

STACIR/AW전선의 대전류설비에 의한 실증적 이도특성에 관한 고찰

신구용, 이성두, 민병욱*, 위화복*
한전 전력연구원, 한국전력공사*

Study on Dip Variation of STACIR/AW Conductor Using DC Current Facility

Koo Yong Shin, Seong Doo Lee, Byung-Uk Min*, Hwa-Bok Wi*
KEPRI, KEPCO*

Abstract - STACIR/AW은 최근 사용이 증가되고 있는 중용량전선으로 기존 송전선에 비해 많은 전류를 송전하면서도 이도특성이 우수한 장점을 가지고 있다. 이 논문에서는 STACIR/AW 전선의 온도 및 대전류특성에 대한 실증시험을 위하여 구축된 송전선로용 3[kA]급 대전류 발생 장치를 이용해 345kV 송전선로의 표준경간인 350m 시험선로에 480 mm² 및 410 mm² 전선을 가선하여 전류 특성 시험을 수행하였다.

본 논문에서는 최대 허용전류에 대한 단계별 이도특성을 외기 조건과 전선의 장력 변화를 고려하여 고찰하여 국내 주요 전선사의 중용량전선에 대한 신뢰성을 검증하고, 또한 계절별 특성시험 및 환경시험 챔버를 이용한 참고시험과 기본적 동적해석을 통하여 외기 조건에 전선의 최대허용전류를 검토하였다. 또한 실선로에 적용된 480 mm² 및 410 mm²의 중용량 전선에 최대 부하율을 파악하고 동일 조건에 부하전류를 인가한 실증시험을 통하여 전선의 이도증가율을 분석하여 상용선로의 운전조건을 검토하였다.

1. 서 론

최근의 국내 전력 규모의 지속적인 성장과정에서 지역 주민의 송전선로 건설 반대 및 토지보상 현실화 등으로 인하여 신규 송전선로 건설시 경과지 확보가 어려운 상황이며, 계단 및 활입철탑을 건설하는데도 막대한 공사비가 소요된다. 따라서 기존의 철탑을 그대로 사용하여 건설비용 등을 최소화하고 지역 주민과의 마찰을 최소화하는 중용량화 방안으로 1986년부터 한국전력은 송전용량을 기존의 ACSR에 비해 두 배 정도 늘일 수 있는 중용량 송전선인 STACIR를 선로에 적용하기 시작하였다. STACIR는 ACSR에 비해 허용전류용량이 두 배 가까이 증가하기 때문에, 연속허용온도 또한 210℃로 ACSR의 90℃에 비해 매우 높은 온도에서 사용된다. STACIR의 경우는 내열온도가 높은 내열 AI도체와 일정한 이도를 확보하기 위하여 온도에 따른 열팽창이 대단히 적은 인바합금을 강선 소재로 사용하고 있다. 인바강선은 투자율이 매우 높은 연자성(soft-magnetic)합금으로 장시간 고온 고하중 상태에 놓여진다면 자성체의 자기적 특성이 변화되어 저이도 특성에 손상우려가 있으며 전선의 설계 형태에 따라 이도특성을 달리할 수 있으므로 이에 대한 연구가 요구되었다.[1][2]

본 논문에서는 3[kA]급 대전류 장치를 이용한 STACIR/AW 전선의 실증적 이도특성을 고찰하고 중용량 전선을 이용한 송전선로 설계의 신뢰성을 확보하기 위하여, 부하전류량에 따른 도체별 이도특성과 계절별 대전류 특성에 대한 시험을 수행하였다. 또한, 환경시험 챔버를 이용한 참고시험을 통하여 주위온도 및 풍속을 조절하여 하나의 조건 변화에 따른 전선의 대전류 특성 시험을 수행하였다.

2. 본 론

2.1. 3kA급 대전류 발생장치 및 실증시험선로

STACIR/AW 전선의 온도 및 대전류 특성에 대한 실증시험을 위하여 고창 전력시험센터에 송전선로용 3[kA]급의 대전류 발생장치와 실증시험선로를 구축하였다. 그림 1은 350m 경간의 실증시험선로를 나타내고 있다. 대전류 발생 장치 구성도는 그림 2와 같으며, 수전설비, 전원용 변압기, DC 제어장치 및 제어, 계측용 PC로 구성된다.

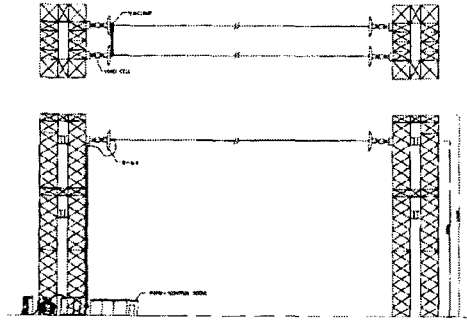


그림 1. STACIR/AW전선의 실증시험선로

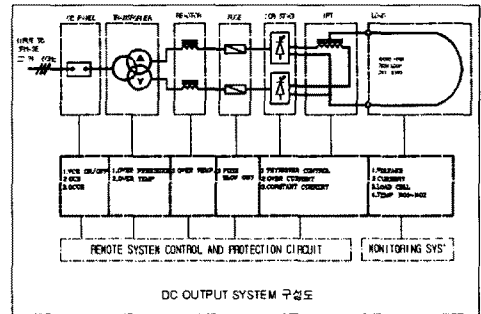


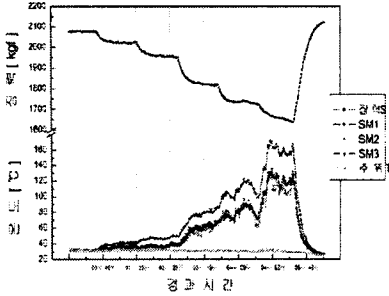
그림 2. 대전류 발생장치

2.2. STACIR/AW 410mm² 전선의 대전류 실증시험

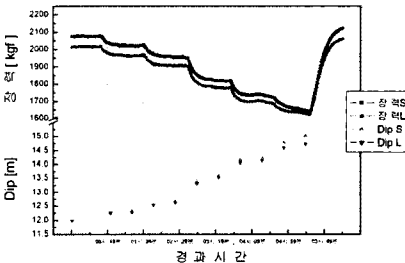
2.2.1. 이도 특성 시험

410mm² 전선의 단기 대전류 변화에 따른 이도 특성을 파악하고 인바합성 점유율에 따른 도체 방식별 특성 비교를 위하여, 허용전류의 일정 비율 증가 시험을 수행하였다.

그림 3은 410mm² 전선에 1시간 마다 0[A]에서부터 연속 허용전류인 1,581[A]의 120%까지 20% 간격으로 전류를 변화시켰을 때, 전선온도와 장력, 이도의 변화를 나타내고 있다.



(a) 전류변화에 따른 전선온도와 장력의 관계



(b) 전류변화에 따른 장력과 이도의 관계
그림 3. 단기 대전류 특성시험 경향

80% 허용전류시 이도 증가는 그림 3(b)에서 보듯이 이도가 13.61로 가압전의 11.98에 비해 약 13%의 증가율을 보여 이도 관점의 운용상 문제점은 없는 것으로 판단되었다.

그림 3(a)의 데이터를 바탕으로 전선온도와 장력의 관계를 그림 4(a), 이론적인 이도계산에 의한 결과를 그림 4(b)에 나타내었다. 천이온도 94°C 부근에서 장력의 변곡점이 형성됨을 확인할 수 있다.[3]

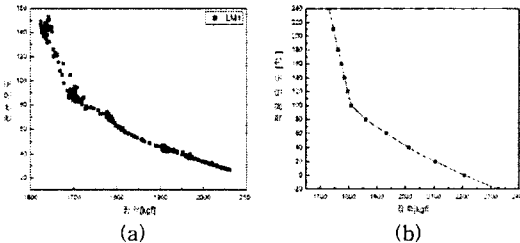


그림 4. 전선온도 변화에 따른 장력의 변화

2.2.2. 계절별 대전류 특성 시험

계절별 특성 시험은 외기 온도의 변화를 인위적으로 조절할 수 없는 실증시험의 특성과 하절기 외기온도 상승에 따른 전선의 영향을 비교, 검토하고자 수행되었다.

가. 동절기 ('03년 10월~12월)

동절기 인가 전류별 전선 온도와 장력의 변화를 실험하였다. 또한, 풍속과 전선온도의 관계를 파악하기 위하여 100% 전류 인가시 경과 시간별 장력과 풍속의 변화를 관측하였다. 그림 5(b)에서와 같이 허용전류의 100%를 인가한 경우, 장력변화는 풍속변화와 거의 유사한 경향을 보이고 있다.

나. 하절기('04년 7월~8월)

동절기와 마찬가지로 인가 전류별 전선 온도와 장력의 변화, 100% 전류 인가시 풍속과 장력의 관계를 관측하여 그림 6에 나타내었다.

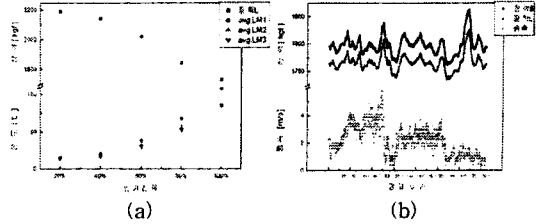


그림 5. 동절기 대전류 특성시험 경향
(a) 인가 전류별 전선 온도 및 장력 평균치 변화
(b) 동계 100% 전류 인가시 풍속과 장력의 상관도

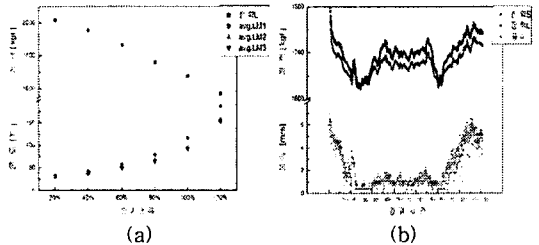


그림 6. 하절기 대전류 특성시험 경향
(a) 인가 전류별 전선 온도 및 장력 평균치 변화
(b) 하계 100% 전류 인가시 풍속과 장력의 상관도

다. 장력에 미치는 전선온도와 풍속의 영향

동절기와 하절기로 구분하여 허용온도의 일정 비율을 단계별로 72시간씩 통전하여 시험한 결과를 표 1에 나타내었다.

표 1. STACIR/AW 410mm 전선 계절별 특성 비교

구분	동절기('03년10월~12월)			하절기('04년7월~8월)			
	장력(kgf)	전선온도	주위온도	장력(kgf)	전선온도	주위온도	
20%	L 사	2189.8	16	14	2014.8	32.7	29.6
	I 사	2271.8	16.6		2071.2	33.8	
40%	L 사	2142.2	20.7	11.4	1954.2	42.8	29
	I 사	2223.7	22.3		2004.8	44.9	
60%	L 사	2020.3	38.1	13.3	1864.4	57.6	27.9
	I 사	2098.6	41.8		1905.2	64.6	
80%	L 사	1842.8	67.5	18.7	1760.0	79.2	29
	I 사	1914.5	77		1793.7	90.4	
100%	L 사	1730.7	108	6.5 (2.2)	1676.2	116.7	28.9 (2.1)
	I 사	1793.2	123		1698.7	138.6	

* 위 수치는 각 항목의 측정기간별 평균치를 의미함

* () 안은 허용전류 100% 인가시의 평균풍속

하계와 동계의 외기온도차가 100% 인가시 약 20°C의 차가 있으나 전선 온도의 평균값은 외기 온도의 차보다 낮은 15°C의 차이를 보였으며, 이때 데이터의 분포를 의미하는 표준편차는 계절별로 유사하게 나타났다. 또한 허용전류에 해당하는 대전류 인가시에도 정적허용온도 해석 결과인 210°C의 전선 온도보다 매우 낮은 값을 나타내어 동절기 108~120°C, 하절기 116.7~138.6°C로 측정되었다. 이는 전선 온도에 지배적인 영향을 미치는 동적허용정격전류(DLR, Dynamic Load Flow Ratio)에 가장 민감하게 영향을 미치는 풍속(기간의 평균 풍속: 2.1m/s)에 의한 결과로 확인되었다. 즉, 전선온도에 의한 장력의 변화는 허용전류가 60% 미만인 경우 풍속의 변화보다는 주로 주위온도에 영향을 받으나, 허용전류 80% 이상인 경우에는 풍속에 지배적인 영향을 받는다.

2.3. 환경시험 챔버를 이용한 참고시험

주위온도 및 풍속을 조절하여 하나의 조건 변화에 의한 전선의 대전류 특성을 시험하기 위하여, 대전류 환경시험 챔버를 이용한 참고시험을 수행하였다. 시험의 결

과와 이론적 고찰을 통하여 STACIR/AW 전선의 동적 허용용량 관점에서 대류 및 풍속에 의한 전선 온도의 영향을 보다 면밀하게 검토하였다.

실험실내의 전선 온도 210°C와 환경시험 챔버내의 온도 120°C(고장결과와 유사)의 온도차이는 환경 챔버의 작동 원리상 챔버 내의 분위기 온도를 40°C로 유지하기 위한 활발한 대류가 원인일 것으로 추정된다. 그러나 이 같은 고려에도 불구하고 전력시험센터를 통해 측정되고 있는 온도와 챔버 조건에서 확인된 전선의 온도와는 다소의 차이를 보이고 있다.

그림 7에 대전류 환경시험 챔버에 의해 시험된 동적 허용능력전류인 1581[A]에서 풍속 변화에 따른 전선온도 변화를 보이고 있다.

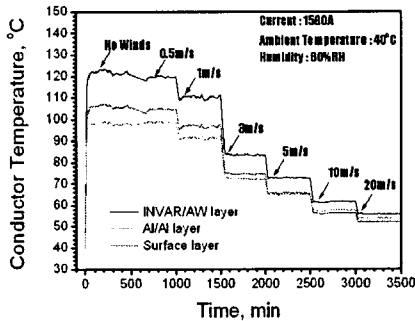


그림 7. 전류 1581[A]에서 풍속에 대한 전선의 온도변화

그림 8에는 동적허용능력전류(DLR, Dynamic Load Flow Ratio) 값에 가장 민감하게 영향을 미치는 풍속 특성을 이론적으로 검토해 보았다. 이 도체의 경우, 규정풍속 $V_w=0.5[m/sec]$ 에서 전선온도가 210°C까지 허용할 수 있는 전류는 $I_c=1581[A]$ 이다.

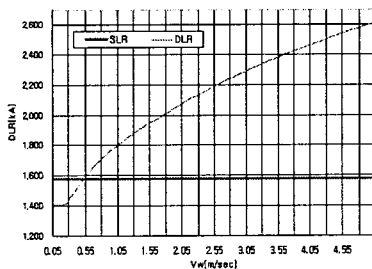


그림 8. 풍속 변화에 대한 허용전류 특성

$V_w=0.0m/s$ 이면 전선온도는 허용전류가 1407[A]로 흐르더라도 전선의 연속허용온도인 210°C로 상승하게 된다. 또한, 저풍속 영역인 0~0.2m/s에서는 거의 일정한 전류값을 나타낸다. 그러나, $V_w=0.5m/s$ 이상의 경우에는 전선의 냉각효과가 현저하게 증가하여 동일한 최대온도에서 허용전류는 크게 증가함을 알 수 있다.

고장 전력시험센터에서 측정된 데이터 중 풍속은 내륙 지방보다 일반적으로 큰 풍속을 나타내고 있다. 따라서, 전선에 SLR인 100%의 전류를 인가하더라도 전선의 온도가 허용온도인 210°C 보다 현저하게 낮은 값으로 측정된 원인으로 풍속의 영향이 지배적임을 알 수 있다.

2.4. STACIR/AW 전선의 구조적 고찰

STACIR/AW 전선의 이도특성에 결정적 역할을 하는 핵심소재는 INVAR/AW 강심으로 알려져 있다. 그 이유는 INVAR/AW 강심의 부피분율은 천이온도 이상의 고온에서 전선에 부하된 하중에 대한 INVAR/AW 강심의

지지능력을 평가할 수 있는 기준이 될 뿐만 아니라 전선의 온도구배에도 영향을 미치기 때문이다.

표 2에 STACIR/AW계열 전선의 구조적 특징과 구성소재의 상대적 단면적 비율을 나타내었다.[4]

표 2. STACIR/AW계열 전선의 연선구성과 구성소재의 단면적 비율

공칭 단면적 (mm ²)	연선구성		단면적		단면적 비율	
	초내열Al 합금선	Al피복 인바선	초내열Al 합금선 (mm ²)	Al피복 인바선 (mm ²)	초내열Al 합금선 (%)	Al피복 인바선 (%)
240	30/3.2	7/3.2	241.3	56.3	81.1	18.9
330	26/4.0	7/3.1	326.7	52.8	86.1	13.9
410	26/4.5	7/3.5	413.5	67.3	86.0	14.0
480	45/3.7	7/2.47	483.8	33.5	93.5	6.5

표 2에서 보듯이, 480mm² STACIR/AW 전선을 제외한 나머지 전선의 INVAR/AW 강심의 단면적 비율은 최소 13% 이상을 보이고 있다. 본 논문에서 보인 410mm² STACIR/AW 전선의 경우 14%의 단면적 비율을 가지며, 이도특성에도 문제가 없는 것으로 실증시험을 통해 확인하였다. 그러나 480mm² STACIR/AW 전선은 천이온도 이상의 고온으로 운전되는 열화조건에서는 전선 구조적으로 열전도가 원활 하지 않기 때문에 나타나는 중심부에서의 고온환경 발생과 상대적으로 높은 INVAR/AW 강심의 응력분담으로 인해 열화에 의한 INVAR/AW 강심의 물성저하는 보다 가속적인 수밖에 없고 이것과 밀접하게 대응하여 변화하는 STACIR/AW 전선의 이도는 크게 증가할 수 밖에 없을 것으로 예상된다.

따라서 안정적인 이도관리를 위해서는 설계 초기에서부터 적정의 비로 INVAR/AW 강심이 STACIR/AW 전선의 단면적을 점할 수 있게 하는 것이 매우 중요하며, 보다 안정된 이도관리를 위해서는 이와 같은 구조적 특징이 열전도, 열구배 발생에 미치는 영향을 정밀히 규명할 필요가 있다.

3. 결 론

실증시험결과를 분석하면, 410mm² STACIR/AW 전선의 경우, 실선로 최대 부하율인 78%의 부하전류에서 약 13%의 이도 증가율을 보여, 이도 관점의 운용상 문제점이 없는 것으로 판단되었다. 또한, STACIR/AW 전선의 구조적 고찰을 통하여 480mm² 전선의 경우 경과지 조건에 따라 운용상 이도관리가 필요할 것으로 분석되었다.

계절별 특성시험과 환경시험 챔버를 이용한 참고시험을 통하여 전선온도에 의한 장력의 변화는 허용전류가 60% 미만인 경우에는 주로 주위온도에 영향을 받으나, 허용전류 80% 이상인 경우에는 풍속에 지배적인 영향을 받음을 확인하였다. 결과적으로, 실제 외기 선로 운전조건을 관리하여 풍속등 대기 조건이 파악되면 DLR의 개념에 의해 기존 허용전류 이상의 운전이 가능함을 실증적으로 확인하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] "STACIR/AW 인바강선의 가열연화 특성 및 경년열화 특성 연구"최충보보고서, 전력연구원04 전력연-단817[2] Conductor Temperature Research, EPRI EL- 5707 (May 1988)
- [2] Conductor Temperature Research, EPRI EL- 5707 (May 1988)
- [3] S. Sakabe, "Development of Extremely-low- sag Invar Reinforced ACSR", IEEE Transactions on Power Apparatus and System, DAS-100, 4, P. 1,505, 1981
- [4] 住友電氣 第133号 저이도 허용량 인바전선의 실용화 (韶和 63年)