

345kV 서대구변전소 SVC 고조파해석

이강완*, 임주일*, 서순교**

(*대화기술단, **한국전력공사)

1. 서 론

국가경제 발전과 국민문화 생활의 원동력인 전력수요는 지속적으로 증가되고 있으며, 이와 같은 전력수요 증가에 대응하도록 전원설비 신·증설 및 송·변전설비의 규모확대가 점진적으로 이루어지고 있다. 그러나 오늘날 신규전원 입지 확보는 환경문제 또는 집단민원 등으로 인하여 매우 어려워지고 있어 현재 운전중인 발전소 부지나 이미 확보된 발전소 입지에 대단위 전원단지가 형성되는 실정이다. 또한 대단위 전원단지에서 발전된 전력을 원거리 수요지점까지 대량의 전력이 송전되어야 한다. 이와 같이 전원이 일정 지역에 편중되고 발전단지에서 수요지점까지 대 전력을 송전함에 있어 계통불안정과 고장용량 증대 등 많은 전력계통 문제가 발생하고 있다.

전력계통이 안정도 측면에서 취약하게 되면 부하변동, 전원 탈락 및 단락사고와 같은 전력계통에서 발생 가능한 사고 발생시 전력설비가 평형 상태를 유지하지 못하고 동기발전기가 탈조하거나 또는 계통이 붕괴 될 수 있다.

오늘날에는 지역내 수요와 발전의 불균형으로 인한 전압 강하가 어느 한계를 초과하게 되면 전압강하가 계속되고 이 전압강하가 다시 전기기기의 부하전류를 증가시켜 또다시 전압강하가 일어나게 하는 악순환이 반복되어 전압이 붕괴 상태로 진행하게 된다. 전압불안정 또는 전압붕괴까지 도달하는데 소요되는 시간은 수초이하에서 수분까지 다양하다. 표 1에 나타난 것과 같이 세계 여러 곳에서 발생한 대정전 사고사례에 의하면 전압안정도와 회전각안정도의 구분이 불분명하다. 즉, 동기화력 상실로 전압이 붕괴된 것인지 또는 전압붕괴로 동기화력이 상실된 것인지 구분이 명확하지 않다.

전력계통 운용의 기본 목표는 양질의 전력을 높은 신뢰도를

유지하며 경제적인 생산공급을 달성하는 것이다. 양질의 전력이란 주파수와 전압이 규정치 이내로 유지되는가 여부이다. 전력계통의 수요는 끊임없이 변동한다. 따라서 수요 변화로 발전과 수요간에 불균형이 발생하게되고 이 불균형으로 인하여 계통 주파수가 변하게된다. 주파수는 유효전력과 밀접한 관계를 갖는 전력계통 전체의 동적 요소인 반면에 전압은 무효전력과 밀접한 관계를 갖는 지역에 따라 다른 값을 유지하는 국지적인 요소이다. 전력계통의 동적 요소인 주파수와 전압을 규정치 이내로 유지하므로써 전력을 생산하는 전력회사와 전력을 사용하는 수용가 모두에게 이익이 있게 된다.

우리 나라 내륙에 위치하여 전원으로부터 비교적 멀리 떨어져있는 대수용지점인 345kV서대구변전소는 전력계통 구성상 전압안정도에 취약하고 비교적 전압변동율이 큰 대 전력 용통의 요충지이다. 이와 같이 전압변동율과 전압안정도가 취약한 경우 발전기를 설치하거나 또는 동기조상기를 설치하여 이를 개선할 수 있다. 그러나 발전소 냉각수 확보 문제, 연료수송 및 발전소 부지 확보의 어려움 등으로 서대구변전소 인접지역에 발전소 건설은 매우 어려운 실정이고, 동기조상기는 회전기기이므로 유지보수 비용이 많이 들고 운전손실이 커서 특수한 경우를 제외하고는 오늘날 거의 사용되지 않고 있다. 따라서 전압안정도와 전압변동을 향상을 위하여 효율적이고 경제적인 $\pm 100\text{MVAR}$, 정지형무효전력보상설비(static var compensator :SVC)를 설치1999년 6월부터 운전되고 있으나, 1999년 7월 17일 01:05분 경에 서대구변전소 154kV모선에 설치되어있는 50MVAR 전력용콘덴서에 직렬로 접속되어있는 건식공심 리액터가 소손되었다. 따라서 SVC 및 인접 전력계통의 고조파를 분석하여 필요한 대처 방안을 제시하고자 한다.

SVC는 기존의 무효전력 조정설비인 전력용콘덴서 또는 분로리액터에 비하여 제어의 연속성이 구비되어 전압변동의 최

표 1 세계 대정전 사고사례(1)

장소	일시	1차원인	사고과급
일본 관서 지역	65.6.22	落石 (地絡)	가공지선 탈락 275kV T/L Trip(地絡) Gen. Trip 주파수저하 계통불안정 전정전
한국	71.9.27 12:58	전원 탈락 저주파수	서울 T/P #5 Gen. Trip (230MW Trip) 전계통 정전과급 계통출력 1.278MW
뉴욕	77.7.13 20:37	多重雷	T/L Trip 연계선과부하 단독계통, 주파수저하 (59.3Hz) 부하차단 계통전압상승 Gen. Trip(계자상실) 계통불안정 전정전
프랑스	78.12.19 08:27	기온 急降下 부하급증	계통전압저하(08:00) T/L과부하 Trip(08:27) 전계통 정전과급 (수십초후)
미서부 캐나다	82.12.22	强風	500kV T/L Trip(2회선) 계통동요 Gen. Trip 주파수저하 계통분리 광역정전
스웨덴	83.12.27 12:57	단로기 과열	단로기 파괴 모선지락(12:57) 남북연계선로 Trip(2) 계통전압저하 (400kV→350kV) 과부하 남북 연계선로 Trip(5) 계통전압붕괴(53~56초) 남북 연계선로 Trip 주파수저하(2~4Hz) 원자력긴급정지(9기) 전정전

표 1 세계 대정전 사고사례(2)

장소	일시	1차원인	사고과급
동경	87.7.23 13:19	酷暑 냉방수요 급증	계통전압저하(13:00) 전압불안정현상 (13:02~13:19) 변전소 3개소 Ry 동작 (13:19) 부하차단
미서부 캐나다	94.12.14 00:26	地絡	345kV #1T/L Trip(1선지락) #2T/L Trip(전류반전) Gen. Trip(1,900MW, 안정 화장치) 345kV T/L Trip (저전압) 계통분리(4지역) 주파수저하 (58.2Hz) 부하차단 광역정전
미서부 캐나다	96.7.2 14:24 96.7.3 14:04 96.8.10 15:48	酷暑 地絡	345kV (500kV) #1T/L Trip (地絡) #2T/L Trip(오동작) Gen. Trip(1,000MW, 안정 화장치) 230kV T/L Trip (저전압, 과 부하) 500kV T/L 3회선 Trip 전압붕괴 계통분리(5지역) 수급불균형 광역정전
말레이 시아	96.8.3 17:17	遮斷器 故障	Gen. Trip (922MW, Ry Pickup) 주파수저하 부하차단(UFR) 全 Gen. Trip 전정전
미동북부 캐나다	98.1.5	暴雪, 結氷	Htdro-Quebec社 130기의 735kV 철탍등 300기 파괴 Niagara Mohawk Power Co. 및 Central Maine社 송·배전설비 피해
대만	99.7.29 23:30	산사태 철탍도괴	345kV 1 루트 정지 인근 345kV 1개 루트 정지 (과부하 및 저전압 예상) 계통분리(2지역) 계통불안정 전정전

소화로 고품질 전력공급에 기여하고, 제어 목표인 전압을 입력하여 빠른 응답속도로 소요용량이 자동 조정되므로 과도안정도와 전압안정도를 크게 향상시키게되어 전력공급의 신뢰성을 높이게 된다.

2. 345kV서대구변전소 SVC

SVC는 무효전력 설비 구성 방식에 따라 TCR-TSC, TCR-FC, TCR-MSVC, 및 TSR-TSC 등이 있으나 서대구 변전소에 설치된 SVC는 전력손실이 가장 적고 응답속도가 빨라 전압안정도 및 회전자안정도 특성이 좋은 TCR-TSC(thyristor controlled reactor-thyristor switched capacitor)방식으로서 이의 주요사양은 다음과 같다.

SVC

- 구성방식 : TCR/TSC
- 공칭정격 : 진상100MVAR ~지상100MVAR
- 결합용변압기
- 정격전압 : 345/13.5kV
- 결선 : YNd1
- 용량 : 105MVA
- 임피던스 : 10%

TCR

- 형식 : 건식공심리액터
- 정격전압 : 13.5kV
- 결선 : 4결선, 상당 2 Unit
- 최대전류 : 2640A
- 리액턴스 : 4.92Ω/상
- 정격용량 : 102.9MVAR

TSC

- 정격전압 : 17kV
- 리액턴스 : 6.27Ω/상
- 정격용량 : 138.2MVAR (cell 당 8500V, 42.3μF)
- 직렬리액터 : 13.5kV, 0.31Ω/상
(Tuning Frequency : 270Hz)

Thyristor Valve

- TSC Valve : 14.9kV/2640A, Thyristor 17개
(Redundant 2개 포함)
- TCR Valve : 14.9kV/2790A, Thyristor 8개
(Redundant 1개 포함)

3. 고조파 장애

SVC는 전력변환 사이리스터의 비선형스위칭 동작으로 고조파를 발생한다. 전력계통에 발생한 고조파전류 또는 전압

은 인접 전력설비에 흐르거나 인가되어 다음과 같은 여러 가지 나쁜 영향을 미치게된다.

- 전력용콘덴서 과열 또는 고장
- 리액터 과열 또는 고장
- 전력케이블 절연열화 또는 고장
- 변압기 절연열화 또는 고장
- 회전기기의 과열
- 개폐장치 고장
- PLC 또는 마이크로프로세서를 이용한 자동화 및 제어설비 오동작 또는 부동작
- 보호계전기 오동작 또는 부동작
- 통신 장애

특히 전력계통에서 고조파가 발생하게 되면 유도성리액턴스와 용량성리액턴스(L-C) 회로의 직렬 또는 병렬형태로 공진이 발생할 수 있으며, 공진이 발생하면 변압기, 리액터 및 콘덴서와 같은 전기기기 또는 전력케이블 절연이 파괴되는 대형 사고가 일어나게 된다.

SVC가 설치되어있는 345kV서대구변전소에는 154kV 및 22.9kV 전력계통에 충분한 무효전력 제어를 위하여 뱅크별로 운전되는 전력용콘덴서와 분로리액터가 동시 설치되어있다. 따라서 이와 같은 콘덴서 또는 리액터가 다른 전력설비와 직렬 또는 병렬공진 회로를 형성하여 특정고조파 공진조건을 만들 수 있다. 그러므로 고조파 발생원이 있는 전력계통에 콘덴서, 콘덴서에 관련한 리액터 또는 분로리액터 등을 설치하고자 할 때 또는 그 반대로 콘덴서, 콘덴서에 관련한 리액터 또는 분로리액터가 있는 전력계통에 고조파 발생원을 설치하고자 할 때는 사전에 고조파를 예측하고 예측 결과 고조파 과다 여하에 따라 고조파에 의한 공진 가능성을 검토하고 대책을 수립해야 한다.

고조파 발생이 우려되는 전력계통의 신증설 또는 변경시 그리고 고조파로 인하여 전력계통에 문제가 발생하는 경우 고조파를 해석 또는 분석해야하고, 고조파 해석 결과에 따라 고조파 억제 대책이 강구되어야한다. 다음은 전력계통에서 고조파 분석이 필요한 경우를 열거한 것이다.

- 사이리스터와 같은 전력변환 장치가 설치될 때
- 고조파 발생설비와 콘덴서뱅크 또는 리액터뱅크가 결합된 전력계통 변경 또는 신·증설시
- 콘덴서, 리액터, 차단기, 변압기 또는 케이블의 고장과 같이 고조파 관련 문제가 발생된 경우
- 보호계전기 또는 PLC와 같은 공정제어 자동화 설비가 오동작하는 경우
- 고조파 유입이 제한치를 벗어난 경우

고조파 해석은 정상상태의 일반적인 조류계산과 계통의 스위칭 조건에 따른 모의 가능한 모든 고조파 전력조류계산으

로 이루어진다. 전력계통에서 보통 모의되는 고조파범위는 제5고조파(300Hz)에서 제37고조파(2220Hz)까지이다.

4. 고조파 해석

전력품질 향상을 위한 원활한 전압 조정과 전력공급 신뢰도를 높이기 위한 전압안정도 향상을 목표로 SVC가 설치되어 운전되고있는 345kV 서대구변전소에서 1999년 7월 16일 01:05분경 154kV 모선측에 연결되어 운전되고 있던 전력용 콘덴서의 직렬리액터 B상이 소손되는 사고가 발생하였다. 소손된 직렬리액터와 전력용콘덴서 특성은 다음과 같다.

- 154kV 전력용콘덴서
- 용량 : 50MVAR
- 전압 : 154kV
- 리액턴스 : 80.1mH
- 캐패시턴스 : 5.265μF

여기서 리액턴스와 캐패시턴스는 상당 인덕턴스와 캐패시턴스이다. 따라서 소손된 리액터가 캐패시턴스와 결합하여 공진을 일으킬 수 있는 Tuning주파수 f_c 는 다음과 같다.

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$= \frac{1}{2 \times \pi \times \sqrt{80.1 \times 10^{-3} \times 5.265 \times 10^{-6}}}$$

$$= 245\text{Hz}$$

$$= \frac{245\text{Hz}}{60\text{Hz}} = 4.08$$

4.08조파는 6펄스 TCR에서 가장 큰 고조파가 나타나는 제 5고조파와 비교적 가깝다. 따라서 고조파해석에서 154kV모선의 주파수대 또는 조파별 등가임피던스 검토가 요구된다.

SVC에서 발생하는 고조파전류는 이의 운전 조건에 따라 그 크기가 다르게 나타난다. 현재 345kV 서대구변전소에 적용한 TCR-TSC형태의 경우 TCR과 병렬형태로 구성되어있는 전력용콘덴서의 투입 여하에 따라 고조파전류 크기가 다르게 된다. 즉, TSC가 모두 개방된 상태에서 가장 큰 고조파전류가 발생한다.

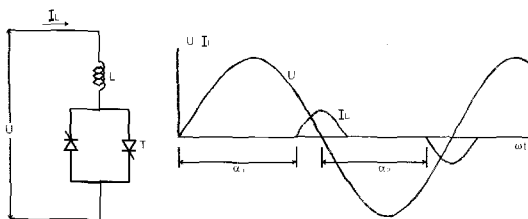


그림 1 TCR 및 전압과 전류파형

고조파 발생원인 TCR은 사이리스터 스위칭에 따라 리액터 값이 연속으로 변환되며, 스위칭 동작에 의해 고조파가 발생된다. 그림 1은 TCR 및 전압과 전류 파형을 나타낸 것이다.

점호각 α 는 사이리스터가 전방향 바이어스 되는 점을 측정 한 것으로 90° 에서 180° 까지 변화한다. 점호각이 90° 일때는 사이리스터 밸브는 도통 상태가 되어 전류는 정현파가 된다. 반면에 점호각이 180° 이면 사이리스터는 개방 상태가 된다.

TCR의 사이리스터 점호각에 따라 전류는 다음과 같이 표현된다.

$$u = U_m \cos \omega t$$

$$i = I_m \left\{ \sin \omega t - (-1)^k \sin \left(\frac{1}{2} \pi + \pi - \alpha \right) \right\}$$

여기서

$$\pi \left(k + \frac{1}{2} \right) - (\pi - \alpha) \leq \omega t \leq \pi \left(k + \frac{1}{2} \right) \pm \pi - \alpha$$

$$k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

위 조건이 아닐 경우는 $i = 0$ 전류파형을 푸리에급수로 전개 하면 고조파성분이 다음과 같이 전개된다.

$$\frac{I_i}{I_m} = \frac{1}{2} \{ 2(\pi - \alpha) - \sin 2(\pi - \alpha) \}$$

$$\frac{I_h}{I_m} = \frac{1}{\pi} \frac{2}{\pi} \left\{ \frac{\sin(h-1)(\pi - \alpha)}{h-1} - \frac{\sin(h+1)(\pi - \alpha)}{h+1} \right\}$$

$$h = 2k + 1, k = 1, 2, 3, \dots$$

여기서

- I_1 : 기본파전류
- I_h : 차수h 기수 고조파전류
- I_m : 완전 전도시 리액터전류

그림 2는 TCR의 점호각에 대한 기본파 및 고조파전류를 도해한 것이다.

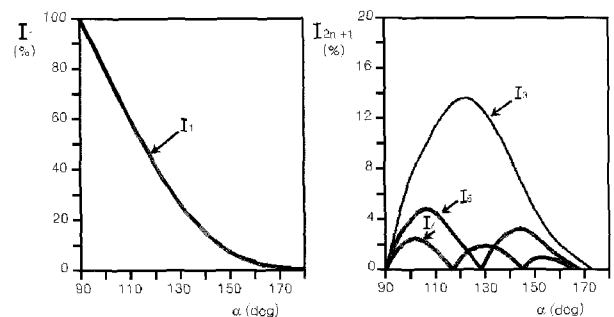


그림 2 TCR 점호각대 기본파 및 고조파전류

여기에 나타난 것과 같이 TCR에 의해 발생하는 기본파 및 고조파전류의 크기는 점호각에 따라 크기가 다르게 나타난다. 따라서 고조파해석 또는 분석을 위해서는 TCR의 점호각에 변화를 주어서 결과를 도출해 내야한다.

5. 고조파 해석 결과

345kV 서대구변전소에 설치되어있는 SVC에서 발생하는 고조파를 조사하고 이 고조파가 인접 전력계통에 미치는 영향을 검토하기 위해 캐나다의 CYME INTERNATIONAL INC.에서 개발한 조류계산, 고장전류계산 및 고조파해석 프로그램을 이용하여 전력계통을 모의하고 고조파를 계산하였다.

고조파 해석을 위한 전원측 축약은 고장전류계산 결과로부터 345kV 서대구변전소 모선에 전류원을 두는 것으로 다음과 같이 모의 하였다.

- 전류원 전류 : 35.7kA
- 전류 각도 : -86.4°
- 등가임피던스 : 0.0003 + j0.0047 p.u.
- 100MVA 기준

345kV서대구변전소 SVC 모의

- 필스수 : 6
- 선간전압 : 13.5kV
- 점호각 : 105°, 120°, 135°, 150°, 165°
- 등가인덕턴스 : 13.05mH

부하 모의는 서대구변전소 154kV 모선에 유효전력 578MW와 무효전력 280MVAR이 집중되어 있는 것으로 하였다.

서대구변전소 고조파 해석결과에 따라 그림 3은 154kV 모선 주파수 대 등가임피던스를 도해한 것이다. 임피던스가 가장 크게 나타나는 지점은 306Hz(5.1차)로서 19600Ω이고, 최저점은 346Hz(5.8차)에서 301Ω이 되었다. 최저점은 비교적 큰 인피던스로 직렬공진의 우려가 없는 반면에 최고임피던스는 비교적 큰 값으로 고조파 성분이 가장 큰 제5고조파와 매우 가까워 병렬공진 가능성을 검토해야한다. 즉, 제5고조파 성분이 클 경우 이를 피할 수 있도록 고조파 발생원 근처에 고조파용 필터 설치를 고려해야 한다.

SVC에 의해 발생하는 기본파 및 고조파의 크기는 TCR 점호각에 따라 다르게 된다. 따라서 TCR 점호각을 105°에서 165°까지 15° 간격으로 변화 시켜가며 고조파를 해석하였다. 표 2는 345kV 서대구변전소 SVC관련 고조파 해석 결과에 의한 총고조파외형율(THD)을 나타낸 것이고, 표 3

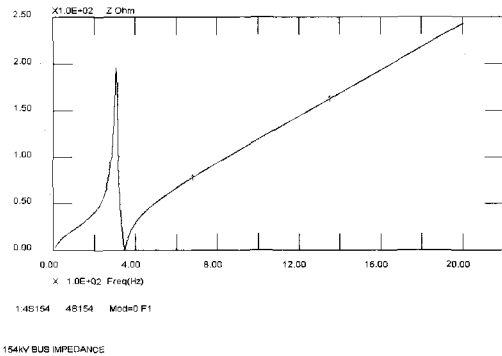


그림 3 서대구변전소 154kV모선 조파별 등가임피던스

표 2 345kV 서대구변전소 THD (단위: %)

점호각	3.5kV SVC모선	345kV모선	154kV모선
105°	4.909	1.754	1.740
120°	2.771	0.990	0.980
135°	2.139	0.758	0.764
150°	2.771	0.990	0.980
165°	0.640	0.227	0.228

표 3 345kV 서대구변전소 I-THD (단위: %)

점호각	3.5kV SVC측	345kV측	154kV측
105°	14.000	0.728	0.284
120°	7.908	0.411	0.161
135°	6.094	0.316	0.123
150°	7.908	0.411	0.161
165°	1.824	0.095	0.036

은 총고조파전류외형율(I-THD)을 나타낸 것이다.

TCR 점호각이 105°일 때 고조파가 가장 많이 나타나고 있으며, TCR에 의한 기본파 크기는 점호각이 90°일 때 가장 큰 값이 되고 점호각이 증가하면 크기가 감소하여 180°일 때 영이 된다. 따라서 점호각이 105°일 때 많은 고조파가 발생되어 전력계통에 흐르게된다. 점호각 120°일 때와 점호각 150°일 때 THD 및 I-THD이 각각 동일하지만 120°점호각에서 기본파전류가 더 크므로 전력계통에 유입되는 고조파전류는 TCR의 점호각이 120°일 때 가 더 크다.

비교적 고조파전류가 많이 발생하는 105° 점호각에서 13.5kV SVC측에서 14.0%고조파 전류가 발생되고 전압의

표 4 345kV 서대구변전소 전압스펙트럼(TCR 점호각 105°)

고조파	주파수	154kV 모선	345kV 모선	13.5kV SVC모선
차수	Freq(Hz)	Volts	Volts	Volts
1	60	88510.00	199200.00	8149.00
5	300	1537.00	3487.00	399.30
7	420	91.09	206.80	24.26
11	660	3.92	8.90	1.06
13	780	1.85	4.20	0.50
17	1020	3.08	6.99	0.84
19	1140	2.17	4.94	0.59
23	1380	0.33	0.76	0.09
25	1500	0.24	0.54	0.06
29	1740	0.58	1.32	0.16
31	1860	0.47	1.08	0.13
35	2100	0.09	0.20	0.02
37	2220	0.07	0.16	0.02
41	2460	0.20	0.46	0.06
43	2580	0.18	0.40	0.05
47	2820	0.04	0.08	0.01
49	2940	0.03	0.07	0.01
PEAK		127493.25	286977.66	12128.53
RMS		88523.39	199230.63	8158.81
THD %		1.7396	1.7535	4.9090

* 전압은 상전압을 나타낸다.

형은 4.909%가 되어 고조파 함유율이 많은 것으로 나타나지만 결합용변압기인 345/13.5kV, 105MVA를 거치면서 급격히 감소되어 전력용콘덴서 직렬리액터가 소손된 154kV측 전압의형은 1.74%로 전류의형은 0.284%로서 비교적 적은 고조파가 함유된 것으로 나타났다.

고조파해석 결과 345kV 및 154kV측에 비교적 고조파전력이 적게 나타난 것은 SVC가 설치된 서대구변전소 345kV 등가단락용량이 매우 커서 발생 고조파전류가 상대적으로 작아 이의 영향이 적어지기 때문이다.

표 4와 표 5는 각각 고조파가 비교적 많이 발생하는 TCR 점호각 105°에서 전압스펙트럼과 전류스펙트럼을 나타낸 것이다. 전압과 전류스펙트럼에 나타난 것처럼 제5고조파가 비교적 크게 나타나고 있다. 이는 6펄스 TCR에서 발생하는 고조파는 5,7,11,13,··· 차고조파를 발생시키기 때문이다.

6. 고조파 측정

전력계통에서 고조파가 의심될 경우 해당 개소의 고조파를

표 5 345kV 서대구변전소 전류스펙트럼(TCR 점호각 105°)

고조파	주파수	154kV 측	345kV SVC	345kV 측
차수	Freq(Hz)	Amps	Amp	Amps
1	60	243.00	2190.00	822.30
5	300	0.69	306.30	5.98
7	420	0.03	13.39	0.26
11	660	0.00	0.37	0.01
13	780	0.00	0.15	0.00
17	1020	0.00	0.19	0.00
19	1140	0.00	0.12	0.00
23	1380	0.00	0.02	0.00
25	1500	0.00	0.01	0.00
29	1740	0.00	0.02	0.00
31	1860	0.00	0.02	0.00
35	2100	0.00	0.00	0.00
37	2220	0.00	0.00	0.00
41	2460	0.00	0.01	0.00
43	2580	0.00	0.00	0.00
47	2820	0.00	0.00	0.00
49	2940	0.00	0.00	0.00
PEAK		344.68	3550.53	1171.77
RMS		243.00	2211.36	822.32
THD %		0.2841	13.9997	0.7282

측정하여 어떤 차수의 고조파가 얼마만큼 나타나는지를 알아볼 수 있다. 표 6, 표 7과 표 8은 한국전력공사 전력연구원에서 power system analyzer (type : Arbiter system 931A)를 이용하여 1999년 8월 5일부터 8월 10일까지 서대구변전소 154kV, 345kV 및 중요 T/L 고조파전압 및 전류를 측정 한 결과이다.

THD의 변화는 야간 경부하대가 높았으며, 주간대에는 낮은 것으로 측정되었으며, 이는 고조파에 비하여 전력수요가 작은 시간대에 고조파함유율이 높게 나타나기 때문이며, SVC의 운전 유무에 따른 고조파의 변화는 매우 미미한 것으로 나타났다.

345kV모선에서 SVC운휴시 THD가 낮은 것은 고조파측정 시간대의 영향으로 판단되며 154kV모선의 전압 THD보다 약0.1~0.3%높은 것으로 나타났으며 5고조파 함유율 변화가 크게 나타난 것은 앞에서 보여준 소프트웨어에 의한 고조파 해석 결과와 동일한 결과이다. 즉, SVC에서 발생된 고조파전류가 345/154kV변압기를 거치면서 감쇄되기 때문이다. 표 8에 나타난 것과 같이 SVC에서 발생하는 고조

표 6 서대구변전소 154kV모선 고조파전압 측정표
(단위 : %)

구분	SVC운전중 고조파 측정			SVC유휴중 고조파 측정		
	평균값	최대값	최소값	평균값	최대값	최소값
2고조파	0.016	0.040	0.000	0.017	0.040	0.000
3고조파	0.327	0.370	0.280	0.324	0.370	0.260
4고조파	0.009	0.020	0.000	0.009	0.020	0.000
5고조파	0.532	0.660	0.430	0.544	0.620	0.430
7고조파	0.177	0.250	0.120	0.182	0.220	0.150
9고조파	0.084	0.090	0.070	0.085	0.100	0.070
11고조파	0.033	0.050	0.020	0.034	0.050	0.020
13고조파	0.024	0.030	0.010	0.023	0.030	0.010
THD	0.661	0.767	0.563	0.670	0.745	0.581

표 7 서대구변전소 345kV모선 고조파전압 측정표
(단위 : %)

구분	SVC운전중 고조파 측정			SVC유휴중 고조파 측정		
	평균값	최대값	최소값	평균값	최대값	최소값
2고조파	0.015	0.030	0.000	0.015	0.040	0.000
3고조파	0.404	0.420	0.380	0.468	0.550	0.390
4고조파	0.008	0.020	0.000	0.013	0.030	0.000
5고조파	0.556	0.650	0.510	0.701	0.910	0.540
7고조파	0.290	0.440	0.240	0.288	0.410	0.140
9고조파	0.032	0.070	0.000	0.063	0.150	0.000
11고조파	0.038	0.100	0.000	0.054	0.150	0.000
13고조파	0.028	0.050	0.010	0.042	0.080	0.000
THD	0.753	0.831	0.771	0.906	1.091	0.759

파전류량은 345kV T/L에서 발생하는 수준과 비슷한 것으로 나타났다.

SVC에서 발생된 고조파전류가 유입되는 MTR측 고조파전류가 154kV T/L측 보다 작은 것으로 나타났으며, 이는 수용가 전력설비에 설치되어있는 비선형 전력소자에 의해 발생된 고조파전류가 전력계통에 유입되기 때문일 것으로 판단된다.

7. 결 론

서대구변전소 고조파해석 결과 154kV모선에 인접한 전력설비에 제5고조파에 의한 병렬공진 가능성이 있으나 현재 서대구변전소에 설치되어 있는 SVC에서 소손된 전력용콘덴서의 직렬리액터가 위치한 154kV측으로 유입되는 제5고조파는 비교적 작아 이를 공진 요인으로 보기는 어렵고 오히려 고조파 측정결과에 나타난 것과 같이 수용가 전력설비에 연결되어있는 154kV T/L측에서 유입되는 고조파전류가 더 많은

표 8 서대구변전소 T/L별 고조파전류 측정표
(단위 : A)

전압	T/L명	평균값	최대값	최소값
345kV	SVC	8.26	8.88	7.70
	선산#1	6.41	7.93	5.58
	신포항#	5.57	7.12	3.96
	서대구#1	8.01	9.15	6.81
	서대구#2	8.50	10.26	6.92
	신경산#1	7.51	8.16	6.60
154kV	#1MTR	3.51	4.20	1.22
	#2MTR	3.35	3.64	2.77
	#3MTR	4.27	4.95	3.67
	#4MTR	3.47	4.01	2.58
	남구미#1	6.31	7.36	4.70
	성주#1	4.49	5.20	4.18
	관음#1	4.26	5.66	3.37
	달서#1	4.46	5.25	3.67
	구암#2	4.76	5.38	4.20
	남인동#1	4.29	4.81	3.87
칠곡#1	5.50	8.36	4.13	

것으로 보아 비선형 전력소자를 보유하고있는 이들 수용가의 고조파 저감대책이 필요 할 것으로 여겨진다.

현재 서대구변전소에서 문제가 되고있는 154kV측에는 SVC에서 유입되는 고조파전압과 고조파전류가 매우 작아 문제가 없을 것으로 판단된다. 그러나 서대구변전소 및 인접한 154kV변전소들이 대량의 전력을 수전하는 산업체와 154kV 송전선로로 직접 연계되어있어 산업체로부터 유입되는 고조파전압과 고조파전류를 도외시 할 수 없을 것이다. 오늘날 산업체의 전력설비에는 전력 사용의 경제성 등을 추구할 수 있도록 대전력 변환소자인 싸이리스터 등을 이용한 비선형 전력전자설비 비중이 점진적으로 증가되고있어 이로 인한 고조파전압 및 전류가 전력계통에 점점 더 많이 유입되고 있는 실정이며, 금속 또는 철강관련 산업체에 설치되어있는 아크로 등에서 발생된 불규칙고조파(noncharacteristic harmonics) 전력도 대량으로 전력계통에 유입될 것으로 판단된다.

비선형 대형전력소자 및 아크로 등에서 발생된 고조파는 전력계통에 흘러 전력설비의 절연을 열화시키고, 전력설비에 불필요한 열을 발생시키며 전력설비의 L-C회로와 결합하여 공진을 일으키는 등 많은 피해를 주고 있다. 따라서 전력설비의 신·증설 또는 변경시에는 사전에 전력계통 해석 tool을 이용하여 고조파 발생을 예측하고 필요한 경우 전력계통 구성 변경 또는 고조파 흡수 필터 설치와 같은 적극적인 대처 방안을 수립해야 한다.

참고문헌

- [1] “계통특성 개선 설비 설치 타당성 검토보고서” 한국전력공사 전원계획처 연구보고서 1995.11.
- [2] 박희우, 김준환, 이강완 “154kV 전력계통 방사상 운용 방안 수립에 관한 연구” 한국전력공사 계통운영처, 1997.11.
- [3] 한국전력공사전력연구원보고서 “서대구S/S 154kV S.C용 Reactor소손 원인분석 및 보고서”, 1999. 12.
- [4] 서순교, 오세일 “SVC(Static Var Compensator)의 제어 및 보호” 전력계통보호기술연구회논문집 Vol.3, No.1 pp. 201-213, 1999.11.26
- [5] “PSAF for Windows User's Guide and Reference Manual” CYME International Inc. 1998. 3.
- [6] “PSAF-HARMO for Windows User's Guide and Reference Manual” CYME International Inc. 1998. 3.
- [7] “IEEE Recommended Practice for Industrial Power System Analysis” IEEE, 1990. 5.31.

〈저자소개〉

**이강완(李康玩)**

1946년 1월 7일생. 1974년 인하대 전기공학과 졸업. 1974년부터 1987년까지 한국전력 근무. 1987년부터 현재 대학기술단 소장.

**임주일(林柱一)**

1935년 2월 20일생. 1958년 서울대 전기공학과 졸업. 1958년부터 1993년까지 한국전력 근무. 1995년 한국전력 전력연구원 위촉연구원. 1997년부터 현재 대학기술단 기술역.

**서순교(徐舜敎)**

1949년 12월생. 1971년 영남대 전기공학과 졸업. 1971년부터 한국전력공사 근무. 현재 한국전력 전력연구원 책임연구원.