

# ATWOOD와 POLSON의 과정모형 검증 : 물병문제를 중심으로

오승민 · 이영애

한국교육개발원 이화여대 교육심리학과

물병문제(water jug problem)의 해결에 대한 Atwood와 Polson(1976)의 과정모형의 예언을 기억부담을 감소시킨 조건들에서 검토하고자 두 실험을 수행하였다. 최적 이동의 평가와 관련된 단기기억의 부담을 감소시킨 그 그림 제시조건과 하위목표 제시조건이 다른 조건들에 비해 물병문제의 해결을 더 쉽게 하였다. 이 결과들은 Atwood, Masson 및 Polson(1980)의 결과들과 대조되는데, 본 연구의 결과들을 과정모형과 관련지어 논의하고, 앞으로의 연구문제를 제시하였다.

문제해결연구에서 중요한 전환점은 정보처리접근의 발달이었다. 이 접근은 인간 유기체가 특정한 인지과제를 수행하는데 있어서, 자극정보를 받아들이고 일련의 심리적 조작을 거칠 때 심리과정들이 어떤 순서로 진행되며, 그 과정의 특성이 무엇인지를 밝히는 것이다(Anderson, 1985).

문제해결은 수학이나 물리학과는 달리 영역의존적(domain-dependent) 지식을 거의 요하지 않는 수수께끼같은 문제들(예를 들어, 하노이탑 문제, 선교사와 야만인 문제, 물병문제), 즉 영역독립적(domain-independent) 문제들로 문제해결 과정과 표상이 연구되어 왔다(이영애, 1986). 문제해결자가 경험에 기반을 둔 지식을 가지고 있지 못할 경우, 보다 일반적인 문제해결 특징을 발견하기는 어렵지 않다. 일반적 문제의 해결은 적합도(goodness of fit), 내용분석(content analysis), PPG(Problem Behavior Graph), 언어반응분석(protocol analysis), 컴퓨터 시뮬레이션(computer simulation) 등을 통해 밝혀져 왔다(Greeno와 Simon, 1989).

이 분야의 여러 연구들에서 다음의 두 결론을 얻게 된다. 첫째, 문제해결자들이 어떤 과제에 처음 접해서 적절한 해결방법을 모르면, 그들은 수단-목표분석(means-ends analysis)이라는 일반문제해결법(heuristics)를 사용한다(Newell과 Simon, 1972). 이 방법은 문제해결자가 현 문제상태와 그가 도달하려는 목표상태 또는 하위목표상태를 비교하여, 그 차이를 줄일 수 있는 조작자(주로 움직임)를 택하는 것이다. 조작자는 수행될 문제해결 행위(actions)와 그 행위의 수행에 요구되는 조건(conditions)으로 구성되어 있다.

둘째, 문제해결은 단기기억의 제약, 탐색속도, 지식기반, 자원할당 등에 의해 상당한 영향을 받는다. 한 문제를 해결하기 위한 가장 좋은 방안은 최선의 표상을 산출해내는 것(예, McGuiness, 1986)인데, 이는 문제해결과 표상간에, 그리고 표상과 방략 지식간에 상호작용이 있음을 시사한다.

문제해결에 지식기반을 별로 필요로 하지 않는 영역독립적 문제의 하나인 물병문제는 Luchins

1942' 이래 많이 사용되어져 왔으며, 변형문제 (Greeno, 1974) 또는 이동문제(Ernst와 Newell, 1969) 라고도 불리운다. 물병문제를 과제로 사용한 대부분의 연구들은 Einstellung 효과에 관한 것이었다. 문제해결의 맥락이 해결과정에 중요한 영향을 미친다는 이 효과는 한 피험자가 참여해온 과제 또는 제시받아온 문제들의 해결과정에 따라서 어떤 답들은 순서효과(sequence effect)에 의해 그 생성이 촉진되지만, 또 어떤 답들은 셋트효과(set effect)에

의해 그 생성이 저해됨을 말한다(Luchins, 1942, 1984; Sweller와 Gee, 1978).

물병문제는 들이가 다른 세 물병(A,B,C) 중 가장 큰 들이의 병(A)에 있는 물을 이 병과 들이가 다른 두 빈 병들(B,C)을 이용해서 두 병(A,B)에 똑같은 양의 물이 들어 있게 하는 문제이다. 피험자는 붓는 병이 빌 때까지 또는 받는 병이 찰 때까지 부어야 하는 규칙을 위반하지 않으면서 문제의 출발상태에서 목표상태에 이르는 합법적 이동패턴을 찾아야

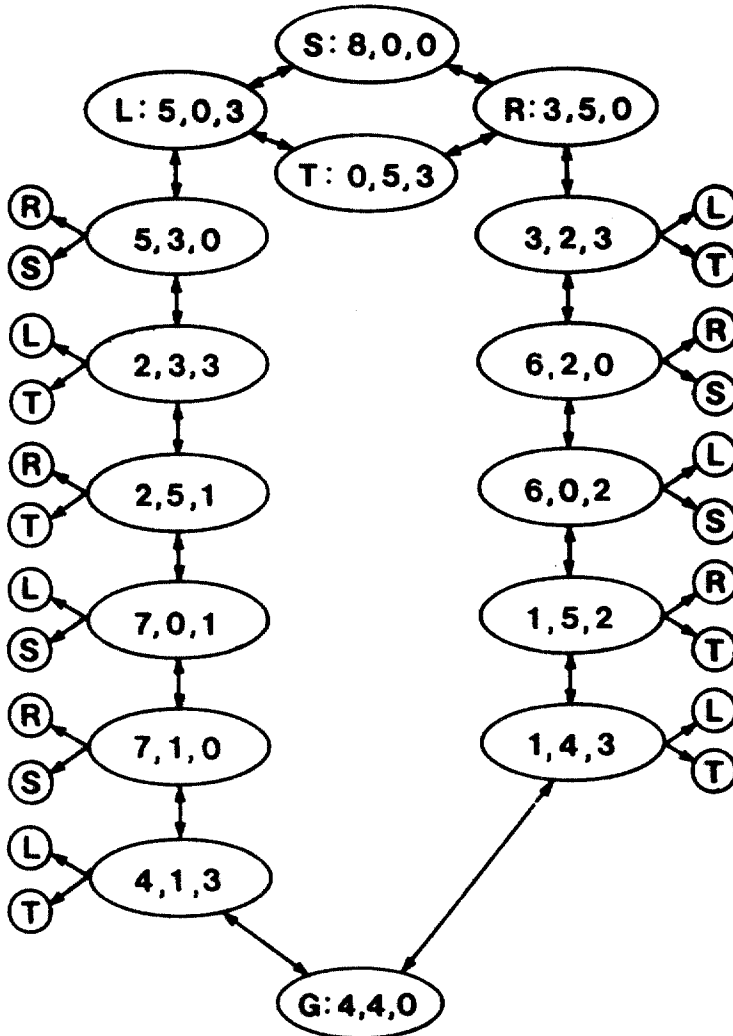


그림 1. (8,5,3)문제에서 가능한 상태들과 합법적 이동들에 대한 그래프. (S는 문제의 출발상태, R은 오른쪽 해결통로까지의 처음상태, L은 왼쪽 해결통로까지의 처음상태, G는 문제의 목표상태, T는 전이상태를 각기 나타낸다.)

한다. 예를 들어, 들이가 각기(14,9,5)인 A,B,C 병에 각기(14,0,0)의 물이 있는 문제를 제시받은 피험자는 문제의 출발상태에서 목표상태(7,7,0)으로 연결되는 일련의 이동을 찾아야 한다. (8,5,3) 문제와

(12,7,4)에 대한 해결가치가 그림 1과 그림 2에 제시되어 있다.

Atwood와 Polson은 물병문제를 구조적으로 그리고 경험적으로 분석하여 과정모형(process model)을

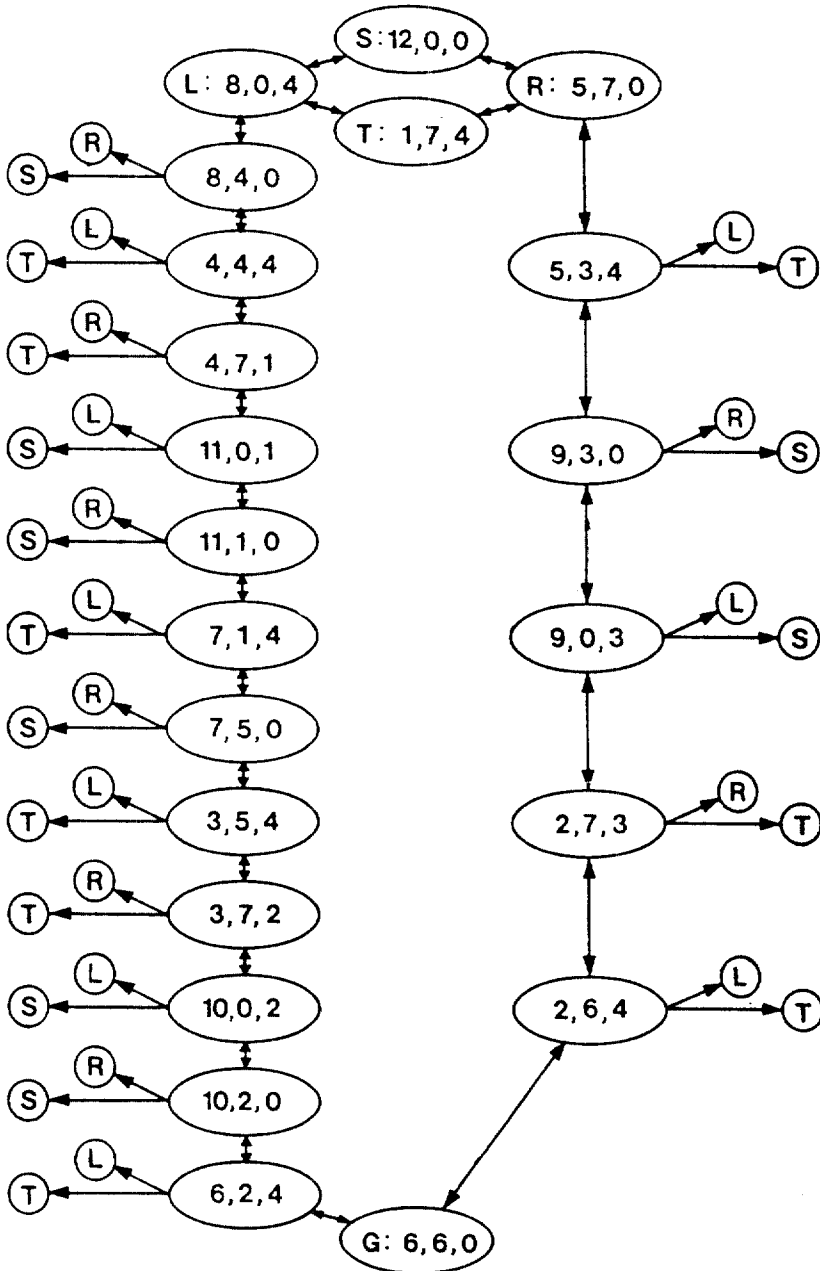


그림 2. (12,7,4)문제의 가능한 상태들과 합법적 이동들에 대한 그래프

제안하였다. 이 모델은 물병과제를 받은 피험자들이 어떤 한 이동을 택하려면 평가과정과 기억과정의 상호작용이 있어야 한다고 가정한다. 평가과정은 들어가 다른 두 물병(A, B)의 목표상태와  $i$ 번째 문제상태간의 차이, 즉 수단-목표분석과  $i$ 번째 문제상태에 앞서 들어간 빈도의 계산을 포함하고, 이 평가함수를 써서 어떤 이동이 타당한지를 결정한다. 기억구조와 과정에 관해 Atwood와 Polson은 Atkinson과 Shiffrin(1968)의 중다저장모형(multi-store model)을 바탕으로 설명하고 있다. 즉 단기기억에는 한 이동, 그 결과상태, 그에 대한 평가 및 이전에 들어 갔었던 빈도정보 등이 저장되고, 문제를 푸는 과정에서 실제로 들어간 상태들에 대한 표상은 장기기억에 저장되어 한 문제상태의 평가나 이동을 택할 때 사용된다. 이러한 평가 및 기억과정의 결과들이 종합되어 다음의 어떤 최적 이동을 택하게 된다.

Atwood와 Polson(1976)은 수단-목표 분석을 위반하는 부분이 있는 문제와 그런 부분이 없는 문제를 피험자에게 제시해 본 결과, 위반하지 않는 문제를 더 쉽고 빠르게 그리고 더 적은 수의 되돌기(looping)로 풀었음을 관찰했다.

여기서 되돌기란 어떤 한 문제상태에서 원래의 출발상태로 다시 돌아가버리거나 다른 가지로 빠져나가는 이동을 말하는데, 그림 1에서 S,R,L 그리고 T상태로 돌아가는 것이다. 또 문제의 난이도가 수단-목표 분석에 위반된 수와 비례함을 실험 2에서 밝힘으로써 과정모형을 검증했다.

Atwood와 Polson 모형에서 또하나의 주요한 가정은 평가과정과 긴밀히 상호작용하는 단기기억의 한계때문에 사람들은 복잡한 계획전략(planning strategy)을 쓰지 못하고, 현재의 문제상태와 후속상태에 관한 정보를 바탕으로 어떤 한 이동을 택한다는 것이다. 이와 대조적으로, 문제해결방략을 피험자에게 알려주면 해결을 향상시킬 수 있다는 연구들이 있다(예, Cope와 Murphy, 1981; Lung과 Dominowski, 1985). Cope와 Murphy는 문제해결에 있어서 방략은 필수적이며, 단순한 방략 또는 해결 방향만 알려주어도 증진된 수행을 보인다고 하였다. 공간적으로 조직화되거나 쉽게 심상화되는 문제는 방략을 쉽게 계획하도록 하므로 용이해져서

문제해결이 쉽다는 결과(Kotovsky, Hayes 및 Simon, 1985)도 방략이 문제해결에 미치는 영향을 보여준다. 그 밖의 연구들(Sweller와 Levine, 1982; Sweller, Mawer 및 Ward, 1984)도 문제해결방략의 선택이 문제구조에 대한 정보획득에 영향을 줌을 밝혔다.

물병문제에서 피험자들이 쓸 수 있는 계획방략은 다음과 같다. 첫째는 추상에 의해 계획하기(planning by abstraction)로써 Newell과 Simon(1972)이 개발한 컴퓨터 심플레이션 프로그램인 GPS(General Problem Solver)가 그 예이다. 이 방략은 단지 한 단계만 내다보는 수단-목표 분석의 제한을 극복하기 위해 모든 상태에 적용될 수 있는 문제상태들과 조작자들을 재구성하는 것이다.

둘째로는 하위목표(subgoal)의 설정이다. 피험자는 문제를 해결하기 위해서 거쳐야 하는 디딤돌상태(steping-stone state)를 만들고, 목표상태에 이르기 전에 그 상태에 도달하려 한다. GPS를 사용하여 디딤돌 상태를 검증하기를 시도한 Ernst와 Newell(1969)과 Shoenfeld(1979)는 여러 발견법적 방략을 사용하도록 한 집단들 중 하위목표들을 설정하게 한 집단의 수행이 매우 우수함을 밝혔다. Sweller 등(1982, 1983)은 적당한 간격에 놓여진 하위목표들의 사용이 귀환(feedback)의 역할을 하게 되어 문제에 대한 도식학습을 촉진시키는 결과를 보였다. 다른 연구들(Spitz와 Minsky, 1984; Klahr, 1985; Sternberg, 1981; Wickelgren, 1974)도 문제해결자가 한 문제상태로부터 목표상태로의 이동 순서를 찾기가 어렵거나 불가능할 때, 하위목표 설정이 효과적임을 밝혔다.

마지막으로, 몇 수 미리보기( $n$ -move look ahead) 방략을 들 수 있다. 이 방략은 성인 피험자들을 대상으로 강건너기문제(Egan과 Greeno, 1974), 일반적인 변형문제들(Greeno, 1978) 그리고 셋 이상의 원반을 사용한 하노이탑문제(Karat, 1982)의 해결에서 제안되어 왔다. Klahr(1985)는 유치원아이들도 하노이탑문제를 풀 때 이 방략을 사용한다고 보고했다.

Atwood 등(1980)은 단기 기억의 한계 때문에 물병 문제의 해결에 피험자들이 위와같은 계획 방략을 쓰지 못함을 가정했다. 이 연구자들은 과정 모형의 예언을 검증하고자 세 조건을 조작하였다. 통제

조건의 피험자들은 병의 크기, 이름, 목표 및 현재 물의 양에 대한 정보를 받았다. 가용이동조건(move availability condition)의 피험자들은 통제조건의 피험자들이 받은 정보 이외에 합법적으로 가능한 이동들과 그 결과 상태에 관한 정보를 얻었다. 기억조건의 피험자들은 가용이동 조건의 피험자들과 같은 정보를 받고 또한 예전에 들어 간 적이 있는 문제 상태나 들어 간 적이 없는 문제 상태에 관한 정보를 받았다.

Atwood와 Polson의 과정 모형이 가정한 자원 제약이 타당하다면, 통제 조건의 피험자들에 비해서 두 실험 조건의 피험자들은 보다 복잡한 전략을 사용할 것이다. 예를 들면, 하위 목표를 만든다든지, 몇 수 앞을 보는 전략을 쓸 수 있다. 그러나, Atwood 등은 이러한 전략을 쓰기에 단기 기억이 매우 제한되어 있고, 또 물병 문제의 구조 자체가 수단-목표 분석법이 허락하는 패턴과 다른 이동 패턴을 초래하지 않으며, 또 핵심적인 하위 목표가 없기 때문에, 가용이동 조건과 기억 조건이 통제 조건에 비해 이동의 수나, 되돌기 수에서 현저한 감소를 가져오지 못하리라고 예언하였다. 난이도가 다른 물병문제를 쓴 Atwood 등은 그들의 실험1에서, 한 이동 후의 상태들에 대한 정보를 주는 조건이 해결에 필요한 합법적 이동의 수를 현저하게 줄이지 못했지만, 원래 목표 상태나 전 상태로 되돌아가는 이동을 줄였음을 관찰했다. 또 다른 그들의 실험에서는 가용 이동 조건에서 향상된 수행을 관찰했지만, 예전에 들어간 상태에 관한 정보를 주는 기억 조건은 가용이동조건에 비해 더 큰 효과를 보이지 않았다. 이러한 두 실험의 결과와 무계획(no planning)을 가정하는 시뮬레이션 실험을 바탕으로 Atwood 등은 물병 문제의 해결에 있어서 어떤 복잡한 계획 전략도 사용되지 않으며, 그들의 과정 모형이 타당하다는 결론을 내렸다.

본 연구의 두 실험들은 Atwood 등의 실험들을 그 주요 측면에서 반복 검증하되, 특히 기억과정과 관련해서 새로운 조작을 가하여 과정모형과 이를 지지하는 Atwood와 Polson의 실험결과들을 반복 검증하려 하였다. 하노이탑문제와 구조적으로 같은 세 마귀문제(three monster problem)의 여러 변형문제들이 해결시간상 큰 차이를 보이는 이유를 체계

적으로 검토한 Kotovsky 등(1985)은 이러한 문제의 해결에 반드시 필요한 규칙학습이 제대로 이루어지기 위해 기억부담이 감소되어야 함을 밝혔다. Atwood 등이 기억조건의 효과를 관찰하지 못한 이유는 이들이 기호와 숫자를 제시하여 물병문제의 해결에서 단기 기억의 제한된 자원 그 자체보다는 그 한계 내에서도 앞의 문제상태, 후속문제상태, 이전에 방문했던 문제상태 등을 피험자가 효과적으로 약호화하지 못한다 있을 수 있다. 본 연구의 실험 1은 Atwood 등의 1980년 실험들을 따르되, 기억조건을 더욱 더 효과적으로 만들기 위해 현 내용물과 특정 이동의 결과상태, 이전에 들어갔던 문제상태 등을 그림으로 컴퓨터 모니터에 제시하였다. 이러한 시각적 제시는 Atwood 등이 숫자와 단어로 피험자들에게 관련 정보를 준 것에 비해 과거의 문제상태와 미래의 문제상태를 더 쉽게 약호화시키고, 단기 기억의 부담을 더 줄여서 평가과정을 용이하게 진행시킴으로서 결국 물병문제의 해결에 요하는 시간이나 합법적 이동 수를 감소시킬 것이다. 본 연구의 실험 2는 Kotovsky 등의 연구결과를 바탕으로 기억 부담을 더 줄이기 위해 지필검사를 실시하되, Atwood와 Polson 모델에 제안된 이동들에 대한 평가함수 사용과정과 이 모델이 부정하는 하위목표 설정 가능성을 검토하려 하였다.

## 실험 1 방 법

### 피험자

본 실험에는 심리학개론을 수강하는 이화여대생 180명이 참가하였다.

### 자극 및 도구

Atwood 등이 사용한 물병문제중 병 크기가 (8, 5, 3)인 문제와 (12, 7, 4)인 문제만 사용하였다. 가용이동 조건의 경우에는 현재 내용물, 합법적인 후속이동들과 그 결과상태들에 대한 정보를, 기억조건의 경우에는 이 외에도 과거에 들어간 적이 있는 문제 상태나 전혀 들어간 적이 없는 상태에 관한 정보를 모두 그림으로 제시받았다.

조건에 따른 물병문제 제시와 반응기록 등은 TURBO C와 PASCAL로 프로그래밍되었고 IBM-PC 호환 기종으로 모든 절차가 제어되었다. 피험자는 키이 보오드의 키를 사용하여 물병의 선택들을 입력하거나 선택지를 택하였다.

### 절차

실험실에 피험자가 들어오면, 컴퓨터 앞에 앉아서 무선적으로 배당된 조건에 따라 다른 지시문을 읽었다. 이 지시문에는 문제규칙과 피험자가 할 일이 포함된 과제설명, 화면설명, 반응방법이 쓰여져 있다. 피험자들은 조건에 상관없이 컴퓨터 모니터의 스크린에 제시되는 물이 다른 A,B,C 세 물병에 대한 기술을 읽었다. A가 가장 크고, B가 중간 크기이며, C가 가장 작은 물병인데, 각 물병에 눈금이 없기 때문에 병이 찰 때까지 물을 부어야 한다는 점을 지적하였다. 피험자들은 세 물병들을 이용해서 처음 상태의 물을(즉 A에 물이 가득 찬 상태) 목표상태에 이르도록 하는 합법적인 이동패턴을 찾아야 하는데 키이 보오드의 키를 사용해서 부을 물병 이름과 물을 받을 물병 이름을 각각 타자하도록 하였다. 그리고 실행 키를 누르면 피험자가 생각하는 다음 단계로 각 물병에 내용물이 든 여부를 나타내는 그림이 제시되었다(그림 3). 피험자가 잘못 생각한 경우(예, 이미 가득 차있는 병에 물을 붓는 것), 잘못 눌렀거나 다르게 반응하고 싶으면 수정

키를 누르게 하였다.

가용이동조건의 피험자들에게는 통제조건의 피험자들이 받는 지시(위와 지시)와 함께 컴퓨터 화면의 아랫면에 가능한 다음 이동들과 그 결과상태들이 그림과 함께 제시됨을 알려주었다(그림 4). 따라서 가용이동조건의 피험자들은 현재 물병들에 든 내용물과 가능한 다음 이동들을 비교해서 부을 물병 이름 물을 받을 물병 이름을 타자하도록 하였다. 기억조건의 피험자들은 가용이동조건의 피험자들이 제시받은 가능한 다음 이동들에 대한 그림들, 그 결과상태에 대한 그림들은 물론 이전에 했거나 한적이 없는 새 이동들이 표시된 그림들을 제시받았다(그림 5). 기억조건의 피험자들이 받은 다른 지시들은 앞의 두 조건의 피험자들이 받은 것과 같았다.

실험 1은 2(문제)×3(조건)의 요인 설계를 사용했으며, 문제는(8,5,3)과 (12,7,4)이었고, 조건은 통제, 가용이동 및 기억의 세 조건이었고, 이 두 요인은 모두 피험자간이었다. 따라서 각 조건에 30명의 피험자들이 무선 배정되었다.

### 자료처리

실험에 참가했던 180명 중 (12,7,4)문제를 푼 통제조건에서 4명이, 가용이동조건에서 2명이 각각 문제를 풀지 못하였다. 그들을 제외하고, 조건과 문제에 대한 각각의 수행 수준에 관해서는 합법적인 총 이동 수와 해결에 요하는 시간을, 오반용 정도에

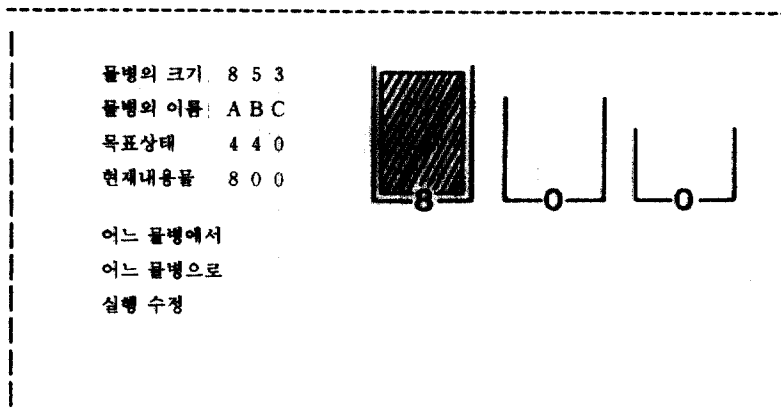


그림 3. (8,5,3)문제의 S상태에 대해 통제조건에 제시한 CRT 화면

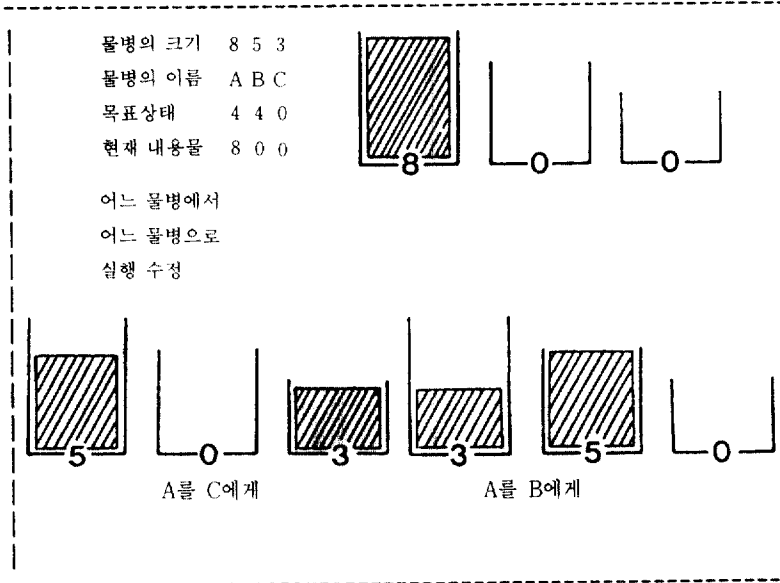


그림 4. (8,5,3)문제의 S상태에 대해 가용이동조건에 제시한 CRT 화면

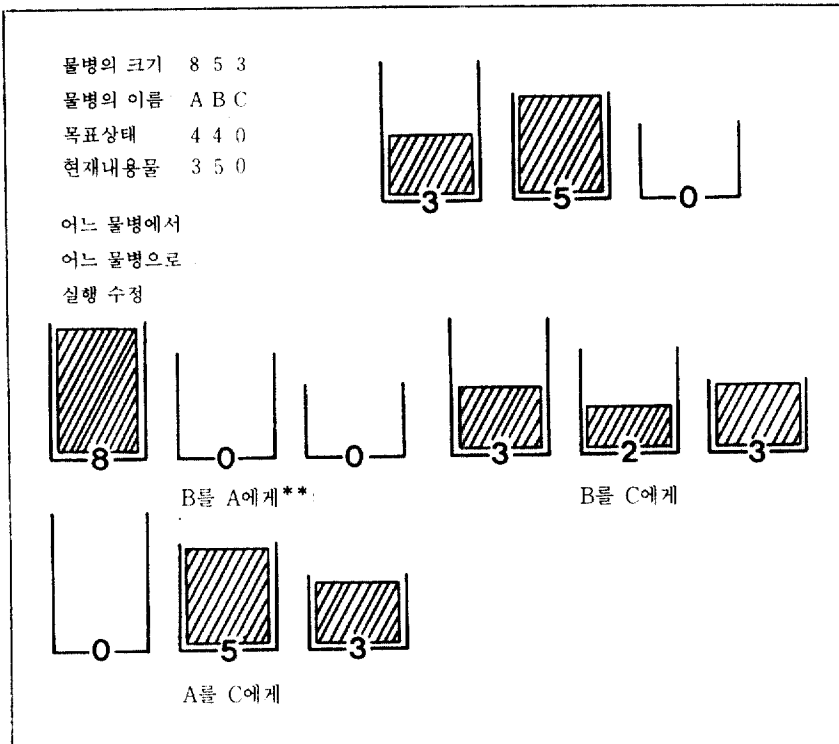


그림 5. (8,5,3)문제의 R상태에 대한 기억조건에 제시한 CRT 화면

관해서는 되돌기 수와 물병의 들이를 무시하고 보는 비합법적인 이동 수를 종속변인으로 하여 통계처리를 했다.

실패한 수는 적으나, 문제의 한 차원에서만 6명이 실패하여 요인변량분석(ANOVA)을 직접 실시하지 못하고 GLM(General Linear Model) 절차로 F비를 계산하여 비교하였다. 또한, 조건간에 주효과가 나왔을 경우에는 사후검증 중 Tukey Test를 실시하였고, 해결통로까지 분석시에는 왼쪽 통로로 푼 경우 1, 오른쪽 통로로 푼 경우 2점을 배당하여 변량분석을 실시하였다. 통계처리는 SAS PACKAGE를 사용하였다.

## 결 과

### 수행수준에 대한 분석

**해결에 필요한 합법적인 이동수.** 각 조건과 문제에 따라 피험자들이 출발상태에서 목표상태에 이를 때까지 행한 총 합법적인 이동 수를 보면, 기억조건은 평균 17.6회의 이동을 요하며, 다른 두 조건에 비해 (가용이동조건 34.4회, 통제조건 39.8회) 훨씬 더 적은 이동으로 문제를 해결했다. 문제별로 보면 (8, 5, 3)문제가 평균 22.2회의 이동을, (12, 7, 4)문제가 평균 32.6회의 이동을 요하여 문제간의 차이를 나타냈다.  $F(1, 168) = 20.52, p < .001$ . 이 두 문제는 기억 조건에서 차이를 보이지 않아, 두 변인이 5%에 접

근하는 상호작용이 있었다,  $F(2, 168) = 2.65, p < .07$ .

**해결에 요하는 시간.** 각 조건과 문제에 따라 문제 제시이후부터 문제의 목표상태에 도달했을 때까지 걸린 전체시간을 보면, 기억조건은 평균 해결시간이 7.6분, 통제조건은 평균 14.3분, 가용이동 조건은 평균 16.4분으로 기억조건이 다른 두 조건에 비해 거의 반 정도의 시간만 걸렸다. 통계적으로 의미있는 차이는 아니지만 가용이동조건이 통제조건보다 더 오래 걸렸다는 점이 특이한 결과이다.

문제별로 보면, (8, 5, 3) 문제에 평균 11.1분, (12, 7, 4) 문제에 평균 14.3분이 걸려서 해결시간상의 차이를 보여주었다,  $F(1, 167) = 12.34, p < .001$ . 특히 기억조건에서는 두 문제들간의 해결시간에 있어 차이를 보이지 않아, 두 변인간상호작용이 있음을 알 수 있다,  $F(2, 168) = 3.65, p < .01$  (그림 6).

### 오반응 분석

**되돌기 수.** 각 조건에서의 총 이동 수가 목표상태에 도달하는데 필요한 최소한의 이동 수를 훨씬 능가하는데 그 이유는 각 조건의 모든 피험자들이 이전에 행했던 이동으로 되돌아오는 오류를 범했기 때문이다. 조건별로 평균 되돌기 수를 보면 기억조건은 2.2회, 가용이동조건은 8.6회, 통제조건은 11.7회로써, 조건 간에 의미있는 차이가 있었다,  $F(2, 168) = 23.31, p < .001$ . 이 조건들을 DUNCAN 사후

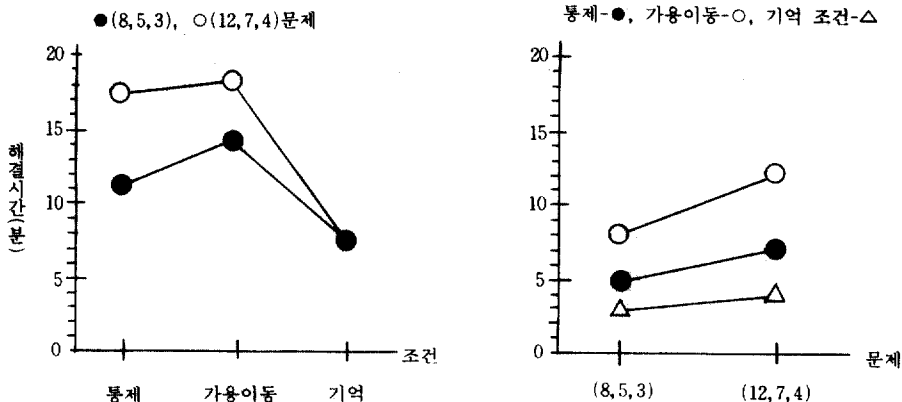


그림 6. 해결시간에 대한 조건과 문제간 상호작용



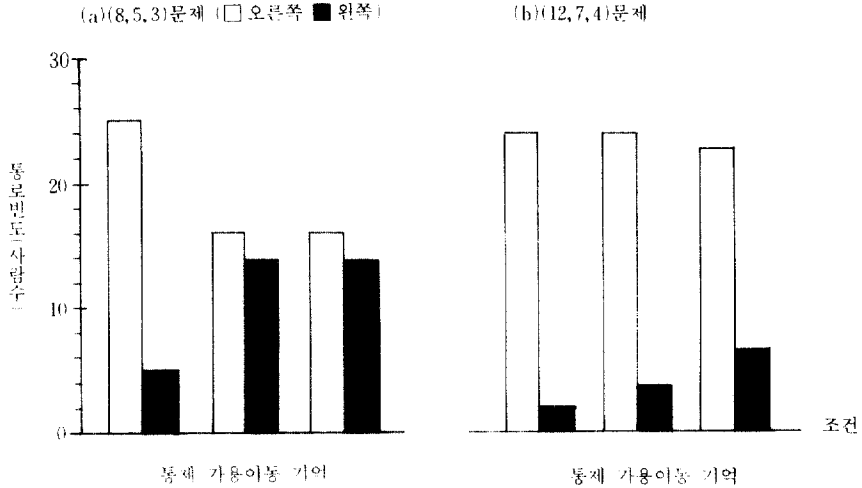


그림 7. (a)(8,5,3)문제, (b)(12,7,4)문제에 있어서 조건에 따른 해결통로 선택.

검증으로 검토한 결과, 기억조건과 가용이동조건간에 그리고 기억조건과 통제조건 간의 차이만 의미가 있었다. 문제별로 보면 (8,5,3) 문제에서 평균 5.6회, (12,7,4) 문제에서는 평균 9.3회의 되돌기 수를 나타내어 문제의 주효과가 있었다.  $F(1,168) = 11.25, p < .001$ .

비합법적 이동 수. 오반응을 쫓수 있는 또다른 측정치는 물병의 들이를 무시하고 가득차 있는 병에 물을 붓는다든지 빈 병을 다른 병에 붓는 등의 비합법적 이동의 수이다. 통제조건에서 평균 2.1회의 오반응을 기록하였고, 다른 두 조건에서는 평균적으로 거의 한 번도 비합법적 이동을 하지 않았다,  $F(2,168) = 19.71, p < .001$ .

### 해결통로 선택의 분석

각 조건과 문제에 따라 피험자들이 왼쪽과 오른쪽 중 어느 통로를 더 많이 이용하여 문제를 해결하는지를 알아보았다. (12,7,4) 문제에서는 통제조건에서는 92.31%, 가용이동조건에서 85.71%, 기억조건에서 76.67%의 피험자가 오른쪽 통로로 문제를 해결했고, (8,5,3) 문제에서도 통제 조건에서는 다른 두 조건에 비하여 훨씬 더 많은 83.33%의 피험자들이 오른쪽 통로를 선호하였으며 이러한 경향은 Atwood 등의 연구와 일치한다. 그러나 (8,5,3) 문제에서 기억과 가용이동 두 조건에서는 각각 피험자의

83.33%만이 오른쪽 통로가지로 풀어 통로의 선호성을 보여주지 않았다. 이에 대한 빈도 분포가 그림 7에 제시되어 있다.

## 논 의

본 연구의 실험1의 결과를 보면, 기억조건의 피험자들이 다른 두 조건의 피험자들보다 훨씬 더 적은 이동 수로 더 빨리 문제를 해결했다. 오반응의 분석 결과에서도 기억조건의 피험자들이 다른 두 조건에 비해 되돌기 수도 훨씬 적었으며, 물병의 들이를 무시하고, 붓는 비합법적 이동도 거의 하지 않았음을 보였다. 기억조건이 다른 조건들에 비해 훨씬 더 나은 수행을 보인 것은 Atwood 등의 실험 결과에 비하면 대단히 놀랍다. Atwood 등의 실험1에서는 가용이동 조건이 통제조건에 비해 현저한 향상을 보이지 못했고 실험2에서는 기억조건이 다른 조건들보다 훨씬 더 나은 향상을 보이지 않았다. 본 실험1의 결과와 Atwood 등의 결과의 차이는 그림제시가 Atwood 등이 보여준 물병이름과 숫자 제시에 비해서 되돌기를 더 잘 방지하고, 단기 기억 부담을 크게 줄여 결과적으로 피험자들이 몇 수 앞을 계획할 수 있었기 때문으로 보인다.

통제조건과 가용이동조건간을 비교해 보면, 통계적으로 의미있는 차이는 없으나 가용이동조건의 피

험자들이 약간 더 적은 이동과 더 적은 되돌기를 했지만 해결에 요하는 시간에서는 더 길게 걸렸다.

통제조건의 피험자들은 임의로 생각한 한 이동을 평가하여 그것이 적절하다고 판단되면 그것을 선택하고, 적절치 않다고 판단되면 또다른 한 이동을 생각하여 같은 방법을 적용하는 자기-종료적 검색(self-terminating)을 사용한 반면, 가용이동 조건의 피험자들은 제시받은 가능한 다음 이동들을 하나씩 모두 평가해 본 후 최종적으로 가장 최적의 이동을 택하는 소진적 검색(exhaustive search)을 함으로써 문제해결에 요하는 시간이 다소 더 걸린 것으로 보인다. 이 두조건간 비합법적인 이동 수에서 통계적으로 의미있는 차이를 보인 이유는 가용이동조건의 피험자들은 화면으로 다음의 가능한 이동을 제시받으므로 그 중 하나를 선택하면 되지만, 통제조건의 피험자들은 가능한 다음 문제상태를 마음 속으로 계산해야 되기 때문이다.

문제해결상의 통로 선호에 있어서 (8,5,3) 문제의 기억 그리고 가용조건을 제외하고 이 문제의 통제조건과 (12,7,4) 문제의 모든 조건에서 피험자들의 대다수가 오른쪽 통로를 사용하여 문제를 풀었다. 앞으로의 연구에서는 “선호도가 있었다. 없었다”라는 기술을 넘어 선호도가 일어나는 부분과 일어나지 않는 부분의 배후 기제를 밝히 필요가 있다.

## 실험 2

실험2에서는 Kotovsky등(1985)에 의해 그 중요성이 크게 부각되고, 또 본 연구의 실험1에서도 시사된 기억부담을 방략의 면에서 검토하면서, 또한 Atwood와 Polson의 문제해결모형을 다시 검토하고자 실시하였다. Atwood와 Polson(1976)은 피험자들이 문제를 풀때, 현재의 상태에 대해서 평가함수를 만들어 차이들을 종합하여 해결상의 진전 여부를 판단한다고 가정하였다. 즉 문제상태  $i$ 에 대한 평가는

$$e_i = |C_i(A) - G(A)| + |C_i(B) - G(B)|$$

인데, 여기서  $C_i(A)$ 와  $C_i(B)$ 는 상태  $i$ 에서 물병A와 물병B에 든 실제 내용물이며  $G(A)$ 와  $G(B)$ 는 목표

상태에 있어서 물병A와 물병B의 내용물이다. 피험자들은 이 평가함수를 사용하여 어떤 이동이 괜찮은지(acceptable)또는 그렇지 않은지를 판단하는데, 구체적으로, 현재 고려중인 이동이 초래하는 문제상태에 대한 평가( $e_j$ )와 현재의 문제상태에 대한 평가( $e_i$ )를 비교해서  $e_j$ 와  $e_i$ 의 차이가 적을수록 고려중인 이동이 받아들일만하다는 판단을 내린다. 예를 들어, (8,5,3)문제에서 피험자가 현재(6,2,0) 상태에 있다고하자. 위의 평가함수에 의하면  $e_i$ 는 4인데, 피험자가 A병에 든 물을 C병에 붓는 이동을 고려한다면  $e_j$ 는 3이고, A병에 든 물을 B병에 붓는 이동의 경우  $e_j$ 는 2이다. 따라서 (6,2,0) 문제상태 다음에 취할 가장 좋은 이동은 A병의 물을 B병에 붓는 이동이다.

Atwood와 Polson이 제안한 평가과정에 대한 이러한 미시모형은 이를 포함한 그들의 시뮬레이션 연구(1976,1980)에서 그 타당성이 입증되었다. 즉 이들의 시뮬레이션 연구는 여러 물병문제들에서 수행의 차이는 물론 한 문제를 푸는 피험자들의 자세한 수행내용을 상당히 정확히 묘사하였다. 이들의 과정모형은 특히 평가과정과 긴밀한 관계에 있는 단기기억의 제한때문에 몇 수를 내다본다든지, 어떤 하위목표를 설정하는 방략을 쓰지 못함을 가정한다.

본 연구의 실험2는 Atwood와 Polson의 시뮬레이션 방법에 의해 그 타당성이 간접적으로 입증된 평가함수 사용과정의 타당성과 단기억의 한계로 인해 사람들이 쓰지 못할 것으로 가정된 하위목표설정 방략의 사용가능성을 지필(Paper-Pencil)로 물병문제를 풀게하는 실험상황에서 검토하고자 하였다. Kotovsky등(1985)은 이미 하노이탑문제와 구조적으로 동일한 문제들이 해결시간 등에서 난이도가 다른 한 주요 이유가 각 문제들이 이끄는 표상들이 기억부담을 얼마나 감소시키는지에 좌우함을 밝혔다. 지필로 물병문제를 해결하도록 하면, 피험자들이 이미 시도한 이동을 기억할 필요가 없으며, 가능한 이동들을 나열할 수 있기 때문에 단기 기억의 제한에서 크게 벗어날 수 있다. 또한 더하기나 빼기에 관한 피험자들의 오랜 경험때문에 평가함수를 적용하는 방략이 매우 용이해질 것이다.

Atwood와 Polson이 제안한 평가과정이 물병문제

의 해결에 반드시 쓰이는 과정이라면 지필검사 상황에서 이러한 방향을 쓰도록 지시를 받은 피험자들은 그렇지 않은 조건의 피험자들보다도 꽤 많은 이동을 더 잘 선택해서 문제를 풀 것이다.

또한 단기기억부담이 크게 감소된 지필검사 상황에서 피험자들에게 몇 하위목표를 제시할 경우 국소적(local)인 수단-목표 분석 전략이 더 효과적으로 작용해서 이 조건의 피험자들이 물병문제를 통제조건의 피험자들보다 더 잘 해결할 것이다. 본 연구의 실험2는 이러한 예언들을 검토하기 위해서 계획되었다.

## 방 법

### 피험자

심리학개론을 수강하는 이화여대생 90명이 실험 2에 참여하였다.

### 자극 및 도구

물병문제 중 (8,5,3) 문제만을 사용하였고, 기억 부담을 거의 주지 않는 지필로 피험자들이 답하도록 되어 있었다.

### 절차

(8,5,3) 문제를 세 조건의 피험자들에게 제시하였다. 통제조건은 물병의 이름과 크기, 그리고 현 상태와 목표상태를 받는다. 평가함수 방향조건은 통제조건이 받는 정보외에 목표와 어떤 이동 후의 문제상태간의 차이를 극대화시키는 평가함수를 받고 그것을 사용하여 문제를 풀라는 지시를 받는다. 하위목표방향 조건은 출발상태와 목표상태간에 개재된 두 문제상태를 하위목표로 받는다. (단 하위목표로 제시받은 두 문제상태들의 순서는 가르쳐 주지 않았다.) 따라서 실험2는 방향조건들간의 단일요인 설계를 사용하였다.

실험실에 들어오면, 피험자들은 칸막이가 가려진 책상에 앉아 자신이 배당된 조건에 따른 지시문을 읽었다. 다 읽은 후에 지시문이 적힌 용지를 책상 한 옆에 놓아둔 채, 연습문제(6,4,1)을 풀고, 연이어 본 문제(8,5,3)을 풀었다. 평가함수조건의 경우 피험자들은 연습문제를 풀 때 이를 사용해 보도록

요구 하였다. 하위목표조건의 피험자들은 목표상태로가는 중간에 있는 (4,2,0) 단계를 거쳐 연습문제를 풀도록 하였다. 그리고 본 문제에서는 (2,3,3)과 (7,0,1)의 하위목표 상태를 제시하였다. 예비실험 결과(8,5,3) 문제의 평균 해결시간이 약 13분을 요하여, 본 실험에서는 20분의 시간을 주어 문제를 풀게 했다. 물병문제의 해결시간은 피험자들이 문제를 받고, 목표상태에 이를 때까지의 시간을 분단위로 측정하였다.

### 자료처리

각 조건에 30명의 피험자가 참여하였으나, 통제조건에서 8명, 평가함수 조건에서 9명, 하위목표조건에서 4명이 각각 실패하였다. 성공확률에 대하여 조건간 카이검증을 실시한 결과 의미있는 차이를 보이지 않았으므로, 무선적으로 자료를 뽑아 조건당 20명으로 피험자 수를 맞추어 결과처리를 하였다.

수행수준에 대한 분석으로는 총 합법적 이동 수와 해결에 요하는 시간을 오반용 분석으로는 되돌기 수와 비합법적 이동 수를 종속측정치로 하여 단일변량 분석을 실시하였으며, 통계처리는 SAS PACKAGE를 사용하였다.

## 결 과

### 수행수준에 대한 분석

**총 합법적 이동 수.** 피험자들이 목표상태에 도달했을 때까지의 해결에 필요한 총 합법적 이동 수를 살펴보면, 평가함수조건이 평균 18.5회, 하위목표조건이 평균 13.0회, 통제조건이 평균 15.4회로 나타났다.  $F(2,57)=3.35, p<.05$ . 하위목표를 제시받은 조건이 평가함수를 제시받은 조건보다 의미있게 더 적은 이동 수로 문제를 풀었다,  $t(38)=2.23, p<.05$ .

**해결에 요하는 시간.** 조건에 따라 문제를 받았을 때 부터 목표상태에 도달했을 때까지의 시간을 비교해보면 방향간에 차이가 있음을 알 수 있었다,  $F(2,57)=4.58, p<.05$ . 하위목표조건의 피험자들(평균 10.0분)이 평가함수 조건의 피험자들(평균 15.0분)보다 더 적은 시간 안에 문제를 해결했다,  $t(38)=2.94, p<.01$ . 통제조건은 평가함수조건과 비슷한

14.5분 이었다.

### 오반응에 대한 분석

되돌기 수와 비합법적 이동 수 모두에서 조건간에 의미있는 차이를 보이지 않았다.

## 논 의

Atwood와 Polson이 물병문제 해결시에 가장 효과적인 방략이라고 결론을 내린 평가함수를 제시해 주고 문제를 풀도록 한 조건과 단기기억의 제한으로 인해 쓰지 못하리라고 본 계획방략 중 하위목표 두 개를 제시받은 조건간의 수행이 비교되었다. 수행수준에 대한 종속변인인 총 합법적 이동 수와 해결에 요하는 시간을 보면, 하위목표를 제시받은 조건의 피험자들이 평가함수 방략을 제시받아 사용한 피험자보다 더 적은 이동 수로, 더 빠른 시간안에 물병문제를 풀었다.

8 단계로 풀려지는 왼쪽 통로에서 Greeno가 제안한 몇 수 미리보기 방략에 근거해서 3과 2 이동 간격의 두 단계를 하위목표로 제시해 주었으므로 수행에 있어 극적인 증진을 기대했지만 5% 수준에서 의미있는 차이를 보인 이유는 하위목표의 순서를 제시해 주지 않은 것과 모든 사람이 물병문제 해결시에 선호하는 오른쪽 해결통로가 아닌 왼쪽 해결통로의 단계들을 하위목표로 제시해 준 데 부분적으로 기인한다고 하겠다.

오반응의 경우 조건간에 의미있는 차이를 보이지 않는 까닭은 일차적으로는 본 실험의 검사 형태에 기인한다.

피험자들은 기억부담 제한을 거의 받지 않는 지필식으로 문제를 풀었으므로 되돌기를 하는 대신 작용기억 내에서 그 단계로 돌아가 현 단계까지 다시 검토해 나오든지, 가능한 다른 새 이동을 하려고 노력하므로 거의 되돌기를 하지 않았거나 과제의 규칙과 이전 단계를 계속 필요할 때마다 읽어볼 수 있으므로 비합법적 이동도 거의 하지 않았다고 본다.

실험2는 지필검사 상황에서 단기기억의 부담을 줄일 경우 하위목표 방략조건이 평가함수방략 조건에 비해서 더 나은 수행을 보였는데, 이러한 결과

패턴들은 Atwood와 Polson의 과정모형에서 제안된 과정과 가정이 부분적으로 타당하면서, 또 일부는 문제가 있음을 시사한다.

즉 물병문제의 경우 단기기억 부담때문에 몇 이동을 앞서 생각하지 못하리라는 가정은 이 부담을 상당히 줄인 상황에서는 몇 수를 내다볼 수 있음을 예언하는데, 본 실험2의 하위목표 방략조건에 수행이 좋은 결과로 입증된 셈이다. 그러나 과정모형에서 상당히 중요한 위치를 차지하는 평가함수적용을 강조한 방략이 지필검사 상황에서 하위목표 방략보다 더 빈약한 수행을 보인 것은 이 방략이 제한된 단기기억과 상호관계를 갖기 때문으로 보인다. 다시 말하면, 단기기억의 제한 때문에 몇 이동을 계획하기 보다는 현 상태 바로 다음의 문제상태를 찾는 데 유용한 방략이므로 단기기억의 부담이 상당히 감소된 지필검사 상황에서는 별로 쓸모없을 가능성이 크다. 따라서 실험2의 결과 패턴들은 지필검사 상황처럼 단기기억, 부담이 상당히 줄어든 상황에서는 Atwood와 Polson의 과정모형이 평가함수 과정에 관해 내린 가정이 제한적임을 시사한다. 아마도 피험자들은 기억부담이 적을 때는 평가함수와 관련된 절차를 밟기보다는 어떤 다른 발견법(heuristics)을 쓸지 모른다.

## 전체논의

본 연구의 실험1은 Atwood들의 실험들과는 달리 그 기억조건이 다른 조건들에 비해 향상된 수행을 보였다. 과거의 문제상태 및 앞으로의 이동 후의 문제상태들을 그림으로 제시한 것이 제한된 단기기억의 부담을 줄이면서 피험자로 하여금 되돌기(looping) 반응을 못하게 하고, 한 이동의 결과상태가 매우 쉽게 평가되도록 하면서 어떤 다른 문제해결 계획을 세우도록 하여 적은수의 이동으로 문제를 풀게 한 것으로 보인다.

본 실험2에서 통제나 평가함수 조건의 피험자들에 비해 하위목표 조건의 피험자들이 합법적 이동의 수나 해결 시간에서 훨씬 더 나은 수행을 보였다. 지필검사로 피험자가 이동의 선택과 관련된 여러 유형의 정보를 단기기억에 유지해야 할 필요를 감소시켰을 때 평가함수를 적용해서 이동을 선택하

는 것 보다는 하위목표의 설정이 물병문제의 해결을 더욱 촉진시킬 수 있었다.

본 연구의 두 실험들에 의하면, Atwood등의 연구를 바탕으로 한 예상과는 달리 피험자들의 기억부담을 그림제시나 하위목표제시로 감소시켰을 때 해결이 촉진될 수 있었다. 특히 실험1의 결과는 Atwood등이 과정모형을 세 실험조건들에서 검토한 그의 결과들과 대조된다. 이들의 연구에서는 가용 이동조건과 기억조건 간에 수행상의 차이가 없었는데 비해서 본 실험1에서는 기억조건이 다른 조건들에 비해 대단히 큰 향상을 보였다. 따라서 계획을 가정하지 않는 과정모형은 숫자들을 제시하여 기억부담을 크게 줄이지 못한 상황에서 타당한 것으로 보인다. 물병문제의 해결에서도 다른 변형문제(예, 하노이탑문제)의 해결과 마찬가지로 사람들은 기억부담이 적은 조건에서는 몇 수를 내다보거나 하위목표를 정할 수 있음이 밝혀졌다. 이러한 결론에 비추어 변형문제의 하나인 물병문제는 하노이탑문제나 세마귀문제와 마찬가지로 그 해결에 있어 일반적으로 사람들이 당면하는 상당한 기억부담을 감소시킬 요구하고 있다고 하겠다.

현 문제상태와 이전의 문제상태에 관한 정보나 어떤 이동 후의 상태에 관한 정보를 그림으로 제시하면 시각적으로 그 이동의 타당성이 훨씬 더 쉽게 평가되며, 또 물병문제가 자주 초래하는 되돌기에 덜 빠지게 된다. 숫자와 단어들로 제시하는 조건의 경우 더 어려운 경향이 있고, 어떤 단계에서 다음의 합법적인 이동이 찾아지지 않을 때 출발상태나 이전상태로 돌아가려는 경향이 강한데, 시각적 제시는 이러한 경향을 억압하여 기억조건에서 그 해결을 향상시켰을 것이다.

앞으로의 연구에서는 본 연구의 두 실험에서 그 효과가 드러난 두 조작, 즉 과거 또는 미래의 문제상태에 대한 시각적 제시와 하위목표의 제시 여부의 상대적 효과를 검토할 필요가 있다. Sweller등이 밝혀낸 문제 해결 학습의 결정적 촉진 요인인 하위목표 설정을 다음 두가지 방식으로 세부적인 면을 밝혀내야겠다. 첫째, 오른쪽 통로 가지로 하위목표를 제시해 주었을 경우와 왼쪽 통로 가지로 하위목표를 제시했을 경우의 수행 수준을 비교해야겠다. 둘째, 실험자가 하위목표를 제시해준 경우와 피험

자 자신이 생성해 내도록 유도한 경우간에 그 문제의 도식이 습득되는 정도를 검토해볼 필요가 있다.

물병문제가 Atwood등이 가정하였듯이 무계획(no planning)을 요하는 문제가 아닐 가능성이 그림제시로 기억부담을 줄이면서 되돌기를 감소시키고 실험1과 지필검사상황으로 기억부담을 크게 줄인 실험2에서 밝혀졌으므로 하노이탑문제나 세마귀문제들의 해결을 촉진 또는 저해하는 요인들을 물병문제과제에서 조작하여 물병문제들의 난이도 배후의 표상과 과정을 밝힐 필요가 있다.

Kotovsky등이 연구에서 밝힌 두개의 청크 패턴(two-chunk temporal pattern)이 물병문제에서도 나타나는지 알아보기 위해 피험자들로부터의 언어적 보고(protocol analysis)를 분석하고, 첫 이동까지의 지연시간(latency), 각 이동들간의 지연시간을 측정해야한다. 지금까지 제안한 연구 문제들이 후속 실험에서 해결되면 물병 문제 또한, 다른 영역 독립적 문제들의 해결에 공통적으로 적용하는 해결 전략의 성질을 더 분명히 밝힐 수 있게 될 것이다.

## 참고문헌

- 이영애(1986). "영역 의존적 문제해결 연구의 이론적 및 방법론적 제 문제", *한국 심리학회지*, 5, 142-153.
- Anderson, J. R. (1985). *인지 심리학*. 이영애(역), 을유문화사.
- Atkinson, R. C., & Shiffrin, R. M. (1968). Human memory: A proposed system and its control processes. In K. W. Spence & J. T. Spence(Eds.). *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory*, Vol. II. New York: Academic Press.
- Atwood, M. E., & Polson, P. G. (1976). A process model for water jug problems. *Cognitive Psychology*, 8, 191-216.
- Atwood, M. E., Masson, M. E. J., & Polson, P. G. (1980). Further explorations with a process model of water jug problem. *Memory and Cognition*, 8, 182-192.
- Cope, D. E., & Murphy, A. J. (1981). The value of

- strategies in problem solving. *Journal of Psychology*, 107, 11-16.
- Egan, D. E., & Greeno, J. G. (1974). Theory of rule induction: Knowledge acquired in concept learning, serial pattern learning, and problem solving. In L. W. Gregg (Ed.), *Knowledge and cognition*. Potomac, Md: Erlbaum.
- Ernst, G. W., & Greeno, J. G. (1974). Theory of rule induction: Knowledge acquired in concept learning, serial pattern learning, and problem solving. In L. W. Gregg (Ed.), *Knowledge and cognition*. Potomac, Md: Erlbaum.
- Ernst, G. W., & Newell, A. (1969). *GPS: A case study in generality and problem solving*. New York: Academic Press.
- Greeno, J. G. (1973). The structure of memory and the process of solving problems. In R. L. Solso (ed.), *Contemporary issues in cognitive psychology*. Washington, D. C.: Winston.
- Greeno, J. G. (1974). Hobbits and orcs: Acquisition of a sequential concept. *Cognitive Psychology*, 6, 270-292.
- Greeno, J. G., & Simon, H. A. (1989). Problem solving and reasoning. In R. C. Atkinson, R. J. Herrnstein, G. Lindzey, & R. D. Luce (Eds.), *Stevens, Handbook of Experimental Psychology, Vol. II, Learning and Cognition*. (PP.589-672) Wiley Interscience.
- Karat, J. (1982). A model of problem solving with incomplete constraint knowledge. *Cognitive Psychology*, 14, 538-559.
- Klahr, D. (1985). Solving problems with ambiguous subgoal ordering: Preschoolers' performance. *Child Development*, 56, 940-952.
- Kotovsky, K., Hayes, J. R., & Simon, H. A. (1985). Why are some problems hard? Evidence from Tower of Hanoi. *Cognitive Psychology*, 17, 248-294.
- Luchins, A. S. (1942). Mechanization in problem solving. *Psychological Monographs*, 54, (Whole No. 248).
- Luchins, A. S., & Luchins, E. H. (1984). Sex differences in reasons given for responses to the water-jar problems. *The Journal of Psychology*, 118, 207-220.
- Lung, C. T., & Dominowski, R. L. (1985). Effects of strategy instructions and practice on nine-dot problem solving. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory & Cognition*, 11, 804-811.
- McGuinness, C. (1986). Problem representation: The effect of spatial arrays. *Memory & Cognition*, 14, 270-280.
- Newell, A., & Simon, H. A. (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Schoenfeld, A. H., & Hermenn, D. J. (1982). Problem perception and knowledge structure in expert and novice mathematical problem solvers. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 8, 484-494.
- Spitz, H. H., Minsky, S. K., & Bessellieu, C. L. (1984). Subgoal length versus full solution length in predicting Tower of Hanoi problem-solving performance. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 22, 301-304.
- Sweller, J., & Gee, W. (1978). Einstellung, the sequence effect, and hypothesis theory. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning & Memory*, 4, 513-526.
- Sweller, J., & Levine, M. (1982). Effects of goal specificity on means-ends analysis and learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory & Cognition*, 8, 463-474.
- Sweller, J. (1983). Control mechanisms in problem solving. *Memory & Cognition*, 11, 32-40.
- Sweller, J., Mawer, R., & Ward, M. (1983). Development of expertise in mathematical problem solving. *Journal of Experimental Psychology: General*, 112, 639-661.
- Wickelgren, W. A. (1974). *How to solve problems: Elements of a theory of problems and problem solving*. San Francisco: Freeman.

**A Test of Atwood and Polson's (1976) Process Model of the Water-Jug Problem.**

**Seung Min Oh and Young-Ai Lee**

KEDI      Ewha Womans University

Two experiments were designed to test predictions derived from a process model (Atwood & Polson, 1976) of the water-jug problem. The subjects' short-term memory load was reduced by presentation of figures regarding the results of possible moves and also by employing a paper-pencil test. Unlike the results reported by Atwood, Masson and Polson (1980), the memory condition greatly improved the subjects' performance in solving this problem and so did the presentation of subgoals. Possible implications of these results for the process model were discussed.