

전력계통 해석 ②

글/이강완 대화기술단 기술사사무소/기술사
 ☎ 02)568-5680, daehwaen@unitel.co.kr

라. 전동기 기동 해석

전력에너지를 사용하는 산업체에는 많은 전동기들이 사용되고 있으며 오늘날 에너지 이용의 경제성 등으로 인하여 이들 전동기들은 그 용량이 점차 증대되고 있는 추세이다.

전동기는 기동시 기동전류로 인하여 전압강하가 발생한다. 전력계통에서 대형 전동기 기동시 전압강하로 자기 자신의 어려움은 물론 인접한 모선 전압 저하로 자기 이외의 부하에도 나쁜 영향을 미치게 된다. 따라서 대형 전동기는 계획 단계에서부터 구매 이전에 전동기 기동 상태를 해석하여 사전에

- 요구 기동전압
(Starting Voltage Requirement)
- 회전자 구속전류
(Locked Rotor Current)
- 기동시간
(Starting Time)

등을 기술 사양으로 제시하거나 또는 별도의 전동기 기동 방안을 수립해야 한다.

일반적으로 발전기가 없는 전력계통에서 변압기 kVA 용량의 약 30% 이상 마력의 전동기가 설치되는 경우는 이의 기동상태를 검토하여야 하며 전력회사와 연계되지 않은 자가 발전 단독 전력계통에서는 발전설비 kVA 용량의 10~15%가 넘는 마력의 전동기가 설치될 경우 반드시 이의 기동 상태를 사전에 검

토하여야 한다.

전동기 기동시는 기동전류로 인하여 전압강하가 발생하며 전동기 기동 허용전압은 부하 토크 특성에 따라 다르다. 전동기 최소 기동 전압은 정격전압의 80~90% 범위로 매우 다양하다. 다음 표 1은 전동기 기동시 기동전류 및 인접전력 설비의 최소 허용전압을 나타낸 것이다.

표 1 전동기 기동시 허용전압

전압강하 위치	최소허용 전압 (% 정격)
기동전동기 단자	80
다른 전동기 단자	71
교류 접점 제어설비	85
직류 접점 제어설비	80
정지형(Solid-State)제어설비	90
조명 플리커 인지	3% 변화

전동기 기동 해석은 전동기 기동시 기동전류, 전압강하, 토크, 슬립 및 효율 등을 규명하는 것으로써 조류계산을 이용한 정적 전동기 기동 해석(Static Motor Starting Study)과 안정도 해석을 이용한 동적 전동기 기동해석(Dynamic Motor Starting Simulation) 2가지가 있다. 정적인 조류계산을 이용한 전동기 기동해석은 전동기 기동시 전력계통에 나타나는 최대 전압강하 상태를 규명하는 것이다. 안정도 해석

을 이용한 동적 전동기 기동해석은 전동기 기동시 시간에 대한 기동전류, 전압, 토크, 스립 및 효율 등의 동적인 변화 상태를 규명하는 것이다.

전동기 기동 해석 결과에 따라서는 변압기 용량 증대 또는 케이블의 굵기를 크게 하는 것과 같은 회로 변경을 실시하거나 또는 별도의 전동기 기동방안을 결정하게 된다.

전동기는 전전압 기동시 큰 기동전류로 인한 전압강하가 발생하여 기동 불능 또는 인접 전력설비에 나쁜 영향을 미치게 된다. 따라서 기동전류를 줄이기 위해서는 전동기 1차 전압을 강압하거나 또는 기동전류를 제한 해야한다. 그러나 기동전류는 단차전압에 비례하고 기동 토크는 전압의 제곱에 비례하므로 전동기 부하에 따라서는 기동 토크가 부족한 경우가 일어날 수도 있으므로 전동기 1차 전압을 강압하거나 또는 기동전류를 제한하여 전동기를 기동시키고자 할 경우 전동기 기동이 가능한지를 동적 전동기 기동해석 방법으로 사전에 이를 검토해야 한다.

약 전원 (Weak Source Generation)에서 전동기를 기동할 때 즉, 대용량 전력계통인 전력회사(Utility Company)와 연계되어 있지 않은 단독의 작은 전력계통(Smaller Power System)에서 대용량 전동기를 기동할 때는 전압강하 문제가 일반적으로 심각하다. 작은 전력계통은 자가 발전 설비만이 주요 구성 요소로 되어 있어 자가발전기 임피던스가 상대적으로 크고 이에 따라 전동기 기동시 매우 심각한 전압강하가 유발 될 수 있다. 그리고 발전기에 적용된 전압제어 시스템 형태에 따라 전동기 기동시 다양한 전압강하 양상을 나타내게 된다.

따라서 자가 발전 설비만을 구비하고 있는 작은 전력계통에서 전동기 기동을 정확히 해석하기 위해서는 동적 전동기 기동해석 방법인 안정도 해석 프로그램으로 전동기 기동시의 발전기 과도 특성 및 발전기 여자기 응답 특성 등이 정확히 반영되도록 모의되어야 할 것이다. 전동기 기동방식에는 다음과 같은 것이 있다.

1) 전전압 기동

전동기 단자에 정격전압을 직접 인가하여 기동하는 방법으로 가장 간단한 기동 방식이다. 반면에 기동 전류가 매우 커서 정격전류의 5~7배까지 흐르는 단점이 있다. 따라서 기동시간이 오래 걸린다는지 또는 빈번한 기동일 때는 기동전류로 인해서 코일이 과열되는 수가 있으므로 사전에 이를 검토해야 한다.

2) 스타-델타(Star - Delta) 기동

기동전류를 경감시키기 위해서 운전상태의 권선 접속이 델타 접속인 전동기를 기동시에 한하여 스타 접속으로 하고 정격전압을 인가하여 기동한 후 델타 접속으로 환원하여 주는 방법이다.

이 기동방식은 일반적으로 5.5~15kW 정도 전동기에 적용된다. 이 방법으로 기동하면 기동전류와 기동 토크는 전전압으로 기동할 때의 1/3로 줄어든다.

3) 보상기에 의한 기동

이것은 전원측에 3상 단권 변압기를 시설하고 전압을 감압하여 기동하고 가속된 후에 전원을 인가하여 주는 방법이다. 이 방식은 비교적 기동손실이 적고 전압을 가감할 수 있는 이점이 있다.

기동 보상기에 사용되는 탭 전압은 보통 50, 65, 80%를 표준으로 하고 있다. 이 방식은 15[kW]를 초과하는 전동기에 주로 사용된다.

기동 보상기의 결점을 보완한 방식이 콘도르퍼 방식(Kondorfer System)이다.

4) 리액터 기동

리액터 기동방식은 전동기의 전원측에 직렬로 리액터를 삽입하고 기동하는 방식이며 리액터에서 일어나는 전압강하를 이용하여 강압 기동하는 방식이다.

기동 보상기에 의한 기동 방식에 비해

기동 kVA가 큰 점은 있으나 기동 조작이 비교적 간단한 장점이 있다.

5) 1차 저항 기동

1차 저항 기동 방식은 직렬로 저항을 삽입하고 운전중에는 이를 단락하는 방식이다. 이 기동방식은 주로 소용량 전동기를 기동할 때 기계적 충격을 완화하기 위해서 사용하는 수가 많다.

기동효율은 다른 방식에 비해 떨어지지만 기동 전류가 감소하는 비율보다도 기동 토크의 저하율이 커서 무부하 또는 경부하 기동에 사용된다.

6) 소프트스타트(Soft Starter) 기동

싸이리스터(Thyristor) 점호각을 제어하여 전동기 기동전류를 조정하는 소프트스타트 방식은 별도의 차단기 설치가 필요 없어 기존의 기동 방식이 갖는 설치공간 문제 및 기동시 전동기 등에 가해지는 전기적, 기계적 충격이 적고 유지보수 비용도 저렴한 장점들이 있어 오늘날 이의 적용이 점진적으로 확대되고 있는 추세이다.

반면에 비선형 특성인 싸이리스터에 의해 기동시 고조파가 발생하는 단점이 있다.

이와 같은 다양한 전동기 기동 방식들도 사전에 보다 정확한 정적 또는 동적 전동기 기동해석으로 기동 가능성은 물론 인접 전력설비에 나타나는 순간 전압강하(Voltage Sag) 등을 정확히 계산하여 전력계통의 건전 운전 여부를 판단하여 결정하는 것이 바람직 할 것이다.

그림 1, 2 및 3은 안정도 해석 소프트웨어를 이용하여 대형유도전동기의 기동 상태를 모의 한 것으로써 전동기 단자전압, 기동전류 및 토크 동적 변화 상태를 나타낸 것이다. 전동기 기동은 10사이클 후에 시작된 것으로 모의하였다.

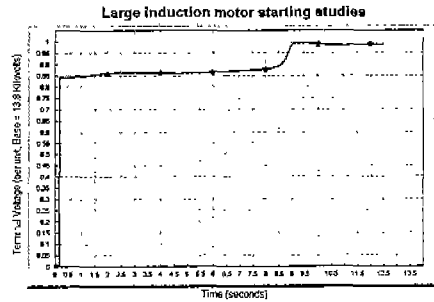


그림 1 대형유도전동기 기동 단자전압

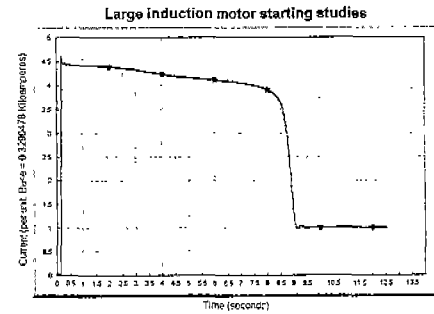


그림 2 대형유도전동기 기동 전류

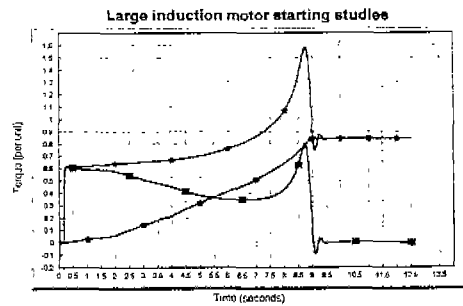


그림 3 대형유도전동기 기동 토크

마. 부하차단 해석

오늘날 대량의 전력에너지를 사용하는 많은 산업체에서 전력공급의 신뢰성과 경제성을 위하여 자가발전기를 설치하여 운영함으로써 전력수요의 일부분을 담당하고 있다. 그러나 전력계통이 가지고 있는 내적 취약성 또는 자연에 의한 외적 요인으로 전기적 사고가 필연적으로 발생하게 된다.

이와 같은 전기적 사고로 인하여 한국전력공

사와의 연계선로가 개방되어 산업체 전력계통이 단독으로 운전될 경우 자가발전기에 의한 발전력과 산업체 수요 전력간에 불균형(Imbalance)이 발생하게 되어 주파수가 급격히 저하하게 된다. 주파수 저하는 발전기에 연결되어 있는 터빈 날개를 손상시킬 수 있으며 경우에 따라서는 터빈 보호를 위하여 저주파수 한계점에 도달하게 된 발전기를 정지시켜 전계통 정전을 유발할 수도 있다. 이러한 사태에 대비하여 발전과 수요간의 급격한 불균형으로 일어나는 전력계통 붕괴를 예방하며 중요 전력설비에 중단 없이 전력공급을 지속할 수 있도록 강제 부하차단(Load Shedding) 방안을 수립하여 운영할 필요가 있다.

그림 4는 우리나라 상용주파수와 같은 60Hz 전력계통에서 대표적인 터빈발전기 운전 한계를 나타낸 것이다.

여기에 나타난 것과 같이 일반적으로 59.5Hz에서 60.5Hz까지의 연속운전을 터빈발전기 또는 터빈 날개 수명에 영향을 미치지 않는 정상 운전 범위라 할 수 있다.

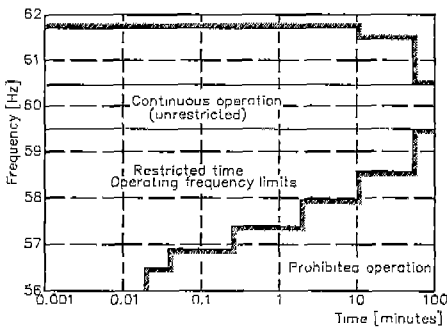


그림 4 터빈발전기 주파수 운전한계

전력계통에서 수급균형을 크게 무너뜨리는 계통사고시 주파수 저하 특성은 수급 불균형 정도와 해당 전력계통의 동특성에 따라 다르게 나타난다.

다음 수식은 전력계통에서 전원 탈락으로 인하여 발생하는 수급 불균형 정도를 나타내

는 과부하율을 표현한 것이다.

$$P_d = \frac{P_{Gx}}{P_{G0} - P_{Gx}} [P.U.] \text{----- (1)}$$

여기서,

P_d : 과부하율 [P.U.]

P_{G0} : 총 발전 [MW]

P_{Gx} : 탈락 발전 [MW]

그림 5는 계통분리 수급 불균형 발생시 일반 전력계통에서 과부하율에 대한 주파수 감소상태를 예시한 것이다.

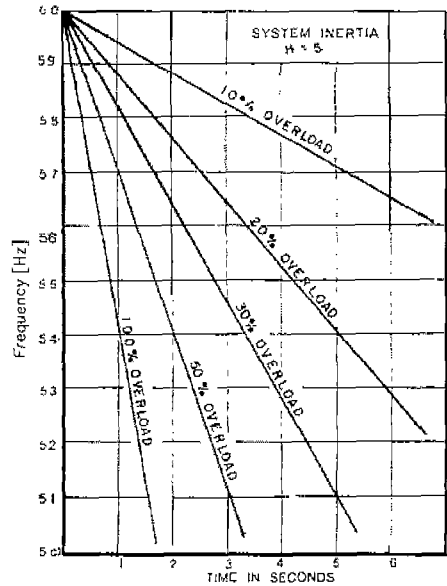


그림 5 과부하율에 대한 시간-주파수 특성

일반적으로 과부하율이 크면 클수록 급격한 주파수 저하가 일어나고 반면에 과부하율이 작으면 상대적으로 주파수 저하율이 완만한 상태가 된다. 즉 그림 5에 보여준 것과 같이 과부하율이 100% 이상이 되면 계통분리로부터 0.5초 이내에 터빈발전기 운전 한계 주파수인 57Hz에 도달하게 되어 일반적인 저주파수 계통에 의한 부하차단으로는 계통의 안정도 회복이 용이하지 않는 상태를 나타낸다.

따라서 과부하율이 매우 크게 나타나는 전력계통 또는 제철소와 같이 부하변동이 심한 전력계통의 경우는 응답속도가 매우 빠른 마이크로프로세서 또는 컴퓨터가 채택된 자동부하차단(Automatic Load Shedding) 또는 반자동부하차단(Semi Automatic Load Shedding) 시스템을 채택하는 것이 바람직 할 것이다.

전력계통의 급격한 수급 불균형과 같은 동특성은 안정도 해석 프로그램을 이용하여 모의 할 수 있다.

즉 부하차단 해석은 발전기 관성정수 등이 포함된 발전기 모델, 발전기 제어계통인 조속기 및 여자기 특성은 물론 부하의 동적인 특성들이 충분히 반영되는 안정도 해석프로그램으로 전력계통의 주파수 동특성을 계산 분석할 수 있다. 실계통에 적용할 수 있는 부하차단 방안을 모의하기 위해서는 실제 운용되고 있는 발전기 및 부하 특성과 동일한 정밀도 높은 데이터가 이용되었는가 여부에 따라 그의 실효성이 결정된다.

오늘날 발전기 제어계통은 급속한 전자기술 발달로 인하여 새로운 기술들이 채택된 응답속도가 매우 빠른 다양한 새로운 제어설비들이 적용되고 있다.

따라서 전력계통의 동특성을 정확히 모의하기 위한 안정도 해석 프로그램에는 이용자정의 모델(User Defined Model)과 같은 기능이 필요하다. 즉 안정도 해석을 위한 여자기 및 조속기 모의 형태가 기존의 표준 모형이 아닌 제작사의 독자적인 형태로의 모의가 요구되고 있다.

전력부하는 전압의 크기에 따라 그리고 주파수 변화에 따라 변하게 된다. 안정도 해석에 이용되는 부하모형은 전압 변화에 따른 유효 및 무효전력의 상관 관계와 주파수 변화에 따른 유효 및 무효전력과의 상관 관계를 설정해야 한다. 일반적으로 산업체 전력계통에는 전동기 부하가 많은 비중을 차지하고 있어 이의 동특성이 정확히 반영되도록 해야 한다.

그림 6은 저주파수계전기를 이용한 부하차단 로직의 한 예를 나타낸 것이다.

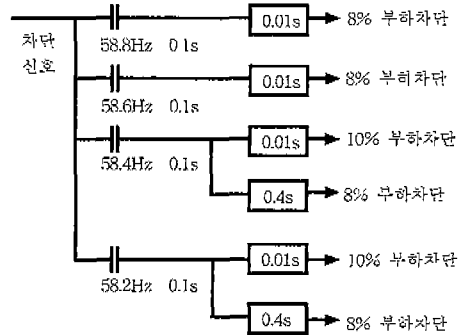


그림 6 저주파수계전기에 의한 부하차단 로직

바. 고조파 해석

최근 많은 산업체 전력계통에 비선형 정지형 전력변환설비 또는 아크로(Arc Furnace) 등과 같은 고조파 발생설비의 활용이 증대되고 있으며 이들 설비의 사용으로 전력계통에 고조파가 발생하여 인접 전력기기 또는 케이블을 열화 시키고 개폐장치 고장을 유발 할 뿐만 아니라 역률보상용 콘덴서 또는 리액터 소손 사고를 일으키는 사례 등이 빈번하게 보고되고 있다.

고조파는 전력계통에 나타나는 기본파인 60Hz의 배수 즉 300Hz, 420Hz, 660Hz와 같은 전압 및 전류들이다. 고조파를 크게 나누면 싸이리스터와 같은 전력변환 장치에 의해 발생하는 특정고조파(Characteristic Harmonics)와 아크로 또는 방전 조명기기 등에서 발생하는 불특정고조파(Noncharacteristic Harmonics)가 있다.

전력계통의 주요 고조파 발생원은 전기철도 및 산업체의 정류기를 포함한 정지형 전력변환 장치, 아크로 및 방전조명기기 등이다. 전력변환 장치에 의해 발생하는 고조파는 싸이리스터와 같은 전력변환장치의 비선형 특성에 의하여 교류측 및 직류측 전압과 전류에 고조파가 발생한다. 교류를 직류로 또는 직류를 교류로 변환하는 전력변환 장치는 교류측에는 가급적 정현파 전류가 직류측에는 완전 평활화된 직류 전류가 흐르는 것이 바람직 하나

전력변환 소자가 갖는 비선형성의 스위칭 기능으로 인하여 교류 및 직류 전압과 전류가 찌그러지게 된다.

일반적으로 널리 이용되고 있는 6펄스형 정류기에 의하여 왜곡된 교류 전류파형을 푸리에 급수(Fourier Series)로 전개하면 다음과 같다.

$$I_{ac} = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} I_d (\cos \theta + \frac{1}{5} \cos 5\theta + \frac{1}{7} \cos 7\theta + \frac{1}{11} \cos 11\theta + \frac{1}{13} \cos 13\theta \dots) \quad \text{---(2)}$$

즉 5, 7, 11, 13 고조파로서 $NP \pm 1$ 이다.

여기서,

N : 1, 2, 3 ... 과 같은 정수

P : 콘버터 펄스 수

아크로는 드라이버나 정류기와는 다르게 고조파 전류 대신 고조파 전압이 발생된다. 아크로의 저항, 전압 및 전류는 쇠부스러기(Scrap)의 이동, 물질의 용해 상태 및 아크의 자기반발작용(Magnetic Repulsion) 등에 따라 변하게 된다. 더욱이 아크로의 리드선간 자기반발작용으로 리드선이 스윙하게 되고 이로 인하여 리드선의 리액턴스가 변하게 된다. 아크로에서는 아크와 아크로 파라미터의 비선형성 때문에 고조파 전압과 함께 2차 회로에 의한 고조파 전류가 발생한다. 아크로에 의한 고조파는 아크의 예측불허 특성으로 인하여 고조파의 크기를 쉽게 결정할 수 없게 된다. 아크로에 의한 고조파 차수는 2, 3, 4, 5, 7 및 9 이다.

특히 3의 배수 고조파(3, 6, 9)는 변압기 결선 여하에 따라 다르게 나타날 수 있다. 만일 변압기 결선이 $\Delta - Y$ 인 경우 델타 측에 3 배수의 고조파가 발생하게 되면 Δ 측에 순환하게 되고 이로 인하여 Y 측에도 흐르게 된다.

전력계통에 발생한 고조파 전류 또는 전압은 인접 전력계통에 흐르거나 또는 인가되어 여러가지 나쁜 영향을 미치게 된다. 이를 요약하면 다음과 같다.

- 전력용 콘덴서의 과열 또는 고장

- 전력케이블의 절연 열화 또는 고장
- 변압기 절연 열화 또는 과열
- 회전기기의 과열
- 개폐장치 고장
- PLC 등과 같은 자동화 설비 오동작
- 보호계전기 오동작
- 통신 간섭

전력계통에서 고조파가 발생하게 되면 유도성 리액턴스와 용량성 리액턴스(L-C)의 직렬 또는 병렬 형태로 공진이 발생할 수 있으며 공진이 발생하게 되면 변압기, 리액터 및 콘덴서와 같은 전기기기 또는 케이블의 절연이 파괴되는 대형사고가 일어나게 된다 일반적으로 아크로와 같은 고조파 발생원이 있는 전력계통에서 역률을 보상하기 위하여 전력용 콘덴서를 설치하게 된다. 그러나 이 콘덴서 및 콘덴서에 관련한 리액터 설치로 특정 고조파의 공진 조건이 발생할 수 있다. 따라서 고조파 발생원이 있는 전력계통에 콘덴서와 이에 관련한 리액터를 설치 하고자 할 때는 반드시 고조파 해석을 수행하여 공진 가능성을 검토하고 경우에 따라서 대책을 수립해야 한다.

고조파 발생이 우려되는 전력계통의 신증설 또는 변경시 그리고 고조파로 인하여 전력계통에 문제가 발생하는 경우 고조파를 해석해야 하고 해석 결과에 따라서는 고조파 억제대책이 강구되어야 한다. 다음은 전력계통에서 고조파 해석이 필요한 경우를 열거한 것이다.

- 전력변환 장치 또는 아크로와 같은 고조파 발생 설비가 설치될 때
- 고조파 발생설비와 콘덴서 뱅크가 결합된 전력계통
- 고조파 관련 콘덴서, 콘덴서용 차단기, 변압기 또는 케이블 고장 발생시
- 보호계전기 또는 PLC와 같은 공정제어 자동설비 오동작 발생시
- 전력회사 즉, 한국전력공사에서 고조파 유입을 제한할 경우

표 2는 한국전력공사에서 전기사용에 따른 협력 사항으로 정한 고조파 허용 기준치이다.

표 2 고조파 허용 기준치

분 류	지중선로가 있는 S/S에서 공급하는 수용가		가공선로만 있는 S/S에서 공급하는 수용가	
	전 압 왜형을	등 가 방해전류	전 압 왜형을	등 가 방해전류
66kV 이하	3%	-	3%	-
154kV 이상	1.5%	3.8%	1.5%	-

고조파 해석은 전력계통의 운전 조건하에서 일반 전력 조류계산과 발생 가능한 고조파별 조류계산으로 이루어진다.

전력변환 장치와 같이 스위칭 기능에 따라 발생하는 고조파의 범위는 제5고조파(300Hz)에서 제37고조파(2220Hz)까지이고 아크로에 의하여 발생하는 고조파는 제 2, 3, 4, 5, 7 및 9고조파가 대부분이다.

고조파 해석은 발생 가능한 고조파 범위에 대한 다중 해석이며 이와 같이 다중 해석은 컴퓨터를 이용한 고조파 해석(Harmonics Analysis Study) 프로그램으로 가능하다. 즉 전력계통에서 고조파 해석은 각각의 전력계통 구성요소인 변압기, 선로, 리액터, 콘덴서, 전력변환장치 또는 아크로 등을 모의하고 계통을 구성하여 발생 가능한 고조파별 조류계산을 실시하는 것이다.

고조파별 조류계산으로 각 모선의 고조파 전압스펙트럼과 각 지로(Branch)의 고조파 전류스펙트럼을 구하게 되고 이에 따라 피크(Peak), 제곱평균(Root Mean Square) 및 고조파 왜형계수(Harmonic Distortion) 등을 계산할 수 있다.

오늘날 다양한 전력변환 설비가 전력계통에 설치되어 운영됨으로서 보다 경제적인 전력에너지 사용이 이루어지고 있으나 이들 전력변환 소자가 갖는 비선형성의 스위칭 기능으로 인하여 고조파가 발생하고 발생한 고조파는 인접 전력계통에 흘러 전력설비의 절연을 열화 시키고 전자설비 혹은 마이크로 프로세서를 채택한 보호계전기 및 자동제어 설비의 오

동작 원인으로 작용하고 있다.

따라서 이와 같은 고조파 발생설비가 설치될 경우 고조파 억제 대책을 수립하거나 혹은 고조파 악영향이 최소화 되도록 사전에 적절한 전력계통 구성이 이루어지게 한다.

고조파 발생설비가 있는 전력계통의 증설 또는 변경의 경우는 전력계통 특성 변화로 인하여 새로운 고조파 문제를 일으킬 수도 있다.

그러므로 고조파 발생설비가 있는 전력계통은 지속적인 고조파 측정 및 분석이 필요하다.

고조파가 발생하는 전력계통에서는 고조파 악영향을 감소시키기 위해 일반적으로 고조파 필터를 설치하게 된다.

고조파 억제 대책으로 필터를 설치하며 리액터, 콘덴서와 저항을 조합한 수동형필터(Passive Filter)와 여기에 싸이리스터를 결합한 능동형필터(Active Filter) 두 가지로 대별된다.

수동형 고조파필터를 설치할 경우는 이로 인하여 특정 고조파가 흡수되어 억제되는 반면 이로 인하여 특정 고조파 공진 조건이 발생하거나 또는 공진점이 이동하게 되어 고조파가 증대될 수도 있다.

따라서 고조파 발생설비가 있는 전력계통 신증설 또는 변경시 보다 정확한 고조파 분석 및 고조파 상정해석 등으로 적정 전력계통 구성은 물론 정확한 고조파 억제 대책이 수립되도록 해야 한다.

싸이리스터를 결합한 능동형필터는 수동형 필터에 비하여 설치 비용이 많이 드는 반면 효율적인 제어로 전기적 특성이 변동되는 비선형 전력설비에서 발생하는 고조파를 효율적으로 상쇄할 수 있고 고조파 공진 우려가 없으며 상대적으로 작은 용량으로 고조파를 상쇄할 수 있어 오늘날 이의 적용이 점진적으로 증가되고 있다.

그림 7은 싸이리스터를 이용한 능동형필터 개요를 나타낸 것이다.

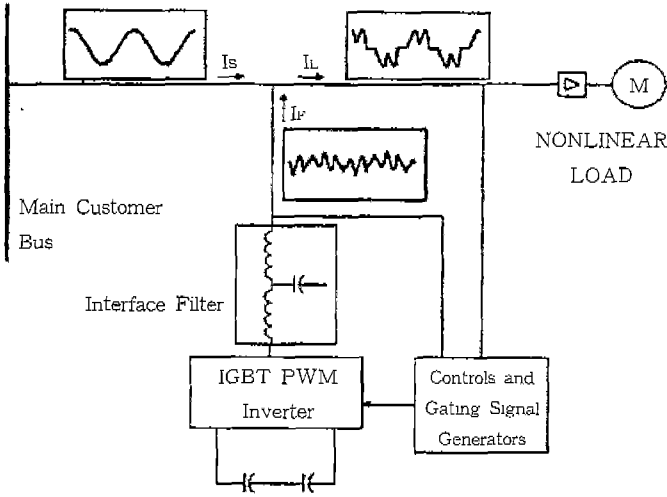


그림 7 능동형필터 개요도

수동형필터 및 능동형필터는 고조파 해석으로 해당 전력계통에 적합한 전기적 규격을 정할 수 있으며 이와 같은 필터 설치 효과도 고조파 해석으로 상정할 수 있다.

그림 8과 9는 전력계통에 설치되어있는 비선형 전력소자에 의하여 나타나는 고조파로 인하여 전압파형이 일그러진 상태와 이때의 고조파 전압 스펙트럼을 고조파 해석 프로그램으로 분석한 것이다. 반면에 그림 10과 11은 앞에서 언급한 전력계통에 수동형필터 설치를 모의한 고조파 해석 결과이다.

다음호에 계속 됩니다

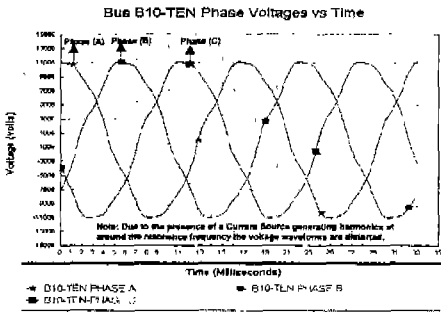


그림 8 고조파 함유 전압파형

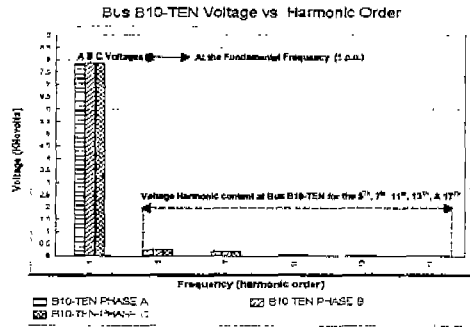


그림 9 고조파 스펙트럼

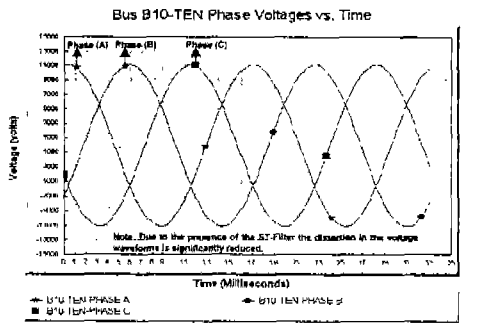


그림 10 전압파형(수동형필터 설치후)

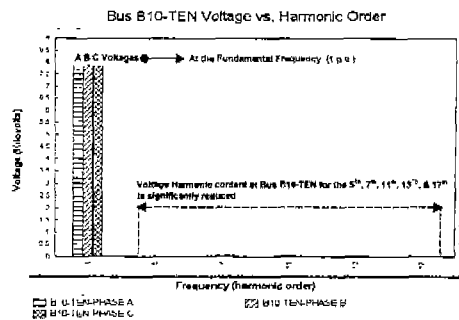


그림 11 전압 스펙트럼(수동형필터 설치후)