

산업용로보트를 이용한  
자동전선망 (wire harness) 조립시스템의 설계에 관한 연구

조 형 석\* 권 대 갑\*\* H. J. Warnecke\*\*

Design Alternatives for Robot-based Wire Harness Assembly Processes

H.S. Cho, D.G. Geown, and H.J. Warnecke

**ABSTRACT**

Wire harness assembly is one of the most labor intensive processes in manufacturing, but the process has not been fully automated yet. In this paper a variety of concepts for flexible automated assembly system are suggested to design a robot-based wire harness assembly cell. All concepts are featuring an automatic, feeding of wires, terminating, routing, inserting and bundling. Based upon possible assembly methods and procedures, six alternative systems are proposed and, finally, evaluated from the view point of system performance such as flexibility, reliability assembly time and equipment cost.

1. 서 론

1.1 전선망 (Wire harness)의 정의

현재의 기계들은 대개 전기로 작동되어지는 경우가 대부분이기 때문에 전선의 사용이 불가피하다. 전선 한 두가지로 전기문제가 해결되는 경우도 있겠지만 대부분은 전기회로가 복잡하기 때문에 많은 전선이 복잡하게 배선되어 진다.

보통 배선작업이라 하면, 완성된 기계시스템 자체에 전선을 하나하나 배선해 나가는 것으로 생각하기 쉬우나, 전선의 수가 많아지고 회로가 복잡

할 때는 이와 같은 배선작업은 비능률적일 뿐 아니라, 작업자의 잦은 배선실수를 유발하여, 성능상의 문제는 물론 미관상이나 전선의 안전관리상에도 많은 문제점들을 갖고 있다.

따라서 대개의 배선작업은 기계몸체의 제작과 병행하여 독립적으로 행하여진다. 즉, 모든 전선들은 미리 준비된 조립판 위에 배선도에 따라서 가지런히 놓이게 된다.

그림 1에서 보는 바와 같이 이때 모양은 흡사나무 가지와 같으며 조립판에서 들어 낸 후에도 흘러져서 서로 엉키지 않도록 줄기와 곁 가지를 따

\*한국과학기술원 생산공학과 부교수, 정희원

\*\*Institut für Produktionstechnik und Automatisierung(IPA), West Germany

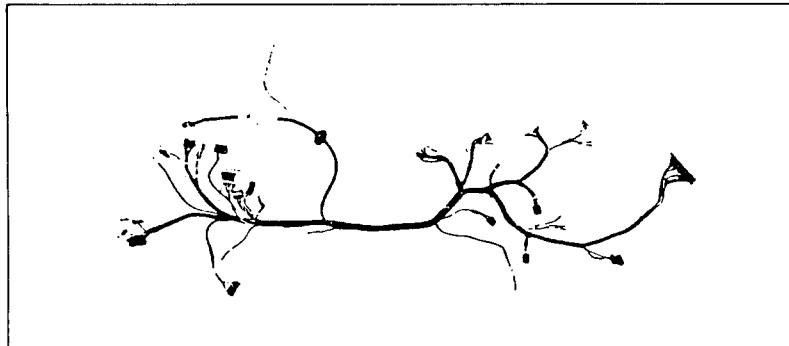


그림 1. 자동차용 전선망(Wire harness)

로 따로 테이프로 감거나 끈으로 묶는다. 이렇게 만들어진 전선다발은 기계몸체에 내장되기 전에 전기부품과 연결되어져야 하므로 모든 전선의 끝 부분에서는 절연체가 제거되어져야 하며 거기에 전기적인 접촉을 용이하게 하기 위해 접촉 편들이 부착된다. 이러한 접촉편들은 기계몸체의 전기 부품과 개별적으로 연결이 되어지는 경우도 있겠지만 (납땜 등) 대개의 경우는 취급의 편의를 위해 접촉 플러그에 의한 집단접촉이 이루어진다.

이 접속플러그는 하나에서부터 십지어는 수백개의 구멍을 갖고 있으며 각구멍에는 접촉핀 한개씩이 들어갈 수 있으며 일단 접촉핀이 끼워진 후에는 다시 빠져 나오지 않도록 설계되어 있다. 이렇게 제작된 전선다발은 기계몸체에 아주 용이하게 장착되어 진다. 즉 각 가지끝에 달린 접속플러그를 기계몸체의 지정된 개소에 접촉시켜주면 장착이 끝난다.

이와같은 형태의 전선다발은 “장착 준비가 완료된 전선다발이란 의미로 영어로는 Wire Harness”라고 하며 「나무같이 생긴전선」이란 의미로 직역하면 “전선나무”라고 불리우나 본고에서는 기술의 편의상 후자를 따라서 “전선망”이라 명칭한다.

## 1. 2 전선망의 조립기술 현황

전선망은 자동차, 가전기기, 사무기계, 통신시설 등 실제로 일상적으로 접할 수 있는 모든 기계의 구성요소이다. 그림 2(a)와 2(b)는 독일내의 215개 관련회사에 문의한 결과이며 그림 2(a)는 전선망의 연간 수요량이며, 그림 2(b)는 연간제작에 소모되는 시간이다. 이 자료에 의할 것 같으면 각

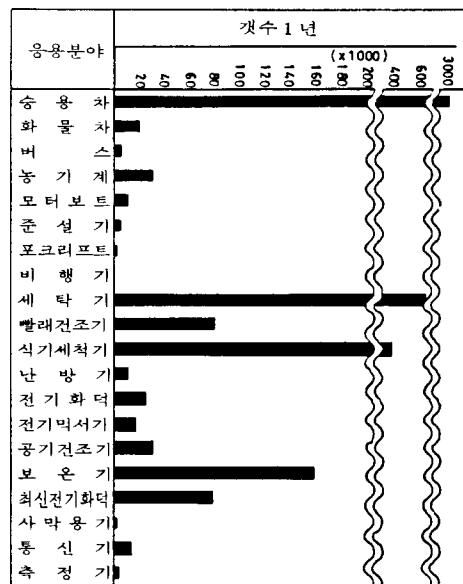


그림 2.(a) 전선망의 연간 수요량

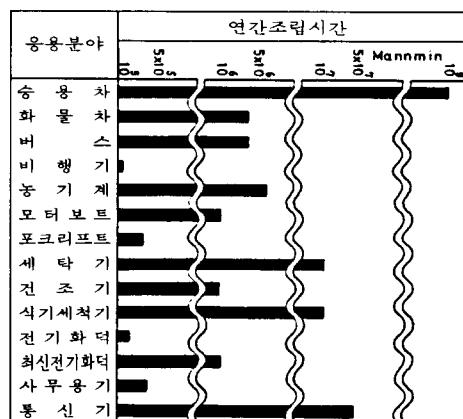


그림 2.(b) 전선망 조립에 소요되는 시간

종 전선망 제작에 필요한 종업원의 수의 현황을 보면 10명 이내가 30%, 10명에서 100명 사이가 43%이며 100명 이상의 종업원을 필요로 하는 기종의 수가 27%나 된다. 이 자료에서 볼 수 있듯이 전선망의 조립은 오늘날까지 수동조립 단계를 벗어나지 못했다. 전선망 조립을 위한 여러 가지의 자동전용 기계들이 현재 상업적으로 시판되고 있으나 이들은 어디까지나 조립자에게 극히 제한된 일에 한해서 혜의를 제공해 줄수 있는 정도이며 아직까지 모든 조립공정을 완전 자동으로 수행할 수 있는 집약된 자동조립시스템은 개발되지 못했다. 조사된 바에 의하면 12개의 자동 전선망 조립시스템(일본 4, 미국 3, 독일 3, 영국 1, 소련 1)이 있으나 이들 모두가 극히 제한된 공정만 수행할 수 있거나 혹은 극히 단순한 형태의 전

선망만 조립할 수 있다. 대개의 자동조립 system은 1975년 이후에 개발되어졌으며 그중 70%는 1980년 이후에 개발되어졌다. 이들 모두는 특히에 뮤어 있다. 그림 3에서 보는 바와 같이 최근에 미국의 Unimation 회사에서 두개의 PUMA Robot를 이용해서 flexible한 자동전선망 조립 시스템을 개발중에 있다.

로보트 B는 전월 공급장치로부터 전선을 뽑아서 x-x table에서 필요한 길이로 자르고 로보트 A는 로보트 B로부터 전선을 넘겨받아 각종도구가 장치되어 있는 equipment tower에서 전선의 양쪽 끝을 까고 삽입핀을 붙여서 내려 놓는다. 그러나 이 시스템도 역시 취급 가능한 전선종류 접촉전의 형상, 접속플러그의 형상등에 많은 제약을 받고 있다.

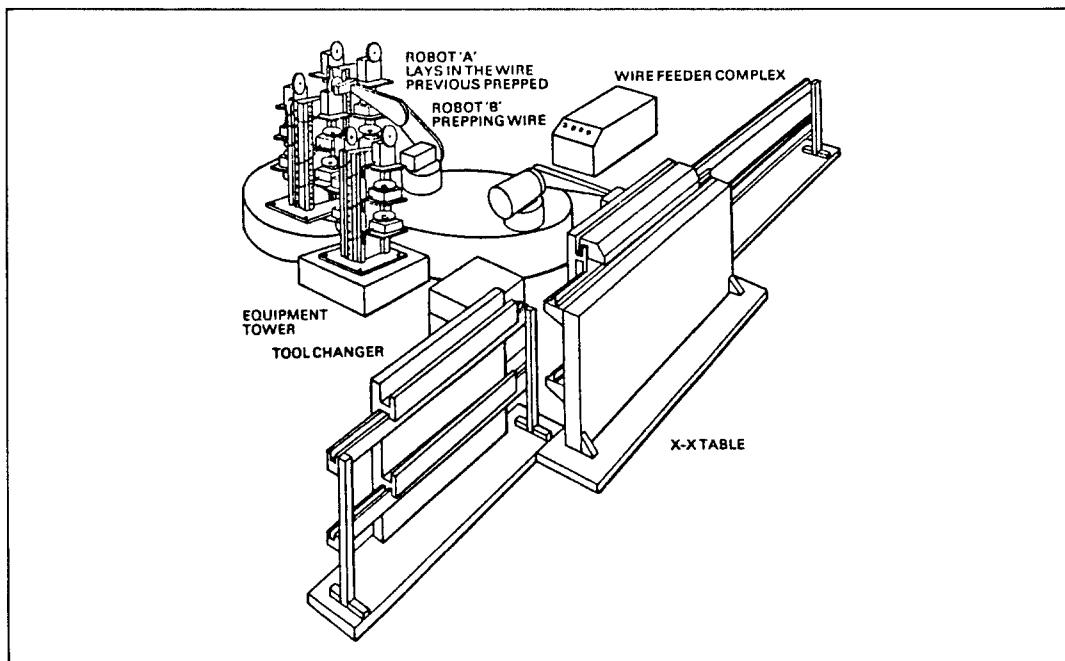


그림 3. Automatic wire harness fabrication system

### 1.3 앞으로의 과제

전선망 조립은 노동집약적인 분야이다. 특히, 전선망 조립을 위한 준비작업(전선분류, 특징지우기 등)이 너무 시간이 많이 걸리며(전체 조립 시간의 60% 정도) 지루한 작업이다. 더욱이 모든 종류

의 전선망은 각자가 고유의 조립판을 필요로 하며, 이렇듯 많은 커다란 조립판은 쓰여질 때까지 조립장 주위에 보관되어져야 하기 때문에 많은 작업량 면적을 불필요하게 차지하게 된다. 전선망의 자동조립을 불가피하게 만드는 가장 중요한 원인은 급상승하는 인건비이다. 치열한 제품 경쟁을 잘 극

복하기 위해서는 이와같은 노동집약적인 산업을 자동화하여 원가를 절감하는 것이 시급한 문제이다.

전술한 바와같이 세계 여러 나라에서 이미 전선망의 자동조립 시스템을 개발하고 있지만 대부분 응용분야가 극히 제한되어 있다는 한계점을 안고 있다. 똑같은 기종의 장치를 생산하는 하나의 회사에서도 고객의 기호와 급변하는 기술개발 속도 때문에 모델이 가속적으로 바뀌어진다. 이 모델이 바뀔때마다 전선망의 모양도 바뀌어져야 하여 이러한 변화에 적응하기 위해서는 flexible한 자동조립 시스템이 개발되어야 한다.

본 논문에서는 산업용 로보트를 이용하여 저렴하고 flexible한 자동 전선망 조립 시스템들을 설계하여 이용가치 분석법에 의해서 평가하였다.

## 2. 조립공정의 분석

전선망의 조립공정은 조립될 전선망의 형태에 따라서 다르다. 이 차이점이란 특정한 공정이 누락 혹은 추가된다거나 또는 공정을 수행하는 방법상의 차이(예를 들면 전선묶기 작업에서 끈으로 묶기, 테이프로 감기 등)를 의미한다. 전선망의 구성요소가 가장 복잡하고 다양한 자동차용 전선망을 조립할 경우, 다음과 같은 조립공정으로 크게 나눌 수 있다.

### 전선준비 작업

전선의 선택, 소요길이만큼 절단, 조립장으로 전선 이송하는 작업

### 전선끝의 마무리 작업

전선에 외복된 끝부분의 절연체를 제거하고 접촉핀 부착하는 작업

### 접촉핀 삽입 작업

전선끝에 부착된 접촉핀을 plug의 구멍속으로 삽입하는 작업

### 배선작업

전선을 배선도에 따라서 조립판 위에 가지런히 깔아놓는 작업

### 전선묶기 작업

배선된 전선들을 다발로 묶는 작업

전체 전선망 조립 시스템은 전술한 조립공정들의 순서와 각 공정의 수행방법에 따라서 구조 및 구성부품이 달라질 수 있다. 이 장에서는 전선망을 조립할시에 고려할 수 있는 가능한 조립순서

와 작업방법을 제시하여 보기로 한다.

### 2.1 조립순서에 의한 분석

#### (1) 전선끝 마무리·배선·삽입작업

로보트가 전선공급 장치로부터 소요길이만큼 절단되어 공급된 전선조각을 받아서 자동끌 마무리 기계에서 양쪽 끝의 절연체를 제거하고 접촉핀을 부착시킨다. 그 다음의 조립순서는 다시 2가지 방법이 가능하다. 첫번째 방법으로는 전선끝이 마무리된 두끝중 한쪽 끝(핀)을 plug의 구멍속에 삽입하고 조립판 위에 전선을 깔고 나머지 한쪽 끝을 다른 plug의 구멍속에 삽입하는 방법이며 모든 전선이 같은 방법으로 조립판 위에 완전히 배선되어진 후에 로보트는 취급공구를 전선 끈는 공구로 바꾸고 놓여진 전선들을 다발로 묶는다. (그림 4(a)) 이 방법에서는 전선끝이 전선인수과정 혹은 전선 끝마무리 공정에서 변형이될 우려가 있으며, 또한 접촉핀을 가지런히 plug의 구멍에 끼울수가 없기 때문에 먼저 삽입된 전선이 다음에 삽입될 plug의 구멍을 넓고 있을 수가 있는 관계로 다음 번 삽입이 많은 지장을 받게 된다. 두번째 방법으로, 로보트는 끝마무리 작업이 끝난 접촉핀을 바로 plug에 끼우지 않고 일단 plug 주위에 가지런히 놓여진 삽입이 편리하게 만들어진 보조구멍에 혹은 접촉핀 고정구에 고정시킨 후에, 전선을 배선도에 따라 깔고 그리고 다른 한쪽의 전선 끝(핀)을 다른 plug 주위의 적당한 위치에 고정시킨다. 모든 전선이 이와같은 방법으로 조립판 위에 놓여진 뒤에 비로소 로보트는 접촉핀을 집어서 plug의 구멍에 삽입하게 된다. (그림 4(b))

#### (2) 전선 끝마무리·배선·끌마무리·삽입작업

로보트는 전선공급장치에 배열되어 있는 여러가지의 전선중 필요한 하나를 선택해서 그 끝을 조립판 위의 삽입위치까지 갖다 놓는다. 이와 동시에 끝마무리 기계도 조립판위의 동일위치로 옮겨지며 삽입위치 근처에서 로보트가 전선의 한쪽 끝을 마무리 작업을 하고 plug에 삽입한다. 배선과정동안 전선은 전선공급 장치로부터 계속 당겨져 나오고 전선공급장치는 소요량만큼의 전선이 빠져나간 후 전선의 다른쪽 끝을 절단한다. 배선과정이 끝날무렵 로보트는 절단된 다른 한쪽 끝을 역시 시정된 삽입위치 근처에서 끝마무리 작업을 해서 다른쪽 plug에 삽입시킨다. 앞서의 방법은 로보트

가 고정배치되어 있는 전용 끝마무리 기계를 사용해서 끝마무리 작업을 하는 반면에 이 방법은 삽입시킬 장소, 즉 plug 근처의 지정된 위치에 끝마무리 작업을 한다는 것이 다르다고 볼 수 있다. 따라서 로보트가 지정된 장소에서 끝마무리 작업을 하기 위해선 자동전용 마무리 기계 대신에 로보트가 집어서 작업을 할 수 있도록 하는 간편화된 소형 마무리 기계가 필요하다(그림 4(c))

### (3) 배선 · 끝마무리 작업 · 삽입작업

로보트가 배선도에 따라 모든 전선을 우선 조립판 위에 배선한 후 끝마무리 작업 · 삽입작업을하게 된다. 배선과정에서 모든 전선끝은 삽입위치 근처에 가지런히 고정되어지고 그 상태에서 자동

끝 마무리(portable 기계) 기계를 사용하여 전선 끝의 절연체를 제거하고 접촉핀을 부착하여 접촉핀을 plug의 구멍에 삽입하게 된다. 이 방법은 배선할 전선을 한개씩 다루지 않고 동시에 다루어서 모든 필요한 작업을 동시에 한다는 것이 특징이다(그림 4(d))

### (4) 끝마무리 · 삽입 · 배선

자동끝마무리 기계에 의해서 양단이 마무리된 전선을 전선공급 장치에 의해서 조립장소로 이송시키면 로보트는 이 전선들을 집어서 한쪽끝을 삽입하고 다른쪽 끝을 배선도에 따라 배선하면서 삽입하게 된다. 이 작업에서 로보트가 하는 일은 다른 방법들과는 달리 삽입 및 배선작업만을 하게 된다.

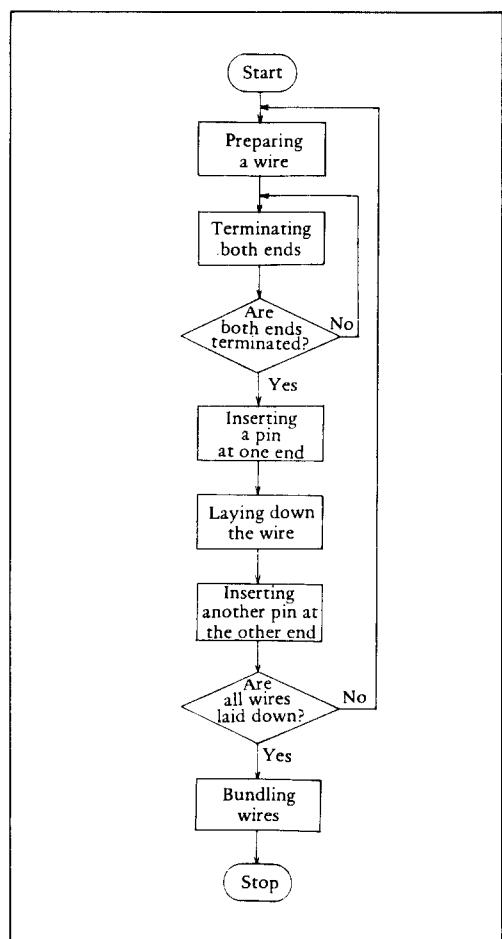


그림 4.(a) 조립공정 flow chart 조립순서(1)

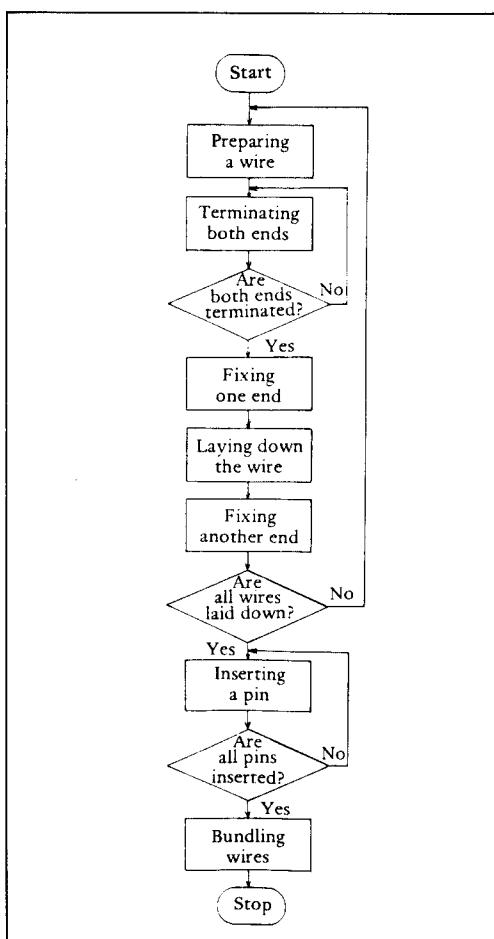


그림 4.(b) 조립공정 flow chart 조립순서(1)

따라서, 로보트에 의한 번거로운 끝마무리 작업을 피할 수 있다는 것이 특징이다. (그림 4 (e))

## 2.2 작업방법에 의한 분석

전술한 바와 같이 전선망조립 system의 구조는 각 공정의 수행 방법에 따라서 구조가 적절하게 바뀌어야 한다. 전술한 5개의 조립공정 순서중 전선준비작업, 전선끝마무리 작업 및 접촉핀 삽입 작업들이 주로 전체 조립시스템의 기능상의 구조에 영향을 미칠 수 있다.

이 절에서는 상기 3 가지 조립공정에 대하여 각각 가능한 작업방법을 제시하여 이들 방법을 적절히 조합하여 가장 효율적인 작업 방법이 무엇인가

를 조사하려고 한다. 이러한 작업방법 제시 및 조합은 각 조합의 실현 가능성을 조사하여 그중 합리적인 조합들을 선정하는데 기초가 된다고 볼 수 있다.

### 2.2.1. 각 공정의 작업방법

#### (1) 전선 준비 작업

전선 준비 작업, 즉 전선공급, 적정길이의 절단 등의 작업에는 여러 방법을 고려할 수 있으나 다음의 3 가지 방법을 고려해 보기로 한다.

(a) 전선은 조립장 한쪽편에 설치된 전선공급 장치에 의해서 공급되며, 모든 전선들이 로보트가 잡기 쉽도록 가지런히 전선공급장치 밖으

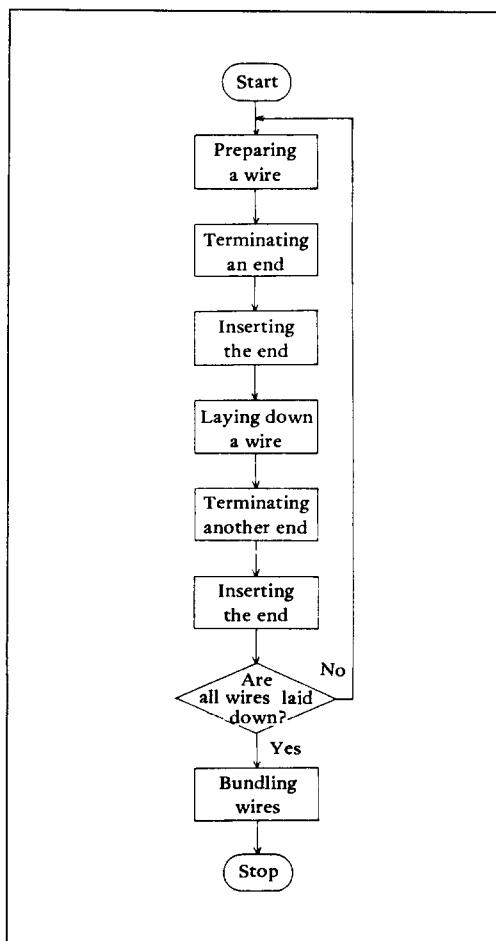


그림 4.(c) 조립공정 flow chart 조립순서(2)

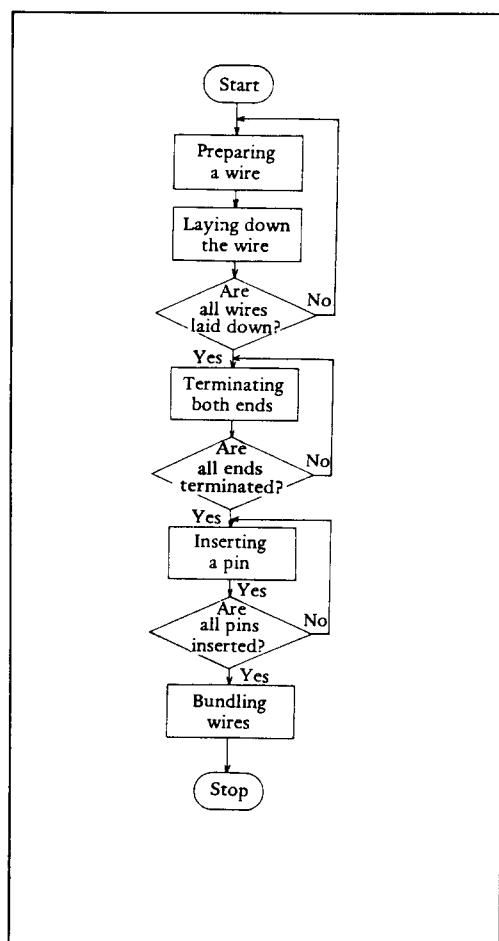


그림 4.(d) 조립공정 flow chart 조립순서(3)

로 뛰어나와 있다. 로보트는 그중 필요한 하나의 전선을 선택해서 잡고, 소요길이의 전선을 취급공구에 내장되어 있는 중간 저장소에 저장한다. 전선을 저장하는 동안 전선공급장치는 길이를 측정하고 절단하게 되며, 이 절단된 전선의 끝도 역시 로보트가 잡아서 다음 작업에 준비하게 된다. (그림 5 참조)

(b) 전선들은 역시 조립장 한쪽편에 설치된 전선공급 장치에 의해 공급되거나 취급공구내에 중간 저장소가 없다. 따라서 로보트가 전선의 한쪽 끝을 잡아서 배선하는 동안 전선은 공급장치로부터 직접 당겨져서 이송된다. 이 과정동안 공급장치는 전선의 길이를 측정하고 절단해 주는 역할

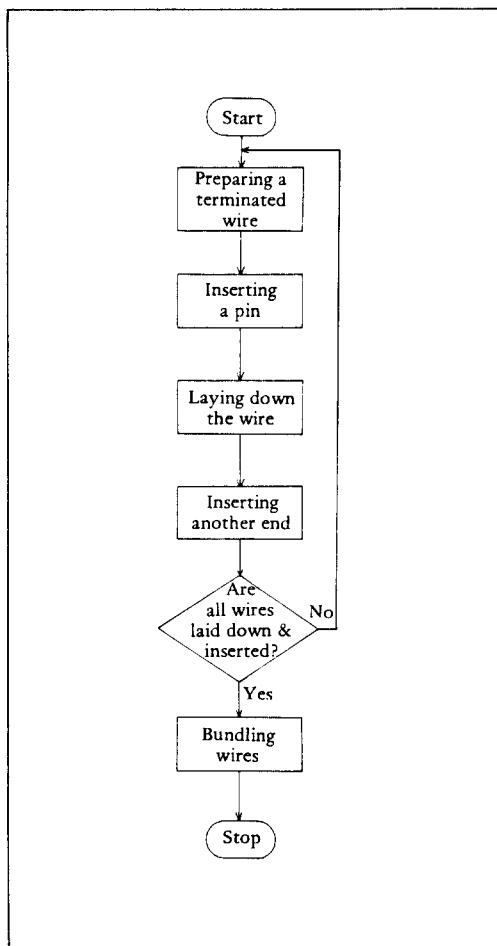


그림 4. (e) 조립공정 flow chart 조립순서(4)

도 할 수 있어야 한다. (그림 6, 7, 9, 10 참조)

(c) 조립장 주위에는 전선 공급장치가 필요 없으며 모든 전선은 조립장위의 적당한 위치에 자리잡고 있는 취급공구에 직접 저장되어 있다. 즉, 모든 전선끝이 전선취급공구에 가지런히 배열되어 저장되어 있으며 취급공구는 일정한 위치에 고정되어 있다. 따라서 로보트는 취급공구에 배열된 전선끝을 잡아서 다음 작업을 할수 있다. 이 취급공구는 전선선별 기능 및 절단기능을 가지고 있으으며, 선택된 전선만 로보트가 잡을 수 있도록 공구 밖으로 밀어내서 로보트의 다음 단계 작업이 가능하게 하도록 되어 있다. 이 경우 전선 길이측정장치는 필요없다(그림 6 참고).

#### (2) 전선끝 마무리 작업

이 작업은 전용마무리 기계를 사용하느냐 아니면 소형 운반 가능한 마무리 기계를 사용하느냐에 따라 작업방법이 달라질 수 있다.

(a) 모든 자동마무리 기계가 로보트 작업장 주위에 정열되어 있어서 로보트가 끝마무리 작업을 쉽게 할 수 있도록 되어 있다. 전선에 따라서 접촉핀의 종류·전선굵기 등이 다르기 때문에 여러 형태의 전용기계가 필요하다. 전용기계의 선별은 로보트 자신에 의해서 수행되어야 한다(그림 5, 6).

(b) 위의 경우와는 달리 마무리될 전선끝이 삽입 위치에 있는 경우에는 로보트는 끝마무리 기계를 전선끝이 놓여있는 위치로 운반하여 끝마무리를 해야 한다. 따라서 자동전용기계를 간편화시켜서 로보트로 하여금 운반할 수 있게 소형화해야 될 필요성이 있다(그림 7, 8, 9, 10 참조).

#### (3) 접촉핀의 삽입작업

삽입작업은 끝마무리된 접촉핀을 원하는 방향으로 잡아서 plug에 삽입하는 작업을 뜻하는데 한대의 로보트를 사용하느냐 혹은 2대의 로보트를 사용하느냐에 따라 삽입방법이 달라질 수 있다.

(a) 접촉핀 삽입작업이 한대의 로보트에 의해서 행해진다.

(b) 접촉핀 삽입작업이 2대의 로보트에 의해서 행해진다. 이중 한대의 로보트는 취급공구를 삽입위치에 갖다놓고 전선 끝마무리 작업을 수행한 후 곧바로 삽입하는 역할을 하고 다른 한대는 접촉핀의 삽입행로를 잡아주는 Guide를 삽입위치에 갖다 놓아서 접촉핀이 원활히 삽입 되도록

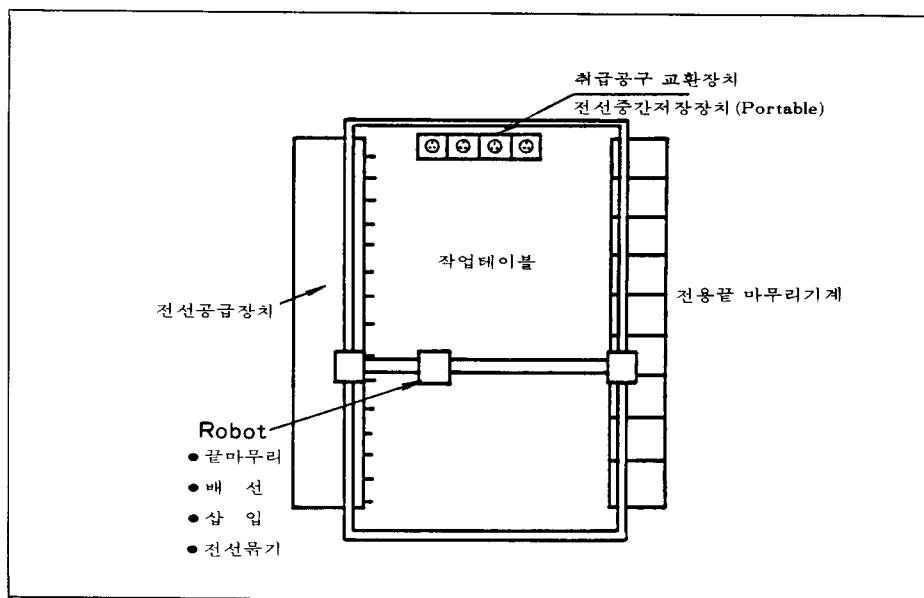


그림 5. System configuration (I)

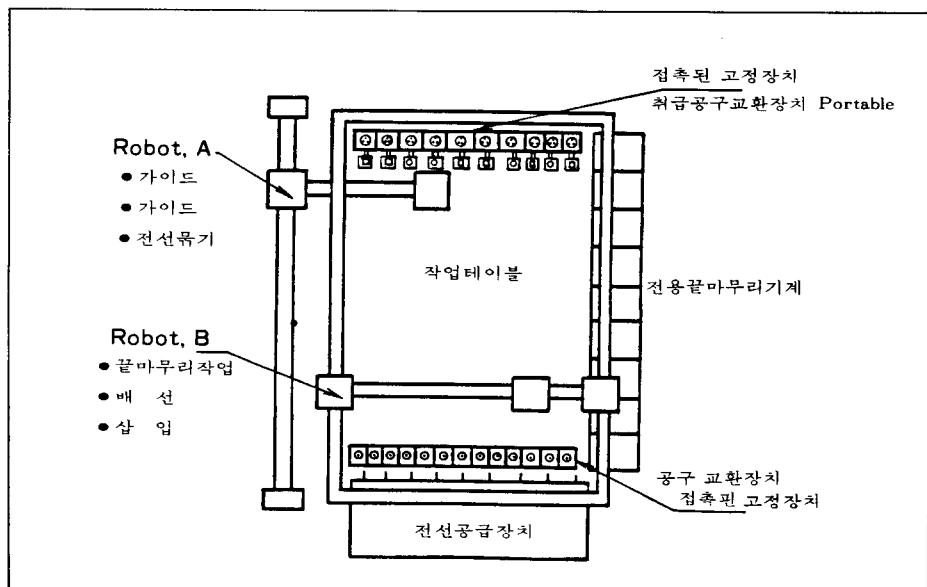


그림 6. System configuration (II)

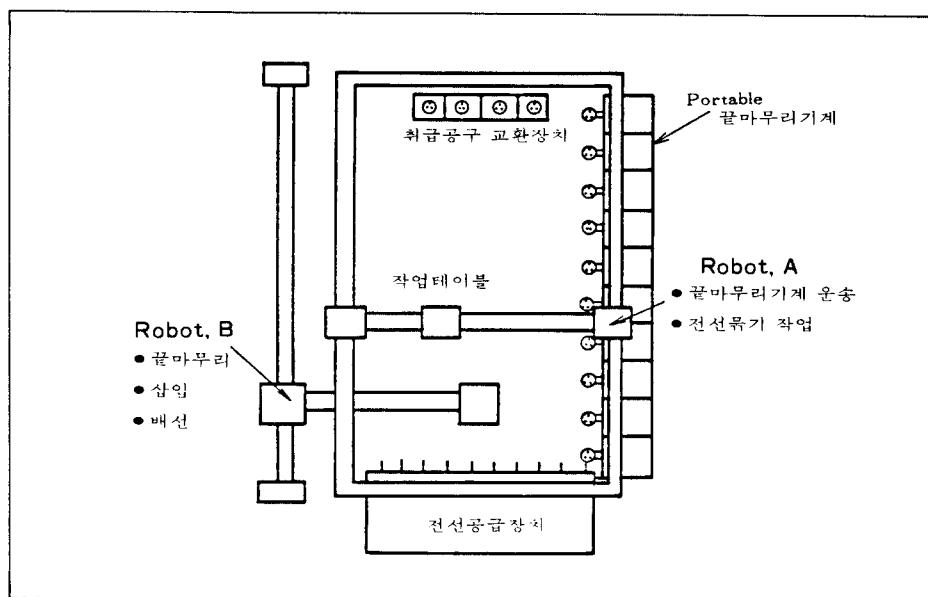


그림 7. System configuration (III)

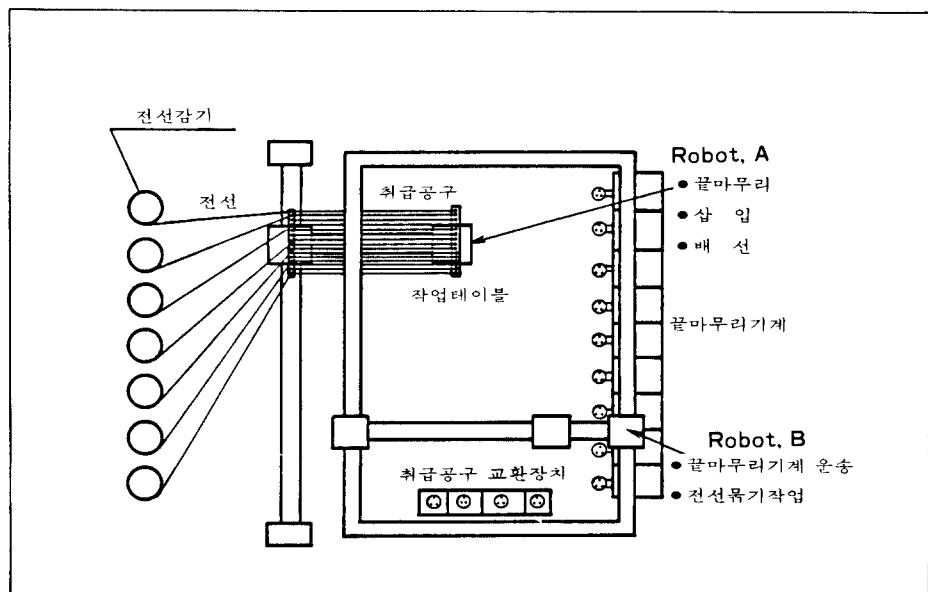


그림 8. System configuration (IV)

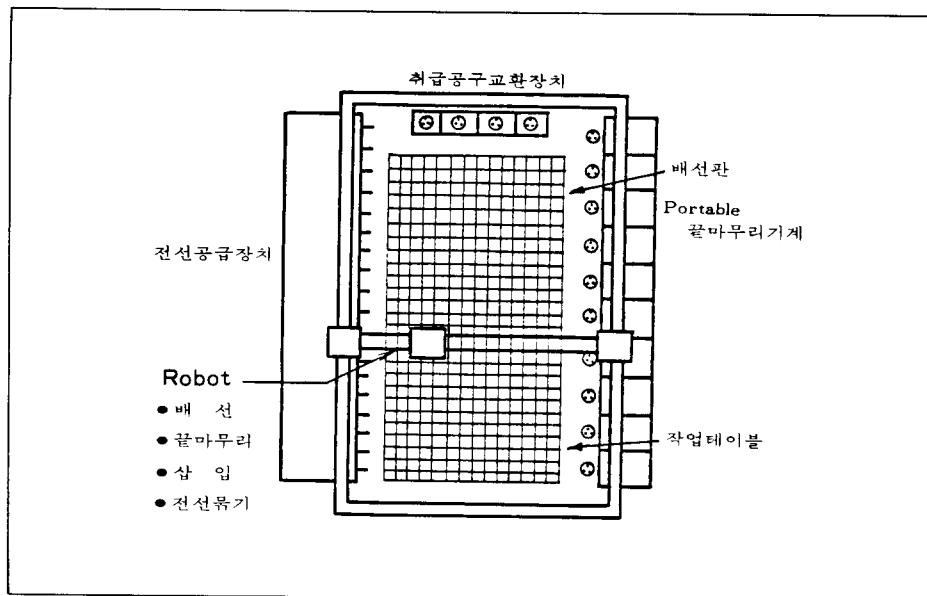


그림 9. System configuration (V)

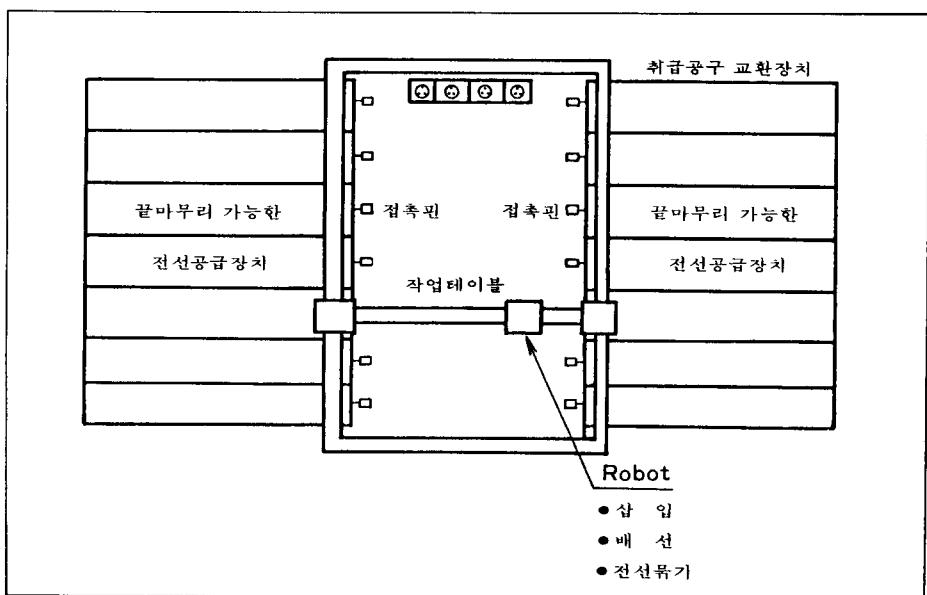


그림 10. System configuration (VI)

Guide 를 붙잡아 주는 역할을 한다.

### 2.3 조립시스템의 조합

2.1 장과 2.2 장에서 소개된 조립순서와 작업

표 1. 조립시스템의 구조 및 작업방법

System	특 징	
	구 조	작업방법
I (그림 5)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 하나의 로보트로 작업</li> <li>○ 전선 중간저장소를 가진 취급공구</li> <li>○ 끝마무리 전용기계들은 로보트 주위에 고정배치</li> <li>○ 전선밀어내기, 길이측정, 절단기능을 가진 전선공급 장치가 필요</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 전선의 종류에 따라 필요한 취급공구가 로보트에 장착된다.</li> <li>○ 필요한 길이 만큼의 전선은 취급공구에 있는 중간저장소에 저장한다.</li> <li>○ 로보트는 취급공구 양단에 나와있는 양 끝을 잡고 끝마무리 전용기계에 가지고 가서 양끝을 끝마무리 한다. 조립순서는 그림 4(a) 참조</li> </ul>
II (그림 6)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 2대의 로보트로 작업</li> <li>○ 그외의 구조는 I과 동일</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 삽입과 같은 어려운 작업을 2개의 로보트에 의해 협동작업한다.(취급공구가 간단해지는 이점이 있다.)</li> <li>○ 조립순서는 그림 4(b) 참조</li> </ul>
III (그림 7)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 2대의 로보트로 작업</li> <li>○ 전선 중간저장소 필요없음</li> <li>○ 소형 끝마무리 기계들은 로보트 주위에 설치하여 교환 가능토록 배치</li> <li>○ 길이측정, 절단기능을 가진 전선 공급 장치가 필요</li> <li>○ 절단된 전선 끝 인식기능을 가진 취급 공구 필요</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 로보트는 전선의 한쪽 끝만 잡으며 배선 도중 전선은 공급장치로부터 당겨지고 공급장치는 길이 측정 후 절단한다.</li> <li>○ 끝마무리 기계는 삽입위치 근처까지 운반 가능해야 한다.</li> <li>○ 조립순서는 그림 4(c) 참조</li> </ul>
IV (그림 8)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 2대의 로보트로 작업</li> <li>○ 전선공급장치는 별도로 필요없고 취급공구내에 전선배열, 고정, 절단장치가 장착됨</li> <li>○ 그외의 구조는 III과 동일</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 로보트는 취급공구내에 가지런히 설치된 모든 전선 끝을 항상 가지고 다닌다.</li> <li>○ 그외의 작업은 III과 동일 조립순서는 그림 4(d) 참조</li> </ul>
V (그림 9)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 한대의 로보트로 작업</li> <li>○ 배선도에 따라 배선하기 위해 선 조립판 위에 수많은 전선 고정장치가 필요함.</li> <li>○ 그외의 구조는 III과 동일</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 그외의 작업방법은 III과 동일</li> <li>○ 조립순서는 그림 4(b) 참조</li> </ul>
VI (그림 10)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 한대의 로보트로 작업</li> <li>○ 양쪽 끝의 끝마무리 작업까지 가능한 전선공급장치들이 필요함</li> <li>○ 별도의 끝마무리 기계들이 필요없음</li> <li>○ 전선공급장치로부터 전선인수를 위한 특별한 장치가 필요함.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 조립순서는 그림 4(e) 참조</li> </ul>

방법들을 조합함으로써 여러 형태의 조립시스템들을 구상할 수 있다. 가령 작업방법보다 순서에 역점을 두어 생산효율을 높일 수 있는 시스템을 구성할 수 있고 반면에 조립순서보다는 조립방법에 치중하여 조립을 간편하게 할 수 있는 시스템을 구상할 수도 있다. 조립방법과 순서에 입각한 여러 가능한 조합중에서 효율적이면서도 실현 가능한 시스템을 선정하여 그 구조들을 그림(5)~(10)에 비교하여 도시하였고 도표 1에는 각 시스템이 갖는 작업방법상의 특징을 비교, 검토하였다. 각 조립시스템의 구조상의 특징을 살펴보면,

\* 시스템 I : 그림 5에서 보는 바와 같이 로보트는 필요한 길이만큼 이미 절단되어서 전선뭉치로 보관되어 있는 중간저장 취급공구를 사용하여 작업하게 되어 있는데, 끝마무리 전용기계가 고정 배치되어 있다.

\* 시스템 II : 그림 6에서 보는 바와 같이 위의 시스템과 비슷하며 2대의 로보트에 의해 작업이 이루어진다.

\* 시스템 III : 그림 7에 있는 시스템 III은 2대의 로보트에 의해서 작업이 이루어지며 중간전선 저장공구가 필요없고 portable 끝마무리 기계가 필요하다.

\* 시스템 IV : 2대의 로보트로 작업하며 전선공급장치는 별도로 필요없고 대신 모든 전선이 가지런히 설치되어 있는 전용전선 취급공구를 사용한다(그림 8 참조).

\* 시스템 V : 한대의 로보트로 작업하며 배선을 위해 전선을 고정시킬 고정장치(배선판 위의 holding 장치)가 필요하다.(그림 9 참조)

\* 시스템 VI : 한대의 로보트로 작업하며 끝마무리 기계가 필요하지 않다(그림 9 참조)

### 3. 조립시스템들의 평가 및 선정

조립시스템의 평가목적은 앞장에서 조사된 6개의 조립시스템중 전선망의 자동조립을 위하여 가장 알맞는 하나의 시스템을 선정하는데 있다. 가장 적합한 조립시스템을 가능한한 객관성 있게 선정하기 위하여서는 우선 각 시스템들이 어떤 체계와 기준에 바탕을 두어 평가되어져야 한다. 이러한 체계적인 평가를 위해서 이장에서는 첫째, 최종선정에 영향을 미치는 평가기준의 조사 둘째, 이용 가

치 분석법이란 평가기준에 입각한 각 조립시스템의 평가 세째, 가장 알맞는 시스템의 선정 등의 순서로 기술하고자 한다.

#### 3.1 평가기준의 조사

##### (1) 유연성(flexibility)

조립시스템이 갖을 수 있는 유연성은 대개 다음과 같이 대별할 수 있다.

(a) 응용 유연성 : 커다란 장치 변경없이 여러 가지 조립파제(즉, 여러 형태의 전선망)에 응용할 수 있는 가능성

(b) 적응 유연성 : 새로운 형태의 조립파제에 적응하기 위해 필요로 하는 공정 및 장치 변경의 난이도

(c) 생산량 유연성 : 생산량 변화에 대처할 수 있는 능력

##### (2) 신뢰성(reliability)

신뢰성에는 여러가지 요인들이 복합적으로 고려되어 영향을 미칠 수 있으나 다음과 같이 대별해서 기술할 수 있다.

(a) 정밀도 : 로보트를 이용한 자동조립 시스템에서는 로보트의 반복위치오차, 고정구의 오차, 기타 주변 보조 기기들의 오차 등이 전체시스템의 정밀도에 영향을 미치며 이러한 오차들은 서로 가산되어 심각한 조립실패의 원인이 된다.

(b) 동작상의 안전성 : 전체 시스템은 격심한 하중변화 등과 같은 조립상황의 변화에 의해서 적게 영향을 받아야 하며, 취급공구 등 조립보조장치들은 구조가 간단하고 견고하게 설계되어야 한다. 또한 여러가지 조립장치들이 동시에 함께 작동될 경우 충돌위험을 철저히 배제할 수 있어야 한다.

(c) 제품의 질 : 제품의 균일성이나 미관, 그리고 사용시 쉽게 훼손되지 않는 취급상의 안전성(예로서, 전선나무가 느슨하게 묶어졌거나 일부 전선이 늘어뜨려져 있을 경우)이 보장이어야 한다.

(d) 조립방법 : 조립순서나 작업방법이 얼마나 잘 선정되어 설계된 조립시스템이 냐에 따라 효율이 달라져서 신뢰성에 영향을 미친다.

(e) 조립시스템의 수명 : 시스템구성장치의 마모, 노쇠현상 등이 조립작업의 신뢰성에 많은 영향을 미친다.

##### (3) 조립시간

전체 조립시간에 영향을 미치는 인자로서는 조립공정수, 공구교환수, 로보트의 대수, 보조장치의 성능 및 로보트의 작업속도들을 들 수 있는데 이 모든 인자가 생산성에 관련된다.

#### (4) 장치비용

장치비용은 조립시스템의 조립방법을 어떻게 선정해서 구성부품을 조합하느냐에 따라 많이 달라질 수 있으며 시스템 선정에 가장 중요한 인자의 하나이다. 투자비용으로는 로보트투자비, 취급공구 개발비 및 주변기계 개발비(전선공급장치, 끝마무리기계, 전선묶는 기기, 공구교환장치, 작업 테이블)를 들수 있는데 경우에 따라서는 치공구 및 주변기계 개발비가 로보트 투자액보다 훨씬 상회할 수 있다.

#### (5) 인건비

프로그램 짜는데 소모되는 인건비, 시스템을 운전하는데 필요한 인건비 등을 들 수 있다.

#### (6) 소요면적(설치에 필요한 면적)

로보트 주변기계 및 공구를 설치하는데 필요한 면적과 조립테이블에 필요로 하는 면적 등을 고려할 수 있다.

### 3.2 평가 및 선정

2 장에서 조사된 6개의 시스템을 이용 가치분석법(Nutzwertanalyse)에 의하여 평가하고 다음 단계로서 가장 효율적인 시스템을 선정해야 한다. 이용가치분석법은 체계적인 의사결정을 하기 위한 수단이며, 사용자마다 달라질 수 있는 주관적인 가치개념에서 출발한다. 이용가치 분석방법에 의할 것 같으면 미리 설정된 목적의 성취도에 따라서 위의 여섯 조립시스템의 우열순위가 정해질 수 있다. 이용가치분석은 다음과 같은 4 가지 작업단계를 거쳐서 수행될 수 있다.

- 평가기준에 따른 목적성취도의 조사
- 평가기준의 weighting(중요도)
- 목적 값의 산출
- 이용가치의 산출

이용가치 분석에서는 경험적으로 5 ~ 10 개의 평가기준을 사용하는 것이 추천된다.<sup>[4]</sup> 전선망조립 시스템의 평가에 있어서는 매우 많은 평가 기준들이 독자적으로 고려되어 질 수 있으나 평가기준의 weighting 시에 많은 어려움이 따르므로 3.1 절에서 언급한 바와 같이 비슷한 것끼리 크게 묶어

서 6개의 평가기준으로 압축할 수가 있다. 목적성취도의 조사에 있어서는 압축된 6개의 평가기준에 대해서 개괄적으로 목적성취도를 부여 할 수도 있으나 좀더 객관성을 부여하기 위하여 6개의 평가기준을 세분하고(3.1 절 참조) 각각에 대한 목적성취도를 부여 한 후에 weighting(중요도)을 부여한 후 마지막에 6개의 평가기준에 대한 목적성취도를 산출했다.(표 2 참조) 목적값은 목적성취도와 같은 의미를 갖는다. 목적성취도의 값은 각 평가기준마다 양(quantity)이나 차원(원,  $m^i$ , 초등)에 있어서 다르다. 이와같은 양이나 차원에 있어서 상이한 목적성취도에다 weighting factor를 곱하는 것은 의미가 없으므로 각 평가기준마다 목적성취도의 양이나 차원을 동일하게 만들어 주는 것이 필요하다. 이와같은 동일화작업 과정을 거친 목적성취도가 바로 목적값이 된다. 여기서는 각 평가기준에서 최대목적 성취도를 갖는 조립시스템을 10점으로 하고 나머지는 선형변환했다.(표 3 참조). 즉,

$$(목적값)_i = (\text{목적성취도})$$

$$\times \frac{10}{(\text{목적성취도})_{i \max}} \quad \dots \quad (i = 1, 2, 3 \dots 6)$$

여기서  $i$ 는 조립시스템에 대한 index이다. 이렇게 구해진 목적값에 weighting factor를 곱함으로서 각 평가기준에 대한 부분이용값이 산출된다.(표 3 참조) 즉,

$$(\text{부분이용값})_j = (\text{목적값})_i \times g_j \quad \dots \quad (j = 1, 2, \dots 6)$$

여기서  $j$ 는 평가기준에 대한 index이며  $g_j$ 는 각 기준에 대한 weighting factor이다. 이용가치는 각 조립시스템마다 모든 평가기준의 부분 이용값을 더하는 값으로 정의된다(표 3 참조).

즉,

$$(\text{이용가치})_i = \sum_{j=1}^6 \{(\text{목적값})_{ij} \times g_i\}$$

$$\text{혹은 } \sum_{j=1}^6 (\text{부분이용값})_{ij}$$

각 조립시스템에 대해 산출한 이용가치값이 표 3의 하단에 주어져 있으며 이 이용가치가 큰 순으로 각 조립시스템의 우열순위가 결정된다. 물론

이용가치가 가장 큰 시스템이 3.1절에서 고려된 평가기준에 의하면 가장 효율적이고 적절한 시스템으로 선정되어질 수 있다.

이와같은 이용가치 분석결과 시스템 I이 가장 알맞는 전선망조립 시스템으로 선정되었다(표3 참조). 표에 의할 것 같으면 시스템 I은 전용끌마무리기계의 사용 등으로 신뢰성면에서 다른 조립시스템보다 우수하고 간편한 전선휘급 장치와 저장소의 사용으로 로보트의 사용대수를 줄여 장치

비를 줄이는 효과를 가져오고 또한 작업을 간편화시키는 이점이 있는 것으로 나타났다. 그다음에 알맞는 조립시스템을 시스템 II, 시스템 V의 순으로 되어 있다.

#### 4. 결 론

본 논문의 목적은 조립순서 및 방법에 비추어 가능한 여러 조립시스템을 조사하고 체계적인 방

표 2. 목적성취도의 산출도

평 가 기 준		Weighing factor	조립 시스템					
			I	II	III	IV	V	VI
		g	k g.k					
유연성	응용 유연성	0.4	3 1.2	3 1.2	3 1.2	3 1.2	5 2	2 0.8
	적응 유연성	0.4	4 1.6	4 1.6	3 1.2	2 0.8	5 2	1 0.4
	생산량 유연성	0.2	2 0.4	3 0.6	3 0.6	3 0.6	2 0.4	3 0.6
	목적성취도( $\Sigma$ g.k)		3.2	3.4	3	2.6	4.4	1.8
신뢰성	정밀도	0.3	3 0.9	3 0.9	2 0.6	2 0.6	2 0.6	3 0.9
	안정성	0.35	4 1.4	3 1.05	1 0.35	1 0.35	2 0.7	3 1.05
	제품의 질	0.1	3 0.3	3 0.3	3 0.3	4 0.4	5 0.5	4 0.4
	조립방법	0.15	3 0.45	4 0.6	2 0.3	2 0.3	1 0.15	1 0.15
	수명	0.1	3 0.3	3 0.3	2 0.2	2 0.2	2 0.2	3 0.3
	목적성취도( $\Sigma$ g.k)		3.35	3.15	1.75	1.85	2.15	2.8
조립시간	공정수	0.1	3 0.3	3 0.3	3 0.3	4 0.4	3 0.3	5 0.5
	공구교환수	0.15	4 0.6	2 0.3	2 0.3	2 0.3	1 0.15	4 0.6
	로보트수	0.4	2 0.8	4 1.6	4 1.6	4 1.6	2 0.8	2 0.8
	보조기기성능	0.1	3 0.3	3 0.3	3 0.3	3 0.3	3 0.3	4 0.4
	작업속도	0.25	4 1.0	4 1.0	2 0.5	2 0.5	2 0.5	5 1.25
	목적성취도( $\Sigma$ g.k)		3	3.5	3	3.1	2.05	3.55
장치비	로보트	0.5	4 2	2 1	2 1	2 1	4 2	4 2
	취급공구	0.1	3 0.3	3 0.3	3 0.3	2 0.2	2 0.2	3 0.3
	주변기계	0.4	3 1.2	3 1.2	3 1.2	4 1.6	3 1.2	1 0.4
	목적성취도( $\Sigma$ g.k)		3.5	2.5	2.5	2.8	3.4	2.7
인건비	프로그램비용	1	4 4	3 3	3 3	3 3	4 4	4 4
	목적성취도( $\Sigma$ g.k)		4	3	3	3	4	4
소요면적	로보트	0.5	4 2	3 1.5	3 1.5	3 1.5	4 2	4 2
	주변기계	0.5	4 2	4 2	4 2	5 2.5	4 2	1 0.5
	목적성취도( $\Sigma$ g.k)		4	3.5	3.5	4	4	2.5

k = 평가지수 : 5 = 매우양호, 4 = 양호, 3 = 보통, 2 = 불량, 1 = 매우불량

표 3. 이용가치의 산출도

법으로 평가해서 하나의 조립시스템을 선정하는데 있다. 여기서는 전선망 조립을 위한 가능한 6개의 시스템이 구상되었고 이들을 평가하기 위해 19개의 평가기준이 고려되었다. 이와같은 많은 alternative 와 평가기준이 주어진 상태에서 합리적으로 의사결정(한개의 시스템 선정)을 하기란 매우 어렵다. 따라서 이용가치 분석법을 도입해서 체계적으로 각 조립시스템을 평가하고 이용가치가 가장 높다고 평가된 하나의 시스템을 선정했다. 이 이용가치 분석법은 체계적인 평가방법이란 점에서 가치가 있으며 이 방법은 어디까지나 이용자의 주관적인 가치개념에서부터 출발했기 때문에 평가후 선정결과에 대해 타당성을 증명할 수는 없다. 본 논문에서는 평가기준중 신뢰성(35%)이 가장 중요시 고려되어졌으며 그다음 장치비(30%), 조립시간(15%), 유연성(10%), 인건비(5%), 그리고 소요면적(5%)의 순으로 고려되어졌다. 결과로 시스템 I, 시스템 II의 순으로 선정되었으며 앞으로의 과제는 산업계에 실제로 응용될 수 있도록 선정된 시스템에 대한 구체적인 요소 설계가 되어야 하며 현재 연구중이다.

## REFERENCES

1. Daegab Gweon; "Kabelbaummoutage-Stand der Technik und Grobkonzeption lines flexible automatisierten Montagesystems", Diplomarbeit, IPA, Universität Stuttgart, 1984.
2. F.F. Willic, "A robotic wire harnessing Systems" Assembly Automation, pp. 44-48 Feb., 1983.
3. Zangemeister, C.: "Grundzuge der Nutzwertanalyse von Projektalternativen", Berlin, Aufbauseminar Systemtechnik III, 1971.
4. H.-J. Warnecke ; H.-G. Lohr ; W. Kiener: "Montagetechnik – Schwerpunkte der Rationalisierung"; Krausskopf, 1975.
5. H.J. Warnecke, J. Walther and G. Schlaich "Flexible automated wiring harness assembly", 8th International Conference on Production Research", pp. 453-460, Stuttgart, W. Germany, 1985.
6. A. Fryatt, "Roboter übernehmen Kabelbaum-Herstellung" DRART 33, pp. 21-22, 1982.
7. R. Scholten, "Der Drahtzieher heit Puma", Robeter (3/84), pp. 14-16, March, 1984.
8. J. Maskwo. and P. Marr, "CAD/CAM bei Kabelbäumen", NC-Praxis, pp. 86-89, Dec., 1983.
9. J. Maskow and M. Meckelnburg, "IPL-Konzept zur Rationalisierung und Humanisierung der Produktion", ZWF'78 (1983) 11, pp. 514-517, 1983.
10. J.A. Henderson, "The robotic production of electrical wiring harnesses", Proc. 15th Annu. Connectors and Interconnection Technology. pp. 211-222, Philadelphia, U.S.A., 1982.