

송전계통의 지중화 계획

김 세 일

(한전 송변전처 지중선 계획부장)

1. 머릿말

계속되는 도심지 전력수요의 증가는 도시내 변전소 및 연결 송전선로의 연속적 신증설을 필요로 하고 있다. 이러한 도시, 특히 전력수요가 많은 도시에서의 송전선로는 가공(架空)으로의 건설이 불가능하여 대부분 지중(地中)으로 건설되고 있으며 이러한 경향은 국민 생활수준 및 의식수준의 향상, 도시권의 확장 그리고 도시건물의 밀집, 고층화에 따라 점차 증가하고 있다.

1929년 서울의 아현동(阿峴洞)과 순화동(巡和洞) 사이에 22KV변전소간을 연결하는 22KV지중송전선(SLTA 3심 200mm, 공장 2.1KM)이 건설된 이래 지중송전선은 질적, 양적으로 성장을 계속하여 1987년말 현재 약 293 C-KM(회선-KM)에 달하는 지중송전선(22KV 제외, 해저케이블 포함)이 건설되어 운전중에 있으며 앞으로도 계속 성장이 예상된다.

본고(本稿)에서는 국내 지중송전선 기술 및 건설의 안경기이며 또한 90년대의 345KV급 지중송전선로 건설을 준비하는 단계인 현재상황에서 과거의 국내 지중송전선의 성장과정과 장차의 전망을 개괄적(概括的)으로 다루어 보고자 하며 본고가 국내 지중송전선의 흐름을 개관(概觀)하는데 도움이 되었으면 한다.

2. 지중선 건설의 필요성

지중선의 일반적 장점으로는 경과지(經過地) 확보용이, 인축(人畜)에 대한 안전성, 전기공급 신뢰성 향상, 지역

환경과의 조화등이 있으나 건설비가 가공선에 비하여 15~25배 소요되므로 우리나라와 같이 급격한 송전설비의 신증설이 요구되는 상황에서는 투자재원을 확보하는데 문제가 있어 도시 가공송전선을 전부 지중화한다던가 하는 일괄적지중화 추진은 불가능하며

①가공송전선으로의 신증설이 불가능할 경우

②기설 가공송전설비의 유지관리가 불가능한 경우에 지중송전선을 건설하는 것이 대부분이며 ①의 경우가 큰 비중을 차지하고 있다.

표 1. 지중선의 가공선에 대한 장단점

長 點	短 點
○ 인축에 대한 안전성	○ 건설비 고가
○ 경과지 확보 용이	○ 건설공기가 김
○ 화재, 폭풍우등의 영향을 받지 않음	○ 건설 작업시 교통장애, 소음, 분진, 영업방해 등 민원 발생
○ 지역 환경과의 조화	○ 송전용량 적음
○ 다회선 설치 가능	○ 사고복구에 장시간 소요
○ 시설 保安상 유리	

표 2. 도시별 지중 송전 설비 현황(87년말 현재)

도 시 명	지중송전선(C-KM)
서울	202
부산	43
대구	10
인천	30
기타	8
계	293

도시변전소의 옥내화, 지하화와 함께 지중송전선 건설

로 대도시의 전력공급이 가능해졌으며, 87년 말 현재 지중송전설비가 설치되어 있는 도시로서는 서울, 부산, 인천, 대구시가 있으며 가까운 장래에 광주, 대전시 등에도 지중송전선로가 건설될 예정이다.

3. 국내 지중송전선의 변천과 성장

3.1 지중송전선의 시기별 구분

3.1.1 초기 지중송전선

국내 초기 지중송전선의 형태는 1929년 설치된 아현동-순화동간의 22KV 지중송전선을 위시하여 서울시내의 22KV 변전소간을 연결하는 22KV-△(델타) 송전계통이었다.

이 22K-△ 지중송전망은 당초 변전소간을 연결하는 계통송전선로로 출발하였으나 서울시내에 22KV특고압수용가(주로 대형, 고층건물)가 생기기 시작하자 이들 수용가에 전력을 공급하는 선로로 연결되어 배전선로화 되었으며 계속 증설, 보강되어 87년말 현재 약 321 C-KM의 케이블이 설치되어 있다.

케이블 선종으로는 일본제의 SLTA(Seperatly Leaded, steel Tape Armoured) 또는 SLL(Seperatly Leaded, Lead sheathed)케이블이 초기에 많이 건설되었으며 1972년 하반기 부터는 국내에서 개발된 CV(Cross-linked polyethylene insulated, Vinyl sheathed) 케이블이 그리고 최근에는 22.9KV-Y화에 대비하여 CNCV(Concentric Neutral CV)케이블이 사용되고 있다.

국내 최초의 22KV 지중케이블이 설치된 1929년부터 66KV 케이블이 국내에 처음 설치된 해인 1967년까지를 22KV-△방식의 지중선이 주(主) 지중선 계통이 되었던 초기 지중송전선 시대라 할수 있겠다.

3.1.2 제1기 지중송전선

국내 지중송전선의 제1기는 66KV 지중송전선이 국내 처음으로 건설된 해인 1967년부터 국산 송전케이블이 사용되기 시작한 해인 1980년까지 외국제 송전용케이블을 수입하여 건설하고 운용하던 시기로 구분할수 있겠다.

이 시기에 일본상업차관, KFW차관(서독재건은행차관), AID차관 및 국내자금으로 일본, 영국, 미국등지에서 각종 케이블을 수입하여 지중송전선로를 건설하였으며 건설물량은 약 57.9C-KM에 달하였다.

국내 최초의 66KV급지중송전선(66KV, OFZNTA, 3C250

mm, 일본古河電工제품, 1967년7월 준공), 국내 최초의 154KV 급 지중송전선(154KV, OFZE, 1C600mm, 일본住友電工제품, 1971년8월 준공)이 이 기간에 건설되었다.

표 3. 제1기 지중송전선 건설량

연 도	건설량(C-M)
1967	1551
1969	223
1970	175
1971	5039
1972	391
1975	391
1976	14,024
1977	24,204
1978	3,557
1979	4,800
계	57,875
비 고	○상기시공부분중 일부분은 계통 정비계획에 의거 철거되었음 ○연평균 건설량은 4.5C-KM/년

지중송전선에서는 케이블의 제조기술도 중요하지만 케이블의 설치 및 접속도 못지않게 중요하여 최초 66KV급 및 154KV급 지중송전선 건설시에는 외국 케이블 제조회사의 기술자의 도움을 받아 케이블을 포설하였으며 케이블 접속은 외국기술자가 직접 시행하였다. 그러나 케이블 수입 및 설치량이 늘어나고 장차의 케이블 설치, 접속 및 유지보수의 기술을 습득하여야 할 필요가 커짐에 따라 KFA 및 AID차관에 의한 지중송전선 공사시에는 국내의 케이블접속공을 훈련시켜 외국인기술자 감독하에 직접 케이블 포설 및 접속을 시행하였다. 또한 이기간 동안 국내기술자의 해외기술연수(일본, 미국, 영국의 케이블 제조회사)로 케이블 일반이론, 시공법, 허용전류계산, 포설장력계산, 유압계산등의 기술을 습득하여 국내 지중송전선 기술의 기초기틀을 마련하는 계기가 되었다.

표 4. 제1기 지중선 요원 해외훈련 명세

기 간	연수장소	인원	연수내용	비고
65.2-65.8	일본 古河電工	2	지중케이블	66**OF
71.5-71.7	일본 大日本電線	2	-	66**OF
71.7-71.9	일본 住友電工	3	-	154**OF
74.2-74.5	미국 OKONITE社	2	-	154**POF (AID #2)
75.5-75.8	영국 BICC, PESC社	4	-	154**OF (KFW #1)
76.10-76.12	영국 BICC社	4	-	154**OF (KFW #2)

3. 1. 3 제2기 지중송전선

제1기가 외국제 케이블과 기술을 사용한 지중송전선시대임에 비하여 제2기는 국산케이블과 국내기술에 의한 본격적 지중송전선시대라 할수 있겠으며 1980년부터 현재(장차 345KV 급 지중송전선로 설치시 까지)까지를 제2기로 구분할수 있겠다.

1980년 4월 국산케이블을 사용하는 첫번째 154KV급 지중송전선(154KV, OFAZE, 1C600mm², 대한전선 제조)이 준공된것을 기점으로 하여 그 이후의 지중송전선에는 전부 국산케이블이 사용되고 있으며 1984년 5월에는 국산 CV(XLPE) 케이블을 사용하는 지중송전선(154KV, CV, ICI200mm², 금성전선 제조)이 준공되었다.



그림 1 지중송전선용 케이블 포설장면

1988년 8월현재 국내의 2개 케이블제작회사에서 OF 및 CV케이블을 생산하고 있으며 일부 부속재에 대하여도 개발을 완료하였다.

표 5. 지중송전용 케이블 국산화 현황

연 도	내 용
78.9	154 ^{kV} OF 케이블 개발(대한전선)
83.9	154 ^{kV} CV 케이블 개발(금성전선)
86.6	154 ^{kV} CV 케이블 개발(대한전선)
87.12	154 ^{kV} OF 케이블 개발(금성전선)
88.6	154 ^{kV} CV 부속재(1200mm ²)개발(금성전선)
88.8	154 ^{kV} OF " " (대한전선)

이 기간에 건설된 지중송전선은 총 244C-KM로 연평균 건설량 30.5C-KM / 년 이며 이는 제1기 연평균건설

량인 4.5C-KM / 년의 6.8배에 해당된다.

표 6. 제2기 지중송전선 건설량

연 도	건 설 량(C-M)
1980	23,295
1981	24,614
1982	30,538
1983	41,975
1984	15,026
1985	30,630
1986	19,885
1987	58,162
계	244,125
비 고	연평균 건설량 30.5C-KM / 년

3. 2 지중송전선용 케이블의 변천

지중송전용 케이블의 사용전압, 절연재료등에 변화가 있었으며 그 내용을 부문별로 요약하면 다음과 같다.

3. 2. 1 전압

22KV - △ → 배전 22.9KV-Y (22KV-△)
 송전 66KV
 154KV

주) 서울 중심부에만 22KV-△지중계통이 남아있으며 22.9KV-Y화가 연구되고 있다.

3. 2. 2 절연체

Solid(belt지)케이블 → 배전 XLPE
 송전 XLPE
 OF

주) 66KV계통에는 주로 XLPE가, 154KV계통에는 OF, XLPE가 병용되고 있음.

3. 2. 3 도체

일부 알루미늄도체가 사용되기도 하였으나 대부분 동도체로 구성되어 있으며 향후 알루미늄도체의 사용은 고려되지 않고있다. 도체 최대굵기의 변화는 다음과 같다.

200mm² → 배전 325mm²
 송전 2009mm²

주1) 그간 사용된 송전케이블용 도체에는 CU200, 250, 400, 600, 630, 1200, 2000mm², AL1000mm², CU1250MCM등이 있다.

주2) 현재 지중송전용으로 주로 사용되는 케이블 도체

는 CU1200 및 2000mm이다.

3.3 지중관로 건설방식의 변천

지중케이블을 포설하기 위하여는 먼저 관로(트러프, 관, 전력구등)를 지중에 설치하여야 하는바 건물, 기타 시설이 밀집되어있어 지중화요구가 큰 지역일수록 도로지하가 복잡하고(상하수도, 통신, 가스시설, 지하도등) 교통량이 많아 관로설치는 반비례하여 어려워진다. 경우에 따라서는 관로설치가 불가능하여 지중송전선건설이 불가능할 정도로 관로설치는 지중송전선 건설에서 큰 비중을 차지한다(물론 건설비용 및 공기면에서도 큰 비중을 차지함).

종래로 부터 관로건설 방법으로는 개착식(開鑿式)이 많이 사용되어 왔다.

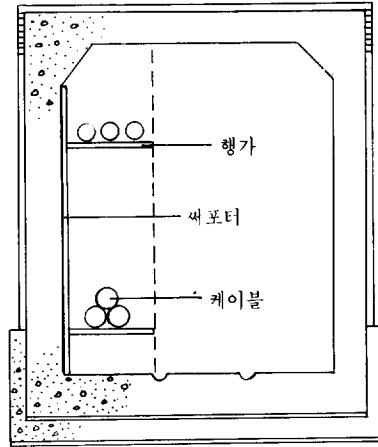


그림4. 전력구 단면도

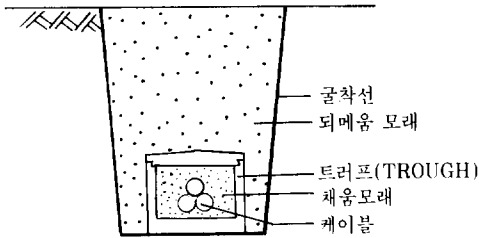


그림2. 직매식 케이블 설치도

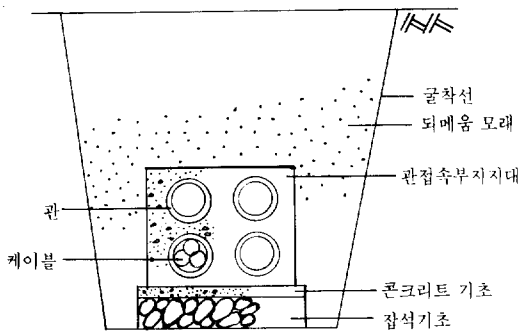


그림3. 관로식 케이블 설치도

변전소 인출입부분에서 지중송전선용 케이블과 지중배전선용 케이블이 집중되게되어 다회선 케이블 수용을 위한 전력구설치가 일반화되었고 같은 경과지를 통과하는 케이블 회선수가 점차 증가됨에 따라 전력구 설치의 범위가 점차 넓어지고 있다.

교통량의 증가, 각종 국내 및 국제행사, 귀빈통행등으로 인하여 도로굴착허가를 받기가 점점 어려워져 현장



그림5. 전력구 내부 사진

에서 직접 철근콘크리트 구조물을 제작하는 현장 축조식 전력구 대신에 굴착면적과 건설공기를 줄일수 있는 대구경 강관부설방법도 한때 이용되었으나 지하철(특히 도로폭 전체를 점유하는 지하철역), 상하수도, 통신, 가스, 타지중선로, 지하도등 지하 시설물의 폭주와 함께 지하경과지확보 자체도 어렵게되어 근본적 해결책인 터널식 전력구시설이 검토되기 시작하였고 1983년 1월 독립문(獨立門)-서소문(西小門)간 1044M 구간에 터널공사가 착공된 이후 서울, 부산 등지에 시공된 터널식 전력구는 1987년말 현재 약 7500M에 이른다.

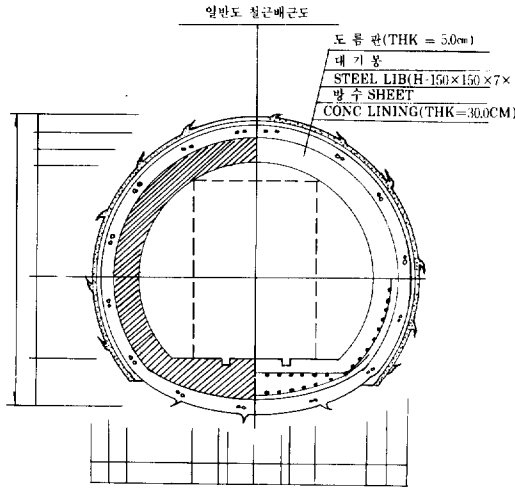


그림6. 터널식 전력구 단면

3. 4. 관재(管材)의 변천

초기 지중선에서는 트러프(Trough-직매식용), 오지관, 흙관 등이 사용되었으며 66KVX, 154KVX급 케이블용 관으로도 주로 흙관이 사용되었다(교량침가, 하천횡단 등 특수구간에는 강관, 합성수지관이, 급커브개소에는 곡강관, 합성수지곡관 등도 사용되었다).

흙관사용시 관연결부에 턱이 생겨 케이블이 손상을 입거나 누수(漏水)에 따른 토사침적으로 관로가 막히기도 하고 흙관자체의 무게가 무거워 취급이 불편한점등이 있어 합성수지관으로의 대체가 수차에 걸쳐 시도되었으며 케이블 도체 굵기가 커짐에 따라 1공1조포설을 위한 비자성체관(흙관에는 철근이 들어있어서 1공1조 포설시 교번자계에 의한 손실발생)이 요구되기도 하여 합성수지체의 파형관이 개발되어 1980년대 초반부터 사용되기 시작하였다.

트러프 → 배전 : 트러프, 흙관, 합성수지파형관, 합성 흙관(오지관) 수지 직관, 강관

송전 : 트러프, 합성수지파형관, 합성수지 직관, 강관

주) 1공3조식용으로는 내경 200, 250, 300mm의 것, 1공1조식용으로는 내경 175, 200mm, 통신케이블용으로는 내경 100mm의 관이 주로 사용됨

3. 5 지중선건설 현장여건의 변천

지중선건설을 위한 도로상의 작업여건이 점차 어려워지고 있음은 이미 언급한 바와 같으며 1980년 10월에는 도로상의 각종 굴착작업 통제를 위하여 도로법시행령이 개정되었다. 이 법령의 개정으로 신설 또는 개축한 도로에서는 3년내 도로굴착이 불가하며 타굴착사업이 시행된 경우에는 2년내의 도로굴착이 통제되며 도로굴착사업을 위하여는 도로관리청에서 주관하는 도로굴착관련사업조정위원회의 사전조정절차를 거치도록 되게되었다.

3. 6 수저(해저) 케이블

1956년 8월 원효로(元曉路)와 노량진(鷺梁津)사이의 한강을 횡단하는 수저케이블이 설치되었고 이후 몇개소에 수저케이블이 건설되었으나 현재는 전부 폐기되었고 1982년 10월 준공된, 포항의 형산강(兄山江)을 횡단하는 22.9KV-Y의 수저케이블만이 (WLSWA 3C200mm) 현재 운전되고 있다.

해저송전케이블로는 1980년 7월 준공된 신안군(新安郡)의 소악(小岳) - 당사(唐沙), 초란(草蘭) - 암태(岩泰)도간의 66KV 해저케이블(WOFA 및 WOFWWA 3C150mm, 일본 住友電工제조)이 있으며 현재 운전되고 있다.

4. 지중송전선 건설실적 및 전망

4. 1 건설실적 및 계획

최근 5년간의 전력수요 성장율은 연평균 11%(연평균 전력 기준)를 넘는 것이었고 1988년 8월 10일 15시에 기록한 최대전력 13,658MW 는 전년대비 23.7%증가에 달하는 것이었다.

이러한 전력수요증가는 발전설비는 물론 송변전설비의 계속적확충을 요구하고 있으며 이중 지중송전설비의 건설계획(실적포함)은 표7과 같다.

표 7. 지중송전선 건설 실적 및 계획

구분	건설물량 (C-KM)
67~87	293
88	77
89~93	246
비고	<ul style="list-style-type: none"> · 준공연도 기준임 · 해저케이블 및 345KV케이블 포함 · HVDC 해저케이블 불포함 · 88이후분은 참고 예상치임

또한 지중 및 가공송전선 대비는 표8과 같다.

표 8. 지중 송전선비 및 가공 송전선비

년 도	가공송전선로 (C·KM)	지중송전선로 (C·KM)	계 (C·KM)	지중송전선로 비
87년말	17,798	293	18,091	1.6 %
88년말	18,275	370	18,645	2.0%
93년말	21,633	616	22,249	2.8%
비 고	· 88이후분은 참고 예상치임			

4. 2 345KV 지중송전선 건설

도심지 전력수요 증가에 따라 154KV급 송변전설비가 신증설되어 있으나 154KV급 송변전설비 신증설에 의한 도시전력공급능력확보에 한계가 있어 345KV급 송변전설비의 도심내 도입이 필요하게 되었다. 1993년 까지는 서울 시내에, 1995년 까지는 부산 시내에 345KV급 송변전설비(변전소, 가공 및 지중송전선)가 건설될 예정이며 1987년부터 초고압 지중케이블 수용을 위한 전력구 건설이 진행되고 있다.

4. 3 HVDC 해저케이블

육지의 전력계통과 완전히 분리되어있는 제주지역 전력계통의 발전원가가 내륙보다 높아 경영수지개선을 위하여 제주와 내륙간을 연계하는 HVDC(High Voltage DC)라인의 90년대 건설이 요구되고 있는바 이중 완도와 제주시의 변환소간을 연결하는 약 100KM거리의 해저케이블 설치가 계획되고 있다.

해저케이블의 계획 제원은 다음과 같다.

- 전압 : ±180KV
- 선종 : Solid, 800mm²
- 회선수 : 2회선
- 송전용량 : 150MW×2

5. 향후의 기술개발

그간의 지중송전선 건설경험에서 본개선요망사항, 그리고 장차 지중송전의 확대를 위하여 필요한 기술개발분야로는 다음과 같은것을 들수 있겠다.

5. 1 초고압 케이블 개발

345KV급 송변전설비의 대도시도심도입에 따른 지중송

전선 건설용 초고압 지중OF케이블의 국산개발이 요청되고 있다. 적용 절연체로서는 크라프트(KRAFT)지, 반합성지(저손실지)등이 고려되고 있다.

5. 2 HVDC 해저케이블

제주-내륙간의 전력계통 연계뿐만아니라 장차 일본, 중국과의 연계 가능성, 국내 미전화(未電化) 도서지구의 전화사업등을 고려할때 해저케이블(HVDC해저케이블 포함)의 국산화(기술도입 또는 자체연구개발)가 요망된다.

5. 3 시공자재 개선

합성수지 파형관을 저온상태에서 시공하는 경우 완전한 직선시공이 어려우며(관을 원형으로 말아서 운반, 보관하며 탄성이 남아있어서), 되메우기가 부적절할때 관에 발생하는 변형, 강관연결부에 생긴 턱에 의한 케이블 손상등을 방지하기 위한 관재, 관 연결재등의 개선을 요한다. 이러한 문제점은 시공의 불완전성(완전한 시공보다 시공의 효율성에 우선을 두는 경향때문에)에도 기인하기는 하나 자체측면의 연구개선이 문제점을 많이 감소시킬 것으로 생각된다.

써포터, 행가등 금구 및 부수자재의 방청, 미관, 용도에 대한 적합성등도 만족할만한 상태에 도달하고 있지 못하므로 이에대한 연구개선도 필요하다.

5. 4 시공법 개선

도로상의 관로굴착공사 현장에서 교통장애, 소음, 분진, 영업지장등의 각종민원이 발생하고 있으며 터널공사 현장(특히 작업구 부근)에서도 이에 못지 않은 민원이 발생하고 있는바 민원경감, 공기단축, 경비절감등을 위한 시공법의 연구개선이 필요하다.

5. 5 허용전류 증대

전력계통의 소요 송전용량증가에 따라 154KV 가공송전선의 경우 허용전류 1660A의 ACSR410mm²×2Bundle 도체가 많이 사용되고 있다.

지중송전선의 경우 2000mm²가 사용 최대도체이며 허용전류는 1070A(O F케이블 1공1조식 2회선시)에 불과하여 가공선에 비해 송전용량이 부족하다.

따라서 절대송전용량의 증대뿐만 아니라 송전용량 증가에 따른 상대적 건설비 경감, 상대적 설비량 경감등을

위하여 케이블구조의 개선, 신소재응용 케이블 개발, 열저항 감축, 강제냉각등에 대한 기술개발이 요망된다.

6. 맺는말

GNP 성장과 선진사회화에 따른 전력수요 증가와 함께

송변전설비의 계속적 확장이 예상되며 양적인 면과 전력공급 신뢰성의 요구면에서 지중송전선이 차지하는 비중은 점차 증가할 것인바 이러한 요구에 대응할 국내의 지중선관련 기술은 아직 완전한 자립수준에 도달하지는 못하였다고 할수 있으며 성장과 발전을 위하여 더 많은 연구노력과 협동이 있어야 할것으로 생각된다.