# 강화 이론에 근거한 교사 보조 로봇 인터랙션 디자인: 수행도와 반응률 측정을 중심으로

# The Interaction Design of Teaching Assistant Robots Based on Reinforcement Theory: With an Emphasis on the Measurement of Task Performance and Reaction Rate

곽 소 나† · 이 동 규[1] · 이 민 구[2] · 한 정 혜[3] · 김 명 석[4]

Sonya S. Kwak† · Dongkyu Lee[1] · Mingu Lee[2] · Jeonghye Han[3] · Myungsuk Kim[4]

**Abstract** This study examines whether the reinforcement theory would be effectively applied to teaching assistant robots between a robot and a student in the same way as it is applied to teaching methods between a teacher and a student. Participants interact with a teaching assistant robot in a 3 (types of robots: positive reinforcement vs. negative reinforcement vs. both reinforcements) by 2 (types of participants: honor students vs. backward students), within-subject experiment. Three different types of robots, such as 'Ching-chan-ee' which gives 'positive reinforcement', 'Um-bul-ee' which gives 'negative reinforcement', and 'Sang-bul-ee' which gives both 'positive and negative reinforcement' are designed based on the reinforcement theory and the token reinforcement system. Participants' task performance and reaction rate are measured according to the types of robots and the types of participants. In task performance, the negative reinforcement robot is more effective than the other two types, but regarding the number of stimulus, the less the stimulus is, the more effective the task performance is. Also, participants showed the highest reaction rate on the negative reinforcement robot which implies that the negative reinforcement robot is most effective to motivate students. The findings demonstrate that the participants perceive the teaching assistant robot not as a toy but as a teaching assistant and the reinforcement interaction is important and effective for teaching assistant robots to motivate students. The results of this study can be implicated as an effective guideline to interaction design of teaching assistant robots.

**Keywords :** Teaching assistant robots, Learning with RT, Human robot interaction, Reinforcement theory, Token reinforcement

## 1. 서 론

로봇 공학 기술의 발달은 일상생활 속에서 인간 및 주변 환경과 상호작용 하는 개인용 서비스 로봇의 연구 및 개발을 가능하게 했다[1]. 개인용 서비스 로봇의 사용자에 대한 연구에 따른 로봇 디자인은 중요한 연구 이슈가 되고 있다[2]. 일본 정부의 위탁으로 국가 로봇 산업을 총괄 기획, 관리하는 일본 신 에너지산업 기술 종합개발기구에서는 2005년에 차세대 로봇으로 청소로봇, 안내로봇, 경비로봇, 보육로봇, 지능형 자율주행의자 등 5개 부문을 선정하였다[3].

아동은 성인에 비해 로봇을 긍정적이고 보다 생명체와 가깝게 인식하기 때문에 로봇과의 인터랙션에 몰입할 가능성이 높다. 이와 같은 이유로 로봇에 대한 아동의 인식에 대한 연구[2,4,5], 아동의 물리적 행동으로부터 아동간의 관계를 파악하는 로봇에 대한 연구[6], 아동의 파페로(PaPeRo)에 대한 인식 평가[7] 등 아동을 대상으로 하는 로봇에 대한 연구가 이루어지고 있다.

교육 목적으로 로봇이 적용된 연구는 로봇 소양 교육(Learning about RT)과 로봇 활용 교육(Learning with RT)으로 나누어질 수 있다[8]. 레고 마인드 스톰[9] 또는 RB5X[10] 등이 로봇 소양 교육과 관련되며[11,12,13], 로

※ 본 연구는 산업자원부 학습 보조 교사도우미 로봇 개발 과제 지원으로 수행되었음.

† 교신저자, 한국과학기술원 산업디자인학과 박사과정 (sonakwak@kaist.ac.kr)
[1] 한국과학기술원 산업디자인학과 석사과정(jodesi82@kaist.ac.kr)
[2] 한국과학기술원 산업디자인학과 석사과정(hybop@kaist.ac.kr)
[3] 청주교육대학교 컴퓨터교육과 조교수(hanjh@cje.ac.kr)
[4] 한국과학기술원 산업디자인학과 교수(mskim@kaist.ac.kr)

봇 활용 교육에는 로보비(Robovie)를 영어 교육에 적용한 연구[14], 아이로비(IROVIE)를 영어, 한국어, 음악 교과에 적용한 연구[8], 파페로를 음악 에듀테인먼트에 적용한 연구[15], 아이보(AIBO)를 아동의 이야기책을 들려주고 이야기를 들어주는 로봇으로 구현한 연구[16], 곤충 형상 로봇을 학습 환경에서 활용하며 아동의 반응을 분석한 연구[17] 등이 있다.

지금까지의 교육용 로봇에 대한 연구는 로봇을 교육 환경에 적용하였을 때 아동들의 반응 및 학습 효과에 대한 것이 주를 이룬다. 그러나 로봇을 교육 현장에 도입시키기 위해서는 단순히 로봇을 교육에 적용하는 것에 그치지 않고, 기존의 다양한 교육학 이론을 교육용 로봇의 인터랙션 디자인에 적용하고 이를 아동을 대상으로 검증해볼 필요가 있다.

교육용 로봇은 오디오 테이프와 책 또는 웹 기반 교육 등의 다른 매체에 비해 아동의 학습에 대한 집중도, 흥미도, 성취도를 높이며[18], 특히 아동의 학습 동기 유발에 효과적임이 밝혀졌다[8, 14]. 초등학교 교사 보조 로봇의 기능에 대한 선호도 조사에서 교육 내용의 전달 기능(29%)보다 발표자 뽑기 기능(65%)에 대한 필요성이 중시되었다[8]. 이는 교사 보조 로봇의 중요한 역할로서 교육 내용 전달보다 매체로서의 관계성을 통한 아동의 학습 동기 유발이 중요함을 시사한다. 아동의 학습 동기 유발은 행동주의 학습이론 중 강화 이론과 연관된다. 강화이론의 적용 방법은 인간의 자극에서 시작하여 미디어 매체[19], 컴퓨터[20], 하드웨어[21] 등을 거쳐 발전되어 왔다.

이 논문에서는 교사를 대신하여 학생의 학습 동기를 유발하고 신기효과(novelty effect)를 감소시킬 수 있는 교사 보조 로봇을 개발하기 위하여, 행동주의 학습이론 중 강화이론을 바탕으로 토큰강화 체계에 의한 교사 보조 로봇 인터랙션 시스템을 디자인한다. 강화유형에 따라 '칭찬이', '엄벌이', '상벌이' 세 종류의 로봇을 제안한다. 이 로봇 유형에 대한 우등, 열등 학생의 학습 수행도와 반응률을 실험으로 측정하여, 학습 수행도가 높은 로봇유형을 찾아내고, 자극수와 학습 수행도의 상관관계를 밝힌다. 또한 반응률을 조사하여 로봇이 교사보조 역할을 할 수 있는지를 검증한다.

## 2. 강화 이론

강화는 자극을 주거나 빼앗음으로써 반응행위를 증가시키는 것을 목표로 한다. 스키너[22]에 따르면 강화는 바람직한 행동의 반응(R)을 증가시키는 것이며, 자극(S)의 정적/부적 유형에 따라 정적 강화(reward)와 부적 강화(relief)로 구분된다. 정적 강화는 정적 자극의 강화를 제공해서 긍정행동반응을 늘리는 것이고. 부적 강화는 부적 자극을 경감해서 긍정행동반응을 늘리는 것이다[23].

강화의 표현 방식의 하나로 토큰 강화는 유도하고자 하는 목적 행동의 실천 가능성을 높이고 부정적인 행동을 줄이기 위하여, 유도 행동 결과에 따라 토큰에 해당하는 포상을 주거나[24] 빼앗음으로써, 일정 개수 이상의 포상이 누적되면 그에 적합한 보상으로 바꾸어 주는 방식이다. 대상에게 단계적인 정적 자극을 제공함으로써 특정 행위를 유도하는 행동 유발 수단으로 토큰 강화를 응용한 연구들이 있어 왔다[25]. 토큰 강화 시스템은 학습효과를 높이는 방법으로 사용되고 있다. 또한, 성적 유형에 따른 칭찬과 질책의 효과에 대하여, 우수아에게는 칭찬보다 질책이, 열등아에게는 질책보다 칭찬이 효과적임을 발표한 바 있다[26].

## 3. 실험 설계

본 실험에서는 교사-학생 사이에 적용되는 토큰 강화 시스템을 인간-로봇 인터랙션에 적용하여 사용자의 학습 수행도 및 반응률을 평가해보고자 한다.

앞서 설명한 강화 이론에서의 반응(R), 자극(S)을 학생의 수학 학습에 적용시켜, 수학 문제를 해결(R)할 때마다 그 수행 정도에 따라 하트스티커(S)를 제공하는 실험을 진행하고자 한다. 또한, 실험이 끝난 후 하트스티커는 다른 강화보상물로 교환해준다. 이를 통해 정적 강화(r+)를 하트스티커(S)를 많이 받기 위하여 수학 문제를 많이 해결하는(R) 원리로 설계하였으며, 부적 강화(r-)는 하트스티커(S)를 빼앗기지 않기 위하여 수학 문제의 해결에 집중(R)하여야 하는 원리로 설계하였다[표 1].

### 3.1 교사 보조 로봇 인터랙션 시스템

본 연구에서 제안하는 교사 보조 로봇 인터랙션 시스템은 학습지 소프트웨어를 기반으로 한 학습지 프로그램(컴퓨터1), 강화 인터랙션 제공이 가능한 로봇, 학생의 수행 결과를 전달하는 모니터(컴퓨터2), 학생, 교사(또는 부모)를 구성 요소로 하여 각 요소 간의 커뮤니케이션을 가능하게 하였다.

인터랙션 흐름은 [그림 1]과 같다. 학생이 학습지 프로그램을 통해 문제를 풀게 되면 학생은 답안을 학습지

[표 1] 로봇의 유형 별 자극 종류 및 예상되는 행동

| 로봇 종류 | 자극 종류 | | 예상되는 행동 |
|---|---|---|---|
| 칭찬이 | 격려 (S) | 학생이 수학 5문제를 풀었을 때마다 격려함 Loop($R \rightarrow S^{r+} \rightarrow R \rightarrow S^{r+} \rightarrow$)의 순환이 지속됨 | 격려를 받기 위해 수학 문제를 해결 (R) |
| | 정적 강화 (S) | 학생이 수학 10문제를 풀었을 때마다 격려 대신 하트 스티커를 하나 줌 Loop($R \rightarrow S^{r+} \rightarrow R \rightarrow S^{r+} \rightarrow$) | 하트 스티커를 받기 위해 수학 문제를 해결(R) |
| 엄벌이 | 재촉 (S) | 학생이 20초 동안 수학 문제를 안 풀고 있을 때에 재촉함 | 재촉을 받지 않기 위해 수학 문제를 해결(R) |
| | 부적 강화 (S) | 학생이 한번 더20초 동안 수학 문제를 안 풀고 있을 때에 재촉 대신 하트 스티커를 하나 빼앗음 | 하트 스티커를 빼앗기지 않기 위해 수학 문제를 해결(R) |
| 상벌이 | 격려 (S) | 학생이 수학 5문제를 풀었을 때마다 격려함 Loop($R \rightarrow S^{r+} \rightarrow R \rightarrow S^{r+} \rightarrow$)의 순환이 지속됨 | 격려를 받기 위해 수학 문제를 해결 (R) |
| | 정적 강화 (S) | 학생이 수학 10문제를 풀었을 때마다 격려 대신 하트 스티커를 하나 줌 Loop($R \rightarrow S^{r+} \rightarrow R \rightarrow S^{r+} \rightarrow$) | 하트 스티커를 받기 위해 수학 문제를 해결(R) |
| | 재촉 (S) | 학생이 20초 동안 수학 문제를 안 풀고 있을 때에 재촉함 | 재촉을 받지 않기 위해 수학 문제를 해결(R) |
| | 부적 강화 (S) | 학생이 한번 더20초 동안 수학 문제를 안 풀고 있을 때에 재촉 대신 하트 스티커를 하나 빼앗음 | 하트 스티커를 빼앗기지 않기 위해 수학 문제를 해결(R) |

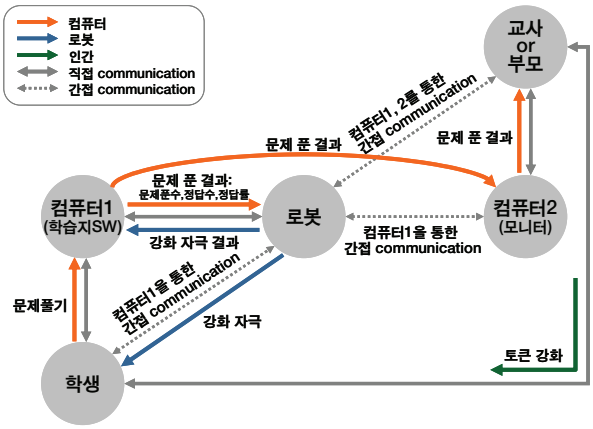
S: 자극, R: 반응, r+ :정적 강화, r-: 부적 강화, Sr+ :정적 강화 자극, Sr-: 부적 강화 자극

프로그램에 입력하게 되고, 학습지 프로그램은 답안을 채점하여 문제푼수, 정답수, 정답률 등의 채점 결과를 실시간으로 강화 로봇에게 전달한다. 강화 로봇은 전달된 결과를 바탕으로 실시간으로 강화 인터랙션을 제공한다. 또한 학습지 프로그램은 교사에게 모니터(컴퓨터2)를 통해 채점 결과를 실시간으로 전달한다. 학습지 프로그램과 모니터(컴퓨터2)는 원거리에서의 학생과 교사 간의 커뮤니케이션을 가능하게 한다. 학생의 학습수행 결과를 얻은 교사는 학생에게 직접적으로 강화를 제공할 수 있다.

본 연구에서 제안한 교사 보조 로봇 인터랙션 시스템은 다음과 같은 이점을 갖는다.

첫째, 교사 보조 로봇 인터랙션 시스템은 교사를 대신하여 장시간 지속적인 강화가 가능하다. 교사에 의한 강화를 로봇이 보조함으로써 교사가 학생의 학습 동기 유발에 들이는 시간과 노력을 줄일 수 있다.

둘째, 로봇의 한정된 인터랙션으로는 새로운 매체 또는 제품을 처음 접했을 때에만 관심을 보이고 곧 흥미를 잃게 되는 신기효과가 나타날 수 있다. 강화 인터랙션을 제공하는 학습지 프로그램과 로봇만을 사용한다면, 로봇이 제공하는 강화 인터랙션이 진화하지 않는 한 신기효과가 발생하게 된다. 그러나 학습지 프로그램을 통해 학생의 수행 결과를 로봇에 전달하여 로봇을 통한 실시간 강화를 가능하게 할 뿐만 아니라, 교사에게 전달함으로써 궁극적으로 교사를 통한 강화가 가능하게 함으로써 인간-로봇에 한정된 인터랙션에서 나타나는 신기효과를 줄일 수 있다.




[그림 1] 교사 보조 로봇 인터랙션 시스템 구조

이 논문에서는 앞서 제시한 인터랙션 시스템을 바탕으로 구현되지 않은 기술에 대해 인간이 대신 시스템의 반응을 시뮬레이션함으로써 시스템을 평가할 수 있도록 하는 '오즈의 마법사 기법(Wizard of Oz Technique)'[27]을 사용하여 실험을 실시하였다.

### 3.2 실험내용

본 연구에서는 로봇의 강화유형과 학생의 성적유형에 따른 학습 수행도와 반응률을 측정하여 다음 문제에 대한 답을 찾고자 한다.

- 연구 문제 1. 피험자 유형에 따라 어떠한 강화유형을 제공하는 로봇을 이용할 때 학습 수행도가 높을 것인가?
- 연구 문제 2. 강화유형의 자극수와 수행도 간에는 어떠한 상관관계가 있을 것인가?
- 연구 문제 3. 피험자 유형에 따라 어떠한 강화유형을 제공하는 로봇을 이용할 때 반응률이 높을 것인가?

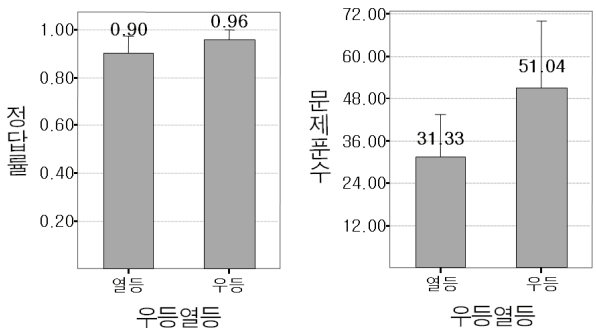
### 3.3 실험방법

#### 3.3.1 피실험자

토큰 강화 시스템이 적용된 교사 보조 로봇 인터랙션 시스템의 성적유형에 따른 차이를 비교하기 위해, 피험자 모집에 있어 우등 학생과 열등 학생의 구분이 필요하였다. 피험자 모집 시 우등 또는 열등 학생이 편중되는 것을 피하기 위하여 학교 성적에 의한 우등, 열등 학

생을 구분하여 추천 받았다. 동일 학교에서 우등, 열등 학생을 모집할 경우 피험자들 사이에 발생할 수 있는 우등, 열등 구분에 따른 심리적 부담감을 제거하기 위해 평준화된 대전 소재 두 개의 초등학교에서 3학년에 재학중인 우등학생(24명-남 12명, 여 12명)과 열등학생(12명: 남 6명, 여 6명)을 각각 추천 받았다. 우등, 열등 군이 동일 배분되지 못한 것에 대해서는 분석시 등분산 검정을 통해 이로 인한 오류를 배제하였다.

모집된 피험자의 우등, 열등에 의한 구분을 검증하기 위해, 본 실험에서 제공한 수학 문제에 대한 정답률과 문제푼수에 대해 분산분석을 수행하였다. 분석 결과 우등, 열등 그룹에 따라 정답률에 차이가 나타났다(F=25.371, p=0.000). 여기에서 F는 검측통계치이고, p는 상대빈도(확률값)이다. 정답률 차이는 우등-열등의 순으로 정답률이 높게 나타났으며, 우등, 열등 그룹에 따라 문제푼수에도 우등-열등의 순으로 차이가 나타났다(F=26.784, p=0.000) [그림 2].




[그림 2] 우등열등 군 별 정답률과 문제푼수의 평균

3.3.2 실험진행

실험은 성적유형에 따른 두 가지 피험자군과 토큰 강화에 따른 세 가지 로봇유형인 '칭찬이' ('격려'와 '상'을 통한 정적 강화 제공 로봇), '엄벌이' ('재촉'과 '벌'을 통한 부적 강화 제공 로봇), '상벌이' (두 가지 강화 모두 제공 로봇)에 따라 총 6가지 경우에 대해 무작위 순으로 진행되었고, 한 피험자가 세 가지 로봇에 대한 실험에 참여하였다.

(1) 실험환경

실험은 일방투시거울(One-way mirror)이 설치된 실험실 환경을 통해 오즈의 마법사 기법으로 실행하였다. 일방투시거울이 설치된 방 안에 로봇, 수학문제지, 토큰 강화를 위한 하트스티커 모니터, 사용자 관찰 분석을 위한 비디오 카메라가 설치되었다. 일방투시거울의 반대편 방에서 두 명의 실험자가 로봇 및 하트스티커 모니터를 조종하였다[그림 3,4].

[그림 3] 실험실 환경

[그림 4] 실험실 전경 및 실험 중인 학생의 모습

(2) 본실험

실험은 교사 역할을 하는 진행자의 간단한 실험에 대한 개요로 시작하였다. 실험은 각 로봇에 대해 10분 동안 교사 없이 진행되었으며, 실험 태스크로 2학년 1학기 과정의 두 자리 수 뺄셈 문제가 주어졌다. 로봇은 토큰 강화 방법에 따라 격려, 상, 재촉, 벌의 네 가지 자극을 제공하였다[표 1]. 정적 강화에 해당하는 자극 중 격려는 피험자가 태스크를 수행하고 있는 것을 칭찬하는 것으로 5문제를 해결할 때마다 주어졌으며, 상은 피험자에게 보상으로 하트 스티커를 제공하는 것으로 10문제를 풀 때마다 제공하였다. 부적 강화에 해당하는 자극 중 재촉은 피험자가 태스크를 수행하도록 재촉하는 것으로 문제 푸는 시간이 20초를 경과했을 때 제공하였으며, 벌은 피험자에게서 하트 스티커를 뺏는 것으로 재촉이 두 번 누적되었을 때 시행되었다. 이와 같이 정적 강화에 대한 토큰 누적과 부적 강화에 대한 토큰 누적을 2회로 통일하였다. 토큰 강화 자극은 로봇을 통해 주어졌으며, 보상 및 벌에 관계되는 하트 스티커는 하트스티커 모니터를 통해 실시간으로 제공 및 철회되었다. 벌 자극에 의한 하트 스티커 철회를 고려하여 세 개의 하트스티커를 실험 시작 시에 피험자에게 주었다. 10분간의 태스크 수행 종료마다 교사가 다시 투입되어 누

적된 하트 스티커 수에 상응하는 통일된 단위의 포상을 제공하였다.

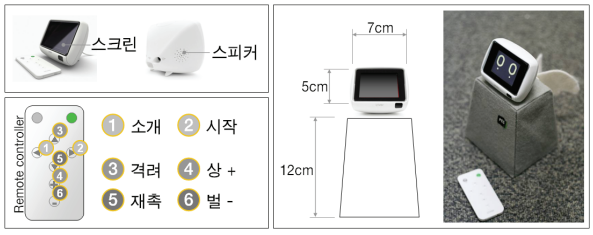
실험 후 인터뷰를 통해 격려, 상, 재촉, 벌에 대한 피험자의 느낌 및 수학 학습에의 영향에 대한 질문이 실시되었다.

### 3.3.3 실험도구

(1) 로봇 플랫폼

본 실험에 사용된 로봇에 필요한 인터랙션의 형태는 대사를 표현해 줄 수 있는 음성과, 표정 및 얼굴 생김새를 표현해 줄 수 있는 디스플레이이다. 이에 따라 음성 및 비주얼 컨텐츠를 제작하여 탑재가 가능한 Mp3 플레이어(iRiver U10)를 사용하여 로봇 플랫폼을 제작하였다[그림 5]. 본체의 구성은 음성 및 디스플레이를 구현하는 머리와, 작동은 하지 않지만 로봇의 형태를 완성해 주는 몸통, 그리고 학생들을 위한 로봇의 캐릭터를 부여하는 날개로 구성하였다. 로봇의 대사 및 표정은 Macromedia Flash Lite 1.1을 사용하여 제작, 탑재하였다.

로봇에 탑재된 인터랙션의 종류는 소개, 시작, 네 가지 강화 자극으로 구성되며, 각 인터랙션 유형별 대사를 만들고 그에 적합한 표정을 디자인하였다[표 2].




[그림 5] iRiver U10, 원격 종종기와 로봇 플랫폼의 외형

[표 2] 로봇의 인터랙션 별 대사 및 표정

| | 대사 | 표정 |
|---|---|---|
| 소개 | 안녕하세요. 저는 " ~~ " 입니다. 저와 함께 수학문제를 풀어보아요. | |
| 시작 | 문제를 드리겠습니다. ~~~. 10분 동안 열심히 풀어주세요. 자 그럼 지금부터 시작~! | |
| 격려 | 잘 풀고 있네요~ 계속 열심히 해주세요. | |
| 상+ | 참 잘했어요! 10문제를 풀었으니 하트를 줄게요. 계속 열심히 해주세요. | |
| 재촉 | 문제를 오랫동안 안 풀고 있네요. 얼른 문제를 풀어주세요. | |
| 벌- | 문제를 열심히 안 풀고 있네요. 두 번째 주의를 주는 것이니 하트를 뺏겠습니다. 계속 열심히 해주세요. | |

[표 3] 로봇의 유형 별 소개, 시작 대사 및 인터랙션 종류

| 로봇 종류 | 소개 및 시작 대사 | | 인터랙션 종류 |
|---|---|---|---|
| 칭찬이 | 소개 | "안녕하세요. 저는 착한어린이에게 하트스티커를 주는 '칭찬이' 입니다. 저와 함께 수학문제를 풀어보아요." | 격려, 상 |
| | 시작 | "문제를 드리겠습니다. 열심히 하는 어린이에게 칭찬을 하고 상을 줄 거에요. 하트 스티커 숫자대로 사탕을 줄 것이니 10분 동안 열심히 풀어주세요. 자 그럼 지금부터 시작!" | |
| 엄벌이 | 소개 | "안녕하세요. 저는 나쁜어린이에게서 하트스티커를 뺏는 '엄벌이' 입니다. 저와 함께 수학문제를 풀어보아요." | 재촉, 벌 |
| | 시작 | "문제를 드리겠습니다. 열심히 하지 않는 어린이에게는 혼을 내고 벌을 줄 거에요. 하트 스티커 숫자대로 사탕을 줄 것이니 10분 동안 열심히 풀어주세요. 자 그럼 지금부터 시작!" | |
| 상벌이 | 소개 | "안녕하세요. 저는 착한어린이에게 하트스티커를 주고 나쁜 어린이에게서 하트스티커를 뺏는 '상벌이' 입니다. 저와 함께 수학문제를 풀어보아요." | 격려, 상, 재촉, 벌 |
| | 시작 | "문제를 드리겠습니다. 열심히 하는 어린이에게 칭찬을 하고 상을 주지만 열심히 하지 않는 어린이에게는 혼을 내고 벌을 줄 거에요. 하트 스티커 숫자대로 사탕을 줄 것이니 10분 동안 열심히 풀어주세요. 자 그럼 지금부터 시작!" | |

로봇유형에 따라 소개 및 시작 대사와 제공하는 강화 인터랙션 종류가 다르다[표 3]. 로봇의 조작은 총 6개의 조작 버튼으로 구성된 원격 조종기를 통하여 실시간으로 이루어졌다.

(2) 하트스티커 모니터

로봇의 토큰 강화 자극에 따라 실시간으로 하트 스티커를 제공 및 철회하기 위해서 MS Powerpoint로 제작된 하트스티커 판을 타블렛 PC에 탑재하여 무선 마우스를 통해 원격으로 실시간 조종하였다.

(3) 수학문제지

학생들의 성적유형에 관계없이 모두가 쉽게 풀 수 있도록 2학년 1학기 과정의 두 자리 수 뺄셈 문제가 주어졌다. 문제는 한 페이지당 20문제를 두 섹션으로 나누어 제공하였고, 학생들의 문제 푸는 습관에 영향을 받지 않도록 계산할 수 있는 공간을 비워두었다.

### 3.3.4 측정 항목

수행도, 강화유형에 따른 자극 수, 반응률을 다음과 같이 측정하였다.

(1) 수행도

수행도는 실험 태스크로 주어진 수학문제에 대한 정답률로 측정하였다. 열등 피험자 중 문제를 푸는 수학 능력을 갖추지 않아, 0%에 가까운 정답률을 보인 피험자의 데이터는 정답률에 대한 데이터 값이 문제수행과 무관한 것으로 간주하여, 결과 분석 시 결측치로 처리하였다.

(2) 자극 수

로봇이 제공한 자극은 강화 유형에 따라 격려, 상, 재촉, 벌의 네 가지이며, 관찰지 기록과 비디오 분석을 통해 로봇이 제공한 자극 종류와 자극 수를 측정하였다.

(3) 반응률

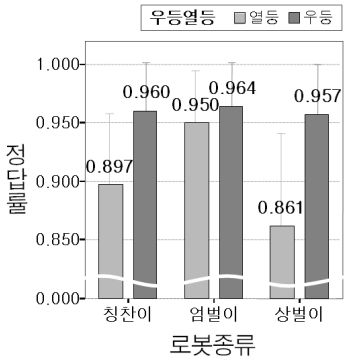
반응률은 각 로봇과의 인터랙션에서 전체 자극 수에 대한 반응 수의 비율이다. 반응수는 로봇을 건드리거나 만지기, 로봇을 쳐다보기, 로봇에게 말걸기 등의 반응의 횟수를 관찰지 기록과 비디오 분석을 통해 시간 흐름에 따라 측정하였다.

## 4. 실험 결과

### 4.1 로봇유형별 성적유형에 따른 수행도

피험자의 성적유형에 따라 어떠한 강화유형을 제공하는 로봇을 이용할 때 학습 수행도가 높은지를 알아보기 위하여 성적유형과 로봇유형에 따른 피험자의 정답률에 대해 분산분석을 수행하였다.

분석 결과 정답률에 대한 로봇유형의 주 효과가 유의했다(F=5.911, p=0.004). 즉, 로봇유형에 따라 피험자의 정답률에 차이가 나타났다. 정답률 차이는 엄벌이-칭찬-상벌이의 순으로 정답률이 높게 나타났다. 또한, 정답률에 대한 로봇유형과 성적유형의 교호작용이 유의하였다(F=4.291, p=0.017). 즉, 로봇 유형과 성적유형에 따라 피험자의 정답률에 차이가 나타났다. 우등 피험자의 엄벌이 사용 - 우등 피험자의 칭찬이 사용 - 우등 피험자의 상벌이 사용 - 열등 피험자의 엄벌이 사용 - 열등 피험자의 칭찬이 사용 - 열등 피험자의 상벌이 사용의 순으로 로봇유형과 성적유형에 따른 정답률이 높게 나타났다[그림 6]. 로봇유형과 성적유형의 교호작용이 유의하여, 로봇유형과 성적유형에 따라 정답률이 차이를 보였으나, 성적유형에 따라 정답률을 높게 나타내는 로봇유형에는 차이를 보이지 않았다. 즉, 우등과 열등 모두 로봇 유형에 따라 엄벌이-칭찬이-상벌이의 순으로 높은 정답률을 나타냈다.

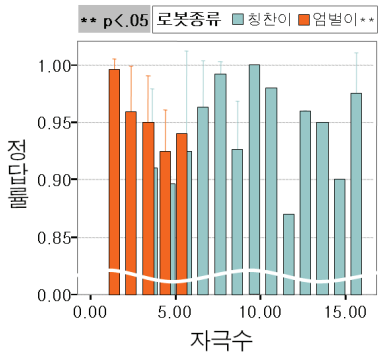



[그림 6] 로봇유형과 성적유형에 따른 정답률

본 분석 결과를 종합하면, 학생은 부적 강화를 제공하는 로봇과 함께 학습할 때 높은 수행도를 보이고, 정적 강화와 부적 강화를 모두 제공하는 로봇과 함께 학습할 때 가장 낮은 수행도를 보인다.

### 4.2 로봇 유형별 자극수에 따른 수행도

로봇유형별 자극수와 학습 수행도 간에 어떠한 상관관계가 있는지를 검증하기 위해 '칭찬이' 로봇이 제공하는 정적 강화와 '엄벌이' 로봇이 제공하는 부적 강화의 총 자극수와 학습 수행도 간의 회귀분석을 실행하였다. 분석 결과 '엄벌이' 로봇의 경우, 자극수와 학습 수행도 간에 부적 상관관계가 있었으나(R Square:0.167, B:-0.017, Beta: -0.409), '칭찬이' 로봇의 경우, 자극수와 학습 수행도 간에 상관관계를 찾을 수 없었다[그림 7]. 여기에서 결정계수 R Square값은 회귀분석의 설명력을, B값은 회귀분석의 기울기를, 그리고 Beta값은 표준화된 B값을 나타내며, 유의 수준은 통상적인 0.05를 택하였다. 부적 강화의 자극수와 학습 수행도 간의 부적 상관관계는 학생들이 문제를 잘 안 풀고 있을 때 받은 벌에 따른 심리적인 압박으로 설명될 수 있다. 문제를 빠르게 많이 푸는 데에만 더 신경을 쓰고 문제를 정확히 푸는 데에 집중을 하지 못한 결과로 추정된다.




[그림 7] 로봇유형 별 자극수에 따른 정답률

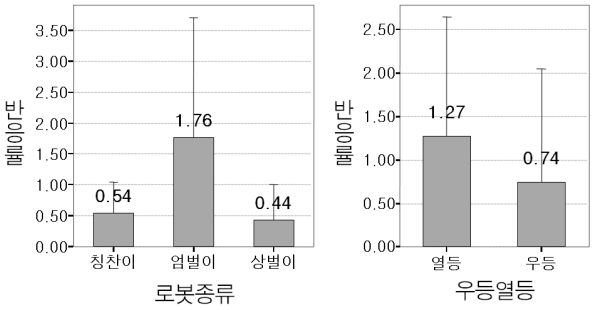
### 4.3 반응률

피험자의 성적유형에 따라 어떠한 강화유형의 로봇을 이용할 때 피험자의 반응률이 높은지를 알아보기 위하여, 성적유형과 로봇유형에 따른 피험자의 반응률에 대해 분산분석을 수행하였다. 분석 결과 반응률에 대한 로봇유형의 주 효과가 유의미했다(F=12.644, p=0.000). 즉, 로봇유형에 따라 피험자의 반응률에 차이가 나타났

다. 반응률 차이는 엄벌이-칭찬이-상벌이의 순으로 로봇 유형에 따른 반응률이 높게 나타났다[그림 8]. 피험자는 벌과 재촉을 주는 로봇에게 다른 로봇보다 월등히 높은 반응률을 나타냈다.

비디오 분석 결과 로봇이 부적 강화를 제공할 때 학생이 로봇을 때리거나, 로봇의 방향을 돌려 문제 풀이 과정을 보지 못하도록 하는 행동 등이 관찰되었다[그림 9]. 즉, 부적 강화를 제공하는 로봇에 대한 높은 반응률은 로봇에 대한 친밀감보다는 로봇의 강화 자극에 대한 학생들의 민감한 정도를 반영한다. 또한, 반응률은 로봇이 학생의 주의를 환기시키고 동기 부여를 하는 정도와 연관됨을 알 수 있다. 반응률과 로봇의 주의 환기 및 동기 부여 정도와의 관련성은 로봇유형에 따른 반응률과 수행도 결과를 통해서도 알 수 있다. 로봇유형에 따라 반응률과 수행도 모두 엄벌이-칭찬이-상벌이의 순으로 높게 나타났다. 반응률의 분석결과로 로봇이 놀이기구보다는 학습 보조 교사로서의 역할을 하고 있음을 알 수 있다.

또한 분석 결과 반응률에 대한 성적유형의 주 효과가 유의미했다($F=4.473$, $p=0.037$). 즉, 성적유형에 따라 피험자의 반응률에 차이가 나타났다. 반응률 차이는 열등 피험자가 우등 피험자보다 높은 반응률을 보였으며[그림 8], 이 결과 역시 로봇유형에 따른 반응률에서처럼 반응률이 로봇에 대한 친밀감을 반영한다기보다 피험자의 민감한 정도 또는 집중도를 반영하는 것으로 해석할 수 있다. 즉, 열등 피험자들이 우등 피험자들에 비해 로봇 자극에 대해 더 민감하게 반응하고, 학습에 대한 집중도가 떨어져 반응률이 더 높을 수 있다. 반응률에 대한 로봇유형과 성적유형의 교호작용은 유의미하지 않았다($F=0.163$, $p=0.850$).




[그림 8] 로봇유형과 성적유형에 따른 반응률

[그림 9] 로봇에 대한 피험자의 물리적인 반응들

## 5. 결론 및 추후연구

### 5.1 결론

이 논문에서는 행동주의 학습이론 중 강화이론을 바탕으로, 토큰강화 체계에 의한 교사 보조 로봇 인터랙션 시스템을 디자인하였다. 이 시스템에서 강화유형에 따라 칭찬이, 엄벌이, 상벌이 세 종류의 로봇유형을 제안하였다. 로봇유형에 대한 우등, 열등 학생의 학습 수행도와 반응률을 측정하여 분석한 결과는 다음과 같다.

첫째, 로봇유형에 따른 정답률은 엄벌이-칭찬이-상벌이의 순으로 높은 수행도를 나타냈다. 즉, 우등, 열등 피험자 모두 부적 강화를 제공하는 엄벌이 로봇을 이용할 때 학습 수행도가 높았다.

둘째, 부적 강화를 제공하는 엄벌이 로봇에서 자극수와 학습수행도 간에 부적상관관계가 나타났다. 엄벌이 로봇의 자극수가 증가할수록 정답률이 저하됨은 부적 강화에 대한 심리적 압박에 의해 문제풀이의 속도는 증가한 반면, 문제풀이의 정확도가 저하된 것으로 추정된다.

셋째, 학생들은 정적 강화를 제공하는 칭찬이 보다 부적 강화를 제공하는 엄벌이 로봇에 높은 반응률을 나타냈다. 또한, 열등 학생들이 우등 학생들보다 높은 반응률을 보였다. 이는 교사 보조 로봇 인터랙션 시스템에서 로봇이 놀이 기구보다는 교사 보조자의 역할을 수행하고 있음을 나타낸 것으로 볼 수 있다.

### 5.2 추후 연구

추후 연구로 전국 초등학교 학생들을 대상으로 피험자 수를 늘려서 로봇유형과 성적유형에 따른 수행도와 반응률을 비교하는 연구, 자극 빈도수 조절을 통해 성적유형에 따른 적정 자극 빈도수를 찾는 연구, 수학 외에 다른 과목에 대한 연구, 학생들의 성적 외에 성격, 나이, 성별에 따른 추가 분석 등이 요구된다.

## 참고문헌

[1] S. S. Kwak, and M. S. Kim, “User preferences for personalities of entertainment robots according to the users’ psychological types,” The Science of Design Bulletin of JSSD, vol. 52, no. 4, pp. 47-52, 2005.

[2] S. Woods, K. Dautenhahn, and J. Schultz, "Child and adults' perspectives on robot appearance," Proceedings of the AISB'05 Symposium Robot Companions: Hard Problems and Open Challenges in Robot-Human Interaction, pp. 126-132, 2005.

[3] 최수문, 도쿄 '2005 국제 로봇전'을 보고...로봇 "못 하는게 없어요," 서울경제, 2005-12-07.

[4] S. Woods, K. Dautenhahn, and J. Schulz, "The design space of robots: Investigating children's views," Proceedings of the IEEE International Workshop on Robots and Human Interactive Communication (RO-MAN 2004), September, 2004.

[5] J. Han, J. Lee, Y. Cho, "Evolutionary role model and basic emotions of service robots originated from computers," Proceedings of the 14th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2005), pp. 30-35, August, 2005.

[6] T. Kanda and H. Ishiguro, "Reading human relationships from their interaction with an interactive humanoid robot," Innovations in Applied Artificial Intelligence: 17th International Conference on Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems (IEA/AIE 2004), pp.402-412, May, 2004.

[7] T. Ito, "How children perceive robots," NEC Personal Robot Research Center, 2001(retrieved in June, 2006), [Web]: http://www.incx.nec.co.jp/robot/english/robotcenter_e. html

[8] J. Han, D. Kim, "Field trial on robots as teaching assistants and peer tutors for children," Proceeding of the Asia Pacific International Symposium on Information Technology, January, 2006.

[9] Mindstorm, (retrieved in June, 2006). [Web]: http:// www.legomindstorms.com/

[10] RB5X, (retrieved in June, 2006). [Web]: http://www. edurobot.com/

[11] S. P. Imberman, "An intelligent agent approach for teaching neural networks using LEGO handy board robots," ACM Journal on Educational Resources in Computing, vol. 4, no. 3, September, 2004.

[12] B. S. Fagin and L. Merkle, "Quantitative analysis of the effects of robots on introductory computer science education," ACM Journal of Educational Resources in Computing, vol. 2, no. 4, pp. 1-18, December, 2002.

[13] A. N. Kumar, "Three years of using robots in an artificial intelligence course - Lessons learned," ACM Journal on Educational Resources in Computing, vol. 4, no. 3, September, 2004.

[14] T. Kanda, T. Hirano, D. Eaton, and H. Ishiguro, "Interactive robots as social partners and peer tutors for children: A field trial," Human Computer Interaction (Special issues on human-robot interaction), vol. 19, no. 1-2, pp. 61-84, 2004.

[15] J. Osada, "The development of childcare robot PaPeRo," Proceedings of Robot Design Forum, pp.29-36, November, 2005.

[16] J. D. Decuir, T. Kozuki, V. Matsuda, and J. Piazza, "A friendly face in robotics: Sony's AIBO entertainment robot as an educational tool," ACM Computers in Entertainment, vol. 2, no. 2, pp.1-4, April, 2004.

[17] M. Cooper, M et. al., "Robots in the classroom - tools for accessible education," Proceedings of the 5th European Conference for the Advancement of Assistive Technology (AAATE 1999), IOS Press, pp.448-452, November, 1999.

[18] J. Han, M. Jo, S. Park, S. Kim, "The educational use of home robots for children," Proceedings of the 14th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2005), pp.378-383, August, 2005.

[19] J. F. Xin, "Video-assisted vocabulary instruction for elementary school students with learning disabilities," Information Technology in Childhood Education Annual, vol. 1, no. 1, pp. 87-103, 2001.

[20] J. F. Xin, "Computer-assisted cooperative learning in integrated classrooms for students with and without disabilities," Information Technology in Childhood Education, vol. 1, no. 1, pp. 61-78, 1999.

[21] D. Cavallo, A. Sipitakiat, A. Basu, B. Bryant, L. Welti-Santos, J. Maloney, S. Chen, E. Asmussen, C. Solomon, E. Ackermann, "RoBallet: exploring learning through expression in the arts through constructing in a technologically immersive environment," Proceedings of the International Conference of the Learning Sciences (ICLS 2004), pp.105-112, June, 2004.

[22] B.F. Skinner, Beyond Freedom and Dignity, Alfred A. Knopf: New York. 1971.

[23] 김언주, 구광현, 신교육심리학, 문음사, 2003.

[24] K. E. Allen, B. Hart, J. S. Buell, F. R. Harris, M. M. Wolf, "Effects of social reinforcement on isolate behavior of a nursery school child," Child Development, vol. 35, no. 2, pp. 511-518, June, 1964.

[25] E. L. Phillips, "Achievement place: token reinforcement procedures in a home-style rehabilitation setting for "pre-delinquent" boys," Journal of Applied Behavior Analysis, vol. 1, no. 3, pp. 213-223, 1968.

[26] 유천근, "칭찬과 질책이 우수아와 열등아의 학습에 미치는 효과," 서울대학교 미간행 석사학위 논문, 1969.

[27] Wizard of Oz, (retrieved in November, 2006). [Web]: http://www.usabilitynet.org/tools/wizard.htm

**곽 소 나**

2001 한국과학기술원 산업디자인(BS)
2003 한국과학기술원 산업디자인(MS)
2005 Carnegie Mellon University, 인터렉션 디자인, Visiting Scholar
2003~현재 한국과학기술원 산업디자인학과 박사과정
관심분야 : HRI, Problem-Solving Model of Design

**한 정 혜**

1998 충북대학교 전자계산학(Ph.D)
1998 연세대학교 인지과학연구소 선임연구원
1999 연세대학교 산업시스템공학과 포닥 연구원
2001 행정자치부 국가전문행정연수원 통계연수부 전산교육 전임교수
2001~현재 청주교육대학교 컴퓨터교육과 조교수
관심분야 : 인간과 로봇 상호작용, r-Learning, 데이터마이닝

**이 동 규**

2005 KAIST 산업디자인학과 학부 졸업
2005 KAIST 산업디자인학과 석사 입학
2005~현재 KAIST 산업디자인학과 석사과정
관심분야 : 로봇 외형/인터랙션 디자인, 제품디자인

**김 명 석**

1973 홍익대학교 산업디자인(BFA)
1975 홍익대학교 환경디자인(MFA)
1985 일본오사카대학교 환경설계공학(Dr. Eng.)
1985~현재 한국과학기술원 산업디자인학과 교수
관심분야 : HRI, 로봇 디자인

**이 민 구**

2004 한국과학기술원 산업디자인(BS)
2004 한국과학기술원 과학영재교육연구원 정보분야 교육/연구조교
2005~현재 한국과학기술원 산업디자인학과 석사과정
관심분야 : 디자인매니지먼트, HMI, 원격 교육 시스템