

### 증용량 & 저이도 가공송전 개발 현황

김동훈\*, 최아름\*, 강승훈\*, 홍동석\*, 심정운\*\*, 김동희\*\*, 이동일\*\*\*, 신구용\*\*\*, 김병걸\*\*\*  
대한전선(주)\*, 한국전력공사\*\*, 한전 전력연구원\*\*\*, 한국전기연구원\*\*\*\*

### Present Condition of High Capacity & Low Sag Overhead Transmission Development

Dong-Hoon Kim\*, A-Leum Choi\*, Seung-Hun Kang\*, Dong-Suk Hong\*, Jeong-Woon Shim\*\*,  
Dong-Hee Kim\*\*, Dong-Il Lee\*\*\*, Byung-Geol Kim\*\*\*\*  
TEC\*, KEPSCO\*\*, KEPRI\*\*\*, KERI\*\*\*\*

**Abstract** - 이상기후 변화에 따라 전력 수요량이 매년 증가하는 추세에 따른 전력 보유량이 줄어들고 있는 실정이다. 5차 전력수급 계획에 따르면 전력 소비량에 비해 전력공급 설비 증가량이 매우 부족한 실정이다. 이에 기존의 가공송전선인 ACSR에 전력송전 용량을 증가시킬 수 있는 방안으로 알루미늄 도체에 합금 원소를 첨가하여 특성을 향상시키거나, 도체의 형상을 Round Type에서 Trapezoidal Type으로 변경함에 따라 도체의 점적률을 약 20 ~ 25% 향상시킴으로 전력송전 용량을 향상시킨 증용량 가공송전선 개발이 진행되고 있다. 또한 지지선을 고강도, 비자성 특성을 갖는 강선 및 고강도, 저 선행장계수 특성을 갖는 복합재료를 사용함으로써 가공송전선의 이도 특성을 향상시킨 가공선 개발이 활발히 진행되고 있다.

적인 특성을 극대화시킬 수 있는 방안이 강구되어 지고 있다. 합금원소를 첨가하여 소재 특성을 향상시킨 알루미늄 합금의 종류는 HAI(순수 알루미늄), TAI, KTAI, XTAI, UTAI, ZTAI(STAI) 등이 있으며, 특히 HAI는 Full Annealing 처리를 통해 알루미늄 도체의 도전율을 63%이상으로 향상시킨 알루미늄 합금이다.

#### 1. 서 론

2010년 12월 확정된 제 5차 장기 전력수급계획에 의하면 1인당 전력 소비량은 약 9배/년 증가 추세를 반면 전력공급 설비는 약 8배/년 증가로 소비량에 비해 전력 공급설비 증가량이 부족한 실정이다. 또한 현재 동계에 이상저온 한파로 인해 하계에 비해 동계에 전력 소비량이 급격히 증가하여 심각한 전력부족 현상을 겪고 있다. 특히, 국내 전력계통은 다 국가와 전력유동이 곤란한 단독계통이며, 전력수요의 수도권 집중이 43%에 달하는데 반해, 발전소는 중부와 남부지역에 편재해 있어 송전장거리 송전에 따른 경제적인 지출이 막대하다. 2009년 기준 연간 송전 손실 금액을 추산하면 약 4883억원에 달하며, 지가 상승과 주민의 이해부족과 민원 등에 의한 시간적, 경제적인 여건에 의해 경과지의 확보가 대단히 어려운 실정이다.<sup>(2)</sup> 이에 본 논문에서는 전력송전 용량과 전력손실을 최소화시킬 수 있고 저이도 특성을 갖는 가공송전선 개발 현황에 대해서 논하려고 한다.

두 번째로 도체의 형상 변화를 통해 증용량을 확보하는 방안이다. 가장 범용으로 쓰이고 있는 가공송전선인 ACSR 가공송전선의 알루미늄 도체는 Round Type에 단면 형상을 가지며 지지강선에 S 꼬임, Z 꼬임으로 연결된 가공송전선이다. ACSR 가공송전선의 단면을 살펴보면, 원형의 알루미늄 소선 단면 사이에 공극이 존재하며, ACSR 가공송전선 단면의 점적률(Packing Density)을 계산하면 약 75%이다.

2004년에 미국에서 ACSR의 전력송전 용량을 증가시킬 목적으로 ACSS 도체에 처음으로 시도된 Trapezoidal Type에 Wire(TW)가 적용되었으며, ACSS에 적용된 TW는 알루미늄 소선을 원형(Round type) 단면이 아닌, 사다리꼴 형태의 (Trapezoidal Type) 단면으로 도체 형상을 가공하여 Stranding 함으로써, 점적률은 약 90% ~ 95%에 달하며 기존 Round Type에 비해 Trapezoidal Type의 도체의 점적률이 약 20% ~ 25%까지 향상되었다. 이는 전류 송전용량을 증가시키는 방법 중에 하나로 현재 증용량 & 저이도 가공송전선 개발에 많이 적용되고 있다.

#### 2. 본 론

##### 2.1.2 지지선용 재료

증용량 저이도 가공송전선의 기계적인 특성을 담당하는 지지선은 크게 강심계 지지선과 복합재료계 지지선으로 구분된다.

먼저, 강심계 지지선은 고강도 아연도금강선과 인바 합금선, 오스테나이트계 비자성 강선으로 세분화 된다. 고강도 아연도금강선은 기존의 아연도금강선에 C, Mn 등의 성분을 고용시켜 적절한 열처리를 통해 고강도를 이끌어낸 합금으로 Gap type 전선에서 적용이 되고 있다. 인바 합금선은 Fe-Ni-Co계 기본 합금 조성 외에 다른 합금원소의 첨가로 기존 강선의 1/3 수준에 달하는 저 선행장계수 특징을 갖고 있는 전선으로 STACIR, HSTACIR의 중요한 특징 중에 하나로 적용되고 있으며, 오스테나이트계 비자성 강선은 질소를 다량 함유한 비자성 고결소강으로써 강자성체인 고탄소강에 비해 통전 시의 철손 및 와전류손실을 감소시킬 수 있는 가공송전선의 도전율을 증가시켜 전류 송전용량을 증가시킬 수 있는 방법 중에 하나로 적용되고 있다. 또한, 비자성 고결소강은 고가의 Ni를 대신해서 Mn을 첨가함으로써 기존의 가공송전선에 비해 가격경쟁력이 우수하며, 스테인리스강의 특징 중에 하나인 내식성에 대해서도 우수한 특성을 나타내고 있다.

##### 2.1 증용량 & 저이도 가공송전선의 구성요소별 기술개발 동향

가공송전선은 기본적으로 통전을 담당하는 알루미늄 도체와 기계적인 특성을 담당하는 지지선용 재료(Core)로 이루어져 있다. 각각의 구성요소는 합금원소의 변화 및 열처리 방법, 재료 구성 및 재료의 형상에 따라 가공송전선의 특성이 달라지고 있다. 주로 알루미늄 도체는 가공송전선의 송전용량과 직결되고 지지선은 기계적인 강도 및 신율, 재료의 구송요소에 따라 이도 특성에 직접적인 영향을 끼친다.

##### 2.1.1 알루미늄 도체

가공송전선에서 도체 부분은 재료의 강도, 신율 및 도전율과 재료 단가를 고려했을 때 전통적으로 사용되고 있는 구리에 비해 알루미늄 소재가 가공송전선 도체로 가장 합리적인 것으로 판단되며, 현재 많은 가공송전선에 사용되고 있다. 이 알루미늄 소재를 바탕으로 합금 첨가원소 변화, 열처리 방법 등의 개선을 통해 송전용량을 증가시킬 수 있는 다양한 알루미늄 합금 제품이 개발되고 있다.

가공송전선의 송전용량을 증가 시키는 방법으로 크게 2가지로 다양한 합금개발 및 열처리 방법의 변화로 도체 재료의 물성을 향상시키는 방법과 알루미늄 도체의 형상 및 구조적인 형태 등, 도체 설계를 달리 함으로써 도전율을 향상시켜 가공송전선의 송전용량을 증가시키는 방법이 있다.

먼저, 도체 소재의 물성을 개선시키는 방법으로, 알루미늄의 합금화를 통한 방법이 있다. 합금 첨가 원소로는 주로, Zr, Si, Fe, Mg, Cu, Ti 등이 있으며 이들 원소들의 첨가로 인해 주로 도체의 내열성과 도전율을 개선할 수 있다. 또한, 적절한 후열처리를 병행하여 합금의 전기적, 기계

강심계 지지선 표면에 알루미늄 피복화는 도체와 지지강선에 이중부식을 억제할 뿐만 아니라, 내식성, 도전율을 향상시킴으로 전력 손실을 줄일 수 있다. 하지만, 알루미늄 피복층의 두께가 너무 두꺼우면 강심의 기계적인 특성이 저하될 수 있으므로 용도에 맞는 적절한 두께 조절이 필요하다.

두 번째로 복합재료계 지지선은 가볍고 강도가 높으며 선행장계수가 낮고 금속보다 비강도, 비탄성계수가 우수하다. 또한 내열성이 금속과 유사하며 Creep 변형이 적고, 내 부식성이 우수하다. 복합재료의 구성은 강화재(reinforcement material)와 기지(matrix)로 되어있으며 각 구성요소의 종류에 따라 여러 형태로 구분된다.<sup>(1)</sup> 가공송전선 지지선용 사용되는 복합재료는 가선, 운전 시에 부과되는 높은 인장력은 매우 중요한 특성이며, 이런 특성을 만족하고 있는 섬유강화형 복합재료가 많이 적용 및 연구되고 있다.

복합재료는 기지 재료에 따라 고분자기지 복합재료(Polymer Matrix Composite : PMC)와 금속기지 복합재료(Metal Matrix Composite : MMC)로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 금속기지 복합재료에 비해 가격경쟁력, 높은 인장력 및 경량화 특성이 있는 고분자기지 복합재료를 중점적으로 언급하였다.

고분자기지 복합재료로는 섬유강화 플라스틱(Fiber Reinforced Plastic : FRP)이 있으며, 강화재 종류에 따라 GFRP(Glass Fiber Reinforced Plastic)와 CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic)으로 구분된다. GFRP는 경제적인 가격에 약 70GPa에 달하는 높은 탄성계수를 가지고 있으나 습기에 의한 부식으로 강도 저하가 발생할 수 있다는 단점이 있고, CFRP는 GFRP 보다 가볍고 인장탄성계수와 인장강도 등에서 우수하나 종방향의 파단신율이 떨어져 내 충격성에 약하며, 단가가 높다는 단점이 있다. 그러나 지속적인 복합소재에 대한 연구한 결과 예측시 수지에 탄소섬유와 유리섬유를 적용함으로써 내 충격성이 향상되었으며, 많은 제조공정 개발에 따른 가격경쟁력 확보에 따른 고강도, 경량화 증용량 & 저이도 가공송전선에 많이 적용되고 있다.

〈표 1〉 증용량 저이도 가공송전선의 종류와 대표적인 특성 <sup>(3)</sup>

	지지선	도체	대표적인 특성
ACSS/TW	Steel(AW)	Soft Al	타 증용량 전선에 비해 이도가 큼
G(Z)TACSR/TW	ESt	(S)TAI	증용량, 고온 이도억제
LTACSR	ESt	(S)TAI	Gap형 가공송전선의 개량형
(H)STACIR	Invar	STAI XTAI	범용적인 증용량 전선
ACCC/TW	ACM	HAI	경량화 전선, 저이도, 저손실
ACCR	CFAMC	STAI	고가
ACFR	CFRP	(S)TAI	고가
ACMR	비자성 고절소강	HAI	ACSR형 가공송전선의 개량형, 저가

## 2.2 증용량 & 저이도 가공송전선의 종류별 장단점과 나아갈 방향

증용량 & 저이도 가공송전선의 경우 도체의 형상, Al 합금 종류 및 지지선의 종류에 따라 ACSS, GTACSR, STACIR, ACCC 등의 증용량 & 저이도 가공송전선으로 나누어지고 있다. 표1은 도체의 종류 및 지지선의 종류에 따른 증용량 & 저이도 가공송전선을 나타내고 있다. 증용량 & 저이도 가공송전선의 경우 우수한 특성을 가지고 있음에도 기존의 ACSR 전선에 비해 사용량이 적은 이유는 기존의 ACSR 제품에 비해 가격이 1.5~3배 이르기 까지 가격이 높은 문제점이 있으며, 새로운 전선에 대한 Field Test 부족에 따른 안전성 부족으로 적용이 미미한 실정이었다. 앞으로 증용량 & 저이도 가공선의 상용화를 하기 위해서는 새로운 전선에 대한 꾸준한 Field Test 통한 안전성 확보와 전력손실 최소화 및 단가를 낮춤으로써 가격경쟁력을 확보해야만 많은 증용량 & 저이도 가공송전선이 적용될 것이라고 사료된다.

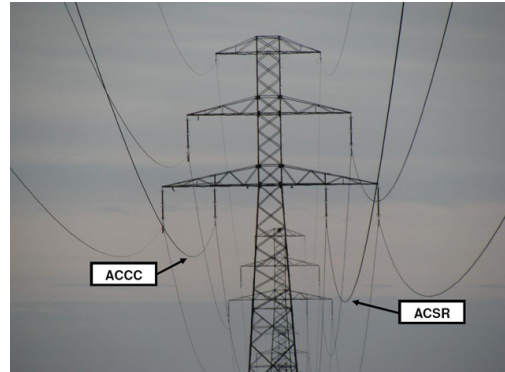
### 2.2.1 선종별 장단점

현재 개발 진행되고 있는 증용량 & 저이도 가공송전선의 경우 우수한 특성을 가지고 있지만, 단점 또한 존재한다. ACSS/TW 가공송전선은 도체 형상을 TW화 하면서 자중의 증가로 인해 이도가 오히려 증가하는 단점 있다. Gap형 전선은 ACSR에 비해 우수한 특성을 가지고 있지만, 높은 가격, 시공 및 접속 공정의 시간 증가, 난해함이 주된 단점으로 작용하고 있다. Gap형 전선의 개량형인 Loose형 전선은 시공관리가 용이하고 Gap형 보다는 경제성, 효율성이 뛰어나며, 현재 TEC에서 상용화를 위한 연구개발 진행 중에 있다. (H)STACIR는 가장 널리 쓰이고 있는 증용량 가공송전선이지만 높은 전선단가와 480mm<sup>2</sup> 규격에서 300m 경간 210°C 운전 시, ACSR 보다도 이도가 커지는 단점이 발견되었다. ACCR과 ACFR은 우수한 증용량, 저이도 특성을 가지고 있음에도 불구하고 전선 단가가 너무 높은 관계로 비교에서 제외하였다. ACCC 전선은 ACM(Advanced Composite Material)을 지지선으로 채용하여 높은 인장 탄성계수와 인장강도, 극히 낮은 선팽창계수(2.5~2.6μm/m°C : ACSR의 1/2~1/3 수준)로 강도와 이도 특성이 모두 우수한 가공송전선이다. 또한 ACCC 전선은 지지선이 가볍고, 고강도인 복합소재를 사용하여 가공송전선의 고강도, 경량화를 가능함에 따라 TW 방식의 고질적 문제인 전선 자중증가에 따른 이도 특성 감소, 지지물(철타)의 하중부담 증가의 문제를 해결할 수 있는 방안을 제시하였다. 그리고 부도체가 갖는 비자성 특성으로 인해 저 손실을 확보함은 물론 우수한 내식특성까지 보유한 가공선이다. 접속 금구류도 기존의 것을 그대로 사용할 수 있으나 추가적인 썬치형 압축부품이 사용된다는 단점이 있으나, 이를 해결하기 위하여 TEC와 전기연구원과의 공동기술개발을 통해 금구류 국산화가 현재 진행 중에 있다.

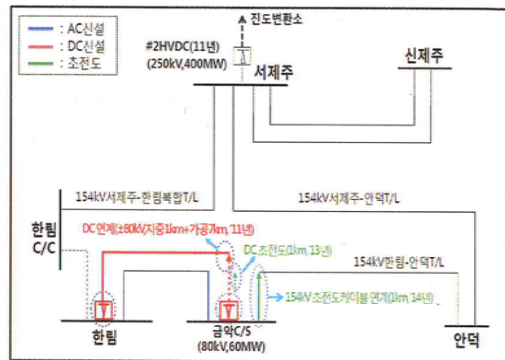
그림1은 실증단지에서 ACSR과 ACCC 가공선이 Hybrid Type으로 실 사

용된 그림이다. 그림1에서 보는바와 같이 이도특성이 우수한 복합재료를 사용한 ACCC 전선이 ACSR 전선에 비해 이도 처짐 현상이 우수하다는 것을 나타내었다.

그림2는 TEC 고 경량화 증용량 & 저이도 신 가공선 적용할 제주도 실증단지 HVDC 연계계통에 단면도 사진이다. 그림2에서 보는바와 같이 제주도 실증단지에서 TEC가 개발 진행 중에 있는 고강도, 경량화, 장경간 긴선이 가능한 증용량 & 저이도 특성이 우수한 ACCC 신 전선을 세계 최초로 한전과 공동으로 HVDC 연계계통 라인에 시범 적용 및 시운전을 진행하고 있다.



〈그림 1〉 ACCC와 ACSR의 이도



〈그림 2〉 ACCC 전선 제주도 실증단지 HVDC 연계계통 단면도

## 3. 결 론

1. 알루미늄에 합금원소 첨가에 따른 도체 특성 향상 및 도체의 형상을 Trapezoidal Type로 변경함에 따라 기존 도체의 점적률을 약 20~25% 향상시킴으로 가공송전선의 전력 송전용량을 증가시킨 증용량 가공송전선 개발로 진행되고 있다.
2. 지지선의 경우 고강도 강선 및 복합재료를 사용하여 저이도 특성을 갖는 가공송전선 개발로 진행되고 있으며, 특히 복합재료를 사용하여 친환경 에너지 개발 일환으로 경량화, 증용량 & 저이도 가공송전선 개발이 현재 활발히 진행되고 있으며, TEC에서는 복합소재를 사용한 고강도, 경량화, 장경간 긴선이 가능한 증용량 & 저이도 전선인 ACCC 전선을 사용하여 세계 최초 제주도 실증단지에 HVDC 연계계통 라인에 시범 적용 및 시운전에 진행되고 있다.

### [참 고 문 헌]

[1] University of Massachusetts, "Ch15/Composites", 2005.01  
 [2] 민병욱, 위화복 등, "한국전력, 장기 송전선로 건설계획(2005~2017)", 제 5회 가공송전선 기술세미나 논문집, pp. 12~13  
 [3] 이희웅, 김병걸 등, "전선제 저손실 고강도화 기술, 전선용 고전도 Al합금 도체 및 고강도 강심소재 개발", 2000. 06~2002. 06(1단계), 한국 전기연구원