

## 신공법에 의한 알루미늄 피복강선 개발

김상수<sup>1)</sup>, 구재관<sup>1)</sup>, 김병걸<sup>2)</sup>  
(주)메탈링크<sup>1)</sup>, 한국전기연구원<sup>2)</sup>

### The Development of Al Clad Steel wire by New Process

Shang-shu Kim<sup>1)</sup>, Jae-kwan Gu<sup>1)</sup>, Byung-geol Kim<sup>2)</sup>  
METALLINK Ltd.<sup>1)</sup>, KERI<sup>2)</sup>

**Abstract :** We have developed new process to product Al clad steel wire. New machine was modified to be able to apply an four step of "foiling-sizing-cladding-drawing" considering low clad temperature and high clad pressure. The foiling part for continuous foiling of Al sheet was designed and machine. Cladding properties at Al and steel interface were investigated for the processes of new work.

**Key Words :** Al Clad Steel Wire, Overhead Conductor, Conforming Process, New Process

#### 1. 서 론

가공송전선의 강심소재로 이용되고 있는 Al피복 강선은 전 세계적으로 컨포밍 공정(Conforming Process)에 의해 제조되고 있다. 컨포밍 공정은 Al rod를 온도, 550 ~ 630 °C, 약 15,000psi의 강한 압력으로 강선에 강제적으로 주입시켜 접합하는 공정이다.

이 공법은 종래의 Al합금 소재의 압출(extrusion)공법을 응용한 것으로, 근본적으로 강선을 둘러싸는 Al/Al소재 간에 이음부위가 약 2~4 개소 발생하게 되고 Al피복층의 두께가 불균일해지는 단점이 있다. 또한 Al과 Al간의 이음부위 경계면에서는 미세조직적으로 Mismatch에 의해서 비틀림 연성 부족현상이 발생하게 되고, Al피복층의 불균일한 두께 역시 후가공 처리 또는 사용되는 중에 단선과 같은 사고의 원인이 될 소지가 있다.

작업공정이 550°C 이상의 고온에서 압출되므로 Al과 강선 사이에 금속간화합물층의 형성, 다이를 통과하는 과정에서 강선과 다이스의 마찰로 인해 강선에서 떨어진 강미립자, 불순물 혼입으로 단선 사고가 발생된다.

특히 Al피복강선은 주로 연선(Stranding)하여 최종 제품을 제조하는데, Al과 Al 이음부위에서의 국부적인 연성부족과 불균일한 피복층 두께로 인하여 종종 피복층이 파괴되는 사고가 발생되고 있다. 최근에는 모든 생산설비가 자동화되어 있기 때문에 피복층 파괴는 급작스런 단선사고로 이어져 설비 가동이 중단되고, 대량의 불량품이 발생하는 등 많은 문제점을 초래하고 있다. 특히 OPGW와 같은 전선에서는 심각한 금전적인 손실과 함께 크래임을 발생된다.

그러므로 제조공법 중에 발생할 수밖에 없는 Al피복층에서의 Al 이음부를 최소화하고, Al피복층의 두께를 균일화할 수 있는 새로운 공법의 개발이 불가피 하다.

이에 본 연구자는 하나의 Al 이음부만을 형성할 뿐만 아니라 일정한 Al피복층 두께를 구현할 수 있는 새로운 공법을 개발하여 고품질의 Al피복 강선(Al Clad Steel wire)을 제조하고자 한다.

#### 2. 실험

신공법에 의해 제조되는 Al피복 강선은 탄소 함유량이 약 0.6wt%인 고탄소강선과 EC grade Al 판재를 이용하여 접합하였다.

시험에 사용된 각 재료를 탈지를 실시한 다음 Al 판재를 이용하여 강선 주위를 감싸고 접합하였다. 접합온도는 Al의 연화온도인 300°C, Al의 최대연신율을 나타내는 400°C, conforming 공정과 유사한 온도인 600°C에서 하였다.

접합율은 기존의 공정과 유사하게 하기 위하여 약 5%와 10%로 하였으며 이후 냉간으로 가공율이 46.8%가 되도록 하였다.

#### 3. 결과 및 검토

##### 3.1 Conforming 공정의 문제점

Al피복 강선은 ACSR/AW과 같은 가공송전선의 하중을 담당하는 핵심 부품으로 현재 생산에 이용되고 있는 방식은 컨포밍 공정이다.

그림 1은 컨포밍 공정의 개략도를 나타낸 것이다. 그림에서 나타난 바와 같이 강선은 가이드 다이(Guide Die)를 통과하여 고온 고압의 압출다이로 유입되며, 알루미늄로드(Aluminum rod)는 휠(Wheel)을 통과하면서 점차적으로 직경이 감소하여 반응용 상태로 압출다이로 유입된다. 압출다이에서 온도 550 ~ 630°C, 15,000psi 압력으로 알루미늄이 강선에 피복되어진다. 그러나 공정 중에 다음과 같은 여러 가지 문제점이 발생되고 있다.

첫째, Al rod를 사용하여 피복하는 과정에서 Al scrap이 약 20~30% 정도 발생한다. Al scrap발생으로 인하여 Al피복 강선의 생산단가는 약 20 ~ 30% 증가된다.

둘째, 강선에 Al피복하는 압출다이는 약 2~4개소로 구성되어 있다. 압출다이 개소에 따라 Al/Al 이음부가 발생하게 된다. 이러한 이음부 경계면에서는 Mismatch가 발생하게 되며 후 작업이나 연선 중에 단선 또는 피복이 탈피되는 현상이 발생된다.

셋째, 피복하는 과정에서 고압의 압력으로 인하여 강선의

중심부가 일정하게 유지되지 않는 관계로 Al피복층의 두께가 일정하지 못하고 편심이 발생하게 된다.

넷째, 550℃ 이상의 고온에서 피복하는 과정 중에 발생하는 문제점으로는 강선의 청열취성과 금속간화합물의 발생 등이 있다. 이는 Al피복 강선의 신율과 가공성을 저하시키며 단선의 원인이 된다. 특히 금속간화합물층의 두께가 10μm 이하에서는 Al과 강선의 접합특성을 향상시키는 반면 10μm 이상의 두께에서는 접합특성을 감소시켜 단선의 원인이 된다.

이외에도 작업 중에 발생하는 문제점으로는 금속 미립물의 혼입이 있다. 특히 강선이 가이드다이를 통과하는 과정에서 다이와 강선의 마찰로 인하여 강선의 금속파편이 혼입되는 사고가 빈번히 발생된다.

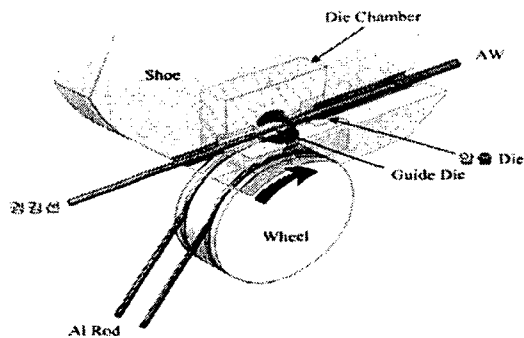


그림 1. 컨포밍 공정(Conforming Process)

### 3.2 신공정에 의해 생산된 Al피복강선

Al 판재를 이용하여 강선 주위를 감싼 후 300 ~ 400℃, 10%의 가공율로 접합 후 냉간가공을 46.8%로 시험 결과를 그림 2에 나타내었다. 참고로 기존의 공정인 컨포밍에 의해 제조된 시험편을 그림 3에 나타내었다.

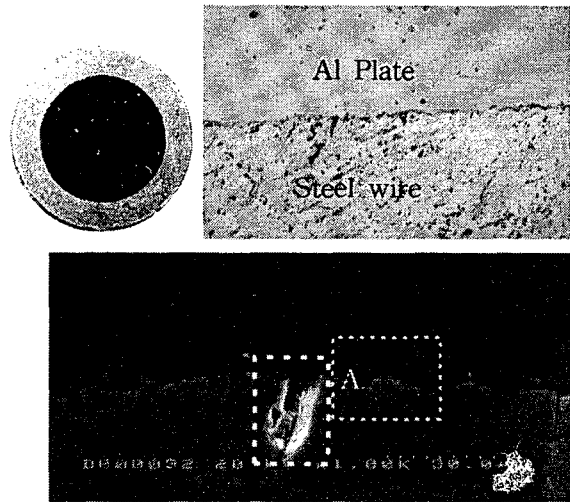
전체적으로 접합온도와 접합율에 관계없이 아주 우수한 접합계면을 나타내고 있다. 약 400℃이하 저온에서 접합한 경우 그림에 나타난 바와 같이 금속간화합물층이 형성되지 않고 일정한 두께의 Al피복층이 형성되었다. 그러나 약 600℃ 이상의 온도에서는 일부 반응층이 형성되어 구간적으로 불균일한 부위가 발생되었다.

또한 5%와 10%의 가공율에 따라 접합한 경우 높은 가공율이 높을수록 접합성은 우수하였으나 냉간가공을 실시한 시험편에서는 거의 차이점을 나타내지 않았다.

그림 3의 기존 공정인 컨포밍공정에 의해 제조된 Al피복강선의 단면은 일부구간에서 Al과 강선 사이에 박리가 관찰되었다. "A"의 경우 앞서 언급한 바와 같이 가이드다이와 강선의 마찰로 인하여 강미립자의 혼입 불량도 발견되었다. Al피복 두께를 측정된 결과 기존공정에서 제조된 시험편에서는 약 0.16 ~ 0.22mm로 편심이 발생된 것을 확인할 수 있었다. 금속간화합물층 두께는 약 20~30μ로 확인되었다.

두 공정에 따라 생산된 Al피복 강선의 접합특성을 조사한 결과 신공정의 우수성을 다음과 같이 확인할 수 있다. Al

sheet를 이용하여 접합하므로 균일한 Al피복 두께와 Al scrap이 발생되지 않으므로 생산단가를 약 20 ~30% 정도 절약이 가능하며, 저온에서 저온접합이 가능하므로 청열취성과 금속간화합물층의 발생이 없다. 또한 Al이음부 개소를 1개소로 최소화함으로 인하여 단선사고를 방지할 수 있으며, 다이와 강선간의 마찰이 발생하지 않기 때문에 강미립자와 같은 불순물 혼입이 없는 장점이 있다.



### 4. 결론

본 연구에서 신공정을 이용하여 제조된 Al피복 강선의 접합특성을 기존 공정인 컨포밍공정과 비교하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 신공정에 의해 제조된 Al피복강선은 Al sheet를 이용하여 피복하기 때문에 균일한 Al피복 두께와 Al scrap이 발생하지 않는다. 이로 인하여 우수한 품질과 함께 생산단가를 약 30% 정도 절감 가능하다.
2. Al과 강선 접합 시 저온접합이 가능하므로 금속간화합물층 발생과 강에서 발생하는 청열취성 억제가 가능하며 우수한 접합특성을 나타내었다.
3. 기존공정은 접합다이를 4개소 이용하여 접합하기 때문에 단선의 위험이 있는 이음부가 4개소 발생하지만 신공정에서는 이음부의 개소가 1개소로 단선의 위험이 약 25% 이하로 감소한다.
4. 다이와 강선간의 마찰, 불순물이 혼입이 거의 발생하지 않으므로 인하여 단선사고를 방지할 수 있다.

### 참고 문헌

[1] S. W. Banovic, J. N. DuPont, P. F. Tortorelli and A. R. Marder, "The Role of Aluminum on the Weldability and Sulfidation Behavior of Iron-Aluminum Cladding", Welding Journal, January, 1999