

— 直流送電에 있어서의 Power Electronics 利用 —

— 차 례 —

- 1. 直流送電의 概要
- 2. 直流送電의 變換裝置
- 3. 整流器 (Valve)
- 1) 水銀整流器(Mecury arc rectifier)
- 2) 싸이리스터(Thyristor)
- 3) 水銀整流器와 싸이리스터의 比較

1. 直流送電의 概要

현재 送電方式의 主流는 交流이지만 특수한 경우, 예를 들면 케이블에 의한 섬(離島)送電, 異周波數系統의 連系, 장거리 대전력송전등에서는 直流送電이 有利하다고 하고 있다.

直流送電은 發電, 變電은 交流에 의존하고 送電만을 直流로 하는것인데 費用의 대부분은 變換器가 차지하고 있기때문에 그 信賴性과 經濟性은 중요한 문제로되고 있다.

현재 世界에서는 直流送電이 여러곳에서 實施되고 있는데 變換器는 어느것이나 水銀整流器를 사용하는것이다. 그러나 최근에 와서 計劃되고 있는것은 이 變換器를 싸이리스터로 하는것이 많아지고 있다. 表 1은 世界各國에서 運轉 및 計劃中에 있는 直流送電의 現況을 보인것이다.

여기에서 보는바와 같이 建設理由는 특수사정(멀리 떨어진 섬에 대한 送電과 50사이클, 60사이클 系統의

連系등)에 의한 것이 많은데 美國 西海岸에 計劃中인 것은 送電容重, 亘長, 運用方式(多端子運用을 計劃中)에 있어서 交流送電과 競合하는 본격적인 直流送電의 시작이라고 해서 많은 關心을 모우고 있다.

直流送電의 利點으로서는 交流送電과 比較해서 다음과 같은 것을 들 수 있다.

- 가. 架空送電線의 建設費를 低減할수 있다. 現在 建設費는 交流에 비해 約 70~90%, 變換設備의 가격은 1端局 \$30/KW弗 정도이다.
- 나. 海中, 地中케이블의 경우 直流線이 經濟的으로 有利하다. 최근의 研究結果에 의하면 30km이상이면 直流送電이 有利하다고 한다. (英國 Kingsnorth—London間 84km에 地中케이블 架設)
- 다. 非同期連系이며 潮流制御가 용이하다. 非同期連系이기때문에 異周波數連系, 他系統連系가 용이하며 潮流制御도 용이하기 때문에 事故潮流操作이 가능해서 安定度向上面에 있어서도 有利한 점이 많다.
- 라. 새로운 發送電方式을 促進하게 된다. 直流送電의

表 1. 運轉 및 計劃中인 世界의 直流送電系

現況	國名	系 統	送電電力 [MW]	直電壓 [kV]	直電流 [A]	架空線 [km]	케이블 [km]	完 成 年	· · · ·
運轉中	스웨덴	굿 트 렌 드	20	100	200	0	96, 1本海水歸路	1954	水 銀 整 流 器
	英 佛	英 佛 連 系	160	±100	800	0	51, 2本	1961	
	소 련	불가그라드~돈바스	750	±400	900	470	0	1963	
	뉴우지랜드	뉴우지랜드	600	±250	1200	576	40, 3本	1965	
	日 本	佐 久 間	300	125×2	1200	0	0	1965	
	伊	살 지 니 어	200	200	1000	288	115, 2本海水歸路	1966	
	카나다	뱅크버	第1計劃	78	130	600	41	27.8, 1本海水歸路	
		第2 "	156	130	1200	41	27.8, 1本海水歸路		
		第3 "	624	±260	1200	41	27.8, 2本	—	

* 正會員: 漢陽工大教授(工博)當學會編修委員

實 施	美 國	太南 平北 洋連 峯	第1計劃 (運轉中)	最大 1440	最大 ±400	1800	1360	0	1970	水 銀 整 流 器
			第2計劃	最大 1440	最大 ±400	1800	1300	0	—	
	英	킹스노오스 ~런던		640	±260	1200	0	85, 2本地中	1971 豫定	
計	카 나 다	넬 슨 江	最 初	810	+150 -300	1800	920	0	1971 豫定	사 이 리 스 터
			中 間	1620	±450	1800	920	0	—	
			最 終	1620×3	1450	1000	920	0	—	
劃	스웨덴	곳트랜드島		10	50	200	—	—	1970	사 이 리 스 터
	소련	카사후스틴~구 라파센터		3000×2	±750	2000	—	—	—	
	日本	佐久間		37.5	125	300	0	0	1970	
劃	아 프 리 카	카아 바폴 라로 바사	第1計劃	980	±266	1800	約1500	0	1974	사 이 리 스 터
			第2 "	1440	±400	1800	1500	0	1976	
			第3 "	1920	±533	1880	1500	0	1978	

* 實用化試驗設備

經濟性, 信賴性이 向上하면 MHD發電, 超電導送電 등 效率이 좋은 發送電方式의 導入이 促進된다.

그러나 한편 直流送電方式은 變換裝置에서 많은 無効電力(有効電力의 50~60%정도)을 필요로 한다던가 高調波 또는 高周波의 障害對策에 經費가 많이 所要되고 變換裝置의 費用도 아주 비싸다는 등의 缺點도있다 그러나 최근에 와서 이러한 問題點등은 高電壓사이리스터 變換裝置의 開發이라던가 制御保護方式의 發達등에 의해서 점차적으로 克服되어 나가고 있어서 앞으로의 展望은 밝다고 하겠다.

現在 直流送電에서는 價格의 대부분을 차지하고 있는 것이 變換裝置이다. 兩端變換所當의 費用은 水銀整流器에 의한 경우는 電壓, 容量에 관계없이 대략 \$50/KW정도이며 사이리스터일 경우에는 이것보다 25%정도 低減될 것으로 보고 있다.

다음에는 直流送電의 構成機器 가운데에서 가장 중요한 위치를 차지하고 있는 變換裝置 특히 그중에서도 整流器에 대해서 설명하여 본다.

2. 直流送電의 變換裝置

變換裝置에는 2種類가 있다. 곧 交流電力을 直流電力으로 變換하는 順變換裝置(rectifier)와 直流電力을 交流電力으로 變換하는 逆變換裝置(inverter)가 있다. 또한 이들 變換裝置은 이것을 구성하는 整流器(valve)에 따라 水銀整流器變換裝置와 사이리스터 變換裝置로 분류된다. 그림 1은 이들 變換裝置의 구체적인 結線方式의 1例를 보인 것이다.

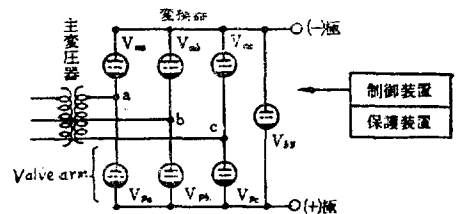
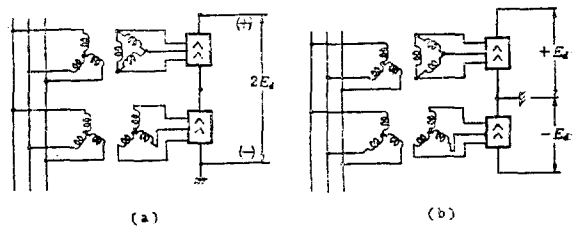


그림 1. 變換裝置의 主回路(3相 브릿지 結線)

그림 2는 이러한 3相브릿지 結線을 2組사용해서 接續한 直流送電用變換器의 基本的인 接續을 보인것으로서 일반적으로는 變壓器의 1次 또는 2次 結線을 位相이 30° 틀어지게끔 2와 4線纜으로 접속하고 2組의 變換裝置는 直列로 접속시키고 있다.



(a) (b) 그림 2. 12相 整流方式의 接續

直流측은 그림 2의 (a)(b)에서 보인바와 같이 ①變換裝置를 直列접속해서 한쪽을 接地하는 방법과 ②正과 負의 直流電壓을 발생하게끔 直列접속한 變換裝置의 接續點을 接地하는 방법 그리고 ③直流電流의 容量을 증가하기 위하여 變換裝置를 並列로 접속하는 방법이 있다.

3. 整流器(Valve)

1) 水銀整流器(Mercury arc rectifier)

현재 直流送電에서 가장 많이 쓰이고 있는 valve는

水銀整流器이다. 이 整流器는 水銀아아크(arc)를 쓰고 있는 관계상 蒸氣壓이라던가 眞空度하고 밀접한 關係이 있고 또한 陽極材料라던가 中間電極의 設計製作에 어려운점이 많다고 한다.

실제로 사용되고 있는 水銀整流器에는 스웨덴의 AS EA社製의 頂部陽極形과 소련製의 內部陽極形이 있다.

頂部陽極形은 中間電極의 段數를 늘리는것이 용이하므로 비교적 高壓用의 valve를 製作하는데 맞맞는다고 한다. 다만 그 反面 陽極의 熱損失을 外部에 끄집어내는것이 어려워서 1陽極當의 電流容量을 크게할 수 없다는 것이 缺點으로 되고 있다. 한편 內部陽極形은 陽極의 熱損失을 放散하기 쉽고 電流容量도 크게한다는 것은 용이하지만 中間陽極의 段數를 늘린다는것이 어려워 耐壓을 올린다는 것이 곤란하게 되어있다.

참고로 表 2에 최근의 水銀整流器의 定格値를 보인다.

表 2. 最近의 水銀整流器의 定格

形	設	備	電壓 (kV)	電流 (A)	陽極數 (個)
頂部陽極形 (스웨덴)	굿 트랜드 島	(스웨덴)	50	200	2
	英 佛 連 系		100	800	4
	佐 久 間	(日本)	125	1200	4
	뉴 우 질 랜 드		125	1200	4
	맹 쿠 버 島	(카나다)	130	1200	4
	넬 슨 리 버	(카나다)	150	1800	6
內部陽極形 (소련)	美國 太平洋岸 南北連系 (第1計劃)		133	1800	6
	美國 太平洋岸 南北連系 (第2計劃)		200	1800	6
	카 시 라~모 스크 바		130	150	1
	불 가 그 라 드~돈 바 스		130	900	1

2) 싸이리스터(thyristor)

사이리스터란 사이라트론(thyratron)과 트랜지스터(transister)와의 合成語이다. 또한 이것은 gate펄스의 位相制御에 의해 直流電壓의 調整을 할 수 있는 半導體整流器, 곧 SCR (Silicon Controlled rectifier)의 商品名으로 사이리스터라고 불려지고 있는 것이며 1958년에 발표된 것이다.

발표이후 電力用사이리스터 素子는 高壓化와 大電流化를 목표로해서 눈부신 技術開發을 거듭해 온것이다. 그림 3은 이와같은 技術開發樣相을 圖示한 것이다.

중래까지는 大電流化와 高耐壓化는 設計라던가 製作上의 觀點에서 불매 서로 상치되는 내용을 지녀서 兩者를 동시에 만족시키기란 여간 어렵지 않았다. 곧 高耐壓의 接合을 損失增加를 따르게하여 電流容量의 低

下를 불가피하게 하였던 것이다.

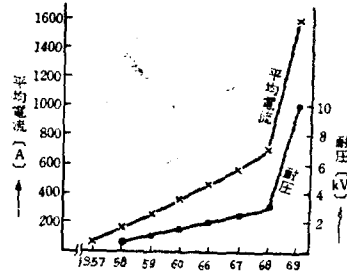
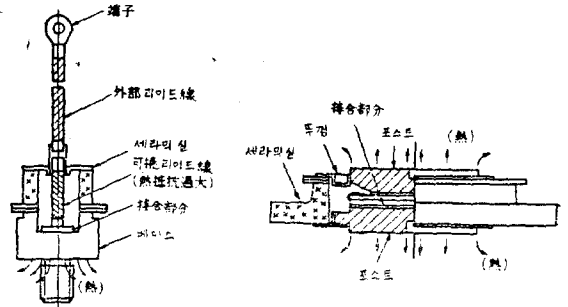


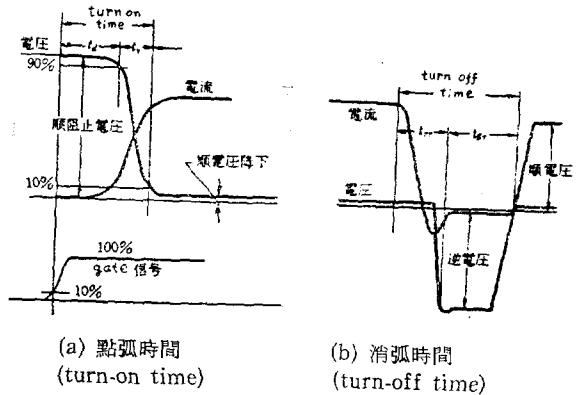
그림 3. 싸이리스터素子の 耐壓과 平均電流의 發達過程

그러나 최근에 와서는 싸이리스터素子를 그림 4(a)의 스탠드形構造로부터 (b)의 유닛트랩셀構造로 바꾸므로서 熱抵抗을 현저하게 低減시켜서 耐電壓을 낮출것없이 電流容量을 늘릴수 있게끔 되었다.



(a) 스탠드形 (b) 유닛트랩셀形
그림 4. 싸이리스터素子の 構造

이들 高電壓大電流의 싸이리스터素子는 그림 5(a)(b)에 보이는 바와같은 動作特性을 지니게 되었고 이들의 點弧時間 및 消弧時間은 잇달은 技術開發로 한층더 縮을 보게되고 있다.



(a) 點弧時間 (turn-on time) (b) 消弧時間 (turn-off time)

그림 5. 싸이리스터素子の 特性

다음에 直流送電用의 싸이리스터 valve는 高電壓大電流에 格될수 있게끔 그림 6처럼 이러한 싸이리스터

表 3. 最近의 高電壓 싸이리스터 變換裝置

年	製作者名	直流電壓 [kV]	電 流 [A]	素子 構 成		備 考
				素子耐壓 [kV]	直 列 數 [個]	
1966	W.H	5	600	1.0	16	變換裝置 (6valve)
1967	G.E	20	1800	1.8	32	變換裝置 (6valve)
1967	G.E	200	1800	1.8	320	1valve
1967	ASEA	50	200	2.8	56	1valve
1968	日立(電試)	25	400*	2.5	64	三相半波 (3valve)
1968	東 芝	12	300*	1.3	20	變換裝置 (6valve)
1968	SSW	100	—	1.6	180	1valve
1968	BBC	100	800	1.3	192	1valve
1969	東芝(電試)	100	500*	2.5	120	1valve
1970	ASEA	50	200	3.0	60	變換裝置 (6valve)
1970	日立·東芝	125	300	2.5	192	變換裝置 (6valve)
1972	GE	62.5	112	2.5	72	變換裝置 (6valve)

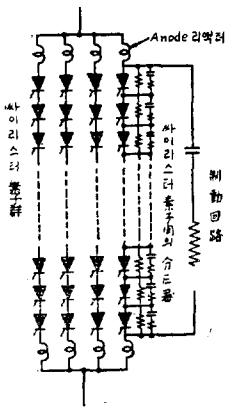


그림 6. 싸이리스터 밸브의 구성 (1arm分)

大電流素子를 사용해서 並列數를 늘리지 않고 1브릿지 전채로서의 素子數를 減少시키는 방향으로 그 開發이 촉진되고 있다.

3) 水銀整流器와 싸이리스터의 比較

싸이리스터는 固體內的 電子의 움직임을 이용한 制御可能한 整流素子이기 때문에 水銀 arc를 이용하는 整流器와는 근본적으로 상이되는점이 많으며 水銀整流器보다 有利한 점을 열거하여 본다면 다음과 같다.

가. 싸이리스터는 水銀整流器와 같은 異常現象(逆弧, 消弧, 失弧)이 없으므로 運轉保守가 용이하다.

素子를 여러개 直列로 연결한 鏈(string)을 並列로 組合해서 構成하도록 하고 있다.

表 3은 世界에서의 高電壓 싸이리스터 變換裝置의 開發狀況을 보인것이다.

현재의 상황으로서는 100 kV급의 變換裝置의 valve에서는 2.5kV의 싸이리스터素子が 약 200개 直列로 접속되고 있지만 장래에는 1素子の 耐壓이 높은것을 사용해서 直列數를 줄임과 동시에

나. valve의 溫度制御가 간단하다.

다. 半導體이므로 真空裝置라던가 勵弧裝置가 필요없다.

라. valve의 豫熱時間이 필요없으므로 迅速하게 起動시킬 수 있다.

마. 定格電壓을 자유로히 선택할 수가 있고 構造上的 制約이 없다.

바. 싸이리스터素子の 量産化로 價格의 低下가 기대된다.

이상의 여러가지를 要約하면 싸이리스터變換所의 利點은 水銀整流器變換所보다도 (1) 信賴度向上을 말할 수 있다는것 (2) 코스트低下가 장래 기대할 수 있다는 것 등을 들 수 있다. 表 4는 이들 兩者의 得失을 비교 정리한 것이다.

앞으로 高電壓싸이리스터 變換裝置에 關해서 더욱더 技術革新을 필요로 하는점을 든다면 다음과 같다.

가. 損失도 적고 點弧 및 消弧時間이 작은 高性能싸이리스터素子の 開發

나. 多數個의 素子群의 同時通電制御方式의 簡略화
다. 多數個의 直列素子群의 電壓分擔, 電流分擔의 均一化와 保護方式의 開發

라. 常時, 事故時의 運轉能力, 制御應動能力의 評價

마. 電力系統內的 送電材器로서의 적절한 制御保護方式

<p.38에 계속>