

## 간이 자동화에 의한 전선 압출공정의 디지털 제어기 설계에 관한 연구

金 容 得\* · 李 斗 馥\*\*

### A Study on the Design of a Digital Controller for the Low-cost Automation of a Cable Extruding System

Yong Deak Kim and Doo Bok Lee

#### Abstract

This paper proposes the theory for the Low Cost Automation (LCA) as a intermediate process of the factory automation, where the LCA is new adaptation for the improving productivity without changing the current product lines.

And also this paper deals with the case study for the predictable effects and technical method at the extruding cable lines.

As the results, the implementation of the LCA theory could be accomplished saving materials and man power, improving reliability and productivity.

For this facilities, it cost within 5% extra expense of a extruding cable line systems. And It could be refund in six months.

#### 1. 서 론

현재의 무인 공장 자동화 기술은 기계공학과 전자공학의 복합기술인 mechatronics의 역할로서 생산공정의 합리화와 성려화를 이룩하였으며 FMS (flexible manufacturing system)를 통한 생산 자동화가 세계적인 추세이다.<sup>(1)</sup>

그러나 우리나라 기업에서는 많은 시설비와 전문 기술인력등의 부족으로 기존 시설을 그대로 이용하면서 10%정도의 추가시설을 통한 이른바 간

이 자동화 (low cost automation) 설비를 추진함으로써 단계별로 무인자동화 공장을 건설함이 바람직한 것이다.<sup>(2)</sup>

따라서 본 연구에서는 전선 압출공정을 자동화시키기 위하여 아날로그 방식으로 사용되고 있는 제어시스템을 마이크로 프로세서를 이용하여 디지털 제어방식으로 바꾸어 설계하였다.<sup>(3)</sup> 즉 전선 외경 측정값과 압출기 (extruder)의 속도를 디지털 양으로 제한시켜 제어할 수 있도록 디지털 제어장치를 설계 제작하였다.

먼저 이에 대한 설계 조건으로는 현 제어기기의

\* 아주대학교전자과

\*\* 홍익공전대전자과

수동 운전방법을 자동 시스템을 부착한 후에도 그대로 병용해서 사용할 수 있어야 하고, 자동 또는 수동 작동 변환이 가능하도록 함으로써 비상상태에 대처할 수 있어야만 한다.

## 2. 간이 자동화 공정의 기능적 설계

현 공정은 Fig.1과 같이 원하는 제품의 외경을 수동으로 설정한 뒤 기계식 롤러(roller)의 외경을 지시기로부터 읽어 숙련공에 의하여 압출제어 단자와 권취제어 단자가 수동으로 조작되고 있다.

즉 생산하려는 전선과 피복의 두께는 압출기의 PVC의 공급속도와 권취기(capstan)의 인취속도에 따라 결정되며 이들을 압출되는 전선의 외경에 관계없이 설정치대로 작동하도록 되어 있다.

따라서 전압의 변동과 모터의 부하변화 PVC 재료의 불균형등에 따라 인취 속도가 수시로 변화되며 이는 제품이 균일하지 못한, 즉 불량제품이 생산되는 원인이 되기도 한다.

이러한 문제점을 보완하기 위하여 본 연구에서는 마이크로 프로세서를 사용하여 수동 작업을 대체한 간이 자동화 시스템을 Fig.2와 같이 적용하였다.

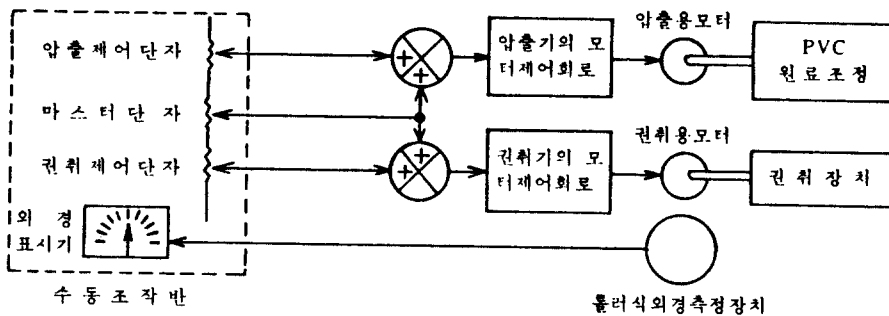


Fig. 1. Manual extruding system

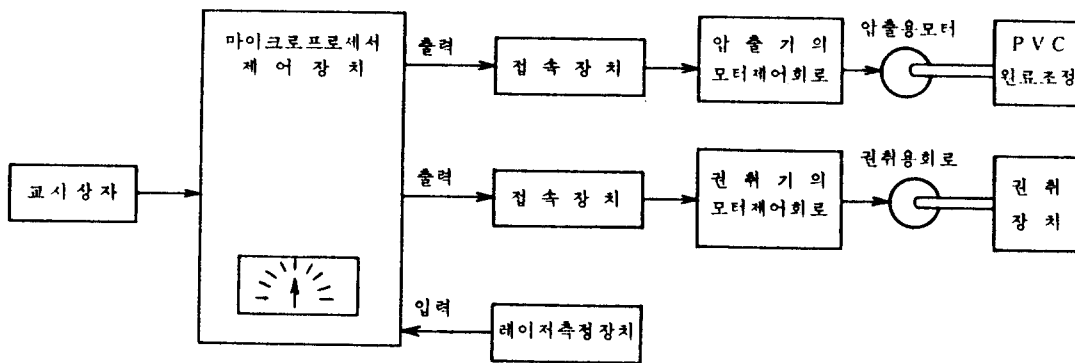


Fig. 2. Automatic extrudig system

즉 Fig.1에서는 수동에 의하여 작업이 수행되므로 외경이 균일하지 않고 신뢰도가 낮아진다. 특히 처음 가동시 또는 선속을 변화시킬때 자재의 손실과 시간적 손실이 보다 더 크게 된다.

따라서 이와 같은 기계적 외경 장치를 레이저 (laser)를 이용한 정밀 외경 측정 장치 (10 μm

이내 측정가능)로 대체 설치하고 이때 감지된 신호를 마이크로 프로세서에 입력시키면, 프로세서 오차 상태를 계산하여 자동으로 권취기와 압출기의 작동속도를 제어하도록 한다. 이와 같은 자동화 방식은 기존 생산공정을 변화시키지 않고 수동 제어 조작반을 마이크로프로세서로 대체시킨 것

이므로 자동화 비용이 저렴한 우리나라 공장의 자동화에 적합한 방식이라 하겠다.

### 3. 디지털 제어 시스템의 명령어 설정

마이크로프로세서 제어 시스템으로 자동화한 경우 이를 작동시키기 위한 명령어를 제정하여야 하며 이들 명령어는 전 공정을 수동조작하는 경우와 같이 모든 기능을 표시할 수 있어야 한다.

Table 1에는 이들의 명령어를 요약하였으며 모든 명령어 형식은 다음과 같은 4가지 형식으로 표시된다.

- 1) 기능키
  - 2) 제어키 + 기능키
  - 3) 제어키 + 기능키 + 숫자키
  - 4) 제어키 + 기능키 + 기능키
- 이는 전체 기능키의 수를 감소시켜 하드웨어적

인 간편성을 도모하며, 중요한 키는 잘못 눌렀을 때 발생하는 오동작(誤動作) 상태를 방지하기 위하여 복합키 방식을 취하였다.

또한 이들 모든 키는 키의 조합에 따라 특정기능의 서브루틴으로 연결되도록 수행하게 하는 실시간 처리(real time process) 방식을 택하였으며 작동상태를 즉시 확인할 수 있도록 하였다.

생산 동작중 인입되는 전선이 절단되거나 적정범위 이상이며, 제어 불가능한 경우와 같은 비상시에는 모든 기능을 정지하고 alarm을 울려준다. 물론 이때 표시장치에는 비상 상태의 조건 "CUT" (전선이 절단된 경우) 또는 "HELP"를 표시하게 된다.

작업자가 비상조치를 취한 후에는 다시 정상동작 된다.

그러나 비상조치를 취하지 않고 강제 가동 시킬 경우 "ERROR"를 표시하고 계속 작동시킬 수 있다.

Tab. 1. Command codes

번호	명령어	설 명	기능 키의 사용 예
1	STOP	RUN상태에서만 유효하고 두번 입력 시킬때 입력 장치의 제어방식 아날로그 방식으로 바뀐다	STOP = STOP
2	WAIT	비상시 일시적으로 제어를 중단시키는 기능	WAIT
3	BEND	작동중인 BEL을 일시정지 시킴	BEND
4	RUN	구어진 조건으로 프로세서를 작동하도록 한다	CTRL+RUN
5	DIS	표시 장치의 기능 설정 3개의 정보를 선택한다	CTRL+SHIFT+DIS=1
6	INIT	생산하고자 하는 제품의 치수 입력 이때 입력수치는 4자리이다	CTRL+INIT=1=2=3=4 (직경 12.34 mm 임)
7	ERR	허용 공차를 입력한다	CTRL+SHIFT+ERR=0=5=0(허용 오차 0.5 mm 임)
8	ADI	감용장치의 표시값과 설정값과의 오차 보정 기능	CTRL+ADI=0-1-2 (표시값이 0.12 mm작을때)
9	SAM	감용장치의 측정 정보의 샘플링 횟수 결정	CTRL+SHIFT+SAM=1=2 (12회 측정 평균값)
10	TEST	표시장치, 센서, 전선, 램프 시험한다	CTRL+TEST=1 (1번 표시기 작동)
11	HEND	압출 장치의 수동로컬 기능의 장치	CTRL+SHIFT+HEND
12	HAND	수동 동작 키로써 입력은 없고 외 키가 입력되면 속도가 2배됨	CTRL+SHIFT+HAND = = (압출기의 속도가 증가)

### 4. 시스템 설계

앞에서 설정한 명령어를 수행하기 위한 키 배열

과 표시장치의 파넬은 Fig.3과 같다. 여기서 하단 스위치로 POWER, SENSOR, RESET을 작동하고, 프로세서 제어기에 의한 자동 작동시에는 중앙의 RUN 지시등에 불이 들어오게 된다.

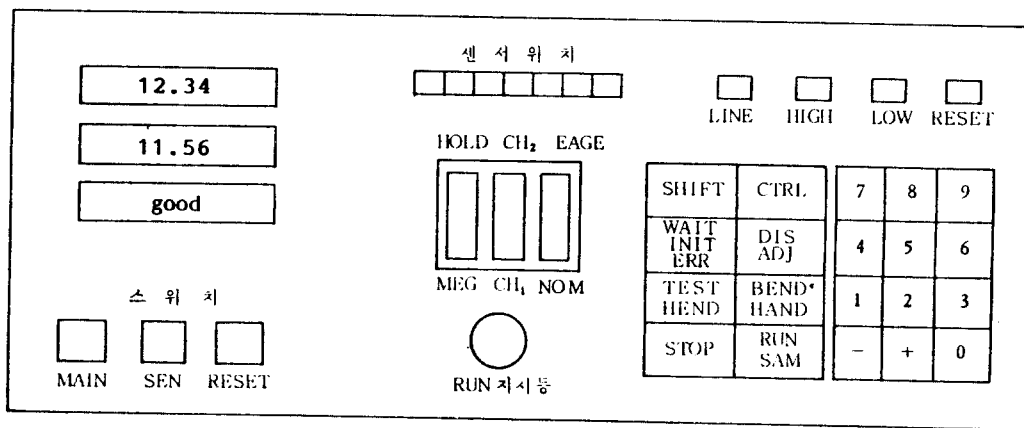


Fig. 3. Front control panel

좌측 상단의 4자리 7-세그먼트로 구성된 3조의 표시기는 생산하고 있는 전선의 굵기, 오차 및 작동상태를 표시하며 중앙의 센서위치는 레이저 센서와 전선의 위치를 표시한 것이고 우측 키는 초기 입력 제어를 위한 기능키이다.

이와 같은 파넬 설정은 조작이 쉬워 생산 현장에서 누구나 쉽게 사용할 수 있도록 하고 또한 동작상태를 관찰할 수 있도록 설계한 것이다.

프로세서 제어기의 설계 원리는 모든 입출력값을 통제에 의하여 환산해서 비교하는 폐 루프 (closed loop) 방식을 택하였기 때문에 이에

따른 입출력 상태는 Table 2와 같이 정의될 수 있고 이에 대한 전체 시스템 구성도는 Fig. 4와 같다.

Tab. 2. I/O characteristics

입력 조건	출력 조건
1. 레이저에 의한 외경 측정값	1. 압출기의 제어 전압
2. 키보드에 의한 초기 제어 설정값	2. 권취기의 속도제어
	3. 표시 장치
	4. 경고 벨의 출력
	5. 오차를 기록할 수 있는 기록계 부착단자

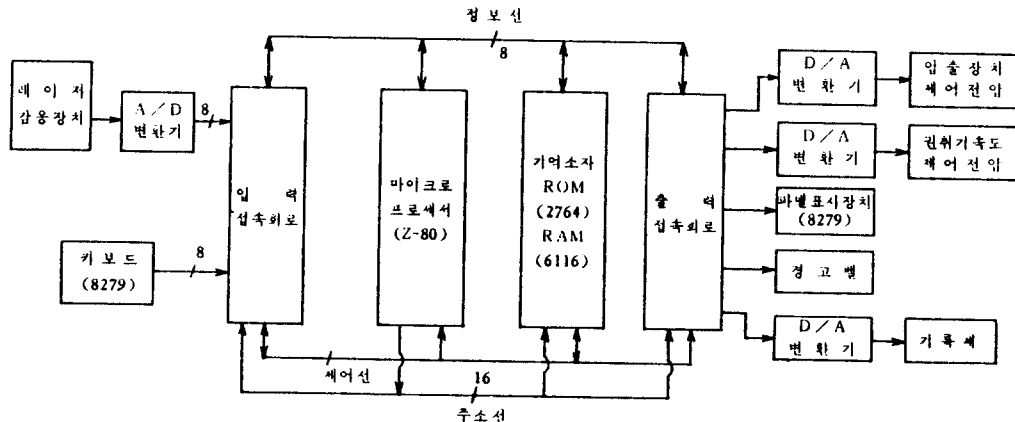


Fig. 4. System block diagram

이 시스템에서 가장 정확성을 요하는 것은 레이저 감응장치와 압출제어 전압이다.

레이저 감응장치는 CCD센서를 사용하여 10 마이크로미터까지 측정가능한 READ사의 RS-1500을 사용하고 또한 이의 정밀도를 더욱 증가시키기 위하여 프로그램에 의해 100회 겹치한 값의 평균치를 사용하여 1 마이크로미터 측정까지 가능하도록 설계하였다.

압출장치는 최대 6V 제어 전압으로 조정되고 이의 정확성을 위하여 12비트 DAC-80 변환기를 사용하였다.

### 5. 시스템 소프트웨어 설계

본 시스템 프로그램은 크게 주 프로그램과 인터럽트 프로그램으로 나뉘어진다.

주 프로그램은 기본적인 루틴을 처리하는 프로그램으로서 일련의 연속 처리되는 무한 루프로 Fig. 5와 같이 구성되며 Z-80 CPU는 매순간 레이저

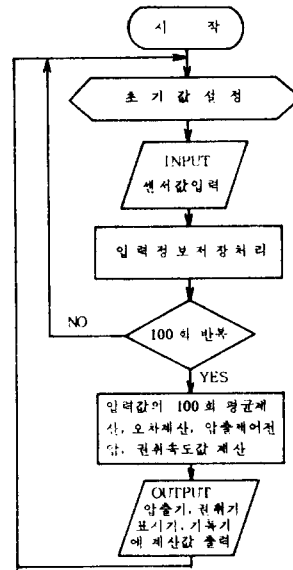


Fig. 5. Main program flowchart

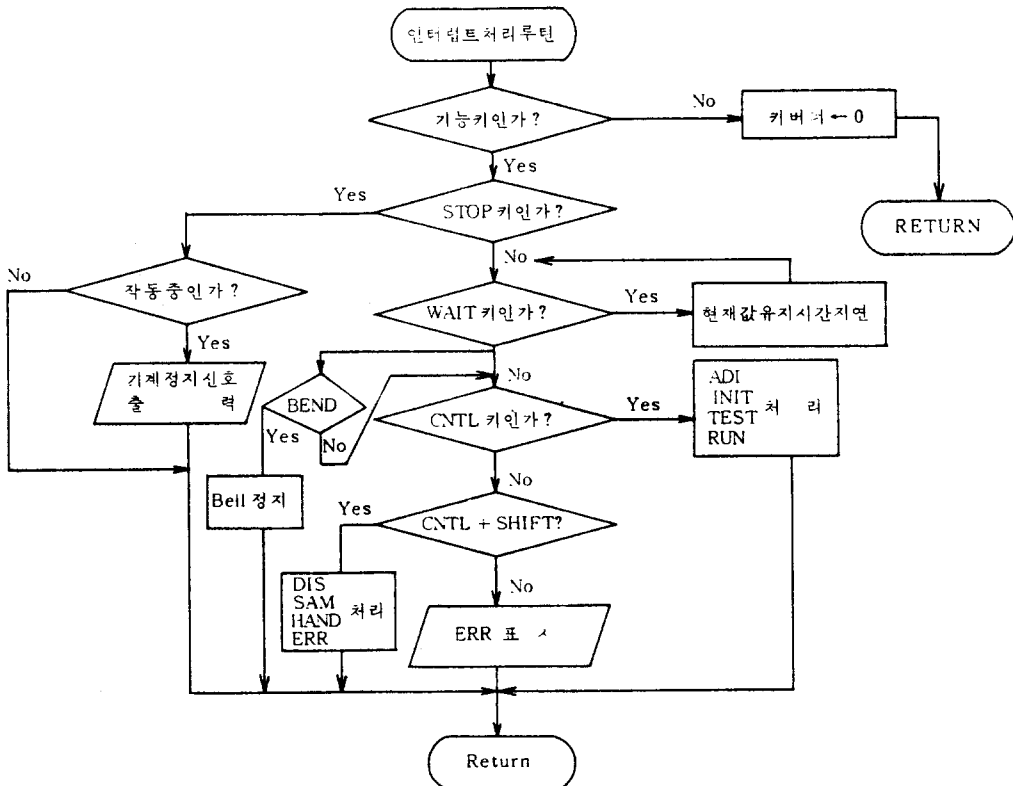


Fig. 6. Interrupt service routine

센서로부터의 정보를 처리하여야 하기 때문에 비상사태에 적시 대응시키거나 키 검사를 수행할 시간이 없게 된다.

따라서 이를 위한 전용 제어기인 8279 LSI를 사용하여 Fig. 3에 보여준 모든 키와 표시용 LED를 제어하도록 한다.

이때 8279의 INT 신호를 Z-80 CPU의 INT로 연결하여 인터럽트 모드 1(IM 1)을 이용하여 0038 번지부터 키 입력을 받아 주 기억소자의 정보를 구성시키고 표시장치에 정보를 내보내는 역할을 수행토록 한다.

또한 STOP 키와 같은 가장 시급한 비상키가 먼저 수행되도록 Fig. 6과 같이 프로그램을 작성하였다.

여기서 임의의 기능키가 눌러질 경우 처리 루틴을 찾아 수행할 수 있는 과정을 INIT키에 대해 예를 들어 설명하면 다음과 같다. INIT키는 하드웨어의 키 배열에 따라 8279의 64개 키 위치 중 2행과 3열 위치에 있도록 구성하였고 CNTL 키와 동시에 눌러져야 하므로 이때 8279의 감지선 상태워드는 '10010011'로 된다.

또한 INT 처리루틴은 068EH번지이므로 93H를 068EH번지로 변환하여 Jump를 수행하도록 하면 된다.

이러한 기능을 실행하기 위한 프로그램은 8KB 정도이면 충분하다.<sup>1)</sup>

## 6. 측정 실험

총래의 공정은 Fig. 7(a)에서 보는 바와 같이 롤러(roller) 접촉식에 의하여 측정된 전선 외경값이 아날로그 지시기에 표시되면 작업자는 이 지시기를 읽어 경험적으로 판단하여 권취기의 속도와 압출장치의 PVC 압출량을 수동 손잡이로 제어하는 Open loop 방식이다.

Fig. 7(b)는 이를 자동화한 공정으로서 레이저 감응장치로 측정된 전선 외경값을 마이크로프로세서 레이저 장치에 전달하면 프로세서 제어기에서 이 값을 디지털 표시기에 4자리(1/100 mm 단위) 숫자로 표시하고 생산되는 표준값과 오차를 계산하여 권취기 속도와 압출장치의 PVC 압출량을

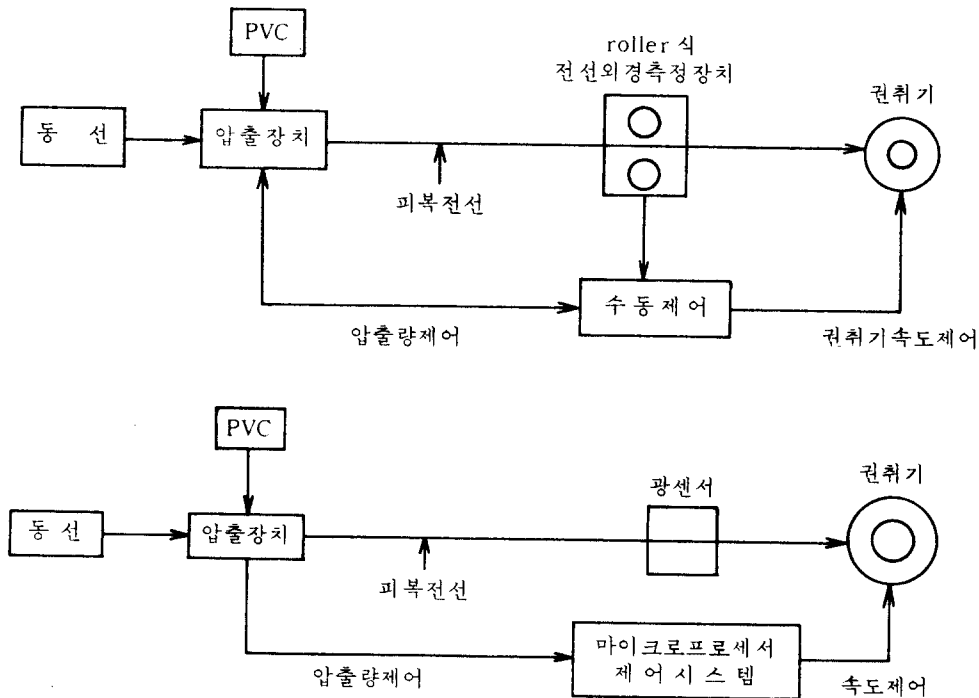


Fig. 7. Comparison of the manual and automatic extruder

10 초 이내에 자동으로 제어하는 Closed loop방식이다.

Fig. 7의 (a), (b) 두 공정에 대한 특성을 측정 비교하면 Table 3과 같다.

Tab. 3. Comparison of the two experimental results

항 목	수동식 공정	자동화 공정
1 운전 준비 시간	30분	15분
2 정상운전 도달시간	속런공 : 10 분 비속런공 : 40-50분	속런도에 관계없이 1-2분 (가동 속도에 따라 다름)
3 최대 생산 속도	300m/분	300m/분
4 정 밀 도	속런공 : 5 / 100mm 비속런공 : 101 / 100mm이상	최초 안정치 까지 5 / 100mm 안정도달 이후 1 / 100mm
5 작업 인원	3 명	2 명

즉 수동식 공정에서는 전선을 두 개의 roller를 지나게 함으로써 기계식 접촉방식으로 측정하고 있으나 자동화 공정은 광센서 (optical sensor)를 이용하고 있기 때문에 접촉에 따른 비능률적 기능을 감소시키고 반응 처리속도가 빠르게 되었다. 또한 이 감응장치는 최근에 개발된 소자이므로 오차 범위가 크게 향상되었으므로 정도를

높일 수 있었고 프로세서에 작업자의 경험적 기술을 통계적으로 기억시켰기 때문에 속런공·비속런공에 관계없이 신속히 정상 가동시킬 수 있었다.

Photo. 1은 마이크로프로세서 제어장치를 보여준 것이며 Table 4와 Photo 2는 각 생산 제품의 과정별 오차 상태를 비교한 것이다.

Tab. 4. Comparison of products in each conditions

번호	종형	구 별	목 표 치 수	생산 제품 치 수	오 차	비 고
1	원형 1	수동 조작 방식	2.20 m/m	4.40 m/m	2.20 m/m	초기 수동 조작시 불량품
2	원형 2	수동 조작 방식	2.20"	2.16"	4 / 100 m/m	허용오차 5 / 100 m/m 로 정상 생산되는 제품임
3	원형 3	자동 조작 방식	2.20"	2.20"	0	자동화후 정상상태 하에서 생산되는 제품임
4	장원형 1	자동 조작 방식	7.10"	12.35"	5.25 m/m	초기 자동화 설치후 처음 시험 생산된 제품
5	장원형 2	자동 조작 방식	7.10"	파상형	매우 큼	자동화초기시에 (완성이전) 시험 생산된 제품. 4번항 이 1차 수정된 제품
6	장원형 3	자동 조작 방식	6.90"	6.90 m/m	0	자동화후 정상상태 하에서의 생산제품
7	장원형 4	자동 조작 방식	7.10"	7.10"	0	자동화 성공시의 생산품
8	장원형 5	수동 조작 방식	7.10"	7.12"	2 / 100 m/m	구공정에 의한 정상상태 하의 생산품

\* 자동화 완료시 원형 3 (3항)과 장원형 4 (7항)의 제품이 생산되며 기타의 불량품은 시험기간중 생산된 제품으로 현재는 생산되지 않는 제품임.

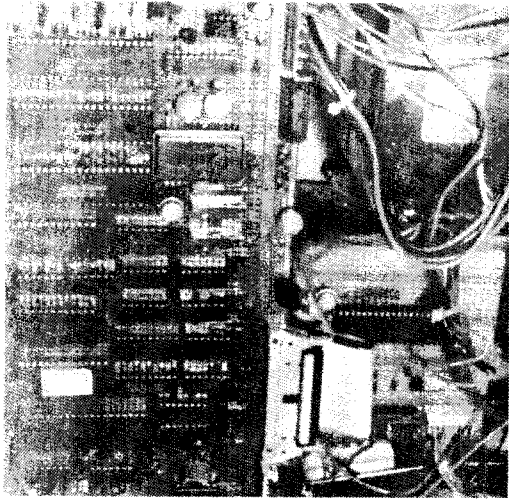


Photo. 1. System controller

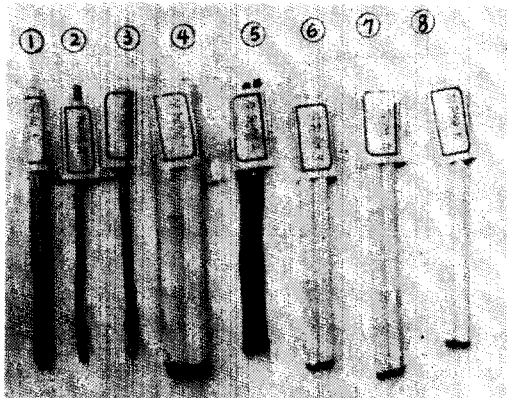


Photo. 2. Comparison of cable Products

## 7. 결 론

간이 자동화는 무인 공장 자동화를 위한 중간 과정으로서 현 기존 설비를 그대로 사용하고 여기에 감응장치와 마이크로프로세서를 부착하여 자동화한 것이기 때문에 신규 시설로 자동화한 경우의 10% 이내로서 자동화가 가능하다.

따라서 본 연구에서는 이와 같은 간이 자동화 이론을 실 기업에 적용한 경우의 기대 효과와 간이 자동화 실시상에서의 기술상 문제점 등을 검토하기 위하여 과학기술처 지원아래 (주)K사의 전선 압출공정에 적용 실시하였다.

자동화 후의 일반적인 효과로는 원료 절감, 신뢰성 향상, 인건비 절약, 생산성 향상 등이 있으며 이것은 본 연구 결과에서도 확인되었음을 알 수 있다.

즉 기존 공장에서는 전문 작업자에 따라 제품의 균일성이 달랐고 정밀도가 50 마이크로에서 10 마이크로로 향상되었으며 처음 가동시의 불량제품 생산 시간을 10 분에서 1 분으로 감소시켜 원자재의 손실을 50% 이상 감소시켜 고급 상품화되어 경쟁력이 강화될 수 있었다.

특히 간이자동화를 위한 설치 비용은 7.5 백만 원 정도로 이는 현 생산설비 (1.5 억원 정도)의 5%로서 자동화시킨 것으로 Table 3 을 금액으로 환산한 결과 월 1.25 백만원이 절감되어 6 개월이면 추가 투자비용 환원도 가능하게 된다.

이와 같이 간이 자동화의 실 적용에 따른 세계적 추세인 무인 공장 자동화에 대한 접근을 위해 지속적인 연구개발이 요구된다.

## References

1. 김용득외, "압출 생산성 향상을 위한 간이 자동화에 관한 연구", 과학기술처 연구보고서, 1985. 4
2. 復田健二, "메카트로닉스 入門, 共立出版 株式會社, pp.10-130 1983. 9
3. 加藤友彦, "マイクロ ユンピュータ應用-生産合理化編", 新技術開發センター, 1981. 4
4. 日本能率協會, "自動化・省力化 對策", pp 20-150 日本能率協會, 1981
5. R. Zaks, "Microprocessor interfacing techniques", Cybex. 1978
6. A.J. Laduzinsky, "Control in Machines and Manufacturing : Timing and Coordinates is Everything.", Control Engineering. Aug. 1984
7. H. Yoshikawa, "Flexible Manufacturing System in Japan", IFAC 9th World Congress Proceedings, Hungary, 1984