

☒ 연구논문

눈과 손움직임을 이용한 프레스 작업에서 인간실수 분석 -Human Error Analysis in Press Task using Eye and Hand Movements-

김 유 창*

ABSTRACT

Presses are very widely used in industrial and commercial companies and are often the source of serious accidents occurring during operation. In Korea, the press holds the first place in the industrial hazard machines for frequency of accidents. Most of the press accidents are due to the human error. Continuous recordings of eye and hand movements that included operating errors of five experienced subjects were made during the press operation. The results showed that significant differences were observed on eye fixation time, hand fixation time, and lead departure time between the operations that has errors and no errors. The result could be used as basic data to establish a guideline for preventing the accidents.

1. 서론

한국에서 산업재해를 분석하여 보면 '97년 한국에서 4일이상 요양을 요하는 재해자가 66,770명 발생하였으며 이중 사망은 2,742명이었다. 산업재해로 인한 경제적 손실액은 77,802억원으로 추정되며 매년 증가하고 있다. 이중 2개월이상 요양을 요하는 중대 재해를 발생시키는 기인물중 프레스 및 전단기가 차지하는 비중이 31.75% 로 가장 높아 프레스 기계의 안전성에 대한 연구가 시급한 실정이다. 지금까지 기계자체에 대한 연구는 많이 되어 있으나 인간의 작업방법에 대한 연구는 많지 않다.

프레스작업과 같은 위험작업은 지속적인 시각작업을 필요로 하며, 작업을 안전하고 효율적으로 하기 위해서는 시각정보가 적절한 순서로 들어와야 하며 빠르게 처리되어야 한다. 이러한 이유 때문에 눈움직임을 이용한 작업평가에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 눈움직임을 이용한 작업평가방법은 머리 움직임을 보정한 눈움직임 측정장치가 최근에 개발되었기 때문에 머리를 움직이지 않은 검사작업, VDT작업에 대한 연구는 Megaw(1973), Yamamoto(1992)등에 의해 연구되어 졌다. 그러나 측정장비의 부족과 분석에 많은 시간과 노력이 소요되기 때문에 산업기계의 작업방법에 대한 눈

*동의대학교 기계산업시스템공학부

움직임을 이용한 평가방법에 대해서는 거의 연구가 되어 있지 않다. 다만 시각작업이 많고 중대한 재해를 발생시키는 자동차, 비행기 운전작업에 대한 연구가 최근 Robinson(1972), Saito(1990)등에 의해서 행해 졌다. 그러나 위의 연구들은 여러 작업에 대한 눈움직임에 대한 연구이지 눈과 손의 협응동작에 대한 연구는 매우 적다. 다만 박경수와 김유창(1997)은 정상적인 프레스 작업에서 눈과 손의 협응동작을 이용하여 작업평가를 하였다[8].

프레스 작업은 눈과 손이 적절하게 조화를 이루어 작업이 이루어 지어야 하며 눈과 손의 협응동작이 적절하지 못한 경우 인간은 실수를 하게 되며 사고를 당하게 된다. 따라서 작업자가 실수할 때 눈과 손의 움직임을 이용한 분석방법이 필요하다. 본 연구는 프레스 작업에서 작업자가 실수를 할 때 눈과 손움직임을 분석하고, 이를 이용하여 작업자의 실수를 막는 방법을 제안하고자 한다.

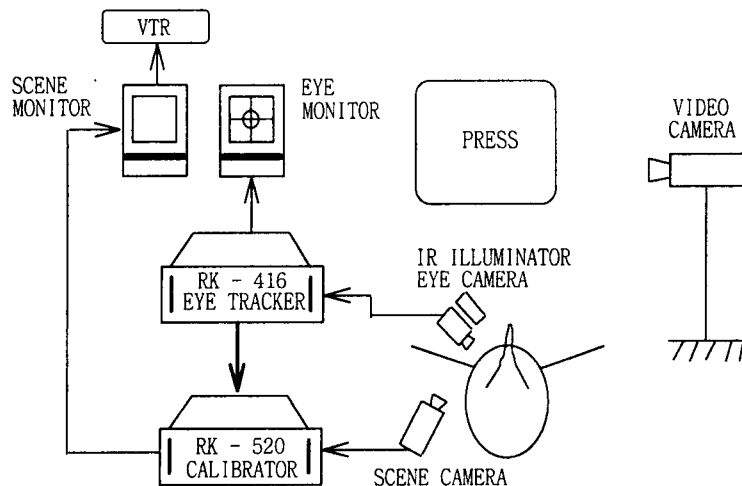
2. 실험방법 및 실험장치

2.1 피실험자

피실험자는 안경을 쓰지 않은 숙련자 5명을 선발하여 실험하였다. 숙련자는 프레스 작업경력이 평균 5년이며 각 숙련자는 최소한 2년 이상의 프레스 작업경험이 있다. 각 피실험자는 성형작업(forming operation)을 20분간 실험을 실시하였다.

2.2 실험장치

실험장치는 구성도는 [그림 1]에 나타내었다. 눈움직임은 Eye camera system의 Scene monitor에 나타난 주시점을 VTR에 녹화하였으며, 손움직임은 Video Camera로 녹화하였다. 눈과 손움직임은 Panasonic Digital A/V Mixer 로 시간을 일치시켜 비디오 테이프에 녹화하여 프레임분석을 행하였다.



[그림 1] 실험장치

(1) 프레스(Press)

프레스는 2개 이상의 서로 대응하는 금형을 사용하여 그 금형사이에 금속등의 가공 재료를 넣고 가공재료를 강한 힘으로 압축시킴에 의해 굽힘, 드로잉, 절단, 천공등을 하는 기계이며 대부분 동종제품을 양산하는 데 소요되는 설비로서 하루에 수천회 또는 그 이상이며 1년에 수백만번의 단순동작을 반복하면서 제품을 가공하는 동안 수없이 위험 구역내에 신체의 일부가 드나드는 위험한 기계이다. 또한 단 한번의 실수에 의해 산업재해를 당하게 되며 재해의 대부분이 신체장해를 남기는 기계이다. 본 실험에 쓰인 프레스는 1톤 짜리 기계식이며 안전장치는 손쳐내기식 장치 뿐만 아니라 조작을 양손으로 동시에 하지 않으면 기계가 가동하지 않는 양수조작스위치를 구비하였다.

(2) 눈움직임 측정장치

대표적인 안구운동측정방법으로는 각막반사법, EOG(Electro-oculogram), Contact lens 법, Limbus 경계법, Double purkijnje 법, 그리고 각막반사점과 동공중심점과의 차이로 측정하는 방법이 있다. 본 연구에서는 마지막 방법을 사용하였다. 다른 방법에 비해 이 방법의 장점은 응용이 쉽고, Calibration 이 빠르고, 머리움직임을 보정해준다는 점이며 단점은 피실험자 머리에 불안전하게 부착된 Eye camera 로 인한 Calibration 의 손실, 피실험자의 주변시야의 감소, 기록의 프레임분석을 하는 데 많은 시간의 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 분석할수 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 시스템은 실험중에 피실험자의 작은 머리 움직임을 자동적으로 보정하여 주며 또한 안경이나 콘택트렌즈를 착용하여도 좋은 시스템이다.

3. 실험결과 및 고찰

눈의 주시점과 손이 프레스 부위에 머무르는 시간과 각 부위사이를 이동하는 시간을 측정하며, 이를 근거로 한 여러 변수들을 분석에 이용하였다. 눈의 주시점과 손이 머무는 프레스의 주요부분을 재료용기, 금형으로 구분하였다. 작업물을 한번에 잡지 못하거나 2개를 동시에 잡아 하나를 다시 내려 놓는등 작업자가 정상적인 작업에서 벗어나는 것을 실수로 정의하고 분석하였다.

3.1 눈 움직임

작업자가 재료용기와 금형에서 실수할 때, 눈 머문시간의 자료는 [표 1]과 같다. 눈 머문시간은 정상작업시 재료용기에서 0.84초, 금형에서 1.17초였다. 재료용기에서 실수할 때 재료용기에 1.10초, 금형에서 실수할 때 금형에 1.89초이다. 대부분 눈머문시간은

재료용기에서 실수할 때 재료용기에서 크고 금형에서 실수 할 때 금형에서 큼을 알 수 있다. 이 자료를 Mann-Whitney U Test를 행하여 보면 재료용기에서 실수 할 때 눈머문시간은 유의하지 않으나 금형에서의 실수 할 때의 눈머문시간($P < 0.1$)은 유의하다. 따라서 재료용기에서 실수할 때 재료용기에서 눈이 머무는 것 보다 금형에서 실수할 때 금형에서 눈이 머무는 시간이 큼을 알 수 있다. Wierwille(1985)는 정신부하가 높으면 눈 머문시간이 증가한다고 주장하였는 데, 이는 중요한 부위는 많은 정보를 처리하기 위해 오랫동안 머무른다는 것이다. 따라서 작업자에게는 재료용기에서 실수보다 금형에서 실수가 더 정신부하가 큼을 알 수 있다. 이는 재료용기에서 실수는 단지 작업시간에만 영향을 미치나 금형에서 실수는 사고로 연결되기 때문에 작업자가 더 부담을 느끼는 것으로 판단된다.

재료용기에서 금형과 금형에서 재료용기 사이의 눈움직임 이동시간은 정상작업일 때와 실수할때와 큰 차이는 없었다.

[표 1] 눈머문시간 (단위, 초)

	정상작업	재료용기에서 실수	금형에서 실수
재료용기	0.84	1.10	0.85
금형	1.17	1.02	1.89*

3.2 손움직임

작업자가 재료용기와 금형에서 실수할 때, 손 머문시간의 자료는 [표 2]와 같다. 손머문시간은 정상작업시 재료용기에서 0.62초, 금형에서 0.91초였다. 재료용기에서 실수할 때 재료용기에서 1.54초, 금형에서 실수할 때 금형에서 1.89초이다. 이 자료를 Mann-Whitney U Test를 행하여 보면 재료용기에서 실수 할 때와 금형에서의 실수할 때 손머문시간의 평균($P < 0.05$)은 유의하다. 따라서 재료용기에서 실수할 때 재료용기에서 손이 머무는 시간과 금형에서 실수할 때 금형에서 손이 머무는 시간이 큼을 알 수 있다. 이는 작업자가 실수를 만회하기 위해서 프레스의 실수한 부분에서 더 오래 작업하는 것을 알 수 있다.

재료용기에서 금형과 금형에서 재료용기 사이의 손움직임 이동시간은 정상작업일 때와 실수할때와 큰 차이는 없었다.

[표 2] 손 머문시간 (단위, 초)

	정상작업	재료용기에서 실수	금형에서 실수
재료용기	0.62	1.54**	0.55
금형	0.91	0.87	1.89**

3.3 눈과 손의 협응동작

여러 눈과 손의 협응동작에 의하면, 눈은 대부분 손이 출발하기 전에 목표(target)를 향하여 먼저 출발한다[1]. 눈이 출발하고 난 후 손이 출발하는 데 이 시간의 차를 출발 선행시간으로 정하였으며 자료는 [표 3]과 같다. 작업자는 재료용기에서 출발 선행시간이 재료용기에서 0.2초, 금형에서는 -0.45초이었으며, 재료용기에서 실수할 때 재료용기에서 0.75초, 금형에서 실수할 때 금형에서 -0.45초이었다. 각 작업자는 재료용기에서 눈이 먼저 출발하고 손이 출발하는 데 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 때문으로 판단된다. 이자료를 Mann-Whitney U Test를 행하면 재료용기($p < 0.01$)에서는 유의하나 금형에서는 유의하지 않다. 즉, 작업자는 재료용기에서 실수는 정상작업보다 눈이 손보다 재료용기에서 먼저 떠나기 때문으로 생각된다. 그러나 금형에서 실수를 하면 손이 안전하게 떠난 후 눈이 떠나기 때문에 차이가 나타나지 않았다.

[표 3] 눈의 선행 출발시간 (단위, 초)

	정상작업	재료용기에서 실수	금형에서 실수
재료용기	0.20	0.75**	0.23
금형	-0.45	-0.40	-0.45

4. 결 론

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. 이러한 산업재해를 줄일 수 있는 연구가 필요하다.

본 연구의 목적은 프레스 작업에서 작업자가 실수를 할 때 눈과 손움직임을 분석하여 산업재해 예방에 도움을 주고자 하며 결과는 다음과 같다.

- 작업자가 프레스 작업에서 실수를 할 때 눈의 이동시간에는 차이가 없고, 눈의 머문시간에는

- 금형에서 실수 할 때 금형에 눈의 머문시간이 정상작업보다 매우 컸다.

- 작업자가 프레스 작업에서 실수를 할 때 손의 이동시간에는 차이가 없고, 손의 머문시간에는 금형에서 실수 할 때 금형에 손의 머문시간이, 재료용기에서 실수할 때 재료용기에서 손의 머문시간이 정상작업보다 컸다.

• 작업자가 프레스 작업에서 실수를 할 때 눈의 선행출발시간은 재료용기에서 실수할 때 재료용기에서 정상작업보다 매우 컸다.

본 연구의 결과는 어떤 부분에서 인간실수가 작업자에게 더 부담을 주는지 정량적으로 알 수 있는 기초정보를 제공할 뿐 아니라 인간 실수를 예측하는 기초정보를 제공하여 줄 수 있어 산업재해 예방에 도움이 될 수 있다. 또한 안전장치를 설계와 작업자의 훈련에도 도움을 줄 것으로 생각된다.

앞으로 보다 많은 연구를 통하여 실수시 눈과 손의 움직임 시간, 패턴등을 분석이 필요하며, 이러한 자료는 실수를 정확하게 예측하고 예방하는 데 도움이 될 것이다. 그리고 본 연구방법은 프레스 기계뿐만 아니라 선반등과 같은 위험기계에도 같은 연구방법을 적용할 수 있어 그 응용범위가 많을 것으로 생각된다.

참고문헌

- [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*, Vol.16, pp248-267, 1990.
- [2] A.Ohtani, An Analysis of Eye Movements during a Visual Task, *Ergonomics*, Vol.14, No.1, pp167-174, 1971.
- [3] F.Hella, M.Tisserand and J.F.Schoula, Analysis of eye movement in different tasks related to the use of lift trucks, *Applied Ergonomics*, Vol.22 No.2, pp101-110, 1991.
- [4] Gordon H.Robinson, Visual search by automobile driver, *Human Factors*, Vol.14, pp315-323, 1972.
- [5] Mourant, R.R., and Rockwell, T.H., Strategies of visual search by novice and experienced driver, *Human Factors*, Vol.14, pp325-335, 1972.
- [6] Mourant, R.R., and Rockwell, T.H., Mapping Eye-Movement Patterns to the Visual Scene in Driving : An Exploratory Study, *Human Factors*, Vol.12, No.1, pp81-87, 1970.
- [7] 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*, Vol.27, pp489-502, 1985.
- [8] 박경수와 김유창, 프레스 작업에서 눈과 손의 협응동작에 대한 연구, 대한 인간공학 회지, 제16권 제1호, pp63-71, 1997.

◆ 김유창 : 고려대학교 산업공학과를 졸업했으며, 한국과학기술원 산업공학과에서 석사와 박사를 취득하였다. 현재는 동의대학교 산업공학과 교수로 재직중이며, 주요 관심분야는 인간공학, 산업안전관리, Man-Material handling, CTD 등이다.