

대학생의 밀도 이해*

장 유 경

성균관대학교 강사

밀도는 단위 부피 당 포함되는 물질의 질량으로서, 단위 부피 속에 포함되는 분자들의 무게, 혹은 수로 결정된다. 그러나, 또한 각 “물질의 무게”로 직관적인 수준에서 쉽게 이해 되는 개념이기도 하다. 본 연구에서는, 대학생들이 얼음과 물의 밀도 변화에 대한 이해를 살펴보았다. 대학생들에게 얼음이 물이 되어 녹을 때의 무게 보존과 부피의 변화, 물과 얼음의 밀도 차이에 대해 예언하고 그를 설명하도록 했다. 그 결과 반수 이상의 대학생들은 물의 밀도가 얼음의 밀도 보다 높음을 알지 못했다. 학생들의 설명은 그들이 밀도를 이해 하는데 있어, 과학적 수준에서 “단위 부피 당의 분자들의 수”로 무게와 부피의 관계 속에서 이해하기 보다는 “딱딱한,” “단단함,” “물질의 무게” 등으로 직관적인 수준에서 이해하고 있음을 시사한다. 밀도에 대한 직관적 이해의 발달적 근원과 과학교육을 위한 시사점이 논의 되었다.

최근 몇 년 동안 인지 발달 특히 개념 발달의 연구들은 초기의 인지 발달이 영역 특수적인 (domain-specific) 제한성(constraints)에 의해 인 도되고 있다고 주장한다 (Carey, 1991; Carey & Spelke, 1994; Keil, 1991; Gelman, 1991; Markman, 1992). 제한성이란 각 영역에 존재하며 아동으로 하여금 무수한 자극들 중에서 그 영역에 관계되는 자극들에 주의를 기울이도록 돕는 경향이다. 제한성에 의해 무수한 시행착오가 없이도 각 영역 별로 그 영역에 특수한 초기의 원칙들이 생성되며, 이들은 후속의 학습이 신속하고도 정확하게 일어나도록 돕는다 (Gelman, 1990, Keil, 1991).

초기의 학습을 인도하는 제한성의 존재에 대한 증거는 3-4 세 아동의 생물/무생물에 대한 이해 (Carey, 1985; Gelman, 1990), 수 개념 (Gelman, 1991; Gelman & Gallistel, 1978), 물질/비물질의 이해 (Smith, Carey, & Wisner, 1985), 단어 획득 (Au, Dapretto, & Song, 1994; Heibeck & Markman, 1987) 뿐 아니라, 유아의 물체에 대한 이해 (Baillargeon, 1991; Spelke, 1990), 동물 연구 (Marler, 1991) 등의 다양한 연구들에 의해서 지지되고 있다.

그러나 “제한성”은 언제나 학습에 긍정적인 방향으로만 작용하는 것은 아니다. 제한성이 반대로 후기의 학습을 방해하는 경우도 있다.

1) * 이 논문은 저자가 University of California, Los Angeles에 낸 박사학위 청구논문의 일부입니다.

Gelman (1991)에 의하면 발달의 초기에 존재하여, 아동의 수 개념 발달을 돕는 수 세기(counting)의 원칙들은 자연수 개념의 획득을 돕지만, 분수 또는 영(0)의 개념의 이해를 방해한다.

특히 과학의 분야에서는 발달 초기의 제한성에 의해, 정규 과학 교육을 받지 않고도 자발적으로 획득되는 개념들이 일반적으로 과학자들이 제공하는 “과학적” 설명과는 일치하지 않는 경우가 많다. 또한, 이러한 발달 초기의 자생적인 사고들은 변화에 대한 저항이 무척 커서 수년간의 교육을 통해서도 쉽게 변화되지 않는 특징이 있다 (Carey, 1985; Driver & Easley, 1978; McCloskey, 1983; Vosniadou & Brewer, 1992).

인지 과학 분야에서는 학생들이 정규 과학 교육을 받기 전부터 혹은 교육을 받고 난 뒤에도 변화하지 않고 존재하는 과학 현상에 대한 개념들이 “비과학적”인 점에 착안하여, 이들을 “직관적 이론들(intuitive theories)” (McCloskey & Kargon, 1988)이라는 이름 하에 연구해 왔다. 초기의 개념들이 “비과학적” 혹은 “직관적”이라는 점에서는 대체로 이견이 없지만 (Vosniadou & Brewer, 1992), 이들이 일관적이며, “이론”의 형태를 갖추고 있는지, 혹은 “단편적”인지에 대해서는 아직 논의가 계속되고 있다(diSessa, 1988; McCloskey, 1983). 본 연구에서는, 이러한 발달 초기의 개념들이 정규 교육이 없이도 일상의 자연 현상들을 설명하려는 자발적인 시도에 의해 생기고, 무엇보다도 발달적인 근원이 있음을 강조하기 위해 “직관적” 준의 이해로 부르기로 한다.

학생들이 과학 개념에 대해 갖고 있는 직관적인 이해는 특히 물리학 분야의 개념들에 대해 많이 연구되어 왔다. 예를 들어, 빛 (Watts, 1985), 힘 (Lamstap & Wilkening, 1991), 중력 (Guns-tone & White, 1981), 열 (Erickson, 1980), 운동 (McCloskey, 1983) 등의 연구들이 있다. 이상의

연구들은 비교적 복잡하고 어려운 과학 개념들 (예, Newton의 역학)에 대해 고등학생 혹은 대학생들이 수업 전 또는 심지어 1학기 동안 수업을 받고 난 후에도 그들이 수업 받기 전부터 가지고 있던 직관적인 이해에 변화가 없음을 보여주었다.

본 연구에서는, “밀도”의 개념을 대상으로 수년간의 과학교육을 받은 대학생들이 밀도와 밀도가 관련된 현상들을 어떻게 이해하는지 연구하였다.

밀도는 단위 부피 당 포함되는 물질의 질량으로 정의된다. 여기서 “부피”는 물질이 차지하는 공간의 양을 말하며, “질량”은 어떤 물체에 포함되어 있는 물질의 양을 말한다. 모든 지구상의 물체들의 “무게”는 그 물체의 질량에 비례하고, 성인들조차 “질량”의 개념을 정확히 이해하지 못하는 경우가 있으므로 (Ueno, Arimito, & Yoshioka, 1991), 많은 경우 “질량”이라는 용어 대신 “무게”가 사용되기도 한다. 본 연구에서도 “질량” 대신 “무게”로 사용하였다.

본 연구에서 밀도의 개념을 선택한 이유는 밀도가 선행의 연구들이 다루었던 과학 개념 (예, 빛, 열, 힘, 운동 등)과는 달리, 과학교육의 과정 중 비교적 초기 (미국의 경우 국민학교 3학년)에 소개되는 개념이기 때문이다. 또한, 밀도의 이해에 대해서 중고등학생들 뿐 아니라 학령 전 아동에 이르기까지 다양한 연구들이 있다.

최근에는 학령 전 아동들의 밀도 이해에 대한 연구들이 보고되었다 (Kohn, 1993; Singer, 1992, Song, 1994). Song은 “물질의 특성”으로서의 밀도 이해를 연구하여, 4-5세의 아동들도 “물질의 무게”로서의 밀도의 개념을 갖고 있음을 보여주었다. 예를 들어, 아동들은 진흙과 쇠로 만들어진 두 공의 무게를 예상할 때, 두 공의 부피뿐 아니라 진흙과 쇠의 밀도 (즉, 일정 부피의 진흙과 쇠의 무게)를 고려하였다.

다시 말하면, 학령 전 아동들은 “밀도”라는 용

어는 물론이고, 밀도와 무게, 부피의 관계를 의현적인 언어로 표현하지 못하지만, 직관적인 수준에서 “물질의 무게”로서 밀도를 이해하고 있다. 이들은 “쇠는 더 단단하기 때문에” 혹은 “쇠 공간에는 쇠가 더 많이 들어 있기 때문에” 등의 표현으로 쇠의 밀도가 더 높음을 나타낸다. 이외에도 “뽁뽁함”, “단단함” 등의 개념으로 직관적인 수준에서 밀도를 이해하고 있었다.

학령 전 아동의 직관적 밀도 이해에 대한 연구와는 달리, 중고등학생들의 밀도 이해에 대한 선행의 연구들이 비교적 많이 있다 (Piaget & Inhelder, 1974; Strauss, Globerson, & Mintz, 1983; Smith, Carey, & Wiser, 1985; Smith, Snir, Grosslight, 1992). 이 연구들의 결과는 중고등학생들에게 있어서도 밀도의 어떤 측면은 이해가 쉽지 않음을 보여 준다. 예를 들어, 밀도가 더 이상 물질의 특성으로 간주될 수 없는 경우가 있다. 동일한 물질 내에서도 무게나 부피가 변화하면 밀도가 변화하기 때문이다. 쉬운 예로, 옥수수알이 팝콘이 되는 경우를 생각하여 보자. 옥수수알의 무게는 그대로 보존되지만, 옥수수알 속의 분자들은 가열시 분자간의 거리가 넓어지게 된다. 따라서, 부피는 커지고 밀도는 작아지게 된다.

Piaget와 Inhelder (1974)는 학생들이 위에 설명한 것과 같은 열팽창에 의한 밀도의 변화를 잘 이해하지 못하는 것은 형식적 조작 능력이 결여되어 있기 때문이라고 설명했다. 그러나, 前述한 최근의 학령 전 아동의 밀도 이해에 대한 연구 결과들과 과학 개념들에 대한 직관적 이해의 연구 결과들을 종합하여 볼 때, 이와는 다른 설명들이 가능하다고 본다.

한 가지 가능성은 발달 초기에, 밀도를 서로 다른 “물질들의 무게”로 이해하는 밀도에 대한 직관적 수준의 이해가 중고등학생이 되었을 때까지 영향을 미쳐 동일 물질 내의 밀도 변화에 대한 이해를 방해하는 것이다. 科學史를 살펴 볼

때도, 밀도를 물질들의 특성으로 간주하던 Galileo의 시대로부터 분자들 간의 거리와 분자들의 질량을 고려하여 동일 물질 내에서 밀도를 측정할 수 있게 되기까지는 오랜 시간 동안의 밀도에 대한 개념의 변화 (Carey, 1991)과 현미경의 발견, 분자, 미립자의 발견 등이 필요하였다.

두 번째의 가능성은 밀도의 변화를 이해하기 위하여 필요한 특정 지식의 결핍을 들 수 있다. Piaget와 Inhelder (1974)는 문제가 속하는 영역의 내용과는 비교적 “독립적인”, 사고의 조작(operation)이 가능한가에 의해 인지의 단계를 나누었으며, 특정 내용의 지식의 역할을 간과하였다. 그러나, 열팽창의 경우, 입자의 운동에 대한 이해(예, kinetic molecular theory)가 없이는 무게의 보존과 부피의 팽창을 이해할 수 없으며 따라서 밀도의 변화도 이해될 수 없다. 이는 문제 영역의 특정 지식의 이해가 과학 개념의 이해에 필요함을 말해 준다. 실제로 입자들 사이에 빈 공간이 존재하고 입자들은 항상 진동하고 있다는 사실은 이에 대해 배운 뒤에도 오랫동안 학생들에게 쉽게 이해되지 않는 개념 중의 하나였다 (Novick & Nussbaum, 1981; Lee, Eichinger, Anderson, Berkheimer, & Blakeslee, 1990).

본 연구에서는 밀도의 개념을 대상으로 이러한 가능성을 알아보았다. 구체적으로는 얼음이 녹아서 물이 되는 과정에서 일어나는 밀도의 변화를 대학생들이 어떻게 이해하고 있는지 알아보고자 하였다. 또한 대학생들은 밀도의 변화를 이해하기 위한 과학적 지식들을 갖추고 있는가를 알아보기 위해, 밀도 뿐 아니라, 부피, 무게의 변화에 대해서도 예언하고 그 이유를 설명하도록 하였다.

방법 및 절차

피험자. 로스앤젤레스 소재 캘리포니아 대학

(UCLA)에 재학 중이며 심리학 개론을 수강한 대학생 120명이 본 연구에 참가하였다. 이들 중 63명은 이과 계통을 전공하고 있었고(공과대 또는 자연대), 40명은 인문계 계통(인문, 사회, 예술계)을 전공하고 있었다. 나머지 17명은 아직 전공을 선택하지 않은 상태였다. 이들 중 107명이 고등학교에서 화학 과목을 수강했으며, 물리와 생물은 각각 82명, 95명이 수강한 적이 있었다. 9명을 제외한 모든 학생들이 고등학교에서 적어도 과학을 1 과목 이상 수강하였다.

재료와 절차. 고등학생들을 대상으로 한 예비 조사를 통해 검사지의 항목이 결정되었다. 검사지는 '얼음', '얼음과 물'의 2부분으로 구성되어 있었다. '얼음'부분에서는, 컵 안에 큰 얼음이 그려져 있었고, '얼음과 물' 부분에서는, 컵 안에 물이 담겨 있고 그 물에 얼음이 떠 있는 그림이 제시되었다. 그러나 후자의 경우 얼음의 얼마만큼이 물 안에 잠겨 있는지는 분명치 않게 그려져 있었다. 학생들은 얼음이 녹아서 물이 될 때의 무게, 부피, 밀도의 변화에 대해 예언하고 그 이유를 적도록 지시 받았다(부록 1).

'얼음과 물'의 부분에서도 동일한 질문들이 주어졌는데, '얼음과 물'의 무게 질문의 경우 물과 얼음의 무게를 함께 고려해야 한다는 점이 달랐다. 그러나, 부피의 경우, 두 부분에서 각각 조사하고자 하는 개념이 달랐다. '얼음'의 부피 질문에 대해서는, 얼음이 녹을 때 그 부피가 줄어든다는 것을 알아야 했다. 그러나 '얼음과 물'의 경우에는 얼음이 녹을 때 부피가 줄어든다는 사실뿐 아니라 어느 정도로 줄어든지도 알아야만 했다. 또한 얼음과 물의 밀도 차이로 인해, 얼음이 물에 뜰 때 얼음의 부피의 90%는 물 밀도가 가라앉아 있다는 사실을 알아야 했다(물의 전위).

60명의 피험자들은 '얼음'부분의 질문을 먼저

제시받았고, 나머지 60명은 '얼음과 물'에 관한 질문을 먼저 제시받았다. 각 검사지 안에서, 부피, 무게, 밀도 질문의 순서는 고정되었는데, 이는 학생들이 밀도에 대하여 대답할 때, 부피와 무게를 고려하기 쉽게 하기 위함이었다.

결과 및 논의

본 연구에서는 얼음이 물로 변화할 때의 밀도의 변화를 학생들이 과학적 수준에서 이해하고 있는가를 알아보았다. 또한, 이 때 일어나는 부피의 변화, 무게의 보존에 대한 지식이 있는지도 질문하였다. 그 결과를 보면, 놀랍게도 많은 대학생들이 물이 얼음 보다 밀도가 높다는 것을 알지 못했다. 일부 학생들은 무게가 그대로 보존된다는 것과 부피가 늘어난다는 것을 알지 못했다. 그러나 이상의 두 가지 사실을 아는 경우에도, 밀도에 대해 정확한 답을 하지 못하는 경우도 있었다. 그 학생들은 오히려 얼음과 물의 밀도는 같거나 얼음이 물 보다 밀도가 높다고 대답했다.

'얼음'을 먼저 제시한 경우와 '얼음과 물'을 먼저 제시한 경우 순서에 따른 효과가 없었으므로, 결과 분석에서는 이 두 가지 제시 순서를 통합하여 분석하였다. '얼음', '얼음과 물'의 두 문제 상황에서 무게와 밀도의 질문은 각각 무게의 보존과 밀도의 변화에 대한 이해를 측정하고자 한데 비해 부피 질문은 각각 부피와 물의 전위에 대한 이해를 알아보려고 하였다. 따라서, 결과 분석에는 '얼음'문제에서 무게, 부피, 밀도 질문에 대한 피험자들의 반응을 각각 제시하고, 세 질문 모두에 대한 반응 유형을 제시했다. 다음으로, '얼음과 물'의 문제에서 부피 질문에 대한 반응을 제시하고, 마지막으로, '얼음'문제와 '얼음과 물'의 문제에 대한 반응의 일치 정도를 보고하였다. 각 질문에 답한 피험자의 수가 동일하지 않으므로

결과는 각 질문에 답한 피험자의 수에 기초하였다.

무게 보존. 성인의 무게 보존에 대한 선행연구 (Protinsky & Hughston, 1980; Hobbs, 1975)의 결과와 일치하게, 다수의 학생들 (77%)이 얼음이 물로 변화할 때, 무게는 변하지 않는다고 정반응을 보였다 (우연수준 이상, Binomial test, $p < .01$). 무게 질문에 대한 정반응률은 부피, 밀도에 대한 정반응률보다 높았다.

정반응시 학생들은 주로 불변 (invariance)의 개념을 사용하여, “아무것도 더하여진 것이 없다”거나, 동가(equivalence)의 원리를 사용하여 “물의 입자의 양은 동일하다”고 자신들의 반응 이유를 설명하였다. 이에 비해, 무게가 변화한다고 대답한 학생들은 “물의 고체 상태가 액체 상태 보다 무겁기 때문에 얼음이 더 무겁다”고 대답했다. 이처럼 물질의 상태 변화에 따라 무게가 변화한다는 직관적 사고는 특히 고체가 액체 또는 기체로 변화할 때 빈번히 나타난다 (Stavy & Stachel, 1985; Boujaoude, 1991). 이는 물질의 상태 변화에 대한 근본적인 이해의 결여와 더불어 일부 대학생에게 있어서도 학령 전 아동의 경우와 마찬가지로 “무게”에 대한 이해가 지각적이고 경험적인 측면에 국한되어 있음 (Smith, Carey, & Wiser, 1985)를 시사한다.

부피의 변화. 부피 변화에 대한 종전의 연구들 (Piaget & Inhelder, 1974; Lee et al., 1990)은 주로 아동 혹은 중고생 피험자에게 실제 부피 변화를 보여주고 그 변화의 이유를 설명하게 했다. 이에 비해, 본 연구에서는 대학생들로 하여금 부피 변화 자체를 예언하고 그 이유를 설명하게 하였다. 학생들의 67%가 얼음이 녹아서 물이 될 때 부피가 줄어든다고 정반응을 하였다 (우연수준 이상, Binomial test, $p < .01$). 그러나 Lee,

Eichinger, Anderson, Berkheimer, & Blakeslee (1990)이 보고한 바와 같이, 학생들의 부피 변화에 대한 설명은 입자, 미시적 수준 (microscopic level)의 설명이기보다는 현상적, 거시적 수준 (macroscopic level)의 기술이었다.

정반응을 한 학생들의 39%가 단순히 “얼음이 물 보다 더 많은 공간을 차지하기 때문에”라고 얼음과 물의 부피 차이를 설명하였다. 물과 얼음의 밀도 차이로 부피의 차이를 설명한 피험자는 정반응 학생의 17%에 해당하였다 (예: “액체 상태의 H_2O 는 고체 상태의 H_2O 보다 밀도가 높기 때문에”). 입자 또는 분자 수준에서 부피의 변화를 설명한 피험자는 하나도 없었다. 이는 일상생활에서 쉽게 지각되는 물과 얼음의 부피 변화가 사실은 입자의 일반적 특성과는 반대로 얼음이 되었을 때 부피가 감소되는 경우이기 때문으로 보인다. 따라서 학생들이 입자의 운동으로 부피 변화를 설명하려 했을 때는, 얼음이 물로 될 때 부피가 증가한다고 틀린 답을 하였다. 그 이유로는 “물의 분자가 확장되기 때문에” 또는 “얼음에는 H_2O 가 더 많이 들어가 있기 때문에”라고 대답했는데 이는 부피의 변화를 분자들 간의 거리의 변화로 보기보다 분자 자체의 부피 변화 혹은 분자의 수의 변화로 생각하는 직관적 사고의 예이다 (Brook, Briggs, & Driver, 1984; Lee et al., 1990).

얼음이 물로 변화하여도 그 부피는 동일할 것이라고 대답한 경우는 전체의 15%였다. 이들 중의 일부는 “부피”를 “물질이 차지하고 있는 공간의 양”이라는 과학적 정의로 이해하기보다 오히려 “물질의 양” 또는 “질량”으로 이해하였다. 일상생활에서 “부피 (volume)”를 “크기 (size)” 또는 “양 (amount)”으로 혼용하고 있기 때문에 부피의 과학적 정의가 이들과 혼동되어 사용된 것으로 보인다.

밀도. 밀도에 관한 질문은 얼음이 녹아서 물이

될 때 밀도가 어떻게 변화하는가를 질문하였다. 질문의 요지는 얼음과 물의 밀도 변화에 대하여 학생들이 이해하고 있는가를 보고자 한 것이었다. 그러나 일부 학생들은 이 질문을 얼음의 밀도에 관해서만 국한되는 것으로 잘못 해석하였으므로 이들은 결과분석시 제외되었다.

요구되는 정반응은 분자상태에서는 얼음(수정 결정체)이 액체인 물보다 빈 공간을 더 제공하므로, 물의 밀도가 얼음의 밀도 보다 더 크다는 것이다. 바꾸어 말하면, 동일한 부피의 물과 얼음이 주어졌다면, 물 속에 더 많은 분자가 들어 있다.

밀도 질문을 밀도의 차이에 대한 질문으로 제대로 이해하고 답한 피험자는 모두 89명이었으며, 이들의 33%인 29명만이 정답을 하였다. 이는 우연수준의 반응이었다. 또한 이들의 대부분은 물의 밀도가 얼음 보다 높은 이유에 대해 설명하지 못했고 단지 물의 밀도가 얼음의 밀도 보다 높다는 사실만 지적하였다(예, “얼음의 밀도는 물 보다 작다”). 놀랍게도 오직 8명만이 부피와 무게의 관계를 사용하여 밀도의 차이를 설명하였다(예, “밀도는 질량과 부피로 이루어져 있고, 얼음의 부피는 물의 부피보다 크다”).

그러나 학생들의 48%인 43명은 얼음의 밀도가 물의 밀도 보다 더 크다고 틀린 답을 하였다. 이들은 주로 “액체는 고체만큼 뽀뽀하지 않다”거나 “물 속에서 분자들은 얼음 속에서 보다 더 자유로이 움직이고 있기 때문에”라고 그 이유를 설명하였다. 사실은 학생들의 설명과는 반대로 동일 부피에 대하여 얼음 보다 물 속에 분자들이 더 많이 들어 있다. 이들의 설명은 얼음이 고체이기 때문에 외관상 더 “뽀뽀하게” 보이고 따라서 내부 구조에 있어서도 분자들이 더 뽀뽀하게 밀집되어 있다고 생각되고 따라서 얼음의 밀도가 더 높다고 판단된 듯하다. 선행의 연구(Brook, Briggs, & Driver, 1984; Lee et al., 1990)에서도 학생들이 외관상의 변화를 내부 분자구조 상의

변화로 잘못 전이시키는 경우가 빈번했다. 예를 들면, 물체가 얼을 받아 팽창하거나 반대로 축소될 때, 학생들은 입자 자체가 팽창하거나 축소된다고 생각하였다. 학령 전 아동들도 “뽀뽀함”, “단단함”등으로 밀도를 이해하고 있음을 보여주는 선행의 연구들(Smith, Carey, Wiser, 1985; Song, 1994)과도 일치되는 결과이다.

한편 19%의 학생들은 얼음에서 물로의 상태 변화에도 불구하고 밀도는 변화하지 않는다고 틀린 답을 하였다. 이들의 대부분은 “물과 얼음은 동일 물질이므로” 밀도는 같다고 답하였다. 이는 밀도를 각 물질의 특성으로 이해하여 동일 물질은 밀도가 같다고 하는 아동기의 보다 직관적인 사고 형태가 대학생들에게서도 나타남을 보여준다. Smith, Snir,와 Grosslight (1992)의 연구에서는 고등학생들도 밀도를 이처럼 물질의 특성으로 이해하고 있었다.

요약하면, 초,중,고등학교 시절 과학 시간을 통해 밀도의 개념에 대해 이미 배운 적이 있는 대학생들도 얼음과 물의 밀도 차이에 대해 정확하게 알고 있지 못했다. 더욱이 학생들이 제공한 이유를 분석해 보면, 67%의 학생들이 아직도 밀도를 “단위 부피의 질량”으로 생각하기보다 “뽀뽀함”의 정도, “단단함”의 정도, 혹은 각 물질들의 특성 등으로 직관적인 수준에서 이해하고 있는 듯하다. 물의 밀도가 얼음의 밀도 보다 크다는 것을 알고 있는 경우에도, 정확한 이유를 분자구조의 수준에서 설명하지 못하였으며, 대부분의 답이 단순히 주입된 지식을 인출한 것처럼 보였다. 이 문제를 더 자세히 다루어 보기 위해, 부피, 무게, 밀도의 세 질문에 대한 학생들의 반응 유형과 그들이 밀도 질문에 대해 제공한 이유를 살펴보고자 한다.

부피-무게-밀도의 반응 유형. 각 학생들의 부피, 무게, 밀도의 질문에 대한 반응 유형을 살펴

보았다. 소수의 학생들이 밀도의 질문에 답할 때 무게, 부피와의 관계를 언급하거나 공식을 이야기했지만, 53%의 반응 유형은 밀도가 무게와 비례하고 부피와 반비례한다는 밀도의 공식과 일치하지 않았다. “얼음” 영역에서 우연수준 이상으로 나타난 반응 유형과 이때 “밀도” 질문에 대답하기 위해 가장 빈번하게 사용되었던 설명들이 표 1에 제시되어 있다.

“얼음” 영역에서 부피, 무게, 밀도의 세 질문 모두에 대답한 학생의 총 수는 65명이었다. 그 중 26명이 얼음이 녹아서 물이 되면, 부피는 감소하고, 무게는 동일하며, 밀도는 증가한다고 정반응 유형을 보였다. 이들이 가장 빈번하게 제시한 이유로는 물과 얼음의 밀도의 차이를 직접적으로 언급하는 경우가 가장 빈번했다(표1에서 “물/얼음” 설명 유형 예; “얼음은 물보다 밀도가 낮아서 물에 뜬다.”). 앞서 언급한 바와 같이 이들의 반응은 부피, 무게와의 관계에서 도출되기보다는 이미 저장된 얼음과 물의 밀도에 대한 지식을 그대로 인출한 듯하다. 또한 미시적인 분자, 혹은 미립자의 운동이나 그들 간의 거리로서 밀도의 차이를 설명하려는 시도는 거의 없었다.

밀도 질문에 정답을 한 경우에도 “부피”, “무게”와의 관계에 대한 언급이 없었던 것과 마찬가지로 밀도 질문에 오답을 한 학생들의 73%가 부피와 무게의 질문에는 정답을 한 학생들이었다. 즉, 얼음이 녹아서 물이 될 때, 부피는 줄어 들고, 무게는 그대로 보존됨을 아는 학생들의 대다수가 밀도가 증가한다고 정답을 말하지 못하였다. 표 1에서 보는 바와 같이, 이러한 부류의 학생들은 주로 “고체 보다 액체의 밀도가 낮다” 하는 일반론을 물과 얼음의 경우에 잘 못 적용하였다(표 1에서 “고체/액체” 설명 유형). 또는 “밀도는 변화하지 않는다”고 설명한 학생들은 부피의 감소와 무게 보존에도 불구하고 밀도도 보존된다고 답하였다(표 1에서 “변화 없음” 설명 유형). 특

히 후자에 속하는 학생들은 밀도를 “물질의 특성”으로 이해하여 “물과 얼음은 동일한 물질이므로” 밀도도 동일하다고 답하였다.

표 1. “얼음” 영역에서 우연수준 이상으로 나타난 반응 유형

| 반응 유형 (부피-무게-밀도순) | 빈도수 | “밀도”에 대한 설명 |
|----------------------|-----|----------------|
| 증가-동일-감소 | 8 | 고체/액체 |
| 감소-동일-동일 | 10 | 변화 없음 |
| 감소-동일-증가* | 26 | 물/얼음 |
| 감소-동일-감소 | 12 | 고체/액체 |
| 감소-감소-감소 | 9 | ? |
| 합 | 65 | |

요약하면, 학생들의 밀도에 대한 대답은 그들의 무게, 부피에 대한 반응과 대체로 일치하지 않았으며, 이는 학생들이 부피와 무게의 관계에서 밀도를 이해하기보다 얼음과 물의 외관상의 “뽁뽁함”, “단단함” 등으로 이해하고 있음을 보여준다.

물의 전위. 얼음이 담긴 컵에 물을 끝까지 부어 놓았다고 하자. 얼음이 다 녹고 난 후에도 결코 물은 넘치지 않는다. 이는 얼음이 녹을 때 물 속에 잠긴 부분만큼의 물이 생기기 때문이다. “얼음과 물” 영역의 부피 질문은 이러한 물의 전위에 대한 이해를 알아보고자 하였다. 일상생활에서 누구나 한 번쯤은 경험해 봄직한 현상이지만, 고등학생들과의 사전 조사에서 가장 학생들이 어려워했던 질문이었다(Gelman, Meck, Lomo, Meck, & Fritz, 1993).

예상대로 19%의 학생들만이 물의 수위에 변화가 없을 것이라고 정답을 말하였다. 그러나, 정확하게 전위의 현상을 설명한 학생은 하나도 없었다. 대부분의 학생들은 그들이 “얼음” 영역에

서 부피 질문에 답할 때처럼, “물과 얼음은 동일한 정도의 공간을 차지하기 때문”이라고 간단히 설명했다. 즉, 이들은 얼음이 녹아서 물이 될 때 그 부피가 똑같을 것이라고 잘못 생각했으며, 게다가 “얼음과 물”의 경우에는 얼음의 일부가 물 위로 떠 있는 것조차 고려치 않았다. 만약, 이들이 대답한 대로 얼음과 그 얼음이 녹아서 생김물의 부피가 같고, 이들이 수면 위로 얼음의 일부분이 떠 있는 것을 고려했다면, 그들은 “수위가 올라간다”라고 대답했어야 한다. 따라서 “수위에 변화가 없다”고 정답을 말한 19%의 학생들도 사실은 전위 현상을 전혀 이해하고 있지 못하였다.

학생들의 36% 역시 물과 얼음의 부피가 동일하다고 생각했으나 이들은 얼음의 일부가 수면 위로 나와 있다는 점을 고려하여 수위가 올라갈 것을 예언했다. 마지막으로, 38%의 학생들이 수위가 내려갈 것을 예언했다. 그 이유는, “얼음이 녹을 때 부피가 줄어들기 때문에”였다. 사실상, 어떤 집단의 학생들도 부피의 변화와 동시에 전위의 현상을 이해하고 있지 못하였으므로, 적어도 부피의 변화를 고려했다는 점에서 이 마지막 집단이 다른 두 집단들 보다 더 정답에 가까웠다. 나머지 7%의 반응은 위의 세 부류로 분류가 어려운 “기타”의 반응이었다.

반응 일치도. 본 연구에서는 학생들에게 부피, 무게, 밀도에 대한 질문이 “얼음”과 “얼음과 물”의 두 영역에서 각각 한번씩 도합 두 차례 주어졌다. 부피 질문에 대한 대답은 두 영역에서 달랐지만, 무게와 밀도에 대한 답은 동일하였다. 동일한 질문에 대한 학생들의 대답이 두 영역에서 일치하는가를 보았을 때, 학생들의 92%와 89%가 각각 무게와 밀도 질문에 동일한 방식으로 반응하였다. 부피 질문에 대해서도 2/3의 학생들이 동일 방식으로 답하였다. 이는 학생들의 반응이 무선적이 아니었음을 보여준다.

학생들의 전공과 “밀도”반응. 학생들의 현재 전공 혹은 미래 지망 전공을 “과학 전공”과 “비과학 전공”으로 나누었다. 과학 전공(63명)에는 공학과 자연과학 전공이 포함되었고, 비과학 전공(40명)에는 사회과학, 인문, 예술 전공 학생들이 포함되었다. 나머지 학생들(17명)은 전공을 명시하지 않았거나, 전공을 정하지 못한 경우였다(미정).

각 집단에서 밀도 질문에 정답을 한 학생 수는 과학 전공 27명, 비과학 전공 10명, 미정 3명이었다. 전공 별로 볼 때 밀도의 질문에 정답을 한 학생 수는 유의수준에 근접하였다 ($\chi^2(2) = 5.70, p = .057$). “얼음” 영역에서 부피, 무게, 밀도의 세 질문 모두에 정답을 한 27명의 학생 중 16명은 과학 전공, 9명은 비과학 전공, 2명은 무전공이었다. 카이 자승 검사 결과 유의한 전공의 차이가 없었다. 이는 본 질문지가 검사한 종류의 과학 지식은 대학 수준의 상급 과학 지식 이라기 보다 중, 고등학교 과학 시간에 배우는 기초적인 과학 지식임을 보여준다.

이상의 결과를 종합하여 보면, 중 고등학생을 대상으로 한 선행 연구들 (Hewson, 1986; Smith, Carey, & Wiser, 1985; Strauss, Globerson, & Mintz, 1983)에서 밝혀진 바와 같이, 다수의 대학생들도 과학적 수준에서 밀도의 개념을 이해하고 있지 못하는 듯하다. 학생들은 얼음이 물로 변화할 때의 부피와 무게의 변화에 대해 정확하게 알고 있지 못하였다. 무게와 부피의 변화에 대해 정답을 한 경우에도 밀도 질문에 정답을 하지 못하였다. 일부의 학생들은 밀도를 부피와 무게 사이의 관계로 파악하고 있기 보다 오히려 “뽁뽁함”, “단단함” 등의 보다 직관적인 수준에서 밀도를 이해하고 있었다. 이와 같은 직관적인 수준의 밀도의 이해는 4-5 세의 아동에게서도 나타나고 있다 (Song, 1994). 따라서, 이러한 학생들은, 얼음이 물 보다 더 단단하므로 밀도가 높다

고 잘 못 생각하였다. 또한, 미시적 수준에서 분자들 간의 거리로 밀도의 변화를 설명한 학생은 드물었다.

이렇게 밀도를 외현적인 물질의 수준에서 “단단함” “뽀뽀함” 또는 물질의 특성 (즉, 동일 물질은 상태의 변화에도 밀도가 같다)에만 관련시키는 직관적인 수준의 이해가 밀도의 변화에 대한 이해를 방해하여 물과 얼음의 밀도는 같거나, 얼음이 더 단단하므로 물 보다 밀도가 높다고 잘못 반응하게 하는 듯하다.

물론 밀도를 산출하는 공식을 직접적으로 질문하거나, 숫자를 사용하여 밀도를 구하라는 문제로 문제의 형식을 달리하였으면 더 많은 학생들이 밀도의 공식을 사용하여 문제에 답하였을 가능성도 있다 (cf. Ahl, Moore, & Dixson 1992). 또한 학생들이 상황에 따라 과학 시간에는 과학적 개념, 또는 공식을, 수업 시간 외에는 보다 직관적인 개념을 구분하여 사용했을 가능성도 있다. 그러나 본 연구에서는 의도적으로 밀도의 공식이나 밀도와 무게, 부피 사이의 관계에 대해 직접적으로 질문하는 것을 피하였다. 학생들이 밀도의 공식을 암기하고 있는가의 여부보다는 과학 수업에서 배운 과학적인 밀도에 대한 이해가 어느 정도로 유지되고 있는가를 보고자 하였기 때문이었다.

이상의 결과는 많은 학생들이 과학 시간에 배운 과학의 개념들에 대해 나름대로 직관적인 이해를 하고 있음을 보여준다. 이러한 직관적 수준의 이해는 발달 초기의 아동들에게서도 관찰되며, 학생들로 하여금 그 개념이 관계되는 여러 측면 중의 일부를 쉽게 이해하도록 돕는다. 그러나 본 연구의 결과에서 보듯이, 더욱 복잡한 상황에서 개념 이해에 방해가 되기도 한다.

효과적인 과학교육을 위해서 본 연구가 시사하는 바는, 특정 개념에 대해 학생들이 갖고 있는 직관적 수준의 이해의 본질을 파악하는 것이 중

요하다는 것이다. 이와 함께 직관적 이해와 과학적 이해를 효과적으로 연결시켜 줄 수 있는 교수 방법의 개발 역시 중요하다고 생각된다.

참고 문헌

- Ahl, V. A., Moore, C. F., & Dixson, J. A. (1992). Development of intuitive and numerical proportional reasoning. *Cognitive Development, 7*, 81-108.
- Au, T. K., Dapretto, M., & Song, Y. K. (1994). Input versus constraints: Early word acquisition in Korean and English. *Journal of Memory and Language, 33*, 567-582.
- Baillargeon, R. (1991). The object concept revisited; New direction in the investigation of infants' physical knowledge. In C. Granrud (Ed.), *Visual perception and cognition in infancy* (pp. 256-315). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Boujaoude, S. B. (1991). A study of the nature of students' understanding about the concept of burning. *Journal of Research in Science Teaching, 28*, 687-704.
- Brook, A., Briggs, H., & Driver, R. (1984). *Aspects of secondary student understanding of the particulate nature of matter*. Children's Learning in Science Project, Center for Studies in Science and Mathematics Education, University of Leeds, Leeds.
- Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Carey, S. (1991). Knowledge acquisition: Enrichment or conceptual change? In S. Carey & R. Gelman (Eds.), *The epigenesis of mind* (pp. 257-292). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

- Carey, S. & Spelke, E. (1994) Domain-specific knowledge and conceptual change. In L. A. Hirschfeld & S. A. Gelman (Eds.), *Mapping the mind: Domain specificity in cognition and culture* (pp. 169–200). New York: Cambridge University Press.
- diSessa, A. A. (1988). Knowledge in pieces. In G. Forman & P. B. Pufall (Eds.), *Constructivism in the computer age* (pp. 49–70). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Driver, R., & Easley, J. (1978). Pupils and paradigms: A review of literature related to conceptual development in adolescent science students. *Studies in Science Education*, 5, 61–84.
- Erickson, G. (1980). Children's viewpoints of heat: a second look. *Science Education*, 64, 323–336.
- Gelman, R. (1990). First principles organize attention to and learning about relevant data: Number and the animate–inanimate distinction as examples. *Cognitive Science*, 14, 79–106.
- Gelman, R. (1991). Epigenetic foundations of knowledge structures: Initial and transcendent constructions. In S. Carey & R. Gelman (Eds.), *The epigenesis of mind* (pp. 293–322). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Gelman, R., & Gallistel, C. R. (1978). *The child's understanding of number*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Gelman, R., Meck, G., Lomo, L., Meck, E., & Fritz, C. (1993). *Integrating science concepts into intermediate English as a Second Language (ESL) instruction*. Paper presented at the annual meeting of the Linguistic Minority Research Institute, Santa Barbara, CA.
- Gunstone, R. R., & White, R. T. (1981). Understanding of gravity. *Science Education*, 65, 291–299.
- Heibeck, T. H., & Markman, E. M. (1987). Word learning in children: An examination of fast mapping, *Child Development*, 58, 1021–1034.
- Hewson, M. G. (1986). The acquisition of scientific knowledge: Analysis and representation of student conceptions concerning density. *Science Education*, 70, 159–170.
- Hobbws, E. D. (1975). Methodological problems in conservation testing with particular references to volume conservation. *The Alberta Journal of Educational Research*, 21, 262–277.
- Keil, F. C. (1991). The emergence of theoretical beliefs as constraints on concepts. In S. Carey & R. Gelman (Eds.), *The epigenesis of mind: Essays on biology and cognition* (pp. 237–256). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Kohn, A. S. (1993). Preschooler's reasoning about density: Will it float? *Child Development*, 64, 1637–1650.
- Lamsfub, S., & Wilkening, F. (1991). *The role of analogy in children's reasoning on interaction of forces*. Poster presented at the biennial meeting of the Society for Research in Child Development, Seattle, WA.
- Lee, O., Eichinger, D. C., Anderson, C. W., Berkheimer, G., D., & Blakeslee, T. D. (1990). *Changing middle school student conceptions of matter and molecules* (Research Series No. 194). East Lansing, Michigan: The Institute for Research on Teaching.

- Markman, E. M. (1992). Constraints on word learning: Speculations about their nature, origins, and domain specificity. In M. R. Gunnar & M. P. Maratos (Eds.), *Minnesota Symposium on Child Psychology*, 25 (pp. 59–101). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Marler, P. (1991). The instinct to learn. In S. Carey & R. Gelman (Eds.), *The epigenesis of mind* (pp.37–66). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- McCloskey, M. (1983). Naive theories of motion. In D. Gentner & A. L. Stevens (Eds.), *Mental Models* (pp. 299–324). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- McCloskey, M., & Kargon, R. (1988). The meaning and use of historical models in the study of intuitive physics. In S. Strauss (Ed.), *Ontogeny, phylogeny, and historical development* (pp.49–67). Norwood, NJ: Ablex.
- Novick, S., & Nussbaum, J. (1978). Junior high school pupils' understanding of the particulate nature of matter: An interview study. *Science Education*, 62, 273–281.
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1974). *The child's construction of quantities*. London: Routledge & Kegan Paul.
- Protinsky, H. O., & Hughstone, G. (1980). Adolescent volume conservation abilities: A comparison of three tests. *The Journal of Psychology*, 104, 27–30.
- Singer, J. A. (1992). *Reasoning about density: The influence of two processes*. Unpublished doctoral dissertation, University of Pittsburgh.
- Smith, C., Carey, S., & Wisner, M. (1985). On differentiation: A case study of the development of the concepts of size, weight, and density. *Cognition*, 21, 177–237. MA: Educational Testing Center.
- Smith, C., Snir, J., & Grosslight, L. (1992). Using conceptual models to facilitate conceptual change: The case of weight–density differentiation. *Cognition and Instruction*, 9, 221–283.
- Song, Y. K. (1994). *Intuitive versus scientific understanding of density*. Unpublished doctoral dissertation, University of California, Los Angeles.
- Spelke, E. S. (1990). Principles of object perception. *Cognitive Science*, 14, 29–56.
- Stavy, R., & Stachel, D. (1985). Children's conception of changes in the state of matter: From solid to liquid. *Archives de Psychologie*, 53, 331–344.
- Strauss, S., Globerson, T., & Mintz, R. (1983). The influence of training for the atomic schema on the development of the density concept among gifted and nongifted children. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 4, 125–147.
- Ueno, N., Arimito, N., & Yoshioka, A. (1991, April). *Conceptual change in mass and weight: Gibsonian perspective*, paper presented at the annual meeting of the American Educational Research, Chicago.
- Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1992). Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24, 535–585.
- Watts, D. H. (1985). student' conceptions of light: a case study. *Physics Education*, 20, 183–187.

<부록 1>. 얼음-물 설문지

Suppose we have a big ice cube in a glass and we wait until all the ice melts into water.

1. When the ice melts, will the level of water in the glass change or stay the same as the level of ice? _____

2. Why? _____

3. If the level changes, will it go up or down? _____

4. Will the weight of the whole glass (i.e., glass + ice) change or stay the same after the ice melts? _____

5. Why? _____

6. If the weight changes, will it increase or decrease? _____

7. When the ice melts, does the density of ice change or stay the same? _____

8. Why? _____

9. If density changes, will it increase or decrease? _____

Suppose we have a glass filled with water and ice and we wait all the ice melts into water.

1. When the ice melts, will the level of water in the glass change or stay the same? _____

2. Why? _____

3. If the level of water changes, will it go up or down? _____

4. Will the weight of the whole glass (i.e., glass + ice+water) change or stay the same after the ice melts? _____

5. Why? _____

6. If the weight changes, will it increase or decrease? _____

7. When the ice melts, does the density of ice change or stay the same? _____

8. Why? _____

9. If density changes, will it increase or decrease? _____

Science classes taken

High school _____

College _____

College students' Understanding of Density

You Kyung Chang-Song

Density is defined as mass over volume and determined by mass or number of molecules per unit volume. However, density is also easily understood as "weight of substance." This study examined college students' understanding of density, especially the density changes from ice to water. Students were asked to predict weight, volume, and density changes when ice melts into water. The results showed that a majority of the students did not understand that the density of water is higher than that of the ice. Also, their explanations revealed that students understood density at the intuitive level as "solidness", "crowdedness", or "weight of substance." The developmental origin of the intuitive understanding of density was discussed and implications for science education was also mentioned.