■ 特輯 · 技術解說

압출 생산성 향상을 위한 간이자동화에 관한 연구

鄭 華 子*, 金 容 得**
京畿工業開放大學 教授*(技術士),
亞州大學校 教授**(工博)

Ⅰ. 연구배경

1984년 4월부터 6개월간 과학기술처의 지원 하에 본 연구팀에서 우리 나라 중소기업의 생산성 향상을 위한 공장자동화에 대한 1차 조사 연구를 한 결과, 우리 나라 중소기업은 기술인력과 자금 부족때문에 직접 무인화로 전 공장을 자동화할 수 없는 실정이므로 한국형 공장자동화 방법으로서 간이자동화가 바람직하다는 방안이 제시되었던 바, 그 연구보고 결과를 요약하면 다음과 같다.

간이자동화란, 기존 공장을 그대로 사용하며 단지 마이크로 프로세서를 사용하여 감응장치(sensor)와 출력방식을 연관시켜 제어함으로써 자동 생산하도록 하는 방식으로서, 10% 정도의 추가 시설비로 자동화할 수 있는 방법이다.

자동화는 자동화 시설을 사용하는 업종에 따라 기계적 자동화(mechanical automation)와 공정자동화(process automation)의 2가지 형태로 볼 수 있다. 이들 2가지 부류 중 각 그룹을 대표할 수 있는 회사로서 (1) 기존설비를 그대로 이용할 수 있어야 하며, 단지 입력감응장치와 출력변환장치의 변경에 의하여 기존설비의 성능이 향상될 수 있는 중소기업, (2) 간이자동화 후 효율성이 크고, 시설비용이 적은 업체, (3)수출업체로 제품 신뢰도가 문제가 되는 업체, (4) 전문 또는 숙련된 기술 요원이 필요한 중소기업, (5) 기업주가 원하는 기업의 5가지 조건을 구비한 업체를 선정하여 간이자동화에 대한 시범사업을 추진한 후, 이의 성공사례를 평가하여 다른 중소기업들에 표본이 되게 함으로써 중소기업의 경영층과 생산현장에 간이자동화의 개념과 의의를 올바르게 인식시키고, 간이자동화의 절실한 필요성을 느끼도록 해야 한다.

이상과 같은 연구 결과에 따라 과기처 지원하에 제2차로 기계적 자동화 그룹중 전기전자 분야의 대상 업체로 선정된 한국KDK(주)의 "압출 생산성 향상을 위한 간이자동화에 관한 연구"가 1984년 12월부터 6개월여에 걸쳐 진행되었으며, 현재 실제 공정에 설치하여 성공적으로 가동 중에 있는 바, 여기에 소개하고자 한다.

Ⅱ. 대상공정

한국KDK(주)는 각종 전선, 전원코드 및 튜브 제조업체로서 일본의 천기전선(주), 삼정물산(주), 등창전선(주)와의 합작회사이며 1974년 현 위치인 한국수출공단 내에 설립되었다. 본 연구에 착수할 당시인 1985년 현재, 종업원 수는 남자 120명, 여자 50명이고, 자본금은 3억 5천 2백만원이며 1984년도 당기 순이익은 2억 3천만원인 전형적인 중소기업이다.

지난해인 1985년에는 첨단제품인 각종 컴퓨터용 케이블과 인공위성용 케이블등 80여종을 개발, 20만달러를 수출하였고 1985년도 총수출액은 약 500만달러였다. 이 회사는 고부가가치 제품 개발과 함께 생산설비의 자동화를 추진함으로써 경쟁력을 높여 나가기 위해, 우선 제품의 품질에 가장 큰 영향을 미치는 외경(전선두께)을 자동으로 측정하는 외경 자동측정기를 개발하는데 착수하기로 하였다.

이 회사의 주 생산품인 전선의 경우 외경이 균일해야 하며 외경오차가 적을수록 고급제품이 되어 가격이 높아지고 오차의 크기가 허용 한계치 이상이면 불합격품이 되고 만다.

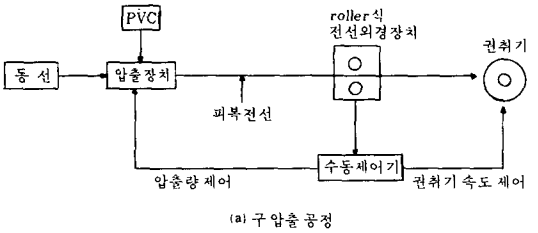
전선에 피복을 입히는 공정을 압출공정이라 하며, 이 공정은 전선 규격에 따라 제품의 외경을 설정한 뒤 외경측정기(thickness gauge)로 측정하여 숙련공에 의하여 수동으로 조작하였다. 즉 그림1-(a)와 같이 전선이 2개의 로울러 사이를 지날 때, 두 로울러의 간격 변화에 의하여 제어판넬(control pannel)의 제어장

치에 외경측정기의 측정치가 전달되고, 제품의 외경을 설정기준치와 비교하여 표시기에 의해 +, −로 변화 지시하며 이 변화에 따라 작업자가 스크류 회전을 수동으로 조절함으로써 압출량을 제어, 전선의 굵기를 제어하도록 되어 있다.

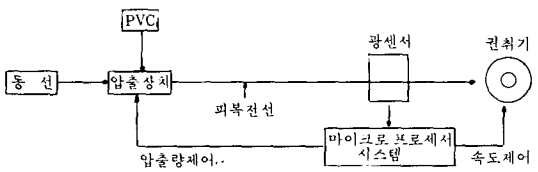
이러한 수동에 의한 작업은 외경의 오차가 발생, 제품불량률이 높았으며 작업시간이 오래 걸림으로써 자재 및 시간의 손실은 물론 생산성이 아주 낮았다. 이러한 문제를 해결하기 위해 압출공정을 간이자동화하는 작업에 들어가게 되었고 만 6 개월간에 걸친 연구끝에, 그림 1 −(b)와 같이 기존 라인에 기계적 외경측정장치는 레이저를 이용한 고속정밀 외경측정장치로 대체하여 부착하고, 이에 의해 오차신호를 검지하여, 마이크로프로세서 제어장치에 전달, 스크류 회전이 자동 조절되도록 하는 새로운 외경자동조절 시스템을 개발하였다.

이에 따라 제품의 정밀도가 크게 높아져 30~40%의 원료를 절감하게 되었으며 인건비 또한 종전보다 약 30% 줄일 수 있게 되었다. 특히 외경수치가 실질수치로 기록되어 정밀도가 크게 높아졌으며, 이에따라 제품가격이 오르고 국제경쟁력도 높일 수 있게 되었다.

그림 1은 자동화하기 전과 후의 공정을 간략히 나타낸 것이다.



(a) 구 압출 공정



(b) 신 공정

그림 1. 신·구 압출공정

1. 전선두께 측정방식의 자동화

기존 외경측정기(thickness gauge)의 구조는 두개의 로울러가 진동하게 되어 측정 정밀도가 감소하게 되며, 따라서 제품의 품질이 균일하게 측정되지 못할 가능성이 높다. 이런 문제점을 개선하기 위하여는 비접촉식 고속측정장치가 필요한데, 이러한 비접촉식 고속 측정장치로는 광학적센서가 많이 사용된다.

즉, 그림 2와 같이 레이저를 전선에 비추어 CCD 수광장치에 의해 빛의 밝기를 검지하고 마이크로 프로세서에 의해 전선의 굵기를 계산하는 방식이다. 이는 CCD소자에 의하여 식별할 수 있는 오차가 결정된다.

현재 생산되는 외경 규격 허용오차는 0.05㎜이고 본 연구에서 사용한 센서로는 10미크론(0.01㎜)까지 식별이 가능하며, 최저 시간은 1ms이내이므로 정밀도가 크게 향상됨을 알 수 있다.

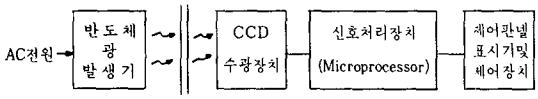


그림 2. 전선두께 측정장치의 구성도

2. 전선 피복두께 제어장치의 자동화

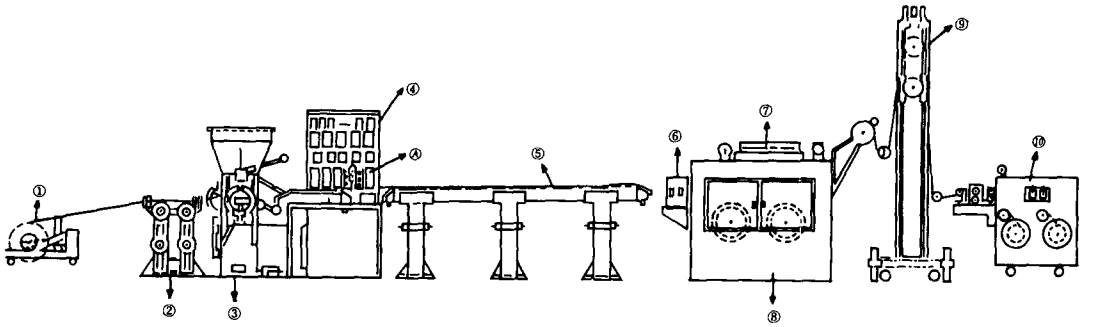
전선의 피복두께를 자동적으로 제어하기 위해서는 기존의 open loop 제어방식을 closed loop 제어방식으로 변경함이 필요하다.

즉, 기계식 로울러에 의하여 전선의 굵기가 측정되어 표시장치에 나타나면 작업자가 이를 수동으로 조작하던 것을 CCD에서 전선의 굵기를 측정한 후 마이크로 프로세서 제어장치로부터 직접 압출장치와 권취기의 속도를 제어할 수 있게 된다. 이는 처음 가동시 정상상태까지 걸리는 시간이, 기존의 기술이 30분 이상 소요되던 것에 비하여 자동화한 경우 10배 이상 단축하게 되어 불량재료의 감소를 가져오게 된다. (표 3 참조)

3. 압출생산공정

그림 3은 본 연구의 대상인 생산라인의 공정도이다.

공급재료원(1번)에 감겨진 전선은 2번의 당김장치에서 필요한 정격굵기로 조정되고, 3번의 압출장치에서 가공되어 6번의 두께측정기를 통하여 외경값을 측정하면서 10번 권선기를 통하여 제품이 생산된다. 이때의 측정값은 4번에 있는 제어조정 장치에서 설정한 값과 비교된 오차를 A번 표시기에서 제어하게 되면 작업자는 이를 검사하면서 3번의 제어조정 장치를 수동 조작한다. 이러한 압출공정 중, 본 연구에서는 6번의 로울러형 기계식 두께 측정장치를 최신의 광소자로 대치하여 최신의 압출장비와 같은 정도로 신뢰도를 증가시키고, 3번에 있는 조절 스크류를 서보모터



1. Supply stand 2. Tension stand 3. Extruder 4. Control panel 5. Cooling trough
6. Thickness gauge 7. Spark tester 8. Capstan 9. Accumulator 10. Winder

그림 3. 압출 생산공정

로 대치하여 마이크로 프로세서에 의하여 직접 조작제어하도록 설계했다.

마이크로 프로세서에 의한 제어회로를 4번의 제어판넬에 포함시키고 교시상자(teaching box)와 같은 간단한 키를 첨가시켜, 생산하려는 전선의 굵기, 오차의 한계범위, 선속 등을 입력할 수 있도록 설계한다. 실제로 광센서에 의한 측정값은 1미크론까지 가능하며(회사측 요구 허용오차는 +0.05~0.1mm) 마이크로 프로세서에서 측정값을 감지하여 허용오차를 계산한 후 서보모터에 명령하기까지는 100μs 이내가 되므로 신뢰도가 크게 향상된다.

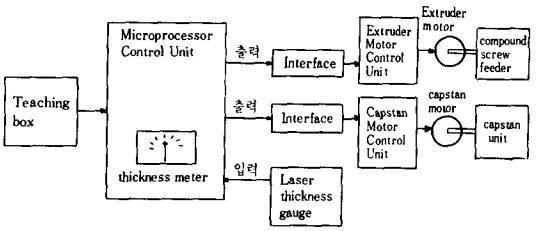


그림 4. 자동화된 전선 압출 시스템

Ⅲ. 설계조건

기존 공정의 제어기기는 순수한 아날로그 방식에 의한 제어시스템으로 구성되어 있으며, 이것은 판넬제어 방식과 무관하게 일정치의 수동 설정값이 변화되지 않도록 하는 역할 외에는 실제의 생산제품과는 연관이 없다. 따라서 전적으로 조작자에 의해서만 결정되므로 조작자의 숙련도에 따라 오차가 달라진다. 또한 일정한 설계값을 가질 때까지의 오차는 모두가 불량으로 취급된다.

이러한 점을 해결하기 위해서 마이크로 프로세서를 이용하여 실측 외경과 extruder의 속도를 상호 디지탈 값으로 궤환시켜 제어할 수 있도록 구성해야 한다. 이를 위한 시스템의 설계 및 제작조건은 다음과 같다.

1) 기존 제어기기의 수동 운전 방법을 그대로 변용할 수 있을 것.

2) 기존 제어기기의 조건을 모두 만족시켜 별도의 측정장치 없이도 직접 연결할 수 있을 것.

3) 기존 제어기기의 오차는 발생 후에는 제어되지 않으므로 이를 제어될 수 있도록 구성할 것.

4) 소형으로 구성되어 기존 제어기 내부에 포함시킬 수 있도록 할 것.

5) 간단한 조작으로 누구나 쉽게 운전할 수 있을 것.

6) 장래의 확장성을 고려하여 여분의 기억장치를 갖춰야 하며, 또한 IEEE-488전용 버스선을 갖도록 할 것.

7) 생산제품의 사후관리를 할 수 있도록 자동기록계를 부착시킬 수 있도록 할 것.

그림 5의 기존시스템에 릴레이와 Op·Amp.를 이용하여 상기 설계조건에 맞도록 구성한 것이 그림 6이다.

Ⅳ. 하드웨어 설계

1. 마이크로 프로세서 제어기의 구성

프로세서 제어기는 일반 PC는 달리 내장프로그램을 가지고 있는 전용기로서 제작 되어야만 한다.이것은 조작자의 조작 편의성을 도모하고 기타 부가적인 교육을 최

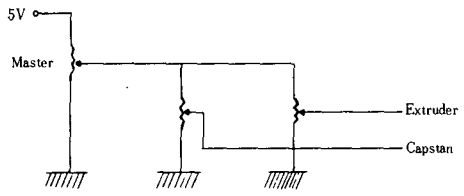


그림 5. 제어신호 구성

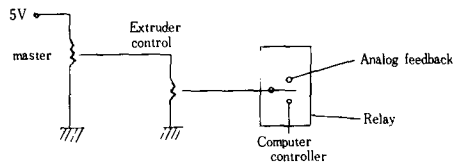


그림 6. 자동·수동 변환방법

소화시키면서 기존 생산현장에 적용할 수 있게 된다.

프로세서 제어기는 각각 표 1과 같은 입·출력 특성을 갖는다.

표 1. 입출력 특성

입 력	출 력
• 권취기의 속도	• 압출기의 제어전압
• 외 경	• 조작자를 위한 표시장치
• 조작자를 위한 키보드	• 경고벨을 위한 출력단자
• 압출기의 제어전압	• 기록계를 부착시킬 수 있는 단자

2. 하드웨어 시스템 구성

범용 컴퓨터와는 달리 그림 7에서 보는 바와 같이 입출력 기능이 강화된 시스템으로 구성된다.

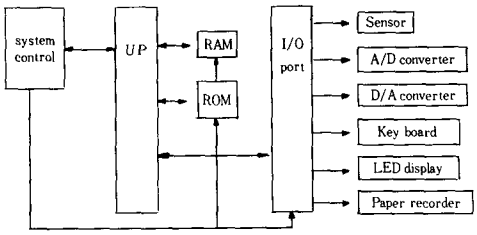


그림 7. 하드웨어 시스템 구성

3. 전체 시스템의 구성

1) 기억장치의 구성

기억장치의 구성은 ROM 8K, RAM 2K바이트를 사용하며, CPU와 최근접 거리에 배치하고 8764에는 244, 6116에는 245버스 버퍼를 사용했다. 이들은 MERQ 신호, CE신호로써 선택되어 시스템의 다른 부분과 격리되어 잡음을 방지한다.

2) 각 8255 PDI의 연결

정보선은 직접 연결하고 RESET는 7404에 의하여 반전신호를 만든 후 연결한다. CE는 128의 디코더와 IORQ와의 신호로 연결되어 기억소자의 확장 후에도 중복되지 않도록 하였다.

3) 8279의 연결

8279의 INT신호는 반전시킨 후 Z-80의 인터럽트 신호용 단자 INT로 연결되며 이는 인터럽트 모드 1을 이용 0038번지부터 시작되도록 하며, 키보드 및 LED 표시기는 별도의 디코더 138과 154를 이용한다.

4) D/A변환기

D/A변환기는 8255와 연결되어 있어 일정 정보를 기억된 상태로 유지하므로 연속된 아날로그 값을 얻어낼 수 있다. 이러한 동작은 D/A변환기를 5V형 출력형으로 사용한다.

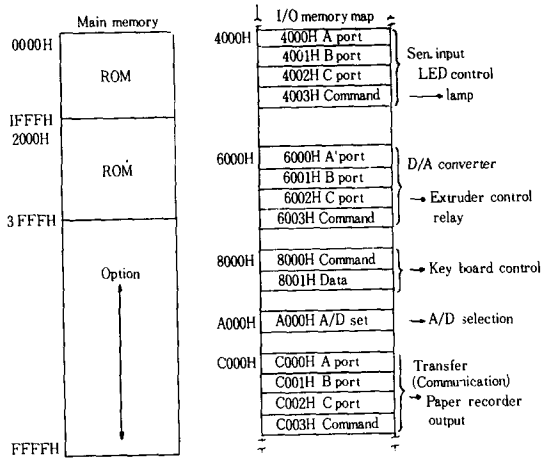


그림 8. 기억장치 영역

V. 소프트웨어 설계

본 프로그램은 크게 2개의 블럭, 즉 주 프로그램과 인터럽트 프로그램으로 나뉘어진다. 주 프로그램은 기본적으로 처리되는 프로그램으로서 일련의 연속처리되는 무한 loop로 구성되며, 인터럽트 처리루틴은 주 기억소자의 정보를 구성시키는 루틴으로 주 프로그램

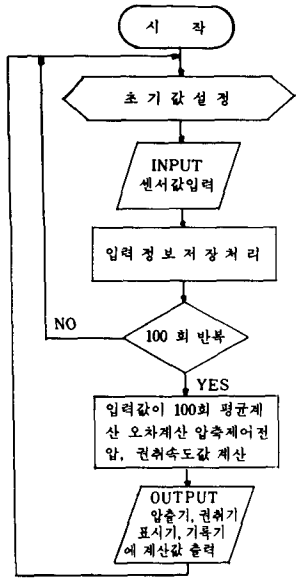


그림 9. Main program flowchart

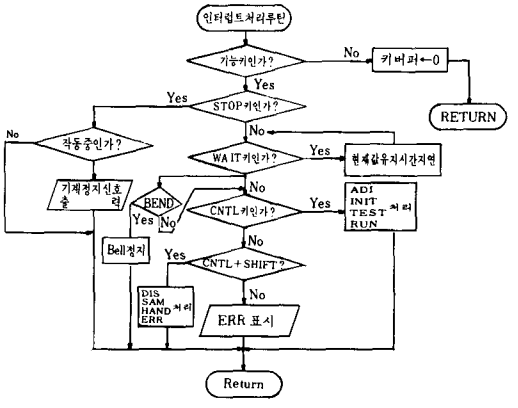


그림10. Interrupt service routine

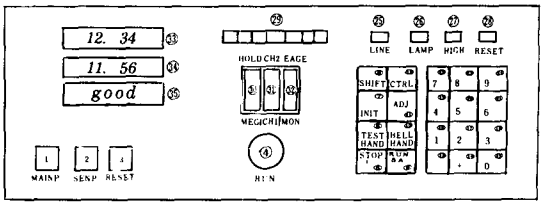
이 일정 정보를 처리하기 위한 필요정보를 주기억소자에 기억시키는 역할만을 수행한다.

Ⅵ. 신공정의 동작방법

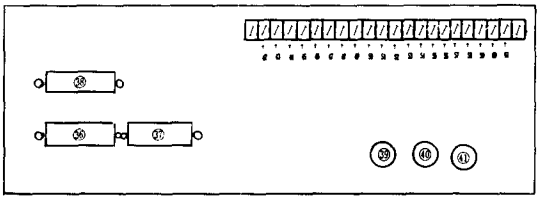
신공정에서 사용하는 제어기 판넬은 그림11과 같으며 자동화 후의 동작은 다음과 같다.

1) 전원 스위치를 넣고, 제어키와 기능키를 이용하여 초기처리한다.

2) 초기처리는 허용오차의 범위와 권취기의 다이얼을 적정수준으로 조절한 후 "RUN"키에 의하여 자동작동이 수행된다.



(a) 전면파넬



(b) 후면파넬

그림11. 제어기 판넬

3) 이때 제품의 실측치를 측정하여 오차보정을 수행한다.

4) 비상상태인 경우 다음과 같이 경고를 준다.

-인입되는 선이 절단된 경우 ALARM을 울리고 LED표시기에 CUT를 표시한다(이는 기존기능에는 없음).

-적정오차 범위 이상일때 ALARM을 울리고 "HELP"를 표시한다. 오차범위 이상일때 강제 가동시킬 경우 "Error"를 표시하고 작동 수행할 수 있다.

5) 수동·자동 동작의 변환이 가능하다.

-STOP-RUN 상태에서만 유효하고 입력수치는 없다. 한번 입력되면 STOP을 표시시켜 확인을 요구한다. 재차 입력하면 압출장치의 제어방식은 기존 아날로그 방식에 의한다.

-ADF-센서의 정보 표시값과 실질정보(size)와의 오차보정 기능으로 키 입력되는 순서는 다음과 같다.

CTRL

\+ ⇨ + ⇨ 0 ⇨ 0 ⇨ 1 ⇨ 2

ADI 제품의 크기가 표시정보보다 0.12㎜큰 경우

-SAM-센서의 측정정보의 횟수를 결정하는데 2~256회까지

-TEST-표시기, 센서, 선, 램프 등을 시험한다.

-DIS- 표시기의 기능을 설정한다. 즉 LED 3개조의 정보를 선택한다.

-HAND- 수동동작 키로서 입력수치는 없다. 다른

기능키가 입력되지 않는 한 계속 유효하다.

-INIT- 초기정보 입력기능이다. 입력수치는 4이다. 즉, INIT키가 입력되고 나서 4개의 연속숫자 입력이 있어야 유효하다.

-RUN- 제어를 컴퓨터(μP)로 처리하게 되는 기능으로 입력수치는 없다. 키입력 즉시 유효하다.

-WAIT- 비상시 일시적으로 제어를 중단시키는 기능으로 입력수치는 없다.

Ⅶ. 생산성의 비교 검토

1. 신, 구 공정의 비교

사진 1은 자동화 후의 신 공정 제어판넬이다. 점선 표시 부분은 추가로 설치된 자동제어부분을 나타낸 것이다.

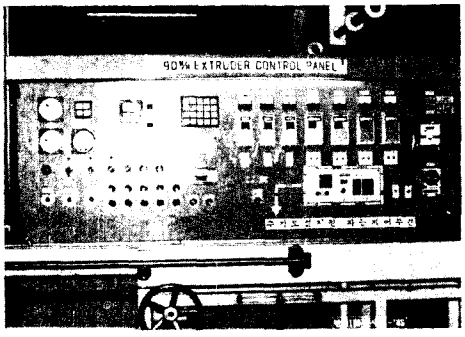


사진 1. 신공정 제어판넬

구공정에서는 수동조작에 의한 기존방법으로 각종 아날로그 계측기를 작업자가 읽어 수동 손잡이로 공정을 항상 감시하며 조작하도록 되어 있다.

그러나 신공정에서는 자동조작기에 의하여 작업자가 생산하려는 제품의 크기 및 제품의 허용오차를 숫자로 정확히(0.01mm단위) 입력시킬 수 있어, 아날로그 값에 의한 개략적인 수치입력보다 조정 정밀도를 향상시키도록 되어 있다. 더우기 자동작동 중에는 모든 공정이 마이크로 프로세서에 의하여 주어진 조건으로 처리되기 때문에 작업자의 부수적인 작업이 불필요하게 된다.

이들 신·구 공정과의 특성을 요약 비교하면 표 2와 같다.

2. 효과분석

표 3은 간이자동화 전과 후의 효과를 측정한 결과를 나타낸 것이다. 이것을 분석하여 요약하면 다음과 같다.

표 2. 신·구공정 비교표

항 목	구 공 정	신 공 정
1. 생산기술의 중요성	전문가적 작업자에 따라 제품의 질이 다르며 또한 손실도 차이가 난다.	컴퓨터에 통계적 공정이 기억되어 있어 작업자의 숙련도에 무관하게 균일제품이 생산됨
2. 생산효율의 향상	정상제품이 생산될때까지 40분 이상이 소요되며, 이동안 재료의 손실이 크다.	정상제품 생산은 15분 이내가 예상되어 재료손실이 적으며, 하루 25분 이상의 작업시간이 증가될 수 있다.
3. 환경, 복지의 개선	인사관리가 복잡하다.	작업인원이 감소되며 생산성은 증가되기 때문에 복지환경이 개선된다.
4. 품질관리의 용이	제품의 규격이 작업자에 따라 다르기 때문에 품질관리에 어려움이 있다.	제품규격은 항상 일정하다.
5. 기 타	고용인원이 증가되고 실업률이 감소한다.	연구 분위기가 고무된다.

표 3. 측정결과

항 목	자 동 화 전	자 동 화 후
1. 운전준비시간	30분	15분
2. 정상운전 도달시간	숙련공 : 10분 비숙련공 : 40~50분	숙련도에 관계없이 4~6분 (가동속도에 따라 다름)
3. 최대 생산속도	300 m/분	300 m/분
4. 정 밀 도	숙련공 : $\frac{5}{100}$ mm 비숙련공 : $\frac{10}{100}$ ~이상	최초 안정치까지 : $\frac{5}{100}$ mm 안정도달이후 : $\frac{1}{100}$ mm
5. 초기가동시 안정치까지의 총손실양의 금액	₩ 48,200원	₩ 21,400원
6. 단선일 경우 재 가동을 위한 손실액	생산 전선에 따라 다름 (중급기준, 2회기준) ₩ 25,600원	₩ 19,200원
7. 총 생산불량액(1일)	₩ 73,800	₩ 40,600원
8. 운전소요 인원	일인원 3명	2명으로 가능

같다.

1) 원료의 절감 : 총 손실량의 30~40%

2) 신뢰성 향상 : 5/100mm에서 2/100mm로 정밀성 증가

3) 인건비 절약 : 약 1/3 감소

4) 생산성 향상 : 정밀조정을 위한 시간이 1/3~1/5로 절약

5) 기타 비정량적인 효과(표 4)

표 4. 기타효과

설 치 전	설 치 후
1. 안전 운전시 단선이 나면 이후 압출되는 제품은 모두 불량으로 처리된다.	단선이 될 경우 자동적으로 검지되어 기계가 정지되므로 불량이 없어진다.
2. 외경이 수치화되지 않으므로 불량이 증가된다.	외경수치가 실질수치로 나타나므로 정밀도가 향상되어 제품값이 높아진다.
3. 고속 운전시 불량이 증가된다 된다.	고속일수록 제품의 안정성이 증가한다.

Ⅷ. 結 論

현재 국내외적으로 광학적 센서를 이용하여 전선 외경 측정장치에 의한 시크류 회전을 자동 조절함으로서 외경이 자동으로 맞추어지고 있는 전선 품종은 케이블의 코어 작업용 고급압출기에만 사용되고 있으며, 이 이외에는 사용되지 않는 것으로 조사되었다. 더우기 이들 자동시스템 공정도 레이저 방식이 아닌 일반 방식이므로 오차에 대한 신뢰도는 그다지 크지 않다고 하겠다.

따라서 본 연구의 결과는 높은 신뢰도와 저가격으로 자동화가 가능하리라 예상되며, 이는 국내 전선조합에 가입되어 있는 30~40개 업체의 각종 전선 품종에 적용될 수 있을 것이다.

또, 이러한 간이자동화는 무인공장 자동화를 위한 중간과정으로서 현 기존설비를 그대로 사용하고, 여기에 감응장치와 마이크로 프로세서를 부착하여 자동화한 것이기 때문에 신규시설로 자동화한 경우보다 자동화 시설비용이 10%정도로서 가능한 것이다.

본 연구에서는 이와같이 제시된 간이자동화 방식을 실제 기업에 적용하여 기대효과와 같이 간이자동화 시의 기술상의 문제를 검토하기 위한 시범사업으로서 한국K. D. K(주)의 전선압출공정에 적용하였던 바 첫째, 제품의 신뢰성이 향상되어 본 제품이 고급상품으로 고려되어 수출경쟁력이 높아졌으며, 둘째로 제품의 생산성이 향상됨에 따라 원자재의 손실이 50% 이상 감소되었다.

본 한국K. D. K(주)의 간이자동화에 소요된 투자비용은 1,500만원이며, 표 3에 의하면 6개월 후면 모든 투자비용 환수될 수 있음을 보였다.

생산성 향상을 위한 간이자동화 방안은 우리 나라 중소기업이 국제경쟁력에 대응하기 위해서는 꼭 필요한 것이며, 이의 실현을 위해서는 각 기업들의 적극적인 활용과 아울러 간이자동화에 관한 구체적인 교육이 절실히 필요하다고 생각한다.

參 考 文 獻

[1] 김용득"압출 생산성 향상을 위한 간이 자동화에 관한연구"과기처 연구보고서, 1985. 4

[2] 김용득"중소기업의 공장자동화를 위한 마이크로 프로세서 응용에 관한 연구"과기처 연구보고서, 1984. 10

[3] 김용득, 정화자"생산자동화를 위한 컴퓨터 응용에 관한연구" 과기처 연구보고서, 1985. 9 *

♣ 안 내 ♣

◎ 本 學會에서는 特別會員消息欄에 特別會員社의 動靜을 싣고자 하오니 게재를 원하는 會員社는 매월 30일까지 학회 사무국으로 원고를 보내주시기 바랍니다.

◎ 本 學會에서는 會員動靜欄에 會員의 移動事項(職場移動, 進級事項, 身上의 變動등)을 게재코져 하오니 해당회원 및 各 職場幹事는 매월 20일까지 학회사무국으로 꼭 알려주시기 바랍니다.