

작업기억의 용량이 유추에 의한 과학 개념의 학습에 미치는 영향

조 아 정 · 이 영 애

이화여자대학교 심리학과

유추에 의한 과학 개념의 학습이 작업기억의 용량에 따라 어떻게 다른지를 세 실험에서 검토하였다. Donnelly와 McDaniel(1993)의 학습 재료와 조건 중 유추조건만을 다룬 실험 1에서 작업기억의 용량이 큰 참가자들이 작은 참가자들보다 더 큰 유추 학습효과를 보였다. 실험 2에는 단순기술조건과 유추조건을 모두 포함시켰는데, 용량이 큰 참가자들은 추론 문제에서 큰 유추 학습효과를, 용량이 작은 참가자들은 기본 문제에서 단순기술의 학습효과를 보였다. 실험 3에서 용량이 작은 참가자들도 유추진술문과 그 내용을 묘사한 그림을 함께 제시받았을 때 학습효과를 보였다. 본 연구의 세 실험 결과를 작업기억과 유추사상단계의 관계로 논하였다.

주제어 유추, 과학개념학습, 작업기억용량, 유추사상과정

사람들은 새 문제, 예를 들어, 물리 문제를 어떻게 풀까? 전에 풀었던 비슷한 문제를 생각해내고 그 해법을 새 문제의 해결에 맞도록 바꾸어 문제를 푸는 방법을 가장 많이 쓸 것이다. 이것이 바로 유추이다. 낯익은 문제(근거)를 장기기억에서 인출하고, 이 문제와 새 문제(표적)의 요소들을 짝짓는 사상과정(mapping), 이를 바탕으로 한 추리, 그리고 유추로 문제를 성공적으로 풀었을 때 형성되는 도식의 학습 등의 과정을 통틀어 유비추론이라 한다. 유추에 관한 인지심리학 연구는 1980년대부터 활발해졌

다. 이 흐름을 주도한 연구자로 Gentner(1983), Holyoak(1985), 그리고 Keane(1988)을 든다. 이들은 각기 다른 유추 이론을 제안하고 그 타당성을 검토하는 인지심리 실험과 시뮬레이션이 그 기반인 계산론 실험으로 이 분야를 선도하고 있다. 특히 유추의 정보처리 단계를 밝히려 한 인지심리학 시각과 상징접근 또는 연결주의 접근을 강조하는 계산론 시각에서 발전된 유추 모형들이 통합되는 방향으로 연구가 진행되고 있다(이영애, 1998).

Donnelly와 McDaniel(1993)은 필사나 행성

본 논문에 도움을 주신 세 심사위원에게 감사드립니다.

교신저자 주소: 이영애, 서울시 서대문구 대현동 이화여자대학교 심리학과, 〒120-750

(e-mail: yalee@mm.ewha.ac.kr)

의 궤도와 같은 과학 개념을 전통적인 방법 즉 개념을 객관적으로 단순히 소개한 문장을 학생들이 읽게 하거나 그 개념을 낮은 상황과 관련시켜 설명한 문장을 읽어 배우도록 하였다. 그 다음, 두 종류의 질문, 즉 표면적인 내용을 기억해서 답해야 하는 기본 수준질문과 추론해야만 답할 수 있는 질문들을 제시하고 두 학습 방법의 효과를 평가하였다. 대학생 실험 참가자들은 단순기술조건에서는 기본 수준의 질문들에, 유추조건에서는 추론질문들에 더 정확히 대답하였다. 즉 학습방식과 문제유형간에 상호작용이 있었다.

이현주와 이영애(2000)는 유추에 의한 새 과학 개념의 학습이 한국 실험 참가자들에게도 가능한지, 이 학습이 추론에 의한 문제 해결을 촉진시키는지 등을 검토하였다. Donnelly와 McDaniel(1993)의 연구를 반복한 이들의 실험 1은 유추진술문에 의한 개념학습이 추론문제의 해결을 촉진시킨다는 증거를 얻지 못하였다. 그 한 이유로 한국 실험 참가자들이 미국 실험 참가자들에 비해 유추 학습의 경험이 풍부하지 않기 때문으로 해석되었다. 즉 유추 문장이 제시되었을 때 근거영역의 정보와 표적 영역의 정보의 요소들을 정확하게 대응시키지 못하여 근거영역의 추론이 표적영역으로 전이되지 않았을 수 있다. 이현주와 이영애는 근거 영역 요소 정보와 표적 영역의 요소 정보를 사상하고 저장하는 일을 맡고 있는 것으로 가정되는 작업기억의 처리 부담을 줄이는 방법을 찾았다. 그들의 실험 2에서는 근거 영역의 내용을 묘사한 그림을 유추진술문과 함께 제시하였다. 이 실험에서는 유추에 의한 개념학습이 추론문제의 해결에 효과를 보였다.

작업기억은 수학이나 물리 문제의 해결, 독서, 대화 등에 관여하는 활성화된 기억체계이다. 작업기억은 시공간 그림철, 조음루프, 그리고 이 두 하위체계에 용량을 배정하고 그 실행 순서를 제어하는 중앙집행기로 구성되어 있다 (Baddley & Hitch, 1974; Baddley, 1986).

시각 이미지와 그림 정보는 시공간 그림철에서, 언어와 개념 정보가 조음루프에서 각기 처리되는 이러한 작업기억은 정보의 일시 저장과 처리 과정 모두를 포함하고 있으므로 그 처리 용량에 상당한 제약이 있다. 유추 문제의 해결에 작업기억이 깊이 관여할 것은 쉽게 짐작할 수 있다. 즉 표적 문제를 내용을 약호화하고, 이와 비슷한 근거 문제를 검색하여 인출한 다음, 두 문제의 표상 요소들을 짝짓고, 이를 바탕으로 추론을 생성하며 이를 표적 문제의 해결로 전이시키는 등 여러 유추정보처리 단계의 원활한 수행에 작업기억이 관여할 것이다 (이영애, 1998).

Keane, Ledgeway 및 Duff(1994)는 작업기억의 처리 및 저장이 받는 제약이 유추에 영향을 미칠 가능성을 검토하였다. 개념 정보를 많이 갖고 있는 지식 영역의 경우, 근거와 표적의 요소들을 짝지을 때 오류가 더 많았다. 작업기억이 수행해야 하는 과제 때문에 이 기억이 과부하되면 사람들은 처리의 부담을 줄이는 사상方略(mapping strategy)을 쓰려할 것이다. 이런 처리方略은 어떤 경우에만 성공할 것이므로 유추 문제의 해결에서 때때로 오류가 생기게 된다. 유추에 의한 문제해결 뿐만 아니라, 유추에 의한 개념학습도 작업기억의 제약의 영향을 받을 가능성이 크다. 이현주와 이영애(2000)의 실험 2에서 밝혀진 그림에 의한 유추 학습의 효과는 사상단계를 실행하는 작업기억의 부담이 줄었기 때문일 수 있다. 즉 유추문과 함께 제시되는 그림 자극은 새 과학 개념과 친숙한 개념의 요소들을 짝짓는 학습과정의 처리 부담을 감소시켰을 가능성이 크다.

이현주와 이영애(2000)가 그들의 실험 2의 결과를 해석할 때 작업기억의 이러한 역할을 제안하였지만, 유추에 의한 개념학습이 실험 참가자의 작업기억 용량에 따라 어떤 체계적인 차이를 보이는가를 검토하지 않았다. 작업기억 연구분야에서도 이 기억이 복합적인 인

지 활동과 직접 관련되리라는 생각은 있었지만, 앞서 본 Keane 등(1994)의 실험 이외에는 이 기억과 유추에 의한 개념학습의 관계를 다룬 연구들이 없다 (작업기억의 모형들과 그 기제에 관한 최근의 개관은 Miyake & Shah, 1999를 참고할 것). 본 연구의 세 실험은 유추학습과 작업기억용량의 관계를 다룬다. 실험 1은 작업기억 용량에 따라 참가자들을 나눈 다음, Donnelly와 McDaniel(1993)의 유추학습이 어떻게 달라지는지를 추론 문제의 해결로 평가하였다. 실험 2는 작업기억 용량이 큰 참가자들과 작은 참가자들을 대상으로 Donnelly & McDaniel(1993)의 두 학습조건을 반복하여 실시하였다. 실험 3은 작업기억 용량이 작은 참가자들만을 대상으로 그림자극을 함께 제시하는 조건을 만들고 이들이 작업기억용량이 큰 참가자들과 비슷한 유추학습효과를 보이는지 검토하였다. 본 연구의 세 실험이 기본적으로는 같은 방법을 사용하였기 때문에 연구 방법을 먼저 소개한다.

일반적 연구법

실험 참가자. E 대학교에서 교양으로 심리학 개론을 수강 중인 학생들 중 실험 1에 92명, 실험 2에 231명, 그리고 실험 3에 275명이 작업기억의 용량을 나타내는 지표인 작업기억 폭의 측정에 참여하였다. 이 참가자들 중 작업기억폭의 기준에 맞는 학생들만 Donnelly와 McDaniel(1993)의 과학개념 학습 실험에 참가하였다.

절차. 각 실험은 두 절차를 밟아 진행되었다. 첫째, 참가자들의 작업기억폭이 측정되고 둘째, 작업기억의 폭이 큰 사람 또는 작은 사람에게 학습 자료를 제시하여 새 과학 개념을 배우도록 하였다.

작업기억폭의 측정. Daneman과 Carpenter(1980)는 정보의 저장과 처리 모두를 강조하는

Baddley와 Hitch(1974)의 작업기억 개념을 바탕으로 이를 측정할 목적으로 읽기폭(reading span) 과제를 고안하였다. 본 연구는 이 과제를 이병택(1994)이 한국어로 개정하여 만든 것을 사용하였다. Daneman과 Merikle(1996)은 읽기폭 과제를 사용한 77개 경험적 연구 결과들을 대상으로 메타 분석을 하였다. 분석 결과는 단어폭이나 숫자폭처럼 저장 용량만을 측정하는 과제들에 비해 문장을 이해하면서 단어를 기억하도록 하여 작업기억의 처리 및 저장 용량을 함께 측정하는 이 과제가 언어 이해를 더 잘 예언하고 있음을 보여주었다. 본 연구에 사용된 읽기폭과제는 정보의 처리와 저장을 함께 다루는 작업기억의 특징을 잘 갖추고 있는 과제이다.

기구. 개인용 컴퓨터(IBM 호환기종인 Trigem 486)와 마우스를 사용하여 지시문과 자극의 제시, 시간 통제 등의 절차를 통제하였다.

읽기 폭 측정 자극재료와 절차. Daneman과 Carpenter(1980)의 측정 과제에서는 문장들의 70% 이상이 명사로 끝나지만, 한국어의 경우 말미 단어가 술어이므로 어근이 주로 명사가 되도록 문장이 구성되어 있다. 읽기폭을 재는 문장은 보통 7-10개의 어구로 되어 있고, 문장들 간에 의미의 통합이 가능하지 않도록 관련 없는 문장들을 사용하였다.

참가자들은 컴퓨터 화면에 한 줄로 제시되는 문장을 소리내어 읽어야 하며, 문장이 더 이상 제시되지 않으면, 즉 화면에 +++ 표시가 나타날 때 각각 문장의 말미 단어들을 순서대로 회상하여야 했다. 예를 들어, 화면에 다음과 같은 문장들이 하나씩 제시되었다.

시험공부를 하지 못한 그의 유일한 희망은 컨닝이다.

이러한 문장을 소리내어 읽은 후, 실험자가 마우스를 누르면 위의 문장은 사라지고 다음의 문장이 제시되었다.

무더운 여름날 더위를 식히기에 가장 좋은 곳은 수영장이다.

참가자들은 이 문장 역시 소리내어 읽은 후, 문장이 더 이상 나타나지 않으면 '컨닝이다,' '수영장이다'를 회상해야 하였다. 참가자가 한 시행에서 읽어야 하는 문장의 개수는 2 개에서 6 개까지 순차적으로 늘어나며, 각 문장 조건 당 5 번씩 시행하였다. 참가자가 정확히 회상한 시행 수가 다섯 번 중 세 번 이상이면 그 때의 문장조건에서 문장의 수가 해당 참가자의 작업기억폭으로 결정되었다. 만약 2 번 이상 회상하면 그 시행의 문장 수에서 5를 빼 값을 참가자의 용량으로 정하였다. 구체적으로, 문장 수 3 개의 시행에서 다섯 번 중 두 번을 정확히 회상하면 2.5를 그 참여자의 작업기억 용량으로 정하고, 세 번 이상 회상하면 3 을 그의 용량으로 삼았다.

학습자료. Donnelly와 McDaniel(1993)이 만든 12 개의 과학 개념들을 이현주와 이영애(2000)가 번역한 것을 사용하였다. 12 개의 개념들은 6 개로 된 두 세트로 나누어져 있다. 한 세트는 지구의 자전으로 시작하고, 다른 세트는 블랙홀과 화이트홀로 시작된다. 주로 물리학, 천체 물리학, 그리고 생물학 분야의 각 개념을 소개하는 세 짧은 진술문이 학습 자료였다. 그 하나는 글자 그대로 과학 개념에 대한 단순기술문이고, 다른 하나는 이 개념을 학습자가 잘 아는 다른 영역과 관련시켜 설명하는 유추문장들이 사용되었다. 다음의 예는 붕괴하는 별에 대한 단순기술문장과 유추문장을 각기 보여 준다.

붕괴하는 별은 둘둘 말리면서 그 크기가 작아짐에 따라 점점 더 빠르게 회전한다. 별의 크기가 줄어들면서 빠르게 자전하는 현상은 '각운동량 보존(conservation of angular momentum)'이라는 원리 때문에 일어난다(단순기술문).

붕괴하는 별은 크기가 줄어들며 따라 점점 빨

리 회전한다. 따라서 별은 자기 팔을 끌어당김에 따라 점점 더 빨리 회전하게 되는 스케이트선수와 같다. 별과 스케이트선수 모두 '각운동량 보존(conservation of angular momentum)'이라는 원리에 의해 작용한다(유추문).

본 연구의 실험 1은 유추학습조건만을, 실험 2와 3은 단순기술과 유추학습조건 모두를 사용하였다. 각 학습 집단에게 제시될 각각의 지시문에는 참가자가 배우게 될 진술문의 예와 나중에 풀게 될 문제의 예가 제시되었다. 모든 참가자들에게 실험의 목적은 과학 개념의 이해와 기억에 관한 것이고, 각 단계에 제한된 시간이 있고, 12개의 개념에 관한 진술문을 두 번에 나누어 제시하며, 한 개념에 4개의 문제를 풀게 된다고 알려 주었다. 유추진술문조건의 피험자들에게는 유추가 무엇이고 새 개념을 배울 때 유추를 어떤 식으로 써야하는지를 알려 주었다.

질문지. 과학 개념을 배운 후 검사 문제에 답하기 전 언어화-시각화 심상선호 질문지를 방해과제로 사용하여 검사 수행에서 천정효과를 방지하였다. 총 30 문항으로 된 7점 척도의 평정과제로 15 문항 씩 두 개의 세트로 나누어 각 학습 개념 세트를 제시한 후 이 질문지를 실시하였다.

단서회상검사. 예비 실험에서 몇 참가자를 면접한 결과, 유추진술문조건의 참가자들은 한번에 6개의 과학 개념을 배워야한다는 점에서는 단순기술조건의 참가자와 같았지만, 유추의 근거로 제시된 친숙한 영역을 관련지어야하는 부담에서는 단순기술조건과 차이가 있었다. 한 개념에 대해 배운 유추의 근거가 다른 개념의 유추의 근거와 혼동되고, 검사문제를 풀려고 할 때 근거를 이용하여 추론하기 어렵다는 지적이 있었다. 따라서 진술문을 어느 정도 기억하고 있는지 알아보기 위해 단서회상검사를 실시하였다. 완전한 진술문에서 검사문제와 관련되지 않은 내용에 해당되는 부분을 빈칸으

로 남겨두고 알맞은 단어로 채워 넣도록 하였다. 이 때 단어는 보통 한 개념 당 한 두 개였고, 유추조건에서는 주로 근거에 대한 기억을 확인하기 위해 근거로 제시하였던 부분을 빈칸으로 남겨 두었다. 단순기술조건에서는 한 두 개의 단어를 채워 넣도록 하였다.

검사 문제. 각 참가자가 한 개념 당 4개씩, 학습한 12 개의 개념에 대해 총 48 문항으로 된 사지선다형 문제를 풀었다. 문제들의 반은 기본문제로서 학습단계에서 배운 내용에 관한 구체적 사실을 묻는 반면, 나머지 반은 추론문제로서 이 문제들에 답하려면 과학 개념에 들어 있는 역동적 관계를 추론해야 한다.

붕괴하는 별에 관한 기본문제의 예는 다음과 같았다.

붕괴하는 별에 관해 옳은 것은?

- (㉠) 크기가 작아질수록 자전속도가 느려진다.
- (㉡) 크기가 작아질수록 궤도를 도는 속도가 빨라진다.
- (㉢) 크기가 작아질수록 자전속도가 빨라진다.
- (㉣) 크기가 작아질수록 궤도를 도는 속도가 빨라진다.

붕괴하는 별에 관한 추론문제의 예는 다음과 같았다.

만약 별이 붕괴하는 대신 '팽창'한다면 어떤 일이 일어나겠는가?

- (㉠) 자전속도가 증가할 것이다.
- (㉡) 자전속도가 감소할 것이다
- (㉢) 궤도를 도는 속도가 증가할 것이다.
- (㉣) 궤도를 도는 속도가 감소할 것이다.

절차. 각 참가자는 자신이 배정된 조건에 해당하는 소책자를 받았다. 이 소책자는 학습자료, 질문지, 검사문제 및 설문지로 구성되었다. 실험자는 각 단계를 시작할 때마다 정해진 시간을 알려 주었다. 과학 개념은 2개의 세트로 되어 있어서 하나는 '지구의 자전' 다른 하나는 '블랙홀과 화이트홀'로 시작되었다. 세트의

표 1. 작업기억 용량 별 문제 유형에 따른 평균 정확반응률(표준편차): 실험 1

용량	문제		
	기본	추론	평균
큰 집단	.80(.07)	.70(.12)	.75
작은 집단	.70(.12)	.61(.11)	.65
평균	.75	.65	

제시 순서는 참가자 간에 균형을 맞추었다.

학습조건에 참여자들은 모두 다음의 절차를 따랐다. (1) 먼저 지시문을 3분 동안 읽고 (2) 6개의 개념을 8분 동안 학습하였다. (3) 언어화-시각화 심상선호에 대한 질문지에 3분 동안 답하고, (4) 2분간 빈칸에 알맞은 단어를 쓰는 간단한 회상검사를 받았다. (5) 24 개의 검사문제를 10 분 동안 풀고, 같은 절차가 되풀이되어 (6) 새로운 6개의 개념을 학습하고, (7) 질문지에 답하고, (8) 단서회상검사를 받은 후 (9) 검사문제를 풀었다. 총 소요시간은 대략 50 분이였다.

실험 1: 작업기억 용량과 유추학습은 관계 있는가?

실험 1은 참가자의 작업기억 용량에 따라 유추에 의한 개념학습의 효과가 다르게 나타나는가를 유추학습조건을 중심으로 평가하였다. 유추로 새 개념을 배울 때 그 개념과 그와 관계되는 친숙한 개념의 요소들을 작업기억 내에서 약호화하면서, 저장하고 요소들이 제대로 사상되는지를 평가해야 한다. 이와 같은 과정들은 작업기억의 처리와 저장 용량을 많이 요구할 것이다. 유추 문장의 예인 '붕괴하는 별'의 경우 별과 스케이트 선수, 별의 크기가 줄어들고 팔을 끌어당김을 각기 대응시켜야 한다. 작업기억 용량이 큰 참가자들은 근거 영역의 정보와 표적 영역의 정보를 조음 루프나

시공간 그림철에 많이 저장하고 또 그 요소를 적절하게 사상시키므로 제한된 시간 동안에 유추에 의해 과학 개념을 잘 학습할 것이다. 작업기억 용량이 작은 참가자들은 처리와 저장의 부담 때문에 사상과정이 원활하게 진행되지 못하여 유추에 의한 개념학습을 잘 해내지 못할 것이다.

방 법

실험 참가자. E대학교 심리학 수강생 92 명이 일차로 작업기억폭을 측정하는데 참가하였다. 그 중에서 작업기억폭이 2.5 이하와 4 이상인 학생들에서 무선적으로 각각 12 명씩 뽑아 용량이 작은 집단과 큰 집단으로 만들었다. 이들은 이현주와 이영애(2000)가 사용하였던 유추진술 학습재료로 과학 개념들을 배웠다. 이 실험은 2 - 8명씩 소집단으로 실시되었다.

설계. 이 실험은 작업기억 용량(2) x 문제유형(2)의 혼합요인 설계를 사용하였다. 작업기억 용량은 참가자간, 문제유형은 참가자내 변인이었다. 종속측정치는 각 문제 유형에서 참가자들이 보인 정확반응률이었다.

결과 및 논의

표 1은 용량이 다른 두 집단이 두 유형의 사지선다 문제에 대해 보인 정확반응률을 정리한 것이다. 이 자료에 대해 변량분석을 한 결과, 용량이 큰 집단이 작은 집단보다 문제들을 더 잘 풀었고, $F(1,22) = 5.86$, $MSE = .02$, $p < .05$, 참가자들은 기본 문제를 추론 문제보다 더 잘 풀었다, $F(1,22) = 17.02$, $MSE = .01$, $p < .001$. 작업기억의 용량과 문제유형간에 상호작용은 없었다.

작업기억의 용량에 따라 단어회상량의 차이가 있는지 보기 위해 t 검증을 하였으나 통계적으로 유의한 차이가 없었다. 즉 작업기억의 용량과 상관없이 대부분의 피험자들이 유추진술문에 포함된 단어들을 정확히 회상할 수 있

었다. 이 결과는 참가자들이 빈칸에 해당하는 단어를 회상할 때 문장 맥락에 제공하는 단어에 의존하였기 때문으로 보인다. 실험이 끝난 후 실시한 설문지에 대해서 실험 참가자들은 조건에 상관없이 평균 4 - 5개의 개념을 진술문을 읽지 않고서도 풀 수 있다고 생각하였다. 질문지에 대한 응답에서 참가자들은 유추진술문이 개념을 배울 때 많이 도움되었다고 보고하였다. 참가자들이 이미 알고 있었던 개념은 작업기억 용량의 차이와 무관하게 평균 3 - 4 개였다.

새 개념들을 유추로 학습할 경우, 근거 영역의 지식과 표적 영역의 지식을 그 관계를 중심으로 사상해야 한다. 두 영역의 요소들을 짝짓는 이러한 사상과정은 조음회로와 시공간그림철로 이루어진 작업기억의 처리 및 저장 공간을 상당히 차지할 것이다. 따라서 용량이 큰 사람들이 용량이 작은 사람들에 비해 유추학습이 요구하는 하위 과정들(예, 문장들의 약호화, 사상 및 평가)을 잘 실행할 것이며, 그 결과로 추론 문제를 더 잘 해결하게 된다. 본 실험의 결과들은 이러한 예상이 타당함을 보여주었다.

실험 2: 작업기억의 용량에 따른 유추학습의 효과

실험 1은 작업기억의 용량이 유추학습에 미치는 영향을 일차적으로 보기 위해 Donnelly와 McDaniel(1993)의 학습조건들 중 유추조건 효과의 효과를 평가하였다. 그러나 단순기술조건에 비해서 유추조건이 학습에 영향을 얼마나 주었는지 알 수 없었다. 실험 2에서는 Donnelly와 McDaniel(1993)의 두 학습조건 즉 단순기술과 유추조건을 모두 설계에 포함시켜 작업기억의 용량에 따른 유추학습의 효과를 검토하였다. 작업기억의 용량이 유추에 의한 개념학습에 영향을 준다면, 용량이 큰 집단은 추론

표 2. 작업기억 용량 및 학습조건 별 문제 유형에 있어 평균 정확반응률(표준편차): 실험 2

학습조건	큰 집단			작은 집단		
	기본	문제 추론	평균	기본	문제 추론	평균
단순기술	.87(.05)	.64(.07)	.75	.80(.12)	.62(.14)	.71
유추	.85(.01)	.72(.10)	.79	.76(.14)	.62(.16)	.69
평균	.86	.68		.78	.62	

문제의 해결에서 학습조건을 보여야 하고, 용량이 작은 집단은 이러한 결과를 보이지 않을 것이다. 즉 기본문제의 해결에 있어서 용량이 큰 집단과 작은 집단은 학습조건에 따라 차이를 보이지 않을 것이나, 추론문제의 해결에서는 용량에 따른 학습조건이 차이가 있어야 한다.

방 법

실험 참가자. E 대학교 교양 심리학 수강생 중 그 작업기억의 폭이 2.5 이하인 학생과 4 이상인 학생 각각 34 명이 이 실험에 참가하였다. 이들은 다시 단순기술과 유추조건에 각기 17 명씩 무선 배정되었다. 이 참가자들은 실험 1에 참여하지 않았다.

재료. 실험 1에서 사용된 것과 같은 12 개의 과학 개념에 대한 언어 진술문들을 그대로 사용하였다.

설계. 본 실험은 작업기억의 용량(2) x 학습조건(2) x 문제유형(2)의 혼합요인설계를 사용하였다. 작업기억의 용량과 학습조건은 참가자간, 문제유형은 참가자내 변인이었다.

결과 및 논의

실험 2의 참가자들이 조건별로 사지선다 문제를 정확하게 푼 반응률이 표 2에 정리되어 있다. 표 2의 자료에 대해 변량분석을 한 결과, 용량이 큰 참가자들이 작은 참가자들보다 더 나은 수행을 보였고, $F(1,64) = 8.18$, MSE

$= .02$, $p < .001$, 참가자들은 기본 문제를 추론 문제보다 더 잘 풀었으며, $F(1,64) = 219.56$, $MSE = .01$, $p < .001$, 학습조건과 문제유형간에 유의한 상호작용이 있었다, $F(1,64) = 15.59$, $MSE = .01$, $p < .001$. 작업기억 용량, 학습조건 및 문제유형간에도 상호작용 경향이 있었다, $F(1,64) = 3.15$, $MSE = .01$, $.05 < p < .10$. 작업기억 용량의 주효과가 있었고, 학습조건과 문제유형간에 유의한 상호작용이 있었기 때문에 이를 근거로 경향성을 보인 3원 상호작용을 분석하였다. 그 결과, 작업기억의 용량이 큰 집단은 추론 문제의 경우 유추조건이 단순기술조건보다 8% 더 나은 수행을 보인 반면, $F(1,64) = 16.36$, $MSE = .01$, $p < .001$, 작업기억의 용량이 작은 집단에게서는 추론 문제에서 학습조건에 따른 유의한 차이가 없었다, $F(1,64) = 2.36$, $MSE = .01$.

실험 1과 마찬가지로 단어회상검사와 설문지에 대한 참가자들의 반응을 분석하였다. 작업기억의 용량에 따른 차이 있는 결과를 얻지 못하였다.

표 2를 보면, 추론 문제를 풀 때 용량이 큰 집단은 유추학습의 효과를 뚜렷이 보였으나, 용량이 작은 집단은 그 효과를 전혀 보이지 않았다. 기본 문제의 해결에 있어 유추조건과 단순기술조건은 모두 통계적으로 의미 있는 차이를 보이지 않았다. 따라서 작업기억 용량의 효과는 추론 문제에만 국한됨을 알 수 있다. 특히, 작업기억의 용량이 작은 집단은 유추조건에서 학습효과를 전혀 보이지 않았다. 이 결과

는 유추조건이 단순기술조건에 비해서 추론 문제에서 학습효과를 보이지 않았던 이현주와 이영애(2000)의 실험 1의 결과를 반복한다.

실험 3: 그림제시가 작업기억 용량이 작은 집단의 유추학습에 미치는 영향

앞의 두 실험에서 작업기억의 용량이 작은 참가자들은 유추조건에서 학습효과를 보이지 않았다. 그러나 이 결과는 작은 용량의 참가자들이 유추로 새 개념을 학습할 수 없다는 뜻은 아니다. 유추의 인지과정 중 근거 개념의 요소와 표적 개념의 요소를 짝짓는 사상과정이 처리 및 저장 용량을 상당히 요구하기 때문에 이러한 결과가 관찰된 것으로 보인다. 이러한 생각이 타당하다면, 사상과정의 처리 및 저장 부담을 감소시킬 경우 작업기억의 용량이 작은 참가자들도 유추에 의한 개념학습의 효과를 보여야 한다.

이현주와 이영애(2000)의 실험 1에서 참가자들은 유추 학습의 효과를 보이지 못했으나, 그림을 유추진술문과 함께 제시한 실험 2에서는 미국 실험 참가자들에 비해 약간 떨어지지만, 큰 유추학습효과가 있었다. 이미 언급하였지만, 이 결과는 유추진술문과 함께 제시되는 그림이 사상과정의 처리 및 저장부담을 감소시켰기 때문으로 해석되었다. 본 연구의 실험 3에서는 유추학습의 효과를 보이지 않는 작은 용량의 참가자들에게 언어 진술문과 함께 그림을 제시하고자 한다. 지금까지의 논의가 타당하다면, 작업기억의 용량이 작은 참가자라 할지라도 유추진술문과 함께 그 내용을 묘사한 그림을 받으면 그렇지 않은 참가자에 비해 유추에 의한 학습효과를 보일 것이다.

방법

실험참가자. E 대학교 교양심리학 과목을

수강 중인 학생들로서 그 작업기억폭이 2.5 이하인 45명이 실험에 참가하였다. 이들은 단순기술, 단순기술과 그림 및 유추와 그림의 세 조건에 15 명씩 무선 배정되었다.

재료. 단순기술과 유추조건은 실험 2에서 사용된 문장들을 그대로 사용하였다. 유추조건에서 함께 제시된 그림은 이현주와 이영애(2000)가 실험 2에서 사용한 것이다. 단순기술과 그림조건에 그림은 유추적인 관계를 나타내지 않도록 구성된 내용이었다.

설계. 본 실험은 학습조건(3) x 문제유형(2)의 혼합요인설계를 사용하였다. 학습조건은 참가자간, 문제유형은 참가자내 변인이었다.

절차. 실험 절차와 방법은 모두 실험 2와 같았다.

결과 및 논의

실험 3의 참가자들이 조건별로 사지선다 문제를 정확하게 푼 반응률이 표 3에 정리되어 있다. 표 3의 자료에 대해 변량분석을 한 결과, 학습조건에 대한 주효과는 없었으나, 문제유형의 주효과가 있었다, $F(1,42) = 106.78$, $MSE = .01$, $p < .001$. 특히 학습조건과 문제유형간에 통계적으로 유의한 상호작용이 있었다, $F(2,42) = 7.80$, $MSE = .01$, $p < .001$. 이 결과는 표 3에서도 알 수 있듯이, 단순기술과 그림조건이 다른 조건들에 비해서 기본 문제의 수행이 더 좋았으나, 추론 문제에서는 유추와 그림조건이 다른 조건들보다 가장 좋은 수행을 보였기 때문으로 보인다.

이 실험에서 그림을 유추진술문과 함께 제시하였을 때 이 조건의 참가자들이 보인 추론 문제해결 수행은 이현주와 이영애(2000)의 실험 2에서 얻은 .71과 비슷한 수준의 수행이다. 본 연구의 실험 3과 이현주와 이영애(2000)의 실험 2의 결과는 일치한다. 이 결과들은 (1) 유추학습의 경우 내용을 묘사하는 그림을 함께 제시하면 추론 문제해결에서 그 효과를 얻

표 3. 학습조건 별 문제 유형에 따른 평균 정확반응률(표준편차): 실험 3

용량	문제		평균
	기본	추론	
단순기술	.83(.07)	.64(.12)	.73
단순기술과 그림	.85(.10)	.66(.12)	.75
유추와 그림	.80(.09)	.73(.10)	.77
평균	.83	.68	

을 수 있고, (2) 작업기억의 용량이 작은 참가자들도 사상과정의 처리 부담을 감소시킬 때 학습효과를 낼 수 있음을 보여준다. 즉 낮은 개념의 요소들과 낮은 개념의 요소들을 짝짓고 그 결과를 저장하는 처리 부담을 그림이 감소시킬 때 용량이 작은 참가자들도 유추에 의한 학습효과를 보인다.

종합 논의

본 연구의 세 실험은 작업기억의 정보처리 및 저장 용량이 유추에 의한 새 과학 개념의 학습에 관여하는지를 검토하였다. 실험 1은 유추조건에서 작업기억의 용량이 큰 참가자와 작은 참가자의 추론 수행을 비교하였다. 이 실험에서 작업기억의 용량과 유추학습효과가 밀접히 관련되어 있음을 알아내었다. 용량이 큰 참가자들은 용량이 작은 참가자들보다 9% 더 나은 유추학습효과를 보였다. 실험 2는 작업기억의 용량에 따라 각기 다른 학습조건이 기본 문제와 추론 문제의 해결에 어떻게 다르게 영향을 주는지를 검토하였다. 그 결과, 작업기억의 용량이 큰 참가자들만 유추에 의한 개념학습의 효과를 추론문제를 해결할 때 보였고(8%), 용량이 작은 참가자들은 유추학습의 효과를 보이지 못하였다. 내용의 단순한 암기를 요구하는 기본문제의 해결에 있어서 두 용량 집단은 학습조건에 따른 어떤 차이 있는 수행을 보이지 않았다. 실험 3은 용량이 작은 사람들

을 대상으로 유추진술문을 그림과 함께 제시할 때 개념학습의 효과가 있는지 검토하였다. 이 실험에서 작은 용량의 참가자들도 그림과 함께 진술문이 제시되면 다른 학습조건에 비해 8% 더 나은 추론 문제해결 수행을 보였다.

작업기억과 유추에 의한 학습효과. 세 실험은 유추에 의한 개념학습과 작업기억 용량의 구체적인 관계를 처음으로 밝혔다. 본 연구의 세 실험은 또한 이현주와 이영애(2000)가 한국 실험 참가자의 뒤떨어진 수행의 원인으로 지적한 작업기억의 처리 부담설이 타당함을 시사한다. 이 가설은 한국 실험 참가자들의 경우 유추에 의한 개념학습의 경험이 풍부하지 않아 근거 정보(낮익은 개념)와 표적 정보(새 과학 개념)를 대응시키는 사상과정과 그 결과를 평가하는 과정 등이 재빨리 정확히 수행되지 않았기 때문이라고 주장한다. 두 연구에 걸쳐 그림 자극은 근거 정보와 표적 정보를 대응시킬 때의 처리 부담을 감소시켜 그 효과를 낸 것으로 보인다. 작업기억의 용량이 작은 참가자의 경우에도 그림 자극이 유추진술문과 함께 제시되면 용량이 큰 참가자와 비슷하게 유추학습의 효과를 보일 수 있음이 주목된다.

본 연구의 결과들을 작업기억의 사상과정 이외 다른 인지과정의 탓으로 돌릴 수 있을까? 근거 정보의 인출, 사상과정 후 추리, 유추 문제를 해결한 후의 학습 과정 등이 그 후 보가 될 수 있을까? 본 실험에서는 근거 정보를 유추진술문으로 제공했기 때문에 참가자들이 이를 인출할 필요가 없었다. 근거와 표적을 사상시킬 때 대부분의 경우 정확히 대응하므로 사상의 결과를 자세히 평가할 필요가 없다. 또한 유추에 의해 새 문제를 푼 후 또 비슷한 문제를 풀지 않았으므로 학습되는 과정이 관여할 필요가 없다. 이러한 논리에 따르면, 새 개념의 유추 학습에 있어 핵심 인지과정은 다름이 아닌 사상과정이다. 근거 정보와 표적 정보가 각기 둘 이상의 요소로 구성될 때 각 요소를 대응시키고 (일종의 짝짓기 학습), 그 결

과를 저장하는 등의 과정에 용량이 소요됨을 짐작할 수 있다. 유추진술문의 정보를 작업기억의 조음루프가 처리하면서 요소들의 대응관계를 이 하위체계나 그림 정보를 다루는 시공간 그림철이 원활하게 처리할 수 있으면 새 과학 개념의 유추학습이 효과를 보일 것이다. 작업기억의 용량에 따른 유추학습효과의 차이, 그림 자극이 유추학습에 미치는 효과 등은 종합적으로 작업기억이 유추의 사상단계와 밀접한 관계가 있음을 시사한다.

본 연구의 실험 2를 보면, 내용의 암기를 요구하는 기본문제의 해결에는 용량의 차이가 영향을 주지 못하지만, 추론문제의 해결에서는 이 차이가 분명하였다. 실험 3에서도 작업기억의 용량이 작은 참가자들이 기본문제의 해결에서는 학습조건을 보이지 않았으나 추론문제의 해결에서 차이를 보였다. 이 두 결과는 정보의 저장과 처리에 관여하는 작업기억의 용량이 표면적인 내용의 저장 측면보다는 처리과정 사상단계의 진행에 직접적으로 영향을 주고 있음을 시사한다.

작업기억에 관한 최근의 한 심포지움(Miyake & Shah, 1999)은 10 개의 작업기억 모형들을 정리하고, 이들을 기본적인 작업기억 기제와 표상, 작업기억의 제어, 그 한계의 성질, 복합적인 인지활동에서 작업기억의 역할 등에서 검토하였다. 본 연구의 세 실험은 Baddley와 Hitch(1974)의 작업기억 이론에 근거하여 그 처리와 저장 용량을 측정하여 언어 이해를 예언한 Daneman과 Carpenter(1980)의 연구에 바탕을 두고 있다. 본 연구는 Baddley와 Hitch(1974)의 다중성분 작업기억 모형을 받아들이지만, 유추에 의한 개념학습에 기여하는 작업기억의 각 성분의 특징보다는 유추 정보처리 사상에 있어 작업기억의 이 성분들이 당면하는 처리와 저장의 한계를 다룬다. 작업기억의 어느 성분이 유추 사상에 더 기여할지는 차후의 주요 연구문제이다. 또한 작업기억의 용량의 영향을 많이 받고 있는 것으로 보

여지는 사상단계의 작용을 더 구체화시키고, 그 효과가 유추에 의한 개념학습에 어떤 영향을 주는지 밝혀야 할 것이다.

한국 실험 참가자와 미국 실험 참가자의 비교. 배경 지식이나 유추 경험 등에서 다름에도 불구하고, 한국 참가자들은 기본문제의 해결에 있어서는 Donnelly와 McDaniel(1993)의 실험 참가자들과 비슷한 수행을 보였다. 추론문제의 해결에서 이현주와 이영애(2000)의 실험 참가자들이 단순기술조건과 유추조건에서 보인 평균 수행이 .66인데, 이는 미국 참가자들이 같은 조건에서 보인 .76의 평균 수행에 비해 뒤떨어진다. 추론문제를 풀 때 유추조건이 단순기술조건보다 수행이 좋은 정도는 한국 실험 참가자들의 경우 Donnelly와 McDaniel(1993)의 참가자들의 그것보다 더 뚜렷하였다. 즉 이현주와 이영애(2000)의 실험 2에서는 추론 문제에서 두 학습조건을 차이는 7%, 본 연구의 실험 2의 용량이 큰 집단에서 8%, 실험 3에서 용량이 작은 집단이 그림을 함께 제시받았을 때 9%로 나타났다. Donnelly와 McDaniel(1993)의 실험 1에서 두 학습조건을 차이는 5%, 실험 3에서는 2%로 각기 나타났다. 따라서 한국 실험 참가자들의 추론 문제의 해결 수행이 미국 실험 참가자들에 비해 떨어지지만, 유추에 의한 개념학습의 효과는 상대적으로 더 크다.

이러한 비교는 유추에 의한 학습이나 문제해결이 초보자들에게 특히 효과있다는 선행 연구의 결과와 일치한다(예, Donnelly와 McDaniel, 1993; Novick, 1988). 한국 실험 참가자들이 유추에 의한 학습 경험이 상대적으로 적다. 이러한 조건에도 불구하고, 근거정보 요소와 표적정보 요소들의 짝짓기가 쉽게 이루어지게 하면, 유추학습에 의해 새 과학 개념의 학습이 단순기술을 강조하는 기존의 학습법보다 더 효과적임을 알 수 있다. 따라서 수업 시간에 유추 설명을 적극 이용하는 교수법이 활용되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- 이병택. (1994). 작업기억 용량에 따른 언어이해 처리에서의 개인차. 미발표석사학위논문. 서울대학교 대학원.
- 이영애. (1998). 유비사고. *인지과학*, 7, 19-36.
- 이현주와 이영애. (2000). 유추가 과학 개념의 학습에 미치는 영향. *한국심리학회지: 실험 및 인지*, 12, 95-104.
- Baddley, A. D & Hitch, G. J. (1974). Working memory. In G. A. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation* (Vol. 8, pp.47-90). New York: Academic Press.
- Baddley, A. D. (1986). *Working memory*. New York: Oxford University Press.
- Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 19, 450-466.
- Daneman, M., & Merikle, P. M. (1996). Working memory and language comprehension: A meta-analysis. *Psychonomic Bulletin & Review*, 3, 422-433.
- Donnelly, C. M., & McDaniel, M. A. (1993). Use of analogy in learning scientific concepts. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 19, 975-987.
- Gentner, D. (1983). Structure-mapping: A theoretical framework for analogy. *Cognitive Science*, 7, 155-170.
- Holyoak, K. J. (1985). The pragmatics of analogical transfer. In G. H. Bower(Ed.), *The psychology of learning and motivation*. Vol. 19. (pp.59-87). New York: Academic Press.
- Keane, M. T. (1988). *Analogical problem solving*. New York: Simon & Schuster.
- Keane, M. T., Ledgeway, T., & Duff, S. (1994). Constraints on analogical mapping: A comparison of three models. *Cognitive Science*, 18, 387-438.
- Miyake, A. & Shah, P. *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control*. New York: Cambridge University Press.
- Novick, L. R. (1988). Mathematical problem solving by analogy. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 14, 510-520.

The Effects of Working Memory Capacity on the Conceptual Learning by Analogy

Ah-Jung Cho · Young-Ai Lee

Department of Psychology, Ewha Women's University

A series of three experiments examined whether working memory capacity influences participants' analogical learning of new scientific concepts. Experiment 1 demonstrated that analogical learning depends on working memory capacity. High-span participants showed better performance in inference problem solving than did low-span participants. Experiment 2 again showed that whereas participants with a high span produced a large analogical learning effect, those with a low span did not. Experiment 3 demonstrated that the latter group produced a large analogical learning effect, given the pictures relevant to the analogical learning condition. These results were discussed in terms of a close relationship between working memory capacity and the analogical mapping process.

keywords analogy, scientific concept learning, working memory capacity, analogical mapping process

초고접수 2000. 10. 19
최종본접수 2000. 12. 15