

1. 序 論

우리나라의 地中線路는 1929년 당인리화력발전소 건설에 따라서 당인리~영등포(地中 : 0.49km, 水底 : 1.4km)와 아현동~순화동(2.1km)간에 각각 22kV SLTA(Separately Leded, Steel Tape Armoured) 3芯 200mm² 케이블 2回線을 송전용으로 건설한 以來, 계속적인 기술발전으로 금년에는 국내 最初 345kV 지중송전선로에 국산케이블을 사용하여 2개 선로 50c-km를 건설하였다. 또한 건설물량도 날로 增加하여 최근의 서울 시내에서는 架空線路를 찾아 볼수 없을 정도로 송전선로 대부분이 지중선으로 건설되었으며, 기타 지방 도시에서도 지중선건설이 점차 확대되어 매년 地中化率이 증가하고 있는 趨勢이다[표 1], [표 2].

특히 지중송전선로 건설은 70년대 이후 급증하였는데 이는 국가경제발전에서 따른 급격한 도시 팽창으로 도심지부하가 급증했고, 도심지의 원활한 전력공급을 위해 시내 여러 곳에 變電所가 건설되었으며 이들간의 송전선로연결은 都市美觀 및 設備保安上 대부분 지중선에 의했기 때문이다. 또한 제주도의 안정적 전력공급을 위해 제주~육지간 약 101km 에 걸쳐 DC 해저케이블을 건설중으로 금년에 준공될 전망이다.

單位 變전소간 지중선규모는 비교적 送電電力이 적었던 80년대 初盤까지는 建設初期에 1회선, 向後增設 1회선으로 계획하였으나, 송전전력이 점차 증가하면서 80년대 中盤부터는 建設초기에 2회선, 向後 송전전력증가에 대비 케이블 複導體化로 추진하고 있다.

사용케이블 規格은 66kV 급 이하에서는 주로 400mm² 이하, 154kV 급에서는 80년대에 1200mm², 2000mm² 두 종류 케이블을, '90년대 들어서는 2000mm²를 주로 사용하였다.

한편 지중송전분야 기술발전 推移를 살펴보면 1978년 국내 最初 154kV OF케이블 開發을 시작으로 1983년 154kV XLPE 케이블, 1989년 345kV OF 케이블 개발을 완료하여 實線路에 설치하였으며 국산개발초기에 설치한 154kV OF 및 XLPE 케이블 대부분이 현재까지 만족스럽게 운전되어 지고 있다. 또한 최근에는 組立式 케이블 接續函이 국산개발되어 조만간 실용화될 전망이며 이는 現場接續에 있어 품질균일화, 공기단축 등의 효과가 있으리라 기대된다

上記 외에도 지중송전선로의 효율적인 運營을 위하여

345kV 地中電力溝에 光케이블 및 光纖維 Sensor를 이용한 最先端 電力溝綜合監視制御시스템을 示範的으로 설치중에 있고 '98. 12월 준공전망이며, 同 電力溝內에 케이블 송전용량 증대를 위한 冷却 System도 계획중에 있어 지중선 분야의 技術先進化가 크게 期待되는 바이다.

표 1. 도심지 송전선로 지중화율 (%)

('96.12 현재)

도시명	지중화율	비 고
서울	72	- 행정구역 기준이므로 도심지의곽지역도 포함됨 - 전국 지중화율 : 3.6 %
인천	29.8	
대구	16.3	
부산	13	
광주	10.2	
대전	8.5	

$$\text{송전선로 지중화율 (\%)} = \frac{\text{지중송전선로회선길이}}{\text{송전선로(가공+지중)회선길이}} \times 100 \%$$

2. 地中 送配電線路 概況

2.1 地中配電線路

국내 22kV SLTA 3 芯 200mm² 케이블을 당인리~영등포 간에 最初 설치한 이래, 直埋式에는 SLTA 케이블, 管路式에는 SLL(Separately Leded, Lead Sheathed)케이블을 사용하여 1970년까지 약 90c-km의 지중선을 서울 시내에 건설하였다. 1970년대 이후 국내에서 CV(XLPE) 케이블이 개발됨에 따라 SLTA, SLL 케이블을 대신하여 서울 시내 22kV 지중선로에 CV 케이블을 설치하였으며 현재 22.9kV CNCV 케이블과 함께 배전선로로 운전중에 있다. 또한 근래의 22kV CV케이블은 기존선로의 系統補強 또는 整備用으로 일부 사용되는 것을 제외하고는 더 이상 건설하지 않으며 대부분의 배전선로에는 CNCV 케이블을 사용하고 있고 초창기에 설치한 SLTA 및 SLL 케이블은 현재 全部 撤去되었다.

지중 배전선로의 건설은 1975년 대통령 지시로 4사門안

의 架空線을 地中化 하면서 본격화 되었고, 특히 '86 아시안 게임 및 '88 올림픽 경기를 대비하여 '85~'86년 사이에 올림픽경기장 주변 및 도심지의 지중화가 급속화되어 前年까지의 총 건설물량 대비 약 56%가 增加되었으며 이후 매년 20~30%가 증가하여 '96. 12 현재 총 11,921c-km 지중배선 선로가 설치 운전중에 있다[표 2].

지중배전케이블로는 22kV 이하에서는 CV 케이블, 22.9kV에서는 중성점 다중접지계통을 감안 케이블 외부반도 전층위에 중성선이 감겨진 CNCV 케이블이 사용되고 있으며 근래에는 6.6kV 및 22kV 계통에도 향후 승압에 대비하여 CNCV 케이블이 사용되고 있다.

접속재료는 열수축형, Tape레진형, 조립형이 있으나 최근에는 조립형 접속재만 사용되고 있고 열수축형 접속재는 잦은 고장으로 현재는 거의 교체되었다.

2.2 初期 地中送電線路

국내 최초 66kV 지중선로는 1967년에 부산진변전소~차량병기창간에 일본 古河電工에서 제작한 OF 3심 250mm² 1 회선을 직매식과 관로식으로 1.03km에 걸쳐 건설했으며 '93. 9월에 준공된 제주변전소~신제주변전소 일부구간 (1 회선

표 2. 지중배전선로 현황 (c-km)

[96.12 현재]

전압(kV)	CN/CV	EV, SL	해저케이블	계	지중화율 (%)
6.6	238	17	3	258	전국 : 7.88 서울 : 42.87 부산 : 18.21 인천 : 19.73 대구 : 12.01 광주 : 12.25 대전 : 27.62
22	336	0	0	336	
22.9	11,347	0.5	55	11,402.5	
계	11,921	17.5	58	11,996.5	

표 3. 外國製 154kV 지중송전선 현황

준공년월	선로명	길이 [c-m]	종 류	지 역	제 작 사
'71. 8	용산지중 T/L	1 - 5039	OFZE 1 × 600mm ²	서 울	住友(日)
'76. 2	부산 - 감천 "	1 - 728	OFAZE 1 × AL1000mm ²	부 산	BICC(英)
'76. 8	성동 - 홍인 "	1 - 3538	POF 1250 MCM	서 울	Okonite(美)
'76. 8	양평동-영등포 "	1 - 1668	OFAZE 1 × AL100mm ²	서 울	BICC(英)
'76. 8	당인리-순화 "	1 - 8090	POF 1250MCM	서 울	Okonite(美)
'77. 1	당인리-여의 "	1 - 5169	OFAZE 1 × 630mm ²	서 울	PESC(英)
'77. 3	순화 - 현저 "	1 - 2528	POF 1250MCM	서 울	Okonite(美)
'77. 4	중앙 - 홍인 "	1 - 3215	POF 1250MCM	서 울	Okonite(美)
'77. 5	순화 - 중앙 "	1 - 1666	POF 1250MCM	서 울	Okonite(美)
'77. 6	도봉 - 중암 "	1 - 5093	OFAZE 1 × AL1000mm ²	서 울	BICC(英)
'77. 7	동부산-서면 "	1 - 1383	OFAZE 1 × AL1000mm ²	부 산	BICC(英)
'77. 9	영도 "	1 - 710	OFAZE 1 × 400mm ²	부 산	BICC(英)
'77. 12	송현 - 인천 "	1 - 4440	OFAZE 1 × AL1000mm ²	인 천	BICC(英)
'78. 2	여의 - 용산 "	1 - 3177	OFAZE 1 × 630mm ²	서 울	BICC(英)
80.11	남부산-토성 "	1 - 1315	OFAZE 1 × 630mm ²	부 산	PESC(英)

1.7km) 지중선로를 끝으로 이후로는 더 이상 건설하지 않고 있으며 '96.12 현재 66kV 지중선로 12.46 c-km가 운전중에 있다.

국내최초 154kV지중선로는 1971년 당인리~용산간에 설치한 OF (Oil Filled) 케이블로서 일본쓰미토모社에 의해 製作 시공되었으며, 이후 美國製 POF(Pipe Type Oil Filled)케이블 및 英國製 OF 케이블이 AID 및 KFW 차관으로 도심지에 설치되었다.

이와같이 초기의 154kV 지중케이블은 주로 해외차관에 의해 설치됨으로서 차관 도입시기인 70년대에 집중 설치되었고 케이블의 종류도 아래표에서와 같이 다양하였다[표 3].

3. 最近의 地中送電線路 現況

3.1 154kV 以下 地中送電線

국내 154kV 지중송전선로에는 세계적으로 장기 신뢰성이 입증된 OF케이블을 '78년에 국산개발하여 사용해 왔으나, OF 케이블이 신뢰성이 높은 반면 給油設備가 복잡하여 유지보수가 용이하지 않고 絶緣油에 의한 환경오염 유발 등 단점이 있어 1983년 국내 케이블 제작사에 의해 절연특성이 우수한 XLPE 케이블이 개발되었으며, 이 개발품을 인천화력 引出線路(인천화력~송현S/S)에 설치하였다.

이후 XLPE 케이블은 변전소 인출등 비교적 단구간에 사용되었으나, OF 케이블에 비해 실사용기간이 짧아 長期信賴성이 입증되지 못하여 80년대 후반까지는 부분적으로 사용되어왔고 '90년대 들어 사용이 확대되었다.

1995. 2월 154kV급 이하 지중선로에는 全面 XLPE 케이블 사용방침이 결정되어 既設 OF케이블의 계통변경 등 일부를 제외하고는 XLPE 케이블을 사용하고 있으며 그 결과 '95년 이후 154kV XLPE 케이블 준공물량이 급증하게 되었다[표 4].

이상과 같이 당분간은 XLPE 케이블이 지중송전케이블의 주축을 이룰것으로 예상되는데 이는 다음과 같은 장점을 갖추고 있기 때문이다.

- (1) 케이블의 附屬設備가 단순해 시공, 維持補修가 간편하다.
 - (2) 동일규격의 OF 케이블에 비해 송전용량이 크다.
 - (3) 절연유가 없어 누유로 인한 환경오염을 유발하지 않는다
 - (4) 難燃性이 우수하다.
- '96. 12 월 현재 154kV 이하 지중송전선로 건설물량은 [표 5]와 같다.

3.2 345kV 地中送電線

345kV지중송전선로에는 1989년 국산개발된 OF 2000mm² 케이블이 사용되었으며 '97년 6월 현재 2개 선로(미금~성동, 양주~당인리)가 준공되었고, 2개 선로(신양재~신성남, 북부산~남부산)가 시공중에 있으며 2010년 까지 총 496 c-km가 건설될 전망이다[표 6].

표 4. 154kV 지중송전케이블 線種別 건설 추세

154kV지중T/L (년도별/선종별) 준공물량

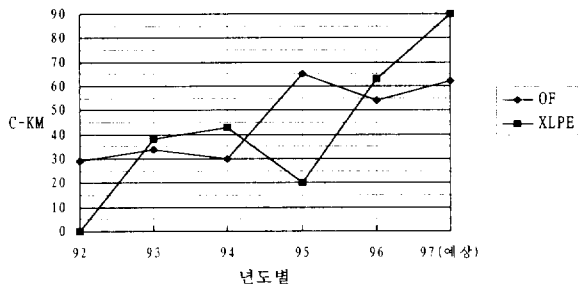


표 5. 154kV 이하 지중송전선로 현황 (c-km)

('96.12 현재)

선압	OF	XLPE	POF	계
154kV	568.7	215.6	37.2	821.5
66kV	2.4	10	-	12.4
계	571.1	225.6	37.2	833.9

특히 345kV 지중송전선로는 도심지 345kV 電力系統連繫 및 大電力 수송 등을 담당할 중요 선로임을 고려하여 선로의 신뢰성 및 안정성을 확보하고자 전구간을 전력구로 시공(송전용량 증대, 유지보수 원활)하고 있으며, 전력구내 화재시 케이블로 확산되지 않도록 케이블을 FRP 防災트라프에 내장시키고 있다. 또 한편으로는 송전용량 및 유지보수 측면에서 유리한 XLPE 케이블을 개발중에 있어 곧 실용화 될 전망이다.

또한 일부 전력구에는 장거리 지중선로를 PC Monitor를 통해 상시 감시·제어할수 있도록 최첨단 종합감시제어시스템을 시범 설치중에 있으며, 케이블의 송전용량증대, 전력구 순시 및 작업환경 개선을 위하여 냉각설비 시스템도

계획중에 있다

표 6. 345kV 지중송전선로 건설 현황 및 추세

선로명	선로종류	비고
미금~성동지중T/L	2 c- 16.7km	준공
양주~당인리 "	2 c- 7.8km	"
북부산~남부산 "	2 c- 22km	'98. 6 준공예정
신성남~신양재 "	2 c- 8.0km	'99. 6 준공예정
영서~영등포, 서인천~신부평 등	375 c-km	계획중('99~2010)
계	484 c-km	

(1) 전력구 종합감시제어 시스템 공사 개요

- 목적 : 전력설비 종합 운전정보 취득
- 설치구간 : 345kV 미금S/S~성동S/S 전력구 (16.7Km)
- 준공목표 : '98
- 감시제어설비 종류 및 감시제어항목

감시제어 항목	감시제어 설비	목적
케이블 및 전력구 온도	분포온도측정 장치	• 케이블 온도 상시 감시 • 화재 및 지락사고 검출
케이블 누유	유위센서	• 누유고장 조기감지
유해가스 농도	유해가스 센서	• 순시 및 작업자 안전도모
침수, 배수 펌프상태	배수설비원격 감시제어	• 침수로 인한 전력설비 손상방지
환기팬 원격 감시제어	환기팬	• 습기제거 및 환기팬 원격제어
출입자	적외선 센서	• 출입자 감시
출입문	근접 센서	• 출입문 개폐 감시
전력구내 상황	ITV	• 전력구내 상황을 수시로 감시

(2) 냉각설비 설치공사 개요

- 목적 : 케이블 송전용량 증대(약 140%) 및 전력구내 작업환경 개선
- 설치구간 : 345kV 미금S/S~성동S/S 전력구 (16.7Km)
- 준공목표 : 2000
- 설비종류 : 냉각탑, 냉동기, 순환펌프, 배관류 등
- 냉각방법 : 냉각설비에 의한 強制 水冷却

3.3 제주~육지간 DC 해저케이블

제주도의 전력계통 신뢰도 향상을 위하여 제주~육지간 국내 최초 DC 해저케이블을 건설중으로 케이블은 프랑스의 Alcatel Cable 社 (직·교류 변환소 제작, 시공 : 영국의 GEC Alsthom 社)가 제작, 시공하였으며 공사 개요는 다음과 같다.

- 구간 : 전남 해남~북제주 발전소
- 회선수 및 길이
 - 해저구간 : 96km, 2회선
 - 육지구간 : 5km, 2회선
- 케이블 종류
 - Solid Type (Massimpregnated Paper Insulated Cable)
 - 정격전압 : DC ± 180kV

- 정격용량 : 150 MVA, 2 Pole
- 준공 : '97년 예정

3.4 地中電力土木設備

地中電力土木設備에는 直埋式, 管路式, 電力溝式[개착, 터널]이 있는데, 부하가 적었던 初期에는 시공이 간단하고 공사비가 저렴한 직매식으로 케이블 2회선 정도를 설치하였으나, 부하가 계속 증가하면서 동일 經過地에 配電케이블을 포함(도로 이중굴착 방지)한 케이블 多回線설치가 요구되어 전력구식이 주로 채용되었다.

관로식의 경우 1980년대 초반까지는 콘크리트 홉관을 사용하였으며 관내경은 주로 $\Phi 250\text{mm}$, $\Phi 300\text{mm}$ 로서 관로 1공에 케이블 3조를 설치했다. 그러나 홉관은 시공성이 좋지 않아 1980년대 중반부터는 운반, 시공이 편리한 合成樹脂 波形管을 사용했는데 管内徑은 $\Phi 175\text{mm}$, $\Phi 200\text{mm}$ 로서 관로 1공에 케이블 1 조를 설치했다.

다회선의 지중선 수용을 위해 건설하고 있는 전력구의 경우 道路掘鑿에 따른 교통혼잡으로 도로굴착허가가 어렵게 되어, 최근에는 주로 지하 30~40m에서 掘進이 이루어지는 터널식이 주류를 이루고 있으나 공사비가 너무 비싸고(관로의 13 배, 개착식의 2배) 공기가 길어 지중선 공사의 어려움이 되고 있으며 이를 해소키 위해 도로개설, 지하철공사, 대규모 공단조성 또는 택지개발시 共同溝등 건설에 참여하고 있다

4. 地中送電線 向後 趨勢

세계경제의 꾸준한 성장과 생활수준의 향상에 따라 전력 소비가 급증하면서, 선진 각국에서는 어떻게 하면 발전소로부터 양질의 대전력을 부하중심지까지 최소의 비용으로 안전하게 수송할 수 있는가에 많은 관심을 갖고 연구개발에 전념하고 있다.

특히 대도시 인구밀집지역의 경우에는 초고압가공송전선 건설이 거의 불가능하여 도시외곽지대 부터 도심지까지는 지중송전선으로 계통구성을 해야하며 지중선에 의한 대전력 수송을 위해서는 저손실 대용량 케이블 개발, 나아가 초전도 케이블의 개발이 시급하다. 최근의 기술동향을 살펴보면 도체의 경우 압축연선, 소선절연, 도체분할 등을 통하여 도체손실을 줄이고 있으며

절연재료의 경우 OF 케이블은 저손실 절연지인 반합성지를 사용하여 송전용량을 증가시키고, XLPE 케이블은 고품질의 절연재료 및 제조공정기술의 향상을 통하여 절연두께를 줄이는데 전력을 기울이고있다.

초전도케이블의 경우 미국, 일본 등 선진국에서 연구가 활발히 진행되고 있으며 우리나라에서도 1991년도에 한국전기연구소에서 154kV, 800 MVA 극저온 저손실케이블을 개발하였고 154kV, 3 GVA 초전도 케이블을 '99년 개발을 목표로 연구중에 있으며, 2010년 경에 실용화될 전망으로 좋은 연구결과가 기대된다.

5. 結論

지중선은 가공선에 비해 공급신뢰성이 높고, 설비보안에 유리하며, 도시미관을 阻害하지 않는 長點이 있지만 공사비가 가공선의 12~20배 정도 고가이어서 공사에 막대한 투자비가 소요되기 때문에 가공선건설이 곤란한 도심지역을 제외하고는 지중선건설을 止揚하고 있다. 그러나 국가경제가 성장함에 따라 국민생활권이 도심지로 集中하면서 도시가 過密해 졌고 이로인해 도심부하가 급증하여 오히려 지중선건설은 날로 증가하고 있는 실정이다.

또한 지중선건설에는 막대한 投資財源 확보외에도 사업에 어려움이 많은데 그중에 대표적인 것이 지중토목설비를 적기에 건설하는 것으로서 이 어려움은 앞으로의 차량증가에 따른 도로혼잡과 함께 더욱 심화될 전망이다 이에 대한 근본대책 마련이 시급하다.

이상과 같은 觀點에서 볼때 향후 지중선분야 기술은 케이블 Compact 화 및 저손실 대용량 케이블 및 신공법 개발에 주력해야 할 것이다.

특히 막대한 투자비를 들여 건설한 지중선은 그 壽命期間동안에 고장없이 고품질의 전력을 수용가에 공급하는데 이상이 없어야 하며, 이는 설비운영의 과학화를 통하여 지속적으로 케이블 성능을 保存하므로써 가능하다고 하겠다. 끝으로 앞으로의 지중분야에 대한 21 세기의 비전은 부단한 연구개발을 통해 저손실 대용량, 초전도 케이블, 신공법 등을 개발하는 것이며 이를 위해 産·學·研의 긴밀한 협조 및 과감한 연구개발투자가 뒷받침되어야 할것이다.

참 고 문 헌

- [1] 韓國電氣 百年史 [89.11.10 韓電]
- [2] 地中送電設備 統計資料 [96.12. 韓電 送變電處]
- [3] 配電地中 設備調書[96.12. 韓電 配電處]
- [4] 基本/實施 設計報告書(345kV 미급~성동 電力溝 綜合監視制御시스템) [95.6/96.6. 韓電 345kV 建設處]
- [5] 低損失 超高壓 電氣材料 開發研究 報告書[90.7. 韓國電氣研究所]

저 자 소 개



尹亨義(尹亨義)

1954년 10월 20일생, 동국대 공대 전기공학과 졸업. 1979년 한국전력공사 입사, 남서울전력관리처, 본사 송변전처 지중선 담당. 1989. 10. 15~12. 11 전력계통 신뢰도향상 교육과정 수료 [美國]. 1991년 제전전력관리처 변전과장. 1993년~현재 본사 송변전건설처 지중선 담당 부장대리. 1995년 IERE WORKSHOP (Underground Cable) 參加 [카나다]