

# 코딩블록을 활용한 초등 과학영재 대상 피지컬 컴퓨팅수업의 교수·학습 과정 분석

김지예 · 전영석  
서울교육대학교

## 요 약

본 연구의 목적은 초등 과학영재 학생들을 대상으로 코딩블록(MODI)을 활용한 피지컬 컴퓨팅 교수·학습을 진행하고 그 결과를 분석함으로써 영재 학생들의 컴퓨팅 사고력을 신장시킬 수 있는 교수·학습 방법에 대한 시사점을 얻는 데 있다. 이 연구를 위하여 국제 교육성취도 평가 협회(IEA)에서 개발한 컴퓨터·정보 소양 평가 기준으로부터 MODI를 활용한 수업의 학습목표를 설정하였고, 학습목표에 따라 MODI를 활용한 피지컬 컴퓨팅 교수·학습 프로그램을 개발하였다. 또한 연구 개발한 프로그램은 전문가를 대상으로 타당도를 확인하였다. 개발된 프로그램을 이용하여 S교육대학교 초등 과학영재교육원 4~6학년 15명을 대상으로 코딩블록(MODI)을 활용한 피지컬 컴퓨팅 수업을 32차시 실시하였으며, 교수·학습 과정을 담은 수업 동영상 및 수업관찰 일지, 교사와 학생 설문지 및 면담 등의 자료를 수집하여 질적으로 분석하였다. 연구 결과를 근거로 학교교육 현장에서 코딩블록(MODI)을 활용한 피지컬 컴퓨팅 교수·학습과정에 대한 시사점을 제시하였으며, 창의적인 아이디어를 구현하는 코딩 교육을 통하여 컴퓨팅 사고력의 확장을 모색하였다.

키워드 : 초등학생, 과학영재, 피지컬 컴퓨팅, 교수학습, 컴퓨팅사고력

## Analysis of Teaching and Learning Process in Physical Computing Class for Elementary Gifted Students in Science

Kim, Jiye · Jhun, Youngseok

Seoul National University of Education

## ABSTRACT

The purpose of this study is to analyze the teaching and learning process of physical computing using coding block for elementary gifted students in science. In order to obtain implications for teaching physical computing, we set the learning objectives from the Computer and Information Literacy Evaluation Standards developed by the International Association for the Evaluation of Educational Achievement(IEA) and developed a teaching and learning program for physical computing through collaboration between science education and computer education experts according to learning objectives.

The developed program was related to the use of the coding block MODI(TM) and 32 classes of physical com-

---

이 논문은 2017년 산업통상자원부의 지원을 받아 수행된 연구임 (산업통상자원부 제2016-658호)

교신저자 : 전영석(서울교육대학교)

논문투고 : 2018-10-04

논문심사 : 2018-11-06

심사완료 : 2018-12-19

puting instruction were conducted for 15 students of the 4th to 6th grade who belong to an education institute for the gifted in science affiliated to the University. In the physical computing class, the teaching and learning process was analyzed by collecting data such as classroom videos, class observation logs, teacher and student questionnaires, and interviews. Based on the results of the study, the implications of the teaching and learning process of physical computing using the coded blocks in the school education field were suggested. And we also explored the strategy of expanding the computational thinking through the activities of coding instruction to realize creative ideas.

Keywords : Elementary students, Gifted in science, Physical Computing Teaching and Learning, Computing Thinking

## 1. 서론

오늘날 세계는 지식정보사회에서 지능정보사회로 전환되고 있으며 이에 따라 소프트웨어가 혁신과 성장, 가치창출의 중심이 되고, 개인, 기업, 국가의 경쟁력을 결정하는 핵심 요소가 되었다[1]. 이에 따라 교육에서도 창의적이고 통찰력 있는 사고를 바탕으로 문제 해결 능력을 신장하는 맞춤형 학습이 요구된다. 또한 학문 영역 간, 전공 간의 벽을 허무는 융·복합 교육을 강조하고 있으며 교과 과정도 융·복합 교과과정과 문제해결형 교육 과정으로의 대전환을 필요로 한다[2].

융복합의 시대에서 사회를 이끌어가는 핵심 인재로 성장하기 위해서는 융합의 핵심을 관통하는 컴퓨팅의 원리와 기술을 학습하여 창의적이고 효율적으로 문제를 해결하는 데 필요한 능력을 기르는 것이 중요하다. 이를 위해 학습한 내용을 바탕으로 새로운 환경과 상황 속에서 다양한 지식을 선택하고 통합하여 문제를 해결하고, 새로운 지식과 가치를 생성할 수 있는 창의·융합형 인재가 필요하다[3].

미국이나 유럽을 비롯한 세계 여러 나라들은 이러한 시대적 변화에 발맞추어 소프트웨어 교육(SW 교육)을 필수 교육으로 선정, 적용하며 창의·융합형 인재 양성에 힘을 기울이고 있다[4][5]. 우리나라에서도 융복합적 사고와 창의적 문제해결을 강조하는 미래형 교육 정책을 내세우고 있다[1]. 이러한 교육 정책의 방향에 따라 2015 개정 교육과정에서는 SW 교육의 중요성을 인지하고 초·중등 SW 교육 활성화 방안을 마련하여 학교 급별 SW 교육 모델 제시, 교육과정 개편 및 지원체제 구축 등을 통해 그 추진 방안을 제시했다. 그 결과로 2015 개정 교육과정 고시에 따라 초등학교에서는 2018년까지

SW 교육 필수화를 위한 기반을 마련하고 2019년부터 실과 내 SW 교육 17시간 의무교육을 통해 SW 인재를 양성하고자 추진하고 있다[1][6][7].

SW 교육 운영 지침에서는 ‘컴퓨팅 사고력을 가진 창의·융합 인재’를 인재상으로 설정하고, 학교급별 교육 목표를 제시하였다[8][9]. 학습자가 흥미를 유지하며 분석적 사고, 논리적 사고, 알고리즘 사고, 창의적 사고, 인지력을 증진할 수 있는 교육방법으로서의 SW 교육은 SW의 기본적인 개념과 원리를 기반으로 다양한 문제를 창의적이고 효율적으로 해결하는 컴퓨팅 사고력을 기르는 교육이다[16][18].

SW 교육을 실천하는 방법 중의 하나로 학습자가 실물을 직접 조정하여 실제 세상과의 연결을 체험하도록 하는 피지컬 컴퓨팅(physical computing)의 활용을 들 수 있다. 피지컬 컴퓨팅은 컴퓨터와 인간이 서로 상호작용하도록 디자인하는 접근법이다.

프로그래밍을 처음 배우는 학생들에게 피지컬 컴퓨팅은 컴퓨터와 프로그램이 동작하는 방식을 배우는 데 좋은 수단이 된다[5]. 학생들이 실생활에서 만나는 문제를 프로그래밍을 통해 해결하도록 이끌어낼 수 있는 교육으로 프로그래밍 언어 방식을 사용한다. 예를 들어 직접 블록을 조립하여 구조물을 만들거나, 로봇을 조립해서 조정하거나, 간단한 탈부착이 가능한 센서와 출력장치를 이용해 공기의 질과 온도를 측정하는 장치를 만드는 등의 공작 활동을 하며 컴퓨팅 사고력을 향상시킬 수 있다.

이 과정에서 함양되는 컴퓨팅 사고력은 컴퓨터의 해결 능력인 데이터 수집·분석, 표현, 분해·추상화, 자동화 등을 사고에 적용시켜 여러 분야에서 문제를 해결하는 데 필요한 능력으로 정의할 수 있다[3]. 이러한 컴퓨팅 사고력은 복잡한 문제를 해결하는 능력이 필요한 21세

기에 학습자가 갖추어야 할 핵심역량이며, 지능정보사회를 이끌어 나갈 인재 육성에 절대적으로 필요하다. 이에 따라 많은 연구자들이 컴퓨팅 사고력을 측정하는 연구를 수행하고 있다[20][21][22].

위와 같은 맥락에서 본 연구의 목적은 초등과학영재 학생들을 대상으로 코딩블록(MODI)을 활용한 피지컬 컴퓨팅 교수·학습 설계 원리에 따라 교수·학습을 실시하고, 그 과정에서 컴퓨팅 사고력을 비롯한 피지컬 컴퓨팅 교수·학습의 특성이 어떻게 나타나는지 수업 관찰 관점에 따라 분석하는 것이다.

이에 본 연구에서는 학생들의 학습과정을 담은 수업 동영상 및 수업관찰일지, 교사와 학생 설문지 및 면담 등의 질적 자료 분석을 토대로 피지컬 컴퓨팅 교수·학습 과정을 고찰하여 향후 학교교육 현장에서 컴퓨팅 사고력 향상을 도모하고, 코딩블록(MODI)을 활용한 피지컬 컴퓨팅 교수·학습의 질적 보완 및 교육 프로그램 개발 연구에 대한 시사점을 제시하고자 한다.

## 2. 연구 방법

### 2.1. 피지컬 컴퓨팅 교수·학습

피지컬 컴퓨팅의 개념은 Dan O'Sullivan과 Tom Igoe가 인터랙티브 피지컬 시스템(interactive physical systems)을 가르친 데에서 시작되었다[10]. 피지컬 컴퓨팅이란 사용자로부터 현실 세계 속 데이터를 물리적 형태로 입력받아 SW의 형태로 처리한 결과를 모니터나 LED 또는 여러 가지 장치 등 물리적 형태로 출력하여 사용자, 혹은 환경과 상호작용하는 방법으로[11][12] SW를 통해 센서가 측정한 값을 표현하거나 데이터를 소리나 빛, 디스플레이 등 여러 가지 방법으로 출력할 수 있게 구성된다. 즉, 센서를 이용하여 현실 세계로부터 입력 값을 받아들이고, 값들을 처리하여 또 다른 장치를 제어하는 것을 말한다.

컴퓨팅 사고력을 기르기 위해서 엔트리와 스크래치 같은 교육용 프로그래밍 언어(EPL: Educational programming Language)를 가르치는 것이 강조되고 있지만 EPL만으로는 실제적 문제해결능력을 길러주기 어렵다는 한계점이 있다. 이러한 문제점을 인식한 연구자들

이 피지컬 컴퓨팅을 수업에 도입하고 있다. 김재휘와 김동호는 엔트리와 센서보드를 활용한 EPL 및 피지컬 컴퓨팅 교육과정을 개발하고 초등학교 6학년에게 적용하였다. 연구 결과 EPL 교육과정에 피지컬 컴퓨팅 교육과정을 추가로 적용한 집단의 컴퓨팅 사고력이 크게 향상되었다[13]. 김석희와 이철현은 3년간 피지컬 컴퓨팅 기반의 STEAM 프로그램을 운영하고 그 효과를 분석하였는데, 학생들의 과학적 태도, 논리적 문제해결능력, 만족도 향상에 효과가 있는 것으로 나타났다[14].

### 2.2 연구 대상

본 연구는 서울교육대학교 과학영재교육원 학생 중 피지컬 컴퓨팅 교육 참가 희망자 15명을 대상으로 피지컬 컴퓨팅 수업을 진행하였다. 선정된 학생들은 6학년 5명, 5학년 9명, 4학년 1명으로 구성되어 있다. 이들은 소속된 학교의 교사 또는 학교장의 추천을 받아 서류전형과 영재성 및 창의성 검사 및 면접을 통해 영재성을 검증 받고 영재 교육을 받고 있는 학생들이다.

본 연구의 초등과학영재 학생들은 코딩블록 MODI에 대한 사전 학습경험이 모두 없으며, 협력학습의 효과를 높이기 위한 팀원 구성은 수업 상황에 따라 2인 1조를 기본으로 수업을 진행하되 상황에 따라 4인 1조로 진행하였다.

본 연구에서 활용한 피지컬 컴퓨팅 교구는 국내에서 개발된 모듈 기반의 조립식 전자장치 플랫폼인 코딩블록 MODI이다. MODI는 코딩 교육용 로봇 모듈로 조도, 온도, 습도, 마이크, 적외선, 초음파, 자이로, 버튼, 다이얼 기능의 입력 모듈, LED, 스피커, 화면, 모터 기능의 출력 모듈, 총 13개의 모듈로 구성되어 있다.

아두이노와 같은 피지컬 컴퓨팅 교구의 경우, 익숙지 않은 전기, 전자적 지식과 프로그래밍 지식 등의 전문 지식을 필요로 한다. 또한, 피지컬 컴퓨팅 교구가 컴퓨터에 연결되지 않으면 각 모듈이 동작을 하지 않는 경우가 대부분이다.

하지만 코딩블록 MODI는 각 모듈 옆면에 자석이 있어 쉽게 다른 블록과 연결이 가능하며 배터리와 네트워크 기능을 탑재하여 인플러그드 활동도 가능하다. 뿐만 아니라 코딩을 할 수 있는 프로그램인 MODI studio나 엔트리를 활용하면 보다 복잡한 사물인터넷(IoT) 기기

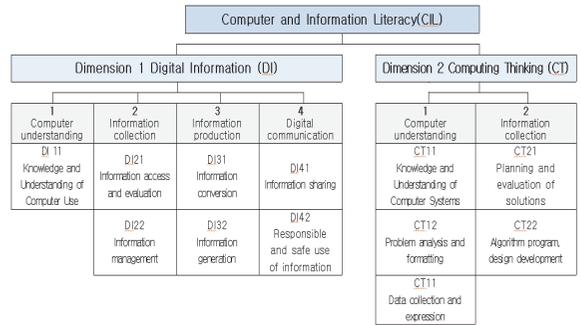
제작이 가능하다는 장점이 있다. 이러한 간편성과 효과성에 따라 본 연구를 위한 피지컬 컴퓨팅 도구로 채택하였다.

### 2.3 피지컬 컴퓨팅 교수·학습 프로그램 개발

#### 2.3.1 개발 방향

본 연구에서 초등과학영재 학생들을 대상으로 피지컬 컴퓨팅 교수·학습 과정을 분석하기 위해 교육 목표는 SW 교육 지침에서 제시하는 초등학교 SW 교육목표 및 성취기준을 기반으로 하고[16], 국제 교육성취도평가 협회(International Association for the Evaluation of Educational Achievement; 이하 IEA)에서 개발한 컴퓨터·정보 소양 평가 기준으로부터 <Table 1>과 같이 도출하였다.

IEA는 학생들이 디지털 시대를 살아가는데 필요한 컴퓨터·정보 소양을 향상시킬 수 있도록 지원하기 위한 국제 컴퓨터·정보 소양 연구(International Computer and Information Literacy Study; 이하 ICILS)를 통해서 이 평가 기준을 개발하였다. ICILS 2018 참여국들 간 협의를 통해 잠정적으로 확정된 ICILS 2018 컴퓨터·정보 소양 평가 기준은 <Fig 1>과 같다[15]. ICILS 2018 평가들에 따르면 컴퓨터·정보 소양(CIL)은 크게 '디지털 정보(Digital Information; 이하 DI)'와 '컴퓨팅 사고력(Computational Thinking; 이하 CT)의 2차원으로 구성된다[3].



<Fig. 1> Criteria for evaluation of computer and information literacy

#### 2.3.2 주제 선정 과정

본 연구를 위해 <Table 1>의 교육 목표에 따라 'MODI와 함께 IoT(사물인터넷)로 여는 새로운 세상 탐구' 라는 주제를 바탕으로 주제 1과 주제 2로 나누어 피지컬 컴퓨팅 프로그램을 구성하였다.

주제 1은 'MODI 길들이기'로 모듈에 대한 탐구를 통해 각 소자의 특성을 이해하고 프로그래밍 방법을 익히는 것을 목표로 하였다. 주제 2는 'MODI로 하는 미션 수행하기'로 주제 1에서 익힌 내용을 바탕으로 여러 모듈을 다양하게 사용하며 프로젝트 활동을 수행하는 것을 목표로 하였다.

주제 1이 기본 활동이라면 주제 2는 응용 및 심화 활동이라고 할 수 있다. 주제에 따른 학습 내용은 과학 전공 교수 1인과 박사과정 3인, 석사 과정 7인의 검토 및 자문 과정을 거쳐 주제별로 각각 16차시씩 교수·학습

<Table 1> Educational Objectives of the Physical Computing Education Program

Dimension	Element	Sub-Element	Educational Objectives
Dimension2 Computing Thinking (CT)	Conceptualization of Problems	1) Knowledge and Understanding of Computer Systems	Observe the interactions of the components that make up the computer system to identify and explain the characteristics of the computer system.
		2) Problem analysis and formatting	Break down problems into smaller, easier-to-handle problems and shape the characteristics of the tasks.
		3) Data collection and expression	Collect and organize relevant data to show characteristics and patterns.
	2. Solution manipulation	1) Solution planning and evaluation	Plan a solution to the problem and make critical judgments about the plan.
		2) Algorithms, programs, design development	Develop and perform algorithms, systematically representing the steps and rules required to solve problems.

내용을 구상하였다. 주제 1과 2의 차시별 주제와 내용은 <Table 2>, <Table 3>과 같다.

### 2.3.3 피지컬 컴퓨팅 교수·학습 설계

코딩블록 MODI를 활용한 피지컬 컴퓨팅 교수·학습 프로그램을 개발하기 위해 현장 교사가 포함된 소프트

웨어 교육 전문가, 과학교육 및 영재교육 전문가 10여명이 집중 작업을 하였다. 1차 교재 개발 및 수업 설계 후에는 그 적합성을 상호 검토하였다. SW 교육 목표가 코딩블록 MODI를 활용한 피지컬 컴퓨팅 교수·학습에 의해 도달될 수 있도록 여러 차례 회의를 통해 수정·보완하였다.

‘MODI와 함께 IoT로 여는 새로운 세상 탐구’라는

<Table 2> Part 1: Fundamental learning - MODI modules and basic programming

Time	Subject	Input										Output				Programming			
		Illumi ratio n	Illumi ratio n	Humi dity	Mike	Infra red ray	Ultra sonic wave	Butto n	Dial	Gyro scope	L E D	Spea ker	scre en	motor	Moni toring	Loof Texts	IF Texts	While Text	Prog ramm ng
1	Hardware configuration sense	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					○
2	Learning the hardware “input” module (Switch)																		○
3	Learning hardware “Input” Module (Dial & Mike)				○									○					○
4	Learning hardware “input” module (Environment)	○	○	○										○					○
5	Learning hardware “Input” Module (Infrared and Ultrasonic)					○	○							○					○
6	Learning hardware “input” module (Gyroscope)																		○
7	Learn Hardware “Output” Module (LED, Screen)	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			○					○
8	Learn hardware “output” module (Speaker, Motor)	○	○	○	○	○	○	○	○	○			○		○				○
9	Learning Programming (IF)	○			○														○
10	The Challenge of Using iF Texts																		○
11	Learning Programming (While)					○		○					○	○					○
12	Learning Programming (Loof & Break)																		○
13	The Task of Using While, Loof, and Break Texts	○																	○
14	Learning Network Module Functions																		○
15	Creating smart switches																		○
16	Learning Network Functions Using Smartphone Applications				○	○							○	○	○				○

<Table 3> Part 2: Application - Project performance

Time	Subject	Input										Output				Programming			
		Illumi ratio n	Illumi ratio n	Humi dity	Mike	Infra red ray	Ultra sonic wave	Butto n	Dial	Gyro scope	L E D	Spea ker	scre en	motor	Moni toring	Loof Texts	IF Texts	While Text	Prog ramm ng
1	MODI Review	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2	Making Smart Signals 1									○									○
3	Making Smart Signal Lights 2									○									○
4	Smart Signal Making 3									○	○								○
5	Making Smart Signals 4									○			○						○
6	Making Smart Signal Lights 5		○							○				○					○
7	Learning Dance Robot Action 1												○						
8	Learning Dance Robot Action 2		○			○							○		○				○
9	Learning Dance Robot Action 3					○							○		○				○
10	Learning Dance Robot Action 4												○		○				○
11	Learning Dance Robot Action 5									○			○		○				○
12,13	Learning Dance Robot Action 6	○											○		○				○
14	Learning Dance Robot Action 7									○			○		○				○
15,16	Dancing robot choreography		○			○	○			○			○		○				○

주제의 코딩블록 MODI를 활용한 피지컬 컴퓨팅 교수·학습 프로그램은 ‘탐색 - 이해 - 적용 - 창출’ 단계별 과정으로 이루어진다.

첫째, [탐색] 단계에서는 실생활 속에서 활용되고 있는 센서 (또는 프로그래밍 언어)의 예를 살펴보면서, 다양한 센서들(또는 프로그래밍 언어)이 사물 인터넷 (Internet of Thing (IoT))에 활용되면서 세상을 변화시키고 있음을 인식하는 단계이다.

둘째, [이해] 단계는 [탐색] 단계에서 소개한 센서와 관련된 MODI의 모듈(또는 프로그래밍 언어)을 하나씩 다루면서 탐구 활동을 통해 그 작동 방식 및 기능을 이해하는 단계이다.

셋째, [적용] 단계는 [이해] 단계에서 익힌 모듈(또는 프로그래밍 언어)을 활용하여 특정한 기능을 하는 장치를 제작하는 단계이다.

넷째, [창출] 단계는 해당 센서(또는 프로그래밍 언어)를 활용하여 미래에는 어떤 새로운 모습이 가능할지

에 대하여 상상하거나 직접 제작해보는 단계이다.

### 2.4 수업 실행

코딩블록 MODI를 활용한 피지컬 컴퓨팅 교수·학습 프로그램은 4주 동안 32차시 수업으로 진행되었으며, 전체 진행과정은 <Table 4>와 같다.

1, 2차에서는 주제 1 ‘MODI 길들이기’을 다루었다. 모듈에 대한 탐구를 통해 각 소자의 특성을 이해하고 프로그래밍 방법을 익혔다. 3, 4차에서는 주제 2 ‘MODI로 하는 미션 수행하기’를 다루었다. 주제 1에서 익힌 내용을 바탕으로 여러 모듈을 다양하게 사용하며 심화된 프로젝트 활동을 수행하였다.

### 2.5 교수·학습 관찰 분석 방법

초등 과학영재 학생들의 코딩블록 MODI를 활용한

<Table 4> Lesson and learning contents

Order	subject	Summary of instructional content
1	1. Taming MODI	MODI Hardware Capture
2		Learning module functions such as microphones, buttons, dials IF, While, Loof & Break Programming Learning Network Module Function
3	2. Performing a mission with MODI	MODI Review
4		Making smart traffic lights Learning the Dance Robot Action Announcement of Dance Robot Choreography

<Table 5> Lubric of classroom observation

Dimension	Analysis of teaching and learning process
Participation and immersion in learning activities	Does the learner participate with interest and interest in learning activities? Does the learner's interest remain constant?
	Is the learner's commitment to learning activities, self-directed?
Achieving Goals and Learning Achievement (Improving computer thinking ability)	Does the learner reach the class goal?
	Learners' computers. Is information literacy improving?
Difficulty and satisfaction	Is there any difficulty in learning?
	Are you satisfied with your learning activities and results?
Learning environment	Do students easily manipulate MODI and software?
Interaction	Is there a good interaction and communication between students and teachers, between students and students?

피지컬 컴퓨팅 교수·학습 과정을 분석하기 위해 4주 동안 수업 관찰을 실시하였다. 수업 관찰 관점에 따른 수업 관찰 일지, 교사 및 학생들의 수업 소감 설문지, 면담을 활용하여 분석하였다.

본 연구를 위해 교수·학습 과정을 분석한 방법은 과학 학습용 웹기반 시뮬레이션 수업 관찰 관점[8]을 참고하여 본 연구에 맞게 수정하였다. <Table 5>는 본 연구에서 사용한 수업 관찰 관점으로, 총 5개의 영역으로 나뉘며 8개의 세부 수업 관찰 관점을 포함한다.

### 3. 연구 결과

본 연구에서는 학생들의 컴퓨팅 사고능력을 신장시키기 위한 32차시의 피지컬 컴퓨팅 교수·학습 프로그램을 설계하였다. 프로그램은 코딩블록 MODI를 활용한 환경을 기반으로 하며, 개발된 프로그램은 S 교대의 초등 과학영재원 학생들에게 4주에 걸쳐 적용되었다. 이 과정에서 수업 관찰, 일지 분석, 교사와 학생의 설문지 분석, 면담이 이루어졌다. 참여 학생들이 수업에서 보이는 교수·학습 특성을 관찰 관점에 따라 분석한 결과는 아래와 같다.

#### 3.1 학생들의 학습활동 참여와 몰입도

Csikszentmihalyi에 따르면 몰입은 자신에게 주어진 과제에 완전히 몰두하여 최적의 기능을 수행하는 상태로 정의하고, 주어진 과제와 개인의 능력이 모두 높으면서도 대등한 수준일 때 가장 잘 나타나며 다음과 같은 세 가지 조건에서 몰입이 일어난다고 말하였다. 명확한 목표와 규칙, 행동에 따른 빠른 피드백, 적절한 과제의 난이도가 그것이다[16].

피지컬 컴퓨팅 교수 코딩블록 MODI를 구성하는 모듈이 어떤 역할을 하는지 탐구하는 과정에서 영재 학생들은 MODI의 직관성 및 편이성을 바탕으로 코딩의 기초 개념을 형성하는 학습 활동에 흥미를 느끼며 ‘신기하다’, ‘재미있다’는 반응을 보이며 1차시 수업부터 적극 참여하였고, 피지컬 컴퓨팅 교수·학습 활동에 몰입하였다. 영재 학생들은 MODI를 활용한 피지컬 컴퓨팅 교

수·학습 활동에 도전적인 과제에 최선을 다하고, 시간이 흘러가면서도 인식하지 못할 정도로 집중하였으며, 결과적으로 과제 수행에 대한 성공 경험을 통해 지속적으로 흥미와 관심을 보이며 자기주도적으로 참여하였다.

코딩블록 MODI를 활용한 피지컬 컴퓨팅 교수·학습에 대한 학생들의 설문 결과에 따르면, 영재 학생들은 주제 2의 ‘MODI로 미션 수행하기’ 심화 활동 중 신호등의 원리를 이해하고, MODI를 활용하여 스마트 신호등 만들기 수업과 다양한 입출력 모듈과 명령어를 활용하여 음악에 맞춰 춤을 추는 댄싱 로봇 만들기 수업에 가장 적극적으로 참여한 것으로 나타났다. 영재 학생들은 여러 명이 협동하여 로봇을 직접 만들고 작동할 수 있도록 프로젝트를 구상하고 실행 과정을 다룬 교수·학습 활동에 흥미를 가지고 적극적으로 참여하고 몰입한 것으로 보인다.

이러한 몰입의 상태에 도달하기 위해서는 자신의 자율의지에 따라 활동에 심도 있게 참여하고, 활동 그 자체에서 의미를 찾아야만 가능하다. 도전적인 과제를 성공적으로 수행할 때 따라오는 내적인 보상이라고 할 수 있다. 영재 학생들이 코딩블록 MODI를 활용한 피지컬 컴퓨팅 교수·학습활동에 몰입하는 조건과 효과를 다음과 같이 살펴볼 수 있다.

우선 피지컬 컴퓨팅 교구의 특징과 관련하여 첫째, 학생들은 코딩블록 MODI 탐색을 통해 12개 모듈의 특징을 감각적으로 이해하고, 직관적으로 그 기능을 유추해내었다. 학생들은 모듈의 아이콘 색깔이 노란색인 모듈은 배터리와 네트워크 기능, 보라색인 모듈은 신호를 조절하거나 측정하는 기능, 주황색인 모듈은 신호를 표시하는 기능 등으로 MODI의 감각적인 디자인을 탐색하여 모듈의 기능을 아이콘 모양과 색에 따라 구분하고 Network 모듈, Input 모듈, Output 모듈, 로 분류하였다.

둘째, 코딩블록 MODI는 각 모듈 네 개의 옆면에는 자석이 있어 학생들은 MODI를 레고 블록을 쌓듯이 손쉽게 서로 다른 MODI와 연결하여 작동하도록 구성하였다. 또한 기본적인 모듈 세팅 상태에서 모듈끼리 서로 연결하면 작동하는 것을 바탕으로 컴퓨터를 활용하여 MODI Studio를 실행하고 네트워크 모듈을 이용해 다양한 모듈을 연결한 후, 문제해결을 위한 자신의 생각을 MODI Studio에 표현해냈다. 영재 학생들은 다양한 모듈의 기능을 탐색하고 이해하여 적용하고 창출하는 데

관심을 보이기 시작했다.

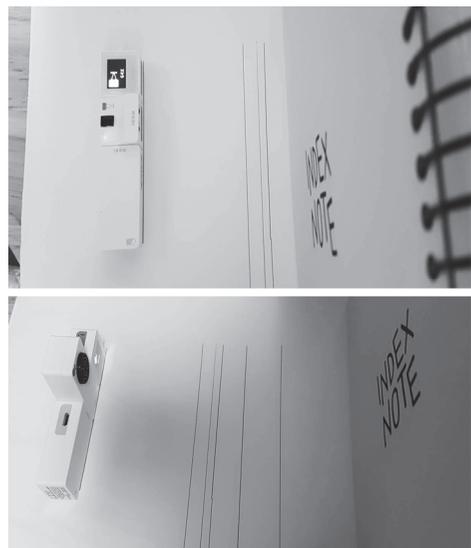
셋째, 코딩블록 MODI의 경우 다른 피지컬 컴퓨팅 교구와 달리 다양한 기능을 가진 모듈이 많아 영재 학생들은 수업에 더욱 흥미롭게 참여하였다. 학생들은 사전에 햄스터 붓, 스크래치와 같은 피지컬 컴퓨팅 교구를 활용하여 코딩 교육을 받은 경험이 있었지만 그 기능이 다양하지 않아 쉽게 흥미를 잃었다고 한다. 하지만 MODI 모듈은 자이로스코프, 적외선, 초음파, 환경(온도, 조도, 습도, R.G.B.) 등 과학적으로 탐구할 수 있는 다양한 기능을 가진 모듈이 많아 과학영재 학생들의 호기심을 더욱 더 자극하여 몰입하였으며 후속 피지컬 컴퓨팅 교수·학습 활동에 관심과 호기심을 불러일으켰다.

넷째, 코딩블록 MODI는 프로그래밍 언어를 입력하지 않는 언플러그드 활동이 가능하여 학생들이 MODI 모듈끼리 손쉽게 서로 연결시키고, 예상한 결과 값을 디스플레이 모듈에서 즉각적으로 확인할 수 있었다. 또한 MODI 모듈과 컴퓨터를 활용하여 MODI Studio를 이용해 각각의 모듈을 모니터링하며 서로의 생각을 공유하여 바로 컴퓨터에 코딩하여 그 결과를 바로 확인할 수 있어 즉각적인 피드백으로 영재 학생들의 학습의 흥미도 및 집중도를 높였다.

다섯째, 피지컬 컴퓨팅 교수·학습 설계 전략에 따라 시범·실습에서 탈피하여 영재학생들이 충분한 시간을 가지면서 코딩블록 MODI 모듈 하나하나를 자세히 탐색할 수 있는 시간을 제공하여 MODI에 대한 학습동기를 부여하고 교수·학습 활동에 흥미를 유발하고자 하였다. 대체로 로봇 키트와 같은 다소 복잡한 도구를 사용하는 수업 또는 일반 컴퓨터 수업에서 주로 시범수업 기반의 수업을 실시한다. 하지만, 본 연구에서는 ‘탐색-이해-적용-창출’ 단계별 과정으로 수업을 구성하여 자칫 범하기 쉬운 ‘따라 하기 식’의 시범과 실습에서 벗어나 학생들이 코딩블록 MODI 탐색을 통해 각 모듈의 특징 및 기능을 유추하고, 어떤 기능을 하는지 학생들이 스스로 생각하고 고민할 기회를 제공하였다.

이와 같은 과정을 거쳐 학생들은 다양한 MODI 모듈 사용에 익숙해지면서 자연스럽게 기본 모듈에 대한 전반적인 이해가 가능하였으며 프로그래밍 방법을 익힐 수 있었다. 이를 바탕으로 영재학생들은 여러 MODI 모듈을 다양하게 사용하여 일상생활의 문제를 과학적으로 해결하기 위해 프로젝트 활동 수행하는 활동에 적극적

으로 참여하였다. 예를 들어 <Fig 2>와 같이 책이나 상자를 바닥에 수직하게 세우고 적외선 모듈과 초음파 모듈에서 가까운 곳에서 먼 곳으로 천천히 이동시켰을 때, 디스플레이 모듈에 나타나는 값이 10씩 변할 때마다 선을 그어 보고, 적외선 및 초음파 모듈이 정확하게 위치를 측정하는 방법에 대해 탐색하였다. 이를 활용한 생활 개선하기 등과 같은 도전 과제에 흥미를 보이며 성공적으로 미션을 수행하여 심화 교수·학습 활동에 더욱 더 몰입할 수 있었다.



<Fig. 2> Moving objects near infrared module (up) and ultrasonic module (down) modules

### 3.2 목표 도달 및 학습 성취

컴퓨터는 시키는 대로만 일을 하는 장치, 일을 시키기 위해서 무엇을 해야 하는지 구체적으로 제시하고 또 순서에 맞게 차근차근 지시해야 한다. 컴퓨터에 이러한 절차로 프로그램 언어의 규칙에 따라 명령을 내리는 것을 프로그램이라고 한다. 이처럼 어떤 문제를 해결하기 위해 간단한 프로그램을 만들고, 프로그램에 추가적인 기능을 조금씩 덧붙여 나가는 것을 절차적 사고 또는 시스템적 사고라고 한다.

이러한 절차적 사고 또는 시스템적 사고를 증진시킨다면 어떤 일에 대해서 무엇을 요구하는지 어떻게 문제

를 해결해 갈 것인지 생각해보고 합리적인 생각, 문제 해결 능력을 길러주며, 궁극적으로 컴퓨터 시스템을 활용하여 문제를 이해하고 창의적인 해법을 구현하여 적용하는 능력인 컴퓨팅 사고력을 신장시킬 수 있다. 즉, 컴퓨팅 사고는 컴퓨터를 활용하여 문제를 효과적으로 해결하기 위해 절차적으로 사고하는 것으로 문제 해결 과정에서 컴퓨팅 시스템의 능력과 컴퓨터 과학의 개념과 원리를 활용한다. 그러나 컴퓨터 보다는 사람이 사고하는 것에 중점을 두는 것이 특징이다.

이와 같은 특징을 바탕으로 설정한 코딩블록 MODI를 활용한 피지컬 컴퓨팅 교수·학습 설계 전략은 ‘탐색-이해-적용-창출’ 단계별 구성으로, 영재 학생들이 문제를 해결하기 위해 시스템적 사고를 할 수 있도록 사고의 흐름을 안내한 점이 특징적이라 할 수 있다.

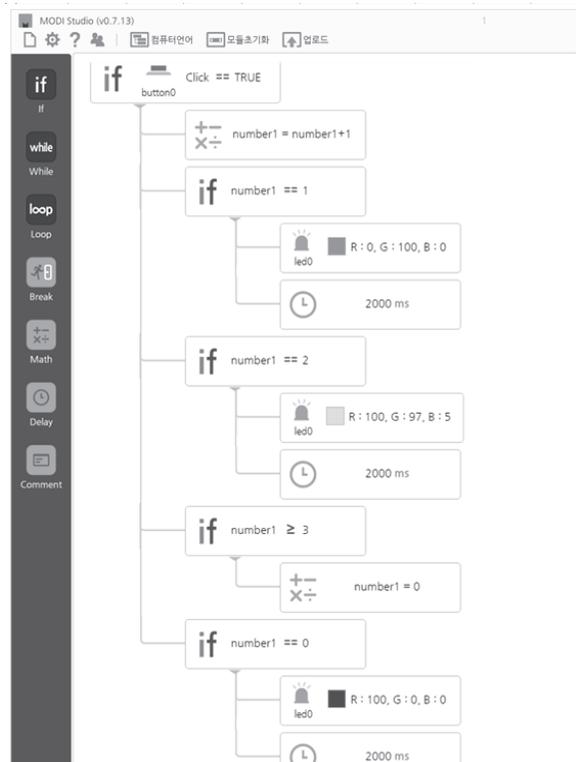
첫째, MODI 모듈의 기능 및 코딩 학습 순서를 고려하여 <Table 2>, <Table 3>에서 살펴본 바와 같이 학습 내용을 계열화 하여 학습 과제를 단순 과제에서 복잡한 과제로 스캐폴딩을 점차 줄여가도록 구성하였다. 주제 1은 기본활동으로 MODI 모듈에 대한 탐구를 통해 각 모듈의 특성을 이해하고 프로그래밍 방법을 익힐 수 있도록 하였다. 주제 2는 심화 활동으로 여러 MODI 모듈을 다양하게 사용하여 실생활의 문제를 해결하기 위한 프로젝트 활동 수행하도록 하였다. 즉, 학습 과제를 기본 활동과 심화 활동으로 각각 나누어 제시하여 학습자의 수준에 따라 피지컬 컴퓨팅 교육 프로그램을 선택할 수 있도록 하였다.

둘째, 영재 학생들은 스피커 모듈 센서가 작동하는 바를 매우 세심하게 테스트하면서 스피커 센서 수치가 지닌 소리의 세기 결과 값에 대해 의미를 포착하고, 소리의 진동수 입력 값을 제어하는 방식을 이해하며 수업에 참여하였다.

셋째, 인지 부하를 최소화하고, 문제 해결을 위한 적합한 정보 및 절차적 정보를 제공하여 영재 학생들은 명령어를 사용하여 여러 모듈을 하나의 시스템으로 작동시킴으로써 창의적인 프로젝트를 수행하여 교육목표에 도달하였으며, 더 나아가 컴퓨팅 사고를 발전시키는 경험을 할 수 있었다.

심화 활동 중 2~6차시에 해당하는 ‘스마트 신호등 만들기’ 교수·학습 활동에서는 학생들이 신호등의 원리를 이해하고 기존의 신호등 보다 더 편리한 신호등을 생각하고

MODI로 신호등을 만들어 보는 것이다. 이를 위해 영재 학생들은 [탐색] 단계에서 교차로의 신호등을 살펴보고, 신호가 바뀌는 주기를 살펴보았다. [이해] 단계에서는 신호등이 작동하는 모습을 단계별로 넘어가는 조건을 4단계로 표현하는 알고리즘을 바탕으로 MODI를 이용하여 불빛이 빨간색, 초록색, 노란색 순으로 변하는 신호등을 만들기 위해 어떤 모듈이 필요하고, 어떤 명령어를 사용하여 신호등을 만들 것인지 신호등의 작동 과정을 흐름도로 나타내었다. 또, 모듈과 블록을 이용하여 신호등을 조립하고 컴퓨터와 연결하고, <Fig. 3>과 같이 MODI Studio에서 코딩을 해보는 일련의 과정을 거치는 탐구 활동을 하였다. [적용] 단계에서는 [이해] 단계에서 익힌 모듈과 코딩을 활용하여 앞서 만들어 본 신호등을 조금 더 편리한 신호등으로 변형시켜 만들어 보고, 이를 바탕으로 [창출] 단계에서는 영재 학생들이 미래의 스마트 신호등을 창의적으로 설계하고, 시스템적 사고를 바탕으로 직접 코딩 활동을 통해 성공적으로 스마트 신호등을 제작하였다.



<Fig. 3> Coding activities in MODI Studio

과학영재 학생들에게 코딩블록 MODI를 활용한 피지컬 컴퓨팅 교수·학습을 통해 길러졌다고 생각하는 능력에 대한 설문조사 결과, 66.7%의 학생들이 문제 해결에 필요한 단계와 규칙을 체계적으로 나타내고 코딩을 하는 자동화 능력이 길러졌다고 응답하였다. 또, 46.7%의 학생들이 문제 해결을 위한 해결 방안을 계획하고 판단하는 능력과 문제를 분석하여 작게 분해하고 처리 순서를 정하는 능력이 길러졌다고 답변하였다. 이처럼 영재 학생들 스스로 피지컬 컴퓨팅 교수·학습의 효과로 컴퓨팅 사고력이 향상되었음을 인지하고 있었다. 더 나아가 MODI를 활용한 피지컬 컴퓨팅 학습을 지속하여 자신이 원하는 프로그램을 만들 수 있는 자신이 있다고 응답한 학생은 85.4%로 나타난 것으로 보아 자기주도적인 학습력이 신장되었음을 확인할 수 있었다.

### 3.3 어려움과 만족

본 연구는 초등 과학영재 학생들을 대상으로 진행한 코딩블록 MODI를 활용한 피지컬 컴퓨팅 교수·학습 활동을 통해 영재 학생들은 다음과 같은 어려움과 만족감을 표현하였는데, 이를 통해 영재 학생들의 학습 특성을 살펴볼 수 있었다.

본 연구에서 활용한 코딩블록 MODI 모듈의 네 면은 자석으로 되어 있어 모듈과 모듈 간의 쉽게 연결되는 등 조작이 편리하다. 다만, 모듈의 자력이 다소 약한 경우, 모듈 구성이 복잡해지거나 살짝 건드려도 모듈이 잘 떨어져 아쉬움이 있었다. 또, 간혹 네트워크 모듈과 노트북의 연결 상태가 불안정하고 실행이 잘 되지 않는 경우가 발생하여 코딩을 MODI Studio에 업로드 하는데 시간이 오래 걸리거나 계획한 대로 코딩 결과가 나타나지 않기도 하였다.

이와 같은 수업 상황이 발생했을 때, 과흥분성을 보이는 영재 학생은 결이 과도하게 흥분하고 짜증을 내어 수업에 집중하지 못하고 흥미와 참여도가 일정 부분 떨어지는 현상이 발생하기도 하였다. 과흥분성이란 폴란드의 정신과 의사이자 심리학자인 Daborowski가 명명한 용어로서 대단히 높은 정신 능력을 가진 사람들에게 자주 나타나는 강렬함과 민감성을 의미한다[17]. 이 영재 학생은 피지컬 컴퓨팅 수업에서 MODI 모듈에 대한 탐색을 바탕으로 강하게 몰입하면서 높은 에너지를 쏟기

도 했지만, 작은 일에도 예민하게 반응하고 민감하게 반응하였다. 즉, 자신에 대한 높은 기대로 최선을 다해 활동 수준이 높기도 했지만, 성공하지 못했을 때 자기비판과 자기 비하로 무기력해지거나 과민 행동 또는 과잉 반응 등 충동 조절을 잘하지 못한 것으로 보인다.

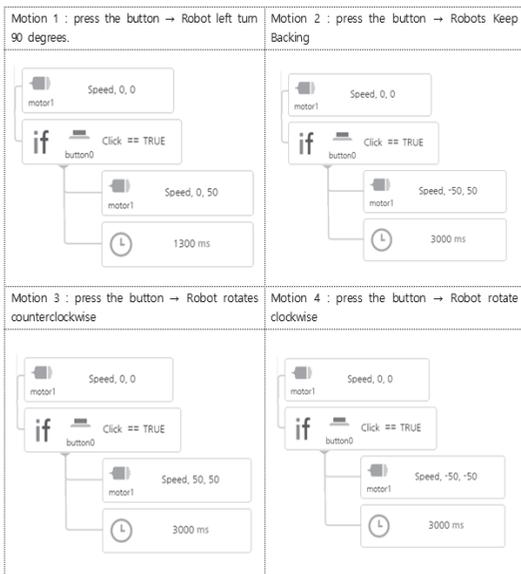
하지만, 대부분의 영재 학생들은 이러한 상황에서도 과제집착력과 인내심으로 MODI를 활용한 피지컬 컴퓨팅 교수·학습 과정에 적극적으로 참여하였다. 이처럼 영재 학생들은 호기심이 많고 논리적 사고력과 예리한 질문, 높은 집중력으로 복잡한 문제해결을 즐기는 영재 학생들은 열정과 의욕이 넘쳐 열심히 학습에 참여하였다. 또한 자신에 대한 높은 수준의 성취 기대, 좋아하고 관심 있는 영역에 대한 학습 동기가 높고 활동에 대한 참여도가 높은 영재 학생들의 특징을 살펴볼 수 있었다. 뿐만 아니라 학생들이 직접 MODI Studio를 통한 코딩 활동의 결과에 따라 모듈이 작동하고 성공한 것에 대한 자신감 상승으로 프로그래밍이 어렵지 않다고 느끼고 있었고, 사용하지 않은 여러 가지 모듈에 대한 흥미도가 높았다.

코딩블록 MODI를 활용한 피지컬 컴퓨팅 교수·학습에 대한 만족도 조사 결과, 86.1%의 학생들이 피지컬 컴퓨팅 수업 시간이 기다려진다고 응답하였으며, 프로그래밍 학습 활동이 좋다고 응답한 학생도 60.5%에 달했다. 그 까닭으로 영재 학생들이 문제 해결을 위해 자신이 생각한 것을 직접 MODI Studio를 통해 다양한 방법으로 만들어보고, 성공한 것에 가장 큰 만족감을 느꼈다. 즉, 예전에 생각하지 못했거나, 다른 사람들이 전혀 생각해내지 못한 새로운 것들을 생각하고 창의적으로 표현하여 성공적으로 구현할 수 있었기 때문이라고 답했다.

실제로 영재 학생들은 MODI 모듈의 기능과 작동 방법을 일방적으로 제시하지 않고 충분히 관찰하고 탐색하는 등의 탐구 과정을 통해 스스로 알아낸 것에 흥미를 느꼈으며, MODI Studio에서 각 모듈의 입력 값에 대한 모니터링 하는 것에 흥미를 느꼈다. 특히 영재 학생들이 코딩블록 MODI를 활용한 피지컬 컴퓨팅 교수·학습 활동 중 ‘댄싱 로봇 공연하기’ 활동이 가장 참여도와 만족도가 높았다. ‘댄싱 로봇 공연하기’ 활동은 가장 난이도가 높은 학습 과제로 다양한 입력 모듈로 모터 모듈을 제어하여 로봇의 춤 동작을 생각하고, 각 동작을

실행하기 위한 알고리즘을 바탕으로 MODI 모듈과 블록들을 이용하여 로봇을 조립하고, MODI Studio와 연결하여 코딩을 결과를 실행해야 한다.

또, <Fig. 4>와 같이 스마트폰을 활용하여 MODI Manager의 조이스틱 버튼 명령에 따라 서로 다른 동작으로 로봇의 움직임을 제어하는 등 로봇의 작동 상태를 관찰한 후, 작동에 문제가 있는 경우 코딩을 수정하는 등의 과정이 필요하다. 이는 영재 학생들이 자신의 생각으로 창의적으로 표현할 수 있는 과제에 대해 높은 집중력으로 복잡한 문제 해결을 즐기고, 관심 있는 영역에 대한 학습 동기가 높고 과제집착력이 강한 영재 학생들의 학습과정에서 나타나는 전형적인 특징을 보여준 것으로 파악된다.



<Fig. 4> Coding activities in MODI Studio

### 3.4 학습 환경

피지컬 컴퓨팅 교수·학습은 교구를 활용한 실습이 필수적이며, 원활한 피지컬 컴퓨팅 교수·학습이 이루어질 수 있는 학습 환경이 구축이 되어야 한다. 여기서 말하는 학습 환경이란 교사와 학생이 교수·학습을 통해 학습 효과가 극대화 될 수 있는 모든 교육 시설과 학습 공간을 의미 한다. 피지컬 컴퓨팅의 효과적인 학습을 위

해서는 피지컬 컴퓨팅의 특성에 맞는 학습 환경을 구축하는 것은 필수적이다. 특히, 안득하 등은 피지컬 컴퓨팅 교구의 종류, 프로그래밍 언어, 컴퓨터의 주변 장치 등에 따라 피지컬 컴퓨팅 학습의 효과가 차이가 있다고 보고하였다[19]. 즉, 피지컬 컴퓨팅 교수·학습을 통한 컴퓨팅 사고력 향상을 위해서는 구축되어 있는 물적 환경을 점검하고 조성하여 교육 환경의 질을 개선하고, 원활하게 피지컬 컴퓨팅 교육이 이루어질 수 있도록 피지컬 컴퓨팅 교수·학습의 효과를 극대화 하는 것이 무엇보다 중요하다.

본 연구에서 피지컬 컴퓨팅 교구로 코딩블록 MODI를 활용하였고, 그에 따른 교수·학습 활동의 학습 환경의 특징은 다음과 같았다.

첫째, 피지컬 컴퓨팅 교구 코딩블록 MODI는 입력 모듈, 출력 모듈, 셋업 모듈 3개의 파트로 구성되어 있다. 각 역할에 맞는 색상으로 디자인되어 상황에 맞는 모듈을 직관적으로 선택할 수 있어 MODI 모듈을 결합하여 별도의 코딩 업로드 없이도 Plug & Play 활동, 언플러그드 활동으로 각 모듈들의 기본 기능을 활용할 수 있는 것이 가장 큰 특징이다. 코딩을 학습하기 전에 최소 Input 모듈 1개와 Output 모듈 1개를 연결하거나 무선 네트워크 환경에서 네트워크 모듈을 이용한 Plug & Play 활동으로 기본 작동 원리를 이해하고, 각 모듈들의 상호작용을 통해 코딩에 대한 기초 개념을 쉽게 형성할 수 있었다. 이와 같은 코딩블록 MODI의 직관성과 편의성을 바탕으로 영재 학생들은 피지컬 컴퓨팅 교수·학습 활동에 흥미와 관심을 가지고 수업에 참여할 수 있었다.

둘째, 피지컬 컴퓨팅 교수·학습 활동에서 활용한 코딩블록 MODI의 프로그래밍 언어는 블록형 언어이다. 안경미 등의 연구 결과에 따르면, 피지컬 컴퓨팅 프로그래밍 언어로 초등학교에서는 스크래치와 엔트리와 같은 블록형 언어를 선호한다고 하였다[18]. 블록을 조립하는 것처럼 프로그래밍을 할 수 있는 블록형 프로그래밍 언어는 학습자들이 쉽게 배울 수 있으며[1], 블록의 결합은 문법적 구문이 맞아야 가능하므로 코딩에 대한 학생들의 인지적 부담을 줄일 수 있는 장점이 있다[18]. 컴퓨팅 사고력 함양을 위해서는 프로그래밍 전에 알고리즘을 설계하는 단계가 포함되어야 하며, 초등학생을 대상으로 하는 프로그래밍 교육은 블록형 프로그래밍 언어를 사용할 것을 권장한다[8]. 이러한 측면에서 영재

학생들은 피지컬 컴퓨팅 교구 MODI를 활용하여 <Fig. 4>와 같이 해결해야 할 문제에 대해 분석하여 자신만의 문제해결 방법을 고안하는 알고리즘을 거치고, 블록형 프로그래밍 언어를 사용하여 프로그램으로 표현하는 프로그래밍이 이루어져 컴퓨팅 사고력의 기초를 형성하였다고 할 수 있다.

셋째, 코딩블록 MODI를 활용하여 코딩을 진행하기 위해서는 PC 상에서 MODI Studio라는 별도의 프로그램을 설치한 후 PC와 MODI를 연결하여 이용할 수 있어야 하므로, 인터넷망 또는 무선 AP 구축이 필요하다. 이를 위해 무선 AP가 구축되어 있는 교실에서 <Fig. 5>와 같이 노트북을 2인 1대로 지급하여 MODI Studio에서 코딩 작업을 원활하게 이루어질 수 있도록 PC의 운영체제와 사양을 고려하였다. 하지만, 학생들에게 지급된 노트북의 사양과 상황에 따라 마다 MODI Studio에서 코딩 작업에 대한 업로드 실행 속도가 다른 어려움이 있었다. MODI Studio에서 코딩 업로드가 빠른 팀은 다음 과제를 실행할 수 있었지만, 업로드가 느린 팀은 코딩 결과를 확인하는데 걸리는 시간이 늦어져 초조해하고 짜증을 내기도 하는 학생이 보이기도 하였다. 피지컬 컴퓨팅 교구의 문제가 발생되었을 때 교사가 즉각 대처하지 못할 경우, 수업이 중단될 수 있고 학습의 혼란이 가중되어 영재 학생들의 경우에는 특히 과도하게 흥분하거나 학습 흥미도가 떨어져 수업의 참여도가 떨어지는 현상이 발생하기도 한다. 하지만 MODI Studio에서 업로드 할 때 어려움이 발생했을 때, 즉시 교사가 업로드 오류 유형에 따른 해결 방법을 숙지하고 상황에 따라 잘 대처하였으며 노트북의 사양을 고려하여 업그



<Fig. 5> Physical computing teaching and learning environment using MODI

레이드 한 결과, 원활하게 피지컬 컴퓨팅 교육이 이루어져 교수·학습의 효과를 높였다.

한편, 무선 인터넷망이 구축되어 있는 학습 환경 덕분에 Fig. 13과 같이 2인 1조로 지급된 무선 랜 노트북을 이용하여 문제 해결에 필요한 정보를 인터넷에서 검색, 처리, 분석, 생성 등에 관한 기초적인 정보 소양 능력도 함양하였음을 확인할 수 있었다. 무선 랜 노트북을 활용한 교수·학습 활동에서 가장 주안점을 둔 것은 신속하고 수월하게 조사학습을 할 수 있다는 점이다. 예를 들면 ‘댄싱 로봇 안무’ 관련 차시에서 음악에 맞춰 춤을 추는 댄싱 로봇 공연을 준비하기 위해 영재 학생은 해당 음악의 악보를 인터넷에서 자료를 검색하여 수집하고, 모두 함께 춤추는 구간과 각 모둠에서 춤추는 구간으로 나누어 음악에 맞춰 로봇의 댄싱 동작을 구상하는 등 춤을 추는 댄싱 로봇 만들기를 할 수 있었다.

### 3.5 상호작용

SW 교육은 생활 속 문제를 해결하기 위해 컴퓨팅의 기본적인 개념과 원리를 바탕으로 서로 협업하고 주어진 문제를 효율적으로 해결할 수 있도록 문제해결능력(Computational Thinking)을 키워주는 교육이다. 이를 위해 학생들의 적극적인 참여를 유도하는 수업, 학생과 교사, 학생과 학생이 상호작용하며 협력하는 수업, 학생들이 스스로 생각하며 배울 수 있는 수업을 통해 학생들의 자발적인 학습이 일어날 수 있도록 피지컬 컴퓨팅 교수·학습이 이루어져야 한다.

본 연구에서 교사는 실생활과 관련된 학습 문제, 동기유발 자료를 바탕으로 지적 호기심을 자극할 수 있는 발문을 통해 영재 학생들의 사고과정을 잘 이끌어내고, 학생들의 대답을 유도하였다. 또, 개인적으로 문제를 해결한 후 짝이나 모둠별로 문제 해결 과정을 비교하고 차이가 있을 경우 그 이유에 대해 서로 논쟁하고 더 좋은 방법을 찾아 해결하기도 하였다. 모둠을 기능에 따라 분류하는 활동 이외에 신호등 만들기 활동에서 교사는 적외선 모듈이 왜 필요한지에 대한 학생들이 생각해 볼 수 있는 시간을 제공하였고, 발문을 통해서 학생들이 탐구를 통해 알아내도록 안내하였다. 또한, 적외선 모듈의 입력값이 80보다 커야 하는 이유, 80보다 더 크거나 작으면 작동이 안 되는 이유, 조도가 5보다 작아야 하는

이유 등에 대해 학생들은 끊임없이 사고하며 궁금한 점에 대해 질문하고, 교사는 학생들의 어떤 질문에도 능숙하게 답변하며 활발한 의사소통이 이루어졌다. 학생들이 먼저 생각해 발표하게 한 뒤, 교사가 과학적인 용어를 사용하여 쉽고 정확하게 보충 설명해주는 등 교사와 학생들의 상호작용이 원활하게 잘 이루어짐을 확인할 수 있었다.

음악에 맞춰 춤을 추는 댄싱 로봇을 만들어 공연하는 ‘댄싱 로봇 안무’ 차시에서 학생들은 각 모듈에서 춤추는 구간과 모두 함께 춤추는 구간을 나누고, 노래에 어울리는 모듈 안무를 창작하여 노래 가사에 맞는 안무 순서를 정하고, 각 구간 마다 필요한 입력 모듈의 값과 출력 모듈의 값을 정하였다. 또, 각 동작에 맞게 코딩하여 업로드하고 음악에 맞춰서 입력 모듈을 조작하며 댄싱 로봇을 동작시키는 활동을 반복하여 작동에 문제가 있는 경우, 코드를 수정하여 다시 작동시키는 과정을 반복하여 댄싱 로봇이 잘 작동하면 안무와 코딩 과정을 각 모듈별로 서로 공유하였다. 그 후, <Fig. 6>과 같이 넓은 바닥에 모든 모듈이 모여 음악에 맞춰 댄싱 로봇 공연을 실시하였다. 이때, 영재 학생들은 모듈별로 문제를 함께 해결하고 학습한 내용을 바탕으로 모듈 간의 지식을 공유하는 협업 과정을 통해 학생들은 지식을 정교화하고 새로운 생각을 하며, 비판적 사고로 문제를 해결하는 학생과 학생 간의 의사소통을 통해 문제를 해결하는 것을 통해 상호작용이 원활하게 잘 이루어졌다.

이처럼 교사와 학생, 학생과 학생들 간의 협업과 의사소통이 함께 이루어지는 학생 참여 중심의 활동적인 피지컬 컴퓨팅 교수·학습 활동을 통해 학생들의 컴퓨팅



<Fig. 6> Create a 'dancing robot' based on student interaction

사고력과 문제해결력이 신장되며, 자율적 분위기 속에서 협력적 아이디어 공유는 창의적인 피지컬 컴퓨팅 교수·학습 활동 활성화의 기반이 될 것으로 기대한다.

#### 4. 연구 결론 및 제언

본 연구에서는 초등 과학영재 학생들의 컴퓨팅 사고력 향상에 초점을 맞추어 코딩블록 MODI를 활용한 피지컬 컴퓨팅 교수·학습 프로그램을 개발하여 수업에 적용하였다. 그 과정에서 학생들의 교수·학습의 특성이 어떻게 나타나는지 수업 관찰 및 수업관찰 일지, 교사와 학생 설문지 및 면담 등의 질적 자료 분석을 토대로 수업 관찰 관점에 따라 분석하였고, 연구 결과는 다음과 같다.

첫째, 영재 학생들은 코딩블록 MODI를 활용한 피지컬 컴퓨팅 교수·학습 활동을 통해 피지컬 컴퓨팅 도구 MODI의 직관성 및 편이성을 바탕으로 코딩의 기초 개념을 형성하였다.

둘째, 실생활에서 발생하는 다양한 문제를 영재 학생들에게 제시함으로써 문제를 쉽게 이해하고 탐색할 수 있도록 하고 문제를 해결하기 위해 필요한 자료를 수집, 분석 및 문제를 분해하는 추상화 과정과 문제 해결 순서를 정하는 자동화 과정을 학습자 스스로 수행할 수 있었다.

셋째, 영재 학생들은 코딩블록 MODI의 각 모듈과 세상을 연관하여 사고할 수 있으며, 문제 해결에 영향을 줄 수 있는 각 요소들 간의 관계를 분석하고 이러한 요소들을 통제하여 시스템적으로 문제를 해결하는 컴퓨팅 사고력을 기를 수 있었다.

넷째, 코딩블록 MODI를 제어하는 능력을 배양함으로써 일상생활에서 대하게 되는 문제점을 해결하는 활동으로 확장시킬 수 있었고, 영재 학생들이 적극적으로 문제의 해결책을 생각해내는 몰입의 사고과정을 경험할 수 있는 계기가 되기도 하였다.

다섯째, 컴퓨팅 사고력의 향상을 위해서는 컴퓨터 활용능력 배양 또는 코딩과 같은 프로그래밍 교육보다는 피지컬 컴퓨팅 교수·학습을 통해 문제에 대한 충분한 인식과 분석 및 효율적인 절차를 스스로 구성하도록 하는 학습 과정이 필요하다는 것을 알 수 있었고, 컴퓨팅

사고력을 향상시킬 수 있는 수업 설계 과정이 필수적이라는 것을 알 수 있었다.

이를 바탕으로 코딩블록(MODI)를 활용한 피지컬 컴퓨팅 교수·학습을 질적으로 보완하는데 관련되는 요인을 도출하여 SW 교육의 시사점을 모색해 보았으며, 그에 따른 연구 결론은 다음과 같다.

첫째, 학생들이 가진 컴퓨터·정보 소양에 대한 수준과 흥미 및 과제의 난이도를 고려하여 개별 또는 협력 학습으로 진행해야 한다. 이번 연구에 참여한 학생들은 과학영재 학생들로 제시된 과제를 빨리 해결한 학생은 흥미도가 떨어지는 것을 관찰할 수 있었다. 영재 학생을 비롯한 일반 학생들을 대상으로 피지컬 컴퓨팅 교수·학습이 이루어질 경우, 피지컬 컴퓨팅의 학습 속도가 다르고 출발점 위치가 다르므로 과제의 난이도를 고려한 단계적 학습 내용으로 수업을 설계하며, 학생 수준에 따른 +1의 도전 과제를 줄 필요가 있다.

둘째, 코딩블록 MODI를 활용한 피지컬 컴퓨팅 교수·학습 효과의 극대화를 위하여 학생들이 MODI의 각 모듈을 충분히 탐색할 수 있도록 충분한 시간을 제공하여야 한다. 즉, 학생들이 더 많이 상상하고 소통하며 흥미롭게 탐구할 수 있도록 수업을 설계하고, 충분한 시수가 확보되어야 할 것이다. 또한 학생들에게 작은 성공의 경험을 많이 체험할 수 있도록 하여 지속적으로 학습에 참여할 수 있도록 동기를 부여하는 것이 필요하다.

셋째, 코딩블록 MODI를 활용한 피지컬 컴퓨팅 교수·학습에 있어 교사의 SW 교육 역량 증대를 위한 관련 연구를 지속적으로 실시하여 전문적인 능력을 갖추는 노력이 필요하다. SW 교육이 제대로 실천되고 그 실효성을 거두기 위해서는 학생들 스스로 생활 속에서 문제의식을 가지고 학습에 적극 참여하고, 학생들의 사고의 흐름을 고려하여 알고리즘을 생각해내어 코딩할 수 있도록 체계적으로 수업을 진행하여 컴퓨팅 사고과정을 이끌어 낼 수 있도록 교사의 지도 역량이 필요하다.

넷째, 학교의 학습 환경에서 무리 없이 피지컬 컴퓨팅 교육이 이루어질 수 있는 학습 환경이 제공되어야 한다. 학교 현장의 일반화를 위하여 문제 해결을 위한 자료 수집 및 분석, 피지컬 컴퓨팅 교구 MODI의 원활한 작동을 위한 교육용 PC의 운영 체제와 사양을 확인하고, 무선 AP 구축 작업이 필요하다. 또, 교사가 피지컬 컴퓨팅 교구 MODI에 대한 이해 및 문제 발생 시 해

결 방안을 인지하고 대처할 수 있는 능력이 있어야 한다. 성공적이고 원활한 피지컬 컴퓨팅 교수·학습이 이루어지기 위한 물적·인적 학습 환경 조성을 위한 노력이 필요하다.

이상의 연구 결론을 바탕으로 본 연구의 한계 및 후속 연구를 위해 다음과 같은 제언을 하고자 한다.

첫째, 초등 과학영재학생 15명을 대상으로 진행하였다는 한계를 갖고 있으나, 영재 학생들의 교수·학습과정에서 나타난 행동 특성에 대한 분석과 더불어 코딩블록(MODI)을 활용한 피지컬 컴퓨팅 교수·학습 활동에 대해 깊이 있게 분석하여 교수·학습 활동의 질적 향상도모 및 운영상의 문제 해결 방안 등에 대한 실제적인 방향을 제시한 점에서 의의가 있다.

둘째, 향후 영재 학생들뿐만 아니라 일반 학생들에게도 창의적인 아이디어를 구현하는 코딩 교육 활동을 통하여 컴퓨팅 사고력의 확장을 꾀할 수 있을 것이다. 또, 참여 학생들의 성향 또는 피지컬 컴퓨팅 선행 학습의 여부에 따라 코딩블록 MODI를 활용한 피지컬 컴퓨팅 수업에서 보여주는 그룹별 차이에 대해 양적 및 질적으로 지속적이고 다양한 연구가 이루어져야 할 것으로 보인다.

## 참고문헌

- [1] Ministry of Education, Science and Technology (2010). The upcoming future, South Korea, being improved by creative human resources and advanced scientific technology. Retrieved from <http://www.mest.go.kr>.
- [2] Hwang, Y. H. & Mun, G. J. & Park, Y. B. (2016). Study of Perception on Programming and Computational Thinking and Attitude toward Science Learning of High School Students through Software Inquiry Activity: Focus on using Scratch and physical computing materials. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 36(2), 325~335.
- [3] Daniels, Susan, Piechowski, Michael M. (2010). Living with intensity : understanding the sensi-

- tivity, excitability, and emotional development of gifted children, adolescents, and adults.
- [4] Choi. J. W. & Lee. Y. J.(2014). Direction of Students Education Program for Fostering Creative Software Human Resource. *Journal of the Korean Association of Computer Education*, 18(1), 19-22.
- [5] [5] Lee. Y. J. & Kim Y. S. (2016). Development of election Criteria of Physical Computing Material for Software Education of Elementary Students. *Journal of the Korean Association of Computer Education*, 20(2), 35-38.
- [6] Ministry of Education(2015). Science Curriculum.
- [7] Seo. Y. M. & Lee. Y. J.(2010). A Subject Integration Robot Programing Instructuin Model to Enhance the Creativity of Information Gifted Students. *Journal of the Korean Association of Computer Education*, 13(1), 19-26.
- [8] Kim. B. M. & Kim. H. J. (2012). The study of animation Therapy model based on physical computing concept. *Korea Digital Design Society*, 34, 269-278.
- [9] O'Sullivan, D., Igoe, T (2004). Physical Computing, Thomson.
- [10] Kim. J., Kim. D.(2016). Development of Physical Computing Curriculum in Elementary Schools for Computational Thinking. *Journal of The Korean Association of Information Education*, 20(1), 69-82.
- [11] Kim. S. H., Lee. C. H.(2016). The three-year comparative study of effects of STEAM education programs based on physical computing. *The Journal of Korean association of computer education*, 19(1), 11-18.
- [12] KICE(Kora Institute for Curriculum and Evaluation). (2016). ICILS 2018 Assessment Framework Revision and Field Trial Preparation in Korea. RRE 2016-15-2. Seoul: KICE.
- [13] M. Csikszentmihalyi (1990). Flow : The psychology of experience. New York: Harper & Row.
- [14] Kim. E. J. & Lee. T. W. (2017). How to apply flow-chart for block programming language learning: solve entry missions. *The Korean Association of Computer Education*, 21(2), 21-24.
- [15] An. K. M. & Sohn. W. S. & Choy. Y. G. (2015). The Effect of Scratch Programming Education on Learning-Flow and Programming Ability for Elementary Students. *Journal of the Korean Association of Information Education*, 15(1), 1-10.
- [16] An. D. H. & Hong J. Y. & Song. M. S. & Jeon. H. G. & Kim. Y. S. (2018). A Study on teacher's perceptions about learning environment of physical computing. *Journal of the Korean Association of Computer Education*, 22(1), 147-150.
- [17] Choi, H.S. & Kim, M. S(2017), A Complementary Approach of Three Methods for Computational Thinking Assessment. *The Korean Association of Information Education Research Journal*, 21(6), 639-646.
- [18] Hyungshin Choi (2014). Computational Thinking Framework-based Analysis of Afterschool Scratch Team Project Experiences *Journal of the Korean Association of Information Education*, 18(4), 549-558.
- [19] Jeongmin Lee, Yeonji Jung, Hyeonkyeong Park(2017). Gender Differences in Computational Thinking, Creativity, and Academic Interest on Elementary SW Education. *Journal of The Korean Association of Information Education*, 21(4), 381-391.
- [20] Youngki Park, Inkee Jeong (2017). Assessing Elementary School Students' Computational Thinking Skills on Bebras Tasks. *The Korean Association of Information Education Research Journal*, 8(1), 27-31.

저자소개



**김 지 예**

2006 이화여자대학교 과학교육과,  
초등교육과(교육학사)

2016 서울교육대학교 과학교육과  
(교육학석사)

2018~현재 서울창동초등학교 교사  
관심분야 : 과학교육, 영재교육, 소  
프트웨어 교육

E-Mail : kjye29@sen.go.kr



**전 영 석**

1988 서울대학교 물리교육과(이학사)

1997 서울대학교 과학교육과(교육  
학박사)

2005~현재 서울교육대학교 교수  
관심분야 : 과학교육, 영재교육

E-Mail : jhunys@snue.ac.kr