



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](#)

교육학석사 학위논문

3D 거북 표현식 기반의 코딩 학습이 공간 능력에 미치는 효과

2016년 8월

서울대학교 대학원

수학교육과

이 초 희

3D 거북 표현식 기반의 코딩 학습이 공간 능력에 미치는 효과

지도교수 조 한 혁

이 논문을 교육학석사 학위논문으로 제출함
2016년 5월

서울대학교 대학원
수학교육과
이 초 희

이초희의 석사 학위논문을 인준함
2016년 7월

위 원 장 _____ (인)

_____ (인)

위 원 _____ (인)

국문초록

공간 능력은 주변 환경과 그 속에 있는 대상들의 관계를 이해하기 위해 필수적으로 요구되는 인지 능력으로, 최근 과학과 기술의 발달로 공간 능력의 중요성이 부각되고 있다. 이에 따라 공간 능력은 학생들이 미래 사회를 살아가기 위해 길러야 할 필수적인 역량 중 하나이며, 기하교육에서 공간 능력 향상은 중요한 목표로 다루어지고 있다. 제 7차 교육과정부터 공간 감각 향상을 위해 초등학교 2학년과 6학년 교과서에 쌓기나무 단원이 도입되었으며, 최근 2009 개정 교육과정에서는 초등학교 6학년 교과서에 쌓기나무 활동의 확장 개념으로 연결큐브를 사용한 활동이 새롭게 추가되었다. 하지만 학교 현장에서는 쌓기나무와 연결큐브와 같은 공간적 대상에 대한 적절한 표현체계가 없어 교사와 학생, 그리고 학생들 간의 의사소통과 문제해결 측면에서 어려움이 있을 것이라 예상된다. 따라서 본 연구는 공간적 대상을 표현하고, 조작할 수 있는 3D 거북 표현식의 효과와 유용성을 밝힌 여러 선행연구(Cho & Lee, 2014; 이지윤, 2015; 이지윤, 조한혁, 송민호, 2013; 정혜림, 이승주, 조한혁, 2016)를 바탕으로 초등학교 6학년 교과서의 연결큐브 문제에 적용하여 학생들의 인지적 변화를 살펴보고 그것의 교육적 함의를 고찰해보고자 한다. 이를 위해 교과서의 연결큐브 문제를 확장하여 공간 과제를 설계하였으며, 3D 거북 표현식 기반의 코딩 학습 전후에 사전 및 사후 검사를 진행하였다. 본 연구의 3D 거북 표현식 기반의 코딩 학습은 Constructionism 기반 마이크로월드에서 3D 거북 표현식을 코딩하고 피드백을 받으면서 자신에게 의미 있는 인공물을 디자인하고 이것을 3D프린터로 출력해보는 ‘디자인을 통한 학습(learning by design)’이다. 또한 본 학습은 학생들이 3D 거북 표현식을 코딩하고 3D 프린터로 출력한 경험을 바탕으로 설계된 거북 전략 학습을 포함한다. 거북 전략은 공간 능력 향상과 관련하여 공간 인지 전략 측면에서 부분적 접근, 분석적 처리, 관점 변환을 포함하는 체계적 수준의 전략으로, 자신의 관점을 변환시켜 공간 정보를 지각하고 표상하고, 부호화하는 인지 전략이다(이지윤, 2015).

연구 결과 학생들은 사전에 공간 과제를 해결하는데 있어 접근 방법, 처리 방법 그리고 준거 기준 측면에서 다양한 인지 전략을 사용하였으며, 접근 방법 측면에서는 부분적 접근 전략, 처리 방법 측면에서는 분석적 처리 전략 그리고 준거 기준 측면에서 관점 변환 전략이 높은 성취를 이끌었다. 특히, 사전에 공간 과제를 해결하는데 있어 자신의 전략이 유용하지 않은 학생들 모두가 심상적 처리 전략, 대상 변환 전략을 사용한 학생들이었다는 점에서 체계적인 거북 전략 학습의 필요성이 느껴진다. 또한 사전 검사와 사후 검사의 분석 결과, 사후 검사의 정답률은 사전 검사의 정답률보다 유의하게 증가하고 반응시간은 유의하게 감소하였으며, 자신의 전략이 유용하지 않았다고 응답한 대다수의 학생들이 거북 전략의 효과와 유용성을 느꼈다.

본 연구에서 제안한 3D 거북 표현식 기반 코딩학습은 초등학교의 연결큐브 문제해결에 있어 ‘강력한 아이디어(powerful ideas)’가 되어 공간 능력에 긍정적인 영향을 줄 뿐만 아니라, 컴퓨터와 3D 프린터와 같은 기계와 의사소통할 수 있는 코딩을 자연스럽게 익힘으로써 최근 화두가 되고 있는 computational thinking 역량을 길러줄 수 있을 것으로 기대된다.

주요어 : 3D 거북 표현식, 코딩, 공간 능력, 공간 인지 전략, 거북 전략, 연결큐브, Computational thinking

학 번 : 2014-20941

목 차

국문 초록	i
목차	iii
표 목차	v
그림 목차	vi
I. 서론	1
1. 연구의 목적 및 필요성	1
2. 연구 문제	6
II. 이론적 배경	7
1. Constructionism와 3D 거북 표현식	7
1.1 Constructionism	7
1.2 3D 거북 표현식	13
2. Computational thinking	15
2.1 Computational thinking의 개념	15
2.2 Computational thinking 기반 수학학습	17
3. 공간 능력과 공간 인지 전략	22
3.1 공간 능력	22
3.2 공간 인지 전략	31
III. 연구방법 및 절차	36
1. 연구 대상 및 절차	36
2. 3D 거북 표현식 기반의 코딩 학습	38

2.1 기본 거북 코딩 학습	38
2.2 심화 거북 코딩 학습	41
2.3 디자인 활동과 3D 프린터 체험 활동	42
2.4 거북 전략 학습	44
3. 검사 도구	45
4. 설문지 제작	48
5. 자료 수집 및 분석	49
 IV. 연구 결과	 51
1. 인지 전략 및 인지 전략별 성취도 분석	51
1.1 인지 전략 분석	51
1.2 인지 전략별 성취도 분석	59
2. 사전-사후 검사 결과 분석	62
2.1 사전-사후 검사 성취도 분석	62
2.2 사전-사후 검사 문항별 분석	64
2.3 사전-사후 검사 설문 분석	73
 V. 요약 및 결론	 77
1. 요약	77
2. 결론 및 제언	80
 참고문헌	 83
부록	90
Abstract	95

표 목 차

〈표 II-1〉 JavaMAL 마이크로월드에서 3D 거북 표현식	14
〈표 II-2〉 Computational thinking과 수학에서의 활용	19
〈표 II-3〉 연결큐브 차시 수업 내용 및 활동(교육부, 2015b)	26
〈표 III-1〉 연구 대상	36
〈표 IV-1〉 인지 전략의 분석 틀(이지운, 2015)	51
〈표 IV-2〉 접근 방법에 따른 점수 및 반응시간	59
〈표 IV-3〉 처리 방법에 따른 점수 및 반응시간	60
〈표 IV-4〉 준거 기준에 따른 점수 및 반응시간	61
〈표 IV-5〉 사전-사후검사 성취도 분석	62
〈표 IV-6〉 수준 집단에 따른 사전-사후 검사 성취도 분석	64
〈표 IV-7〉 사전-사후 검사 문항별 성취도	67
〈표 IV-8〉 사전 검사 설문에서 자신의 전략에 대한 유용성	73
〈표 IV-9〉 사후 설문에서 난이도, 정확도, 속도	74
〈표 IV-10〉 사후 설문에서 거북전략의 유용성	74
〈표 IV-11〉 사후 설문에서 거북전략의 익숙도	74
〈표 IV-12〉 사후 설문에서 거북전략에 대한 의견	75

그 립 목 차

[그림 II-1] LOGO의 기본 행동 문자: ‘가자’와 ‘돌자’	9
[그림 II-2] 스크래치 화면과 명령	18
[그림 II-3] 거북 실행식의 치환 기능	21
[그림 II-4] 3D 거북표현식과 3D 프린터 (조한혁, 송민호, 2014)	21
[그림 II-5] 공간능력의 구성요소(Tartre, 1984)	25
[그림 II-6] 2009 개정 6학년 2학기 교과서 회전 문항1	26
[그림 II-7] 2009 개정 6학년 2학기 교과서 회전문항2	27
[그림 II-8] 2009 개정 6학년 2학기 교과서 결합문항	27
[그림 II-9] 제 7차 교육과정 교과서 쌓기나무 단원 내용	28
[그림 II-10] Shepard & Metzler의 심적 회전 검사(1978)	28
[그림 II-11] 3D입체의 바닥면과 입체의 타입 구분	30
[그림 II-12] 정육면체 전개도 만들기(김지애, 2012)	31
[그림 II-13] 대상기반 변환과 자기중심적 변환	34
[그림 II-14] Kozhevnikov & Hegarty(2001)의 관점 취하기 검사	35
[그림 III-1] 연구 절차	36
[그림 III-2] 3D 거북 표현식 기반 코딩 학습 과정	38
[그림 III-3] 기본 거북 코딩 학습	39
[그림 III-4] 3D 거북 표현식으로 소마큐브 7조각 코딩하기	39
[그림 III-5] 스마트폰 환경에서의 3D 거북 표현식 학습	40
[그림 III-6] 스프링 명령으로 소마큐브 조각 결합하고 분리하기	41
[그림 III-7] 꺾쇠 명령 학습	41
[그림 III-8] 치환 명령 학습	42
[그림 III-9] 디자인 활동	43
[그림 III-10] 3D 프린터 출력 체험활동	43

[그림 III-11] 거북 전략 수업	45
[그림 III-12] 검사 문항 형태	46
[그림 III-13] 검사 문항 유형	47
[그림 III-14] 3차원 공간에서 X, Y, Z축	47
[그림 III-15] 문항 제시 형태	50
[그림 IV-1] 전체적 접근을 한 S2의 설명	52
[그림 IV-2] 전체적 접근을 한 S13의 설명	53
[그림 IV-3] 부분적 접근을 한 S148의 설명	53
[그림 IV-4] 부분적 접근을 한 S19의 설명	54
[그림 IV-5] 부분적 접근을 한 S25의 설명	55
[그림 IV-6] 심상적 처리를 한 S16의 설명	55
[그림 IV-7] 분석적 처리를 한 S1의 설명	56
[그림 IV-8] 대상 변환을 한 S57의 설명	58
[그림 IV-9] 관점 변환을 한 S144의 설명	58
[그림 IV-10] 사전-사후 검사 성취도 분석	63
[그림 IV-11] 수준 집단에 따른 사전-사후 검사 성취도 분석	64
[그림 IV-12] 관점에 따라 방향이 달라지는 문항	66
[그림 IV-13] 사전-사후 검사에서 정답률이 모두 낮거나 높은 문항 ...	66
[그림 IV-14] 유형1의 사전-사후 검사의 정답률과 반응시간	68
[그림 IV-15] 유형1에서 사후 검사의 정답률이 유의하게 증가한 문 항	69
[그림 IV-16] 유형1의 사전-사후 검사의 정답률과 반응시간	70
[그림 IV-17] 유형2에서 사후검사의 정답률이 유의하게 증가한 문 항	71
[그림 IV-18] 유의하지 않지만 사전검사 점수가 높은 문항	72

I. 서론

1. 연구의 목적 및 필요성

최근 과학과 기술의 발달이 더욱 가속화됨에 따라, 주요 선진국들은 미래 사회에 필요한 인재 양성을 위해 학교 교육의 변화를 추구하고 있다. 우리나라 수학과 교육과정은 전통적으로 수학에 대한 개념, 원리, 법칙과 같은 내용의 습득에 초점을 맞추었으나, 기존의 교과 내용 중심 체제가 갖는 한계가 지적되면서 핵심 역량 중심의 교육으로 전환시키고자 노력하고 있다(김선희, 박경미, 이환철, 2015). 이는 창조사회를 살아가는 학생들에게 필요한 역량을 개발하도록 하기 위함이다. 핵심 역량은 미래 사회를 살아가기 위해 수학 교과를 통해 길러야 하는 학생들의 능력으로써, 2009 개정 교육과정에서부터 핵심 역량을 반영하여 창의적 사고 능력, 문제해결 능력, 정보처리 능력, 의사소통 능력 등을 제시하였다(교육과학기술부, 2011, p. 2).

특히 공간 능력은 주변 환경과 그 속에 있는 대상들의 관계를 이해하기 위해 필수적으로 요구되는 인지 능력으로, 최근 과학과 기술의 발달로 공간 능력의 중요성이 부각되고 있다. 컴퓨터 그래픽 기술과 3D 영화와 같은 미디어 산업이 발달하고 있으며, 우리가 원하는 것을 3차원으로 모델링하여 출력할 수 있는 3D프린터도 보급되기 시작했다. 뿐만 아니라 정보 기술의 발달로 모바일 기기 및 SNS, 클라우드 서비스 등의 활용이 일상화되면서, 다양한 데이터가 방대해지고 있으며 이러한 무수한 데이터에 의미를 부여하고 조직화, 분석하여 다차원적인 각도에서 시각적으로 묘사하고 필요한 정보를 효율적으로 명확하게 제공하는 데이터 시각화 기술이 수학, 공학 및 의학 등의 분야에서 중요한 도구로 활용되면서 공간 능력은 학생들이 필수적으로 길러야 할 핵심 역량 중 하나이다. 또한 공간 능력이 과학, 기술, 공학 및 수학(STEM) 분야에서의 수행능력을 예측하는 중요한 지표가 될 수 있다는 연구(Lubinski & Benbow, 2006;

Wai, Lubinski & Benbow, 2009)를 통해, 학생들의 공간 능력을 기르기 위한 학습과 지도가 더욱더 요구된다.

최근 미국국가과학재단의 지원을 받아 설립된 SILC(Spatial Intelligence and Learning Center)은 미국의 주요 대학교들에서 다양한 분야의 전문가들이 모여 공간 지능(Spatial intelligence)을 연구하는 곳이다. 이 기관은 공간 학습 과학(The science of spatial learning)을 발전시켜 STEM 분야의 직업에서 요구되는 공간적 기술(spatial skills)을 얻도록 도와줌으로써 교육적 활용으로 전이되는 것을 목표로 한다. 즉 학생들에게 공간적 학습(spatial learning)에 대한 강력한 도구(powerful tools)를 줌으로써 효율적으로 활용할 수 있는 지식이 되어 공간능력을 필요로 하는 STEM 분야의 직업에 잘 적응할 수 있도록 하기 위함이다.

공간 능력은 기하학적 세계를 해석하고, 이해하는데 필요한 능력으로, Freudenthal(1973)은 가장 높은 수준인 연역적 논리 체계의 기하를 이해하기 위해서는 먼저 가장 낮은 바닥 수준의 기하를 이해하는 것이 중요하다고 하였으며, 그것은 학생이 살고, 움직이고, 숨 쉬는 그런 공간을 이해하는 것이라고 했다. 즉, 공간 능력은 높은 수준의 기하 학습을 위해 원초적으로 개발되어야 한다. 우리나라에서도 이러한 중요성을 인식하여 제 7차 교육과정부터 공간 감각 향상을 도형 영역의 중요한 목표로 내세우면서 초등학교 2학년과 6학년 교과서에 쌓기나무 단원이 도입되었다(교육부, 1998). 이와 같이 공간 감각을 강조하는 흐름은 현재까지 이어지고 있으며, 과학 기술이 발달함으로써 더욱더 강조되고 있다. 이에 따라 2009 개정 교육과정에서는 초등학교 6학년 쌓기나무 단원에 연결큐브를 사용한 활동이 새롭게 추가되었다. 이는 바닥에서부터 쌓아 올려야만 하는 쌓기나무의 한계점을 극복하기 위해 학생들의 공간 감각을 향상시켜주기 위함이며(교육부, 2015b), 공간 감각이 더욱더 요구되는 활동이라 할 수 있다. 연결큐브를 사용한 활동으로 주요 내용은 연결큐브 4개 또는 5개로 만들 수 있는 여러 가지 모양을 만들기, 돌리거나 뒤집어서 같은 모양 찾기, 연결큐브 4개짜리 모양을 연결하여 새로운 여러 가지 모양 만들기, 연결된 전체 모양을 두 가지 모양으로 분할해보기 등과 같

은 내용이 있다. 연결큐브 활동은 두 차시에 걸쳐 이루어지며, 이 두 차시는 2009 개정 교육과정에서 핵심 역량으로 제시되었던 수학적 의사소통과 의사소통을 통한 문제해결을 강조하고 있다.

하지만 제 7차 교육과정부터 쌓기나무 단원의 지도 및 학습에 어려움이 있다는 연구들이 계속해서 있어왔다(김수운, 2004; 김영선, 2005; 이종영, 2005; 장유라, 2010; 장혜원, 2015; 장혜원, 강종표, 2009; 조영선, 2010; 최경숙, 백석운, 2004 한기완, 2001). 특히, 김수운(2004)과 장유라(2010)의 연구에서는 학생들이 불명확하고 비수학적인 용어를 많이 사용하고 상대의 관점을 고려하지 못한 채 설명을 하여 이해하는데 혼란을 주어 의사소통하는데 어려움을 겪었다고 보고하였다. 뿐만 아니라 장혜원, 강종표(2009)은 쌓기나무 활동은 어느 정도의 직관력이 요구되기 때문에 공간능력이 낮거나 분석적 사고에 적합한 인지구조를 가지고 있는 학생들에게 많은 어려움이 있을 것으로 하였다. 이에 따라 연결큐브 활동 역시 의사소통과 문제해결이 원활하지 않을 것이며, 교실 현장에서 많은 어려움이 있을 것으로 예상된다. 2009 개정 교육과정에 따른 5, 6학년 교과서가 최근 2016년 2월에 적용을 완료하였기 때문에, 연결큐브 활동에 대한 연구가 많지 않다. 하지만 정혜림 등(2016)은 초등학교 현직 교사들이 연결큐브 수업에서 겪는 어려움을 조사하였는데, 일반적 해결 전략의 부재로 인한 어려움, 해결 과정 설명의 어려움, 연결큐브 교구에서 기인하는 어려움 등을 제시하였다. 이는 쌓기나무와 연결큐브와 같은 공간적 대상에 대한 합의된 표현체계가 없기 때문에, 교수 학습 과정에서 의사소통과 문제해결에 어려움이 있다고 하였다. 장혜원, 강태석, 임미인(2016)은 2009 개정 초등학교 수학과 교육과정에서 5, 6학년 교과서의 연계분석을 하였는데 연결큐브 활동이 교과서의 차시 학습목표가 교육과정 성취기준의 범위를 벗어난 경우 중 하나라 하였으며, 이에 따라 교육 현장에 큰 혼란이 있을 것으로 예상된다.

이와 같이 최근 과학과 기술의 발달로 공간 능력의 중요성이 부각되고 있지만, 교육 현장에서는 학생들의 공간 능력 지도 및 학습에 대해 어려움이 있다는 연구가 현재까지 끊임없이 있어왔다. 따라서 본 연구는 이

러한 어려움을 해결하기 위한 대안으로 ‘3D 거북 표현식’을 제시한다. 3D 거북 표현식은 ‘3D 거북 표현체계’로 구성된 문자식으로, Papert(1980)가 창안한 constructionism 이론에 따라 Cho, Song, Lee, & Kim(2010)등이 설계한 JavaMAL 마이크로월드 학습 환경을 기반으로 한다. JavaMAL 마이크로월드는 Papert(1980)이 개발한 2차원 거북 기하 환경인 LOGO를 3차원으로 확장시킨 것으로 공간 정보를 정육면체 단위로 구성하고 탐구할 수 있다. 이 환경에서 공간을 구성하는데 있어 3D 거북 표현체계를 사용한다. 3D 거북 표현체계는 거북이의 관점에서 방향과 행동을 나타내는 문자로, s(앞), r(오른쪽), l(왼쪽), r(오른쪽), u(위), d(아래)로 구성되어 있다. 이는 거북이의 관점과 방향을 자신과 동일하게 하여 순차적인 절차로 3차원 대상을 구성한다. 이것은 자신의 관점을 변환시켜 경로를 시뮬레이션하고, 신체축을 사용하여 공간 정보를 부호화한다는 점에서 ‘체화된’ 사고과정이며, 3D 거북 표현식은 절차적인 언어와 감각 운동 표상에 기반한 체화의 접근으로 단계에 따라 학습될 수 있다(이지운, 2015). 이러한 측면에서 이미 공간 시각화 과제에서 3D 거북 표현식의 효과는 이미 확인된 바 있다(Cho & Lee, 2014; 이지운, 2015; 이지운 등, 2013; 정혜림 등, 2016).

뿐만 아니라 3D 거북 표현식은 수학교육을 넘어 최근 강조되고 있는 자유학기제 융합 교육과 computational thinking 기반의 코딩 교육과 연계하여 활용되어져 왔다(소호섭, 2016; 조한혁, 송민호; 2014; 정진환, 2015; 최인용, 2014). 이에 본 연구는 초등학교 6학년을 대상으로 하여 ‘컴퓨팅적 사고와 꿈과 끼를 키우는’ 목표로 시작된 창의코딩 멘토링, 서울사대부설중학교 방과후 자유학기제 프로그램 중 하나인 코딩수학 프로그램 그리고 서울사대부설중학교 창의수학캠프 과정 속에서 진행되었다. 이러한 프로그램들은 2009 개정 교육과정에서 핵심 역량 중 하나인 정보처리 능력이 강조되면서 소프트웨어 코딩교육이 강조된 배경 속에 있다. 소프트웨어 코딩교육은 Computational thinking 역량을 키우기 위한 교육으로 수학과도 관계가 깊다. Computational thinking은 컴퓨팅 시스템을 활용하여 방대한 양의 데이터를 처리하거나 복잡한 문제를 해결

하는 접근법(이영준, 2014)으로, Computational thinking의 구성 요소를 자료수집, 자료분석, 자료표현, 문제 분해, 추상화, 알고리즘의 절차, 자동화, 시뮬레이션, 병렬화의 9가지로 세분화하였다. 이는 수학에서 문제 상황이나 모델링에서 주어진 자료나 자료를 수집하고 분석하고 공학적 도구를 활용하는 문제해결과 깊은 관련이 있어 수학교육에서 Computational thinking 역량에 주목하는 이유이다. 최근 Computational thinking에 대한 요구가 급격히 증가함에 따라 선진국은 수학 교과에 수학적 추론, 수학적 문제 해결, 수학적 의사소통을 하는 과정에 첨단 디지털 기술을 활용하여 수학 문제를 해결하려는 접근방법에 의해 학생들의 Computational thinking을 향상시키는 노력을 해왔다(박경은, 이상구, 2015). 이에 국내에서도 Computational thinking 기반의 수학 학습에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다(최인용, 2014; 정진환, 2015; 박경은, 이상구, 2015).

이와 같이 3D 거북 표현식은 공간 능력뿐만 아니라 computational thinking 역량 등과 관련하여 여러 연구들이 있는데, 본 연구는 공간 능력을 중심으로 살펴보고자 한다. 이에 공간적 대상을 표현하고, 조작할 수 있는 3D 거북 표현식의 효과와 유용성을 밝힌 여러 선행연구(Cho & Lee, 2014; 이지윤, 2015; 이지윤, 조한혁, 송민호, 2013; 정혜림 등, 2016)를 바탕으로 초등학교 6학년 교과서의 연결큐브 문제에 적용하여 학생들의 인지적 변화를 살펴보고 그것의 교육적 함의를 고찰해보고자 한다. 이를 위해 2009 개정에 따른 초등학교 6학년 2학기 교과서(교육부, 2015a) 및 교사용 지도서(교육부, 2015b)의 연결큐브 문제를 확장하여 공간 과제를 설계하였으며, 사전-사후 검사를 통해 3D 거북 표현식 기반의 코딩 학습의 효과 및 유용성을 밝히려고 한다. 본 연구의 3D 거북 표현식 기반의 코딩학습은 JavaMAL 마이크로월드에서 3D 거북 표현식을 코딩하고 피드백을 받으면서 자신에게 의미 있는 인공물을 디자인하고 이것을 3D프린터로 출력해보는 ‘디자인을 통한 학습(learning by design)’이다. 또한 본 학습은 학생들이 3D 거북 표현식을 코딩하고 3D 프린터로 출력한 경험을 바탕으로 설계된 거북 전략 학습을 포함한다.

이지운(2015)에 따르면, 거북 전략은 공간 능력 향상과 관련하여 공간 인지 전략 측면에서 부분적 접근, 분석적 처리, 관점 변환을 포함하는 체계적 수준의 전략으로, 자신의 관점을 변환시켜 공간 정보를 지각하고 표상하고, 부호화하는 인지 전략이다.

본 연구에서 제안한 3D 거북 표현식 기반 코딩학습은 초등학교의 연결큐브 문제해결에 있어 ‘강력한 아이디어(powerful ideas)¹⁾’가 되어 공간 능력에 긍정적인 영향을 줄 뿐만 아니라, 컴퓨터와 3D 프린터와 같은 기계와 의사소통할 수 있는 코딩을 자연스럽게 익힘으로써 computational thinking 역량을 길러줄 수 있을 것으로 기대된다.

2. 연구문제

본 연구에서는 초등학교 6학년 교과서의 연결큐브 문제를 확장하여 설계한 공간 과제에서 학생들의 인지적 변화를 살펴보고 3D 거북 표현식 기반의 코딩 학습의 효과 및 유용성을 밝히기 위해 다음과 같은 연구문제를 설정하였다.

1. 공간과제를 해결할 때 학생들이 사용하는 인지 전략은 무엇인가? 학생들이 사용한 인지 전략이 과제 성취도에 어떤 영향을 미치는가?
2. 3D 거북 표현식 기반의 코딩 학습이 학생들의 공간 과제 성취도에 어떤 영향을 미치는가?

1) ‘강력한 아이디어(powerful ideas)’는 Papert(1980)가 주장한 것으로, 일생 동안 사고하는 도구로 사용될 수 있는 것을 의미한다.

II. 이론적 배경

본 장에서는 3D 거북 표현식 기반의 코딩 학습의 배경이 되는 constructionism과 3D 거북 표현식에 대해 살펴본다. 이후에 computational thinking의 개념과 computational thinking 학습이 어떻게 수학 교육과 연계하여 이루어지고 있는지 살펴본다. 본 연구의 목적은 학생들이 사전에 공간 과제를 해결하는데 있어 사용한 인지 전략을 분석하고, 3D 거북 표현식 기반의 코딩 학습이 사후에 공간 과제를 해결하는데 어떤 영향을 미치는지 알아보기 위한 것으로, 이를 위한 이론적 배경으로 공간 능력과 공간 인지 전략에 관한 연구를 살펴본다.

1. Constructionism과 3D 거북 표현식

이 절에서는 3D 거북 표현식 기반의 코딩 학습의 배경이 되는 constructionism과 3D 거북 표현식에 대해 알아보고 3D 거북 표현식을 구성하는 3D 거북 표현체계에 대해 살펴본다.

1.1. Constructionism

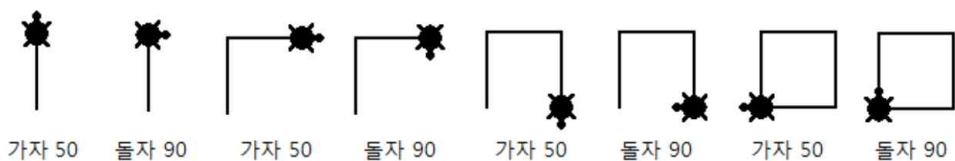
Constructionism은 Papert(1980)가 창안한 학습 이론으로, Piaget의 구성주의(Constructivism)를 기반으로 정립되었다. Piaget의 구성주의는 지식은 단순히 전이되는 것이 아니라 학습자가 마음속으로 적극적으로 지식을 구성하며, 경험을 통해 동화와 조절을 하면서 보다 새로운 상위의 도식이나 구조를 생성한다는 이론이다. 구성주의를 강조한 학습에서 학생은 교사의 수업을 수동적으로 받아들이는 것이 아닌, 학생 스스로가 지식을 능동적으로 구성하는 것이다. 따라서 구성주의에서 교사의 역할은 ‘구체화되고 구조화된 지식’의 전수자가 아닌, 학생이 지식을 의미 있게 구성할 수 있도록 하는 ‘인도자’와 ‘조언자’의 역할이 되어야

한다(박인우, 1996). 학습자가 지식을 능동적으로 구성하기 위해서는 교사의 역할도 중요하지만, 학습 환경을 제공하는 것도 중요하다. 하지만, 구성주의는 인식론적 논의에서 출발한 이론이고 교육공학은 공학을 기반으로 하는 이론이기 때문에, 구성주의를 기반으로 학습자의 능동적인 지식 구성을 돕기 위한 공학 학습 환경의 설계에 관한 구체적인 방법론을 제공하고 있지 않다(송민호, 2010). 이에 Papert(1980)는 구성주의의 인지 이론을 기반으로 하여, 학습 환경 설계와 실제적 교육 전략을 더한 constructionism을 창안하였다. 김화경(2006)에 따르면 Piaget의 구성주의는 학습자의 인지 구조에서 발생하는 지식의 형성 과정에 초점을 두고 있는 인지 이론에 가까운 반면에 Papert의 constructionism은 Piaget의 구성주의를 실현시키는 실제적이고 교육적인 방법이다.

Papert(1980)는 학습에 있어서 중요한 것은 단지 기술 습득에 의한 것이 아니라 이미 알고 있는 것을 조절하는 방법을 획득하는 것이라고 하였으며, 조절하는 방법을 획득하는 것은 스스로 무언가를 만드는 활동과 그 구성 활동에 대한 반성 중에 일어난다고 하였다. 따라서 구성과 반성이 일어날 수 있는 학습 환경의 설계가 중요하다고 하였으며, 이를 자신이 두 살 경에 자동차의 차동장치를 가지고 놀았던 기억과 연관하여 소개하였다. 자신은 차동장치를 가지고 놀 때 접했던 ‘기어’를 통해 구구단을 이해했을 뿐만 아니라, 기어들 사이의 관계를 통해 두 변수를 가진 방정식(예, $x + 4y = 10$)이 x 와 y 에 대한 정신적 기어 모델을 만들어 즉각적으로 차동장치를 연상시킴으로써 방정식을 쉽게 받아들였다고 했다. 그는 자신이 ‘기어와 사랑에 빠진 기억’을 ‘인지적’ 용어로만 설명하지 못한다고 주장하면서, 기어와 같은 ‘사고 도구(object to think with)’의 필요성을 주장하였다. 하지만, 차동장치에 대한 경험이 개인적이고 특수하기 때문에 모든 아이들에게 경험시켜주는 것이 어렵다고 판단하여, 많은 것을 제공하고 풍부한 구성 환경을 가진 컴퓨터가 기어의 역할을 대신할 수 있다고 생각했다. 그는 차동장치에 대한 경험을 통해 기어가 실재하지 않더라도 대수적인 개념을 이해하는 것처럼, 컴퓨터가 인간의 사고를 돕기 위한 도구의 역할로 작용할 뿐만 아니라 컴퓨터와

접촉을 하지 않더라도 사고과정에 영향을 끼쳐 학습에 도움을 줄 수 있다고 주장하였다.

Papert는 수학학습이 가장 잘 이루어지기 위해서, 프랑스에 살면서 자연스럽게 불어를 익히는 것처럼 수학을 자연스럽게 학습할 수 있는 환경이 필요하다고 하였다. 그것이 바로 ‘수학나라(Mathland)’라 불리는 마이크로월드(microworld)이다. 이에 따라 ‘수학나라’에서 수학을 학습할 수 있는 사고 도구로써 LOGO를 개발하였다. LOGO는 거북이가 컴퓨터와 대화를 나누는 컴퓨터 언어로써, [그림 II-1]과 같이 두 개의 기본 명령인 ‘가자(fd)’와 ‘돌자(rt)’로 구성되어 있다. 이는 거북 에이전트(agent)의 ‘가고’, ‘도는’ 행동 은유를 통해 행동문자를 조작함으로써 수학적 대상을 그릴 수 있다.



[그림 II-1] LOGO의 기본 행동 문자: ‘가자’와 ‘돌자’

LOGO는 ‘바닥은 낮고 천장은 높게(low floor and high ceiling)’로 설명되어지는데, 이것은 초보자들이 처음 시작하기 쉬우며(low floor), 이를 활용하여 전문가들이 정교하고 점점 더 고차원의 일을 수행할 수 있다는 것을 의미한다(high floor). 이러한 이유로 1980년대에 유치원생부터 대학생에 이르기까지 대표적인 교육용 프로그래밍 언어로 널리 사용되었으며, 특히 초·중등학생들의 기하학습에 많이 활용되었다.

Papert(1980)은 Piaget의 구성주의의 교육관과 컴퓨터 환경을 구체화하기 위해 ‘거북 기하(turtle geometry)’를 설계하였는데, 이는 유클리드 기하와 해석기하와는 다른 접근의 기하학습이다(신동선, 류희찬, 2002). 거북 기하에서는 몇 가지 행동 문자를 사용하여 거북이로 하여금 여러 가지 도형을 그리게 할 수 있으며, 이를 통해 추상적인 기하학적 개념을 거북이의 관점에서의 구체적인 활동을 통해 학습할 수 있다. 예를 들어,

유클리드 기하학에서 원은 한 점에서 같은 거리에 있는 점들의 모임으로 원 밖에 있는 점으로부터의 거리에 의해 $(x-a)^2 + (y-b)^2 = r^2$ 과 같은 대수적인 수식으로 표현된다. 그에 비해 거북기하학의 관점에서 원을 표현하기 위해서는 학생들은 스크린 상의 거북이가 되어 직접 행동으로 원을 따라 걸어보는 개인적 경험을 통해 “약간 앞으로 가며 동시에 방향을 바꾼다”는 행동을 반복하면 원을 인식하여, 컴퓨터에게 “REPEAT 360 [FD 1 RT 1]”로 표현하면 된다. 유클리드 기하학에서 공리와 공준을 이용하여 모든 기하학의 정리들을 증명하듯이 거북 기하학에서는 평면 도형을 구성하는 가장 기본적인 구조를 ‘길이’와 ‘각’으로 보고 각각을 ‘가자’와 ‘돌자’를 이용하여 여러 가지 기하학을 탐구할 수 있다. 이것은 미분기하라는 ‘강력한 아이디어’가 숨어있는 것이라 할 수 있다. Papert(1980)은 강력한 아이디어를 ‘일생동안 사고하는 도구로 사용될 수 있는 것’이라고 정의하였으며, ‘피드백’이나 ‘중간의 경우에 대한 아이디어’를 예로 제시하였다. 바로 평면 기하를 ‘가자’와 ‘돌자’라는 중간 언어로 표현하고 탐구하는 것이 강력한 아이디어인 것이다. 따라서 학습자들이 의미 있는 구성활동을 통해 이러한 ‘강력한 아이디어’를 학습할 수 있도록 해야 한다.

거북기하 환경에서의 초기 경험의 목표는 형식적 규칙을 배우는 것이 아니라 공간에 대한 통찰력을 개발하는 것이다(신동선, 류희찬, 2002). 이것은 기하학습에 있어 논리-연역적 측면보다는 공간-시각적 측면을 강조하는 것으로, 공간 능력 개발과 관련이 있다. 또한 거북기하의 신체 동조적(body syntonicity)인 개념은 일반적으로 수학교육에서 광범위하게 연구되고 있는 체화된 인지(embodied cognition)와 연관되며, 이는 수학 학습에서의 감각 조작 활동과 관련된다(Healy & Kynigos, 2010).

LOGO는 신체 동조적이고 절차적(procedural)이며 재귀적(recursive)이기 때문에 학생들로 하여금 자신의 행동을 의식화시키며, 자신의 행동을 분석하게 하고, 그 결과를 새로운 상황으로 일반화하게 하고, 사고의 흐름을 통제하여 자신의 사고를 반성하게 해준다(신동선, 류희찬, 2002). 이 중에서 LOGO의 절차적 명령은 순차적으로 거북 행동을 만들고 학습자

는 컴퓨터 화면을 통해 그 결과(product)를 즉각적으로 알 수 있다는 점에서 피드백을 받기 쉬우며 오류를 수정하기 용이하다. Papert는 오류를 수정하는 것은 여러 가지 어려움을 하나하나 처리해 감으로써 상대적으로 개선된 프로그램을 만들어나가는 것이기 때문에, 오류를 찾는 것이 중요하며 이를 통해 학습이 이루어지며 사고력을 배양시킬 수 있다고 하였다. 이러한 반성활동을 통해 메타인지를 향상시킬 수 있다(신동선, 류희찬, 2002). 또한 LOGO는 언어체계로 이루어져 있기 때문에 학습자가 컴퓨터와 의사소통할 수 있을 뿐만 아니라 교사와 학생 그리고 학생 사이의 상호작용이 가능하며, 이를 통해 반성적인 태도를 촉진시킬 수 있다.

Papert는 Piaget의 인식론에 근거하여 지식의 학습에서 학생의 활동과 주위 환경과의 능동적인 상호작용을 중요하게 생각하였으며, ‘활동을 통한 학습(learning by doing)’을 강조하였다. 이는 Kafai & Resnick(1996)의 다음 constructionism에 대한 설명에 잘 드러난다.

Constructionism은 학습이론이면서 동시에 교육을 위한 전략이다. 이것은 지식은 단순히 교사에서 학습자로 전달되는 것이 아니라 학습자의 마음속에서 활발하게 다시 구성되는 것이라는 Piaget의 구성주의를 바탕으로 한다. 아동들은 아이디어를 얻는 것이 아니라 만드는 것이다. 나아가, constructionism은 학습자들이 로봇, 시, 모래성, 컴퓨터 프로그램과 같은 외부의 인공물들을 활발하게 만들 때, 새로운 아이디어를 얻을 수 있을 것이라고 말한다. 그래서 constructionism은 개인적으로 의미 있는 인공물을 구성하는 과정에서 지식의 구성이라는 두 종류의 구성과 연관된다(Kafai & Resnick, 1996, p.1).

즉, constructionism 이론의 핵심은 ‘물리적 구성’을 통한 ‘정신적 구성’이라는 두 가지 ‘구성(construction)’에 있다(김화경, 2006). 즉, constructionism은 학습자가 지식을 형성하는 과정이 학습자 자신에게 의미 있는 인공물(artifacts)을 구성하는 물리적 구성을 통하여 이루어진다고 강조한다. Papert는 이러한 활동을 통한 학습을 ‘learning by doing’이라고 하였다. 이 때 doing은 지식을 수동적으로 받아들이는 것이 아니라

능동적인 조작 활동을 통해 지식을 구성하는 것을 의미한다. 이후 Resnick & Silverman(2005)은 ‘learning by doing’이라는 물리적 인공물(artifacts)을 만드는 구성활동에서 문제해결 뿐만 아니라 문제제기나 문제에 대한 반성을 포함하는 전략적 활동의 의미를 강조하기 위해, ‘디자인을 통한 학습(learning through design)’이라는 표현을 사용하여 기존의 구성주의를 확장시켰다(송민호, 2010). Resnick(2002)은 새로운 것을 창의적으로 만드는 ‘디자이너를 위한 디자인’을 강조하면서 ‘디자인을 통한 학습’의 중요성을 다음과 같이 말한다.

1. 디자인 활동은 아동들에게 학습하는 과정에서 조절과 책임에 대한 더 큰 감각을 주어 적극적 참여자로 만든다.
2. 디자인 활동은 창의적 문제해결을 촉진한다.
3. 디자인 활동은 예술과 기술, 수학, 과학에서 아이디어를 가져온다.
4. 디자인 활동은 자신이 만들 것을 다른 사람들에게 어떻게 사용할지 고려해야 하기 때문에, 자신의 생각을 다른 사람들에게 전달하는 것을 돕는다.
5. 디자인 활동은 반성과 협동을 위한 기회를 제공한다.
6. 디자인 활동은 긍정적 순환을 만든다. 여기서 순환은 아동들이 무언가를 디자인하면 새로운 아이디어를 얻어 새로운 디자인을 할 수 있도록 이끌고, 그것으로부터 또 다른 새로운 아이디어를 얻고 새로운 디자인을 할 수 있는 형태의 순환이다(Resnick, 2002).

학습자 개인이 지식을 습득하는 학습도 중요하지만, 인터넷과 컴퓨터와 같은 기술이 발전함에 따라 협동과 상호작용을 통한 집단 학습도 중요해지고 있다. 이에 따라 컴퓨터 기반의 협동 학습 환경이 주목을 받고 있다. Resnick(1996; 김화경, 2006, 재인용)은 인터넷이라는 기술로 인하여 시·공간적으로 떨어진 사람들이 의사소통할 수 있을 뿐만 아니라 아이디어를 공유하고 협동하여, 개인의 능동적 지식 구성을 강조했던 기존의 constructionism을 확장시켰다고 하였다. 또한, Kafai(2005)은 ‘디자인을 통한 학습’과 같은 프로젝트 기반 학습의 접근에서 개인이 지식을 능동적으로 구성하는 것도 중요하지만, 협동과 아이디어의 공유를 촉

진하는 것이 학습 환경 설계의 핵심 초점이 되어야 한다고 주장하였다. 김화경(2006)에 의하면, 수학 학습을 위한 컴퓨터 환경 설계의 원칙 중 하나는 ‘학습자와 교사, 학습자와 컴퓨터, 학습자 간의 의사소통’을 통한 상호작용이며, 이러한 상호작용 속에서 알맞은 조작을 통해 수학 수준을 향상시킬 수 있다고 하였다. 즉 constructionism에서 학습은 컴퓨터를 통해 학습자 개인이 능동적인 조작활동을 통해 지식을 습득함으로써 일어나기도 하지만, 다른 사람과 자신의 생각을 공유하고 협동하며 상호작용할 때, 더 활발하게 일어난다.

1.2. 3D 거북 표현식

Constructionism은 구성주의를 바탕으로 하여 실제적 교육 전략을 더한 이론으로 물리적 구성을 통한 정신적 구성을 강조하며, 학습자가 인공물을 직접 만들 수 있는 놀이 공간을 필요로 한다. 이러한 놀이 공간을 컴퓨터 환경으로 구현한 것이 마이크로월드이다. 대표적으로 인정되고 있는 마이크로월드는 LOGO(Papert, 1980), StarLOGO(Resnick, 1994), JavaMAL(조한혁, 2003), Scratch²⁾ 등이 있다. 이 중에서 LOGO는 Papert가 개발한 교육용 프로그래밍 언어로 1980년대 이후로 대표적 마이크로월드로 인정받아왔다.

Cho 등(2010)은 LOGO의 신체 동조적인 명령과 최근에 강조되고 있는 공간 감각의 개발에 맞추어 3차원 입체도형을 만드는 LOGO기반 JavaMAL 마이크로월드를 개발하였다(신동조, 2013). Cho 등(2010)은 LEGO 은유로 쌓기나무를 사용하여 공간도형을 구성하기 위해 ‘앞, 좌, 우, 위, 아래’를 기본적인 아이디어로 하고, 이를 구현할 수 있는 ‘3D 거북표현체계(s, L, R, u, d)’를 사용하여 쌓기나무 입체도형을 만들 수 있는 환경을 설계하였다. JavaMAL 마이크로월드는 기존 LOGO 언어보다 더욱 간단한 표현들을 사용하여 대상을 구성함으로써 어린 아이들도 쉽

2) Papert의 constructionism의 이론을 기반으로 하여, MIT 미디어랩에서 개발한 교육용 프로그래밍 언어이다.

게 사용할 수 있다는 장점이 있다. 또한 JavaMAL 마이크로월드는 간단한 문자 표현들을 사용하여 가상의 쌓기나무를 구성할 수 있는데 여기서 사용하는 표현 그 자체는 쌓기나무를 의사소통할 수 있는 하나의 도구로써 사용될 수 있다. <표 II-1>은 JavaMAL 마이크로월드에서 사용하는 3D 거북 표현체계와 그 기능에 대한 설명이다.

<표 II-1> JavaMAL 마이크로월드에서 3D 거북 표현식

3D 거북 표현체계	3D 거북 표현식	비고
s: 한 발자국(step)앞으로 R: 오른쪽(Right)으로 90도 돌기 L: 왼쪽(Left)으로 90도 돌기	 ssRsusLssd	수평 운동
u: 위로(up) 움직이기 d: 아래로(down) 움직이기		수직 운동

3D 거북 표현체계는 거북이가 한 발자국 앞으로 나아가면서 쌓기나무 한 개를 만드는 ‘s’, 왼쪽, 오른쪽, 위쪽 그리고 아래쪽으로 90도 회전하는 대문자 ‘L’, ‘R’, ‘U’, ‘D’가 있으며, 거북이의 방향을 바꾸지 않고 쌓기나무를 왼쪽, 오른쪽, 위쪽 그리고 아래쪽으로 한 층 올라가면서 쌓기나무를 쌓는 소문자 ‘l’, ‘r’, ‘u’, ‘d’로 구성되어 있다. 3D 거북 표현체계를 사용하여 ‘ssRsusLssd’라는 문자식으로 순차적으로 쌓기나무 입체를 구성할 수 있는데, 이러한 문자식을 3D 거북 표현식이라 한다. 이러한 3D 거북 표현식은 JavaMAL 마이크로월드에서 자신의 생각을 결과물로 구성하여 즉각적인 피드백을 받는다는 의미에서 ‘실행식(executable expression)’으로도 표현한다(조한혁, 송민호, 2014).

3D 거북 표현식은 여러 선행 연구에서 3D 입체를 표현하고 의사소통하는 도구로써의 역할 뿐만 아니라, 수학 학습을 위한 도구로 3D 거북 표현식의 역할을 밝히고 있다(조한혁, 송민호, 2014; Lee & Cho, 2014; Cho, Lee, & Song, 2013).

2. Computational thinking

과학, 기술, 공학과 수학 분야에서 필수적으로 요구되고 있는 역량 중 하나인 computational thinking의 개념에 대해 살펴보고 computational thinking 학습이 어떻게 수학 교육과 연계하여 이루어지고 있는지 살펴본다.

2.1. Computational thinking의 개념

Computational thinking은 2006년에 Jeannette Wing의 논문에 처음으로 등장하면서 큰 주목을 받았으며, 컴퓨터 과학뿐만 아니라 수학, 과학 분야의 여러 학자들로부터 활발히 연구되고 있다. Wing(2006)은 computational thinking이 읽기, 쓰기, 산술과 더불어 21세기를 살아가기 위해 누구나 갖추어야 할 기본적인 역량이며, STEM 분야뿐만 아니라 다양한 학문 분야에 영향을 주고 있다고 주장하였다. 이러한 주장은 산업 경제 사회에서 SW(소프트웨어)중심사회로 나아감으로써 SW가 중요시되고 있는 시대적 흐름이 작용한다. 우리는 현실에서 SW와 떨어져 살 수 없을 정도로, SW는 이동수단, 가전제품, 금융 등 모든 산업의 기반이 되어가고 있다. 심지어 SW와 연계성이 없는 산업은 미래사회에 도태될 위험이 있다는 말이 있을 정도로, 모든 산업들은 SW와 연계하여 부가가치를 높이려 하고 있다.

SW가 중요해짐에 따라, 전 세계 주요 국가들은 SW중심사회에 요구되는 역량 중 하나인 computational thinking을 향상시키기 위해 SW코딩교육을 강화하고 있다. 영국은 2014년부터 ‘컴퓨팅’ 과목을 만 5세부터 16세 학생들에게 필수과목으로 교육하고 있으며, 핀란드는 2016년 가을 학기부터 초등학교에서 수학, 과학 과목과 통합하여 코딩교육을 시작하기로 했다. 미국은 빌 게이츠, 마크 저커버그 등 산업계 주요 인사가 ‘아워오브코드(Hour of Code)’라는 코딩 교육 캠페인에 나서고 있으며,

‘코드닷오알지(Code.org)’라는 비영리단체를 중심으로 미국 내에 코딩 교육 확산을 이끌어내고 있다. 또한, 한국에서도 2018년부터 SW코딩교육이 정교교과로 편성되면서 의무화될 예정이다.

Computational thinking은 SW중심사회에서 요구되는 필수적인 역량으로, Cuny, Synder, & Wing(2010)은 computational thinking을 다음과 같이 정의하였다.

“Computational thinking은 문제와 그 해법을 형식화하는데 관련된 사고과정으로, 문제의 해법이 정보처리 에이전트(information-processing agent)에 의해 효율적으로 실행될 수 있는 형태로 표현되도록 하는 것이다.”

Aho(2012)은 이를 더욱 간단히 하여 computational thinking을 문제의 해법이 컴퓨터의 절차와 알고리즘으로 표현될 수 있도록 문제를 형식화하는 사고과정이라고 하였다. 즉, computational thinking은 컴퓨터를 이용하여 문제를 해결하는 인간의 사고과정이다. 이 때, 문제를 해결한다는 것은 증명, 알고리즘과 같은 수학적으로 잘 정의된 문제뿐만 아니라 광대하고 복잡한 형태로 된 실생활 문제들도 해결하는 것을 포함한다(Wing, 2011). 이것은 인간이 이전에 다룰 수 없었던 복잡하고 방대한 문제를 해결하는데 있어, 문제 해결에 필요한 모델을 스스로 설계하고 이를 수행하기 위한 새로운 컴퓨팅 시스템을 구현하는 것이다. 문제해결을 위해 구현한 새로운 컴퓨팅 시스템은 기본적으로 인간의 사고 과정을 통해 구현된 것이지만 해당 시스템의 수행 결과는 인간의 인지 구조와 사고의 한계를 넘어 보다 정확하고 효율적인 해법을 제시할 수 있다(이영준, 2014).

Wing(2006)은 computational thinking이 컴퓨터 과학자뿐만 아니라 누구나 배워서 활용할 수 있는 보편적인 사고이자 기술이라고 하였으며, 컴퓨터 프로그래밍을 하는 것이 아니라 여러 단계의 추상화를 통해 사고하는 것이라고 하였다. 즉, computational thinking은 프로그래밍 그 자체가

아니라 그 이상이며 컴퓨터를 활용하여 문제를 해결하기 위한 사고과정이다. Wing(2011)은 computational thinking의 핵심은 추상화(abstraction)와 자동화(automation)이라고 하였다. 특히 추상화는 computational thinking에서 높은 수준의 사고과정이며 computational thinking의 본질이라고 하였다. 추상화는 “패턴을 정의하거나 사례들을 일반화시키는 것과 하나의 대상으로 다수를 나타내기 위해 사용되는 것”이다. 이것은 대상의 공통된 필수적인 성질을 알아채는 것을 말하며, 하나의 대상으로 많은 것을 만들어낼 수 있고 복잡성을 다루기 위한 중요한 요소이다. 자동화는 추상화를 통해 설계한 모델을 컴퓨팅 시스템으로 구현하여 문제 해결을 하는 것을 의미한다.

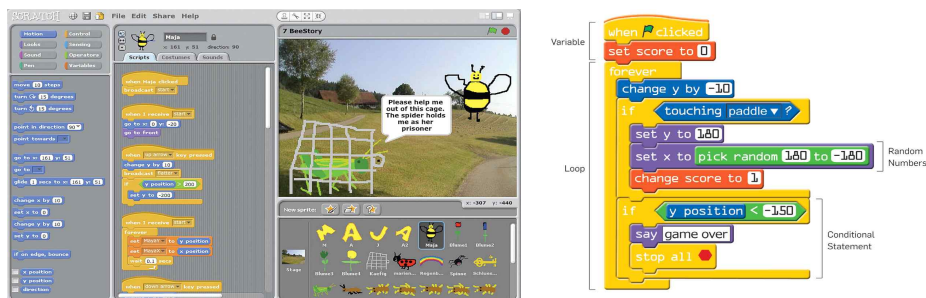
Wing(2008)은 ‘심적(mental)’ 도구인 추상화는 ‘기계적(metal)’ 도구에 의한 자동화를 통해 그 힘이 증폭된다고 하였다. 자동화를 위해서는 추상화를 해석하기 위한 기계적 도구가 필요하지만, 기계적 도구가 항상 컴퓨터와 같은 물리적 기계를 의미하는 것은 아니다. 상황에 따라서 인간도 자동화의 수단인 컴퓨터가 될 수 있으며, 그것이 컴퓨터와 인간이 결합한 형태일 때 그 힘이 더 증폭된다고 하였다. 즉, computational thinking은 문제에 대한 알맞은 추상화를 찾고 적절한 종류의 컴퓨터를 선택하여 자동화를 통해 문제를 해결하는 인간의 사고과정이다.

2.2. Computational thinking 기반 수학학습

국내외에서 computational thinking의 중요성을 인식하고 교육현장에 computational thinking을 도입하려는 연구가 있어왔다(최인용, 2014; 박경은, 이상구, 2015; 정진환, 2015; Bar & Stephenson, 2011; Brennan & Resnick, 2012; Sengupta et al., 2013). Repenning, Webb, & Ioannidou(2010)은 computational thinking 학습을 위해서는 도구(tool)가 중요하다고 강조하면서, 이를 위해서 computational thinking 도구(tool)가 낮은 문턱(low threshold), 높은 천장(high ceiling), 비계의 지속적인 공급(scaffolds flow), 전이 가능성(enable transfer), 형평성 지지(supports

equity), 체계적이고 지속가능한 것(systemic and sustainable) 의 6가지의 조건을 만족해야 한다고 하였다. 이 때, 낮은 문턱과 높은 천장은 Papert(1980)가 개발한 교육용 컴퓨터 언어인 LOGO의 “낮은 바닥, 높은 천장(low floor, high ceiling)” 의 아이디어를 바탕으로 한다. 이러한 아이디어에 따라 Scratch, Alice 등과 같은 웹 기반 computational thinking 교육도구가 개발되었다.

특히, 미국의 MIT대학 미디어랩에서 개발한 스크래치(scratch)는 교육용 프로그래밍 언어로 가장 널리 사용되고 있는 교육도구이다. 스크래치는 레고 블록들을 쌓아 새로운 프로그램을 만드는 것처럼 [그림 II-2]과 같이 명령 블록들을 드래그 앤 드롭(Drag & Drop)하여 게임, 애니메이션 등과 같은 프로젝트를 만드는 것이다. 또한 웹 기반이기 때문에 온라인 커뮤니티에서 다른 사람들의 생각을 공유할 수 있으며, 협업이 가능하며 다른 사람의 과제를 바탕으로 개선하고 구성하여 새로운 것을 창조할 수도 있다. 스크래치는 Papert의 constructionism의 이론을 기반으로 구성되었으며, ‘낮은 바닥(low floor), 높은 천장(high ceiling), 넓은 벽(wide wall)’을 강조한다(Resnick et al., 2009). 즉 시작하기 쉬우며, 시간이 지날수록 높은 수준의 프로젝트를 만들 수 있는 기회를 제공할 뿐만 아니라 다양한 종류의 프로젝트를 구성하여 다양한 관심사와 학습 스타일을 가진 사람들이 모두 참여하는 것을 강조한다. 이러한 점에서 스크래치는 어린 아동들도 쉽게 접근할 수 있으며, 자신이 상상한 아이디어를 구현한다는 점에서 자신만의 추상화를 자동화시키는 경험을 할 수 있다.



[그림 II-2] 스크래치 화면과 명령

Computational thinking이 컴퓨터 과학에서의 핵심 개념을 바탕으로 하는 것이지만, 그것에는 문제 상황의 표현, 추상화, 분석, 시뮬레이션, 요약 및 예측과 같이 수학과 과학의 여러 분야에서의 모델링, 추론 및 문제해결에 가장 중요한 요소들이 포함되어 있다(National Research Council, 2010; 최인용, 2014, 재인용). 따라서 computational thinking 교육은 프로그래밍 언어를 배우기 위한 교육이 아니라, 문제해결을 위한 사고과정의 측면에서 수학, 과학 교과와 연계하여 이루어져야 한다. Hammendinger(2010)은 학생들에게 computational thinking을 가르치는 목적이 컴퓨터 과학자처럼 사고하는 것이 아닌 모든 학문 분야에 걸쳐 탐구될 수 있는 새로운 질문을 발견하고 문제를 해결할 수 있도록 가르쳐야 한다고 하였다. 이에 따라 computational thinking은 수학, 과학과 같은 다양한 교과의 맥락에서 통합적으로 교육되어야 한다.

Sengupta et al(2013)은 과학교육에서 Python, 에이전트 기반 컴퓨터 학습 환경 등을 이용하여 모델링과 시뮬레이션을 중심으로 과학교육과 computational thinking을 통합하려고 하였으며, Bar & Stephenson(2011)은 computational thinking의 핵심 개념이 컴퓨터 과학, 수학, 과학, 사회 연구, 언어 예술 분야에서 어떻게 내제될 수 있는지 활동을 통해 정리하였는데, 이 중에서 수학교과에 대한 내용은 <표 II -2>과 같이 제시하였다.

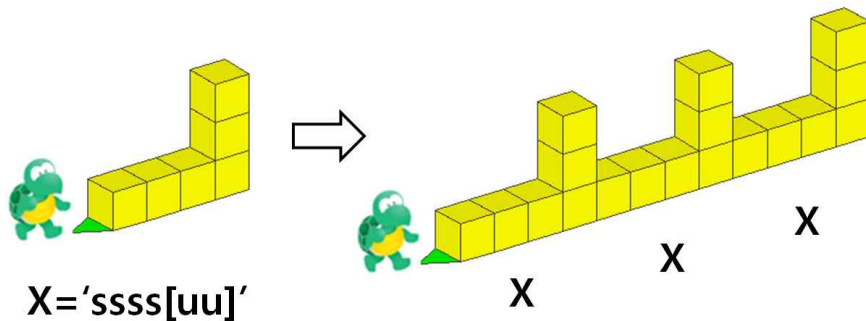
<표 II -2> Computational thinking과 수학에서의 활용(Bar & Stephenson, 2011)

CT개념, 역량	수학
자료 수집	실험 문제에 대한 자료 수집, 예를 들어 동전 던지기, 주사위 던지기
자료 분석	동전, 주사위 던지기 실험의 결과 분석
자료 표현	히스토그램, 막대그래프 등을 사용하여 자료 표현하기, 집합 목록, 그래프 등을 사용하여 자료 묶기
문제 분해	표현에서 적용 순서를 적용하는 것
추상화	대수에서 변수를 사용하는 것, 문장제 문제의 핵심 구조

	파악하기, 대수에서 함수와 프로그래밍에서 함수를 비교하기, 문장제 문제를 풀기 위한 반복 사용하기
알고리즘&과정	긴 나눗셈(long division)을 이용한 인수분해
자동화	GSP, Starlogo, Python과 같은 컴퓨터 기기 사용하기
병렬화	선형 시스템 풀기, 행렬의 곱셈하기
시뮬레이션	좌표평면에서 그래프 그리고 변수의 값 바꿔보기

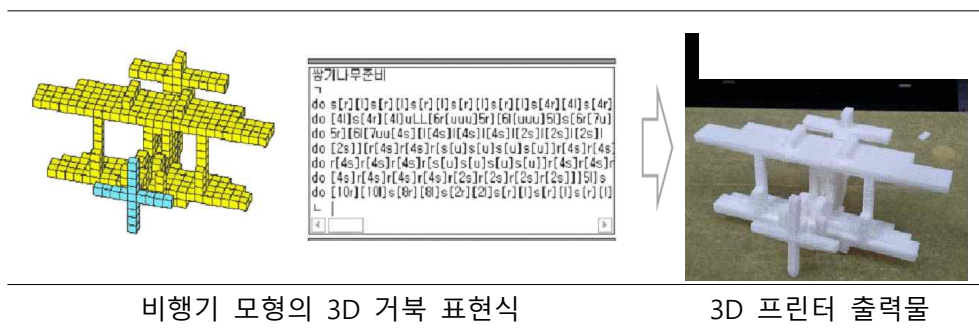
박경은 & 이상구(2015)은 선진국은 지난 20여 년간 수학교과와 수학적 추론, 수학적 문제 해결, 수학적 의사소통을 하는 과정에 CAS(Computation Algebra System)라는 교육도구를 활용하여 수학문제를 해결하려는 방법으로 자연스럽게 학생들의 computational thinking을 향상시켜왔다는 점에 착안하여 우리나라의 2009 개정 교육과정에 따른 수학과 교육과정 교과서들도 다양한 CAS 도구에 대한 활용을 담아 computational thinking 향상에 발을 맞추고 있다고 하였다. 최인용(2014)은 모바일 도구를 활용한 P-Turtle(<http://pturtle.cafe24.com>)이라는 computational thinking 기반 스마트 확률 학습 설계를 통해 테크놀로지를 통한 확률 개념의 학습 뿐 아니라 학습자의 자기 평가 및 반성, 교사 및 동료와의 의사소통 등을 고려하여 학습자가 추상화와 자동화를 통해 computational thinking을 경험할 수 있도록 하였다. 이를 위해 확률의 수학적 구조를 포함하고 있는 린덴마이어 기반 확률 표현 체계를 제공하여 컴퓨터와의 상호작용 및 공동체 구성원 사이의 의사소통에 쓰일 수 있도록 하였다. 정진환(2015)은 JavaMAL 마이크로월드 학습 환경에서 Computational Thinking Game(CTG)을 설계하여, constructionism 철학에서 강조하는 ‘디자인을 통한 학습(Learning by design)’을 중심으로 하여 학습자들이 수학적 구조물을 코드를 통해 디자인하는 활동을 통해 computational thinking 뿐만 아니라 대수적 사고를 키울 수 있는 패턴일 반화에 중점을 두었다. 조한혁과 송민호(2014)은 거북 실행식(executable expression) 기반 SMART 스토리텔링 수학교육을 제안하였는데, 이는 [그림 II-3]와 같이 쌓기나무 실행식 기반으로 치환 문자 통해 변수의

변화량을 파악함으로써 일차함수라는 수학적 개념을 알 수 있다. 기호를 사용하여 수학적 대상을 구성하고, 조작하는 활동은 학습에 있어 강력한 표현의 힘(expressive power)을 갖는다(Noss & Hoyles, 1996).



[그림 II-3] 거북 실행식의 치환 기능

뿐만 아니라 [그림 II-4]와 같이 추상화하여 코딩한 거북 실행식을 통해 가상 공간에서 비행기 모형을 자동화시킬 수 있고 실세계에서도 3D 프린터를 이용하여 결과물을 출력함으로써 자동화시킬 수도 있다. 이것은 computational thinking 기반의 코딩 교육과 자유학기제 융합 교육과도 연계되어 활용될 수 있다(Lee & Cho, 2014).



비행기 모형의 3D 거북 표현식

3D 프린터 출력물

[그림 II-4] 3D 거북표현식과 3D 프린터 (조한혁, 송민호, 2014)

3. 공간 능력과 공간 인지 전략

이번 장에서는 공간 능력에 대한 여러 학자들의 다양한 정의에 대해 살펴본다. 또한, 2009 개정 교육과정에 따른 초등학교 6학년 2학기 교과서의 연결큐브 단원의 차시를 분석하고 공간 과제를 해결하는데 있어 3D 거북 표현식의 효과를 밝힌 여러 선행연구를 살펴본다. 이후에 학생들이 사전에 공간과제를 해결하는데 있어 사용한 인지 전략을 분석하기 위해 이지윤(2015)의 인지전략 분석틀을 중심으로 공간 인지 전략에 대한 이론적 배경을 살펴본다.

3.1. 공간 능력

공간 능력에 대한 명확한 정의가 없고 학자마다 다양하게 정의되고 있으며(Bishop, 1980), 공간 감각, 공간 지각력, 공간 시각화, 공간 방향화, 공간지능 등과 같이 함께 사용되고 있다. Linn & Pertersen(1985)에 따르면, 공간능력이란 공간 속의 사물의 이미지를 인식하고 회상하며 창출하고 소통할 수 있는 정신적 과정이라고 하였다. 또한, Del Grande(1990)은 공간 능력이란 눈을 통해 물체의 패턴, 모양, 위치, 움직임 등을 파악하고 공간적 지각 능력, 다른 관련 감각기관과의 협응, 과거 경험의 반영 등이 포함된다고 하였다. 또한 학자들마다 공간 능력을 구성하는 요소를 분석하는 방법에는 여러 가지가 있다. 그 중에서 Thurstone(1944), Linn & Peterson(1985), Mcgee(1979), Tartre(1984)의 연구를 중심으로 구성요소를 살펴볼 것이다.

한기완(2001)에 의하면, Thurstone(1944)은 공간 능력은 공간 시각화, 공간적 관계, 공간적 방향의 3가지로 분류된다. 공간 시각화(spatial visualization)은 표상 내용을 마음속으로 조작하는 능력이라고 정의하였다. 예를 들어, 평면 도형이나 입체도형을 더 작은 부분으로 분할하는 것과 이동하거나 회전시켜 재배열하는 것과 같다. 공간적 관계(spatial

relation)는 대상과 그 대상을 이루는 부분과의 공간적 관계를 바르게 파악하는 능력이다. 예를 들면, 입체 도형을 전개도로 표현하는 것이다. 마지막으로 공간적 방향(spatial orientation)은 제시된 모양이 다른 각도의 시각에서 어떻게 나타나는가를 상상하는 능력 및 공간 내에서 자기 자신을 바르게 위치할 수 있는 능력이라고 하였다. 예를 들어, 여행 중인 장소에서 자신이 어디에 있고, 어떻게 하면 목적지에 이를 수 있는가를 아는 능력, 어떤 위치에서 본 도형의 배치를 이해할 수 있는 것을 말한다.

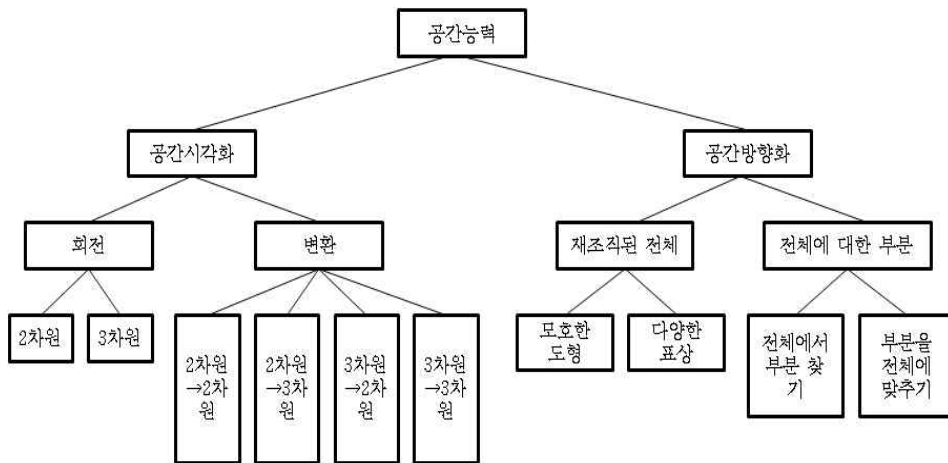
Linn & Piterson(1985)은 공간능력을 공간 지각, 공간 회전, 공간시각의 세 가지 하위 요인으로 분류된다고 하였다. 공간 지각(spatial perception) 능력은 중력적, 운동감각적 단서를 통해 공간 사이의 관계를 정확하게 인지할 수 있는 능력을 말하여, 공간 회전(mental rotation)능력은 2차원 혹은 3차원의 물체를 회전하였을 때의 상태를 정확하게 파악할 수 있는 능력이다. 공간 시각화(spatial visualization)능력은 주어진 공간적 정보를 머릿속에서 가시화하여 그려 볼 수 있는 능력이다(이성미, 2007; 9-10에서 재인용).

Mcgee(1979)은 공간능력은 공간 방향화와 공간 시각화로 분류하였다. 공간 방향화란 시각적인 자극 패턴 범위 내에서 구성요소의 배치를 이해하고, 제시된 도형이 방향이 변하여도 혼동하지 않는 경향과 관련되며 관찰자의 신체의 방향에서 공간관계를 결정하는 능력이다. 공간 시각화는 그림으로 제시된 공간의 시각적 대상물을 마음속으로 조작하기, 회전하기, 돌리기, 뒤집기 등을 할 수 있는 능력이다. 이는 도형의 내적 부분간의 이동을 한 도형, 혹은 3차원 공간에서 만들어진 대상물을 인식하고, 기억하고, 회상하는 과정, 혹은 평면에서의 패턴을 접거나 접지 않고 하는 과정과 관계된다. 이지윤(2015)에 따르면 Mcgee(1944)의 분류는 대상을 변환시키는가, 관찰자의 관점을 변환시키는가에 따른 준거 기준(frame of reference)의 관점에서 해석될 수 있다고 하였다. 따라서 공간 시각화 요인은 대상의 내적 준거를 환경에 대해 변화시키는 대상 변환 능력으로 개념화되고 공간 방향화 요인은 자기중심적 준거를 환경에 변화시키는 자아 중심 변환 능력으로 해석될 수 있다.

Tartre(1984)는 공간 능력이 관계들을 시각적으로 이해하고 조작하고, 재조직하거나 해석하는 것과 관련된 정신적 능력으로 정의하였고 공간 시각화와 공간 방향화로 나눌 수 있다고 하였다. Tartre(1984)는 [그림 II-5]와 같이 McGee(1944)의 공간 시각화 능력, 공간 방향화 능력을 좀 더 세분화 하여 공간 시각화를 정신적 회전과 정신적 변환으로, 공간 방향화를 재조직된 전체, 전체와 부분으로 분류하였다. 회전은 고정된 대상을 서로 다른 위치로 마음속으로 이동시키거나, 마음속으로 대상을 회전시켜보아 처음 위치와 일치하는 가를 결정하는 것이다. 여기에는 수직선의 오른쪽에 있는 대상물이 왼쪽의 대상물과 동일한지 혹은 거울대칭인가를 결정하는 2차원에서의 회전과, 입체를 마음속으로 뒤집고 비교하는 3차원에서의 회전을 포함한다. 변환은 마음속으로 한 물체의 분리된 부분에 대한 서로 다른 움직임과 관계된다. 여기에는 2차원에서 2차원으로의 변환, 2차원에서 3차원으로의 변환, 3차원에서 2차원으로의 변환, 3차원에서 3차원으로의 변환이 있다. 2차원에서 2차원으로의 변환은 2차원 도형을 또 다른 2차원 도형으로 마음속으로 이동시키는 것이다. 2차원에서 3차원으로의 변환은 2차원 패턴을 3차원 상태로 접는 것과 관계된다. 3차원에서 2차원으로의 변환은 접어진 종이에서 접지 않은 상태를 상상하는 것뿐만이 아니라 딱딱한 고체를 대각선으로 잘랐을 때를 상상하는 것과 같은 능력이다. 3차원에서 3차원으로의 변환은 마음속에서 3차원 대상을 부분으로 재구성하는 능력과 관계된다. 공간 방향화는 재조직된 전체(reorganized whole)와 전체에 대한 부분(part of field)로 나눌 수 있다. 재조직된 전체는 완전한 그림 표현을 조직하고 이해하거나 또는 한 표현으로부터 또 다른 표현으로의 변화를 인식하는 것과 관계된다. 재조직된 전체는 모호한 도형(ambiguous figure)과 다양한 표상(multiple representation)으로 나눌 수 있다. 모호한 도형은 어떤 대상물이 관점에 따라 하나 이상의 대상으로 표현되는 것이고, 다양한 표상은 2가지 표상 간에 발생하는 변화를 인식하는 것과 관계된다.

전체에 대한 부분은 시각적으로 표현되었든 또는 상상에 의해서든지 전체에 대한 부분의 표현과 관계된다. 여기에는 전체에서 부분 찾기와

부분을 전체에 맞추기로 나눌 수 있는데, 전체에서 부분 찾기는 숨은 그림 찾기와 같은 퍼즐이 이에 해당한다. 부분을 전체에 맞추기는 시각적으로 표현된 부분이 어떻게 전체에 맞는가를 인지하는 것과 관계된다.



[그림 II-5] 공간능력의 구성요소(Tartre, 1984)

3.1.1. 교과서 연결큐브 단원 차시 분석

2009 개정 교육과정에 초등학교 6학년 2학기 교과서의 연결큐브 문제는 Tartre(1984)의 공간능력의 구성요소 중 공간 시각화 능력과 관계된다. 2009 개정 교육과정에 따른 초등학교 6학년 2학기 수학교과서에는 쌓기나무를 바닥에서부터 쌓아올려야만 하는 한계점을 극복하여 학생들의 공간 감각을 향상시키기 위해 연결큐브를 사용한 활동이 새롭게 도입되었다(교육부 2015a, 교육부 2015b). <표 II-3>은 6학년 2학기 수학 교사용 지도서에 나오는 연결큐브 단원 차시 수업 내용 및 활동이다. 이러한 연결큐브 활동은 쌓기나무 단원에서 쌓기나무 활동의 후속 차시로 나오는 활동이다. 6차시에서는 연결큐브 4, 5개로 만들 수 있는 모양을 빠뜨리지 않고 모두 찾는 활동으로 연결큐브 3, 4개로 만들어진 모양에 연결큐브 1개의 위치를 옮겨가며 붙여서 겹치지 않게 서로 다른 모양을 만

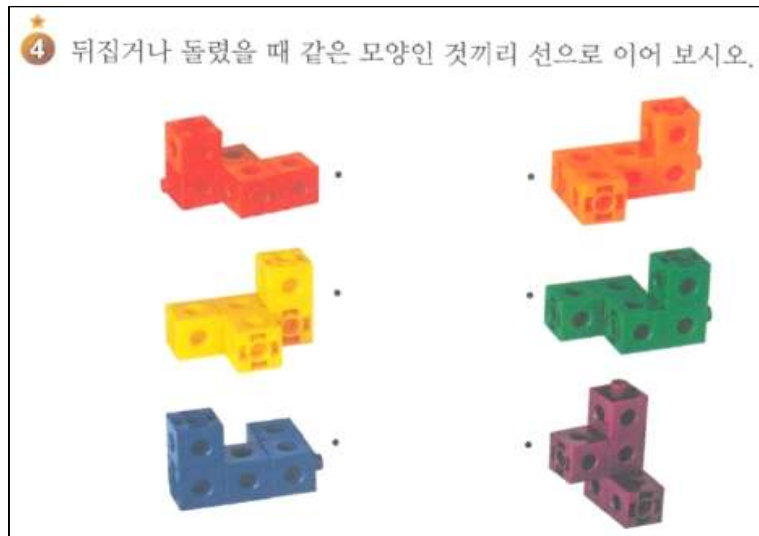
들어보는 활동이다. 이 때 만들 수 있는 모양을 빠뜨리지 않고 모두 찾기 위해서는 연결큐브로 만들어진 모양이 돌리거나 뒤집었을 때 같은 모양을 찾는 것이 중요하다. 따라서 교과서에 [그림 II-6]과 [그림 II-7]와 같이 돌리거나 뒤집어서 같은 모양을 찾는 회전 문항을 제시하고 있다. 7차시에서는 연결큐브 4개로 만든 모양으로 여러 가지 모양을 만들어보는 활동으로, [그림 II-8]와 같이 6차시에 만들었던 연결큐브 4개로 만들었던 모양을 연결하여 여러 가지 새로운 모양을 만들거나 구분하여 색칠하는 활동이 포함되어 있다. 또한 연결된 전체 모양을 두 가지 모양으로 분리해보는 가역적 사고 활동도 제시되어 있다. 7차시에서 ‘친구들과 만든 것을 서로 비교하고 설명할 수 있다’라는 것을 통해 수학적 의사소통을 강조하고 있는 것을 알 수 있다.

〈표 II-3〉 연결큐브 차시 수업 내용 및 활동(교육부, 2015b)

차시	내용
6	조건에 따라 모양을 만들 수 있어요.
	<ul style="list-style-type: none"> 주어진 조건에 맞게 연결큐브 4, 5개로 만들 수 있는 모양을 찾게 한다. 만들 수 있는 모양을 빠뜨리지 않고 찾기 위한 방법을 경험하게 한다.
7	여러 가지 모양을 만들 수 있어요.
	<ul style="list-style-type: none"> 연결큐브 4개로 만든 모양으로 여러 가지 모양을 만들어 보게 한다.



[그림 II-6] 2009 개정 6학년 2학기 교과서 회전 문항1



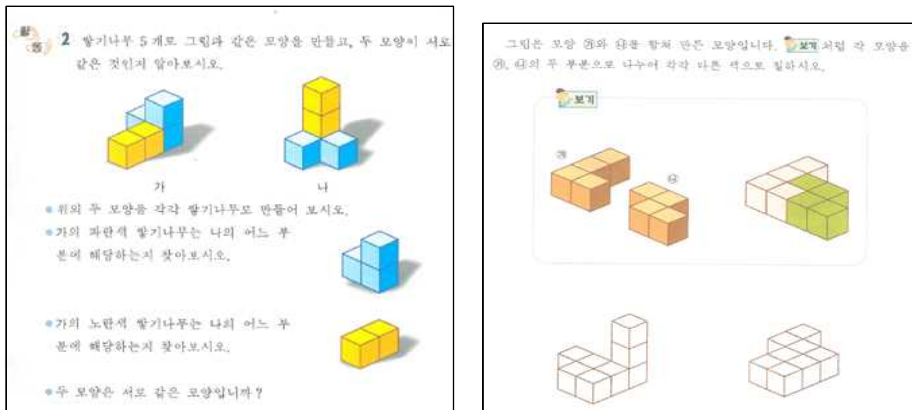
[그림 II-7] 2009 개정 6학년 2학기 교과서 회전문항2



[그림 II-8] 2009 개정 6학년 2학기 교과서 결합문항

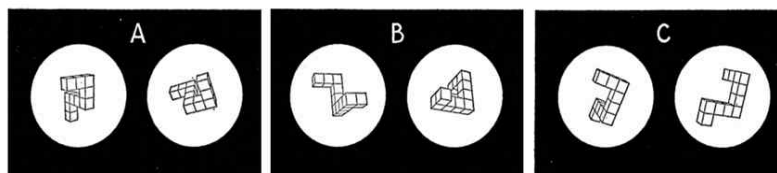
사실 연결큐브 활동은 새롭게 도입된 것은 아니며, 이미 제 7차 교육과정에서 유사한 내용이 다루어졌었다. [그림 II-9]은 7차 교육과정에 따른 6학년 교과서(교육부, 2003)의 내용이다. 이는 쌓기나무를 사용한 활동이며, 5개로 이루어진 쌓기나무 입체를 두 개의 쌓기나무 모양을 분리하여 같은지 다른지를 묻는 문제와 쌓기나무 입체를 두 모양의 쌓기나무 입체로 색연필로 구분하여 색칠하는 내용이다. 그러나 쌓기나무는 물리적 환경에서 돌리거나 뒤집는 활동이 불가능하다는 한계가 있지만, 연결

큐브는 큐브 간 연결을 할 수 있어 입체 모양을 만들고 만든 입체를 돌리거나 뒤집는데 용이하기 때문에 2009 개정 교육과정에서 쌓기나무 대신 연결큐브로 이 내용을 다룬 것은 적합한 교구 선정이다(정혜림 등, 2016).



[그림 II-9] 제 7차 교육과정 교과서 쌓기나무 단위 내용

돌리거나 뒤집어서 같은 모양을 찾는 연결큐브 활동은 Shepard & Metzler(1971)의 심적 회전 검사(Mental Rotation Test)와 연관이 있다. [그림 II-10]에는 두 자극이 서로 같은 자극인지 다른 자극인지 판단하는 심적 회전 검사 문항이 제시되어 있다. A는 평면 회전이며, 같은 쌍의 문항자극, B는 깊이 회전이며 같은 쌍의 문항자극이고 C는 깊이 회전이며 거울대칭 쌍의 문항자극으로 구성되었으며, 연구 결과 평면 회전과 깊이 회전에 따라 반응시간에 큰 영향은 없었으며 회전각도가 커질수록 반응시간이 길어졌다.



[그림 II-10] Shepard & Metzler의 심적 회전 검사(1978)

3.1.2. 공간 과제에서 3D 거북 표현식 적용에 관한 선행연구

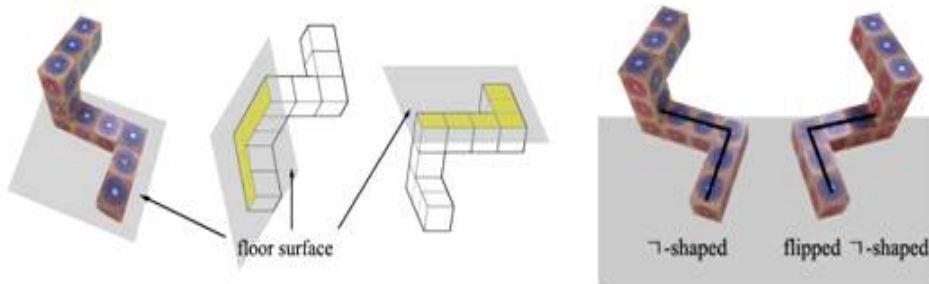
여러 가지 유형의 공간 과제를 해결하는데 있어 3D 거북 표현식의 적용에 관한 선행 연구들이 있었다(김지애, 2012; 이지윤, 2015; 이지윤 등, 2013; 정혜림 등, 2016; Cho & Lee, 2014;) 3D 거북 표현식은 3D입체를 구성하는 공간 언어라는 점에서, 그리고 학습자의 운동에 관한 표상을 사용하는 체화된 표현이라는 점에서, 3D입체를 지각하고 표상하는 인지 과정을 변화시킨다(이지윤, 2015). 또한 3D 대상을 거북 은유를 통한 구성으로 바라보는 ‘거북 스킴(turtle scheme)’이 공간을 바라보는 새로운 관점을 제공할 수 있다(이지윤 등, 2013).

Cho & Lee(2014)의 연구에서는 초등학교 6학년 쌓기나무 단원에 대해 입체에 대한 적절한 표현체계가 없기 때문에 그것을 구조적으로 표현하거나 조작하고 남들과 의사소통하기 어렵다는 점에 착안하였다. 그에 대한 도구로 3D 거북 표현체계를 제공하였다. 또한, 3D 거북 표현체계를 기반으로 하는 3D 구성활동(3D constructing activity)을 설계하여 이러한 활동을 통해 학생들의 인지적 변화를 관찰하였다. 3D 구성활동은 다음과 같은 두 가지의 원리로 구성되었다.

원리1. 쌓기나무 입체를 순차적으로 구성하는 과정으로 생각하기

원리2. 쌓기나무 입체를 볼 때, 3D프린터의 ‘바닥면’을 기준으로 사고하기

이는 [그림 II-11]와 같이 학생들이 3D프린터가 바닥면부터 시작하여 그 위로 레이어를 쌓는 원리를 이용하여, 학생들이 거북이의 관점이 되어 바닥면을 기준으로 쌓기나무를 순차적으로 쌓는 과정으로 생각하는 것이다. 이를 통해 입체의 타입을 구분하게 하여 기존의 휴리스틱한 관점에서 체계적인 관점으로 접근하게 함으로써 입체를 바라보는 관점을 체계적으로 변화시킬 수 있다(Cho & Lee, 2014).



[그림 II-11] 3D입체의 바닥면과 입체의 타입 구분

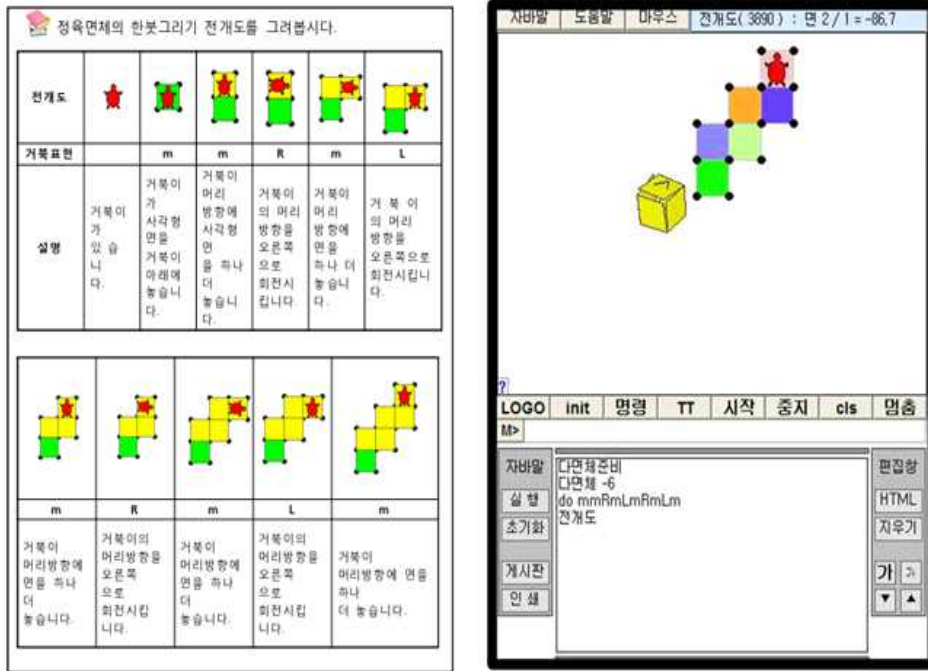
이지윤(2015)의 연구에서 3D 거북 표현식을 다음과 같은 체화 측면이 공간 과제 해결을 도울 수 있다고 하였다.

1. 3D 거북 표현식은 입체를 구성하는 거북 에이전트에게 학습자 자신을 투사시켜 학습자의 관점을 변화시킨다.
2. 3D 거북 표현식은 공간에 대한 ‘언어’라는 측면에서 시간의 흐름에 따라 3D 입체의 구성 과정을 ‘시뮬레이션’하도록 한다.
3. 거북 에이전트에게 학습자 자신을 투사시켜 앞, 뒤, 위, 아래, 오른쪽, 왼쪽 등의 방향 기호를 통해 공간 정보를 부호화하도록 한다.

또한, 정혜림 등(2016)은 초등학교 현직 교사들이 연결큐브 수업에서의 어려움을 조사하였는데, 일반적 해결 전략의 부재로 인한 어려움, 해결 과정 설명의 어려움, 연결큐브 교구에서 기인하는 어려움 등을 예로 들었다. 즉, 교사들은 구체물 없이 공간 대상을 표현하기 어려워했고 직관에 의존했기 때문에 학생들에게 설명하기 어려워했던 교사들에게 3D 거북 표현체계를 제공하여 그것의 효과와 유용성을 밝혔다.

3D 거북 표현체계로 3차원 정육면체를 구성할 수도 있지만, [그림 II-12]와 같이 2차원 면을 만드는 행동문자인 ‘m’을 통하여 정사각형을 만들 수도 있다. 이를 통해 학생들에게 거북명령으로 다면체의 전개도를 구체적으로 다룰 수 있는 학습 환경을 제공할 수 있다. 이러한 점에 착안하여, 김지애(2012)는 학생들이 전개도 접기의 공간 과제를 해결에 있어 ‘다양한 각도에서 관찰하기’, ‘한 꼭짓점에서 만나는 면 주목하기

’, ‘분해’, ‘전개도 변환’이라는 인지 전략 학습을 통해 그것의 효과를 밝혔다.



[그림 II -12] 정육면체 전개도 만들기(김지애, 2012)

3.2. 공간인지전략

학생들이 사전에 공간과제를 해결할 때, 어떠한 전략을 사용하여 해결하는지를 살펴보기 위해 이에 대한 선행연구들을 살펴본다. 특히, 이지운(2015)의 연구에서는 공간과제를 해결할 때 사용하는 인지 전략을 대상을 지각하는 과정에서 나타나는 ‘접근’ 측면과 지각된 대상을 표상하는 과정과 관련한 ‘처리’ 측면, 그리고 대상을 조작하는가, 자신의 관점을 변환시키는가에 따른 ‘준거 기준’ 측면으로 나누었는데, 이것을 바탕으로 분류하여 살펴본다.

3.2.1. 인지전략의 접근 측면

Gorgorió(1998)은 공간과제를 해결할 때의 학생들의 인지 전략을 구조 전략(structuring strategy), 처리 전략(processing strategy), 접근 전략(approaching strategy)의 세 가지 관점에서 분석하였다. 그 중에서 접근 전략은 학생들의 주의 집중하는 방법과 관련된다. 즉, 학생들의 접근 전략은 과제를 해결할 때 기하학적 대상 또는 상황에 대해 자기 자신의 집중을 어떠한 방법으로 초점을 맞추는가이다. 이에 대해 기하학적 대상을 넘어 심적 전략의 주의집중에 따라 전체적(global) 전략과 부분적(partial) 전략으로 구분하였다. 예를 들어, 학생이 전체적 접근 전략을 사용하였다는 것은 대상을 전체에 집중한 인지전략이다. 또한, 부분적 접근전략은 대상의 전체보다는 부분에 집중한 인지전략이다. 이것은 자극의 복잡도 등과 같은 영향을 받는데(Pavio, 1971), Michaelides(2002)에 따르면 복잡도가 낮은 2차원의 문제에서는 전체적으로 사고하는 반면 복잡도가 높은 3차원의 문제에서는 부분적으로 사고한다고 하였다. 또한, Gorgorió가 공간과제에서 학생들의 오류를 분석하였을 때 전체적 전략을 사용한 학생들보다 부분적 전략을 사용한 학생들이 더 많은 오류를 나타내는 경향이 있다고 하였다.

3.2.2. 인지전략의 처리 측면

Gorgorió의 연구에서 세 가지의 인지전략으로 분류한 것 중 처리 전략(processing strategy)은 심적 표상 방식으로 지각된 대상이 마음에 표상되어 처리되는 방식이다. 처리 측면에서 ‘시각적(visual)’ 전략과 ‘비시각적(non-visual) 전략’으로 분류하였다. 시각적 전략을 사용한 학생은 해결 방법 중 결정적인 부분에 시각적 이미지를 사용한다고 하였고 비시각적 전략을 사용한 학생은 시각적 이미지에 의존하지 않고 도형의 대칭, 합동 등의 기하적 특징으로부터 논의를 이끌어낸다고 하였다. 처리 전략의 사용은 과제의 자극의 특성에 따라 달라진다고 하였는데 자극이

단순한 경우 시각적 전략을, 복잡한 경우에는 비시각적 전략을 사용한다고 하였다. 또한 과제가 단순한 경우 시각적 전략을 사용한 집단의 정답률이 높았지만 과제가 복잡한 경우에는 비시각적 전략을 사용한 집단의 정답률이 높았다.

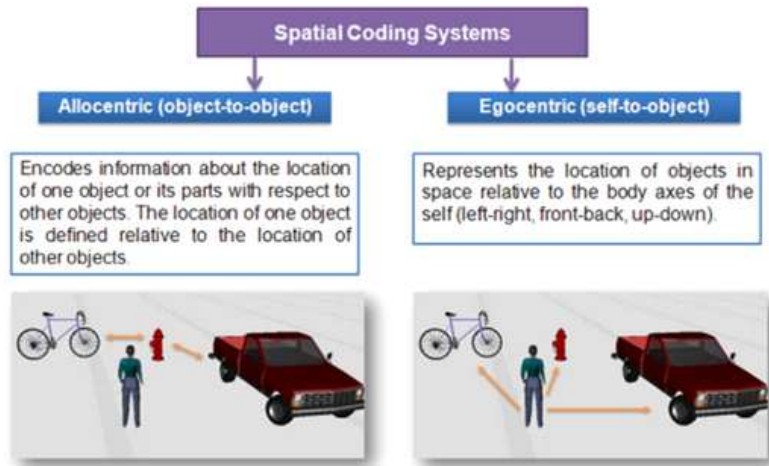
Glück & Fitting (2003)의 연구에서는 공간 과제에서 개개인이 해결하는 전략이 다르고 필요시에 공간 과제를 해결하는데 일관된 전략이 아닌 다른 전략도 섞어가면서 사용한다고 하면서 ‘전체적(Holistic) 전략’과 ‘분석적(analytic) 전략’을 비교하였다. 전체적 전략은 심적 표상 안에서 요소들 사이의 공간적 관계에 대해 심적으로 정보를 처리하는 것이며, 분석적 전략은 순차적인 형태로 비공간적으로 정보를 처리하는 것이다. 예를 들어 주요 랜드마크(landmark)의 목록으로 표현하는 것이다.

Stieff(2007)은 심적 회전 검사(Shephard & Metzler, 1971)와 화학 분자 구조 검사에서 문제를 해결하는 방법을 ‘심적 회전(mental rotation)’과 ‘분석적 휴리스틱(analytical heuristic)’으로 구별하여 초보자와 전문가의 전략 사용을 분석하였다. 그 결과 초보자는 직관적인 심적 회전 전략을 사용했지만 전문가는 분석적 휴리스틱 전략을 사용하였다.

3.2.3. 인지전략의 준거 측면

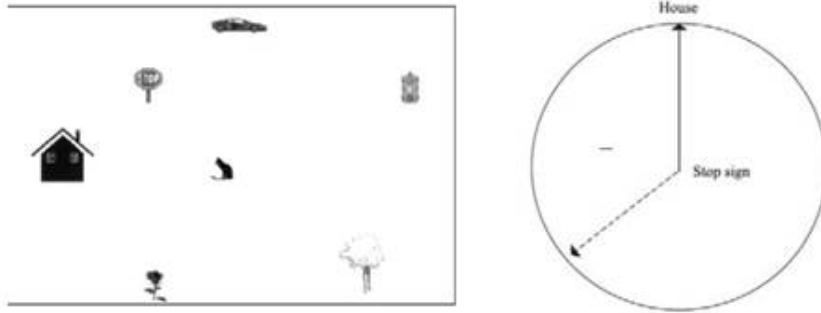
공간 과제를 해결할 때, 과제에 제시되는 대상을 변환시켜 문제를 해결하는가, 관찰자의 관점을 변환시켜 문제를 해결하는가에 따라 준거 측면을 분류하였다. [그림 II-13]와 같이 전자는 대상을 변환시키는 전략으로 ‘대상 기반 변환(object based transformation)’이고 후자는 대상은 그대로 두고 관찰자의 관점을 변환시키는 ‘자기중심적 변환(egocentric transformation)’으로 비교한다.

이것은 과제의 특성에 따라 사용되는 준거 측면의 전략이 달라진다고 하였는데, Zacks & Tversky(2005)에 따르면, 자극 두 개에 대해 같은지 다른지 비교하는 과제에서는 대상기반 변환 전략을 사용하는 반면 하나의 자극에 대해 왼쪽인지 오른쪽인지 물어보는 과제에서는 주로 자기중



[그림 II-13] 대상기반 변환과 자기중심적 변환

심적 변환을 사용한다고 하였다. 또한, 자극이 물체인 경우에는 대상기반 변환 전략을 주로 사용하지만 자극이 손과 같은 신체의 일부일 때는 자기중심적 변환을 사용한다고 하였다. 실제로 심리학 분야에서 준거 측면에서 전략 사용을 다르게 함에 따라 뇌 부위가 활성화도가 다르다고 하였는데, Zacks, Vettel, & Michelon(2003)에 의하면 대상 기반 변환을 사용하면 우측 부위가 활성화가 두드러지는 반면, 자기중심적 변환을 사용하면 좌측 부위가 활성화된다고 하였다. 또한, Kozhevnikov & Hegarty(2001)은 [그림 II-14]와 같이 공간 방향화 요인을 측정하는 두 가지 종류의 관점 취하기 검사 도구를 개발하여 인지 전략을 조사하였다. 예를 들어 그림에서 정지 사진에 서서 집을 보고 있다고 할 때 신호등의 방향을 물어보는 것이다. 학생들의 전략은 각 찾기 전략, 심적 회전 전략, 관점 취하기 전략 유형으로 나타났다. 이 때, 각 찾기와 심적 회전 전략은 자신의 관점을 변화시키지 않기 때문에 대상기반 변환이고 관점 취하기 전략은 자기중심적 변환으로 해석할 수 있다. 실험 결과 90도 이상의 회전 문항에서는 관점 변환 전략을 사용하였고 각도가 작은 경우 대상기반 변환 전략을 사용하였다.



[그림 II -14] Kozhevnikov & Hegarty(2001)의 관점 취하기 검사

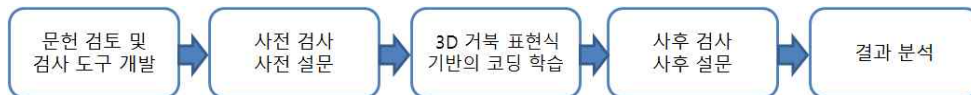
Ⅲ. 연구방법 및 절차

1. 연구 대상 및 절차

본 연구의 대상은 다음 <표 Ⅲ-1>과 같이 세 집단이며 초등학교 6학년, 중학교 1, 2학년 학생들로 이루어져 있다. 본 연구의 목적을 위해 [그림 Ⅲ-1]과 같이 2015년 6월부터 8월까지 검사 도구와 설문지 개발 등을 위한 문헌 검토를 실시하였다. 그리고 연구윤리 준수를 위해 IRB 승인³⁾을 받았다. 이후에 개발된 검사 도구와 설문지를 바탕으로 2015년 8월부터 12월까지 본 연구의 참여자 집단을 대상으로 사전 검사 및 사전 설문을 진행하였으며, 3D 거북 표현식 기반의 코딩 학습을 한 후에 사후 검사 및 사후 설문을 하였다. 검사 및 설문이 모두 끝난 이후에 학생들의 검사 결과와 작성한 설문지의 내용을 바탕으로 결과를 분석하였다.

<표 Ⅲ-1> 연구 대상

집단	연구 대상
1	시흥시 소재 초등학교 6학년 학생 78명
2	서울사대부설중학교 1, 2학년 학생 23명
3	서울사대부설중학교 1학년 학생 56명



[그림 Ⅲ-1] 연구 절차

각각의 집단에 대한 세부적인 연구 진행과정은 다음과 같다. 먼저, 첫 번째 집단은 경기도 시흥시 소재 초등학교 6학년 학생 78명(남학생 36

3) IRB 승인번호: IRB No. 1508/001-002

명, 여학생 42명)으로, 이들은 서울대학교 사범대와 경기도 시흥시의 학
관 협력 사업으로 이루어진 시흥 창의멘토링⁴⁾에 참여한 114명의 학생들
중에서 온라인 과제를 성실히 참여한 학생들로, 일반 학생들에 비해 성
실하고 학업 열의가 높다. 이 학생들은 2015년 5월부터 7월까지 3개월
동안 온라인 수업과 과제를 통해 3D 거북 표현식 기반의 코딩 학습을
하였다. 이후에 2015년 8월 12일부터 14일까지 3일 동안 여름 캠프를 진
행하였다. 여름 캠프는 65분에 걸친 총 2차시 수업으로 1차시에 사전 검
사 및 사전 설문을 진행하였고, 2차시에 3D 거북 표현식 기반의 코딩 학
습 과정의 일부인 거북 전략 수업과 사후 검사 및 사후 설문을 진행하였
다.

두 번째 집단은 서울사대 부설중학교 1, 2학년 남학생 23명(1학년 11
명, 2학년 12명)으로, 이들은 서울대학교 사범대와 서울사대부설중학교가
협력하여 진행한 여름 창의체험 수학캠프에 관심을 가지고 자발적 지원
을 통해 참여한 학생들로 열의가 높았다. 이 학생들은 2015년 8월 6일부
터 11일까지 5일 동안 오프라인 수업⁵⁾을 통하여 3D 거북 표현식 기반의
코딩 학습을 하였다. 여름 창의체험 수학캠프는 60분에 걸친 총 8차시
수업으로 1차시에 사전 검사 및 사전 설문을 진행하였고, 6차시에 3D 거
북 표현식 기반의 코딩 학습 과정의 일부인 거북 전략 수업과 사후 검사
및 사후 설문을 진행하였다.

세 번째 집단은 서울사대 부설중학교 1학년 남학생 56명(전반기 28명,
후반기 30명)으로, 이들은 서울사대부설중학교 방과후 자유학기제 선택
프로그램에 자발적으로 참여한 학생들로 열의가 높았다. 이 프로그램은
전반기의 화요일, 목요일 반 2개와 후반기의 화요일, 목요일반 2개로 이
루어져 있으며 전반기는 8월 말부터 10월 말까지, 후반기는 10월 말부터

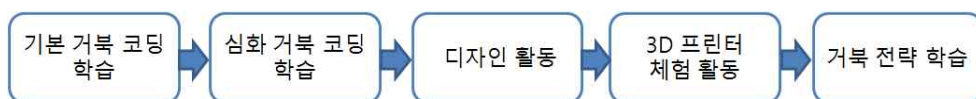
4) 시흥 창의멘토링은 JavaMAL 마이크로월드가 탑재된 홈페이지
(<http://mentoring.snu.ac.kr/siheung>, <http://mentoring.snu.ac.kr/cretest>)에서 매
주 1회 동영상 수업과 함께 3D 거북 표현식 기반 코딩학습을 하였으며, 학생
들은 매 시간 수업과 관련한 온라인 과제를 제출하였다.

5) 여름 창의체험 수학캠프는 태블릿 PC를 활용한 오프라인 수업으로,
<http://mentoring.snu.ac.kr/cretest> 홈페이지에서 3D 거북 표현식 기반의 코딩
학습을 하였으며, 학생들은 매 시간 수업과 관련한 과제를 제출하였다.

12월 말까지 총 7차시의 오프라인 수업⁶⁾으로 이루어졌다. 전반기에 참여한 학생들은 2015년 8월 말부터 10월 말까지, 후반기에 참여한 학생들은 2015년 10월 말부터 12월 말까지 3D 거북 표현식 기반의 코딩 학습을 하였다. 방과후 자유학기제 프로그램은 45분에 걸친 총 7차시 수업으로 1차시에 사전 검사 및 사전 설문을 진행하였고, 7차시에 3D 거북 표현식 기반의 코딩 학습 과정의 일부인 거북 전략 수업과 사후 검사 및 사후 설문을 진행하였다.

2. 3D 거북 표현식 기반의 코딩 학습

3D 거북 표현식 기반의 코딩 학습은 [그림 III-2]와 같이 이루어졌다. 먼저 거북이의 행동 은유로 쌓기나무를 순차적으로 구성할 수 있는 기본 거북 코딩과 꺾쇠와 치환 명령과 같은 심화 거북 코딩을 학습하였다. 이후에 학생들이 배운 거북 코딩을 바탕으로 자유롭게 작품을 디자인하는 코딩 활동을 하고 이를 직접 3D 프린터로 출력해보는 체험활동을 가졌다. 마지막으로 공간 과제를 해결하기 위한 인지 전략 학습으로 거북 전략 학습을 하였다.



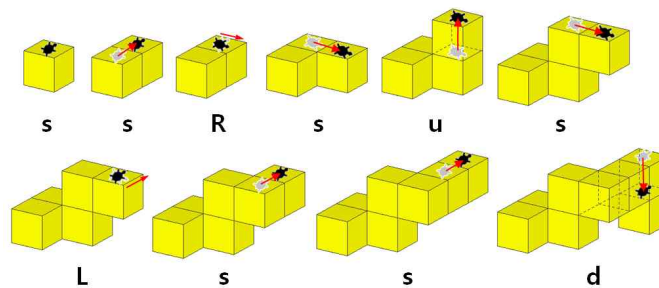
[그림 III-2] 3D 거북 표현식 기반 코딩 학습 과정

2.1. 기본 거북 코딩 학습

기본 거북 코딩 학습에서 학생들은 거북이의 관점에서 방향성과 행동

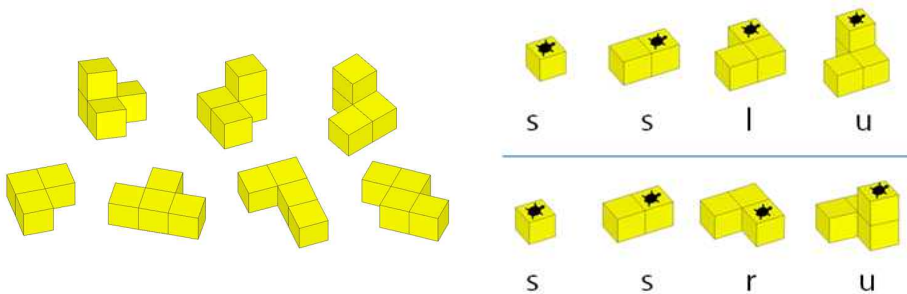
6) 서울사대부설중학교 방과후 자유학기제 선택프로그램은 “뇌파로봇과 코딩수학”이라는 주제로 진행되었다. 또한, 태블릿 PC를 활용한 오프라인 수업으로 <http://mentoring.snu.ac.kr/cretest> 홈페이지에서 3D 거북 표현식 기반의 코딩 학습을 하였으며, 학생들은 매 시간 수업과 관련한 과제를 제출하였다.

을 나타내는 문자 s(앞), t(뒤), l(왼쪽), r(오른쪽), u(위쪽), d(아래쪽)으로 구성된 3D 거북 표현체계를 익혔다. 그리고 3D 거북 표현체계를 바탕으로 [그림 III-3]과 같이 순차적으로 쌓기나무를 쌓으며 3D 거북 표현식을 구성할 수 있는데, 이를 통해 학생들은 3D 거북 표현식을 코딩함으로써 쌓기나무 입체를 만들었다.



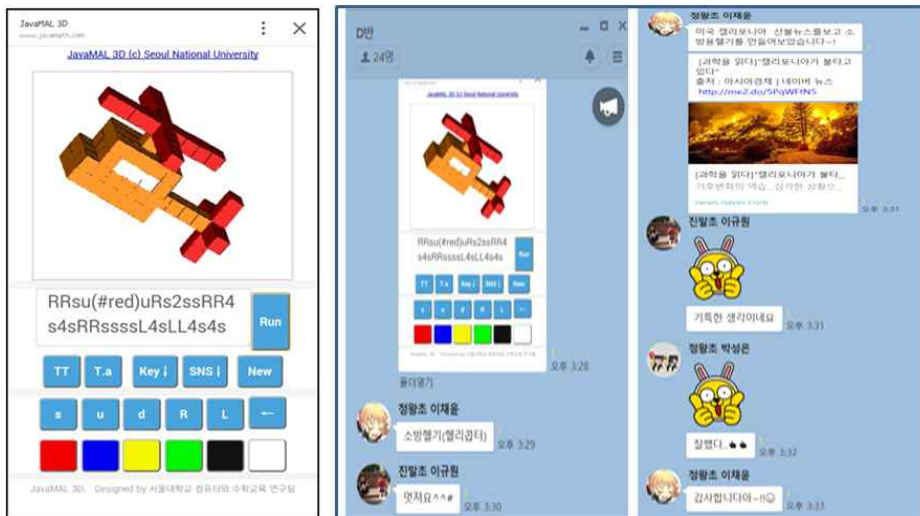
[그림 III-3] 기본 거북 코딩 학습

기본 거북 코딩을 학습하는 과정에서 학생들은 [그림 III-4]과 같이 소마큐브의 7조각을 3D 거북 표현식으로 코딩하였다. 예를 들어 소마큐브의 거울 대칭성을 띄는 2개의 조각을 거북 표현식으로 이용하면 sslu, ssru라고 표현할 수 있다. 또는 sslu를 srsu로 코딩하여 같은 조각을 다양한 방법으로 만들 수도 있다. 이와 같이 하나의 조각에 대해 다양한 3D 거북 표현식으로 코딩하도록 함으로써 거북이의 관점과 방향에 익숙해지도록 하였다.



[그림 III-4] 3D 거북 표현식으로 소마큐브 7조각 코딩하기

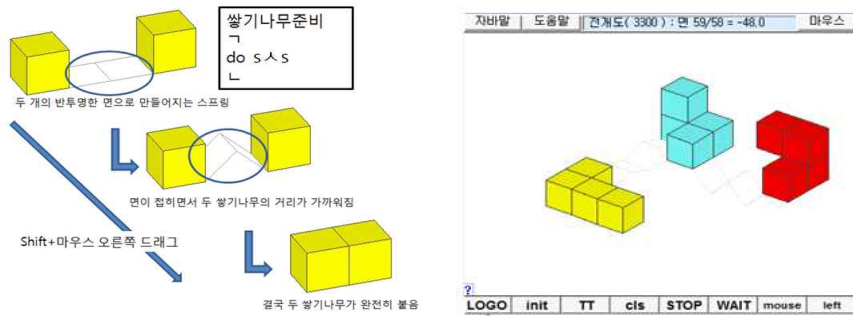
컴퓨터 환경에서 3D 거북 표현식을 학습할 수 있을 뿐만 아니라 [그림 III-5]과 같이 스마트폰에서도 학습할 수 있다⁷⁾. 스마트폰 환경에서는 명령어를 직접 입력할 필요 없이 화면에 명령어 블록이 있어서 블록을 클릭만 해도 쌓기나무를 손쉽게 구성할 수 있다. 뿐만 아니라 자신이 코딩한 작품에 대한 URL을 복사하여 SNS로 공유하며 실시간으로 소통할 수 있다. 이를 통해 학생들은 명령어 블록을 클릭하면서 작품을 디자인 하였고, 이 작품을 어떤 계기로 만들게 되었는지에 대한 설명을 하게 하였다. 이를 통해 자신이 코딩한 작품을 친구들과 선생님과 공유하고 피드백을 실시간으로 받으며 작품을 수정해갔다.



[그림 III-5] 스마트폰 환경에서의 3D 거북 표현식 학습

뿐만 아니라 학생들은 [그림 III-6]와 같이 두 개의 쌓기나무를 서로 연결하거나 분리할 수 있는 스프링 명령을 배웠다. 스프링 명령을 이용하여 각각의 조각들을 다양한 방법으로 연결하여 결합하거나 분리하는 활동을 하였다.

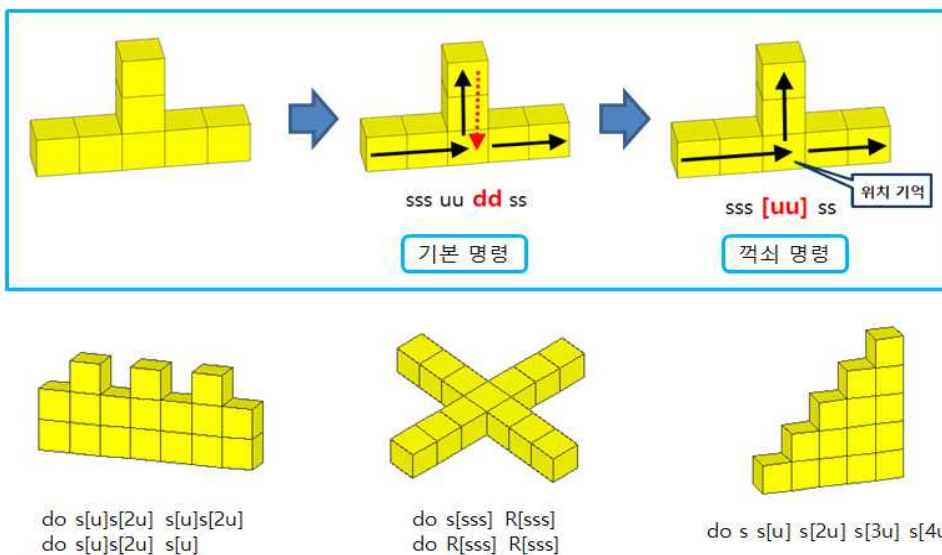
7) 스마트폰 인터넷 주소창에 <http://www.javamath.com/javamal3d/3ds.html>를 입력하면, 스마트폰 환경에서도 3D 거북 표현식을 학습할 수 있다.



[그림 III-6] 스프링 명령으로 소마큐브 조각 결합하고 분리하기

2.2. 심화 거북 코딩 학습

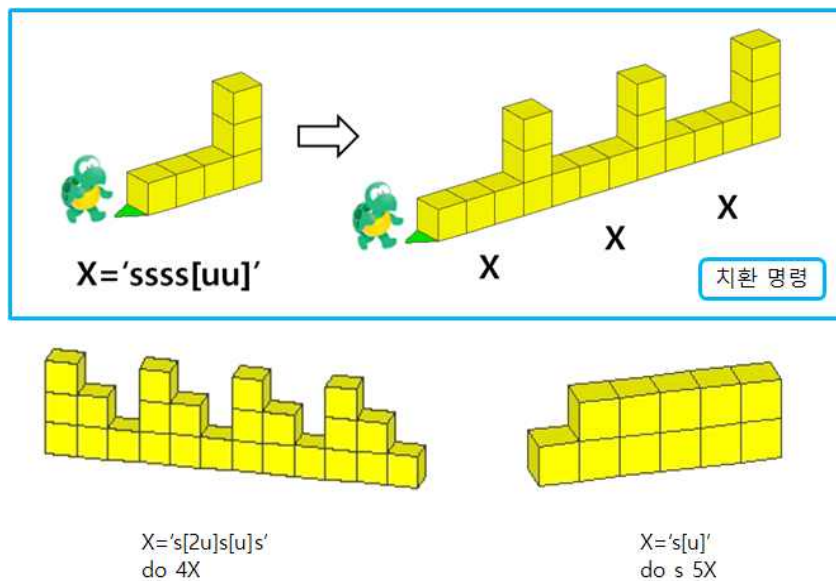
심화 거북 코딩 학습에서는 코딩한 3D 거북 표현식을 좀 더 압축적으로 나타낼 수 있는 꺾쇠 명령과 치환 명령을 학습하였다. 꺾쇠 명령은 거북이가 쌓기나무를 순차적으로 쌓아갈 때 [그림 III-7]과 같이 반복되는 경로가 있다면 ‘[’으로 위치를 기억하고 ‘]’를 사용하여 기억된 위치로 되돌아가는 역할을 한다. 꺾쇠명령을 통하여 [그림 III-7]에



[그림 III-7] 꺾쇠 명령 학습

에서 제시된 반복되는 경로가 존재하는 쌓기나무 입체를 문자를 좀 더 압축하여 코딩할 수 있다. 이처럼 학생들은 꺾쇠 명령을 사용하여 코딩하였으며, 기본 명령을 사용하여 표현했을 때와 비교하면서 꺾쇠 명령의 유용성을 느꼈다.

치환명령은 반복되는 구조가 있는 쌓기나무 입체에 대해 반복되는 하나의 구조를 문자 X로 치환하여 문자를 좀 더 압축할 수 있는 역할을 한다. 예를 들어, [그림 III-8]에서 반복되는 하나의 구조를 X= 'sss[uu]'로 치환하여 X를 3번 사용하면 아래와 같은 쌓기나무 입체를 만들 수 있다. 학생들은 [그림 III-8]과 같이 반복되는 패턴이 있는 쌓기나무 입체를 치환 명령을 사용하여 코딩하였으며, 이 과정에서 문자를 압축하여 표현할 수 있다는 것에 유용함을 느꼈다.

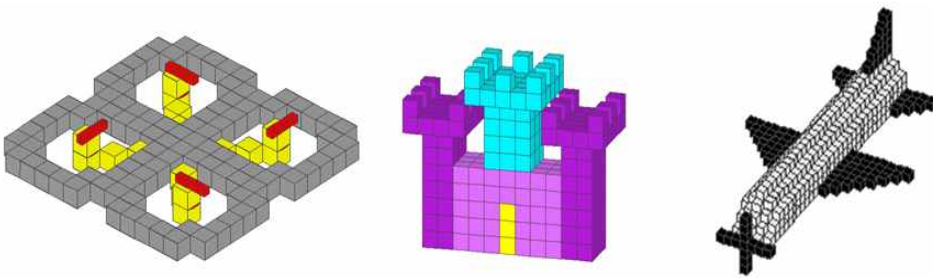


[그림 III-8] 치환 명령 학습

2.3. 디자인 활동과 3D 프린터 체험 활동

기본 거북 코딩과 심화 거북 코딩을 학습한 이후에 학생들은 자유롭게

작품을 디자인하는 코딩 활동을 하였다. 디자인 활동은 기본 거북 코딩만 사용하여 만드는 활동이 아닌 최대한 문자를 적게 사용하게 하여 꺾쇠와 치환 명령을 적절히 사용하여 만드는 활동이다. 이를 통해 학생들은 자신의 작품을 만들기 전에 반복되는 부분이 무엇인지에 대한 계획을 세운 후 [그림 III-9]와 같이 드론, 성, 우주선 등을 만드는 디자인 활동을 하였다.



[그림 III-9] 디자인 활동

디자인 활동을 바탕으로 [그림 III-10]과 같이 3D 프린터를 통해 자신이 디자인한 작품을 직접 출력하는 체험 활동을 하였다. 사전에 3D 프린



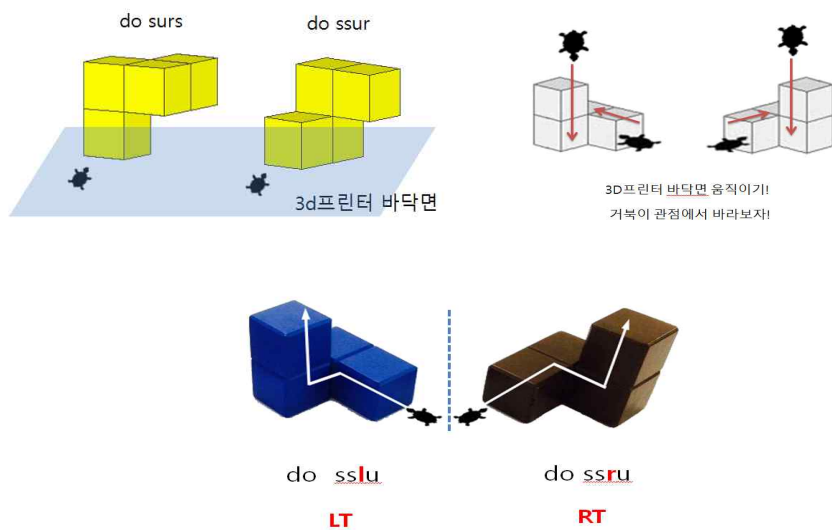
[그림 III-10] 3D 프린터 출력 체험활동

터가 건축, 의학, 공학 등 다양한 분야에서 어떻게 사용되고 있는지에 대한 동영상 수업을 진행하였다. 이후에 학생들은 거북 코딩으로 디자인된 작품을 3D 프린터로 출력해보는 활동을 하였는데, 이는 별도의 코딩 없이 3D 거북 표현식을 인식하여 컴퓨터에서와 동일하게 3D 결과물을 출력할 수 있다. 이에 대해 거북 코딩으로 만든 작품이 어떤 과정으로 3D 프린터로 출력될 수 있는지 간단히 설명하였다. 이를 통해 자신이 직접 디자인한 작품을 3D프린터로 출력하는 과정을 직접 보고 체험함으로써 흥미를 가지게 하였다.

2.4. 거북 전략 학습

거북 전략 학습은 거북 코딩 학습과 3D 프린터로 출력하는 경험이 바탕이 되어 이루어졌다. 이는 거울대칭성을 띄는 2개의 소마큐브 조각을 변별하는데 거북 전략을 사용하도록 하는 목적이다. 이를 위해 이지운 (2015)의 연구에서 설계된 ‘세 가지 체화 원리’를 바탕으로 ‘소마큐브와 3D프린터’라는 제목의 수업을 1차시에 걸쳐 진행하였다. 먼저 학생들에게 다양한 각도에서 바라본 거울대칭성을 띄는 두 개의 소마큐브 조각의 예제들을 보여주고 3D프린터로 출력하기 위한 3D 거북 표현식을 활동지에 자유롭게 적도록 하였다. [그림 III-11]와 같이 2개의 소마큐브 조각은 같은 조각이지만, 각각의 위치에서 3D프린터로 출력하기 위해서는 명령이 각각 surs와 ssur로 다르다. 하지만, 거울대칭성을 띄는 소마큐브 조각의 타입을 구분하기 위해서 ‘세 가지 체화 원리’에 의해 어떤 기준에 의해 생각하는 것이 필요하다. 따라서 3D프린터가 바닥면부터 시작해 그 위로 레이어를 쌓으며 출력된다는 원리를 이용하여, 소마큐브를 3D프린터로 출력하기 위해서는 바닥면과 최대한 많은 접촉면적을 가져야 한다고 하면서 바닥면을 기준으로 생각하게 하였다. 따라서 소마큐브 조각에 대해 3개의 정육면체로 이루어진 ‘ㄱ’ 모양이 바닥면에 있어야 하며, 이것을 기준으로 하여 거북이의 관점에서 순차적으로 쌓기나무를 구성하게 하였다. 또한 거울대칭성을 띄는 소마큐브 조각의 특성상

바닥면을 2가지 방법으로 생각할 수 있으며, 거북이가 처음 시작하는 곳을 어디로 잡던 ssru나 sslu로 명령이 동일하다. 따라서 학생들에게 자신이 편하게 생각하는 바닥면을 기준으로 생각하도록 하였고 sslu라고 코딩되는 입체에 대해서는 왼쪽 타입(LT), ssru라고 코딩되는 입체에 대해서는 오른쪽 타입(RT)로 입체의 타입으로 구분하게 하였다.



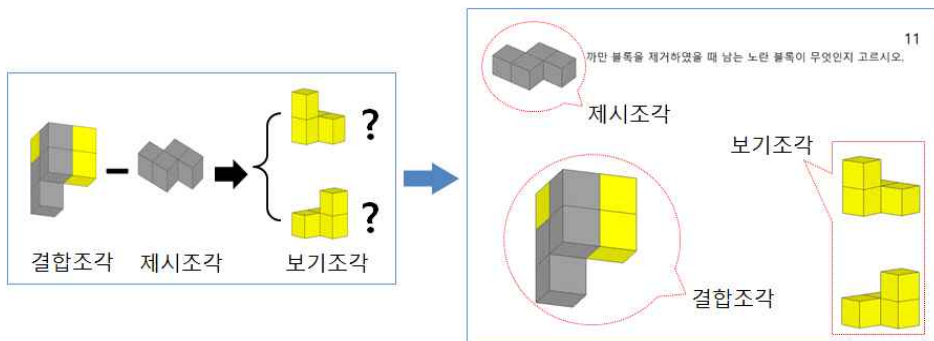
[그림 III-11] 거북 전략 수업

3. 검사 도구

본 연구는 공간 과제를 해결하는데 있어 학생들이 사용한 인지 전략을 살펴보고 3D 거북 표현식 기반의 코딩 학습 후에 공간 과제의 문제 해결에 어떤 영향을 주는지 알아보기 위함이다. 이를 위해 공간 과제의 검사 문항을 개발하여 본 연구에서 설정한 연구 문제들을 확인하고자 하였다. 검사 문항은 2009 개정 교육과정에 따른 초등학교 6학년 2학기 수학교과서(교육부, 2015a)와 교사용 지도서(교육부, 2015b)의 연결큐브 문항을 바탕으로 하였으며, 여러 선행연구(이지윤, 2015; Caissie, Vigneau, &

Bors, 2009; Peters & Battista, 2008; Voyer & Hou, 2006)를 참고하여 개발하였다. 특히, Shepard와 Metzler(1978)의 심적 회전 검사 문항을 수정 보완하여 사용한 Peters와 Battista(2008)의 검사 문항에 대하여, 문항의 타임을 구분하여 이에 따른 정답률 차이를 보았던 Voyer와 Hou(2006)의 연구를 참고하였다.

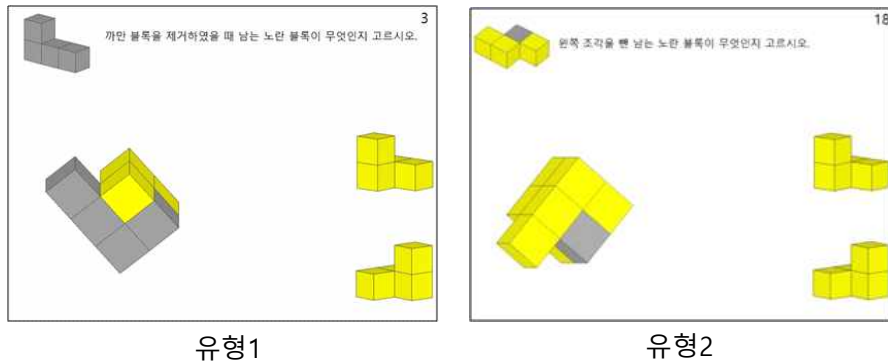
검사 문항 형태는 [그림 III-12]와 같다. 문항 자극은 소마큐브의 7개의 조각으로 한정하였으며, 문항 이미지는 JavaMAL에서 3D 거북 표현식을 사용하여 제작하였다. 검사 문항은 소마큐브 조각 2개가 결합되어 있는 조각(결합조각)에서 상단에 제시된 조각(제시조각)을 제거하였을 때, 남은 조각이 어떤 조각과 같은지 오른쪽 2개의 보기조각 중에서 하나를 고르는 형태이다. 이 때, 보기조각은 소마큐브의 거울대칭성을 띄는 2개의 조각으로 하였으며, 제시조각은 소마큐브의 거울대칭성을 띄는 2개의 조각을 제외한 나머지 5개의 조각으로 하였다.



[그림 III-12] 검사 문항 형태

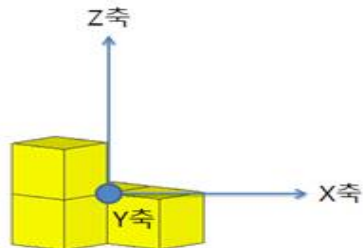
검사 문항은 주어지는 제시조각의 형태에 따라 [그림 III-13]와 같이 2개의 유형으로 구성된다. 유형1은 제시조각의 정보가 모두 주어져 있어 결합조각에서 제시조각을 바로 제거하여 남은 조각을 보기조각과 비교할 수 있는 유형이다. 유형2는 제시조각의 정보가 일부만 주어져 있어 결합조각에서 제시조각을 찾아야 하고, 찾은 제시조각을 제거하여 남은 조각을 보기조각과 비교하는 유형이다. 본 연구에서는 소마큐브의 거울대칭

성을 띄는 2개의 조각을 변별하는 것에 관심이 있기 때문에, 유형2에서 결합조각에서 제시조각의 정보를 모두 주지 않는 것보다는 일부의 정보 (한 개의 정육면체)를 주어, 고려해야 하는 제시조각 위치에 대한 여러 경우의 수를 줄이고자 하였다. 유형별 문항 수는 유형1은 16문항, 유형2는 8문항으로 총 24개의 문항으로 검사를 구성하였다.



[그림 III-13] 검사 문항 유형

문항 자극은 [그림 III-14]과 같이 3차원 공간에서 X축, Y축, Z축을 중심으로 시계방향으로 회전하는 각도를 고려하여 구성하였다. 이 때, X축과 Z축은 각각 상하반전과 좌우반전의 축이며, Y축은 평면회전에서의 축이다.



[그림 III-14] 3차원 공간에서 X, Y, Z축

문항자극은 오른쪽 보기 자극을 기준으로 하여 세 개의 축 중 하나의 축을 중심으로 시계방향으로 90도, 120도, 150도, 180도 회전한 문항과 세 개의 축 중 서로 다른 두 개의 축을 중심으로 90도씩 회전, 120도씩 회전, 150도씩 회전, 180도씩 회전한 문항으로 나누어 구성하였다(전체 문항 특성과 검사 문항은 부록 참고). 검사 도구에 대한 신뢰도는 사전 검사는 Cronbach alpha's $\alpha = 0.725$, 사후 검사는 Cronbach alpha's $\alpha = 0.873$ 로 적절한 것으로 나타났다.

4. 설문지 제작

본 연구에서 사용한 설문지는 3D 거북 표현식 기반의 코딩 학습에 따른 학생들의 인지 변화를 보기 위해 사전 설문지와 사후 설문지로 나누어 구성하였다(설문지는 부록 참고). 사전설문지는 이지윤(2015)의 인지 전략 분석틀과 설문지 형식을 참고하였다. 선다형과 서술형으로 구성되어 있으며 선다형에서는 문제 해결의 ‘접근 방법’, ‘처리 방법’ 그리고 ‘관점 변환’ 측면에 대해 질문하였고, 서술형에서는 학생들의 풀이전략을 적도록 하였다. ‘접근 방법’ 측면에서는 전체적 접근과 부분적 접근으로 나누어, 자극 전체에 관심을 가졌는지 특정 부분에 관심을 가지고 접근하였는지 물어보았고 ‘처리 방법’ 측면에서는 심상적 처리와 분석적 처리로 나누어, 자극을 이미지를 머릿속으로 떠올렸는지 자극의 특징을 분석하였는지 물어보았다. 그리고 ‘관점 변환’ 측면에서는 대상 변환과 관점 변환으로 나누어, 입체를 회전시켰는지 나의 관점을 회전시켰는지 물어보았다. 마지막으로, 문제해결을 하는데 자신의 전략을 사용하여 수월하게 해결하였는지의 여부를 물어보았다.

그리고 사후 설문지에서는 3D 거북 표현식 기반의 코딩 수업 후에 거북 전략이 자신의 전략과 비교하여 얼마나 유용했는지를 물어보았다. 마찬가지로 설문은 선다형과 서술형으로 구성하였고 선다형에서는 거북 전략이 자신의 전략과 비교하여 난이도, 정확도, 속도, 유용성, 익숙함 측면에서 어떻게 느꼈는지 질문하였고 서술형에서는 거북 전략을 사용했을

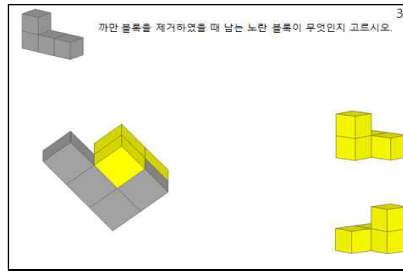
때 자신의 전략과 비교하여 어떤 점이 좋았고 어떤 점이 나빴는지 서술하도록 하였다.

5. 자료 수집 및 분석

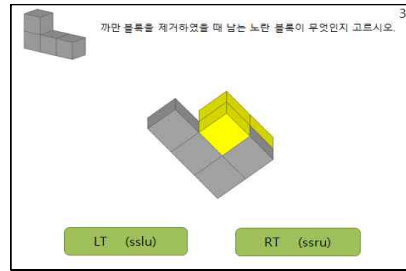
본 연구에서 실시된 사전 검사와 사후 검사는 컴퓨터 기반으로 실시하였다. 데스크톱 컴퓨터나 테블릿 PC환경에서 검사를 실시하였으며, 각 문항에 대한 학생들이 응답한 정답 데이터와 정답을 클릭했을 때의 반응 시간 데이터가 기록되게 하였다. 학생들은 각 문항 당 제한 시간 20초로 설정하여 제한 시간 안에 최대한 빠르게 문항을 풀게 하였고 시간이 지나면 자동으로 다음 문항으로 넘어가게 하였다. 또한, 검사는 맞으면 1점, 틀리면 0점으로 하여 총 24점 만점으로 평가하였다.

사전 검사와 사후 검사를 진행할 때, 모니터에 제시된 문항 형태는 [그림 III-15]와 같다. 사전 검사와 사후 검사의 결합조각과 제시조각은 동일하지만, 사후 검사에서 자신의 전략을 사용하지 않고 거북 전략으로만 해결하게 하여 차이를 보려고 하였기 때문에 보기조각의 형태를 다르게 주었다. 사전 검사에서는 보기조각을 JavaMAL에서 3D 거북 표현식을 사용하여 제작한 거울대칭성을 띤 소마큐브 조각을 화면 오른쪽 위, 아래로 제시하였다. 반면에 사후 검사에서는 거북 전략을 학습한 내용을 바탕으로 보기 조각 형태를 sslu, ssru와 같은 거북 코딩으로 제시하여 거울대칭성을 띤 소마큐브 조각을 LT(왼쪽 타입), RT(오른쪽 타입)으로 구별하게 하였다.

컴퓨터 기반 테스트로 사전 검사와 사후 검사에서 얻은 문항별 반응시간과 정답 데이터를 분석하여 본 연구의 결과를 얻고자 하였다. 또한 사전 설문지에서 학생들이 응답한 답변을 토대로 하여 인지 전략을 분석하였으며, 사후 설문지를 통해 거북 전략의 효과 및 역할을 조사하고자 하였다. 또한, 필요시에 학생들의 개별 면담을 요구해 연구 자료를 보충해왔다.



사전 검사



사후 검사

[그림 III-15] 문항 제시 형태

IV. 연구 결과

1. 인지 전략 및 인지 전략별 성취도 분석

1.1. 인지 전략 분석

본 절에서는 학생들이 사전검사에서 문제해결을 위해 사용한 인지 전략을 살펴본다. 이 때, 결합조각에서 제시조각을 제거한 후에 남는 조각을 보기조각과 변별할 때 사용한 인지 전략을 중점으로 하였다. 학생들이 설문지에 서술한 내용을 바탕으로 인지 전략을 분석하였으며, 설명이 모호한 경우에는 선다형 답변을 참고하였다. 인지 전략 분석은 <표 IV-1>와 같이 이지윤(2015)의 인지 전략의 분석 틀을 기준으로 하였다.

<표 IV-1> 인지전략의 분석 틀(이지윤, 2015)

접근 방법	• 전체적 접근: 자극 전체에 관심을 가짐
	• 부분적 접근: 특정 부분에 관심을 가짐
처리 방법	• 심상적 처리: 자극을 이미지로 정보를 표상
	• 처리: 자극을 이미지 정보 외 명제적 형태로 표상
준거 기준	• 대상 변환: 제시된 자극을 변환
	• 관점 변환: 관찰자의 관점을 변환

1.1.1. 접근 방법으로 본 인지 전략

1) 전체적 접근

결합조각에서 제시조각을 제거하고 남는 조각을 보기조각과 변별할 때, 전체적으로 접근한 학생들은 조각의 전체적인 형태에 관심을 가졌으며, 하나의 조각을 기준으로 하여 다른 조각을 심상으로 변환하여 문제

를 해결하였다. 전체적 접근으로 심상을 변환할 때, 이들은 주로 회전되는 방향과 각도를 이용하여 설명을 하였다. 특히 S2는 [그림 IV-1]과 같이 결합조각에서 먼저 제시조각을 제거하고 남는 조각을 오른쪽의 보기조각과 변별할 때, 제시조각에 의해 보이지 않는 부분이 존재하여도 그 부분을 먼저 생각하여 전체 조각을 마음속에 표상하여 오른쪽 보기조각과 비교하였다. S2의 설명 중 “두 블록 중에 아래 있는 블록을 상하로 뒤집으면 아래에 있는 블록이 맞는지 알 수 있다”를 통해 보기조각 전체를 상하로 뒤집어서 남는 조각과 맞는지 확인하려고 하였으며, 이 때 남는 조각을 전체적인 형태로 심상을 형성하여 문제를 해결하려고 했던 것으로 판단된다.

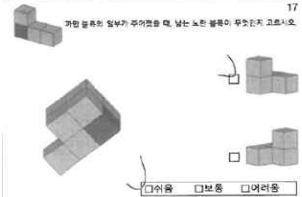
	<p>위에서 봤을 때 꺼낸 블록은 빼내면 1층에 오른쪽 맨 위에 블록이 있는 걸 알 수 있다. 두 블록 중에 아 래 있는 블록은 상하로 뒤집으면 아래에 있는 블록이 맞는지 알 수 있다.</p>
--	---

S2: 위에서 봤을 때 까만 블록을 빼내면 1층에 오른쪽 맨 위에 블록이 있는 것을 알 수 있다. 두 블록 중에 아래 있는 블록을 상하로 뒤집으면 아래에 있는 블록이 맞는지 알 수 있다.

[그림 IV-1] 전체적 접근을 한 S2의 설명

또한 제시조각의 일부만 주어져 있는 유형2의 문항을 해결할 때, 전체적으로 접근한 학생들은 유형1의 문항과 비슷한 방법으로 접근하였다. S13은 [그림 IV-2]과 같이 결합조각에서 제시조각을 찾아 제거한 후에 남는 조각을 기준으로 하여 앞으로 180도 돌려 보기조각과 비교하였다. 이지윤(2015)은 학생들이 3D 입체 변별과제를 해결하는데 있어 전체적으로 접근한 학생들은 대부분 하나의 자극을 심적으로 변환하여 다른 자극의 형태에 맞추어 문제를 해결하였지만, 일부 학생들은 두 자극을 비교하기 적절한 방향으로 자신의 관점을 변환시켜 전체적인 구조를 통찰하면서 비교하였다고 하였다. 본 연구의 과제에서는 전체적으로 접근한 학

생 모두 심상을 변환하여 비교하였고 자신의 관점을 변환시켜 전체적인 구조를 본 학생은 없었다. 이는 본 연구에서 설계한 공간 과제의 특성상 제시조각에 의해 가려지는 부분이 존재하기 때문에 자신의 관점을 변환시켜 전체적인 구조를 보는 것보다는 심상을 변환하여 전체적인 구조를 보는 것이 자극을 변별하는데 있어 더 유용했을 것이라 판단된다.



17

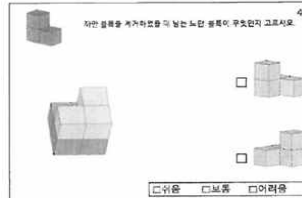
밑에 블록 4개를 지우고 앞으로 180도 돌리면 답이 나온다.

S13: 밑에 블록 4개를 지우고 앞으로 180도 돌리면 답이 나온다.

[그림 IV-2] 전체적 접근을 한 S13의 설명

2) 부분적 접근

결합조각에서 제시조각을 제거하고 남는 조각을 보기조각과 변별할 때, 부분적으로 접근한 학생들은 조각의 부분적인 형태에 관심을 가졌다. 이 중에서 S148은 [그림 IV-3]와 같이 자극의 심상을 변환하여 부분적으로 접근한 학생이다. 이 학생은 결합조각에서 남는 보이는 면



보이는 것만 보고 1번과 2번을 [1x2x2] 면이 보이게 머릿속으로 돌린다. 한 면은 3개의 사각형이 보이지만 한 개의 사각형이 더 필요하므로 한 개의 사각형이 튀어나왔을 때 검정색이 있는 곳에 튀어나온 것은 아니므로 2번.

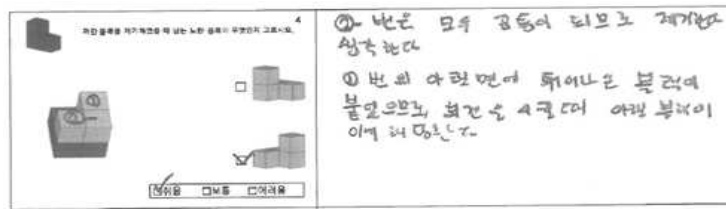
S148: 보이는 것만 보고 1번과 2번을 [1x2x2] 면이 보이게 머릿속으로 돌린다.

한 면은 3개의 사각형이 보이지만 한 개의 사각형이 더 필요하므로 한 개의 사각형이 튀어나왔을 때 검정색이 있는 곳에 튀어나온 것은 아니므로 2번.

[그림 IV-4] 부분적 접근을 한 S148의 설명

을 중심으로 하여 오른쪽 보기 조각들을 머릿속에서 회전시킨 후 보기 조각의 제시조각에 의해 보이지 않는 부분에 보기 조각이 알맞게 맞는 것을 선택하였다. 이는 전체적으로 접근한 학생과 비교했을 때, 자극의 특정 부분(보이는 부분)을 기준으로 하여 오른쪽 조각들의 심상을 변환시켜 안 보이는 부분에 끼워 맞춰지는 것을 고른 것이다.

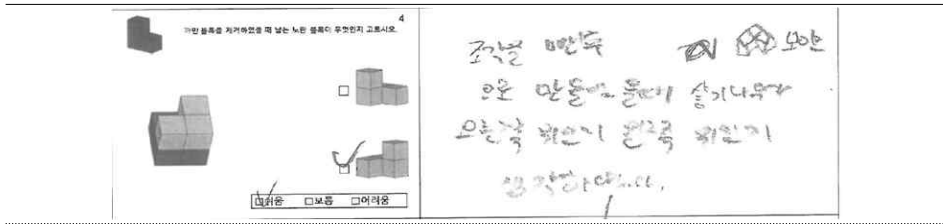
S19도 [그림 IV-4]와 같이 자극의 심상을 변환시켜 부분적으로 접근한 학생이다. 이 학생은 결합조각에 연필로 “②—”로 표시하여 이 부분이 공통이 된다 생각하여 제거한 후에 오른쪽 보기 조각을 안 보이는 부분에 끼워 맞춰지는 것을 선택한 것이다. 이것은 “②—”이라는 2개의 쌓기나무를 하나의 축처럼 생각하여 ①번 위치의 아랫면에 블록을 맞춰본 것이다.




S19: ②—은 모두 공통이 되므로 제거한다 생각한다. ①번의 아랫면에 튀어나온 블록이 붙었으므로, 회전을 시킬 때 아래 블록이 이에 해당한다.

[그림 IV-4] 부분적 접근을 한 S19의 설명

S25는 [그림 IV-5]에 제시된 것처럼 S148과 S19와 같이 부분적 접근을 하였지만, 자극의 심상을 변환하지 않고 자신의 관점을 바꾸어서 문제를 해결하였다. S25는 보기조각들의 1층에 있는 쌓기나무 모양이 같기 때문에 앞에서 바라보았을 때 2층에 있는 쌓기나무가 왼쪽 위에 있으면 위의 보기조각, 오른쪽 위에 있으면 아래의 보기조각이라는 점을 이용하였다. S25는 결합조각에서 제시조각을 제거한 후 남은 조각을 보기조각의 바닥면과 같게 변환한 후, 2층에 있는 쌓기나무를 앞에서 바라보았을 때 왼쪽 위에 있는지 오른쪽 위에 있는지를 판단하여 문제를 해결하였다.



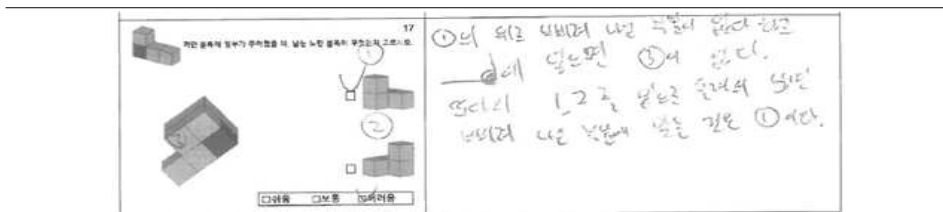
S25: 조각을 뺀 후  모양으로 만들었을 때 쌓기나무가 오른쪽 위인지 왼쪽 위인지 생각하였다.

[그림 IV-5] 부분적 접근을 한 S25의 설명

1.1.2. 처리 방법으로 본 인지 전략

1) 심상적 처리

심상적 처리는 자극을 이미지 정보로 표상하여 처리하는 것이다. 즉 자극이 같은지 다른지 변별할 때, 머릿속에서 자극을 이미지 정보로 받아들이고 그것을 처리하는 것이다. 대부분의 학생들이 심상적 처리를 하였으며, 심상적 처리를 한 학생들이 주로 사용한 표현으로 “머릿속에서 굴린다”, “맞추어 보았다”, “돌리거나 뒤집었다”, “끼워 보았다” 등이 있었다. S16은 [그림 IV-6]와 같이 심상적 처리를 한 학생으로, 오른쪽 보기 조각을 각각 ①과 ②로 두어 바닥면과 2층에 있는 쌓기나무를



S16: ①의 위로 빠져 나온 부분이 없다고 결합조각에 넣으면 ③이 없다. 또 다시 ①, ②를 밑으로 돌려보면 빠져 나온 부분에 맞는 것은 ①이다.

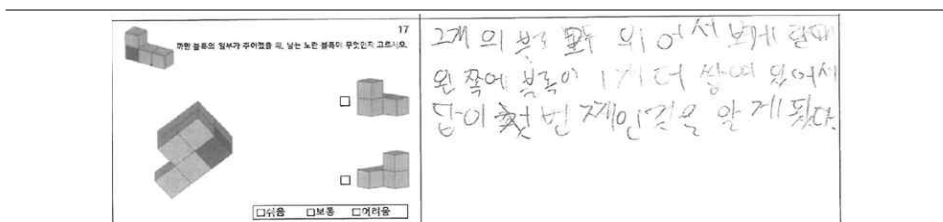
[그림 IV-6] 심상적 처리를 한 S16의 설명

분해하여 생각하였다. 이 학생은 보기조각의 바닥면을 결합조각에서 제시조각을 제거한 남는 조각의 바닥면을 깔게 하여 2층에 있는 쌓기나무가 남는 조각과 잘 끼워 맞춰지는 것을 선택하였다. 이는 자극을 부분으로 분해하여 분해한 자극을 이미지의 정보로 받아들여 문제를 해결한 것이다. 즉, 이 학생은 부분적으로 접근하였으며, 동시에 심상적 처리를 하여 문제를 해결하였다.

이지윤(2015)은 3D 변별 과제를 해결하는데 있어 심상적 처리를 한 학생들 중에 S16과 같이 자극에 대한 심상을 형성한 학생들도 있었지만, ‘축을 만들거나’, ‘거울’을 마음속으로 상상하는 것과 같은 자극 이외의 주변 대상에 관한 심상을 형성하여 과제를 해결한 학생들도 있다고 하였다. 하지만, 본 연구에서는 자극 이외의 주변물 심상을 사용하여 해결한 학생은 없었고 이는 공간과제의 특성상 제시조각에 의해 남는 가려지는 부분이 하였기 때문이라 판단된다.

2) 분석적 처리

분석적 처리의 측면에서 본다는 것은 자극을 이미지의 정보가 아닌 명제적 형태로 표상하는 것이다. 분석적 처리를 한 학생들은 많지 않았으며, 이 학생들은 주로 부분들 간의 관계를 보았다. S1은 [그림 IV-7]와 같이 기준이 되는 부분을 중심으로 하여 나머지 부분이 기준이 되는 부분에 대하여 어떻게 붙어있는지 방향성으로 설명하였다. 즉 보기조각을



S1: 2개의 블록 모두 위에서 보게 될 때 왼쪽에 블록이 1개 더 쌓여 있어서 답이 첫 번째인 것을 알게 되었다.

[그림 IV-7] 분석적 처리를 한 S1의 설명

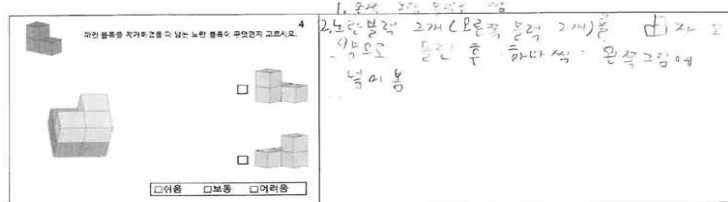
기준으로 하여 위에서 보았을 때, 2층에 있는 쌍기나무가 왼쪽에 있으면 위의 보기조각, 오른쪽에 있으면 아래의 보기조각으로 생각하였다. 마찬가지로 결합조각에서 제시조각을 제거하고 남는 조각을 보기조각의 바닥면과 일치시킨 후 위에서 보면 2층에 있는 쌍기나무가 왼쪽에 있기 때문에 위의 보기조각을 선택하였다. 자신의 관점을 변환시켜 특정 방향(위)에서 보았을 때 튀어나온 쌍기나무의 방향을 기준으로 설명한 것이다.

또한, S4는 “ㄴ자에 앞이나 뒤로 튀어나온 구조”를 생각하여 문제를 해결하였다고 하였다. 위의 보기조각은 앞에서 보았을 때의 모양을 평면도로 그려보면 “ㄴ”모양인데, 이것을 기준으로 하여 1층에 있는 쌍기나무 하나가 내가 보고 있는 반대 방향으로 튀어나온 구조이다. 반면에 아래의 보기조각은 앞에서 보았을 때의 모양을 “ㄴ”으로 돌려놓고 생각한다면, 쌍기나무 하나가 내가 보고 있는 방향으로 튀어나온 구조이다. 이 학생도 S1과 같이 자신의 관점을 변환시켜 부분들 간의 관계를 통해 분석하였다.

1.1.3. 준거 기준으로 본 인지전략

1) 대상 변환

대상을 변환하는 것은 나의 관점을 고정시킨 후 제시된 자극을 변환시키는 것이다. 거의 모든 학생들이 대상 변환을 사용하였으며, 일반적으로 심상적 처리에서 주로 나타나는 전략이었다. 이 중에서 S57는 [그림 IV-8]과 같이 대상 변환을 하여 문제를 해결하였다. 이 학생은 결합조각에서 제시조각을 제외하고 남는 조각의 보이는 면을 기준으로 하여 보기조각을 변환시켜 확인하였다. 이 학생은 자극의 일부에 대해 대상 변환을 하여 문제를 해결하였으며, 앞에서 S2와 S13와 같이 자극을 부분으로 분해하지 않고 자극 전체에 대해 대상 변환을 하여 문제를 해결하기도 하였다.



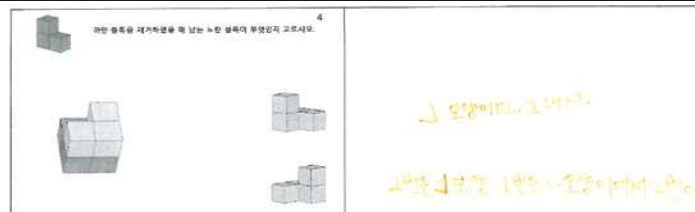
S57: 1. 왼쪽 노란(→검은) 블록을 뺌

2. 노란 블록 2개(오른쪽 블록 2개)를 □ 모양으로 돌린 후 하나씩 왼쪽 그림에 넣어봄

[그림 IV-8] 대상 변환을 한 S57의 설명

2) 관점 변환

관점 변환은 대상을 변환키는 것이 아니라 나의 관점을 바꿔서 대상을 바라보는 것이다. S144는 관점 변환을 하여 문제를 해결하였으며, 해결 전략은 [그림 IV-9]과 같다. 이 학생은 보기조각을 각각 1번과 2번으로 생각하여, 앞에서 본 모양을 중심으로 판단하였다. 이 때, 1번은 앞에서 본 모양이 ┘ 모양이고, 2번은 앞에서 본 모양이 ┐ 모양이다. 이것을 기준으로 결합조각에서 제시조각을 제거하지 않고 남은 조각을 보기조각의 관점과 일치하여 앞에서 보았을 때 ┐ 모양이기 때문에 2번이라고 판단하였다.



S144: ┘ 모양이다. 그래서 2번은 ┐ 모양 1번은 ┘ 모양이어서 2번이다.

[그림 IV-9] 관점 변환을 한 S144의 설명

하지만, 이 학생이 기술한 것을 바탕으로 보았을 때 남은 조각을 보기

조각의 기준으로 심상을 변환한 후 관점 변환하여 「 모양인지 」 모양인지 보았는지, 아니면 남은 조각은 그대로 두고 자신의 관점만 변환시켜 판단하였는지 정확히 판단할 수는 없다.

1.2. 인지 전략별 성취도 분석

학생들의 인지 전략별 성취도를 분석하였다. 학생들이 사전 설문지의 선다형과 서술형 항목에 기술한 것을 바탕으로 분류하였으며, 설명이 모호한 경우에는 선다형 응답을 참고하였다. 몇몇 학생들이 돌려 본 후에 방향을 보았다 등 두 가지 방법을 혼합해서 설명하였는데, 이러한 경우가 가장 먼저 사용한 전략을 그 학생의 전략으로 판단하였다는 이지윤(2015)의 연구에 따라 본 연구도 그에 따라 학생의 인지전략을 구분하였다.

1.2.1. 접근 방법에 따른 검사 점수 및 반응시간

접근 방법에 따른 검사 점수 및 반응시간은 <표 IV-2>와 같다. 전체적 접근을 사용한 학생들의 점수는 총 24점 만점에서 15.49(sd=4.32)이고 부분적 접근을 사용한 학생들의 점수는 총 24점 만점에서 16.67(sd=3.80)이다. 이는 부분적 접근을 한 학생들이 전체적 접근을 학생보다 1.18점정도 낮다. 또한, 전체적 접근을 사용한 학생들의 반응시간은 8.99(sd=2.86)이며, 부분적 접근을 한 학생들의 반응시간은 9.34(sd=2.44)이다. 이는 부

<표 IV-2> 접근 방법에 따른 검사 점수 및 반응시간

	전체적	부분적
학생 수(%)	73(52%)	67(48%)
점수 평균(표준편차)	15.49(4.32)	16.67(3.80)
반응시간 평균(표준편차)	8.99(2.86)	9.34(2.44)

분석적 접근을 한 학생들이 전체적 접근을 학생보다 미세한 차이이긴 하지만 반응시간이 0.35초정도 길다. 즉, 부분적 접근을 한 학생이 전체적 접근을 한 학생보다 더 정확하게 문제를 해결하였지만 시간은 더 걸렸다는 것을 의미한다. 이는 자극을 전체로 보지 않고 부분으로 분해하여 보았기 때문에 기준이 되는 부분을 중심으로 나머지 부분을 함께 고려해야 했기 때문이라고 판단된다.

1.2.2. 처리 방법에 따른 검사 점수 및 반응시간

처리 방법에 따른 검사 점수 및 반응시간은 <표 IV-3>과 같다. 심상적 처리를 사용한 학생들의 점수는 총 24점 만점에서 16.04(sd=4.18)이고 분석적 처리를 사용한 학생들의 점수는 총 24점 만점에서 16.4(sd=1.14)이다. 이는 심상적 처리를 한 학생들이 분석적 처리를 학생보다 0.36점정도 낮다. 또한, 심상적 처리를 사용한 학생들의 반응시간은 9.16(sd=2.67)이며, 분석적 처리를 한 학생들의 반응시간은 9.13(sd=2.25)이다. 이는 심상적 처리를 한 학생들이 분석적 처리를 학생보다 미세한 차이이긴 하지만 반응시간이 0.42초정도 길다. 즉, 분석적 처리를 한 학생이 심상적 처리를 한 학생보다 더 정확하고 빠르게 해결하였다는 것을 의미한다.

<표 IV-3> 처리 방법에 따른 검사 점수 및 반응시간

	심상적	분석적
학생 수(%)	135(96%)	5(4%)
점수 평균(표준편차)	16.04(4.18)	16.4(1.14)
반응시간 평균(표준편차)	9.16(2.67)	9.13(2.25)

마찬가지로 이지윤(2015)의 연구에서도 자극의 복잡도가 낮은 유형에서는 분석적으로 처리한 학생이 존재하지 않았지만, 자극의 복잡도가 높은 유형에서는 분석적으로 처리한 학생이 늘어났으며, 분석적으로 처리

한 학생이 심상적으로 처리한 학생보다 점수가 더 높았다는 것을 확인할 수 있다. 본 연구에서도 분석적으로 처리한 학생이 소수라 일반화시킬 수는 없지만, 분석적으로 처리한 학생들이 더 정확하고 더 빠르게 변별하는 경향성이 있다고 볼 수 있다.

1.2.3. 준거 기준에 따른 검사 점수 및 반응시간

준거 기준에 따른 검사 점수 및 반응시간은 <표 IV-4>와 같다. 대상 변환을 사용한 학생들의 점수는 총 24점 만점에서 16.04(sd=8.26)이고 관점 변환을 사용한 학생들의 점수는 총 24점 만점에서 16.5(sd=1.29)이다. 이는 대상 변환을 한 학생들이 관점 변환을 학생보다 0.46점정도 낮다. 또한, 대상 변환을 사용한 학생들의 반응시간은 9.16(sd=2.66)이며, 관점 변환을 한 학생들의 반응시간은 9.04(sd=2.51)이다. 이는 대상 변환을 한 학생들이 관점 변환을 학생보다 미세한 차이이긴 하지만 반응시간이 0.12초정도 길다. 즉, 관점 변환을 한 학생이 대상 변환을 한 학생보다 더 정확하고 빠르게 해결하였다는 것을 의미한다.

<표 IV-4> 준거 기준에 따른 검사 점수 및 반응시간

	대상 변환	관점 변환
학생 수(%)	136(97%)	4(3%)
점수 평균(표준편차)	16.04(8.26)	16.5(1.29)
반응시간 평균(표준편차)	9.16(2.66)	9.04(2.51)

마찬가지로 이지윤(2015)의 연구에서도 자극의 복잡도가 낮은 유형에서는 관점 변환한 학생이 존재하지 않았지만, 자극의 복잡도가 높은 유형에서는 관점 변환한 학생이 늘어났으며, 관점 변환한 학생이 대상 변환한 학생의 점수보다 더 높았다는 것을 확인할 수 있다. 이에 본 연구도 관점 변환한 학생이 소수라 일반화시킬 수는 없지만 관점 변환한 학

생이 더 정확하고 빠르게 변별하는 경향성이 있다고 볼 수 있다.

2. 사전-사후 검사 결과 분석

학생들이 3D 거북 표현식 기반의 코딩 학습 후에 공간과제를 해결하는데 있어 어떤 변화가 있는지 알아보기 위해 사전 검사와 사후 검사의 성취도를 분석하였으며, 검사의 문항별 분석과 설문지를 분석을 통해 인지적 변화를 살펴보았다.

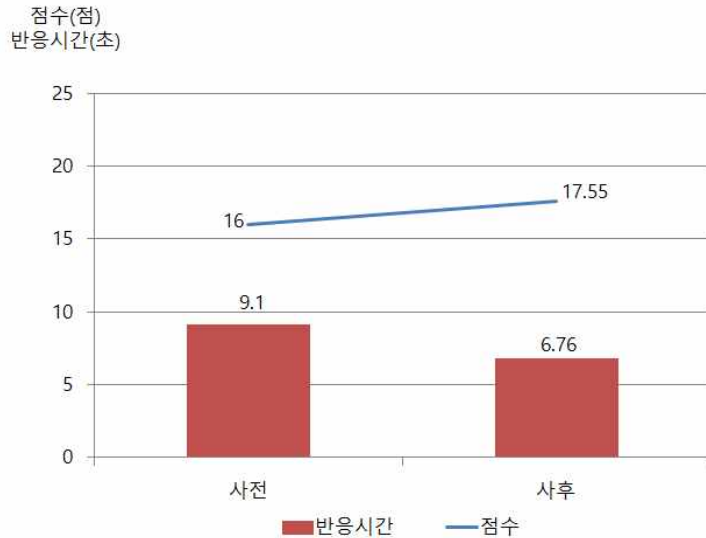
2.1. 사전-사후 검사 성취도 분석

검사의 성취도는 검사 점수와 반응시간을 기준으로 분석하였다. 이를 위해 사전검사와 사후검사를 비교하여 점수 및 반응시간에 어떠한 차이가 있는지 알아보았다. 대응표본 t 검정을 위해 사전 검사 점수 및 반응시간과 사후 검사 점수 및 반응시간 데이터가 모두 있는 학생들을 대상으로 하였으며, 총 139명의 학생의 사전 검사와 사후 검사의 점수와 반응시간 차이를 보았다. 그 결과는 <표 IV-5>와 [그림 IV-10]에 제시되어 있다.

<표 IV-5> 사전-사후검사 성취도 분석

		평균(표준편차)	t
점수	사전	16.00(4.18)	-3.396
	사후	17.55(5.56)	
반응시간	사전	9.10(2.65)	11.793*
	사후	6.76(2.61)	

*p<.05



[그림 IV-10] 사전-사후 검사 성취도 분석

사전 검사 평균점수는 총 24점 만점에서 16.00(sd=4.18)이고 사후 검사 평균점수는 총 24점 만점에서 17.55(sd=5.56)이다. 또한, 사전 검사 평균 반응시간은 9.10(sd=2.65)이고 사후 검사 평균 반응시간은 6.76(sd=2.61)이다. 즉, 3D 거북 표현식 기반의 코딩 학습 이후에 사후 검사 점수는 사전 검사 점수보다 약 1.55점정도 상승했으며, 실제로 유의하게 증가하였다($t=-3.396$, $p<.05$). 마찬가지로 사후 검사 반응시간도 사전 검사 반응시간보다 약 2.34초정도 감소하였으며, 실제로 유의하게 감소하였다($t=11.793$, $p<.05$). 이는 최대한 빠르게 풀면서 정확도는 높아졌다는 것을 의미한다.

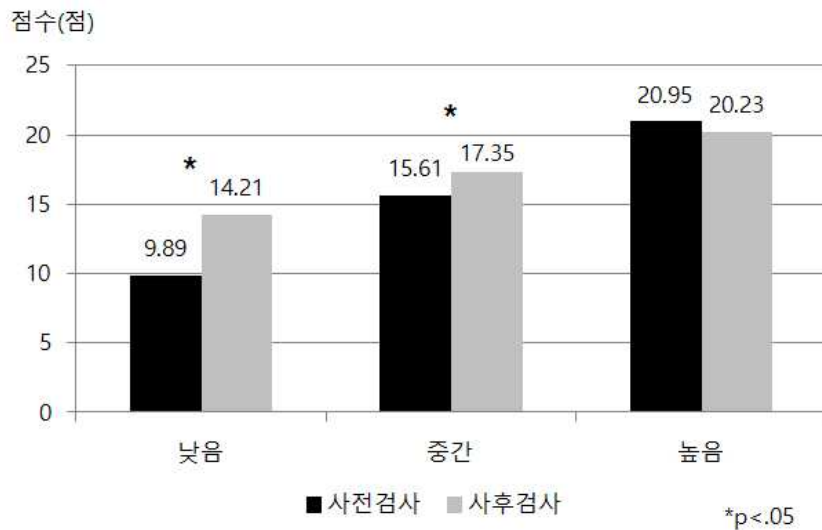
또한, 학생들의 수준 집단에 따라 거북전략의 유용성에 대해 살펴보았다. 사전 검사 점수를 기준으로 하여 하위 약 20%에 있는 학생들은 수준이 낮은 그룹, 하위 약 20%~70%에 있는 학생들을 수준이 보통인 그룹 그리고 상위 약 30%에 있는 학생들을 수준이 높은 그룹으로 분류하여 사전 검사와 사후 검사 점수 차이를 분석하였다. 그 결과 <표 IV-6>과 [그림 IV-11]과 같이 수준이 낮은 그룹과 수준이 중간인 그룹의 사후 검사 점수가 사전 검사 점수보다 높았으며, 유의한 차이가 있었다. 하지만,

오히려 수준이 높은 그룹에서는 사후 검사 점수가 사전 검사 점수보다 낮았다. 이를 통해 공간 능력이 우수하여 사전 검사에서 높은 점수를 받은 학생들보다 낮은 점수를 받은 학생들에게 거북 전략이 효과적으로 작용했음을 알 수 있다.

<표 IV-6> 수준 집단에 따른 사전-사후 검사 성취도 분석

수준	사전검사		사후검사	
	평균	표준편차	평균	표준편차
낮음	9.89	1.74	14.21*	4.13
중간	15.61*	1.75	17.35*	5.20
높음	20.95	1.41	20.23	5.82

*p<.05



[그림 IV-11] 수준 집단에 따른 사전-사후 검사 성취도 분석

2.2. 사전-사후 검사 문항별 분석

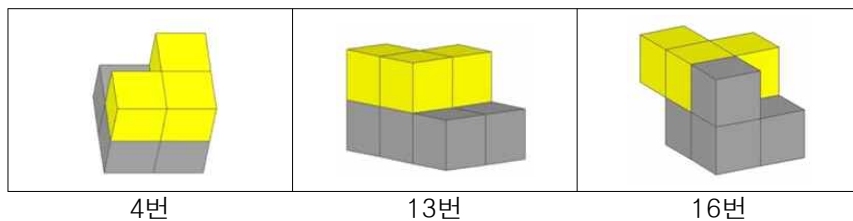
학생들의 사전 검사와 사후 검사에서 각각의 문항에 대한 정답률과 반

응시간을 바탕으로 문항별 분석을 실시하였다. 사전 검사와 사후 검사 결과가 모두 있는 학생 139명을 대상으로 분석을 하였으며, 본 연구에서 다음과 같은 가설을 세웠다. 첫 번째로, 유형2의 문항은 유형1의 문항과 비교하여 결합조각에서 제시조각을 찾아야 하는 점 때문에 유형2의 문항의 정답률이 유형1의 정답률보다 낮을 것으로 예상했다. 그 결과 사전 검사에서 유형1의 정답률은 69.2%, 유형2의 정답률은 61.5%로 유형2의 정답률이 유형1의 정답률보다 낮았다. 사전 검사뿐만 아니라 사후 검사에서도 유형1의 정답률은 74.4%, 유형2의 정답률 70.5%로 유형2의 정답률이 유형1의 정답률보다 낮았다. 이것은 반응시간에서도 차이가 났는데, 사전검사에서 유형1의 반응시간은 8.976초, 유형2의 반응시간은 9.347초로 유형2의 반응시간이 유형1의 반응시간보다 길었다. 사후검사에서도 유형1의 반응시간은 6.545초, 유형2의 반응시간은 7.188로 유형2의 반응시간이 유형1의 반응시간보다 길었다.

두 번째로, 심적 회전 과제에서 회전 각도가 증가함에 따라 반응 속도가 증가한다는 Shepard와 Metzler(1971)의 결과로부터 사전 검사에서 심상 전략 또는 대상 변환 전략을 사용한 학생들은 회전 각도가 증가함에 따라 정답률이 낮아지고 반응시간이 높아질 것이라는 가설을 세웠다. 유형1의 문항을 중심으로 분석한 결과 90도에서 78.4%, 120도에서 71.9%, 150도에서 62.9%, 180도에서 65.4%로 회전 각도가 높아짐에 따라 정답률이 낮아지는 경향이 보이긴 하지만 회전각도가 제일 높은 180도에서 정답률이 다시 높아지는 것은 보기조각이 제시조각에 의해 가려지는 영향이 있었을 것으로 판단된다. 반면에 사후 검사에서 90도에서 78.4%, 120도에서 75.2%, 150도 회전에서 74.8%, 180도 회전에서 74.8이다. 마찬가지로 회전각도가 증가함에 따라 정답률이 낮아지는 경향을 보이지만 사전 검사의 낮아지는 폭보다는 작은 것을 알 수 있다.

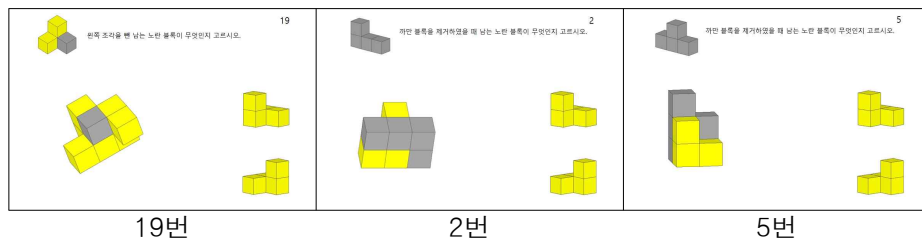
거북 전략은 거북이의 관점을 얼마나 잘 이해하느냐에 따라 정답률이 달라질 것이라는 추측을 하였다. 이에 따라 세 번째로, 사후 검사에서 관찰자의 관점에서 바닥면을 볼 때와 거북 관점에서 바닥면을 볼 때 방향이 달라지는 자극이 포함된 문항에서는 정답률이 낮아질 것이라는 가

설을 세웠다. 즉, 이러한 자극을 포함하는 문항은 [그림 IV-12]와 같이 유형1의 문항 기준으로 4번, 13번, 16번이다. 이 문항들의 공통점은 보기 조각을 찾는 과정에서 하나의 정육면체가 제시조각에 의해 완전히 가려져 있으며, 바닥면이 천장 쪽을 향해 있음과 동시에 거북이의 방향은 관찰자의 시선 방향과 반대 방향이다. <표 IV-7>은 사전 검사와 사후 검사에서 정답률이 낮은 문항부터 시작하여 높은 문항 순서로 있다. 이 때 사후 검사 문항별 정답률을 살펴본 결과, 16번은 68.3%로 두 번째로 정답률이 낮은 문항으로 학생들이 어려워했던 것으로 판단된다. 하지만 4번과 13번은 모두 73.4%로 보통의 정답률로 학생들에게 해결하기 어려운 문항들은 아니었으며, 16번보다는 쉽게 해결했을 것으로 판단된다.



[그림 IV-12] 관점에 따라 방향이 달라지는 문항

이에 사전-사후 검사의 절대적인 정답률이 아닌 사전-사후 검사의 정답률의 상대적인 변화를 문항 특징을 고려해 분석하였다. <표 IV-7>에서 보는 것과 같이 19번 문항은 사전-사후 검사에서 50%이하의 정답률로 가장 낮은 정답률의 문항이다. 19번 문항은 [그림 IV-13]과 같이 보기조



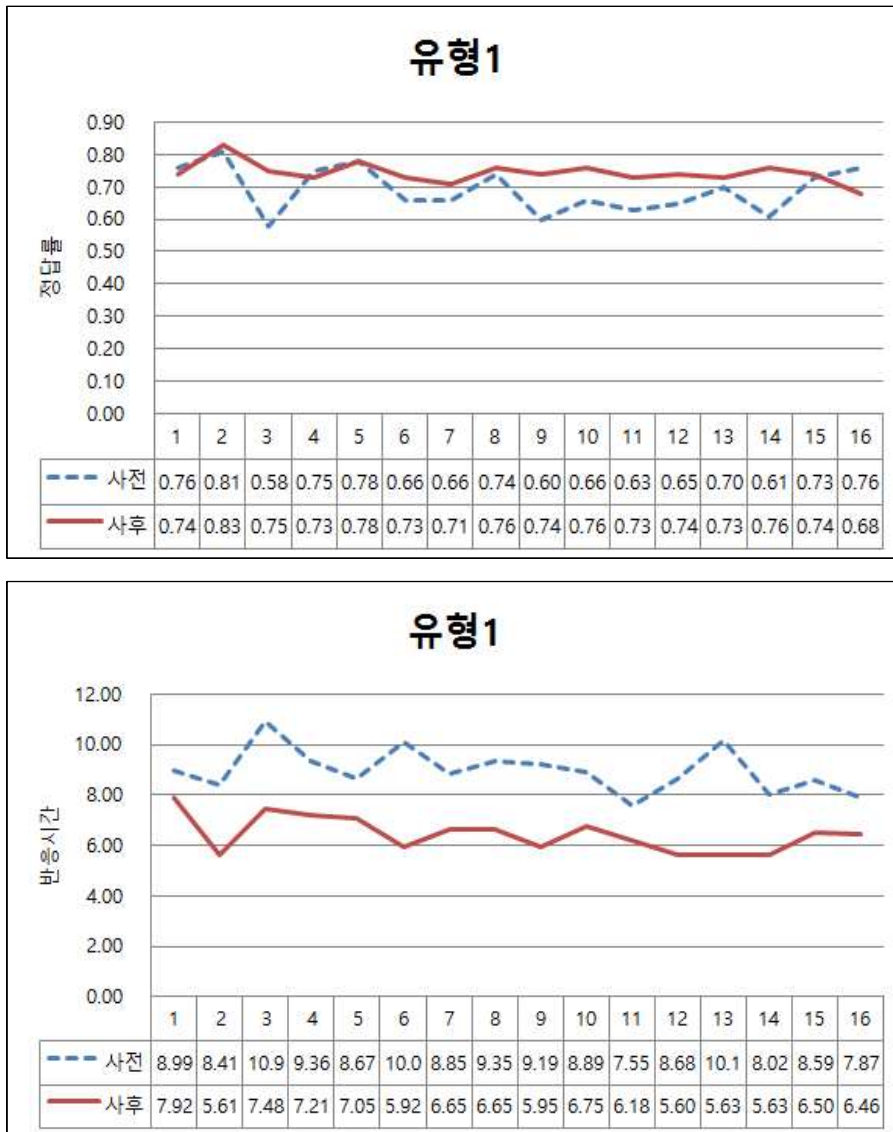
[그림 IV-13] 사전-사후 검사에서 정답률이 모두 낮거나 높은 문항

각을 찾는 것은 어렵지는 않았지만 제시조각을 찾는 과정이 어려웠을 것으로 판단된다. 반면에 사전-사후 검사에서 정답률이 모두 높았던 문항도 존재하였다. 그것은 [그림 IV-13]에서 2번과 5번 문항이었는데, 이 중에서 2번은 Y축으로 90도 회전한 문항으로 회전 각도가 크지 않았기 때문에 회전 전략으로 풀기에 용이한 문항이었으며, 거북이의 관점에서 방향을 파악하기 어렵지 않았을 것이라 판단된다.

〈표 IV-7〉 사전-사후 검사 문항별 성취도

사전		사후	
문항	정답률	문항	정답률
19	0.468	19	0.482
3	0.576	16	0.683
9	0.597	20	0.691
18	0.604	23	0.698
20	0.604	7	0.705
14	0.612	6	0.727
17	0.619	11	0.727
22	0.619	4	0.734
11	0.626	13	0.734
24	0.633	22	0.734
12	0.655	1	0.741
6	0.662	9	0.741
7	0.662	12	0.741
10	0.662	15	0.741
21	0.662	3	0.748
13	0.698	10	0.755
23	0.712	18	0.755
15	0.734	24	0.755
8	0.741	8	0.763
4	0.748	14	0.763
1	0.755	17	0.763
16	0.763	21	0.763
5	0.777	5	0.777
2	0.813	2	0.827

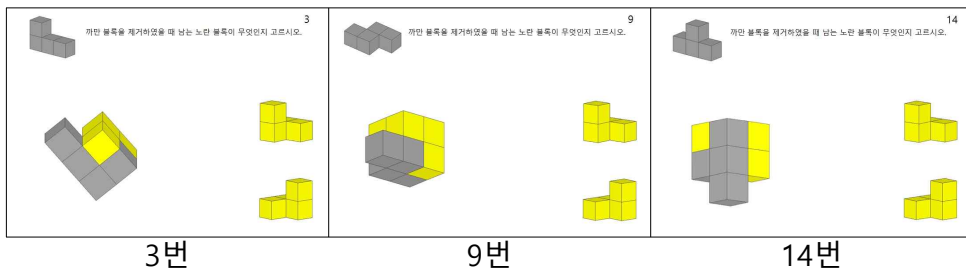
사전 검사와 사후 검사에서 문항별 점수와 반응시간이 어떻게 달라지는지 유형1과 유형2로 나누어 살펴보았다. 유형1에 대한 문항은 1번부터 16번까지이며, 문항별 정답률과 반응시간에 대한 결과는 [그림 IV-14]과 같다.



[그림 IV-14] 유형1의 사전-사후 검사의 정답률과 반응시간

정답률이 높은 문항에 대해서는 반응시간이 낮으며, 정답률이 낮은 문항에 대해서는 반응시간이 높게 나타나는 경향이 있었다.

유형1에 대해서 사전검사보다 사후검사의 평균 점수가 유의하게 증가한 문항에 대해 살펴보았을 때, 거의 대부분의 문항에서 사후 검사의 점수가 높았지만 그 중에서 유의하게 증가한 문항은 아래 [그림 IV-15]과 같다. 유형1에서 사후검사의 점수가 유의하게 증가한 문항은 3번($t=-3.387$, $p<.05$), 9번($t=-2.967$, $p<.05$), 14번($t=-2.661$, $p<.05$)이다.

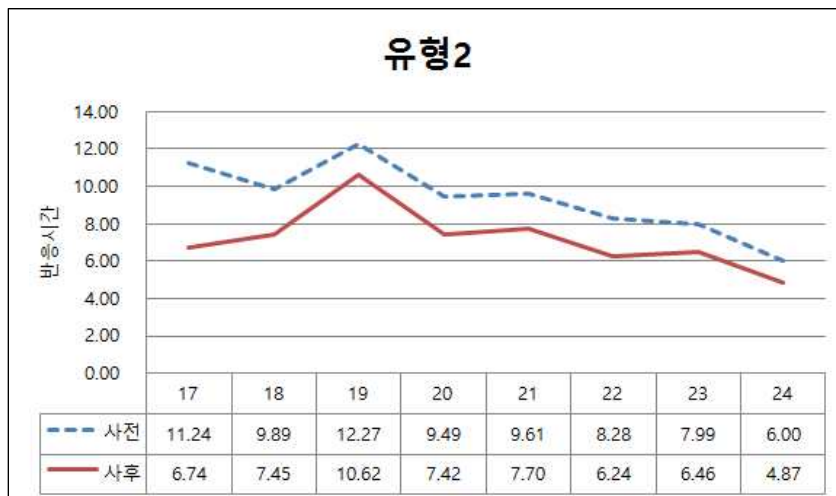


[그림 IV-15] 유형1에서 사후 검사의 정답률이 유의하게 증가한 문항

위의 문항들은 회전하는 것보다는 거북전략으로 문제해결을 하였을 때 좀 더 쉬웠던 문항들이다. 3번은 X축과 Z축의 두 개의 축으로 각각 90도씩 회전한 문항이고, 9번은 X축으로 150도 회전한 문항이고 14번은 Y축으로 180도 회전한 문항이다. 세 개 문항의 공통점은 회전각도가 높은 편이거나 하나의 축보다는 두 개의 축으로 회전한 유형이다. 이 문항들에 대해서 거북 전략으로 문제를 해결하기 위해서는 우선 자기가 보기 편한 바닥면을 설정해야 한다. 3번과 9번은 정답률이 유의하게 증가하였지만 실제로 거북 전략으로 해결하였을 때에 정답률이 낮은 문항들이다. 이는 보이는 바닥면이 하나이기 때문에 보이는 바닥면으로 들어간다고 생각한다면 거북이의 배를 보이며 들어가야 하기 때문이라 판단된다. 이에 반해 14번은 사전 검사에서 정답률이 낮은 편에 속하지만, 사후검사에서 정답률이 높은 편에 속한다. 이는 회전해야 하는 각도는 높은 문항이지만, 거북 전략으로 해결할 때에는 회전하는 것보다는 바닥면을 쉽게

찾아 거북이의 관점을 이해하는 것이 더 쉽게 느껴졌을 것으로 판단된다.

유형2은 문항 17번부터 24번까지이며, 정답률과 반응시간에 대한 결과는 [그림 IV-16]과 같다.

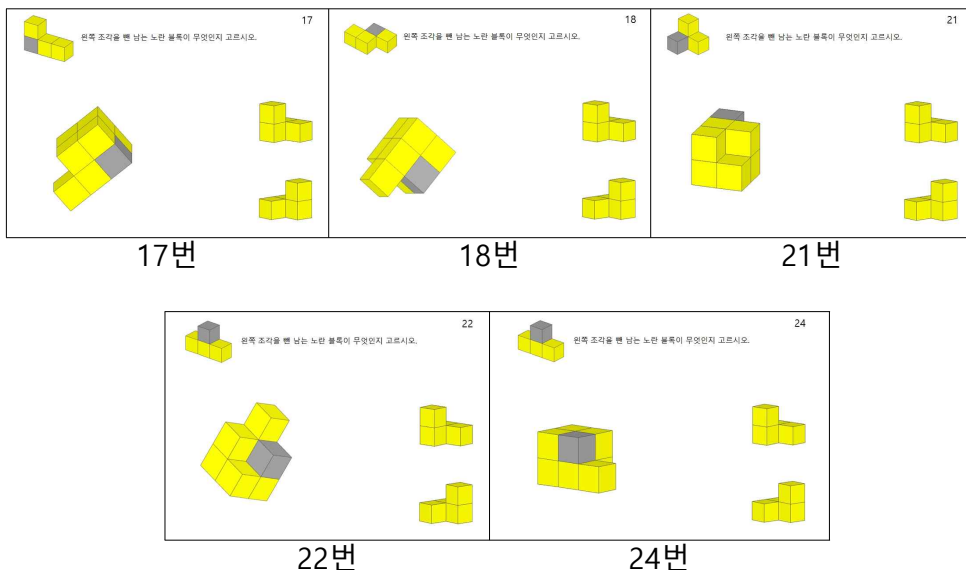


[그림 IV-16] 유형1의 사전-사후 검사의 정답률과 반응시간

유형2에서는 유형1에 비해 사전 검사와 사후 검사의 그래프 양상이 비슷한 형태를 보였지만 대부분의 문항에서 사전 검사 점수에 비해 사후

검사 점수가 높았다.

유형2에 대해서 사전 검사보다 사후 검사의 평균 점수가 유의하게 증가한 문항에 대해 살펴보았을 때, 유형1에 비해 문항 수는 적었지만 유의하게 증가한 문항이 더 많았다. 거의 대부분의 문항에서 사후 검사의 점수가 높았지만 그 중에서 유의하게 증가한 문항은 아래 [그림 IV-17]과 같다. 유형2에서 사후검사의 점수가 유의하게 증가한 문항은 17번($t=-3.035$, $p<.05$), 18번($t=-3.161$, $p<.05$), 21번($t=-2.001$, $p<.05$), 22번($t=-2.002$, $p<.05$), 24번($t=-2.245$, $p<.05$)이다.

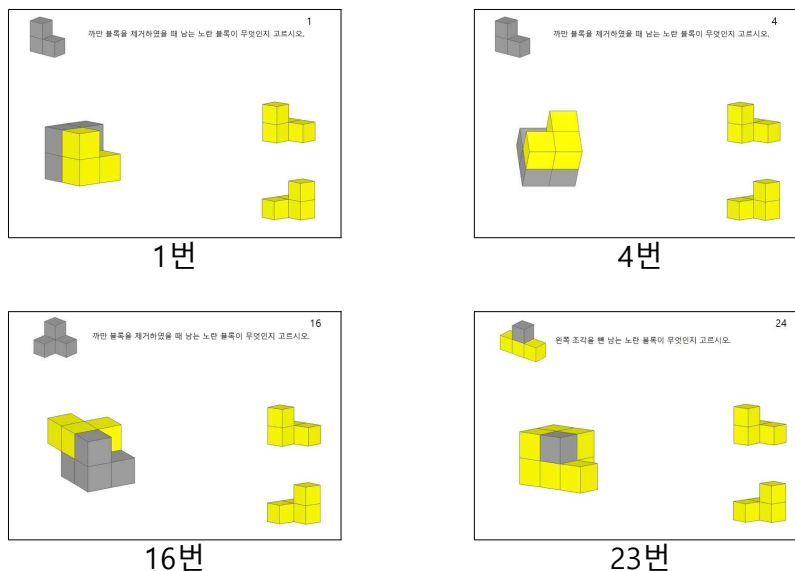


[그림 IV-17] 유형2에서 사후검사의 정답률이 유의하게 증가한 문항

17번은 X축으로 90도 회전한 문항, 18번은 X, Y축으로 각각 90도 회전한 문항, 21번은 Z축으로 150도 회전한 문항, 22번은 X, Y축으로 각각 150도 회전한 문항 그리고 24번은 X, Z축으로 각각 180도 회전한 문항이다. 17번을 제외하고 높은 회전각도로 회전한 문항이었다. 또한, 위의 문항들은 회전하기는 어렵지만 거북 전략으로 해결하기에는 유용했던 문항이다. 17번은 바닥면이 위로 향해 있지만, 또 하나의 바닥면으로 거북

이가 들어간다면 쉽게 해결할 수 있는 문항이다. 18번, 24번 또한 그러한 문항이다. 21번과 22번은 사전검사에서 높은 정답률에 해당하는 문제였지만 거북 전략으로 해결하였을 때 점수에서 유의하게 차이가 난 문항들이다. 바닥면이 위로 향해있거나 거북이가 자신을 기준으로 하여 오고 있는 방향이라서 회전으로 푸는 것이 더 용이했을 것이라 판단하였는데, 이는 유형1과 다르게 제시조각을 찾아야 하는 것 때문이라고 판단한다. 즉, 사전 검사에서 제시조각의 위치 정보가 사후검사를 해결할 때 영향이 미쳤을 것이라 판단된다.

[그림 IV-18]는 유의하지는 않지만 사전 검사의 평균 점수가 높았던 문항이다. 그러한 문항들은 유형1에서는 1번, 4번, 16번이고 유형2에서는 23번이었다. 1번은 Z축으로 90도 회전한 문항, 4번은 Y, Z축으로 각각 90도 회전한 문항, 16번은 X, Y축으로 각각 180도 회전한 문항 그리고 23번은 Z축으로 180도 회전한 문항이다.



[그림 IV-18] 유의하지 않지만 사전검사 점수가 높은 문항

1번과 4번 그리고 16번은 공통적으로 보이는 바닥면이 하나밖에 없다.

따라서 학생들은 이러한 문제를 해결할 때 대부분 보이는 바닥면을 보아 문제를 해결한다는 점에서 어려웠을 것으로 판단된다. 4번과 16번은 공통적으로 바닥면이 위로 향해 있어 내가 위로 뒤집어서 방향을 판단해야 하는 문항이다. 그리고 1번은 회전각도가 작아 오히려 회전으로 푸는 것이 더 용이했을 것으로 판단된다.

3. 사전-사후 검사 설문 분석

먼저 사전 검사 설문에서는 학생들이 문제를 해결하는데 있어 사용한 자신의 전략을 적고 그것의 유용성을 물었다. 즉, 자신의 전략을 사용하여 문제를 해결하는 것이 수월하였는지 아니면 수월하지 않았는지를 물었다. 결과는 <표 IV-8>과 같다 총 140명의 학생 중에서 약 43%의 학생이 문제를 해결하는데 있어 자신의 전략이 유용하지 못했다고 하였다. 이는 확신을 가지고 문제를 해결하는 것이 어려웠다는 것을 의미한다. 하지만, 이러한 학생들 모두가 심상적 처리 전략이나 대상 변환전략으로 문제를 해결한 학생인 것으로 보아 전략 학습의 필요성이 느껴진다.

<표 IV-8> 사전 검사 설문에서 자신의 전략에 대한 유용성

사전 검사 설문 내용	인원수
자신의 전략이 유용하다.	80
자신의 전략이 유용하지 않다.	60

그리고 사후 검사 설문에서는 거북 전략을 사용한 것이 자신이 사전에서 사용한 전략과 비교하여 난이도, 정확도, 속도 측면에서 어떻게 느꼈는지 5점 척도로 평가하였다. 결과는 다음 <표 IV-9>과 같다. 대부분의 학생들이 5점을 선택하였으며, 난이도는 쉽게 느껴지고 자신의 답에 확신을 느꼈으며, 속도는 더 빨라진 것 같다고 하였다.

〈표 IV-9〉 사후 설문에서 난이도, 정확도, 속도

	①	②	③	④	⑤	평균
난이도	2	12	33	41	69	4.19
정확도	1	7	35	53	61	4.45
속도	3	13	29	39	73	4.05

이전 전략과 비교하여, ①전혀 도움이 되지 않음 ↔ ⑤ 매우 도움이 됨

또한, 거북 전략으로 문제를 해결하였을 때 사전 검사에서 자신의 전략과 비교하여 얼마나 유용하게 느꼈는지 설문하였다. 그 결과는 〈표 IV-10〉와 같다. 대부분의 학생들이 자신의 전략과 비교하여 거북 전략이 도움이 되었다고 답변하였다.

〈표 IV-10〉 사후 설문에서 거북전략의 유용성

	도움이 되었다	비슷했다	도움이 되지 않았다
학생수	106	42	7

또한, 거북전략을 사용하는데 있어 얼마나 익숙한지를 물어보았다. 결과는 〈표 IV-11〉과 같다. 학생들이 답변한 응답을 5점 척도로 평균을 구했을 때에는 5점 만점 중에 3.73이다. 익숙하지 않았다는 학생들도 꽤 존재하여 거북전략으로 문제를 해결하는데 있어 거북전략이 유용하지 않다고 대답한 학생이 있었을 것이라 판단된다.

〈표 IV-11〉 사후 설문에서 거북전략의 익숙도

	①	②	③	④	⑤	평균
익숙도	2	15	41	63	36	3.73

이전 전략과 비교하여, ①매우 익숙하지 않음 ↔ ⑤ 매우 익숙함

거북전략은 자신의 전략이 유용하지 못했던 학생이나 문제해결이 어려

웠던 학생들에게는 효율적인 전략으로 판단되지만 자신의 전략이 더 유용했다는 학생에게는 오히려 방해가 되었다고 느낄 수 있다. 이에 대해 사후 설문에서 거북전략이 자신이 사전검사에서 해결하였던 전략과 비교하여 어떤 점이 좋았으며, 어떤 점이 나빴는지 의견을 적도록 하였다. 그 결과 <표 IV-12>과 같다.

<표 IV-12> 사후 설문에서 거북전략에 대한 의견

거북전략이 도움이 되었다.

- 전에는 고개까지 돌리며 힘들게 찾았지만 거북전략을 써서 조금 쉬웠다.
- 좀 더 내가 선택한 답에 대한 확신을 가질 수 있었다.
- 거북이의 시점을 생각하면서 하니까 더 이해하기 쉬웠다.
- 더 수월하게 풀 수 있었다. 이전 전략은 굴려서 풀어야 해서 더 힘들었다.
- 이전에는 계속 굴렸어야 했는데 거북전략은 한번 굴리면 답이 나왔습니다.
- 바닥면을 생각하니 검정 블록을 빼고 난 모양을 돌리지 않아도 해결이 가능하다.

거북전략이 방해가 되었다.

- 평소에 해보지 못한지라 잘 모르는 경우가 있었음.
 - 복잡한 모양을 빼낼 때 바닥면을 찾는데 어려움이 있었다.
 - 아무래도 숙련도의 차이랄까? 다 좋았던 듯싶다.
 - LT/RT라고 써져 있어서 별로였다.
 - LT와 RT를 외우기 힘들다.
 - 뭔가 문제를 잘 성취감 같은 것이 많이 느껴지지 않는다.
 - 거북이의 배와 등이 헛갈려 오른쪽과 왼쪽 구분이 힘들었다.
 - 뒤집어져 있을 때 반대로 해야 하는데 그냥 해야하는지 헛갈렸다.
 - 거북이의 입장에서 생각해야 했어서 더 헛갈린 거 같다(왼쪽, 오른쪽이)
 - 거북이의 방향을 생각하다보니 조금 번거로웠다.
-

거북전략이 도움이 되었다고 답변한 학생들은 자극을 회전시켜 변별하였기 때문에 정확하지 않았지만 거북전략으로 해결하니 자신이 선택한 답에 대해 확신을 가졌다고 했으며, 거북이의 관점에서 생각하니 더 쉬

왔다고 하였다. 이는 3D 거북 표현식 기반의 코딩 학습을 통해 거북이의 관점에서 코딩을 하였기 때문에 더 쉽게 느껴졌을 것이라 판단된다. 하지만, 거북전략이 오히려 방해가 되었다고 느낀 학생은 바닥면 찾는 것이 어려웠고 익숙도 때문에 거북전략을 사용하여 해결하는 것이 어려웠다고 하였다. 또한 입체의 타입을 구분하여 왼쪽 타입을 LT(Left type), 오른쪽 타입을 RT(Right type)로 하였는데, 영어이기 때문에 거북 전략을 사용하는데 있어 방해가 되었을 것이라 판단된다. 또한 성취감 같은 것이 느껴지지 않았다고 답변한 학생에 대해서는 거북전략으로 너무 쉽게 해결해서 그러한 느낌이 들었을 것이라 판단된다. 이는 학생이 문제를 해결할 때 거북전략을 사용하면 회전으로 풀었을 때보다는 인지부하가 줄어들었기 때문이라 예상한다.

V. 요약 및 결론

1. 요약

공간 능력은 주변 환경과 그 속에 있는 대상들의 관계를 이해하기 위해 필수적으로 요구되는 인지 능력으로, 최근 과학과 기술의 발달로 공간 능력의 중요성이 부각되고 있다. 이에 따라 공간 능력은 학생들이 미래 사회를 살아가기 위해 길러야 할 필수적인 역량 중 하나이며, 기하교육에서 공간 능력 향상은 중요한 목표로 다루어지고 있다. 제 7차 교육과정부터 공간 감각 향상을 위해 초등학교 2학년과 6학년 교과서에 쌓기나무 단원이 도입되었으며, 최근 2009 개정 교육과정에서는 초등학교 6학년 교과서에 쌓기나무 활동의 확장 개념으로 연결큐브를 사용한 활동이 새롭게 추가되었다. 하지만 학교 현장에서는 쌓기나무와 연결큐브와 같은 공간적 대상에 대한 적절한 표현체계가 없어 교사와 학생, 그리고 학생들 간의 의사소통과 문제해결 측면에서 어려움이 있을 것이라 예상된다. 따라서 본 연구는 공간적 대상을 표현하고, 조작할 수 있는 3D 거북 표현식의 효과와 유용성을 밝힌 선행연구를 바탕으로 초등학교 6학년 교과서의 연결큐브 문제에 적용하여 학생들의 인지적 변화를 살펴보고 그것의 교육적 함의를 고찰해보고자 한다. 이에 따라 초등학교 6학년 교과서의 연결큐브 문제를 확장하여 설계한 공간 과제에서 사전-사후 검사를 통해 학생들의 인지적 변화를 살펴보고 3D 거북 표현식 기반의 코딩 학습의 효과 및 유용성을 밝히고자 다음과 같은 연구문제를 설정하였다.

1. 공간과제를 해결할 때 학생들이 사용하는 인지 전략은 무엇인가? 학생들이 사용한 인지 전략이 과제 성취도에 어떤 영향을 미치는가?
2. 3D 거북 표현식 기반의 코딩 학습이 학생들의 공간 과제 성취도에 어떤 영향을 미치는가?

위의 연구 문제에 대해 논의하기 위하여 본 연구에서는 아래와 같은 과정으로 연구를 진행하였다.

먼저 이론적 배경으로 3D 거북 표현식 기반의 코딩 학습의 배경이 되는 constructionism과 3D 거북 표현식에 대해 살펴보았다. 이후에 computational thinking의 개념과 computational thinking 학습이 어떻게 수학 교육과 연계하여 이루어지고 있는지 살펴보았다. 본 연구의 목적은 학생들이 사전에 공간 과제를 해결하는데 있어 사용한 인지 전략을 분석하고, 3D 거북 표현식 기반의 코딩 학습이 사후에 공간 과제를 해결하는데 어떤 영향을 미치는지 알아보기 위한 것으로, 이를 위한 이론적 배경으로 공간 능력에 관한 선행연구를 살펴보고, 교과서의 연결큐브 단원 차시 분석과 공간 과제에서 3D 거북 표현식 적용에 관한 선행연구를 살펴보았다. 그리고 공간 인지 전략에 관한 선행 연구를 살펴보았다.

이론적 배경을 토대로 교과서의 연결큐브 문제를 확장하여 공간 과제를 설계하였으며, 3D 거북 표현식 기반의 코딩 학습 전후에 사전 및 사후 검사를 진행하였다. 본 연구의 3D 거북 표현식 기반의 코딩 학습은 Constructionism 기반 마이크로월드에서 3D 거북 표현식을 코딩하고 피드백을 받으면서 자신에게 의미 있는 인공물을 디자인하고 이것을 3D프린터로 출력해보는 ‘디자인을 통한 학습(learning by design)’이다. 본 학습은 기본 거북 코딩 학습, 심화 거북 코딩 학습, 디자인 활동, 3D 프린터 체험 활동 그리고 거북 전략 학습의 순서대로 이루어졌다. 이후에 학생들의 사전-사후 검사의 점수 및 반응시간과 설문을 분석 및 논의를 통하여 각 연구문제에 대한 결과는 다음과 같다.

먼저 연구문제 1에서는 사전에서 학생들이 공간 과제를 해결할 때, 사용한 인지 전략을 분석한 결과, 학생들은 사전에 공간 과제를 해결하는데 있어 접근 방법, 처리 방법 그리고 준거 기준 측면에서 다양한 인지 전략을 사용하였으며, 접근 방법 측면에서는 부분적 접근 전략, 처리 방법 측면에서는 분석적 처리 전략 그리고 준거 기준 측면에서 관점 변환 전략이 높은 성취를 이끌었다. 특히, 사전에 공간 과제를 해결하는데 있어 자신의 전략이 유용하지 않은 학생들 모두가 심상적 처리 전략, 대상

변환 전략을 사용한 학생들이었다는 점에서 체계적인 거북 전략 학습의 필요성이 느껴진다. 또한, 인지 전략에 따른 성취도를 분석한 결과 접근 방법 측면에서는 부분적으로 접근한 학생의 점수가 전체적으로 접근한 학생보다 점수는 높고 반응시간도 길었다. 처리 방법 측면에서는 분석적으로 처리한 학생의 점수가 심상적으로 처리한 학생보다 점수는 높고 반응시간은 짧았다. 준거기준 측면에서 관점 변환을 한 학생의 점수가 대상 변환한 학생보다 점수가 높고 반응시간은 짧았다.

연구 문제 2의 결과 사후 검사의 점수가 사전 검사의 점수와 비교하여 유의하게 차이가 났으며, 특히 사전 검사에서 수준이 낮은 그룹, 수준이 중간인 그룹, 수준이 높은 그룹으로 나누어 사전-사후 검사 점수의 차이를 분석하여 보았는데 수준이 낮은 그룹과 수준이 중간인 그룹에서 점수가 유의하게 높아졌으며, 수준이 높은 그룹의 점수는 오히려 사전검사의 점수와 비교하여 사후검사의 점수가 떨어졌다. 문항별 분석을 통해 사전 검사에서는 회전 각도가 작은 문항일수록 점수가 높았지만 회전각도가 커질수록 정답률이 낮아지는 경향이 있었다. 하지만 사후 검사에서는 거북이의 관점이 익숙한 관점인 문항에 대해서는 정답률이 높았지만, 반대로 바닥면이 거꾸로 뒤집어진 것과 같은 익숙하지 않은 관점인 문항에 대해서는 정답률이 낮았다. 거북 전략을 사용하는데 있어 학생들이 느낀 것을 설문을 통해 분석하였는데, 거북전략이 유용하다는 학생도 있었고 유용하지 않아 오히려 방해가 되었다는 학생들도 있었다. 유용한 학생들은 대부분 사전 설문에서 자신의 전략을 사용하여 수월하지 않게 문항을 푼 학생들이었으며, 거북전략이 유용한 도구로 사용되었음을 알 수 있다.

본 연구에서 제안한 3D 거북 표현식 기반 코딩학습은 초등학교의 연결큐브 문제해결에 있어 ‘강력한 아이디어(powerful ideas)’가 되어 공간 능력에 긍정적인 영향을 줄 뿐만 아니라, 컴퓨터와 3D 프린터와 같은 기계와 의사소통할 수 있는 코딩을 자연스럽게 익힘으로써 최근 화두가 되고 있는 computational thinking 역량을 길러줄 수 있을 것으로 기대된다.

2. 결론 및 제언

본 연구에서는 공간 과제에서 학생들이 해결한 인지 전략을 살펴보고 3D 거북 표현식 기반의 코딩 학습 후에 공간 과제의 문제해결에 있어 어떠한 변화가 있는지를 보기 위함이다. 본 연구 결과로부터 다음과 같은 결론을 이끌어 낼 수 있다.

첫째, 공간 능력 향상과 관련하여 ‘인지 전략’ 측면에서 교육적으로 접근할 수 있는 방법을 제안하였다. 본 연구 결과 부분적 접근, 분석적 처리, 관점 변환 전략을 사용한 학생의 성취도가 높았고 전체적 접근, 심상적 처리, 대상 변환 전략을 사용한 학생의 성취도가 낮았다. 또한 자신의 전략으로 과제를 해결하는 것이 수월하지 않았다는 학생이 전체 학생 중 약 43%에 해당하며, 이 학생들 모두가 심상전략 그리고 대상변환 전략을 사용하였다. 따라서 거북전략은 부분적, 분석적, 관점 변환적 전략으로, 교육적 관점에서 체계적 수준의 전략 학습은 공간 감각 향상을 위한 구체적인 대안이 될 수 있다.

둘째, 3D 거북 표현식은 3D 입체를 추상할 수 있도록 하는 인지적 도구가 되어 공간 능력이 낮은 학생들에게 효과적으로 적용될 수 있었다. 사전 검사의 점수에 따라 수준이 낮은 그룹, 수준이 중간인 그룹, 수준이 높은 그룹에 대해서 사전-사후 검사의 성취도 차이를 분석하였는데, 수준이 낮은 그룹과 중간인 그룹에서 유의한 차이가 났고 수준이 높은 그룹의 학생들의 사후점수는 사전 검사 점수에 비해 떨어졌다. 이에 따라 절차적으로 ‘학습 가능한’ 방법을 제안함으로써 공간 능력이 낮은 학생들에게 공간 문제 해결을 위한 대안을 제시하였다고 할 수 있다.

셋째, 학생들이 기술한 사후 설문에서 거북 전략을 사용했을 때 ‘확신을 가지고’ 해결할 수 있었다는 점에서 거북 전략은 학생이 생각하고 있는 것을 인지할 수 있고 자신의 생각을 검증할 수 있는 효과적인 전략이다. 즉, 절차적이고 체화된 기호체계는 자신의 생각을 서로와 의사소통하고 검증할 수 있는 수단의 역할을 하였기 때문에 공간적 대상을 더욱 정확하게 인지할 수 있으며, 인지적 사고의 도구가 될 수 있다.

한편, 본 연구는 몇 가지 제한점을 남기며, 후속 연구의 방향성을 제시한다. 먼저, 인지 전략의 사용은 학생들마다 다양하며, 모든 학생들에게 한 가지 방법으로 확정지을 수 없다. 본 연구에서 설문 및 인터뷰를 통해 학생들의 반응을 살펴보았지만, 학생 성향에 따른 일반화된 결과를 도출하지는 못하였다. 따라서 본 연구에서 나타난 결과를 모든 학생과 교육적 상황으로 일반화하기는 어려우며, 후속 연구에서 학생 개개인의 성향에 따라 거북 전략 적용이 어떻게 다른지 보다 체계적으로 살펴볼 필요가 있다.

둘째, 사전 공간 과제에서 학생들이 해결한 인지전략을 분석할 때, 설문과 인터뷰를 바탕으로 분석하였지만, 이러한 전략이 자신이 문제를 해결할 때 사용한 전략인지 설명하기 위한 전략인지를 구별하기가 힘든 한계점이 있다. 이에 따라 생체 신호를 통해 객관적으로 증명할 수 있는 방법이 필요할 것이다.

셋째, 공간 능력은 매우 광범위하며, 그것을 구성하는 요인도 다양하다. 이에 본 연구에서는 공간 감각을 이루는 능력들 중 ‘공간 시각화’ 능력에 초점을 두었으며, 3D 입체 중 거울 대칭성을 띄는 입체 쌍에 국한하여 다루었다. 따라서 또 다른 과제 상황에 놓이면 학생들은 새로운 유형의 전략을 사용할 수 있으며, 거북 전략의 유용성이 달라질 수 있다. 따라서 후속 연구에서는 본 연구의 결과를 다른 과제 상황에 적용 가능한지 살펴봄으로써 연구 결과를 확장해 볼 수 있을 것이다.

넷째, 거북전략이라는 새로운 전략이 충분히 내면화되지 않거나 문항의 특성에 따라 공간 과제를 해결하는데 있어 거북 전략의 효과 및 유용성이 완전하게 드러나지 않았다는 점이다. 따라서 새로운 전략이 충분히 내면화 될 수 있는 연습이 필요하다.

다섯째, 본 연구는 학생들을 대상으로만 했던 연구이며 공간 과제의 문제 해결에 초점을 두었기에, 교사를 대상으로 3D 거북 표현식 기반의 코딩학습의 효과를 확인해보거나 교사와 학생들의 다양한 실제 수업 상황에서의 연구가 필요할 것이다.

여섯째, 모든 문항에 대해 거북 전략으로 해결해야만 하는 것이 아닌

심상 전략을 상호 보완적으로 해결하는 것이 필요하다. 문항별 분석 결과 거북 전략으로 해결하기 어려운 문항들과 심상 전략으로 해결하기 어려운 문항들이 있었다. 예를 들어, 바닥면이 천장을 향해 있는 왼쪽 타입의 경우에는 거북 전략으로 해결하기 어려운 문항인데, 이 문항에 대해서 약간의 심상 회전을 한 후에 자신이 생각하기 쉬운 거북이의 관점으로 보거나 sslu의 3D 거북 표현식으로 실행시킨 쌓기나무 모양이 ssrd와 같은 모양이라는 것을 통해 더 쉽게 해결할 수 있다.

3D 거북 표현식 기반의 코딩 학습은 공간 능력 뿐만 아니라 computational thinking 역량 강화를 위한 코딩 교육과 자유학기제 융합 교육에 활용될 수 있을 것이라 기대한다. 3D 거북 표현식은 3D 거북 표현체계라는 기호로 이루어져 있기 때문에 3D 입체에 대한 의사소통이 가능하며, 학생들에게 추상적인 수학을 절차적이고 조작적으로 접근할 수 있도록 하면서 동시에 더욱 높은 수준으로 나아갈 수 있도록 하는 인지 도구로 수학 학습 특히, 대수교육에서 매우 중요한 역할을 할 수 있다. 따라서 본 학습은 computational thinking 기반 수학 학습에 활용될 수 있을 것이라 기대한다.

참고문헌

- 교육과학기술부 (2011). **수학과 교육과정**. 교육과학기술부 고시 제 2011-361호.
- 교육부 (1998). **초등학교 교육과정 해설(Ⅳ)**. 서울: 대한교과서주식회사.
- 교육부 (2003). **수학 6-가**. 서울: 대한교과서 주식회사.
- 교육부 (2015a). **수학 6-2**. 서울: 천재교육
- 교육부 (2015b). **수학 6-2 교사용 지도서**. 서울: 천재교육
- 김선희, 박경미, 이환철 (2015). 수학과 교육과정에 반영된 핵심역량의 국 제적 동향 탐색. **한국수학교육학회지시리즈A: 수학교육**, 54(1), 65-81.
- 김수운 (2004). **쌓기나무 단원의 수업 실행 연구 -6단계를 중심으로-**. 청 주교육대학교 교육대학원 석사학위논문.
- 김영선 (2005). **공간감각 학습과정에서 초등학생이 보이는 오류유형 및 원인분석**. 전주교육대학교 교육대학원 석사학위논문.
- 김지애 (2012). **공학기반 학습 환경에서의 인지 전략 학습이 전개도 접기 능력에 미치는 효과**. 서울대학교 대학원 교육학 석사학위논문.
- 김화경 (2006). **‘컴퓨터와 수학교육’ 학습-지도 환경에 관한 연구**. 서 울대학교 대학원 교육학 박사학위논문.
- 박경은, 이상구 (2015). “컴퓨팅 사고력 (Computational thinking)” 향상 과 Sage 도구를 이용한 수학교육. **한국수학교육학회지시리즈E: 수학 교육**, 29(1), 19-33.
- 박인우 (1996). 학교교육에 있어서 구성주의 교수원리의 실현 매체로서 인터넷 고찰. **교육공학연구**, 12(2), 12.
- 소호섭 (2016). **Computational Thinking 기반 자유학기제 스마트 융합 수 학프로그램 연구 -다면체와 도형수 중심으로-**. 서울대학교 대학원 교육학 석사학위논문.
- 송민호 (2010). **Constructionism 기반 수학교육공학 관점에서의 학습환경 설계 연구**. 서울대학교 대학원 교육학 박사학위논문.

- 신동선, & 류희찬 (2002). **수학교육과 컴퓨터**. 서울: 경문사
- 신동조 (2013). **Constructionism 기반 패턴 구성 프로그램에 관한 연구**.
서울대학교 대학원 교육학 석사학위논문.
- 이성미, & 방정숙 (2007). 시리즈 A: 초등학생들의 공간감각 이해능력 실태조사. **한국수학교육학회지시리즈A: 수학교육**, 46(3), 273-292.
- 이영준 (2014. 2). Computational thinking 교육의 의미와 중요성. **월간 과학창의**, 197, 11.
- 이종영 (2005). 초등학교에서 지도하는 공간감각 내용에 관한고찰. **학교수학** 7(3): 269-286.
- 이지윤 (2015). **3D 입체 변별 과제에서 공간 인지전략의 유형과 역할 - 체화된 3D 거북 표현식과 전략을 중심으로-**. 서울대학교 대학원 박사학위논문.
- 이지윤, 조한혁, 송민호 (2013). 공간 시각화 과제에 체화된 거북 스킴 적용에 관한 연구. **한국수학교육학회지시리즈A: 수학교육논문**, 52(2): 191-201.
- 장유라 (2010). **초등학교 수학수업에 있어서 수학적 의사소통에 관한 연구**. 부산대학교 대학원 석사학위논문.
- 장혜원 (2015). 2 학년 쌓기나무 수업에서의 수학적 의사소통 분석. **학교수학**, 17(2), 223-239.
- 장혜원, 강종표 (2009). 쌓기나무 지도를 위한 부분제거법의 적용. **수학교육학연구**, 19(3), 425-441.
- 장혜원, 강태석, 임미인 (2016). 초등학교 수학과 교육과정과 교과서의 연계 분석. **수학교육학연구** 26(1): 121-141.
- 정진환 (2015). **Computational Thinking Game을 통한 패턴일반화 수학교육**. 서울대학교 대학원 교육학 석사학위논문.
- 정혜림, 이승주, 조한혁 (2016). 연결큐브 수업을 위한 거북표현체계의 활용. **학교수학**, 18(2), 323-348.

- 조영선 (2010). **초등학생들의 공간감각 실태 조사**. 경인교육대학교 교육대학원 석사학위논문.
- 조한혁 (2003). 컴퓨터와 수학교육. **한국수학교육학회지시리즈A: 수학교육**, 42(2), 177-191.
- 조한혁, 송민호 (2014). 실행식 (Executable expression) 기반 SMART 스토리텔링 수학교육. **수학교육학연구**, 24(2), 269-283.
- 최경숙, 백석윤 (2004). 공간 감각 관련 지도 내용 계열 분석. **한국초등수학교육학회지** 8(1): 63-87.
- 최인용 (2014). **Computational thinking 기반 스마트 확률 학습 환경연구**. 서울대학교 대학원 교육학 석사학위논문
- 한기완 (2001). 공간감각의 개념 분석 및 교수-학습 방안 탐색. **한국수학교육학회지시리즈C: 초등수학교육**, 5(1): 57-69.
- Aho, A. V. (2012). Computation and computational thinking. *The Computer Journal*, 55(7), 832-835.
- Barr, V., & Stephenson, C. (2011). Bringing computational thinking to K-12: what is Involved and what is the role of the computer science education community?. *Acm Inroads*, 2(1), 48-54.
- Bishop, A. J. (1980). Spatial abilities and mathematics education—A review. *Educational studies in mathematics*, 11(3), 257-269.
- Brennan, K., & Resnick, M. (2012, April). New frameworks for studying and assessing the development of computational thinking. In *Proceedings of the 2012 annual meeting of the American Educational Research Association, Vancouver, Canada*.
- Caissie, A. F., Vigneau, F., & Bors, D. A. (2009). What does the Mental Rotation Test measure? An analysis of item difficulty and item characteristics. *Open Psychology Journal*, 2(1), 94-102.
- Cho, H. H. & Lee, J. Y. (2014). 3D turtle representation system and mental rotation using 3D turtle perspective. *Proceedings of the 3rd*

- international Constructionism Conference 2014 held at Vienna University of Technology Electrotechnica Institute, Vienna, Austria; August 19-23, 2014*(pp.135-144). Vienna, Austria.
- Cho, H. H., Lee, J. Y. & Song, M. H. (2013). Design of a Logo-based Learning Environment for Pattern Generalization. This paper is presented in the EdMedia 2013 conference. Victoria, Canada.
- Cho, H. H., Song, M. H., Lee, J. Y. & Kim, H. K. (2010). On the Design of Logo-based Educational Microworld Environment. *Proceedings of the 1st International Constructionism Conference 2010 held at American University of Paris*, Parism France; August 16-21, 2010.
- Cuny, J., Snyder, L., & Wing, J. M. (2010). Demystifying computational thinking for non-computer scientists. Unpublished manuscript in progress, referenced in <http://www.cs.cmu.edu/~CompThink/resources/TheLinkWing.pdf>.
- Del Grande, J. (1990). Spatial sense. *The Arithmetic Teacher*, 37(6), 14.
- Freudenthal, H. (1973). *Mathematics as an educational task*. Dordrecht, The Netherland: Reidel.
- Gluck, J., & Fitting, S. (2003). Spatial strategy selection: Interesting incremental information. *International Journal of Testing*, 3(3), 293-308.
- Gorgorió, N. (1998). Exploring the functionality of visual and non-visual strategies in solving rotation problems. *Educational Studies in Mathematics*, 35(3), 207-231.
- Healy, L., & Kynigos, C. (2010). Charting the microworld territory over time: design and construction in mathematics education. *ZDM*, 42(1), 63-76.
- Hemmendinger, D. (2010). A plea for modesty. *Acm Inroads*, 1(2), 4-7.

- Kafai, Y. B. (2005). The classroom as“ living laboratory“: Design-based research for understanding, comparing, and evaluating learning science through design. *Educational technology: The magazine for managers of change in education*, (1), 28-33.
- Kafai, Y. B., & Resnick, M. (1996). *Constructionism in practice: Designing, thinking, and learning in a digital world*. Routledge.
- Kozhevnikov, M., & Hegarty, M. (2001). A dissociation between object manipulation spatial ability and spatial orientation ability. *Memory & Cognition*, 29(5), 745-756.
- Linn, M. C., & Petersen, A. C. (1985). Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: A meta-analysis. *Child development*, 1479-1498.
- Lubinski, D., & Benbow, C. P. (2006). Study of Mathematically Precocious Youth after 35 years: Uncovering antecedents for the development of math-science expertise. *Perspectives on Psychological Science*, 1, 316-345.
- Lee, J. Y. & Cho, H. H. (2014). Computational Thinking based Mathematical Program for Free Semester System. *Journal of the Korean Society of Mathematical Education Series D: Research in Mathematics Education*, 18(4), 273-288.
- McGee, M. G. (1979). Human spatial abilities: psychometric studies and environmental, genetic, hormonal, and neurological influences. *Psychological bulletin*, 86(5), 889.
- Michaelides, M. P. (2002). *Students' Solution Strategies in Spatial Rotation Tasks*. Paper is the result of a Master's Thesis, University of Cambridge.
- Noss, R., & Hoyles, C. (1996). *Windows on mathematical meanings:*

- Learning cultures and computers* (Vol. 17). Springer Science & Business Media.
- Paivio, A. (2013). *Imagery and verbal processes*. Psychology Press.
- Papert, S. (1980). *Mindstorms: Children, computers, and powerful ideas*. Basic Books, Inc..
- Peters, M., & Battista, C. (2008). Applications of mental rotation figures of the Shepard and Metzler type and description of a mental rotation stimulus library. *Brain and cognition*, 68(3), 260-264.
- Repenning, A., Webb, D., & Ioannidou, A. (2010, March). Scalable game design and the development of a checklist for getting computational thinking into public schools. In *Proceedings of the 41st ACM technical symposium on Computer science education* (pp. 265-269). ACM.
- Resnick, M. (1997). *Turtles, termites, and traffic jams: Explorations in massively parallel microworlds*. Mit Press.
- Resnick, M. (2002). *Rethinking learning in the digital age*. In G. Kirkman(Ed.), *The global information technology report: Readiness for the networked world*. Oxford: Oxford University Press.
- Resnick, M., Maloney, J., Monroy-Hernández, A., Rusk, N., Eastmond, E., Brennan, K., ... & Kafai, Y. (2009). Scratch: programming for all. *Communications of the ACM*, 52(11), 60-67.
- Sengupta, P., Kinnebrew, J. S., Basu, S., Biswas, G., & Clark, D. (2013). Integrating computational thinking with K-12 science education using agent-based computation: A theoretical framework. *Education and Information Technologies*, 18(2), 351-380.
- Shepard, R. N., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects. *Science*, 171(3972), 701-703


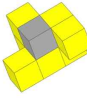



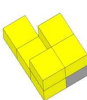



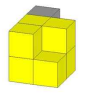







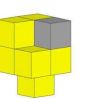



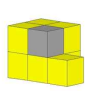


- Stieff, M. (2007). Mental rotation and diagrammatic reasoning in science. *Learning and instruction, 17*(2), 219-234.
- Tartre, L. A. (1990). Spatial skills, gender, and mathematics. *Mathematics and gender, 27-59.*
- Voyer, D. & Hou, J. (2006). Type of items and the magnitude of gender differences on the Mental Rotations Test. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie expérimentale 60*(2): 91.
- Wai, J., Lubinski, D., & Benbow, C. P. (2009). Spatial ability for STEM domains: Aligning over 50 years of cumulative psychological knowledge solidifies its importance. *Journal of Educational Psychology, 101*(4), 817.
- Wing, J. M. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM, 49*(3), 33-35.
- Wing, J. M. (2008). Computational thinking and thinking about computing. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 366*(1881), 3717-3725.
- Wing, J. M. (2011). Research notebook: Computational thinking-What and why? *The Link Magazine*, Spring. Carnegie Mellon University, Pittsburgh. Retrieved from <http://link.cs.cmu.edu/article.php?a=600>
- Zacks, J. M., Vettel, J. M., & Michelon, P. (2003). Imagined viewer and object rotations dissociated with event-related fMRI. *Journal of Cognitive Neuroscience, 15*(7), 1002-1018.
- Zacks, J. M., & Tversky, B. (2005). Multiple systems for spatial imagery: Transformations of objects and bodies. *Spatial Cognition and Computation, 5*(4), 271-306.

부록1: 검사 문항 특성

문항번호	문항유형	X축 회전각도	Y축 회전각도	Z축 회전각도
1	T1	0	0	90
2	T1	0	90	0
3	T1	90	0	90
4	T1	0	90	90
5	T1	0	0	120
6	T1	120	0	0
7	T1	120	0	120
8	T1	120	120	0
9	T1	150	0	0
10	T1	0	150	0
11	T1	150	0	150
12	T1	0	150	150
13	T1	180	0	0
14	T1	0	180	0
15	T1	0	180	180
16	T1	180	180	0
17	T2	90	0	0
18	T2	90	90	0
19	T2	0	120	0
20	T2	0	120	120
21	T2	0	0	150
22	T2	150	150	0
23	T2	0	0	180
24	T2	180	0	180

부록2. 검사문항

<p>1</p> <p>좌면 블록을 제거하였을 때 남는 노란 블록이 무엇인지 고르시오.</p>    	<p>2</p> <p>좌면 블록을 제거하였을 때 남는 노란 블록이 무엇인지 고르시오.</p>    	<p>3</p> <p>좌면 블록을 제거하였을 때 남는 노란 블록이 무엇인지 고르시오.</p>    
<p>4</p> <p>좌면 블록을 제거하였을 때 남는 노란 블록이 무엇인지 고르시오.</p>    	<p>5</p> <p>좌면 블록을 제거하였을 때 남는 노란 블록이 무엇인지 고르시오.</p>    	<p>6</p> <p>좌면 블록을 제거하였을 때 남는 노란 블록이 무엇인지 고르시오.</p>    
<p>7</p> <p>좌면 블록을 제거하였을 때 남는 노란 블록이 무엇인지 고르시오.</p>    	<p>8</p> <p>좌면 블록을 제거하였을 때 남는 노란 블록이 무엇인지 고르시오.</p>    	<p>9</p> <p>좌면 블록을 제거하였을 때 남는 노란 블록이 무엇인지 고르시오.</p>    
<p>10</p> <p>좌면 블록을 제거하였을 때 남는 노란 블록이 무엇인지 고르시오.</p>    	<p>11</p> <p>좌면 블록을 제거하였을 때 남는 노란 블록이 무엇인지 고르시오.</p>    	<p>12</p> <p>좌면 블록을 제거하였을 때 남는 노란 블록이 무엇인지 고르시오.</p>    
<p>13</p> <p>좌면 블록을 제거하였을 때 남는 노란 블록이 무엇인지 고르시오.</p>    	<p>14</p> <p>좌면 블록을 제거하였을 때 남는 노란 블록이 무엇인지 고르시오.</p>    	<p>15</p> <p>좌면 블록을 제거하였을 때 남는 노란 블록이 무엇인지 고르시오.</p>    
<p>16</p> <p>좌면 블록을 제거하였을 때 남는 노란 블록이 무엇인지 고르시오.</p>    	<p>17</p> <p>왼쪽 조각을 뺀 남는 노란 블록이 무엇인지 고르시오.</p>    	<p>18</p> <p>왼쪽 조각을 뺀 남는 노란 블록이 무엇인지 고르시오.</p>    

<p>원쪽 조각을 뺀 남은 노란 블록이 무엇인지 고르시오.</p>    	<p>원쪽 조각을 뺀 남은 노란 블록이 무엇인지 고르시오.</p>    	<p>원쪽 조각을 뺀 남은 노란 블록이 무엇인지 고르시오.</p>    
<p>원쪽 조각을 뺀 남은 노란 블록이 무엇인지 고르시오.</p>    	<p>원쪽 조각을 뺀 남은 노란 블록이 무엇인지 고르시오.</p>    	<p>원쪽 조각을 뺀 남은 노란 블록이 무엇인지 고르시오.</p>    

부록3: 설문지

<사전 설문지>

소마큐브 문항 사전설문지

1. 테스트 문제를 해결할 때 어떻게 보았는지 체크하세요.

- ① 노란색 조각(또는 전체 조각)의 전체 모양을 통째로 생각했다.
- ② 노란색 조각(또는 전체 조각)의 특정 부분을 중심으로 생각했다.
- ③ 기타()


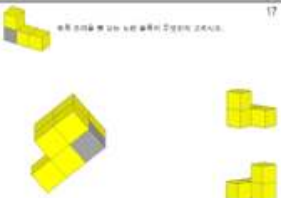
2. 테스트 문제를 해결할 때 어떻게 생각하였는지 체크하세요.

- ① 노란색 조각(또는 전체 조각)을 머릿속에 떠올렸다.
- ② 노란색 조각(또는 전체 조각)의 구조나 특징을 분석하였다.
(어떤 특징:)
- ③ 기타()

3. 테스트 문제를 해결할 때, 대상을 회전시켰는지, 나의 관점을 회전시켰는지 체크하세요.

- ① 노란색 조각(또는 전체 조각)을 회전시켰다.
- ② 나의 관점을 회전시켰다.
- ③ 기타()

4. 위 답변 내용을 토대로 아래 세 가지 문제를 해결한 방법에 대하여 자세히 서술해 주세요.

<p>16</p> <p>어떤 블록을 제거하였을 때 있는 노란 블록이 모양인지 고려하라.</p> 	
<p>17</p> <p>어떤 조각을 빼 있어 노란 블록이 모양인지 고려하라.</p> 	

5. (전략 적용의 수월성) 위에 서술한 자신의 전략을 사용하여 문항을 해결하는 것이 수월하였나요?

- ① 전략을 적용하여 대부분의 문항을 매우 수월하게 해결하였다.
- ② 전략을 적용하여도 헛갈리는 문항들이 좀 있어서 수월하지 않았다.

<사후 설문지>

소마큐브 문항 설문지

1. (난이도) 거북전학을 사용했을 때, 이전에 비해 문제가 얼마나 쉽거나 어렵게 느껴졌나요?
 ① 훨씬 더 어렵게 느껴졌다. ② 조금 더 어렵게 느껴졌다. ③ 이전과 비슷했다.
 ④ 조금 더 쉽게 느껴졌다. ⑤ 훨씬 더 쉽게 느껴졌다.
2. (정확도) 거북전학을 사용했을 때, 이전에 비해 문제를 얼마나 확신을 가지고 해결하였나요?
 ① 훨씬 불확실하게 느껴졌다. ② 조금 더 불확실하게 느껴졌다. ③ 이전과 비슷했다.
 ④ 조금 더 확실하게 느껴졌다. ⑤ 훨씬 더 확실하게 느껴졌다.
3. (속도) 거북전학을 사용했을 때, 이전에 비해 문제를 해결하는데 시간이 얼마나 걸렸나요?
 ① 훨씬 더 오래 걸렸다. ② 조금 더 오래 걸렸다. ③ 이전과 비슷했다.
 ④ 조금 더 짧게 느껴졌다. ⑤ 훨씬 더 짧게 느껴졌다.
4. 거북전학을 사용하는 것이 익숙했습니까?
 ① 매우 익숙했다. ② 익숙했다. ③ 보통이다.
 ④ 익숙하지 않았다. ⑤ 매우 익숙하지 않았다.
5. (거북전학의 유용성) 전반적으로 거북 전학을 사용하는 것에 대해 어떻게 느꼈나요?
 ① 이전 전학을 사용할 때보다 더 도움이 되었다.
 ② 이전 전학을 사용할 때와 비슷했다.
 ③ 이전 전학을 사용할 때보다 오히려 방해가 되었다.
6. 거북전학을 사용했을 때 이전 전학과 비교하여 좋았던 점은 무엇입니까?
7. 거북전학을 사용했을 때, 이전 전학과 비교하여 나빴던 점은 무엇입니까?

ABSTRACT

The effect of learning 3D turtle expression-based coding on spatial ability

Lee, Chohee

Department of Mathematics Education

The Graduate School

Seoul National University

Spatial ability is an essential cognitive ability to understand the relationships between subjects in their surrounding environment. With developments in science and technology, it has become more important. Therefore it is an essential ability to develop, and improvements of spatial ability are considered as a critical goal of geometry education. The 7th national mathematics curriculum introduced the 3D cube stacks in the second and sixth grades. In addition, the 2009 revised national mathematics curriculum recently inserted the ‘linking cube’ activities to extend the 3D cube stacks activities in the sixth grade math classes. However, it has been difficult for teachers and students to engage in problem solving and communicate due to the absence of mathematical means of representing spatial objects such as 3D cube stacks and linking cubes in the classroom. Based on studies

that show the effect of 3D turtle expression which is able to represent and manipulate spatial objects, I applied these expression to linking cube problems in sixth grade class to investigate students' cognitive changes and the educational meaning of this method. I designed spatial tasks which revised the linking cube problem, and students were pre- and post-tested before and after learning 3D turtle expression-based coding. In this study, learning 3D turtle expression-based coding is the 'learning by design' which involves designing the personally meaningful artifacts and producing them by using the 3D printer, coding 3D turtle expression and receiving feedbacks in microworld based on Constructionism. This learning includes gaining knowledge of turtle strategy designed by experience coding 3D turtle expression and producing them by using the 3D printer. The turtle strategy is the systematic strategy and partial approach strategy, and analytic processing strategy and perspective strategy in terms of spatial cognitive strategies, which recognizes, represents and symbolizes spatial information.

As a result, students utilized various cognitive strategies in terms of the approach aspect, the processing aspect, and the reference frame aspect on the spatial tasks. The partial approach strategy in terms of the approach aspect, the analytical processing strategy in terms of the processing aspect, and the perspective strategy in terms of the processing aspect, and the perspective taking strategy in terms of the reference frame aspect brought about high achievement levels on the spatial tasks. In particular, students needs to learn the turtle strategy because they using the imagistic processing strategy and object based transformation strategy felt their own strategies did not useful. When analyzing the result of the pre- and post-tests, students' average scores increased significantly, and the average response time decreased

significantly. Moreover, the students experienced the effect of turtle strategy. Learning 3D turtle expression-based coding play a role of ‘powerful ideas’ . Thus, this learning will not only allow students to enhance their spatial ability but also to raise their computational thinking.

Keywords : 3D turtle expression, coding, spatial ability, spatial cognitive strategy, turtle strategy, linking cubes, computational thinking

Students Number : 2014-20941