

프레스 작업에서 눈과 손의 협응동작에 대한 연구

Eye-Hand Coordination in Press Task

박경수* · 김유창**

ABSTRACT

This paper presented an experiment which examined eye and hand movement characteristics of novice and experienced workers in the press operation.

Continuous recordings of eye and hand movements were made on five novice operators and five experienced operators in press operation. Significant difference between the novice and the experienced operators was observed in eye fixation time, eye movement patterns, hand dwell time, and eye-hand coordination. Also, differences were observed in spatial distribution of eye fixations during the die-closing portion of a stroke. There were no significant differences between the novice and the experienced operators in the eye and the hand movement time. The results could be used to establish a guide determining the method and training period to train the novice operators.

* 한국과학기술원 산업공학과

** 충남전문대학 산업안전과

1. 서 론

1.1. 연구 개요

산업현장에서 사용되고 있는 프레스는 동종 제품을 양산하는데 소요되는 설비로서 하루에 수천회 또는 그 이상이며, 1년에 수백만번의 단순동작을 반복하면서 제품을 가공하는 동안 수없이 위험구역내에 신체의 일부가 드나드는 위험한 기계이다. 그중에서 단 한 번의 실수에 의해 산업재해를 당하게 되며, 산업재해의 대부분이 신체장해를 남기는 기계이다.

한국에서 산업재해를 분석하여 보면 '93년 한국에서 4일 이상 요양을 요하는 재해자가 90,288명 발생하였으며, 산업재해로 인한 경제적 손실액은 4,362,655백만원으로 추정되며 매년 증가하고 있다. 산업재해를 발생시키는 원인이 되는 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.

'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 받지 않은 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 프레스 등과 같은 위험기계 작업자는 16시간 이상을 교육받도록 산업안전보건법에 규정되어 있으나 대부분 이론적인 안전교육에 치중하고 있으며, 각 위험

기계마다 특성과 위험도가 다름에도 불구하고 일률적인 교육시간을 적용하고 있는 형편이다. 따라서 초보자와 숙련자를 구별할 수 있는 평가방법을 개발하여 작업자에게 알맞는 훈련기간을 설정하여 최적의 작업방법을 교육시키는 것이 필요하다.

프레스작업과 같은 위험작업은 계속적인 시각작업을 필요로 하며, 작업을 안전하고 효율적으로 하기 위해서는 시각정보가 적절한 순서로 들어와야 하며 빠르게 처리되어야 한다. 또한 눈과 손이 적절히 조화를 이루어 작업을 하여야 재해를 방지할 수 있다. 따라서 본 연구는 눈과 손움직임의 협응동작을 이용하여 초보자와 숙련자를 구별할 수 있는 모수(parameter)을 찾아내어 최적의 생산능률과 안전하게 작업할 수 있도록 근로자들의 교육 및 훈련에 이용될 수 있게 하며 교육훈련기간 설정에 도움을 주고자 한다.

1.2. 기존의 연구

자동차, 프레스기계와 같은 위험기계작업은 계속적인 시각작업을 필요로 하며, 작업을 안전하고 효율적으로 하기 위해서는 시각정보가 적절한 순서로 들어와야 하며 빠르게 처리되어야 한다. 이러한 이유 때문에 눈 움직임을 이용한 작업평가에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 현재 눈 움직임을 이용한 작업평가 방법은 머리 움직임을 보정한 눈 움직임 측정장치가 없기 때문에 머리를 움직이지 않은 검사작업(Megaw and Richardson, 1973; Schoonard et al., 1973), VDT작업(Yamanoto and Kuto, 1992), X-ray 검사작업(Kundel and La Follete, 1972) 등에 대한 연구는 많이 연구 되어졌다. 그러나 머리를 자유롭게 움직이어야 하는 산업 위험기계에 대해서는 측

정장비의 부족과 분석에 많은 시간과 노력이 소요되기 때문에 눈 움직임을 이용한 평가방법에 대해서는 많은 연구가 되어 있지 않다. 다만, 시각작업이 많고 중대한 재해를 발생시키는 자동차 운전작업(Mourant and Rockwell, 1970, 1972; Robinson et al., 1972), 비행기 운전작업(Itoh et al., 1990; Wierwille et al., 1985), 지게차 운전작업(Hella et al., 1988, 1991), 프레스 운전작업(박경수와 김유창, 1996) 등에 대한 연구가 행해졌다.

프레스 등과 같은 대부분의 산업 위험기계는 눈을 통하여 정보를 받아들이고 손으로 작업을 행함으로 눈과 손은 서로 적절히 조화를 이루어야 생산능률을 높일 수 있을 뿐만 아니라 안전하게 작업을 수행할 수 있다. 따라서 눈과 손 움직임의 협응동작에 관한 연구가 필요하다. 눈과 손의 협응동작에 대한 실험실 수준에서의 기초연구는 많이 수행되었으나 산업

현장에 대한 적용연구는 생산현장에서의 실험의 어려움과 측정장비의 부족으로 인한 분석의 어려움으로 연구가 거의 되어 있지 않다.

2. 실험방법 및 실험장치

2.1. 피실험자

피실험자는 안경을 쓰지 않은 초보자 5명과 숙련자 5명을 선발하여 실험하였다. 초보자는 20세 가량의 대학생이며 프레스는 책에서 배워 알고 있으나 기계를 사용해 본 경험은 전혀 없으며 숙련자는 프레스 작업경력이 평균 5년이며, 각 숙련자는 최소한 2년 이상의 경험이 있다. 각 피실험자는 성형작업(forming operation)을 15분 연습하고 5분간 본 실험을 실시하였다.

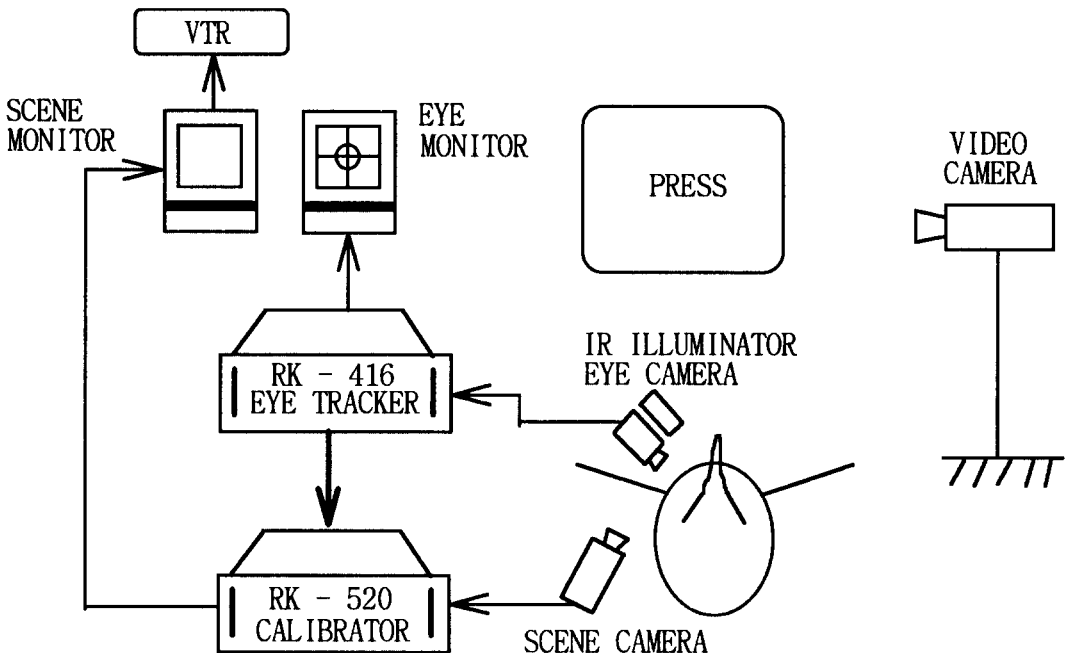


그림 1. 실험 장치

2.2. 실험장치

눈 움직임은 Eye camera system의 Scene monitor에 나타난 주시점을 VTR에 녹화하였으며, 손 움직임은 Video Camera에 녹화하였다. 눈과 손 움직임은 Panasonic Digital A/V Mixer로 시간을 일치시켜 비디오 테이프에 녹화하여 프레임 분석을 행하였다.

2.2.1. 프레스(Press)

프레스는 2개 이상의 서로 대응하는 금형을 사용하여 그 금형사이에 금속 등의 가공재료를 넣고 가공재료를 강한 힘으로 압축시킴에 의해 굽힘, 드로잉, 절단, 천공 등을 하는 기계이다. 본 실험에 쓰인 프레스는 1톤 짜리 기계식이며 안전장치는 손채내기식 장치 뿐만 아니라 조작을 양손으로 동시에 하지 않으면 기계가 가동하지 않는 양수조작스위치를 구비하였다.

2.2.2. 눈 움직임 측정장치

대표적인 안구운동 측정방법으로는 각막반사법, EOG(Electro-oculogram), Contact lens법, Limbus 경계법, Double purkijnje법, 그리고 각막반사점과 동공중심점과의 차이로 측정하는 방법이 있다. 본 연구에서는 마지막 방법을 사용하였다. 다른 방법에 비해 이 방법의 장점은 응용이 쉽고, Calibration이 빠르고, 머리 움직임을 보정하여 준다는 점이며 단점은 피실험자 머리에 불안전하게 부착된 Eye camera로 인한 Calibration의 손실, 피실험자의 주변시야의 감소, 기록의 프레임 분석을 하는데 많은 시간이 소요된다는 점이다.

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 분석할 수 있다. 이 시스템은 NTSC 방식에서는 60Hz 샘플링을 할 수 있으며 시각(visual angle)이 $\pm 15^\circ$ 에서 $\pm 20^\circ$ 내에서는 1° 의 정확성을 가진다. 이 시스템을 실험중에 피실험자의 작은 머리 움직임을 자동적으로 보정하여 주며 또한 안경이나 콘택트렌즈를 착용하여도 좋은 시스템이다.

3. 실험결과 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. 눈 움직임

눈이 머문시간은 표 1과 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 갖

표 1. 숙련자와 초보자의 눈 머문시간 (second)

Press Zone	Experienced		Novice	
	Mean	SD	Mean	SD
Material Container	0.64	0.54	0.89	0.53
Die	1.17**	0.76**	2.03	1.16

표 2. 숙련자와 초보자의 눈 이동시간 (second)

Press Zone	Experienced		Novice	
	Mean	SD	Mean	SD
Material Container → Die	0.30	0.14	0.26	0.07
Die → Material Container	0.33	0.15	0.27	0.18

고 있기 때문에 금형에서 머문시간이 초보자보다 짧다고 생각된다.

눈의 이동시간은 표 2와 같으며 이 자료를 Mann-Whitney U Test를 행하면 유의수준 0.05에 유의하지 않다. 즉 눈의 이동시간은 숙련자와 초보자 사이에 차이가 없다고 말할 수

있다.

제품이 한 개 만들어지는 주기당 눈 움직임의 숙련자와 초보자의 패턴은 표 3과 같으며 이 자료를 Mann-Whitney U Test를 행하면 유의수준 0.05에 재료용기 → 금형 패턴은 유의하지 않으며 재료용기 → 금형 → 금형 패

표 3. 숙련자와 초보자의 눈 움직임 패턴

Eye Movement Pattern	Experienced	Novice
Material Container → Die	55.3%	56.7%
Material Container → Die → Die	9.1%	29.9%
Material Container → Die → Material Container → Die	28.1%	6.3%
Material Container → Die	7.5%	7.1%

표 4. 상형과 하형이 만날 때 숙련자와 초보자의 눈 움직임 공간분포

Eye Movement Pattern	Experienced	Novice
Material Container	55.3%	56.7%
Die	9.1%	29.9%
Material Container → Die	28.1%	6.3%
Other	7.5%	7.1%

표 5. 숙련자와 초보자의 손 머문시간

(second)

Press Zone	Experienced		Novice	
	Mean	SD	Mean	SD
Material Container	0.62	0.45	0.73	0.54
Die	0.91	0.40	1.05	0.49
Switch	0.95*	0.14	1.34	0.28

표 6. 숙련자와 초보자의 손 이동시간

(second)

Press Zone	Experienced		Novice	
	Mean	SD	Mean	SD
Material Container → Die	0.27	0.07	0.39	0.13
Die → Switch	0.45	0.07	0.45	0.48
Switch → Material Container	0.47*	0.07	0.56	0.10

표 7. 숙련자와 초보자의 손 움직임 패턴

Eye Movement Pattern	Experienced	Novice
Material Container → Die → Switch	97.8%	96.9%
Other	2.2%	3.1%

턴($P < 0.095$)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 만들어지는 순간을 보기 전에 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 표 4와 같으며 이 자료를 Mann-

Whitney U Test를 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.

3.2. 손 움직임

손의 머문시간을 분석하여 보면 표 5와 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 재료용기

와 금형에서 손 머문시간의 평균과 표준편차는 숙련자와 초보자가 다르지 않으나 스위치에서 머문시간의 평균은 숙련자가 초보자보다 짧다고 할 수 있다.

손의 이동시간은 표 6과 같으며 자료를 Mann-Whitney U Test를 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 한 개 만들어지는 주기당 손 움직임의 숙련자와 초보자의 패턴은 표 7과 같으며 이 자료를 Mann-Whitney U Test를 행하면 유의수준 0.05에 유의하지 않다. 따라서 숙련자와 초보자의 손 움직임 패턴은 다르지 않다.

3.3. 눈과 손의 협응동작

여러 눈과 손의 협응동작에 대한 연구에 의하면, 눈은 대부분 손이 출발하기 전에 목표(target)을 향하여 먼저 출발한다(Abrams et al., 1990; Pailard, 1982). 눈 움직임시간은 매우 짧기 때문에 대부분 눈은 손이 목표에 도달하기 전에 먼저 목표에 도달한다. 이와같이 눈이 도착하고 난후 손이 도착하는 시간의 차를 도착 선행시간으로 정하였으며 자료는 표 8과 같다. 숙련자의 도착 선행시간은 재료용기에서 0.65초, 금형에서는 0.20초이었으며 초보자의 도착 선행시간은 재료용기에서 평균 0.25초, 금형에서는 0.19초이었다. Mann-Whitney U Test를 행하면 금형에서는 유의하지 않으나 재료용기($p < 0.1$)에서 유의하다. 숙련자는 초보자보다 재료용기에서 재료를 잡기 위해서 눈이 먼저 움을 알 수 있다. 이는 숙련자는 초보자처럼 제품이 만들어지는 과정을 끝까지

표 8. 숙련자와 초보자의 도착 선행시간 (second)

Press Zone	Experienced		Novice	
	Mean	SD	Mean	SD
Material Container	0.65*	0.41	0.25	0.24
Die	0.20	0.18	0.19	0.18

표 9. 숙련자와 초보자의 출발 선행시간 (second)

Press Zone	Experienced		Novice	
	Mean	SD	Mean	SD
Material Container	0.20	0.13	0.10	0.15
Die	-0.45**	0.28*	-1.22	0.58

확인하지 않기 때문에 생각된다.

눈이 출발하고 난후 손이 출발하는 데 이 시간의 차를 출발 선행시간으로 정하였으며 자료는 표 9와 같다. 숙련자는 재료용기에서 출발 선행시간이 재료용기에서 0.2초, 금형에서는 -0.45초이었으며 초보자는 재료용기에서 0.10초, 금형에서 -1.22초이었다. 각 작업자는 재료용기에서 눈이 먼저 출발하고 손이 출발하는데 반하여 금형에서는 손이 먼저 출발하고 눈이 나중에 출발함을 알 수 있다. 대부분의 눈과 손의 협응작업에서는 눈이 먼저 출발하고 손이 출발한다. 그러나 프레스 작업에서는 금형에서 손이 먼저 출발하고 눈이 출발하기 시작한다. 이는 손이 위험한 금형에서 출발하는 것을 눈이 이를 확인한 후에 출발하기 때문에 판단된다. 숙련자와 초보자의 Mann-Whitney U Test를 행하면 재료용기에서는 유의하지 않으나 금형($p < 0.01$)에서는 유의하다. 즉, 숙련자는 초보자보다 금형에서 재료용기로 재료를 잡기 위해서 눈이 먼저 출발하는

것을 알 수 있다. 이는 숙련자는 눈이 출발한 후 손이 출발하는 시간이 짧음을 알 수 있다.

4. 결 론

이 연구의 목적은 프레스 작업에서 초보자와 숙련자를 구별하는 눈과 손 움직임의 모수를 찾아내어 산업재해 예방에 도움을 주고자 하는 것이다. 결과는 다음과 같다.

- 프레스 작업에서 초보자와 숙련자를 구별하는데 눈 머문 시간, 눈 움직임 패턴, 상형과 하형이 만날 때 눈 움직임 공간 분포, 손 머문시간, 눈과 손의 협응동작 등이 유의하였다.
- 프레스 작업에서 눈과 손의 움직임시간은 초보자와 숙련자를 구별하는데 유의하지 않았다.

프레스 작업에서 눈 움직임 특성은 자동차 운전과 검사작업의 눈 움직임 특성과 유사함을 알 수 있다(Mourant and Rockwell, 1972; Megaw and Richardson, 1979). 그러나 우리는 눈 움직임 뿐만 아니라 손 움직임, 눈과 손의 협응동작 등도 초보자와 숙련자를 구별하는데 중요한 요소임을 알아내었다.

본 연구결과는 산업안전공단 등과 같은 산업안전교육기관 등에서 모의장치를 사용함으로써 초보자들이 작업에 투입되기전에 숙련자가 되었는지를 평가하는데 이용될 수 있을 것으로 생각된다. 또한 프레스 기계 뿐만 아니라 로울러기, 선반 등과 같은 위험기계에도 같은 연구방법을 적용할 수 있어 그 응용범위가 많을 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] Abrams, R.A., Meyer, D.E., and Kornblum, S., "Eye-hand coordination: Oculomotor control rapid limb movement", *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16: 248-267, 1990.
- [2] Hella, F., Tisserand, M., and Schoula, J.F., "Visibility requirements for the driver's stand of lift trucks", *Applied Ergonomics*, 19: 225-232, 1988.
- [3] Hella, F., Tisserand, M., and Schoula, J.F., "Analysis of eye movement in different tasks related to the use of lift trucks", *Applied Ergonomics*, 22: 101-110, 1991.
- [4] Itoh, Y., Hayashi, Y., Tsukui, I., and Saito, S. "The ergonomic evaluation of eye movement and metal worklod in aircraft pilots", *Ergonomics*, 33(6): 719-733, 1990.
- [5] Kundel, H.L., and La Follette, P.S., "Visual search patterns and experience with radiological image", *Radiology*, 130: 523-528, 1972.
- [6] Megaw, E.D., and Richardson, J., "Eye movement and industrial inspection", *Applied Ergonomics*, 10(3): 145-154, 1979.
- [7] Mourant, R.R. and Rockwell, T.H., "Mapping Eye-Movement Patterns to the Visual Scene in Driving: An Exploratory Study", *Human Factors*, 12: 81-87, 1970.

- [8] Mourant, R.R. and Rockwell, T.H., "Strategies of visual search by novice and experienced driver", *Human Factors*, 14: 325-335, 1972.
- [9] Robinson, G.H., Erickson, D., J., Thurston, G.L., and Clark, R.L., "Visual search by automobile driver", *Human Factors*, 14: 315-323, 1972.
- [10] Yamamoto, S., and Kuto, Y., "A method of evaluating VDT screen layout by eye movement analysis", *Ergonomics*, 35(5): 591-606, 1992.
- [11] Schoonard, J.W., Gould, J.D., and Miller, L.A., "Studies of visual inspection", *Ergonomics*, 16: 365-379, 1973.
- [12] Shinar, D., Mcdowell, E.D., and Rockell, T.H., "Eye movement in curve negotiation", *Human Factors*, 19: 63-71, 1977.
- [13] Wierwille, W.W., Rahimi, M., and Casali, J.G., "Evaluation of 16 measures of mental workload using a simulated flight task emphasizing mediational activity", *Human Factors*, 27: 489-502, 1985.
- [14] 박경수와 김유창, "눈 움직임을 이용한 프레스작업의 안전성 평가에 대한 연구", *한국산업안전학회*, 11(1): 129-132, 1996.