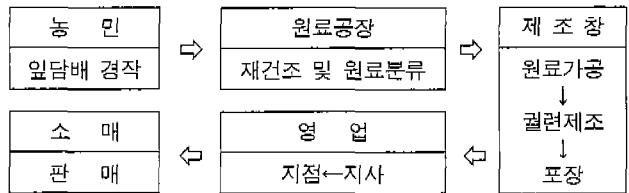


담배퀀련제조기의 주전동기 구동방식 개선



글 / 허범구
(한국담배인삼공사 원주 제조창)

한국 담배인삼공사 원주 제조창은 1983년 국내에서 최대 생산능력을 지닌 제조창으로 준공된 이래 11년동안 애연가들의 기호에 맞는 고품질의 고급 브랜드만을 제조하는 공장으로 모든 설비가 자동화되어 있으며 제조 공정은 다음과 같다.



1. 현황

원주 제조창에 설치된 30대의 담배퀀련제조기는 영국 MOLINS사에서 제작한 MK9-5 기종으로 분당 5000본(개비)을 생산할 수 있으며 주전동기를 비롯하여 13개의 전동기로 구성되어 있다.

퀀련제조기의 제어는 마이크로 프로세서 방식으로 주전동기는 마이크로 프로세서에서 1/6, 1/3, 1/1 Speed Signal를 받아 3단 속도 제어하는 Heenan Drive System(V.S 제어방식)이며, 주전동기가 밀폐된 공간에 설치되어 냉각수를 강제 순환하여 냉각하므로 별도의 냉각기가 설치되어 있다.

(1) 주전동기의 구조와 제원

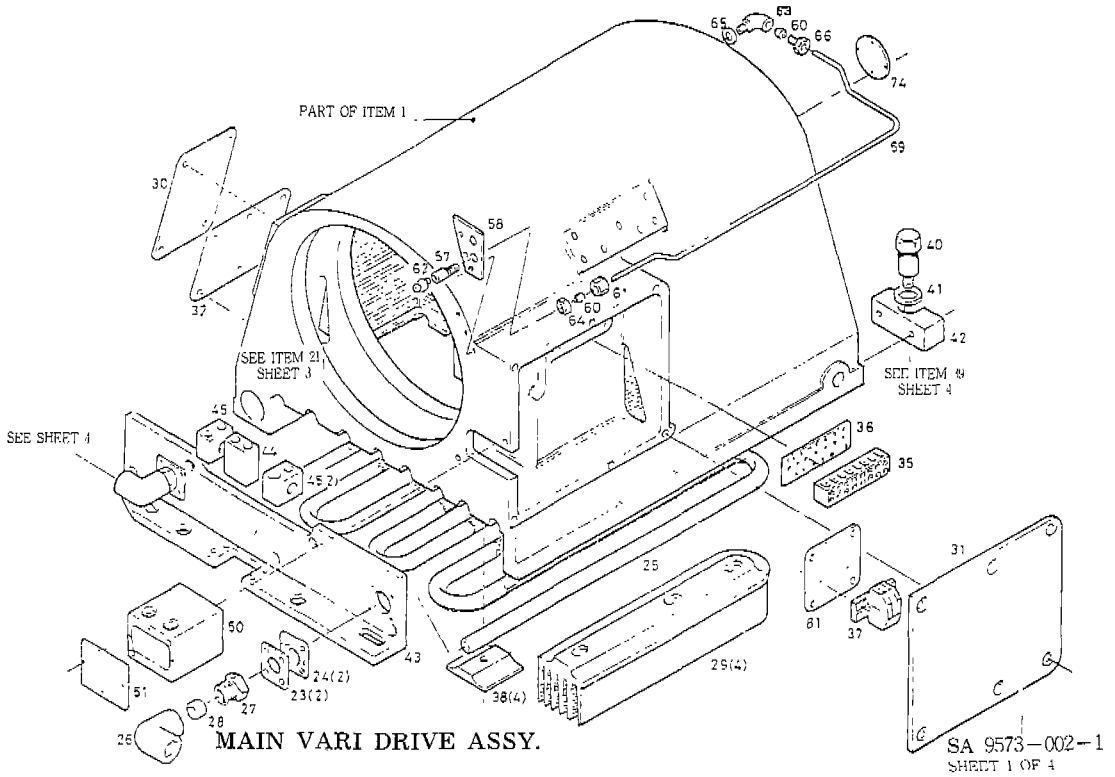
- ① 소비전력 : 11[kW]
- ② 전 압 : 220/230[V]
- ③ 전 류 : 37.3[A]

- ④ 회전 수 : 3520 [RPM]
- ⑤ 베어링 : 6311×1개, 6309×2개, NU2207×1개
- ⑥ 냉각방식 : 강제 순환 수냉식
- ⑦ 제동방식 : 강제 제동(Air Breake)
- ⑧ 커플링 코일 저항 : 8[Ω]
- ⑨ 제너레이터 저항 : 12[Ω]
- ⑩ 제너레이터 전압 : 13.3[V/1000 REV/MIN]
- ⑪ 구 조 : 그림 1~그림 4와 같다.

(2) 냉각기의 구조와 제원

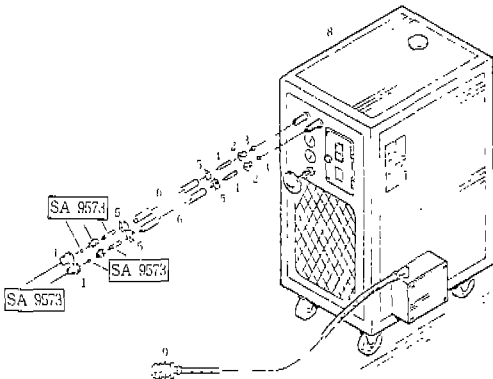
- ① 컴프레서 모터 : 1φ, 220[V], 1[HP]
- ② 냉각수 순환 펌프 모터 : 1φ, 220[V], 0.5[HP]
- ③ 냉각 팬 모터 : 1φ, 220[V], 120[W]
- ④ 냉 매 : 프레온 가스

담배걸런 제조기의 주전동기 구동방식 개선



<그림 1>

⑤ 구조 : 그림 5와 같고 비닐 호스를 사용하여 주전동기와 연결한다.



WATER COOLER

<그림 5>

2. 문제점

(1) 3상 유도전동기의 속도 제어방식의 장단점
농형 3상 유도전동기의 회전수는 식 1에 의해 결정된다.

$$N = \frac{120f}{P} (1-S) [\text{RPM}] \dots\dots\dots ①$$

단, N : 회전수[RPM]

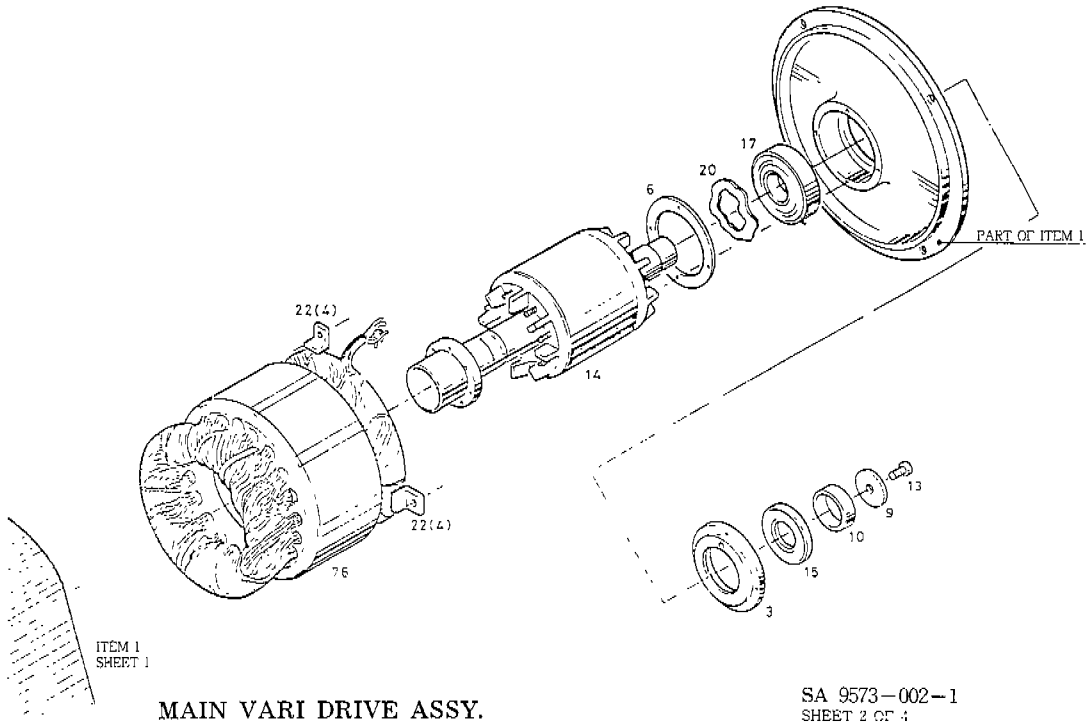
P : 극수

f : 주파수[Hz]

S : 전동기의 슬립

① 극수 변환방식

극수 변환에 의한 속도 제어방식은 고정자의 권선을 전환시켜 전동기의 극수 P를 바꿔

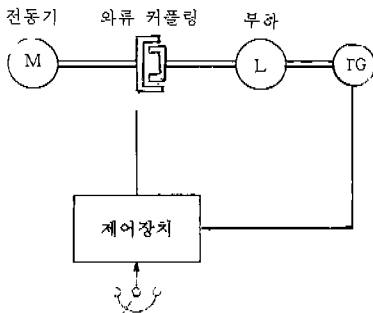


<그림 2>

회전수를 변화시키는 방식으로 불연속인 여러 단계의 속도 밖에 얻을 수 없다.

② 1차 전압 제어방식

유도전동기에 인가하는 단자 전압을 바꿀



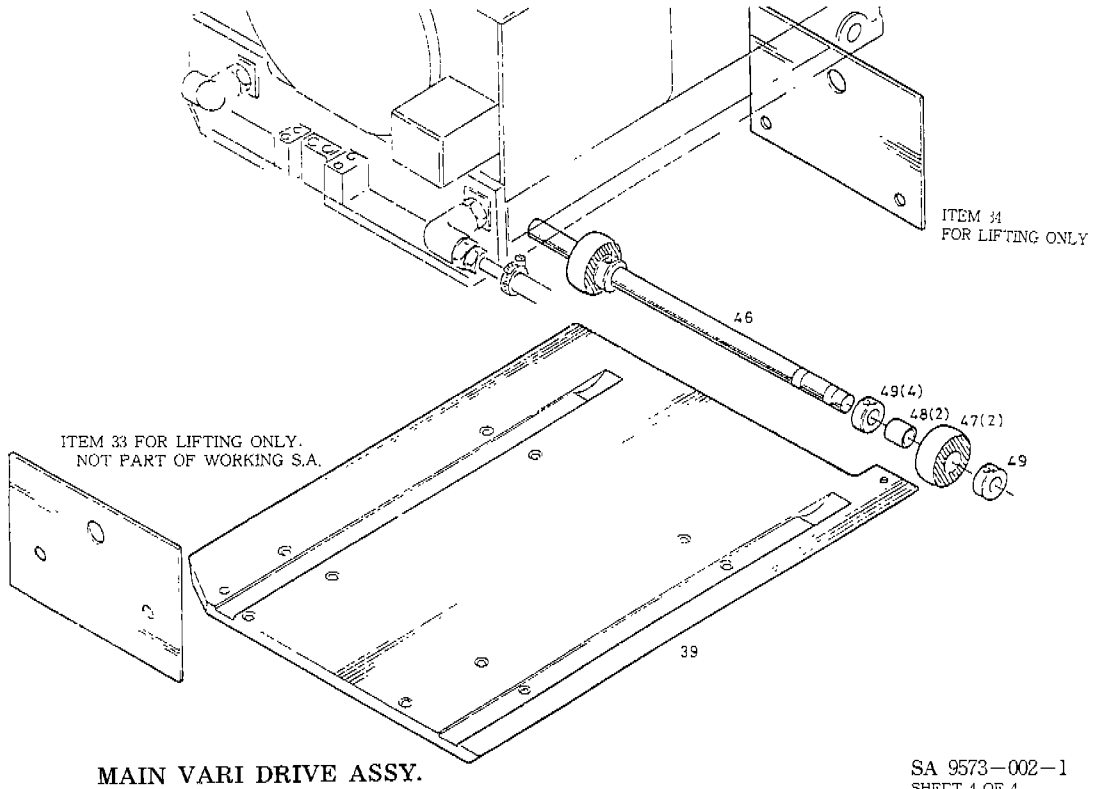
<그림 6> 단자전압과 토크 특성

때의 전동기 토크특성을 그림 6에 나타낸다.

토크는 인가되는 전압이 2제곱에 비례하기 때문에 전압을 그림과 같이 $V_1 \rightarrow V_2$ 로 변화시키면 회전수를 $N_1 \rightarrow N_2$ 로 바꿀 수 있다. 이 방식은 전동기의 슬립을 변화시켜 속도를 제어함으로써 슬립에 비례하여 회전자의 손실도 증가하고 회전자의 속도 제어범위가 넓어지면 저속시의 손실이 커져 전동기의 효율이 저하한다. 또 전동기의 냉각에도 주의를 해야 한다.

③ 1차 주파수 제어방식

1차 주파수 제어는 전동기에 공급되는 주파수를 바꿔 회전수를 제어하기 위해 항상 슬립이 작은 영역에서 전동기를 운전하고 있어 전동기의 전류도 거의 토크에 비례하고 2차 손실



<그림 3>

도 작아 효율이 좋은 제어방식이다.

④ 와전류 커플링에 의한 속도 제어방식

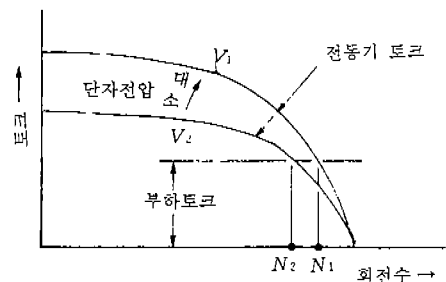
일정 속도로 운전하는 유도전동기에 와전류 커플링을 설치하여 와전류 커플링의 여자전류를 바꿔 속도를 제어하는 방식이다.

와전류 커플링은 그림 7과 같이 2개의 드럼을 조합하여 전자력으로 토크를 전달한다.

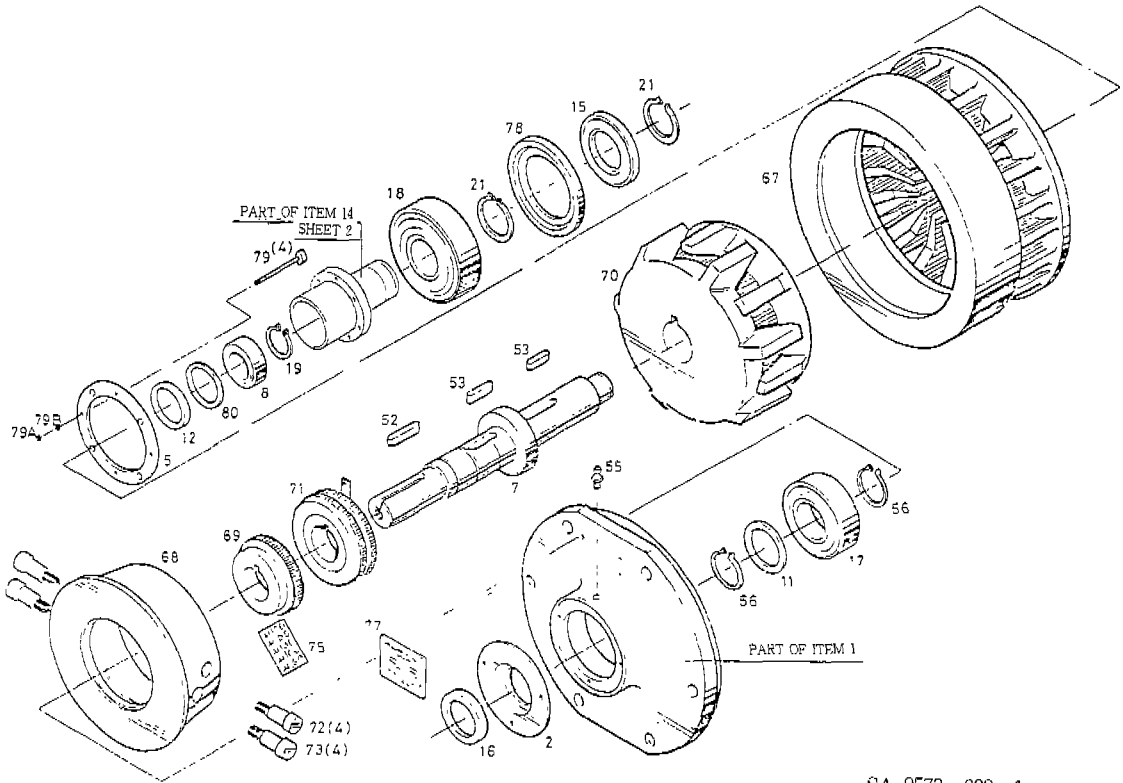
이 방식은 드럼을 슬립시켜 회전수를 제어하기 때문에 1차 주파수 제어방식에 비해 손실이 크고 특히 저속영역에서는 슬립분만큼 열도 손실이 발생하기 때문에 효율이 저하한다. 또 부하를 역전시킬 경우에는 전동기는 역전시키지 않으면 안된다.

(2) V.S 제어와 V.V.V.F 제어의 장단점

표 1과 같다.



<그림 7> 와전류 커플링에 의한 속도제어



MAIN VARI DRIVE ASSY.

SA 9573-002-1
SHEET 3 OF 4

<그림 4>

(3) 펄런제조기의 주전동기 제어방식의 문제점

- ① 전동기의 구조가 복잡하다.
- ② 큰 중량의 전동기가 밀폐된 공간에 설치되어 있어 점검 및 유지 보수시 시간과 인력이 과다하게 소요된다.
- ③ 베어링이 이중구조로 진동이 심하여 파급 고장이 많다.
- ④ Eddy Coupling 드럼이 고속 회전하므로 (3520rpm) 소음이 크다.
- ⑤ 기계 정지시 주전동기가 지속 회전하므로 에너지가 낭비된다.
- ⑥ 강제 순환 수냉식으로 별도의 냉각기가

필요하다.

- ⑦ 부속설비(냉각기 등)의 고장으로 인한 설비 가동률이 떨어진다.
- ⑧ 프레온 가스 사용금지로 인한 설비 개선이 요구된다.
- ⑨ 전동기와 냉각기가 고가의 외자로 교체시 외화 낭비이다.
- ⑩ 외자 수급기간 과다 및 부품 적기 조달이 어려워 설비 가동률이 떨어진다.
- ⑪ 브러시 및 슬립링의 마모 등으로 커플링 코일의 절연파괴가 빈번히 발생한다.
- ⑫ Eddy Coupling에 의한 여자전류를 제어하여 속도를 제어함으로써 효율이 나쁘다.

<표 1> V.S 제어와 V.V.V.F 제어의 장단점

구분 \ 종류	V.S 제어	V.V.V.F 제어
제어방법	Eddy Coupling에 의한 여자전류를 제어하여 회전속도를 제어한다	전동기에 가해지는 전압과 주파수를 제어하여 회전수를 제어한다
효율	출력속도에 따라 30~75% 정도	출력속도에 따라 70~98% 정도
소프트 스타트 스톱	단시간 일반적임	장시간에 걸쳐 조정범위가 넓음. 0.06~1800초
유지보수	구조가 복잡하여 인력과 시간이 많이 소요	농형 유도전동기를 사용하므로 유지 보수가 가장 용이
동향	응용기술이 한정되고 사용량에 적합하며 효율이 나쁘고 설치면적이 넓고 변동률이 크다	AC 전동기 제어에 주류를 이룰 것이며 유지 보수 에너지 절약면에서 뛰어나고 반도체 소자의 개발에 따라 가격도 내리게 되므로 급속도로 보급 추세에 있다

- ⑬ 여자전류 제어장치의 부품이 구형이어서 구입이 어렵다.
- ⑭ 드림의 끌림운전으로 작업자의 안전사고 위험이 있다.

3. 개선

여러가지 문제점을 보완하기 위하여 구조가 간단하고 중량이 가벼우며 유지 보수가 용이한 일반 3상 농형 유도전동기를 3단 속도로 제어할 수 있는 인버터를 그림 8과 같이 설치한다.

(1) 전동기 선정시 고려 사항

3상 농형 유도전동기의 선정에 있어서 기존에 설치된 전동기가 Eddy Coupling을 이용한 속도 제어 전동기이므로 외형치수, 축높이, 회전수, 전동기의 온도상승, 축지름(축의 직경) 등을 고려했다.

① 회전수

주동축과 종동축간에 평벨트로 동력을 전달하기 때문에 양축의 풀리를 크게 변화시킬 수 없어 전동기를 2극으로 선정했다.

② 축높이

기존의 전동기 구조가 복잡하고 대형이어서 높이를 맞추기 위하여 기존의 전동기 베이스

를 가공 사용하고 그 위에 전동기를 좌우중심 위치를 변경할 수 있는 슬라이드 베이스를 설치했다.

③ 온도상승

용량선정을 위하여 부하율을 측정한 결과 60% 정도로 기존의 용량과 동일용량(11kW)으로 선정하고 온도상승을 고려해 밀폐된 공간에 공기 유통을 위하여 덩개에 공기 통로를 냈다.

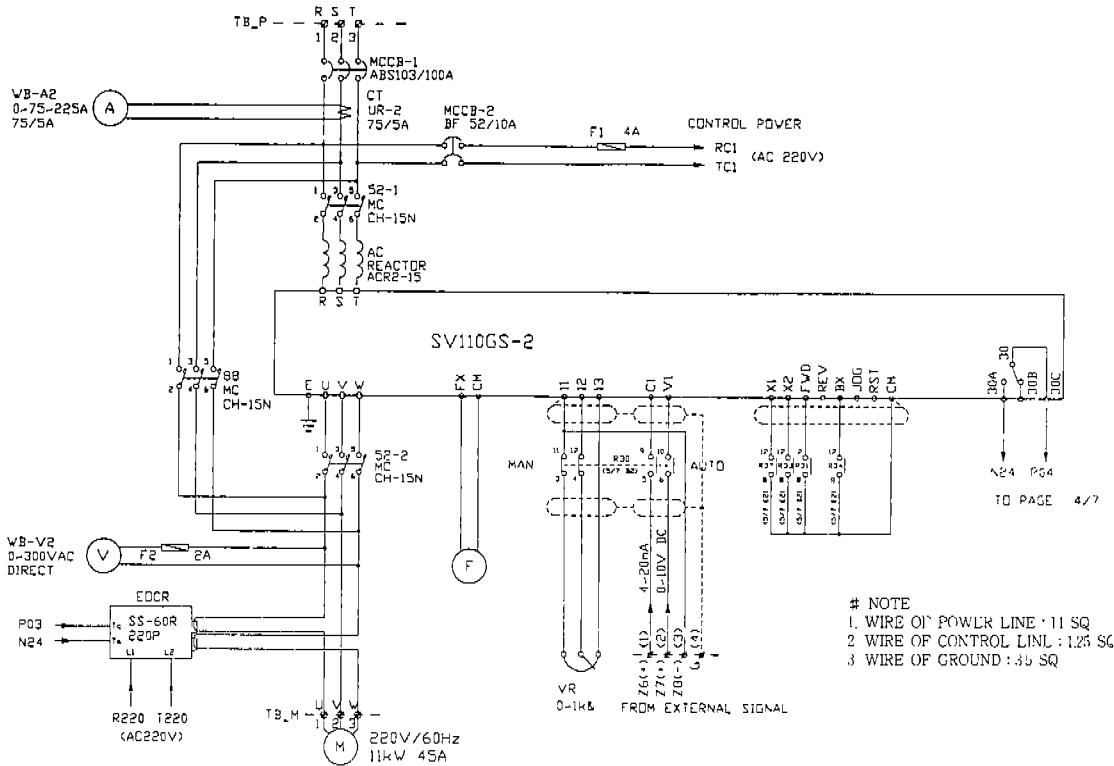
④ 외형치수

밀폐된 공간에 전동기를 설치해야 하므로 외형치수를 검토한 결과 축높이를 맞추기 위하여 베이스를 이중 구조로 전동기의 전체적인 위치가 높아졌으므로 전동기 운반용 고리를 제거하고 설치했다.

⑤ 축지름, 터미널 박스 등을 검토한 결과 별다른 문제점이 없다.

(2) 인버터 선정시의 고려 사항

- ① 운전특성(1/6, 1/3, 1/1)이 가능할 것.
- ② 마이크로 프로세서와 인터페이스가 가능할 것.
- ③ 인버터내의 전자파로 인한 마이크로 프로세서 오동작이 없을 것.



<그림 8>

- ④ 전동기의 특성(2극, 220V, 60Hz)에 적합할 것.
- ⑤ 강제 제동(기계의 Air Breake 사용)시 이상이 없을 것.
- ⑥ 가속시간, 감속시간의 설정이 가능할 것.
- ⑦ 1/6, 1/3, 1/1 속도의 설정이 용이할 것(변경이 가능할 것).

(3) 마이크로 프로세서와 인버터와의 인터페이스 회로

마이크로 프로세서의 1/6, 1/3, 1/1 속도 운전특성은 다음과 같다.

- 1/6 운전시 : 1/6 시그널 ON
- 1/3 운전시 : 1/6, 1/3 시그널 ON

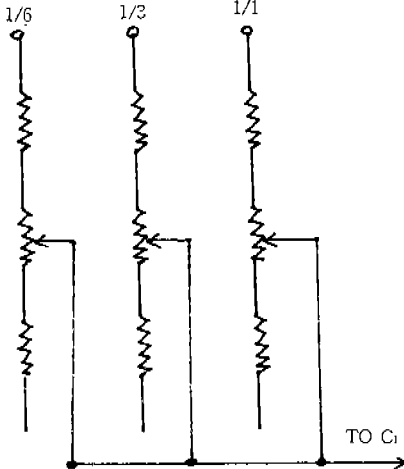
1/1 운전시 : 1/6, 1/3, 1/1 시그널 ON

① 전류 신호를 이용한 인터페이스 회로

처음에는 그림 8의 C1 단자를 이용한 전류 신호로 인버터를 운전하기 위하여 Maker Control Rack 내의 카드를 그림 9와 같이 일부 개조하여 3단 속도 제어를 하려고 했으나 3단 전류를 맞추기 어려워 실패했다.

② 릴레이 접점을 이용한 인터페이스

두번째로는 그림 8의 X1, X2, JOG 단자를 이용한 접점 신호로 인버터를 운전하기 위하여 그림 10과 같이 릴레이 회로를 구성하여 접점을 이용한 3단 속도 제어는 가능하였으나 릴레이 코일과 Free Feeling Diode의 영향으로 마이



〈그림 9〉 전류신호를 이용한 인터페이스

크로 프로세서 O/P 인터페이스 카드가 소손되는 사례가 발생, 보완했다.

③ 소형 PLC를 이용한 인터페이스

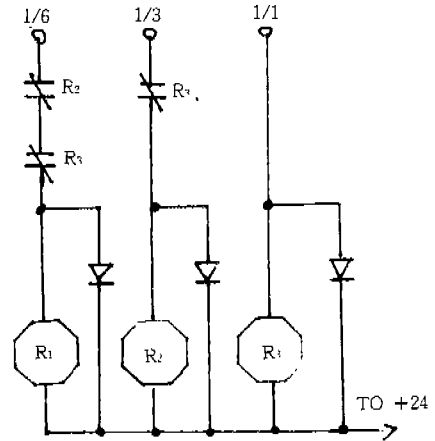
소형 PLC를 인버터 패널내에 설치하여 마이크로 프로세서와 인버터와의 인터페이스 회로는 물론 인버터 패널내의 모든 시퀀스 회로를 PLC 제어가 가능하도록 구성하였다.

(4) 인터록 회로 구성

인버터 패널내에서 인버터 트립이나 EOCR 트립이 발생하였을 경우 궐련제조기의 마이크로 프로세서에서 기계를 정지할 수 있도록 한다.

(5) 벨트 슬립 회로 개선

마이크로 프로세서에서 기계측 T.G와 주전동기측 T.G 신호를 비교하여 벨트 슬립시 기계를 정지하는 기능이 있었으나 주전동기내의 Tach-generator를 철거하였으므로 Maker Control Rack내의 카드 회로를 일부 변경 보완하였다.



〈그림 10〉 릴레이·접점을 이용한 인터페이스

(6) 주전동기 서미스터 회로 구성

궐련제조기의 모든 전동기에는 권선내에 온도감시기가 내장되어 권선내의 온도가 120℃ 이상 상승하면 기계가 정지토록 되어 있으나 주전동기는 온도감시기가 내장되어 있지 않으므로 Maker Control Rack내의 카드 일부를 변경 보완하고 주전동기의 보호는 인버터 패널에 EOCR를 설치하여 보호토록 하였다.

(7) 기타 철거품

- ① 주전동기
- ② 냉각기
- ③ Heenan Control Card
- ④ Heenan Drive Card
- ⑤ 진상용 콘덴서
- ⑥ 커플링 코일 전원용 퓨즈

4. 효 과

- (1) 유형효과(원주 제조창 궐련제조기 설치대수 : 30대)

① 에너지 절감

가. 냉각기 철거로 인한 에너지 절감

- 컴프레서 모터 : 0.75[kW]
- 냉각수 순환펌프 모터 : 0.5[kW]
- 냉각 팬 모터 : 0.12[kW]

$$(0.75+0.5+0.12) \times 8(\text{시간}) \times 25(\text{일}) \times 12(\text{개월}) \times 30(\text{대수}) = 98,640[\text{kWh}]/\text{년}$$

나. 기계 정지시 주전동기 공회전 방지로 인한 에너지 절감

- 주전동기 : 11[kW]
- 기계 운전효율 : 85[%]

$$11 \times (1-0.85) \times 8(\text{시간}) \times 25(\text{일}) \times 12(\text{개월}) \times 30(\text{대수}) = 118,800[\text{kWh}]/\text{년}$$

다. 커플링 코일 철거로 인한 에너지 절감

- SCR를 사용하여 반파정류 제어
- 1/1 회전시 공급 전압 : 45[V]
- 커플링 코일 저항 : 8[Ω]

$$45^2/8 \times 0.85 \times 8(\text{시간}) \times 25(\text{일}) \times 12(\text{개월}) \times 30(\text{대수}) \times 10^{-3} = 15,491[\text{kWh}]/\text{년}$$

$$\therefore \text{가} + \text{나} + \text{다}[\text{kWh}] = 98,640 + 118,800 + 15,491 = 23,2931[\text{kWh}]/\text{년}$$

② 주전동기, 냉각기의 예비품 확보시 외화 절약

③ 고장 발생시간 단축으로 설비 가동률 향상

(2) 무형 효과

- ① 진동과 소음의 감소로 작업환경 개선
- ② 냉각기 프레온 가스 사용 방지로 환경 파괴 방지
- ③ 능률 향상으로 인한 작업자의 근로의식 고취

5. 맺음말

양담배 수입 자유화 이후 국내시장 잠식률이 점차 증가하는 추세에 있고 적극적인 금연운동 확산

으로 담배산업의 불투명한 환경을 극복하기 위해서는 국산담배의 품질향상과 생산성 향상을 통한 국제경쟁력 확보에 있음을 절감하며, 담배 생산의 중추적 역할을 하고 있는 쉐련제조기가 구조적으로 안고 있는 여러가지 문제점을 해결하기 위하여 인버터 설치를 추진하였다.

처음에는 단순히 인버터 패널만 있으면 어떻게 해결되겠지 하는 안이한 생각으로 시작하였으나 막상 일을 시작하고 보니 예상치 않았던 여러가지 문제들이 들쳐들어 어려움이 많았으며 몇가지 살펴보면

첫째, 생산목표 달성을 위하여 한시라도 기계를 세울 수 없다는 것 때문에 냉방시설도 가동되지 않는 한여름의 3일 연휴기간을 택해 충분한 시험운전을 통하여 생산에 차질이 없도록 하였다.

둘째, 기계 운전자의 고정 관념으로 운전방식의 변화가 조금만 있어도 거부감을 나타내기 때문에 개선전의 운전방식과 변화를 최소화하려고 노력하였다.

셋째, 마이크로 프로세스에서 1/6, 1/3, 1/1 속도 상승시 일정시간내에 일정속도에 도달해야 하므로 가속시간과 감속시간 맞추기가 어려웠으나 마이크로 프로세스 프로그램을 변경하여 해결하였다.

넷째, 기술적 분포지인 지역적 특성때문에 어떠한 문제점에 봉착하였을 때 자문이 어려웠으며 부품과 재료 수급에 상당한 어려움이 있었다.

이러한 여러가지 문제점들로 인한 심리적 중압감 때문에 매사에 신중하고 철저한 검토를 통하여 시험 설치에 들어 갔으나 마이크로 프로세서와 인버터와의 인터페이스 회로에 문제가 발생하였을 때는 앞이 캄캄하였지만 마지막까지 포기하지 않고 모든 문제를 해결하고 성공하였을 때는 마치 산행에서 사력을 다해 정상에 도달하여 심호흡을 한 기분, 그것이다.

本稿는 협회에서 전기기술업무 현장체험 사례를 공모하여 수상한 내용입니다.