

154kV 계통 결상시 발전기 영향 분석

옥연호*, 이은웅**, 변일환*, 김인수*, 신강욱*
한국수자원공사*, 충남대학교 전기공학과**

The Analysis about Effect of Generator on Open Phase in 154kV Line

Ok, Yeon-Ho. Lee, Eun-Woong. Byun, Ill-Hwan. Kim, Inn-Soo. Shin, Gang-wook
Korea Water Resource Corporation, Chungnam National University Engineering

Abstract - When 154kV Line is opened, what happens on generator? What protection relay operates? Therefore through studying on this trouble, the operator will handle well on re-troubling and we would like to re-examine thoroughly the co-ordination of generator and transformer protection system.

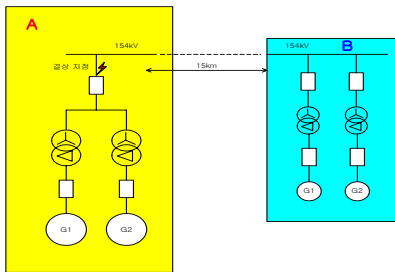
1. 서론

발전기 運營중이나 혹은 起動후 계통 전압인 154kV Line 의 결상 시에 발전기에 나타나는 영향과 송전선 및 발전기의 보호 계통 동작 사항을 분석하므로 향후 유사 사고에 대한 효율적인 대처 및 보호계전기 정정을 제검토하고자 한다.

2. 본론

2.1 현상

분석 발전소는 그림2-1과 같이 2개의 발전소가 15km 간격으로 건설되어 있고, 154kV Line 으로 연계되어 있다. 50MVA 2대로 구성되어 있는 A 발전소는 두 대의 주 변압기에 차단기가 한대만 설치되어 있고, 25MVA 2대로 구성되어 있는 B 발전소는 주 변압기별로 차단기가 설치되어 있다.



<그림 2-1> 전력 계통도

분석 발전소는 그림2-1과 같이 2개의 발전소가 15km 간격으로 건설되어 있고, 154kV Line 으로 연계되어 있다. 50MVA 2대로 구성되어 있는 A 발전소는 두 대의 주 변압기에 차단기가 한대만 설치되어 있고, 25MVA 2대로 구성되어 있는 B 발전소는 주 변압기별로 차단기가 설치되어 있다.

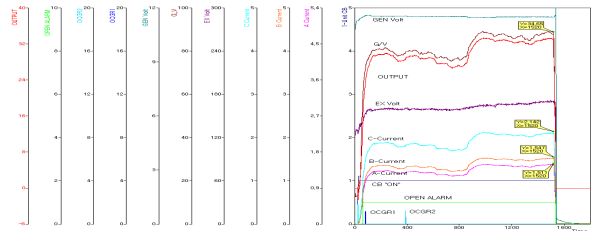
결상 지점은 그림2-1과 같이 A 발전소 154kV Line A-Phase 이며, 결상 전후 A,B 발전소의 발전기 운영 상태 및 보호 계전기 동작 상태는 표2-1과 같다.

<표 2-1> 결상 전후 상태

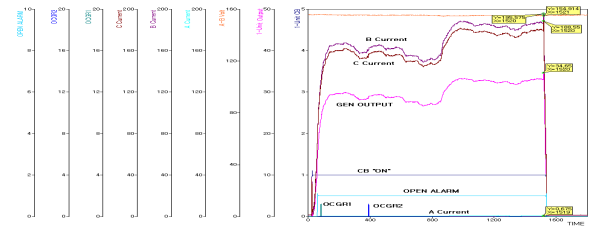
	A 발전소	B 발전소
결상 前 발전기 상태	1호기 발전	운휴
결상 後 보호계전기 동작	51GT(송전선-단선)	OCGR(2회)
결상 後 154kV 전류	0.68(A),195.6(B),188.6(C)	
결상 後 발전기 전류	1511(A),1547(B),2142(C)	

A 발전소의 154kV Line 결상시에 발전기 운영 상태는 그림2-2와 같다. 속도, 발전기 전압, Exciter 전압은 변함이 없고 G/V 개도에 따라 출력이 변화하는 등 정상적이나, 발전기 전류는 C상과 비교하여 A, B 상이 낮게 나타난다. 또한 A 발전소의 154kV Line 상태는 그림2-3과 같다. A 발전소 154kV 단선 경보가 한전측과 동시에

동작하였고 2회에 걸쳐 B발전소에 주변압기 OCGR(지락과전류계전기)이 동작하였다. OCGR 이 발전기를 Trip 할 수 있으나 B 발전소가 운휴중이라 Trip은 발생하지 않았다.



<그림 2-2> 154kV A 상 결상시 발전기 운영

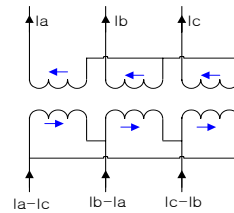


<그림 2-3> 154kV A 상 결상시 154kV Line 운영 자료

2.2 발전기 및 변압기의 Vector 해석

2.2.1 정상적인 경우

A 수력의 변압기는 Yd1 결선으로 전류의 흐름은 그림3-1과 같다.



<그림 2-4> Yd1 변압기 전류 흐름도

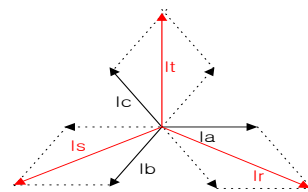
변압기 2차 측(발전기 측) 전류 I_a 를 기준 위상으로 하고 삼상 평형이라고 하면 발전기의 각상 전류는 식1)과 같다.

$$I_r = I_a \angle 0^\circ - I_c \angle 120^\circ$$

$$I_s = I_b \angle 240^\circ - I_a \angle 0^\circ$$

$$I_t = I_c \angle 120^\circ - I_b \angle 240^\circ \text{ -----1)}$$

식1) 을 Vector 로 나타내면 그림 2-5 와 같다.



<그림 2-5> 정상전류 Vector

2.2.2 154kV 결상 시

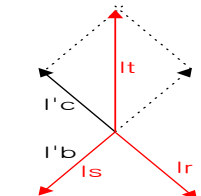
154kV Line의 A상 결상(검토에서는 완전 결상)이므로 $I_a = 0$ 이고, 수차발전기 출력이 고정이므로 I_b, I_c 는 커진다. 이 전류를 I'_b, I'_c 라 하면 결상 상태에서의 각 상 전류는 식1)에서 식 2와 같다.

$$I_r = -I'_c \angle 120^\circ$$

$$I_s = I'_b \angle 240^\circ$$

$$I_t = I'_c \angle 120^\circ - I'_b \angle 240^\circ \quad \text{-----2)}$$

식2 를 Vector로 나타내면 그림 2-6 과 같다.



<그림 2-6> 결상시 전류 Vector

그림 2-5와 그림 2-6을 비교하면 결상 후 T상 전류는 상대적으로 R, S상 보다 전류의 크기가 $\sqrt{3}$ 배이고, 결상 전·후를 비교하면 T상 전류는 크게 변하고, R,S상 전류는 작아진다. 사고시 SCADA 자료와 VECTOR 를 비교하면 표 2-2와 같다.

<표 2-2> 사고시 SCADA 자료와 Vector 비교

PHASE	SCADA 자료		VECTOR 도		비 고
R	1,511A	100%	1,489A	100%	
S	1,547A	102.7%	1,489A	100%	
T	2,142A	142.2%	2,579A	173.3%	

표 2-2에서 보면 SCADA 자료와 VECTOR 도의 차이가 나는 것은 154kV Line 이 완전 결상이 아니라는 것을 나타낸다.

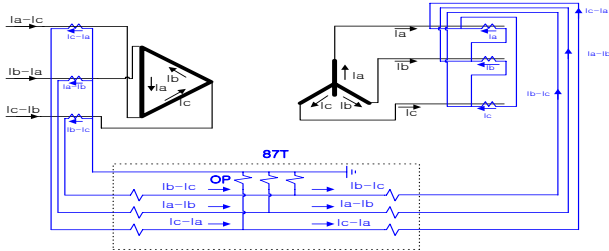
2.2.3 154kV 결상 때에 발전기 영향

발전기 운영중 혹은 기동중에 154kV 결상이 되면 발전기 전압 혹은 계통 전압은 변하지 않으므로 계통 병입에는 문제가 없다. 그러나 발전기 전류중 한상의 전류가 다른 두 상의 전류에 비하여 $\sqrt{3}$ 배 커지므로 정격 출력시 한상에 과부하가 걸리고 열이 발생 할 우려가 있으므로 보호 계전기가 동작이 필요하다.

3. 보호계전기 동작 분석

3.1 87T(주 변압기용 비율차동계전기) 부동작

A수력 변압기 보호용 87T 계전기의 회로는 그림 3-4와 같다.



<그림 3-1> 87T 계전기 결선 및 전류 흐름도

그림 3-1 에서 154kV Line 이 결상되면 87T 계전기 동작 코일에 흐르는 전류는 표 3-1와 같다.

<표 3-1> 사고시 87T 상 전류

87T PHASE	발전기 측	Line 측	비 고
R	Ic	Ic	
S	-Ib	-Ib	
T	Ib-Ic	Ib-Ic	

표 3-1에서 87T 1,2차측에 흐르는 전류는 크기가 같고 방향이 반대이므로 87T 동작 코일에는 전류가 흐르지 않으므로 87T 계전기가 부동작하는 것이 정상적이다.

3.2 발전기측 46(역상계전기) 부동작

154kV 결상 전·후 발전기측 각 상 전류는 표 3-2과 같다

<표 3-2> 결상 전후 전류 위상 변화

구분	결상 전	결상후(완전지락)	비 고	
발전기측 상전류 Vector				
	R	330°		300°
	S	210°		240°
T	90°	90°		

표 154kV 결상 후 발전기 측의 전류 위상 변화는 T상은 변함이 없고 R, S 상은 30° 의 변화밖에 없으므로 부동작이 정동작이다

3-3 발전기 측 51(과전류 계전기) 부동작

과전류 계전기는 정격전류의 150% 에 보통 정정하는데, 154kV 결상시 T상에 전류는 R,S에 비교해서 $\sqrt{3}$ 배 흘렀다. 이 전류로 과전류 계전기가 동작하는지 검토한다.

발전기 정격 전류는

$$\text{용량}(kVA) = \sqrt{3} \times \text{전류} \times \text{전압} \quad \text{-----3)}$$

$$\text{전류} = \frac{\text{용량}(kVA)}{\sqrt{3} \times \text{전압}} = \frac{50,000}{\sqrt{3} \times 11} = 2,624A \quad \text{-----4)}$$

4) 식에서 정격전류는 2,624A 이며 이 전류는 사고시 T상에 흐른 전류 2,142A(86.1%In) 보다 크므로 과전류 계전기가 동작하지 않을 뿐만 아니라 **발전 설비에도 이상 없을 것으로 판단된다.**

3-4 A 발전소측 변압기용 OCGR 부동작

변압기용 지락 과전류 계전기는 변압기 정격 전류의 30%에 정정한다. 현재 각 발전소의 정정 값은 발전소 준공시 제작자측에서 제공한 정정값이며 임하, 안동 정정 값은 표 3-4와 같다.

<표 3-4> A,B 발전소 지락 과전류 계전기 설정 값

수 력	주 변압기	정격전류		Device No	CT비	T A P	CT 1차전류 (%In)
		TR 1차	TR 2차				
A	51.5 MVA	193A	2,703A	151	400/5A	6A	480A(248.7%)
				151G	250/5A	4A	200A(103.6%)
B	27.8 MVA	104A	1,529A	151T	150/5A	4A	120A(115.4%)
				151NT	150/5A	1A	30A(28.8%)

표 3-4에 나타났듯이 A발전소 OCGR 은 영상전류가 200A 가 이상이어야 동작하나, B 발전소의 OCGR 이 항상 동작하지 않고 2번에 걸쳐 나타난 것으로 판단컨데, 30A 정도 영상 전류 흐른 것으로 판단되므로 A발전소의 OCGR 부동작이 정동작이다.

3-5 송전선 보호 계전기 51GT 동작 검토

51GT(단선 경보) 의 동작 원리는 각 상의 전류를 검출했을 때 상 전류 편차만큼 영상분 전류가 흐르는데 결상시 동작은 정상적이다.

4. 결 론

154kV 계통의 차단기 A 상 결상 사고시에 첫째, A 및 B 수력에서 발생한 보호 계전기 동작은 정상적이다. 둘째, A수력 1호기 발전기 및 변압기 또한 출력이 약30MW 로 정격 출력에 약60% 이었으므로 문제가 없을 것으로 판단된다.

셋째, A수력의 OCGR 의 설정치는 정격전류의 30% 를 훨씬 상회하는 200% 이므로 재 정정을 요한다.

넷째, 송전선 단선 경보시 ALARM 으로 설정된 것은 변압기 충전시 유입되는 돌입전류에 TRIP 되지 않도록 설정된 것으로서, 향후 TRIP 으로 변경할 것인지에 대한 것은 재검토를 요한다.

[참 고 문 헌]

- [1] 기타리(주) "보호계전시스템의 실무활용기술", pp. 221~436, 1975.03.31
- [2] 한국전력공사, "한국전력계통보호(II)", pp. 161~179, 2003.7
- [3] P.M. Anderson, A.A. Fouad "POWER SYSTEM CONTROL AND STABILITY", pp. 401~403, McGraw-Hill, Inc, 2003.