

전력수송능력향상을 위한 4가지 송전방식의 비교

이근준* 장병훈 김영한 백영기

한국전력공사 전력연구원

The Comparison of Four Transmission methods to enhance Transmission Capability

Geun-Joon Lee* Byung-hoon Chang Yeng-Han Kim Yeng-Ki Bak

KEPRI(Korea Electric Power Research Institute) of KEPCO

Abstract - This paper presents the study results of four transmission methods to enhance transmission capability. The four transmission methods studied were FACTS, HVDC, High Phase Order and new conductor material method. The study was performed based on mid and long term KEPCO system in 2000 and 2006 year. Among them FACTS(Flexible AC Transmission System) is an exciting new field which holds great promise for improved utilization of AC transmission systems.

Keyword : FACTS, HVDC, HPO, transmission system, mid and long term power system

1. 서 론

우리나라 전력계통은 1970년대 이후 산업 및 경제의 급성장에 따라 비약적으로 발전해 왔다. 특히 최대 전력수요는 1995년에는 29,980MW를 기록하였으며, 2000년에는 43,500MW, 2006년에는 57,700MW가 될 것으로 전망하고 있다. 이에 따라 전력수요는 경인지역에 40% 이상이 밀집하여 지역간 전력용량의 증대가 증가할 것으로 예상되며, 이에 따른 대전력 수송설비의 확장과 계통운용기술의 확보가 시급한 상황이다. 이와 같은 전력 수송문제의 대책으로 현재 한전이 추진하고 있는 송전능력 확보방안으로 345kV에서 765KV로의 승압, 송전선로의 신설, 다중복도체 및 TACSR 등의 선별적 적용이 추진되고 있지만, 기존 송전선로에 대한 송전능력증대기술은 초보적인 상황

으로 계통의 대형화·복잡화에 따른 단락용량의 증대, 계통사고의 파급, 설비이용율의 저하 등의 문제를 안고 있다.

반면, 부하증가에 상응하기 위한 송전선로의 건설은 수용가의 권리의식 향상, 전력설비에 대한 피해의식 확산 등으로 인한 집단 민원 발생이 잦아지면서 계획 선로의 적기 준공이 보통 2-3년정도 지연되고 있는 형편이어서 특히 대도시에서 중요선로의 과부하로 인한 연속적 사고파급의 우려를 더하고 있다. 본 연구에서는 이러한 송전용량부족에 대처하기 위하여 현재 세계 각국에서 활발히 진행되고 있는 FACTS(Flexible AC Transmission Systems)를 비롯하여 HVDC(High Voltage DC), HPO(High PHase Order), 및 신도체

사용 방식 등 4가지 송전방식에 대하여 기술적 분석 및 경제적 평가를 시도하였다. 또한 우리 계통 현실에 적합한 송전용량 증대방식을 도출하기 위하여 중장기 계통을 분석하고 4가지 방식의 적용 가능성을 검토하였다.

2. 중장기 계통분석

2.1 계통분석기준

정상상태에서의 계통분석기준은 상정사고 적용시 전력조류의 경우 345kV 계통에서 정격용량내에 들것과 각 모선의 전압이 1.05-0.95 pu이내일 것, 그리고 전압안정도 제약으로서 Q-V곡선상으로 임계전압이 0.95이상, Qmargin이 300Mvar 이상이 되도록 선정하고, P-V곡선상으로는 Pmargin이 100MW이상이 되도록 하였다.

2.2. 중기계통

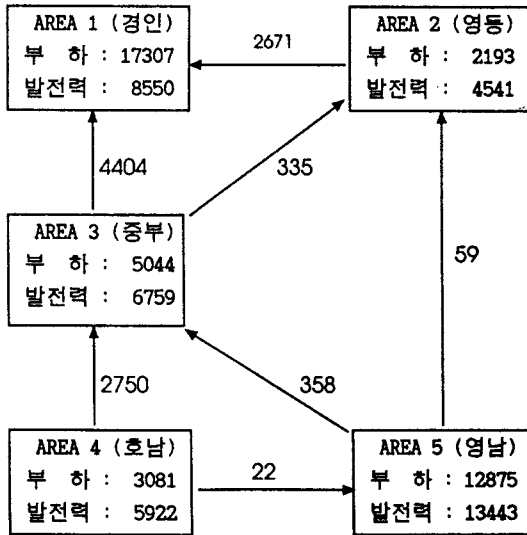


그림 1. 중기계통에서의 지역간 융통전력

중기계통은 2000년 계통으로서 765kV 2개 루트가 계통에 병입되면서 345kV로 운전된다. 이때의 부하수준은 35,656(MW)이며, 지역간 전력용량은 그림 1과 같다.

상정사고는 345kV 1루트 사고 및 2루트 사고를 고려하였다. 1루트 사고시 계통은 안정하였으며 2루트 사고시 계통분석결과는 표1과 같으며, 사고후 계통(SC12)에 대한 전압안정도 분석은 그림 2와 같다.

표 1. 2루트 사고시 상정사고 및 계통분석결과

수송로	상정사고번호	전압안정도	전압기준 위반	정격기준 위반
영동 - 경인 수송로	SC11	o	o	o
	SC12	x	-	-
	SC13	x	-	-
울진-의정부 운전정지	SC14	o	o	o
	SC15	o	o	o
중부 - 경인 수송로	SC16	o	o	o
	SC17	o	o	o
	SC18	o	o	o
신당진-신안성 운전정지	SC19	o	o	o
	SC20	o	o	o

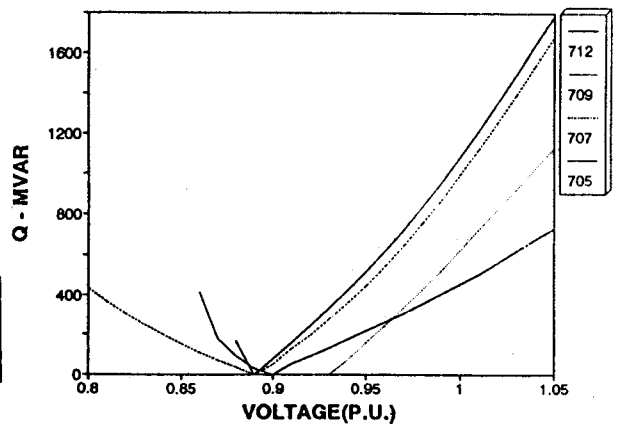


그림 2. 사고후 계통에서의 Q-V곡선

위의 계통에서 모드 분석을 통하여 계통에 영향을 주는 모선과 선로를 찾아보았다. 모드분석결과 최소고유치는 0.880531로 되었으며 이 모드에 관여하는 bus PFACTOR 및 branch PFACTOR 중 최대값은 표 2와 같으며, 계통의 과도안정도를 PSSE를 이용하여 검토해본 결과는 그림 3에 나타난 바와 같이 SC12의 경우 불안정으로 나타났다.

표 2. 모선참여율 및 선로 참여율

모선번호	지역	PFACTOR
707	2	0.04826
705	2	0.04747
710	2	0.04721
1260	2	0.03781

from bus		to bus		PFACTOR
모선번호	지역	모선번호	지역	
707	2	710	2	1.0000
707	2	712	2	0.7104
612	1	712	2	0.3587
710	2	1260	2	0.2384

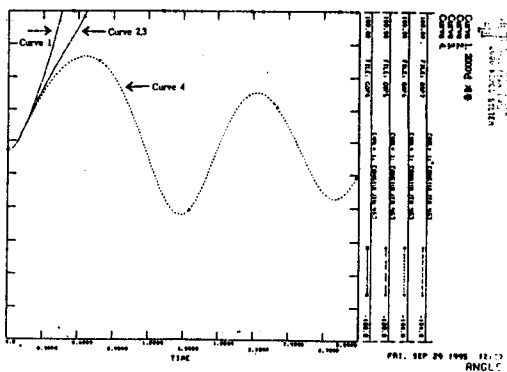


그림 3. SC12시의 과도안정도 분석

2.3 장기계통

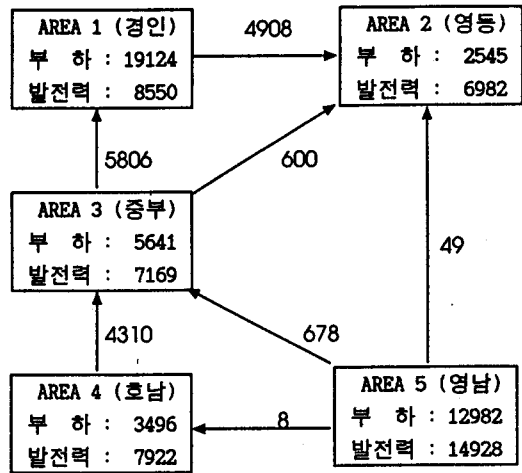


그림 4. 장기계통에서의 지역간 전력유통

장기계통은 2006년 계통을 대상으로 하였으며 765kV 송전선로는 765kV로 운전하고 있고, 이때 765kV 송전선로 1루트 사고시에 계통의 이상유무를 검토하였다. 2006년의 부하는 45,533MW이며, 지역간 전력유통은 그림 4와 같다. 상정사고 적용결과 1루트 사고인 경우에 대한 계통분석결과는 표 3과 같다.

표 3. 1루트사고시 상정사고적용 및 계통분석결과

수송로	상정사 고번호	전압 안정도	전압기준 위반	정격기준 위반
영동 - 경인 수송로	SC00	X	-	-
	SC01	o	o	o
	SC02	o	o	o
울진-의정부 운전정지	SC03	o	o	o
	SC04	o	o	o
	SC05	o	o	o
중부 - 경인 수송로	SC06	o	o	o
	SC07	o	o	o
	SC08	o	o	o
신당진-신안성 운전정지	SC09	o	o	o
	SC10	o	o	o

상정사고 분석결과 765kV 동서간 연결 1루트가 탈락 되었을 때 전압불안정이 발생하며 이때 사고에 대한 무효전력 및 전압의 변동은 그림 5와 같으며, 또한 이 선로의 탈락시 과도안정도 해석 결과를 그림 6에 제시하였다. 이 결과 Curve1은 과도안정도를 유지 하지 못하여 계통분리됨을 알 수 있다.

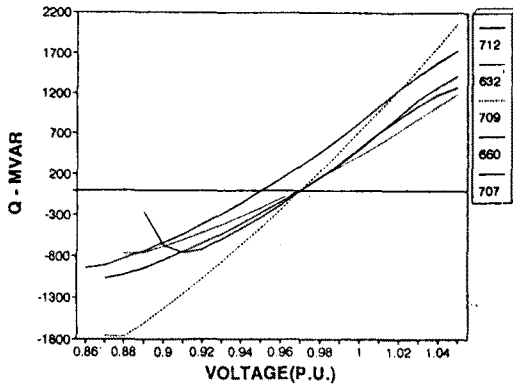


그림 5. 사고후 계통분석 (Q-V 해석)

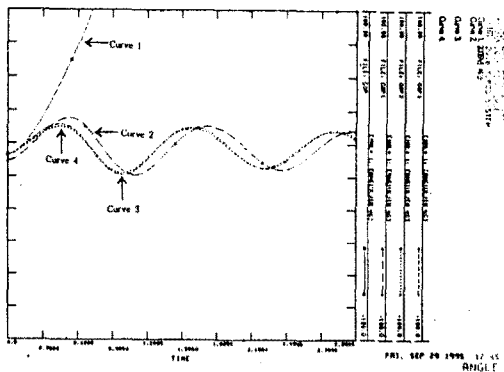


그림 6. 과도안정도 해석

2.4 보상위치 선정

이상의 검토결과를 토대로 보상위치를 선정하였다. 모선과 선로의 참여정도에 따라 각각 위치에 대한 여러 보상방안과 비교, 검토하였다.

3. 송전용량 증대방식 조사

3.1 직류송전기술

직류송전기술은 고속조류제어와 안정도개선을 하는데 크게 기여하는 것으로 알려져 있으며, 특히 교직병행 송전계통에서의 과도안정도 향상 및 전력동요 억제, 교류계통의 주파수 변동 및 예비력 경감 그리고 전압 무효전력제어에 효과가 있는 것으로 알려져 있다. 경제적인 공장으로는 10GW 수송시 300km가 경제적으로 UHV와 대등하며 600Km이상에서는 직류방식이 유리한 것으로 보고되고 있다. 계통적용방식으로는 기설교류선로를 직류화하는 방법, 교직병가송전방식, 발전기-변환기를 Unit로 결선하여 사용하는 방식, 직류 송압 및 다단자 직류송전방식, 그리고 AC 선로에 DC를 bias하여 사용하는 방식등이 있다.

3.2 다상송전(High Phase Order)

현재 다상송전방식은 세계적으로 채용된 바는 없으나 선로가 compact하게 된다는 점, 그리고 동일용량 송전시 전위경도가 낮아진다는 점, 사고시 회복전압 상승율이 낮아진다는 점 등으로 인하여 경과지 제한시 송전용량증대방안으로 검토되고 있다. 반면 제어 보호장치가 복잡해지는 결점이 있다. 그림 7은 일반 송전선로와 다상송전시의 구조물을 비교한 것이다. 다상송전의 경제성을 다음 여러가지 경우에 대하여 비교한 결과 3000MW 송전의 경우, 33mile이상이면 모든 HPO방식이 경제적이며, 6000MW 송전인 경우 6상 462kV가 항상 최적해임이 사례연구결과 밝혀졌다.

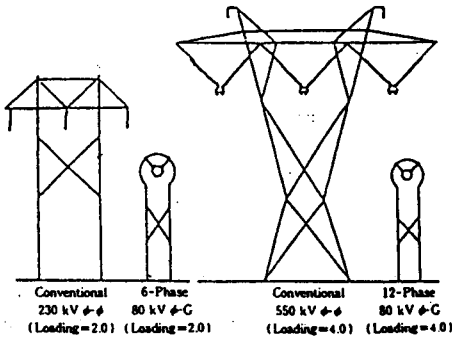


그림 7 다상송전선로의 구조물 비교

3.3 신도체 방식

신도체 방식은 기존 선로의 ACSR도체를 허용전류가 큰 STACIR도체(Invar Steel wire + STAL)로 교체하여 송전용량을 증대시키는 방법으로 동일 dip수준에서 2배의 송전용량을 가진다. 주로 50km이내 단거리 선로에서 철탑의 신개축 불가능지역, 또는 국부 과부하 선로에 적용한다.

3.4 FACTS

FACTS기술은 전력계통용용기술, 대전력반도체 소자 기술, 컴퓨터기술, 디지털제어기술, 고속데이터통신기술 등을 복합적으로 응용하여 교류계통의 조류, 안정도등을 실시간 제어할 수 있도록하는 기술로서 보상원리에 따라 직렬보상, 병렬보상, 위상보상으로 나뉜다.

직렬보상장치는 선로의 리액턴스를 보상하는 것으로 TCSC (Thyristor Controlled Series Capacitor)가 대표적인 기기로서 전력조류의 제어, 안정도 향상에 기여하는 것으로 알려져 있다. 병렬보상장치는 무효전력을 주입 또는 흡수함으로써 모션전압을 제어하는 것으로서 정지형동기조상기 (STATCOM)가 대표적인

기기이며, 전압유지, 안정도향상에 기여한다. 위상보상장치는 상차각을 TCPS(Thyristor Controlled Phase Shifter), UPFC(Unified Power Flow Controller) 등을 이용하여 제어함으로써 전력조류 및 안정도 제어를 하는 것이다. 이분야의 기술개발은 사이리스타를 응용하던 1세대 FACTS에 뒤이어 전압원형 인버터를 응용한 2세대 FACTS가 개발, 실용화를 위한 실증시험 단계에 있다. FACTS의 장점으로는 전력계통 제어범위를 확대하여 전압, 안정도, 계통동요를 제어할 수 있으며, 송전용량을 선로의 열용량까지 확대하여 지역간 전력수송능력을 높이고 이에 따른 발전예비율을 저하시킬수 있다는 점이다.

이러한 기술은 미국, 일본, 유럽등을 중심으로 활발히 연구중이며, 국내에서도 이에 대한 기본적 계획수립을 과학기술처-한전의 공동연구로 추진한 바 있다.

국내에서의 적용 가능성은 송전선로의 신설이 한계에 이르른 경우 추가 선로건설이 필요한 때 루프조류를 제어하여 상대적으로 이용율이 낮은 선로에 조류를 분담시키는 것으로 송전선로 건설효과 내지 건설지연 효과를 얻을 수 있는 방안과 계통의 동요 및 불안정 발생시 신규선로를 건설하지 않고 이를 안정화 시킬 수 있는 방안으로 검토하는 것이 효과적이다.

FACTS의 경제성 평가에 대하여 미국의 사례를 인용하면, FACTS는 송전선로선설비용의 대략 1/3정도로서, 이의 도입으로 송전용량이 전체적으로 20% 증대될 경우 약 560억달러의 이득이 있다고한다.

표 4. FACTS 설비의 적용개소

종 류	특 성	실 계 통 운 용
TCSC	장거리송전선로 보상	원전-수도권 345kV간선 적용가능
STATCOM	부하중심지 장거리 송전선로	부하중심지 전압신속보상 전압안정도 향상
UPFC, TCPS	망상회로 조류제어	345kV loop 조류제어 인접계통 연계

4. 송전방식 비교평가

	FACTS	HVDC	HPO	신도체
적용 대상	전압제어 조류제어 안정화	인근계통연계 장거리, 해저 송전	경과제제한계 소에 대한 송 전용량 증대	기존철달사용 , 송전용량 증대
송전 용량 증대 효과	안정도제약극 복, 열용량한 계까지활용 설비이용률향 상	열용량한계까 지 이용	동일단면적시 3 ϕ →6 ϕ 시 √3배	동일단면적시 최대 2배
가제 어성	고속계통파라 메타 제어 플리커,고조파 제어특성 우수	고속조류제어 안정도개선효 과가 뛰어나	상수 증가에 따라 복잡화	
선로 건설 문제	선로 건설 불 필요	기설교류의 직류화 AC케이불용 DC화 신규선로건설	기존선로 활 용가능	기존선로 활 용가능
확장 성	다기 FACTS 계통제어에 의 한 계통유연성 증대	극수 확장, 송 압 용이	3 ϕ →6 ϕ → 12 ϕ	소재특성에 제약
경제 성	계통조건에 따 라 상이 (송전선로 건 설비용의 1/3)	10GW송전시 300km이상이 면 경제적	6GW송전시 UHV 1200MW보다 6 ϕ 462kV가 경제적	27년 비용현 가시 TACSR 에 비해 23%(3.5억원/ km) 감소

표 5. FACTS 설비 특성비교

	TCSC	STATCOM	TCPS	UPFC
조류제어	B	C	A	A
전압제어	C	A	C	B
송전용량증대	A	C	A	A
안정도개선	B	C	B	A
저주파공진감쇄	B	B	C	A

표 6. FACTS 설비의 경제성

기기종류	규격	연구개발비(M\$)
TCSC	200MVA slatt s/s	21
STATCOM	±100 MVA	13.5
UPFC	500MVA	25.07

5. 결 론

이상에서와 같이 직류송전방식을 제외한 모든 송전방식의 특징을 비교하였다. 그 결과 FACTS 기술 및 HVDC기술이 계통조류제어 및 안정도 유지를 하는데 많은 장점을 갖고 있다는 것을 알 수 있다.

또한 계통분석의 결과 중계계통에서는 영동 경인 간 345kV 2루트사고시에 불안정이 발생하였으며, 장기 계통에서는 영동-경인간의 765Kv선로 1루트가 사고 중인 경우 불안정이 발생하였다.

증장기 계통에 대해 활용가능한 송전용량 증대방식의 후보로 FACTS 기술이 우선하며, 그중 UPFC와 TCSC가 가능한 대안으로 판단되지만 구체적인 용량 및 설치 위치에 대한 연구가 수행되어야 한다.

참고문헌

1. 전력연구원 "송전선로 송전용량 증대방안연구 (1단계 송전용량 증대대책)" KRC-94Y-S12 ,1995. 7
2. 과학기술처, 한국전력공사 "FACTS 연구기획사업" 최종보고서, 1995. 5
3. IEEE FACTS Working Group "FACTS OVERVIEW" CIGRE 95 TP 108, 1995. 4
4. EPRI "Flexible ac Transmission Systems(FACTS): Scoping Study" Volume 1, Part 1 , 1990. 8
5. Methodology of Integation of HVDC Links in Large AC Systems -Phase I : Reference Manual, EPRI EL-4365, 1987. 4
6. "Analytical Studles for Thyristor-Controlled Compensation in New York State - Parts I and II", S. Zellingher, B. Shperling, J.D. Mountford and R.J. Koessler, presented at the EPRI FACTS Conference, Boston, MA, 1992. 5