

컴퓨터 기반 학습에서 인지부하 요인과 GSR의 각성수준이 과제수행에 미치는 영향*

The Impact of Cognitive Load Factors and Arousal Levels of Galvanic Skin Response on Task Performance in Computer Based Learning

류지현**†

Jeeheon Ryu**†

전남대학교 사범대학 교육학과**

Department of Education, Chonnam National University**

Abstract

The purpose of this study was to verify the impact of cognitive factors and GSR on the task performance. For this study 64 students participated. Multiple regression and repeated measures were applied to analyze the data. The result for the survey indicated that previous knowledge, physical efforts, and task difficulty had significant impacts on task performance. Particularly, task difficulty has a negative impact. This can be interpreted as someone who has high prior knowledge inputs higher physical efforts with low task difficulty perception will show high performance. On the other hand, the low arousal level of GSR in the evaluation stage is a prediction variable of task performance. This result shows that high prior knowledge and low arousal level of GSR produces high performance. However, the analysis of difference in GSR between learning and evaluation stages does not show significant difference. It suggests that physiological measure such as GSR is reliable index of cognitive load; however, it partially represents cognitive load. Other crucial factors should be added for comprehensive measures.

Keywords : measures of cognitive load, galvanic skin response(GSR), physiological signal, subject scale

요약

이 연구의 목적은 과제수행에 대하여 주관적 인지부하 요인과 GSR의 각성수준이 어떤 관계를 형성하고 있는지를 검증하는 것이다. 이를 위하여 인지부하 설문지(신체적 노력, 정신적 노력, 지각된 과제난이도, 자기평가, 자료설계의 용이성), 사전-사후검사, GSR에 의한 각성수준을 측정하였다. 사전검사는 학습자의 사전지식 수준을 의미하며, 사후검사는 과제수행의 결과를 의미한다. 이 연구의 분석방법은 사후검사의 결과를 종속변수로 하는 회귀분석이었다. 첫째, 자기보고의 인지부하 요인이 사후검사에 미치는 영향을 분석한 결과에 따르면, 사전검사, 신체적 노력, 지각된 과제난이도가 사후검사에 유의미한 영향을 미치고 있었다. 신체적 노력은 정적관련성을 보이고 있었으나 지각된 과제난이도는 부적관련성을 보이고 있었다. 이 결과는 사전검사의 점수가 높은 사람은 상대적으로 과제난이도를 낮게 지각하는 경향이 있으며 과제해결을 위하여 신중히 노력함으로써 사후검사의 결과가 올라간다는 것을 보여주는 것이다. 둘째, 각성수준에 대한 연구결과에서는 평가단계에서 측정된 각성수준이 사

* 이 논문은 2007년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음 (KRF-2007-332-B00320).

† 교신저자 : 류지현 (전남대학교 사범대학 교육학과)

E-mail : jeeheon@jnu.ac.kr

TEL : 062-530-2353

FAX : 062-530-2359

후검사의 점수를 유의미하게 예측하고 있는 것으로 나타났다. 평가단계의 GSR은 과제수행(사후검사)과 부적 관계를 형성하고 있었다. 즉, 평가단계에서 적절한 이완수준을 유지하고 있을 때 사후검사의 결과가 증진된다는 것을 보여주는 것이다.

주제어 : 인지부하의 측정, 전기피부반응, 생리신호, 인지부하의 주관적 설문척도

1. 서론

인지부하이론은 멀티미디어를 활용한 학습에서 중요한 설계원리 중의 하나로 인식되고 있다. 인지부하이론의 주요내용은 학습자가 효과적으로 작업기억을 활용할 수 있도록 지원해주어야 한다는 것이다. 작동기억의 용량이 제한적이기 때문에 인지과부하가 발생하지 않도록 조절할 수 있어야 학습에 도움이 된다는 것이다.¹⁾ 인지부하이론에서는 인지부하의 측정과 과제수행의 관련성에 대한 연구가 주요주제로 다뤄지고 있는데, 인지부하를 정확하게 측정함으로써 과부하가 발생했는지를 점검할 수 있기 때문이다.

1.1. 인지부하의 측정방법

인지부하를 측정하는 방법은 대체로 세 가지로 구분되는데, 1) 자기보고에 의한 설문지 방법, 2) 이중과제에 의한 반응속도의 측정, 3) 생리신호의 활용이다.²⁾ 첫째, 설문지 방법은 학습자가 지각하고 있는 인지부하의 수준을 측정하는 것이다. 학습자의 주관적 판단에 의존하기 때문에 객관적인 지표가 아니라는 단점을 갖고 있다. 왜냐하면 설문에 의한 인지부하 측정방법은 인지부하 자체에 대한 측정이라기보다는 과제수행 결과에 대한 학습자의 주관적 판단이 작용할 수 있기 때문이다. 즉, 학습과정에서 인지부하가 많았다고 하더라도 과제수행결과에 만족한다면 인지부하에 대한 지각수준이 낮아질 수도 있기 때문이다. 그러나 이 방법은 간편하게 활용할 수 있고 학습자의 지각수준을 측정한다는 특징 때문에 광범위하게 활용되

고 있다.³⁾

둘째, 이중과제에 의한 반응속도의 측정은 일차과제와 이차과제를 동시에 제시하여 사용자의 반응속도를 측정하는 것이다.⁴⁾ 이 방법은 객관적인 측정지표라는 장점을 갖고 있지만, 반응속도를 측정해야 하기 때문에 이중과제를 제시해야 한다. 이 과정에서 이차과제가 일차과제의 수행을 방해할 수 있다는 단점을 갖고 있다. 그래서 복잡한 문제해결과제 등에 적용하는 것이 쉽지 않다.

셋째, 생리신호를 활용한 인지부하 측정방법은 호흡, 맥박, 동공크기 등과 같은 신체적인 변화에 근거하고 있기 때문에 객관적인 측정지표로 인식되고 있다. 이 방법은 설문지를 작성하거나 이중과제를 제시하지 않더라도 과제수행 단계에서도 손쉽게 측정할 수 있다는 장점을 갖고 있다.⁵⁾ 그러나 생리신호는 구체적으로 어떤 인지과정과 생리신호가 관여되어 있는지를 제시하지는 못한다. 어떤 선행연구에서는 생리신호의 변화가 너무 민감하기 때문에 오히려 안정적인 지표가 될 수 없다는 의견도 있다.⁶⁾

인지부하이론의 적용을 위해서는 정확한 인지부하의 측정과 다양한 인지부하 측정방법 사이의 관련성을 파악하는 것이 필요하다. 특히, 과제수행에 영향을 미치는 인지부하의 요인이나 특징을 밝혀야 한다. 이런 연구를 통하여 학습 성취나 과제수행의 결과를 증

1) Paas, F., Renkl, A., & Sweller, J. (2004). Cognitive load theory: Instructional implications of the interaction between information structures and cognitive architecture. *Instructional Science*, 32(1-2), 1-8.
2) Schultheis, H., & Jameson, A. (2004). Assessing cognitive load in adaptive hypermedia systems: Physiological and behavioral methods. *Lecture Note in Computer Science*, 3137, 225-234.

3) van Merriënboer, J.J.G., & Sweller, J. (2005). Cognitive load theory and complex learning: Recent developments and future directions. *Educational Psychology Review*, 17(2), 147-177.
4) Brünken, R., Plass, J.L., & Leutner, D. (2004). Assessment of cognitive load in multimedia learning with dual-task methodology: Auditory load and modality effects. *Instructional Science*, 32(1-2), 115-132.
5) Coyne, J.T., Baldwin, C., Cole, A., Sibley, C., & Roberts, D.M. (2009). Applying real time physiological measures of cognitive load to improve training. Presented paper at HCI2009, LNAI5638, 469-478.
6) Paas, F., Tuovinen, J. E., Tabbers, H., & van Gerven, P.W.M. (2003). Cognitive load measurement as a means to advance cognitive load theory. *Educational Psychologist*, 38(1), 63-71.

진시킬 수 있는 전략이 수립될 수 있기 때문이다. 그런데 반응시간을 측정하는 방식은 부가적인 과제를 동시에 제시해야 한다는 제한점을 갖고 있기 때문에 이 연구에서는 가장 광범위하게 활용되고 있는 주관적 설문방식과 생리신호에 의한 인지부하 측정방식을 적용하고자 한다. 생리신호를 이용한 인지부하 측정에는 GSR(Galvanic Skin Response)을 활용하고자 한다. GSR은 각성수준에 민감한 생리신호이기 때문에 학습자의 인지부하 정도를 알 수 있는 지표로 활용되고 있다.⁷⁾

1.2. 자기보고에 의한 인지부하요인

이 연구에서 사용한 인지부하 설문지는 5개의 구인으로 구성되어 있으며, ① 신체적 노력(physical effort), ② 정신적 노력(mental effort), ③ 지각된 과제난이도(perceived task difficulty), ④ 자기 평가(self-evaluation), ⑤ 자료설계의 용이성(material design)이다.⁸⁾ 이 설문지의 측정구인들은 인지부하를 측정할 수 있는 다양한 차원을 고려했다는 특징을 갖고 있다.

첫째, 신체적 노력은 학습을 위한 인지과정에 수반된 신체적인 피로 정도를 의미하며 심리적 스트레스 등으로 인하여 발생하는 요인도 함께 포함하고 있는 개념이다. 신체적 노력의 평균값이 높아질수록 긴장 수준이 높아지고 있음을 의미한다. 신체적 노력은 NASA-TLX(task load index)⁹⁾ 등에서 활용되고 문항으로 과제수행에 수반된 신체적 노력지수이다.

둘째, 정신적 노력은 학습활동을 위하여 학습자가 투입한 노력의 정도를 의미한다. 따라서 정신적 노력의 점수가 올라가면 그 만큼 인지활동의 양이 많다는 것을 뜻하게 된다.

셋째, 지각된 과제난이도는 학습자가 지각하고 있는 문제해결의 어려움을 의미한다. 과제난이도는 해

결해야 할 문제 자체에 대한 인지부하이기 때문에 학습자의 수행과 직접적으로 관련되어 있다. 이 점수가 올라갈수록 과제를 어렵게 지각하고 있는 것이다.

넷째, 자기 평가는 과제수행에 대한 만족감이나 성취감의 정도를 의미한다. 수행결과에 대한 평가이기 때문에 과제수행을 하면서 발생했던 학습 및 문제해결 활동의 효율성에 대한 평가라고 볼 수 있다. 자기 평가 점수가 높아지면 효율적이고 성공적으로 학습을 수행한 것으로 지각하고 있는 것이다.

다섯째, 자료 설계는 학습과정에서 사용한 학습용 프로그램에 대한 평가이며, 학습 자료의 내용 구조와 같은 요소들을 포함하고 있다. 따라서 이 측정구인은 학습에 투입된 프로그램에 대한 간략한 사용성 평가의 의미도 갖고 있다.

1.3. 전기피부반응과 각성수준

전기피부반응(Galvanic Skin Response: GSR)은 각성수준에 따라서 피부에서 발생하는 전기적 반응이다. 스트레스나 각성수준의 증감에 따라서 전기피부반응도 올라가거나 내려가게 된다.¹⁰⁾ GSR은 비교적 안정적인 지표로 측정될 수 있기 때문에 오랫동안 인간의 심리상태를 나타내는 객관적인 자료로 활용되어 왔다.¹¹⁾ 최근 들어 HCI분야에서도 소프트웨어의 사용성 평가를 위하여 GSR을 활용에 대한 연구가 진행되고 있다.¹²⁾

Clariana는 전기피부반응을 활용하여 다양한 수업매체에 대한 학습자의 각성수준을 비교함으로써 교육적 활용가능성을 논의한 바 있다. 그의 연구에서는 비디오표, 인쇄자료, 컴퓨터매체를 비교함으로써 매체활용과 학습자의 각성수준에서 유의미한 차이가 나타나고 있다는 점을 확인하였다.¹³⁾ 인쇄자료나 컴퓨터매

7) Cegara, J., & Chevalier, A. (2007). Theoretical and methodological considerations in the comparison of performance and physiological measures of mental workload. *LNAI 4562*, 264-268.

8) 류지현, 임지현 (2009). 인지부하 측정을 위한 구인의 탐색 및 타당화. *교육정보미디어연구*, 15(2), 한국교육정보미디어학회, 1-27.

9) Hart, S.G. and Staveland, L.E. (1988) Development of NASA-TLX (task load index): Results of experimental and theoretical research. In Hancock, P.A., and Meshakati, N. (eds.), *Human Mental Workload*. North-Holland, Amsterdam (1988) 39-183.

10) Dawson, M.E., Schell, A.M., & Fillion, D. (2007). The electrodermal system. In J.T. Cacioppo, L.G. Tassinary, & G.G. Berntson (Eds.), *Handbook of psychophysiology* (pp. 159-181). New York, NY: Cambridge University Press.

11) 윤현정, 이인혜 (2006). 불안민감성과 대처 전략이 통증 지각 및 전기피부반응에 미치는 효과. *한국심리학회지 건강*, 11(4), 한국심리학회, 797-815.

12) Lin, T., Hu, W., Omata, M., & Imamiya, A. (2005) Do physiological data relate to traditional usability indexes? *Proceedings of ozCHI 2005*. Canberra, Australia.

13) Clariana, R. B. (1992). Media research with a galvanic skin response biosensor: Some kids work up a sweat! Paper presented at the Annual Convention of the AECT,

체에서는 학습이 진행되면서 각성수준이 올라갔지만 비디오자료의 경우에는 일정수준의 각성수준을 지속적으로 유지하고 있는 것으로 나타났다. 이 결과는 비디오자료는 학습자의 각성수준을 높이고 있음을 보여주는 것이었다.

Ikehara와 Crosby는 구체적인 과제수행 조건에서 생리신호들간의 관련성을 검토하였다. 과제난이도의 높고 낮음에 따라서 생리신호(동공크기, 전기피부반응, 맥박, 눈동자의 움직임)의 변화가 유의미한 상관관계를 형성하고 있음을 발견하였다.¹⁴⁾ 쉬운 과제에서의 GSR은 낮았으며, 과제가 어려워지면 GSR이 상승하는 것으로 나타났다. 또한 과제수행에 대한 설문 조사에서도 좌절이나 스트레스와 같은 심리적 요인도 처음 과제를 시작할 때와 마쳤을 때 변화되었음을 확인할 수 있었다. 이러한 연구결과들은 GSR이 안정적인 측정자료이며 인지부하의 정도를 확인할 수 있는 지표가 될 수 있음을 의미한다.¹⁵⁾ GSR은 심상자료에 의한 심리적 변화를 측정할 수 있으며¹⁶⁾, 읽기 수행과 같은 인지수행 과제에서도 학습자의 각성수준을 측정할 수 있다. 따라서 인지부하의 측정을 위하여 이러한 전기피부반응을 활용한다면, 학습과정에서 발생하는 인지부하의 정도를 객관적으로 지표화할 수 있을 것이다.¹⁷⁾

1.4. 연구목적

이 연구의 목적은 과제수행에 영향을 미치는 주관적 설문의 인지부하요인과 GSR 각성수준의 관계를 검증하는 것이다. 그러나 자기보고 방식에 의한 인지부하 요인과 GSR 각성수준을 직접적으로 비교하기는 어렵기 때문에 다음과 같은 세부적인 연구목적에 따

라서 검증을 시도하였다. 또한 학습과 평가단계와 같이 인지과정이 달라지는 경우에 GSR 각성수준에서의 차이가 있는지를 검증하였다.

그런데 인지부하의 정도는 과제에 의해서만 결정되는 것이 아니다. 학습자의 사전지식은 인지과정에 영향을 주는 주요 변수 중의 하나이며, 사전지식이 많으면 효율적으로 인지과정을 관리할 수 있기 때문이다. 따라서 학습자의 사전지식은 인지부하에 영향을 미치는 중요한 변수이기 때문에 사전지식의 수준을 포함하여 분석을 실시하였다. 사전지식의 측정을 위한 사전-사후 동형검사를 적용했으며, 이 연구에서는 사전검사의 성적이 사전지식을 의미한다.

- 연구목적 1 : 사전검사의 결과와 인지부하구인이 과제수행에 미치는 영향을 검증한다.
- 연구목적 2 : 사전검사와 GSR의 각성수준이 과제수행에 미치는 영향을 검증한다.
- 연구목적 3 : 사전검사의 결과를 공변량으로 투입하여 학습 및 평가에서 각성수준의 차이를 검증한다.

2. 연구방법

2.1. 연구대상

이 연구에 참여한 대상은 광역시 소재 4년제 대학의 재학생 64명이었으며, 남학생 21명(32.81%)과 여학생 43명(67.19%)이었다. 이들 중에서 29명은 자연계열(45.31%)이었으며 35명은 인문계열(54.69%)이었다. 연구대상자는 교내 포털 서비스를 통하여 모집되었으며, 유급으로 실험에 참여하였다.

2.2. 측정변수

이 연구의 측정변수는 자기보고에 의한 인지부하 설문(5개 요인), 사전-사후검사, 전기피부반응(GSR)에 의한 각성수준의 변화이다. 자기보고에 의한 인지부하는 각 구인별로 5개 문항씩 구성되었으며 총 25개 문항으로 구성된 설문지로 측정되었다. 각 문항은 7점 척도로 구성되었고, 1점="전혀 아니다", 2점="아니다", 3점="약간 아니다", 4점="보통이다", 5점="조금 그런 편이다", 6점="그렇다", 7점="매우 그렇다"로 구

Washington, DC.

- 14) Ikehara, C. S., & Crosby, M. E. (2005). Assessing cognitive load with physiological sensors. Paper presented at the 38th Hawaii International Conference on Systems Sciences.
- 15) Shi, Y., Ruiz, N., Taib, R., Choi, E., & Chen, F. (2007). Galvanic Skin Response (GSR) as an index of Cognitive Load. Proc. CHI 2007. 2651-2656.
- 16) 이봉건, 정인원, 김재진, 신철진 (2002). 심상자극과 GSR의 관계에 대한 예비연구: 쾌·불쾌를 유발하는 심상자극과 암산과제에 대한 SCL 반응비교. 감성과학, 5(2), 한국감성과학회, 11-22.
- 17) 황민철, 임좌상, 김혜진, 김세영 (2001). 각성의 유형이 생리반응에 미치는 영향. 감성과학, 4(2), 한국감성과학회, 89-93.

분하도록 하였다. 각 구인의 문항 신뢰도(Cronbach's α)는 신체적 노력=.90, 정신적 노력=.90, 지각된 과제 난이도=.89, 자기평가=.85, 자료설계의 용이성=.78이었다(설문지 전체의 문항 신뢰도=.92). 각 범주별 문항의 예시는 다음과 같다. 신체적 노력="내용을 이해하는 과정에서 체력적인 소모를 느꼈다", 정신적 노력="학습자료를 이해하기 위하여 최선을 다했다", 지각된 과제 난이도="읽기 자료에 나와 있는 개념들을 이해하는데 어려움을 느꼈다", 자기평가="학습 자료의 내용을 성공적으로 이해했다고 생각한다", 자료설계의 용이성="컴퓨터 프로그램의 화면구성은 읽기에 편했다".

이 연구에서는 사전-사후검사를 활용하여 사전지식과 과제수행의 정도를 측정하였다. 즉, 사전검사는 학습할 내용에 대한 사전지식의 정도를 측정하기 위한 것이었으며, 사후검사는 과제수행에 따른 성취도를 측정하기 위한 것이었다. 사전검사와 사후검사는 동형검사 기법에 의해서 지필검사 방법으로 실시되었다. 12문항은 5지 선다형이었고, 2문항은 단답식으로 출제되었다. 선택형 문제는 1점씩 계산되었고 단답식 문항은 최대 4점까지 받을 수 있기 때문에 만점은 16점까지였다. 사전-사후검사에 사용된 평가문항은 교사용 지침서에 제시된 학습목표의 성취를 확인할 수 있는 내용으로 출제되었다.

각성수준을 측정하기 위하여 기저선을 미리 측정한 다음에 기저선으로부터 이탈된 정도에 따라서 각성수준의 변화를 평가하였다. 각성수준은 측정된 전기피부반응의 평균을 계산하였으며, 기저선으로부터 각성수준의 변화량을 측정하였다. 기저선 및 각성수준의 측정에서는 최초 30초를 제외한 나머지 전기피부반응 값을 평균하여 계산하였다.

2.3. 실험도구

실험도구에 활용된 내용은 고등학교 1학년 공통과정의 "혈액 및 면역체계" 단원이다. 공통과목이기 때문에 이공계 및 인문계 대학생이 모두 학습한 내용이다. 실험에 사용된 학습자료는 툴북이라는 저작도구로 개발되었다.

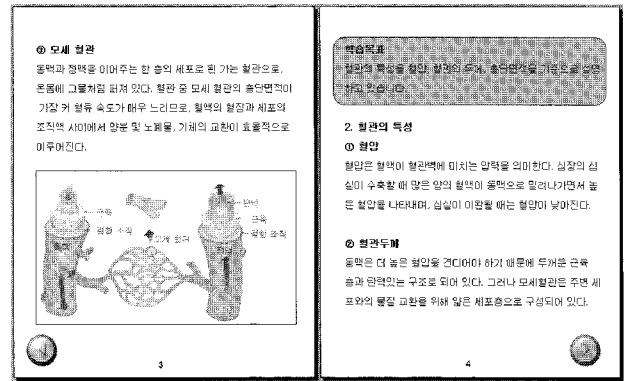


그림 1. 컴퓨터 기반 학습 프로그램의 화면

한글자료에 대한 가독성을 고려하여 굴림체 11포인트로 조정하였으며, 200%의 행간을 유지하도록 하였다.18) 학습내용은 총 14페이지로 구성되어 있으며 마우스를 사용하여 좌우 이동이 가능하다. 그림 1은 실험에 사용된 학습용 프로그램의 화면이다. 학습자들은 화면의 좌우하단에 있는 방향버튼을 사용하여 좌우이동을 할 수 있다. 학습내용 전반에 걸쳐 학습목표를 지속적으로 제시하여 어떤 내용을 주의 깊게 학습해야 하는지에 대한 정보를 제공하였다. 학습자료는 툴북(ToolBook)으로 저작되었다.

2.4. 측정장비 및 방법

전기피부반응의 측정에 사용된 장비는 국내의 피지오랩(주)(www.physiolab.co.kr)에서 개발한 iDAQ400과 EDG앰프가 사용되었다. iDAQ400은 USB 케이블을 사용하여 컴퓨터에 연결하도록 되어 있다. EDG앰프는 전기피부반응을 수집하기 위한 것으로 전극이 연결되어 있다. 측정단위는 micro-V(volt)였다. 전기피부반응의 샘플링은 1Hz 단위로 진행되었으며, 60Hz에서 필터링 되었다. 처음의 각 30초씩을 제외한 학습 및 평가의 GSR측정시간은 424.97초와 447.98초였다. 실험참가자는 모두 오른손 사용자였기 때문에 왼손에 전극을 부착했으며 오른손으로는 마우스를 사용할 수 있도록 하였다. 피부전도반응이 측정되는 동안 왼손은 편안하게 책상 위에 올려놓도록 안내하였다. 전극은 왼손의 엄지와 약지의 지골에 부착되었다.

18) 목정윤 (2004). 웹 기반 학습자료의 글자체와 강조 방법이 가독성, 선호도 및 학습성취도에 미치는 영향. 석사학위논문, 이화여자대학교.

2.5. 실험절차

연구대상자가 실험참가동의서에 서명을 하면 컴퓨터 학습자료를 사용할 수 있는 책상으로 안내되었다. 사전 성취도 검사지가 제시되었으며, 문제를 모두 풀면 1분간의 안정기를 제공하였다. 안정기가 진행될 때에는 편안한 마음으로 잠시 기다려줄 것을 요청하였다. 그런 다음에 1분 동안 1차 기저선 측정을 실시하였다. 기저선 측정을 마치고 나면 학습단계를 시작하도록 지시하였다. 연구대상자가 학습을 마칠 때까지 피부전도반응을 측정하였다.

연구대상자가 학습을 마치면 손을 들어 알리도록 하였고 2차 기저선 측정을 위한 1분간의 안정기를 제공하였다. 안정기를 마치고 2차 기저선(1분)이 측정되었다. 기저선 측정을 마치면 사후성취도 검사지를 풀도록 하였으며, 평가문제를 해결하는 동안 피부전도반응을 측정하였다. 사후성취도 평가를 마친 이후에 자기보고에 의한 인지부하 설문을 작성하였다. 학습 및 평가에 투입된 평균시간은 454.97초(표준편차=151.38)와 477.98초(표준편차=143.04)였다. 그림 2는 전체적인 실험절차를 제시한 것이다.

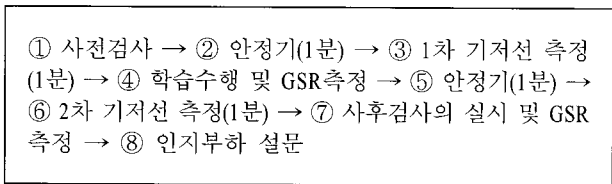


그림 2. 실험절차

2.6. 분석방법

연구목적 1과 2는 자기보고에 의한 인지부하 구인과 피부전도반응이 과제수행에 미치는 영향을 검증하기 위한 것이다. 이를 위하여 과제수행을 종속변수로 하는 회귀분석을 적용하였다. 연구목적 3의 분석에서는 학습단계 및 평가단계에서 측정된 각성수준의 차이를 분석하기 위하여 반복측정을 실시하였으며, 이때 사전검사의 점수를 공변량으로 투입하였다.

3. 결과

3.1. 기술통계자료

표 1은 이 연구에서 측정된 주관적 설문에 의한 인지부하구인, 과제수행, 피부전도반응의 기술통계자료의 평균과 표준편차이다. 인지부하구인은 7점 척도로 구성되었으며, 성취도 검사는 최고 16점 만점으로 채점되었다. GSR의 측정단위는 micro-volt이며, 기저선으로부터의 변화 폭을 의미한다.

신체적 노력의 평균값은 3.03(표준편차=1.09)이었는데, 4점이 보통이라는 점을 고려한다면 비교적 적은 노력을 투입한 것으로 풀이된다. 지각된 과제난이도의 평균도 3.31(표준편차=1.20)이었기 때문에 높지 않았던 것으로 나타났다. 반면에 정신적 노력은 5.40(표준편차=.96)인 것으로 나타나서 학습을 위해서 적지 않은 노력을 투입했음을 보여주고 있다. 종합적으로 보았을 때, 실험참가자들은 학습과제의 난이도를 낮게 지각했던 것으로 볼 수 있다. 또한 성취도 측면에서 사전-사후검사에 대한 *t* 검증을 실시하였다. 검증결과에 따르면 유의미한 차이가 있었으며($t=-5.46, df=63, p=.000$), 이는 학습단계를 통하여 성취수준이 향상되었음을 의미한다.

표 1. 측정변수에 대한 기술통계자료(N=64)

측정변수	하위범주	평균
인지부하구인 (7점 척도)	신체적 노력	3.03 (1.09)
	정신적 노력	5.40 (0.96)
	지각된 과제난이도	3.31 (1.20)
	자기평가	4.41 (1.06)
	자료 설계의 용이성	5.05 (0.87)
과제수행 (16점 만점)	사전검사	9.63 (2.10)
	사후검사	11.08 (2.26)
GSR	GSR_학습단계	.0270 (.009)
	GSR_평가단계	.0279 (.007)

3.2. 연구목적 1: 인지부하구인의 영향

사전검사와 인지부하구인이 사후검사의 점수에 미치는 영향을 검증하기 위하여 회귀분석을 실시하였다. 회귀분석모형의 종속변수는 사후검사의 성취점수

이다. 독립변수는 사전검사, 신체적 노력, 정신적 노력, 지각된 과제난이도, 자기평가, 자료설계의 용이성이다. 회귀모형은 유의미한 것으로 평가되었으며($F=9.73, p=.000$), 독립변수들은 사후검사에 대한 변량의 51%(수정 결정계수=45%)를 설명하고 있었다.

표 2. 인지부하구인에 대한 회귀분석(N=64)

변수	B	표준오차	t	p
사전검사	.41	.11	3.66**	.001
신체적 노력	.53	.22	2.42*	.019
정신적 노력	.10	.26	.37	.715
지각된 과제난이도	-.78	.28	-2.80**	.007
자기 평가	.40	.31	1.27	.209
자료설계의 용이성	-.19	.29	-.65	.516

표 2는 인지부하구인에 대한 회귀분석 결과를 정리한 것이다. 주관적 인지부하구인의 영향을 검증하기 위하여 투입된 변수 중에서 사전검사($t=3.66, p=.001$), 신체적 노력($t=2.42, p=.019$), 지각된 과제난이도($t=-2.80, p=.007$)가 유의미한 영향을 미치고 있었다. 이 중에서 가장 큰 영향을 미치는 변수는 지각된 과제난이도였으며, 과제난이도를 낮게 지각할수록 사후검사의 점수가 높아지는 것으로 나타났다. 또한 사전검사의 점수가 높고 신체적 노력에 대한 긴장을 많이 할수록 사후검사의 점수가 높았다.

3.3. 연구목적 2: 각성수준에 의한 영향

각성수준에 의한 영향을 검증하기 위하여 회귀분석을 실시하였다. 종속변수는 사후검사의 점수이며, 독립변수는 사전검사의 점수와 학습 및 평가 단계에서의 각성수준이다. 분석결과에 의하면 회귀모형이 유의미한 것으로 평가되었다($F=10.61, p=.000$). 사전검사의 점수와 학습 및 평가단계에서의 각성수준은 사후검사 점수의 35%(수정결정계수=31%)를 설명하고 있는 것으로 나타났다. 표 3의 회귀분석 결과에서 볼 수 있는 바와 같이 사전검사의 점수($t=5.10, p=.000$)와 평가단계에서의 각성수준($t=-2.35, p=.022$)이 유의미했다. 이 결과는 사전점수가 높고 평가단계의 각성수준이 낮을수록 사후검사의 점수가 올라간다는 것을 보여주는 것이다.

표 3. 피부전도반응(학습 및 평가)에 대한 회귀분석(N=64)

변수	B	표준오차	t	p
사전검사	.58	.11	5.10**	.000
GSR_학습단계	-38.94	28.36	-1.37	.175
GSR_평가단계	-77.31	32.87	-2.35*	.022

3.4. 연구목적 3: 각성수준의 차이

학습단계와 평가단계에서 측정된 각성수준에서 차이가 있는지를 확인하기 위하여 사전검사의 점수를 공변량으로 투입한 반복측정설계를 실시하였다. 측정시기(GSR_학습단계 vs. GSR_평가단계)에 따른 다변량분석 결과는 유의미하지 않았다(Wilks' Lambda $F=.96, df=62, p=.33$). 또한 사전검사와 측정시기를 동시에 고려했을 경우에도 유의미하지 않았다(Wilks' Lambda $F=1.30, df=62, p=.26$). GSR_학습단계(평균=.0270)와 GSR_평가단계(평균=.0279) 사이에는 유의미한 차이가 없었다.

4. 결론 및 논의

4.1. 결론

4.1.1. 인지부하구인에 의한 영향

연구결과에 따르면 신체적 노력과 지각된 과제난이도는 과제수행(사후검사의 점수)에 유의미한 영향을 미치는 인지부하요인이었다. 특히, 과제난이도에 대한 지각은 사전검사의 점수가 사후검사의 점수에 미치는 영향보다도 더 큰 것으로 나타났다. 그리고 지각된 과제난이도와 과제수행이 부적관계를 형성하고 있었는데, 과제난이도에 대한 지각수준이 낮을수록 과제수행이 올라가기 때문이다. 사전지식이 풍부할수록 과제난이도의 지각이 낮아진 것으로 해석할 수 있다. 반면에 신체적 노력과 과제수행은 정적관계를 보였는데, 신체적 노력이 많을수록 과제수행이 높았다. 신체적 노력이 많았다는 것은 그만큼 신중하게 학습 및 평가활동에 참여했음을 보여주는 것이다.

이러한 연구 결과는 다차원적 관점에서 인지부하의 구인이 관여하고 있음을 의미한다. 이 연구에서는 사전검사의 점수와 더불어 신체적 노력 및 지각된 과제난이도가 사후검사에 유의미한 영향을 미치고 있었

다. 인지부하이론가들도 인지과정에서 발생하는 부하의 정도를 측정하기 위해서는 단일차원의 척도보다는 다차원적인 척도에 의한 측정이 중요하다고 설명하고 있다.¹⁹⁾ 다차원적인 관점에서 사전검사, 지각된 과제난이도, 신체적 노력이라는 구인이 동시에 영향을 미치고 있으며, 이에 대한 적절한 해석이 필요하다. 따라서 지각된 과제난이도와 신체적 노력의 관계를 동시에 고려해 본다면, 과제난이도를 낮게 지각하면서 신체적 노력을 많이 투입하면 사후검사의 성취가 올라간다는 것이다. 이는 학습내용에 대하여 풍부한 지식을 갖고 있지만 신중하게 학습을 진행한 학습자의 과제수행이 높았음을 보여주는 것이다.

4.1.2. GSR 각성수준에 의한 영향

GSR의 각성수준에 대한 연구결과는 학습단계에서의 각성수준보다는 평가단계에서의 각성수준이 과제수행에 더 중요한 영향을 미치고 있음을 보여주었다. 그리고 평가단계에서의 각성수준이 낮을수록 과제수행이 높았다는 것을 의미한다. 또한 학습단계에서 측정된 각성수준도 중요하지만 평가단계에서의 각성수준이 과제수행과 더 밀접히 관련되어 있음을 보여주는 것이다. 각성수준이 낮았다는 것은 심리적 이완상태에 있음을 의미하는 것이다.

그리고 GSR에 의한 각성수준이 과제수행을 예측할 수 있는 변수이지만, 중요한 것은 어떤 단계에서 측정되어야 하는가이다. 학습단계보다는 평가단계에서의 각성수준이 과제수행을 예측하고 있었기 때문이다. 특히, 평가단계에서의 각성수준이 낮을수록 과제수행이 올라가는 것으로 나타났다. 이 결과는 과제난이도 지각과 유사한 관련성을 보여주고 있다. 즉, 적절한 이완이 과제수행에 도움이 된다는 것이다.

그렇지만 일반적으로 인지부하가 올라가면 학습자의 각성수준도 동반하여 증진한다.²⁰⁾ 따라서 왜 GSR 각성수준이 낮아질수록(심리적 이완이 높아질수록)

과제성취가 올라갔는지에 대한 설명이 필요하다. 이를 위하여 학습내용의 난이도를 고려할 필요가 있다. 우선 표 1의 기술통계 자료를 보면 지각된 과제난이도의 평균은 3.31이다. 7점 척도에서 4점 이하의 점수는 비교적 쉬운 과제가 제시되었음을 의미하는 것이다. 다시 말해서 실험참가자들은 과제에 대하여 사전 지식의 수준이 높았다는 것으로 전문성 역전효과(expertise reversal effect)²¹⁾가 발생했을 가능성을 생각해 볼 수 있다.

전문성 역전효과는 학습자의 사전지식이 많을 경우에는 오히려 인지부하를 촉진시키기 위한 전략들이 방해가 된다는 것이다.²²⁾ 즉, 학습자의 사전지식이 높으면 인지적 작업용량이 충분하기 때문에 인지부하가 올라가지 않게 되는 것이다. 이 연구에서 제시되었던 과제의 난이도가 고도로 높지 않았기 때문에 실험참여자들은 전문성 역전효과가 발생했다는 것이다. 따라서 평가단계에서 심리적 이완이 커질수록 과제수행의 성취(사후검사)가 올라간 것으로 풀이된다.

또한 주관적 인지부하구인과 과제성취(사후검사)의 관계에서도 신체적 노력만 영향을 미치고 있던 것이 아니라 사전지식, 신체적 노력, 지각된 과제난이도가 동시에 영향을 미치고 있다는 점도 중요한 고려요소이다. 인지부하구인에 따른 해석에서도 “사전지식이 많고 과제난이도 지각은 낮지만 신체적 노력을 많이 투입하면 과제수행이 올라간 것”으로 보았다.

한편 GSR_학습단계와 GSR_평가단계에서의 각성수준 사이에서는 유의미한 차이를 발견할 수 없었다. 이 결과에 대한 해석에서도 과제난이도의 영향을 고려할 필요가 있다. 즉, 과제난이도가 상대적으로 쉬웠기 때문에 전체적으로 각성수준이 높지 않았다는 것이다. 그런데 GSR은 각성수준이 높을 때 더 민감한 반응을 한다.²³⁾ 따라서 각성수준이 충분히 높지 않았기 때문에 학습단계와 평가단계에서의 차이가 나타나지 않았을 가능성이 있다.

19) Paas, F., Renkl, A., & Sweller, J. (2004). Cognitive load theory: Instructional implications of the interaction between information structures and cognitive architecture. *Instructional Science*, 32(1-2), 1-8.

20) Phukan, A. (2009). Measuring usability via biometrics. In A.A. Ozok & P. Zaphris (Eds): *Online Communities*, LNCS 5621, 101-107.

21) Kalyua, S (2007) Expertise reversal effect and its implications for learner-tailored instruction. *Educational Psychology Review*, 19(4), 509-539.

22) Reisslein, J., Atkinson, R.K., Seeling, P., & Reisslein, M. (2006) Encountering the expertise reversal effect with a computer-based environment on electrical circuit analysis. *Learning and Instruction*, 16(2), 92-103.

23) 황민철, 장근영, 김세영 (2004). 자율신경계 반응에 의한 감성 평가 연구. *감성과학*, 7(3), 한국감성과학회, 51-56.

4.2. 논의

이 연구 결과를 통하여 과제수행에 영향을 미치고 있는 자기보고의 인지부하 요인과 각성수준의 예측변수로서의 가능성을 검토할 수 있었다. 이 연구를 통하여 다음과 같은 두 가지 논의를 제안하고자 한다. 첫째, 주관적 설문에 의한 인지부하의 측정과 생리신호와 같은 객관적 지표와의 관련성을 이해에 대한 것이다. 인지부하의 측정에서 주관적 측정지표와 객관적 측정지표가 비슷한 반응을 보이는 편이지만, 두 지표가 항상 일정한 관계를 유지하고 있는 것은 아니기 때문이다.²⁴⁾ 게다가 주관적 설문과 객관적 측정지표 사이에는 정밀도나 민감도의 차이가 있는 것으로 보인다.²⁵⁾ 실질적으로 비디오 화면의 프레임 단위가 바뀌었음에도 불구하고 설문지를 통해서만 차이점을 인식할 수 없었으나 생리신호를 통해서만 그 차이가 감지되었기 때문이다.²⁶⁾ 이런 차이는 주관적 설문에 의해서 수집된 자료의 정밀도나 민감도가 떨어진다는 것을 의미한다. 그렇다고 해서 객관적 측정지표에만 의존하여 인지부하의 정도를 판단하는 것도 무리이다. 왜냐하면 주관적 측정지표에 의한 자기평가적 요소는 인지부하 연구에서 중요한 요소 중의 하나이기 때문이다. 정서나 감성이 수반된 인지과정에 대한 연구에서 주관적 판단은 중요한 지표가 될 수 있다.

둘째, 인지부하 측정을 위한 예측변수의 활용은 향후 지능형 개별화 학습 시스템에 중요한 이론적 단서를 제공할 수 있다. 즉, 학습의 진척상황을 평가하여 학습자에게 가장 적절한 수준의 인지부하를 유지시킬 수 있는 적응적 시스템을 설계할 수 있을 것이다. 이를 위하여 학습자에게 적합한 최적 학습난이도를 결정하기 위한 알고리즘의 개발이 필요하다.

학습자에게 적합한 최적 학습난이도를 결정하기 위

한 알고리즘의 개발이 필요하다. 지능형 개별화 학습 시스템의 핵심기술은 컴퓨터 스스로가 판단할 수 있는 알고리즘을 구현하는 것이다. 알고리즘의 판단 근거에 의해서 학습자의 정서 상태를 입력받고 그 정보를 바탕으로 최적 학습난이도를 결정하는 과정이다. 그런데 최적의 학습난이도를 결정하기 위해서는 학습을 수행하고 있는 학습자의 인지부하가 변하는 정도를 근거로 최적 판단모형을 구성해야 한다.

이 연구에서 밝혀진 바와 같이 평가단계에서의 GSR 각성수준이 더 중요한 예언력을 갖고 있다면 이것을 적극적으로 활용하기 위한 방안을 모색해야 할 것이다. 즉, 주기적인 학습점검을 실시하여 학습자가 평가활동에 참여하도록 하여 각성수준의 변화를 측정하는 것이다. 이러한 변화를 반영하여 적응적 시스템을 구성한다면 보다 정밀한 학습자 모형을 반영할 수 있을 것이다. 예를 들면 이 연구에서 나타난 바와 같이 신체적 노력지수 등은 지각된 과제난이도에 영향을 미치는 중요한 요인이 될 수 있을 것이다.

끝으로 이 연구의 제한점은 과제난이도가 높지 않았다는 점이다. 앞서 살펴보았던 바와 같이 과제난이도는 학습자의 인지부하에 중요한 영향을 미치는 변수이기 때문이다. 과제난이도가 올라가면 학습자의 긴장수준이 올라갈 것이며, 이처럼 긴장수준이 높을 때 생리신호에 의한 반응이 더 명확해질 수 있다. 생리신호는 이완상태에서도 반응하지만 긴장수준에서 더 민감하게 반응하기 때문에 과제난이도가 올라가면 더 민감한 반응이 나타날 수도 있을 것이다.

참고문헌

- 류지현, 임지현 (2009). 인지부하 측정을 위한 구인의 탐색 및 타당화. *교육정보미디어연구*, 15(2), 한국교육정보미디어학회, 1-27.
 - 목정윤 (2004). 웹 기반 학습자료의 글자체와 강조 방법이 가독성, 선호도 및 학습성취도에 미치는 영향. 석사학위논문, 이화여자대학교.
 - 윤현정, 이인혜 (2006). 불안민감성과 대처 전략이 통증 지각 및 전기피부반응에 미치는 효과. *한국심리학회지 건강*, 11(4), 797-815.
 - 이봉건, 정인원, 김재진, 신철진 (2002). 심상자극과 GSR의 관계에 대한 예비연구: 퀘·볼퀘를 유발하는 심상자극과 암산과제에 대한 SCL 반응비교. *감성과학*, 5(2), 한국감성과학회, 11-22.
-
- 24) Schmit, L., Clery-Melin, M., Lafargue, G., Valabregue, R., Fossati, P., Dubois, B., & Pessiglione, M. (2009) Get aroused and be stronger: Emotional facilitation of physical effort in the human brain. *The Journal of Neuroscience*, 29(30), 9450-9457.
- 25) Lin, T., Imamiya, A., Hu, W., & Omata, M. Phukan, A. (2007) Combined user physical, physiological and subjective measures for assessing user cost. In C. Stephanidis and M. Pieper (Eds.): *ERCIM UI4ALL Ws 2006, LNCS 4397*, 304-316.
- 26) Wilson, G.M.(2001) Psychophysiological indicators of the impact of media quality on users. In the *Proceedings of CHI 2001 Doctoral Consortium*, ACM Press (2001) 95-96.

- 황민철, 임좌상, 김혜진, 김세영 (2001). 각성의 유형이 생리반응에 미치는 영향. *감성과학*, 4(2), 한국감성과학회, 89-93.
- 황민철, 장근영, 김세영 (2004). 자율신경계 반응에 의한 감성 평가 연구. *감성과학*, 7(3), 한국감성과학회, 51-56.
- Brünken, R., Plass, J.L., & Leutner, D. (2004). Assessment of cognitive load in multimedia learning with dual-task methodology: Auditory load and modality effects. *Instructional Science*, 32(1-2), 115-132.
- Cegarra, J., & Chevalier, A. (2007). Theoretical and methodological considerations in the comparison of performance and physiological measures of mental workload. *Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics*, 4562, 264-268.
- Clariana, R. B. (1992). Media research with a galvanic skin response biosensor: Some kids work up a sweat! Paper presented at the Annual Convention of the AECT, Washington, DC.
- Coyne, J.T., Baldwin, C., Cole, A., Sibley, C., & Roberts, D.M. (2009). Applying real time physiological measures of cognitive load to improve training. *HCI2009, LNAI5638*, 469-478.
- Dawson, M.E., Schell, A.M., & Fillion, D. (2007). The electrodermal system. In J.T. Cacioppo, L.G. Tassinary, & G.G. Berntson (Eds.), *Handbook of psychophysiology* (pp. 159-181). New York, NY: Cambridge University Press.
- Ikehara, C. S., & Crosby, M. E. (2005). Assessing cognitive load with physiological sensors. Paper presented at the 38th Hawaii International Conference on Systems Sciences.
- Kalyua, S (2007). Expertise reversal effect and its implications for learner-tailored instruction. *Educational Psychology Review*, 19(4), 509-539.
- Lin, T., Hu, W., Omata, M., & Imamiya, A. (2005). Do physiological data relate to traditional usability indexes? *Proceedings of ozCHI 2005*. Canberra, Australia.
- Lin, T., Imamiya, A., Hu, W., & Omata, M. Phukan, A. (2007). Combined user physical, physiological and subjective measures for assessing user cost. In C. Stephanidis and M. Pieper (Eds.): *ERCIM UI4ALL Ws 2006, LNCS 4397*, 304-316.
- Paas, F., Renkl, A., & Sweller, J. (2004). Cognitive load theory: Instructional implications of the interaction between information structures and cognitive architecture. *Instructional Science*, 32(1-2), 1-8.
- Paas, F., Tuovinen, J. E., Tabbers, H., & van Gerven, P.W.M. (2003). Cognitive load measurement as a means to advance cognitive load theory. *Educational Psychologist*, 38(1), 63-71.
- Phukan, A. (2009). Measuring usability via biometrics. In A.A. Ozok & P. Zaphris (Eds): *Online Communities, LNCS 5621*, 101-107.
- Reisslein, J., Atkinson, R.K., Seeling, P., & Reisslein, M. (2006). Encountering the expertise reversal effect with a computer-based environment on electrical circuit analysis. *Learning and Instruction*, 16(2), 92-103.
- Schmit, L., Clery-Melin, M., Lafargue, G., Valabregue, R., Fossati, P., Dubois, B., & Pessiglione, M. (2009). Get aroused and be stronger: Emotional facilitation of physical effort in the human brain. *The Journal of Neuroscience*, 29(30), 9450-9457.
- Schultheis, H., & Jameson, A. (2004). Assessing cognitive load in adaptive hypermedia systems: Physiological and behavioral methods. *LNCS*, 3137, 225-234.
- Shi, Y., Ruiz, N., Taib, R., Choi, E., & Chen, F. (2007). Galvanic Skin Response (GSR) as an index of Cognitive Load. *Proc. CHI 2007*. 2651-2656.
- van Merriënboer, J.J.G., & Sweller, J. (2005). Cognitive load theory and complex learning: Recent developments and future directions. *Educational Psychology Review*, 17(2), 147-177.
- Wilson, G.M. (2001). Psychophysiological indicators of the impact of media quality on users. In the *Proceedings of CHI 2001 Doctoral Consortium*, ACM Press (2001) 95-96.

원고접수 : 09.08.02

수정접수 : 09.09.04

게재확정 : 09.09.15