

수용가용 30kVA급 STATCOM에 의한 수용가측 전류품질 향상

임수생\*, 이은웅\*, 손흥관\*\*, 조현길\*\*\*, 정종호\*\*\*\*, 이화수\*  
 충남대\*, KERI\*\*, LGIS\*\*, 서초전자공고\*\*\*

The Improvement of Customer Current Quality by 30KVA Customer STATCOM

Su-Saeng Lim\*, Eun-Woong Lee\*, H.K. Sohn\*\*, H.K. Cho\*\*\*, J.H. Jeong\*\*\*\*, H.S. Lee\*  
 Chungnam Nat'l Univ.\*, KERI\*\*, LGIS\*\*\*, Seocho Tech. High School\*\*\*\*

**Abstract** - We fabricated 3-phase 380V 30KVA IGBT-type STATCOM for a medium-scale industrial customer.

In this paper, we explain the basic operation of STATCOM. We propose the spec. of STATCOM and its control system and program configuration.

Finally, we confirm the waveforms and results of an experiment on a 3-phase RLC load equivalent to the customer.

1. 서 론

최근 정보사회에서 그리고 정밀제어 장치에서 필수적으로 요구되는 것이 전력품질이다. 그래서, 평균 수전용량인 100kVA내외의 중소용량 산업용 수용가에서 사용할 수 있는 3 $\phi$  380V 30KVA IGBT형 STATCOM을 설계·제작하였다.

2장에서는 STATCOM의 기본원리를 설명하고, 3장에서는 수용가용 STATCOM의 활용과 제작사양을 제시하며, 4장에서는 제어시스템과 제어 프로그램을 설명한다.

마지막으로 5장에서는 수용가를 증가화한 증가실험 부하의 보상파형과 실험결과를 제시한다.

2. STATCOM의 동작 원리

STATCOM은 무효전력을 생성하는 기능은 동기조상기와 동일하나, 반도체 스위치를 이용한 동기전압원으로 신속히 출력전압의 크기와 위상을 제어할 수 있는 기능을 갖는 차이점이 있다. 그림 1은 STATCOM이 수전단과 연결된 단상 등가회로도이다. STATCOM의 컨버터와 교류전원 사이에 교환되는 무효전력의 양은 컨버터 출력전압의 크기로 조절되며, 컨버터와 교류전원사이의 유효/ 무효전력 교환은 컨버터 출력전압과 교류전압사이의 위상각을 변경시키는 방법으로 제어가 가능하다.

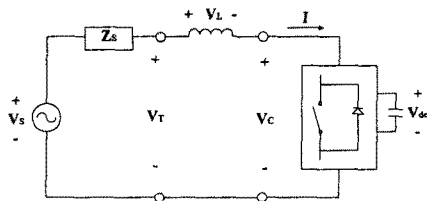


Fig 1. Single-phase equivalent circuit of Customer STATCOM

만일 수전단 전압  $V_T$ 와 STATCOM 출력전압  $V_C$ 가 동일한 위상각을 갖고  $V_C < V_T$ 이면 그림 2(a)와 같이 STATCOM 전류  $I$ 는  $V_T$ 에 대해  $90^\circ$  지상으로

되어 STATCOM이 교류전원으로부터 무효전력을 흡수하고,  $V_C > V_T$ 이면 STATCOM 전류  $I$ 는  $V_T$ 에 대해  $90^\circ$  진상으로 되어 STATCOM이 교류전원쪽으로 무효전력을 공급하게 된다. 그리고 STATCOM의 출력전압  $V_C$ 와 수전단전압  $V_T$ 가 동일하게 되면, 무효전력의 출입은 0이 된다.

그림 2의 (a)와 (b)는 정상상태에서 유도성과 용량성 동작 모드에 대한 위상도를 나타낸 것이고, (c)는 유도성에서 용량성 동작모드로 상태변환하는 위상도이고, (d)는 용량성에서 유도성 동작모드로 상태변환할 때의 위상도를 나타낸다. 수전단전압  $V_T$ 는 컨버터 전압

$V_C$ 와 결합용 변압기(연계용 리액터 L)에 걸리는 전압  $V_L$ 의 합과 같다. 용량성에서 유도성 동작모드로의 전환은 수전단전압  $V_T$ 와 컨버터전압  $V_C$ 의 위상각 차이인  $\alpha$ 를 0에서 양의 값으로 변화함으로써 가능한데, 이때 유효전력은 직류 커패시터 교류단자로 공급되고 직류 링크 전압은 강하한다. 유도성 모드에서 용량성 동작모드로의 전환은  $\alpha$ 각을 0에서 음의 값으로 변환함으로써 가능하고, 이때 유효전력은 전원전압에서 직류커패시터로 공급되어 직류 링크전압은 상승한다.

실제 STATCOM에서는 변압기 권선과 전력용 스위칭 소자에서 열손실이 발생하는데, 이 손실은 정상상태 동작에서 교류전원으로부터 유효전력을 소비한다. 이러한 손실 때문에 컨버터 전압과 전원전압간에는 이를 보상하기 위한 약간의 위상차가 정상상태에서 존재해야 한다.

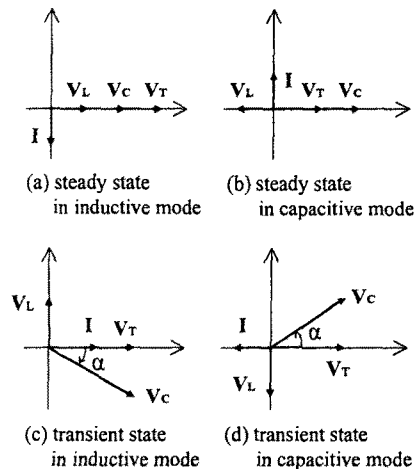


Fig. 2 Operation vector diagram of Customer STATCOM

### 3. 30KVA급 수용가용 STATCOM

30KVA급 수용가용 STATCOM의 활용성, 기본 구성 및 제작사양을 제시한다.

#### 3.1 기본 구성

그림 3은 수용가용 STATCOM가 설치된 산업용 수용가를 나타낸다. 수용가용 STATCOM는 수용가의 수전용 변압기 2차측에 병렬로 연결되어, 유도성 부하의 무효전력, 비선형부하의 고조파전력, 또는 단상부하등의 역상분 전력 등을 보상할 수 있다. 3상 380V 30KVA 수용가용 STATCOM은 표 1의 제원으로 설계·제작되었다.

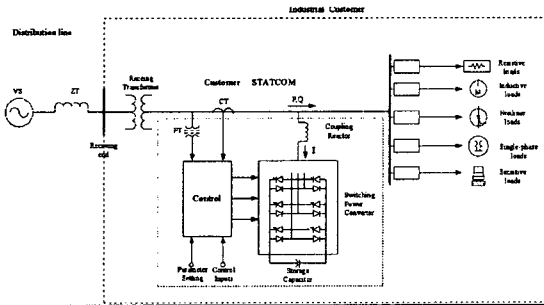


Fig. 3 An industrial customer with Customer STATCOM

Table 1. Spec. of 30KVA STATCOM

Section	Parameter	Symbol	Value
General	Phase	$\phi$	3 ph
	Rated voltage	$V_s$	380 (V)
	Rated Capacity	VA	30 [KVA]
	Rated current	$I_c$	45 [A]
	Type	-	3-phase voltage-source converter
	Installation	-	Medium-scale Industrial Customer
	Compensation Function	-	① Reactive Power ② Harmonic Distortion ③ Flicker Voltage ④ Load Imbalance
	Compensation speed	-	less than 1 cycle
	Compensation accuracy	$\epsilon$	$\pm 1.0(\%)$

#### 3.2 제어시스템

개발된 ECLDSP v1.0을 사용하여 STATCOM는 디지털제어되며, 하드웨어제어루틴은 어셈블리로 작성되어 제어속도를 향상하였다. 그림 4의 STATCOM 제어시스템은 무효전류, 고조파, 역상분 전류 등 보상전류계산부, 직류전압 제어기, 예측전류제어기, 공간벡터 연산부로 구성된다.

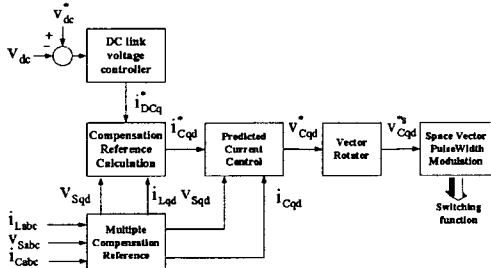


Fig. 4 Control system of Customer STATCOM

### 3.3 제어소프트웨어 구성

제어시스템은 샘플링 주기 82( $\mu s$ )로 운용되며, 제어 소프트웨어는 크게 주제어 프로그램과 인터럽트제어 프로그램으로 구성된다. 그림 5의 주제어 프로그램은 직류 전압제어, 예측전류제어, 공간벡터연산, 시스템감시와 시퀀스처리를 행하고, 그림 6의 인터럽트 제어프로그램은 타이머인터럽트 TINT0와 외부인터럽트 EINT1, EINT2, EINT3을 처리한다.

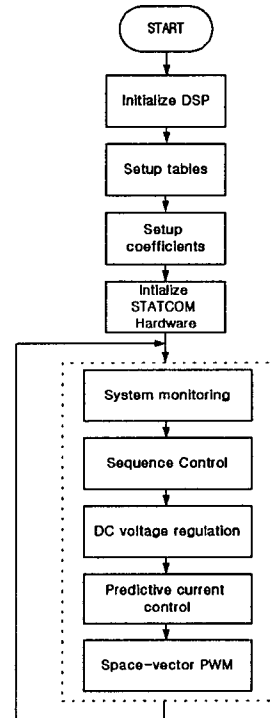


Fig. 5 Main control program

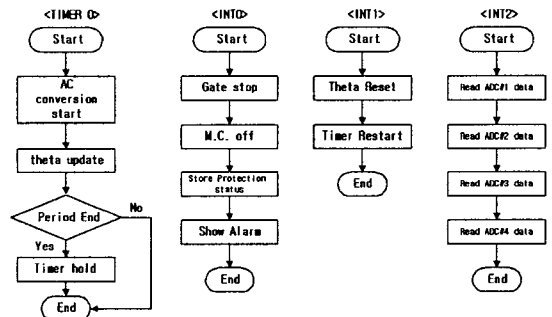


Fig. 6 Interrupt service routines

### 4. 수용가 전류품질 향상 실험

#### 4.1 모의 수용가 부하장치

그림 7은 5KVA용량의 각 상별로 유도성 또는 용량성으로 역률과 부하전류를 가변할 수 있는 용량 5(KVA) 3상 RLC부하장치이다.

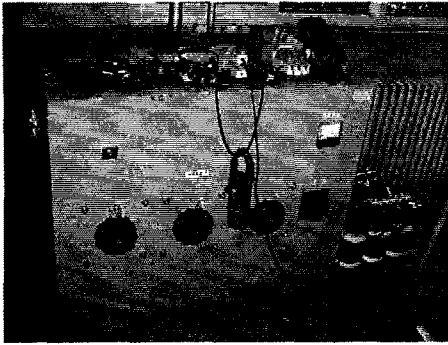


Fig. 7 a 3-phase variable RLC load

#### 4.2 실험 결과

그림 8은 직류전압 제어기에 의해 조절되는 직류링크 전압을 나타낸다. 그림 9는 n번째 샘플링에서의 qd축 실재전류를 (n+1)번째 샘플링시점에 도달했을 때의 기준전류  $i_{Cqd}(n+1)$ 로 되게 하는 STATCOM 출력 선간전압을 나타낸다.

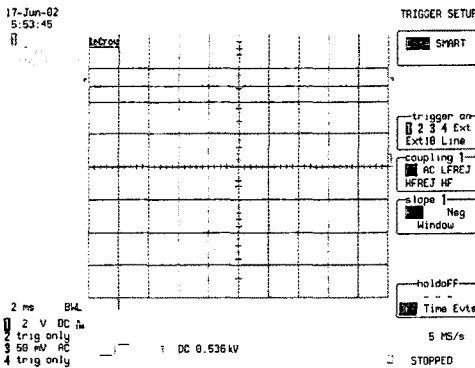


Fig. 8 DC-link voltage  $V_{dc}$  [V]

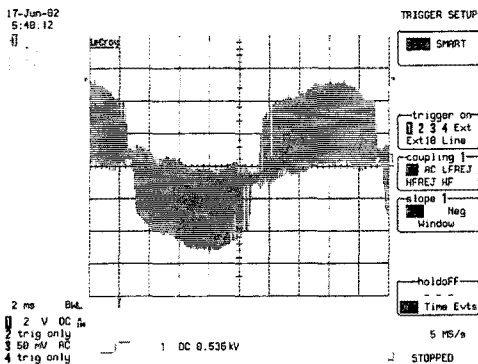


Fig. 9 STATCOM line-to-line voltage  $V_{CRS}$  [V]

그림 10은 정상상태 특성과 잔류고조파 특성이 매우 우수한 예측전류 제어방식을 채용한 STATCOM 출력전류를 나타낸다.

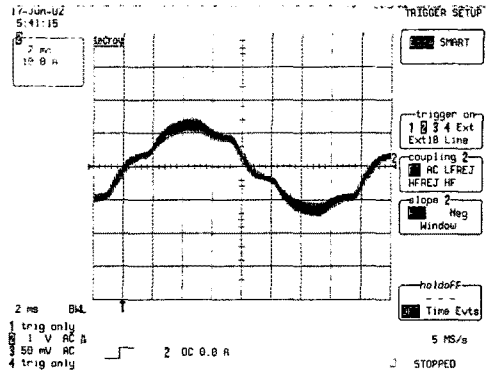


Fig. 10 STATCOM output current  $I_{CR}$  [A]

표 2는 등가 수용가 부하장치의 3상 평형 무효전력 보상 실험결과를 정리한 것이다.

Table 2. experiment results

load		power factor	reactive power	compensation speed
inductive	before	80.0% lag	3.0(kVar)	8(ms)
	after	99.0% res.	0.7(kVar)	
capacitive	before	70.0% lead	3.6(kVar)	8(ms)
	after	99.8% res.	0.3(kVar)	

#### 4. 결 론

3상 380V 30KVA IGBT형 STATCOM을 설계·제작하였고, 제어프로그램을 개발하였다. 모의 3상 RLC 부하 5KVA를 부착하여 무효전력 보상실험을 하여 제작한 STATCOM과 제어프로그램의 성능을 확인하였다.

앞으로 모의 수용가 부하장치의 각 상별 역률을 달리 하여 부하불평형 보상실험을 할 계획이며, 그림 3과 같이 모의수용가 부하장치에 3상 다이오드 정류기, 단상 저항부하를 추가하여 무효전력, 고조파, 역상분 전력이 동시에 존재하는 실제 수용가와 유사한 부하조건에서의 STATCOM 제어방안을 개발하여 실험으로 확인할 것이다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국과학기술원 목격기초연구 지원으로 (R01-2000-000-00267) 수행되었음.

#### (참 고 문 헌)

- [1] 임수생, 이은용, 최재영, 김홍권 "수용가용 STATCOM을 이용한 3상 유도전동기의 이론적인 역률보상" 대한전기학회 논문지, Vol.49, B, No.7, pp.475-482, 2000.7
- [2] 임수생, 이은용, 김홍권 "불평형 부하의 평형화를 위한 STATCOM 제어" 대한전기학회 논문지, Vol.49, B, No.8, pp.522-528, 2000.8