

문제에 포함된 조작단계수에 따른 문제해결 결과의 차이

안수영, 권재술
(한국교원대학교 물리교육과)

(1992. 11. 16 받음)

I. 연구의 필요성 및 목적

인지심리학의 발달과 폭증하는 지식의 양에 대한 대처는 문제해결 연구에 지대한 관심을 가지게 만들었다.

문제해결의 과정은 제시된 문제환경(과제 또는 문제)과 문제해결자와의 상호작용에 의해서 일어난다. 그러므로 문제해결에 관한 연구는 문제해결자 변인에 대한 연구와 제시된 문제환경의 변인에 관한 것으로 대별된다고 할 수 있다.

수수께끼 풀이와 같은 초기의 문제해결 연구는 성공적인 문제해결자의 일반적인 사고과정(과정적 지식)을 밝히는 데 주된 관심을 두었다. 오늘날 문제해결 연구는 과학, 수학 등의 다양한 분야에서 활발하게 이루어지고 있다. 현재까지의 연구들은 초기 문제해결 연구의 전통을 이어받아 문제해결자에 관한 것들이 대부분이다. 즉, 초심자와 전문가의 문제해결 능력, 과정적 지식과 서술적 지식의 역할, 문제해결의 방법, 표상의 영향, 효과적 문제해결을 위한 교수방법 등의 연구(박학규, 1992)에 치중되어 왔으며, 제시된 문제환경의 영향에는 큰 관심을 가지지 않았다.

하지만 문제해결이 제시된 문제환경과 문제해결자 사이의 상호작용에 의해서 일어나는 것이라면 문제

환경은 문제해결의 결과에 중대한 영향을 미치게 된다. 한 예로 특정 과제의 전문가라 할 지라도 또 다른 과제에서는 전문가가 아닐 수 있다.

인지심리학에서 최근의 정보처리 이론과 신 피아제 이론은 문제환경의 중요성에 많은 시사점을 던져주고 있다. 이들은 모두 단기 기억의 역할을 강조한다. 특히 Pascual-Leone(1970), Case(1978) 등은 문제해결자의 단기 기억 저장공간의 크기 또는 주의력(Mental Capacity)에 따라 제시된 문제환경에 관련된 조작단계수나 파지해야 할 정보의 수는 문제해결의 성공 여부에 결정적 변인이 될 수 있음을 암시하였다. 문제해결에서 단기 기억 저장공간의 역할의 중요성, 문제를 성공적으로 해결하는 데 필요한 조작단계수나 파지해야 할 정보의 수에 관련된 문제의 요구 주의력(Mental Demand)과 단기 기억 저장공간과의 상호작용 효과는 Niaz(1988, 1991), Roth(1990, 1991), Opdenacker과 그의 동료들(1990), 김혜경(1991) 등의 연구에서 확인되고 있다.

이들의 연구에서 각 문항의 요구 주의력(Mental Demand)의 크기는 과제분석(task analysis)에 의해 정해진다. 각 문제에서 문제의 요구 주의력(Mental Demand)은 연속적으로 변화되도록 문제를 배치할 수 있으나, 이들 문제의 내용은 같지 않다. 하지만 문제가 특정 내용의 지식과 관련된 것일 수록 같은

크기의 단기 기억 저장공간을 가지는 문제해결자 일지라도 문제의 내용에 따라 해결 결과는 달라질 수 있다.

그러므로 문제해결의 과정 동안에 제시된 문제의 요구 주의력(Mental Demand)의 영향을 자세히 조사하기 위해서는 문제의 요구 주의력(Mental Demand)은 변화하되 문제의 논리구조와 내용은 동일하게 유지될 필요가 있다.

본 연구에서는 동일한 논리구조와 내용을 가지는 문제에서 그 문제를 해결하는 데 요구되는 조작단계의 수가 문제해결에 어떠한 영향을 주는 지를 알아 보았다. 설정한 연구문제는 다음과 같다.

- 1) 문제해결자의 학년에 따라 문제해결의 결과는 어떻게 나타나는가?
- 2) 문제에 포함된 조작단계수에 따라 그 결과는 어떻게 달라지는가?
- 3) 문제의 내용(일반적인 지식, 특정지식)에 따라 문제해결의 결과는 어떻게 나타나는가?

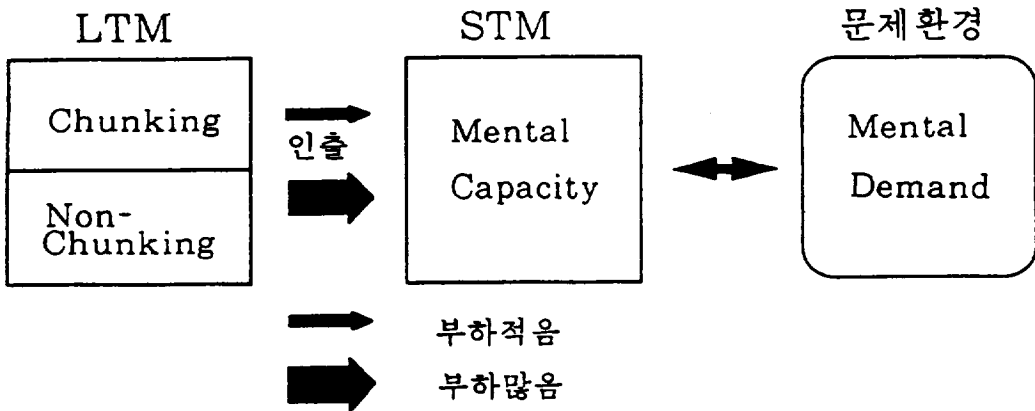
여, 그 해결의 성공여부는 직면한 문제에 관련한 문제해결자의 인지구조의 질적인 면에 따라 결정된다고 할 수 있다. 최근의 인지심리학에서는 인간의 인지과정을 컴퓨터에 비유하여 그 과정을 설명하려는 정보처리이론이 상당한 설득력을 가지게 되었다. 인지과정을 컴퓨터의 작동원리 즉, 산출체계에 맞추어 설명함과 동시에 구조적인 면에서 단기 기억(STM)과 장기 기억(LTM)의 역할이 강조되었다. 정보처리이론에 따르면 문제해결의 성공여부는 장기 기억에 저장되어 있는 지식의 양과 질 그리고 단기 기억의 처리 능력에 의해서 결정된다.

특히 단기 기억에 대한 그 역할의 중요성은 피아제 이론과 정보처리 이론을 받아들여서 나타난 신 피아제 이론에 의해서 부각되고 있다.

정보처리 이론과 신 피아제 이론의 관점에서 문제 해결 과정에 관여하는 요소들을 도식화 하여 보면 [그림 1]과 같이 나타낼 수 있다. 이들은 다음 3가지 관점으로 나누어 설명될 수 있다.

II. 이론적 배경

피아제의 인지 발달론에 의하면 임의 문제에 대한



[그림 1] 문제해결 과정에 관계하는 인지성분

가. 단기 기억 저장공간과 문제해결

Pascual-Leone은 피아제의 인지 발달 단계를 단기 기억 저장 공간의 크기에 맞춰 재해석하였다(김연주, 1989), Pascual-Leone은 단기 기억 저장공간의 용량을 주의력(Mental Capacity)이라 이름 붙였다. 따라서 이는 한 개인의 인지 발달 정도를 결정해 주는 정신

능력을 의미한다. 주의력(Mental Capacity)은 피아제가 주장한 인지 발달과 마찬가지로 나이에 따라 증가한다. 하지만 피아제가 인지 발달 단계시 논리구조의 질적 변환이 일어난다고 주장한 데 대하여 Pascual-Leone은 인지 발달은 주의력(Mental Capacity)의 양적 증가가 일어나는 것을 의미하며 논리구조의 질적

인 변환은 단지 주의력(Mental Capacity)의 양적인 증가에 의한 하나의 산물로 간주한다.

따라서 문제해결의 성공여부는 다음 두가지 변인, 즉 제시된 문제를 해결하는 데 파지해야 할 정보의 수나 요구되는 조작단계의 수(요구 주의력)와 문제 해결자의 주의력(Mental Capacity)의 크기에 의하여 결정된다. 동일한 논리구조를 가지는 문제일지라도 문제해결에 요구되는 조작단계의 수나 파지해야 할 정보의 수(요구 주의력)가 문제해결자의 주의력(Mental Capacity)보다 크면 그 문제는 해결할 수 없게 된다.

나. 장기기억에서의 지식의 구조와 단기기억의 처리 정보량

주의력(Mental Capacity)은 단기기억 저장공간에서 동시에 활성화 시킬 수 있는 Schema의 갯수로 정의된다. 같은 주의력(Mental Capacity)을 가지는 사람일지라도 그들이 단기기억 내에서 한꺼번에 처리할 수 있는 정보의 양은 달라질 수 있다. 예를 들어 같은 주의력(Mental Capacity)을 가진 사람으로 판명된 경우라도 특정분야의 전문가는 그 분야의 초심자 보다 훨씬 더 많은 정보를 단기기억 내에서 한꺼번에 처리할 수 있다. 이러한 차이의 근본 원인은 장기기억 내에 저장되어 있는 지식구조의 차이에서 온다고 할 수 있다.

특정 분야의 전문가는 관련 분야에 대한 지식을 잘 조직된 Chunking 상태(여러가지 정보가 하나로 의미있게 묶여진 상태로 존재)로 장기기억 공간에 저장하고 있다. 반면에, 초심자는 개개의 정보가 독립적인 상태로 존재하거나 덜 Chunking된 상태로 존재한다. 그러므로 한 Schema내에 들어있는 정보의 양은 전문가의 것이 초심자의 것 보다 더 많다. 따라서 비록 같은 갯수의 Schema를 단기기억 내에서 활성화 시킬 수 있는 능력이 있더라도 그 분야의 전문가는 초심자 보다 더 많은 양의 정보를 활성화 시킬 수 있는 것이다. 문제환경의 측면에서 보면, 전문가는 초심자 보다 같은 문제에 대해서 요구 주의력(Mental Demand)을 줄일 수 있다.

이와같은 차이가 특정 분야에 대해서 전문가와 초심자의 문제해결의 성공 여부를 결정짓는 요인으로 작용한다.

다. 연습의 효과나 표상에 의한 요구 주의력(Mental Demand)의 변화

특정 문제에 대한 연습의 효과는 문제 풀이에 이

르는 과정을 자동적으로 이루어지게 할 수 있다. 이러한 자동화의 효과는 단기기억에 걸리는 부하를 줄이는 효과를 가져오게 되고 그 결과 해당 문제에 대한 요구 주의력(Mental Demand)을 줄이는 효과를 가져올 수 있다(Roth, 1991).

동일한 문제라도 문제를 표상하는 형태에 따라 해결 과정에 요구되는 조작단계의 수가 달라지게 된다. 예를 들면 일정 높이의 비탈면에서 물체를 굴러 내릴 때에 바닥에서의 속도를 구하는 경우 '힘-운동'으로 문제를 표상하는 것 보다 '에너지 보존'로 표상하는 것이 조작단계수를 줄일 수가 있다.

이처럼 주의력(Mental Capacity)은 증가되지 않더라도 문제해결자는 이전에는 풀 수 없었던 문제(동일한 요구 주의력을 가지는 문제)를 연습에 의한 자동화 효과나 효과적 표상에 의해 성공적으로 해결할 수 있게 된다.

Ⅲ. 연구 방법

가. 대 상

검사의 성격상 제시된 문제에 관하여 기존지식이 있는 대상을 선택하기 위하여 뉴턴의 운동 제2법칙을 학습한 중학교 3학년 학생 90명과 고등학교 2학년 학생 96명, 고등학교 3학년 학생 45명을 대상으로 하였다. 대상자들은 모두 울산시내의 중·고등학교에 다니고 있는 학생들이며, 고등학교 2,3학년들은 같은 학교에 다니는 학생들을 선택하였다. 이 고등학교는 중학교에서 중간 수준의 학생들이 진학하는 학교에 속한다.

중학생들은 운동의 제2법칙을 한번 학습했고 고 2,3학년들은 두번 학습하였다.

나. 검사시기

고등학교 3학년 학생들은 9월 중순에 실시하였고, 중학생과 고등학교 2학년 학생들은 12월 초에 실시하였다.

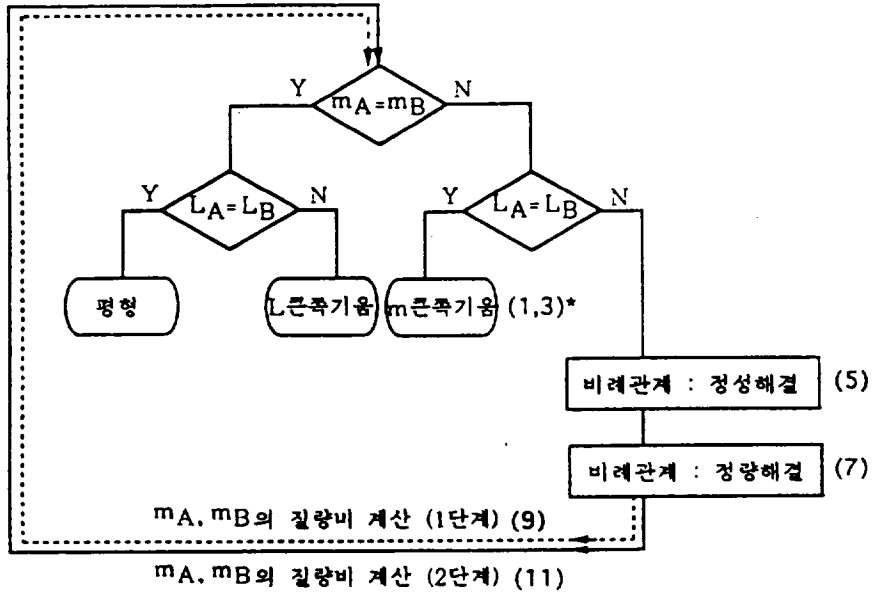
검사에 소요된 시간은 50분에서 55분 정도였다.

다. 검사도구

검사도구는 지필식 문항으로 일반적 지식을 요구하는 과제(천칭문항)와 특정지식을 요구하는 과제(운동의 제2법칙-F=ma)를 선택하여 각 과제마다 6문항씩(전체 12문항)을 개발하였다. 2종류의 과제는 동일한 논리구조 즉, 비례논리를 사용하여 해결할 수 있도록 되어 있다. 한 과제에 속해있는 6문항

은 같은 내용을 지니면서 각 문항에 따라 문제해결에 이르는 데 필요한 조작단계의 수가 점차 늘어나도록 구성되어 있다(단 처음 2 문항은 같은 단계수

를 지니도록 하였음). 예로써 천칭과제에서 조작단계수에 따른 문항이 [그림 2]에 제시되어 있다.



* ()안의 숫자는 문항 번호를 나타냄.

[그림 2] 문항에 포함된 조작단계수

개발된 문항들을 천칭과제는 낮은 조작단계수의 문항에서 높은 조작 단계수의 문항 순서로, 운동의 제2법칙 과제의 문항들은 조작 단계수에 관계없이 무작위로 배열하여 검사지로 만들었다. 완성된 검사

지에 대상자들의 비례관계에 대한 수리능력을 알아 볼 수 있는 한 문항을 따로 첨가하였다.

조작단계수에 따른 검사지에 배열된 문항번호는 <표 1>과 같다.

<표 1> 검사지에 배열된 과제별 조작단계수의 증가에 따른 문항번호

과 제	단계수의 증가에 따른 문항번호				
천칭	1/3	5	7	9	11
운동의 제2법칙	4/12	8	10	2	6

* 각 과제마다 오른쪽으로 갈수록 단계수가 많은 문항에 속함.
같은 종렬에 있는 문항은 같은 단계수를 지니는 문항임.

IV. 연구결과 및 논의

각 과제별 문항에 대한 학년별 정답률은 <표 2>와 같이 나타났다.

가. 학년에 따른 문항별 정답률

〈표 2〉 각 과제의 조작 단계수에 따른 문항의 학년별 정답률(%)

학년	문항	천 칭					운동의 제2법칙						
		1	3	5	7	9	11	4	12	8	10	2	6
중 3		91	92	74	59	32	16	77	81	41	43	36	13
고 2		94	96	79	73	45	38	97	95	94	90	80	53
고 3		98	100	82	76	42	31	100	93	87	100	82	42
F값		F=0.28					F=5.422(p(0.025))						

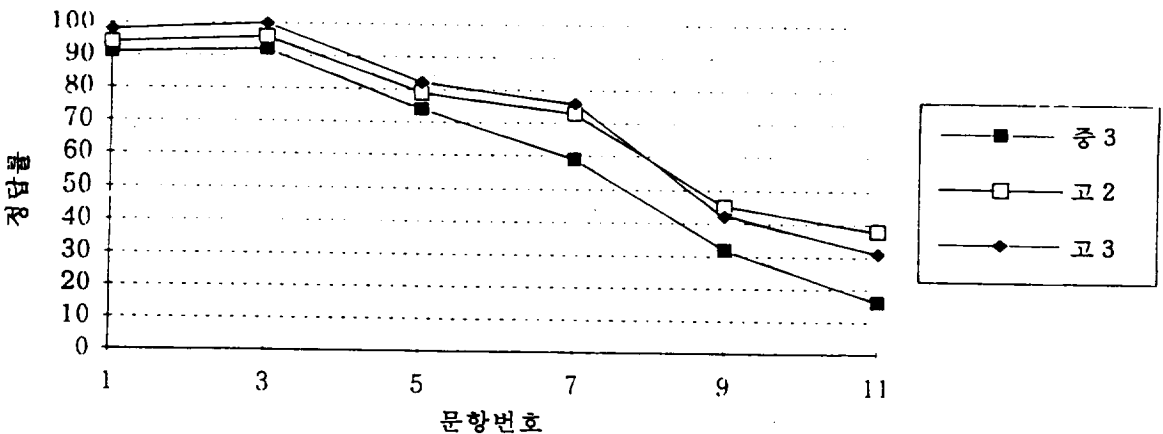
과제별 학년 간의 정답률은 전체적으로 중 3학년이 제일 낮게 나타났고 고2학년과 고3학년은 비슷하게 나타났으나 고3학년이 약간은 높게 나타났다. 〈표 2〉에서 천칭과제-일반적인 지식 요구 과제-에서의 ANOVA분석 결과는 각 학년별로 의미있는 차이를 보이지 않았다. 천칭과제가 특정 내용 관련 지식을 요구하지 않는다는 것을 고려한다면, 결과에 영향을 주는 가장 큰 변인은 대상자의 인지능력이라고 볼 수 있다. 따라서 각 학년별 인지능력은 통계적으로는 유의미한 차이가 있다고 할 수 없다.

하지만, 〈표 2〉에서 운동의 제2법칙에 대한 정답률은 중·고등학생 간에 큰 차이를 보이고 있다.

ANOVA분석의 결과도 역시 학년 간에 유의미한 차이를 보이고 있다(p(0.025)). 각 학년별로 의미있는 차이를 보이지 않았던 천칭과제에 비추어 본다면, 운동의 제2법칙에 대한 학년 간의 정답률의 차이는 대상자들의 인지능력보다는 학습량의 차이로 인한 것이라고 할 수 있다. 교육과정에 의하면 중학교 3학년 학생들은 운동의 제2법칙에 관하여 한번의 학습 경험을 가진다. 반면에 고등학교 2,3학년은 중학생들보다 학습의 양과 질적인 면에 있어서 더 많은 학습 기회를 제공받는다. 따라서 이와같은 학습량의 차이가 중·고등학생 간에 의미있는 정답률의 차이를 가져왔다고 볼 수 있다.

나. 문항별 조작단계수와 문제해결의 결과 비교

1) 천칭 과제



〔그림 3〕 천칭과제 문항에 대한 정답률의 변화

〔그림 3〕에 의하면, 조작단계수가 증가할수록 학년별 정답률은 점진적으로 감소하는 경향을 보인다. 조작단계의 증가에 따른 정답률의 변화를 좀 더 자

세히 살펴보면, 고 2, 3학년 학생들은 4번째 문항(7번 문항)까지는 완만하게 정답률이 감소하다가 5번째 문항(9번 문항)부터 급격한 감소를 보이고 있다.

중 3학년은 처음 2문항을 제외하고는 거의 직선적인 감소를 보이고 있다.

고등학생과 중학생의 정답률의 차이가 커지는 부분은 4번째 문항 부터이다. 외형적으로 정답률의 차이는 고등학생들은 4번째 문항 까지는 정답률이 완만하게 감소하는 반면 중학생들은 이보다 앞선 문항인 2번째나 3번째 문항부터 계속적으로 직선적인 감소를 보이기 때문이다. 즉, 고등학생들은 문항들의 조작단계수가 증가하더라도 4번째 문항까지는 문제 해결에 큰 어려움을 느끼지 않는 반면에 중학생들은 그 앞선 문항 부터 어려움이 가중되고 있다고 볼 수 있다.

고 2, 3학년들의 정답률이 5번째 문항(9번 문항)에서부터 급격하게 감소하는 것에 대해서는 두가지 -비례관계에 관한 수리능력, 단기기억 저장공간의 차이- 가능한 설명이 있을 수 있다.

첫째, 9번 문항에서는 문제를 성공적으로 해결하기 위해서는 비례관계(A추와 B추의 질량비 계산)에 의한 두 추의 질량을 먼저 계산할 수 있어야 한다. 따라서 비례관계에 대한 수리적 능력이 없는 학생은 이 문제를 풀 수 없게 된다. 둘째, 9번 문항이 요구하는 조작단계수(요구 주의력)가 문제해결자의 단기기억 저장공간에 부담을 주는 단계에 이르렀다고 할

수 있다. 즉, 앞의 문항과는 달리 9번 문항은 비례관계 해결에 필요한 정보를 단기기억 내에서 더 고려하여야 문제를 해결할 수 있게 된다. 결국 더 많은 단계수의 고려는 문제해결자의 단기기억 내의 정보 처리 능력(Mental Capacity)을 넘어서게 되고 그 결과 문제를 해결할 수 없게 된다. 이 경우는 비례관계 문제에 대한 단편적인 지식의 유무와는 관계없는 상황이다.

학생들의 비례관계에 대한 수리능력을 파악하기 위하여 검사지의 마지막에 실제 본 문항과 관계된 비례문제를 따로 첨부시켰었다. 응답 결과는 비례문제에 대하여 중학생의 78%이상과 고등학생의 90% 이상이 바르게 답하고 있었다. 이를 고려한다면, 첫 번째 설명보다는 두 번째 설명이 설득력이 크다고 할 수 있다. 다시 말하면 5번째 문항에서부터 정답률이 급격하게 감소하는 이유는, 문제를 해결하는 데 필요한 단편적인 지식은 알고 있지만, 그 문제가 요구하는 조작단계수가 문제해결자의 단기기억 내의 정보 처리 능력을 넘어서는데 있다고 할 수 있다.

문제에 포함된 조작단계수의 영향을 자세히 분석하기 위하여, 각 문항 간의 위계관계를 위계분석 프로그램을 이용하여 조사하여 보면 다음과 같다.

<표 3> 학년별 천칭과제 문항에 대한 위계관계 지수표

상위 하위	중 3						고 2						고 3					
	1	3	5	7	9	11	1	3	5	7	9	11	1	3	5	7	9	11
1	1	.8	.9	.9	.9	1	1	.9	.9	.9	.9	.9	1	1	.9	1	1	1
3	.9	1	.9	.9	.9	.9	.9	1	.9	.9	.9	.9	1	1	1	1	1	1
5	.7	.7	1	.7	.7	.8	.7	.7	1	.6	.8	.8	.7	.7	1	.8	.9	.8
7	.5	.4	.5	1	.8	1	.6	.6	.6	1	.8	.8	.6	.6	.7	1	.9	.9
9	.2	.2	.3	.4	1	.9	.3	.3	.4	.5	1	.9	.3	.3	.4	.5	1	1
11	.1	.1	.2	.4	.6	1	.3	.2	.3	.4	.7	1	.2	.2	.3	.4	.8	1

* "음영표시" 표시는 위계지수의 값을 0.7 이상을 기준으로 음영으로 나타내었음.

표에서 행렬의 지수값이 크게 나타나는 것일 수록 해당되는 오른쪽 횡렬의 문항(상위 문항)을 풀 수 있는 학생이라면 왼쪽의 종렬(하위 문항)에 해당되는 문항을 확실하게 풀 수 있다는 것을 의미한다.

위계지수의 값을 0.7 이상을 기준으로 각 문항 간의 위계관계를 나타내보면 <표 3>과 같은 음영으로 나타난다. <표 3>에서 나타난 음영의 구역을 보면 전체적으로 조작 단계수가 증가 할수록 위계적으로 상

위의 문항에 속하는 형태를 보이고 있다. 첫 번째 문항 부터 세 번째 문항 까지는 학년에 관계없이 문항들 상호 간에 위계를 나타내고 있으므로 이들 3문항은 동일한 위계수준을 가지는 문항으로 학생들에게 인식되고 있음을 알 수 있다. 또한 이들 3문항은 나머지 문항들에 대하여 위계적으로 모두 하위의 문항에 속한다. 따라서 3번째 문항보다 상위의 문항을 풀 수 있는 학생들은 대부분 하위에 속하는 처음 3문

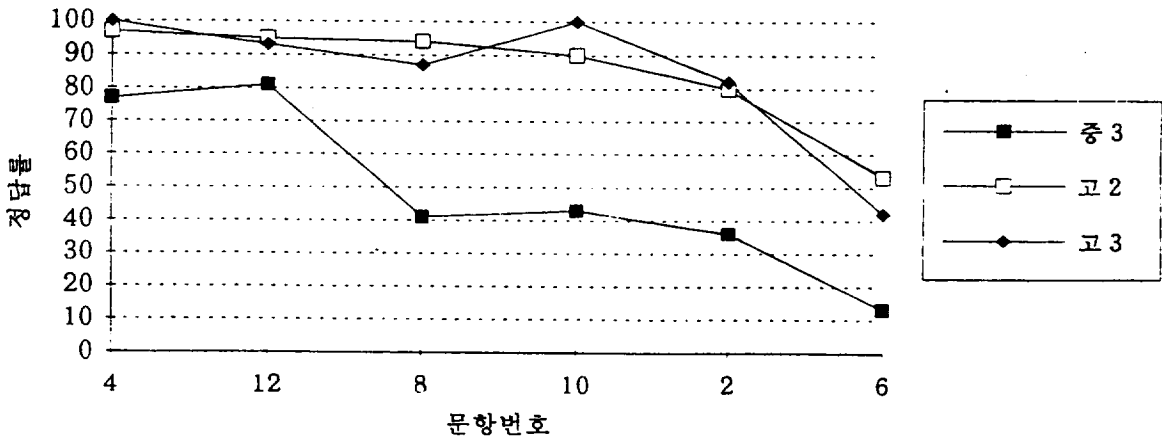
항을 풀 수 있다는 것을 의미한다.

표에 의하면, 4번째 문항(7번 문항) 부터는 조작단계수가 증가할수록 그 문항이 더 상위의 문항에 속하는 선형적인 관계를 나타내고 있다. 이것은 처음 3문항과는 또 다른 모습을 보여 주고 있다. 세부적으로는, 고 3학년에게 있어서는 5번과 7번문항은 동일한 수준의 문항으로 인식되고 있다. 이같은 관계는 고 2, 3의 경우는 5번째 문항과 마지막 6번째 문항에서도 동일한 수준의 문항으로 나타나지만 이들의 정답률이 낮아서 그에 대한 의미를 찾기가 어렵다.

위계관계표에서 나타난 문항들 간의 위계관계와 문항에 포함된 조작단계수에 의해 다음 사실들을 알

수 있다. 먼저 문항들 간의 위계관계는 문항의 조작단계수와 단순한 선형적인 관계를 나타내지는 않는다는 것을 알 수 있다. (표 3)에 의하면 처음 3문항까지는 동일한 수준의 문항임을 나타낸다. 하지만 3번째 문항(5번 문항)이 처음 두 문항보다 문제해결에 필요한 조작단계수가 더 많다. 이는 단순히 문제해결에 필요한 조작단계가 늘어난다고 그 문항이 위계적으로 상위의 문항으로 규정지을 수 없다는 것을 보여주고 있다. 한편 4번째 문항부터는 조작단계수의 증가와 문항의 위계관계 사이에는 상당한 선형적인 관계를 보이고 있다.

2) 운동의 제2법칙



[그림 4] 운동의 제2법칙 과제의 문항에 대한 정답률의 변화

조작단계수에 따른 문항별 정답률은 [그림 4]와 같이 나타났다. [그림 4]에서와 같이 고 2, 3학년의 정답률과 변화유형은 비슷하게 나타났다. 변화유형을 보면 고 2, 3학년은 조작단계수가 증가하여도 L 정답률의 변화는 5번째 문항(2번 문항)까지는 아주 완만한 감소를 보이다가 마지막 6번째 문항에서 급격히 감소를 보인다. 중 3학년은 3번째 문항(8번 문항)에서 급격한 감소를 보인 다음 부터는 고등학생들과 비슷한 변화 유형을 보인다.

천칭과제에서는 고 2, 3학년의 정답률이 5번째 문

항에서 급격한 감소를 보인 데 대해서 운동의 제 2법칙에서는 한 단계 조작단계수가 증가된 문항(6번째 문항)에서 같은 양상을 보이고 있다. 다시 말하면, 천칭과제가 5번째 문항에서부터 단기억 저장공간에 부담을 주는 단계였다면 운동의 제 2법칙에서는 그와 같은 효과가 6번째 문항이 지닌 조작단계수에서 일어났다고 할 수 있다.

각문항 간의 수준을 비교할 수 있는 위계지수는 (표 4)와 같이 나타났다.

(표 4) 학년별 운동의 제2법칙에 대한 위계관계 지수표

상위 하위	중 3						고 2						고 3					
	4	12	8	10	2	6	4	12	8	10	2	6	4	12	8	10	2	6
4	1	.7	.7	.8	.6	.8	1	1	1	.9	1	.9	1	1	1	1	1	1
12	.7	1	.7	.8	.6	.9	.9	1	.9	.9	.9	.9	.9	1	1	.9	.9	1
8	.3	.3	1	.7	.7	.9	.9	.9	1	1	1	1	.8	.8	1	.8	.8	.9
10	.4	.3	.7	1	.7	.9	.8	.8	.9	1	.9	.9	1	1	1	1	1	1
2	.3	.2	.6	.6	1	.8	.7	.7	.8	.8	1	.9	.7	.7	.7	.7	1	.8
6	.2	.2	.5	.5	.5	1	.3	.4	.4	.5	.5	1	.3	.3	.4	.3	.3	1

* "표시는 위계지수의 값을 0.7이상을 기준으로 음영으로 나타내었음.

위계지수 값을 0.7이상을 기준으로 음영으로 나타낸 구역을 살펴보면, 고등학생보다 중 3학년에서는 문항의 조작단계수가 증가함에 따라 문항들이 상위 수준의 문항에 속하여 조작단계수와 위계수준 간에 선형적인 관계를 보이고 있다.

고등학교 2, 3학년은 문항들 간의 위계수준 관계가 닮은 형태를 보이고 있다. 고등 학생들은 마지막 문항을 제외하고는 문항에 포함된 조작단계수와 상관없이 다섯 문항이 모두 동일한 문항으로 인식되고 있다는 것을 알 수 있다. 즉, 외형적으로는 3번째 문항이 처음 두 문항 보다 조작단계수가 많고, 3번째 문항보다는 4번째 문항이, 4번째 문항보다는 5번째 문항이 조작단계수가 많음에도 이들은 동일한 문항으로 문제해결자에게 받아들여지고 있다.

각 문항 간의 위계관계에 대한 설명은 앞의 천칭과제에서 논의되었던 것과 같은 관점으로 단기 기억 저장공간의 역할과 특성을 고려하면 설명이 가능하다. 비록 외형적인 문제수준은 조작단계수로 인하여 차이가 있을지라도 5번째 문항까지는 문제해결자의 단기 기억 저장공간에 부담을 주는 단계에 이르지 않았다고 할 수 있다. 하지만 6번째 문항에 이르면 단기 기억 저장공간의 처리능력에 부담을 주게 되어 동일한 수준의 문항으로 인식될 수 없게 되어진다. 다시 말하면 5번째 문항이 단기 기억 저장공간의 처리능력에 대해 임계상황에 있는 문제라고 할 수 있다.

천칭과제에서 동일한 수준의 문항으로 인식되는 문항의 범위(고-3번째 문항까지)와 운동의 제2법칙 관련 문항에서 동일한 수준의 문항으로 인식되는 범위(고-5번째 문항까지)는 상당히 다르다. 만약 동일한 문제해결자라면 그들의 단기 기억 저장공간의 처리능력은 같다고 할 수 있다. 따라서 두 과제에서 문

항들 간의 위계관계에 대한 문제 해결자의 인식에 관한 차이는 해당 과제의 특징에 따른 차이에서 기인한다고 할 수 있다. (*이에 대한 설명은 다음 절로 미룬다.)

다. 과제에 포함된 지식의 종류와 문제의 조작 단계수(요구 주의력)

일반적인 지식을 요구하는 천칭과제와 특정 내용 지식을 요구하는 운동의 제2법칙 과제의 문항들은 같은 차례에 해당되는 문항이면 같은 조작단계수를 가지도록 작성되었다(표 1 참조). 하지만 [그림 3], [그림 4]의 그래프를 비교하면, 천칭과제의 문항은 5번째 문항(9번 문항) 부터 정답률의 급한 감소를 보이는 반면 운동의 제2법칙 문항에서는 6번째 문항에서 급한 감소를 보이고 있다. 이는 단기 기억 저장공간에 부하가 걸리는 단계가 천칭과제는 5번째 문항 부터 이고 운동의 제2법칙 과제는 6번째 문항부터 라는 것을 의미한다. <표 3>, <표 4>의 위계관계 지수표에 의해서도 이 사실을 뒷받침 할 수 있다. 천칭과제의 위계관계를 보면 처음 3과제는 동일한 수준의 문항들로서 학생들에게 인식된다는 알 수 있다. 운동의 제2법칙 과제에서는 처음 부터 5번째 문항 까지 동일한 수준의 문항으로 인식되고 있다.

다시 말하면, 동일한 단기 기억 저장공간을 가지는 문제해결자 일지라도 천칭과제 보다는 운동의 제2법칙 과제에 대해서는 조작단계수가 1-2단계 더 많은 상위의 문항 까지도 해결이 가능하다. 두 과제에 대한 문제해결자의 단기 기억 저장공간의 용량(주의력)이 같다는 점을 고려하면, 비록 두 과제의 단계수는 천칭과제 보다 운동의 제2법칙 과제의 문항이 더 많더라도 문제해결자에게 비춰지는 문제의 내적 요구 주의력(Mental Demand)은 사실상 같다고 보아야 된다.

천칭과제에 비추어 운동의 제2법칙 과제에서는 내적 요구 주의력(Mental Demand)의 감소 효과는 두 과제가 지니고 있는 지식의 종류의 차이에 기인한 문제해결자의 표상의 차이에 의한 것으로 볼 수 있다. 예로써, 천칭과제를 비례관계로 표상하느냐, 아니면 '기울어짐=추의 질량×중심으로 부터의 거리'로 표상하느냐에 따라 단기기억 저장공간에 주는 부하의 양은 달라진다. 후자의 경우로 표상할 때에는 몇 개의 정보를 하나의 Schema로서 인식하는 지식의 Chunking 효과를 가져오므로 저장공간의 부하를 줄일 수 있다. 문제에 관한 측면에서 보면 해당 문제에 대한 요구 주의력(Mental Demand)을 줄이는 효과를 나타낸다. 만약 문제해결자가 두 과제를 모두 비례관계로 표상하거나 또는 '가울어짐=추의 질량×중심으로 부터의 거리'와 '힘=질량×가속도'로 표상한다면 두 과제의 요구 주의력(Mental Demand)은 같게 나타날 것이다. 이 경우에는 정답률의 변화 형태나 문항의 위계관계는 두 과제가 비슷한 모양을 나타낼 것이다.

천칭과제와 관련한 지식은 교과서에 의한 형식적 학습에 의해 획득되어지기 보다는 일상 생활경험 속에서 비형식적인 형태의 자연스런 학습과정을 통해서 체득되는 경우가 많다. 따라서 학생들은 천칭과제를 형식화된 '기울어짐=추의 질량×중심으로 부터의 거리'의 형태로 표상하기 보다는 비례관계로 표상하기 쉽다. 반면에 운동의 제2법칙과 관련한 지식은 형식적 학습을 통해서 얻게 되고, 이는 관계식 '힘(F)=질량(m)×가속도(a)'와 밀착되어 있다. 따라서 학생들은 운동의 제2법칙 과제를 비례관계로 문제를 표상하기 보다는 '힘(F)=질량(m)×가속도(a)'의 관계식으로 문제를 표상하기 쉽다.

문제해결자가 천칭과제를 비례관계로 표상하게 되면 처음 두 문항 보다는 3번째 문항, 4번째 문항으로 갈수록 조작단계수는 증가하여 더 어려워진다. 하지만 '기울어짐=추의 질량×중심으로 부터의 거리'로 표상하면 처음 문항 부터 4번째 문항까지는 같은 조작 단계수를 요구하는 동일한 수준의 문항이 된다. 천칭 과제에 대한 [그림 3]의 문항에 따른 정답률의 변화와 위계관계를 나타내는 <표 3>을 보면 본 연구의 대상자들은 천칭과제를 대부분 비례관계로 표상하고 있다는 것을 알 수 있다. 반면에 [그림 4]에서의 정답률의 변화와 <표 4>의 위계관계를 보면 운동의 제2법칙 과제에 대하여 '힘(F)=질량(m)×가

속도(a)'로 표상하고 있음을 알 수 있다.

이처럼 같은 조작단계수를 가지는 문제라도 그 문제가 지니고 있는 지식의 종류에 따른 표상의 차이는 문제해결자가 느끼는 요구 주의력(Mental Demand)-문제의 내적 요구 주의력(Mental Demand)-에 영향을 줄 수 있다. 따라서 제한된 크기의 단기기억 저장공간을 가진 문제해결자라도 문제에 포함된 정보들을 Chunking된 상태로 지닐 수 있고, 나아가 Chunking된 상태의 정보들이 포함된 Schema들으로써 문제를 표상할 수 있으면 그 문제의 내적 요구 주의력(Mental Demand)을 줄일 수 있다. 이 결과 문제해결자의 단기기억 저장공간에 적은 부하를 주게 되고, 같은 내용지식을 요구하는 문제라면 더 복잡한 문제-더 많은 조작단계수나 파지해야 할 정보가 있는 문제-까지도 성공적으로 해결할 수 있게 된다.

V. 결 론

문제해결은 문제해결자와 제시된 문제환경과의 상호작용이다. 본 연구는 이와 같은 관점에서 정보처리 이론과 신 피아제 이론을 바탕으로 문제에 포함된 조작단계수에 따라 문제해결의 결과가 어떻게 나타나는가를 살펴 보았다.

설정한 연구 문제를 중심으로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

가. 학년에 따른 문제해결의 결과

학년에 따른 문제해결의 결과는 지식의 종류에 따라 다르게 나타났다. 운동의 제2법칙과 같은 교과서적인 지식과 관련한 문제의 정답률은 학습량이 많은 고등학생이 중학생보다 높게 나타났다. 하지만 일상 생활 경험의 지식에 더 많이 의존하는 천칭과제에 관련한 문제의 정답률은 의미있는 차이를 보이지 않았다.

중학생은 조작단계수가 증가하면 정답률이 선형적인 감소를 나타낸 반면 고등학생들은 일정 단계수까지는 완만한 감소를 보이다가 그 다음부터 급한 감소를 보였다. 이것은 중학생들에게는 조작단계수가 한 단계씩 증가함에 따라 단기기억 저장공간에 가해지는 부하가 계속적으로 늘어난다고 할 수 있다. 고등학생들은 조작단계수가 늘어나더라도 어느 단계까지는 부하를 느끼지 않는다는 것을 의미한다.

나. 문제의 조작단계수에 따른 문제해결 결과

문제들 간의 위계분석표에 의하면 더 많은 조작단계수를 요구하는 문항일수록 상위의 문항이거나 적어도 동일 수준을 나타내었다. 이 결과는 조작단계수가 문제의 어려움의 정도를 결정하는 중심 변인이 될 수 있다는 것을 의미한다.

조작단계수에 따른 정답률의 변화나 문항들 간의 위계관계를 분석하면, 문제의 조작단계수는 문제해결에 영향을 주는 중심 변인이지만 해결의 어려움의 정도와 단계수 사이는 단순한 선형적인 관계를 보이지 않는다. 어느 단계수까지는 정답률의 감소는 완만하게 나타나다가 그 다음 부터는 급격히 감소하는 양상 즉, 문제해결자에게 임계 단계수가 있음을 암시한다. 이는 본 연구에서 해석의 틀로 삼고자 했던 단기 기억 저장 공간의 제한된 용량과 조작단계수와 의 상호작용에 대하여 긍정적인 평가를 내리게 한다.

다. 지식의 내용에 따른 문제해결 결과

일반적인 지식의 천칭 과제와 특정 내용 지식의 운동의 제2법칙 과제에서 정답률의 변화와 문항 간의 위계관계는 다르게 나타났다. 정답률의 변화와 위계관계표에 의하면, 운동의 제2법칙 과제에 관련된 문항에서는 천칭과제의 문항보다 1-2단계 더 많은 조작단계수를 요구하는 문항까지 성공적으로 해결할 수 있었다. 외형적으로 동일한 요구 주의력(Mental Demand)을 가지는 두 과제이지만, 실제로 문제해결자에게는 운동의 제2법칙 과제는 천칭 과제보다 1-2단계 줄어든 요구 주의력(Mental Demand)으로 인식되어진다고 할 수 있다.

두 과제에 대한 문제해결자의 주의력(Mental Capacity)은 동일하다. 따라서 두 과제에 대한 내적 요구 주의력(Mental Demand)의 감소 효과는 문제해결자의 표상의 차이에 기인하고 있다. 표상의 차이는 또한 두 과제에 포함된 내용 지식의 차이로 인해 나타났다.

VI. 제 언

본 연구의 결과는 조작단계수가 많으면 문제의 난이도가 높아질 것이라는 막연한 생각에 대하여 새로운 시사점을 준다. 같은 내용을 지니는 문제인 경우에 문제를 해결하는데 필요한 단계수가 증가되었다고 단순히 그 문제의 난이도가 높아졌다고 말할 수

없다. 한편 조작단계수가 임계 단계수에 이르면 한 단계만 증가하더라도 난이도는 아주 높아질 수 있다.

따라서 임의 문항의 난이도를 판단할 경우에는 위와 같은 사실들을 고려해야 한다.

참 고 문 헌

구윤모(1992). 논리사고 수준과 문제 맥락에 따른 물리개념의 위계구조, 한국교원대학교 석사학위 논문

김언주(1989). 인지발달과 교육, 양서원

김영채(1985). 인간 학습 및 기억, 중앙적성출판사, 173-180.

김혜경(1991). 화학반응에서의 양적 관계에 대한 주의력차원과 학생의 주의력과의 관계성 연구, 서울대학교 석사학위 논문.

박학규(1991). 물리 문제 해결에 관한 최근의 분석. 한국과학교육 학회지, 11(2), 67-77.

안수영(1990). 전류 현상 관찰 전후의 학생들의 오인 유형 및 그 변화, 한국교원대학교 석사학위 논문.

Anderson, J.R.(1990). Cognitive Psychology and Its Implication, 을서 문화사.

Niaz, M.(1988). The information-processing demand of chemistry problems and its relation to Pascual-Leone's functional M-capacity, *Int. J. Sci. Educ.*, 10(2), 231-238.

Niaz, M.(1991). Correlates of formal operational reasoning: A Neo-Piagetian analysis, *Journal of Research in Science Teaching*, 28(1), 19-40.

Opendacker, C., Fierens, H., Van Brabant, H., Sevenants, J., Spruyt, J., and Sloomakers, P. J., Jhonstone, A. H.(1990). Academic performance in solving chemistry problems related to student working memory capacity. *Int. J. Sci. Educ.*, 12(2), 177-185.

Roth, W.-M. (1990). Short-Term Memory and Problem Solving in Physical Science. *School Science and Mathematics*, 90(4), 271-281.

Roth, W.-M. (1991). The Development of Reasoning on the Balance Beam. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(7), 631-645.

(ABSTRACT)

The Results of Problem Solving according to Mental Demand of Items

Soo Young Ahn, Jae Sool Kwon
(Korea National University of Education)

New – Piagetian theory has proposed that mental capacity and mental demand do a critical role in human cognitive processes. In this study, the students' mental capacity and the mental demand of the given problems were examined.

The principal findings of the study are as follows;

(1) There was no significant difference among achievement scores of subjects (3rd grade students of middle school, 2nd grade students of high school, 3rd grade students of high school) in the items of balance that needed specific content knowledge. But, in the Newton's 2nd law items that needed specific content knowledge, there was significant difference between 3rd grade students of middle school and high school students (2nd, 3rd).

According to increase of mental demand, middle school students' achievement score appeared to decrease linearly. However high school students' achievement score didn't change until they faced the items of critical mental demand. When mental demand was beyond critical mental demand, their score was decreased rapidly.

(2) According to hierarchical analysis of items, the more mental demand an item needed, the higher or at least the same hierarchical item was. These results showed that mental demand was the main factor which decided difficulties of problem solving

(3) It was possible for students to solve the Newton's 2nd law item that had one or two more mental demand relative to balance beam item. Although the item needed the same mental demand, students recognized that the Newton's 2nd law items were easier than the balance beam items.