

警戒 任務 擔當者의 時間遲延에 따르는 人間 性能의
變化에 對한 研究 및 改善方案

李 冕 雨*

The Human Performance Degradation in Vigilance due
to Prolonged and Monotonous Tasks

Lee, Myun Woo

Abstract

This study is aimed at a validation of the vigilance simulation model which was proposed earlier (2). The model estimates a perceived danger value, an alertness level and the probability of detection at a given elapsed time of vigilance.

Twenty-nine male and seven female subjects were given a simple task. They were asked to detect a number (four numbers out of six digits in the telephone directory which have the probability of occurrence in the range of 0.0010-0.0018) in six different experimental conditions, for periods of two to three hours.

Analysis of the experiments showed that although the mean detection rate varied slightly in two hours, the within-subject variance and the number of cyclic performance fluctuations increased significantly. A primal factor that affects the performance seems to be the frequency of target occurrence. By curve fitting, the relation between the probability of detection and the percentages of danger event occurrence was derived; $y = 0.50(1 - e^{-50x^2}) + 0.39$.

Assuming the equation represents the normal detection rate (100% performance), the Relative Vigilance Performance Rating was calculated. This rating method could be a useful criterion in selecting and training of the vigilance personnel.

The results show that the simulation model is a good estimator of human performance when the probability of danger occurrence is greater than 0.0015; it gives a good reference for improving the vigilance system.

Suggestions are made that (1) the validity of proposed functional equations over the extended range of danger probability be studied, (2) an analysis of the cyclic fluctuations of the alertness level be accomplished, and (3) the cost functions of detection reliability be included in any future model.

1. 서 론

각종 경계임무(Vigilance Task)를 담당하는 인간의 성능변화는 최근에 이르러 많은 관심의 대상이 되고 있다.

Schoonard et. al.[1]은 시각을 이용한 경계임무(Visual Inspection)의 특성을 다음 3가지로 분류하였다. 즉,

첫째, 경계를 담당한 사람은 여러가지의 대상을 동시에 관찰하며,

둘째, 경계대상이 발견되었을 때에 매우 신속히 대처하여야 하며,

셋째, 인간성능의 신빙도(Performance Reliability)가 높지 않다는 점 등이다(25% missed in detection).

본 연구의 관심사는 세번째 지적된, 인간이 경계임무를 담당할 경우, 낮은 신빙도에 대한 인간성능의 파

악에 있다. 특히, ① 경계대상의 출현확률이 매우 희소하며 (예 : 통행이 금지된 지역의 초소경계) ② 시각적으로 미소한 변화를 탐지하며 ③ 장시간에 걸쳐 단순하고 반복적인 임무를 담당할때, 경계 담당시간이 연장됨에 따라 인간의 탐지능률이 어떻게 변화하는가에 대한 이론적, 실험적 파악이 본 연구의 목적이다.

예를 들어 설명하여 보면, 레이더 감시, 초소경계, 계기관측 또는 품질검사 등등의 작업에서, 사건(danger event)이 발생할 확률은 극히 낮으나 경계를 담당한 인간은 항상 높은 긴장도(alertness)를 장시간 동안 균일하게 유지할 것이 요구되는 작업특성이 본 연구의 대상이라 하겠다.

본문에 소개하는 연구 결과는 최근에 연구된 바 있는 [2] 시간경과에 따라 일어나는 인간의 긴장도 감소 및 성능변화의 수학적 모의실험 모델(mathematical simulation model)의 타당성 검토와 실제 실험결과를 분석한 내용이다.

2. 연구의 배경

2-1. 연구의 관심분야(Topic of interest)

과거의 경계업무중 인간성능에 관한 연구는 주로 인간의 단기간 절대 식별 능력(absolute vigilance capability over short period of time)에 관한 결과가 많다. 최근에 Tickner et. al. [3]은 교도소 안·밖에 설치된 16-24개의 감시용 C.C.T.V.에 사전에 촬영한 미소동작 필름을 방영하여 간수와 일반 사무직을 대상으로 경계실험을 하였다. 이 실험결과에서 담당자를 긴장시키기 위하여 고안된 잦은 현황보고와 순찰(routine inspection)이 사고 발견율을 오히려 저하시키며, 경계 시야(visual field), 거리(distance)가 감시능률을 좌우한다는 것을 발견하였다. 이어서 Tickner와 Poulton [4]은 16개의 교도소 C.C.T.V.에 변화가 큰 동작 (예를들어 죄수가 담을 기어오른다 든가, 정원을 뛰는 등등)에 대한 경계실험을 계속하였다. 이 실험에서 신빙성있는 경계 담당시간은 최고 1시간이며 멀리 떨어져 있는 사물의 경계는 전체 출현회수중 약 50%밖에 탐지되지 못한다고 보고하였다. 이들의 일련의 실험은 경계대상의 출현밀도(출현회수와 출현기간)가 비교적 높으며, 교도소 안과 밖에서 동시에 촬영한 두개의 필름이 C.C.T.V.에 나타나게 되므로 일정한 시차후 사건의 출현이 중복된다.

그러므로 Tickner의 실험은 위험한 사건의 발생빈도(danger-frequency)가 출현회수와 출현기간으로 조정되어 피실험자가 감지하는 위험율(perceived danger value)이 높고 따라서 피실험자의 긴장도(alertness)유지가 비교적 용이하다고 볼 수 있다. 필자는 매우

낮은 위험 발생율과 연장된 경계담당기간 (3 시간)에 대한 인간의 경계성능변화를 모의실험 모델에 의해 예측한 바 있다[2]. 이 모델의 설정구조가 Fig.1에 나타나 있다.

Fig.1이 제안하는 내용은 경계업무가 진행되는 동안 경계담당자는 시간이 경과함에 따라 감지된 위험율(perceived danger value)이 주관적으로 변하고, 이 변화는 긴장도(alertness level)와 위험율 추정(danger estimate)에 영향을 미치게 되며, 결과적으로 탐지의 신뢰도(human reliability of vigilance)가 변하게 됨을 보여주고 있다.

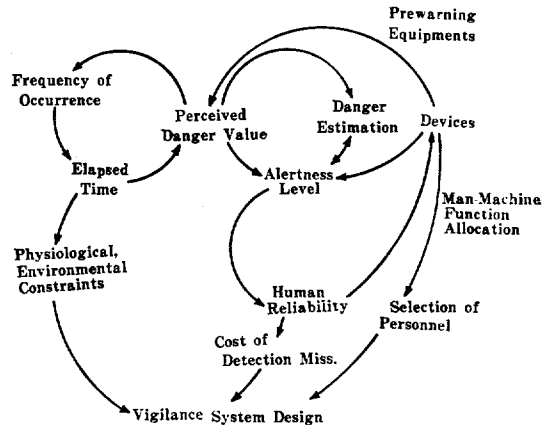


Fig. 1. Performance variables in human vigilance system.

2-2. 모의실험 모델(The Simulation Model)

중간보고에 요약된 바 있는 모의실험 모델의 구조와 각 변수의 정의는 설명을 생략하고(2참조), 본 연구에서는 실험결과, 모델의 신빙도와 모델 보완방법을 보고 하겠다.

3. 실험

3-1. 경계대상(A vigilance target)

경계의 대상으로써 전자계산기에 의한 난수표(random number table), 영어의 철자배합(random alphabet table)과 전화번호부(telephone directory)가 준비되었다. 예비적 실험결과, 난수표의 단조로움, 활자(print out)의 평압변화 및 난수의 변화 한계등의 이유로, 전화번호부중 일반 가입자의 지정된 번호를 찾는 작업을 경계의 대상으로 하였다. 전화번호부에 표시된 번호는 국번 2자리와 고유번호 4자리로 나열되어있고, 이중 사전에 지정된 4자리 이상의 숫자(예를 들어 74 국의 번호중 3이 2개 이상있는 번호)는 매우 이상적인 임의발생(random event)을 나타내고 있다. 경계 담당자인 피실험자는 경계과정의 첫 단계로서, 지정된 국

호의 경계, 둘째 단계로서, 특정 국번호가 발견된 후 4개의 고유번호중 지정된 번호가 2개이상 있는 번호의 발견등으로 나누어지므로 식별이 곤란하며, 반복적이고 단순한 경계성격을 포함하고 있다.

3-2. 피실험자(Subjects)

실험의 특성이 감지된 위험을(perceived danger value)과 긴장도(alertness)유지에 매우 예민한 반응을 보이게 되므로 실험 참가의 의욕과 작업의 동기(motivation)가 매우 중요하다. 그러므로 경계작업(vigilance task)의 특성을 이해하는 대상을 피실험자로 정하여 실험대상의 동질성(homogeneity)을 기하였다. 대학교 재학중

인 3학년(12명), 4학년(9명), 대학원생(6명), 현역장교(2명)의 남자와 여학생(2명), 여자사무원(5명)등 총 36명이 참가하였으며, 피실험자는 보정시력 1.0 이상으로 국한하였다. 36명중 여자사무원 5명(paid subject)을 제외한 전원이 자발적으로 실험을 지원하였고, 사전에 아무런 실험보상도 약속하지 않았다. Table.1에 피실험자의 성별, 학년과 참가한 실험내용이 기록되어 있다. Table.1에 표시된 바와 같이 실험조건(Exp.1~6), 같은 실험조건 내에서 (2가지) 각각 다른 번호가 지정되었으므로 경계대상이 나타나는 빈도(frequency)는 일정치 않다.

Table.1 Experimental Conditions and Subjects.

Exp. condition	Without Rest									With Rest								
	Exp.-1			Exp.-2			Exp.-3			Exp.-4			Exp.-5			Exp.-6		
	· 30min/period ×4 periods · Target No. changed in every 30min.			· 60min/period ×2 periods · Target No. changed in every 60min.			· 120min/period · Target No. not changed			· (30min. work +10min. Rest) ×4 Periods. · Target No. changed in every 30min.			· (60min. work +10min. Rest) ×2 Periods · Target No. changed in every 60min.			· 120min. work +10min. Rest +60min. Work · Target No. not changed.		
No.	Sub. No.	Job.	Sex	Sub. No.	Job.	Sex	Sub. No.	Job.	Sex	Sub. No.	Job.	Sex	Sub. No.	Job.	Sex	Sub. No.	Job.	Sex
1	11	U-4*	m†	21	U-4	m	31	U-3	m	41	U-3	m	51	U-3	m	61	G-1	m
2	12	U-4	m	22	U-4	m	32	U-3	m	42	U-3	m	52	U-3	m	62	G-2	m
3	13	A-0	m	23	U-4	m	33	U-3	m	43	U-3	m	53	0-S	f	63	G-2	m
4	14	U-4	m	24	U-4	m	34	G-2	m	44	U-3	m	54	U-3	f	64	G-1	f
5	15	U-4	m	25	U-4	m	35	G-2	m	45	U-3	m						
6	16	A-0	m	26	0-S	f	36	G-2	m	46	U-3	m						
7				27	0-S	f												
8				28	0-S	f												
9				29	0-S	f												

(Note *: U-3 : undergraduate junior G-1 : graduate 1st yr. A-0 : army officer
 U-4 : " senior G-2 : " 2nd yr. 0-S : office secretary
 † : m : male
 f : female

3-3. 경계실험(Experimental Conditions).

3-3-1. 경계대상의 변화(Numbers to be detected)

Table.1에 실험조건에서 Exps.-1, 2, 4와 5의 실험은 때 period(30분 혹은 60분)마다 경계 대상이 되는 4개의 번호를 변화시켰으며 Exps.-3과 6은 국번 변화없이 초기 번호로 경계작업을 계속하였다.

3-3-2. 실험자세(postures)

피실험자들은 책상위에 눈으로부터 수직거리 25cm 내외에 전화번호부를 놓고 오른손은 전화번호부 오른쪽에 고정시켜 경계대상을 찾으며, 발견된 번호에 표시를 하고 원위치에 오른손을 옮긴다. 왼손은 특히 지정된 위치는 없으나 전화번호부를 만지는 것은 금지되었다.

3-3-3. 실험속도(Scanning Speed)

본 실험은 지정된 숫자를 정확히 찾아내는 것을 최우선으로 강조하였고 번호를 찾아 나가는 속도는 Metronome(80marks/min)을 속도 보조장치로 사용하여 3번 칠때마다 20개의 전화번호가 적힌 1소절 중에서 대상번호를 찾아내도록 권하였다. 이때 1소절을 찾아내는데 소요되는 정보량은 3.3-4.2 bits/sec.로 피실험자들의 능력으로 충분한 속도라고 인정된다. 실험관찰자는 전화번호부 2 page 를 진행하는데 소요되는 시간을 기록하였으며, 실험 1,2의 경우에는 첫 period가 끝난후, 실험 4,5,6의 경우에는 쉬는 시간마다 각각의 2 page마다 소요된 시간을 알려 주었다.

4. 실험결과 및 분석

4-1. 경계대상의 추정(Estimations of the potential danger)

경계의 특성으로 보아 경계대상의 발생 실제값은 파악하기 힘들다. 그러므로 특정 전파번호를 찾아내는 인간의 성능을 계측하기 위하여 잠재적으로 존재하는 경계대상(potential danger)의 추정이 필요하다[6].

Sanathanan[7]은 n 명의 피실험자가 동일한 조건 아래서 동일한 대상을 관찰하고(detect), 여기서 각각의 관측자가 찾아낸 대상물의 수가 N_1, N_2, \dots, N_n 이라 할때 대상의 추정 총 수효(estimated no. of potential danger) \hat{N} 및 관측자의 추정 탐지율 \hat{E} (estimated prob. of detection)을 다음과 같이 추정하였다.

$$\hat{E} = \frac{1}{n-1} \cdot \left\{ \frac{\sum_{j=1}^n j^2 x_j}{\sum_{j=1}^n j x_j} - 1 \right\} \quad (1)$$

$$\hat{N} = \frac{1}{E} \cdot \frac{\sum_{j=1}^n j x_j}{n} \quad (2)$$

여기서 n : 관측자 수효

x_j : j 명의 관측자가 공동으로 찾아낸 목표물의 수효. ($j=1, \dots, n$)

이때 각 개인의 탐지율(detection prob.)은 각각 $\frac{N_1}{\hat{N}}, \frac{N_2}{\hat{N}}, \dots, \frac{N_n}{\hat{N}}$ 이 된다. 본 실험 결과의 산출 과정에서 특정 지정번호의 총수가 이와 같은 방법으로 추정되었으며, 실제로 수차에 걸친 특정번호의 확인결과와 추정 결과는 매우 근사한 값을 보여 주었다.

4-2. 실험 결과(Results)

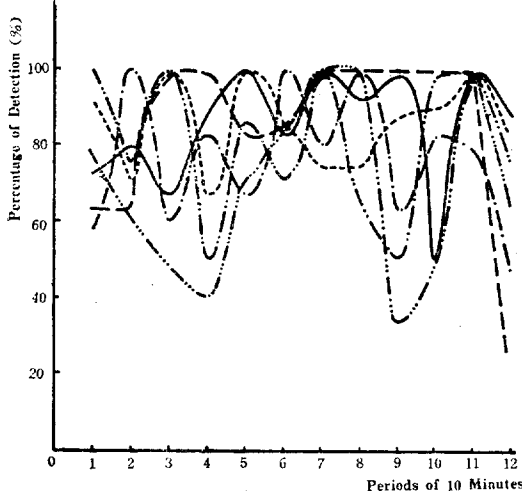


Fig.2 Cyclic performance fluctuation curves(Exp.3)
note: ① average percentage/10min.,
② Values of 100% confidence interval (c.f. Tab.2)

10분 기간중 지정된 번호(event)가 나타나는 최수를 피실험자의 측정기록으로부터 4-1과 같이 추정하고[6, 7], 이 중 찾아낸 수를 백분율로 표시하였다. (예 : Fig.2) 또한 전파번호부 2 page(약 1,000개의 번호)진행에 소요된 시간의 변화가 Fig.3에 기록되었다. Table.2의 결과는 각 실험 group을 Fig.2와 같이 분

Table.2. Percentages of Average Detection. (% of Detection)

Exp.	Periods. (min) Sub. No.	Periods (min)						mean frequency of event (%)
		0 } 30 } 60 } 90 } 120 } 150 }	180 }					
Exp. 1.	11	63	79	71	75			0.10
	12	59	79	82	79			
	13	23	85	15	59			
	14	46	70	19	61			
	15	36	83	44	58			
	16	31	90	54	83			
Exp. 2.	21	85	67	64	95			0.15
	22	83	75	74	95			
	23	45	83	89	92			
	24	64	83	89	92			
	25	64	36	72	89			
	26	77	60	54	41			
	27	62	73	50	41			
	28	46	41	54	61			
	29	46	47	42	63			
Exp. 3.	31	70	71	100	79			0.16
	32	87	86	75	71			
	33	69	75	77	67			
	34	77	70	71	83			
	35	60	41	50	71			
	36	70	84	79	64			
Exp. 4.	41	18	68	91	71			0.11
	42	79	72	85	62			
	43	44	67	55	50			
	44	54	41	60	50			
	45	85	76	65	79			
	46	48	65	85	79			
Exp. 5.	51	71	70	63	57			0.10
	52	56	50	68	45			
	53	0	78	89	67			
	54	78	93	80	75			
	55	55	71	76	50			
Exp. 6.	61	64	25	21	43	69	74	0.16
	62	40	25	43	71	63	83	
	63	96	89	92	88	76	80	
	64	91	95	84	84	81	68	

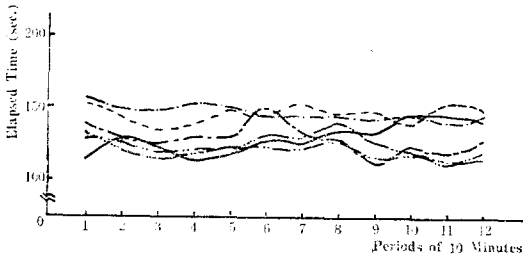


Fig.3. Cycle time/two pages (Exp.-3)

석한 후, 개개인 피실험자의 30분 구간의 평균 발견율을 계산한 것이다. Table. 2의 우단에 있는 mean frequency of event는 해당실험에서 지정된 번호가 나타날 확률율(%) (확률×100)로 환산한 값이다. 예를 들어, Exp. 1의 0.10은 지정된 경제대상이 되는 번호가, 1,000개의 번호중, 약 1개 포함되어 있음을 뜻하며, 각 group 별 평균 발생율은 표에 나타난 바와 같

Table 3. Performance Characteristics of the Two Groups.

Group Class	Minutes	Minutes						Total Mean
		0~30	30~60	60~90	90~120	120~150*	150~180*	
High Detection Group	Mean Detection (%)	82	80	79	76	79	74	81
	Perf. Variance	119	71	108	108	13	72	100
	Perf. Range (0.95)	56~98	64~97	59~99	56~96	72~86	57~91	—
Low Detection Group	Mean Detection	55	59	60	61	66	78	59
	Perf. Variance	132	267	241	204	18	41	225
	Perf. Range (0.95)	32~78	27~91	28~92	33~89	58~74	65~91	—

(*:Columns are not included in total mean)

4-3. 위험 발생률과 평균 탐지율의 관계

(Relations between the Frequency of Occurrence and the Mean Percentage of Detection)

High detection group과 Low detection group이 비록 발견율의 격차는 존재하나, 한 experimental condition과 다른 experimental condition간의 발견율의 변위의 크기는 거의 유사함을 알 수 있다.

그러므로, 위험 발생률(frequency of occurrence)이 발견율(percentage of detection)의 성능수준(performance level)에 영향을 미치고 있음이 추정된다. 각각의 실험에서 실험조건에 따라 대상의 발생율은 0.10~0.18%까지 변화했고(참고: Table. 2의 우단은 평균 발생율임), 발생율과 각 experiment group의 평균 발견율은 Table. 4와 같다. 이 표에서 발생율과 발견율의 상관계수를 구한 값이 $r=0.66$ 으로 나타나 발견율은 발생율의 종속적인 관계(primal factor)를 이루는 것이 확인되었다. 이 결과(Table. 4)를 curve fitting한 결과

이 0.10%—0.16% 사이에 분포되어 있음을 알 수 있다. Table. 2에 나타난 피실험자의 발견 확률율 보면 개인간의 발견율의 격차가 큼을 알 수 있는데 이러한 격차 원인은 다음과 같이 분석되었다. 우선 평균 발견율 70%를 구분 기준으로 하여 High detection group (평균 발견율 70%이상)과 Low detection group(평균 발견율 70%미만)으로 구분하여 경제 성능의 개인간의 능력에 차이를 통계적으로 검증하였다. 검증 결과를 요약해 보면 High detection group과 Low detection group의 성능 격차는 피실험자들의 성능을 High와 Low의 두 group으로 분류하는 타당성을 입증하는 듯 보인다(Table. 3 참조). 그러나, 발생율이 높은 실험 조건에서는 High detection group이, 발생율이 낮은 실험 조건에서는 Low detection group이 많이 분포되어 있음이 파악되었다.

Table 4. Mean Subgroup Percentages of Detection, Given the Frequency of Occurrence.

Frequency of Occurrence (%)	0.10	0.11	0.13	0.15	0.16	0.17	0.18
Percentage of Detection (/120min)	59	61	53	77	80	73	77
		74	67	83			

(1) $Y_i = 2.55x_i + 0.34$ (3)

Y_i = probability of detection

x_i = frequency of occurrence

(0.10% ≤ x_i ≤ 0.18%)

의 일차 관계식(발견율 Y_i 에 대한 실험값과 함수값의 상관계수 $r=0.62$)과

(2) $Y_i = 0.50(1 - e^{-50x_i}) + 0.39$ (4)

($x_i ≥ 0$)

의 2차 지수함수($r=0.60$)를 구하여 Fig. 4에 기록하였다. 식 (4)의 추정을 따르면 위험 발생률(frequency of danger occurrence)이 0에 접근할때 인간의 절대 발

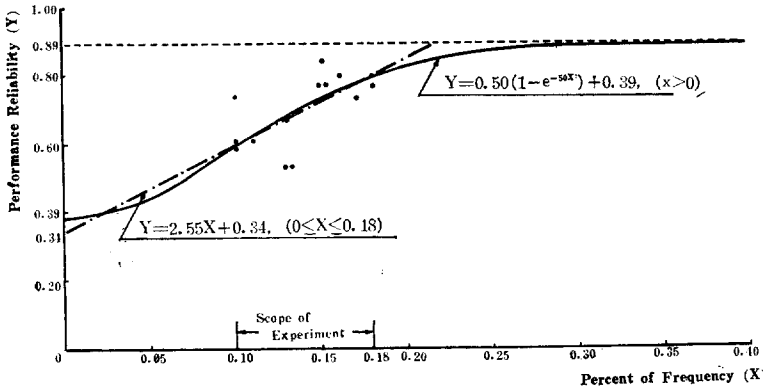


Fig. 4 Predicted performance curve:
{performance=f (frequency of occurrence)}

견율이 0.39, 즉 39%임을 제시하고 있다. 그러나, 실제의 경우에서 발생율이 0인 지점이 나타내는 performance reliability는 인간이 유지할 수 있는 절대적인 긴장도(alertness level)로 해석하여도 된다. 식 (3)과 식 (4)에 따라 0.34-0.39의 범위 변화가 있으나, 식 (4)가 인간의 경계 특성인 점근한계(asymptotic level)를 잘 표현하므로 식 (3)보다 합리적이다. 그러므로, 필자가 이전에 제시한 최저 긴장도(absolute scanning rate), 인간의 절대 경계성능(absolute detection probability)은 40%내외의 신뢰도를 지닌다고 요약된다.

4-4. 상대적 성능계수의 설정과 휴식효과
(A Relative Performance Rating and the Rest Effect)

이상의 분석으로 위험발생율(frequency of occurrence)과 발견율(percentage of detection)간에 중요한 관계가 있음을 알 수 있다. 만일, 각각의 발생율 차이에 따른 경계성능의 수준이 보정된다면, 보정된 경계성능의 차이는 각 실험조건과 피실험자의 성능차이에 의한 때문이라 분석된다. 즉, 4-4에서 산출한 식 (4) $Y_i = 0.50(1 - e^{-50x_i}) + 0.39$ 의 곡선이 100%의 성능계수(normal performance=100%)를 나타내게 되므로 곡선에 의한 추정치와 실제 평균값과 비교하여 산출한 상대적 경계성능계수(relative performance rating)는 실험조건, 경계기간 혹은 개인간의 성능 및 적성의 차이에 의한 것이 될 것이다. Fig. 4의 식 (4)곡선을 100% performance level로 기준하여 계산된 상대적 경계성능계수(relative performance rating)의 평균치와 분산(variance)은 Table 5와 같다. 평균차 검정 결과, 휴식효과(rest effect)는 유의할 만한 효과가 없고, 다만 경계성능계수의 실험조건에 따른 분산(variance)검정중 Exp. 3에 비하여 Exp. 5($\alpha=0.05$)와 Exp. 6($\alpha=0.01$)에 유의할 만한 분산변화가 있고, 또

한 Exp. 1($\alpha=0.1$)과 Exp. 2($\alpha=0.1$)도 Exp. 3에 비하여 더욱 큰 성능의 변화폭을 지니고 있음을 보여준다. 그러나, 통계적인 개념으로 휴식에 관계없이 성능계수가 동일한 모집단(sample space)에 있다 하더라도 작업능률이 전혀 같다는 뜻은 아니며, 오히려 그 모집단이 변하는 범주내에서는 크게 변할 수 있다는 뜻이므로, Table. 5에 나타난 평균 성능계수의 변화는 인정되어야 한다. Exp. 3과 Exp. 6의 평균 성능계수를 보면 작업시간이 2시간에서 3시간으로 연장되었을 때 11%의 평균 성능계수가 감소된다. 다시 말하면, 2시간 경계작업까지는 100%의 능력을 나타내던 인간이 3시간 경계기간을 담당할 경우에는 약 89%로 감소된 평균 성능을 갖게됨을 나타내고 있다. 또한 Exp. 1과 Exp. 4, Exp. 2와 Exp. 5를 비교하면 휴식을 줄 경우 6~12%의 평균 성능계수 향상을 가져오므로, 경계업무의 인간신뢰도는 경계중 적절한 휴식으로 크게 향상될 수 있음을 뜻한다.

Table 5. Performance Ratings of the Experimental Conditions, Given $Y(\text{performance})=100\%$

Experiment Condition	Without Rest			With Rest		
	Exp. 1	Exp. 2	Exp. 3	Exp. 4	Exp. 5	Exp. 6
Results						
Mean Perf. Rating / $Y_i=100\%$	93	93	100	99	105	89
Variance	314	287	63	205	425	735
d. f.	5	8	5	5	4	3

without rest의 경우, Exp. 3이 Exp. 1,2보다 높은 계수를 보이고 있는데, 이 결과는 Tickner et. al(3,4)이 주장한(작은 현황보고와 경계대상변화는 경계능률을 떨어뜨린다는)결과와 일치하고 있다. 이 검정에 의한 잠정적인 결론으로써, ① 빈번한 경계대상(object)의 변경은 경계성능 향상에 도움을 주지 못하고(Exp. 1, Exp. 2), ② 경계담당 기간이 2시간을 초과할 경우, 평균 경계성능의 급격한 감소는 없으나 경계중 긴장도(alertness)가 상당한 진폭으로 변하므로, 경계작업의 특성이 항상 균일한 긴장도(alertness)를 요구하는 것임을 상기할때, 최대 작업시간은 2시간이 최적 기간이다. ③ 경계중 휴식제도의 운영으로 경계성능을 6~12% 향상시킬 수 있다 등이 요약된다.

4-5. 모의실험 모델의 효용(Validity of the Simulation Model)

경계실험에서 다른 내용은 모의실험 모델중 Binomial (18;0.1)과 유사하며, 발생률(frequency of occurrence)이 0.3개/10분 이상일때의 추정 효용도는 추후 실험 사항으로 남아있다. Fig. 5에 나타난 curve는 모의실험의 Binomial(18; 0.1) (즉 사건발생이 매 10분간 평균 0.1개의 확률로 나타나며 작업시간이 3시간(10분×18주기))의 성능예측 결과와 실험의 High detection, Low detection group의 성능결과를 비교한 것이다. 그림에서 곡선 ①과 ②는 보정되지 않은 (100% confidence interval) 실험결과의 성능을 기록한 변화이고, 곡선 ③은 30분 간격으로 순찰(routine inspection)이 이루어질 경우의 모델의 추정, 곡선 ④는 순찰(routine inspection)이 없는 경우 모델추정 결과를 나타내고 있다. 그림으로부터 평가할 수 있는 모의실험 모델은, 첫째, 모델에 의한 예측은 좋은 추정 결과를 내고 있으며 ($r=0.87$) 둘째, 모델은 최초 30분간의 성능을 실제보다 높게 추정하고 있으며 (overestimated in the first 30 minutes period) 셋째, 1시간 30분 후에 나타나는 경계성능의 변화(참고: Fig. 5의 곡선 ②, ③, ④) 추정의 대한 오차가 크다는 점이 나타난다. 또한, 모의 실험에서 가정된 alertness($\beta(t)$) 변화는 좋은 성능 예측의 기준이 될 수 있으며, 경계의 담당기간 역시 모델이 추정한 최대 2시간이 실험결과에서도 동일하였다. 그러나, 모델이 가정한 함수관계중 발생빈도(frequency)가 경계성능에 일차적인 영향을 미치는 점이 보완되어야 하며, 한후의 모델 보완은 평균성능보다도 성능의 변화폭(Fig. 2 참조)에 이루어져야함을 발견하였다.

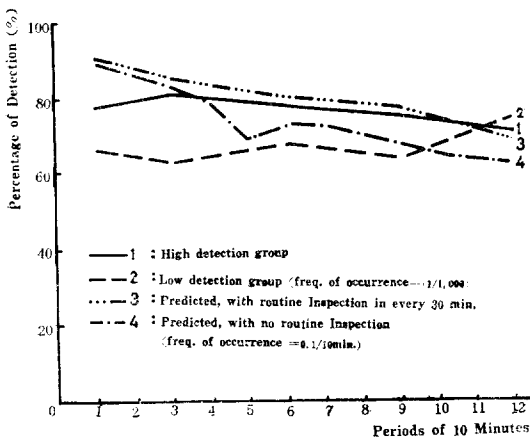


Fig. 5 Predicted vs. measured performance degradations.

5. 결 론

1. 경계 대상의 출현이 매우 낮을 경우, 인간의 경

계성능은 대상의 출현 빈도에 민감한 영향을 받으며, 경계대상의 출현 빈도에 따라서 긴장도(alertness)유지 정도가 크게 변한다. 그러므로, 경계업무의 신뢰도를 높이는 방안으로 가능하다면 인위적인 사건의 추가 (additional vigilance target artificially made)가 성능향상에 효과적일 수 있다.

2. 시간이 경과됨에 따라 변하는 경계성능의 신뢰성 탐지율에 관한 연구는, 평균성능에 대한 것보다는, 성능의 주기적 변동폭(cyclic fluctuations of performance, reliability)을 중심으로 진행되어야 할 것이다.

분석 과정(4-2 참조)의 Fig. 2에 나타난 바와 같이 경계성능을 10분 구간으로 계산하였을때 성능의 변동은 2시간 동안에 3~5개의 peak를 이루고 있었으며, 탐지율은 $(60\sim 80) \pm (20\sim 30)\%$ 의 격차를 보이고 있다. 경계업무의 특성은 극히 간헐적으로 일어나는 사건의 발견에 있으므로, 이러한 성능의 변화는 장차 계속 연구되어야 할 것이다.

3. 인간의 경계성능은 사건(danger event)의 출현 빈도가 매우 낮을 경우(0.10~0.18의 percentage), $y=0.50(1-e^{-0.04x})-0.39$ 에 의해 성능 추정이 가능하다. 만일 사건이 일어날 확률이 거의 0에 접근한다면, 인간에게 기대할 수 있는 경계 신뢰도는 39%임이 추정, 제안되었다. 이 결과를 이용하여 모의실험 모델의 보완, 실제 응용 등에 더욱 개발이 가능하다.

한가지 예로써, 위험 발생율이 0이 접근할때 경계 담당자의 detection percentage는 40%가 되고, 일반적으로 경계담당자의 수효가 n 명인 경우에 이들 모두가 detection miss할 확률은 $(1-0.40)^n$ 이 되므로, 위험발생율과 cost of detection miss 및 경계 담당자 cost가 주어지면 경계제도에 관한 최적 운영 방안이 산출될 수 있다.

4. 경계 도중의 휴식효과(rest-effect)는 유의할만한 개선을 이루지는 않으나 6~12%의 탐지 발견율 향상을 가져온다. 또한 빈번한 경계 대상의 변경은 인간성능의 저하를 수반한다. 이 결과는 Tickner et. al이 주장한 바와 일치하고 있다.

5. 경계 성능의 추정 기법으로 필자가 제안한 전자 계산기에 의한 모의실험은 타당성이 있으며, 위험율(probability of danger event)과 긴장도(alertness)유지에 대한 일련의 가정은 실험 결과와 일치하나 (1시간 30분 이후에서는 오차가 커짐), 장차의 보완연구로 더욱 개선되던 작업장의 품질검사(inspection), 레이더 감시 (radar scanning), 초소경계(vigilance of infiltration), 차량 수배(car surveillance)와 문서 번호 확인(I.D. number search) 등등의 행정, 경찰업무에 실제 응용이 가능하다.

끝으로, 식 (4)에 의해 설정된 경계성능계수(vigilance performance rating)산출은 기대하지 못했던 결과이다. 본문에 자세히 다루지 않았으나, 성능계수가 100%이상인 피실험자들은 성능의 주기적 변동 peak (Fig. 2 참조)의 회수가 적었으며 탐지율의 분산도 크지 않았다. 장시간 지속되고 단조로운 또 반복적인 경계작업에서 탐지 실패에 따르는 손해는 막심한 경우가 많은데, 이러한 작업의 담당자를 선발하는 기준에 성능계수에 의한 계량적인 선발 기준을 추가한다면 상당한 경계 신뢰도 향상이 이루어 질 것이다. 또한, 한정된 선발 여건에서 간단히 시행될 수 있는 장점이 있으므로, 각 특정 경계대상에 따르는 경계성능계수의 계속 연구와 실용방안 준비가 이루어질 것이 기대된다.

6. 후 기

1. 실험 직후 피실험자들은 각자의 탐지율을 추정하도록(2시간 평균) 요구되었다. 이들이 예상한 결과는 일부(3명)의 피실험자는 90~95%를, 그 나머지는 80~90%를 발견 성공률이라고 예상하였으나 분석 결과 (Table. 2)는 47~88%였으며, 각자의 예측과 실제 결과는 상관관계가 낮았다. 피실험자는 자기의 긴장도가 특별히 저하되는 것을 느끼지 못하였거나, 혹은 경계대상의 발생 빈도가 매우 낮았으므로 긴장도가 저하된 동안 큰 탐지 실패가 없었으리라는 기대에서 이러한 결과가 나온 듯 하다. 이 문제는 경계에서 인간의 신뢰한계를 대변하는 좋은 예로써, 경계작업은 인간-기계 의 적절한 보완관계가 중요함을 설명하고 있다.

2. 본 연구는 1973년도 문교부 학술연구비 지원에 의해 보완되었다. 필자는 지루하고 힘든 실험에 자발적으로 참가한 피실험자 36명에게 감사한다. 또한 본 연구의 필요성을 제기한 성 낙도 박사와 실험과 분석 과정에서 수많은 의견제시와 작업 진행을 담당한 대학원생, 특히 김 병재 군에게, 다량의 전화번호부를 제

공해준 체신부에서 많은 도움을 받았다.

본문 가운데 수시로 인용된 중간 보고 내용은 서울 공대 산업공학회지(제 2호, 1973)에 실려있으며 문교부 혹은 필자를 통해 구할 수 있을 것이다.

참고 문헌(References)

- [1] Schoonard, J.W., Gould, J.D. and Miller, L. A., "Studies of Visual Inspection", *Ergonomics*, 4, pp.365-366, 1973.
- [2] 이 면우, "The Human Performance Degradation due to a Prolonged, Monotonous and Reritive Task", *Industrial Engineering-S.N.U. Progress Report*), 2, pp.20-30, 1973.
- [3] Tickner, A.H., Poulton, E.C., Copeman, A.K. and Simmons, D.C.V., "Monitoring 16 Television Screens Showing Little Movement", *Ergonomics*, 3, pp. 279-291, 1972.
- [4] Tickner, A.H. and Poulton, E.C., "Monitoring up to 16 Synthetic Television Pictures Showing a Great Deal of Movement", *Ergonomics*, 4, pp. 381-401, 1973.
- [5] Schoonard, J.W. and Gould, J.D., "Field of View and Target Uncertainty in Visual Search and Inspection", *Human Factors*, 1, pp. 33-42, 1973.
- [6] Clement, D.E., "Group Performance in a Visual Signal-detection Task", *Human Factors*, 1, pp. 43-52, 1973.
- [7] Sanathanan, L., "Models and Estimation Methods in Visual Scanning Experiments", *Technometrics*, 4, 1972,
- [8] Bowker, A.H. and Lieberman, G.J., *Engineering Statistics*, Prentice Hall, 1972.