

ADSS 광 케이블 시스용 내 트래킹 재료의 특성에 관한 연구

이정희, 서일건, 황선호, 이건주, *백승엽, *김경민, *이승찬
 LG전선 연구소 고분자 기술 그룹, *LG전선 가공선팀

The investigation of tracking resistant sheath material for ADSS Optic cable

Lee Jung Hee, Seo Il Gun, Whang Sun Ho, Lee Gun Joo, *Bak Seung Yup, *Kim Kyeung Min, *Lee Seung chan
 LG cable R&D center polymer technology group, *LG cable overhead AL cable team

Abstract-ADSS(All Dielectirc Self-Supporting) cable installed under high voltage power cable line suffers a variety of environmental influence, rain, wind, snow fall, chemical pollution , salt fog and electrical stress. Its lifetime is required to be at least 20 years with this harsh weathering condition. The electrical stress under high voltage power line gives rise to dry band arcing and tracking, the severest damage, on the outer sheath of cable. Finally tracking might penetrate sheath and cause the break-down of ADSS cable. Tracking resistant sheath material, therefore, should be used to protect the core of ADSS from dry band arcing and to be sure long lifetime.

In this work, we discuss various commercial tracking resistant material to investigate the way of track resistance and compare their mechanical, electrical, weathering and tracking properties through serial experiments. We found track resistant material is categorized into two main type : polyethylene with metal hydroxide and polyethylene with reduced carbon black. The Liquid contaminant, Inclined plane Tracking and Erosion test says the time to track of tracking resistant material with metal hydroxide has a little longer time to track in the high applied voltage than that with carbon black, but mechanical and weathering properties were inferior to .

1. 서 론

가공 송전 선로를 따라 포설되는 광통신 케이블은 포설 환경에 따라 다양하게 사용되어 지는데 ground wire 를 대체하여 earth wire 기능 과 통신 기능을 복합화 시킨 OPGW(Optical Ground Wire)가 송전선로를 따라 포설되는 통신 복합 케이블 중 현재까지 가장 널리 적용 되고 있다.

Medium-voltage 또는 150kV 까지의 high-voltage line 에는 때로 ground wire가 설치되지 않는데, 이러한 환경 에는 phase conductors 중 하나를 광통신 케이블로 대체 하여 통신 기능과 송전 기능을 복합화한 OPPC(Optical Phase Conductor) 가 사용되기도 한다. Ground wire, phase conductor의 대체가 불가능하거나 비경제적일 경우에는 광통신 기능을 가진 통신선을 송전탑의 중심부에 포 설하게 되는데 이때 사용되는 것이 MASS(Metallic Aerial Self-Supporting) cable이며 송전탑의 하중 증가 등 을 고려하여 9-12mm의 작은 지름으로 이루어져 있고 통신 기능만을 가진 것이 특징이다. [1]

OPGW와 함께 송전선로를 따라 통신기능을 갖추는 해결방안으로 많이 적용되고 있는 것은 유전체로 이루어진 ADSS(All Dielectric Self-Supporting) 케이블이다. ADSS 케이블은 금속을 포함하지 않아 경량화가 가능하여 송전선 첩탑의 하중 증가를 감소시킬 수 있으며, 포설이 비교적 용이하고, 송전선의 전원을 차단하지 않고 포설할

수 있으며, 가격이 저렴하다는 등의 장점이 있다. 이러한 ADSS 케이블은 가공용 광케이블 종류를 나타낸 그림 1의 (b)에서 볼 수 있듯이 인장선 기능 및 외력에 대한 보호를 위하여 금속을 외장으로 사용한 (a)의 OPGW와는 달리 인 장선으로 Aramid yarn 과 FRP를 사용하고 있으며, loose tube 바깥쪽에 1차 시스 와 외력 및 환경적인 요인으로부터 케이블을 보호하기 위한 2차 시스로 구성되어 있다. ADSS cable과 비슷한 구조를 가지고 있으나 size가 작고 messenger wire에 지지되어 포설되는 그림 1의 (c)와 같은 ADL(All Dielectric Lashed) 케이블도 있다.

2. 본 론

고전압 송전선로에 설치되는 ADSS 케이블은 송전선에 서 기인하는 공간전위(space potential)에 의한 전기적 stress를 비롯하여 자중·바람·빙설등에 의한 기계적 stress, 먼지·화학적 오염물·습기·해안 부근의 염무 등 에 의한 오염, UV등 복잡하고 가혹한 환경적 요인 하에 놓이게 되는데, 이러한 요인들은 케이블의 시스체에 약영 향을 미치게 된다. 특히 dry band arc에 의한 시스체의 침식과 탄화 현상인 트래킹은 치명적인 것이며, 이러한 현 상들은 시스층을 관통하고, 인장선인 aramid yarn을 노출 시켜 외부 환경에 의한 열화가 촉진되어 마침내는 광섬유 의 파괴와 함께 ADSS 케이블의 기능을 상실하게 된다. 따라서 ADSS 케이블의 최외층 시스체는 dry band arc에 의한 트래킹 저항성을 가져야 하는데 이러한 dry band arc 현상은 12kV 이상의 공간전위에 의한 전기적 stress 가 가해지는 환경에서 주로 발생한다고 보고되고 있다.[2]

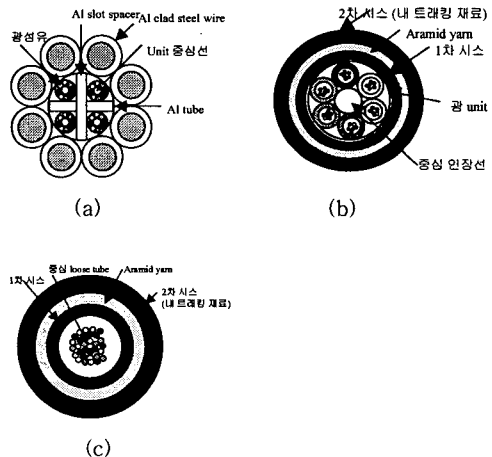


그림 1.가공 광케이블의 종류별 구조
 (a) OPGW (b) ADSS (c) ADL

D교 band arc에 의한 트래킹 발생은 시스체의 표면 특 성에 의해 많은 영향을 받는 것으로 생각되고 있는데, 포

설 초기의 시스템의 표면은 강한 소수성(hydrophobic) 및 낮은 표면에너지를 가지고 있어 시스템 표면에 수분, 오염물질 등이 축적되지 않고 오염물질과 함께 수분은 바로 제거되게 된다. 그러나 시간이 경과함에 따라 시스템이 환경적 요인에 의하여 노화가 진행되고 시스템의 소수성 표면 특성도 점점 감소하여 친수성(hydrophilic)이 증가함에 따라, 오염물질을 비롯한 수분이 시스템의 표면에 축적되어 이루어진 얇은 도전로가 형성되게 된다. 이러한 도전로를 따라 유기 전류가 그림 2와 같이 전압이 높은 철탑 사이 케이블 중앙부로부터 양 끝단으로 흐르게 되는데, 이때 주울 열이 발생하게 되며 이에 따른 수분의 증발이 부분적으로 건조대를 형성시켜 전류의 흐름을 차단하게 된다.[3] 이러한 현상은 건조대의 양단에 공간전위에 의한 전계를 집중시켜 방전을 일으키게 되는데 이것이 dry band arc 이며, dry band가 약 10mm 정도에서 arc의 발생 가능성이 가장 높다.[4]

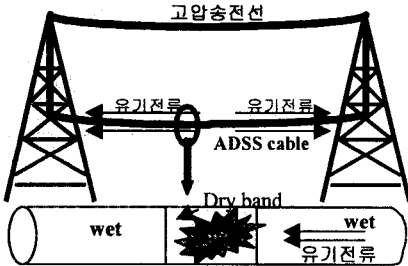


그림 2. 유기전류의 흐름 및 dry band arc

본 논문은 ADSS 케이블에 있어 수분, 태양, 열 등의 가혹한 외부 환경요인 및 전계의 복합적 요인에 의해 발생하는 유전체의 탄화현상인 트래킹으로부터 광 unit를 보호하는 중요한 기능을 가진 외부 시스템 재료의 특성에 관한 내용을 기술하였다.

2.1 실험

2.1.1 재료

본 연구의 내 트래킹 재료로는 국내 1종, 해외 4종 과 일반 광케이블 시스템용 재료 1종(국내) 등 총 6종의 재료를 사용하였다.

2.1.2 시험 시편 제작

각종 시험을 위한 시험시편의 제작을 위해 pellet 상의 재료들을 8"전기 가열 roll mill에서 약 10분간 혼련한 후 가열 press를 사용하여 170°C X 10분, 200kgf/mm² 압력 하에서 시트 상으로 성형하여 각 시험을 위한 적절한 형태의 시편을 제조 하였다.

2.1.3 재료상 내 트래킹성 시험

시험 재료의 dry band arc 에 의한 실험실적 트래킹 특성을 측정하기 위하여 ASTM D2303의 Liquid contaminant, Inclined plane Tracking and Erosion of insulating material 방법에 따른 시험을 실시하였다.

2.1.4 케이블상 내 트래킹성 시험

시험 재료로 압출 가공한 케이블의 트래킹 특성 평가는 IEEE P1222의 Electrical test 방법에 의거하여 염소 분위기 하에서 25V/mm 의 전압으로 1000hr 동안 시험을 진행하였다.

2.1.5 전기적 특성

적용된 재료의 전기적 성질을 알아보기 위하여 표면저항, 체적저항, 절연파괴강도, 유전율, 유전손실 등을 측정하였다. 표면저항 및 체적저항은 시편 직경 100mm, 두께 1mm로 제작하여 500V의 전압을 인가하여 시험하였으며, 절연파괴 강도는 직경 10mm, 두께 0.5mm의 시편에 500V/sec의 전압을 인가하여 시편이 파괴될 때의 전압을 측정하였다. 유전율과 유전 손실은 직경 37mm, 두께 2.5mm의 시편을 사용하였으며, 측정 주파수는 1MHz였다.

2.1.6 기계적, 물리적 특성

기계적, 물리적 특성을 측정하기 위하여 인장 강도, 신장율은 표점 거리 20mm, 신장 속도 250mm/min.의 IEC 811-1-1에 의거 시험을 진행하였고 마모시험은 ASTM C501의 taber abrasion 방법에 따라 진행하였다.

2.1.7 내환경 특성

내 환경성 평가를 위하여 ASTM D1693 에 따라 50°C, 10% Hgepal 용액의 조건에서 10개의 시료에 대하여 ESCR (Environmental Stress Crack Resistance) 시험을 진행하였으며, 태양광, 습도, 열에 의한 영향은 Weather-Ometer를 사용하여 water spray 18분 분부, 102분 중지, Xenon arc lamp의 조건에서 기계적 특성의 경시 변화를 측정하였다.

2.2. 결과 및 고찰

2.2.1 내 트래킹성 재료의 트래킹 억제 방법

내트래킹 재료 5종의 적용기술은 크게 두 가지로 분류될 수 있는데, 표 1에서 볼 수 있듯이 A 분류 재료의 경우 금속 수화물을 약 30~50 wt% 와 약 2.5 wt%의 카본 블랙과 기타 첨가제를 포함하고 있으며, 3종의 재료가 유사한 성분으로 구성 되어 있다. B 분류 재료에 해당하는 2종은 재료 A와는 달리 약 1wt% 정도의 카본 블랙과 기타 첨가제를 포함하고 있으며, 일반 광 cable용 시스템 재료의 경우는 약 2.5wt%의 카본 블랙과 기타 첨가제로 이루어져 있다.

표 1. Tracking resistant 재료의 기본 구성

A분류재료	금속 수화물 Mg(OH) ₂ /Al(OH) ₃ - 약 30~50 wt%, 카본 블랙 약 2.5wt% & 기타 첨가제
B분류재료	카본 블랙 약 1.0wt% & 기타 첨가제

*. 재료 C : 일반 광케이블 시스템용 재료

내트래킹 재료의 트래킹 억제수단으로 금속수화물의 적용은 널리 알려진 기술인데, 금속수화물의 분해에 의한 흡열 반응 및 발생되는 수분에 의한 arc의 온도 저하, 발생 수분에 의한 건조대의 생성역제로 시스템 재료의 arc발생이 반복되는 가능성을 감소시키게 되는 것이다.[5,6,7,8] 카본 블랙 응용 기술을 적용한 재료는 카본블랙 입자 사이의 거리를 증가시켜 유기전류의 발생을 어렵게 하고 건조대 생성을 방해함으로써 arc 발생의 억제 및 트래킹 발생에 의한 시스템의 탄화를 저지하는 것이다.[7]

2.2.2 재료상 내 트래킹 특성

내트래킹 재료의 트래킹 특성시험을 위하여 표 1에서 분류한 A, B, C 재료 중 특성이 우수한 각 1종씩 총 3종을 선정하여 트래킹 성능을 평가하였다. 시험 조건은 초기 2.5kV 전압을 기준으로 오염액과 전압의 조건에 따라 표 2와 같이 하였으며 그림 3에 시험 장치의 개략도를 나타내었다.

표 2. Time to track 시험 조건

인가 전압	2.5 kV	3.0kV	3.5kV
오염액 유량	0.15ml/min	0.30ml/min	0.30ml/min
오염액 성분	0.1% NH ₄ Cl + 0.02% wetting agent + 증류수		
오염액 저항	375 - 400 Ωcm		
시편 size	120 X 50 X 6mm		
전극간 거리	50mm		
판정 기준	누설전류 60mA 이상 또는 트래킹의 진전이 전극 길이의 1/2 이상 시험 전압에서 90분에 트래킹 발생이 없을 시 전압 상승 시험		

그림 4에는 인가 전압에 따른 각 재료의 time to track 특성을 나타내었는데 5개의 시편에 대하여 트래킹 시간을

측정한 뒤 평균값을 나타낸 것이다.

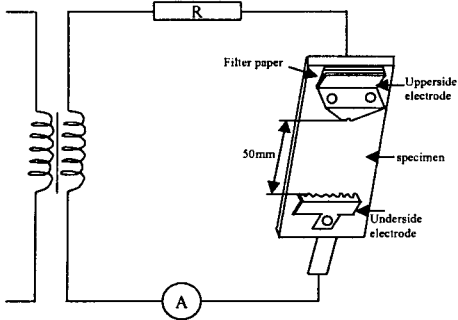


그림 3. Liquid-contaminant, Inclined plane Tracking and Erosion test apparatus

내 트래킹 재료인 A, B의 경우 2.5kV 전압에서 900분까지 누설 전류가 60mA를 초과하지 않고, 트래킹 이 발생하지 않았다.

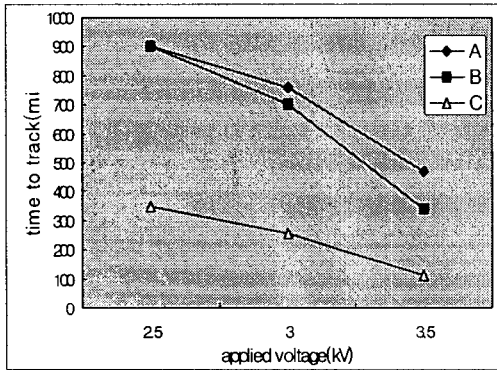


그림 4. 각 재료의 전압에 의한 time to track 특성

3.0kV, 3.5kV로 전압이 상승함에 따라 time to track은 2.5kV에 비하여 A의 경우 90%, 45% 및 B의 경우 90%, 40% 수준으로 줄어드는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 A, B 재료가 2.5kV, 3.0kV의 전압에서의 time to track 특성은 유사하지만 3.5kV의 고전압에 있어서는 A재료가 우수한 것으로 나타났다. 그러나 금속수화물을 적용한 A 재료의 경우 케이블 포설 후 시간경과에 따라 금속수화물의 표면 이행으로 오염에 의한 dry band arc 발생률이 증가할 것으로 예상되어 재료에 대한 단기간의 실험실적 시험 성능으로 장기간의 실제 포설 환경에서의 성능을 비교하는 것은 무리가 있는 것으로 판단된다. 광케이블용 일반 시스 재료인 C의 경우는 2.5kV에서 350분 정도에 tracking 발생과 함께 발화되는 현상이 발생하였으며, 3.0kV, 3.5kV의 전압에서는 250분, 110분에서 트래킹이 발생하였다.

2.2.3 케이블 상에서의 내 트래킹 특성

케이블 상태에서의 트래킹 저항성을 평가하기 위한 방안으로 IEEE P1222의 Electrical test를 진행 하였다. 재료 A, B로 제조한 ADSS 케이블을 그림 5에 나타난 시험 장치를 사용하여 1000hr 동안 시험 후 시스체의 트래킹 발생 시간 및 침식정도를 측정하여 내 트래킹 성능을 평가하였다.

IEEE P1222에 따른 평가 기준은 시스체가 시험 전 무게의 50% 이하로 침식되어 시스체의 두께가 초기 두께의 50% 이상이면 시험을 통과하여 내 트래킹 재료로 적용 가능한 것으로 판정하고 있다. 시험 결과를 나타낸 표 3에서 보는 바와 같이 A, B 재료로 이루어진 시스체 모두

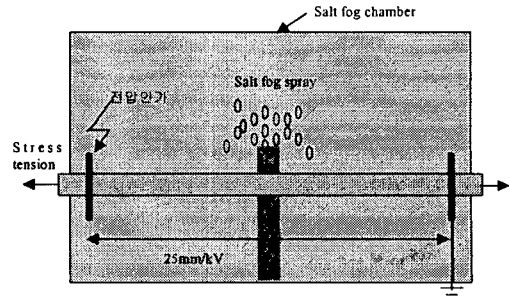


그림 5. IEEE P1222에 따른 Electrical test 시험 장치

침식되지 않아 고전계에서의 내트래킹 재료로서 IEEE P1222 Electrical test의 기준을 만족하고 있다.

표 3. IEEE P1222에 의한 Electrical test 결과

항목	재료 A 시스	재료 B 시스
트래킹 및 Puncturing	없음	없음
Erosion, >50% 시스두께	없음	없음

2.2.4 전기적 특성

시험 재료들에 대한 전기적 특성치들을 표 4에 나타내었다.

표 4. 전기적 특성 시험 결과

항목	A	B	C
표면저항(Ω)	1.66xE15	2.78xE15	7.26xE15
체적저항($\Omega \cdot \text{Cm}$)	2.52xE16	5.29xE16	8.18xE16
절연파괴강도(kV/mm)	41.9	74.5	57.6
유전율(ϵ) - 1MHz	3.23	2.92	3.04
$\tan\delta$	1.45xE-3	1.68xE-3	1.12xE-3

결과를 살펴보면 표면저항이나 체적저항에 있어서는 큰 차이를 나타내지 않았고, 절연파괴강도의 경우 재료 A가 가장 낮게 나타났으며, 유전율은 가장 높은 수치를 나타내고 있다. $\tan\delta$ 는 A, B, C의 재료가 유사한 것으로 측정되었다. 절연파괴 강도의 경우 A 재료가 포함하고 있는 금속 수화물의 OH 극성기의 영향 및 금속 수화물과 base resin의 계면에서 전기적 취약성으로 절연파괴 강도가 낮은 것으로 생각되며, C의 경우는 포함하고 있는 카본블랙의 차이로 B 보다 낮은 값을 나타내고 있는 것으로 추정된다. 유전율은 측정 재료의 극성기에 의하여 주 영향을 받는 것으로 생각되며, 재료 A가 금속수화물의 극성기의 영향으로 가장 높은 값을 나타내고 있으며 C, B 재료의 순으로 낮은 유전율을 나타내어 절연파괴강도와 반대의 경향을 나타내고 있다. 이러한 사실로부터 절연파괴 강도 및 유전율 등이 재료의 트래킹 저항성과 직접적 연관성을 나타내지는 못하는 것으로 나타났는데, 이것은 절연파괴강도 및 유전율이 재료의 bulk 특성을 나타내는 반면 트래킹은 재료 표면의 물리적 및 전기적 특성에 많이 좌우되는 것에 기인하기 때문인 것으로 생각되었다.

2.2.5 기계적/ 물리적 특성

시험 재료들에 대한 기계적, 물리적 특성을 표 5에 나타내었다. 금속 수화물을 함유한 A재료의 경우 상대적으로 높은 비중을 나타내어 케이블의 시스 재료로 적용되었을 경우 전체 케이블의 중량을 증가 시킬 것으로 생각되었다. 인장강도는 B, C 재료가 유사하였으며, 금속 수화물을 함유한 A재료의 경우 상대적으로 낮은 특성을 나타내고 있다. 또한 케이블을 포설시 sheave 등과의 마찰에 의해 발생할 수 있는 마모에 대한 저항성을 나타내는 내마모성의 경우도 금속 수화물을 적용한 A 재료가 B, C 재료에 비하여 약 2배의 부피 감소를 보이고 있어 취약한 내마모 특성을 나타내고 있으며, 저온에서의 외부충격에 대한 저

항성을 나타내는 cold impact의 경우도 -50℃의 저온 영역에서 급속 수화물을 적용한 A 재료의 경우 특성이 떨어지는 것으로 나타났다. 각 재료의 MFR(Melt Flow Rate)은 A, B 가 유사하였으며, 일반 광케이블용 시스템 재료는 낮은 것으로 나타났는데 이것은 사용 base resin의 분자량 차이에서 기인하는 것으로 생각되었다.

표 5. 기계적 물리적 특성 시험 결과

항목	시험 방법	A	B	C	
비 중(g/cm ³)	ASTM D1505	1.1	0.98	0.94	
경도(shore D)	ASTM D2240	61	61	62	
인장강도(kg/mm ²)	IEC 811-1	2.02	2.78	2.84	
신장율 (%)		860	860	800	
노화 잔율(%)		인장	83	92	83
		신장	92	98	94
Abrasion	ASTM C501	0.21	0.11	0.11	
OIT(200℃), min.	ASTM D3895	>65	>90	85	
Coldimpact - 50℃	ASTM D746	3fail/ 5sample	All pass	All pass	
	MFR(190℃/2.16kg)	ASTM D1238	0.42	0.38	0.21

2.2.6 내 환경 특성

옥외에 포설되는 케이블은 장기 사용에 따른 기능 유지를 위하여 수분, 빛, UV 등 외부요인에 대한 환경 저항성은 중요한 특성 중 하나이며, 특히 ADSS 광 케이블은 전계의 영향과 외부 환경적 요인을 복합적으로 받게 되는 가혹한 조건에서 사용되므로 그 중요성은 더하다. 각 재료의 내환경성을 평가하기 위하여 ESCR (Environment Stress Crack Resistance) 시험과 weather-Ometer에 의한 내후성 시험을 실시하여 표 6과 그림 6에 그 결과를 각각 나타내었다.

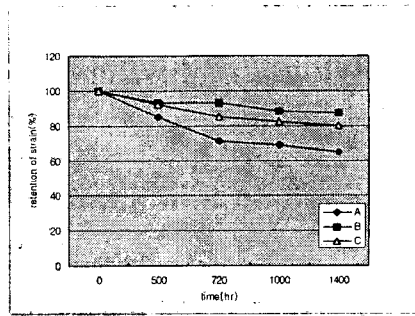
표 6. ESCR 특성 결과 (50℃, 10% Igepal 용액)

재료	A	B	C
시간 (hr)	>2000	>2000	>2000

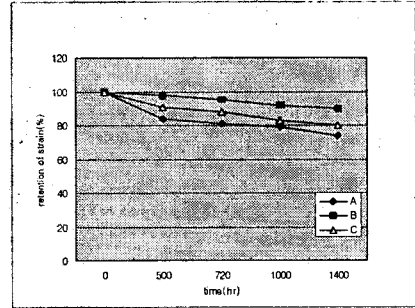
표 6의 ESCR 결과를 보면 시험을 위한 3종의 선정 재료 A, B, C에 대하여는 2000hr 까지 crack이 발생하지는 않았으나, A 및 B 분류의 재료 중 1종씩은 1000hr에서 10개 시험 시료 중 8개의 시료에서 cracking 이 발생되었다. 또한 내후성 시험에 의한 시간 경과에 따른 인장, 신장율의 변화를 나타낸 그림 6으로부터 급속 수화물을 적용한 A 재료의 경우 시간 경과에 따른 기계적 특성의 저하가 심하게 일어나고 있는 것을 알 수 있다. 이러한 사실은 재료의 단시간의 실험실적 트래킹 성능이 A에 비하여 낮게 나타났던 B의 경우 케이블상으로 포설되어 장시간 경과 하였을 때의 성능은 더 우수할 것으로 사료된다. 이상의 결과로 부터 실험실적 time to track 과 같은 가속 시험 방법만으로 실제 사용환경에 따른 성능까지를 예상 하기는 어려운 것으로 생각되며, 카본블랙을 적용한 경우가 급속수화물을 적용한 경우 보다 우수 할 것으로 판단 되었다.

3. 결론

ADSS 광케이블의 성능에 중요한 영향을 끼치는 내트래킹 시스템 재료에 대한 연구를 진행하여 제 특성들을 비교 평가한 결과 내 트래킹 재료의 트래킹 억제 방안으로는 급속 수화물과 카본블랙을 적용 하였으며, 이들의 실험실적 트래킹 저항성은 고전압에서 급속 수화물 적용 재료가 약간 우



(a)인장 잔율



(b)신장 잔율

그림 6. 시간 경과에 따른 인장, 신장 잔율 변화

수한 것으로 측정 되었으나 IEEE P1222 Electrical test에 의한 케이블상 내 트래킹 시험은 두 재료로 제조된 시스템 모두가 기준에 합격하는 것으로 나타났다.

기계적 성능을 비롯한 내마모성, 저온 충격강도, 노화 특성 및 weather-Ometer에 의한 인장, 신장 잔율의 경시 변화 특성은 급속 수화물 적용 재료가 카본블랙 적용재료에 비하여 열등하였다. 종합하면, 급속 수화물 적용 재료의 경우 고전압에서 카본블랙 적용 재료에 비하여 실험실적 time to track 특성이 우수하였으나, 기계적 특성을 비롯한 내 환경 특성은 카본블랙 적용 재료에 비하여 떨어지는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 실제 케이블에 적용되어 장시간 사용시 급속 수화물의 표면 이행에 의한 오염 및 수분, 태양, UV에 의한 시스템 표면의 빠른 열화로 트래킹 저항성을 저하시킬 가능성이 높은 것으로 생각되었다. 따라서 단시간의 실험실적 트래킹 발생 시간만으로 실제 포설 환경에서의 트래킹 성능도 우수할 것이라고 판단하기 어려운 것으로 생각되며 실제 포설 환경에서 장시간 사용된 케이블에 대한 성능평가도 함께 고려되어야 할 것으로 판단된다. 향후 이러한 추정에 대한 실험실적 평가 방향의 하나로 트래킹 성능과 표면 특성의 연관성에 대한 시험을 진행 할 예정이다.

Reference

1. Alcatel 6840-6844, Customize solution (2002)
2. IEEE P1222 Draft, Standard for All Dielectric Self-Supporting Fiber Optic Cables for Use on Overhead Lines, (1997)
3. Reinhard Engel and Sabine Will, Lifetime Prediction of ADSS-Cable in high Voltage Lines Proc. 49th IWCS , pp 470~473 (2000)
4. Rong Xia, Xingyun Zhong, Liping Tang, Investigation and Comparison of Various Track Resistant Materials for ADSS cable Proc. 50th IWCS , pp 336~340 (2001)
5. JP 5968345
6. JP 01319205
7. JP 326734
8. WO 93055424.