

## 시각검사 작업시의 안구운동 분석

# An Analysis of Eye Movements in Visual Inspection Tasks

우 동 필\*, 이 상 도\*\*

### I. 서 론

복잡한 생산시스템 속에서 빠른 속도로 제품을 생산하기 위해서 도입된 신형 고성능 기계류의 경우에는 검사 작업자가 제품의 결점을 검출하기가 매우 어렵다. 검사작업을 위해서 충분한 시간이 주어진다면 정확하게 처리할 수 있겠지만, 실제로는 많은 제약이 있다. 이러한 관점에서 검출오류의 결과에 대한 중요성은 증가되고 있다.

일반적으로 검사작업자는 검사작업의 표준항목을 기억하고 난 뒤, 검사해야 할 제품에서 결점을 찾게 된다. 이것은 표준항목과 검사해야 할 항목을 비교하는 것으로, 만약 두개의 항목을 비교하다가 일치하지 않는 항목이 있다면 불합격으로 처리한다.

아주 복잡하고 반복적인 작업을 하는 검사작업은 과거의 경험, 사회적 요구, 그 밖의 여러 요인에 의해서 영향을 받을 수 있기 때문에 이들 요인에 의한 작은 변화는 결과적으로 판정기준의 변화를 초래할 수 있다.

판정기준의 변화로 인한 불완전한 검사작업은 결과적으로 소비자의 불만을 초래하게 되고, 이러한 불완전한 검사작업은 불필요한 기계작업의 중지, 생산흐름의 방해, 자원 낭비를 초래하여 생산원가를 상승시킬 수 있다.

그렇지만 시각검사작업은 검사대상의 다양성과 기술적인 한계로 인하여 완전한 자동화가 이루어지지 않고 있는 실정이다. 물론 검사작업의 효율을 거의 100%로 실행시킬 수 있는 기계설계가 가능하지만, 이것은 제품의 결점이 하나 혹은 두개의 특수한 형태로 나타나는 검사작업에서 가능하다.

---

\* 동아대학교 대학원 석사과정

\*\* 동아대학교 산업공학과

인간은 다양한 상황의 변화에 대응하고 복잡하고 미세한 자극을 인식하는데 기계보다 더 우월하다. 그러나 한번에 제품 전체의 여러가지 결점을 조사하는 인간의 능력에 부합하는 기계를 만들기는 어렵다. 방대한 결점수의 식별, 분류와 진단, 인간-기계, 인간-인간 간의 교신에 의한 결점제거는 아직 인간을 능가할 수 없다.

오늘날 엄격한 제품책임 법규와 국제 시장에서의 경쟁력 강화로 산업현장에서의 검사작업에 대한 중요성은 증가되고 있고, 검사작업자로서의 인간은 산업현장의 품질관리에서 없어서는 안 될 중요한 위치에 놓이게 되었다. 검사작업은 검색과 의사결정이라는 하부작업으로 구성되어 있고, 간단한 검사작업에서 수행도를 예측하기 위한 이들의 하부작업의 수행도에 대한 연구도 많이 이루어져 왔다. 그러나 산업현장에서 최적 검사작업을 하기 위한 시스템 설계를 하는 수준에는 이르지 못하고 있다. 이러한 현실에서 검사작업과 검사작업자의 특성을 파악하여 작업자가 보다 효율적인 검사작업을 할 수 있는 연구가 요구되고 있다.

따라서 본 연구에서는 검사작업의 개인차에서 비롯하는 작업자의 결점검출방법에 관하여 살펴보고자 한다. 이를 위해서, 먼저 피실험자를 대상으로 두가지 작업방법, 즉 기능적 검사(functional search)를 하는 작업자와 지형적 검사(topographic search)를 하는 작업자로 나누어 실험을 하였다.

또한 이들이 검사작업을 하는 동안 일어나는 안구운동(eye movements)의 몇가지 요인을 측정하여 시각검사작업에 영향을 미치는 안구운동요인을 파악하고자 한다.

## II. 측정방법 및 내용

### 1. 실험대상 및 직무분석

실험대상은 Fig.1과 같이 Stereo Cassette Equalizer Circuit에 대한 검사작업이다. 이것은 LSI(large scale intergrated circuit)를 사용하여 도, 미, 솔, 도 4음계를 발생하도록 하는 음계발생 PCB(printed circuit board)로서 각 음계를 발생시키기 위해 음계에 맞는 주파수를 발생시켜 주기 위한 각각의 발진회로가 LSI에 집약되어 있다. Fig.1은 본 실험에 사용된 컴퓨터 시뮬레이션 화면이다.

회로판은 LSI, 가변저항(VR), 저항, 전해콘덴서, 세라믹콘덴서, 트랜지스터 등의 부품으로 구성되어 있으며, 이것은 Fig.1에서 보는 바와 같이 4음계를 발생하는 LSI, 멜로디의 속도를 조절하는 가변저항, 각 음계의 발생과 관련이 있는 저항 및 전해콘덴

서로 구성된 전달부, 트랜지스터와 세라믹콘덴서가 합쳐져서 저주파를 증폭시켜 주는 pushpull증폭기로 나누어진다.

검사항목에 대한 결점은 리드 나옴, 납쇼트, 납땜 떨어짐, 오삽입, 오극성, 미삽입 등의 6가지로 구성되며, 이들 각 결점특성과 기능상의 문제 및 재가공 정도에 의하여 정해진 4개의 품질등급 범주로 분류하는 검사작업으로 구성된다.

재가공의 정도에는 단순한 납땜을 행하는 경우와 납땜을 행한 후 부품교환 및 위치 교정을 행해야 하는 두 가지 경우로 구성된다. 합격과 불합격의 판별기준은 기능상의 문제에 의하여 결정되며, 합격에는 QC1과 QC2 품질등급이 있으며 불합격에는 QC3과 QC4 품질등급이 존재한다. QC1과 QC2의 판별기준은 외관상의 문제이다. 즉, 완전한 상품은 QC1에 해당되며, 모든 규격은 일치하여 재가공작업은 행하지 않지만 외관상의 문제가 발생하는 경우 QC2에 속하는데, 리드 나옴이 여기에 해당된다. QC3과 QC4의 판별기준은 재가공작업 정도이다. 납땜 떨어짐 또는 납쇼트는 납땜만 행함으로써 합격품이 될 수 있으므로 QC3에 해당된다. 오극성, 오삽입, 미삽입은 부품의 교환 및 위치 교정을 행한 후 납땜을 해야 한다. 따라서 납땜 떨어짐과 납쇼트보다 작업량이 많으므로 QC4에 해당된다.

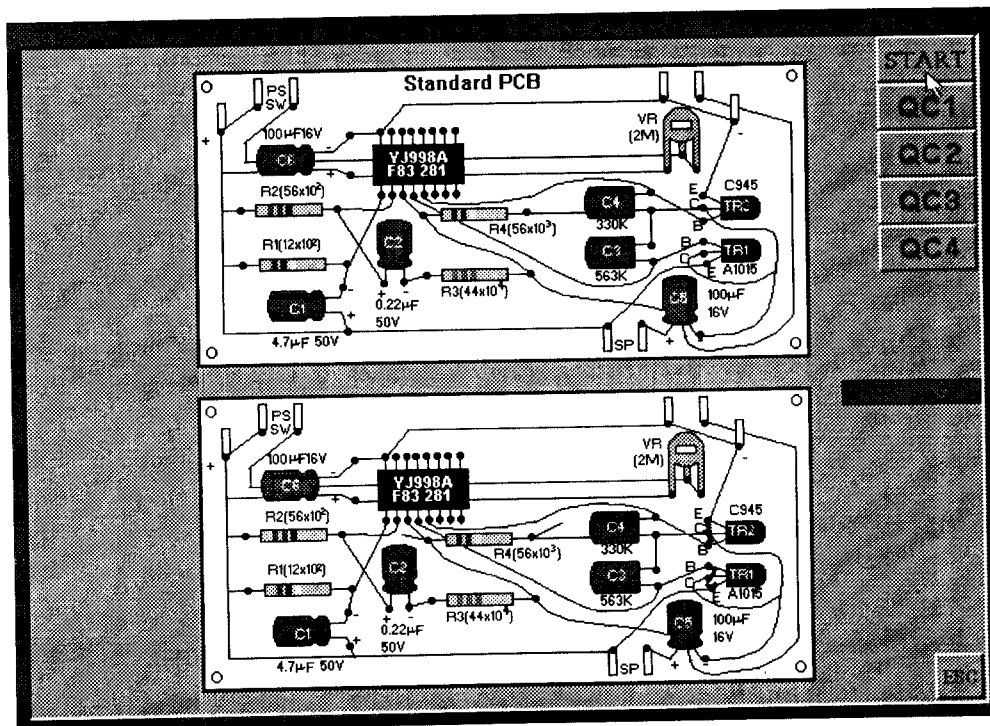


Fig.1. An example of the simulated PCB on CRT for the experiment

실험단계에서 제시된 PCB 검사작업은 4가지 하부작업으로 나누어진다. 직무분석을 통하여 4가지 하부작업 즉, 검사부분 검색(search), 결점검출(detection), 불량상태 기억(record), 품질등급 분류(classify) 등으로 작업절차가 구성된다.

## 2. 실험방법 및 절차

실험에서는 모든 실험대상 자료 및 절차를 17"(VGA 640×480) 컴퓨터 CRT상에서 그래픽으로 재현함과 동시에 모든 응답은 마우스(mouse)조작으로 행하였다. 피실험자는 아래의 두가지 검사방법으로 나누어 실험하였다.

(1)기능적 검사 - 음계 발생부, 전달부, 증폭부 순서로 검사한다.

(2)지형적 검사 - 회로판을 좌측에서 우측으로 검사한다.

### 가. 미숙련자 대상 실험

실험절차는 크게 3단계로 나누어져 있다. 먼저 예비단계에서 훈련지침서를 피험자에게 제시하여 실험전반에 관한 내용을 숙지시키고, 훈련단계에서는 12개의 검사자료를 본실험에서와 동일한 방법으로 검사하도록 하였다. 본실험에서는 20개의 대상자료에 대하여 검사를 행하였다.

#### ①예비단계

- 대상자료 및 작업을 설명한다.

#### ②훈련단계

- 피실험자에게 검사작업 내용을 숙달시키기 위한 단계이다.

#### ③본실험

- 훈련단계를 거친 후 본실험을 실시한다.

먼저 본실험에 임하기 전에 피실험자의 프리커치(flicker value)를 측정한다. 그 다음 피실험자에게 아이카메라(eye camera)를 착용시키고, 작업방법에 따라 실험을 하게 한다. 이 때 아이카메라는 피실험자가 작업을 하는 동안 발생하는 여러가지 정보

를 기록하게 된다. 이렇게 해서 피실험자가 작업을 끝내고 나면 다시 프리커치를 측정한다.

나. 숙련자 대상 실험

정확도 95%를 목표로 하여 훈련을 시킨 뒤에 본실험에 임한다.

III. 결과분석 및 고찰

1. 검사작업방법에 따른 결과분석

두 가지 검사작업방법, 즉 기능적 검사방법(type-A)과 지형적 검사방법(type-B)에 의한 안구운동의 결과는 Table-1과 같다.

실험결과를 각각의 안구운동 요인에 대하여 분산분석을 실시하였다. 피실험자의 상태에 대한 검사시간은  $\alpha=0.05$ 수준에서 유의적이고, 검사작업방법에 대한 검사시간도  $\alpha=0.05$ 수준에서 유의적이다. 따라서 검사시간이 짧은 type-B가 더 효율적인 검사방법이라고 할 수 있다.

또한 피실험자의 상태에 대한 주시시간은  $\alpha=0.05$ 수준에서 유의적인 차이가 없지만, 검사작업방법에 대한 주시시간은  $\alpha=0.05$ 수준에서 유의적이다.

Table-1. The result of experiments on type-A and type-B

variables	subject	mean	
		type-A	type-B
inspection time	novice	313612(msec.)	225729(msec.)
	skilled	148483(msec.)	130591(msec.)
fixation time	novice	85562(msec.)	45613(msec.)
	skilled	52592(msec.)	24628(msec.)
number of fixations	novice	1136(num.)	668(num.)
	skilled	533(num.)	357(num.)
number of saccades	novice	240.5(num.)	215(num.)
	skilled	134(num.)	104.5(num.)
C.F.F.	novice	-9.27(%)	-9.18(%)
	skilled	-6.51(%)	-3.95(%)

주시회수에 대한 결과는 검사작업방법에 대해서  $\alpha=0.05$ 수준에서 유의적인 차이가 있고, 피실험자의 상태에 대해서도  $\alpha=0.05$ 수준에서 유의적이다. 따라서 숙련자는 미숙련자보다 적은 주시점을 가진다.

도약운동은 피실험자의 상태에 대하여  $\alpha=0.05$ 수준에서 유의적인 차이가 있지만, 검사작업방법에 대한 도약운동은  $\alpha=0.05$ 수준에서 유의차가 없다. 이 도약운동을 유효시야의 개념으로 해석을 한다면, 도약운동의 회수가 적다는 것은 유효시야가 크다고 볼 수 있다. 따라서 미숙련자와 숙련자의 시각정보처리 비율을 비교해 보면 숙련자의 정보처리 비율이 높다고 볼 수 있다.

피실험자의 상태에 대한 시각피로는  $\alpha=0.05$ 수준에서 유의적인 차이가 있다. 즉, 훈련을 많이 한 숙련자의 시각피로는 미숙련자의 시각피로보다 적다고 볼 수 있다. 그렇지만 두 가지 검사작업방법에 따른 시각피로의 차이는 없다.

## 2. 안구운동에 의한 수행도분석

검사시간과 피로도가 평균치 이하인 집단과 평균치 이상인 집단을 각각 group-A와 group-B로 나누었다.

Table-2는 검사시간을 평균치를 중심으로 두개의 그룹으로 나누었을 때 안구운동요인의 결과이다. 주시회수는 검사시간에 의해 나누어진 두 그룹간에  $\alpha=0.05$ 수준에서 유의차가 있고, 주시시간은 유의적인 차가 없다. 또 도약운동은 검사시간에 의해 나누어진 두 그룹간에 유의적인 차이가 있다. 이것은 주시회수와 도약운동의 수는 검사작업의 수행도 즉, 검사시간에 영향을 미친다고 볼 수 있다.

Table-2. Eye movements of group-A and group-B by inspection time

variables	mean	
	group-A	group-B
fixation time	32249(msec.)	48151(msec.)
number of fixations	301(num.)	660(num.)
number of saccades	100.2(num.)	147.9(num.)

Table-3. Eye movements of group-A and group-B by C.F.F.

variables	mean	
	group-A	group-B
fixation time	31875(msec.)	48712(msec.)
number of fixations	354(num.)	580(num.)
number of saccades	107.5(num.)	137.9(num.)

Table-3은 피실험자의 피로도 결과를 평균치를 중심으로 두개의 그룹으로 나누었을 때 안구운동요인의 결과이다. 주시회수는 피로도에 의해 나누어진 두 그룹간에  $\alpha=0.05$  수준에서 유의적인 차이가 있다. 주시시간은 검사시간에 의해 나누어진 두 그룹간에 유의적인 차이가 없다. 도약운동은 검사시간에 의해 나누어진 두 그룹간에 유의적인 차이가 있다. 따라서 주시회수와 도약운동은 검사작업자의 피로도에 영향을 미친다고 볼 수 있다.

위의 두가지 결과에 의하면 시각검사작업자의 수행도는 안구운동요인 중에서도 주시회수와 도약운동에 의해서 결정된다고 볼 수 있다.

Table-4. The result of experiments on sex

variables	subject	mean	
		male	female
inspection time	novice	295019(msec.)	244322(msec.)
	skilled	152635(msec.)	126439(msec.)
fixation time	novice	68673(msec.)	62502(msec.)
	skilled	36983(msec.)	40237(msec.)
number of fixations	novice	873(num.)	931(num.)
	skilled	516(num.)	373(num.)
number of saccades	novice	244(num.)	211.1(num.)
	skilled	120.6(num.)	117.9(num.)
C.F.F.	novice	-10.02(%)	-8.43(%)
	skilled	-6.12(%)	-4.34(%)

### 3. 성별에 의한 결과분석

Table-4는 남녀 성별에 대한 안구운동요인의 결과이다. 실험결과를 각각의 요인에 대하여 분산분석을 실시하였다. 이 분산분석의 결과에 의하면 성별에 대한 검사시간, 주시시간, 주시회수, 도약운동, 피로도는  $\alpha=0.05$ 수준에서 유의적이지 못하다.

위의 결과에 따르면 성별에 따른 시각검사작업 수행도 결과는 차이가 없다고 볼 수 있다.

## IV. 결론 및 추후 연구방향

최근 자동화추세와 더불어 산업현장에서도 대부분의 설비가 자동화로 바뀌어 가고 있는 실정이다. 그렇지만 검사작업의 상당한 부분은 아직 인간에게 의존하고 있다. 물론 기계를 통한 검사작업을 실시할 수 있지만 기계화가 가능한 특수작업이나 결점형태가 단순한 작업에서만 가능하다. 이러한 이유에서 정교한 의사결정을 하고 분류를 하는 인간이 대부분의 검사작업공정에 배치되어 있다. 따라서 검사작업의 수행도를 향상시키기 위해서 인간과 관련된 요인을 연구하는 것은 필수적이라 하겠다.

본 연구에서는 검사작업의 수행도를 향상시키기 위해서 검사작업방법과 안구운동특성에 관하여 고찰하였다. 이것은 검사작업자의 개인차에서 비롯하는 것으로 검색방법을 기능적 검사를 하는 작업자와 지형적 검사를 하는 작업자로 나누어, 미숙련상태와 일정수준이상의 정확도를 가지는 숙련상태에서 이들의 검사작업 수행도와 안구운동요인을 비교·분석하였다.

실험결과에서 나타난 것과 같이 검사작업에서 남녀 성별에 따른 수행도는 차이가 없는 것으로 나타났다. 그렇지만 검사작업방법에 대한 안구운동의 여러가지 요인은 검사작업방법에 따라 차이를 나타내고 있다. 검사작업자의 안구운동요인을 이용하여 검사작업자의 수행도를 분석해 보면 수행도가 높은 작업자의 안구운동특성은 주시시간이 짧고, 주시회수와 도약운동이 적다. 주시회수와 도약운동은 시각검사작업 수행도에 가장 큰 영향을 미치는 요인으로 이들 작업자는 상대적으로 적은 주시회수와 도약운동을 가지면서도 충분한 시각정보를 수집할 수 있다. 즉, 검사작업방법은 인간의 시각정보처리에 영향을 미친다.

결점을 검출하기 위해서 필요한 검사시간은 주시시간의 차이보다는 주시회수와 도약운동의 차이에 의해서 영향을 받고 작업자의 피로도 역시 이들 주시회수와 도약운동의 의해서 영향을 받는다. 도약운동은 결점을 확인하기 위한 주시점의 이동에 영향



을 미치기 때문에 도약운동의 진폭이 클수록 효율적인 검색을 할 수 있다.

검사작업에 대한 훈련은 산업현장에서 일반적으로 별로 중요하지 않게 여겨져 왔다. 그렇지만 본 실험의 결과를 시각검사작업자의 훈련에 도입함으로써 효율적인 제품검사를 할 수 있을 뿐만아니라 기업측에서도 비용을 절감할 수 있다. 훈련방법의 개선은 생산시스템의 추가적인 도입이 필요한 것이 아니라 개선된 훈련방법을 적용함으로써 수행도를 향상시키기 때문에 기업측면에서도 부담이 적다. 따라서 훈련방법 개선의 중요성은 단순히 검사작업에 인간공학을 적용한다는 것보다 중요할 수 있다.

시각검사작업은 작업의 목적과 작업개선의 방향에 따라 적합한 모든 요인을 선정하여 연구하여야 한다. 그러나 이것은 현실적으로 불가능할 경우가 많다.

본 연구에서는 인간 자체의 고유기능인 시각기능과 관련된 안구운동 요인만으로 실시하였다. 그러나 인간기능에 관련된 요인뿐만 아니라 작업에 관련된 작업특성, 환경특성, 조직특성을 고려한 연구가 요구되고, 이러한 연구는 작업과 관련된 제특성이 인간에게 미치는 영향을 정확하게 파악할 수 있도록 해 주며, 작업자의 선정 및 훈련에 큰 도움이 되리라 생각된다.

#### 참 고 문 헌

1. Rasmunssen, J., "Information Processing and Human-Machine Interaction", Elsevier Science Publishers B.V., 1986, pp.27-30.
2. Sheehan, J. J., and Drury, C. G., "The analysis of industrial inspection", Applied Ergonomics, Vol.2, No.2, pp.74-78, 1971.
3. Gallwey, T. J., and Drury, C. G., "Task Complexity in Visual Inspection", Human Factors, Vol.28, No.5, pp.595-606, 1986.
4. Robinson, G. H., "Visual Search by Automobile Drivers", Human Factors, Vol.14, No.4, pp.315-323, 1972.
5. Togami, H., "Affects on visual search performance of individual differences in fixation time and number of fixations", Ergonomics, Vol.27, No.7, pp.789-799, 1984.
6. Kurabaryashi, T., "Time Characteristics of Inspection", Ergonomics, Vol.27, No.7, pp.781-788, 1984.

7. Noro, K., "Determination of Counting Time in Visual Inspection", *Human Factors*, Vol.22, No.1, pp.43-55, 1980.
8. Czaja, S. J., and Drury, C. G., "Training Programs for Inspection", *Human Factors*, Vol.23, No.4, pp.473-484, 1981.
9. Wang, M. J., and Drury, C. G., "A method of evaluating inspector's performance differences and job requirements", *Applied Ergonomics*, Vol.20, No.3, pp.191-190, 1989.
10. Magaw, E. D., and Richardson, J., "The Eye Movements and Industrial Inspection", *Applied Ergonomics*, Vol.10, No.3, pp.145-154, 1979.
11. Drury, C. G., and Sinclair, M. A., "Human and machine performance in an Inspection Task", *Human Factors*, Vol.25, No.4, pp.391-399, 1983.
12. McFarling, L. H., and Heimstra, N. W., "Pacing, Product Complexity, and Task Perception in Simulated Inspection", *Human Factors*, Vol.7, No.4, pp.361-367, 1975.
13. 곽효연, "퍼지集合論에 의한 檢査作業의 認知技術 評價", 동아대학교 석사논문, pp.25-30, 1992.
14. 손일문, "認知要因 決定 및 遂行道 豫測模型에 관한 研究", 동아대학교 박사논문, pp.56-65, 1993.