

# 과학개념변화 연구에서 학생의 개념에 대한 이해: 오개념(misconception)에서 정신모형(mental model)까지

박지연 · 이경호  
(서울대학교)

## Understanding Students' Conceptions in the Research on Conceptual Change in Science: from Misconception to Mental Model

Park, Jiyeon · Lee, Gyounggho  
(Seoul National University)

### ABSTRACT

In science education, the research on students' conceptions has been started in early 1970. From the early 1980, the research on students' conceptions stimulated the research on conceptual change. Recently, mental model has been a theoretical background in concrete arguments on "how students' conceptions are constructed or created?" Mental model has been studied early in cognitive psychology, and several researchers have studied it partially in science education area. In this study, we compared different theories that explained students' conceptions in, mainly, physics. Further we discussed the possibility of mental model as a theory that could integrate different explanations about students' conceptions from different theory.

**Key words:** conceptual change, mental model, misconception

### I. 서 론

학생들은 과학수업을 받기 이전부터 일상생활에서의 경험을 통해 자연현상에 대한 나름대로의 개념(conception)을 형성하며, 이미 형성된 개념들을 바탕으로 다른 개념을 획득하게 된다. 이렇게 일상생활에서 형성된 학생들의 선개념(preconception)은 과학적 개념(scientific concept)과 일치하지 않는 경우가 많다. 이러한 학생들의 선개념은 수업에 의해서 과학적 개념으로 변화되기보다 오히려 강화되거나, 또는 과학적 지식과 혼합되어 인지구조 내에 독립된 형태로 존재하기도 한다(Gilbert *et al.*, 1982; Schnotz & Preuß, 1999). 학생들의 선개념은 과학학습과

정에서 새로운 지식과 상호작용하며 학습과정에 지대한 영향을 미친다(Osborne & Freyberg, 1985; Glynn *et al.*, 1991; 김범기와 권재술, 1995; 김관수 등, 2003). 따라서 많은 과학교육자들은 이러한 학생의 선개념을 어떻게 과학적 개념으로 변화시킬 것인가에 관하여 오랫동안 관심을 가져왔다.

개념변화 연구는 두 개의 다른 학문분야인 '인지발달 심리학'과 '과학교육'에 근간을 두고 있다(Carey, 1985; Gelman, 1990; Wellman & Gelman, 1992). 인지발달 심리학 분야에서는 사고 활동을 하는 동안에 머리 속에서 일어나는 것으로 가정되는 인지적, 정신적 과정을 이해하는데 우선적으로 관심을 갖는다(Vosniadou & Ioannides,

1998). '인지발달 심리학' 분야에서의 개념변화 연구들은 오개념의 형성에 대한 설명 그리고 지식의 습득과정 중에 발생하는 여러 종류의 개념변화에 대해 풍부한 기술적 자료를 제공하여 주고 있다. 반면 과학교육에서 개념변화라는 용어는 코넬대학의 과학교육 연구자들에 의해서 개발된 이론적 체계와 관련이 있으며(Posner *et al.*, 1982; Strike & Posner, 1985), 인지발달 심리학에서의 개념변화 연구와 달리 개념변화를 일으키기 위해서 과학을 어떻게 가르쳐야하는가에 대한 교수학습이론에 가깝다(Vosniadou, 1999). 다시 말해, 과학교육에서의 개념변화 이론은 구성주의 관점을 따르는 학습자 중심의 교수학습 이론으로, 학생들의 직관적 생각을 과학적 개념으로 변화시키는 것, 즉 과학학습을 개념변화로 간주한다(조희형, 1984, 1988; 김관수 등, 2003). 따라서 학생들의 개념변화에 대한 보다 심도있는 이해를 하기 위해서는 '인지발달 심리학'과 '과학교육'에서의 개념변화 연구가 상호 보완적으로 이루어질 필요가 있다.

학습에 대한 구성주의적 관점에 의하면 자연 현상이나 사물에 대한 학생들의 생각은 비록 과학적으로 타당하지 않더라도 상당히 오랫동안 지속되며, 학습에 의해 쉽게 과학적 개념으로 완전히 변화되지 않는다(Nussbaum, 1985; 최정렬, 2003). 따라서 효과적인 과학 수업을 위해 교사들은 학생들이 현재 가지고 있는 개념뿐 아니라 학생들이 어떻게 과학을 배우며 어떤 교수 전략이 개념 발달에 적절한가를 알아야 한다.

학생들이 가지고 있는 개념이 견고하여 상황이 변해도 변하지 않는다고 보는 것이 일반적인 견해이다. 그러나 많은 연구에서 보고된 결과를 보면, 같은 학생이라도 주어지는 상황과 맥락에 따라 다양한 반응을 나타낸다(Driver *et al.*, 1985; 이명제 등, 1993; 이명제, 1994; 안수영과 권재술, 1995; 이명제, 1995; Saunders & Jesunathadas, 1998, Vosniadou *et al.*, 1999). 즉, 한 번 형성된 개념의 의미가 변하지 않고 고정되는 것이 아니라 학생들이 처한 상황에 따라서 다른 의미로 사용되기도 한다. 이러한 개념의 상황의존성은 학생들이 가지고 있는 심층적인 개념구조에 의한 것이 아니라 그 상황을 적절히 설명하기 위해 즉흥적으로 반응한 것일 수도 있다.

구성주의 인식론을 토대로 과학교육에서 활발하게 이루어진 오개념 연구는 학생들이 가진 개념이 과학자의 개념과 다르며, 지속적으로 학습에 영향을 미친다는 많은 증거를 확보하였지만, 오개념 형성의 원인과 처치에 대한

적절한 방안을 제시하지 못하였다는 비판을 받아왔다(이선경 등, 2000). 더 나아가 과학교육에 관련된 사람들과 다양한 형식의 구성주의를 주장하는 많은 저자들이 "지식은 주체에 의해 능동적으로 구성된다"는 것에 동의하고는 있지만, 지식이 어떻게 구성되는가에 대해서는 그다지 상세하게 논하고 있지 않다(유병길, 2000). 최근 물리교육영역을 중심으로 학생 개념의 특성을 심도있게 분석하는 연구들(p-prim, facet, coordination class 등)이 진행되고 있으나 아직까지 부분적인 특징을 설명하는데 초점을 맞추고 있는 단계이며, 학생이 가진 오개념 형성에 영향을 미치는 기반(예를 들어, 인지구조)은 무엇이며, 오개념의 형성과정에는 어떠한 요인들이 영향을 미치는지 등을 종합적으로 고려한 연구는 찾아보기 어렵다.

따라서 현재 학생의 개념을 설명하기 위해 도입된 여러 가지 이론과 그에 속한 여러 가지 용어들은 그 공통점과 차이점이 비교분석 되어야 하고 이를 바탕으로 한 종합적 정리가 필요하다고 본다. 따라서 본 연구에서는 문헌 분석을 통하여 그동안 연구되어온 학생의 과학개념 관련 이론들을 비교분석하였으며, 이를 바탕으로 과학 개념변화 연구에서의 학생개념의 특성을 설명하는 새로운 이론의 발전 방향과 과제 등을 살펴보았다.

## II. 학생의 과학개념

1970년대 중반부터 과학교육연구의 핵심적인 한 분야는 학습의 본성과 학습자의 사전 개념에 관한 연구였다. 연구결과 학생들은 수업 이전에 이미 자기만의 개념을 형성하며, 이러한 선개념이 학생들의 학습과정에 지속적으로 영향을 미친다는 것이 밝혀졌다. 이 후 학생들의 선개념(preconception)을 과학적으로 변화할 수 있도록 돕는 과학개념변화에 관한 연구가 활발하게 진행되었다. 초기 전통적인 개념변화 연구는 Pintrich 등(1993)이 "차가운 개념변화"라고 비유했듯이 학생들의 학습에 대해 인지만을 고려한 모델을 강조하였으며, 학교에서 배운 지식을 활성화시키지 못하고 기존 개념을 사용하는 것에 대한 설명을 제대로 하지 못하였다. 이와 같은 비판은 학습자의 선개념의 본성, 개념변화를 일으키는 요인 등에 관하여 기존 전통적 관점과 다른 입장을 취하는 새로운 개념변화 이론을 낳게 하였다.

### 오개념(misconception)

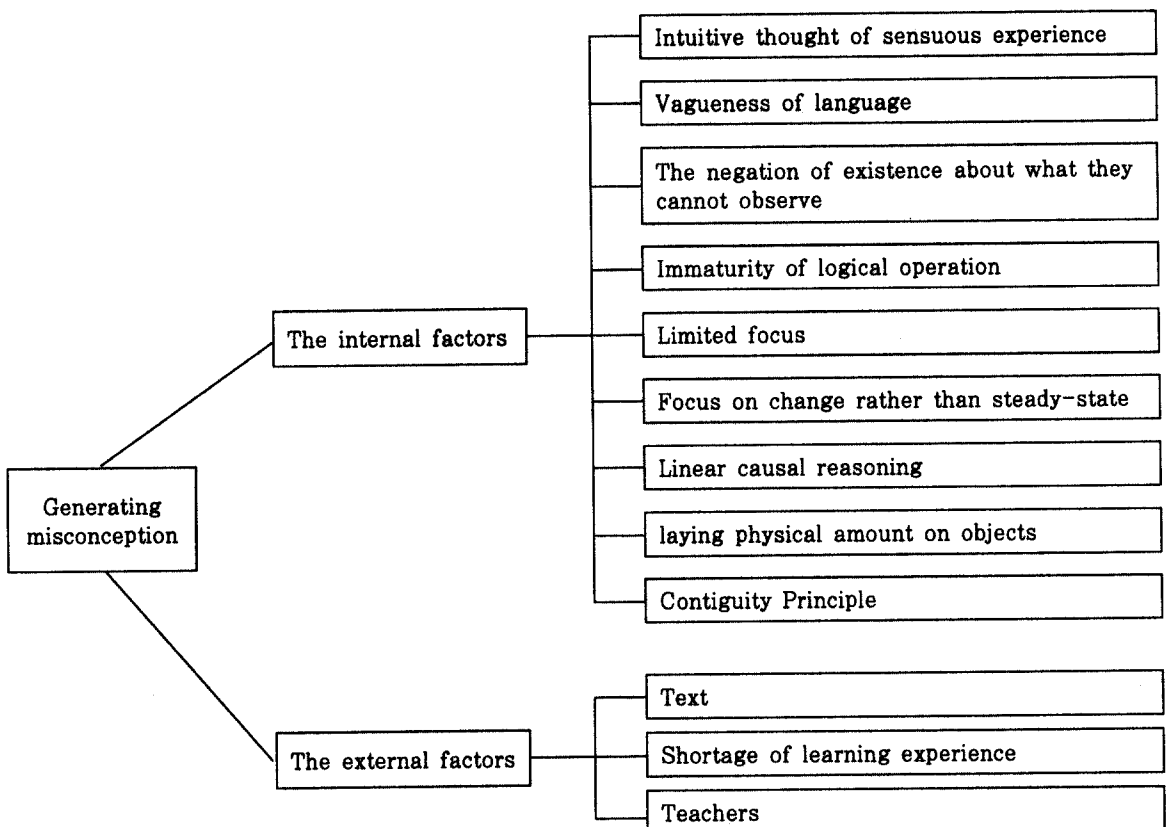
1970년대 중반에 학생들의 개념에 관한 연구가 전 세계적으로 활기를 띠기 시작했는데 이러한 학생들의 개념 또는 학생들의 개념틀을 지칭하는 용어들은 다양하다. 오개념(misconceptions), 선개념(preconceptions), 대안개념(alternative conceptions), 소박 개념(naive conceptions), 기존개념(preexisting conceptions), 실용 개념(practical conceptions), 대안 체계(alternative frameworks), 학생 개념(students conceptions) 등 다양하게 지칭되고 있다(Wandersee, Mintzes & Novak, 1994; 김범기와 권재술, 1995; 권재술, 1999). 이렇듯 학생들이 갖고 있는 개념이 다양한 용어들로 지칭되는 것은 학생들이 가진 사전개념의 본질이 매우 복잡 미묘하다는 것을 의미한다(권재술 등, 2003).

오개념이란 과학자들이 가지고 있는 지식과 그 의미와 구조가 다른 선행지식(조희형과 박승재, 1995), 교과서 또는 과학자들이 공인하는 개념과 다른 개념(권재술, 1999)이다. 이 오개념은 수업 이전에 학생 자신의 경험과 직관

을 바탕으로 형성되어지며 그들의 독특한 개인적 경험의 결과로 수업 이전에 형성된 것이기에, 수업에 의해서도 쉽게 변화되지 않는다. 따라서 학생들의 개인적 믿음을 공인된 과학 지식으로 변화시키고 싶어하는 과학 교사들은 수업 시작 전에 학생들이 가진 오개념을 확인할 필요가 있다. 지금까지 학생들의 개념에 대한 연구는 주로 오개념을 확인하고 목록화하는 방향으로 이루어졌는데, 이는 학생의 개념적 상태를 교사에게 알려준다는 점에서 중요하다. 그 외에도 학생들의 오개념이 아동의 지각 특성과 관련된 요인, 아동의 논리적 추론 특성에 따른 내적 요인과 교과서, 교사 그리고 언어의 모호성에 의한 외적 요인에 의해서 형성되어진다는 사실이 밝혀졌다(안수영, 1989; 과학 오개념 편람(역학편), 1993). 이러한 내용을 요약하면 Table 1과 같다.

그러나 아직까지도 특정 상황에서 오개념이 어떻게 형성되는지에 관한 구체적인 설명이나, 어떤 개념은 쉽게 과학적 개념으로 변화되나 다른 개념은 그렇지 못한 이유

Table 1. The internal and external factors, which affect students' misconceptions



등에 관한 연구는 부족한 실정이다.

### P-Prim(현상론적 초안)

diSessa는 개념의 본성을 논의함에 있어서 학생의 개념 구조가 초기에는 직접적인 경험을 통해 형성되며 그 수준이 초기부터 이론적인 구조를 지니고 있지는 않다고 보았다. 이러한 관점에서 그는 물리적 세상에 대한 직관적 지식을 “현상론적 초안(phenomenological primitive)” 즉, “조각난 지식”이라고 명명하였다. 현상론적 초안은 바로 공통된 특정 상황들에 대해 최소한도로 추상화시킨 인지 요소로서, 이것의 옳고 그름 여부는 그것이 속한 맥락에 의해 결정된다. 그리고 학생들은 이 초안들을 바탕으로 자신들의 경험을 해석한다.

사물이 실세계에서 어떻게 작동한다고 생각하는지 설명하는 간단한 진술문들인 p-prims의 특징을 살펴보면 첫째, p-prims는 현상과 관련된 작은 지식 구조들로서, 더 이상 설명이 필요 없는 공리와 같은 역할을 하며, 현상을 설명하는데 기초로 사용된다. 즉, 이들은 물리적 법칙과 직관적으로 동등하여 다른 현상들을 설명하나 그들 자신은 그 지식체계로서 설명할 수 없다는 특징을 지니고 있다. 이러한 특징은 p-prims라는 이름에도 담겨있다. “현상론적”이라는 말은 경험된 실제(reality)에 대한 피상적인 해석을 의미하고, “초안”은 인지적 메카니즘의 원형적 요소, 즉 더 이상 나누어지지 않는 가장 작은 지식 구조임을 뜻한다. 둘째로, p-prims는 심적 표상이 아니라 주어진 상황과 관련된 개념구조를 활성화시키는 역할을 하는 사고 원형이다. 이러한 관점에서 보면 바람직한 학습이란 p-prims가 적당한 상황 속에서 활성화되도록 하여 그것들 자신이 속한 맥락 안의 다른 요소들을 활성화시키는 것을 도와주는 방향으로 이루어지는 것이라고 할 수 있다. 셋째, p-prims는 공통적인 현상에 대한 최소한의 추상적인 개념이다. 물리수업을 받기 전에 상대적으로 덜 구조화된 형태의 p-prims가 존재하나, 직관적인 지식 체계 내에서 좀더 급격한 수정이 이루어지면 p-prims의 기능도 변하게 되며, 법칙과 같이 좀더 복잡한 지식 구조를 가지게 된다. diSessa(1993)는 개념변화를 여러 사건들 사이의 공통적으로 관련된 최소한의 추상적 개념인 인지적 요소들(즉, p-prims)이 연결되고 표상되어지는 일련의 과정이 변화되는 것으로 보았다. 여기서 p-prims는 학습자가 그것들의 존재를 인식하지 못한 채 직관적으로 사용하는

추상적인 지식의 구성요소로서 일련의 지식이 형성되어지게 하는 역할을 한다.

요약하면, diSessa(1993), diSessa와 Sherin(1998)은 물리적 현상을 설명하기 위하여 사용하는 아동의 소박한 지식(naive knowledge)은 기본적인 지식조각들, 즉 p-prims로 구성되어있다고 보았다. 이러한 현상론적 초안(p-prims)은 조각나 있거나 혹은 느슨하게 연결된 비체계적인 지식구조로써, 이와 같은 현상론적 초안들(p-prims)이 보다 복잡한 지식 체계로 체계성을 갖추어 나가는 점진적인 과정이 개념변화과정이라고 보았다. Table 2는 p-prims의 몇 가지 예들이다. 예를 들어, Ohm's p-prims란 “물리량  $x$ 와  $y$ 가 비례관계일 때,  $x$ 가 커질수록  $y$ 도 커진다.”와 같이 일반적이고 논리적인 구조를 가지고 있어서 추상적인 추론을 가능하게 하는 초안들이다.

### Facet

Minstrell은 관찰의 맥락적 특징(context features of observation)과 문제 상황(problem situation)을 포함하는 “facet”이라는 용어를 가지고 학생들이 과학수업에서 지식을 어떻게 인식하여 받아들이는지를 설명하고자 하였다. 그는 학생들이 문제 상황에서 적용하는 것으로 보이는 추론과 지식의 조각들을 확인하고 범주화해 본 결과 사고의 편리한 단위(Minstrell, 1992; Galili, 1996)로서의 “facets”을 확인했다. 이 facets은 특정 맥락 속에서 학생들이 사용하는 전략이나 지식의 조각으로써 p-prims와 마찬가지로 맥락이 이것의 옳고 그름을 결정한다. 예를 들어, “많은 것이(예, 무거운) 더 많게 (예, 더 빨리)”라는 facet을 살펴보자. 이 facet을 적용하여 지구상의 같은 높이에서 대리석과 종이 한 장을 낙하시켰을 때, 단단한 대리석은 종이 한 장보다 빨리 낙하한다는 예측을 한다면 이 예측은 현실과 일치한다. 그리고 앞서의 facet은 옳은 예측을 하는데 기여했다고 볼 수 있다. 반면, 달의 표면에서 이 물체들을 떨어뜨리면 동시에 떨어지지 않으며, 따라서 “많은 것이(예, 무거운) 더 많게(예, 더 빨리).”라는 facet을 단순하게 사용하여 예측한 것은 틀리게 된다. 즉, facet이란 그 자체만으로는 과학적으로 ‘옳다’ 혹은 ‘그르다’라고 판단할 수는 없는 내용-일반적인 사고기능의 예라고 볼 수 있다.

이러한 Minstrell의 facets은 diSessa의 p-prims와 마찬가지로 오개념보다는 작은 일반적인 인지적 자원

Table 2. Examples of p-prims(diSessa, 1993)

Cluster	p-prims	Explanations
Force and Agency	Ohm's p-prim	The assumption is that activation of Ohm's p-prim attached to particular circumstance allows one to use these qualitative proportionalities as needed for prediction and explanation.
	spontaneous resistance	Spontaneous resistance resides in the patient of an action, in the mass that is pushed or pulled, not in an external agent that imposes an interference.
	force as mover	The p-prim abstracted from that behavior - pushing an object from rest causes it to move in the direction of the push.
	continuous push	A p-prim related to force as a mover is continuous push, abstracted from, say, continuously pushing a cup across a table. The important features are a caused motion and a persistent intention(i.e., force) that causes it.
Constraint Phenomena	dying away	This p-prim is essentially the stipulation that a certain pattern of amplitude is natural for a particular class of amplitude.
	blocking	An object's tendency toward motion is thwarted by another object in its path
	supporting	Blocking, where gravity is supplying the thwarted downward impetus
Balance and Equilibrium	guiding	Such as a tube does to a ball moving inside
	dynamic balance	Dynamic balancing is likely abstracted from situations in which two opposing forces "try" to achieve mutually exclusive results but happen to cancel each other out.
	abstract balance	Abstract balancing is an assertion of required correspondence, a weak form of identity.

(resource)이며 기본적인 추론요소이다. facets과 p-prims는 그것의 옳고 그름이 맥락에 따라 결정되어진다는 점에서 유사하고, 숙련자와 초심자의 차이를 특정 상황에서 이러한 추론요소들을 어떻게 적용하고 활성화시키며 조직하는가로 구별하는 점에서도 유사한 면을 가지고 있다. 그러나 학생이 한 물리내용을 설명하기 위해 사용한 p-prims는 다른 물리내용에서도 적용될 수 있는 반면, facets은 특정 맥락에서 적용되는 내용-특정적인 facet과 전략적인 facet 그리고 추론을 가능하게 하는 내용-일반적인 facet으로 구분된다(Minstrell, 1992) (Table 3 참조). 내용-특정적인 facet이란 용어에서 나타난 바와 같이 구체적인 내용을 담고 있는 것들을 의미한다. 예를 들어, 중력장에서의 투사체 운동에 관하여, "수평방향의 운동은 사물이 자유낙하하는 것을 방해한다"와 같은 생각을 의미

한다. 전략적 facet의 예로는 "평균 속도는 처음 속도와 나중 속도를 더해서 2로 나눈 값이다"와 같은 기능적인 사고를 의미한다. 내용-일반적인 facet은 "더욱 ...것은 점점 더...하게 된다" 와 같이 특정 물리영역에만 적용되는 것이 아니라 물리 밖의 영역의 내용에도 사용되어지는 facet이다. 이 facet이 특정 내용과 관련지어지면 "전구가 점점 더 클수록 회로에서의 저항도 점점 더 커진다.", "파의 진동수가 높아질수록 파의 이동속도는 빨라진다.", "만약 당신이 힘껏 밀수록 당신은 점점 더 빨리 운동하게 될 것이다."와 같은 내용-특정적인 facet이 된다. Table 3에는 앞서 논의한 Facet의 예들을 정리하였다.

Redish(2003)는 diSessa의 현상론적 초안(p-prim)을 Ohm's p-prim와 같이 추상적인 것과 동인으로서의 힘(force as mover)과 같은 facet으로 구분하였다. 전자는

Table 3. Examples of facets

Types	Features	Examples
Generic and cross content facets	These facets represent a generic bit of reasoning.	More... means more...
Content-specific facets	These facets relate to content.	The more bulbs, the more resistance in the circuit.
Strategic facets	These facets are strategic.	Average velocity can be determined by adding the initial and final velocities and dividing by two.

일반적이고 논리적인 구조를 가지고 있어서 추상적 추론을 가능하게 하는 초안인 반면, 후자에 해당하는 facet은 특정 물리적 맥락에서 적용되어지는 것으로 보았다(Fig. 1).

가 정교화되는 것을 개념변화로 보았다. 즉, 학생들은 경험을 통하여 점점 더 구체적인 지식을 얻게 되며, 이를 바탕으로 facets이 적용되는 적합한 맥락을 정확히 알게 됨으로써 개념변화가 일어난다고 보았다. 예를 들면, “대기압은 위에서 아래방향으로 작용한다.”라는 facet은 학생들이 압력에 관한 구체적인 지식을 알게 됨으로써 적용되는 맥락에 따라 구체적인 facets으로 발전하게 된다: “공기는 물체의 모든 면에 대하여 안쪽 방향으로 압력을 가한다.”, “압력은 매질 안에서 깊이가 깊어질수록 커진다.”, “매질은 위쪽방향으로 약간 더 큰 힘을 작용하나 물체의 밀도가 매질의 밀도보다 큰 경우 무시해도 좋다.”, “공기와 물은 물체 둘레에 존재하는 대표적인 매질이다.”

Fig. 1. A visual representation of the mapping of abstract primitives into specific facets in a particular physical context (Redish, 2003)

요약하면, Minstrell(1992)은 학생들의 선개념이 경우에 따라서는 과학적 지식과 일치하지 않아서 수정되거나 정교화될 필요가 있기는 하지만 학생들의 학습에 여전히 유용하다고 보았다. 그리고 학생들의 개념을 오개념, 대안적 개념, 소박한 원리 혹은 믿음 등과 같은 용어 대신 “facet”이라는 용어를 사용하였다. 그는 “오개념이 발생하는 경우의 상당수가 학생들이 맥락을 잘못 이해하고 facet을 적용하였기 때문인 것으로 보았으며, 이 오개념들은 사물이나 현상이 올바르게 관찰되었다하더라도 부적절하게 일반화되거나 틀린 변수와 결합되었기 때문에 발생한다고 보았다.

Minstrell은 학생들의 지식이 가치롭다는 가정 하에서 새로운 facets을 첨가하거나 수정 혹은 facets 간의 관계

### Coordination class(통합체)

diSessa와 Sherin(1998)은 개념변화를 설명함에 있어서, 개념에 대한 내용뿐 아니라 이것이 어떻게 형성되어지는지 그 과정까지 함께 통합적으로 설명하려고 하였다. 그들은 ‘개념’이라는 용어를 사용하는 대신 통합체(coordination class)라는 용어를 사용하였다. 통합체(coordination class)란 변인들 간의 인과적 관련성에 대한 정보를 가진 인과적 연결망(causal net)과 세계로부터 정보를 얻는 방법을 의미하는 정보추출전략(readout)으로 구성된다(Fig. 2). 인과적 연결망(causal net)이란 일반적인 지식과 한 가지 특정 주제에 대한 구체적인 사실들을 언제, 어떻게 정보와 관련시킬지를 결정하는 추론전략(reasoning strategy)을 의미한다. 따라서 인과적 연결망은 관찰의 토대가 되는 이론들을 대체할 수 있는 용어 혹은 범주의 이론적 토대가 되는 주장들과 관련된 이론(diSessa & Shrin, 1998)으로써 직접 관찰되는 정보로부터 쉽게 관찰되어지지 않는 것들을 이끌어내는 일련의 추

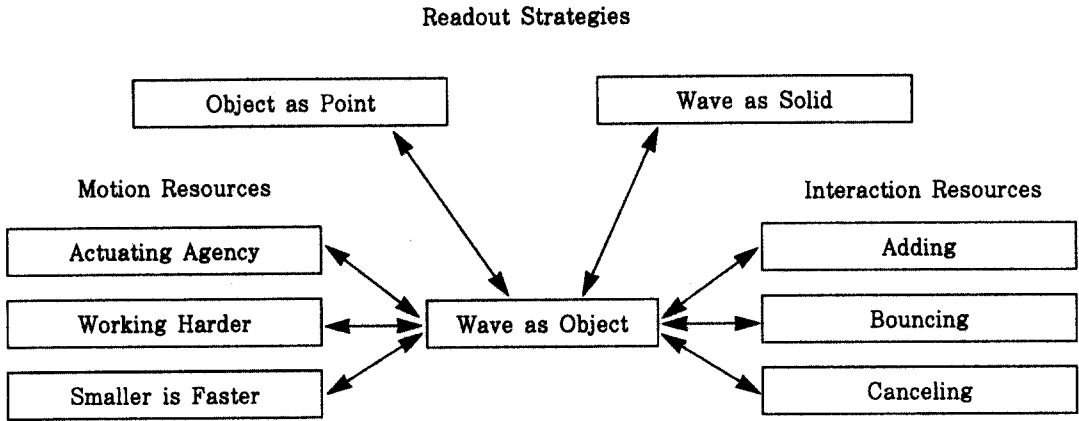


Fig. 2. Possible schematic showing reasoning resources that describe an object-like model of waves (Wittmann, 2002)

론(interference)을 가능하게 한다. 한편, 정보추출전략(readout)이란, 물리적 세계에서 정보를 얻는 체계적인 방법을 의미한다. 이 때 정보를 얻기 위해서는 주어진 다양한 상황에서 관찰을 통해 정보를 모으고 이들 중에서 관련된 것만을 선택하거나 혹은 결합하여 필요한 정보를 명확히 이끌어내야 한다. 그리고 이렇게 다양한 상황에서 관찰된 것들을 하나의 통합된 정보로 형성하는 것을 불변의 특성(invariance)이라고 하였다. diSessa와 Sherin은 이러한 정보추출전략을 통해 학생들의 개념체계가 다양한 상황과 정보들을 통합시켜 불변의 특성을 구축해 나감으로써 개념 내용이 현상론적 초안에서 인과적 관련성을 갖게 된다고 보았다.

Wittmann(2002)은 인과적 연결망과 정보추출전략이 학생들로 하여금 그들의 추론을 이끌어 내게 하는데 중요한 역할을 한다고 보았으며, 이러한 통합체를 이용하여 파동에 대한 학생들의 추론을 분석하였다. 연구에서 그는 학생들이 벽에 줄을 고정시키고 팽팽히 한 후, 하나의 펄스를 발생시켜 그것이 벽에 도달하는데 걸린 시간을 단축시키는 방법을 추론하도록 하였다. 연구결과 학생들은 그들의 인과적 연결망을 단일의 물체로서 웨이브 펄스(wave pulse)로 해석하는 정보추출전략에 초점을 맞추어 추론함을 알게 되었다. 즉, 학생들은 물체를 점으로 보느냐 혹은 파동을 고정된 물체로 보느냐 하는 정보추출전략에 따라서 학생들마다 각기 다른 추론(p-prims와 facets로 이루어진 추론요소: "working harder", "smaller is faster"와 같은 "Motion Resource" 그리고 "adding", "bouncing",

"cancelling"과 같은 "Interaction Resource")을 하며, 어떤 질문에 답할 때 같은 추론요소를 사용할지라도 이런 추론요소들을 어떻게 연결하고 조직하느냐에 따라서 다른 대답을 한다는 것을 보였다.

### Ontological category(존재론적 범주)

Chi 등(1994)은 개념변화를 개별 개념 내용 자체의 변화보다는 한 개념이 하나의 존재론적 범주에서 다른 존재론적 범주로 이동해 간것으로 보았다. 이 이론은 개념의 기본적인 기능이 범주화에 있다는 가정에서 출발한 것이다. 즉, 사물이나 사건, 또는 현상에 대한 공통된 속성을 범주화하고 그러한 공통된 속성을 추상화한 결과물을 개념이라고 본다면, 개념변화를 범주화의 변화로 볼 수 있다는 것이다. 이 이론에 따르면, 개념변화란 한 개념이 어떤 존재론적 범주에서 이와 다른 범주로 재배정되는 것을 의미한다. 예를 들어, "고래"라는 개념이 "어류" 범주에서 "포유동물" 범주로 재배치되는 것은 기본적인 근원 혹은 개념의 존재론이 변화되었다는 것을 의미한다. Chi 등(1994)은 이러한 존재론적 범주를 크게 물질(matter), 과정(processes), 정신적 상태(mental states)의 세 개로 구별하였다(Fig. 3).

Chi 등(1994)에 따르면, 어떤 분야의 오개념은 그것이 잘못된 범주에 포함되었기 때문에 발생한다고 보았으며, 더불어 이렇게 잘못 위치한 범주에서 올바른 범주로의 변화가 힘들기 때문에 과학 개념변화가 어렵다고 주장한다.

All entities in the world may belong to one of the three (or more) trees.

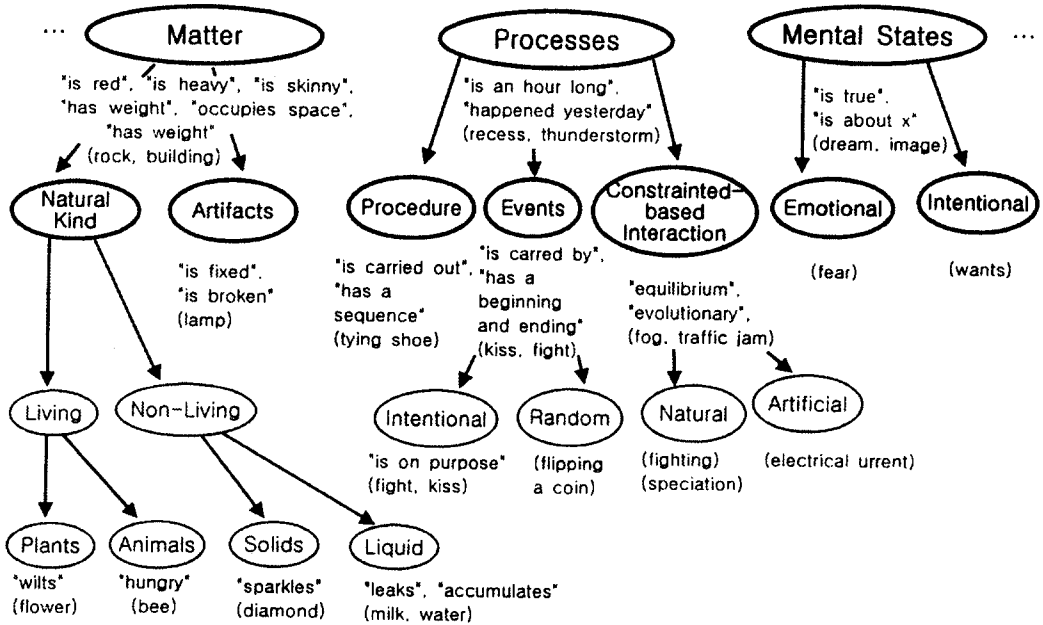


Fig. 3. An epistemological supposition of the nature of our conceptions about the entities in the world (Chi, 1992; Chi et al., 1994)

그러나 그들이 제시한 이론은 한계가 있다. 첫째, 범주 구별이 다소 자의적이다(Vosniadou, 1999). 둘째, 하나의 범주에서 다른 범주로의 변화와 같은 그러한 변화로는 중요한 과학개념을 적절히 설명할 수 없다. 예를 들어, 열 개념의 경우에 일상생활에서 구별되지 않는 열 개념은 구분되어야 한다. 다시 말해서 온도, 열에너지, 내부에너지, 엔트로피 개념 등과 순수한 일상생활의 열 개념은 존재론적이라기 보다는 우선적으로 용어정의상 구별되어야 한다. 셋째, Chi 등(1994)은 Pintrich 등(1993)이 말한 소위 “차가운 개념변화(cold conceptual change)”라고 하는 수준에 대해 논의를 했지만 정의적인 문제들은 다루지 않았다. 넷째, 개념변화에 대한 부분적이고 표면적인 설명만 하였다(Vosniadou, 1994). 즉, 개념변화는 Chi 등(1994)이 논의한 존재론적 변화 유형뿐만 아니라 보다 폭넓은 성질의 변화를 포함해야 한다.

### III. 정신모형(mental model)

Gentner와 Stevens(1983), Mayer(1992), 그리고 Vosniadou와 Brewer(1994) 등은 학습과 관련된 개념변화

는 정신모형(mental model)의 발달을 포함하는 과정이라고 주장한다. Vosniadou와 Brewer(1994)는 그들의 개념 변화 이론에서 사람들이 개념적 지식을 획득할 때는 현상에 대한 개인의 정신모형에 변화가 생긴다고 보았다. 이외에도 인지심리학, 과학철학, 과학교육 등에서 많은 학자들이 정신모형(mental model)을 다양한 각도에서 정의내리고 있다(Franco & Colivaux, 2000; Greca & Moreira, 2000).

사람들은 현상 또는 대화의 내용에 관한 사고활동을 전개할 때 의미론적(semantic) 표상과 이미지(image) 표상을 동원하여 현재의 사고과정에 대한 내적 표상체계를 형성하게 된다. 이 때 작업기억 내에서 두 유형의 정보를 체계적으로 통합하여 현재의 현상을 인식하는 내적 표상을 Johnson-Laird(1983)는 정신모형(mental model)이라고 보고 있다. 그는 정신모형(mental model)을 특정 시간에 특정 상황에 대한 정지된 관점인 이미지와 달리 영화 혹은 비디오에서 상영되어지는 사건들을 보는 것과 같은 방식으로 마음 속에 떠오르는 것으로 본다(Franco et al., 1999). 또한 Johnson-Laird의 정신모형(mental model)은 문제를 풀거나 추리하거나 글을 읽을 때 마음 속에 만들



어지는 모형, 즉 작업기억(working memory) 상의 모형을 의미한다(도경수, 2003).

Gentner와 Stevens(1983)은 정신모형(mental model)이 세상에 대한 그리고 세상이 어떻게 작동하는 지에 관한 인간의 지식과 관련되어있다고 주장한다. 그들의 정신모형(mental model)은 장기기억에 그 내용이 어떻게 표상되어 있는지에 더 중점을 두고 있다. 예를 들어 증기기관에 대한 지식 혹은 모형이 학습자의 장기기억에 어떻게 구성되어 있는가에 따라 과학 개념과는 다른 오개념도 나타날 수 있다고 본다(도경수, 2003). Vosniadou와 Ioannides(1998), Vosniadou 등(1999)은 물리적 현상에 대한 인과적 설명을 하기 위해 혹은 물리적 세계에서 사건의 상황에 대해 예측하기 위해서 정신적으로 조작될 수 있는 역동적이고 생산적인 표상을 정신모형(mental model)으로 보고 있다. Greca와 Moreira(2001)는 상황이나 문제해결 과정에서 구조적으로 유사한 사물을 떠올리는 심적 표상(mental representation)이 정신모형(mental model)이며, 이것의 역할은 사람들이 대화를 이해하려할 때나 물리적 세계에서의 행동을 예상하고 설명하려 할 때 개인의 사고를 설명하는 것으로 보고 있다.

이처럼 여러 분야에서 다양한 연구자들이 정신모형(mental model)에 대한 다양한 정의를 내리고 있다. Franco와 Colinvax(2000)는 정신모형(mental model)의 통일된 정의를 내리는 것이 어렵다는 것을 지적하면서 정신모형(mental model)의 특징을 다음의 4가지로 정리하였다.

- (1) 정신모형(mental model)은 생성력이 있다. 이는 정신모형을 기초로 하여 추론을 함으로써 행동 등을 예측하고 새로운 아이디어를 생산해내기 때문이다.
- (2) 정신모형(mental model)은 암묵적이다. 이는 사람들이 정신모형(mental model)이 구성되고 있다는 것을 알아채지 못하기 때문이다.
- (3) 정신모형(mental model)은 합성적이다. 정신모형은 사회가 제시한 관점을 아동 자신의 생각과 일치시켜 나가려는 시도로 인한 결과이다. 즉, 그 아동의 초기 정신모형(mental model)에 그 문화에서 널리 받아들여진 과학적 설명이 합성되어 나타난 정신모형(mental model)이다.
- (4) 정신모형(mental model)은 세계관에 의하여 제약을 받는다. 정신모형은 사람들이 가지고 있는 일반적인 믿음 체계에 따라 이를 사용하고 발전시킨다. 즉, 사람들은 그들의 세계관에 의해 정신모형(mental model)의 범주를 제

한한다는 뜻이다. Vosniadou 등(1991)의 연구에 의하면 미국, 그리스, 인도, 사모아 아동들의 지구에 관한 정신모형(mental model)은 그 문화를 반영하고 있음을 알 수 있다. Norman(1983)도 정신모형(mental model)이 그 사람의 기술적 배경, 유사한 경험들 그리고 인간 정보 형성 체계의 구조와 같은 것들에 제약을 받는다고 주장했다. 이외에도 학자에 따라서 정신모형(mental model)의 특징으로 부정확함, 불안전함, 복잡함 등을 들고 있다.

Medin, Ross 그리고 Markman(2001)에 의하면, 사람들은 세상에 존재하는 물체나 현상에 관한 추론을 가능하게 하는 유사한 지식구조를 가지고 있는데, 이러한 구조를 정신모형(mental model)이라 하였다. 그들은 정신모형(mental model)이 물체가 어떤 과정을 따라서 작동하는지에 관한 인과적 정보와 관련되어 있기에 경험을 이해하거나 설명하고자 할 때 능동적으로 구성되며, 미래에 발생할 일들을 예상하고 상황을 이해하고자 할 때 자발적으로 구성된다고 보았다. 이러한 정의는 정신모형(mental model)이 특정한 문제 풀이 상황에 직면하였을 때 보통 즉각적으로 생성되어지는 역동적인 구조라고 가정한다 Johnson-Laird(1983) 그리고 Vosniadou와 Brewer(1992)의 설명과도 유사하다고 볼 수 있다.

Vosniadou는 학생들이 가진 정신모형(mental model)을 개념구조(conceptual structure)와 연관지어 좀 더 구체적으로 설명하고 있다(Vosniadou & Brewer, 1994; Vosniadou & Ioannides, 1998; Vosniadou et al., 1999). 그녀는 학생의 개념구조를 크게 틀이론/framework theory)과 특정이론(specific theory)으로 구성된 구조물로 보았다. 틀이론은 마음 깊이 새겨져 있는 존재론적 기본 전제들과 인식론적인 기본 전제들로 구성되어 있으며 물질세계의 운동 방식을 설명하는데 관련된다. 여기서 인식론적 전제들이란 예를 들어, '어떤 현상을 구성하는 것이 무엇인가를 판단하기 위해 개인이 사용하는 증거와 현상은 설명을 필요로 한다는 가정'과 '물리적인 현상을 설명하기 위해 인과적 설명을 사용할 수 있다는 가정' 등을 포함한다. 사람들의 정신모형(mental model)을 제한하는 존재론적인 전제들은, 예를 들어, '물체는 고체이고 안정적이며, 만약 받치지 않는다면 떨어질 것'과 같은 물체의 본성에 대한 기본적인 신념을 의미한다(Vosniadou & Brewer, 1994).

반면, 특정이론은 물질세계의 특성과 행동양식을 묘사하는 내적으로 연관된 명제, 믿음 등의 집합으로 구성된

다. 이러한 특정이론은 물이론의 한계 내에서 문화적 맥락에 근거하여 관찰한 것을 설명하거나 정보를 표현할 때 만들어진다. 따라서 특정한 정신 모형(mental model)은 그것을 발생시킨 개념구조를 근간으로 결정되어지므로, 주어진 질문들에 대답하기 위하여 사용되어진 정신모형(mental model)을 통하여 지식획득과정을 제약하는 물이론과 특정이론 등에 관계된 중요한 정보를 얻을 수도 있다. 예를 들어, 인도의 아동들을 대상으로 수행한 지구의 모양에 관한 정신모형(mental model)을 알아보는 연구에서 지구가 원반(Disc Earth)처럼 생겼고 바다 위에 떠 있다는 모델이 발견되었다(Samarapunggaven, Vosniadou & Brewer, 1996). 이는 “땅은 평평하고 지지되지 않는 물체는 떨어진다” 등과 같은 전제들의 영향 하에 “땅은 같은 평면상에서 확장된다”라든지 “지구 아래 땅과 물이 있다”라는 지구에 관한 관찰이나 문화적인 정보들에 의해 “지구는 평평하고 직사각형 모양이나 원반모양이다”, “지구는 지구 아래의 땅이나 물에 의해 지지받는다” 등과 같은 믿음이 형성되게 되고 이를 바탕으로 지구가 원반모양으로 생겼다는 정신모형(mental model)을 형성하게 된다는 것이다(Fig. 4).

또한, 개인이 인지 작용을 하는 동안에 생성되거나 인

출되어진 정신모형은 새로운 정보가 기존 지식을 기초로 하여 구체화되어 지기에 믿음(beliefs), 전제(presuppositions)와 유사한 방식으로 다른 정신모형(mental model)이 형성될 때 영향을 미치게 된다. 예를 들어, Vosniadou와 Brewer(1994)의 연구에 의하면 지구가 원반모양으로 생겼다고 보는 정신모형(mental model)을 가진 아동들 중에서 일부는 낮과 밤이 바뀌는 것을 평평한 지구 위의 산 뒤로 혹은 구름 뒤로 태양이나 달이 움직이기 때문인 것으로 설명하였다. 이처럼 지구의 모양을 설명하기 위하여 가졌던 정신모형(mental model)은 낮과 밤의 교체를 설명하는 정신모형(mental model)의 형성에 영향을 미친다.

Vosniadou의 정신모형(mental model) 이론에 의하면 정신모형(mental model)은 심층적인 존재론적 기본 전제와 인식론적 기본 전제가 바탕이 되어 형성된 것이므로 그 변화가 쉽지 않을 수도 있다(Vosniadou & Ioannides, 1998). 따라서 정신모형(mental model)을 변화시키기 위해서는 단계적인 순서를 따라야 할 필요가 있다. 예를 들면, 지구가 둥글다는 것을 이해하기 위해서는 먼저 중력을 이해할 필요가 있고, 중력을 옳게 이해하기 위해서는 학생들이 생각하는 ‘위 - 아래’로의 중력 개념을 변화시

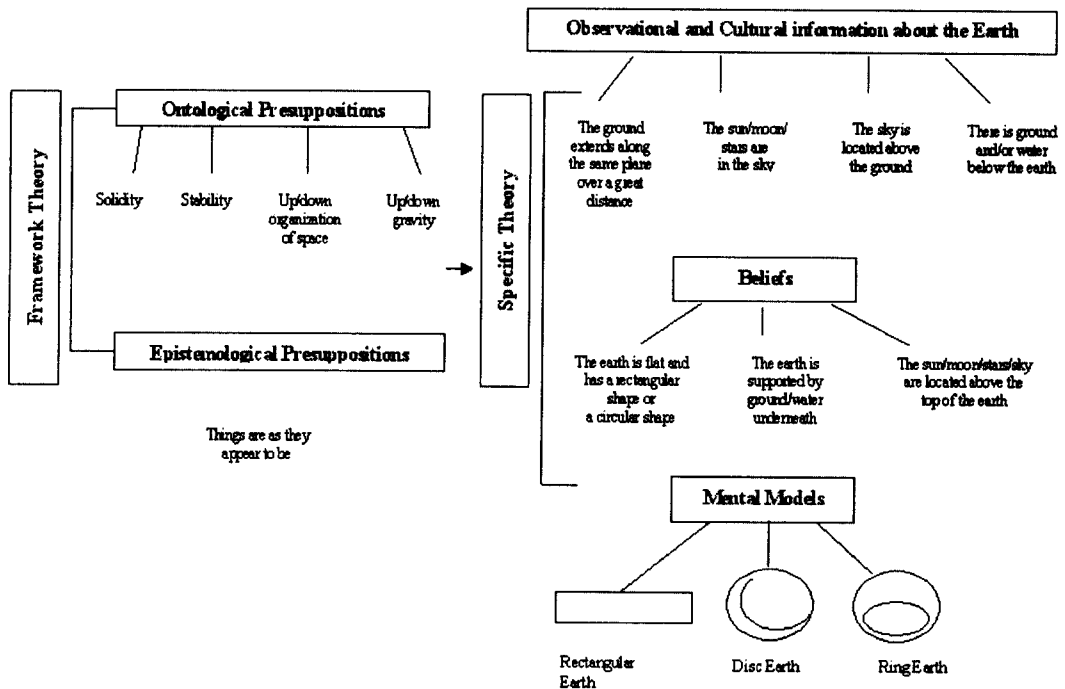


Fig. 4. Hypothetical conceptual structure underlying children's models of the earth (Vosniadou, 2003)

켜야 하며, 중력은 지구중심을 향해 당기는 힘이라는 것을 이해해야 한다는 것이다. 즉, 그들은 개념변화 과정을 기존의 개념과 새로운 개념과의 능동적인 통합을 통해 일어나는 점진적인 변화과정으로 본다. 이러한 관점에 의하면 교사는 학생들이 보다 큰 설명적 적절성(explanatory adequacy)을 갖는, 보다 큰 이론적 구조를 생성시킬 수 있도록 도와야 하고, 다른 관점에서 고려할 수 있는 유연성을 갖도록 도와야 할 것이다.

Vosniadou와 Brewer(1992, 1994), Vosniadou(1994)가 제안한 믿음과 전제들이 diSessa(1993)가 주장한 현상론적 초안에 관한 이론과 유사한 점이 있으나, 그 두 이론들 사이에는 중요한 차이점이 있다. 예를 들어, 현상론적 초안과 달리 틀이론의 전제들은 "조각들"로 작동하는 것이 아니라 상대적으로 일관성있고 설명적인 특성을 가지고 있다. 초심자들과 숙련자 사이의 중요한 차이점 중의 하나는 초심자가 조각난 그들의 지식들을 설명적인 틀로 만드는 능력이 부족한 것이 아니라, 그들이 가진 설명적 틀이 물리의 법칙과 이론과 근본적으로 다른 존재론적 그리고 인식론적 전제들로부터 제약울 받기 때문이다(Vosniadou & Brewer, 1994). 결국 Vosniadou의 깊이 뿌리박힌 신념모델에 의한 개념변화는 Chi 등이 제안한 존재론적 범주의 변화를 개념변화로 본 변화유형보다 다양한 성질의 변화를 포함하는 보다 더 포괄적인 입장을 취하고 있다.

#### IV. 요약 및 논의

지난 20여 년 동안 물리적 세계에 대한 초기 개념들이 어떻게 형성되고, 학생들이 과학 교육을 접하면서 그 개념들이 어떻게 변하여 가는지를 이해하기 위한 연구가 과학 교육자와 인지발달 심리학자들에 의해 이루어졌다. 과학교육자들에 의하여 행해진 개념변화 연구는 개념변화를 도울 수 있는 수업을 위해 설계된 하나의 접근으로서 과학개념학습을 설명할 수 있고 학습을 도와줄 수 있는 이론적 틀을 제공하고자 하였다. 반면 인지발달 심리학에서는 지적 활동을 하는 동안에 머리 속에서 일어나는 것으로 가정되는 인지적, 정신적 과정을 이해하는데 우선 관심을 갖는다. 이러한 연구는 오개념의 형성에 대한 설명 그리고 지식의 습득과정 동안에 일어날 수 있는 여러 종류의 개념변화에 대해 풍부한 기술적 자료를 제공해 주었다. 그러나 인지적 수행과 개념변화를 촉진시키고 수업의

연구와 실재를 안내하기 위해서 필요한 외적, 환경적 변인들에 관해서는 구체적인 정보를 제공하지 않는다. 향후 개념변화 연구에서는 인지발달과 과학교육연구 사이의 매개가 필요한데 이는 바로 정신모형(mental model)에 의해서 제공될 수 있다고 본다.

따라서 본 연구에서는 개념에 대한 상이한 이론적 관점들이 설명하는 개념변화를 우선적으로 살펴보았다. 예를 들어, diSessa의 현상론적 초안(phenomenological primitives)은 현상과 관련된 지식구조로서 이것들은 서로 조각나 있거나 느슨하게 연결되어 있기에, 이러한 조각난 비체계적인 지식 조각들이 보다 복잡한 지식 체계로 체계성을 갖추어 나가는 점진적인 과정을 개념변화과정이라고 보았다. 다시 말해서, 여기에서 개념변화는 좀더 이해할 수 있는 개념구조를 만드는 주로 현상론적 원리의 통합이다. 반면, Facets는 특정 맥락과 결합된 지식 조각들 혹은 추론으로써, 이 이론에 의하면 새로운 facets를 첨가하거나 수정 혹은 facets 간의 관계를 정교화함으로써 학생들의 개념이 발달하는 것으로 본다. 즉, facets과 현상과의 관계 변화와 그들 간의 정합성 및 체계성의 변화를 개념변화로 본다. 그리고 diSessa와 Sherin(1998)은 개념에 대한 개념과 개념을 형성하는 과정을 포함하는 통합체(coordination class)라는 용어를 소개하였으며, 개념변화란 정보추출 전략을 통해 다양한 상황과 정보들을 통합시켜 불변의 특성을 구축해 나감으로써 학생 개념체계가 체계적이고 정합적으로 발달하는 것으로 보았다. 또한, 개념 내용이 현상론적 초안에서 인과적 관련성을 갖게 됨으로써 개념과 현상과의 관계가 변화하는 것도 개념변화로 간주하였다. Chi 등은 하나의 존재론적 범주에서 다른 존재론적 범주로 범주 간 이동, 범주관계의 변화 등을 개념변화로 설명하였다. 이러한 관점들보다 학생의 지식 구조를 보다 세분화하고 구체적인 구성 요소들을 제시하면서 그에 기초한 개념변화를 논의하였고, 특히 왜 과학적 정보에 직면하여 학생들이 예기치 못한 반응을 보이며, 오개념이 변화되기 어려운지를 설명한 것이 Vosniadou의 정신모형(mental model) 이론이다.

Vosniadou는 개념구조를 좀 더 구체적으로 구분하여 설명하고 있다(Vosniadou, 1994, 1999). 그녀는 학생의 개념구조를 크게 '틀이론/framework theory'와 '특정이론/specific theory'으로 구성된 구조물로 보았다. 틀이론은 마음 깊이 새겨져 있는 존재론적 기본 전제들(presuppositions)과 인식론적인 기본 전제들로 구성되어

있으며 물질세계의 운동 방식을 설명하는데 관련된다. 반면, 특정이론은 물질세계의 특성과 행동양식을 묘사하는 내적으로 연관된 명제, 믿음, 정신모형(mental model)의 집합으로 구성된다. 이러한 특정이론은 틀이론의 한계 내에서 문화적 맥락에 근거하여 관찰한 것을 설명하거나 정보를 표현할 때 만들어진다. 이러한 Vosniadou의 정신모형(mental model)의 관점에서 개념변화는 기존 개념에 새로운 개념이 서로 융합되거나 조화를 이루어 가는 다시 말해 개별 정신모형(mental model)이 변화되는 경우, 개념의 기저에 깔린 존재론적 신념이나 인식론적 믿음이 바뀌는 경우, 틀이론과 특정이론의 개념구조가 변하는 경우, 개념과 연결된 현상과의 연관성이 변화하여 현상에 따라 다른 정신모형(mental model)이 형성되는 경우 즉, 관찰을 통해 현상에 따라 믿음이나 정신모형(mental model) 관계 등이 변화하는 경우, 개념구조의 특성이 보다 추상

적 혹은 구체적으로 변화되는 것, 개념구조의 정합성이 변화되는 것 등이 포함될 수 있을 것이다. 이러한 Vosniadou의 정신모형(mental model) 이론과 학생의 개념에 관한 기존의 연구들을 구성요인과 특징, 개념변화유형 등에 따라서 비교한 것이 Table 4에 제시되어 있다.

학생들의 개념과 개념변화를 설명하는 많은 이론들에는, 맥락 즉, 현상만을 관련요인으로 보는 p-prims과 facets, 인과적 연결망과 정보추출전략을 구성요인으로 보며 학생의 개념과 추론과정에 대한 통합적인 설명을 추구하는 coordination class, 물질, 과정, 정신적 상태와 같은 존재론적 범주를 구성요인으로 보며 개념변화를 특정 개념의 범주 간 이동으로 보는 ontological category 등이 있다. 이 이론들은 서로 다른 관련 혹은 구성요인을 가지고 개념변화의 다른 측면을 강조함으로써 연구자나 교사들에게 많은 혼란을 주게 된다. 반면, Vosniadou의 정신

**Table 4.** The comparison between the study of Vosniadou's mental model and the different studies on student's conception

The theories about student's conception	Features	Related factors /Constituents	Conceptual change*	Researchers
Mental model	Mental models are formed from conceptual framework that is the construct that is made up of framework theory and specific theory.	Conceptual framework (Ontology, Epistemology, Belief), Inference, Context	(1), (2), (3), (4), (5), (6)	Vosniadou, Brewer
P-prims	Knowledge structure related to phenomenon	Context (phenomenon)	(4), (6)	diSessa
Facet	The pieces of knowledge or inference combined in specific context.	Context (phenomenon)	(4), (6)	Minstrell
Coordination class	Coordinated explanation of student's conception and the process of inference.	Causal net, Readout	(6)	diSessa, Sherin
Ontological category	The theory insists that conceptual change should be the movement of specific conception between ontological category.	Ontological category (matter, process, mental state)	(2)	Chi

\* The classification based on six views about what changes and how it changes in conceptual change(park, 2002) - (1) change of individual conceptions by itself (2) movement between ontological categories and change of categorical characteristics (3) change of conceptual structure (4) change of relation between conception and situation (5) change of abstraction (6) change of the internal coherence / systematicity

모형(mental model)은 존재론적 전제, 인식론적 전제, 믿음과 같은 개념구조의 구성요소와 추론, 맥락과 같은 것들을 관련요인으로 보기에 위에서 언급한 학생의 개념을 설명하는 다른 이론들의 관련 혹은 구성요인을 통합적으로 고려하고 있다. 뿐만 아니라, 개념변화를 바라보는 입장도 각 구성요소에 따라서 다양한 관점으로 해석이 가능하다. 또한 Vosniaou(1994)는 학생의 개념 구조를 보다 세분화하고 구체적인 구성 요소들을 제시하면서 그에 기초한 개념변화를 논의하였다. 특히 그녀는 왜 과학적 정보에 직면하여 학생들이 예기치 못한 반응을 보이며, 오개념이 변화되기 어려운지를 정신모형(mental model)의 형성과정과 이 형성에 영향을 끼치는 요인들을 고려하여 설명함으로써 개념의 상황의존성에 관하여 효과적으로 설명한다. 이러한 정신모형(mental model) 이론으로 기존에 연구되어진 오개념 형성 원인들이 어떻게 연관되는지를 좀더 체계적으로 설명함으로써 오개념 형성과정, 하나의 오개념에서 다른 오개념으로의 이동과정, 학생의 개념변화 과정을 왜 연속적으로 수정 분화되어 가는 과정으로 볼 수 있는지도 설명할 수 있다(Fig. 5).

학생들이 현상을 관찰함으로써 또는 수업 등을 통하여 새로운 정보를 획득할 때, 때때로 교사 등 오개념 형성의 외적요인에 영향을 받으며, 이를 통해 현상에 대한 믿음을 형성하게 된다. 이 믿음은 감각적 경험에 의한 직관적 사고, 물체에 물리적인 양 부과, 제한된 주의집중과 평형상태보다 변화하는 상태에 주의 집중하는 문제 상황과 관련된 외적요인, 근접성의 원리, 관찰가능하지 않은 것에 대한 존재 부정, 논리적 조작 미숙, 시간에 따른 순차적 인과관계 등과 함께 학생 자신의 상황에 따른 정신모형 형성에 영향을 미치게 된다.

### V. 향후 연구과제

본 연구는 학생의 과학개념이 어떻게 형성되고 변화되어지는가에 대한 것을 알아보기 위하여 문헌분석을 통하여 그 동안 연구되어온 학생의 과학개념 관련 이론들을 비교하였고, 특히 과학 개념변화 연구에서 학생의 개념에 관한 연구에 관하여 알아보았다. 연구에서는 먼저 정신모형(mental model) 연구를 개념변화 연구의 새로운 이론적

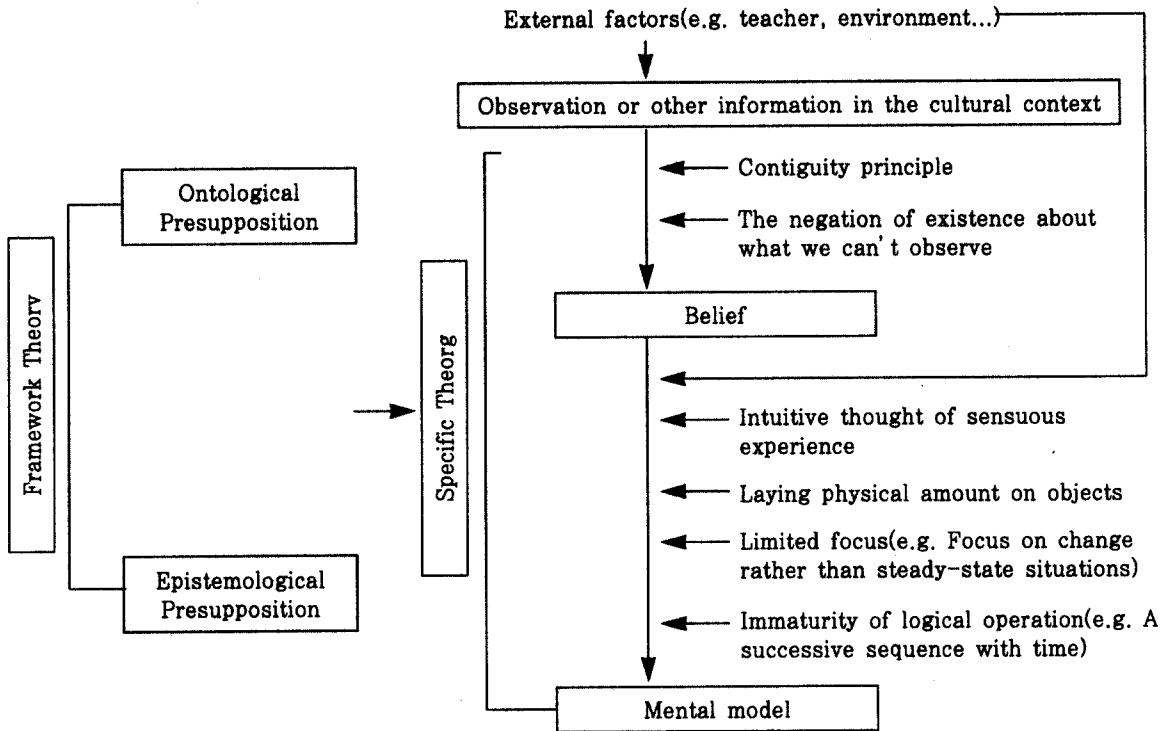


Fig. 5. The internal and external factors affecting on mental model in conceptual structure

접근들인 p-prim, facet, coordination class, ontological category와 학습자의 선개념의 본성, 오개념의 형성, 개념 변화를 보는 관점 등을 비교분석하였다. 다음으로 인지심리학과 과학교육 분야에서 꾸준히 연구되어온 정신모형(mental model) 이론을 살펴보았다. 연구결과 이제까지 연구자들 사이에서 공통적으로 정의되어 사용하고 있는 정신모형(mental model)에 대한 정의는 없지만(Rouse & Morris, 1986), Johnson-Laird, Genter와 Stevens 등을 거쳐 Vosniadou로 오면서 정신모형(mental model)은 보다 구조적인 설명체계를 가지고 학생개념의 변화가능성, 역동성 등을 설명하는 방향으로 발전해왔음을 확인하였다. 특히, Vosniadou의 모델은 개념구조를 존재론적, 인식론적 전제들로 이루어진 '틀이론'과 명제, 믿음, 정신모형(mental model)으로 구성된 '특정이론'으로 구체적으로 제시하였다. 그리고 개념구조 속에서 개념변화가 일어나려면 학생들이 가지고 있는 경험적 신념의 한계와 다른 설명으로 대체해야 하는 필요성을 이해할 때만이 일어날 수 있다는 것을 알 수 있었다.

Vosniadou는 효과적인 수업을 위해서는 첫째, 교사는 아동의 경험적 신념에 대해 반드시 알아야 하며, 둘째, 교사들은 학생들로 하여금 자신의 신념에 의문을 품을 이유를 제공할 수 있어야 하고, 셋째로 학생들이 이미 가지고 있는 설명적 틀이 다른 설명적 틀로 대체될 이유도 제공할 수 있어야 한다고 보았다. 끝으로, 수업 계열은 한 영역을 구성하는 여러 가지 개념들의 습득 순서에 위배되지 않도록 조직되어야 한다고 보았다(Vosniadou, 1991). 이와같은 정신모형에 관한 연구는 학생의 개념틀을 이해해야 하는 교사와 교육과정 개발자에게 새로운 시사점을 제공해준다. 더불어 정신모형에 관한 이론적 논의를 통하여 앞으로 학생의 정신모형(mental model)을 조사하고, 학생의 개념변화(정신모형의 변화)를 체계적으로 설계하는데 중요한 기여를 하게 될 것이다.

앞으로 가까운 미래에 해결해야할 정신모형(mental model) 관련 연구문제들을 제시하면 다음과 같다. 첫째, 인지구조를 이루는 요소들, 즉 전제조건(presupposition), 믿음, 정신모형(mental model) 등의 구분이 좀 더 구체적인 기준을 바탕으로 명확하게 이루어질 필요가 있다. 둘째, 지구모양에 대한 전형적인 예 이외에도 역화이나 전자기 분야에서 다양한 개념과 관련된 정신모형(mental model)에 대한 연구가 필요하다. 이러한 연구를 통하여 기존 정신모형(mental model) 이론을 좀더 정교화하면서

보다 응용가능한 이론으로 발전 시켜나갈 수 있을 것이다. 셋째, 정신모형(mental model)을 조사하는 방법을 발전시켜나갈 필요가 있다. 정신모형(mental model)은 사람들의 마음 안에 존재하는 것이므로 이를 직접 알아낼 수 없기에 자칫 주관적인 판단에 따라 연구결과를 만들고 해석할 가능성이 높다. 특히, 기존의 연구에서 정신모형(mental model) 탐색과정에 관한 자세한 언급이 없기 때문에 이와 같은 위험성을 증대시키고 있다. 앞으로의 연구에서는 앞서 지적한 문제점을 극복하고 정신모형에 관한 보다 체계적인 연구방법의 개발과 안내과정이 이루어져야 할 것이다.

## 국문 요약

1970년대 초반 시작된 학생들의 과학개념에 관한 연구는 80년대 들어서면서 자연스럽게 과학개념변화연구로 발전하였다. 한편 학생의 과학 개념변화의 본질, 어려움 등에 관한 논의과정에서 학생의 개념에 대한 연구 또한 한층 더 발전되어 왔다. 특히, 최근 과학교육 연구에서 학생의 과학개념 형성과 변화에 대한 심층적인 논의의 한 가지 이론적 배경으로 정신모형(mental model)에 대한 관심이 높아지고 있다. 정신모형(mental model)은 일찍이 인지심리학 분야에서 연구되어왔으며, 과학교육분야에서 일부 연구자들에 의해서 부분적으로 논의되어왔다. 그러나 정신모형(mental model)이 학생의 개념에 관한 기존의 연구들에서 사용한 용어나 설명 등과 비교하여 어떠한 차이가 있는지를 체계적으로 밝힌 논문은 찾아보기 어렵다. 더불어 과학교육 분야에서 정신모형(mental model)에 대한 구체적인 예시와 실증적인 자료는 아직 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 학생들의 과학개념변화와 학습을 설명하는 한 가지 틀로서 정신모형(mental model)의 의미와 향후 연구방향 등에 관하여 논의하였다.

## 참고 문헌

- 김범기, 권재술(1995). 과학개념과 인지적 갈등의 유형이 학생들의 개념변화에 미치는 영향. 한국과학교육학회지, 15(2), 472-486.
- 김판수, 박수자, 심성보, 유병길, 임체성, 허승희, 황홍섭 (2003). 구성주의와 교과교육. 서울: 학지사.

- 권재술(1999). 오개념과 유사한 용어들. <http://iskwon.knue.ac.kr>(2003. 10. 11. 검색)
- 권재술, 이경호, 김연수(2003). 인지갈등과 개념변화의 필요조건과 충분조건. 한국과학교육학회지, 23(5), 574-591.
- 도경수(2003). 사적인 대화(e-mail)
- 박종원(2002). 학생 개념체계의 연속적 세련화와 정교화를 통한 개념 변화과정 - 이론적 논의를 중심으로 - 한국과학교육학회지, 22(2), 357-377.
- 안수영(1989). 전류현상 관찰 전후에 있어서 학생들의 오인유형 및 그 변화. 한국교원대학교 석사학위 논문.
- 안수영, 권재술(1995). Pascual-Leone의 신 피아제 이론에 의한 오개념의 본질에 대한 심리학적 접근. 한국과학교육학회지, 15(2), 185-193.
- 이명제, 김찬중, 최승언(1993). 실험실맥락과 지구환경맥락의 문제해결에서 활성화되는 지식의 차이. 한국과학교육학회지, 13(2), 257-271.
- 이명제(1994). 고등학교 학생들의 문제해결에서 맥락에 따라 활성화되는 지식의 우선순위 차이. 한국과학교육학회지, 14(3), 304-311.
- 이명제(1995). 문제해결과정에서 나타나는 지각평형 개념에 대한 사고유형의 맥락에 따른 차이. 한국지구과학학회지, 17(1), 31-38.
- 이선경, 박현주, 김우희(2000). 일반화학 학습의 맥락에서 동기적 신념과 사회-문화적 가치에 관한 개념 생태의 범주. 대한화학회지, 44(3), 266-280.
- 유병길(2000). 개념변화: 급진적 구성주의에 의한 해석 (1). 한국초등과학교육학회지, 19(1), 85-99.
- 조희형(1984). 선입관의 철학적 배경 및 오인과 과학학습의 관계. 한국과학교육학회지, 4(1), 34-43.
- 조희형(1988). 과학교육과정 및 과학 교수/학습의 이론적 배경과 미래의 과학교육에 대한 시사점. 한국과학교육학회지, 8(2), 33-41.
- 조희형, 박승재(1995). 과학 학습지도 : 계획과 방법. 서울: 교육과학사.
- 최정렬(2003). 초등학교생들의 별에 대한 질적 연구. 채동현, 박현주, 이수영 공저. 과학교육의 질적 접근. 서울: (주) 북스힐, 161-181.
- 한국교원대학교 물리교육연구실(1993). 과학 오개념 편람 (역학편).
- Carey, S.(1985). *Conceptual Change in Childhood*. MIT Press: Cambridge, MA.
- Chi, M. T. H.(1992). Conceptual change and ontological categories: Examples from learning and discovery in science. In R. N. Giere(Ed.), *Cognitive Models of Science, Minnesota studies in the Philosophy of Science*, Vol. 15, Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Chi, M. T. H., Slotta, J. D., & de Leeuw.(1994). From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction*, 4, 27-43.
- diSessa, A. A.(1993). Toward an Epistemology of Physics. *Cognition and Instruction*, 10, 105-225.
- diSessa, A. A., & Sherin, B. L.(1998). What change in conceptual change?. *International Journal of Science Education*, 20(10), 1155-1191.
- Driver, R., Guesne, E., & Ibergien, A.(1985). Some features of children's ideas and their implications for teaching. In R. Driver, E. Guesne & A. Tiberghien(Eds.), *Children's Ideas in Science*. Buckingham: Open University Press, 193-201.
- Franco, C., de Barros, H. L., Colinvaux, D., Krapas, S., Queiroz, G., & Alves, F.(1999). From scientist's and inventors' minds to some scientific and technological products: relationships between theories, models, mental models and conceptions. *International Journal of Science Education*, 21(3), 277-291.
- Franco, C., & Colinvaux, D.(2000). Grasping mental models. In G. John & B. Carolyn(Ed.), *Developing Models in Science Education*. Boston: Kluwer Academic Publishers, 93-118.
- Galili, I. (1996). Students' conceptual change in geometrical optics. *International Journal of Science Education*, 18(7), 847-868.
- Gelman, R.(1990). First principles organize about relevant data: Number and the animate-inanimate distinction as examples. *Cognitive Science*, 14, 79-106.
- Gentner, D., & Stevens, A. L.(Eds.)(1983). *Mental Models*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum

Associates.

- Gilbert, J. K., Osborne R., & Fensham P.(1982). Children's science and its consequences for teaching. *Science Education*, 66(4), 623-633.
- Glynn, S. M., Yeany, R. H., & Britton, B. K.(1991). A constructive view of learning science. In S. M. Glynn, R. H. Yeany & B. K. Britton(Eds.), *The Psychology of Learning Science*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 3-19.
- Greca, I. M., & Moreira, M. A.(2000). Mental models, conceptual models, and modelling. *International Journal of Science Education*, 22(1), 1-11.
- Greca, I. M., & Moreira, M. A.(2001). Mental, physical, and mathematical models in the teaching and learning of physics. *Science Education*, 86(1), 106-121.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental Models: Towards a cognitive science of language, inference and consciousness*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E.(1992). Knowledge and thought: Mental models that support scientific reasoning. In R. A. Duschl & R. J. Hamilton(Eds.), *Philosophy of Science, Cognitive Psychology, and Educational Theory and Practice*. State University of New York Press, 226-243.
- Medin, D. L., Ross, B. H., & Markman, A. B.(2001). *Cognitive Psychology*. Harcourt College Publishers.
- Minstrell, J.(1992). Facets of students' knowledge and relevant instruction. In R. Duit, F. Goldberg, and H. Niedderer(Eds.), *Research in Physics Learning : Theoretical Issues and Empirical Studies*. Kiel, Germany: Institute for Science Education at the University of Kiel, 110-128.
- Nussbaum, J.(1985). The Earth as a cosmic body. In R. Driver, E. Guesne & A. Tiberghien(Eds.). *Children's Ideas in Science*. Buckingham: Open University Press.
- Norman, D, A.(1983). Some observations on mental models. In D. Gentner & A. L. Stevens(Eds.), *Mental Models*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 7-14.
- Osborne, R., & Freyberg, P.(1985). *Children's Science Learning in Science*. Auckland: Heineman.
- Pintrich, P. R., Mark, R. W., & Boyle, R. A.(1993). Beyond cold conceptual change: The role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change. *Review of Educational Research*, 63, 167-199.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A.(1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211-227.
- Radish, E. F.(2003). *Teaching Physics*. John Wiley & Sons, INC.
- Rouse, W. B., & Morris, N. M.(1986). On looking into the black box: Prospects and limits in the search for mental models. *Psychological Bulletin*, 100, 349-363.
- Samarapungavan, A, Vosniadou, S., & Brewer, W. F.(1996). Mental models of the Earth, Sun, and Moon: Indian children's cosmologies. *Cognitive Development*, 11, 491-521.
- Saunders, W. L., & Jesunathadas, J.(1998). The effect of task content upon proportional reasoning. *Journal of Research in Science Teaching*, 25(1), 59-67.
- Schnotz, W., & Preuß, A.(1999). Task-dependent construction of mental models as a basis for conceptual change. In W. Schnotz, S. Vosniadou & M. Carretero(Eds.), *New Perspectives on Conceptual Change*. New York : Pergamon, 193-222.
- Strike, K. A., & Posner, G. J.(1985). Conceptual change view of learning and understanding. In L. West & L. Pines(Eds.), *Cognitive Structure and Conceptual Change*. Orlando: Academic Press, 211-231.
- Vosniadou, S.(1991). Conceptual Development in Astronomy. In S. M. Glynn, R. H. Yeany, & B. K.



- Britton(Eds.), *The Psychology of Learning Science*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 149-177.
- Vosniadou, S., & Brewer, W. F.(1992). Mental models of the Earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24, 535-585.
- Vosniadou, S., & Brewer, W. F.(1994). Mental models of the day/night cycle. *Cognitive Science*, 18, 123-183.
- Vosniadou, S.(1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4, 45-70.
- Vosniadou, S., & Ioannides, C.(1998). From conceptual development to science education: a psychological point of view. *International Journal of Science Education*, 20(10), 1213-1230
- Vosniadou, S.(1999). Conceptual change research: State of the art and future direction. In W. Schnotz, S. Vosniadou & M. Carretero(Eds.), *New Perspectives on Conceptual Change*. New York : Pergamon, 3-13.
- Vosniadou, S., Kayser, D., Champesme, M., Ioannides, C., & Dimitracopoulou, A.(1999). Modelling elementary school students' solution of mechanics problems. In D. Kayser & S. Vosniadou(Eds.), *Modelling Changes in Understanding: Case Studies in Physical Reasoning*. Oxford: Pergamon, 61-105.
- Vosniadou, S. Learning, Cognition and the Problem of Conceptual Change. In vosniadou.pps. <http://primus.arts.u-szeged.hu/pedkonf/vosniadou.html>(2003. 4. 4. 검색)
- Wandersee, J. H., Mintzes, J. J., & Novak, J. D.(1994). Research on alternative conceptions in science. In D. L. Gabel(Ed.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. Macmillan Publishing Company, 177-210.
- Wellman, H. M., & Gelman, S. A.(1992). Cognitive development. Foundational theories of core domains. *Annual Review of Psychology*, 43, 337-375.
- Wittmann, M. C. (2002). The object coordination class applied to wave pulses: Analysing student reasoning in wave physics. *International Journal of Science Education*, 24(1), 97-118.