

# 신지중배전케이블

한민구\* · 한용희\*\* · 권성대\*\*\*

(\* 서울대 공대 전기공학과 교수

\*\* 한국전력 배전처 지중선부장

\*\*\* 국제전선 이사)

## 1. 머리말

지중배전은 종래 대도시를 중심으로 수요증가에 대비한 공급력의 확보, 공급신뢰도 향상, 설비안전 및 도시미관 등을 고려하여 추진돼 왔다. 초창기의 기자재 품질 미흡, 지중설비의 운영미숙 및 지중분야의 인적자원 부족, 도로굴착의 어려운 여건을 극복하면서 도심재개발, 신도시 건설, 아파트 단지 건설에 따라 지중설비는 꾸준히 증가돼 왔다.

앞으로도 국민소득 향상과 더불어 쾌적한 생활환경 욕구와 정보화 사회의 진전, 도시기능의 고도화 등으로 산업분야에서 가정에 이르기까지 전기의 역할이 커짐에 따라 신뢰성에 대한 욕구 증가로 지중화 요구가 증대되고, 향후엔 기존설비에 대한 과학적인 열화진단 및 예방보수, 설비운영의 합리화, 고품질 기자재개발 등에 노력을 기울여야겠다.

여기서는 지중배전 케이블설비의 현황과 향후 신지중배전 케이블 분야의 케이블의 차수화(遮水化) 및 고품질 절연체(WTR-XLPE)에 대하여 소개코자 한다.

## 2. 지중배전 케이블 설비 현황

### 2.1 지중케이블 역사

1929년 1만 KW 당인리 화력발전소 건설에 따라서 당인리~영등포 간(地中 0.49 Km, 水底 1.4Km)과 아현동~순화동 간(지중 2.1Km)에 22KV

SLTA(Separately Lead Sheathed, Steel Tape Armoured, 3심 200mm<sup>2</sup>) 2회선을 직매식으로 건설한 것이 시초이며 1935년에는 경성전기가 수색변전소에서 수전에 대비하여 현저동~종로 간에 관로식으로 22KV 지중선로를 건설한 바 있으며 이후 을지로, 동대문, 원효로 등 시내 중심부의 변전소 간에 22KV 지중선로가 건설되었다.

### 2.2 지중케이블 급증

1961년 3사(경성전기, 남선전기, 조선전업) 통합 당시의 22KV 지중배전 설비는 약 40Km이었으며, 그 후 70년대에 들어서 산업발전의 급성장, 도심재개발에 따른 건물 대형화 추세로 부하밀도가 높아짐에 따라 배전선로의 지중화사업이 크게 촉진되었으며, 도심의 전력 확보, 신도시 개발, 공단, 관광단지 등에 대한 지중배전설비가 급증되어 도시미관이나 공중에 대한 안전 등에 크게 기여하였다 하겠다.

표 2.1 지중선로 증가추이

년도별	'61	'87	'88	'89	'90	'91	'92
증장(C-Km)	40	2,520	2,917	3,654	4,320	5,179	6,114
지중화율(%)	-	2.7	3.0	3.6	4.1	4.6	5.1

\*외국의 지중화율

- 일 본('89) : 3.4%(동 경 : 32.5%)
- 대 만('91) : 13.0%(타이페이 : 70%)
- 프랑스('92) : 30.0%(파 리 : 100%)
- 영 국('89) : 60.0%(런 던 : 100%)

표 2.2 배전설비 현황

'92. 말

구 분		도시별							
		서 울	부 산	대 구	인 천	광 주	대 전	기 타	계
공 장 (C-Km)	가 공	4,686	2,295	2,015	2,190	2,510	1,883	97,052	112,631
	지 중	2,730	359	202	377	168	310	1,968	6,114
지중화율(%)		36.8	13.5	9.1	14.7	6.3	14.1	2.0	5.1

### 3. 지중배전케이블 사용변천

#### 3.1 CV 케이블의 개발 사용

70년대 이전까지는 SL 케이블이나 EV케이블을 주로 사용하였으나 1970년 7월 국내에서 처음 CV 케이블이 개발되어 1972년 하반기부터 사용되기 시작하였다.

#### 3.2 CV 케이블의 적용 규격

도체는 동도체로서 60mm<sup>2</sup>, 200mm<sup>2</sup>, 325mm<sup>2</sup> 3종류의 규격을 주로 사용하고 있으며, 절연체 두께는 7.4mm (최소 6.6mm), 중성선은 도체단면적이 1/3 단면적을 사용하고 있다.

#### 3.3 CV 케이블 규격 변천

CV케이블 규격은 아래와 같이 변천되어 오면서 케이블의 품질이 향상되어 왔다.

표 3.1 CV 케이블 규격 변천

내용/ 연대별	70년대	80년대	90년대
도 체	동 도 체	동 도 체	동 도 체
내·외부 반도전층	Tape(Carbon)	Compound	Compound
절 연 체	가교폴리에틸렌	가교폴리에틸렌	가교폴리에틸렌 (고품질 WTR)
중 성 선	Without	With	With
가교방식	습 식	건 식	건 식
압출방식	-	내부반도전층 압출 (내부.절연체+외부)	3층 동시 압출 (내부.절연체.외부)
遮 水	-	-	도체 수밀 및 Water
시 - 스	-	-	Blocking
			고 강 도

표 3.2 매설 위치별 케이블 공장('92 말)

(단위 : Km)

구 분	직 매	관 로	전 력 구	해 저	계
공 장	1,299	4,096	660	59	6,114

표 3.3 전압 및 케이블 종류별 공장('92 말)

(단위 : Km)

전압 (kV)	CV Cable	EV Cable	해저 Cable	계
6.6	270	21	3	294
22	342	-	-	342
22.9	5,422	-	56	5,478
계	6,034	21	59	6,114

표 3.4 케이블의 주요재질 특성

기공 (Void)		크 기	70 $\mu\text{m}$ 이하
		허용수량	0.05 mm 이상의 30개 / 16 $\text{cm}^2$
이 물 질	반 투 명	크 기	250 $\mu\text{m}$ 이하
		허용수량	0.05 mm 이상이 15개 / 16 $\text{cm}^2$
	불 투 명	크 기	100 $\mu\text{m}$ 이하 ( Radial Vector Projection)
부분 방 전 특 성			23 KV 에서 5 PC 이하
$\tan \delta$			13.2 KV 에서 0.3% 이하 ( 상온 )

#### 4. 지중배전 케이블의 遮水化

##### 4.1 水密形 CV 케이블

케이블 포설 및 사용중에는 케이블의 사용지역이 광범위하여 항상 물과 유해환경에 접할 수 있으므로 이 때 물이 케이블 내부에 침투하게 되면 Water tree 등에 의한 절연파괴로 인하여 케이블의 수명이 급격히 감소하므로 가능한한 물이 케이블에 접하지 않도록 하여야 하나 케이블이 포설된 장소가 완전하지 못하므로 케이블의 방사방향(Radial)으로 침투하는 물을 차단하기 위하여 사용되는 방수재(Water Barrier)와 길이방향(Longitudinal)으로 침입, 전파되지 못하도록 중간에서 차단해 주는 遮水材(Water Blocking)가 사용되고 있다.

##### 4.2 Water Interception의 종류

물이 케이블에 침입, 전파방지를 위한 재료는 금속방수재료, 도체의 수밀재료 및 차폐층의 차수재료가 사용되고 있다.

##### 4.2.1 Metallic Water Barrier

###### • Metallic Sheath

케이블의 금속 시-스는 케이블의 포설 및 사용중 외상 발생 또는 케이블의 Radial 방향으로 물이 침투하는 것을 방지하기 위하여 충격강도의 보완 및 방수의 목적으로 사용되며, 이들 금속 시-스 재료는 Lead, Aluminium 이 주로 사용되고 있고, 주로 송전케이블에 사용되고 있다.

###### • Metallic Laminate

Laminate 재료는 케이블의 Radial 방향으로 침투되는 물을 차단하기 위하여 금속 Foil에 Laminate를 적층시켜 방수효과를 가지는것으로서 케이

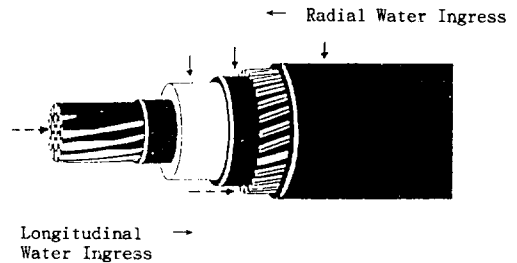


그림 4.1 케이블의 대표적 구조와 물의 침입

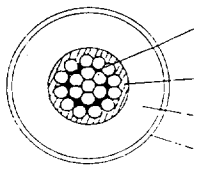
표 4.1 도체 수밀 Compound 의 특성

항 목	단 위	규 격
외 관	-	이물질이 없을 것
체적저항 (상온)	$\Omega \cdot \text{m}$	100 이하
Mooney 점도 at 100°C	ML1+4	30 $\pm$ 10
Compatibility	-	양호할 것

블의 제조시 길이방향으로 금속 Laminate Tape를 원형으로 포개어 중첩하여 접착, 밀착시켜 물의 침입을 방지하는 Lead Laminate 등이 사용되고 있다.

##### 4.2.2 Conductor Water Barrier

물이 케이블 내부에 침투하게 되면 도체에 침투된 물로 인하여 절연체의 내부에 Water tree가 발생하게 되고, 이로 인하여 케이블의 수명이 급격히 단축될 수 있으므로 해저 및 수저용 케이블 또는 노출된 케이블 단말부의 도체 소선 사이에 침투되어 전파되는 물을 차단해 줄 수 있는 재료가 필



수밀재료  
( Compound 또는 Yarn )  
내부반도전층  
절연체  
외부반도전층

그림 4.2 도체수밀 구조

요하다.

• 습식 수밀 재료(Wet type)

케이블의 도체에 사용되는 습식의 수밀재료는 Maker에 따라 제조방식이 틀리며, 수밀 Compound를 사용하는 방법이 많이 사용되고 있으나, 수밀 Compound는 포설후 접속작업 또는 취급에 어려운 점이 있다.

• 건식 수밀 재료(Dry type)

건식의 도체 수밀재료로는 부풀음絲로서 Water Blocking Yarn(WBY)를 도체 소선사이에 적당량을 도체 작업시 삽입하여 도체에 물이 침투하면 부풀음絲(WBY)가 Gel 상태로 부풀어 물이 케이블 길이 방향으로 침투하는 것을 방지하는 목적으로 사용되고 있으며, 다심케이블의 연합시 생기는 공간에도 충전물로 사용하여 차수목적으로 사용되고 있다.

4.2.3 차수재료(Water Blocking)

Water Blocking 재료는 주로 Swellable Powder로 되어 있으며, 가공성을 고려하여 Sheet

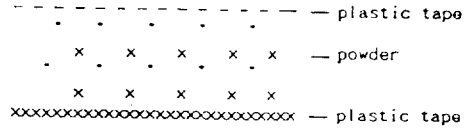


그림 4.3 Water Blocking Type 구조

또는 Yarn에 접촉하게 하여 사용하고 있으며, 세계적으로 약 15년전부터 널리 사용되고 있다.

Swellable Powder의 친수성 및 부풀음 특성을 이용하여 물이 Powder와 접촉하게 되면 Powder가 연속적인 Flexible Cross-linking하므로써 Gel 상태로 이르게 된다. 이렇게 Swellable Powder를 Tape Sheet에 적용한 것을 Water Blocking Tape라 하며, 絲(Yarn)에 적용하게 되면 Water Blocking Yarn이란 한다.

이 때 Water Blocking Tape는 아래와 같이 사용하고 있다.

• Semi-conductive Water Blocking Tape (SWBT)

전력케이블의 절연차폐와 금속차폐의 사이에 차수성능을 가지며, 전기적으로 연결시켜주는 역할을 하므로 반드시 Semi-conductive Water Blocking Tape가 사용되어야 한다.

• Non-conductive Water Blocking Tape (NWBT)

케이블의 차폐층과 시-스의 사이에 차수 성능을 가지며, Binder 역할을 해주므로 경제적인 측면에서 Non-conductive Water Blocking Tape를

표 4.2 Semi-conductive Nonwoven Tape의 특성

Composition : 100% Polyester Fibres with Carbon Black

Weight	DIN 53854	110	g / m <sup>2</sup>
Thickness	DIN 16952	0.14	mm
Tensile strength	DIN 53857	95	N / cm
Elongation	DIN 53857	16	%
Surface resistance	DIN 53482	1500	Ω / □
Volume resistance		10 <sup>4</sup>	Ω cm
Moisture absorption	21 ℃, 65 %	0.5	%
Long term stability		145	℃
Max working temp		230	℃
Swelling height			mm

**표 4.3** Non-conductive Water Blocking Tape(non-corrosive)의 특성  
Composition : Polyester Fibres, Synthetic Swelling Powder

Weight	DIN 53854	100	g / m <sup>2</sup>
Thickness	DIN 16952	0.33	mm
Tensile strength	DIN 53857	32	N / cm
Elongation	DIN 53857	16	%
Surface resistance	DIN 53482	-	Ω / □
Moisture absorption	21 °C, 65 %	9	%
Long term stability		90	°C
Max working temp		160	°C
Swelling height		> 7	mm

사용하게 된다.

특성을 갖고 있다.

**5. WTR(Water Tree Retardant) - XLPE 절연체 개발**

**5.1 가교폴리에틸렌(XLPE)이란?**

일반적으로 CV 케이블은 절연체가 Cross-linked Polyethylene에서 Initial Letter의 "C"와 시스가 Vinyl Sheath에서의 "V"의 의미로 Polyethylene은 전기적, 화학적 및 기계적 특성이 우수하여 전력케이블의 절연체로 널리 사용되어 왔으나 Polyethylene은 분자구조가 선상 (Wave Form)으로 되어있기 때문에 전력케이블의 요구 조건중 하나인 내열특성이 취약하기 때문에 대용량 및 고압케이블에 사용하기에는 한계가 있다. 그러나 가교폴리에틸렌(XLPE) 절연체는 Polyethylene이 가지고 있는 분자의 구조에다 가교반응첨가제를 사용하여 입체공간 망상구조로 변화시킨 것으로서 분자결합을 강화시킨 것이다. 따라서 가교폴리에틸렌은 열적, 기계적, 화학적 특성이 일반 Polyethylene보다 월등히 우수하며, 허용전류면에서도 좋은

**5.2 전력케이블의 트리 현상**

전력케이블의 절연과피는 트리현상으로서 대표될 수 있는 Prebreakdown 현상이 계속일어나 결국 전력케이블의 절연층이 절연과피를 겪게 된다. 이러한 트리현상은 전기트리, 수트리, 화학트리로 요약할 수 있다.

**5.2.1 전기트리**

절연층내에 존재하는 Void에 차있는 가스가 높은 전압의 영향으로 부분방전을 일으켜 발생하며, 일단 부분방전이 일어나면 주변의 고분자가 심하게 열화되어 가연가스를 발생시킴으로써 가연가스로 차있는 Void가 생기고 따라서 다시 부분방전이 일어나는 현상이 계속 되풀이 됨으로써 결국 전기트리는 성장하게 된다. 전기트리는 절연체 내부에 존재하는 불순물 또는 Void 등에 의하여 발생하는 Bow-tie 트리와 절연체와 Strand Shield 사이의 계면(界面)에서 돌출물 또는 Delamination에 의하여 발생하는 Vented tree로 구분되는데 Bow-tie

**표 5.1** 전력케이블의 절연체별 도체허용온도

Material Name	최 대 도 체 허 용 온 도 (°C)		
	정 상 조 건	단 시 간 조 건	단 락 조 건
XLPE	90	130	250
PE	75	95	120
PVC	60	75	120
BR	80	80	230

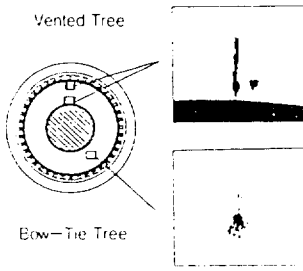


그림 5.1 XLPE 케이블의 수트리

트리보다는 Vented tree가 반도체층으로부터 발생하여 뺏어가기 때문에 절연파괴를 일으키는 직접적인 원인이 될 수 있다.

### 5.2.2 수트리와 절연특성

수트리는 전기트리와 달리 비교적 낮은 전압에서 전압과 수분의 복합작용에 의하여 일반적으로 Bush 형태로 성장하는 트리이다. 이 수트리는 1970년 초 절연파괴된 케이블을 조사하는 과정에서 처음 발견된 이래 많은 연구가 이루어지고 있다.

절연체에 수분이 유입되는 자체가 수트리의 개시 반응이므로 전력케이블에 사용되는 가교폴리에틸렌에서 수트리를 방지하기는 거의 불가능한 것으로 이와 같이 형성된 수트리는 전압과 수분의 복합작용으로 성장하는데 수트리의 성장기구는 개략 아래와 같다.

- 전기적 기구 : 유전영동(Dielectrophoresis) 현상에 의한 성장
- 화학적 기구 : 물이 산화성이 강한 부산물로 분해되어 절연체를 산화시킴으로써 수트리가 발생하고 성장한다는 원리
- 기계적 기구 : 수트리는 절연체가 파괴(Fracture)되어 성장한다는 원리

위의 Mechanism들 중에서 어느 것이 보다 정확한 Mechanism인가에 대한 결론은 거의 불가능한 것으로 복합적으로 작용하는 것으로 생각된다. 수트리가 발생, 성장하여 전기트리로의 전환, 절연체 열화로 전력케이블의 수명에 미치는 영향은 확실하나, 이 둘 간의 상호관계는 계속하여 연구가 이루어지고 있다.

### 5.2.3 기계적 응력의 영향

전력 케이블은 포설 상태에 따라 여러 형태의 기

계적 응력을 받을 수 있으며, 기계적 응력을 받는 상황이 되면 케이블 절연 자체가 응력을 받는 상태에 따라 압축력을 받는 부분과 인장력을 받는 부분 등이 존재하며 이 때 트리 발생정도는 다를 것으로 생각된다. 즉 인장력을 받는 부분은 고분자 사슬구조가 인장되어 있는 상태이기 때문에 인장력을 받는 부위에는 free volume이 증가될 것이다. 따라서 수트리를 미세파괴 과정과 마찬가지로 보면 인장력을 받는 부위에는 수트리의 발생 및 진전이 쉬울 것이고 압축력을 받는 부위에서는 수트리의 발생 및 진전이 상대적으로 어려울 것이다. 즉 케이블이 기계적인 응력을 받으면 케이블의 절연수명에 심각한 영향을 미치리라는 것을 알 수 있다.

## 5.3 절연 열화 방화를 위한 케이블 재료 개발

전력케이블의 열화를 근본적으로 방지하거나 열화가 아주 안 일어나게 할 방법은 현재의 기술로는 불가능하다. 절연열화를 개선할 수 있는 방법에 대하여 재료외적인 개선 방법 및 재료적인 개선방법으로 나누어 언급하고자 한다.

### 5.3.1 재료외적인 대책

#### 5.3.1.1 가공공정의 개선

가교방식 : 전력케이블의 제조는 폴리에틸렌을 가교시키는 가교공정과 냉각공정으로 나누어져 있으며, 가교방법은 습식방법(SCP : Steam Curing Process)과 건식방법(DCP : Dry Curing Process)이 있다. 습식방법은 가교시 수분이 절연층으로 유입되는 결과를 가져오므로 오늘날 대부분 고압 이상 케이블은 건식방법을 채택하고 있다. 여기서 건식방법일지도 가교과정중에 수분을 피할 수 없다는 사실이다. 즉 화학가교제인 DCP(Dicumyl Peroxide)가 분해되는 과정에서 가교제의 열분해 부산물이 많이 생기는데 이 때 수분이 발생된다. 가교제의 분해에 의하여 발생하는 수분함량은 DCP를 2.0 ppm 사용할 경우 약 1,000ppm 정도의 수분이 절연체 내에 잔존하는 것으로 밝혀졌다. 그러나 습식가교방법에 의하여 유입되는 수분의 함량은 약 800ppm 정도라는 점을 감안하면 DCP에 의하여 발생하는 수분의 함량이 훨씬 크다 할 수 있다.

고분자 구조 : 가공공정이 전력케이블의 절연 열화에 중요한 영향을 미치는 이유는 가교방식의

표 5.2 구조적 측면에서의 수트리 대책

방 안	대책을 세운 부분	대 책 방 법	구 체 적 방 법
전계의 집중완화	내부반도전층	절연체와 계면을 매끄럽게 한다.	1) Swelling Tape 사용 2) 반도전층의 압출화
	절연체	수트리의 원인이 되는 불순물 및 Void 제거	1) 절연재료의 이물질 관리강화 2) 가교방식의 변경(습식→건식)
수분의 감소	절연체	초기 수분함양 감소	습식가교에서 건식가교로 전환
	Sheath 또는 압출 Core	포설후 외부침입 수분 함량 감소	1) 금속판의 사용 2) 고분자 필름 적층금속판 사용한 차수층 사용 3) 흡수테이프 및 흡수분말 사용 (Sheath 외상시 침수대책)
	도체		흡수 Compound 및 흡수분말로 충전(해저 케이블사고시 침수 대책)

차이에 있다기 보다는 가열과 냉각의 열이력에 의하여 발생하는 고분자의 미세구조가 바뀔 가능성이 있다는 것이다.

실험적으로 압출온도를 185℃로 하여 서냉시킬 경우에는 온도분포의 변화가 비교적 적은 반면에 급냉시킬 경우에는 외부와 내부사이의 온도변화가 매우 심한 것으로 나타났다. 이러한 온도분포의 변화는 가교된 폴리에틸렌이 냉각되는 과정에 폴리에틸렌의 Spherulite의 크기, 결정의 크기 및 분포상태 등의 변화를 일으키며 이러한 변화가 결국 가교 폴리에틸렌의 전기적 물성 변화를 가져온다. 특히 냉각속도의 변화는 반도전층과 절연층간의 계면상태를 바꿀 가능성이 충분히 있기 때문에 가공공정의 정확한 조절은 전력케이블의 절연열화 방지에 있어서 매우 중요한 요인이라고 할 수 있다.

특히 최근 반도전층과 절연층의 계면에서 Lamellar의 배열방향, 즉 Lamellar가 도체측으로부터 외부쪽으로 배열되는 각도에 따라 절연과파치가 다르다는 결과가 발표된 바 있다. 이는 고분자의 물성론적인 면에서 보면 충분히 일어날 가능성이 있는 사항이므로 고분자의 미세구조와 겉으로 나타나는 물성과의 관계에 대한 연구가 필요한 것이다.

5.3.1.2 구조 상의 개선

수트리 열화가 수분의 응집과 전계집중현상에

의하여 발생하므로 구조상의 개선을 통하여 수분의 유입을 방지하고 전계의 집중현상을 완화시켜야 한다. 수트리 억제에 관한

구조상의 방법을 정리하면 아래와 같다.

반도전층의 채용 : 배전용 전력케이블에서 반도전층은 여러가지 이점이 있다.

첫째, 도체가 절연층에 직접 접촉되는 것을 방지하고,

둘째, 내부반도전층은 도체와 절연체 사이에 발생하는 급작스런 전압의 차이를 완화시켜준다.

셋째, 반도전층이 없는 경우에 비하여 반도전층이 있는 경우 수분의 유입을 현저히 줄일수 있으며, 넷째, 돌출물의 영향을 줄일 수 있다.

여기서 반도전층이 수분의 유입을 현저히 막는다고는 하지만, 반도전층에 다량 섞여 있는 Carbon Black 자체가 수분흡수율이 상당히 높은 재료이고, 또한 여러가지 불순물이 섞여 있다는 점을 감안하면 반도전층의 사용이 모든 문제를 해결해 주는 것은 아니다. 또한 최근 반도전층을 통과하는 이온들이 많이 있다는 연구결과는 반도전층의 성능을 개선할 소지가 많다는 것을 의미한다.

이 밖에 구조상의 개선방법중 건식가교방법, 간이차수방식 등이 있으나 앞에서 설명한 바이다.

5.3.2. 재료의 개선대책

### 5.3.2.1. 반도체층의 성능개선

반도전전극과 금속전극 : 케이블 절연체인 폴리에틸렌의 전기적 성질을 금속전극이 아닌 반도전전극을 사용하여 측정할 결과 반도전전극을 사용할 경우 전기전도 특성 및 전하축전특성에 있어서 상당한 차이를 보이고 있음이 밝혀졌다.

특히 XLPE의 경우 반도체층의 제조시 화학가교제를 사용하는데 이 때 발생한 가교부산물인 전도특성에 큰 영향을 미치는 것으로 밝혀졌고, 이런 영향은 전하축전 특성에서도 반도체층의 성분을 달리 할 경우 XLPE 내에 축적되는 양상이 달리 나온다는 연구결과가 있다.

분산성 : 반도체층은 올레핀계 고분자에 Carbon Black이 다량 섞여 있으므로 이 Carbon Black의 분산은 절연열화에 중요한 영향을 미친다. Carbon Black의 분산이 좋지 않아 뭉쳐 있으면 이것이 돌출물을 형성하므로 여기에서부터 각종의 문제점들이 발생한다. 따라서 Carbon Black의 분산이 잘 되어 있어야 한다.

첨가제 : 반도체층의 성분이 전력케이블의 특성을 바꿀 수 있다는 연구결과를 바탕으로 기존에 사용되고 있는 성분 이외에 다른 종류의 첨가제를 혼합함으로써 전력케이블의 절연특성을 향상시킬 수 있다. Okamoto 등은 반도전 재료에 소량의 계면활성제를 혼합함으로써 교류파괴전압을 비롯한 Impulse 파괴전압을 증가시킬 수 있다고 발표한 바 있으며 Shiono 등은 반도전 재료에 광전도 고분자의 일종인 카바졸 계통의 물질을 혼합함으로써 절연파괴강도를 증가시킬 수 있다고 발표한 바 있다.

### 5.3.2.2. 절연재료의 성능개선

전력케이블의 절연열화를 개선하는 방법으로서 가장 직접적이고 중요한 분야가 절연재료의 개선이라 할 수 있다. 70년대 초반까지는 절연재료가 가교화 되지 않은 고분자량을 갖는 열가소성수지(Thermoplastic)인 저밀도 폴리에틸렌(LDPE)을 사용하다가 수트리를 비롯한 각종 절연열화에 대한 저항성이 LDPE보다 좋은 가교폴리에틸렌으로 대체 사용돼 왔다.

폴리에틸렌의 전열열화를 방지하는 방법을 재료적인 측면과 기능적인 측면에서 분류하면 다음과 같다.

- 기능적인 분류 :
  - 수분 응집 방지
  - 전하집중현상 방지(전하 산란 및 트랩효과 증진)
  - 파괴인성(Fracture Toughness) 증진
  - 불순물 및 미세 공극의 최소화
- 재료적인 분류 :
  - 가교폴리에틸렌 사용
  - 전압안정제 등의 첨가제 사용
  - 폴리에틸렌의 質 개선

## 5.4 WTR-XLPE 연구개발 동향

XLPE 전력케이블의 신뢰성 확보에 가장 치명적인 수트리를 억제할 수 있는 WTR-XLPE 재료 개발은 1980년대초부터 미국의 UCC, 일본의 Sumitomo 및 영국의 BP 등에서 연구개발, 추진되어 실용화되고 있으며, 선진국의 연구개발 기본방향을 요약하면 아래와 같다.

- 수트리의 발생원인이 되는 절연체 내에서의 Void가 함유하는 물을 흡수하는 친수성기(Hydrophilic Group)를 가지는 첨가제를 절연재료에 첨가하는 방법

- 수트리의 진전을 억제시키는 Barrier로 작용하는 물질인 극성기를 함유하는 에틸렌 공중합체(Ethylene Copolymer)를 절연재료에 첨가하는 방법

- 수트리의 진전과정이 고분자의 기계적 파괴 및 피로(Mechanical Fracture and Fatigue)현상과 유사한 점에 착안하여 수트리 진전을 억제할 수 있는 방법으로 베이스 수지인 저밀도 폴리에틸렌을 변형(Modification)시키는 방법

- 수트리의 발생을 억제하기 위한 첨가제로 Organometallic Compound를 첨가하는 방법

- 전기화학적 열화에 의한 수트리의 발생 및 진전을 가정하여 고분자의 산화를 방지하기 위한 Hydroperoxide 안정제를 첨가하는 방법

미국의 경우 UCC에서 Organometallic의 첨가제는 LLDPE Bass에 적용하며 2가지 제품(WTR-4202, 7521)을 최근에 개발하였고, 일본의 경우 Sumitomo에서 EVA를 활용하여 산화방지능력을 향상시킨 제품(108Y, 105Y)이 개발되었으며, 영국의 BP는 미국과 영국에서 EEA를 활용하고



Modified LDPE를 베이스 수지로 사용한 제품 (BP H 4201)과 EEA와 Organometallic Compound를 활용하여 BP H 4201의 내트리 특성을 향상시킨 제품(BP H 316)을 개발 완료하고 89년부터 실용화되고 있다.

향후 5년 이내에는 우수한 WTR-XLPE가 실용화 될 것으로 전망된다.

## 6. 맺음말

앞서 지중설비의 현황, 설비증가추이 등을 살펴 보았고, 신지중배전 케이블 분야 중 케이블의 차수 및 고품질 가교폴리에틸렌 WTR-XLPE에 대해서 알아 보았다.

향후 지중배전설비는 신도시 개발, 도심 고층빌딩의 활발한 신증축, 아파트단지 건설의 활기 등으로 계속 증가될 것으로 전망되며, 아울러 경제성장 과 국민생활 향상에 따라 고품질 전력 요구는 필연적이며, 또한 지중화 요구도 증대되리라 본다. 지중설비 증가와 아울러 지중케이블 고장은 설비 특성 상 장시간 광역정전의 우려가 있는 점을 감안하여 고품질 전력케이블의 기술개발에 끊임없는 연구가 있어야 할 것으로 본다.

## 참고문헌

- [ 1 ] S. Grzybowski, A. Pakowska, J. E. Thompson "Aging of Polyethylene for Cable Insulation", IEEE Trans, Electr., EI-22, 729(1987).
- [ 2 ] E. F. Steennis, F. H. Kreuger, "Water Treeing in Polyethylene Cables", IEEE Trans, Electr, Insul., Vol 25, 989(1990).
- [ 3 ] Koji Yamaguchi, Hidehiro Kishi, Toshio Nagasaws, "On the Use of Polyethylene Insulation in the Manufacture of Submarine Cables", IEEE Trans. Electr, Insul., Vol. EI-12, 75(1977).
- [ 4 ] R. D. Naybour, "The Growth of Water Trees in Dry and Steam Cured Polyethylene at 1.9MV/M", 50Hz, and Their Influence on Cable Life in the Stress Range 15 to 4MV/m", IEEE 1982 Annual Report CEIDP, 620(1982).
- [ 5 ] A. Garton, S. Bamji, A. Bulinski, J. Densley, "Oxidation and Water Tree Formation in Service-Aged XLPE Cable Insulation", IEEE Trans, Electr, Insul., Vol. EI-22, 405(1987).
- [ 6 ] M. T. Shaw, S. H. Shaw, "Water Treeing in Solid Dielectrics", IEEE Trans, Electr, Insul vol. EI 19, 419(1984).
- [ 7 ] A. T. Bulinski, S. S. Bamji, R. J. Densley, "Factors Affecting the Transition from a Water Tree to an Electrical Tree", Conf, Record of the 1988 IEEE Int, Symp. Elect, Insul, Boston, MA, USA, 327 (1988).
- [ 8 ] 동경전력규격 5/6A-18. 22KV CV전력케이블
- [ 9 ] 관서전력규격 A-363 가교폴리에틸렌 절연 비닐 시-스 전력케이블
- [10] AEIC CS5-87(Specifications for Thermoplastic and Crossed-linked Polyethylene Insulated Shield Power Cables Rated 5 Through 35 KV)
- [11] IEC 502-83(Extruded Solid Dielectric Insulated Power Cables for Voltage from 1 KV up to 30 KV)
- [12] NEMA WC7-82(Cross-linked Thermosetting Polyethylene Insulated Wire and Cable for The Transmission and Distribution of Electrical Energy)



**한용희(韓鏞熙)**

1948년 2월 13일생. 1975년 전북대 공대 전기공학과 졸업. 1983년 연세대 산업대학원 전기공학과 졸업(석사). 1975년 한국전력입사, 현지 한국전력 배전처 지중선부장.



**권성대(權成大)**

1951년 3월 7일생, 1974년 연세대 화학공학과 졸업. 1976년 ROTC 중위로 전역. 1976년 금성전선(주) 입사. 1990년 대한전선(주) 공장장 입사. 현재 대한전선(주) 이사.



**한민구(韓民九)**

1948년 7월 21일생. 1971년 서울대 공대 전기공학과 졸업, 1979년 미국 Johns Hopkins Univ 졸업(공학). 1979년 미국 뉴욕주립대 조교수. 현재 서울대 공대 전기공학과 부교수. 당학회 총무 이사.