

EMTDC를 이용한 차단기 개극시간(CPT)에 따른 고장전류 변화 분석

차승태*, 추진부, 윤용범, 김세경*
* 전력연구원 ** 한국전력공사 계통계획실

Fault Current Analysis by Varying Circuit Breaker's CPT Using EMTDC

S.T Cha*, J.B Choo*, Y.B Yoon*, S.K Kim**
* KEPRI ** KEPCO

Abstract - 본 논문은 2기 5도선 모의계통에 3상 단락고장을 발생시킬 경우, 해당 모션에서 각 차단기가 분담하는 고장전류를 PSCAD/EMTDC3.0을 이용하여 분석한 결과이다. 적용된 차단기 개극시간(Contact Parting Time, CPT) 및 아크시간(Arc Time) 등은 실제 차단기 제작사(효성, 현대중공업 및 LG산전)들로부터 조사/수집하여 적용하였으며, 적용 대상계통은 PSS/E 분석결과와 비교/검토하여 검증하였다. 이는 기존 혹은 신설 차단기 적정 차단용량을 선정하는데도 활용가능 할 것으로 보인다.

1. 서 론

최근의 전력수요는 경제성장과 더불어 큰 폭으로 증가되어 왔으며, 이에 대응하기 위하여 전원설비 신·증설 및 송변전계통의 규모 확대가 이루어지고 있다. 이러한 지속적인 설비증설로 인하여 전력계통의 등가임피던스가 점점 작아져서, 계통사고 시 계통에서 발생하는 고장전류(fault current)가 계속 커지고 있는 실정이다. 특히 한전계통은 외국에 비해 송전선로가 상대적으로 짧고, 전력공급의 신뢰도 향상 및 계통 운용의 유연성을 위하여 계통변전소간을 연결하는 망상형태(mesh network)로 되어있어 송전계통의 차단기 중 35% 이상이 기존 차단기의 차단내력/용량을 상회하는 변전소가 많이 나타나고 있으며, 이에 대한 체계적 관리가 시급한 실정이다. 계통의 고장전류가 차단기의 차단내력/용량을 상회하게 되면 고장 발생시 고장전류를 안정되게 차단할 수 없게 되어 해당 차단기의 소손은 물론 인접 전력설비에까지 사고가 파급되어 경제적 손실 및 전력공급의 신뢰성을 저하시키게 되어 산업·경제적 측면에서 막대한 영향을 초래하게 된다. 이와 같이 전력계통에서 고장전류 계산 결과에 따라 차단기의 용량을 선정하게 된다. 앞서 설명한바와 같이 계통의 수요 증가에 따라 계속적인 계통확장으로 계통의 단락용량이 증가하고 있으므로 시설 차단기 교체 혹은 신설 차단기 설치 여부 결정을 위해서는 정밀도가 높으면서 일관된 절차에 의한 고장전류 산출을 통한 정확한 차단용량 계산이 매우 중요하다.

2. 본 론

차단기 차단용량은 고장계산의 불확실성 등을 고려하여 계산된 결과보다 어느 정도 여유(margin)를 두는 것이 일반적이다. 이와 같이 얻어진 고장전류 계산결과와 차단기의 적정 차단용량 선정과 발전기 탈조 등의 모의를 위한 과도안정도 해석에서 주로 사용된다. 전력계통에서는 고장전류 계산결과에 따라 접지방안을 선택하고, 차단기의 차단용량을 결정하고 아울러 보호계전 방식이 정하여진다. 차단기에서 고장전류를 성공적으로 제거하는 것은 개극시간 혹은 접점분리시간(contact parting time, CPT)에서의 고장전류를 차단기 접점 개방에 의해 기기를 손상없이 차단하는 것이 중요한 판단건임으로, 개극시간(CPT)값은 차단용량을 결정하는데

가장 중요한 변수가 된다. 따라서, 차단기 제작사(효성, 현대, LG산전, 일진)로부터 차단기 규격별(정격전압/정격 차단전류) 개극시간(CPT) 및 아크시간(arc time) 등을 사전에 조사/수집하여 각각의 차단기별 개극시간(CPT)에 따른 고장전류 변화를 분석하고 기술하였다.

2.1 차단기 동작

차단기의 개폐에 요하는 시간 또는 개폐속도는 고장점의 조기제거에 의한 고장의 국한화, 계통안정도 유지, 관련 기기, 선로, 애자등의 손상경감, 통신선의 전자유도 장애 억제상 어느 정도로 규제할 필요가 있으며 차단기는 이것을 만족할 수 있는 성능이 요구된다. 아래의 그림1은 차단기의 동작 시퀀스를 보여주고 있으며 고장이 발생하면 계전기는 고장을 감지하여 차단기의 동작여부를 결정한다. 계전기가 고장을 감지하는데 소요되는 시간을 트립지연(tripping delay) 혹은 계전기시간이라 한다. 트립 지연시간은 최소한 0.5사이클이며 이를 최소 트립 지연시간이라 한다. 계전기가 트립신호를 출력하면 차단기의 주접점(primary arcing contact)이 개방되는데, 트립 신호로부터 주접점이 완전히 개방되는데 소요되는 시간을 개극시간 혹은 접점분리시간(CPT)라고 하는데, 이 값은 앞서 설명한바와 같이 차단기 차단용량을 결정하는데 매우 중요한 변수이다. 그러나, 주접점이 열리더라도 아크가 진행되어 고장전류는 여전히 흐르게 된다. 주접점이 열린 시점에서부터 아크가 소호되는데 소요되는 시간을 아크시간(arc time)이라 하며, 개극시간과 아크시간을 합한 것을 차단시간(interrupting time)이라 한다.

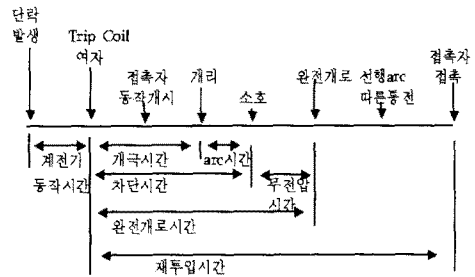


그림 1. 차단기 동작 시퀀스

2.2 한전 설계기준

한전 차단기 설계기준(교류차단기의 정격, 변전편-설계기준-2511 참조)을 살펴보면, 정격차단전류는 차단기의 정격전압에 해당하는 회로전압 및 정격개기전압을 갖는 회로조건하에서 규정의 표준동작행위 및 동작상태를 수행할 수 있는 차단전류의 최대 한도이고 교류분 실효치로 표시한다. 각 전압급 교류차단기의 정격차단시간 및 개극시간 등은 표 1과 같이 정하였다.

표 1. 한전 차단기 설계기준

정격전압	차단시간(ms)	개극시간(ms)
170kV GIS	50 이내	30 이내
362kV GIS	50 이내	33 이내
800kV GIS	33.3 이내	17 이내

2.3 제작사별 설계기준

차단기 제작사(효성,현대,IG산전,일진)들로부터 차단기 규격별 개극시간(CPT) 및 아크시간(arcing time) 등을 사전에 조사/수집하였다. 페로상태에서 차단기의 트립코일(trip coil)이 여자된 순시부터 아크점착자(없는 경우 주점착자)가 개리할 때까지의 시간을 개극시간이라고 한다. 무부하시 정격트립(trip) 전압 및 정격조작압력에 트립하는 경우 개극시의 한도를 정격개극시간이라 한다. 이 개극시간은 발호순시를 정확히 측정하기 곤란하므로 보통 무전압 무부하상태에서 측정해 얻은치를 가지고 정격개극시간이라 하며 실제 시험조건(최대 제어전압, 최대 조작압력 등)에 따라 각기 다른값들을 가질 수 있다. 아래의 표 2는 정격전압 170kV, 362kV, 정격 단시간 전류 50kA(1초), 주파수 60Hz의 3상 교류회로에 사용하는 옥내 및 옥외형 가스절연개폐장치(GIS)에 대하여 정리하였다. 또한, 차단기 동작의 완전개방 후 아크소호시간은 정확히 취득할 수 없으므로 제작사의 추정치를 아래의 표 3과 같이 정리하였다.

표 2. 제작사별 차단기 개극시간

정격 전압	정격 차단 전류 (A)	정격 전류 (A)	최소개극시간(ms)				최소값	
			GIS					
			A사	B사	C사	D사		
362 kV	63kA	800	16	유압		26.3	16ms (0.96)	
		400	16	유압	17.5	27.5		
	50kA	4000	24*	공압			22ms (1.32)	
			22*	유압				
		2000	24*	공압				
			22*	유압				
	40kA	4000	29	공압	27.5	19.5	20ms (1.2)	
	170 kV	50kA	4000	24	공압	23.5	23	21ms (1.26)
				24	유압			
			2000	25	공압	23.5	23.2	
24				유압				
31.5kA		1200	25	공압	23.5	23.2	25.3	
			24	유압				
		2000	27	공압	21			
			28	공압	21			

표 3. A사 차단기별 개극시간(CPT) 및 아크소호시간

정격전압	Type	개극시간 (ms)	아크소호 시간 (ms)
170kV GIS	공압식	26.4	10~24
	유압식	26.3	10~24
362kV GIS	공압식(40kA)	31.3	10~24
	유압식(63kA)	18.3	10~22
800kV GIS	유압식(50kA)	16.8	9~20

아크소호시간은 전류의 크기, 영점시간, DC전류의 크기에 따라 변화함을 알 수 있었다.

2.4 PSS/E에 의한 고장전류 계산

PSS/E 프로그램의 고장계산 모듈을 이용하여 모의한 2기 5모선의 소규모계통으로써 3상 단락사고를 모선 2740에 인가하고 사고모선 및 인접지역 등의 고장전류를 측정하였다. 모의계통의 구성 및 모의결과는 아래의 그림 2와 표5, 표6에 정리하였다.

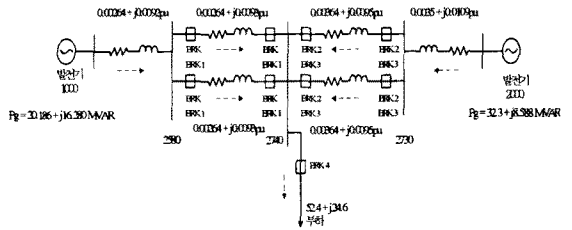


그림 2. 모델계통도 및 정상상태시 전력조류도

표 4. 선로데이터

선로	회선	임피던스(p.u)	선로	회선	임피던스(p.u)
1000-2580	1	0.00264+j0.00920	2000-2730	1	0.00350+j0.01090
2580-2740	1	0.00264+j0.00930	2580-2740	2	0.00264+j0.00930
2730-2740	1	0.00364+j0.00950	2730-2740	2	0.00364+j0.00950

표 5. 모선 2740 고장전류의 합계

모선 번호	PSS/E	
	고장 전류 [kA]	비고
2580	12799.7	
2580	12799.7	
2730	11180.4	
2730	11180.4	
	47944.4	

표 6. PSS/E 조류계산 결과치

선로명	From (모선번호)	To (모선번호)	조류(MW)	전압	
				실효치	pu
A	대치154 (2730)	삼성154 (2740)	16.1	153.68	0.9979
	대치154 (2730)	삼성154 (2740)	16.1		
B	잠실154 (2580)	삼성154 (2740)	10.1	153.69	0.9980
	잠실154 (2580)	삼성154 (2740)	10.1		
C	등가1 (1000)	잠실154 (2580)	20.2	154	1.0
D	등가2 (2000)	대치154 (2730)	32.3	154	1.0

2.5 EMTDC에 의한 고장전류 계산

EMTDC를 이용하여 모의한 계통은 앞2.4절 PSS/E 모의시 사용하였던 2기 5모선의 동일한 계통을 변환하여 아래의 그림3과 같이 구성하였다.

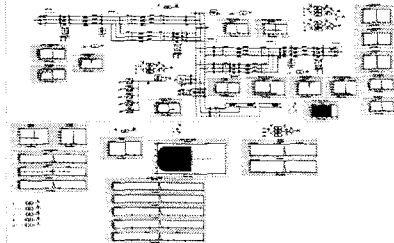


그림 3. 모의계통 구성도

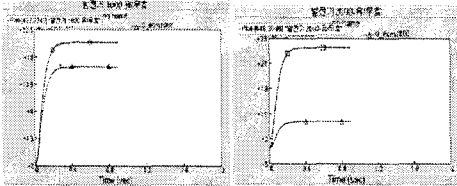


그림 4. 등가1,2 발전기 출력

모의계통을 컴파일하고 모선2740에 3상 단락사고를 인가하여 등가발전기들의 유/무효전력, 모선전압, 차단기별 고장전류 및 아크소호시간 등을 측정하였다. 그림4는 발전기의 유/무효전력이며 PSS/E결과치와 동일함을 알 수 있다.

아래와 같이 2가지 케이스에 대하여 적용하였으며, 검토 방법은 다음과 같다.

- ① 각 차단기별 적용 개극시간을 다르게 조정
- ② 모선고장 발생후 고장전류크기 및 아크소호시간 측정

Case 1

차단기 #	개극시간(ms)	고장전류(kA)	추정
			아크소호시간(ms)
BRK	22	11.93	58(0.84kA)
BRK1	22	11.93	58(0.84kA)
BRK2	22	10.33	58(0.72kA)
BRK3	22	10.33	58(0.72kA)

※ 개극시간 = 0.022 (1.32cycle)

※ 실제 제작사에서 제공된 아크소호시간과 상이 (24ms vs. 58ms)

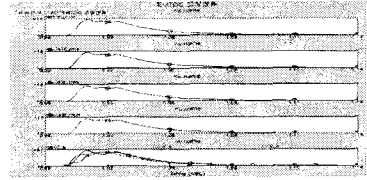


그림 5. 각 차단기별 분담 고장전류(kA)

Case 2

차단기 #	개극시간(ms)	고장전류(kA)	추정 아크소호시간(ms)
BRK	22	11.91	58(0.84kA)
BRK1	22	11.91	58(0.84kA)
BRK2	16	11.55	58(0.55kA)
BRK3	16	11.55	58(0.55kA)

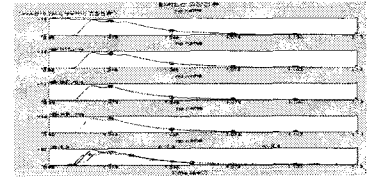


그림 6. 각 차단기별 분담 고장전류(kA)

3. 결 론

모의계통 모선2740에 3상 단락고장을 발생하였을 경우 각 차단기가 분담하는 모선 고장전류는 케이스1과2와 같다. 차단기별 개극시간은 달리 적용할 수 있으나, 차단기 완전 개방시 저항값과 아크소호시간은 정확히 측정하기 곤란하므로 보통 무전압 무부하 상태에서 측정해 얻은 값을 사용하고 있다. 그러나, 제작사로부터 표3과 같은 개략치를 받아 EMTDC를 이용하여 역으로 아크소호시간을 추정하였으나, 아래의 표7과 같이 대부분 58ms(3.5cycle) 이상의 아크소호시간을 얻을 수 있었다. 즉, 개극시간 이후의 아크소호시간은 전류의 크기, 영점시간 및 DC전류 크기에 따라 상이하다는 것을 알 수 있었으며, 아래와 같은 문제점들이 존재한다.

표7. 아크소호시간 vs. EMTDC 측정 아크소호시간

차단기	개극시간(ms)	제작사 제공	EMTDC
		아크소호시간	아크소호시간(ms)
BRK	22	9 ~ 24	58

- ① 차단기 동작원리와 관계있으며, 현재 EMTDC S/W 자체 모델에서는 구현 불가
- : 모델 특성상 차단기 개방 시 임의의 delay 추가 불가 (단, EMTDC 내부적으로 아크시간 반영 계산함)
- ② 실제 제작사들로부터 제공된 데이터와 EMTDC 결과치 상이
- : 실제와 시험조건 상이
- ③ 제작사들로부터 차단기 제작설계용 데이터 확보 필요
- : 보통 무전압 무부하 상태에서 측정된 측정치만 보유하고 있으며, 차단기 동작의 완전개방 후 아크시간은 취득할 수 없음(단, 9 ~ 24ms 추정치 이내라고 명시함)

[참 고 문 헌]

[1] 김준환, 이강환, "전력계통 고장전류 증대와 대응방안", 대한전기학회, 기술동향(상.하), 2000
 [2] 차승태, "ANSI/IEEE기술규격 분석 및 RTDS에 의한 고장전류 계산 비교", 대한전기학회, 추계학술대회,p231, 2002
 [3] 한전 전력연구원, "새로운 전력환경에서의 계통신뢰도를 고려한 고장용량 관리방안 연구, 1차년도 중간보고서, 2002