

## 로봇 안전사고 방지를 위한 비상 정지 스위치의 설계지침에 관한 연구

박세진\* · 이남식\* · 김철중\*

### A Study on the Optimum Design Parameters for Robot Teach Pendant

Se-Jin Park\* · Nahm-Sik Lee\* · Chul-Jung Kim\*

#### Abstract

Many accidents related to robot operation occur during the robot teaching process. This paper deals with recommendations for the teach pendant design parameters to enhance safety and performances in human-robot interactions. In order to investigate the optimum location and the size of the emergency stop button on the teach pendant, an experiment was conducted with a simulated teach pendant which can accommodate four different locations and three sizes of the button. Under a simulated emergency condition, the reach time to the emergency stop button was measured at random combination of the location and the size of button. The reach time was significantly affected by the location and the size of the emergency stop button. The fastest average reach time was attained with 1.5 inch-diameter button on the upper center of the teach pendant.

#### 1. 서 론

최근 과학기술의 급속한 진전에 따라 공장자동화에 혁명이 일어나고 있으며, 그 핵심이 되는 것이 로봇이다. 현재 로봇이 담당하고 있는 작업은

가공, 조립, 용접, 도장, 검사, 운반작업 등 다양하다. 뿐만 아니라, 앞으로는 극한작업 즉, 해저, 우주공간에서의 항공작업과 간호, 서비스 분야까지 로봇의 활용이 확대될 것이다. 세계적으로 볼 때 87년말 현재 산업용 로봇의 설치대수는 세계 전체

\* 한국표준연구소 인간공학연구실

약 19만대로 일본이 절반을 넘는 11만대를 보유하고 있으며, 미국이 3만, 서독이 1만 5천, 이탈리아 7천, 프랑스 5천대 순이며, 로봇의 보유대수가 나라의 경제우위를 가늠하는 척도가 된 것이다. 우리나라의 경우도 Fig. 1에 나타난 것처럼 로봇의 수요가 급증하고 있으며, 95년에는 6천대를 예상하고 있다.

이처럼 생산에서의 자동화가 급증하고 있는데 비례하여, 로봇과 같은 자동화 설비를 프로그램, 조작, 그리고 보수유지하는 작업자들에 대한 상해 위험이 또한 증가하고 있다. 최근, 미국에서 두가지 형태의 로봇 관련 치명적 사고가 발생했으며[1], 세계적으로 산업용 로봇을 가장 많이 사용하고 있는 일본에서도 10종류의 로봇 관련 치명적인 사고가 1987년 발생하였다[2].

Research Institute of Industrial Safety의 조사 자료에 따르면, 로봇 관련 사고중 33%가 프로그램 과정중에 발생하였으며, 이중 반이 로봇의 잘못된 동작에 의한 것이고 나머지 반이 로봇과 연결된 다른 기계들의 오동작에 의한 것이었다[3]. 일본에서의 조사연구와 NIOSH의 기술보고 "Safe Maintenance Guide for Robotic Workstation"에 따르면, 정상적인 로봇 가동중(작업중)에는 거의 사고가 없었으며, 반면에 로봇 작업의 프로그램, 보수유지, 조정작업 등이 수행될 때 가장 큰 사고

위험이 존재한다고 보고하고 있다[4].

또한 로봇의 효율적인 운용, 보수유지, 그리고 프로그램을 위해서는 인간공학적으로 적합한 작업장, 설비, 제어와 표시장치, 그리고 응용프로그램이 필요하다. 로봇의 제어기 계기판의 경우 제한된 스위치들과 지시기 등이 적합하게 형상화되고, 암호화(coding) 되어야 한다. 그러나, 이들은 특히 비상시에 문제점을 나타내고 있다. 즉, 계기판의 각 스위치나 지시기 등과 그들의 배열, 그리고 암호화에 있어 로봇 생산업체들마다 판이하게 다른 형태를 가지고 있기 때문이다[5, 6, 7].

따라서 본 연구에서는 로봇 안전에 대한 이제까지의 연구들을 살펴봄으로서 로봇 시스템 설계에 있어 인간공학적인 연구의 필요성을 부각시키고, 아울러 인간-로봇 계면(human-robot interface) 설계의 일환으로서 로봇의 작업을 프로그래밍 할 때 사용하는 teach pendant의 비상정지 스위치 위치와 크기에 대한 설계지침을 제시한다.

## 2. 로봇 조작과 안전사고

최근들어 상대적으로 산업용 로봇의 안전에 대한 연구에 많은 관심이 집중되고 있으며[8], 아울러 일본과 유럽을 중심으로 로봇에 의한 작업자 살상에 대해 많은 자료가 계속 발표되고 있다[9, 10, 11, 12, 13, 14, 15]. 일반적으로 작업자와 로봇 사이의 신체적 접근이 가까울수록, 작업자의 살상 위험은 더욱 커지게 된다. 1027명의 로봇 조작자를 조사한 Goto[16]에 의하면 46%가 그들 작업에서 로봇이 위험하다는 것을 느꼈으며, 특히, 36%가 교시(teaching) 동안에, 30%가 수리, 조정, 검사작업에서 경험하였다. 산업용 로봇에 의한 사고의 분석을 통해 로봇 동작 프로그램의 교시, 보수유지 등의 작업이 가장 위험한 작업이라는 것을 알 수 있다[17].

Sugimoto와 Kawaguchi[10]는 1976년 JIRA(Japan Industrial Robot Association)의 조사와 19

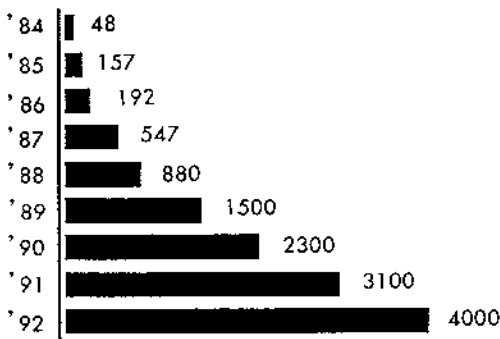


Fig. 1. Forecasts of Annual Robot Demand in Korea.

82-3년에 Safety지에 보고된 내용을 종합하였다. 전자에서는 교시작업 동안 로봇에 의한 근접사고, 주변설비에 의한 사고, 수동조작에서 실수로 인한 사고, 그리고 로봇에서의 부주의한 접근으로 인한 사고 등을 보고했으며(Table 1.), 후자에서는 자동차 조립라인에서 로봇 동작의 예기치 않은 시작으로 인한 7가지 사고예를 나타내었다. 그들의 원인분석 결과 여러 기계적 결함뿐만 아니라 작업자의 실수에 의한 부분도 상당히 발견되었다.

4341개의 로봇을 가진 190개의 일본 공장들을 조사한 Occupational Safety and Health Department of the Japanese Ministry of Labor의 자료[12, 18]에 따르면 1982년 한해에 로봇에 의해 2명이 사망하고, 9명이 상해를 입었으며, 비상해 사고가 37건 그리고 기타 로봇 관련 문제가 300건이 발생하였다. 그 로봇 관련 문제중 28.3%가 예기치 않은 시작에 의한 것이었고, 비정상적 운용에 의한 것이 30.6%, 그리고 작업대상물을 놓친 경우가 8.9%와 기타 예기치 않은 동작정지 등이었다.

프로그램 단계에서, 프로그램 교시 작업자들의 안전에 대한 연구가 상당히 진행되어 왔으며, 주로 로봇 팔의 속도에 대한 것이었다. 연구들의 주된

전제조건은 로봇이 천천히 움직인다면, 인간은 잠재적으로 로봇의 위험한 움직임에 대한 인식과 반응에 더 많은 시간이 걸린다는 것이었다. ANSI R 15.06[19]은 로봇 팔의 속도를 25cm/s로 규정하고 있으며, Underwriters Laboratory[20]와 Japan Industrial Safety and Health Association[21]의 규정은 14cm/s인데, 이중 Sugimoto 등에 의한 연구[10]에 기초한 일본의 규정만이 인간공학적인 실험에 근거를 둔 수치이다.

그리고, 로봇 작업역내의 다른 변수들과 관련한 로봇 팔의 특성들이 계속 연구되고 있다[22, 23]. 또한, Helander 등은[24] 인식, 의사결정, 반응시간들과 로봇 팔 속도 사이의 수학적 모델을 개발하였다.

### 3. Teach Pendant의 인간 공학적 설계

인간과 로봇 사이의 상호작용을 연결해 주는 장치중 가장 널리 사용되는 것이 teach pendant이다. 이 teach pendant는 프로그램, 보수유지, 조정작업 동안에 로봇의 운동을 교시하고 기록하는

Table 1. Near-accidents Caused by Industrial Robots

Trouble in Robots (%)		Mean Time between Failure of Robots	
Faults of control system	66.7	Under 100 hr	28.7%
Faults of robot body	23.5	100 - 250 hr	12.2
Faults of welding gun and tooling parts	18.5	250 - 500 hr	19.5
Runaway	11.1	500 - 1000 hr	14.7
Programming and other operational errors	19.9	1000 - 1500 hr	10.4
Precision deficiency, deterioration	16.1	1500 - 2000 hr	4.9
Incompatibility of jigs and other tools	45.5	2000 - 2500 hr	1.2
Other	2.5	Over 2500 hr	8.5

제어와 표시기능이 있는 손에 휴대가능한 장치이다. Human-robot interface에 대한 제반연구들을 조사해 보면 표준화된 설계원칙들이 결여되어 있다. Pendant의 스위치들은 실수없이 빠르게 조작될 수 있도록 설계되어야 한다. 필요한 모든 기능을 위한 충분한 공간이 부족하기 때문에 각 스위치에 하나 이상의 기능들이 할당되어야 한다.

어떤 기능들이 할당되어야 하며, 어떻게 해야 되는가, 어떤 방법으로 스위치들을 배열해야 하며, 암호화 되어야 하는가, 어떤 종류의 스위치가 좋은가 등 이들에 대한 결정은 이제까지 각 로봇트 생산업체들의 인위적인 설계에 의해 이루어졌다. 즉 pendant의 형상, 무게, 스위치 사이의 공간, pendant 표시장치의 크기, 표시내용이 제각기 다르게 설계되었다. 조사된 자료에 따르면[5, 6, 7] 아주 간단한 기기이지만 실제로는 매우 복잡했고, 설계에 있어서의 다양성, 즉, 서로 같은 것이 없었으며, 인간공학적 설계원칙에 어긋나는 설계들이었다. 이런 상황에도 불구하고, teach pendant에 대한 인간공학적 연구는 극히 드물게 수행되었다. 스웨덴의 한 회사에서 수행된 연구는[25] 조이스틱이 누름단추(pushbutton) 보다 좋다는 결과를 보여주었고, Levosinki[26]는 여러 teach pendant의 설계를 조사한 연구를 통해 때때로 에러가 발생한다는 것을 밝혔다.

또한, Parsons[27]는 현존하는 teach pendant에 대한 조사보고를 통해 비상정지 버튼들이 pendant 전면, 측면 등 여러 위치에 있었다는 것을 지적하였다. 심지어 외국의 연구자료를 참고하지 않더라도, 국내 생산 로봇트들에서도 비상정지 버튼의 위치가 서로 판이하게 다를 수 쉽게 찾아볼 수 있다. 현재까지의 연구결과를 살펴 보면 비상정지 버튼까지의 도달시간을 최소화 하기 위해 필요한 인간공학적 연구들이 제대로 수행되지 않았음을 알 수 있다[28].

이처럼 표준화의 결여에 기인한 잠재적 위험을 인식하여 RIA(Robotic Industries Association)에서

는 산업용 로봇트와 로봇트 시스템을 위한 teach pendant의 설계에 대한 인간공학적 지침인 ANSI R 15.02 표준안을 제안하였다[29]. 이 표준안은 안전, 제어기 설계, 시각표시 장치, 청각신호, 그리고 pendant의 부호화에 대한 인간공학적 관심을 서술하였으며, teach pendant에 대해서는 "pendant는 가능한한 비상정지 기능을 가지고, 그 스위치는 적색이고, 방해받지 않아야 한다."고 지적하였다. 그러나 ANSI 표준안에서는 비상정지 버튼의 위치나 크기와 같은 주요한 변수에 대해서는 언급하지 않았다[28].

따라서 본 연구에서는 teach pendant 비상정지 버튼의 위치와 크기에 대한 실험을 통해 Teach pendant 설계시 고려해야 하는 중요한 요인인 비상정지 버튼의 위치와 크기에 대한 설계원칙을 제시한다.

실제로 푸쉬버튼(push-button)들의 설계시 고려해야 하는 주요한 파라미터들은 크기, 위치, 분리정도, 형상, 동작되는 힘 등이 있으나[30], 본 연구에서는 버튼의 동작되는 힘, 눌러지는 정도, 형상, 그리고 teach pendant의 무게와 크기는 동일 조건에 놓고, 버튼의 크기와 위치를 변화시켰다.

### 3-1. 실험방법

Teach pendant의 비상정지 버튼에 대한 연구를 수행한 Collins[28]는 그의 실험에서 10개의 위치와 2개의 크기(1, 0.5 inch : diameter)에 대해 손의 도달시간을 측정하였다(Fig. 2). 그 결과 pendant 전면 오른쪽 상단의 1 inch 버튼의 경우가 가장 빠른 도달시간을 기록하였으며, 1 inch 이상의 버튼을 사용할 것을 제안하였다. 따라서 본 연구에서는 (가장 빠른 도달시간을 나타낸 1, 2, 3의 세가지 위치와) Collins 연구에서 다루지 않았지만 기존 teach pendant에는 사용되는 4번 위치를 선정하여 4가지 위치로 하였고, 버튼의 크기는 0.5, 1 inch와 본 연구에 사용된 teach pendant 크기에 하드웨어적으로 무리가 없다고 판단된 1.5 inch의 세가지로

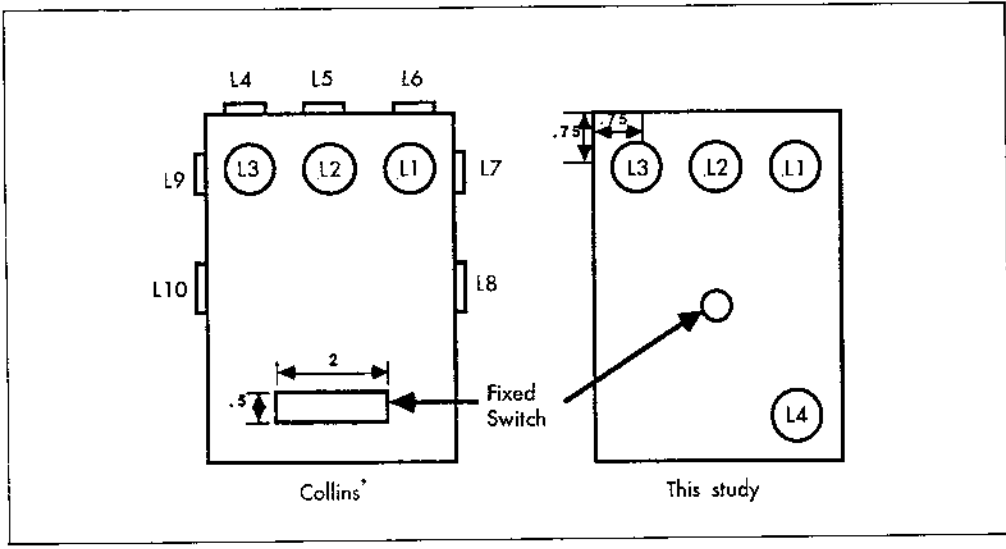


Fig. 2. Locations of the Emergency Stop Button in This Study and Collins' (unit : inch)

하였다(Fig. 2).

사용된 teach pendant의 크기는 Levonski[26]의 조사에 따라 현존하는 teach pendant 크기의 평균치로 하였다(7.5×4.5×1.5 inch).

실험장치는 1/1000초까지 측정되는 타이머에 연결된 teach pendant와 Rhino 로봇이다. 피실험자는 30대의 남자 5명으로 하였고, 모두 로봇에는 초보자로 하였다.

실험작업은 왼손으로 teach pendant를 잡고(밑에서 중심부분을 감싸준다), 오른손 검지를 pendant 정중앙에 위치한 고정된 스위치에 대고 있다가 로봇이 정상작업을 하다 갑자기 빠르게 오동작하는 순간에 비상정지 버튼을 누르는 작업으로 하였다. 종속변수는 고정된 위치에서 비상정지 버튼을 누르는 데까지 걸린 도달시간으로 하였으며, 독립변수 12개 조합 각각에 10회 반복하였다. 학습효과에 의한 영향을 최소화 하기 위해 실험전 20회의 연습을 하도록 하였다.

3-2. 실험결과

실험결과 전체 버튼의 크기와 위치에 따른 평균 도달시간이 Table 2에 나타나 있다. 크기와 위치에 대한 평균 도달시간을 나타낸 Fig. 3, 4에서 보듯이 pendant의 상단 정중앙 부분이 가장 빠른 도달시간을 나타내었고, 1.5 inch 크기의 버튼이 가장 빠른 도달시간을 나타내었다. 버튼의 크기에 있어서 그 크기가 커질수록 빠른 도달시간을 보여주었고, 위치에 있어서는 2-1-3-4의 순서로 도달시간이 더 걸렸다. 분산 분석결과(Table 3)에서 보듯이 비상정지 버튼의 크기와 위치가 모두 도달시간에 영향을 미침을 알 수 있었다.

Collins의 결과와 비교해 보면 우선 크기에 있어서는 같은 경향을 보여주고 있다. Collins가 제안한 1 inch 보다 커야한다는데 대해서 본 연구는 1.5 inch를 사용하여 1 inch 보다 수행도가 더 좋다는 것을 보여주었다.

크기에 대한 두 결과를 종합해 볼때 비상정지 버튼이 크면 클수록 좋지만 teach pendant의 hardware 제약상 무한정 커질수는 없다. 따라서 teach pendant의 비상정지 버튼 설계시 그 크기는 최소한

Table 2. Mean Reach Time for Various Button Diameters and Locations

	Location:	L1	L2	L3	L4	Totals:
Diameter	D1	0.180	0.156	0.195	0.237	0.192
	D2	0.154	0.130	0.168	0.193	0.161
	D3	0.122	0.103	0.139	0.181	0.136
	Totals:	0.152	0.130	0.168	0.204	0.163

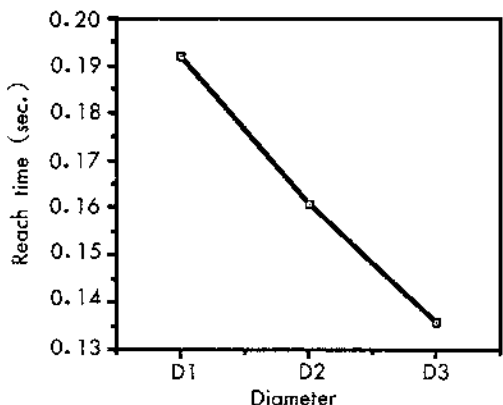


Fig. 3. Mean Reach Time for Various Button Diameters.

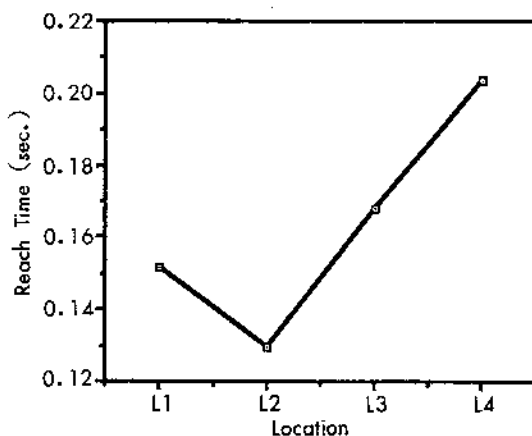


Fig. 4. Mean Reach Time for the Various Button Locations.

직경이 1.5 inch가 되어야 한다. 위치에 있어서 본 연구결과는 2-1-3-4 순서로 수행도가 감소하였다. 본 연구의 4번 위치는 가장 나쁜 수행도를 보였는데, 이는 오른손이 비상정지 버튼을 가리고 있기 때문에 상단 부분의 위치들 보다 도달시간이 더 걸린 것으로 판단된다. Collins의 연구결과는 1-2-3 순서로 본 연구와 다소 차이가 있었다. 이는

Fig. 2에 나타난 것처럼 본 연구에서는 고정 스위치의 위치가 정중앙이고 오른손 검지를 사용하도록 하였고, Collins는 pendant의 하단에 직사각형(5×0.5 inch) 모양의 고정스위치에 오른손 가운데 새 손가락을 모두 이용하도록 한 차이 때문인 것 같다. 즉, 두 연구결과와의 차이를 살펴보면 로봇트의 오

Table 3. ANOVA Table

Source:	df:	Sum of Squares:	Mean Square:	F-test	P value:
Diameter (A)	2	.031	.016	2.045	.1405
Location (B)	3	.044	.015	1.921	.1388
AB	6	.001	.00014	.018	.1
Error	48	.365	.008		

동작이 발견된 순간 오른손의 위치에 따라 수행도가 바뀔수 있다는 것이다. 따라서 두 결과를 종합해 볼 때 오른손의 주사용 손가락의 위치가 pendant 좌우의 중앙에 위치해 있을때 비상정지 버튼의 위치는 1, 2로 제안될 수 있으며, 크기는 최소한 직경 1.5 inch는 되어야 한다.

#### 4. 결 론

기술의 진보에 따라 만족할만한 시스템의 효율성, 생산성, 그리고 안전성을 위해 로봇의 사용이 급증하고 있는데 반해 전체 시스템 설계시 인간적인 측면, 즉, 인간 공학적인 연구의 부족으로 오히려 생산성이 저하되는 결과를 초래할 수도 있다. 따라서, 국내의 경우도 증가하는 로봇 수요에 발맞추어 로봇의 최대, 최소 속도 규정, 작업역 설정, 로봇에의 작업교시 방법 등 작업자 및 로봇 안전에 관한 규정의 표준화 작업이 국가적 차원에서 이루어져야 할 것이다.

Human-robot interface에 있어서 가장 널리 사용되는 것이 teach pendant인데 이 장치에 필히 부착되어야 하는 비상정지 버튼의 위치와 크기에 대한 본 연구의 실험결과 pendant의 상단 정중앙 부분이 가장 빠른 도달시간을 나타내었고, 1.5 inch 크기의 버튼이 가장 빠른 도달시간을 나타내었다. 버튼의 크기에 있어서 그 크기가 커질수록 빠른 도달시간을 보여주었고, 위치에 있어서는 2-1-3-4의 순서로 도달시간이 더 걸렸다. Collins의 연구결과는 위치에 있어서 1-2-3으로 본 연구결과와 다소 차이가 있었는데 이는 고정스위치 위치와 주사용 손가락의 차이에서 오는 이유 때문인 것 같다. 즉, 본 연구에서는 고정스위치의 위치가 정중앙이고 오른손 검지를 사용하도록 하였고, Collins는 pendant 하단에 직사각형 모양의 고정스위치에 오른손 가운데 세 손가락을 모두 이용하도록 하였다. 크기에 있어서는 같은 경향을 보여주고 있다. 본 연구와 Collins의 연구결과를 종합해 보면

오른손의 주 사용 손가락의 위치와 pendant 좌우의 중앙에 위치해 있을 때 비상정지 버튼의 위치는 1, 2, 크기는 최소한 직경 1.5 inch는 되어야 한다고 제안될 수 있다.

이 결과는 teach pendant 설계시 인간공학적으로 고려해야 하는 요인들중 극히 일부분에 지나지 않는다. Rahimi와 Karwowski[31]가 teach pendant의 표준화 결여에 대해 지적한 것처럼

- Pendant의 크기와 형상이 인체 측정자료에 따른 인간공학적 설계원칙에 어긋남
  - Pendant의 스위치 등에 대한 기능적 구분이 완전치 않음.
  - Pendant의 표시장치를 통한 각종 정보제공이 인간공학적으로 표준화되어 있지 않음
  - 각종 스위치나 버튼 등에 대한 작업수행도 평가가 이루어지지 않음
  - Pendant의 각 버튼들에는 공간적 제약 때문에 하나 이상의 기능이 할당되어 있는데 그에 대한 평가도 이루어지지 않았고, 사용되는 색 암호화(color coding)에 대한 연구도 수행되지 않음
- 등 이들 모두에 대한 연구가 시급히 수행되어야 FMS, CIM 등 공장자동화에 큰 몫을 차지하는 로봇의 기술발전과 작업자와 로봇의 안전성 증가, 작업수행도 및 생산성 향상이 급속히 이루어질 것이다.

#### 참고문헌

[1] Etherton, J., Unexpected Motion Hazard Exposures on a Large Robotic Assembly System In: W. Karwowski H.R. Parsaei and M.R. Wilhelm(Eds.), Ergonomic of Hybrid Automated Systems I. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, pp.411-419, 1988.

[2] Nagamachi, M., "Ten Fatal Accidents Due to Robots in Japan," Ergonomics of Hybrid Automated Systems Conference Proceedings, Elsevier,

Amsterdam, 1988.

[3] Sugimoto, N., "Safety Engineering on Industrial Robots and Their Draft Standard Safe Requirements," Proceedings of the 7th International Symposium on Industrial Robots, Tokyo, 1977.

[4] NIOSH, Safe Maintenance Guide for Robotic Workstations, 1988.

[5] Parsons, H.M., "Human-Machine Interfaces in Industrial Robotics," Proceedings of the Annual Conference of the Human Factors Association of Canada, Vancouver, Canada, pp.189-192, 1986.

[6] Parsons, H.M., "Data Base of Industrial Human-Robot Interfaces," International Conference on Intelligent Robots and Computer Vision, SPIE Symposium, Cambridge, Mass., 1986.

[7] Parsons, H.M. and Mavor, A.S., Human-Machine Interfaces in Industrial Robotics, Report for the U.S. Army Human Engineering Laboratory Essex Corp., Alexandria, Va., 1986.

[8] Bonney, M.C. and Yong, Y.F. (Eds), Robot Safety., IFS Publications Ltd., Springer, Berlin, 1985.

[9] Nagamachi, M., "Human Factors of Industrial Robots and Robot Safety Management in Japan," Applied Ergonomics, Vol. 17, No. 1, pp.9-18, 1986.

[10] Sugimoto, N. and Kawaguchi, K., "Fault Tree Analysis of Hazards Created by Robots," Proceeding of the 13th International Symposium on Industrial Robots and Robots 7, 1983.

[11] Salvendy, G., "Review and Appraisal of Human Aspects in Planning Robotic Systems," Behaviour and Information Technology, Vol. 2, pp.263-287, 1983.

[12] Sugimoto, N.N "Subjects and Problems in Robot Safety Technology Occupational Health

and Safety in Automation and Robotics, Edited by K. Noro, Talyor and Francis, 1987.

[13] Nagamachi, M., et al., "Human Factor Study of Industrial Robot. 2. Human Reliability on Robot Manipulation," Japanese Journal of Ergonomics, Vol. 20, pp.55-64, 1984.

[14] Edwards, M., "Robots in Industry: An Overview," Applied Ergonomics, Vol. 15, pp.45-53, 1984.

[15] Fleck, J., "The Adoption of Robots," Proceedings of the 13th International Symposium on Industrial Robots and Robots 7, 1983.

[16] Goto, M., "Occupational Safety and Health Measures Taken for the Introduction of Robots in the Automobile Industry," Occupational Health and Safety in Automation and Robotics, Edited by K. Noro, Taylor and Francis, 1987.

[17] Jiang, B.C. and Gainer, C.A., "A Cause-and-Effect Analysis of Robot Accidents," Journal of Occupational Accidents, Vol. 9, No. 1, pp.27-46, 1987.

[18] NTIS(National Technical Information Service), Study on Accidents Involving Industrial Robots, US Department of Commerce, 1983.

[19] Robotic Industries Association, American Safety Standard for Industrial Robots and Industrial Robot Systems, Dearborn, MI, 1986.

[20] Winrich, M., Personal Communication, Underwriters Laboratory, 1986.

[21] Japan Industrial Safety and Health Association, An Interpretation of the Technical Guidance an Safety Standards in the Use, etc., of Industrial Robots, Tokyo, Japan, 1985.

[22] Karwowski, W., Rahimi, M., Nash, D.L. and Parsaei, R., "Perception of Safety Zone Around an Industrial Robot," Proceedings of Human Factors Society 31st Annual Meeting, pp.948-



952, 1988.

[23] Karwowski, W., Plank, T., Parsaei, M. and Rahimi, M., "Human Perception of the Maximum Safe Speed of Robot Motion," Proceedings of Human Factors Society 30th Annual Meeting, pp.186-190, 1987.

[24] Helander, M.G., Karwan, M.H. and Etherton, J., "A Model of Human Reaction Time to Dangerous Robot Arm Movements," Proceedings of Human Factor Society 31st Annual Meeting, pp.191-195, 1987.

[25] Ghosh, K. and Lemay, C., "Man/Machine Interactions in Robotics and Their Effect on Safety at the Workplace," Proceedings of the Robots 9 Conference, Society of Manufacturing Engineers, Dear Born, pp.19.1-19.8, 19845.

[26] Levosinski, G.J., "Teach Control Pondant for Robots," Proceedings of the 1984 International Conference on Occupational Ergonomics, Human

Factors Association of Canada, Toronto, Canadas, pp.599-603, 1984.

[27] Parsons, H. M., "Human-Machine Interfaces in Industrial Robotics," Essex Corporation, Alexandria, VA, 1987.

[28] Collins, J.W., "Experimental Evaluation of Emergency Stop Buttons on Hand-Held Teach Pendants," Proceedings of Human Factors Society 33rd Annual Meeting, pp.951-955, 1989.

[29] Proposed Draft Standard, "Human Engineering Criteria for Hand-Held Control Pendants," Robotic Industries Association/American National Standard, R 15.02, June 1989.

[30] Moore, T.G., "Industrial Push-Buttons," Applied Ergonomics, 1975.

[31] Rahimi, M. and Karwowski, W. "A Research Paradigm in Human-Robot Interaction," International Journal of Industrial Ergonomics, Vol. 5, pp.59-71, 1990.