

유연 조립셀의 개발에 관한 연구

°박태형, 남윤석, 이종길, 조세진, 이범희
서울대학교 제어계측공학과 자동화시스템공동연구소

A Study on the Development of a Flexible Assembly Cell

T.H. Park, Y.S. Nam, J.K.Lee, S.J. Cho, B.H. Lee
Dept. of Control & Instrumentation Eng., Automation & Systems Research Institute
Seoul National University

Abstract

A pilot system for flexible automatic assembly has been built at ASRI in Seoul National University. The system is designed for being capable of assembling different variants and products. The system consists of three industrial robots, four free-flow conveyors, automatic tool changers, RCC and fixtures. This paper describes the concept and the technical solutions of the developed flexible assembly cell. Results of performance evaluation using colored petri net are also presented and discussed.

1. 서론

상품수요의 다변화는 多品種小量生産이 가능한 생산시스템의 출현을 요구하게 되었으며, 공장자동화가 추구하는 방향은 專用生産시스템의 구축으로부터 柔軟生産시스템 (FMS: Flexible Manufacturing System)의 구축으로 이행되고 있다. 유연생산시스템은 '최소의 설비변경과 최소의 노력으로 제한된 범위의 생산모델변화에 대처할 수 있는 자동생산시스템'으로 정의될 수 있다. [1][2] 따라서 유연생산시스템은 생산설계, 가공, 조립, 물류시스템등을 포함하는 포괄적인 개념이다. 그러나 기존에 구축된 유연생산시스템은 대부분 가공시스템의 유연성확보에 제한되었으며, 가공-조립의 통합된 유연시스템의 개발사에는 매우 드물다. 그 주된 이유는 가공된 기계부품의 자동조립은 주로 전용기의 사용으로 이루어지며, 전용장비로 구성된 조립시스템의 유연성확보는 매우 어렵기 때문이다. [3] 본 논문은 가공-조립이 연계된 유연생산시스템을 위하여 구축된 로봇조립셀의 개발사태를 제시하고자 한다.

서울대학교 자동화시스템 공동연구소 내에 구축된 본 조립셀은 공장내의 가공셀에서 직접 가공된 기계부품을 조립하여 모형 모터 소형, 중형, 대형을 생산한다. 조립시스템의 유연성확보를 목표로하여 개발된 본 조립셀의 특징은 다음과 같다.

- (1) 동일조립라인에서 동시에 異型 모델의 조립작업이 연속적으로 수행된다.
- (2) 전용조립기 및 전용부품공급기의 사용을 배제한 순수한

로봇 조립작업 구현하였으며, 나사체결, 베어링삽입 등 기존 조립라인에서 주로 전용기에 의존하는 정밀한 기계조립작업이 모두 로봇에 의하여 수행된다.

(3) 가공셀 및 자동창고와 연계된 통합시스템의 구축을 위하여, 조립부품의 투입/반출은 모두 무인운반차에 의하여 수행된다.

유연성을 갖는 로봇조립셀의 구축을 위하여 셀 Layout 설계, 컨베이어시스템 및 로봇시스템의 설계가 이루어지며, 정밀조립용 치공구등의 기구부가 설계, 제작된다. 조립셀을 구성하는 자동화기기, 셀제어기, 공장제어컴퓨터 사이의 다양한 정보교환을 위하여, 디지털 I/O, RS232C, Ethernet 에 의한 셀 통신망이 구축된다. 셀제어컴퓨터는 셀의 통합제어 및 감시기능을 담당하며, 셀의 유연성 확보를 지원하는 운영제어프로그램이 개발된다. 또한 페트리네트를 사용한 모델링을 통하여 구축된 조립셀의 성능평가 및 향후의 성능예측이 이루어진다.

2. 조립셀 구성

2.1 조립공정 설계

본 조립셀에서 조립하는 모형모터의 조립도는 <그림 1> 과 같다. 각 모터는 샤프트캡, 엔드캡, 케이스, 로터, 베어링 및 볼트로 구성되며, 외경치수 80, 65, 50 mm 를 갖는 대형, 중형, 소형의 제품군으로 분류된다. 조립작업은 3 대의 로봇에 의하여 수행되며, 그 조립공정은 <그림 2> 와 같이 9 개의 공정으로 분류된다. 로봇 1 은 베어링 삽입(1-A), 엔드캡 메이팅(1-B), 나사체결(1-C) 공정을 수행하고, 로봇 2 는 로터반전(2-A), 베어링삽입(2-B), 케이스반전(2-C), 로터삽입(2-D) 의 공정을 수행한다. 마지막으로 로봇 3 은 샤프트캡 메이팅(3-A), 나사체결(3-B)공정을 수행하여 조립을 완료 한다. 로봇 자유도를 고려하여 로봇 1 과 로봇 3 은 SCARA 형의 4축 수평다관절형 로봇 (FARA, 삼성전자)[5] 이며, 로봇 2 는 6축 수직다관절형 로봇 (ArcMate, 대우중공업)[4] 이다. 크기가 다른 제품에 대하여도 그 공정에 변화가 없도록 제품설계가 이루어진다. 각 로봇조립공정에 필요한 조립공차는 약 0.1 - 1 mm 로서, 전용기 사용을 배제한 로봇조립을 위하여 매우 높은 로봇 및 주변시스템의 위치정밀도가 필요하다.

2.2 조립셀 LAYOUT 설계

모형모터에 대한 조립이 이루어지는 조립셀의 전체평면도는 <그림 3> 과 같다. 로봇 3 대와 1 대의 조립 컨베이어시스템, 3 대의 부품 컨베이어시스템으로 조립셀은 구성된다. 조립을 위한 각 부품은 공장내 가공셀의 공작기계에 의하여 직접 가공된 후, 자동창고 또는 셋업스테이션으로 부터 무인운반차(AGV)에 의하여 투입된다. 또한 조립된 부품의 반출역시 무인운반차에 의하여 팔렛 상에서 운반되며, 이를 위하여 무인운반차와 각 컨베이어시스템 입구에는 광모듈 및 공압스토퍼에 의한 이적제 시스템이 별도로 설계, 제작된다. 전용부품공급기의 사용을 배제하기 위하여 각 로봇의 부품공급은 부품컨베이어가 담당하며, 조립모델이 예상치 못한 다른제품으로 변경될 경우 단지 부품 치구만의 교환으로 부품공급이 가능하다.

조립 컨베이어는 Free-Flow 형으로서 유도전동기에 의하여 구동되며 인버터를 사용하여 속도제어가 가능하다. 동력은 체인과 베어링을 통하여 팔렛에 전달되며, 비동기적으로 조립팔렛을 이송/정지시킨다. 5개의 팔렛 정지스테이션이 있으며 이중 3개의 정지스테이션에서 로봇의 조립작업이 수행되며 나머지 2개의 스테이션은 무인 운반차의 팔렛 이적제를 위한 대기스테이션의 기능을 담당한다. 각 정지스테이션은 팔렛의 이동을 막는 스토퍼와 정밀정지위치를 유지하기 위한 로더 및 팔렛검출센서, 로더 위치센서로 구성되며, 공압실린더에 의하여 구동된다. 정지스테이션에서의 팔렛위치정밀도는 $\pm 0.02 \text{ mm}$ 이다. 각 부품컨베이어의 구성은 조립컨베이어의 구성과 유사하나, 모터의 정, 역회전에 의하여 부품팔렛이 이송되며 각각 2 개의 정지스테이션을 갖는다. 이중 1개는 로봇 조립작업이 수행되는 스테이션이고 나머지 한개는 무인운반차의 부품팔렛 이적을 위한 대기스테이션이다. 각 컨베이어의 너비와 높이 그리고 팔렛 크기는 무인운반차에 의한 공장내 다른셀과의 연계를 고려하여 결정된다.

2.3 로봇 시스템 설계

3대의 조립용 로봇시스템은 각각 RCC (Remote Center Compliance), 자동공구교환장치 (ATC:Automatic Tool Changer), 에어핑거, 그리퍼 및 각종센서를 포함한다.(그림 4) RCC 는 로봇의 정밀조립시 힘 접촉에 의하여 로봇의 위치를 보정하는 장치이다.[7] 조립작업의 위치정밀도는 로봇의 반복위치정밀도, 컨베이어스테이션의 위치반복정밀도, 팔렛, 치구 및 부품의 가공정밀도등의 영향을 받으며, 각 기구접속부분의 기계적 마모에 의하여 조립정밀도가 저하될 수 있다. 모형모터의 조립작업은 모두 정밀한 위치정밀도를 필요로하며, 따라서 로봇의 손목부위에 부착된 RCC 의 보정기능에 의하여 로봇의 기계조립이 수행될 수 있다.

로봇조립셀의 유연성확보를 위하여 각 로봇은 자동공구교환장치를 사용하여 공구를 교환한다. 각 로봇의 조립작업은 여러 개의 공구를 필요로하며, 따라서 자동공구교환장치를 로봇제어기의 출력접점에 접속하여 로봇 프로그램에 의하여 새로운 공구를 교환하게 된다. 본 조립셀에서 사용되는 자동공구교환장치는 탈착식으로서 터릿식[2]에 비하여 공구교환속도가 늦은 단점이 있으나, 새로운 공구의 추가가 손쉬워 유연성의 확보에 유리하다. ATC 의 그리퍼메가진 하단부에는 리미트스위치가 부착되어

있으며, 이 리미트스위치를 사용하여 공구의 존재 유무와 공구교환 동작중의 오류를 검출할 수 있다.

광센서는 로봇의 작업보조 테이블위에 설치되며, 조립 작업 중 부품의 정확한 취부여부를 검출하기 위하여 사용된다. 사용된 광센서는 각 로봇의 입력접점에 연결되어 로봇프로그램에 의하여 식별된다.

2.4 조립용 치공구 설계

로봇 조립을 위하여 공급되는 부품은 항상 정확한 위치와 자세를 유지하여야하며, 따라서 정밀가공된 치구상에 정렬되어 각 조립스테이션으로 이송된다. 치구는 부품형상 및 로봇의 작업자세를 고려하여 적절하게 설계, 제작 될 수 있으나, 그것이 오직 전용부품만을 공급한다면 조립시스템의 유연성은 크게 떨어지게 된다. 본 조립셀에서 사용되는 치구는 조립컨베이어상에서 이송되는 1종류의 조립치구와 각 부품컨베이어로 공급되는 3종류의 부품치구로 구분되며, 다음의 설계기준을 적용하여 제작된다.

- (1) 로봇조립이 가능하도록 부품공급의 정밀도가 확보될 것.
- (2) 다른크기의 부품 (소형, 중형, 대형) 이 동일치구상에서 동시에 공급가능할 것.
- (3) 로봇 작업영역 이내에서 최대수량의 부품을 공급할 것.
- (4) 팔렛 (500 x 500 mm) 위에 고정되어 무인운반차로 공급될 것.

이상의 설계기준에 입각하여 조립치구 및 부품치구가 제작되며, 그 예는 <그림 5> 와 같다. 조립치구로 공급되는 볼트 및 모터의 치구접속부는 제품설계 단계에서 치구설계를 고려하여 소, 중, 대형을 표준화 하였으며, 케이스는 치구상의 잠금기에 의하여 여러종류의 공급이 가능하다. 부품치구의 경우 엔트캡이 정렬되는 부분은 고정핀의 이동에 의하여 여러크기의 공급이 가능하게된다.

로봇의 조립용공구 또한 시스템의 유연성에 크게 영향을 주며, 각 공구는 부품크기의 변화를 고려하여 설계되어야한다. 부품의 형상 및 무게, 에어핑거의 최대 스트로크등을 고려하여 7 종류 9개의 조립공구가 제작된다. 특히 나사체결작업을 위한 나사체결기는 로봇의 전용기화를 피하기 위하여 다른 공구와의 교환이 가능하도록 설계된다. 나사체결기는 공압모터에 의하여 구동되고 자석에 의하여 조립치구에 정렬된 나사를 공급받는다. <그림 6> 은 자체 제작된 나사체결기의 형상이다.

Layout 및 시스템 설계, 기구부 제작의 과정을 통하여 구성된 조립셀의 전체모습은 <그림 7> 과 같다.

3. 조립셀 제어부 설계

3.1 셀 통신망 구축

조립셀의 제어부는 <그림 8>과 같이 셀제어기(PC/386), PLC(Master K-250, 금성계전)[6] 그리고 3대의 로봇제어기로 구성된다. 각 로봇제어기는 로봇의 동작제어를 담당하며, ATC 등 로봇주변기와 접속되어 있다. PLC 는 조립컨베이어 및 부품컨베이어의 동작제어를 전담하며, 각 로봇과 디지털 접점으로 연결되어 작업시작지시 및 작업완료보고를 하게된다. 즉 PLC 와 각 로봇제어기와의 접점통신에 의하여 조립라인은 순차적으로 구동된다. 셀제어기는 조립셀 전체를 관장하여, 각 로봇의 동작

및 작업상태를 감시하고 컨베이어 상의 물류의 흐름을 파악한다. 고객으로 부터의 제품조립주문은 공장전체를 관장하는 호스트컴퓨터(HP900 Workstation)를 통하여 셀제어기로 전송되며, 셀제어기는 조립하여야 할 제품의 형태를 고려하여 각 로봇제어기에 조립프로그램 ID정보를 전송하게된다. 또한 AGV의 부품이적재를 위하여 셀제어기는 컨베이어 상의 팔렛 이송현황을 호스트컴퓨터에 수시로 전송한다.

호스트컴퓨터와 셀제어기, 그리고 셀제어기와 각 로봇제어기 및 PLC 사이에는 다품종소량생산방식을 지원하기 위하여 매우 다양한 정보가 교환되어야하며, 따라서 전용생산방식의 공장에서 선호되는 디지털 I/O에 의한 통신은 부적절하다. 조립셀이 유연한 조립 작업 능력, 즉 다양한 형태의 부품을 조립할 수 있기 위하여, Ethernet 과 RS232C 직렬통신에 의하여 각 제어기 사이에 계층적 통신망이 구축된다. 특히 전송방식이 서로 다른 異種제어기들 (수직다관절형 로봇제어기, 수평다관절형 로봇제어기, 컨베이어제어기)에 대한 RS232C 통신망이 구축되어, 개인용컴퓨터의 프로그램에 의하여 손쉽게 셀전체를 운영할 수 있으며, 시스템의 변경 및 확장이 용이하다. 각 제어기 사이의 통신 방식 및 통신정보는 다음과 같이 요약된다.

(1) 셀제어기 <—> 6축 수직다관절형 로봇제어기 통신

- 전송방식 : 4800 bps, 8 data bit, 1 stop bit, Odd Parity
비동기 반이중 전송, 7선 통신
- 전송단위 :

TCC	LNG	Data Field	BCC
-----	-----	------------	-----

TCC : 1 바이트로 데이터 전송의 흐름을 제어하며, 데이터 필드의 내용을 지정한다.

LNG : 1 바이트 데이터로 데이터필드에 있는 문자의 길이를 의미한다.

Data Field : 2진수 또는 ASCII 형태의 실제 사용 데이터로서 최대 128개의 문자가 가능하다.

BCC : 데이터의 각 전송단위 별로 전송오류여부를 체크하기 위한 1 바이트의 데이터이다. TCC 부터 Data field 끝까지를 exclusive-or 하여 값을 얻는다.

- 전송정보 : 로봇 동작상태 보고 (Busy/Ready/Wait/Alarm), 로봇 레지스터값 보고(작업진행상태 보고), 로봇 레지스터값 세팅(작업 ID 전송), 로봇 프로그램 선택구동, 로봇 프로그램 다운/업 로드, 로봇 프로그램 리스트, 로봇 현재위치 보고, 로봇 파라메타/세팅데이터 전송, 로봇 위치 보정데이터 전송, 로봇 비상정지

(2) 셀제어기 <—> 4축 수평다관절형 로봇제어기 통신

- 전송방식 : 9600 bps, 8 data bit, 1 stop bit, No Parity
비동기 반이중 전송, 3선 통신
- 전송단위 : 로봇제어기에 로봇언어를 ASCII 로 전송

- 전송내용 : 로봇 동작상태 보고(Busy/ Ready/ Wait/Alarm), 로봇 레지스터값 보고(작업진행상태 보고), 로봇 레지스터값 세팅(작업 ID 전송), 로봇 프로그램 선택구동, 로봇 프로그램 다운/업 로드, 로봇 프로그램 리스트, 로봇 현재위치 보고, 로봇

위치보정데이터 전송, 로봇비상정지

(3) 셀제어기 <—> 컨베이어 제어기 통신

- 전송방식 : 4800 bps, 7 data bit, 1 stop bit, Odd Parity
비동기 반이중 전송, 3선 통신
- 전송단위 :

Code	Address	Data Number	Data
------	---------	-------------	------

Code : 통신 코드, 데이터를 읽을 때는 'R', 쓸 때는 'W'

Address : 읽거나 쓸 점점 또는 메모리의 실제 번지

Data Number : 읽거나 쓸 데이터의 Byte 수

Data : PLC 에 데이터를 쓸 때의 실제 데이터

- 전송내용 : 컨베이어구동명령, 컨베이어 비상정지명령, 컨베이어 동작상태(Busy, Alarm) 보고, 조립팔렛/부품팔렛 위치 보고, 조립팔렛/부품팔렛 이송명령

(4) 셀제어기 <—> 호스트 컴퓨터 통신

- 전송방식 : Ethernet, TCP/IP
- 전송내용 : 작업시작/종료 명령, 조립셀 작업진도 보고, 투입 부품형태, 부품공급 및 완료조립을 반출 요청, 작업 이상상태 보고

3.2 셀 운영 프로그램

조립셀의 로봇 및 컨베이어는 각각의 제어기에 의하여 그 동작이 분산되어 제어되나, 셀 전체를 관장하여 각 기기 상태의 감시, 생산 데이터의 처리, 물류의 공급요청등을 담당하는 셀제어기가 필요하다. 특히 전용제품을 조립하는 시스템과는 달리 유연성을 갖춘 조립시스템은, 주문자의 요구에 맞추어 임의로 공급된 부품에 대하여 작업할 수 있는 기능을 갖추어야 하며, 이를 위하여 셀제어기는 각 기기에 내장된 다양한 파트프로그램 중 적합한 프로그램을 융통성있게 선택할 수 있어야 한다. 만약 조립 작업의 유연성이 크게 필요하여, 각 기기를 제어하는 제어기 내에 모든 파트프로그램을 수용할 수 없는 경우, 조립셀 제어기는 이들 파트프로그램의 업로드 및 다운로드를 수행할 능력을 갖고 있어야한다.

이상에서 언급한 역할을 담당할 셀제어기로서, 개인용컴퓨터 (IBM PC/386 호환기종)를 선택하였다. 다른 자동조립셀의 경우 PLC를 셀 제어기로 선택하는 경우가 많으나, 통신지원기능(로봇과의 RS-232C 통신, Ethernet 통신)이 미비하고 지능적인 운용 프로그램작성 및 사용자 인터페이스가 힘들기 때문에 유연조립셀의 셀제어기로는 부적합하다. 셀제어기는 개발된 운영프로그램에 의하여 조립셀 전체를 감시, 제어하게 된다. 조립셀 운영 프로그램은 MS-DOS 환경에서 C 언어로 작성되었으며, 그 주요기능은 다음과 같다.

- (1) 로봇의 동작상태/작업현황 모니터링
- (2) 컨베이어의 동작상태 및 팔렛 이송현황 모니터링
- (3) 팔렛 추가 공급 및 반출 요청
- (4) 호스트컴퓨터로부터의 작업주문에 따른 로봇 파트프로그램 ID 선택 및 전송
- (5) 로봇 파트프로그램 리스트 관리 및 파트프로그램 다운/

업로드

- (6) 생산관리 데이터 (작업수량, 생산율, 가동율 등) 생성 및 보관
- (7) 작업 오류에 의한 셀 이상 정지시 현 상태 저장 및 회복
- (8) 사용자 인터페이스에 의한 셀 제어환경 변경

<그림 9> 는 셀제어기의 모니터 상에 디스플레이되는 화면의 한 예이다. 각 기기의 세부공정과 부품의 이송상태가 실시간으로 모니터링되며, 각기기와의 정보전송 상태가 디스플레이된다.

5. 조립셀 모델링 및 성능평가

구축된 로봇조립셀의 성능분석 및 향후 성능개선을 위하여 착색페트리네트(Colored Petri Net)를 사용하여 조립셀을 모델링한다. 페트리네트는 DEDS (Discrete Event Dynamic System)의 모델링 기법으로서, 간단한 기호를 사용한 그래프에 의하여 시스템을 모델링한다. [8] 큐잉모델과 같은 해석적 모델링 기법은 시스템의 수학적 분석이 가능하나 많은 가정을 필요로 하여 본 조립셀과 같은 복잡한 실제 시스템의 적용은 매우 어렵다. 그러나 페트리네트 기법은 컴퓨터 시뮬레이션에 의하여 쉽게 시스템의 성능분석이 가능하며, 직접 시스템 제어에 활용될 수 있다. 원래의 페트리네트는 각 플레이스의 토큰을 한 종류로 가정하고 있으나, 본 조립셀의 경우 여러가지 부품의 ID 가 셀내에 존재하게 되므로 여러개의 토큰을 갖을 수 있는 착색페트리네트 [9] 를 사용한다. 32개의 플레이스와 21개의 트랜지션에 의하여 조립셀은 <그림 10>과 같이 모델링되며, <표 1>은 조립셀의 모델링에 사용된 플레이스와 토큰의 정의이다.

<그림 11(a)-(d)> 는 페트리네트 모델을 컴퓨터프로그램으로 구현하여 얻은 조립셀 성능분석의 결과이다. 성능평가의 척도는 기기가동율 (Machine Utility) 과 생산율(Throughput) 이며, 성능에 영향을 주는 변수는 무인운반차, 로봇 및 컨베이어의 속도이다. 1대의 무인운반차에 의하여 여러 스테이션에 부품이 공급되기 때문에 무인운반차에 과도한 부하가 걸리게되며 이로 인하여 상대적으로 로봇 및 컨베이어의 가동율은 떨어지게된다. (<그림 11(a)>) 따라서 무인운반차의 속도가 증가될 경우 생산율은 증가하게 되나, 로봇 및 컨베이어의 속도 증가만에 의해서는 생산율이 증가되지 않는다. (<그림 11(b)>) 본 조립셀의 구축 목표는 극단적인 다품종소량생산을 위한 유연성의 확보에 있으며, 따라서 상대적으로 조립생산성은 전용라인에 비하여 저하되었음을 알 수있다.

따라서 향후 조립셀의 생산율 및 기기가동율 향상을 위해서는 무인운반차의 추가 또는 속도향상이 요구된다. 기기가동율은 각 기기의 부하분배에 좌우되며, 로봇과 무인운반차, 컨베이어의 속도의 변화에 의하여 부하분배가 적절히 이루어질 수 있다. (<그림 11(c)(d)>)

6. 결론

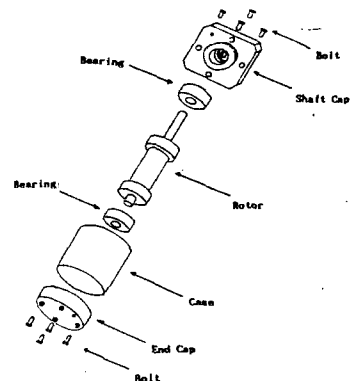
조립작업의 유연성, 즉 조립대상모델의 변화에 최소한의 설비변경으로 신속히 대처할 수 있는 시스템의 구축을 지향하여 조립셀이 개발되었다. 셀 Layout 설계, 로봇 및 컨베이어시스템

설계, 치공구설계, 통신망 구축, 운영프로그래밍등이 모두 조립 유연성의 확보에 초점을 맞추어 개발되었다. 또한 착색페트리네트에 의한 모델링을 통하여, 셀의 성능분석 및 향후 성능예측을 수행하였다. 개발된 조립셀은 현재 계속 무인 운전 중이다.

현 조립셀의 제어부는 DOS 와 통신 MUX 를 사용한 단일태스크환경하에서 이루어지고 있으나, 셀제어기가 담당하여야 할 기능 수행을 위하여 다중태스크환경으로의 이행이 불가피하다. 따라서 OS/2 와 통신용 보조프로세서(Real-time Interface Coprocessor) 를 사용한 다중태스크환경에서의 셀제어기 개선작업이 진행 중이다. 또한 조립시스템의 지능화를 위한 비전시스템 인터페이스 작업이 진행되고 있다.

* 참고 문헌 *

- [1] F.Fabricsius, "An overview of flexible assembly automation", *Proc. of 6th Int. Conf. on Assembly Automation*, pp.33-40, 1985.
- [2] A.Arnstron et. al., "Flexible automatic system for small batch assembly", *Proc. of 6th Int. Conf. on Assembly Automation*, pp.135-145, 1985.
- [3] J.Brown et.al, "Product design for small part assembly", *Robotic Assembly*, ed.K.Rathmill, pp.139-156, Springer-Verlag, 1985.
- [4] *Daewoo-Fanuc Robot Series* : 시방설명서, 대우중공업.
- [5] *FARA Scara Robot SM3 : Operator Guide*, 삼성전자.
- [6] *GSI Programmable Controller MASTER-K250* : 취급설명서, 금성계전.
- [7] *Introduction to Robotics*, P.J.McKerrow, Addison Wesley, 1990.
- [8] *Petri Nets : An Introduction* , W. Reisig, Springer-Verlag, 1985.
- [9] E.Kasturia, F.DiCesare, A. Desrochers, "Real time control of multilevel manufacturing systems using colored petri nets", *Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, pp.1114-1119, 1988.

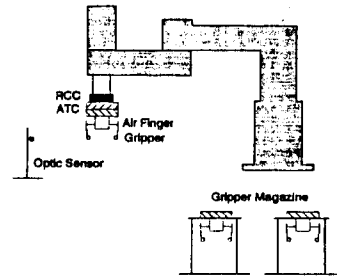


<그림 1> 모형 모터의 조립도

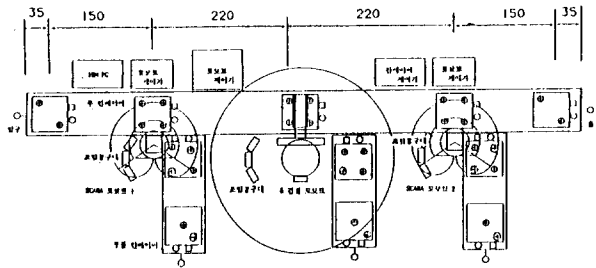
(외경치수: 소형 50 mm, 중형 65 mm, 대형 80 mm)

공정번호	작업 그림	작업설명 및 담당 요모	유형번호	작업 그림	작업설명 및 담당 요모
1-A		ROTOR 에 하부 케이싱 조립 SCARA 요모도 1	2-A		ROTOR 에 상부 케이싱 조립 6 관절 요모도
1-B		CASE 에 END CAP 조립 SCARA 요모도 1	2-C		CASE - END CAP 을 회전 6 관절 요모도
1-C		CASE 와 END CAP 을 볼트로 체결 SCARA 요모도 1	2-D		ROTOR - 상부 케이싱 - 하부 케이싱 용 CASE - END CAP 에 조립 6 관절 요모도
2-A		ROTOR - 케이싱 을 회전 6 관절 요모도	3-A		SHUT CAP 조립 SCARA 요모도 1
			3-B		볼트 체결 SCARA 요모도 1

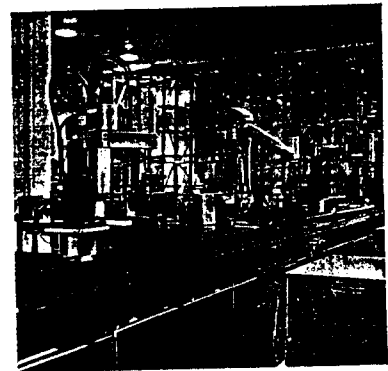
<그림 2> 조립 공정 설계



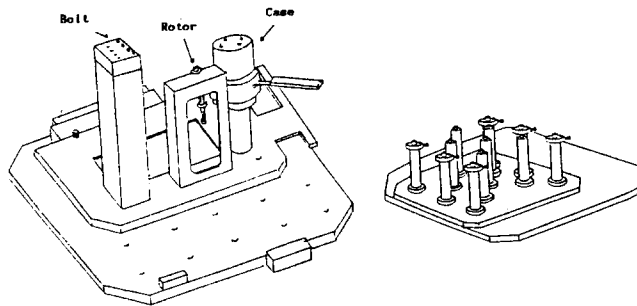
<그림 4> 로봇 시스템 설계



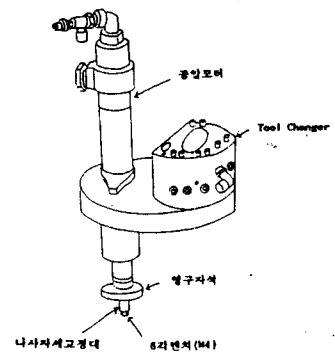
<그림 3> 조립설 평면도



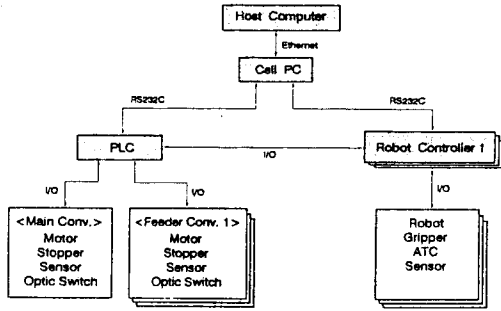
<그림 7> 구성된 조립설



<그림 5> 조립치구 및 부품치구 설계



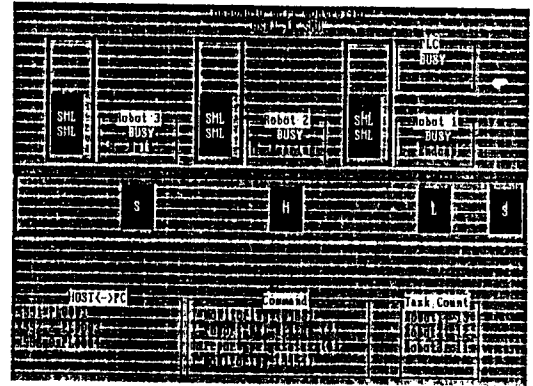
<그림 6> 나사체결기 설계



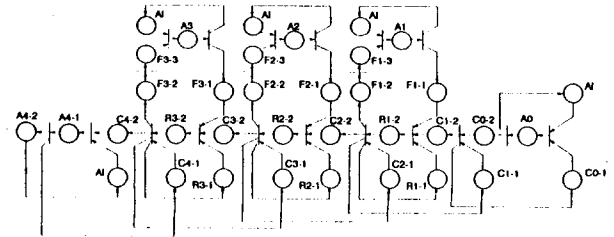
<그림 8> 조립셀 제어구조

<표 1> 셀 모델링을 위한 플레이스 및 토큰의 정의

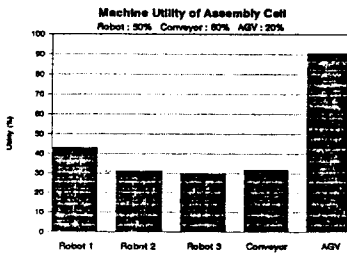
<AGV>		<STATION 0>	
A1 : AGV idle	(CUR_POS)	CO-1 : Main pallet empty	(PALID[0])
A0 : AGV busy (→ SETUP → STATION 0)	(OPID[0])	CO-2 : Main pallet loading	(PALID[0])
A1 : AGV busy (→ FEEDER1 → SETUP → FEEDER1)	{PARTID[1][1]...PARTID[1][6]}	<STATION 1>	
A2 : AGV busy (→ FEEDER2 → SETUP → FEEDER2)	{PARTID[2][1]...PARTID[2][6]}	C1-1 : Main pallet empty	(PALID[1])
A3 : AGV busy (→ FEEDER3 → SETUP → FEEDER3)	{PARTID[3][1]...PARTID[3][6]}	C1-2 : Main pallet loading	(PALID[1])
A4-1 : AGV busy (→ STATION 4)		F1-1 : Feeder 1 pallet loading with parts	{PARTID[1][1]...PARTID[1][6]}
A4-2 : AGV busy (→ SETDOWN)		F1-2 : Check whether the part is empty in feeder pallet	
		F1-3 : Empty feeder 1 pallet in out-buffer	
		R1-1 : Robot 1 idle	(PROGRAMID[1])
		R1-2 : Robot 1 busy	(PROGRAMID[1])
		<STATION 2>	
		C2-1 : Main pallet empty	(PALID[2])
		C2-2 : Main pallet loading	(PALID[2])
		F2-1 : Feeder 2 pallet loading with parts	{PARTID[2][1]...PARTID[2][6]}
		F2-2 : Check whether the part is empty in feeder pallet	
		F2-3 : Empty feeder 2 pallet in out-buffer	
		R2-1 : Robot 2 idle	(PROGRAMID[2])
		R2-2 : Robot 2 busy	(PROGRAMID[2])
		<STATION 3>	
		C3-1 : Main pallet empty	(PALID[3])
		C3-2 : Main pallet loading	(PALID[3])
		F3-1 : Feeder 3 pallet loading with parts	{PARTID[3][1]...PARTID[3][6]}
		F3-2 : Check whether the part is empty in feeder pallet	
		F3-3 : Empty feeder 3 pallet in out-buffer	
		R3-1 : Robot 3 idle	(PROGRAMID[3])
		R3-2 : Robot 3 busy	(PROGRAMID[3])
		<STATION 4>	
		C4-1 : Main pallet empty	(PALID[4])
		C4-2 : Main pallet loading	(PALID[4])



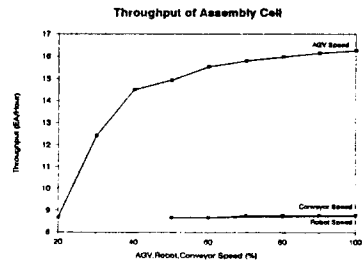
<그림 9> 셀 모니터링 화면



<그림 10> 페트리네트에 의한 조립셀 모델링



<그림 11(a)> 조립셀 성능평가 (기기 가동율)



<그림 11(b)> 조립셀 성능평가 (생산율)

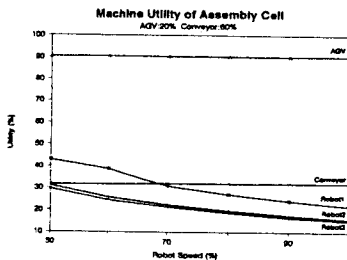
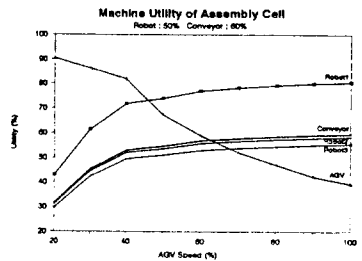


그림 11(c) > 조립셀 성능예측
(로봇속도의 변화에 따른 기기 가동율)



<그림 11(d)> 조립셀 성능예측
(부인운반차속도의 변화에 따른 기기 가동율)