

전구용 필라멘트의 제조 공정 해석 및 품질 검사

정태은*(인덕대), 표성배(인덕대), 전병희(인덕대),
장병수((주)새한텅스텐), 김학준((주)새한텅스텐)

Analysis of Coiling Process and Quality Inspection of Filaments for Bulbs

T. E. Chung(Induk Institute of Technology), S. B. Pyo(IIT), B. H. Jeon(IIT),
B. S. Jang(Saehan Tungsten Co.), H. J. Kim(Saehan Tungsten Co.)

ABSTRACT

Coiling processes of filaments need precise work and standardization. It is important to maintain equal pitch of filaments. Uniform pitch of filaments is one of the dominant elements of life time and efficiency of bulbs. First coiling process of filament wires is modeled by nonlinear contact problem between filaments and mandrel. Analysis of coiling process using finite element method is conducted to consider manufacturing parameters and pitch distance is calculated under the given conditions. Also image detecting system is developed to inspect uniformity of pitch. This system will be used to inspect quality of filaments during coiling processes.

Key Words : Coiling process (권선 공정), Filaments (섬유), Bulbs (전구), Finite element method (유한요소법), Image detecting system (영상 검출 시스템)

1. 서론

전구 등 조명기기의 광원체로서 사용하고 있는 필라멘트 선은 텅스텐 원선을 가공 처리한 후, 이것을 코일 형태로 동일한 간격으로 1차 권선하고, 다시 1차 권선된 필라멘트 선을 공급하여 2차 권선을 하는 공정을 거쳐서 만들어진다. 이때 사용하는 필라멘트 원선은 용량에 따라 지름이 다르나 대략 0.02~0.05 mm의 지름으로 가공되어 공급된다.

전구의 수명을 결정하는 인자에는 전구의 여러 요소들이 있으나, 일차적으로는 광원체로 사용되는 텅스텐 필라멘트 선의 품질이 중요한 요소가 된다. 필라멘트 선은 원선을 심축에 감아나가는 1차 권선 공정을 거친 후, 1차 권선된 선을 다시 감아나가는 2차 권선을 거쳐서 조명기기 회사에 공급하고 있다. 본 연구에서는 필라멘트의 권선 공정을 해석하여 균일 피치를 형성하기 위해 영향을 미치는 인자들을 분석하고자 하였다.

피치 간격이 수 μ m인 제품을 검사하기 위해 현재는 확대경에 의한 육안 검사를 수행하고 있으나, 정밀 공정을 거쳐서 나온 제품에 대하여 전수 검사

의 차원에서 자동화된 검사 시스템이 필요하다. 따라서 영상 검출 시스템을 새로 개발하여 품질이 보장된 제품이 생산될 수 있도록 하였다.

2. 제조 공정

2.1 1차 권선 공정

권선 공정 과정을 해석하기 위해서는 실제로 권선 기계의 가동 순서와 그 메카니즘이 어떻게 되는지를 상세히 살펴봐야 한다. 먼저 1차 권선기의 단면은 Fig. 1과 같다. 3곳에서 베어링으로 지지되어 고속 회전 시 떨림이 없도록 해주면서 원선에서 원심력에 의해 풀려서 나온 필라멘트가 일정 속도로 전진하는 심축(mandrel)에 감겨나가는 방식을 취하고 있다.

필라멘트 선은 1차적으로 심선 스플이 36,000 rpm으로 고속 회전하면서 필라멘트 선이 원심력에 의해 풀려나가고 이때 심축이 필라멘트 선을 끌고 나가면서 심축에 감기게 된다. 이러한 1차 권선을 하는 장비가 Fig. 2에 나와있다.

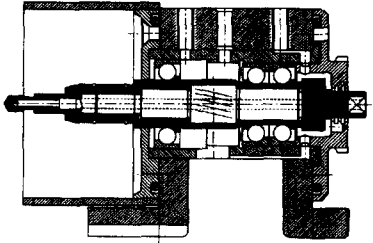


Fig. 1 Construction of primary coiling machine



Fig. 2 Primary coiling machine

Fig. 3은 노즐의 내부를 통과하는 심축의 모습을 보여준다. 필라멘트 원선은 감지링을 거쳐서 심축에 의해 끌리면서 감기계 되는데 이를 위하여 1차 권선기에 필라멘트 선을 장착한 모습이 Fig. 4에 나와있다.



Fig. 3 Mandrel and nozzle



Fig. 4 Installed filaments in a primary coiling machine

2.2 필라멘트 제품

1차 권선된 필라멘트 선을 재차 권선하는 공정을 2차 권선이라고 하며, 이로써 전구에 들어가는 필라멘트 제품이 만들어진다. 이러한 완제품 중 100 W 용량의 필라멘트 선의 모습이 Fig. 5에 나와있다. 필라멘트 선은 용도에 따라 형광등용, 백열 전구용, 할로겐 전구용, 기타 특수전구용으로 구분이 되며 용도에 따라 형태가 달라진다.



Fig. 5 Enlarged view of a coiled-coil 100 W filament

3. 공정 해석

3.1 모델화

필라멘트 권선 공정은 심축 스플이 36,000 rpm으로 고속 회전하면서 필라멘트 선이 풀려나가고 심축이 전진하면서 심축에 권선되는데, 일반적으로 심축이 1 mm 전진하는 동안 36번이 감기도록 설계되어 있다. 25 W 용량의 1차 필라멘트의 경우에 설계수명 1,000시간을 만족하기 위해 피치 간격이 28.6 μ m를 넘지 않아야 한다. 이러한 설계 조건을 만족하기 위하여 심축이 x축 방향으로 1 mm 전진하면서 36회전하는 경우에 텅스텐 필라멘트 선이 일정 장력을 받으면서 심축 위에 감기는 공정으로 모델화하였다.

공정 해석을 위한 기본 가정은 다음과 같다.

첫째로, Fig. 4에서 보여지는 바와 같이 권선 공정의 경우에 심축은 일정 속도로 전진하고, 보빈에 감겨있던 필라멘트 선이 고속회전축과 같이 회전하는 보빈에서 원심력에 의해 풀려나오면서 가이드에 부딪힌 후 감지링을 지나 심축에 감겨나간다. 감지링을 통과하면서 필라멘트 선은 일정한 각도로 심축에 공급되며, 감지링에서 필라멘트 선이 떨어지면 바로 공정이 멈추도록 되어있다. 따라서 필라멘트 선은 심축에 일정 각도로 공급된다고 가정하였다.

둘째로, 권선 공정을 해석하는 중요 목적은 권선이 된 필라멘트 제품의 피치가 동일 간격을 유지하는지와 설계값과 같도록 1 mm 간격에 일정 횟수로 감기어는지를 살펴보는 것이다. 따라서 심축과 필라멘트 선의 상대적인 운동에 의해 피치가 결정되므로,

본 모델에서는 심축이 일정 속도로 회전하면서 동시에 일정 각속도로 회전한다고 가정하였다.

셋째로, 필라멘트 선은 일정 장력을 유지하면서 공급되는 것으로 가정하였다.

넷째로, 심축은 변형이 없는 강체(rigid body)로 편심됨이 없이 진원을 그리면서 회전하는 것으로 가정하였다.

3.2 유한요소해석

유한요소해석 시 필라멘트 선이 심축에 접촉하면서 감기는 비선형 접촉 문제로서 일정 회전 후에는 반복적인 양상을 보이므로, 계산 시간을 줄이고 피치 간격을 확인하기 위하여 심축이 2바퀴 회전하였을 때까지의 결과를 살펴보았다. 이 경우에 시간 간격은 0.02 초로 하였고 120 단계까지의 결과를 계산하였다. 공간 상에서 필라멘트 선이 심축에 감기는 모습을 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 6에서 초기 상태와 해석의 최종 상태의 모습을 비교하고 있다. Fig. 7은 심축의 단면 방향에서 필라멘트 선이 감긴 모습을 나타낸다.

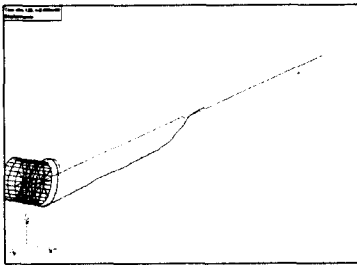


Fig. 6 Comparison of initial state and final state

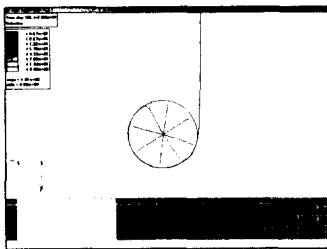


Fig. 7 Two dimensional view of coiling process

심축이 축방향으로 이동하면서 해석의 최종 단계에서 필라멘트 선이 심축에 감기면서 형성된 피치 간격이 Fig. 8에 나와있다. 이 상태에서 필라멘트 선의 피치를 계산한다.

(주) 새한텅스텐에서 생산하는 필라멘트는 25 W, 40 W, 60 W 및 100 W이며, 25 W 용량의 필라멘트 생산 시 사용하는 심축과 필라멘트 원선이 가장 작

은 크기이며 가장 엄밀한 피치 간격을 요구한다. 따라서 1차 공정 해석의 대상을 25 W 용량의 필라멘트 선으로 하였으며, 이때 공정과 관련한 제원은 Table 1과 같다. 여기서 피치는 Table 1의 제품 형상에 나온 그림의 필라멘트 간격이며, 그 값은 설계 값을 의미한다.

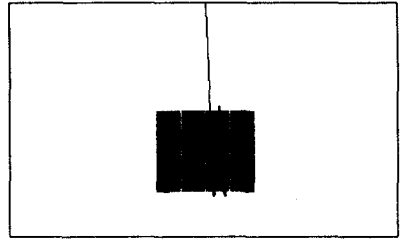



Fig. 8 pitch distance

Table 1 Dimension and shape of 25 W filament

Capacity (W)	Diameter of filament (mm)	Diameter of mandrel (mm)	Pitch (mm)	Shape of first coiling filament
25	0.0173	0.035	0.0286	

4. 영상 검출

4.1 검사의 필요성

(주)새한텅스텐에서 생산 중인 텅스텐 필라멘트의 생산 공정은 1차 권선 공정정과 1차 권선 작업에 의해 완성된 것을 가지고 다시 2차 권선에 들어가 완제품을 만드는 두 단계로 되어있다. 이 각각의 단계에서 품질을 좌우할 요소들이 여러 가지가 있으나 이 요소들 중 품질에 결정적인 요소로 작용하는 것은 코일이 감겨진 후 코일과 코일 사이의 간격, 즉 피치가 균일하게 나타나는 가에 필라멘트의 품질이 좌우된다. 특히 코일의 생산 공정 중에 가장 품질에 직접적인 영향을 주는 1차 권선 공정에서의 코일의 피치 균일성 여부에 대한 품질 검사는 이러한 이유로 인하여 더욱 절실하다. 즉, 1차 권선 생산 공정의 품질 검사가 필요한 이유는 필라멘트의 품질이 필라멘트를 구성하는 1차 코일의 피치가 균일한지의 여부에 달려있기 때문이다. 이것은 필라멘트의 코일이 균일하지 않을 경우 균일하지 못한 쪽이 집중적인 전압이 가해져야 하기 때문에 결국 필라멘트의 수명을 단축시키는 직접적인 원인이 되기 때문이다.

4.2 영상 검출 방법과 장치

Fig. 9는 일반적인 1차 권선된 필라멘트의 영상이다. Fig. 9에서 보는 바와 같이 육안으로 제품의 불량 여부를 판별하는 것은 불가능하며, Fig. 10의 260배의 고배율로 확대한 영상으로서야 비로서 판별이 가능해진다.

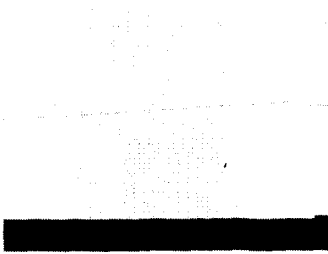


Fig. 9 General image of first coiling filament

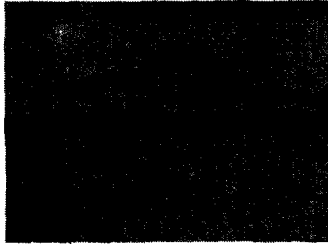


Fig. 10 Magnified image of first coiling filament($\times 260$)

입력 장치는 1초에 10~20개의 영상을 처리하며 1개의 영상에 1 mm 정도를 처리한다. 따라서 1분에 대략 1000 mm의 영상을 분석할 수 있게 된다. 따라서 영상을 1초에 20개 가까이 처리하기 위해서는 전처리과정이 단순해야 하며 영상으로부터 양, 불량량의 판별에 시간이 많이 소요되지 않아야 한다는 제약이 따른다. 1차 권선의 양, 불량량을 판별하기 위해서는 영상에 나타난 피치를 픽셀로 측정하여 허용오차를 벗어나는 것을 불량피치로 판별하는 시스템이 효과적이다. 영상에 나타난 코일들 간의 간격을 픽셀로 측정하여 픽셀의 수가 다른 간격의 픽셀의 수와 평균치를 유지하는 지 아니면 허용오차를 벗어나는지를 가지고 양, 불량량의 판단 기준으로 삼는다.

Fig. 11에 보는 바와 같은 영상 검출 시스템은 광학장치로 미세 영상을 잡아낼 수 있는 비디오 현미경을 입력 장치로 하여, 비디오 현미경으로 받아들인 영상을 영상 캡처 보드를 통하여 이를 디지털 영상으로 바꾸어 내고 이 영상을 처리하도록 하였다. Fig. 12는 필라멘트 선을 모니터링하고 공정을 검사하기 위한 화면의 예를 나타낸다.

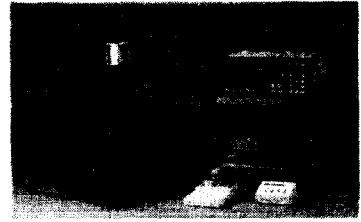


Fig. 11 Image detecting system

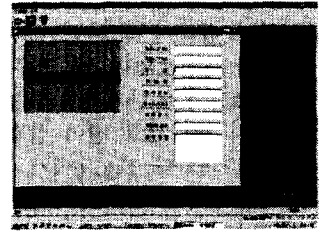


Fig. 12 Monitoring software for image detecting

5. 결론

전구용 필라멘트의 제조 공정은 결국 균일한 피치를 유지하도록 하는 것이다. 이를 위해 1차 권선기에서의 공정 과정을 유한요소법을 이용하여 해석하였다. 피치의 간격을 검출하기 위해 영상 검출 시스템을 개발하여 공정 중에 불량 여부를 판별할 수 있도록 하여 공정 중에 전수 검사가 가능하도록 하였다.

후기

본 연구는 산업기반기술개발사업(절전형 고효율 전구용 필라멘트 제조기술 개발)의 지원으로 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Bever, M.B., "Encyclopedia of Materials Science and Engineering," Vol. 7, Pergamon Press, 1986.
2. 전병희, 표성배, 정태은, 김학준, "절전형 고효율 전구용 필라멘트 제조 기술개발에 관한 연구," 산업기반기술개발사업 중간보고서, 2000.
3. Kelly, A. and Mileiko, S.T., "Fabrication of Composites," Vol. 4, North-Holland, 1983.