

直流送電의 現況과 展望

劉仁根·李亨勸
(韓國電氣研究所)

차례

1. 序 言
2. 歷史的 背景
3. 設備의 現況
4. 運轉実績
5. 研究現況
6. 今後的 展望
7. 結 言
- 参考文献

1. 序 言

直流送電은 線路의 建設費가 저렴하고 安定度의 問題가 없어 大電力 長거리 送電이 可能하며, 非同期 連系를 할 수 있고, 潮流制御가 迅速·용이할 뿐만 아니라 短絡容量을 증가시키지 않고도 系統의 連系強化가 가능한 點등의 잇점이 있으며, 특히 케이블 送電에 매우 유리한 送電方式이다.^{1),2)}

그러나 線路의 建設費는 交流送電方式에 비해 저렴한 반면, 交直變換所의 建設費가 高價이므로 小容量 近距離 送電에는 經濟性이 없으며, 高調波 및 高周波 障害對策이 필요하고, 電力系統 構成의 自由度가 떨어지는 點등의 問題가 있다.³⁾ 이러한 直流送電方式의 결점에도 불구하고 直流送電의 잇점 때문에 현재 運轉中인 設備가 32개소, 設備容量 約 20,000(MW), 建設 및 計劃中에 있는 設備는 27개소로 設備容量이 23,000(MW)에 이르고 있으며, 關連분야에 대한 研究開發도 꾸준히 進行되고 있다.^{4),5)}

본 稿에서는 直流送電의 歷史的 背景과 設備의 現況, 運轉実績 및 研究推進現況, 今後的 展望 등에 關해서 간단히 소개하고자 한다.

2. 歷史的 背景

本格的인 直流送電은 1954년에 運轉을 개시한 스웨덴 本土와 Gotland섬사이 96km의 海底케이블 設備로 부터 시작되었으며, 變換設備로는 스웨덴 ASEA社에서 개발한 高壓用 水銀整流器를 사용하였다.

이 設備의 建設이 성공적으로 끝남에 따라, 1961년에는 도버海峽을 海底케이블로 연결한 英一佛連系가 實用化 되었고 그후 歐州各國에서 海底케이블에 의한 直流送電設備가 續續 建設되기에 이르렀다.

이와 같은 歐州에서의 좋은 結果를 토대로 1970

年 美國에서는 1,400km에 달하는 太平洋 沿岸 南北連系 線路가 建設되었고, 1972년에는 캐나다에서 길이 900km의 Nelson River 直流送電設備의 運轉을 개시함으로써 直流送電의 새로운 章이 열리게 되었다.

한편, 소련에서는 1962年 500km에 달하는 Volgograd-Donbass間 直流送電設備의 運轉을 시작하였으며, 日本도 1965年 佐久間 周波數變換所 (50Hz-60Hz連系)의 運轉을 시작으로 1977년에는 新信濃變電所 (50Hz-60Hz連系)를, 1979년에는 北海道-本州間 43km의 海底케이블 直流送電設備을 建設하여 現在 運轉中에 있다.

1960年代의 直流送電設備들은 소련의 設備를 제외하고는 거의 스웨덴에서 제작한 水銀整流器를 사용하였으나, 1960年代 後半에 이르러 thyristor소자의 급격한 進歩로, 各國에서 直流送電用 thyristor valve의 개발이 적극적으로 推進되어 1972년에 캐나다의 Eel River 設備에 최초로 thyristor valve를 사용하였다.

그후 thyristor valve는 半導體技術의 비약적인 進歩와 더불어 급속도로 발전되었으며, 1970年代 後半以後에 運轉을 개시한 設備에는 모두 thyristor valve가 사용되었고, thyristor valve의 實用化로 直流送電의 信賴도가 대폭적으로 향상되어, 세계 각지에서 널리 이용되게 되었다.

그림 1은 年代別 直流送電 設備容量의 推移를 나타낸 것이다.

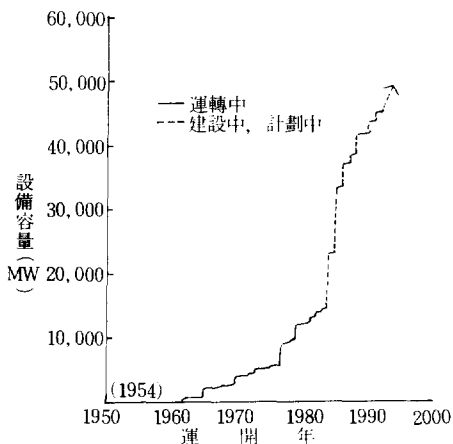


그림 1. 直流送電 設備容量의 推移

3. 設備의 現況

세계적으로 現在 運轉中인 直流送電 設備는 32개소, 設備容量 約 20,000 (MW)로 그 現況은 표 1과 같다.

이들 設備가 直流送電方式을 채택한 이유는 여러가지가 있을 수 있지만, 直流送電方式의 特徵에 비추어 정리하면 다음의 4分野로 大別할 수 있다.

1) 海底케이블 送電

直流海底케이블은 交流海底케이블에서 發生하는 充電電流와 金屬 sheet電流 損失에 따른 送電容量의 低下가 거의 없고, 케이블 費用이 매우 저렴하므로 양단의 交直變換裝置의 비용을 감안해도 經濟的으로 유리하다.

現在 運轉中인 海底케이블 設備는 9개소로 東歐圈을 제외한 유럽의 直流送電은 대부분 이分野에 속하며, 그외에 캐나다, 뉴질랜드, 일본등 지에서도 運轉中인 設備가 있다.

2) 大容量 長距離 送電

直流送電은 交流送電에서와 같은 送電安定度의 문제가 없기 때문에 長距離 送電에도 送電容量이 低下되지 않는 送電特性上의 본질적인 장점을 갖고 있다.

또한 直流架空線은 소규모의 철탑과 電線으로 해결되므로 線路자체의 建設費가 交流架空線에 비해 현저하게 저렴한 반면, 양단의 交直變換所 建設費가 高價인 점이 문제가 되지만 長距離에서는 이들 양자를 합한 費用이 交流設備로 建設한 경우보다 經濟的이므로, 大容量 長距離 送電은 가장 중요한 적용분야의 하나로 생각된다.

이를 목적으로 하는 設備는 現在 7개소에서 運轉中에 있으며, 최대의 設備는 美國의 1,400 km, 1,900 (MW) 太平洋沿岸 南北連系線路이다.

3) 非同期 連系

大電力系統사이를 交流로 連系하면 潮流制御가 어려워 連系機能의 유지가 곤란 하다가, 系統 安定度上的의 문제가 發生될 소지가 있는 경우

에는, 본질적으로 이와 같은 문제점이 없는 直流連系가 채용되고 있다.

이것은 連系하는 양 交流系統間의 同期를 유지할 필요가 없기 때문에 非同期 連系라 부르며, 直流送電 특유의 적용 분야로 現在 12개소의 設備가 運轉中이다. 이들은 直流送電이라고는 해도 실제 送電線이 없이 2개의 交直變換所를 Back-to-Back으로 연결하여 1개의 變電所와 같

은 구성을 갖게 한 것이다.

4) 大都市의 케이블 送電

大都市 電力系統에서는 그 규모가 커짐에 따라 事故時 短絡電流가 增大되어 차단기의 차단 능력상의 문제등이 발생할 가능성이 있다. 따라서 交流系統의 短絡容量을 增大시키지 않고 大都市 送電을 하기 위해서 前述한 直流送電의 非

표 1. 運轉中인 直流送電設備 ('85年 現在)

No.	設 備 名 (國 名)	距離(km) (Cable)	定格電壓 (kV)	定格容量 (最大)[MW]	Valve	運開年	用 途
1	Gotland(스웨덴)	96 (96)	100/150	20 / 30	水銀·Thyristor	1954 / 70	負荷供給
2	英·佛連系	65 (65)	± 100	160	水 銀	1961	系統間連系
3	Volgograd-Donbass(소련)	470 (0)	± 400	720	水銀·Thyristor	1962~65	系統間連系
4	Konti-Skan(덴마크·스웨덴)	180 (85)	250	250 (275)	水 銀	1965	系統間連系
5	Sakuma(일본)	0	125×2	300	水 銀	1965	50/60Hz連系
6	뉴질랜드	609 (38)	± 250	600	水 銀	1965	系統間連系
7	Sardinia(이태리)	413 (121)	200	200	水 銀	1967	負荷供給
8	Vancouver Pole I(캐나다)	74 (33)	260	312	水 銀	1968 / 69	負荷供給
9	Pacific Intertie(미국)	1362 (0)	± 400/± 500	1440/1840	水銀·Thyristor	1970 / 85	系統間連系
10	Eel River(캐나다)	0	80、2	320 (350)	Thyristor	1972	系統間連系
11	Nelson River I(캐나다)	890 (0)	± 450	1620 (1669)	水 銀	1973~77	電源送電
12	Kingsnorth(영국)	82 (82)	± 266	640	水 銀	1974	電源送電
13	Skagerrak(덴마크·노르웨이)	240 (127)	± 250	500 (510)	Thyristor	1976~77	系統間連系
14	Steegal(미국)	0	50	100 (110)	"	1977	系統間連系
15	Cabora Bassa(모잠비크·남아프리카)	1414 (0)	± 533	1920	"	1977~79	電源送電
16	Vancouver Pole II(캐나다)	74 (33)	280	370 (476)	"	1977~79	負荷供給
17	Square Butte(미국)	749 (0)	± 250	500 (550)	"	1977	電源送電
18	Shin-Shimano(일본)	0	125×2	300	"	1977	50/60Hz連系
19	Nelson River II(캐나다)	930 (0)	± 250/± 500	900 / 1800	"	1978 / 85	電源送電
20	Minneapolis(미국)	710 (0)	± 400	1000 (1100)	"	1979	電源送電
21	Hokkaido-Honshu(일본)	168 (4)	250	300	"	1979 / 80	系統間連系
22	Acaray(브라질)	0	26	50	"	1981	50/60Hz連系
23	EPRI 變換所(미국)	0.6(0.6)	100/400	100	"	1981	
24	소련·핀란드連系	0	± 85×3	1865	"	1981	系統間連系
25	Inga-Shaba(자이레)	1700 (0)	± 500	560	"	1982	負荷供給
26	Durnrohr(오스트리아)	0	± 145	550 (633)	"	1983	系統間連系
27	Gotland II(스웨덴)	96 (96)	150	130 (150)	"	1983	負荷供給
28	Edicounty(미국)	0	82	200	"	1983	系統間連系
29	Itaipu-Saopaulo(브라질)	783 (0)	± 300/± 600	1575 / 3150	"	1984 / 86	電源送電
30	Chateauguay(캐나다)	0	140	1000	"	1984	系統間連系
31	Okla-Union(미국)	0	82	200 (220)	"	1985	系統間連系
32	Black Water(미국)	0	56	200	"	1985	系統間連系

同期特性和 直流케이블의 長點을 活用한 것이 大都市의 케이블送電 分野이다.

므로 運轉特性이 大幅的으로 향상된 것이다.

4. 運轉實績

直流送電 設備容량의 增大와 더불어 점차 信賴度의 향상이 요구되고 있다. CIGRE의 SC-14(直流連系)에서는 每年 直流送電의 運轉實績 調査를 실시하여, 2年마다 그 結果를 발표하고 있다. 資料에 따르면 thyristor를 사용한 設備의 運轉實績은 대단히 양호한 것으로 나타났으며, 각 設備의 運轉實績으로 부터 다음과 같은 傾向을 도출할 수 있다.

1) 海底케이블

海底케이블 事故의 대부분은 漁具 등에 의한 外傷이며, 이의 복구에는 지대한 時間을 요한다. 따라서 最近의 Project에서는 거의 海底케이블의 埋設을 실시해서 外傷으로부터 보호하고 있다.

2) 直流架空線

直流架空線 自體의 稼働率은 대부분의 線路에서 99~100%로 信賴度가 상당히 높다. 대부분의 事故는 애자의 汚損에 의한 Flash over 事故로 많은 線路에서 발생하고 있다. 汚損事故가 발생한 線路는 애자의 增結을 실시하거나, 그것이 불가능할 경우에는 애자를 세척해야 한다.

또한, 直流送電 特有의 事故로는 애자의 핀이나 캡 등의 金屬物의 電食에 의한 事故가 발생하기도 하는데, 最近에는 電食對策을 강구한 애자를 사용하는 것이 보통이다.

3) 變換設備

近年 thyristor를 이용한 變換設備의 運轉實績이 많이 蓄積된 것은 아니지만 水銀整流器를 사용한 設備에 비해 대단히 우수한 運轉實績을 보여주고 있다.

이것은, 水銀整流器에 비해 補修作業이 현저하게 감소되어 計劃停止時間이 단축되었고, 逆弧 등 水銀의 arc 特性에 따른 特異現象이 없으

5. 研究現況

直流送電의 各 分野에 대해서는 現在 꾸준한 研究開發이 推進되고 있고, 이들 研究結果는 次 후 計劃에 적극 반영될 것으로 사료되며, 最近의 研究動向을 略述하면 다음과 같다.

1) 直流케이블

종래의 直流케이블은 거의 海底케이블로 비교적 장거리를 필요로 하는 設備에서 經濟性을 찾을 수 있었지만, 短距離의 地中케이블에 있어서도 大容量 送電을 행할 경우에는 直流送電方式을 채택하는 쪽이 經濟性이 있으므로, 점차 높은 電壓의 直流케이블 研究開發이 進行되고 있다. 즉 종래의 $\pm 250\text{KV}$ 급을 초월하여 $\pm 400 \sim \pm 600\text{KV}$ 의 電壓에서 사용될 POF케이블, OF케이블 등을 주체로 研究가 進行되고 있다. 最近의 動向으로는 美國 New York市の 負荷中心에 大容量 送電을 행할 목적으로 $\pm 400\text{KV}/\pm 600\text{KV}$ 高中油壓 POF케이블의 開發이 進行되고 있다.

2) 直流架空線

直流架空線의 電壓은 이미 $\pm 600\text{KV}$ 級까지 運轉實績이 있으며 소련에서는 $\pm 750\text{KV}$ 級을 建設中에 있다.

주요 各國에서는 이들 設備를 計劃함에 있어서 試驗線路를 建設해서 각종 試驗研究를 행하고 있으며, 앞으로도 이러한 研究는 계속될 것으로 사료되나, 電壓의으로는 거의 最終電壓에 도달한 것으로 보고, 次 후 研究방향은 環境面과 費用節減에 主안점을 둘 것으로 전망된다.

3) 變換設備

今後의 直流送電 技術開發에서 가장 그 성과가 기대되는 分野는 交直變換設備에 관한 것이다.

이것은 直流系統 制御技術(software)의 開發

과 變換機器 自體에 관한 技術開發(hardware)의 두 分野로 大別할 수 있다. 前者의 software에 관해서는 micro processor를 이용해서 보다 큰 彈力性和 系統特性 향상을 목표로 한 研究, 특히 多端子 送電을 위한 研究가 進行되고 있으며, 後者の hardware에 관해서는 thyristor valve 自體의 高電壓·大電流化 및 光直接點弧技術, 脫ion化水 또는 Freon을 이용한 thyristor의 액체 냉각에 의한 valve 및 valve室의 小型化를 위한 研究가 進行되고 있다. 이 외에도 直流遮斷器, 變換用 變壓器, 直流リアクター, 가스절연 개폐장치, 直流파괴기, 直流 및 交流 Filter 등의 變

換器에 대한 정력적인 研究가 進行되고 있다.

6. 今後的 展望

前述한 바와 같이 直流送電은 그 규모나 設備 技術面에서 급격한 進歩를 나타내고 있으며, 直流送電 相關분야에도 꾸준한 研究노력이 경주되고 있는 추세에 있다. 따라서 앞으로 더욱 많은 設備가 세계적으로 建設, 運轉될 展望이며, 現在 建設中에 있거나 計劃中인 設備만도 27개

표 2. 建設 및 計劃中인 直流送電設備 ('85年 現在)

No.	設 備 名 (國 名)	距離(cable) [km]	定格電壓 [kV]	定格容量 (最大) [MW]	豫 定 年	用 途
1	Madawaska(캐나다)	0	144	350	1985	系統間連系
2	Miles city(미국)	0	82	200 (240)	1985	系統間連系
3	Waikercounty(미국)	256 (0)	±400	500~1500	1985 / 86	系統間連系
4	英·佛連系 II	72 (2)	±270× 2	2000	1985 / 86	系統間連系
5	Highgate(미국)	0	56	200	1985	系統間連系
6	핀시코	720 (0)	±500	900/1800	1985 / 90	
7	소련	2414 (0)	±750	6000	1985~88	電源送電, 第1段階 1500MW
8	舟山 Project(중국)	56 (2)	±100	100	1986	第1段階 50MW
9	Corsica(프랑스)	0	200	50	1986	Sardinia의 多端子
10	Sidney(미국)	0	未定	200	1986	系統間連系
11	Quebec-New England(캐나다·미국)	0	±450	690/2090	1986 / 92	系統間連系, 將來多端子
12	Uruguayana(브라질·알제닌)	0	?	50	1986 / 87	50/60Hz連系
13	Wien(오스트리아)	0	145	350	1987	系統間連系
14	Itaipu II(브라질)	806 (0)	±600	3150	1987	電源送電
15	Intermountain(미국)	794 (0)	±500	1600	1987	電源送電
16	Gezhouba-Shanghai(중국)	1080 (0)	±500	1200	1987 / 91	電源送電, 第1段階 1000MW
17	Kanti-Skan(덴마크·스웨덴)	180 (85)	285	300	1988	系統間連系
18	Pacific Intertie II(미국)	未定	±500	1100	1988	系統間連系
19	Delly(인도)	915 (0)	±500	1500	1988	
20	Vindhyachal(인도)	未定	70	250× 2	1988	
21	Sardinia II(이탈리아)	385(121)	200	300	1989	Sardinia의 再建, 負荷供給
22	덴마크	65 (30)	280	350	1989/ 90	系統間連系
23	Liberty(미국)	400 (0)	±364/± 500	1600/2200	1989 / 90	系統間連系
24	핀랜드·스웨덴	220(185)	350	420	1989 / 90	系統間連系
25	Skagerrak II(덴마크·노르웨이)	240(127)	320	320	1990 / 95	系統間連系
26	Nelson River II(캐나다)	930 (0)	±500	2000	1992 / 97	電源送電
27	크리스·불가리아	0	未定	300	未定	系統間連系

소에 設備容量 約 23,000 (MW)에 달하고 그 現況은 표 2와 같다.

한편, 우리나라에서 直流送電의 適用可能 分野로는 長距離 大容量送電, 系統安定化와 短絡容量對策, 大都市 부근의 과밀 負荷供給對策, 濟州道 등의 도서지방과 本土間의 連系等を 생각할 수 있으며, 이에 대비한 전반적인 研究가 추진되어야 할 것으로 사료된다.

7. 結 言

直流送電은 thyristor의 實用化이래로 급속한 發展을 보이고 있으며, 今後에도 세계각지에서 의 광범위한 전개가 豫見된다. 그러나 直流送電도 개개의 project의 규모가 커짐에 따라 보다 高도의 信賴性과 經濟性이 요구되므로, 交流

送電에 비해 짧은 技術發展史를 극복하기 위해서는 보다 심층적인 연구로 技術開發에 주력해야 될 것으로 사료된다.

參 考 文 獻

- 1) J. Arrillaga, "High voltage direct current transmission", Peter Peregrinus Ltd., London, 1983.
- 2) E. Uhlmann, "Power transmission by direct current", Springer - Verlag, Berlin/Heidelberg, 1975.
- 3) 直流送電專門委員會 "直流送電 技術解説", 日本電氣學會, 1978.
- 4) 林 敏之, "直流送電 最新情報", OHM, 1986.
- 5) 峰村惣三外, "直流送電의 現況", 電氣評論, 1984.