

監視制御作業에서 緊急狀況의 遂行度 分析 -An Analysis of Supervisory Control Performance under Urgent Enviornments-

오영진* 이근희**

Abstract

Work environments have been changed with the advent of new technologies, such as computer technology. The newer technologies, the more changes in our work conditions. However, human cognitive limits can't keep up with the change of work environments. Mental workload has been an important factors in designing modern work enviornments such as human-computer interaction. Designing man-machine systems requires knowledge and evaluation of the human cognitive processes which control information flow workload. Futhermore, under an urgent situation, human operator may suffer the work stress, work error, and resultant deleterious work performance.

To describe the work performance in the urgent work situations, with time stress and dynamic event occurence, a new concept of information density was introduced. For a series of experiments performed for this study, three independent variables(information amount, system processing time, information density) were evaluated using such dependent variables as reaction time, number of error, and number of failure.

The results of statistical anlysis indicate that the amount of information effected on all of five dependent measure. Number of failure and number of secondary task score were effected by both amount of information and operational speed of system, but reaction time of secondary task were effected by both amount of information and information density.

1. 서론

전자제어 기술의 발달과 컴퓨터 기술의 발달로 인하여 인간의 작업은 감시작업 위주로 변천해 나가고 있으며 이에 따른 인간의 인지적인 한계를 고려해야 할 필요성이 증대되고 있다(Lerner, 1983). 감시작업은 현장의 여러 기계나 작업의 상황이 각종 센서등을 통해 주로 컴퓨터의 모니터 상에 나타난다. 보통 이러한 감시작업을 담당하는 작업자는 여러 모니터를 보면서 동시에 적절한 제어를 해 나간다. 이때 기계화 시스템의 일환으로서 인간과 컴퓨터의 효과적인 역할분담을 이루려는 것으로 감시제어(supervisory control)가 있다.

이러한 감시제어 작업은 인간 조작자 자신의 감각에 의해 직접 관찰된다. 작업은 인공센서, 컴퓨터, 표시장치에 의해 간접적으로 관찰된다. 이 과정에서 제시되는 정보를 처리하는 역할과 이에 대한 적절한 반응(제어)을 하는 것이 본 연구에서 다루고자하는 주 관심사이다.

하나의 작업을 수행할 때 인간에게 요구되는 정신적인 인지처리(cognitive process)의 부하(load)가 인간의 처리한계를 웃돌게 되면 인간의 수행도는 현저하게 감소되거나 작업의 실수를 유발하게 된다. 그러므로 이에 관련된 연구들이 지난 수십년간 비교적 활발하게 이루어지고 있다(Wilson & Rutherford, 1989; Wierwille & Eggemeier, 1993).

Hancock(1993)은 작업의 수행도가 작업목표에 도달하는 거리(distance)와 유효시간(effective time)에

* 상지대학교 산업공학과

** 한양대학교 산업공학과

대하여 반응시간, 에러의 수, 주관적 난이도에 관한 연구를 통해 동일 정신부하곡선(isodynamic work load contours)이라는 개념을 도입하였다. 그는 작업에 영향을 주는 요소로서 전체 작업의 양중에서 남아있는 작업의 양과 단위 작업수행 허용시간의 두 요소를 선정하여 이에 대한 수행도를 각각 측정하고 작업의 부하별로 이에 대한 정신부하가 동일해지는 관계가 있다는 점을 확인하였다.

Inagaki와 Ikebe(1988)는 안전 감시시스템을 운영하는 작업에서 시스템이 비정상상태로 진입할 때 작업자의 수행도에 관한 연구를 신뢰도에 바탕을 두고 전개하였다. 이 연구는 시스템이 정상상태에서 비정상 상태로 전환되었을 때 작업자의 판단기준에 도움을 주기 위하여 이중 센서를 부착하여 전체 시스템의 안전도를 분석하였다. 그러나 이 연구에서는 시스템이 정상과 비정상이라는 두가지의 경우만을 고려하였기 때문에 긴급함의 정도에 따라 시스템이 악화되는 경우에 대한 인간의 반응을 알 수 없었다.

이처럼 정신작업을 수행하는데 영향을 주는 요소로서는 처리해야 하는 정보의 양과 제한시간이 있다. 그러나 만일에 긴급한 상황에서는 이러한 요소만으로는 작업의 수행도를 설명하기에는 부족한 면이 있다.

긴급한 상황의 특징은 단위시간당 처리해야 할 정보의 양이 인간의 처리한계 수준을 초과하는 경우가 많으며 또한 긴급함의 정도가 시간적인 동적상황으로 전개되는 성질을 포함하고 있다. 또한 긴급상황 하에서의 작업은 일반 작업과는 형태가 상이하며 이로 인한 정신적인 부하도 늘어나게 된다. 기존의 연구는 정보의 양이 정적인 상태로 증가하는 면에서 진행되었기 때문에 긴급함을 반영하는데 있어서 부족한 실체이다.

본 연구의 목적은 긴급 상황에 대처하는 인간의 수행도를 측정하여 시스템의 안전도를 향상시킬 수 있는 설계지침을 제공하는데 주안점이 있다. 또한 이를 바탕으로 인간의 한계를 고려한 작업을 설계함으로써 피로와 휴식 그리고 재훈련의 계획을 입안하는데 도움을 줄 수 있는 바탕을 제공하며 여러 종류의 긴급 상황을 평가할 수 있는 틀을 제공함을 목적으로 한다.

2. 감시작업에서의 긴급처리 상황

감시작업은 두가지의 상황으로 나누어 볼 수 있다. 첫째는 자유반응(free response) 분야인데 이는 발전소의 모니터에서 나타나는 현상으로 목표 사건(target event)이 임의적으로 나타나는 부류이다. 이 경우의 사건 빈도(event frequency)는 단위 시간에 출현하는 사건의 수로 규정된다.

둘째는 검사분야로서 주로 품질검사에서 검사원의 작업에 해당되는 것이다. 이 경우사건은 매우 일정한 간격을 두고서 일어난다. 그리고 목표가 되는 사건인 불량(defect)은 그 수가 매우 적으므로 대부분은 非 사건이다. 그러므로 사건 빈도라는 개념은 매우 모호하다. 왜냐하면 그 단위를 단위시간당 사건의 수로 할 것인지 또는 전체 사건중 목표사건의 비율로 할 것인지를 정해야 하기 때문이다.

감시작업에서 수행도에 영향을 미치는 요소로서는 감시해야 할 정보의 제시시간,복잡도 그리고 사건 빈도 등이 있다. Welford(1968)와 Broadbent(1971)에 의하면 이러한 현상은 수행도의 증가와 감소에 영향을 미치는데 특히 사건의 빈도가 많은 영향을 미친다고 한다. 단위시간당 제시되는 사건의 수가 많으면, 즉 단위시간당 처리해야 할 정보의 수가 급증할수록 이에 대처하는 인간의 정보처리 능력이 감당할 수 없을 때 수행도는 크게 저하된다. 특히 긴급을 요하는 작업의 대부분은 일상적으로 처리하던 과정과는 다른 패턴으로 진행되기 때문에 당황함이나 시간적인 제약이 크게 받게 된다(Fig. 1).

본 연구에서는 일상적인 감시작업을 행하다가 긴급한 처리를 요구하는 상황에 대하여 실험을 하였다. 이 과정은 일반적인 감시작업에서 긴급한 시스템으로 진입할 때 이를 현실감있게 묘사하기 위하여 정보 밀도(information density)라는 개념을 새롭게 도입하였다. 긴급한 상황의 특징으로는 단위시간당 처리해야 할 정보의 양이 인지한계를 초과하여 부과된다는 점과 제시되는 정보의 간격이 사건의 발생에 따르므로 제시되는 정보의 양도 일정치 않다는 점이다.

본 연구에서 의미하는 정보밀도는 단위 시간에 처리하여 할 정보의 양이 정적인 정보가 아닌 동적인 정보로 제공될 경우 이를 처리해야 하는 인간의 수행도와 관련을 지었다. 모니터를 통한 visual search에서는 처리해야 할 정보의 양이 급증하게 될 때 이에 대한 인간의 수행도 또는 정신적인 부하가 정보의 양에 비해 지수적으로 증가함에 바탕을 두었다(Williams,1966).

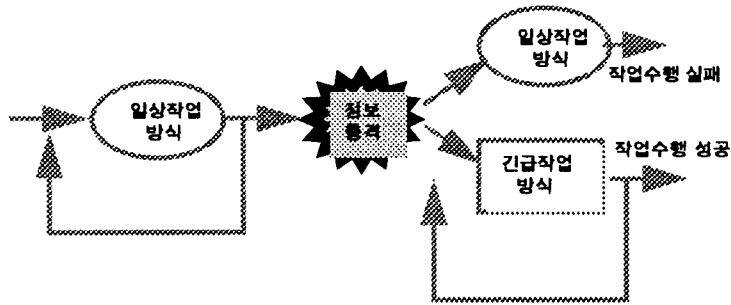


Fig. 1 Urgent work change process

3. 긴급함을 반영하는 실험설계

본 실험에서는 컴퓨터의 모니터 상에 나타나는 계기판을 감시하는 작업을 설정하였다. 다만 그 작업에 긴급한 상황을 주기위하여 다음과 같은 점을 추가하였다.

1) 정보밀도 개념 도입 :

긴급처리를 요구하는 작업은 일반적으로 단위 시간당 처리해야 할 정보의 양이 급증한다는 점에 착안하여 피실험자에게 여러개의 계기판을 감시하도록 한 후, 만일 계기의 바늘이 이상상태로 증가하여 위험구역까지 증가한다면 그 계기판의 스위치를 눌러서(reset) 감시작업을 수행하도록 하였다. 여기서 계기판마다 reset해야 할 위치는 랜덤하게 제시된다. 이는 사건의 발생 간격이 보통은 지수분포를 따르므로 이를 위해 사건의 발생시점을 랜덤하게 주었다.

정보밀도는 모니터에 나타나는 계기판의 수만큼 존재한다. 즉 매 계기판마다 랜덤하게 주어진 위험구역이 있으므로 예를 들어, 9개의 계기판이 있을 경우 각 계기판마다 위험구역이 있기 때문에 총 9개의 위험구역이 존재한다. 모든 계기판의 바늘은 영(零)점에서 출발하며 위험구역은 9개의 계기판마다 랜덤하게 주어진다. 경우에 따라서는 위험구역이 촘촘하게 주어질 수도 있으며 이러한 경우는 피 실험자가 하나의 위험구역 계기판을 리셋(reset)시킨 후 즉시 다음의 위험구역 계기판을 리셋 시켜야 하므로 정보 부하는 커지게 된다. 이러한 위험구역은 때로는 촘촘하게 때로는 넓피게 나타나므로 각 작업마다 작업의 난이도는 틀려지게 된다.

정보밀도는 작업에 주어지는 정보 양의 집중도를 의미하므로 난이도라고 이해하여도 된다. 그리고 정보밀도는 여러 계기판중에서 어느 계기판부터 리셋시켜야 할 것인가에 대한 반응 순서가 되기도 한다. 그러므로 긴급상황시 가장 처음으로 나타나는 상황에 반응을 하고 그 다음의 긴급상황에 반응해야 하는 반응 순서를 의미하기도 한다. 본 실험에서는 이러한 정보밀도가 제시되는 순서대로 반응이 일어나는지도 살펴본다. 일상적인 작업이라면 일의 처리 순서에 따라 작업이 진행되겠지만 상황이 긴급하고 또 처리해야 할 정보의 양도 많아지게 되면 이러한 일의 처리순서가 지켜지는지도 관심있게 볼 사항이다.

긴급한 작업일수록 때로는 일의 처리순서가 전체 시스템의 안전도나 정상 운행 과정에 큰 영향을 줄 수도 있다. 그러므로 본 실험을 통해 정보의 양과 처리순서와의 관계도 파악하여 긴급상황에 대응하는 인간의 반응 특성에 관해서도 분석하도록 한다.

2) 정보의 양과 수행도 관계

일반적으로 처리해야 할 정보의 양이 많을수록 그 수행도는 저하된다. 감시제어 작업에서도 처리해야 할 정보의 양이 적은 경우와 많은 경우가 있으므로 본 실험에서는 정보 양을 증가시켜보면서 수행도를 분석한다. 정보의 양은 처리해야 할 작업의 양이 많아진다는 의미이므로 리셋시켜야 할 계기판의 수를 3개, 6개 그리고 9개로 증가시켜서 반응을 조사하였다.

3) 시스템의 진행속도

긴급한 상황에서 인간의 수행도가 저하되고 실수가 늘어나는 것은 여러가지가 있겠지만 시스템이 긴박하게 진행되는 것에도 영향을 받는다. 그러므로 계기판의 바늘이 천천히 증가하는 것보다는 빠른 속도

로 증가할 때 정신부하는 커지게 된다. 이처럼 시스템의 진행속도가 너무 빠른 경우에는 인간의 정보처리 용량을 초과하는경우도 있으므로 실수 동작이나 오동작이 나오게 되며 수행도 또한 영향을 받을 것이다. 본 실험에서는 긴급한 상황일 경우에 시스템의 진행속도가 수행도에 주는 영향을 알아보기 위해 다섯 단계로 진행속도를 조절하며 반응을 분석하였다. 일반적인 작업일 경우라면 시간의 영향을 크게 받게 되는데(Yellott : 1971) 이러한 것이 긴급한 동적인 상황에서는 어떤 변화를 갖는지 분석해 본다.

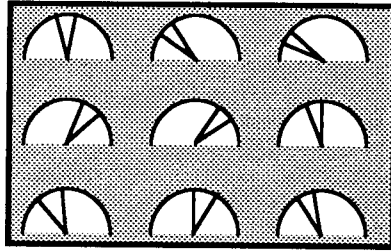


Fig. 2 Control panel display and it's information density.

4) 오동작(誤動作: error)

작업을 수행하다 보면 잘못된 처리를 하는 경우가 있다. 이 때 그 잘못된 동작이 회복할 수 있는 것이라면 시스템의 진행에 큰 영향을 주지 않겠지만 때에 따라서는 회복할 수 없는 중대한 사고를 유발할 수도 있다. 본 실험에서는 계기판을 리셋시킬 때 해당 키를 누르지 않고 다른 계기판의 키를 누른 경우 이를 오동작(error)으로 처리하였다. 실험을 통해서 어떤 경우에 오동작이 나오는가를 분석하였다.

인간의 행동은 Table 1에서 보듯이 세가지의 유형을 지니고 있으며 이에 따라 인간 행동에서 유발되는 실수는 세가지의 유형(Reason:1987, Table 2)을 가지고 있다고 했다. 우선은 단순한 오동작으로서 의도했던대로 동작이 일어나지 못해서 실수한 경우로 이러한 원인으로서는 주로 정신피로(mental fatigue)와 주의력 집중이 부족하여 동작의 제어를 원활히 조정하지 못했기에 발생한다고 했다. 다음으로는 rule-based mistake로서 이는 이미 잘 숙지하고 있던 작업원칙을 잘못 적용했을 때 발생하며 주로 하나의 상화에 반응해야하는 원칙에 있음에도 이와 유사한 다른 원칙을 적용했기에 발생한다고 했다. 마지막으로 knowledge-based mistake로서 주어진 상황자체를 잘못 판단했기에 적절한 반응을 못한 경우로서 주어진 문제(작업,상황)를 해결하기위한 목표의 설정이 잘못되었기에 발생한다고 했다. 본 실험에서는 이러한 실수들이 시간적인 제약, 정보량의 과다, 작업의 난이도(정보밀도)에 어떻게 영향을 받고 있는지 살펴본다.

Table 1. Human Behavior Mode (Rasmussen:1980)

1.Skill-based Behavior	
- Highly practiced actions	- Based on feed forward control
2.Rule-based Behavior	
- Following stored rules (main relations among schemata with a context-based frame)	
- Goal-directed	- Rule -> communicate each other -> consciously selected
- Can hardly be corrected	- Know-how
3.Knowledge-based Behavior	
- Used when unfamiliar situation and insufficient rules	

5) 임무실패

감시 제어작업은 주어진 정보를 보고 제한된 시간내에 반응을 해야 하는 특성이 있다. 그러므로 자극의 감지(정보의 인지)에서부터 최종적으로 성공적인 반응이 일어나야만 임무수행을 성공적으로 종료할 수 있다. 본 실험에서는 자극의 제시후 일정 시간안에 올바른 반응이 일어나지 못한 경우에는 감시 임무를 실패한 것으로 처리하였다.

반응실패의 경우에도 시스템의 특성에 따라 병렬 구조를 가진 시스템이라면 회복할 기회가 있겠지만

Table 2. Human error type (Reason : 1987)

<p>1. Slip</p> <ul style="list-style-type: none"> - intention->satisfactory and action -> miss - mainly due to mental fatigue or attentional loss in the low level of control of action <p>2. Rule-based Mistakes</p> <ul style="list-style-type: none"> - wrong application of well known rules and procedures - due to biases in the selection or overriding by more familiar rules onto the appropriate ones <p>3. Knowledge-based Mistakes</p> <ul style="list-style-type: none"> - when people are not able to properly RECOGNIZE the different aspects of the problems - selected plan or goal does not well-fitted to the problem to be solved

만일에 해당 작업이 직렬 시스템상의 일이라면 한번의 반응실패는 회복할 수 없는 치명적인 시스템의 실패(Failure)를 가져올 수도 있다. 그러므로 주어진 작업에 대해 몇번 성공을 하였는가라는 관점보다는 중대한 실수를 몇번하였으며 이러한 상황의 공통적인 특징은 무엇인가를 알아보는 것이 중요하다.

감시 및 제어를 해야하는 작업의 수를 3,6,9개로 증가시켜보면서 어떤 상황에서 임무의 실패가 발생되는지 분석하였다.

4. 실험방법

(1) 피실험자

피실험자는 대학생 10명(남:6명 여:4명 평균연령:21.3세)으로 구성되었다. 이들의 시력은 정상(교정시력 포함)적이며 모니터에 앉아서 키보드로 반응입력을 하는데 있어서 신체적인 불편함이 없는 학생들이다. 이들은 모두 실험에 자원하여 참여하였으며 실험으로 인한 육체적인 피로를 호소하지 않았다.

(2) 실험설계

피 실험자는 컴퓨터용 책상에 앉아서 모니터를 응시하며 위험구역에 진입한 계기판의 스위치를 누르는 작업을 행했다. 계기판의 스위치는 모니터상의 계기판 위치와 공간적 양립성을 지나도록 하기 위해 키보드의 숫자 키패드를 사용하도록 했다(Chapanis and Lindenbaum : 1959). 즉 계기판이 3개 제시되는 경우의 스위치는 숫자 키패드의 (7 8 9)번을 해당 계기판의 스위치로 할당하였으며 계기판이 6개 (키패드는 7 8 9 : 4 5 6 을 할당), 9개 (키패드 7 8 9 : 4 5 6 : 1 2 3 을 할당)로 늘어나더라도 모니터 상의 위치와 같은 곳의 키패드를 누르도록 했기 때문에 감시 작업중에 계기판의 스위치를 찾는 동작이 없어도 임무수행이 가능하도록 했다.

정보의 양을 증가시키기 위해서 계기판은 3개 6개 9개로 증가시켰으며, 시스템의 진행속도는 계기판 바늘이 증가하는 속도를 5단계로 놓았다. 여기서 바늘의 진행속도는 Turbo-c언어에서 delay()함수를 사용하여 매 1도가 증가할 때마다 delay(250ms+Time(i))로 설정하였다. Time(i)는 (0ms, 25ms, 50ms, 75ms, 100ms)으로 설정하여 총 다섯단계의 시스템 진행속도를 갖도록 했다. 프로그래밍상에서 바늘은 0도에서 180도까지 매 1도마다 증가하도록 했다.

시스템이 긴급한 상황을 갖도록 하기 위해 계기판의 원호 중에 rand()함수에서 발생된 수치에 따라 임의의 위치(각도)에 위험구역(위험구역 시작위치+35도)을 설정하였다. 만일 9개의 계기판을 감시제어하는 경우에는 각 계기판마다 1개씩 총9개의 위험구역이 존재한다. Fig. 3을 보면 계기판이 6개일 경우 위험구역의 시작위치를 하나의 계기판에 모아 놓은 것이다. 원호의 밖에 기입된 수치는 시작 위치에서 부터 떨어진 각도이다. 만일 이 각도가 촘촘하다면 피실험자는 더욱 많은 주의를 기울여 감시를 해야만 짧은 간격중에 위험구역으로 진입하는 상황을 리셋시켜야 한다. 여기서 이 촘촘한 정도를 정보밀도라고 표현했으며 각 수치를 지수함수에 대입한 후 평균치로 나타내었다.

$$\text{정보밀도} = \left(\sum_{i=1}^n e^{-\text{sqrt}(i)} \right) / n \quad (i\text{는 사건발생간격})$$

Fig. 3에서 보면 6개의 reset위치는 각각 다르게 나타나 있다. 아래의 그림은 사건의 발생이 매 25도마다 동일한 간격으로 나타나 있지만 그림의 위에는 사건의 발생간격이 넓거나 좁게 발생된다. 그러므로 이러한 경우에는 다음 사건이 발생하는 경우에 인간이 반응해야 하는 형태가 불규칙적이므로 더욱 큰 정신부하를 주게 된다 (Barber : 1990). 본 실험에서는 이러한 사건의 발생간격을 불규칙하게 제시한 후 사건의 발생이 촘촘한 경우, 즉 단위시간당 처리해야 할 정보의 단위가 밀집되어 있는 경우와, 반대로 처리해야 할 정보가 넓게 퍼져 있는 경우를 고려하여 실험을 행했다. 그러므로 긴급함의 정도를 수량화하여 이에 대한 인간의 반응형태를 알아보고자 하였다.

본 실험은 레벨, 시스템 진행속도, 정보밀도의 세가지 독립변수로 구성되는 실험이다. 이 실험의 특징은 여러 종류의 정보밀도를 난수함수를 발생시켜서 얻으므로 정보밀도는 독립변수이면서도 비울척도의 성질을 지닌다.

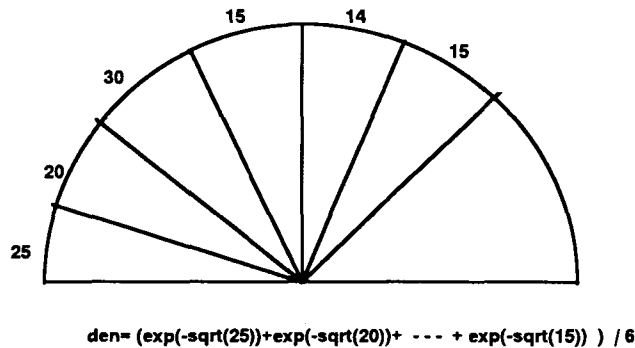


Fig. 3 Representation of information density (aggregate on 6 control panel)

그러나 레벨과 시간은 모두 명목척도가 되므로 실험에서 제어해야 할 독립변수는 2개뿐이다. 그러므로 15 (level 3 X time 5)가지의 작업조건을 만들어 낸다. 그리고 독립변수인 정보밀도에 따른 영향을 알아보기 위하여 정보밀도가 적은 경우(사건 발생간격이 11도인 경우; 정보밀도=0.04)와 큰 경우(사건발생간격이 5도인 경우; 정보밀도=0.1)의 두가지로 나누어 작업이 쉬운 때와 어려운 때로 나누어 분석하였다.

본 실험에서 사용되는 독립변수와 종속변수를 정리하면 다음과 같다.

1. 독립변수

정보의 양(lev)	계기판의 수를 나타내는 변수 (3, 6, 9)
시스템의 진행속도(t)	바늘의 증가속도를 나타내는 변수 (1, 2, 3, 4, 5)
정보밀도 (nndeno)	난이도 및 작업의 처리순서를 나타내는 변수 (1, 2)

2. 종속변수

rt0	반응시간
er0	오동작의 수
los0	임무실패의 수

반응시간은 특정 계기판이 위험구역에 진입했을 때 이를 리셋할 때까지 소요되는 시간을 측정하였다. 오동작은 리셋시키기 위하여 누른 키가 다른 계기판의 스위치일 때로 정했으며 각 작업조건을 수행할 때 나타난 총 오동작의 수를 측정하였다.

임무실패는 위험구역에 진입한 계기판이 있는데도 이를 허용된 시간(위험구역에 진입한 후 바늘이 35도까지 증가할 때의 시간)내에 리셋시키지 못했을 때로 정하여, 각 작업조건을 수행할 때 나타내는 총 임

무실패의 수를 측정하였다.

특정 계기판이 위험구역에 진입할 때 이에 대한 피실험자의 반응과 관계없이 모든 계기판의 바늘은 계속 증가하여 모든 계기판을 리셋시키거나 또는 바늘이 180도까지 증가가 되면 한 작업조건에 대한 실험이 종료된다.

(3) 실험장치

본 실험에 사용되는 장비는 개인용 컴퓨터(IBM PC compatible 486 기종, 14인치 칼라 모니터, 101키보드)를 사용하였다. 피실험자는 컴퓨터 책상에 앉아서 오른손을 숫자 키패드에 얹어 놓고 모니터를 주시하면서 반응하도록 하였다.

(4) 감시 임무

피실험자는 모니터를 감시하면서 계기판의 바늘이 위험지역에 진입한 계기판이 있으면 해당 계기판의 스위치를 리셋시킨다. 예를 들어 9개의 계기판이 나타나면 바늘의 증가 위치가 위험 위치에 도달하는가를 계속해서 9개를 순환감시(scanning)해야 한다. 그러기 때문에 계기판의 숫자가 증가할수록 순환하며 감시해야 할 양이 많아지게 되며 또한 바늘의 증가 속도가 증가할수록 정보처리 용량(bandwidth)도 많이 요구된다. 여기에 긴급상황을 처리하기 위해, 즉 다음 위험 구역에 진입하는 간격이 짧게 되면 리셋 반응을 위해 시각적인 처리과정의 증대 및 리셋동작의 간격에 따른 반응동작이 많은 부하를 받게 된다.

이와 같은 임무는 세종류의 레벨(3, 6, 9개의 계기판 제시)과 다섯 수준의 시스템진행 속도(250+(0, 25, 50, 75, 100))에 따라 각각 15회의 작업이 요구되며 피실험자는 15종류의 작업을 모두 5회씩 2번 반복하게 된다. 피실험자는 1회 반복후 20분정도 휴식을 취하고 2회 반복을 시작한다. 이렇게 모두 10명이 동일한 과정을 반복하므로 전체적으로는 특정 레벨과 시스템속도에 100회의 임무가 재현된다.

감시작업은 고도의 집중력이 요구되는 임무이므로 주변의 정숙을 위해 차광막이 쳐진 조용한 장소에서 실험을 실시하였다.

(5) 피실험자에 대한 학습효과와 문제

본 실험에서는 하나의 작업조건을 한 피실험자가 10회 반복하므로 특정 작업조건에 대하여, 또는 전체 작업에 대하여 수행도가 학습효과로 인해 증가될 여지가 있다.

이처럼 학습효과와 같은 오염변수의 효과를 최소화하기 위하여 역균형법(counter balancing)을 사용했다. 역균형법(Martin,1986)은 독립변수외에는 어떤 변수도 실험의 결과에 영향을 주지 않도록 고려한 방법이다. 그러나 역균형법이란 것 자체가 오염변수가 있을 때 이를 제거하려고 하는 기본 개념이 있는 만큼 학습효과와 현상을 완전히 제거하였다고는 볼 수 없다. 그러나 독립변수의 각 수준의 조합을 고려하여 가장 쉬운 단계 후에 가장 어려운 단계를 시행토록 하여 학습으로 인한 효과가 다음 시행에 전이되는 영향을 최소화하려는 의도에서, 본 실험도 15가지의 수준조합을 어려운 경우와 쉬운 경우를 시행 순서에서 엇갈리게 취함으로써 순서로 인한 영향을 피실험자안에 포함시켰다.

학습현상은 일정한 숙달기간이 지나면 그 효과가 로그함수로 감소하므로 많은 예비시행을 거치면 안정된 상태로 도달하게 된다. 그러므로 본 실험에서도 실험의 데이터를 취하기 이전에 피실험자들을 충분히 예비훈련시키기 위해 3일마다 총 3회의 예비훈련을 시켰으므로 학습효과로 인한 영향을 최소화시키려 했다. 이렇게 하여 총 2실험일에 걸쳐 본 실험에 들어갔다.

5. 실험결과 및 분석

본 실험에서는 반응시간 (계기판 바늘이 위험구역에 진입했을 때부터 리셋할 때까지의 소요시간)과 오동작의 수(리셋키를 잘못 누른 경우) 그리고 임무실패(주어진 시간내에 리셋을 못한 계기판의 수)에 대한 데이터를 수집하였다. 그리고 독립변수로서 이용된 정보밀도는 쉬운 경우와 어려운 경우의 둘로 나누어 분석했다.

본 실험은 3개의 독립변수가 포함되어 각 종속변수에 영향을 주는 실험이므로 결과를 분석하기 위하여 SPSS/PC(Ver. 3.0)의 three way anova분석을 이용하였다.

각각의 독립변수에 대하여 평균치의 차이가 유의함을 분석해 보면 시스템 진행속도의 경우에는 $F(4,914)=0.325, p=0.861$ 으로서 유의하지 않음을 보이고 있다(Table 3). 즉 반응시간은 주어진 정보의 양

과 긴급함의 정도에 영향을 받아서 평균치의 차이가 유의하다는 결과를 보이고 있다.

일반적인 경우에는 반응시간이 시스템의 진행속도에 영향을 받고 있는데(Hancock and Caird, 1993) 긴급한 상황에서 감시제어를 할 경우에는 속도에 영향을 받지 않았다. 이는 여러 계기판을 동시에 감시하므로 각각의 계기판을 scanning하다보면 이미 위험구역에 진입한 것이 있어도 다른 계기판을 순차적으로 감시하는데 소요되는 시간이 있기 때문에 그 계기판을 다시 관찰할 시점에서는 이미 위험구역에 진입한 시간이 어느정도 경과한 후에 발견하게 되기 때문에 시스템의 진행속도에 영향을 받지 못하는 결과를 낳게 되었다.

반응시간은 정보량의 수준(lev)에 대하여 유의하기 때문에 이에 대하여 Duncan multiple test를 한 결과가 Table 4에 나타나 있다. 반응시간은 정보량 수준을 나타내는 계기판의 수에 따라 모두 유의적인 차이를 보이고 있다. 즉 정보량이 증가할수록 반응시간도 증가함을 알 수 있다(Fig. 4).

Table 3 ANOVA of reaction time(RT) by level(LEV) and time(T) and information density(NNDEN0)

SOURCE	SS	DF	MS	F	P
Main Effects	8392.612	7	1198.945	380.406	.000
LEV	3527.628	2	1763.814	559.630	.000
T	4.094	4	1.023	.325	.861
NNDEN0	71.692	1	71.692	22.747	.000
2-way					
Interactions	14.615	14	1.044	.331	.990
LEV T	5.285	8	.661	.210	.989
LEV NNDEN0	2.530	2	1.265	.401	.670
T NNDEN0	1.053	4	.263	.084	.987
3-way					
Interactions	16.937	7	2.420	.768	.615
Explained	8424.164	28	300.863	95.459	.000
Residual	2880.699	914	3.152		
Total	11304.863	942	12.001		

한편 반응시간과 정보밀도(NNDEN0)도 서로 유의한 차이를 보이고 있으므로 이에 대해 t-test를 한 결과(Table 5) 정보밀도가 큰 경우에는 반응시간이 약 3배정도 느려짐을 알 수 있다.

Table 4 Multiple range test of reaction time(RT0) by level

SOURCE	DF	SS	MS	F	P
Between Groups	2	12076.4991	6038.2495	1533.9432	.0000
Within Groups	1497	5892.8254	3.9364		
Total	1499	17969.3245			

Level	Mean	Subset
1	1.4265	{1}
2	3.8556	{2}
3	8.2806	{3}

교호작용에서는 two-way interaction과 three-way interaction이 존재하지 않았다 ($F=(14, 914)=0.331$: $p=0.990$, $F(7,914)=0.615$: $p=0.615$).

오동작을 나타내는 er0의 main effect를 알아보기 위해 F값을 보면 $F(7,914)=11.209$, $p=0.000$ 으로서 평균치에 유의한 차이가 있음을 알 수 있다(Table 6). 그러나 반응시간과는 달리 시스템 진행속도 ($F(4,914)=0.840$, $p=0.500$)와 정보밀도($F(1,914)=1.031$, $p=0.310$)는 오동작에 영향을 미치지 못했으며 단지

Table 5 Multiple range test of reaction time(RT0) by information density(NNDENO)

SOURCE	DF	SS	MS	F	P
Between Groups	1	4845.1147	4847.1147	705.7942	.0000
Within Groups	941	6459.7483	6.8648		
Total	942	11304.8629			

NNDENO	Mean	Subset
1	2.1099	{1}
2	6.7832	{2}

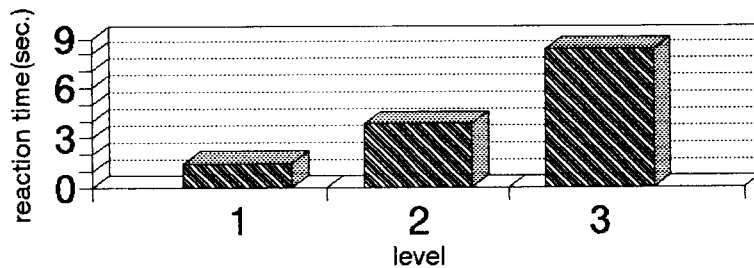


Fig. 4 Mean reaction times with respect to level

정보의 양($F(2,914)=23.319, p=0.000$)에 의해서만 수행도에 차이를 보이고 있다. 그러므로 오동작은 다루어야 할 조작장치(control device)의 수에 따라 증감하는 것을 알 수 있다. 즉, 오동작은 위험구역에 진입한 것을 감지하기는 했지만 신체의 제어가 올바르게 못해서 발생하는 것이므로 키패드 조작은 정보의 양에 따라 수행도가 차이가 난다.

Table 6 ANOVA of number of error(ER0) by level(LEV) and time(T) and information density(NNDENO)

SOURCE	SS	DF	MS	F	P
Main Effects	31.242	7	4.463	11.209	.000
LEV	18.569	2	9.285	23.319	.000
T	1.338	4	.334	.840	.500
NNDENO	.410	1	.410	1.031	.310
2-way					
Interactions	5.774	14	.412	1.036	.414
LEV T	3.249	8	.406	1.020	.419
LEV NNDENO	1.388	2	.694	1.743	.176
T NNDENO	.723	4	.181	.454	.769
3-way					
Interactions	3.445	7	.492	1.236	.280
Explained	40.461	28	1.445	3.629	.000
Residual	363.921	914	.398		
Total	404.382	942	.429		

정보량에 따른 오동작의 증감을 알아보기 위해 Duncan 다중범위 검정을 한 결과(Table 7) 정보량이 증가하면 오동작도 증가함을 알 수 있다. Fig. 6는 이에 대한 결과를 나타내고 있다. 오동작의 경우에도 two-way, three-way interaction은 존재하지 않았다($F(14,914)=1.036 : p=0.414, I$

F(7,914)=0.280 : p=0.280).

Table 7 Multiple range test of number of error (ERO) by level

SOURCE	DF	SS	MS	F	P
Between Groups	2	40.4440	20.2220	48.6801	.0000
Within Groups	1497	621.8620	.4154		
Total	1499	662.3060			

Level	Mean	Subset
1	0.1160	{1}
2	0.2340	{2}
3	0.5080	{3}

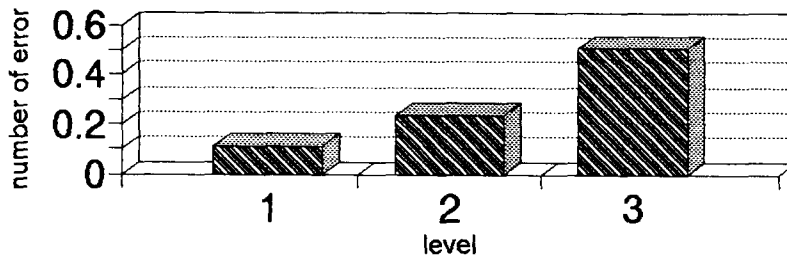


Fig. 5 Mean number of error with respect to level

Table 8을 보면, 제한시간내에 반응하지 못했음을 나타내는 los0도 평균의 차이가 있음을 알 수 있다 (F(7,914) = 8.576 : p=0.000). 각각의 독립변수별로 유의함을 살펴보면 정보의 양(F(2,914) =15.802, p=0.000)과 시스템의 진행속도(F(4,914)=2.347, p=0.053)는 평균치에 영향을 주었지만 정보밀도에 대해서는 유의함을 보이지 않았다(F(1,914)=0.395, p=0.530). 이는 반응에 유효한 시간이 제한되어 있기때문에 정보의 양과 시스템의 진행속도에 따라 수행도 차이를 보이는 것이다.

Table 8 ANOVA of number of failure(LOS0) by level(LEV) and time(T) and information density(NNDENO)

SOURCE	SS	DF	MS	F	P
Main Effects	2.619	7	.374	8.576	.000
LEV	1.379	2	.689	15.802	.000
T	.410	4	.102	2.347	.053
NNDENO	.017	1	.017	.395	.530
2-way					
Interactions	.874	14	.062	1.431	.132
LEV T	.373	8	.047	1.068	.383
LEV NNDENO	.017	2	.008	.190	.827
T NNDENO	.114	4	.028	.653	.625
3-way					
Interactions	.745	7	.106	2.440	.018
Explained	4.238	28	.151	3.469	.000
Residual	39.871	914	.044		
Total	44.108	942	.047		

6. 결 론

본 연구에서는 정보의 양과 주어진 시간 그리고 임무의 긴박한 정도를 대상으로 실험을 하였다. 실험을 통해 각 상황마다 반응시간, 오동작의 수, 임무실패의 수를 분석하였다.

일반적으로 긴급함을 요하지 않는 경우에는 주어진 시간의 크기에 따라 반응시간이 차이가 나지만 본 실험에서 처럼 여러개의 계기판을 동시에 감시해야 하는 경우에는 허용된 시간의 크기에 반응시간이 차이를 보이지 못했다. 이는 감시해야 하는 작업의 양과 상황의 긴박한 정도에 따라 주로 영향을 받는다는 의미이다. 그러므로 작업의 수행도를 향상시키기 위해서는 정보의 양을 줄여서 각 계기판을 scanning해야 하는 부담을 줄여 주는 방법이 필요하며 사건의 발생간격을 일정수준이상으로 유지할 수 있는 시스템의 설계가 요구된다. 우선 각종 전자센서(sensor)를 이용한다면 scanning의 부담을 줄일 수 있을 것이며 기술적으로 어려운 부분에서는 다중 작업자를 배치하는 것도 필요하다. 특히 비상시 사건 발생이 매우 짧은 간격으로 발생할 가능성이 높은 경우에는 비상체제하에서 인원 지원을 신속히 받아 감시작업자의 부하를 줄여주는 것이 필요하다. 긴급한 비상 상황이 발생할 경우 이와 같은 조치가 없다면 시스템의 안전도 문제는 긴급한 상황으로 전환된 시스템이 얼마나 빠른 속도로 악화되는가 보다는 (즉 t의 영향) 그 시스템에서 넘쳐나오는 정보를 얼마나 신속히 소화해 낼 수 있는가에 좌우된다고 볼 수 있다. 역설적으로 말하면 긴급시스템의 진행 상황이 시간적으로 천천히 일어나도 올바른 정보처리를 해내지 못한다면 중대 재해 사고로 전개될 수도 있다. 그러므로 시스템내의 여러 요소중에서 시스템 진행속도가 빠른 곳 보다는 처리해야 할 정보의 양이 많은 곳에 우선적으로 추가 인원 배치, 병렬 시스템화, 정보부하를 줄일 수 있는 각종 장비의 설치가 더 우선적으로 이루어져야 한다.

오동작은 그 행위의 결과가 시스템내에서 얼마나 영향을 미치는가에 따라 그 중요도를 정할 수 있다. 단순 오동작으로 끝난다면 다시 정상동작을 할 기회가 있지만 만일 스위치를 잘못 누른 것이 다시 회복할 수 없는 상황으로 진행된다면 문제가 커진다. 이럴 경우에는 하드웨어적인 반발을 인위적으로 설계하여 하나의 스위치를 누르는 것을 재확인할 수 있는 기회를 제공해야 한다.

임무를 성공하느냐 실패하느냐의 문제는 긴박함의 정도와 관계가 없다. 이는 주로 정보의 양과 주어진 제한시간에 영향을 받게 된다. 그러나 정보의 양이 너무 많거나 적을 경우에는 시간의 영향도 받지 못한다. 다시 말하면 정보의 양이 너무 많은 경우(lev=3 : 계기판의 수가 9개인 경우)에는 scanning에 소요되는 시간이 많기 때문에 임무실패의 수가 반응제한시간에 따라 차이를 보이지 못한다. 그러므로 정보의 양이 많은 경우에는 반응 제한 시간을 줄이는 노력보다는 정보의 양을 줄이는데 더욱 노력해야 함을 의미한다. 즉 scanning시간이 제한시간보다 작아지도록 해야만 임무실패를 줄일 수 있다.

參 考 文 獻

- Barber, A. T.(1990), "Visual Mechanism and Predictors of Far Field Visual Task Performance," Human Factors, 2, 51~61.
- Broadbent, D. E.(1971), Decisoin and stress, N.Y.,Academic Press.
- Fisk, A. D., and Rogers, W. A.(1990), "The Role of Situational Context in the Development of High-Performance Skills," Human Factors, 30, 703~712.
- Hancock, P. A. and Caird, J. K.(1993), "Experimental Evaluation of a Model of Mental Workload," Human Factors, 35(3), 413~429.
- Inagaki, Toshiyuki and Ikebe, Yasuhiko(1988), "A Mathematical Analysis of Human-Interface Configurations for a Safety Monitoring System," IEEE on Reliability, 13(1), 35~40.
- Martin, D. W.(1986), Doing Psychology Experiments(2nd Ed.), Cal., Brooks/Cole.
- Reason, J.(1987), "Categorization of human error," Intn'l J. of Man-Machine Systems, 88.
- Welford, A. T.(1968), Fundamentals of skill, London,Metheun.
- Wierwille, W. W. and Eggemeier, F. T.(1993), "Recommendation for Mental Workload Measurement in a Test and Evaluation Environment," Human Factors, 35,263~281.
- Williams, L. G.(1966), "Target Conspicuity and Visual Search," Human Factors, 8.
- Wilson, J. R. and Rutherford, A.(1989), "Mental Models : Theory and Application in human Factors," Human Factors, 31, 617~634.