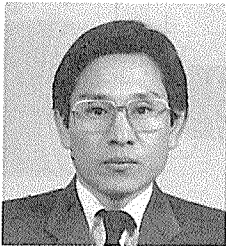


물침입 방지구조 배전용 CV케이블의 기술동향



大韓電線(株)
技術研究所
部長 全讚五

1. 머리말

전력 케이블에 사용되어 온 절연재료의 변천 유형은 각 나라마다 시기적 차이는 있지만, 도입기의 유침지 절연, 그 후 고무, PVC, PE 등의 플라스틱 절연시대, 그리고 현재는 XLPE 절연이 주류를 이룬다. XLPE 케이블은 전기적, 열적 특성이 우수하고 취급이 용이한 점 등의 장점을 가지고 있기 때문에 전력 케이블 분야에 널리 보급되고 있다.

포설입지 여건상 케이블은 환경과 정도에 따라 차이는 있겠으나 물 또는 수분과의 접촉 가능성을 배제할 수는 없다. 케이블 구조로 볼 때 유침지 절연 케이블은 절연층을 구성하기 위하여 알루미늄피 또는 연피가 필수적으로 사용되기 때문에 외부로부터 물의 침입은 거의 문제시 되고 있지 않지만, 고무, 플라스틱 절연 케이블은 대개가 금속 쉬스가 없는 구조가 채용되기 때문에 외부환경의 영향권에 놓인다.

수분이 케이블내로 유입되면, 절연성능의 저하를 초래하고 금속재료를 부식시키는 등 케이블 성능에 유해한 영향을 미친다는 사실은 이미 잘 알려져 있다. 특히 CV(XLPE 절연 비닐쉬스) 케이블에서의 물의 영향은 1970년대 초반에 Water Tree(수트리)에 의한 절연 열화의 중요성이 부각된 이래로 이를 극복하기 위해 선진각국의 케이블 관련 산학계에서는 두 가지 방향으로 연구되어 왔다. 그 한가지는 매커니즘의 규명에 관한 것으로 강도있게 연구되고 있지만 완전히 규명되고 있지는 않다. 다른 한가지는 발생 원인에 근거한 실용적 접근책에 관한 것으로 효과적인 여러 방법들이 제시되고 있다.

실용적 접근책에 있어서는 i) 공정개선에 의한 케이블 자체결함의 최소화(ex: 건식가교방식, 반도체층 압출방식), ii) 절연재료 자체가 내트리잉 특성을 지니는 재료의 개발(ex: T/R XLPE compound), iii) 케이블 내로의 물의 침입을 근원적으로 차단하는 구조적 개선 등의 3가지 방향으로 개선, 발전되고 있다.

i)은 현재 보급이 보편화되어 케이블 성능향상을 가져왔지만 주변환경에 영향을 받는다는 효과적 수단이 되지 못한다. ii)는 일부 상용화되고 있지만 완전한 억제효과는 기대할 수 없으며 계속 연구가 이루어지고 있는 상황이다. iii)은 현재까지 주변 환경에 가장 효과적으로 대처할 수 있는 방법으로써 실용화가 많이 이루어진 부분이기도 하다.

본 고에서는 케이블로의 물의 침입과 그 영향에 대해서, 그리고 수분의 침입을 차단하는 구조적 개선책에 대한 실용 기술 및 관련 규격에 대한 동향을 소개한다.

2. 케이블의 구조와 물의 영향

2.1 MV(Medium Voltage)케이블의 구조와 물의 침입

물은 케이블 쉬스의 손상부 그리고 케이블의 보관, 포설 또는 보수 작업시 접촉부나 단말부로 유입이 가능하다. 또한 재료상에서 볼때, 폴리에틸렌은 소수성 고분자임에도 불구하고 폴리에틸렌 절연체 내부로 물이 침투한다는 사실이 다나카 등에 의해 발견되었다. Hamilton과 Eichon은 전계가 없을 때 폴리에틸렌에 대해 물의 침투성에 관한 실험을 하였

고, Auckland와 Cooper는 NaCl 용액 속에서 폴리에틸렌에 전계를 가하여 물의 침투력을 시험 하였다. 이들 실험의 결과 전계를 가한 경우가 물의 침투가 훨씬 용이하다는 것이 입증되었다. PVC도 PE에 비해 상대적으로 적은 양의 물이 침투하는 것으로 알려져 있다.

대개의 MV 케이블의 구조는 금속쉬스가 채용되지 않는다. 즉, 절연 코아와 쉬스(PVC 또는 PE)간에 중성선 또는 금속차폐 테이프가 놓인다. 따라서 외부의 수분이나 불순물이 확산에 의해 절연체에 도달 할 수 있다.

물은 그림 1에서 처럼 케이블 방사상의 방향 또는 길이 방향을 따라 침입하게 된다.

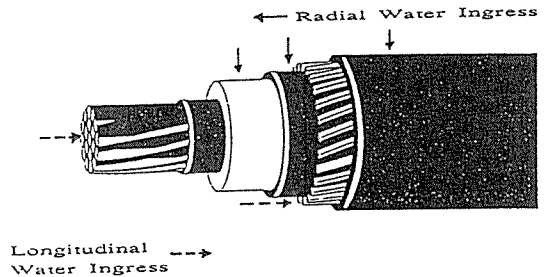


그림 1. MV 케이블의 대표적 구조와 물의 침입

2.2 물이 케이블에 미치는 영향

케이블로 물이 침입하게 되면 유해한 영향을 주게 되어 성능저하를 초래한다. 성능저하 현상은 다음과 같다.

- 수트리 절연열화
- 임펄스 및 교류과파 전압의 저하
- $\tan\delta$ 의 증가
- 장기(V-t)성능의 저하
- 절연저항의 저하
- 코로나 특성의 변화
- 금속(도체, 차폐층, 외장 등)부식으로 인한 - 수소발생 및 압력증대

- 반도체층과 절연층쪽으로 금속체 부식으로 인한 돌기 제공
- 반도체층과 절연층간의 접착강도 저하

3. 물 침입 방지대책

3.1 차수케이블의 정의

차수케이블(Moisture Impervious Cable)은 절연 코아에 대해 케이블 길이 방향 및 방사상 방향으로의 수분 침입을 막도록 설계된 케이블로 정의된다. 이는 절연체의 내측(내부 반도체층 포함) 또는 외측표면(외부 반도체층 포함)에 수분이 도달하지 못하도록 하는데 그 목적이 있다. 수분을 방지하는 효과면에 있어서 “Moisture Barrier Cable”로 정의되기도 하는데 이것은 방사상의 수분침입을 막기 위해서 금속기밀의 차수층을 갖는 구조를 채용한 것이다. 또한, “Moisture Resistance Cable”은 수분의 진입은 허용하나 수분을 현저하게 감소시킬 수 있도록 하는 방법과 또는 재료를 복합하여 설계된 케이블로 정의하기도 한다.

3.2 물 침입 방지구조와 대책

케이블로의 물 침입 방지에는 케이블의 구조적인 취약점을 보완하는데 역점을 두며, 물의 침입방향, 즉 방사상의 방향과 길이 방향에 근거하여 그 방법론적인 대책이 나오게 되었다. 이를 도식화 한 것은 표 1에 나타내었다.

이의 적용예는 그림 2와 같고, 방사상 방향의 수분 전달 방지는 쉬스와 절연코아간에 금속 기밀층을 두는 구조를 취하는데 확실한 수분 침투 방지효과를 제공한다.

길이방향의 수분전달 방지는 보통 도체의 연선간에는 수밀 콤파운드를 충전하며, 절연코아, 금속차폐층과 보호자켓간의 공극에는 흡수 파우더 또는 테이프를 사용하는 구조를 채용함으로써 물 침입의 피해를 국부적으로 최소화 하므로써 보수의 조장과 기간을 최소화하며, 보수시 선택이 가능하고 케이블 접속수명을 연장한다.

이하에 이들 대책에 대해 자세히 설명하기로 한다.

표 1. 물의 침입 방향에 기인한 방지 대책

기본개념	대책
Radial Water Blocking	Continuous Metal Sheath*
	Plastic Coated Metallic Lamination Tape*
Longitudinal Water Blocking	Water Tight Conductor**
	Water Swelling Powder/Tape**

* Static Water Blocking System
** Dynamic Water Blocking System

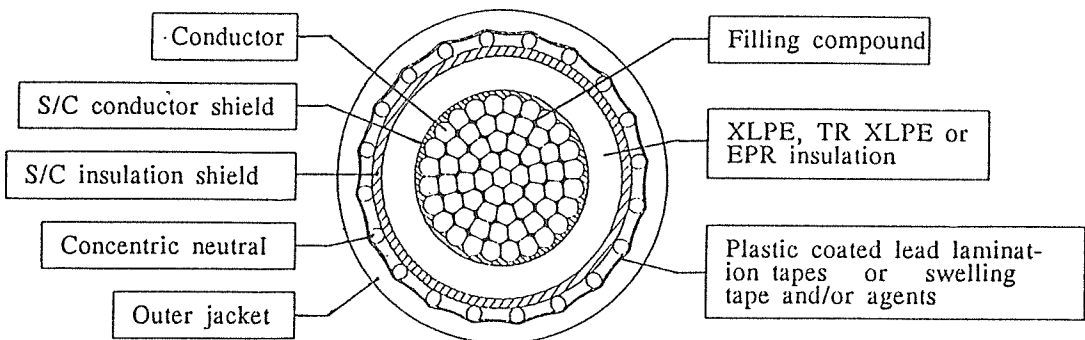


그림 2. Longitudinal & Radial Water Blocking의 구조

(1) Continuous Metal Sheath

케이블 방사상 방향으로의 물의 확산 침입을 방지하기 위한 Radial Moisture Barrier로서 종래부터 석유 화학 공장 등의 내약품 케이블, 해저 케이블 또는 초고압 케이블 등에 압출 금속쉬스(알루미늄/연)를 사용해 왔다. 외부 플라스틱의 쉬스의 배면에 놓이게 되는 이 구조는 주변의 수분 침입으로부터 거의 완전하게 보호할 수 있으나 중량 및 외경이 증대하고, Cost up율이 높아지며, 포설시 취급상의 어려움이 있는 등 단점이 있다.

(2) Plastic Coated Metallic Lamination Tape

금속압출층을 간이화하고 단점들을 개선한 것으로 금속 박막의 테이프상에 플라스틱을 Coating한 여러 구조의 것이 실용화되고 있는데, 금속 쉬스에 비해 중량 및 외경 감소의 효과가 크고 경제성이 있으며 금속 쉬스와 마찬가지로 우수한 차수효과를 제공한다.

차수상의 위치로도 절연 코아 상단 부분과 쉬스 배면의 2개소가 고려된다. 전자의 경우 쉬스 외상 사고시 쉬스 내부로 끝이 침입하여도 절연체는 보호받을 수 있으나 금속 차폐층이 부식될 위험이 있다. 이 부식 문제를 해결함과 동시에 물로부터 절연체를 보호하기 위한 방법이 후자이다.

금속박막의 재료로는 알루미늄, 동, 그리고 연이 사용되는데, 케이블 선로의 굴곡부는 부하 변동에 따라 열에 의한 신축을 반복하기 때문에 우수한 내피로 특성을 지녀야 한다.

테이프의 구조는 금속박의 한쪽면 또는 양쪽면에 플라스틱을 접합한 복합다층 구조로 전체두께가 0.3~0.5mm정도이다. 복합 다층 구조로 구성한 이유는 기계적 강도, 내피로 특성, 쉬스와의 접착강도와 내구성의 보안을 위함이며, 현재는 양측 플라스틱의 다층 복합구조로 가고 있다. 이들 Tape는 PE, CPE, PVC에 대해 초기 접착성이 우수해야 할 뿐만아니라 thermal loading, thermal cycling, water ageing, 고온 노출에 있어서도 우수한 접착 안정성을 지녀야 한다. 한편, 절연 코아층의 플라스틱층이 절연성일때 케이블에 서어지 전압이 침입할 경우 차폐층과 금속중간에 전위가 발생하게 됨으로 이들간의 플라스틱층에 절연과피가 발생한다. 이 때문에 절연체상의 차폐층과 금속박과의 전위를 같게 하기 위하여 절연체상의 차폐층과 접촉하는 플라스틱 층을 도전성으로 하는 것

이 현재의 기술 추세이다.

차수층의 형성 구조는 절연 코아와 금속 차폐층을 포함하여 10mm이상 증첩하여 증첩하고 증첩부를 열융착시키면서 쉬스를 압출한다. 쉬스 압출시 열에 의해 접착제가 도포된 Plastic Coated metallic lamination tape가 쉬스에 융착된다. 이러한 Plastic Coated metallic lamination tape를 쉬스 배면과 일체화하는 것이 최근의 추세이다.

(3) Water Tight Conductor

연선도체의 간극간으로 물의 침입확산을 방지하기 위한 Longitudinal Moisture Barrier로 간극을 수분의 침투성이 적은 폴리머 재질의 수밀 컴파운드로 채워지는 구조로 케이블의 보관, 포설 또는 보수작업시 케이블 단말이 물에 노출될 경우 도체길이 방향으로 물이 진입하는 것을 방지하는데, 주로 해저 케이블에 적용되고 있다. 수밀 컴파운드의 요구 특성으로는 수밀 특성 뿐만아니라 열 안전성, 케이블 구성 재료와의 적합성에다 접속작업의 용이성이 있다. 수밀 컴파운드의 단점은 Cost up율이 높고 작업시 컴파운드의 제거가 필요하므로 단말, 저속작업이 어려운 점을 들 수 있다.

한편, 해저케이블에는 외부반도전층과 연피 사이에 외부수밀을 적용하는 경우도 있다.

(4) Water Swelling Powder/tape

케이블 외부쉬스 손상시 물이 케이블 축방향으로 진입하는 것을 막기위한 Longitudinal Moisture Barrier로 적용된다. 이들 barrier는 외부쉬스 하에 놓이는데 주로 테이프의 형태가 사용되며 연선도체상에 직접 사용되기도 한다.

water swelling tape는 물의 차단 뿐만아니라 cushion 기능을 갖는 용도로 개발되어 왔으며 전기적 성능을 고려한 반도전성 Water swelling tape도 소개되고 있다.

powder type은 연선 도체의 간극에 주로 적용된다. 이외에 filler에 적용한 것도 소개되고 있다. 작용 매커니즘은 water swelling material이 물과 접촉하면 gel을 발생시켜 물 방벽을 형성하게 되므로 물에 노출된 지점에서 온전한 부분으로의 물의 이동을 제한한다.

water swelling powder는 여러 타입과 등급의 super absorbant polymer가 사용된다. 요구되는 특성으로는 다음과 같다.

- 다량의 흡수력을 지닐 것
- 불용성 일 것

· 압력을 가할 경우 액체를 내보내지 않아야 함
 이외에 30년 이상의 케이블 내구성과 케이블 최대 도체 운용 온도의 관점에서 다음의 특수 요구사항이 뒤따른다.

- Non-biodegradable의 완전한 합성물질일 것
- 내열성이 양호할 것

이들 특성을 만족하기 위해서는 양호한 gel strength와 swelling특성을 가진 가교 super absorbant polymer가 가장 유력시 되고 있고 poly sodium acrylates가 그 한 가지로 알려지고 있다. 이것도 여러 타입과 종류가 있어서 서로 다른 가교 밀도를 갖는다. gel strength, 내열성 및 swelling특성은 가교 밀도와 밀접한 관계가 있다고 보고되고 있다.

Water swelling tape의 종류는 type, powder loading(g/m²), powder bonding system 등으로 구분된다.

4. 관련 규격

표 2. Longitudinal water propagation Test 규격의 비교

No.	TEST항목	IEC 20A/ WG11	EDF HN33 -S-23	KEMA S10	ICEA T-31 -610	한전 ESB 126
1	시료길이[m]	3	3	3	0.91*	3
2	Bending Pre-conditioning	유	유	유	유	-
3	Center ring Cut[mm]	50	10	10	-	10
4	Loading Cycle [hour] ON/OFF	4/4	4/4	6/6	-	6/6
5	시험온도[℃]	100	100	100	R.T	90
6	수위[m]	1.0	0.8	0.8	3.5	0.8
7	수압[psi]	1.4	1.1	1.1	5.0	1.1
8	도체 시험	유	무	무	유	무
9	외부 반도체층 금속차폐 계면에 대한 실험	유	유	유	무	유

* 시료 판단에만 압력을 가함

4.1 현재의 시험규격

물 침입 방지구조 케이블에 대한 대다수의 시험규격들은 케이블 길이 방향으로의 누수 방지 성능에 중점을 두고 있다. 현재 국내 규격을 포함한 전 세계적으로 사용되고 있는 규격물에 대한 개략적인 비교를 표 2에 나타내었다.

4.2 국내 규격의 동향

22.9KV-Y 다중접지 계통의 지중 배전선로용으로, 압축도체 위에 절연하여 연동선을 감아붙인 중성선을 갖고, 중성선 상하에는 부풀음 테이프를 감아(중성선 아래층은 반도체성), 그 위에 비닐로 쉬스한 구조의 케이블에 대해 국내에서는 처음으로 한전에서 1991년에 한국전력 표준규격인 ESA 126이 마련 되었고, 뒤이어 1992년 2월에 한국전력 표준규격 ESB 126-640~647 “22.9KV 동심 중성선 전력 케이블”로 개정되어 발표되었다. 이외에 1992년 2월에 한전에 의해 제정된 수밀형 압축도체와 중성선 상하에 부풀음 테이프를 감은 구조의 “22.9KV CN/CV-W 수밀형 전력케이블”에 관한 한전 구매규격 ESA 126이 있다. 중성선 수밀시험은 한국전력 표준규격 ESB 126과 동일하며, 도체 수밀과 관련하여 도체 수밀시험과 컴파운드 적하시험이 포함되어 있다.

4.3 해외 규격의 동향

(1) IEC

IEC 840, “Test for Power Cables with Extruded Insulation for Rated Voltage above 30kV up to 150kV”가 1988년에 발표되었다. 당시 “Water penetration test”(paragraph 5.6.16)가 심의 중이었다. IEC Working group은 이것을 서둘러 규정하였다. 6개월 rule하에 draft document 20A(10) 99는 후에 20A(secretariat)164하에서 secretariat document로 발표되었다. 내용은 케이블 길이 방향의수분 침입 방지를 barrier 케이블에 대한 물 침투시험을 기술하고 있다. 이 시험은 케이블코어상과 도체 상에 사용하는 barrier에 대해 적용한다.

Cigre Committee 21은 synthetic insulation과 moisture barrier로 싸 laminated protective covering을 한 고전압 케이블의 시험에 대한 recommendation을 준비하고 있다. 이 시험은 IEC 840 (First Edition, 1988)에 대치될 예정이다.

(2) IEEE/ICC Task Group 6-23

ICC Task Group 6-23이 IEEE Standards “Guide on the Design, Testing and Application of Moisture Impervious, Solid Dielectric, 5-35kV, Power Cable Using Metal/Plastic Laminates”에 착수하여 거의 완성 단계에 있다. IEEE Standard Boards는 이에 대해 공식적인 승인으로써 project No. P-1142로 제정하였다. 이

group은 모든 형태의 케이블에 moisture barrier로써 metal/plastic laminates를 사용하는 것에 대한 가이드 개발을 처음으로 제정하였다. 범위는 MV 전력케이블만을 망라하는 것으로 좁혀졌다. 현재 구성원 가이드는 moisture barrier cable design, metal/plastic laminates used for moisture barriers, cable performance and testing criteria 그리고 Installation guidelines로 구분된다. 또한 관련 케이블 설계에 적용할 수 있는 기술보고서, 특허 및 적용사양 등 참고문헌이 포함되어 있다.

현재 task group은 직접 또는 간접적인 방법으로 절연재료에 미치는 수분의 영향에 대한 시험상의 문제를 심의 중에 있다. 직접적인 방법은 절연체의 수분함량 측정을 포함하며, 간접적인 방법은 전기적 시험을 통해 절연열화의 발생 유무를 결정하는 방법을 포함한다. 게다가 moisture barrier의 완전함을 측정하는 방법도 검토하고 있다.

(3) ICEA

Water impervious power cable의 개발에 있어서 최근의 기술적인 진보는 도체내의 물흐름을 차단하는 방법으로 수밀 콤파운드를 사용하여 왔다. ICEA working group 610은 1985년 6월에 filled conductor cable에 대한 시험법의 개발을 위해 3가지 우선사항을 확립하였다. 첫째는 water penetration resistance에 대한 시험 가이드의 준비이고, 둘째는 수밀 콤파운드와 인접부 재료와의 적합성 시험법의 개발, 셋째는 sealed conductor의 connectability test에 대한 요구항목의 심의이다.

품질보증 시험과 생산출하 시험으로 구성된 가이드로서 "Guide for Conducting a Longitudinal Water Penetration Resistance Test for Sealed Conductor"는 1989년 11월에 발표되었다.

(4) De-Facto Standards-French Specifications

Water tight MV synthetic insulated cable은 1978년 이래로 EDF에 의해 사용되어 왔다. 케이블에 관한 사양으로는 EDF

standard HN 33-S-23이 있는데 Longitudinal water tightness는 외부반도전층의 길이방향의 흠에 흡습 파우더를 깔게 되어 있고, radial water tightness는 알루미늄 스크린을 PVC 쉬스에 접촉시키는 구조로 되어 있다. Water tightness에 대한 특성시험은 HN 33-S-23에 포함되어 있다.

이외에 accessories(HN 33-M-03), 24KV plug-in terminations (HN-S-61), Single core terminations(HN68-S-06), joints (HN 68-S-07과 HN 68-S-08) 그리고 connectors (HN 68-S-04)를 갖추고 있어 Water tight cable design에 관련하여 기술 패키지가 되어 있다.

케이블 규격은 케이블 구성요소들의 적합성에 관한 시험항목을 가지고 있는데, 금속차폐층에 대한 부식시험은 심의되고 있다.

5. 맺음말

현재의 MV/HV 케이블 제조는 건식가교방식과 3층동시압출방식이 보편화되고 있고, 재료 및 공정관리도 철저하게 이루어져 케이블 자체의 질적 향상을 가져왔다. 그러나 케이블 내부로 물이 유입되는 한은 물에 의한 케이블 열화를 피할 수 없다. 따라서 물 침입 방지구조와 재료의 적절한 채택은 케이블 신뢰성의 향상과 사고 예방에 큰 역할을 담당할 것이다.

물에 대한 효과는 구조와 재료들은 어떻게 구성 하느냐에 따라 달라진다. 그러므로 이들을 최적으로 구성하기 위해서는 포설환경, 물에 대한 성능, 장기 안정성, 경제성 등을 함께 고려하여야 한다.

❀ 中國古典의 名言 ❀

- ◎ 是는 곧 남에게 돌아가고, 非는 곧 자기에게 돌아온다 — 爲正三部書 —
- ◎ 스스로 뺏내는 자는 오래가지 못한다. — 老子 —