

UPFC GTO Thyristor VTE(Valve Test Equipment) 개발

金守烈[†], 張秉勳^{*}, 尹鍾秀^{**}, 金容鶴^{***}, 白斗鉉^{****}

Development of UPFC GTO Thyristor Valve Test Equipment

Soo-Yeol Kim, Byung-Hoon Chang, Jong-Soo Yoon, Yong-Hak Kim and Doo-Hyun Baek

요 약

한국전력공사는 강진변전소에 FACTS 설비인 80MVA UPFC를 (주)효성과 공동으로 개발하여 2003. 5월 준공하였다. 강진 UPFC는 40MVA 병렬인버터와 40MVA 직렬인버터로 구성되어 있으며, 대용량 인버터 핵심기술은 지멘스와 기술제휴로 개발되었다. 한국전력공사는 UPFC 운영을 통하여 확보된 기술을 기반으로 제어기술을 국산화하고 있으며, 현재 유지보수용으로 GTO Thyristor 밸브 시험 장비를 개발하였다. 본 설비는 기존 수작업에 의한 GTO Thyristor 밸브의 건전성 시험을 자동화하고, 자료를 체계적으로 이력 관리함으로써, UPFC 설비의 신뢰성 향상에 도움을 줄 것으로 기대된다.

ABSTRACT

KEPCO 80MVA UPFC has been operated in Gangjin Substation since May. 2003. This UPFC is composed of 40MVA shunt inverter and 40MVA series inverter, and developed in technical cooperation between Hyosung and Siemens. KEPCO has tried to localize UPFC control technique after its installation and developed GTO Thyristor Valve Test Equipment for annual maintenance test. The development of this equipment make it possible to process GTO Thyristor module test automatically and manage historic data systematically, which could improve UPFC reliability.

Key Words : Flexible AC Transmission System, Unified Power Flow Controller, STATic synchronous Compensator, Static Synchronous Series Compensator, GTO Thyristor Valve Test Equipment

1. 서 론

유연송전시스템(FACTS : Flexible AC Transmission System)은 전력계통 안정화설비에 전력용 반도체

소자를 적용한 송변전설비로, 90년대부터는 신 개념의 전압원 컨버터형 FACTS설비가 개발되었다. 우리나라의 경우, 인구밀집지역으로의 대용량의 전력수송이 불가피하지만, 환경문제, 경과지 확보 등의 어려움으로 설비확충이 계획대로 이루어지지 않고 있는 실정이며, 이러한 추세는 점차 심화될 것으로 전망된다^[1]. 이런 환경변화 속에서 전력연구원에서 (주)효성과 공동으로 대용량 전력변환기술 및 345kV로의 설비 확대적용에 대한 신뢰성 확보를 목표로, 종합조류제어기(UPFC : Unified Power Flow Controller) 시작품을 154kV 강진 변전소에 2003년 5월 준공하여 운전하고 있다.

[†]교신저자 : 정희원, 한전 전력연구원 전력계통연구소 선임
E-mail : sykim@kepri.re.kr

^{*}정희원, 한전 전력연구원 전력계통연구소 선임연구원

^{**}정희원, 한전 전력연구원 전력계통연구소 선임연구원

^{***}정희원, 한전 전력연구원 전력계통연구소 선임연구원

^{****}정희원, 한전 부산전력관리처 신울산전력소 소장

접수일자 : 2008. 7. 31 1차 심사 : 2008. 9. 6

2차 심사 : 2008. 9. 9 심사완료 : 2008. 9. 10

그림 1의 강진 UPFC 인버터는 STATCOM(Static synchronous COMPensator), SSSC(Static Synchronous Series Compensator), UPFC의 운전모드를 갖는다. STATCOM은 변전소 모선에 병렬 연계되어 무효전력을 수수하여 계통전압을 제어하며, SSSC는 송전선로에 전압을 직렬 주입하여 계통의 조류를 변화시킨다. UPFC는 송전선로에 직렬 및 병렬 연계되어 송전선로의 조류 제어와 모선의 전압 제어를 동시에 할 수 있다^[2].

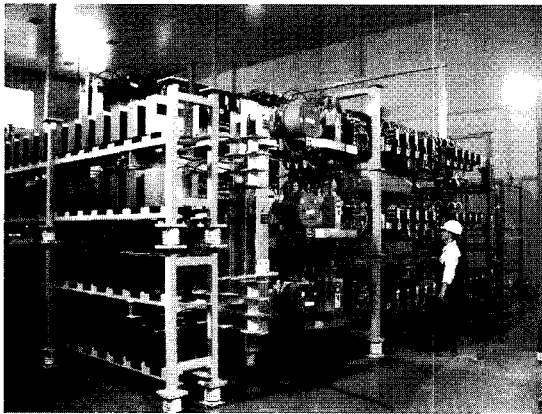


그림 1 강진 UPFC 인버터(4*20MVA/4 stack)
Fig. 1 Gangjin UPFC inverter

강진 UPFC는 준공 이후, 설비의 안정적인 운전까지 2년여 기간 동안 설비의 연차점검을 통하여 설비의 개선 또는 고장 문제를 해소하였다^[3]. 하지만 현안 사안으로 핵심 기술에 대한 대외 종속 극복 및 유지보수 체계화를 통한 설비의 장기적인 운전에 대비해야 하는 문제는 여전히 과제로 남아 있었다. 따라서 전력연구원에서는 FACTS 기술 국산화를 위한 100MVA STATCOM 개발을 정부지원 전력IT 사업으로 (주)효성과 공동으로 수행하면서, 한편으로는 UPFC 운영기술 향상을 위해 GTO Thyristor 밸브시험장비를 개발하였다.

2. 강진 UPFC 소개

2.1 UPFC 인버터

그림 2에서와 같이, 강진 UPFC는 강진변전소에 설치되어 모선에 병렬인버터가 연결되어 있으며, 강진-장흥간 송전선로 사이에 직렬축이 삽입 연결되어 있다. 이로써 강진 모선의 전압제어 및 강진-장흥간에 4상환의 전압을 주입하여 강진-장흥 송전선로의 전력조류를 제어한다^[4].

강진 UPFC는 크게 병렬 40MVA, 직렬 40MVA 인

버터, 주변압기, 중재(결합)변압기, Thyristor Bypass 회로로 구성되어 있다. 계통사고 및 설비 고장 시, 직렬인버터 차단기는 계통측 직렬변압기를 바이패스 동작시켜 UPFC를 계통으로부터 전기적으로 분리한다. 이때 Thyristor Bypass 회로는 직렬인버터 차단기(즉, Bypass CB)의 7-9사이클의 지연 동작동안 도통되어 Bypass CB의 동작을 보완한다.

병렬인버터 및 직렬인버터는 각각 2대의 20MVA 3 level 인버터 모듈로 구성되어 있으며, 중재변압기를 통해 자기적으로 합성되어 40MVA의 STATCOM, 40MVA SSSC 및 80MVA UPFC 모드로 동작된다^[5].

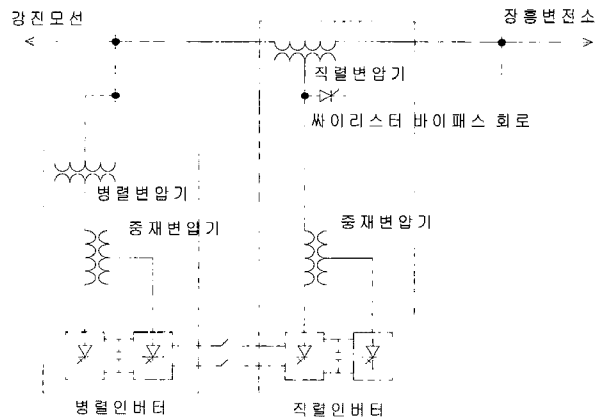


그림 2 강진 UPFC 계통 구성도
Fig. 2 System config. of Gangjin UPFC

2.2 3 level 인버터

강진 UPFC 직렬 및 병렬인버터 각각 6개의 폴로 구성되어 있으며, 각 인버터 폴은 4개의 스위칭 밸브(PP, PM, NM, NN)를 동작시켜 three-level ac pole 출력 전압을 생성한다. 그림 3은 3-level 6pulse 3상 인버터의 기본 동작을 나타낸다. 3상의 인버터 출력전압은 중재(결합)변압기를 통해 자기적으로 합성되어 고조파를 저감시킨다^[2].

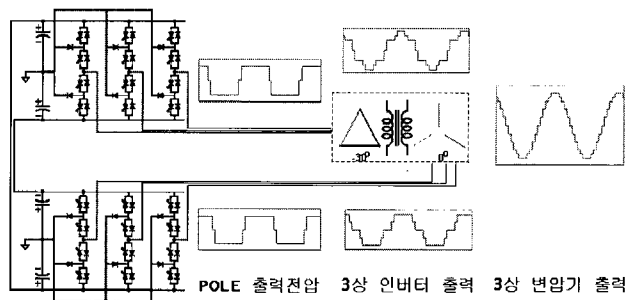


그림 3 24 Pulse 인버터 파형 특성
Fig. 3 Output waveform of 24 pulse inverter

그림 4는 강진 UPFC 병렬축 20MVA 단위인버터 A 상 폴의 최상위 PP축 GTO Thyristor 밸브 사진이다.

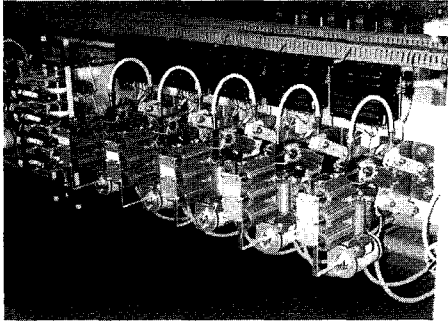


그림 4 강진 UPFC GTO Thyristor Valve
Fig. 4 GTO Thyristor Valve of Gangjin UPFC

2.3 GTO Thyristor 모듈

그림 5는 GTO Thyristor 모듈을 나타내며, 그 구성 요소들은 4500V 4000A 정격의 Gate Turn-Off(GTO) Thyristor(G1)와 역병렬 다이오드(D1)와 보호회로인 스너버(C1, D2, R2, C2, R3)와 전압 분배 저항(R1)과 수냉식 방열기로 구성된다. 표 1은 GTO Thyristor 모듈의 특성값을 나타낸다.

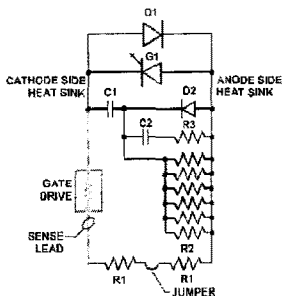


그림 5 GTO Thyristor 모듈 회로도 및 구성
Fig. 5 GTO Thyristor module

표 1 GTO Thyristor 모듈 특성값
Table 1 GTO Thyristor module parameters

| | | | |
|------------------------|--------------|----|------------|
| G1(GTO) | 4500V, 4000A | C2 | 0.22uF |
| C1 | 6uF | R3 | 1.5Ω |
| R2 | 30Ω // 6 | R1 | 4.18kΩ * 2 |
| stray inductance 500nH | | | |

3. UPFC GTO Thyristor VTE 개발

3.1 UPFC GTO Thyristor VTE

개발된 밸브 시험 장비는 UPFC GTO Thyristor 시

험 자동화와 시험결과와 체계적인 관리로 효율적이며 신뢰성 있는 유지보수 기술을 확립하는데 목적이 있다. 기존 UPFC GTO Thyristor 모듈 진단 기술 및 설비 유지보수 경험을 토대로 UPFC 설비의 전력 소자 및 주변 회로를 포함한 밸브 시험 방안을 확립하고, 설비 사양을 결정 후, 밸브시험장비를 개발하였다.

시험은 UPFC 인버터 회로변경을 최소화하는 조건으로 이뤄지며, 가압전 시험과 가압시험으로 구분된다. 가압전 시험을 통해 GTO Thyristor 모듈의 수동소자 R1, R2, R3, C1, C2를 측정한다. GTO Thyristor 모듈은 임피던스 레벨이 다른 수동소자가 복잡하게 연결된 구조로 모듈 양단을 측정하면 C1과 R2 측정이 가능하다. 이때 R1, R3, C1은 상대적으로 임피던스가 커 측정에 거의 영향을 미치지 않는다. R2, C2는 임피던스가 상대적으로 커 R2와 병렬로 연결된 상태에서는 측정이 불가하여, C1, R2 값에 이상이 있을 경우, 회로를 분리하여 C2와 R3 값을 측정한다.

반도체 소자의 기능확인으 전압을 인가하고 전류가 흐르는 상태에서 측정하는 것이 정확하다. 따라서 가압시험에서는 그림 6에서와 같이 GTO Thyristor G1, 역병렬 다이오드 D1에 각각 1000V를 인가하고 100A 전류를 흐르게 하여 차단전압, 도통전압, 도통전류를 측정하여 각 소자의 이상유무를 판단하고 도통전압을 저장 관리한다.

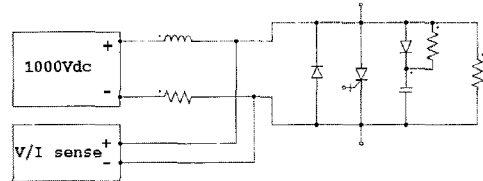


그림 6 GTO Thyristor 모듈 가압시험
Fig. 6 GTO Thyristor module energized test

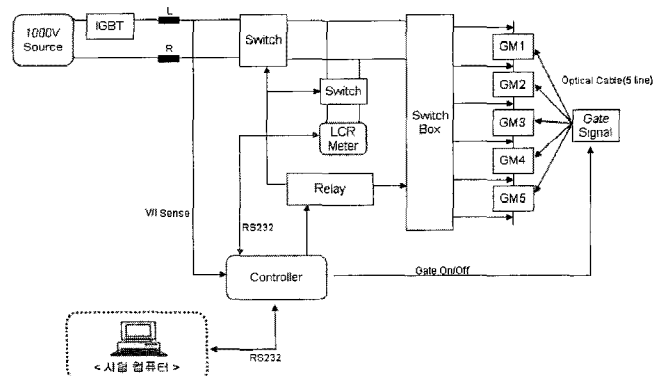


그림 7 GTO Thyristor 밸브 가압시험
Fig. 7 GTO Thyristor valve energized test

각 밸브는 5개의 직렬 연결된 GTO Thyristor 모듈로 구성되어 있으므로, 앞에서 설명한 단일 GTO Thyristor 모듈 검사 방법을 static relay를 이용하여 그림 7과 같이 밸브에 확장 적용하여 시험한다.

Thyristor Bypass 회로는 온라인 운전시 Thyristor 양단의 전압을 구동전원으로 사용하므로, 구동회로 전원 분리에 어려움이 있어 가압시험은 불가하고, 가압 전 시험으로 Thyristor와 스너버 RC를 동시에 점검하도록 설계되었다. Thyristor와 스너버 RC가 병렬로 연결되어 있으므로 한번의 계측으로 스너버 파라미터와 Thyristor 단락유무를 동시에 점검하게 된다.

3.2 개발된 GTO Thyristor 밸브시험장비

개발된 VTE 장비는 내부에 장착된 계측장비로 스너버 회로 파라미터를 측정해 시스템을 점검하는 방식을 채택하고 있다. VTE 장비는 각 Valve 시험 시 5개의 GTO Thyristor를 동시에 점검하는 구조로 설계되어 있다. 즉 하나의 계측장비에 5개의 GTO Thyristor 스너버 회로를 순차적으로 연결하여 측정한다.

그림 8은 밸브시험장비의 기능 블록도를 나타내며, 그림 9는 개발된 밸브시험장비이다.

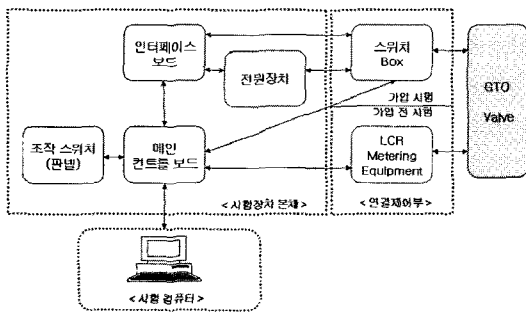


그림 8 밸브시험장비 기능 블록도
Fig. 8 Functional block diagram for VTE

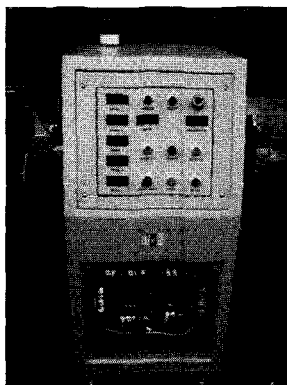


그림 9 밸브시험장비
Fig. 9 VTE

4. 시험 결과

강진 UPFC 연차점검을 통해 각소자의 측정 파라미터가 밸브시험장비에 취득된다. 연차점검으로 시험데이터 수집이 완료한 후 시험장치 본체와 설비 운영 컴퓨터간 통신을 통해 데이터가 전송된다. 시험장치 본체와 컴퓨터를 통신선으로 연결하고 데이터 다운로드 기능을 수행함으로써 VTE 시험장치 본체에 저장된 연차점검 시험 데이터가 컴퓨터로 전송 된다.

컴퓨터의 밸브시험장비 운영 프로그램은 데이터의 비교/분석이 용이한 구조를 가지며, 특정일에 수행된 시험 데이터는 보존되어 시간에 따른 각 파라미터의 변화를 비교할 수 있다. 사용자는 소자 불량을 판단하는 파라미터 기준을 설정하고 그 값을 입력한다. 각 소자 파라미터가 설정치를 벗어나면 그 결과를 쉽게 구별할 수 있도록 화면에 표시하게 된다. 파라미터 기준은 사용자가 임의로 변경 및 설정이 가능하다.

| INV | Pole | ○ ALL | G1 | D1 | D2 | C1/C3 | R2/R4 |
|-----|---------|---------|------|------|-------|-------|-------|
| | | SW | [VI] | [VI] | [VI] | [#] | [#] |
| A | 2A2 | Level-3 | 2.08 | 2.10 | 1.95 | 6.506 | 4.735 |
| | | Level-4 | 2.09 | 2.05 | 1.92 | 6.414 | 4.376 |
| | | Level-5 | 2.10 | 2.11 | 1.97 | 6.737 | 4.838 |
| | | Level-1 | 2.04 | 2.05 | 1.92 | 6.436 | 4.754 |
| | | Level-2 | 2.04 | 2.05 | 1.92 | 6.359 | 4.715 |
| | 2A3 | Level-3 | 2.05 | 2.06 | 1.91 | 6.294 | 4.751 |
| | | Level-4 | 2.05 | 2.07 | 1.94 | 6.331 | 4.756 |
| | | Level-5 | 2.05 | 2.05 | 1.93 | 6.421 | 4.732 |
| | | Level-1 | 2.03 | 2.05 | 1.92 | 6.488 | 4.699 |
| | | Level-2 | 2.04 | 2.04 | 1.91 | 6.431 | 4.715 |
| | 2A4 | Level-3 | 2.04 | 2.06 | 1.91 | 6.421 | 4.775 |
| | | Level-4 | 2.03 | 2.05 | 1.91 | 6.420 | 4.761 |
| | | Level-5 | 2.04 | 2.06 | 1.93 | 6.396 | 4.731 |
| | | Level-1 | 2.09 | 2.10 | 1.95 | 6.447 | 4.653 |
| | | Level-2 | 2.08 | 2.09 | 1.92 | 6.447 | 4.653 |
| B | 2B1 | Level-3 | 2.07 | 2.02 | 1.96 | 6.430 | 4.635 |
| | | Level-4 | 2.09 | 2.10 | 1.97 | 6.429 | 4.630 |
| | | Level-5 | 2.09 | 2.09 | 1.94 | 6.391 | 4.704 |
| | | Level-1 | 2.03 | 2.10 | 1.96 | 6.419 | 4.643 |
| | | Level-2 | 2.07 | 2.09 | 1.95 | 6.335 | 4.686 |
| | 2B2 | Level-3 | 2.11 | 2.11 | 1.95 | 6.325 | 4.620 |
| | | Level-4 | 2.10 | 2.11 | 1.98 | 6.340 | 4.616 |
| | | Level-5 | 2.08 | 2.12 | 1.97 | 6.324 | 4.676 |
| | | Level-1 | 2.05 | 2.05 | 1.98 | 6.446 | 4.714 |
| | | Level-2 | 2.05 | 2.06 | 1.90 | 6.374 | 4.643 |
| 2B3 | Level-3 | 2.06 | 2.07 | 1.99 | 6.408 | 4.638 | |
| | Level-4 | 2.06 | 2.07 | 1.92 | 6.325 | 4.632 | |
| | Level-5 | 2.05 | 2.07 | 1.93 | 6.345 | 4.677 | |
| | Level-1 | 2.05 | 2.07 | 1.93 | 6.413 | 4.666 | |
| | Level-2 | 2.05 | 2.07 | 1.93 | 6.413 | 4.666 | |

그림 10 밸브시험장비 기능 블록도
Fig. 10 Functional block diagram for VTE

그림 10은 2008년도 강진 UPFC 인버터 연차점검을 수행하고, GTO Thyristor에 대한 시험결과를 나타낸다. 취득된 데이터의 분석결과로부터 인버터 #2(직렬인버터) A상의 3번 밸브(NM)의 2번째 GTO Thyristor 및 B상 3번 밸브(NM)의 5번째 GTO Thyristor module에 문제가 있음을 확인하고, 이들 소자는 수리 조치함으로써 설비의 성능을 검증하였다. 그림 10의 수치로부터 시험결과 값들이 고르게 분포되어 있음을 알 수 있으며, 향후 시험결과 값이 축적되면, 이를 바탕으로 GTO Thyristor 모듈 양부의 판단 기준자료를 추출할 예정이다.

이처럼 밸브시험장비는 타 GTO Thyristor 소자와의 비교 외에 개별 선택 소자에 대한 이력관리가 가능하도록 개발되었다. 그림 11은 밸브시험장비 운영시스템 화면으로부터 캡처한 화면으로 선택한 소자에 대한 이력을 나타낸다.

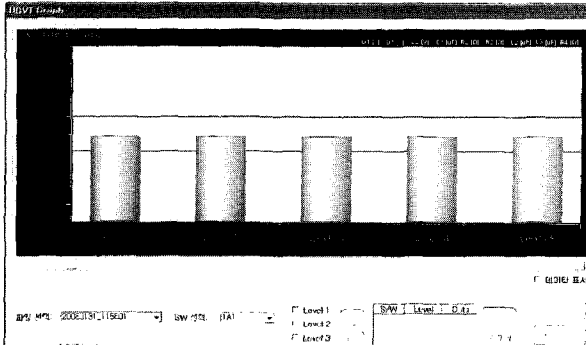


그림 11 GTO Thyristor 이력 관리 데이터
Fig. 11 Historical test results for GTO Thyristor

5. 결 론

한전 전력연구원에서는 국내 최초 전압원 컨버터 FACTS설비인 강진 UPFC의 GTO Thyristor 밸브시험장비를 개발하였다. 강진 UPFC는 80MVA 용량으로 260여개에 이르는 GTO Thyristor 및 45개에 이르는 Thyristor로 구성되는 Thyristor Bypass 회로로 구성되어 있다. 그 동안 시험원의 수동작업에 의해 이뤄지던 시험을 자동화하고, 체계적인 자료 관리를 위해 밸브시험장비를 개발하였으며, 현장 적용시험을 통해 그 성능을 입증하였다.

이로써, 향후 GTO Thyristor 소자자체의 고장 여부는 물론 노후화 이력을 감시할 수 있어, 예방정비의 효율성 향상 및 유지보수기술과 설비 자체의 신뢰성을 향상시킬 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

[1] 전력연구원 계통안정화그룹 “FACTS 계통운용기술 개발 연구(II단계 : Pilot Plant 제작, 설치)”, 전력연구원 과제 최종보고서, 2003. 4.
[2] Kalyan K. Sen, Eric J. Stacey, “UPFC—Unified Power Flow Controller : Theory, Modelling and Applications”, *IEEE Trans. on Power Delivery*, Vol. 13, No. 4, pp. 1453-1460, 1998, Oct.
[3] 김수열, 이원교, 장병훈, 전영수, 이세일, 배정현 “강진 UPFC 고장실적 분석”, *전력전자학회 학술대회논문집*,

pp. 450-452, 2006, Jun.

[4] 송의호, 전진홍, 조동길, 전형환, 김학만 “EMTDC를 이용한 UPFC Simulation”, *전력전자학회 논문지*, 제6권 제3호, pp. 291-298, 2001. 6.
[5] 한병문, 박덕의, 백승태, 김의중, 소룡철, 김현우 “다중브리지로 구성된 SSSC의 동특성 분석”, *전력전자학회 논문지*, 제5권 제3호, pp. 229-237, 2000. 6.

저 자 소 개



김수열(金守烈)

1968년 2월 29일생. 1990년 중앙대 공대 전기공학과 졸업. 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 한전 전력연구원 전력계통연구소 선임연구원.



장병훈(張秉勳)

1964년 3월 21일생. 1989년 고려대 공대 전기공학과 졸업. 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 한전 전력연구원 전력계통연구소 선임연구원.



윤종수(尹鍾秀)

1968년 5월 30일생. 1993년 경북대 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 한전 전력연구원 전력계통연구소 선임연구원.



김용학(金容鶴)

1968년 8월 13일생. 1994년 전남대 공대 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2005년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 한전 전력연구원 전력계통연구소 선임연구원.



백두현(白斗鉉)

1954년 10월 27일생. 1980년 동국대 공대 전기공학과 졸업. 2002년 서울산업대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2005년~2006년 한전 전력연구원 전력계통연구소 근무. 2007년~현재 한전 부산전력관리처 신울산전력소 소장.