

교육과정평가연구
The Journal of Curriculum and Evaluation
2025, Vol. 28, No. 4, pp.123 ~ 151
DOI: <https://doi.org/10.29221/jce.2025.28.4.123>

과학영재 소집단 협업 평가에서 언어적 상호작용의 지위 및 유형에 따른 성취도 향상과 발화 특징 분석

윤달재 (경기과학고등학교 교사)*1)
윤석민 (대전과학고등학교 교사)
이수경 (전북대학교 초빙교수)
최혁준 (한국교원대학교 교수)**

요약

본 연구는 과학 영재 학생들의 소집단 협업 평가에서 나타나는 언어적 상호작용을 분석하여, 모둠 내 개인의 지위와 모둠별 상호작용 유형을 정의하고 이에 따른 성취도 향상과 발화 특징의 차이를 탐색하였다. 수도권 소재 과학영재학교 2학년 48명을 대상으로 특수 상대성이론 관련 문항에 대한 2단계 협업 평가와 사후 평가를 시행하고, 모둠 상호작용을 녹음·전사하여 분석하였다. 언어적 상호작용은 발화 코딩과 사회 네트워크 분석을 통해 분석하였으며, 위세 중심성으로 개인 지위를 주도자·보조자·주변자로, 외향 연결 비율로 모둠 상호작용을 주도형·소통형·부분 참여형으로 분류하였다. 성취도 향상의 정도는 Hake 지수를 이용하여 분석하였다. 연구 결과, 성취도 향상은 지위에 따라 주도자-보조자-주변자 순으로 나타났고, 상호작용 유형별로는 부분 참여형 모듬의 평균 Hake 지수가 가장 높았으나, 집단 내 분산이 커 일반화에는 주의가 필요하다. 또한 주도형은 질문·해설 중심의 일방향 상호작용 경향이 관찰된 반면, 소통형과 부분 참여형은 보다 균형 잡힌 발화 분포를 보였다. 본 연구는 고난이도 개념 학습 맥락에서 개인별 지위와 모듬별 상호작용의 유형이 성취도 향상과 발화 질에 어떻게 연결되는지에 대한 근거를 제시하며, 균형적 참여와 질적 발화 촉진을 위한 수업 설계의 시사점을 제공하고자 한다.

주제어: 과학영재, 소집단 협업 평가, 언어적 상호작용, 사회 네트워크 분석

1) 본 논문은 윤달재(2025) 석사학위 논문의 일부분을 발췌, 재구성한 것임.

* 제1저자, iimi1kii@naver.com

** 교신저자, hjchoi@knue.ac.kr

I. 서론

2022 개정 교육과정은 협력적 소통 역량을 핵심역량으로 강조하고 있다. 이는 공동체의 구성원이 공동의 목적을 달성할 수 있도록 서로의 힘을 모으고 생각을 나누는 데 필요한 역량이다. 2022 개정 교육과정은 학생이 이러한 역량을 갖추도록 소집단 협동학습 활동을 통해 협력적으로 문제를 해결하는 경험을 충분히 갖도록 권장하고 있다(교육부, 2022). 특히 과학영재 교육에서 협동학습의 효과가 주목받고 있으며, 과학고등학교 학생들은 구조화 수준이 낮은 수업, 창의적 사고를 통한 문제 해결 수업, 높은 수준의 사고가 가능한 수업, 그리고 협동을 통한 문제해결 수업으로서 토론 수업을 가장 선호한다고 보고되었다(동효관 외, 2003).

사회적 구성주의 관점에서 학습은 성인이나 더 나은 능력을 가진 또래와의 상호작용을 통해 지식을 내면화하는 과정으로 이해된다. Vygotsky의 근접발달영역 개념은 학습자가 스스로 해결할 수 없는 과제를 보다 유능한 타인의 도움을 통해 수행할 수 있는 발달 영역을 제시하며, 이는 소집단 협동학습의 이론적 근거를 제공한다(Vygotsky, 1978). 과학교육 분야에서도 협동적 소집단 토론이 강의식 수업에 비해 개념 이해도 향상에 효과적이며(강석진 외, 2002), 학습으로서의 평가에 있어서도 개인 평가보다 소집단 협업 평가가 학습에 더욱 효과적이라는 사실이 보고되었다(Gilley & Clarkston, 2014).

소집단 협업 상황에서 나타나는 언어적 상호작용은 학습자의 사고 과정과 협력 양상을 반영하는 중요한 단서로 작용한다. 선행연구들은 발화 유형의 체계적 분류를 통해 구성원 간 역할 구조, 상호작용의 질, 학습 참여 양상을 파악하고, 특정 유형의 발화가 성취도 향상이나 탐구 능력과 유의미한 관계가 있음을 밝혀냈다. 김현경과 최병순(2009)은 과학고 토론수업에서 심화 질문, 논리적 반론, 수용적 확산 등 상위 수준 발화가 문제 해결에 핵심적 역할을 한다는 것을 확인하였다. 유지연과 노태희(2012)는 과학영재 사이의 언어적 상호작용을 분석하여, 설명과 반박 발화가 탐구 능력 향상과 관련이 있음을 보고하였다. 박종민과 최혁준(2019)은 대학생의 물리 문제 풀이 협업 활동에서 상위 수준 발화 비율이 높을수록 문제 해결 기여도가 높다는 것을 밝혔다. 양아름 외(2024)는 중학교 과학영재의 실험설계 과정에서 내용 의견 제시와 논리적 반론이 실험설계 능력과 정적 상관을 보인다고 하였다.

이러한 발화 유형 연구와 함께, 소집단 내 개인의 지위가 학습 효과에 미치는 영향에 대한 연구도 축적되어 왔다. 박주영 외(2010)는 포용적 리더가 있는 모둠에서 상호작용이 활발하고 학습 효과가 높다는 것을 보고하였다. 박종민과 최혁준(2019)은 위세 중심

성(eigenvector centrality)을 활용하여 모둠 내 지위를 주도자, 보조자, 주변자로 분류하고, 주도자가 가장 많은 상위 수준 발화를 생성하며 문제 해결에 핵심적 역할을 수행한다는 것을 확인하였다. 그러나 지위에 따른 성취도 향상의 차이나 구체적인 발화 특징에 대한 연구는 여전히 부족한 실정이다.

나아가 모둠별 상호작용 유형이 학습 결과에 미치는 영향에 대한 연구들도 주목할 만하다. 박주영 외(2007)는 소집단 상호작용을 주도형, 협력형, 방관형으로 분류하고, 협력형 모둠에서 가장 높은 학업 성취를 보인다고 보고하였다. 박종민과 최혁준(2019)은 외향 연결 비율을 기준으로 주도형, 소통형, 부분 참여형으로 분류하고, 각 유형에 따라 발화 패턴과 문제 해결 양상이 다르게 나타난다는 것을 밝혔다. 그러나 이러한 상호작용 유형이 실제 성취도 향상과 어떤 관계를 맺는지, 특히 과학 영재를 대상으로 한 연구는 충분하지 않다.

이상의 선행연구들은 언어적 상호작용의 중요성과 개인의 지위 및 모둠의 상호작용 유형이 협업 학습에 영향을 미칠 수 있음을 시사한다. 그러나 대부분의 연구가 발화 분석과 지위 분석을 별도로 수행하여, 과학 영재의 소집단 협업에서 지위와 상호작용 유형에 따른 성취도 향상 및 발화 특징을 종합적으로 규명한 연구는 찾아보기 어렵다.

특히 고난이도 과학 개념을 다루는 협업 상황에서는 구성원 간 상호작용이 더욱 활성화될 수 있다. 선행연구에 따르면 문항의 정답률이 낮을수록 학습자 간 협력이 더욱 활발히 촉진된다고 보고되었다(Jang et al., 2017; Smith et al., 2009). 특수상대성이론은 일상생활에서 직접 경험하기 어려운 개념을 포함하여 직관적 이해에 한계가 있어 학습에 어려움을 유발한다고 보고되고 있다(연구민, 이봉우, 2024; 조한국 외, 2016; 하상우, 2018). 이러한 고난이도 주제에서 모둠 내 개인의 지위와 모둠별 상호작용 유형이 성취도 향상에 어떤 영향을 미치는지 탐색하는 것은, 효과적인 협업 학습 설계를 위한 시사점을 제공할 수 있다는 점에서 의미가 있다.

사회 네트워크 분석(Social Network Analysis)은 구성원 간의 연결 관계를 정량적으로 분석하고 시각화함으로써 집단 내 의사소통 유형을 가시화할 수 있는 방법이다(Storberg-Walker & Gubbins, 2007). 이에 본 연구에서는 과학영재의 특수상대성이론 문제 풀이 협업 평가에서 나타나는 언어적 상호작용을 발화 분석과 사회 네트워크 분석을 통해 종합적으로 탐색하고, 구성원의 지위 및 상호작용 유형에 따른 성취도 향상과 발화 특징의 차이를 규명하고자 한다. 이를 통해 효과적인 소집단 협업 평가의 설계와 운영을 위한 교육적 시사점을 도출하고자 한다.

이와 관련된 구체적인 연구 문제는 다음과 같다.

첫째, 과학영재의 소집단 물리 문제 풀이 협업 평가에서 모둠 내 개인의 지위별 성취도 향상과 발화 특징에는 어떤 차이가 있는가?

둘째, 과학영재의 소집단 물리 문제 풀이 협업 평가에서 모듈별 상호작용 유형에 따른 성취도 향상과 발화 특징에는 어떤 차이가 있는가?

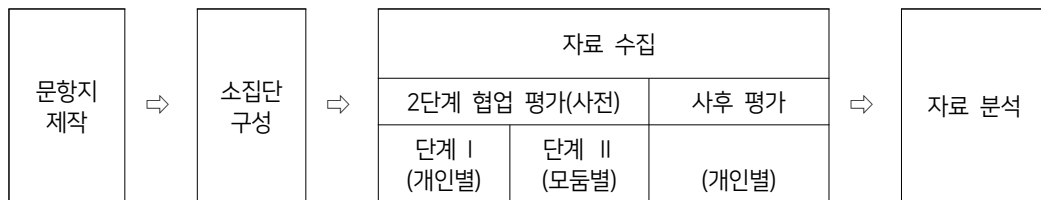
II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구는 수도권 소재 과학영재학교 2학년 3개 학급의 학생 48명을 대상으로 진행되었다. 연구를 시작하기에 앞서 학생들에게 연구의 목적과 절차, 방법, 그리고 개인정보 보호와 관련된 사항을 안내하고 연구 참여에 대한 동의를 얻었다. 연구 참여자들은 4인 1조로 구성된 12개 모듈로 참여하였으며, 모든 참여자는 2학년 물리 수업에서 특수상대성이론 관련 내용을 학습한 경험이 있다.

2. 연구 절차

본 연구는 [그림 1]과 같은 절차로 실시되었다.



[그림 1] 연구 절차

가. 문항지 제작

참여자들의 언어적 상호작용 활성화를 위해 특수상대성이론을 주제로 인지 갈등을 유발하는 고난이도 문항지를 제작하였다. 먼저 상대성이론에 대한 개념 조사를 실시한 선행연구(박동규, 2016; 김범재, 2018)에 제시된 문항 중 일부를 원형을 유지하여 활용하고, 일반물리학 (Serway, 2021), 현대물리학(Taylor et al., 2005), Spacetime Physics(Taylor & Wheeler, 1992)에서 제시한 상황을 문제화하여 총 13개 문항의 예비 문항을 준비했다. 과학영재학교 2학년 5명을 대상으로 예비 문항에 대한 검사를 실시하여 정답률이 100%에 가까운 문항을 제외한 후 최종 8문항을 선정하였다. 문항별 문제 상황, 평가

개념 및 출처는 <표 1>과 같다.

<표 1> 문항별 문제 상황, 평가 개념 및 출처

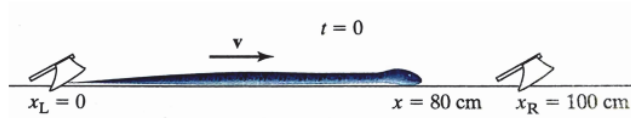
문항 번호	문제 상황	평가 개념	출처
1, 2	기차 양쪽으로부터의 신호 전달	동시성의 상대성	Serway (2021)
3	빛시계의 주기 비교	상대성 원리	박동규(2016)
4	광속의 측정	광속 불변 원리	박동규(2016)
5	광속으로 움직이는 입자	상대 속도	박동규(2016)
6, 7	상대 운동하는 검출기	동시성의 상대성	김범재(2018)
8	(사전) 뱀을 내리치는 두 도끼	상대성 원리	Taylor et al. (2005)
	(사후) 구멍을 통과하는 자	상대성 원리	Taylor & Wheeler (1992)

1~7번 문항은 사전·사후 평가에서 같은 문제 상황 내에서 조건과 질문을 부분적으로 달리하였고, 8번 문항은 문제 상황이 다른 유사 문항으로 구성하였다. 사전 평가와 사후 평가의 동질성은 [그림 2]의 문항 예시로서 보이고자 한다. [그림 2]는 본 연구에서 사용한 사전 및 사후 문항지의 8번 문항을 나타낸 것이다. 두 문항 모두 사다리-헛간 역설의 변형 문제로, 사전 문항의 뱀-도끼의 문항 형태는 사후 문항에서 자-구멍의 형태로 바뀌었다. 두 문항을 풀기 위한 개념은 같으며, 문항의 구조 역시 매우 유사하다. 또한, 사전 문항과 사후 문항은 모두 물리교육 전문가 1인과 과학영재학교 물리 교사 2인의 검토를 거쳐 내용타당도를 확보하였다.

모든 문항은 2~4개 선택지를 가진 선택형 문항이며, 풀이 과정을 작성하도록 하여 정답과 풀이 과정이 모두 타당한 경우만 정답처리 하였다.

(사전)

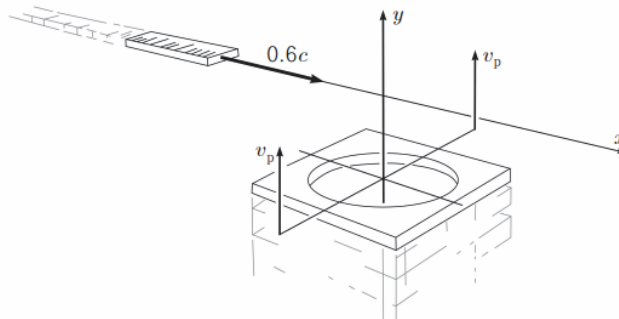
8. 상대론적 고유 길이가 100cm인 뱀이 $v=0.6c$ 의 속력으로 탁자의 오른쪽으로 움직이고 있다. 개구쟁이 소년이 이 뱀을 놀리고 싶어 두 도끼를 100cm 간격으로 들어, 탁자 위로 동시에 내리쳐서 왼쪽의 도끼가 뱀의 꼬리 뒤에 바짝 붙어 찍히도록 하려고 한다. 소년은 다음과 같이 주장한다. '뱀은 $0.6c$ 로 움직인다. 그러므로 $\gamma=1.25$ 이고, 뱀의 길이는 80cm이다. 이것은 오른쪽 도끼가 뱀의 앞 20cm에 떨어질 것이라는 것을 의미한다. 그러므로 뱀은 다치지 않을 것이다.' 다른 한편으로 뱀은 이렇게 주장한다: '두 도끼는 $0.6c$ 로 나에게 접근한다. 그리고 이들 사이의 거리는 80cm로 수축된다. 나의 길이는 100cm이므로, 두 도끼가 떨어질 때 나는 여러 조각으로 잘릴 것이다.' 뱀이 잘리는지 안 잘리는지 판단하고, 그 이유를 설명하시오.



- ① 잘린다. ② 안 잘린다.

(사후)

8. 그림과 같이 x 축과 나란하게 놓인 길이가 100cm인 자가 $0.6c$ 의 속력으로 원점으로 움직이고 있고, xz 평면에 평행한 얇은 판이 v_p 의 속력으로 y 축 방향으로 움직이고 있다. 판에는 y 축을 중심으로 하는 지름이 100cm인 원형 구멍이 있다. 판이 원점에 도달함에 따라 자의 중심도 원점에 동시에 도달한다. 판의 관성계에 있는 관찰자는 다음과 같이 주장한다. '자는 $0.6c$ 로 움직인다. 그러므로 $\gamma=1.25$ 이고, 자의 길이는 80cm이다. 이것은 구멍의 크기보다 작으므로 자는 구멍을 통과할 것이다.' 다른 한편으로 자의 관성계에 있는 관찰자는 이렇게 주장한다. '판은 $0.6c$ 로 자에게 접근한다. 그리고 원의 지름은 80cm로 수축된다. 자의 길이는 100cm이므로, 자는 구멍을 통과할 수 없다.' 자가 구멍을 통과하는지 아닌지 판단하고, 그 이유를 설명하시오.



- ① 통과한다. ② 통과할 수 없다.

[그림 2] 사전·사후 문항 예시

나. 소집단 구성

Chan과 Galton(1999)의 연구에 따라 무임승차 가능성을 줄이고 합의 도달을 용이하게 하기 위해 4인 1조로 구성하여, 총 48명을 12개 모둠으로 편성하였다. 본 연구 직전에 실시한 물리 과목 지필평가 성취도를 기준으로 학생들을 상위 그룹부터 A, B, C, D로 구분하고, 각 모둠에 A, B, C, D 그룹에서 각각 한 명씩 포함시켜 이질집단으로 구성하였다. 모둠 번호는 1에서 12번까지 부여하였고, 모둠 번호와 그룹명을 조합하여 학생을 명명하였다. 예를 들어, 3모둠에서 지필평가 성취도가 가장 높은 학생은 '3A', 가장 낮은 학생은 '3D'이다. 사전 문항의 점수로 그룹을 설정하지 않고, 연구 직전 실시한 지필평가 성취도를 기준으로 그룹을 분류한 이유는, 사전 문항의 개인별 풀이와 집단 토의가 곧바로 이어지기 때문이다. 사전 문항을 개인별로 풀고 난 후 이에 대한 채점을 하여 그룹을 설정하려면 집단 토의가 바로 이루어지지 못하고, 그러한 경우는 학생들이 자신이 문제를 풀 때 사용한 논리를 잊게 될 가능성이 있다고 판단하였다.

다. 자료 수집

<표 2>는 평가 과정을 나타낸 것이다. 본 연구에서는 2단계 협업 평가를 실시하고, 일주일 후에 사후 평가를 진행하였다. 2단계 협업 평가 중 단계 I에서는 각 학생이 개인별로 20분 동안 사전 문항지를 풀고 연구자에게 제출하였다. 연구자는 이를 바로 복사하여 학생 개인별로 본인의 답안에 대한 복사본을 배부하였다. 단계 II는 모둠별 협업 평가이다. 각 모둠은 독립된 공간으로 이동하여, 30분 동안 단계 I과 동일한 문항들에 대해 자유로운 토론을 거쳐 하나의 합의된 답안을 도출하였다. 이때 학생들에게는 '각자의 생각을 근거에 기반해 자유롭게 교환하고, 논리적 타당성을 중심으로 토론을 통해 합의할 것'을 요구하는 간단한 안내가 주어졌다.

본 연구에서는 모둠 내 개인의 지위에 따른 성취도 향상과 발화 특성, 모둠의 유형에 따른 성취도 향상과 발화 특성을 분석하고자 하였으므로 상호작용 과정 전체를 세밀히 기록해야 했다. 이를 위해 360° 카메라와 녹음기로 전체 토론 과정을 기록하였다. 2단계 협업 평가가 끝나고 일주일 후에는 개인별로 20분 동안 사후 문항지를 작성하였다.

<표 2> 평가 과정

구분		개인/모둠	시간	문항지
2단계 협업 평가	단계 I	개인	20분	사전 문항지
	단계 II	모둠	30분	
⇩ 일주일 후				
사후 평가		개인	20분	사후 문항지

라. 자료 분석

(1) 문항지 채점 및 녹음·녹화 자료 전사 및 분류

각 단계별 문항지를 채점하였으며, 정답 선택과 풀이 과정이 모두 타당한 경우만 정답처리 하였다. 단계Ⅱ의 모든 발화를 전사하여 언어적 상호작용을 분석하였으며, 비언어적 상호작용은 상호작용의 방향성과 대상 파악에 보조적으로 활용하였다. Hogan et al.(2000)과 김경순(2005)의 기준을 참고하여, 한 사람의 발언이 타인의 개입 없이 자발적으로 종료된 경우와 하나의 발언이 기능적으로 구별되는 두 개 이상의 진술로 구성된 경우 각각을 독립된 개별 진술로 간주하였다.

발화 분석에는 박종민, 최혁준(2019)의 언어적 상호작용 분석틀(〈표 3〉참조)을 활용하였다.

〈표 3〉 언어적 상호작용 분석틀(박종민 & 최혁준, 2019)

대범주	소범주	코드	정의
질문	단순	Q1	단순 개념 및 이해 정도, 문제에 대한 상황을 묻는
	확인	Q2	의견이나 풀이를 확인하는
	심화	Q3*	문제 해결 과정을 심화시키는
설명	단순	E1	질문에 대해 간단하게 답변하는
	반복	E2	설명에 대한 기존의 진술을 반복하는
	상황	E3	문항의 문제 상황과 관련된
	부가	E4	언급된 문제 상황을 상세화하거나 정리하는
의견 제시	반복	S1	앞서 나온 의견을 반복적으로 제시하는
	내용	S2*	질문이나 문제풀이에 대해 의견을 제시하는
	해설	S3*	문제풀이를 전반적으로 진술하는
	확장	S4*	의견을 명료화하거나 발전시키는
의견 받기	수용	R1	상대방의 의견에 동의를 표하거나 의견을 단순히 받아들이는
	단순 반론	R2	상대방의 의견에 대해 단순히 거부 또는 반대하는
	중립	R3	상대방의 의견에 대해 수용 여부를 보류하거나 잘 모른다고 표현하는
	수용적 확산	R4*	상대방의 의견에 동의하면서 자신의 의견을 첨가하는
	논리적 반론	R5*	상대방의 의견에 근거를 들면서 논리적으로 반박하는
안내하기	기록 관련	L1	모둠 문제지에 기록하는 것과 관련된
	과제 진행	L2	과제 수행을 유도하는 전반적인 학습 진행과 관련된
분류 불가		NA	과제와 관련된 의사소통이 있었으나 분류가 불가능한 진술
과제와 관련 없는 진술		OT	잡담, 혼잣말, 추임새, 기타 과제와 관련 없는 진술

(*) 표시는 상위 수준 진술

과제관련 진술은 질문(Q), 설명(E), 의견제시(S), 의견받기(R), 안내하기(L)의 5개의 대범주로 분류하였으며, 분류가 어려운 진술은 NA로 과제와 관련 없는 진술은 OT로 코딩하였다. 각 소범주는 문제 해결 기여 수준에 따라 상위 수준과 하위 수준으로 구분하였다. 상위 수준과 하위 수준의 분류 기준 역시 박종민, 최혁준(2019)의 연구에 제시된 분석틀을 사용하였다. 상위 수준 진술은 심화 질문(Q3), 내용 제시(S2), 해설(S3), 확장 의견 제시(S4), 수용적 확산(R4), 논리적 반론(R5)으로 구성되며, 이는 문제 해결 과정에 실질적으로 기여하고, 질적으로 높은 사고 수준을 반영하는 발화로 정의하였다. 이와 같은 분석틀을 활용하여 과학영재학교 교사 2인이 함께 합의를 통해 각 진술을 분류하였다.

<표 4>는 언어적 상호작용 분석틀을 기준으로 개별 진술을 분류한 예시를 보여주는 것으로 8모둠이 7번 문항을 해결하기 위해 나눈 대화의 일부이며, 외향은 발화를, 내향은 수신을 의미한다. 이 중 진술 #156, #157, #159, #160, #164, #167, #168은 상위 수준 진술에 해당한다. 구체적으로, 진술 #156에서 8C는 근거를 들어 자신의 의견을 제시(S2)하고 있으며, 진술 #157에서 8D는 논리적 반박(R5)을 통해 반론을 제기한다. 진술 #159에서는 8A가 ‘광속은 변하지 않는다.’라는 과학 개념을 근거로 의견을 제시(S2)하고, 진술 #160에서는 8C가 상대방의 의견에 동의하면서 자신의 의견을 보완(R4)한다. 또한, 진술 #164와 #168에서 8A는 8C의 주장에 대해 근거를 들어 논리적으로 반박(R5)하고, #167에서 8C는 문제 풀이에 대한 자신의 의견을 제시(S2)한다.

<표 4> 개별 진술 분류의 예시

번호	외향	내향	진술	소범주
#156	8C	전체	근데 여기서 딱 빛이 바로 c의 속력으로 썩졌고, 같은 거리에 있으니까, 동시에 도달한다고 해도 되는 거 아니야?	S2*
#157	8D	8C	그런데 저건 검출기 자체가 문제인 거라서 그렇게 생각하면 안 돼.	R5*
#158	8C	전체	그러니까 그 딱 그 시간에 동시에 도달한다고 생각해도 될 것 같은데.	S1
#159	8A	전체	나도 조금 전에 살짝 들었던 의문이긴 한데, 어떤 관성계에서 봐도 c는 c야.	S2*
#160	8C	전체	그러니까. 여기서 딱 빛이 방출된 거잖아. 근데 같은 거리에 있으니까.	R4*
#161	8B	8A	7번이 3번이고 8번이 1번이야?	Q2
#162	8A	8B	아니야. 근데 그건 아니야. 1번이 맞아	R2
#163	8C	8A	아니야. 근데 이거 3번 맞는 것 같기도 해.	R2
#164	8A	8C	근데 그러면 제 3자 입장에서는 검출기의 색깔이 말이 안 되잖아. 파란색 이면서 자홍색인데, 제3자한테는...	R5*
#165	8B	8A	그러니까 원래 그럴 수도 있는 거 아닌가?	Q2
#166	8A	8B	상대성 이론은 그렇지 않아	E1
#167	8C	8A, 8B	돼. 돼. 그렇게 빛의 색깔은 달라질 수 있어	S2*
#168	8A	8C	근데 이게 연속적으로 잡는 게 아니잖아요. 그리고 이거 파장하고 관계있는 것도 아니고	R5*

(*) 표시는 상위 수준 진술

(2) 상호작용 빈도 측정

발화 대상에 따라 개인 대상 발화는 1회, 두 명 대상은 1/2회, 세 명 대상은 1/3회로 계산하였다. 이러한 기준에 따라, 문제 해결에 실질적으로 기여하는 상위 수준 진술만을 포함하여 각 모듈별 상호작용 빈도 행렬을 작성하고 사회 네트워크 분석의 기초 자료로 활용하였다.

<표 5>는 상위 수준 상호작용 빈도 행렬의 예시를 제시한 것으로, 행은 발화자, 열은 발화 대상을 나타낸다. A가 B에게 발화하면 1행 2열 값이 1증가하고, B가 전체 구성원 대상으로 발화하면 2행의 1열, 3열, 4열에 각각 1/3씩 값이 증가한다. 이 방식으로 각 모듈의 상호작용 빈도를 산출하여 빈도 행렬을 작성하였다.

<표 5> 상위 수준 상호작용 빈도 행렬 예시

	A	B	C	D
A	0	$10\frac{2}{3}$	$22\frac{2}{3}$	$2\frac{2}{3}$
B	$4\frac{5}{6}$	0	$7\frac{5}{6}$	$1\frac{1}{3}$
C	$12\frac{1}{2}$	$13\frac{1}{2}$	0	9
D	1	2	9	0

(3) 모듈 내 구성원별 지위 부여

모듈 내 구성원의 상대적 위치와 역할을 파악하기 위해 위세 중심성(Eigenvector Centrality)을 기준으로 지위를 부여하였다. 중심성은 특정 행위자가 전체 네트워크에서 중심에 위치하는 정도를 표현하는 지표이다(손동원, 2010). 특히, 위세 중심성은 연결된 행위자의 개수뿐만 아니라 연결된 행위자가 얼마나 중요한지도 함께 고려한다. 영향력 있는 구성원들과의 연결 정도에 따라 높아지며, 중심성이 높은 구성원은 상호작용의 흐름을 주도하고 정보 확산에 중요한 역할을 수행한다(곽기영, 2019).

상위 수준 상호작용 빈도 행렬을 기반으로 NetMiner 프로그램을 활용하여 위세 중심성 점수를 산출하고, 박종민, 최혁준(2019)의 기준에 따라 주도자, 보조자, 주변자로 분류하였다(<표 6> 참조). 모듈 내 위세 중심성이 가장 높은 구성원을 주도자, 주도자 점수의 50% 이상을 보조자, 50% 미만을 주변자로 정의하였다.

<표 6> 지위 부여에 대한 기준(박종민, 최혁준, 2019)

유형	정의
주도자	위세 중심성 점수가 가장 높은 구성원
보조자	위세 중심성 점수가 주도자의 점수의 50% 이상인 구성원
주변자	위세 중심성 점수가 주도자의 점수의 50% 미만인 구성원

(4) 모둠별 상호작용 유형 분류

모둠별 상호작용의 특징을 분석하기 위해 문제 해결에 실질적으로 기여한 구성원 수를 기준으로 상호작용 유형을 분류하였다. 선행연구(박종민, 최혁준, 2019; 박주영, 성숙경, 최병순, 2007)에 따르면 상위 수준 상호작용이 하위 수준 상호작용에 비해, 그리고 외향 연결이 내향 연결에 비해 문제 해결에서 핵심적 역할을 수행한다. 이에 따라 상위 수준 상호작용 외향 연결 비율(r)을 ‘개인 외향 연결 수를 모둠 전체 외향 연결 수로 나눈 값’으로 정의하고, 이를 산출하여 문제 해결에 대한 개인의 기여도를 정량화하였다.

상호작용 유형은 박종민, 최혁준(2019)이 제안한 방식을 수정하여 <표 7>과 같이 주도형, 소통형, 부분 참여형으로 구분하였다. 4인 모둠 기준으로 평균 외향 연결 비율 25%의 절반인 12.5%를 최소 기여도로 설정하였다. 외향 연결 비율 50% 이상 구성원이 존재하면 주도형(특정 구성원 주도), 주도형에 해당하지 않으면서 모든 구성원이 12.5% 이상이면 소통형(균형잡힌 참여), 12.5% 미만 구성원이 존재하면 부분 참여형(일부 소극적 참여)으로 분류하였다.

<표 7> 상호작용 유형의 정의

유형	정의
주도형	r 이 50%를 초과하는 구성원이 있는 경우
소통형	주도형에 해당하지 않으면서 모든 구성원의 r 이 12.5% 이상인 경우
부분 참여형	주도형에 해당하지 않으면서 r 이 12.5% 미만인 구성원이 있는 경우

(5) 성취도 향상

협업 평가 전후 개인의 성취도 향상을 측정하기 위해 2단계 협업 평가 중 단계 I 과 사후 평가 결과를 비교하였다. 개인별 사전 점수가 상이하여 단순 점수 차이로는 성취도 향상을 정확히 반영하기 어려우므로, Hake 지수(Hake's gain index, g)를 활용하여 성취도 향상을 정량적으로 분석하였다. Hake 지수는 학습자가 도달할 수 있는 최대 향상 가능성 대비 실제 향상된 정도를 나타내는 지표로, 학습자의 초기 성취도에 따라 보정된 향상 정도를 보여준다. Hake 지수는 $g=(\text{사후 점수}-\text{사전 점수})/(\text{최대 점수}-\text{사전 점수})$ 와 같은 수식으로 정의된다(Hake, 1998).

협동학습과 같은 비교 연구에서 유용하게 사용되나, 사전 점수가 최대 점수와 동일한 경우 계산이 불가능한 한계가 있다. 본 연구에서는 대상자 48명 중 사전 평가 만점자 3 명을 제외한 45명을 대상으로 Hake 지수를 산출하였다.

III. 연구 결과

1. 지위에 따른 성취도 향상과 발화 특징

가. 지위 분류

모듬원의 위세 중심성 점수를 모듬 내에서 위세 중심성 점수가 가장 큰 주도자의 점수로 나누어 그 비율을 <표 8>에 나타내었다. 각 모듬 내에서 위세 중심성 점수가 가장 높은 학생을 주도자로 정의하여 모든 모듬에 주도자가 1명씩 있기 때문에 주도자는 12 명, 비율이 0.5 이상인 보조자는 30명, 0.5 미만인 주변자는 6명으로 분류되었다. 주변자가 있는 모듬은 5개(2, 8, 10, 11, 12), 주변자가 없는 모듬은 7개(1, 3, 4, 5, 6, 7, 9) 였다. 11모듬은 주변자가 2명 존재하는 특징을 보였다.

<표 8> 모듬별 주도자에 대한 위세 중심성 점수 비율과 지위

그룹	모듬											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	1.000	0.986	0.537	1.000	0.556	1.000	0.860	0.921	0.723	1.000	0.329	1.000
B	0.995	0.916	1.000	0.935	1.000	0.848	0.992	0.709	0.983	0.351	1.000	0.772
C	0.939	1.000	0.889	0.796	0.772	0.865	0.921	1.000	1.000	0.626	0.956	0.791
D	0.559	0.402	0.659	0.771	0.904	0.974	1.000	0.379	0.518	0.769	0.074	0.460

■ : 주도자, □ : 보조자, ▨ : 주변자

주도자 12명 중 5명은 모둠 내에서 지필평가 성취도가 가장 높은 학생(A)이고, 성취도가 가장 낮은 학생(D)은 주도자가 1명 뿐이었다. 주변자의 경우 전체 6명 중 4명이 성취도가 가장 낮은 학생(D)이었다. 이는 주도자나 주변자의 역할에 성취도가 어느 정도 영향을 미치고 있음을 보여준다. 하지만, A가 항상 주도자는 아니었으며, 일부 모둠에서는 B그룹과 C그룹에서도 각각 3명이 있었고, D그룹에서도 주도자가 1명 있었다. 사전 평가 점수로 각 그룹이 설정된 것이 아니고 연구 직전에 실시된 지필 평가 점수를 기준으로 그룹이 설정되었기 때문에, 역할에 성취도가 어느 정도 영향을 미치고 있다는 해석은 좀 더 조심스럽게 기술되어야 한다. 본 연구에서 말하는 성취도란 상대성 이론과 관련된 사전 사후 문항에 대한 점수가 아니라, 더 넓은 범위에 대해 이루어진 지필 평가에 대한 성취도를 말한다. 따라서, 모둠 내 지위에 성취도가 영향을 미쳤다는 것은, 해당 문항을 얼마나 잘 풀었는지에 한정된 것이 아니라 평소 그 학생이 물리를 얼마나 잘하는 학생으로 동료들에게 비춰졌는지에 더 가깝다.

나. 지위에 따른 성취도 향상

〈표 9〉는 개인별 사전·사후 평가 결과와 이를 이용하여 구한 Hake 지수를 나타낸 것이다. 사전 평가 만점자 3명(2A, 2C, 4A)은 계산 불가능하여 분석에서 제외하였다. 〈표 10〉은 만점자 3명을 제외한 45명에 대한 지위별 Hake 지수 평균을 제시한 것이다. Hake 지수 평균은 주도자, 보조자, 주변자 순으로 높게 나타나 지위에 따른 성취도 향상 차이를 보였다. Hake(1998)의 기준에 따르면 활동 중심 수업의 평균적 성취는 Hake 지수 0.48에 가깝다고 제시하였다. 본 연구에서 주도자 집단의 성취도 향상은 Hake(1998)의 연구에서 제시된 수치보다 약간 더 높고, 보조자와 주변자는 더 낮은 것으로 확인됐다. 전체 평균은 0.375로 토론식의 활동형 수업임에도 불구하고, 선행 연구의 평균값보다 낮았다. 이는 이미 성취도가 높은 과학영재학교 학생들을 대상으로 고난이도 문항을 적용했기 때문으로 보이며, Hake 역시 성취도가 높은 학생의 경우 성취도 향상의 정도가 상대적으로 낮게 나타남을 지적한 바 있다.

주도자가 가장 높은 Hake 지수를 갖는 것에 대해서는 논의가 필요하다. 주도자는 성취도가 높고, 성취도가 높은 학생의 경우 Hake의 연구(1998) 결과에 따르면 낮은 Hake 지수를 보이는 것이 일반적이기에 이는 모순으로 보인다. 하지만, 본 연구에서 설정한 성취도는 사전 문항의 점수를 이용하여 분류한 것이 아니고, 연구 이전에 실시한 지필고사 성적을 이용해 분류한 것이기 때문에 사전 문항 점수와 직접적으로 연관되지 않는다. 선행 연구에서 성취도가 높은 경우 낮은 향상도를 보이는 것은 이미 점수가 높아 그 점수를 올리기 어렵기 때문인데, 본 연구에서는 성취도가 높은 그룹으로 분류된 학생들의 사전 점수가 유의미하게 높지는 않다. A그룹으로 분류된 학생 중 사전 검사에서 만

점을 받아 Hake 지수를 산출하는데서 제외된 2명의 학생을 제외하면 A그룹의 사전 검사 평균 점수는 4.1이다. 전체 학생의 사전 검사 평균 점수가 3.9임을 고려하면, A그룹으로 분류된 학생들 역시 충분한 점수 향상의 기회가 있음을 알 수 있다.

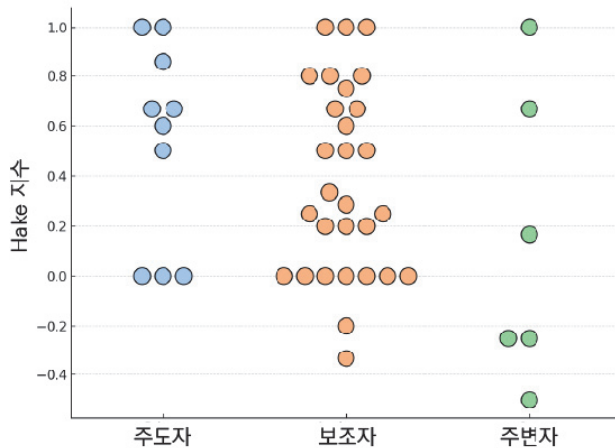
<표 9> 개인별 사전·사후 평가 점수 분석

모둠	구성원	지위	사전 평가 (단계 I)	사후 평가	Hake 지수 (g)	Hake 지수 모둠 평균(g-ave.)
1	1A	주도자	5	7	0.667	0.442
	1B	보조자	4	6	0.500	
	1C	보조자	3	6	0.600	
	1D	보조자	0	0	0.000	
2	2A	보조자	8	6	-	0.833
	2B	보조자	5	8	1.000	
	2C	주도자	8	8	-	
	2D	주변자	5	7	0.667	
3	3A	보조자	5	8	1.000	0.888
	3B	주도자	4	8	1.000	
	3C	보조자	4	7	0.750	
	3D	보조자	3	7	0.800	
4	4A	주도자	8	8	-	0.767
	4B	보조자	4	8	1.000	
	4C	보조자	3	7	0.800	
	4D	보조자	0	4	0.500	
5	5A	보조자	4	4	0.000	0.229
	5B	주도자	5	7	0.667	
	5C	보조자	4	5	0.250	
	5D	보조자	3	3	0.000	
6	6A	주도자	3	8	1.000	0.367
	6B	보조자	6	6	0.000	
	6C	보조자	5	7	0.667	
	6D	보조자	3	2	-0.200	
7	7A	보조자	3	4	0.200	0.163
	7B	보조자	3	4	0.200	
	7C	보조자	4	5	0.250	
	7D	주도자	6	6	0.000	
8	8A	보조자	6	6	0.000	0.068
	8B	보조자	5	4	-0.333	
	8C	주도자	1	7	0.857	
	8D	주변자	4	3	-0.250	
9	9A	보조자	2	6	0.667	0.238
	9B	보조자	3	3	0.000	
	9C	주도자	6	6	0.000	
	9D	보조자	1	3	0.286	
10	10A	주도자	5	5	0.000	0.217
	10B	주변자	2	3	0.167	
	10C	보조자	0	4	0.500	
	10D	보조자	3	4	0.200	
11	11A	주변자	2	8	1.000	0.421
	11B	주도자	3	6	0.600	
	11C	보조자	5	6	0.333	
	11D	주변자	4	3	-0.250	
12	12A	주도자	6	7	0.500	0.200
	12B	보조자	3	7	0.800	
	12C	보조자	3	3	0.000	
	12D	주변자	6	5	-0.500	

<표 10> 지위별 Hake 지수 평균

유형	인원수	Hake 지수 평균
주도자	10	0.529
보조자	29	0.371
주변자	6	0.139

지위별 개인의 Hake 지수 분포를 분석하기 위해 [그림 3]과 같이 그래프로 표현하였다. 지위별 Hake 지수 분포를 살펴보면, 주도자 10명 중 7명이 0.5 이상의 높은 향상도를 보였다. 보조자는 주도자에 비해 상대적으로 넓은 범위에 고르게 분포하였다. 반면 주변자는 6명 중 3명이 Hake 지수가 0 미만으로 사전보다 사후 평가에서 점수가 낮아졌다. Hake 지수를 산출한 전체 45명의 학생 중 10명의 학생은 Hake 지수가 0이고, 5명의 학생은 Hake 지수가 음수였다. 이와 같은 현상은 바로 위 문단에서 밝힌 바와 같이 Hake가 지적한 높은 성취도를 갖는 학생의 낮은 성취도 향상 효과에 기반하는 것으로 보인다. 전체적으로 선행연구(Hake, 1998)에 비해 낮은 성취도 향상도를 보이며, 성취도 하락 역시 관찰되는 것이다. 향상도가 음수인 학생들의 사전 평가 점수 평균은 4.4로 전체 학생의 사전 점수 평균 3.9에 비해 높다는 점 역시 주목할만 하다.



[그림 3] 지위별 개인의 Hake 지수 분포

다. 지위에 따른 발화 특징

지위별 상위 수준 발화 비율은 <표 11>과 같다. 평균 상위 수준 발화 수는 주도자, 보조자, 주변자 순으로 높게 나타나 주도자가 문제 해결에 가장 크게 기여했음을 보였다.

그러나 전체 발화 수에 대한 상위 수준 발화 비율은 지위 간 뚜렷한 차이가 없어, 주변자도 제한된 발화 속에서 질적으로 중요한 기여가 가능함을 시사했다.

<표 11> 지위별 상위 수준 발화 비율

	주도자	보조자	주변자
평균 발화 수	85.5	62.6	19.7
평균 상위 수준 발화 수	32.1	22.2	7.0
상위 수준 발화 비율 (%)	37.5	35.5	35.5

지위별 소범주 발화 빈도 및 비율은 <표 12>와 같다. 전반적으로 지위에 따른 소범주 비율의 차이는 크지 않았으나, 몇 가지 주목할 만한 특징이 있다.

주도자는 반복(S1), 해설(S3), 확장(S4) 의견 제시와 단순 반론(R2)에서 다른 지위보다 높은 비율을 보였다. 이를 통해 주도자는 자신의 주장을 강화하기 위해 동일한 의견을 반복적으로 제시하고, 문제 풀이 전반을 해설하며, 의견을 확장·발전시키는 경향을 보였다고 해석할 수 있다.

<표 12> 지위별 소범주 발화 빈도 및 비율(%)

대범주	소범주	코드	주도자	보조자	주변자
질문	단순	Q1	16(1.5)	45(2.4)	1(0.9)
	확인	Q2	122(11.9)	258(14.0)	32(27.1)
	심화	Q3*	40(3.9)	76(4.0)	3(2.5)
설명	단순	E1	66(6.4)	142(7.5)	11(9.3)
	반복	E2	12(1.2)	22(1.0)	0(0.0)
	상황	E3	13(1.3)	26(1.5)	0(0.0)
	부가	E4	9(0.9)	9(0.5)	0(0.0)
의견 제시	반복	S1	77(7.5)	113(5.6)	3(2.5)
	내용	S2*	208(20.3)	403(21.4)	30(25.4)
	해설	S3*	41(4.0)	33(1.7)	1(0.9)
	확장	S4*	34(3.3)	37(2.0)	1(0.9)
의견 받기	수용	R1	59(5.7)	139(7.5)	5(4.2)
	단순 반론	R2	48(4.7)	64(3.0)	1(0.9)
	중립	R3	13(1.3)	27(1.5)	1(0.9)
	수용적 확산	R4*	28(2.7)	45(2.5)	2(1.7)
	논리적 반론	R5*	34(3.3)	73(3.8)	5(4.2)
안내하기	기록 관련	L1	54(5.3)	81(4.6)	0(0.0)
	과제 진행	L2	35(3.4)	60(3.2)	7(5.9)
분류 불가		NA	117(11.4)	226(12.3)	15(12.7)
		합계	1,026(100.0)	1,879(100.0)	118(100.0)

* 상위 수준 상호작용

주변자는 확인 질문(Q2) 비율이 27.1%로 매우 높았으며, 이는 자신의 풀이에 대한 확신 부족으로 다른 참여자의 풀이를 반복 확인하는 경향을 보였다고 이해할 수 있다. 단순 설명(E1)과 내용 의견 제시(S2)는 비교적 높았지만, 이는 다른 모둠원의 질문에 대해 소극적으로 응답하는 경우가 많았기 때문이다. 반면, 주도적으로 의견을 제시하는 반박(E2), 상황(E3), 부가(E4) 설명이나 해설(S3), 확장(S4) 의견 제시는 거의 없었고, 기록 관련 발화에도 소극적 참여 태도를 보였다.

보조자는 주도자와 주변자 각각에게서 나타난 발화 비율의 차이점을 보이거나, 주도자에 가까운 값을 보이는 경우가 많았다. 반면, 특정 소범주에서는 상대적으로 가장 높은 비율을 보이기도 했다. 이를 통해 보조자는 주도자와 주변자 사이에서 특정한 역할을 했음을 예상할 수 있다. 보조자는 단순 질문(Q1)과 수용(R1)의 비율이 다른 지위에 비해 가장 높았으며, 이는 부담이 적은 질문과 타인의 의견에 대한 수용적 반응을 통해 모둠 내 상호작용을 촉진하는 역할을 했음을 시사한다.

2. 상호작용 유형에 따른 성취도 향상과 발화 특징

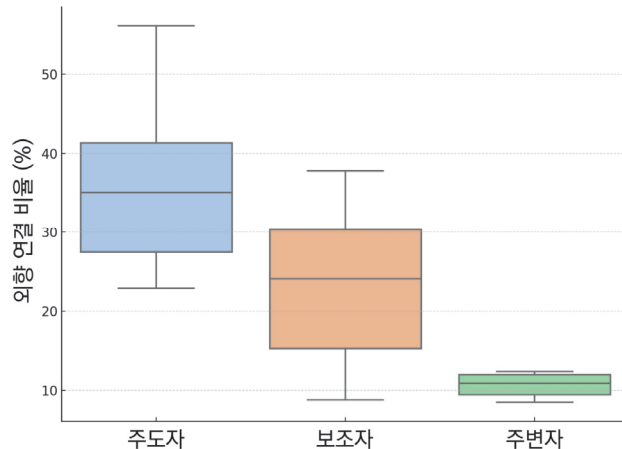
가. 상호작용 유형 분류

외향 연결 비율을 기준으로 상호작용 유형을 분류한 결과는 <표 13>과 같다. 전체 12개 모둠 중 소통형 4개(1, 5, 6, 7), 부분 참여형 6개(2, 3, 4, 8, 9, 12), 주도형 2개(10, 11)로 나타났다. 소통형 모둠은 12.5% 미만과 50% 이상 구성원이 모두 존재하지 않으며 비교적 고른 분포를 보였다. 부분 참여형 모둠은 12.5% 미만 구성원이 포함되어 일부 구성원의 제한적 참여를 보였다. 주도형 모둠은 50% 이상 구성원이 포함되어 특정 구성원이 상호작용을 주도했다.

<표 13> 모듈별 구성원 지위 및 상호작용 유형

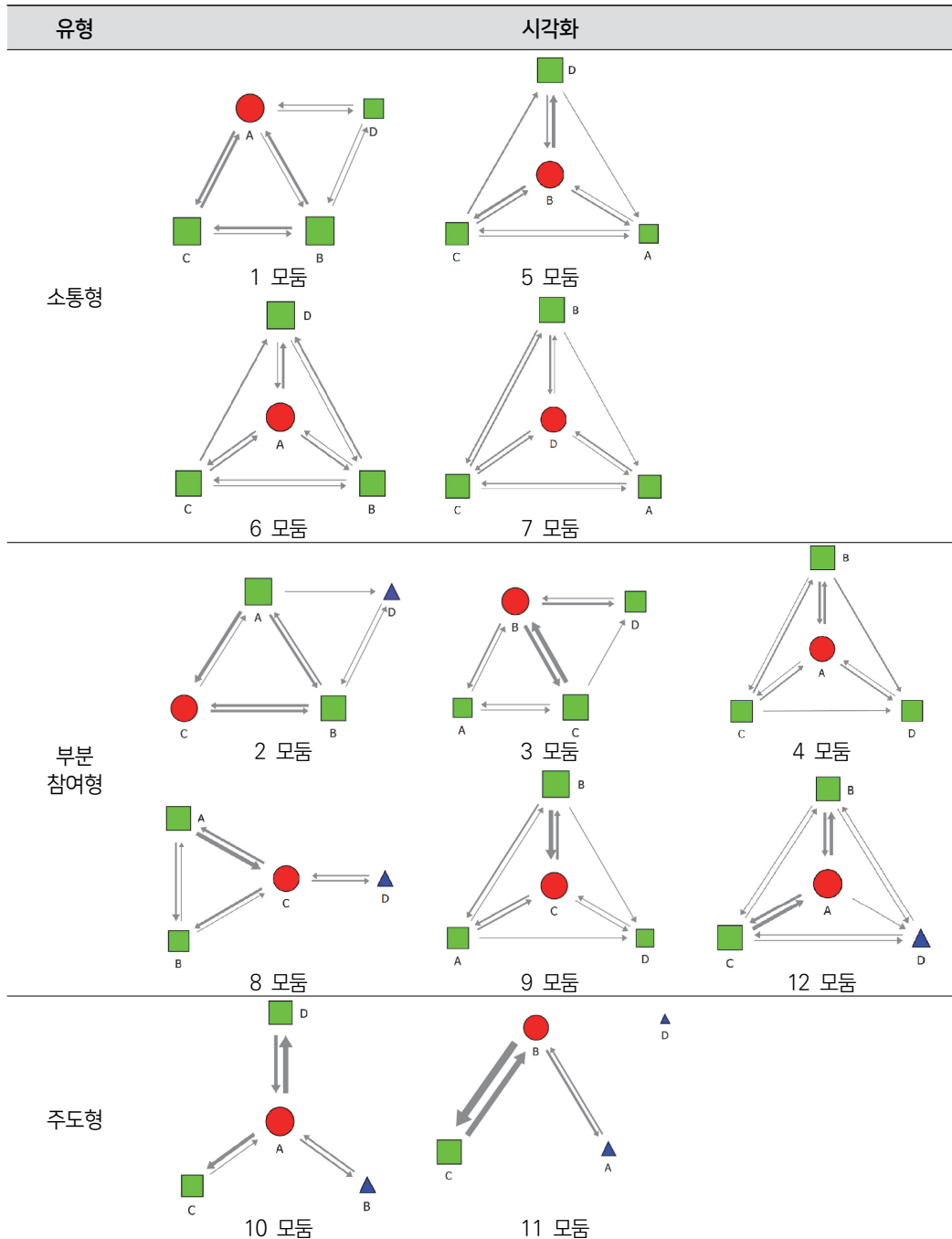
모듈	구성원	위세 중심성 점수	지위	r(%)	유형
1	1A	0.56	주도자	26.7	소통형
	1B	0.56	보조자	35.1	
	1C	0.53	보조자	22.9	
	1D	0.31	보조자	15.3	
2	2A	0.57	보조자	34.8	부분 참여형
	2B	0.53	보조자	30.3	
	2C	0.58	주도자	25.8	
	2D	0.23	주변자	9.1	
3	3A	0.34	보조자	11.4	부분 참여형
	3B	0.63	주도자	43.2	
	3C	0.56	보조자	35.2	
	3D	0.42	보조자	10.2	
4	4A	0.57	주도자	33.8	부분 참여형
	4B	0.53	보조자	28.2	
	4C	0.45	보조자	26.8	
	4D	0.44	보조자	11.3	
5	5A	0.34	보조자	14.8	소통형
	5B	0.61	주도자	40.7	
	5C	0.47	보조자	25.9	
	5D	0.55	보조자	18.5	
6	6A	0.54	주도자	34.0	소통형
	6B	0.46	보조자	23.6	
	6C	0.47	보조자	27.4	
	6D	0.53	보조자	15.1	
7	7A	0.46	보조자	21.7	소통형
	7B	0.53	보조자	31.3	
	7C	0.49	보조자	24.1	
	7D	0.53	주도자	22.9	
8	8A	0.58	보조자	37.1	부분 참여형
	8B	0.45	보조자	14.4	
	8C	0.63	주도자	36.1	
	8D	0.24	주변자	12.4	
9	9A	0.44	보조자	22.3	부분 참여형
	9B	0.59	보조자	37.8	
	9C	0.60	주도자	27.7	
	9D	0.31	보조자	12.2	
10	10A	0.69	주도자	56.1	주도형
	10B	0.24	주변자	10.5	
	10C	0.43	보조자	8.8	
	10D	0.53	보조자	24.6	
11	11A	0.23	주변자	11.7	주도형
	11B	0.70	주도자	55.0	
	11C	0.67	보조자	30.0	
	11D	0.05	주변자	3.3	
12	12A	0.64	주도자	37.8	부분 참여형
	12B	0.50	보조자	23.2	
	12C	0.51	보조자	26.8	
	12D	0.30	주변자	12.2	

지위와 외향 연결 비율의 관계를 [그림 4]와 같이 상자 수염 그림으로 표현하였다. 상자의 위쪽 경계는 3사분위 수(75%), 가운데 선은 중앙값(50%), 아래쪽 경계는 1사분위 수(25%)를 나타낸다. 상자의 위쪽과 아래쪽에 연결된 선은 수염이라고 칭하며, 상자 길이의 1.5배까지의 데이터 중 최댓값과 최솟값을 표현한다. 이를 통해 위세 중심성을 기준으로 정하는 지위가 외향 연결 비율과 밀접한 관계가 있음을 확인할 수 있다. 다시 말해서 구성된 지위와 상호작용 유형이 밀접한 상관관계를 보였다. 그 결과 모든 소통형 모둠에는 주변자가 존재하지 않으며, 모든 주도형 모둠에는 주변자가 포함되어 있었다. 반면, 부분 참여형 모둠에는 주변자가 포함된 모둠과 포함되지 않은 모둠이 모두 존재했다. 한편, 개인의 지위는 모둠 내 위세 중심성 점수의 상대값을 기준으로 정의되어, 외향 연결 비율이 낮아도 보조자로 분류되는 경우가 있었다(3D, 4D, 9D). 이와는 반대로 모둠 내에서 외향 연결 비율이 가장 높지만, 주도자가 아닌 보조자로 분류되는 경우도 있었다(1B, 2A, 7B, 8A, 9B). 이는 지위가 높은 구성원과의 상호 작용이 많을수록 높아지는 위세 중심성의 특성을 반영한 결과로 해석할 수 있다.



[그림 4] 지위에 따른 외향 연결 비율

NetMiner 4의 Spring-kk 모드로 모둠별 상호작용 유형을 [그림 5]와 같이 시각화하였다. 도형 모양으로 지위를 구분(●: 주도자, ■: 보조자, ▲: 주변자)하고, 크기로 위세 중심성 점수를 표현했다. 화살표는 굵기는 외향 연결 비율을 나타내며, 최소 기여도를 모둠 내 다른 세 구성원에게 균등 분배하는 이상적인 상황을 수치화하여 12.5%를 3으로 나누어 4.17%를 기준 단위로 설정하였으며, 기준 단위 미만의 미세한 연결은 생략했다.



[그림 5] 모둠별 상호작용 유형 시각화

소통형 모둠은 화살표의 방향성과 굵기를 통해 네 구성원 모두 균형 있게 상호작용에 참여하며 활발한 상호 교류를 보였음을 확인할 수 있다. 주도자와 나머지 구성원 간 외

향·내향 연결이 모두 형성되어 있어, 주도자가 상호작용의 중심 역할을 수행하면서도 쌍방향 의사소통이 활발했음을 알 수 있다.

부분 참여형 모듬은 일부 구성원 간 굵은 화살표가 집중되어 상호작용이 특정 인물들에게 편중되었음을 확인할 수 있다. 또한, 일부 구성원(2D, 3D, 8D)은 특정 구성원과의 제한적 소통만 보였다. 이는 상호작용의 불균형을 나타내는 것으로, 문제 해결에 일부 구성원의 실질적 기여가 부족했을 가능성을 시사한다.

주도형 모듬은 특정 구성원에게 상호작용이 과도하게 집중되고 다른 구성원들은 제한적이거나 일방향적 흐름을 보였다. 특히, 11모듬에서는 대부분의 상호작용이 11B와 11C 사이에서 집중적으로 이루어졌으며, 이 중 11B의 외향 연결 비율과 위세 중심성 점수가 현저히 높게 나타났다. 이러한 상호작용 구조는 문제 해결 과정에서의 효율성은 높일 수 있으나, 다양한 관점 공유에는 제약이 따를 수 있다.

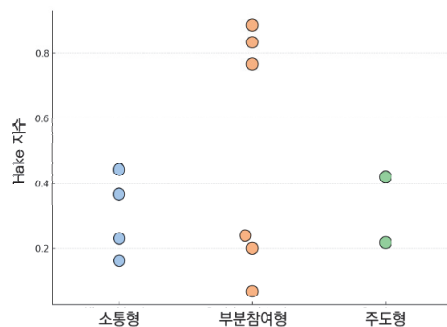
나. 상호작용 유형에 따른 성취도 향상

〈표 9〉에서 제시한 Hake 지수 모듬 평균을 이용하여 상호작용 유형별 Hake 지수 평균값을 구하여 〈표 14〉에 제시하였다. 모든 상호작용 유형에서 Hake 지수가 0보다 큰 값을 나타내어 소집단 협업 평가를 통해 전반적으로 성취도 향상이 있었음을 확인하였다. 부분 참여형 모듬의 Hake 지수 평균이 가장 높게 나타났으나, 분산이 크고, 각 유형별 표본 수가 충분하지 않아 평균 간 비교의 통계적 유의성은 제한적이다.

상호작용 유형별 Hake 지수 분포를 나타낸 [그림 6]을 통해 부분 참여형 모듬 중 세 모듬(2, 3, 4)의 Hake 지수가 특히 높아 전체 평균이 높게 나타났다는 사실을 확인할 수 있다. 이 세 모듬에는 사후 평가 만점자가 모두 2명씩 있었으며, 그중 한 명은 모두 주도자였다. 반면, 부분 참여형 모듬 중 Hake 지수가 낮은 세 모듬(8, 9, 12)에는 사후 평가 만점자가 존재하지 않았다.

〈표 14〉 상호작용 유형별 Hake 지수 평균

유형	모듬 수	Hake 지수 평균
소통형	4	0.300
부분 참여형	6	0.499
주도형	2	0.319



[그림 6] 상호작용 유형별 Hake 지수

다. 상호작용 유형에 따른 발화 특징

전체 발화 수에 대한 상위 수준 발화 수의 비율을 의미하는 상위 수준 발화 비율을 상호작용 유형별로 <표 15>와 같이 정리하였다. 평균 발화 수와 평균 상위 수준 발화 수는 소통형과 부분 참여형 모둠에서 높았고 주도형 모둠에서는 낮았다. 이는 주도형 모둠에서 상호작용이 일부 구성원에게 집중되어 발화가 제한된 범위에서 이루어졌기 때문으로 해석할 수 있다. 그러나 상위 수준 발화 비율은 유형 간 큰 차이가 없어, 각 유형 모두 일정 수준 이상의 질적 상호작용을 수행했음을 확인할 수 있다.

상호작용 유형별 소범주 발화 비율을 분석한 결과, 소통형과 부분 참여형은 대부분의 영역에서 유사한 비율을 보였다. 반면, 주도형 모둠은 일부 영역에서 차이를 보였다. 먼저, 주도형 모둠은 질문 영역(단순(Q1), 확인(Q2), 심화(Q3))에서 상대적으로 높은 비율을 보였다(<표 16>).

<표 15> 상호작용 유형별 상위 수준 발화 비율

	소통형	부분 참여형	주도형
평균 발화 수	280	261	171
평균 상위 수준 발화 수	101	96	59
상위 수준 발화 비율(%)	36.0	36.6	34.6

<표 16> 상호작용 유형별 소범주 빈도 및 비율(%)

대범주	소범주	코드	소통형	부분 참여형	주도형
질문	단순	Q1	18(1.6)	26(1.7)	18(5.3)
	확인	Q2	150(13.4)	209(13.3)	53(15.5)
	심화	Q3*	47(4.2)	52(3.3)	20(5.9)
설명	단순	E1	96(8.6)	95(6.1)	28(8.2)
	반복	E2	16(1.4)	13(0.8)	5(1.5)
	상황	E3	10(0.9)	19(1.2)	10(2.9)
	부가	E4	2(0.2)	14(0.9)	2(0.6)
의견 제시	반복	S1	77(6.9)	92(5.9)	24(7.0)
	내용	S2*	248(22.2)	327(20.9)	66(19.3)
	해설	S3*	18(1.6)	42(2.7)	15(4.4)
의견 받기	확장	S4*	23(2.0)	42(2.7)	7(2.0)
	수용	R1	79(7.1)	95(6.1)	29(8.5)
	단순 반론	R2	48(4.3)	59(3.8)	6(1.8)
	중립	R3	21(1.9)	19(1.2)	1(0.3)
	수용적 확산	R4*	25(2.2)	42(2.7)	7(2.1)
안내하기	논리적 반론	R5*	42(3.8)	67(4.3)	3(0.9)
	기록 관련	L1	50(4.5)	76(4.9)	9(2.6)
	과제 진행	L2	27(2.4)	54(3.5)	21(6.2)
분류 불가		NA	121(10.8)	220(14.1)	17(5.0)
	합계		1,118(100.0)	1,563(100.0)	341(100.0)

* 상위 수준 상호작용

이는 보조자 또는 주변자가 주도자에게 “길이 수축이 일어날 때 어떻게 일어나지?”와 같이 개념을 묻거나, “너는 어떻게 생각해?”와 같이 주도자가 다른 구성원의 생각을 확인하는 방식으로 나타났다. 의견 제시 영역의 해설(S3) 비율도 주도형에서 가장 높았으며, 이는 주도자가 소극적 구성원들에게 문제 풀이 과정을 상세히 설명하며 상호작용을 주도하는 경향이 있었음을 시사한다. 의견 받기 영역에서 주도형 모둠은 수용(R1) 비율이 가장 높았지만, 단순 반론, 중립, 수용적 확산, 논리적 반론은 모두 가장 낮았다. 이는 구성원들이 타인 의견을 비판적으로 검토하기보다 단순 수용하는 경향이 강하며, 적극적인 상호작용이 제한적이었음을 의미한다. 기록 관련 발화도 주도형에서 가장 낮아, 주도자가 다른 모둠원과의 상호작용보다 자기 주도적으로 문답을 작성하는 경향을 확인할 수 있었다.

IV. 결론 및 제언

본 연구는 과학영재의 소집단 협업 평가에서 나타나는 언어적 상호작용을 분석하여, 모둠 내 개인의 지위 및 모둠별 상호작용 유형에 따른 성취도 향상과 발화 특징의 차이를 규명하고자 하였다. 이를 위해 발화 유형 분류와 사회 네트워크 분석을 병행하여 위세 중심성 기반 지위 분류 및 외향 연결 비율 기반 상호작용 유형 분류를 실시하고, 2단계 협업 평가와 사후 평가를 통해 Hake 지수로 성취도 향상을 측정하였다. 연구 결과에 기초한 결론은 다음과 같다.

첫째, 모둠 내 지위는 성취도 향상과 관련이 있었다. 위세 중심성이 높은 주도자는 보조자나 주변자에 비해 높은 학습 효과(Hake 지수 평균 0.529)를 보였으며, 이는 협업 과정에서 중심적 위치를 차지하고 적극적으로 참여하는 것이 개인의 성취도 향상에 긍정적 영향을 미칠 가능성을 보여준다. 다만, 동일 지위 내에서도 Hake 지수의 편차가 컸으며, 일부 주변자도 높은 성취도 향상을 보여, 지위가 성취도를 결정하는 유일한 요인은 아님을 확인하였다.

둘째, 지위별 발화 특징은 협업 과정에서의 역할 차별화를 보여주었다. 주도자는 반복(S1), 해설(S3), 확장(S4) 의견 제시와 단순 반론(R2), 기록 관련(L1) 발화에서 높은 비율을 보여, 자신의 논리를 명확히 전달하고 문제 해결 과정을 조직화하는 역할을 수행하였다. 보조자는 수용(R1) 발화 비율이 가장 높아 타인의 의견을 지지하고 수용하며 상호작용을 매개하는 역할을 하였다. 주변자는 확인 질문(Q2)과 단순 설명(E1) 비율이 높고 주도적 발화는 적어, 이해 확인 중심의 제한적 참여 양상을 보였다. 이러한 결과는

소집단 내에서 구성원들이 자연스럽게 상이한 역할을 맡으며, 이들 역할이 상호보완적으로 작동할 가능성을 보여준다.

셋째, 상호작용 유형과 성취도 향상 간의 관계는 단순하지 않았다. 부분 참여형 모둠의 평균 Hake 지수가 0.499로 가장 높게 나타났으나, 이는 해당 유형 내 일부 모둠의 특히 높은 성취도에 기인한 것으로 분석되었다. 이들 모둠에는 사후 평가 만점자가 각 2명씩 있었고, 그중 한 명은 모두 주도자였다는 공통점이 있었다. 반면 같은 유형의 나머지 모둠은 상대적으로 낮은 Hake 지수를 보였다. 이러한 모둠 내 편차는 상호작용 유형만으로 성취도 향상을 설명하기 어렵고, 주도자의 역량, 구성원 간 사전 지식 수준 차이, 과제에 대한 이해도 등 복합적 요인이 작용함을 의미한다.

넷째, 상호작용 유형별 발화 특징은 질적으로 구분되는 협업 양상을 드러냈다. 주도형 모둠은 질문(Q1, Q2, Q3) 및 해설 의견 제시(S3) 비율이 높았으나 단순 반론(R2), 논리적 반론(R5), 기록 관련(L1) 발화는 낮았다. 이는 주도자가 문제 풀이를 주도하며 다른 구성원들에게 설명하는 일방향적 상호작용이 두드러졌음을 보여준다. 구성원들은 주도자의 설명을 단순 수용(R1)하는 경향이 강하여, 비판적 검토나 대안 제시가 제한적이었다. 반면, 소통형과 부분 참여형 모둠은 대부분의 발화 유형에서 유사한 비율을 보여보다 균형 잡힌 상호작용 구조를 유지하였다.

이상의 결론을 바탕으로, 본 연구는 소집단 협업 평가의 설계와 운영 측면에서 다음과 같은 교육적 시사점을 제안한다.

첫째, 협업 과정에서 위세 중심성이 낮은 학생의 참여를 촉진할 필요가 있다. 본 연구에서 주변자는 평균 19.7개의 발화를 하여 주도자(85.5개)나 보조자(62.6개)에 비해 현저히 적은 참여를 보였다. 특히 확인 질문(Q2)이 27.1%로 높고, 주도적 발화인 반복 설명(E2), 상황 설명(E3), 부가 설명(E4), 해설(S3), 확장(S4) 의견 제시는 거의 없었다. 이러한 제한적 참여를 개선하기 위해서는 모든 구성원이 최소한의 발화 기회를 보장받을 수 있는 구조화된 협업 방식을 고려할 수 있다. 다만, 이러한 개입이 자연스러운 협업 흐름을 저해하지 않도록 주의가 필요하다.

둘째, 주도형 모둠에서 나타나는 일방향적 상호작용 양상에 대한 주의가 필요하다. 주도형 모둠은 질문과 해설 비율은 높았으나, 논리적 반론(R5)이 0.9%에 불과하여 주도자의 의견이 충분히 검토되지 않는 경향을 보였다. 이는 다양한 관점의 교환이 제한될 수 있음을 시사한다. 다만, 본 연구는 주도형 모둠이 2개에 불과하여 이러한 특성이 일반적이지는 추가 연구를 통해 확인할 필요가 있다.

셋째, 상호작용 유형과 성취도 향상 간의 관계는 단순하지 않으므로, 특정 유형을 우월한 것으로 단정하기 어렵다. 부분 참여형 모둠의 높은 평균 Hake 지수는 일부 모둠의 높은 성취도에 기인하였으며, 같은 유형 내에서도 큰 편차가 관찰되었다. 이는 상호작용

패턴 외에 구성원의 역량, 사전 지식, 과제 이해도 등이 복합적으로 작용함을 의미한다.

넷째, 발화의 양과 질이 모두 중요하다. 주도자는 높은 발화 빈도(평균 85.5개)와 높은 상위 수준 발화 비율(37.5%)을 동시에 보였으며, 이는 높은 Hake 지수(0.529)와 연관되었다. 이는 단순히 많이 말하는 것뿐만 아니라 질적으로 의미 있는 발화를 하는 것이 학습 효과에 중요함을 시사한다.

본 연구의 제한점과 그에 따른 후속 연구 제안은 다음과 같다.

첫째, 표본 수가 12개 모둠(48명)으로 제한되어 상호작용 유형별 통계적 유의성 확보에 한계가 있었다. 향후 연구에서는 표본을 확대하여 상호작용 구조와 성취도 향상 간 관계를 보다 정밀하게 규명할 필요가 있다.

둘째, 지위 부여 방식이 상대적 위세 중심성에 근거하므로 모둠 간 비교에서 외적 타당도가 낮다. 절대적 기준에 기반한 지위 분류 방법이나, 모둠 내·집단 간 위치를 동시에 고려하는 다층적 분석이 요구된다.

셋째, 본 연구는 발화의 빈도와 유형에 초점을 두었으나 과학적 타당성이나 개념적 정교함은 평가하지 않았다. 향후에는 발화 내용의 과학적 정확성과 문제 해결 기여도를 함께 분석하여, 단순 빈도를 넘어선 ‘효과적 발화’의 특성을 규명할 필요가 있다.

참고문헌

- 교육부(2022). 2022 개정 교육과정 총론. 교육부 고시 제2022-33호.
- 양석진, 한수진, 노태희(2002). 과학 개념 학습에서 협동적 소집단 토론의 효과. 한국과학교육학회지, 22(1), 93-101.
- 곽기영(2019). 소셜네트워크분석(제2판). 서울: 청람.
- 김경순(2005). 화학 개념 학습에서 협동적 CAI와 상호동료교수적 CAI의 효과: 개념 이해와 언어적 상호작용. 서울대학교 박사학위논문.
- 김범재(2018). 특수 상대성 이론의 두 가설에 관한 일반계 고등학생들의 이해 조사. 한국교원대학교 석사학위논문.
- 김현경, 최병순(2009). 과학고 토론수업을 위한 수업모형 개발과 적용과정에서 나타난 언어적 상호작용의 특징. 한국과학교육학회지, 29(4), 359-372.
- 동효관, 홍준의, 신영준, 김경호, 이길재(2003). 과학영재가 선호하는 수업형태와 수업환경 조사를 통한 수업 전략의 개발. 한국생물교육학회지, 31(1), 16-23.
- 박동규(2016). 특수 상대성이론의 두 가지 가설에 관한 물리교사들의 개념 조사. 한국교원대학교 석사학위논문.
- 박종민, 최혁준(2019). 대학생의 소집단 물리 문제풀이 협업 활동에서 나타난 언어적 상호작용 유형의 특징. Brain, Digital, & Learning, 9(4), 307-318.
- 박주영, 성숙경, 최병순(2010). 과학실험수업에서 포용적 리더가 모둠의 상호작용에 미치는 영향. 한국과학교육학회지, 30(1), 124-139.
- 손동원(2010). 사회 네트워크 분석. 서울: 경문사.
- 유지연, 노태희(2012). 이해와 검토 단계를 강조한 비유 실험 설계 전략을 활용한 탐구수업에서 나타나는 과학영재 사이의 언어적 상호작용 분석. 한국과학교육학회지, 32(4), 671-685.
- 양아름, 안유진, 최혁준(2024). 중학교 과학영재의 언어적 상호작용과 실험설계 능력의 관계: 모둠별 실험설계 과정에서. 새물리, 74(8), 788-801.
- 연규민, 이봉우(2024). 특수상대성 이론 문제 풀이에 대한 고등학생의 어려움 분석. 새물리, 74(8), 802-811.
- 조현국, 지영래, 최우석, 송진웅(2016). 동시성의 상대성에 관한 대학생들의 개념 이해 분석. 새물리, 66(5), 571-579.
- 하상우(2018). 2009 및 2015 개정 교육과정 고등학교 물리교과서의 특수상대성 이론에 대한 서술 분석. 새물리, 68(10), 1069-1080.

- Chan, K. W., & Galton, M. (1999). Cooperative learning in Hong Kong schools: Attitudes of teachers and pupils towards cooperative group work. The Hong Kong Institute of Education.
- Gilley, B. H., & Clarkston, B. (2014). Collaborative testing: Evidence of learning in a controlled in-class study of undergraduate students. *Journal of College Science Teaching*, 43(3), 83-91.
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64-74.
- Hogan, K., Nastasi, B. K., & Pressley, M. (2000). Discourse patterns and collaborative scientific reasoning in peer and teacher-guided discussions. *Cognition and Instruction*, 17(4), 379-432.
- Jang, H., Lasry, N., Miller, K., & Mazur, E. (2017). Collaborative exams: Cheating? Or learning? *American Journal of Physics*, 85(3), 223-227.
- Serway, R. A., & Vuille, C. (2019). *College Physics* (11th ed.) (일반물리학 교재편찬 위원회 역). 북스힐. (원본 출판 2019)
- Smith, M. K., Wood, W. B., Adams, W. K., Wieman, C., Knight, J. K., Guild, N., & Su, T. T. (2009). Why peer discussion improves student performance on in-class concept questions, *Science*, 323(5910), 122-124.
- Storberg-Walker, J., & Gubbins, C. (2007). Social Networks as a Conceptual and Empirical Tool to Understand and “Do” HRD. *Advances in Developing Human Resources*, 9(3), 291 - 310.
- Taylor, E. F., & Wheeler, J. A. (1992). *Spacetime Physics* (2nd ed.). W. H. Freeman and Company.
- Taylor, J. R., Zafiratos, C. D., & Dubson, M. A. (2005). *Modern Physics* (2nd ed.) (강희재, 김상옥, 서유희, 우정주, 이명희, 장홍규, 최대선, 황정남 역). 교보문고. (원본 출판 2004)
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes* (Vol. 86). Harvard University Press.

논문접수 : 2025.10.1. / 수정본 접수 : 2025.10.29. / 게재승인 : 2025.11.6.

ABSTRACT

An Analysis of Achievement Gains and Verbal Characteristics According to the Status and Types of Verbal Interaction in Small-Group Collaborative Assessments of Gifted Science Students

Daljae Yoon

Teacher, Gyeonggi Science High School for the Gifted

Seokmin Yun

Teacher, Dajeon Science High School for the Gifted

Su Kyeong Lee

Visiting Professor, Jeonbuk National University

Hyukjoon Choi

Professor, Korea National University of Education

This study analyzed verbal interactions observed in small-group collaborative assessments among gifted science students, defining individual status within groups and classifying group interaction types to explore differences in achievement gains and verbal characteristics. Forty-eight second-year students from a science high school in Gyeonggi Province participated in a two-stage collaborative assessment and a subsequent post-assessment using items related to special relativity. Group interactions were audio-recorded, transcribed, and analyzed through utterance coding and social network analysis. Individual status was categorized as leader, assistant, or peripheral member according to eigenvector centrality, while group interaction types were classified as dominant, communicative, or partial-participation types based on outdegree ratios. Achievement gains were analyzed using the Hake index. The results showed that achievement gains differed by status, following the order of leader > assistant > peripheral member. Among interaction types, partial-participation groups exhibited the highest average Hake gain, though with large within-group variance, limiting generalization. Dominant groups displayed a unidirectional interaction pattern centered on explanation and

questioning, whereas communicative and partial-participation groups showed more balanced verbal exchanges. This study provides empirical evidence on how individual status and group interaction types relate to achievement gains and discourse quality in high-difficulty concept learning, offering implications for designing instruction that promotes balanced participation and high-quality verbal engagement.

Keywords: gifted science student, small-group collaborative assessment, verbal interaction, social network analysis