

제한된 반응시간에서 과도한 정신부하작업의 수행도에 관한 연구[†]

(Performance of Excessive Mental-workload under Limited Reaction Time)

오 영 진*, 김제송*

(Young-Jin Oh · Che-Soong Kim)

요 약 본 연구는 인간의 정신부하작업중 반응시간이 제한된 긴급상황에서 시스템이 비정상적인 상태로 변화할 경우 인간의 수행도 특성을 살펴보고 이를 보조할 수 있는 보조장치의 설계에 도움을 주는 기준안을 제시하고자 한다. 긴급상황에서 최우선시 되는 수행도는 반응시간보다는 시스템을 성공적으로 제어하여 비극적인 재해를 방지하는 일이다. 그러므로 여러 작업 수행도들 중에서 제어에 실패하게 되는 요인의 영향도를 알아내는 것이 중요하다.

실험결과 인간의 반응은 극히 제한된 짧은 반응시간내의 단일작업에서의 수행도는 시스템의 전체 영향도를 제대로 반영하지 못함을 알 수 있었다. 이럴 경우 부수작업을 부여했을 때 시스템의 변화 요인의 영향도를 더욱 잘 나타내는 것임을 유도하였다. 그러므로 시스템의 상황이 비 정상적인 상태로 진행될 경우, 특히 이러한 상황에서 반응해야 할 시간이 제한적일 경우 수행도 측정에는 다양한 형태의 부수작업을 개발하고 이를 이용한 측정이 더욱 효율이 있다는 점을 제시한다. 이러한 실험의 결과를 유추해보면 안전장치 기기의 설계를 위해서는 운용되는 상황에 맞는 측정방법이 개발되어야 긴급 상황의 수행도를 측정할 수 있다.

핵심주제어 : 정신부하, 인간수행도, 시스템제어

Abstract Human performance of system control under excessive mental-workload may differ from stable situation. In this study, design guidelines of secondary control system were introduced to enhance performance of safety control system. Under urgent situation, the first performance criterion is not a reaction time but safe control reaction that prevents system disaster. Therefore it is important to find out the facts that are mainly related system safety.

Experimental results show performance of primary task didn't reflect whole system influence within a limited short reaction time. In this situation, the secondary task is more sensitive to system influence that varied with some factors of urgent status.

Therefore, when a system proceeds to abnormal and unsafe status, and even more the reaction time is limited within a very short time to control the system, the estimation of human performance is more sensitive using secondary task performance than primary task performance. Those results mean it is required to develop various secondary tasks to design safety control systems preventing disaster. And also require many studies of estimation methods human performances especially when system status varies dangerous and/or unsafe situation.

Key Words : Mental workload, Human performance, System control

[†] 본 논문은 상지대학교 학술연구비 지원으로 연구되었음.

* 상지대학교 산업공학과

1. 서론

인간의 작업환경이나 시스템은 점차 복잡해지고 수많은 시스템간의 링크로 인해 상호 의존도나 종속성이 심화되고 있다(Wood 1988, Wieringa and Stassen 1993). 그러므로 시스템상의 작은 실수가 고도의 집적화된 상태에서 큰 재난으로 발생하는 경우가 점차 증가하고 있다. 하나의 예를 들어 감시제어작업은 다수의 제어판들을 각각 주시하며 제어판의 상태에 따라 작업자가 그에 적절한 제어를 해주어야하는 작업이다. 이러한 감시 제어작업은 근래 들어 많은 작업환경에서 요구되는 일들이다. 그러나 그러한 작업을 처리하기 위한 인간의 인지적 한계는 기술의 변화속도만큼 빠르게 적응하지 못하여 작업자에게 많은 정신적인 부하를 주는 상태이다. 즉 처리해야 할 정보의 양은 많아지고 또한 경우에 따라 작업의 양이 시간적인 제한을 갖게 되는 경우에 인간의 정신부하는 급격하게 늘어난다.

본 연구에서는 인간의 정신부하를 과도하게 부여한 후 여기서 나타나는 수행도를 분석하여 비상시 작업자의 시스템 운영행태를 살펴보고 이를 통해 정신부하에 큰 영향을 미치는 요소를 파악하여 비상 시스템운영을 위한 설계지침의 수립에 도움이 되는 방안을 제시코자 한다.

근래에는 인간의 정신작업에 대한 많은 연구들이 정보의 형태와 양식(modality) 그리고 정보의 일관성에 초점을 두고 수행되고 있다(Wilson and Rutherford, 1989 ; Wierwille and Eggemeier, 1993). 이러한 연구들은 자극정보의 양과 작업완수에 소요되는 시간에 관심을 두고 있다. 그러나 제한된 시간 내에서 과도한 정신부하를 갖는 긴급한 상황의 경우에 인간의수행도에 관련된 내용을 세밀히 파악하기는 어려운 일이다. 이외에도 작업의 형태가 단순한 조립작업과 같은 단일작업이 아니고 복잡한 상황에서 두 가지의 작업을 하게 되면 시스템을 감시하고 제어하는 일은 더욱 어렵게 된다.

즉 주작업과 부수작업을 동시에 수행할 때 시스템의 진행이 갑자기 비정상 상황으로 진입하여 이를 처리해야만 사고를 피할 수 있다는 가정을 세우고 인간의 수행도를 분석해 보면 많은 시사점을 얻을 수 있다고 본다.

본 연구에서는 인간의 정보처리 부하를 과도하게 주기위해 반응 허용시간을 점차 빠르게 주어 가면서 동작의 성공과 실패에 관한 면을 분석하고자 한다.

2. 단일작업 정신부하시의 반응분석 : 실험 1

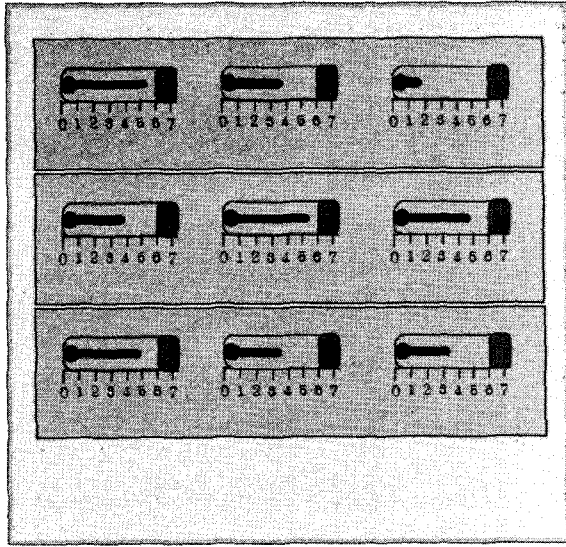
Welford(1976) 와 Brodbent(1971)에 따르면 인간의 수행도는 사건발생빈도가 가장 큰 영향을 미치는 요인이라 한다. 그러므로 단위시간당 사건발생의 수가 증가되면 정신부하도 증가될 것이다. 이에 따라 작업의 수행도는 저하되고 작업의 오류(오동작, 실수)는 증가하게 된다. 또한 이처럼 시간에 쫓기는 작업환경에서는 작업자가 극도의 작업스트레스를 받게 된다. 이를 위한 실험을 다음과 같이 시행했다.

2.1 실험방법 및 절차

시스템을 감시하는 작업자에게 과도한 정신부하를 주기 위해 모니터 상에 가상의 계기판을 표시하여 각각의 계기판중에 데이터 값의 증가가 위험수위까지 도달하면 해당 계기판에 지정된 키보드를 눌러서 리셋 하도록 설계하고, 수행도 측정을 위해 반응시간, 오동작 횟수, 실패횟수를 측정하였다. 실험의 작업은 작업량을 증가시키고(계기판의 수를 3,6,9개로 증가) 또한 제어작업의 반응 허용시간을 다섯 단계로 나누어 각 단계별로 수행도를 측정하였다.

즉 각 계기판 별로 계기판 눈금의 증가 속도를 다섯 단계로 서로 다른 속도로 위험구역에 진입하게 하였다. 증가속도는 C언어의 delay()함수를 이용하여 매 1/25눈금이 증가할 때 마다 dealy(250ms+Time(i))로 설정하였고, Time(i)는 (0ms, 25ms, 50ms, 75ms, 100ms)로 설정하여 총 다섯 단계의 시스템 진행속도를 갖도록 했다. 그러므로 피실험자는 15종류의 작업을 수행한다. 본 실험에서는 예비연습을 거쳐 15 종류의 작업을 5회씩 2번 반복실험을 하였다.

난이도에 따른 학습효과문제를 최소화시키기 위해 역균형법(counterbalancing)을 이용하여 실험을 통제하였다.



<Fig. 1> 실험용 모니터 형태

피실험자는 10명(남 6명, 여 4명, 평균연령 21.6세) 대학생이 실험보수를 받고 참여했다.

디스플레이를 모니터링하고 그에 따라 키보드로 반응을 하는 작업에 대해서 육체적으로나 시력상의 문제에 불편함을 호소하는 피실험자는 없었다. 피실험자들의 컴퓨터 사용 경험은 모두 2년 이상이었다.

2.2 실험결과 분석

실험결과 반응시간과 오동작의 수 그리고 반응실패 횟수는 모두 작업량에 유의한 차이를 보였다. 그러나 반응허용시간에 대해서는 수행도 결과치들이 모두 유의하지 않음을 나타내고 있다.

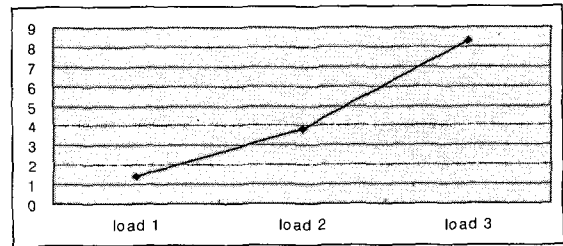
이러한 결과는 인간에게 부과된 작업중 육체적인 작업이 아닌 정신작업의 경우 반응해야 할 허용시간이 있을 때 작업의 수행도는 이를 반영하지 못한다는 시사점이 있다. 그러므로 고 위험도의 작업중 반응해야 할 시간이 한정되어 있을 때에는 인간의 수행도를 올바르게 측정하지 못한다는 단점이 있다. 이를 위해 다음의 실험에서 반응허용시간이 있을 경우 부수작업을 부여하므로써 정신작업의 수행도를 측정하여 정신부하량이 수행도에 미치는 영향을 측정할 수 있는지 여부를 알아보려고 한다.

Table 1. 실험변수와 수행도

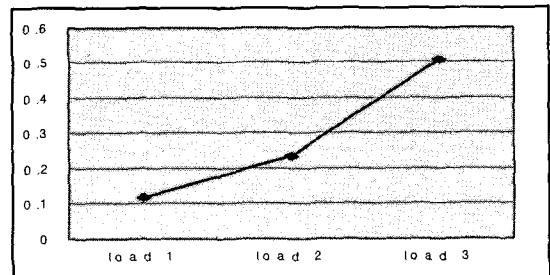
**p<0.01

	반응시간	오동작횟수	반응실패
작업량	F(2,914)=559.6 p=0.000**	F(2,914)=23.8 p=0.000**	F(2,914)=15.8 p=0.000**
반응 허용시간	F(4,914)=0.032 p=0.861	F(4,914)=0.8 p=0.500	F(4,914)=2.35 p=0.530

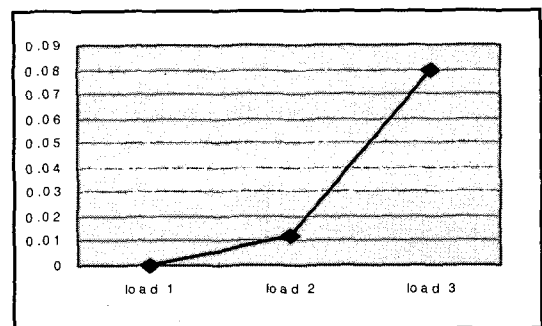
	반응시간	오동작횟수	반응실패
작업량 1	1.4265	0.116	0
작업량 2	3.8356	0.234	0.012
작업량 3	8.2806	0.508	0.08



<Fig. 2> 작업량에 따른 반응시간



<Fig. 3> 작업량에 따른 오동작 횟수



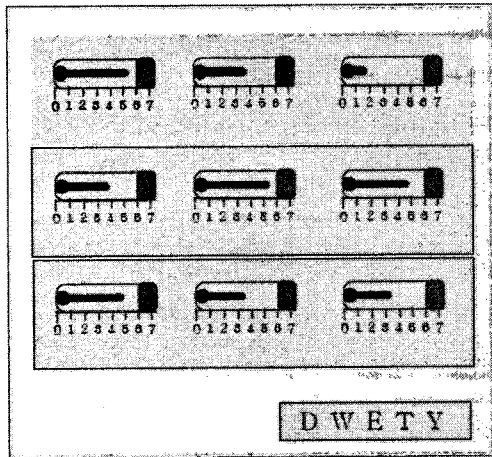
<Fig. 4> 작업량에 따른 반응실패 횟수

3. 부수작업 수행시 과도한 정신부하 반응 분석 : 실험 2

3.1 실험방법 및 절차

본 실험에서는 1차 실험과 동일한 환경 하에서 실시되하였으며 추가적으로 부수작업을 부여하였다. 즉 실험1의 작업을 수행하면서 동시에 모니터의 하단부에 나타난 문자를 기억하고 이를 회상하여 입력토록 부가적인 작업을 부여하였다.

예를 들어 자동차의 운전 작업을 보면 단지 하나의 작업만 수행하는 것이 아니고 여러 형태의 정보를 입력받아 여러 종류의 기기를 조작한다. 이럴 때 자동차의 진행속도가 증가할수록 운전 작업의 부하는 커지게 된다. 실험 1의 결과를 보면 단일 작업으로는 이러한 상황(즉 여러 작업을 동시에 수행할 경우 수행도에 영향을 미치는 주 독립변수의 영향이 종속변수에 제대로 반영이 되지 않는 상황)의 수행도 측정을 제대로 할 수 없는 단점이 있다. 그러므로 작업진행속도를 반영하는 수행도를 알기 위해서는 부수작업이 필요함을 본 실험을 통해 밝히고자 한다.



<Fig. 5> 부수작업이 포함된 실험모니터

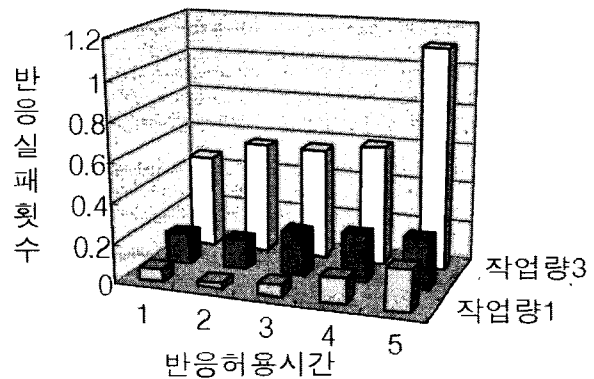
3.2 실험결과 분석

본 실험에서 작업량에 대해서는 실험1과 동일한 결과를 나타내었다. 그러나 실험 1과는 달리 긴급한 상황에서 시스템의 안전한 제어를 실패하는 수행도를 의미하는 반응실패(F(4,887)=4.528

$p < 0.001$)와 부수작업의 성공 횟수 (F(4,887)=24.048, $p < 0.001$)는 반응허용시간에 유의한 차이를 나타내고 있다. 이러한 실험결과가 보여주는 시사점은 실험1과는 달리 정신부하가 과도할 때 반응허용시간이 수행도에 끼치는 영향을 알 수 있다는 점이다.

Table 2. 실험변수와 수행도

	반용시간	오동작횟수	반용실패	부수작업 성공횟수	부수작업 반응시간
작업량	F(2,887)=462.7 p=0.000**	F(2,887)=39.37 p=0.000**	F(2,887)=40.4 p=0.000**	F(2,887)=140.2 p=0.000**	F(2,887)=76.27 p=0.000**
반용허용시간	F(4,887)=1.774 p=0.132	F(4,887)=0.2534 p=0.908	F(4,887)=4.528 p=0.001**	F(4,887)=20.01 p=0.000**	F(4,887)=1.036 p=0.387



<Fig. 6> 작업실패횟수

즉 여러 종류의 작업수행도중에서도 제어하는 시스템이 비정상상태의 과도한 정신부하를 부여하게 될 경우, 인간의 수행도는 독립변수의 영향을 제대로 반영하지 못하므로, 인간의 수행도가 어느 정도로 영향을 받는가를 측정하기 위해서는 실험1과 같은 단일 작업에서는 알 수 없었던 것을, 본 실험과 같이 부수작업을 이용하면 알아낼 수 있다는 시사점이 있다.

4. 결론 및 논의

산업이 고도화 되고 정보기술의 발달로 인간의 작업은 육체적 작업에서 정신적 작업으로 전환되

고 있다. 특히 시스템의 고집적화로 인해 에너지의 집적화도 이루어지고 작업의 내용도 더욱 정밀, 복잡화 되고 있다. 그러므로 과도한 정신부하 작업은 인간의 실수를 유발하고 이러한 실수가 자칫 커다란 재해로 연결되는 재해 유발적 특성이 있다.

이러한 특성을 고려하여 본 연구에서는 과도한 정신작업중, 비정상적 상황으로 시스템이 진행할 경우 이를 통제하는 감시제어작업을 대상으로 인간의 수행도 형태를 분석하였다.

최우선적으로 주시해야 하는 수행도는 비상상황에서 안전하게 시스템을 운영하는데 실패는 반응실패요인이다. 이러한 임무실패의 요인은 작업자 개인의 인적요인으로 치부되어서는 안되며 반드시 시스템적인 고찰이 필요하다. 그러므로 이런 상황에서 인간의 실수를 방지하기 위한 노력이 필요하며 그 원인이 되는 요인에 대한 상세하고 다양한 분석이 요구된다.

인간의 반응은 극히 제한된 짧은 반응시간내의 수행도를 알기 위한 상황에서는 단일작업에서의 수행도를 사용해서는 시스템의 전체 영향도를 제대로 반영하지 못함을 알 수 있었다. 이럴 경우 부수작업을 부여했을 때 시스템의 변화 요인의 영향도를 더욱 잘 나타내는 것임을 유도하였다. 그러므로 시스템의 상황이 비정상적인 상태로 진행될 경우, 특히 이러한 상황에서 반응해야 할 시간이 제한적일 경우 수행도 측정에는 다양한 형태의 부수작업을 개발하고 이를 이용한 측정이 더욱 효율이 있다는 점을 제시한다.

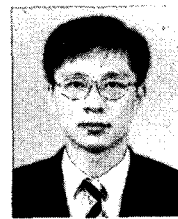
이러한 실험의 결과를 유추해보면 안전장치 기기의 설계를 위해서는 운용되는 상황에 맞는 측정방법이 개발되어야 긴급 상황의 수행도를 측정할 수 있다.

참 고 문 헌

[1] Broadbent, D. E., Decision and stress, N.Y., Academic Press,1971.
 [2] Welford, A. T., Skilled Performance,IL., Scott Foresman,1976.
 [3] Solso R. L. Cognitive Psychology, Allyn and Bacon, 1991.
 [4] Wieringa P.A., Stassen H. G. "Assessment

of Complexity" in Verification and Validation of Complex Systems:Human Factors Issues, Springer, pp. 173-180,1933.

[5] Wierwille, W. W. and Eggemeier, F. T., "Recommendation for Mental Workload Measurement in a Test and Evaluation Environment," Human Factors, 35, 1993.
 [6] Wilson, J. R. and Rutherford, A., "Mental Models : Theory and Application in human Factors," Human Factors, 31,1989.
 [7] Woods D. D., "Copying with complexity: the Psychology of Human Behavior" in Complex Systems. in Tasks, Errors and Mental Models, Taylor & Francis, pp. 128-147, 1988.



오 영 진 (Young-Jin Oh)

- 정회원
- 1986년 2월 한양대학교 산업공학과 (공학사)
- 1988년 2월 한양대학교 산업공학과 (공학석사)
- 1996년 2월 한양대학교 산업공학과 (공학박사)
- 1992년 6월~현재 상지대학교 산업공학과 교수
- 관심분야 : HCI, Human Performance Estimation



김 재 송 (Che-Soong Kim)

- 정회원
- 서울대학교 산업공학 석사박사 학위를 수여했고, 현재 상지대학교 산업공학과 교수로 재직 중이다.
- 주요관심분야는 시스템 성능분석, 신뢰도 분석, 확률과정, 대기이론 및 그 응용분야이다.