

# 위험 기계작업에서 숙련자와 초보자의 눈과 손 움직임에 대한 연구

## Eye and Hand Movement by Experienced and Novice workers in Hazard Machinery Operation

박경수<sup>1</sup> · 김유창<sup>2</sup>

### ABSTRACT

This paper presents an experiment which examines eye movement characteristics of novice and experienced workers in the press operation. Significant difference between the novice and the experienced workers was observed in eye fixation time, eye movement patterns, hand duration time, and hand movement time. The results could be used to set up a guide to train the novice workers and to determine how long the novice should be trained.

### 1. 서론

한국에서 산업재해를 분석하여 보면 '93년 한국에서 4일이상 요양을 요하는 재해자가 90,288명 발생하였으며, 산업재해로 인한 경제적 손실액은 4,362,655백만원으로 추정되며 매년 증가하고 있다. 산업재해를 발생시키는 원인이되는 기인물중 프레스 및 전단기가 차지하는 비중이 18.7%로 가장 높아 프레스 기계의 안전성에 대한 연구가 시급한 실정이다. 지금까지 기계자체에 대한 연구는 많이 되어 있으나 인간의 작업방법에 대한 연구는 전무한 형편이다.

---

1 한국과학기술원 산업공학과

2 충남전문대학 산업안전과

'93년 재해자 90,288명중 51.9%가 근속기간이 6개월미만이고 9.9%가 6개월-1년이다. 즉, 재해자의 61.8%가 작업장에서 1년미만 근무한 초보자임을 알 수 있다. 따라서 한국에서의 산업재해는 대부분 충분한 훈련을 받지않은 근로자가 산업현장에 배치되어 작업을 하다가 사고를 당하는 경우이다. 따라서 충분한 교육과 훈련을 하고 작업에 배치하면 재해를 60%이상을 감소시킬 수 있다고 생각된다. 특히 재해가 많이 발생하는 프레스등과 같은 위험기계 작업자는16시간이상을 교육받도록 산업안전보건법에 규정되어 있으나 대부분 이론적인 안전교육에 치중하고 있으며, 각 위험기계마다 특성과 위험도가 다름에도 불구하고 알률적인 교육시간을 적용하고 있는 형편이다. 따라서 초보자와 숙련자를 구별할 수 있는 평가방법을 개발하여 작업자에게 알맞은 훈련기간을 설정하여 최적의 작업방법을 교육시키는 것이 필요하다.

프레스등과 같은 대부분의 산업위험기계는 눈을 통하여 정보를 받아들이고 손으로 작업을 행하므로 눈과 손은 서로 적절히 조화를 이루어야 생산능률을 높일 수 있을 뿐만 아니라 안전하게 작업을 수행할 수 있다. 따라서 눈과 손움직임을 이용한 작업평가에 대한 연구가 필요하다. 그러나 현재 생산현장에서의 실험의 어려움과 측정장비의 부족으로 인한 분석의 어려움으로 연구가 거의 되어 있지 않다.

본 연구는 눈과 손움직임을 이용하여 초보자와 숙련자를 구별할 수 있는 모수(parameter)를 찾아내어 최적의 생산능률과 안전하게 작업할 수 있도록 근로자들의 교육 및 훈련에 이용될 수 있게하며 교육훈련기간 설정에 도움을 주고자 한다.

## 2. 실험방법 및 실험장치

### 2.1 실험계획

피실험자는 안경을 쓰지 않은 초보자 5명과 숙련자 5명을 선발하여 실험하였다. 초보자는 20세 가량의 대학생이며 프레스는 책에서 배워 알고 있으나 기계를 사용해본 경험은 전혀 없으며 숙련자는 사고경험이 없고 프레스작업경력이 평균 5년이며 각 숙련자는 최소한 2년이상의 작업경험이 있다. 각 피실험자는 성형작업(form operation)을 15분 연습하고 3분간 본 실험을 실시하였다.

## 2.2 실험장치

눈움직임은 Eye camera system의 Scene monitor에 나타난 주시점을 VTR에 녹화하였으며, 손움직임은 Video Camera로 녹화하여 프레임분석을 행하였다. 실험장치는 Fig.1과 같다.

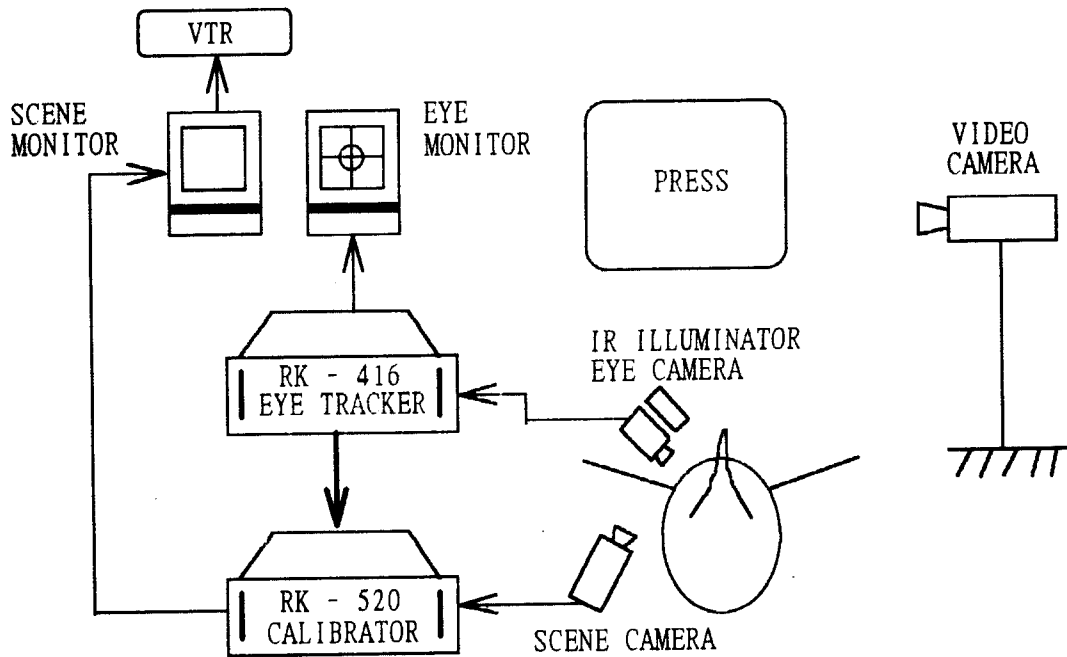


Fig. 1 Sematic Diagram of the System

### 2.2.1 프레스(Press)

프레스는 2개 이상의 서로 대응하는 금형을 사용하여 그 금형사이에 금속등의 가공재료를 넣고 가공재료를 강한 힘으로 압축시킴에 의해 급함, 드로잉, 절단, 천공등을 하는 기계이다. 본 실험에 쓰인 프레스는 1톤 짜리 기계식이며 안전장치는 손쳐내기식 장치 뿐만아니라 조작을 양손으로 동시에 하지 않으면 기계가 가동하지 않는 양수조작스위치를 구비하였다.

### 2.2.2 눈움직임 측정장치

본 실험에 쓰인 아이 카메라 시스템(eye camera system)은 ISCAN社 에서 만들어진 제품으로 동공의 크기(pupil size), 눈 움직임(eye movement), 눈의 주시점(eye point-of-regard)등을 분석할수 있다. 이 시스템은 NTSC 방식에서는 60Hz 샘플링을 할 수 있으며 시각(visual angle)이  $\pm 15^\circ$  에서  $\pm 20^\circ$  내에서는  $1^\circ$  의 정확성을 가진다. 이 시스템은 실험중에 피실험자의 작은 머리 움직임을 자동적으로 보정하여 주며 또한 안경이나 콘택트렌즈를 착용하여도 좋은 시스템이다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

눈의 주시점이 분석하는 부위에 머무르는 시간과 각 부위사이를 이동하는 시간을 측정하며 이를 근거로 한 여러 변수들을 이용한다. 측정자료중 평균  $\pm 3\sigma$  범위 밖의 자료는 제외하였다.

### 3.1 주기당 표준시간

제품 1개 만드는 데 소요되는 시간은 숙련자는 평균 3.80초(표준편차 0.74초) 이고 초보자는 평균 4.65초(표준편차 0.91초) 이다. Mann-Whitney U Test를 행하여 보면 숙련자와 초보자는 제품 1개를 만드는 표준시간( $P < 0.0079$ )과 표준편차( $P < 0.0952$ )에 유의하다. 즉 숙련자는 초보자보다 빠르게 작업을 수행하며 작업시간의 변동도 작음을 알 수 있다.

Table. 1 Standard Time for Novice and Experienced Workers

주기당 표준시간	(second)			
	숙련자		초보자	
	평균	표준편차	평균	표준편차
	3.80 **	0.74 *	4.65	0.91

### 3.2 눈 움직임

눈이 머문시간은 Table. 2와 같으며 이 자료를 Mann-Whitney U Test를 행하여 보면 숙련자와 초보자는 재료용기에서 머문시간의 평균과 표준편차는 유의하지 않으나 금형에서의 머문시간의 평균( $P < 0.0079$ )과 표준편차( $P < 0.0159$ )는 유의하다. 따라서 재료용기에서 머문시간의 평균과 표준편차는 숙련자와 초보자가 다르지 않으나 금형에서

머문시간의 평균과 표준편차는 숙련자가 초보자보다 짧다고 할 수 있다. Wierwille(1985)는 정신부하가 높으면 눈의 머문시간이 증가한다고 주장하였는데 이는 중요한 부위는 많은 정보를 처리하기 위해 좀 더 오랫동안 머무른다는 것이다. 따라서 모든 작업자에게 재료용기보다는 금형이 더 중요한 부위임을 알 수 있으며, 숙련자는 초보자보다 프레스에 대한 정보를 더 많이 갖고 있기 때문에 금형에서 머문시간이 초보자보다 짧다고 생각된다.

눈의 이동시간은 Table. 3과 같으며 이 자료를 Mann-Whitney U Test 를 행하면 유의수준 0.05에 유의하지 않다. 즉 눈의 이동시간은 숙련자와 초보자사이에 차이가 없다고 말할 수 있다.

제품이 한개 만들어 지는 주기당 눈움직임의 숙련자와 초보자의 패턴은 Table .4 과 같으며 이 자료를 Mann-Whitney U Test 를 행하면 유의수준 0.05에 재료용기 → 금형 패턴은 유의하지 않으며 재료용기 → 금형 → 금형 패턴(  $P < 0.095$  )과 재료용기 → 금형 → 재료용기 → 금형 패턴(  $P < 0.015$  )은 유의하다. 따라서 숙련자는 재료용기 → 금형 → 재료용기 → 금형 패턴이 많고 초보자는 재료용기 → 금형 → 금형 패턴이 많음을 알 수 있다. 이는 숙련자는 상형과 하형이 만나는 순간, 즉 제품이 만들어 지는 순간을 보기전에 다음 작업을 위하여 재료용기를 보는 경향이 초보자보다 많기 때문으로 생각된다.

상형과 하형이 만나는 순간, 즉 제품이 만들어지는 순간이 프레스 작업에서 가장 위험한 순간이다. 이 위험한 순간의 숙련자와 초보자의 주시점은 Table. 5 와 같으며 이 자료를 Mann-Whitney U Test 를 행하면 재료용기( $P < 0.056$ ), 금형( $P < 0.0317$ )에서 유의하다. 이는 상형과 하형이 만나는 순간에 숙련자는 재료용기에 초보자는 금형에 보다 더 주시하고 있는 것을 알 수 있다.

Table. 2 Eye Fixation Time for Novice and Experienced Workers  
(second)

프레스 부위	숙련자		초보자	
	평균	표준편차	평균	표준편차
재료용기	0.64	0.54	0.89	0.53
금형	1.17 **	0.76 **	2.03	1.16

Table. 3 Eye Movement Time for Novice and Experienced Workers

프레스 부위	(second)			
	숙련자		초보자	
	평균	표준편차	평균	표준편차
재료용기 → 금형	0.30	0.14	0.26	0.07
금형 → 재료용기	0.33	0.15	0.27	0.18

Table. 4 Eye Movement Patterns for Novice and Experienced Workers

눈 움직임 패턴	(second)	
	숙련자	초보자
재료용기 → 금형	55.3%	56.7%
재료용기 → 금형 → 금형	9.1% *	29.9%
재료용기 → 금형 → 재료용기 → 금형	28.1% **	6.3%
기 타	7.5%	7.1%

Table. 5 Spatial Distribution of Fixation for Novice and Experienced workers when the top die hits the bottom die

프레스 부위	(second)	
	숙련자	초보자
재료용기	50.3% *	11.8%
금형	27.7% **	76.9%
재료용기 → 금형	16.1%	8.0%
기 타	5.9%	3.3%

### 3.3 손 움직임

손의 머문시간을 분석하여 보면 Table. 6과 같으며 이 자료를 Mann-Whitney U Test를 행하여 보면 숙련자와 초보자는 재료용기와 금형에서 손 머문시간의 평균과 표준편차는 유의하지 않으나 스위치에서 손 머문시간의 평균(  $P < 0.0952$  )은 유의하다. 따라서 재료용기와 금형에서 손 머문시간의 평균과 표준편차는 숙련자와 초보자가 다르지 않으나 스위치에서 머문시간의 평균은 숙련자가 초보자보다 짧다고 할 수 있다.

손의 이동시간은 Table.7 과 같으며 자료를 Mann-Whitney U Test 를 행하면 재료용기 → 금형, 금형 → 스위치의 이동시간은 유의수준 0.05에 유의하지 않으나 스위치 → 재료용기의 이동시간(  $p < 0.1$ )은 유의하다. 즉 스위치 → 재료용기 사이의 손의 이동시간은 숙련자가 초보자보다 짧다고 할 수 있다.

제품이 한개 만들어 지는 주기당 손움직임의 숙련자와 초보자의 패턴은 Table .8 과 같으며 이 자료를 Mann-Whitney U Test 를 행하면 유의수준 0.05에 유의하지 않다. 따라서 숙련자와 초보자의 손 움직임 패턴은 다르지 않다.

Table. 6 Hand Duration Time for Novice and Experienced workers

프레스 부위	(second)			
	숙련자		초보자	
	평균	표준편차	평균	표준편차
재료용기	0.62	0.45	0.73	0.54
금형	0.91	0.40	1.05	0.49
스위치	0.95 *	0.14	1.34	0.28

Table. 7 Hand Movement Time for Novice and Experienced Workers

프레스 부위	(second)			
	숙련자		초보자	
	평균	표준편차	평균	표준편차
재료용기 → 금형	0.27	0.07	0.39	0.13
금형 → 스위치	0.45	0.07	0.45	0.48
스위치 → 재료용기	0.47 *	0.07	0.56	0.10

Table. 8 Hand movement Patterns for Novice and Experienced Workers

손 움직임 패턴	(second)	
	숙련자	초보자
재료용기 → 금형 → 스위치	97.8%	96.9%
기 타	2.2%	3.1%

#### 4. 결론

한국에서는 날로 발전하는 산업사회의 산업시설 및 위험기계가 증가함에 따라 산업재해가 증가하고 그 피해액도 점차 확대되어 가고 있는 실정이다. 이러한 산업재해는 우리나라의 국력손실은 물론 귀중한 인명까지도 앗아가고 있다. 또한 한국이 세계 1위의 산업재해 국가라는 오명을 없애기 위해서도 산업재해를 줄일 수 있는 연구가 필요하다.

'93년 한국에서 발생한 산업재해의 원인을 기술적원인(42.3%), 교육적원인(44.8%), 작업관리상원인(11.9%)으로 나눌 수 있는데 교육적 원인이 가장 높음을 알 수 있다. 따라서 위험기계의 고장을 예방하는 연구보다는 어떻게 안전하고 효율적인 작업방법을 교육시키고 평가할 것인가에 대한 연구가 재해예방에 많은 도움이 될 것이다.

본 연구는 눈움직임을 이용하여 초보자와 숙련자를 구별할 수 있는 모수(parameter)를 찾아내어 최적의 생산능률과 안전하게 작업할 수 있는 작업방법을 평가할 수 있도록 할 뿐아니라 작업자들의 교육 및 훈련에 이용될 수 있게하며 교육훈련기간 설정에 도움을 주고자 한다. 본 연구결과는 산업안전공단등과 같은 산업안전교육기관등에서 시각모의장치(visual simulator)를 사용함으로써 초보자들이 작업에 투입되기전에 충분한 시각정보를 얻을 수 있는지 평가할 수 있을 것이다. 또한 프레스 기계뿐만 아니라 로울러기, 선반등과 같은 위험기계에도 같은 연구방법을 적용할 수 있어 그 응용범위가 많을 것으로 생각된다.

#### 참고문헌

1. A.Ohtani, "An Analysis of Eye Movements during a Visual Task", *Ergonomics*, 14(1) : 167-174, 1971.
2. E.D. Megaw and J.Richardson, "Eye movement and industrial inspection", *Applied Ergonomics*, 10(3) : 145-154, 1979.
3. E.D. Megaw and J.Richardson, "target Uncertainty and Visual Scanning Strategies", *Human Factors*, 21(3) : 303-315, 1979.
4. F.Hella, M.Tisserand and J.F.Schoula, "Analysis of eye movement in different tasks related to the use of lift trucks", *Applied Ergonomics*, 22(2), : 101-110, 1991.
5. Gordon H.Robinson, "Visual search by automobile driver", *Human Factors*, 14 : 315-323, 1972.