

☒ 연구논문

반응시간제한시 제어작업의 디스플레이 시각효과 비교 -Comparison of Display Visual Effects in Control Task under Limited Reaction Time-

오 영 진*
Oh, Young Jin

Abstract

Work environments have been changed with the advent of new technologies, such as computer technology. However, human cognitive limits can't pace up with the change of work environment. Designing human-computer system requires knowledge and evaluation of the human cognitive processes which control information flow workload. Furthermore, under limited reaction time and/or urgent situation, human operator may the work stress, work error and resultant deleterious work environment.

This paper evaluate the visual factors of major information processing factors(information density, amount of information, operational speed of speed)on operator performance of supervisory control under urgent(limited reaction time)environments which require deleterious work condition.

To describe the work performance int the urgent work situations with time stress and dynamic event occurrence, a new concept of information density was introduced. For a series of experiments performed for this study, three independent variables(information amount, system proceeding speed, information density) were evaluated using five dependent variables.

The result of statistical analyses indicate that the amount of information affected on all of five dependent measure. Number of failure and number of secondary task score were influenced by both amount of information and operational speed of system. However reaction time of secondary task were affected by both amount of information and information density. As a result, the deleterious factors for the performances seemed to be a scanning time to supervise each control panel. Consequently, a new display panel was suggest to reduce operator work load for scanning task showing better operator performance.

1. 서 론

작업환경은 컴퓨터나 자동화등의 기술발전으로 인해 많은 변화가 생기고 있다. 기술이 새롭게 변천함에 따라 작업에 요구되는 조건도 많이 변화되는데 이러한 점은 작업자에게 더 많은

* 상지대학교 이공과대학 산업공학과

정신부하를 주게 된다. 감시제어작업의 경우가 그 한가지 예인데 감시제어작업은 다수의 제어판들을 각각 주시하며 제어판의 상태에 따라 작업자가 그에 적절한 제어를 해주어야 하는 작업이다. 이러한 감시제어작업은 근래들어 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.

인간이 수행하는 정신작업에 대한 정보처리 과정은 아직 명확히 규명되지는 못했지만 작업에 요구되는 정보를 처리하는 능력은 제한되어 있다는 것은 잘 알려진 사실이다. 정보의 경우 주어진 자극정보와 전달된 정보사이에는 정보의 손실과 잡음(loss and noise)으로 인해 차이가 생기게 된다(Wickens, 1984). 그러므로 정신작업을 수행하는데 있어서 과도한 인지적 부하는 작업오류와 저하된 수행도를 나타내게 된다.

근래에는 인간의 정신작업에 대한 많은 연구들이 정보의 형태와 양식(modality) 그리고 정보의 일관성에 초점을 두고 수행되고 있다(Wilson and Rutherford, 1989 ; Wierwille and Eggemier, 1993). 이러한 연구들은 자극정보의 양과 작업완수에 소요되는 시간에 관심을 두고 있다. 그러나 제한된 시간내에서 과도한 정신부하를 갖는 긴급한 상황의 경우에 인간의 수행도에 관련된 내용을 세밀히 파악하기는 어려운 일이다. 본 연구에서는 감시제어 상황에서 제한된 시간내에 과도한 정신작업을 할 경우 인간의 수행도를 분석하고 또한 이를 향상시킬 수 있는 디스플레이의 시각적인 효과가 갖는 영향을 알아보려고 한다.

2. 감시제어작업에서의 긴급상황 : 실험1

감시하는 작업은 두 종류가 있다. 하나는 자유반응분야(free response paradigm)이고 나머지는 검사분야(inspection paradigm)이다. 자유반응분야는 발전소의 제어용 모니터와 같이 목표사건(target event)이 시간적으로 임의의 때에 발생되며 비사건(non-event)은 따로 정의되지 않은 경우이다. 이 때 사건발생빈도(event frequency)는 단위시간당 발생된 목표사건의 수로 정의된다. 그러므로 감시제어작업의 경우 수행도는 정보가 제시되어 지속되는 시간, 정보의 복잡도 그리고 사건발생빈도 등에 영향을 받는다.

Welford(1968) 와 Broadbent(1971)에 따르면 이러한 상황에서 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.

2.1 실험방법 및 절차

1) 피실험자. 피실험자는 10명(남 6명, 여 4명, 평균연령 21.6세) 대학생이 자원으로 참여했다. 디스플레이를 모니터링하고 그에 따라 키보드로 반응을 하는 작업에 대해서 육체적으로나 시력상의 문제에 불편함을 호소하는 피실험자는 없었다. 피실험자들의 컴퓨터 사용경험은 모두 2년 이상이였다.

2) 장비. IBM PC 호환의 컴퓨터 10대(i586 cpu)와 15인치 모니터를 사용했다. 제어판은 모니터 상에서 구현되도록 c++로 프로그래밍 하였다. 반응을 위해 사용된 키보드는 표준형이었고 이중에서 number key pad 만 사용하였다. 감시작업은 고도의 집중력이 요구되는 임무이므로 주변의 정숙을 위해 차광막이 쳐진 조용한 장소에서 실험을 실시하였다.

3) 실험설계. 실험에서 사용된 독립변인과 종속변인은 Table 1에 나타나 있다. 실험에서 작업의 난이도를 조정하기 위해 시스템 진행속도(t:system proceeding speed), 제어판의 수

(lev:number of unit display) 그리고 사건발생간격을 변화시켰다. 공간적인 양립성(spatial compatability)을 제공하기 위해 number key pad만을 사용하여 제어판의 위치와 key의 위치를 일치시켰다(Chapanis & Lindenbaum, 1959). 각각의 제어판의 수는 3,6,9개로 증가시켜서 정보량을 늘렸다. 시스템의 진행속도는 5단계로 나누었고 각각의 속도에 따라 단위 제어판들의 계기침은 0도에서부터 증가하여 위험구간의 끝까지 진행되도록 하였다. 난이도에 따른 학습효과 문제를 최소화시키기 위해 역균형법(counterbalancing)을 이용하여 실험을 통제하였다.

정보밀도(nnden0:information density)는 비율척도로서 쉬운 단계(information density=0.04, long interval) 와 어려운 단계(information density=0.1, short interval)로 나누었다.

반응시간은 제어판의 계기침이 위험구역(붉은 색)에 진입했을 때부터 해당 키를 누를 때까지의 시간으로 정했다. 임무실패(los0)는 계기침이 위험구역을 이미 지났는데도 해당 키를 누르지 못한 것으로 정하여 그 수를 누적했다. 오동작(er0)은 위험구역에 진입한 제어판의 위치와는 다른 키를 누른 것으로 정하여 그 수를 누적하였다.

10명의 피실험자는 15종류(3 lev X 5 t)의 작업을 2일간 10회 수행하였다.

Table 1. Independent and dependent variables

Independent variables

Information amounts (lev)	Number of unit displays in control panel (3, 6, 9)
System proceeding speed (t)	Increasing speed of indicator (1, 2, 3, 4, 5)
Information density(nnden0)	Degree of difficulty (1, 2)

Dependent variables

rt0	reaction time of resetting the risk unit display switch
er0	number of errors resetting normal unit display switches
los0	number of failures to reset the risk unit display switch

4) 실험절차.

피 실험자는 컴퓨터용 책상에 앉아서 모니터를 응시하며 위험구역에 진입한 계기판의 스위치를 누르는 작업을 행했다. 계기판의 스위치는 모니터상의 계기판 위치(Fig. 1)와 공간적 양립성을 지니도록 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 계기판의 계기침이 증가하는 속도를 5단계로 놓았다. 여기서 계기침의 진행속도는 c언어에서 delay()함수를 사용하여 매 1도가

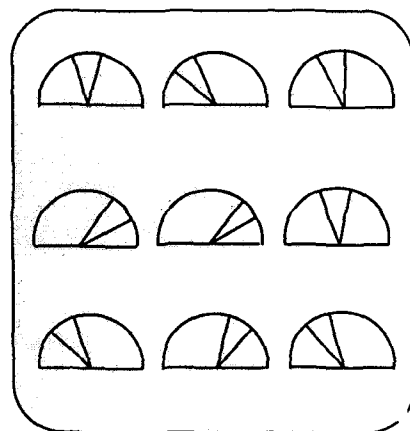


Fig. 1 Control panel display

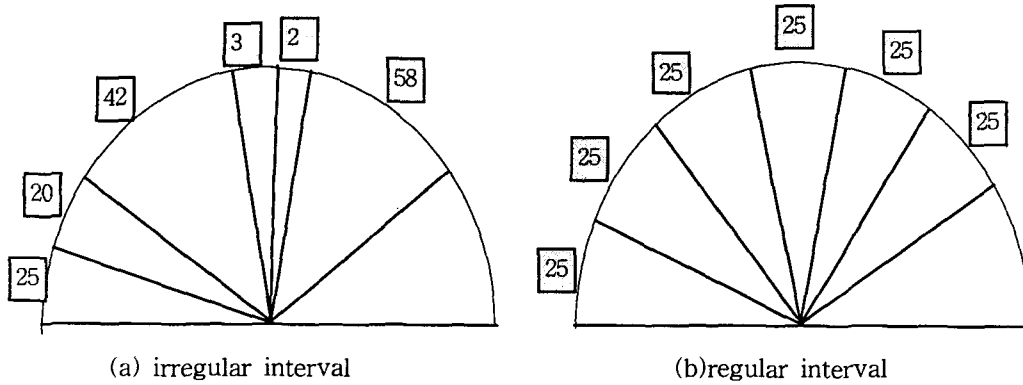


Fig. 2 Representation of information density(aggregated on six unit display)

증가할 때마다 delay(250ms+Time(i))로 설정하였다. Time(i)는 0ms, 25ms, 50ms, 75ms, 100ms으로 설정하여 총 다섯 단계의 시스템 진행속도를 갖도록 했다. 프로그래밍상에서 계기침은 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. 2는 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 리셋시킬수 있다. 여기서 이 촘촘한 정도를 정보밀도라고 표현했으며 각 수치를 지수함수에 대입한 후 평균치로 나타내었다.

$$\text{정보밀도} = \left(\sum_{i=1}^n e^{-\text{sqrt}(I_i)} \right) / n \quad (I_i: \text{사건발생간격}, n: \text{사건의 수})$$

Fig. 2를 보면 6개의 reset위치는 각각 다르게 나타나 있다. Fig.2(b)는 사건의 발생이 매 25도마다 동일한 간격으로 나타나 있지만 Fig. 2(a)는 사건의 발생간격이 넓거나 좁게 발생된다. 그러므로 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 정보량, 시스템 진행속도, 정보밀도의 세가지 독립변수로 구성되는 실험이다. 이 실험의 특징은 여러 종류의 정보밀도를 난수함수를 발생시켜서 얻으므로 정보밀도는 독립변수이면서도 비율척도의 성질을 지닌다. 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.

2.2 실험결과 및 분석

본 실험에서는 반응시간 (계기침이 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/PC의 three way anova분석을 이용하였다.

각각의 독립변수에 대하여 평균치의 차이가 유의함을 분석해 보면 시스템 진행속도의 경우에는 $F(4,914)=0.861$, $p=0.861$ 으로서 유의하지 않음을 보이고 있다. 즉 반응시간은 주어진 정보의 양과 긴급함의 정도에 영향을 받아서 평균치의 차이가 유의하다는 결과를 보이고 있다.

Table 2. Anova of reaction time by information amount(lev), system proceeding speed(t) and information density(nnnden0)

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		

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. 교호작용(two-way and three-way interaction)은 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. 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 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. 오동작의 경우에도

two-way, three-way interaction은 존재하지 않았다($F(14,914)=1.036$: $p=0.414$, $F(7,914)=0.280$: $p=0.280$).

제한시간내에 반응하지 못했음을 나타내는 los0도 평균의 차이가 있었다($F(7,914) = 8.576$: $p=0.000$). 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 있기 때문에 정보의 양과 시스템의 진행속도에 따라 수행도 차이를 보이는 것이다. 그런데 정보의 양을 일정한 수준으로 고정시킨 후 분산분석을 해보면, lev=3일 때($F(5,229)=1.349$, $p=0.245$)는 유의하지 않음을 보이고 있다. 그리고 lev=1 일 때는 작업의 부하가 쉬운 상태이므로 임무실패는 없었다. 즉 작업에서 처리해야할 정보의 양이 적은 경우와 너무 많은 경우에는 임무실패가 시스템의 진행속도와 긴급함의 정도에 영향을 받지 못했음을 알 수 있다. 반면에 lev=2 일 때는 시스템의 진행속도에 따라 평균치의 차이가 유의했다($F(4,252)=2.144$, $p=0.076$).

일반적으로 긴급함을 요하지 않는 경우에는 주어진 시간의 크기에 따라 반응시간이 차이가 나지만 본 실험에서처럼 여러 개의 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.

3. 부수작업에서의 수행도 : 실험 II

여러 작업을 동시에 수행하는 경우에는 인간의 인지과정은 시분할(time sharing)을 이용한다. 본 장에서는 이러한 개념을 resource라는 개념으로 적용하여 분석을 한다(Norman & Bobrow : 1975)

시분할을 하게 되면 동시작업을 하는 경우 주의력의 분산으로 인해 수행도가 떨어지는 현상이 있다. 즉 인지과정이나 반응 동작을 행할 때 모두 인간의 한계점이하에서만 수행도가 제한을 받게 된다. 특히 두 작업이 구조적인 유사성을 지니고 있을 경우에는 그 수행도는 작업간의 간섭영향으로 인해 더욱 감소하게 된다(Dixon : 1991)

일반적으로 익숙한 작업에서 긴급한 작업으로 갑자기 전환되는 경우 먼저 행하고 있던 작업의 종료가 있어야 하며 또한 긴급작업 자체가 하나의 일로만 구성되지는 않고 동시에 다른 긴급한 작업을 함께 수행해야 하는 경우를 고려하기 위해서이다. 예를 들어 운전을 하는 도중에 긴급 돌발 사태가 발생할 경우 자동차는 계속 움직이고 있는 상태이므로 그 상태를 계속 유지하던가 또는 정지 상태로 만드는 동시에 긴급돌발 사태의 정보를 받아들이고 이를 처리해야 하는 이중작업의 부담이 있게 된다. 그러므로 실험 I 을 좀더 사실적인 상황으로 묘사하기 위해 본 장에서는 계기판 감시제어 작업 외에 간단한 부수작업을 주고서 수행도를 분석한다. 이 경우 실험 I 에서의 수행도와 비교하여 부수작업으로 인한 정보부하 및 수행도 감소 영향을 보고 긴급한 상황에서 부수작업에 대한 설계를 어떻게 할 것인지 알아보도록 한다.

3.1 실험방법 및 절차

본 실험은 실험 I 과 동일하게 진행된다. 다만 계기판의 감시작업을 하면서 모니터의 하단부에 나타나는 5개의 사각형중에서 빨간색의 수를 입력하는 동작이 추가되었다. 피실험자는 계기판을 scanning 하면서 위험지역에 진입한 계기판이 없는 경우에 모니터 하단부의 5개 사각형을 관찰한 후 키보드 입력을 한다. 만일 제시된 빨간색 사각형의 수와 입력된 수가 같은면 다섯개의 사각형은 우로 다섯칸 이동한 후 랜덤한 수의 빨간색 사각형을 다시 제시한다. 만일 피실험자가 계기판 감시작업으로 바쁘다면 부수작업은 그만큼 지연될 것이며, 부수작업의 반응시간도 이에 영향을 받을 것이다.

rtl	반응시간
erl	오동장의 수
losl	임무실패의 수
ssl	부수작업 성공횟수
srtl	부수작업 평균반응시간

피실험자는 우측손가락으로는 계기판의 스위치를 조작하고 좌측 손가락은 키보드 상단의 숫자키로 부수작업에 대한 반응을 하도록 하였다. 모니터에 나타나는 화면은 Fig.3과 같다.

부수작업에서는 사각형이 제시된 후부터 맞는 수의 키입력이 있을 때까지 걸리는 시간을 반응시간으로 했다. 이러한 반응시간은 독립변수인 정보량(lev)과 시스템의 진행속도(t) 그리고 정보밀도(mndenl)의 영향을 받을 것이다. 그러나 각 독립변수에 대해서 동일한 가중치를 받으며 변화할 것인지는 확실치 않다. 본 실험을 통해 주작업의 부하에 따라 부수작업의 수행도에 미치는 영향을 살펴보고자 한다.

부수작업의 수행도를 측정하는 또하나의 기준으로 주작업의 임무가 완료될 때까지 빨간색의 수를 옳게 입력한 갯수(ssl)를 기록하였다. 즉 정보부하에 따라 과연 몇개의 처리능력을 지녔는지 분석하였으며 부수작업의 반응시간(srtl)은 임무수행을 완료할 때까지 총반응시간

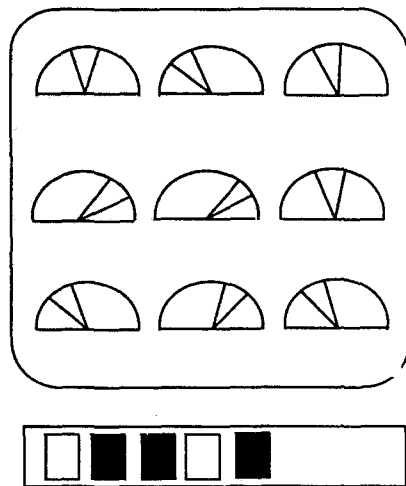


Fig. 3. Control panel display

의 평균을 구하여 기록하였다. 이렇게 하므로써 어떤 특정 레벨(lev)에서 특정 진행속도(t)에 따라 몇개를 맞추었으며 이에 소요된 평균 반응시간을 알 수 있다.

본 실험은 반응시간과 오동작의 수 그리고 임무실패에 대한 데이터를 기록하였으며 부수작업에 대해서 성공횟수와 평균 반응시간을 측정하였다.

3.2 실험결과 및 분석

우선 독립변수의 영향을 알아보기 위하여 three-way anonova 분석을 한 결과 종속변수들은 모두 주효과에 대해 평균의 차이가 유의적으로 나타났으며 los1은 정보량(lev)과 진행속도에 대하여 interaction이 존재하였다. 또한 srt1은 정보의 양(lev)과 정보밀도(nnden1)에 대하여 interaction이 존재함을 알 수 있다. 그러나 three-way interaction은 존재하지 않았다. 주작업의 반응시간 (rt1)을 보면 평균치의 차이에 대한 main effect가 유의함을 나타내고 있다($F(7,887)=258.306$,

Table 3. Anova of reaction time(rt1)by level(lev), time(t) and information density(nnden1)

SOURCE	SS	DF	MS	F	P
Main Effects	11077.568	7	1582.510	258.306	.000
LEV	5669.031	2	2834.516	462.666	.000
T	43.472	4	10.868	1.774	.132
NNDEN1	11.956	1	11.956	1.951	.163
2-way					
Interactions	63.377	14	4.527	.739	.736
LEV T	35.558	8	4.445	.725	.669
LEV NNDENI	.892	2	.446	.073	.930
T NNDENI	23.042	4	5.760	.940	.440
3-way					
Interactions	14.616	7	2.088	.341	.935
Explained	1155.561	28	398.413	65.031	.000
Residual	5434.192	887	6.126		
Total	16589.752	915	18.131		

$p=0.000$) 그러나 시스템 진행속도(t)는 다른 독립변수와는 달리 평균치의 차이를 나타내지 못하고 있다($F(4,887)=1.774$, $p=0.132$). 이는 실험 I과 같은 결과로서 긴급한 상황에서는 반응시간이 시스템의 진행속도에 영향을 준다고 할 수 없었다. 아마도 이는 여러개를 동시에 관찰하는 감시작업의 특징 때문에 나타나는 현상이라고 보인다.

정보밀도도 반응시간에 영향을 주지 못했는데($F(1,887)=1.951$, $p=0.163$), 이는 실험 I과 다른 결과를 보이는 현상이다. 동시에 수행하는 작업이 있기 때문에 긴급한 상황을 제대로 반영하지 못하고 있다는 사실을 알 수 있다. 실험 I에서는 반응시간이 긴급함의 정도에 따라 증감하지만 동시수행 하는 작업이 있을 때에는 작업 부하가 증가하기 때문에 피실험자가 사전발생 간격의 차이에 반응하는 능력이 한계점에 도달하였음을 알 수 있다.

오동작의 경우에는 오직 정보의 양에만 유의함($F(7,887)=39.373$, $p=0.000$)을 나타내고 있다. 이는 부수작업이 없는 실험 I과 같은 결과로서 긴급상황시 감시제어작업을 하는 경우에 발생하는 오동작은 모두 단순한 조작상의 실수라고 볼 수 있다. 그러므로 오동작을 예방하기 위해서는 정보의 양을 감소시키는 일이 우선적으로 이루어져야 함을 알 수 있다.

임무실패를 나타내는 los1을 분석해 보면 정보의 양($F(2,887)=40.355$, $p=0.000$)과 시스템의 진행속도($F(4,887)=4.528$, $p=0.001$)에 영향을 받고 있을 뿐 정보밀도($F(1,887)=0.347$, $p=0.556$)에 대해서는 영향을 받지 않았다. 그리고 two interaction을 보면 역시 정보의 양(lev)과

Table 4. Comparison of experiment I and experiment II

	reaction time	error	lost	ss	srt
Information amount	**	**	**	**	**
Sys.Proc.time	no	no	**	**	no
Information density	no	no	no	no	**
(result of experiment II)					
	reaction time	error	lost	** : p<0.001 * : p<0.05	
Information amount	**	**	**		
Sys.Proc.time	no	no	*		
Information density	**	no	no		
(result of experiment I)					

시스템 진행속도(t)에 대해서만 존재했다

($F(14,887)=2.317, p=0.018$). 다시 말하면 임무성공의 관건은 위험을 감지하고 이를 처리할 수 있는 허용시간에 달려있으므로 그 시간치를 늘려줄 수 있다면 임무실패는 크게 줄일 수 있다고 본다. 그러나 이러한 점은 시스템의 하드웨어적인 면에 제약을 받기 때문에 다른 방법에 의한 제한시간 확대효과를 연구해야 한다.

부수작업의 성공횟수(ss1)를 보면 main effect는 유의했다($F(7,887)=83.508, p=0.000$). 그러나 각각의 독립변수에 대한 분산분석 결과를 보면 정보밀도의 경우에는 $F(1,887)=0.640, p=0.424$ 로서 유의하지 못했다. 그리고 two-way interaction($F(14,887)=0.798, p=0.672$)과 three-way interaction($F(7,887)=0.637, p=0.725$)는 존재하지 않았다.

부수작업은 주작업을 행하고도 남은 resource가 있을 때 수행이 가능한 일이다. 피실험자의 여력이 정보밀도에 영향을 받지 못한다는 것은 긴급 시 적절한 대응을 할 여력이 있으면서도 이를 사용하지 않았다는 의미이다. 시스템이 위험한 상태에 돌입하고, 또 그 제한 시간도 촉박할 때 인간의 정보처리 능력은 이를 따라가지 못하기 때문에 정신적인 여력이 있으면서도 어떻게 이를 효율적으로 사용할 것인가에 대해서는 속수무책이 되고 마는 일이다. 이는 인간의 정보처리 용량을 초과하는 긴급한 일에 대해서는 인간의 resource가 효율적으로 할당되지 못하고 있음을 보여준다고 하겠다.

부수작업의 신속성을 나타내는 부수작업 평균반응시간(srt1)을 살펴보면 main effect는 유의($F(7,887)=28.902, p=0.000$)했지만, 독립변수를 개별적으로 보면 시스템 진행속도에 대해서는 유의하지 않았다($F(4,887)=1.036, p=0.387$). 즉 관찰해야 할 계기판의 수가 많아질 경우와 긴급함의 정도에 따라 부수작업의 신속성이 유의적임을 알 수 있다.

단독작업을 행한 실험 I 의 결과치와 실험II 의 결과치를 각 종속변수에 따라 t-test로 분석해 보았다. 두 작업의 난이도가 다를 경우에는 어느 한쪽에서 사용하는 여력을 보다 어려운 작업을 행하는 곳에 투입하게 되며 이 때 시분할(time sharing)을 이용한다.

Table 4에서 나타나듯이 모든 종속변수들이 두 실험결과치의 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 특히 table의 아랫부분은 정보밀도가 작은 경우(nnden0=1 and nnden1=1)와 정보밀도가 큰 경우(nnden0=2 and nnden1 =2)로 나누어서 t-test를 했다.

우선 반응시간간의 차이를 보면 단독작업에 대한 동시작업의 수행도는 61%의 감소를 보이고 있다. 특히 정보밀도가 작은 경우에는(nnden0=1,nnden1=1) 동시작업의 반응시간이 단독작업 반응시간보다 1.28배로 늘어난 것을 알 수 있다. 그러나 정보밀도가 큰 경우(nnden0=2, nnden1=2)에는 반응시간이 44%증가했다. 이는 단위시간당 처리해야 할 작업의 수가 증가함에 따라 resource-limited 현상을 나타내고 있음을 의미한다.

오동작의 경우에는 부수작업으로 인해 약 2.14배 증가하였다. 부수작업을 하는 경우 주작업과 마찬가지로 모두 시각적인 감지를 해야 하고 또 양손이 모두 다른 위치의 숫자를 키를 입력하기 때문에 이로 인한 유사한 작업 (손가락으로 키보드 입력) 효과를 나타내므로 서로에게 작업 간섭이 일어나 수행도가 저하되었다. 이는 기존의 연구와 같은 결과를 보이고 있다

(Kerr : 1973). 임무실패를 나타내는 los0는 작업조건이 쉬운 단계에서는 단독작업인 경우에는 거의 없었으나 los1은 los0보다 큰 차이를 보였으며 이는 정보밀도가 증가할 때 함께 증가하고 있음을 보이고 있다.

Table 5. T-test between single and double task

	mean	d-mean	t-val.	2-tail prob.
rt0	4.5209			
rt1	7.2722	-2.7513	-34.97	.000
er0	.2860			
er1	.8973	-.6113	-15.81	.000
los0	.0307			
los1	.3207	-.29	-15.16	.000

4. 시각효과 추가시 수행도 : 실험 III

4.1 실험방법 및 절차

긴급처리를 요하는 감시작업에서는 각 계기판은 일일이 순환하며 감시해야하는 점 때문에 큰 정보부하를 받는다. 그러므로 scanning을 마친 계기판이 위험구역에 진입했어도 다른 계기판을 scanning하고 있는 중이라면 리셋을 위한 반응시간은 해당 계기판을 다시 scanning 한 후의 시간간격이 생기기 때문에 자연스럽게 반응시간도 늦어진다. 또한 scanning에 소요되는 시간이 제한시간보다 커질 경우에는 임무실패의 가능성은 그만큼 커질 것이다.

실제로 피 실험자들이 어떤 방식으로 계기판을 감시하는지는 알 수 없지만 scanning시간을 줄인다면 수행도는 크게 향상될 수 있을 것이다. 이러한 점에 착안하여 본 장에서는 여러개의 계기판을 감시해야 하는 부담을 줄이기 위해 소프트웨어적으로 위험구역에 진입한 계기판이 있으면 색상이 현격하게 변하도록 하여 다른 작업을 병행하고 있어도 쉽게 리셋할 수 있도록 고안하였다. 그리고 이 단계에서도 동시작업은 계속해서 수행하도록 하여 주작업 및 부수작업의 수행도가 함께 향상되는 디스플레이의 설계를 제시한다.

실험의 조건과 장비는 모두 실험 II에서 행한 실험과 동일하다. 단 계기판중에서 위험구역에 진입한 것이 있다면 계기판의 내부를 검은색으로 변하게 하여 시각적인 자극을 극대화했다. 이처럼 scanning에 따른 부하를 줄여주게 됨으로써 피실험자는 부수작업의 수행도를 위해 더 많은 resource를 할당할 수 있게 되었다(Fig. 4).

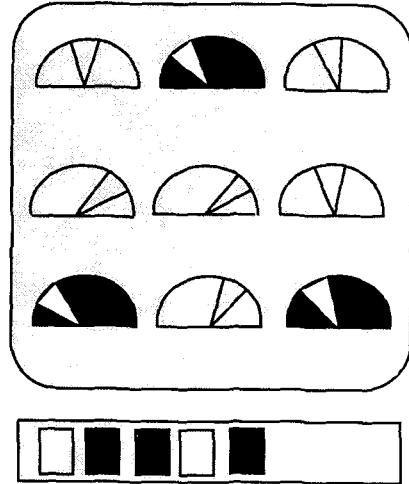


Fig.4 Control panel display with visual effect

4.2 실험결과 및 분석

반응시간인 rt_2 를 보면 유의적인 차이를 보이고 있다($F(7,904)=399.637, p=0.000$). 독립변수에 대해 개별적으로 보면 실험 I과 실험 II의 결과와는 달리 시스템의 진행속도도 반응시간에 영향을 주었음을 알 수 있다($F(4,904)=2.769, p=0.027$). 또한 정보의 양을 $lev=1,2,3$ 으로 고정시켜서 정보밀도와 시스템의 진행속도에 대하여 반응시간을 분석해보면 $lev=2$ 인 경우에 대해서만 $F(5,274)=3.593, p=0.004$ 로서 유의함을 보이고 있다. 이는 실험II의 결과와 다른 점이다. 실험 II에서는 정보량을 고정시키고서 정보밀도와 시스템의 진행속도에 대하여 반응시간이 유의하지 않았다. 그러나 정보 부하량을 줄인 본 장의 실험에서는 정보량이 너무 적거나($lev=1$) 많은 경우($lev=3$)에 대해서는 반응시간이 유의하지 못했다.

임무실패를 나타내는 los_2 의 경우를 보면 two-way interaction이. (정보의 양 X 정보 밀도)사이에서 존재한다 ($F(2,904)=3.870, p=0.021$). 기존이 디스플레이로 작업을 할 경우에는 (정보의 양 X 진행속도)에서만 교호작용이 있던 것과 비교해 보면 정보부하가 줄었을 때에는 제한시간보다는 긴급한 정도에 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 이는 시스템의 내재적인 하드웨어의 특성상 제한시간을

Table 6. Comparison of experiment III and experiment II

	reaction time	error	lost	ss	srt
Information amount	**	**	**	**	**
Sys.Proc.time	*	no	*	**	*
Information density	**	no	no	*	**
(result of experiment III)					
Information amount	**	**	**	**	**
Sys.Proc.time	no	no	**	**	no
Information density	no	no	no	no	**
(result of experiment II)					

확대하기 어려운 고충을 새로운 디스플레이상에서 소프트웨어적으로 보조했다는 효과가 있다. 오동작은 앞의 두 실험과 마찬가지로 정보의 양에 영향을 받는 것으로 나타났다(F(2,904)=21.815, p=0.000). 그러므로 오동작을 줄이기 위해서는 효율적인 입력장치가 필요하며 입력시 재확인(confirmation)의 과정을 삽입한다면 도움이 되리라 본다.

부수작업의 신속성을 나타내는 srt2는 main effect도 유의했으며 모든 독립변수에 대하여 다 유의한 차이를 나타냈다(F(7,904)=43.804, p=0.000). 이는 실험II와는 차이가 나는 점으로서 새로운 디스플레이가 부수작업이 독립변수의 조건에 따라 일관적인 변화를 나타내었음을 말해준다. 즉 정보부하가 줄어들어서 주작업에 투입해야 할 resource의 양이 적어지는 만큼 부수작업 쪽으로 유입되는 시분할(time sharing)현상을 나타내고 있다.

본 실험에서 얻어진 데이터를 실험 II와 t-test 분석을 해 보았다. 모든 종속변수들의 평균치가 유의한 차이를 보였다.

반응시간은 약 17%정도 감소하였다. 즉 새로운 디스플레이가 긴급상황으로 인한 정보부하를 많이 줄여주어서 반응시간의 수행도를 향상시켰음을 알 수 있다.

오동작의 경우에는 32%의 감소가 있었다. 임무실패는 70%가 줄었으며, 부수작업의 성공횟수는 정보밀도가 높은 경우에 크게 증가함(94%)을 보였으므로 정보부하가 적은 새 디스플레이 상에서의 작업이 실험II보다 부수작업으로 resource를 더욱 많이 가져다가 사용했음을 말해준다.

부수작업의 반응시간은 49%가 증가하였다. 그리고 정보밀도가 낮은 경우에는 236%나 증가하였지만 정보밀도가 높아지자 오히려 55%가 감소하였다. 이를 보면 부수작업의 반응시간은 정보부하가 감소하면 반대로 증가함을 알 수 있다. 그러므로 부수작업의 반응시간은 정신작업의 여력을 나타내고 있음을 알 수 있다. 즉 부수작업 반응시간이 늘어나면 여력이 더 생겼음을 의미한다.

Table 7. T-test between single and double task

	mean	d-mean	t-val.	2-tail prob.
rt1	7.2722	1.2550	16.33	.000
rt2	6.0172			
er1	.8978	.2907	7.07	.000
er2	.6067			
los1	.3207	.2240	11.54	.000
los2	.0967			
ssl	5.0493	-2.5727	-31.16	.000
ss2	7.6220			
srt1	2.1290	-1.0363	-8.67	.000
srt2	3.1653			

5. 결론

일반적인 경우 정보처리 작업은 시간적인 제약과 정보처리의 양에 제약을 받게 된다. 그러므로 이에 따라 수행도 또한 영향을 받게 된다.

본 연구에서는 감시제어 작업에서 긴급한 상황을 설정하여 이에 대한 실험을 통해 정보밀도의 개념을 도입하여 긴급한 상황의 묘사를 시도했으며 정보의 양을 줄이므로서 긴급한 정도를 감소시키는 디스플레이를 설계하였다.

새로운 디스플레이의 효과로 전반적인 수행도의 향상을 가져왔으며 긴급한 상황에서 이를 감지하고 정확하고 신속한 반응이 가능하였다.

긴급한 상황에서는 인간이 반응은 인지적인 한계량보다도 적은 수행도를 나타냈는데 이는 갑자기 주어진 정보의 양과 정보밀도의 크기 때문인 것으로 분석되었다.

정보밀도는 긴급한 상황을 정량화한 값으로서 이는 작업의 처리 순서의 의미도 갖는다. 정보부하가 많아질 경우 인간의 반응은 작업의 처리 순서를 무시하는 경향이 있으며 특히 감시작업에서 감시해야 할 작업의 양이 많을수록 인간의 수행도는 줄어들게 된다.

추후로 본 연구에서 제시한 디스플레이의 설계 외에도 인간의 정보감지 모드를 이용한 새로운 감시장비로서 고정밀 센서 등을 이용한 정보부하감소용 기구의 설계가 요청된다고 본다.

REFERENCES

- Broadbent, D. E.(1971), *Decision and stress*, N.Y., Academic Press.
- Chapanis, A., and Lindenbaum, L. E.(1959, november), "A Reaction Time study of Four Control-Display Linkages," *Human Factors*, 1~7.
- Dixon, P.(1991), "Learning to Operate Complex Device :Effects of Conceptual and Operational Similarity", *Human Factors*, 33(1)
- 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.
- Kerr, B.(1973), "Processing Demands During Mental Operations", *Memory and Cognition*, 1.
- Norman, D., and Bobrow, D.(1975), "On data-limited and resource-limited processing," *Journal of Cognitive Psychology*, 7.
- Welford, A. T.(1968), *Fundamentals of skill*, London, Methuen.
- Wickens, D. C.(1984), *Engineering Psychology and Human Performance*, Ohio, Charles E. Merrill Co.
- Solso, R. L.(1991), *Cognitive Psychology*, MA., Allyn and Bacon.
- Wierwille, W. W. and Eggemeier, F. T.(1993), "Recommendation for Mental Workload Measurement in a Test and Evaluation Environment," *Human Factors*, 35, 263~281.
- Wilson, J. R. and Rutherford, A.(1989), "Mental Models : Theory and Application in human Factors," *Human Factors*, 31, 617~634.
- Woodworth, R. S., and Schlossberg, H.(1965), *Experimental Psychology*, N.Y., Holt Rinehart and Winston.