

알루미늄 절연전선의 단선고장 특성 분석

김동명, 나동채  
한국전력공사

The Characteristic Analysis of breaking failure on ACSR-OC Conductor

Dong Myung Kim, Dong Chae Ra  
KEPCO, KEPRI

**Abstract** - ACSR-OC 전선은 알루미늄, 아연 및 철 등 세 가지 금속이 서로 접촉되는 이질구조이므로 도체에 전해질의 수용액이 존재할 경우 전해부식이 일어나기 쉽고 표면이 손상되었을 경우는 서지의 고정점으로 작용하여 단선될 우려가 있다.

AI 절연전선이 염분에 의해 발생하는 변화를 살펴보았다. 시료는 10년이상 현장에서 사용한 후 철거한 전선과 신품에 대해 기계적 강도시험(KSC 3113의 5.4.3 (인장하중시험)), 소선의 성분분석(SEM) 및 현미경 관찰을 실시하였다. 실험결과, 철거전선 표면에서는 알루미늄 외 산소, 염소(Cl), 나트륨(Na) 등이 관찰되었으며 소선은 부식 또는 진행 중이어서 전선의 인장력이 저하되어 있었다. 또 표면이 손상된 전선에 대해 파괴시험, 현미경 관찰 등을 실시하여 절연에 미치는 영향을 조사하였다.

1. 서 론

가공 배전방식은 지하 매설방식에 비하여 건설비가 저렴하기 때문에, 도시주변, 교외선로에 많이 설치 운영되고 있다. 국내의 22.9kV-y 계통의 가공전선은 초기에는 2중 면절연전선을 채택하여 사용하다가 1962년에 전기공작물 규격 개정에 의해서 나동선이 사용되었고, 동(Cu)보다 가격이 저렴한 알루미늄(Al)선이 개발됨으로써 전선 도난예방의 기대와 함께 1966년 이후 나 알루미늄전선으로 대체되었다.

그러나 나전선에 의해 발생하는 외물접촉 선로고장, 안전사고 등을 예방하고자 절연전선이 개발되어 1977년부터 일부 고압배전선에 고압용 절연전선이 사용되기 시작하였으며, 1978년에는 특고압 배전계통에도 절연전선이 사용되었다. 또한, 1979년 8월에 개정된 전기설비기술기준령에 의해서 도심지와 인가 밀집지역에서는 절연전선 사용이 의무화되었다. 22.9kV 강심알루미늄절연전선(ACSR-OC)은 2007년 12월 현재, 418,386km에 걸쳐 설치되어 있으며 이것은 전체 가공배전선로의 72%를 점유하는 것으로 점차 확대되는 추세이다.

이와 같은 상황에서 공급신뢰도에 대한 고객의 요구수준은 높아지고 있어 관리기술을 향상시켜 전력설비의 이용효율을 극대화할 수 있는 방안 검토가 필요하다. 본 논문에서는 최근 염해지역에서 발생한 절연전선의 단선원인을 규명하고 영향 요소를 파악하여 전선에서 발생하는 계현상을 평가하였다.

2. 시 험

2.1 시험방법

절연전선 단선고장이 발생한 포항지역 주변에 설치되어 있는 동일년도 생산품인 ACSR-OC<sup>1)</sup> 95 $\alpha$ 를 5개소  
1) ACSR-OC(ACSR Outdoor Cross-linked Polyethylene Insulated wires for 22.9kV-Y) : 특고압 강심알루미늄 절연전선

선별하여 길이 1m로 철거하여 피복의 표면상태에 따른 제특성을 비교하였다. 정상품일 경우 ACSR-OC의 특성은 ES 121-234에 규정되어 있는 조건을 만족하여야 하며 표 1과 같다.

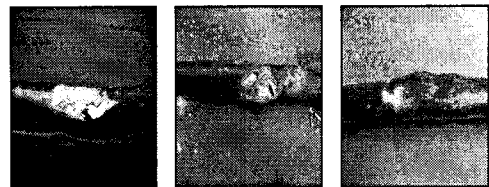
표 1. ACSR-OC 전선의 규격

공칭면적 ( $\alpha$ )	도체			절연체 두께 (mm)	최대 도체 저항 20℃ ( $\Omega$ /km)	시험 전압 (kV)	도체 인장하중 (kg)
	소선 수	St (mm)	외경 (mm)				
ACSR-OC 95	6/SB	1/3.5	12.0	3.5	0.313	25	2,360

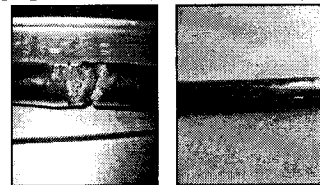
시료는 부식의 정도, 표면상태에 따라 표 2와 같이 분류한 후 피복을 제거하여 KSC 3113의 5.4.3(인장하중시험)에 따라 인장시험기(Mechanical Strength Tester, Unitech™ Series)를 이용하여 소선의 기계적 강도시험을 실시하였다. 또한 도체의 단선원인을 파악하고자 금속현미경 (Metallurgical Microscope, 저배율현미경), SEM (주사전자현미경, Scanning Electron Microscopy)을 이용하여 표면 및 성분 분석을 실시하였다.

표 2. 시료의 분류

시료번호	사용연수	도체 부식정도	피복 상태
N-1	10년 이상	전체 부식	1/2 정도 벗겨짐
N-2	"	부분 부식	1/4 정도 벗겨짐
N-3	"	"	변질되어 있음
N-4	"	정상	트래킹흔적이 있음
N-5	신품	"	정상



(a) N-1                      b) N-2                      (c) N-3



(d) N-4                      (e) N-5

그림 1. 시료의 피복상태

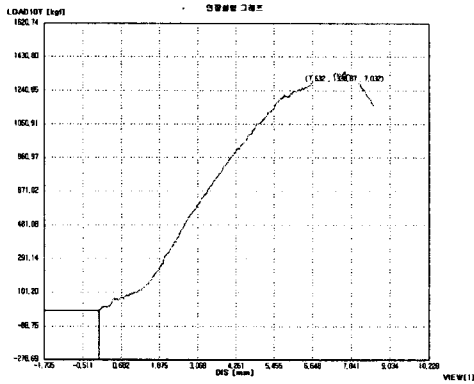
### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 인장강도

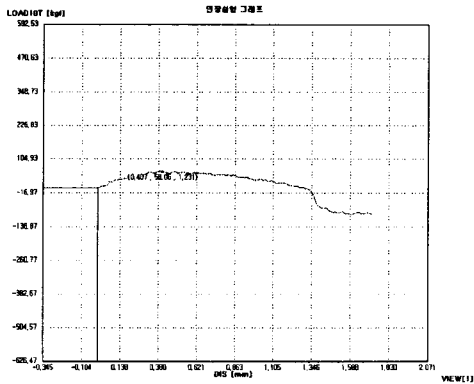
알루미늄 피복강선 KSD 2315에 따라 소선의 지름이 3.5mm일 경우 130 kg/mm<sup>2</sup> 이상의 인장강도를 요구하며 ACSR-OC 95의 도체는 2,360 kg/mm<sup>2</sup>의 기계적 특성을 만족시켜야 한다. 소선에 대한 인장시험 결과, 전선 피복이 벗겨지고 도체가 부식되어 있는 N-1, N-2에서는 도체의 인장하중은 기준값 이하로 측정되었으며 전선 피복이 벗겨지지 않았지만 도체 부식이 진행 중인 N-3 소선의 기계적 강도는 기준값 이하로 측정되었다.

표 3. 시료의 인장강도 시험결과

구분	인장강도 [kg/mm <sup>2</sup> ]					기준 [kg/mm <sup>2</sup> ]	
	N-1	N-2	N-3	N-4	N-5		
강선	1,282	1,281	1,338	1,460	1,338		
심선	#1	0	0	240	239	223	130
	#2	0	0	221	170	233	
	#3	0	0	58	207	221	
	#4	0	0	75	238	221	
	#5	0	0	225	212	217	
	#6	0	0	212	223	228	
소계	0	0	1,031	1,289	1,343	780 (130×6EA)	
합계	1,282	1,281	2,369	2,749	2,681	2,360	



(a) N-3 강선



(b) N-3 심선

그림 2. 용력-변형 특성시험(N-3)

#### 3.2 현미경 관찰

도체가 부식된 N-1, N-2, N-3을 저배율현미경으로 관찰한 결과, 표면 부식에 의해 소선이 단선되어 있는 것을 확인할 수 있었다.

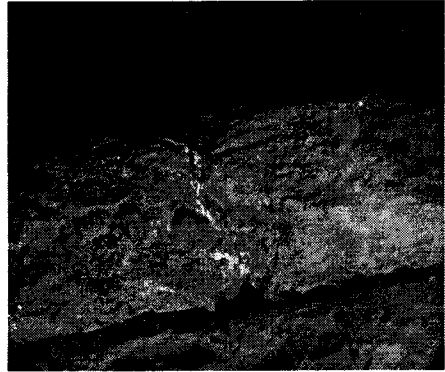


그림 3. 부식된 소선

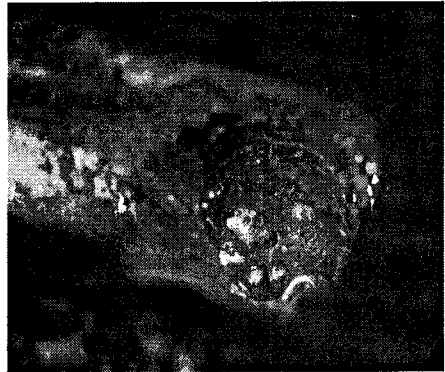
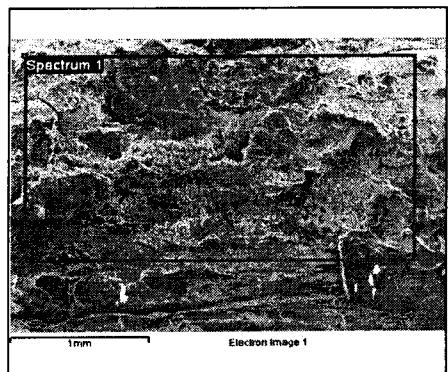


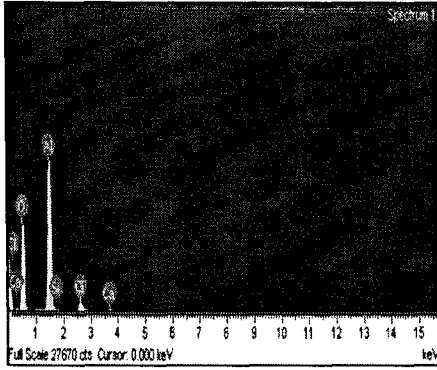
그림 4. 용융된 소선

#### 3.3 SEM 분석

부식된 소선의 표면에서 알루미늄 외 산소, 염소(Cl), 나트륨(Na) 등의 성분이 관찰되었으며 N-1-3의 시료에서 산소는 36-60 W%, 알루미늄 34-40 W%, 염소 1-3 W%가 검출되었다.



(a) 소선 표면



(b) 소선표면 성분  
그림 5. SEM 분석(N-1)

#### 4. 이론적 고찰

ACSR-OC 전선은 알루미늄 소선의 사이에 강심이 중간에 들어있는 구조로, 강심은 내식성을 높이기 위해 아연도금을 한다. 따라서 ACSR 전선은 알루미늄, 아연 및 철 등 3가지 금속이 서로 닿아있는 구조로 되어 있어 전해질의 수용액이 존재할 경우 전지가 형성되어 전해부식이 일어나기 쉬울 것으로 생각된다. 알루미늄(Al)은 산성용액 중에서는  $Al^{3+}$ 가 되고 알칼리용액 중에서는  $AlO_2^-$ 로 용해하는 양성 금속 pH 4~8 사이에서는 알루미늄의 산화피막이 비교적 강하게 형성되어 부식이 없지만 pH가 4이하로 낮아지는 경우 피막이 쉽게 깨지고 산성수에 녹아  $Al^{3+}$ 가 된다. 알루미늄의 이온화 경향은 아연이나 철보다 높기 때문에 ACSR처럼 서로 다른 재료가 접촉해 있어 여기에 산성 전해질이 채워질 경우 전지가 형성되어 알루미늄은 지속적으로 이온화되어 없어지고 이는 부식으로 나타난다. 특히 포항시처럼 오손이 심한 지역은 해풍에 의해 날라 온 염분에 의한 알루미늄 도체의 표면부식 발생이 우려된다. 또한 간극 내부에 발생한 백색생성물과 염소이온( $Cl^-$ )은 빗물이 침투해도 흘러가지 않기 때문에 잔재(殘在)한 상태에서 농축된 염소이온은 부식을 촉진시키는 것으로 알려져 있다.

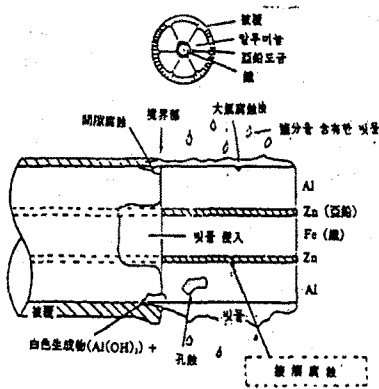


그림 6. ACSR-OC 전선의 전해 부식

#### 5. 결 론

염해지역의 절연전선 부식특성을 조사하기 위하여 인장 시험 및 성분분석을 시행한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 가. 도체 표면에 부착된 성분은 도체의 원소인 알루미늄의 산소, 염소(Cl), 나트륨(Na) 등이 조사되었으며 전선 부식은 염분에 의해 발생된 것으로 분석되었다.
- 나. 해안지방에서 알루미늄전선의 단선은 간극 내부에 생긴 백색생성물( $Al(OH)_3$ )과 염소이온( $Cl^-$ )이 잔재(殘在)한 상태에서 농축된 염소이온이 부식을 촉진시킨 것으로 판단된다.
- 다. ACSR-OC 전선의 표면에 백화 또는 부풀음 현상이 관찰될 경우 전선의 회전, 저항 발열 등에 의해 단선의 우려가 있으므로 주기적으로 점검하고 교체 계획을 수립하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] 한전 전력연구원, "특고압 배전용 전선의 섬락단선 대책 연구", 1996
- [2] 한전 전력연구원, "대기오염이 전력설비에 미치는 영향 연구", 1993
- [3] 김동명, "배전설비열화해석", 83-95pp, 1999
- [4] 백수현 외, "재료공학", 1980
- [5] 한전 전력연구원, "절연전선 단선고장 원인조사 연구", 1992
- [4] Reece, L. C., "Design and Evaluation of Load Tests on Deep Foundations", Behavior of Deep Foundations, ASTM STP 670, Am. Soc. Testing Mats., 1979