

고장계산 및 보호협조 판정 소프트웨어 개발

박성진*, 최장흠**, 서정만*
 LG산전 전력연구소*, 충남대 전기공학과**

A Development of Software about Short-circuit Calculation and Protective-coordination

S. C. Park*, J. H. Choc**, J. M. Seo*

Electro Technology R&D Center, LG Industrial systems*, Electrical Engineering Depart, Chungnam Nat' Univ**

Abstract - A software, called touch-one, is developed about the determination of short-circuit values and protective co-ordination in power system. The used solution algorithm reviewed intensively, and the protective co-ordination determination technique presented by using the circuit-breaker's current-limitation characteristic. The protective coordination concerns the behaviour of two devices placed in series in an electrical network, with a short-circuit downstream circuit-breaker. It has two basic principles: First, discrimination which is an increasing requirement of low voltage electrical distribution systems. Second, which is less well known: cascading, which consists of installing a device, whose breaking capacity is less than the three-phase short-circuit current at its terminals and helped by main circuit-breaker. With this software, we can construct a electric-power system which is reliable and economic according to user's purpose.

계통을 구성하는 각 선로와 설비에 대한 선로정수가 산정되면 모선 어드미턴스 행렬을 구성할 수 있다. 모선 어드미턴스 행렬 $[Y_{BUS}]$ 는 다음 그림 2.1과 같은 구조를 가지게 된다.

$y_{11} + \dots + y_{1n}$	...	$-y_{1i}$	...	$-y_{1n}$
\vdots	\ddots	\vdots	...	\vdots
$-y_{ji}$	...	$y_{11} + \dots + y_{1n}$	...	$-y_{jn}$
\vdots	...	\vdots	\ddots	\vdots
$-y_{ni}$	...	$-y_{ni}$	...	$y_{n1} + \dots + y_{nn}$

[그림 2.1] 모선 어드미턴스 행렬의 구조

1. 서 론

전력시스템 구축시 고장계산은 전력 계통의 운용과 계획의 기반이 되는 것으로 여러 가지 계산법이 연구되어지고 있다. 그러나, 최근의 전력시스템 설계 동향은 경제적이며 최대한의 안전성을 갖는 선로 기기들에 전력을 공급하는데 있다. 즉, 시스템 설계의 최대 원칙은 안전성이며, 이외 선로 기기의 보호, 서비스의 지속성 등을 합당한 비용으로 보장하는데 있다. 이런 원칙을 달성하기 위해, 배전급 차단기를 비롯한 모든 보호 기기들은 이상 고장이나 과부하 조건시, 신속하게 사고 구간을 시스템에서 분리하여 미고장 선로의 운용을 지속적으로 할 수 있게 하여야 하며, 기기의 손상을 최소화하고 가능한 빨리 복구가 가능하게 해야 한다. 이러한 역할은 시스템에 적절히 구성된 여러 보호기기를 통해 구현되어진다.

본 논문에서는 당사에서 개발 중인 고장 계산 및 보호협조 판정 소프트웨어에 대한 고장계산 알고리즘과 보호협조를 통한 차단기 선정 방법에 대해 논의하고자 한다.

2. 본 론

2.1 고장전류 계산

여기서 y_{ij} 는 i 모선과 j 모선을 연결하는 선로의 어드미턴스를 나타낸다. 모선 어드미턴스 행렬을 선로의 어드미턴스를 이용하여 나타내면 다음 식과 같다.

$$[Y_{BUS}] = [A] \cdot [y_i] \cdot [A]^T$$

$$\begin{cases} [A]: & \vdots & -1 & +1 \\ & [y_i]: & & \end{cases}$$

따라서 모선 어드미턴스 행렬을 이용하여 고장전 상태에서 서 계통의 회로 방정식을 구성하면

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_M \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [Y_{MM}] & [Y_{MN}] \\ [Y_{NM}] & [Y_{NN}] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{E}_M \\ \dot{V}_N \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} \text{단 } [Y_{MM}] &= \text{diag}(y_G) \\ [Y_{NM}] &= -1 \cdot [A_G] \cdot [Y_{MM}] \\ [Y_{MN}] &= [Y_{NM}]^T = -1 \cdot [Y_{MM}] \cdot [A_G]^T \\ [Y_{NN}] &= [Y_B] + [A_G] \cdot [Y_{MM}] \cdot [A_G]^T \end{aligned}$$

와 같이 주어진다. 만일 어느 모선에서 고장이 발생한다면 계통은 그 모선에 고장 어드미턴스가 추가되는 회로로 변하게 된다. 따라서 계통의 회로 방정식은

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_N \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [Y'_{MM}] & [Y'_{MN}] \\ [Y'_{NM}] & [Y'_{NN}] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{E}_M \\ \dot{V}_N \end{bmatrix}$$

$$+ \begin{bmatrix} \{0\} & \{0\} \\ \{0\} & [1_{p \times p} \cdot y_p \cdot 1^T] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{E}_M \\ \dot{V}_N \end{bmatrix}$$

$$\text{단 } \mathbf{1}_F = [0 \dots 0 \ 1 \ 0 \dots 0]^T$$

이 된다. 위 행렬식을 각 방정식으로 나누어 쓰면

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{I}}_M &= [\dot{Y}_{MM}] \cdot \dot{\mathbf{E}}_M + [\dot{Y}_{MN}] \cdot \dot{\mathbf{V}}_F \\ \mathbf{0} &= [\dot{Y}_{NM}] \cdot \dot{\mathbf{E}}_M + [\dot{Y}_{NN}] \cdot \dot{\mathbf{V}}_F + [\mathbf{1}_F \cdot \mathbf{y}_F \cdot \mathbf{1}_F^T] \cdot \dot{\mathbf{V}}_F \end{aligned}$$

이 된다. 그런데 고장이 발생해도 발전기 단자 전압은 일정하므로 위의 방정식을 제거하고 아래의 방정식만을 고려한다면

$$\mathbf{0} = [\dot{Y}_{NM}] \cdot \dot{\mathbf{E}}_M + [\dot{Y}_{NN}] \cdot \dot{\mathbf{V}}_F + [\mathbf{1}_F \cdot \mathbf{y}_F \cdot \mathbf{1}_F^T] \cdot \dot{\mathbf{V}}_F$$

이 된다. 따라서 위의 식을 정리하면

$$[\mathbf{A}_G] \cdot [\mathbf{Y}_{MM}] \cdot \mathbf{E}_M = ([\mathbf{Y}_{NN}] + \mathbf{1}_F \cdot \mathbf{y}_F \cdot \mathbf{1}_F^T) \cdot \mathbf{V}_F$$

이 된다. 위 식에 대해 Inversion Lemma를 적용하면 고장 후의 전압은

$$\begin{aligned} \mathbf{V}_F &= \mathbf{V}_N - [\mathbf{Y}_{NN}]^{-1} \cdot \mathbf{1}_F \cdot (\mathbf{Z}_{FF} + \frac{1}{\mathbf{y}_F})^{-1} \cdot \mathbf{1}_F^T \cdot \mathbf{V}_N \\ &= \mathbf{V}_N - [\mathbf{Y}_{NN}]^{-1} \cdot \mathbf{1}_F \cdot (\mathbf{Z}_{FF} + \mathbf{z}_F)^{-1} \cdot \mathbf{1}_F^T \cdot \mathbf{V}_N \\ \mathbf{Z}_{FF} &= \mathbf{1}_F^T \cdot [\mathbf{Y}_{NN}]^{-1} \cdot \mathbf{1}_F \\ \mathbf{z}_F &= \frac{1}{\mathbf{y}_F} \end{aligned}$$

이 된다. 따라서 고장점 전류는

$$\begin{aligned} \mathbf{I}_F &= \mathbf{1}_F \cdot (\mathbf{1}_F^T \cdot [\mathbf{Y}_{NN}]^{-1} \cdot \mathbf{1}_F + \frac{1}{\mathbf{y}_F})^{-1} \cdot \mathbf{1}_F^T \cdot \mathbf{V}_N \\ &= \mathbf{1}_F \cdot (\mathbf{Z}_{FF} + \mathbf{z}_F)^{-1} \cdot \mathbf{1}_F^T \cdot \mathbf{V}_N \\ &= \begin{bmatrix} 0 & \dots & 0 & \frac{\mathbf{V}_{NF}}{\mathbf{Z}_{FF} + \mathbf{z}_F} & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}^T \end{aligned}$$

이 되고 고장후 전압은

$$\mathbf{V}_F = \mathbf{V}_N - [\mathbf{Y}_{NN}]^{-1} \cdot \mathbf{1}_F$$

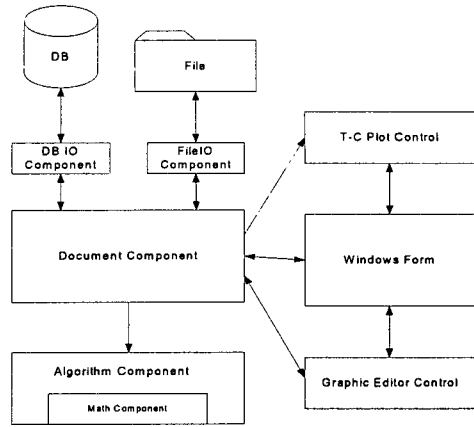
이 된다.

2.2 본 프로그램 시스템 구성

본 프로그램 개발을 위하여 Microsoft사의 객체지향 언어 tool인 Visual Studio C#.NET이 사용되어졌다. 또한, 차단기 및 선로 장치의 동작 특성, 정격전류, 보호한계전류(Icu)등의 특성값 저장을 위하여 MS Access2000이 Database 구현을 위하여 사용되어졌고, 보호협조 판정 화면인 Time-Current 그래픽 화면 구현을 위하여는 teeChart Pro AX v.5 컴포넌트를 사용하여 log 스케일 데이터를 처리를 구현하여 그래픽 data에 대해서 조류계산을 수행하고 그 결과를 계통도에 직접 표현함으로써 계통해석 비전문가라도 쉽게 계통을 이해할 수 있게 하였다.

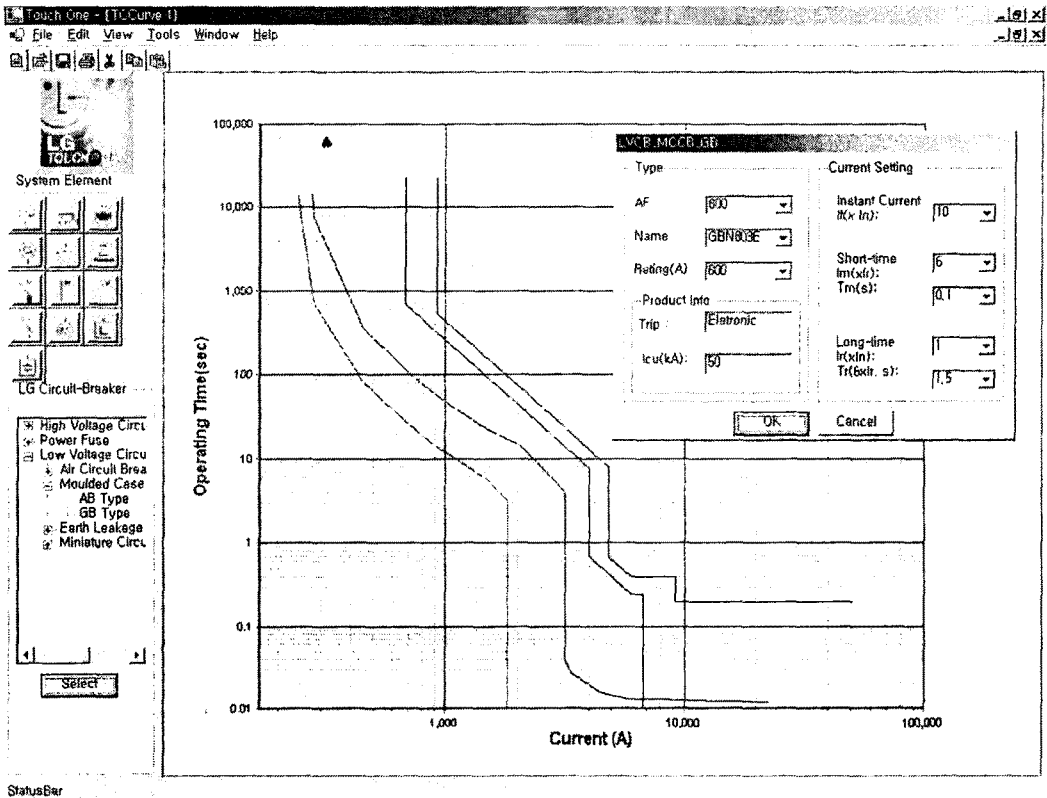
2.3 차단기간 보호협조 판정

보호협조 적용을 위한 방법에는 전 정격 시스템, 선택차단 및 캐스케이드 방법이 있다. 전 정격 시스템에서는, 모든 차단기들은 독립적으로 각자의 정격에서 운용되게 구성되므로, 전력계통상에서 차단기의 설치점 주변에서 발생할 수 있는 최대 단락전류가 차단 가능한 정격을 각



[그림 2.2] Touch-One 시스템 구성도

각 갖게 된다. 전 정격 시스템은 모든 차단기들은 적용한 선택차단시스템을 사용하면, 초기 설치비용이 전정격 시스템이나 Cascading방식을 사용할 때보다 많이 들어가는 단점이 있다. 하지만 전체 시스템 비용은 전영역 선택차단이 아니라 부분 선택차단을 적용한다고 하면 어느 정도까지는 감소할 수 있다. 선택차단 방식은 사고지점에서의 고장전류의 크기를 기준으로 하는 전류 판별(Current discriminaton), 차단 시간을 기준으로 하는 시간(Time) 판별, 둘을 조합한 전영역 선택차단(Complete Selectivity) 방식이 있다. 또한 최근 선진사에서 제안한 차단시 열용량을 기초로 작성하여 차단기에 적용하는 에너지 기반 선택차단 방식(energy-based discrimination) 방식 등이 소개되고 있다. 선택 차단협조 시스템은 세가지 기본 보호방식 중 가장 비용이 많이 드나 서비스의 지속성은 확실하게 보증이 되기 때문에 선진국을 중심으로 이 차단협조 방식이 널리 쓰이고 있다. 차단기가 직렬로 연결되어 설치되어 있는 대부분의 설치환경에서, cascading 방식을 사용하면 초기비용과 사이즈를 줄일 수 있다. 왜냐하면 하부영역 차단기가 설치지점에서 발생할 수 있는 예상단락치보다 낮은 정격을 가질 수 있기 때문이다. 이때 상부 영역 차단기의 차단정격은 선로에서 발생 가능한 고장전류치보다 최소한 같거나 더 커야 한다. 또한, 하부 차단기는 상부차단기와 조합하여 시험을 해서 보호가 가능한지 검증하는 절차가 반드시 필요하다. 대부분의 MCCB는 blow-open 특성으로 말미암아 어느 정도는 한류작용을 하게 되며, 한류차단기는 강한 한류작용을 일으킨다. 따라서 cascading 방식으로 조합된 상부, 하부차단기가 동시에 open될 시에는 방출 전류 에너지를 제한함으로써 하부 차단기를 보호하게 된다. Cascading 방식의 경우 안전성을 고려하는 것은 필수적이다. 차단협조 및 보호 안전성은 fully rated system과 동일하다. 하지만 서비스의 지속성은 선택차단 방식에 비해서는 떨어진다. Cascading 방식을 사용한다 하더라도 하부 차단기가 수용할 수 있는 소규모의 단락사고인 경우에는 하부 차단기만 동작해서 차단할 수 있고, 주요한 단락사고인 경우에는 상, 하부 차단기가 동시에 동작하여 차단이 이루어



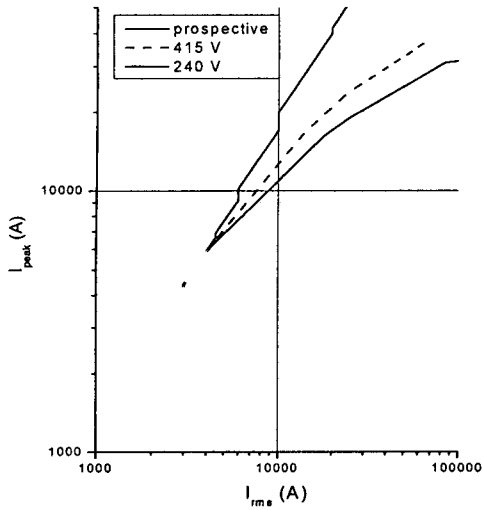
[그림 2.3] 프로그램 주요 화면구성 (225AF 열동식 및 800 AF 전자식 차단기간 보호협조의 예)

어지게 된다. Cascading 방식은 가장 저렴하게 구성할 수 있다. 상부 차단기는 전 정격이어야 하지만 하부 차단기는 고장전류에 비해 낮은 정격을 가질 수 있기 때문이다. 하지만 단락사고 발생시 상, 하부 차단기가 동시에 동작 할 수 있으므로 서비스의 지속성은 보증되지 못한다.

결국, 차단 보호 협조방식의 선택은 결국 user의 몫이며, 차단기 업체에서는 고객에게 선택할 수 있는 근거를 제시해야할 필요가 있다. 근래에 주로 쓰이고 있는 차단 협조 방식은 캐스케이드 방식과, 선택차단 방식이므로 차단기 메이커에서는 그에 걸맞는 차단협조에 관한 실증 시험결과를 제공하는게 필수적이다.

그림 2.3은 차단기간의 보호협조 관정을 위한 본 프로그램의 주화면으로 225AF 열동식 배선용차단기와 800AF 전자식 차단기간의 Time-Current 동작특성을 나타내고 있다. 일반적으로 전자식 차단기는 순시, 단한시 및 장한시 시간 및 전류 요소가 셋팅 가능하므로 이를 위하여 그림 2.3에서 보는 바와 같이 전자식 차단기의 경우 type 선택 후에 순시, 단한시 및 장한시 값을 선택한 후 특성 곡선을 plot 하게 구성되어졌다. 그러나, 열동식 차단기의 경우 user가 셋팅 가능한 값은 순시값등의 매우 제한적이거나 없는 경우가 있으므로 이 경우 동작 특성 곡선은 거의 변하지 않는다. 또한, 차단기 동작 범위의 오차를 고려하여 최대, 최소 동작 특성

곡선이 표시가 되어졌는데, 800AF 전자식 차단기의 경우 동작 오차 범위는 시간에 대하여 20%, 전류에 대하여 15%이고, 225AF 열동식 차단기의 경우 순시 동작의 작동 범위는 정격전류의 8~14 배이므로 이를 기준하여 최대, 최소 동작 특성 곡선을 작성할 수 있다. 그림 2.3에서 주회로 차단기인 800AF 차단기의 최소 동작특성과 분기회로 차단기인 225AF 차단기의 최대 동작 특성과의 교차점은 8kA 인데 이 값을 Time-Current 곡선상에서 분기 차단기와 주회로 차단기가 동시에 동작하는 보증된 선택차단의 한계용량값으로 볼 수 있다. 그러나, 실제의 차단기는 한류 작용에 의하여 인가된 전류를 제한하므로 이를 고려하면 더 큰 선택차단의 보증전류를 얻을 수 있다. 그림 2.4는 분기 차단기로 사용된 225AF 열동식 차단기의 한류곡선 (current limitation)을 나타내는 것으로 240, 415 V 두 경우에 대하여 단락시험을 통하여 얻은 데이터이다. 그림 2.4에서 보면 225AF 차단기는 240V 회로의 경우 14kA의 전류를 8kA로 한류 함을 볼 수 있고, 415V 회로에서는 10.9kA의 전류를 8 kA로 제한함을 알 수 있다. 따라서, 단락 사고 발생시 그림 2.3처럼 구성된 회로의 경우 240V에서는 14kA까지 선택차단이 가능하다 할 수 있고, 415V에서는 10.9kA까지 분기회로만이 동작함을 알 수 있다.



[그림 2.4] 225AF 열동식 차단기 한류 곡선

3. 결 론

전력계통에 있어서 보호협조 연구는 설비의 안정성 확보, 전력 서비스의 지속적인 측면과 경제적인 회로 구성에서 그 필요성이 있다. 이에 본 논문에서는 전력시스템 회로에서 발생 가능한 단락전류를 계산하여, 차단기를 선정하고 시스템 요소 상호간의 동작 특성 비교를 통하여 선정된 차단기의 보호협조적인 측면을 user가 판정하게 하는 프로그램을 개발하였다. 그 결과 기존 수작업 방식으로만 가능했던 보호협조에 대한 판정이 단락시 협을 통한 열용량과 한류 곡선을 포함한 범위에서 가능하게 되어졌다. 또한, 당사는 향후 저압 차단기기 전기종에 대해 차단협조를 위한 설계를 적용하고, 단한시 기능을 갖춘 전자식 차단기를 개발하여 고객이 본인의 설비에 맞는 캐스케이드 방식과 선택차단 방식을 선택할 수 있도록 능동적으로 시스템을 구축할 예정으로 있다.

(참 고 문 헌)

- [1] Hadi Saadat "Power system Analysis", McGraw-Hill Companies, Inc., 1999
- [2] Arthur R. Bergen, Vijay Vittal, "Power systems Analysis", Prentice-Hall, Inc., 1986
- [3] Andrew Troelsen, "C# and the .NET Platform", APress, 2001
- [4] John Sharp, "Visual C#.NET step by step", microsoft press, 2002
- [5] Jennie Ruby, "Essentials of Access 2000", Iconlogic, 2000
- [6] R. Morel, "Energy-based discrimination for low-voltage protective devices", Group Schneider., 1998. 3.
- [7] "2001 저압기기 제품 총람", LG산전 제품 catalogue
- [8] P.M. Anderson, "Power System Protection ", IEEE Press, pp. 168-172, 1999
- [9] 박성찬, "저압차단기기의 보호협조", 대한전기학회 추계논문집 pp.340~343, 2001