

# 역학개념의 오인과 학습지도 방법

김익균

(충북대학교 사범대학 과학교육과)

## I. 서론

과학교육과 관련된 여러 분야에서 많은 연구가 수행되고 있지만 최근들어 특히 관심있는 연구분야 중의 하나가 오인에 관한 연구이다. 오인에 관한 최근까지의 연구는 주로 특정 개념에 관한 오인을 찾아내는 방법과 그 결과에 관한 것들이었다. 역학개념과 관련된 연구도 최근까지의 연구 유형을 보면 전체연구의 약 85%가 역학개념과 관련된 오개념을 찾아내는 연구이었으며 약 15%가 오인을 고려한 학습과 관련된 연구이었다(Helga Pfundt, Reinder Duit, 1988). 그러나 우리의 최종목표는 학생들의 특정개념과 관련된 오개념을 찾고 찾아낸 개념들을 바탕으로 학생들의 오개념을 과학자의 개념틀인 과학자 과학(Gibert, Watt, Osborne, 1985)으로 바꾸는 것이다. 다양한 방법으로 수행된 오인에 관한 많은 연구결과가 학생들의 오인이 자신만의 체계를 가지고 있으며(Anderson, Fredette, 1980; Delacôte, 1976; Helm, 1980) 쉽게 바뀌지 않는다는 것으로 보고 되었으며 이 오인을 변화 시키는 데는 특별한 노력이 필요함을 암시해 주었다(Driver 등 1985; 권성기, 1988; Tiberghien,

1985). 최근에 들어와 학생들의 오인의 일반적 특성이 보고 되었으며(Driver, 등 1985), 오인을 수정하기 위한 몇가지 방법들이 시도되고 있다.

본고에서는 역학개념에 관한 오인을 수정하기 위한 몇가지 방법중 Novak이 고안한 개념도(Novak, Gowm, 1985)를 중심으로한 학습방법을 소개하고 시험적으로 실시한 결과를 제시하고자 한다.

## II. 역학개념 변화에 대한 선행 연구

학생들의 개념변화에 관한 연구가 몇가지 방법으로 수행되고 있다. 즉 컴퓨터 모의 실험을 통하여 학생들의 오인을 수정 시키거나(White, 1984; Hewson, 1983; Bonera 등, 1987; Champagne, Klopfer 1982; Simmons, 1987) 간단한 시범장치를 통하여 실험결과를 예측하게 한 후, 시범을 보이고 관찰 사실과 자신의 예측을 비교하거나 집단토의 등을 거쳐 오인을 수정하는 D.O.E검사 방법(Champagne, Gunstone, Klopfer, 1985; Minstrell, 1982), 개념지도(Concept map)를 통하여 오인을 수정하는 방법(Fowler, Bou Jaude, 1987; Sieben, 1987; Moreira, 1987), 그 외에도

Gowrn의 V도법을 이용한 연구(Alvarez, Risko, 1987), 면담을 통한 수업 방법 등이 시도되고 있다. (Ault, 1987; Cohen, 1987) 이러한 방법들은 다양한 대상과 내용을 대상으로 하기 때문에 각각의 연구 특징이 있다.

힘과 운동이 관련된 연구 결과들을 보면 Champagn 등은 D.O.E검사를 사용하여 발견된 학생들의 오인은 ①물체에 힘을 가하면 운동을 한다. ②일정한 힘을 가하면 물체는 일정한 속도로 운동한다. ③속도의 크기는 힘의 크기에 비례한다. ④힘이 없으면 정지 또는 운동할 때 속도가 느려진다 등이었으며, 이들의 사전개념을 변화시키려면 과학혁명이라고 할 만큼의 새로운 변화를 시도해야 한다고 주장했다. Fishbein 등은 던진 사람과 접촉이 끝난 후 투사체의 운동에 대하여 일반인의 생각은 던진 사람에 의해 내재된 힘에 의하여 계속 운동한다고 했다(Fishbein, Stavy, Ma-Naum, 1987). 이러한 결과는 Viennot, Clement 등의 결과와 일치한다(Viennot, 1979; Clement, 1982). McCloskey 등은 지필검사와 면담을 통하여 아동들이 임피투스적 관점을 가지고 있었으며 몇가지 사용된 물리용어들의 명확한 정의를 하지 못하고 사용함을 보고했다. DISESSA와 Shanon은 학생들의 관점이 아리스토텔레스적이었음을 발견했다(DISESSA, 1982; Shanon, 1976). Whitaker는 갈릴레오의 사고 실험에 기초한 선택후 설명방식의 6문항의 검사도구를 이용하여 검사한 결과 운동을 유지하려면 힘이 필요하다, 힘이 작용하지 않으면 물체는 정지한다, 속도와 가속도 개념을 혼동한다 등, 학생들이 아리스토텔레스적 관점을 갖음을 보고했다(Whitaker, 1983). 이러한 아리스토텔레스적 관점은 다른 연구자들에 의해서도 발견되었다(Disessa, 1982; Shanon, 1976; 권성기, 1988). 한편, 역학개념중 중심개념이라고 할 수 있는 가속도 개념을 힘을 고려하지 않고 운동학적 관점에서 연구된 경우도 있다. Trowbridge와 McDermott는 미국 대학생들을 상대로 D.O.E검사를 통하여 가속도 개념에 관한 10가지 개념유형을 발견하고 그중 8가지가 오인이며 학생들이 가속도를 위치와 또는 속도와 혼동하고 있음을 보고했다(Trowbridge, McDermott, 1981). Raven은 D.O.E검사를 통하여 국민학생들이 가속도와 속도를 구분하지 못하고 있음

을 보고 했으며(Raven, 1972) Kenealy도 가속도에 관한 연구를 했다(Kenealy, 1987).

Champagne과 Klopfer, 그리고 Hewson은 컴퓨터 모의실험을 통하여 학생들의 역학개념과 속도개념 변화를 시도하였다. (Champagne, Klopfer, 1982; Hewson, 1983) Champagne, Gunstone, Klopfer는 D.O.E 검사를 통하여 학생들이 아리스토텔레스적 관점을 갖은 것을 밝히고 8주간의 수업을 D.O.E를 중심으로 한 대화형식으로 진행하였다. 그 결과 학생들의 역학개념이 분화되지 못하였고 명제가 세밀하지 못하였으며, 설명적 도식체계가 특정상황에 한정되었다. 전문가들의 개념체계와 비교하여 본 결과 전문가들의 지식은 서로 연결되어 연관성이 있었으며 초심자들에게 대화를 통한 수업이 효율적일 것이라고 하였다. 또한 다양한 예를 들어 주는 것이 물리 용어의 의미를 바로잡는데 유용하며 실험경험이 인지구조 변화에 별 잇점이 없다는(Bates, 1978) 주장에 반대하여 실험경험이 유용할 수 있다고 하였다(Champagne, Gunstone, Klopfer, 1985).

지금까지의 연구 결과를 보면 역학개념에 대하여 많은 학생들이 아리스토텔레스적 관점과 임피투스적 관점을 가지고 있으며, 동역학의 기초가 되는 운동학적 관점에서 속도, 가속도의 개념이 불분명함을 볼 수 있다. 즉, 학생들의 아리스토텔레스적 관점과 임피투스적 관점의 특성을 바탕으로 한 학습에 요구되며 또한 운동학적 관점에서 속도, 가속도의 개념을 명확히 하지 않으면 동역학적 관점에서 기술된 뉴턴 역학을 이해하기가 매우 어려울 것으로 생각된다. Halloun과 Hestenes는 아리스토텔레스적 관점의 특징과 임피투스적 관점의 특징을 비교하였다. 즉, 아리스토텔레스적 관점은 학생들의 속도는 평균속도를 의미하며 낙체의 속도는 무게에 비례하고 속도를 증가시키려면 일정한 힘의 증가가 필요하고, 힘이 작용하지 않으면 물체는 멈춘다는 관점이다. 임피투스적 관점은 일명 부리랑관점 이라고도 하는데, 물체가 움직이면 운동원인이(임피투스) 물체에 내재하여 운동과 함께 소모된다. 물체가손을 떠난 뒤에도 물체가 날아감은 임피투스가 물체내부에 있기 때문이며, 공기저항 등으로 임피투스가 약화하여 정지한다 역학개념의 변화에 관한 연구는 개념조사 연구에

비하여 그 숫자가 적지만 이 분야의 연구는 점차 확대 될 것으로 기대되며 우리가 적극적으로 하고자 하는 연구가 이 분야의 연구일 것으로 생각된다.

### Ⅲ. 학습을 통한 역학개념 변화

Ausubel은 그의 인지학습 이론에서 (Ausubel, 1968) 인지구조의 세가지 특징을 논했다. 첫째, 인지구조는 위계적으로 조직되어 보다 포괄적이고 일반적인 개념과 명제들이 보다 덜 포괄적이고 특수한 개념들과 명제들을 부속시키며, 둘째, 개념은 인지구조에서 점진적 분화과정을 겪어 보다 포괄적인 것과 특수한 것 사이의 구별이 점진적으로 분화되어 상호관련된 개념들 사이의 명제적 연결이 확대된다. 셋째, 두개 이상의 개념이 새로운 명제적 의미로 연결되거나 대치되는 의미를 이해할 때 통합적 조절과정이 일어난다. 이러한 Ausubel의 인지학습이론은 개념학습에 적용될 수 있으며 이를 평가의 준거로 사용할 수 있다(Novak, Gowin 1985). 이러한 새로운 평가 방법은 문제를 잘 푸는 학생도 심각한 오인이 존재한다는 연구결과에 대한 해결 방안을 제시해 준다고 할 수 있다(Gunstone, White, 1981; Stewart, Dale, 1981).

물체의 운동과 힘에 대한 설명은 아리스토텔레스의 mover로부터 시작되어 라이프니치, 데카르트, 케플러, 갈릴레오, 뉴우튼에 이르기까지 많은 학자들이 관심을 가져왔지만 갈릴레오가 운동의 원인을 고려하지 않고 지상에서의 물체의 낙하운동을 훌륭히 기술하였고, 그 이후 갈릴레오가 죽은해에 태어난 뉴우튼이 힘과 물체의 운동과의 관계를 완성하였다. 일반적으로 많은 교과서들이 역학 단원을 기술할때 위에서 설명한 바와같이 과학사적 발달과정과 같은 과정으로 먼저 운동학을 기술하고 다음으로 동역학적 관점에서 기술된다.

이러한 기술 방법으로 인하여 학생들이 운동학과 동역학을 연결시키지 못할 수 있다. 즉 속도와 가속도개념이 충분히 형성되었을 때 가속도를 힘과 관련 지을때 올바른 관계의 개념 구조를 가질 수 있으나 이미 언급한 바와같이 많은 학생들이 가속도와, 속도 또는 가속도와 위치를 혼동하거나 가속도 공식은 알지만 그 의미를 모른채 동역학으로 넘어가기 때문에

힘과 연관짓지 못한다고 가정할 수 있다. 이것은 Ausubel의 인지학습 이론중 개념의 통합 조절이 되지 않은 것과 비교된다.

많은 연구 결과가 학생들의 용어는 세분화 또는 분화되지 않아 때로는 하나의 용어를 여러가지 물리 상황에 설명하거나 적절한 용어를 제대로 사용하지 못하고 혼동하여 사용하는 것을 보고 하고 있다. 이러한 예에는 속도를 가속도와 혼동하여 사용하거나 힘을 에너지로 사용하는 것 등이 있는데 이러한 개념의 미분화가 학생들로 하여금 자신의 개념체계에서 모순점을 발견하지 못하는 요인이 될 수 있다. 이러한 특성은 Ausubel의 인지구조 특성중 개념의 점진적 분화가 부족한 것으로 이해될 수 있다.

한편 Reif는 어떤 특수개념을 이해하기 위하여 중간 단계로 볼 수 있는 보조 개념이 필요하며, 일정한 단계적 과정을 거쳐 개념을 세분화 해야 함을 주장하였다(Reif, 1985). 이와같이 세분화된 학습 단계를 확인하기 위해서는 교사와 학생간의 의사소통이 많은 제한을 받으므로 교사가 설사 상세한 세부학습단계를 거친다 하더라도 확인되지 않으면 중간단계의 보조개념이 숨어버리기 쉽다.

지금까지 언급한 Ausubel의 인지학습이론을 기초로 한 역학개념 학습상의 문제점을 요약하면 첫째, 각각의 용어들의 정의를 중심으로 한 운동상태와 관련된 개념들이 보다 상세히 이해되지 못하며 둘째, 물체의 운동상태와 힘과의 관계를 통합 조절할 수 있는 능력이 없다. 셋째, 학생들의 오인을 확인하고 수정하기 위한 교사와 학생간의 의사소통이 되지 않는다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 수업방법의 하나로서 개념도를 통한 학습을 들 수 있다. Novak은 개념도를 통한 수업으로 학생들이 개념도를 그리는 과정에서 개념이 세분화되며, 개념의 통합과 조절이 일어나며 교사들은 아동의 오인을 쉽게 확인할 수 있음을 보였다.

### Ⅳ. 개념도를 이용한 학습결과

개념도를 이용하여 1988학년도 9월부터 충북대학교 사범대학 가정교육과 1학년 학생 14명을 대상으로 수업을 진행하였다. 첫시간에 개념도 작성에 관한 기

초지식을 설명하고 간단한 예를 몇가지 들었다. 이어서 Air track을 이용하여 D.O.E검사를 실시하여 학생들의 힘과 운동에 관한 관점을 조사하였다. 그 결과 상당수의 학생들이 임피투스적이거나, 아리스토텔레스적 관점을 가짐을 알 수 있었다. 또한, "물체에 일정한 힘을 주면 힘이 계속 물체에 남아 작용하며 물체는 속도가 점점 증가하는 운동을 한다. 힘을 한번 주면 힘은 소멸되지 않는다." 이와같이 뉴우튼역학개념과 임피투스적 개념이 공존하는 것으로 보이는 학생도 있었다.

속도와 가속도의 개념을 이해시키기 위하여 설파 사진을 이용하여 정성적으로 분석하게 함으로써 등속, 정지, 일시정지, 등가속도 등의 개념을 이해시켰다. 분석결과를 개념도로 나타나게 하고 일주일에 한번씩 노트를 수거하여 학생들이 작성한 개념도를 검사하며 올바르게 못한 개념은 표시만 하여 돌려주고 재작성하도록 하였다. 이같은 방법으로 수업진행한 결과 물체의 운동에서 학생들이 특히 어려워 하는 것은 두가지로 나타났다.

첫째, 가속도 개념에서 던져진 물체의 최고점에서 가속도가 0 이 아니라는 것을 알지 못하였다. 이를 해결하기 위하여 시간과 속도 그래프를 그리게 하여 그래프로부터 가속도의 정의를 적용하여 이해시킬 수 있었다. 둘째, 등속 원운동이 가속도 운동이라는 것을 이해하는 데에도 어려움을 느꼈다. 이는 벡터의 합성과 분해를 이해시킴으로 가능하였다.

상당수의 교과서에서 힘을 물체를 움직이게 하는 원인으로 정의하고 있는데, 이러한 정의보다는 힘을 물체사이의 상호작용으로 정의하고 힘이 작용한 결과 물체는 정지, 변형 또는 운동할 수 있으며 물체가 운동한 경우 운동은 가속도와 관련시킬 수 있도록 가르치는 것이 학생들이 갖는 역학 체계를 뉴우튼 역학 체계로 바꾸는데 보다 효율적일 것으로 생각되었다. 그 예로 책상 위에 놓여있는 책의 작용 반작용을 이해시키거나 손을 떠난 공에 중력이 작용하지 않는다고 생각하는 학생들의 경우를 들 수 있다. 즉 손을 떠난 후에도 공과 지구는 상호작용을 한다는 것을 알게 되었다. 학생들에게 여러가지 형태의 물체의 운동과 힘과의 관계를 연결하도록 한 결과 상당수의 학생들이 개념적 진보가 있었으나 몇몇 학생들은 특히 일정한

속도로 움직이는 물체에 힘이 작용하지 않음을 보이지 못하였다.

지금까지 개념도를 작성하여 힘과 운동에 관한 개념을 세분화하고, 두개의 중심개념밀의 작은 개념들 사이의 관계를 연결하도록 지도한 결과 상당한 개념적 진보가 있는 것으로 생각되었으나 이를 좀더 구체적으로 확인하기 위하여 우주공간에서 포물선을 그리고 날아가는 로켓의 운동과 힘에 관한 문제와 Mc.Dermott가 가속도 개념 검사를 위하여 사용했던 문제를 사용한 결과 로켓의 경우는 대다수 학생들이 올바르게 응답했으나, Mc.Dermott의 가속도 계산문제에서 몇몇 학생은 명확한 힘과 운동에 관한 올바른 개념 체계를 가지고 있었으나 또다른 몇몇 학생들은 아직도 순간속도를 평균 속도로 이해하여 가속도를 계산하였다.

## V. 결 언

개념도가 교사와 학생사이의 의사소통에 많은 도움을 주며 학생들이 개념도를 그리는 과정중 개념이 좀더 세분화되고 특히 개념의 통합조정을 하는 과정에서 힘과 운동을 의미있게 관련지을 수 있음을 확인할 수 있었다. 그러나 몇몇 학생의 경우처럼 상당한 노력에도 불구하고 어떤 개념들은 통합조정이 잘 되지 않았으며, 학생들이 개념을 한 두가지 결과로 판단해서는 안될 것으로 생각된다. Air track과 다설파 후레쉬를 이용하는 것이 등속도 또는 가속도, 일정한 힘 등을 이해시키는 데 유용함을 알 수 있었다. 따라서 몇가지의 설파사진을 정량적으로 분석하게 하고 그 결과로부터 그 물체에 작용한 힘을 예측하게 하는 작업이 힘과 운동을 이해시키는 데 유용할 것으로 생각된다. 실제수업에서 고등학교때 배운 운동에너지, 위치에너지, 일 등의 개념이 힘개념과 서로 얽혀 있음을 발견할 수 있었는데, 힘과 운동과의 관계뿐 아니라 힘과 에너지 그리고 에너지와 운동과의 개념 통합조정노력이 완전한 뉴우튼 역학체계로 변화되는데 중요한 요인이 될 것으로 생각된다. 