

고조파 공진으로 인한 엘리베이터 정지사례 분석

조남훈

한국전력공사 전력연구원

Case Study of Resonant Interaction with Elevator

CHO NAM-HUN

Abstract - 전력품질 저하로 인하여 수용가 설비에 문제가 발생되었을 경우, 전력품질의 유지 및 관리 책임이 있는 전력회사(판매회사)는 전력품질 저하원인을 규명하여야 한다. 이 경우 전력품질 향상에 필요한 소요 비용은 전력품질 저하원인 제공자가 부담하는 것이 원칙이며, 전력품질 원인 제공자가 전력회사로부터 계속 전력을 공급받기 위해서 수용가는 전력품질 향상을 위한 대책들을 전력회사에 제시하여야 하며, 그 중 비용이 가장 적은 방법을 선택할 수 있다. 이 경우 전력회사는 최선을 다하여 수용가 및 전력회사 측면에서 적절한 대책이 수립될 수 있도록 기술적으로 협조하여야 한다.

1. 서 론

대전 지역에서 송전계통 및 배전계통의 고장발생이 없었음에도 불구하고 고압 수용가의 2차측에서 플리커(형광등 깜빡거림), 엘리베이터 정지 등의 문제가 수차례 발생하였다.

순간 전압변동의 원인을 해당 변전소 캐패시터 소손, 캐패시터 투입과 OLTC 조작으로 인한 전압변동, 고조파 공진 등을 원인으로 추정하고 같은 전압변동 원인 분석을 실시하였다. 정전이 발생된 변전소 모선 전압과 전류, 캐패시터 뱅크의 전압과 전류, 덕진과 항공 D/L의 전류, 세종아파트의 MOF와 엘리베이터 전용의 변압기 2차측의 전압과 전류를 분석하였다.

분석결과 변전소의 캐패시터 뱅크의 콘덴서, 리액터, 방전코일의 조사 결과 열화 및 소손이 없었으며, 4차 고조파에 공진이 되도록 설정된 것도 측정을 통해 이상 없음을 확인하였다. 사고재현을 위해 이전과 동일하게 변전소 캐패시터 조작을 수행했으나 엘리베이터가 중단되는 현상은 일어나지 않았지만 고압측의 콘덴서를 투입하였을 때 수용가측의 저압변압기 2차측에서 15% 이상 전압변동이 확대됨을 확인하였다.

분석결과 수용가 변압기 2차측 무효전력 보상을 위하여 설치된 커패시터로 인하여 변전소 SC 투입시 발생된 전압변동이 수용가 변압기 2차측에서 확대되어 수용가측 엘리베이터가 정지된 것으로 고장원인이 밝혀졌다.

2. 본 론

2.1 사고개요

사고발생시 수용가 측의 전력품질 저하로 다음과 같은 현상이 발생하였다.

가. 변전소 및 선로 : D 변전소 D#1, 항공, DD/L

나. 고장원인 : 원인불명(4차례)

다. 내용 : 계통 및 배전선로의 고장발생이 없음에도 고압고객의 순간전압강하에 의한 형광등 깜빡거림, 엘리베이터 순간정지 등 민원발생

라. 기타

순간전압강하가 변전소 스타콘 투입시 간대에 발생되

로 스타콘 투입에 따른 원인으로 추정됨

2.2 사고원인 분석 계획

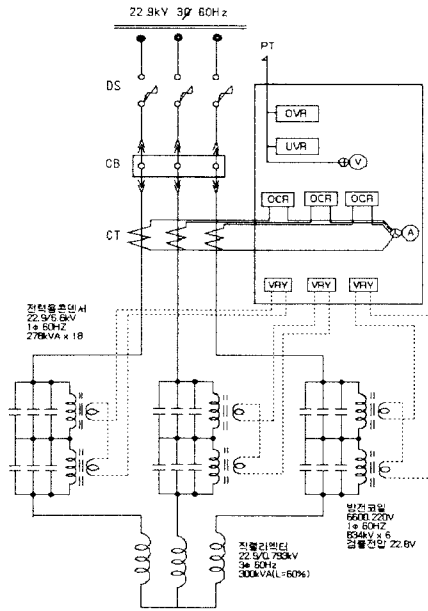
사고원인 추정 및 사고 분석 방안을 다음과 같이 계획하였다.

가. D변전소 #1-1SC, 2SC Bank의 콘덴서 및 리액터 이상유무 진단 및 분석(변전소에 설치된 SC 뱅크 실측 및 분석)

나. D변전소 #1-1SC, 2SC Bank 투입시 과도현상 측정 데이터 분석(SC 뱅크 투입시 과도현상 및 순간 전압변동 원인 분석을 위한 D 변전소 OLTC 및 SC 1차 조작시험 시행)

다. D변전소 #1-1SC, 2SC Bank 투입시 과도현상 및 수용가의 고조파 발생에 따른 공진 영향 분석(SC 뱅크 투입시 과도현상 및 수용가의 고조파 발생에 따른 공진 영향 분석을 위한 D 변전소 OLTC 및 SC 2차 조작시험 시행 계획)

D변전소에 설치된 22.9kV 콘덴서 뱅크 단선도는 다음과 같다.



<그림 1> 콘덴서 뱅크 단선도

2.2.1 SC Bank 기기 진단 결과

- (1) 부분별 및 상별 콘덴서 소자값 측정 결과
- (가) 부분별 콘덴서 소자값 측정 결과
- 부분별(3개 병렬단위) 콘덴서 SPEC값: 50.787 [μF]

A상	리액터측		판정	SPEC.
	Ca1	Ca2		
측정 콘덴서 값	51.06[μF]	50.57[μF]	정상	50.787[μF]
측정 절연저항 값	177[MΩ]	180[MΩ]		
B상	리액터측		판정	SPEC.
	Cb1	Cb2		
측정 콘덴서 값	51.07[μF]	51.13[μF]	정상	50.787[μF]
측정 절연저항 값	200[MΩ]	168[MΩ]		
C상	리액터측		판정	SPEC.
	Cc1	Cc2		
측정 콘덴서 값	51.02[μF]	50.82[μF]	정상	50.787[μF]
측정 절연저항 값	177[MΩ]	170[MΩ]		

- (나) 상별 콘덴서 소자값 측정 결과
- 한 상당 콘덴서 정격값: 25.394[μF]

상	측정 콘덴서 값[μF]	증감분[μF]	판정	SPEC.[μF]
A	25.41	- 0.016	정상	25.394
B	25.55	- 0.156		
C	25.46	- 0.066		

- (다) 콘덴서 소자값 측정 결과 요약
- 각 상 콘덴서 측정 결과, 콘덴서 값은 0.675[%] 이내로 용량값이 변동하고 있으며, 절연저항 값이 170[MΩ] 이상으로 운전되고 있으므로 정상으로 판단되었다.
- 만일, 콘덴서가 불량이라면, 용량값이 SPEC값보다 값이 크게 변했거나, 절연레벨이 낮아져, 절연저항이 수십[kΩ]으로 작용 할 것이며, 외관상 부피가 부풀어 오른 현상으로 알 수 있을 것이다.

- (2) 리액터 소자값 측정 결과
- (가) 리액터 소자값 측정 결과
- 리액터 소자의 정격값 (SPEC.) = 16.694 mH

주파수 [Hz]	A상	B상	C상	판정	SPEC. [mH]
	L[mH]	L[mH]	L[mH]		
60	12.616 (√4.018)	12.651 (√4.043)	12.672 (√4.022)	대	16.694 (60Hz 기준 값임)
180	12.145	12.143	12.078	책	
300	12.194	12.184	12.154	요	
420	12.080	12.061	12.037	구	
540	12.037	12.067	11.980		

- (나) 리액터 소자값 측정 결과 요약
- L값이 SPEC. 값보다 낮게 작용하고 있으며, 차단기 투입시나 차단시 마다 리액터가 점점 열화되고 있다고 판단되므로, 리액터에 대한 보호대책이 요구된다.
- L값이 적어지므로 공진주파수가 정상상태에서 상시 존재하고 있는 제5고조파(300Hz) 영역에 접근하고 있지만 아직까지는 큰 문제는 없다.

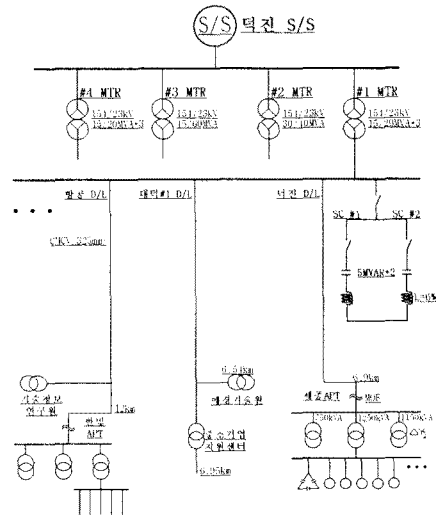
- (3) 방전코일 임피던스 측정 결과

상[Ph asc]	주파수 [Hz]	리액터측 방전코일		차단기측 방전코일		판정
		R[Ω]	L[H]	R[Ω]	L[H]	
A상	300	4540.6	5.330	5392.1	6.074	정상
	180	4601.5	4.722	4950.0	5.289	
	60	4280.5	1.169	4585.7	0.971	
B상	300	4636.6	5.378	5215.0	5.595	정상
	180	4699.2	4.724	4840.9	4.706	
	60	4404.9	0.955	4514.3	1.321	
C상	300	4713.8	5.318	4849.8	5.401	정상
	180	4672.3	4.701	4802.4	4.968	
	60	4363.4	1.068	4568.8	1.446	

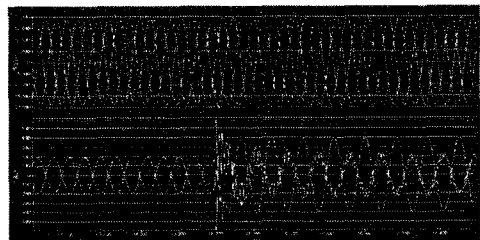
· 특별히 스팩 값이 정해지지 않았고 방전 코일간 상호 비교하여 볼 때, 크게 변화된 것이 없으므로, 정상적으로 운용되고 있다고 판단된다.

2.2.2 콘덴서 투입시 측정데이터

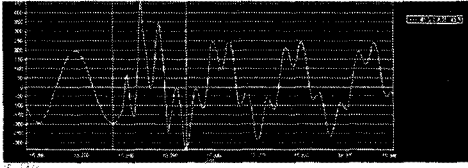
콘덴서(SC) 투입시 고조파 전류 및 전압을 측정할 결과를 다음 그림에 보였다. 측정결과 6%의 직렬리액터를 사용하였기 때문에 콘덴서 및 리액터가 정상이라면 콘덴서가 설치된 곳에서 4고조파 직렬 직렬공진이 되어야 하는데 측정결과 4고조파 직렬공진이 됨을 확인하였으나 따라서 콘덴서 및 리액터의 물리적인 결합은 없다고 판단하였다.



<그림 2> 계측기 설치 및 측정위치

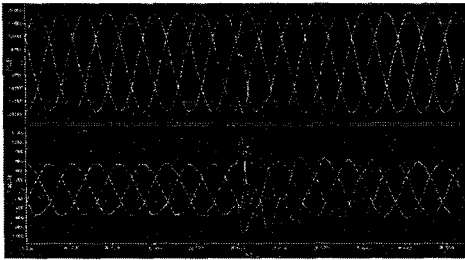


<그림 3> 콘덴서 투입후 SC#1의 측정파형

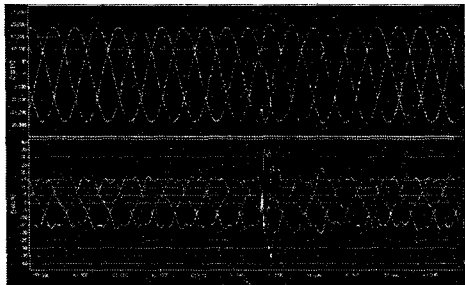


<그림 4> 콘덴서 투입후 SC#1의 1상 전류 측정파형

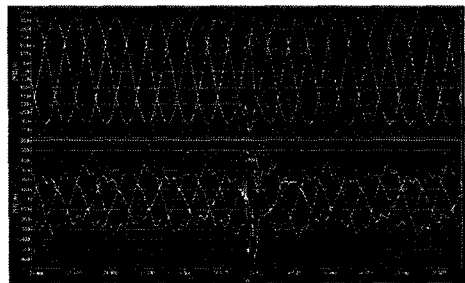
다음은 콘덴서 투입과 동시에 발생된 과도전압을 변전소 모선측, 수용가 1차 MOF측, 수용가 변압기 2차 모선에서 측정된 결과를 각 <그림 5>, <그림 6>, <그림 7>에 보였다.



<그림 5> 변전소 모선 전압 측정 파형



<그림 6> 수용가 1차측 MOF에서의 전압 측정 파형



<그림 7> 수용가 변압기 2차측 전압 측정 파형

측정 및 분석 결과 변전소의 캐패시터 뱅크의 콘덴서, 리액터, 방전코일의 조사 결과 열화 및 손손이 없었으며, 4차 고조파에 공진이 되도록 설정된 것도 측정을 통해 이상 없음을 확인하였다. 사고재현을 위해 이전과 동일하게 변전소 캐패시터 조작을 수행했으나 엘리베이터가 중단되는 현상은 일어나지 않았지만 고압측의 콘덴서를

투입하였을때 수용가측의 저압변압기 2차측에서 15% 이상 전압변동이 확대됨을 확인하였다.

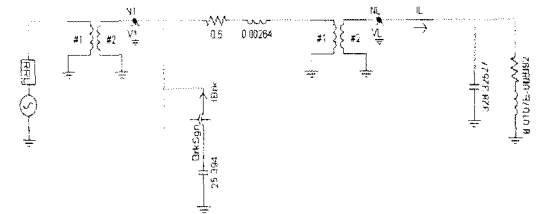
분석결과 수용가 변압기 2차측 무효전력 보상을 위하여 설치된 커패시터로 인하여 변전소 SC 투입시 발생된 과도전압 변동이 저압 콘덴서가 부설된 수용가 변압기 2차측에서 확대되어 수용가측 엘리베이터가 정지된 것으로 고장원인을 밝혔다.

2.2.3 EMTDC 시뮬레이션 결과

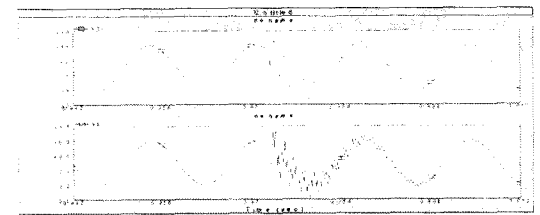
변전소 #1 및 #2 SC Bank 투입시 과도현상 및 수용가의 고조파 발생에 따른 공진 영향을 분석하기 위해 시뮬레이션을 다음과 같이 하였다.

변전소의 과도현상 및 수용가의 고조파 발생에 따른 공진현상을 보기 위해 간단한 회로도를 단상으로 그림 8(a)와 그림 9(a)같이 구성하였다. 그림 8(a)는 수용가에 무효전력 보상 콘덴서에 리액턴스가 없을 때의 회로도이고, 그림 9(a)는 무효전력 보상 콘덴서의 6% 리액턴스가 있을 때의 회로도이다.

리액터가 없는 그림 8(a)에서는 8(b)의 파형과 같이 모선측에서의 파형은 변화가 심하지 않지만 부하측에서의 파형 변화가 심하게 변화하는것을 볼 수 있었다. 리액터가 있는 그림 9(a)에서는 9(b)의 파형과 같이 모선측과 부하측의 파형 변화가 비슷하게 나타나고, 부하측의 파형을 보면 심한 파형굴곡이 생기지 않았다. 따라서 부하측에 콘덴서에 6%의 리액턴스로 인해 심한 파형굴곡이 생기지 않았음을 알 수 있었다. 이는 공진 확대 현상을 줄여줄 수 있음을 간단한 시뮬레이션 결과로 보았다.

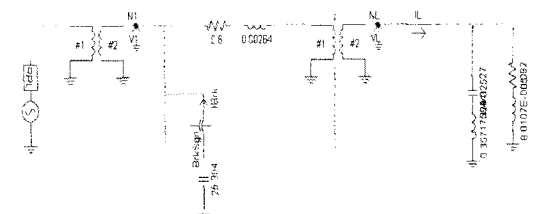


(a) 회로도

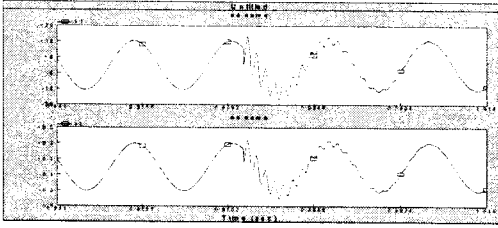


(b) 파형

<그림 8> 수용가에 리액턴스가 없을 때



(a) 회로도



(b) 파형

<그림 9> 수용가에 리액턴스가 있을 때

3. 결 론

본 논문에서 고압측의 콘덴서를 투입시 과도현상의 크기가 콘덴서가 설치된 수용가 변압기 2차측에서 확대됨을 확인하였다. 변전소에서는 경제성을 고려한 상위계통의 효과적인 전압제어를 위해 SC 운전은 반드시 필요하다. 그렇기 때문에 근본적인 SC 투입 시 서지의 발생은 피할 수 없다. 따라서 이런 동일한 문제점이 타 변전소에서도 발생할 가능성은 많다. 이 경우 공진점만 피할 수 있도록 시스템을 재배치하면 쉽게 해결할 수 있다는 것을 제시하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사 배전처, "배전실무 교육교재", 한국전력공사, 배전처, pp3, 2001. 3.