

저압차단기기의 보호협조

박 성 찬, 오 준 식, 이 방 욱, 유 만 종, 서 정 민
LG산전 전력연구소 전력기기연구팀

The Protective Co-ordination between Low-Voltage Circuit-Breaker

S. C. Park, J. S. Oh, B. W. Lee, M. J. Ryu, J. M. Seo
Electro Technology R&D Center, LG Industrial systems

Abstract - In an electrical network, electrical power are transmitted by a various of protection, isolation and control electric circuit devices. This thesis deals with the protection function between circuit-breakers. 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. The important advantage of cascading is to be able to install at a branch circuit-breaker of a lesser performance without endangering the safety of the installation for more economical usage. To determine and guarantee co-ordination between two circuit breakers, it is necessary to carry out a theoretical approach, first, and then confirm the results by means of standard tests. This is illustrated in appendix A of IEC 947-2.

1. 서 론

최근의 저압차단기는 기기사이의 보호협조를 통한 경제적이고 효율적인 시스템 구축 및 사고시 비사고 구간의 지속적인 전력공급을 가능케 하는 쪽으로 초점이 맞추어지고 있다. 이런 원칙을 달성하기 위해, 배전급 차단기를 비롯한 모든 보호기기들은 이상 고장이나 과부하 조건시, 신속하게 사고구간을 시스템에서 분리하여 미고장 선로의 운용을 지속적으로 할 수 있게 하여야 하며, 기기의 손상을 최소화하고 가능한 한 빨리 복구가 가능하게 해야 한다. 이러한 역할은 시스템에 적절히 구성된 여러 보호기기들을 통해 구현되어진다. 전력설비 보호 및 전력 공급 운용의 지속성을 위한 시스템 구축 시에는, 보호협조기기간의 구성을 전 정격(Fully Rated)으로 할 것인지, 선택차단 방식(Discriminator)을 사용할 것인지, 아니면 캐스캐이드(Cascading) 방식을 사용할 것인지 결정해야 한다. 물론 각각의 상이한 접근법의 최종목적은 안전하게 시스템을 보호하는 것이지만, 실제로 설치비용이나 사고시 서비스의 지속성등을 고려하면 각각의 장단점이 노출되게 된다. 그림1은 이러한 예를 보이기 위한 것으로 두 저압차단기가 직렬로 연결된 예를 보이고 있다. 여기서 C1은 주차단기, C2는 분기차단기로, 선택차단의 경우 분기의 한 지점에서 사고가 발생하였을때 C2만이 동작하고 C1이 동작하지 않는

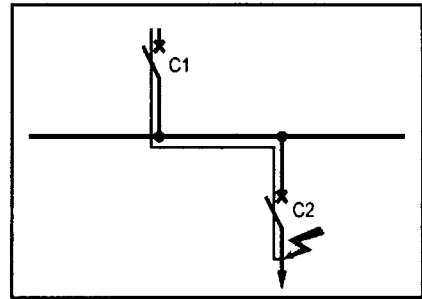


그림 1. 동일 회로 내에 직렬로 연결된 차단기

방식으로 사고회로에 관계되는 보호 장치 외에 다른 건전한 회로는 급전을 계속하도록 하는 보호협조 방식을 말한다. 그리고, 부하측 차단기(C2)의 차단용량부족을 전원측 차단기(C1)가 back-up으로 보호하는 방식인 캐스캐이드 보호협조는 분기차단기 선정에 있어 다양성을 제공함으로써 경제적인 선로 구성을 가능케 한다.

본 논문에서는 앞서 언급한 보호협조 방식에 대해 그 장점 및 단점에 대해 살펴보고, 현재 본 연구소에서 추진 중인 차단보호협조 연구와 향후 당사 차단기 개발 전 개방향에 대해 소개하고자 한다.

2. 본 론

2.1 차단보호 협조방식간의 비교

2.1.1 전 정격(Fully Rated) 차단보호 협조

전 정격 시스템에서는, 모든 차단기들은 독립적으로 각각의 정격에서 운용되게 구성되므로, 전력계통상에서 차단기의 설치점 주변에서 발생할 수 있는 최대 단락전류가 차단 가능한 정격을 각각 갖게 된다.

전 정격 시스템은 모든 차단기들은 적용 지점에서 발생할 수 있는 최대 단락전류에 대응 가능해야 하기 때문에 Cascading 방식보다는 비용이 많이 든다. 또한 사고시 서비스의 지속성은 선택차단 방식에 비해서는 떨어진다.

2.1.2 선택(Discrimination) 차단보호 협조

선택차단 시스템을 이용하면 서비스의 지속성을 극대화할 수 있는 장점을 가지고 있다. 전력 계통에 있어서는 모든 차단기들이 설치지점에서 전력계통에서 발생할 수 있는 최대 고장전류에 대한 차단성능을 가져야 하지만,

선택차단협조를 사용하면, 고장점에서 가장 근접한 곳에 있는 차단기만이 고장구간을 계통에서 분리하는 역할을 하게 된다. 선택차단 시스템이 요구하는 것은 각각의 상부영역의 차단기는 단시간 지연 트립기구부를 가져야 한다는 것이다. 상부 차단기는 사고지점에서 근접한 지점의 차단기가 고장전류를 차단하는 동안 전달되는 열적, 자기적 스트레스에 대해 트립이 되지 않고 견딜 수 있어야 한다는 것이다. 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 discrimination), 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 차단 협조 시스템은 세가지 기본 보호 방식 중 가장 비용이 많이 드나 서비스의 지속성은 확실하게 보증이 되기 때문에 선진국을 중심으로 이 차단협조 방식이 널리 쓰이고 있다.

2.1.3 케스케이드(Cascade) 차단 보호 협조

차단기가 직렬로 연결되어 설치되어 있는 대부분의 설치 환경에서, cascading 방식을 사용하면 초기비용과 사이즈를 줄일 수 있다. 왜냐하면 하부영역 차단기가 설치지에서 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, 한류 차단기는 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 이루어지게 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.

2.2 차단 협조를 위한 저압차단기의 특성 분석

차단 보호 협조방식의 선택은 결국 최종 user의 몫이며, 차단기 업체에서는 고객에게 선택할 수 있는 근거를 제시해야 할 필요가 있다. 근래에 주로 쓰이고 있는 차단협조 방식은 케스케이드 방식과, 선택차단 방식이므로 차단기 메이커에서는 그에 걸맞는 차단협조에 관한 실증시험결과를 제공하는게 필수적이다. 이에 본 논문에서는 자사 MCCB를 대상으로 현재 구비중인 Time-Current 특성 곡선 이외에 선택차단 및 cascading 여부를 판별하기 위해 필수적인 열용량 특성 곡선을 구하였다. 그림2는 전형적인 저압 한류형 차단기의 특성을 나타내는 Time-Current 곡선으로 정격전류에서의 특성을 보여주고 있다. 이 곡선은 인가하는 전류의 크기에 따라 그림2와 같이 3가지 영역으로 구분하여 생각할 수 있는데 이는 각 영역별로 동작하는 차단기 기구와 연계하여 생각할 때 유용하다. 영역 A는 전류가 정격을 초과하여 흐르는 과전류 영역으로 차단기의 시연 동작에 의해 트립이 발생하는 영역으로 트립방식에 따라 열동전자식, 완전전자식, 전자식으로 대별한다. 영역 B는 순시영역으로 선로에 비정상적인 순시전류가 흐르는 경우 트립장치의 heater에 열이 발생되어 Bi-Metal이 만곡하며 Cross-Bar를 회전하며 순시전류를 차단한다. 영역 C는 회로 내에 갑작스런 선로 단면적 변화로 정격전류 수신패에 해당하는 단락전류가 발생하는 경우로 이 경우에는 더 이상 주기적인 특성이 없어 시간-전류 특성

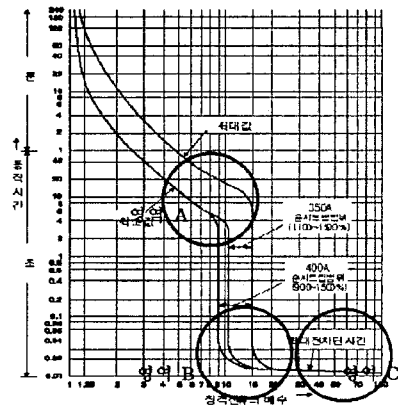


그림 2. 한류형 차단기의 T-C 특성 곡선

곡선으로 이 영역의 특성을 파악하기 어려워진다. 따라서, 단락 영역의 특성파악을 위해 열응력(thermal stress)이란 개념을 이용하여 차단기 자체의 한류(current limiting)특성 파악과 보호협조를 위한 데이터로 이용한다. 열응력은 $\int i^2 dt$ 로 표현되며 그 물리적

인 의미는 차단기가 단락동안 인내하는 열적 에너지량이라 할 수 있다.

이 열적 에너지량에 기초하여 특성곡선을 그리게 되면, 단락 영역에 있어서 차단기의 고유 특성에 대한 파악이 용이해 지므로, 향후 선택차단 방식 및 케스케이드 방식 이용시 유용한 데이터로 활용이 가능하다. 그림3은

일반적인 한류형 차단기의 I^2t 특성을 나타내는 것으로 실선으로 표시된 곡선은 시험전류를 인가하여 차단기의 가동자가 접점으로부터 개리 후 단락을 차단(breaking time)할 때의 차단기에 부과되는 열응력 에너지를 나타낸다. 또한, 점선으로 된 곡선은 시험전류 인가 후 접점이 개리되어 단락이 차단되기 전의 접점 개리 시발점(trip-threshold time)에서의 차단기에 부과되는 열에너지를 나타낸다.

또한, 위의 I^2t 특성곡선은 가동자와 접점의 차단 메카니즘에 따라 위와 같이 나눌 수가 있는데 A점은 순시 경계를 나타내고, B점은 접점 개리 시발점(trip-threshold time)을 C점은 가동자가 한류를 시작하며 아크전압을 발생시키는 구간이다. 또한, D점은 C점에서 가동자가 한류 작용에 의하여 들린 후 접점이 메카니즘 스프링등의 작용으로 완전히 개리되기 위한 최소 열응력 에너지를 나타낸다. 구간 E에서 차단기는 한류작용으로 이 범위의 사고 단락전류를 차단하게 되며 F점은 차단기가 차단할 수 있는 극한 열응력 에너지 값을 나타낸다.

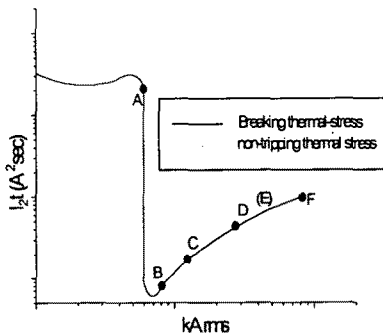


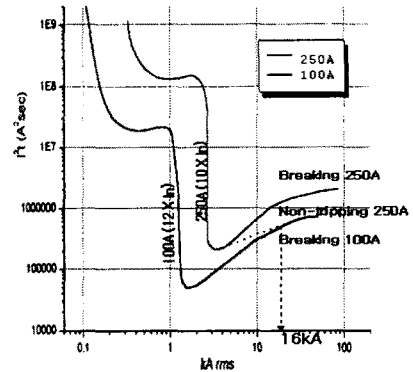
그림 3. 일반적인 한류 차단기의 I^2t 특성곡선

2.3 열응력(I^2t) 특성곡선에 의한 선택차단 협조

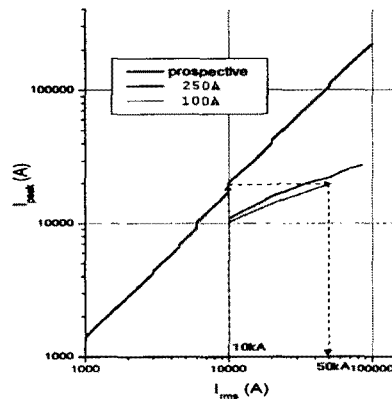
앞절에서 언급한 바와 같이 차단시 발생하는 에너지에 기초하여 단락영역에 대한 I^2t 특성곡선을 구하게 되면 직렬로 연결된 차단기간에 케이스케이드 및 선택차단 여부를 판별할 수 있는 기초 데이터로 활용이 가능하다. 이 열응력에 기초한 차단협조 연구는 차단기 동작시 방출 에너지와 같은 에너지에 대한 트립기구부의 민감도에 대한 전영역 제어에 기초한 것으로서, 유용하게 활용이 가능하다. 특히 최근에 각광받고 있는 선택차단 기술은 이러한 에너지법에 근거하여 판별을 하고 있는데 이 방법은 판별을 효율적이고 단순화할 수 있다는 면에서 매우 유용하며 사고시 정전구간의 최소화가 가능하다는 점에서 그 장점을 찾을 수 있다. 물론 케스케이드 방식도 가장 저렴한 비용으로 최적으로 차단협조를 구축할 수 있다는 측면에서 앞으로도 계속 유용하게 쓰일 것으로 예상된다. 따라서 차단기 메이커에서는 기본적으로 생산 제품에 대한 케스케이드 방식과 선택차단 방식을 user가 선택할 수 있게끔 그 특성 데이터와 구성표를 제공할

필요가 있다.

이를 위해서는 각 차단기 정격에 대한 열응력에 기초한 특성곡선을 구하고 그 특성곡선을 분석하여 상,하부 차단기 설치시 비교하여 실험적으로 이를 검증하는 절차가 필요하다. 일반적으로 이론적으로 구한 판별값은 시험을 통하여 얻는 판별값보다는 크게 되므로 안전율을 고려한 차단협조 설계를 위하여는 시험을 통한 검증절차가 필수적이다.



(a)



(b)

그림 4. 전영역 선택차단의 예 (250A-100A)

그림 4는 각각의 차단기에 대한 특성 곡선을 구하고 상부영역 및 하부영역에 차단기 설치시, 선택차단 방식 적용이 가능한 예를 보여주고 있다.

그림 4(a)에서 보면 250A 주회로 차단기와 100A 분기회로 차단기를 사용하는 경우 단락용량 16kA까지는 분기 차단기만이 동작하고 16kA 이상에서의 단락전류에서는 두 차단기가 동시에 동작함을 보여주고 있다. 또한, 그림 4(b)에서 분기 차단기는 극한단락용량 50kA에서 10kA의 peak 전류를 통과하므로 이 두 값의 비교를 통하여 두 차단기는 전영역에 걸쳐서 선택차단이 가능함을 알 수 있다. 위의 예에서 알 수 있듯이 선택차단이 단락전류 전 영역에 대해 가능하기 위해서는 하부 영역에 설치된 차단기에 의해서 발생하는 에너지는

상부 영역 차단기를 트립시키는 에너지보다는 작아야 한다는 원칙이 지켜져야 한다.

2.4 차단보호협조를 위한 저압차단기 설계

기존 구조의 저압 차단기에서는 두 차단기간의 케스케이드를 위하여는 선택차단은 제한이 되는 단점이 있었다. 그러나, 그림 5와 같은 회전식 쌍접점 가동자를 가진 저압 차단기의 경우 선택차단은 분기 차단기의 극한 단락용량 이상에서 가능할 뿐만 아니라 동시에 케스케이드도 보증되는 되는 경우도 있다.

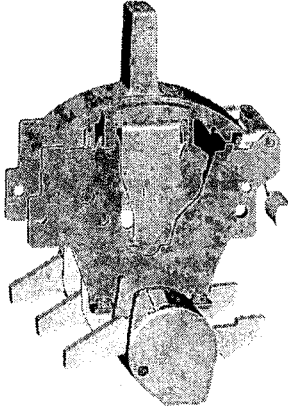


그림 5. 회전식 쌍접점 가동자 구조의 차단기 메카니즘

즉, 이와 같은 차단기로 보호협조 회로의 주회로를 구성하면 단락전류의 크기가 주회로와 분기회로 차단기의 극한 단락용량 사이의 경우에 주회로 차단기는 투입을 유지하고 분기 차단기만 트립되어 케스케이드와 동시에 선택차단이 가능하게 되는 경우가 있다. 이는 회전식 쌍접점 가동자 구조의 강한 전자반발력으로 전체적인 차단 시간이 기존의 단일 접점 가동자 구조보다 짧지만 트립 개시에 필요한 에너지가 크기 때문이다.

3. 결 론

전력계통에 연결된 차단기간의 보호협조 연구는 차단기의 보호 및 설비의 안정성 확보, 전력 서비스의 지속적인 측면과 경제적인 회로 구성에서 그 필요성이 있다. 이에 본 연구에서는 현재 국내에서는 거의 이루어지지 않고 있는 저압차단기의 보호협조에 관하여 연구를 실시하였다.

그 결과 기존 차단보호협조 방식의 장단점을 파악하였고, 당사 제품을 대상으로 차단협조 특성 검증을 위한 시험을 실시하여 단락영역에서는 특성곡선을 산출하였다. 이를 토대로 선택차단 구성이 가능한지에 대한 기본 검증을 실시하였으며, 이를 시험을 통해 검증할 예정이다.

또한, 향후 당사 저압 차단기기 전기종에 대해 차단협조를 위한 설계를 적용하고, 단한시 기능을 갖춘 전자식 차단기를 개발하여 고객이 본인의 설비에 맞는 케스케이드 방식과 선택차단 방식을 선택할 수 있도록 능동적으

로 시스템을 구축할 예정으로 있다.

(참 고 문 헌)

- [1] M. Serpinet R. Morel, "Energy-based discrimination for low-voltage protective devices", Group Schneider., 1998. 3.
- [2] "Low-voltage switchgear and controlgear - Part2: Circuit-breakers", CEI IEC 60947-2, pp. 125-141, March 1998.
- [3] "Breaker Basic", Westing House 기술 자료
- [4] "2000 저압기기 제품 총람", LG산전 제품 catalogue
- [5] P.M. Anderson, "Power System Protection", IEEE Press, pp. 168-172, 1999
- [6] Walter A. Elmore, "Protective Relaying Theory and Applications", ABB Press, pp. 303-318, 1994
- [7] JP.Nereau, "Discrimination with LV power circuit-breakers", Group Schneider., 2001. 4.
- [8] 이은우, "저압전로의 단락사고에 대한 보호협조 연구", 영남대학교 산업기술대학원, 2000. 8.