JESK J Ergon Soc Korea 2021; 40(3): 173-183
https://dx.doi.org/10.5143/JESK.2021.40.3.173
https://jesk.or.kr eISSN:2093-8462

The Development of a Cognitive Model for the Prediction of Voluntary Task Switching

Hyung Seok Oh, Yong Deok Yun, Rohae Myung

Korea University, Department of Industrial Management Engineering, Seoul, 02841

자발적 작업 전환 예측을 위한 인지 모델 개발

오형석, 윤용덕, 명노해

고려대학교 산업경영공학부

Corresponding Author
Rohae Myung
Korea University, Department of Industrial Management Engineering, Seoul, 02841
Email : rmyung@korea.ac.kr

Received : April 22, 2021
Accepted : April 29, 2021

Objective: The objective of this study is to propose a cognitive model that can explain and predict when voluntary task switching occurs in multitasking environments.

Background: Voluntary task switching in multitasking is prevalent in general work environments, but can cause cognitive loss and affect worker productivity. Therefore, it is essential to improve understanding of voluntary task switching and to quantitatively predict when voluntary task switching occurs.

Method: As a result of the literature review, it can be summarized that voluntary task switching is mainly caused by an imbalance between task difficulty and cognitive ability. Based on this, the ACT-R cognitive model of voluntary task switching is developed and applied to an illustrative multi-task including the memory game and the visual search task. To validate the model in this study, an experiment is conducted on the number of voluntary task switching according to the task difficulty level, and the results of the model are compared with human data.

Results: The results of both the model and the subject show that the task difficulty level affects the frequency of voluntary task switching. In addition, according to the goodness-of-fit measures, it can be seen that the model reflects the trend consistency and exact match of the human data well.

Conclusion: As the results, the proposed model can provide a relatively accurate representation of when voluntary task switching is performed. The proposed model exhibits insights in predicting when the self-interruption occurs in multitasking environments and demonstrates the manner in which ACT-R facilitates accounts of voluntary task switching.

Application: The cognitive model in this study can be used as a practical tool to evaluate aid systems in multitasking.

Keywords: Voluntary task switching, Self-interruption, multitasking, ACT-R, Cognitive modeling

Copyright@2021 by Ergonomics Society of Korea. All right reserved.

1. Introduction

다중 작업(multitasking)은 일반적으로 우리의 작업 환경에 만연해 있다. 사람들은 문서 작업을 하면서 메신저에 답을 하고, 자료 검색을 하는 도중 도착한 메일을 확인하곤 한다. 이처럼 지금과 같이 많은 정보들을 즉각적으로 얻을 수 있는 시대에서 다중 작업은 불가피하며, 이는 많은 관찰 연구에서 확인할 수 있다(e.g., Benbunan-Fich and Truman, 2009; Gonzalez and Mark, 2004; Spira and Feintuch, 2005).

다중 작업에서는 여러 작업을 동시에 수행하는 데 있어 작업 전환을 수행하게 된다. 이러한 작업 전환은 전화벨 또는 메시지 알람 등의 외부적 자극에 의해 발생될 수도 있지만, 외부적 자극이 없음에도 스스로 수행 중이던 작업을 중단(self-interruption)하고 다른 작업을 수행하는 것으로 역시 발생될 수 있다(Adler and Benbunan-Fich, 2013). 이러한 내부적 원인으로 인해 발생한 작업 전환을 자발적 작업 전환이라 한다. Czerwinski et al. (2004)은 작업 전환의 40%가 내부적 원인으로 발생한 자발적 작업 전환이라고 보고했으며, Dabbish et al. (2011)의 연구에서는 일반적인 사무실 환경과 같이 개방되어 있는 작업 환경에서는 근무자 스스로 진행 중인 작업을 자주 중단한다는 것을 관찰하였다. 더욱이, 다중 작업 환경에서는 작업 전환이 항상 최적의 전환으로 이루어지는 것이 아니라, 작업자가 작업 전환을 하는데 있어 비합리적인 결정을 내릴 수 있다는 점에서 중요한 실질적인 문제가 있을 수 있다(Katidioti and Taatgen, 2014). 특히, 이러한 다중 작업에 발생하는 자발적 작업 전환(voluntary task switching)은 인지적 손실을 발생하여 작업자의 생산성에 영향을 미칠 수 있다(Lee et al., 2013).

그러므로, 이러한 자발적 작업 전환에 대한 이해를 높이는 것은 필수적이라 할 수 있으며, 자발적 작업 전환이 언제 발생하는 지에 대해 예측할 수 있다면, 다중 작업이 필요한 시스템을 설계하거나 복잡한 작업을 설계하는데 있어 큰 도움을 줄 수 있을 것이다. 이에 본 연구에서는 자발적 작업 전환에 대한 인지적 과정을 설명해주고, 언제 자발적 작업 전환이 발생하는 지에 대한 예측이 가능한 정량적 모델을 개발하는 것을 목적으로 하였다. 이를 위해, 본 연구에서는 우선 자발적 작업 전환에 대한 설명을 제공하는 여러 연구들을 분석하였고, 이를 통해 자발적 작업 전환의 인지 과정에 대한 모델을 ACT-R (Adaptive Control of Thought-rational) (Anderson et al., 2004) 인지 아키텍처 기반으로 개발하였다.

ACT-R은 운전(Salvucci, 2006; Mirinejad et al., 2018), 가상 게임(Smart et al., 2016) 등 여러 복잡한 시스템에서의 사람의 인지 과정을 묘사하는데 사용된, 여러 인지 아키텍처들 중 가장 대표적인 것이라 할 수 있다. 특히, 다중 작업 환경에서 역시 외부 개입으로 인한 작업 전환을 중심으로 ACT-R 기반의 인지 모델링 연구가 다수 진행되어 왔다. Borst et al. (2015)은 수행 중인 작업이 중단된 후 재개되는 다중 작업에서 인간의 인지 과정을 모델링 하기 위해 ACT-R을 이용하였고, Salvucci et al. (2009)은 다중 작업을 수행하는 데 있어 인지 자원들을 자연스럽게 공유하는 과정을 ACT-R 기반으로 모델링 하였다.

2. Literature Review

2.1 Voluntary task switching

다중 작업에서의 자발적 작업 전환에 대한 연구는 지난 10년간 많은 연구자들에 의해 활발히 이루어져 왔다. 본 연구에서는 이러한 연구들이 설명하는 자발적 작업 전환의 특징들을 크게 3가지로 정리해 보았다.

첫 번째, Adler and Benbunan-Fich (2013)의 연구에 따르면, 자발적 작업 전환은 수행 중인 작업에서의 정신적 요구(mental demands)와 작업자의 인지적 능력 수준 간의 불균형으로 인해 발생할 수 있다고 한다. 사람의 인지적 능력에 비해 수행 중인 작업이 상대적으로 너무 어려울 때 좌절감, 피로감 등의 부정적 감정이 발생하고, 이러한 부정적 감정을 회복하기 위해 수행 중인 작업을 자체적으로 중단하고 작업 전환을 하게 된다. 특히, 수행 중인 작업이 결과에 따른 보상과 직접적으로 관련이 없다면, 작업자들은 어려운 작업을 수행하면서 얻을 수 있는 부정적인 감정을 회복하기 위해 자연스럽게 더 쉬운 작업을 찾게 된다. 또한, Baumeister et al. (2018)의 연구에서도 이러한 자발적 작업 전환에 대한 유사한 설명을 제공하고 있다. 이들은 더 어려운 작업의 경우 인지적 자원의 고갈로 인해 작업을 완료하려는 동기가 줄어들어 사람들이 수행 중인 작업을 쉽게 포기할 수 있다고 설명하고 있다. 이렇듯, 수행 중인 작업의 정신적 요구와 수행자의 작업 실행에 있어서의 인지적 능력 사이의 불균형이 작업의 자체 중단 및 작업 전환의 가능성 증가에 있어

서 중요한 요소 중 하나라는 것을 알 수 있다.

두 번째, 자발적 작업 전환에 대한 또 다른 연구들(Kurzban et al., 2013; Gutzwiller et al., 2016)에서는 수행 중인 작업에 소요되는 시간이 자발적 작업 전환의 가능성에 영향을 줄 수 있다고 설명하고 있다. 이러한 연구들에서는 작업 수행 시간이 늘어남에 따라 수행 중인 작업에서 다른 작업으로 전환되는 횟수가 증가한다고 주장하고 있다. Kurzban et al. (2013)은 작업의 난이도가 클수록 작업에 소요되는 시간이 길어지고, 이에 따라 누적된 작업부하로 인한 휴식의 필요성으로 작업을 전환할 가능성이 높아진다고 설명하고 있다. 이 설명은 수행 중인 작업이 완료되지 않았는데도 중단하는 것이 누적된 작업부하를 해결하기 위한 합리적 선택일 수 있다는 것을 의미한다. 또한, Payne et al. (2007)과 Duggan et al. (2013)의 연구에서 역시 수행 중인 작업에 시간이 소요됨에 따라 감소하는 수익률에 의해 작업 전환의 가능성이 증가한다고 설명하였다. 하지만, 이와 반대로 작업 수행 시간의 증가가 다른 작업으로 전환되는 가능성을 낮춘다고 설명하는 연구 또한 존재한다. Gutzwiller et al. (2016)의 연구에서는 수행 중인 작업에 할애된 시간에 따라 누적된 메모리를 포기하지 않기 위해 작업 전환을 의도적으로 억제할 수 있다고 한다.

마지막으로, 자발적 작업 전환을 하나의 의사결정 과정으로써 설명하고 있는 연구들 또한 진행되어 왔다. 예를 들어, Wickens et al. (2015)은 다중 작업 환경에서 과부하 되었을 때 어떠한 작업을 선택하는 지에 대해 설명하는 전략적 과부하 관리(strategic task overload management; STOM) 모델을 제안하였다. 이 모델은 과부하 상태에서 수행 중인 작업을 계속 수행할지 다른 작업으로 전환할 지에 대한 결정 프로세스에 초점을 맞추어, 작업의 난이도, 관심도, 우선 순위, 현저성, 그리고 작업 시간 등의 여러 작업 속성들을 기반으로 작업 전환의 발생 유무가 결정될 것이라고 설명하고 있다. 특히, 여러 작업 속성들 중 난이도 측면에서, STOM 모델은 대체 작업에서의 난이도 속성은 쉬울수록 매력적이며 수행 중인 작업에서는 난이도가 높을수록 전환을 방해하는 "끈적임"이 더 크다고 설명하였다(Wickens et al., 2016). 또한, Gutzwiller et al. (2016)은 이러한 난이도 속성을 작업 종료 기대(task end-expectancy)라는 용어로 설명하였는데, 이는 수행 중인 작업에 소요되는 시간이 길어질수록 작업의 종료까지의 시간이 얼마 남지 않았을 것이라는 기대로 인하여 의도적으로 작업 전환을 억제하는 결정으로 이어진다는 것을 말한다.

이렇듯 자발적 작업 전환에 대한 연구들 대부분이 공통적으로 작업의 어려움에 따른 영향을 언급하고 있으며, 작업의 높은 난이도에 따라 축적된 정신적 작업부하가 인지 능력과 불균형을 이룰 때 작업을 자체적으로 중단하고 다른 작업으로 전환하게 만든다고 정리할 수 있다. 이에 본 연구에서는 ACT-R을 이용하여 수행 중인 작업에서 축적되는 정신적 작업부하와 인지 능력의 불균형을 정량화하는 방법을 제안함으로써, 자발적 작업 전환에서 어떻게 자체적으로 작업 중단이 발생하는 지에 대한 인지 모델을 정립하였다.

2.2 ACT-R cognitive architecture

ACT-R(버전 7.0) 인지 아키텍처는 여러 핵심 모듈로 구성되며(Figure 1 참조), 각 모듈은 서로 다른 유형의 인지적 정보를 독립적으로 처리하는 것을 묘사한다(Anderson et al., 2004). 지각-운동 모듈(perceptual-motor modules)은 실제 환경과 상호 작용하는 것을 묘사하며, 목표 모듈(goal module)은 작업을 완료하는 데 필요한 목표 정보들을 저장한다. 선언적 모듈(declarative module)은 2+3=5와 같은 사실을 나타내는 인간의 선언적 지식을 저장하고 처리한다. 가상 모듈(imaginal module)은 지각-운동 모듈에 의해 인코딩된 하위 목표 정보 또는 새로운 정보를 임시로 저장하고 처리한다. 마지막으로 절차적 모듈(procedural module)은 IF-THEN 형식으로 인간 인지 행동의 규칙으로 표현되는 모든 절차적 지식을 저장하고 처리한다. 각 절차적 지식에는 다른 모듈들이 다음에 수행해야 할 것들에 대한 정보들(THEN)과 이것이 발동하기 위한 조건(IF)을 포함하고 있으며, 조건이 같은 절차적 지식들 중 하나를 선택할 수 있도록 정량적 효용값(utility value)을 갖고 있다.

절차적 모듈을 제외한 각 모듈은 병렬 방식으로 작동하며 모듈과 관련된 하나의 인지적 정보만 저장할 수 있는 자체 버퍼를 가지고 있다. 절차적 모듈은 모든 ACT-R 버퍼를 지속적으로 모니터링하여 조건이 버퍼의 상태 및 내용과 일치하는 절차적 지식을 식별하는 패턴-인식 기능을 수행한다. 그 후, 가장 높은 효용값을 기준으로 식별 된 절차적 지식들 중 하나만을 선택한 후, 선택된 절차적 지식에 따라 다른 모듈들에 조치를 수행한다(Anderson et al., 2004).

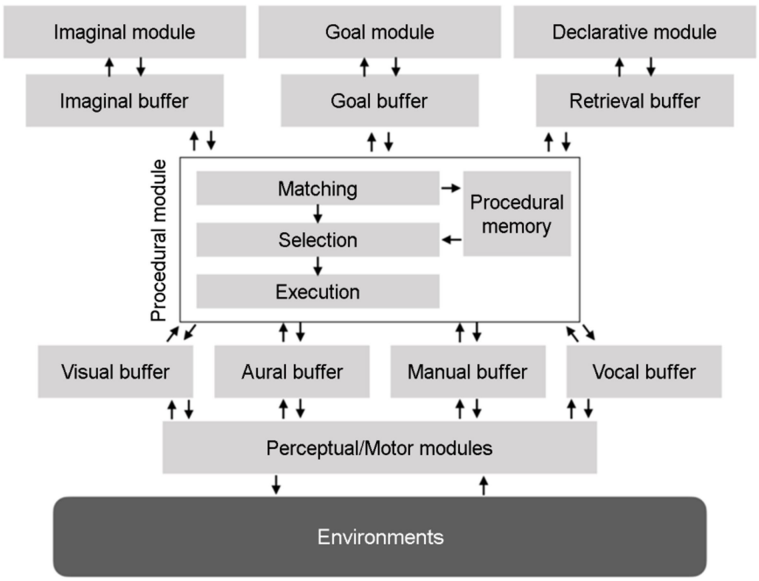


Figure 1. Schematic diagram of the ACT-R cognitive architecture (Ritter et al., 2019)

3. Method

본 섹션에서는 앞서 살펴본 자발적 작업 전환에 대한 설명들을 기반으로 ACT-R 인지 모델을 개발하는 과정을 소개할 것이다. 이를 위해, 먼저 본 연구에서는 자발적 작업 전환이 발생하는 예시 과제 하나를 선정하였으며, 이 과제에서 발생하는 자발적 작업 전환에 대한 인지 과정을 ACT-R 기반으로 모델링하였다. 또한, 제안된 인지 모델을 검증하기 위해, 앞서 언급한 다중 작업을 인지 모델과 모집한 피실험자들로 하여금 수행하도록 하였다. 특히, 인지 모델은 피실험자 데이터와의 통계적 검증을 위해 피실험자 모집 수와 동일하게 반복하여, 그 결과값을 피실험자 결과값과 비교하였다.

3.1 Task

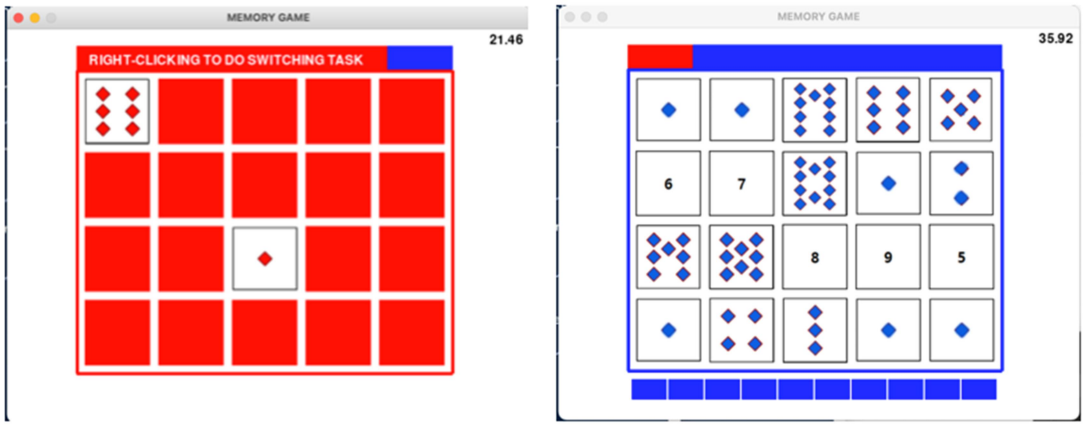
본 연구에서 사용된 다중 작업 환경은 기억력 게임과 시각 탐색 작업으로 구성되어 있다. 기억력 게임은 Figure 2a에서와 같이 일치하는 이미지 카드 쌍들을 모두 맞추어야 하는 게임으로, 모든 카드들은 게임이 시작될 때 뒤집어져 있고, 플레이어가 두 장의 카드를 순차적으로 뒤집어, 뒤집힌 카드들의 이미지가 일치하면 위를 향하게 두고, 그렇지 않은 경우 아래를 향하게 다시 두어, 최종적으로 모든 카드를 위를 향하게 두는 것으로 목적으로 하는 게임이다. 이 기억력 게임은 기존 작업 전환에 대한 연구(Katidioti et al., 2014)에서 이미 사용되었던 것으로, 본 연구에서는 Figure 2a와 같이 5×4로 배열된 10쌍의 20개의 이미지 카드로 변경하였다. 또한, Table 1과 같이 난이도 조절을 위해 4가지 유형의 이미지가 사용되었다.

Table 1. Types of images on the cards in the memory game

Difficulty	Image form	Alternative image form	Instance
Level 1	Trump (Diamond)	Trump (Diamond)	(see Figure 2a)
Level 2-1	Three-letter word	Reverse order of the word	DOG, GOD
Level 2-2	Simple calculation	Simple calculation with the same answer	2×3, 4+2
Level 3	Simple equation	Simple equation with the same answer	2×+3=5

난이도는 3단계의 수준으로 구분하였으며, 첫 번째는 같은 이미지의 짝을 맞추는 것으로 기본적인 난이도 수준을 가지며, 두 번째는 짧은 단어의 순서를 한 번 뒤집어 보아야 한다거나 구구단 답을 한 번 생각해야 하는 등의 한 단계의 추가적인 인지적 요소를 포함하고 있는 난이도 수준이다. 마지막 난이도 수준은 간단한 방정식을 풀어야 하는 것으로, 방정식은 상수를 넘기고, 계수를 없애야 하는 2단계의 인지적 요소를 포함한다.

본 연구의 다중 작업에서의 두 번째 작업은 시각 탐색 작업으로, 이 작업에서는 여러 시각적 객체들이 피실험자들에게 제시되고 피실험자들은 여러 객체들 중에 주어진 특정 객체들의 수를 식별한 다음, 식별된 수에 해당하는 카드를 클릭해야 한다(Figure 2b 참고). 이 작업은 가장 쉬운 버전의 메모리 게임보다도 쉽게 수행할 수 있기 때문에, 메모리 게임을 수행하다 시각 탐색 작업으로 충분히 작업 전환할 수 있도록 설계하였다.



(a) (b)

Figure 2. Interface of the memory game (a) and the visual search task (b)

3.2 Voluntary task switching model

자발적 작업 전환의 정량적 인지 모델을 구성하기 위해, 먼저 앞서 선정한 메모리 게임 작업에 대한 인지 모델을 ACT-R 기반으로 Figure 3에서와 같이 5개의 절차적 지식으로 구성하였다. 이 5개의 절차적 지식은 메모리 게임을 수행하는 데 있어 카드 하나를 선택하여 클릭함으로써 그 카드 내용을 확인하고, 그 카드와의 또 다른 짝 카드의 위치를 기억해 내는 작은 하위 작업을 묘사하고 있다. 첫 번째 절차적 지식(Choose-card)은 카드 정보를 저장할 가상 모듈(imaginal module)의 버퍼를 초기화하고 열어볼 카드의 시각적 위치를 찾는 과정을 수행한다. 두 번째 절차적 지식(Attend-closed-card)는 선택된 카드의 시각적 위치에 시각적 주의를 주는 과정을 말하며, 세 번째 절차적 지식(Open-the-card)은 시각적 주의가 주어진 카드에 마우스를 움직여 클릭하는 것을 묘사한다. 클릭이 물리적으로 마무리되면 카드는 뒤집어져 이미지가 나타나게 되고, 이 카드의 시각적 모양이 바뀜에 따라 네 번째 절차적 지식(Re-attend-the-card)을 통해 다시 시각적 주의를 준다. 이는 시각 모듈(vision module)의 버퍼에 카드의 이미지가 저장되는 것을 의미하고, 마지막 다섯 번째 절차적 지식(Check-the-card)에는 시각 모듈 버퍼에 저장된 이미지를 가상 모듈 버퍼에 저장하고, 선언적 모듈을 통해 저장되어 있는 선언적 지식들과 비교하여, 현재 보고 있는 카드 이미지와 짝을 이루는 다른 카드의 위치의 기억을 검색한다. 여기서 카드의 난이도가 높을 경우, 카드 이미지의 정보를 얻기 위한 절차적 지식 하나가 더 추가된다. 선언적 모듈에 관련된 기억을 성공적으로 인출하면 두 번째 절차적 지식(Attend-closed-card)으로 바로 넘어감으로써 성공적으로 짝을 찾을 수 있게 된다. 반대로, 관련된 기억의 인출을 실패하면, 가상 모듈 버퍼 안에 저장되어 있던 카드 정보를 선언적 모듈에 저장한 뒤, 가상 모듈 버퍼는 초기화한다.

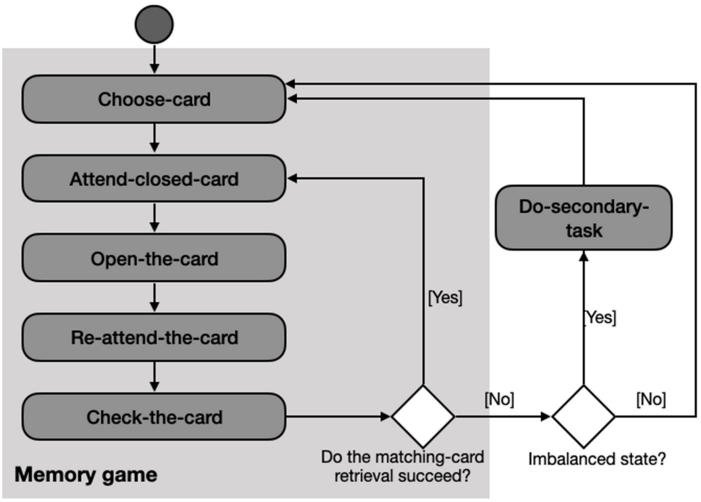


Figure 3. Structure of the voluntary task switching model in this study

본 연구의 모델은 하나의 하위 작업이 마무리된 상태인 가상 모듈 버퍼가 초기화된 단계에서, 이 작업의 난이도와 인지 능력의 불균형 상태를 확인함으로써 자체 중단을 할지를 결정한다. 이에 본 연구에서는 ACT-R 기반으로 이러한 불균형 상태를 정량화하기 위한 수식들을 정립하였다.

Wickens et al. (2016)은 작업의 난이도는 작업에 부과되는 정신적 작업부하와 큰 연관성이 있다고 언급하였으며, Roberts and Stankov (1999)는 인지 능력의 수준은 인지 과정 속도와 관련되어 있다고 언급하였다. 이러한 관점들에 따라, 본 연구에서는 시간 T에서의 난이도와 인지 능력의 불균형 상태는 시간 T에서 진행 중인 작업의 인지 과정의 처리 속도와 부과된 정신적 작업부하의 비율로써 판단할 수 있다고 가정하였다.

Jo et al. (2012)은 특정 시간 동안의 누적된 정신적 작업부하를 ACT-R을 이용하여 정량적으로 예측하는 방법론을 개발하였으며, 시간 T1에서 T2 동안 누적된 정신적 작업부하($AW_{[T1,T2]}$)는 equation (1)에서와 같이 이 기간 동안 ACT-R의 모듈들이 활성화되는 시간들의 합으로 구할 수 있다.

$$AW_{[T1,T2]} = \sum_i \left(W_i \int_{T1}^{T2} A_i(t)dt \right) \quad (1)$$

Equation (1)에서 W_i는 모듈 i에 배정된 가중치 값이며, $A_i(t)$는 모듈 i의 주어진 시간 t에서의 활성화 여부에 관한 함수로 활성화되었으면 1이고, 비활성화되었으면 0이 주어진다. 이에, $A_i(t)dt$는 dt라는 작은 시간 동안 모듈 i의 활성화 시간을 표현한다(Jo et al., 2012). Adler and Benbunan-Fich (2013)에 따르면, 상대적으로 높은 난이도에 의해 얻어진 좌절감 등의 부정적인 감정이 수행 중인 작업의 자체적 중단을 이끈다고 했기 때문에, 본 연구에서도 equation (1)에서 얻어진 누적된 정신적 작업부하 값을 감정적 요소로 취급했으며, 이는 D'Mello and Graesser (2011)에 의하면, 시간에 따라 감쇠(decay) 함수에 적용 받을 수 있다는 것을 의미한다. 이에, 본 연구에서 사용한 시간 T에서의 정신적 작업부하(MW_T)의 값은 equation (2)와 같이 표현될 수 있다.

$$MW_T = \sum_j (AW)_j \cdot t_j^{-d} \quad (2)$$

Equation (2)에서 $(AW)_j$는 진행 중인 작업의 j번째 하위 작업에 의해 부과된 누적 정신적 작업부하를 의미하며, t_j는 j번째 하위 작업이 실행된 이후의 시간이고 d는 감쇠 매개 변수로 0.5로 추정, 가정하였다. 또한, 본 연구에서는 인지 과정의 처리 속도에 대해 진행 중인 작업에서 처리된 하위 작업의 수와 관련이 있다고 가정하였고, 이에, 시간 T에서의 불균형 정도(LIT)를 equation (2)에서 구할 수

있는 정신적 작업부하에 완료한 하위 작업의 수(N(Subgoals$_T$)로 아래 equation (3)과 같이 표현할 수 있을 것이다.

$$LI_T = MW_T / N(Subgoals_T) \quad (3)$$

또한, Equation (3)에서 불균형 정도(LIT)는 하위 작업 당 부과된 정신적 작업부하 값으로 해석할 수 있다. 이에 본 연구의 모델에서 이 불균형 정도 값이 기준 값 이상을 갖게 되면 자체 중단이 발생할 수 있다. 여기서 기준 값은 사전에 가장 낮은 난이도 작업에서의 하위 작업의 평균 누적 작업부하 값인 207.23을 사용하였다.

3.3 Subject and apparatus

본 연구의 검증 실험을 위해 평균 연령 24.9세(σ=2.36)인 9명의 남성과 3명의 여성을 포함하여 12명의 피실험자가 모집되었다. 모든 피실험자는 컴퓨터를 사용하여 여러 작업을 수행하는 데 충분한 경험이 있으며, 각 피실험자로부터 사전 동의를 얻었다. 또한, 1,024 × 768 해상도의 42인치 LCD 모니터와 표준 마우스를 갖춘 개인용 컴퓨터가 실험에 사용되었으며, 주제에 대한 실험 작업은 Python으로 프로그래밍하였으며, ACT-R 모델은 Allegro Common Lisp으로 프로그래밍하였다.

3.4 Procedure

실험 시작 전, 피실험자들에게 실험 절차와 실험 프로그램에 대한 지침을 제공하였으며, 피실험자들은 각 난이도에서의 실험 프로그램에 익숙해질 시간을 제공하였다. 특히, 피실험자가 특정 과제에 높은 우선 순위를 부여하거나 과제 수행도에 지나치게 집중하는 것을 막기 위해 수행도에 따라 보상이 없고 이중 작업을 자유롭게 수행할 수 있다는 점을 강조하였다. 그 후, 피실험자들은 안내된 실험 순서에 따라 1차 과제의 난이도 중 하나를 선정하여 실험을 시작하였다. 1차 과제에서 피실험자들은 마우스 왼쪽 버튼으로 카드를 클릭하고, 난이도에 따라 간단한 계산에 대한 답을 정신적으로 결정하거나 방정식을 풀어서 카드에 적힌 값을 기억하며, 다른 카드를 클릭하여 과제를 계속적으로 수행하였다. 클릭한 카드들의 값이 일치하면 해당 카드들은 사라진다. 피실험자들은 1차 작업을 수행하는 도중 원하는 시간에 자발적으로 2차 시각 탐색 과제로 전환할 수 있다. 피험자들은 마우스의 오른쪽 버튼을 클릭하여 2차 과제로 전환할 수 있었다. 2차 작업이 완료되면, 1차 작업이 자동으로 재개되며 피실험자들은 작업 전환을 통해 2차 작업을 10회 수행한다. 한 번의 실험은 1차 과제에서의 모든 카드가 사라지고 2차 과제가 10회 완료되면, 종료되었다. 실험은 각 난이도에 따라 네 가지 조건에서 반복적으로 수행되었으며, 난이도 조건의 순서는 각 피실험자마다 랜덤하게 제공되었다.

4. Results

Figure 4는 피실험자와 모델 데이터의 결과를 나타내고 있다. 피실험자와 모델의 하위 작업 실행 중 작업 전환 발생 횟수에 대한 경향

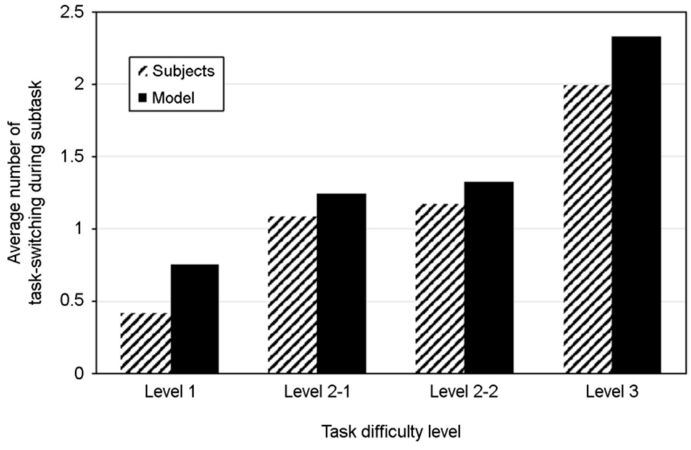


Figure 4. Average number of voluntary task switching occurrences during the subtask in the memory game for the subject and model data

을 확인하기 위해 각각 비모수 ANOVA 분석 방법인 크루스칼-왈리스(Kruskal-Wallis) 검정을 수행하였으며, 그 결과, 피실험자(H = 7.84, df = 3, *p*-value = 0.049)와 모델(H = 12.77, df = 3, *p*-value = 0.005) 모두 진행 중인 작업의 난이도에 따라 하위 작업 실행 중 작업 전환 발생 횟수가 유의미하게 차이가 있다는 것을 알 수 있었다.

또한, 모델이 피실험자의 데이터를 잘 예측하고 있는지를 확인하기 위해, Schunn and Wallach (2005)가 제안한 모델 적합도(goodness-of-fit) 측정 방법에 따라 모델과 피실험자 결과값 간의 r-square 값과 RMSE 값을 확인하였다. 그 결과(r-square = 0.97, RMSE = 0.114), 모델의 예측값이 피실험자의 결과와 유사한 추세와 값을 갖는다는 것을 확인하였다.

5. Discussion

본 연구에서는 자발적 작업 전환의 정량적 예측을 위해 ACT-R 기반의 인지모델을 개발하는 방법을 제안하였고, 이를 통해 기억력 게임과 간단한 시각 탐색 과제 간의 작업 전환에 대한 인지모델을 개발하였다. 또한, 제안된 모델의 검증을 위해 실험을 수행하였다. 실험 결과, 피실험자들의 데이터는 기존 연구들(e.g., Adler and Benbunan-Fich, 2013; Baumeister et al., 2018; Kurzban et al., 2013)과 같이 수행 중인 작업의 난이도가 자발적 작업 전환을 야기하는데 중요한 요소가 될 수 있음을 보이고 있으며, 본 연구의 모델 역시 이를 잘 표현하고 있음을 알 수 있다. 본 연구의 모델은 자발적 작업 전환을 과도한 정신적 작업부하로 인한 자체적 작업 중단으로 발생하는 것으로 묘사하고 있으며, 이에 작업의 난이도에 따른 정신적 작업부하의 정량적 평가가 자발적 작업 전환을 예측하는 데 있어 중요한 요소라는 것을 알 수 있다.

또한, 본 연구의 결과를 살펴보면, 모델이 피실험자들의 결과값보다 다소 높은 예측값을 도출하고 있는데, 이는 모델에 비해 인간이 작업 전환에 대해 더 보수적이라는 것을 말한다. 이러한 작업 전환에 대한 보수적인 측면은 앞서 언급한 작업 종료 기대 등에 따른 작업 전환에 대한 이성적인 의사결정에 의해 발생할 수 있다(Gutzwiller et al., 2016). 따라서, 추후 연구에서는 모델의 관련 매개 변수가 인간 데이터를 기반으로 적절히 재조정되어야 한다. 만약 작업 종료 기대에 대한 유틸리티 값의 가중치가 인간 데이터를 기반으로 적절히 지정되어 있다면, 인간의 보수적인 경향성을 표현할 수 있을 것이다. 또한, 유틸리티 값을 결정하기 위해 STOM 모델을 기반으로 우선 순위, 흥미, 현저성과 같은 추가적인 작업 속성들이 포함하면 모델이 작업 전환에 관련된 의사결정 과정을 더 정확하게 예측할 수 있을 것이다.

결론적으로, 본 연구는 재량적 다중 작업에서 작업 전환을 통합적으로 설명하는 ACT-R 모델을 개발하였다. 본 모델은 진행 중인 작업을 중단하거나 작업간의 전환을 결정하는 것과 관련된 상징적 구조와 정신적 작업부하, 능력, 그리고 유틸리티와 같은 하위 상징적 방정식과 같은 ACT-R의 여러 특징을 통해 작업 전환의 인지 과정을 나타낼 수 있다. 또한, 모델은 실험을 통해 검증되었으며, 그 결과는 작업 전환 모델이 보다 탄탄해지기 위해 개선되어야 할 점들을 제시하였다. 따라서 추후 연구에서는 개인차에 대한 설명, 작업 전환과 관련된 추가적인 작업 속성들을 조사하고 이러한 설명을 기반으로 통합적인 ACT-R 모델을 구축할 수 있을 것이다.

본 연구에서 개발된 ACT-R 기반 작업 전환 모델은 몇 가지 실용적이고 이론적인 의미를 지니고 있다. 우선, 재량적 다중 작업 환경에서 보조 시스템을 평가하기 위해 모델을 사용할 수 있다. 다중 작업과 관련된 여러 연구에서는 기억 인출이나 의사결정을 도와 작업 전환과 관련된 정신적 작업부하를 최적으로 관리하여 다중 작업 수행도를 높이기 위한 시스템을 개발하였다. 작업 전환 모델에서, 작업 전환은 수행자의 능력에 비해 진행 중인 작업이 너무 어렵거나 진행 중인 작업의 하위 작업이 완료되는 두 가지 지점에서 발생한다. 전자의 경우, 하위 작업 수행 도중 작업 전환이 발생하며, 이는 정신적 작업부하에 부정적인 영향을 미친다. 따라서, 본 연구에서 제안한 모델은 위에서 언급한 지원 시스템들을 사용할 때, 적절한 시점에 이뤄지는 작업 전환의 빈도가 얼마나 향상되는지 평가하는 도구로 사용될 수 있다. 또한, 제안된 모델에는 자발적 작업 전환과 관련된 의사결정 과정이 포함되어 있기 때문에, 지원 시스템이 의사결정 과정에서의 추가적인 부담을 관리하는 방식을 평가할 수 있다.

Acknowledgement

This research was supported by a grant (과제번호 20TLRP-B131486-04)) from Transportation and Logistics R&D Program funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean government and Basic Science Research Program through

the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (NRF-2018R1D1A1A09084291).

References

Adler, R.F. and Benbunan-Fich, R., Self-Interruptions in Discretionary Multitasking, *Computers in Human Behavor*, 29(4), 1441-1449, 2013.

Anderson, J.R., Bothell, D., Byrne, M.D., Douglass, S., Lebiere, C. and Qin, Y., An Integrated Theory of the Mind, *Psychological Review*, 111(4), 1036-1060, 2004.

Baumeister, R.F., Bratslavsky, E. and Muraven, M., Ego Depletion: Is the Active Self a Limited Resource? In *Self-Regulation and Self-Control*, Routledge, 24-52, 2018.

Benbunan-Fich, R. and Truman, G.E., Technical Opinion Multitasking with Laptops During Meetings. *Communications of the A.C.M.*, 52(2), 139-141, 2009.

Borst, J.P., Taatgen, N.A. and van Rijn, H., "What Makes Interruptions Disruptive?: A Process-Model Account of the Effects of the Problem State Bottleneck on Task Interruption and Resumption", *Proceedings of the 33rd Annual A.C.M. Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 2971-2980). Acad. Med. 2015.

Czerwinski, M., Horvitz, E. and Wilhite, S., "A Diary Study of Task Switching and Interruptions", *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 175-182). Acad. Med. 2004.

Dabbish, L., Mark, G. and González, V.M., "Why Do I Keep Interrupting Myself?: Environment, Habit and Self-Interruption", *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 3127-3130), Acad. Med. 2011.

D'Mello, S. and Graesser, A., The Half-Life of Cognitive-Affective States During Complex Learning, *Cognition & Emotion*, 25(7), 1299-1308, 2011.

Duggan, G.B., Johnson, H. and Sørli, P., Interleaving Tasks to Improve Performance: Users Maximise the Marginal Rate of Return, *International Journal of Human-Computer Studies*, 71(5), 533-550, 2013.

Gonzalez, V.M. and Mark, G., "Constant, Constant, Multitasking Craziness: Managing Multiple Working Spheres", *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '04)* (pp. 24-29), 2004.

Gutzwiller, R.S., Wickens, C.D. and Clegg, B.A., The Role of Time on Task in Multi-Task Management, *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 5(2), 176-184, 2016.

Jo, S., Myung, R. and Yoon, D., Quantitative Prediction of Mental Workload with the ACT-R Cognitive Architecture, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 42(4), 359-370, 2012.

Katidioti, I., Borst, J.P. and Taatgen, N.A., What Happens When We Switch Tasks: Pupil Dilation in Multitasking, *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 20(4), 380-396, 2014.

Katidioti, I. and Taatgen, N.A., Choice in Multitasking: How Delays in the Primary Task Turn a Rational into an Irrational Multitasker,

Human Factors, 56(4), 728-736, 2014.

Kurzban, R., Duckworth, A., Kable, J.W. and Myers, J., An Opportunity Cost Model of Subjective Effort and Task Performance, *Behavioral and Brain Sciences*, 36(6), 661-679, 2013.

Lee, S., Lee, J. and Han, K., Cognitive Cost and Benefit form Voluntary Task Switching in Multitasking, *Korean Journal of Congitive Science*, 24(1), 71-93, 2013.

Mirinejad, H., Jayakumar, P. and Ersal, T., Modeling Human Steering Behavior During Path Following in Teleoperation of Unmanned Ground Vehicles. *Human Factors*, 60(5), 669-684, 2018.

Payne, S.J., Duggan, G.B. and Neth, H., Discretionary Task Interleaving: Heuristics for Time Allocation in Cognitive Foraging, *Journal of Experimental Psychology: General*, 136(3), 370-388, 2007.

Ritter, F.E., Tehranchi, F. and Oury, J.D., ACT-R: A cognitive architecture for modeling cognition, *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 10(3), 2019.

Roberts, R.D. and Stankov, L., Individual Differences in Speed of Mental Processing and Human Cognitive Abilities: Toward a Taxonomic Model, *Learning and Individual Difference*, 11(1), 1-120, 1999.

Salvucci, D.D., Modeling Driver Behavior in a Cognitive Architecture, *Human Factors*, 48(2), 362-380, 2006.

Salvucci, D.D., Taatgen, N.A. and Borst, J.P., "Toward a Unified Theory of the Multitasking Continuum: From Concurrent Performance to Task Switching, Interruption, and Resumption", *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1819-1828), Acad. Med. 2009.

Schunn, C.D. and Wallach, D., Evaluating goodness-of-fit in comparison of models to data. In W. Tack (Ed.), *Psychologie der Kognition: Reden and Vortra¨ge anla¨sslich der Emeritierung von Werner Tack* (pp. 115-154). Saarbru¨cken, Germany: University of Saarland Press, 2005.

Smart, P.R., Scutt, T., Sycara, K. and Shadbolt, N.R., Integrating ACT-R Cognitive Models with the Unity Game Engine, In *Integrating Cognitive Architectures into Virtual Character Design.* In J.O. Turner, M. Nixon, U. Bernardet, S. DiPaola (Ed), IGI Global: Hershey, PA, 35-64, 2016.

Spira, J.B. and Feintuch, J.B., The Cost of Not Paying Attention: How Interruptions Impact Knowledge Worker Productivity. *Report from Basex*, 2005.

Wickens, C.D., Gutzwiller, R.S. and Santamaria, A., Discrete Task Switching in Overload: A Meta-Analyses and a Model, *International Journal of Human-Computer Studies*, 79, 79-84, 2015.

Wickens, C.D., Gutzwiller, R.S., Vieane, A., Clegg, B.A., Sebok, A. and Janes, J., Time Sharing Between Robotics and Process Control: Validating a Model of Attention Switching, *Human Factors*, 58(2), 322-343, 2016.

Author listings

Hyung Seok Oh: prohyung@korea.ac.kr
Highest degree: M.S. Student, Department of Industrial Management Engineering, Korea University
Position title: Ph.D. candidate, Department of Industrial Management Engineering, Korea University
Areas of interest: Cognitive modeling, Cognitive Architecture, Autonomous driving

Yong Deok Yun: yunyd1234@korea.ac.kr
Highest degree: Undergrad. Student, Department of Industrial Management Engineering, Korea University
Position title: Ph.D. Student, Department of Industrial Management Engineering, Korea University
Areas of interest: Cognitive modeling, Cognitive Architecture, Autonomous driving

Rohae Myung: rmyung@korea.ac.kr
Highest degree: PhD, Department of Industrial Engineering, Texas Tech University
Position title: Professor, Department of Industrial Management Engineering, Korea University
Areas of interest: Cognitive modeling, Cognitive Architecture, Autonomous driving