

PANEL 제어작업에서의 인적오류에 관한 연구

(The Detection and Estimation of Human Errors in the Control Task with Panels)

부진후* 이동춘*

I. 서론

인간-기계 시스템이 점차적으로 복잡하고 거대해짐에 따라 인간-기계 계면(man-machine interface)에서의 인간은 근운동을 요하는 육체적 작업에서 경계(vigilance), 제어(control), 감시(monitoring), 추적(tracking) 등 정신적 업무로 그 역할이 전이되는 등 시스템내에서의 인적요소의 중요성이 더욱 증가되고 있다. 이러한 시스템내에서의 주된 계면은 표시장치(display)와 제어장치(control)들이며, 이들에 대한 인간공학적 설계와 배치가 효율적인 인간-기계 계면의 중요한 설계 요인이 된다.

본 연구에서는 동일한 작업에 대해 서로다른 배치를 가진 4개의 컴퓨터 시뮬레이션 표시장치 panel 실험을 통하여 panel 제어 작업에서의 표시장치와 제어장치의 설계형태나 배치에 따라 발생하는 인적오류를 정량적으로 예측, 검출하는 것을 그 목적으로 한다. 그리고 각 panel에 따른 수행도 척도로서 작업수행시간(operation time)과 오류율(error rate)을 검출하고, 그 결과에 의한 인적오류 예측모형을 제시하여 인적오류를 감소시키는 보다 나은 panel을 설계하는데 활용가능하게 하고, 더 나아가서는 인간신뢰성 기법에 적용시킬 수 있도록 기초자료를 분석하고 제시하고자 한다.

1. 표시장치의 배치

표시장치는 시스템의 상태를 시의적절하게 표현하는 장치이며, 그 표현된 자료는 인간이 그에 따른 조치를 취하든, 취하지 않든 인간에게 매우 유용한 정보로 인식되어진다.¹⁾ 이러한 표시장치의 형태와 그 장치가 나타내는 정보량, 크기 등을 통하여 인간은 정보를 전달받고, 표시된 정보를 어느 정도 잘 읽을 수 있느냐에 따라 인적오류율(human error-rate)이 명백하게 달라지기 때문에 어느 특정한 작업을 수행하는 작업자가 정보를 쉽게 판독할 수 있도록 특정한 표시장치에 대한 인간공학적 연구가 지속적으로 이루어지고 있다.

표시장치 및 제어장치에 대한 인간공학적 연구는 검출성(detectability)을 위한 설계모수 즉, 형태, 표시장치의 눈금과 같은 개별적인 요소뿐만 아니라, 작업자의 신체적 특성과 각 단위 작업의 중요도를 고려하여 각 개별요소의 배치에 관한 인간공학적 연구도 중요시 된다. panel을 배치하는 데는 다음의 4가지 기준이 있고 panel설계에 있어 이들 기준들이 동시에 만족되도록 설계되고 배치되어야 한다.

* 동아대학교 산업공학과

- (1) 사용의 절차(sequence of use) : 일반적으로 좌에서 우, 위에서 아래로의 고정된 작업 순서에 따라 장치들을 배치한다.
- (2) 사용의 빈도성(frequency of use) : 가장 빈번하게 사용되는 제어장치나 표시장치는 작업자와 가장 가까이 위치하여야 한다. 그렇게 함으로써 탐색시간(search time)을 최소화하고 오류를 감소시킬 수 있다.
- (3) 사용의 중요성(importance of use) : 가장 중요한 것이 가장 많이 사용된다라는 개념에서 (2)의 빈도성과 중요성은 같은 의미를 가질 수 있으나, 경고등과 같은 것은 매우 중요한 장치임에도 불구하고 가장 적게 발생하기를 기대한다.
- (4) 사용의 기능성(function of use) : 같거나 유사한 기능을 하는 장치들은 그룹화되어야 한다.

또한 이들 기준 중 어느 한가지 기준에 의해 그룹화된 표시장치와 제어장치는 그 하부그룹(sub-group)내에서 또 다른 기준에 의해 배치될 수 있다. 이것은 표시장치나 제어장치로 수행되어야 할 업무를 설계자가 명확히 이해할 때만이 가능하다.

Pulat와 Ayoub은 선자세의 작업자에 대한 제어공정에서 설비 panel 설계 전문가의 주관적인 추천사항과 Operations Reserch에 의해 전산화하여 제어 panel에 대한 인간공학적 배치를 산출하였다(LAYGEN). Banks와 Boone는 가장 빈번하게 사용되고 가장 중요하게 사용된 그룹은 작업자가 가장 쉽게 조작(access)할 수 있어야 한다는 개념에서 작업자의 조작용이성을 계산해 내는 AI(accessibility index)를 산출하는 수학적 모형을 제시하였다.

또한 Helander는 정보의 유사성과 근접성에 따른 Gestalt 이론에 의존하여 표시장치의 기하학적 배치에 대하여 연구하였고, Armstrong과 Hoffmann은 복잡한 표시장치의 설계에서 가장 중요한 요인은 표시장치와 관련된 작업자의 반응, 혹은 복잡한 시스템 내에서 관련된 표시장치의 요소들 간의 관계에 대한 양립성(compatibility)에 대해 연구하였고, 이것과 관련하여 Seminara와 Smith는 복잡한 표시장치의 요소간에 대한 인간의 인지 관계의 정도를 증가시키는 방법을 고려하였다.

2. 인적오류 예측 방법

인적오류(human error)는 간략하게 '구성요소로서의 인간의 의도된 활동(혹은 결과)에서의 이탈'이라고 정의되어지나, 많은 연구들은 이론적으로 오류발생 현상에 중점을 두었으며 또한 오류는 발생 메카니즘에 의해 다양하게 나타나기 때문에 정확하게 정의를 내리기는 어렵다.

인적오류는 작업자의 경쟁심, 작업자의 정신과 동기, 시간의 제약, 환경 등과 같은 수행도형상인자(PSF ; performance shaping factor)라 불리는 여러가지 복잡한 요인에 의해 다양하게 발생한다. 이러한 기여요인의 특성은 인적오류의 정의와 마찬가지로 그 주변상황에 크게 의존하는 경향이 있어 기여요인의 일반적인 분류는 어려우나 잠재적인 기여요인을 정의하기 위한 여러가지 기준이 제시되고 있으며, 그 중 Rouse와 Rouse는 다음과 같이 기여요인을 4가지로 분류하였다.

- (1) 인간의 한계(inherent human limitation) : 교육과 경험 등에 의한 작업자의 업무에 대한 지식(knowledge)과 자기만족, 작업자간의 인간관계 등의 태도적(attitudinal)요인으로 구분된다.
- (2) 시스템의 한계(inherent system limitation) : 표시장치와 제어장치의 설계, 작업절차의 설계, 시뮬레이터의 수준 등으로 구분한다.
- (3) 기여상황(contributing conditions) : 소음, 과다한 업무량, 작업의 질 등 작업의 환경적 요인을 의미한다.
- (4) 기여사건(contributing events) : 작업자의 주의산만, 신호의 오인, 갑작스런 설비의 고장 등 인적오류를 일으킬 수 있는 가능성이 잠재되어 있는 사건을 의미한다.

초기의 시스템 신뢰성 분석에 있어서 시스템의 신뢰도 예측은 단지 설비 부분에서만 고려되었다. 그러나 전술한 바와 같이 인간은 거대한 장치의 감시자와 조정자로서 그 역할이 증대됨과 동시에 표시장치를 통해 감지하고 처리해야 될 정보량이 늘어남에 따라, 그만큼 인적오류 발생의 가능성과 그에 따른 영향은 더욱 더 커지고 있다. 따라서 인적요소를 고려하지 않은 시스템 신뢰도의 추정치는 정확한 값이 아닌 실제값보다 높게 추정된 값이므로, 시스템의 신뢰도 연구에 있어서 설비의 신뢰성 분석과 함께, 인간의 신뢰성을 추정을 위한 인간신뢰도분석(HRA:human reliability analysis) 기법이 고려되어야 한다.

HRA는 설비와 인간으로 조합된 시스템에서 적절한 기능상의 잠재적인 인적오류의 효과를 정성적인 방법과 정량적인 방법으로 평가하는 것을 의미한다.

인간신뢰도의 기본 단위는 인간오류확률(HEP ; human error probability) 혹은 오류율(error rate)이다. 이런 척도들을 어떤 특정한 직무나 업무에서의 전통적인 하드웨어 신뢰성 이론과 조합하여 결합하여 전체 인간-기계 시스템의 신뢰도를 도출할 수 있다.

기존의 신뢰성 연구에서는 주로 확률 개념을 도입하여 오류의 발생가능성을 예측하였다. 그러나 Stewart는 설계 업무에 대하여 평균 오류율(average error rate)만을 고려하였는데, 여기서 오류율은 단위작업에 대한 평균 오류율로서 오류가 발생가능한 기회에 대한 발생한 오류의 수이다. 많은 HRA 연구(몬테카를로 시뮬레이션 기법과 event-tree 방법 등)에서 각 오류의 발생은 다른 오류의 발생과는 독립적이라는 가정하에서 분석되어졌다. 그러나 일반적으로 오류의 독립성에 대한 가정은 옳은 가정으로 받아들이기 어렵다. 그것은 오류가 발생함에 따라 인간에게 심적부하(mental stress)를 줌으로써 또 다른 오류를 발생시킬 수 있기 때문이다.

인적오류를 정량화하는 접근방법으로서 Zimolong은 전문가가 주어진 전체 업무의 성공(success) 혹은 실패(failure) 가능성의 추정량을 주관적으로 제시한다는 전체론적(holistic) 접근방법과, 전문가에 의해 세부적인 업무의 확률을 추정한 후에 이것을 조합하여 전체의 성공, 실패 가능성을 산출한다는 분해론적(decomposition) 접근방법으로 구분하였다. 일반적으로 THERP(technique for human error rate prediction)와 SLIM(success likelihood index method) 등은 분해론적 접근방법의 한 방법으로서 유용한 HEP를 산출할 수 있어 많이 사용되고 있다.

이 중 SLIM은 각 작업을 둘러싼 상황, 즉 PSF의 조합이 인간의 성공확률에 영향을 미친다는 가정하에서 성공가능성지수(SLI:success likelihood index)를 산출하여 이 SLI가 성공확률과 대수 선형관계가 있다고 제안하였다.

SLIM은 특수한 상황에서의 오류 가능성(즉, 성공확률)은 비교적 적은 크기의 PSF(Performance Shaping Factors)의 조합에 의존한다는 가정하에서 제안되었다. SLIM 방법은 비록 전문가의 절대적 판단(absolute judgement)에 많이 의존함에도 불구하고, 그 유용성에 있어서 THERP와 함께 가장 효과적인 방법의 하나로 쓰여지고 있다. SLIM에 의해 인간신뢰도를 구하는 절차는 다음과 같다.

- ① 인적오류에 영향을 미치는 서로 독립적인 PSF를 구분한다.
- ② 전문가의 판단을 사용하여 각 PSF의 중요도를 구한다.
- ③ 산출된 중요도에 따라 각 PSF에 가중치($\sum_{i=1}^N w_i = 0$, w_i)를 할당한다.
- ④ 가중치에 따라 r_i (최고 100, 최저 0)를 할당한다.
- ⑤ 다음과 같이 SLI를 구한다.

$$SLI = \sum_{i=1}^N w_i r_i$$

이 SLI와 업무의 성공가능성(성공확률, P_s)은 다음 식과 같은 선형 관계가 있다고 알려져 있다.

$$\log P_s = a SLI + b \quad \text{or} \quad \log P_f = a' SLI + b'$$

a, a' : 회귀식의 기울기
 b, b' : 회귀식의 y절편

II. 실험 설계 및 방법

본 연구의 실험은 크게 2 단계로 나누어진다. 선정된 작업은 화학공정에서 주로 많이 쓰이는 혼합 작업(blending-process task)으로 3개의 보조밸브, 3개의 주밸브, 3개의 보조용기, 1개의 주용기로 이루어지고, 실험 표시장치 panel 상에 개폐가능한 밸브에 대한 제어장치와 각 용기에 해당하는 표시장치가 설계되었다. 피실험자는 정상시력을 가진 대학생 29명(A형-15명, B형-14명)으로 구성되고, 실험도구로는 486 컴퓨터 시스템(17" 640×480 VGA CRT 포함)과 계수기(counter), 스톱워치(stopwatch)이다.

1. 1차 단계

표시장치용 panel 설계를 위해 추천되어진 인간공학적 체크리스트(checklist)를 기준으로 본 실험의 작업에 적절한 설계 원칙을 4개 항목(표시장치의 형태, 표시장치/제어장치의 panel상의 위치, 배치관계, 운동관계)으로 분류하고 총 12개의 세부문항을 선정하여 설문대상자로 하여금 각 세부문항에 대해 양립성, 식별의 용이성 등의 정도에 따른 중요도(importance index)를 5점 척도로 기입하도록 하였다. 설문대상자는 현재 산업 현장에서 표시장치용 panel을 조작하는 작업자로 선정하였다. 설문지의 양식은 Table-1과 같고, SLIM규칙에 의해 R_i 와 SLI를 구한 결과는 Table-2와 같다.

설문조사의 결과에 의한 설계에 고려되지 않은 문항의 상대적인 점수(Table-2에서의 score)를 조합하여 0-50점대, 50-100점대, 100-150점대, 150-200점대의 4가지로 구분하여 Fig.1과 같이 실험에 사용된 4가지 표시장치 panel을 설계하였다. 즉 panel-1에서는 기능별 그룹화가 고려되지 않고 설계된 panel이고, panel-2는 각 용기를 제어하는 밸브가 그에 해당하는 표시장치와 근접하지 않게 설계된 panel이다. 또한 panel-3은 표시장치의 유형과 기능별 그룹화가 고려되지 않았고, panel-4는 각 요소의 배치관계를 고려하지 않고 설계되었다.

Table-1. The format of questionnaire

	항 목	중 요 도 점 수				
		1	2	3	4	5
	표시장치의 형태					
1	표시장치의 유형(아날로그형, 혹은 디지털형)은 어떠한 것인가?					
2	표시장치의 크기는 그것의 기능에 비해 적당한가?					
3	읽어내기의 착오를 최소로 하기 위하여 눈금의 숫자나 눈금의 크기나 간격이 적당한가?					
	위치 (position)					
4	표시장치 혹은 제어기가 표준적인 크기를 유지하고 있는가?					
5	서로 다른 종류의 장치간에 적당한 거리를 유지하고 있는가?					
6	표시장치와 제어기와 작업자 간의 거리가 적당하게 유지되고 있는가?					
	배치관계					
7	표시장치와 제어기는 기능별로 그룹(group)화되어 있는가? 즉, 하나의 패널(panel)에서 여러가지 장치 중 유사한 기능을 가진 것끼리 모아져 있는가?					
8	제어기는 그에 해당하는 표시장치와 근접하여 있는가?					
9	가장 중요하고, 또 보다 빈번히 사용되는 기기는 가장 보기 쉬운 위치에 위치하고 있는가?					
10	특별한 표시장치와 제어기군은 다른 주위의 것들과 구분되어 있는가?(예, 색채의 차이나 밝기의 차이에 의해)					
	운동관계					
11	표시장치 지침의 변화방향은 제어기의 운동방향과 같은 방향을 가지는가? (예, 제어기를 시계방향으로 돌리면 지침도 시계방향으로 변한다)					
12	제어기의 운동과 표시장치 지침의 운동 사이에 시간의 지연이 있는가?					

Table-2. The result of questionnaire data

index item	1	2	3	4	5	MEAN	W _i	R _i (SCORE)	SLI
1	0	1	10	12	6	3.79	.08391	54	4.53114
2	0	2	10	16	1	3.55	.07857	25	1.96425
3	0	0	15	11	3	3.59	.07933	29	2.30057
4	0	4	14	8	3	3.34	.07399	0	0.00000
5	0	2	10	13	4	3.66	.08085	37	2.99145
6	0	1	11	10	7	3.79	.08391	54	4.53114
7	0	2	6	13	8	3.93	.08009	33	2.64270
8	0	2	11	12	4	3.62	.08696	70	6.08720
9	1	0	6	12	10	4.03	.08924	83	7.40692
10	0	1	7	14	7	3.93	.08696	70	6.08720
11	0	1	4	20	3	3.79	.08391	54	4.53114
12	1	0	6	12	11	4.17	.09230	100	9.23000

$$X^2 = 61.5811 > \chi^2(0.05;44) \approx 60.4383$$

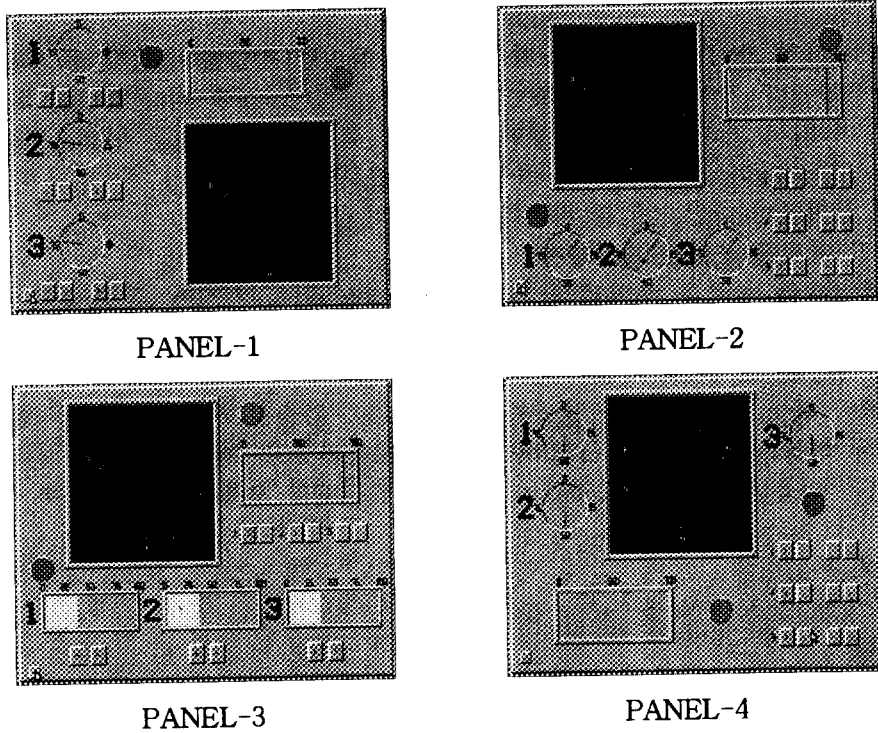


Figure 1. PANELs in the experiment

본 실험에서 사용된 4가지 종류의 panel의 설계에 있어서 고려되지 않은 항목에 대해 다음의 식에 의해 NSLI(SLI of not-considered items)를 계산하였으며, 그 결과는 Table-3와 같다. 이 NSLI는 panel 설계시 고려되지 않음으로써 오류발생가능성의 정도를 의미한다.

$$NSLI = \sum_{i=1}^N w_i \cdot r_i$$

i : 설계시 고려되지 않은 항목

N : 항목수

Table-3. The computed NSLI by SLIM rule

	not considered items	NSLI
panel-1	7	2.64270
panel-2	8	6.08720
panel-3	1, 7	7.17384
panel-4	7, 8, 9	16.13682

2. 2차 단계

1차 단계에서 설계된 4개의 표시장치 panel의 각각에 대한 동일한 작업을 수행할 수 있도록 컴퓨터 시뮬레이터를 작성하였다. 작업은 화면에 재현된 각 표시장치 panel에 따라 업무를 5회(전체 20회의 작업) 반복하도록 되어 있다. 그리고 피실험자의 학습 혹은 훈련에 따른 인적오류율을 알아보기 위하여 피실험자를 다음과 같이 두 가지 유형으로 분류하였다.

- (1) A형 : 훈련과 작업에 대한 명확한 지시를 부여한 피실험자
- (2) B형 : 간단한 지시를 부여한 피실험자

작업은 3개의 보조용기속의 용액을 주어진 표시장치를 보면서 이미 지시된 각 용액의 비율에 맞게 밸브를 사용하여 주용기에 규정량($90 \pm 3\%$)만큼 채우는 작업이다. 각 용액의 비율이 미리 규정된 폭발범위가 되면 비상등이 켜지고 폭발이 된다고 가정하였다.

설비의 신뢰도는 1.0로 하여 설비에 의한 오류를 제거하였다. 검출된 오류는 폭발이 발생하는 사고(accident)와 설비에 영향을 주지 않는 사건(event)으로 구분하였고, 본 연구에서는 사건에 한하여 분석하였다. 사건은 다음의 각 항에 해당될 때 발생하며 그때의 오류수는 누적되어 작업 후 표시된다.

- ① 보조용기가 비거나 넘칠때
- ② 규정된 비율에 맞지 않을 때(허용수준 $\pm 2\%$)
- ③ 주용기가 넘칠때
- ④ 주용기의 혼합량이 규정량을 초과하거나 넘길때

작업에 대한 행위(action)수는 밸브만을 개폐시키는 작업이기 때문에 밸브에 가한 마우스 조작 수를 각 작업에 대하여 누적하여 검출하였다.

III. 결과 분석 및 고찰

1. 표시장치의 종류에 의한 오류율

제시된 각 panel(1,2,3,4)에 따른 평균 작업수행시간과 평균 오류수 및 오류율은 Table-4와 같고, 이것을 그래프로 도시하면 Fig.2, Fig.3와 같다.

Table-4. The result of experiments

panel (NSLI)	Average Operating Time(sec)	Average Error No.	Average Error Rate
1(2.64270)	136.16	1.457	0.03364
2(6.08720)	135.17	1.476	0.03432
3(7.17384)	152.44	1.507	0.03630
4(16.13682)	143.68	1.873	0.04419

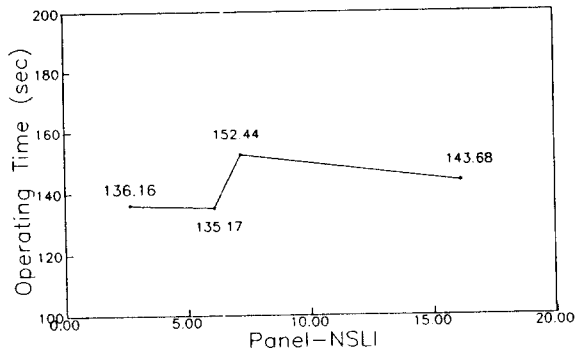


Figure 2. Operating Time vs. Panel-NSLI

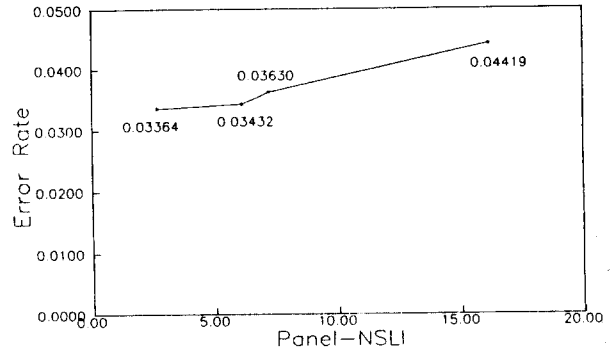


Figure 3. Error Rate vs. Panel-NSLI

실험의 결과에 대해 우선적으로 각 panel(1, 2, 3, 4)에 의한 작업수행시간과 오류수 및 오류율에 대하여 유의수준 95% ($\alpha=0.05$)에서 일원배치 분산분석을 행하였고, 결과는 각 표시장치 panel간의 작업수행시간($P<0.006$)과 오류수($P<0.047$), 오류율($P<0.035$)은 모두 유의한 차이가 있으나, panel의 NSLI가 증가함에 따라 오류수, 오류율은 증가하는데 반해 작업수행시간은 증가하지 않았다.

2. 학습과 훈련에 의한 오류율

작업자 유형에 대해 각 표시장치 panel간의 평균 작업수행시간과 평균 오류수 및 오류율은 Table-5와 같고, 그래프로 도시한 것을 Fig.4, Fig.5에 나타내었다.

Table-5. The result of subject types between Panel

panel (NSLI)	type	Average Operating Time(sec)	Average Error No.	Average Error Rate
1 (2.64270)	A	142.50	0.986	0.02274
	B	129.46	1.956	0.04517
2 (6.08720)	A	138.12	0.768	0.01780
	B	132.43	2.135	0.04972
3 (7.17384)	A	154.49	1.051	0.02533
	B	149.87	2.079	0.05006
4 (16.13682)	A	141.50	1.054	0.02482
	B	129.46	2.765	0.06524

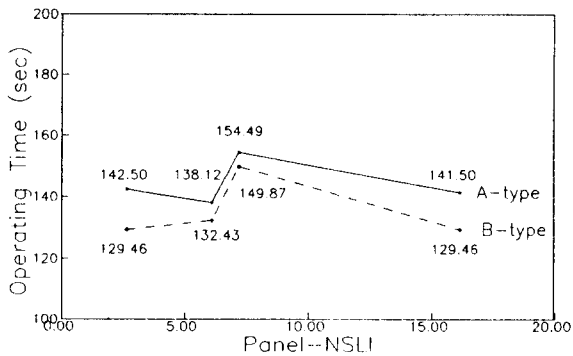


Figure 4. Operating Time vs. NSLI

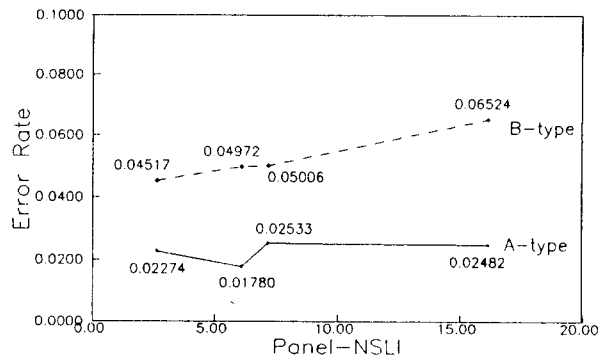


Figure 5. Error Rate vs. NSLI

실험의 결과에 대해 각 피실험자 유형별(A,B형)에 의한 작업수행시간과 오류율에 대하여 유의 수준 95%($\alpha=0.05$)에서 일원배치 분산분석을 행하였으며, 그 결과는 작업수행시간은 작업자의 유형에 따라 유의적인 차이가 없는데 ($P<0.112$), 이것은 작업수행시간이 작업자의 훈련 및 학습과는 관계가 없음을 뜻한다. 작업수행시간과는 달리 각 panel간은 오류수($P<0.000$), 오류율($P<0.000$)에 따라 유의적인 차이가 있었다. 이러한 분산분석의 결과는 작업자에 대한 훈련이나 학습이 오류수와 오류율을 작게 하여주는 것을 뜻한다.

3. 작업수행시간과 오류수와의 관계 고찰

각 표시장치의 종류나 작업자의 유형에 따라 작업수행시간은 전체적으로 유의한 차이가 없으므로 작업수행시간과 오류율과의 상관관계를 알아보기 위해 상관계수를 구했으며, 그 결과 전체 작업수행시간에 대한 오류율의 상관계수는 $r=0.081$ 이었으며, 그 그래프는 Fig.6과 같다. 그래프에서 오류율은 일정한 경향이 없이 작업수행시간과 무관하게 오류가 발생하는 것을 볼 수 있다.

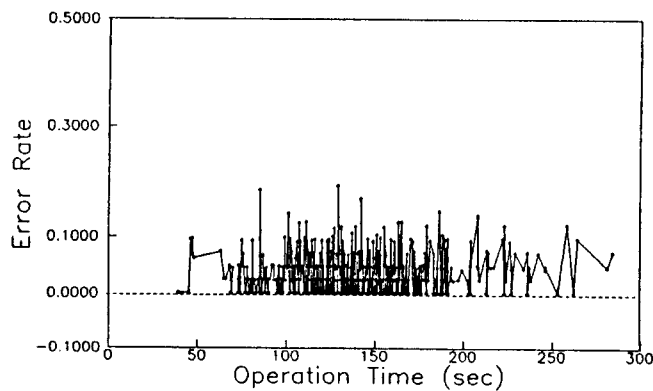


Figure 6. The relation of operating time and error rate

그리고 각 panel간의 오류 발생 빈도수는 Table-6과 같다.

Table-6. The frequency of error by panel

error frequency \ panel (NSLI)	panel-1 (2.64700)	panel-2 (6.08720)	panel-3 (7.17384)	panel-4 (16.13682)	total
0	32	41	42	36	151
1	51	48	31	32	162
2	34	23	37	31	125
3	13	17	20	17	67
4	7	9	11	13	40
5	2	2	1	10	15
6	0	2	0	2	4
7	0	0	0	1	1
8	1	1	0	0	2
total	140	143	142	142	567

4. 인적오류 예측 모형

본 실험에서 구성한 panel의 NSLI에 따라 검출된 오류율을 모형에 적합시키기 위해서 변환시킨 값은 Table-7과 같다. 이 자료를 이용하여 단순회귀분석모형, SLIM에서 사용되는 식을 모형-1, 모형-2로 구분하고 SLI를 NSLI로 바꾸어 각각의 모형에 적합시키고, 모형의 적합도를 알아보기 위하여 각 회귀식의 결정계수(coefficient of determination, R^2)를 구하여 비교하였다.

Table-7. Calculated results of $\log P_i$ and $\log(1-P_i)$

	NSLI	error-rate (P_i)	$\log P_i$	$\log(1-P_i)$
panel-1	2.6427	0.03364	-3.39204	-0.03422
panel-2	6.0872	0.03432	-3.37203	-0.03492
panel-3	7.1738	0.03630	-3.31594	-0.03698
panel-4	16.1382	0.04419	-3.11926	-0.04520

가. 단순회귀모형

실험에서 사용된 각 panel의 NSLI를 독립변수로 하고, 검출된 인적오류율을 종속변수로 하여 단순회귀분석한 결과, 회귀계수는

$$\hat{\beta}_0 = 0.030478, \quad \hat{\beta}_1 = 0.0008282$$

이다. 따라서 그 회귀방정식은

$$P_f = 0.030478 + 0.000828 \cdot NSLI$$

이고, 이 회귀방정식의 결정계수는 다음과 같다.

$$R^2 = 0.964$$

나. 대수모형(Logistic Model)

(1) 모형-1

모형-1에서의 수식의 형태는 $\log P_s = a SLI + b$ 이다.

양변에 지수를 취하고, $P_s = 1 - P_f$ 이므로

$$P_f = 1 - B \exp(aSLI)$$

이고, 실험의 결과를 대입하면 다음의 예측모형이 된다.

$$P_f = 1 - 0.96958 \cdot e^{-0.00086 NSLI}$$

이 모형에 대한 결정계수는 다음과 같다.

$$R^2 = 0.964$$

(2) 모형-2

모형-2에서의 수식의 형태는

$$\log P_f = a' SLI + b'$$

이고, 양변에 지수를 취하여 정리하면

$$P_f = B' \cdot \exp(a' SLI)$$

이고, 실험의 결과를 대입하여 계산하면 다음의 예측모형이 된다.

$$P_f = 0.03112 \cdot e^{0.02131 NSLI}$$

그리고 이 회귀모형의 결정계수는 다음과 같다.

$$R^2 = 0.967$$

다. 모형의 검출력 비교

예측된 단순회귀모형과 모형-1과 모형-2에 실제 실험에 사용된 NSLI를 대입하여 각 모형에서의 예측치를 산출하고, 실험에 의해 검출된 오류율과 비교하여 그 적합 정도를 구한 것이 Table-8이다. 따라서 본 실험의 결과에서는 모형-2가 가장 적합한 모형임을 알 수 있고, 그것의 회귀모형 그래프는 Fig.7과 같다.

Table-8. The result of fitting models

Panels	SLI	Observed rate	Expected rate		
			Reg.	Model-1	Model-2
1-panel	2.6427	0.03364	0.03267	0.03262	0.03292
2-panel	6.0872	0.03432	0.03552	0.03548	0.03543
3-panel	7.1738	0.03630	0.03642	0.03638	0.03628
4-panel	16.1382	0.04419	0.04384	0.04378	0.04389
$R^2=$			0.964	0.964	0.967 *

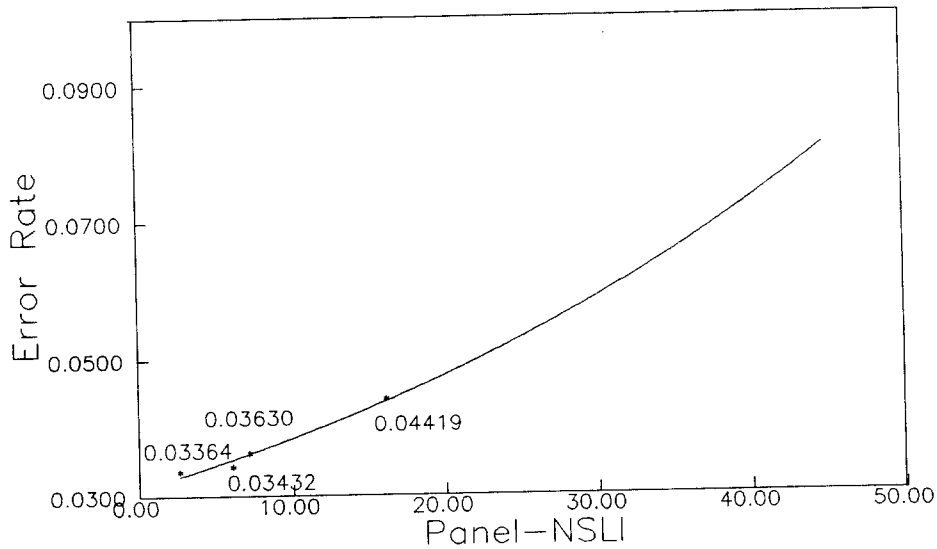


Figure 7. The fitted line on Model-2

IV. 결론

표시장치와 제어장치의 가장 좋은 설계와 선택, 그리고 그 panel내에서의 각 요소들의 배치에 대한 문제는 그 설비들이 인간-기계 시스템의 주된 인터페이스를 구성하고 있기 때문에 수년 동안 인간공학자와 시스템 설계자의 주된 관심이 되어왔다. 이들에 대한 연구대상은 주로 표시장치나 제어장치를 통하여 인간이 정보를 처리하고 그에 대한 반응 행위를 하는데 있어 어떠한 설계와 배열이 오류를 최소로 하고 효율성을 최대로 하는가에 있다.

본 연구의 실험을 통하여 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 각 panel의 NSLI에 대해 작업수행시간과 평균 오류수, 그리고 평균 오류율은 Table-4에 나타난 결과와 같이 작업상의 어려움을 나타내는 각 panel의 NSLI와는 관계없이 작업수행시간은 검출되었고, panel의 NSLI가 증가할수록 검출된 평균 오류수와 평균 오류율은 증가하였다.

2. 작업자에 대한 훈련과 학습이 오류율과 오류수에 영향을 미치는가를 알아보기 위해서 작업자의 형태를 A형과 B형으로 구분하여 실험한 결과, A형 작업자의 오류율(0.02281)이 B형 작업자의 오류율(0.05253)보다 적게 나타남으로써 훈련과 학습이 오류율이 명확히 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다.

3. panel의 NSLI가 증가함에 따라 검출된 오류율이 증가함으로써 panel의 NSLI를 독립변수, 오류율을 종속변수로 하여 회귀모형과 대수모형-1과 2에 적합시킨 결과, 각 모형의 결정계수가 단순회귀모형에서 0.964, 대수모형-1에서 0.964, 대수모형-2에서 0.967로서 모형-2, 즉 다음의 모형이 본 실험의 결과와 잘 적합함을 알 수 있었다.

$$P_f = 0.03112 \cdot e^{0.02131 NSLI}$$

본 연구에서는 panel 제어 작업에서 표시장치와 제어장치의 설계형태나 배치에 따라 발생하는 인적오류를 정량적으로 검출하였다. 본 실험의 결과는 오류없는(error-free) 표시장치와 제어장치 panel의 설계·선택에 있어 유용함과 동시에 인간신뢰도 분석에서 중요한 인적오류 자료은행(human error data bank)을 구축하는데 도움이 될 것이다.

그러나 일반적인 인간신뢰도 분석에서는 인간의 오류율(error rate) 또는 오류확률(HEP)의 검출과 더불어 인간의 반응시간에 대한 분포와 오류율의 분포에 대한 분석 또한 중요시되기 때문에 검출되는 작업수행시간의 분포에 대한 검정과 오류율의 분포의 검정에 관한 연구가 지속되어야 할 것이다. 또한 본 연구에서 선정된 작업의 조건들을 보다 명확히 하여 기존의 다양한 인간신뢰도 분석 방법에 적합시킴으로써 panel 제어작업에 있어서의 일반적인 인간신뢰도 수리적 모형이 개발되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 박경수, 인간공학, 1992
2. Park, K.S., *Human Reliability*, Elsevier, 1987
3. Meister, D., *Human Factors : Theory and Practice*, Wiley-Interscience, New York.
4. Pulat, B.M., *Fundamentals of Industrial Ergonomics*, 1992
5. Galer, I., *Applied Ergonomic Handbook*, Butterworths, 1987
6. Reasons, J., *Human Error*, Cambridge Univ., 1990
7. Sanders, M.S. and McCormick, E.J., *Human Factors in Engineering and Design*, McGraw-Hill, 1987
8. Chapanis, A. and Lindenbaum, L.A., "A Reaction Time Study of Four Control-Display