

제주 50MVA STATCOM 설치 효과 분석

한영성^{***}, 정정주^{**}, 박정수^{*}, 여상민^{*}, 송지영^{*}, 서인영^{*}
효성중공업연구소 전력전자팀^{*}, 한양대학교 전자전기컴퓨터공학부^{**}

Installation of 50MVA STATCOMs in Jeju Power System

Youngseong Han^{***}, Chung Choo Chung^{**}, Jung-Soo Park^{*}, Sang-Min Yeo^{*}, Ji-Young Song^{*},
In-Young Suh^{*}

Power Electronics Team, Power & Industrial Systems R&D Center, Hyosung Corporation^{*},
Electrical & Computer Engineering Division, Hanyang University^{**}

ABSTRACT

STATCOM은 전력전자 기반의 전압형 인버터를 이용한 무효 전력 보상장치로써 우수한 전압 제어 능력과 빠른 동작 특성, 그리고 운용 및 유지/관리의 유연성으로 인해 기존에 사용되던 무효 전력 보상장치들을 빠르게 대체하고 있다. 효성중공업에서는 국내 최초로 100MVA STATCOM을 개발하여 한전 실 계통에 설치/운용한 바 있고 이 경험을 바탕으로 최근 논의되고 있는 제주 50MVA STATCOM의 개발에 착수하였다. 본 논문에서는 이 프로젝트와 관련된 배경을 설명하고 연구 과정에서 수행된 제주 전력 계통의 STATCOM 설치 효과 모의 결과에 대해서 소개하고자 한다.

1. 서론

STATCOM(Static Compensator)은 전력 계통의 운용 및 제어에 사용되는 FACTS(Flexible AC Transmission System) 기기들 중 모선의 전압 제어를 위해 사용되는 무효 전력 보상장치이다. FACTS 기기는 기존의 전력 설비들과는 달리 전력 전자 기반의 반도체 소자들로 구성되어 이들의 스위칭에 의해 동작하게 되는데 이 중 가장 발전된 형태는 STATCOM과 같이 직접 AC 전압을 생성해 낼 수 있는 전압원 인버터 기반의 FACTS 기기들이다.

효성중공업에서는 국내 최초로 100MVA STATCOM을 개발하여 미금 345kV 모선에 설치/운용하고 있으며 이러한 경험을 바탕으로 제주 50MVA STATCOM에 대한 개발을 착수하였다. 본 논문에서는 이 프로젝트와 관련하여 제주 계통의 STATCOM 설치 배경에 대해서 설명하고 설계 시 고려된 기기 투입 효과에 대한 분석 결과를 소개 하고자 한다.

2. 시뮬레이션 결과

2.1 2013년 제주 계통

아래 그림 1은 2013년 제주 지역 전력 계통을 나타낸 것이다. 한국전력거래소 제주지사의 '2009~2014년 제주지역 발전설비 현황 및 전력공급 우선순위'에 의하면 제주 계통에는 기존 설치/운전 중인 제주-해남 간 1차 HVDC 연계선 외에 2012년까지 제주-진도 간 2차 HVDC 연계선이 투입되어 운전될 예정이다. 2차 연계선이 투입된 2012년에는 기존 1차 연계선의 제어기 교체 작업을 이해 2차 연계선만이 운전될 예정이며 1,

2차 연계선이 모두 투입되는 시기는 2013년이다.

1, 2차 연계선의 평시 전력 전달량은 최대 설비 용량의 50%인 150MW와 250MW로 이들의 총 전력 전송량 400MW는 2013년 제주 계통의 하계 첨두부하 예측량 706MW의 약 57%이다. 따라서 2013년 이후에는 제주 계통 내에 충분한 발전 예비력이 확보되어 노후된 발전기들은 폐지되고 일부 발전기들은 평시에는 정지된 상태로 계통이 운용될 예정이다.

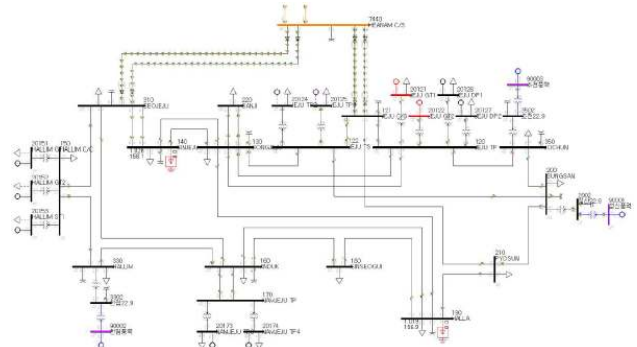


그림 1 2013년 제주 계통
Fig. 1 Schematic Representation of Jeju Power System in 2013

그러나 이러한 변화 후 유효 전력 예비력은 확보 되지만 무효 전력 예비력은 오히려 감소하게 된다. 제주에 연계된 그리고 연계될 HVDC 연계선들은 모두 전류형 인버터를 사용하며 이 설비는 전송하는 유효 전력의 약 60%에 해당하는 양만큼 무효 전력을 소비한다. 따라서 HVDC를 통해 공급되는 유효 전력이 늘어나면 무효 전력 소비량도 늘어나게 되는 것이다. 또한 일부 발전기들이 폐지 및 휴전하게 되면서 무효 전력의 순동 예비력은 오히려 감소하게 된다.

이와 같은 이유로 인하여 제주 계통 내 부족한 무효 전력 순동 예비력의 확보 목적으로 50MVA STATCOM 2기의 설치가 계획되었다. 2기 중 1기는 2차 연계선이 설치될 서제주 인근인 신제주 154kV 모선이고 나머지 하나는 제주 남동부의 한라 154kV 모선이다.

2.2 PSCAD/EMTDC

아래 그림 2는 STATCOM의 PSCAD/EMTDC 시뮬레이션을 위하여 구성된 시스템을 나타내고 있다. 이 그림은 한라 154kV 모선에 설치된 50MVA STATCOM을 나타낸 것이며

제주 계통은 PSS/E를 이용하여 위 그림 1의 한라 모선에서 계산된 Thevenin 등가 회로와 가상의 전원으로 나타내었다. 계산된 Thevenin 등가 임피던스는 다음과 같다.

$$Z_+ = 0.004670 + j0.051775 \text{ p.u.}$$

$$Z_- = 0.024274 + j0.087738 \text{ p.u.}$$

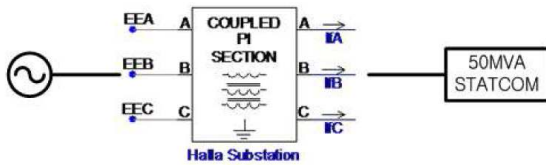


그림 2 한라 모선에 설치된 STATCOM의 PSCAD/EMTDC 모델
Fig. 2 PSCAD/EMTDC Model of STATCOM in Halla Station

STATCOM이 정격 $\pm 50\text{MVA}$ 의 범위에서 동작한다고 가정하면 100MVA 기준에서 위 회로에 흐르는 전류는 $\pm 0.5\text{p.u.}$ 이다. 이 때 한라 변전소 등가 임피던스에 의한 전압 강하는 $V=IZ$ 에 의해 $V=\pm j0.5(0.00467+j0.051775)=\mp 0.0258875\pm j0.002335$ ($\therefore |V|\approx 0.026$)이다. 따라서 STATCOM 단자 모선에서의 전압은 50MVA STATCOM에 의하여 전원 전압 $1.0\pm 0.026\text{p.u.}$ 의 범위로 조절될 수 있다.

개발된 STATCOM의 동작 특성에 대한 과도 현상을 모의하기 위하여 PSCAD/EMTDC 시뮬레이션을 수행 하였다. STATCOM의 제어 기준 전압 $V_{ref}=1.0\text{p.u.}$ 으로 설정하고 계통 측 전압(EEA~EEC)을 다음과 같이 변화시켜 STATCOM이 제대로 동작하고 있는지 검증하였다.

아래 그림 3은 계통 측 전압과 STATCOM이 연계된 지점에서의 전압 실효치를 비교한 파형이다. 계통 측 단자 전압과 STATCOM 연계 지점 사이의 Thevenin Impedance에 의해서 두 전압 간에 약간의 차이가 발생하고 있으나 전압이 0.0p.u. 로 떨어진 때($5.0\sim 5.5\text{sec}$)를 제외하면 계통 전압이 기준 전압 보다 높으면 단자 전압을 낮추고 계통 전압이 기준 전압 보다 낮으면 단자 전압이 높아지도록 동작하고 있음을 확인할 수 있다.

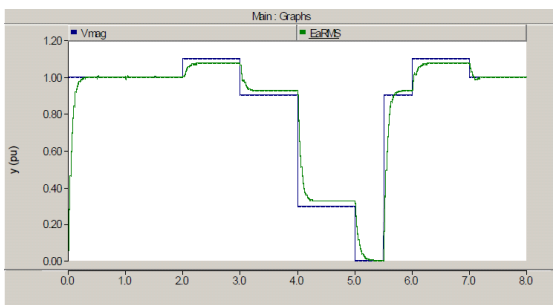


그림 3 계통 측 전압 변화와 STATCOM 단자 전압 변화
Fig. 3 Voltage Variations on Power System and STATCOM Terminal Sides

2.3 PSS/E

STATCOM 설치 효과 분석을 위해서 그림 1의 2013년 제주 계통에 대한 과도 안정도 시뮬레이션을 PSS/E를 이용하여 수행 하였다. 계통 조건은 전력 소비량이 가장 적은 10월 최소 부하 조건을 가정하였으며, 이 때 전력 소비량은 약 374MW 이고 이 중 HVDC 통해 공급받는 전력은 약 291MW 이다. 제주도 내의 자체 발전량은 제주 내연 1기(28MW)와 남제주 기력 1기(55MW)에 불과하다. 따라서 무효 전력 순동 예비력이 가장

작은 경우에 해당한다.

그림 4는 제주 계통에 사고가 발생했을 때 STATCOM이 설치될 신제주와 한라 154kV 모선의 전압 변화를 나타낸 것이다. STATCOM의 설치 효과와 SVC와의 전압 제어 능력 비교를 위해 FACTS 기기가 설치되지 않았을 때, SVC가 설치되었을 때, 그리고 STATCOM이 설치되었을 때의 3가지 경우에 대해서 시뮬레이션을 수행 하였다. 사고 시나리오는 다음과 같다.

- at 0.5 sec : 안덕-남제주 간 1회선 선로 사고 발생
- at 0.6 sec : 사고 선로 차단
- at 0.7 sec : 남제주 기력 발전기 탈락
- at 1.1 sec : 차단 선로 재투입 (고장 제거 실패)
- at 1.2 sec : 사고 선로 제거

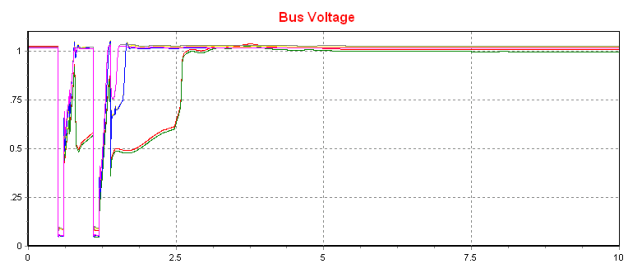


그림 4 신제주와 한라 모선의 전압 변화
Fig. 4 Voltage Variations on Sinjeju and Halla buses

위 그림에서 볼 수 있는 것처럼 FACTS 기기가 설치되지 않았을 때에는 발전기 탈락 후(0.7sec), 그리고 재투입 사고 선로 차단 후(1.2sec)에 전압 강하가 약 0.5p.u. 까지 발생한다. FACTS 기기 설치 후에는 이러한 문제가 개선되지만 재투입 사고 선로 차단 후(1.2sec)에 전압 강하가 SVC의 경우에는 약 0.65p.u. 로 0.3초 간 발생하지만 STATCOM의 경우에는 약 0.75p.u. 로 0.1초 간 발생하는 것을 알 수 있다. 이는 제주 계통에 대한 STATCOM의 전압 제어 효과를 확실하게 보여주고 있으며 SVC와 비교했을 때에도 그 능력이 뛰어나다는 것을 보여주고 있다.

3. 결론

위 단원의 모의 결과로부터 효성중공업에서 개발 중인 50MVA STATCOM의 성과와 설치 효과를 확인할 수 있었다. 위 결과에 의하면 STATCOM의 설치가 제주 전력 계통의 전압 안정도에 기여할 수 있으며 그 효과는 SVC 보다도 효과적이다. 효성중공업에서는 축적된 대용량 전압원 인버터 기술을 바탕으로 미금 100MVA STATCOM에 이어 제주 50MVA STATCOM 프로젝트 또한 성공적으로 완료하도록 노력할 것이다.

참고 문헌

[1] N. G. Hingorani, L. Gyugyi, Understanding FACTS: Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2000.
[2] P. Kundur, Power System Stability and Control, McGraw-Hill, 1994.