

사이리스터 모터 및 제어반의 국산화 개발

김은곤 한세희 김은태 김호겸  
 효성중공업주식회사 기술연구소

Development of Thyristor Motor  
 and Controller

Eun Kon Kim Se Hi Han Eun Tai Kim Ho Kyom Kim  
 HYOSUNG INDUSTRIES CO., LTD.

Abstract

DC motor is excellent in controllability and efficiency, but vulnerable in maintenance with respect to AC motor. Owing to the development of power devices and microelectronics, excellent AC motor drives which have characteristics as similar as DC motor's have been developed.

Thyristor motor equipment that has an important role with Inverter in the field of AC motor drives was developed in the late 1960. There was no research about thyristor motor in Korea, then thyristor motor equipment was all imported. By this we started to develop in 1983, was tested in 1984, 1985.

Now we express ourselves about thyristor motor equipment development procedure and characteristics.

1. 서론

직류전동기는 제어성, 효율면에서 교류전동기에 비해 유리하나 보수면에서는 불리하다. 최근 전력소자, 마이크로일렉트로닉스 기술의 진보에 의해 우수한 교류전동기 구동장치들이 개발되어 성능면에서 직류전동기를 필적하게 되었다. 유도전동기 구동장치인 인버터와 더불어 교류전동기 구동장치의 주축이 되고 있는 사이리스터 모터 및 구동장치는 해외서 60년대 말에 실용화되었으나 그동안 국내에서는 전량수입에 의존하여 국산화 개발의 필요성이 절실하였다.

당사는 이러한 필요성에 부응하여 83년부터 자체기술로 개발에 착수, 83년에 시제품 제작, 84, 85년에 실용시험을 거쳐 개발에 성공하여 이에 개발경과 및 특성에 대하여 다음과 같이 발표한다.

2. 본론

1) 개발경과

- '83년
  - 자료수집
  - 제어회로설계, 제작
  - 동작시험 (소형영구직선전동기: 1마력, 4극)
  - 제어반제작 및 부하시험 (60마력, 6극)
- '84년
  - 설계개선
  - 부하시험 (실부하시험)
- '85년
  - 계열화 개발
  - 상품판매 계획

2) 원리 및 구성

(1) 사이리스터 모터와 구성

사이리스터 모터는 동기전동기와 일치검출기로 구성된다.

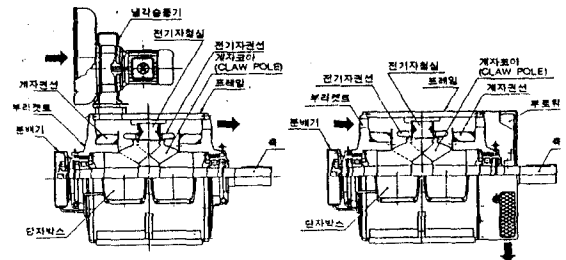


그림1 전동기구조

사이리스터 모터를 회전자 구조에 의해 분류하면 클로폴형, 회전계자형, 회전전자자형으로 구별될 수 있으며, 위치검출기는 홀소자형, 광센서형, 근접센서형 등이 있는데, 여기서는 클로폴 (Claw Pole) 형 구조와 근접센서형을 사용하여 구성한다.

• 클로폴의 특징

- (가) 브러시, 슬리빙이 없어 구조가 단순, 견고하다.
- (나) 자로가 길고 갭이 많아 기자력이 커야한다.

- (다) 비자성 샤프트를 사용해야 한다.
- (리) 5.5-250Kw 정도의 증소용량에 적합하다.

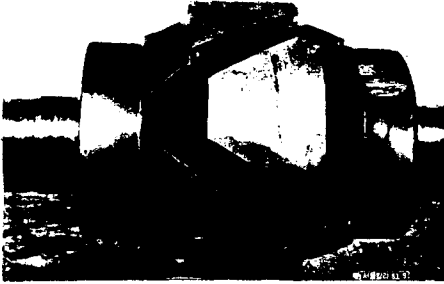


그림2 클로폴

• 근접스위치 특징

- (가) 비자성 차폐판을 사용한다.
- (나) 차폐판이 검출부위의 절반이상을 차단할 경우 근접신호가 발생한다.
- (디) 먼지,오일, 자기의 영향을 작게 받는다.

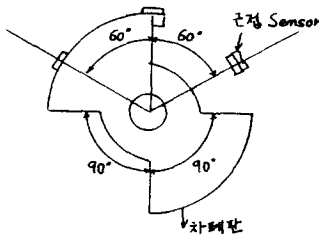


그림3 근접스위치(4극전동기의 경우)

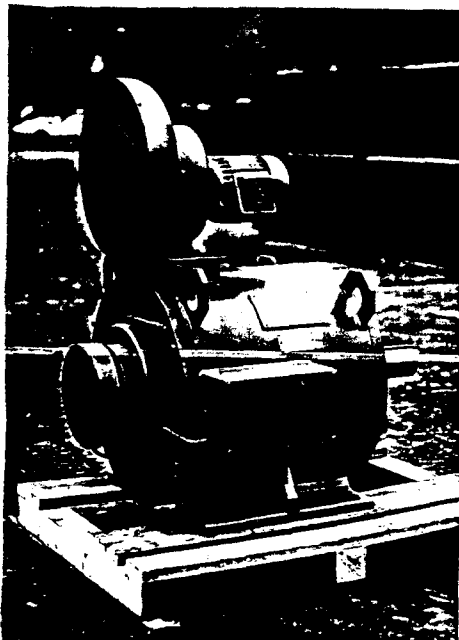


그림3 전동기외형(60마력,6극)

(2) 제어반의 구성

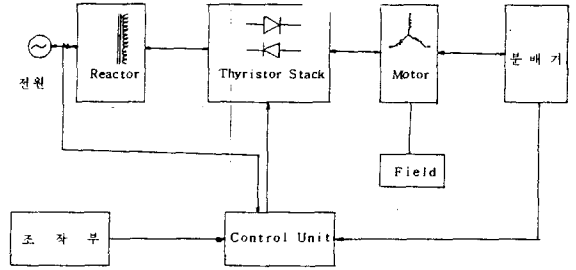


그림5 제어반 블록도

그림5에서 리액터, 사이리스터 스택의 구성방법에 따라 직류식, 교류식으로 분류할 수 있다.

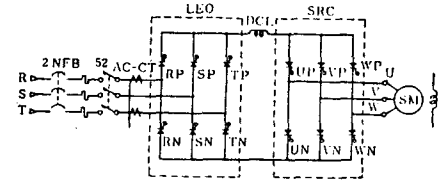


그림6 직류식 사이리스터 모타 제어반

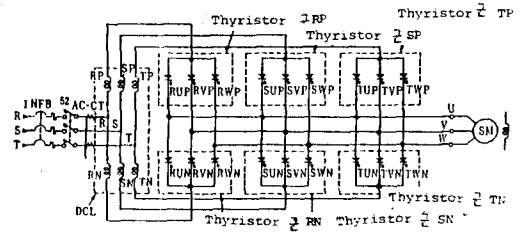


그림7 교류식 사이리스터 모타 제어반

- 교류식과 직류식의 차이점을 비교해보면 다음과 같다.
  - (가) 변속범위: 전동기의 유기전압이 없는 저속 영역에서는 전류(Commutation)가 어렵다. 교류식에서는 전연을 이용하여 전류(Commutation) 할 수 있으나 직류식에서는 부가장치가 필요하다. 보통 직류식은 1:4, 교류식은 1:10 정도이다. (속도가변범위)
  - (나) 전력소자 전류용량: 교류식이 직류식의 1/3 정도
  - (디) 전력소자 내전압: 직류식이 교류식에 비해 낮다
  - (리) 속도상한: 교류식은 사이클로콘버터형이므로 고속화에 불리하다.
- 여러 전력소자중에서 사이리스터를 채택하는 것은 고압 대응량화가 가능하며 신뢰성이 소자에 비해 높다는 것이다. 동기전동기를 사용함으로써 사이리스터의 약점인 런오프의 문제를 해결하여 신뢰성높은 구동장치를 구성할 수 있다.

• 제어반 구성상의 문제점

- (가) 직류기의 브러쉬와 정류자의 대체  
 직류식에서 위치검출기의 출력을 그림6의 SRC의 계이진신호로 사용하면 직류전동기의 브러쉬와 정류자 역할을 할 수 있음을 알 수 있다. 직류식에서의 직류변환부는 사이리스터 레오나드와 같다. 그러므로 제어언리는 레오나드의 제어방식과 전류논리(Commutation Logic)를 조합하면 된다.
- (나) 직류기의 회생제동 기능을 실현한다.  
 교류전동기 이므로 전류논리(Commutation Logic)의 조건을 변경하면 실현 가능하다. ( $\alpha = -180^\circ, -240^\circ$ )
- (다) 양방향 운전의 실현  
 위치검출기에서의 신호상순이 바뀌므로 상순을 고려한 전류논리를 구성하면 가능하다.
- (라) 저속시 토크 맥동  
 교류식에서는 전역전류(Commutation)가 가능하므로 맥동을 줄이는 논리를 구성한다. ( $\alpha = 0^\circ$ )  
 이상을 정리하면 다음과 같은 논리를 구성할 수 있다.

NSP (교류)	M/PH (변-제동)	통전 구간							통전지	기 타
		Up	Vp	Wp	U <sub>s</sub>	V <sub>s</sub>	W <sub>s</sub>			
계속	제동	W-U	U-V	V-W	W-U	U-V	V-W	$\alpha = 180^\circ$	U, V, W, U, V, W	
계속	정통	W-U	U-V	V-W	W-U	U-V	V-W	$\alpha = 0^\circ$	는 분배기 신호임	
고속	제동	V-W	W-U	U-V	V-W	W-U	U-V	$\alpha = 240^\circ$	는 분배기 신호임	
고속	정통	U-V	V-W	W-U	U-V	V-W	W-U	$\alpha = 80^\circ$	· 제1차 AND 논 리기로 · 정전( $c=2$ )일 경우	

(정 전)

교-저속	변-제동	Up	Vp	Wp	U <sub>s</sub>	V <sub>s</sub>	W <sub>s</sub>
		계속	정통	U-W	V-U	W-V	U-W
계속	제동	U-W	V-U	W-V	U-W	V-U	W-V
고속	정통	W-V	U-W	V-U	W-V	V-U	U-W
고속	제동	V-U	W-V	U-W	V-U	W-V	U-W

• 역전의 경우는 분배기여 상순이 바뀌음을 유의해야 함

(역 전)

표1 사이리스터 전류논리표

- 계자 전역장치
  - (가) 라여자 방식 채택
  - (나) 단상 전파 정류
  - (다) 정전류 제어방식
  - (라) 계자과전류, 계자저전류를 검출하여 치명적인 고장으로 부터 보호한다.
- 보호
  - (가) 전역전압강하: 회생제동시 위험하므로 50%에서 차단 70%에서 복구되도록 한다.
  - (나) 전동기 과속도 보호: 과속도 검출기에서

검출수준을 설정할 수 있도록 하며 외부와 연결할 수 있도록 한다.

- (디) 과전류보호: 정격전류의 300% 이상인 순간 전류는 차단한다.
- (리) 과부하보호: 과부하조건(예를들면 125% 1분간)에 대하여 과부하수준, 차단시간을 설정할 수 있도록 하고 차단신호를 외부와 연결되도록 한다.
- (미) 사이리스터 보호
  - 순시과전류 : 퓨즈, 리액터
  - 과부하 : 배선용 차단기
  - 과열 : 온도 센서
- (비) 기타
  - 사이리스터 모터 과열
  - 환풍용 전동기 과전류
- 가감속시간 조정: 부하의 운전조건에 따라 0.1~65초 정도의 가감속 시간을 조절할 수 있도록 한다. (Soft Start)

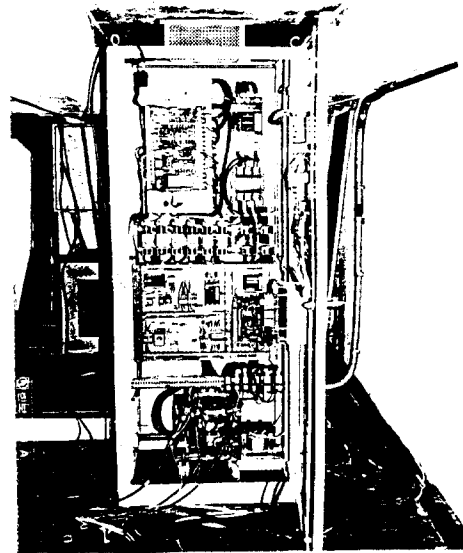


그림9 제어반 내부

이상의 것을 고려하여 시스템을 구성해 보면 그림9과 같다. (그림 5 참조)

3) 특성

(1) 성능

- 보수 점검이 간단
- 광범위한 가변속 운전
- 회생제동, 정역방향 운전
- 우수한 제어성, 응답성
- 부하, 전역 변동의 영향이 작다.
- 자연전류(Natural Commutation) 방식을 채용하여 신뢰성이 높다.

(2) 운전특성: 4상한 운전

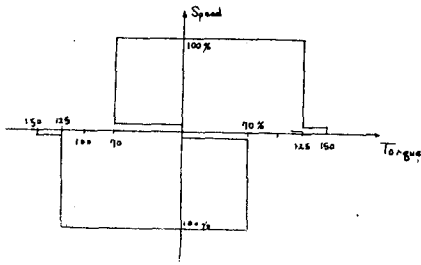


그림9 운전특성

$\gamma_0=60^\circ$ 로 설정하면 무부하시  $E_d, E_v$  의 유기전압이  $u, v$  상에 발생한다. 부하시에는 전기자 반작용에 의해 전압의상이 이동한다. 이때의 전압을  $E_u, E_v$  라 하며 그림10의 전압, 전류의 위상관계에서 실효 제어전각  $r$ , 중첩각  $u$  (전동기의 전류(Commutation)인덕턴스에 의해 발생), 여유각  $m$ , 설정 제어전각  $r_0 (= r + s; s$ 는 전기자 반작용에 의한 위상추이각) 이라하면 부하와의 관계가 그림10과 같아진다. 사이리스터의 소호시간을  $T_{off}$  라 하면,  $m=r-u=r_0-s-u > T_{off}$  가 설립한다. 잊식을 전류(Commutation) 조건이라 하며  $m=0$  이면  $T_{off}=0$  이므로 전류(Commutation) 한계라 한다.

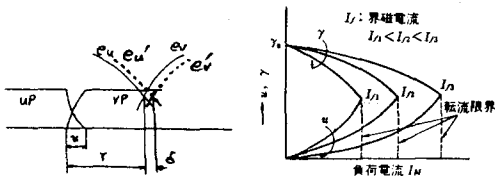


그림10 전압전류관계 그림11 부하특성 상기의 내용을 설명하기 위해 직류식 사이리스터 모터에 대하여 해석해보면 다음과 같다.

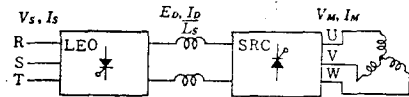


그림12 직류식 사이리스터 모터

전압, 전류를 그림12처럼 정의하면 전압과 전류 축의 관계가 아래식으로 표현된다.

$$E_d = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} V_s \cos\left(\alpha + \frac{\mu_s}{2}\right) \cos \frac{\mu_s}{2}$$

$$U_s \text{가 작다면 } E_d = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} V_s \cos \alpha$$

US: 전원정류 시의 중첩각

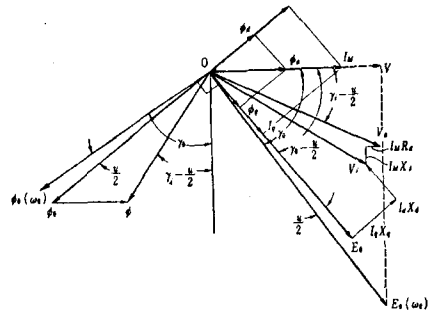
$$E_d - 2I_d R_{LS} - 2R_a I_d - e_d = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} V_M \cos\left(\gamma - \frac{\mu}{2}\right) \cos \frac{\mu}{2}$$

$$V_M = \sqrt{3} \pi K \phi \frac{N \cdot P}{60}$$

$$N = \frac{20}{P} \cdot \frac{1}{\sqrt{6}} \cdot \frac{E_d - 2I_d R_{LS} - 2R_a I_d - e_d}{K \phi \cos\left(\gamma - \frac{\mu}{2}\right) \cos \frac{\mu}{2}}$$

$$T = 3 I_d K \phi \cos\left(\gamma - \frac{\mu}{2}\right) \cos \frac{\mu}{2}$$

- $R_{LS}$  : 리액터 저항
- $R_a$  : 전동기 권선 저항
- $e_d$  : 통전 사이리스터 전압강하
- $K$  : 계수  $P$  : 극 수
- $\phi$  : 계자자속
- $N$  : 회전수 (R.P.M)
- $T$  : 토크

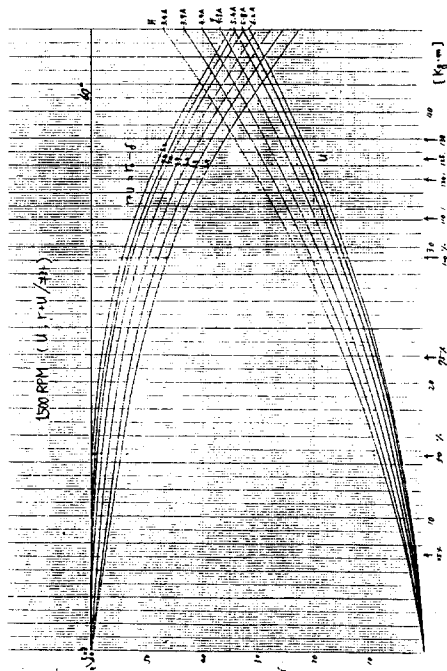


- $\phi_0 (W_0)$  : 무부하 계자 자속
- $\phi_0$  : 계자극 자속
- $\phi_a$  : 전기자 반작용 자속
- $\phi$  : 합성 자속
- $E_d (W_0)$  : 무부하 역기전압
- $E_0$  : 공칭 역기 전압
- $V_i$  : 내부 전압
- $V_a$  : 단자 전압
- $V$  : 기본 전압 벡터
- $I_M$  : 전기자 전류 기본 파분
- $I_d$  : d 축 전류 기본 파분
- $I_q$  : q 축 전류 기본 파분
- $r_i$  : 내부 제어 전각
- $I_q X_q$  : q 축 리액런스 강하
- $I_d X_d$  : d 축 리액런스 강하
- $I_M X_l$  : 누설 리액런스 강하
- $I_M R_a$  : 전기자 저항 강하

그림14 사이리스터 모터 벡터도

(1) 실험자료

45 KW, 380 V, 3  $\phi$ , 6 P, 150-1500rpm  
인 전동기를 예로 들어 자료를 정리해본다.



1500rpm 상에서 계자전류  $I_f=3.4, 3.9, 4.4, 4.9, 5.4, 5.8, 6.2(A)$ 에 대하여, 부하를 정격에 대하여 25, 50, 75, 100, 110, 120, 125, 130(%)로 변경시키면서 측정한 값이다.

그림14 (r-u) 부하특성자료

• 전동기 실험자료

단락비: 1.134 불포화단락비: 0.936

포화율: 0.8818 (Unit)

$Z_d : 2.727 \quad Z_q : 1.804(Ohm)$

• 효율, 역율 자료

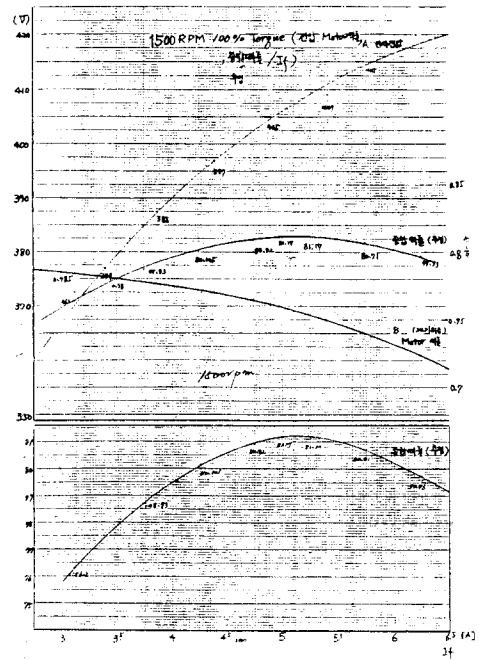
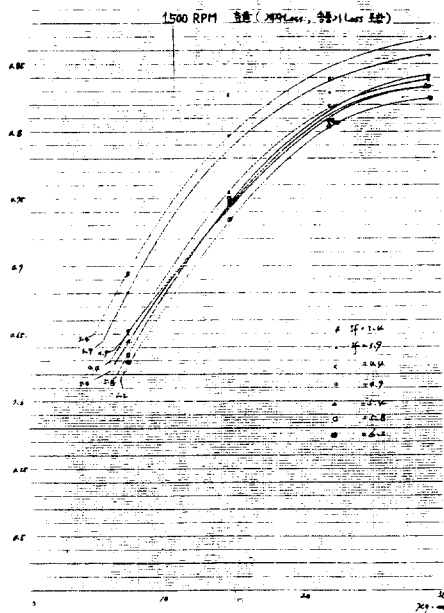


그림15 효율 (좌하), 역율 (상) 곡선

• 측정 파형

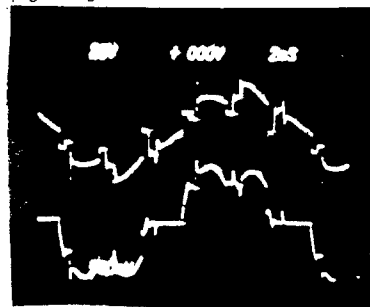


그림16 전압, 전류 파형

(1200rpm, 315V, 57A,  $\cos\theta = 0.73$ )

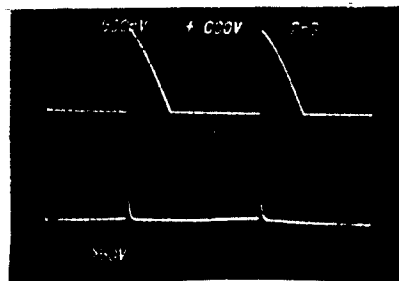


그림17 계자 전류, 전압

( $V_{peak}=450V, I_f=3.3A$ )

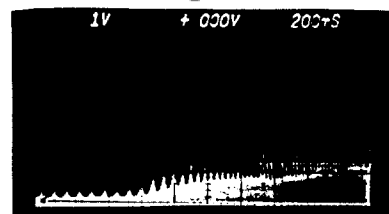


그림 18 온전모드 변환시의 전류  
(저속논리에서 고속논리로 전환, 무부하상태,  
전류파형은 정류된 파형임)

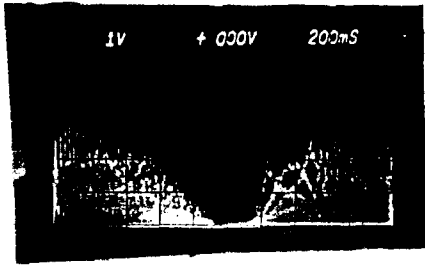


그림 19 온전모드 변환시의 전류  
(전동모드에서 제동모드로 전환을 위해서  
전류를 차단시킬 필요가 있음)

(5) 응용분야  
해외에서는 압연기, 초지기, 압출기, 콤팩트서,  
블로워, 펌프 등에 적용된 예가 보고되어 있었지만, 당  
사에서는 현재까지 합성수지용 압출기(Extruder),  
섬유기계스핀들구동(Draw and Twist Machine  
Spindle)에 적용하였다.

(가) 압출기: 기동토크가 커야하며 정압제어이기

때문에 정토크특성이 필요하다.

11-15 (KW)에 적용하였음.

55KW VS 전동기를 45KW 사이리스터모  
터로 대체하였을 경우 에너지 절감  
효과가 520만원의 효과가 있었음을

실부하시험에 의해 확인하였다.

(나) 스핀들구동: 속도정도(Speed Accuracy)가

높아야하며 비교적 고속회전이 필요  
하다.

당사에서는 교류식으로 2500rpm (125  
HZ)까지 적용해 보았다.

### 3. 결 론

해외에서의 기술동향은 대용량화, 성능 개선, 취급의  
용이성의 측면에서 연구하고 있다. 이것을 간단히  
설명해보면 대용량화에서는 3000-10,000rpm,  
3000KW - 50MW의 고속대용량화 분야나 다상화하  
여 낮은 회전수(보통 500rpm 이하)를 얻을수 있도  
록 하는 저속대용량 분야가 있다. 성능 개선의 측면  
에서는 위치감출기대신에 유가전압을 검출하여

전류논리(Commutation logic)를 구성하는 방식  
여유각을 일정한 값으로 제어하여 경부하시에 효  
율을 높이고자 하는 여유각일정제어방식등이 연구  
되고 있다. 직류전동기에서 사용되는 직권, 분권방식  
을 도입하여 특성을 개선하거나, 약계자 제어하는  
방법도 연구되고 있다. 이외에도 디지털화하여 취급  
을 용이하게 하는 연구도 이루어지고 있다.

이러한 해외의 기술동향을 볼때, 그 응용분야가 확  
대되고 있으며, 끊임없는 기술발전이 이루어지고  
있음을 알수 있다. 한국에서도 산업이 발전함에 따라  
에너지 절감, 보수절감등의 측면에서의 동력원이 ...  
중요한 요소로서 등장하게 되었다. 이시점에서의  
사이리스터모터 설비의 개발은 중요한 의미를 갖는  
다고 볼수 있다.

여기에 해외에서 연구되고 있는 여러기술의 연구가  
국내에서도 활성화되어 국내산업에 이용될수 있  
기를 기대한다.

### 참 고 문 헌 -

- (1) 사이리스터모터 구동시스템의 동향, OHM, 84/7, PP25-31.
- (2) 대용량 사이리스터모터와 그 응용, Toshiba Review, 1981, 2호, PP121-127
- (3) 열간압연라인에의 디지털가변속시스템의 적용, Mitsubishi Denki Jiho, 1982, Vol.59, NO.2 PP47-52
- (4) 섬에너지 전동기구동시스템, Shinko Denki, PP65-96
- (5) 자기동 가회로에의한 클로폴형 무정류자전동기의 특성해석, 일본전기학회논문, 1985/3, Vol.105-B, PP273-280
- (6) Analysis of the steady state characteristics of the brushless motor, taking the saturation effect into consideration, IPEC Annual Meeting, Tokyo-1983, PP1477-1499
- (7) 사이리스터모터의 원리와 운전, 전기서연, Ueyama 저.
- (8) Microcomputer controlled Brushless Motor without a shaft mounted sensor, IPEC, Tokyo-1983, PP1477-1499
- (9) Simplified Model and closed loop control of a commutatorless DC motor, IEEE Trs. on Industry Applications, 1980, VOL.IA-16, NO.2, PP165-172
- (10) 유가전압전류형 무정류자전동기의 계자병용 전류 여유각일정제어방식, 일본전기학회논문, 1987, Vol. 98-B, PP363-370