

2000年代의 送電方式

朴 鍾 根*

■ 차 례 ■

- 1. 序 論
- 2. 海外UHV送電計劃 및 研究現況
- 3. UHV 直流送電
- 4. 極低溫, 超電導, 6 相送電方式
- 5. 結 論
- 參 考 文 獻

① 序 論

우리나라의 現最高送電電壓은 1976年 運轉開始된 345 KV 이다.

앞으로 2000 年까지 電力需要는 7~10%의 水準으로 增加될 展望이어서, 2000年代에는 最大需要 36.7 GW 程度가 될 것이다. 이에 따라서 原子力發電과 有煙炭發電의 比重은 점점 增加되어 原子力은 36.1%, 有煙炭은 38.3%로 될 것이다. 이와 같이 原子力 및 石炭火力의 增加로 인해서 發電所의 立地問題가 發生하여 長距離大電力集中送電의 必要性이 增大한다.

또한 送電線이 長距離化함에 따라서 送電線下의 用地도 점점 增加하게 된다. 좁은 国土를 가진 우리나라의 경우에 今後 豫想되는 電力需要의 增大에 比例하여 用地取得은 더욱 어려워 질 것이므로 限定된 用地內에서 可能한 限 大電力을 輸送할 수 있는 技術을 開發할 필요가 있다.

有限한 資源의 有效利用을 위해서 省에너지가 要求된다.

今後 電力需要量의 增加로 大需要地帶 주변에서는 系統運用に 各種制約이 뒤따를 것이다. 變壓器의 短絡強度의 制約, 送電線地絡事故時의 送電線의 電磁誘導制約, 交流차단기의 차단能力에 의한 制約 등이 있다. 이러한 制約으로 交流系統의 短終電流를 抑制

할 需要가 있다.

以上과 같은 네가지 理由에서 우리는 次期의 送電電壓을 必要로 하게 된다.

위와 같은 自的은 交流 및 直流 UHV 送電 어느쪽 이든 達成이 可能하다. 이 UHV 送電은 이미 海外에서 實現된 나라도 있고 또한 技術的으로 많은 研究檢討가 되어 있다. 그러나 먼 將來의 送電方式으로서 極低溫·超電導送電方式 및 6相送電等도 送電容量의 增加, 送電線用地의 有效利用이라는 側面에서 그 研究가 活發해 지고 있다는 데에도 注目할 必要가 있다.

② 海外 UHV 送電計劃 및 研究現況

世界各國의 系統電壓推移를 보면 그림 1과 같다.

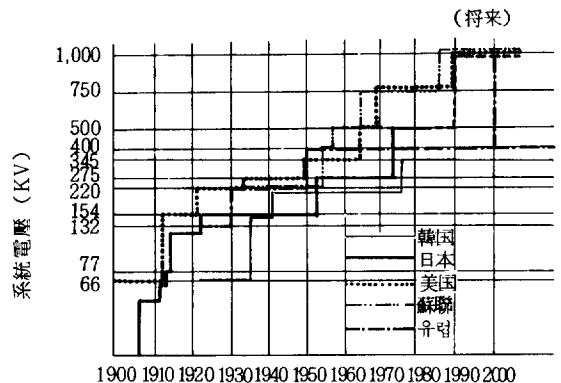


그림 1. 世界各國의 系統電壓 推移

*正會員：서울大 工大 電氣工學科 助教授·工博

電壓의 格上幅은 約 2.2 倍이고, 現行最高電壓은 美國 1,100 KV, 캐나다 735 KV, 소련 750 KV, 유럽 380 ~ 400 KV, 日本 500 KV 이다. 또한 海外의 主要 UHV 送電計畵은 表 1 과 같다.

表 1 . 해외의 주요한 UHV (1,000 KV 이상) 프로젝트

국 명	기관명칭	교류·직류	UHV 송 전 계 획			
			목표전압	장 소	거 리	목 적·시 기
미 국	AEP	교 류	1600 KV	오하이오주 인디애나 웨스트 버지니아	(K m) 1 구간 300~400	현재의 765 kv 계통과 같은 지역에 1500 kv 급송전계통을 1990 년대에 도 입 예정임. ASEA 와 공동연구
	BPA	교 류	1200 KV	위싱턴주 오래곤주	1 구간 300~400 (평균 280)	와이오밍, 몬태나에 건설중인 석탄화력, 대용량 피크용 수력 등을 8~10 GW 을 가스케도 산맥을 넘어 서부로 송전함. 현재의 230 kv 급 선로 2 회선을 대체 하여 UHV 송전을 하는등 용지절약이 목적.
		직 류	± 400 ~ ± 600	태평양연안 연계선	약 1700	북부 수력 전원지역과 남부화력·원자 력의 계절적 용통
이탈리아	ENEL	교 류	1050 KV	남부 원자력 발전소로부터 북부공업 지역 송전	수백 km	현재의 400 kv 계통과 동일지역에 1050 kv 계통을 도입함 1983~1984 년에 약 15 km 건설하여 UHV 실부하 시험 1990~1995 년에 승압예정
소 련	動力電化劣	교 류	1200 KV	시베리아 중앙 가락 스탄	3 구간 약 2000	시베리아지역의 대수력 석탄에 의한 초장거리 송전. 5000MW 1981~1985 년에 이타트~노보즈네코간 에 270 km 선로가 완성됨 1985 년에 완성 예정임.
		직 류	± 750 KV		2500	아시아 지역의 석탄에 의한 전력의 초장거리 수송. 6000 MW 건설시기는 아직 불확정 1984 년 일부, 1987 년 전부 운전 예정 ± 1000 KV도 계획중

UHV 送電의 目的은 長距離大容量送電과 送電用地의 有効利用으로 大別된다. 특히 이탈리아는 우리나라와 비슷한 立場으로서 北部地域에 大容量發電所를 建設하는 것이 困難하여, 200~300 km 떨어진 海岸線에 5 GW 以上の 原子力 및 火力發電所를 建設하여 比部에 送電하기 위하여 交流 1,000 KV 의 UHV 送電을 計畵하고 있다.

소련의 경우에는 最大 2,500km 의 長距離送電에 그 커다란 特徵이 있다.

美國은 AEP 의 交流 1,500KV, BPA 의 交流 1,200 KV 計畵으로서 送電距離 300~400 Km 이고 送電目的은 送電線 route 數의 節約이다. 이것은 넓은 意味의 環境保全을 뜻하는 것으로서 一般大衆에게 이 點을 理解시켜 UHV 送電計畵을 推進시키려는데 特徵이 있다고

할 수 있다.

表 1 의 UHV 送電計畵의 概略은 다음과 같다.

- (1) UHV 送電實施豫定期; 1990 年代中半.
- (2) UHV 送電量; 5 GW 以上
- (3) UHV 送電距離; 300~2,500 Km
- (4) UHV 交流送電이 主가 된다.

一般的으로 送電電壓의 格上은 選擇決定된 電壓의 送電網을 構成하는데 相當한 設備投資를 必要로 한다. 線路의 全長 및 變電設備의 容量에 따라 다르지만 一例를 들면 送電網構成에 必要한 設備投資는 數兆원에서 十兆원에 이르는 오더이다. 따라서 實用送電線의 建設을 着手하기 以前에 試驗送電線을 建設하여 性能을 確認하는 것이 常例가 되어 있다. 變壓機器의 경우도 마찬가지로

지로서 實用機와 類似한 크기의 試作機에 長期課電試驗, 破壞試驗 등을 實施하여 問題點 解決後 實用機의 製作에 들어 간다.

送電用品・變電機器의 性能實證에는 차단기의 短絡 차단試驗設備(大電力試驗)과 絶緣耐力檢證을 위한 高電壓發生裝置(高電壓試驗)이 있다.

海外的 試驗送電線은 1975 ~ 1977 年에 일제히 建設되었으며, UHV 試驗所는 1970年頃부터 整備擴充되기 시작했다. 實用化豫定期를 1990年代 中半으로 본다면 UHV 試驗所 등의 建立으로 約 25年程度의 先行研究를 實施하고 있는 것을 알 수 있다. 우리나라의 경우 1982年 昌原에 세워진 電氣試驗所가 이러한 側面에서 볼 때 상당히 重要한 意味를 가지고 있다고 생각된다. 이미 海外에서 研究가 進行되고 있기 때문에 當分間은 海外技術을 導入하여 開發費用의 節約과 研究期間의 短縮이 可能하다고 할지라도 우리나라 獨自의 解明해야 할 課題도 많다. 이러한 點을 考慮하여 생각해 보면 昌原試驗所建立을 起點으로 해서 우리나라 UHV 送電에 관한 研究는 始作되었다고 하더라도 過言은 아닐 것이다. 물론 電力會社自體의 케이스 研究 및 海外研究結果를 導入함으로써 UHV 送電의 實施豫定期는 앞당겨 질 수 있다. 先進諸國이 25年이라는 先行研究期間을 두었다면 우리는 그 半에 해당하는 研究檢討期間은 必要하다고 본다.

海外 UHV 研究現況의 概略은 다음과 같다.

- (1) 美国 AEP: 1976년 1 Km의 1,500 KV 單相試驗線建設, 交流送電目標電壓으로서는 最高인 1,500 KV 級送電의 可能性, 나아가서는 交流架空送電의 限界를 찾아내기 위한 研究를 ASEA 社와 共同으로 推進中
- (2) 美国 BPA; 1,200 KV 三相試驗送電線建設, 送電線下의 牧畜, 養蜂, 農作物栽培를 통해서 靜電界에 의한 生物에의 影響을 檢證
- (3) 이탈리아 ENEL; 15 Km의 模型線路를 建設하여 UHV 實負荷試驗, 模型線路의 課電用電源은 200MVA의 模型 UHV 變壓器, 가스絶緣裝置, 케이블을 使用하고 있다. 西아메리카等地에 UHV 技術援助를 하기 위해서도 상당히 努力하고 있다.
- (4) 日本; 1973년 電氣事業共同의 研究體制下에서 UHV 送電技術開發에 관한 研究가 시작됐다. 1978년 學識經驗者, 官界人士, 電力會社, 電氣製造業者 등을 包含한 全國的인 組織 UHV 送電特別委員會가 電力中央研究所에 設置됐다. 이 委員會에는 系統, 絶緣, 線路, 機器, 環境 및 直

流의 專門部會가 있어, 必要한 各種課題에 檢討를 하여 1982年 "UHV 交流送電에 관한 研究"라는 報告書에 그 結果를 發表하고 있다.

- (5) 소련: 1976年 1 Km의 UHV 試驗線을 建設하여 試驗을 完成하고, 1981년부터 實證試驗을 겸한 UHV 線路의 一部 270 Km가 建設中으로 가장 빠른 UHV 送電의 實用化가 豫상된다.

世界各國의 研究開發의 段階는 거의 비슷한 樣相을 띄고 있으나, 日本의 경우는 다음과 같이 나누고 있다.

- (1) 第一次段階; 線路, 變電所(變換所) 등의 概念設計와 같은 基礎事項의 研究,
- (2) 第二次段階; 線路 및 各種機器의 開發과 系統運用에 관한 研究
- (3) 第三次段階; 線路 및 機器의 信賴性을 確認하기 위한 實證試驗과 工法 및 保守方法의 研究

우리나라의 경우 UHV 送電技術開發에 있어서는 위의 第一次段階에 있다고 생각된다. 이 段階에서는 海外諸國의 UHV 技術開發現況을 正確히 把握하여 先進技術의 導入與否를 決定하고, 우리나라의 技術水準으로 解決可能한 課題를 明確히 하여 國內各界에서 分담해서 檢討해야 한다. 國內의 技術實情을 明確히 함은 물론이고 將來實現可能한지 與否도 明確히 되어야 한다.

第二次段階에 넘어 가기 위해서는 UHV 系統의 運用解析과 送電線 및 機器의 開發實用化에 適用되어야 할 目標電壓을 決定하는 것이 先行되어야 한다. 우리나라에서는 現在 500KV 와 765 KV 中에서 어느 한 쪽을 扞하는 쪽으로 意見이 集約되고 있다. 目標電壓의 選定에서는 IEC 및 海外諸國의 標準電壓選定의 背景 및 經緯를 철저히 調查하여 必은 물론이고 우리나라 自體의 送電모델 즉 送電容量 및 距離 등의 規模를 想定하여 (예를 들어 2000年代의 南쪽 電源地域과 北쪽 負荷地域을 設定한다면 送電容量 4 GW, 距離 300Km 程度) 技術的, 經濟的, 環境的인 面에서 充分히 檢討되어야 한다. 技術的인 面에 있어서는 500KV, 765KV 어느 쪽이든 海外에서는 問題가 없고 現在 運轉되고 있는 電壓이지만, 우리나라의 경우 送電設備의 國産化에는 아직 많은 時日이 必要한 實定이다. 또한 國內經濟, 海外經濟的인 側面(輸入에 必要한 外貨의 確保等)에서 볼때 어느 쪽 電壓이 有利할 지는 아직 不透明하다. 海外送電電壓의 推移와 送電容量 및 安定度 등의 技術的인 面에서는 765KV 級으로 昇壓하는 것이 거의 當然視되고 있으나 우리의 固有한 實情(예를 들면 外貨確保難)을 考慮한다면

단치 電力系統에 중사하는 사람뿐만 아니라 各界各層의 人士가 參加하는 拳國的인 委員會를 發足시켜 論議됨이 마땅하다.

우리나라의 目標電壓選定과는 無關하지만 海外各國의 UHV送電電壓을 紹介하면 表 2와 같다.

表 2. 海外의 UHV 送電電壓

項目	BPA (美國)	AEP (美國)	이탈리아	소련	日本	IEC
公稱電壓 (\pm V)	1,100	1,500	1,000	1,150	1,000	—
最高電壓 (KV)	1,200	1,600	1,050	1,200	1,100	1,200

表中에서 最高電壓은 UHV系統의 運用解析과 送電線 및 機器의 開發 및 實用化에 適用되는 電壓이고 公稱電壓은 該當設備을 代表하는 呼稱電壓으로서 一般의으로 널리 使用되는 電壓이다. 1977年에 IEC가 規定한 交流UHV送電電壓은 765KV나 1,200KV로 되어 있으며, 그 中間의 電壓을 採할 경우에는 兩電壓으로부터 充分한 差를 가지고 있어야 하며 같은 地域에서 765KV, 1,200KV 어느 쪽도 쓸 수 없겠끔 限定되고 있다.

UHV系統設計에서는 우선 系統의 常時基本特性 및 安定度解析等이 檢討되어야 한다. 또한 UHV送電線은 큰 充電容量을 갖기 때문에 各相의 充電容量의 不平衡도 커지게 된다. 따라서 여기에서 發生하는 系統技術上의 問題를 把握하여 그 解決技術의 確立이 必要하다.

UHV送電線에 대해서는 國內外에서의 研究成果, EHV級送電線의 建設, 運轉實績을 詳細히 檢討하여 評價함과 同時에 우리나라 特有의 自然條件을 考慮하여 獨者의 技術開發 및 檢討를 할 것이 要求된다.

UHV送電設備의 絶緣은 既存의 EHV級送電設備과 本質의으로 다른 것은 없으나 長距離大電力送電을 擔當하는 UHV系統의 重要性을 考慮한다면 系統事故를 最大限으로 防止할 것과 可能한 限 小形化할 것 등이 考慮되어야 한다.

UHV變電所 및 開閉所를 設計할 때는 一般의으로 高電壓大容量變電所로서 具備해야 할 共通條件을 考慮할 必要가 있고, 특히 UHV變電所로서는 立地上의 諸問題를 留意해야 한다. 여기에서 高電壓大容量變電所가 具備하여야 할 要件이라함은 高信賴度の 確保, 安全確保, 周圍環境과의 調和, 運轉 및 保守의 容易性等을 말한다.

UHV送電線은 設備의 大形化에 따라서 從來에서 부터 問題가 되어온 텔레비전障害, 送電線下의 靜電誘導에 덧붙여 風騒音, 電界의 影響 및 景치에의 影響等이 配慮되어야 한다. 또한 高電壓化에 따른 電線의 코로나騒音에 대해서도 調査檢討가 必要하다. 특히 最近에는 送電線의 環境問題에 대해서 地域住民의 關心이 至大해져서 電力會社側의 自主規制가 強力히 要求되고 있는 實定이다.

③ UHV 直流送電

直流送電은 送需電端에 變換裝置가 必要하기 때문에 變電所價格은 交流送電보다 變換器 몫만큼 더 비싸다. 반면에 直流線路는 交流 3 導體인데 비해서 2 導體 또는 大地를 利用하면 1 導體로 充分해서 鐵塔도 簡單해지고, 直流線路建設費는 送電電壓에 따라서도 다르지만 대개 交流의 60~80% 정도면 足하다. 따라서 直流變換所의 費用增加를 線路費節減으로 대체시킬 수 있는 線路길이 가 되면 直流의 送電費는 같아진다.

이 線路길이보다 送電距離가 길어지면 直流送電이 더 經濟的이 된다. 또한 交流와 直流가 等經濟性을 갖게 되는 送電距離는 變換裝置技術의 發展動向의 豫測에 따라서도 상당히 좌우된다. 交流와 直流의 經濟性을 送電距離로서 比較한 一例를 들면 그림 2와 같다.

그림에서 알 수 있듯이 變換技術의 進步로서 經濟的平衡距離가 400 km에서 200 km 정도까지 짧아진다.

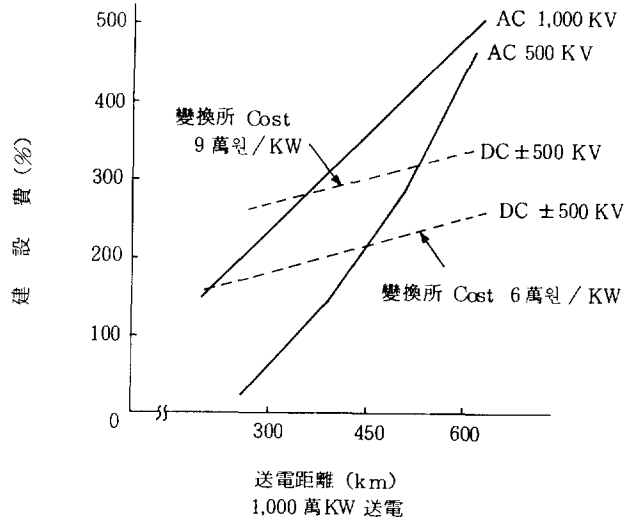


그림 2. 直流送電 코스트

아 지는 것을 알 수 있다.

케이블送電의 경우에는 直流케이블이 交流케이블에 比해서 交流電流 및 誘電體損失이 없어서 絶緣이 쉬워 저서 아주 價格이 싸진다. (30~40%程度) 따라서 經濟的平均距離도 짧아져서 直流送電은 특히 케이블送電에 適合하다.

世界的인 直流送電採埋理由를 보면 上述한 經濟的인 理由에서 뿐만이 아니고 經濟的, 技術的인 利點의 相乘效果를 期待한 것이 많다. 直流送電의 技術的인 利點에는 다음과 같은 것이 있다.

- (1) 安定度問題가 없고 非動期連系가 可能하다.
- (2) 電力潮流의 신속하고 容易한 制御가 可能하다.
- (3) 交流系統의 短縮容量을 增加시키지 않고 系統連系가 可能하다.

반면에 다음과 같은 短點도 있다.

- (1) 多端子制御技術 및 直流차단기技術이 未確立狀態이어서 系統構成의 自由度가 적다.
- (2) 變換裝置가 無効電力을 많이 消費하고 高調波를 發生시킨다.

直流送電은 海底케이블送電, 長距離大電力送電에서 그 特徵을 잘 발휘하고 있으나 그 외에도 特殊한 例가 있다. 캐나다의 일리버連系 (320MW)는 하이드로퀘백 15,000MW 系統에 있는 水力電原을 長距離送電하여 뉴브란즈윅 1,100MW 系에서 受電하는 것이 目的인데, 兩系統間에 安定度問題가 發生하여 直流을 介在시켜 受電하는 方式을 採択하고 있다.

英國의 킴스노우直流送電 (640MW)는 都心의 地下케이블 送電과 短絡容量抑制라는 複合理由에서 採択되고 있다. 今後 이런 目的으로 直流送電의 採択이 많아질 것이며, 이를 위해 都心部設置를 위한 變換所의 コンパクト化, 超高壓直流케이블의 開發이 積極的으로 이루어 지고 있다.

④ 極低溫, 超電導, 6相送電方式

從來의 架空送電方式은 UHV送電 (1,500KV)의 實現으로 그 限界에 達할 것이 豫想되고, 그 後에는 大電流, 高電界를 利用한 高密度化의 方向을 攄하지 않을 수 없을 것이다.

그러한 目的을 達成하기 위해서는 新送電方式의 實現이 要求되는데, 極低溫 및 超電導送電方式이 有力한 方式으로 손꼽히고 있다.

가까운 將來의 送電容量 니드 (Need)에 대해서는 구태어 極低溫領域에 들어가지 않더라도 從來의 方法 即물, 기름, 후론등으로 直接 銅이나 알루미늄을 냉

却시키는 方法으로도 對處할 수 있지 않느냐하는 意見도 있다. 그러나 먼 將來를 생각하면 더욱 コンパクト하고 大容量의 電力傳送의 可能性을 秘藏하고 있는 極低溫送電, 일본 나아가서는 超電導送電을 無視할 수 없다.

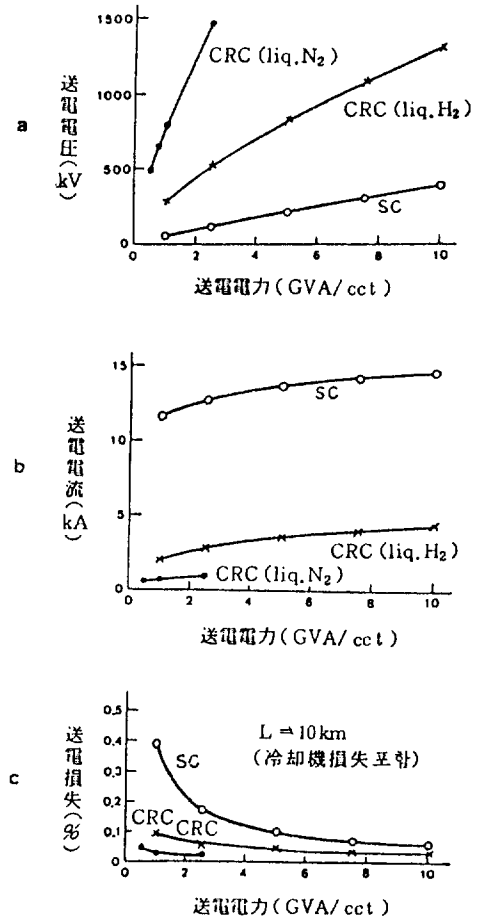


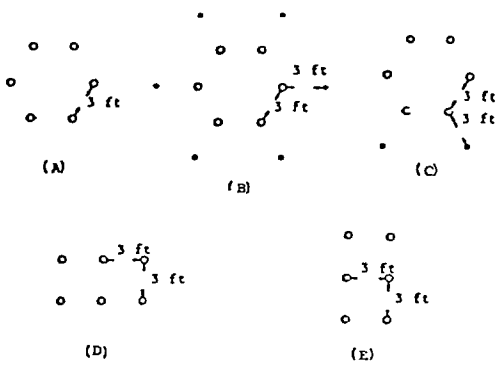
그림 3.

超電導送電電力과 送電電壓, 電流 및 送電損失關係의 한 例를 그림 3에 보인다. 그림에서 알 수 있듯이 SC (超電導케이블)는 比較的 高電壓形이다. 또한 같은 CRC라도 液體窒素冷却케이블이 液體水素冷却케이블보다 高電壓形임을 알 수 있다. 그러나 送電壓력이 5~10 GVA의 範圍에서는 液體水素冷却CRC라도 UHV領域이 된다. 絶緣技術上的 問題를 생각할 경우 5~10 GVA帶에서는 EHV領域을 最適으로 하는 SC쪽이 實用的으로 使用하기 쉽다. 한편 1~5 GVA帶에서는 SC가 絶緣問題는 적다 할지라도 케이블 流入熱量을 冷却하기 위한 冷却機電

력이 相對的으로 커지기 때문에 오히려 이範圍의 送電電力帶에서는 EHV CRC가 適合하다고 볼 수 있다. 또한 將來의 LNG 冷熱利用을 並用할 경우는 有利해 질 수도 있다고 본다.

最近 10 數年에 걸쳐서 超電導케이블에 대하여 世界各國에서 feasibility study가 行하여 졌는데, 그 信賴性 및 經濟性을 포함한 實用性 評價는 多様하다. 대체로 歐州쪽에서는 가까운 將來의 實用性에 대해서는 疑問을 갖는 곳이 많고, 美國, 소련, 일본에서는 國立研究所가 主가 되어 實用化를 向한 開發研究가 進行되고 있다.

最近, 主로 送電線用地的 有効利用이라는 觀點에서 美國, 日本, 소련을 中心으로 所謂 6相送電이 活潑하게 研究되고 있다. 美國과 소련에서는 1回線 鐵塔이 많기 때문에 새로운 電線을 3개 追加하여 6相送電을 實現하는 方法이 主流를 이루고 있고, 日本에서는 3相2回線의 電線을 特別히 追加하지 않고 6相送電을 實現하는 것이 研究되고 있다. 6相送電이 3相2回線보다 큰 送電容量으로 될지 어떨지, 또는 6相送電으로 했을 경우 送電電壓, 碍子數, 變壓器等的 各種機器에 어떤 變更을 해야 할지 등의 問題가 研究檢討되고 있다.



Representative Line Conductor Arrays for 80 kV Phase-to-Ground System

Note: Figures A, D, E--no shield wires
Figure B--6 shield wires
Figure C--2 shield wires

그림 4. 6相送電의 導體配置

6相送電의 導體配置는 그림 4와같이 環狀配置, 水平配置, 垂直配置 등이 있다. 그림 4 (A)의 경우 SIL (Surge Impedance Loading), 熱的容量과 相數와의 關係를 表示하면 그림 5와 같다. 그림에서 다음과 같은 사실을 알 수 있다.

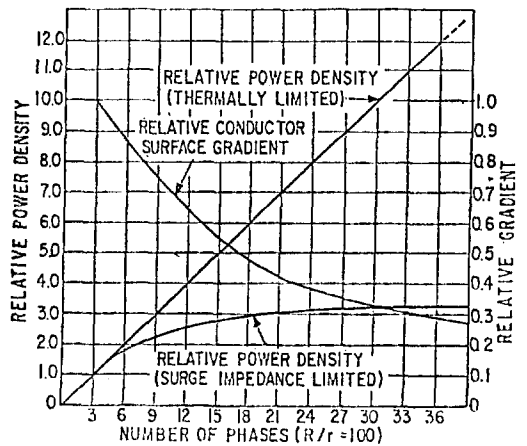


그림 5.

(1) 線路의 容量이 SIL에 의해서 制限될 경우에는 6相이상의 多相化를 해도 效果가 없다.

(2) 送電容量이 熱的으로 制限되는 경우에는 容量은 相數에 正比例해서 增加한다.

(3) 3相을 基準으로 하여 導體表面電位傾度를 보면 導體表面電位傾度는 相數가 增加함에 따라서 작아진다.

이 외에도 6相潮流計算結果에 의하면 3相에 비하여 電壓變動率, 送電效率의 改善, 定態安定度餘裕增加 등의 利點이 있다는 것을 알 수 있다.

6相送電의 可能性을 살펴보기 위해서는 異常電壓 變壓器結線, 故障解析, 信賴性 및 經濟性 등에 關한 研究가 더욱 推進되어야 한다.

5 結 論

2000年代에 들어서면 南쪽의 電源地域으로 부터 北쪽의 負荷地域에 流通되는 電力量은 3.7GW로 豫想되고 있어서, 長距離大容送電의 實現을 위해서는 UHV送電方式의 導入은 거의 不可能하다. UHV送電計劃의 첫段階로 UHV送電電壓을 決定하는 데는 海外諸國의 標準電壓選定背景 및 經緯를 調査함은 물론, 우리나라 自體의 送電모델 즉 送電容量 및 距離 등의 規模를 想定하여 技術面, 經濟面 (以上은 國內, 國際양쪽을 포함), 環境面 등 多角的인 面에서 充分히 檢討되어야 한다. 특히 技術面에서는 國內에서 可能한 것과 앞으로 可能하게 될 技術을 細密히 分類하여, 學界, 官界, 業界가 舉國的으로 參與하여 解決해 나아가야 하겠다.

參 考 文 獻

- 1) H. Barns , et al; CIGRE 31-10 (1974)
- 2) H. Bcherer , et al; CIGRE 31-62 및 CIGRE 31-08 (1978-8)
- 3) V. Bourgsdorf , et al; CIGRE 31-03 (1976-8)
- 4) E. Bagala ,et al; CIGRE 31-06 (1978-8)
- 5) S. Annestrand; CIGRE 31-09(1978) 및 IEEE Trans. PAS-96,2, 357 (1977-3)
- 6) IEC; Standard Publication 38 Amendment No 1 (1977-8)
- 7) 山田直平. 他 ; 日本電氣學會誌 102(4), 329 (1982- 11)
- 8) 有働龍夫 ; 日本電氣學會誌 98(8) , 749(1978-8)
- 9) 電力中央研究所 ; "UHV 送電の技術的問題點" (1972-5)
- 10) 東京大學工學部電氣工學科関根研究室 ; "6 相送電" (1980-9)
- 11) 大阪大學超電導工學實驗センター報告第 1 券(1981-6)
- 12) 専田複他 ; 日本電氣學會誌 99(1), 3,(1979-1)
- 13) 朴 鍾 根 ; 大韓電氣學會誌 32(7) (1983-7)