

우리나라 超高压 送電電圧 의 格上

金 仁 燮

韓國電力公社 電源計劃處 責任專門員

1. 概 要

1976년에 國內最初로 運轉開始된 345kV 超高压 送電系統은 表 1 과 같이 持續的인 設備擴張을 거듭함으로써 全國的인 345kV 環狀網構成에 依한 系統信賴度의 획기적 향상과 電力輸送能力的 증대는 물론 國土의 效率的 利用과 電力損失을 선진국 수준으로 감소시키는 데 많은 기여를 하여 왔다.

그럼에도 불구하고 전국 최대의 電力需要 密集地域인 京仁地域의 全國 平均보다도 더욱 높

은 電力需要 成長趨勢와 送電線路 經過地 및 電源立地 確保難等에 따른 電力需給 不均衡問題를 해결하기 위해서는 現 電力系統 最高送電電壓인 345kV 超高压보다 더욱 높은 格上 送電線路를 京仁地域과 電源地域間에 建設하여 大電力 輸送手段을 講究하여야 한다는 論議가 住民意識의 急變에 의해 電源立地 및 送電線路 經過地 확보가 더욱 어려워지기 시작한 最近 2~3年前 부터 크게 대두되어 왔다.

事實, 이러한 超高压 送電電壓의 格上은 需要 成長率이 年間 20%에 육박하던 70年代 後半부터 거론되어졌었는데, 당시의 豫測으로는 1991年의 全國 最大需要가 25,000MW 程度나 되어 地域間 融通電力 急增에 따른 送電電壓 格上이 不可避할 것으로 展望하고, 格上技術 檢討要員 21名을 1979년부터 2年間に 걸쳐 美國 W. H. 社 및 스웨덴 SSPB에 파견하여 關聯技術에 對한 海外訓練을 實施하였다.

그러나, 第2次 石油波動 影響等으로 1980年 부터의 需要成長率이 한자리 숫자로 낮아지면

〈표 1〉 345kV 송변전설비 증가추세

연 도	送電設備 (C-km)	變 電 設 備	
		變電所數	設置容量 (MVA)
1976	391	2	1,167
1981	2,097	8	7,336
1986	4,203	16	15,336
1991	4,935	18	21,171

〈표 2〉 地域別 및 全國 最大需要 展望結果

單位：MW

區 分	地 域 供 給 端						기 타	全 國
	경 인	영 동	중 부	호 남	영 남	계		
1990年	7,015 (44.2%)	887 (5.6%)	1,538 (9.7%)	921 (5.8%)	5,511 (34.7%)	15,872 (100%)	1,380 (8%)	17,252 (100%)
2001年	16,013 (45.2%)	1,907 (5.4%)	4,129 (11.7%)	2,537 (7.2%)	10,801 (30.5%)	35,386 (100%)	3,077 (8%)	38,463 (100%)
2021年	30,880 (45.2%)	3,690 (5.4%)	7,990 (11.7%)	4,920 (7.2%)	20,840 (30.5%)	68,320 (100%)	5,940 (8%)	74,260 (100%)

서 海外 技術訓練 要員을 主軸으로 한 格上技術 檢討 팀은 構成되지 않았으며, 韓電 技術研究院 和 韓國電氣研究所에서 格上送電線의 코로나 現象等 環境障礙에 대한 研究程度만을 지금까지 持續해오고 있는 實情이었다.

이러한 超高压 送電電壓格上은 많은 初期投資 費가 소요되고 우리나라 電力系統 및 國內 電氣 產業界에 미치는 影響이 지대할 것인 바, 格上 與否 및 格上時의 適正 格上電壓, 時期等에 對한 辛중한 검토가 요청된다고 볼 수 있다.

따라서, 이 分野에 對한 專門研究陣을 多數 保有하고 있는 基礎電力工學共同研究所 및 韓國 電氣研究所와 우리 公社 3個機關의 共同研究 方式으로 1989年 9月부터 約1年半에 걸쳐 30여명 의 研究陣을 投入, 電壓格上의 타당성을 포함한 長期 電力系統 構成對策을 檢討完了하였는 바, 本誌에 檢討結果를 간단히 소개하고 檢討結果에 對한 國內 關聯專門家들의 개진 意見과 向後 送電電壓 格上에 對한 社内 基本方針을 소개코자 한다.

2. 長期 電力系統構成對策 檢討結果

가. 長期 電力需給展望

超高压 送電電壓 格上等과 같은 長期的인 電力政策의 方向設定을 위한 電力需給 展望은 各 급적 展望對象期間을 늘릴수록 바람직하나 對象 期間을 늘릴수록 不確實性이 增加되므로 우리가

가 現 先進國水準의 成長安定期에 도달되며 總人口數 역시 더 이상 늘어나지 않을 것으로 展望되는 2021년까지의 向後 30年間만을 對象으로 검토하였다.

全國 最大需要는 向後的 經濟成長率 시나리오 에 따라 高需要案, 基準案低需要案別로 GNP對 部分別需要의 상관관계를 회귀분석하여 豫測한 電力量에 負荷率等을 적용하여 전망하였으며, 地域別 最大需要는 全國을 電力系統網 構成特徵에 따라 22個 小地區 및 5大地域으로 나누어 各地域別 需要實績과 國土開發計劃을 반영하고 人口, 氣候, 不等率等과의 相關關係를 분석하여 전망 할 수 있는 地域需要豫測 電算 프로그램을 利用 하였다.

基準案에 의한 全國需要 展望結果는 표 2 와 같으며 이 표에서 알 수 있는 바와 같이 1990年 17,252MW에 不過하였던 全國 最大需要는 2021 年에 74,260MW로서 4倍以上 늘어나게 된다.

한편, 全國需要의 44.2% 이상이 몰려있는 京仁地域은 앞으로도 수요증가률이 전국평균보다 더욱 늘어나 2021년에는 全國需要의 45.2%인 31,000MW 程度나 될 것이며, 전국 제 2의 需要密集地域인 嶺南地域도 비록 需要增加率에 있어서는 全國平均에 못미쳐 1990年 全國需要의 34.7%이던 것이 2021년에는 31% 이하로 크게 떨어질 것이나, 絶對量에 있어서는 20,000MW 以上으로 늘어나 현재의 전국수요보다도 높은 규모가 될 것으로 전망된다.

이와 같이 持續的인 수요증가에 따른 發電設備 計劃은 경제성과 신뢰성은 물론 각종 정책적, 기술적 制約要素를 綜合 考慮하여 樹立하여야 하나 本 電力需給 檢討目的이 電壓格上의 妥當性 檢討만을 위한 地域別 需給 不均衡 程度만을 概略的으로 전망하는 것이므로, 2010년까지의 發電設備는 電源開發計劃 檢討用 電算 프로그램인 WASP RUN 結果를 사용하고 검토대상 最終年度인 2021年은 發電設備 豫備率을 20%, 原子力, 石炭, Oil 및 LNG, 水力의 源別構成比를 4:3:2:1로 하여 算出하였으며 그 결과는 表3과 같다.

이에 따르면, 向後 30年後의 우리나라 總發電設備는 89,000MW로 늘어나게 되며, 이렇게 많은 電源開發事業을 원활히 推進하기 위해서는 電源立地의 適地, 適期確保가 무엇보다도 重要하다고 볼 수 있다.

즉, 既存發電所의 폐지를 전혀 고려하지 않더라도 向後 30年間에 約 20,000MW 規模의 새로운 原子力 立地確保가 필요하며 石炭火力 역시 泰安, 唐津等 現在 推進中인 立地外에도 10,000MW程度의 새로운 立地를 추가로 확보하여야 할 것으로 전망된다.

나. 京仁地域 長期電力需給對策

現在 需給不均衡이 가장 심각한 京仁지역은

〈표 3〉 源別 發電設備 增加展望

單位: MW (%)

源別	原子力	石炭	Oil, LNG	水力, 揚水	計
1990 (實績)	7,616 (36.2)	3,700 (17.6)	7,366 (35.0)	2,336 (11.1)	21,018 (100.0)
1996	9,616 (27.4)	9,440 (26.9)	12,997 (36.9)	3,096 (8.8)	35,149 (100.0)
2001	15,716 (33.2)	14,660 (31.0)	12,842 (27.2)	4,096 (8.7)	47,314 (100.0)
2010	27,600 (40.2)	19,940 (29.1)	14,495 (21.1)	6,596 (9.6)	68,631 (100.0)
2021	35,640 (40.0)	26,730 (30.0)	17,820 (20.0)	8,910 (10.0)	89,100 (100.0)

〈표 4〉 京仁地域 長期 電力需給展望

單位: MW

區分	1990年	2001年	2010年	2021年	
最大需要(a)	7,015	16,000	23,470	30,880	
供給能力 (b)	送電線	3,520	8,506	8,506	8,506
	既存發電設備	3,200	3,220	3,220	3,220
	追加可能發電設備		5,020	5,020	5,020
	計	6,740	16,746	16,746	16,746
差異 (c=b-a)		746	△6,724	△14,134	
京仁地域 所要電源規模(d)			8,770	18,430	

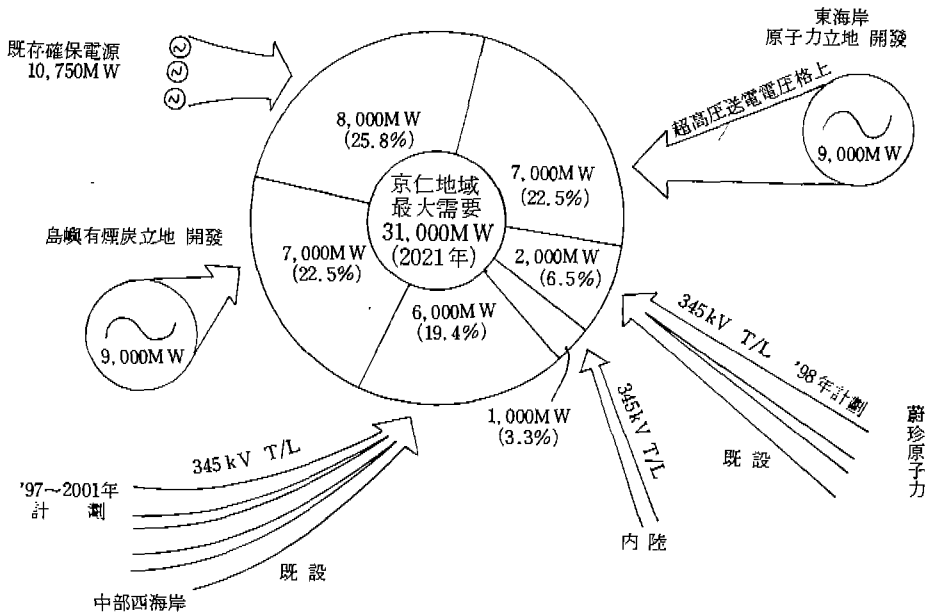
신도시 熱併合과 一島火力建設等에 따른 供給力 증대로 1990年代 中盤까지는 需給與件이 지금보다 오히려 좋아질 것이나, 별도의 추가대책이 없는 한 2000年代 初부터는 表4와 같이 供給與件이 다시 악화될 전망이다.

이러한 需給不均衡에 효율적으로 대처하기 위해서는 지속적인 京仁地域 新規 電源立地 확보 노력과 함께 京仁과 他地域間에 다수의 送電線 建設에 의한 電力輸送能力의 증대를 꾀하여야 한다.

그러나 이미 345kV 送電線 4個 루트가 경기도 일원을 南北으로 지나가고 있는 등多數의 送電線路가 집중분포되어 있고 각종 산업 및 주거 시설이 밀집되어 있는 이 지역에서의 지속적인 送電線路 經過地 확보는 한계에 달했다고 볼 수 있다.

실제, 1993年 준공예정인 345kV 牙山-新始興 送電線도 각종 민원誘發로 적기준공이 어려워지고 있으며 1990年代 後半 建設豫定인 中部-京仁間 345kV 追加線路에 대해서는 經過地조차 확정짓지 못하고 있는 實情이다.

이와 같은 與件에서 向後 持續的으로 늘어나는 京仁지역 수요를 線路當 2,000MW程度에 不過한 輸送能力을 갖고 있는 345kV 送電線建設에



(그림 1) 京仁地域 電力需給 綜合對策

만 의존할 수는 없는 실정이다.

그렇다고해서 京仁의 不足電力을 送電線에 의존하지 않고 해결하기 위해서는 현재 건설중인 열병합 및 一島 LNG 外에도 2021년까지 約 18,000MW의 新規電源을 지역내에서 추가로 開發해야 하는데 이는 2021년까지 全國에서 필요한 基底設備用 新規立地規模 29,000MW의 2/3 程度나 되는 막대한 量으로서 그 실현 가능성 역시 극히 희박할 것으로 보인다.

이상의 條件을 綜合할 때 최선의 京仁地域 電力需給 對策은 첫째, 경인지역 전력수요의 地方分散을 국가적 차원에서 적극적으로 추진하며, 둘째, 京仁地域 隣近島嶼等에 가급적 많은 火力立地를 개발하여 지역내 需給不均衡을 최소화시키고, 셋째, 向後 開發되는 新規 原子力立地는 京仁에서 比較적 近距離이고 민원발생 소지가 적은 東海岸北部에서 대단위로 개발하여 345kV 送電線보다 電力輸送能力이 월등한 格上送電線으로 京仁地域에 수송하는 것 等이라 볼수 있으며 이와 같은 京仁地域 電力需給 綜合對策 검토결과는 그림1과 같다.

다. 送電電壓 格上特徵

世界 各國의 송전전압은 선로당 輸送力增大에 의한 電力輸送費 및 線路 經過地數 節減等を 위해 系統規模의 증대에 따라 꾸준히 높아져 왔다. 앞에서 검토된 京仁地域 전력수급 종합대책대로 東海岸北部에 10,000MW 규모에 대단위 원자력 입지를 개발하는 경우에 이를 345kV로 경인지역에 송전한다면 최소한 5個 루트 以上の 送電線이 필요하므로 超高压 送電電壓 格上에 의한 大電力 輸送은 불가피하다.

그러나 送電電壓이 높아질수록 建設費負擔이 늘어나 수송규모와 경제성을 감안한 최적 格상 送電線 規格을 決定해야 한다.

한편 外國의 超高压 送電電壓 格上現況을 살펴 보면 세계 최초로 765kV級을 운전한 國家는 캐나다로서 대단위 수력발전개발에 따른 735kV 送電線을 1965년에 建設하였으며 이어서 美國 AEP가 1969年 地域間 融通電力 增大을 위한 765kV 送電線을 建設하였다.

한편 500kV가 最高送電電壓인 日本은 日本西

海岸 柏崎·刈羽에 개발되는 대단위 原子力發電 所의 계통연결을 위해 1992年 준공목표로 1000 kV 送電線 250km를 건설중에 있으며 送電線路만 우선 건설하여 2000年代初까지는 500kV로 운전토록 함으로써 變電投資를 가급적 늦추도록 하고 있다.

유럽지역은 地域別로 電力需給이 비교적 균형되어 있고 인접 國家間的 系統連繫도 잘 이루어져 있어 現在 380kV인 최고 송전전압을 적어도 2000年代 이전까지는 格上하지 않을 것으로 전망된다.

라. 送電電壓 格上の 經濟性

앞에서 검토한 대로 京仁地域 電力需給 종합 대책을 추진시, 유일한 格上對象 區間인 東海岸北部-京仁地域間을 세계적으로 보편화되어 있는 格上電壓 레벨인 765kV級 또는 1000kV級으로 格上하는 경우의 두 電壓 레벨間的 經濟성차이를 비교하면 다음과 같다.

이때 經濟性比較를 위한 格上系統 構成은 東海岸北部의 발전단부터 경인 외곽인 揚平근처까지 約 150km 정도를 格上전압으로 送電한 다음 揚平근처의 格上變電所에서 345kV로 강압하여 東서울等 인근 345kV 변전소에 연결되는 것으로 가정하였다.

우리나라의 국토여건상 2回線 構造로 건설되어야 하는 格上송전선의 송전능력은 정태안정도 및 전압강하 特性等を 감안한 Loadability로 보았으며 建設費는 國內外 超高压送電線의 建設費 실적 및 外國의 格上 타당성 검토결과等を 참고하여 345kV 送電線 建設費에 대한 格上 送電電壓比로 보았다.

기타 送變電設備投資에 대한 割引率은 8%,

〈표 5〉 格上送電線의 送電能力 및 建設費

送電電壓 (kV)	345	765	1000
送電能力 (MW)	900	4,200	7,400
送電線建設費 (億원/km)	5.1	10.5	13.6

維持補修率은 3%를 적용하였으며 電力損失評價는 Energy Charge만 고려하여 有煙炭火力의 연료비 원가를 적용하였다.

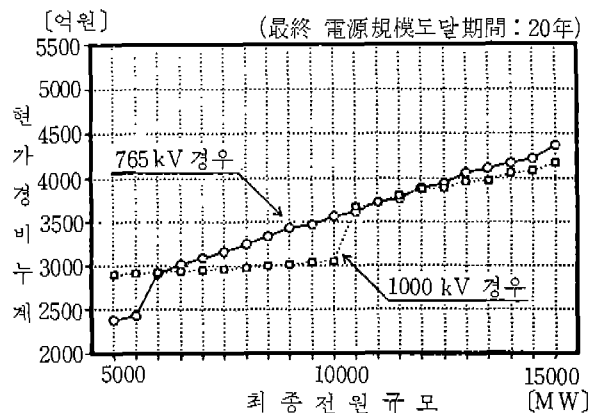
이상과 같은 前提下에서 765kV와 1000kV로 格上하는 경우의 現價 總經費 비교에 의한 經濟성 검토결과는 그림2와 같으며 그림에서 알 수 있듯이 東海岸北部電源의 최종규모에 따라 經濟적인 格上電壓 레벨이 다르게 나타났다.

즉, 最終規模가 6,000MW 미만에서는 765kV가 有利하였고, 6,000MW부터 10,000MW 사이에서는 1000kV가 有利하다가 10,500MW를 넘어서면 765kV나 1000kV가 大同小異하였다.

이와 같이 765kV 경우는 6,000MW 부근에서, 1000kV 경우는 10,500MW 부근에서 總 現價經費가 급증하는 원인은 765kV 경우 東海岸北部의 최종 電源規模가 6,000MW 以上부터 2루트의 送電線路가 필요하나 1000kV 경우는 10,500MW부터 2루트가 필요하게 됨에 따른 送電投資費의 倍增 때문이다.

따라서 루트數 增加에 따른 線路의 餘裕容量과 信賴度 向上 費用까지를 감안하여 經濟性을 比較한다면 最終規模別 765kV와 1000kV의 經濟性 差異는 검토결과보다 훨씬 적어질 것으로 판단된다.

한편 初期投資費面에서는 765kV로 格上時가 約 2,400億원, 1000kV로 格上時가 約 3,000億



〈그림 2〉 765kV와 1000kV의 經濟性 比較

원으로서 765kV가 有利하다고 볼 수 있다.

다. 送電電壓格上의 技術的 特性

(1) 設備特性

현재 건설중인 日本의 1000kV 送電線外에 外國에서 운전중인 765kV 級 이상의 송전선은 모두 1回線構造이나 우리나라의 협소한 국토 여건을 고려할 때 格上送電線은 日本과 같이 2回線構造로 하여야 할 것이며 이 경우 철탑높이는 765kV가 70m 이상이나 됨으로써 大型 2回線 철탑의 경제적 설계 및 건설기술을 적극적으로 개발하여야 할 것이다.

格上送電線에 의한 환경장애에는 景觀, 風騒音 등의 自然障礙와 코로나 騒音, 라디오 및 TV 시청장애, 電界強度 등의 전기장애로 구별되며, 이중 가장 문제가 되는 코로나 騒音を 효과적으로 저감한 경제적설계를 위해서는 格上送電線에 대한 충분한 實增試驗이 필요하다.

格上電壓 레벨의 限界는 送電線보다 變電機資材 製作能力에 좌우되는데 765kV 級까지는 이미 캐나다, 美國 등에서 20여년 前부터 商業運轉中에 있으며 1000kV 級은 日本, 이탈리아 등에서 Proto type에 의한 실증시험 계단에까지 와 있다.

따라서 우리나라가 2000年代初 以後에 格上을 한다면 1000kV 級까지도 格上 可能하다고는 볼 수 있으나, 國內의 技術水準과 重電機業체의 製作能力을 볼 때는 765kV 級 器機를 國産化하는 데는 큰 어려움이 없는 반면 1000kV 級 器機에 대해서는 國産化가 거의 不可能하고 海外에 의존하더라도 世界的으로 아직 試圖되지 않은 1000/345kV 變壓器를 제작하여야 하는 어려움이 있다.

따라서 變電機資材 調達面에서만 본다면 아직 신뢰성이 입증되지 않은 1000kV 級보다는 이미 實用化된 765kV 級이 바람직하다고 볼 수 있다.

(2) 系統特性

送電電壓 格上系統에서 가장 문제가 되는 것

은 系統安定度 維持와 電壓·無効電力 對策講究이다. 東海岸北部와 京仁間의 格上送電線에 對한 動態安定度 分析結果, 765kV 1回線의 送電限界는 5,000MW 程度, 1000kV 1回線의 送電限界는 8,000MW 程度이며 安定度向上을 위한 여러 對策中에는 東海岸北部의 格上母線에 제동 抵抗을 설치하는 것이 가장 바람직한 것으로 검토되었다.

한편 深夜輕負荷時 格上送電線이 無負荷로 充電되는 경우에는 母線電壓이 定格의 120% 水準까지 올라가며, 이에 對한 대책으로 80% 以上の 線路 無効電力 補償과 함께 東海岸北部 原子力發電機의 충분한 進相 運轉能力 確保가 요구된다.

또한 345kV 系統의 短絡電流가 1990年代 後半부터 급격히 증가하여 器機定格을 초과하는 母線이 多數 發生하는데 이는 格上有無에 관계없이 시급히 대책강구가 요구되는 과제이다.

기타 電壓格上을 南北連繫와 관련지어 보면 格上初期에는 北韓의 電力不足에 따라 北上潮流 增大에 의한 格上誘發要因이 되고 長期的으로 보면 格上 遷延要因이 될 것이며 南北關係上 연계 실현시기 또한 불확실하기 때문에 格上時期나 電壓等を 南北連繫와 관련지어 決定하기는 어렵다고 본다.

바. 檢討結論

이상의 검토 결과에서 알 수 있는 바와 같이, 京仁地域의 電源立地와 送電線路 經過地 確保難에 對한 최선의 對處方案은 京仁地域 隣近島嶼와 東海岸 北部에 大單位 有煙炭立地 및 大單位 原子力立地를 각각 개발하는 한편 東海岸北部와 京仁地域間에 超高压 送電電壓 格上線路를 建設하는 것이라 볼 수 있다.

이들 新規 大單位 電源立地는 京仁地域의 電力需給 不均衡 程度나 原子力立地의 絶對不足等を 감안할 때, 加급적 조속히 개발하여야 할 것이며 늦어도 2000年代初까지는 最初號機가 준공 되어야 하며, 이에 따른 格上送電線은 原電 最

初號機 준공시점 1年前까지는 建設되어야 할 것이다.

한편, 格上送電線의 전압 레벨은 765kV 級과 1000kV 級中에서 東海岸北部 原電立地의 適正規模인 9,000MW程度에서는 1000kV 級이 다소 經濟的이나 系統信賴度, 環境影響, 機資材 調達等 技術的 側面에서는 765kV 級이 바람직하므로 經濟性과 技術的 特性을 종합하여 신중히 決定하여야 할 것이며, 電壓格上이 向後 우리나라의 電力系統은 물론 國內 產業界等에 미치는 영향이 지대할 것이므로 學界, 研究機關 및 業界等의 意見도 충분히 반영하여야 할 것이다.

특히 格上事業 推進에는 10年程度의 長期間이 소요되고 東海岸 北部의 原電立地等 新規電源立地 확보가 최적 전력계통 구성대책 검토 결과대로 추진되지 않는 경우에 전압격상 필요시기가 앞당겨질 가능성에도 대비하기 위해서는, 格上設備의 設計基準 및 機資材仕様 決定을 위한 세부 技術特性 檢討와 線路經過地 調査等을 조속히 착수하여야 할 것이다.

3. 檢討結果에 對한 意見수렴結果 및 向後 格上推進 基本方針

以上과 같은 檢討結果에 對한 연구 中間 및 最終 發表會, 電源開發協議委員會 및 검토 결과에 對한 관련인사 說明會等 수차례에 걸친 社内外 關聯專門家들의 의견을 종합 수렴한 결과,

첫째, 電源立地 및 送電線路 經過地 確保上的 어려움을 해결하기 위해서는 大單位 電源立地開發과 초고압 送電電壓 格上에 의한 大電力 輸送이 不可避하며,

둘째, 電壓格上은 長期間의 事業期間이 소요되고 國內 重電機業체等에 機資材 國產化 參與機會 提供을 위해 전압 레벨만큼은 조속히 결정하여야 하고,

셋째, 格上電壓 레벨은 不確實성이 많은 현실 여건하에서 경제성보다는 기술적 특성을 중시하여 운전경험이 없는 1000kV 級보다는 技術性이

입증된 765kV가 바람직하다는 의견이 지배적이었다.

以上の 기초전력공학공동연구소, 韓國電氣研究所 및 韓電, 3 個機關의 共同研究方式로 遂行된 長期 電力系統 구성대책 검토결과와 검토 결과에 對한 數차례의 關聯專門家들의 개진 의견을 종합한 결과,

向後 京仁地域 電力需要의 지방분석을 국가적 차원에서 적극적으로 유도하여 경인지역 電力需要增加를 가급적 抑制토록 하고,

京仁地域 隣近島嶼 및 東海岸 北部에 10,000 MW 以上の 大單位 有煙炭 火力立地와 原子力立地를 2000年代初 最初號機 運轉目標로 각각 개발 추진하는 한편,

東海岸 北部에 개발되는 新規原子力의 계통연결에 위해 東海岸 北部와 京仁地域間에 765kV 格上送電線을 東海岸 北部 原子力의 最初號機 준공 時點 1年前까지 建設하는 것을 가장 바람직한 向後的 長期 電力系統 構成 대책으로 결론 지었으며 이를 위한 大單位 電源立地를 확보추진중에 있다.

또한 장기간의 事業期間이 소요되는 格上送電線의 격상 필요시기가 앞의 검토경과보다 앞당겨지는 경우에도 적기에 준공 가능케 하고 重電機業체에 격상 기자재 국산화 참여기회 제공 등을 위해서는 東海岸 北部의 原電立地 確定 여부에도 불구하고 格上設備의 機資材 仕様決定 및 最適設計와 線路經過地 확보를 위한 격상추진 專擔機構를 조속히 構成할 계획이다.

이러한 格上事業은 우리나라 電力系統 및 國內 電氣產業界에 미치는 영향이 지대하고 많은 技術的 問題點을 해결하여야 할 것으로 전망되기 때문에 정부는 물론 學界, 研究機關, 業체等과의 유기적인 協調下에 가급적 國內 自体技術로 추진코자 한다.

이무쪼록 관심있는 여러분의 많은 지도와 성원으로 國家的 事業이라 볼 수 있는 超高壓 送電電壓 格上事業이 원활히 추진될 수 있기를 간절히 바라며 끝을 맺는다.