

부하집중지로의 송전용량 증대를 위한 전압형 HVDC의 활용 방안

論 文

55A-6-3

Transfer Capability Enhancement to Population Center Using VSC HVDC System

吳世丞* · 張吉洙† · 韓炳文** · 車濬敏***

(Sea-Seung Oh · Gil-Soo Jang · Byung-Moon Han · Jun-Min Cha)

Abstract - This paper presents a transfer capability enhancement process using VSC HVDC system which can control active power as well as reactive power.

The transfer capability is constrained by stability like voltage stability as well as thermal rating of power system components. Transfer capability of the power system limited by these constraints may be enhanced by reactive power control ability and active power flow control ability of the VSC HVDC system.

To enhance the transfer capability of the system using VSC HVDC, selection of the HVDC installation site is performed. In this work, power zones which consist of major power plants and their sinks are identified using power tracing and distribution factor. Alternative route of major AC transmission line in the power zone is identified as VSC HVDC system.

Key Words : HVDC, PSS/E, 송전용량 증대, 설치위치 선정

1. 서 론

우리나라와 같이 주요 부하집중지와 발전단이 멀리 떨어져 있고 입지 수용성의 악화로 인하여 발전단지의 대용량화가 진행되는 계통에서는 필연적으로 제약조건에 의하여 부하집중지로의 송전용량이 제한받을 수밖에 없으며 이는 선로의 열용량 보다 작게 된다. 최대송전용량이 선로의 열용량보다 계통의 안정도에 의해 제약 받는 상황에서 새로운 교류 송전선을 건설하는 것은 경제적 효율성이 낮다. 또한 고장용량이 높은 계통의 경우 새로운 교류송전선으로 인한 고장용량 증가를 해결하기 위해 차단기를 교체하고 계통의 구조를 바꾸어야 하는 등 여러 가지 대책이 동반되어야 한다. 물리적인 계통에 남아 있는 송전능력의 평가기준으로 가용송전용량(Available Transfer Capability, ATC)을 사용하며 이는 수직통합체제에서는 안정도 마진의 기준으로 시장체제에서는 전력거래에 사용할 수 있는 송전용량을 의미한다.[1, 2] ATC는 계통 부하가 증가하면서 부하율이 높은 송전선로나 전압이 낮은 모선에 의해 결정되기 때문에 ATC 증대를 위한 방법으로 발전력 재배치나 발전기와 OLTC를 이용한 단자전압 조절 등이 이용되어 왔다.[2, 3] 선로 리액턴스, 전압의 크기와 위상각을 제어하여 조류를 제어 할 수 있는 FACTS 기기가 등장하면서 FACTS를 이용

하여 ATC를 증대시키는 방식이 연구되어 왔다.[4, 5, 6]

본 논문에서는 기존의 교류송전선의 조류를 제어하는 FACTS를 이용한 접근법과는 달리 전압원 HVDC를 통한 직류송전을 이용하여 부하집중지와 발전단간의 송전용량을 증대시키는 방식을 제안하고자 한다.

2. 본 론

2.1 전압원 HVDC

Thyristor를 사용하는 일반적인 전류원 HVDC와는 달리 IGBT나 IGCT등을 사용하는 전압원 컨버터를 전력전송에 사용하는 기술을 전압원 HVDC(Voltage-Sourced Converter HVDC)라고 한다.[7]

VSC HVDC를 이용한 HVDC시스템은 각 변환소의 독립적 제어가 가능하고 유효전력과 무효전력을 상호 독립적으로 제어할 수 있으며 별도의 무효전력 보상장치가 필요하지 않고 컨버터 자체적으로 무효전력을 공급을 통한 계통 전압 제어 능력이 있다. 또한 기존의 전류원 컨버터와는 달리 컨버터 동작을 위한 교류전원이 필요하지 않기 때문에 교류전원이 없는 고립계통이나 풍력발전단지의 연계, 분산전원연계, multi-terminal을 이용한 부하 집중지로의 전력전송에 사용된다.[8, 9] 또한 제어기로서 inter-area mode oscillation 과 local area mode oscillation을 효과적으로 제어할 수 있으며 subsynchronous torsional interaction(SSTI) 제어효과도 가지고 있다.[10, 11]

2.2 전압원 HVDC 적용위치 선정

Radial 계통의 선로 중간지점에 VSC HVDC를 설치하면

† 교신저자, 正會員 : 高麗大 工大 電氣工學科 教授 · 工博
E-mail : gjang@korea.ac.kr

* 正會員 : 高麗大 工大 電氣工學科 博士課程

** 正會員 : 明知大 工大 電氣工學科 教授 · 工博

*** 正會員 : 大眞大 工大 電氣工學科 教授 · 工博

接受日字 : 2006年 3月 14日

最終完了 : 2006年 5月 8日

선로 리액턴스를 절반으로 줄인 것과 같은 효과가 있기 때문에 송전선의 전송량을 증가시킬 수 있다. [12] 그러나 mesh화 되어 있는 실계통에는 radial 계통에서와 같은 효과적인 적용위치를 찾기 어렵기 때문에 본 논문에서는 계통을 여러 zone으로 나누고 하나의 zone내 또는 중첩된 zone 간의 교류송전선의 대체 안으로 VSC HVDC시스템의 설치위치를 선정하였다.

주요 발전단과 부하단을 그림 1과 같은 방법으로 정의한다. 대상계통은 2010년 한전계통으로 계통 상태는 표 1과 같다.

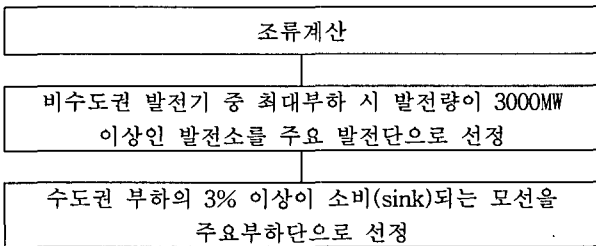


그림 1 주요 부하/발전단 정의
Fig. 1 Definition of the major generation plants and the load center

표 1 2010년 한전계통조건(peak)
Table 1 Peak load condition of the year 2010 KEPCO system

	Generation	Load	Losses
P (MW)	61313	60314	1000
Q (MVar)	14078	27903	

2010년 한전계통의 정상상태 최대부하 조건에서 부하집중지역과 대규모 발전단지들을 그림 1과 같은 과정을 통하여 표 2와 같이 선정하였으며 그림 2와 같은 지리적 위치를 가진다.

표 2 주요부하단과 주요 발전단지
Table 2 Major generation plants and major load center

주요 발전단지	태안, 당진, 울진, 월성, 고리, 하동, 삼천포, 영광, 서인천, 영흥
주요 부하단	신성남, 신용인, 의정부, 미금, 신시흥, 신부평, 양주, 신평천, 신안산

하나의 zone은 발전단지와 부하단 그리고 이들을 연결하는 송전선로로 이루어지므로 zone을 정의하기 위해서는 발전단과 부하단의 연관성을 파악해야하며 이를 위해 전력조류의 흐름을 추적하는 power tracing기법을 사용하였다. Power tracing은 시장 체제 하에서 송전가격 산정, 손실비용 산정, 혼잡관리, 보조서비스등을 위해 전력의 흐름을 추적하는 기법이다.[13]

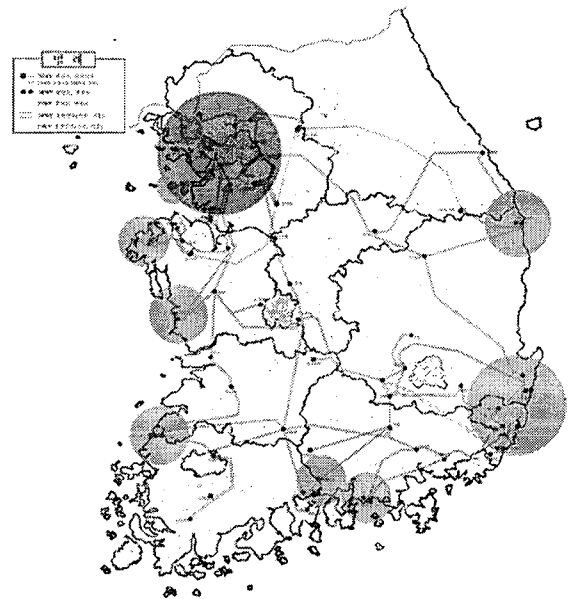


그림 2 부하집중지와 주요 발전단지
Fig. 2 Locations of the major generation plants and the load center

Power tracing 수행 시 node method를 이용하였으며 계통의 154kV이하 선로는 부하로 간주하고 조류량 400MW를 경계로 하여 각각의 zone을 정의하였다.

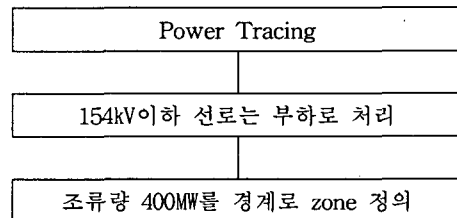


그림 3 Zone 정의 과정
Fig. 3 Define process of the power zone

그림 3의 과정을 거쳐 정의된 zone은 그림 4와 같다. 부하집중지인 수도권이 6개의 zone으로 나누어지며 수도권 발전단지를 포함하는 1번, 6번 zone과 765kV 송전선로를 포함하는 2번, 4번 zone을 제외한 3번, 5번 zone에서 각각 정류기 설치예상지역을 선정하였고 전력을 근거리의 수도권 발전단지에서 주로 공급받는 1번 zone을 제외한 5개의 zone에서 인버터 설치예상지역을 표 3과 같이 선정하였다.

정류기단 설치 위치는 선정된 zone의 345kV이상 모선 중 zone 내에 주요 발전단지가 하나일 경우 발전단지의 전력이 가장 많이 유입되는 모선을 선정하고 zone 내에 발전단지가 다수일 경우 zone에서 출력이 가장 큰 발전단지의 전력이 가장 많이 유입되는 모선을 정류기단 설치 후보지역으로 선정하였다. 이렇게 함으로써 발전단지와 부하단사이의 교류송전선에 대체 송전루트를 만들어 송전량을 효과적으로 분산시킬 수 있게 되어 계통의 송전능력을 증가시킬 수 있게 된다.

표 3과 같은 위치에 VSC HVDC를 설치했을 경우 전압안정도와 과도안정도분석을 통해 계통의 안정도를 평가하였다.

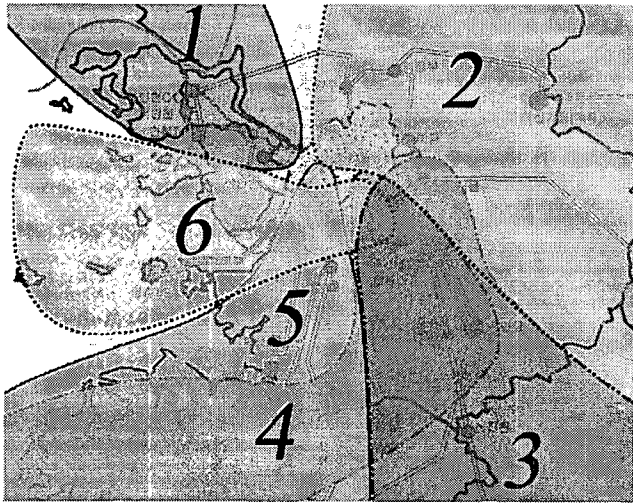


그림 4 제안된 Power Zone
Fig. 4 Proposed power zone

표 3 전압원 HVDC 설치위치(예정)
Table 3 Candidate sites for installation of the VSC HVDC

정류기단	주요 발전단 모선 중 선택
	북경남, 보령
인버터단	발전단과 부하집중지를 연결하여 기존 교류송전선의 대체 route를 만들 수 있는 위치
	화성, 동서울, 신가평, 영서, 신성남

표 4 Basecase PV 분석 조건
Table 4 Basecase condition of PV analysis

정류기모선	인버터모선	HVDC 용량		P 증분 (MW)
		P (MW)	Q (MVA _r)	
-	-	-	-	900
북경남	동서울	300	200	1200
북경남	신가평	300	200	1200
보령	동서울	300	200	1200
보령	신성남	300	200	1200

전압안정도 분석은 모든 경우의 예상설치지역에 대해 PV 분석을 행하고 상위 4개를 표 4와 표 5에 표시하였다. 정상상태 ±5% 전압기준과 100% 선로부하 기준을 적용하였다. 기존의 연구결과들과 같이 모든 case에서 전압안정도 제

약조건으로 인해 북상조류증분이 결정되었으며 전압안정도 관점에서 보령-동서울 case와 보령-신성남 case가 가장 좋은 경우로 나타났다.

과도안정도 평가는 상정고장분석을 이용하였으며 표 6과 같이 345kV 이상의 송전선로에 대해서만 적용하였다.

표 5 Basecase PV 분석결과
Table 5 Basecase results of PV analysis

정류기모선	인버터모선	Voltage Violation (0.95p.u.)	계통손실 (MW)
		화성3 서서울3 서서울S 청원3	
북경남	동서울	화성3 서서울3 서서울S 청원3	980
북경남	신가평	화성3 서서울3 서서울S 청원3	984
보령	동서울	청원3	984
보령	신성남	청원3	986

표 6 상정고장 분석에 사용한 고장의 종류
Table 6 Fault conditions for contingency analysis

전압	고장종류	고장지속시간	고장제거방법
345kV	3상지락	6cycle	선로탈락
765kV		5cycle	

표 4의 4가지 경우에 대해 과도안정도를 표 7과 같은 조건에 대해 평가한 결과는 표 8과 같다.

표 7 상정고장 조건
Table 7 Type of contingency

상정고장			북상조류증분 (MW)
번호	위치	종류	
Case 1	화성-아산	3상 선로고장 (10cycle 지속 후 선로 탈락)	0
Case 2	화성-아산		900
Case 3	신안성-신서산		0
Case 4	신안성-신서산		900
Case 5	신안성-신서산, 화성-아산		900

HVDC가 없을 때와의 비교를 위해 북상조류증분을 VSC HVDC가 없는 경우의 최대값인 900MW으로 설정하였다.

수도권 부하증가에 의한 북상조류 증분이 없는 case 1, case 3의 경우에는 VSC HVDC가 없는 기본계통과 설치위치에 따른 4가지 경우 모두가 과도적으로 안정한 것을 그림 6, 그림 8에서 볼 수 있다.

수도권 부하증가에 의한 북상조류증가가 900MW일 때 case 2의 화성-아산간 상정고장과 같이 대부분의 주요 선로고장에 대해 그림 7과 같이 안정하였으나 case 4의 신안성-신서산 765kV 선로고장에 대해서는 그림 9와 같이 VSC HVDC

로 인해 계통의 안정도가 개선되는 것으로 나타났다.

그림 10의 case 5와 같은 N-2 상정고장의 경우에는 보령-신성남 case가 다른 위치 보다 더 좋은 과도 안정도 개선 효과를 보인다.

표 8 상정고장 분석결과

Table 8 Results of contingency analysis

상정고장 번호	VSC HVDC 설치위치				
	No HVDC	보령-동서울	보령-신성남	북경남-동서울	북경남-신가평
Case 1	안정	안정	안정	안정	안정
Case 2	안정	안정	안정	안정	안정
Case 3	안정	안정	안정	안정	안정
Case 4	발산	안정	안정	안정	안정
Case 5	발산	발산	안정	발산	발산

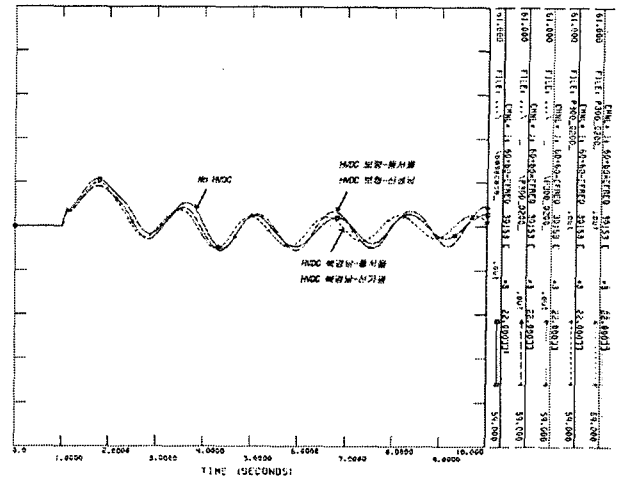


그림 7 Case 3 계통 주파수 변화

Fig. 7 Fluctuation of system frequency for Case 3

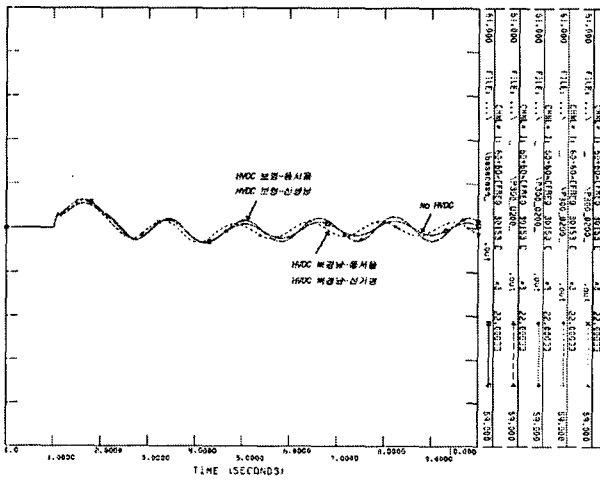


그림 5 Case 1 계통 주파수 변화

Fig. 5 Fluctuation of system frequency for Case 1

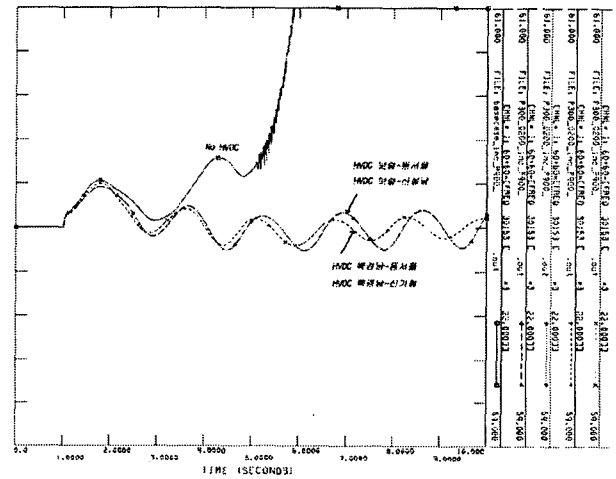


그림 8 Case 4 계통 주파수 변화

Fig. 8 Fluctuation of system frequency for Case 4

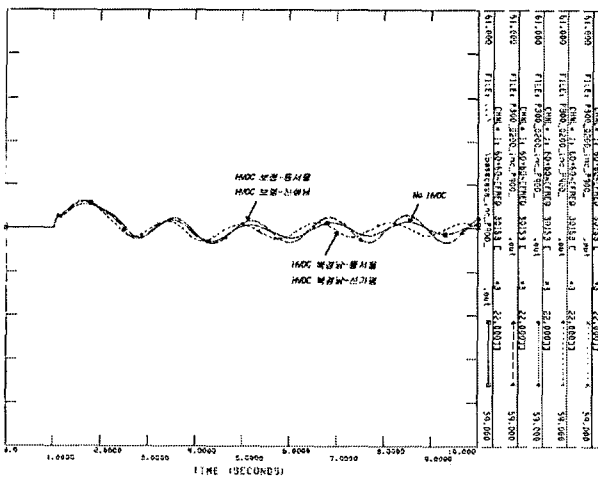


그림 6 Case 2 계통 주파수 변화

Fig. 6 Fluctuation of system frequency for Case 2

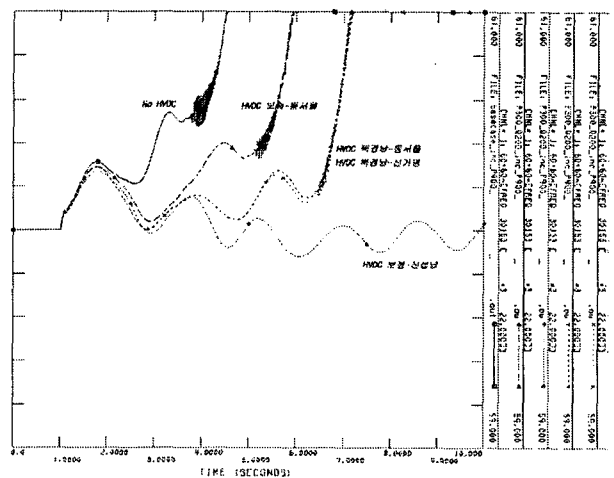


그림 9 Case 5 계통 주파수 변화

Fig. 9 Fluctuation of system frequency for Case 5

3. 결 론

본 논문에서는 주요 부하지역/발전지역을 선정하고 power tracing을 이용하여 meshed network을 다수의 power zone으로 나누었다. 이렇게 나누어진 하나 또는 중첩된 power zone 내에서 교류 송전선의 조류를 분산시킬 수 있는 HVDC 설치위치를 선정하고 PV 분석과 상정고장 분석을 통해 정태안정도와 과도안정도 평가를 통하여 선정된 설치위치가 부상조류의 증가와 더불어 과도안정도 개선효과도 있음을 검증하였다. 최종적인 HVDC 설치위치 결정에는 본 논문에서 제안한 결과에 건설비용, 혼잡비용 등을 포함한 경제성 평가가 더해져야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] North American Electric Reliability Council(NERC), "Available transfer capability definition and determination," Rep., June 1996.
- [2] E. De Tuglie, M. Dicorato, and M. La Scala, "A static optimization approach to assess dynamic available transfer capability," in Proc. 21st Int. Conf. Power Ind. Comput. Applicat., 1999, pp. 238-246.
- [3] Y. Dai, J. D. McCalley, and V. Vittal, "Simplification, expansion and enhancement of direct interior point algorithm for power system maximum loadability," in Proc. 21st Int. Conf. Power Ind. Comput. Applicat., 1999, pp. 170-179.
- [4] Choo, J.B., Chang, B.H., Lee, H.S., Shin, H.S., Koh, K.K., "Development of FACTS operation technology to the KEPCO power network-installation and operation," Transmission and Distribution Conference and Exhibition 2002: Asia Pacific. IEEE/PES, Vol. 3, Oct. 2002 pp. 2008-2013
- [5] Ying Xiao, Song, Y.H., Chen-Ching Liu, Sun, Y.Z., "Available transfer capability enhancement using FACTS devices," IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 18, Issue 1, Feb. 2003 pp. 305-312
- [6] B. A. Renz, A. Keri, A.S. Mehraban, C. Schauser, E. Stacey, L. Kovalsky, L. Gyugyi, A. Edris, "AEP Unified Power Flow Controller Performance," IEEE Trans, on PD, Vol. 14, No. 4, Oct. 1999 pp. 1374-1381.
- [7] Andersen, B.R., Xu, L., Horton, P.J., Cartwright, P. "Topologies for VSC Transmission," Power Engineering Journal, Vol. 16, Issue 3, June 2002 pp. 142-150
- [8] Kehrii, A., Ross, M., "Understanding grid integration issues at wind farms and solutions using voltage source converter FACTS technology," Power Engineering Society General Meeting, IEEE Vol. 3, July 2003
- [9] Farag, A., Durrant, M., Werner, H., Abbott, K., "Robust control of a VSC HVDC terminal attached to a weak AC system," , IEEE Conference on Control Applications, Vol. 1, June 2003 pp. 173-177
- [10] W. Lu, B. T. Ooi, "Simultaneous Inter-Area Decoupling and Local Area Damping by Voltage-Source HVDC," IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, 2001. Volume 3, Jan. 2001
- [11] Ying Jiang-Hafner, Duchon, H., Linden, K., Hyttinen, M., de Toledo, P.F., Tulkiewicz, T., Skytt, A.-K., Bjorklund, H., "Improvement of Subsynchronous Torsional Damping Using VSC HVDC," Proceedings. International Conference on Power System Technology, Volume 2, Oct. 2002
- [12] Huang, Z., Ooi, B.T., Dessaint, L.-A., Galiana, F.D., "Exploiting Voltage Support of Voltage-source HVDC," IEE Proceedings Generation, Transmission and Distribution, Volume 150, Issue 2, March 2003
- [13] Rosado, S.P., Abdel-Rahman, K., HadySaid, N., "Tracing the Path of Electric Power Flow - A Study for Deregulated Power Systems" IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, 2001. Volume 3, Jan. 2001

저 자 소 개



오 세 승(吳世丞)

2001년 고려대 전기전자전파공학과 졸업.
2003년 동대학원 전기공학과 졸업(석사) 현재 동대학원 전기공학과 박사과정
Tel : 02-3290-3675
Fax : 02-3290-3675
E-mail : shung@korea.ac.kr



장 길 수(張吉洙)

1991년 고려대 공대 전기공학과 졸업. 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사) 1997년 미 Iowa 주립대 전기 및 컴퓨터공학과 졸업(공학박). 2003년 3월-현재 고려대학교 전기공학과 부교수
Tel : 02-3290-3246
Fax : 02-3290-3692
E-mail : gjang@korea.ac.kr



한 병 문(韓炳文)

1976년 서울대 전기공학과 졸업. 1988년 미 아리조나주립대 대학원 전기 공학과 졸업(석사). 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박) 미 Westinghouse중앙연구소 선임연구원. 현재 명지대 전기공학과 교수
Tel : 031-330-6366
Fax : 031-321-0271
E-mail : erichan@mju.ac.kr



차 준 민(車濬敏)

1989년 고려대 공대 전기공학과 졸업 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사) 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박) 현재 대진대학교 전기공학과 부교수
Tel : 031-539-1915
Fax : 031-539-3579
E-mail : chamin@road.daejin.ac.kr