

# 다중회귀분석을 이용하여 진공유리 모서리 접합 공정변수에 따른 용융부 단면 형상 예측 Expectation of Cross-sectional Shape with Edge Sealing Parameters of Vacuum Glazing Using Multiple Regression Method

\*김영신<sup>1</sup>, #전의식<sup>2</sup>

\*Y.S. Kim<sup>1</sup>, #E. S. Jeon(osjun@kongju.ac.kr)<sup>2</sup>  
<sup>1,2</sup> 공주대학교 기계공학과

Key words : Edge sealing, Sealing parameter, Regression analysis method, Interpolation

## 1. 서론

최근 에너지 절감에 대한 사회적 요구가 증가함에 따라 진공유리에 대한 관심이 높아지고 있으며 이에 대한 많은 연구가 진행 중 이다.

진공유리패널은 두 장의 유리 사이를 진공 상태로 유지하여 전도 및 대류에 의한 열손실을 최소화할 수 있는 고성능 단열재이며, 지지대 배치, 모서리 접합, 배기봉지 등 3가지의 핵심공정으로 제작된다. 이 중 모서리 접합공정은 진공 유지를 위해 높은 신뢰도를 요한다.

모서리 접합공정은 프릿을 이용한 접합 및 레이저를 이용한 접합 등의 방법을 통해 개발되었으나, 열강화가 어려우며 제작단가가 높아 상용화에 어려움을 겪고 있다.<sup>1)</sup>

본 논문에서는 수소혼합가스토치를 이용하여 유리 모서리부를 접합 하였으며 공정변수에 따른 접합부 형상을 예측하고자 하였다.

모서리 접합부는 전도에 의해 열이 손실되는 경로로 접합부 부분을 최소화 하여야 하나, 접합강도 및 기밀성을 고려하여 최적형상으로 접합하여야 하므로, 공정변수에 따른 접합부 형상 예측이 선행되어야 한다.

예비시험을 통해 공정변수를 설정하였으며, 직교배열표를 이용하여 접합시험을 수행하였다. 접합된 단면을 절단하여 접합 모서리부 형상을 데이터화 하였으며 다중회귀분석을 실시하여 공정변수와 형상간의 수학적 관계식을 모델링 하였다. 도출된 수학적식에 의해 산출된 데이터를 보간법을 이용하여 모서리 접합부의 형상을 예측할 수 있도록 알고리즘을 구현하여 공정변수에 따른 모서리부 단면 형상을 예측하였다.

## 2. 유리 모서리 접합 시험

시험편은 소다라임(sodalime)유리(160mm×100mm×3t) 두 장 사이에 필러게이지(0.2t)를 배치하여 간격을 유지하였다.<sup>2)</sup> 유리의 파손 및 변형을 막기 위해 전기로 내에서 예열 후 모서리부를 용융 접합하였다.

기초시험을 통해 모서리 접합에 영향을 미치는 공정변수를 확인하였으며 이중 토치에서의 가스 토출 유량(Q), 토치의 이송속도(V), 토치와 유리사이의 거리(D)의 3가지 요인을 Table 1과 같이 3수준으로 설정하였다. 실험은 직교배열법을 이용하여 총 9번의 시험을 수행하였으며, Fig. 1은 모서리 접합 시험결과를 나타낸 것이다.

Table 1 Precess parameters and levels for edge sealing

Parameter	level 1	level 2	level 3
Q(L/min)	10	11	12
V(mm/min)	3	4	5
D(mm)	3	4	5



Fig.1 Photograph of a cross-sectional shape

### 3. 다중회귀분석을 이용한 공정변수와 모서리 관계 분석

공정변수와 모서리부 형상의 수학적 모델링을 위해 Fig. 2에 나타난 바와 같이 모서리 접합부의 단면에 점Pu6~점Pd6을 설정하였으며 각점의 좌표를 도출하였다. Fig. 3(a)는 접합 단면을 나타낸 것이며 Fig. 3(b)는 Matlab 프로그램을 이용하여 이미지 처리하고 각 점의 좌표 데이터를 획득한 것을 나타낸 것이다. 도출된 데이터를 SPSS 상용 통계 프로그램을 이용하여 다중회귀분석을 실시하여 세 가지의 공정변수들을 독립변수로 하고 각 점의 좌표를 종속변수로 하는 관계식을 식 (1)과 같이 표현할 수 있다. 또한 식 (2)와 식 (3)과 같은 선형방정식을 도출하였으며, 식 (4)과 식(5)와 같은 곡선 방정식을 도출하였다.

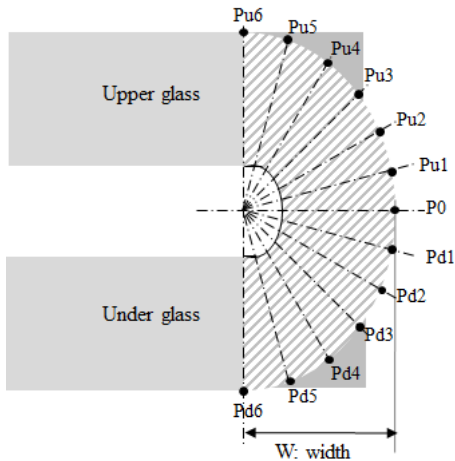
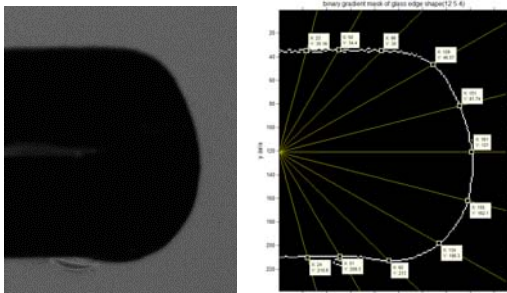


Fig. 2 cross-sectional surface profile with specific parameters



(a) Original image (b) Binary gradient mask of glass edge shape

Fig. 3 Glass edge shape

$$(x, y) = f(Q, V, D) \quad (1)$$

$$x = a_{x1} + a_{x2}(V) + a_{x3}(Q) + a_{x4}(D) \quad (2)$$

$$y = a_{y1} + a_{y2}(V) + a_{y3}(Q) + a_{y4}(D) \quad (3)$$

$$x = b_{x1}(V)^{b_{x2}}(Q)^{b_{x3}}(D)^{b_{x4}} \quad (4)$$

$$y = b_{y1}(V)^{b_{y2}}(Q)^{b_{y3}}(D)^{b_{y4}} \quad (5)$$

### 4. 보간법을 이용한 유리 접합부 형상 예측

모서리 접합부의 형상을 근사하기 위하여 3절에서 도출한 회귀식을 바탕으로 공정변수에 따른 각 점 Pu6~Pd6의 좌표를 각각 도출하고 보간법을 이용하여 접합부 단면 형상을 예측하였다.

### 5. 결론

본 논문에서는 진공유리패널의 모서리 접합을 위해 수소혼합가스 토치를 이용하여 접합하였으며, 다중회귀분석 모형을 활용하여 공정변수와 모서리 접합 형상의 데이터를 수학적으로 모델링하였다. 또한 이 데이터를 바탕으로 보간법을 활용하여 모서리 접합부의 형상을 예측 가능하도록 하였다.

### 후기

본 연구는 한국산업기술재단의 지역혁신인력 양성사업과 지식경제부 사업화연계기술개발사업의 지원을 받아 수행되었음

### 참고문헌

1. I.H Kim, S.Y Nam, "A Study on Properties of Environment-Friendly glass Frit Sealing Paste by Binder Resin," KSIST, Vol 14. N0.4 230-236, 2008
2. Y.S Kim, E.S. Jeon, "Cross-sectional analysis of the glass edge melted zone according to the process parameters of the hydrogen mixture gas torch," KSPE, 2011
3. D.W Cho, S.J Na, M.Y Lee, "Expectation of Bead using Non-linear Multiple Regression and Piecewise Cubic Hermite Interpolation in FCA Fillet Pipe Welding," KWSJ, Vol 27. N0.5 512-518, 2009