서열화 이론의 방법과 절차 및 이를 이용한 과학탐구기능 요소의 위계분석

임 청 환
(한국교원대학교 과학교육과)

(1992. 12. 18 받음)

Ⅰ. 서 론

1. 연구의 필요성 및 목적

Wood(1975)는 위계(Hierarchy)를 문항들(Item)이나 학습과제들(Tasks) 사이에서, 더 높은 단계의 문항이나 학습 과제를 성공적으로 수행하기 위하여 체계적으로 순서있게 정돈된, 그들 사이의 배열상태라고 정의했고, Olsen(1968)은 교육과정에서의 학습과제나, 혹은 특별한 개념에 관련된 어떤 학습과제의 전체적인 순서(order)나 부분적인 순서를 위계로 정의했고, 이 순서는 개념을 구성하고 있는 지식의 논리적 구조로 부터 가정된 경험적인 데이타에 의해 결정된다. 한편 Rogers(1977)는 위계를 여러 가지(Branches)를 포함할 수 있는 문항들이나 학습과제들의 체계적인 계열성의 집합체로 보았다. Druva(1985)는 상위단계 기능을 성공적으로 수행하기 위하여, 필수적으로 요구되는 어떤 기능들의 순서적이고 체계적인 모임으로 정의했다. Wilson(1985)은 위계의 개념을 학습자에 의해서 학습되어지는 순서(Order)인 심리적인 계열성(Psychological sequence) 위계와, 교사에 의해서 학습되어지는 교수-학습계열성(Instructional sequence) 위계, 학습과제속에 내재해 있는 논리적인 계열성(Logical sequence) 위계, 그리고 학습자의 행동으로 나타나는 경험적인 계열성(Empirical sequence) 위계로 분류했다. 이런 의미에서 Piaget의 이론은 인지 발달을 심리학적으로 규정한 심리학적 계열성을 띤 위계로, Gagné의 이론은 학습자의 인지 상태나 지식의 구조에 관심을 가진 것이 아니고 학습 시켜야 할 과제의 분석인 교수-학습 계열성의 위계나 논리적 계열성의 위계, 그리고 경험적인 계열성의 위계로 보았다.

교육학이나 심리학 분야에서 학습 위계 사용의 중요성은, 위계가 어떤 문항들이나 학습과제에서 좀더 높은 단계에 있는 기능을, 성공적으로 수행하기 위하여 필수 불가결한 요소가 된다는 점에서, 많은 관심을 가져왔다. 이와 같은 관심은 여러 분야에서 상당한 연구가 되어왔다.

교육학 분야에서는, 위계가 가지고 있는 함축적인 의미로 인하여, 학습 위계의 타당화 방안 즉, 학습자가 어떤 학습과제를 학습할때의 순차적인 계열성에 관한 것들이다. 이와 같은 순차적인 계열성이 있는 위계는, 프로그램 학습으로부터 Gagné와 그의 연구자들(Gagné & Paradise, 1961;Gagné & Bassler, 1963; Gagné, 1968)에 의하여 많은 연구가 되었다.

Gagné는 학습 과제 분석 방법을 사용하여 위계를 설정했고, 이는 최종 학습 목표를 학습하기 위해서, 어떤 학습 요소나 기능을 학습해야 하는지를 명확히 알 수 있게 했다. 즉, 하위 기능과 상위 기능들 사이의 유기적 관련성과 순서를 쉽게 알 수 있어서, 성공적으로 최종 학습 목표에 도달이 용이하다는 것이다.

인지 심리학 분야에서의 위계에 대한 관심은 주로 Piaget의 영향을 많이 받은 것으로서, 어떤 개념이나 논리적 조작 기능의 습득이 규칙적이고 일관성 있는 계열성이 존재한다는 것이다. 즉, 인지 발달 단계는 감각 동작기, 전 조작기, 구체적 조작기, 형식적 조작기의 계열성을 갖는 위계로서, 어떤 한 인지 발달 단계가 진행될려면, 반드시 전 단계를 거치지 않으면 안된다. Piaget는 인간의 인지 바달은 특별한 선형위계(Linear hierarchy)를 형성한다고 했고, Bart와 Smith(1974)는 인지 구조(Cognitive structure)가 위계를 형성하며, Mandler(1967)는 언어 연상 조직도 기본적으로 위계적인 구조를 갖는다고 했다.

위계의 중요성은 특히, 교육과정 개발자나 연구자들에게는 새로운 기능이나 개념, 지식등을 학습 시킬때 어떤 것이 최적의 계열성을 갖고 있는가가 가장 큰 관심 사항이다. 왜냐하면 최적의 계열성 즉, 위계를 찾아내서 교육과정을 개발하는 것이 교수-학습에서 최소의 노력과 경비 시간으로 최대의 효과를 기대할 수 있기 때문이다. 또한 문항 개발자나 교사에게도 최적의 위계로 구성된 문항이나, 최적의 위계로 전개되는 교수-학습 전략은 학습자에게 학습 목표로의 완전 학습을 제공해줄 수 있는 것이다.

교육학이나 인지 심리학, 사회학 분야를 막론하고 위계의 중요성은, 어떤 현상들이나 사건사이의 논리적인 관련성(Relationship)을 밝힐 수 있다는 것이다. 이것은 통계학에서 상관계수가 제공해주는 단순한 선형적인(Linear) 정보 보다는 훨씬 차원높은 관련성을 제공해 주고, 이로인해 어떤 현상에 대한 과학적인 설명을 할 수 있는 모델의 한 형태(A type of model)를 제공해 주기 때문이다(Bart, 1981).

위계적인 구조는 어떤 학습 목표가 설정 되었을 때, 이 학습 목표가 일반적으로 고차원적이고 종합적인 기능이나 행동을 나타내는 최종 목표로 본다면, 이 최종 목표를 해결하기 위해서는, 학습 과제를 구성하는 학습 요소들을 추출하여 이를 분석하고 위계적인 관계로 조직 해야만, 학습자가 거쳐야 할 각 학습 단계를 용이하게 발견할 수 있고, 최종 목표에 완전하게 도달 할 수 있다. 이와 같은 사상을 기본으로 한 학습 이론이 "학습 위계 이론(Learning hierarchies)"이다. 다른 학습 이론들도, 예를 들면, Skinner의 강화 이론, Gagne의 학습 위계 이론, Bruner의 발견 학습 이론, Ausubel의 유의미 학습 이론, Schwab의 탐구 학습 이론, Lawson의 순환 학습 이론, Bloom의 완전 학습 이론 등은 크게 포괄적으로 생각한다면, Piaget의 인지 발달 이론을 근거로 하여, 하위 위계로 부터 상위 위계로의 보다 용이한 도달 방법을 제시하는 이론들로 볼 수 있다.

이와 같은 이유에서 학습자가 어떤 주어진 학습 목표에 완전하게 도달하기 위해서는, 하위 수준의 기능으로 부터 상위 수준의 기능을 학습 하는데 필요한 학습 요소나 학습 단위들의 위계적 관련성을 타당성 있게 조직 함으로써, 학습 요소들간의 최대한의 긍정적 전이(Positive transfer)를 일으킬 수 있는 전체적인 위계 관련성을 찾는 것이 중요하다.

어떤 학습 과제에서 위계적인 관련성을 찾을 필요성은 첫째로, 학습자의 인지 발달 단계를 알아야 그 학습자에 맞는 인지 수준에서 학습 요소들이 무엇이며, 이를 토대로 학습자가 어떤 능력이나 기능이나 행동 목표가 가능한 것인가가 명백히 밝혀진다. 둘째로 학습 목표 달성에 필요한 학습 활동을 구체화하여, 어떠한 학습 행동이나 학습 요소가 최종 학습 목표를 학습 시킬 수 있는가를 결정하고, 셋째는 학습 과제를 구성하고 있는 학습 요소들간의 상호 위계적 관계를 표시한 학습 위계 구조도를 도식화 함으로써, 학습 요소 상호간의 관련성을 밝힌다. 즉, 어떤 학습 요소들은 다른 학습 요소들과 관련이 없으면서 상위 수준의 위계에 종속되어 있는 경우, 즉 수직적-종속적인 관계에 있는 경우가 있고, 반면에 어떤 학습 요소는 수평적-횡적인 관계만 있어서 상호간에 깊은 맥락을 맺고 있지 않은 경우도 있다. 이런 학습 요소들간의 학습 위계 구조도는 체계적인 교수-학습 활동 전개의 기초가 된다. 넷째로 교수-학습 활동을 가장 효율적으로 전개할 수 있는 학습 활동의 순서를 파악할 수 있다. 고차적인 능력이나 행동을 나타내는 최종 학습 목표는 하위의 학습 요소들을 순차적으로 숙달해 가지 않으면 성취할 수 없게 되는데, 이와 같이 미리 알고 있어야 할 학습 요소들을 선수 학습 요소 또는 필수 학습 요소(Prerequisities for learning)라 한다(Gagné, 1970). 따

라서 학습 요소들간에 어떤 것이 선수 학습 요소에 속하는 것인지의 상호 관계를 밝히면, 학습 전개 계열을 명확하게 수립할 수가 있고, 상호 위계 구조를 따지다 보면 필수적으로 학습 시켜야 할 학습 요소의 누락을 방지하여 학습 목표 달성이 용이하다. 다섯째로 언제 어떤 단계에서 무엇을 평가해야 하는지의 평가 목표가 뚜렷해 진다(박성익, 1988).

과학 교육에서도 어떤 학습 과제가 부여 되었을 때, 학습자가 그 학습과제의 최종 목표에 용이하게 도달하기 위해서는, 학습자의 인지 수준을 파악하고 논리적 사고력 수준별로 학습 내용을 분석하여, 학습과제를 구성하고 있는 학습 요소들간의 위계적인 관련성을 규명하는 것이 무엇보다 필수적인 문제라 할 수 있다.

따라서 본 연구의 목적은 상술한 위계의 중요성에 비추어, 서열화 이론의 개요 및 방법과 절차를 소개하고, 이를 이용하여 과학탐구기능 요소를 Piaget인지 발달 단계별로 구분하여 위계구조도를 작성하고 이를 해석하는데 있다. 그러나 과학탐구기능 요소 사이의 일반적이고 전형적인 불변의 위계와 상호 관련성을 규명하기 보다는 서열화 이론이 문항들이나 학습과제속에 내재해 있는 논리적인 관련성을 찾는데 어떤 방법과 절차로 이용되는가를 보여 주는 데에 있다.

Ⅱ. 학습 위계에 관한 서열화 이론

본 연구에서 위계 분석 방법에 적용하고 있는 학습 위계에 관한 서열화 이론은, "Ordering theory" (Airasian & Bart, 1971; Lele & Bart, 1972; Airasian, Madaus & Wood, 1975;Bart, 1976; Wood, 1975; Yeany, Yap & Padilla, 1986; Yap & Yeany, 1988), "Ordering-theoretic method"(Bart & Krus, 1973, 1974; Bart & Airasian, 1974), "Order analysis"(Bart, 1981; Druva, 1985), "Tree theory"(Bart, 1981), "Order analytic techniques"(Chevalaz & Tatsuok, 1983)와 같이 여러 용어로서 표현되고 있으나, 주로 Ordering theory로 많이 사용된다. 본 연구에서는 위의 모든 용어들을 통칭하여, 서열화 이론(박성익, 1988)으로 용어의 정의를 한다.

서열화 이론은 문항들이나 학습 과제들의 상호 논리적인 관련성을 증명하기 위해, 행동 과학의 측정 도구로서 개발된 이론으로, 문항들이나 학습 요소속에 내재된(Hypothesized) 서열 관계(Order relationship), 혹은, 전혀 서열 관계가 결정 되지 않은 문항들이나 학습과제들 속의 논리적인 계열성을 결정할 때, 사용되는 이론이다. 이 이론은 그 기본을 사회과학의 측정 도구 이론인 Guttman(1950)의 Scalogram Analysis(GSA)와 이를 더 발전시킨 Multiple Scalogram Analysis(MSA. Lingoes, 1963)에 두고 있다. 그러나 GSA와 MSA의 단점은, 인간 행동이나 사물들 사이의 위계가 1차원적이고 선형적인 누적된 위계로 나타난다. 이를 극복하기 위한 방법으로 Bart와 Airasian등이 개발한 통계적인 위계 분석 접근 방법이 서열화 이론이다. 국내에서는 박재호(1989)의 IRS(Item Relational Structure) Graph의 구성법과 적용에 관한 연구가 소개된 바 있으나 Chevalaz 등(1983)의 연구에 의하면 서열화 이론보다는 자료의 이론적인 구조를 해석하는데 다소 적절하지 못함을 지적 하고 있다.

1. 서열화 이론의 적용 방법 및 절차

서열화 이론은 논리적이고 통계적인 방법을 사용한 위계 분석 방법으로, GSA나 MSA와는 달리 문항이나 학습과제들 사이의, 비선형적인 위계 뿐만 아니라 연속적인 계열성과 인과관계도 알아낼 수 있다는 장점이 있다. 이는 기존의 행동 과학의 측정 이론들이 사용하는 방법을 배재하고, 새롭고 좀더 기본적인 방법으로 문항이나 학습과제들 사이의 논리적인 관련성 즉, 순서(Ordering)를 결정한다. 이 분석 방법의 일반적인 목적은 첫째로, 문항이나 학습과제들 사이에 내재된 위계를 검증하고, 둘재로, 문항이나 학습 과제들 사이에 위계가 결정되지 않았을 때 그 위계를 결정하는 데 있다.

어떤 주어진 문항들이나 학습과제에 대한 학습자의 응답 모형(Response pattern)은 둘로 나눌 수 있다. 즉, 확증적인 응답 모형(Confirmatory response pattern)과 불확증적인 응답 모형(Disconfirmatory respose pattern)이다. 간단한 두 문항의 선형 서열화(Two-item linear ordering) 응답 모형의 예를 들면 다음 〈표 1〉과 같다.

〈표 1〉 응답 모형에 따른 문항 A와 B의 선형 서열(Airasian & Bart, 1973).

응답 모형			
문항		형태	
A	B	C	D
0	0	C	
0	1	D	
1	0	C	
1	1	C	

B
|
A

문항A와 문항 B에서, A가 B의 선수 학습 요소라면〈표 1〉은 두 문항 사이의 서열과 응답 모형을 나타내 준다. 여기서 "0"는 틀린 형태이고, "1"은 맞은 형태이며, "C"는 확증적인 응답 모형, "D"는 불확증적은 응답 모형이다. 따라서, 문항 A가 문항 B의 선수 학습 요소로 되어 있다면, (0,0), (1,0), (1,1)은 확증적인 응답 모형이고, (0,1)은 불확증적인 응답 모형이 된다. 즉, 문항 A와 문항 B를 모두 맞거나, 모두 틀리거나, 문항 A는 맞고 문항 B는 틀린 경우가 확증적인 응답 모형 형태이고, 문항 A를 틀리고 문항 B를 맞춘 경우가 불확증적인 응답 모형 형태가 된다. 그런데, (0,1) 즉, 불확증적인 응답 모형은 주로 추측에 의한 효과나 다지 선다형의 객관식 문항에서, 피험자의 오기에 의한 경우가 많다. 이와 같은 불확증적인 응답 모형에 의한 오차를 극복하기 위한 방법으로 허용 오차 한계(Tolerance level)를 설정 하는데, 서열화 이론에서는 0.05, 0.10, 0.20 수준을 사용하는 것이 통례이다. 예를 들어 N명의 표본에 대한 0.05 수준의 허용 오차는 (0.05)N이 된다. 즉, (0.05)N보다 불확증적인 응답 모형(0,1)이 같거나 적을 때만 그 허용 오차 한계내에서 위계가 확정되는 것이다. 이상의 예를 일반화 시켜보면〈표 2〉로 설명할 수 있다. 〈표 2〉에서 문항 i가 문항 j의 선수 학습 요소가 되고 A, B, C, D는 표본의 빈도수(Frequency)를 나타내며, A는 (0,0), B(0,1), C는 (1,0), D는 (1,1)의 응답 모형을 나타내면, 이들 중에서 A, C, D가 확증적인 응답 모형이고, B는 불확증적인 응답 모형이 된다. 여기서 A와 D의 빈도수가 많을수록 B의 빈도수가 적을수록 문항 사이의 위계적인 관련성을 강하게 해 준다고 볼 수가 있다.

〈표 2〉 두 문항 사이의 서열을 결정하는 2×2행렬표

	상위기능 (문항j) 0	1	
하위기능 (문항 i)	A	B	0
	C	D	1

서열화 이론은 고전적인 통계적인 합을 구하지 않고 서열을 결정하는 것으로서, 문항들이나 학습 과제들 사이에 내재하는 상관관계나 분산 등이 사용되지 않고, 단지 응답 모형의 빈도만이 사용되며 그 형태는 "1" 또는 "0"(즉, 맞고 틀림)와 같은 2분 형태(Dichotomous binary code pattern)의 응답 모형이 사용되는 것이 특징이다.

이 이론의 방법과 절차를 구체화 하기 위한 간단한 예를 Bart와 Krus(1973)는 15명의 미네소타 대학 일반 심리학 코스 학생을 대상으로, 사회적인 죄의식 수준 문항 12개를 투입하여 위계를 분석했다. 12문항의 형태는 다음과 같다.

1. Drinking too much.
2. Shoplift.
3. Cheat on exam.
4. Have an extramarital affair.
5. Gossip
6. Don't go church on Sunday.
7. Have an homosexual experience.
8. Lie to parent.
9. Lie on income tax returns.
10. Being caught as a Peeping Tom.
11. Steal a book from the library.
12. Steal a book from a friend.

위 문항을 1) 아주 나쁨(very bad), 2) 조금 나쁨(a little bad), 3) 나쁘지 않음(not too bad). 4) 게의치 않음(don't care)으로 각 문항마다 표기하게 하고, 1), 2)는 "1"로, 3), 4)는 "0"로 분류한 응답 형태의 행렬표는 〈표 3〉과 같다. 〈표 3〉으로부터 각각 두 문항 간의 모든 경우의 수를 조합한, 불확증적인 응답 모

형 백분율을 구하여 〈표 4〉의 행렬표를 작성 하였고, 이로 부터 다음과 같은 문항 사이의 선수 학습 요소를 구할 수 있다. 즉, 문항 1은 문항 6의 선수 학습 요소가 되고, 2는 4, 6, 8 3은 6, 4는 6, 5는 6, 7은 1, 3, 6 , 8은 6, 9는 6, 10은 1, 6, 9, 11, 11은 6, 12는 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11의 선수 학습 요소가 됨을 알 수 있다.

이들 선수 학습 요소의 서로의 관련성을 기초로 하여 위계 구조도를 작성 한다. 물론 이때 허용 오차의 한계를 고려해야 한다. 허용 오차의 한계에 따라 위계 구조도가 달라지기 때문이다. 〈표 4〉로 부터 위계 구조도를 그리면 [그림 1]과 같다.

〈표 3〉 사회적 죄의식에 대한 문항 응답 행렬표

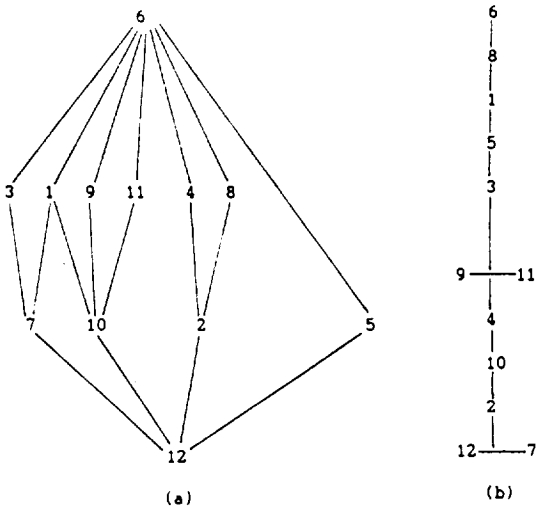
문항	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	total
응답자 1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	10
응답자 2	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	9
응답자 3	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	10
응답자 4	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	4
응답자 5	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	6
응답자 6	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	11
응답자 7	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	9
응답자 8	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	5
응답자 9	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	5
응답자10	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	5
응답자11	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	6
응답자12	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	7
응답자13	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	8
응답자14	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	8
응답자15	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	8
total	7	13	8	11	7	0	13	6	9	13	9	15	

〈표 4〉 사회적 죄의식에 대한 불확증적인 응답 모형 백분율의 선수 학습 관련 요소 서열

문 항	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	—	47	33	33	33	0	40	20	20	40	27	53
2	7	—	7	0	7	0	13	0	7	13	7	13
3	27	40	—	33	20	0	33	7	27	40	20	47
4	7	13	13	—	7	0	27	7	7	20	7	27
5	33	47	27	33	—	0	53	20	33	47	27	53
6	47	87	53	73	47	—	87	40	60	87	60	100
7	0	13	0	13	13	0	—	7	7	7	7	13
8	27	47	20	40	27	0	53	—	40	60	40	60
9	7	33	20	20	20	0	33	20	—	27	7	40
10	0	13	7	7	7	0	7	13	0	—	0	13
11	13	33	13	20	13	0	33	20	7	27	—	40
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	—

2. 서열화 이론의 통계적 검증

행동 과학에서 심리 분석적(Psychometric) 방법이나 실험적(Experimental) 방법을 막론하고, 적절한 의미있는 통계적 검증은 중요한 의미를 갖는다. 서열화 이론에서는 문항들이나 학습 과제들 사이의 선수 학습 요소의 관련성에 대한 통계적 검증이 문제의 핵심이다. 이 문제에 관련된 것으로서, 첫째는 문항들이나 학습 과제들의 난이 수준(Difficulty level)으로, 이는 바로 피험자의 인지 수준과 관련되는 문제이고, 둘째는 측정 도구의 신뢰도인데 서열화 이론



[그림 1] 사회적 죄의식에 대한 서열화 이론을 이용한 위계 구조도(a)와 GSA 이론을 이용한 위계 구조도(b)

에서는, 허용 오차의 한계가 이를 어느정도 극복해 주고 있다고 볼 수 있다. 셋째는, 표집의 수, 측정 도구의 문항의 수, 각 문항의 난이도, 허용 오차의 한계 이다.

표집의 수가 많을수록 문항 난이도나 신뢰도가 좀 더 의미있는 것이 되지만 일반적으로 100명 이상을 요한다(Wood, 1975). 측정 도구의 문항수(같은 기능이나 요소를 측정하는 서로 다른 문항수는 같은 문항으로 산정한다.)는, 만약 N개의 문항수를 갖는 측정 도구가 있을 때, 이에 해당하는 가능한 모든 선수 학습 요소의 관련성은, N(N−1)이 되므로 N이 커질수록 표본의 추측에 의한 확률로 선수 학습 요소를 인식하는 확률도 높아진다. 각 문항 사이의 난이도에 의한 효과도, 문항들 사이의 선수 학습 요소의 관련성에 영향을 주는 것으로서, 각 문항 사이의 난이도가 클수록 영향을 많이준다. 허용 오차의 한계는 오차 한계가 커질수록 당연히 선수 학습 요소 관련성의 갯수도 증가한다. 따라서 적절한 오차 한계를 설정해 줄 필요가 있다. 이 이론에서 통상 사용하는 오차의 한계는 5%, 10%, 20% 수준을 많이 사용한다.

만약 문항 A와 문항 B가 확률적으로 독립되어 있다고 하고, A에 맞게 응답할 확률을 P(A), B에 맞게 응답할 확률을 P(B)라고 하고, 이것을 서열화 이론의 응답 모형 형태에 적용하면 확률 법칙에 따라 다음의 4가지가 성립한다.

즉, $P(1,1)=P(A)\,P(B)$

$P(1,0)=P(A)\,(1-P(B))$

$P(0,0)=(1-P(A))(1-P(B))$

$P(0,1)=(1-P(A))\,P(B)$

여기서 확증적인 응답 모형은 (1,1), (1,0), (0,0)이므로 확률적으로 상호 배반적인 사건(Mutually exclusive events)으로 일어난다면, 확증적인 응답 모형의 확률은 다음과 같다.

$$P((1,1)\text{ or }(1,0)\text{ or}(0,0))=P(1,1)+P(1,0)+P(0,0)$$
$$=P(A)\,P(B)+P(A)(1-P(B))$$
$$+(1-P(A))\,(1-P(B))$$
$$=1-P(B)+P(A)\,P(B)$$

여기서 P(A)가 0.9정도로 크다면 즉, P(A)=0.9이면 P(B)=0.1로 작아진다. 이때 문항 A가 문항 B의 선수 학습 요소가 될 때 맞게 응답할 확률은,

$1-P(B)+P(A)\,P(B)=1-0.1+(0.9)(0.1)=0.99$이다. 즉 표집단의 100분의 1이 추측에 의해서 가정된 선수 학습 요소를 인정한다고 볼 수 있다. P(A)=0.8, P(B)=0.2이면 0.96으로 표집단의 100분의 4가 된다.

Torgerson(1958)은 이 허용 오차 한계를 P(A)=0.8, P(B)=0.2로 정한바 있다. 이와 같이 문항들이나 학습 과제들 사이에서의 선수 학습 요소 관련성의 수용은 상술의 확률과 허용 오차 한계 그리고, 표본의 수에 달려 있다고 볼 수 있다. 수학적으로는 불확증적인 응답 모형 (0,1)이, 표본수에 허용 오차를 곱한 값보다는 같거나 작으면 된다. 즉, 문항들 사이의 난이도가 상수라면, 허용 오차 한계의 증가는 추측에 의한 확률을 증가 시킨다고 볼 수 있다.

GSA의 선형 위계 분석에 사용되는 기준인 Reproducibility 계수를 Guttman은 Rep.=1−D/N으로 정의했다. N은 표본의 수, D는 불확증적인 응답 모형의 수 이다. 이 계수 값이 Rep.$\geq$0.90이어야 선형 위계를 갖는다고 Torgerson(1958)은 지적했다. 그런데 서열화 이론에서 허용 오차와 표본수의 곱을 취한 값과 불확증적인 응답 모형 빈도 수와의 관계는 D$\leq$Ti N이므로 D/N$\leq$Ti/N 즉, D/N$\leq$ Ti가 되고 양변에 음의 부호를 취하면, −D/N$\geq$−Ti가 된다. 여기서 Rep.=1−D/N$\geq$1−Ti로 정리 된다(Ti는 허용 오차, N은 표본수, D는 불확증적인 응답 모형 빈도

수를 나타냄). Torgerson의 입장으로 본다면 Rep.값이 0.90이상 이어야 되기 때문에, 이를 서열화 이론에 도입하면 이 이론에서 취할 수 있는 허용 오차 한계는, 1−0.90=0.10으로 10%가 허용 오차의 한계라고 볼 수 있다.

3. 서열화 이론의 이용

Guttman의 위계에 대한 최초의 연구 이후로, 대부분의 연구의 촛점은 문항들이나 학습과제들 사이에 내재되어 있는, 최적의 위계를 결정하기 위한 것들이었다. 지금까지 서열화 이론은 많은 분야에 이용되어 왔다. Airasian, Madaus와 Wood(1975)는 사회적인 태도 문항에 이 이론을 적용하여 GSA와의 차이를 비교했다. 여기서 Guttman의 Rep.를 서열화 이론에 적용하는 것이 적절하지 않음을 지적했고, GSA에서는 선형 위계가 서열화 이론에서는 비선형 위계로 됨을 증명하였다. 그 외에 많은 연구자들이 행동 과학이나 인지 심리학의 위계 분석에 주로 이용하고 있다.

예를 들면, Piaget인지 발달 학습 과제의 위계 분석(Bart & Airasian, 1974;Bart, Frey & Baxter, 1979), 명제적 논리 문항들의 위계 분석(Airasian, Bart & Greaney, 1975), 교수 학습 계열성의 위계 분석(Airasian & Bart, 1975)에 이용되고 있다. 또한 Hurst(1980)는 인지적(Cognitive) 영역과 정의적(Affective)영역의 행동 사이의 위계를 분석했다. 이 연구는 서로 다른 영역속에 내재해 있는 위계 분석의 최초의 시도였으며, 그 이후 Yeany, Yap과 Padilla (1986), 그리고 Yap과 Yeany(1988) 등도 Piaget 인지 발달 단계에 따른 논리적 기능과 과학 탐구 기능 사이의 위계를 분석했다. 현재는 이 이론을 이용한 위계 구조도로부터 학습자의 오인을 분석하려는 시도도 있다.

Ⅲ. 선행 연구의 고찰

실험적인 방법으로 교육학에서 위계 분석을 시도한 것은 Gagné와 Paradise(1961)의 논리적 과제 분석 과정이 최초의 연구로 볼 수 있다. 이들은 긍정적 전이 비율(Proportion of Positive Transfer;PPT)을 이용하여 위계 분석을 하였다. 두 학습 기능의 응답 모형 행렬표가 다음 [그림 2]와 같다면, PPT(1)+(2)/(1)+(2)+(3)으로 정의했다.

		상위기능 ×	상위기능 ○
하위기능	○	(4)	(1)
하위기능	×	(2)	(3)

○ : 맞은 응답 모형 × : 틀린 응답 모형

(1):(○ ○) (3):(× ○)

(2):(× ×) (4):(○ ×)

[그림 2] 두 학습 기능의 응답 모형 행렬표

만약, [그림 2]에서 (3)이 "○"이면 PPT가 1이 되고 이런 경우는 오차가 없는(Error free) 위계 형태가 된다고 했다. 그러나 White(1974)는 인지 기능이나 탐구 기능 사이의 연쇄적인 관련성으로 구성되어 있는 위계를 검증하는 방법으로, Gagné의 연구와 그 외의 연구자들의 결과도, 각 기능이 타당성 있게 관련되어 있느냐가 문제가 된다고 하고 White는 Gagne의 PPT지수값은 만족스런 검증의 수단이 될 수 없다고 했다. 이유는 각 기능의 위계적인 관련성이 없을 때도 PPT는 1이 될 수 있고, 사지 선다형과 같은 형태에서 실수나 오기에 의한 측정 오차를 설명해 주지 못하고, 적절한 PPT의 지수값을 정하는데 타당성의 문제가 있다고 지적했다. Gagné의 PPT지수의 이같은 단점을 극복하기 위하여, Walbesser (1968)는, Consistency Ratio=(1)/(1)+(3)

Adequacy Ratio=(1)/(1)+(4)

Completencess Ratio=(1)/(1)+(2)

를 제시하였고 그 후에 Walbesser와 Eisenberg (1971)는 이들 지수값이 각각 0.85이상은 되어야 한다고 지적했다. 그러나 White(1974)는 이 지수값들은 표본이 어떤 기능 검사에서, 문항이 얼마나 쉬우냐 어려우냐를 결정하는 것이지, 위계 관계의 타당성을 제공해 주지는 못하고 단지 필요 조건은 되어도 충분 조건은 되지 못한다고 지적했다.

Guttman의 GSA를 이용한 위계 분석 방법에서 사용하는 Rep.=1−D/N(D:불확증적인 응답 모형수, N:표본의 수)의 지수값도 White(1974)는 측정의 오차를 설명하는데 정당성이 없다고 했고, Capie와 Jones(1971)가 이용한,

$$\text{Phi}-\text{correlation}=\frac{[(1)(2)-(3)(4)]}{[((1)+(4))((2)+(3))((1)+(3))((2)+(4))]^{\frac{1}{2}}}$$

의 지수값도 위계 결정의 필요 조건이지 충분 조건은 되지 못한다고 지적했다. 이와 같은 단점들을 보강하기 위해 White와 Clark(1973)는 새로운 접근 방법을 제시했다. 이 방법은 측정의 오차를 설명해 줄 수 있고, 통계적인 타당성도 제공해 주는 것으로서, 피험자가 한 기능당 적어도 두번 혹은 그 이상의 검사를 요한다. 이 방법은 하위 기능의 문항을 모두 틀린 경우와 상위 기능의 문항을 모두 맞은 경우의 표본의 수(Critical value)에 관심을 갖고, 이런 표본의 수가 영가설로서 정한 값이나 문항의 신뢰도로서 정한 값보다 크면 위계는 성립되지 않는다(Griffiths & Cornich, 1978).

Airasian(1971)은 교수 학습의 연계성은 위계적 이어야 하고, 연계성이 있는 학습 계열에서 학습과제의 완전 학습은 기존의 연계적인 과제의 완전 학습에 달려 있다고 지적하며, 이런 위계의 검증 방법으로 Conditional difficulty index를 제시하여 후의 서열화 이론의 기초를 제시했고, Caruso와 Resnick(1972)는 유치원생을 표본으로 과제 분석(Task analysis)을 이용하여, 동형(원, 세모, 네모)의 색을 다르게 한 이중 분류(Double classification)의 위계를 구했다. 여기서 그들은 특수한 인지 기능의 습득은, 위계적으로 조직된 일련의 학습 방법이 효과가 있음을 밝혔고, Bart와 Krus(1973)는 서열화 이론을 이용한 사회적 죄의식의 다중 선형 위계를 분석하여, 이 이론이 학습 과제들 사이의 논리적인 관련성의 위계 분석이나 문항들 사이의 위계 분석, 행동 과학에서의 위계 분석, 인지 심리학에서 인지 기능의 위계를 결정하는데 가장 좋은 방법이라고 지적했다. Airasian과 Bart (1973)도 서열화 이론을 이용하여 6개의 Piaget type 문항 위계를 처음으로 허용 오차의 한계를 도입하여 이 이론을 좀더 발전시킨 모형을 제시했고, 그 후에 Bart와 Airasian(1974)은 7개의 Piagetian task에서 서열화 이론이 전통적인 기존의 통계적인 방법 보다는 교육이나 사회 과학 분야에서 많이 이용될 수 있음을 지적하며, 위계 사이의 인과 관계를 밝히는데는 서열화 이론의 결과에 잘 조직되고 통제된 실험 연구 방법이 가미 되어야 함을 지적하여 인과관계 분석에도 이용될 수 있음을 시사했다. Krus와 Bart (1974), Bart(1976)는 서열화 이론과 GSA의 비교에서 서열화 이론이 비선형 위계 분석에도 적용 가능함을 증명했다.

이상의 위계 분석 방법은, 여러 연구자들이 지적한데로 서열화 이론이 학습 과제와 문항들 사이의 논리적인 관련성을 찾는데 효과적인 방법임을 알 수 있다. 이외의 연구들(Macready, 1875;Airasian & Bart, 1975;Airasian et. al., 1975;Phillips & Kelly, 1975;Dayton & Macready, 1976;Bart, 1981;Davision, 1981; Abdullah et. al., 1981;Bart & Palvia, 1983; Chevalaz & Tatsuoka, 1983)에서도 서열화 이론의 방법이나 절차 그리고 교육 분야에서의 위계 분석의 효율성을 지적하는 연구들이다.

Benefield와 Capie(1976)는 일관성 있는 논리적인 위계 구조로 특징 지어지는 Piaget의 인지 발달 단계는, 사회 문화적 차이, 지능 지수, 환경, 경험, 신체적 성숙등에 의해 개인적으로 도달 시기가 다르다고 지적하고, 10개의 Piagetian task의 위계를 분석했고, Cotten등(1977)은 위계의 타당성을 검증하기 위한 방법으로 심리 분석적 방법과 실험적 방법으로 나누고, 심리 분석적 방법에 의한 위계를 실험적 방법으로 검증하는 것이 바람직한 방법임을 제시했으며, 이때 실험군에 속할 수 있는 표본의 수는 150명 정도를 선택하는 것이 무난하다고 지적했다. Griffith와 Grant(1985)는 고교생 200명을 표본으로 생물 단원의 먹이 사슬의 위계에 대한 조사를 바탕으로, 학습자의 오인(Misconception)을 찾아내는 연구를 했다. 이 연구는 학습자의 선입관 및 오인을 진단하는데 학습 위계가 사용될 수 있음을 시사한 것으로, 정확한 오인 진단과 원인을 규명하고 이를 교정할 있는 가능성을 제시한 연구로 볼 수 있다. Druva(1985)는 인지 심리학적인 입장에서, 인간의 지능 발달은 일련의 인지 기능의 연속적인 계열성을 갖고 있어서, 낮은 단계의 기능은 높은 단계의 기능의 선수 학습 요소가 되는 특징을 갖는다고 지적하며, Bruner의 일반적인 지능 발달도 이와 같은 연속적인 계열성을 갖는 위계 조직을 따르고, 어떤 특별한 지식 체계와 연관된 기능의 습득도 위계적인 조직을 갖는다고 지적했다. Gagne의 입장도, 위와 같은 사상을 기본으

로, 학습 시켜야 할 학습 과제를 위계적으로 조직해서 학습자에게 제공하는 것이 필수적이고, 상위 기능의 습득이 원만하다고 했다. 또한 서열화 이론이 Bruner나 Gagne의 학습 과제들 사이의 논리적인 관련성을 찾는데 가장 좋은 방법이고 서열화 이론으로 구한 Piagetian task의 위계가 실험 연구로 구한 결론과 같음을 증명했다.

Yeany 등(1986)은 GALT와 TIPSⅡ를 사용하여 741명의 고교생을 표본으로 인지 수준을 고려하지 않고 서열화 이론과 Dayton과 Macready(1976)의 Probabilistic model을 이용하여 과학 탐구 기능과 논리적 사고력의 위계를 구했다.

이 결과에서 어떤 논리적 기능이나 과학 탐구 기능이 학습자에게 형성되어 있지 않으면, 상위의 논리적 기능이나 과학 탐구 기능의 학습이 어렵다는 것을 지적하고 있다. 물론 인지 수준을 고려하지 않은 상태의 분석이기 때문에 해석상의 어려움은 있다. 그러나, Yeany 등은 이와 같은 위계가 과학 탐구 기능을 중요시하는 과학 교육 과정의 개발이나, 교수-학습 전략에 필수적으로 고려되어야 하고 과학 교육 연구자나 교사에게도 많은 시사점을 제공해 줄 수 있다고 지적했다.

Yap과 Yeany(1988)는, Yeany등(1986)의 선행 연구 자료를 그대로 이용한 연구에서, 인지 수준을 고려하고 허용 오차를 고려한 위계 구조도를 구했다. 그러나 두 기능의 논리적인 관련성을 규명하기 위한 복합적인 위계를 구하기 위해서는 각 기능의 위계를 인지 수준별로 구하고, 이것을 바탕으로 복합적인 위계 구조도를 구하여 서로 비교해야 그들 사이의 논리적인 관련성을 해석 하는데 무리가 따르지 않는다.

Ⅳ. 연구 방법 및 절차

1. 연구 대상의 표집

본 연구의 표집은 우선 학교를 무선적으로 표집하고, 학급 단위로 학생을 임의로 표집하는 무작위 집단 표집(Random cluster sampling) 방법을 이용하였다. 학교의 표집은 여건상 서울시의 인문계 공립 고등학교로했고, 학급은 1학년 2개반씩 무작위로 표집했다. 연구 대상의 표집 분포는 다음 〈표 5〉와 같이, 총 표본수는 509명이고 이중 남학생 251명 여학생 258으로 구성되어 있다.

2. 검사 도구

1) 논리적 사고력 측정 검사 도구

연 연구에서 사용한 논리적 사고력 측정 검사 도구는 GALT(Group Assessment of Logical Thinking)로서 1982년에 Roadranka, Yeany, Padilla 등이 개발한 것을 1983년에 12개의 문항으로 축소한 Short Version GALT(Roadranka & Padilla, 1983)를 사용하였다. 원래의 GALT 문항은 21개 문항이었는데 이는 학교 수업 시간에 실시 하기에는 분량이 많은 단점이 있다. 원래 GALT와 Short Version GALT의 성취도 사이에는 매우 높은 상관이 있으므로 Short Version GALT를 선택했다.

2) 과학 탐구 기능 측정 검사 도구

본 연구에서 사용한 과학 탐구 기능 측정 검사 도구는 TIPSⅡ(Test of Integrated Process Skills)로서, 1983년에 Burns, Wise, Okey 등이 중 고등학생들의 과학 탐구 기능 측정을 위해 개발한 것을, 본 연구자

〈표 5〉 연구 대상의 표본 분포

학 교 명	표 본 수		합 계
광 남 고 등 학 교	남자, 1-7, 남자, 1-5,	50 50	100
관 악 고 등 학 교	남자, 1-8, 남자, 1-5,	50 49	99
석 관 고 등 학 교	남자, 1-2, 여자, 1-9,	52 52	104
창 덕 여 고	여자, 1-9, 여자, 1-2,	53 51	104
인 헌 고 등 학 교	여자, 1-10, 여자, 1-4,	52 50	102
총 합	남자, 258 여자, 251		509

가 우리 실정에 맞게 번안했다. 이 검사 도구는 신뢰도와 타당도가 높은 과학 탐구 기능 측정 검사 도구로서, 총 36개의 문항으로 구성 되어 있고 5개의 하위 기능을 측정 하도록 되어있다. 각 하위 기능별로 3개 문항에서 12개의 문항이 속해 있으며, 다음과 같은 탐구 기능 요소를 측정할 수 있다. 즉, 가설 설정(Identifying and stating hypothesis), 변인 찾기(Identifying variables), 조작적 정의(Operationally defining), 실험 설계(Designing investigations), 그래프화 및 데이타 해석(Graphing and interpreting data)으로 구성되어 있다. TIPS Ⅱ의 각 탐구 기능 및 해당 문항번호는 다음 〈표 6〉과 같다.

〈표 6〉 TIPS Ⅱ의 각 탐구 기능과 그의 구조 및 해당 문항 번호

TIPS Ⅱ 기능	구 조	해당문항번호
가설설정	특정한 종속변인이 기술되고 이에 대해 생각할 수 있는 독립변인이 기술된 과제가 부여 되어졌을 때, 검증가능한 가설을 찾는다.	4, 16, 27
	특정한 종속변인이 기술된 과제가 부여됐을 때, 검증가능한 가설을 찾는다.	6, 8, 35
	어떤 연구에 관한 기술이 부여되었을 때 검증 가능한 가설을 찾는다.	12, 17, 29
변인찾기	통제된 변인(Controlled variable) 종속변인(Dependent responding variable) 독립변인(Independent manipulated variable)을 찾는다.	13, 18, 30, 14, 19, 31 15, 20, 32
	특정한 종속변인이 기술된 과제가 부여되었을 때, 그의 종속변인에 영향을 주는 독립 변인을 찾는다.	1, 3, 36
조작적정의	어떤 연구에 관한 기술이 부여되었을 때, 변인을 조작적으로 정의한다.	2, 22, 33
	변인에 대해 언어적인 기술이 부여되었을 때 그 변인에 대해 적절한 조작적 정의를 한다.	7, 23, 26
실험설계	어떤 가설이 부여되었을 때, 그의 가설을 검증하기 위한 적절한 실험(연구) 설계를 한다.	10, 21, 24
그래프화 및 데이타해석	어떤 연구에 관한 기술 및 이들로부터 얻어진 데이타가 주어졌을 때, 이들 데이타를 나타내는 그래프를 찾는다.	5, 25, 34
	어떤 연구로부터 얻어진 데이타의 그래프가 주어졌을 때, 이들의 변인간의 관계를 찾는다.	9, 11, 28

36문항 모두가 사지 선다형으로 되어있고 7-12학년을 대상으로 소요 시간은 25-50분으로 개발되었기 때문에, 1시간분의 학교 수업시간에 많은 학생을 대상으로 지필검사로 실시 하기에 알맞다. 7-12학년 459명을 표본으로한 평균 성취도는 18.14이고, Cronbach's Alpha를 이용한 내적 신뢰도는 0.86이며, 평균 난이도 지수와 변별도 지수는 각각 0.53과 0.35이다. 모든 문항들은 과학의 다양한 분야에서 선택했기 때문에, 어떤 특정 과학의 상세한 지식과는 무관한 문항들이다. 따라서 본 검사 도구는 중 고등 학생을 대상으로 과학 탐구 기능을 측정 하기에는 타당도가 신뢰도가 높은 평가 도구로 볼 수 있다.

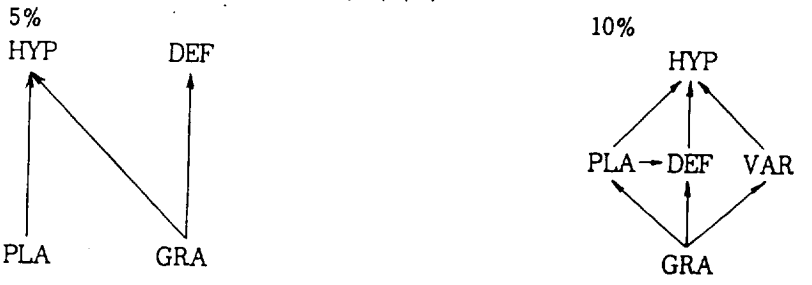
3. 자료 처리 및 분석

논리적 사고력 검사에서는, 문항 1번부터 문항 10번까지는 질문답과 이유답이 모든 맞은 경우를 정답으로 산정했고, 문항 11번과 문항 12번은 가능한 모든 경우의 수를 모두 기재한 경우를 정답으로 산정하였다. 이렇게 산정한 총 맞은 갯수가 0-4이면 구체적 조작단계, 5-7이면 전이 단계, 8-12이면 형식적 조작 단계로 인지 발달 단계를 구분하였다. 위계분석은 Quick Basic 프로그램을 이용했다.

V. 연구 결과 및 논의

과학탐구기능 요소의 위계 구조를 알아보기 쉽게 하기 위해서, TIPSⅡ의 각각의 기능을 다음과 같은 약어로서 기호화하여 용어의 정의를 한다. 즉, 가설 설정은 HYP., 변인 찾기는 VAR., 조작적 정의는 DEF., 실험 설계는 PLA., 그래프화 및 데이타 해석은 GRA.로 정의하였다. 따라서 가설 설정은 4, 6, 8, 12, 16, 17, 27, 29, 35번 문항이 포함되고, 변인 찾기는 1, 3, 13, 14, 15, 18, 19, 20, 30, 31, 32, 36번 문항이 포함되고, 조작적 정의는 2, 7, 22, 23, 26, 33번 문항이 포함되고, 실험 설계는 10, 21, 24번 문항이 포함되고, 그래프화 및 데이타 해석에는 5, 9, 11, 25, 28, 34번 문항이 포함되어 있다. 이와 같이 분류된 과학 탐구 기능 요소를 서열화 이론을 이용하여, 각각의 인지 발달 단계별로, 허용 오차의 한계를 10% 이하 수준으로 설정하여 위계 구조도를 도식하였으며, 일반적인 경향성을 알아보기 위해서 표본 전체의 위계 구조도를 제시하여 분석했다. 인지 발달 단계에 따른 과학 탐구 기능 요소의 위계 분석 결과는 다음과 같다.

1) 구체적 조작 단계에서 과학 탐구 기능 요소의 위계 구조.

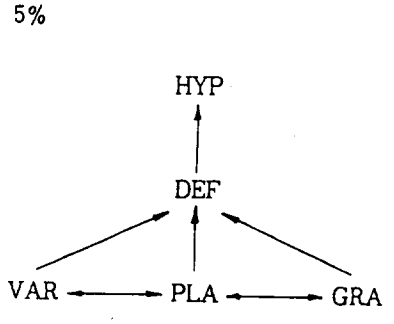


[그림 3] 구체적 조작 단계에서 과학 탐구 기능 요소 위계 구조도

2) 전이 단계에서 과학 탐구 기능 요소의 위계 구조

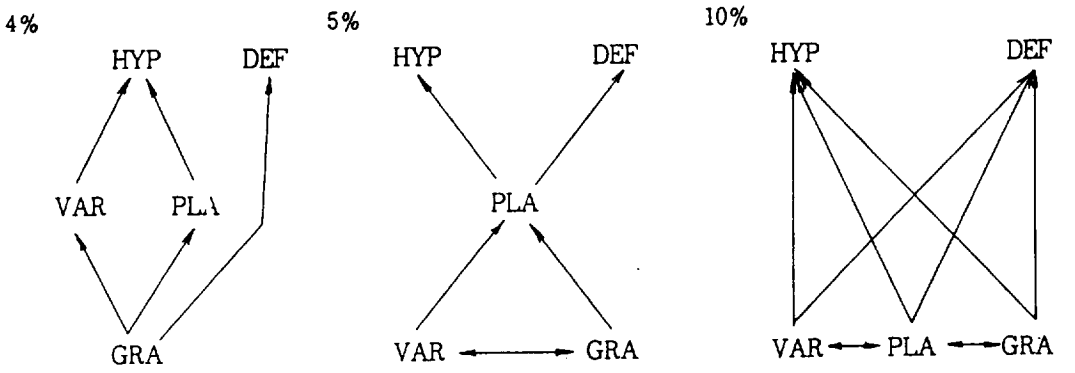
[그림 4] 전이 단계에서 과학 탐구 기능 요소 위계 구조도

3) 형식적 조작 단계에서 과학 탐구 기능 요소 위계 구조



[그림 5] 형식적 조작 단계에서 과학 탐구 기능 요소 위계 구조도

4) 표본 전체의 과학 탐구 기능 요소 위계 구조



[그림 6] 표본 전체의 과학 탐구 기능 요소 위계 구조도

이상의 위계 구조도에서 과학 탐구 기능 요소의 위계 구조는, 구체적 조작 단계 [그림 3]에서는, 5% 허용 오차 수준에서 실험 설계→가설 설정, 그래프화 및 데이타 해석→가설 설정, 그래프화 및 데이타 해석→조작적 정의의 논리적인 관련성을 갖고, 10% 허용 오차 수준에서는, 그래프화 및 데이타 해석 → 실험 설계 → 가설 설정, 그래프화 및 데이타 해석 → 실험 설계 → 조작적 정의 → 가설 설정, 그래프화 및 데이타 해석 → 조작적 정의 → 가설설정, 그래프화 및 데이타 해석 → 변인 찾기 → 가설 설정의 논리적인 관련성을 갖는다.

이와 같은 위계적인 관련성은 대체로 그래프화 및 데이타 해석이 하위 위계를 이루고, 가설 설정이 상위 위계를 이루며 나머지 기능들이 중간 위계를 형성하고 있는 것으로 볼 수 있다.

전이 단계 [그림 4]에서 5% 허용 오차 수준에서의 논리적인 관련성은, 그래프화 및 데이타 해석 → 실험 설계, 그래프화 및 데이타 해석 → 조작적 정의 → 가설설정, 그래프화 및 데이타 해석 → 변인 찾기의 논리적인 관련성을 갖고, 10% 허용 오차 수준에서는 그래프화 및 데이타 해석 → 조작적 정의 → 가설 설정, 실험 설계 → 조작적 정의 → 가설 설정, 변인 찾기 → 조작적 정의 → 가설 설정의 논리적인 관련성을 갖는다.

전이 단계에서의 일반적인 위계적 관련성은, 그래프화 및 데이타 해석이 하위 위계를 이루고, 가설 설정이 상위 위계를 이루며, 10% 허용 오차 수준에서는 그래프화 및 데이타 해석, 변인 찾기, 실험 설계의 기능이 논리적인 등가성을 갖고 하위 위계에 위치하고 있다.

형식적 조작 단계 [그림 5]에서 5% 허용 오차 수준에서의 논리적인 관련성은 그래프화 및 데이타 해석 → 조작적 정의 → 가설 설정, 실험 설계 → 조작적 정의 → 가설 설정, 변인 찾기 → 조작적 정의 → 가설 설정의 구조로, 전이 단계의 10% 허용 오차 수준에서의 위계 구조도와 같다. 10% 허용 오차 수준에서의 위계가 불분명하다.

형식적 조작 단계에서의 일반적인 위계적 관련성은 그래프화 및 데이타 해석, 변인 찾기, 실험 설계의 기능이 논리적인 등가성을 갖고 하위 위계를 이루고, 가설 설정이 상위 위계를 이루고 있다. 그러나 대체로 다른 인지 발달 단계와 비슷하게 그래프화 및 데이타 해석이 하위 위계를 이루고, 가설 설정이 상위 위계를 이루는 위계 구조를 갖는다.

표본 전체를 고려한 과학 탐구 기능 요소의 위계 구조 [그림 6]는, 4% 허용 오차 수준에서 논리적인 관련성은, 그래프화 및 데이타 해석 → 변인 찾기 → 가설 설정, 그래프화 및 데이타 해석 → 실험 설계 → 가설 설정, 그래프화 및 데이타 해석 → 조작적 정의의 위계적 구조를 보이고, 그래프화 및 데이타 해석이 하위 위계를 이루고, 가설 설정이 상위 위계를 이루는 위계 구조로 되어 있다. 5% 허용 오차 수준에서의 논리적인인 관련성은, 그래프화 및 데이타 해석 → 변인 찾기 → 실험 설계 → 가설 설정, 그래프화 및 데이타 해석 → 실험 설계 → 가설 설정, 그래프화 및 데이타 해석 → 변인 찾기 → 실험 설계 → 조작적 정의, 변인 찾기 → 그래프화 및 데이타 해석 → 실험 설계 → 가설 설정, 변인 찾기 → 그래

프화 및 데이타 해석 → 실험 설계 → 조작적 정의의 위계 구조를 보이고, 그래프화 및 데이타 해석과 변인 찾기 기능이 논리적인 등가성을 갖고 하위 위계를 이루고, 가설 설정과 조작적 정의 기능이 논리적인 등가성이 없이 상위 위계를 이루며 상위 위계와 하위 위계를 실험 설계 기능이 중간 위계에서 연결해 주는 역할을 하고 있다. 10% 허용 오차 수준에서의 논리적인 관련성은, 변인 찾기 → 가설 설정, 변인 찾기 → 조작적 정의, 실험 설계 → 가설 설정, 실험 설계 → 조작적 정의, 그래프화 및 데이타 해석 → 가설 절정, 그래프화 및 데이타 해석 → 조작적 정의의 위계 구조를 이루고, 변인 찾기, 실험 설계, 그래프화 및 데이타 해석 기능이 논리적인 등가성을 갖고 하위 위계를 이루고, 가설 설정과 조작적 정의 기능이 논리적인 등가성이 없이 상위 위계를 이루고 있다.

표본 전체를 고려한 과학 탐구 기능 요소의 일반적인 위계적 관련성은, 허용 오차의 한계 수준을 작게 설정하면 그래프화 및 데이타 해석이 하위 위계를 가설 설정이 상위 위계를 이루고 있으나, 허용 오차의 한계 수준이 커지면 하위 위계에 변인 찾기 기능이 그래프화 및 데이타해석 기능과 논리적인 등가성을 갖게 된다.

이상의 위계 구조도와 결과 분석으로부터 과학 탐구 기능 요소의 위계적 관련성을 종합해 보면, 대체로 그래프화 및 데이타 해석 기능이 최하위의 위계를, 가설 설정 기능이 최상위의 위계를 이루고 있다. 그러나 허용 오차의 한계 수준이 증가 하면, 변인 찾기 기능과 실험 설계 기능이 하위 위계에서 그래프화 및 데이타 해석 기능과 논리적인 등가성을 이루고, 상위 위계에서는 조작적 정의 기능이 가설 설정 기능과는 논리적인 등가성을 이루지 않고 상위 위계로 전이 되는 위계 구조를 이룬다.

이와 같은 결과는 Yap과 Yeany(1988)의 연구에서 지적한, 가설 설정 기능이 최상위 위계를 이루고, 실험 설계 기능이 최하위의 위계 구조를 이루는 결과와 대체로 유사한 결과이다.

Gagné의 과제 분석 방법에 의한 학습 위계 구조 이론이, 교육학 분야 특히 과학과 수학 교육에 준 영향은 지대하다. 그 후 많은 연구자들이 학습 위계 구조 이론에 대한, 적절한 통계적 방법과 측정 도구의 개발 중요성을 강조하였다. 그러나 여러가지 통계적 기법을 적용할 수 있는 적절한 측정 도구의 개발에 대한 체계적인 연구가 되어 있지 못한 상태이다. 따라서 우리 실정에 맞는 측정 도구의 개발이 시급한 실정이다.

서열화 이론이 잘 조직되고 통제된 실험적 방법과 병용하여 사용되면, 상관 계수가 제공해 주는 정보 외에, 인과 관계나 논리적인 위계 분석 연구에는 가장 좋은 통계적 기법으로 이용될 수 있다. 또한 어떤 현상이나 사건의 논리적인 관련성을 찾을때도 가장 유용한 방법으로 사용된다. 인지 발달 심리학, Piaget 이론 연구, 행동 과학이나 사회 과학의 위계 분석에 많이 이용되었다.

과학 철학적 입장에서 과학탐구기능은 과연 위계가 존재하는가? 의문을 제기하는 입장도 있다. 이같은 의문은 Butzow와 Sewell(1972)이 사실상 처음 제시하였고, 조희영(1992)도 과학 탐구 기능 요소 사이의 위계 존재는 의문시 되고 있다라고 지적했다. 그러나 위계 존재 여부에 대한 정확한 경험적인 자료나 증거를 제시한 연구는 없다. 오히려 Gagne가 과학 탐구 기능의 위계를 제시한 이 후 많은 연구자들(Adey & Harlon, 1986;Scharmann, 1989;Yeany & Yap, 1988;Padilla et. al., 1986) 이 과학 탐구 기능의 위계의 중요성을 강조했다.

본 연구에서 구한 과학탐구기능 요소의 위계 구조의 결과는 몇가지 중요한 시사점을 제공해 준다.

과학탐구기능 요소의 위계는 문항 개발, 교과서 개발, 교육과정 개발의 계속성이나 연계성 측면에서 중요하다. 이들의 연계성을 학습자의 인지 발달 단계의 변화에 따라서도 위계 변화를 추적할 수 있다는 장점도 있다. 따라서 과정(Process) 중심의 교육과정 개발에서는, 논리적 사고력 수준에 따라, 탐구 기능 요소들의 위계적 관련성을 제시하는 것이 바람직하다.

교사의 교수-학습 전략에서도, 하위 위계의 어떤 기능이나 논리들의 학습이나 훈련이, 상위 위계의 어떤 기능이나 논리의 습득에 도움이 되는가를 알면, 상위 단계로의 긍정적 전이가 용이하고, 학습 목표로의 완전 학습을 기대할 수 있다. 이런 교수-학습 전략을, 전체 뿐만 아니라 개인적인 인지 수준을 고려하여, 규칙적이며 체계적으로 측정하여 교수-학습에 적용하기 위해서는, 과학 교육 과정 개발자. 교수-학습 전략가, 과학 교육 연구자, 현장 교사, 교사 재교육자는, 인지 수준에 따라 상호 논리적인 관련성을 알아야 하고, 더 나아가 서로 다른 인지 수준

에서 정확한 위계 구조의 특성을 알아야 한다.

교수-학습 평가에서도, 어떤 학습 단원에 대한 적절한 학습 위계 구조도가 개발되어 있으면, 학습자의 인지 수준에 따라 진단 평가나 형성 평가에, 매우 체계적이고 개인적인 수준의 정확한 진단과 학습 목표 성취 여부를 알 수 있어서, 그 결과를 토대로 적절한 개인별 교수-학습 전략을 제공해 줄 수 있다.

과학탐구기능 요소의 위계가 확실히 존재 한다는 자체만으로도, 위계 존재 여부에 대한 논란을 불식시킬 수 있고, 통합 과학 탐구 기능 요소와 인지 발달 단계에서의 형식적 논리의 유사성 때문에 야기된 문제들, 즉, 어느 것이 어느것에 영향을 주는가?의 문제를 해결할 수 있다. 또한 이와 유사한 문제로서, 증진된 과학 탐구 능력은 형식적 조작 능력에 기인하는가? 혹은 그 반대인가?의 의문을 해결하는 단서가 될 수 있다. 즉, 어떻게 조장된 교수-학습 전략과 훈련이 상위 위계 기능의 습득에 도움이 되는가를 연구할 수 있다.

향후 연구 과제는, 과학탐구기능 요소사이의 논리적인 관련성을, 임상 실험이나 면담법등으로 경험적인 데이타를 추출하여, 좀더 적절하고 세련된 위계적 관련성에 대한 접근이 필요하며, 이를 위해서는 우리 실정에 맞는 신뢰도와 타당도가 높고 객관성이 있는 측정 도구의 개발이 선행 되어야 하며, 이를 이용할 수 있는 통계적 접근 방법에 대한 연구가 필요하다. 예를 들면 Ordering Tehory외에 Fuzzy Theory, I.R.S Analysis, Path Analysis와 같은 유사한 통계적 기법을 적용하여, 어느 정도 일반화된 위계적 관련성에 대한 수리 통계적인 모델화(Modeling) 연구가 요구된다.

참 고 문 헌

박성익(1988). 수업 방법 탐구, 교육 과학사, 184-236.

박재호(1989). IRS Graph의 구성법과 적용에 관한 연구, 한국 물리학회지 "물리교육" 제7권 제2호, 95-102.

조희영(1992). 과학적 탐구의 본질에 대한 분석 및 탐구력 신장을 위한 학습지도 방법에 관한 연구, 과학 교육 8월호, 32-42.

Abdullah, K. B., & Lowell, W. B.(1981). A scalogram analysis of two measures of concept generalizability. ED. 202-689.

Airasian, P. W., & Bart, W. M.(1971). Tree theory-A theory generative measurement model. Paper presented at the American Educational Research Association annual meeting, New ork, February.

Airasian, P. W., & Bart, W. M.(1973). Ordering theory : A new and useful measurement model. Educational Technology, May, 56-60.

Airasian, P. W., Madaus, G. F., & Wood, E. M.(1975). Scaling attitude items : A comparison of scalogram analysis and ordering theory. Educational and Psychologocal Measurement, Vol. 35, 809-819.

Airasian, P., Bart, W, & Greaney, B.(1975). The analysis of propositional logic game by ordering theory. Child Study Journal, 5, 13-24.

Bart,W. M. (1981). The ordering analytic approach to hierarchical analysis. ED. 205-549.

Bart W. M.(1976). Some results of ordering theory for Guttman scaling. Educational and Psychological Measurement, Vol. 36, 141-148.

Bart, W. M., & Airasian, P. W.(1974). Determination of the ordering among seven Piagetian tasks by an ordering theoretic method. Journal of Educational Psychology, 66(2), 277-284.

Bart, W. M., & Krus, D.(1973). An ordering-theoretic method to determine hierarchies among items. Educational and Psychological Measurement, Vol. 33, 281-300.

Bart, W. M., & Smith, M.(1974). An interpretive framework of cognitive structure. Human Development, 17, 161-175.

Bart, W. M., Frey, S., & Baxter, J.(1979). Generalizability of the ordering among five formal reasoning tasks by an ordering-theoretic method. Child Study Journal, 9, 251-259.

Bart, W. M., Palvia, R.(1983). Relationships among test factor structure, test hierarchical structure and test inter-item dependency structure. ED. 235-222.

Benefiels, K. E., & Capie, W.(1976). An empirical deri-

vation of hierarchies of propositions related to ten of Piagetian sixteen binary operations. Journal of Research in Science Teaching, 13(3), 193−204.

Butzow, J. W., & Sewell, L. E.(1972). An investigation of introductory physical science using test of the science process. Journal of Research in Science Teaching, Vol. 9, 267−270.

Capie, W., & Jones, H.(1971). An assessment of hierarchical validation techniques, Journal of Research in Science Teaching, 8(2), 137−147.

Caruso, D. A., & Resnick(1972). Task structure and transfer in children's learning of double classification skills. Child Development, Vol. 43, 1297−1308.

Chevalaz, G. M., & Tatsuoka, K. K(1983). A comparative analysis of two order analytic techniques : Assessing item hierarchies in real and simulated data. ED 236−165.

Cotton, J. W., Gallagher, J. P., & Marshall, S. P. (1977). The identification and decomposition of hierarchical tasks. American Educational Research Journal, Summer, 14(3), 189−212.

Davision, M. L. (1981). Loglinear analysis of learning of learning hierarchy and developmental sequence data, ED. 201−661.

Dayton, C. M., & Macready, G. B.(1976). A probabilistic model for validating of behavioral hierarchies. Psychometrica, 41(2), June.

Druva, C. A.(1985). A composite of order analysis procedures. ED.275−764.

Gagné, R. M. (1968). Learning hierarchies. Educational Psychologist, 6, 1−9.

Gagné, R. M., & Paradise, N. E.(1961). Abilities and learning sets in knowledge acquisition. Psychological Monograph, 75(14, Whole No. 518).

Gagné, R. M.(1970). Some New views of learning and instruction. Phi Delta Kappan, 5, 468−472.

Gagné, R. M., & Bassler, O. C.(1963). Study of retention of some topics of elementary. non−metru geometry Journal of Educational Psychology. 54, 123−131.

Griffiths, A. K., & Cornish, A. G. (1978). An analysis of three recent methods for the identification and validation of learning hierarchies. ED 167−625.

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.

Guttman, L.(1950). The basis for scalogram analysis, Measurement and prediction. Princeton : Princeton Univ. press.

Hurst, B.(1980). An integrated approach to the hierarchical order of the cognitive and affective domain. Journal of Educational Psychology, 72. 293−303.

Krus, D., & Bart, W. M.(1974). An ordering theoretic method of multidimensional scaling of items. Educational and Psychological Measurement, Vol. 34, 525−535.

Lele, K., & Bart, W. M.(1971). Preliminary item analysis by ordering theory. Univ. of Minnesota Research and Development Center in Education of Handicapped Children, Minneapolis, Minnesota.

Lingoes, J. C.(1963). Multiple scalogram analysis:A set−theoretic model for analyzing dichotomous items. Educational and Psychological Measurement. Vol. xxiii, No.3, 1963.

Macready, G. B.(1975). The structure of domain hierarchies found within a domain referenced testing system. Educational and Psychological Measurement, Vol. 35, 583−598.

Mandler, G.(1967). Organization and memeoy. The Psycuology of Learning and Motivation, Vol. 1, New York : Academic Press.

Olsen, G. W.(1968). The development and analysis of a hierarchy of learning tasks involved in the concept of slope. Doctoral dissertation, Univ. of Cornell. Univ. Microfilm 69−8858.

Phillips, P. C., & Kelly, M. E.(1975). Hierarchical theories of development in education and psychology. Harvard Educational Review, 45(3), August. 351−375.

Rogers, P. W.(1977). A test of Piaget's metric

proportionality construct using ordering theory. Doctoral dissertation, State Univ. of New York. Univ. Microfilm 77－18755.

Torgerson, W. S.(1958). Theory and methods of scaling. New York : John Wiley.

White, R. T.(1974). Indexes used in testing the validity of learning hierarchies. Journal of Research in Science Teaching, 11(1), 61－66.

White, R. T., & Clark, R. C.(1973). A test of inclusion which allows errors of measurement. Psychometrika, 38, 77－86.

Wilson, M.(1985). Measuring stages of growth : A psychometric model of hierarchical development. ED 263－155.

Wood, W. A. (1975) A significance test for ordering theory. Doctoral dissertation, Univ. of Boston college. Univ. Microfilm 75－10786.

Yap, K. C., & Yeany, R. H.(1988). Validation of hierarchical relationships among Piagetian cognitive modes and integrated science process skills for diffrent cognitive reasoning lesels. Journal of Research in Science Teaching, 25(4), 247－381.

Yeany, R. H., Yap, K. C., & Padilla, M. J. (1986). Analyzing hierarchical relationships among medes of cognitive reasoning and integrated science process skills. Journal of Research in Science Teaching, 3(4), 277－291.

(ABSTRACT)

Methods and Procedures of Ordering Theory and Hierarchical Analysis of Science Process Skills Using Ordering Theory

Lim Cheong Hwan
(Korea National University of Education)

The Purpose of this study was to present the procedures and methods of ordering theory, and to search for a learning hierarchy among science process skills in each Piagetian cognitive reasoning level. One of the purpose of this is not to determine the clear and exact hierarchy but rather to demonstrate how ordering theoretic methods and procedures can be used to determine the hierarchy of logical relationships among a set of test items or the testing of a hypothesized hierarchy.

Ordering theory was used to analyze five science process skills collected from 509 high school students. Ordering Theory has as its primary intent either the testing of hypothesized hierarchies among items ot the determination of hierchies among items.

Hierarchical relationships were identified within five science process skills. The results will be helpful in giving useful informations to classroom teachers and science curriculum developer.