

로봇안전 시스템 설계에 관한 연구

1992.12.



한국산업안전공단
KOREA INDUSTRIAL SAFETY CORPORATION
산업안전연구원
INDUSTRIAL SAFETY RESEARCH INSTITUTE

제 출 문

한국산업안전공단 이사장 귀하

본 보고서를 산업재해예방기술의 연구 개발 및 보급사업의 일환으로 수행한 “로봇사용 및 사고 실태조사 연구” 사업의 최종보고서로 제출합니다.

1992. 12.

주관 연구부서: 산업안전연구원
기계전기연구실

연구책임자: 실 장 이 관 형

연구수행자: 연구원 김 기 식

머리말

산업안전보건법의 개정에 따라 산업용로봇이 위험기계로 분류되었으며 이에 따라 '91년도 발생한 로봇사고가 국내 최초로 보고되었다.

로봇은 생산성을 제고시킬 수 있고, 균일한 품질을 제공하며 인간을 이룬바 3D 작업 뿐만 아니라 단조롭고 지루한 작업으로부터 해방시켜 줄 수 있다는 점에서 높은 증가를 보여주고 있다. 그러나 로봇은 큰 에너지와 빠른 운동부위를 가지고 있고, 운동을 예측하기 어려우며, 재래의 기계보다 큰 운동영역을 가지므로 소위 이상적인 사고의 조건을 갖추고 있다.

선진국의 연구에 의하면 산업용로봇은 가장 대표적인 위험기계인 프레스 보다 사고가 자주 발생한다고 한다. 그러나 현재로서 로봇은 발전과정에 있는 기계이며 아직은 적당한 안전화 방법이 확립되어 있지 못한 상태이다.

본 보고서는 로봇의 안전과 관련된 각국의 연구를 조감하였고 국내외의 사고 사례로부터 사고발생요인을 분석하였으며, 로봇작업장 설계시 고려하여야 할 사항 및 안전기법을 소개하고 로봇사고예방을 위하여 연구되어야 할 분야를 제시하였다.

대부분의 로봇사고는 로봇도입 전 과정에서 권장지침이나 기준이 있었다면 방지 가능할 것으로 생각되며, 본 보고서가 로봇안전과 관련된 많은 이들에게 도움이 되길 바란다. 앞으로 로봇에 의한 사고예방을 위하여 이러한 지침이나 기준의 구체적인 자료가 될 수 있는 연구가 널리 수행되길 바란다.

산업안전연구원장

목 차

머 리 말

제 1 장 서 론	1
제 2 장 인간의 작업과 사고분석	3
1. 로봇 및 인간의 작업유형	3
가. 유지보수	4
나. 프로그래밍	4
다. 감시, 감독	6
라. 로봇보조	7
마. 잔업	7
바. 로봇 대체작업	7
2. 사고의 분석	8
가. 외국의 로봇사고	8
나. 국내의 로봇사고	13
3. 안전해석 방법론	18
가. 에너지 방책 분석법	18
나. 이탈 분석법	19
다. 작업 분석법	19
라. 시스템 시뮬레이션	20
마. 앗차사고 분석법	20
바. 결합수지법	20

제 3 장	안전 방호설계	23
1.	방호설계 기본사항	23
가.	위험영역의 분류	23
나.	방호법의 선택	25
다.	로봇설치 계획	26
2.	안전시스템의 설계	27
가.	감지시스템	27
나.	제어시스템	31
다.	응답 및 운동제한시스템	32
3.	인간로봇 복합작업장의 설계	34
제 4 장	안전속도 및 추후 연구과제	36
1.	저감속도	36
2.	로봇팔 운동의 인식	37
3.	추후 연구과제	39
제 5 장	결 론	42
	참고문헌	44
	부록 : 산업용 로봇의 안전기준에 관한 기술상의 지침(안)	52

제 1 장 서 론

산업의 고도화에 따라 로봇의 사용이 급증하고 있으며, 이에 따라 생산방식에도 많은 변화를 가져오고 있다. 또한 이는 작업조건이나 안전, 보건위생에도 변화를 초래하고 있다.

로봇은 높은 생산성, 최종제품의 더 좋은 품질을 제공하며 이른바 3D (Dirty, Difficult, Dangerous) 작업 뿐만 아니라 단조롭고 지루한 작업으로부터 인간을 해방시킬 수 있다는 데에 큰 장점이 있으며, 이러한 이유로 아르용접, 재료송급, 스프레이 도장, 조립 등의 작업에 널리 쓰이고 있다.

'85 ~ '89년 사이의 년평균 로봇 증가율은 대부분의 국가에서 20 ~ 30%에 달하며 국내의 로봇도 2,000년대 까지 년평균 약 20% 정도의 높은 성장률을 예상하고 있다.¹⁾

Ayres 와 Miller²⁾ 에 의하면 미국의 577대의 로봇에 대하여 설치하게 된 동기를 조사하였는데 첫째가, 노동비용의 감소이며 둘째가, 지루하거나 위험한 작업의 대체였다. 일본의 조사에 의하면 대부분이 생산성 향상을 위하여 설치하였으나 77%는 힘든작업, 82%는 유해한 작업, 89%는 위험한 작업, 92%는 단조로운 작업을 줄이는데 기여하였다고 하였다.³⁾ 이는 부수적인 이득으로 애초에는 실제로 계획되지 않았던 것이다.

통상 로봇을 설치하는 경우 어떻게 로봇을 이용하는 것이 가장 좋은가에 대한 이해가 충분치 못한 상태에서 구입하는 것이 보통이다.⁴⁾ 이러한 상황에서 인간과 로봇사이의 작업배치가 거의 우연하게 이루어지는 것은 지극히 당연한 일일 것이다.

최근에 들어 산업용로봇의 위와 같은 장점 때문에 사용이 급격히 증가하고 있으며 이에 따라 부수적으로 발생하는 심각한 안전문제가 대두되기 시작하였다. Carlsson⁵⁾ 등은 스웨덴의 로봇사고에 대하여 조사하였는데 그에 의하면 일반적으로 가장 위험한 기계로 알려진 프레스는 1년에 평균 50대당 1건의 사고를 발생시키지만 로봇은 45대당 1건의 사고를 발생시키고 있다고 한다. 로봇은 아직도 발전의 초기단계로 볼 수 있으며 따라서 로봇

생산자와 사용자는 적당한 안전시스템과 과정을 갖추지 못한 상태이다.

프레스 등에서 주로 사용되고 있는 반자동 기계는 인간이 바로 옆에서 작업을 해야하지만 로봇의 경우에는 자동상태에서 작업자가 로봇에 가까이 갈 필요가 없다. 따라서 로봇은 이 자체로 안전한 요인이 된다. Vautrin과 Svaldi⁶⁾는 설문조사를 통하여 로봇이 보건 및 작업 환경개선에 큰 이점이 있음을 발표하였다.

근로자의 안전을 확보하기 위해서는 방책 등을 이용하여 위험기계를 근로자로부터 격리시키거나 접근시 기계를 정지시키는 것이 필요하다. 그러나 로봇에 대하여는 이러한 방법이 항상 적용될 수는 없다. 실제로 현재의 기술수준으로는 조정이나 교시작업은 로봇과 가까운 곳에서 행하게 된다.

로봇이 정상작업 중에는 물론 사람이 가까이 갈 필요가 없다. 그러나 로봇을 설치, 시운전하거나, 교시, 조정, 유지, 보수를 위해서는 로봇 가까이 사람이 존재하게 된다. 이 모든 경우에 근로자는 로봇과 자연스럽게 또는 우발적으로 접촉하게 된다. 이러한 가능성을 가진 사람은 설치 기술자, 교시, 조정작업 중인 근로자, 기술자(용접기술자 등), 감독자, 로봇 주위에 있는 다른 기계에서 작업하는 근로자, 방문자, 부주의한 근로자 등 수 없이 많다. 이들은 정도의 차이는 있지만 로봇이나 end effector 또는 공구 등의 주변기기와 접촉할 우려가 있다.

일반적으로 정상작동상태(자동운전)에서는 근로자가 로봇주위에 갈 수 없도록 엄격하게 통제만 된다면 근로자는 안전할 수 있다. 반면에 다른 상태(교시, 보수 등)에서는 운동하는 부분을 가진 다른 기계와 마찬가지로의 위험을 갖게 된다. 로봇은 큰 에너지를 가지고 있고, 빠른 운동부위가 있으며 운동을 예측하기 힘들고 재래의 다른 기계보다 운동영역이 크므로 소위 이상적인 사고의 조건을 가지게 된다.

인간작업자도 자동화에 따라 복잡하고 지능적이며 운동을 완전하게 예측할 수 없는 상태에 직면하게 되었다. 여러가지 안전장치들이 나와 있지만 실제로 몇 안되는 사고사례에서 보듯이 펜스, 가드 등의 통상적인 기계의 안전을 위한 방법들이 적합치 않다는 것을 알 수 있다. 그렇지만 대부분의 사고는 로봇도입 전과정(설계, 설치, 작동)에서 권장지침이나 기준이 있었

다면 예방할 수 있었음을 보여주고 있다.⁷⁾ 로봇 안전문제는 로봇을 위한 새로운 센서의 개발 등의 고도의 기술이 필요하다기 보다는 기초적인 안전 규칙에 의하여 대부분의 경우 예방이 가능하다.

본 보고서에서는 로봇의 안전과 관련하여 각국에서의 연구를 고찰하였다. 또한 외국의 사고사례를 중심으로 사고의 발생형태 및 위험발생요인을 분석하였고, 최초로 국내의 로봇 사고사례를 조사, 그 내용과 방지대책을 수록하였다. 로봇 작업장의 설계시 적용할 수 있도록 로봇시스템 안전기법을 소개하고 안전 방호시스템 설계에 관한 연구를 조감하였으며, 앞으로 로봇에 의한 사고방지를 위하여 연구되어야 할 분야를 제시하였다.

제 2 장 인간의 작업과 사고분석

1. 인간의 작업유형

본절에서는 안전의 관점에서 로봇의 작업과 관련된 유지, 프로그래밍, 감시 등과 같은 인간의 주요한 작업유형에 대하여 기술한다.

표 1. 통상적인 로봇작업 및 로봇과 관련된 인간의 작업^{8), 9)}

로 봇	인 간
용 접 도 장 조 립 기계보조역 재료취급 표면청소	유지보수 프로그래밍 감시, 감독 로봇보조 로봇에 의하여 남겨진 잔업 로봇 고장시 대체작업

로봇을 사용하였을 때, 그 좋은 의도에도 불구하고 많은 경우에 인간에게 충분하게 만족스럽지는 못하다. 표 1에는 인간과 로봇의 작업을 나열하였

는데, 감시, 감독, 로봇보조, 잔업, 로봇대체 등과 같은 작업은 작업만족도의 관점에서 좋지 않으며¹⁰⁾ 표 1의 다른작업(유지보수, 프로그래밍)이 더 많은 작업만족을 주게 된다. 아래에서는 인간이 하는 작업에 대하여 기술하였다.

가. 유지보수

로봇의 유지보수는 기계, 전자, 유압, 컴퓨터 등에 관한 지식을 필요로 하는 복잡한 작업이며 그런 일을 감당해 낼 수 있는 사람을 구하기는 쉽지 않다. 따라서 유지보수를 간단히 할 수 있는 자동장비나 컴퓨터화된 진단 방법에 대한 사용이 늘고 있다. 일에 따라서는 30%¹¹⁾에서 90%¹²⁾까지 보수 시간을 줄일 수 있다고 한다.

로봇 작업에 있어서 유지 보수를 줄이는 것은 생산성 및 안전의 관점에서 매우 중요한 것이다. 즉 보수시간을 줄이는 것이 생산성을 향상시키는 것이고 동시에 위험을 줄이는 것이다. 적당한 장비를 선택하고, 예방정비의 중요성에 대한 인식이 제고되어, 보수를 줄일 수 있도록 생산시스템이 신중하게 설계 되면 수리보수를 위한 작업중지 시간을 많이 줄일 수 있을 것이다. Jones 와 Dawson¹³⁾은 로봇에 의한 아크용접, 스폿용접의 경우 25% 정도의 작업중지시간(down time)을 갖는 것이 보통이라고 하였다.

컴퓨터 자동제작에 관한 한 보고서¹⁴⁾에서 다음과 같은 지적을 하고 있다. 시스템이 복잡하고 작업중지시간에 대한 압력이 큰 경우 보수유지를 하는 근로자의 스트레스가 증가하게 되며 이러한 시간에 대한 스트레스는 작업에서 지름길을 찾게 되어 위험을 증가시킨다. 그 예로 Etherton¹⁵⁾은 모든 보수작업 중 43%가 로봇작업 영역 내에서 동력연결이 가능한 상태에서 이루어진다고 하였다.

나. 프로그래밍

프로그래밍은 통상 다음의 3가지 방법을 통하여 이루어 진다.

- 1) 교시반
- 2) 수동교시

3) 컴퓨터

(1) 교시반에 의한 프로그래밍

Vautrin과 Svaldi⁶⁾에 의하면 교시반으로 프로그램을 하는 로봇이 전체의 85% 정도이며 특히 아크용접, 스폿용접에 많이 쓰이고 있다. 교시반으로 프로그램을 하는 경우에는 end effector에서 약 50cm 정도 떨어진 곳에 열감이 위치하게 되며 이것이 심각한 유해요인이 된다.

Parsons 과 Mavor¹⁶⁾는 교시반이 점점 복잡해져 가고 있으며 50개의 다른 기능을 가진 것도 있다고 한다. 또한 그는 10개의 주요 로봇 생산업체의 교시반 설계가 크게 다르다는 사실을 지적하고 있다.^{17),18)} Helander 와 Karwan¹⁹⁾은 어떤 제작용자는 같은 모델의 로봇에 대하여 다른 종류의 교시반을 쓰고 있다고 하였다.

Ghosh 와 Lemay²⁰⁾에 의하면 교시반에 의한 프로그램시의 실수율이 10%까지 된다고 한다. 이는 많은 연구에서 지적되듯이 교시반의 설계가 적절치 못하고 혼란스럽다는 것이 가장 큰 원인이다. 그래서 미국 RIA(Robotic Industries Association)는 교시반의 인간공학적 설계에 관한 규격 제정을 준비하고 있다.²¹⁾

Shulman 과 Olex²²⁾는 교시반을 설계할 때 한손으로 잡고 다른 한손으로 조작하기 편하도록 하며, 키는 기능별 그룹으로 나누어 배치하고, 색깔, 모양을 고려하는 등 인간공학적인 설계가 중요하다는 것을 역설하였다.

(2) 수동프로그래밍

수동프로그래밍은 교시자가 end effector를 직접 손으로 잡고 로봇을 움직여서 프로그램하는 것을 말하며 수동 도장시의 유체운동을 모방할 수 있기 때문에 스프레이 도장에 처음 쓰였다. 그러나 로봇팔은 움직이기 쉽지는 않고 수동 스프레이 건과 비교할 때 표면을 때리는 페인트 스프레이에 대한 시각적 피드백이 없다.²³⁾ 따라서 수동 스프레이 도장에 경험이 많은 기술자라 하더라도 만족할 만한 제품을 얻지 못한다.²⁴⁾ 움직이기 쉬운 가벼운 로봇을 쓰기도 한다.

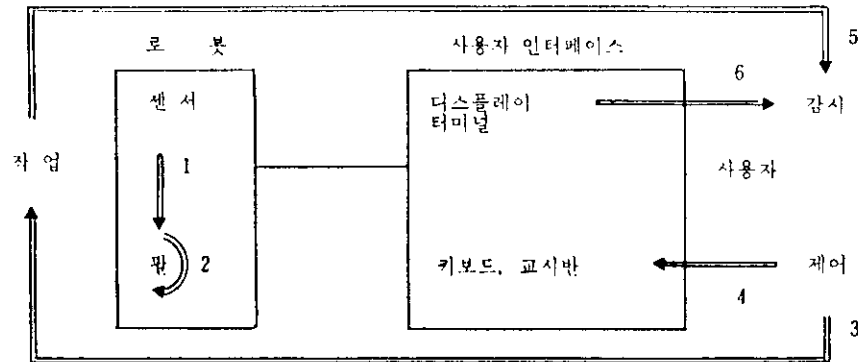


그림 1. 로봇의 감시, 제어를 위한 여러가지 방법²⁸⁾

1. 로봇은 센서의 피드백을 따라 작업을 자동적으로 제어
2. 로봇은 센서의 피드백을 없이 작업을 자동적으로 제어
3. 작업자가 로봇팔을 움직임으로써 직접적으로 로봇을 제어
4. 작업자가 키보드나, 교시반을 통해 간접적으로 로봇을 제어
5. 작업자가 작업을 직접 감시
6. 디스플레이 터미널을 통해 작업자가 간접적으로 작업을 감시

(3) 컴퓨터 프로그래밍

그림 1에서와 같은 컴퓨터 디스플레이 터미널 상에서의 프로그램은 간접적인 조작과 교시 작업의 관찰이 용이하지 않기 때문에 더 힘들다. 따라서 오류를 발생하기 쉽다.²⁵⁾

Schneiderman²⁶⁾ 은 인간-컴퓨터 상호관계에 대한 연구에서 워드프로세싱시 초심자는 19%정도 오타를, 경험이 있는 사람은 10% 정도의 오타를 발생시킨다고 하였다. 비록 이를 로봇에 바로 적용시킬 수는 없지만 한가지 일반적인 결론은 얻을 수 있다. 즉 직접교시가 교시반이나, 소프트웨어에 의한 교시보다 실수가 적다고 할 수 있다.²⁷⁾

컴퓨터 프로그래밍 중에는 graphic simulation이 가능한 것도 있다.

다. 감시, 감독

감시는 작업자의 주의를 요하는 사건을 끄집어내는 것을 말하며 작업자가

작업을 직접 또는 간접으로 감시하는 두가지 방법이 있다.(그림 1 참조)
감시는 통상 지루하고 단조로운 작업이며 충분한 자질을 가진 작업자를 구하기 어렵다.¹²⁾

라. 로봇보조

로봇은 복잡한 작업을 하기 위해 도움이 필요하다. 예로써 로봇 조립라인에서 중력에 의한 송급장치를 제거해 주어야 하고, 로봇이 바닥에 떨어뜨린 물체를 주어야만 하는 경우가 있다. 이런 경우 작업자는 실제로 로봇의 시중을 들고 있다고 할 수 있다. 작업만족의 관점에서 보면 이는 역할이 바뀌는 것이 타당하다.²⁹⁾

마. 잔업

여기에서의 잔업이란 로봇에 의하여 행하여지고 남은 작업 중 시각 검사나 형상인식등과 같이 로봇이 하기 어려운 작업을 말한다. 시각검사는 통상 매우 단조롭고, 반복적이며, 지루하다. 이런 경우 작업자에게 책임을 부가하여 작업내용을 확장하는 것이 바람직하다.

예를 들어 로봇화된 귀따기작업의 일부로 인간이 참여할 때, 로봇이 귀따기작업을 하는 공정에서 인간의 작업이 귀따기작업이 끝난 작업물을 배출해 주고 작업할 물건을 공급하여 주는 경우가 있다. 이때는 작업에 흥미를 줄 수 있도록 하여야 한다.³⁰⁾ 그러나 작업이 육체적으로 덜 들다고 해서 덜 단조롭다는 증거는 없다. 물론, 공급 및 배출 작업 중에는 자동화하기 힘든 것도 있다.

바. 로봇 대체작업

때로는 로봇 대신 인간이 그 작업을 하여야 할 경우도 있다. 이 경우 작업장의 조명, 소음이 적합하고, 공정상 공구에로의 접근이 용이하며, 좌석배치가 적합하고, 작업높이가 적당하게 설계되는 등 기타 인간공학적 요구를 만족하여야 한다.

2. 사고의 분석

현재로서 로봇은 발전의 초기단계로 볼 수 있으며 따라서 로봇사고의 자료도 매우 적은 편이다. 그러나 산업용 로봇은 심각한 위험을 줄 수 있는 기계이며³¹⁾ 지금까지 10 여건의 사망사고가 보고되고 있다. 우리나라에서도 1991년도에 최초로 산업용 로봇에 의한 35건의 사고가 보고되었다.³²⁾ 사고의 자세한 내용은 대부분 일본, 미국, 스웨덴에서 보고되었다.

가. 외국의 사고

로봇사고에 대한 최초의 연구는 Carlsson, Harms-Ringdahl 과 Kjellon⁵⁾에 의하여 수행되었다. 그들은 2년반 동안 270대의 로봇에서 발생한 15건의 사고를 분석하였는데 대부분의 사고는 작업자가 로봇작업구역 내에서 보수나 고장수리를 하는 중에 발생하였다. 여기서 고장수리라는 것이 유지보수의 대표적인 형태인데 주의할 필요가 있다. 또한 그들은 특히 가장 빈번한 것으로 “용접용 로봇의 프로그래머가 조작반의 조작스위치를 잘못 눌러서” 사고를 당하기 쉽다고 하였다. 이 보고에서 그들은 로봇은 1년에 45대당 1건의 사고가 발생하고 있다고 하였는 바 이는 통상 가장 위험한 기계로 알려진 산업용 프레스가 스웨덴에서 연간 50대당 1건의 사고를 발생시키는 사실에 비추어 실제로 가장 위험한 기계의 일종이라고 하였다.

그뒤 Carlsson³³⁾은 다시 36건의 상해사고를 보고하였다. 그러나 이 결과 중 28건의 사고는 산업용로봇이라기 보다는 단순한 형태의 수동 매니플레이터를 사용하다가 발생한 것이기 때문에 일반적으로 적용하기는 곤란하다. 여기서도 13건의 사고가 교시나 보수 중에 예기치 않게 로봇이 작동하여 발생한 것으로 이들 작업이 가장 위험한 것으로 나타나 있다. 그는 사고를 예방하기 위하여는 로봇이 인간과 접촉시 정지하도록 할 수 있는 센서를 부착하고, 잘 보일 수 있도록 특별한 색을 칠하여야 하며 설계시, 로봇자체가 자상이나 타박상을 줄일 수 있도록 하고 끼임점이 발생되지 않도록 배치하여야 한다고 하였다.

일본노동성³⁾은 1978 ~ 1982 사이의 190개 공장에서 11건의 사고를 보고하였는데 그중 2건은 중대재해였다. 아울러 37건의 앗차사고(Near Accident)와, 사고로 연결되지는 않았지만 로봇과 관련된 문제발생 300건도 보고하였다. 11건의 사고중 8 건의 사고는 로봇이 정지상태에서 작업영역 내로 들어갔다가 로봇이 예기치 않게 동작하여 발생한 것이었다.

Tiefenbacher³⁴⁾는 24건의 앗차사고를 보고하였는데 3/4이상이 운전자의 실수였으며 16건은 로봇과 운전자 접촉에 의한 사고이고 7건은 운전자가 로봇에 물건을 주거나 받는 등의 운반과정과 작업물의 위치 수정시에 발생한 것이었다. 전체사고중 6건은 안전수칙을 무시하여 발생한 것이었다.

여기서 앗차사고는 무상해 사고와 법적기준 이내의 가벼운 상해사고를 의미하며 이런 앗차사고가 작업자가 부지중에 로봇이 워나 뒤에서 접근하게 되는 경우에는 상해 사고로 발전하게 된다.

로봇에 의한 첫번째 사망사고는 1982년 일본에서 발생하였다.³⁵⁾ 그는 동료 근로자에게 용접용 로봇의 작동설명을 하기 위해 안전장치를 무효화하고 로봇 작업영역 내로 들어가 있었으며 그때 동료 근로자가 작동개시 명령을 주어 로봇이 작업영역 내에 있는 근로자를 뒤에서 고정물쪽으로 밀어 고정물과 사이에 찢려 사망하였다.

Sanderson, Collins 와 McGlothlin³⁶⁾은 미국에서 발생한 첫번째 로봇 관련 사망사고를 보고하였는데 사망한 작업자는 15년 경력의 다이캐스팅 운전자였으며, 로봇에 관하여는 무지한 상태였다. 그는 로봇 작업영역 내에 서 있다가 뒤에서 접근하는 로봇과 기둥 사이에 끼어숨졌다. 이 기둥은 본래 로봇이 통로측으로 회전하지 못도록 하기 위한 일종의 기계적 스톱퍼 였는데 이것과 로봇이 끼임점을 형성하게 된 것이다. 이 사건과 일본의 사망사고는 같은 특징이 있다. 즉 운전자가 안전시스템을 무효화하고 로봇의 동력이 인가된 상태에서 작업영역내로 진입하여 뒤에서 진행하는 로봇과 충돌하여 정지물 사이에 끼었다.

표 2에 6개의 문헌에서 발췌한 사고기록을 나열하였다.^{3), 30), 33), 36), 37), 38)} 이 표에서 상해사고는 단순한 형태나 수동 매니플레이터에 의한 것은 제외하였다. 이 표에서 청소, 조정, 보수, 수리에 대한 분명한 구분은 없다.

이는 단순하나 복잡하나에 관계된 문제이며 각 문헌에서의 구분이 서로 일치하지 않고 있다.

표 2. 사고사례

번호	상해 정도	로봇형태	기계의 상태	사고자 작업	사고형태	접근 방향	상해부위
1	사망	자재취급	운전중	조정/청소	협착	위	몸체
2	사망	--	운전중	보수	--	뒤	몸체
3	사망	--	운전중	--	협착	--	머리
4	사망	자재취급	운전중	보수	교통사고	--	--
5	사망	무인운송차	운전중	프로그램	--	앞	--
6	사망	자재취급	운전중	조정/청소	협착	위	머리
7	사망	자재취급	운전중	감시	협착	위	머리
8	사망	자재취급	운전중	침입	협착	위	머리
9	사망	자재취급	--	감시	협착	위	머리
10	사망	--	운전중	보수	협착	--	머리
11	사망	자재취급	운전중	조정/청소	협착	뒤	몸체
12	부상	--	교시	프로그램	찢림	--	몸체
13	부상	--	안전장치 고장	프로그램	찢림	--	--
14	부상	조립	운전개시	조정/청소	--	--	--
15	부상	조립	--	조정/청소	협착	--	손
16	부상	자재취급	안전장치 고장	조정/청소	찢림	--	--
17	부상	용접	운전개시	감시	타격	--	--
18	부상	용접	안전장치 고장	보수	--	--	--
19	부상	용접	운전중	감시	타격	뒤	몸체
20	부상	용접	운전중	침입	끌림	옆	몸체
21	부상	자재취급	운전중	조정/청소	끌림	--	몸체
22	부상	용접	운전중	보수	--	--	--
23	부상	--	운전중	침입	타격	--	몸체
24	부상	--	운전개시	보수	타격	--	손
25	부상	표면처리	운전중	보수	찢림	--	몸체
26	부상	자재취급	안전장치 고장	보수	찢림	--	손
27	부상	자재취급	운전중	보수	타격	--	머리

(계속)

번호	상해 정도	로봇형태	기계의 상태	사고자 작업	사고형태	접근 방향	상해부위
28	부상	도장	교시	프로그램	--	정지	몸체
29	부상	자재취급	운전중	조정/청소	화상	--	손
30	부상	용접	운전중	감시	협착	--	손가락
31	부상	자재취급	운전중	감시	협착	--	손가락
32	부상	--	안전장치 고장	--	협착	--	팔
33	부상	자재취급	운전중	--	타격	--	손
34	부상	조립	운전중	프로그램	타격	--	손가락
35	부상	용접	기계고장	--	타격	--	몸체
36	부상	조립	운전중	조정/청소	타격	--	손
37	부상	조립	운전중	조정/청소	찢림	--	손
38	부상	자재취급	운전중	조정/청소	타격	--	손
39	부상	조립	기계고장	보수	타격	--	손
40	부상	--	--	조정/청소	타격	--	손

이 표에서 보면 전형적인 사망사고의 시나리오는 자재취급 로봇이 보이지 않는 뒤나 뒷 방향에서 접근하여 조정작업이나 보수작업 중인 운전자의 머리를 타격하는 것이다. 나머지 사고의 사망자의 작업은 로봇을 감시하는 경우가 2건, 자동운송차량(AGV)의 프로그램 중인 경우가 1건, 작업영역내의 무단 침입 1건, 운전자의 작업이 보고되지 않은 것이 1건이다.

표로부터 자재취급 로봇이 가장 위험함을 알 수 있다. 이는 통상 자재취급 로봇의 크기가 크고 중량물을 취급하기 때문에 기본적으로 큰 운동에너지를 갖고 있기 때문이다.

29건의 상해사고 중 75%는 조립, 자재취급, 또는 용접로봇에 의하여 발생된 것이다. 도장로봇은 실제로 많이 쓰이지만 사고는 1건 밖에 없다.

도장로봇은 통상 잘 싸여져 있고 작업영역 내에 있는 운전자가 분명하게 들을 수 있는 소리를 내기 때문일 것이다. 즉 도장로봇이 도장 중에 내는 소리가 운전자에게 잘 들리기 때문이며 이러한 원칙은 다른 로봇에도 적용될 수 있을 것이다. 소리에 의한 경고를 하면 조용히 예기치 않게 접근하

는 로봇에 의한 사고예방에 도움이 될 것이다.

위험을 인지하는 방법과 사고예방을 위한 행동에 관한 문제는 좀 더 연구해야 할 것으로 생각된다. 그러나 이와 같이 운전자가 로봇에 가까이 가지 않도록 하는 강력한 인자가 있을 수 있으며 이러한 방법에 의하여 안전센서나 인터록 등과 같은 통상적인 안전확보 방법과 마찬가지로의 효과를 얻을 수도 있을 것이다.

사고중 60%는 로봇이 작동 중이고 그중 20%는 고장이나 오작동을 알리는 비상신호나 인터록장치가 되어 있었다. 29건의 상해사고 중 단지 2건만이 교시 중에 발생하였는데 이는 매우 낮은 것으로 놀라운 일이라 할 수 있으며 이는 단순한 형태의 매니플레이터를 제외하였고, 복잡한 시스템의 로봇은 대부분 교시할 때 자동적으로 속도가 낮아지도록 되어 있기 때문으로 생각된다. 3건은 기계가동을 시작할 때 발생하였고 그 중 1건은 기계고장이 원인 이었다.

운전자의 작업은 조정/청소(약 30%), 보수/수리(약 25%)였는데, 이들은 명확하게 구분하기 어렵고, 비슷한 형태의 위험을 내포한다고 할 수 있다. 마지막으로 2건의 사고는 위험을 느끼지 못한 상태에서 로봇작업 영역에 침입하여 일어났다.

사망사고와 비사망사고 사이의 가장 큰 차이 중의 하나는 로봇운동 기록의 관점이다. 대부분의 사망사고는 로봇운동을 원인의 관점에서 위험요소가 무엇인가에 대하여 주로 기록하였으나 비사망 사고에는 대체적으로 이는 기록치 않고 있다.

운전자가 사고를 적절하게 피해갈 수 있는 행동요령을 제시하기 위해서는 좀 더 나은 통계를 얻는 것이 매우 중요하다고 할 수 있다. 로봇에 의하여는 자동차 운전처럼 정면충돌에 의한 사고는 거의 일어나지 않는다. 이러한 것이 연구되어야 할 한가지 형태로 볼 수 있다. 그러나 먼저 로봇이 근로자에게 줄 수 있는 위험을 잘 이해하는 것이 무엇보다 중요하다. 이를 위하여 사고분석을 정확히 할 수 있도록 하는 연구와 기계뿐만 아니라 인간의 행동을 적당하게 분류하기 위한 연구가 더 수행되어야 할 것이다.

상해부위와 상해정도를 볼 때 약간의 아이디어를 얻을 수도 있을 것이다.

분명히 손 및 팔의 사고는 비사망사고이다. 즉 이는 기술적으로 당하게 되는 몸통보다는 사고를 피할 수 있는 준비가 훨씬 더 잘 되어 있는 상태임을 나타내는 것이다.

나. 국내의 로봇사고

국내에서의 로봇에 의한 사고는 '92년도에 최초로 보고되었다. 본 논문에서는 국내에서 발생한 로봇사고 4건을 조사하였으며, 그 내용을 표 3 ~ 표 6에 자세히 기술하였다.

사고조사를 통하여 보면 안전장치를 무시하고 로봇작업 영역내로 진입하는 경우가 매우 많으며 작업장에서 아예 안전플러그를 무효화시켜 놓은 경우도 많았다. 이는 교육훈련을 통하여 해결될 수 있는 문제이기도 하지만 근로자가 안전장치를 쉽게 무효화 할 수 없도록 하는 장치를 설치하는 것이 바람직하다. 사례1의 경우는 특이한 경우로 이는 로봇제작 사업장에서 발생한 것이다.

사례 2.3.4는 모두 로봇자체가 아닌 부분에서의 에러에 의하여 로봇이 정지하고 있는 경우이며 근로자는 로봇이 계속하여 정지하고 있을 것으로 착각하여 일어났다. 앗차사고의 경우로 위와 비슷한 상황이 대부분이었다.

로봇을 설치사용하는 사업장에서 로봇설치 초기에는 공통적으로 순서를 무시한 로봇의 초기화를 행하다가 장비를 타격하는 사고가 발생하고 있었다. 또한 기존의 라인을 로봇화한 경우 공간이 더 많이 필요한 로봇의 특성이 무시되어 근로자가 대피할 수 있는 공간이 없어 위험이 많으며 사례 4의 경우 공간이 더 확보되어 있었으면 사고를 피할 수 있었을 것으로 생각된다.

표 3 국내 사고사례 1

로봇형태	직교좌표형
작업	보수
상해부위	손가락
상해형태	협착
상해정도	10 주
사고경위	사고자는 로봇의 출하를 위하여 조정작업을 하던 중 제3축인 Z축의 움직임이 원활하지 않아 이를 교정하기 위하여 air balance 시스템의 공기를 뺀후 Z축의 커플링을 푸는 순간 제3축 모터부가 자유낙하하여 모터부와 아래쪽의 스톱퍼 사이에 손가락이 끼어 협착됨.
문제점	1. 공기를 빼지 않은 상태에서는 모터부가 급격히 떨어지지 않으나 빠진 상태에서는 급격히 떨어지게 된다. 작업자는 최초에 air balance 시스템의 이상으로 예상하여 먼저 공기를 빼게되었다. 그리고 나서 공기압이 차있다고 착각하고 커플링을 풀게되었다. 2. 만일 동력이 연결되어 있었으면 air balance 시스템이 작동하여 모터부가 서서히 낙하하게 되어 사고를 피할 수 있었다.
대책	1. air lamp의 설치 2. 압력게이지를 보기쉬운 장소에 설치 3. 지그를 사용하여 자유낙하 할 수 있는 부분(모터부 등)을 받쳐놓고 작업

표 4 국내 사고사례 2

로봇형태	5축 관절형 스폿용접용
작업	보수
상해부위	좌골
상해형태	타격
상해정도	6 주
사고경위	서틀라인에 부품이 완전하게 장착되지 않아 라인이 정지하자, 사고자는 이를 교정하고자 안전장치를 무효화하고 라인 위로 올라가 부품을 타격하여 완전히 장착는 순간 로봇이 움직이기 시작하여 사고자를 타격하였으며 사고자는 옆의 다른 부품에 넘어져 다친 사고임.
문제점	1. 동료근로자가 스위치를 조작하려고 조작반으로 가고 있었으나 사고근로자가 조급히 조치하려함 2. 서틀정지를 일으키는 부품의 수정시 조작반 스위치 조작 및 안전플러그를 빼지 않음
대책	1. 근로자가 쉽게 접근할 수 없는 방책설치 2. 안전조치 후 작업영역내로의 진입

표 5 국내 사고사례 3

로봇형태	관절형 Sealer 도포용
작업	관찰
상해부위	우측 둔부
상해형태	자상
상해정도	2 주
사고경위	입력착오로 전산에러가 발생되자 재해자는 이를 확인하려고 보전용 발판에 올라서는 순간 뒤에서 로봇이 움직이면서 접근하여 sealer 도포용 노즐에 찢려 상해를 입음.
문제점	1. 안전조치로 취하지 않고 로봇 작동구역내에 임의로 진입 2. 출입금지 미부착
대책	1. 작동구역내에 쉽게 침입할 수 없도록 방책 설치 2. 안전조치를 취한 후 진입 3. 보전용 발판에 안전매트의 설치

표 6 국내 사고사례 4

로봇형태	관절형 스폿용접용	
작업	보수	
상해부위	A: 좌측견관절	B: 좌측 대퇴부
상해형태	A: 타격	B: 협착
상해정도	A: 2 주	B: 2 주
사고경위	셔틀라인의 부품존재유무를 알리는 리밋스위치가 오동작하여 셔틀이 움직이지 않자 이를 조치하기 위하여 셔틀라인 작업자 B가 리밋스위치를 확인하고 있던 중, 보수근로자인 A가 로봇 옆에 서는 순간 리밋스위치가 정상작동되어 A를 옆에서 타격하였고 B는 넘어지는 A에 밀려 옆에서 작동개시한 로봇과 셔틀의 부품사이에 대퇴부 끼임.	
문제점	1. 안전조치를 취하지 않고 작업영역내에 진입 2. 출입금지 미부착 3. 기존의 라인 로봇대체로 작업공간 협소	
대책	1. 쉽게 접근할 수 없도록 방책설치 2. 로봇작업 영역내 진입시 안전조치 및 안전플러그 휴대 3. 기계의 재배치	

3. 안전해석 방법론

복잡한 시스템의 해석에 있어서 통상 시스템 안전 접근방법(System Safety approach)이 유용함을 알 수 있다. Rahimi³⁹⁾는 로봇공학에 적용할 수 있는 시스템안전 기법들을 제시하였다. 그의 주된 목적은 안전의 관점에서 주요시스템 및 각 부시스템이 적절하게 설계되는가를 확인하고자 하는 것이었다.

여기에는 여러가지 기법이 있는데 크게 정량적인 것과 정성적인 것으로 구분할 수 있다. 정성적인 것으로는 에너지방책분석법, 이탈분석법, 작업 분석법, 앗차사고분석법과 시스템상사법이 있고 정량적인 것으로는 결함수 지법(FTA:Fault Tree Analysis)이 있다. 이들 각각은 특정한 작업장의 안전도를 분석하는데 쓰일 수 있으며 또한 이들은 사고연구를 위한 값진 자료가 된다.

가. 에너지방책분석법(Energy Barrier Analysis)

이 방법의 개념은 사고는 제어가 불가능해진 에너지의 이완이나 이동에 의하여 발생한다는 것이다. 이 방법의 기본적인 과정은 다음과 같다.

- 1) 로봇환경에서 잠재적 불원에너지(PUE:Potential Unwanted Energy)원을 정의한다.
- 2) PUE를 에너지원으로부터 줄이거나 제어하는 방법을 정한다.
- 3) PUE의 이동을 차단할 방법을 정한다.
- 4) PUE의 존재를 운전자에 경고할 방법을 정한다.

일반적으로 로봇작업장 내의 PUE에는 로봇 자체의 에너지(전력, 유압 등의 동력)와 로봇이 함께 일하게 되는 주변환경의 에너지(열, 화학물질 등)가 있다. Rahimi³⁹⁾는 대부분의 경우 위의 3, 즉 에너지의 차단을 통하여 안전을 확보하는 것이 현실적인 방법이라고 하였다. 즉, 이는 시각센서, 매트, 운동감지센서 등과 같은 인간의 가까이 있음을 알리는 장치를 이용하

여 동력을 차단하는 것을 의미한다.

나. 이탈분석법(Deviation Analysis)

이 방법은 사고를 정상적인 또는 계획된 생산공정으로부터의 이탈(deviation) 또는 방해(disturbance)의 결과로 나타나는 것이라는 데에 기초를 두고 있다.⁴⁰⁾ 이러한 이탈이라는 것은 기술적, 개인적, 및 조직의 기능에 모두 적용될 수 있다.

이탈분석법의 첫단계는 시스템의 기능과 그에 포함된 각기 다른 여러 행위를 모으는 것이다. 다음으로 이러한 행위를 적당한 크기의 블록으로 나눈다. 그리고 나서 각 블록에 대하여 정상적인 행위과 이 정상적인 행위로부터 이탈할 수 있는 가능한 행위를 나열한다. 다음 단계는 이러한 이탈의 결과로 발생할 수 있는 위험한 상황을 판정한다. 마지막 단계는 그 결과의 심각성을 줄일 수 있도록 시스템을 개선할 수 있는 방법을 모색하는 것이다. 이 방법은 각 부시스템 수준에서의 분석을 제공할 수 있고 여러사람의 의견을 종합한 접근방법에 의한 해를 얻을 수 있는 기회가 주어진다는 부분에서 에너지 방책 분석법과 비슷하다고 할 수 있다.

다. 작업분석법(Task Analysis Approach)

작업분석법은 주작업을 부작업으로 나누고 다시 작업요소로 분할하는 것이다. 이들은 다시 정보입력, 정보가공, 출력의 관점에서 분석하게 된다. 로봇과 인간이 같이 일하는 복합시스템에서는 로봇 및 인간의 주된 작업의 분석이 동시에 이루어지는 것이 바람직하다.

Umezaki 와 Sugimoto⁴¹⁾는 인간과 로봇이 간헐적으로 같이 작업하게 되는 시스템의 신뢰성을 수학적으로 모델링하는 기법을 제시하였다.

일반적으로 작업을 잘 알고 있으면 일어날 수 있는 대부분의 전형적인 사고를 설명할 사고 시나리오를 작성할 수 있으므로⁴²⁾ 작업분석법은 또한 사고데이터를 분석하는데 적당한 접근방법이기도 하다.

라. 시스템상사법(System Simulation)

Yong, Talor 및 Bonney⁴³⁾는 CAD를 써서 안전한 로봇시스템을 설계에 이용하였다. 또한 GRASP(Graphical Robot Application Simulation Package)이라는 로봇 시뮬레이션 패키지는 SAMMIE 등과 같은 작업구역과 작업자세 등을 나타내 주고 시뮬레이션 할 수 있는 인간 시뮬레이션 패키지와 연결하여 사용할 수 있도록 되어 있다. 이와 같은 방법으로 로봇의 작업영역 내의 위험지역을 알 수도 있고, 운전자와 로봇의 상호운동을 시각적으로 시뮬레이션할 수도 있다.

마. 앳차사고분석법(Near Accident analysis)

충분한 사고데이터를 얻기 힘든 현실에 비추어 종종 앳차사고가 이를 대신할 수도 있다. 앳차사고 기록은 작업자를 면담하거나 작업자의 자가기록(작업자가 매일작업 끝에 앳차사고가 있었는지를 양식에 기록하는 등)으로부터 모을 수 있다.

이 방법의 장점은 짧은 시간 동안에 많은 양의 데이터 축적이 가능하여 특정한 작업장의 위험을 알아내고 또한 그 위험에 대처하기 위한 방법을 알아낼 수 있다는데 있다. 그러나 작업자가 무시당하거나 불이익을 당할까봐 기록을 꺼리는 경우가 있을 수 있고 또한, 사고사례에서 사망사고와 부상사고의 양상이 매우 다르듯이 앳차사고에서 나타나지 않는 다른 중대한 원인이 있을 수 있으므로 앳차사고가 안전의 지표로써 쓰이기에는 부적합할 수도 있다는 단점이 있다.

바. 결함수지법(FTA:Fault Tree Analysis)

결함수지법은 인간-기계시스템의 안전 및 신뢰성을 정량적으로 분석하는데 쓰여왔던 방법이며, 로봇의 안전시스템 분석에 가장 활발히 연구되고 있는 분야이다.

미국 NIOSH⁴⁴⁾는 산업기계의 보수를 분석하기 위한 FTA 과정을 제안하였는데 로봇사고의 가장 많은 부분이 보수 중에 발생하고 있으므로 이 방법은

로봇사고와 매우 관련이 깊다고 할 수 있다. 일본에서는 Sugimoto 와 Kawaguch⁴⁵⁾, Nagamachi⁴⁶⁾, Nagamachi 등⁴⁷⁾, Sugimoto⁴⁸⁾가 FTA의 사용을 제안하고 방법을 제시하였다. FTA에서는 위험조건을 계통적으로 자세히 나누어 요소수준으로 분해하게 된다.

한가지 예를 그림 2에 나타내었다. 이 그림의 맨 윗사건 “예기치 않은 작동으로 인한 로봇사고”는 단지 어떤 조건이 복합되었을 때만 나타날 수 있다. 즉 반드시 로봇에 에너지가 주어져 있어야하고, 근로자가 위험영역에 들어가 있어야 하며 로봇팔이 움직이거나 작업물을 이완시켜야만 그러한 사건이 일어날 수 있다. 이러한 조건적인 사건(coditional event)은 “AND” 게이트로 연결된다. 어떤 조건은 “OR” 게이트로 연결된다. 즉 그림 2의 “예기치 않은 로봇팔의 운동”이 그 예이다.

원래 FTA는 기본적으로 어떤 사건이 일어날 수 있는 확률로부터 신뢰성을 평가하기 위한 목적으로 이용되어 왔다. Nagamachi⁴⁶⁾는 다음과 같은 계산 예를 보였다. 그는 방호되지 않은 인간-로봇 시스템에서 고장확율은 7.5×10^{-3} 으로 평가하였다. 그리고 그는 서로 다른 안전장치의 고장확율을 계산하였는 바 안전방책은 5.31×10^{-3} , 감지장치는 7.44×10^{-3} 등이었다. 현장확인을 통해 FTA가 매우 정확한 평가라는 것을 증명하였다. 그러나 인간-로봇 안전 시스템에서는 이러한 시스템에서 기본적으로 필요한 인간의 행동에 대한 신뢰성 데이터가 절대적으로 부족하여 로봇 작업안전의 전체적인 평가자료로 이용하기에는 아직 어려움이 많다.

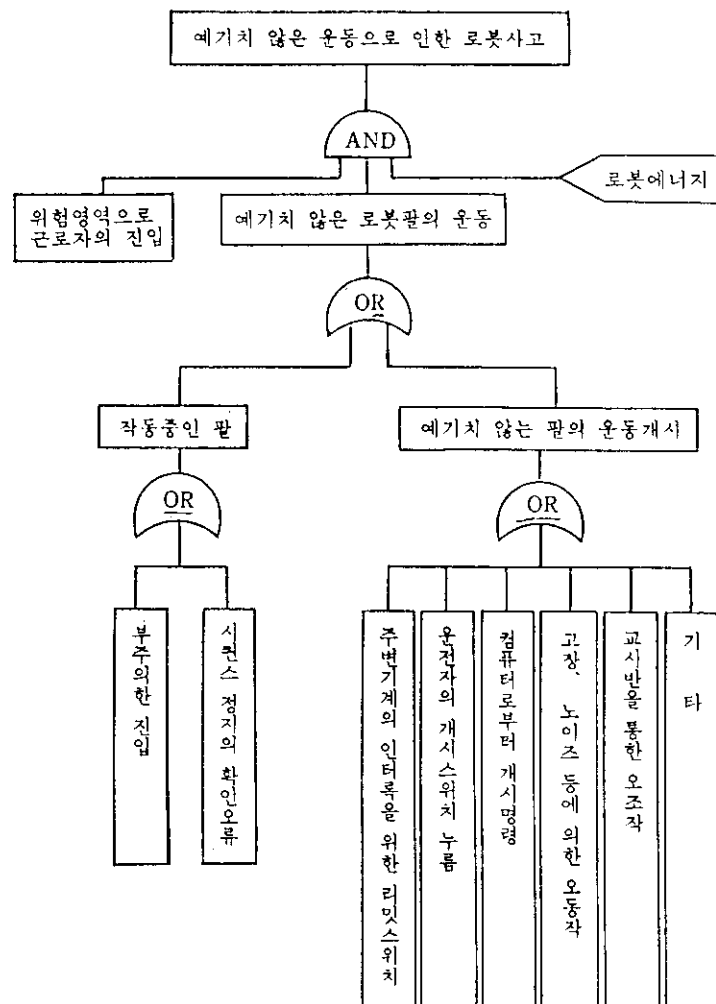


그림 2. FTA 의 예

제 3 장 안전방호 설계

1. 방호설계 기본사항

이 절에서는 안전한 로봇 작업장 설계의 관점에서 설계시 고려하여야 할 사항을 중심으로 기술한다.

안전 방호의 목적은 인간의 상해를 방지하고 또한 장비 및 공작물의 손상을 방지하는 데 있다.

로봇에 있어서 보수 및 프로그래밍에 참가하는 작업자를 방호하는 것이 안전에 특히 중요하다는 것은 이미 오래전부터 알려진 사실이며 최근에는 NIOSH 에 의하여 로봇 작업장의 안전보수 지침서가 발표되었다.¹⁸⁾ 여기에는 로봇작업장의 위험점을 분석하는 방법, 로봇 안전관리를 위한 방법론 및 적용가능한 방호장치에 대하여 알기 쉽게 기술하여 놓았다. 일본⁴⁹⁾ 영국^{50), 51)} 스웨덴⁵²⁾ 등도 로봇의 안전기준을 발표하였다. 우리나라에서도 산업안전공단에서 “산업용 로봇의 안전기준에 관한 기술상의 지침”⁵³⁾을 준비하여 공포할 예정이다. Bonney 와 Yong⁵⁴⁾ 은 각국의 안전기준에 대하여 설명하였고 Alvite⁵⁵⁾, Baldur 와 Barson⁵⁶⁾ 등 여러 사람들에 의하여 방호설계에 대한 연구가 수행되었다.^{17), 18), 57), 58), 59), 60)}

가. 위험영역의 분류

인간과 로봇과의 거리에 따라서 효과적인 방호장치의 형태가 달라지게 되며, 이런 관점에서 Kilmer⁶¹⁾ 는 로봇과의 근접거리에 따라 안전장치를 구분하는 방법을 다음과 같이 3가지로 분류하여 제시하였다.

1. 로봇 주위의 일정한 구역 경계 침입을 감지
2. 로봇 작업영역 내의 감지
3. 로봇팔 혹은 주변기기와의 접촉을 감지

Etherton¹⁵⁾ 은 로봇 작업구역을 두개의 영역으로 나누었다. 하나는 로봇 운동영역(Movement Zone)이며 또 하나는 접근영역(Approach Zone)이다.(그림 3 참조) 로봇운동영역에서는 로봇의 동력에 직접 노출되어 위험을 내포하게 되며 접근영역에서는 던져진 물체, 방사선(용접작업으로 부터의), 기타 전기적, 기계적, 또는 화학적 위험이 있을 수 있다.

Bellino⁵⁷⁾ 는 비슷한 개념을 통상적인 용접용 로봇 작업에 적용하였다. 운전자가 쟁반처럼 생긴 회전하는 작업대를 이용하여 공작물을 미리 배치하여 놓으면 작업물은 로봇작업 영역 안으로 회전하여 들어간다.(그림 3 참조) 그는 여기서 안전의 관점에서 약간의 차이가 있는 회전작업대를 근접영역(Proximity Zone)으로 정의하였다.

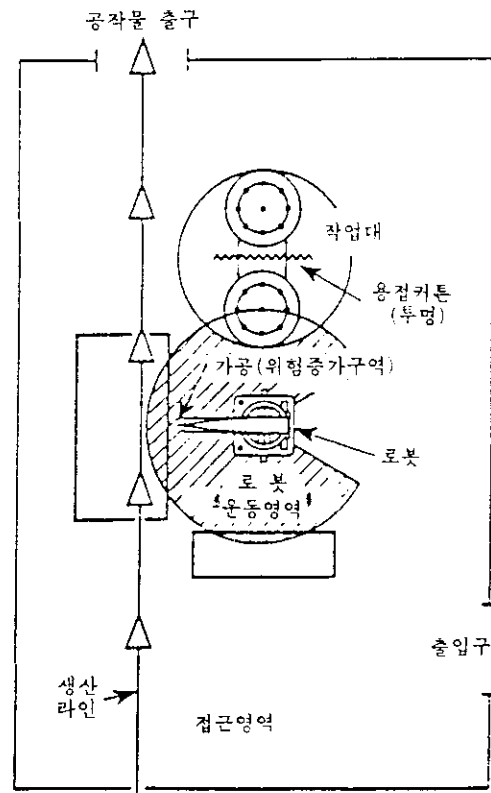


그림 3 로봇 운동영역과 접근영역

나. 방호법의 선택

모든 로봇 작업장의 설계과정에서 다음과 같은 사항을 고려하여야 하며 각각의 사항들이 모두 안전과 밀접한 관련이 있다.

- 1) 시스템의 형태: 용접, 자재취급, 조립 등
- 2) 재료 운반 방법: 컨베어, cart, positioner
- 3) 교시, 보수, 자재송급을 위한 접근이 쉽게
- 4) 끼임점, 가드, 날카로운 끝이나 돌기 등
- 5) 로봇형태: 인간형, SCARA, 등
- 6) 전원차단의 위치, 제어반 위치
- 7) RFI & EMI 원
- 8) 제조자의 권고사항

특히 설계시 안전방호의 관점에서 여러가지 방법을 고려하여 기본적인 방법과 하드웨어를 결정하여야 한다. 이 방법에는 고급인 것으로 소프트웨어적으로 제어되는 초음파, 마이크로파, 원적외선, 용량센서 등이 있다. 재래형인 것으로 마이크로 스위치, 광선빔, 압력감지 매트 등이 있으며 이들은 프레스 등과 같은 위험기계에서 많이 쓰이면서 그 신뢰성이 입증된 바 있다.

위험영역의 종류 및 작업의 편의성 등에 의하여 우선 기본적인 방법과 하드웨어가 결정되면 최종적인 선택을 하기 위하여 다음 사항을 만족하는가를 면밀히 검토하여야 한다.⁵⁷⁾

- 1) 안전장치가 작동되지 않고는 통과 하기 힘들 것
- 2) 사용이 간편할 것
- 3) 웨일 세이프(Fail safe) 할 것
- 4) 신뢰성이 높고, 고장율(다른기계에 고장을 일으키는)이 낮을 것
- 5) 견고할 것
- 6) 전자노이즈 등의 산업환경에 강할 것
- 7) 설치, 수리가 용이할 것
- 8) 가격이 저렴할 것

시스템이 정해지면 위험분석을 하여야 한다. 고려되어야 할 상황으로는 프로그래밍, 보수, 정상작업 등이 있다. 이런 상황을 고려할 때는 앞장에서 설명된 안전해석 방법 등에 의하여 하나도 빠뜨리지 않고 전부 잘 작동하는지를 분석하도록 하여야 한다.

다. 로봇설치 계획

로봇시스템의 기본적인 요소로는, 로봇, 작업대, 및 작업을 위한 공구 등과 제어반이 있을 수 있다. 설치 계획은 안전의 관점에서 먼저 관련된 작업영역을 고찰하고 다음 전체작업영역으로 조합하는 방법으로 설계한다.

다음에 한 예로 용접용 로봇 시스템의 설치를 위한 과정과 고려사항 들을 나타내었다. 이 로봇 시스템 작업영역이 그림 4에 예시되어 있다. 전체 작업영역을 다음의 3가지의 작업영역으로 구분하고 간단한 고려사항을 나타내었다.

1) 로봇 및 end-effector의 작업영역(그림 4(a))

가) 기능 - 필요한 운동을 하기 위한 공간

나) 표시 - 통상 바닥에 표시된다.

다) 안전관련 - 교시, 보수시 진입가능하도록 한다.

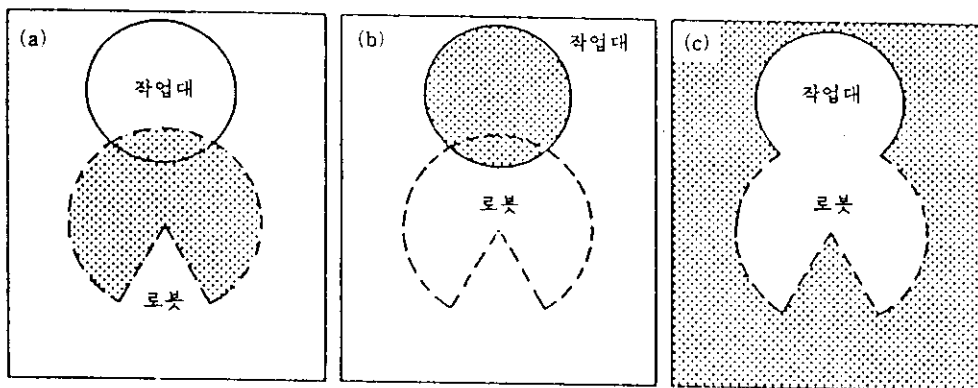


그림 4 로봇 작업장⁶²⁾

2) 작업대, 공구대 및 공작을 위한 작업영역(그림 4(b))

가) 기능 - 작업물을 로봇에 보내고 로봇작업

나) 표시 - 통상 바닥면적으로 표시된다.

다) 안전관련 - 작업영역 내에 사람이 있을 때 작업대의 운동이 정지되도록 연동시킨다.

3) 로봇 및 작업대를 제외한 작업경계면 내의 주변영역(그림 4(c))

가) 기능 - 인간의 출입통제 작업물의 토출방지

나) 표시 - 연동게이트가 있는 최소 2m 이상의 방호울

다) 안전관련 - 침입시 정지 및 작업물의 토출방지

2. 안전시스템의 설계

안전시스템은 3가지 부분으로 나뉜다.

1) 감지 시스템 - 로봇 가까이에 위험한 상황이 발생하였는가를 감지하여 제어 시스템에 경보를 발한다.

2) 제어시스템 - 경보신호를 받아 필요한 동작을 할 수 있는 신호를 가공, 전달한다.

3) 응답 및 로봇 운동제한 시스템 - 위험을 제거 또는 감소 시키기 위한 장치이다.

가. 감지(Detection) 시스템

표 7에 현존하는 안전장치 및 현재 개발 중인 안전장치를 로봇과의 접근 거리에 따라 나타내었고 다음에 각 감지장치에 대하여 자세히 기술하였다.

1) 기계적 방책: 로봇 이용시 가장 많이 쓰이는 방식으로 방호울이나 가드레일과 같은 물리적 방법이며 출입문은 반드시 인터록 되어야 한다. 이 시스템은 어떤 사람이 문을 열고 들어오면 공정을 진행시키지 못하도록 한다는 개념이다. 특히 방호울은 근로자의 침입을 강제로 억제하는 적극적인 방법이며 로봇 측으로부터 비래하는 물체로부터 근로자를 보호하는 데에도

유효하다. 로봇이 자동모드에서 작동하고 있고 공정에 이상이 없다면 이 시스템은 가장 좋은 방법이다.

기계적 방책은 그 내부에서 작업하는 사람(프로그램, 조정, 수리 등)을 방호하지는 못한다. 즉 이 시스템에서는 사람이 안에 없도록 되어 있다. 그러나 실제로 로봇은 여러가지 정지시켜야 하는 문제가 있으며 이를 해결하기 위해서 안으로 들어가는 사람이 있게 마련이다. 이것이 전형적인 자동화시스템이다. 즉 고장시 가장 쉽게 이를 해결하는 방법은 그 문제는 해결할 사람을 안으로 들여보내는 것이다.

또한 방책이 로봇과 너무 가까우면 그 스스로가 로봇과의 사이의 끼임점을 만들 우려가 있다. 그러므로 로봇이 오동작을 하는 등의 상황이 발생하였을 때 로봇작업 영역 밖에서 있을 수 있도록 공간을 확보해야 한다.

2) 체인: 체인은 표시방책으로서 침입자가 쉽게 무효화 할 수 있는 소극적 방법이다. 그러나, 가벼운 물건을 조립하는 비교적 작은 로봇에는 유용하게 쓰일 수 있다.

3) 용접커튼(welding curtain): 이 커튼은 용접시 발생하는 방사선 및 광선을 차단하기 위한 목적으로 사용된다.

4) 광전자빔: 포토셀은 작업영역의 경계로 쓰일 수 있다. 비슷한 것으로 광커튼 및 자기커튼이 작업영역 내로의 침입을 감지하기 위하여 쓰인다.

이 경우에도 기계적 방책과 마찬가지로 그 내부에 존재하는 사람은 감지하지 못한다. 그러나 기계적 방책과는 달리 끼임점을 형성하지는 않는다.

감지영역을 작업영역 바닥부분에 평행하게 설치된 광선빔을 이용하여 만들 수 있는데 이 때 광축간격은 사람의 다리를 감지할 수 있을 정도 이하로 하여야 한다. 이 제품은 프레스 등에서 많이 쓰여 신뢰성이 입증되어 있고 쉽게 구할 수 있다.

5) 압력감지매트: 작업영역 내로 근로자가 걸어 들어오는 것을 감지하기 위한 장치이며 부품이 굴러들어 오고 나가야 하는 경우에는 적합치 않다.

압력감지면이 있는 센서는 로봇팔이나 위험지역 둘레에 부착하여 근로자가 이에 압력을 가하거나 접촉하게 되면 로봇을 정지시키는 것으로도 사용될 수 있다. 또한 매트는 바닥의 모양에 따라 주문 생산이 가능하다.

표 7 현존 및 개발중인 안전장치

	방 호 장 치	내 용 설 명	통상적인 이용 및 제한
경 계 침 입 감 지	방호울	인터록된 문을 갖춘가드	중량물 취급
	가드레일	인터록된 문을 갖춘 표시방책	경량물 취급
	체인과 말뚝	수동적 가드	작은 물건 조립 경미한 책임
	커튼	유연성 스크린	용접빔으로 부터 방호
	광전빔	광전빔 차단 감지	다른 장치와 병행 설치
	입력감지매트	마루 또는 어떤면의 보 행 또는 접촉감지	다른 장치와 병행 설치
	바닥표시	바닥에 칠하여 경고	로봇작업영역을 나타냄
내 부 감 지	원적외선 센서	10 μ m의 원적외선에 감응	주변온도에 민감
	카메라 영상처리	형태, 크기, 명암	계산상의 시간지연
	초음파 센서	운동과 거리에 민감	방향(10~30°) 제한, 온도에 오감지
	용량 센서	존재나 거리에 따라 커패시티 변화	보정 및 조정의 문제
접 촉	압력감지면	로봇과 위험한 영역에 부착	부착의 문제
감 지	Conductivity 센서	접촉시 전도율 변화	부착의 문제

6) 원적외선센서: 모든 물체는 원적외선을 방사한다. 특히 원적외선 센서는 잘 알려져 있는 사람의 원적외선 에너지 스펙트럼($8-10\mu m$)을 감지하도록 되어 있어 인간만을 선별적으로 감지한다는 개념이다. 그러나 원적외선 센서는 인간과 비슷한 스펙트럼 범위를 갖는 물체의 원적외선 방사와 구분이 어렵기 때문에 특히 주의하여야 하며 이것이 이 센서를 이용키 어렵게 하는 점이다. 그러나 연속적으로 원적외선을 감지, 비교하여 배경 노이즈를 제거하여 운동을 감지하는 것이 가능하다.

원적외선 센서는 대체로 크기나 온도를 고려하여 이로부터 발생하는 원적외선이 인간의 원적외선 방사와 비슷하거나 더 강한 움직이는 물체가 작업 영역 내에 존재하지 않을 경우에만 사용된다.

Rehimi 와 Hancock⁶⁰⁾ 는 운전자와 로봇이 같이 일하는 복합 작업장에서는 이런 종류의 많은 센서가 쓰일 수 있다고 하였다.

7) 카메라와 영상처리: 이 장치는 센서가 명암의 변화를 감지하여 인간과 로봇의 위치를 검출하는데 쓰일 수 있다. 이들이 너무 가까워지면 로봇이 정지하도록 한다. 카메라와 영상센서는 로봇의 작업영역을 구속하는 데에도 쓰일 수 있고 작업영역을 결정하는 방책의 역할로도 쓰일 수 있다.

8) 초음파센서: 초음파 발생, 수신장치를 로봇이나 주변에 설치하여 인간의 몸에 부딪혀 반사되는 초음파 임펄스를 감지하여 거리를 측정한다. 특히 이는 자동운송차량(AGV)에서 이용되어 유용하다는 것이 확인되었다. 그러나 작업장에 이런 음향 기술을 적용하는 데는 문제가 발생할 수 있다. Jorgensen 등⁶³⁾ 은 음향센서가 온도변화에 민감하기 때문에 거리측정에 큰 오차를 발생시킬 수 있음을 지적하였다. 여러 곳에서의 반향이나 다른 기계나 주변 물건에서의 노이즈에 의해 오감지할 가능성도 있다.

9) 용량(Capacitive)센서: 미약한 자장을 작업장에 걸어주면 물건이 움직일 때 로봇주위의 자장에 변화가 발생하며 이를 감지한다. 측정된 용량은 온습도의 변화, 다른 전자노이즈 등과 같은 여러가지 인자에 많은 영향을 받는다. 움직이는 팔과 여러형태의 작업위치로 인하여 복잡한 작업장에서는 사용이 곤란하다.

10) 트랜스폰더(Transponder): Parson¹⁷⁾은 운전자가 자기 위치를 알리기 위하여 몸에 트랜스폰더를 지니고 다닐 것을 제안하였는데 이 장치는 문에 달아 보관하거나 인터록 장치에 부착하여 운전자가 지니고 다니게 하여야 한다. 이러한 것은 항공기 운항제어 시스템과 유사하다. 항공제어시스템은 그들의 위치로 알리기 위하여 트랜스폰더를 가지고 있다. 아직 실용화되지는 않고 있으나 매우 좋은 방법으로 연구가 더 필요한 분야이다.

○ 전도 센서: 가장 좋은 안전시스템은 로봇팔과의 접촉을 감지하는 센서를 갖는 것이다. 즉 어떤 사람이 로봇 팔에 접촉하면 정지하는 것이다. 독일 IPA 에서 이러한 센서를 개발하였는데 이는 연한 전기적물질로 로봇팔에 부착하는 것이다. 로봇이 어떤 물건을 건드리면 이 물질의 전도율(conductivity)이 변하여 정지신호를 발생시켜 로봇 작업영역 내에 존재하는 사람을 방호하기 위한 것이다. 이 센서는 로봇팔이 연하다는 것 자체가 장점이며 이미 발생한 여러사고는 이 센서에 의하여 방지될 수 있었다. 그러나 이는 아직 부착상의 문제 등 여러가지 해결해야 할 문제가 많이 남아 있다.

나. 제어 시스템

감지신호가 발생하면 신뢰성있는 제어시스템을 통하여 안전하도록 가공된 신호를 발생하여야 한다. 안전하도록 된다는 것은 우선 한 부품이 고장이나도 위험해지지 않아야 한다는 것이다.

이는 두개의 정지 및 개시신호를 병렬로 사용하는 방법에 의하여 해결될 수 있다. 두개의 신호에 의한 고장확률은 한개일 때 확률의 제곱이 된다. 자동프레스 라인에서 비접촉 방법에 의한 감지시스템을 병렬로 설치하는데 이는 로봇에도 그대로 적용될 수 있을 것이다.

다음으로 안전시스템을 정상제어 시스템과 독립시키는 것이다. 왜냐하면 한개의 고장이 두개의 시스템을 모두 정지시킬 가능성이 크기 때문이다.

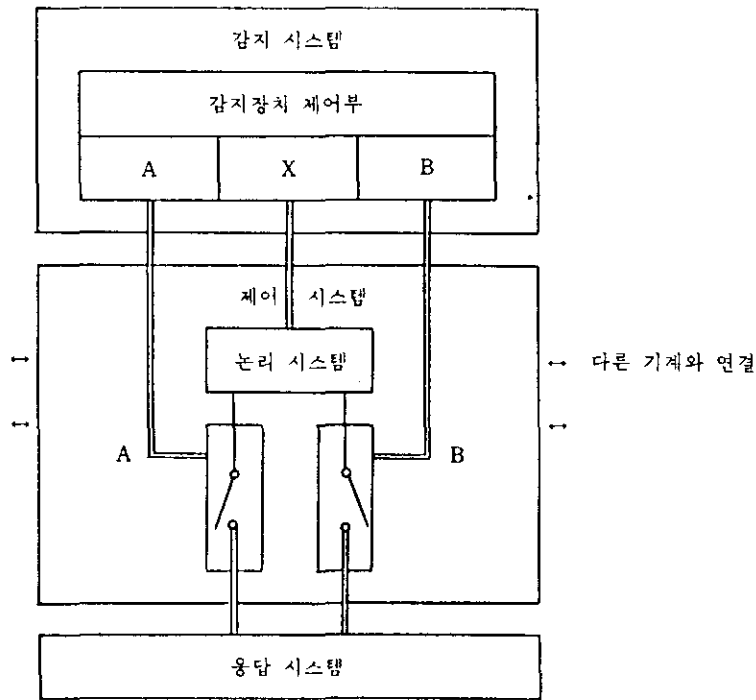


그림 5 안전신호의 구조⁵²⁾

그림 5에 이러한 원칙이 주어져있다. 이 그림에서 A, B는 병렬시스템이다. 정상적인 상태에서 X신호가 A, B보다 먼저 전달되며 로봇제어 시스템 자체도 정지신호를 전달한다. 그러나 만일 이것이 고장인 경우라도 A, B가 신호를 발생한다.

다. 응답 및 운동제한 시스템

(1) 안전응답

안전센서에 의하여 침입이 확인되었을 때 시스템은 다음과 같은 여러가지

형태의 응답을 취할 수 있다.

- 1) 로봇의 운동을 정지
- 2) 로봇의 속도를 감속
- 3) 로봇에게 침입자가 사라질 때까지 다른 작업 수행
- 4) 침입자에게 시각 또는 청각경보 발동

적당한 안전응답은 사용되는 로봇의 종류와 작업의 종류에 따라 달라지며 실제로 효과적인 방법은 작업분석을 통하여 얻을 수 있다.

예를 들어 여러 다른 작업을 하는 유연생산시스템의 단위 셀에 있어서는, 작업영역 내에 운전자(침입자)가 없음이 확인된 후에 로봇이 작업을 하도록 하고 운전자도 이를 확인한 후에 운전개시 명령을 하도록 하는 것이 안전하다.

(2) 운동제한 시스템

로봇은 근로자의 안전을 위하여 아래와 같은 여러 형태의 운동제한 시스템을 갖게 된다.

- 1 스토퍼: 기계적 또는 전기적
- 2 잠금장치: 체인과 핀
- 3 그립퍼 및 조인트의 브레이크
- 4 교시, 보수를 위한 속도제한
- 5 비상정지, 유지작동제어 스위치를 포함한 수동정지
- 6 운동의 자가진단을 위한 감시시스템
- 7 작업영역내의 위험영역 회피

1) 스토퍼: 로봇 조인트나 작업영역 내에 리밋스위치, 스토퍼 등을 설치하여 로봇운동을 제한하기 위하여 쓰인다.⁶⁴⁾ Etherton¹⁵⁾ 은 고정스토퍼가 위에서 언급한 사망사고에서와 같이 끼임점을 생성할 수도 있음을 지적하고 있다.

2) 잠금장치: 로봇이 가동되지 않거나, 보수 등의 목적으로 일시적 정지를 할 때 체인이나 핀과 같은 잠금장치를 써서 로봇이 움직이지 못하고 정

해진 위치에 정지해 있도록 하는 데 쓰인다.

3) 브레이크: Linger⁵²⁾는 로봇조인트에 설치되어 로봇을 어떤 위치든 상관없이 항상 정지시킬 수 있는 브레이크의 중요성을 강조하고 있다. 브레이크의 성능을 평가하는 한가지 기준으로 정지거리를 들 수 있는데 어떤 시스템에서는 정지거리의 80 %가 브레이크가 작동하기 전에 전기회로상에서의 시간지연에 의한 것인 경우도 있다. 자동차와 마찬가지로, 이 거리는 주의하여 설계하면 줄일 수 있다. 더구나, 로봇 브레이크는 어떤 위치에서든지 서고 출발 할 수 있게 하기 때문에 시간의 절약에도 도움이 될 수 있다.

4) 수동정지: 수동정지는 비상정지 스위치 및 버튼을 누르고 있는 동안에만 그에 해당하는 운동을 하고 버튼에서 손을 떼면 즉시 정지하는 유지작동 제어(Dead-man's) 스위치를 포함한다. 비상정지버튼은 교시반 및 기타 로봇작업 영역 내의 위험장소에 있어야 한다. 교시반에는 유지작동제어 스위치를 반드시 구비하여 프로그램 중에 이를 사용하여야 한다.⁵²⁾

Linger⁵²⁾에 의하면 당황한 상태에서는 이 스위치의 반응이 늦은 편이 더 안전하다고 하였다.

5) 안전감시컴퓨터(WDSC: Watch-Dog Safety Computer): 이는 작업장의 로봇운동을 감시하는데 쓰이는 독립된 마이크로 컴퓨터시스템을 말한다.^{61), 65)} 이는 정상적인 범위를 이탈하는 로봇의 상태를 감지하여 로봇이 충돌하거나 해를 입기 전에 정지시키기 위하여 쓰인다. 이 장치는 공작기계나 작업자의 작업위치 등과 같이 로봇이 침범해서는 안되는 접근금지 영역으로의 진입을 감시하는 데에도 쓰일 수 있다.

3 인간-로봇 복합작업장의 설계

이절에서는 인간과 로봇이 같이 작업해야 하는 복합작업장의 설계에 관하여 인간공학적 관점에서 기술한다.

인간에게는 작업자세, 생체역학, 자재취급, 작업장설계 등에 대하여 기본적인 요구조건이 있으며 대부분의 좋은 인간공학설계 원칙은 로봇작업에도

적용된다. Eastman Kodak 사⁶⁶⁾는 인간공학적 설계에 대한 우수한 내용을 출판하였는데 이 내용은 인간 뿐만 아니라 로봇에게도 적용될 수 있다.

산업용 로봇의 설치와 관련하여 주의하여야 할 문제 중의 하나는 산업용 로봇이 이들에 의하여 교체된 재래의 기계보다 많은 공간을 소요한다는 사실이다.⁶⁷⁾ 이러한 사실이 설계시에 적절하게 반영되지 않으면 공간배치가 너무 조밀해져서 끼임점이 발생하거나 로봇운동에 의한 다른 위험을 생성하게 된다.

작업장은 조립될 부품, 제어장치, 디스플레이 터미널, 수공구 등 여러가지 품목이 작업장 내의 공간을 차지하게 된다. 이 때 작업분석법을 이용하여 주작업을 이루고 있는 부작업을 구분하게 되면 제어장치, 공구, 부품 등을 부작업에 따라 작업장 내에서 작업순서에 의해 공간적으로 처리될 수 있다.⁶⁸⁾

또한 여러 품목을 분석하여 이들이 얼마나 자주 쓰이는가 하는 것도 도움이 된다. 많이 쓰이는 항목은 작업자(또는 로봇)가 쉽게 접근할 수 있도록 작업자(또는 로봇) 가까이에 놓아야 할 것이고 덜 쓰이는 품목은 그보다 멀리 배치하여야 할 것이다. 이와 같은 여러가지 인간공학적 설계지침을 다음에 나열하였다.²⁸⁾ 이러한 일반적인 인간공학 법칙은 인간과 로봇에 모두 적용된다.

- 1) 품목(부품, 공구, end effector)의 수요를 줄일 것
- 2) 주품목, 부품목으로 구분할 것
- 3) 주품목을 가까이, 부품목은 그 보다 멀리배치할 것
- 4) 부작업을 확실하게 하고 품목을 각 부작업내에서 순서대로 배치할 것
- 5) 손(또는 end effector)이 여러 품목에 순서대로 닿아야 하면 그 품목을 연속적인 운동이 가능하도록 배치할 것

Engelberger⁶⁹⁾는 사람정도 크기의 로봇이 큰 로봇보다 조감하기 쉽기 때문에 작업하기 편하다고 하였다. 안전의 관점에서 보자면 작은 로봇이 더 유리할 것이다.

그는 또한 작업자가 로봇과 협력하여 일하는 상황에 대하여도 기술하였다. 즉 로봇은 공작물을 집어 어려운 위치에서 작업자가 조립하기 쉬운 위

치로 움직여주는 등, 고정구나 공구로써의 역할로 이용될 수 있다. 이런 상황에서는 로봇이 X-Y-Z 좌표에 의한 들쭉날쭉하거나, 복잡한 모양의 운동보다는 스프레이 도장용 로봇처럼 인간과 비슷한 것이 바람직 할 것이다.

인간이 로봇의 시중을 드는 역의 상황도 있을 수 있으므로 인간공학적 요구조건을 양쪽 모두에 대하여 적용되어야 한다. 따라서 양쪽 모두에 대한 인간공학적 요구조건을 작업장 설계에 반영하기 위한 연구가 더 필요하다.⁷⁰⁾

Parsons^{17),18)} 는 조작반을 방호구역 외부에 설치하고 방호구역 내외에 여러개의 비상정지 버튼을 설치하여야 한다는 등과 같은 작업장 레이아웃 설계에 적용될 수 있는 여러가지 주의사항을 기술하였다. 또 작업공간에 끼임점이나 날카로운 모서리나 돌기 등이 없나 점검이 필요하다. 종종 재래의 라인을 로봇으로 대체할 때 공간부족으로 끼임점이 발생할 수 있다. 마지막으로 작업장은 작업자가 위험한 물건을 내려다 볼 수 있고 로봇에 등을 돌려서 하는 작업이 생기지 않도록하여 배려하여야 한다.

제 4 장 안전속도 및 추후 연구과제

1. 저감속도

독립된 로봇의 안전기준은 영국에서 처음 발간되었으며 독일, 미국, 스웨덴, 일본, 프랑스, 소련 등에서도 발표하였다. KS에는 “산업용로봇의 안전통칙”이 제정되어있다. 이 규격들은 대부분 임의규격으로 대부분 법적 강제성은 가지고 있지 않고 많은 부분이 선언적 내용이다. 우리나라에서도 산업용로봇 안전에 관한 기술지침을 발표할 예정이며 이 초안을 부록에 수록하였다.

각 규격에 프로그램 및 보수시 로봇팔의 최대속도(저감속도)를 규정하고 있는데, 미국은 25cm/sec를 택하고 있으며 대부분의 유럽국가들도 이를 택

하고 있고 ISO 도 이를 채택하였다. 우리나라도 이를 채택할 예정이다.

이는 Etherton 등⁷¹⁾의 실험결과로부터 얻은 값이다. 이 연구에서 피실험자는 원치 않는 움직임운동을 감지하고 비상정지 스위치를 누르도록 하였다. 0, 45, 90 도의 방향과 15, 25, 35, 45 cm/sec 의 속도를 조합하여 20, 30 및 40대 이상의 연령 군으로 나누어 실험하였다. 그 결과 25 cm/sec의 속도로 움직일 때 과주거리(overrun)의 평균은 7.77cm, 최대값은 16cm 였으며, 45cm/sec 인 경우, 평균 10.9cm, 최대 20.5cm 이었다. 근로자와 로봇과의 거리를 20~30 cm로 보고, 이 실험에서 근로자가 비상정지 스위치를 누르려 준비하고 있는 상황임을 감안하여 25cm로 정하였다.

일본의 경우는 14cm/sec 를 택하고 있는데 교시반에 의하여 교시를 할 때는 반드시 자동적으로 이러한 모드가 되도록 하고 있다.⁴⁹⁾ 이 속도는 Sugimoto 등⁷²⁾의 인간공학 실험을 근거로 정한 값이다. 그들은 이 연구에서 교시작업자가 로봇 팔을 위로 올리는 버튼을 누르려 했으나 실수로 근로자 앞으로 다가오는 버튼을 누른 상황을 가정하여, 이 버튼을 취소하는데 평균 0.53초 걸린다고 하였으며 이 시간에 표준편차의 2배를 더한 시간이 1.42초였다.

로봇팔의 속도가 14cm/sec이고 반응시간이 1.42초이면 로봇은 19.9cm를 움직이게 된다. 근로자가 교시하기에 가장 좋은 로봇과 얼굴의 거리를 20 ~ 30cm로 보았을 때 결국 14cm/sec가 최대 허용속도가 된다.

2. 로봇팔 운동의 인식

다른 운송시스템과 마찬가지로 움직이는 부위의 속도는 안전에 중요한 인자이다. 로봇사고 중에는 로봇운전자가 로봇운동방향을 알지 못했거나 운동패턴의 변화를 미리 알리는 적당한 방법이 없기 때문에 일어난 사고가 많으며 특히 프로그램에 의하여 로봇팔이 정지하는 경우에 근로자가 혼동하기 쉽다. 실제로 운동이 시작되기 전에는 경험이 많은 운전자도 로봇의 상태를 오해할 소지가 많다. 로봇이 정지하는 경우는 다음과 같은 여러 원인이

있다.⁴⁵⁾

- 1) 비상정지 버튼에 의한 비상정지
- 2) 일정정지 제어에 의한 일시정지
- 3) 고장에 의한 오동작정지
- 4) 소프트웨어에 의한 조건정지
- 5) 작업종료에 의한 정지

작은 로봇은 큰 로봇보다 덜 위험하다. 또한, 작은 로봇은 로봇과 주변 환경의 조감이 쉽기 때문에 큰 로봇보다 눈으로 보면서 제어하기 쉽다.⁶⁹⁾ 위험을 피하기 위하여 운전자는 사고나 상해가 발생하기 전에 로봇팔을 정지시킬 수 있도록, 예감하고 예측하고 반응할 수 있어야 한다. 따라서 로봇의 속도가 너무 빠르지 않고, 운동형식의 변화가 예측 가능하여야 한다. 이런 관점에서 여러 실험이 행하여졌다.

Nagamachi 등^{46), 47), 73)} 은 속도에 따른 로봇팔 운동의 감지정도를 측정 보고하여는데 첫째실험에서 로봇팔 속도를 10 ~ 50cm/sec의 범위에서 변화시켜가며 실험하여, 20cm/sec 이하일 때만 작업수정이 가능함을 밝혔다. 둘째실험에서는 로봇이 물건을 떨어뜨리고 잠시 정지하고 있는 동안 피실험자가 이를 주워 올리는데 느끼는 위험을 물었다. 0, 1, 2, 3, 4초 동안의 정지와 14 ~ 46cm/sec의 속도를 조합하여 실험하였는데 3 ~ 4초의 정지가 로봇팔의 속도에 관계없이 가장 안전하다고 하였다. Nagamachi는 실제 상황에서 이보다 긴 것은 위험할 것이라고 하였다. 이보다 길면 사람들을 로봇이 꺼진 것으로 상황을 오판하게 되어 불안정한 행동을 유발시킨 가능성이 있다고 하였다. 셋째실험은 로봇이 14 ~ 46cm/sec로 다가오도록 하고 피실험자를 안전하다고 생각되는 가장 가까운 위치에 있도록 주문하였을 때 그 거리의 중앙값이 1.3 ~ 19.5cm이다. 낮은 속도에서는 운전자가 실제위험을 감지하기 어려워 너무 가까이 있게 된다고 하였다.

이 실험결과는 귀중하지만 일반적으로 받아들이기는 어렵다. 실험이 학생을 대상으로 대학실험실에서 진행하였는데 이것이 약간의 단점이 될 수 있다. 또 예를 들어 둘째실험에서 정지시간이 길면 로봇이 꺼졌다고 상황을 오판한다고 결론지었는데 이는 3~4초가 안전하다는 동기의 부여가 있지

않았나 싶다. 실 상황에서는 매우 다를 것으로 생각된다.

Karwowski 등⁷⁴⁾은 실험실에서 로봇으로부터 안전 인지거리를 실험 측정하였다. 90cm/sec 및 10cm/sec의 로봇팔 속도와 로봇의 접근각도에 따른 6개의 구역을 조합하여 관찰하였다. 이때 안전거리는 로봇팔의 속도가 90cm/sec 일 때는 23cm이고 10cm/sec일 때는 19cm이며 정면에서 다가오는 로봇으로부터의 안전거리는 8cm로 다른 방향에서의 안전거리보다 매우 작다. 또한 이 실험전에 가상의 로봇사고를 당한 사람은 23cm로 당하지 않은 사람의 17cm보다 길다고 하였다.

Etherton 등⁷¹⁾은 4개의 로봇팔 속도(15, 25, 35, 45cm/sec)에 대한 인지도를 실험, 측정하였다. 피실험자는 로봇이 정지하기로 되어 있는 점을 지나가는 순간에 비상정지 버튼을 누르도록 하였는데 속도가 증가함에 따라 반응시간은 선형적으로 감소하며 과주(overrun)거리는 증가하여 15cm/sec에서는 6cm, 45cm/sec에서는 10.9cm 였다. 이 실험도 피실험자가 로봇의 운동에 집중하고 있는 경우이므로 현장에 바로 적용하기에는 무리가 있다.

실험결과를 현장에 적용하기 위해서는 실험의 상황에 대한 적합성을 살펴야 한다. 즉 로봇운전자가 실제로 로봇을 운전하는 가운데서 얻는 자료가 중요하다. 이런 실험은 조심스럽게 행하여야 하며 실험실의 실험을 보완하는 것으로써 이용 될 수 있어야 한다. 안전의 관점에서 적당한 로봇의 속도를 선택하는 것은 연구할 만한 과제이며 이것이 로봇의 안전에서 가장 중요한 점의 하나이다.

3. 추후연구과제

앞으로 연구하고 실험을 해야 할 긴급한 문제가 많이 있는데 이는 사고통계와 현장실험의 축적이다. 안전/인간공학 시스템은 이 정보로부터 나올 수 있는 기초적인 것이다. 본 보고서에서는 앞으로 연구되어야 할 항목 5개를 제시하였다.

- 1) 사고분석 데이터 뱅크의 구축 : 현재로서는 믿을 만한 사고에 대한 정

보가 부족하다. 사고 데이터를 분석하기 위해서는 이를 기록할 정형화된 양식이 개발되어야 한다.

로봇작업 즉, 자재취급, 조립, 도장, 복합작업 등과 같은 각기 다른 작업에 대한 사고패턴에 있어서의 기본적 차이점을 이해하는 것이 매우 중요하다. 또한 위에서 언급한 바와 같이 사망, 부상, 앗차사고의 경우 원인 다르다. 사망사고 조사는 많은 정보를 가지고 있지만 나머지에 대하여는 정보가 부족하다.

사고조사 시스템을 심사숙고하여 만들면 로봇의 형태에 따른 주요위험을 분석하는 것이 가능할 것이다. 로봇 팔의 운동은 가장 중요한 점이므로 어떤 형태의 운동이 사고를 발생시켰는가를 아는 것이 중요하다. 이는 안전장치의 설계와 사용, 작업장에서의 장치의 배치, 안전작업 등과 같은 여러 가지 많은 안전 문제와 밀접한 관계가 있다.

2) 로봇 작업장 설계 요구조건에 대한 현장연구 : 현재로서는 로봇 작업장을 설계하는데 쓰이는 원칙을 적용할 수 있는 구체적인 정보가 거의 없다. 여러가지 다른형태의 로봇을 이용함에 따른 데이터와 산업 현장에서의 데이터를 축적할 필요가 있다. 그리고 나서 여러가지 형태의 로봇 작업장에 대하여 필요한 공간, 단위 작업장에 대한 표준 레이아웃, 인간공학적 설계 및 작업과정, 여러가지 다른 형태에 적합한 안전장치 등에 대한 권장사항이 만들어 져야 한다.

또한 로봇과 인간이 공존하는 복합작업장에서의 기능배분에 관한 정보도 축적되어야 한다. 이 정보는 안전, 인간공학적, 작업만족도 등을 포함하게 된다. 또한 이 연구에는 수리보수를 위해 작업영역 안으로 진입하는 기회가 적어질 수 있도록 제작공정과 장비 등의 신뢰성을 향상시키는 방법도 고려하여야 한다.

3) 적절한 로봇팔 운동의 인식 : 로봇팔의 운동이 주된 위험요인이므로 인간이 감지하기 어려운 운동의 종류와 로봇 팔의 운동을 알기 위해 어떻게 해야 하는가를 이해하는 것이 필수적이다.⁷⁵⁾

로봇 프로그래밍은 인간-로봇 복합작업의 대표적인 형태이며 앞으로는 교시반에 의한 작업의 형태가 점차 줄어들게 될 것이다.

보통의 작업은 물론이고 특히 인간-로봇 복합작업에 있어서는 운전자가 로봇 방호구역 안에 들어가기 전에 로봇팔 운동을 감지할 수 있게 하는 주요인자를 아는 것이 중요하다. 여기에는 예를 들어 X, Y, Z 축을 따라 움직이는지, 회전운동을 하는지, 인간과 비슷한지 등의 로봇운동의 공통적 패턴을 인지하는 것이 포함된다.

시각적으로 감지하는 것이 충분치 않은 경우에는 시각인식의 보조수단으로 음향경고나 전자합성어가 필요할 수 있다. 이때 운동형태에 따라 다른 경고음을 내도록 프로그램할 수도 있고 로봇 앞에 직접 경고음을 붙여 도플러 효과를 얻을 수도 있다. 또한 합성어는 운전자에게 특정한 위험을 알리는데 이용될 수 있다.

4) 교시반 설계 : 최근에 제안된 ANSI의 교시반 설계에 대한 표준은 진일보한 것이었다. 그러나, 이 표준은 설계시 제조자에게 많은 선택사항을 남기고 있다. 특히 로봇팔 운동을 시키는 등과 같은 교시반 상의 제어장치는 인간인자의 관점에서 표준화 하는 것이 바람직스럽다. 용이한 프로그래밍 및 운전자의 안전을 위하여 방향키, 조이스틱, 트랙볼, 음성인식장치 등과 같은 다른 입력장치를 사용할 수도 있다.

가장 중요한 점은 운전자가 그의 눈을 교시반이 아닌 작업에 유지시키면서 교시할 수 있도록 프로그램하기가 쉽고 교시자의 움직임이 유연하게 이루어 질 수 있어야 한다. 따라서 서로 다른 유형의 입력장치를 이용하는데 대한 실험적 연구가 필요하다.

5) 안전센서의 개발 : 여기에는 두가지 종류의 센서가 특히 주목을 받는다. 하나는 로봇 팔 주위에 설치하여 로봇이 인간과 근접하였을 때 정지할 수 있도록하는 장치인데, 로봇사고는 대개 로봇팔과의 충돌에 의하여 일어나며 따라서 최종적으로 안전을 확보하기 위하여 로봇팔과의 거리가 위험할 정도로 가까워 졌다는 사실을 감지하는 장치이다.

또 하나는 작업자의 위치를 알 수 있도록하는 트랜스폰더와 같은 센서이다. 이 장치는 항공기의 위치가 자동적으로 감지되는 항공교통 제어와 비슷한 것으로 운전자가 작업장 내에 들어가면 그의 정확한 위치가 알려지게 되어 이것이 로봇의 운동과 연동된다. 그리하여 로봇의 팔이 이와 겹치게

되는 부분에서는 자동적으로 정지하거나 후퇴시키게 된다.

제 5 장 결 론

산업용 로봇은 대부분의 경우 생산성향상을 위하여 도입하지만 작업환경을 개선하고 위험을 방지하는 데에도 기여하였다. 그러나 산업용 로봇은 큰 운동에너지를 가지고 있고 빠른 운동부위가 있으며 운동을 예측하기 힘들고 운동범위가 재래형 기계보다 커, 소위 이상적인 사고의 조건을 가지고 있다. 스웨덴의 통계에 의하면 산업용 로봇은 일반적으로 가장 위험하다고 알려져 있는 프레스 보다 더 높은 사고 발생률을 보이고 있다. 그러나 현재로서는 로봇은 발전의 초기단계로 볼 수 있으며 로봇 생산자와 사용자는 적당한 안전시스템을 갖추지 못하고 있다.

본 보고서에서는 로봇 안전과 관련된 연구를 조감하였고 국내외의 로봇사고사례를 조사하여 발생형태 및 요인을 분석하였으며 이를 통하여 얻어진 결과는 다음과 같다.

- 1) 안전의 관점에서 로봇과 관련된 인간의 작업유형을 분석하였다.
- 2) 사망사고는 주로 자재취급 로봇이 조정이나 보수작업중인 운전자의 머리를 윗방향이나 뒷방향에서 접근, 가격하여 발생하였다.
- 3) 최초로 국내의 로봇 사고를 조사하였으며, 안전조치를 취하지 않고 로봇작업영역내로 진입하여 발생한 사고가 대부분이다.
- 4) 시스템 안전기법을 조감하였으며 안전방호 설계, 안전시스템의 설계, 인간-로봇 복합작업장 설계, 등의 안전을 확보할 수 있는 작업장 설계법을 제시하였다.

- 5) 여러 연구자들에 의하여 활발히 연구가 수행 중인 저감속도 및 안전에 필수적 요소인 로봇팔 운동의 인식에 관한 연구를 개관하였다.
- 6) 향후 로봇에 의한 사고방지를 위하여 연구되어야 할 5개의 분야를 제시하였다. 이는 사고데이터 뱅크의 구축, 작업장 설계요구 조건에 대한 현장연구, 로봇팔 운동의 인식법, 교시반 설계, 안전센서의 개발이다.

참고문헌

1. 산업연구원, "로봇 산업의 발전추이와 국내수요전망", 1991.
2. Ayres, R.U. and Miller, S.M., 1983, Robotics Realities: Nearterm Prospects and Problems., Ann. Amer. Acad. Polit. Soc. Sci., 470: pp. 28-55.
3. Japan Ministry of Labor, 1983, Study of Accidents of Involving Robots., Report PB83239822., National Technical Information Center, Springfield, VA, USA.
4. Flerk, J., 1983, The Adoption of Robots. In: Proc. Robots 7 Conference Society of Manufacturing Engineers, Dearborn, MI, pp. 1:41-1:51.
5. Carlsson, J., Harms-Ringdahl, L. and Kjellon, U., 1979, Industrial Robots and Accidents at Work, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.
6. Vautrin, J.P. and Dei Svaldi, D., 1986, Manipulating Industrial Robots in France - Effects on Health, Safety and Working Conditions: Results of the INRS-CRAM Survey, J. Occup. Accid., 8: pp. 1-12.
7. Jiang, B.C. and Gainer, C.A. Jr., 1987, A Cause and Effect Analysis of Robot Accidents, J. Occup. Accid., 9: pp. 27-45.
8. Ostberg, O. and Engkvist, J., 1984, Robotics in the Workplace: Robot Factors, Human Factors and Humane Factors. In: H.W. Hendrick, and O. Brown, Jr. (Eds.), Human Factors in Organizational Design and Management, North-Holland, Amsterdam, The Netherlands.
9. Ostberg, O., 1986, People Factors of Robotics and Automation: European Views., Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation.
10. Langmoen R., 1982, Automatic Assembly of Electrical Heaters. In:

Proc. 12th International Symposium on Industrial Robots, Paris, France.

11. Matull, E., 1982., Unterstutzung der Instandhaltung hochautomatisierter verketteter Anlagen durch FehlerDiagnose-System., Z. Wirtsch. Fertigung, 77: pp.25-27.
12. Macek, A., Heeriga, L., Somberg, G., Sauer, D., Robbins, D. and Howard, J., 1981, Human Factors Affecting ICAM Implementation, Rep. AFWAL-TR-81-4095, Materials Laboratory, Wright-Patterson AFB, OH, USA.
13. Jones, R. and Dawson, S., 1985, People and Robots: Their Safety and Reliability. In: Bonney, M.C. and Yong, Y.F. (Eds.), Robot Safety, IFS Publication (Springer), New York, NY, USA.
14. Office of Technology Assessment, 1984, Computerized Manufacturing Automation, Employment, Education and the Workplace., Congress of the United States, Washington, DC, USA.
15. Etherton, J.R., 1988, Safe Maintenance Guidelines for Robot Workstations, National Institute for Occupational Safety and Health, Morgantown, WV, USA.
16. Parsons, H.M. and Mavor, A.S., 1986, Human-machine Interfaces in Industrial Robotics, Technical Report., Essex Corporation, Alexandria, VA, USA.
17. Parsons, H.M., 1986, Human Factors in Industrial Robotic Safety, J. Occup. Accid., 8: pp. 25-57.
18. Parsons, H.M., 1986, Human-machine Interfaces in Industrial Robotics. In: Proc. the Human Factors Association of Canada.
19. Helander, M.G. and Karwan, M.H., 1988, Methods for Field Evaluation of Safety in a Robotic Workplaces. In: W. Karwowski, H.R. Parsaei and M.R. Wilhelm (Eds.), Ergonomics of Hybrid Automated Systems I, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, pp.

403-410.

20. Ghosh, K. and Lemay, C., 1985, Man-Machine Interactions in Robotics and Their Safety at the Workplace. In: Proc. Robots 7 Conference Society of Manufacturing Engineers, Dearborn, MI, USA.
21. Robotic Industries Association, 1989, Proposed American National Standard of Human Engineering Design Criteria for Hand Held Control Pendants. Author, Ann Arbor, MI, USA.
22. Shulman, H.G. and Olex, M.B., 1985, Designing the User-friendly Robot: A Case History., Hum. Factors, 27: pp. 91-98.
23. Daniellou, F., 1982, The Impact of New Technology on Shiftwork in the Automobile Industry., European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions, Dublin, Ireland.
24. Javis, D.E., 1982, Review Applications and Operation Experiences in the Automobile Industry with Devillbiss Trallfa Spray Painting Robots. In: Robots in the Automotive Industry, IFS Publications, Bedford, U.K.
25. Rahimi. M., 1988, Critical Issues in the Safety of Software-dominant Automated Systems. In: W. Karwowski, H.R. Parsaei and M.R. Wilhelm (Eds.), Ergonomics of Hybrid Automated Systems I, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, pp. 469-476.
26. Schneiderman, B., 1985, Correct, Complete Operations and Other Principles of Interaction. In: G. Salvendy (Ed.), Human-Computer Interaction, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, pp. 135-146.
27. Parsons, H.M., 1988, Robot programming. In: Helander, M. (Ed.), Handbook of Human-Computer Interaction, North-Holland, Amsterdam, The Netherlands.
28. Helander, M.G., 1988, Ergonomics, Workplace Design. In: N. Dorf (Ed.), International Encyclopedia of Robotics. Wiley, New York, NY, USA.

29. Karwowski, W., Parsaei, H.R. and Wilhelm, M.R. (Eds.), 1988, Ergonomics of Hybrid Automated Systems I, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 772p.
30. Edwards R., 1989, Safety in Computer Controlled Automated Manufacturing Systems: Some Basic Questions to Ask., Health and Safety Executive, Birmingham, U.K.
31. Tskuchiya, K., 1987, Summary Report on the fifth University of Occupational and Environmental Health Symposium 20 and 21 Sep. 1985, In: K. Noro, (Ed.), Occupational Health and Safety in automation and Robotics, Taylor and Francis, London, U.K.
32. 노동부, 91 산업재해분석, 1992.
33. Carlsson, J., 1984, Robot Accidents in Sweden, Report 1984: 2, Arbetarskyddsstyrelsen, Stockholm, Sweden.
34. Tiefenbacher, F., 1984, An Incident Study of 22 Operators and Positioners at 8 Robot Groups., Yrkesinspektionen, Skövde, Sweden.
35. Japan Ministry of Labor, 1983, Study of Accidents of Involving Robots., Report PB83239822., National Technical Information Center, pringfield, VA, USA.
36. Sanderson, L.M., Collins, J.W. and McGlothlin, J.D., 1986, Robot-related Fatality Involving a U.S. Manufacturing Plant Employee: Case Report and Recommendations., J. Occup. Accid., 8: pp. 13-23.
37. Lauck, K.E., 1984, Robot Incident Reports, Unpublished...
38. Nagamachi, M., 1988, Ten Fatal Accidents Due to Robots in Japan. In: W. Karwowski, H.R. Parsaei and M.R. Wilhelm (Eds.), Ergonomics of Hybrid Automated Systems I, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, pp. 391-396.
39. Rahimi, N., 1986, Systems Safety for Robots: An Energy Barrier Analysis., J. Occup. Accid., 8: pp. 127-138.
40. Harms-Ringdahl, L., 1986, Experiences from Safety Analysis of

- Automatic Equipment., J. Occup. Accid., 8: pp. 139-148.
41. Umezaki, S. and Sugimoto, N., 1988, A Study on Safety Evaluation Index and Industrial Accident Analysis from the Viewpoint of the Safety Confirmation Type. In: W. Karwowski, H.R. Parsaei and M.R. Wilhelm (Eds.), Ergonomics of Hybrid Automated Systems I, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, pp. 491-498.
 42. Drury, C.G., and Brill, M., 1983, Human Factors in Consumer Product Accident Investigation., Hum. Factors, 25: pp. 329-342.
 43. Yong, Y.F., Taylor, N.K. and Bonney, M.C., 1985, CAD - An Aid to Robot Safety System Design. In: M.C. Bonney and Y. F. Yong(Eds.), Robot Safety, IFS Publications (Springer), New York, NY, USA.
 44. National Institute for Occupational Safety and Health, 1983, Guidelines for Controlling Hazardous Energy, NIOSH, Morgantown, WV, USA.
 45. Sugimoto, N. and Kawaguchi, K., 1983, Fault Tree Analysis of Hazard Created by Robots. In: Proc. Robots 7 Conference, Society of Manufacturing Engineers, Dearborn, MI, pp. 9:13-9:28.
 46. Nagamachi, M., 1986, Human Factors of Industrial Robots and Robot Safety Management in Japan, Appl. Ergon, 17: pp. 9-18.
 47. Nagamachi, M., Yukimachi, T., Anayama, Y. and Ito, K., 1984, Ergonomic Study of Industrial Robots (2) - Human Reliability of Robot Manipulation, Jpn. J. Ergon., 20: pp. 55-64.
 48. Sugimoto, N., 1987, Subjects and Problems of Robot Safety Technology. In: K. Noro (Ed.), Occupational Health and Safety in Automation and Robotics, Taylor and Francis, London, U.K.
 49. 일본노동성, 기술상 지침고시 제13호, 산업용 로봇의 사용 등 안전기준에 관한 기술상의 지침, 1983.
 50. Barrett, R.I., 1986, Robot Safety Current Thinking and Developments in Major User Countries., Health and Safety Executive,

Birmingham, England.

51. Health and Safety Executive, 1988, Industrial Robot Safety., HSMO Publication Centre, P.O. Box 276, London SW85DS, London, U.K.
52. Linger M., 1987, Are Robots Safe?, Institutet för Verkstadsteknisk Forskning, Göteborg, Sweden.
53. 한국산업안전공단, 산업용로봇의 안전기준에 관한 기술상의 지침(안), 1991.
54. Bonney, M.C. and Yong, Y.F. (Eds.), 1985, Robot Safety, IFS Publication (Springer), New York, NY, USA.
55. Alvite, J., 1988, "Interfacing Robots and Sensors". In: N. Dorf (Ed.) International Encyclopedia of Robotics., Wiley, New York, NY, USA.
56. Baldur, R., and Barson, L., 1988, Sensor for Safety. In: N. Dorf(Ed.), International Encyclopedia of Robotics, Wiley, New York, NY, USA.
57. Bellino, J.P., 1988, Safety of Operators. In: N. Dorf(Ed.), International Encyclopedia of Robotics, Wiley, New York, NY, USA.
58. Prasad, H.P., 1988, Safety Standards. In: S.Y. Nof, (Ed.), Handbook of Industrial Robots, Wiley, New York, NY, USA.
59. Ramirez, C.A., 1988, Safety of Robot. In: S.Y. Nof (Ed.), Handbook of Industrial Robots, Wiley, New York, NY, USA.
60. Rahimi, M. and Hancock, P.A., 1988, Sensor Intergration. In: N. Dorf (Ed.), International Encyclopedia of Robotics, Wiley, New York, NY, USA.
61. Kilmer, R.D., 1982, Safety Sensor Systems for Industrial Robots, SME Tech. Paper MS82-221, Society of Manufacturing Engineers, Detroit, MI, USA.
62. Bellino, J.P., 1985, Design for safeguarding, In: M.C. Bonney and Y. F. Yong(Eds.), Robot Safety, IFS Publications (Springer), New

York, NY, USA

63. Jorgensen, C., Hamel, W. and Weisbin, C., 1986, Autonomous Robot Navigation, Byte, pp. 223-235.
64. Goto, M., 1986, Occupational Safety and Health Measures Taken for the Introduction of Robots in the Automobile Industry. In: K. Noro (Ed.), Occupational Health and Safety in Automation and Robotics, Taylor and Francis, London, U.K.
65. Hamilton, J.E. and Hancock P.E., 1986, Robotic Safety: Exclusion Guarding for Industrial Operations, J. Occup. Accid., 8: pp. 69-78.
66. Edwards M., 1984, Robots in Industry: An Overview., Appl. Ergon., 15: pp. 45-53.
67. Collins, I.W., 1986, Hazard Prevention in Automated Factories., Robotics Eng., July.
68. Shraft, R.D. and Nicolaisen, P., 1986, Workplace Layout for Industrial Robots. In: H. Van Brussel (Ed.), Proc. 16th International Symposium on Industrial Robots. IFS Publications (Springer), New York, NY, USA.
69. Engelberger, J.F., 1980, Robots in Practice., American Management Association, New York, NY, USA.
70. Nof, S.Y., 1985, Robot Ergonomics: Optimizing Robot Work. In: S.Y. Nof, (Ed.) Handbook of Industrial Robotics, Wiley, New York, NY, USA.
71. Etherton, J., Beauchamp, Y., Numez, G. and Ahluwalia, R., 1988, Human Response to Unexpected Robot Movements at Selected Slow Speeds. In: W. Karwowski, H.R. Parsaei and M.R. Wilhelm (Eds.), Ergonomics of Hybrid Automated Systems I, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, pp. 381-389.
72. Sugimoto, N., et al., 1984, Quoted in: An Interpretation of the Technical Guidance on Safety Standards in Use, etc., of Industrial

- Robots(1985). Japan Industrial Safety and Health Association, Tokyo, Japan.
73. Nagamachi, M. and Anayama, Y., 1983, Ergonomic Study of Industrial Robots (1) - The Experiments of Unsafe Behavior in Robot Manipulation, Jpn. J. Ergon., 19: pp. 259-264.
74. Karwowski, W., Parsaei, H.R., Nash, D.L. and Rahimi, M., 1988, Human Perception of the Work Envelope of an Industrial Robots. In: W. Karwowski, H.R. Parsaei and M.R. Wilhelm (Eds.), Ergonomics of Hybrid Automated Systems I, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, pp. 421-428.
75. Helander, M.G., Karwan, M.H. and Etherton, J., 1987, A Model of Human Reaction Time to Dangerous Robot Arm Movements. In Proc. 31st Annual Meeting of the Human Factors Society, The Human Factors Society, Santa Monica, CA, USA, pp. 191-195.

부 록

산업용 로봇의 안전기준에 관한 기술상의 지침(안)

제 1 장 총 칙

제1조 (목적) 이 지침은 산업용 로봇(이하 "로봇"이라 한다.)의 안전기준에 관한 사항을 제시함으로써 로봇을 사용하는데 있어서 발생할 수 있는 재해를 예방함을 목적으로 한다.

제2조 (적용범위) 이 지침은 유해몹위험 기계몹기구 방호조치 기준(노동부 고시 제91-50호; 이하 "방호기준"이라 한다.) 제38조의 규정에 의한 로봇에 대하여 적용 한다.

제3조 (용어의 정의)

① 이 지침에서 사용하는 용어의 정의는 다음 각호와 같다.

1. "매니플레이터"란 2개 이상의 링크 (Link)가 회전 또는 직선 운동을 할 수 있는 관절 (Joint)에 의하여 연결되어 있는 관절연쇄체 (Articulated Chain)로서, 연쇄체의 한 끝은 지지기반 (Supporting Base)에 부착되어 있고 다른 끝에는 물체를 파지할 수 있는 파지부 (Gripper) 또는 조립, 용접, 도장 등의 작업을 수행할 수 있는 공구 (Tool)가 부착되어 있다.
2. "위험동작"이란 근로자에게 상해를 끼칠 수 있는 위험점이나 위험원의 원인이 되는 동작을 말한다. 여기서 위험점은 협착점, 끼임점, 절단점, 물 림점, 충격점 등과 같이 근로자에게 상해를 가할 수 있는 위험물의 부위를 말하며, 위험원은 그곳으로부터 제어할 수 없는 상태로 비산하거나 추락하여 근로자에게 상해를 유발하는 물체들을 발생시킬 수 있는 부분을 말한다.

3. "가동범위"란 선단부에 물건을 파지하거나 공구를 부착한 매니플레이터가 구조상 움직여 도달할 수 있는 최대의 공간을 말한다. 단, 이 구조상 최대 움직임의 범위내에 전기적 또는 기계적 제동물(Stopper)이 있는 경우는 그 제동물에 의해 매니플레이터의 어느 부분도 도달할 수 없는 범위는 제외한다.
4. "위험구역"이란 가동범위를 포함하여 로봇과 이에 부착된 공구 또는 로봇이 다루고 있는 물체에 의하여 근로자에게 상해를 끼칠 수 있는 구역을 말한다.
5. "방호구역"이란 방책 등의 방호설비에 의하여 사람이 접근을 못하도록 한 로봇의 주변 구역을 말한다.
6. "저감속도"란 사람이 발생가능한 위험으로부터 벗어날 수 있도록 충분히 낮아진 물체의 운동 속도를 말하며, 로봇의 경우 선단부의 속도가 25cm/s 이하이어야 한다.
7. "교시(Teaching)"란 로봇의 매니플레이터 동작 순서, 동작 경로, 위치 및 속도 등의 설정, 변경 또는 그 결과를 확인하여 원하는 작업을 할 수 있도록 로봇의 운동 시퀀스를 입력시키는 일을 말한다.
8. "자동운전"이란 로봇이 최대 속도를 포함하는 임의의 작업 속도로 미리 입력된 프로그램에 의하여 동작하는 것을 말한다.
9. "수동운전"이란 상기한 자동운전 외의 모든 형태의 운전을 말하며 다음과 같은 것을 포함한다.
 - 가. 교시에 의한 프로그래밍
 - 나. 시험 (Testing)
 - 다. 고장 수선
10. "유지작동제어(Hold-To-Run Control)"란 어떠한 동작이 그 동작과 관련된 버튼 등을 누른 상태에서 해당 제어장치를 발동시키는 동안만 작동하고 동 제어 장치가 해제되면 동작이 즉시 정지되는 특성을 갖는 제어방식을 말한다.
11. "인에이블링(Enabling) 제어"란 스프링 등을 이용한 스위치에 의하여 어떤 동작을 지령하는 명령어가 접촉상태가 유지되는 (Close) 동안은 작동하지 않다가 접촉상태가 해제되면 (Open) 유효하게 되어 지령 동작을 수행하는 제어방식을 말한다. 위험동작을 지령할 때 이 방

법을 사용하여 부주의하게 위험운전이 야기되는 것을 방지할 수 있다.

- ② 기타 이지침에서 사용하는 용어의 정의는 이 지침에 특별한 규정이 있는 것을 제외하고는 법, 동법시행령, 동법시행규칙 및 산업안전기준에 관한 규칙이 정하는 바에 의한다.

제 2 장 설계제작

제4조 (일반사항)

- ① 로봇을 설계및제작하거나 로봇의 사용을 위하여 이를 선정 설치하는데 있어서 로봇의 구조 등은 다음 제항에 적합함과 동시에 한국공업규격 (KS B 7083) "산업용 로봇의 안전통칙"의 4에 정하여진 안전 방호의 조치가 취해져야 한다.
- ② 조작반 등의 조작버튼, 표시램프 등은 원칙적으로 한국공업규격 (KS B 7084) "산업용 로봇의 조작장치 등에 관한 기능식별기호 및 식별색"을 따른다.

제5조 (위험점 방호) 로봇은 근로자가 접근 가능한 위험점이 존재하지 않는 방식으로 설계되어져야 하며 이를 위해서 위험점 덮개 등과 같은 방호장치를 사용하거나 이와 동등한 안전성을 갖는 수단이 강구되어져야 한다.

제6조 (운동범위 제한장치) 로봇의 주요축에 대하여는 로봇의 팔이 필요이상의 범위 밖으로 주행하는 것을 막기 위한 운동 제한장치가 설치되어져야 한다. 이를 위해서는 다음 사항이 강구 되어져야 한다.

- ① 충분한 강도를 갖도록 설계된 기계적 스톱퍼 (Mechanical Stopper)
- ② 제1항과 동등한 안전성을 갖는 제어적 제동장치

제7조 (비상 정지 장치) 로봇은 이상 동작 또는 위험 동작이 신속하게 종료될 수 있도록 즉석에서 손쉽게 안전하게 작동시킬 수 있는 비상 정지 장치(이하 "비상정지장치" 라 한다.)에 의하여 그 운전이 즉시 정지될 수 있어야 한다. 이경우 비상 정지에 의하여 또다른 위험 동작이 야기되어서

는 아니되며, 일단 비상정지기능이 작동되면 로봇의 운전이 자동적으로 복귀하지 않으며 또한 사람의 부주의로 복귀될 수도 없어야 한다.

제8조 (운반 편의) 로봇에는 적절한 위치에 충분한 개수의 아이볼트 (EyeBolt)나 훅 (Hook)을 임의 변경이 불가능하도록 고정되게 설치하여 운반중 야기될 수 있는 사고를 예방하여야 한다.

제9조 (표지판) 로봇의 보기 쉬운 부분에 다음 사항이 오랫동안 훼손되지 않고 유지가능하도록 표시되어져야 한다.

- ① 제조자 또는 공급자 명
- ② 제조년월일 및 제조일련번호
- ③ 형식 및 최대부하량
- ④ 사용전원의 사양 (전원종류, 전압, 주파수 및 최대소요전류량)
- ⑤ 구동용 모터의 정격출력
- ⑥ 중량

제10조 (안정성) 로봇은 고온 다습한 상태에서나 심한 전자파 장애가 존재하는 환경에서도 정상 작동이 가능하도록 안정성을 확보하여야 하며 이를 위해 다음 사항을 만족시켜야 한다.

- ① 정전기에 의한 오동작이 발생하지 않도록 접지 등의 필요한 조치를 취할 수 있어야 한다.
- ② 전자파와 같은 외란으로 인하여 오동작이 발생하지 않도록 제어기가 전자파 장애로부터 적절하게 방호되도록 설계되거나 전자파로부터 충분히 차폐되어져야 한다.

제11조 (안전용 회로) 고장이 났을 때 로봇이 인명에 관한 한 안전상태로 들어갈 수 있도록 다음과 같은 안전목적을 위한 회로(이하 "안전 회로"라 한다.)가 구비되어져야 한다.

- ① 비상정지장치를 위한 회로
- ② 동작범위 제한장치를 위한 회로
- ③ 방호장치 (출입문 인터록, 압력 감응 매트, 영상 처리 감시 장치등)를

위한 회로

- ④ 저감속도를 위한 회로
- ⑤ 인에이블링 (Enabling) 제어를 위한 회로
- ⑥ 기타 페일세이프 (Fail-Safe) 기능을 위한 회로

제12조 (전원교란에 대한 안전성) 정전이나 전압 변동 등과 같은 공급전원의 불안으로 인하여 로봇이 재해를 유발할 수 있는 위험 상태에 빠지지 않도록 하여야 하며, 특히 다음 사항에 유의하여야 한다.

- ① 전원 공급 재개에 의한 의도하지 않은 재가동
- ② 전원 공급 중단으로 유발되는 중력 영향에 의한 의도하지 않은 동작
- ③ 전원 고장으로 인한 파지물의 의도하지 않은 방출

제13조 (자동 속도 또는 출력 저하) 로봇은 근로자에 대한 위험을 방지하기 위하여 다음 각호의 1과 같은 기능을 갖춰야 한다.

- 1. 운전 상태를 교시의 상태로 전환할 때 매니플레이터의 작동 속도가 자동적으로 저감속도로 저하될 것.
- 2. 출력 조정이 가능한 매니플레이터에 있어서는 운전 상태를 교시의 상태로 전환할 때 당해 출력이 자동적으로 저하될 것.

제14조 (자동 운전 정지) 로봇은 다음 각호의 경우 자동적으로 운전을 정지할 수 있어야 한다.

- 1. 유압, 공압 또는 전압의 변동에 의하여 오동작의 위험이 발생할 경우
- 2. 정전 등에 의하여 구동 전원이 차단된 경우
- 3. 관련기기에 고장이 발생한 경우
- 4. 제어장치에 이상이 발생한 경우

제15조 (자동 운전 재개 방지) 비상정지 장치 또는 제14조의 기능에 의하여 운전이 정지된 경우 근로자가 재가동 조작을 하지 않는한 운전이 재개되지 않아야 한다.

제16조 (파지부)

- ① 파지부는 비상정지장치 또는 제14조의 기능에 의하여 운전이 정지되는 경우 파지된 물건이 낙하 또는 방출에 의해 근로자에게 위험을 초래하지 않도록 당해 파지물을 안전하게 계속 붙잡고 있을 수 있어야 한다.
- ② 파지부는 작업상 필요한 부분을 제외하고는 예리한 모서리나 돌기 등의 위험점이 없어야 한다.

제17조 (조작반)

- ① 가반형 조작반 (교시반이라고도 한다.) 및 고정형 조작반 (모니터와 키보드가 부착된 컴퓨터 등)은 공통적으로 접근이 용이한 위치에 조작하기 쉬운 구조로 된 적색의 비상정지장치 용 스위치가 구비되어 있어야 하며, 두개 이상의 조작반을 갖추고 있는 경우는 각각에 이를 설치하여야 한다. 또한 조작반상의 여러 스위치들은 오조작의 위험이 없도록 배열, 설치 및 표시가 되어야 하며, 특히 다음 각호의 기능을 가진 스위치는 당해 스위치 기능이 명확하게 표시되어야 한다.
 1. 전원 스위치의 ON/OFF
 2. 유압 또는 공압원 스위치의 ON/OFF
 3. 운전 및 정지 스위치
 4. 운전상태 (자동, 교시, 시험 등) 전환 스위치
- ② 가반형 조작반은 다음 각호의 조건을 만족하여야 한다.
 1. 한 손 또는 어깨끈을 이용하여 편리한 작동 위치에 유지시킬 수 있도록 적당한 크기로 설계 제작되어야 한다.
 2. 가반형 조작반에 의하여 로봇을 조작하고 있는 동안은 타 조작반 또는 장치에 의하여 당해 로봇의 조작 (비상정지장치의 조작은 제외)을 하는 것이 불가능한 구조로 되어 있어야 한다.
 3. 교시운전 상태에 있어서 사용하는 매니퓰레이터를 작동시키기 위한 스위치는 누르고 있는 상태에서만 작동하고, 당해 스위치로부터 손을 뗀 경우에는 자동적으로 당해 로봇이 동작을 정지하는 유지작동 제어구조로 되어야 한다.
 4. 정상 운동 속도에서의 시험이 행하여질 때에는 인에이블링 제어 스위치가 설치되어야 한다.
 5. 가반형 조작반에 접속하는 이동전선은 그 손상에 의한 위험을 방지하

기 위하여 필요한 강도 및 내마모성을 가져야 한다.

③ 고정형 조작반은 다음 각호의 조건을 만족하여야 한다.

1. 자동운전 상태 및 교시, 점검 등의 수동운전 상태의 선택 스위치가 설치되어 있어야 하며 이 선택스위치 조작이외의 방법으로 운전상태를 전환할 수 없어야 한다.
2. 각각의 운전상태를 명확하게 표시하는 램프가 설치되어야 한다.
3. 접지용 단자가 설치되어야 한다.
4. 비상정지용 이외의 스위치는 사용하는 근로자의 의도가 아닌 불의의 동작을 방지하기 위하여 허가 없는 타인의 접근이 불가능하도록 하여야 한다. (필요하면 방책 등 설치)
5. 자동운전중의 고의 또는 실수로 인한 조작을 방지하기 위한 잠금장치가 설치되어야 한다.

제 3 장 설 치

제 1 절 설치 장소 및 환경

제18조 (설치장소의 크기 및 구조)

- ① 로봇은 안전한 작업을 수행하기 위해 필요한 작업공간이 확보될 수 있도록 설치하여야 한다.
- ② 로봇의 방호구역을 이루는 방책 등은 가동범위로부터 최소한 1m 이상 떨어지게 하여 갑작스런 오동작시에 근로자가 충분히 대피할 수 있는 공간을 확보하여야 하며 로봇 및 방호장치 등을 포함한 주변설비는 부상자 등의 구출이 신속하고 용이하게 이루어질 수 있는 구조로 배치하여야 한다

제19조 (설치장소 환경조건과의 적합성)

- ① 오동작을 방지하기 위하여 설치장소의 전자파장해, 온도, 습도, 진동 등의 환경조건에 적합한 성능을 갖는 로봇을 설치하여야 한다.
- ② 인화성 물질의 증기, 가연성가스 또는 가연성분진이 폭발위험이 있는

농도에 도달할 가능성이 있는 장소에서 사용하는 로봇은 당해 증기, 가스 또는 분진에 대해 그 종류별로 대응하는 방폭성능을 가져야 한다.

제20조 (설치장소의 보안) 로봇의 설치장소는 보안이 잘 되어 도난을 당하거나 훼손될 우려가 없어야 하며 특히 작업 프로그램 및 데이터의 손실이나 고의적 또는 우발적인 변조가 불가능하도록 하여야 한다.

제21조 (설치장소의 조명) 작업상 전체의 조명이외에 필요한 경우 국부조명을 위한 시설을 갖추어야 하며 조도는 한국공업규격 조도기준 (KS A 3011)에 따른다.

제 2 절 방호장치

제22조 (방호장치의 설치 및 기능)

- ① 로봇에는 위험점 및 위험원에 대한 방호를 위하여 주변 상황에 따른 적절한 방호장치가 설치되어야 하며 이러한 방호장치는 제23조 또는 제24조 각호의 1에 의한 단일 방호물 또는 여러 방호물의 조합에 의하여 이루어 질 수 있다.
- ② 적절한 방호장치의 선택은 다음 사항 등을 분석하여 결정한다.
 1. 취급하는 작업과 그에 따른 위험성
 2. 근로자의 위험구역내로의 접근 필요성 또는 가능성 및 그에 따른 위험 정도
 3. 일어날 가능성이 있는 오동작과 그의 안전성에 대한 영향
 4. 위험성의 제거 내지는 최소화할 수 있는 방호 전략
 5. 제반 규정상 요구되는 안전성 확보의 정도
- ③ 위험동작이 방호장치의 발동에 의하여 정지됐을 때, 로봇의 재작동은 방호장치의 안전 기능이 다시 유효해지고 새 작동신호가 발생하지 않는 한 불가능하여야 한다.

제23조 (격리형 방호장치)

- ① 로봇의 모든 위험점에 근로자의 신체 어느 부분도 접근이 불가능하도록

당해 로봇이 설치된 위험구역 주위에 내구성이 있는 재료로 만들어진 2m 이상 높이의 방책이 견고하게 고정 설치되어야 하며 그 자체에 예리한 모서리나 돌기 등의 위험 부분이 없어야 한다.

- ② 위험구역내로의 통상적인 접근을 위하여는 방책에 인터록 장치가 된 미닫이식 또는 경첩식 출입문이 설치되거나 제24조 각호의 1에 의한 접근감지 트립장치에 의하여 방호되는 출입구가 설치되어야 한다.
- ③ 출입구에는 보기 용이한 곳에 "위험: 운전중 출입금지"란 표지를 부착하여야 한다.
- ④ 정기점검이나 고장수리 등을 위하여 방호구역내에서 작업할 경우에는 안전한 작업구역과 타 로봇이나 기계 등이 작동하는 위험구역을 구분하는 임시 방책을 동 방호구역내에 추가로 설치하여야 한다.

제24조 (트립 (Trip) 장치)로봇의 위험구역내로 근로자가 접근할 경우 이를 감지하여 당해 로봇이 동작을 중지하도록하는 장치는 다음 각 호의 1과같다.

- 1. 광선식 안전시스템: 이 광선식 무형의 장벽은 요구되는 안전방호를 충족시키기 위하여 필요에 따라 단일 줄기의 광선이나 여러 줄기의 광선 또는 이들의 복합으로 이루어질 수 있다. 광선 장막은 연속적인 고정 광속이나 스캐닝 (Scanning) 시스템 등에 의하여 변조된 (Modulated) 주사광속으로 생성될 수 있다. 광선은 눈에 보이거나 또는 적외선 같이 보이지 않을 수 있으며, 투광기에서 조사된 것 이외의 광선에 수광기가 감응하지 않도록 해야 한다.
- 2. 전자 감응식 안전시스템: 이 전자감응 방식은 위험동작으로의 사람이나 물체의 접근을 탐지하는 원리에 의한 트립장치 또는 사람이나 원하지 않는 물체가 탐지되어 있는 한 위험한 부분의 동작이 개시되지 않도록 하는 존재감지장치로서 사용될 수 있다. 이 방식은 재래식 방책과 병용되어 필요한 접근을 허용하면서 높은 수준의 안전성을 확보할 수 있고 또한 재래식 방호수단이 실용적이지 못한 상황에서의 사용이 적합할 수도 있다.
- 3. 압력 감응식 매트: 이 압력감응식 매트는 그 위에서 있는 사람에 의하여 인가되는 압력을 감지하여 위험한 동작을 정지시킬 수 있도록

압력 감응 표면이 위에 놓이도록 위험지역의 내부와 전면(前面) 바닥에 고정 설치하여야 한다. 매트와 크기와 설치위치는 근로자의 접근 속도, 최대 보폭 그리고 안전시스템의 전반적인 반응 시간을 고려하여 적절하게 정해져야 한다. 또한 우회하거나 뛰어넘을 수 없도록 하여 매트를 작동시키지 않고는 어떠한 접근도 허용하지 않도록 유의하여야 하며 매트의 전면(全面)에 걸쳐 반응성이 양호하여야 한다.

제25조 (기타 방호 장치) 제23조 및 제24조의 방호장치가 적합하지 않을 때에는 다음과 같은 장치를 사용할 수 있다.

1. 양수 조작식 제어 장치: 이 방식은 동력 프레스에 많이 사용하는 것으로서 다른 방호장치의 설치가 부적합할 경우 적용될 수 있다.
2. 브레이크: 이 장치는 수직다관절형 로봇처럼 동력원이 끊겼을 때 로봇 팔을 붙잡아 중력에 의한 로봇 팔 (Arm)의 낙하를 방지하기 위하여 설치되어야 한다. 이 브레이크는 로봇 팔과 사용되는 공구(Tool) 또는 작업편의 무게를 충분히 떠받칠 수 있어야 한다.
3. 덮개: 필요하다면 공구나 작업편 등의 비산물이 날리지 않고 섬광, 방사선, 소음 등이 근로자에게 상해를 끼치지 않도록 위험원에 덮개나 적절한 포집형 방호장치를 설치하여야 하는데 이 경우 덮개 내부가 보일 수 있도록 덮개는 가능한한 철망 또는 투명한 물체로 만들어져야 한다.

제 3 절 매니플레이터 및 주변장치 등의 설치

제26조 (매니플레이터)

- ① 매니플레이터의 몸통은 최대출력으로 가동시에도 흔들리지 않도록 견고하고 평평한 바탕위에 적절하게 배열된 3개 이상의 충분한 강도 및 굵기와 크기를 가진 볼트로 고정되어야 한다. 특히 작업 편의상 거꾸로 매달리게 설치할 때는 비고의적인 어떠한 경우에도 떨어지지 않고 안정성있게 유지 되도록 유의하여야 한다.
- ② 매니플레이터를 받침대 위에 설치할 경우에는 받침대가 건물바닥에 견고하게 고정되어야 한다. 단, 이동식 받침대의 경우에는 로봇의 가동시

받침대가 흔들리거나 쓰러지지 않도록 받침대의 중량과 크기가 충분히 크고 안정한 상태를 유지할 수 있어야 한다.

제27조 (제어반 및 고정형 조작반)

- ① 제어반 및 고정형 조작반은 위험구역 밖에 가능한 한 멀리 떨어지도록 배치시키되 이를 취급하는 근로자가 로봇의 작동을 잘 볼 수 있는 장소에 설치하여야 한다.
- ② 제어반이나 고정형 조작반상의 모든 표시 램프 및 신호는 보기 용이하도록 설치되어야 한다.

제28조 (계기류) 공압계, 유압계, 압력계 기타 필요한 계기는 쉽게 파손되지 않고 보기 용이한 곳에 설치하여야 한다.

제29조 (배선 및 배관) 전기배선, 공기 및 오일의 배관 등은 매니플레이터나 근로자 등에 의하여 손상을 받지 않도록 설치하여야 한다.

제30조 (비상정지 스위치) 비상시 비상정지장치를 유효하고 신속하게 작동시키는 것이 가능하도록 하기 위하여 필요에 따라 비상정지용 스위치를 조작반 이외의 장소에 설치하여야 한다.

제31조 (가동 표시 램프 등) 로봇이 가동중일 때는 가동중임을 나타내는 가동표시램프를, 비상정지나 제어상의 기능 작동에 의하여 운전이 정지됐을 때는 이를 나타내는 정지표시램프를 보기 용이한 장소에 설치하여야 한다.

제32조 (가동범위 한계) 로봇의 가동범위는 조정 가능한 스톱퍼 등을 사용하여 특정한 작업에 따라 필요 이상의 범위 밖으로 움직이는 것을 제한하여야 한다.

제33조 (설치후 시험) 로봇을 새로 제작 또는 구입하여 설치하거나 사용장소를 옮겨 설치할 경우 당해 로봇의 작동, 방호장치의 성능, 관련기기와

의 연동 상황, 스톱퍼의 기능 등에 관하여 이상이 없는 것을 시험을 통하여 확인하여야 한다.

제 4 장 사 용

제 1 절 일반사항

제34조 (일반사항)

- ① 방호구역내에 사람이 있을 때에는 로봇을 가동시켜서는 안된다. 단, 특수한 경우의 교시 작업을 저감속도에서 실시할 때는 예외로 한다.
- ② 작업 개시전에는 방호장치가 정상적인 성능을 발휘하고 있는지의 여부 등을 점검하여 운전중 사람이 방호구역내로 들어갈 수 없도록 하여야 한다.

제 2 절 작업개시전 점검

제35조 (구동전원 투입전 점검) 로봇을 구동하기 위한 전원을 넣기 전에 다음의 사항을 점검하여야 한다.

- ① 외부 전선의 피복 등의 손상 유무
- ② 공급 전압, 공압 및 유압의 이상 유무
- ③ 배관의 파손 및 공기 또는 오일의 누설 유무
- ④ 제23조의 방책의 이상 여부와 출입구 연동장치 성능
- ⑤ 각종 표시램프의 이상 유무

제36조 (구동전원 투입후 점검) 구동 전원을 넣은 후에는 다음의 사항에 대한 점검을 방호구역 밖에서 실시하여야 한다.

- ① 로봇의 이상 작동 여부
- ② 이상음 또는 이상진동의 발생 여부
- ③ 제24조의 방호장치의 성능
- ④ 제25조를 포함한 기타 방호장치의 성능

- ⑤ 비상정지장치의 성능
- ⑥ 각종 표시램프의 이상 유무

제 3 절 교시 작업

제37조 (방호구역외 작업) 교시 운전을 위한 작업은 가능한한 제반 방호장치에 의하여 격리되는 방호구역 밖의 장소에서 동 장치들의 기능이 발효하는 상태에서 실시하여야 한다.

제38조 (방호구역내 작업시 조치사항)

- ① 교시 운전 작업을 방호구역내의 로봇에 근접한 위치에서 실시할 때는 안전 방호장치들의 효력을 일시적으로 정지시킬 수 있으나 이 경우 다음 각호에 관하여 규정을 정하고 이에 부합되게 작업을 하여야 한다.
 - 1. 잠금 열쇠에 의한 모드 선택 스위치를 교시 위치로 놓아 당해 매니플레이터가 저감속도의 운전 상태가 되게 할 것
 - 2. 특별히 훈련되고 허가된 근로자만이 작업을 하도록 할 것
 - 3. 기동방법, 스위치 취급방법 등 작업상 필요로 하는 로봇의 조작 방법 및 순서에 따를 것
 - 4. 이상시 근로자가 취할 이상 내용에 따른 조치를 할 것
 - 5. 비상정지장치 등이 작동하여 운전이 정지된 후 재기동시키기 위하여 필요한 이상상태 해제의 확인, 안전의 확인 등의 조치를 할 것.
 - 6. 복수 근로자에 의한 작업의 경우 이들 상호간의 신호 방법에 따를 것
- ② 작업 규정은 로봇의 종류, 설치장소, 작업내용 등에 따라 적절한 것으로 하여야 하며, 이를 작성하는데 있어서는 관련 근로자, 제작사의 기술자, 안전관리 전문가 등의 의견을 구하여야 한다.
- ③ 작업중에는 당해 작업에 종사하고 있는 근로자외의 자가 기동스위치, 모드 전환스위치 등을 조작하는 것을 방지하기 위하여 당해 스위치 등에 "작업중; 손대지 말것" 이란 표지를 적절하게 부착하거나 또는 조작반 덮개 시건 등의 조치를 강구하여야 한다.
- ④ 방호구역내에서 작업을 하는 자의 안전을 확보하기 위하여 이상이 발생하면 즉시 로봇의 운전을 정지하는 것이 가능하도록 비상정지장치용 스

위치를 방호구역내에 있는 근로자가 갖고 있도록 하여야 하며, 로봇의 가동부분 전체의 작동 상태를 근로자가 파악할 수 없는 상태에서는 별도의 감시인을 매니플레이터의 작동이 잘 보이는 위치에 배치하여 다음 사항을 수행하도록 하여야 한다.

1. 이상 발견시 즉시 비상정지장치를 작동시킬 것
2. 작업에 종사하는 자 이외의 사람을 방호구역내에 출입시키지 않도록 할 것
- ⑤ 방호구역내에서는 매니플레이터 구동부에 전원이 인가된 상태에서 용접 건, 도장용 노즐 등의 작업 공구의 청소나 교환 등의 작업을 하지 말아야 하며, 이러한 작업이 가능한 한 자동적으로 행해지도록 하여야 한다.

제39조 (가반형 조작반에 의한 교시)

- ① 프로그래밍시 가반형 조작반상의 제어 장치들은 저감속도에서 유지작동 제어 모드로만 작동되도록 하여야 한다.
- ② 고속에서 프로그램의 확인 운전을 할 때에는 방호구역 밖에서 유지작동 제어 모드로 실시하여야 한다.

제40조 (가반형 조작반 외의 수단에 의한 교시)

- ① 가반형 조작반 외의 수단에 의한 교시는 다음과 같은 방법 등으로 실시될 수 있다.
 1. 매니플레이터 팔의 수동 조정
 2. 모의 로봇에 의한 방법
- ② 위 항에 의한 작업시 근로자에게 어떠한 위험 상황도 초래되지 않도록 다음 사항을 준수하여야 한다.
 1. 매니플레이터 구동 모터의 전원 차단
 2. 저감속도 모드 선택
 3. 인에이블링 제어 및 비상정지장치 구비

제 4 절 자동 운전

제41조 (기동시 조치) 로봇을 기동시킬 때는 우선 다음 사항을 확인한 후 일정한 신호방법을 정하여 관련 근로자에게 신호를 행하여야 한다.

- ① 방호장치 또는 설비의 기능이 발효되고 있을 것
- ② 방호 장치에 의하여 격리된 방호구역 (가동범위 포함)내에 사람이 없을 것
- ③ 로봇 또는 주변기기의 이상을 나타내는 램프에 불이 켜져 있지 않을 것

제42조 (자동운전시 및 이상 발생시 조치)

- ① 로봇의 기동후 램프 등에 의한 자동운전중에 있음을 나타내는 표시가 되어 있는지를 확인하여야 한다.
- ② 로봇 또는 관련 기기에 이상이 발생할 경우에 있어서 응급조치 등을 수행하기 위하여 방호구역내에 들어갈 때는 들어가기 전에 로봇의 운전을 정지시키고, 또한 안전 플러그를 휴대하거나 기동 스위치에 작업중에 있음을 나타내는 것 등에 의하여 해당 작업을 수행하는 근로자 이외의 자가 로봇을 조작하는 것을 방지하기 위한 조치를 강구하여야 한다.

제 5 장 보수 유지

제43조 (일반사항)

- ① 로봇의 보수작업에 종사하는 근로자 (이하 "보수작업자"라 한다.)는 당해 로봇에 관하여 충분한 지식과 적절한 수준의 기술을 가진자이어야 하며, 당해 보수 작업이 수반하는 위험에 대하여 충분히 교육받고 훈련되어 있어야 한다.
- ② 작업 개시전 점검시, 정기검사시 또는 가동중에 이상을 발견하였을 때는 즉시 보수나 부품의 교환 등 필요한 조치를 강구하여야 한다.
- ③ 로봇의 설치시 보수에 대한 책임구분을 명확하게 정하여야 하며, 제작사 직원에 의한 보수 작업시에도 동일한 안전방호기준이 적용되어야 한다.
- ④ 로봇과 그 주위는 항상 청결하게 유지하고 방호장치로 방호되는 구역 내에는 불필요한 물체가 있지 않도록 한다.

제44조 (정기점검 및 정기보수)

① 정기점검은 다음 사항에 관하여 설치장소, 사용빈도, 부품의 내구성 등을 감안하여 검사항목, 검사방법, 판정기준, 실시시기 등의 검사기준을 미리 정하고 이에 의하여 실시하여야 한다.

1. 제24조 및 제 25조 중에서 사용하고 있는 안전 방호장치, 시설 및 기기의 성능
2. 비상정지장치 및 제동장치의 기능
3. 제12조 내지 제17조를 포함하는 각종 안전 성능
4. 매니플레이터의 고정 볼트와 주요부품 볼트의 풀림 유무
5. 가동부분의 윤활상태 및 기타 가동부분의 이상 유무
6. 동력전달부분의 이상 유무
7. 사용되는 유압 또는 공압 계통의 이상 유무
8. 전원의 안정성, 릴레이 성능, 케이블 손상 여부 등을 포함한 전기 계통의 이상 유무
9. 엔코더 등 센서의 이상 유무
10. 서보계통의 이상 유무
11. 고정형조작반 및 가반형조작반의 이상 유무
12. 스톱퍼의 이상 유무
13. 작동 이상을 검출하는 기능의 이상 유무

② 정기보수는 정기점검시 발견되는 이상 상태를 보수하여 정상 상태로 환원하는 것 이외에 마모성이 있는 기계부품이나 내구성이 약한 전자부품, 전기배선 등을 품목과 교환시기를 정하여 새 것으로 바꾸고 시간의 경과에 따라 성능이 저하되는 볼트의 조임, 운동부위의 윤활 등은 적절한 상태로 유지될 수 있도록 조치하는 일을 포함하여야 한다.

제45조 (고장수리 및 보수)

① 고장수리 또는 보수작업 (이하 "보수작업" 이라 한다.)을 실시할 때는 다음 사항에 유의하여야 한다.

1. 보수작업전에 불필요한 동력원을 차단하고 잔류 동력은 소멸시켜야 하며 해당 로봇은 물리적으로 가장 안정된 상태로 놓여져야 할 것.
2. 보수작업은 합리적인 순서를 정하여 실시하고 크고 복잡한 시설물에

대하여 2인 이상이 공동 작업을 수행할 경우는 보수작업자 상호간의 명확한 의사 전달방법을 강구하여 상호간의 작업 진행상황을 수시로 파악할 수 있어야 한다. 또 이경우 각 보수 작업자는 비상정지장치의 즉각적인 접근이 가능할 것.

3. 보수작업자는 주변에서 작동중인 타 로봇이나 기계로부터 오는 위험이 없도록 임시 방책의 설치 등 적절한 방호수단을 강구하여 충분히 방호될 것.
4. 로봇의 고장이 발생하여 제어부 하드웨어나 구동 프로그램상의 잘못을 찾기 위하여 당해 로봇의 운전을 시도할 때는 보수작업자는 모든 방호 장치가 작동하는 상황하에서 안전한 장소에서 이를 수행할 것.
5. 로봇이 동작을 정지하여 근로자가 위험구역내로 접근할 때는 연동장치가 설치된 출입문이나 기타 방호장치에 의하여 방호되는 출입구를 통한 정상적인 접근절차를 준수할 것.
- ② 보수작업자는 해당 보수작업에 적합한 기계나 공구를 공급받아 사용할 수 있어야 하며 안전방호설비에 의하여 보호받는 외에 안전모 등의 개인용 보호구를 지급받아 착용하여야 한다.
- ③ 보수작업의 허가 등을 포함하는 제반 절차와 작업종류별로 감독, 작업 또는 접근이 허가된 근로자 등을 정하는 보수작업 절차규정이 확립되어야 한다.
- ④ 보수작업 후에 로봇의 운전을 재개하고자 할 때는 방호장치의 성능확인 시험이 선행되어야 한다.

제46조 (기록) 검사일지, 보수일지 등을 만들어 정기검사나 보수 등을 실시하였을 때의 내용과 이상을 발견하여 조치한 내용 등을 상세히 기록하여 3년이상 보존하여야 한다.

제 6 장 사용 설명서 등

제47조 (일반사항)

- ① 로봇의 제작자, 공급자 또는 수입업자는 각각 로봇과 그 주변장치, 부대시설을 운반, 설치하고 사용하는데 있어서 안전취급 방법과 안전상

유의하여야 할 사항에 대한 설명서를 제48조 및 제49조에 의거하여 한글로 작성하여 사용자에게 제공하여야 한다.

- ② 제1항의 설명서는 작업 종류에 따라 설치설명서, 사용설명서, 보수설명서 등으로 세분하여 공급할 수 있다. (이러한 설명서들을 총칭하여 이하 "사용설명서 등" 이라 한다.)
- ③ 사용설명서 등에는 해당 로봇에 대한 안전방호대책 및 적합한 방호장치에 대한 유의사항을 상세히 기술하여야 한다.

제48조 (안전 취급 지침)

- ① 사용설명서 등에는 다음 사항에 대하여 취급 또는 작업 방법과 이러한 작업을 행할 때 일어날 수 있는 위험의 예방에 관한 안전지침 및 유의사항을 상세히 설명하여야 한다.
 - 1. 자동 운전
 - 2. 교시 작업
 - 3. 검사, 보수, 조정, 청소 등의 작업
 - 4. 운반 작업
 - 5. 설치 및 해체 작업
- ② 사용설명서 등에는 다음 사항에 관한 안전상 유의점을 설명하여야 한다.
 - 1. 이 지침에 의한 안전상의 의무 사항
 - 2. 위험 작업 상태 및 이를 회피 또는 제거하는 방법
 - 3. 비정상적인 운전상태 또는 이상 동작을 인지하고 이를 교정하거나 정지시키는 방법
 - 4. 안전기능의 종류 및 성능
 - 5. 위험동작과 관련한 가드의 상호작용 및 연동, 방호장치의 설계 및 설치
 - 6. 제어 및 전원 회로의 연결을 위한 인터페이스
 - 7. 특정 작업과 관련한 동작범위의 설정을 위한 각 축의 스톱퍼 조절
 - 8. 작업 개시전 점검, 정기점검의 항목 (특히 마모 등으로 안전에 관련이 큰 부품 포함), 방법, 판정기준 및 실시 시기
 - 9. 연결이 안되어 비상정지장치가 작동하지 않는 가만형조작반은 눈에

떨지 않는 장소에 보관토록 하는 유의사항

10. 모든 운전은 사용설명서에 나와 있는 지침에 의해서만 실시되도록 하여야 한다는 유의사항

제49조 (주요 사양) 사용설명서 등에는 다음 사항에 관한 명세가 포함되어
져야 한다.

1. 제조자명
2. 형식
3. 구조 (주요 부품명 포함) 및 작동원리 (제어방식, 구동방식 등)
4. 구동형 모터의 정격출력
5. 정격 가반 중량
6. 자동운전중 및 교시운전중 각각의 매니플레이터 선단부의 최대 속도
7. 매니플레이터의 최대 힘 또는 모멘트
8. 가동범위
9. 유압 (필요시), 공압 (필요시) 및 전압의 허용 변동범위
10. 소음레벨

제 7 장 안전관리자 및 교육

제50조 (일반사항) 사업주는 산업안전보건법 제15조 및 동법시행령 제12조
에 의한 안전관리자를 선임하여 안전업무를 담당시키고, 동법 제31조 및
관련 규정에 의한 안전 교육을 실시하여야 한다.

제51조 (안전관리자 및 교육담당자)

- ① 안전관리자는 다음에 정해진 직무를 수행하여야 한다.

1. 방호시설 및 장치의 설치 및 유지에 관한 지도 감독
2. 정기점검, 작업전 검사 등의 지도 감독 및 안전관련 기록의 유지 또는 점검
3. 안전교육 계획의 수립 및 실시
4. 기타 영 제13조 등에 정해진 것중 로봇과 관련된 사항

- ② 안전교육담당자는 로봇에 관한 지식과 작업에 관한 경험을 가진자를 선

임하여 실시하고 필요에 따라서 제작업체의 기술자, 산업안전 전문가 등 해당분야의 전문 지식을 가진 자를 활용한다.

제52조 (교육)

- ① 교육은 이론교육과 현장실기교육에 의하여 실시하고 당해 작업자의 수준 및 종사하는 작업에 적합한 내용 및 시간수로 하되 다음의 내용이 반드시 포함 되어야한다.
 1. 작업내용 및 작업중 발생할 수 있는 위험에 관한 사항
 2. 로봇에 이상이 발생한 경우에 있어서 취해야 할 조치에 관한 사항
 3. 비상정지장치의 위치 및 이를 작동시키는 방법
 4. 방호장치의 기능 및 이의 작동 여부를 식별하는 방법
 5. 기타 안전 작업 방법에 관한 사항
- ② 로봇에 접근하여 교육할 때는 효과적인 방호 및 감독하에 엄격한 통제에 따라 행동하여야 한다.
- ③ 로봇 작업시 종사하지 않는 근로자에 대해서도 안전 표시의 중요성, 위험구역으로의 접근 금지, 보수작업시의 유의사항 등에 관하여 일반적인 안전교육을 실시하여야 한다.

제53조 (기록)

- ① 안전관리자는 정기적으로 점검표를 작성 유지하여야 한다.
- ② 안전관리자는 안전 교육을 실시하였을 때는 교육담당자, 수강자, 교육 내용 등에 관해서 기록하여야 한다.
- ③ 제1항 및 제2항의 기록은 3년이상 보존하여야 한다.

제54조 (자기테이프 등의 관리)

- ① 사업자는 산업용 로봇의 작동 프로그램이 기억되어 있는 자기테이프 또는 당해 프로그램의 내용을 표시하는 것등에 의해 자기테이프 등에 관한 잘못 선택을 방지하기 위한 조치를 강구하여야 한다.
- ② 사업자는 먼지, 습도, 자력선 등의 영향을 받는 것에 의해 오동작이 일어나지 않도록 자기 테이프 등을 관리하여야 한다.

부 칙

제1조 이 지침은 199 년 월 일부터 시행한다.

로봇 안전 시스템 설계에 관한 연구
(기연 92-081-04)

발 행 일 : 1992. 12. 31

발 행 인 : 원 장 서 상 학

연구책임자 : 실 장 이 관 형

연구수행자 : 연구원 김 기 식

발 행 처 : 한국산업안전공단

산업안전연구원

기계전기연구실

주 소 : 인천직할시 북구 구산동 34-3

전 화 : (02) 742-0230

<비매품>