

## EMTDC를 이용한 DSTATCON 설치 효과 분석

유 일도\*, 최 영준\*, 홍 순욱\*, 이 학성\* 전 영수\*\*, 이 기선\*\*  
 호성중공업 기술연구소\*, 한국전력공사 한국전력연구원\*\*

### Analysis of System Performance on DSTATCON Installation using EMTDC

I.D. Yoo\*, Y.J. Choi\*, S.W. Hong\*, H.S. Lee\*, Y.S. Jeon\*\*, K.S. Lee\*\*

R & D Institute, Hyosung Industries Co., Ltd.\*, Korea Electric Power Research Institute, Korea EI

**Abstract** - This paper presents a method of modeling of DSTATCON (Distribution-line Static Condenser) for installation in a specific plant and analyze the effectiveness of the DSTATCON from the viewpoints of voltage regulation and harmonic mitigation in a distribution line. For the reliable modeling, detailed information on distribution system and loads is performed by field measurements. The DSTATCON has been modeled according to the control algorithm of real controller. The effectiveness of the DSTATCON installation is verified by simulation using EMTDC.

#### 1. 서 론

전력변환설비를 갖는 일반공장에서의 과도현상이 날로 증가하고 있다. 과도 현상은 공장운영자에 의하여 파악되지 않는 경미한 현상으로부터 생산설비의 가동률을 저해시키거나 공장의 조업중단을 야기시킬 수 있는 대규모 사고에 까지 그 피해사태가 다양하다. 배전 계통에서 발생하는 과도 현상 및 문제점은 주로 voltage flicker, voltage surge, voltage swell, 고조파등 4가지 유형으로 나타난다. voltage flicker는 아크로, 압연설비의 운전이나 대형전동기 기동시에 발생하고 이로 인한 순간적인 전압강하는 다른 전동기의 속도나 출력감소를 발생시켜 설비의 오동작을 유발하고 저전압 제전기를 동작시켜 설비운영중단 및 정전을 유발한다. 고조파는 전력전자기기와 같은 비선형부하에 의하여 발생되어 변압기의 과열, 콘덴서의 폭발등의 사고를 유발한다. voltage surge는 차단기등의 스위치류에 의한 과도현상으로 이에 의하여 발생하는 순시 고조파전류 및 전압spike에 의하여 배전용기기의 절연파괴의 문제를 야기시키고 수명을 단축시킬 수 있다. 과거 배전 계통에서의 이러한 문제들을 해결하기 위해 진상용 콘덴서나 SVC, 수동필터등이 사용되었지만 반도체 공장의 설비등 특수 정밀부하가 증가됨에 따라 기존의 조상설비보다 빠르고 정밀한 기기의 필요성이 대두하게 되었다. DSTATCON은 이러한 배전계통에서 발생하는 문제들을 보다 빠르고 효과적으로 해결하여 설비를 보호하기 위해 제작된 것이다.

DSTATCON은 IGBT를 이용한 6KHz의 PWM방식 전압형 인버터를 사용함으로써 기존의 보상설비와 비교하여 빠른 응답 특성을 가지며 부하의 전압 변동에 따라 계통에 필요한 만큼의 무효전력을 발생시켜 전압을 보상한다. 또한 DSTATCON은 높은 주파수의 PWM이 가능하므로 부하에서 발생하는 고조파를 제한하여 설치점의 고조파함유율을 제한한다. 본 논문은 호성 중공업에서 제작중인 DSTATCON과 이 기기의 시험 장소로 선정된 설치대상공장을 EMTDC 시뮬레이션의 모델링방법을 기술하고 DSTATCON의 설치 전/후의 효과를 분석하였다. 시뮬레이션의 목적은 DSTATCON의 제어특성과 효과를 미리 예측하고 실제 계통에서 발생할 수 있

는 불안정동작이나 계통에서의 공진현상에 의한 위험을 미리 예측해 보기 위함이다. 이를 위해 공장에 전력을 공급하는 변전소를 기준으로 그 하단의 부하상태와 전송선로, 변압기의 사양등을 면밀히 조사하고 실제전압과 전류를 측정하였다. 이러한 데이터를 토대로 공장내 DSTATCON의 모델을 함께 구성하여 시뮬레이션을 실시하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 설치대상공장의 EMTDC모델

설치대상공장의 부하는 전동기, 용접기, 주조물 제조용 유도도로 구성되어 있다. 공장 주변압기의 설비용량은 14MVA이고 실측시 72%의 부하율로 운전되고 있었다. 표 1은 공장의 부하상태를 정리한 것이고 그림 3은 변전소로부터 공장까지의 계통을 나타내는 단선도이다. 계통과 DSTATCON의 용량을 고려하여 그림 3에서의 PCC점에 DSTATCON의 설치를 가정하였다.

표 1. 공장 부하의 구성

부 하	용 량
전동기	6.5 MVA
용접기	300 KVA
유도로	3.5 MVA
조상 설비	2 MVA

그림 1은 MAIN점(그림 3)의 상전압과 변압기(TR에서 공장의 인입선까지 연결된 선로에 흐르는 선전류의 실측 파형이다. 그림 2는 약1.2MVA의 비선형 부하가 존재하는 변압기(TR3) 2차측의 상전압과 선전류의 실측 파형이다. 모델링은 부하상태와 전송선로, 변압기의 사양에 관한 데이터를 이용하여 EMTDC 모델을 구성하고 시뮬레이션하여 얻어진 파형을 실측한 파형과 비교한 후 모델을 수정하여 구성하였다.

가) 전동기 모델 : 전동기의 경우 제품 건조용 건조로의 히터 및 팬, 도장을 위한 펌프, 컴프레서등에 사용되며 소용량의 전동기로 구성되어 있었다. 일반적인 전동기는 과도리액턴스와 정상 리액턴스를 이용하여 모델링하지만 전동기의 용량이 시스템 용량에 비하여 적을 경우, 과도리액턴스는 무시하고 모델링할 수 있다. 따라서 본 공장내에서 전동기는 정상 리액턴스를 이용하여 모델링되었다.

나) 저주파, 중주파 유도도로, 용접기모델 : 전류형 컨버터와 인버터로 구성되어있는 저주파로는 주요한 고조파 발생원이다. 일반적으로 고조파 발생원의 경우 동일한 고조파를 발생시키는 전류원으로 모델링된다.

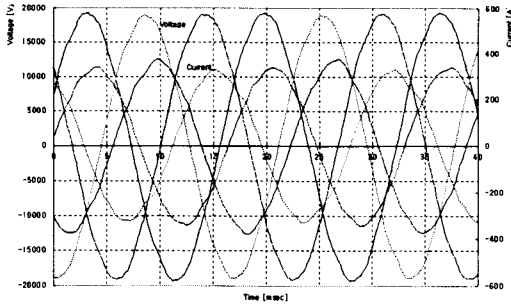


그림 1. MAIN점의 상전압과 선전류

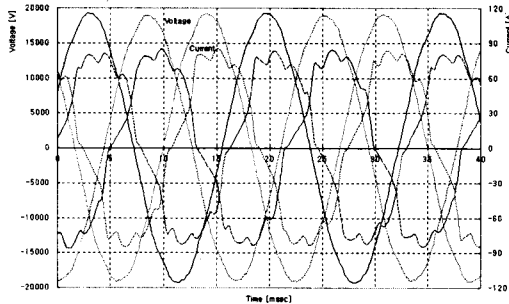


그림 2. PCC점의 상전압과 선전류

이 모델은 전압왜곡이 10%이하인 경우 적용되는데 공장모델의 경우 이러한 조건을 만족하므로 실측을 통해 얻어진 전류파형을 주파수 분석하여 동일한 양의 기본파와 고조파가 흐르도록 전류원의 크기와 위상을 결정하여 구성하였다. 용접기나 증주파 유도로와 같은 다른 고조파 발생원도 같은 방법으로 모델링되었다.

다) 변압기 모델 : 공장의 인입선 선로에 흐르는 고조파 전류는 그 하단에 존재하는 변압기의 결선에 의해 전류의 양이 영향을 받게 된다. 그림 1의 단선도에서 볼 수 있듯이 변압기(TR2)와 변압기(TR3)의 경우 결선의 차이가 있으므로 그 상단에 흐르는 고조파 전류에 영향을 주게 된다.

이와 같은 이유로 변압기(TR2) 하단의 변압기는 모두 저항과 인덕턴스로 모델링 되었지만 변압기(TR3)는 결선을 표현할 수 있는 실제적인 3상 변압기 모델을 사용하여 모델링 되었다.

라) 선로모델 : 공장으로 전력을 공급하는 변전소(TR2)와 공장까지의 인입선사이에는 1km가량의 ACSR선로가 연결되어 있으며 ACSR의 길이와 특성표에 따라 임피던스를 계산하여 모델링하였다. 인입선 이외의 선로는 공장내의 전력공급선도 같은 방식으로 모델링되었다.

## 2.2 DSTATCON, EMTDC모델

DSTATCON은 주요하게 결합변압기, LC필터, IPT(Interphase Transformer), IGBT모듈, 제어모듈로 구성되어 있다. PWM의 캐리어 주파수로서 3KHz로 스위칭되는 IGBT인버터모듈이 IPT를 통하여 병렬 운전되므로써 실제로 6㎐로 스위칭하는 효과를 발휘하고 있고 이러한 높은 스위칭 주파수는 저역통과 LC필터에 의해서 쉽게 제거될 수 있다.

가) IGBT모듈, IPT, LC필터, 결합변압기 모델: LC필터와 결합 변압기가 연결되는 점은 PWM파형에서 캐리어 주파수가 제거된 파형이 나타난다. 이러한 사실을 근거로 EMTDC 모델 구성시 인버터부분의 스위칭 소자와 IPT부분을 전압원으로 대치할 수 있고 이러한 전압원은 LC필터와 결합변압기를 통해 계통과 연결된다. 이 모델의 주요한 이점은 PWM의 캐리어 주파수와 무관하게 계산주기를 설정할 수 있어 시뮬레이션 계산에 소요되는 시간을 단축할 수 있다.

나) DC링크단 모델: DC링크단은 전류원이 콘덴서와 저항으로 직렬연결되어 있는 형태로 모델링되고 저항성분은 DSTATCON의 손실에 해당되는 부분으로 이에 의하여 DC전압의 변동을 고려하였다. 흐르는 전류의 크기는 DSTATCON에 흐르는 전류와 전압, 콘덴서 단자 전압을 이용해 계산할 수 있다.

다) 제어기 모델: 제어기는 고조파 전류제어, 전압제어, DC링크 전압제어 부분으로 구분될 수 있으며 특성에 따라 이에 해당하는 제어블록을 구성하였다.

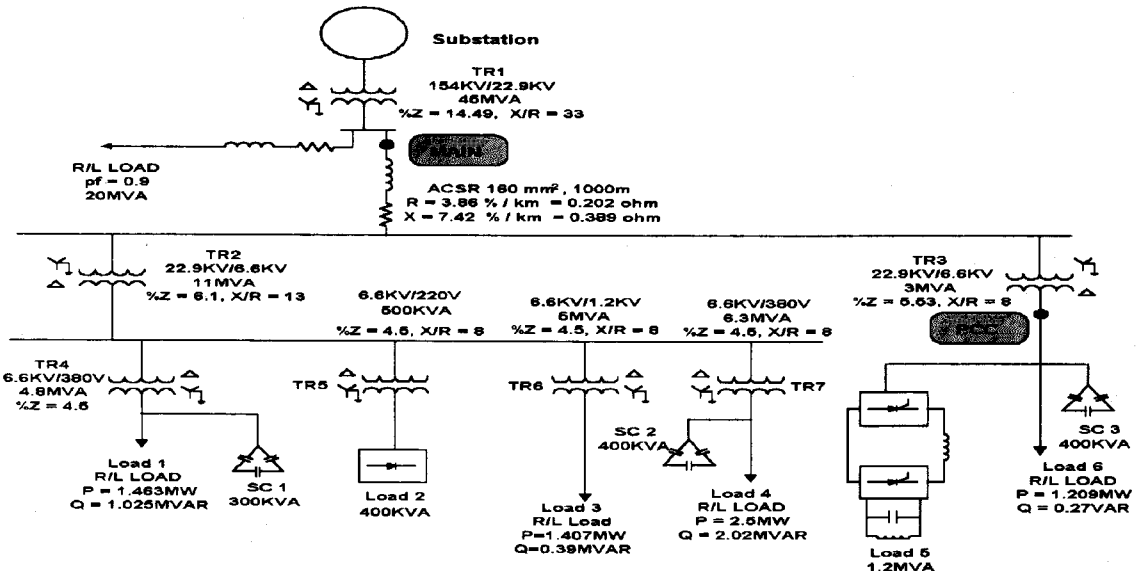


그림 3. 설치대상 공장 단선도

- 고조파 전류제어 : 부하측의 전류를 측정하여 각각 5,7차에 관하여 d,q변환을 한다. 그 이상의 고조파는 실제 계통에서 크게 발생하지 않으므로 전류제어에서 제외하였다. 그 결과 해당차수의 전류는 d,q축에서 상수값을 갖고 그의 차수는 주기를 가지고 변화하는 값을 갖게 되는데 이 값을 적분할 경우 해당차수의 상수값을 얻을수 있다. 이값은 역d,q변환과 PI제어기를 거쳐 d,q전류의 기준값을 계산하는데 이용된다.
- 전압 제어 알고리즘 : DSTATCON 설치점의 전압은 DSTATCON에서 공급하거나 흡수하는 무효전력의 양을 제어하므로써 이루어지므로 기준 전압과 설치점 전압간의 차이를 PI제어기의 입력으로 사용하고 PI제어기의 출력값은 q축 기준 전류를 계산하는데 사용한다.
- DC링크단 전압제어 : 기준전압과 콘덴서 양단전압의 차를 PI제어기의 입력으로 사용하고 PI제어기의 출력값은 d축 기준 전류를 계산하는데 사용한다. 그림 4는 DSTATCON의 제어기의 구성을 나타낸 블록선도이다.

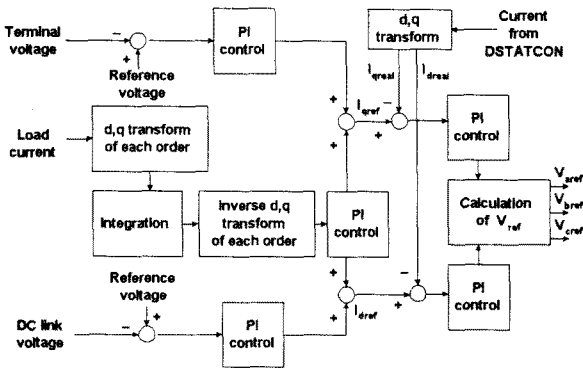


그림 4. DSTATCON의 제어기 구성도

### 2.3 시뮬레이션 결과

표 2는 이와 같은 모델링에 의해서 시뮬레이션한 결과를 정리한 것이다. DSTATCON설치점인 PCC점의 선간 전압과 변압기(TR3)의 2차측에 흐르는 선전류를 각각 나타내고 있다.

표 2. 시뮬레이션 결과

	전압		전류	
	크기 (Vrms)	THD (%)	크기 (Arms)	THD (%)
설치전	6496	2.60	198.5	10.37
설치후	6603	1.61	215.2	7.34

표 2에서 볼 수 있듯이 PCC점의 전압은 정격인 6.6KV에 비해 1.51%가량 낮다. 이러한 경우 DSTATCON의 기준전압은 6.6KV로 설정되어 있으므로 DSTATCON은 설치점의 전압을 높이기 위해 무효전력을 공급하게 된다. 변압기(TR3)에 흐르는 전류는 설치전과 비교하여 다소 증가하였는데 이는 전압제어에 의하여 부하가 진상운전을 하여 PCC점의 전압을 6.6KV로 일정하게 제어하기 때문이다. 전류의 THD는 설치전 10.37%에서 설치후 7.34%로 개선되었으며 전압의 THD는 설치전 2.60%에서 설치후 1.61%로 개선되었다. 설치 대상공장의 선로의 증장이 짧고 변압기의 임피던스도 작으므로 전압제어를 할 경

우, 공급하는 무효전력량에 비하여 전압제어효과가 비교적 낮았다. 이를 통하여 DSTATCON의 설치효과를 극대화시키기 위하여는 선로임피던스가 큰 선로에 설치하는 것이 좋다는 것을 확인할 수 있었다. 또한 대형전동기에 의한 순시 전압강하(Flicker)가 심한 선로에 설치할 경우, DSTATCON의 설치효과도 극대화된다. 이러한 시뮬레이션 결과는 DSTATCON 설치후 실증 시험데이터와 비교를 통해 타당성 여부를 검증할 것이다. 그림 5는 DSTATCON의 설치전과 설치후 PCC점의 선간전압을 비교한 것이다. 그림 6은 변압기(TR3) 2차측에 흐르는 선전류를 비교한 것으로 DSTATCON설치후 전류가 진상임을 확인할 수 있다.

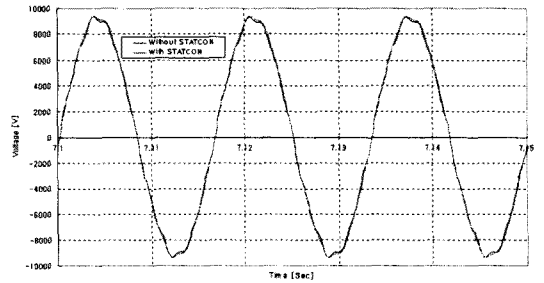


그림 5. PCC점에서 DSTATCON 설치전, 후의 선간전압 비교

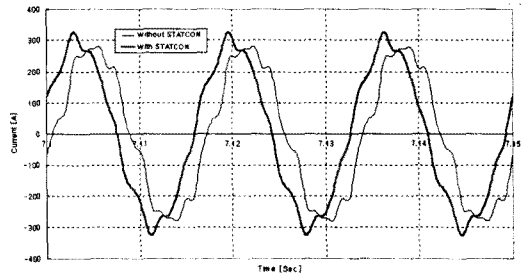


그림 6. 변압기(TR3) 2차측 전류의 설치전, 후 비교

### 3. 결 론

본 논문은 DSTATCON과 설치대상공장의 모델링 및 DSTATCON의 제어알고리즘에 의한 시뮬레이션 모델을 EMTDC로 구현하고 그 설치효과를 분석하였다. 시뮬레이션 결과 DSTATCON의 제어에 의하여 설치점의 전압을 0.98PU에서 1.0PU로 개선되었으며 전류, 전압의 THD도 개선됨을 확인하였다. 설치대상 공장의 조상설비가 잘 갖추어지고, 선로의 임피던스도 비교적 낮아 DSTATCON의 설치효과가 현저히 나타나지는 않았다. DSTATCON은 변전소에서 멀리 떨어져 선로임피던스가 크고 대형전동기의 빈번한 기동이나 압연설비등 전압변동이 심한 공장이나 배전선로에 적용될 경우, DSTATCON의 설치효과가 극대화될 수 있다.

#### [참 고 문헌]

- (1) Colin Schauder, Harshad Mehta, "Vector Analysis Control of Advanced Static Var Compensators", Proceedings, Vol. 140, No.4, July 1993
- (2) Juan A. Martinez-Velasco, Computer Analysis of Power System Transients, IEEE, 1997
- (3) "1MVA IGBT형 STATCON개발", 효성중공업 기술연구소 기술 보고서, 1997