

디지털 보호계전기 신제품 기술현황

정 태 균 <삼화기연(주)부설 삼화연구소 부소장>

1. 서론

1.1 개요

전력 계통 및 설비에 단락, 지락 등 사고가 발생하면 전력공급이 중단되고, 설비손상이 생기므로 신속하게 사고를 제거하여 설비손상을 막고 계통의 안전운전을 도모해야한다. 보호계전기는 이러한 역할을 담당하며, 사고를 신속히 검출하여 고장부분을 제거, 계통의 안전운전을 확보하는 중요한 기능을 수행한다.

저압(600V 이하) 유도전동기 보호계전기는 처음에는 열동형(Thermal Type), 전자기계형(Electro Mechanical Type)으로 시작되었으며, 1980년경으로부터 보호계전기에 트랜지스터를 적용하게 되어 아날로그 IC를 사용한 정지형(Solid State Type)이 개발되었다. 1980년대 후반부터는 마이크로프로세서를 사용한 디지털형이 개발되었으며, 종래의 계전기로는 해결되지 않는 여러가지 보호요소를 복합적으로 해결할 수 있게 되었다. 이 디지털 계전기는 고속도·고감도를 요구하는 계전기로서 점차 그 범위를 넓혀 현재에는 보호계전기의 주류가 되어가고 있다.

1.2 보호계전기의 종류

1.2.1 열동형 및 전자기계식(Thermal and

Electro Mechanical Type)

열동형 계전기는 전열선의 감응에 따른 바이메탈의 기계적인 힘에 의해 접점을 개폐 하는 계전기로서 전류용량에 따라 소모전력이 많다. 전자기계식은 크게 가동철심형과 유도형이 있으며 가동부에 자속이 작용해서 구동력이 생기고, 그 힘으로 접점을 개폐하는 것이다. 가동철심형은 입력전류에 다른 자기흡인력 또는 자기반발력에 의해 가동철심을 움직이고 이것으로 접점을 개폐하는 원리의 것이며, 유도형은 교류자계에 의해 도체에 생기는 과전류와 다른 교류자계와의 전기작용, 소위 전기유도작용에 의해 구동된다.

1.2.2 정지형(Static Type)

보호계전기를 동작원리에 의하여 분류할 때 가동철심형, 유도형 등은 가동부가 있으나 트랜지스터형이나 디지털형은 가동부가 없으므로 정지형이라 불린다. 이 중 트랜지스터형 계전기의 일반적인 구성을 표시하면 그림 1.1과 같다. 이러한 트랜지스터형 계전기의 특성을 여타 계전기와 비교하면 장단점은 다음과 같다.

① 장점

고감도로서 전력 소비가 적고 고속도 동작을 얻기 쉬우며, 특수한 기능을 삽입하기가 용이하다. 또한 충격, 진동에 의한 오동작이 적다. 뿐만 아니라 자동 점검이나 상시감시장치를 부가하기 쉽고 소형이며

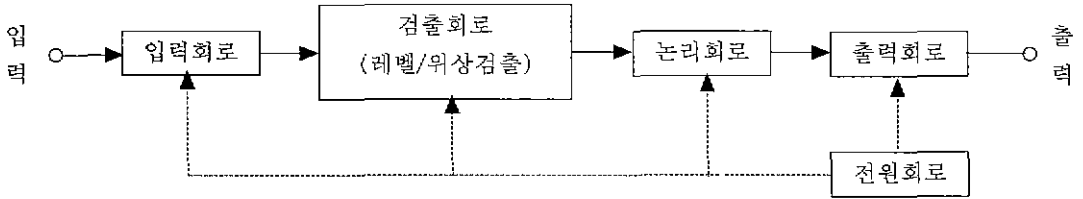


그림 1.1 트랜지스터형 계전기의 일반적 구성

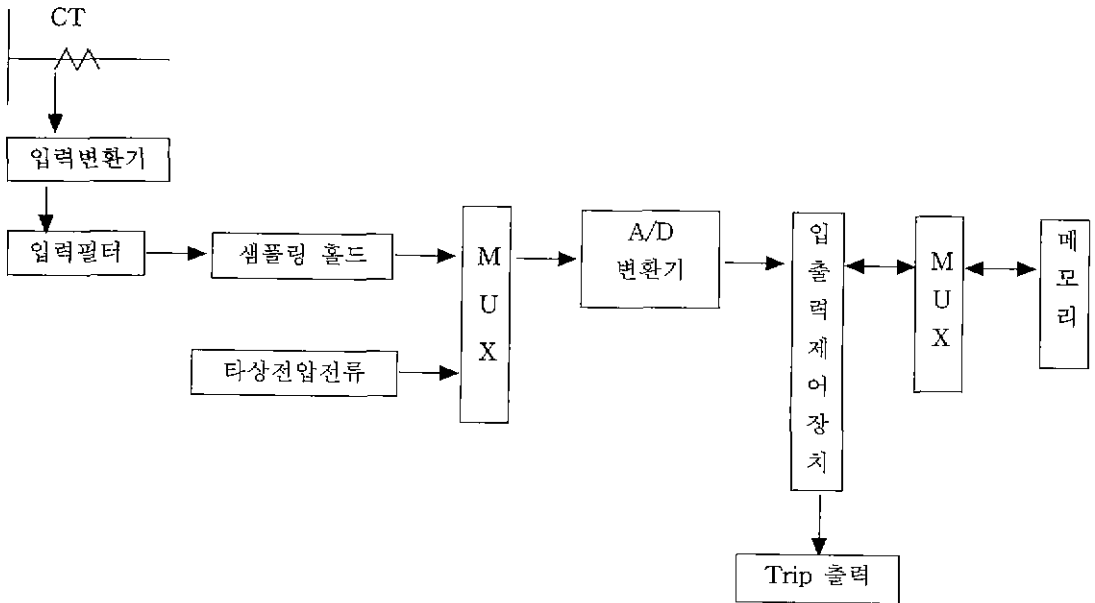


그림 1.2 디지털형 계전기의 일반적 구성

접점이나 가동부를 보수할 필요가 없다.

② 단점

동작에 속응성이 있기 때문에 찌그러진 파형이나 서지로 오동작하거나 사고시 전압, 전류의 찌그러진 파형에 대해 동작이 불안정하게 될 우려가 있으므로 필터등의 대책이 필요하다. 또한 서지에 의해서 파손될 우려가 많으며, 사용부품수 접속부수가 많기 때문에 불량률이 높고 별도의 전원을 필요로 한다.

1.2.3 디지털형 (Digital Type)

디지털형 계전기는 전압, 전류신호를 일정한 간격으로 샘플링하여 디지털 양으로 변환하고, 이 데이터를 마이크로프로세서 등으로 구성된 연산처리부에

서 프로그램에 의해 처리하는 계전기로 일반적인 구성을 표시하면 그림 1.2과 같다.

① 고도의 보호기능, 보호특성을 실현시킬 수 있음.

디지털 계전기의 보호연산 능력은 아주 커서 이제 까지 없었던 복잡한 계전기 특성을 어렵지 않게 실현시킬 수 있다. 이것은 연산프로그램의 자유도가 크고 데이터 기억이 용이하기 때문이다.

② 장치를 축소해서 만들 수 있음.

마이크로프로세서는 집적도가 높은 IC, LSI소자로 구성되어 소자의 집적도가 크기 때문에 소형화되고 기능이 고도화되고 있다.

③ 고도의 자동감시기능을 실현할 수 있음.

프로그램에 의해서 보호장치 전체의 자동점검을 행할 수 있다. 정지형의 경우 자동점검을 실행하려면 먼저 계전기를 정지시키고 회로에서 분리시킬 필요가 있으나 디지털형에서는 극히 짧은 시간 내에 자동점검을 할 수 있으므로 그럴 필요가 없다.

④ 표준화가 용이함(용통성이 풍부).

계전기나 계전 방식을 변경하는 경우, 프로그램을 교체 또는 수정만으로 가능하다.

한편 디지털형의 결점은 노이즈에 약한 점이다. 변전소 내에서는 전력계통의 개폐서지, 제어회로에서의 서지 등의 원인으로 유도에 의해서 약전회로에 노이즈가 침입할 기회가 많다. 이 때문에 전송회로가 긴 경우에는 회로를 노이즈 발생원으로부터 격리하고 차폐하는 등의 대책이 필요하다.

1.3 보호계전기의 현황

현재 국내 모터 보호계전기는 종래의 열동형 및 유도형 계전기에서 반도체 소자를 이용한 정지형 계전기를 사용하는 단계로 접어들었으나, Analog 방식의 Transistor Type이 주를 이루고 있고, Microprocessor를 이용한 Digital Type은 최근에 급속도로 증가하고 있는 상황이다.

다음 2장과 3장은 당사에서 개발한 디지털 다기능 과전류 보호계전기의 기술내용과 활용전망에 대한 내용이다.

2. 디지털 보호계전기 기술의 내용

2.1 기술의 특징

2.1.1 기술의 개요

본 기술은 산업현장의 주 동력원인 유도전동기의 보호를 목적으로 하는 모터보호용 과전류 계전기(OCR: Over Current Relay)에 Microprocessor를 적용한 종합형 디지털 다기능 과전류 계전기에 관한 것이다. CT/PT의 전류/전압 센싱, 신속한 데이터 처리, 노이즈 필터, 고장상태 출력 등의 하드웨어와 적절한 고장진단 알고리즘에 의한 소프트웨어의 결합으로 정확한 모터 보호시스템을 구축한다.

2.1.2 기술의 특징

디지털 보호계전기는 정확한 동작뿐만 아니라 설비의 운전상태, 고장에 대한 사전 예측, 경보 및 원인표시 등을 실현할 수 있어야 한다. 본 기술은 저압(600V 이하) 3상 유도형전동기 보호용 다기능 디지털계전기에 관한 것으로 주문형반도체(ASIC) 기술을 접목하여 하드웨어의 간소화를 추구하고, 소프트웨어의 다양화로 각종 산업현장의 요구에 대응하는 계전기이다.

다음과 같이 특징을 요약 할 수 있다.

① MCU(Micro Controller Unit) 내장 디지털 종합형 계전기.

② 전류의 크기에 응동하는 계전기로 설정치 이상 및 이하에서 동작하는 過·不足 電流계전기가 동시에 내장.

③ 과전류/구속/결상/역상/불평형/지락 등의 다기능 실현.

④ Easy Troubleshooting—고장원인 및 고장치 표시.

⑤ 한시특성(Time—Current 특성)—정한시/반한시 선택 가능.

⑥ 모터 운전중 부하율 표시(BAR GRAPH).

⑦ 주문형 반도체 ASIC(Application Specific Integrated Circuit) Chip 적용.

— 실시간 처리(Real time Processing) 및 고정밀성(Higher Precision)

⑧ 하나의 모델로 1에서 600A까지 보호.

⑨ 디지털 전류계형 패널내장/매입형 계전기—3상전류 및 접지전류 순환 표시.

⑩ 2W 급의 적은 소모전력.

⑪ 초소형, 초간편형 구조—취급 및 보수유지가 용이함

⑫ Fail Safe 기능(NVR:No Voltage Release)—조작전원이 정상이고, 내부회로가 정상인 경우 Relay가 여자되는 자기진단 기능.

2.2 기술의 범위 및 활용

2.2.1 초소형 전류계형 디지털 다기능 과전류 계전기

① 전류계 기능 보유

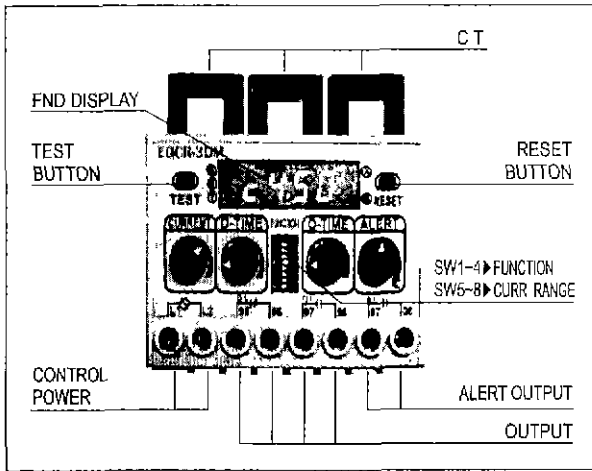
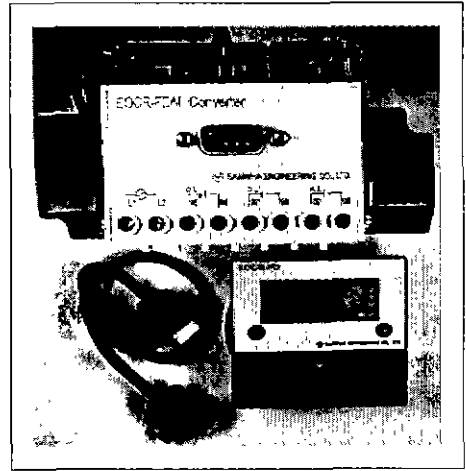


그림 2.1 (a) 패널내장전류계형(EOCR-3DM)



(b) 패널매입전류계형(EOCR-FDM)

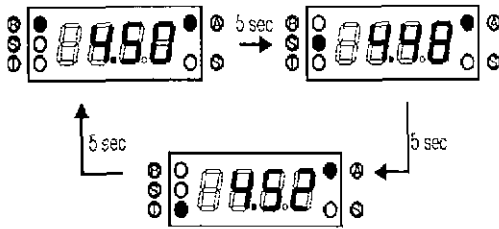


그림 2.2 전류계 기능

정상운전시 3상의 실부하 전류를 R-S-T상의 순서로 각상 5초 간격으로 순환 표시하는 디지털 전류계(Digital Ammeter)기능을 보유하고 있다.

표 2.1 3DM/FDM 시리즈 기능에 따른 분류

보호항목	계전기 동작시간	3DM/FDM	3DZ/FMZ	3DS/FMS	ECR-3DM/FDM
과전류	설정 O-Time	정한시 및 반환시 동작 - SW3. ON/OFF			
역상	0.1초	SW2. ON상태			
결상	4초이내	-			
불평형	8초	-			
구속	설정D-Time직후	D-Time 후에도 과전류 설정의 300% 이상에서 동작			
지락	1초/0.5초(제한시)	-	SW4 ON/OFF	-	-
단락	0.05초	-	-	300-1800%	-
부족전류	설정 O-TIME	-	-	-	제한시 사용시
	10초 / 5초	-	-	-	반환시 사용시 SW4. ON/OFF
* FDM 시리즈는 Bar-Graph 기능 - 부하율 표시					

사용자가 별도의 계측장비(전류계/전압계)를 사용하지 않고 실부하상태 및 보호설정치를 확인할 수 있으며, 고장 발생시 원인을 파악할 수 있도록 문자, 숫자 및 그래프로 표시할 수 있는 디지털 디스플레이(LED DISPLAY)가 가능하다.

그림 2.1의 패널매입형은 기능설정 및 선택을 할 수 있는 표시(display)장치부와 설정표시부에 조작 전원 및 외부 입력신호를 전달하는 변환(convertor) 장치부로 나누어 설계되었다. 통신케이블을 이용하여 표시부와 변환부를 연결하고, 표시부를 패널 전면에 매입하는 구조로 사용자가 패널을 열지 않고 외부에서 설정 및 확인이 용이하도록 하였다.

표 2.2 DIGITAL 계전기 사양

보호요소	DIGITAL 계전기
과 전 류	동작시간 : 정한시/반한시 (그림 2.6 특성 참조)
부족전류	동작시간 : 정한시/반한시 (그림 2.6 특성 참조)
구속전류	동작전류치 : 300% 과전류 동작시간 : 기동지연시간 경과후
단락전류	동작전류치 : 300 - 1,800% 동작시간 : 0.05초
결 상	동작시간 : 4초 이내
역 상	동작시간 : 0.1초 동작
불 평 형	상간편차 50% 이상 동작시간 : 8초
지락전류	동작전류치 : 50 - 2,500mA 동작시간 : 0.5 / 1초 영상전류 검출방식 - ZCT(200/1.5mA)
기동지연시간	D-TIME KNOB : 전동기 기동시간 고려, 사용자가 설정
자동복귀시간	R-TIME KNOB : 자동복귀시간을 사용자가 설정 (ECR의 경우)
복귀방식	수동복귀/자동복귀
경 보	%로 표시되며 과전류 설정에 따라 연동한다.
선택스위치	기능 선택
표시기능	1) MOTOR 운전상태 : 운전, 정지, TRIP 2) MOTOR 실전류 표시와 설정치에 대한 실전류의 %치 표시 3) TRIP 원인 표시
조작전압	90 - 250VAC 50/60Hz
접점상태	1) 접점용량 : 3A/250VAC, Resistive 2) 조작전원(L1, L2)의 공급에 의해 RELAY의 출력 접점상태 정상시 여자(Normally energized : SW1 ON일 때) * 조작전압이 공급되면 97-98 CLOSE(Fail Safe) / 95-96 OPEN ** 그림 2-9의 결선도 참조
사용온도	-25℃ ~ -70℃
보존온도	-30℃ ~ +80℃
사용습도	결빙없는 상태에서 45~85% RH
소비전력	3W 미만
절연저항	500VDC Megger로 10MΩ 이상
내 전 압	1) 전기회로 전체와 외함간 : AC 2,000V, 상용주파수, 1min 2) 접점회로 단자간 : AC 1,000V, 상용주파수, 1min 3) 전기회로 상호간 : AC 2,000V, 상용주파수, 1min
하드웨어	ONE CHIP MICRO PROCESSOR 채용
관련참고규격	JEM, JIS, JEC, KSC. IEC947-4

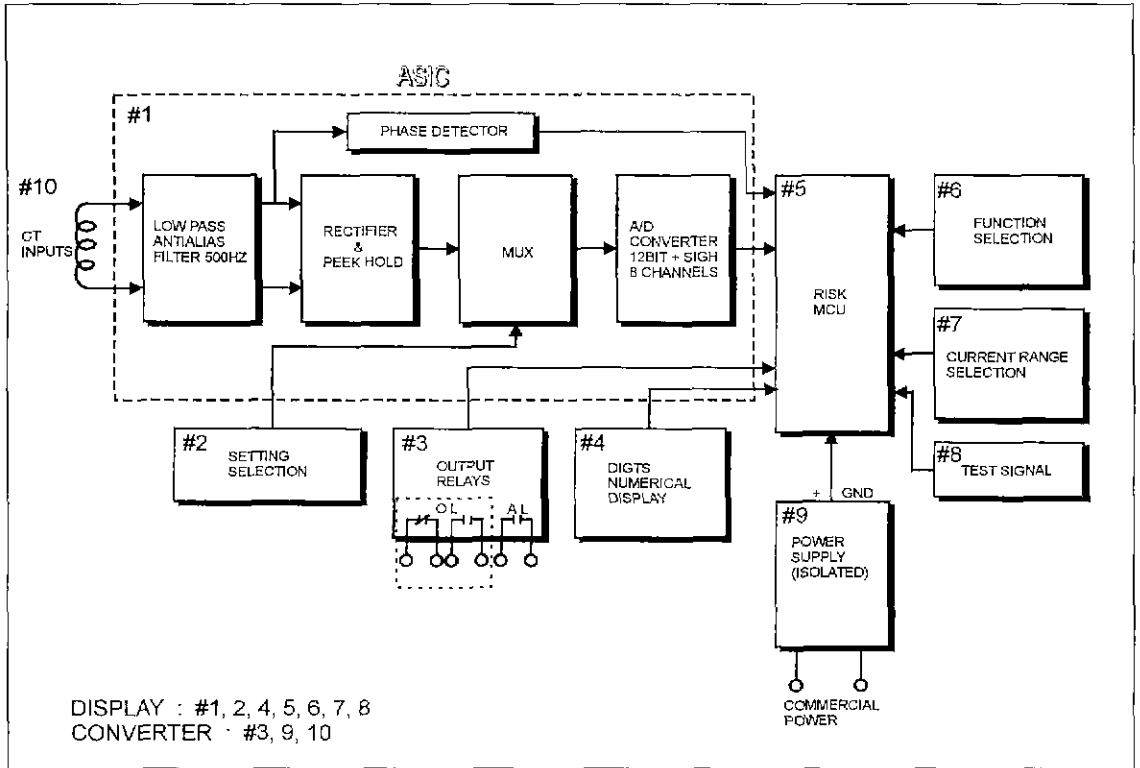


그림 2.3 Block Diagram

2.2.2 계전기의 구조

본 계전기는 기존의 복잡한 전자회로를 고밀도 chip으로 설계하여 내장한 주문형 반도체(ASIC) 및 마이크로 프로세서(MCU)를 사용하여 보다 정밀하고 신속하게 입력 데이터의 분석이 가능하기 때문에 부하의 운전상태 및 고장상태를 더욱 효과적으로 감시할 수 있다.

- #block 1. 주문형 반도체(ASIC : Application Specific Integrated Circuit) Chip 실시간 데이터처리(Real Time Processing), 고정밀성(Higher Precision)
- #block 2. 설정부(Setting selection)-전류/전압 요소 설정
- #block 3. 출력부(Output)-출력 Relay, 반도체 소자 및 통신신호 출력
- #block 4. 표시장치부(Display)

- 부하상태 표시/고장 원인을 문자, 숫자 및 그래프로 표시
- 발광다이오드 또는 세그먼트 방식 발광 다이오드 등을 이용하여 표시

- #block 5. 마이크로 프로세서부(MCU:Micro-Controller Unit)
- #block 6. 기능선택(Function selection)-각 보호기능 및 동작특성 선택
- #block 7. 부하보호 설정범위 선택(range selection)
 - 용량이 적은 부하에서부터 용량이 큰 유도 모터설비까지도 적용 가능
- #block 8. 테스트 신호(Test signal)-각 설정치 및 출력상태 확인기능
- #block 9. 전원공급장치(Power Supply)
- #block10. 외부신호입력(input)
 - 변류기(CT:Current Transformer)

- 영상변류기(ZCT:Zero Current Transformer)

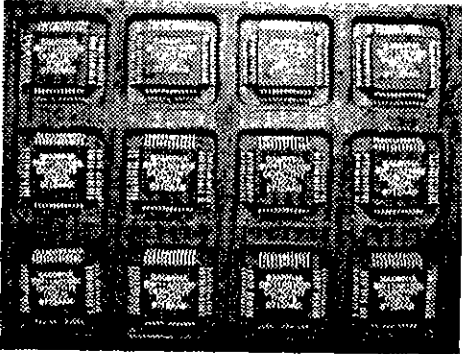


그림 2.4 ASIC[DOROTHY]

2.2.3 기능선택 스위치(Function switch)-보호기능 및 넓은 설정범위를 선택.

그림 2.5와 같이 기능선택 스위치를 이용하여 하

나의 모델로 기능 및 부하 범위를 선택할 수 있게 설계되어 있으므로, 부하의 기동/운전 보호 및 설비에 대한 보호·제어·감시 기능을 부하의 종류 및 상황에 따라 사용자가 선택할 수 있고, 뿐만아니라 하나의 Model로 1A에서 600A까지 용량이 적은 부하에서부터 용량이 큰 모터 설비까지도 적용 가능하다.

- ① 기능선택
- ② 하나의 Model로 1A에서 600A까지 보호

2.2.4 한시 특성 (Time-Current Characteristics)

표 2.5와 같이 국제규격 IEC의 한시 특성을 적용하여 설계하였으며, 선택스위치 3 번으로 정반한시 특성을 선택할 수 있다. 그림 2.6는 전류시간 특성곡선 [Cold 상태와 Hot 상태]으로 사용자가 모터 운전특성에 따라 한시 특성을 선택할 수 있도록 제

DIP SWITCH

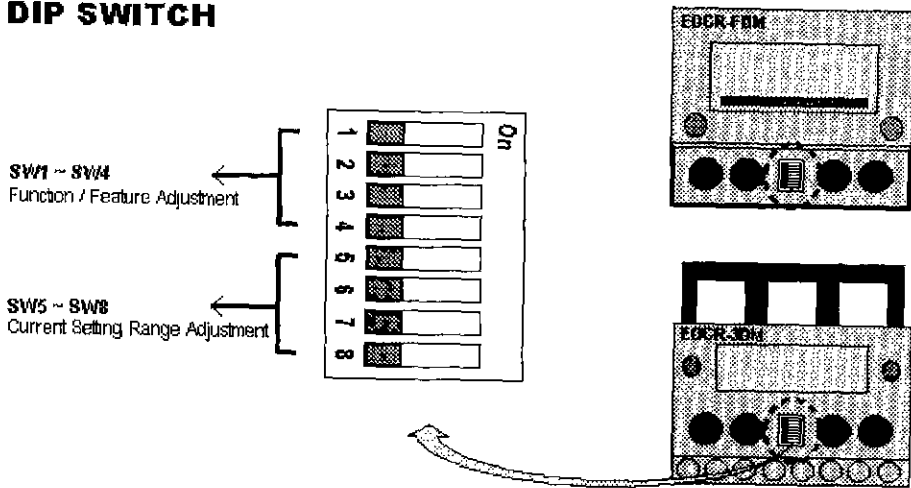


그림 2.5 Function Setting DIP Switch

표 2.3 Function Switches : SW1~SW4

ITEM		SELECTION	
NO.	FUNCTION	Off	On
SW1	Fail safe	Disable	Enable
SW2	역상	Disable	Enable
SW3	한시 특성	Definite Time	Inverse Time
SW4	경보	표 2.6 참조	

표 2.4 CT Ratio Selection Switches : SW5~SW8

Type	External CT Current Ratio	Current Range	Selection			
			SW5	SW6	SW7	SW8
05	-	1 ~ 5A	-	-	-	-
20	20 : 5	4 ~ 20A	-	-	-	On
50	50 : 5	5 ~ 50A	-	-	On	-
100	100 : 5	20 ~ 100A	-	-	On	On
150	150 : 5	30 ~ 150A	-	On	-	-
200	200 : 5	40 ~ 200A	-	On	-	On
300	300 : 5	60 ~ 300A	-	On	On	-
400	400 : 5	80 ~ 400A	-	On	On	On
500	500 : 5	100 ~ 500A	On	-	-	-
600	600 : 5	120 ~ 600A	On	-	-	On

표 2.5 IE947-4-1(7.2.1.5.1항)의 Time-Current 특성

Class	Multiples of Current Setting (40°C)			
	A (1.0) ※	B(1.2)	C(1.5)	D(7.2)
10A	2시간 이상	2시간 이내	2분 이내	2 - 10sec
10	"	"	4분 이내	4 - 10sec
20	"	"	8분 이내	6 - 20sec
30	"	"	12분 이내	9 - 30sec

※ A : +20°C 일 경우(1.05배)

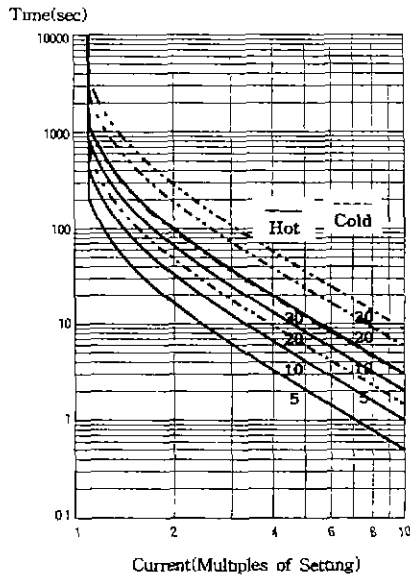


그림 2.6 Time-Current Characteristics

O-Time Setting	1-5	10A
	6-10	20
IEC 947-4	11-20	20
	21-30	30

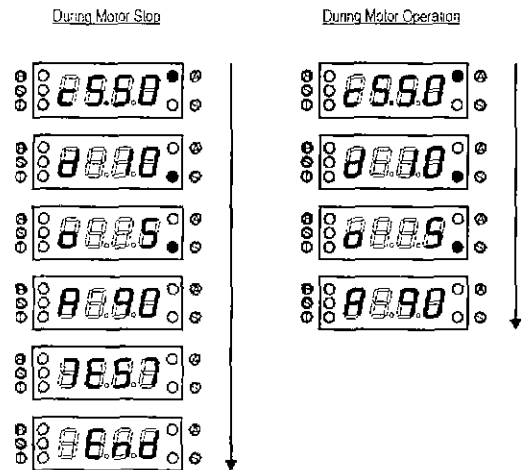


그림 2.7 Test sequence

시된 것이다.

2.2.5 테스트 신호(Test signal)-각 설정치 및 출력상태 확인-계전기 이상 유무 확인

① 전동기 가동전

Test Button을 누를 때마다 다음과 같이 Test 기능 수행

“설정전류-기동지연시간 설정치-동작시간 설정치-경보설정치-Test(3초+동작시간)-END(자체 Test 완료)”

② 전동기 기동후

Test Button을 누를 때마다 다음과 같이 TEST 기능 수행

“설정전류-기동지연시간 설정치-동작시간 설정치-경보설정치” 트립사고 방지를 위해 Test mode로 들어가지 않고 설정치만 순환표시함.

2.2.6 정보 기능-부하율 측정/운전 표시 및 감시/고장 예고

- 과전류 : 전류 설정치의 50~100% 설정
- 부족전류 : 전류 설정치의 95%로하여 그이상의 전류가 흐르면 Alert Relay출력

표 2.6 ALERT FUNTION

	Set 전류치의 50~100% 설정가능		
	Volume최대시 무시		
* Alert 설정은 전류설정치(Current Setting)에 대한 %로 표시 ** 실전류가 Alert 설정치 이상 Alert 설정치 % < 실전류 / Current Setting × 100% 에서 "A"가 0.5초 간격으로 점멸한다. (고장예고기능)			
기능 SW. 4번	Off 측		On 측
전류가 흐르면	Close 	(운전감시) 점점이 1초후 Close된다.	Open _____ Open상태 유지
전류가 Alert Set치 이상 3초지속되면	Flicker 	(고장예고) 점점이 Flicker를 계속한다	Close Close상태 유지
전류가 Alert Set치 이하로 떨어지면	Close 	Close상태 유지	즉시 Open _____ (즉시 복귀) Open상태 유지
Eocr이 Trip되면	Flicker 	(Trip표시) 초당 2회 점멸한다.	Open _____ Open상태 유지

2.2.7 동작원인 및 동작치 디지털 표시 : Easy Troubleshooting

표 2.7 Easy Troubleshooting

기능	FND 표시	동작원인
과전류		R상에서 최대전류 5.5A를 감지해 동작
결상		S상결상으로 동작
역상		역상으로 동작함.
불평형		R상에서 최소불평형전류 2.1A를 감지해 동작함.
구속		T상에서 최대구속전류 9.5A를 감지해 동작

* 이 밖에도 지락전류, 부족전류, 단락전류 표시 및 경보 출력 등이 있다.

3. 디지털 계전기의 활용 전망

3.1 디지털 보호계전기의 장점

3.1.1 산업 손실 저감

제조산업설비에서부터 가정에 이르기까지의 전체 소비전력의 약 70%는 동력, 곧 각종 전동기를 구동하는데 소비된다고 알려져 있고, 특히 산업현장에서 단 1대의 모터 소손사고가 발생했을 때는 모든 연관 생산설비가 멈추어야 하고, 이로 인한 생산 손실은 실로 지대한 실정이다.

디지털 보호계전기는 지금까지 주로 사용되어온 계전기에 비해서 월등한 보호기능 구현은 물론 소비 전력 저감으로 인한 막대한 에너지 절감효과를 기할 수 있어 현재의 제조성장을, 생산설비에서의 안정적인 핵심 구동력 확보, 전력절감 등의 차원에서 활용도가 증대되고 있다.

3.1.2 전력 손실 경감

기존의 열동형 계전기는 전류용량에 따라 소모 전력이 작게는 3W에서부터 크게는 24W로서 디지털 계전기의 소비전력이 3W미만인 점을 감안하면 국내 산업현장에서 운전되고 있는 모터를 최소 천만대로 간주하고 이중 60%인 6백만대가 열동형 계전기를 적용하고 있을 때 이로 인해 낭비되는 연간 전력은,

$$6,000,000 \text{대} \times 2\text{W} \times 12\text{시간} \times 365\text{일} \\ = 52,560\text{MWH}$$

2W : 1대당 평균절감전력

12시간 : 1일 평균가동시간

으로서, 이는 원유로 환산해서 연간 140,000Barrel (45원/KWH기준)의 수입을 줄여 \$ 2,000,000 (\$ 15.2/Barrel기준)의 외화를 절약 할 수 있는 효과가 있다.

3.1.3 사전 정보

지금까지의 모터보호 개념은 고장발생 직전에 모터공급 전원을 차단시키는 것이었으나, 다양한 보호기능 구현이 가능한 디지털 보호계전기의 적용으로 고장발생 직전에 사전 경보신호를 발생시켜 운전자로 하여금 전체 시스템에 영향이 미치지 않는 사전 조치를 가능하게 하여 불시의 모터정지로 인한 생산 손실을 예방 할 수 있게 해줌과 동시에 고장원인이

구체적으로 표시되기 때문에 고장개소의 복구인력을 절감하는데 기여하게 된다.

3.2 망우 전망

앞으로 다가올 고도정보화 시대에는 공장, 사무실, 일반 가정에까지 컴퓨터가 보급된 자동화가 이루어져 순간적인 정전이나 주파수, 전압의 변동도 컴퓨터의 메모리 상실이나 잘못된 출력의 원인이 되므로 전력의 질의 향상이 매우 엄격하게 요구될 것으로 보인다.

따라서 전력계통 전체의 보호계전 분야의 디지털화 및 광통신 기술의 적용 등의 확대를 감안 할 때 이러한 하드웨어 및 소프트웨어의 개발을 지향해야만 앞으로 기업은 살아남을 수 있을 것으로 전망되며, 보호계전방식 분야도 사고 파급방지를 위한 안정화 방향으로 개발될 것으로 보인다.

금후의 모터보호 개념은 고장발생 전에 원인이 파악되어 급작스런 공정중지로 인한 생산손실을 방지하는 고장예방 논리로 변할 것이며, 전자논리 회로 구성의 다양화로 모터 자체의 특성과 모터가 운용되는 개소의 사용 환경(온도, 습도, 노이즈, 고조파 등)에 적합한 최적보호를 실현시킬 수 있어, 이 두가지 요건을 종합해 볼 때 디지털 계전기의 사용이 지속적으로 증대할 것으로 전망된다.

◇ 著 者 紹 介 ◇



정 태 군

1944년 12월 21일생. 1972년 전북대학교 공과대학 전기공학과 졸. 1972~1975년 대한광학공업(주) 개발부 근무. 1976~1977년 한국종합화학(주) 근무. 1977~1987년 경남엔지니어링(주) 근무. 1987~1992년 ASIA ENGINEERING(주) 근무. 1992~1994년 ???SYSTEM(주) 근무. 1994~현재 삼화기연(주) 부설연구소 기술이사.