



어떤 학문 분야든 그 학문 분야가 발달하고 연구 내용이 복잡해짐에 따라 연구 주제들은 다양화되고 세분화되는 것이 일반적 흐름일 것이다. 다른 과학들처럼 심리학도 그 연구 영역들에서 점차 세분화되어 발달해 왔다. 이것은 미국 심리학회(APA)에서 발간하는 최근의 심리학 전문 저널의 수만도 52종에 이르고 (<http://www.apa.org/journals/>), 각 저널에서 독특하게 다루는 연구 분야가 매우 세분화되고 증가하고 있다는 사실에서도 알 수 있다. 이렇듯 심리학 영역에서 연구 주제가 세분화되는 추세와 마찬가지로, 마음의 구성요소들을 좀 더 세분화하여 살펴보고자 하는 움직임이 있어 왔다(Anderson, Bothell, Byrne, Douglass, Lebiere, & Qin, 2004). 세분화된 인지 모듈(cognitive modules)로 인간 행동을 이해하고자 하는 시도들은 괄목할만한 연구 성과를 내놓았지만, 궁극적으로 인간의 행동을 산출하는 것은 수많은 모듈이나 구성요소로 불리는 것으로 이루어진 ‘단일한’ 마음이다.

통합은 항상 과학의 목표가 되어 왔으며 과학이 갖는 태도이기도 하다(Newell, 1990). 따라서 개별적으로 연구되어온 인지 행동들을 통합하여 설명할 수 있는 하나의 틀이 필요하다는 인식이 대두되었으며, 이를 가능하게 할 수 있는 통합이론으로서의 인지 아키텍처들(cognitive architectures), 예컨대 Soar, EPIC, 그리고 ACT-R 등이 제안되어 발전해 왔다. Newell(1990)은 그의 저서 『통합인지이론<sup>1)</sup>』에서 이

1) Newell은 저서의 제목이 『The Unified Theory of Cognition』이 아니라 『Unified Theories of Cognition』이라는 것을 중요하게 언급하고 있다. 즉, 현재는 하나의 통합인지이론이 완성된 상태가 아니라, 지속적인 연구를 통해 궁극적으로 단일한 통합인지이론을 만들기 위해 노력해야 할

제 심리학은 인지에 대한 통합 이론을 만들어 낼 정도로 발전했음을 강조하고 있다. 이론들은 축적된다. 다시 말하면, 이론들은 정교화되고, 재구성되고, 수정되고, 그리고 확장된다. 따라서 통합 이론은 인간의 인지과정을 산출하는 기제들로 구성된 하나의 시스템을 가정한다.

Newell(1990)은 과학의 세계가 Popper(1959)보다는 Lakatos(1970)에 가깝다고 주장한다. 즉, Popper(1959)는 어떠한 이론이나 가설도 절대적으로 확증되거나 확률적으로 입증될 수 없고 오로지 반증만이 가능하므로, 과학적인 탐구의 목적은 이론과 가설의 확증이나 입증이 아니라 반증이라고 주장하였다. 하지만 Newell(1990)은 사격 게임의 유추를 통해 Popper(1959)의 이러한 생각에 반대하고 있다. 이론이라는 목표자극을 하늘 높이 쏘아 올려 총으로 쏘는 사격 게임이 있다고 가정해 보자. 그리고 이론들은 반증이라는 총알에 의해 떨어지고, 이것이 그 이론의 최후가 되는 상황을 생각해 보자. 이론은 이런 식으로 발전해 나가는 것일까?

한편, Lakatos(1970)는 과학지식은 끊임없이 성장하므로, 과학의 발달도 순전히 과학지식의 속성과 그 성장에 대한 분석을 통해 설명할 수 있다고 제안하였다. 즉, Lakatos(1970)가 말한 세계에서 이론은 양육되고, 수정되며, 그리고 총체적인 구성체로 만들어져야 하는 어떤 것인데 여기에서 핵심은 ‘통합’의 기능이 강조된 총체적인 구성체로서의 이론에 초점을 맞추고 있다는 것이다. 이러한 관점에서 Newell(1990)은 통합인지이론의 출현은 당연하다고 주장하고 있다.

Anderson 등(2004)도 신체 유추를 통해 통합 때임을 강조하고 있다.

인지이론 제안의 정당성을 주장하였다. 현대 생물학과 약학은 여러 신체 체계들과 부분들이 기능적으로 전문화되어 있다는 사실에 주목하고 세분화된 방향으로 성공적인 움직임을 보여 왔다. 그러나 신체 전체가 이미 가시적이기 때문에 어깨를 연구하는 사람은 손과 어깨가 어떻게 연관되어 있는지에 대해 기본적으로 이해하고 있고, 폐를 연구하는 사람도 심장과 폐의 관련성에 대해 기본적으로 이해하고 있다. 그렇다면 범주화를 연구하고 있는 사람과 문장처리에서 온라인 추론을 연구하는 사람, 혹은 의사결정을 연구하는 사람과 운동 제어를 연구하는 사람들도 각각의 연구들을 유기적으로 관련지을 수 있는 ‘하나의 마음’에 대해 이해해 왔는가? 이에 대해 Anderson 등(2004)은 가시적으로 확인할 수 있는 신체와는 달리 우리의 마음은 가시적이지 않으므로 이러한 이론들의 통합에 대한 노력이 미진할 수밖에 없었지만, 이제는 각각의 이론들이 충분히 축적되었다고 판단되므로 통합이론으로서 인지 아키텍처를 제안하는 것이 바람직하다고 주장한다.

통합인지이론으로서의 인지 아키텍처는 인간의 마음과 행동에 대한 통합적 설명들을 제공한다. 본 연구의 목적은 통합인지이론으로서 발달해온 인지 아키텍처가 인간 행동을 설명하는데 있어 간과하고 있는 부분을 밝혀, 인간 행동을 보다 잘 설명할 수 있는 효과적인 아키텍처로의 발달 방향을 제안하려는 것이다.

본 논문에서는 인지 아키텍처의 개념을 정리하고, 대표적인 인지 아키텍처인 Soar, EPIC, 그리고 ACT-R<sup>2)</sup>에 대해 개관한 후, 이 중 현재

2) 본 논문에서 ACT-R은 ACT-R/PM을 지칭한다. ACT-R은 5.0 버전부터 지각-운동 모듈인 PM

가장 활발히 연구가 수행되고 있는 ACT-R을 선택하여 발달 과정과 ACT-R을 이용한 모델링의 패러다임을 소개하였다. 끝으로 기존의 인지 아키텍처가 갖는 제한점에 근거하여 새로운 알고리즘을 제안하고, 인지 아키텍처의 발달방향에 대한 논의를 전개하였다.

## 인지 아키텍처의 개념

인지 아키텍처(cognitive architecture)란 인간 인지 체계의 전반적인 구조와 배열을 기술하는데 사용되는 용어이다. 즉 인지 아키텍처는 광범위한 실험 데이터와 컴퓨터 시뮬레이션 프로그램에 근거한 인간 인지에 관한 폭넓은 이론이며(Byrne, 2003), 비교적 영속적인 시간에 걸쳐 과제와는 독립적으로 인간 인지의 여러 측면들에 관한 과학적 가설을 구체화한 것이다(Gary, Young, & Kirschenbaum, 1997; Howes & Young, 1997; Ritter & Young, 2001). Kieras와 Meyer(1997)도 인지 아키텍처를 특정한 과제와 현상이 구조화될 수 있는 모델 내에서의 인간 인지에 관한 이론적 구조이자 기제들의 세트라고 정의하고 있다.

Anderson(1976)과 Laird, Rosenbloom, 및 Newell

(Perceptual-Manual)을 추가함으로써 ACT-R/PM으로도 표기되었다. 현재 개발되어 사용되고 있는 것은 PM 2.0 모듈을 가진 ACT-R 6.0 버전이다. 5.0 버전 이후부터의 ACT-R에는 별도의 표기가 없어도 PM 모듈이 포함되어 있는 것이므로, 본 논문에서는 구분하여 ACT-R/PM이라고 표기하지 않고 ACT-R로 표기하였다. 하지만, 초기의 ACT가 ACT\*를 거쳐 ACT-R이 된 후, 현재 사용되고 있는 ACT-R/PM으로 발전하기까지의 개발 배경을 설명하는 부분에서는 ACT-R과 ACT-R/PM을 구분하여 표기하였다.

(1986)이 제안한 이래, 인지 아키텍처는 인지 심리학에서 기초적인 이론 접근법의 하나로 간주되고 있다. 인지 아키텍처는 다양한 모형들과 기제들을 응집력 있는 하나의 전체로 포괄하려는 이론적 개념들의 종합이다. 인지 아키텍처는 계산적으로 표상될 수 있기 때문에, 그것의 함의와 적용가능성은 강력하면서도 쉽게 탐구되고 검증될 수 있다. 최초의 성공적인 계산 인지 모형의 하나인 일반 문제 해결자(GPS; General Problem Solver, Newell & Simon, 1963)에서 볼 수 있듯이, 이런 생각은 인지심리학과 인공지능 연구의 초창기 때부터 인지과학의 한 부분이 되어 왔다. GPS 이후로 이런 이론들은 상당한 발전을 이루어왔고, 점차 더 넓은 영역으로 확대되었다(Byrne, 2003).

앞에서도 언급하였듯이 인지 아키텍처는 인간의 마음과 행동을 통합적으로 설명하는 단일한 틀을 제공하는 통합인지이론이며 따라서 인간의 심리적/행동적 구성요소들을 독립적인 주제로 삼아 온 전통적인 심리학 연구들과 구분된다. 즉, 인지 아키텍처는 주의, 기억, 문제 해결, 의사결정, 학습, 그리고 기타 등등의 과정을 모두 포함한다. 심리학에서 대부분의 이론화는 매우 제한된 현상 범위에 대해 아주 특징적인 이론을 만들어내는 ‘각개 전투식 전략(divide-and-conquer strategy)’을 따랐는데, 이런 경향은 1970년대 이래로 조금씩 변화하였다(Newell, 1973a).

또한 Newell(1990)은 인지심리학이 특정 인지 현상에 대한 독립적 검증을 중단하고 컴퓨터 시뮬레이션 모델을 통한 이론 통합을 심각하게 고려해 보아야 할 때가 왔다고 주장하였다. 이러한 측면에서 인지 아키텍처는 일종의 실행 가능한 소프트웨어이다(Byrne, 2005). 통합 이론으로서의 인지 아키텍처는 대규모 소

프트웨어 시스템이기 때문에 이를 구성하고 유지하기가 어렵다고 종종 여겨진다. 개별적인 모델 역시 본질적으로는 프로그램이므로, 인지 아키텍처는 그 아키텍처의 고유한 언어로 쓰여진다. 따라서 모델 개발자들은 실질적으로 프로그래밍 언어를 사용하여 모델을 구축할 수 있는 전문적인 기술이 필요하다.

인지 아키텍처는 인간의 행동들을 통합하여 설명하고 예측할 수 있는 이론으로서 뿐만 아니라, 보다 실용적인 측면에서도 그 의의를 살펴볼 수 있다. 인간-컴퓨터 상호작용(Human-Computer Interaction; 이하 HCI로 표기함) 분야의 사용자-인터페이스 설계에서 인지 아키텍처의 의의는 두 가지로 나누어 볼 수 있다. 첫째, HCI와 관련된 주된 현상의 상당 부분은 인지 아키텍처를 통해 파악할 수 있는데, 그 이유는 인지 아키텍처가 그 현상에 대해 집대성된 이론적인 통합체로 기능하기 때문이다. HCI 연구자들과 전문가들은 분리된 현상, 개별적인 실험 결과, 그리고 소규모 모델들을 집합적으로 모으려는 전통적인 연구 접근법보다 훨씬 더 쉽게 인지 아키텍처를 학습하고 적용할 수 있었으며, 그 결과 사용자-인터페이스 설계에서 인지 아키텍처는 중요한 분석 및 설계 도구로 활용될 수 있었다.

둘째, 인지 아키텍처가 HCI 분야에서 인간 사용자가 수행하는 다양한 과제들에 대한 설명 모형을 쉽게 구성할 수 있도록 하고 사용자의 과제 수행을 정확하게 예측할 수 있게 한다면, 인지 아키텍처는 시스템 개발 과정에서 사용자-인터페이스 설계를 평가하기 위한 효과적 도구로 사용될 수 있음을 시사한다. 즉, 인지 아키텍처는 전통적인 사용자 검증(usability testing) 방법과 함께 시스템의 사용성에 대한 가치 있는 정보(예를 들어, 시스템을

얼마나 빠르고 쉽게 학습하는지)를 제공할 수 있을 것이다. 예컨대, 컴퓨터 사용자의 수행을 일반적 문제 해결의 관점에서 분석하기 위해 John과 Kieras(1996)가 제안한 GOMS(Goals, Operators, Methods, and Selection Rules) 모형은 인터페이스 설계와 평가에 매우 유용하다. 다음 절에서는 인간 정보처리에 대한 대표적인 인지 아키텍처들을 소개하고자 한다.

### 인지 아키텍처의 종류

본 절에서는 인지 아키텍처의 시초가 되었던 초기 인지 아키텍처(ACT\*)를 개관한 후, 현재 사용되고 있는 대표적인 세 가지 인지 아키텍처들(Soar, EPIC, 그리고 ACT-R)에 대해서 살펴보겠다.

#### 인지 아키텍처의 초기 형태

##### ACT\*

ACT\*(Adaptive Control of Thought)는 비교적 오랜 시간에 걸쳐 개발되어 왔으며, 이에 따라 충분한 세부사항과 완성도를 가진 인지 아키텍처이다. ACT\*는 Gordon Bower가 연구 물음으로 제기한 자유회상에서의 범주적 구조를 이해하기 위해 Anderson이 개발한 모델인 FRAN(Anderson, 1972)과 HAM(Anderson & Bower, 1973)으로부터 시작되었다. 이후 Newell(1973a)이 제안한 산출 시스템(production system) 개념을 도입하여 HAM 기억 체계와 산출 시스템이 통합된 ACT(Anderson, 1976)가 개발되었고, ACT의 컴퓨터 시뮬레이션 버전인 ACTE도 개발되었다. ACTE는 산출의 결과로 생성된 명제적 표상들에 대한 물음들에는 답할 수 있었지

만, 산출 자체가 어떻게 획득되는지에 관한 물음에는 답할 수 없었다. 이에 따라 산출 획득에 관한 광범위한 이론이 포함된 ACTF(Anderson, 1977)가 제안되었다. 이후 몇 년간 활성화 확산 기제, 산출 패턴 대응에 관한 이론, 그리고 산출 학습의 추가 등을 포함한 이론의 재구조화 작업이 이루어진 결과, ACT에 언어 획득과 기술 획득이 완전히 포함된 형태의 ACT\*가 제안되었다(Anderson, 1983).

연구자에 따라 ACT\*를 아키텍처에 관한 이론으로 표기하기도 하고 인지 아키텍처 자체로 표기하기도 하지만 ACT\*은 기본적으로 인간의 수행에 기저하고 있는 기억과 처리 구조들을 명세화한다. 그림 1은 ACT\*의 구조를 보여준다.

ACT\*에서 장기 서술기억은 의미망의 형태로 되어 있으며, 장기 절차기억은 산출의 형태로 되어 있다. 각 산출은 서술기억에 있는 조건들의 집합과 서술기억에서 새로운 마디나 연합을 만들어내는 행위들의 집합을 포함한다. 이러한 산출의 구성은 기본적으로 활성화에 기반을 두며, 장기 서술기억의 각 마디는 활성화 수준을 가진다. 작업기억은 높게 활성화

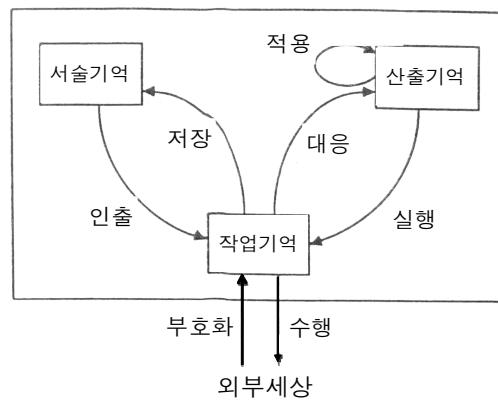


그림 1. ACT\*의 구조

된 장기기억의 일부로, 활성화는 의미망을 통해 자동적으로 확산되며 활성화는 산출들의 대응이 처리되는 속도를 결정한다.

ACT\*로 설명할 수 있는 연구 범위는 매우 넓다. 즉각적인 반응 수준에서 ACT\*은 점화, 인출, 기억 효과들에 관한 많은 규칙들을 포함한다. 또한 인지기술 수준에서 수학 문제 풀이, 프로그램의 학습, 그리고 언어학습 등을 설명한다. 이러한 모든 설명은 본질적으로 동일한 이론에서 나오며, 이러한 점에서 ACT\*는 광범위한 현상들에 적용할 수 있는 하나의 통합된 이론으로 볼 수 있다(Newell, 1990).

### 대표적인 인지 아키텍처

인지 아키텍처들은 Soar(Newell, 1990), EPIC (Kieras & Meyer, 1997), 그리고 ACT-R(Anderson, 1993)과 같은 폭넓은 범위의 인간 행동 영역을 모델링하는 범용 아키텍처에서부터, 보다 더 특정한 영역에 전문화된 C-I<sup>3</sup>(Kinstch, 1988) 등에 이르기까지 다양하다. 인지 아키텍처들은 구조와 가정에서 상당히 중복되는데, 아키텍처들 중 가장 대표적인 것으로 꼽히는 세 가지 아키텍처, 즉, Soar, EPIC, 그리고 ACT-R에 대해서 살펴보면 다음과 같다.

#### Soar

Soar(State, Operator, And Result)는 일반적으로 Allen Newell의 연구 업적으로 평가받고 있으며, 인간 인지에 대해 계산적 모형의 형태를 취하는 인지 아키텍처이다(Laird, Newell, & Rosenbloom, 1987; Newell, 1990; Rosenbloom, Laird, & Newell, 1992). Soar는 초기부터 인공지

3) C-I(Construction-Integration)는 텍스트 이해에 전문화된 인지 아키텍처이다.

능 연구자들을 중심으로 개발되어 왔지만(Laird 등, 1986; Steier, Laird, Newell, Rosenbloom, Flynn, Golding, Polk, Shivers, Unruh, & Yost, 1987), 심리학 연구들에 기반을 두고 있다(Newell, 1973b; Newell & Simon, 1972; Rosenbloom & Newell, 1988). Soar는 다양한 인지 현상들의 통합을 시도할 뿐만 아니라 인간 인지에 대한 연구 방법론이나 이론 등의 측면에서 많은 주제들을 다루고 있다(Anderson & Lebiere, 1998; Newell, 1990; Pylyshyn, 1984).

인지심리학에서 다루어지고 있는 다양한 주제들을 Soar를 통해 계산 모형에 기반하여 검토할 수 있다. Newell(1980, 1990)은 인간의 마음을 기능적 제약들(예컨대, 적응적이고 목표 지향적인 행동을 보이는 것, 언어를 사용하는 것, 많은 자유도를 가진 신체를 조작하는 것 등)과 구성적 제약들(예컨대, 신경 체계를 갖고 있는 것, 발생학적 과정에 의해 성장하는 것, 진화하는 것 등)에 대한 해결책이라고 기술하였는데, 이와 유사하게 Soar의 구조도 세 가지의 기능적인 제약에 의해 형성된다. Soar가 기반하고 있는 기능적 제약에는 첫째, 유연한 목표 지향적 행동을 보이는 것, 둘째, 경험으로부터 부단히 학습하는 것, 그리고 마지막으로 실시간적인 인지를 보이는 것 등이 포함된다(Lewis, 2001).

Soar에서 산출기억(즉, 장기기억)은 선언적 지식과 절차적 지식에 모두 사용된다. 그리고 작업기억은 목표 위계, 목표 위계와 연합된 정보, 지각적 정보처리, 그리고 운동 명령들을 포함한다. 외부 세계와의 상호작용은 작업기억과 하나 혹은 그 이상의 지각체계와 운동체계 사이의 인터페이스를 통해 이루어진다. 모든 과제들은 문제 공간에서의 탐색으로 정의 되는데, 즉 문제 공간의 초기 상태에서 시작

하여 문제 공간을 구성하는 오퍼레이터의 작용에 의해서 원하는 상태를 찾는 것이다. Soar에서의 모든 오퍼레이터들은 어떤 산출을 실행할지를 결정하기보다는, 사용할 수 있는 문제 공간이나 상태를 결정한다. 결정한 것이 불완전하고 불일치한 지식으로 인해 문제가 있는 것으로 판명되면, 인지 아키텍처와 문제 해결자에 의해 또 다른 하위목표가 자동적으로 생성된다. 이러한 하위 목표들에 의해 목표들 사이의 위계가 형성되고, 새로운 문제 공간이 창출된다. 그리고 새로운 산출들은 목표-기반 문제 해결 과정에서 Soar가 학습한 내용을 기초로 계속해서 생성된다(Newell, Rosenbloom, & Laird, 1993).

### EPIC

EPIC(Executive Process-Interactive Control)은 Kieras와 Meyer가 인간의 인지와 수행을 모델링하기 위해 개발한 인지 아키텍처이다(Kieras, Wood, & Meyer, 1997; Meyer & Kieras, 1997a, 1997b). EPIC은 HCI 분야에 심리학을 적용하는 과정에서 인터페이스 설계자들에게 도움을 주기 위한 목적으로 Card, Moran, 및 Newell(1983)이 개발한MHP(Model Human Processor)의 아이디어와 유사하지만, 컴퓨터 시뮬레이션 모델링을 사용하여 인간 수행에 대한 이론적·경험적 연구 결과들을 통합한다.

EPIC에서의 과제 수행은 인간과 상호작용하는 과제 환경에 관한 모형을 통해 이해된다. 인간과 환경과의 상호작용은 감각-운동 기관들과 처리자 사이의 인터페이스를 통해 이루어진다. 이러한 수준에서의 EPIC은 인지 정보 처리 과정에 대한 초기의 모형과 표면적으로는 유사할지 몰라도, 이론적인 개념들과 경험적인 결과들을 새롭게 통합하여 인간 수행 모

델링을 위한 이전의 제안들보다 더 포괄적이고 세부적인 형태를 띤다.

EPIC의 가장 큰 특징은 기본적인 정보 처리와 지각-운동 활동의 구체적 기체들을 외현적으로 대응시키기 위해 설계되었다는 점이다. 이 때문에 EPIC에는 지각-운동 주변장치에 의해 둘러싸인 인지 처리자가 있으며, 이러한 처리자들은 병렬적으로 구동한다. 예를 들어, 시각 처리자가 스크린 상의 물체를 재인하는 동안 인지 처리자는 추가적 입력값에 대한 반응으로 무슨 단어를 말해야 하는지를 결정할 수 있으며, 이와 동시에 운동 처리자가 키를 누른다.

### ACT-R

ACT-R(Adaptive Control of Thought-Rational)은 Anderson(1993)이 개발한 고차 수준의 인지 아키텍처이다(Anderson, Matessa, & Labiere, 1997). 수 년 간에 걸쳐 다양한 버전이 개발되어 온 것을 통해 알 수 있듯이, ACT-R은 인지심리학 내에서 오랜 역사를 가지고 있다. 초기의 ACT-R은 하노이 탑 문제, 수학문제 풀이, 컴퓨터 미로에서의 길 찾기, 컴퓨터 프로그래밍, 인간의 기억, 그리고 다른 과제들에 적용되어 왔으며(Anderson et al., 1997), Anderson 등(1998)은 ACT-R이 기억, 선택, 그리고 과학적 추론 등을 다루는 다양한 영역에도 적용될 수 있음을 보여주었다(Byrne, 2003). ACT-R은 학습과 기억, 문제 해결과 의사 결정, 언어와 의사소통, 지각과 주의, 인지 발달 혹은 개인차와 같은 영역에서 성공적으로 모형을 생성하여 왔으며, 인지심리학 뿐만 아니라 HCI, 교육, 훈련, 그리고 신경심리학 등에서도 사용되고 있다. 이렇듯 적용범위가 광범위하다는 것이 다른 이론들과 구별되는 ACT-R의 주요한 특징

중 하나이다.

ACT-R은 인지 처리를 가능하게 하는 많은 하위 산출 체계들로 구성되어 있다. ACT-R의 외형은 프로그래밍 언어처럼 보이지만, 그 구성은 인간 인지에 대한 가정을 반영하고 있다. 이런 가정들은 심리학 실험으로부터 도출된 수많은 사실들에 근거하고 있다. ACT-R은 프로그래밍 언어와 같은 어떤 틀의 형태를 갖추고 있으며, 연구자들은 ACT-R로 모형을 만들고 특정 과제에 대한 그들의 가정을 추가한다. 이런 가정은 동일한 과제를 수행한 사람들의 결과와 모형의 결과를 비교함으로써 검증될 수 있다.

일반적으로 이론으로서의 ACT-R은 심리학 실험 결과들을 모델링하는데 적용되어 왔으며, 현재 ACT-R은 다중 모듈로 구성되어 있으면서 이런 모듈들이 어떻게 인간 인지를 산출하도록 통합되었는지를 설명하는 이론으로 진화해왔다(Anderson et al., 2004). ACT-R의 기억 체계에는 선언적 기억, 절차적 기억의 두 가지 종류가 있다. 선언적 기억은 ‘미국의 수도는 워싱턴 DC’이고 ‘프랑스는 유럽 국가’이며, ‘2 더하기 3은 5이다’와 같은 사실들로 구성된다. 반면 절차적 기억은 산출로 구성된다. 산출은 우리가 어떻게 어떤 일을 하는가에 대한 지식을 표상하는 것이다. 예컨대 키보드에서 문자 ‘Q’를 타이핑하는 방법, 운전하는 방법, 그리고 덧셈을 하는 방법 등에 대한 것이다. ACT-R에서 이 두 가지 기억 체계들은 각각의 기억 모듈로 표상되며, 버퍼를 통해 모듈에 접근할 수 있다. 즉, 각각의 모듈마다 전용 버퍼가 있으며, 이것들이 모듈과의 인터페이스로서 기능한다. 주어진 시점에서 버퍼의 내용은 그 순간 ACT-R의 상태를 표상하며, 이러한 ACT-R의 시점별 상태는 ACT-R에서 제공하는

‘모델 트레이스(model trace)’를 통해 확인할 수 있다. 최종적으로 ACT-R에서의 인지과정은 점화된 산출들의 연속으로써 이해할 수 있다.

그림 2는 ACT-R 5.0의 기본 구조를 나타내고 있다. 이것은 모듈들의 세트에 구성되어 있고, 각각의 모듈은 다른 종류의 정보 처리를 담당한다. ACT-R은 EPIC의 가장 큰 장점이었던 지각-운동 모듈을 5.0 버전에 추가함으로써 보다 완전한 형태로 확장될 수 있었다. 이렇게, 확장된 형태의 ACT-R을 ACT-R/PM(Byrne & Anderson, 1998)이라고 부른다. 따라서 ACT-R/PM은 지각-운동 모듈을 통합시켜 광범위한 인지 모형을 결합시킨 완전한 형태의 통

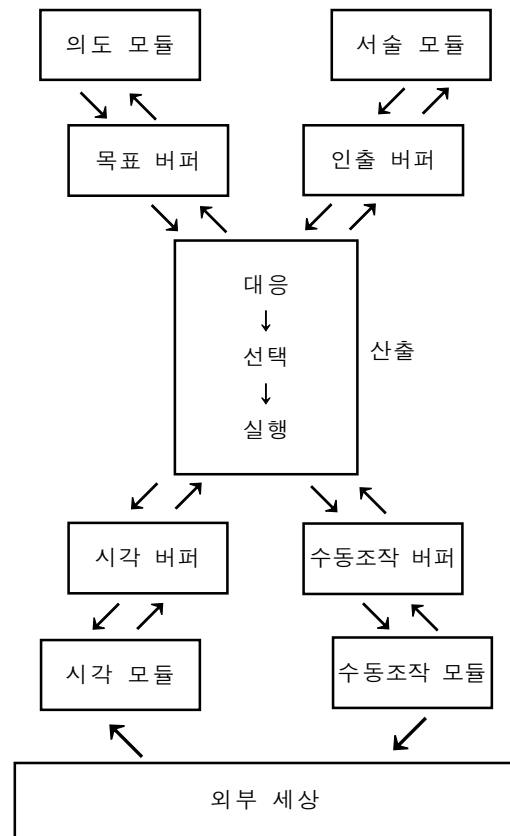


그림 2. ACT-R 5.0의 구조



합적 인지 아키텍처라고 할 수 있다(Byrne, 2003).

그림 3에 제시된 ACT-R/PM은 지각-운동 체계를 가진 인지 영역에서 인간 행동을 상당히 성공적으로 기술하고 예측한다. 여러 측면에서 이 시스템은 Kieras와 Meyer(1997)의 EPIC과 유사하며, 앞에서도 언급되었듯이 EPIC의 영향을 크게 받았다. ACT-R/PM에는 중심 인지와 의사소통하는 네 개의 지각-운동 모듈이 있는데, 이것은 산출 체계에 의해 인식된다. 중심 인지는 다소 계열적(그러나, 활성화 확산 과정은 병렬적임)이고 각각의 모듈 그 자체도 다소 계열적이지만, 다양한 구성요소들은 모두 상호간에 병렬적으로 기능한다. 예를 들어, 시각 모듈이 시각 배열 상에서 주의를 전환하고 운동 모듈이 키를 누를 준비를 하는 동안, 인출 버퍼는 선언적 기억으로부터 무엇인가를 인출할 수 있다.

그림 3은 시스템에 있는 모듈들을 포함하고 있다. 시각장(visual field)에서 물체를 확인하는 시각 모듈, 손으로 제어하는 것을 처리하는 수동 모듈, 기억으로부터 정보를 인출하는 선언적 모듈, 그리고 현재 목표와 의도를 계속 추적하는 목표 모듈. 이런 모듈들의 협업은 중앙 산출 체계를 통해 이루어진다. 중앙 산출 체계는 이러한 모듈들이 보이는 대부분의 활동에 모두 민감한 것이 아니라, 모듈들의 버퍼에 맡겨진 제한된 양의 정보에만 반응할 수 있을 뿐이다. 예컨대, 사람들은 그들의 시각장에 있는 모든 물체들을 파악하는 것이 아니라, 그들이 현재 주의를 기울이고 있는 물체만을 알 뿐이다. 각각의 모듈들은 버퍼를 통해 중앙 산출 체계와 정보를 주고받는다. 중앙 산출 체계는 이러한 버퍼들에서 발생하는 변화의 패턴을 인식할 수 있다. 예컨대, 수동 버퍼가 행위를 요구하는 형태로 변화하면

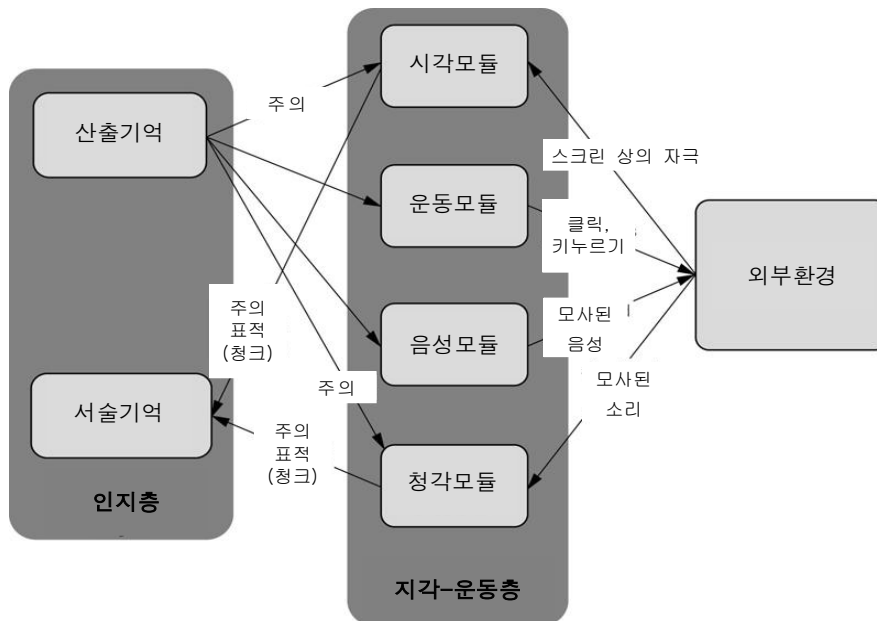


그림 3. ACT-R/PM의 구조

중앙 산출 체계가 이를 인식하여 다시 수동 버퍼에 전달함으로써 실제적으로 수행이 이루어지도록 한다. Foder(1983)의 용어로는 이런 각각의 모듈들에서 처리하는 정보들은 대개 독립적이고, 모듈들은 그들의 버퍼에서 가용한 정보만을 중앙 산출 체계에 전달할 수 있다.

본 논문에서는 세 개의 대표적인 인지 아키텍처 중 ACT-R에 대해 중점적으로 살펴보았다. 그 이유를 요약하면 다음과 같다. 첫째, 1992년 Newell의 사후에 주로 인공지능 연구자들로 구성된 Soar 연구팀이 와해되어 대부분의 연구자들이 ACT-R 커뮤니티에 흡수된 상태이다. 둘째, EPIC의 가장 큰 장점은 지각-운동 체계가 있다는 점이었으나, ACT-R 5.0 버전 이후부터 운동-지각 모듈이 추가되어 EPIC의 장점들이 ACT-R/PM에 적용된 상태이다. 셋째, ACT-R의 사용자 커뮤니티가 가장 활발히 활동하고 있으며 이러한 활발한 활동은 연구 자료 교류로 이어져, ACT-R을 이용한 연구 수행이 현재 가장 적극적으로 활발히 수행되고 있다. 마지막으로, 소프트웨어로서의 측면을 본다면 Soar나 EPIC에 비해 ACT-R이 가장 사용자 친화적인 시스템으로 구성되어 있다. Soar나 EPIC이 고도로 훈련된 프로그래머를 필요로 하고 있는데 반해, ACT-R은 잘 마련된 매뉴얼이 제공되어 프로그램에 대한 사용 접근성이 용이한 편이다. 따라서 본 논문에서는 이러한 장점들로 인해 가장 대표적인 인지 아키텍처로 ACT-R을 선택하여, ACT-R을 이용하여 모델링을 한 대표적인 선행연구를 살펴보았으며, 현재 ACT-R의 제한점에 근거하여 제한적인 새로운 알고리즘을 제안하고 발전방향을 논의하였다.

## ACT-R을 이용한 모델링

원래 Anderson이 개발한 ACT-R은 고차 인지에 대한 모델이었다. 그래서 전통적으로 하노이탑 문제(Altmann & Trafton, 1999; Anderson & Douglass, 2001), 기억(Anderson, Bothell, Lebiere, & Matessa, 1998; Anderson & Matessa, 1997; Anderson, Reder, & Lebiere, 1996), 시각 탐색(Anderson et al., 1997; Byrne, 2001), 수학문제 풀이(Baker, Corbett, & Koedinger, 2001; Haverly, Koedinger, Klahr, & Alibali, 2000), 언어학습(Matessa & Anderson, 1997) 등과 같은 영역들에 적용되었다.

기존의 ACT-R이 주로 적용되어온 분야는 인지심리학에서 전통적으로 주로 다루어 온 기초분야에 제한되었지만, ACT-R 5.0 버전부터 지각-운동 모듈이 추가됨에 따라 그 적용 범위가 크게 확장되고 있는 추세이다. 현재는 운전(Salvucci, Chavez, & Lee, 2004; Salvucci, Zuber, Beregovaia, & Markley, 2005), 항공(Ball, Gluck, Krusmark, & Rodgers, 2003; Byrne & Kirlik, 2005), 게임(Lebiere & West, 1999; Ritter & Wallach, 1998), 그리고 협상(Fum & Del Missier, 2001) 등에 이르기까지 그 적용범위가 확장되어 활발한 연구가 진행되고 있다(표 1 참조).

이러한 여러 영역에서 수행되어 온 연구들은 경험적으로 얻어진 자료에 맞게 ACT-R 모델을 구축하는데 초점이 맞추어져 왔다. 즉, 모수치를 조작하거나 보다 더 잘 들어맞는 계산식을 만들어내거나, 혹은 산출을 추가함으로써 실험참가자로부터 얻어진 관찰값에 잘 들어맞는 ACT-R 예측값을 만들어 내는 방향으로 연구가 확장되어 왔다. 즉, 전통적으로 인지 아키텍처를 이용한 연구들은 관찰값에

표 1. ACT-R의 연구 분야

I. ACT-R 이론	3. 수학문제 해결
II. 지각과 주의	4. 공간적 추론과 항행
1. 정신물리학적 판단	5. 역동적 체계
2. 시각탐색	6. 인공물의 사용과 설계
3. 눈 움직임	7. 게임
4. 중다과제수행	8. 통찰력과 과학적 발견
5. 과제전환	9. 프로그래밍
6. 써비타이징(subitizing)	10. 추론
7. 스트룹	11. 예리
8. 운전과 항공 비행	V. 언어처리
9. 상황인식	1. 형태소 분석(parsing)
10. 그래픽 사용자 인터페이스	2. 유추와 은유
11. 시간 지각	3. 언어 학습
III. 학습과 기억	4. 문장 기억
1. 목록 기억	5. 어휘 처리
2. 인터페이스	VI. 기타
3. 암묵 학습	1. 인지 발달
4. 기술 획득	2. 개인차
5. 산수	3. 동기, 정서, 그리고 인지 중재자
6. 범주 학습	4. 인지 부하
7. 탐구와 시범에 의한 학습	5. 비디오 게임, 컴퓨터 에이전트
8. 기억 갱신과 미래 기억	6. fMRI
9. 인과 학습	7. 의사소통, 협상, 집단 의사결정
10. 작업 기억	8. 교습 재료
11. 연습과 파지	9. 사용자 모델링
12. 표상	10. 지능형 교수 시스템
VI. 문제해결과 의사결정	11. 정보 검색
1. 하노이 탑 문제	12. 도구
2. 전략 선택	13. 비교

<http://act-r.psy.cmu.edu/publications>에서 인용.

맞는 ACT-R 모델을 구축하여 관찰값과 모델 예측값을 비교하는 방식으로 수행되어 왔다. 관찰값에 맞는 모델 구축이라는 전형적인

ACT-R 연구의 흐름 속에서 ACT-R 자체의 타당성은 ACT-R이 얼마나 많은 분야에 적용될 수 있는지를 통해서만 연구되어 온 셈이다.

그러나 본 논문에서는 개별적인 조건에 맞추어 모델을 적합(model fitting)하게 하는 방식(case-by-case)으로의 모델 구축이 아닌, 공통적으로 발생하는 현상을 설명할 수 있는 인지 아키텍처로의 발전 방향을 제안하고자 한다. 다음 절에서는 이러한 제안을 뒷받침 해주는 시각처리 과정에서의 새로운 알고리즘을 제안하였다. 또한 시범적인 새로운 알고리즘의 제안을 통하여 현재 타당한 인지 아키텍처라고 검증되어 그 외연을 확장하고 있는 ACT-R에서 간과하거나 추가해야 할 중요한 요소들에 대해 논의하였다.

### 수 세기 과제를 통한 ACT-R의 시각 처리 과정 탐색

현재 ACT-R과 관련된 연구들은 ACT-R의 이론적 타당성 검증 자체보다는 다양한 연구 주제 영역으로 이 모델이 얼마나 잘 적용될 수 있는지에 대해 주로 초점을 맞추고 있다. 예를 들어, 표 1에서 열거한 ACT-R을 적용한 연구 주제들은 ACT-R의 특정 산출 체계가 인지 과정을 얼마나 정확하게 예언하는지를 검증하기 보다는 ACT-R이 얼마나 다양한 분야까지 확대되어 적용될 수 있는지에 대해 주로 관심을 갖는다. 그러나 인지 과정에 대한 하나의 아키텍처가 강력한 설명 도구가 되기 위해서는 이것의 외연적 확장보다는 내적인 타당성을 먼저 확보해야 할 것이다. 설명틀로서의 인지 아키텍처 자체에 대한 타당성 검증 과정을 통하여 인지 아키텍처는 인지 과정에 대한 좀 더 타당한 설명 도구가 될 수 있을 것이다.

### 수 세기 과제

본 논문에서는 시각 자극을 지각하고 수를 세어 자극의 수를 보고하는 과제(enumeration task)를 통해, 매우 기초적이지만 실제적인 인간 수행의 한 측면이 ACT-R에서 예언하는 바와 다르다는 것을 제시하고 수 세기 과제를 통해 ACT-R의 시각 처리과정을 검증하고자 하였다. 수 세기 과제를 사용한 이유는 그림 3에서 보듯이, ACT-R에서 가정하고 있는 기본적인 네 개의 모듈, 즉 목표 버퍼(goal buffer)를 통한 의도 모듈(intentional module), 인출 버퍼(retrieval buffer)를 통한 기술 모듈(declarative module), 시각 버퍼(visual buffer)를 통한 시각 모듈(visual module), 그리고 수동조작 버퍼(manual buffer)를 통한 수동조작 모듈(manual module)을 모두 사용하는 과제들 중 가장 간단한 형태의 과제이기 때문이다. 이렇듯 ACT-R에서 가정하고 있는 모든 모듈들에 다 접근하기 때문에, 수 세기 과제는 ACT-R에서 시각 자극을 대상으로 한 모든 연구들(예컨대, 시각 탐색, 주의할당, 운전, 상황인식, 그래픽 사용자 인터페이스 등)의 공통분모가 되는 산출들을 포함하고 있다. 또한 전통적으로 ACT-R의 지각-운동 모듈 중 시각 모듈이 가장 정교화된 모듈로 개발된 상태이므로 다른 감각양상에 관한 연구들보다 더 집중적으로 시각자극에 대한 연구들이 수행되어 왔다. 이러한 측면들을 고려하여, 가장 보편적인 산출들을 모두 다 포함하고 있는 기본적인 과제로 시각적인 자극의 수 세기 과제를 선택하였다.

전통적으로 수 세기 과제에서는 써비타이징<sup>4)</sup> 현상이 관찰되어 왔다. Kaufman, Lord,

4) 'subitizing'은 하나로 묶어 처리하기를 나타낸다. 본 논문에서는 'subitizing'을 영어 그대로 '써비타

Reese, 및 Volkman(1949)은 써비타이징 현상을 자극들이 짧게 제시되는 동안 나타나는 빠르고 정확한 수 세기 반응이라고 지칭하였다. 써비타이징은 수 세기 과제를 수행할 때 자극 개수가 적은 범위에서 나타나는데, 그 특징을 살펴보면 다음과 같다. 즉, 자극 수가 많은 구간에 비해 자극 수가 적을 때 반응 시간이 완만하게 증가(자극 당 약 50msec씩 증가함)하고, 반응시간이 비교적 빠르며, 그리고 오반응률이 매우 낮다. 써비타이징은 개인차가 크고 동일한 실험에서 개인 내 변산성도 비교적 크기 때문에, 그 범위도 자극 수 1개에서 3개까지부터 1개에서 7개까지 다양한 것으로 보고되었다. Trick과 Pylyshyn(1993, 1994)은 이러한 써비타이징 현상을 시각 자극을 처리하는 전 주의적 단계에서 청킹 혹은 그룹핑을 통해 나타나는 것으로 해석하였다.

#### 시각 처리 과정에 대한 기존의 알고리즘

ACT-R에서는 이러한 수 세기 과제를 수행할 때, (1) 개별적인 자극마다 이를 지각하고, (2) 재인한 후, (3) 자극들의 수가 몇 개인지 헤아리는 과정을 기본적으로 상정하고 있다. 한 개의 자극에 대해 이러한 산출(production)들이 점화되는 과정을 ACT-R의 모델 트레이스(model trace)를 통해 살펴보면 다음과 같다(그림 4 참조).

아래에 제시된 모델 트레이스는 자극 수가 한 개인 경우에 대한 예시로 왼쪽에 \*를 표시한 열은 점화된 주요한 산출을 나타내고 있다. ACT-R에서 제공하고 있는 모델 트레이스는 산출들이 처리된 일련의 과정들을 기술한 것으로, 첫 번째 열은 시간(msec 단위), 두 번째 열은 '이징'이라고 표기하였다.

열은 처리가 발생하는 모듈, 그리고 세 번째 열은 각 모듈에서 발생하는 구체적인 행위를 표시한 것이다.

그림 4의 모델 트레이스 결과를 해석하면, 첫 번째 구간(0-50ms)에서는 주의가 기울여지지 않은 자극의 위치를 찾고(PRODUCTION-FIRED UNATTENDED- NUM, FIND-LOCATION), 두 번째 구간(50-100ms)에서는 위치를 찾은 자극에 주의를 기울이며(PRODUCTION-FIRED ATTEND- NUM), 세 번째 구간(100-200ms)에서는 주의를 기울인 자극 수를 세고(PRODUCTION-FIRED COUNT-NUM), 그리고 마지막 구간(200-650ms)에서는 키패드에서 해당하는 수의 버튼을 누르는 것(PRODUCTION-FIRED RESPOND, PRESS-KEY NUM)을 알 수 있다. 따라서 자극이 한 개인 경우에는 이러한 과정들이 한 번 발생하고, 아홉 개인 경우에는 아홉 번 반복된다.

본 논문에서는 수 세기 과제에서 '자극 재인 + 수 세기'의 과정이 자극 수에 대한 단서 여부에 따라서 달리 처리될 수 있음을 검증하였다. 즉, 자극 수에 대한 정보가 제시될 때에는 '자극 재인 + 수 세기'의 과정이 매번 동일하게 반복되지 않고 청킹될 수 있음(즉, 전략을 사용함)을 검증하여, 실제의 수 세기 과제 수행이 기존의 ACT-R에서 예언하는 바와 다를 수 있다는 것을 검토하였다. 이를 위해 자극의 수를 미리 알려주어 '재인 + 수 세기'의 전략을 용이하게 세울 수 있는 조건(즉, 제시될 자극 수가 1개부터 최대 10개까지라는 단서를 미리 제공함)과 그렇지 않은 조건(즉, 제시될 자극 수에 관한 어떠한 단서도 제공하지 않음)에서의 수행을 비교하였다. 즉, 경험적으로 얻어진 이 자료를 ACT-R의 예측치와 비교하여 기존의 ACT-R이 기본적인 시각 처

0.000	GOAL	SET-BUFFER-CHUNK GOAL	첫 번째 구간
0.000	VISION	SET-BUFFER-CHUNK VISUAL-LOCATION LOC0 REQUESTED NIL	
0.000	PROCEDURAL	CONFLICT-RESOLUTION	
* 0.050	PROCEDURAL	PRODUCTION-FIRED FIND-UNATTENDED-NUM	
0.050	PROCEDURAL	CLEAR-BUFFER VISUAL-LOCATION	
* 0.050	VISION	FIND-LOCATION	
0.050	VISION	SET-BUFFER-CHUNK VISUAL-LOCATION LOC1	
0.050	PROCEDURAL	CONFLICT-RESOLUTION	두 번째 구간
* 0.100	PROCEDURAL	PRODUCTION-FIRED ATTEND-NUM	
0.100	PROCEDURAL	CLEAR-BUFFER VISUAL-LOCATION	
0.100	PROCEDURAL	CLEAR-BUFFER VISUAL	
0.100	PROCEDURAL	CONFLICT-RESOLUTION	세 번째 구간
0.150	VISION	ENCODING-COMPLETE LOC1-0 NIL	
0.150	PROCEDURAL	CONFLICT-RESOLUTION	
* 0.200	PROCEDURAL	PRODUCTION-FIRED COUNT-NUM	
0.200	PROCEDURAL	CLEAR-BUFFER VISUAL	
0.200	PROCEDURAL	CONFLICT-RESOLUTION	네 번째 구간
* 0.250	PROCEDURAL	PRODUCTION-FIRED RESPOND	
0.250	PROCEDURAL	CLEAR-BUFFER MANUAL	
* 0.250	MOTOR	PRESS-KEY NUM	
0.650	MOTOR	OUTPUT-KEY NUM	

그림 4. 자극 수 세기의 과정을 보여주는 ACT-R의 모델 트레이스

리 과정에서 간과하고 있는 측면을 제시하고, 새로운 알고리즘을 제안하고자 하였다.

자극 수에 따른 조건별 반응시간이 그림 5에 제시되어 있다. 분석 결과, 자극의 개수가 많아짐에 따라 반응시간도 증가하였다. 이와 같은 반응시간 패턴의 특징을 살펴보면, (1) 두 조건 모두 자극 수가 1개에서 4개까지의 범위에서 반응시간 증가율이 낮은(즉, 반응시간 기울기가 다른 자극 수 구간에 비해 현저히 작음) 썬비타이징 현상이 나타나고, (2) 자극 수가 7 이상일 때 자극 수 제시 여부에 따른 반응시간 패턴에서 차이가 관찰된다. 그러

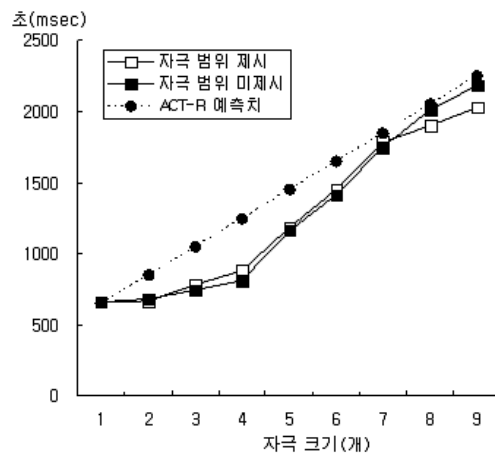


그림 5. 자극 수에 따른 조건별 반응 시간

나 이와 같은 반응 패턴은 ACT-R 예측치와는 다른 현상이다. 이와 같은 실제 실험참가자들에게서 얻은 경험적 관찰치와 ACT-R 예측치와의 차이는 시각 자극 수가 증가함에 따라 동일한 산출이 단순하게 반복되는 것으로 기존의 ACT-R에서 산출의 반복을 규정한 것에 기인하는 것으로 보인다. ACT-R 예측치와 20명의 실제 실험참가자를 대상으로 한 수 세기 과제(제시되는 자극 수의 범위를 제시한 조건과 그렇지 않은 조건으로 나뉘)에서 얻은 관찰 측정치를 자세히 비교하면 다음과 같다.

ACT-R에서 수 세기 과제를 할 때 점화되는 산출은 기본적으로 네 개이다. 즉, 주의가 기울여지지 않은 상태에서 시각적인 위치를 찾는 것, 위치를 찾은 자극에 시각 주의를 기울이는 것, 숫자를 세는 것, 그리고 반응(본 과제에서는 키패드에 숫자를 입력함)하는 것이다. ACT-R에서 하나의 산출은 하나 이상의 조건-행위의 쌍으로 이루어지는데, 이를 중심으로 각 산출의 내용을 좀 더 자세히 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 주의가 기울여지지 않은 상태에서 주어진 자극의 시각 위치를 찾는 산출(그림 4에서 제시한 본 모델에서는 첫 번째 구간의 unattended-num<sup>5)</sup> 산출)에서는 목표 버퍼 count의 상태를 find-location으로 바꾼다. 또한 시각-위치 버퍼를 호출하여 스크린 좌표 상에서 위치를 찾는 슬롯을 활성화 시킨다. 둘째, 위치를 찾은 자극에 시각 주의를 기울이는 산출

(본 모델에서는 두 번째 구간의 attend-num 산출)에서는 목표 버퍼의 find-location 상태를 업데이트 시키고, 비어있던 시각버퍼의 상태를 move-attention 상태가 되게 한다. 셋째, 숫자를 세는 산출(본 모델에서는 세 번째 구간의 count-num 산출)에서는 업데이트 상태인 목표 버퍼의 슬롯을 새로운 변인으로 채우고, 인출 버퍼에서 현재 변인을 확인한 다음 새로운 변인을 확인하는 슬롯을 활성화시킨다. 마지막으로 반응하는 산출(본 모델에서는 네 번째 구간의 respond 산출)에서는 수동 버퍼를 활성화시켜 이전 산출에서 숫자를 센 변인을 보고하고 최종적으로 count 상태이던 목표 버퍼를 done 상태로 바꾸는 것으로 산출의 점화를 끝낸다.

매 자극마다 이러한 산출들이 단순 반복되는 기존의 모델에서는 이러한 과정들의 결과, 자극 수가 한 개일 때의 최소 반응 650msec부터 자극 당 200msec 씩 증가하는 선형적인 예측치를 얻게 된다. 하지만, 그림 5에서 보듯이 실제 관찰 측정치와 모델의 이러한 선형적인 반응 증가는 다음 두 가지 면에서 차이가 있다. 첫째, 자극 수 1개에서 4개까지의 구간에서 관찰되는 썬비타이징 현상과 차이가 난다. 둘째, 보다 큰 자극 수인 7개 이상의 구간에서 반응시간 증가 기울기가 감소하는 현상을 설명하지 못한다.

## 시각 처리 과정에 대한

### ACT-R의 새로운 알고리즘 제안

앞에서 살펴본 바와 같이, 관찰 측정치와의 차이를 반영하여 보다 나은 모델로의 개선방향을 제안하면 다음과 같다. 첫째, 썬비타이징

5) ACT-R에서 산출명은 변인을 나타내는 기호 ‘=’ 뒤의 문자열이 임의적인 것처럼 연구자가 임의로 붙일 수 있는 문자열이다. 따라서 본 논문에서 기술된 산출 명칭 unattended-num, attend-num, count-num, 그리고 respond는 ACT-R의 명령어나 기본적인 명칭과는 상관이 없다.

현상은 전주의적인 처리 결과로 보이므로 (Trick et al., 1993), 자극 수 4개 이상의 범위에서와는 현저히 다른 반응시간 기울기를 보인다. 이러한 결과를 반영하여 ACT-R에서 시각 처리과정의 모수치(parameter)들 중 하나인 visual-finst-span<sup>6)</sup> 값을 모델에 맞게 수정할 필요가 있다.

둘째, ACT-R에서는 시각 처리를 할 때 자극마다 find-location, move-attention, 그리고 count 슬롯이 활성화되는 과정이 반복되고 있다고 가정한다. 하지만, 자극 수를 미리 알고 있는 경우 그렇지 않은 조건과 비교한 결과 7개 이상의 큰 자극 수에서 다른 반응 패턴을 보인다. 이와 같은 결과는 큰 수에서는 보다 용이하게 수를 세기 위한 전략으로 청킹을 하는 것으로 보인다. 전략을 사용하는 것은 인간이 보이는 주요한 인지활동 중 하나이지만 ACT-R에서는 이러한 부분이 반영되지 못하고 있다. 앞에서 기술한 실험에서의 전략은 제시되는 자극 수를 아는, 비교적 간단한 정보로부터 수립되었다. 제시될 자극 수를 안다는 것은 다음 두 가지로 생각해 볼 수 있다: 선언적 지식의 가용 범위 제한과 큰 자극 수에서의 청킹. 예컨대, 선언적 지식 속에 1부터 100까지의 숫자 정보가 저장된 사람이 있다고 가정해 보자. 1부터 10까지의 수를 세는 과제를 수행할 때, 선언적 지식 속에 들어 있는 11 이상의 수는 버퍼로부터 호출되지 않는다. ACT-R에서는 사용되지 않는 슬롯들이 있는 청크가 선언적 지식 속에 있는 경우(예컨대, 10까지 세는 과제에서 11이상 숫자 정보들이 있는 경우)와 사용되는 슬롯들만 있는 청크가 선언적 지식 속에 있는 경우(예컨대, 10까지

세는 과제에서 10까지의 숫자 정보만 있는 경우)에 예측하는 반응시간이 동일하다. 또한 큰 자극 수에서의 전략 사용은 매 자극마다 find-location과 move-attention의 과정이 반복되는 것이 아니라 한번 점화된 버퍼가 없어지지 않은 채(즉, 매 자극마다 clear-buffer 상태가 되지 않음) count 산출로 이어져 반응시간이 단축되는 것으로 보인다.

ACT-R은 수십 년 간에 걸쳐 인지심리학 및 관련 분야의 연구 성과들을 통해 밝혀진 인지 수행들을 모델링 할 수 있는 인지 아키텍처로 발달해 왔다. 그러나 어떤 기간 동안 밝혀진 연구 결과들을 포괄할 수 있는 프로그램으로 버전-업 시키는 것은 개별적인 연구자들의 몫이 아니라, ACT-R 프로그램 개발자들의 몫이었다. 다시 말해서, 새롭게 밝혀진 다양한 연구결과들을 설명할 수 있도록 버전-업 된 프로그램을 ACT-R 커뮤니티의 홈페이지(<http://act-r.psy.cmu.edu>)를 통해 배포하는 식으로 아키텍처의 변화 및 성장이 이루어져 왔다. 예컨대 ACT-R 4.0까지는 지각-운동 수행을 설명할 수 없었지만, 지각-운동 모듈이 부착된 5.0 버전부터는 이러한 행동들을 설명할 수 있었다. 또한 현재 사용되고 있는 ACT-R 6.0에서 마우스 반응시간은 Fitts(1954)의 법칙이나 Card 등(1983)이 제안한 KLM(keystroke-level model) 등에서 밝혀진 모수치들을 사용하고 있지만, 향후 보다 정교화 된 운동제어 법칙이나 이론이 제안된다면 새로운 모델에서 밝혀진 모수치들을 사용하는 아키텍처로 버전-업 되어 새롭게 배포될 것이다. 본 논문에서 제기하고 있는 문제들에 대한 연구 결과들이 수렴된다면, 향후 차기 버전의 ACT-R 개선을 위한 기초 자료로 사용될 것으로 기대한다.

6) ACT-R에서 visual-finst-span은 한 번에 기억되는 용량을 나타내는 수치이다.



<b>start<sup>7)</sup></b>		
0.00	GOAL	SET-BUFFER-CHUNK GOAL
0.00	VISION	SET-BUFFER-CHUNK VISUAL-LOCATION LOC0 REQUESTED NIL
<b>see-one/ -two/ -three/ -four</b>		
0.050/ .250/ .450/ .650	PROCEDURAL	PRODUCTION-FIRED FIND-UNATTENDED-NUM
0.050/ .250/ .450/ .650	PROCEDURAL	CLEAR-BUFFER VISUAL-LOCATION
0.050/ .250/ .450/ .650	VISION	FIND-LOCATION
0.050/ .250/ .450/ .650	VISION	SET-BUFFER-CHUNK VISUAL-LOCATION LOC1
0.050/ .250/ .450/ .650	PROCEDURAL	CONFLICT-RESOLUTION
0.100/ .300/ .500/ .700	PROCEDURAL	PRODUCTION-FIRED ATTEND-NUM
0.100/ .300/ .500/ .700	PROCEDURAL	CLEAR-BUFFER VISUAL-LOCATION
0.100/ .300/ .500/ .700	PROCEDURAL	CLEAR-BUFFER VISUAL
0.100/ .300/ .500/ .700	PROCEDURAL	CONFLICT-RESOLUTION
0.150/ .350/ .550/ .750	VISION	ENCODING-COMPLETE LOC1-0 NIL
0.150/ .350/ .550/ .750	PROCEDURAL	CONFLICT-RESOLUTION
0.200/ .400/ .600/ .800	PROCEDURAL	PRODUCTION-FIRED COUNT-NUM
0.200/ .400/ .600/ .800	PROCEDURAL	CLEAR-BUFFER VISUAL
* <sup>8)</sup> 0.200/ .400/ .600/ .800	PROCEDURAL	CONFLICT-RESOLUTION
* 0.250/ .450/ .650/ .850	PROCEDURAL	PRODUCTION-FIRED RESPOND
* 0.250/ .450/ .650/ .850	PROCEDURAL	CLEAR-BUFFER MANUAL
* 0.250/ .450/ .650/ .850	MOTOR	PRESS-KEY NUM
* 0.650/ .850/ .1050/ .1250	MOTOR	OUTPUT-KEY NUM

그림 6. 기존의 ACT-R 모델 트레이스의 일례(자극 수 1개에서 4개)

### 써비타이징 현상을 구현한 알고리즘

써비타이징 현상은 자극 수가 대체적으로 1개에서 4개일 때 나타나며, 이러한 수행은 자극들을 탐지해 시각 주의를 기울이는 과정이 전주의 단계에서 청킹되어 처리되는 것으로

7) start, see-one, see-two 등의 산출명은 연구자가 임의로 붙인 것으로, ACT-R에서 정해진 명령어가 아니다.

8) 그림 8에서 제시된 모델 트레이스는 스크린에 제시된 시각 자극의 수가 네 개인 경우이다. 키패드에서 '4'라는 숫자키를 누르는 반응을 나타내는 \* 표시의 산출들은 자극 수가 1개에서 3개인 경우에는 점화되지 않는다. 자극 수 3개까지 헤아리고 후, 4개에 대한 반응을 할 때 \* 표시된 산출들이 점화된다.

판단된다. 써비타이징의 대표적인 특징 중 하나인 완만한 기울기의 반응시간 증가가 표시되는 모델 트레이스를 통해 기존의 알고리즘(그림 6 참조)과 새로운 알고리즘(그림 7 참조)을 비교하여 제시하면 아래와 같다.

1개부터 4개까지 수를 셀 때의 기존의 모델 트레이스는 그림 6과 같다. 그림 8에서 제시한 모델 트레이스는 매번 반복되는 과정들을 세로로 반복하여 나열하지 않고 1개, 2개, 3개, 그리고 4개의 자극을 셀 때 처리되는 과정들을 산출명 see-one, -two, -three, 그리고 -four로 구분하여 한 행에 시간대만 달리하여 기술한 것이다. 예를 들어 첫 번째 자극에 대한 FIND-LOCATION은 50msec에, 두 번째 자극에

서는 250msec에, 세 번째 자극에서는 450msec에, 그리고 네 번째 자극에 대해서는 650msec 때 수행된다. 따라서 모델 트레이스의 마지막 행에서 볼 수 있듯이, ACT-R에서는 자극 수 한 개일 때의 반응시간은 650msec, 2개일 때는 850msec, 3개일 때는 1050msec, 그리고 4일 때는 1250msec라고 예측하게 된다.

그림 6에서 제시한 바와 같이 매번 같은 산출들의 연속이 반복되는(즉, FIND-UNATTENDED-NUM, FIND-LOCATION, ATTEND-NUM, 그리고 COUNT-NUM 산출의 반복) 현재의 알고리즘과는 달리, 써비타이징 현상을 구현할 수 있는 새로운 알고리즘을 제안하면 그림 7과 같다.

<b>start</b>		
0.000	GOAL	SET-BUFFER-CHUNK GOAL
0.000	VISION	SET-BUFFER-CHUNK VISUAL-LOCATION LOC0 REQUESTED NIL
<b>from-one-to-four</b>		
* 0.050	PROCEDURAL	PRODUCTION-FIRED FIND-UNATTENDED-NUM 1-2-3-4
0.050	PROCEDURAL	CLEAR-BUFFER VISUAL-LOCATION
* 0.050	VISION	FIND-LOCATION 1-2-3-4
0.050	VISION	SET-BUFFER-CHUNK VISUAL-LOCATION LOC1
0.050	PROCEDURAL	CONFLICT-RESOLUTION
* 0.100	PROCEDURAL	PRODUCTION-FIRED ATTEND-NUM 1-2-3-4
0.100	PROCEDURAL	CLEAR-BUFFER VISUAL-LOCATION
0.100	PROCEDURAL	CLEAR-BUFFER VISUAL
0.100	PROCEDURAL	CONFLICT-RESOLUTION
0.150	VISION	ENCODING-COMPLETE LOC1-0 NIL
0.150	PROCEDURAL	CONFLICT-RESOLUTION
**0.200	PROCEDURAL	PRODUCTION-FIRED COUNT-NUM 1
0.200	PROCEDURAL	CLEAR-BUFFER VISUAL
0.200	PROCEDURAL	CONFLICT-RESOLUTION
**0.250	PROCEDURAL	PRODUCTION-FIRED COUNT-NUM 2
0.250	PROCEDURAL	CLEAR-BUFFER VISUAL
0.250	PROCEDURAL	CONFLICT-RESOLUTION
**0.300	PROCEDURAL	PRODUCTION-FIRED COUNT-NUM 3
0.300	PROCEDURAL	CLEAR-BUFFER VISUAL
0.300	PROCEDURAL	CONFLICT-RESOLUTION
**0.350	PROCEDURAL	PRODUCTION-FIRED COUNT-NUM 4
0.350	PROCEDURAL	CLEAR-BUFFER VISUAL
0.350	PROCEDURAL	CONFLICT-RESOLUTION
0.400	PROCEDURAL	PRODUCTION-FIRED RESPOND
0.400	PROCEDURAL	CLEAR-BUFFER MANUAL
0.400	MOTOR	PRESS-KEY NUM 4
0.800	MOTOR	OUTPUT-KEY NUM 4

그림 7. 써비타이징 현상을 구현한 새로운 알고리즘이 반영된 모델 트레이스의 일례

썬비타이징 현상은 전주의 처리 결과로 제안되어 왔는데, 일반적으로 시각인지에서 전주의 처리과정은 자극들의 청킹이나 집단화가 병렬적으로 처리되는 것을 가정하고 있다. 그렇다면 썬비타이징 현상이 병렬처리의 결과라고 할 수 있을까? 만약 병렬처리의 결과라면, 자극 수 1개와 4개에 대한 반응시간이 동일해야 할 것이다. 하지만, 썬비타이징 현상은 자극 수가 작은 범위에서 반응시간의 기울기가 완만한 것을 특징으로 하는 현상이지, 기울기의 변화가 없다는 것을 나타내지는 않는다. 그렇다면 완만하지만 분명히 증가하고 있는 반응시간의 증가는 무엇으로 설명할 수 있을까? 그것은 썬비타이징의 단계에서 찾아 볼 수 있다. 썬비타이징의 단계는 크게 두 부분으로 나눌 수 있다: 자극 묶기(그룹핑 혹은 바인딩) 단계와 반응 선택. Trick 등(1993)에 의하면, 썬비타이징에서 완만한 기울기의 증가가 나타나는 것은 반응선택 단계에서 나타나는 것으로, 이 단계에서는 주의를 기울인 자극들을 서술기억 속에 저장되어 있는 각각의 수에 해당하는 이름과 순서(즉, 하나, 둘, 셋, 그리고 넷)에 대응시키는 행위가 이루어진다고 제안하였다.

따라서 본 논문에서는 이러한 결과를 반영하여 다음과 같은 알고리즘을 제안하였다. 그림 7의 모델 트레이스에서 살펴보면, 썬비타이징의 첫 단계인 자극 묶기는 FIND-UNATTENDED-NUM, FIND- LOCATION, 그리고 ATTEND-NUM 산출(그림 7에서 \* 표시)에서 청킹되는 것으로 구현할 수 있고, 전주의 단계에서 처리되나 완만하게 반응시간이 증가하는 것은 COUNT-NUM 산출(그림 7에서 \*\* 표시)이 반복되는 것으로 구현할 수 있다.

새롭게 구현된 알고리즘을 기존의 것과 비

교하면, 자극 수 4개를 처리했을 때의 반응시간이 기존의 ACT-R에서는 1250msec로 예측하고 있는 것에 반해, 새롭게 구현된 알고리즘에서는 800msec로 예측함을 알 수 있다(그림 6과 7의 마지막 행 참조). 이러한 결과는 새로 제안한 알고리즘으로 구현된 결과가 관찰치인 815msec에 보다 근접한 것으로, 새로 제안한 알고리즘이 인간 수행을 보다 잘 고려한 것임을 시사한다.

#### 자극 수 제시에 따른 전략 사용을 구현한 알고리즘

자극 수 정보를 미리 알려 준 조건에서는 자극수 7개 이상에서 반응시간의 증가 패턴이 변한다는 것이 관찰되었다. 즉, 자극 수 7개 이상에서 반응시간의 증가 기울기가 완만해지는 것은 제시될 자극 수라는 정보에 근거해서 수 세기에서의 전략이 적용된 것으로 보인다. 즉, ACT-R에서 가정하고 있는 바와 같이 개별적인 자극마다 반복되는 ‘재인 + 수 세기’ 과정을 거치지 않고 청킹과 같은 전략을 사용하여 수를 세는 것으로 보인다. 그 결과 반응시간의 증가율이 완만한 형태를 띠는 것으로 판단된다. 기존 ACT-R의 모델 트레이스를 먼저 제시한 후, 이와 비교하여 새로운 알고리즘을 제안하면 다음과 같다.

우선, 그림 8은 ACT-R에서 수 세기 과제를 수행할 때 제시되는 기존의 모델 트레이스이다. 자극 수가 하나씩 증가할 때마다 200msec씩 증가함을 알 수 있는데, 기술한 모델 트레이스의 마지막 열에서 확인할 수 있다. 즉, 모델 트레이스의 가장 마지막 열에서 볼 수 있듯이, ACT-R에서는 자극 수 7개일 때의 반응시간은 1850msec, 8개일 때는 2050msec, 그리고 9개일 때는 2250msec라고 예측하게 된다. 그림

<b>start</b>			
0.000	GOAL	SET-BUFFER-CHUNK GOAL	
0.000	VISION	SET-BUFFER-CHUNK VISUAL-LOCATION LOC0 REQUESTED NIL	
<b>see-one/ .../ -seven/-eight/-nine</b>			
0.050/ .../ .1250/ .1450/ .1650	PROCEDURAL	PRODUCTION-FIRED	FIND-UNATTENDED-NUM
0.050/ .../ .1250/ .1450/ .1650	PROCEDURAL	CLEAR-BUFFER VISUAL-LOCATION	
0.050/ .../ .1250/ .1450/ .1650	VISION	FIND-LOCATION	
0.050/ .../ .1250/ .1450/ .1650	VISION	SET-BUFFER-CHUNK VISUAL-LOCATION LOC1	
0.050/ .../ .1250/ .1450/ .1650	PROCEDURAL	CONFLICT-RESOLUTION	
0.100/ .../ .1300/ .1500/ .1700	PROCEDURAL	PRODUCTION-FIRED ATTEND-NUM	
0.100/ .../ .1300/ .1500/ .1700	PROCEDURAL	CLEAR-BUFFER VISUAL-LOCATION	
0.100/ .../ .1300/ .1500/ .1700	PROCEDURAL	CLEAR-BUFFER VISUAL	
0.100/ .../ .1300/ .1500/ .1700	PROCEDURAL	CONFLICT-RESOLUTION	
0.150/ .../ .1350/ .1550/ .1750	VISION	ENCODING-COMPLETE LOC1-0 NIL	
0.150/ .../ .1350/ .1550/ .1750	PROCEDURAL	CONFLICT-RESOLUTION	
0.200/ .../ .1400/ .1600/ .1800	PROCEDURAL	PRODUCTION-FIRED COUNT-NUM	
0.200/ .../ .1400/ .1600/ .1800	PROCEDURAL	CLEAR-BUFFER VISUAL	
* <sup>9)</sup> 0.200/ .../ .1400/ .1600/ .1800	PROCEDURAL	CONFLICT-RESOLUTION	
* 0.250/ .../ .1450/ .1650/ .1850	PROCEDURAL	PRODUCTION-FIRED RESPOND	
* 0.250/ .../ .1450/ .1650/ .1850	PROCEDURAL	CLEAR-BUFFER MANUAL	
* 0.250/ .../ .1450/ .1650/ .1850	MOTOR	PRESS-KEY NUM	
* 0.650/ .../ .1850/ .2050/ .2250	MOTOR	OUTPUT-KEY NUM	

그림 8. 기존 모델 트레이스의 일례(자극 수 7개에서 9개)

7의 기존 모델 트레이스 표기 방식대로, 자극 수 9개까지를 셀 때 반복되는 아홉 번의 산출 반복을 아래로 나열하지 않고 시간대만 표시하여 한 열에 표기하였다. 산출명 see-one/.../ -seven/-eight/- nine에서 알 수 있듯이, 자극 수가 1개일 때 처리되는 과정들은 see-one이고, 중간 과정들은 모두 동일하므로 생략하였으며

(모델 트레이스에서 /.../인 부분에 해당됨), 자극 수 7개, 8개, 그리고 9개일 때의 과정들은 -seven/-eight/-nine 부분에 해당된다. 예를 들어 일곱 번째 자극에 대한 FIND-LOCATION은 1250msec에, 여덟 번째 자극에 대해서는 1450msec에, 그리고 아홉 번째 자극에 대해서는 1650msec 때 수행된다.

9) 그림 8에서 제시된 모델 트레이스는 스크린에 제시된 시각 자극의 수가 아홉 개인 경우, 자극 수를 키패드에서 9를 입력하는 과제는 나타난 것이다. \* 표시된 산출들은 자극 수 1개부터 8개인 경우에는 점화되지 않는다. 자극 수 8개까지 헤아리고 난 후, 9개에 대한 반응을 할 때 \* 표시된 산출들이 점화된다.

매번 같은 산출들의 연속이 반복되는(즉, FIND- UNATTENDED-NUM, FIND-LOCATION, ATTEND -NUM, COUNT-NUM 산출의 반복) 현재의 알고리즘과는 달리, 자극 수 제시에 따른 전략 사용을 구현할 수 있는 새로운 알고리즘을 제안하면 그림 9와 같다. 기존 알고

리듬과 비교해 보면, ‘자극 재인 + 수 세기’ 수 세기 전략 사용에 따라 한 번에 청킹되어  
 로 나누어지는 단계에서 자극들에 주의를 할 처리된 다음(그림 9에서 \* 표시), 주의를 기울  
 당하는 단계들마다 매번 반복되는 산출들이 인 자극들을 서술기억 속에 저장되어 있는 각

```

start
0.000      GOAL      SET-BUFFER-CHUNK GOAL
0.000      VISION    SET-BUFFER-CHUNK VISUAL-LOCATION LOC0 REQUESTED NIL

from-one-to-four
.
. (씨비타이징을 구현한 알고리즘 적용, 그림 7 참조)
.

from-four-to-seven
.
. (기존의 ACT-R 알고리즘으로 설명 가능)
.

from-seven-to-nine
* 0.1250  PROCEDURAL  PRODUCTION-FIRED FIND-UNATTENDED-NUM 7-8-9
0.1250  PROCEDURAL  CLEAR-BUFFER VISUAL-LOCATION
* 0.1250  VISION     FIND-LOCATION 7-8-9
0.1250  VISION     SET-BUFFER-CHUNK VISUAL-LOCATION LOC1
0.1250  PROCEDURAL  CONFLICT-RESOLUTION
* 0.1350  PROCEDURAL  PRODUCTION-FIRED ATTEND-NUM 7-8-9
0.1350  PROCEDURAL  CLEAR-BUFFER VISUAL-LOCATION
0.1350  PROCEDURAL  CLEAR-BUFFER VISUAL
0.1350  PROCEDURAL  CONFLICT-RESOLUTION
0.1400  VISION     ENCODING-COMPLETE LOC1-0 NIL
0.1400  PROCEDURAL  CONFLICT-RESOLUTION
**0.1450  PROCEDURAL  PRODUCTION-FIRED COUNT-NUM 7
0.1450  PROCEDURAL  CLEAR-BUFFER VISUAL
0.1450  PROCEDURAL  CONFLICT-RESOLUTION
**0.1500  PROCEDURAL  PRODUCTION-FIRED COUNT-NUM 8
0.1500  PROCEDURAL  CLEAR-BUFFER VISUAL
0.1500  PROCEDURAL  CONFLICT-RESOLUTION
**0.1550  PROCEDURAL  PRODUCTION-FIRED COUNT-NUM 9
0.1550  PROCEDURAL  CLEAR-BUFFER VISUAL
0.1550  PROCEDURAL  CONFLICT-RESOLUTION
0.1600  PROCEDURAL  PRODUCTION-FIRED RESPOND
0.1600  PROCEDURAL  CLEAR-BUFFER MANUAL
0.1600  MOTOR      PRESS-KEY NUM 9
0.2000  MOTOR      OUTPUT-KEY NUM 9
    
```

그림 9. 수 세기 전략을 반영한 새로운 모델 트레이스의 일례

각의 수에 해당하는 이름과 순서(즉, 일곱, 여덟, 그리고 아홉)에 대응시키는 행위가 반복되고 있다(그림 9에서 \*\* 표시).

그림 9에서 제시한 알고리즘은 자극 수 1개에서 9개까지를 세는 과정을 나타내고 있다. 산출명 'start'는 산출을 세팅하는 부분이고, 'from-one-to-four'는 앞서 기술한 써비타이징 현상이 발생하는 구간으로 50msec 정도의 반응 시간 기울기를 보이고 있다. 'from-four-to-seven'은 300msec 정도의 반응 시간 기울기를 보이는 구간으로 써비타이징 현상도 전략 사용도 관찰되지 않는 구간이며, 마지막으로 'from-seven-to-nine'은 자극 수 제시에 따른 수 세기 전략의 사용이 나타나는 산출을 나타내고 있다. 이와 같은 산출들 중 중 자극 수 7개, 8개, 그리고 9개를 처리하는 산출인 'from-seven-to-nine'은 앞서 기술한 기존의 알고리즘에서의 산출들 'see-seven/- eight/-nine'에서처럼 자극 재인 단계에서 동일한 산출이 세 번 반복되는

것이 아니라, 자극 수 7개에서 9개까지가 청킹되어 처리되는 것을 보여준다.

그림 10은 본 절에서 기술한 새로운 알고리즘이 반영된 새로운 ACT-R의 예측값을 기존의 자료들과 비교한 것이다. 그림 10에서 확인할 수 있듯이, 청킹 전략을 구현한 새로운 알고리즘은 기존의 ACT-R 예측값에 비해 경험적 관찰값에 보다 적합한 것으로 보인다.

### 종합논의

본 논문에서는 인지 아키텍처의 개념을 정리하고, 대표적인 인지 아키텍처들을 개관한 후, 가장 활발한 연구가 진행되고 있는 ACT-R의 모델링에 대해 살펴보았다. 궁극적으로 본 논문에서는 통합인지이론인 인지 아키텍처의 발전 방향을 제시하고자 하였는데, ACT-R에서 고려하지 못하고 있는 전략 사용에 따른 반응

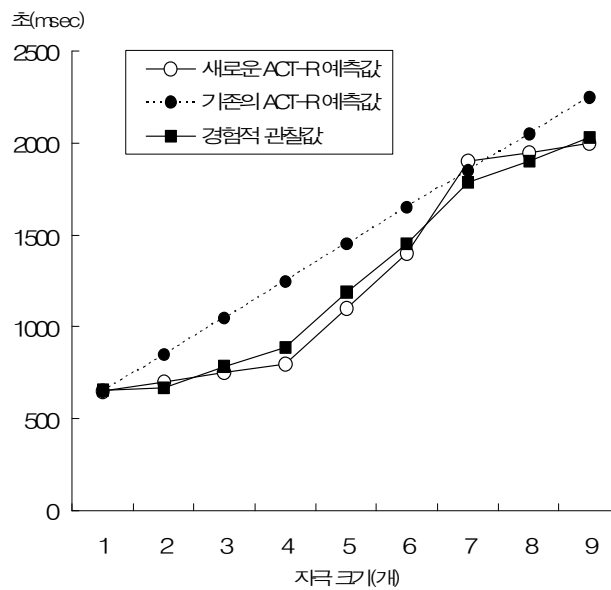


그림 10. 새로운 알고리즘이 반영된 새로운 ACT-R과 기존 자료와의 비교

시간 감소를 검증하였고, 선행연구에서 보고한 써비타이징 현상을 재검증하였다. 이러한 행동들은 시각처리 과정에서 일어나는 비교적 보편적인 행동임에도 불구하고, 기존의 ACT-R은 이를 충분히 반영하지 못하고 있다. ACT-R을 이용하여 수행되어온 연구들이 관찰값에 맞도록 모수치나 특정 산출을 조작함으로써 모델을 구축했던 것과는 달리, 본 연구는 관찰된 보편적인 인간 행동의 측면들을 반영할 수 있도록 새로운 알고리즘을 제안함으로써 보다 통합되고 발전된 형태의 인지 아키텍처를 위한 제언을 하고자 하였다.

통합인지이론으로서의 인지 아키텍처는 인간의 마음과 행동에 대한 통합적 설명들을 제공한다. 선행연구들이 개별적인 연구들에서 얻어진 관찰값에 맞는 모델을 구축하는 것에 초점을 맞추어 왔다면, 본 논문에서는 시각 자극을 사용한 모든 모델들이 공통적으로 상정하고 있는 산출들을 포함하는 간단한 수 세기 과제(enumeration task)를 사용하여 시각 처리 과정에서 공통적으로 발생하는 현상을 설명할 수 있는 인지 아키텍처로의 발전 방향을 제안하고자 하였다. 본 연구에서는 대표적인 인지 아키텍처들 중, 가장 활발히 연구가 진행되고 있고 보다 완성된 형태로 발전해 나가고 있는 ACT-R에 대해 논의하였다.

수 세기 과제는 ACT-R에서 상정하고 있는 네 개의 모듈을 모두 사용해야 하는 과제로, 시각 자극을 사용한 모든 실험에서 공통적으로 포함하고 있는 산출들이 모두 필요한 간단하지만 기본적인 과제이다. 본 논문에서는 간단하지만 시각 자극을 처리할 때 공통적인 요소를 모두 포함하고 있는 수 세기 과제를 통해 인간 행동에서 보편적으로 관찰되는 전략 사용이 수행에 어떠한 영향을 미치는지 살펴

보았다. 또한 수 세기 과제를 할 때 선행연구들(Aoki, 1977; Oyama et al., 1981; Trick et al., 1993; Trick et al., 1994)이 보고해 온 써비타이징 현상에 대해서도 재검증 하였다.

기존의 ACT-R에서는 주의가 기울여지지 않은 자극의 위치를 찾고, 위치를 찾은 자극에 주의를 기울이며, 주의를 기울인 자극을 부호화하여 수를 세는 산출이 매 자극마다 반복적으로 발생하는 것으로 가정하고 있다. 이러한 알고리즘을 제안한 바와 같이 청킹이 가능하도록 새롭게 구현한다면, 관찰된 인간 행동에 보다 적합한 모델을 구축할 수 있을 것으로 기대한다. 써비타이징과 자극 수 제시에 따른 수 세기 전략 사용이 보이는 공통된 특징은 특정한 자극 수 범위 구간에서 반응시간 기울기가 완만한 형태를 보인다는 점이다. 이러한 현상은 자극 재인 과정에서의 청킹으로 설명할 수 있다. 즉, 본 연구에서 제안된 바와 같이 써비타이징과 자극 수 제시에 따른 수 세기 전략 사용 모두 동일한 기제(즉, FIND-UNATTENDED-NUM, FIND-LOCATION, 그리고 ATTEND-NUM에서의 청킹 전략)로 설명 가능한데, 이는 새로 제안한 알고리즘이 효율성과 경제성을 가지는 것으로 판단된다.

이러한 시사점에도 불구하고 본 연구가 가진 제한점은 다음과 같다. 첫째, 자극 수의 범위가 10개 이상인 경우에도 검증할 필요가 있다. 특히 컴퓨터 프로그램으로서의 인지 아키텍처라는 점을 고려한다면 정량화된 값(즉, 예컨대 써비타이징 알고리즘을 적용할 구간은 자극 수 ‘4개’까지이고, 자극 수가 ‘10개’ 이하 일 때에는 ‘7개’부터 전략효과를 구현하는 알고리즘을 적용함 등)이 반드시 필요하므로, 자극 수의 범위를 확대하여 검증할 필요가 있다. 둘째, 본 연구에서는 검증한 조건 이외에 보

다 다양한 조건들에서 전략 사용의 효과가 있는지를 검토하여 이러한 다양한 환경에서 수렴된 결과들을 바탕으로 보다 공고한 제안을 할 필요가 있는 것으로 생각된다.

따라서 추후연구를 통해 본 연구의 제한점을 보완할 수 있는 다양한 연구들이 수행될 것으로 기대한다. 이러한 추후연구를 통하여 인지 아키텍처가 궁극적으로 나아가야 할 방향은 보다 인간의 수행을 잘 설명하는 통합인지이론으로의 발전이다. 그러므로 보편적인 인간 행동에서 나타나는 인간 행동들 중 기존의 인지 아키텍처가 간과하고 있는 요소들에 대한 검증이 계속되어야 할 것으로 보인다. 본 연구에서 살펴본 자극 수 제시에 따른 수세기 전략 효과는 전략의 사용이 자극의 속성에 영향을 받지 않는 보다 상위 인지 수준의 발견법의 측면임을 반영하는 결과로 볼 수 있다. 전략 사용이라는 보편적인 인간 수행의 측면은 기계의 구동방식인 연산법(algorithm)으로 설명하기 어렵고 발견법(heuristic)으로 설명할 수 있는데, 현재 기술 단계에서 발견법을 컴퓨터로 모사하는 것은 매우 어렵다. 그러나 발견법을 사용한다는 점은 인간 수행의 핵심적이고도 중요한 부분이므로, 추후연구들을 통해 이를 구현할 수 있는 알고리즘을 개발하는 노력들이 계속되어야 할 것으로 보인다.

### 참고문헌

<http://act-r.psy.cmu.edu/>

<http://act-r.psy.cmu.edu/publications>

<http://www.apa.org/journals>

Aoki, T. (1977). On the counting process of patterned dots. *Toboku Psychologica Folia*, 36,

15-22.

Altmann, E. M., & Trafton, J. G. (1999). Memory for goals: An architectural perspective. In *Proceedings of the twenty-first annual conference of the Cognitive Science Society* (pp. 19-24). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Anderson, J. R. (1972). FRAN: A simulated model of free recall. In G. B. Bower (Ed.), *The Psychology of Learning and Motivation*. New York: Academic Press.

Anderson, J. R. (1976). *Language, memory, and thought*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

Anderson, J. R. (1977). Introduction of augmented transition networks. *Cognitive Science*, 1, 125-157.

Anderson, J. R. (1983). *The architecture of cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Anderson, J. R. (1993). *Rules of mind*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.

Anderson, J. R., Bothell, D., Byrne, M. D., Douglass, S., Lebiere, C., & Qin, Y. (2004). An integrated theory of the mind. *Psychological Review*, 111, 1036-1060.

Anderson, J. R., Bothell, D., Lebiere, C. & Matessa, M. (1998). An integrated theory of list memory. *Journal of Memory and Language*, 38, 341-380.

Anderson, J. R., & Bower, G. (1973). *Human associative memory*. Washington, DC: Winston.

Anderson, J. R., & Douglass, S. (2001). Tower of Hanoi: Evidence for the Cost of Goal Retrieval. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 27, 1331-1346.

Anderson, J. R., & Lebiere, C. (1998). *Atomic*



- components of thought*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Anderson, J. R., & Matessa, M. P. (1997). A production system theory of serial memory. *Psychological Review*, 104, 728-748.
- Anderson, J. R., Matessa, M., & Lebiere, C. (1997). ACT-R: a theory of higher level cognition and its relation to visual attention. *Human-Computer Interaction*, 12, 439-462.
- Anderson, J. R., Reder, L. M., & Lebiere, C. (1996). Working memory: Activation limitations on retrieval. *Cognitive Psychology*, 30, 221-256.
- Ball, J. T., Gluck, K. A., Krusmark, M. A., & Rodgers, S. M. (2003). Comparing three variants of a computational process model of basic aircraft maneuvering. In *Proceedings of the 12th Conference on Behavior Representation in Modeling and Simulation*(pp.87-89). Orlando, FL: Institute for Simulation & Training.
- Basak, C., & Verhaeghen, P. (2003). Subitizing Speed, Subitizing Range, Counting Speed, the Stroop Effect, and Aging: Capacity Differences and Speed Equivalence. *Psychology & Aging*, 18, 240-249.
- Byrne, M. D. (2001). ACT-R/PM and menu selection: Applying a cognitive architecture to HCI. *International Journal of Human-Computer Studies*, 55, 41-84.
- Byrne, M. D. (2003). Cognitive architecture. In J. Jacko & A. Sears (Eds.), *The human-computer interaction handbook: Fundamentals, evolving technologies and emerging applications*(pp.97-117). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Byrne, M. D. (2005). Cognitive architectures in HCI: Present work and future directions. In *Proceedings of the 11st International Conference on Human-Computer Interaction. Las Vegas, NV*.
- Byrne, M. D., & Anderson, J. R. (1998). Perception and action. In J. R. Anderson & C. Labiere (Eds.), *The atomic components of thought*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Byrne, M. D., & Kirlik, A. (2005). Using computational cognitive modeling to diagnose possible sources of aviation error. *International Journal of Aviation Psychology*, 15, 135-155.
- Card, S. K., Moran, T. P., & Newell, A. (1983). *The psychology of human-computer interaction*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Fitts, P. M. (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, 47, 381-391.
- Foder, J. A. (1983). *The modularity of the mind*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Fum, D., & Del Missier, F. (2001). Modeling counter offer behavior in dyadic distributive negotiation. In *Proceedings of the Fourth International Conference on Cognitive Modeling* (pp.79-84). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Gary, W. D., Young, R. M., & Kirschenbaum, S. S. (1997). Introduction to this special issue on cognitive architectures and human-computer interaction. *Human-Computer Interaction*, 12, 301-353.
- Haverty, L. A., Koedinger, K. R., Klahr, D., & Alibali, M. W. (2000). Solving induction problems in mathematics: Not-so-trivial pursuit. *Cognitive Science*, 24, 249-298.

- Howes, A., & Young, R. M. (1997). The role of cognitive architecture in modeling the user: Soar's learning mechanism. *Human-Computer Interaction, 12*, 311-343.
- John, B. E., & Kieras, D. E. (1996). The GOMS family of user interface analysis techniques: Comparison and contrast. *ACM Transaction on Computer-Human Interaction, 3*, 320-351.
- Kaufman, E., Lord, M., Reese, T., & Volkman, J. (1949). The discrimination of visual number. *American Journal of Psychology, 62*, 498-525.
- Kieras, D. E., & Meyer, D. E. (1997). An overview of the EPIC architecture for cognition and performance with application to human-computer interaction. *Human-Computer Interaction, 12*, 391-438.
- Kieras, D. E., Wood, S. D., & Meyer, D. E. (1997). Predictive engineering models based on the EPIC architecture for a multimodal high-performance human-computer interaction task. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction, 4*, 230-275.
- Kinstch, W. (1988). The role of knowledge in discourse comprehension: A construction-integration model. *Psychological Review, 95*, 163-182.
- Laird, J. E., Newell, A., & Rosenbloom, P. S. (1987). SOAR: An architecture for general intelligence. *Artificial Intelligence, 33*, 1-64.
- Laird, J., Rosenbloom, P., & Newell, A. (1986). *Universal subgoaling and chunking*. Boston: Kluwer.
- Lakatos, I. (1970). Falsification and the methodology of scientific research programmes. In I. Lakatos, & A. Musgrave. (Eds.), *Criticism and the growth of knowledge*. New York: Cambridge University Press.
- Lebiere, C., & West, R. L. (1999). A dynamic ACT-R model of simple games. In *Proceedings of the Twenty-first Conference of the Cognitive Science Society*(pp.296-301). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Lewis, R. L. (2001). Cognitive theory, Soar. In *International Encyclopedia of the Social and Behavioral Sciences*. Amsterdam, Pergamon: Elsevier Science.
- Matessa, M., & Anderson, J. R. (1997). Focused Learning in a Linguistic Environment. In *Proceedings of the 19th Annual Conference of the Cognitive Science Society* (p. 990). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Meyer, D. E., & Kieras, D. E. (1997a). A computational theory of executive cognitive processes and multi-task performance: Part 1. Basic mechanisms. *Psychological Review, 104*, 2-65.
- Meyer, D. E., & Kieras, D. E. (1997b). A computational theory of executive cognitive processes and multi-task performance: Part 2. Accounts of psychological refractory-period phenomena. *Psychological Review, 104*, 749-791.
- Newell, A. (1973a). Production systems: Models of control structures. In W. G. Chase (Ed.), *Visual information processing*. New York: Academic Press.
- Newell, A. (1973b). You can't play 20 questions with nature and win: Projective comments on the papers of this symposium. In W. G. Chase (Ed.), *Visual information processing*. New

- York: Academic Press.
- Newell, A. (1980). Physical symbol systems. *Cognitive Science*, 4, 135-183.
- Newell, A. (1990). *Unified theories of cognition*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Newell, A., Rosenbloom, P., & Laird, J. E. (1993). Symbolic architectures for cognition. In M. I. Posner (Ed.), *Foundations of cognitive science*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Newell, A., & Simon, H. A. (1963). GPS, a program that simulates human thought. In E. A. Feigenbaum & J. Feldman (Eds.), *Computer and thought*(pp.279-293). Cambridge, MA: MIT Press.
- Newell, A., & Simon, H. A. (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs, NJ: Erlbaum.
- Oyama, T., Kikuchi, T., & Ichihara, S. (1981). Span of attention, backward masking and reaction time. *Perception & Psychophysics*, 29, 106-112.
- Popper, K. R. (1959). *The logic of scientific discovery*. New York: Basic Books.
- Pylyshyn, Z. W. (1984). *Computation and cognition*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Ritter, F. E., & Wallach, D. P. (1998). Models of two-person games in ACT-R and Soar. In *Proceedings of the Second European Conference on Cognitive Modelling*(pp.202-203). Thrumpton: Nottingham University Press.
- Rosenbloom, P. S., Laird, J. E., & Newell, A. (1992). *The SOAR papers: Research on integrated intelligence*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Rosenbloom, P. S., & Newell, A. (1988). An integrated computational model of stimulus-response compatibility and practice. In G. H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation*(vol. 21). New York: Academic Press.
- Salvucci, D. D., Chavez, A. K., & Lee, F. J. (2004). Modeling effects of age in complex tasks: A case study in driving. In *Proceedings of the 26th Annual Conference of the Cognitive Science Society*(pp.1197-1202). Chicago, USA.
- Salvucci, D. D., Zuber, M., Beregoiva, E., & Markley, D. (2005). Distract-R: Rapid prototyping and evaluation of in-vehicle interfaces. In *Human Factors in Computing Systems: CHI 2005 Conference Proceedings* (pp. 581-589). New York: ACM Press.
- Steier, D. E., Laird, J. E., Newell, A., Rosenbloom, P. S., Flynn, R. A., Golding, A., Polk, T. A., Shivers, O. G., Unruh, A., & Yost, G. R. (1987). Varieties of learning in Soar. In *Proceedings of the 4th International Workshop on Machine Learning*. Los Alto, CA: Mogan Kaufmann.
- Trick, L. M., & Pylyshyn, Z. W. (1993). What enumeration studies can show us about spatial attention: Evidence for limited capacity preattentive process. *Journal of Experiment Psychology: Human Perception and Performance*, 19, 331-351.
- Trick, L. M., & Pylyshyn, Z. W. (1994). Why are small and large numbers enumerated differently? A limited-capacity preattentive stage in vision. *Psychological Review*, 101, 80-102.
- 1차 원고접수: 2008. 3. 10.  
수정원고접수: 2008. 6. 10.  
최종게재결정: 2008. 6. 17

## **An Alternative to Modeling in the ACT-R Cognitive Architecture: Focused on Enumeration Tasks**

**Bia Kim**

**Jaesik Lee**

Department of Psychology, Pusan National University

Cognitive architectures as unified cognitive theories can produce an integrated explanation of human mind and behaviors. The definitions of a cognitive architecture, fundamental characteristics of prominent architectures (Soar, EPIC, and ACT-R), modeling paradigm using ACT-R, and application areas of ACT-R were introduced and reviewed. The purpose of this study was to examine the modeling of a visual processing in ACT-R, which has been evolved as an unified cognitive theory, to suggest developmental directions in ACT-R. For this purpose, enumeration time of stimuli set size was measured (the enumeration task was adopted because it contains every default productions in ACT-R models established using visual stimuli). The results showed that the knowledge of set size affected on counting strategy which in turn reduced counting time for relatively larger set size of 7 to 9 items. However, the use of the strategy in enumeration appeared to be overlooked in the current cognitive architectures, especially in ACT-R. Based on the results of empirical data, a new ACT-R algorithm on visual stimuli process was proposed. Finally, the implication of the present study on the future cognitive architecture was discussed.

*Key words* : cognitive architecture, ACT-R, enumeration task, visual processing, subitizing