

영국의 275,000 volt Supergrid 송전망

韓 萬 春

서론

영국의 전기사업은 1881년 「웨이」강에 건설된 수력발전소로부터 GODALMING 시에 전력(조명용)을 공급함으로써 시작되었다. 이어 다음해인 1882년에 전기사업법(세계에서는 최초의 법령이다.)이 제정되고 1888년에는 개정법령이 발표됨으로써 영국의 전기사업은 상업적이며 경쟁하는 사업으로 바꾸어지게 되었다.

19세기 말엽부터 발전내지 송전기술의 진보에 따라서 전력의 경제적 공급지역이 확대되었으나 대전력을 공급하는 대전력회사의 공급구역과 소량배전을 주로하는 지방관청의 企業과는 불가피 이해관계의 충돌이 빈번하였다. 이밖의 여러가지 이유때문에 대전력회사의 발전(發展)이 지지불진함으로써 광범위의 송전, 배전계통을 확립하는데 장애가 되었던 것이다.

1925년에 이르러 소위 「웨이」 위원회라는 것을 조직하여 전력사업의 효율을 향상 발전시키는데 필요한 연구 내지 조사를 시키게 되었는데 이 위원회의 보고에 따라 132,000 volt의 기간송전망(Grid라고 한다)을 건설하기로 결정하였던 것이다.

여기한 기간 송전망이 건설됨에 따라서 능률 좋은 발전소에서 발전된 저렴한 전력을 지방 배전당국에 도매로 공급되게 되었으며 동시에 주파수가 통일되게 이른 것이다.

그후 영국의 전력공급은 놀라울 정도의 속력으로 증가 하였는바 1922년부터 1957년 까지의 설비용량 및 최대출력을 표시하면 다음과 같다.

년 도	전 설 비 용 량 (MW)	최 대 출 력 (M W)
1922/23	2,710	—
1925/26	3,917	—
1930/31	6,241	—
1935/36	7,301	—
1938/39	8,503	—
1940/41	9,152	—

1945/46	11,059	—
1946/47	11,288	—
1947/48	11,680	10,362
1948/49	11,899	10,669
1949/50	12,841	11,477
1950/51	13,589	12,243
1951/52	14,511	13,251
1952/53	16,049	14,533
1953/54	17,516	15,888
1954/55	18,951	17,347
1955/56	20,644	18,845
1956/57	22,572	20,644

이상과 같은 전력공급의 증가와 2차대전중의 경험에 비추워 Grid system의 강화론이 대두되었으며 송전의 능률을 기하기 위하여 드디어 275,000 volt의 Supergrid를 건설하기로 결정하였던 것이다.

이 송전계통은 북부 Scotland를 제외한 전국적인 규모로 건설되는 것이며 1960년에 진계통이 완성될 예정이다.

(1) 영국의 송전망의 연혁

영국의 275,000 volt 송전계통을 소개하기 전에 최초의 송전계통인 132,000 volt 계통이 어떤 원칙에 입각하여 건설되었으며, 이 계통이 운전된 후 사태가 어떻게 변천 되었는가를 좀더 상세히 검토하는 것이 순서일 것으로 생각한다.

1926년에 132,000 volt 송전망을 건설하기로 계획했을 때의 주요목적은 각처에 산재하고 있는 몇몇 발전소를 뭉쳐서 하나의 pool을 형성시키는 것이었다. 이와 같이 발전소를 뭉치려는 예비발전소의 수가 적어질뿐 아니라, 낮은 cost의 발전소로 하여금 집중발전(集中發電)을 하도록 함으로써 전계통을 통하여 경제적 운전을 할 수 있다는 것은 주지의 사실이다.

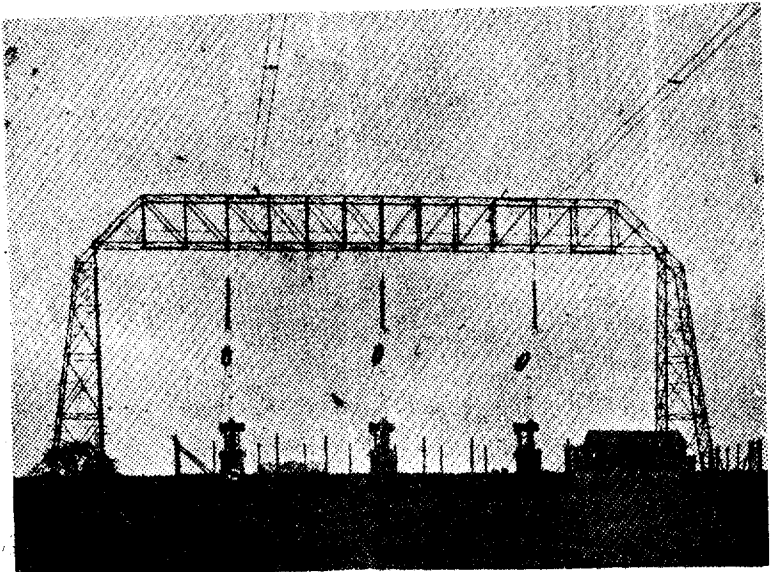
더우기 이러한 국부적 구역을 연결하는 기간선로의 송전용량은 각 구역의 Load에 비하여 적

있으나, 다른 구역의 발전소에 운전고장이 생기거나, 그 밖의 이상사고(異常事故)가 발생하였을 때 상호(相助)의 역(役)은 충분히 충족될 수 있었다. 이 송전계통의 다년간에 걸친 운전경험에 의하여 전국적인 계통으로 발전시켜 운전하는 것이 보다 이롭고 경제적이라는 결론을 얻게 되어 1939—45 사이의 제2차 대전이 이어나가 직전에 그 단행을 결정하였던 것이었다. 어떤 구역에서는 발전력이 수요와 병행하거나 수요를 증가하였으나 어떤 구역에서는 이와 반대현상이었으므로 Grid 라는 매체를 통하여 전력과잉구역에서 부족구역으로 전급할 수 있다는데 착안하게 되어 원래 구급용(救急用)이었던 지역간 연결선로는 점차로 주(主) 송전 Channel 로 바뀌게 된 것이다. 따라서 이후에는 지역계통의 고립운전은 사라지고 전국적인 집결계통 (integrated system) 으로 통일된 Grid 가 형성되게 되었던 것이다.

이러한 단일계통으로써의 Grid 에 대한 운전상의 이점은 1935—45 사이의 제2차 대전중의 경험에 의하여 입증되었다. 그러나 날로 증가일로지의 전력공급으로 말미암아 공급전력은 계통의 송전용량을 초과 아니할 수 없게 되었던 것이다. 1930년에서 1950 사이의 20년간 영국의 전력공급은 5배 이상으로 증가하였는바, 여기한 전력은 최초의 132,000 volt 계통의 용량을 초과하는 것이므로 계속적으로 장래 발전을 보장하고 나아가서는 경제적 내지 능률적인 송전을 도모하기 위하여, 기존 Grid 에 대한 근본혁신이 요구되었던 것이다.

그리하여 발전, 송전, 배전의 장래 전망에 관계되는 여러가지 factor 에 대한 철저한 검토가 중앙 전력공사 (Central Electricity Board) 에 의하여 착수되어 후에 특별전문위원회에 인계되어 완성되었던 것이다. 이 위원회가 전력공사에 제출한 보고서에 의하면 발전선 설비에 대한 자본부자의 최소화를 위하여는 각 지역을 연결하는 계통

의 용량을 대폭 증가시켜야 한다는 것이었고, 그 방법은 기존 Grid 에 소수의 선로를 첨가하여 평상시에 각 지역을 연결하는 유일한 연결선로의 기능을 가지게 하는 것이었다. 더우기 여기한 회로는 기존 Grid 전압 132,000 volt 으로 건설할 수도 있겠으나 이보다도 높은 전압으로하면 더 만족한 결과를 갖어올뿐 아니라, 저렴한 석탄이 생산되는 곳에 새로운 화력발전소를 건설하는데 따르는 송전용량이 마련된다는 이 점을 지적하였으며 국제적 표준전압에 준하여 275,000/300,000 volt 의 전압을 제안하는 동시에 어떤 구역의 송전선 첩탑은 장래를 고려하여 높은 전압의 송전선에도 적용할 수 있도록 하여야 할 것이라 주장하였던 것이다.



High voltage test line at Leatherhead, showing terminal gantry, 275,000 volt transformer compound and test hut.

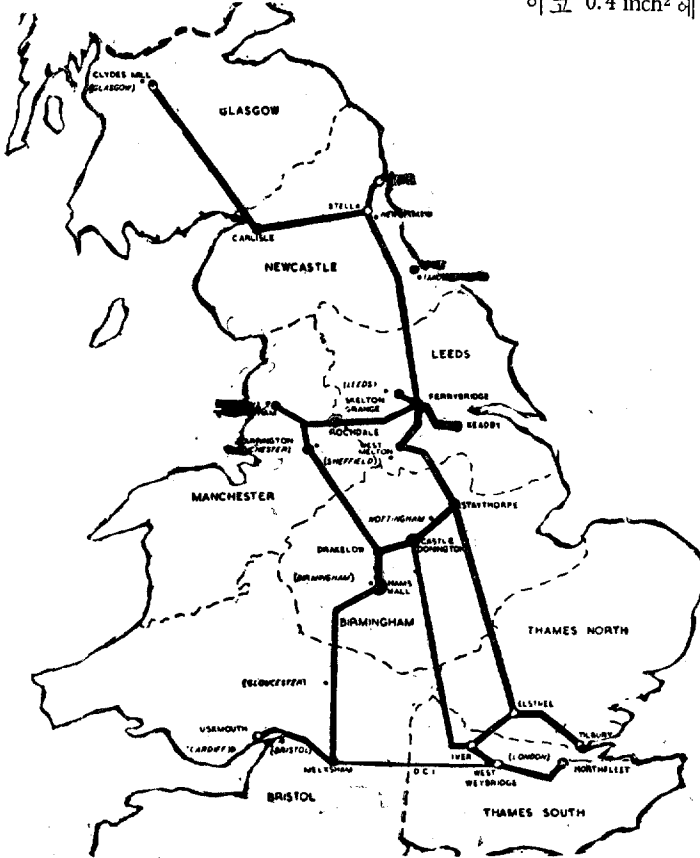
이 보고서는 1950년 6월에 채택되어 소위 Supergrid의 건설에 대한 일부가 인가되었다. 마침 이때 Staythorpe (Newark) 와 West Melton (Sheffield) 간의 선로 건설에 대한 시도적(試圖的) 부분의 공사가 진행되고 있었는데 전압은 초기 Grid 의 2배인 264,000 volt 였으나, 후에 275,000 volt 로 정정설계 되었다. 이 밖에도 Leatherhead Surrey 에 있는 전력공사의 시험소 근방에 500,000 volt 까지의 가공 송전선의 전기특성에 관한

기술 자료를 얻기 위하여 실용규모의 선로가 건설되어 있었으므로 Supergrid의 건설에 대한 기술적 난관은 대단한 것이 없었다.

상기한 Staythorpe-West Melton 사이에 건설된 275,000 volt 송전선의 충전이 Supergrid의 첫운전인 동시에 국내 주요발전소와 대부분 구역을 연결하는 송전계통의 서곡이기도 하였던 것이다

(2) Supergrid의 건설

영국의 275,000 volts의 Supergrid는 Midland (中部), Lancashire, Yorkshire의 West Riding을 포함하는 중심부의 환회로 (Central ring of lines)



1960년까지 完成될 豫定인 영국의 Supergrid와 동북해안과 Charlisle를 거쳐 Scotland (Clyde's mill)로 뻗치는 북부연결선로가 있고 여기에서 London 지역으로 2개선로가 뻗어내려가 London을 둘러싸고 반환상(半環狀)을 이루며 Thames 강의 북쪽기술기와 Thames 강 남쪽의 Northfleet 근방에서 끝난다. 이 밖에 중심부에서 서남쪽으로 뻗치는 선로와, 남 Wales로 뻗치는 선로는 Witshire의 Melksham으로 가는 남향 선로인데

Melkshire에서 London 구역으로 뻗치는 연결선로가 추가 되어 있다.

사용된 선종은 강심 Aluminum선인데 공층절단면적 0.175 inch²과 0.4 inch²의 두 가지 Size가 사용되었다. 적은 Size는 각선로의 연결선로에 사용하고 큰Size는 송전목적용 결합 선로에 사용하였다. 어느 경우나, 相當(per phase) 12 inch간격의 2개 도체가 사용되었다. 기설 132,000 volt Grid의 안전전류는 한 회로에 대하여 680 Ampere였는데, 공층단면적 0.175 inch²을 사용한 275,000 volt 계통에서는 그 값이 1360 Ampere이고 0.4 inch²에 있어서는 2080 Ampere가 된다.

시험사마 건설된 Staythorpe-West melton 선로를 제외한 모든 신설 선로는 Double circuit로 건설되었다. 여기한 Double circuit supergrid에 적용한 철탑의 방식은 132,000 volt 기설 계통의 것과 동일한 것이다. 설계는 두가지 방식이 채택되었는데 하나는 공층단면적 0.175 inch²인 쌍도체를 사용하고 기본경간 1.0 00 ft인 선로이고, 또 하나는 0.4 inch²의 쌍도체(twin conductor)를 사용하며 기본경간 1.200 it로 하는 방식이다.

어느 경우에 있어서나, 높은 抗張力의 강철이 주요소(main element)로 사용하였으므로, 낮은 장력의 강철을 사용하는 경우보다 중량이 훨씬 적어졌

고, 또 외모도 매우 보기 좋게 나타났다.

132,000 volt 계통과 275,000 volt 계통의 연결점에는 Auto-transformer를 사용하였는데 최초 120, 180, 240 MVA의 세 종류를 검토하였으나 Supergrid에 사용하는 모든 변압기는 120 MVA로 전부 통일 시키기로 결정하였다. 이와 같은 결정을 내리게된 이면에는 영국의 도로(道路)가 차량의 무게를 합하여 150 ton까지의 수중에 견딜

수 있다는 이유가 있었다.

120 MVA 3상변압기는 중성점을 직접 접지하여 운전하도록 설계된 것인데, 별개의 直列—連結 전압조정기를 사용하면 Cost가 비싸지므로 負荷時電壓調整器가 사용되고, 일단이 접지된 저압 Δ 결선의 捲線이 드러있다. 최근의 기술동향을 보면 다수의 발전기를 직접 275,000 volt 계통에 연결하는 경향이 옛보임에 비추워 장래에 필시 120 MVA 이상의 이중권(Double wound) 변압기가 필요할 것이므로 저압권선은 발전기에 직접 연결할 수 있도록 하였다.

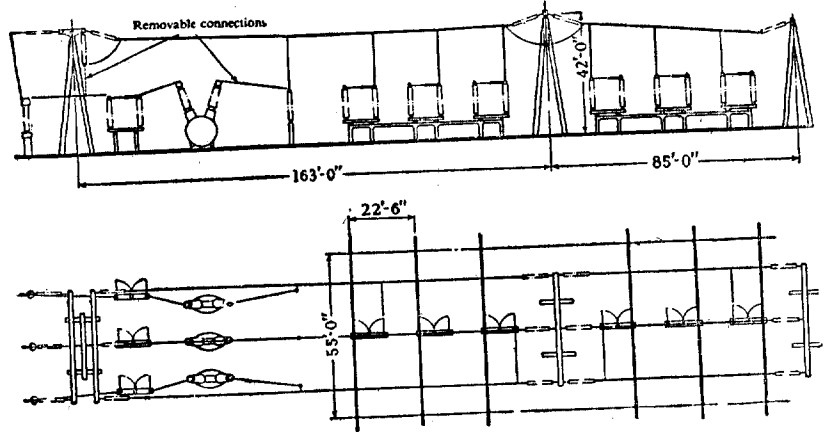
발전소로 이끄는 분기선로상에 설비되는 270,000 volt 계통의 개폐소는 단지 개폐기만을 설비하고 그 밖에는 본격적 차단설비를 하였다. 사용되는 275,000

volt 회로 차단기는 在來式 油入차단기와 空氣吹付차단기(Bulk oil & air blast)의 두가지가 있는데, Bulk oil 차단기의 폐로조작과, air blast 차단기의 일반조작에는 300—350 lb/in²의 압축공기가 사용된다. 여기 한 압축공기는 650 lb/inch²의 압력으로 저장되는 압축공기 공동저장소에 공기를 공급하는 압축기(Compressor)에 의하여 공급된다.

모든 회로차단기는 7,500 MVA의 차단용량을 갖고 있는데, 이것은 한 Phase에 대하여 4개의 遮斷點이 직렬로 構成되어있으며 遮斷點에 대하여 bulk oil 형식에서는 선형저항(linear resistance)으로 分壓시키고 air blast 형식에서는 6개의 interrupter head로서 分壓하여 차단케 한다. 차단기의 Thermal rating은 송전선의 정격전류 800 amp 와 1200 amp에 대응하는 값이다. 이것들은 장래에 사용될 가능성이 있는 고속 3상 자동—재폐로(auto-reclosing) 방식을 응용할 수 있도록 마련되어 있다.

275,000 volt의 개폐기는 Common isolating Swit-

ch 방식으로 설계되어 전기 또는 비상시 수동조작을 위하여 제작되었다. isolator의 각 insulator port는 8개의 防霧 unit로 되어있어 변전소에 일반적으로 사용되는 insulator post와 대동소이다. 기존 Grid의 132,000 volt 계통에 속하는 대형변전소의 상면적(床面積)도 매우 크지만 275,000 volt 계통의 변전소는 Clearance가 더 필요할 것이므로, 보다 넓은 상면적이 소요되었다. 최초 설계당시는 가급적 사용면적을 적게 하기 위

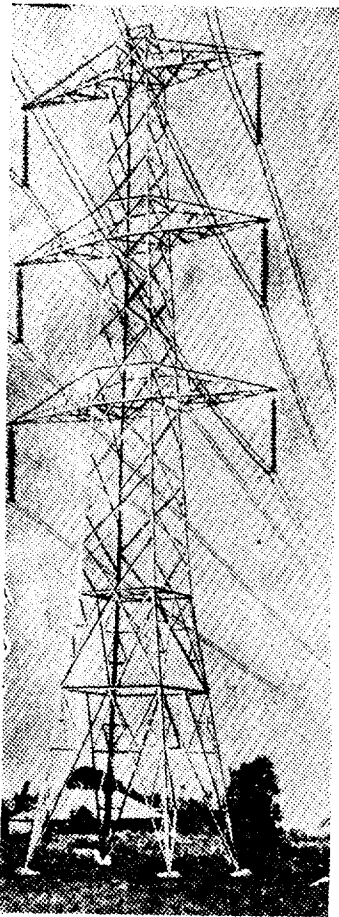


Typical 275,000 volt switch bay showing bulk oil type circuit breaker.

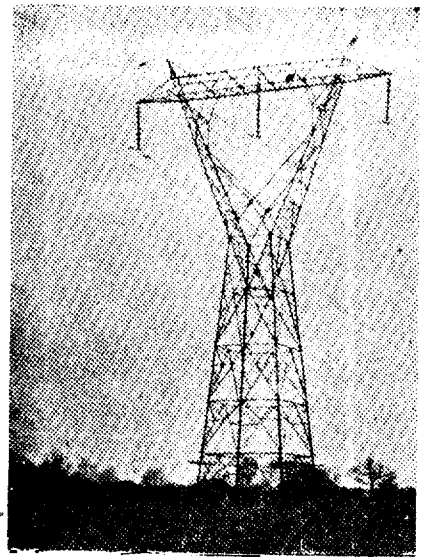
하여 높은형(high type)으로 설계할 것을 고려하였으나 이러한 type은 補修작업에 곤란이 따르므로 후에 낮은형(low type)으로 정정 설계되었던 것이다. 이 설계의 한 예를 표시하면 그림과 같은데 철근 Concrete를 사용하는 이 설계는 가장 높은 현수점(Suspension point)이 42 inch 정도이다.

변전소의 bus bar는 동피장(銅被裝)의 강관(copper-clad steel tube)인데 전경(全徑)이 3 inch 정격전류가 1,200 ampere가 된다. 각 지지물간의 표준 거리는 27 feet 6 inch이고, 변전소내의 각종 flexible connection은 전경 1,357 inch의 것인데 spiral core(螺施型心)상에 熱線된 單一中空導體이다.

이상이 Supergrid의 건설내역인데, 여기 한 계획을 추진하기 위한 기술 발전은 전력공사의 기술자, 고문, 그리고 제작회사의 여러 기술자가 긴밀히 협조하여 이루어진 것이다.



275,000 volts
Double circuit Supergrid tower

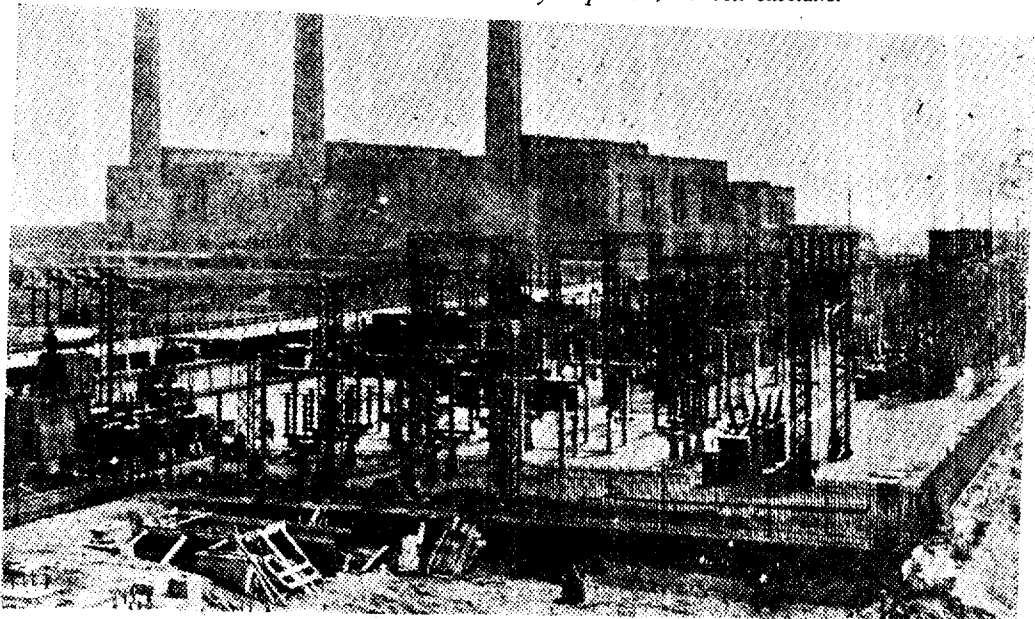


275,000 volt
Single circuit tower

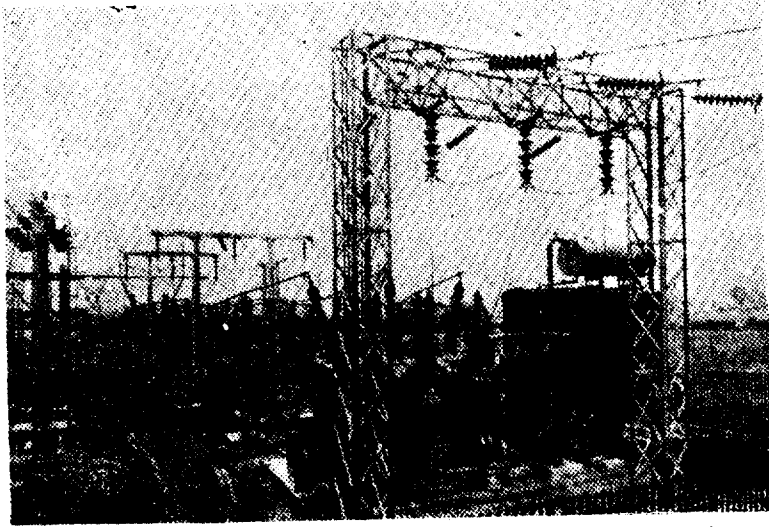
(3) Staythorpe-West Melton 의 시험 용 275,000 volt 선로

이 선로는 275,000 volt 주계통의 건설에 앞서서 고압선로의 운전경험을 얻고자 건설된 것이다. 이 선로는 영국의 Supergrid에 있어서는 단일회로로 되어있는 유일한 부분이다. 이 선로에는 공칭단면적 0.175 inch²의 쌍도체가 사용되었는데, 32 ft 6 inch의 간격으로 수평 배치되었으며 접지선은 2개가 사용되었다.

Staythorpe 132,000 volt substation



최초의 운전에서는 staythorpe와 West Melton에 있는 120 MVA 변압기를 거쳐 132,000 volt 계통에 연결 되었었다. Staythorpe 발전소는 60,000 KW 발전기 4대로 구성된 240,000 KW의 용량이었는데, 1955년도에 2개의 60,000 KW가 추가됨으로써, 설계용량인 360,000 KW에 달하였다. 이 발전소와 연결된 Staythorpe 변전소에는 차단용량 2,500 MVA인 bulk oil형 차단기가 설비되었으며, Supergrid의 본격적 건설에 따라서 사진에 표시하는 바와 같은 275,000 volt 변전소를 1955년말까지 건설 완료해야 했다. Staythorpe와는 달리 West melton의 132,000 volt 변전소는 주요발전소와 직접 연결되지 않고 가공선로를 이용하여 몇개에 연결됐을 따름이다. 이 변전소에도 bulk oil 차단기가 설비되었으며 최초 사용되고 있던 것은 차단용량이 2,500 MVA의 것이었는데 후에 3,500 MVA급이 추가설비 되었다. West melton의 275,000 변전소는 1955년도



West Melton 132,000 volt substation

에 완성 되었다.

Yorkshire 지방의 각 발전소를 연결하는 지점을 포함하며, 중동부의 각 발전소를 link 하는 staythorpe-West melton 간의 선로는 대량송전의 challe이라기 보다는 순전한 link의 목적을 갖고 있는 것이다.

(4) 영국의 고압송전망의 전망

영국이 초기 송전계통에 132,000 volt를 적용하였을 때만 하드라도 당시 국제적 송전 기술의

수준에 있어서 다른 나라에 그리 뒤떨어져 있지 않았다는 자부심을 가질 수 있었음이 틀림 없다. 이번에 완성되는 275,000 volt 송전망은 영국에 대하여는 또 하나의 기술발전이라 할 수 있겠으며 다만 영국의 특수한 기후조건 때문에 서전의 400 000 volt 송전이나 미국의 330,000 volt 정도를 실현할 수 없음을 불가피한 일이라 하겠다. 세계적으로 보드라도 220,000 volt의 송전은 흔히 사용되고 있는 것이 실정이고, 특히 미국에서는 500,000 volt 송전을 실현시키고자 논의되고 있는 것이다. 이러한 점으로 보아 영국의 고압송전은 전기한 기후조건에 의하여 그대로 주저 않을 것인가. 그 전망을 해부하여 보고자한다. 이 문제에 대하여 현단계에서 고려할 두가지 중요사항이 있다.

첫째는 275,000 volt Supergrid망의 일차적기능은 각 구역의 발전시설을 연결 한다는 것이다. 물론 어느 부분은 송전목적만을 결한 것이 사실인데, 더우기 중동부와 Yorkshire 지방에 새로 건설된 발전소로부터 탄광에서 멀리 떨어져 있는 지방까지 송전한다는 따위의 경우가 있으나 현단계에서는, 다량 전력의 송전은 어디까지나 제2차적 기능에 속하고 있는 것이다. 1960년도에 완성될 Supergrid 건설계획은 총선장 120 mile와 22개소의 개폐소 내지 변전소로 되어 있는데 결국 각 발전소간의 선장은 평균 52 mile가 되는 것이다. 따라서 가령 Sweden의 경우인 600 mile와 같이 고압송전을 해야하는 긴박한 경제적 이유가 없는 것이 실정일 것이다.

둘째로 고려할 것은 영국의 특유한 기후 내지 대기조건 때문에 고압에서 전기기기를 신뢰성있게 운전하기 어렵다는 점이다. 특히 이 점에 대하여는 산업지대의 안개나 불결한 공기 때문에 132,000 volt의 송전망에서도, 곤란을 당하는 것이 실정인 것이다. 따라서 이러한 조건하에서 275,000 volt 계통의 운전도 어떤 기간을 통한 실