

## DISCO: 배전 계통 보호 기기 정정 프로그램

이승재 박영문 이정원 윤상현 윤만철 이상욱  
 영지 대학교 서울대학교 프로컴 시스템 한전 기술연구원

DISCO : A COMPUTER PROGRAM FOR PROTECTION COORDINATION OF DISTRIBUTION SYSTEMS

Seung Jae Lee Young Moon Park Jeoung Won Lee Sang Hyun Yoon Man Chul Yoon Sang Ok Lee  
 Myong Ji Univ. Seoul National Univ. Procom Systems KEPCO Research Center

### ABSTRACT

A program for the protection coordination of distribution systems is reported. The developed program named DISCO, consisting of two modules has a capability of setting the overcurrent relays, reclosers, sectionalizers, fuses which are commonly used in the primary feeder systems. Setting is performed in a downstream fashion starting from the substation, and coordination rules are applied identifying the pattern of the primary-backup devices based on the depth-first search. T/C curves of various devices are handled by digitization for accuracy and various graphics and windows are adopted for user-friendly interface.

### I 서론

변전소로부터 수용가에 전원을 공급하는 배전 계통은 송전 계통에 비하여 고장의 파급 효과는 적으나 직접 수용가에 연결되어 있음으로서 사고시의 잠전사고 또는 정전여의한 경제적 손실 등이 유발되므로 적절한 보호 대책이 요구되는데 대부분 방사상(Radial) 또는 상계식 환상(Normally- Open Loop) 회로이므로 고장 전류의 방향은 한 쪽으로만 흐르기때문에 일반적으로 과전류 계전방식을 채택하고 있다. 계통의 사고는 동물 또는 나뭇가지의 선로 접촉, 서지 (Surge) 등에 의한 순시 고장이 전체고장의 50 - 90 % 정도를 차지하므로 영구고장 뿐만 아니라 순시고장에 대한 보호 능력이 특히 요구된다. 이를 위하여 그림1 에서와 같이 Relay, Recloser, Sectionalizer, Fuse 등의 다양한 보호 기기들이 사용되며 이러한 보호 기기들의 정정 협조는 대부분 일정한 정정 규칙에 따라 경험이 풍부한 기술자에 의하여 수작업으로 행하여진다. 이러한 작업은 많은 양의 관련 기기 데이터, 계통에 관한 지식 그리고 여러 보호 기기의 조합에 따른 다양한 정정 방법 등에 관한 지식을 필요로 하므로 시간이 매우 오래 걸리고 또한 실수를 동반할 수 있으므로 이의 전산화가 절실히 요구된다.

본 연구에서는 실 정정 방법에 근거하여 1차 배전선로의 보호기기 정정을 실행하는 프로그램인 DISCO (Distribution system protection COordination program) 를 개발하였다. DISCO 는 PASCAL로 프로그램되었으며 독립 수행 능력을 갖는 두개의 모듈 - OCR 모듈, Non-OCR 모듈 - 로 구성되었고, 다양한 그래픽스 기능을 갖추고 있어 결과 해독의 용이성과 교육적 효능을 갖는다.

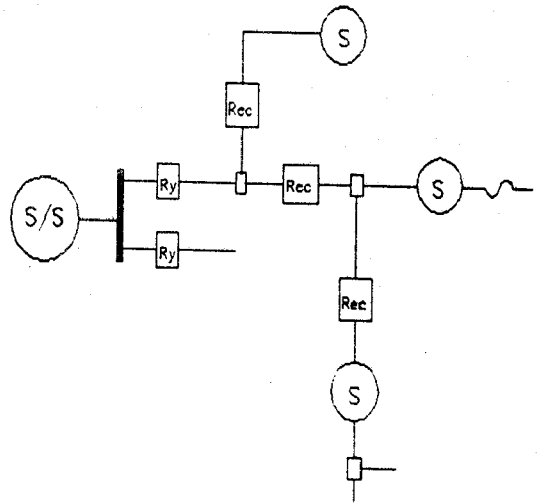


그림 1. 배전 계통의 보호 기기

### II DISCO (DIStribution system protection COordination)

DISCO는 1차 배전선로의 보호 장치인 OCR, Recloser, Sectionalizer, Fuse 등의 정정을 수행하는 프로그램으로서, 그림 2 에 보이는 바와 같이 크게 두개의 모듈 - OCR 모듈, Non-OCR 모듈 - 과 데이터베이스로 구성되어 있다. OCR 모듈은 배전용 변전소의 변압기와 배전 간선 보호 OCR 및 OCGR의 정정을 실행하는 기능을 갖고, Non-OCR 모듈은 배전선로의 Recloser, Sectionalizer, Fuse 등 OCR이 아닌 보호 기기들의 정정을 실행한다.

이들의 정정 순서는 정정의 기본 요건인 선택성(Selectivity) 과 후비보호성 (Backup Protection) 을 고려하여 부하측에서 전원측으로 정정하는 것이 원칙이나 실제에 있어서는 송전계통의 배전계통에 대한 상대적 중요성으로 인하여 변전소로부터 아래 레벨로 즉 전원단으로부터 부하단으로 진행하게되며 DISCO에서도 이에 따른다. Recloser, Sectionalizer, Fuse 의 정정시는 깊이 우선 탐색 (Depth-First Search)을 채택하여 협조조건에 따른 정정을 실행한다.

일반적으로 협조 조건을 만족하는 정정치는 여러가지 경우가 존재하며 이들 중 보호전문가는 계통 상태, 지역의 특성, 연결 부하의 종류 등에 대한 그들의 경험적

지식에 따라 정정치를 선택한다. 따라서 이러한 선택의 폭을 넓히기 위하여 DISCO는 필요시 모든 협조가능한 경우를 얻을수 있도록 설계하였다.

각 모듈에 관한 자세한 설명은 다음과 같다.

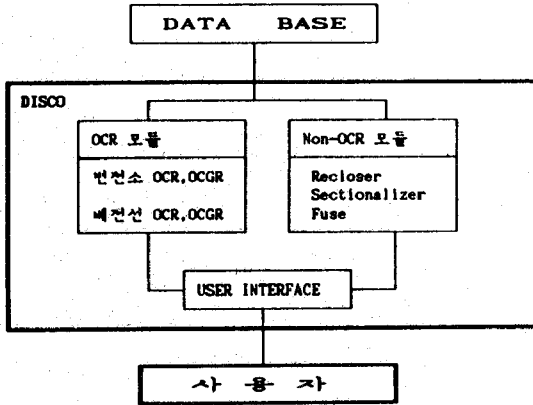


그림 2 DISCO 구성도

1. 데이터 베이스

보호 기기 정정에는 계통의 연결상태 (Topology)와 설치 보호기기 종류 및 타입, 각종 보호 기기의 정정 가능 범위와 시간-전류 특성 곡선, 고장전류와 부하전류등의 많은 양의 데이터가 필요하므로 이들의 효과적인 표현 및 저장법이 강력히 요구된다. 본 연구에서는 이러한 데이터들은 사용자의 DATABASE 구축시의 용이성을 고려하여 다음에 설명되는 3 가지 데이터베이스(DB)로 분류 저장하였다.

1) 계통 정보 DB

계통의 연결 상태와 계통에 설치된 보호 기기의 종류 및 타입, 그리고 부하 전류 등을 저장하며 그림 3과 4에 보이는 기본 표현 형태가 이용된다.

From Bus	ToBus
1	2
2	3

Location	Device	Type	Load Current
1	OCR	CO-9	153
2	Recloser	VWVE	98
3	Recloser	RV	43

그림 3 계통 Topology 그림 4 계통 보호기기 및 부하 전류

2) 보호기기 DB

각종 보호기기의 정정치의 가능한 값은 일반적으로 불연속 값으로 주어지며 이들은 그림 5에 보이는 형태로 저장되며 전류-시간 특성곡선은 디지털타이저를 이용하여 각 곡선의 점을 수치화하여 그림 6과 같은 형태로 저장한다.

RV	50	70	100	150	200	250
RVG	2.4	4.9	50	63.5	100	110
VWVE	100	140	200	280	400	560
VWVEG	30	40	50	60	70	80

그림 5. Recloser 최소트립 전류정격

RECLOSER				
RV50-A	51.23320	0.12228	64.27843	0.09779
	85.76299	0.07666	126.78820	0.05797
RV50-B	50.91759	8.35626	55.46958	5.26303
	63.97498	3.41287	73.74720	2.35340

그림 6. Recloser 시간-전류 특성 곡선

3) 고장 전류 DB

보호기기 정정에는 각 모선에서의 1선 지락 및 3상 단락 고장전류가 필요하다. 이러한 고장전류 데이터는 그림 7와 같은 형태로 저장한다. 여기서 1선지락 고장전류를 나타내는 1G 다음의 숫자는 고장 임피던스를 나타낸다.

Location	IS3	IS2	1G(0)	1G(30)
0	1939.37	1679.49	2322.03	410.51
1	1769.19	1532.12	2084.23	405.45
2	1040.77	901.31	935.11	342.03
3	810.02	701.47	677.31	306.52
4	810.02	701.47	677.31	306.52

그림 7 고장전류 데이터

2.. OCR 모듈

변전선 변압기의 1차 및 2차측에 설치된 과전류 계전기는 과부하에 대한 보호와 배전선로 보호용 과전류계전기의 후비보호 기능을 갖는다. 따라서 전위계전기와 협조를 이루어야하며 이와 동시에 후단에 있는 송전선로 보호용 zone-3 와 협조가 되어야 한다. 배전선 보호 과전류계전기는 주로 Recloser 인 전위 보호기기와의 협조를 이루어야한다. 본 모듈은 이와같은 과전류 계전기들 - #1 OCR, OCR2, #2 OCGR, D/L OCR, D/L OCGR (그림 8) - 의 정정을 실행하며 이에 적용되는 정정규칙을 요약하면 표 1과 같다.

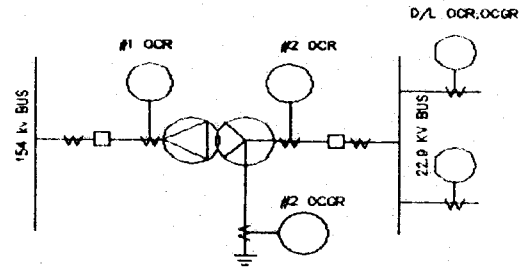


그림 8 배전용 변전소와 1차 배전간선

표 1. 과전류계전기 정정규칙

정정 기기	범	메비
1차 OCR	최대부하 전류 x 1.5	모선 3상 고장시 70 Cycle 여동작
2차 OCR	최대부하 전류 x 1.5	모선 3상 고장시 70 Cycle 여 동작
2차 OCGR	최대부하 전류 x 0.3	모선 1선지락고장시 60 Cycle 여 동작
D/L OCR	최대부하 전류 x 1.5	2차 OCR(OCGR) 과 0.5초 협조시간 고려하여 정정
D/L OCGR	최대부하 전류 x 0.3	

3. Non-OCR 정정 모듈

본 모듈은 배전선 과전류 계전기 (D/L OCR, OCGR)의 정정치가 주어졌을때, 그 이하 계통의 보호를 담당하고있는 Recloser, Sectionalizer 및 Fuse의 정정을 실행하는 부분으로, 전원단으로부터 부하단으로 깊이 탐색 방법을 사용하여 정정 대상 보호기기를 선택하여 이의 후비보호 기기와의 조합형태에 따른 정정 법칙을 적용하여 그 정정치를 결정한다. 여기서 정정치와 함은 Recloser 인 경우 초소 트립 전류정격 및 동작 Sequence, Sectionalizer는 정격 전류 및 Counter, Fuse에서는 정격 전류의 선정을 말한다. DISCO 에서 적용한 기기별 정정 조건과 후비보호-주보호 쌍의 형태에 따른 협조 조건을 요약하면 표 2, 3 과 같다.

표 2.: 기기별 정정 조건

기기	정정 법칙	
Recloser	PHASE	정격 전류는 최대 부하전류의 140% 이상 최소 고장전류 이하
	GROUND	정격 전류는 예상 최대 부하전류 이상 최소 고장 전류의 1/2 이하
SEC-TIONALIZER	후비보호 기기 정격전류의 80 %	
Fuse	정격 전류는 예상 최대 부하전류 이상 최소 고장전류 이하	

표 3.: 기기조합별 협조 조건

보호 기기 조합	정정 법칙
OCR - Recloser (PHASE)	Recloser 의 동작에 의한 OCR(OCGR) 의 동작 누적 시간이 OCR(OCGR) 동작 시간에 비하여 10 CYCLE 이상의 여유를 갖도록한다
OCGR - Recloser (GROUND)	
Recloser - Recloser	<ul style="list-style-type: none"> <li>후비 보호 Recloser 보다 주 보호 Recloser 가 먼저 LOCK OUT 되어야한다</li> <li>후비 보호 Recloser 보다 주 보호 Recloser 가 먼저 TRIP 되어야한다</li> </ul>
Recloser - Sec-tionalizer	후비 보호 Recloser SEQUENCE 의 총합보다 1회 적게 COUNT 하도록 정정한다
Recloser - Fuse	Recloser 순시 동작 시간 X 송출 시간이 Fuse 최소 용융 시간보다 작아야하며 Recloser 지연 동작 시간이 Fuse 최대 고장 제거 시간보다 커야한다
Sec-tionalizer - Sec-tionalizer	후비 보호 Sectionalizer COUNT 보다 1회적게 정정한다
Fuse - Fuse	최대 고장전류가 후비 보호와 주 보호 Fuse 간의 협조 가능 전류 보다 작아야한다
Recloser - Sec - Fuse tionalizer	<ul style="list-style-type: none"> <li>Recloser 는 1F3D 로 정정</li> <li>Sectionalizer 는 3 Count 로 정정</li> <li>Fuse 는 Recloser-Fuse 협조 조건을 만족하도록 정정</li> </ul>

4. 사용자 연결 (User Interface)

DISCO 는 화면상에 협조상의 주요 조건에 대한 검토 상황을 제시하며 (그림 9) 아울러 다양한 그래픽스 (그림 10,11) - 시간-전류 특성 곡선상의 협조, Recloser 의 Sequence 협조등 - 를 이용하여 그 상황을 시각적으로 보여줌으로써 사용자가 정정 과정및 그 결과를 쉽게 이해할

수 있도록 하였다. 또한 정정치의 결정에 있어 협조조건을 만족시키는 해가 둘이상이 있는 경우 사용자의 선택에 따라 진행할수 있도록 하였다.

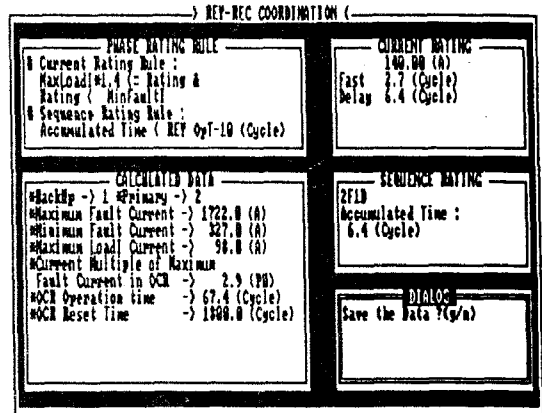


그림 9. DISCO 실행 화면

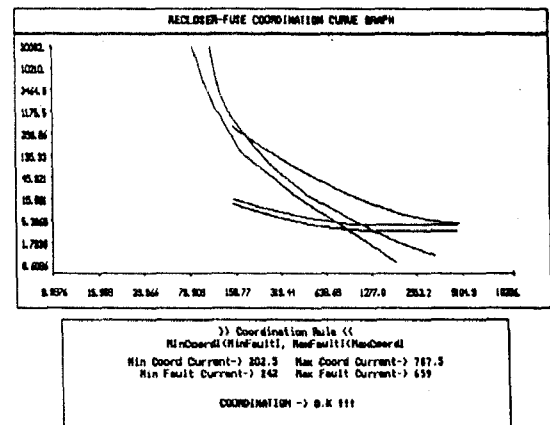


그림 10. Recloser-Fuse 협조 곡선

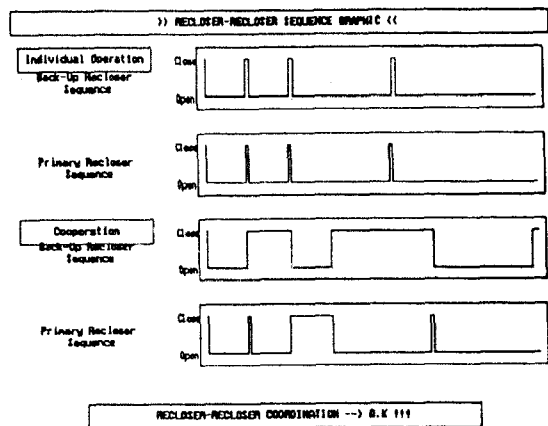


그림 11. Recloser-Recloser 동작 상태 그래픽

III 정정 예제

DISCO 의 효용성을 검증하기 위하여 그림 12에 보이는 22.9 kV 배전계통에 적용하여 보았다. 예제 계통은 3 개의 Recloser, 2 개의 Sectionalizer, 그리고 4 개의 Fuse 로 구성 되어있으며 정상상의 모든 보호기기 조합을 포함하고있다. 이 계통에 사용된 보호기기들 및 부하 전류에 관한 자료는 표 4와 같으며 정정 실행결과 협조조건을 만족시키는 해는 총 330개를 찾았으며 이중 일부들 살펴 보면 표 5와 같다.

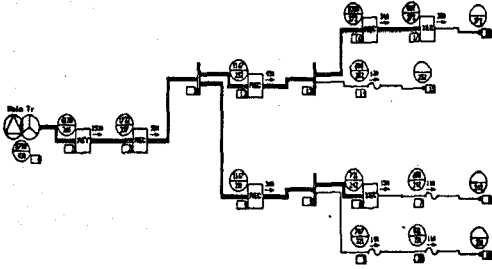


그림 12. 배전 선로 계통도

표 4 보호기기 데이터

Location	Device	Type	Load Current
2	Recloser	VWVE	98
4	Recloser	VWVE	36
6	Sectionalizer	RV	15
7	Fuse		11
9	Fuse		14
10	Fuse		11
12	Recloser	VWVE	45
14	Fuse		12
16	Recloser	VWVE	34
17	Sectionalizer	RV	20

표 5 정정 결과 일부

위치	2	4	6	7	9	10	12	14	16	17
	R	R	S	F	F	F	R	F	R	S
1	200 1F3D	140 1F3D	112 3(C)	40K	40K	8I	140 1F3D	40K	100 2F1D	80 2(C)
2	200 1F3D	140 1F3D	112 3(C)	40K	40K	10K	140 1F3D	40K	100 2F1D	80 2(C)
329	280 1F3D	140 1F3D	112 3(C)	40K	40K	20K	200 1F3D	50K	200 1F2D	160 2(C)
330	280 1F3D	140 1F3D	112 3(C)	40K	40K	25K	200 1F3D	50K	200 1F2D	160 2(C)

R - Recloser  
S - Sectionalizer  
F - Fuse

IV 결론

본 연구에서 개발된 배전계통 보호기기 정정 협조 프로그램인 DISCO는 1차 배전 계통에서 현재 널리 쓰이고 있는 OCR, OCGR, Recloser, Sectionalizer, Fuse 등의 정정을 변전소로부터 부하단으로 깊이 우선 탐색 방법에 근거하여 주보호-후비보호간의 기기조합 형태에 따른 협조정정 규칙을 적용하여 실행한다. 각종 기기의 시간-전류 특성을 디지털이저를 이용하여 파일에 저장 처리함으로써 정확도를 높였으며, 다양한 그래픽스와 모의 실험 기능, 협조검토 결과 Window 등으로 정정 진행상의 설명 기능을 부가하여 사용자의 프로그램에 대한 이해 및 신뢰도를 높일수 있도록 설계하였다.

추후의 연구 사항으로서 협조조건을 만족하는 여러개의 정정해로부터 최적해를 판정하는 이론의 확립과 적용 알고리즘 개발이 있으며, 아울러 보호기술자들의 전문지식을 쉽게 구현할수 있는 전문가 시스템 기법을 이용하여 정정 과정에서 전문가의 지식과 경험을 최대한 이용하여 계통에 가장 적절한 해를 도출하는 방법에 대한 연구가 필요하다.

참고로 본 연구의 일부는 한국 과학재단의 지원에 의하여, 일부는 한국전력 공사의 지원에 의하여 수행되었음을 밝힌다.

V 참고 문헌

- [1] Turan Gonen, "Electric Power Distribution System Engineering", MacGraw-Hill, 1986.
- [2] MacGraw-Edison Company, "Distribution System Protection Manual"
- [3] General Electric Company "Distribution System Feeder Overcurrent Protection, Application Manual"
- [4] IEEE Committee Report, "Application of Protective Relays and Devices to Distribution Circuits", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, October, 1964, pages 1034-1042.
- [5] C.R. Mason, The Art and Science of Protective Relaying, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1956.
- [6] System Protection Div., Korea Power Electric Corp., Guideline for Relay Setting, 1989.
- [7] Protective Relaying for Power Systems, edited by S. H. Horowitz, IEEE Press, 1980.