

AS wire의 생산성에 미치는 클래딩속도와 예열온도의 영향

윤종서[#]· 이상현

Effects of cladding speed and preheating temperature on the productivity of AS wire

J. S. Yoon, S. H. Lee

Abstract

In recent years, there has been a growing need for productivity improvement of ACS wire (Aluminum clad Steel wire) in optical communication market. So, it is necessary to improve the production speed and following quality of ACS wire to reduce the unit cost of the products. In this study, the pre-heating temperature and cladding speed is chosen as the factors can influence the mechanical and metallurgical properties during cladding, and the changing behavior of mechanical property and microstructure by controlling above two factors are investigated. And the bearing length and approach angle in cladding die are selected as the important elements for designing optimum die enabling high speed cladding. So we carried out FE(Finite Element) analysis using the above two elements as variables. This paper aims to understand the change of mechanical properties and microstructure according to the change of each factor during cladding and suggest the optimized cladding condition to get the best quality of OPGW. And also we would like to introduce the optimum die structure that enables high-speed cladding.

Key Words : AS wire, CONFORM extrusion, Cladding, OPGW

1. 서론

최근 광통신 시장의 중요한 부분을 차지하고 있는 OPGW(Optical Grounded Wire) 제품의 가격 경쟁력 향상을 위해 가공원가 중 상당한 비중을 차지하는 알루미늄 피복강선(AS wire)의 생산성 향상에 대한 요구가 크게 대두되고 있다. 따라서 AS wire의 생산성 향상을 위한 제조속도의 향상과 이에 따른 AS wire의 품질이 확보되어야 한다. 컨펌 압출공정은 고온에서의 연속작업으로 인한 압출 다이스의 강도저하로 인하여 다이스 마모나 파손이 발생하기 쉽고, 선재 외관을 악화시키기 쉬우며, 알루미늄 메탈플로우 저하 및 내부 결함 등으로 인하여 알루미늄이 강선을 충분히 감싸지 못하는 분당불량이 발생하기 쉽다[1]. 강선은 컨펌압출 공정에 의해 알루미늄을 클래딩한 후 선선, 연선 등의 가공을 거치며 이러한 지속적인 기계가공을 통해 가공경화된다. 변화하는 AS wire의 기계적 특성은 최종제품인 OPGW의 품질에 큰 영향을 미치며, 이러한 기계적 성질 및

금속학적인 미세조직은 클래딩공정에서의 인자들에 의해 조절될 수 있다.

따라서 본 연구에서는 클래딩 공정의 고속화에 따라 적정한 AS wire의 기계적 성질을 확보할 수 있는 최적 공정조건을 도출하고, 유한요소해석을 통해 고속화에 대응 가능한 최적의 다이스 구조를 도출하고자 하였다.

2. Cladding die의 최적화

본 연구에서는 고속화에 따른 최적 다이스 구조를 선정하기 위해 유한요소해석을 진행하였다. Die tip 및 강선의 수직압력분포 및 선속 변화에 따른 수직압력분포변화를 유한요소해석을 통해 파악하여, 실제 공정에 문제가 될 수 있는 인자를 도출하고자 하였다. 이를 통해 도출된 베어링 길이, 어프로치의 길이 및 각도를 변화시켜 수직 압력분포를 파악하였으며, 이 결과를 통해 고속화에 대응할 수 있는 최적의 다이스 형상을 도출하고자 하였다.

2.1 유한요소 해석

AW 컨펌 공정을 간략히 모델링하고, 해석시간을 절감하기 위해 그림 1 과 같이 컨펌 압출공정을 축대칭으로 가정하여 2 차원 유한요소 해석을 수행하였다. 해석에 사용된 tool 은 소성가공 공정을 분석할 수 있는 유한요소해석 프로그램인 DEFORM 2D™ 를 사용하였다. 해석에 사용된 알루미늄 소재는 AA1350 으로서 기본적인 재료물성치는 소프트웨어에서 제공하는 데이터베이스를 활용하였다. 변형 초기에 나타나는 탄성영역을 무시하고 소재는 완전 소성체로 가정하여 해석을 진행하였다

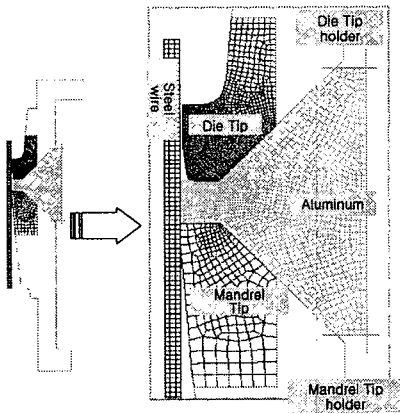


Fig. 1 Analysis model of CONFORM extrusion

2. 2 Die tip과 강선 표면수직압력 및 선속에 따른 압력변화

컨펌 압출 도중 steel wire 표면에 작용하는 수직압력은 온도와 함께 알루미늄과 강선간의 본딩성에 영향을 주는 인자로 판단되어 die tip 및 강선의 표면에 작용하는 수직압력의 분포를 유한요소 해석을 통해 파악하였다.

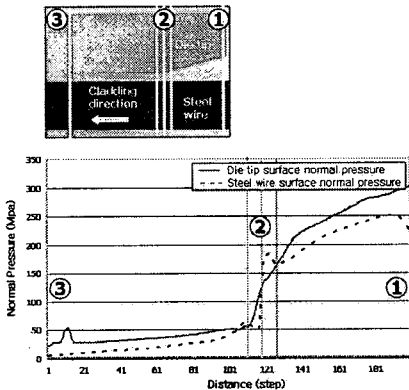


Fig. 2 Distribution of normal pressure for die tip and steel wire during cladding

그림 2에 나타난 바와 같이 컨펌 압출시 die tip 과 강선 표면에서 발생하는 수직압력분포는 유사한 경향을 보이고 있다. 그래프의 1부터 2의 구간은 알루미늄이 압출챔버 내로 유입이 되어 본딩이 이루어지는 구간으로 높은 수직압력 분포를 보이고 있지만, 클래딩이 진행되는 베어링 구간(2부터 3)에서는 상대적으로 낮은 압력분포를 나타내고 있음을 볼 수 있다. 아울러 선속 변화에 따른 die tip 표면의 수직압력을 파악한 결과 그림 3과 같이 선속이 증가할수록 die tip에 작용하는 수직압력은 증가한다. 이러한 수직압력 증가의 원인은 선속 증가에 따라 die tip 표면에서 유동저항력이 증가하게 되어 압력증가로 이어지는 것으로 판단된다.

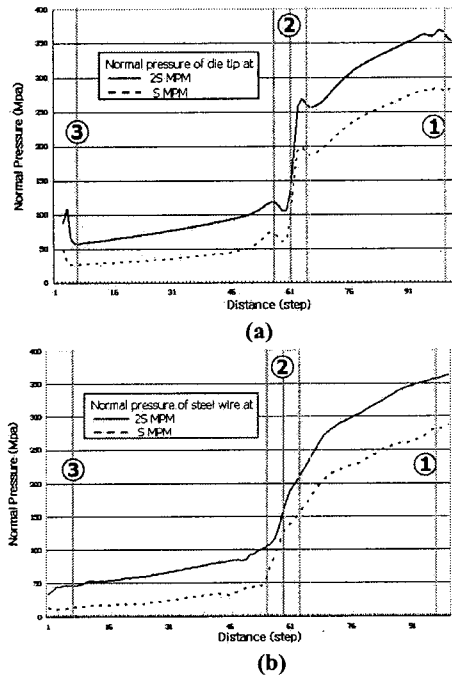


Fig. 3 Change of normal pressure for (a) die tip and (b) steel wire with increasing cladding speed

2. 3 베어링 길이에 따른 다이스압력변화 해석 위 해석 결과에서 나타난 바와 같이 다이 팁에 작용하는 최대압력은 베어링 면이 아닌 어프로치면이었으므로, 다이 어프로치 중앙에 작용하는 압력을 측정값으로 취하였다. 베어링 길이를 1~8mm 까지 변화시키에 따라 그림 4 에서 보이는 바와 같이 3mm 까지 거의 일정한 값을 나타내고 있으나 3mm 이상의 구간부터 압력의 증가를 나타내고 있으며, 이것은 다이 팁에 작용하는 마찰 및 유동저항이 증가에 기인하는 것으로 판단된다. 베어링 길이 3~4mm 구간의 세부적인 압력분포를

그림에 나타내었다. 그림 4 에 나타난 바와 같이 3.4mm 이후부터 압력이 증가하고 있으며, 해석에 적용된 선경(3.41mm)과 유사한 베어링길이에서 압력이 증가하고 있다. 따라서 3.41mm 선경의 AS wire 클래딩 시 베어링 길이는 선경과 유사한 길이를 선정하는 것이 유리하여 향후 본 연구의 해석에서 베어링 길이는 3.4mm 로 고정하였다.

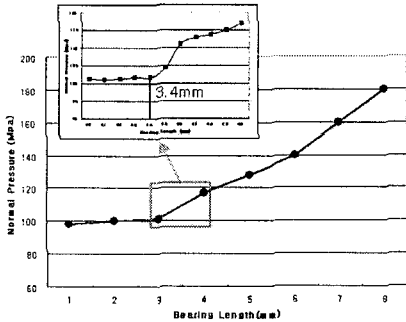


Fig. 4 Change of normal pressure according to the bearing length

2. 4 어프로치 각도 변화에 따른 압력분포해석 AW wire의 선경 3.41mm를 대상으로 선속을 S와 2S로 가정하고, 어프로치 각도를 15도와 30도로 변화시켜 압력변화를 해석하였다. 그림 5에서 보이는 바와 같이 선속 S에서 어프로치 각도를 15도로 감소시키면 압력은 어프로치 각도가 30도인 경우와 비교하여 약 2% 감소되며, 선속 2S에서 어프로치 각도가 감소할 경우 약 6% 정도의 압력 저감 효과가 나타나고 있음을 알 수 있다. 따라서 선속이 빨라질 경우 어프로치 각도를 줄임에 따라 다이 팁에 작용하는 압력을 저감시킬 수 있다고 판단된다.

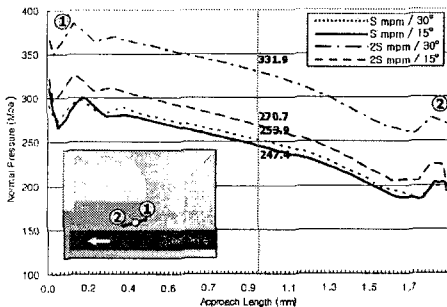


Fig. 5 Distribution of normal pressure according to the cladding speed and approach angle

3. AS wire의 품질 및 생산성에 미치는 공정인자의 영향

일반적으로 AS wire의 심재로 사용되는 steel wire는 신선 후 열처리 없이 코일형태로 감겨 공급된다. 따라서 가공경화된 강선은 AS wire를 만드는 여러 과정 중 제일 첫번째 공정인 클래딩 공정 중 예열과 압출 과정에서 어닐링되어 어느 정도 연화된다. 클래딩 공정 후, AS wire를 일정한 선경까지 신선한 후, 연선하여 최종 제품인 OPGW를 구성하게 된다. 이러한 신선과 연선 등을 통한 AS wire의 지속적인 기계가공은 선재를 가공경화 시키며, 선재의 기계적 특성을 변화시킨다. 변화하는 AS wire의 기계적 특성은 후공정인 신선 및 연선에 영향을 미칠 뿐만 아니라 최종제품인 OPGW의 품질에도 큰 영향을 미친다. 이러한 기계적 성질은 주로 공정 중간의 가공 정도와 열처리(예열 등) 등에 의해 영향을 받으며, 특히 클래딩 공정에서의 인자들에 의해 조절될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 클래딩 공정에서 AS wire의 기계적 성질 및 미세조직에 미칠 수 있는 인자로 강선의 예열온도와 클래딩속도를 선정하였으며, 이 두 인자에 의한 최종 AS wire의 기계적 성질의 변화에 대해 알아보았다.

클래딩공정에서 강선은 표면 세척 및 이물제거를 위해 예열하며 이와 동시에 어느 정도 연화가 진행되며, 압출 챔버 내로 유입되어 고온의 알미늄과 클래딩이 되면서 또 다시 연화된다. 연화된 강선은 다시 신선공정을 통해 목적하는 선경까지 가공되고, 이때 강선은 또다시 가공경화되는데, 클래딩공정에서 연화가 불충분하면 강선이 너무 강하여 신선공정에서 선재가 단선되거나 다이스가 과도하게 마모되거나 파손되는 등의 문제가 발생할 수도 있으며, 반대로 강선의 온도가 너무 높아도 강선의 인장강도가 감소하여 단선의 위험이 있으므로, 클래딩공정에서 적절한 예열을 통한 연화는 매우 중요한 문제가 될 수 있다[2].

다른 한편 컨펌 압출 공정에서 강선의 온도가 너무 낮게 예열된다면 강선 표면에서 알미늄 유동이 힘들어 계면에서 접합이 안될 수도 있다. AS wire의 기계적 특성은 최종 OPGW의 기계적 특성에 큰 영향을 미치므로 모든 공정이 끝난 후 적절한 기계적 특성을 유지하는 것이 필요하다.

선속 S로 컨펌압출할 때 선경 2.95mmφ의 강선(최종 ASC wire 선경 : 3.41mmφ)의 예열효율을 다르게 하여 클래딩한 AS wire의 인장강도와 연신율을 그림 6에 나타내었다. 그림 6에서 보이는 바와 같이 예열 효율이 클수록 강선의 인장강도는 감소하고 연신율은 증가하는 전형적인 현상을 보이고 있다. 아울러 동일한 조건에서 선속을 2S로 증가시킨 후 인장시험을 행한 결과, 선속이 빨라지면 AS wire의 인장강도 역시 증가하고 있다. 이것은 클래딩공정에서 선속이 빨라짐에 따

라 예열구간 및 압출챔버 내부에 체류하는 시간이 짧아져 강선의 예열효과가 감소했기 때문이다. 따라서 선속 2S로 증가시킨 후 동일선경의 선재에 대해 예열효율을 변화시키면서 클래딩 한 후 인장시험을 행하여 적합한 예열조건을 도출하고자 하였다.

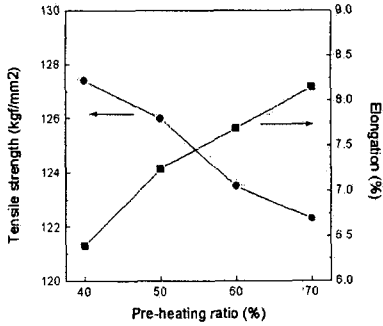


Fig. 6 Results of tensile test for ACS wire according to the pre-heating ratio at speed S after cladding

선속 2S로 컨펌압출을 할 때 동일 선경의 예열효율을 다르게 하여 클래딩한 AS wire의 인장강도와 연신율을 그림 7에 나타내었다

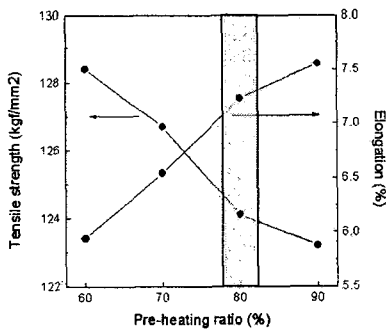


Fig. 7 Results of tensile test for ACS wire according to the pre-heating ratio at cladding speed 2S after cladding

앞선 시험과 마찬가지로 예열효율이 커질수록 인장강도는 감소하고 연신율은 증가하고 있었다. 이상의 결과들을 통해 선속 2S에서 가장 적절한 예열효율은 80%였다. 선속 2S에서 최적 예열조건으로 컨펌압출을 통해 클래딩한 선재의 연화균일도를 알아보기 위해 단면경도를 측정하였다. ACS wire의 단면 중심부터 최외곽 알미늄층까지 50 μ m 간격으로 경도시험을 행하였으며, 그 결과를 그림 8에 나타내었다. 보고에 의하면 강선의 중심

부와 표피부 간의 경도차이는 신선시 악영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 그림 8에서 보이는 바와 같이 Al layer를 제외한 steel wire부분의 외곽과 내측의 경도차이는 크지 않은 것으로 판단된다.

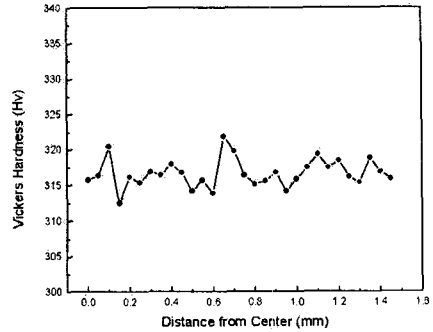


Fig. 8 Hardness profile from the center of ACS wire to outer

4. 결론

ACS wire의 생산성 향상과 품질향상을 위해 유한 요소해석 및 실험을 통하여 아래와 같은 결론을 얻었다.

1. 어프로치 각이 작을수록, 베어링 길이가 강선의 선경과 유사한 길이에서 cladding die에 작용하는 압력은 줄어들며, 고속 클래딩에서도 동일한 효과가 나타났다.
2. ACS wire의 기계적 성질에 영향을 미치는 인자로 클래딩 속도 및 예열조건을 선정하였으며, 강선의 예열조건을 최적화를 통해 고속화에 따른 ACS wire의 품질을 확보할 수 있다.
3. 클래딩 속도 2S, 예열출력 80%의 조건에서 클래딩된 ACS wire는 기존 조건에서 작업한 것과 비교하여 적절한 기계적 성질과 본딩특성을 보이고 있는 것으로 나타났다.

참고 문헌

- [1] D. J. Hawkes, R. E. Morgan, "Conform Extrusion : Current Method and Capabilities", Wire Industry, Vol. 58, pp. 323~326, 1991.
- [2] F. Gao, B. Y. Song, C. B. Jia, Y. H. Wang, "A Study of Continuous Extrusion-Cladding Process for Production of Aluminum Cladding Steel Wire", ACTA Metal., Vol. 12, No. 5, pp. 802~806, 1999.