

345kV 미금~성동변전소간 장거리 지중송전선로 준공

김 영, 성정규* / 고정성, 한기종
대한전선(주) / LG 전선(주)

The first installation of 345kV long-length transmission line between Mikyum and Sungdong substation in Korea

Y. Kim, J.K. Seong / C.S. Go, K.J. Han
Taihan Electric Wire Co., Ltd. / LG Cable & Machinery Ltd.

[Abstract]

The first 154kV underground transmission line of Korea was installed between Danginri and Yongsan substation in 1974. Since then, the underground transmission lines of about 720 circuit-km had been installed up to 1995. As the national economy has been enlarged and the population of city has been rapidly increased, the demand of an electric power has been very increased. Therefore the first 345kV long-length transmission line of Korea was installed between Mikyum and Songdong substation on Jan., 1997.

This paper describes the design of the 345kV oil-filled cable and its accessories, the design of the system, the methods of installation, field tests, and the future trends of the underground transmission line in Korea.

1. 서 론

1970년대 초까지 국내의 초고압 송전방식으로 발전소에서 생산된 전력을 철탑을 통해 가공으로 수송까지 송전하는 가공송전방식이 채용되어 왔으나, 대도시 지역에서는 환경 문제 및 도시 미관등의 문제에 부딪혀 지중케이블에 의한 지중송전방식을 선호하게 되었다. 1980년에 국내 업체에 의해 154kV 유입(Oil-filled) 케이블이 국산화되어 개봉~오류변전소간에 지중송전선로가 준공된 이후, 1995년 말까지 국내에서 720 C-km의 지중송전선로가 건설되었다. 한편, 국가경제의 규모가 대형화되고, 도시인구가 급증하고, 국민의 문화수준이 향상됨에 따라 전력전송의 대용량화와 고신뢰화에 대한 필요성이 증대되었다. 한국전력공사는 도시지의 대전력 공급을 위하여 345kV 송전선로의 지중화를 계획하여 2000년 까지 약 216 C-km의 345kV 지중송전선로를 건설할 계획이다. 이에 대한 전선(주)와 LG 전선(주)은 구간길이 17km인 미금~성동변전소간에 345kV 장거리 지중송전선로를 약 4년간의 공사 끝에 1997년 1월에 준공하였다.

본고에서는 미금~성동변전소간 지중송전선로의 건설에 적용된 케이블 및 부속재의 설계, 계통 설계, 시공 기술, 준공 검사, 그리고 국내 지중선로의 향후 전망에 대하여 기술하고자 한다.

2. 케이블 및 부속재 설계

2.1 케이블 설계

OF(Oil-filled, 유입)케이블은 절연체 전력케이블의 한 종류로서 도체위에 양질의 Kraft 절연지를 감고 그 외주를 금속 시스로 피복한 후 그 속에 압력을 가한 저점도 절연유를 충전하여 절연지에 합침한 구조의 케이블을 말한다. [표 1]은 본 케이블에 적용된 기본 설계조건을 보여주고 있으며 [표 2]는 그 설계조건 따라 제작된 케이블의 구조를 보여주고 있다.

2.1.1. 도체

도체는 전기용 연동선을 소선으로 연합하고 케이블의 외경을 작게하기 위하여 압축하였다. 도체의 표피효과를 줄이기

[표 1] 설계기본조건

NO	항 목	설계조건
1	정격전압	
	- 공칭전압	345kV
	- 최대사용전압	362kV
2	주파수	60Hz
3	기준충격절연강도(BIL)	1300kV
4	접지방식	중성점 직접접지
5	고장용량	40kA/1.7sec
6	선로손실율	0.75
7	최대주위온도변화	40℃~20℃
8	케이블 최대허용유압	
	- 상시	8kg/cm ² .G
	- 과도시	14kg/cm ² .G
9	도체 최고허용온도	
	- 상시(연속)	85℃
	- 단시간(10시간)	95℃
	- 단락시	150℃

위하여 6 분할도체(Segment)로 분할하였고, 유통로를 중심으로 S코임으로 연합하고 세그먼트 사이에 절연지로 절연시켜 분할하였다. 도체 단면적은 선로의 송전용량에 맞추기 위하여 2000mm²로 하였다.

2.1.2. 절연체

2.1.2.1. 절연체 두께

OF 케이블의 경우, 절연 두께의 결정은 뇌충격 파괴전압, 상용주파 파괴전압과 개폐충격 파괴전압을 기준으로 결정한다. 뇌충격 파괴전압과 상용주파 파괴전압과의 비는 2.0 ~ 2.5 정도이고, 개폐충격 파괴전압은 뇌충격 파괴전압의 90% 정도이다. 따라서 뇌충격 파괴강도를 기준으로 절연 두께는 결정된다. 뇌충격 파괴전압은 BIL(Basic Impulse Insulation Level, 기준충격 절연강도)의 120%가 채용되고 실제 파괴치는 BIL의 140 ~ 150% 정도이다.

2.1.2.2. 절연지

절연체중 발생하는 유전체 손실을 줄이기 위하여 저손실 Kraft지가 사용되었고, 절연지의 구성은 도체 주위에는 대단히 큰 전계가 걸리므로 고밀도 및 고기밀도의 절연지를 감아 내전압의 향상을 기했으며, 절연지의 외층에는 저밀도 절연지를 감아 기계적 강도를 증가시키고 유전체 손실을 경감할 수 있도록 설계하였다. 종이 두께는 100~200μm의 절연지를 사용하여 전기적 특성과 기계적 특성을 향상시켰다.

2.1.2.3. 절연유

절연유는 광유와 합성유가 실용화되었으나 본 선로에서는 장기 안전성이 우수한 특성을 가진 Hard-Alkylbenzene계 합성유를 사용하였다.

2.1.3. 금속 시스

금속시스는 절연체를 보호하고 절연유의 유압에 견디며, 수분침투의 방지, 고장전류의 커로 및 전기적 차폐등의 기능을 가지고 있다. 금속시스로서는 초기에는 연(鉛)이 주로 사용되었지만, 최근에는 알루미늄이 보편적으로 채용되고 있다. 금속시스의 두께는 상시 최대허용유압($P=8kg/cm^2G$)에 3배의 안전율을 고려한 약 $25kg/cm^2$ 의 유압에 견딜 수 있는 두께로 설계하였다. 케이블의 열신축, 허용곡률반경 그리고 축압동에 의한 금속시스의 왜(歪)를 감상시키기 위하여 파부형(Corrugated)구조로 하였다.

2.1.4. 방식층

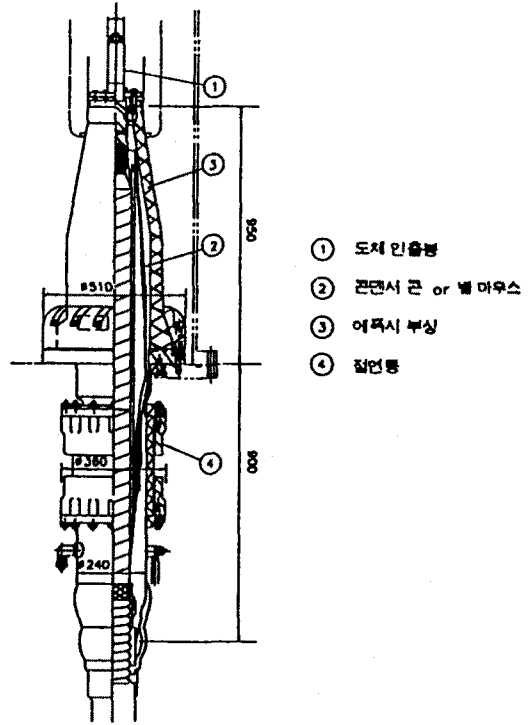
방식층은 금속시스의 외상과 부식을 방지하기 위하여 금속시스 주위에 피복하며, 방식층의 재료로는 전기적 특성, 내약 특성, 내연성, 내마모성 등이 우수한 PVC(Polyvinyl chloride)를 사용하였다.

2.1.5. 유통로

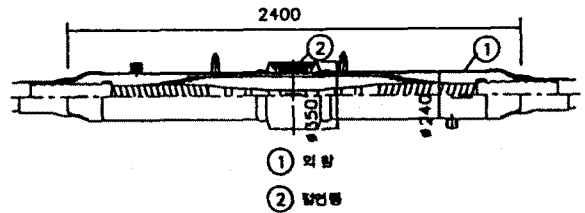
절연유의 팽창, 수축시 절연유의 봉로가 되는 유통로는 특수 아연도강대를 사용하여 나선형으로 도체의 중앙부에 넣어 그 주위에 도체를 연합하였다.

[표 2] 케이블 구조표

항 목	단 위	치 수
공칭 전압		kV 345
유통로	재 질	- 아연도강대
	내 경	mm 18.0
도체	재 질	- 동
	외 경	mm 58.8
절연체	재 질	- 크라프트지
	두께	mm 23.4
동선외입포 두께	mm	0.3
금속시스	재 질	- 파부형 알루미늄
	두께	mm 2.7
방식층	재 질	- PVC
	두께	mm 6.0
케이블 최대외경	mm	140
직류 최대도체저항	Ω/km	0.00915
최대정전용량	$\mu F/km$	0.37
최대절연저항(20℃)	$M\Omega \cdot km$	27,000
계산중량	kg/km	37,000



[그림 1] 가스중 종단접속함



[그림 2] 절연 접속함

2.2. 부속재 설계

2.2.1. 종단 접속재

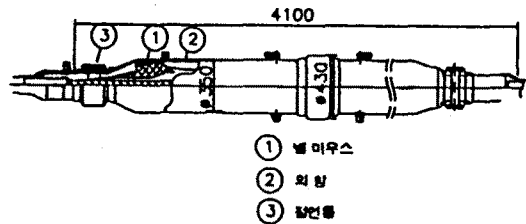
종단 접속재는 기중 종단접속함(EB-A), 가스중 종단접속함(EB-G), 유중 종단접속함(EB-O)이 있으며 본 선로에서는 가스중 종단접속함이 사용되었다. 전기 및 기계적 강도는 케이블과 동등 이상으로 주변 기기와 잘 조화될 수 있도록 설계하였다. 종단접속함 내부의 전계 제어와 경감을 위하여 Bell-Mouth방식과 콘덴서 콘(Condenser Cone)방식이 사용되었다.

2.2.2. 중간 접속재

중간 접속재는 보통 접속함(NJ), 절연 접속함(IJ), 유지 접속함(SJ) 그리고 유지절연 접속함(SIJ)이 사용되었으며 전기 및 기계적 강도는 케이블과 동등 이상으로 설계되었다. NJ는 케이블을 단순히 접속시키며 IJ는 좌우의 금속시스를 분리하여 금속시스 손실을 저감하고 승전용량을 증대할 목적으로 사용되었다. SJ와 SIJ는 선로 중간에서 급유구간을 분할하기 위하여 사용되며, SJ는 전기적으로는 NJ의 기능을, SIJ는 IJ의 기능을 수행한다.

2.2.3. 급유 설비

급유설비는 절연유의 수급을 담당하는 급유조와 유압 및 유량의 변화를 감시하는 경보장치로 구분된다. 급유조로서는 압력유조(PT, Pressure Tank)와 벨로우즈형 압력유조(BPT, Bellows-type PT)가 사용되었다. 경보장치로는 밸브판넬(VP, Valve Pannel), 단자함(TB, Terminal Box), 및 경보수신장치



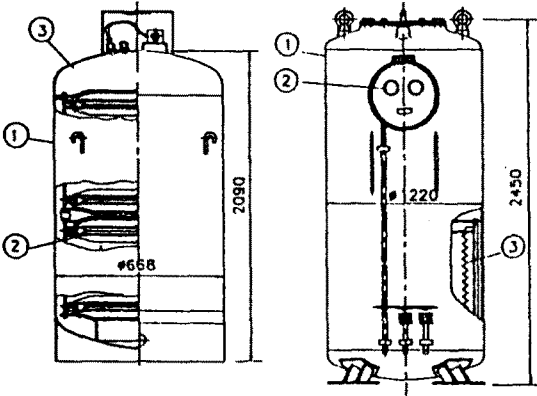
[그림 3] 유지절연 접속함

(AR, Abram Reciever)로 구성된다. PT의 경우, VP에 경보접점을 부착하여 이상 유압변화가 발생하면 AR이 이를 수신하여 경보를 울린다. BPT의 경우, BPT 자체의 연성계에서 경보접점이 부착되어 있으며 이상 유압 및 유량 변화가 발생하면 TB를 거쳐 AR이 이를 수신하여 경보를 울린다.

2.2.4. 기타 부속재

기타 부속재로는 방식층 보호장치, 절연통 보호장치, 급유구 그리고 방제트리후등이 사용되었다. 방식층 보호장치는 시스에 이상전류가 발생한 경우 대지로 방류시키며 절연통 보

호장치는 이상전위로부터 EB-G 및 JJ의 절연통을 보호하기 위한 장치이다. 방재 트러푸는 화재나 기타 위험으로부터 케이블을 보호한다.



- ① 외함
- ② 셸
- ③ 절연유

[그림 4] 압력유조

- ① 외함
- ② 연상계
- ③ 벨로우즈

[그림 5] 벨로우즈형 압력유조

3. 계통 설계

3.1 선로 구성

본 선로는 총길이가 약 17km이고 중단점속은 2개소, 중간점속은 44개소이다. 중간점속중 6개소는 유지점속을 하여 급유구간을 7개 구간으로 분리하였다. 급속시스템 접지방식은 Cross-Bonding 접지방식의 일종인 교락 비접지방식을 채용하였다.

3.2 급유 설계

OF 케이블의 경우, 주위 온도변화와 부하변동에 의하여 절연유가 팽창 및 수축하며, 이로 인한 유량의 증감을 보상하기 위하여 급유조가 설치된다. 급유구간은 6개 구간으로 분리하였으며, 구간 길이 및 고저도에 따라 편단 급유방식과 양단 급유방식을 채용하였다. 벨로우즈형 압력유조(BPT)는 급유구간길이에 영향을 받지 않는 잇점이 있어 주급유설비로서 사용되었고 압력유조(PT)는 보상용으로 사용하였다.

3.3 급속시스템 접지 설계

단심 케이블의 경우, 부하전류로 인한 전자유도현상에 의하여 급속시스템에 전위가 유기되고 도체에 서지가 침입할 경우 급속시스템에 서지성 이상전위가 발생하기 때문에 급속시스템 접지하여야 한다. 본 선로에서는 국내에서 처음으로 급속시스템 접지방식으로서 Cross-bonding 접지방식의 일종인 교락비접지방식을 채용하였다. 이 방식은 JJ와 SIJ 접속부에서 양단의 급속시스템을 연가하여 유기전위를 감소시키며 I점속부 양단의 급속시스템에 By-pass형 어레스터(절연통 보호장치)를 설치하여 접속부의 절연통을 보호는 방식이다. 154kV급 선로에서도 Cross-bonding 대지간 접지방식이 주로 사용되었지만 최근에 이 방식에 많은 문제점이 제기되어 교락비접지 방식으로 변경되었다.

4. 시공

4.1 케이블 포설

케이블은 전력구 벽면에 약 400mm높이에 설치된 600형 FRP제 방재 트러푸 내에 3상 Trefoil로 설치되며 전력구에 인입력 1000kg의 Hauling Machine 및 특수 가이드 롤러를 사용하여 포설하였다.

4.2 스네이크 포설

전력구에서 케이블은 온도변화에 따라 열신축이 발생하고 열신축에 의해 급속시스템에 균열을 일으켜 케이블에 손상이

발생할 수 있다. 이를 방지하기 위하여 꾸불꾸불(Snake모양)하게 케이블을 포설하는 것을 스네이크 포설이라 한다. 방재 트러푸내에서 작업이 가능하도록 특수제작된 Bending Machine을 사용하였으며 스네이크 취부후 복원 및 비틀림등을 방지하기 위하여 케이블을 스네이크 형상으로 일정 시간 구속하여 형상의 안정을 도모하였다.

4.3 접속

중단 및 중간 점속함의 접속은 조립도면에 의거 철저한 품질관리체계를 확립하여 시공되었다. 특히 접속부에는 공조하우스를 설치하여 온도 및 습도 관리에 철저를 기했고, 각 작업 공정별로 품질기능 관리표를 작성하여 관리 항목 및 관리 포인트를 설정한 후 작업을 시행하였다.

5. 준공검사

5.1 경보회로 동작시험

경보장치를 설치하고 유압계의 경보용 지침을 설정점에 하여 경보장치의 동작이 이상 없음을 확인하였다.

5.2 유류저항 측정

제조공정중 또는 케이블 포설중 유종로 변형유무를 측정하기 위하여 급유단의 반대측에 압력계를 달고 유류가 안정된 상태에서 유류를 방류시켜 방출유량과 압력변화를 측정하여 유류저항을 측정하였다.

5.3 가스정수 측정

절연유에 함유된 보이드의 정도를 파악하기 위하여 가스정수 측정을 시행하였다. 이 측정은 케이블을 가압하여 유종의 가스를 압축시킨 뒤 벨브를 닫고 가스 팽창을 유의 방출량으로 3회 이상 측정하여 적용방출계수가 0.04이하이어야 한다.

5.4 절연체 내전압시험

케이블의 포설중 발생하는 케이블 절연체의 이상유무를 확인하기 위하여 절연체 내전압시험을 시행하였다. 이 시험은 케이블 도체와 급속시스템에 직류 522kV/10분간을 가하여 절연체에 흐르는 누설전류를 측정하여 시행하였다.

5.5 기타 시험

기타 시험으로 상확인 시험, 선로정수 측정, 절연저항 측정 등이 행해졌다.

6. 향후 전망

대도시의 전력수요는 계속해서 증가할 전망이다. 향후 환경 문제는 계속해서 국민의 주요 관심사로 남게될 전망이다. 지중송전의 대전력, 대용량화가 불가피하게 되었다. 한국전력 공사는 증가하는 전력수요를 충족시키기 위하여 송전전압을 765kV의 전압으로 격상하였으며, 제 1단계사업으로 1998년 말까지 340km의 765kV 송전선로를 건설할 계획이다. 또한, 2000년까지 약 216 C-km의 345kV 지중송전선로를 건설할 계획이다. 최근에는 345kV급 OF 부속재가 국산화되어 개발 시험중에 있어 지중선로 건설에 따른 비용도 감소하게 되었다. 현재 345kV급 XLPE 전력케이블에 대한 개발이 진행중에 있어 대도시내에 송전선로의 지중화가 더욱 가속화될 전망이다.

[참 고 문 헌]

[1] KEPCO, "345kV 알미늄피 유입케이블용 부속재 구매규격", 1995.
 [2] 구자윤외, "Application of 345kV OF Cable Substituting for GIB at Thermal Power Plant", CIGRE 1994, Report 21-302.
 [3] D. McAllister, "Electric Cables Handbook", 1982, Granada Technical Books Ltd.
 [4] Edison Electric Institute, "Underground Systems Reference Book".