

# 유한요소 해석을 이용한 동피복 복합선재의 인발 공정 해석

김현수\* · 조훈\*\* · 조형호\*\* · 김대근\*\* · 김병민\*\*\*

## Analysis of Copper clad steel wire in the drawing process using FE method

H.S. Kim, H. Jo, H. H. Jo, D.K. Kim and B.M Kim

### Abstract

Clad wire, which has the advantages of the high strength of a steel core and the electro-conductivity, corrosion resistance of a copper layer, is widely being used the telecommunications, electric-electronic and military technology industries, among others. It is important to obtain uniform coated rate when producing clad wires. Clad wire drawing process can be influenced on damage and coated rate of core and sleeve by process variables as semi-die angle and reduction in area. Therefore, in this study, the finite-element results established in previous study is used to analyze the effect of the various forming parameters, which included the semi-die angle, reduction in area etc. The coated rate will be predicted with observation copper coated rate variation according to total reduction in area and the optimal pass schedule will be set up through proper reduction in area and semi-die angle variation.

**Key Words:** clad wire(이중복합선재), coated rate(피복율), damage(손상값), optimal pass schedule(최적 패스 스케줄), reduction in area(단면감소율), semi-die angle(다이반각)

### 1. 서론

여러 클래드 선재 중, steel 과 구리로 구성된 클래드 선재는 심재와 피복재의 특성들을 겸비함으로써, 단일선재에서는 불가능한 특성을 발휘하고 있다. 이 선재는 전도성, 고강성, 경량성, 내식성, 합금성, 열팽창 등의 특성을 겸비하고 있어, 송전선, 통신선, 전자부품의 리드선, 초전도 마크넷트용 선재 등 전기 전자 분야에 많이 사용되어지고 있다. 이런 다양한 용도로 사용되어지는 선재는 용도에 맞게 다양한 피복율을 가져야

한다. 뿐만 아니라 피복율이 일정하게 되어야 하며, 생산성을 고려한 제작 공정을 설계하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 상용 유한 요소 해석 프로그램인 DEFORM-2D 를 이용하여 이중피복선재의 결함에 영향을 미치는 damage 의 최소화과 피복율의 변형거동을 목적함수로 잡고, 다이반각과 단면감소율 등의 공정변수를 변화시키면서 목적함수를 만족하는 최적의 값과 패스 스케줄을 결정하였다.

### 2. 동피복 강선의 기계적 상태량과 해석조건

\* 부산대학교 정밀기계공학과

\*\* 한국생산기술연구원

\*\*\* 부산대학교 기계공학부

## 2.1 재료의 기계적 상태량

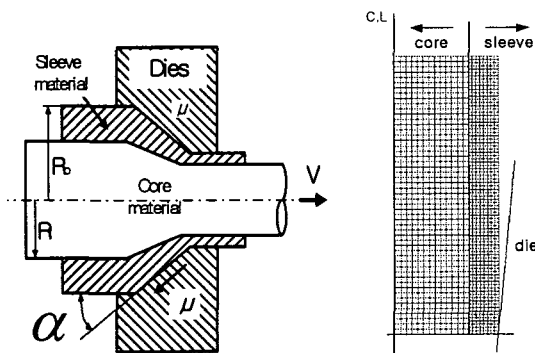
이중피복선재 인발공정 해석을 수행하기 위해 소재로 사용되어진 심재(AISI 1010)와 피복재(OFHC)의 유동응력식은 인장실험으로 구하였고, 온도는 냉간인발공정 이므로 상온(20℃)으로 설정하였다. 심재와 피복재의 사이의 변형거동은 연주재이기 때문에 완전접촉으로 설정하였고, 다이와 소재의 마찰상수를 직접 측정하는 것은 현실적으로 매우 어려우므로 일반적인 권식인발공정에 사용되는 마찰상수를 사용하였다.

- Core 와 Sleeve 사이의 마찰상수(m) = 1.0
- Die 와 Sleeve 사이의 마찰상수(m) = 0.1
- Sleeve 와 Core 사이의 접합압력 : 100[Mpa]의 접합압력

**Table 1. Materials properties of steel and copper**

Materials		Flow Stress Eq.[Mpa]	Temp (°C)
Core	Steel (AISI1010)	$\bar{\sigma} = 715.37(\bar{\epsilon})^{0.22}$	20
Sleeve	Copper (OFHC)	$\bar{\sigma} = 532.02(\bar{\epsilon})^{0.22}$	20

## 2.2 해석모델



**Fig. 1 Process variables and analysis model**

본 연구에서 사용되어지는 연주재 해석 모델을 Fig. 1 에 나타내었다. 이중 선재 구조를 하고 있으며, 심재는 AISI 1010 steel 로 되어 있고, 피복재는 OFHC 인 구리로 되어있다. 해석은 축대칭으로 해석하였다.

## 3. 유한요소해석 및 결과

### 3.1 공정조건에 대한 유한요소해석

#### 3.1.1 공정조건

**Table. 2 Process conditions of clad-wire drawing**

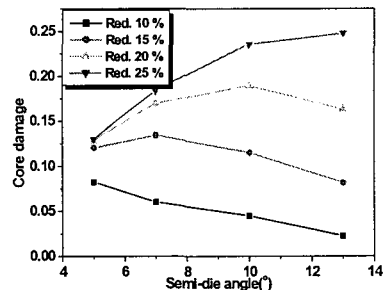
Drawing conditions	Value
Initial coated rate(%)	30
Core radius(mm)	4.2
Sleeve thickness(mm)	0.8
Semi-die angle(°)	5, 7, 10, 13
Reduction in area(%)	10, 15, 20, 25

최소의 damage 값과 피복율의 변화에 대한 최적의 패스 스케줄을 구하기 위해, 인발 공정 조건(다이반각, 단면감소율)을 변화시켜가며 DEFORM-2D 를 이용하여 1 패스 해석을 수행하였다. 공정조건은 Table. 2 에 나타난 것과 같다.

#### 3.1.2 복합선재의 변형해석

Fig. 2~3 에 다이 반각에 따른 슬리브재 및 심재의 damage 영향을 그래프로 비교하였다. 단면감소율이 작을 경우(15% 이하), 다이반각이 증가할수록 심재의 damage 값은 감소하고, 슬리브재에서는 반대로 급격히 증가하는 것을 확인할 수 있다.

단면감소율이 클 경우(20% 이상), 다이반각이 증가할수록 심재의 damage 값은 증가하지만, 차츰 증가비율이 감소하면서 결국에는 증가량이 작아지는 경향을 확인할 수 있다. 슬리브재의 damage 는 증가하지만, 단면감소율이 작을수록 그 증가량이 작은 것을 알 수 있다.



**Fig.2 Relationship between semi-die angle and core damage on reduction in area**

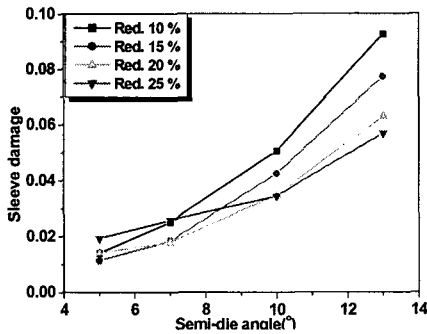


Fig. 3 Relationship between semi-die angle and sleeve damage on reduction in area

Fig. 4~5 에 단면감소율에 따른 피복재 및 심재의 damage, 피복율의 영향을 그래프로 비교하였다. 다이반각이 작을 경우, 심재의 damage 값은 단면감소율이 증가할 수록 그 증가비율이 점차 감소하고, 슬리브재의 damage 는 일반적으로 낮은 값을 보이는 것을 확인할 수 있다.

다이반각이 클 경우, 심재의 damage 값은 단면 감소율이 증가할 수록 급격히 증가한다. 또 슬리브재의 damage 값도 높은 값을 보인다. 그러므로 Fig.2~5 에서의 공정조건들에 대한 복합선재의 영향을 평가하여 최적의 공정변수를 선택하였다. 본 연구에서는 5° 의 다이반각, 25%의 단면 감소율을 최적의 공정 변수로 선정하였다. 이후에 행해지는 실험은 주어진 조건에서처럼 다이반각을 5°, 단면감소율을 25%로 설정하고 해석을 수행하였다.

본 연구에서는 5° 의 다이반각, 25%의 단면 감소율을 최적의 공정 변수로 선정하였다.

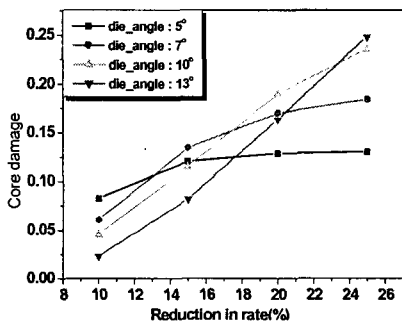


Fig. 4 Relationship between reduction in area and core damage on semi-die angle

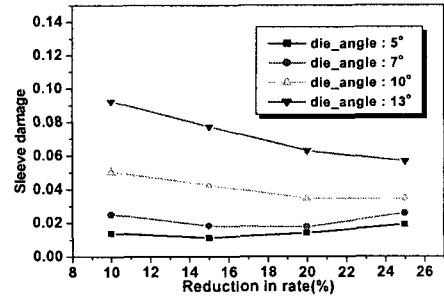


Fig. 5 Relationship between reduction in area and sleeve damage on semi-die angle

이후에 행해지는 실험은 주어진 조건에서처럼 다이반각을 5°, 단면감소율을 25%로 설정하고 해석을 수행하였다.

### 3.2 연속 인발 공정의 피복율 변화 해석

앞에서 얻은 결과를 통해 이중피복선재를 연속 인발 공정을 수행함으로써 패스가 진행될 수록 초기피복율이 어떻게 변화하는지를 알아보기로 한다. 이를 위해 등단면 감소율로 패스를 진행시켜 보았다. 그리고 해석 결과에 신빙성을 더하기 위해 다이반각과 단면감소율을 변화시켜 그 변화가 30%의 피복율을 가진 초기 이중피복선재를 25%의 등단면 감소율로 99%의 총단면 감소율까지 인발하였다. Fig. 6 에서 피복율이 어느 범위 내 에까지는 줄어들다가 전체 총단면감소율이 증가할 수록 피복율이 증가하는 불균일 변형을 보이고 있다. Fig. 7 에서는 단면감소율의 변화에 따른 등 피복율의 변화를 나타낸 그래프이다. 그래프를 분석해보면, 단면 감소율이 작은 경우(15%)가 단면 감소율이 큰 경우(25%)보다 등 피복율의 변화가 크게 나타내는 것을 확인할 수 있다.

이는 피복재로 사용된 구리가 심재로 사용된 steel 보다 연한 재료이기 때문에 피복재가 심재보다 더욱 많이 가공되어 피복율이 작아지나, 총 단면감소율이 80 % 이상이 되면서, 피복재의 가공경화의 증가로 인해, 피복율이 커지는 현상을 보이고 있다.

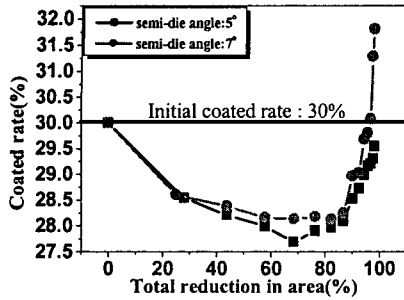


Fig. 6 Relationship between total reduction in area and coated rate on semi-die angle

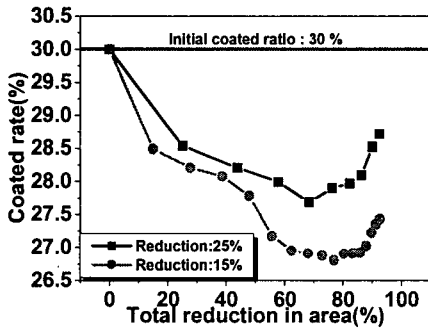


Fig. 7 Relationship between total reduction in area and coated rate on reduction in area

#### 4. 결론

유한요소 해석을 통한 이중복합선재 인발공정의 주요 공정 변수인 다이반각과 단면감소율에 따른 피복율 평가를 수행하였으며, 이를 통하여 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

- ① 다이 반각이 증가할 수록 심재 및 슬리브재의 damage 값은 증가한다.
- ② 단면감소율이 증가할 수록 심재의 damage 는 증가하지만 슬리브재의 damage 는 감소한다.
- ③ 다이 반각에 의한 전체 패스의 해석에서 피복율의 변화는 일정범위까지는 감소하다가 총단면감소율이 증가할 수록 다시 피복율이

증가한다. 이는 연한 재료인 구리가 먼저 가공경화를 많이 받으면서 상대적으로 피복율이 감소하다가 어느 일정이상의 가공경화 후 다시 심재에 그 영향을 미치기 때문이다. 한편 다이반각이 클 수록 더 좋은 피복율 치수정밀도를 보인다.

- ④ 단면감소율에 의한 전체 패스의 해석에서 피복율의 변화도 다이반각에 의한 결과처럼 어느 일정범위까지 감소 후 다시 증가하는 경향을 보인다.

이상의 연구 결과에서 이중복합선재 인발공정의 주요 공정 변수의 영향 평가를 보았으며, 이를 바탕으로 처음에 목적함수로 잡았던 Damage 값의 최소화와 적절한 피복율의 변화를 얻기 위한 최적의 공정변수 선택이 필요하고, 실제로 이중복합선재의 인발공정 설계에 유용하게 할 수 있는 기초 데이터를 확보할 수 있게 되었다. 한편 이를 바탕으로 심재와 피복재에 생기는 결함을 방지, 일정한 피복율로 코팅하는 최적의 패스 스케줄, 생산성을 높이는 공정변수 등을 다각적인 방법으로 연구하여야 할 것이다.

#### 참고문헌

- (1) K. Yoshida, " Technology of manufacture and application on clad," Journal of the JSTP, vol.38, no.441, pp. 45-47, Oct, 1997.
- (2) W.Szulc, M.Pietrzyk, H,Dyja, J.W.Pilarczyk, "Theoretical and experimental analysis of drawing of steel rods covered with copper," JMPT, vol.45, pp. 401-406, 1994
- (3) W.Szulc, M.Pietrzyk, H,Dyja, J.W.Pilarczyk, "Theoretical and experimental analysis of drawing of steel rods covered with copper," JMPT, vol.45, pp. 401-406, 1994
- (4) B.Avitzur, "The production of Bi-metal Wire," The Wire Journal, vol.3, No.8, pp.42-49, Aug, 1970