

아동의 물리지식: 물체의 운동에 대한 아동의 이해와 발달

Physical knowledge in children: Children's developing understanding of object motion.

박 선 미
(Sunmi Park)

요약 본 연구는 아동들의 물리지식 발달을 알아보기 위해 수행되었다. 3세에서 11세 사이의 아동 80명과 성인 16명이 연구에 참여하였고 이들이 어떤 물리지식을 가지고 있는지, 이러한 물리지식이 물리이론의 형태로 체계화 되어 있는지, 어떤 발달적 변화가 일어나는지 등을 살펴보았다. 그 결과, 높은 곳에서 떨어지는 물체 과제에서는 물체의 낙하운동 자체에 대해서는 모든 연령의 아동이 정확한 지식을 가지고 있었다. 그러나 이러한 운동의 원인이 되는 힘인 중력, 관성력, 마찰력, 부력 등을 이해하고 여기에 관련된 다른 개념들을 이해하는데 있어서는 연령차가 있었다. 연령이 낮아질수록 중력보다는 지지의 유무로 낙하운동을 이해하고 물체의 무게와 공기의 저항과 같은 중력에 관련되는 다른 지식도 없는 것으로 나타났다. 경사면에서 미끄러지는 물체 과제에서는 물체의 움직임 자체는 모든 연령의 아동들이 정확하게 예측할 수 있었지만 이에 영향을 미치는 무게나 이 상황에서 작용하는 힘인 중력과 마찰력, 그리고 그들의 상호작용에 대해서는, 9세와 11세가 되어야 소수의 아동이 정확하게 이해할 수 있게 되는 것으로 나타났다. 물에 뜨거나 가라앉는 물체 과제에서는 5세 이하의 어린 아동의 경우는 상당수가 물체가 물에 뜨거나 가라앉는 현상 자체를 이해하는데 어려움이 있었다. 그 원인에 대해서도 9세와 11세 아동 중 소수가 부력이나 중력을 언급하였지만 이러한 지식도 완벽한 것은 아니었다. 그리고 부력에 대해서는 성인들조차 완벽한 지식을 가지고 있지 못한 것으로 나타났다. 이러한 결과를 종합하면 아동들은 약 5세경부터 자신의 물리지식을 물리현상의 원인을 설명하는 도구로 사용한다는 점에서 초보적인 수준의 물리이론을 가지고 있음을 알 수 있다. 그러나 응집성과 추상성 측면에서 보면 9세와 11세 아동들의 이론도 응집성이 부족하고 여전히 지각적 속성을 인과기제로 사용하는 등 추상성도 부족하였다. 마지막으로 아동들의 물리지식은 연령이 증가함에 따라 인과기제로서의 역할, 응집성, 추상성 등의 이론적 특성이 강해지는 방향으로 변화하는 뚜렷한 발달적 경향성을 보여 주었다.

주제어 인지발달, 지식발달, 물리지식, 물리이론, 이론 이론

Abstract This study was carried out to examine the development of physical knowledge in children. Eighty children aged 3- to 11-year-old and 16 adults were participated in this study. Participants' knowledge about falling, sliding and sinking/floating objects was investigated to understand what kind of knowledge they had, whether their knowledge was organized as theory and what was the nature of the developmental change in physical knowledge. Results showed that, for falling object task, children of all age had correct knowledge about object's falling phenomena. However, there were age differences in children's understanding of the cause of object's falling. As the children's age decreased, the frequency of explanation referring to the absence of support rather than the gravity as the cause of falling phenomena increased. For the sliding object task, children of all age could predict the motion of sliding object correctly. But only a few 9- and 11-year-old children could understand the effect of object weight and relations between gravity, frictional force and their

* 이 논문은 2003년도 한국 학술진흥재단의 기초학문육성과제 연구비에 의해 지원되었음(KRF-2003-0074-HM0001)
연구에 참여해 준 아동들과 그 부모님께 감사드립니다.

** 영남대학교 학교교육연구소
Youngnam University Research Institute of School Education

영남대학교 학교교육연구소
011- 517-6966
E-mail : Parksunm@chollian.net

interactions. Children under age 7 showed no evidence of possessing these knowledge. For sinking or floating object task, children of all age and even adults showed difficulties in understanding the sinking or float phenomena per se. For the cause of these phenomena, although a few 9- and 11-year-old children referred to buoyancy as the cause, they had no correct knowledge about the buoyancy. This was also true for the adults. As a conclusion, the results of this study suggested that, not 3, but as young as 5-year-old children's physical knowledge existed as a form of naive theory in terms of their use as a causal devise in explaining the cause of object motion. However, even the theory of 9- and 11-year-old children was lack of the abstractness and coherence, which were also important characteristics of a theory. Finally, developmental change in physical knowledge proceeded toward more frequent and consistent use of physical knowledge as causal device and more abstract and coherently organized theory.

Keywords cognitive development, knowledge development, physical knowledge, physics theory, theory theory

물리적 세계(physical world)에 대한 지식 즉 물리지식은 물리적 대상(physical entity)과 물리적 현상(physical phenomena)에 관한 지식을 지칭한다(Povinelli, 2000). 아동들은 다양한 물리지식을 가지고 있다. 예를 들면, 아동들은 고체와 액체의 성질(Piaget & Inhelder, 1962; Smith, Carey, & Wiser, 1985), 빛과 그림자의 특성과 그 관계 (DeVries, 1987; Piaget, 1953), 천체의 구성과 운행(Piaget, 1953; Vosniadou & Brewer, 1992) 등에 대해 완벽하지는 않지만 부분적인 지식을 가지고 있다. 그렇다면 이러한 물리지식은 언제 처음으로 나타나고 어떤 기제를 통하여 습득되며 어떻게 발달해 가는 것일까? 이에 대한 전통적인 이론적 설명은 Piaget의 이론에 의한 것이었다. 그런데 최근 영아를 대상으로 한 인지발달 연구가 활발해지면서 이러한 물리지식의 기원과 발달과정에 대해서 기존의 Piaget 이론과 상반되는 새로운 이론적 설명인 이론(theory theory)이 대두되었다.

Piaget(1953)의 이론에 따르면 감각-운동기에 해당하는 영아기에는 정신적 표상 능력이 없기 때문에 영아들에게는 물리지식이 존재하지 않는다. 이를 보여 주는 대표적인 사례가 바로 대상개념(object concept)이다. 4개월경의 영아들은 보고 있던 물체를 숨기면 금방 흥미를 잃고 찾으려는 시도를 하지 않는데 이것은 영아들이 물체의 존재와 자신의 보기행동을 독립적인 것으로 인식하지 못하고 자신이 보지 않으면 물체도 존재하지 않는 것으로 이해하기 때문이라고 설명한다. 그런데 영아기 후반기(약 18개월 이후)가 되어 정신적 표상이 가능하게 되면서 영아들은 물체를 숨기면 숨겨진 물체를 찾게 되고 점차 눈에 안 보이는 위치변화까지 추론하여 이 물체를 찾아 낼 수 있게 된다. 그러므로 Piaget는 영아들은 물리적 세계가 자신의 감각-운동 활동에 종속된다는 성인과는 질적으로 다른 물리지식을 가지고 있으며, 물체의 존재나 물체의 움직임에 대해 물리적 법칙에 부합하는 진정한 의미의 물리지식이 최초로 나타나는 것은 영아들의 감각-운동 인지구조에 의한 활동의 결과이고 그

시기는 영아기 후반이라고 설명하고 있다.

Piaget는 이러한 사실을 바탕으로 인지발달이란 인지구조가 질적으로 다른 단계적인 변화를 거쳐 가는 것이라는 인지발달의 단계이론을 정립하였다. 따라서 Piaget는 인지구조가 감각-운동기, 전조작기, 구체적 조작기, 형식적 조작기의 4단계를 거쳐 발달함에 따라 각 단계별로 그 단계의 인지구조에 상응하는 물리지식을 습득하게 되므로 물리지식도 질적으로 다른 4단계를 거쳐 발달해 간다고 설명한다. 즉 Piaget의 인지발달 이론에서 핵심적인 것은 인지구조이며 이 인지구조가 어떤 단계인지에 따라 우리가 습득하는 지식이 결정된다. 예를 들어 아동의 인지구조가 전조작기라면 이 아동이 가지고 있는 모든 지식은, 그것이 물리지식이던 수학지식이던 상관없이 모두 전조작기의 인지구조에 맞는 발달수준의 지식을 가지고 있게 된다는 것이다.

Piaget의 이론에 반하여 이론 이론(theory theory)은 영아들이 Piaget의 주장처럼 감각-운동 지능만 가지고 있는 것이 아니라 정신적 표상 능력이 있고 따라서 여러 가지 지식을 가지고 있다고 보며 이런 점에서 영아들의 지식과 성인들의 지식이 질적으로 다르지 않다는 것을 가정한다. 이러한 주장은 Piaget와 마찬가지로 물체의 존재와 그 움직임에 관해서 영아들이 어떤 지식을 가지고 있는지를 살펴본 실험연구들에 근거를 두고 있다. 그 대표적인 예가 Baillargeon(1986, 1987, 1991)과 Spelke(1990, 1991, 1994)의 일련의 연구들이다. Baillargeon은 Piaget와 달리 찾기 과제가 아니라 습관화 과제를 사용하여 영아들의 대상개념을 연구하였는데, 그 결과 영아들은 4개월경에 이미 대상개념을 이해하고 있다는 것을 보여 주었다. Spelke도 Baillargeon과 마찬가지로 습관화 과제를 사용하여 6개월 영아들이 아래로 떨어지는 물체에 대해서 중력에 대한 지식을 근거로 물체의 움직임을 이해한다는 것을 보여 주었다. Spelke의 연구에서는 영아들이 중력뿐만 아니라 물체가 고체성(solidity), 연속성(continuity), 관성(inertia) 등의 물

리법칙에 따라서 움직인다는 것을 이해하고 있음을 밝혀 내었다. 이러한 연구들은 영아들도 초보적이기는 하지만 성인과 같은 물리지식을 사용하여 물체의 존재나 움직임을 이해함을 보여 주고 있다.

이론 이론에서는 영아들이 가지고 있는 이러한 지식의 기원을 선천적인 것으로 가정한다. 그리고 이러한 선천적인 지식은 인류가 진화하는 과정에서 환경에 적응하는 확률을 높여 주기 때문에 자연선택된 특성으로 모든 아기들은 태어날 때 이미 유전자에 이러한 지식이 발현되도록 프로그램 된 채 태어난다고 설명한다(Gopnik & Meltzoff, 1997). 아기들은 기질적(organic)인 결함이 있는 경우를 제외하고는 처음부터 세상에 적용할 선천적인 지식을 가지고 태어난다는 것이다. 물리지식은 우리가 환경에 적응하는데 중요한 지식이므로 심리, 수, 기하, 생물 등의 지식과 더불어 선천적인 지식을 가지고 태어나는 핵심 영역의 지식이라고 본다. 이론 이론에서는 태어날 때부터 아기들이 가지고 있는 물리지식의 예로 대상(object)의 나타남(apppearance)과 사라짐(disappearance)에 대한 이해, 운동(motion)에 대한 이해, 대상의 종류(kind)에 대한 이해를 제시하고 있다.

이론 이론의 주장 중 가장 중요한 부분은 아동들의 지식이 이론의 형태로 구조화되어 있다는 것이다. 그러므로 이론 이론에 따르면 아동들의 물리지식은 물리이론으로 체계화되어 있고 물리지식의 발달과정은 바로 이러한 물리이론이 수정되어 변화하는 과정과 같다고 본다. 그리고 이렇게 이론을 수정해 나가는 과정 자체가 바로 인지발달의 과정이라고 주장한다(Gopnik & Meltzoff, 1997). 즉 이론 이론은 Piaget와는 달리 인지구조의 발달이 인지발달의 핵심이 아니라 지식의 발달이 인지발달에서 핵심적인 역할을 하는 것으로 가정하고 있는 것이다.

지금까지 물리지식의 발달을 설명하는 이론으로 Piaget의 이론과 이론 이론이라는 두 가지 상반된 이론이 존재하고 있음을 살펴보았다. 물리지식의 기원에 대해서는 영아기의 물리지식에 관한 Piaget의 이론을 검증하기 위해 많은 연구가 수행되는 과정에서 Piaget의 이론과는 달리 영아들이 다양한 물리지식을 이해하고 있음을 보여 주는 연구들이 많이 축적되어 있다. 그리고 이러한 연구결과들이 이론 이론이라는 새로운 이론이 형성되는 근거가 되었다. 그러나 영아기 이후 물리지식의 발달에 대해서는 아동들의 물리지식을 체계적으로 연구한 실증적인 연구가 현재로서는 거의 없는 실정이다. 더구나 이론이라고 할 때 그것이 의미하는 바가 연구자들에 따라 달라서 이론이라는 용어는 이론과 유사한 지식체계(theory-like knowledge system), 초보적인 이론(naive theory), 과학적 이론(scientific theory) 등 다양한 형태의 이론을 지칭하는데 사용되고 있어서 이를 둘러싸고 많은 문제가 제기되고 있는 것이 사실이다. 이론의 형태에 따라 이론의 특성이나 변화해 가는 과정이 달라지므로 이 문제는 이론적 측면에서 뿐만 아니라 실제적 측면에서 아동들의 지식구조를 이해하는데 있어서도 명확히 해야 할 필요성이 있는 중요한 문제이다. 따라서 본 연구는 아동의 물리지식이 어떻게 발달해 가는지 이론 이론의 틀을 통하여 분석해 보고 이론 이론의 타당성을 검증해 보고자 하였다. 이를 위하여 본 연구에서는 영아기 이후 아동들이 실제로 어떤 물리지식을 가지고 있는지, 이러한 물리지식이 물리이론의 형태로 체계화 되어 있는지, 이 이론이 어떤 특성을 가지고 있는지, 어떤 발달적 변화가 일어나는지 등을 검증하기 위해서는 아동들의 물리지식을 조사 분석하였다.

구체적으로 본 연구에서는 첫째, 아동들이 어떤 물리지식을 가지고 있는지를 조사였다. 이를 위하여 본 연구에서 조사 대상으로 한 물리지식은 Piaget의 연구와 이론 이론 연구에서 공통적으로 가장 많이 연구한 영역인 물체의 운동에 관한 지식이다. 물체의 운동은 우리가 가장 흔히 접하는 물리현상일 뿐 아니라 운동의 배후에 있는 힘에 대한 이론적 설명이 물리학에서 궁극적으로 설명하고자 하는 핵심적인 물리이론이기 때문에 물체의 운동에 관한 지식이 물리지식이 이론의 형태인지를 알아보기 위해 가장 적절한 물리지식의 영역이라 할 수 있다. 둘째, 아동들의 물리지식이 과연 이론 이론에서 주장하는 것처럼 이론의 형태로 체계화 되어 있는지를 조사하였다. 이를 위하여 아동의 지식구조가 어떤 이론적 특성을 가지는지를 분석하였다. 셋째, 아동들의 물리지식이 연령에 따라 어떻게 다른지 조사하여 아동의 물리지식이 어떻게 발달하는지 그 발달과정을 살펴보았다. 즉 이론 이론에서 주장하는 것처럼 이론변화가 일어난다면 언제, 어떤 형태의 이론변화가 일어나는지를 밝혀보고자 하였다. 이론의 변화에는 Piaget가 주장했던 것과 같은 획기적인 질적인 변화가 있을 수도 있고 원래의 틀을 유지하면서 부분적인 수정을 가하는 변화가 일어 날 수도 있다.

방법

연구 대상

본 연구의 주 연구 대상은 아동으로 서울, 대전, 대구, 청주 지역의 3세(평균 43.5개월, 범위 38-48개월), 5세(평균 66.4개월, 범위 60-71개월), 7세(평균 90.5개월, 범위 84-94개월), 9세(평균 113.4개월, 범위 110-118개월), 11세(평균 136.3개월, 범위 131-144개월) 아동 80명 (각 연령 당 16명

씩)이 연구에 참여 하였다. 그리고 각 과제마다 가장 어려운 세부 질문에 대해서는 11세 아동들도 반응을 하지 못하거나 틀린 설명을 하는 경우가 많았기 때문에 이러한 질문에 대한 성인들의 반응을 알아보기 위해 성인 16명이 연구에 참여하였다. 남녀의 수는 3세 남:여 = 6:10, 5세 남:여 = 8:8, 7세 남:여 = 4:12, 9세 남:여 = 4:12, 11세 남:여 = 9:7, 성인 = 9:7 이다. 아동의 사회경제적 배경은 다양하게 선정하였고 성인들은 대학과 대학원 재학생이었다.

과제

높은 곳에서 떨어지는 물체, 경사면에서 미끄러지는 물체, 물에 또는 물체와 가라앉는 물체에 대한 일련의 세부 질문으로 구성된 3가지 과제를 사용하였다. 이들 문제는 모두 물체의 운동과 이에 관련되는 힘에 대한 지식을 조사하기 위해 고안된 과제이다. 모든 물체와 그 운동에는 중력이 작용하므로 세 문제에서 공통적으로 중력에 관한 지식이 관련되고 경사면에서 미끄러지는 물체의 문제에서는 관성력, 마찰력에 대한 지식이 관련되며 물에 또는 물체와 가라앉는 물체의 문제에서는 부력에 대한 지식이 주로 관련되므로 이 세 가지 과제는 물체의 서로 다른 운동 현상 배후에 있는 중력이라는 공통적인 힘과 각각의 운동현상에 고유하게 관련되는 관성력, 마찰력, 부력 등의 힘에 대한 지식을 알아 볼 수 있다. 한 개의 과제에는 여러 개의 세부 질문이 포함되어 있는데 어떤 사실에 대한 질문 다음에 왜 그렇게 생각하는지를 묻는 질문이 이어진다. ‘왜’ 질문은 아동의 지식이 이론의 형태인지를 알아보기 위한 질문이다. 질문에 대해 아동은 자유롭게 자신의 생각을 말하는 개방형 질문 형식을 취하였다. 아동의 반응에 따라 질문의 순서가 바뀔 수도 있고 추가적인 여러 가지 질문을 더 할 수도 있으며 앞 단계의 질문에 아동이 모른다는 대답을 한 경우 이와 관련되는 다음 단계의 질문은 생략하기도 하는 등 과제는 최대한 개별 아동의 반응에 적절하게 대응하도록 만들어졌다. 과제에 따라 내용의 이해를 돋기 위해서 실제 물체(경사면, 장난감 자동차, 나무토막) 혹은 사진(농구공, 솜사탕)을 사용하여 설명하였다. 그리고 질문에 사용된 용어도 아동의 연령에 맞추어 조정하여 사용하였으며 질문의 내용도 아동이 이해할 때까지 여러 번 신축적으로 반복하여 설명하였다. 실험자의 질문과 아동의 반응예를 부록 1에 제시하였다.

절차

실험자 1명과 실험보조자 1명이 개별 아동을 상대로 어린이집, 아동의 집, 혹은 실험자의 집에서 독립된 방에서 과제를 제시하였다. 실험자는 아동에게 질문만을 하고 아

동의 반응은 실험보조자가 반응지에 요약 기록하였다. 전체 실험과정을 녹음한 후 실험이 끝난 다음 전사하여 분석에 사용하였다.

본 연구에 사용된 과제는 물리영역의 3가지 과제이지만 이는 물리, 생물, 심리 세 가지 영역에 걸쳐 피험자내 설계에 의해 수집된 자료의 일부이기 때문에 한 아동이 실제로 수행한 전체 과제는 물리, 심리, 생물 각각 4개씩 12개이고 아동의 연령과 실험환경에 따라 실험에 소요된 시간은 50분에서 120분까지였다. 성인 자료는 본 연구만을 위하여 별도로 수집되었으므로 성인들은 위에서 설명한 3개의 물리과제를 무선적으로 휴식 없이 연속하여 수행하였고 소요 시간은 약 15분이었다. 아동들은 개별 아동의 상황에 맞추어 3세 아동의 경우에는 2일에 걸쳐 오전과 오후 4번에 나누어 과제를 수행하기도 하였고 11세 아동의 경우에는 중간에 원하는 때 약 5분에서 10분만 쉬고 연속해서 과제를 수행하기도 하였다. 과제의 제시 순서는 아동의 경우 순서효과를 통제하기 위해 미리 무선으로 섞어 유형화 해둔 8개 유형의 순서에 따라 제시 되었다.

코딩

세부질문에 대한 아동의 반응은 몇 개의 반응범주로 구성된 코딩시스템을 만들어 분석하였다. 코딩시스템에 의한 코딩결과는 세부질문이 예/아니오, 맞는것/틀린것 등의 반응을 요구하는 경우는 양적인 성격을 갖는 등간척도(점수)로 코드화 되었고, 세부질문이 아동의 자유로운 설명을 요구하는 경우는 각 질문별로 가장 완벽한 답(정답이 없는 경우도 있음. 이 경우 논리적으로 타당한 답이 가장 완벽한 답이 됨)의 범주에 코드값 1을 부여하고 1번과 동떨어진 반응일수록 코드값이 커지는 서열척도의 성격을 가지도록 코드화 하였으며, 정답이나 완벽한 답이 없이 여러 가지 다양한 반응이 가능한 세부질문에 대한 반응은 명목척도의 성격을 갖는 코드로 코딩되었다. 점수화할 수 있는 경우를 제외 한 나머지 두 유형의 코딩시스템은 각 연령에서 높은 빈도를 보인 오답은 코딩시스템에 포함되도록 하되 한 개의 코딩시스템이 너무 많은 반응범주로 나뉘어서 빈도가 낮은 여러 개의 코드가 생기지 않도록 하는 원칙을 가지고 각 코딩시스템의 범주를 3-7개까지로 조정하였다. 성인의 반응도 아동과 같은 방식으로 코딩하였다.

두 사람의 코더가 1차 코더와 2차 코더로 모든 반응을 코딩하였다. 1차 코더가 먼저 아동의 반응을 코딩한 후 2차 코더가 다시 코딩을 하였다. 그런 후 두 코더간에 의견이 일치하지 않는 코딩시스템이 대해 토의하게 한 후 합의에 도달한 코드를 결과분석에 사용하였다(끝까지 합의에 도달하지 못하는 경우는 결과 분석에서 제외하기로 사전

<표 1> 농구공과 솜사탕의 낙하에 대한 질문과 반응

질문	반응범주	연령					χ^2 (5, N=96)
		3세	5세	7세	9세	11세	
농구공은 어떻게 될까?	아래로 떨어짐	11	15	16	16	16	20.737**
	안 떨어짐	2	0	0	0	0	
	모름	2	0	0	0	0	
	기타	1	1	0	0	0	
왜 아래로 떨어지나?	중력 때문에	0	0	1	8	7	16
	무거워서	0	1	4	0	1	0
	모든 물건은 떨어짐 (이유 모름)	0	0	1	0	0	42.191**
	손을 놓았으니까	3	4	3	3	3	
	모름	6	3	3	1	1	
솜사탕은 어떻게 될까?	기타	7	8	4	4	4	0
	아래로 떨어짐	12	14	13	14	15	16
	안 떨어짐	3	1	3	2	1	0
	모름	0	0	0	0	0	5.696
	기타	1	1	0	0	0	
왜 아래로 떨어지나?	중력 때문에	0	0	0	2	5	15
	가벼워도 무게 있으므로	0	0	2	4	7	0
	손을 놓았으니까	3	5	2	3	2	46.461**
	모름	5	3	7	2	1	
	기타	8	8	5	5	1	

주: 단위는 명, 각 연령집단 n=16. χ^2 통계치는 Kruskal Wallis test에 의한 것임.

* p < .05, ** p < .01.

에 정하였으나 실제로는 이런 경우가 발생하지 않았다). 두 코더간의 일치도는 97.9%였다. 몇 가지 질문에 대한 코딩시스템의 예를 부록 2에 제시하였다.

결과

과제1. 높은 곳에서 떨어지는 물체

높은 곳에서 떨어지는 물체에 관한 과제는 중력에 관한 지식을 조사하기 위한 것이다. 중력은 지구가 지표부근에 있는 물체를 지구의 중심방향으로 끌어당기는 힘으로 지구상의 질량이 있는 모든 물체에 작용한다. Spelke(1991)는 6개월경의 영아들도 아래로 떨어지던 공이 공중에 멈추어서 있을 수 없다는 것을 이해함을 보여 주었다. 그리고 이를 근거로 아주 어린 영아들도 (아래로 떨어지는 물체는 받침이나 지지가 없으면 공중에 멈추어 있을 수 없다는) 중력에 관한 기본적인 지식을 가지고 있다고 주장하였다. 본 연구에서는 3세 아동부터 대상으로 하여 먼저 Spelke의 실험상황과 비슷하게 농구공과 솜사탕의 사진을 보여 주고 이것을 손으로 잡고 있다가 손을 놓아 떨어뜨리면 어떻게 되겠는가 물어 보았다. 그리고 이어서 여러 가지 후속 질문을 통하여 중력과 이에 관련된 개념인 무게, 공기저

항, 중력가속도 등에 대한 아동의 지식이 연령에 따라 어떤 차이를 보이는지 확인하고자 하였다.

농구공과 솜사탕을 아래로 떨어뜨리면 어떻게 될 것인가에 관한 질문과 이에 대한 반응을 <표 1>에 제시하였다. 표에서 제시된 바와 같이 농구공을 떨어뜨리면 어떻게 될 것인가 하는 질문에는 3세 아동 5명, 5세 아동 1명을 제외한 모든 아동이 농구공은 아래로 떨어질 것이라고 대답했다. 그런데 그 이유를 설명하게 한 질문에서는 뚜렷한 연령차가 나타났다. 즉 9세, 11세 아동은 중력 때문이라는 대답을 많이 한 반면 7세 아동들은 무게 때문이라는 반응이 가장 높은 빈도를 보였고, 그 이하 연령에서는 많은 아동들이 이유를 설명하지 못한 것으로 나타났다. 그리고 나이가 어릴수록 ‘손을 놓았으니까’라는 반응의 빈도가 다른 반응범주의 빈도보다 높은 것을 알 수 있다. 이는 나이 어린 아동들은 지지(support)가 없어지는 지각적 현상이 즉각적으로 사용 가능한 정보이므로 이를 근거로 물체의 움직임을 설명하는 경향이 크다는 것을 보여 주는 결과이다. 그런데 솜사탕에 대한 질문에서는 3세, 5세, 7세 아동 중에는 안 떨어진다는 반응을 보인 아동도 있는 것으로 나타났고 그 이유를 묻는 질문에서는 9세나 11세 아동들도 농구공에 대한 질문과 비교하면 중력 때문이라고 대답하는 빈

<표 2> 중력과 무게의 관계에 관한 질문과 반응

질문	반응범주	연령						χ^2 (5, N=96)
		3세	5세	7세	9세	11세	성인	
모든 물건은 무게가 있나?	있음	3	2	3	6	9	14	27.627**
	무게 없는 물건도 있음	2	8	7	6	4	2	
	모름	2	1	1	0	0	0	
	기타	9	5	5	4	3	0	
무게는 왜 생기나?	중력 때문에	0	0	0	1	1	6	26.740**
	물질 자체의 특성	0	0	0	3	3	3	
	모름	8	8	11	7	7	5	
	기타	8	8	5	5	5	2	

주: 단위는 명, 각 연령집단 n=16. χ^2 통계치는 Kruskal Wallis test에 의한 것임.

* p < .05, ** p < .01.

도가 낮아진다. 이런 결과는 나이 든 아동들의 중력에 대한 이해가 완전하지 못할 뿐 아니라 어린 아동들은 물체가 아래로 떨어진다는 지식조차 모든 상황에서 일관성 있게 사용하지 못함을 의미한다. 이러한 결과는 성인의 경우 농구공이나 솜사탕이 모두 중력 때문에 아래로 떨어진다고 설명하는 것과 대조되는 결과이다.

중력과 무게를 연관시켜 이해할 수 있는지를 알아본 결과가 <표 2>에 제시되어 있다. 표에 제시된 바와 같이 무게가 중력 때문에 생기는 것으로 이해하는 아동은 9세와

11세 아동에서도 소수이며 그보다 어린 연령의 아동들은 무게가 왜 생기는지 전혀 이해하지 못하였다. 그리고 9세 아동 3명과 11세 아동 3명이 무게를 물체 자체가 가지는 고유한 속성이라고 이해하고 있었다. 그런데 이러한 결과는 성인의 경우에도 나타나서 성인 3명도 무게를 물질이 가지는 특성이라고 설명하였다. 그리고 성인의 경우에도 중력 때문이라는 정확한 설명을 하는 빈도가 6명밖에 되지 않는 것으로 나타났다.

무게, 진공상태, 낙하운동간의 관계에 대한 질문과 반응

<표 3> 무게, 진공상태, 낙하운동간의 관계에 대한 질문과 반응

질문	반응범주	연령						χ^2 (5, N=96)
		3세	5세	7세	9세	11세	성인	
농구공과 솜사탕 중 어느 것이 먼저 떨어지나?	농구공	6	12	15	15	16	14	29.066**
	솜사탕	0	1	1	0	0	0	
	같이	6	1	0	1	0	2	
	모름	1	0	0	0	0	0	
왜 농구공이 먼저 떨어지나?	기타(질문 해당 없음 포함)	3	2	0	0	0	0	23.033**
	농구공이 더 무거워서	3	0	6	8	7	11	
	솜사탕이 바람에 날려서	0	5	0	4	4	1	
	농구공안의 공기 때문에	1	0	1	0	0	0	
진공에서는?	모름	1	1	2	1	3	4	30.354**
	같이	3	0	6	8	7	11	
	농구공	0	5	0	4	4	1	
	솜사탕	1	0	1	0	0	0	
	안떨어짐	0	0	2	1	3	4	
	모름	1	1	2	0	2	0	
	기타	11	10	5	3	0	0	

주: 단위는 명, 각 연령집단 n=16. χ^2 통계치는 Kruskal Wallis test에 의한 것임.

* p < .05, ** p < .01.

<표 4> 중력의 원인에 대한 질문과 반응

질문	반응범주	연령					χ^2 (5, N=96)
		3세	5세	7세	9세	11세	
중력은 왜 생기는가?	중력에 대한 이론 언급	0	0	0	0	0	0
	만류인력의 법칙을 언급	0	0	0	0	0	36.534**
	모름	1	2	5	7	5	
기타(질문 해당 없음 포함)		15	14	11	9	11	6

주: 단위는 명, 각 연령집단 n=16. χ^2 통계치는 Kruskal Wallis test에 의한 것임.

* p < .05, ** p < .01.

을 <표 3>에 정리하여 제시하였다. 농구공과 숨사탕을 동시에 떨어뜨리면 어떤 것이 먼저 떨어질까? 라는 질문에 대한 반응을 보면 64명의 아동이 농구공이라고 대답했고 그 이유로는 24명의 아동이 농구공이 더 무겁기 때문이라고 답했다. 중력가속도는 같지만 공기의 저항 때문이라고 대답한 아동은 한 명도 없었다. 그러나 7세, 9세, 11세 아동들은 진공에서는 농구공과 숨사탕이 같이 떨어질 것이라고 대답한 빈도가 다른 빈도 보다 더 높은 것으로 보아 이 연령의 아동들은 공기의 저항과 낙하속도가 어떤 식으로든 관련이 있음을 알고 있음을 시사한다.

이 과제에서 가장 마지막 단계의 질문은 중력이라는 힘이 어떻게 해서 생긴 것인지를 아는지에 관한 것이었다. 그 결과가 <표 4>에 제시되어 있다. 이 질문은 웃 단계에서 자발적으로 중력을 언급했거나 중력의 개념을 사용하여 다른 문제에 대한 답을 했거나 중력을 아는지를 물어 봐서 안다고 대답한 아동만을 대상으로 행해졌다. 위 기준에 의해서 29명의 아동이 이 질문을 받았는데 중력에 관한 이론을 언급한 아동은 한명도 없었다. 모른다는 반응을 보인 아동이 20명 이었고 기타 반응 중에는 책에서 읽은 적이 있지만 내용이 기억 안 난다는 반응과 자기 나름대로 틀린 이론으로 설명한 아동이 11세, 9세 아동 중 각각 한 명씩 있었다. 성인의 경우에는 16명 모두 앞에서 한번 이상 중력을 언급하였으므로 모두 이 질문을 받았다. 그러나 중력에 대한 이론을 언급한 경우는 한 명도 없었고 6명이 지구의 핵에 있는 자성을 지니는 물질 때문에 중력이 생긴다는 설명을 하였다. 이는 중력의 원인을 설명하는 적절한 이론은 아니지만 나름대로 이론을 가지고 설명하는 것으로 보인다.

이 과제에 대한 아동의 반응을 종합하여 평가해 보면 낙하하는 물체의 움직임을 중력과 관련하여 이해하고 여기에 관련되는 지식인 무게, 공기저항까지 정확하게 이해하는 아동이 11세 아동 3명, 9세 아동 2명으로 전체 아동의 6%를 차지했으며 어린 아동일수록 지지의 유무로 낙하운동을 이해하고(전체 아동의 20%) 다른 관련 지식 즉 물

체의 무게와 공기의 저항에 대한 이해는 없는 것으로 나타났다.

과제2. 경사면에서 미끄러지는 물체

경사면에서 미끄러지는 물체의 운동을 이해하기 위해서는 관성, 마찰력, 중력에 대한 지식이 필요하다. 그 중에서도 마찰력에 대한 지식이 가장 직접적으로 관련이 된다. Spelke(1990, 실험7)의 영아들을 대상으로 한 실험에서는 6개월 영아들이 평면을 굽러가던 공이 장애물이 없는 상황에서 갑자기 멈춰서는 것을 불가능한 상황(장애물이 있어서 멈춰서는 상황과 다른 반응을 보이지 않았음)으로 이해한다는 증거를 제시하지 못했다. 즉 6개월 영아들이 관성에 대한 지식을 가지고 있다는 증거를 제시하지 못했다. 반면 Katz 등(1974)은 8개월경의 영아들은 직선궤도를 따라 움직이는 물체는 장애물이 없으면 계속 직선궤도를 유지하면서 움직인다는 것을 이해한다는 것을 보여 줌으로써 (6개월 영아들은 이해하지 못했음) 8개월이 되면 영아들이 관성의 이러한 측면에 대해 초보적인 지식을 가지게 된다고 주장하였다. 이들의 실험은 공통적으로 당구대위에서 행해졌고 마찰력이 전혀 없다는 가정하에서 행해졌는데 실제로는 물체가 수평면이건 경사면이건 운동을 시작하면 마찰력을 받게 된다. 따라서 과제 2에서는 경사면에서 미끄러지는 장난감 자동차를 제시하고 이 물체의 운동에 대한 질문을 통하여 관성, 마찰력, 중력에 대한 아동의 지식이 어떻게 발달해 가는지 알아보기 하였다.

수평면과 경사면에서 물체의 운동에 관한 질문과 반응이 <표 5>에 제시되어 있다. 경사면이 아닌 수평면에 자동차를 두고 아무런 힘을 가지지 않으면 정지해 있는 물체는 계속 정지한 상태를 유지한다는 관성력에 대한 기본적인 지식은 3세 아동 8명, 5세 아동 3명을 제외하고 모든 아동이 가지고 있었다. 그러나 3세 아동의 50%인 8명이 수평면에서 힘을 가지지 않은 장난감 자동차가 움직인다고 대답했는데 이는 의외의 결과였다. 그리고 경사면에서 밀었을 때는 전체 아동의 96%인 77명이 아래로 내려간다고 정

<표 5> 수평면과 경사면에서 자동차의 움직임에 관한 질문과 반응

질문	반응범주	연령						χ^2 (5, N=96)
		3세	5세	7세	9세	11세	성인	
수평면에 가만히 두면 어떻게 되나?	그대로 있음	8	13	16	16	16	15	28.274**
	움직임	8	3	0	0	0	1	
	모름	0	0	0	0	0	0	
	기타	0	0	0	0	0	0	
경사면에 놓고 밀면 어떻게 되나?	내려감	14	15	16	16	16	15	5.098
	기대로 있음	1	0	0	0	0	0	
	내려갈 수도 안 내려 갈 수도	0	0	0	0	0	0	
	모름	1	0	0	0	0	0	
	기타	0	1	0	0	0	1	
왜 그렇게 생각하나?	중력, 마찰력 때문	0	0	0	4	1	15	47.498**
	경사 때문	1	2	8	7	9	1	
	바퀴 때문	7	6	4	2	3	0	
	모름	5	2	1	2	0	0	
	기타	3	6	3	1	3	0	

주: 단위는 명, 각 연령집단 n=16. χ^2 통계치는 Kruskal Wallis test에 의한 것임.

* p < .05, ** p < .01.

확하게 대답하였다. 왜 아래로 내려가는지를 묻는 질문에 만 이 상황에서 작용하는 중력, 마찰력 등의 힘을 언급하시는 뚜렷한 연령차가 관찰되었다. 9세와 11세 아동은 5명 여 설명하였고 다수의 아동들이 지각적으로 경험하는 속

<표 6> 바퀴의 유무, 무게와 자동차의 움직임간의 관계에 대한 질문과 반응

질문	반응범주	연령						χ^2 (5, N=96)
		3세	5세	7세	9세	11세	성인	
바퀴를 빼고 경사면에 두면?	내려갈 수도, 안 내려 갈 수도	0	1	0	5	5	12	36.185**
	내려감	3	6	7	7	9	3	
	안 내려 감	11	8	8	1	1	1	
	모름	1	0	0	0	0	0	
안 내려 간다면 왜 안 내려가나?	기타	1	1	1	3	1	0	33.585**
	중력, 마찰력, 경사각도의 관계	0	0	0	0	0	12	
	위의 요인 중 두 가지	0	0	0	0	0	2	
	위의 요인 중 한 가지	0	0	0	2	1	0	
	바퀴가 없어서	6	7	7	4	2	0	
차를 더 무겁게 (혹은 가볍게) 하면?	모름	0	0	0	2	0	0	8.641
	기타(질문 해당 없음 포함)	10	9	9	8	13	2	
	무겁게 하면 잘 내려 감	3	5	3	5	6	10	
	가볍게 하면 잘 내려감	4	5	7	4	4	2	
무게는 상관없음	무게는 상관없음	3	2	2	1	2	4	8.641
	모름	1	1	2	1	0	0	
	기타	5	3	2	5	4	0	

주: 단위는 명, 각 연령집단 n=16. χ^2 통계치는 Kruskal Wallis test에 의한 것임.

* p < .05, ** p < .01.

표 7. 마찰력에 영향을 미치는 경사면에 관련된 요인에 관한 질문과 반응

질문	반응범주	연령						χ^2 (5, N=96)
		3세	5세	7세	9세	11세	성인	
경사면을 더 미끄럽게 하면?	더 잘 내려감	12	8	14	12	13	16	11.623*
	잘 안 내려감	0	1	0	0	0	0	
	모름	0	2	0	0	0	0	
	기타	4	5	2	4	3	0	
어떻게 하면 경사면을 더 미끄럽게 할 수 있나?	미끄럽게(기름칠, 얼음 등)	5	3	5	7	6	5	39.289**
	편평하게	5	2	2	3	2	2	
	경사각 크게	0	2	1	2	2	4	
	위 2가지	0	3	2	2	2	4	
할 수 있나?	위 3가지	0	0	1	0	1	1	
	모름	2	0	0	0	0	0	
	기타	4	6	5	2	3	0	

주: 단위는 명, 각 연령집단 n=16. χ^2 통계치는 Kruskal Wallis test에 의한 것임.

* p < .05, ** p < .01.

성인 '경사 자체'를 이유로 답하거나(전체 아동의 33%), '바퀴가 있어서'라는 답(전체아동의 27%)을 하였다. 그러나 성인의 경우는 1명만이 경사를 이유로 답했고 나머지는 모두 이 상황에서 작용하는 주요한 힘인 중력과 마찰력을 이유로 설명하였다.

마찰력에 대한 지식을 알아보기 위해 자동차와 관련하여 바퀴는 빼는 경우와 무게를 변화시키는 경우 자동차의 움직임을 예측하게 한 질문과 반응이 <표 6>에 제시되어 있다. 표에 제시된 바와 같이 바퀴가 없는 경우, 내려갈 수도 있고 내려가지 않을 수도 있다고 정확하게 답한 아동이 11명으로 전체 아동의 13%였고 이 중 92%가 9세, 11세 아동이었다. 즉 나이든 아동들은 어린 아동과 달리 바퀴의 유무가 자동차의 움직임에 미치는 영향을 정확하게 알고 있었다. 그러나 그 이유를 설명하게 하면 9세와 11세 아동들도 바퀴의 유무와 중력, 마찰력, 경사각간의 관련성에 대해 이해하지 못하고 있음을 알 수 있다. 대신 많은 수의 어린 아동들, 특히 3세, 5세, 7세 아동들은 '바퀴가 없어서'라는 지각적 특성을 이유로 설명함을 알 수 있었다. 그러나 성인은 14명이 바퀴의 유무와 중력, 마찰력과 같은 힘 간의 관련성을 이유로 설명하고 있다. 그런데 무게의 경우는 연령차가 통계적으로 유의하지 않았다. 즉 무겁게 하면 더 잘 내려간다는 정확한 반응을 한 아동은 22명으로 전체 아동의 27%인데 반하여 가볍게 하면 더 잘 내려간다는 정반대의 답을 한 아동도 24명으로 전체 아동의 30%로 조금 더 많았다. 3세, 5세, 7세 아동 중 16명이 가볍게 하면 더 잘 내려간다는 반응을 하였고 11명은 무겁게 하면 더 잘 내려간다는 반응을 하였다. 그런데 이러한 반응 패턴은 9

세와 11세 아동들에게서는 반응 패턴이 역전이 되기는 하지만 여전히 나타나서 이들 아동 중 8명이 가볍게 하면 더 잘 내려간다고 대답한 반면 이보다 좀 더 많은 11명이 무겁게 하면 더 잘 내려간다고 답하였다. 그리고 성인의 경우에도 가볍게 하면 더 잘 내려간다거나, 무게는 상관이 없다는 반응을 보인 사람이 6명이나 되었다. 이러한 결과는 무게와 중력, 마찰력간의 관계는 아동이나 성인들 모두 정확하게 이해하지 못함을 시사한다.

경사면의 마찰력에 영향을 미치는 요인에 대한 이해를 알아보기 위한 질문에 대한 반응을 <표 7>에 제시하였다. 이 표를 보면 거의 대부분의 아동들이 경사면을 더 미끄럽게 하면 자동차가 더 잘 내려갈 것으로 정확하게 예측함을 알 수 있다. 그리고 많은 아동들이 마찰면의 마찰력을 줄이는 방법을 알고 있지만 (전체 아동의 43%) 경사면을 미끄럽게 하거나 평평하게 하여 마찰력을 줄이는 방법에 비하여 경사의 각도에 대한 이해는 부족함 (각도를 더 가파르게 한다는 반응은 전체 아동의 12%)을 알 수 있다. 또 성인의 경우는 마찰력을 줄이는 한 가지 이상 다양한 방법을 언급한다는 점에서 아동과 차이가 있는 것으로 나타났다.

경사면에서 미끄러지는 물체에 관한 아동의 반응을 종합하여 보면 아동들은 경사면 위에서 움직이는 자동차의 움직임 자체는 정확하게 예측할 수 있지만 이에 영향을 미치는 무게나 이 상황에서 작용하는 힘인 중력과 마찰력, 그리고 그 상호작용에 대해서는, 9세와 11세 아동 각각 1명씩만 제외하고, 정확하게 이해하지 못함을 알 수 있다. 그러나 성인의 경우는 경사면에서 물체가 미끄러져 내려가는 것은 기본적으로 중력과 마찰력간의 상호작용에 의

<표 8> 물에 뜨는 물체와 물체의 무게간의 관계에 대한 질문과 반응

질문	반응범주	연령						χ^2 (5, N=96)
		3세	5세	7세	9세	11세	성인	
이 나무토막이 물에 뜰까?	뜬다	9	9	12	13	15	16	14.723*
	가라앉는다	7	71	4	2	1	0	
	모름	0	0	0	1	0	0	
	기타	0	0	0	0	0	0	
뜬다면 왜 뜨나?	부력 때문에	0	0	0	0	2	4	12.200*
	가벼우니까	0	7	8	8	8	7	
	경험해 보니까	8	0	1	0	0	0	
	모름	6	2	0	1	0	0	
	기타(질문 해당 없음 포함)	2	7	7	7	6	5	
무거운 물체는 가라앉나?	경우에 따라서	0	0	0	2	2	11	37.547**
	가라앉음	10	13	14	14	12	5	
	모름	1	1	1	0	2	0	
	기타	5	2	1	0	0	0	
가라앉는다면 왜 가라앉나?	중력보다 부력이 커서	0	0	0	0	0	9	26.459**
	무게 때문에	0	6	8	8	4	2	
	모름	5	2	3	3	0	1	
	기타	11	8	5	5	12	4	

주: 단위는 명, 각 연령집단 n=16. χ^2 통계치는 Kruskal Wallis test에 의한 것임.

* p < .05, ** p < .01.

해 결정되는 것임을 이해하고 있다는 것을 보여 주었다.

과제3. 물에 뜨는 물체와 가라앉는 물체

물체가 물에 뜨거나 가라앉는 것을 이해하려면 중력과 부력에 대한 지식이 필요하고 부력을 이해하기 위해서는 물체의 밀도, 유체의 성질 등에 대한 지식도 함께 필요하다. 이 과제에서는 작은 나무토막이 육조의 물에 뜰지 가라앉을지를 물어 봄으로써 아동의 물체의 밀도(무게와 부피의 관계에 대한 이해), 부력, 중력에 대한 지식을 알아보았다. Smith 등(1985, 1988)의 연구와 Carey(1991)의 연구에 따르면 6세-12세 아동이 무게와 밀도의 개념을 구분하지 못한다고 한다. 따라서 이 과제에서는 아동이 무게의 개념만으로는 해결할 수 없는 질문을 포함시켜 아동의 무게, 부피에 대한 지식이 어떻게 발달하고 이것이 부력에 대한 지식의 발달과 어떻게 관련되는지 알아보고자 하였다.

조그만 나무 조각을 직접 주고 만져 보게 한 후 이 나무 조각이 물에 뜰 것인지 가라앉을 것인지, 그 이유는 무엇이지에 대한 질문과 아동의 반응이 표 8에 제시되어 있다. 가벼운 나무 조각을 직접 만져 보게 했음에도 불구하고 상당수 어린 아동들이 나무 조각이 가라앉을 것이라고 대답했다. 이는 예상하지 못한 반응이었는데 3세와 5세 아동의 경우는 각각 7명씩이나 나무 조각이 가라앉을 것으로 대

답하였다. 뜬다고 대답한 아동들 대부분은 그 이유를 설명하게 하면 절대적인 무게를 언급하거나 경험해 보아서 안다고 대답하였다. 11세 아동 중 2명만 부력을 이유로 설명했고 성인조차 4명만 부력을 이유로 설명하였다. 무거운 물체의 경우 아동들은 다수가 무조건 가라앉을 것으로 예측함을 알 수 있다. 그리고 그 이유에 대해서도 다수의 아동이 절대적인 무게가 무겁기 때문이라고 설명하고 있다. 그러나 성인의 경우는 9명이 중력과 부력의 관계를 통하여 설명하고 있다.

부력에 대한 지식을 좀 더 알아보기 위해 무거운 배가 어떻게 바다에 뜨는지, 잠수함은 어떻게 움직이는지, 부력이 왜 생기는지를 질문하였다. 이에 대한 아동의 반응이 <표 9>에 제시되어 있다. <표 9>를 보면 배와 잠수함의 경우 공통적으로 많은 아동들이 쉽게 외부로 드러나는 메커니즘이나 엔진이나 프로펠러 등의 기계장치를 언급했다. 배에 관한 질문에서 9세 2명, 11세 3명만 부력과 관련된 설명을 하였다. 그런데 9세 아동 2명과 11세 아동 2명이 '공기가 들어 있어서' 와 '가운데 빈 공간이 있어서' 라는 답을 했는데 이는 밀도의 개념을 어렵잖하게 알고 있는 반응으로 해석할 수 있다. 이 두 가지 이유는 모두 부피를 크게 하여 밀도를 낮추어 부력을 크게 할 수 있는 메커니즘이기 때문이다. 잠수함에 관한 질문에서는 11세 아동 2명

<표 9> 배와 잠수함이 뜨는 이유와 부력의 원인에 대한 질문과 반응

질문	반응범주	연령						χ^2 (5, N=96)
		3세	5세	7세	9세	11세	성인	
무거운 배가 어떻게 물에 뜰까?	부력을 많이 받도록 만들어서 엔진, 프로펠러 등 때문에 공기가 들어 있어서 모름 기타	0 0 0 12 4	0 1 0 7 8	0 3 0 7 6	2 4 2 2 6	1 7 2 1 5	4 1 4 3 4	
잠수함은 어떻게 물속으로, 물위로 뜨기도 하고 가라앉기도 하나?	부력과 중력의 균형 때문에 기계장치로 (원리 모름) 공기, 물 등을 조절해서 모름 기타	0 0 8 6 2	0 7 0 2 7	0 8 1 0 7	0 8 0 1 7	2 8 0 0 6	4 7 0 0 5	27.987**
부력은 어떻게 생기나?	밀어낸 물의 부피만큼 생김 소금물이어서 모름 기타	0 10 1 5	0 13 1 2	0 14 0 1	2 14 0 0	2 12 2 0	11 5 0 0	54.050**

주: 단위는 명, 각 연령집단 n=16. χ^2 통계치는 Kruskal Wallis test에 의한 것임.

* p < .05, ** p < .01.

이 잠수함에서 중력과 부력간의 관계로 잠수함이 물위로 올라오거나 물속으로 내려가는 행동을 설명하였다. 그런데 이 질문에 대한 성인의 반응을 보면 성인 중 4명만이 중력과 부력의 균형을 원인으로 설명하는 것으로 나타나 성인들도 부력에 관해서는 11세 아동과 크게 다르지 않을 만큼 완전한 지식을 가지고 있지 못하다는 것을 보여 주고 있다. 부력의 원인에 대한 설명을 보면 모든 연령의 아동에서 가장 빈도가 높은 반응범주가 '소금물이어서'라는 것을 알 수 있는데 이는 아동들이 부력이 생기는 원리를 이해하기 보다는 소금물인 바닷물에서 배나 잠수함이 운행되는 현상을 부력과 연관시켜 이해하고 있음을 시사한다. 아동들의 이러한 반응과는 대조적으로 성인들은 11명이 부력의 원인을 정확하게 설명하였다.

물에 뜨거나 가라앉는 물체에 대한 아동의 반응을 종합적으로 평가해 보면 9세와 11세 아동 중 일부는(9세 2명, 11세 4명) 부력이나 중력을 언급하기도 하고 상대적인 무게 등의 개념으로 밀도개념의 전조와 같은 지식을 가지고 있는 것처럼 보인다. 그러나 많은 7세 아동들은(8명) 무게를 그 물체가 뜨거나 가라앉는 것을 결정하는 절대적인 특성으로 이해하고 있었고 3세, 5세, 7세 아동들은 대부분이 물체가 뜨고 가라앉는 현상 자체에 대한 이해도 부족하고 이 현상을 설명할 부력이나 중력과 같은 힘에 대한 지식도 전혀 없는 것으로 드러났다. 부력에 관해서는 성인들조차 완전한 지식을 가지고 있지 못한 것으로 보이며 성인들도 물체가 물에 뜨거나 가라앉는 현상을 중력과 부력의 상대

적 크기나 상호작용의 개념으로 설명하는데 어려움이 있는 것으로 밝혀졌다.

논의

이상과 같은 본 연구의 결과를 바탕으로 서론 부분에서 제기한 구체적인 연구 목적에 맞추어 다음 3가지 논점을 중심으로 논의를 전개하고자 한다.

1. 아동들은 어떤 물리지식을 가지고 있나?

본 연구에서 밝혀진 아동들의 물리지식은 다음과 같이 요약될 수 있다. 첫째, 높은 곳에서 떨어지는 물체에 대해 3세에서 11세 사이의 아동들은 모두 물체가 아래로 떨어질 것이라는 정확한 지식을 가지고 있었다. 이러한 결과는 습관화 방법을 사용한 연구에서 영아들이 6개월경부터 물체가 아래로 떨어질 것임을 알고 있다는 선행 연구의 결과(Spelke, 1991)를 언어적 방법을 사용하여 3세 이상의 아동에게서 확인한 것으로 볼 수 있다. 그러나 이러한 운동의 원인이 중력임을 이해하는데 있어서는 연령차가 있었다. 11세 아동 3명, 9세 아동 2명은 중력이 낙하 운동의 원인임을 이해할 뿐 아니라 중력과 무게의 관계, 낙하속도와 공기저항의 관계까지 정확하게 이해하였지만, 연령이 낮아질수록 중력보다는 지지의 유무로 낙하운동을 이해하고 물체의 무게와 공기의 저항과 같은 중력에 관련되는 다른 지식도 없는 것으로 나타났다. 둘째, 경사면에서 미끄러지는 물체에 대해 경사면위에서 움직이는 자동차의 움직임

자체는 모든 연령의 아동들이 정확하게 예측할 수 있었지만 이에 영향을 미치는 무게나 이 상황에서 작용하는 힘인 중력과 마찰력, 그리고 그 상호작용에 대해서는, 9세와 11세 아동 각각 1명씩만 제외하고 정확하게 이해하지 못함을 알 수 있었다. 셋째, 물에 뜨거나 가라앉는 물체에 대해서 어린 아동의 경우는 상당수가 물체가 물에 뜨거나 가라앉는 현상 자체를 이해하는데 어려움이 있었다. 그 원인에 대해서도 9세 아동 2명과 11세 아동 4명만이 부력이나 중력을 언급하였지만 이에 대해 정확한 지식을 가지고 있는 것은 아니었다. 이들은 부력을 이해하기 위해 필요한 개념인 상대적인 무게, 밀도개념의 전조와 같은 지식을 가지고 있는 것처럼 보이지만 부력의 원리를 이해하지는 못하였다. 7세 아동 8명은 물체의 절대적인 무게가 그 물체가 뜨거나 가라앉는 것을 결정하는 특성인 것으로 이해하고 있었다. 3세, 5세, 7세 아동들은 대부분이 물체가 뜨고 가라앉는 현상 자체에 대한 이해가 부족할 뿐 아니라 이 현상을 설명할 부력이나 중력과 같은 힘에 대한 지식도 전혀 없는 것으로 드러났다. 그리고 부력에 관해서는 성인들 조차 완전한 지식을 가지고 있지 못한 것으로 나타났으며 성인들도 물체가 물에 뜨거나 가라앉는 현상을 중력과 부력의 상대적 크기나 상호작용의 개념으로 설명하는데 어려움이 있는 것으로 밝혀졌다.

2. 아동들의 물리지식은 물리이론의 형태인가?

아동들의 물리지식이 이론 이론이 주장하는 바와 같은 이론의 형태인가? 지식이 이론과 같은 형태로 체제화되어 있다는 것은 무엇을 의미하는가? 이 질문에 답하기 위해서 본 연구에서는 이론이 어떤 특성을 가지는지를 먼저 규정한 다음 물리지식이 이러한 특성을 가지는지를 살펴보는 방법을 택하였다.

이론의 가장 기본적인 특성으로 많은 연구자들이 기본적인 준거로 삼는 것이 아동이 지식을 이유를 설명하는데 사용하는지의 여부이다(Wellman & Inagaki, 1997). 어떤 현상에 대한 지식을 가지고 있다는 것은 그 현상과 관련된 사건을 예측하고 판단하는 능력을 통하여 알 수 있다. 그런데 어떤 현상에 관한 예측과 판단은 단일한 특정 지식으로도 가능하지만 이보다 한 걸음 더 나아가 그 원인을 설명할 수 있게 되려면 지식이 이론의 형태로 구조화되어 있어야 된다고 본다(Medin & Atran, 1999). 그러므로 이론적 지식의 가장 기본적인 목표는 원인을 설명하는데 있다. 이런 이유로 본 연구에서도 3세에서 11세 사이의 모든 연령의 아동에게 현상에 대한 기본적인 질문에 있어서 '왜'라는 질문을 함으로써 아동이 가지고 있는 지식이 실제로 원인을 설명하는 인과관계의 기제(causal mechanism)로 사용

되는지 즉 이론의 형태를 갖추고 있는지를 살펴보고자 한 것이다. 위의 결과부분에서 제시된 9개의 표에서 나타난 바와 같이 본 연구의 결과를 보면 대부분의 '왜'라는 질문에 3세 아동과 5세 아동들은 대답을 잘 하지 못한 것으로 나와 있다. 각 과제마다 가장 첫 단계의 쉬운 질문에 대한 '왜'에 대한 답의 경우 3세 아동은 정확한 대답을 하는 경우가 하나도 없었고 앞의 질문에 답은 정확하고 그 다음의 '왜' 질문에 대해서는 이유는 틀리더라도 설명을 시도한 경우조차 하나도 없었다. 5세 아동은 3세 아동보다는 높은 빈도로 '왜'라는 질문에 이유를 설명하지만 7세, 9세, 11세 아동과 비교하면 빈도도 낮고 정확성도 낮았다. 하지만 이러한 결과를 바탕으로 3세나 5세 아동은 나이 든 아동과 비교하여 지식이 이론의 형태가 아니기 때문이라고 결론을 내릴 수는 없다. 3세나 5세 아동은 지식이 이론의 형태로 구조화되어 있지 않아서가 아니라 언어능력의 제약 때문에 자발적으로 설명을 잘 못했을 수 있기 때문이다. 그러나 물리와의 다른 영역 예를 들면 생물과 심리영역에서는 3세와 5세 아동들도 '왜'라는 질문에 자발적으로 대답하는 비율이 7세와 차이가 없을 정도로 높은 것으로 보고된 선행연구(Inagaki & Hatano, 2002; Wellman & Inagaki, 1997)의 결과와 비교하면 본 연구에서 드러난 3세와 5세 아동의 결과는 일반적인 언어능력의 제약이 문제가 된 것이 아니라 물리문제의 '왜' 질문에 답하기 위해서는 일상 생활에서 잘 사용하지 않는 물리학적 용어에 대한 지식이 더 많이 필요하기 때문인 것으로 보인다. 한편 7세 이후 아동들의 물리지식은 이론의 형태로 구조화되어 있음을 시사한다. 이 연령의 아동들은 거의 대부분의 '왜' 질문에 대답을 시도할 뿐만 아니라 비록 틀린 이유라 하더라도 일관되게 그 이유를 적용하여 현상을 설명하는 경향이 뚜렷이 나타났다.

이론이 가지는 또 다른 특성은 추상성(abstractness)이다. 이론이 추상적이라는 것은 인과관계의 기제가 관찰할 수 있는 현상을 넘어서서 현상의 배후에 있는 공통적인 추상적인 원리를 근거로 함을 의미한다. 물체의 움직임을 일으키는 근본적인 기제인 힘의 개념(중력, 마찰력, 부력)을 사용하여 물체의 움직임을 설명한다면 추상적인 구성체(abstract construct)로 물리 현상을 설명하는 것이다. 본 논문의 결과를 보면 물리영역의 3가지 과제에서 공통적으로 드러나는 사실은 아동들의 연령이 어릴수록 추상적인 개념이 아니라 관찰가능한 지각적인 속성을 사용하여 원인을 설명한다는 것이다. 아래로 떨어지는 물체의 경우 3세와 7세 아동들은 이유를 설명하는 경우는 모두 손을 놓아서 (absence of support)라는 이유로 농구공이나 솜사탕이 바닥으로 떨어지는 이유를 설명하였다. 즉 나이 어린 아동

들은 중력이라는 추상적인 힘의 개념으로 물체의 낙하 운동을 설명하지 못하고 지지가 없어지는 지각적 사실을 낙하운동의 원인으로 이해하고 있다는 것이다. 미끄러지는 물체의 경우도 3세, 5세, 7세의 아동들은 중력이나 마찰력과 같은 경사면에 작용하는 힘의 개념을 사용하여 물체의 운동을 설명하지 못하고 지각 가능한 속성인 경사나 물체에 달려 있는 바퀴의 존재를 경사면에서 미끄러지는 물체의 운동 원인으로 설명하였다. 물체의 부침에 관해서도 어린 아동들은 물체의 관찰 가능한 여러 가지 특성(예를 들면 나무 조각은 표면이 거칠어서 뜬다, 배는 엔진이나 프로펠러가 있어서 뜬다) 때문에 물체가 가라앉기도 하고 뜨기도 하는 것으로 설명하였다. 이에 비하여 9세와 11세 아동들은 소수이기는 하지만 일부의 아동들이 물체의 운동 원인을 힘의 개념을 사용하여 이해함을 보여 주고 있다. 낙하운동의 경우 중력을 운동의 원인으로 설명하는 아동이 9세는 31%, 11세는 38%였다. 경사면에서의 움직임에 대해서는 9세 아동의 25%와 11세 아동의 6%가 중력과 마찰력을 원인으로 설명하였고 물에서 물체의 움직임에 대해서도 9세 아동의 경우에는 한 명도 없었지만 11세 아동의 12%가 부력을 원인으로 설명하였다. 이러한 결과는 아동의 물리지식은 9세에서 11세경이 되면 관찰 가능한 것을 넘어서서 추상적인 구성체 즉 힘을 인과기제로 하는 이론으로 발달해 간다는 것을 시사한다고 하겠다. 3세, 5세 아동과 비교하여 7세, 9세, 11세 아동들은 ‘왜’ 질문에 대답을 하는 빈도가 증가하고 그 정확성도 증가한다. 그러나 이들의 대답 내용을 분석해 보면 위에서도 지적한 바와 같이 많은 경우에 지각적으로 관찰 가능한 현상을 이유로 설명하는 것을 볼 수 있었다. 이러한 결과는 아동의 지식이 진정한 이론의 형태로 존재하는 것으로 볼 수 없는 결과이다. 하지만 이 문제에 관해서도 역시 이 같은 결과만으로 아동들의 물리지식이 추상성을 가진 이론의 형태가 아니라고 결론 내릴 수는 없다. 왜냐하면 성인의 경우에 분명한 이론을 가지고 있는 현상을 설명할 때도 시간이 촉박하거나 지각적 현상이 너무 현저하게 주의를 끌게 되는 상황에서는 지각적으로 관찰 가능한 정보를 가지고 자신의 이론에 반하는 판단을 하기도 한다는 많은 인지심리학 연구 결과들이 있기 때문이다(Medin & Atran, 1999).

이론이 가지는 또 다른 특성은 응집성(coherence)이다. 이론이 응집성을 가진다는 것은 관련된 개념들이 밀접하게 서로 연결되어 있는 것을 말한다. 예를 들면 Backsheider(1993)는 4세 아동들에게 어떤 대상이 생물적인 특성을 가진다고 말해 주면 다른 생물적인 특성을 추론해내고 비생물적인 특성을 가진다고 말해 주면 다른 비생물적인 특성을 추론해 내는 것을 보여 주었는데 이것은 생물

에 관련된 지식이 서로 응집력 있게 존재하고 있어서 하나의 특성을 알면 관련 다른 특성이 쉽게 추론되는 것이라고 주장하였다. 아동의 물리지식이 응집성 있는 지식인지 알아보기 위하여 중력과 관련하여 무게, 공기의 저항, 경사면의 기울기와 마찰력에 대한 이해결과를 살펴보면 아동들은 연령이 증가할수록 중력과 무게, 공기저항, 마찰력 등을 중력과 관련하여 이해하는 것이 조금씩 증가하기는 하지만 11세 아동들도 이러한 개념들을 중력과 관련하여 이해하는 데는 어려움이 있음을 알 수 있다. 그러나 아동들의 이러한 개념에 대한 단편적인 이해는 이와는 다른 결과를 보였다. 예를 들면 3세 아동들은 마찰력이 중력과 어떻게 관련되는지 모르고 마찰력이 물체의 운동에 어떻게 영향을 미치는지 설명하지는 못하지만 어떻게 하면 마찰력을 줄여 장난감 차가 경사면을 더 잘 미끄러지게 할 수 있는지를 물어 보면 81%가 그 방법(얼음을 얼린다, 기름칠을 한다 등)을 하나 이상 알고 있었다. 이 같은 결과는 본 연구 결과만을 보면 3세와 5세(7세 까지도 어느 정도) 아동의 물리지식은 응집성 있는 이론의 형태로 보기 어려우며 연령이 증가하면서 점차 응집력이 있는 이론으로 아동의 물리이론이 발달해 감을 시사한다.

3. 물리지식은 어떻게 발달하나?

본 연구의 결과로 보면 3세에서 11세 사이 아동들의 물리지식에 연령차가 존재하는 것은 분명하다. 지식의 종류뿐만 아니라 이론으로서의 특성 측면에서도 연령차가 존재함을 알 수 있다. 그런데 이러한 연령에 따른 변화가 과연 이론 이론에서 제안하고 있는 것처럼 3세 아동들도 이론의 형태로 물리지식을 가지고 있으며 이 이론이 연령의 증가와 함께 변하는 이론변화의 형태인지는 아직 분명히 않다. 이를 위해서는 먼저 3세 아동들의 지식이 이론의 형태인지를 명확하게 밝힐 필요가 있는데 위에서 논의한 것처럼 이 점이 아직 분명하지 않기 때문이다. 그러나 연령차에서 드러나는 한 가지 분명한 패턴은 아동의 물리지식은 아동의 연령이 증가할수록 이론적 특성이 더 강화되는 방향으로 변화한다는 것이다. 다시 말하면 어린 아동의 물리지식보다 나이든 아동의 물리지식은 더 일관성 있게 인과기제로 사용되고, 더 추상적이고 더 응집력 있는 물리이론으로 변해간다는 것이다.

하지만 실제로 어떤 과정을 통하여 아동의 물리이론이 이렇게 변화해 가는지는 본 연구에서처럼 아동의 물리지식을 조사하는 방법으로는 밝힐 수 없다는 한계가 있다. 심리영역에 대해서는 마음이론이라는 주제하에 많은 연구들이 축적되어 있고 생물영역에서도 최근 들어 3세 이후의 아동들을 대상으로 언어적인 방법을 사용한 많은 연

구가 이루어지고 있지만 이와는 대조적으로 물리영역에서는 영아들의 물리지식 연구를 제외하고 아동들을 대상으로 물리지식을 연구한 것이 현재까지는 없기 때문에 본 연구는 영아기 이후의 물리지식의 발달을 연구하는 첫 단계로 조사방법을 택하였다. 그러나 이러한 방법은 연령에 따라 어떤 변화가 일어나는지는 볼 수 있지만 변화가 어떤 과정을 통하여 일어나는지를 밝히기는 적절하지 못하였다. 지식의 발달과정을 연구한 이론 이론에서는 새로운 지식의 습득이 현재의 이론에 변화를 일으키는 방법을 크게 두 유형으로 나누고 있다(Inagaki & Hatano, 2002). 한 가지 방법은 개별 지식의 진리값(truth-value) 변화의 확산이다. 새로운 지식이 입력되어 기준에 있던 지식의 진리값이 달라지면 다른 연관된 지식의 진리값도 변화하게 만들고 결국 지식체계 전체에 근본적인 변화가 생기게 된다. 다른 유형의 방법은 의도적인 이론개정이다(deliberate theory revision). 새로운 지식의 입력에 의해 초래된 기준 이론체계의 비일관성을 인식하게 되면 이를 제거하고 이론을 다시 체계적으로 만들기 위해 심사숙고한 후 의식적으로 이론체계를 수정하는 것이다. 이 두 유형의 이론변화에서 모두 지식의 축척은 필요조건이 된다. 아동이 실제로 이러한 방법을 통하여 이론을 수정해 가는지를 알아보려면 조사연구가 아닌 새로운 지식을 접적 입력하는 방법으로 지식 자체를 조작하는 실험연구가 필요하다.

결론적으로 본 연구의 결과는 3세 아동은 아니지만 5세 아동의 경우에는 자신의 물리지식을 ‘왜’라는 질문에 대답하는데 사용하는 것으로 보아 이 연령의 아동들의 물리지식은 이론의 형태로 체계화되어 있음을 시사한다. 그러나 이러한 결과는 아주 초보적인 수준에서만 사실일 뿐 다른 한편으로 보면 11세 아동들조차도 모든 ‘왜’ 질문에 정확한 반응을 한 것은 아니었다. 더구나 응집성과 추상성 측면에서 보면 9세와 11세 아동들도 다수가 이론의 응집성이 부족하고 여전히 지각적 속성을 인과기제로 사용하는 등 추상적인 구성체로 현상을 설명하지도 못하였다. 인과기제, 응집성, 추상성 등은 Gelman(1997)이 제시한 바에 따르면 초보적(naive) 이론의 기준임에도 불구하고 아동들은 이러한 기준에 완전히 부합하는 형태의 이론을 가지고 있지는 못한 것으로 밝혀졌다. 더구나 본 연구에서 포함하고 있는 7세, 9세, 11세 아동들은 학교에서 과학적 물리지식을 교육받는 연령집단이다. 그러므로 이 연령의 아동들의 이론은 과학적 이론의 영향을 받았을 것으로 볼 수 있을 것이다. 그러나 아동들의 물리이론이 언제 초보적 이론에서 과학적 이론으로의 변화가 일어나는지, 나이든 아동들의 이론이 과학적 이론의 어떤 특성을 포함하고 있는지 등은 본 연구에서 사용한 과제나 방법이 이러한 문제를 밝히

기에는 적절하지 못하였던 것으로 보인다. 그러므로 본 연구에서 밝혀진 바와 같은 어린 아동들이 가지고 있는 이론이 어떤 형태의 이론인지 그 특성이 무엇인지는 다양한 방법을 사용한 후속 연구에서 좀 더 세밀하게 밝혀져야 할 문제이다. 그리고 이와 더불어 아동의 연령 증가와 함께 새로운 지식이 습득되면서 이러한 이론이 언제, 어떻게 더 정교한 형태의 이론으로 변화해 가는지를 밝히기 위해서 앞으로 더 다양한 방법과 과제를 사용한 많은 연구가 필요하다.

참고문헌

- Backscheider, A. (1993). Preschooler's understanding of living kinds. Unpublished doctoral dissertation. University of Michigan.
- Baillargeon, R. (1986). Representing the existence and location of hidden objects: Object permanence in 6- and 8-month-old infants. *Cognition*, 23, 21-41.
- Baillargeon, R. (1987). Object Permanence in 3.5- and 4.5-month-old infants. *Developmental Psychology*, 23, 665-664. infants. *Cognition*, 20, 191-208.
- Baillargeon, R. (1991). Reasoning about the height and location of hidden object in 4.5- and 6.5-month-old infants. *Cognition*, 38, 13-42.
- Carey, S. (1991). Knowledge acquisition: Enrichment or conceptual change? In S. Carey & R. Gelman (Eds.), *The epigenesis of mind*. New Jersey: Lawrence Erlbaum.
- De Vreis, R. (1987). Children's conceptions of shadow phenomena. *Genetic Psychology Monographs*, 112, 470-530.
- Gelman, S. (1997). *Concepts and theories*. In R. Gelman & T. Au (Eds.), *Perceptual and cognitive development* (pp.117-142). Academic Press.
- Gopnik, A. & Meltzoff, A. N. (1997). *Words, thoughts, and theories*. Cambridge: MIT Press.
- Inagaki, K. & Hatano, G. (2002). *Young children's naive thinking about the biological world*. New York: Psychology Press.
- Katz, N., Baker, E., & Macnamara, J. (1974). "What's in a name" A study of how children learn common and proper names. *Child Development*, 45, 469-473.
- Medin, D. L. & Atran, S. (1999). Introduction. In D. L. Medin & S Atran (Eds.), *Folkbiology*. Cambridge MA: MIT Press.

- Piaget, J. (1953). *The psychology of intelligence*. New York
Harcourt Brace.
- Povinelli, D. J. (2003). *Folk physics for apes*. Oxford University
Press.
- Smith, C., Carey, S., & Wiser, M. (1985). On differentiation:
A case study of the development of the concept of
size, weight, and density. *Cognition*, 21, 177-237.
- Smith, C., Snir, Y., Grosslight, L., & Unger, C. (1988). Using
conceptual models to facilitate conceptual change:
Weight and density. Cambridge MA: Harvard
University Press.
- Spelke, E. (1990). Principles of object perception. *Cognitive
Science*, 14, 29-56.
- Spelke, E. (1991). Physical knowledge in infancy. In S. Carey
& R. Gelman (Eds.), *The epigenesis of mind*. New Jersey:
Lawrence Erlbaum.
- Spelke, E. (1994). Initial knlwedge: Six suggestions. *Cognition*,
50, 431-445.
- Vosniadou, S. & Brewer, W. F. (1992). Mental models of the
earth: A study of conceptual change in childhood.
Cognitive Psychology, 24, 535-585.
- Wellman, H., & Inagaki, K. (1997). Editor's note. In H.
Wellman & K. Inagaki (Eds.), *The emergence of core
domains of thought: The children's reasoning about
physical, psychological, and biological phenomena*.
Jossey-Bass Publishers.

접 수	2004년 11월 01일
게재승인	2004년 12월 01일

부록

부록 1. 높은 곳에서 떨어지는 물체과제에서 실험자와 아동의 반응 사례(아동의 연령은 11세)

실험자

아동

여기 농구공 사진이 있지. 선생님이 이 농구공을 손으로 잡고 있다
가 잡고 있던 손을 놓으면 이 공은 어떻게 되겠니?

떨어져요

왜?

왜냐하면 중력이 끌어 당겨요.

중력이 뭔지 알아?

그러니까, 사과가 사과나무에서 떨어진 것처럼, 태양이 지구를
도는 것처럼, 태양의 중력이 강한 것처럼, 중력은 서로 끌어당
기는 힘이에요

농구공도 중력작용으로 떨어진거야?

예

이건 솜사탕이야. 솜사탕을 손으로 잡고 있다가 손을 놓으면 솜
사탕은 어떻게 될까?

좀 천천히 떨어져요

왜?

가벼워서 공기가 받쳐주어요.

가벼운 물건은 공기가 받쳐 주는 거야?

아니오. 떨어질 때만 그렇고. 예를 들어, 종이 같은 것도 떨어지
는 게 늦게 떨어져요

무게가 없는 물건은 없는 거니?

공기가 무게가 있듯이, 모든 것은 조금이라도 무게가 있어요.

그리면 무게라는 것은 왜 있게 되는 건데?

몰라요

그려면 농구공하고 솜사탕을 양손에 하나씩 들고 있다가 동시에
에 떨어뜨리면, 어느 것이 먼저 떨어져?

농구공

농구공은 공기보다 무거우니까 떨어지면 바로 떨어지는데요.
솜사탕은 공기보다 가벼우니까, 공기가 받쳐줘서 떨어지는데
좀 시간이 걸려요

진공에서는 둘을 동시에 떨어뜨리면 어떻게 되겠니? 우주가 아
닌 지구상에서 공기를 없애고 떨어뜨리면?

같이 떨어진다

왜 그렇지?

조건이 달라졌어요. 공기가 없으니까, 솜사탕을 받쳐주는 힘이
없으니까, 같은 중력을 받게 되요. 그러니까 옛날에 갈리레이
실험에서 옛날 사람들은 무거울수록 더 빨리 떨어지는 줄 알았
는데, 실험을 통해서 무게가 달라도 같이 떨어지는 것을 믿게
되었어요.

중력은 왜 생기지?

몰라요

부록 2. 코딩시스템의 예

물 2-1 여기 농구공 사진이 있지? 선생님이 이 농구공을 손으로 잡고 있다가 잡고 있던 손을 놓으면 이 공은 어떻게 되겠니?

L1-11:

1. 아래로 떨어짐
2. 안 떨어짐, 혹은 안 떨어 질 수도 있음
3. 모르겠음
4. 기타

-왜?

L1-11w:

1. 중력 때문에
2. 무거워서
3. 모든 물건은 떨어지게 되어 있으니까, 그러나 그 이유는 설명 못함
4. 손을 놓았으니까
5. 모름
6. 기타

물 2-2 이 사진에 있는 이것은 솜사탕이야. 솜사탕은 아주 가벼워. 이번에는 내가 아주 가벼운 솜사탕을 손으로 잡고 있다가 잡고 있던 손을 놓으면 솜사탕은 어떻게 될까? 바닥에 떨어지겠니?

L1-12:

1. 아래로 떨어짐
2. 안 떨어 짐, 안 떨어 질 수도 있음(계속 떠다님)
3. 모름
4. 기타

-가벼운 솜사탕은 왜 떨어지는데?

L1-12w:

1. 중력 때문에
2. 가벼워도 무게는 있으니까, 무게가 있는 물건은 모두 떨어짐
3. 모든 물건은 떨어지게 되어 있으니까. 이유는 설명 못함
4. 손을 놓았으니까, 이유는 설명 못함, 혹은 경험적으로 설명
5. 모름
6. 기타