

ANSI/IEEE 기술규격 분석 및 RTDS에 의한 고장전류 계산 비교

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

Analysis of ANSI/IEEE Standard & Short-Circuit Calculations according to RTDS

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

Abstract - 본 논문에서는 국제기술규격인 ANSI/IEEE의 고장전류 계산기준을 분석하였고, 외국 전력사의 고장전류 계산 기준을 정리하였다. 계통에서의 차단기 용량 선정은 고장전류 크기가 시간 경과에 따라 다르게 됨으로 차단기 차단시간(interrupting time)특성을 복합적으로 고려하여야 한다. 그러나, 현재 한전에서 사용하고 있는 고장전류 계산은 별도의 차단기 차단시간을 고려한 배수(multiplying factor)를 고려하지 않고 동기발전기 차과도 임피던스만 고장전류 공급원으로 취급하여 계산하고 있다. 이에 본 논문에서는 ANSI/IEEE규격에서 권장하는 내용과 외국 전력사의 고장전류 계산 기준을 종합 정리하였고, 고장전류 계산 예를 한전사용(PSS/E) 및 RTDS를 이용한 경우로 나누어 수행하고 모의 결과를 제시하고자 한다.

1. 서 론

최근의 전력수요는 계속 증가되는 추세이며, 이에 따른 지속적인 전원설비 신·증설 및 송변전계통의 확장으로 인하여 전력계통의 등가임피던스가 점점 작아져서 사고시 계통에 발생하는 고장전류가 계속 증대되어 송전계통의 차단기 중 35% 이상이 차단용량을 초과하고 있어 이에 대한 체계적 관리가 시급한 실정이다. 전력계통에서는 고장전류 계산 결과에 따라 차단기의 용량을 선정하게 된다. 앞에 설명한바와 같이 계통 규모 확대로 계통의 고장용량이 증가하고 있어 기존 혹은 신설 차단기 차단 적정성 여부결정을 위해서는 고장전류 산출을 통한 정확한 차단용량 계산이 필수적이다. 그러나, 국내에서는 고장전류 계산 세부기준 및 표준절차가 확립되어 있지 않고 각각 다른 계산 방법을 이용하여 계산하였기 때문에 일관성이 결여되어 있다. 따라서, ANSI/IEEE (Power System Analysis by J.C Das, Chapter 7) 해외기술규격의 고장전류 계산기준을 조사·분석 및 외국 전력사의 고장전류 계산 기준을 통하여 우리나라의 실제계에 적합한 "고장전류 계산 기준(안)"을 개발하는데 목표치를 설정하였다. 고장전류 계산 프로그램은 PSS/E를 이용하는 것을 한 경우 및 RTDS(Real-Time Digital Simulator)를 이용하여 고장전류를 계산한 경우로 나누어 설명할 수 있다.

2. 본 론

ANSI/IEEE규격에서 권장·제시하는 주요 항목별 기준을 분석하고 이를 바탕으로 우리나라 장기계통에서의 차단기 용량 결정을 위한 현행 고장전류 계산절차의 적정성을 검토하고, 나아가 실무에 적용할 기준을 설정하며 그 배경을 제시하는데 그 목적이 있다. 또한, 2.2절에는 일본 구주전력사의 경우와 미국 NYISO 에서의 고장전류 계산 기준을 요약·기술하였다.

2.1 ANSI/IEEE 기술규격 분석

차단기 용량 선정은 고장전류 크기가 시간 경과에 따라 다르게 되므로 차단기 차단시간 특성을 복합적으로 고려하여야 한다. 미국에서 널리 이용되고 있는 차단기 차단용량 선정 방법은 IEEE규격을 적용하는 방법을 들 수 있다. 표 1은 ANSI/IEEE규격을 주요항목별로 정리하였다.

표 1. ANSI/IEEE 기술규격 종합

검토 항목	기술 규격	
	ANSI/IEEE	비고
모선 전압 영향	가장 높은 전압 사용	
모선 부하 및 송변전 제어설비 영향 (OLTC, Shunt 등)	무시	
발전기 차과도/과도 입력시 영향	차과도 리액턴스에 계수를 곱하여 사용, (포화) 직축 차과도 리액턴스 사용	
자단전류 영향	명백한 기술 없음, 그러나 예제로부터 자단전류를 제외함을 알 수 있음	
고장전류의 대칭/비대칭 성분에 대한 영향	보정계수를 곱하는 방법으로 보정	
고장 전류에 대한 기준	일선지락과 삼상단락에 대해서만 계산을 수행	
민수용 발전기의 계통 연계 영향	최소 리액턴스 값 사용	
발전기 근단, 원단 고장에 대한 분리 필요성	단락전류에 적절한 보정 계수를 곱하여 사용	

2.2 일본 전력사 및 미국 NYISO 사례

본 절에서는 일본 전력사 및 미국 NYISO 에서의 고장 전류 계산기준을 요약·기술하였다.

2.2.1 일본 구주전력

- 사용프로그램 : RYCAL 5.0 Z 법
- 발전기 리액턴스 모의 : 불포화치(X_d, X_d', X_d'')중 임의로 선택하여 계산
- 대칭성분(AC),비대칭성분 : 대칭성분 전류만으로 검토
- 발전기 운전조건 설정 : 조류계산 결과이용
- 부하 조상설비 모델링 방법 : 상동(단, 부하는 일정임피던스 특성, 조상설비도 고려), 필요시 중성점 설치장치도 설정 가능
- 계통운전전압 설정 : 조류계산 결과 이용

2.2.2 미국 NYISO

- 모든 발전기는 계통에 투입되어 운전
- 모든 송전선 및 급전선(feeder)은 계통에 연결
- 부하 및 shunt capacitance와 line capacitance는 모델링에서 제외
- 고장 전 상태, 즉 전압이 정격을 유지하고, 변압기 탭 비율이 일정한 것으로 가정

더욱이, 계통에 고장이 발생한 시점으로부터 계산되는 차단기의 개극 시간은 345kV에서 4cycle 이며, 이에 견주어 138kV에서는 전형적으로 6cycle이다. 이러한 차단기의 개극 시간을 고려해볼 때, 고장이 발생하였을 때, 즉시 결정되는 차단기 고장 동작 책무 정도(breaker fault duty level)는 발전기의 정격 전압에서 차과도 리액턴스(X'')에 의해 결정된다. (포화 / 불포화 언급이 없음)

2.2 PSS/E에 의한 고장전류 계산

PSS/E 프로그램을 이용하여 모의한 계통은 1기3모선의 소규모계통으로써 3상단락사고를 모션 999에 인가하고 사고모션에서의 고장전류를 측정하였다. 계통의 구성 및 모의 결과는 아래의 표2 및 표3에 정리하였다.

표2. 계통 요약

발전력	부하	역률
5 MW	5 MW	95.5%

```

150, LOAD , 33.0000,1, 0.00, 0.00, 2, 1.104305, 1.1173, 1
200, STEAM , 33.0000,1, 0.00, 0.00, 1, 1.104311, 1.2500, 1
201, STEAM , 3.3000,3, 0.00, 0.00, 1, 1.100000, 3.5032, 1
999, img , 33.0000,1, 0.00, 0.00, 1, 1.104308, 1.1837, 1
0 / END OF BUS DATA, BEGIN LOAD DATA
150,1 ,1, 2, 1, 5.000, 1.500, 0.000, 0.000, 0.000, 0.000, 1
0 / END OF LOAD DATA, BEGIN GENERATOR DATA
201,1 , 5.001, -2.110, 4.000, 0.000,1.00000, 200, 10.000, 0.00000,
0.20290, 0.00000, 0.00000,1.00000,1, 100.0, 9999.000, -9999.000, 1.1.0000
0 / END OF GENERATOR DATA, BEGIN BRANCH DATA
150, 999,1 , 0.00500, 0.00500, 0.00900, 15.00, 17.50, 20.00, 0.00000,
0.00000, 0.00000, 0.00000,1, 0.00, 1.1.0000
150, 999,2 , 0.00500, 0.00500, 0.00900, 15.00, 17.50, 20.00, 0.00000,
0.00000, 0.00000, 0.00000,1, 0.00, 1.1.0000
200, -999,1 , 0.00500, 0.00500, 0.00900, 15.00, 17.50, 20.00, 0.00000,
0.00000, 0.00000, 0.00000,1, 0.00, 1.1.0000
200, -999,2 , 0.00500, 0.00500, 0.00900, 15.00, 17.50, 20.00, 0.00000,
0.00000, 0.00000, 0.00000,1, 0.00, 1.1.0000
0 / END OF BRANCH DATA, BEGIN TRANSFORMER DATA
200, 201, 0,1 ,1.1.1, 0.00000, 0.00000,2 ,1, 1.1.0000
0.00000, 0.80000, 100.00
1.02500, 0.000, 0.000, 10.00, 12.00, 15.00, 1, -200, 1.1.0000, 0.90000, 1.1.0000,
0.90000, 33, 0, 0.00000, 0.00000,1.00000, 0.000
    
```

표3. 사고모션의 고장전류

적용	시간 (t)	고장전류 (kA)	X/R비
차과도 $X'' d$	0.148	0.576	6.67
과도 $X' d$	0.178	0.480	5.53
동기 $X d$	1.477	0.101	0.675

2.3 RTDS에 의한 고장전류 계산

RTDS를 이용하여 모의한 계통은 PSS/E 모의시 사용하였던 1기3모선의 동일한 계통을 데이터변환 프로그램에서 자동적으로 변환하여 아래의 그림1과 같이 구성하였다. 하나의 3PC Network Solution과 2회선 송전선로, 발전기, 변압기 및 R,L,C 부하를 사용하여 1개의 RTDS 랙에서 수행될 수 있도록 구성하였다. 또한, 고장 Sequence는 RTDS 라이브러리에서 제공되는 Control System 블록을 이용하여 구성하였다.

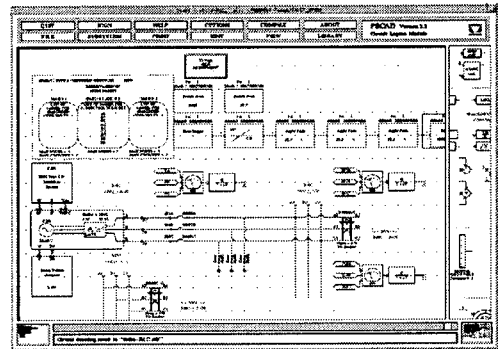


그림 1. 모의 계통의 구성

모의 계통을 컴파일, 다운로드하고 RTDS의 2회선 송전선로 모델에 대하여 3상단락사고를 인가하고 발전기의 유/무효전력, 송전선로 양단 전압, 고장상전류, 발전기측 고장전류, 부하측고장전류 및 대지로 흐르는 고장전류 등을 측정하였다. 그림2는 발전기의 유/무효전력(상단)과 송전선로 양단 전압(하단)을 스냅샷으로 캡처 한 것이다.

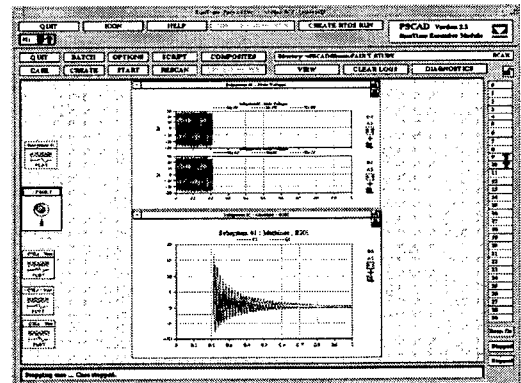


그림 2. 발전기 P & Q 및 송전선로 양단 전압

고장점 양단의 전압은 사고 인가후 "0"으로 떨어지며, 발전기 유/무효전력은 그림2(하단)에서 볼 수 있듯이 일정한 출력(5MW, -2.1Mvar)을 내고 있다가 사고인가 후

"0"으로 떨어짐을 알 수 있다.

아래 그림3의 3번째는 고장 상태에서의 상전류 파형을 나타낸 것이다.

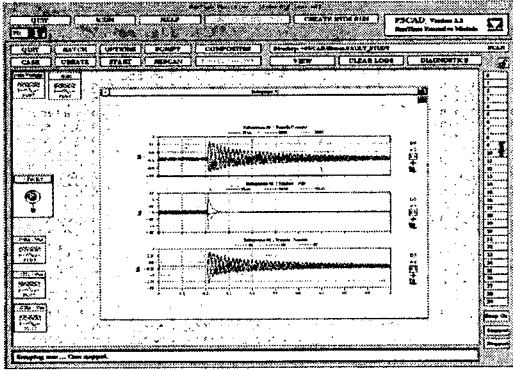


그림 3. 상전류

그림4는 발전기측 고장전류(상단 좌측), 부하측고장전류(상단 우측) 및 대지로 흐르는 고장전류(하단 중앙)를 나타낸 것이다.

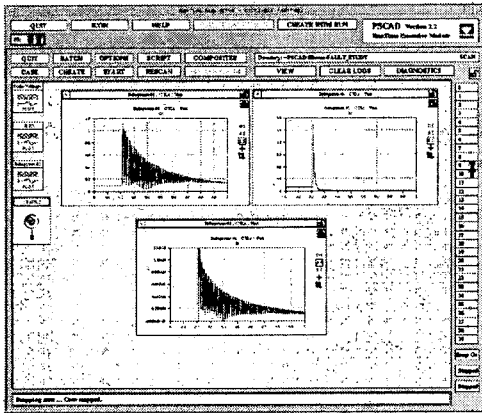


그림4. 고장전류

RTDS 모의 결과는 아래의 표4에 정리하였다.

표4. 사고선로의 고장전류

적용 Imp	시 간 (t)	고장전류 (kA)
	0.216	1.391
	0.252	0.946
	0.286	0.803
	0.319	0.696
X" d	0.364	0.588
X' d	0.394	0.508
	0.420	0.468
	0.501	0.405
	0.583	0.328
	0.669	0.262
	0.703	0.242
	0.866	0.194
	1.000	0.121
X d	1.693	0.121

RTDS 모의에서는 사고 Sequence가 0.2초 후에 인가되도록 구성되어 있기 때문에 RTDS 모의 결과의 t = 0.216초가 PSS/E 모의 결과에서의 t = 0초에 해당한다.

3. 결 론

최근의 계속되는 전력 수요 증가로 인하여 지속적인 전원설비 및 송변전설비 신·증설이 이루어지고, 이로 인하여 전력계통의 등가임피던스가 점점 작아져서 사고시 계통에 발생하는 고장전류가 계속 증가되어 가고 있는 실정이다. 전력계통의 고장전류는 고장 발생시부터 시간의 경과와 더불어 감소하게 된다. 한전표준구매시방서 3.9절 차단기 정격차단시간을 살펴보면, 우리나라 154kV 및 345kV 송전계통에 적용되고 있는 차단기 정격차단시간은 3 cycle이다. 현재 한전에서 사용하고 있는 고장전류 계산은 별도의 차단기 차단시간을 고려한 배수(multiplying factor)를 고려하지 않고 동기발전기 차과도 임피던스만 고장전류 공급원으로 취급하여 계산하고 있다. 계산 결과에서 나타난 것과 같이 RTDS를 이용한 고장전류 계산결과(표4) 보다 작게 된다. 따라서, 향후에는 분석한 ANSI/IEEE규격을 토대로 우리나라 실계통에 대한 고장계산을 통하여 검토요소별(모선전압, 부하, 송변전 제어설비, 차단전류, 고장종류, 민수용 발전기, 발전기 근단/원단 고장, 등) 영향이 고장전류에 어떻게 반영되었는지 결과 제시를 제시함으로써 이의 개선이 가능하다.

(참 고 문 헌)

- [1] 김준환, 이강완, "전력계통 고장전류 증대와 대응방안(상, 하)", 대한전기학회, p 1~8
- [2] J.C Das, "Power System Analysis", p 219~266, 2002
- [3] ANSI/IEEE, Application Guide for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis, C37.010, 1999
- [4] IEEE Recommended Practice for Electrical Power Distribution for Industrial Plants, Standard 141, 1993
- [5] JR Dunki-Jacobs, P Lam, P Stratford, "A Comparison of ANSI-based and Dynamically Rigorous Short-Circuit Current Calculation Procedures", Trans IEEE, Ind Appl 24: 1180~1194, 1988