2000년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집 2000.7.17-20

# Oracle DB를 이용한 송전계통 보호 계전기 정정 Rule base구축 및 추론

*주해진, 민병운, 이승재, 강상희, 최면송　　조범섭, 이운희, 최홍석
명지대학교 전기공학과　　한국 전력 공사

# Construction of Rulebase and Its Inference Method for Protective Relay Setting Using Oracle Database

*H.J Joo, B.W Min, S.J Lee S.H Kang, M.S Choi　　B.S Cho, W.H Lee, H.S Choi
Myongji University　　KEPCO

**Abstract** – The protective relay setting of transmission systems has to consider various factors such as the protrected device, relay type and system conditions and it requires the empirical knowledge of experts. In this study The setting rules have been accumulated in Oracle DB and its inference scheme has been devised. Their applications to relay setting system are expected to refine the setting knowledge enhancing the accuracy and consistency of the relay setting.

## 1. 서 론

계통 안정도에 중대한 영향을 미치는 송전 계통 보호 배전반의 정정과정은 정정 지침서를 기준으로 이루어 지며, 피보호설비 및 계통조건에 따라 그 적용 룰이 매우 복잡하고 다양하여, 장기간의 경험을 가진 전문가의 지식이 요구된다. 본 논문에서는 이러한 문제를 극복하고 정정업무의 효율성을 높이기 위하여 정정 전문가의 경험적 지식과 정정지침서의 룰을 통합한 룰베이스를 구축하였으며 이를 이용한 룰베이스 전문가 시스템을 제시한다.

## 2. Rulebase

현행 송전 계통 보호에 사용되는 배전반은 여러 보호방식의 계전요소(계전기)로 구성되어 있다. 그러므로 하나의 배전반 정정시 다수의 룰이 적용되며, 이러한 룰들의 총합이 본 논문에서 제시한 전문가 시스템의 룰베이스를 이룬다. 룰베이스를 설계하기 위해서는 정정룰의 분석과정이 필요하며 이를 통하여 룰의 적용 근거가 되는 조건부를 결정하고, 정정 방법을 제시하는 결론부를 결정한다.

### 2.1 정정룰 분석 및 룰베이스 설계

현행 보호계전기 정정룰의 존재 형태를 보면 배전반만의 특이 정정룰없다면 일반적으로 피보호설비, 보호배전반의 보호방식, 배전반의 구성 계전기 및 그 기능, 설치된 배전반의 주변 계통에 따라 분류할 수 있다. 룰이 위와 같은 형태로 존재하는 경우 룰베이스는 다음의 예1)과 같이 구현될 수 있다. 예1)에서 보여지는 바와 같이 "IF"로 표시되는 조건부에서는 정정하려는 계전요소, 그것의 기능, 배전반이 설치된 주변 계통을 판단하고, "THEN" 이하의 결론부에서 조건에 맞는 룰을 제시한다.

예1) **IF** Relay is DZR
**AND** Function is Phase_Zone3
**AND** NOT_END_LINE
**AND** NOT_END_OPEN
**THEN** ①자기선로 임피던스 225%
②자기선로 임피던스 + 다음 최장선로 임피던스의125%×App
상기 중 큰 값에 정정

예1)에서는 송전선로 보호 배전반내의 계전요소 중 거리계전요소의 단락용 Zone3 Reach를 결정하는 룰로 배전반이 말단에 위치하지 않고 End Open사고를 고려하지 않는 경우의 룰을 보여준다.

일반적으로 적용되는 룰외에 배전반에 따라 특이룰도 다양하게 존재하는데 이는 동일한 계전요소를 정정하더라도 배전반에 따라 일반적으로 적용되는 룰을 따르지 않음을 의미하는 것으로 예2)와 같은 경우가 이에 해당하며, 그 예가 예3)에서 보여진다.

예2) · 거리 계전기의 영상보상 유무
· 단락용, 지락용 거리계전기의 공용
· carrier starting요소 : Zone2 carrier 사용
Zone3 carrier 사용

예3) **IF** Relay is DZR
**AND** Function is Phase_Zone1
**AND** 단·지락 공용
**THEN** 자기선로 임피던스의 80%에 정정

예3)에서 보여지는 룰은 송전선로 보호 배전반내의 계전요소 중 거리계전요소인 Zone1 Reach를 결정하는 것으로 배전반이 단락용과 지락용의 Zone1을 함께 사용하는 경우에 적용된다. 이 경우 일반적인 Zone1 Reach 정정이 자기선로 임피던스의 85%에 정정되는데 반하여 80%에 정정하게 된다.

위와 같이 분류된 룰들은 추론시 시간적인 효율을 높이기 위하여 피보호설비(선로, 변압기, 모선, 차단기등). 보호배전반의 보호방식(PCM, 방향비교방식)에 따라 grouping되어 새로운 룰베이스로 구성된다.

## 2.2 Implementation

2.1절의 예1) 과 같이 조건부와 결론부로 이루어진 형태의 룰베이스는 Oracle을 이용하여 데이터베이스화 된다. 표1은 Oracle을 사용하여 구성한 룰베이스의 데이터테이블을 나타내며, 그 구조를 보면 배전반의 각 계전요소에 해당하는 "Relay" field, 그 계전요소의 배전반에서의 기능에 해당하는 "Function" field로 구성되고, "Condition1", "Condition2" field는 최종적으로 배전반의 해당 계전요소 정정시 계통조건과 특이룰을 고려하는 조건부가 된다. 최종적으로 선택되어지는 룰이 "Rule" field 가 되고. "Value Count"는 해당 룰에 사용되는 변수값의 개수를 나타내며, 실제 적용되는 값의 field가 "Value"가 된다. "Digital", "Nondigital", "Carrier", "PCM", "Protected Device" field는 grouping을 위한 조건이 된다. 이런 field들이 모여 하나의 record를 이루고, 이것이 곧 하나의 정정룰이 된다. 본 시스템에서 구성한 룰베이스의 룰의 개수는 약 70개가 있으며, 그 중 특이룰이 10개 존재한다. 다음의 예4) 에서 룰베이스 데이터 테이블의 예로 filed별 실제 구성 데이터를 보여준다.

예4) **Relay** : OCR
**Function** : PHASE FAULT SUPERVISING
**Condition1** : END LINE
**Condition2** : NOT END OPEN
**Rule** : 선로 허용전류의 Value1%
상대단 모선 선간단락 고장전류의 Value2%
상기 중 작은 값
**Valuecount** : 2
**Value1** : 120
**Value2** : 50
**Digital** : 1
**NonDigital** : 1
**Carrier** : 1
**PCM** :
**Protected Device** : LINE

**표1. 룰베이스 테이블 구조**

| Relay | Function | Condition1 | Condition2 | Rule | ValueCount | Value1 | Value2 | Digital | NonDigital | Carrier | PCM | Protected Device |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| OCR | PHASE_ZONE1 | NORMAL | | ·자기선로 임피던스의 Value1% | 1 | 85 | | 1 | 1 | 1 | | LINE |
| | PHASE_ZONE1 | OVERREACH의 지속 | | ·자기선로 임피던스의 Value1% | 1 | 80 | | 1 | 1 | 1 | | LINE |
| | PHASE_ZONE1 | 순·지로 유무 | | ·자기선로 임피던스의 Value1% | 1 | 80 | | 1 | 1 | 1 | | LINE |
| | PHASE_ZONE2 | NOT_END_LINE | | ·자기선로 임피던스의 Value1%<br>·자기선로 + 다음선로 임피던스의 Value2% × Arp2<br>상기중 작은 값 | 2 | 125 | 50 | 1 | 1 | 1 | | LINE |
| | | END_LINE | | ·자기선로 임피던스의 Value1% | 1 | 150 | | 1 | 1 | 1 | | LINE |
| | PHASE_ZONE3 | NOT_END_LINE | NOT_END_OPEN | ·자기선로 임피던스의 Value1%(긴선로인 경우)<br>·자기선로 + 다음 최장선로 임피던스의 Value2% × Arp<br>DDitto Type인 경우 Load Ability를 적용 값 | 2 | 125 | 225 | 1 | 1 | 1 | | LINE |
| | | | END_OPEN | ·자기선로 + 다음 최장선로 임피던스의 Value1% × Arp<br>·자기선로 + 자기선로 임피던스의 Value2% × Arp<br>상기중 큰 값<br>DDitto Type인 경우 Load Ability를 적용 값 | 2 | 125 | 125 | 1 | 1 | 1 | | LINE |
| | | END_LINE | NOT_END_OPEN | ·자기선로 임피던스의 Value1%<br>DDitto Type인 경우 Load Ability를 적용 값 | 1 | 225 | | 1 | 1 | 1 | | LINE |
| | | | END_OPEN | ·자기선로 + 자기선로 임피던스의 Value1% × Arp<br>DDitto Type인 경우 Load Ability를 적용 값 | 1 | 125 | | 1 | 1 | 1 | | LINE |
| | PHASE_OC_FORWARD | USE_ZONE2 | LARGE MARGIN | ·상대단 Zone-2 Reach의 Value1%적용<br>DDitto Type인 경우 Load Ability를 적용 값 | 1 | 150 | | 1 | 1 | 1 | | LINE |
| | | USE_ZONE2 | SMALL MARGIN | ·(상대단 Zone-2 Reach-자기구간 임피던스) × Value1% | 1 | 150 | | 1 | 1 | 1 | | LINE |
| | | USE_ZONE3 | LARGE MARGIN | ·(Phase Zone-3 Reach + 자기구간 임피던스) × Value1%<br>DDitto Type인 경우 Load Ability를 적용 값 | 1 | 150 | | 1 | 1 | 1 | | LINE |
| | | USE_ZONE3 | SMALL MARGIN | ·(상대단 Zone-3 Reach-자기구간 임피던스) × Value1% | 1 | 150 | | 1 | 1 | 1 | | LINE |
| | PHASE_OC_BACKWARD | | | ·조정가능한 경우 전방임피던스의 Value1%<br>(단 최저 Value2Ω 이상) | 2 | 30 | 0.5 | 1 | 1 | 1 | | LINE |
| OCGR | SOTF_PROTECTION | | | ·상대단 모선 1-G사고시 고장전류의 Value1% | 1 | 150 | | 0 | 1 | 1 | | LINE |
| | STUB_PROTECTION | | | ·자단 모선 1-G사고시 고장전류의 Value1% | 1 | 20 | | 0 | 1 | 1 | | LINE |
| | SOTF_STUB_PROTECTION | | | ·상대단 모선 1-G사고시 고장전류의 Value1%<br>·자단 모선 1-G사고시 고장전류의 Value2%<br>상기중 작은 값 | 2 | 150 | 20 | 1 | 1 | 1 | | LINE |
| | GROUND_FAULT_SUPERVISING | | | ·선로허용전류의 Value1%<br>·상대단 모선 1-G사고시 고장전류의 Value2%<br>상기중 작은 값 | 2 | 30 | 30 | 0 | 1 | 1 | | LINE |
| | GROUND_OCR | | | ·선로허용전류의 Value1% | 1 | 30 | | 0 | 1 | 1 | | LINE |

## 3. Inference Engine

룰베이스가 구성되면 Inference engine을 통하여 룰베이스 내의 룰을 결정하게 된다. Inference engine은 룰베이스의 grouping 조건을 이용하여 새로운 룰베이스를 구성하고 그 룰베이스에서 조건부 검색을 한다. 조건부 검색을 위하여 Inference engine에는 배전반의 구성 계전요소 검색모듈과 계통검색 모듈이 구성되어 있으며 이를 통하여 조건부의 참/거짓을 판단하여 결론부의 정정룰을 선택하게 된다.

### 3.1 정정 전문가의 정정과정 분석 및 추론엔진 설계

실제 보호계전기 정정자의 정정과정을 분석해 보면 정정하려는 배전반을 결정하고, 그 배전반을 구성하는 계전요소와 기능을 분류하여 요소별 정정에 들어간다. 정정과정에서 계전요소별 정정룰을 적용하기 위하여 정정자는 계통조건 및 정정하려는 배전반만의 특이룰이 있는지를 파악하여야 하며, 이 작업이 끝나면 PSS/E와 같은 고장계산 프로그램을 사용하여 정정에 필요한 고장데이터를 이용하여 정정값을 결정한다.

그림1은 위와 같은 실제 정정업무를 고려한 전문가 시스템의 구조를 나타낸다. 본 논문에서 제시하는 전문가 시스템은 추론 엔진을 통하여 Oracle Database에 구성된 룰베이스의 룰을 선별적으로 적용하게 된다.

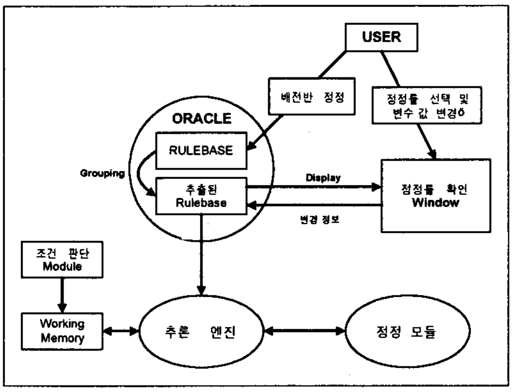


**그림 1 전체구조**

추론엔진의 추론과정은 그림2와 같은 흐름도로 표현할 수 있다. 우선 배전반이 설치된 모선의 위치와 배전반 명칭을 입력받는다. 입력된 배전반에 따라 전체 룰베이스에서 필요한 룰들을 추출하여 새로운 룰베이스를 구성한다. 이 과정이 grouping조건에 의하여 이루어 지는데, 새로이 구성된 룰베이스는 정정룰 확인 Window를 통하여 User에게 display되며, User는 이를 통하여 실시간으로 적용될 룰들을 확인하고, 변수값을 조정할 수 있다. 또한 확인과정에서 사용하고 싶지 않은 룰은 룰베이스로부터 삭제가 가능하다.

입력된 배전반의 구성 계전요소 및 각 기능은 배전반 구성 계전요소 List에서 검색하여 얻어지며, 정정해야할 각 계전요소가 검색되면, 설치된 모선번호를 이용하여 배전반이 설치된 계통의 조건을 검색한다. 계통조건은

말단 여부, 병행회선 여부, 다음 구간이나 전 구간에 설치된 설비등이 되며, 이러한 계통조건의 검색은 미리 구성된 계통 데이터 테이블에서 이루어진다.

표2는 추론 엔진으로부터 검색되는 배전반 구성 계전요소 List로써 배전반을 구성하는 계전기와 그 기능에 대한 정보를 나타내며, 여기서는 송전선로 보호 배전반인 MXL1E의 구성 계전기를 보여준다.

표 2 MXL1E 배전반 구성 계전기 LIST

| 배 전 반 | 기 능 | Relay |
|---|---|---|
| MXL1E | Phase Zone1 | DZR |
| | Phase Zone2 | DZR |
| | Phase Zone3 | DZR |
| | Phase CR | DGR |
| | Ground Zone1 | DGZR |
| | Ground Zone2 | DGZR |
| | Ground Zone3 | DGZR |
| | Ground CR | DGZR |
| | SOTF and STUB Protection | OCR |
| | Earth Fault Relay For Open Circuit Protection | OCGR |
| | Directional Earth Fault Element | OCGR |
| | Out Of Step Tripping | DZR |

해당 배전반의 구성 계전기와 기능 그리고 계통조건의 정보가 검색되면 그 결과를 가지고 설치된 배전반의 각 계전 요소별로 정정룰 검색에 들어간다. 룰베이스에서 배전반의 계전요소는 "Relay" field가 되고, 그 계전요소의 배전반에서의 기능이 "Function" field가 된다. 그리고 검색된 계통조건과 배전반의 특이룰이 "Condition1", "Condition2"의 최종 검색 조건부가 되어 추론 엔진이 이 조건을 검색하여 결론부인 정정룰을 결정한다.

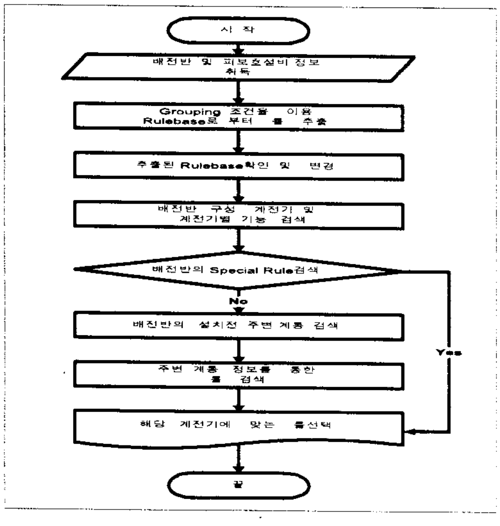


그림 2. 추론 Flow Chart

## 3.2 Implementation

추론 엔진은 C++ Language를 이용하여 구현하였다. C++ Language를 사용하면 기존의 환경을 최대한 이용할 수 있는 장점이 있다. 룰베이스 table은 추론 엔진에 의하여 직접 access가 가능하며, 추론엔진 내부에는 계통 search module과 계전기 list search module이 구현되어 배전반의 명칭과 설치된 모선번호로 조건부를 자동 설정하여 실제 룰베이스 table내의 조건부와의 비교 검색에 들어가도록 설계되었다.

그림4는 정정룰 확인 윈도우의 예로 윈도우를 통하여 보여지는 룰베이스는 grouping되어 구성된 table이다. User는 이 윈도우를 통하여 실시간으로 룰 확인 및 사용하지 않는 룰의 제거, 변수값의 수정등을 할 수 있다.

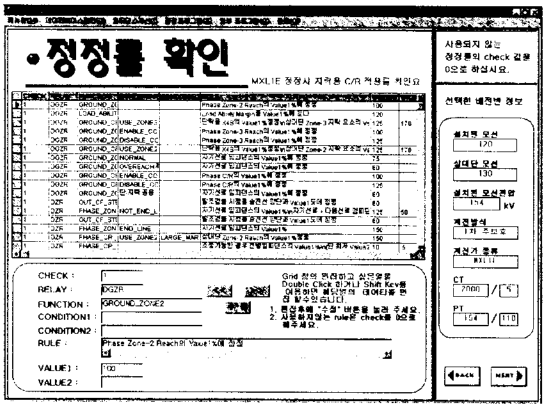


그림 3. 정정룰 확인 윈도우

## 4. 결 론

본 논문에서는 계전기 정정 룰베이스를 Oracle DB에 구축하였고, 이를 효율적으로 추론하기 위한 추론기를 설계하였다. 또한 설계된 룰베이스와 추론기를 적용한 계전기 정정 전문가 시스템을 개발하였다. 개발된 시스템의 실적용은 정정업무의 시간단축 및 효율성의 증대를 가져 올 것이다.

## 5. 참고 문헌

[1} Seung Jae Lee, et. al. "An Expert System for Protective Relay Setting of Transmission", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.5, No2, 1990.

[2] Seung Jae Lee, et al. "Enhanced Expert Systems for Setting and Coordination of Protective Relays", Proc. 3rd. Symposium on Expert System Application in Power Systems, April 1991, Tokyo.

[3] Grady Booch, "Object-Oriented Analysis And Design", The Benjamin./Cummings Publishing Company. 1994.

[4] J. Lewis Blackburn, "Protective Relaying Priciples and Application", MARCEL DEKKER, INC., 1987.

[5] John Durkin, "Expert Systems - Design And Development", Macmilian Publishing Company, INC. 1994.