論文 5-4-9

전력품질 향상을 위한 배전용 STATCOM 운전결과 분석

吳 寬 一, 全 榮 洙, 朴 相 泰, 秋 鎭 夫

Analysis of the Distribution STATCOM Operating Results for Improving Distribution System Power Quality

Kwan-Il Oh, Young-Soo Jeon, Sang-Tae Park, Jin-Boo Choo

요 약

본 논문에서는 국내 최초로 설치된 Custom Power기기인 배전용 STATCOM(STATic COMpensator)의 기기 신뢰성 확보를 위한 기기 테스트 및 실계통 운전 분석결과를 보이고 있다. Custom Power는 유연송전시스템(FACTS : Flexible AC Transmission System)과 같이 교류전력계통을 제어함으로써 효율적이고 유연한 전력계통의 운용과 구성을 목적으로 한다. STATCOM은 Custom Power기기의 한 형태로 무효전력 보상, 전압조정, 그리고 전압 플리커 억제 등의 기능을 가진다. 본 논문에서는 STATCOM 시운전 결과 무효전력과 역률 보상에서 우수한 성능을 보임을 확인할 수 있다.

ABSTRACT

This paper presents the test and operation results of the domestic demonstration of the reactive power compensation device called STATCOM (STATic COMpensator). The object of the paper is to describe the reliability of the unit based on the extensive operation databases. The custom power is similar in nature to the concept of FACTS (Flexible AC Transmission System). By controlling reactive power, the technology offers utilities the opportunity for increased efficiency and their capabilities will permit transmission planners make the best use of their existing transmission resources. STATCOM is a custom power device in a way and can be used in a similar way for the dynamic compensation of power transmission systems, providing reactive power compensation, voltage regulation and mitigation of voltage flicker. It is shown that the STATCOM has clear advantages in areas such as; providing reactive power compensation and improving power factor.

Key Words : STATCOM(STATic COMpensator), FACTS(Flexible AC Transmission System), Custom Power, Compensation of reactive power, Voltage regulation, Mitigation of voltage flicker

1. 서 론

최근 산업이 고도화되고 국민 생활의 질적 향상에 따라 가전제품과 컴퓨터 등과 같은 전력변화장치를 사용하는 기기와 정밀제어 기기 등의 광범위한 사용으로 비선형 특성을 갖는 부하가 급증하여 전원 파형을 왜곡시키는 고조파, 역률 저하는 물론, 전력 기기의 상호 교란, 온도상승 등 많은 문제를 발생시키고 있다. 또한 일반적으로 전기로, 전기용접기, 대형 전동기와 같이 무효전력 소비에 변동이 심한 부하는 전력계통의 선간 전압을 교란시키거나 전압 플리커를 발생시킨다. 인간의 눈은 0.3%에서 0.4%의 전압변동에 대하여 5Hz에서 20Hz의 변조 주파수에 가장 민감한 것으로 보고되고 있다. 이와 같이 고조파와 전압 플리커에 의해서 발생되는 많은 문제들은 전력계통의 전력품질을 저하시키는 주요 원인이다. 21세기를 바라보는 현재 한국의 전

력시장은 독점체제에서 경쟁체제로 전환을 준비해야하는 시기이며 이러한 경쟁체제에서 선진 외국기업의 기술적 침투로부터 국내 전력시장을 지키기 위해서는 고품질전력에 대한 수용가의 요구에 부응해야 하고 전력시스템의 기술경쟁력을 확보해야 한다. 이를 해결하기 위한 방안으로 EPRI에 의해 제안된 FACTS가 있으며, 배전급의 1~10MVA FACTS기기들은 이미 실증시험 통해 그 성능을 입증하고 상용운전중인 적용사례가 많으며, 송전급의 수십MVA에서 수백MVA의 STATCOM, SSSC, UPFC 등에 대한 실증시험도 활발하게 진행되고 있다 또한 배전계통에서의 FACTS를 일명 Custom Power라 한다. Custom Power의 목적은 순간정전이 없고, 전압 Sags나 Swell에 대한 견고한 전압 조정이 되며 고조파가 작은 전력을 사용자에 공급하는 것이며, 이에 대한 많은 수행되었으며 상용화를 위한 기기의 크기를 작게 하며 중량을 줄이는 Custom Power기기의 컴팩트화에 대한 연구가 본격화되고 있다.[1,2] 이에 한국전력공사 전력연구원의 주도하에 수년 전부터 FACTS에 대한 연구가 진행되었으며 효성중공업과 함께 국내 최초로 Custom Power기기인 1MVA STATCOM을 개발하여 실계통에 적용하여 운전중이다. 이를 위해 먼저 STATCOM 기기 신뢰성 확보를 위한 모듈별 테스트와 게이트 신호 발생시험 등을 완료한 후 창원 효성 제1공장 내에 기기를 설치하고 용량성 동작과 유도성 동작 및 전압조정 시험을 완료하였으며, 현재 경남 가야변전소 구내에 설치하여 배전선로에 발생하는 전압플리커 억제 시험을 수행중이다. 본 논문에서는 창원 효성 제1공장에서 수행된 STATCOM기기 신뢰성 테스트와 시운전 자료의 분석 결과를 보인다.

2. STATCOM 구성과 설치

그림 1은 본 연구에 사용된 배전용 1MVA급 IGBT형 STATCOM의 전경이며 기기의 신뢰성과 기능 시험을 수행하기 위해 효성 창원 제1공장에 설치된 모습이다. 본 연구과제의 목적인 배전용 FACTS기기의 개발과 계통운용기술의 확보에 부합하기 위해서는 부하특성에 따라 여러 개소의 배전선로에 STATCOM을 설치하여 실험을 수행하여야 하며 이를 위해서 그림 1에서 보는바와 같이 이동이 가능한 Trailer 탑재형으로 STATCOM을 제작하였다. 또한 Trailer의 중량을 뺀 STATCOM의 중량이 16ton이나 나가기 때문에 이를 위해서 Trailer 바닥에 특수 보강재를 제작·설치하였다. STATCOM의 크기와 중량은 표1에서 알 수 있다.

표 1 STATCOM 주요 구성요소의 치수와 중량

Table 1 Size and Weight of main elements of STATCOM

Unit	폭(m)	높이(m)	길이(m)	중량(ton)
Trailer	2.426	1.280	12.500	3.45
Container	2.600	2.800	12.192	3.00
전력변환부	1.473	2.261	6.908	4.50
Filter Frame	2.083	1.727	0.686	1.80
주변압기	1.800	1.900	1.500	4.50
차단기	0.840	1.280	0.900	0.30
UPS, 배전반				1.95
총 계				19.50

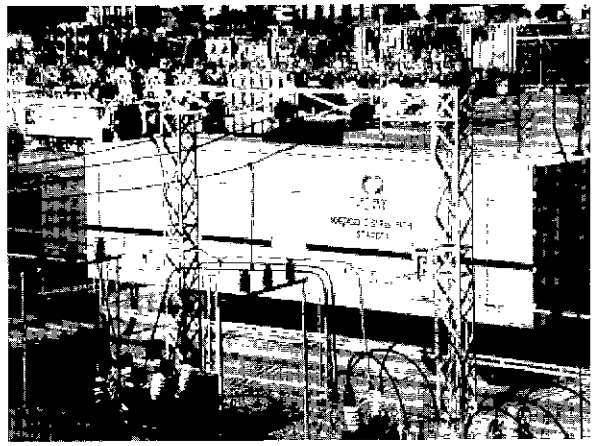


그림 1 STATCOM 전경

Fig 1 Picture of STATCOM

듯이 4.08m(높이)×2.60m(폭)×12.50m(길이)이며 총중량은 19.50(ton)이다. 다음은 본 연구에서 개발한 STATCOM의 주요 구성요소와 그 역할에 대한 설명이다.[3]

2.1 STATCOM의 주요 구성요소와 역할

본 STATCOM은 크게 제어부, 전력전환부, 고압연결부로 세부분으로 나누어지며, 각부분은 기기의 안전성을 위하여 절연되어 있다.

[1] Control Room

STATCOM의 제어실로 DSTATCOM의 상태 감시와 제어 등의 역할을 수행하며 총 9개의 제어보드로 구성되어 있다. 다음절에서 이에 대한 자세한 설명을 한다

[2] Power Electronics Subsystem
전력변환 장치로 IGBT(1200V,400A)8개/Valve 직렬 연결을 사용하여 구성하였으며, DC Link 동작전압은 4,200V이고 인버터 출력전압은 교류 2,520V이다. 초기충전회로, 방전회로, 과전압 Clamp회로가 포함되어 있다.

[3] AC Filter reactor & capacitor
인버터 출력전류와 출력전압의 필터링 한다.

[4] Inter Phase Transformer(IPT)
두 개의 인버터 출력전압(3,060Hz)을 staggering하여 두 배의 주파수(6,120Hz)를 갖도록 하여 고조파를 저감시킨다.

[5] DC Capacitor
DC Link 전압을 유지하며, 300uF 두 개가 병렬로 연결되어 있다

[6] Main Transformer
배전선로와 STATCOM 간의 절연기능과 22.9kV/2,520V의 강압역할을 한다. 주변압기 1차측에는 500A/5A CT가 장착되며, 2차측에는 100A/5A CT와 3kV/5kA급의 Surge Arrester가 장착되어 있다.

[7] Container
본 STATCOM의 구성요소들의 수납공간이다.

[8] VCB(Vacuum Circuit Breaker)
STATCOM과 배전선로의 연결과 심각한 시스템 오동작시 전체시스템의 보호 기능도 수행한다.

[9] Fuse & Holder
STATCOM 전력변환부의 오동작이나 선로의 단락시에 VCB나 제어기의 보호회로가 동작하지 않는 심각한 문제가 발생하면 STATCOM과 배전선로의 연결을 차단한다.

[10] Inlet & Exhaust Louver
전력변환부와 컨테이너 내부의 냉각을 위한 공기의 흡입과 방출의 역할을 한다.

[11] Fans
전력전환부의 냉각과 컨테이너 내부 환기의 목적으로 총 6개의 Fan이 사용된다.

[12] Distribution Panel
제어보드 이외의 주변장치 제어에 대한 동작 시이퀀스에 대한 Relay류, 변압기, 그리고 단자대 등을 포함하는 패널이다.

2.2 STATCOM 제어부

그림 2에는 STATCOM의 전체 제어보드들의 블록선도가 나타나 있다. 전체 제어보드는 모두 10개의 제어보드로 구성되어 있으며 각 보드간은 Optic fiber, 통신 케이블, shield 케이블 등으로 연결된다. 본 절에서는 각 제어보드의 기능과 특성에 대하여 간략하게 요약·설명한다.

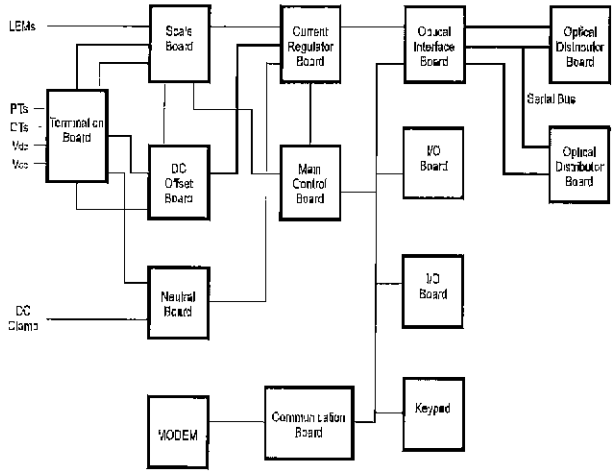


그림 2 STATCOM 전체 제어보드 블록도
Fig 2 Block diagram of Control boards of STATCOM

[1] Main Controller Board(Manager/Master)
- ▶ 모든 제어보드를 관리하는 Supervisory 기능
- ▶ 16-bit main processor : 80C186(Intel)
- ▶ Overall Judgement

[2] Current Regulator Board(Worker/Slave)
- ▶ 인버터 출력전류/전압 제어
- ▶ 16-bit DSP : ADSP2101(Analog Device)
- ▶ Gating pulse signal 발생
- ▶ Keypad 제어, Fault 처리

[3] Termination Board
- ▶ 2개 PT, 4개 CT 입력
- ▶ Calibration 기능
- ▶ Vac, Vdc 등 고전압 신호
- ▶ DC Link단 CT로부터 단락감지

[4] Scale Board
- ▶ 저항 분압 Scaling down 기능
- ▶ 16개의 고전압 입력 채널
- ▶ 12개의 LEM CT 입력채널/6개의 CT 입력채널
- ▶ 초기 충전회로 구동 Relay
- ▶ DC Offset Board로부터 3개의 Fiber optic 입력

[5] I/O Board
- ▶ 24Vac 16개의 입력(Optical Isolation)
- ▶ Relay 회로 On/Off 제어 : 240Vac 4개의 출력

- ▶ Microprocessor 제어
- ▶ RS485 통신 Driver : 직렬 I/O Bus
- ▶ 24V 전원

[6] Keypad Board
- ▶ 사용자 Interface 기능
- ▶ Fan, Light 등 단순 On/Off 제어
- ▶ Processor : 68HC711(Motorola)

[7] Optical Interface/ Distributor Board
- ▶ Interface : 6개의 Gate/6개의 Redundancy 신호 입력, RS485 통신 Driver(직렬 I/O Bus)
- ▶ Distributor : Gate/RGate 신호를 48개의 IGBT로 전송, IGBT 구동회로로부터 이상 감지

[8] DC Offset Board
- ▶ 인버터 전압 dc 성분 검출
- ▶ 동기화 Zero crossing 기능

[9] Neutral Board
- ▶ Miscellaneous part 제어

[10] Communication Board
- ▶ Modem 제어
- ▶ Sequence 제어
- ▶ Start
- ▶ 단순 monitoring

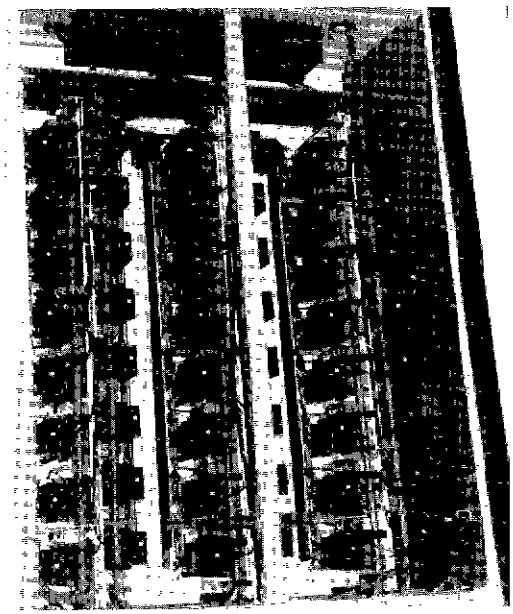


그림 3 STATCOM의 power stack
Fig 3 Power Stack of STATCOM

2.3 Power Stack 제작 및 시험

그림 3에는 1MVA STATCOM의 Power Stack을 보이고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 6개의 벨브가 보이며 붙어 있는 두 개의 벨브가 하나의 상을 이루며 각 밸브는 8개의 IGBT소자를 직렬연결하여 구성하였다. 하나의 벨브를 이루는 8개의 IGBT스위치는 하나의 Redundancy 스위치를 포함한다. 이는 벨브의 스위치에 정전기나 기타 요인에 의한 fault가 발생하여도 전체시스템의 안정성에는 영향이 없도록 하기 위한 조치이다. 그림 4와 그림 5에는 Power Stack의 인버터 게이트 신호인가 시험과 PWM을 이용한 전체 인버터 동작 시험의 파형을 보이고 있다. 그림 5에서는 계통과의 연결을 끊고 Discharger와 Precharge의 지항을 제거한 상태에서 Gate신호를 발생시켜 인버터 출력전압을 확인한 시험의 결과이다.

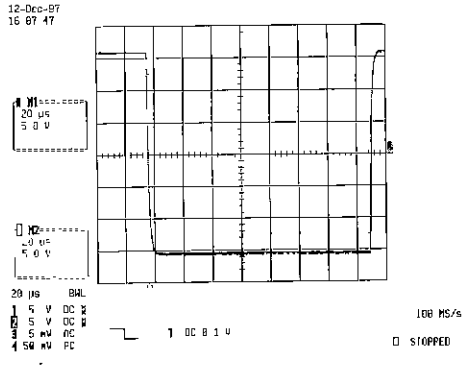


그림 4 인버터 게이팅 시험 파형
Fig. 4 Waveform of Inverter gate signal test

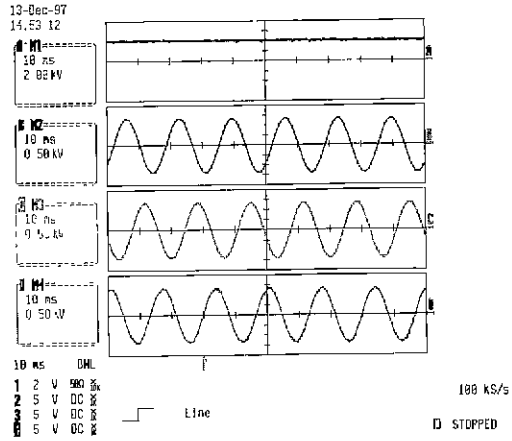


그림 5 개루프시험의 인버터 출력전압 파형
Fig. 5 Waveform of off-line inverter operation test

3. STATCOM의 제어 원리와 방식

3.1 STATCOM의 전압안정도 개선 제어

다음의 그림 6은 전압안정도 개선기능을 설명하기 위한 간단한 계통도이다. E 는 모선전압을 나타내며 V 는 부하단의 전압 즉 전압의 안정화를 도모하는 대상의 전압이다. 이 사이를 전압 강하를 야기하는 선로 임피던스 Z_S 로 등가화하였고 부하는 어드미턴스 Y_L 로 나타내었으며 STATCOM은 제어대상 선로에 병렬로 연결되어 있다.

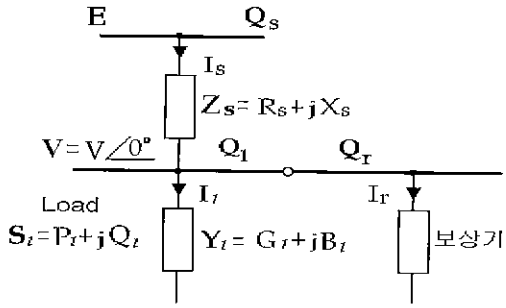


그림 6 전압안정도 개선기능을 설명하기 위한 간단한 계통도

Fig. 6 Simple power system for explanation of function for improvement of voltage stability

우선 모선과 대상선로 사이의 전압을 ΔV 라 하면 이는 다음 식과 같이 표현할 수 있다

$$\Delta V = E - V = Z_S I_L \tag{1}$$

$$S = VI^* \ , \ S^* = V^* I \tag{2}$$

$$I_L = \frac{P_L + jQ_S}{V} \tag{3}$$

복소전력을 나타내는 식(1)로부터 I_L 을 구하면 식(3)과 같으며 이와 식(1)을 이용하여 ΔV 를 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Delta V &= R_S + jX_S \left(\frac{P_L + jQ_L}{V} \right) \\ &= \frac{(R_S P_L + X_S Q_L)}{V} \\ &+ j \frac{(X_S P_L - R_S Q_L)}{V} \\ &= \Delta V_R + \Delta V_X \end{aligned} \tag{4}$$

즉, 실수부와 허수부의 성분으로 나타낼 수 있다.

또한 그림 7를 보면 모선전압 E 로부터 선로 임피던스 Z_S 에 의한 전압강하 ΔV 만큼 감소한 것이 V 임을 알 수 있고, ΔV 는 식(5)로 다시 나타낼 수 있다.

($V = V\angle 0$ 기준벡터 임)

$$\Delta V = I_S R_S + jI_S X_S \tag{5}$$

STATCOM이 없을 경우 $I_S = I_L$ 이므로 ΔV 는 선로전류 I_S 와 부하전류 I_L 는 방향이 같음을 알 수 있다.

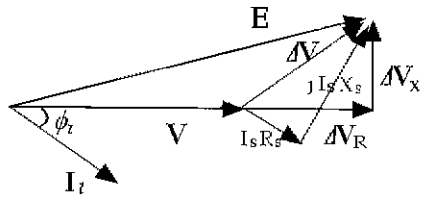


그림 7 STATCOM이 없을 때의 Phasor도

Fig 7 Phasor diagram without STATCOM

STATCOM을 부가하였을 경우 다음 식이 성립한다.

$$I_S = I_L + I_r \tag{6}$$

그림 8은 STATCOM이 부가되었을 경우를 나타낸다. 부하가 일정한 상태에서 I_L 의 크기와 위상각이 고정되었다고 하면, 진상전류를 흐르도록 하는 용량성 보상기를 부가함으로써 보상기전류 I_r 의 크기를 조절하여 I_S 의 위상각을 변화시킬 수 있다. 따라서 식(5)로부터 ΔV 의 크기와 위상각이 변화하는데 이는 ΔV 의 조절로써 PCC전압 V 를 제어하여 전압안정도 개선 기능을 만족시킬 수 있음을 의미한다. 즉, STATCOM에 의해 공급된 무효전류를 통하여 선로에 흐르는 전류의 위상을 제어하면 PCC전압을 제어할 수 있다.[4]

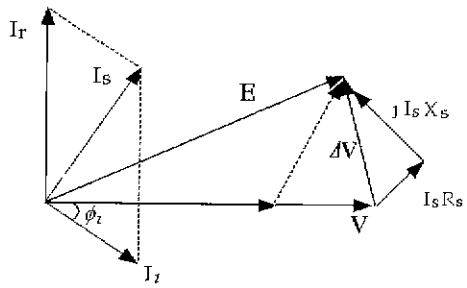


그림 8 PCC 전압제어 Phasor도

Fig. 8 Phasor diagram of PCC voltage control with STATCOM

3.2 STATCOM의 역률개선 제어

역률개선 기능을 설명하기 위하여 간단한 계통도를 다음의 그림 9에 나타내었으며, 부하단 지점의 역률을 개선하기 위하여 STATCOM(보상기)을 병렬로 부가되어 있다.

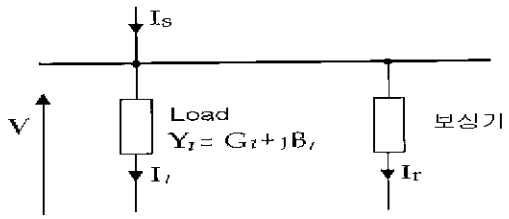


그림 9 역률개선 개선기능을 설명하기 위한 간단한 계통도

Fig. 9 Simple power system for explanation of function for improvement of power factor

부하전류 I_L 은 다음 식 (7)과 같고 실수부 I_R 과 허수부 I_X 의 성분으로 표현되는데, 이에 대한 벡터도가 그림 10에 나타나 있으며 부하의 $R(G)$, $X(B)$의 성분에 의하여 φ_L 이 결정된다.

$$I_L = V(G_L - jB_L) = VG_L + jVB_L = I_R + jI_X \quad (7)$$

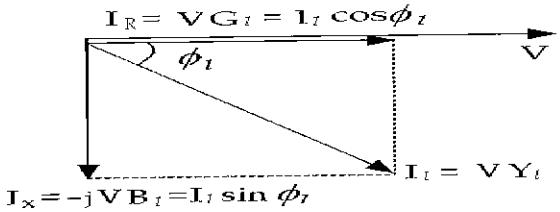


그림 10 임의부하에서 전압 및 전류 벡터도

Fig. 10 Vector of voltage and current in any load

그림 11은 역률개선 기능의 벡터도로써 선로전류 I_S 와 부하단 전압 V 의 위상이 동상이 되도록 제어됨을 알 수 있다. 부하는 유도성부하로써 지상전류가 흐르도록 가정하였고 따라서 STATCOM(보상기)의 전류는 용량성 진상전류가 되어야 효과적인 역률제어가 가능함을 알 수 있다.

어떠한 부하상태에서 부하전류 I_L 의 크기와 방향이 ⑤와 같이 정해졌다고 하면 이 때의 보상기 전류 I_γ 벡터의 크기와 방향은 ③과 같을 때에 전압 V 와 전류 I_S 의 동상을 유지할 수 있게 된다. 또한 이 상태에서 I_γ 을 ①과 ②와 같이 크기를 조절하면 선로전류 I_S 를 진/지상으로 변화가 가능함을 알 수 있다.

결국 보상기 전류 I_γ 의 크기를 제어하므로써 역률제어가 가능하며, 여기서는 부하단이 지상전류를 야기할 경우만의 예를 설명하고 있지만 용량성 부하일 경우도 보상기를 유도성으로 동작시킴으로써 역시 역률제어가 가능함을 알 수 있다.[11]

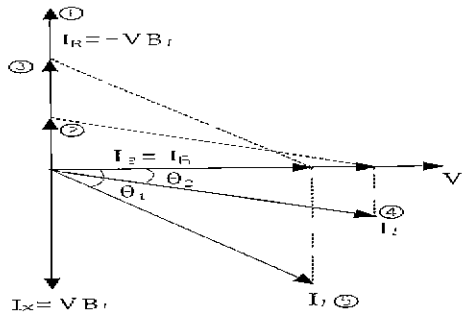


그림 11 역률개선 기능의 벡터도

Fig. 11 Vector of function for improvement of power factor

4. Results of STATCOM operation test

그림 12에서 그림 14에는 효성 창원 공장에서 실시한 STATCOM의 전압제어모드 운전결과이다. 그림 12는 STATCOM을 인가하지 않은 상태에서의 계통의 전압·전류 파형을 보이고 있다.

또한 그림 13에서는 STATCOM이 지상동작시의 파형을 보이며 그림 14에서는 진상동작시의 전압·전류의 파형을 보이고 있다. 그림 12와 14에서 알 수 있듯이 STATCOM의 진상운전으로 계통의 역률이 향상됨을 알 수 있으며 전압의 THD가 향상되었다. 그러나 계통이 위낙 건고한 관계로 그림에서의 확인은 불가능하며 그림 15에서 17까지의 결과로 확인할 수 있다. 그림 12에서 그림 14까지는 ①은 STATCOM이 주입하는 전류, ②은 연결점의(PCC)선로전압이고, ③은 연결점의(PCC) 선로전류이다.

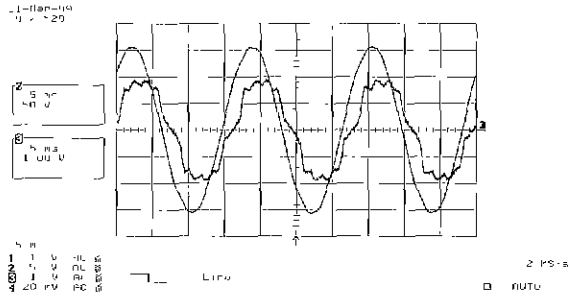


그림 12 STATCOM이 없을때의 전압· 전류파형

Fig. 12 Waveform of voltage and current without STATCOM

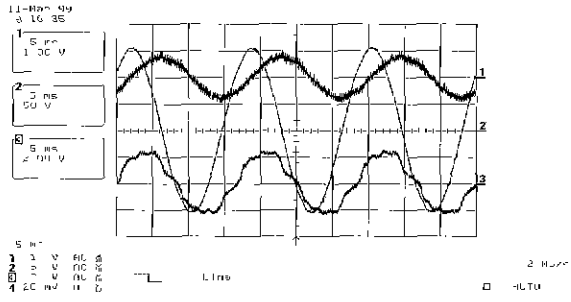


그림 13 STATCOM 지상동작시의 전압· 전류파형

Fig 13 Waveform of voltage and current in inductive mode with STATCOM

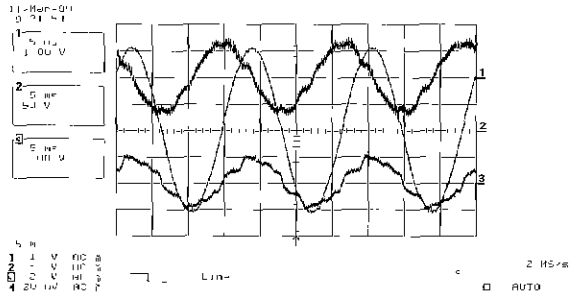


그림 14 STATCOM 진상동작시 전압 전류파형

Fig 14 Waveform of voltage and current in capacitive mode with STATCOM

다음의 그림 18에서 그림 20까지의 시험 결과는 STATCOM의 장시간 연속 운전시의 안정성을 확인하고 무효전력 및 역률 보상효과를 보기 위해서 효성 공장에 STATCOM을 연결하고 역률보상 제어모드에서 일주일 단위로 운전하여 얻은 데이터이다. 본 논문에는 공장 부하의 특성을 잘 보이기 위해서 각 운전모드에서의 목요일 데이터를 그림과 함께 설명한다. 그림 18은 STATCOM을 운전하지 않은 상태에서의 공장내 역률과 무효전력의 일일데이터이며, 그림에서 알 수 있듯이 역률은 0.6 ~ 0.8사이의 값을 가지며 무효전력

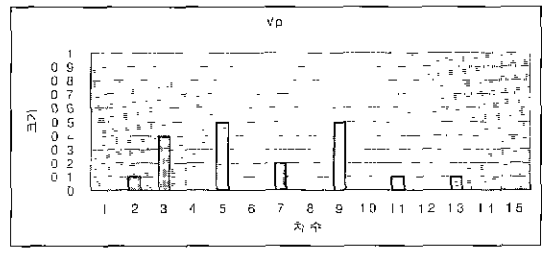


그림 15 STATCOM이 없을때의 전압 FFT

Fig. 15 FFT of voltage without STATCOM (V_{THD} = 0.881)

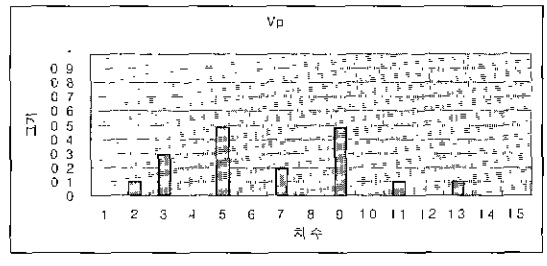


그림 16 STATCOM 지상동작시의 전압 FFT

Fig. 16 FFT of voltage in inductive mode with STATCOM (V_{THD} = 0.823)

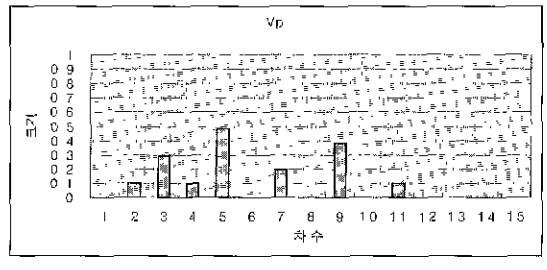


그림 17 STATCOM 진상동작시 전압 FFT

Fig. 17 FFT of voltage in capacitive mode with STATCOM (V_{THD} = 0.743)

은 200kVAR ~ 500kVAR까지 나타난다. 중간의 12시에서 14까지 무효전력이 작은 이유는 점심시간이기 때문에 전체적인 공장부하의 감소에 기인한 결과이다.

그림 19는 STATCOM을 진상동작 시킬 때의 공장의 역률과 무효전력의 일일 데이터이며, 역률은 0.6 ~ 1.0까지의 값을 가지며 무효전력은 100kVAR ~ 200kVAR의 값을 보인다. 시험결과 역률의 일일데이터에서 알 수 있듯이 공장이 가동중인 09시부터 21까지는 역률이 거의 1의 값을 유지하는 것을 볼 수 있다. 또한, 무효전력도 100kVAR로 크게 감소한 것을 알 수

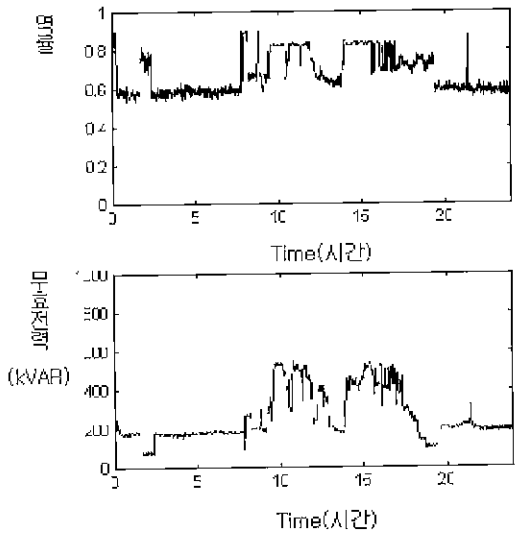


그림 18 STATCOM이 없을 때의 역률· 무효전력의 일일 데이터(99년 4월 22일, 목요일)

Fig. 18 Daily data of power factor and reactive power without STATCOM

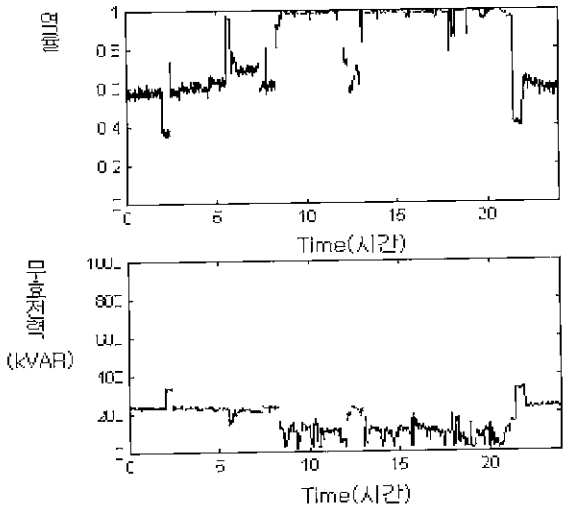


그림 19 STATCOM이 진상동작시 역률· 무효전력의 일일데이터(99년 4월 29일, 목요일)

Fig. 19 Daily data of power factor and reactive power in capacitive mode with STATCOM

있다. 그림 20에서는 이와 반대로 STATCOM을 지상 운전 하였을 때의 시험 결과이며, 역률은 0.2 ~ 0.7까지로 낮아지며 무효전력 역시 400kVAR에서 800kVAR까지 늘어난다. 이는 실제 상황에서는 운전되지 않는 제어모드이지만 본 시험에서는 장시간 운전에서의 STATCOM의 성능과 안정성을 확인하기 위하여

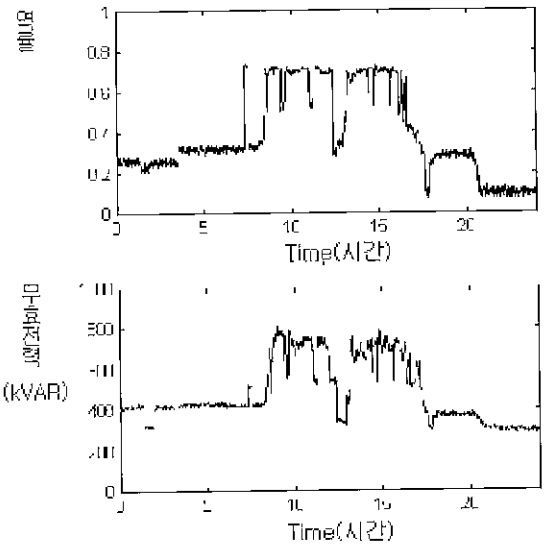


그림 20 STATCOM이 지상동작시 역률 무효전력의 일일데이터(99년 5월 6일, 목요일)

Fig 20 Daily data of power factor and reactive power in inductive mode with STATCOM

본 시험을 수행하였다. 시험 결과로부터 역률과 무효전력의 보상에서 STATCOM이 우수한 성능을 가지는 것을 확인할 수 있었으며 또한 안정적으로 운전됨을 확인하였다.

6. 결 론

본 연구는 배전계통에서의 전력품질 향상과 송전계통에서의 계통안정성 증진과 설비 이용률 극대화를 목적으로 하는 FACTS기기 중 하나인 배전용 STATCOM의 국내 제작기술 구축과 FACTS기기의 계통운용기술 확보를 목표로 수행하였으며, 실증시험의 결과를 지금까지 보였다. STATCOM이 가지는 전압제어, 무효전력보상에 대하여는 시험 결과 매우 우수한 성능을 가짐을 확인할 수 있었으며, 본 논문에는 포함되지 않았지만 전압플리커 억제에도 좋은 성능을 보이고 있다. 향후 배전계통내 전력품질과 관련하여 핫이슈가 되고 있는 고조파 보상에 대한 성능 검증을 위한 실증시험을 수행할 계획이다.

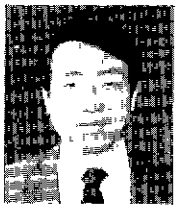
참 고 문 헌

[1] Colin Schauder, Harshad Mehta, "Vector Analysis and Control of Advanced Static Var Compensators", IEEE

Proceedings, Vol 140, No.4, July 1993
[2] Schauder, C. D., et al., "Development of a 100 MVAR Static Condenser for Voltage Control of Transmission Systems", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 10, No. 3, July 1995
[3] 이기선, 전영수, 오관일, "FACTS기기 개발 I단계 연구", 최종보고서, December 1999.
[4] 추진부, 전영수, 윤종수, 한영성, 홍순욱, 이학성, 신희승, "전압조정과 고조파 저감을 위한 배전용 STATCOM 개발", 전력전자학회지 논문집, 제4권 제6호, pp.601-pp.607, December 1999.

저 자 소 개

오관일(吳寬一)
1972년 8월 1일생. 1995년 KAIST 전기 및 전자공학과 학부과정 졸업. 1997년 KAIST 전기 및 전지공학과 석사과정 졸업. 현재 한국전력공사 전력연구원 일반연구원.



전영수(全榮洙)
1960년 2월 9일생. 1983년 성균관대 전기공학과 졸업. 1999년 충남대 전기공학 석사학위 현재 한국전력공사 전력연구원 선임연구원.

박상태(朴相泰)
1951년 5월 22일생. 1997년 대전산업대 전기공학과 졸업 현재 한국전력공사 전력연구원 책임연구원

추진부(秋鎭夫)
1950년 1월 7일생. 1977년 서울대 공대 전기공학과 졸업 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박) 현재 한전 전력연구원 전력계통연구실 수석연구원