

개념변화: 사이버네틱스 관점에 의한 해석(II)

유병길

(부산교육대학교)

Conceptual Change: An Interpretation by Cybernetics (II)

Yoo, Pyoung-Kil

(Busan National University of Education)

ABSTRACT

Although there are some challenges to a view of science learning as conceptual change, the view still occupies an important position in science learning and teaching. Conceptual change theory implies that students' conceptions need to be exchanged for the new science conceptions. This was at the heart of conceptual change theory of Posner *et al.* (1982). According to this theory, cognitive conflict is known as an important factor in conceptual change even though there is still a controversial on effects on science learning. This study is intended to interpret the cognitive conflict from cybernetics' perspective and explain difficulties of conceptual change which students have in learning science and the conditions of conceptual change.

Key words : conceptual change, cognitive conflict, cybernetics, inner conflict, PCT

I. 서 론

과학교육에 있어서 학습을 개념변화의 과정으로 보는 견해에 대해 일부 이의 제기가 있지만(Linder, 1993; Solomon, 1994), 학생들이 수업에 가지고 들어오는 사전지식들은 교육과정에서 의도하는 지식과 다르다는 것이 공통된 견해이기 때문에 학습을 개념변화로 보는 견해가 지배적인 패러다임을 형성하고 있다. 학생들의 수업전 개념으로부터 과학개념으로 이르게 하는 방법은 특히 기존에 가지고 있는 개념의 근본적인 재구성을 필요로 하며, 그 기본적인 가정은 새로운 개념의 구성, 즉 학습은 기존의 개념을 토대로 해서만 가능하다는 것이 구성주의적의 주된 아이디어이다(권재술, 1989; 권재술 등, 2003; 노태희 등, 2001; 박지연과 이경호, 2004; 조희형, 1988). 학생들은 수업에 들어오기 전에 다양한 경험으로부터 구성된 지식을 가지고 있으며, 이 수업전 개념은 학습에 지대한 영향을 미치며, 변화시키기 어려운 것으로 알려져 있다(Duit, 1994; Wandersee *et al.*, 1994).

Duit와 Confrey(1996) 및 Duit와 Treagust(1998)는 과학교육 연구에서 개념변화에 사용되는 교수-학습 방법들을 연속적(진화적)인 방법과 불연속적(혁명적)인 방법으로 분류하고 있으며, 연속적인 방법들은 불연속적인 방법에서 요구되는 근본적인 재구성을 “피하려고”(혹은 우회하려고) 한다. 그와 같은 방법들은 주로 과학개념이나 아이디어에 대한 재해석과 일치하는 학생들의 개념구조의 관점에서 시작된다. 연속적인 방법에는 다시 두 가지 방법으로 나뉘는데, 학생들이 가지고 있는 개념으로부터 시작하는 첫 번째의 경우에 출발개념과 목표개념 간의 조화를 고려하여 단계적으로 전개된다. 모든 경우에 대상으로 하는 과학 현상과 원리들을 다룰 때 학생들이 구성한 개념으로부터 시작할 필요는 없으며, 해당 과학내용의 특징 혹은 구조로 이끌 수 있는 영역의 지식으로부터 시작할 수도 있다. 비유나 은유를 사용하는 방법(김영민과 박승재, 1992; Duit, 1991; Glynn *et al.*, 1995)과 가교방략(bridging strategy)이 이에 해당한다(Clement, 1987; Brown & Clement, 1992). 두 번째

의 “재해석”의 경우에 그 전략은 조금 다르다. 온도의 개념은 많은 학생들에게 어려운 것이며, 종종 열과 혼동한다(Erickson & Tiberghien, 1985). 특히, 만약 한쪽 물체가 다른 쪽 물체보다 더 차갑다고 느끼면, 학생들은 종종 첫 번째 물체가 온도가 더 낮다고 믿는다. 이때 학생들이 사용하는 온도라는 개념은 ‘열전도도’와 같기 때문에 Grayson(1996)은 개념치환이라고 부르고 있다. 연속적인 접근들은 특별한 과학 주제 구조의 신중한 재구성을 필요로 한다는 것이 명백하게 된다.

불연속적인 방법은 학생들의 개념과 과학개념이 뚜렷하게 대비된다. 인지적 갈등 전략은 이러한 범주에 들어가는 모든 접근에서 주요한 역할을 하며, 세 가지 기본적인 인지적 갈등이 있다(Scott *et al.*, 1992). 첫째, 학생들에게 예상을 하게 하고 이것이 실험결과와 모순이 되게 함으로써 생성되는 갈등의 종류이다. 둘째, 학생의 아이디어와 교사의 아이디어간의 갈등이다. 셋째, 학생들의 믿음 속에 있는 갈등이다. 인지적 갈등의 이론적인 지침은 일반적으로 위에서 기술된 Piaget의 아이디어, 즉 지적 비평형은 평형이 복구될 때까지 동화와 조절간의 상호작용을 요구한다는 것이다(권재술, 1989; Dykstra, 1992; Rowell & Dawson, 1985). 또한 Festinger(1962)의 불일치(dissonance) 이론이 반영기도 한다.

“순환학습”(Lawson *et al.*, 1989)과 같이 전적으로 삐아제의 이론에 입각한 불연속적인 접근들과 이 이론을 명백히 거부하는 CLISP 구성주의적 수업모형(constructivist teaching sequence in Children's Learning in Science Project) 접근들은 개념변화의 처리에 대해 매우 조금만 다를 뿐이다(Driver & Scott, 1996). 왜냐하면 마지막에 가서는 개념변화 “메커니즘”에 대해 똑같은 삐아제의 아이디어를 사용하고 있기 때문이다(Duit, 1994). 정완호 등(1996)은 교수·학습모형에 대한 유의미한 분석을 제공하고 있다. 이들 연구자들도 지적하고 있듯이 인지갈등 수업모형, 발생학습 수업모형, 순환학습 수업모형, 가설검증 수업모형(이들 자세한 수업모형에 대한 설명은 정완호 등, 1997 참조)은 서로 유사한 면이 있다고 보고하고 있다. 또한 Gil-Pérez(1996)는 구성주의 접근에 따른 여러 가지 모델들로서 제시된 많은 교수에 대한 제안들은 몇 가지 미묘한 차이들은 있지만 인지적 갈등을 유발하여 해소하는 단계를 밟고 있다고 지적하고 있다.

그러나, 인지적 갈등을 강조하고 있는 많은 교수와 학습에서 명시적으로나 묵시적으로 가정하고 있듯이 인지적 갈등을 유발시키기 위한 반증 활동이나 변칙 데이터(anomalous data)의 제시는 반증이 반드시 학생들의 견해를 변화시키지 못한다는 문제점이 지적되고 있다(Chinn & Brewer, 1993; Duit, 1994). 인지적 갈등 전략의 중요한 논점은 학생들이 갈등을 알아채느냐 하는 것인데, 교사의 시각과 명백히 모순이 있는 것처럼 보이는 것도 학생들의 시각에서는 다를 수 있거나 전혀 모순이 없을 수도 있기 때문이다(권재술 등, 2003; 김지나 등, 2000; 오원근 등, 1998; Duit & Confrey, 1996).

개념변화에 대한 가장 영향력있는 이론은 Cornell 대학 (Hewson 1981; Posner *et al.*, 1982; Strike & Posner 1985)의 과학교육자와 과학철학자 그룹에 의해 개발되었다. 그 이론은 과학교육에서 뿐만 아니라 다른 분야에서도 ‘매우 대중적이고 유용한’ 것으로 되어 있으며(Pintrich *et al.*, 1993), 폭넓게 적용되어 왔다. 그 이론에 따르면, 개념변화를 촉진하는 4가지 조건이 있다. 현재의 개념에 불만족 하여야 하며, 새로운 개념은 알기 쉽고, 초기에 그럴 듯하고 유익하여야 한다는 것이다.

그러나 기존의 개념에 불만족 혹은 불일치하더라도 반드시 교사가 원하는 바대로 개념변화가 일어나는 것은 아니며(Chinn & Brewer, 1993), 특히, 권재술 등(2003)은 불일치 조건은 인지적 갈등의 필요조건이지만 충분조건은 아니며, 또한 인지적 갈등은 개념변화의 필요조건은 되지만 충분조건은 아니라고 주장하고 있다.

Strike와 Posner(1992)는 개념변화에 대한 자신들의 논문(Posner *et al.*, 1982)을 비판적으로 검토한 후에 “학습자들의 개념 생태계를 기술할 때, 설명되어야 할 더 폭넓은 요인들이 필요하다. 동기와 목표들 그리고 그것들 중에 제도적이고 사회적인 원천들을 고려할 필요가 있다. 따라서 개념 생태계에 대한 아이디어는 과학사와 과학철학에서 제안하는 인식론적 요인들보다 더 클 필요가 있다”고 진술하고 있다.

사이버네틱스는 급진적 구성주의의 인식론적 관점과 그 맥을 같이 하며(Schmidt, 1987), 생물학적·인지적 체계의 개념을 환경과 변증법적으로 상호작용하는, 내적으로 조정된 전체로 파악하는 Piaget 역시 자주 사이버네틱스를 호의적으로 언급하였다(Boden, 1994). 생명을 본질적으로 자기조직적으로 간주하는

Piaget는 사이버네틱스 모델들이 자기조절 메커니즘의 본질에 빛을 던지는 유일한 모델이며, 모든 인지 메커니즘과 관련된 구조들에 직접적인 표현을 주는 것으로 보았다. 사이버네틱스로부터 지각제어 이론(perception control theory, 이하 PCT)을 고안한 Powers (1973)는 Piaget가 자신의 원리를 공식적인 진술로 조직화하지 않고서 적용하고 있지만 Piaget와 동일한 결론으로 수렴되는 또 다른 접근법이라고 기술한 바가 있다(Powers, 1974). 또한 Richards와 Glasersfeld (1979)는 사이버네틱스 모델이 Piaget의 인지발달 모델과 상당히 양립 가능하며 Powers의 PCT와 Piaget의 지식구성 메커니즘과의 유사성을 지적하기도 하였다.

개념변화에 대한 연구들을 검토해 본 결과, 논의의 여지가 있는 것은 크게 학생들의 수업전 개념의 변화의 어려움, 개념변화 조건, 수업에서 인지적 갈등 역할로 생각할 수 있다. 선행연구(유병길, 2000)에서는 급진적 구성주의의 관점에서 지식구성이라는 측면에서 개념변화를 살펴보았으며, 이 연구에서는 위의 세 가지 문제를 사이버네틱스에 기반을 둔 Powers의 PCT의 관점에서 분석해 보고자 한다.

II. 사이버네틱스에 대한 개관

사이버네틱스(cybernetics)는 복잡계에서 추상적인 조직의 원리를 연구하는 학문이다. 사이버네틱스는 시스템이 무엇으로 구성되어 있는가에 많은 관심을 두지 않고 시스템이 어떻게 기능을 발휘하는가에 관심을 둔다. 사이버네틱스는 다양한 교란을 중화하여 목표를 향해 나아가고 유지하기 위해서 정보, 모델, 제어 작용을 시스템이 어떻게 사용하는가에 초점을 맞춘다. 사이버네틱스는 본질적으로 교차적인 학문이기 때문에 사이버네틱스의 추론은 어떤 종류의 시스템 - 물리적, 기술적, 생물학적, 생태계적, 심리학적, 사회적 혹은 이들 간의 결합 - 을 이해하여 모델화하고 설계하는데 적용될 수 있다. 특히 2계 사이버네틱스는 시스템과 다른 관찰자의 모델의 구성에 있어서 (인간) 관찰자의 역할을 연구한다 (Heylighen & Joslyn, 2001).

아마도 사이버네틱스의 가장 근본적인 공헌은 제어와 정보에 의해 마음과 생명의 핵심적인 특징인 목적성 혹은 목표 지향적 행동에 대한 설명일 것이다. 목표 상태를 달성하고 유지하려는 욕의 피드백 루프

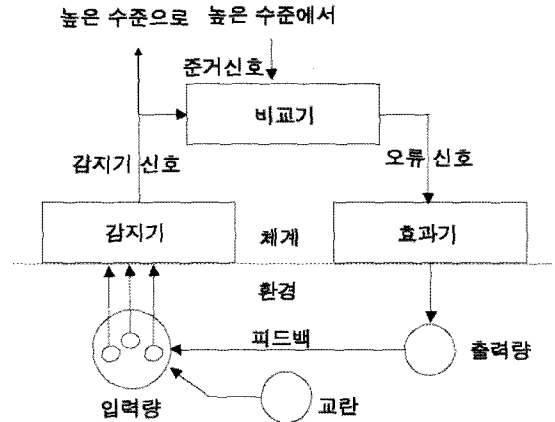


그림 1. 기본적인 제어 시스템(1계 수준)

(negative feedback loop)는 유기체의 자율 특징에 대한 기본적 모델로서 간주되었다. 유기체의 행동은 목적적이기 때문에 환경이나 내적인 역동적 과정 어느 하나에 의해 엄격히 결정되지 않는다(Heylighen & Joslyn, 2001).

Powers의 PCT(Powers, 1973, 1989; Robertson & Powers, 1998)에서 제안된 기본적인 조직은 그림 1에 나타난 바와 같이 지각(감지기 신호), 지각과 준거조건(준거신호)과 비교, 오류의 검출, 지각에 영향을 주는 행동작용으로 오류의 변환, 행동작용으로 이루어져 있다. 시스템은 목표를 추구하고 목표는 준거신호에 의해 제시된다. 이 모델에서 목표들은 항상 지각에 대한 목표들이며, 앞서 지각하기로 의도한 것을 지각하기로 끝맺도록 행동한다(Powers, 1974).

사이버네틱스에 의한 지각의 제어에 대한 Powers (1973, 241p.)의 다음과 같은 예를 통해 기본적인 피드백 기제를 살펴보도록 한다. 고무 밴드 두 개를 준비하여 하나의 고무밴드를 다른 하나의 고무밴드 속으로 집어넣고 그 끝을 다시 두 번째 고무밴드 속으로 집어넣어 당기면 가운데 매듭이 생기고 두 고무줄은 서로 이어지게 된다. 다음으로 책상 위에 압정을 꽂는다. 제어자(피험자)와 실험자 두 사람이 마주 보고 앉아서 각자의 손가락을 이어진 두 개의 고무밴드 끝에 건다. 처음에 제어자로 하여금 매듭이 압정 위에 계속 놓이도록 하게 하고 실험자는 회전없이 고무줄을 앞뒤로만 당긴다고 하자. 이 경우, 관찰자의 관점에서 제어자의 준거조건은 “압정 위의 매듭이 놓임”이 된다.

이 이론에 따르면 제어자는 매듭이 실제로 움직이

고 있을 때 압정에 상대적인 매듭의 위치를 지각한다. 지각된 관계는 “압정 위에 매듭이 놓임”이라는 준거조건과 비교된다. 이 준거조건은 압정과 매듭 간의 상대적인 위치를 계량하여 0이라는 준거신호로 비교기로 내 보내게 된다. 어떤 시점에서 압정으로부터 매듭의 지각된 거리인 차이는 오류신호를 발생시킨다. 이 오류신호는 압정과 매듭간의 거리의 지각을 준거상태로 이르게 할 행동작용, 즉 고무밴드의 끝을 움직임으로 변환된다. 고무밴드가 압정 위로 일직선상에 있고 매듭은 압정 위에 있는 상태에서 실험자가 고무밴드를 잡아당기면 제어자의 눈은 매듭과 압정의 상대적인 차이를 지각하게 되고 이것은 오류신호를 발생시켜 제어자로 하여금 고무줄을 잡아당기는 행동작용을 하게 된다. 이 과정에는 음의 피드백이 잠입되어 있다. 즉, 실험자가 고무밴드를 잡아당기(교란)면 눈(감지기)은 매듭과 압정과의 위치를 감지하여 예를 들어 5 cm라고 하는 상대적인 거리의 차이(감지신호)를 비교기로 보내게 된다. 비교기는 “압정 위에 매듭이 놓임”(상대적인 거리 = 0)이라는 준거신호와 비교한다. 준거신호와 감지신호의 차이 5 cm는 오류신호를 발생시키고 이 오류신호는 효과기로 보내져서 고무밴드를 당기는 행동작용으로 변환된다. 고무밴드를 당기는 행동작용은 매듭과 압정 간의 상대적인 거리를 변화시키며 이때 다시 눈은 두 지점 간의 상대적인 위치로부터 4 cm라는 감지신호로 변환되어 비교기로 보내게 된다. 이때 현재상태 4 cm에서 이전의 상태 5 cm를 빼면 -1 cm이 된다. 이것은 잡아당기는 행동은 1 cm라는 차이를 줄임으로 그와 같은 행동작용(당김)을 계속하면 결국 차이의 부재가 되어 목표가 달성되고 목표가 달성되면 행동작용은 그 상태에서 멈추고 유지된다. 이것이 음의 피드백 원리이다. 이와 같은 과정이 몇 번 반복되면 목표달성 행동으로부터 “당기면 같이 당겨라”와 “밀면 같이 밀어라”라는 규칙을 발생시키게 된다. 이 규칙들은 밀고 당기는 경험으로부터 추상하여(경험적 추상) 귀납적으로 유도되는 if-then 규칙을 구체화한 것이며, 정확히 Paget의 조작적 도식에 해당한다 (Richards & Glasersfeld, 1979).

1계 수준에서 “올바른” 행동작용을 선택하는 이러한 종류의 학습은 보다 높은 수준에서는 올바른 준거신호를 선택하는 학습이 된다. Powers(1973)는 시스템에 속하는 것으로 여겨지는 부가적인 능력인 “재조직화”(reorganizing)의 결과로서 학습을 도입하고

있다. 재조직화 동안 학습되는 것은 비교기와 효과기 간의 새로운 연결, 즉 특수한 오류신호의 명령에 새로운 행동작용을 집어넣기와 불변적으로 유지될 수 있는 새로운, 다르게 혼합된 준거값들로 구성된다.

그림 1에서 나타나 있는 것과 같이 이 피드백 루프는 닫혀 있다는 것을 알 수 있다. Powers(1973, xi)가 지적하였듯이 행동은 유기체가 입력 감각 데이터(그림에서 감지기 신호)를 제어하는 과정이며, 인간에게 행동은 지각의 제어라고 기술하고 있다. 이것은 감지기 신호를 준거신호와 일치시키기 위해서 행동작용(출력)을 하며 이 행동작용은 다시 입력으로 피드백 되어 해당 루프는 입력과 출력의 관계가 닫히게 됨을 알 수 있다. Piaget가 자신의 학습모델과 행동주의자의 자극반응 학습모델간의 관계를 설명하는 가운데서 ‘모든 학습은 반응이 자극에 선행한다’ (Piaget, 1964)는 것을 이해할 수 있다.

위의 예에서 알 수 있듯이 제어는 선호하는 상태로 부터 모든 이탈에 저항하기 때문에 반드시 보수적이다. Maturana는 이것을 다음과 같이 말함으로써 그러한 경향을 특징짓고 있다.

살아있는 체계는 순환적인 조직 때문에 귀납적 체계이며 항상 예상적인 방법으로 기능을 발휘한다: 한번 발생하였던 것은 다시 발생할 것이다. 그 조직은 (발생적이든 그렇지 않든) 보수적이며 작동되는 것만을 반복한다.(Maturana, 1970, pp.15-16)

이 맥락에서 “작동한다”란 말은 교란을 성공적으로 제거한다는 것을 의미한다. 따라서 학생들이 수업 전에 가지고 들어오는 개념들은 지금까지 잘 작동하던 개념이기 때문에 폐기할 아무런 이유가 없는 것이다.

III. 사이버네틱스 관점에서 갈등

두 개의 압정을 책상 위에 폼아 놓고 두 사람이 고무밴드를 당겨서 압정 위에 놓이는 상황을 생각해 보자. 이번에는 두 사람이 자신에게 가까운 쪽 압정 위에 매듭이 놓이도록 준거조건을 설정한다. 제어자가 이리저리한 이유로 고무밴드가 끊어져서는 안 된다는 준거조건을 참가해 보자. 상대편인 실험자가 세계 당기면 당길수록 조절자는 그에 해당하는 양만큼 세계 당겨야 한다. 그러나 고무밴드가 끊어지지 않아야 하기 때문에 실험자가 당긴 만큼 세계 당길 수

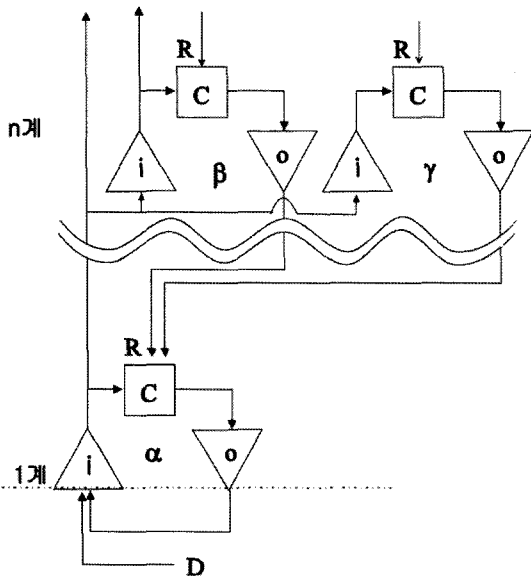


그림 2. 개인내 갈등에 대한 조절의 계층적 위계의 한 예(i: 입력, o: 출력, C: 비교기, R: 준거신호 혹은 준거조건).

없다.

제어자가 자신에게 가까운 쪽 위에 매듭이 놓이도록 설정한 목표를 달성하기 위해서 취하는 행동작용은 실험자의 지각에 영향을 주어 설정한 목표를 달성하지 못하도록 한다. 그 역도 마찬가지 있다. 이와 같은 상황을 PCT에서는 개인간 갈등이라고 한다 (Powers, 1998, p.92). 이 개인간 갈등은 개념변화의 관점에서 보면 Scott 등(1992)이 언급한 학생의 아이디어와 교사의 아이디어 간의 갈등과 학생들 개개인의 아이디어간의 갈등에 해당한다고 볼 수 있다.

개인내 갈등은 이것을 달성하면 동시에 이것을 달성하지 못하거나 그렇지 않으면 반대의 것을 달성하게 된다. 이 상황은 Scott 등(1992)이 제시한 세 가지 갈등 중 학생들이 가지고 있는 아이디어 혹은 개념들 간의 갈등에 해당한다. Powers(1998)에 따르면, 개인내 갈등에는 적어도 제어의 두 가지 수준이 수반된다. 한 수준은 갈등이 표현되는 곳으로 단일 제어 시스템은 동시에 만족되어야 할 두 가지 다른 준거조건이 주어진다. 두 번째 수준은 두 가지 제어 시스템으로 구성되는데 이들 두 가지 다른 준거 조건들을 설정함으로써 갈등을 만들어 내는 제어 시스템들이다. 이 상황을 Powers(1973, 1989, 1998)가 제시한 조절의 계층적 위계(hierarchy of control) 수준을 고려하여 그림 2와 같이 나타낼 수 있을 것이다.

그림 2에서는 단순화 하여 나타내었지만, 이 제어 시스템들은 마치 그물망처럼 배열되어 있으며 α , β , γ 로 나타낸 것과 같은 제어 시스템들이 좌우(동일 수준) 상하(보다 높은 수준 및 보다 낮은 수준)로 입력과 출력에 의해 연결 되어있거나 독립된 형태로 배열되어 있을 수 있다. 위의 그림 2에서 감각과 운동을 사용하는 감각운동 수준에서는 제일 낮은 수준이 환경과 직접적으로 접촉하고 있지만, 사고수준에서는 직접적으로 환경과 접촉할 수 없으며 간접적으로만 1계를 통하여 환경과 접촉할 수 있다.

갈등이 표현되는 수준(1계)에서 단일 제어 시스템(α)의 비교기로 들어오는 두 가지 다른 준거신호들을 갖게 된다. PCT 모델에서 비교기는 아주 단순하며, 하나 이상의 준거신호를 받게 되면 하나의 효과적인 준거신호를 만들기 위해서 단순히 합쳐진다. 만약 양과 음의 준거신호를 동일한 비교기로 보내게 되면 순 준거신호는 그 합이 된다. 동일한 비교기에서 +10 단위의 준거신호에 -9 단위의 준거신호가 결합되면 1 단위의 단일 준거신호와 같게 된다.

갈등이 만들어지고 있는 임의의 n계 수준을 살펴 보면, 점 위에 매듭이 놓여있기를 바라는 제어 시스템(예를 들어, β)은 상대방의 당김을 무효화시키기 위해서, 즉 목표를 달성하기 위해서 10 단위의 준거 당김을 설정할 필요가 있다. 6 단위의 당김은 고무 밴드를 끊어지게 한다는 결정을 한 다른 제어 시스템(γ)은 당김을 감소시키려고 하여 당김에 대한 음의 준거수준을 설정하게 된다.

가령 점 위에 매듭이 놓이기를 원하는 β 시스템은 당김 시스템에 대한 설정하는 준거신호를 시키고 6 단위 이하의 당김을 유지하려고 하는 시스템은 동일 시스템에 대해 설정하는 1 이상의 음의 준거를 지정하게 된다. 그리고 실제적인 준거 당김은 이들 설정치 사이 어딘가에 있다.

갈등이 표현되는 보다 낮은 수준에서 이 제어 시스템은 완벽하게 작동하고 있다. 만약 순 준거신호가 “8 단위 당김”을 나타내면, 그 시스템은 당김이 정확히 8 단위로 감지될 때까지 밴드를 쥐고 있는 손의 위치를 조정한다. “점 위에 매듭” β 제어 시스템은 10 단위 혹은 그 이상의 당김을 필요로 하지만 점 위에 있지 않다. “고무 밴드가 끊어지게 하지 말라”는 γ 제어 시스템은 6 이하 단위의 당김을 감지할 필요가 있지만 그보다 많은 것을 감지하고 있다. 높은 수준에 있는 두 제어 시스템은 갈등 때문에 작동하

지 못하고 있다. 갈등이 표현되는 가장 낮은 수준의 시스템은 완벽하게 작동하고 있음에도 불구하고 들 중 어느 하나가 원하는 것을 하고 있지 않다. 이런 경우를 개인내 갈등이라고 부른다.

그리고 갈등이 해소되기 위해서는 보다 높은 차수의 수준이 요구된다. 즉, 그림에서 n 계 수준보다 높은 수준에서 “목표를 달성하라”는 준거신호를 “이러한 상황이면 불가능하다”는 준거신호로 변화되면 더 이상 갈등은 없어지고 1계 수준에서 압정 위에 매듭을 올려놓으려는 행동작용도 멈추게 된다. Powers (1998)은 PCT의 관점에서 갈등을 해소하기 위해서는 “한 수준을 올라가야”(going up a level) 하며, 한 수준을 올라가기는 통상적인 의미로 통찰, 반성, 숙고, 고등의 의식을 지칭한다고 하였다. 따라서, 갈등을 해소하기 위해서는 어떤 식으로든 반성을 요한다는 것을 알 수 있다. 이것을 정리하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

첫째, 갈등이 표현되는 낮은 수준으로 교란이 들어와야 한다.

둘째, 보다 높은 수준에서 낮은 수준의 단일 제어 시스템에 대해 동시에 만족되어야 할 두 가지 다른 준거조건을 설정하는 두 가지 제어 시스템이 있어야 한다.

셋째, 갈등이 해소되기 위해서는 ‘한 수준 위로 올라가기’ 즉, 반성이 수반되어야 한다.

위의 첫 번째와 두 번째는 갈등이 유발되기 위한 필요충분 조건임을 알 수 있다. 이 관점에서 보면 Posner 등(1982)의 개념변화 조건 중 첫 번째 조건은 인지적 갈등이 일어나기 위한 필요충분 조건임을 알 수 있다. 인지적 갈등을 유발하기 위해 불일치 상황을 제시하였을 때, 그 상황을 구성하고 있는 과학적 개념, 즉 학생들에게 제시되는 새로운 이론을 이해할 수 없는 경우에는 인지적 갈등이 유발되지 않는다는 것을 알 수 있다. 권재술 등(2003)은 불일치 상황의 제시는 인지갈등의 필요조건이긴 하지만 충분조건은 아니라고 하였다.

Vosniadou(1990)는 지구의 모양에 관해 한 아동들이 평평한 지구라는 개념을 가지고 있으며 이들에게 스티로폼 구를 제시하였을 때 위와 아래가 평평한 모양으로 개념이 변하게 된다는 것을 보고하고 있다. 실험자가 제시한 구 모양의 스티로폼은 교란으로 작

용하여 “지구는 평평하다”는 수준에 영향을 주게 되고, 보다 높은 수준에 있는 “거꾸로 매달려있으면 떨어진다”에도 영향을 주게 된다. 평평한 지구와 구 모양의 지구가 서로 갈등상태에 있으려면 “거꾸로 매달려 있으면 떨어진다”를 준거조건을 설정하는 수준과 동일한 수준에 동시에 만족할 수 없는 준거조건을 설정하는 조절 시스템이 있어야 한다. 만약에 그와 같은 준거조건을 설정하는 조절 시스템이 없다면 구 모양의 지구는 교란으로 작용하지 못하여 폐기된다. 왜냐하면 이제까지 잘 작동하여 왔으며 앞으로도 잘 작동할 것이라고 예상되는 “지구는 평평하다”는 개념을 버릴 필요가 없기 때문이다.

예를 들어, “거꾸로 매달려 있으면 떨어진다”라는 준거조건을 설정하는 수준과 동일한 수준에 가령 “어른의 말은 옳다”라는 준거조건을 내는 시스템을 첨가해 보자. 이렇게 되면 PCT의 관점에서 개인내 갈등이 이루어지게 된다. 따라서 평평한 지구는 위와 아래가 평평한 지구로 변화될 수 있다. 이 경우도 시간이 지나면 원래의 평평한 지구로 돌아갈 가능성이 매우 높다. 왜냐하면, 한 수준 위로 올라가는 반성이 이루어져야 만이 갈등이 해소되기 때문이다. 즉, 이와 같이 현상 제시로 갈등을 유발할 수는 있지만 갈등이 해소되지 않은 경우에는 원래의 개념으로 복귀할 가능성이 높다.

박지연과 이경호(2004)는 지구가 둥글다는 것을 이해하기 위해서는 중력을 이해할 필요가 있고, 중력을 옳게 이해하기 위해서는 학생들이 생각하는 위에서 아래로 라는 중력 개념을 변화시키야 하며 중력은 지구중심을 향해 당기는 힘이라는 것을 이해해야 한다고 주장하고 있다. PCT의 관점에서 보면, “거꾸로 매달려 있으면 떨어진다”를 준거조건을 설정하는 보다 높은 수준의 제어 시스템에 “어른의 말은 옳다”라는 준거조건을 내는 제어 시스템에 “중력 때문에 떨어지지 않는다”는 준거조건을 내는 제어 시스템을 이해하여야 만 한 수준 위로 올라가기가 이루어 질 수 있다는 것을 시사한다.

김지나 등(2000)은 갈등상황 제시 유형에 따른 학생들의 개념 변화 과정 경로를 분석한 결과 전기문항과 역학문항에서 갈등상황 제시 방법으로 현상과 논리를 모두 제시한 집단이 가장 효과적이라고 보고하고 있다. 이 경우, 현상 제시는 교란으로, 논리는 학생들이 사전에 가지고 있던 제어 시스템과 대응되는 수준의 제어 시스템으로 작용하기 때문에 PCT의

개인내 갈등에 해당한다. 만약 학생들이 한 수준 위로 올라가기, 즉 반성이 이루어졌다면 개념변화가 이루어질 수 있었을 것이다. 사후검사에서 선택형 정답을 및 정답자 중 과학적 개념을 가진 학생 수에서 현상과 논리를 제시한 집단이 가시적 현상 제시 문항과 비가시적 현상제시 문항 모두에서 정답율도 가장 높았고 과학적 개념을 가진 학생수도 가장 많았다는 것에서 그와 같은 사실을 확인할 수 있다. 따라서 인지적 갈등이 유발되기 위해서는 Posner의 개념변화 조건 중 첫 번째와 두 번째 조건을 만족하여야 한다.

Posner 등(1982)의 세 번째 조건, “새로운 개념은 처음에 그럴 듯 하여야 한다. 즉, 새로운 개념이 무엇을 의미하는가를 알 수 있다면, 그것이 참이라는 신념을 가져야 한다”는 것은 문제점이 있는 것으로 보인다. 이 세 번째 조건은 Posner 등도 동시대의 인식론과 과학철학에서 유도하였다고 하였듯이 학생들이 그와 같은 인식론적 신념을 가졌으리라는 보장은 없기 때문이다. 또한, 자신들의 원 논문을 비판적으로 검토한 후에 “학습자들의 개념 생태계를 기술할 때, 설명되어야 할 더 폭넓은 요인들이 필요하다. 동기와 목표들 그리고 그것들 중에 제도적이고 사회적 인 원천들을 고려할 필요가 있다. 따라서 개념 생태계에 대한 아이디어는 과학사와 과학철학에서 제안하는 인식론적 요인들보다 더 클 필요가 있다”(Strike & Posner, 1992)라고 진술하고 있다. 따라서 개념변화 모델이 갖는 이러한 문제들을 고려하면, 동기의 구성개념들의 통합과 모델을 정교화할 때 교실의 맥락적 요인들, 즉 학생들이 가지고 있는 학습에 대한 목표, 신념, 동기 등을 고려할 필요가 있다(권재술 등, 2003). Pintrich 등(1993)은 개념변화가 일어나기 위해서는 개념변화를 지원하는 교실과 학교를 재구조화하는 일 없이는 개인적인 개념변화가 일어나기 어렵다고 진술하고 있다. 개념변화 과정은 합리적인 숙고에 의해 촉진될 뿐만 아니라 수많은 정서적이고 감성적인 요인들은 개념변화를 지원하는 조건의 일부로서 간주될 수 있으며, 학습환경 또한 고려하여야 할 것이다.

권재술 등(2003)은 인지갈등은 개념변화의 필요조건이지만, 충분조건은 아니라고 하는 것과 맥을 같이 한다고 볼 수 있다. PCT의 관점에서 보면 갈등을 해소하기 위해서는 최소한 ‘한 수준 위로 올라가기’ 즉, 반성이 수반되어야 한다는 조건을 첨가하는 것이 바

람직한 것으로 보인다. 따라서, 세 번째 개념변화 조건은 개념변화가 일어날 조건 중 하나임을 시사한다.

갈등이 해소되기 위해서 갈등이 만들어지는 수준 위로 올라가는 반성이 이루어져야 한다. 갈등이 만들어지는 수준 보다 더 높은 수준들의 재조직화를 요한다. 네 번째 개념변화 조건은 PCT의 관점에서 보면, 재조직화의 과정에서 필요한 절차라고 생각된다.

IV. 결론 및 시사점

1. 결론

이 연구에서는 사이버네틱스에 기반한 Powers의 지각제어 이론의 관점에서 개념변화에서 논의의 여지가 있는 학생들의 수업전 개념의 견고성, 인지적 갈등의 역할, 개념변화 조건에 대해 해석해 보았다. 이상의 논의를 종합하여 이 연구의 결론을 정리하면 다음과 같다.

첫째, 인간의 목적 지향적 행동으로 인하여 선호하는 상태로부터 모든 이탈에 저항하기 때문에 반드시 보수적이며 따라서 기존에 교란을 성공적으로 제거하여 왔던 수업전 개념은 개념변화에 저항한다.

둘째, 지각제어 이론의 관점에서 개인내 갈등이 일어나야 할 필요충분 조건은 갈등이 표현되는 낮은 수준(불만족 혹은 불일치 상황)으로 교란이 들어와야 하고, 갈등이 표현되는 수준에 동시에 만족되어야 할 두 가지 다른 준거조건을 설정하는 보다 높은 수준에 두 가지 제어 시스템이 있어야 일어난다. 이러한 관점에서 보면, 개념변화 조건 첫 번째인 불만족 혹은 불일치 상황만으로는 인지적 갈등이 일어나지 않으며, 학생들이 사전에 가지고 있던 제어 시스템과 대응되는 수준의 제어 시스템에 해당하는 개념변화 두 번째 조건 ‘새로운 개념이 쉬워야 한다. 즉, 새로운 개념이 무엇을 의미하는가를 알아야 한다’를 만족하여야 인지적 갈등이 일어난다. 따라서 지각제어 이론의 관점에서 인지적 갈등이 일어나기 위한 필요충분 조건은 개념변화 조건 중 첫 번째와 두 번째 조건이 동시에 만족되어야 한다.

셋째, 지각제어 이론의 관점에서 개인내 갈등이 해소되기 위해서는 ‘한 수준 위로 올라가기’, 즉 반성을 수반한다. 사이버네틱스에서 말하는 목표나 목적은 심리학적 및 주관적 개념이기 때문에 개념변화 세 번째 조건 ‘새로운 개념은 처음에 그럴 듯 하여야 한다. 즉, 새로운 개념이 무엇을 의미하는가를 알

수 있다면, 그것이 참이라는 신념을 가져야 한다”는 것은 인식론적 관점에서 나온 것이기 때문에 개념변화가 일어나기 위한 하나의 조건이다.

2. 시사점

인간은 하나의 목적뿐만 아니라 위계적으로 배열되어 있는 목표들의 전체 구조를 가지고 있다. 만약 저항없이 학생들의 개념을 변화시키고자 한다면 학생들이 가지고 있는 목적들이 무엇이며 그 목적들이 서로 어떻게 관련되어 있는가를 이해하여야 한다 (Powers, 1998). 따라서 학생들의 개념을 변화시키기 위해서는 학생들이 해당 주제에 대해서 어떻게 알고 있는가를 알아야 할 뿐만 아니라 개념변화를 위한 학습환경을 조성할 것을 요한다. 사이버네틱스 학자인 von Foerster(1990)의 말을 빌리면 교사는 자신을 교실에서 학습-교수 과정에 있어 참여자라는 것을 인식하여야 한다. 따라서 개념변화를 위한 학습환경에 대한 연구가 필요하다.

학생들이 개념변화를 달성하기 위해서는 학생들이 가지고 있는 개념(concepton)에 대한 연구는 현재보다 더 포괄적으로 이루어져야 할 필요가 있다. 또한 PCT에서 계층적 위계 구조로 배열되어 있는 제어 시스템의 조직을 감안하면 학생들이 가지고 있는 개념들의 위계 구조에 대한 연구가 필요하다.

PCT에 따르면 개인간 갈등을 해소하기 위해서는 각자의 제어 시스템의 한 수준 위로 올라가기라는 반성을 요한다고 하였다. 그러나 교실 상황에서 보면, 한 수준 위로 올라가기를 해야 할 사람은 학생들이다. 따라서 교사는 학생들이 개인내 갈등, 즉 인지적 갈등을 해소할 수 있도록 하기 위해서는 학생들에게 반성을 조장할 수 있는 다양한 방법에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

권재술(1989). 과학개념의 한 인지적 모형. 물리교육, 7(1), 1-9.
 권재술, 이경호, 김연수(2003). 인지갈등과 개념변화의 필요 조건과 충분조건. 한국과학교육학회지, 23(5), 574-591.
 김영민, 박승재(1992). 중학생의 전류 개념 변화에 미치는 체계적 비유 수업의 영향. 물리교육, 10(1), 39-68.
 김지나, 이영직, 권재술(2000). 갈등상황 제시 유형에 따른 학생 개개인의 물리 개념 변화 과정 경로 분석. 한국과학교육학회지, 20(1), 77-87.
 노태희, 임희연, 강석진, 김순주(2001). 학생의 인지적·정의

적 변인, 변칙 사례에 의한 인지 갈등, 개념 변화 사이의 관계. 한국과학교육학회지, 21(4), 658-667.
 박지연, 이경호(2004). 과학개념변화 연구에서 학생의 개념에 대한 이해: 오개념(misconception)에서 정신모형(mental model)까지. 한국과학교육학회지, 24(3), 621-637.
 오원근, 김재우, 박승재(1989). ‘구조화된 대비활동’: 일상적 상황과 이상적 상황을 대비시킨 개념변화 학습지도 모형. 한국과학교육학회지, 18(3), 347-355.
 유병길(2000). 개념변화: 급진적 구성주의에 의한 해석(I). 초등과학교육, 19(1), 85-99.
 정완호, 권재술, 정진우, 김호남, 최병순, 허명(1997). 과학과 수업모형. 교육과학사.
 정완호, 권재술, 최병순, 정진우, 김호남, 허명(1996). 과학 수업모형의 분석 및 내용과 활동 유형에 따른 적정 과학수업모형의 고안. 한국과학교육학회지, 16(1), pp. 13-34.
 조희형(1988). 과학교육과정 및 과학교수/학습의 이론적 배경과 미래의 과학교육에 대한 시사점. 한국과학교육학회지, 8(2), 33-41.
 Boden, M.(1994). Piaget. Harper Collins Publishers Ltd. [서창렬 역(1999). 피아제. 시공사]
 Brown, D. E., & Clement, J. (1992). Classroom teaching and experiments in mechanics. In R. Duit, F. Goldberg, and H. Niedderer (Eds.), Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies (pp.380-397). Kiel, Germany: Institute for Science Education at the University of Kiel.
 Chinn, C. A., & Brewer, W. F. (1993). The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework and implications for science education. Review of Educational Research, 63(1), 1-49.
 Driver, R., and Scott, P. H. (1996). Curriculum Development as Research: A Constructivist Approach to Science Curriculum Development and Teaching. In D. F. Treagust., R. Duit, & B. J. Fraser, (1996). Improving teaching and learning in science and mathematics, New York: Teachers College Press.
 Duit, R. (1991). On the role of analogies, similes and metaphors in learning science. Science Education, 75, 649-672.
 Duit, R. (1994). The constructivist view in science education - What it has to offer and what should not be expected from it. Proceedings of the international conference science and mathematics for the 21st century: Towards innovatory approaches' concepts. Chile.
 Duit, R. and Confrey, J. (1996). Reorganization the Curriculum and Teaching to Improve Learning in Science and Mathematics. In D. F. Treagust., R. Duit, and B. J. Fraser (Eds.), Improving teaching and learning in science and mathematics, New York: Teachers College Press.
 Duit, R., and Treagust, D. F. (1998). Learning in Science: From Behaviourism Towards Social Constructivism and

- Beyond. In B. J. Fraser and K. G. Tobin (Eds.), *International Handbook of Science Education*. Dordrecht, Boston, London; Kluwer Academic Publisher.
- Dykstra, D. (1992). Studying conceptual change. In R. Duit, F. Goldberg and H. Niedderer (Eds.), *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies* (pp. 40-58). Kiel, Germany: Institute for Science Education at the University of Kiel.
- Erickson, G., & Tiberghien, A. (1985). Heat and temperature. In R. Driver, E. Guesne & A. Tiberghien (Eds.), *Children's ideas in science* (pp.52-84). Open University Press.
- Festinger, L. (1962). *A theory of cognitive dissonance*. Stanford, CA: Stanford University Press.
- Gil-Pérez, D. (1996) New trends in science education. *International Journal of Science Education*, 18(8), 889-901.
- von Glasersfeld E. (1979). Cybernetics, experience, and the concept of self. In M. N. Ozer (Ed.), *A cybernetic approach to the assessment of children: Toward a more humane use of human beings*. Boulder, CO: Westview Press.
- Glynn, S. M., Duit, R., & Thiele, R. B. (1995), Teaching science with analogies: Strategy for constructing knowledge, In S. M. Glynn & R. Duit (Eds.), *Learning science in the schools*, Lawrence Erlbaum Associates.
- Grayson, D. (1996). Improving science and mathematics learning by concept substitution. In D. Treagust, R. Duit & B. Fraser (Eds.), *Improving teaching and learning in science and mathematics* (pp.152-161). New York: Teachers College Press.
- Heylighen, F., and Joslyn, C. (2001). Cybernetics and Second-Order Cybernetics. In R.A. Meyers (Ed.), *Encyclopedia of Physical Science & Technology*. Vol. 4 (3rd ed.). New York: Academic Press.
- Linder, C. J. (1993). A challenge to conceptual change. *Science Education*, 77(3), 293-300.
- Lawson, A. E., Abraham, M. R., & Renner, J. W. (1989). A theory of instruction: Using the learning cycle to teach science concepts and thinking skills. *NARST Monograph Number One*. National Association for Research in Science Teaching.
- Maturana, H. (1970). *Biology of cognition*. BCL Report No.9.0.
- Piaget, J. (1964). Development and Learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 2(3), 176-186.
- Pintrich, P. R., Marx, 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(2), 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.
- Powers, W. T. (1973). *Behavior: The Control of Perception*. Aldine Publishing Company.
- Powers, W. T. (1974). Applied Epistemology. In Smock, C. D. & von Glasersfeld, E., (Eds.), *Epistemology and education: The implications of radical constructivism for knowledge acquisition*, Report #14. Athens, GA: Follow Through Publications.
- Powers, W. T. (1989). *Living Control Systems: Selected Papers of William T. Powers*. The Control Systems Group, Inc.
- Powers, W. T. (1998). *Making Sense of Behavior: The Meaning of Control*. Benchmark Publications Inc.
- Richards, J. & von Glasersfeld, E. (1979). The control of perception and the construction of reality, *Dialectica*, 33(1), 37-58.
- Robertson, R. J., & Powers, W. T. (Ed.). (1998). *Introduction to Modern Psychology: The Control-Theory View*. Benchmark Publications Inc.
- Rowell, J. A., & Dawson, C. J. (1985). Equilibrium, conflict and instruction: A new class-oriented perspective. *European Journal of Science Education*, 5, 203-215.
- Schmidt, S. J. (1987). *Der Diskurs des Radikalen Konstruktivismus*, Suhrkamp. [박여성 역 (1995). 급진적 구성주의. 도서출판 까치].
- Scott, P., Asoko, H., & Driver, R. (1992). Teaching for conceptual change: A review of strategies. In R. Duit, F. Goldberg, & H. Niedderer (Eds.), *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies*. Kiel, Germany: Institute for Science Education at the University of Kiel.
- Solomon, J. (1994). The Rise and Fall of Constructivism. *Studies in Science Education* 23, 1-19.
- Strike, K. A., & Posner, G. J. (1992). A revisionist theory of conceptual change. In R. Duschl & R. Hamilton (Eds.), *Philosophy of science, cognitive psychology, and educational theory and practice* (pp.147-176). Albany, NY: SUNY.
- von Foerster, H. (1990). Lethology. A Theory of Learning and Knowing vis-a-vis Undeterminables, Undecidables, Unknowables. In von Foerster, H. *Kybernetik*. Berlin. Moerve.
- Vosniadou, S. (1990). Conceptual development in astronomy. In S. M. Glynn, R. H. Yeany, & B. K. Britton (Eds.), *The psychology of learning science*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Wandersee, J. H., Mintzes, J. J., & Novak, J. D. (1994). Research on alternative conceptions in science. In D. Gabel, (Ed.), *Handbook of research on science teaching and learning*. New York: Macmillan Publications.