

# 유리 접합용 수소-산소 혼합가스 토치 설계를 위한 열해석

황순호, 이영림\*

\*공주대학교 기계자동차공학부

e-mail:ylee@kongju.ac.kr

## A thermal analysis of hydrogen-oxygen mixed gas torch for glass joining

Soon ho Hwang, Young Lim Lee\*,

\*Division of Mechanical and Automative Engineering, Kongju National University

### 요 약

최근 에너지 사용이 획기적으로 증가함에 따라 효율적인 에너지 사용이 필요하게 되었다. 특히 건물에서 벽체보다 에너지 손실이 많이 발생하는 창호의 경우 단열성능이 좋은 고효율 진공유리의 사용이 절실하나, 가격 및 성능 등의 문제로 보급화가 늦어지고 있는 실정이다. 본 연구에서는 저가형 고효율 진공유리 개발을 위한 기초 연구로써 유리 용접용 수소-산소 혼합가스 토치 개발하기 위한 열해석을 수행하였다. 주로 토치의 형상, 노즐 배치 및 직경 변경을 통한 토치 최적화를 수행하였다.

### 1. 서론

경제발전과 인구증가는 화석연료의 소비를 급증시켰지만 수요와 공급의 불균형으로 인해 가격이 급증하고 있는 추세이다. 이를 해결하고자 IEA(국제에너지기구)는 대체 에너지의 의존도를 높이는 한편 에너지 절약책을 추진하고 있다. 특히 냉·난방 시스템을 사용하는 곳에서 단열성능이 좋은 진공 유리 제품의 개발은 에너지 절약을 위한 중요한 요소로 작용한다.

일반적으로 사용되는 건물의 창호는 사용재료의 특성상 주택의 20~40%, 일반 건물의 경우 15~20%가 창호를 통하여 열에너지 손실이 발생한다. 최근에 건물 디자인의 고급화와 고층화로 인해 창면적비가 지속적으로 증가하고 있는 추세이기 때문에 에너지손실을 줄일 수 있는 기술 확보가 필요하다.

창호를 통한 에너지 손실을 줄이기 위한 연구는 활발히 진행되어 왔는데 이 중 Low-E[1] 유리는 유입되는 적외선을 반사하는 방식으로 열손실을 줄이고 있으나 단순히 태양광의 유입을 막기 때문에 난방시 취약한 단점을 가지고 있다.

이에 비해 진공유리는 단열효과가 매우 뛰어나므로 현재 여러 방법으로 진공유리가 개발되고 있다.

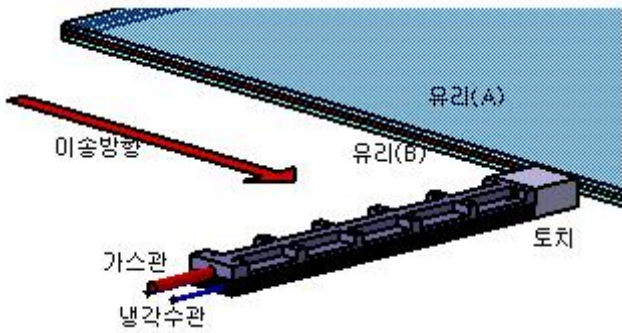
저용점 글라스인 Frit를 사용하는 방식은 유리 사이에 Seal Line을 도포한 후 봉착온도(450℃)에서 충분한 유동성을 가지게 한 후 배기공정온도(380℃)에서 Seal층을 연화하는 방식을 사용한다. 하지만 공정의 수가 많기 때문에 공정설비 가격 증가와 제품 제작 시간이 오래 걸리는 단점을 가지고 있다. 또한 오염물질의 발생으로 인하여 환경피해를 발생시키며 유리접합강도가 높지 않아 제품의 파손 위험성이 있다. 레이저 빔을 이용한 방식은 균일하고 정밀하게 용접을 할 수 있으나, 고가의 설치 및 유지비용으로 인한 유리제품의 단가상승이 발생되며 이것은 진공유리의 보급화를 늦추는 단점으로 작용한다.

본 연구에서는 수소-산소 혼합가스를 이용하여 진공유리를 개발하고자 한다. 수소-산소 혼합가스는 물을 전기분해하여 발생된 가스로서 수소와 산소가 2:1의 혼합비로 구성되어 있어 공해가 없는 고밀도 열원으로 3,000℃ 이상 발열되어 유리를 용접한다. 하지만 온도분포가 균일하지 않은 채로 접합부위에 작용하게 되면 용접이 제대로 이루어지지 않아 진공유리로서의 기능을 수행할 수 없게 된다.

수소-산소 혼합가스의 경우 유리용접에 관한 연구보다는 가스의 발생과 특성에 대한 연구가 진행되어 왔다. Hustad와 Sonju는 수소, 메탄, 일산화탄소 등

의 혼합 가스에 대한 가연 한계를 실험적으로 규명하였고 Lee는 수소-산소 혼합가스 특성에 관한 연구를 하였다.[2-3] Choi는 조성비와 용량차이에 의한 수소의 순도와 회수율에 대한 영향에 관한 연구를 실시하였다.[4]

진공유리 제작을 위해선 두 장의 유리가 필요하며 유리를 지지 할 수 있는 지지 기둥(spacer)이 반드시 있어야 한다. 이 기둥은 유리 용접시 일정한 진공을 위한 공간 확보뿐만 아니라 진공유리 안의 진공상태가 대기압과의 압력차를 견디는 역할을 하는 중요한 요소이다. 수소-산소 혼합가스 용접시 발생된 고밀도 열원을 정밀하게 사용하기 위해선 반드시 토치(Torch)가 필요하며 진공유리 개발을 위한 토치 개략도는 그림 1에 나타내었다.



[그림 1] 유리 용접 개략도

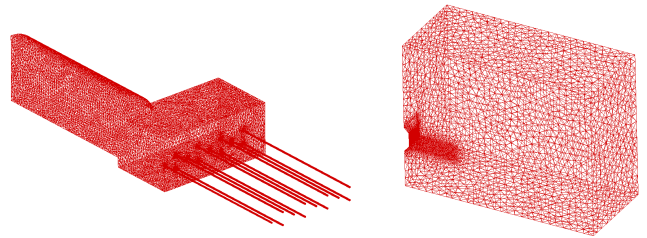
진공유리를 제작하기에 있어 가장 중요한 것은 유리 용접부위에 기포와 크랙 등이 발생되지 않아야 한다. 기포와 크랙의 발생은 진공 유리로서의 역할에 심각한 악영향을 끼치므로 최적화된 토치 설계가 이루어져야 하며 노즐 홀 배치, 토치 직경, 화염 균일도, 냉각 최적화 등의 열 해석이 반드시 필요하다.

본 연구에서는 유리 접합용 수소-산소 혼합가스 토치 설계를 위한 토치 형상, 노즐 직경 및 배치 최적화 해석을 실시하였다.

## 2. 수치해석

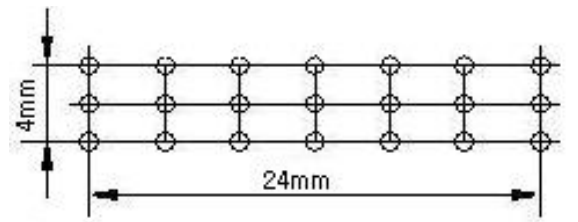
본 연구에서 고려된 유체유동은 3차원, 비압축성, 정상상태 난류유동으로 k-ε 모델을 사용하였다. 수치해석은 cold flow를 통한 유량 배분 최적화 해석과 H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O 화학종을 고려한 연소 해석으로 나누어 실시하였다. 즉, 유동 모델에서 얻어진 노즐 출구 유량을 연소 해석시 다시 입구 경계 조건으로 사용하였다. 효율적인 격자(mesh) 사용을 위해 대칭조건을

주어 1/2 모델을 사용하였으며 이는 해석 시간을 단축시킨다.

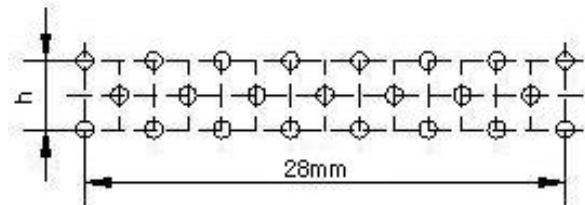


(a) 유동 모델 (b) 연소 모델

[그림 2] 격자 시스템



(a) 배치 형상 1



(b) 배치 형상 2

[그림 3] 노즐 배치 형상

그림 2는 토치의 유동 및 연소 해석을 위한 격자 시스템을 각각 보여 준다. 사용된 격자수는 유동 해석에는 약 100만개와 연소 해석에는 50만개이다.

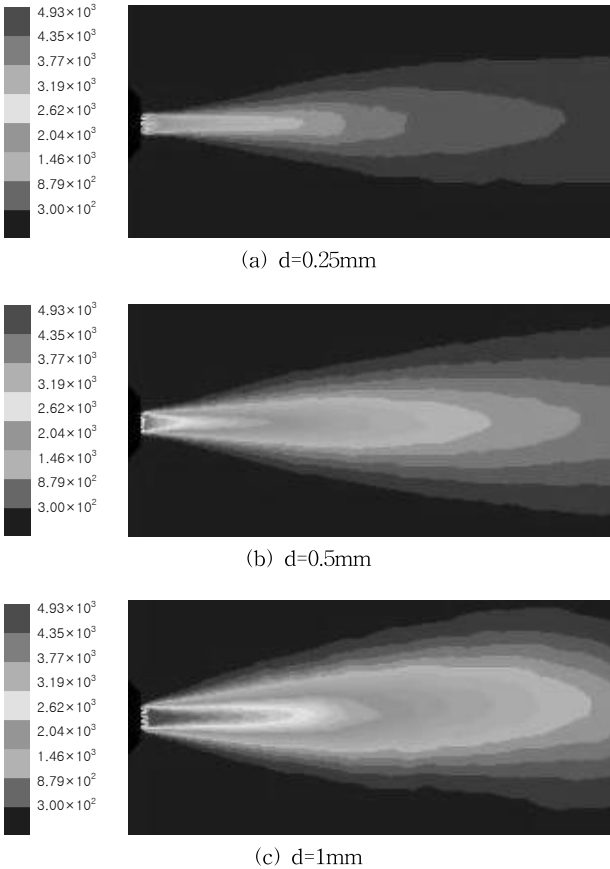
토치의 노즐 배치 및 형상에 따라 유리 용접부위의 용접 형상이 매우 달라진다. 노즐 직경에 따라 변화하는 유동속도는 온도균일도, 소음 및 역화에 영향을 끼치며 노즐 홀 배치의 조밀도에 따라 고온 집중 현상과 용접면적 감소가 발생된다. 이것들을 고려하지 않은 토치 설계는 부적합한 용접 상태를 만들며 진공유리로서의 기능을 수행할 수가 없게 된다.

수치해석을 위한 노즐 직경은 0.25mm, 0.5mm, 1.0mm로 변화시켰으며 그림 3에 나타낸 노즐 배치 형상처럼 기본 형상을 두 가지로 나누었다. 배치 형상 2의 경우 h를 2mm, 3mm, 4mm로 변화시켰다. 연료 유량은 모든 조건에서 7 ℓ/min을 고려하였다.

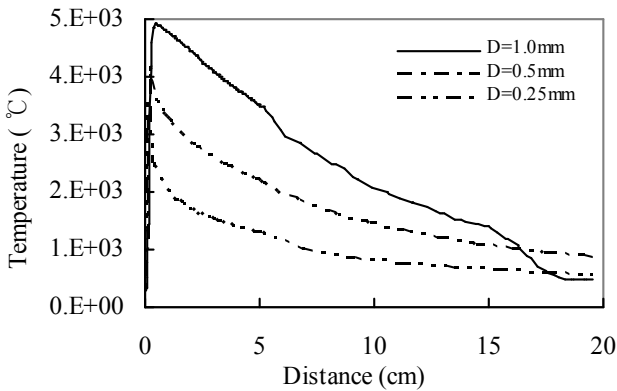
### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 노즐 직경 최적화

배치 형상 1을 이용하여 화염 형상을 해석하였으며 노즐 직경에 따른 화염 분포를 그림 4에 나타내었다. 화염길이, 화염각도, 온도 분포 결과는 직경 변경에 따라 큰 차이를 보였다.



[그림 4] 화염 분포



[그림 5] 노즐 직경에 따른 토치 중심선 온도 분포

노즐 직경이 작으면 상대적으로 유속이 증가하게 되어 화염은 좁고 길어지는 결과를 가져왔다. 반대로 노즐 직경이 큰 경우 고온으로 화염이 형성되지만 화염분사각도가 증가하게 되며 노즐 입구부터 발달된 화염이 비균일하게 형성이 되는 것을 알 수 있다.

직경 1.0mm때 노즐 입구에서 형성된 고온의 화염은 분사 길이가 짧을 뿐만 아니라 넓게 퍼지며 형성되었다. 따라서 균일하지 않은 온도 분포로 인해 진공유리를 개발하기 위한 유리 용접에 부적합하다. 0.25mm 직경인 경우 형성된 화염의 분사 길이가 길며 노즐 입구에서 일정거리까지 균일한 온도 분포가 형성됨을 알 수 있다. 이는 유리 용접을 위한 화염으로 적합하다고 할 수 있다.

그림 5에 노즐 직경에 따른 토치 중심선 온도를 나타내었는데 토치 중심선에서 발달한 온도가 급격히 상승하여 10mm 이내에서 최고 온도에 도달한 후 완만한 구배로 감소한다.

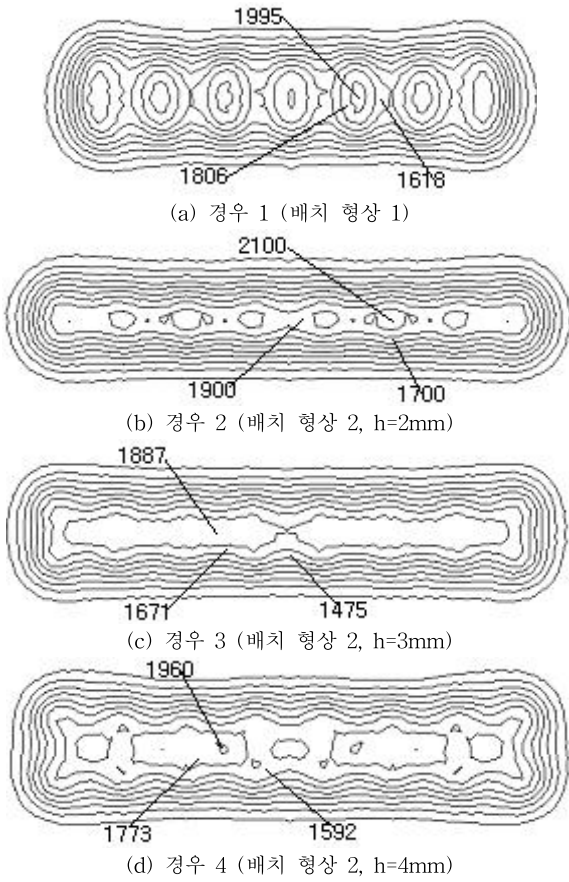
최고온도는 0.25mm에서 3,600°C, 0.5mm에서 4,200°C, 1.0mm에서 4,930°C의 결과가 나왔다. 결과를 토대로 노즐 직경과 최고 온도는 비례하며 직경이 클수록 최고 온도의 증가로 고온의 용접에 유리하다고 할 수 있다. 하지만 직경이 크면 온도의 균일도가 떨어져 정확한 용접거리를 선정할 수가 없으며 역화(flashback)의 문제가 발생할 가능성이 생긴다.

#### 3.2. 노즐 배치 최적화

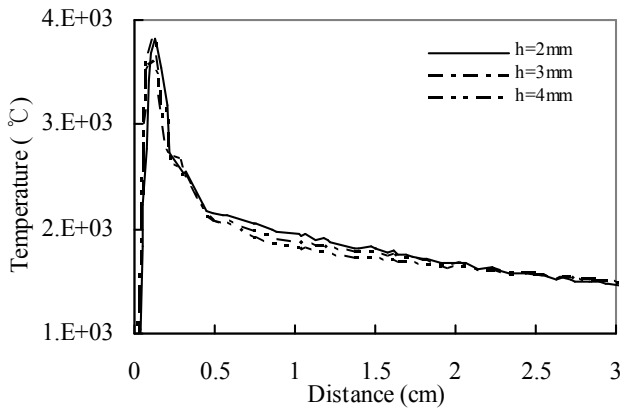
노즐 직경 변경을 통해 가장 적합하다고 판단된 0.25mm의 노즐을 이용해 배치 최적화를 하였다.

온도 급상승 및 급강하 구간을 지나 온도가 안정적인 구간에 들어섰을 때의 화염 균일도를 그림 6에 나타내었다. 노즐 직경 최적화를 위해 사용했던 배치 형상 1의 경우 온도 분포가 상당히 불균일하여 용접에 적합하지 않다. 반면 배치 형상 2는 비교적 온도가 균일하다. 특히 경우 3의 경우 온도 등고선이 대체적으로 우수하므로 h 값이 3mm일 때가 유리 용접에 가장 적합하다고 할 수 있다.

그림 7에 배치 형상 2의 토치 중심선 온도 변화를 나타내었고 온도 곡선은 h 값의 변화에 영향을 받지 않는다는 것을 알 수 있다. 최적의 용접 장소는 온도의 급상승 및 급강하 구간에 속하지 않고 온도 변화가 완만한 구간이다. 또한 비교적 고온을 유지하는 곳이 유리하기 때문에 가장 적합한 용접 거리는 노즐입구에서 약 10mm 떨어진 지점이라 할 수 있으며 이때의 온도는 대략 2,000°C 이내이다.



[그림 6] 노즐 배치에 따른 화염 균일도



[그림 7] 노즐 배치에 따른 토치 중심선 온도 변화

### 5. 결론

본 연구에서는 고효율 진공유리 개발에 필요한 수소-산소 혼합가스 토치 설계를 수치해석으로 최적화 하였다. 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 유리 용접에 적합한 노즐 직경은 0.25mm이며 배치 형상 2에서 노즐 배치 높이가 3mm인 경우이다.
- 2) 최고 온도는 노즐 직경의 크기와 비례하며 동일한 노즐 직경일 경우 노즐 배치 높이의 변화는

중심선 온도 변화에 영향을 주지 않는다.

- 3) 유리 용접을 위해선 화염 분포가 균일 하여야 하며 온도의 급상승 및 급강하 구간은 피해야 한다. 이것은 노즐 입구에서 약 10mm 정도 떨어진 구간을 의미한다.

### 참고문헌

- [1] J.J. Funley, "Heat treatment and bending of low-E glass", Thin Solid Films, volume 351, Issues 1-2, pp. 264-273, 30 August 1999
- [2] Johan E. Hustad, Otto K. Sonju, "Experimental studies of lower flammability limits of gases and mixtures of gases at elevated temperatures", Combustion and Flame, Volume 71, Issue 3, pp. 283-294, March 1988,
- [3] Hwan-Chul Lee, "Characteristics of H<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> gas mixture fabricated by water electrolysis", Journal of the New science Research, Vol. 1, pp. 43-55, 1998
- [4] Dae-Ki Choi, "Large-Scale PSA Process for Hydrogen Separation from Gas Mixture", Trans of the Korean Hydrogen and New Energy Society, Vol. 17, No. 1, pp. 8-20, 2006. 3
- [5] Bo-Hwa Lee, "Experimental Study on Manufacturing of Insulation Vacuum Glazing and Measurement of the Thermal Conductance", Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers B, Vol. 30, No. 8, pp. 772-779, 2006
- [6] Soo-Mee Kim, "Performance Evaluation and Improvement for Window System by Insulation Spacer and Glazing Type", The Korean Solar Energy Society, pp. 115-120, 2005