

더하기 지식의 자동적 활성화의 발달

박 영 신

배재대학교 유아교육과

더하기 지식의 자동적 활성화가 어떻게 발달하는지 검토하기 위해 초등학교 1학년과 3학년 학생들을 대상으로 두 개의 실험을 실시하였다. 실험 1에서는 '4+2' 과 같은 더하기 문제가 컴퓨터 모니터에 제시되고 120msec, 180msec, 240msec, 480msec와 960 msec 이 경과한 뒤 사라지면서 하나의 숫자가 탐사자극으로 제시되었다. 탐사자극은 때로는 6과 같이 문제의 합이었고, 때로는 7과 같이 문제와 관련이 없는 숫자였고, 때로는 4나 2와 같이 문제에 제시된 한 숫자였다. 피험자들은 탐사자극으로 제시된 숫자가 더하기 문제에 있었는지를 가능한대로 빠르고 정확하게 판단하였다. 실험 2에서는 '4 2' 와 같이 + 부호없이 문제를 제시하였다. 실험 1에서는 1학년과 3학년 아동들의 반응은 탐사자극이 문제의 합일 때 탐사자극이 문제와 관련이 없는 숫자일 때보다 더 느리고 부정확했으며 이러한 경향은 문제와 탐사자극 사이의 지연시간이 비교적 짧은 120msec과 180msec에서 만 나타났다. 실험 2에서도 1학년과 3학년 아동들의 반응은 탐사자극이 문제의 합일 때 탐사자극이 문제와 관련이 없는 숫자일 때보다 더 느리고 더 부정확했으나 실험 1과는 달리 이러한 경향은 지연시간 120msec, 180msec과 240msec에서 나타났다. 실험 1과 2 모두에서 학년에 따른 차이는 나타나지 않았다. 이 결과는 서양 아동들과는 달리 한국 아동들에서는 초등학교 저학년부터 합이 자동적으로 활성화됨을 의미한다.

더하기나 곱하기와 같은 산수지식들이 장기기억 내에 어떻게 표상되어 있고 또 어떻게 접근되는지는 많은 연구자들의 관심의 대상이었다. 지난 20여년간 제안되어 온 모델들은 세부적인 사항에서는 차이가 있지만 더하기나 곱하기와 같은 산수지식도 언어지식과 마찬가지로 문제와 답들로 이루어진 연합망의 형태로 장기기억에 표상되어 있고 산수지식은 연합망을 통한 자동적 활성화의 확산(automatic preading of activation)으로 접근된다는데 동의하고 있다(Ashcraft, 1987; 1992; 1995).

성인들을 대상으로 한 많은 연구들은 다양한 방법론을 사용하여 이 가정들이 사실임을 보여왔다. 예를 들어, LeFevre, Bisanz와 Mrkonjic(1988)은 성인들에서 더하기 지식이 문제와 답들의 연합망으로 표상되어 있으며 자동적 활성화의 확산을 통해 접근됨을 보여주었다. 그들은 피험자들에게 4+2와 같은 문제를 보여준 뒤 문제가 사라지면 하나의 숫자를 탐사자극으로 제시하고 그 탐사자극이 문제에 있었는지를 판단하게 하였다. 탐사자극은 때로는 문제의 합이었고, 때로는 문제와 관련이 없는 숫자였고, 때로는 문제에 제시되었던 한 숫자였다. 만약 더하기 지식이 문제와 답들의 연합망으로 표상되어 있고 이 지식들이 연합망을 통한 자동적 활성화의 확산을 통해 접근된다면, 문제를 보는 순간 피험자들의 기억속에서 문제의 노오드가 활성화되면서 그 문제와 연합을 이루고 있는 합으로 활성화가 확산되므로 문제의 합도 활성화될 것이다. 따라서 피험자들이 합인 탐사자극을 보았을 때 그 숫자는 문제에 없었기 때문에 'no'라고 반응해야 함에도 불구하고 이미 합이 머리 속에서 활성화되었기 때문에 피험자들의 반응이 방해받을 것이다. 그러나 탐사자극으로 제시된 숫자가 문제와 아무 관련이 없을 때에는 문

제를 보아도 탐사자극으로 제시된 숫자는 활성화되지 않을 것이기 때문에 피험자들의 'no' 반응이 방해받지 않을 것이다. 따라서 전자의 문제에 대한 피험자들의 반응이 후자의 문제에 대한 피험자들의 반응보다 유의하게 느리고 또 부정확할 것이다. 그러나 자동적 활성화의 확산은 빠르게 소멸하므로(Neely, 1977) 이러한 방해효과는 단지 문제와 답 사이의 지연시간이 짧은 조건에서만 나타날 것이다. 예상과 같이 피험자들은 문제와 답 사이의 지연시간이 120 msec 이하인 조건에서만 유의한 방해효과를 보였다.

비슷한 결과가 프랑스와(Lemaire, Barrett, Fayol, & Abdi, 1994) 한국(박영신, 1999) 성인들에서도 관찰되었다. 문제의 크기를 작은 문제, 중간 문제와 큰 문제로 조작한 Lemaire 등의 연구에서는 모든 문제에서 150msec 이하의 지연시간에서 유의한 방해효과가 나타났을 뿐 아니라 큰 문제보다도 작은 문제에서 방해효과가 더 커서 합의 자동적 활성화 정도가 문제의 크기에 따라 달라짐을 보여주었다. 박영신의 연구에서는 한국 성인들도 지연시간 180msec 이하에서 유의한 방해효과를 보였을 뿐 아니라 문제가 + 부호가 없이 두 숫자로 제시되었을 때에도 문제가 + 부호와 더불어 제시되었을 때와 동일한 방해효과를 보였다. 그러나 이처럼 합이 자동적으로 활성화되는 경향은 모든 성인들에서 나타나는 것은 아니었다. LeFevre와 Kulak(1994)의 연구에 의하면 십단위 이상의 수들로 이루어진 더하기 문제를 잘 푸는 성인들에서는 합의 자동적 활성화가 나타났으나 그렇지 못한 성인들에서는 합이 자동적으로 활성화되지 않았다.

이 연구들은 문화권에 관계없이 대부분의 성인들에서는 더하기 문제와 그 합 사이의 연합망이 잘

형성되어 있어서 합이 자동적으로 활성화되며 그 정도는 문제와 합 사이의 연합이 비교적 강한 작은 문제들에서 더 크게 나타나지만 일부 성인들에서는 더하기 지식의 연합망이 잘 발달되어 있지 않음을 보여준다.

그러면 이러한 더하기 지식의 자동적 활성화는 어떻게 발달할까? 아동들도 성인들과 마찬가지로 문제와 답들의 연합망 형태로 더하기 지식을 표상하고 있으며 또 이 지식들은 성인들에서처럼 연합망을 통한 자동적 활성화의 확산을 통해 접근될까? 합의 자동적 활성화의 발달은 주로 조작간 혼동(cross-operation confusion)이나 앞에서 소개한 LeFevre 등이 개발한 방법을 통해 연구되어 왔다. 조작간 혼동을 사용한 연구에서는 $4+2=8$ 또는 $4 \times 2=6$ 과 같이 문제와 다른 조작의 답을 같이 제시하거나 $4+2=7$ 또는 $4 \times 2=7$ 과 같이 문제와 아무 관련이 없는 오답을 같이 제시하고 피험자들에게 답의 정오를 판단하게 하였다(Park, Babu, & Kail, 1988; 박영신, 1994; Lemaire, Fayol, & Abdi, 1991; Lemaire, Barrett, Fayol, & Abdi, 1994). $4+2$ 를 보았을 때 그 곱인 8이 또 4×2 를 보았을 때 그 합인 6이 피험자들의 의도와 상관없이 자동적으로 활성화된다면 오답이 문제의 곱이거나 합일 때 피험자들의 반응이 오답이 문제와 관련없을 때보다 더 느리고 또 더 부정확할 것이다.

이러한 예상과 일치하여 미국 아동들을 대상으로 한 Park 등의 연구(1988)에서 초등학교 3학년 아동들의 반응은 관련오답 조건에서 무관련 오답 조건에서 보다 유의하게 느리고 또 더 부정확했다. 비슷한 결과가 프랑스의 초등학교 아동들을 대상으로 한 Lemaire 등의 (1994: 실험 3) 연구에서도 발견되었다. 초등학교 3학년, 4학년과 5학년들이 모두 Park 등이 발견한 방해효과를 보였을

뿐 아니라 이런 방해효과는 크기가 작은 문제에서 먼저 나타났고 학기 시작 때보다는 학기가 진행되면서 더 커졌다. 한국의 아동들을 대상으로 한 박영신(1994)의 연구에서도 일치하는 결과가 나타나서 3학년 아동들은 크기가 작은 곱하기 문제에서는 합의 자동적 활성화를 보였다. 이 결과들은 국가를 막론하고 3 학년 아동들에서는 더하기 지식이 자동적으로 활성화됨을 보이고 있다.

그러나 자동적 활성화는 시간이 지남에 따라 빠르게 소멸하기 때문에(Neely, 1977) 이러한 방해효과가 합이나 곱의 자동적 활성화 때문에 나타났다면 방해효과는 문제와 답 사이의 지연시간이 짧은 조건에서만 나타날 것이다. 왜냐하면 지연시간이 길어질수록 합의 자동적 활성화가 소멸되거나 또는 피험자들이 잘못된 반응을 억제하기 때문이다. 시간에 따라 방해효과가 어떻게 변하는지 보기 위해 문제와 답 사이의 지연시간을 조작한 연구에서는 약간의 문화적 차이가 나타났다. 문제와 답 사이의 지연시간을 120msec과 960msec 으로 조작했을 때 미국의 3학년들은 지연시간 960msec에서만 유의한 방해효과를 보였다(Park, Babu, & Kail, 1988). 이와는 대조적으로 한국의 3학년 아동들은 지연시간을 120msec, 540msec과 960msec 으로 조작했을 때 한국 성인들과 마찬가지로 지연시간 540msec에서 유의한 방해효과를 보였다. 이는 미국 아동들보다 한국 아동들에서 문제의 합이 더 빨리 활성화됨을 의미한다.

합의 자동적 활성화를 좀 더 직접적으로 다루는 방법은 앞에서 설명한 LeFevre 등(1987)이 개발한 방법이다. 이 과제에서는 다른 조작을 통해 합이나 곱이 활성화되는 정도를 다루지 않고 더하기 문제를 제시하고 합이 활성화되는 정도를 직접 평가하였다.

캐나다의 초등학교 2학년과 6학년을 대상으로 한 연구에서(LeFevre & Bisanz, 1987) 초등학교 2학년(연령 중앙치 7년 11개월) 아동들에서는 반응 시간의 중앙치와 평균 또 오반응률 어디에서도 오답종류의 주효과나 오답종류와 지연시간 사이의 상호작용이 유의하지 않았으나 6학년(연령 중앙치 11년 11개월) 아동들에서는 지연시간 120msec과 180 msec에서 유의한 방해효과가 나타났고 그 이상의 지연시간 즉 240msec, 480msec과 960msec에서는 방해효과가 유의하지 않아서 합의 자동적 활성화는 6학년에서만 관찰되었다. 2학년과 마찬가지로 3학년에서도 합의 자동적 활성화로 인한 방해효과는 발견되지 않았을 뿐 아니라 오히려 촉진효과가 나타나서 오답이 합일 때 피험자들의 반응이 오답이 문제와 관련이 없을 때보다 더 빨랐다(LeFevre, Kulak, & Bisanz, 1991).

미국의 2학년과 6학년 아동들은 대상으로 지연 시간을 120msec, 180msec, 240msec, 480msec, 그리고 960msec으로 조작한 연구에서도(Park, 1989) 비슷한 결과가 나타났다. 2학년들은 어떤 지연시간에서도 방해효과를 보이지 않았고 6학년이 지연시간 120msec과 240msec에서 유의한 방해효과를 보여서 역시 6학년에서 합의 자동적 활성화가 관찰되었다. 그러나 프랑스의 초등학교 2학년, 3학년, 4학년과 5학년을 대상으로 지연시간을 150msec, 240 msec, 480msec으로 조작한 Lemaire 등의 연구(1994: 실험 2)에서는 이 두 연구와는 아주 대조적인 결과가 나타났다. 즉 3학년 이상의 아동들은 지연시간 150msec에서 유의한 방해효과를 보였고 2학년도 지연시간 150msec에서 통계적으로 유의하지는 않지만 유의한 수준에 미치는 방해효과를 보였다.

이 결과는 LeFevre 등의 방법으로 평가했을 때

합의 자동적 활성화가 나타나는 시기는 같은 문화권에 속한 나라간에도 차이가 있음을 보여준다. 즉 미국과 프랑스 아동들에서 합의 자동적 활성화가 나타나는 시기에 차이가 있어서 미국 아동들보다 프랑스의 아동들에서 더 일찍 합의 자동적 활성화가 나타났다. 이는 미국의 아동들보다 프랑스의 아동들에서 더하기 지식의 연합망이 더 일찍 발달함을 시사한다.

실 험 1.

실험 1의 목적은 더하기 지식의 자동적 활성화가 한국의 초등학교 아동들에서도 발견되는지, 또 발견된다면 학년에 따라 어떻게 발달하는지를 밝히는 것이다. 앞에서도 논의하였지만 한국 성인들에서는 다른 나라의 성인들과 마찬가지로 더하기 지식이 자동적으로 활성화됨이 밝혀졌다(박영신, 1999). 그러나 우리나라 아동들에서는 더하기 지식의 자동적 활성화가 어떻게 발달하는지를 검토한 연구들은 없었다.

앞에서 살펴 본 서양 아동들을 대상으로 한 연구들에 의하면, 6학년에서야 합의 자동적 활성화가 관찰되어 서양의 아동들에서는 더하기 문제와 합들로 구성되는 연합망이 비교적 느리게 형성됨을 보여주었다. 그러나 한국 아동들은 서양의 아동들에 비해 훨씬 집중적으로 산수교육을 받고 또 일찍부터 어려운 문제를 공부하기 때문에(박영신, 1998) 더하기 문제와 합들로 이루어지는 연합망이 일찍부터 발달하여 서양 아동들보다 이른 시기에 합의 자동적 활성화를 보일 수 있다.

따라서 이 연구에서는 초등학교 저학년 즉 1학년과 3학년을 대상으로 합의 자동적으로 활성화되는 정도를 평가하였다. 합의 자동적으로 활성화되

느냐는 장기기억 내에 문제와 답들간의 연합이 얼마나 강하게 표상되어 있느냐에 따라 결정되므로 문제와 합을 같이 많이 경험한 3학년에서 그렇지 못한 1학년에서보다 합의 자동적 활성화가 더 강하게 나타날 가능성이 있다. 만약 그렇다면, 3학년 아동들의 반응은 오답이 합일 때 오답이 문제와 관련이 없을 때보다 유의하게 느리고 부정확하며 이런 경향은 문제와 탐사자극 사이의 지연시간이 짧은 조건에서만 나타날 것이나 1학년 아동들의 반응은 오답조건에 따라 차이가 없을 것이다. 그러나 예상과 달리, 한국 아동들에서는 더하기 지식의 연합망이 비교적 일찍부터 발달한다면 1학년과 3학년 모두에서 합의 자동적 활성화가 관찰될 것이다. 그렇다면 아동들의 반응은 학년에 관계없이 오답이 합일 때 오답이 문제와 관련이 없을 때보다 더 느리고 더 부정확할 것이며 이런 경향은 짧은 지연시간에서만 나타날 것이다.

방 법

피험자. 초등학교 1학년 32명과 3학년 32명이 실험에 참여하였다. 각 학년마다 남학생들과 여학생들의 수는 각각 16명으로 같았다. 이들은 대전 서구 지역에 소재하고 있는 초등학교에 재학중인 아동들로 교사의 소개로 이 실험에 참여하였다. 이들의 사회경제적 지위는 중하정도에 속했다.

자극. 박영신(1999; 표 1 참조)의 연구에 사용된 자극이 그대로 사용되었다. 즉 20개의 더하기 문제와 40개의 숫자가 탐사자극으로 사용되었다. 이 중 10개의 더하기 문제들은 세 종류의 탐사자극 즉 정답(문제의 한 숫자), 관련오답(문제의 합), 무관련 오답(문제와 관련이 없는 숫자) 과 더불어

제시되었고 나머지 10개의 더하기 문제들은 문제에 있었던 한 숫자와 같이만 제시되었다. 무관련 오답은 정답에 3을 더하거나 빼서 만들었고 문제의 다른 조작의 정답은 제외하였다. 이렇게 만들어진 총 40개의 문제와 탐사자극의 쌍은 다섯 지연시간 즉 120msec, 180msec, 240msec, 480 msec와 960msec에서 각각 한번씩 제시되어 총 200 시행이 만들어졌다. 문제들은 같은 반응이 연속 3 시행 이상에서 반복되지 않도록, 같은 지연시간이 3 시행 이상에서 반복되지 않도록, 이웃하는 시행에서 같은 문제와 같은 탐사자극이 제시되지 않도록 배열되었고 모든 피험자들에게 문제는 같은 순서로 제시되었다.

절차. 피험자들은 그들이 재학하고 있는 학교 안에 있는 방송실에서 개인적으로 실험을 받았다. 실험은 유아교육을 전공하고 있는 한 명의 여자 대학원생에 의해 실시되었다. 실험의 전체과정은 IBM PC에 의해 통제되었다. 컴퓨터로 실험에 대해 소개했고 필요할 때에는 실험 진행자가 아동들에게 과제를 더 설명하여 주었다. 과제에 대한 설명을 들은 후 피험자들은 10개의 연습문제를 풀 뒤 실험에 들어갔다. 각 시행에서 피험자가 준비하도록 ****표가 제시되었다고 사라지고 나면 '4+2' 와 같은 더하기 문제가 모니터의 중앙에 제시되었다. 문제가 120msec, 180msec, 240msec, 480 msec, 또는 960msec 동안 제시되었다 사라지면서 문제보다 한 줄 아래의 모니터 중앙에 '4'와 같이 하나의 숫자가 탐사자극으로 제시되어 피험자들이 반응할 때까지 남아 있었다.

피험자들은 탐사자극이 앞에 제시된 문제에 있었는지를 판단하여 컴퓨터의 키이를 사용하여 반응하였다. 각 연령에서 반수의 남아들과 반수의 여아들은 탐사자극이 문제에 있을 때에는 컴퓨터

자판 하단의 가장 오른쪽에 있는 ? 키이를 누르게 하였고 탐사자극이 문제에 없을 때에는 컴퓨터 자판 하단의 가장 왼쪽에 있는 Z 키이를 누르게 하였다. 나머지 피험자들은 키이를 반대로 사용하였다. 피험자들의 반응이 맞을 때에는 모니터의 중앙에 “예”라는 피이드백이 제시되었고 피험자들의 반응이 틀렸을 때에는 아무런 피이드백도 주어지지 않았다.

전체 200개의 문제가 4블럭으로 나뉘어서 블럭당 50 문제씩 제시되었고 각 블럭이 끝난 다음에는 약 15초 동안의 휴식이 제공되었다. 피험자들은 매 시행에서 가능하도록 틀리지 않으면서 빨리 반응하도록 지시하였다. 아동에 따라 약간 차이가 있었으나 실험을 마치는데 대개 15분에서 20분 정도가 소요되었다.

결 과

반응시간. 각 조건의 평균 반응시간의 2배 이상되는 반응시간은 극단적인 반응으로 생각되므로 제외한 후 각 조건의 평균 반응시간이 계산되었는데 이렇게 제외된 반응시간은 전체 시행의 약 1.62%였다. 조건별 피험자들의 평균 반응시간이 학년별로 표1에 제시되어 있다.

표에 나타나듯이 1학년과 3학년 아동들의 정답 조건의 평균 반응시간은(1358msec, 1228 msec) 오답조건의 평균 반응시간보다 (1589 msec, 1437 msec) 빨랐을 뿐 아니라 문제와 탐사자극 사이의 지연시간이 길어질수록 점차감소하였다. 그러나 정답조건의 반응시간은 이 연구의 문제와 직접적으로 관계가 없기 때문에 분석에 포함시키지 않았다.

표 1. 1학년과 3학년의 조건별 평균 반응시간

학년	조건	지연시간	120	180	240	480	960
		msec	msec	msec	msec	msec	
1	정답조건		1524	1432	1317	1303	1218
	관련오답조건		1907	1718	1641	1517	1342
	무관련오답조건		1731	1635	1575	1474	1359
3	방해효과*		176	83	66	43	-17
	정답조건		1208	1158	1139	1015	976
	관련오답조건		1508	1395	1321	1245	1051
	무관련오답조건		1414	1297	1355	1193	1073
	방해효과		94	98	-34	52	-22

* 방해효과=관련오답조건 반응시간-무관련오답조건 반응시간

합이 자동적으로 활성화되는지 또 그 경향이 어떻게 발달하는지를 평가하기 위해 오답조건의 평균 반응시간을 2(학년: 1학년과 3학년)×2(성: 남아와 여아)×5(지연시간: 120, 180, 240, 480, 960 msec)×2(오답종류: 관련오답과 무관련 오답) 반복 측정에 의한 변량분석으로 분석하였다. 처음 두 변인은 피험자간 변인이었고 나머지 변인들은 피험자내 변인이었다.

변량분석의 결과, 학년의 주효과가 유의하여 ($F_{1,60}=6.59, p<.05$) 3학년의 평균 반응시간(1437 msec)이 1학년의 평균 반응시간(1589msec) 보다 약 150msec 더 빠르게 나타났다. 또한 지연시간의 주효과도 유의하여서($F_{4,240}=39.79, p<.01$) 문제와 탐사자극 사이의 지연시간이 길어질수록 반응시간이 점차 감소하였다.

중요하게는 오답종류의 주효과가 유의하여서 ($F_{1,60}=17.25, p<.01$) 합이 오답으로 제시된조건의 평균 반응시간이(1464msec) 무관련 오답이 제시된 조건의 평균 반응시간(1410 msec)보다 약 55 msec 정도 더 느렸다. 게다가 오답종류와 지연시간 사

이의 상호작용이 유의하여($F_{4,240}=2.76, p<.05$) 합 의 자동적 활성화로 인한 방해효과는 지연시간에 따라 달라졌다. 다섯 지연시간에서 나타난 방해효과는 각각 135msec, 91msec, 16msec, 48msec, 그리고 -20msec 으로 지연시간이 길어질수록 체계적으로 감소하였다. 각 지연시간에서 오답종류의 효과를 검토한 결과, 오답종류의 효과는 지연시간 120 msec과 ($F_{1,63}=15.67, p<.01$) 180msec($F_{1,63}=7.6, p<.01$)에서만 통계적으로 유의하였다.

합의 자동적 활성화가 어떻게 발달하는지를 검토하는데 결정적으로 생각되는 학년을 포함한 상호작용은 하나도 유의하지 않았다. 즉 학년×오답종류의 상호작용 또는 학년×오답종류×지연시간의 상호작용 어느 것도 통계적으로 유의하지 않았다. 이는 위에서 살펴본 오답종류×지연시간 사이의 상호작용이 그림에 나타나 있듯이 1학년과 3학년에서 동일하게 나타나고 있음을 의미한다.

표 2. 조건별 평균 오반응률(%)

학년	조건	지연시간				
		120 msec	180 msec	240 msec	480 msec	960 msec
	정답조건	26	20	24	17	18
1	관련오답조건	29	19	22	14	14
	무관련오답조건	22	20	18	15	11
	정답조건	13	13	12	8	9
3	관련오답조건	12	9	8	7	5
	무관련오답조건	10	7	11	8	5

오반응률. 피험자들의 조건별 평균 오반응률이 표 2에 제시되어 있다. 전체 오반응률은 1학년이 19%, 3학년이 9%로 높은 편이었고 정답조건의 오반응률이(16%) 오답조건의 오반응률보다(13%) 오히려 조금 높았다.

오답조건의 오반응률을 반응시간과 동일한 방식으로 변량분석하였다. 변량분석 결과, 학년의 주효과가 유의하여($F_{1,60}=14.47, p<.01$) 1학년의 평균 오반응률이 18%로 3학년의 평균 오반응률 8%보다 훨씬 높았다. 또한 지연시간의 주효과도 유의하여서($F_{4,240}=14.80, p<.01$) 다섯 지연시간에서 오반응률은 각각 18%, 14%, 15%, 11%와 9%로 지연시간이 길어질수록 감소하였다. 그런데 이런 경향은 3학년보다 1학년에서 더 두드러졌다($F_{4,240}=3.34, p<.05$).

오답종류의 주효과나 오답종류×지연시간 사이의 상호작용은 유의하지 않았지만 성×지연시간×오답종류 사이의 상호작용이 유의하였다($F_{4, 240}=2.84, p<.05$). 성에 따라 지연시간에 따른 방해효과를 검토한 결과, 남아들은 120msec 지연시간에서 약 9%, 240msec 지연시간에서 약 6%의 방해효과를 보였으나 여아들은 모든 지연시간에서 거의 방해효과를 보이지 않았다. 즉 남아들의 반응에서만 합의 자동적 활성화와 일치하는 오반응 패턴이 나타났다.

요약 및 논의

반응시간의 분석에서 초등학교 1학년과 3학년들에서 더하기 지식이 자동적으로 활성화되고 있음이 밝혀졌다. 예상과는 달리 1학년과 3학년이 더하기를 학습한 기간과 정도가 크게 차이가 있음에도 불구하고 합이 자동적으로 활성화되는 경향에는 학년의 차이가 없었다. 또한 1학년과 3학년 모두 지연시간 120msec과 180msec에서 유의한 방해효과를 보여서 합의 자동적 활성화로 인해 유의한 방해효과가 나타나는 지연시간에서도 학년의 차이가 없었다. 이 결과는 성인을 대상으로 한

여러 연구들(LeFevre, Bisanz, & Mrkonjic, 1988; LeFevre & Kulak, 1994; LeFevre, Kulak, & Bisanz, 1991; 박 영신, 1999) 에서 밝혀진 것과 동일한 것으로 초등학교 1학년부터 이미 합이 성인들과 마찬가지로 자동적으로 활성화되고 있을 뿐 아니라 합의 자동적 활성화의 *time course* 도 성인들과 유사함을 보여준다.

이처럼 초등학교 저학년이 성인들과 동등한 수준의 수행을 보인 것은 이 연구에서 사용된 문제들이 크기가 작은 더하기 문제인 것과 관계가 있는 것 같다. 모든 문제들이 그 합이 10 미만일 뿐 아니라 두 가수 모두 5 이하인 문제들이었다. 따라서 이런 작은 문제들은 아동들이 더하기를 배우는 초기 과정에서부터 과학습되어 왔기 때문에 일찍부터 문제와 합 사이의 연합이 강하게 형성되어 있을 것이다.

실험 1의 결과는 프랑스 아동들을 대상으로 2학년에서 합의 자동적 활성화를 발견한 Lemaire 등의 연구(1994)와는 일치하나 6학년 아동들에서 합의 자동적 활성화를 발견한 캐나다 아동들을 대상으로 한 LeFevre 등의 연구(1987) 결과나 미국 아동들을 대상으로 한 Park(1988)의 연구 결과와 대조가 된다. 이 결과는 동양 아동들이 다양한 산수나 수와 관련된 과제에서 서양의 아동들보다 우수함을 지적하고 있는 많은 다른 연구들의 결과와 일치하며 한국 아동들이 서양 아동들보다 더 일찍부터 잘 발달된 더하기 지식의 연합망을 가지고 있음을 시사한다.

실 험 2

실험 1에서 초등학교 1학년과 3학년에서도 성인들에서 발견된 것과 같은 합의 자동적 활성화

가 관찰되었다. 앞에서도 논의했지만 이는 이 연구에서 사용된 것과 같이 작은 더하기 문제들과 그 합은 아동들에서도 성인들과 같은 수준으로 강하게 연합되어 있을 가능성을 시사한다. 이런 가능성은 아동들에서 나타난 방해효과의 *time course*와 성인들에서 나타난 방해효과의 *time course*가 동일하다는 사실을 고려할 때 더 커진다. 만약 그렇다면, 성인들에서 밝혀진 다른 실험적 조작의 효과들도 아동들에서 그대로 나타날 것이다.

LeFevre 등이 (1988) 발견한 것과 마찬가지로, 한국 성인들을 대상으로 한 박영신의 연구(1999)에서도 합의 자동적 활성화에 + 부호가 필요하지 않음이 밝혀졌다. 성인들은 '4 2' 와 같이 문제에 + 부호가 제시되지 않았을 때에도 '4+2' 와 같이 문제에 + 부호가 제시되었을 때와 마찬가지로 합의 자동적 활성화로 인한 방해효과를 보였다. 이 결과는 성인들에서는 문제에 + 부호가 제시되지 않아서 과제가 전혀 합과 무관한 상황에서도 합의 활성화될 정도로 문제와 합 사이의 연합이 상당히 강력함을 보여준다.

따라서 실험 2에서는 실험 1에서 밝혀진 합의 자동적 활성화가 성인들에서 밝혀진 것과 같이 문제에 + 부호가 제시되지 않을 때에도 나타나는지 확인하기 위한 목적으로 실시되었다. 만약 아동들에서도 합의 자동적 활성화에 + 부호가 필수적이지 않다면 문제에 + 부호가 제시되지 않을 때에도 실험 1에서 밝혀진 것과 동일한 오답종류의 효과 및 오답종류×지연시간 사이의 상호작용이 나타날 것이다. 그러나 아동들에서는 합의 자동적 활성화에 + 부호가 필요하다면 문제에 + 부호가 제시되지 않을 때에는 오답종류의 효과나 오답종류×지연시간 사이의 상호작용이 유의하지

않을 것이다.

방 법

피험자. 실험 1과 마찬가지로 초등학교 1학년 20명과 3학년 20명이 실험에 참여하였다. 각 학년마다 남학생들과 여학생들의 수는 각각 10명으로 같았다. 대부분은 대전 서구 지역에 소재하고 있는 여러 초등학교에 재학중인 아동들로 일부 아동들은 개인적인 접촉을 통해 실험에 참여하였고 나머지 아동들은 자신들이 다니고 있는 학원을 통해 실험에 참여하였다. 이들의 사회경제적 지위는 중하정도에 속했다.

자극. 실험 1에 사용된 자극들이 그대로 사용되었으나 실험 1과는 달리 문제가 + 부호가 없이 제시되었다.

절차. 피험자들은 배재대학교의 조용한 연구실이나 또는 피험자들이 다니는 학원에 있는 조용한 방에서 실험 1을 실시했던 대학원생에 의해 개인적으로 실험을 받았다. 실험의 절차와 소요시간은 실험 1과 동일하였다.

결 과

반응시간. 실험 1과 마찬가지로 극단적인 반응을 제외한 조건별 평균 반응시간이 표 3에 학년별로 제시되어 있다. 각 조건의 평균의 2배 이상인 극단적인 반응은 전체 시행의 약 1.67%였다. 실험 2에서도 실험 1과 마찬가지로 정답조건의 평균 반응시간(1104msec)이 두 종류의 오답조건의 평균 반응시간(1222 msec)보다 약 120msec 더 빨랐다.

+ 부호가 없이도 합이 자동적으로 활성화되는지 또 그 경향이 어떻게 발달하는지 평가하기 위

해 오답조건의 평균 반응시간이 실험 1과 동일한 변량분석으로 분석되었다.

표 3. 1학년과 3학년의 조건별 평균 반응시간

학년	조건	지연시간	120	180	240	480	960
		msec	msec	msec	msec	msec	
정답조건		1391	1254	1220	1082	1095	
1	관련오답조건	1546	1471	1403	1316	1120	
	무관련오답조건	1460	1350	1273	1273	1179	
방해효과		86	120	130	43	-59	
정답조건		1139	1033	1030	901	903	
3	관련오답조건	1300	1180	1127	1034	948	
	무관련오답조건	1232	1140	1120	1033	947	
방해효과		68	40	7	1	1	

전체적인 결과는 실험 1과 유사하였다. 학년의 주효과가 유의하여서 ($F_{1,36} = 8.04, p < .01$) 3학년의 평균 반응시간이(1106 msec) 1학년의 평균 반응시간보다(1339msec) 약 230msec 정도 더 빨랐다. 지연시간의 주효과도 유의하였으나 ($F_{4,144} = 50.35, p < .01$) 지연시간은 성과 유의한 이원상호작용을($F_{4,144} = 5.57, p < .01$) 보였을 뿐 아니라 성과 학년과 유의한 삼원상호작용도 보였다($F_{4,144} = 2.69, p < .05$). 즉 지연시간이 길어질수록 반응시간이 감소하였는데 그 정도가 남아들보다 여아들에서 더 컸으며 이런 경향이 3학년 보다 1학년에서 더 두드러졌다.

중요하게는 오답종류의 주효과가 유의하였을 뿐 아니라 ($F_{1,36} = 9.46, p < .01$) 오답종류와 지연시간 사이의 상호작용도 유의한 수준에 이르렀다 ($F_{4,144} = 2.31, p < .1$). 다섯 지연시간에서 방해효과는 각각 77msec, 80msec, 69msec, 22msec, 그리고 -29 msec이었다. 각 지연시간에서 오답종류의 효과를 검토한 결과, 지연시간 120msec($F_{1,36} = 6.9, p < .05$)과

240 msec($F_{1,39}=5.08, p<.05$)에서 방해효과가 유의하였고 지연시간 180msec에서는 ($F_{1,39}= 3.47, p<.1$) 유의한 수준에 미쳤다.

오반응률. 조건별 오반응률이 표 4에 제시되어 있다. 전체 오반응률은 1학년이 12%, 3학년이 9%로 실험 1보다는 낮은 편이었다. 정답조건의 평균 오반응률이 (14%) 오답조건의 평균 오반응률 (9%)보다 오히려 더 높았다.

오답조건의 오반응률도 실험 1과 동일한 변량 분석으로 분석되었다. 1학년의 평균 오반응률이 (10%) 3학년의 평균 오반응률(8%)보다 약간 높았으나 실험 1과 달리 이 차이는 통계적으로 유의하지 않았다. 지연시간의 주효과가 유의하였으나 ($F_{4,144}=9.36, p<.01$) 지연시간과 성의 상호작용이 유의한 수준에 미쳐서($F_{4,144}=2.26, p<.1$) 지연시간이 길어질수록 오반응률이 감소하였는데 그 경향이 여아들보다 남아들에서 더 두드러졌다.

관련오답 조건의 평균 오반응률이(10%) 무관련 오답조건의 평균 오반응률보다(8%) 2% 정도 높았으며 실험 1과는 달리 오답종류의 주효과가 유의하였다($F_{1,36}=10.2, p<.01$).

그러나 오답종류와 학년또는 오답종류와 지연 시간 사이의 상호작용은 유의하지 않았다.

표 4. 조건별 평균 오반응률(%)

학년	조건	지연시간	120	180	240	480	960
		msec	msec	msec	msec	msec	
정답조건			21	17	15	13	14
1	관련오답조건		17	14	11	7	7
	무관련오답조건		11	9	8	8	7
정답조건			15	12	13	9	10
3	관련오답조건		10	10	11	9	3
	무관련오답조건		11	7	11	4	3

요약 및 논의

실험 2는 성인들과 마찬가지로 아동들에서도 합이 자동적 활성화에 + 부호가 필요하지 않은지 알아보기 위해 이루어졌다. 실험 2는 실험 1보다 훨씬 적은 수의 피험자를 사용하였고 실험 상황이 실험 1과 차이가 있었음에도 불구하고 결과는 거의 비슷하였다. 이 결과는 실험 1에서 밝혀진 결과를 재확인하는 것일 뿐 아니라 초등학교 1학년과 3학년에서도 + 부호가 없이 문제가 제시될 때에도 합이 자동적으로 활성화되며 또한 초등학교 1학년과 3학년에서도 문제와 합 사이의 연합이 성인들과 비슷한 수준임을 보여준다.

실험 2의 결과는 실험 1의 결과와 여러 가지 면에서 차이가 있었다. 첫째, 실험 1보다 피험자들의 반응이 전체적으로 더 빨랐다. 이는 실험 1과 2에 참여한 아동들의 차이일 수도 있겠지만 실험 2에서 + 부호가 제시되지 않아서 실험 1에서 보다 처리해야 할 정보가 감소했기 때문인 것 같다. 둘째, 실험 1과 비교할 때 실험 2에서 1학년들의 오반응률이 큰 폭으로 감소했지만 3학년에서는 큰 변화가 없었다. 이는 3학년들은 문제에 + 부호가 제시되느냐의 여부에 큰 영향을 받지 않지만 1학년들은 문제에 제시된 + 부호의 영향을 많이 받음을 의미한다. 따라서 실험 2처럼 + 부호가 제시되지 않은 문제에서 1학년들의 탐사자극에 대한 판단이 더 정확했을 수 있다. 셋째, 실험 2에서는 실험 1에서 유의한 방해효과가 나타나지 않았던 지연시간 240msec에서도 유의한 방해효과가 나타났다는 점이다. 이는 비록 학년, 오답의 종류와 지연 시간 사이의 상호작용은 유의하지 않았지만 3학년 아동들과 달리 1학년 아동들이 지연시간 240 msec에서 큰 방해효과(130 msec)를 보였기 때문이

었다. 이는 어쩌면 문제와 합 사이의 연합이 충분히 강하지 못한 1학년 아동들에게는 + 부호가 제시되지 않은 문제에서는 합이 활성화되는데 시간이 더 걸리기 문일지 모른다.

전체 논의

이 연구에서는 1학년과 3학년을 대상으로 더하기 지식의 자동적 활성화가 어떻게 발달하는지 알아보았다. 실험 1에서 1학년과 3학년 모두에서 합이 자동적으로 활성화됨을 보여주었고 실험 2에서 합의 활성화가 문제에 + 부호가 제시되지 않는 상황에서도 나타나는 강력한 현상임을 보여주었다.

흥미로운 것은 1학년과 3학년 아동들이 더하기를 학습한 정도가 크게 차이가 있음에도 불구하고 적어도 합이 자동적으로 활성화되는 경향에 있어서 학년 차이가 없었다는 점이다. 그러나 학년간의 차이가 이 연구에서 통계적으로 유의하게 파악되지는 않았지만 실험 1과 2의 자료를 살펴보면, 학년간의 차이가 발견된다. 우선 3학년의 경우에는 실험 1과 2 모두에서 다른 지연시간에 비해 지연시간 120msec과 180msec에서 비교적 큰 방해효과를 보였고 이는 성인을 대상으로 한 박영신(1999)의 결과나 LeFevre 등 (1988)의 결과와도 일치한다. 즉 초등학교 3학년 정도에는 지연시간에 따른 방해효과의 패턴이 성인과 유사했다. 이는 초등학교 3학년 아동들에서는 적어도 이 연구에 사용된 것과 같은 경험할 기회가 많은 작은 문제들에 관한 한 성인들과 같은 형태와 강도의 연합망을 형성하고 있음을 의미한다.

그러나 1학년들은 실험 1과 2에서 짧은 세 지연시간에서 비교적 큰 방해효과를 보였다. 특히 3

학년들이 전혀 방해효과를 보이지 않는 240msec에서 상당히 큰 방해효과를 보였다. 이는 일부 1학년 아동들에서 합의 활성화가 3학년보다 더 오래 지속되거나 또는 일부 1학년 아동들이 180msec 이하의 짧은 지연시간에서는 방해효과를 보이지 않고 240msec에서만 유의한 방해효과를 보였기 때문일 수 있다. 또한 실험 1에 비해 실험 2에서 1학년들의 오반응률이 크게 감소했다는 점을 같이 고려할 때 1학년 아동들이 합의 자동적 활성화를 보이기는 하지만 그들이 가지고 있는 더하기 지식의 연합망이 3학년들에 비해 덜 안정되었을 수 있다.

또한 이 연구는 우리나라 아동들이 미국이나 캐나다 아동들 보다는 훨씬 일찍 합의 자동적 활성화를 보인다는 사실을 밝혀주었다. 이는 우리나라 아동들에서 미국이나 캐나다의 아동들에서 보다 더하기 지식이 더 잘 표상되어 있음을 의미한다. 이 결과는 또 많은 교차문화적 연구들이 동양 아동들이 수를 표상하는 방식(Miura, Okamoto, Kim, Steere, & Fayol, 1993) 또는 다양한 산수과제에서 미국 아동들보다 더 우수함을 밝히는데(Song & Ginsburg, 1987; Stevenson, Chen, & Lee, 1993; Stevenson, Lee, & Stigler, 1986; 신은수, 1999) 덧붙여 동양의 아동들이 산수지식을 표상하고 있는 방식과 정도 또 이 정보들에 접근하는 속도에 있어서도 우수함을 지적한다.

그러나 이 연구의 결과로는 한국 아동들에서 과연 더하기 지식이 언제부터 자동적으로 활성화 되는지를 밝힐 수는 없었다. 따라서 앞으로의 연구에서는 공식적인 수학교육을 받기 이전의 학령전기 유아들을 대상으로 이 문제를 검토해 볼 필요가 있을 것이다. 또한 아동들을 대상으로 반응 시간을 측정하는 연구가 일반적으로 갖는 문제이

듯이 이 실험에서도 각 조건에서 피험자들의 반응시간에 상당한 개인차가 있었고 또 피험자들의 수가 충분하지 않아서 1학년과 3학년에서 나타나는 세부적인 발달상의 변화가 충분히 파악되지 못했다. 따라서 앞으로의 연구에서는 좀 더 동질적인 피험자들을 사용하여 더하기 지식의 연합망이 어떻게 발달하며 그에 상응하여 더하기 지식의 자동적 활성화가 어떻게 전개되는지 검토할 필요가 있다. 이와 관련하여 동일한 연령의 아동들에서 나타나는 개인차에도 관심을 기울일 필요가 있다. 본 연구에서 사용된 것과 같은 단순한 합과 곱의 정보들이 복잡한 산수나 수학문제를 구성하는 요소들로 수없이 포함된다는 사실을 고려할 때 이런 단순한 더하기 정보들이 얼마나 빠르고 정확하게 접근되는가가 복잡한 산수나 수학문제에서의 아동들의 수행에 크게 영향을 줄 수 있다. 또한 LeFevre 등 (1994) 이 밝혔듯이 성인들에서도 간단한 더하기 문제의 수행에 개인차가 있다는 점을 고려할 때, 산수지식의 연합망이 형성되어 가고 있는 아동들에서 개인차는 더 크며 또 다양한 산수수행에 영향을 미칠 것으로 생각된다. 따라서 과연 아동들에서 합과 곱의 자동적 활성화 경향에 개인차가 나타나는지 또 나타난다면 이 개인차가 다른 산수과제의 수행에 어떻게 영향을 미치는지도 더 검토되어야 하는 문제이다. 마지막으로 지적되는 문제점은 두 실험 모두에서 오반응률이 너무 높았다는 점이다. 실험 1의 평균 오답율은 약 14%였고 실험 2의 오답율은 10%였다. 이는 LeFevre 등의 연구나 아동들을 대상으로 반응시간을 측정하는 다른 연구에 비해 상당히 높은 수준으로 반응시간에 대한 해석에 문제를 제기할 수도 있다. 과제 자체가 지나치게 단순하여 어린 아동들이 계속해서 과제에 주의를 기울이도록 하

는 것이 힘들었다는 점이 문제점으로 남는다.

참고문헌

- 박영신(1994). 산수지식의 인출의 발달. *한국심리학회지:발달*, 7, 77-97.
- 박영신 (1998). 한국과 미국의 초등학교 저학년 수학 교과서 비교연구: 더하기 문제를 중심으로. *한국심리학회지: 발달*, 11, 49-61.
- 박영신 (1999). 더하기 지식의 자동적 활성화. *인간발달연구*, 6, 17-29.
- 신은수 (1999). 수개념 발달에서의 한국적 특성: 한국 아동의 수개념 발달에 영향을 주는 문화 심리학적 요인. *인간발달학회 제 6회 심포지움*.
- Ashcraft, M.H. (1987). Children's knowledge of simple arithmetic: A developmental model and simulation. In J. Bisanz, G.J. Brainerd, & R. Kail(Eds.), *Formal method in developmental psychology: Progress in cognitive development research*. New York: Springer-Verlag.
- Ashcraft, M.H. (1992). Cognitive arithmetic: A review of data and theory. *Cognition*, 44, 75-106.
- Ashcraft, M.H. (1995). Cognitive psychology and simple arithmetic: A review and summary of new directions. *Mathematical Cognition*, 1, 3-34.
- LeFevre, J., & Bisanz, J. (1987, April). *Cognitive Arithmetic: Evidence for the development of automaticity*.
- LeFevre, J. Bisanz, J., & Mirkonjic, L. (1988). Evidence for obligatory activation of arithmetic facts. *Memory & Cognition*, 16, 45-53.

- LeFevre, J., & Kulak, A.G.(1994). Individual differences in the obligatory activation of addition facts. *Memory & Cognition*, 22, 188-200.
- LeFevre, J., Kulak, A.G., & Bisanz, J.(1991) Individual differences and developmental change in the associative relations among numbers. *Journal of Experimental Child Psychology*, 52, 256-274.
- LeFevre, J., Sadesky, G.S., & Bisanz, J.(1996). Selection of procedures in mental addition: Reassessing the problem-size effect in adults. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition*, 22, 216-230.
- Lemaire, P, Barrett, S.E., Fayol, M., & Abdi, H. (1994). Automatic activation of addition and multiplication facts in elementary school children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 57, 224-258.
- Lemaire, P., Fayol, M., & Adbci, H.(1991). associative confusion effect in cognitive arithmetic: evidence for partially autonomous processes. *European Bulletin of cognitive Psychology*, 11, 587-604.
- Miura, I.T., Okamoto, Y., Kim, C.C., Steere, M., & Fayol, M. (1993). First graders' cognitive representation of number and understanding of place value: Crossnational comparisons-France, Japan, Korea, Sweden, and the United States. *Journal of Educational Psychology*, 85, 24-30.
- Neely, J.H. (1977). Semantic priming and retrieval from lexical memory: Role of inhibitionless spreading activation and limited capacity attention. *Journal of Experimental Child Psychology*, 106, 226-254.
- Park, Y.S.(1989). The effect of training on children's addition performance. *Korean Journal of Developmental Psychology*, 2, 54-68.
- Park, Y.S., Babu, S., & Kail, R. (1988, April). Development of automaticity in mental addition and multiplication. Paper presented at the meeting of Midwestern Psychological Association, Chicago.
- Song, M.J., & Ginsburg, H.P. (1987). The development of informal and formal mathematical thinking in Korean and U.S. children. *Child Development*, 58, 1286-1296.
- Stevenson, H.W., Chen, C., & Lee, S.Y. (1993). Mathematical achievement of Chinese, Japanese, and American children: Ten years later. *Science*, 259, 53-58.
- Stevenson, H.W., Lee, S.Y., & Stigler, J.W. (1986). Mathematics achievement of Chinese, Japanese, and American children. *Science*, 231, 693-699.

Development of automatic activation of addition knowledge

Young-shin Park

Pai Chai University, Department of Early Childhood Education

Development of automatic activation of addition knowledge was examined in two experiments with elementary school children in grade 1 and 3. In Experiment 1, addition problems (e.g., $4+2$) were followed by three kinds of probes: sum (e.g., 6), neutral number (e.g., 7) or one number presented in the problem (e.g., 4). Delays between the problem and the probe were 120msec, 180msec, 240msec, 480msec, and 960msec. In Experiment 2, problems were presented without + sign (e.g., 4 2). Subjects decided whether the probe number was presented in the problem or not. Children in grade 1 and 3 rejected sum probes more slowly than neutral probes only at delay 120msec and 180msec in Experiment 1 and only at delay 120msec, 180msec and 240msec in Experiment 2. Children rejected sum probes less accurately than neutral probes only in Experiment 2. These results imply that automatic activation of addition knowledge develops much earlier in Korean children than in children from Western countries.