

월성원전 GCB 개폐서지 측정 및 대책

김익모*, 김수남*, 정승완*, 백병산*, 김원선**, 박진엽**

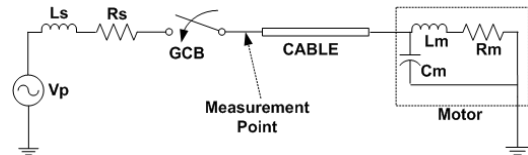
* : 현대중공업, ** : 월성원자력본부

The Measurement and Countermeasures of GCB switching surge in Wolsong Nuclear Power Site

Ik-Mo Kim*, Soo-Nam Kim*, Seung-Wan Jung*, Byung-San Baek*, Won-Sun Kim**, Jin-Yeub Park**

* : Hyundai Heavy Industries, ** : Wolsong Nuclear Power Site

Abstract - 현재 국내 원자력 발전소내의 노후화된 GCB 차단기를 VCB로 교체할 경우, 관련한 기술적 규정들이 확립되지 않아, 이에 대한 기술적 평가가 요구되었다. 본 연구에서는 원자력 발전소 주요 전동기의 기동 및 차단시에 발생하는 개폐서지를 측정하여 발생된 서지의 크기를 분석하고 EMTP 시뮬레이션 방법을 통하여 교체 시 기술 기준을 제안하고 적정성을 검증하였다.



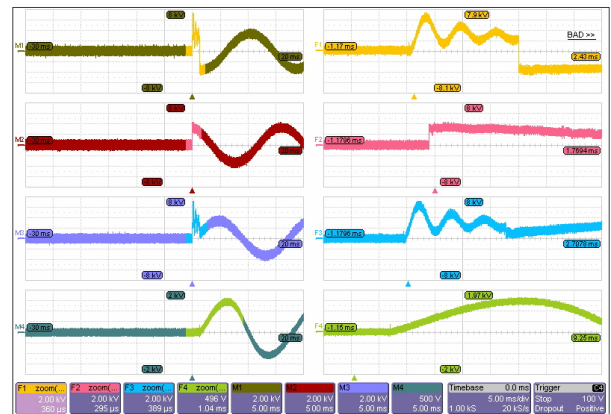
<그림 1> 측정 Point

1. 서 론

건설된 지 오래된 발전소의 각종 설비중 구동용 고압 전동기의 기동, 정지 및 보호용 차단기로 공기차단기(ACB), 자기차단기(MCB), 가스차단기(GCB) 등이 사용되어 왔으나 새로이 건설되는 발전소에서는 차단 성능과 안전성이 우수하며 소형·경량화 되고, 수명이 길며 보수 점검이 용이한 진공차단기(VCB)가 사용되고 있다. 특히, 가격이 저렴하고 유지보수비가 적기 때문에 유도전동기를 기동 정지하는 장치로서 진공차단기가 주목되고 있다[1~3].

진공차단기는 전원투입시와 차단시에 발생하는 아크방전에 대한 강력한 고주파 소호력이 있기 때문에 전류가 Zero가 되기전에 강제적으로 영이 되는 재단(裁斷)전류로 인하여 서지전압이 발생하고 이에 따른 충격과 부하측 케이블을 통해 전동기에 전달된다. 특히, 기동장치 없이 전원을 직접 공급하는 직입기동의 경우에는 차단기 투입동작에서 급준과가 매우 큰 서지전압이 발생하여 전동기 권선에 전달되므로 전동기의 소손을 방지하고 안전한 절연내력을 확보하기 위하여 서지 저감대책을 세워야 한다[4,5].

따라서, 본 논문에서는 기존의 차단기인 GCB의 스위칭 서지를 측정하여 교체하고자 하는 VCB(Vacuum Circuit Breaker)의 서지 제한레벨 결정하고 EMTP(ATP-Draw)를 이용한 Simulation을 통하여 기술기준을 제안하고 적정성을 검증하였다.



<그림 2> GCB Close시 서지측정결과 파형

2. 본 론

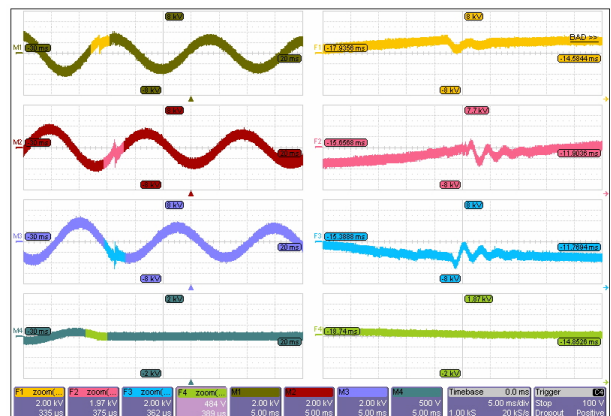
2.1 월성원전 GCB 개폐서지 측정.

GCB 서지 실측 개소는 서지 발생 개연성이 큰 RSW (Raw Service Water) pump 을 대상으로 한다. RSW pump의 정격과 배전반 정격은 표 1과 같다.

<표 1> 개폐서지 측정대상

배전반	횟수	Pump Motor	Rating	비고
4.16KV 3φ 60Hz (RSW)	1	Raw Service Water Pump (7131-PM7754) 5323-BUF/08	1072 [HP] 935 [kVA] 390 [A]	

측정위치는 그림 1과 같이 차단기 2차측이다. 측정은 별도의 시퀀스 트리를 사용하지 않고 전류의 상승과 하강순간을 트리거로 활용함으로써 배전반의 영향을 최소화 하였다. 차단기 투입시 측정결과 파형은 그림 2에 나타내었으며 발생된 서지의 크기는 표2에 나타내었다. 차단시의 결과는 그림 3과 표3에 나타내었다. 전동기 투입시 대체적으로 2 pu의 과전압이 발생되었지만 상승시간(200μs)을 고려할 때 이는 규격에서 정한 고압 전동기의 절연내력 (6.5pu / ≥2.0μs)에 대해 상당한 여유를 갖는다.



<그림 3> GCB Open시 서지측정 결과 파형

<표 2> 개폐서지 측정결과 (GCB closing)

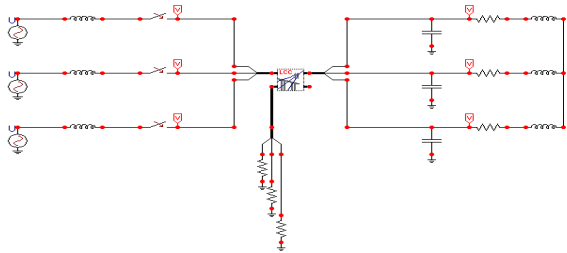
No	PUMP	측정파형	Voltage		
			Peak (kV)	Peak (pu)	Rising Time
1	RSW (7131-PM7754)	Channel 1	6.92	2.03	195μs
2		Channel 2	3.90	≈ 1pu	
3	5323-BUF/08	Channel 3	6.86	2.01	215μs

<표 3> 개폐서지 측정결과 (GCB opening)

No	PUMP	측정 파형	Voltage		
			Peak (kV)	Peak (pu)	Rising Time
1	RSW	Channel 1		<1 pu	
2	(7131-PM7754)	Channel 2	-2.80	<1 pu	
3	5323-BUF/08	Channel 3	-4.68	1.38	30μs

2.2 차단기 개폐서지 EMTP Simulation

월성 원자력 4호기 배전반의 차단기 교체시 서지 대책을 검토하기 위해 EMTP(ATP-Draw)를 이용하여 시뮬레이션을 실시하였다. 회로는 전원회 차단기 케이블 및 전동기로 구성되어지고 그림 4와 같이 ATP-Draw 상에서 구현하였다. 전동기 회로 파라미터는 월성 1호기 소내 계통 분석 결과에서 습득한 자료와 원전 Library에서 수집한 자료를 토대로 정리한 표 4의 데이터를 적용하였다. 케이블 정수는 EMTP를 이용하여 분포정수 회로로 계산하였다.



<그림 4> 재점호 시뮬레이션 회로

시뮬레이션은 재점호가 발생하지 않는 상태와 재점호 발생시, 서지 흡수기 설치시, 모선 측에 서지 흡수기 추가 설치 등으로 구분하여 실시하였다. 측정 포인트는 차단기 후단부와 전동기 전단부로 구별하여 계산하였다. 이는 VCB 사용시 발생 할 수 있는 과전압을 모의하기 위한 것이다. 재점호 모의와 서지흡수기가 설치된 상태에서 재점호 모의를 수행하였다.

<표 4> 전동기 시뮬레이션 회로 데이터

NO.	Description	R [Ω]	L [mH]	C [μF]
1	Chiller 구동 MTR	0.16	10.8	0.016
2	Heat Transport Feed P/P MTR	0.26	14.4	0.011
3	Main Moderator P/P MTR	0.17	11.1	0.014
4	Raw Service WTR P/P MTR	0.16	10.5	0.016
5	Condensate Extraction P/P MTR	0.04	10.0	0.056
6	Vaccum Hogging P/P MTR	0.26	14.4	0.011
7	Shutdown Cooling P/P MTR	0.52	18.5	0.009
8	Aux Boiler Feed P/P MTR	0.31	16.7	0.011
9	Heat Transport Main Circ. P/P MTR	0.092	10.9	0.094
10	Boiler Feed P/P MTR	0.121	11.1	0.072
11	Heat Transport main Circ. P/P	0.092	10.98	0.094

시뮬레이션 결과는 표 5와 같다. 재점호가 발생하지 않는다고 가정하면 전동기 전단이나 차단기 후단 모두 최대 3 pu 미만으로 서지가 발생하여 서지 흡수기 사용이 불필요하다고 판단된다. 그러나, 재점호 현상이 예상되는 VCB를 사용할 경우 전동기 전단에서 최대 19.9 pu 정도의 과전압이 발생하여 반드시 서지 흡수기를 설치하여야 한다. 이는 재점호 현상시 서지흡수기가 설치되어 있다면 모두 3.2 pu 이내로 서지를 억제할 수 있는 것을 시뮬레이션으로 확인 할 수 있었다.

월성원전 배전반의 경우 기존설비를 신규 VCB 차단기로 교체시, 차단기 개폐시 발생하고 있는 서지레벨을 전동기 절연손상을 입히지 않는 범위내로 제한하기 위해서는 서지흡수장치를 모든 VCB 차단기만에 설치하고 그 제한값을 상전압 기준으로 Peak값의 3.5배 정도로 설정하는 것이 바람직하다고 사료된다. 이러한 목표를 달성하기 위해서는 4.16kV 계통은 3kV 정격의 서지 흡수기를, 13.8kV 계통은 10kV 서지 흡수기를 설치할 것을 제안하였다.

<표 5> 차단기 2차측에 S/A 설치 후 시뮬레이션 결과 (적합성 3.5 pu 기준, FM : 전동기전단, RC:차단기 후단)

Case	전압 계급	S/A 3kV		S/A 6kV		S/A 9kV				
		FM	RC	FM	RC	FM	RC			
1	4.16kV (5kV)	2.41	1.20	Y	3.72	2.24	N	4.63	3.05	N
2		2.27	.097	Y	3.40	1.64	Y	4.16	2.19	N
3		2.57	1.15	Y	3.91	2.03	N	4.82	2.66	N
4		3.24	1.04	Y	4.22	1.91	N	4.87	2.51	N
5		2.26	1.25	Y	3.18	2.22	Y	3.71	2.92	N
6		2.25	0.97	Y	3.38	1.64	Y	4.15	2.20	N
7		1.97	0.96	Y	2.86	1.31	Y	3.51	1.75	N
8		1.90	0.96	Y	2.89	1.45	Y	3.58	1.94	N
Case	전압 계급	S/A 10kV		S/A 12kV		S/A 15kV				
9	13.8kV (15kV)	2.53	1.67	Y	2.77	1.862	Y	3.09	2.18	Y
10		2.48	1.75	Y	2.85	2.07	Y	3.22	2.47	Y
11		2.53	1.76	Y	2.78	2.01	Y	3.13	2.39	Y

3. 결 론

본 논문은 월성원자력 발전소 2호기의 GCB 투입/개방시 기존 설비에 서 발생하는 개폐서지를 측정 및 분석한 결과와 개폐서지에 대한 EMTP 시뮬레이션 계산 결과를 토대로 기존의 차단기를 신규 VCB로 교체시 개폐서지 대책의 타당성을 검증하였다.

원전 배전반의 투입 및 차단 서지를 현장에서 측정하는 방법을 제시하였고 EMTP(ATP-Draw) 시뮬레이션을 통해 서지 대책으로서 서지 흡수기 정격을 도출하였다.

본 사례 결과는 향후 지속적으로 있을 원전배전반의 노후된 차단기의 교체시 적절한 신규차단기의 선정과 개폐서지 대책을 수립하는데 기여할 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

[1]E. P. Dick, B. K. Gupta, P. Pillai, A. Narang and D. K. Sharma, "Practical Calculation of Switching Surges at Motor Terminals", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 3, No. 4, December 1988.
 [2]IEEE Power Engineering Society, "IEEE Guide for Testing Turn Insulation of Form-Wound Stator Coil for Alternating-Current Electric Machines", IEEE Std 522TM-2004
 [3]Technical Report type 2, "High-Voltage alternating current circuit-breaker -Inductive Load Switching", IEC 1233-1994.
 [4]김익모, "진공차단기 서지해석 연구", 현대중공업 기계전기연구소 연구보고서 : HHIMRI-00-03-R010, 2000.
 [5]眞空遮断機・開閉器의 適用指針調査専門委員會, "眞空遮断機・開閉器의 適用指針", 日本 電氣學會技術報告 第791号, 7月, 2000年.