

## 기어가공 CELL개발 및 평가

김선호\*, 김선호\*\*, 박화영\*\*

### The Development and Evaluation of Gear Machining Cells

Sunn-Ho Kim\*, Sun-Ho Kim\*\*, Hwa-Young Park\*\*

#### Abstract

This paper presents FMC prototypes developed to propagate manufacturing automation for small and medium sized enterprises in Korea. The system consists of two cells used to machine oil pump drive gears, turning cell and hobbing cell. Characteristics and processes of the gears are analyzed for the cell design. The system configuration and functions of individual component machines are described. Furthermore, the developed system is compared with the current manual system in terms of manpower and cost reduction and productivity increase.

#### 1. 개 요

80년도 후반기에 접어들어 노사분규가 심화되고 시장환경이 다양하게 변화하면서 대부분의 기업들이 자동화를 지향하는 추세로 변하고 있다. 국내의 대기업들은 이러한 추세에 적응할 수 있는 여건을 갖추어 가고 있으나 중소기업들은 재정의 취약 및 자동화 기술 부족으로 자동화 추진에 어려움을 느끼고 있다[3]. 이에 따라 KIMM에서는 중소기업 을 위한 기술지원의 일환으로 중소기업 실정에 적

합한 자동화 모델인 FMC를 시범적으로 개발하였다[4,5,11]. FMC는 비교적 투자비용이 적고 유연성이 높아 앞으로 많이 도입될 추세이며 단계적으로 FMS로 발전할 수 있는 여지가 많아 국내 기업에 적합한 것으로 판단된다[2,6].

개발된 자동화 모델은 자동차에 사용되는 오일 펌프 드라이브용 기어를 대상부품으로 한 FMC로서 선삭공정(Turning)과 치절공정(Hobbing)을 자동화 하는 2 Set의 Cell로 구성되어 있다. 이 논문에서는 FMC개발을 위하여 대상부품의 특성과

\*명지대학교 산업공학과

\*\*한국기계연구원 기계자동화 연구부

공정을 분석하였으며, 이에 적합한 Cell형태를 선정하였다. 이어서, 개발된 선삭 Cell과 치절 Cell의 구성, 개별장비에 대한 설계 및 성능에 대해 소개하였다. 또한 투자비용에 따른 비용 절감 효과를 인력 및 운용비 절감, 생산성 향상 측면에서 평가하였다.

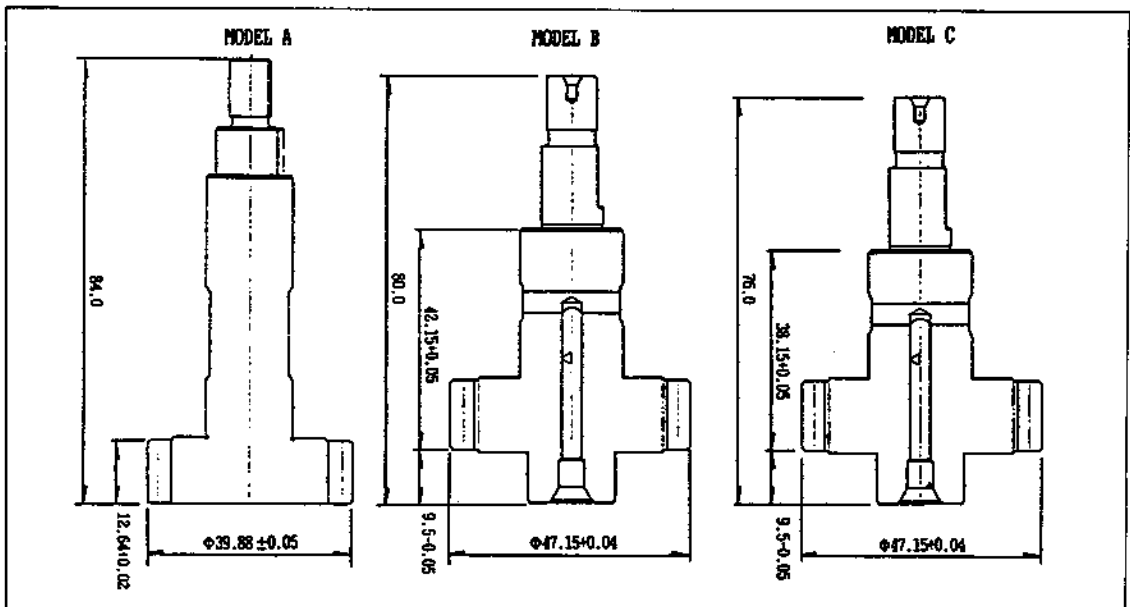
## 2. 대상부품 특성 및 공정 분석

대상부품인 오일 펌프 드라이브용 기어는 자동차에 사용되는 기어로서 D사에서 92년에 45만개 이상을 생산할 계획이다. 현재 오일 펌프 드라이브용 기어는 3종류를 생산하고 있으며 소재의 직경이 43-50mm, 길이가 79-87mm, 중량이 360-454g이다. 정밀도는 치수공차가  $\pm 0.03\text{mm}$ , Runout이 0.02mm이다. 소재 형상과 가공후의 형상이 [그림 1]에 나타나 있다.

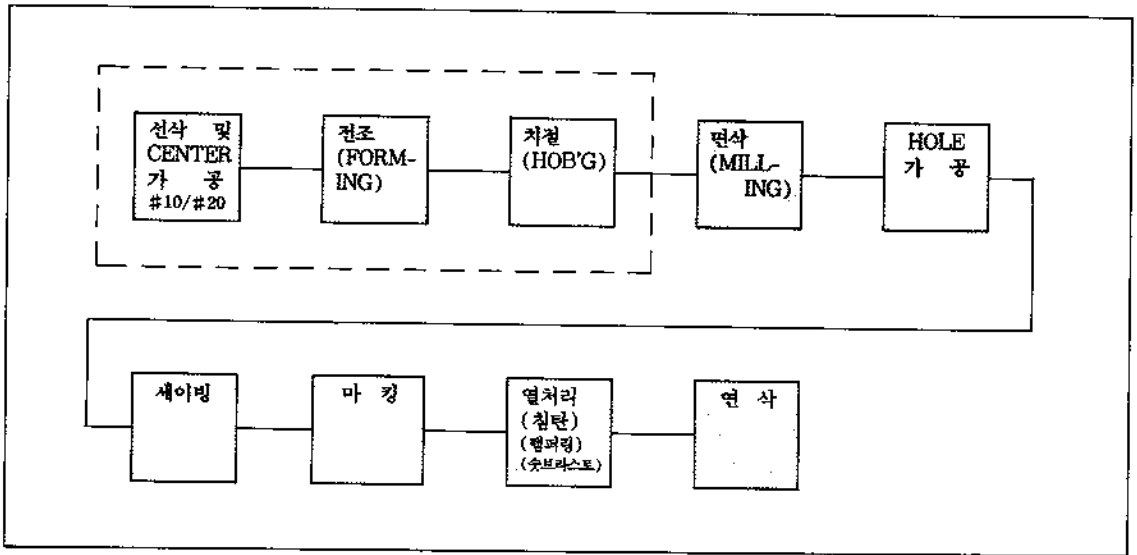
3가지 부품 모두가 [그림 2]와 같은 9단계의 공정으로 생산된다. 이 공정중 업체에서 자동화를 요구하는 기어블랭크 선삭과 치절 두 공정을 자동화 대상 공정으로 선정하였다. 선삭공정에서는 두 대의 선반을 이용되며 단조된 소재의 양면을 가공

하여 기어블랭크를 생산한다. 전조공정(Forming)은 부품의 한 쪽 끝에 나사를 내는 공정으로서 선삭과 치절 중간에서 이루어진다. 치절공정에서는 한 대의 치절기를 이용하여 스퍼(Spur) 기어를 가공한다.

공정간의 가공시간에 대한 균형을 위하여 각 공정별 작업시간을 분석하였다. 현재 작업가가 선삭, 전조, 치절공정을 수행할 경우의 가공시간 및 시간당 생산수량이 <표1>에 요약되어 있다. 여기서 모델 A의 선삭 1공정 및 2공정은 순수 가공시간이 34 : 74로서 균형이 이루어져 있지 않으나, 모델 B와 C는 선삭1공정, 선삭2공정에 소요되는 순수 가공시간이 62 : 60으로서 비교적 균형이 이루어져 있다. 치절의 경우 모델 A,B,C의 순수 가공시간이 97 : 56 : 56으로 모델 A가 상대적으로 긴 가공시간을 요구한다. 전조의 경우 가공 시간이 4초 내의 이므로 두 공정에 비해 작업시간이 짧다. 자동화된 2세트의 Cell을 운용할 경우 관리할 인력이 필요하므로 전조공정에 작업자를 투입하여 부품을 가공하도록 하며 유휴 시간을 이용하여 선삭, 전조, 치절 공정에 부품을 이동시키며 Cell을 관리하는 것이 바람직하다.



[그림 1] 대상 부품의 가공도면



[그림 2] 부품의 기어 가공 공정

<표1> 수작업의 경우 생산능력

모델	공정	순수공정시간(초/개)			여유율	실공정시간 (초/개)	생산수량 (개/시간)
		가공	착탈	소계			
A	선삭1	34	6	40	0.15	46.0	78.3
	선삭2	74	6	80	0.15	92.0	39.1
	전 조	4	5	9	0.15	10.4	346.2
	치 절	97	7	104	0.20	124.8	28.8
B	선삭1	62	6	68	0.15	78.2	46.0
	선삭2	60	6	66	0.15	75.9	47.4
	전 조	4	5	9	0.15	10.4	346.2
	치 절	56	7	63	0.20	79.2	45.5
C	선삭1	62	6	68	0.15	78.2	46.0
	선삭2	60	6	66	0.15	75.9	47.4
	전 조	4	5	9	0.15	10.4	346.2
	치 절	56	7	63	0.20	79.2	45.5

\* 하루순수 작업시간=20시간/일

\* 월평균 작업일=22.3일/월

\* 3부품의 생산량이 동일한 경우 총생산량 204,101개/년

\* ○ Bottleneck공정

### 3. 개발 시스템 선정

선삭 가공을 위한 FMC는 Material Handling 방식에 따라 일반적으로 i) On-Board Robot을 이용한 Cell, ii) Stand-Alone Robot을 이용한 Cell, iii) Gantry Loader를 이용한 Cell로 구분된다[7,8,9,10]

On-Board Robot을 이용한 Cell은 4축(통상 2축 Servo, 2축 공압)Robot을 공작 기계에 부착하여 구성된다. 이 Cell을 구성하기 위해서는 별도의 Robot을 구입하여 기존의 공작기계에 부착하든지 공작기계 업체에서 부착하여 판매하는 공작기계를 이용할 수 있다. 전자의 경우 장비 보완이 필요하며 후자의 경우 공작기계 구입비용이 상승하게 된다. 또한, 장비의 Alignment, 적용부품에 따른 배치형태 개조등 사용자가 변경하기에 쉽지 않은 문제가 있다.

Stand-Alone Robot을 이용한 Cell은 Robot 1대, 선반 2대, Parts Feeding 장치, Conveyor, 반전장치로 구성된다. 본 형태는 가공품에 대한 대응력이 높으며, 시스템 전체에 대한 유연성도 높다. 또한, 현재 보유하고 있는 선반을 그대로 이용할 수 있어 초기투자비용을 줄일 수 있다. 가공품의 Cycle Time이 길 경우에는 왕복 이동이 가능한 Traverse Robot을 이용함으로써 3대 이상의 선반과도 연결할 수 있다.

Gantry Loader를 이용한 Cell은 비교적 중량물인 회전 형상품이나 긴 장형 제품인 경우에 이용된다.

여기서는 대상 부품이 비교적 작고 경량이며, 업체에서 현재 사용중인 CNC선반을 이용하여 시스템을 구성해야 하므로 Stand-Alone Robot을 이용한 Cell을 선정하여 개발하였다.

### 4. 시스템 구성

#### 4.1 시스템 Layout

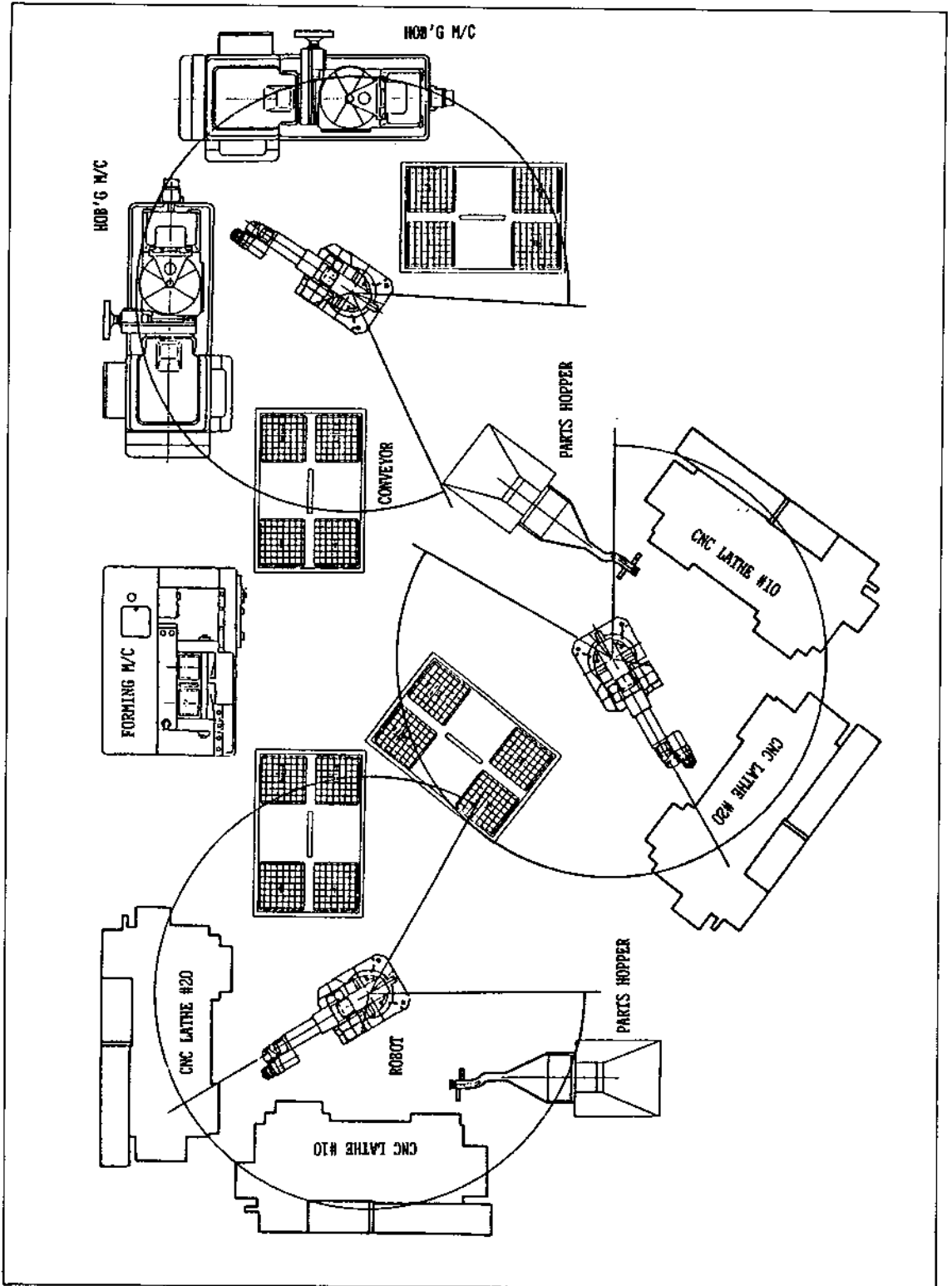
시스템은 선삭, 전조, 치절의 공정을 중심으로 Stand-Alone Robot을 이용한 Cell로 설계되었다. 시스템의 Layout이 [그림 3]이 나타나 있다. 가공공장의 Line Balance를 고려하여 가공자동화 Cell을 3개의 단위 Cell로 구성하였다. 즉 2개의 선삭 Cell에서 선삭공정을 마친 가공물은 전조기를 경유하여 치절 Cell에서 처리 될수 있도록 시스템을 설계하였다. 이때, 가공물은 팔렛 단위로 전조 공정 작업자가 운반하도록 되어 있다. Cell들은 한 대의 Robot을 중심으로하여 원형으로 구성되어 있기 때문에 좁은 공간에 설치할 수 있으며, 공작기계 및 주변장치에 치구를 간단히 교환할 수 있어 유사한 형태의 가공물에 대한 작업이 가능한 유연성을 갖고 있다. 선삭 Cell의 경우 한 Cell에서 10번 공정과 20번 공정이 다르며 치절 Cell의 경우 두 대의 치절기가 동일한 공정을 수행하므로 1개의 치절 Cell이 2대의 선삭 Cell에서 가공되는 물량을 수용할 수 있다.

#### 4.2 시스템 구성

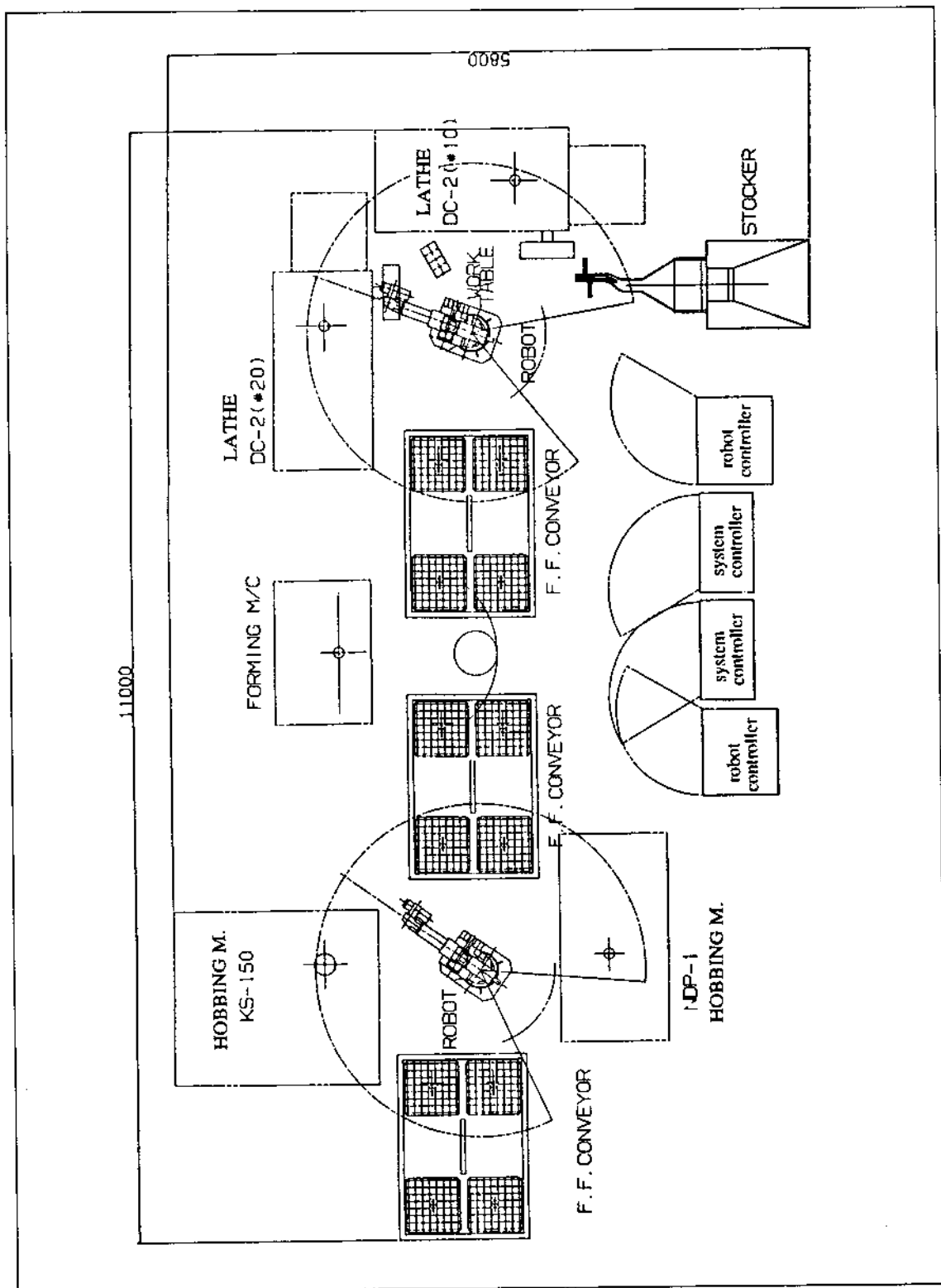
설계상으로는 선삭 Cell이 두개이나 현재 시범적으로 하나만 완성되어 업체에 설치되어 있다. 업체에 설치된 시스템의 Layout은 [그림 4]와 같으며 실제 Cell은 [그림 5 및 6]에 나타나 있다. 구성 장비의 사양은 <표2>와 같다. 여기서는 시스템을 구성하고 있는 각 요소인 부품공급장치, Robot, Gripper, 선반, 반전장치, 치절기, 시스템 제어에 대한 기능을 소개한다.

##### 4.2.1 부품공급장치

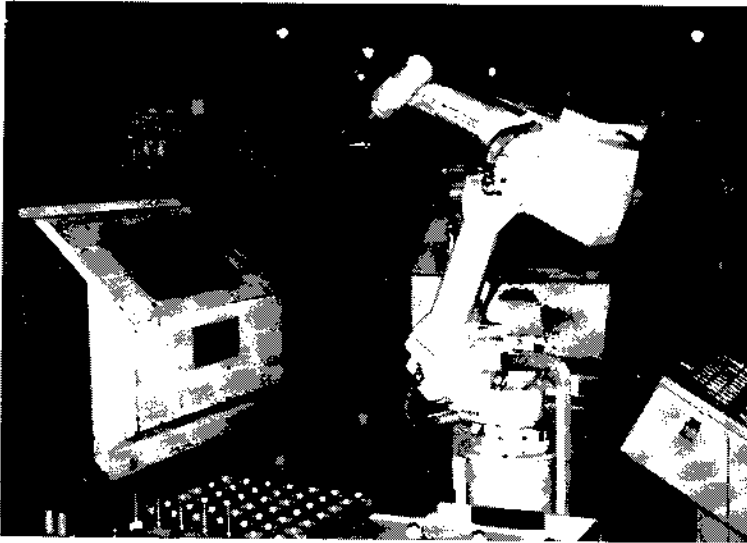
부품의 형태가 환봉형인 경우는 Rotaty Column



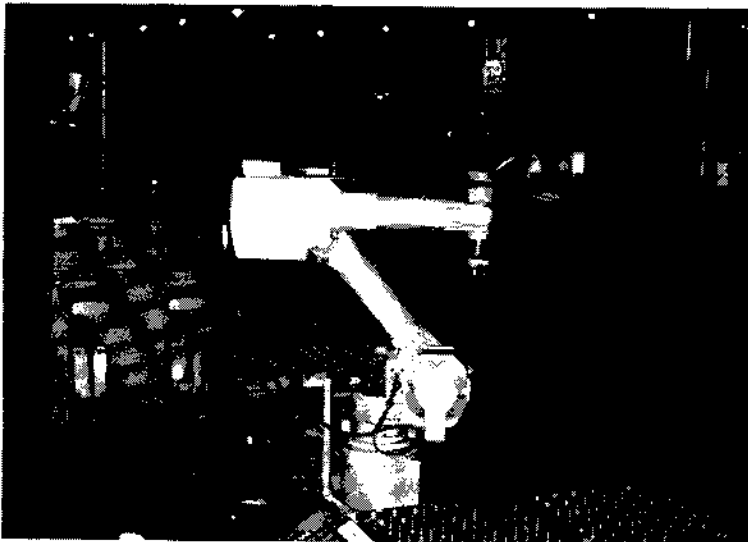
[그림 3] 설계된 기어 가공 Cell의 Layout



[그림 4] 시범업체에 설치한 기어 가공 Cell의 Layout



[그림 5] 시범업체에 설치한 선삭 Cell



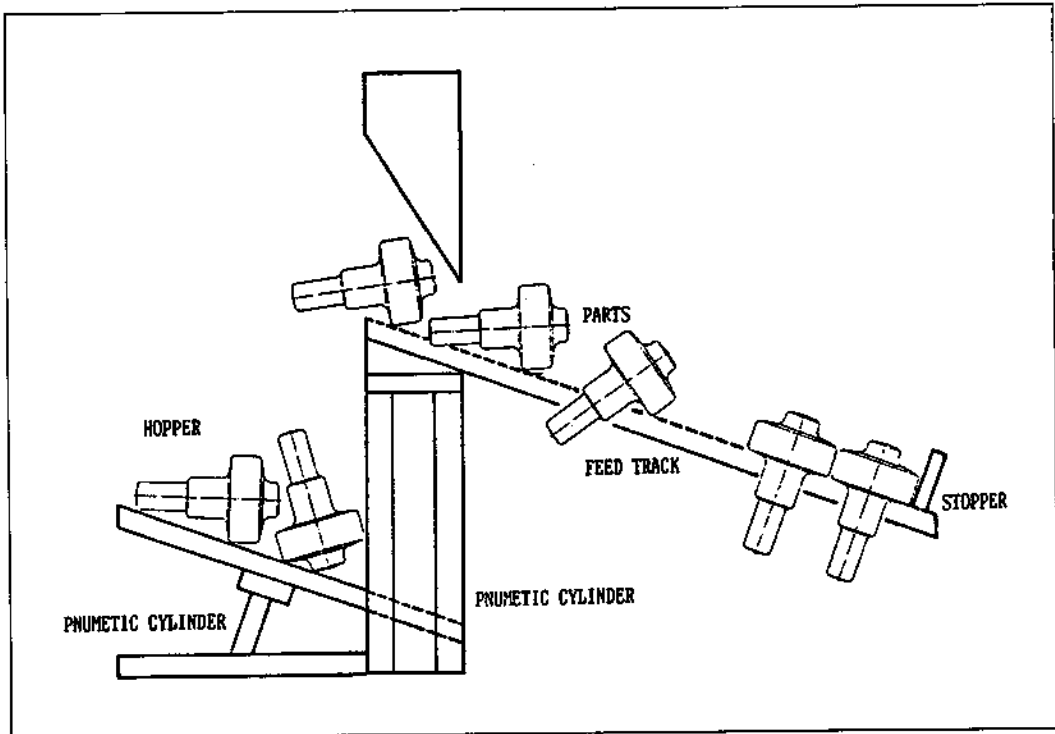
[그림 6] 시범업체에 설치한 치절 Cell

형의 부품 공급장치가 적합하나 대상부품인 오일펌프 드라이브용 기어는 단을 가진 환봉형으로 Hopper형의 부품 공급장치가 적합하다. 여기서 개발된 부품공급장치는 1) Hopper, 2) Feed Track, 3) Escaper로 구성되어 있다. Hopper는 소재를 300개 이상 무정렬 상태로 적재가 가능하다. Hopper에서 소재를 Feed Track으로 이송시킬 때

공압 Cylinder를 이용하여 부품을 상승시키며 상승된 부품은 높이차에 의해 Stopper 위치까지 이동한다. 부품은 Feed Track에 7개까지 대기할 수 있다. Escaper에 있는 부품을 Robot이 Pick-up 할 때마다 Stopper는 대기상태에 있는 부품을 1개씩 Escaper로 이송시킨다. Hopper에서 Stopper까지의 부품 이송원리가 [그림 7]에 나타나 있다.

〈표2〉 시험업체에 설치한 기어가공 Cell의 구성장비 사양

	장 비 명	제 작 처	비 고
1	CNC 선반 #10	대구중공업 DC-2	시험업체 보유기계
2	CNC 선반 #20	대구중공업 DC-2	시험업체 보유기계
3	PARTS HOPPER		신규개발
4	ROBOT #10	대구중공업 ARC-Mate SR.	구입
5	Turnover		신규개발
6	출구 Conveyor		신규개발
7	FORMING M/C	日. NISSEI FA-16	시험업체 보유기계
8	입구 Conveyor		신규개발
9	HOB'G M/C #10	日. NIPPON KIKAI NDP-1	시험업체 보유기계
10	HOB'G M/C #20	日. KASHIFUJI KS-150	시험업체 보유기계
11	ROBOT #20	대구중공업 ARC-Mate SR.	구입
12	출구 Conveyor		신규개발



[그림 7] 부품공급장치 부품 이송원리



#### 4.2.2 Robot

비교적 소형, 경량인 부품을 Palletizing할 수 있는 수직 다관절 Robot(대우중공업 Arc-Mate SR)을 사용하였다. 가반중량은 10kg이며 위치반복정밀도가  $\pm 0.10\text{ mm}$ 이다. 1대는 선반2대, 부품공급장치, 출구 Conveyor와 결합되어 있으며 나머지 1대는 치절기 2대, 입구 Conveyor, 출구 Conveyor와 결합되어 있다. Robot은 부품공급장치로부터 선반으로의 가공물을 이동 및 착탈(Load-ing/Unloading), 반전(Turnover), 가공완성품을 Conveyor에 Palletising하는 역할을 하고 있다.

#### 4.2.3 Gripper

본 시스템에 사용된 Gripper는 2가지 형태로 개발하였다. 선삭 Cell용 Robot의 Gripper는 3개의 Jaw로 구성되어 있으며 3종류의 부품을 잡기 위해 각 Jaw는 2단으로 설계 했으며 기준면에 밀착시키기 위해 Spring을 이용한 Pusher를 부착하였다. 치절 Cell용 Gripper는 2개의 Jaw를 이용하여 환봉 부분을 잡도록 하였다. 치절기의 Tail Stock이 부품을 잡아주기 때문에 별도의 Pusher가 필요없다. 선삭 Cell용 Gripper가 [그림 8]에 나타나 있다.

#### 4.2.4 CNC선반

업체에서 보유하고 있는 CNC선반(대우중공업 DC-2, Gang Type)2대를 이용하였다. 이 선반을 무인화 Cell로 구성하기 위해 추가한 기능은 아래와 같다.

- Chuck의 Jaw와 Gripper의 충돌 방지를 위한 Spindle Orientation기능
- Chuck 개폐 감지
- Chip제거를 위한 Air Blowing
- Auto Door
- 공구 수명관리를 위한 Tool Counter

#### 4.2.5 반전장치(Turnover)

선반 #10공정과 선반 #20공정 사이에 있는 반전장치는 공압 Cylinder를 이용하여 소재를 잡도록 하였다.

#### 4.2.6 Conveyor

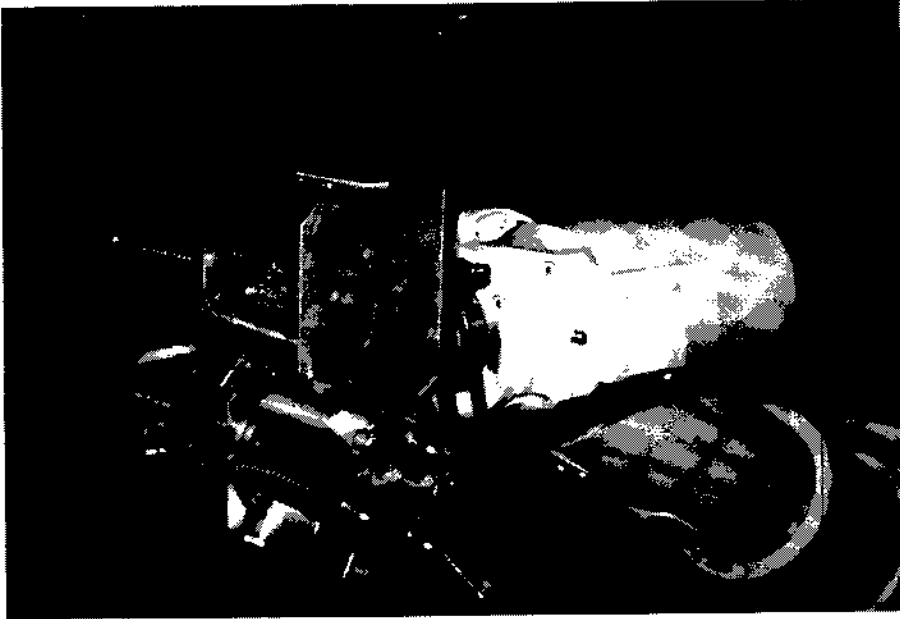
본 시스템에 사용된 Conveyor는 Ball Caster위를 Pallet이 자유로이 움직일 수 있도록 하는 F.F(Free Flow)형으로서 선삭 Cell의 출구 Conveyor, 치절 Cell의 입구 및 출구 Conveyor 3Set로 구성되어 있다. 이 Conveyor는 전조공정을 담당하는 작업자가 Pallet를 이동시키도록 하였으며 Pallet을 고정하기 위해 공압식 Clamp를 설치하였다. Conveyor의 구조는 Pallet 이 총 4조가 이동될 수 있는 형태이며 Pallet 1개당 Hole이 49개이므로 두개의 Pallet에 부품을 만재될 때까지 연속 작업(약 2시간 30분)을 할 수 있다. Pallet은 3종류의 부품을 모두 Palletizing할 수 있도록 설계되어 있다. [그림 9]에 Conveyor와 Pallet이 나타나 있다.

#### 4.2.7 치절기

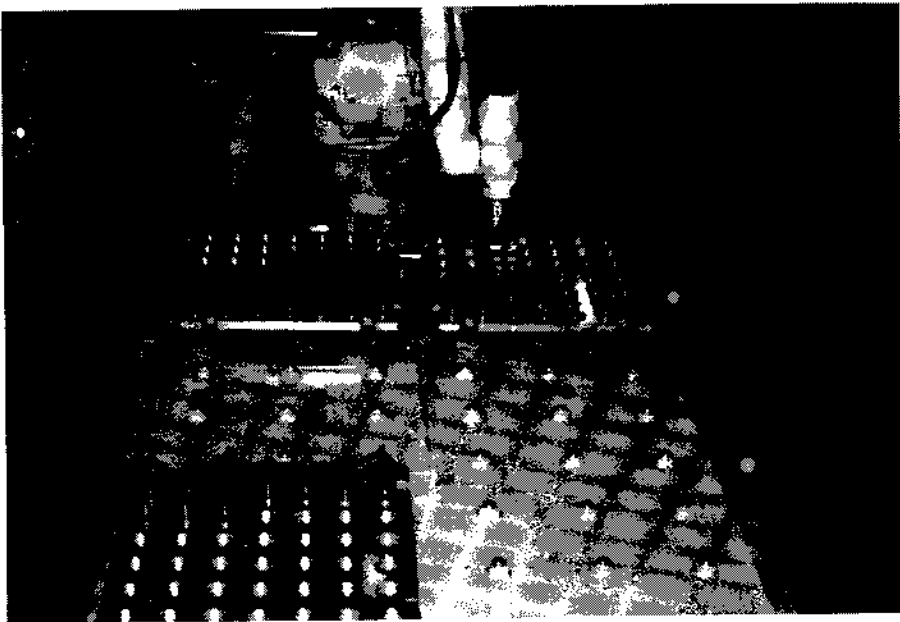
치절 Cell에는 시범업체가 보유하고 있는 2대의 치절기 (NIPPON KIKAI의 NDP-1, KASHI-FUJI의 KS-150)가 이용되었다. 수동으로 작동되는 치절기를 System Controller의 신호에 의해 동작하도록 하기 위해 기존의 유압구동부를 Solenoid Valve로 교체하였으며, 가공물의 안전한 고정을 위해 Tail Stock의 이동부에 Limit Switch를 설치하여, 위치를 System Controller가 확인할 수 있도록 보완하였다.

#### 4.2.8 시스템 제어

일반적으로 Cell제어는 로봇틀을 중심으로 하여 이루어지도록 설계되나 여기서는 업체가 보유한 장비를 이용하여 구성해야 하므로 별도의 System



[그림 8] 선삭 Cell용 로봇의 Gripper



[그림 9] Free Flow형 Conveyor와 Pallet

Controller를 제작하여 Cell을 제어하도록 하였다. 이 방식을 이용할 경우 시스템의 확장이 용이하다. Cell이 고장날 경우에 대비해서 구성 장비를 개별적으로 가동시킬 수 있는 기능도 부여하였다. System Controller에는 대우중공업에서 제작한 PLC(DW-TOTO-PUC/F2)를 사용하였다.

### 5. 시스템 경제성 평가

평가 항목으로는 노동력 절감효과, 설비 가동을 향상효과, 품질 향상 효과, 노동환경의 개선 효과, 설비의 유연성, 생산제반효율의 향상 효과, 생산공정관리용이화, 생산기술면에서의 재효과 등으로 구분해 볼 수 있다[7,8]. 이러한 평가항목 중에서 비교적 정량화가 용이한 것은 인원감소효과, 노동비용 절감, 생산량의 변화 등이다. 여기서는 개발된 시스템의 평가를 인력과 비용 절감, 생산성 향상과 같은 경제성 측면에 국한하였으며 수작업에 의한 기존의 방법과 비교하였다.

기존의 생산공정은 선반 2대에서 선삭 1 및 2공정, 전조기 1대에서 전조, 치절기 2대에서 치절 공정으로 구성되어 있다. 각 공정에 1명이 배치되어 있으며 2교대에 의해 총 6명이 소요된다. 이 공정에서 생산되는 부품은 [그림1]에서와 같이 모델 A,B,C 종류이다. <표1>에서 보는 바와 같이 처음 세 공정의 작업자 여유율은 15%, 마지막 치절공정의 경우는 20%로 주어졌다. 휴식시간을 제외한 순수 작업시간이 하루에 20시간이며 월 평균 작업일이 22.3일이다. 3종류의 부품 생산량이 매년 변하므로 여기서는 같은 수량으로 생산한다는 가정하에 경제성을 분석한다. 치절시간이 가장 길어 이 공정이 생산량에 영향을 주고 있다. 이것을 기준으로 하였을 때 연간 204,101개를 생산할 수 있다.

개발된 시스템은 1명의 작업자가 전조 작업을 하면서 관리할 수 있도록 되어 있다. 하루 2교대에

의해 총 2명의 작업자가 필요하므로 4명의 인력을 절감하게 된다. 개발된 시스템에 대한 생산능력은 <표3>에 요약되어 있다. 여기서는 로봇을 이용하기 때문에 부품 종류별로 착탈시간의 차이가 없다. 하루 순수 작업 시간을 수작업의 경우와 같이 20시간으로 하였다. 그리고 공구 교환, 고장등으로 인하여 장비가 정지하는 경우가 있으므로 가동율을 80%로 가정하였다. 월 평균 작업일은 22.3일로서 수작업의 경우와 동일하다. A 부품의 경우 다른 가공시간보다 치절시간이 가장 길며 다른 부품은 1차 선삭공정이 가장 길다. 이 시간을 기준으로 하여 3종류의 부품이 같은 수량으로 생산될 경우 연간 216,756개를 생산하여 수작업보다 약간 생산성이 증가한 것을 알 수 있다.

개발된 시스템의 경우 장비 투자비가 <표4>에 요약되어 있다. 이것은 기존의 보유장비인 NC선반 2대, 치절기 2대를 제외한 투자비이다. 이에 따른 경제성 평가 결과가 <표5>에 요약되어 있다. 여기에서 보는 바와 같이 123,000,000원을 투자하여 연간 24,570,000원을 절약할 수 있다. 이 절감비용중 인력절감에 의한 것이 대부분을 차지하고 있다. 투자비에 대한 회수 기간은 이차율을 고려하지 않았을 경우 2.9년이 된다. 인력을 구하기 어려운 중소기업의 어려운 여건을 감안하면 인력을 6명에서 2명으로 줄일 수 있는 장점이 있어 개발된 시스템을 채택하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

개발된 시스템의 평가는 작업자가 근무하는 시간만 가동하는 것으로 가정하여 이루어졌으나 시스템이 안정될 경우 1교대와 2교대의 사이 시간이나 휴식시간에도 무인 운전이 가능하여 실제로 하루 24시간을 가동시킬 수 있다. 이 경우 절감비용은 더 높아질 것으로 기대된다.

〈표3〉 개발된 시스템의 생산능력

모델	공정	순수공정시간(초/개)			생산수량 (개/시간)
		가공	착탈	소계	
A	선삭1	34	12	46	78.3
	선삭1	74	12	86	41.8
	전 조	4	12	16	225.0
	치 절	97	12	109	33.3
B	선삭1	62	12	74	48.6
	선삭2	60	12	72	50.0
	전 조	4	12	16	225.0
	치 절	56	12	68	52.9
C	선삭1	62	12	74	48.6
	선삭2	60	12	72	50.0
	전 조	4	12	16	225.0
	치 절	56	12	68	52.9

\* 하루순수 작업시간 = 20시간/일 × 가동율 0.8

\* 월평균 작업일 = 22.3일/월

\* 3부품의 생산량이 동일한 경우 총생산량 216,756개/년

\* ○ Bottleneck공정

〈표4〉 장비투자비

장 비	투자비(천원)
로봇 2대	72,600
시스템 Control	14,190
Gripper	6,600
부품공급장치	7,700
Turnover	990
론베이어 3대	9,680
Pallet	2,000
선반 및 Hobbing기 기능보완	2,940
설치 및 시운전	6,300
총 계	123,000

〈표5〉 경제성 평가

(단위 : 천원)

구 분		비 용	비 고
년간증가비용	감가상각비	17,571	감가상각 7년
	이 자	18,450	이자율 15%/년
	유자관리비	7,002	(장비투자비-설치 및 시운전비)×6%
	소 계	43,023	
년간감소비용	인력절감	60,000	4명×15,000천원
	생산성향상	7,593	(216,756-204,101)×0.6천원/개
	소 계	67,593	
연 간 절 감 비 용		24,570	67,593-43,023
투 자 회 수 기 간		2.9년	123,000/((67,593-18,450-7,002), 이자율 0%

6. 결 론

참고문헌

여기에서 개발한 시스템은 업체와의 공동연구를 통하여 개발한 것으로서 현재 업체에, 설치되어 성공적으로 운용되고 있다. 선삭 Cell과 치질 Cell이 현재는 한 Set씩 구성되어 있어 완성된 시스템이라고 할 수는 없으나 업체에서 예산이 허락하는 대로 선삭 Cell을 구성할 계획이다. 이때에는 종류가 다른 부품이 동시에 가공되어 더욱 복잡한 공정관리가 이루어져야 한다. 특히 치질 Cell에서 두 부품이 동시에 들어 올 경우 각 치질기에는 한 종류의 부품만을 가공하도록 하여야 한다. 이렇게 하기 위해서는 작업자가 부품을 치질 Cell의 Conveyor에 공급할 때 부품이 바뀌는 경우가 없도록 하여야 한다. 생산 수량이 더욱 증가할 경우에는 선삭 Cell, 전조기, 치질 Cell로 이루어지는 전용라인을 고려하여야 한다. 이때에는 전조기의 활용도는 다른 장비에 비해 떨어지나 생산성은 증가하게 되며 인력도 더 줄일 수 있다.

[1] 김선호, "A Case Study on FMC Design and Evaluation," '90대학산업공학회 추계 학술대회 논문집, pp169-191. 1990.

[2] 김선호, "중소기업 자동화에 있어서의 FMC의 중요성," 토탈머신, 5월호, 1991.

[3] 박광순, 주현, 공장자동화의 진전과 합리적 전개방향, 산업연구원, 1988.

[4] 박화영, 김선호, 가공자동화시스템 개발 (I), 과학기술처, 1991.

[5] 박화영, 김선호, 가공자동화시스템 개발 (II), 과학기술처, 1992.

[6] 신노 히데노리, 이토 요시미, "차세대 FMS와 FMC," 공작기계 시리즈 차세대 FMS(일본), pp6-12, 1987.

[7] FA 생산 시스템 설계법, 일본능률협회, 1985.

- [8] FMC입문-Flexible 생산 Cell의 설계 · 도입  
· 운용 일간공업신문사 (일본), 1983.
- [9] Luggen, W.W., *Flexible Manufacturing Cells and Systems*, Prestice-Hall Int. Inc., 1991.
- [10] Menker, S. J., Flexible Turning Cell, *SME Technical paper* MS 90-165, 1990.
- [11] Park, H. Y., Kim, Sunn-Ho, Kuk, K.H., "Design and Evaluation of Automation Systems Suitable for Small & Meduim - Sized Enterprises in Korea," *Proceedings of the Korea-Japan Joint Symposium on Factory Automation*, pp64-89, September 1990.