

로봇 셀 설계절차와 레이아웃 작업 지원 도구

국금환* · 박준모**
(1998년 10월 29일 접수)

Design Process of Robotic Cell and Layout Design Tool

Kuk Kum-Hoan and Park Joon-Mo

Key Words: Robotic Cell(로봇 셀), Workpiece Handling(공작물 핸들링), Production Automation(생산자동화), System Engineering(시스템 엔지니어링), Layout Design (레이아웃 설계)

Abstract

In this study, a design process of robotic cell is presented. This paper focuses only on the automation of workpiece handling with robot. The presented design process enables us to analyze effectively the original production system and to redesign it as an optimum production system with robots. An original production system is analyzed with respect to its economical and technological requirements for automation. If automation of the given production system is feasible, the conceptual design for automation is firstly derived. Next, the detail design is derived for the optimum conceptual design. Finally, an optimum system solution is determined after the economical and technical evaluation of all the derived detail designs. The all specifications of each element of the redesigned production system and its layout are determined at the detail design phase. This paper shows a low cost supporting tool for layout design of robotic cell with SCARA type robots.

1. 서론

최근 상품 시장의 요구인 다품종 소량 생산에 의하여 로봇 셀의 유연성이 중요해 졌다. 이에 따른 생산시스템 자동화 추세 중 하나는 로봇 셀(robotic cell)의 형성이며, 이러한 셀 내에서 산업용 로봇은 이송과 반송 작업을 위한 중요한 결합 요소로서 점차 응용 빈도가 커지고 있다.^(1~3)

로봇 셀 혹은 로봇 작업장들에 대한 주된 요구는 로봇의 유연성과 로봇 작업 순서의 가변성이지만 실제 적용 로봇의 대부분은 오히려 전용기로 활용되고 있는 실정이며, 로봇에 대한 큰 관심과 과거의 수요예측에 비하여 실제 성공적으로 적용된 로봇 수는 상대적으로 적음이 보고되고 있다. 이러한 로봇응용 둔화와 적용상 제한성의 주된 이유는 고가 로봇 작업장의 긴 투자 회수 기간이라는 경제적 문제와 기술적 측면의 제한된 로봇 작업능력 이외에 로봇작업장을 설계하고 개발·운용하기 위한 로봇 도입업체들의 로봇 작업 시스템 엔지니어링 능력부재를 들 수 있다.^(4~9) 산업용 로봇은 타 생산장비에 비하여 상대적으로 짧은 활용 역사를 갖기에 현재 로봇을 도입하기 위하여 기존 생산시스템을 분석하고 재설계한 후 하나의 최적 로봇 작업장을 구축 할 수 있는 전

* 회원, 경상대학교 제어계측공학과, 자동화 및 컴퓨터응용기술연구소,

E-mail : kkh@nongae.gsnu.ac.kr

TEL : (0591)751-5367 FAX : (0591)757-3974

** 경상대학교 대학원 제어계측공학과

문 엔지니어가 매우 부족한 실정이다. 최근에 보고되는 여러 로봇 적용 사례들이 이러한 점을 잘 지적해 주고 있다.^(10~13) 이러한 로봇도입 사례를 통해 보고되는 내용 중 하나는 로봇 공급업체의 지원에만 주로 의지하여 로봇을 도입하는 것은 매우 위험하며 적어도 로봇도입 업체가 주된 자동화 주변기기들을 자체 결정하고 기존 작업요소들을 개조하여 로봇 작업장을 구축할 능력이 있을 때 성공적 로봇도입이 가능하다는 점이다. 이러한 배경에서 그동안 로봇 작업장의 효율적 설계를 위한 여러 연구들이 계속 수행되어 왔다. 로봇 작업 시스템의 엔지니어링 작업을 위한 기존 연구는 주로 컴퓨터를 이용하여 로봇 작업장을 구성하는 최적의 요소를 신속하게 선정하기 위한 연구와 결정된 작업장 요소들을 최적으로 배치(layout) 하기 위한 연구로 크게 나눌 수 있다.^(14~19)

본 논문의 목적은 로봇 도입업체들의 자동화 엔지니어링 작업을 위한 하나의 방법으로서, 그동안 상대적으로 등한시 되어온 로봇 작업시스템의 엔지니어링 초기단계인 로봇도입을 위한 기존 작업장의 분석과 작업장 변경 및 재설계 작업의 구체적 내용을 제안하고, 재설계한 자동화 시스템 해들을 평가하는 하나의 방법을 제안한 후, 선정된 작업장 요소들을 신속하게 배치하고 평가할 때 기존 고가 상용 범용 소프트웨어 대신 사용이 손쉽고 PC(personal computer)에서 사용 가능한 저가 전용 2 1/2차원 그래픽 소프트웨어를 보이는 것이다.^(20,21) 본 논문에서 대상으로 하는 로봇 적용범위는 공작기계, 프레스, 조립작업에서의 공작물 핸들링 작업, 즉 로봇 이·반송작업으로 제한하였다.

2. 로봇 셀 설계

2.1 로봇 셀 설계절차

로봇 셀 설계는 로봇을 도입할 작업장의 생산 공정과 이·반송작업의 다양성에 따라 고려해야 하는 사항이 많으므로 하나의 조직적 작업절차가 요구된다. 이·반송작업에 로봇을 도입하기 위한 작업 절차의 거시적 구조는 Fig. 1과 같다. Fig. 1의 첫째 단계에서 시스템 설계작업의 대상 시스템이 결정된다. 대상 시스템의 경계는 하나의 작업 시스템으로서 가능한 최대의 시스템 설계 자

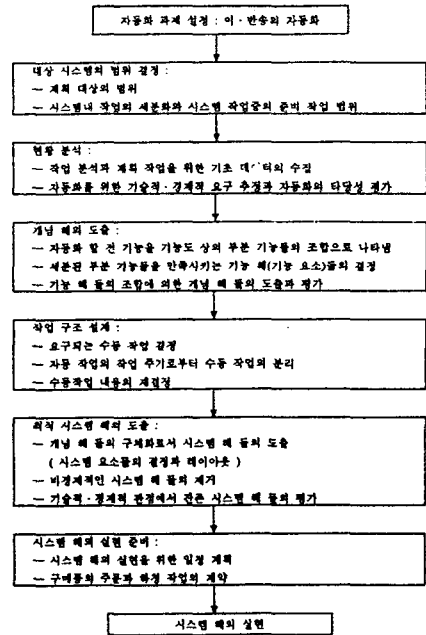


Fig. 1 Design process of robotic cell

유도를 보장해 주고 동시에 작업 시스템 요소들 사이에 존재하는 중요한 관계들을 모두 포함할 수 있도록 결정되어야 한다. Fig. 1의 둘째, 셋째 그리고 다섯째 단계에 대해서는 뒤의 독립적인 절로서 취급하였다. 넷째 단계는 셋째 단계에서 현재의 기술로 대상시스템의 완전 자동화가 적절치 않다고 결정되어 수동 작업이 부분적으로 존속되어야 할 때 요구된다. 이 단계에서는 작업자의 작업부하 감소, 인간과 기계의 최적 공동 작업, 작업시스템의 유연성 증대를 위한 방안 등이 결정되어야 한다.

2.2 현황분석

2.2.1 작업 시스템 분석

분석 단계의 분석 작업은 두 가지 관점, 즉 생산품의 생산 절차에 따라 작업장 분석과 기 결정된 특정 생산 영역내의 작업장들을 분석하는 방법으로 수행 할 수 있다. 일반적으로 한 회사 내에서 이·반송 작업의 자동화가 요구되는 작업장

- 동일한 작업 과정들이 여러 번 반복되는지의 여부
- 작업 과정들이 각 작업 시각에 대해서 분명히 정의되는지의 여부
- 작업 과정들이 단순히 정량적 값으로 결정되는 간단한 판단 내용을 갖는지의 여부

이상의 검토가 모두 긍정적이면, 끝으로 로봇 도입의 기술·경제적 실현 가능성에 대한 평가가 수반된다. 기술적 평가는 Table 3의 13 개 세부 항목에 대하여 각 작업장 별로 평가하고, 경제성 평가는 네 개의 항목, 하루중의 교대 작업 수, 한 교대 작업중의 준비 작업 횟수, 연중 상이한 제품형의 수와 전체 가공 기계의 잔류 수명에 대해서 각기 평가한 후 자동화 추진에 대한 3 가지 판단(의미 있다, 제한적으로 의미가 있다, 의미가 없다)중 하나를 결정한다.

Table 3에서 한 기계당 요구되는 수정작업 요구의 평균 개수 S 값이 작을수록 그 작업장의 자동화 추진 타당성이 크다. 왜냐하면 로봇에 의한 공작물의 입·출력 자동화는 현 기계에서 수동으로 수행되어온 13 개의 항목들의 자동화 작업이 병행하여 추진되었을 때만 해당 작업장의 자동화가 가능하기 때문이다. 자동화 추진 타당성 평가를 위한 S 값의 활용방법은 해당 기업의 자동화 추진 고유 전략에 전적으로 의존한다. 또한 현 작업에 대한 경제성 평가에 대한 하나의 구체적 예로 하루중의 교대 작업 수는 2 이상, 한 교대 작업중의 준비 작업횟수는 1 이하, 연중 상이한 제품형의 수는 5 이하, 가공기계의 잔류 수명은 3 년 이상으로 평가하여 이 네 가지 항목중 만족되는 항목이 많을수록 해당 작업장의 자동화 추진 타당성이 크다. 이 경우에도 예시한 수치 값들 역시 개별 기업의 자동화 추진전략에 의존한다.

2.3 개념 해의 도출

앞에서 수행된 분석 작업을 통해 자동화 추진이 긍정적으로 평가된 경우 자동화를 위한 개념해들이 도출되어야 한다. 이 때 자동화의 방안으로서 로봇 도입만으로 국한시키지 말고 타 자동화 방안도 동시에 고려되어야 한다. 그러나 다음

과 같은 작업환경의 경우 로봇의 유연성이 필히 요구된다.

- 작업 흐름이 제품 불량과 같은 이송 대상물의 특성이나 작업기계의 고장과 같은 특정 가공 상황에 의하여 바뀌는 경우
- 종류가 다른 가공품의 가공을 위한 준비 작업 후에 이송 작업 순서가 바뀌는 경우
- 가공품의 종류가 바뀌면 가공품의 작업준비 위치와 입·출력위치가 바뀌는 경우

자동화 개념 해를 기능도를 이용하여 구하는 작업은 다음 몇 개의 순차적 단계로 나뉘어 진다. 먼저 도입할 자동화 장치에 대한 사양을 단순화하기 위하여 기존 작업장의 작업요소들의 이용율, 배치와 수, 타 작업장과의 연결등을 분석하여 이송 작업의 관점에서 공작물을 그룹화하고, 연속 이송 장치에 의한 두 기계의 직결등의 변경방안을 결정한다. 결정된 변경방안에 따라 둘째 단계에서 작업장내의 모든 이송 작업들의 흐름을 분석하여 대응하는 이송 기호로 전 이송작업을 하나의 기능도로 나타낸다. 마지막으로 기능도상 각 이송 기능들을 개별 혹은 동시에 만족시키는 기능 해들을 찾는다. 끝으로 선택된 기능 해들 사이의 기능 중첩이 없거나 최소가 되도록 한다.

Table 3 Check list for technological feasibility

평가 항목	평가			
	M/C1	MC2	...	MCn
작업 수행 시스템				
· 수동 주 운동	()	()	()	()
· 수동 부 운동	()	()	()	()
제어 시스템				
· 수동 위치 제어	()	()	()	()
· 수동 속도 제어	()	()	()	()
· 수동 가공 순서 제어	()	()	()	()
· 수동 고정 장치 해제	()	()	()	()
입·출력 시스템				
· 수동 공구 입·출력	()	()	()	()
· 수동 공작물 입·출력	()	()	()	()
고정 시스템				
· 수동 공작물 고정 작업	()	()	()	()
감시 시스템				
· 작업 상황 감시가 항상 요구되고 지금까지 수동으로 수행	()	()	()	()
· 공구 감시가 항상 요구되고 지금까지 수동으로 수행	()	()	()	()
보조 요소 입력				
· 지금까지 한 작업 사이클당 한번 수동으로 이루어짐	()	()	()	()
작업메기들의 출력				
· 지금까지 한 작업 사이클당 적어도 한번 수동으로 이루어짐	()	()	()	()

한 기계(MC)당 요구되는 수정 작업 요구의 평균 개수(S) $S1 = .S2 = \dots .Sn =$
 $S1 = S1 + S2 + \dots + Sn$
 $S = S1 / n$
 (예: S ≤ 4: 긍정적, 4 < S ≤ 10: 가중, S > 10: 부정적)

Table 4 Subproblems for generation of system solution

부분과제	로봇의 선정	주변기기의 선정	레이아웃 결정	가공·검사 작업의 자동화	보조요소와 폐기물의 입·출력 자동화
주요 고려사항	<ul style="list-style-type: none"> ·작업기계 배치 ·유효 공간 ·서비스할 생산장비의 종류와 수 ·작업장 입·출구의 수와 위치 ·작업 위치 단의 분포 ·이송할 가공물단 (형태, 치수, 중량) ·보조 요소와 폐기물의 입·출력 방식 ·이용되는 공구 ·작업 생산성 	<ul style="list-style-type: none"> ·이송한 가공물단 (형태, 치수, 중량) ·가공품의 작업장도와 상태 ·작업 생산성 ·작업기계 배치 ·유효 공간 ·작업장 입·출구의 위치 ·환경 보호 요구사항 	<ul style="list-style-type: none"> ·이용되는 로봇의 종류와 수 ·이용되는 생산장비의 종류와 수 ·작업장 입·출구의 위치 ·로봇 작업 위치들의 분포 ·주어진 건물의 내부 구조 ·기타 작업 보조 요소 	<ul style="list-style-type: none"> ·가공 작업의 자동화 정도 ·생산장비의 잔류 수명 ·생산장비의 고장 빈도 ·수행해야 하는 검사 기능 ·검사 작업의 빈도 ·기존의 검사 보조 요소 	<ul style="list-style-type: none"> ·폐기물·보조 요소의 종류와 중량 ·폐기물·보조 요소의 입·출력 ·폐기물·보조 요소의 입·출력 장소와 시각 ·이용되는 작업 보조 요소

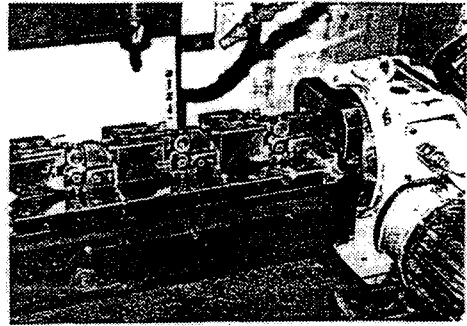


Fig. 2 Original workplace

그리고 작업장 자동화시 추가로 요구되는 가공·검사 작업의 보조요소·폐기물의 입·출력 자동화 방안을 결정한다. 끝으로 결정된 작업장 장비와 자동화 방안을 토대로 작업장의 레이아웃 작업을 추진한다.

2.4 최적 시스템 해의 도출

2.4.1 시스템 해의 도출

이송 작업을 자동화 요소로서 로봇이 이용되는 경우 도출한 개념 해에 대한 구체적 시스템 해를 구하는 작업은 Table 4와 같은 다섯 가지 부분 과제들로 나누어 진다. 이때 로봇과 주변기기들의 최종 결정은 레이아웃작업과 직결되며, 레이아웃 자체는 로봇 작업장의 중요한 평가 항목인 작업장의 생산성, 보수와 준비 작업을 위한 접근도, 안전도, 소요 면적과 레이아웃 변경 비용 등에 직접적 영향을 준다. 이러한 평가 항목들은 상호 억제 기능을 갖고 또한 객관적 평가도 힘들기에 최적 레이아웃을 얻기 위한 하나의 일반적 방법을 이끌어 내는 것은 불가능하다. 따라서 최적 레이아웃을 구하기 위하여 실현 가능한 많은 레이아웃들을 상호 조직적으로 비교하고 평가하는 작업이 필히 요구된다. 레이아웃 결정을 위한 구체적 작업내용은 뒤의 독립된 절로 다루었다.

하나의 구체적 적용 예로서 Fig 2와 같이 M/C 센터에서 자동차 변속기 부품 중 하나인 공작물이 한 측면에 Index Table이 부착된 유압지그 3개씩 동시에 고정된 상태에서 황삭·드릴링·정삭의 공정을 거쳐 가공되는 경우, Table 2에 의한 해당 작업장의 분석. 데이터를 토대로 맨 먼저 로봇을 선정하고, 이어서 주변기기를 선정한다.

2.4.2 시스템 해의 평가

실현 가능한 복수의 시스템 해가 존재하는 경우, 이러한 해의 집합으로부터 기술적·경제적 관점에서 최적 해를 구해야 한다. 최적 해를 구하는 작업은 두 단계로 나누어서 수행된다. 첫째 단계에서 비경제적 해들이 제거되고, 둘째 단계에서 나머지 해들을 다차원으로 평가하기 위한 유용성 평가(usefulness analysis)를 하게 된다. 유용성 평가를 통해서 상호 차원이 다른 정량적 내용뿐 아니라 신뢰도와 같은 정성적 내용이 함께 고려될 수 있다. 먼저 투자에 대한 경제성을 평가하기 위해서 다음의 특성 값들이 계산되어야 한다.

- 연간 비용 절감
- 총 투자 회수 기간
- 투자에 대한 연 이율

이러한 값들을 계산하기 위해서 정적 계산법과 동적 계산법 둘 다 적용할 수 있다. 정적 계산법은 한 기간에 대한 돈의 평균값들을 기초로 계산하고, 동적 계산의 경우 투자의 유효기간 중 발생한 돈들의 입·출력에 따른 이자가 고려된다. 로봇 이용 경험이 짧으므로 로봇 시스템의 유효수명 동안에 대한 축적된 정확한 돈의 입·출력

Table 5 Check list for cost data

비 용	기 호	단 위	비 용항상		계 산
			수 동	자 동	
· 로봇 본체의 비용	Cf1	원		+	$Cf = \sum_{i=1}^n Cf_i$ $P = \frac{Cf}{2} \cdot if$ $a = \frac{Cf}{IN}$ $Cf = a + P$
· 주변기기의 비용 (그리퍼, 정렬기, 센서)	Cf2	원		+	
· 작업기계의 개조 비용	Cf3	원		+	
· 장치 설비 비용	Cf4	원		+	
· 로봇 도입 제회 비용	Cf5	원		+	
· 총 투자비용	Cf1	원		+	
· 연 이자율	if	% / 년		+	
· 연 이자	P	원 / 년		+	
· 경제적 유효수명	IN	년		+	
· 감가상각 비용	a	원 / 년		+	
· 총 고정 비용	Cf	원 / 년		+	$Cv = \sum_{i=1}^n Cvi$ $C = Cf + Cv$
· 작업 준비 비용 (가공품 변화)	Cv1	원 / 년	+	+	
· 프로그램 작성 비용	Cv2	원 / 년		+	
· 인건비 (가공, 검사, 교육)	Cv3	원 / 년	+	+	
· 에너지 비용	Cv4	원 / 년		+	
· 공간 비용	Cv5	원 / 년		+	
· 유지(메인テナンス) 비용	Cv6	원 / 년	+	+	
· 총 가변 비용	Cv	원 / 년		+	
· 연간 로봇 도입에 의한 비용	C	원 / 년		+	
경제성 특성치	Cs	원 / 년	$(Cv1 + Cv3 + Cv6)^{0.8} - C$		
· 연간 비용 절감		% / 년	$(Cs / (Cf / 2)) \times 100$		
· 무지의 연 이윤		년	$Cf / (Cs + a)$		

자료가 부족하다. 따라서 통상 실용적인 정적 계산법에 의해서 경제성 평가를 하고 있다. 이러한 경제성 계산 작업을 수행하기 위한 준비작업은 수동작업과 자동작업 각각에 대한 작업장에 발생하는 Table 5 의 모든 비용 데이터를 구하는 작업이다.

Table 5는 자동화 후 작업장의 생산성과 자동화 전 작업장의 생산성이 동일한 경우에 두 작업장의 "작업장 비용"을 기초로 경제성 평가를 하기 위하여 요구되는 "대상 작업장에 발생하는 모든 비용 데이터"를 구체적으로 보인 것이다. 만약 자동화 전후에 두 작업장의 생산성이 달라지는 경우 두 작업장에서 "제품의 개당 생산비"를 기초로 경제성 평가를 해야하기에 Table 5의 비용 데이터 이외에 작업장 내 모든 가공기계와 버퍼 등에 대한 시간비용이 추가로 요구된다. Table 5에서 총 투자비용(Cf)는 초기에 요구되는 자동화를 위한 비용으로서 건적에 의한 로봇 주변기기 등의 실소요 비용을 기초로, 유효수명은 로봇의 경우 20대 작업시 5~10년, 주변기기는 생산품의 수명(3~5년)과 동일하게 결정한다. 또한 총 가변비용중 연 유지비용은 로봇과 주변기기 모두 구입비용의 5~10%로, 연 에너지비용은 전기와 압축 공기 등의 실제 소요량으로, 연 공간비용은 단위공간비용을 기초로, 그 이외의 가변비용은 시간당 인건비를 기초로 계산한다.

2.5 레이아웃 결정

로봇과 주변기기의 최종결정은 레이아웃 결정과 직결되며, 레이아웃 결정 목적은 다음의 부분과제를 통하여 작업장 요소들의 최적 배치를 얻는 것이다.

2.5.1 요구되는 로봇 수의 결정

주어진 작업장의 자동화를 위해서 요구되는 로봇 수는 주로 다음의 내용들에 의해서 결정된다.

- 생산요소들에 대한 접근도
- 로봇 접근이 요구되는 점들 사이의 거리
- 작업장의 생산성

로봇 수의 결정은 반복 작업을 통하여 이루어진다. 이 때 레이아웃 작업 전에 로봇이 수행해야 할 작업규모, 서비스 해야할 가공기계, 작업점들 사이의 거리와 작업장의 입·출력 통로 등에 의해서 요구되는 최소의 로봇 수가 먼저 정해진다.

2.5.2 작업 기계의 배치계획

작업 기계의 배치계획은 일차적으로 적용할 로봇의 작업 공간과 소요 설치 면적에 의존한다. 따라서 계획작업 자체는 일차적으로 선정된 모든 로봇들에 대하여 개별적으로 수행되어야 한다. 계획작업 자체의 목적은 로봇의 기구적 구조를 고려해서 가능한 한 최소의 이동 축 수와 짧은 이동경로를 만족시킬 수 있는 기계배치를 찾는 것이다. 이러한 요구는 원주 혹은 극 좌표형 작업공간을 갖는 로봇의 경우 기계들의 원형 배치에 의해서 가장 잘 만족되며, 직교 좌표형 로봇의 경우 기계들의 일직선 배열이 최적의 배열이 된다. 또한 고정 로봇에 의해서 전 기계들이 서비스 받지 못하거나 이송작업 시간이 기계의 가공시간에 비해서 상대적으로 짧은 경우 이동 로봇이 고려된다. 작업 기계 배치작업시 고려해야 하는 내용을 구체적으로 열거하면 다음과 같다.

- 가공기계들에 가공 부품을 이·적재할 때에 로봇 그리퍼 축들이 가능한 움직이지 않도록 기계들이 배치되어야 한다. 즉 로봇의 축 방향과 로봇의입·출력 방향을 일치시켜야 한다.
- 로봇 작업점들이 직접적인 로봇 이동점들이

될 수 있도록 중간 이동점들의 수를 최소화하여 상호 배치 시켜야 한다.

- 한 주기시간(cycle time)내에 서비스해야 하는 작업기계들 사이의 상호거리를 최소화한다.

2.5.3 로봇의 고정 위치 결정

로봇의 고정 위치는 다음 세 가지, 즉 작업장 바닥에 설치, 작업장 상부에 설치, 가공기계에 직접 설치로 대별 할 수 있다. 이 세 방법은 고유의 장·단점을 가지며, 가공기계에 직접 설치하는 것은 단지 예외적인 경우로서 로봇으로부터 가공기계에 전달되는 정적·동적 하중 때문에 작은 크기의 로봇에만 적용할 수 있다.

2.5.4 로봇의 최적 이동 경로 결정

레이아웃들에 대한 결정적 평가 기준은 작업장의 생산성이다. 생산성 계산을 위한 전제조건은 가공기계들을 최단시간 내에 서비스할 수 있는 이동 경로를 결정하는 것이다. 최적 이동 경로를 결정하는 것은 다음 다섯 가지 항목, 즉 작업장의 기하학적 형상, 적용 로봇의 기구적 형태, 각축의 이동속도, 작업기계의 서비스 순서, 그리고 형태(단일 그리퍼, 이중 그리퍼)에 직접 의존한다. 이 중에서 처음의 네 항목은 이전의 계획 작업단계에서 이미 결정되지만 그리퍼 형태는 아직 결정되지 않은 항목이다. 단일 그리퍼는 경제적이고 이중 그리퍼는 주기시간 면에서 유리하다. 이중 어느 하나를 결정하기 위해서 다음의 네 항목, 즉, 가공기계에 대한 접근성, 로봇의 최대 가반 중량, 가공 전·후의 가공부품위치, 그리고 요구되는 전체 주기시간을 검토해야 한다.

2.5.5 레이아웃 계획의 절차

로봇작업장 설계 절차 속에서 조직적이고 신중한 레이아웃 계획은 중요한 위치를 점한다. 왜냐하면 레이아웃 계획작업의 결과는 로봇 형태에 큰 영향을 줄 뿐 아니라 아래와 같은 평가항목을 직접 정해주기 때문이다.

- 작업장의 안전도
- 보수 작업과 작업준비를 위한 접근도
- 작업 생산성
- 소요 작업장 면적

- 작업장 개조 비용

레이아웃 설계작업의 일반적 절차는 Fig. 3과 같다. 계획 작업시 이러한 모든 항목에 대해서 동시에 최적인 해를 구하는 것은 불가능하다. 왜냐하면 평가 항목들이 상호 부분적으로 억제 효과를 갖기 때문이다. 예를 들면 소요 작업장 면적을 줄이면 로봇 작업장 요소들에 대한 접근도가 나빠진다. 레이아웃 평가작업을 할 때, 작업장 보수와 준비작업을 위한 작업장 장비들의 접근도와 안전성(정성적 항목)은 설계자가 직접 그래픽 정보를 이용하여 시각적으로 판단하지만, 레이아웃 변경과 주어진 작업경로에 대한 사이클 타임(정량적 항목)계산은 레이아웃 지원 프로그램을 활용하여 신속하게 수행한다.

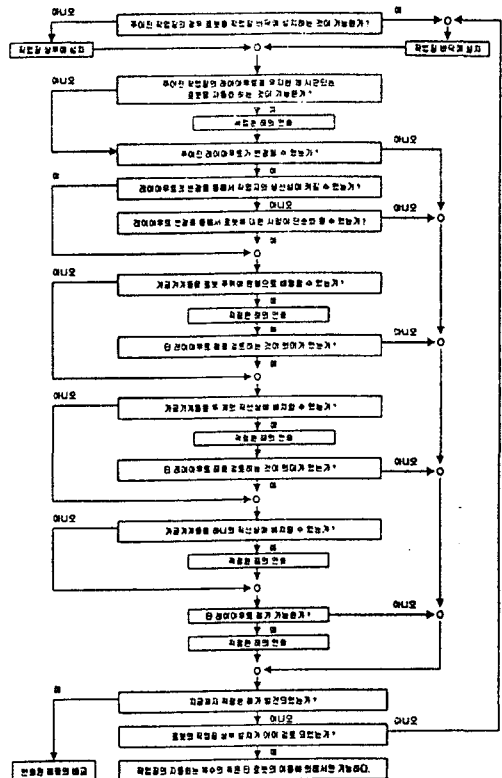


Fig. 3 Process of layout design

2.6 레이아웃 계획 지원 프로그램

대화형 그래픽 프로그램을 이용하여 모든 작업 점들이 로봇의 작업영역 안에 포함될 수 있도록 로봇과 주변기기 등을 컴퓨터 화면 위에서 신속하게 이동·회전시키며, 동일한 작업에 대한 다수의 작업장을 상호 비교하고 검토 할 수 있게 한다. 구체적으로 화면상에 로봇 작업장 요소들을 생성시키고, 원하는 위치에 배치한다. 이어서 로봇이 작업할 작업점들 사이의 경로를 정해주고 주어진 경로를 따라 로봇이 작업을 할 때 소요되는 주기시간을 계산한다. 작업자는 위의 방법으로 계산된 주기시간과 작업장의 안전도, 보수작업과 작업준비를 위한 장비 접근도와 같은 정성적 평가항목을 상호 비교하여 최적 작업장을 선택한다. 결정한 최적 레이아웃에 대한 작업장 요소들의 절대 위치와 자세정보를 얻을 수 있다. 스카라형(SCARA type) 로봇의 경우 레이아웃 설계는 작업장 요소들에 대한 수평절단면의 정보가 주로 요구되기에 2 1/2 차원의 그래픽 프로그램을 개발하였다.

2.6.1 프로그램 구조

본 프로그램은 윈도우 환경에서 실행되며 C 언어로 작성되었다. Fig. 4는 프로그램 개발시 이용한 모듈구조이고, 이러한 모듈들을 이용하여 구현된 프로그램 주 메뉴의 주요기능은 다음과 같다.

- 주 메뉴 [File]의 부 메뉴기능
 - [New]: 작업장 file(그래픽 데이터)을 새로 만들 때 사용.
 - [Save as]: 현재 작업중인 file을 저장.
- 주 메뉴[Layout]의 부 메뉴 기능
 - [Load Robot]: 기 저장된 로봇 중 하나를 선택한후 마우스로 지정한 화면상 위치에 원하는 각도로 생성.
 - [Load Peripheral]: 로봇과 동일하게 주변기기 생성.
 - [Create Text]: 화면상에 문자열을 입력.
 - [Move Rotate Element]: 화면상에서 생성한 요소들의 위치와 각도를 변경.
 - [Move Element into Z-Axis]: Child window상에 나타난 로봇과 주변기기

- 의 수직위치를 변경(2 1/2 차원).
- [Creae Work Path]: 화면상에서 1대 이상 로봇과 1대 이상 주변기기가 생성되었을때, 로봇의 작업경로 생성.
- [Calculate Cycle Time]: 완성된 하나의 작업 경로에 소요되는 로봇의 작업시간 계산.
- 주 메뉴[Display]의 부 메뉴 기능
 - [Reference Frame]: 작업장 크기의 결정을 위하여 mm축척의 모눈 격자 생성.
 - [Zoom]: 작업자의 확대 축소.

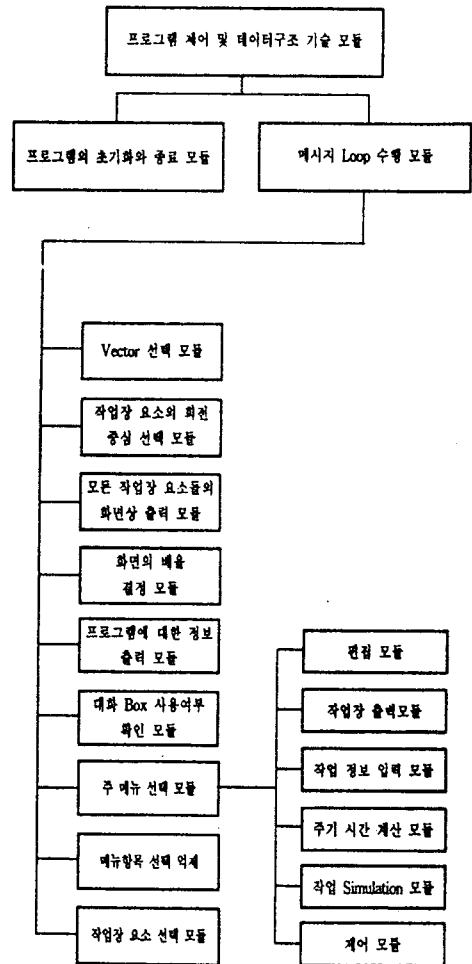


Fig. 4 Module structure of layout design program

2.6.2 주기시간 계산

로봇이 조립작업을 할 때에는 기본적으로 큰 동작(gross motion), 연결동작(interface motion) 및 미세 동작(fine motion)의 3 단계 운동을 한다. 큰 동작은 로봇이 고속·저정밀도를 가지고 목표점을 향해 이동하고 있는 운동이고, 연결동작은 큰 동작에 비해 상대적으로 저속·고정밀도로 목표점을 향해 이동하고 있는 운동이고, 연결동작은 큰 동작에 비해 상대적으로 저속·고정밀도로 목표점에 근접하는 동작이다.

조립작업시 로봇의 주기시간을 계산할 때 큰 동작동안의 시간(GMT)은 로봇의 사양에 의해 알 수 있으나 연결동작과 미세동작 동안의 시간(FIMT)은 추정해야만 한다. 한 작업점에서 다음 작업점까지 로봇이 이동할 때 GMT의 계산은 다음과 같다.

$$GMT = \max(T1, T2) + 2Tz$$

T1 : 1축이 최대속도로 이동했을 때 걸린 시간

T2 : 2축이 최대속도로 이동했을 때 걸린 시간

Tz : z축이 최대속도로 이동했을 때 걸린 시간

그러므로 로봇이 한 작업주기 동안에 통과하는 작업점의 수가 n 일 때 로봇의 주기시간 T는 다음과 같다. 또한 로봇이 각 점들 사이를 이동할 때에는 항상 가·감속을 해야만 한다. 그러므로 각 축이 최대 속도로 이동할 때 걸린 시간을 계산할 때에는 가·감속 시간(Tm)을 고려해 주어야 한다.

$$T = \sum_{i=1}^n (GMT_i + FIMT_i)$$

2.6.3 프로그램의 적용 예

적용 예로써 다음과 같은 조립작업을 고려한다. 먼저 새로운 작업장 파일을 만든 후 주 메뉴 [Layout] 기능을 이용하여 입·출력 버퍼, 부품 공급기, 팔레트, 로봇으로 이루어진 작업장 레이아웃을 완성한다. 로봇은 입력 버퍼(buffer)에 팔레트(palette)가 입력되면 팔레트를 부품 공급기(feeder)들 사이로 이동시켜 놓고, 공급기에서 출력되는 부품들을 팔레트의 미리 지정된 위치에 옮겨 놓은 후 팔레트를 다시 출력 버퍼로 출력시키는 작업을 수행한다. 이와 같은 작업에 대한

각 작업장의 요소들의 배치와 생성된 이동경로는 Fig. 5와 같다. 화면상 각 작업점들이 직선으로 이어져 있는데 이것은 실제 로봇의 이동경로와는 무관하며 다만 한 작업점에서 주기시간 계산을 위해 FIMT는 0.2 초, 가감속 시간(Tm)(PTP 경로에 따라 사다리꼴 형태의 속도변화를 가질 때)은 0.3 초로 하였다. 레이아웃과 작업 경로를 다양하게 변화

시켜가며 사이클 타임을 상호 비교하여 상대적으로 최소의 경우를 시행 착오 방법으로 찾아간다. 그중 한 경우에 대하여 주기시간은 45.4 초이며 사용된 각 축의 각도와 이동시간은 Fig. 6과 같다.

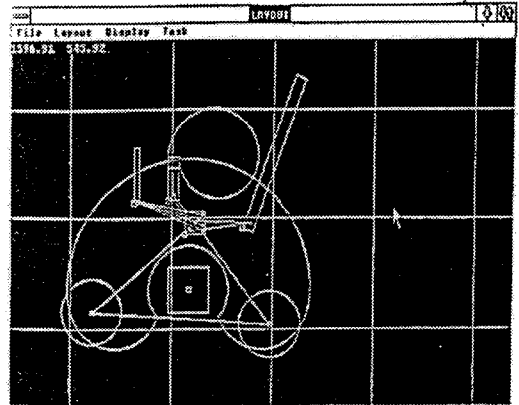


Fig. 5 Example of a robotic cell layout

Pos of Element			
로봇(SPR600)	X = 582.81	Y = 174.03	Z = 0.00, Ang = 0.00
입력 버퍼(INPUT BUFFER)	X = 104.69	Y = 74.59	Z = 346.88, Ang = 0.00
출력 버퍼(OUTPUT BUFFER)	X = 985.94	Y = 19.34	Z = 354.17, Ang = 0.00
팔레트(PALETTE)	X = 564.06	Y = 428.18	Z = 346.88, Ang = 0.00
저선형 정렬기(FEEDER-3)	X = 310.94	Y = 571.82	Z = 357.81, Ang = 0.00
저선형 정렬기(FEEDER-2)	X = 850.00	Y = 450.28	Z = 350.52, Ang = -20.00
원통형 정렬기(FEEDER-1)	X = 470.69	Y = 582.87	Z = 357.81, Ang = 0.00
Cycle Time of Robot			
SPR600	-> 41.95 sec		
Total Cycle Time			
41.95 sec			

Fig. 6 Calculated cycle time and cell data

3. 결 론

본 논문을 통해 공작물 이·반송 작업 자동화를 위한 하나의 로봇작업장 설계 절차를 제안하였다. 로봇도입은 도입공정의 개별 작업상황에 직접 의존하기에 모든 작업장에 적용할 수 있는 구체적이고 동시에 일반적인 설계작업 절차를 도출하는 것은 상호 억제효과로 인하여 어렵다. 특히 로봇적용 공정중 원공정의 개별작업에 요구되는 고도의 숙련과 노하우(know-how)의 비중이 절대적으로 큰 도장·용접 로봇작업장의 경우, 작업장 구축후 수많은 작업실험을 통해 정상작업에 도달하기에 하나의 일반적이며 구체적인 로봇도입절차를 개발하는 것은 무척 어렵다. 그러나 이러한 공작물 이·반송 작업은 공구 이송 작업보다 일반적이면서도 구체적인 작업장 설계절차를 수립하는 것이 상대적으로 용이하다. 제안한 로봇 셀 설계절차를 계전기(relay) 조립과 조정 작업 자동화 추진시에도 적용하였다. 이를 통하여 복잡한 자동화 추진 절차를 보다 일관성 있게 추진함으로써 자동화 추진 절차상의 실패를 최소화할 수 있었다. 물론 이러한 제안된 작업절차 자체가 창조적인 시스템 해를 보장해 주지는 않는다. 로봇 작업장 설계중 작업장 구성요소들의 배치 작업인 작업장 레이아웃 설계작업은 비교적 단순로운 수많은 시행착오 과정의 설계작업이 요구된다. 이러한 작업을 보다 신속하고 효율적으로 수행하기 위하여 개발한 2 1/2 차원 대화식 그래픽 프로그램을 제안하였다. 가상현실 구현과 인공지능기술등 자동화 시스템 엔지니어링을 위한 최신 기술들이 계속 소개되고 있다. 미래의 연구는 이러한 최신 기술을 활용하여 로봇작업장 설계절차 각 단계에 실용적으로 유용한 컴퓨터 응용 작업 지원 툴들을 계속 개선하고, 주어진 작업 경로에 따른 로봇작업의 동적 시뮬레이션 기능과, 정량적 평가와 정성적 평가를 가중치로 함께 묶어서 평가하는 유용성 평가기능을 개발한 프로그램에 추가하는 것이다.

후 기

본 논문은 1998년도 경상대학교 생산기술연구소 학술연구재단의 지원에 의하여 이루어 졌습니다. 연구비를 지원해 준 생산기술연구소에 감사의 뜻을 표합니다.

참고문헌

- (1) Burgess A.G., Morgan I., and Vollmann T.E., 1993, "Cellular Manufacturing: Its Impact on the Total Factory," *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 31, No. 9, pp. 2059~2077.
- (2) Logendran R., and Sriskandarajah C., 1996, "Sequencing of Robot Activities and Parts in Two-Machine Robotic Cells", *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 34, No. 12, pp. 3447~3463.
- (3) Seifoddini H., and Djassemi M., 1997, "Determination of a Flexibility Range for Cellular Manufacturing Systems Under Product Mix Variations", *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 35, No. 12, pp. 3349~3366.
- (4) Brennemann A.E., Hammer R., Hollis R.L., and Jecusco II W.V., 1994, "Accurate Alignment of Laminate Materials Using Sensor-Based Robot Techniques," *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 2273~2278.
- (5) Asaad S., Bishay M., Wilkes D.M., and Kawamura K., 1996, "A Low-Cost, DSP-Based, Intelligent Vision System for Robotic Applications," *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 1656~1661.
- (6) Kaiser M., and Dillman R., 1996, "Building Elementary Robot Skills from Human Demonstration," *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 2700~2705.
- (7) Fujimoto H., and Yamamoto H., 1994, "Production Line Design Expert System by Multiobjective Evaluation Reasoning Including Fuzzy Knowledge," *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 2267~2272.
- (8) Dissanayake M.W.M.G., and Gal J.A., 1996, "Workstation Planning for Redundant Manipulators," *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 32, No. 5, pp. 1105~1118.
- (9) SonY.K., 1996, "A Decision Support System for Factory Automation: A Case Study," *Int. J. Prod.*

- Res., Vol. 29, No. 7, pp. 1461~1473.
- (10) 한국기계연구소, 1991, "조립 자동화 시스템 개발(I)," 과학기술처.
- (11) 오상록, 1992, "산업용로봇 활용기술(II) (실례편)," 도서출판 기술.
- (12) Jahresbericht, 1995, Fraunhofer Institut Produktionstechnik und Automatisierung.
- (13) Jahresbericht, 1996, Fraunhofer Institut Produktionstechnik und Automatisierung.
- (14) Asfahl C. R., 1992, *Robots and Manufacturing Automation*, John Wiley & Sons.
- (15) Agrawal V.P., Kohli V., and Gupta S. , 1991, "Compter Aided Robot Selection: the 'Multiple Attribute Decision Making' Approach," *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 29, No. 8, pp. 1629~1644.
- (16) Agrawal V.P., Verma A., and Agarwal S., 1992, "Computer-Aided Evaluation and Selection of Optimum Grippers," *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 30, No. 11, pp. 2713~2732.
- (17) Lim L.E.N., Ngoi B.K.A., Lee S.S.G., Lye S.W., and Tan P.S., 1994, "A Computer-Aided Framework for the Selection and Sequencing of Orientating Devices for the Vibratory Bowl Feeder," *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 32, No. 11, pp. 2513~2524.
- (18) Adam G.K., and Grant E., 1994, "QMTOOL-A Qualitative Modelling and Simulation CAD System for Designing Automated Workcells," *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 1141~1146.
- (19) Rossgoderer U., Woenckhaus C., Reinhart G., and Milberg J., 1995, "A Concept for Automatical Layout Generation," *IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp. 800~805.
- (20) Heilala J., 1997, "Simuation-Based Design of Modular Assembly System-Developing Reusable Simulation Module Library," *User Group 1997 Proceedings, Deneb Robotics, Inc.*, pp. 11~16.
- (21) 박홍석, 1996, "로봇 응용을 위한 공정 지향적인 프로그래밍 시스템 개발," 한국정밀공학회지, 제13권 제4호, pp. 34~42.