

長期 超高压電力系統 構成展望

Long Range Prospects for the Expansion
of EHV Transmission System in Korea



田 載 豊

韓國電力公社 電源計劃處長

1. 서 문

국가 경제의 지속적인 성장에 따라 우리나라 발전설비의 증대는 물론 전력계통 규모도 꾸준히 증대되어 왔다.

우리나라의 기간송전계통은 1976년 10월에 345 kV 초고압계통이 운전 개시된 이래 1988년말 현재 수도권 일부지역을 제외하고 전국 환상망 구성이 완료되었고 345kV 송전설비는 4,924C-km, 345kV, 변전설비는 18,670MVA로 증가되었다.

그러나 경인지역의 부하는 전국수요의 40% 이상을 차지하는 반면, 전원설비는 남부지역에 집중되어 있을 뿐 아니라 발전기 단위용량의 대형화 및 단위발전소 시설용량 규모의 증대에 기인한 지역간 응통전력은 끊임없이 증가될 전망이다. 이에 따라 발전소 입지 확보와 더불어 송전선로 경과지 확보 및 변전소 부지확보가 우리 공

사 당면과제로 대두되고 있다.

이러한 시점에서 우리나라 초고압 계통구성의 변천내력을 진단하고 장기적 측면에서 전원을 포함한 전력계통을 전망한 후 '88 장기 전원개발계획과 관련하여 그간의 경제, 사회여건 변동 등을 고려한 장기 초고압 전력계통 구성계획 내용을 소개하고자 한다.

2. 우리나라 초고압 계통구성의 변천사

가. 초고압 설비의 필요성

우리나라의 전력수요는 그동안 지속적인 경제발전과 국민생활 수준의 급격한 향상에 따라 세계에서 유례를 찾아보기 어려울만큼 높은 신장을 보여 왔다.

3사 통합당시 불과 37만kW에 불과하던 발전

설비 용량이 1971년에는 260만kW로 증대되었고 발전소의 단위기 용량규모도 1960년대의 50MW 정도에서 1960년대 말에는 100MW 규모로 커졌으며, 1969년 용량 250MW인 서울화력 5호기의 운전을 개시로 1978년에는 600MW급의 고리원자력 1호기가 제동에 병입되기에 이르렀다.

이와 같이 비약적인 발전소의 단위기 용량 증대와 아울러 급격한 수요 증가에 따라 한 발전소에 건설되는 발전기 대수도 4기 정도 규모로 커져 1970년대 후반의 단위발전소 총 설비규모는 500~1,000MW로 증대되었다.

이러한 대용량 발전소를 154kV 송전선으로 계통에 연결하기 위해서는 루트 수가 너무 많아지고 이러한 송전선로 경과지를 확보하기에는 현실적인 어려움이 따를 뿐 아니라 경제적인 계통구성 측면에서도 송전전압을 한단계 높은 대용량 초고압 송전선 건설이 필요하게 되었다.

한편 1970년대의 대용량 발전설비는 울산, 여수 및 인천에 집중적으로 건설하게 된 반면 전력수요는 경인지역에 집중되어 있어 울산 및 여수에서의 발전출력을 경인지역까지 약 400km나 수송하지 않으면 안되게 되었다.

그러나 154kV 송전선으로서 수십만kW의 대전력을 수 100km나 수송하는 것은 전압강하 및 계통운전 불안 등으로 계통 신뢰도가 지극히 떨어지게 되며, 이에 대한 대안으로서 초고압송전이 필요하게 되었다. 특히 1960년대부터 1970년대까지의 우리나라 전력계통은 무효전력보상 설비량이 미미하고 계통역률이 85% 이하수준이었기 때문에 계통의 저전압현상은 당시 계통 불안의 큰 요인이 되고 있었다. 이상과 같은 사유로 154kV 보다 송전용량이 5배 이상인 초고압 송전선로가 70년대 중반부터 필요할 것으로 전망됨에 따라 1967년부터 이에 대한 기술검토를 착수하게 되었다.

나. 초고압 계통구성 추진경위

(1) 초고압 제 1 차 사업

우리나라에서 초고압 송전선 건설 필요성이 대두됨에 따라 1974년 4월 신울산 송전선 건설을 시초로 사업이 착공되었으며, 약 4년간의 기술적 어려움을 극복하고 '76년 10월 국내 최초로 신여수 송전선을 345kV로 가압하기에 이르렀다.

이어 1977년 1월 신울산 및 신고리 T/L과 '77년 4월 서서울 T/L이 계통병입됨에 따라 전국적인 초고압 간선계통망이 구성되었으며, 1977년 11월 신인천 T/L 준공을 끝으로 총 822C-km의 초고압 송전선 건설과 2,000MVA의 초고압 변압기를 설치한 초고압 제 1차 송변전 사업이 완료되었다.

(2) 초고압 제 2 차 사업

제 1차 사업에 의해 지역간 초고압연계계통이 구성되어 계통신뢰도를 획기적으로 향상시켰으나 지속적인 수용증가와 발전소 설비규모의 대형화에 따라 초고압 송전망의 확충이 필요하게 되었다.

따라서 신여수 및 신울산 T/L의 1회선 증설은 각각 78년 및 79년에 준공되었고 초고압 변전소(영서, 동서울, 북부산, 서대구) 및 관련 T/L을 건설함으로써 초고압 2차사업은 총 718. C-km의 송전선로 건설과 4개 변전소에 2,000 MVA의 변압기를 설치, 1980년에 완료되었다.

(3) 초고압 제 3 차 사업

1979년 12월부터 1983년말 사이에 준공된 초고압 3차사업은 평택화력, 울산화력, 삼천포화력, 보령화력 및 월성원자력 등 초기 설비규모가 1,000MW 내외이고 최종 규모는 2,000MW 정도로 전망되는 대단위 신규발전소의 계통연결과 이에 따른 대전력 융통을 위한 영호남 계통연계사업으로 요약될 수 있으며, 이때부터 대용량 전력수송을 위하여 종래 2복도체에서 4복도체 송전선의 사용을 계획하게 되었다.

한편 총 1,182C-km의 송전선로 건설과 국산 변압기와 차단기 등을 처음 사용한 신마산, 신남

원, 신포항 등 3개 초고압 변전소를 신설하는 초고압 3차사업이 1983년 완료되었으며 특히 345kV 초고압 시설의 급격한 확충과 계통역률의 향상에 따라 1970년대 후반부터 심야 경부하시 계통전압이 상승되어 규정전압 유지를 위하여 1979년 2월 초고압 변압기 3차축에 분로 리액터 설치 기본계획을 수립, 확정하고 이 계획에 따라 3차사업이 끝나는 1983년까지 1,020 MVA의 분로 리액터가 설치되었다.

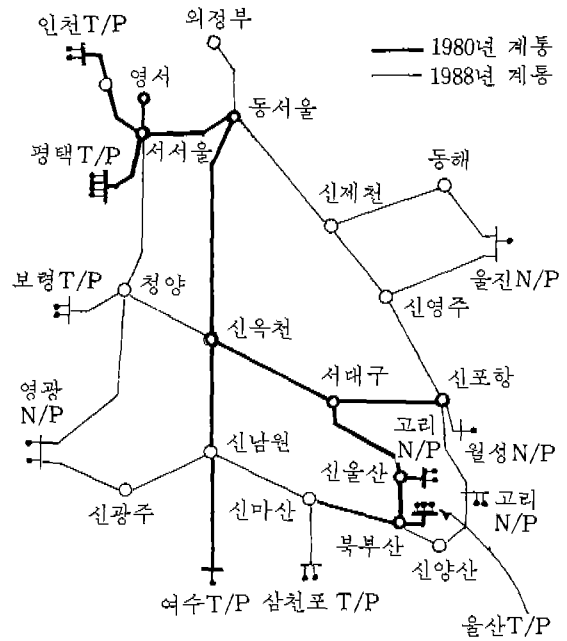
(4) 초고압 제 4 차 사업

1984년 1월부터 1985년 12월 사이에 준공된 초고압 4차사업은 영광원자력 1, 2호기(950MW × 2) 및 고리원자력 5, 6호기(950MW × 2)의 계통연결과 남북 제 2연계 선로구성을 위한 청양 T/L 79km 및 남북 제 3연계선로 구성의 일환으로 추진하는 신계천 T/L 128km, 그리고 154 kV 계통보강을 위한 의정부, 신양산 및 신포항 변전소의 신설 등이다.

(5) 초고압 제 5 차 사업

1986년부터 1988년 사이에 준공된 초고압 5차사업은 영광원자력 건설에 따른 영청 T/L 170km와 울진원자력(950MW × 2) 발전소 건설에 따른 울동 T/L 60km 및 신영주 T/L 91km, 그리고 영동지역 계통보강을 위한 동해 T/L 98km 및 남북 제 3연계선 완성을 위한 제포 T/L 210km 등이다.

한편 동해 T/L은 선로 경과지가 산악 다설지구로서 종래 사용하던 Rail 전선과 전류용량은 대차 없으나 인장강도가 Rail보다 훨씬 높은 Cardinal 전선을 국내 최초로 사용하였으며, 제포 T/L은 강원도 산악지대를 주로 통과하는 200km를 넘는 난공사 구간이었으나 이 송전선의 준공으로 우리나라의 전력계통은 드디어 전국 환상망을 구성하게 되어 계통 신뢰도를 획기적으로 향상시켰고, 1988년말 우리나라 초고압 전력계통도는 그림 1과 같다.



〈그림 1〉 1988년말 초고압 전력계통도

3. 장기 초고압 전력계통 전망

장기 계통계획 수립에 가장 영향을 미치는 요소는 발전소 건설위치 선정인 바, 장래의 불확실성을 감안한 장기 초고압 전력계통 구성방향을 제시하기 위하여 초장기적인 측면(부하수준: 4,000만 kW, 시기: 2010년경)에서 우리나라 전력계통을 전망하였다.

이 경우 검토방법으로는 송변전 투자비의 최소화 방안, 전원입지 개발비의 최소화 방안 및 최적 원별 안배안에 대한 3가지 방안이 있을 수 있으며 각 방안에 대한 종합 경제성을 비교하고 지역간 계통구성을 전망하였다.

한편 경제성 평가기간은 1989년부터 2010년까지 22년간으로 하였으며 각 안에 대한 송변전 건설비, 전력 손실비, 입지 개발비, 발전소 건설비, 연료비 및 운영비의 총비용은 1989년을 기준으로 현가화하여 산출하였다.

가. 송변전 투자비 최소화 방안

기존 선로를 최대한 활용하고 지역간 융통전력을 최소화함으로써 송전계통 보강을 억제하는 방안으로, 특히 부하밀집 지역인 경인지역에 신규전원 입지를 우선 개발하고 발전소 건설을 계획하였다.

이 방안에서 중부-경인간 송전선로수는 현재 2루트에서 2루트가 추가로 필요하며, 영동-경인간 송전선로수는 현재 1루트에서 추가선로가 필요없는 것으로 나타났다.

한편 2010년까지의 총 비용은 304,706 억원이 발생하며, 경인지역의 LNG 발전소 비중증대로 발전연료비가 타안에 비하여 증가된다.

나. 전원입지 개발비 최소화 방안

기확보된 전원입지를 우선 사용함은 물론 전원 원별안배를 무시하고 신규입지 개발비용이 저렴한 순서대로 발전소를 건설하는 방안으로서, 중부-경인간 송전선로수는 현재 2루트에서 2루트가 추가로 필요하며, 영동-경인간 송전선로수는 현재 1루트에서 5루트가 추가로 필요하다. 또한 2010년까지의 총 비용은 298,151억 원이 발생하며, 영동지역의 원자력발전소 비중증대로 발전소 건설비가 증대된다.

다. 최적 원별 안배방안

현재 '88 전원개발계획을 토대로 발전소 건설 기본계획 수립에 반영되었거나 추진중인 입지와 계통측면에서 장기적으로 유리한 입지를 선정하는 현실적인 방안으로서 기존 원자력 발전소와 유연탄 발전소 입지를 우선 활용하고 향후 중부 지역 유연탄 화력 입지를 집중 개발하는 것으로 계획하였다.

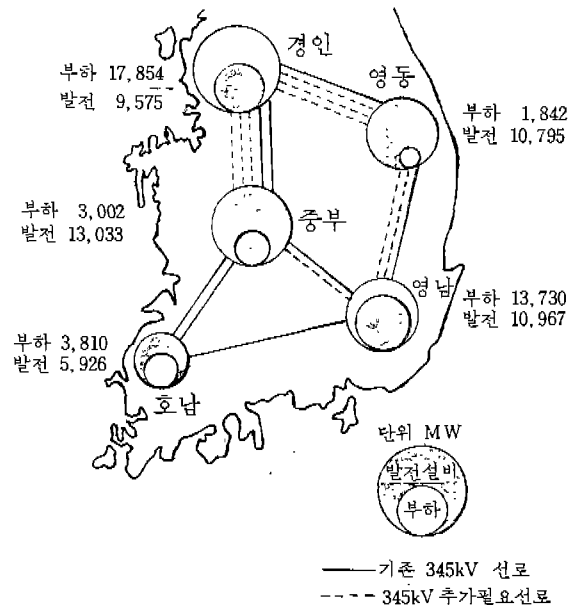
이 경우 중부-경인간 송전선로수는 현재 2루트에서 3루트가 추가로 필요하며, 영동-경인간 선로수는 현재 1루트에서 3루트가 추가로 필요하다.

한편 2010년까지의 총 비용은 293,829억 원이 발생하며, 3 가지 방안중 가장 경제적인 안으로 전망된다.

라. 안별 종합

우리나라의 부하수준이 4,000만kW가 되는 2010년까지 전원을 포함한 3 가지 방안에 대한 종합비교 검토결과를 요약하면 표 1과 같고 지역별 부하 및 발전설비 전망은 표 2와 같으며, 최적 원별 안배방안이 가장 경제적인 것으로 나타났다.

한편 경제성 검토에서 발전소 건설비, 운전연료비 및 신규발전소 입지 개발비에 비하면 송변전 투자비는 상대적으로 미약한 실정이다. 따라서 최적 원별안배를 고려한 장기 전원개발 계획에 따라 장기전력계통 구성이 바람직하며, 이러한 조건에서 지역간 계통구성은 그림 2와 같이 전망되고 2010년 이후에도 부하증가에 따른 지역간 송전선로 소요 루트 수는 더욱 증가될 전



〈그림 2〉 2010년 지역간 계통구성

〈표 1〉 전원포함 각 안별 종합비교

구 분 \ 안 별	송변전투자비 최 소 안	전원입지개발비 최 소 안	최적원별안배안 (전원개발계획)
원별 전원구성비	LNG 비중 증대 13%	원자력 비중 증대 68%	원자력 : 석 탄 40% : 40%
전원 입지 개발	경인지역 집중개발	기존입지 활용 및 영동 권 집중개발	기존입지 활용 및 중부권 집중개발
경인유입 선로수 () : 기존선로수	중부-경인 : 4 (2) 영동-경인 : 1 (1)	중부-경인 : 4 (2) 영동-경인 : 6 (1)	중부-경인 : 5 (2) 영동-경인 : 4 (1)
경 제 정 비 교 (억원, '89현가화)	304,706	298,151	293,829
분 석	LNG 비중 증대로 발전 연료비 증가	원자력 비중 증대로 발전소건설비 증가	가장 경제적인

〈표 2〉 지역별 부하 및 발전설비 전망

단위 : MW

구 분 \ 지 역	경 인	영 동	중 부	호 남	영 남	계	
부 하	17,854	1,842	3,002	3,810	13,730	40,238	
발 전 설 비	송변전투자비 최소화방안	15,375	3,795	9,733	5,926	15,467	50,296
	입지개발비 최소화방안	7,575	17,695	6,533	9,826	8,667	50,296
	최적원별안배안	9,575	10,795	13,033	5,926	10,967	50,296

망이다.

4. 장기 초고압 전력계통 구성계획

'88 장기 전원개발계획의 수립에 따라 2010년 을 바라보는 초장기적인 측면의 최적 전력계통 구성방향에 입각하여 2001년까지의 장기 345kV 초고압 전력계통 구성계획을 수립한 결과 그 내용을 소개하면 다음과 같다.

가. 지역별 전력수급 전망

장기전력 수요예측치중 기준안에 대하여 발전 소 소내소비, 도서, 계통손실을 제외한 전국 154

kV 변전소 공급단 최대부하를 산출함으로써 지역별 변전소 모선별 최대부하를 예측하였다.

또한 향후 신규전원입지는 발전소건설 기본계획수립에 반영된 입지 및 지역간 전력수급 균형 측면에서 유리한 입지를 선정하여 지역별 발전 설비를 산출하였으며, 발전설비 예비율을 포함한 전체 시설용량을 기준으로 2001년까지의 지역별 전력수급 전망은 표 3 과 같다.

나. 경인지역 전력공급 계통보강

당초 수도권 환상망 구성은 일도화력을 제외 하고 인천화력-양주-의정부-동서울-서서울-신인천-인천화력으로 계획하였고 일도화력은

〈표 3〉 지역별 전력수급 전망

구분	지역	경 인	영 동	중 부	호 남	영 남	계
		'88	수 요	5,481	1,005	928	814
	발 전	4,198	2,287	1,908	2,963	8,470	19,826
	과부족	-1,283	1,282	980	2,149	3,982	7,110
'91	수 요	6,719	1,104	1,135	1,089	5,506	15,553
	발 전	4,198	3,319	1,908	2,986	8,573	20,984
	과부족	-2,521	2,215	773	1,897	3,067	5,431
'96	수 요	9,187	1,198	1,577	1,682	7,379	21,023
	발 전	4,589	3,419	5,933	4,985	9,043	27,969
	과부족	-4,598	2,221	3,856	4,439	2,364	6,946
2001	수 요	12,109	1,249	2,036	2,444	9,312	27,150
	발 전	4,814	5,794	10,033	5,426	9,543	35,610
	과부족	-7,295	4,545	7,997	3,096	231	8,460

단, ○수요는 154kV 공급단 기준

○발전설비는 시설용량 기준

양주-인천화력 T/L 중간에 제약 개폐소를 건설하여 연결토록 하였으나 일도부합화력의 최종규모가 4,800MW로 증대되기 때문에 일도부합화력의 중요성을 감안, 금번 계획에서는 일도를 포함한 수도권 환상망, 즉 일도-양주-의정부-동서울-서서울-신인천-인천화력-일도로 변경하였으며, 제약 개폐소는 건설을 취소하고 기존 154kV 부평변전소 구내에 345kV 신부평 변전소 건설을 계획하였다.

한편, 경인지역 연결 송전선로 보강은 1993년 보령 후속기 계통병입에 따라 중부-경인간 송전선로를 건설하고 태안화력 당진화력의 계통병입에 따른 중부-경인간 추가 송전선로를 1996년에 건설토록 계획하였다.

또한 울진원자력 후속기의 계통병입에 따라 영동-경인간 송전선로를 1998년에 건설하고 태안, 당진화력의 후속기로 900MW급 유연탄발전소가 계통에 병입되는 2000년에 중부-경인간 추가 송전선로를 건설토록 계획함으로써 2001년까지 중부-경인간 3루트, 영동-경인간 1루트

의 추가 송전선로 보강이 이루어지게 된다.

다. 대단위 변전소 계통연결

영광 및 울진원자력 발전소의 후속기 병입에 따라 기존 양 계통으로 연결된 송전선로중 어느 선로라도 사고가 발생할 경우 계통 안정도가 불안정하기 때문에 영광 및 울진원자력 계통보강의 일환으로 각발전소에 연결되는 제 3 송전선로 건설을 계획하였으며, 또한 단일 루트의 선로로 계통에 연결된 보령, 삼천포화력의 후속기 병입에 따라 계통신뢰도 향상을 위하여 양계통 보강을 계획함은 물론 향후 신규발전소로 태안, 당진화력도 후속기 병입시에 양계통 구성을 위한 송전선로 건설을 계획하였다.

라. 도심지역 전력공급을 위한 지중 송전선로 건설

서울과 부산의 도심 재개발 및 급격한 부하증가에 대비하여 도심지역 전력공급 능력 확보를 위한 전원변전소인 345kV 초고압 변전소 건설

이 대두됨에 따라 가공 송전선로 진입이 불가능한 지역에는 지중 송전선로로 건설토록 계획하였으며, 도심지역의 초고압 변전소는 2001년까지 경인지역에 4개소, 부산지역에 1개소가 건설됨으로써 막대한 지중 송전선로의 건설 투자비가 소요될 전망이다.

마. 기타 공단지역 전력공급

현재 정부에서 계획하고 있는 대규모 공업단지 조성에 따른 전력공급 능력을 확보하기 위하여 우선 시화지구 및 인천 남동공단 전력공급을 위한 345kV 신소래 변전소 건설, 군산·장항 산업기지 개발사업에 대비 345kV 옥구변전소 건설, 김해·명지·녹산지역 공단지개발에 대비 345kV 신김해 변전소 건설, 충남 대산지역 및 아산만 종합개발에 대비, 345kV 신당진 변전소 건설 등을 계획하였다.

바. 장기 초고압 전력계통 구성계획 종합

〈표 4〉 345kV 초고압 송변전 설비계획

연도	구분		송전설비 (C-km)		변전설비 (Bank 수)	
	회선공장	누 계	대 수	누 계	대 수	누 계
1988	기 설	4,924	기 설	33 (4)		
1989	6	4,930	2	35 (4)		
1990	0	4,930	3	38 (4)		
1991	222	5,152	4	42 (4)		
1992	204	5,356	4	46 (4)		
1993	700	6,056	4	50 (4)		
1994	298	6,354	4	54 (4)		
1995	396	6,750	6	60 (4)		
1996	370	7,120	6	66 (4)		
1997	290	7,410	7	73 (4)		
1998	530	7,940	5	78 (4)		
1999	0	7,940	4	81 (5)		
2000	130	8,070	5	84 (7)		
2001	80	8,150	5	88 (8)		

○예비 MTr (1 Phase) 제외
○ () 내는 발전소 설치분임

금번 장기 수요예측 및 발전소 건설계획은 당초계획('86. 8)보다 크게 증대되었다.

이에 따른 1989~2001년까지의 초고압 송변전설비 계획은 표 4, 초고압 시설 투자비계획은 표 5와 같으며, 초고압 계통구성도는 그림 3과 같이 전망된다.

표에서 보는 바와 같이 급속한 부하성장 및 발전소 건설에 대비, 1992~1997년 사이에 초고압 송변전설비 물량이 집중되며 초고압 시설 투자비 증대도 요구된다.

5. 계통계획상 문제점

가. 경인지역 저전압 현상 심화

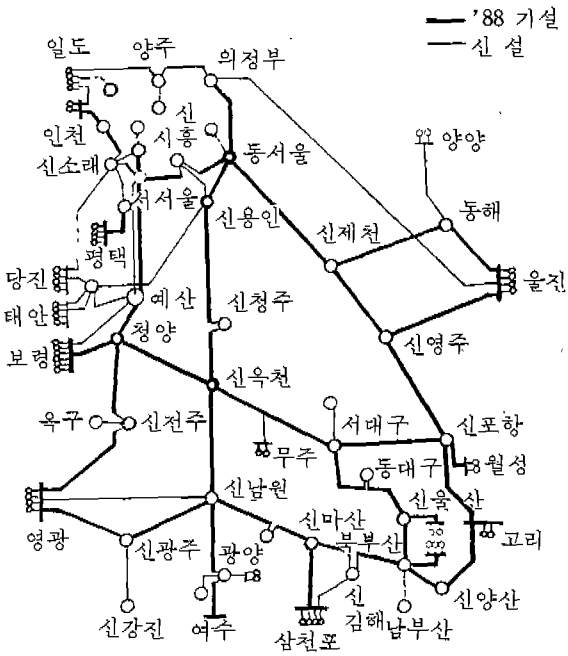
국민 생활수준의 향상에 따라 지난 '86년 여름철 하계 최대부하 시기부터 경인지역에 저전압 현상이 발생되기 시작하였으며, 이에 대한 대책이 다각적으로 검토 시행되고 있는 실정인바 경인지역의 저전압 현상의 발생원인은 다음

〈표 5〉 345kV 초고압시설 투자비계획

단위 : 백만원

연 도	송 전	변 전	합 계
1989	33,486	10,559	44,045
1990	89,608	14,729	104,337
1991	121,895	44,530	166,425
1992	174,360	54,031	228,391
1993	181,998	88,496	270,494
1994	158,540	52,294	210,834
1995	119,705	80,700	200,405
1996	129,295	59,308	188,603
1997	114,365	63,461	177,826
1998	56,435	29,461	85,526
1999	77,645	15,400	93,045
2000	48,460	16,000	64,460
2001	19,755	14,500	34,255

○2002년 이후 사업 투자비 불포함
○초고압 운영비 불포함



〈그림 3〉 345kV 초고압 계통 구성 계획

현상은 경인지역 뿐만 아니라 전국적으로 확산될 전망이다. 이와 반대로 심야 경부하시에는 전압이 상승하여 규정전압 유지가 어려워질 것으로 예상되기 때문에 적정수준의 최적 조상설비(S. C, Sh. R) 설치방안 수립이 시급한 실정이다.

나. 송전선로 경과지 확보안 가중

경인지역의 수요는 타지역에 비하여 상대적으로 성장속도가 빠르며 기존발전소 폐지의 가속화에 따라 경인지역 연결 송전선로 경과지는 계속 증가될 전망이다. 민주화 이후 주민의식의 급속한 변화로 인하여 송전선로 경과지 확보와 관련된 많은 민원사항의 발생은 전국적인 현상이며 송전선로 건설이 가능한 경과지의 한정, 즉 국토의 한정이 문제점으로 대두되고 있기 때문에 이러한 문제점들을 해결하기 위한 종합적인 대책수립이 필요하다.

6. 결론

과 같이 두가지로 요약할 수 있다.

첫째 : 경인지역 하계부하 특성 악화

전력계통에 있어서 규정전압 유지는 주로 무효전력 수급상태의 평형에 의하여 이루어지고 있으며, 특히 경인지역은 본질적으로 저역률 부하인 여름철 냉방부하의 급증에 따라 타지역에 비하여 상대적으로 부하역률이 저하되고 있다.

앞으로도 생활수준 향상의 영향으로 부하역률은 더욱 낮아질 전망이기 때문에 경인지역 저전압 현상은 더욱 심화될 전망이다.

둘째 : 경인지역의 전력수급 불균형 심화

경인지역의 수요는 전국 수요의 40% 이상을 차지하고 있는 반면 발전설비는 주로 남부지역에 치중되어 있어 경인지역의 부족전력은 타지역에 연계된 송전선로에 의존하고 있으며, 경인지역에는 일부 LNG 입지를 제외하고 신규발전소 건설 후보지도 없는 실정이므로 향후 경인지역의 전력수급 불균형은 더욱 심화될 전망이다.

또한 향후 지속적인 부하증대에 따른 저전압

이상에서 언급한 바와 같이 장기적인 측면에서 우리나라의 전력계통은 지금보다 훨씬 복잡하고 그 규모가 엄청나게 커질 전망이다.

특히 경인지역의 계통특성은 점차 악화될 것으로 예상되기 때문에 향후 경인지역의 저전압 해소를 위한 대책으로 조상설비(S. C, Sh. R) 설치방안을 효율적으로 검토함은 물론 최적 무효전력 제어 및 전력계통 동특성 향상을 위한 SVC(Static Var Compensator) 도입 등이 다각적으로 연구 검토되어야 할 사항이다.

또한 지역간 전력수급 불평형의 해소대책으로는 경인지역의 수요 분산, 발전설비의 경인지역 배치, 기존 345kV 송전계통 보강, 또는 차기 초고압 전압격상방안 등이 고려될 수 있으나 현재 이에 대한 검토가 진행중이며, 세부 검토결과 새로운 방침이 확정되면 본 장기 초고압 전력계통 구성계획중 일부 변경이 불가피하고 새로운 장기계통계획을 수립하여야 할 것이다.