발달 과정을 중심으로 분석하였다.

분석결과 (1) 학생들은 과학적 모형의 사회적 구성 과정에서 교사가 사전에 계획한 것 외에도 다양한 형태의 여러 영역들로부터 온 제약조건들을 사용하여 모형을 구성하였다. (2) 수업에서 학생들이 사용하는 제약조건의 양상은 여러 가지로 나타났으며 크게 기능적, 형식적 기준으로 분류할 수 있었다. 기능적으로는 모형 구성의 범위를 제한시키거나 모형 발달에 긍정적인, 부정적인, 또는 영향을 주지 않는 제약조건들로 분류되었고, 형식적으로는 누구에 의해 제시되었는지, 제시된 형태는 어떠한지에 따라 분류되었다. (3) 학생들은 개인의 생활 속의 경험, 매체, 이론, 교과서, 관찰 등의 여러 출처(source)들로부터 제약조건을 이끌어내어 사

용하였는데 이때 제약조건들은 학생들이 생각하는 각 출처들이 가진 권위를 바탕으로 선택되어 소집단에서의 과학적 모형 구성 과정에 다양하게 영향을 주었다.

학생들은 적절하고 충분한 제약조건들을 사용하면 높은 수준에서 정신적 모델을 구성하는 것이 가능하였으며, 이에 따라 학교 현장에서도 적용 가능한 다양한 맥락에 적합한 수업 모듈을 개발하고 투입하여 실질적인 과학 탐구를 실천 할 수 있다. 과학적 모형의 사회적 구성은 학생중심의 활동이지만 교사의 역할이 매우 중요하며 본 연구로 인해 과학적 모형의 사회적 구성 수업 설계에서 학생들의 성공적인 모형 구성을 위해 어떤 제약조건들을 사용할 수 있게 할 것인지 실제적인 도움을 줄 수 있으리라 기대한다.

주요어 : 과학적 모형, 사회적 상호작용, 공동 구성, 제약 조건
학 번 : 2013-21449

목 차

제 1 장 서론 ····· 1

제 1 절 연구의 필요성 ····· 1

제 2 절 연구 목적 ····· 3

제 2 장 이론적 배경 ····· 5

제 1 절 과학적 모형 ····· 5

제 2 절 사회적 공동 구성 ····· 10

1. 사회적 공동 구성 ····· 10

2. 과학적 모형의 사회적 공동 구성 ····· 11

제 3 절 제약 조건 ····· 14

제 3 장 연구 방법 ····· 17

제 1 절 연구 과정 ····· 17

제 2 절 연구 대상 ····· 20

1. 연구 참여 학교 ····· 20

2. 연구 참여자 ····· 20

3. 수업 내용 ····· 22

제 3 절 자료 수집 및 분석 ····· 25

1. 자료 수집 ····· 25

2. 자료 분석 ····· 26

제 4 절 심층 면담 ····· 27

제 4 장 연구 결과 ····· 29
제 1 절 제약조건들의 유형 ····· 29
1. 제약조건의 양상 ····· 29
2. 제약조건의 유형 ····· 31
제 2 절 제약 조건들의 출처 ····· 38
1. 제약 조건들의 출처 ····· 38
2. 제약조건 출처들의 유형 ····· 43
제 3 절 제약조건들의 출처에 따른 영향 ····· 46
1. 초기 모형 생성 ····· 48
2. 모형을 유지 ····· 49
3. 모형을 급격히 변화 ····· 53

제 5 장 결론 및 제언 ····· 63
제 1 절 결론 ····· 63
제 2 절 제언 ····· 65

참고문헌 ····· 69
부록 ····· 77
Abstract ····· 83

표 목 차

[표 1] 연구 대상 학생 배치 ····· 21
[표 2] 태양 관측 사진 ····· 23
[표 3] 사전 계획된 제약조건 ····· 25
[표 4] 심층 면담 문항 예시 ····· 27
[표 5] 제약조건의 출처(모둠7: 상수준) ····· 38
[표 6] 제약조건의 출처(모둠3: 중수준) ····· 41
[표 7] 제약조건의 출처(모둠5: 하수준) ····· 42
[표 8] 제약조건 출처들의 유형 ····· 44

그 림 목 차

[그림 1] 과학적 패러다임의 개념적 조직 ····· 5
[그림 2] 과학자의 탐구 과정 ····· 6
[그림 3] 실세계, 모형, 예측, 데이터의 관계 ····· 7
[그림 4] GEM cycle ····· 8
[그림 5] 수정된 GEM cycle (1) ····· 9
[그림 6] 수정된 GEM cycle (2) ····· 12
[그림 7] GEM cycle 적용 수업 단계 ····· 13
[그림 8] 모형 구성 과정 ····· 15
[그림 9] 맥스웰의 모형 구성 과정 ····· 16
[그림 10] 과학적 모형의 사회적 구성 수업 모듈 ····· 18
[그림 11] 연구 과정 ····· 19
[그림 12] 과학적 모형의 사회적 구성 수업 흐름 ····· 22
[그림 13] 모형 구성 과정과 제약조건 ····· 30
[그림 14] 제시된 형태에 따른 분류 ····· 31
[그림 15] 제시된 주체에 따른 분류 ····· 32
[그림 16] 모형 구성 과정에 주는 영향에 따른 분류 ····· 34
[그림 17] 제약조건들의 유형 ····· 37
[그림 18] Analysis framework for types and sources of evidence ····· 45
[그림 19] Illustrations of model co-contruction with constraint ····· 47
[그림 20] 초기모형 (모둠7, 모둠3) ····· 48
[그림 21] 초기모형 (모둠7) ····· 49
[그림 22] 모형 구성 과정 (모둠7) ····· 51
[그림 23] 모형 구성 과정 (모둠5) ····· 52
[그림 24] 모형 구성 과정 (모둠3) ····· 52
[그림 25] 모형 구성 과정 (모둠3) ····· 55

[그림 26] 모형 구성 과정 (모둠7) ····· 57
[그림 27] 모형 구성 과정 (모둠7) ····· 58
[그림 28] 모형 구성 과정 (모둠5) ····· 59
[그림 29] 모형 구성 과정 (모둠7) ····· 60
[그림 30] 모형 구성 과정 (모둠7) ····· 61
[그림 31] 모형 구성 과정 (모둠4) ····· 61

제 1 장 서론

제 1 절 연구의 필요성

과학은 실세계의 자연 현상을 탐구하는 학문이며 과학자들은 과학적 모형을 개발하여 스스로 평가하며 수정해나가는 활동을 통해 관찰한 자연 현상을 설명하고 그 본성에 대해 탐구한다(Passmore et al., 2009). 따라서 과학 탐구의 본질은 모형을 구성하는 것, 모형 구성 과정이라고 이해할 수 있다(Giere, 1988; Giere, Bickle, & Mauldin, 2006). 학교 과학교육에서도 이러한 과학적 모형 구성의 중요성이 강조되고 있다. 학생들은 모형을 구성하고 평가, 수정하는 과정에서 과학적 지식을 능동적으로 구성하고(Ford, 2008; Greca & Moreira, 2000; Harrison & Treagust, 2000; Justi & Gilbert, 2002; Kawasaki et al., 2004; Newton et al., 1999), 과학의 본성과 과학 지식의 구성 및 평가에 대한 능력을 키울 수 있기 때문이다(Carey & Smith, 1993; Schwarz & White, 2005).

사회적 상호작용 또한 우리나라에 도입된 이후, 과학 교육 연구의 중요한 부분으로서 연구가 활발히 진행되었는데(최희경 외, 2004), 현재는 효과적인 과학 학습을 가능하게 하는 중요한 교수・학습 전략의 하나로서 널리 인식되고 있다(강석진과 노태희, 2000; 김지영, 2002; 배진호와 옥수경, 2009; Stake & Easley, 1978).

최근에는 이러한 과학적 모형의 구성과 사회적 공동 구성을 동시에 고려한 연구가 시도되었다. 즉, 과학 수업 활동 과정에서 학생들이 사회적 상호작용을 통해 공동으로 과학적 모형을 구성하는 과정이 매우 중요하다는 것을 인식하게 됨에 따라(Gilbert et al., 2000), 과학적 모형의 사회적 공동 구성 중심 학습 전략을 한국 과학 수업에 도입하려는 연구가 점차 증가하였다(강은희 외, 2012; 유희원 외, 2012; 이신영 외, 2012; 정영은, 2012; 함동철, 2012). 연구 결과, 교사와 학생, 학생과 학생, 또는 소

집단과 대집단으로 다양한 상호작용에 기반을 둔 모형 기반 탐구 활동이 한국 과학 교육 교실에서 도입될 수 있으며 학생들의 과학 논변 활동과 과학 학습에 대한 흥미 유발 면에서도 과학적 모형 구성의 사회적 공동 구성 수업이 주는 긍정적인 효과가 확인되었다. 이에 따라 과학적 모형을 사회적으로 구성하는 활동에 대한 다양한 연구가 이루어졌다.

이러한 과학적 모형의 사회적 구성 수업과 관련된 기존의 연구는 주로 소집단 상호작용에 따른 학생들의 모델 발달 수준에 초점을 두거나 모형의 유형에 대한 연구로 오필석(2005, 2007), 함동철(2012), Adúriz-Bravo(2012), Clement(2008), Daly & Bryan(2010)의 연구, Rea-Ramirez et al.(2008)의 연구가 이루어졌다. 이 외에도 사회적 공동 구성 과정을 통한 추론 과정을 논변 과정으로서 분석한 것(이신영 외, 2012; Svoboda & Passmore, 2011; Windschitl et al, 2008), 모델 기반 학습에서 교사의 역할이 필수적이며 교사는 비계 설정을 통해 학생들과 모형을 공동 구성한다는 것(Clement, 2008; 1999; Mortimer & Scott ,2003; Rea-Ramirez & Nunez-Oviedo, 2008)등의 연구가 이루어 졌다.

그러나 대부분 단순히 학생들의 상호작용의 양상과 모형 발달 과정에만 초점을 맞춘 연구가 이루어졌고, 모형 구성 과정에서의 교사의 직접적인 개입이 필요함이 밝혀졌음에도 구체적인 교사의 역할에 대한 연구는 잘 이루어지지 않았다. 또한 학생들이 다양한 탐구 활동을 경험해왔음에도 불구하고 실제 과학적 모형의 사회적 구성 수업에서는 수많은 교사와 학생들이 어려움을 겪고 있으며 많은 학생들이 과학적 모형의 사회적 구성을 원활히 해내지 못하고 있다는 것을 알 수 있었다(강은희 외, 2012; 유희원 외, 2012; 이신영 외, 2012; 정영은, 2012; 함동철, 2012). 따라서 과학적 모형의 사회적 구성 학습이 효과성을 가지기 위해서는 학교 현장에 기반을 둔 실천과 이론적 연구를 통해서, 구체적으로 교사가 어떠한 방법으로 학생들의 과학적 모형의 사회적 구성 활동에서 긍정적인 역할을 할 수 있는지에 대한 연구가 필요하다.

제 2 절 연구 목적

학생들은 과학 수업 내의 탐구 활동 과정에서 개인적으로도 과학적 모형을 구성하면서도, 소집단 상호작용뿐 만 아니라 학급 전체 상호작용을 통해서 과학적 모형을 공동으로 생성해 나간다(Gilbert et al., 2000). 이 과정에서 학생들은 스스로 수집하거나 교사로부터 제공 받은 데이터와 기존에 학생들이 가지고 있던 자원들을 바탕으로 모형을 생성한다.

이러한 사회적 공동 구성을 통해 얻어지는 모형은 우연적으로 얻어지는 것이 아니며 실제 학생들은 다양한 영역들로부터 얻어진 특정 정보에 관심을 갖고 선택하여 모형을 구성한다.

학생들이 이와 같이 과학적 모형을 사회적으로 구성하는 과정에서는 모형이 긍정적으로 변화하는 것 외에도 변화하지 않거나 오히려 목표 모형으로부터 멀어지는 경우도 발생한다.

따라서 과학적 모형 구성 과정에서 학생들이 실제 어떤 정보들을 선택하고 사용하는지 모형 구성 과정에서 조건을 발생시키고 모형 구성을 제약할 수 있는 모든 형태의 정보와 자원들을 단순한 데이터(data)나 자원(resource) 이상의 제약조건(constraint)이라는 의미를 부여하여 체계적으로 유형화할 필요성이 있다. 이를 위해 실제로 모형 구성 과정에서 나타나는 학생들이 사용하는 제약조건들을 기능별, 형태별로 유형화하고자 한다.

다음으론 사용되는 제약조건들이 모형 구성 과정에 주는 영향을 분석하기 위하여 학생들이 사용하는 제약조건들의 출처를 밝혀 제약조건들의 본성을 탐구하고자 한다.

그리하여 각각의 제약조건들이 출처 또는 본성에 따라 학생들의 과학적 모형의 사회적 구성 과정에 있어 어떤 작용을 하는지 연구하여 학생들이 의미 있는 모형 구성 과정을 거치도록 과학적 모형 구성 수업을 개발하는 연구자나 교사에게 지침을 주는 것이 이 연구의 목적이다.

따라서 본 연구의 연구 문제는 다음과 같다.

1. 중학생 소집단의 과학적 모형의 사회적 구성 활동에서 나타나는 제약 조건들의 유형과 사례는 어떠한가?

2. 중학생 소집단의 과학적 모형의 사회적 구성 구성 활동에서 나타나는 제약조건들은 무엇의 출처는 어떠한가?

3. 출처에 따른 유형별 제약조건들이 학생들의 과학적 모형의 사회적 구성 과정에서 어떻게 영향을 주는가?

제 2 장 이론적 배경

제 1 절 과학적 모형

과학은 실세계의 자연 현상을 탐구하는 학문이며 과학자들은 과학적 모형을 개발하여 스스로 평가하며 수정해나가는 활동을 통해 관찰한 자연 현상을 설명하고 그 본성에 대해 탐구한다(Passmore et al., 2009).

모형 기반 관점이 등장하면서, 과학적 탐구에서의 모형의 중요성이 알려지고(Hempel, 1965), 그 이후로 과학적 탐구의 본질로서의 모형 구성 과정이 널리 자리 잡게 되었다(Giere, 1988; Giere et al., 2006). 여기서 모형은 다양하게 정의되어 왔는데 그 중 Halloun(2006)은 모형을 통해 과학적 패러다임이 개념에 이를 수 있다고 보았으며 그림 1과 같은 조직도를 제시하였다.

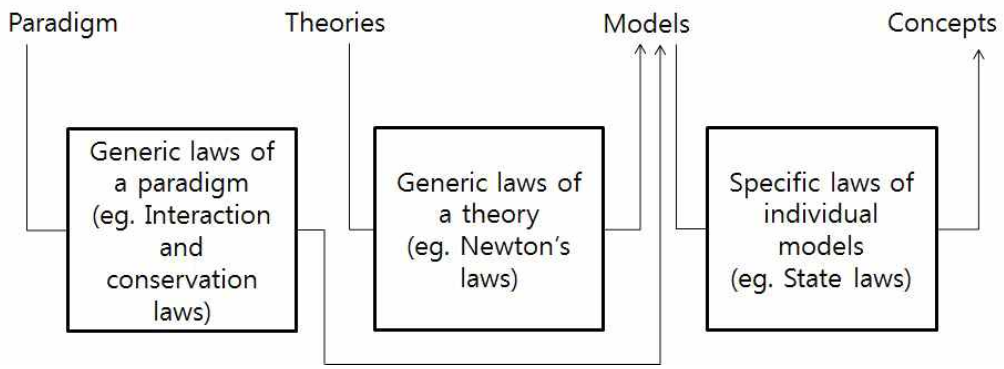


그림 1. 과학적 패러다임의 개념적 조직

Giere et al.(2006)은 실세계를 탐구하기 위해 과학자들은 다음과 같은 다섯 단계를 거치게 된다고 설명하였다. 첫 번째로 과학자는 실세계(real world)를 관찰한 후 특별한 측면에 관심을 가지며 문제를 발견한다. 그 다음 표상하고자 하는 실세계를 반영하기 위한 모형(model)을 구성한다.

모형을 구성한 이후에는 구성한 모형이 적합한지에 대해 지속적으로 검토하고 판단을 내린다. 모형의 적합 여부 판단 이후에는 다른 과학자들에게 제시하여 납득하도록 하는 동의를 구하는 단계를 가진다. 이때의 과정은 모형에 대한 데이터(data)와 논증(arguments)을 기반으로 이루어진다. 마지막 단계는 일반 대중에게 전파되는 단계로서 과학자뿐만 아니라, 많은 비 과학자들도 이러한 과정에 참여하게 된다. 이와 같이 과학적 모형이 전파되고 나면 과학자의 탐구 과정은 마무리된다.

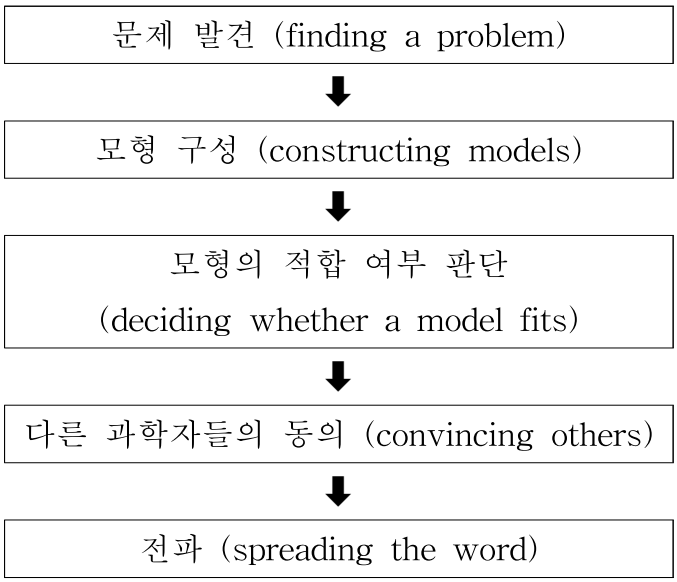


그림 2. 과학자의 탐구 과정(Giere et al, 2006)

Gilbert et al.(2000)과 Giere et al.(2006)은 이러한 모형 구성 과정의 네 가지 요소를 다음 그림과 같이 제시하였는데 그들에 따르면 실세계와 모형, 예측, 데이터는 서로 상호작용한다. 여기서 실세계(real-world)는 탐구 대상 또는 탐구 과정을 의미하여 모형(model)은 실세계의 대상 또는 실세계에 대한 표상, 예측(prediction)은 모형이 실세계에 적합하다면 데이터가 어떻게 나타나야하는가에 대한 서술을 의미한다. 마지막으로 데이터(data)는 실세계로부터 관찰과 실험을 통해 만들어진다.

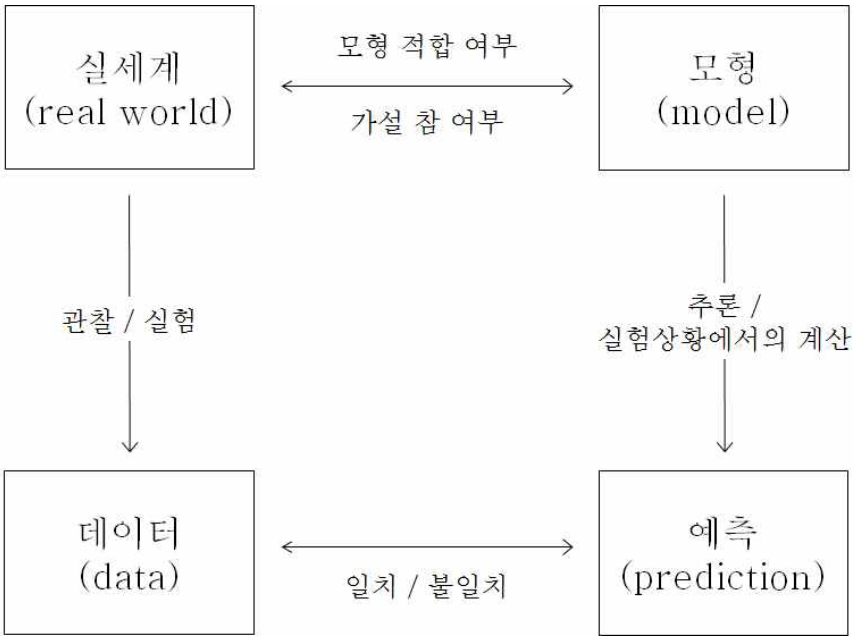


그림 3. 실세계, 모형, 예측, 데이터의 관계(Giere et al, 2006)

과학자들은 실세계의 어떤 중요한 특징에 대응하도록 이론 및 모형을 구성한다. 이론이나 모형을 사용하여 그들은 어떤 환경에서 관찰될 수 있는 것을 예측하고 그 예측을 지지하는 증거를 찾는다. 증거에 따라 모형에 대한 확증의 정도가 결정된다. 모형과 실세계의 관계는 이론적 가설 주장, 즉 모형이 실세계에 적합한지의 여부로 표현될 수 있다.

과학적 모형은 실세계와 그것을 기술하는 과학적 이론 사이의 다리로서 기능한다. 모형은 실세계의 현상 및 사태를 단순화해서 기술함으로써 대상을 조작하고, 개념적 관계를 정량화하고, 계산하고 예측하는 것을 도와준다. 모형은 관찰할 수 없는 것을 상상하는 잠정적인 방법이고, 우리가 직접적으로 접근할 수 없는 실세계의 측면을 상징적으로 표상한 것이다(Barbour, 1982).

학생들도 모형구성 과정에서 과학 지식을 능동적으로 구성하고(Ford, 2008; Greca & Moreira, 2000; Harrison & Treagust, 2000; Justi & Gilbert, 2002; Kawasaki et al., 2004; Newton et al., 1999), 인식론적인 이해와 과학 지식의 구성과 평가에 대한 능력을 형성할 수 있기 때문에

(Carey & Smith, 1993; Schwarz & White, 2005), 과학적 모형 기반 교수법에 대한 중요성은 과학교육에서 계속해서 강조되어 왔으며 최근에는 과학적 모형과 모형구성을 활용한 과학 교수학습으로 더욱 강조되고 있다(오필석 & 이정숙, 2014; Bamberger & Davis, 2013; Beak, 2013; Park, 2013; Schwarz et al, 2009).

학생들은 수업에서 모형 구성 과정에 참여하여 모형을 생성하고 수정하며 또, 평가하는 과정을 거쳐 과학적 지식을 능동적으로 구성하면서 학습에 참여한다.(Harrison & Treagust, 2000; Justi& Gilbert, 2002).학생들은 모형 구성 활동에 참여하는 동안 과학 지식을 스스로 구성하고 평가하는 과정을 경험함으로서 과학적인 기술을 익히고, 학습의 기회를 갖게 되며 개념적 내용과 과학의 본성을 이해할 수 있다(Carey &Smith, 1993; Clement, 1989; Clement & Steinberg, 2002). 이 외에도 다양한 연구에서 이러한 과학적 모형을 활용한 교수학습이 학생들에게 긍정적인 효과를 가져 온다는 결과를 찾아볼 수 있다(Gobert & Clement, 1999).

Clement(2008)는 GEM 순환(cycle)으로서 모형의 발전 과정을 나타내었는데, 모형의 발전 과정에서 모형을 생성(generation)하고 평가(evaluation)하며 수정(modification)하는 순환적 과정이 나타나는데 이를 GEM 순환이라 한다. 이후에 GEM순환은 Rea-Ramirez et al.(2008)에 의해 다음과 같이 명료화되었다.

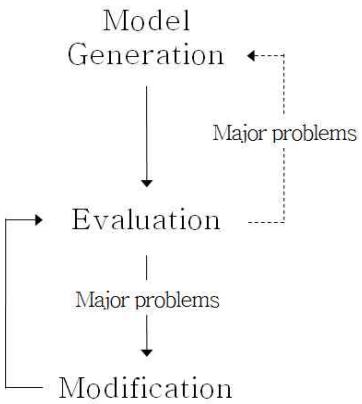


그림 4. GEM cycle
(Rea-Ramirez et al.,2008)

이 후 여러 연구에서 기존의 모형 구성 과정 및 모형 기반 학습 과정에 대한 연구가 이루어졌는데 그 중 함동철(2012), 유희원(2012)은 그림 5와 같은 수정된 GEM 순환을 고안하였다. 수정된 GEM 순환에 의하면 학생들이 사실, 현상, 이론을 기반으로 가능한 모형을 생성하고 모형을 평가한다. 이 때 모형 평가 단계에서 큰 문제점이 발생하면 모형 생성단계로 돌아가 새로운 모형을 다시 생성하며, 작은 문제점이 발생하면 모형을 수정하여 다시 평가하게 된다. 모형 평가 단계에서 문제점이 발생되지 않는다면 이후 다른 상황이나 실제 현실에 구성한 모형을 적용 및 확장하는 단계를 거치게 된다. 이러한 과정은 귀추적 수업 모형의 4단계(오필석 & 김찬종, 2005)와 대응 될 수 있는데 각각 탐색-조사-선택-설명의 과정으로 설명할 수 있다.

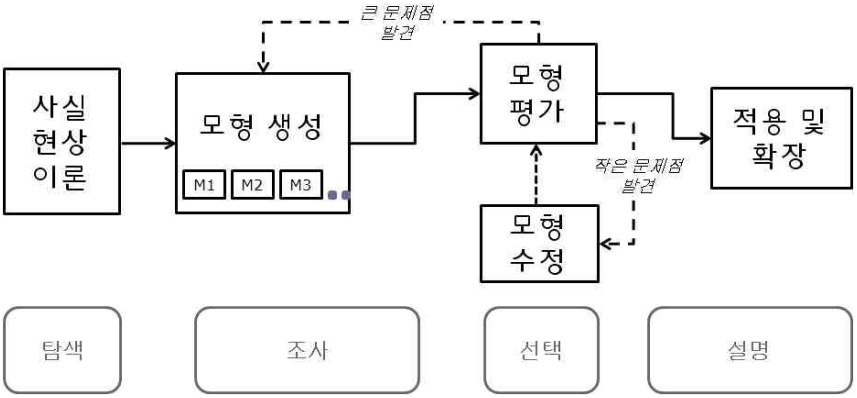


그림 5. 수정 GEM Cycle

제 2 절 사회적 공동 구성

1. 사회적 공동 구성(Social co-construction)

학습에 대한 관점은 과거 학습을 개인의 내적·인지적 과정으로 생각하는 관점에서 사회적 상호작용을 통한 공동 구성으로서 생각하는 관점으로 변화하고 있다(Palincsar, 1998). 과학자 공동체에서도 새로운 과학적 지식은 개인 혼자만의 추론보다는 동료와의 협의와 경쟁, 협동과 같은 사회적인 과정을 통해 생산된다(Radinsky et al., 2010). 즉, 과학자들이 과학을 탐구하는 과정도 구성원들 간의 협의를 거쳐 지속적으로 새로운 지식을 합의해내는 사회적 공동 구성의 과정이다(오문자, 2011).

Vygotsky(1978)의 발달심리학과 함께 사회적 공동 구성에 대한 연구는 우리나라에서도 교육 연구의 중요한 주제로서 활발히 연구가 진행되어 왔다(최희경 외, 2004). 사회적 상호작용의 관점에서 볼 때, 지식은 단순히 개인의 논리로서 생성되는 것이 아니라, 사회적 합의에 의해 지속적으로 재구성되는 것이다. 같은 맥락에서 학습 과정에서도 학생들은 이러한 사회적 상호작용을 통해 자신의 생각을 나타내고 검증받으며 새로운 지식을 생성하는 협력적 사고 과정을 경험할 수 있게 된다.

이와 같이 학습에서도 사회적 상호작용이 학습에서도 중요한 역할을 한다고 할 수 있다(Meyer & Woodreff, 1997). 또한 2009 개정 과학 교육과정에서도 과학 탐구에서의 상호 협력과 사회적 기능을 강조하였다. 모둠 학습으로서 과학 탐구 활동을 할 때에는 상호 협력의 중요성을 인식시키고 학생 중심으로 활동이 이루어지도록 하며, 의사소통을 할 때에는 자신의 의견을 명확히 표현하고 다른 사람의 의견을 존중하는 태도를 가지게 하도록 명시하고 있다(교육과학기술부, 2011).

과학 수업에서의 사회적 상호작용의 효과에 관련된 연구도 많이 이루어졌는데, 어린 학생들도 과학학습에서 다양한 상호작용 속의 담화에 참여할 수 있으며(Siry et al,. 2012), 과학학습에서 사회적 상호작용을 강조한 탐구 활동이 학생들의 학습 활동에 긍정적으로 작용한다는 것을 알

수 있다(강석진 외, 2001; 김지영, 2002).

2. 과학적 모형의 사회적 공동 구성(Co-construction of Scientific Model: CCSM)

과학 수업의 탐구 활동 과정에서 학생들은 협의와 같은 사회적 상호작용을 통해서 과학적 모형을 공동으로 생성해 나가는데 이는 과학 학습에 있어서 핵심적인 학습 전략으로 볼 수 있다(Gilbert et al., 2000).

이에 따라 과학적 모형을 사회적으로 공동 구성하였을 때의 효과에 대한 연구와 그 시도가 진행되고 있다. 모형 발달 과정에 영향을 미치는 상호작용에 대해서 연구한 결과, 소집단 상호작용이 학생들이 공동 모형을 구성하는 데에 중요한 요인이 되며(이신영 외, 2012), 과학적 모형의 사회적 구성을 강화한 탐구학습 전략이 학습자의 사고 체계를 이해하고 과학학습의 방향을 설정하는데 필요한 정보를 제공하는 효과적으로 작용할 수 있다(정영은, 2012). 상호 합의를 전제로 한 학생 중심의 수업을 통해 학생들에게 과학 지식의 본성, 즉 과학 지식의 사회적 성격을 경험해볼 수 있는 학습 기회를 제공할 수 있다(강은희 외, 2012; 유희원 외, 2012; 이신영 외, 2012; 정영은, 2012; 함동철, 2012). 또한 또래 집단 끼리 다양한 과학적 활동과 함께 하는 모형 구성 과정은 학생들이 과학적 개념을 이해하는 데 많은 도움을 준다(Lott, K. & Wallin, L, 2012).

Clement(2008)의 GEM cycle을 기반으로 실제 학교 교실 현장에서 과학적 모형의 사회적 공동 구성 과정을 적용하려는 다양한 노력이 이루어져 왔는데 그 중 함동철(2012)은 수정된 GEM cycle을 바탕으로 다음과 같은 수업 단계를 제시하였다.

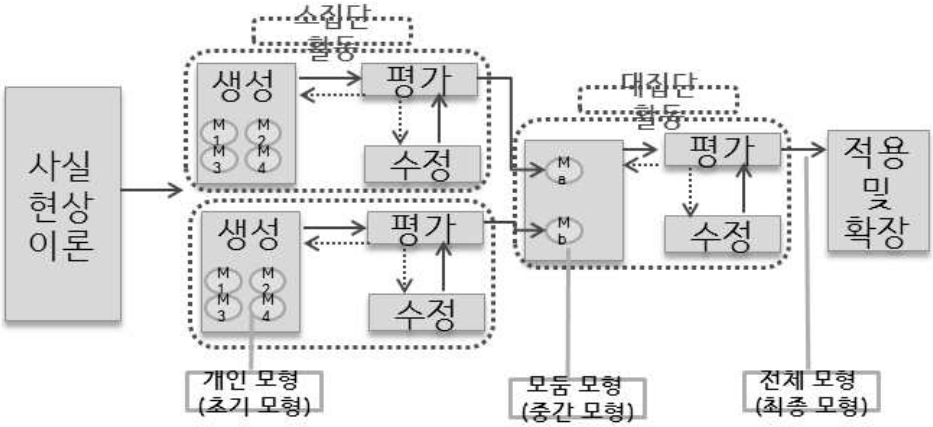


그림 6. 수정된 GEM cycle (함동철, 2012)

초기 단계에서는 교사가 학생들이 구성해야하는 목표 모형의 대상이 되는 사실, 현상, 이론을 제시한다. 개인 모형 단계에서는 집단 내 학생들이 개별적으로 자신만의 모형을 구성하는 단계이다. 모둠 모형 생성 단계에서는 학생들이 소집단별로 개인 모형 단계에서 생성한 각 개인의 모형을 평가하고 수정한 후, 협의하여 하나의 모둠 모형을 구성한다. 전체 모형 단계에서는 각 소집단이 자신들의 모형을 설명하고 평가받은 받으며, 교사와 함께 서로 협의하는 과정을 다시 한 번 거치며 최종적으로 모형을 구성한다. 학생들은 각각의 단계 마다 반복되는 GEM cycle을 경험하게 되고 이를 통해 모형을 공동으로 발전시키게 된다. 마지막으로 최종 모형의 적용 및 확장 단계에서는 학생이 구성한 최종 모형을 다른 현상에 적용・확장시킨다.

최근에는 한국의 교실 문화에서 생소할 수 있는 과학적 모형의 사회적 구성 수업을 보다 효과적으로 적용시키기 위해 교사가 수업에서의 규칙을 제시하고 과학 지식의 사회적 합의 과정을 안내하는 도입 단계를 추가한 GEM cycle을 개발하였다.

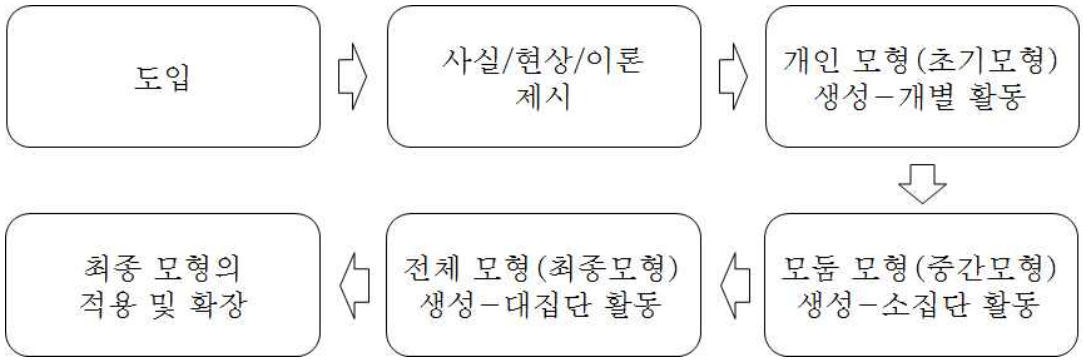


그림 7. GEM cycle적용 수업 단계 (함동철, 2012)

제 3 절 제약조건

학생들은 모형 구성 과정 중에 과학자들이 모형 구성 과정에서 조건을 제시하는 정보들을 바탕으로 모형을 개발, 수정 하는 것과 마찬가지로 수업 과정에서 다양한 정보를 선택적으로 사용한다. 따라서 학생들의 과학적 모형 구성 과정을 선택된 정보 즉 제약 조건의 측면에서 접근할 필요성이 있다.

과학적 모형 구성 과정에서 제약조건의 영향에 대한 연구는 과학자의 모형 기반 탐구 과정에서 과학자들의 개념 변화에 대한 연구의 일환으로 이루어져 왔다.

제약조건(constriant)들은 어떤 정보의 항목(item), 법칙, 원리, 규칙, 또는 사실을 포함하며 문제해결 과정에서 조건을 설정하게 함으로서 문제해결 과정을 돕는다. 이러한 제약조건들은 다양성을 가지며, 서로 다른 유용성과 중요성을 가진다(Nickles, T., 1980).

모형을 생성한다는 것은 제약조건들을 만족하는 해석이며 이러한 제약조건들은 글, 방정식, 다이어그램, 그리고 다른 외부 환경에서의 중요한 정보 출처(Source)들, 그리고 문제 해결자의 정신적 표상들로부터 이끌어진 것이며 이것들은 모형 구성 과정이나 문제 해결 과정에서 암묵적 추측으로서 작용한다. 그 형태는 여러 정보 형식과 지식 구조로 표현될 수 있다. 모형들은 제약 조건들을 잠재적으로 만족시키기 위해 이끌어지거나 구성되며(Nersessian, N. J., 1995) 문제 해결 과정에서 어떠한 조건을 발생시키거나 해결 경로를 좁혀준다(Joke Meheus, 1999). 이 때 만약 초기 모형이 문제를 해결하지 못하는 경우, 여러 출처들로부터 이끌어진 제약조건들을 만족시키기 위해 기존 모형을 수정하거나 새로운 모형이 만들어진다(Nersessian, N. J., 2002).

이러한 제약 조건들은 다양한 정보의 형태로서 나타날 수 있는데 방정식과 같은 수식들, 텍스트, 다이어그램, 사진, 지도, 물리적 모델 그리고 다양한 운동학적 그리고 청각적 경험들을 포함하면서 언어적, 공식적, 그리고 심상적 정보 형식으로서 제공될 수 있다(Nersessian, N. J., 2002).

Nersessian(2002)은 과학자 맥스웰의 모델 기반 추론 활동을 다양한 제약조건들을 이용하여 그림8과 같은 모형의 구성, 평가, 적용 과정을 나타냈다.

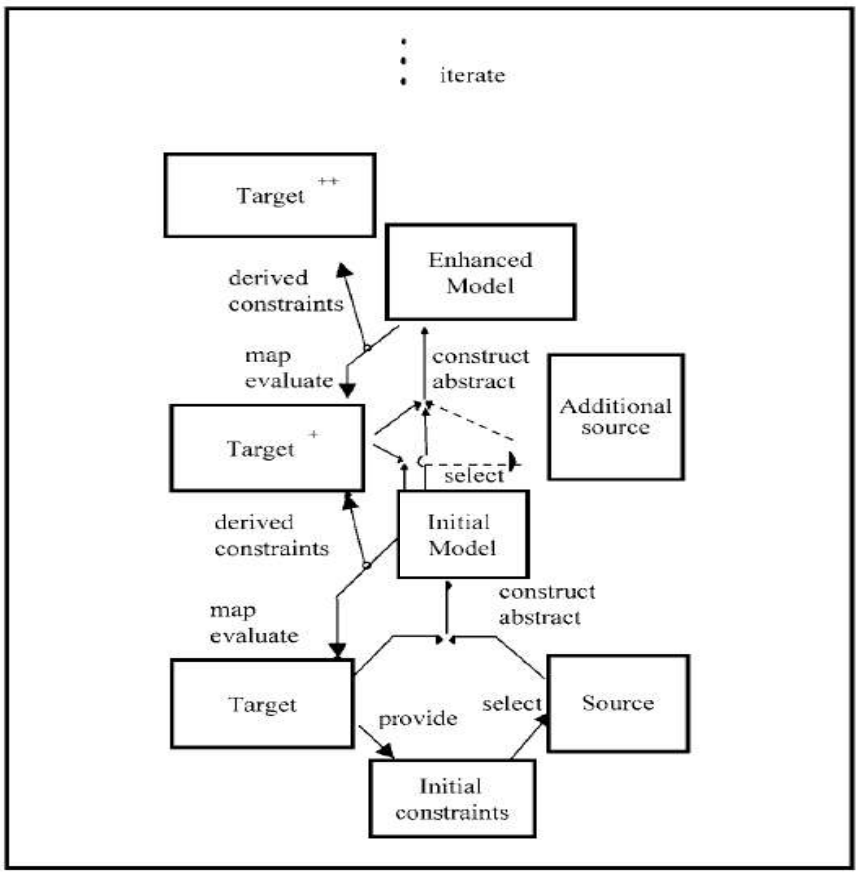


그림 8. 모형 구성 과정(Nersessian, N. J, 2002)

이후 Nersessian(2008)은 이를 발전시켜 맥스웰의 모형 구성 과정을 그림9과 같이 나타내었다. 모형 구성 과정에서 사용된 제약조건들을 그 출처와 역할을 바탕으로 하여 크게 초기 제약조건(Initial constraint), 모델 제약조건(Model constraint), 근원 제약조건(Source constraint), 목표 제약조건(Target constraint)의 4가지 유형으로 구분하였다. 이들 모형 구성 과정에서 사용된 제약조건은 역학, 공학 등 다양한 영역의 출처(Source domain)들로 부터 오며 수학적, 경험적, 이론적 본성을 가진다(Nersessian, N. J., 2008).

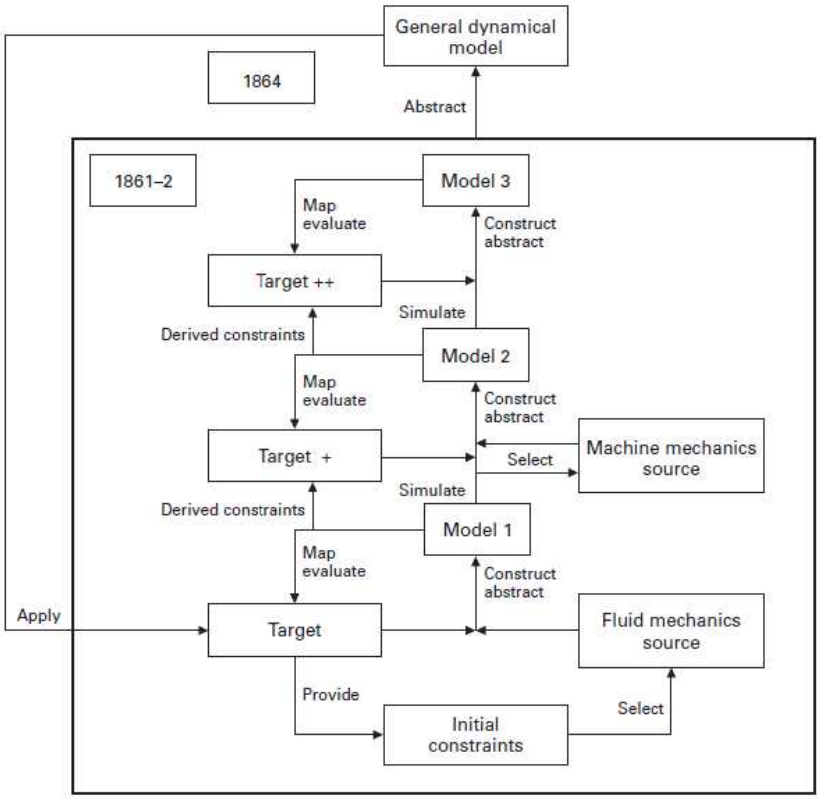


그림 9. 맥스웰(Maxwell)의 모형 구성 과정(Nersessian, N. J, 2008)

Nerssesian(2008)의 맥스웰 모형 구성 과정에서 나타난 제약조건의 출처(source)는 역학, 공학 등 이론적 학문의 영역이다. 그러나 학생의 경우 과학자와는 달리 다양한 학문적 이론만을 출처로 제약조건을 이끌어 오기에는 한계가 있고 개인의 경험을 포함한 다양한 출처(source)에서 제약조건들을 끌어 쓰는 것을 볼 수 있다. 본 연구에서는 학생들이 모형 구성을 위해 실제로 선택하여 사용하는 특정 정보들, 즉 모형 구성 과정에서 조건을 발생시키고 모형 구성을 제약할 수 있는 모든 형태의 정보와 자원들을 제약조건으로서 나타내었다.

제 3 장 연구 방법

제 1 절 연구 과정

본 연구에서 관찰한 수업은 「'토착형 과학적 모형의 사회적 공동 구성 전략'의 연구·개발과 이론 구축을 위한 확장적 순환 연구」라는 프로젝트의 수행 과정에서 실시한 수업 중 하나이다.

본 연구에서는 앞서 제시한 연구 목적에 따라 단계별로 연구를 진행하였다. 우선 첫 번째 연구 목적, 학생들의 과학적 모형의 사회적 구성 과정에서 나타나는 제약조건들의 유형과 사례는 무엇인지 알아보기 위해, 수업 관찰을 진행하였다.

다음으로 두 번째 연구 목적, 학생들이 과학적 모형의 사회적 구성 과정에서 사용하는 제약조건들의 출처를 알아보기 위해 활동지 분석, 수업 관찰, 그리고 심층 면담을 진행하였다. 이때 수업 관찰에서 드러나지 않는 제약조건들의 출처를 더욱 정확하게 파악하기 위해 수업 관찰에 추가적으로 대상 학생들을 위한 심층 면담을 실시하였다.

마지막으로 세 번째 연구 목적, 학생들의 과학적 모형의 사회적 구성 과정에서 제약 조건들이 어떻게 영향을 주는지 알아보기 위해 수업 관찰과 활동지 분석을 통해 학생들의 과학적 모형의 사회적 구성 과정을 질적으로 분석하였다. 결과적으로 이를 통해 어떤 특성을 가진 제약 조건을 사용하도록 해야 학생들이 성공적으로 과학적 모형을 구성할 수 있는지 시사점을 얻고자 하였다.

수업 투입에 앞서, 과학적 모형과 사회적 공동 구성, 토착형 한국 문화, 제약조건에 대한 선행 연구 및 문헌 연구를 실시하였다. 이를 바탕으로 학년이나 수준을 고려하여 연구 대상을 선정하고 활발한 사회적 상호작용과 보다 파생적인 사고를 가능하도록 하여 유의미한 모형 구성 활동

이 가능한 주제를 선정하였다. 대상 단원은 중학교 2학년의 '태양의 흑점'으로 목표 모형이 교과서에 직접적으로 드러나 있지 않은 '태양 흑점의 이동'을 주제로 모형 구성 수업을 다음과 같은 모듈을 바탕으로 개발하였다.

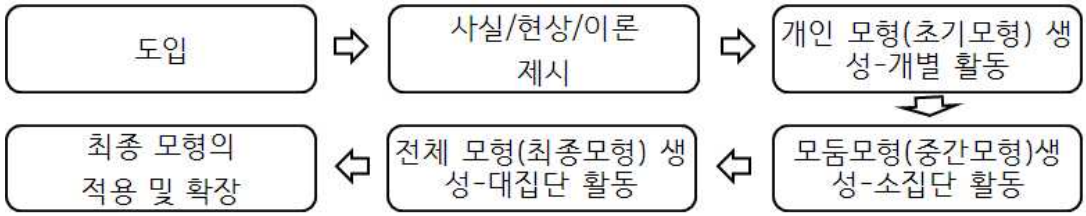


그림 10. 과학적 모형의 사회적 구성 수업 모듈

도입 단계에서는 모형 구성 수업 준비하기 단계를 만들어 학생들로 하여금 모형 구성 수업 과정에 친숙하도록 하였다. 수업 모듈은 과학적 모형의 발달 과정을 고려하여 학생들이 스스로 개인 모형을 구성하는 활동과 사회적 상호작용을 통해 협의된 모형을 구성할 수 있는 과정이 모두 포함되었다(김민석, 2013).

수업 모듈과 수업 활동지는 연구 대상 학교 지구과학 전공 교사 2인, 지구과학교육과 교수 2인, 지구과학교육 전공 연구자 5인, 연구 참여 교사 1인에 의해 공동 개발되어 검토와 수정·보완 과정을 거쳤다. 또한 본 연구에서 관찰한 수업 이전에 파일럿 테스트로서 다른 학교, 학급에 수업을 투입한 후, 연구 참여 교사와 연구자와의 협의를 통해 수업 모듈과 활동지에 대해 추가적인 검토와 보완을 지속적으로 실시하였다.

수정·보완된 수업 모듈을 2013년 11월 서울 소재의 남자 중학교 2학년 학급에 적용하였다. 각각의 수업은 1차시 45분으로 총 7차시의 과학적 모형의 사회적 구성 수업이 진행되었으며, 수업 후 참여 학생 중 일부를 대상으로 인터뷰를 실시하였다. 전 과정은 촬영 및 녹음되었으며 수업 활동과 인터뷰는 모두 전사되어 학생들이 수업 중 작성한 활동지 및 산출물과 함께 학생들의 과학적 모형의 사회적 구성 과정에서 사용한 제약조건들의 양상을 살펴보는 자료로 활용되었다.

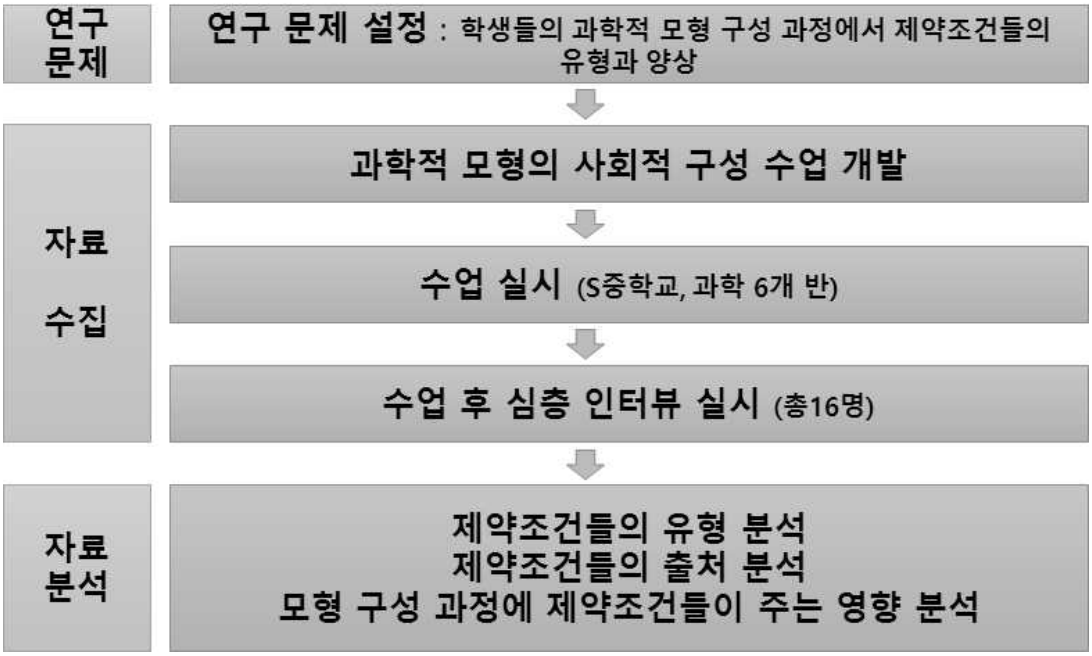

연구 문제
연구 문제 설정 : 학생들의 과학적 모형 구성 과정에서 제약조건들의 유형과 양상
자료 수집
과학적 모형의 사회적 구성 수업 개발
수업 실시 (S중학교, 과학 6개 반)
수업 후 심층 인터뷰 실시 (총16명)
자료 분석
제약조건들의 유형 분석
제약조건들의 출처 분석
모형 구성 과정에 제약조건들이 주는 영향 분석

그림 11. 연구 과정

제 2 절 연구 대상

1. 연구 참여 학교

본 연구는 서울시 성북구에 위치한 S중학교에서 이루어졌다. 공립학교로서 일반 중학교의 교육 과정을 운영하고 있으며, 학급 당 학생 인원은 34명 내외로서 남학생으로 학급이 구성되어 있다. 학교가 위치한 지역은 소득 수준이 중간 수준에 속하며, 학생들의 학업 성취도 역시 중위권에 속한다. 학생들은 사교육의 영향을 비교적 적게 받았으며, 교사와 학생의 관계는 친밀한 편이고 학생들의 수업 참여도 역시 활발한 편이다.

교사와 학생 모두 과학적 모형의 사회적 구성 수업에 친숙하지 못하여 사전에 연구에 참여하는 학생들에게 연구의 목적과 의미, 과정에 대해 연구자가 안내를 해주었으며 학부모와 학생에게 가정통신문을 통하여 연구에 대한 정보를 충분히 제공하고 참여 여부를 동의 받도록 하였다.

수업은 2학년 6개 학급 204명 내외를 대상으로 실시하였으며, 이 중 5개 학급의 데이터를 제외한 1개 학급 중 16명의 데이터만을 사용하였다. 전 차시 수업은 S중학교 과학실에서 실시하였다.

2. 연구 참여자

1) 연구 참여 교사

이 연구에서는 참여교사를 선정하고 연구의 문제 탐색 단계에서부터 프로그램 개발 과정 및 교실 실행에 이르기까지 연구진과 수평적인 협력적 참여를 하도록 하였다. 협력학교의 과학교사를 참여교사로 선정하였으며 참여교사는 과학적 모형의 사회적 구성 수업 전략의 개발을 위한 문제 이해, 수업 구성 및 실천을 위한 학습과정안과 활동지 개발, 그리고

결과의 분석과 해석 과정에 연구자와 수평적으로 협력하면서 참여하였다. 이 연구의 연구 대상 학교 참여교사 2인은 S중학교에 근무하고 있으며 지구과학교육 전공 출신으로 관련 주제인 지구과학 교과내용학적 지식이 풍부하고 석사학위 이상의 학력과 상당 기간의 교사 경력, 다년간의 예비교사 교육실습 지도 및 현장 연구 경험이 풍부하다. 수업은 참여교사 2인중 2학년 담당 교사인 교사N이 진행하였다.

2) 연구 참여 학생

본 연구의 수업에 참여한 학급의 학생은 총 34명으로 남학생으로만 구성되어 있다. 수업은 8모둠으로 나누어 진행되었다. 학생들은 4명 또는 5명으로 구성된 조별로 앉아서 수업에 참여하였다. 학생들의 조는 사전에 연구자와 과학 교사들에 의해 임의로 편성되었는데, 학생들의 학업 성취도를 고려하여 이질적으로 편성하였고 이후 수업 태도나 학생들의 문화적 측면을 반영하여 수정하여 편성하였다.

연구 대상 학생들의 정보를 간략하게 나타내면 표1과 같다. 학생들의 넘버링 순서는 모둠의 순서와 자리 배치에 따라 이루어졌다. 1모둠부터 8모둠의 순서로 넘버링 하였으며 각 모둠 내에서는 칠판을 바라볼 때 왼쪽 앞, 오른쪽 앞, 왼쪽 뒤, 오른쪽 뒤의 순서로 넘버링 하였다.

표 1. 연구 대상 학생 배치

소속	학생구성	소속	학생구성
6반 1조	S1 S2 S3 S4 S5	6반 2조	S1 S2 S3 S4 S5
6반 3조	S1 S2 S3 S4	6반 4조	S1 S2 S3 S4
6반 5조	S1 S2 S3 S4	6반 6조	S1 S2 S3 S4
6반 7조	S1 S2 S3 S4	6반 8조	S1 S2 S3 S4

3. 수업 내용

본 연구에서 진행한 과학적 모형의 사회적 구성 수업은 각 학급별로 과학 수업 7차시 동안 수업이 진행되었고 각 차시별 수업은 45분 동안 이루어졌다. 두 가지의 주제로 과학적 모형의 사회적 구성 수업이 이루어졌으며 첫 번째 주제는 3차시, 두 번째 주제는 4차시로 구성되었다. 수업은 개발된 수업 모듈과 동일하게 진행되었다. 전반적인 수업의 흐름은 그림 12과 같다.

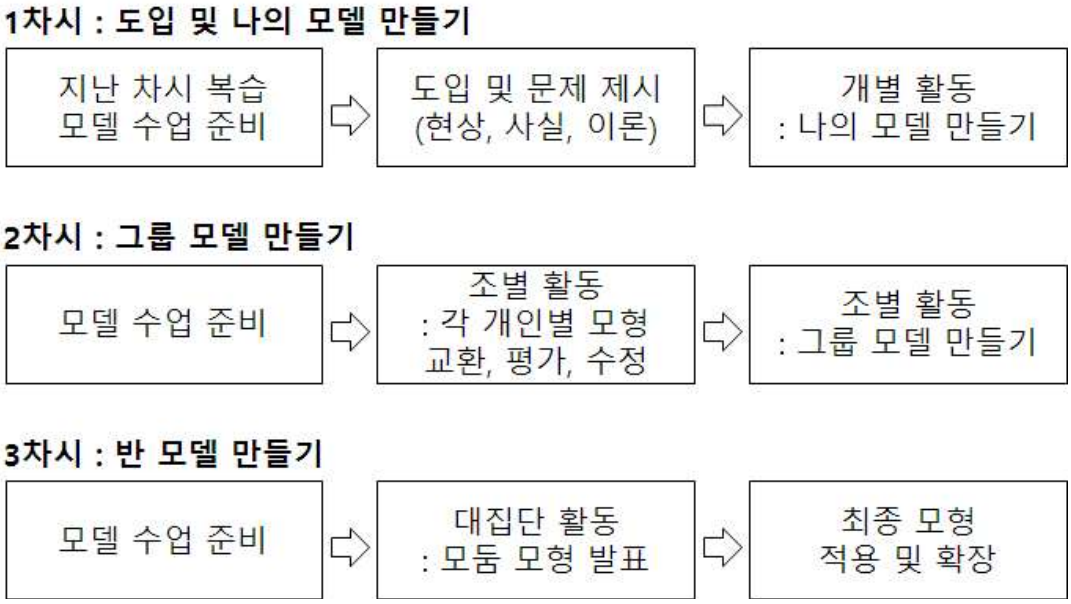


그림 12. 과학적 모형의 사회적 구성 흐름

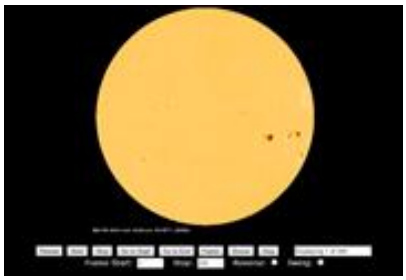
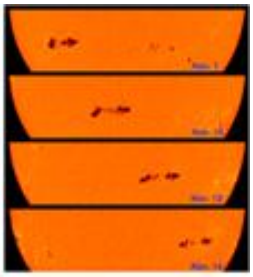
투입한 수업의 주제는 2007개정 교육과정 중학교 2학년 과학 단원의 '태양의 흑점', '내행성의 위상 변화' 내용에 관한 것이다. 본 연구에서는 '태양의 흑점'을 주제로 한 모형 구성 수업을 대상으로 분석하였다. 수업의 목표는 학생들이 모형 구성 활동을 통해 태양 흑점이 이동하는 것처럼 보이는 현상을 설명할 수 있는 모형을 만들어내는 것이다.

학생들에게 흑점의 이동을 촬영한 NASA 데이터와 사진 자료를 현상으로서 제시하였고 소집단활동을 통해 태양의 흑점이 움직이는 이유에

대한 합의 모형을 이끌어내고, 태양이 자전한다는 설명 모형을 완성하는 것이 과제로 제시되었다.

1차시는 도입부로서 '모델 수업 준비'와 함께 시작된다. 본 수업을 위해 연구자와 참여교사가 협력하여 학생을 위한 활동지를 사전에 개발하여 사용하였는데 비교적 과학적 모형의 사회적 구성 수업에 친숙하지 못한 학생들을 위하여 모형 구성 수업을 위한 유의사항을 나타내었다. 특히 모형(model)이라는 용어에 친숙하지 못한 학생들을 위하여 과학적 모형의 의미에 대하여 학생들이 이해하기 쉬운 수준으로 여러 번 풀어 설명하는 과정을 가졌다. 이 후 태양 관측 위성인 SOHO 위성 데이터를 제공하는 NASA의 홈페이지를 이용하여 학생들에게 시간에 따른 흑점 이동 사진을 보여준다. 동시에 활동지에도 7일간의 태양 관측 사진을 제시한다(표 2).

표 2. 태양 관측 사진

영상으로 제시된 인공위성SOHO가 찍은 태양사진	활동지로 제시된 인공위성SOHO가 찍은 태양사진
	

학생들은 제시된 현상을 설명할 수 있는 모형을 1차시 동안 개인별로 구성하게 된다. 2차시에는 1차시 도입부에 언급하였던 모형 구성 수업에서 유의할 점을 다시 설명해주고 소집단별로 모형을 구성하도록 하였다. 1차시에 구성하였던 개인 모형을 서로 공유하고 모형의 문제점을 파악하여 평가하며 수정·보완하는 단계를 거치게 된다. 그리하여 각 소집단마다 하나의 그룹 모형을 구성하도록 한다. 2차시에는 교사가 적극적으

로 개입하여 목표 모형은 언급하지 않으면서 모형 구성에 필요한 제약조건들을 제시하도록 한다. 3차시에는 각 소집단별로 구성한 모형을 학급원이 모두 함께 공유하는 그룹별 모형 발표 시간을 갖는다. 2차시와 동일하게 각각의 소집단의 모형을 발표하고 평가하여 하나의 학급 모형으로 협의해 나가는 과정을 가진다. 마찬가지로 교사는 학생들에게 논의할 만한 문제점이 나오지 않거나 추가로 평가할 사항이 있을시 모형 평가 과정에서 적극적으로 개입한다. 하나의 학급 모형이 구성이 되면 교사가 구성한 모형을 정리하고 학생들은 새로운 상황에 구성한 모델을 적용·확장한다.

본 수업에서 학생들의 모형 구성을 위해 수업 전 계획된 제약 조건은 다음과 같다(표 3).

(1) 학습지 2쪽에 제시된 날짜에 따른 흑점 이동주기를 보면, 지구가 움직이는 것으로는 설명하기 힘들 정도로 속도가 빠르다. 지구가 태양을 돌기 때문에 흑점이 이동하는 것처럼 보이려면, 지구 공전 속도 정도의 이동 속도를 보여야 할 것이다.
(2) 흑점의 이동 속도가 적도부근과 극 부근이 다르다. 만일 흑점의 이동이 관측자가 움직였기 때문이라면 극 부근과 적도 부근의 흑점 이동속도가 다르지 않을 것이다.
(3) 표면에 흩어져 있는 모든 흑점들이 한쪽 방향으로 일괄적으로 움직이고 있다.

목표 모형은 흑점은 태양이 자전함에 따라 이동하는 것처럼 보인다는 설명 모형이고 학생들이 모형을 구성할 시에는 표, 수식, 그림, 글 등을 사용하여 자유로운 형태로 구성하도록 하였다.

표 3. 계획된 제약 조건

	태양 흑점의 이동 모형 구성 수업
교사가 제시	·흑점은 한 방향으로 일제히 이동한다. ·소호가 촬영한 태양 흑점은 지구 공전 속도보다 빠르게 이동한다.
활동지로 제시	·소호가 촬영한 태양 흑점은 7일 동안 태양의 한쪽 끝에서 다른 쪽 끝으로 이동한다. ·시간에 따른 흑점 이동 사진

제 3 절 자료 수집 및 분석

1. 자료 수집

본 연구에서 수업이 진행되는 총 7차시 동안 교실 앞·뒤에서 2개의 캠코더를 사용하여 교실 전체를 촬영하였고, 각 소집단별 책상마다 소형 캠코더와 녹음기를 설치하여 총 8개 그룹의 논의 과정과 활동지 작성 과정을 촬영하고 녹음하였다. 모든 영상·음성 데이터를 전사하였다.

수업 전 과정을 촬영하고 녹음하는 현장에는 연구자가 보조 연구자와 협력하여 직접적으로 이루어졌고 동시에 수업에서 관찰된 사항에 대한 수업 관찰 필드 노트를 작성하였다. 학생들의 개인 모형 구성 과정, 소그룹 상호작용을 통해 그룹 모형을 구성하는 과정, 소집단 내 학생별 상호작용, 학생과 교사의 상호작용 등을 주안점으로 두고 특히 그룹 모형을 구성하면서 학생들이 교사에게 요구한 정보를 관찰하여 기록하였다. 관찰한 정보들은 필드 노트에 상세히 기록하였으며 수업 관찰 후에 연구자와 보조 연구자의 자료를 비교·종합하였으며 참여 교사와 함께 수업에 대해 피드백을 나누면서 수업에 대한 추가 연구 자료로 사용하였다.

2. 자료 분석

총 8 모둠 중에 분석 대상으로 선정된 그룹은 3모둠, 4모둠, 5모둠, 7모둠이다. 네 모둠의 경우 다른 모둠에 비해 비교적 활발한 상호작용 양상을 보였으며 고른 수준의 모형 구성 과정을 분석하기 위하여 최종 완성한 그룹 모형의 목표 모형에 도달했는지 여부를 학생들이 구성한 최종 모형 활동지를 분석하여 확인하였다. Simpson과 Marek(1988)과 Barnett et al(2000)은 개념 수준별 평가 기준을 사용하여 학생들의 모형에 나타난 개념을 수준별로 나누었는데 활동지 분석 결과와 함께 이를 바탕으로 상・중・하 수준의 모둠을 선정하였다. 7모둠의 경우 가장 목표 모형에 가까운 모형을 구성하였고, 3모둠과 4모둠의 경우 목표 모형에 비슷하게 도달하였으나 그 모형을 설명하는 과정에서 다소 부족한 개념을 포함하였다. 5모둠의 경우 목표 모형에 도달하지 못하여 하 수준의 모둠으로서 선정하였다.

자료 분석을 위해 수업 관찰 녹음 및 녹화한 자료를 전 과정 전사 후, 1차로 학생들이 구성한 모형을 찾아내었다. 여기서 말하는 모형은 제시된 현상, 사실, 이론을 설명하는 학생들의 설명 체계로서 모형 구성 과정에서 이용하는 것이 제약조건이다. 그리하여 이 후에는 학생들이 모형을 구성하기 전과 후를 중심으로 어떤 제약조건들을 사용하였는지, 실제 사용한 제약조건들을 추출해 내었다. 타당성을 확보하기 위하여 전사의 10% 정도의 일부분을 추출하여 2인 이상의 과학적 모형 구성 연구자가 동일한 과정으로 제약조건을 추출하였다. 그 중에서 결과가 일치하는 제약 조건들을 대상으로 학생들의 과학적 모형 구성 과정을 질적으로 분석하였다.

제 4 절 심층 면담

학생들이 실제 수업에서 과학적 모형 구성 과정에 사용한 제약조건들의 출처와 그 외 수업에서 관찰된 특징에 대해 보다 심도 있게 이해하기 위해, 수업 관찰을 통해 살펴본 학생 34명 중 12명의 학생을 대상으로 심층 면담을 실시하였다.

본 연구에서는 총 7차시의 모형 구성 수업이 끝난 후 12명의 학생을 대상으로 인터뷰를 실시하였다. 인터뷰 대상으로 선정된 학생은 3모둠 4명, 4모둠 4명, 5모둠 4명, 7모둠 4명으로 전원 남학생이다.

심층 면담에서는 주로 연구문제2에 해당하는 학생들이 실제 모형 구성 과정에서 사용한 제약조건들의 출처와 관련된 질문이 이루어졌고 관찰했던 수업 전반에 대한 질문, 대상 학생이 수업에서 보였던 특징적인 행동에 대한 질문도 함께 이루어졌다. 구성한 모형마다 학생들이 사용한 정보들을 기억하기 위하여 미리 수업 과정을 전사한 파일에서 제약조건들을 추출하여 학생들에게 제시하였으며, 기억자극회상기법을 이용하여 연구자와 함께 촬영한 수업 영상을 직접 보며 면담을 진행하였다. 심층 면담은 수업을 진행하였을 때와 동일한 모둠별로 이루어졌으며 각 모둠별로 약 60분 동안 진행되었고, 면담의 전 과정은 녹음·촬영하여 전사하였다.

표 4. 심층 면담 문항 예시

심층 면담 문항
· 소행성이나, 태양이 뜨겁다는 사실은 어디서 알게 되었나? · 왜 그러한 사실을 가장 먼저 떠올리게 되었는가?(중요하게 생각하였나?)
· 행성이 밤과 낮이 있다는 사실은 어떻게 알게 되었나? · 왜 그러한 사실을 떠올리게 되었나?
· 왜 낮과 밤(온도)라는 정보를 중요하게 생각했는가? 여기서 어떤 정보를 얻었다면 태양에 낮과 밤이 있다는 생각을 바꾸었을 것 같나?

· 지구가 공전한다는 사실은 어떻게 알게 되었는가? 왜 그러한 정보가 중요하다고 생각하였나?
· 처음엔 왜 지구 공전 궤도와 소호 궤도가 힌트가 될 것이라고 생각하게 되었나? (이 학생은 스스로 나중에 자전 모델로 바꿈. 본인이 세운 초기 모델을 반박)
· 여기 책에 나와 있다는 것은 교과서를 의미하나? · 다른 정보들보다 교과서를 특히 이용하게 된 이유는 무엇인가?
· 우주에 떠다니는 돌이 있다는 것은 스스로 알고 있던 사실인가? 그렇다면 어디서 알게 되었는가?
· 지구의 공전주기가 1년이란 사실은 어떻게 알게 된 사실인가? · 초기의 공전 모델을 이때 갑자기 자전모델로 바꾸었는데 어떤 정보(힌트) 때문이었는가?
· 태양이 기체라는 정보는 어디서 얻게 되었는가? · 그것이 믿을 만한 정보라고 생각한 이유가 무엇인가?
· 태양이 수소 가스 덩어리라는 정보를 어디서 얻게 되었는가? · 이 정보를 모델을 만드는데(소행성 모델) 이용하였는가? · 그러한 정보가 중요하다고 생각하지 않았다면 그 이유는 무엇인가?
· 인공위성 소호라는 정보가 모델을 만드는데 중요하게 작용하였는가? · 아니라면 그 이유는 무엇인가?
· 어떤 정보들이 모델을 만드는데 가장 결정적으로 도움이 되었는가? · 처음부터 어떤 정보들이 있었다면 더 성공적으로 모델을 잘 만들 수 있었겠는가? · 동일한 정보들을 단서로 쓸 수 있을 때 어디에서 얻은 정보를 사용하고 싶은가? 순위를 매긴다면? (인터넷-뉴스, 지식인, 동호회 카페, 교과서, 과학도서, 선생님이 직접적으로 준 정보, 활동지에 제시된 정보, 내가 직접 경험(관찰)해 본 것, 과학자의 이론 등) · 그 이유는 무엇인가? · 모델을 만드는 수업에서 선생님은 어떤 역할을 해주었는가? · 모델을 만드는 수업에서 선생님은 어떤 역할을 해 주기를 바라는가?

제 4 장 연구 결과

제 1 절 제약조건의 양상과 유형

1. 과학적 모형의 사회적 공동 구성 과정에서 나타나는 제약 조건의 양상

과학적 모형의 사회적 공동 구성 과정에서 흑점의 이동 모형 구성 과정에 영향을 주는 제약조건들의 양상을 알아보기 위하여 “흑점의 이동″에 대한 과학적 모형 구성 수업 과정에서 나타난 제약조건들을 유형별로 구분하여 Clement(2008)의 모형 구성 과정을 이용하여 모형 구성 과정에 기여하는 바를 나타내었다. Clement(2008)는 교사와 학생의 상호작용이 학생들의 모형 구성 과정에서 어떤 영향을 주는지 모형 변화와 모형 요소를 사용하여 나타냈는데 교사가 제시한 질문이 소집단 담화 내에서 스캐폴딩 역할을 하면서 모형에 요소를 추가하거나 제거하면서, 또는 기존 요소를 다른 요소로 대체시키면서 모형이 발달해 나가는 것을 나타내었다. 그러나 실제 학생들의 모형 구성 과정에서는 교사만이 스캐폴딩을 제시하지 않았으며 모형이 긍정적으로 발달되는 것 외에도 다른 모형 발달 양상을 볼 수 있다.

학생들이 과학적 모형의 사회적 구성 과정에서 사용하는 제약조건이 실제로 모형 구성에 영향을 주는 것을 모둠 7의 학생들의 모형 구성 과정 중 지구 공전으로 흑점의 이동을 설명하는 모형M1에서 태양의 자전으로 흑점의 이동을 설명하는 모형 M4를 구성하기까지의 과정에서 사용한 제약조건들을 나타내었다. 모형 내에 표현된 소문자 알파벳 x, y, z, a, b는 모형을 구성하는 요소를 나타낸 것이고 ‘-’는 목표 모형에 대해 부정적인 요소, ‘+’는 목표 모형에 가깝도록 하는 긍정적인 요소이다.

M1은 모형 구성 과정에서 학생들의 초기모형이다. 학생들은 소호 위성과 관련된 제약조건들을 사용하여 흑점은 지구에서 관찰한 것이며(+y) 지구 공전에 의해 흑점이 이동한다(-x)는 모형을 구성하였다. M2는 초기모형 이후 두 번째로 구성된 모형으로서 학생들은 지구 공전 주기와 흑점 이동 현상에 관련된 제약조건들을 사용하여 지구 공전(-x)보다는 태양 자전(+z)에 의해 흑점이 움직인다는 모형을 구성하였다. 이후 학생들은 흑점 생성 이유와 제시된 소호 영상 및 사진 자료와 관련된 제약조건들을 사용하여 소행성에 의해 흑점이 생기며(-a) 지구가 공전함과 동시에(+b) 태양이 자전 (+z)하므로 흑점이 이동한다는 모형 M3를 구성하였으며 최종적으로 목표 모형 범위를 제한시키는 제약조건을 사용하여 흑점이 생기는 이유를 제외한(-a제외) 태양의 자전(+z)에 따라 흑점이 이동한다는 최종모형 M4를 구성하였다.

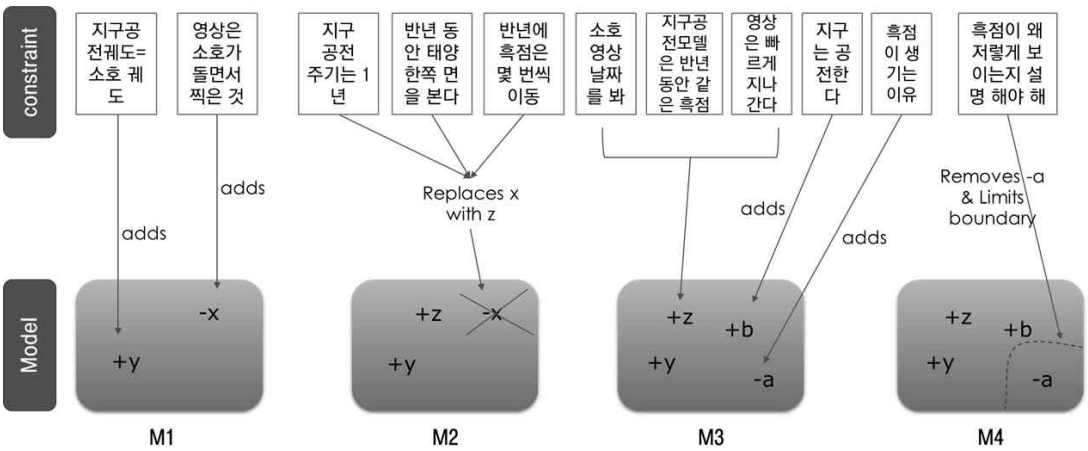


그림 13. 모형 구성 과정과 제약조건

그림13에서 나타난 것과 같이 각각의 모형을 구성하는 과정에서 학생들은 다양한 제약조건들을 사용하고 각 제약조건들은 모형구성에 긍정적인 또는 부정적인 영향을 주기도 하는 것을 알 수 있다.

2. 과학적 모형의 사회적 공동 구성 과정에서 나타나는 제약조건의 유형

과학적 모형의 사회적 공동 구성 과정에서 나타나는 다양한 제약조건들은 학생들의 수업 자료 분석 후 그 특징에 따라 분류되었다. 제약조건들 제시한 주체가 누구인지,

1) 제시된 형태에 따른 유형

학생들의 과학적 모형 구성이 소집단 활동 안에서 협의를 통해 사회적으로 구성해 나감에 따라 학생 활동지에 기록된 형태(Written)로 제시되는 제약조건보다 주로 구두 형태(Oral)의 제약조건들이 사용된다.

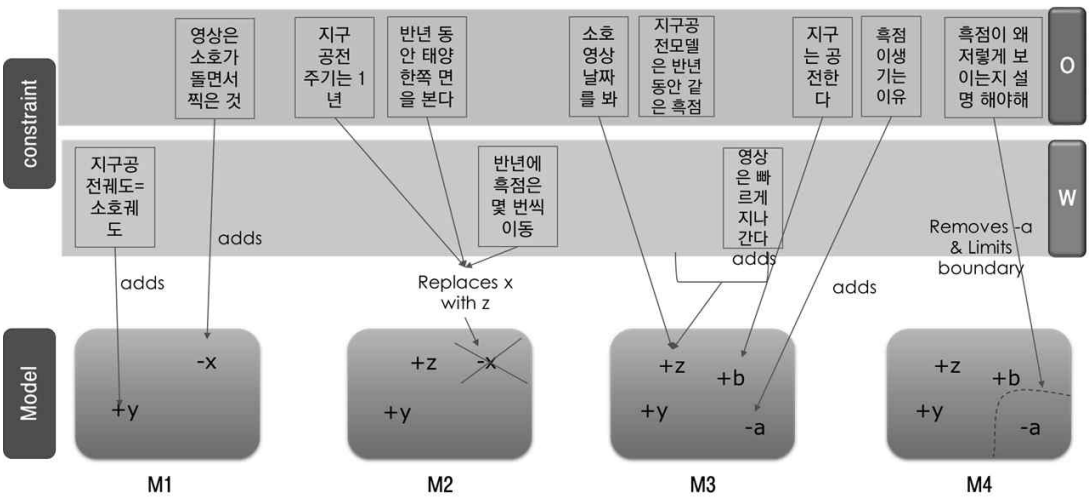


그림 14. 제시된 형태에 따른 분류

사전에 학생들이 모형 구성 과정에서 사용하도록 계획한 제약조건을 고려하여 활동지를 개발하였기 때문에 수업동안 교사는 학생들에게 활동지의 제약 조건에 집중하도록 유도하였다.

T : **흑점이 이렇게 이동하는 모습을 봤는데, 이거는 지금 프린트에 2페이**

지에 나와 있는 사실이야. 일단 이거를 보고 그다음에 지난 시간에 흑점이 이렇게 이동하는 것처럼 보이는 것에 대해서 자신의 생각해서, 자기 자신의 모델을 만들어 보라고 까지 했어. 다 했나? 나의 모델 만들기 다 했지?

수업 도입부의 교사 발화

활동지 외에도 지구 공전 궤도와 소호 공전 궤도의 관계에 대한 제약조건은 판서와 프레젠테이션 자료로 제공하였다.

2) 제시된 주체에 따른 유형

사용되는 빈도수를 보면 주로 학생들로부터 제시된 제약조건들을 모형 구성에 이용하는 경우가 많은 것을 볼 수 있다. 그러나 모형 변화에 결정적으로 영향을 주는 제약 조건은 주로 교사로부터 제시되고 있다.

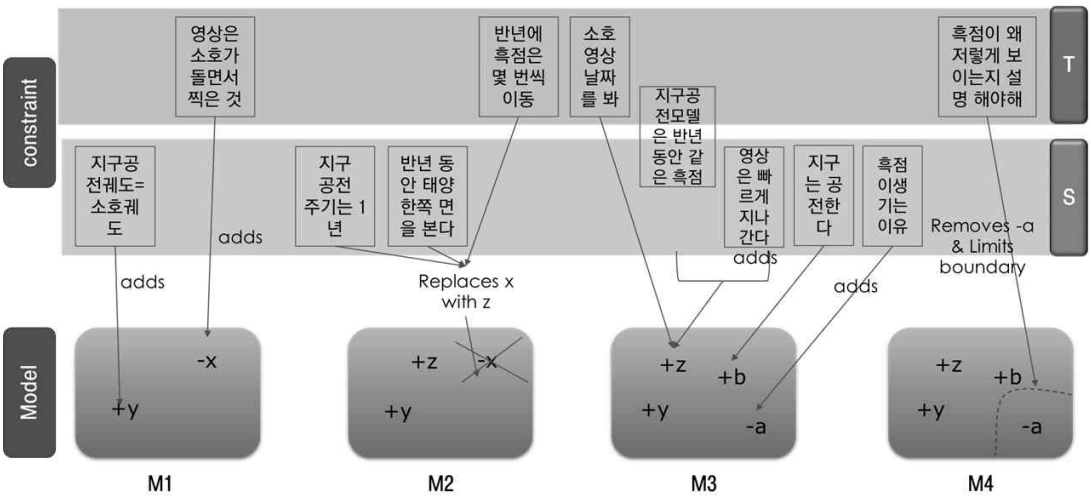


그림 15. 제시된 주체에 따른 분류

교사는 수업 도입부 외에도 소집단 상호작용 중에도 개입하여 학생들이 요구하는 정보 즉, 제약조건들을 제공하였다. 이때 목표 모형에 대한 직접적인 언급은 하지 않도록 유의하였다. 그룹 모형을 구성하는 소집단 활동 동안에는 교사 뿐 아니라 연구자(T')도 개입하여 소집단별로 학생

들이 요구하는 제약조건을 제공하였다.

S3 : 선생님 **주황색보다 노란색이 온도가 높은거죠?**
S2 : 교생선생님들 왔을 때 배웠잖아
S4 : 불의 온도 색깔하면서 배웠잖아.

S3 : 별의 온도 색깔이야.

S2 : 흑점이 온도가 너무 높았다가 한 번에 훅 떨어진거지?
S3 : 선생님 흑점이요 온도가 엄청 높았다가 확 떨어진거에요?
T′ : 올라갔다가 떨어진건 아니고. 일단 거기가 낮아진거지. 낮아지니까. 원래 밝게 보이면 하얗게 되잖아. 저기는 어두우니까 검게 보이고.

모둠5의 모형 구성 담화

모둠 5의 그룹 모형 구성 과정에서 학생들은 모형 구성을 위해 필요한 제약조건을 주변 교사에게 요청하였다. 그룹 모형 구성 과정에서는 전차시에 구성한 개인별 모형을 서로 공유하고 평가하는 과정을 거치게 되는데 이때 모둠 구성원들이 S1의 '태양의 뜨거운 부분이 그을려서 검게 변한 것이 흑점이고 그것이 움직이는 것이다'라는 모형을 평가하는 과정에서 필요한 온도에 관한 제약조건을 교사에게 요청하였고 교사는 그에 따라 학생들에게 필요한 제약조건을 제공한다.

그러나 학생들은 그룹 모형 구성 과정에서 교사에게 직접적으로 도움을 요청하기 보다는 주로 동료 학생들끼리 제약조건을 제시하는데 이는 한국을 포함한 동양의 교실 문화에서 교사와의 위계적 관계를 중요시하는 학생들의 문화적 측면의 영향 때문인 것으로 보인다(Leng, 2005; Hofstede & Hofstede, 2005).

3) 모형 구성 과정에 주는 영향에 따른 유형

학생들의 과학적 모형 구성 과정을 분석한 결과 모형 발달에 긍정적인 영향 뿐 아니라 목표 모형에서 멀어지도록 하는 부정적인 영향, 또는 모형 발달에 영향을 주지 않는 제약조건들이 나타는 것을 볼 수 있다. 특

정 제약조건들은 요소를 추가하지 않더라도 모형의 범위를 제한하면서 목표 모형에 가까워지도록 기능한다. 그림16의 모형 구성 과정을 보면 모형이 목표 모형에 가깝도록 긍정적으로 발달해가는 과정 내에서도 사용한 제약조건에 따라 모형에 긍정적인 요소를 추가하기도 하고 부정적인 요소를 추가하기도 하는 것을 볼 수 있다.

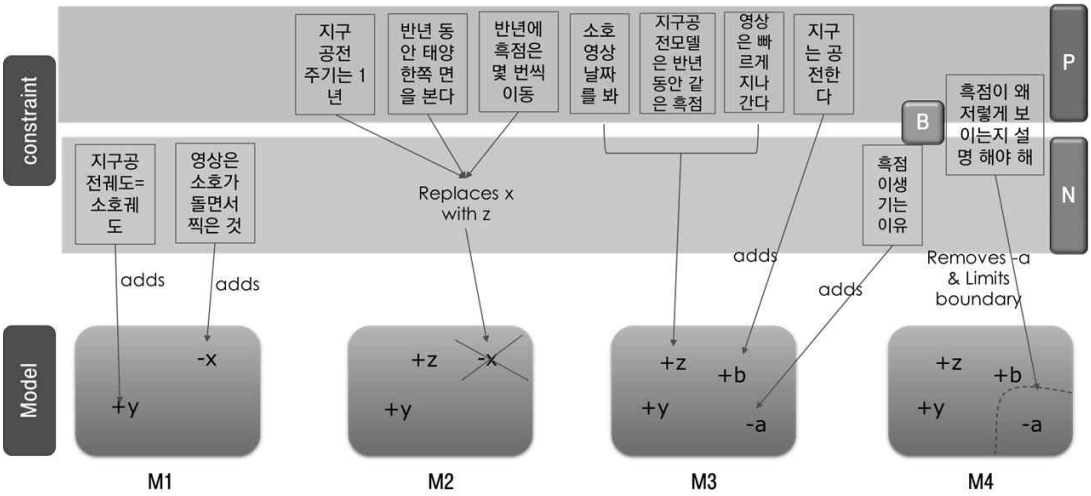


그림 16. 모형 구성 과정에 주는 영향에 따른 분류

첫 번째로 모형 구성 과정에 긍정적인 영향을 주는 제약 조건들을 구분할 수 있다. 모둠 7에서는 지구 공전주기와 영상으로 보여준 시간에 따른 흑점이동 모습에 관한 제약조건을 이용해 태양이 자전하기 때문에 흑점이 이동하는 것처럼 보인다는 목표 모형에 가깝도록 모형을 구성한다.

S1 : 태양이 자전을 해요?

T : 저기 날짜 보이지 돌아가는거, 그 다음 2페이지 봐. 여기 사진 있지 거기에 보면 날짜가 보일 거야 아마.

S1 : 태양이 자전을 해요?

T : 태양이 자전을 할까 안 할까?

S1 : 할 것 같은데, 지웅이 말대로 **지구가 공전을 하기 때문에**, 움직인다고 보

면, 지웅이 말대로 반년동안은 보여야 하는데 **저거는 후딱후딱 지나가잖아.**

S3 : 내가 할 말이 그거였어.

S1 : 태양도 자전을 하고, 흑점도 움직이고, 지구도 공전을 하고.

S3 : 그래, 그렇기 때문에 저렇게 빨리 움직이는거.

모둠 7의 모형 구성 담화

한편 학생들은 목표 모형으로부터 멀어지도록 만드는 제약조건들을 사용하여 모형을 구성하기도 한다. 모둠7의 소집단 활동 중에서는 공동 구성 과정 중에 학생 S1이 교사가 제시한 흑점의 SOHO관찰 영상을 보고 사라지는 흑점이 있었다는 제약조건을 사용하여 흑점이 스스로 움직인다는 모형을 구성하였다.

S2 : 그럼 흑점이 움직이는 이유는 어떻게 설명하는데.

S1 : 그럼 흑점이 움직이는 이유?

S3 : 돌이 박혀서 떠다니는 거야.

S1 : **흑점이 없어지기도 했잖아.** 그래서 움직일 수 있다고 생각한거지. 그런데 그냥 그 두 가지만 할 까? 재진아 그냥 두 가지만 쓰자.

모둠7의 모형 구성 담화

과학적 모형 구성 과정 중 모형 변화에 영향을 주지 않는 제약조건들도 나타났는데 이 때 제약조건을 사용했음에도 학생들은 기존에 구성한 모형을 그래도 유지하였다.

S3 : 다른 행성처럼 온도가 높아졌다 낮아졌다를 반복하면서 그래. **다른 행성은 밤과 낮이 있잖아요.** 태양에도 밤과 낮이 있을꺼 아닙니까.

S4 : **태양 자체가 빛을 내는데 어떻게?** 그 얘기를 왜 하는 거야?

S3 : 태양이 낮일동안..

T' : 흑점이 이렇게 보이는 이유가 태양에 낮과 밤이 있는 거랑 무슨 상관이 있어?

S3 : 태양에 낮과 밤이 있어서 온도가 낮아졌다 높아졌다 하니까 흑점이 생겼다 없어졌다 하는거에요.

모둠7의 모형 구성 담화

이 외에도 모형의 범위를 제한하는 역할을 하는 제약조건들을 볼 수 있었는데, 목표 모형이 가져야 하는 조건을 정해주는 역할을 하면서 부정적인 요소를 제외하거나 목표 모형과 관계없는 요소들을 제거하며 모형의 범위를 명확하게 하는 역할을 한다.

S3 : 우주에 있는 돌 같은 것. 그게 태양에 빠져가지고 타면서 흑점이 생기는 거라고 했거든요?

T′ : **그거는 흑점이 생기는 거고 우리가 얘기하는 건...**

S3 : 흑점이 도는 이유는 태양이 뜨거우니까 태양이 마그마로 되가지고 돌 같은게 떠다니는 거

S2 : **아이 생기는 이유가 중요한게 아니야 여기는.**

T′ : **그래. 흑점이 생기는 이유 말고 우리 눈에 흑점이 왜 저렇게 도는 것처럼 보일까.** 그게 중요한거야.

S2 : 정리하면 우린 흑점이 움직인다. 나는 지구가 공전한다. 너는 태양이 자전한다. 이거네?

모둠7의 모형 구성 담화

이를 바탕으로 과학적 모형의 사회적 공동 구성에서 나타나는 제약 조건의 유형을 구분하면 다음과 같다.

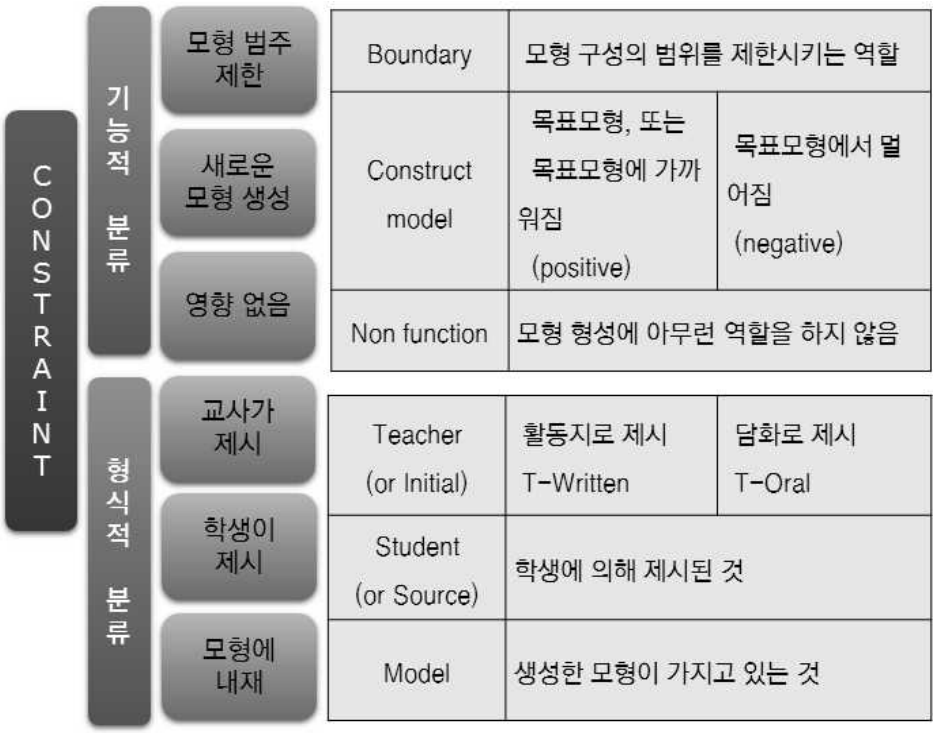


그림 17. 제약조건들의 유형

제 2 절 제약 조건들의 출처

1. 학생들이 사용하는 제약 조건들의 출처

Nerssesian(2008)의 맥스웰 모형 구성 과정에서 나타난 제약조건의 출처(source)는 역학, 공학 등 다양한 학문의 영역이다. 그러나 학생의 경우 이론적 지식이 풍부한 과학자와는 달리 다양한 학문적 이론만을 출처로 제약조건을 이끌어 오기에는 한계가 있고 생활 속의 개인의 경험을 포함한 다양한 출처(source)에서 제약조건들을 끌어 쓰는 것을 볼 수 있다.

학생들이 과학적 모형의 사회적 구성 수업에서 사용한 제약 조건들의 출처를 확인하기 위한 과정으로 심층 면담을 실시하였다. 수업 관찰과 인터뷰 분석 결과 학생들이 모형 구성 과정 중 사용한 제약조건들의 출처는 크게 다음과 같다.

1) 모형 구성 과정 수준이 높은 그룹에서 나타나는 제약 조건의 출처

목표 모형에 가장 가까운 모형을 구성한 모둠 7의 학생들이 사용한 제약조건들의 출처는 다음과 같다. 먼저 출처에 해당하는 대표적인 제약조건들을 나타내었고 주체는 제약조건이 누구에 의하여 어떤 형태로 제시되었는지에 따라 코딩하였다. 역할은 각 제약조건들이 모형 구성과정에서 어떤 기능을 하였는지를 나타내었다.

표 5. 제약조건의 출처(모둠7: 상 수준)

출처(Source)	제약조건(Constraint)	주체	역할
개인의 경험(생활)	태양은 뜨겁다.	S1, oral	negative
사진이나 그림책	소행성의 존재	S1, oral	negative

뉴스	달에 밤과 낮이 있다.	S3, oral	negative
과거 수업시간 내용	지구는 공전 한다.	S2, oral	n/positive
교과서	코로나의 온도, 태양이 빛을 낸다.	S2, oral T, oral	non
모형이 설명해야 할 과학적 현상	흑점들이 짧은 시간 동안 빨리 지나 간다.	T, written	positive
구성한 모형 자체	지구 공전 모델이면 반년 동안 흑점이 보여야 한다.	S2, oral	positive
일반 TV프로그램	대류현상	S4, oral	negative
다큐멘터리	소행성의 존재	S2, oral	non
목표 모형	흑점 이동에 초점을 두어야 한다.	T, oral	boundary

먼저 모둠7의 학생 S1은 '태양은 뜨겁다'라는 제약조건과 소행성의 존재와 관련된 제약조건을 '소행성이 태양에 떨어져서 떠다니는 것이 흑점이 이동하는 것처럼 보이는 것이다'라는 모형 구성을 위한 정보로서 사용하였는데 이러한 제약조건들은 모형 구성 과정에 목표 모형에서 멀어지도록 만드는 부정적인 영향을 주었고 각각 개인의 생활에서 나오는 경험, 그리고 사진이나 그림책과 같은 출처로부터 이끌어졌다.

T′ : 그 소행성이나 태양이 뜨겁다는 사실을 여기서 얘기했는데
S1 : 네
T′ : 이러한 사실을 평소에 어디서 알게 되었었어?
S1 : 그냥. 태양은.. **태양은 뜨거우니까 막 사람들이 태양 때문에 지구가 산다 그러잖아요.** 그런 것처럼 그래서 태양이 뜨거우면..
T′ : 그렇구나. 그럼 소행성 같은 것은?
S1 : 소행성이요?
T′ : 응.
S1 : 소행성은 그냥.. 태양계에 별 그,, 우리가 외우고 있는 별들 말고도 **소행성 같은 것들이 많다고 해서..** 그때는 소행성들이 다 떨어져서 그렇

게 된거라고..

T′ : 아. (소행성이)많다고 해서? 평소에 소행성이라는 얘기를 어디서 제일 많이 들은 것 같아?

S1 : **그냥 어렸을 때, 사진이나 그림책 같은 거.. 그런거 옛날에 많이 봤어요. 우주 관련된 것들에서 많이 봤는데.. 돌덩이 같은 것들.**

모둠7의 인터뷰

학생 S2는 가장 다양한 유형의 출처에서 제약조건을 끌어다 사용하였다. 심층 면담 내용에서도 확인할 수 있듯이 '지구는 공전한다.'라는 제약조건을 과거 수업 내용을 출처로 사용하였으며 코로나의 온도나 태양이 빛을 낸다는 제약조건을 교과서로부터 이끌어 내었다. S1과 같이 소행성의 존재에 관한 제약조건을 사용하였으나 다큐멘터리라는 다른 출처를 가지고 있었다. 또한 구성한 모형 자체를 출처로 한 제약조건을 사용하기도 하였는데 모형 구성 과정 중에 자신이 구성한 초기모형 '지구가 공전하기 때문에 태양 흑점이 이동하는 것처럼 보인다.'로부터 모형에 따르면 태양 흑점이 반년간 보여야 할 것이라는 제약조건을 이끌어 내어 사용하였다.

T′ : 이번엔 지웅이에게 한번 물어볼게. 처음에 지구가 공전한다는 사실은 어떻게 알게 되었어?

S2 : **보통 교과서에서도, 3학년 때도 우주에서 대해서 배우잖아요. 거기서 우주 단원 배우는데 지구에 대해서 배우면서** 지구는 공전하고 그래서 계절이 있다. **그런 사실을 처음부터 습득하게 돼서요.**

T′ : 아 습득하게 돼서? 그럼 그 뒤로 넘어가서 그러면 나중에는 결국 본인이 처음 세웠던 공전 모델을 바꾸거든. 처음에는 왜 지구 공전 궤도와 소호 공전 궤도가 힌트가 될꺼라고 생각했니?

S2 : 그때 그 공전 궤도가 맞다고 생각했을 때는요, 그 태양이 공전하면서 태양이 가만히 있다고 쳤을 때, 지구가 돌면 그 주위를 따라서 돌게 될꺼 아니에요. 소호 궤도도 지구 궤도랑 비슷하게 빙빙 돌 것이고, 그렇게 때문에 공전 궤도가 힌트가 될꺼라 생각했어요.

모둠7의 인터뷰

이 외에도 학생 S4는 대류현상에 관련된 제약 조건을 과거에 보았던 일반 TV프로그램을 출처로 하여 사용하였고 교사가 제시한 목표 모형이나 모형이 설명하여야 할 현상 자체를 출처로 한 제약조건들을 학생이 모형 구성을 위하여 사용하였다.

2) 모형 구성 과정 수준이 중간인 그룹에서 나타나는 제약 조건의 출처

목표 모형에 비교적 가까운 모형을 구성한 중간 수준의 모둠 3의 학생들이 사용한 제약조건들의 출처는 다음과 같다. 모둠3의 학생 S1은 교과서를 출처로 하여 '지구는 시계방향으로 공전한다.'는 제약조건을 이끌어 내었고 이것은 구성한 모형 자체를 출처로 가져온 제약조건과 함께 모형 구성 과정에서 긍정적으로 작용하였다. 학생 S3는 다양한 제약조건을 모형 구성 과정에서 사용하였는데 이물질의 존재라는 제약조건을 개인의 경험을 출처로 하였고 흑점의 생성이 자기장과 관련이 있다는 정보를 백과사전을 출처로, 태양안의 기체들과 관련된 제약정보를 다큐멘터리를 출처로 하여 사용하였다.

표 6. 제약조건의 출처(모둠3: 중 수준)

출처(Source)	제약조건(Constraint)	주체	역할
개인의 경험(생활)	이물질의 존재	S3, oral	negative
문제지	흑점의 생성은 자기장과 관련이 있다.	S3, oral	non
과거 수업시간 내용	태양은 기체(수소)로 이루어져있다.	S2, oral	negative
교과서	지구는 시계방향으로 공전	S1, oral	positive
모형이 설명해야 할 과학적 현상	소호가 태양 흑점을 찍고 있다.	T, oral	positive
구성한 모형 자체	지구 공전에 의해 흑점이 이동한다면 반대방향으로 보임	S1, oral	positive

다큐멘터리	태양 안에는 특이한 기체들이 많다	S3, oral	negative
목표모형	흑점 이동에 초점을 두어야 한다	T, oral	non

모둠 3에서도 학생들 뿐 아니라 교사도 모형이 설명해야 할 과학적 현상을 출처로 한 제약조건들을 학생들에게 제시하였으며 실제 과학적 모형의 사회적 구성 과정에서 학생들이 이러한 제약조건을 이용하여 모형을 생성하였다.

3) 모형 구성 과정 수준이 낮은 그룹에서 나타나는 제약 조건의 출처

목표 모형과 가장 거리가 먼 모형을 구성한 하 수준의 모둠 5의 학생들이 사용한 제약조건들의 출처는 다음과 같다. 모형 구성 수준이 하인 모둠에서 사용한 제약조건을 모두 나열하지는 않았지만 모형 구성 수준이 중인 모둠이나 상인 모둠과 비교하였을 때 다소 제한적인 출처에서 제약조건을 끌어 쓰는 것을 볼 수 있다.

표 7. 제약조건의 출처(모둠5: 하 수준)

출처(Source)	제약조건(Constraint)	주체	역할
개인의 경험(생활)	물질이 타고나면 까맣게 그을음이 생긴다.	S1, oral	negative
과거 수업시간 내용	태양의 온도가 낮은 부분이 흑점	S3, oral	non
과거 수업시간 내용	노란색이 주황색보다 온도가 높은 부분	S2, oral	negative
그림책	태양 주위를 다른 행성들이 공전한다.	S3, oral	negative

모형이 설명해야 할 과학적 현상	인공위성이 지구와 같은 궤도로 돌고 있다	T, oral	negative
모형이 설명해야 할 과학적 현상	흑점 주변에 밝은 부분이 존재날짜에 따라 흑점이 이동	S2, oral T, written	negative non
교과서	태양의 온도는 매우 뜨겁다	S4, oral	non

모둠5의 학생 S1은 개인의 경험을 출처로 하여 '물질이 타고나면 까맣게 그을음이 생긴다.'라는 제약조건을 이끌어 내었고 이것은 모형 구성 과정에서 부정적으로 작용하였다. 학생 S2는 다른 모둠원에 비해 비교적 다양한 제약조건을 모형 구성 과정에서 사용하였는데 색깔에 따른 온도의 차이와 흑점 주변에 밝은 부분이 존재날짜에 따라 흑점이 이동한다는 정보를 각각 과거 수업 시간 내용과 모형이 설명해야 할 과학적 현상을 출처로 하여 사용하였다. S3는 흑점이 태양에서 온도가 낮은 부분이라는 것과 행성의 공전과 관련된 제약조건을 각각 과거 수업 시간의 내용과 그림책을 출처로 하였다. S4는 태양이 온도가 매우 뜨겁다는 제약조건을 교과서를 출처로 하여 이끌어 내었으나 모형 구성과정에 어떠한 영향을 주지는 않았다. 모둠 5에서도 학생들은 모형 구성 과정에서 교사가 모형이 설명해야 할 과학적 현상을 출처로 제시한 제약조건을 사용하였으나 긍정적인 영향을 주지 못하였다.

2. 제약 조건 출처들의 유형

수업 관찰 그리고 심층 면담의 결과를 종합하여 소집단 탐구 수업에서 나타나는 제약조건들의 출처 특성을 분석하였다. 그 출처가 가지고 있는 본성에 따라 다음과 같이 유형화 시킬 수 있었다.

학생들의 활동에서 사용되는 제약조건의 출처에 관련된 기존의 연구가 없어 논증활동에서 사용한 증거의 유형과 출처를 연구한 Simon and Maloney(2006), Kim(2003), Jang and Jeong(2010), 유혜경 & 임희준

(2014) 등의 연구에서 제시된 증거의 출처 분석틀을 참고하여 분석하였다. 추가로 분석 과정에서 실제 학생들이 모형 구성 과정에서 사용한 제약조건의 출처를 더 추가하거나 수정하여 분석틀을 작성하였다. 이러한 과정을 통하여 본 연구에서 학생들의 과학적 모형 구성 활동에서 사용한 제약조건의 출처로 도출된 것은 표9와 같이 정리할 수 있었다.

표 8. 제약조건 출처들의 유형

출처의 유형 (Types of source)		제약조건의 출처 (Source of constraint)
Type1 **개인의 경험적 출처** : 개인적인 경험과 관련된 출처	내부 출처	- 생활 속에서 개인의 경험, 지식
	외부 출처	- 사진이나 그림 - TV (뉴스, 다큐멘터리, 일반 프로그램) - 백과사전, 과학도서 - 인터넷 - 부모 등 사람
Type2 **이론적 출처** : 이론, 법칙 등을 포함한 과학적 지식들		- 교과서 - 학원, 참고서 - (과거)수업시간 내용 (교사)
Type3 **목표 모형 출처** : 목표(target) 모형과 관련된 것들		- 모형이 설명해야 할 과학적 현상 - 구성한 모형 자체

먼저, 출처의 유형은 '개인의 경험적 출처'와 '이론적 출처', '목표 모형 출처'로 크게 세 가지 영역으로 구분하였다. '개인의 경험적 출처'는 '내부 출처'와 '외부 출처'로 구분할 수 있었다. '내부 출처'는 '실생활'에서 직접 보고 듣거나 자신이 겪은 경험한 것이 출처로서 포함되고, '외부 출처'는 등 외부 매체의 권위를 바탕으로 한 출처이다. 유혜경 & 임희준

(2014)의 논증에서 사용된 증거의 출처와 관련된 연구에서는 증거의 출처를 '개인적 출처'와 '권위적 출처'로서만 구분하고 이러한 매체들을 교과서, 학원 문제집, EBS교육방송 등과 함께 권위적 출처로 함께 분류하였다(그림18). 그러나 모형 구성 과정에서 학생들은 외부 매체의 권위를 빌려 제약조건을 사용하지만 이 역시 과거의 경험의 하나이기 때문에 외부 매체 등을 출처로 한 제약조건이 교과서나 수업 내용과는 다르게 실생활의 개인 경험을 출처로 한 제약 조건과 비슷한 수준의 권위를 나타내어 본 연구의 분석틀에서는 개인 경험적 출처의 하나로서 분류하였다.

'이론적 출처'는 과학적 이론, 법칙 등을 포함한 지식들로서 교과 내용과 관련된 교과서와 교사로부터 습득된 과거 수업시간의 교과 내용이 포함된다. 개인적 경험과 관련된 출처에 비해 비교적 높은 권위를 가지고 있다.

또 분석틀을 개인의 경험적 출처와 이론적 출처로만 구분하지 않고 '목표 모형 출처'를 별개로 구분하였는데 이것은 학생들의 파생적 사고를 이끌어 낼 수 있는 성격을 가진 출처로서 모형이 설명해야 할 과학적 현상(목표 모형이 가져야 하는 조건)과 초기 모형 등 이미 구성한 모형 자체를 출처로서 포함한다.

Types of evidence	Sources of evidence	
Personal evidence	Personal knowledge	Scientific knowledge Student's conceptions
	Personal experience	Scientific experiments Everyday experience
Authority-based evidence	Textbooks and learning materials	Textbooks Academy, learning materials, EBS
	Informal resources	Science trade books TV, websites Parents, other adults

그림 18. Analysis framework for types and sources of evidence(유혜경 & 임희준, 2014)

제 3 절 제약 조건들의 출처에 따른 영향

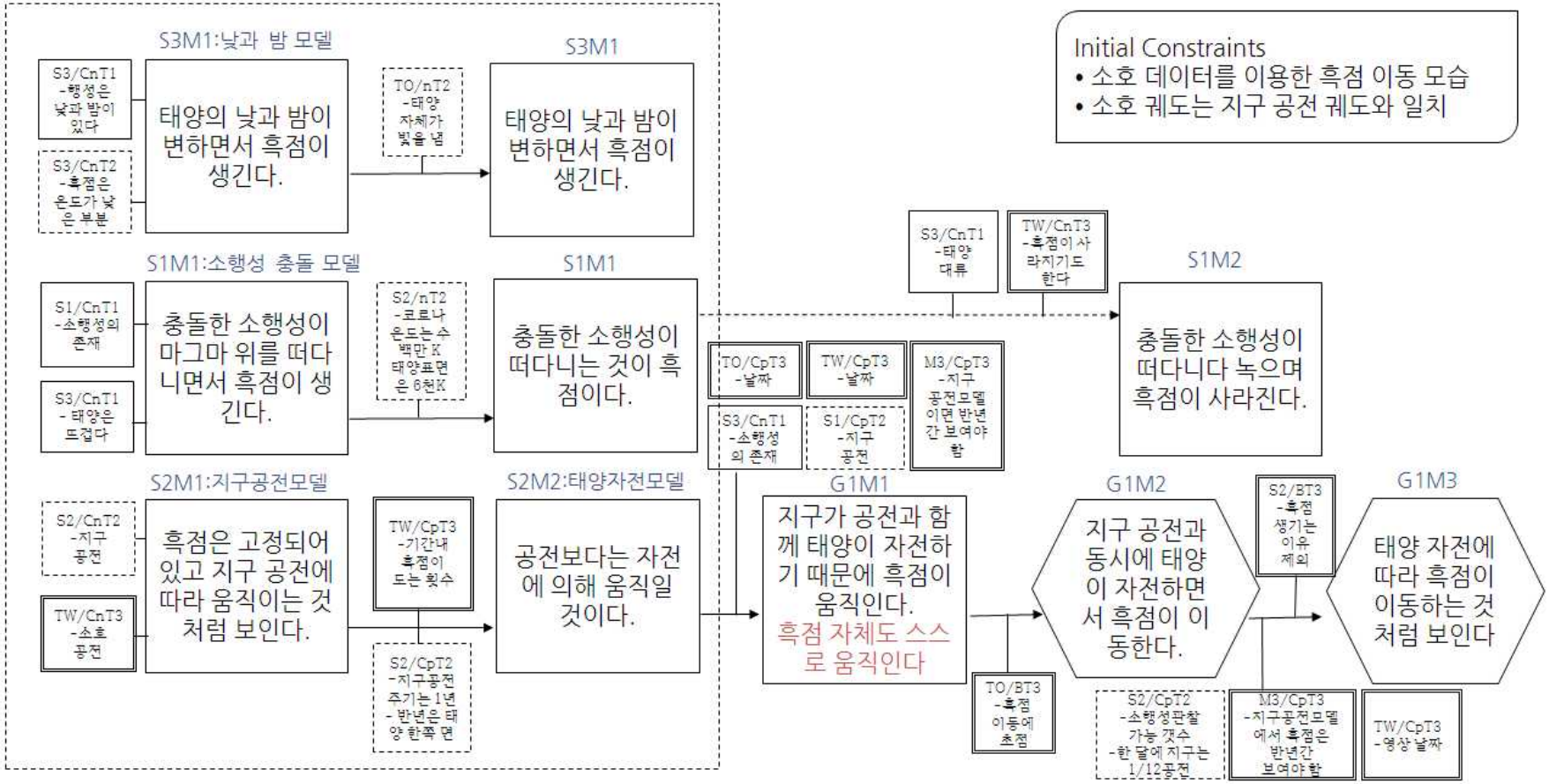
과학적 모형의 사회적 공동 구성 과정에서 학생들이 사용하는 제약 조건들의 출처에 따른 영향을 알아보기 위하여 학생들의 소집단 활동에서 그룹 모형을 구성하는 과정을 전사 후 분석하여 학생들이 구성한 과학적 모형을 찾아내었다. 여기서의 과학적 모형이란 현상으로 제시된 '태양 흑점의 이동'을 설명할 수 있는 학생들의 설명 체계로서 수업에선 주로 글과 그림으로 표현되었다. 이 후 각각의 모형을 구성할 때 학생들이 실제로 사용한 정보들, 즉 어떠한 제약조건들을 사용하여 모형을 구성하였는지 분석하였다. 그 결과 모둠7의 '태양 흑점의 이동'에 대한 모형 공동 구성과정은 다음 그림19와 같다.

큰 상자 내에 학생들이 구성한 모형을 나타내었고 초기에 제시한 학생과 모형의 순서를 모형 위에 표시하였다. 또한 각 모형을 구성하는데 학생들이 사용한 제약조건들은 모형 앞과 뒤에 작은 상자로 표시하였다. 예를 들어 학생 S3의 초기 모형은 S3M1으로서 '태양의 낮과 밤이 변하면서 생긴 흑점이 스스로 이동하는 것이다.'라는 낮과 밤 모형이다. S3는 이 초기 모형을 구성하기 위하여 자신이 제시한 행성은 낮과 밤이 있다는 제약조건과 흑점의 온도와 관련된 제약조건(S3/Cn)을 사용하였다.

모둠 7의 그룹 모형 구성 과정에서는 크게 네 가지의 모형이 나타났는데 차례로 낮과 밤 모형, 소행성 충돌 모형, 지구 공전 모형, 태양 자전 모형이다. 이 중 태양 자전 모형이 소집단 상호 과정이 진행 되어 감에 따라 협의를 통해 그룹 모형(G1M1)으로 채택되어 발전하면서 점점 정교화 되어 갔다.

학생들이 모형 구성을 위하여 사용한 각각의 제약조건들은 연구 문제 2의 결과를 바탕으로 출처에 따라 구분하였는데 개인의 경험적 출처를 가진 제약조건은 실선으로, 이론적 출처를 가진 제약조건은 점선, 마지막으로 목표 모형을 출처로 한 제약조건은 굵은 실선으로 나타내었다. 그리고 이러한 출처에 따른 제약조건이 모형 구성 과정에서 어떻게 영향을 주는지 분석하였다.

Illustrations of model co-construction with constraint



(Cn: construct negative model, Cp: construct positive model, n: non funtion, ,B: limit boundary, T1: source type 1)

1. 초기 모형 생성

제약조건들은 학생들로 하여금 초기 모형을 생성할 수 있도록 한다. 학생들은 과학적 모형 구성 과정에서 초기 모형을 만들 때 과거에 본 다큐멘터리, 자신의 경험, 그림책, 뉴스 등 주로 기존에 가지고 있던 개인의 경험과 관련된 출처(Type1)를 통한 제약조건들을 사용한다.

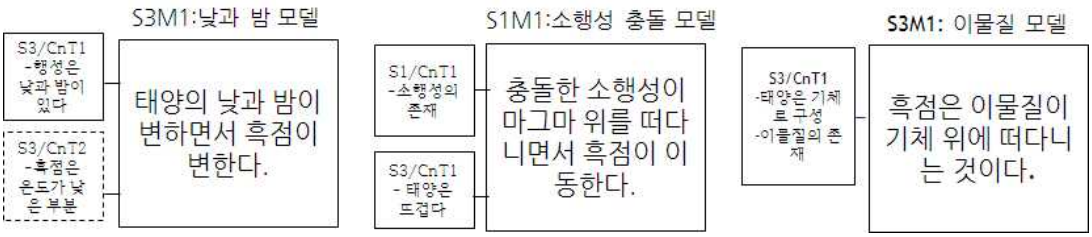


그림 20. 모둠7과 모둠3의 초기 모형

모둠 7의 모형 구성 과정에서는 S3은 뉴스라는 개인의 경험적 출처를 바탕으로 행성의 낮과 밤의 존재와 관련된 제약조건을 사용하여 모형을 구성하였고, S1는 역시 사진과 그림책, 일상생활과 같은 경험적 출처를 바탕으로 소행성의 존재와 태양의 온도와 같은 제약조건을 사용하여 소행성 충돌 모형을 구성하였다. 모둠 3의 학생 S3는 초기 모형을 구성할 때 개인적 경험을 출처로 하여 태양의 구성 성분과 이물질의 존재라는 제약조건을 사용하였는데 그 결과 '흑점은 이물질이 기체 위에 떠다니면서 움직이는 것이다.'라는 이물질 모형을 구성하였다.

이처럼 학생들은 각자 개인의 경험들에 따라 다양한 제약 조건들을 사용하며, 개인마다 갖게 되는 경험들이 서로 다른 만큼 다양한 초기 모형을 구성한다.

그러나 제약 조건을 사용하여 초기 모형을 구성할 때 과학적으로 옳은 지식이나 경험을 출처로 한 제약 조건을 사용했더라도 반드시 과학적으로 옳은 모형을 구성하게 되는 것이 아니라 목표 모형과 거리가 먼 초기 모형을 구성할 수 있다.

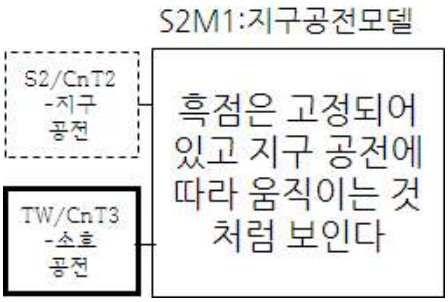


그림 21. 모둠7의 초기모형

모둠 7의 학생 S2는 이론적 출처인 Type2와 목표 모형 출처인 Type3에서 각각 지구의 공전과 소호의 공전이라는 제약조건을 끌어와 초기 모형을 만드는데 사용하였다. 이따 지구가 태양을 중심으로 공전한다는 제약조건과 소호가 지구 궤도와 비슷한 궤도로 태양을 중심으로 공전한다는 제약조건은 과학적으로 옳은 정보이지만 초기 모형인 지구 공전에 따라서 흑점이 이동하는 것처럼 보인다는 낮은 수준의 모형을 구성하였다.

2. 모형을 유지

학생들이 개인의 생활 속 경험에서 얻어진 지식을 출처(Type1)로 한 제약조건들만을 사용하여 만든 초기모형은 다른 소집단원이나 교사가 제공한 추가적인 제약조건에도 쉽게 수정되거나 보완되지 않는다. 다음 모둠7의 사회적 구성 과정을 살펴보면 학생 S3는 개인의 경험적 출처(Type1)를 바탕으로 끌어온 행성에서의 낮과 밤의 존재라는 제약조건을 사용하여 태양의 흑점이 이동하는 현상에 대하여 '태양의 낮과 밤이 변하면서 흑점이 생긴 후 스스로 이동하는 것이다.'라는 모형을 생성하였다. 그러나 이에 반하여 소집단 상호작용에 참여한 연구자가 추가적으로 '태양 자체가 빛을 낸다.'라는 제약조건을 제시했음에도 기존의 초기모형을 그대로 바꾸지 않고 유지하였다.

S3 : 다른 행성처럼 온도가 높아졌다 낮아졌다를 반복하면서 그래. 다른 행

	성은 밤과 낮이 있잖아요. 태양에도 밤과 낮이 있을꺼 아닙니까.
T′ :	**태양 자체가 빛을 내는데 어떻게?** 그 얘기를 왜 하는거야?
S3 :	태양이 낮일동안....
T′ :	흑점이 이렇게 보이는 이유가 태양에 낮과 밤이 있는 것과 무슨 상관이 있어?
S3	*태양에 낮과 밤이 있어서 온도가 낮아졌다 높아졌다 하니까 흑점이 생겼다 없어졌다 하는거에요.*

모둠7의 모형 구성 담화

동일한 모둠의 학생 S1역시 소행성의 존재와 태양의 온도와 관련된 제약조건을 개인의 경험을 출처(Type1)로 하여 '태양에 충돌한 소행성이 태양의 마그마 위를 떠다니며 움직이는 것이다.'라는 초기 모형을 구성하였는데 이 역시 S2가 추가적으로 코로나 온도에 대한 제약조건을 제시하였음에도 S1은 자신의 초기 모형을 수정하거나 보완하지 않고 그대로 유지하는 모습을 나타내었다.

S2 :	근데 중요한건 **코로나는 수백 만 켈빈이잖아.**
S1 :	지웅아 목소리 좀 크게 해.
S4 :	맞아 크게 해줘.
S2 :	**태양 표면은 6,000켈빈으로서 흑점이라도 4,000켈빈정도 되잖아** 여기 나온 것과 같이?
All	어
S2 :	**근데 코로나는 수백만 캘빈이라고 내가 방금 얘기했잖아?** 거기서 벌써 녹았을 것 같은데. 그니까 6천 켈빈, 수백만 켈빈을 버티는 우주 광물들이 왜 6천 켈빈에서는 녹을까?
S1 :	그니까 코로나에서는 녹아.
S2 :	그럼 흑점이 움직이는 이유는 어떻게 설명하는데.
S1 :	그럼 흑점이 움직이는 이유?
S3 :	*돌이 박혀서 떠다니는 거야.*
S1 :	**흑점이 없어지기도 했잖아.** *그래서 (소행성 충돌 때문에)움직일 수 있다고 생각한거지.*

모둠7의 모형 구성 담화

이 둘의 모형 구성 과정에서 제약조건들이 모형을 유지시키는 영향을 함께 나타내면 다음 그림과 같다.

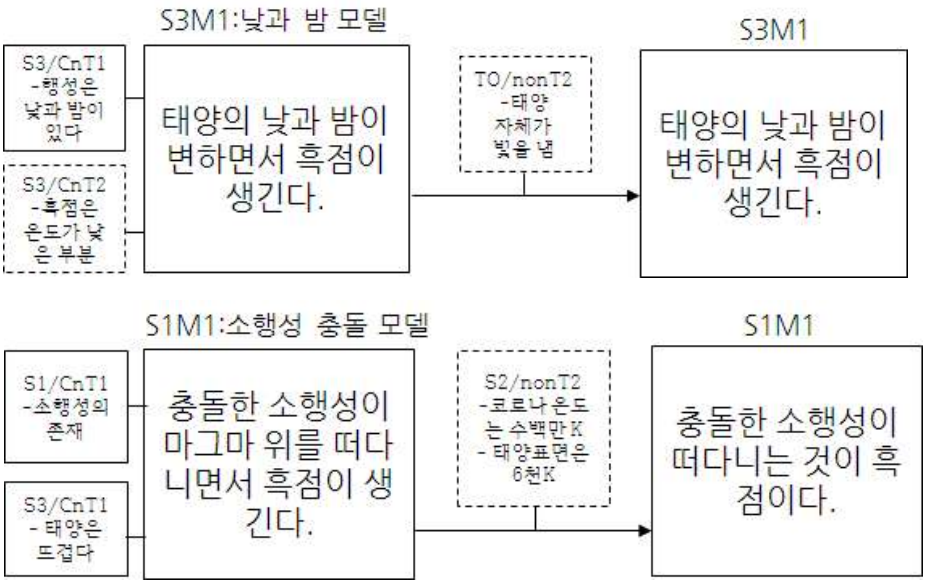


그림 22. 모둠7의 모형 구성 과정

사회적 구성 과정 중에서 모형을 평가하고 수정할 때 교과서와 같이 권위가 있고 이론적인 측면이 강한 출처(Type2)에서 끌어온 제약조건을 사용하더라도 다른 소집단원이 이해하기 힘들 때는 모형 발달에 영향을 주지 않는다.

S2 : 이거는 **수업시간에 태양 흑점 선생님이 실제로 보여주면서 바늘구멍사진기를 보고** 태양을 관찰할 수 있다 그러면서 보여주셨어요.

T : 혹시 나머지 친구들이 지웅이가 이때 바늘구멍사진기 얘기 했을 때 아 이게 좀 힌트가 될 수도 있겠다 생각했었니?

S1 : 전 딱히..

T : 그럼 남기는?

S4 : 저도.. **원리를 이해 못해가지고 별로 그다지..**

T : 원리를 이해 못해서? 그럼 혹시 성원이는 별로였었던 이유가 뭐였어?

S1 : 저요? 그냥 굳이 바늘구멍사진기를 **이용해야 될 이유를 그때는 잘 몰**

랐던 것 같아요. 잘 못 느꼈던 것 같아요.

모둠 7의 인터뷰

학생 S2는 모형 구성 과정에서 과거 수업 시간 내용을 제약조건으로서 사용하여 제시하였지만 그룹 모형에 어떠한 영향도 주지 않았다. 수업 후 심층 면담 과정에서 S2를 제외한 나머지 학생들은 이때 S2가 제시한 제약조건을 잘 이해하지 못하였고 그에 따라 필요성을 느끼지 못하여서 모형 평가 과정에서 사용하지 않았다고 표현하였다. 이와 같은 양상은 다음 그림과 같이 중간 수준과 낮은 수준의 모형을 구성한 모둠에서도 나타났다.

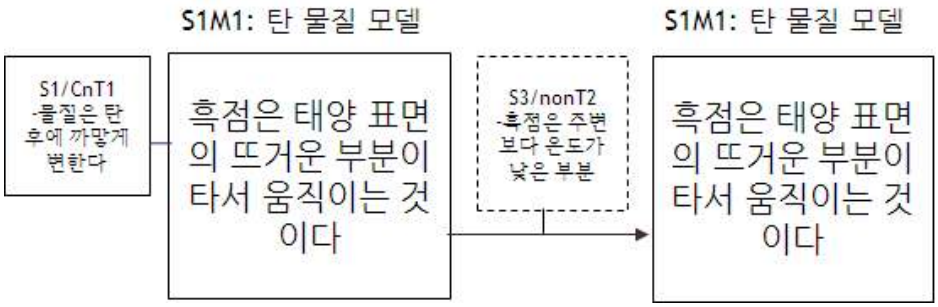


그림 23. 모둠5의 모형 구성 과정

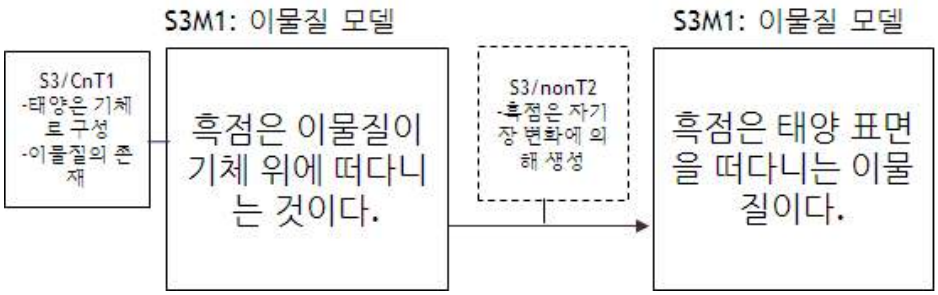


그림 24. 모둠 3의 모형 구성 과정

다른 모둠에 비해서 비교적 낮은 수준의 모형을 구성한 모둠5의 경우 학생 S1은 '흑점은 태양 표면의 뜨거운 부분이 타서 움직이는 것이다.'라는 모형을 구성하였는데 이후 교사가 이론적 출처(Type2)를 바탕으로 제시한 '흑점은 태양 표면에서 주변보다 온도가 낮은 부분.'이라는 제약

조건을 제시하였음에도 기존의 모형을 그대로 유지하였다. 또한 중간 수준의 모형을 구성한 모둠3의 모형 구성 과정에서 학생 S3가 '흑점은 이물질이 기체 위에 떠다니면서 이동하는 것이다.'라는 초기 모형을 생성하였는데 이 후 스스로가 참고서라는 이론적 출처(Type2)를 밝히면서 자기장과 관련된 제약조건을 제시하였음에도 불구하고 자신의 초기모형을 바꾸지 않고 그대로 유지하였다. 이러한 과정동안 이루어진 학생들의 담화를 살펴보면 학생 S3 스스로도 이론적 지식에 대하여 알고는 있지만 인지적으로 이해가 되지 않아 자기장에 대한 제약 조건이 이론적 출처를 가지고 있음에도 자신의 모형 구성 과정에 영향을 주지 않은 것을 알 수 있다.

S1 : 흑점이 생기고 없어지는 거겠지.
S2 : 그게, 흑점이 왜 생겨?
S3 : **내가 백과 사전에서 봤는데 자기장이 어쩌고 저쩌고 했는데** 이해를 못 했어. 그래서 *우리의 결론은 이물질* 아니면
S2 : 이물질?

모둠3의 모형 구성 담화

3. 모형을 급격히 변화

학생들의 과학적 모형의 사회적 구성 과정에서 제약조건들은 초기 모형을 구성하고 모형을 유지시키기도 하지만 모형을 급격히 변화시키면서 모형 구성 과정에 영향을 줄 수 있다. 제약조건이 과학적 모형을 급격히 변화시킬 때는 구성한 모형이 목표 모형으로 가깝도록 만드는 긍정적인 변화를 주거나 반대로 목표 모형으로부터 멀어지도록 하는 부정적인 변화를 주기도 한다. 한편 제약조건들은 모형 구성에 어떠한 요소의 추가 없이 과학적 모형의 경계를 명확히 하며 범위를 제한하는 영향을 주었다.

1) 모형을 긍정적으로 변화

학생들의 과학적 모형 구성 과정에서 사전에 교사에 의해 계획된, 모형이 설명해야 할 현상과 같은 목표 모형을 출처(Type3)로 끌어온 제약조건들은 모형이 목표 모형으로 가까워지는데 긍정적인 영향을 준다. 중간 수준의 모형을 구성한 모둠3의 경우 학생들은 이미 구성한 모형 자체를 출처로 하여 이끌어낸 '태양이 고정되어 있다면 흑점은 반대로 이동한다.'라는 제약조건과 모형이 설명해야 할 현상을 출처로 하여 이끌어낸 '소호 궤도는 지구 궤도와 거의 일치한다.'라는 제약조건을 사용하여 기존에 구성하였던 '태양은 고정되어 있고 표면을 이물질들이 떠다니며 이동하는 것이 흑점이다.'라는 모형을 변화시켜 '흑점은 고정되어 있고 태양 자전에 의해 움직이는 것처럼 보인다.'라는 그룹 모형으로 합의하여 목표 모형에 보다 가까운 모형을 구성하였다.

S1 :	선생님. 위성 소호가 태양을 보면서 돌아요?
T :	지구에서 항상 태양을 쳐다보는거랑 똑같다고 생각하면 되
S1 :	아. 지구에서 바라다보는 거죠.
T :	말했잖아. **소호랑 지구는 같이 돌고 있기 때문에, 지구에서 바라보는거랑 똑같다**고 생각하면 되.
S1 :	그런데 소호가 밤에 돌면.. 이렇게 돌잖아요. 그럼 태양이 안보이잖아요.
T :	그렇지 않지. 항상 태양을 바라보지. 여기서 이렇게 돌리려고 하지 말고 항상 지구 앞에서 태양을 찍고 있다고 생각하면 되.
S1 :	아 이제 생각났어! 이유. 이유!
S4 :	지금 생각나면 어떡해.
S1 :	태양이 이렇게 있잖아. 봐봐. 들어봐. (인공위성)궤도가 이렇게 돌고, 태양이 있지. 그런데 **태양이 가만히 있으면 흑점이 일로 돌아야 되잖아.**
S2 :	아 맞다.
S1 :	일로 (궤도 반대방향으로) 돌아야하는데 이쪽으로(궤도 방향으로) 돌아가지. *그럼 얘가(태양이) 돌고 있다는 거지.*
S4 :	아 그럼 **태양이 안돌면 시계 방향으로 돌아야 하는게 정상**인데...

S1 : 어어어.
S4 : 오케이 오케이. 시계 반대 방향으로 돌아가니까.

모둠3의 모형 구성 담화

모둠3의 학생 S1은 교사가 사전에 계획한 소호 궤도와 관련된 제약조건과 태양은 고정되어 있다는 기존 모형을 출처로 한 제약조건을 사용하여 기존 모형을 평가 후 수정하였으며 이에 S2, S4가 합의하여 급격한 모형 변화를 이루어 내었다. 이와 같은 과정은 그림25와 같이 나타내어진다.

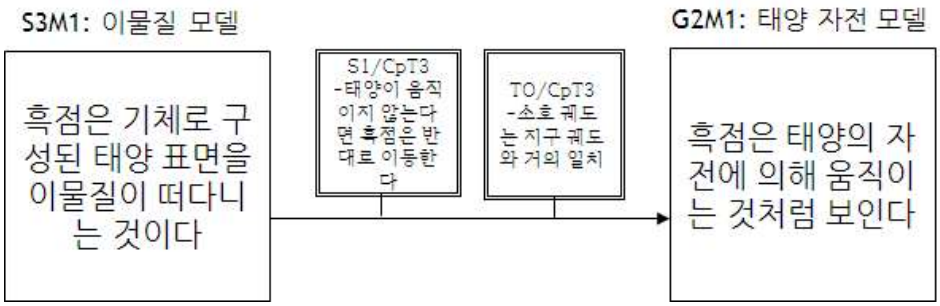


그림 25. 모둠3의 모형 구성 과정

또한 앞서 나타내었던 모둠3의 모형 구성 과정과 그림24에 나타난 모둠7의 모형 구성과 같이 초기에 구성된 개인 모형 중에서 학생들이 교과서나 과거 수업시간과 같은 이론적 출처(Type2)로 끌어온 제약조건들과 목표 모형과 관련된 출처(Type3)를 바탕으로 한 제약조건들을 복합적으로 사용하여 구성한 모형이 그룹모형으로 발달한다.

비교적 높은 수준의 그룹 모형을 구성한 모둠7의 모형 구성과정을 보면 학생 S2가 제시한 모형이 모둠 전체의 그룹 모형으로 발달하게 되는데 이때 모둠원들은 교사가 주로 사전에 계획한 목표 모형을 출처로 한 다양한 제약조건들을 사용한다. 모형이 설명해야 할 현상, 즉 목표 모형을 출처로 교사가 제시한 영상의 날짜의 변화라는 제약조건과 활동지에 기록된 흑점의 이동에 따른 날짜의 변화와 관련된 제약조건을 사용하였고, 이미 구성했던 모형인 지구 공전 모형 자체를 출처로 '지구 공전 때

문에 흑점이 이동하는 것이면 흑점이 반년동안 보여야 한다.'라는 제약조건을 사용하였다. 동시에 '지구는 일 년을 주기로 태양 주위를 공전한다.'라는 제약조건을 과거 수업 내용인 이론적 출처에서 끌어내어 다른 제약조건들과 함께 사용하였다.

S1 :	태양이 자전을 해요?
T :	**저기 날짜 보이지 돌아가는거**, 그다음 2페이지 봐. **여기 사진 있지 거기에 보면 날짜**가 보일 거야 아마.
S1 :	태양이 자전을 해요?
T :	태양이 자전을 할까 안할까?
S4 :	(활동지에 있는 날짜 읽음)
S1 :	해요.
T :	정리해봐.
S1 :	할 것 같은데, 지웅이가, 지웅이 말대로 지구 공전을 **지구가 공전을 하기 때문에, (흑점이)움직인다고 보면, 반년동안은 보여야 하는데 저거는 후딱후딱 지나가잖아.**
S3 :	내가 할 말이 그거였어.
S1 :	*태양도 자전을 하고, 흑점도 움직이고, 지구도 공전을 하고.*
S3 :	그래, 그렇기 때문에 저렇게 빨리 움직이는거.

모둠7의 모형 구성 담화

이러한 제약조건들은 학생들에게 인지적인 갈등을 일으키거나 파생적인 사고를 가능하게 하고 모형 구성의 대상이 되는 현상 자체를 설명하는데 집중하도록 하여 긍정적으로 모형을 변화 시킨다. 한편, 여전히 개인적 경험(Type1)을 출처로 이끌어낸 '소행성의 존재'에 관한 제약조건을 사용함으로서 첫 번째 그룹 모형(G1M1)에는 여전히 흑점 자체도 스스로 움직인다는 부정적인 모형 요소가 포함되어 있다.

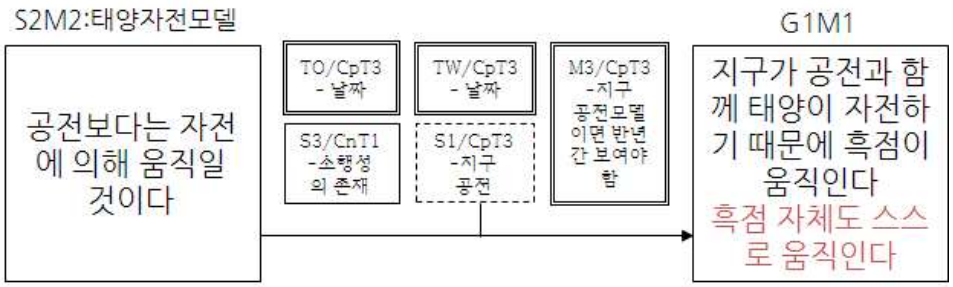


그림 26. 모둠7의 모형 구성 과정

또한 학생들은 구성한 모형 자체를 출처로 한 제약조건들을 사용하여 모형을 정교화 시킨다. 모둠7의 모형 구성 과정에서 학생들은 그룹 모형으로서 흑점이 이동하는 현상을 지구(관찰자)가 공전함에 따라 보이는 것과 태양이 자전함에 따라 보이는 두 가지 방향으로 함께 설명한 모형을 구성하였다. 그러나 앞서 언급한 모형 자체를 출처로 한 '지구 공전 모델일 경우 흑점은 반년동안 보여야 한다.'와 교사로부터 제시된 목표 모형이 설명해야 하는 현상을 출처(Type3)로 한 날짜와 같은 제약조건을 사용하면서 '지구 공전보다는 태양 자전에 의해 움직이는 것이 의미가 클 것이다.'라는 모형으로 더욱 정교화 시켰다. 이때 학생 S2가 사용한 소행성 관찰 개수와 지구는 한 달에 궤도의 약 1/12를 돈다는 이론적 과학지식을 출처(Type2)로 한 제약조건으로 이를 뒷받침하였다.

S1 : 태양이 자전하기 때문에, 그리고 지구가 공전하기 때문에.
S4 : 자 일단 흑점이 움직이는 이유라고 쓰고?
S1 : 응 흑점이 움직이는 이유.
S2 : 근데 생각보다 니 의견이 맞다면은 생각보다 지구에서 발견되는 소행성이 생각보다 없네. **태양으로 돌진하는 소행성이 일 년에도 몇 백 개가 되,, 아니 몇 십 개는 되잖아.** 근데
S1 : 빨리 써 남기야.
S2 : 왜 우린 하나도 관측을 못했지? 근데 지구가 공전한다는 건 나름 미약하잖아. **1년에 한 달에 지구가 돌아봤자 12분의 1밖에 못 돌잖아.** 저것도 몇 달 주기로 관측한거긴 하지만 약간 적은 것 같은데?
S1 : **저쪽에 날짜가 나와** 저기 시간 보면 1월 31일...

S2 : 그거 태양까지의 거리를 관측하는 것처럼, 태양 크기 관측하는 것처럼 **바늘 구멍 사진기.** 그거 이용해서 하는거 있잖아. **그것처럼 L의 길이가 별 의미 없다**고 생각해. *즉 공전은 크게 관련이 없고 자전이 거의 대부분이 그렇게 움직인다고 생각한다.*

S1 : 태양이 자전하기 때문에.

모둠7의 모형 구성 담화

이와 같은 제약 조건이 모형을 정교화 시키는 과정을 나타내면 다음 그림27와 같다. 이때 모형의 모양을 변화시킨 이유는 첫 번째 그룹 모형과 두 번째 그룹 모형 사이에서 제약조건이 모형의 범위를 제한시켰기 때문이다.

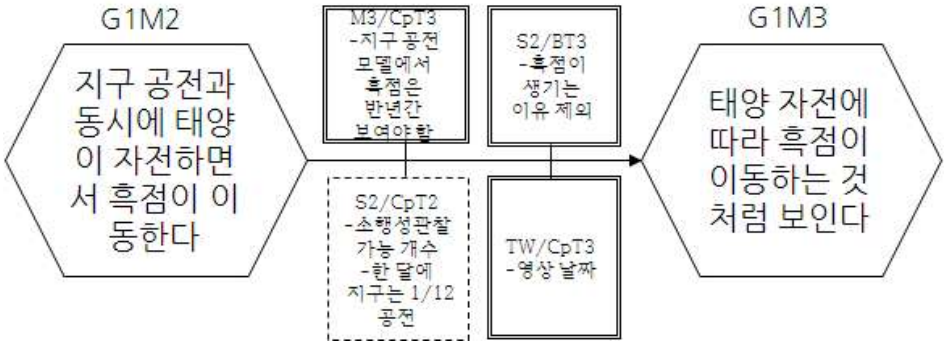


그림 27. 모둠7의 모형 구성 과정

2) 모형을 부정적으로 변화

구성한 모형을 반박할 만한 권위를 가진 추가 제약조건이 없을 때, 학생들은 모형이 설명해야 할 현상을 출처(Type3)로 한 제약조건을 사용하더라도 개인의 경험적 출처(Type1)를 바탕으로 이끌어낸 제약조건을 더하여 기존에 이미 목표 모형과 상반되는 부정적 요소를 포함하고 있던 모형을 부정적으로 강화시킨다.

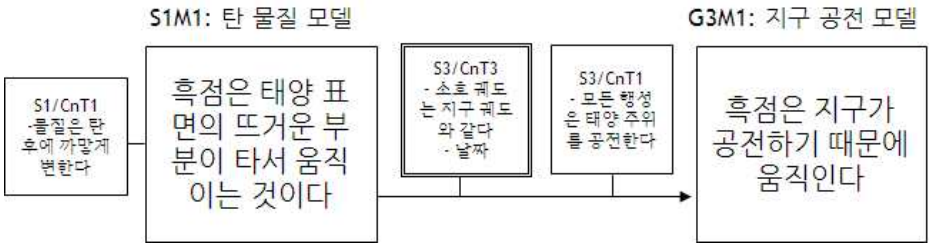


그림 28. 모둠5의 모형 구성 과정

모둠5의 모형 구성과정에서는 학생 S1의 개인 모형이 S3가 제시한 그룹 모형으로 합의되어가는 과정이 나타나는데, 표면적으로는 동의하고 있으나 이때 수업 관찰의 마지막까지 S1은 흑점은 태양 표면이 뜨거운 부분이 타서 움직이는 것이라는 모형을 쉽게 수정하지 않았다. 이는 앞에서 언급하였듯이 개인의 경험적 출처(Type1)에서 이끌어낸 제약조건이 강하고 다른 모둠원이 제시한 이론적 출처(Type2)를 바탕으로 한 '태양의 온도가 낮은 부분이 흑점이다.'라는 제약조건을 자신의 인지적 수준으로 이해하지 못하여 쉽게 모형을 수정하지 않았을 것이라 생각할 수 있다. 이는 다음과 같은 담화에서 자세히 확인할 수 있는데 S2가 여전히 흑점은 온도가 낮은 부분이라는 제약조건을 제시하고 있음에도 S1은 태양의 색깔 변화는 무조건 뜨거워졌기 때문인 것으로 인식하고 있다.

S2 : 그냥 말이 구름이라고 한거야. 여기 **노란색이 주황색보다 온도가 더 높은거거든? 그니까 흑점의 온도가 낮잖아**. 그러니까 *그 주위는 온도가 높아가지고 노란색 구름이 생기는 것 같애.*
S3 : 써.
S2 : 다른 의견 있어?
S3 : 뭐 노란색은 노란색이야. 주황색에서 좀 튀어야 나온다 이런거? 노란색은 너무 뜨거워가지고.
S1 : 색이 무슨 색이야. 주황색이지?
S3 : 근데 왜 노란색이 나와?
S1 : 뜨거워져서.
S2 : 내가 얘기 했지.
T : **저기 화면에 보이는 날짜하고 시간. 2페이지의 사진 이런 것도 보면**

S3 : **서 같이 얘기해봐.**
이게 **날짜가 지날수록 흑점이 이동**하니까 *인공위성이 돌아가면서 찍은건 맞는거 같애.*

모둠5의 모형 구성 담화

모둠5의 학생들은 교사가 목표 모형을 출처로 활동지나 영상의 날짜에 관련된 제약조건을 제시하였음에도 이를 바탕으로 '태양의 흑점은 고정되어 있고 지구가 공전하기 때문에 흑점이 이동하는 것처럼 보인다.'라는 목표 모형으로부터 더욱 멀어지는 모형을 구성하였는데 이는 모형 구성 과정에서 S3가 그림책이라는 개인적 경험을 출처로 얻어낸 '모든 행성은 태양 주위를 공전한다.'라는 제약조건의 영향이 강하기 때문인 것으로 보인다. 이론적 출처나 목표 모형 출처가 이론적 권위를 가지고 있으나 실제 학생들이 사용할 때는 개인의 경험적 출처에서 더 높은 표현적 권위가 나타난다. 이는 그림 29와 같이 모형 구성 수준이 높은 모둠7에서도 유사하게 나타난다.

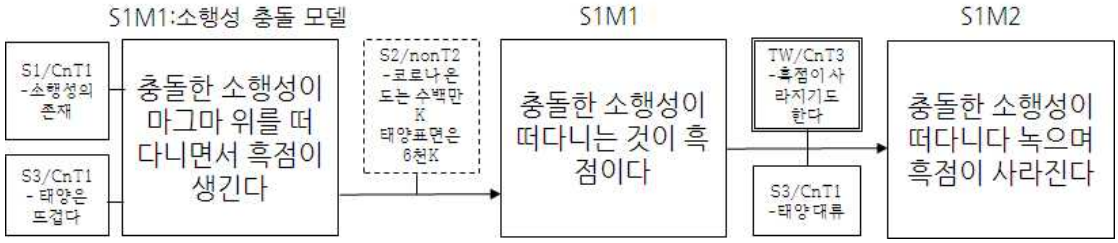


그림 29. 모둠 7의 모형 구성 과정

3) 모형의 범위를 제한

모형이 설명해야 할 현상을 출처(Type3)로 한 제약조건은 구성한 모형의 범위를 제한시켜 목표 모형의 경계를 명확히 한다. 이 때 제약조건들이 범위를 제한시키는 과정에서 모델 구성 요소에서 부정적인 요소가 사라질 수 있다.

다음 모둠7의 모형 구성 과정을 보면 학생들은 첫 번째 그룹모형으로

서 '지구가 공전하면서 태양이 자전하기 때문에 흑점이 움직이고 동시에 흑점 자체도 스스로 움직인다.'라는 모형을 구성하였는데 이 후 교사가 제시한 모형이 설명해야 할 현상, 즉 목표 모형과 관련된 출처를 바탕으로 '흑점 이동에 초점을 맞춰야 한다.'는 제약조건이 모형의 범위를 제한시키는 것을 볼 수 있다. 학생들이 초기 그룹 모형에서 흑점 자체가 스스로 움직인다는 모형은 흑점의 생성 원인과 관련하여 구성한 모형인데 흑점의 생성 원인이 모형 요소에서 제외되면서 부정적인 요소가 사라지게 된다.

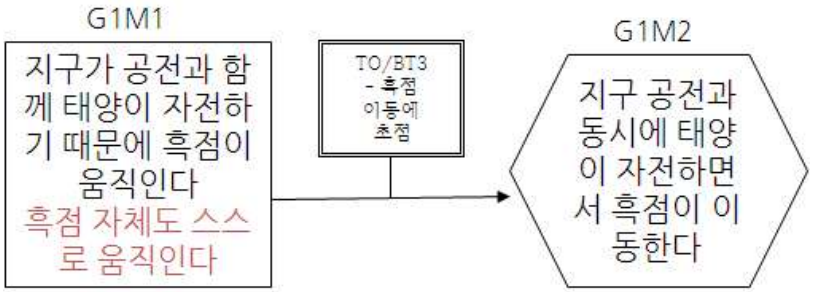


그림 30. 모둠7의 모형 구성 과정

중간 수준의 모형을 구성한 모둠4의 모형 구성 과정(그림 31)에서도 비슷한 양상이 나타나는데 모둠7의 모형 구성 과정과 마찬가지로 교사가 제시한 목표 모형을 출처(Type3)로 한 제약조건이 모형의 범위를 제한시키며 흑점 생성에 관한 모형 요소를 제외시키고 있다.

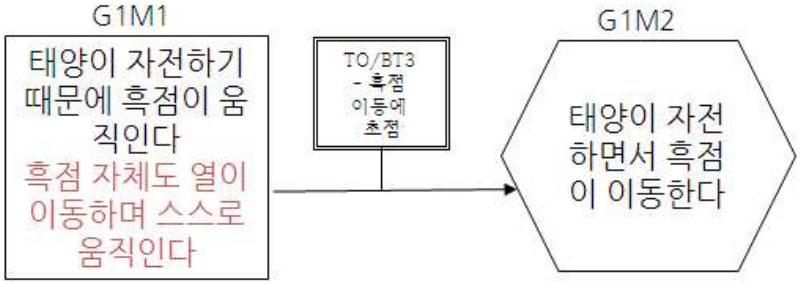


그림 31. 모둠4의 모형 구성 과정

학생들이 구성하는 과학적 모형은 제시된 현상을 설명하는 설명 체계이기 때문에 설명해 내야하는 모형의 목표, 즉 범위가 모호해지면 모형에 자연스럽게 부정적인 요소가 포함될 가능성이 높아진다.

S3 :	선생님! 태양 안에 많은 기체들이 모여 있죠?
T :	태양 안에 기체들은 많이 있지.
S3 :	그렇죠? 근데 저희 그거다 모르죠.
T :	그런데 **대부분은 수소**야. 그런데 지금 태양의 성분은 흑점이 이동하는 이유랑 크게 상관이 없고. **흑점이 이동하는 이유를 생각해야 해.**
S1 :	이물질까지 적고 말래? 이물질이 붙었다.
S4 :	이물질이 뭉쳤다?
S3 :	기발한걸 해야 할 꺼 아니야.
S1 :	흑점의 생성 원인? 그런데 우리조의 의견을 보면 얘도 이물질 같은게 있다고 했고 너도 이물질 같은게 뭉쳤다고 했으니까.

모둠3의 모형 구성 담화

학생들이 본 수업에서 일부 모둠들이 성공적으로 목표 모형에 도달하지 못한 이유도 이와 관련되었으며 범위를 제한시키는 제약조건들이 수업 중에 교사에 의해 제시되더라도 학생이 사용하지 않으면 목표 모델의 경계가 모호해지며 목표 모형에서 멀어질 수 있다.

제 5 장 결론 및 제언

제 1 절 결론

본 연구에서는 과학적 모형의 사회적 공동 구성 수업에서 학생들이 사용하는 제약조건들의 유형과 출처를 확인하고, 이를 바탕으로 제약조건들이 학생들의 모형 구성 과정에 주는 영향을 분석해보았다.

먼저, 과학적 모형을 구성해 나가는 과정에서 학생들이 실제로 사용하는 제약조건의 특징을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 내릴 수 있었다. 학생들은 과학적 모형 구성 수업을 위해 제시된 모든 정보들을 사용하는 것이 아니라 선택적으로 사용하고 있었으며 교사가 사전에 모형 구성 수업을 위하여 계획한 제약조건(constraint) 이외에도 학생들은 자신들만의 출처를 바탕으로 한 다양한 제약조건들을 사용한다는 것을 확인할 수 있었다.

첫 번째로, 과학적 모형의 사회적 구성을 위해 학생들이 사용하는 제약조건들을 제시한 주체에 따라 분류하면 교사에 의해 제시되는 것과 학생에 의해 제시되는 것으로 분류할 수 있다. 소집단 활동에 따라 그룹 모형 구성 과정에서는 학생들은 교사에 의해 제시되는 제약조건들 보다는 모둠 구성원들에 의해 제시되는 제약조건들을 더 빈번하게 사용함을 볼 수 있었다. 소집단 중 교사에게 제약조건을 직접적으로 요청하는 경우는 소수에 불과했는데 이는 한국의 교실 문화적 특성상 학생과 교사 사이의 강한 위계적 관계에 따른 현상으로 보인다. 둘째, 학생들이 모형 구성 과정에서 사용하는 제약조건은 제시되는 형태에 따라 구두로서 제시되는지 활동지에 기록된 형태로 제시되는가에 따라 구분될 수 있다. 사회적 상호작용이 소집단 토의를 통해 이루어짐에 따라 대부분의 제약조건은 구두의 형태로 제시되었으나 모형 자체를 출처로 한 제약조건들

의 경우 활동지에 교사가 기록한 형태, 또는 학생들이 직접 전지나 활동지에 개인 및 그룹 모형을 기록하여 제약조건을 제시하였다. 셋째, 과학적 모형 구성을 위해 사용하는 제약조건들은 기능, 즉 모형에 주는 영향에 따라 분류할 수 있으며 크게 모형 발달에 긍정적인 역할을 하는 것, 부정적인 역할을 하는 것, 모형 발달에 영향을 주지 않는 것, 모형의 경계를 제한하는 것으로 구분할 수 있다. 어떠한 제약조건들은 학생들이 구성한 모형이 목표 모형에 가까워지도록 긍정적인 영향을 주었으며 반대로 목표 모형에서 멀어지도록 하는 부정적인 영향을 주는 제약조건들이 나타나기도 하였다. 제약조건들 중에는 구성한 모형이 긍정적으로 또는 부정적으로 변하지 않고 그대로 유지시키는데 영향을 주는 것들이 드러났는데 이는 모형 발달에 영향을 주지 않는 제약조건들로서 구분되었다. 한편 모형의 경계를 명확히 함으로서 구성하는 모형의 범위를 제한시키는 제약조건들도 나타났는데 목표 모형과 관련 없는 모형 구성 요소를 제거시키는 역할을 한다.

과학적 모형의 사회적 구성 과정에서 학생들이 사용하는 제약조건의 출처(Source)에 대해서는 다음과 같은 결론을 내릴 수 있었다. 모형 구성 과정에서 학생들이 사용하는 제약조건의 출처는 각각의 제약조건마다 다양하게 나타났으며 같은 제약조건이더라도 주체가 되는 학생에 따라서도 다양하게 나타났다. 제약조건의 출처는 그 특성에 따라 크게 세 가지 유형으로 나타났다. 첫 번째 유형은 기존 개인의 경험과 관련된 출처로서 학생들이 내부 출처와 외부 출처로 나뉠 수 있는데 내부 출처는 학생들의 일상생활에서 얻은 개인의 경험이 포함되고, 외부 출처는 사진이나 그림, TV매체로부터 접한 프로그램(뉴스, 다큐멘터리, 일반 방송)등을 포함한다. 두 번째로 유형2는 과학적 이론, 법칙등과 관련된 출처로서 교과서, 교사, 과거 수업에서 얻은 지식, 학원이나 학습지 등 교과내용과 관련된 출처들이다. 유형 3은 목표 모형과 관련된 출처로서 모형이 설명해야 할 현상이나 학생들이 모형 구성 과정에서 이미 구성한 모형과 같은 출처들이 해당한다. 목표 모형이 설명해야 할 현상으로서 교사가 사전에 제시한 제약조건들의 출처도 마지막 유형에 해당한다.

마지막으로, 학생들의 과학적 모형의 사회적 구성 과정에서 제약조건이 유형별로 그 출처에 따라 모형 구성 과정에 주는 영향에 대한 연구 결과는 다음과 같다. 과학적 모형의 사회적 구성 과정에서 학생들이 사용한 제약조건들은 다양한 영향을 준다. 첫째, 제약조건들은 초기 모형을 구성하는데 영향을 줄 수 있는데 이때 학생들은 주로 개인의 경험적 출처(유형1)를 바탕으로 한 제약조건들을 사용한다. 이때 학생들마다 각자 가지고 있는 경험이 다양한 만큼 다양한 초기 모형이 나타난다. 둘째, 학생들의 개인적 경험을 출처로 한 제약조건들은 모형 구성 과정에서 모형을 그대로 유지시킬 수도 있다. 경험적 출처(유형1)에서 끌어온 제약조건을 사용하여 구성한 모형은 추가적인 이론적(유형2) 또는 목표 모형(유형3)을 출처로 한 제약조건의 제시에도 모형이 변하지 않고 그대로 유지되었다. 셋째, 제약조건들은 또한 모형을 급격히 변화시키기도 하는데 목표 모형과 비교하여 긍정적인 방향, 부정적인 방향, 모형의 범위가 제한되는 방향으로 변화될 수 있다. 특히 학생들이 교사에 의해 계획된 모형이 설명해야 할 현상, 학생들이 구성한 모형 그 자체 등 목표 모형을 출처(유형3)로 한 제약조건을 사용하였을 때 모형을 긍정적으로 변하도록 영향을 주었다. 그러나 구성한 모형을 반박할 만한 권위를 가진 추가 제약조건이 없을 때 학생들은 목표 모형을 출처로 한 제약조건을 사용하더라도 기존의 개인의 경험적 출처를 바탕으로 이끌어낸 제약조건을 더하여 모형을 부정적으로 강화시킨다. 모형이 설명해야 할 현상을 출처로 한 제약조건은 구성한 모형의 범위를 제한시켜 목표 모형의 경계를 명확히 하며 이때 모형 구성 요소에서 부정적인 요소가 사라질 수 있다.

제 2 절 제언

본 연구를 통해 사회적 공동 구성을 강조한 과학적 모형 구성 수업에서 학생들이 과학적 모형을 공동 구성해 나갈 때 어떠한 제약조건들을 사용하는지 그리고 그러한 제약조건들이 모형 구성 과정에서 어떠한 영향을 주는지 상세히 살펴보았다. 이를 바탕으로 하여 과학적 모형의 사회적 구성 수업에서 제약조건의 영향에 대한 후속 연구를 위해 다음 사항을 제언하고자 한다.

본 연구는 설문 조사와 심층 면담, 수업 관찰을 통해 과학적 모형의 사회적 공동 구성 수업에서 학생들이 실제로 사용하는 정보, 즉 제약조건들을 파악할 수 있었다는 점에서 의미를 가진다고 할 수 있다. 본 연구의 결과를 통해 학생들의 성공적인 모형 구성 활동을 위한 방향을 제시해줄 수 있다. 학생들은 적절하고 충분한 제약조건들을 사용하면 높은 수준에서 정신적 모델을 구성하는 것이 가능하다는 것을 알 수 있었으며, 이에 따라 학교 현장에서도 적용 가능한 다양한 맥락에 적합한 수업 모듈을 개발하고 투입하여 실질적인 과학 탐구를 실천 할 수 있다.

과학적 모형의 사회적 구성은 학생중심의 활동이지만 교사의 역할이 매우 중요하다. 사회적 공동 구성을 강조한 과학적 모형의 사회적 구성 수업에서 교사의 역할은 전통적인 직접 교수법적 수업에서 나타나는 교사의 역할과는 매우 큰 차이를 나타낸다. 새로운 상황의 출현에는 그에 맞는 새로운 상황정의와 역할이 요구되는데(김민석, 2013) 이러한 맥락에서 본 연구는 교사가 어떠한 제약조건들을 학생들로 하여금 사용할 수 있게 조성하느냐에 따라 학생들의 성공적인 모형 구성 활동을 도와 줄 수 있다는 측면에서 학생 중심의 과학적 모형의 사회적 구성 수업에서 교사의 역할과 수업 전략의 방향을 제시하였다고 볼 수 있다. 특히 제약조건의 사용과 관련하여 실행한 심층 면담 결과 학생들은 교사가 과학적 모형 구성 과정에서 보다 더 다양한 제약조건들을 사용할 수 있게 해주길 원하였으며 이는 모형 구성 수업에서 앞으로 교사가 어떤 역할을 해야 하는지를 시사한다.

그러나 비슷한 특성의 제약조건들의 출처(Source) 안에서도 학생들에게 있어 각 출처 별로 어떻게 서로 다른 권위들을 갖는지 심층적인 연구가 이루어져야 할 필요성이 있으며 학생들이 과학적 모형 구성 과정에서 사용하는 제약조건의 출처들은 개개인의 학습자마다 다르고 각 학습자들이 습득한 경험이나 이론적 지식들은 학습자의 문화에 따라서 달라지므로 학생들의 실제 그 학생의 삶을 관찰하면서 학생이 가지고 있는 문화에 대해 심층적으로 파악하는 것이 더 직접적이고 효과적일 것이므로 이러한 방법을 사용한 연구가 진행될 필요가 있다. 또한 앞으로 더 체계적인 연구 설계를 통해 본 연구에서 살펴본 제약조건들이 모형 구성 과정과 나아가 사회적 구성 과정 내에서 학생들 사이, 또는 학생-교사 사이의 상호작용에 미치는 영향을 연구할 필요가 있다.

한편 본 연구를 진행한 연구 대상 학생인 남학생 뿐 아니라 여학생들을 포함하여 일반 학교의 학생들로 확대될 필요가 있으며 지구과학 외에 다른 과학 영역의 수업과, 지구과학 내에서도 천체 영역 이외의 다양한 영역을 대상으로 적용한 연구가 수행될 필요가 있다. 이를 통해 학생들의 과학적 모형의 사회적 구성 과정에서 제약조건들이 미치는 영향을 정확하게 파악하여 학생들의 과학적 모형 구성 수업에 더 도움을 줄 수 있으리라 기대한다.

참 고 문 헌

강석진, 노태희 (2000). 토론 과정에서 사회적 합의 형성을 강조한 개념 학습 전략의 효과. *한국과학교육학회지*, 20(2), 250-261.

강은희, 김찬종, 최승언, 유준희, 박현주, 이신영, 김희백 (2012). 혈액 흐름의 모형 구성 과정에서 나타난 소집단 상호작용과 소집단 규범. *한국과학교육학회지*, 32(2), 372-387.

교육과학기술부 (2011). 과학과 교육과정. 교육과학기술부 고시 제 2011-361호.

김민석 (2013). 중학생 소집단의 과학적 모형의 사회적 구성 과정 이해: 상황 정의와 상호주관성을 중심으로. 서울대학교 대학원 석사학위논문.

김지영, 성숙경, 박종윤, 최병순 (2002). 사회적 상호작용을 강조한 과학 탐구 실험의 효과. *한국과학교육학회지,* 2(4), 757-767.

박종윤, 정인화, 남정희, 최경희, 최병순 (2006). 중학교 과학 수업에서 질문과 피드백을 활용한 교사-학생 상호작용 강화 수업 전략의 개발 및 적용. *한국과학교육학회지*, 26(2), 239-245.

배진호, 옥수경 (2009). 사회적 상호작용을 강조한 초등과학 수업이 메타인지, 과학학습 동기, 학업 성취도에 미치는 영향. *한국초등과학교육학회지*, 28(4). 519-527.

오문자 (2011). '과학 이야기'안에서 유아들의 이론 공동 구성을 지원하는 교사의 전략, *열린유아교육연구,* 16(4), 1-32.

오필석 (2005). 지구과학 교육과정의 새로운 방향 모색: 모델 구성을 통한 지구과학 교수-학습 활동의 제안. *한국지구과학회 2005 춘계학술발표회 논문집*, 101-107.

오필석 (2007). 중등학교 지구과학 수업에서 과학적 모델의 활용 양상 분석: 대기 및 해양 지구과학 관련 수업을 중심으로. *한국과학교육학회지*, 27(7), 645-662.

오필석, 김찬종 (2005). 지구과학의 한 탐구방법으로서 귀추법에 대한 이

론적 고찰. *한국과학교육학회지*, 25(5), 610-623. 오필석, 이선경, 김찬종. (2007). 연구논문: 지식 공유의 관점에서 본 과학 교실 담화의 사례. 한국과학교육학회지, 27(4), 297-308.

오필석, 이정숙 (2014). 예비 초등 교사들의 과학 모델 평가 기준. *한국과학교육학회지*, 34(2), 135-146.

유혜경, 임희준 (2014). 초등학생들의 과학적 논증활동에서 증거의 유형 및 수준 분석. *초등교육학회지*, 33(1), 162-172.

유희원, 최승언, 김찬종 (2012). 과학적 모형 구성 수업에서 나타나는 학생들의 상호작용에 영향을 미치는 개인 내석, 관계적 요인 분석. *한국과학교육학회 제61차 동계학술대회 논문집*, p.97.

유희원, 차현정, 김민석, 함동철, 김희백, 유준희, 박현주, 김찬종, 최승언 (2012). 과학적 모형의 사회적 공동구성 수업에서 나타나는 과학 영재 학생들의 상호작용 역할과 개인의 내적, 관계적 요인 사이의 관련성. *영재교육연구*, 22(2), 265-290.

유희원, 함동철, 차현정, 김민석, 김희백, 유준희, 박현주, 김찬종, 최승언 (2012). 달의 위상 변화에 대한 과학적 모형 구성 수업에서 나타나는 과학 영재들의 모형 생성 및 발달 과정. *영재교육연구*, 22(2), 291-315.

이신영, 김찬종, 최승언, 유준희, 박현주, 강은희, 김희백 (2012). 소집단 상호작용에 따른 심장 내 혈액 흐름에 대한 소집단 모델 발달 유형과 추론 과정 탐색. *한국과학교육학회지*, 32(5), 805-822.

정영은 (2012). *'과학적 모형의 사회적 구성' 중심 탐구학습전략의 개발과 적용 : 영재교육원의 수업 적용 사례.* 조선대학교 석사학위논문.

정현철, 박영신, 황동주 (2008). 한국영재교육에서 소집단 탐구활동에 대한 인식 분석. *한국과학교육학회지*, 29(2), 151-162.

최희경, 박종윤, 최병순, 남정희, 최경순, 이기순 (2004). 중학교 과학 수업에서 교사와 학생의 언어적 상호작용 분석. *한국과학교육학회지*, 24(6), 1039-1048.

함동철 (2012). *천문 단원 모형 구성 수업에서 또래간 상호작용에 의한 중학생의 모형 변화 과정*. 서울대학교 대학원 석사학위논문.

Adúriz-Bravo, A. (in press, 2012). A 'Semantic' View of Scientific Models for Science Education. *Science & Education*. DOI 10.1007/s11191-011-9431-7.

Baek, H. (2013). *Tracing fifth-grade students' epistemologies in modeling through their participation in a model-based curriculum unit.*

Bamberger, Y. M., & Davis, E. A. (2013). Middle-school science students' scientific modelling performances across content areas and within a learning progression. *International Journal of Science Education*, 35(2), 213-238.

Barbour, J. B., & Bertotti, B. (1982). Mach's principle and the structure of dynamical theories. Proceedings of the Royal Society of London. A. *Mathematical and Physical Sciences*, 382(1783), 295-306.

Barnett, M., Keating, T., Barab, S. and Hay, K. (2000). *Conceptual change through building three-demensional models.* In B. J. Fishman and O'Connor S. F. (eds)

Carey, S., & Smith, C. (1993). On understanding the nature of scientific knowledge. *Educational Psychologist*, 28(3), 235-251.

Chinn, C.A., & Anderson, R. C. (1998). The structure of discussions that promote reasoning. *Teachers College Record*, 100, 315-368

Clement, J. J. (1989). Learning via model construction and criticism. In Glover, G., Ronning, R., Reynolds, C. (Eds). *Handbook of creativity: Assessment, theory and research* (pp. 341-381). New York: Plenum.

Clement, J. (2008). Student/teacher co-construction of visualizable models in large group discussion. In J. J. Clement, & M. A.

Rea-Ramirez (Eds.) *Model based learning and instruction in science.* (pp. 203-243). NY: Springer.

Clement, J., & Steinberg, M. (2002). Step-wise evolution of models of electric circuits: A "learning-aloud" case study. *Journal of the Learning Sciences*, 11(4), 389-452.

Daly, S., & Bryan, L. A. (2010). Model Use Choices of Secondary Teachers in Nanoscale Science and Engineering Education. *Journal of Nano Education*, 2(1), 76-90.

Ford, M. J. (2008). Disciplinary authority and accountability in scienti fic practice and learning. *Science Education*, 92(3), 404 - 423.

Giere, R. N. (1988). *Explaining science: A cognitive approach*. Chicago: University of Chicago Press.

Giere, R. N., Bickle, J., & Mauldin, R. F. (Eds.) (2006). *Understanding scientific reasoning* (5th ed.). Toronto: Thomson Wadsworth.

Gilbert, J. K., Pietrocola, M., Zylbersztajn, A., & Franco, C. (2000). Science and Education : Notions of Reality, Theory and Model. In J. K. Gillbert, C. J. Boilter (Eds.) *Developing Models in Science Education* (pp.19-40). London: Kluwer Academic Publishers.

Gobert, J. D., & Clement, J. J. (1999). Student-generated diagrams versus student-generated summaries on conceptual understanding of causal and dynamic knowledge in plate tectonics. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(1), 39 - 53.

Greca, I. M., & Moreira, M. A. (2000). Mental models, conceptual models, and modelling. *International Journal of Science Education*, 22(1), 1-11.

Harrison, A. G., & Treagust, D. F. (2000). Learning about atoms, molecules, and chemical bonds: A case study of multiple-model use in grade 11 chemistry. *Science Education*, 84(3), 352-381.

Halloun, I. A. (2006). *Modelling Theory in Science Education*. Netherlands : Springer.

Hempel, C. G. (1965). *Aspects of scientific explanation and other essays in the philosophy of science.* New York: Free Press.

Hofstede, G., & Hofstede, J. (2005). *Cultures and organisation-software of the minds* (2nd ed.). New York, NY: McGraw-Hill.

Holyoak, K., and P. Thagard. (1989). "Analogical Mapping by Constraint Satisfaction: A Computational Theory." *Cognitive Science* 13: 295-356.

Jang, S. H. & Jeong, S. J. (2010). Analysis of elementary students' scientific justification activities based on evidence. *Korean Elementary Science Education*, 29(4), 414-426.

Justi, R., & Gilbert, J. (2002). Models and modelling in chemical education. In J. K. Gilbert, O. D. Jong, R. Justy, D. F., Treagust, & J. H. Van Driel (Eds.), *Chemical education: Towards research-based practice* (pp. 47-68). Dordrecht: Kluwer.

Kawasaki, K., Herrenkohl, L. R., & Yeary, S. A. (2004). Theory building and modeling in a sinking and floating unit: A case study of third and fourth grade students' developing epistemologies of science. *International Journal of Science Education*, 26(11), 1299 - 1324.

Kim, H. K. (2003). *Middle school students' open physics inquiry emphasizing peer argumentation: Its conditions, features, and roles*. Doctoral dissertation, Seoul National University.

Kim, H. Y., & Song, J. W. (2006). The Features of Peer Argumentation in Middle School Students' Scientific Inquiry. *Research in Science Education*, 36, 211-233

Leng, H. (2005). Chinese cultural schema of education: Implications for communication between Chinese students and Australian educators. *Issues in Educational Research,* 15(1), 17-36.

Lott, K., & Wallin, L. (2012). Modeling the states of matter in a first-grade classroom. *Science Activities: Classroom Projects and Curriculum Ideas*, 49(4), 108-116.

Meheus, J., and Batens, D.,(1998). Steering problem solving between cliff incoherence and cliff solitude, *Philosophica* 58: 153-187

Meyer, K., & Woodruff, E. (1997). Consensually driven explanation in science teaching. *Science Education,* 81(2), 173-192.

Mortimer, E. F., & Scott, P. H. (2003). *Meaning Making in Secondary Science Classrooms.* Open University Press.

Nersessian, N. (1992) How do scientists think? Capturing the dynamics of conceptual change in science. In R. N. Giere (Ed.), *Cognitive Models of Science* (pp. 3-44). Minneapolis: University of Minnesota Press.

Nersessian, N. (1995) Should Physicists Preach What They Practice? Constructive modeling in doing and learning physics. *Science & Education*, 4, 203-226.

Nersessian. (1999). Model-Based Reasoning in Conceptual Change. In Nersessian (Eds.), *Model-Based Reasoning in Conceptual Change* (pp. 5-22). Kluwer Academic / Plenum Publishers

Nersessian, N. J. (2002). The cognitive basis of model-based reasoning in science. In Carruthers, P., Stich, S. &Siegal, M. (eds.) *The Cognitive Basis of Science*. 133-153. Cambridge University Press

Nersessian, N.J. (2008). Model-based Reasoning Practices : Historical Exemplar. In Nersessian, N.J [eds], *Creating Scientific Concepts* (pp. 19-60). Cambridge MIT Press.

Newton, P., Driver, R., & Osborne, J. (1999). The place of argumentation in the pedagogy of school science. *International Journal of Science Education*, 21(5), 553 - 576.

Nickles, T., (1980), *Can scientific constraints be violated raltionally?*, in: Scientific Discovery, Logic, and Rationality, T. Nickles, ed., Reidel, Dordrecht, pp. 285-315.

Palincsar, A. S. (1998). Social constructivist perspectives on teaching and learning. *Annual Review of Psychology*, 49, 345-375.

Park, S. K. (2013). The Relationship between Students' Perception of the Scientific Models and Their Alternative Conceptions of the Lunar Phases. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 9(3), 285-298.

Passmore, C., Stewart, J., & Cartier, J. (2009). Model-based inquiry and school science: Creating connections. *School Science and Mathematics*, 109(7), 394-402.

Radinsky, J., Oliva, S., & Alama, K. (2010) Camila, the Earth, and the Sun: Constructing an idea as shared intellectual property. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(6), 619-642.

Rea-Ramirez, M. A. C., & Nunez-Oviedo, M. C. (2008). An instructional model derived from model construction and criticism theory. In J. J. Clement, & M. A. Rea-Ramirez (Eds.) *Model based learning and instruction in science*. (pp. 203-243). Springer.

Schwarz, C. V., & White, B. Y. (2005). Metamodeling knowledge: Developing students' understanding of scientific modeling. *Cognition and Instruction*, 23(2), 165-205.

Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Acher, A., Fortus, D. Shwartz, Y., Hug, B., & Krajcik, J. (2009). Developing a Learning Progression for Scientific Modeling:

Making Scientific Modeling Accessible and Meaningful for Learner. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632-654.

Simon, S. & Maloney, J. (2006). Mapping children's discussions of evidence in science to assess collaboration and argumentation. *International Journal of Science Education*, 28(15), 1817-1841.

Simpson, W. D., & Marek, E. A. (1988). Understanding and misconceptions of biology concepts held by students attending small high schools and students attending large high schools. *Journal of Research in Science Teaching*, 25(5), 261-374

Siry, C., Ziegler, G., & Max, C. (2012) "Doing Science" through discourse-in-interaction: Young children's science investigations at the early childhood level. *Science Education*, 96(2), 311-326.

Stake, R. E., & Easley, J. (1978). *Case study in science education.* Urbana-Champaign University of Illinois, Center for Instructional and curriculum evaluation.

Svoboda, J., & Passmore, C. (in press 2011). The strategies of modeling in biology education. *Science & Education*. DOI: 10.1007/s11191-011-9425-5.

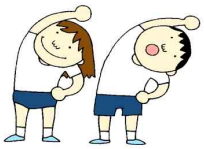
Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The Development of Higher Mental Processes* (Cole, M., John-Stenier, V. & Souberman, E., Eds.). Cambidge, MA: Harvard University Press.

Windschitl, M., Thompson, J., & Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Science Education*, 92(5), 941-967.

<부록 : 활동지>

2학년지구과학 **월 일 교시**

반: 번호: 이름:



과학 수업 준비 운동

■ 과학 수업에 임하는 자세

- 정답(절대적으로 옳은 과학적 지식)이 있다고 생각하지 말기
- 배우는 내용을 그룹 친구들과 함께 이야기하고 논의해서 만들어가기
- 배우는 내용이 우리의 생활과 어떤 관계가 있을지 생각해보기

■ 개인 활동시

평가를 하지 않으므로!

- 자신의 생각에 자신감을 갖기
- 자신의 생각이 틀리는 것에 대해 두려워하지 말기
- 모르더라도 자신의 생각을 솔직하게 표현해보기
- 같은 조 친구들에게 물어보거나 베끼지 말기

■ 활동지 작성시

- 자신의 생각을 가능한 한 그림과 글로 자세하게 표현하기
- 모른다고 무조건 베끼지 말고 최대한 자신의 생각을 표현해보기
- 생각이 발전하는 과정이 중요하므로 개인 혹은 그룹의 처음 생각(아이디어)을 수정하거나 지우지 말기

■ 그룹 활동시

- 모르거나 자신이 없더라도 자신의 의견을 친구들에게 편안하게 설명하기
- 도움이 필요할 땐 선생님과 적극적으로 상호작용하기 (답은 No! 단서는 Yes!)
- 타당한 근거를 들어 자신의 의견을 말하기
- 친구의 의견을 잘 들어주고 다른 친구의 의견을 무시하지 않기
- 자신의 의견을 강요하지 말기
- 한 사람이 주도적으로 하지 말기 / 특정 학생에게 의존하지 않기
- 이미 잘 알고 있는 학생은 먼저 답을 말하지 말기
- 잘 알고 있는 학생은 다른 학생들이 이해할 수 있도록 돕기

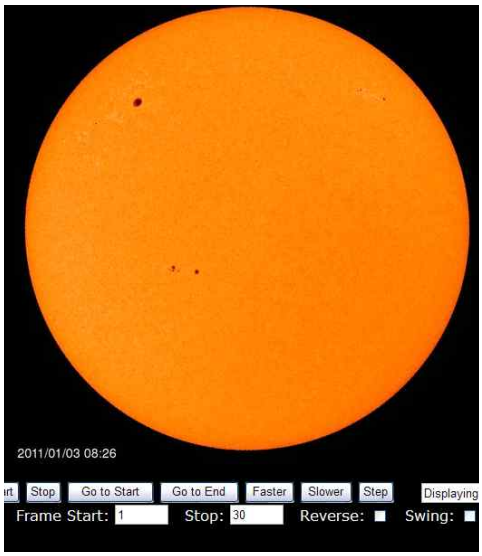
2학년지구과학 **월 일 교시**

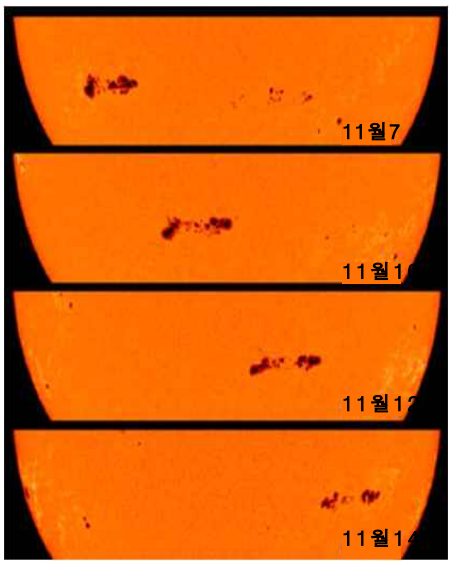
반: 번호: 이름:

■ 태양의 흑점 - 나의 모델 만들기 (MY MODEL)

- 자신의 생각을 가능한 한 자세하게 표현한다.(글과 그림 이용 가능)
- 모른다고 무조건 베끼지 말고 최대한 자신의 생각을 표현하자.
- 처음 만든 나의 모델을 수정하거나 지우지 않는다.(평가는 No No)

• 인공위성 SOHO가 찍은 태양사진을 보면 주변보다 어두운 부분인 흑점이 나타난다.





• 시간의 흐름에 따른 태양 흑점의 모습을 주의 깊게 관찰하고 알 수 있는 것을 서술해 보자.

2학년지구과학 **월 일 교시**

반: 번호: 이름:

• 이와 같이 흑점이 관찰 되는 이유를 글과 그림(나의 모델)으로 자세히 설명해 보자.

■ 태양의 흑점 – 우리 조 모델 만들기 (GROUP MODEL)

• 나의 모델을 다른 사람에게 설득력 있게 이야기 하는 것이 중요!
• 관찰 결과를 설명할 수 있도록 근거를 들어 이야기 한다.
• 다른 사람의 모델이 타당한지 잘 따져본다.

• 소그룹 토의를 통해 **흑점이 시간에 따라 이동하는 이유**를 글과 그림(우리 조 모델)으로 자세히 설명해 보자.

※ 조별 발표지에 작성해보세요. ※ 나의모델과 우리 조 모델이 뭐가 다른지 적어보세요.

2학년지구과학 월 일 교시

반: 번호: 이름:

■ 태양의 흑점 – 우리 반 모델 만들기 (CLASS MODEL)

• 다른 조가 발표할 땐 떠들지 않는다.

• 다른 조의 발표를 잘 듣고 근거를 가지고 타당한지 따져본다.

• 우리 그룹의 토의 내용(우리 조 모델)을 발표해 보자.

※ 다른 조가 발표할 때, 우리 조와 다른 조의 차이점이나 특이점을 적어보세요.

• 우리 그룹의 토의 내용(우리 조 모델) 중 수정하거나 보완할 내용이 있으면 글과 그림을 다른 색 펜을 이용하여 수정해 보자.

※ 조별 발표지에 수정하세요. ※ 수정、보완한 내용이 무엇인지 적어보세요.

2학년지구과학 **월 일 교시**

반: 번호: 이름:

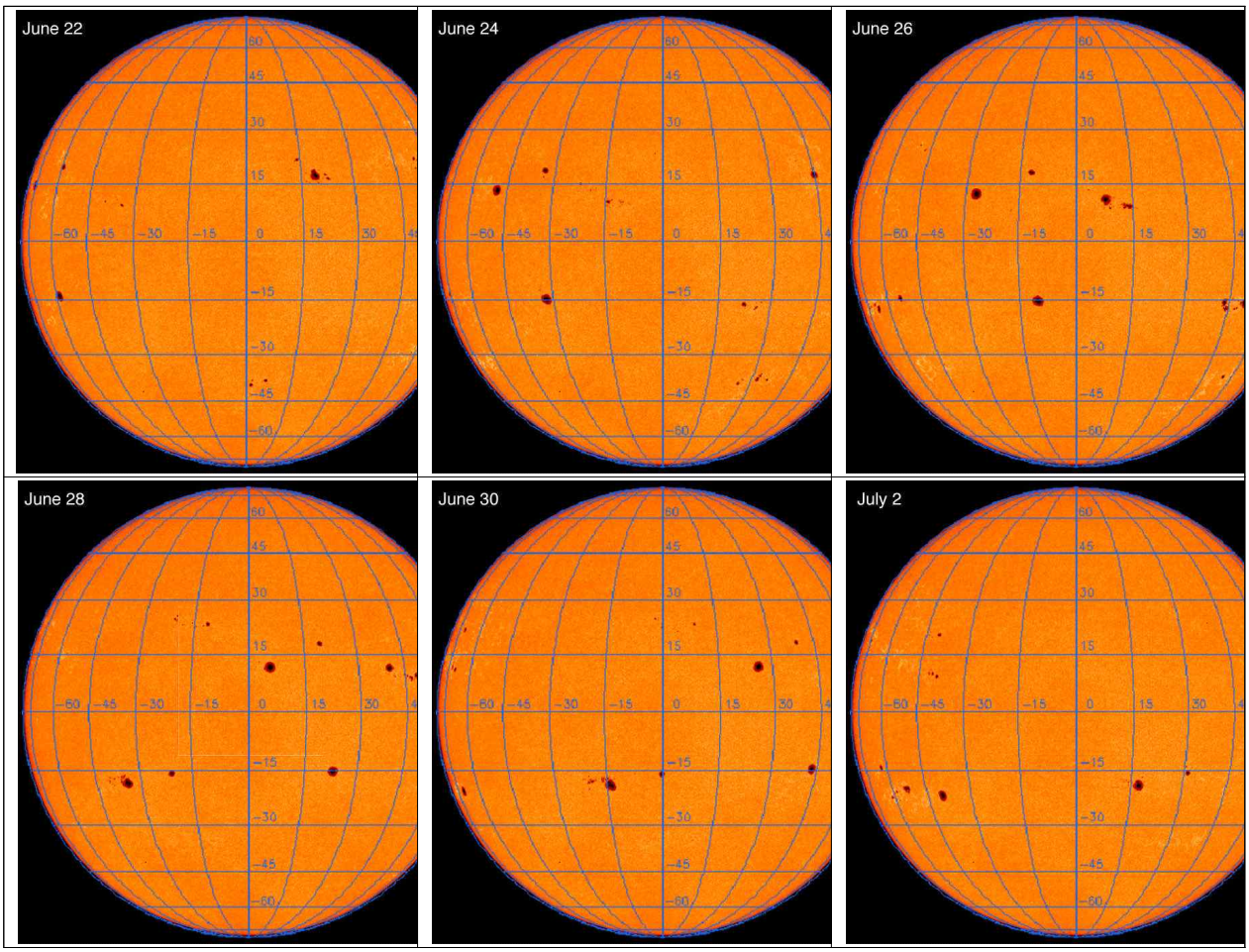
• 조별 발표를 모두 들은 후, 우리 반 모델을 글과 그림으로 나타내 보자.

2학년지구과학 **월 일 교시**

반: 번호: 이름:

■ 태양의 흑점 – 적용 활동

• 다음은 시간에 따른 태양 흑점의 이동 모습을 나타낸 사진이다.



• 그룹 토의를 통해 <u>태양이 한 바퀴 자전 하는데 걸리는 시간</u>을 구할 수 있는 방법을 논의하여 예측해 보자. 글과 그림 혹은 수식을 이용하여 그 과정을 적어보자.

Abstract

Aspects and Effects of Constraints in Students' Scientific Model Co-construction

You-Jin Kim
Earth Science Major in Science Education Division
The Graduate School
Seoul National University

Students construct scientific models using the data and resources derived from diverse sources as scientists. It is necessary to understand what information students use in the model co-construction process. We would like to explore students' use of information in terms of constraint. The term 'constraint' is employed in a wide sense to include information which helps to set the problem by imposing a condition on its solution. The major purpose of this research is to examine how

various types of constraints function in the students' model co-construction. To achieve the purpose, modeling lessons about 'sunspot' and 'phase changes of inner planets' were given to 204 students of a middle school in Seoul, South Korea. All lessons were video-tape recorded and transcribed. Small group interaction processes were qualitatively analyzed. Major findings are; (1) the students constructed scientific models using the constraints came from diverse source, (2) the types of constraints used by the students could be divided based roughly on three criteria, and (3) each constraint diversely influences on students' model co-construction depending on the source with different level of authority. The findings of the research can provide actual help as to what type of constraints should be used for students' successful model co-construction.

keywords : scientific model, social interaction, co-construction, constraint
Student Number : 2013-21449