

IEC 표준에 의한 고장전류 계산과 보호협조

(Fault Current Calculation and Coordination by IEC Standards)

손석금*

(Seok-Geum Son)

Abstract

The safety and reliability of the power system short-circuit current, the short-circuit current depends on the failure to obtain the objective is to quickly eliminate the breaking capacity of the circuit-breaker selection of the cable, the insulation of electrical equipment and protective relay an important factor in determining the level correction and protective relay selection scheme to be meaningful . Standards used in the domestic circuit breaker is applied to the production of IEC standard, but the American National Standards (ANSI / IEEE) by NEMA specification of the fault current calculations and the application of the asymmetric coefficient Korea.

Therefore, in this paper, the IEC 60909 standard IEC breaker fault current calculation method and the method for selection of system configurations reviewed and protection system for reviewing the configuration of various protective relays appropriate correction and the correction value is main protection, back-up protection the equipment so that the period of protection relay coordination to minimize accidents and accident protection to minimize interruptions proposed for cooperation.

Key Words : Fault current, Coordination, IEC Standards

1. 서 론

전력계통에 대한 안전성 및 신뢰성은 고장전류에 의해 좌우 되며 고장전류를 구하는 목적은 고장을 신속히 제거하기 위한 차단기의 차단용량 선정과 케이블

의 굵기 선정, 전력기기의 절연레벨 결정에 중요한 요소이며 보호계전기 정정 및 보호계전방식을 선정하는데 의미가 있다[1]. 국내에 사용되는 차단기 규격은 IEC규격을 적용하여 생산하고 있으나 미국규격(ANSI/IEEE)에 의한 고장전류계산이나 NEMA규격에 의한 비대칭계수 적용을 하고 있는 실정이다[2-5].

일반적으로 단락전류는 단락발생순간 전압의 위상과 회로의 역률에 의해 정해지는 것으로 교류성분과 직류성분이 복합되어 있는 비대칭전류이며, 직류전류가 중첩되어 지수함수로 감쇄하지만 배선용 차단기나 퓨즈처럼 고속차단을 하는 경우에는 이 직류성분을

* 주저자 : 오산대학교 전기과 교수
* Main author : Professor, Dept. Electrical Osan University
Tel : 031-370-2671, Fax : 031-370-2679
E-mail : skson@osan.ac.kr
접수일자 : 2013년 12월 9일
1차심사 : 2013년 12월 12일, 2차심사 : 2014년 2월 10일
심사완료 : 2014년 10월 8일

포함한 값을 고려하여야 한다. 또한 전로의 기계적 강도에 관한 고찰을 할 경우는 최대순시값이 고려되어야 하고 단락전류의 크기를 정확하게 계산하는 것이 중요하다고 할 것이다[6].

따라서 본 논문에서는 IEC 60909 규격에 의한 고장전류계산 방법과 IEC 차단기 선정을 위한 방법을 검토하였고 계통구성에 대한 보호계통구성이 적정한가를 검토하여 각종 보호계전기 정정 및 그 정정 값이 주보호, 후비 보호 보호계전기간 협조가 되도록 하여 설비사고시의 최소화 및 사고 시 정전의 최소화를 위한 정밀한 보호 협조에 대해 분석하였다.

2. 본 론

2.1 IEC 규격에 의한 고장전류

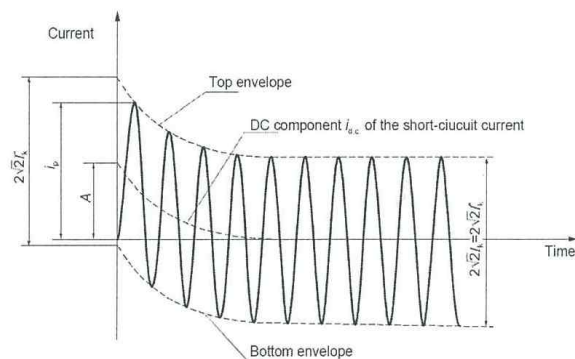
IEC규격의 고장전류 해석 방법은 초기 대칭분 실효값을 기준으로 초기 최대전류, 각 시간별 대칭전류, 직류분 및 비대칭전류를 계산하는 방식이며 이것은 각각 지로에 의한 전류성분을 합산하는 방식이다[2-4]. IEC 규격 단락전류는 스위치 투입 시 교류성분의 최대값을 나타내는 것으로 테브난의 정리와 옴의 법칙에 의해 식 (1)로 정의된다[7].

$$I_K'' = \frac{c U_n}{\sqrt{3} Z_k} = \frac{c U_n}{\sqrt{3} \sqrt{R_k^2 + X_k^2}} \quad (1)$$

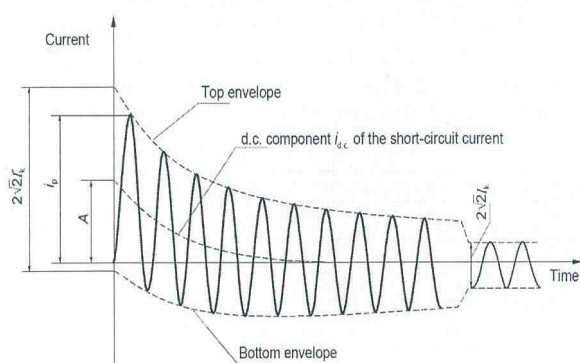
여기서 I_k'' : 초기대칭단락전류
 U_n : 계통 공칭전압[V]
 Z_k : 고장점에서 바라본 등가 임피던스
 c : 전압계수

2.1.1 고장전류 특성

계통에 고장이 발생한 경우의 고장전류는 그림 1과 같이 횡축에 대하여 비대칭인 전류가 흐르며, 이 전류는 횡축에 대하여 비대칭인 전류가 흐르며, 이 전류와 DC 성분으로 나누어진다. 고장전류 속에 포함되어 있는 직류분은 회로의 정수(X/R)에 따라 크기가 정해지고 시간과 함께 감소한다[1].



(a) AC가 일정한 원격전원의 단락전류



(b) AC 구성요소가 감쇄하는 근접전원의 단락전류

그림 1. 고장전류파형
 Fig. 1. Typical waveform of fault current

여기서 I_k'' : 초기대칭단락전류
 i_p : peak 단락전류
 I_k : 안정상태의 단락전류
 i_{dc} : 단락전류의 DC 구성요소
 A : DC 구성요소 i_{dc} 의 초기값

2.1.2 최대단락전류, 최소단락전류

IEC에서는 임피던스 표현방식이 다르며, 발전기 운전 상태에 따라서 전압이 변동하고 계산값과 작은 변압기 TAP값으로 운전하는 경우 정전부하 및 콘덴서에 의한 영향과 발전기와 전동기의 과도적인 영향에서 고장이 발생할 경우 최소, 최대전류를 계산하기 위하여 등가전압원의 값을 조정하는 전압계수를 기기별로 별도의 계수를 곱해준다. 이 계수는 운전상태에 따라서 운전전압이 공칭전압과 다른 경우의 안전계수라

고 할 수 있다. 또한 최대 및 최소 단락전류의 계산은 다음 항목을 기초로 한다[7].

- ① 단락이 지속되는 동안 3상단락회로는 3상단락이 지속되고, 1선지락회로는 1선지락이 지속되는 것과 관련하여 변경이 없는 것으로 한다.
- ② 변압기의 임피던스는 탭절환장치의 중심점에 있는 것으로 한다. 전력계통에 접속된 임피던스 보정계수를 도입하기 위하여 인정되는 것이다.
- ③ 아크 저항은 계산에 포함하지 않는 것으로 한다.
- ④ 선로 정전용량, 병렬 어드미턴스, 비회전 부하는 영상회로 계통에는 무시하는 것으로 한다.

2.2 보호협조

2.2.1 수전설비

수전설비 보호계전기는 한전변전소와 협조를 고려하여 한전에서 정정하므로 이 값을 그대로 적용한다.

2.2.2 변압기

한시요소는 한전 보호계전기 정정지침을 적용하여 OA기준 150%에 정정한다. 이 경우 변압기의 단락강도(ANSI Point) 및 여자돌입전류(Inrush Current)를 고려한다[7].

순시요소는 변압기 1차측 단락사고에 대하여 동작하여야 하며, 2차측 단락사고 및 변압기 여자돌입전류(Inrush Current)에 동작하지 않아야 한다.

2.2.3 변압기 여자돌입전류

변압기 여자돌입전류의 크기는 일반적으로 전부하전류의 8배 이하이나 경우에 따라서는 10배를 초과하는 경우도 있고, 30배까지 올라가는 수도 있다. IEEE 242-1975에서는 보호계전기 설계 시 여자돌입전류의 크기는 변압기 1차측 전부하전류의 8~10배로 적용하고 있다. 그 지속시간은 0.1~60초 정도이다[7].

2.2.4 변압기의 단락강도(ANSI POINT) 및 열한계곡선(Thermal Limit Curve)

변압기에 대한 Thermal Limit는 일반적으로 ANSI

POINT로 표현되며 정격전류대 시간의 배수로 나타낸다. 일반적으로 변압기 Self Cooled Rating(OA Rating)에서 단위 전류 제곱 초당 1,250배 까지 변압기가 견딜 수 있으며($I^2t = 1250$), 보통 변압기의 임피던스 당 다음과 같이 적용할 수 있다[7].

-%Z가 4% 이하인 경우

$t=2$ 초에서 전부하전류의 25배

-%Z가 4~7% 인 경우

$I=(Tr$ 의 전부하 전류) $\times(100/\%Z)$ $t=\%Z-2$ (초)

-%Z가 7% 이상인 경우

$t=5$ 초에서 전부하 전류의 14.3배

2.2.5 전동기

한시요소는 0.746kW(1HP)이상 모터의 과부하에 대한 보호는 S.F(Service Factor)가 1.15이상이거나 모터 정격온도 상승의 40°C를 넘지 않는 경우에는 전부하 정격전류의 125%로 가타의 경우에는 115%에서 도작하도록 정정하되 Lever를 조정하여 기동전류에 Pick up이 되지 않도록 한다. 부득이 하게 위의 값으로 정정이 어려운 경우 그 값이 각각 140%와 130%로 할 수 있다[7].

순시요소는 과전류계전기의 순시요소는 비대칭전류가 발생하는 경우에 전동기의 기동시 기동전류, 외부 회로 고장 시 전동기의 기여전류에 Trip되지 않도록 충분히 높게 정정하여야 한다.

2.2.6 동작시간의 정정

한시요소의 기간정정은 부하가 허용하는 범위 내에서 최대한 짧게 정정하고 수전용 변압기의 2차 3차 단락전류에 대하여 0.06초 이내에 동작하도록 정정한다.

순시요소의 동작시간 정정은 과전류계전기에 의한 선택성은 적정하게 정정되어 있는 인접 계전기에서는 동작시한차에 의하여 결정됨으로 동작시한은 식 (2)와 같은 조건을 만족하여야 한다.

$$t_n = t_{n+1} + S$$

$$S = B_{n+1} + O_n + \alpha \tag{2}$$

여기서 t_n : 제n구간의 계전기 동작시간
 t_{n+1} : 제(n+1)구간의 계전기 동작시간
 S : 제n구간과 n+1구간 계전기 동작시한 차
 O_n : 제n구간의 계전기의 관성동작시간
 (Digital계전기는 0임)
 α : 여유시간
 B_{n+1} : 차단기의 차단시간

2.3 시뮬레이션 및 고찰

시뮬레이션은 SKM사 POWER TOOLS 소프트웨어[8]를 사용하여 샘플 계통을 대상으로 하여 검토하였으며 수전설비 구성을 보면 수전전압은 22.9kV, 주변압기 용량은 1,500kVA이며 부하는 11kW 전동기를 각 모선에 F-CV케이블로 연결하여 구성하였다[8].

임피던스는 제조사에서 제시된 값을 사용하였으며, 시간에 따른 고장전류 계산은 SKM POWER TOOLS에 의한 계산과 IEC 60909 기준에 의한 두 기준에서 제시된 비대칭계수를 각각 적용하였으며, 차과도 임피던스를 기준으로 하여 초기 1/2Cycle 차과도 임피던스 8Cycle까지 과도 임피던스를 적용하였다.

2.3.1 고장전류 계산

그림 2와 같이 시뮬레이션용 전력계통을 BUS-1. 22,900V, BUS-2. BUS-3. BUS-4를 380V로 하고 BUS-4에 부하로 전동기 11kW를 연결하였다.

보호계전기는 PD-001, PD-002, PD-003, PD-004, PD-005를 설치하였으며, 메인 용량은 3P 450MVA와 주변압기는 Δ -Y로 용량 1,500kVA, %Z 5.7559% X/R 7.1 변압기를 사용하였다.

또한 케이블은 XLPE 1Core 120mm² 4선 70m와 XLPE 3Core 16mm² 36m로 설계하여 고장전류를 1/2cycles부터 2cycles, 3cycles, 5cycles, 8cycles에 흐르는 고장전류를 계산하여 POWER TOOL에 의한 값과 IEC 규정에 의한 계산값을 표 1과 같이 계산되었다.

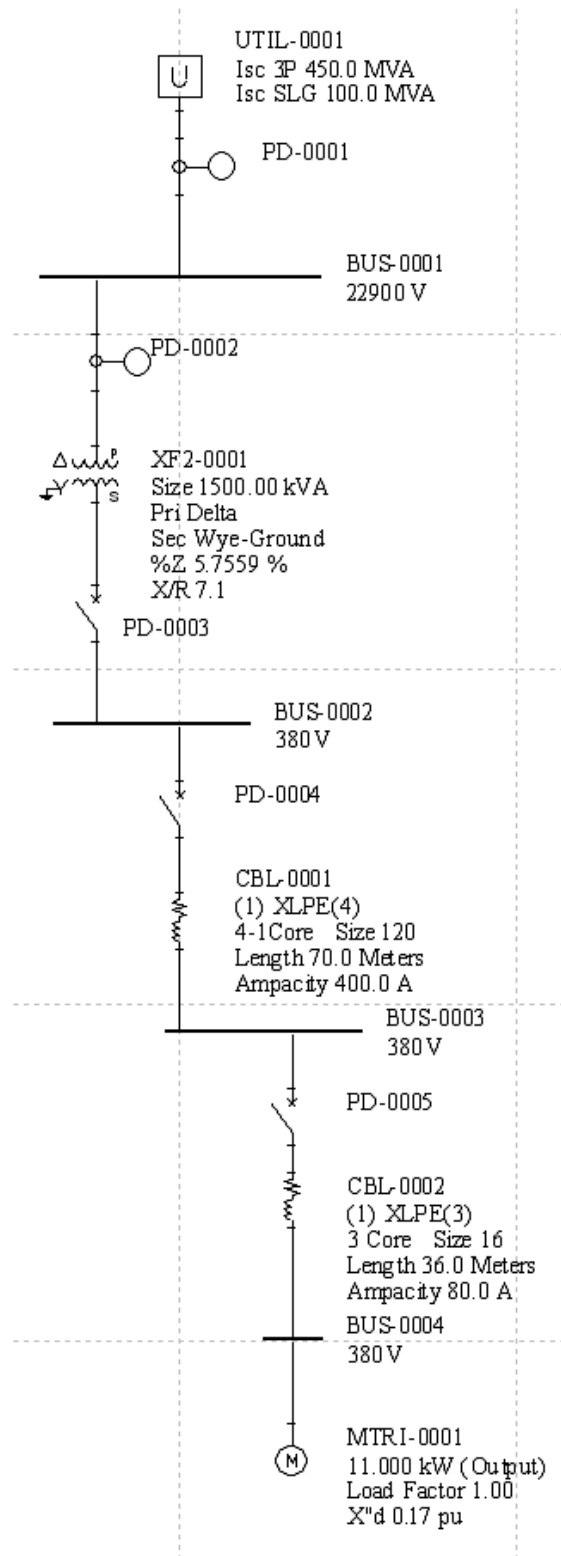


그림 2. 시뮬레이션용 전력계통
 Fig. 2. Power System for the simulation

표 1. 고장전류
Table 1. Fault current

BUS NO		BUS-1	BUS-2	BUS-3	BUS-4
전압		22,900	380,	380	380
1/2 cycles	POWER TOOLS	15,690	50,841	11,415	3,220
	IEC	15,690	54,897	13,567	4,230
2 cycles	POWER TOOLS	11,827	38,668	11,404	3,220
	IEC	11,826	41,670	13,457	4,230
3 cycles	POWER TOOLS	11,448	37,752	11,404	3,220
	IEC	11,447	40,448	13,445	4,197
5 cycles	POWER TOOLS	11,351	37,563	11,404	3,220
	IEC	11,350	40,434	13,445	4,192
8 cycles	POWER TOOLS	11,347	37,558	11,404	3,220
	IEC	11,345	40,434	13,433	4,192

또한 고장전류가 가장 큰 BUS-2번에 사고 시 고장 전류의 시간별 변화는 그림 3과 같다.

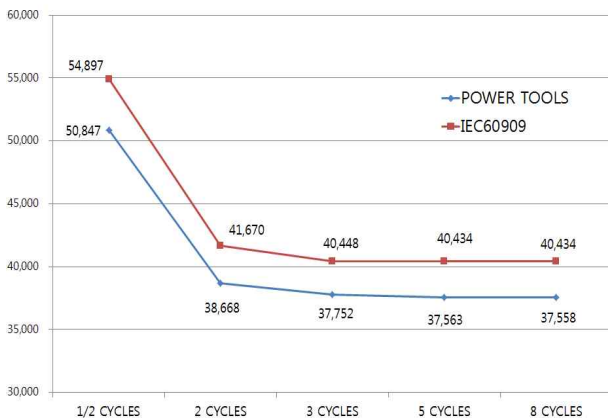


그림 3. IEC 60909에 의한 고장전류
Fig. 3. Fault current by IEC 60909

고장전류 계산 결과를 비교해 보면 IEC 규정에 의한 결과 값이 적게는 5%에서 많게는 10%까지도 차이가 발생하는 것을 알 수 있다. 이는 IEC에서는 초기

대칭전류 계산에 전압계수를 사용하고 또한 회전기의 기여전류와 보정계수와 같은 여러 가지 변수에 의해서 크게 계산된 것으로 분석된다.

2.3.2 보호협조 적용사례

변압기는 22.9/0.38kV에 %임피던스가 5.756으로 전부하시 전류가 37.8A이며, CT는 75/5A일 때 보호협조를 위한 계전기 설정값을 계산하였다.

1) 디지털 보호계전기 보호협조

릴레이 테이터는 LS산전 GIPAM-2200F TYPE을 사용하였다.

표 2. 정정범위
Table 2. Setting Range

보호 요소	동작구분	동작치 정정	동작시간특성		비고	
			정정범위	특성		
O C R (50/51)	한시용소	OFF	0.05~1.2/0.01	반한시	DT, SI, VI, EI, LI	
		0.1 ~10.0I _n /0.01I _n	0.05~300.0s/ 0.01s	정한시		
	순시 요소	Low	OFF	0.05~300.0s/ 0.01s	정한시	
		High	~10.0I _n /0.01I _n	40ms이하		
O C G R (50/51)	한시요소	OFF	0.05~1.2/0.01	반한시	DT, SI, VI, EI, LI	
		0.1 ~10.0I _n /0.01I _n	0.05~300.0s/ 0.01s	정한시		
	순시 요소	Low	OFF	0.05~300.0s/ 0.01s	정한시	
		High	~10.0I _n /0.01I _n	40ms이하		

표 2. 정정범위에 맞게 한시 TAP은 정격전류의 150%에 맞춰 Setting을 맞춰야 하기 때문에 전부하시 전류에 CT비를 곱하여 계산하고 Pickup Current $I_{pickup} = 37.8 \times 1.5 \times 75 / 5 = 0.756A$ 로 0.75I_n으로 set하고 변압기 보호용 과전류 계전기의 동작특성곡선은 강반한시 특성곡선으로 선정한다.

그림 4와 같이 Time multiplier Setting은 변압기 2차 3상 단락 고장시 0.6sec 이하에 동작하도록 동작특성과 동작배수를 선정하고 변압기 2차 3상 단락 고장시

릴레이 설치점 전류(I_{RY})는 $8.309 I_n$ 이므로 Relay Pick 배수는 11.07이며 Trip Time Lever은 0.44이다.

또한 순시동작전류는 변압기 1차측 단락사고에 동작하고, 2차측 단락사고 및 여자 돌입전류에는 동작하지 않도록 변압기 2차 3상 단락전류의 150%로 $12.464 I_n$ 이다.

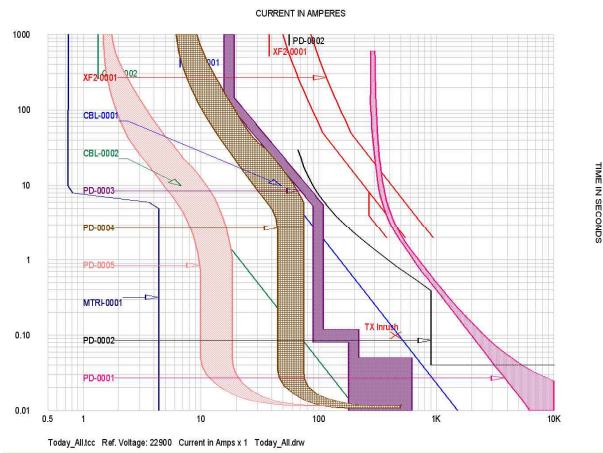


그림 4. 보호협조
Fig. 4. Coordination

2) IEC60909 고장전류 적용한 보호협조

한시 TAP은 정격전류의 150%에 맞춰 Setting을 맞춰야 하기 때문에 $0.75I_n$ 로 set한다.

그림 5에서와 같이 Time multiplier Setting은 변압

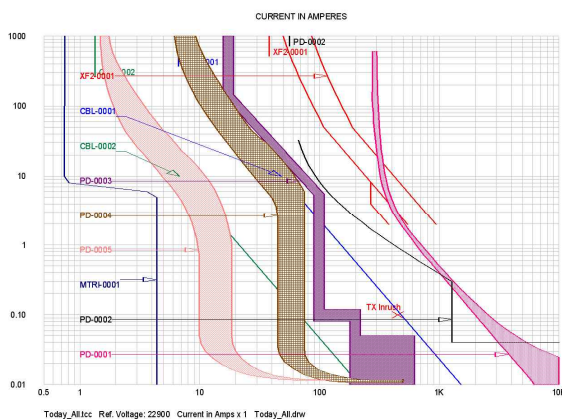


그림 5. IEC규격에 의한 보호협조
Fig. 5. Coordination by IEC standard

기 2차 3상 단락 고장시 0.6sec 이하에 동작하도록 동작특성과 동작배수를 선정하고 변압기 2차 3상 단락 고장시 릴레이 설치점 전류(I_{RY})는 $8.946 I_n$ 이므로 Relay Pick 배수는 11.928이며 Trip Time Lever은 0.48이다.

또한 순시동작전류는 변압기 1차측 단락사고에 동작하고, 2차측 단락사고 및 여자 돌입전류에는 동작하지 않도록 변압기 2차 3상 단락전류의 150%로 $13.4 I_n$ 이다.

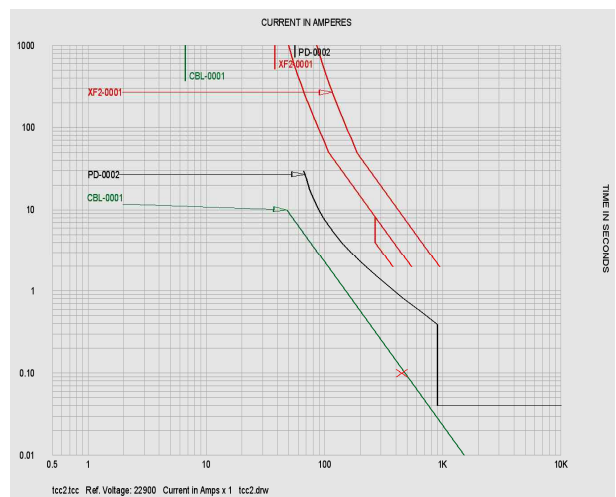


그림 6. 보호협조(PD-002)
Fig. 6. Coordination(PD-002)

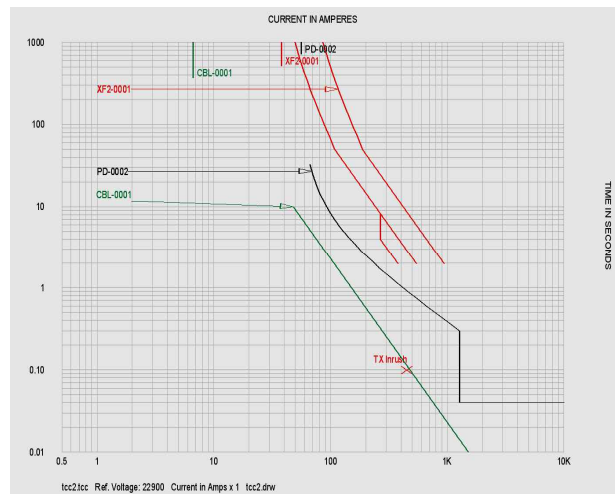


그림 7. IEC규격에 의한 보호협조(PD-002)
Fig. 7. Coordination by IEC standard(PD-002)

그림 6과 그림 7에서 부하가 단순한 샘플 계통을 분석한 결과 보호계전기 PD-001, PD-003, PD-004, PD-005는 크게 차이가 없으나 변압기 보호용 보호계전기 PD-002에서 차이가 발생을 하였다. 고장전류가 37,558A와 IEC 규격에 의한 고장전류 40,434A에 의해 Pickup Current 값이 12.4에서 13.4로 셋팅하여 변압기 2차측 단락사고 및 여자돌입전류에 동작하지 않도록 하는 순시 동작전류의 조정하였다.

3. 결 론

국내에 사용되는 차단기 규격은 IEC규격을 적용하여 생산하고 있으나 고장전류계산은 미국규격(ANSI / IEEE)에 의한 계산이나 NEMA규격에 의한 비대칭계수 적용을 하고 있다. 고장전류계산은 차단기 용량 선정, 전력기기의 기계적 강도 및 정격 결정, 보호계전기 선정, 통신 유도장해 검토, 계통 구성 방법 결정, 접지 조건 검토 등 많은 목적에 수행되는 만큼 정확한 계산이 필요하다. 하지만 현실은 그렇지 않기 때문에 IEC 60909를 적용하여 고장계산을 검토하였다.

기존에 사용하는 방법과 IEC 60909를 적용한 고장계산을 수행하여 비교해본 결과 IEC60909는 비대칭전류를 계산하는 전압계수의 최소전류와 최대전류에 의해 고장전류가 5~10%까지 높게 계산이 되었다.

고장전류 계산 시 변압기의 보정계수와 회전기의 기여전류와 같은 변수 적용으로 실제 고장전류계산값은 상당한 차이가 발생 되는 것으로 분석되었다.

또한 보호협조에서도 정확한 고장전류계산에 의한 보다 정밀한 보호계전기 정정에 의한 보호협조 방법에 대해 연구해 보았다.

따라서 계통구성에 따라 정확한 고장전류계산에 의한 차단기 선정과 보호계전기 정정을 위해 고장전류를 IEC 60909 규정을 적용한 계산이 빠른 시일 내에 국내에 적용되는 것이 바람직할 것이다.

References

- [1] K.W. Kim, K.J. Hwang, M.C. Shin, S.K. OH "Comparison of three-phase fault study between IEC60909 and IEEE-141" KIEE Summer Conference 2004. p400-p402, 2004.
- [2] Application Guide for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a symmetrical Current basis, ANSI/IEEE C37.010-1999.
- [3] IEC Standards 60947-2, Low-Voltage, switchgear and controlgear-Part2 : Circuit Breakers, 2001.
- [4] IEC Standard 60056. High-Voltage Alternating-Current Circuit Breaker. 2001.
- [5] IEEE recommended practice for electric power distribution for industrial plants, ANSI/IEEE Std. 141, 1986.
- [6] Yi Jo Son, "IEC 60606 Short Circuit Study", SAEHONG ENGINEERING & CONSULTANT CO., LTD. 2013.
- [7] Yi Jo Son, "power Tools for Windows, Fault Current Calculation and Coordination ", SAEHONG ENGINEERING & CONSULTANT CO., LTD. 2008.
- [8] Power Tools Manual, SKM, 2006.

◇ 저자소개 ◇



손석금 (孫錫金)

1969년 8월 10일생. 2012년 숭실대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 발송배전 기술사. 현재 오산대학교 전기과 조교수.