

과학개념의 위계적 분석 및 그 적용을 통한 교수 효과와 과학교육과정 계열성의 타당화 평가 연구

정진우 · 조선형 · 임청환
(한국교원대학교) (청주교육대학교) (대구교육대학교)

(1995년 11월 20일 받음)

I. 연구의 목적

과학교과와 내용들은 학생들의 학습 경험이 누적되어 의미 있는 학습 성과를 가져오도록 조직되어야 한다. 따라서 교과 내용을 어떻게 조직할 것인가는 교육과정의 전개에서 매우 중요한 문제 중의 하나라고 할 수 있다.

학습 내용의 조직은 수직적 조직과 수평적 조직으로 나누어 생각할 수 있다. 수직적 조직은 학습 내용을 순차적으로 배열 조직하는데 관련된 측면으로 계열성과 연속성의 원리를 중요시 한다. 반면에 수평적 조직은 학습 내용을 횡적으로 배열하여 조직하는데 관련된 측면으로 범위와 통합성을 중요시한다. 학습 목표를 효과적으로 달성하기 위해 필요한 여러 가지 활동 중에서, 과제 분석을 통해 학습 위계를 조직하고 이에 따른 교수 내용을 계열화하는 교수 체제 설계 과정은 매우 중요한 부분을 차지하고 있다(나일주, 1990).

교수-학습 활동에서 학습의 위계를 강조한 Gagné와 Briggs(1979)는 학습을 성공적으로 수행하기 위한 학습자의 내적 조건이 학습자에 따라 다르다고 보고, 과제 분석을 통한 지적 기능들 간의 위계 관계를 분석해냄으로써 학습자가 관련된 학습을 하는데 필요한 내적 조건을 알 수 있다고 하였다. 학습 위계는 학습 과제의 학습에 필요한 선수 학습 요소가 무엇인지를 분석함으로써 얻어지며, 위계 관계상 하위 기능은 상위 기능의 학습에 필요한 선수 학습 요소인 동시에 긍정적 전이 효과를 가져온다. 또한 Gagné는 학습 위계가 학습자들이 거쳐가야 할 학습 경로를 밝혀 준다고 주

장함으로써 학습 위계에 나타난 위계적 순서가 곧바로 교수 설계의 지침이 된다고 주장하였다.

Wilson(1985)은 학습 발달에서 위계의 개념을 아동에 의해서 학습되어지는 순서인 심리적 계열(psychological sequence)과 교사의 교수 순서인 교수 계열(instructional sequence) 그리고 학습 과제 속에 내재해 있는 논리적 계열(logical sequence)로 분류하였다. 학문 중심 교육과정의 영향으로 학문의 구조를 중시하여 편찬되어 있는 우리나라의 과학 교과서들은 논리적 계열에 따라 개발되었다. 그러나 연구 결과들에 의하면, 학생들에게 학습되어지는 계열인 심리적 계열은 논리적 계열과는 매우 다르다는 결과들을 볼 수 있다(McKeen & Eisenberg, 1973; Siedel & McKeen, 1974; 김명섭, 1994; 박중환, 1994).

최근 많은 연구가 이루어진 과학 오개념에 대한 연구 결과에서도 학생들이 지니고 있는 오개념의 형성 원인 중의 한 요인을 교육과정에서 제시하고 있는 개념들의 잘못된 제시나 내용의 계열성이 명료하지 못함을 들고 있으며(Abraham, 1992; 정완호, 1993), 이러한 오개념을 해소하기 위하여 학습 위계를 이용하여 개념 학습을 실시한 결과 학습 위계가 오개념 해소에 효과가 있음이 밝혀졌다(Griffiths & Grant, 1985). 중학생을 대상으로 위계적인 학습과 비위계적인 학습에 따른 개념의 성취도 차이를 조사한 Olarewaju(1987)는 위계적으로 학습한 집단이 통제 집단보다 성취도에서 통계적으로 유의미하게 높은 값을 나타낸 연구 결과를 발표하였다. 경험적 논리에 근거를 둔 교수 제시 순서가 성취도에 미

* 이 논문은 1994년도 한국학술진흥재단의 자유공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

치는 효과를 조사한 김경호(1993)의 연구 결과에서도 경험적 논리에 의한 교수 제시 순서가 교과서에 제시된 순서보다 효과적이라는 결과를 얻었다. Siedel과 McKeen(1974)은 학습자들이 직접 작성한 학습 위계 구조는 학습자의 능력 수준에 따라 다르게 나타남을 밝혔다. 또한 학생들의 논리 수준에 따른 물리 개념의 위계를 조사한 구운모(1991)의 결과에 의하면 학생들의 논리 수준에 따라 학생들이 지니고 있는 물리 개념의 위계 구조가 다르며, 문제 맥락에 따라 위계가 변한다고 하였다. 또한 McKeen과 Eisenberg(1973)도 학습자들이 구성한 학습 계열을 분석함으로써 학습자가 분석한 것과 전문가가 분석한 학습 위계간의 일치 정도는 학습자의 수준에 따라 다를 것을 밝혔다. Johnstone(1979)과 Lovell (1980)에 의하면 논리적으로 유도된 위계가 아동의 사고와 반드시 일치하지는 않는다고 하였다.

학습의 계열 또는 위계가 학습자의 능력, 학습 내용의 맥락에 따라 다르고, 학습자의 심리적 위계가 논리적 위계와 다르다는 선행 연구 결과들을 볼 때, 과학교육과정 개발에서 경험적 논리에 근거한 교육과정 조직은 내용에 대한 명료성이 부족하기 때문에(Macready, 1975) 과학 학습 내용을 논리적 위계에 의하여 구성해야 할 것이 아니라 학습자의 심리적 위계에 근거하여 구성하여야 효과적일 것이라고 생각할 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 학습자와 교사들이 지니고 있는 과학 개념의 심리적 위계를 조사하고 학습자의 심리적 위계에 따른 수업 처치의 효과를 알아보고자 한다.

II. 연구의 방법 및 절차

1. 연구 설계

본 연구는 학생과 교사의 심리적 위계를 조사·분석하고, 심리적 위계에 따른 실험 처치의 효과를 알아보는 데 목적이 있다.

학생과 교사들이 지니고 있는 심리적 위계를 조사하기 위하여, 초·중학교 교육과정에 제시되어 있는 내용 중에서 7개의 단원을 선정하고 선정된 각 단원마다 과제 분석을 통하여 주요 개념을 추출하였다. 선정된 단원은 다음 <표 1>과 같으며, 교과서의 제시 순서를 본 연구에서는 논리적 위계로 보았다.

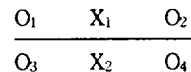
선정된 각 단원에서 추출된 주요 개념의 획득 정도를 알아보는 문항을 개발한 다음 서열화 이론(ordering theory)

을 이용하여 학생들의 심리적 위계를 조사하였다. 佐藤隆博(1987)가 ISM(Instructional Structure Modeling) 구조분석법에 사용하기 위하여 제시한 정방행렬표를 이용하여 교사들의 심리적 위계를 조사하여, 교과서에 제시된 교수 순서와 학생들의 심리적 위계를 비교하였다.

<표 1> 선정된 단원명

학교급	단원명(개념)
국민학교	빛의 성질
	식물의 구조와 기능
	인체의 구조와 기능
중 학교	지각의 구성 물질
	일기의 변화
	지구와 달의 운동
	식물의 생활(분류)

조사된 학생들의 심리적 위계에 따른 학습의 효과를 알아보기 위하여 실험 처치를 하였다. 실험 처치는 선정된 7개 단원 중에서 국민학교의 '빛의 성질', 중학교의 '식물의 생활'과 '지각의 구성 물질' 단원 등에 대해서 실시하였다. 각 단원별 실험 설계는 이질통제집단 전후검사 설계로 다음 <그림 1>과 같다.



O₁, O₃ : 사전검사

X₁ : 심리적 위계에 따른 수업

X₂ : 교과서 순서에 따른 수업

O₂, O₄ : 사후검사

<그림 1> 실험 설계

2. 연구 대상

학생들이 과학 학습 후 지니고 있는 과학 개념에 대한 심리적 위계와 과학 교사들이 지니고 있는 심리적 위계를 조사하기 위하여 연구 대상을 선정하여 조사를 실시하였다. 각 단원별 조사 대상은 다음 <표 2>와 같다.

<표 2> 심리적 위계 조사 대상

학교급	단원명(개념)	학생 수	교사 수
국민학교	빛의 성질	4학년 101	45
	식물의 구조와 기능	6학년 167	45
	인체의 구조와 기능	1학년 140*	32
중 학교	지각의 구성 물질	1학년 133	20
	일기의 변화	2학년 141	
	지구와 달의 운동	3학년 153	
	식물의 생활(분류개념)	1학년 338	7
계		1173	149

* 조사 당시는 해당 학년의 학습이 이루어지지 않아 상위 학년을 대상으로 조사함.

심리적 위계에 따른 수업의 효과를 알아보기 위하여 연구 집단을 군집 표집하여 실험 처치를 하였는데, 선정된 연구 대상은 다음 <표 3>과 같다.

<표 3> 실험 연구의 대상

학교급	단원명	학생 수
국민학교	빛의 성질	실험집단 : 93
		통제집단 : 92
중 학교	식물의 생활	실험집단 : 41
	지각의 구성물질	실험집단 : 97 통제집단 : 98
계		416

3. 검사 도구

1) 개념 형성 검사 도구

개념의 형성 정도를 조사하기 위한 검사 도구를 개발하기 위하여 선정된 각 단원별로 현행 교육과정을 분석한 후, 주요 하위 개념을 선정하고 학습 목표를 추출하였다. 그리고 Frayer 등(1969)에 의해 개발된 개념 형성 검사 도구의 개발 준거틀을 사용하였는데, 다음 <표 4>는 중학교 2학년의 '일기의 변화' 단원을 준거틀에 의해 작성한 것이다.

<표 4> 개념 검사 준거틀

분석 요소	개 념				
	1	2	3	4	5
개념의 명칭	상대 습도	구름	강수	기단	전선
개념의 정의	공기 1m ³ 속에 있는 실제 수증기량과 현재 온도에서의 포화 수증기량과의 백분율	공기가 상승하여 단열 팽창하면 온도가 이슬점 이하로 내려가 수증기가 응결하는 현상	하늘에서 내려오는 액체상 또는 고체상의 물질	넓은 범위에 걸쳐 지표면의 영향으로 기온과 습도가 비슷한 큰 공기 덩어리	성질이 다른 두 기단이 서로 만난 경계면을 전선면이라 하며, 전선면이 지표와 접하는 선
상위 연계 개념	구름	강수	날씨	전선	일기의 변화
동등 연계 개념	절대 습도, 이슬점	안개	비, 눈	열대, 온대, 한대	장마
하위 연계 개념	포화 수증기량	습도, 기압	구름, 증발	기온, 습도	기단
결정적 속성	공기의 습한 정도	수증기의 응결	구름 방울이 모여 빗방울로 되는 과정.	기온과 습도가 비슷하다.	성질이 다른 두 기단이 만남
가변적 속성	온도에 따라 변한다.	높이, 응결핵	기온, 응결핵	지표면	전선면
개념의 사례	포화, 불포화, 과포화	층운, 적운, 적란운, 권운	찬비, 따뜻한 비, 인공 강우	시베리아 기단, 북태평양 기단, 양쯔강 기단	온난 전선, 한랭 전선, 폐색 전선, 정체 전선
개념의 비사례	기압	증발	안개	정체 전선	시베리아 기단

Frayer 등(1969)이 개발한 12 표준 과제를 수정하여 개념 형성 평가 문항 개발에 사용하였다. Frayer 등이 개발한 12 표준 과제는 과제 사이의 중복이나 피이드백 작용이 있는 경우가 많아 이를 묶어 크게 3가지 과제로 나눈 뒤, 각 과제마다 평가 문항을 개발하였다. 본 연구에서 선정한 개념 과제는 다음 <표 5>와 같다.

<표 5> 개념 과제

개념 과제 I	I-1. 속성명이 주어지면, 속성의 사례를 선택한다. I-2. 속성의 사례가 주어지면, 속성명을 선택한다.
개념 과제 II	II-1. 개념의 명칭이 주어지면, 개념의 사례를 선택한다. II-2. 개념의 명칭이 주어지면, 개념의 사례가 아닌 것을 선택한다. II-3. 개념의 사례가 주어지면, 개념의 명칭을 선택한다.
개념 과제 III	III-1. 개념의 명칭이 주어지면, 결정적 속성을 선택한다. III-2. 개념의 명칭이 주어지면, 개념의 속성을 선택한다. III-3. 개념의 의미가 주어지면, 개념의 명칭을 선택한다. III-4. 개념의 명칭이 주어지면, 개념의 의미를 선택한다.

각 단원별로 개발된 문항은 해당 교과 교육 전문가 및 대학원생들에 의하여 타당성 점검을 받은 후, 예비 검사를 실시하여 수정·보완하였다.

사전검사도구는 국제 과학 학력 검사(IAEP)에서 사용한 문항 중에서 적합한 문항을 추출하여 사용하였다.

2) 교사의 심리적 위계 조사 도구

교사들의 심리적 위계 분석을 위하여 佐藤隆博(1987)가 ISM 구조분석법을 위해 만든 정방행렬표를 이용하였다. 본 연구에서 표집된 교사들에게 각 단원별로 추출된 개념들 사이의 상·하위 관계를 표시할 수 있는 <표 6>을 주고, 각 개념간의 위계 관계를 표시하도록 하였다. 교사들이 개념간의 위계 관계를 표시할 때 다음과 같은 기준을 제시하였다.

1. 하위 요소는 상위 요소를 학습하기 위한 전제 조건이 되어야 한다.
2. 하위요소가 상위 요소보다 쉽게 획득 또는 성취될 수

있는 개념 또는 기능이어야 한다.

3. 하위 요소를 학습함으로써 상위 요소를 학습하는데 긍정적인 전이 효과가 있어야 한다.
4. 동등한 관계일 때는 상위 요소인 동시에 하위 요소가 되도록 표시하여야 한다.
5. 상, 하위 요소간의 관계를 행렬에 표시하기 어려울 때는 개념도를 먼저 그려보고 그 결과를 행렬표에 표시해준다.

<표 6>은 교사들이 위계 관계를 표시하도록 제시한 행렬표의 한 예이다.

<표 6> 교사들이 위계 관계를 표시할 행렬표

		상위 요소			
		S1	S2	S3	S4
하 위 요 소	S1				
	S2				
	S3				
	S4				

- S1. 종자 식물과 민꽃 식물을 분류할 수 있다.
- S2. 속씨 식물과 겉씨 식물을 분류할 수 있다.
- S3. 쌍떡잎 식물과 외떡잎 식물을 분류할 수 있다.
- S4. 식물의 생식 방법을 설명할 수 있다.

4. 자료의 처리 및 분석

개념 형성 검사는 추출된 각 하위 개념에 대하여 각 문항 당 맞은 개수를 1점으로 산정하여, 각 개념당 2점 이상이면 개념이 형성된 것으로 보고 1점 이하이면 개념이 형성되지 않은 것으로 처리하였다. 형성된 하위 개념은 1, 성취되지 않은 하위 개념은 0으로 하여 각 하위 개념 간의 관계를 교차분석하였다. 그 결과 오차 범위 내에 포함되는 불확증적인 응답 모형을 추출하고 서열화 이론을 이용하여 이들 간의 위계 관계를 구하였다.

III. 연구 결과 및 논의

1. 심리적 위계에 대한 조사 결과

학생들이 지니고 있는 심리적 위계와 교사들의 심리적 위

제를 서열화 이론을 이용하여 분석한 후, 교과서에 제시되어 있는 교과 내용 제시 순서와 비교하였다.

1) 빛의 성질

4학년 '빛의 성질' 단원에서 주요 개념들의 제시 순서는 '빛의 직진'이 가장 먼저 제시되고, '빛의 반사', '빛의 굴절' 순서로 제시된다. 학생들이 학습 후에 지니고 있는 심리적 위계는 교과서의 개념 제시 순서와는 달리 '빛의 반사'→'빛의 직진'→'빛의 굴절'로 나타나고 있다<그림 2>. 빛의 반사는 거울로 물체를 비춘다든지 자신의 모습을 보는 활동을 통해서 개념에 친숙하게 접근하기 대문으로 생각된다. 즉, 일상 주변에서 보고 느끼고 조작할 수 있는 소재를 선택하여 빛의 반사에 대한 학습을 유도함으로써 '빛의 반사' 개념이 학생들에게 쉽게 형성될 수 있을 것으로 본다. 그러나, 하위 개념이므로 생각한 '빛의 직진'은 꼬마전구나 손전등에 의한 그림자 실험 장치, 바늘구멍 사진기 등을 통해서 빛이 나아가는 길을 간접적으로 지각하게 함으로써 일상 주변에서 쉽게 접근하거나 사용할 수 있는 기회가 '빛의 반사'보다 더 적다고 생각된다. '빛의 굴절'은 앞의 두 개념보다 더 비가시적인 자연현상이고, 빛이 굴절하는 원리는 앞의 두 개념보다 더 복잡하고 논리적인 이해를 필요로 하는 개념이므로 상위 개념으로 형성되어 있다고 생각된다.

교사들이 지니고 있는 심리적 위계는 42명(93.3%)의 교사들이 빛의 직진을 하위 개념으로, 그 다음 빛의 반사를 중간 개념으로, 빛의 굴절을 상위 개념으로 가진다. 즉 교과서에 제시된 개념 순서와 같은 유형을 대다수의 교사들이 가

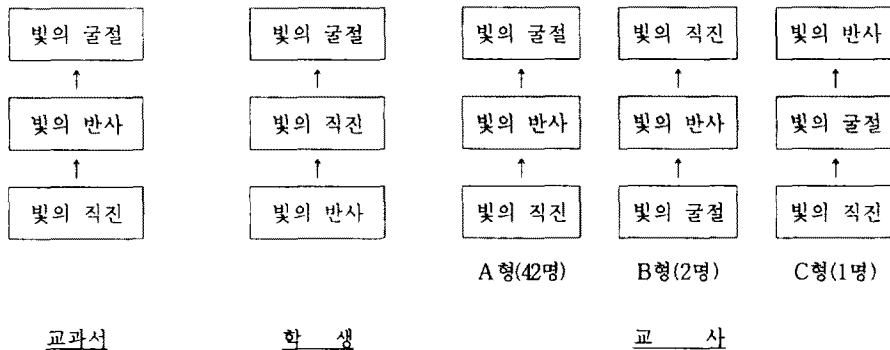
지고 있음을 알 수 있다. 2명(4.4%)의 교사들이 교과서의 개념 제시 순서와 반대되는 위계를 가지고 있는 것도 주목할 만한 사실이다.

2) 식물의 구조와 기능

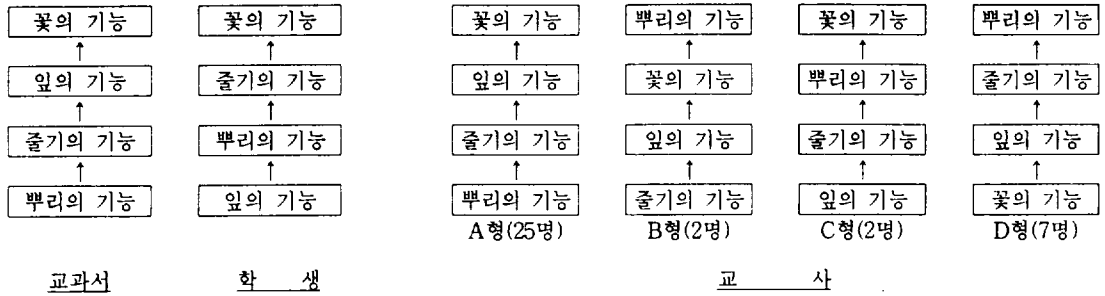
국민학교의 '식물의 구조와 기능' 단원의 교과서 개념 제시 순서는 '뿌리의 기능' → '줄기의 기능' → '잎의 기능' → '꽃의 기능'의 순으로 제시되어 있다.

학생들의 심리적 위계는 <그림 3>과 같다. 잎의 기능이 가장 하위 개념으로 나타나고, 뿌리의 기능과 줄기의 기능에 이어서 꽃의 기능이 가장 상위 개념이 된다. 이러한 학생들의 심리적 위계는 교과서의 개념 제시 순서와 다르게 나타나고 있음을 알 수 있다. 상위 개념으로 교과서에서 제시하고 있는 '잎의 기능'이 하위 개념으로 나타난 것은 '잎의 기능'에 대하여 이미 학습하였기 때문으로 추측되며, 꽃의 기능이 상위 개념으로 나타난 것은 꽃의 수분 방법이나 꽃가루가 옮겨지는 방법이 어려운 개념으로 판단된다.

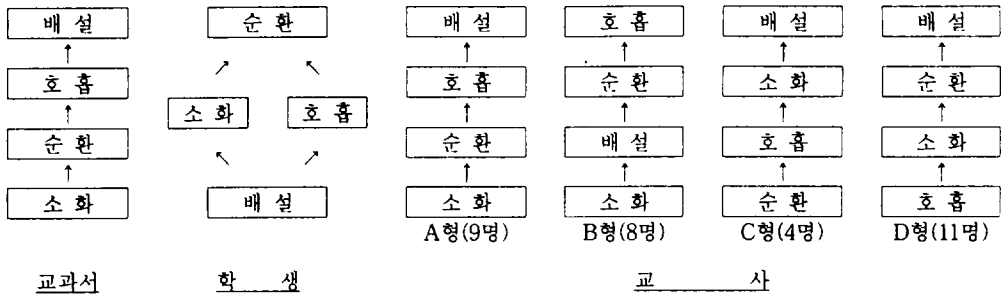
현장 교사 36명을 대상으로 교사들이 갖고 있는 식물의 기능에 대하여 <그림 3>에서 살펴보면, 응답한 교사 중 25명(69.4%)이 교과서의 개념 제시 순서와 같은 유형의 위계를 나타내고 있다(A형). 7명(19.4%)의 교사가 교과서의 개념 제시 순서와 반대의 위계 유형을 갖고 있으며(D형), 이러한 유형은 가장 가까운 곳에서 먼 곳으로 학습 내용의 제시 순서를 조직 하여야 한다는 Posner와 Strike(1976)의 방법과 유사하다. 그 밖에 줄기의 기능이나 잎의 기능을 가장 하위 개념으로 생각하는 교사도 있었다(B형, C형).



<그림 2> 국민학교 '빛의 성질' 단원의 위계 조사 결과



<그림 3> 국민학교 '식물의 구조와 기능' 단원의 위계 조사 결과



<그림 4> 국민학교 '인체의 구조와 기능' 단원의 위계 조사 결과

3) 인체의 구조와 기능

6학년 "우리의 몸" 단원에서 "인체의 구조와 기능"에 대한 주요 개념들의 제시 순서는 '소화' → '순환' → '호흡' → '배설'의 순으로 되어 있다.

조사된 학생들의 심리적 위계 구조는 크게 두 가지 경로로 구성되어 있다. 첫째, 배설 → 소화 → 순환의 위계 구조와 둘째, 배설 → 호흡 → 순환의 위계 구조를 나타내고 있는데, 교과서에서 제시되고 있는 순서와 심리적 위계간에는 차이가 있음을 보여주고 있다<그림 4>.

교사들이 갖고 있는 위계의 유형은 <그림 4>에서 볼 수 있는 바와 같이 4가지 유형을 나타내고 있다. 9명(28%)의 교사가 교과서의 논리적 위계와 동일한 위계 유형을 나타낸다(A형). 그리고, 배설을 순환, 호흡의 하위 개념으로 생각하고 있는 교사가 8명(25%)이다(B형). 11명(34.4%)의 교사가 호흡을 가장 하위 개념으로 제시하였다(D형). 순환을 하위개념으로 생각하고 호흡, 소화, 배설의 순서로 생각하고

는교사들도 있었다(C형). 배설을 가장 상위 개념으로 제시한 교사가 24명(75%)이었는데, 이는 신체의 구조상 가장 마지막 기능을 상위 개념으로 제시한 것으로 분석된다(A형, C형, D형).

김용화와 정완호(1995)는 '인체의 구조와 기능'에 관한 국민학생들의 개념 조사에서 교사들 자신도 부분적으로 잘못된 오개념을 갖고 있음을 발견하였다. 이는 일상 생활에서 얻어지는 경험 내용을 논리적으로 생각하지 못하고 본 그대로 개념화한 것이기 때문이라고 생각된다.

4) 지각의 구성 물질

과학 교과서에 제시된 '지각의 구성 물질' 단원에서 나타난 개념 제시 순서는 <그림 5>에서와 같이 '광물' → '화성암' → '퇴적암' → '변성암'의 순으로 제시하고 있다. 한편 학생들이 지니고 있는 심리적 위계는 교과서에 제시된 순서와는 매우 다르게 나타났다<그림 5>. 학생들은 광물 개념을 퇴

적암이나 화성암보다 더 어렵게 받아들이고 있다. 이는 국민학교에서 이미 암석의 개념을 학습하지만 광물은 배우지 않았기 때문으로 생각된다. 퇴적암은 화성암보다 하위개념으로 나타났고 변성암은 광물보다 상위 개념으로 나타났다.

암석에서 나타난 학생들의 심리적 위계('퇴적암'→'화성암'→'변성암')는 현행 국민학교 교과서에 제시된 순서와 일치한다. 이에 반하여 중학교 교과서에서는 '화성암'→'퇴적암'→'변성암'의 순서로 배열되어 있어 국민학교와 중학교간에 과학교육과정의 계열성이 일치하지 않는다.

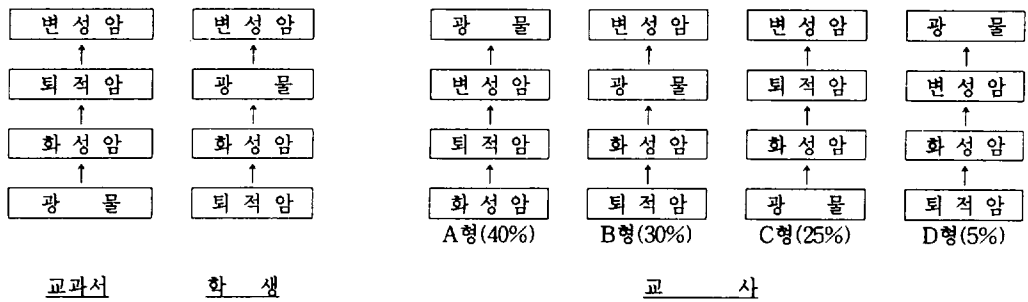
현장 교사 20명을 대상으로 조사한 교사들의 심리적 위계 유형은 <그림 5>에 제시되어 있는 것과 같이 4가지 유형을 나타내었다. 많은 교사들은 광물을 상위 개념으로 보고 있으며, 교과서의 순서에서 광물과 암석을 뒤바꾼 A형(40%)이 가장 많고, 다음에 학생들의 심리적 위계와 일치하는 B형(30%)이 다음으로 높은 빈도를 보였다. 교과서의 순서와 일치하는 C형은 25%로 나타났다.

5) 일기의 변화

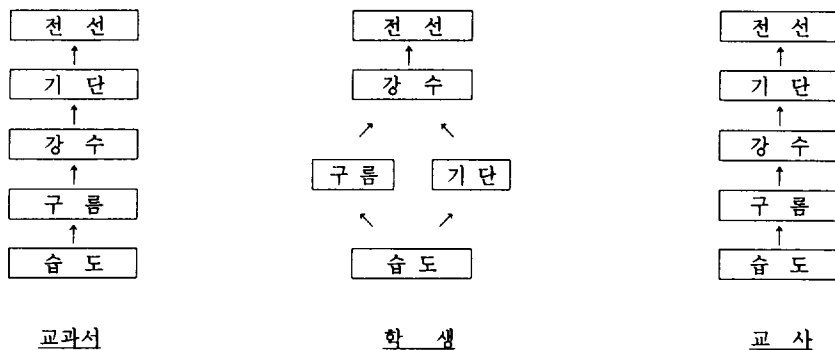
과학 교과서에 제시된 '일기의 변화' 단원에서 나타난 개념 제시 순서는 '습도'→'구름'→'강수'→'기단'→'전선'의 순으로 되어 있다.

학생들이 지니고 있는 심리적 위계는 <그림 6>에서와 같이 '기단'이 '강수'보다 하위 개념으로 나타났고 다른 개념들은 논리적 위계와 같다.

'일기의 변화' 단원에 있는 개념들에 대한 교사들이 지니고 있는 위계의 유형은 교과서에서 제시된 '습도'→'구름'→'강수'→'기단'→'전선'의 순서와 일치하고 있다. 즉, 공기 덩어리가 상승하여 팽창하게 되면, 공기는 냉각되어 이슬점 이하로 내려가 구름이 형성되고, 구름으로부터 비와 눈이 내리는 과정을 연결진 다음, 기단과 전선을 연관지어 후반부에 제시하고 있는 현행 교과서는 타당한 계열 순서라고 평가된다.



<그림 5> 중학교 '지각의 구성물질' 단원의 위계 조사 결과



<그림 6> 중학교 '일기의 변화' 단원의 위계 조사 결과

'일기의 변화'와 관련된 위계 분석에서 교과서에서 제시하는 순서, 교사들이 인식하는 위계, 학생들이 가지고 있는 심리적 위계는 거의 유사하게 나타나고 있다.

6) 지구와 달의 운동

현행 과학 교과서에 제시된 '지구와 달의 운동' 단원에서 나타난 개념 제시 순서는 <그림 7>과 같이 먼저 지구의 자전이 제시되고, 지구의 공전으로 일어나는 계절의 변화를 설명하고 있다. 그리고 달의 공전으로 일식과 월식을 설명하고 조석은 마지막에 제시되고 있다.

학생들이 지니고 있는 심리적 위계는 <그림 7>과 같이 지구의 자전과 지구의 공전은 동등 개념으로써 계절의 변화와 달의 공전의 하위 개념으로 형성되어 있는 것으로 나타났다. 달의 공전 → 일식과 월식 → 조석의 위계 구조는 교과서의 순서와 같게 나타났다. 따라서 학생들의 심리적 위계는 교과서의 개념 제시 순서와 유사하다고 볼 수 있다.

'지구와 달의 운동' 단원에 있는 개념들에 대한 교사들이 가지고 있는 위계의 유형은 교과서에서 제시된 지구의 자전 → 지구의 공전 → 계절의 변화 → 달의 공전 → 일식과 월식 → 조석의 순서와 일치한다.

7) 식물의 생활

중학교 '식물의 생활' 단원에서 식물 분류 개념을 중심으로 위계를 분석한 결과는 <그림 8>과 같다. 현행 교과서에서 제시되어 있는 순서는 '꽃의 구조와 특징' → '종자 식물 및 속씨 식물의 특징' → '쌍떡잎 식물 및 통꽃과 갈래꽃의 특징' → '외떡잎 식물의 특징' → '겉씨 식물의 특징' 순으로

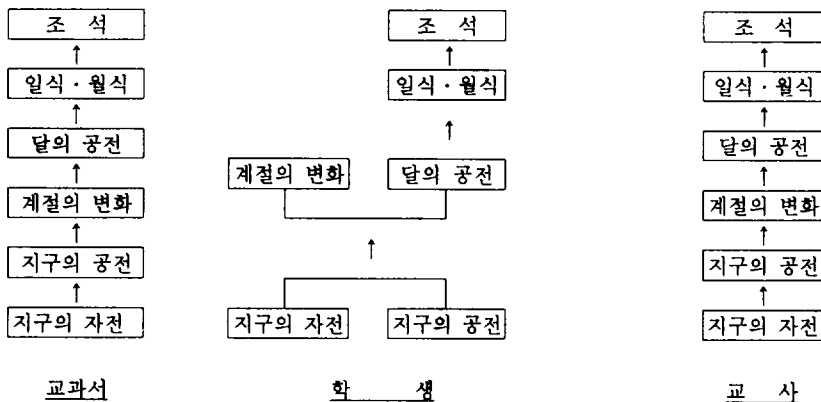
제시되어 있다. '종자 식물과 민꽃 식물의 분류', '속씨 식물과 겉씨 식물의 분류', '쌍떡잎 식물과 외떡잎 식물의 분류', '식물의 생식 방법' 개념간의 심리적 위계를 조사한 결과는 <그림 8>에서 나타난 바와 같다.

'식물 분류 개념'에 대한 학생들의 심리적 위계를 보면, 학생들은 종자 식물과 민꽃 식물의 분류 개념을 쉽게 성취하고, 속씨 식물과 겉씨 식물의 분류 개념을 어렵게 생각하며, 쌍떡잎 식물과 외떡잎 식물의 분류 개념은 중간 정도로 나타남을 알 수 있다. 차회영(1990)의 생물 분류 개념에 관한 연구 결과에 의하면 고등학생들조차도 씨와 밀씨에 대한 개념이 형성되어 있지 않았으며, '겉씨'와 '속씨'라는 용어상의 혼동에 기인한 오개념이 많음을 보고하고 있다. 또한 속씨 식물과 겉씨 식물의 구분을 가장 어려워하는 이유는 소나무꽃의 구조가 너무 생소한 점에 있다고 본다.

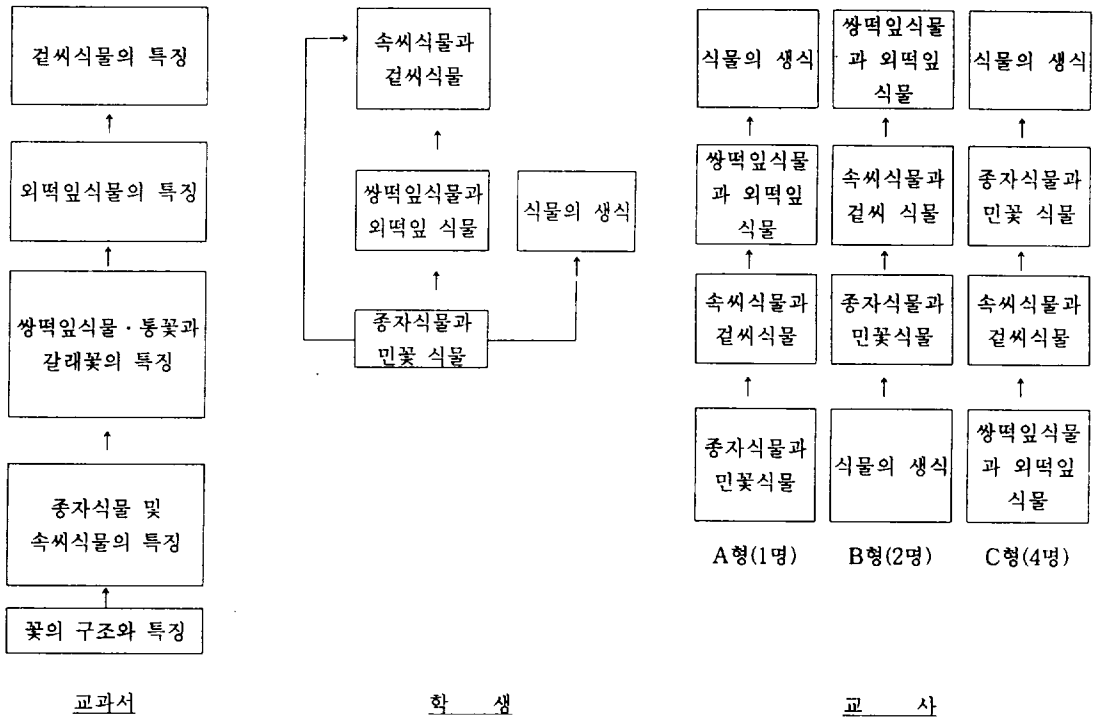
교사들은 3가지 유형의 심리적 위계를 지니고 있었다 <그림 8>. 교사들의 위계 유형 중에서 A형(1명)은 식물의 생식 방법을 가장 상위 개념으로, B형(2명)의 위계 유형은 식물의 생식 방법은 모든 분류 개념의 하위 요소라고 응답하였다. C형(4명)은 세부적인 것에서 포괄적인 것으로 식물의 생식 방법을 가장 상위 개념으로 응답하였다.

2. 심리적 위계에 따른 교수 효과

학생들이 지니고 있는 심리적 위계에 따른 수업 효과를 알아보기 위하여 조사된 7개 단원 중에서 3개 단원에 대해 실험 처치를 하였다. 사전 검사 결과를 공변량으로 하고 실험 처치의 효과를 공변량분석한 결과는 <표 7>과 같다.



<그림 7> 중학교 '지구와 달의 운동' 단원의 위계 조사 결과



<그림 8> 중학교 '식물의 생활' 단원의 위계 조사 결과

<표 7> 심리적 위계에 따른 수업 효과에 대한 공변량 분석

학교급	단원명	평균	F
국민학교	빛의 성질	실험집단 : 88.89 통제집단 : 71.67	19.21*
중 학교	식물의 생활	실험집단 : 69.83 통제집단 : 59.58	11.46*
	지각의 구성물질	실험집단 : 72.25 통제집단 : 66.08	5.28*

* p<0.01

<표 7>에서 볼 수 있는 바와 같이, 학생들의 심리적 위계에 따른 교수 제시 순서로 학습한 실험 집단이 교과서에 제시된 순서로 학습한 통제 집단보다 개념 성취율이 통계적으로 높았다(p<0.01).

3. 논의

일반적으로 과학 교과서들은 학문의 내용 구조적인 측면

에서 논리적 계열에 따라 진술되어 있다. 또한 과학 교사들도 이러한 교과서에 제시되어 있는 학습 내용을 그대로 학습 계열로 삼아 교수 활동을 전개한다. 논리적 계열에 따라 제시되는 학습 내용은 학생들의 인지 구조 속에서 학습자의 다양한 위계망 조직화 능력에 따라 여러 유형의 심리적 계열로 변화되게 된다. 따라서 전통적인 교수 상황에서는 학생들의 인지구조 속에 형성하고 있는 심리적 위계에 대하여 관심을 기울이지 못하였다.

본 연구 결과, 교과서에 제시되어 있는 과학 개념의 순서와 학생들이 학습 후에 지니고 있는 심리적 위계에는 차이가 있었다. 이러한 연구 결과는 선행 연구 결과에서도 이미 밝혀진 바이다. 또한 구윤모(1991), 김명섭(1994), 김영신과 정완호(1995) 등의 연구 결과에 의하면 학생들의 심리적 위계는 인지 발달수준, 학습 과제의 맥락 등에 따라 다르게 나타난다고 하였다. 이는, 학생들의 심리적 위계가 인지 능력과 문제 상황에 영향을 받는다고 생각할 수 있다.

한편, 교사들이 지니고 있는 심리적 위계가 논리적 위계와 다른 경우도 많이 발견되었다. 이는 교사가 지니고 있는 심리적 계열과 교수 활동으로 나타나는 교수 계열이 다르다

는 것을 의미하기 때문에 매우 중요한 시사점을 제공한다. 즉, 교사가 지니고 있는 심리적 계열과 논리적 계열 또는 교수 계열이 다르다는 것은 교사들의 인지구조 안에서 형성되어 있는 위계와 논리적 위계 사이에서 일어나는 차이로 인해 개념들 또는 학습 요소들 사이의 상호 위계적 관계에 갈등을 일으킬 수 있고, 이러한 갈등은 곧 학생들에게 전달되어 지기 때문이다.

(학생들이 지니고 있는 심리적 위계에 따라 학습 내용을 제시하였을 때, 논리적 위계에 따라 학습한 집단 보다 높은 개념 성취도를 나타낸 본 연구 결과는 학생들의 심리적 위계의 중요성을 보여주고 있다.) 주어지는 정보, 즉 과학적 지식, 개념, 기능들은 학생 나름의 인지구조 틀에 동화되고 조절되어 자신의 인지구조를 형성한다. 따라서 학생의 심리적 위계 구조에 따라 교수 내용을 제시하는 것이 새로운 개념을 형성하는데 용이하도록 해 준다고 할 수 있다.

일찍이 Collins와 Quillian(1969)은 인간의 기억과 관련하여 위계적으로 조직된 정보의 가설적 기억망을 제안하였다. 그들은 제안한 가설을 검증한 결과, 지식들이 위계적으로 조직된다는 결론을 얻었다. 그러나 아동들의 위계적 개념 구조가 언제부터 나타나는가에 대한 연구 결과들은 아직 논쟁의 여지가 있다. Heidenheimer(1978)의 연구에 의하면 7세 이전에는 개념적 정보가 위계적으로 조직되어 있지 않다는 결과를 발표하였지만, Mansfield(1977), Steinberg와 Anderson(1975), Kunen과 Whitney(1983)에 의하면 4-5세의 아동들로부터 위계적 개념 구조를 찾아낸 연구를 바탕으로 4-5세 정도에는 위계적 개념 구조를 지닌다고 주장하였다. 이러한 연구 결과로 볼 때, 인간의 위계적 개념구조는 적어도 7세 이전부터 발달한다고 생각할 수 있다. 따라서, 국민학교 저학년 학생들도 과학 개념을 위계적으로 조직하여 저장하고 인출한다는 것을 알 수 있게 한다.

아동들의 위계적 개념 구조가 취학 연령 정도부터 발달하기 시작하고 심리적 위계에 따른 교수 제시 순서가 학생들의 개념 형성에 효과적이라는 연구 결과는 과학교육과정의 계열성을 타당화하기 위해서는 학습자들에게 심리적 위계를 고려해야 할 것을 제시하고 있다. 인지구조 내에서 어떻게 개념들 간의 위계적 망이 조직화되는지에 대한 논의는 여기에서 언급하지 않았지만, 결과적으로 정보처리론적 관점에서 입력된 정보의 순서와 관계없이 위계적 망이 학습자 나름의 인지구조 내에 형성되어 있다는 사실을 증명해야 할 것이다. 논리적 계열의 측면에서 상위 학습 요소도 어떠한 경우에는 학생들이 쉽게 이해하고 받아들여, 학생들의 심리적 위계에는 하위 요소로 나타나 있기도 하다. 이러한 위계적 망이 조직화되는 데에는 학생들의 경험, 선개념, 문제 상

황의 맥락, 인지발달수준 등 다양한 변인들이 관계하기 때문에 과학 개념들 사이의 논리적 타당성에 의한 위계적 관계만 고려하여 선수 학습의 요소를 결정하는 것은 학생들에게 과학 개념을 성취하는데 오히려 어려움을 느낄 수 있을 것이라고 생각된다.

IV. 결론 및 제언

본 연구의 목적은 과학 교육과정 계열성의 타당화 평가 연구로서 학습 위계라는 관점에서 학생과 교사의 심리적 위계를 조사하고, 조사된 심리적 위계에 따른 학습의 효과를 검증하는데 있다. 연구 결과에 따르면 학생들이 지니고 있는 심리적 위계는 교과서에 제시되어 있는 교수 제시 순서와는 다르게 나타났으며, 과학 교사들의 심리적 위계도 논리적 계열과 다른 유형들이 있었다. 심리적 위계에 따라 학습 내용을 제시한 경우가 논리적 계열에 따른 교수 제시보다 개념 성취도가 높게 나타났다. 이러한 결과에 의하면, 과학교육과정의 계열성을 타당화 하기 위해서는 학생들이 지니고 있는 심리적 위계를 바탕으로 학습 내용을 조직해야 함을 나타낸다.

학생들의 인지구조 내에 형성하고 있는 과학 개념들 사이의 위계적 조직망은 학생의 인지발달 수준, 문제 상황의 맥락에 따라 다르게 나타나기도 한다. 그러나 교수의 계열성을 찾고 이를 타당화시키기 위해서는 학습의 개념 위계론적 접근을 통해 심리적 위계를 조사하고, 과학 학습 계열성의 타당화 과정에 이용되어야 한다. 과학교육과정 계열성의 타당화에 학습의 위계론적 접근에 따른 학습자들의 심리적 위계는 교수상황에서 상위 요소의 학습에 필요한 선수학습 요소가 무엇인지를 밝혀줌으로써 모든 학습자들에게 진단적인 목적에 기여하여 학습자의 출발점 상태에 대한 정보 제공해준다. 이는 선수학습 요소와 정적 전이의 관계를 통해 학습의 경로 및 절차를 제시할 수 있다는 장점이 있다. 따라서 과학 교수 활동에서 교사는 학습 대상의 특성과 심리적 위계를 고려하여 교수 내용을 재조직하여 제시해야 할 것으로 생각된다.

학생들이 지니고 있는 심리적 위계가 시간의 경과에 따라 어떻게 변화되어 가는지에 대한 종단적인 연구와 정성적인 연구가 병행되길 바란다. 이러한 연구들은 보다 효과적인 교수 학습의 방법에 관심을 두고 과학교육목표 달성에 최선의 방법을 찾고자 하는 많은 과학교육자들에게 시사점을 제공할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- 구윤모(1991). 논리적 사고 수준과 문제맥락에 따른 물리 개념의 위계구조. 한국교원대학교 대학원 석사학위논문.
- 김경호(1993). 고등학교 유전 학습에 효과적인 교수 순서와 교수 방법. 서울대학교 대학원 박사학위논문.
- 김명섭(1994). 서열화 이론에 의한 고등학생들의 생명의 연속성 개념에 대한 심리적 위계 분석. 한국교원대학교 대학원 석사학위논문.
- 김영신, 정완호(1995). 생명의 연속성 개념에서 학습위계에 따른 수업효과에 관한 연구. 한국과학교육학회지, 15(2), 233-240.
- 김영화, 정완호(1995). 인체의 구조와 기능에 관한 국민학생들의 개념 조사. 한국과학교육학회지, 15(1), 6-16.
- 나일주(1990). CAI설계를 위한 과제분석 전략. 교육공학 연구, 6(1), 153-174
- 박종환(1994). 동물의 물질대사에 대한 고등학생들의 개념 위계 분석. 한국교원대학교 대학원 석사학위 논문.
- 정완호(1993). 한국 고등학생의 생물 오개념에 대한 연구. 서울대학교 대학원 박사학위 논문.
- 차희영(1990). 우리 나라 초·중·고등학교 학생들의 생물 분류 개념에 관한 연구. 한국교원대학교 대학원 석사학위논문.
- 佐藤隆博(1987). ISM構造學習法. 明治圖書, 1-18, 53-66.
- Abraham, M. R. (1992). Sources of alternative conceptions in chemistry. In J. R. Staver, *Problem solving and conceptual understanding*. Symposium conducted at the Midwest Regional Meeting, American Chemical Society, Kansas University, Manhattan, KS.
- Collins, A. M. , & Quillian, M. R.(1969). Retrieval time from symantic memory. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 8, 240-247.
- Frayer, D. A., Fredrick, W. C., & Klausmeier, H. J.(1969). A schema for testing the level of concept mastery(Working Paper No. 16). Madison: Wisconsin Research and Development Center for Cognitive Learning.
- Gagné, R. M, & Briggs, L. J.(1979). *Principles of instructional design*, 2nd Ed., Holt Rinehart & Winston, N. Y.
- Griffiths, A. K., & Grant, B. C.(1985). High school students' understanding of food webs: Identification of a learning hierarchy and related misconceptions. *Journal of Research in Science Teaching*, 22(5), 421-436.
- Heidenheimer, P.(1978). A comparison of the roles of exemplar, action, coordinate, and superordinate relations in the semantic processing of 4 and 5 year old children. *Journal of Experimental child Psychology*, 25 ; 143-159.
- Johnstone, A. H.(1979). *The content- a barrier to implementation*, occasional paper, University of Glasgow.
- Kunen, S. & Whitney, P.(1983). Development of hierarchical conceptual relationships in children's semantic memories. *Journal of Experimental Child Psychology*, 35; 278-293.
- Lovell, K. (1980). The relevance of cognitive psychology to science and mathematics education, in *Cognitive Development Research in Science and mathematics*, W. F. Archenhold (Ed.), Leeds: University of Leeds.
- Macready, G. B.(1975) The structure of domain hierarchies found within a domain referenced testing system. *Educational and Psychological Measurement*, Vol.35 ; 583-598.
- Mansfield, A. F. (1977). Semantic organization in the young child: evidence for the development of semantic feature systems. *Journal of Experimental Child Psychology*, 22, 511-518.
- Mckeen, R. L., & Eisenberg, T. A. (1973). On using Student-generated sequences in the development of a learning hierarchy, *Improving Human Performance: A Research Quarterly*, 2, 97-106.
- Olarewaju, A. O. (1987). Relative effects of hierarchical versus non-hierarchical learning tasks on student's achievement in biology. *Research in Science & Technological Education*, 5(1), 17-24
- Posner, G. J. and Strike, K, A. (1976). A categorization scheme for principles of sequencing content. *Review of educational research*, 46, 665-690.
- Siedel, N. W., & McKeen, R. L. (1974). More on the use of student generated learning hierarchies. *Improving Human Performance: A Quarterly*, 3(2), 71-80.
- Steinberg, E. R. & Anderson, R. C.(1975) Hierarchical semantic organization in 6 year olds. *Journal of Experimental Child Psychology*, 19 ; 544-553.
- Wilson, M. (1985). *Measuring stages of growth: A psychometric model of hierarchical development*. ED 163-155

(ABSTRACT)

A Study of the Validating Evaluation of Science Curriculum Sequence and Instructional Effectiveness with the Application and Hierarchical Analysis of Science Conceptions

Jeong, Jin-Woo

(Korea National University of Education)

Cho, Seon-Hyeng

(Cheongju National University of Education)

Lim, Cheong-Hwan

(Taegu National University of Education)

The purpose of this study is to investigate the psychological hierarchy structure of science concepts and to determine the effective teaching order by comparing the teaching effects of the psychological hierarchy order with those of teaching order of the current text in order to inquire validating evaluation framework of science curriculum sequence. Key concepts were selected by tasks analysis in the seven units of elementary and secondary school curriculum. Concept formation tests were developed to evaluate each concepts achievement. The test items were made according to each of the concepts based on 12 prototype tasks developed by Frayer(1969).

To identify the students' psychological hierarchy the test items were administrated to elementary and secondary school students. Ordering theory was used to identify the students' psychological hierarchy. Nonequivalent control group pretest-posttest design was used in this study as an experimental design. Teaching with psychological hierarchy order was applied tp experimental group and teaching with concept order described in the current text was applied to control group.

The major results of this study are as followings:

1. The students' psychological hierarchy structures are different from logical hierarchy structures.
2. The science teachers' psychological hierarchy structures are different from not only logical hierarchy structures but also students' psychological hierarchy structures.
3. The mean score of experimental group applied psychological hierarchy order is significantly higher($p < .05$) than the control group in the concept achievement.