

진공유리 접합을 위한 수소-산소 혼합가스 토치 개발

황순호¹, 이영림^{1*}, 전의식¹
¹공주대학교 기계자동차공학부

Development of hydrogen-oxygen mixed gas torch for joining of vacuum glazing

Soon Ho Hwang¹, Young Lim Lee^{1*} and Euy Sik Jeon¹

¹Department of Mechanical and Automotive Engineering, Kongju National University

요 약 지속적인 경제 발전과 인구증가로 인하여 에너지 소비가 급증하게 되면서 에너지의 효율적인 사용이 필요하다. 특히 에너지 손실이 많은 건물의 창호에 단열성능이 좋은 고효율 진공유리 사용이 절실한데 아직 가격 및 성능 등의 문제로 보급화가 이루어지지 않고 있다. 따라서, 본 연구에서는 저가의 진공유리 개발을 위한 유리 용접용 토치를 설계 및 제작하였다. 연료는 고밀도 열원인 수소-산소 혼합가스를 사용하였고 주로 토치 형상, 노즐 직경, 노즐 배치 등의 최적화를 수행하였다. 끝으로 개발된 토치를 이용하여 두 장의 유리용접을 성공적으로 수행함으로써 저가의 진공유리 개발 가능성을 확인하였다.

Abstract Efficient energy use becomes necessary since energy consumption has dramatically been increasing due to continuous economic development and population growth. In particular, high efficient vacuum glazing needs to be introduced to buildings where enormous energy loss occurs through windows and has been rarely used yet due to its high price and performance. Therefore, in this study, torch for glass welding was developed with CFD(Computational Fluid Dynamics) and experiments. Torch shape, nozzle diameter, nozzle arrangement etc. were mainly optimized and hydrogen-oxygen mixed gas fuels the torch. Finally, glass welding with the developed torch has been successful, showing that it can be used to develop economic vacuum glazing.

Key Words : Torch, Vacuum glazing, Hydrogen-oxygen mixed gas

1. 서론

지속적인 경제발전과 인구증가로 에너지 소비가 급증하게 되면서 효율적이며 합리적인 에너지 사용의 필요성이 크게 대두되었다. 특히 냉난방 시스템을 사용하는 건물 및 차량에서는 단열성능이 좋은 고효율 진공 유리 제품을 이용하여 에너지 손실을 줄이는 것이 필요하다.

현재 일반적으로 사용되는 건물의 유리는 벽체의 열손실에 비해 약 10배 이상의 열손실을 발생시키고 있다. 따라서 일반 유리의 경우 단열 효과가 높지 않아 에너지 손실을 줄이기 위한 연구가 계속 진행되고 있다. 현재 개발되고 있는 Low-E[1] 유리는 냉난방과 관련된 적외선을

반사하는 방식으로 에너지 손실을 줄이고 있으나 이는 태양광의 유입을 줄이는 단순한 방법이며 난방에는 취약한 단점을 가지고 있다. 그렇기 때문에 열의 이동을 완벽히 차단하여 에너지 손실을 줄일 수 있는 진공유리 개발은 매우 필요하다. 진공 유리의 개략도를 그림 1에 나타내었는데 두 장의 유리 사이에는 대기압과 진공간의 압력차를 견디기 위한 지지 기둥(spacer)을 일정한 간격으로 설치하는 것이 필요하다.

진공유리의 개발에 있어 가장 중요한 기술은 두 장의 유리를 접합하는 것인데 현재 저용점 글라스인 Frit[2]를 사용한 유리접합, 레이저 빔을 이용한 유리용접 등이 사용되고 있다. Frit를 사용한 유리접합의 경우 고온의 가열

본 논문은 중소기업 기술혁신개발사업 연구과제로 수행되었음

*교신저자 : 이영림(ylee@kongju.ac.kr)

접수일 09년 09월 03일

수정일 (1차 09년 10월 16일, 2차 09년 11월 09일)

게재확정일 09년 11월 12일

로를 이용하여야 하고 제작 시간도 많이 소요된다. 또한, 오염물질의 발생으로 인하여 심각한 환경피해를 발생시키며 유리접합강도가 높지 않아 제품파손의 위험성이 있다[3]. 이와 달리 레이저 빔을 이용한 경우는 고가의 설치 및 유지비용으로 인한 유리제품의 단가상승이 발생되며 이것은 진공단열유리의 보급화가 늦어지는 단점으로 작용한다. 따라서 저가의 비용으로 경제적인 유리 접합을 할 수 있는 기술 개발이 시급하다.

본 연구에서는 유리 용접을 위해 수소-산소 혼합가스를 사용하였는데 이는 레이저에 비해 상대적으로 설치 및 유지 비용이 매우 낮다. 수소-산소 혼합가스는 물을 전기분해하여 발생하는 가스로써 수소와 산소가 2:1의 혼합비로 구성되어 있고 공해가 없는 고밀도 열원으로 3,000℃이상 발열하여 유리 용접이 가능하다. 하지만 발생된 열원이 유리접합 부위에 균일하게 분포되지 않으면 용접이 제대로 이루어지지 않아 진공유리로서의 기능을 수행할 수 없게 된다.

수소-산소 혼합가스에 대한 연구는 주로 혼합가스의 발생이나 특성에 대한 연구가 이루어 졌고 유리 용접을 위한 토치 개발은 알려지지 않고 있다. 먼저, Hustad와 Sonju는 수소, 메탄, 일산화탄소 등의 혼합 가스에 대한 가연 한계를 실험적으로 규명하였고 Lee는 전기 분해로 얻은 수소-산소 혼합가스의 특성에 관한 연구를 수행하였다[4-5]. Lee는 조성비와 용량차이에 의한 수소의 순도와 회수율에 대한 영향에 관한 연구를 실시하였으며 Kim 등은 수소-산소 혼합 가스를 강재 절단에 사용하였는데 절단 특성을 에틸렌 가스를 사용할 때와 비교 분석하였다[6-7].

본 연구에서는 토치 형상, 노즐 직경 및 배치 최적화를 통하여 유리 용접용 수소-산소 혼합가스 토치를 개발하고 이를 이용하여 고효율 진공유리를 개발하고자 한다.

2. 수치해석 및 실험 방법

2.1 수치해석

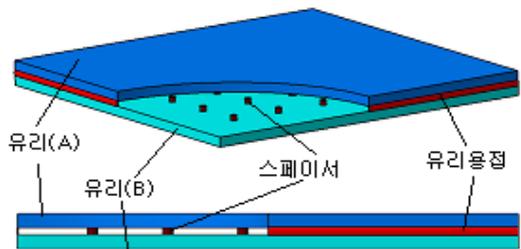
본 연구에서 고려된 유체유동은 3차원, 비압축성, 정상상태 난류유동으로 난류모델로는 표준 k-ε 모델을 사용하였다.

수소의 연소 해석은 가장 기본적인 해석모델로서 3개의 화학종 H₂, O₂, H₂O를 고려한 하나의 전체 반응식으로 가정하였다.

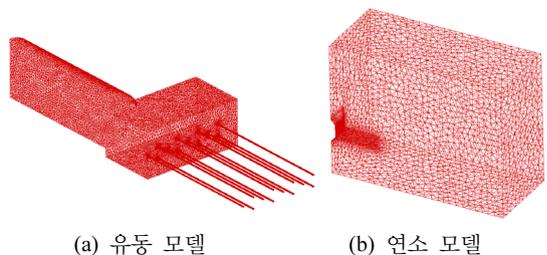


반응율은 에디 소산모델 (eddy-dissipation model)을 채택하여 난류혼합(turbulent mixing)이 반응율을 결정한다고 가정하였다. 점성계수 및 열전도 계수와 같은 물성치는 난류가 잘 발달되었다는 가정하에 상수 값을 사용하였고 비열은 온도의 함수로 가정하였다. 토치의 3차원 모델링에는 Catia[8]를 사용하였고 유동 및 연소해석을 위해서는 Fluent[9]를 이용하였다.

그림2는 토치의 유동 및 연소 해석을 위한 격자시스템을 각각 보여 준다. 사용된 격자 수는 유동 해석에는 약 100만개와 연소 해석에는 50만개이다.

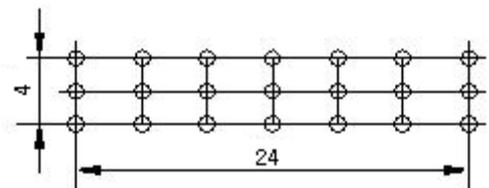


[그림 1] 단열 진공 유리 개략도

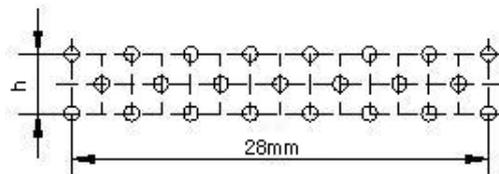


(a) 유동 모델 (b) 연소 모델

[그림 2] 격자 시스템



(a) 배치 형상 1



(b) 배치 형상 2

[그림 3] 노즐 배치 형상

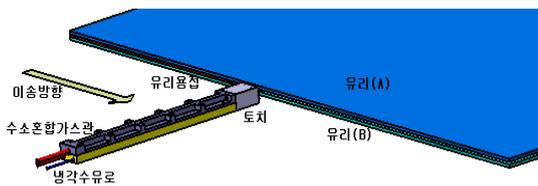
수치 해석을 통하여 주로 노즐 직경 및 노즐 배치를 최적화하였는데 노즐 직경은 온도균일도, 소음 및 역화에 지대한 영향을 끼치고 노즐 배치는 조밀한 정도에 따라 고온집중 현상과 용접면적 감소를 초래하여 용접불량 및 유리표면의 불균형 현상을 일으키는 원인이 되기 때문이다.

노즐 배치 최적화는 그림 2에서처럼 배치도를 이용하며 노즐 직경은 0.25 mm, 0.5 mm, 1 mm로 변화시켰으며 노즐 배치는 그림 3에서와 같이 두 가지 기본 형상을 고려하였다. 또한, 경우 2에서는 노즐 간격 h 를 각각 2mm, 3mm, 4mm로 변화시켰다.

연료 유량은 7 l/min을 고려하였고 먼저 유동 모델을 통하여 노즐 유량을 구한 다음 연소 해석을 통한 화염 최적화를 수행하였다. 즉, 유동 모델에서 얻어진 노즐 출구 유량을 연소 해석시 다시 입구 경계 조건으로 사용하였다. 효율적인 격자 사용을 위해 전체 영역의 1/2만 고려하고 대칭조건을 사용하였다.

2.2 실험방법

실험은 수소-산소 혼합가스 유량이 7 l/min일 때 토치에서 발생하는 화염의 온도를 토치의 중심선을 따라 측정하였고 실제 토치를 이송시켜 유리 용접을 실시하였다. 유리 용접을 위해 유리 두 장 사이에 일정 간격을 유지한 다음 토치를 일정한 속도로 이송하였고 이러한 유리용접 과정을 그림 4에 개략도로 나타내었다.

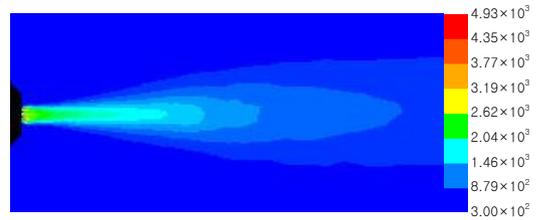


[그림 4] 토치 유리 용접 개략도

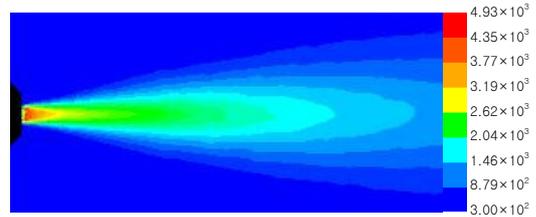
3. 결과 및 고찰

3.1 노즐 직경 최적화 수치해석

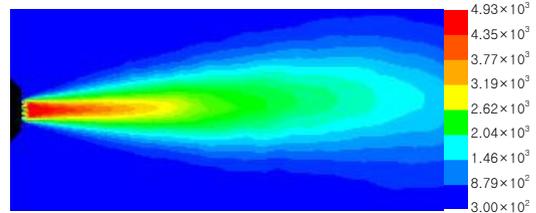
노즐 직경은 화염의 특성을 결정짓는 주요한 인자로서 직경 크기에 따라 화염 형상을 그림 5에 나타내었다. 노즐 직경이 작을수록 분사속도가 높아져 화염은 좁고 길게 형성되었으며 노즐 직경 1mm에서 화염이 가장 잘 발달하였으나 화염 분사 각도가 너무 넓어 온도의 균일도 확보에는 불리하다. 반면 노즐 직경이 0.25mm인 경우 화염 폭이 비교적 일정하여 용접을 위한 화염으로 적합하다.



(a) $d=0.25\text{mm}$

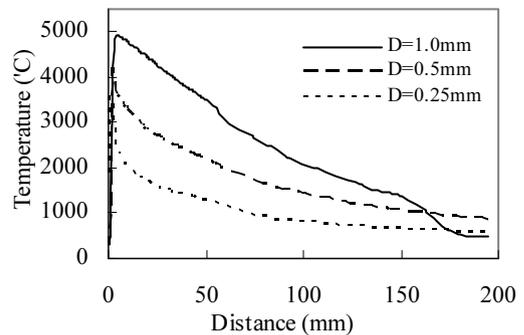


(b) $d=0.5\text{mm}$



(c) $d=1\text{mm}$

[그림 5] 화염 온도분포



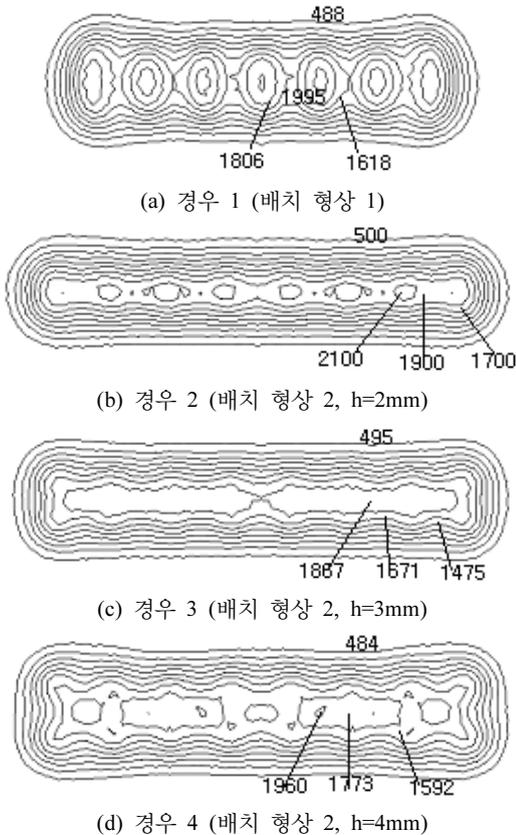
[그림 6] 직경 크기에 따른 토치 중심선 온도 분포

그림 6에 직경 크기에 따른 토치 중심선 온도 변화를 나타내었는데 토치 중심선을 따라 초기에는 온도가 급격히 상승하다 최고점을 형성하고 난 후에는 상대적으로 완만한 구배로 감소한다. 그러므로 유리 용접시 이러한 급격 상승 구간은 온도 편차가 크므로 피해야 한다. 화염 최고온도는 0.25mm에서 3,600℃, 0.5mm에서 4,200℃, 1.0mm에서 4,930℃로 변화하였다. 따라서 노즐 직경이

커지면 최고 온도 또한 증가하여 고온의 용접을 하기 위해서는 노즐 구멍이 클수록 유리하다는 것을 알 수 있다. 하지만 노즐구멍이 크면 온도의 균일도 문제나 역화(flashback) 문제를 야기시킬 수 있다. 수치해석이 다소 과도한 온도 예측을 하였는데 이는 간단한 연소 모델을 채택한 것에 기인한다. 하지만 정성적인 온도 변화 예측에는 여전히 유용하다.

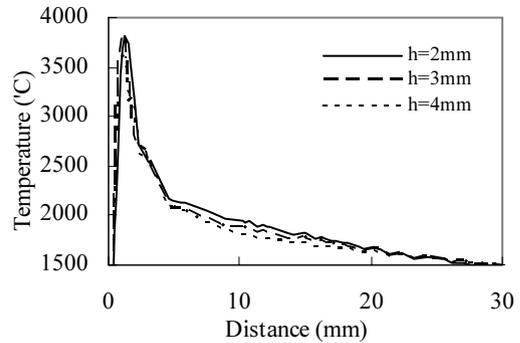
3.2 노즐 배치 최적화 수치해석

노즐 직경은 유리 용접에 유리하다고 판단된 0.25 mm로 결정하였고 다음으로 이러한 노즐의 배치 형상을 최적화 하였다. 그림 7에 온도 급격 상승 구간을 지난 곳에서 네 가지 경우에 따른 온도 분포를 나타내었다. 배치 형상 1인 경우 온도가 분포가 매우 불균일하여 용접에 불리하다. 배치 형상 2는 비교적 균일한 온도 분포를 보여주고 있는데 그 중에서 경우 3이 가장 균일한 것을 알 수 있다. 이는 네 가지 경우 중에 두번째 배치 형상이면서 h 값이 3mm일 때가 가장 유리 용접에 적합하다는 것을 알 수 있다.



[그림 7] 노즐 배치에 따른 화염 균일도

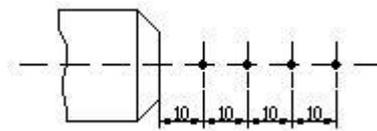
한편 그림 8에 배치 형상 2일 때 토치 중심선을 따라 온도 변화를 나타내었다. h에 따른 중심선 온도 변화는 거의 차이가 없으며 이는 h의 변화는 중심선을 따른 화염 온도 분포에는 거의 영향을 주지 않음을 알 수 있다. 또한 적절한 용접거리는 온도 급상승 및 급강하 구간을 지나 온도의 변화가 비교적 완만하면서도 고온을 유지하는 구간인데 그림8에서 이러한 최적의 용접거리는 약 10mm 정도라고 할 수 있으며 이때의 온도는 대략 2,000℃ 이내이다.



[그림 8] 노즐 배치에 따른 토치 중심선 온도 변화

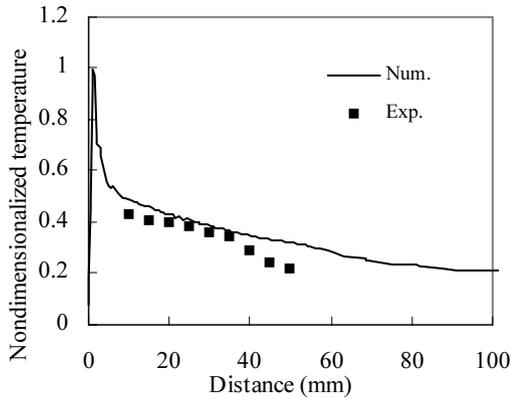
3.3 화염 온도 측정 실험

최적화된 노즐설계를 바탕으로 유리 용접용 토치를 제작하여 중심선에 따른 온도 변화 측정 실험을 수행하였다. 실험은 그림 9와 같이 한 개의 열전대를 사용하여 토치 중심선을 따라 이송시켜 온도를 계속하였다. 본 연구에서 계속된 최고 온도는 약 1,660℃로 제한되었고 이는 열전대 접점의 크기에 따른 복사, 열용량 증대 및 민감성 등에 기인한다.



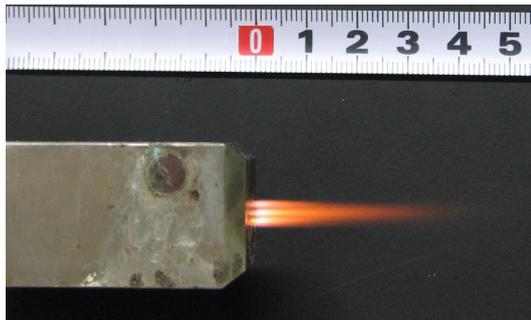
[그림 9] 센서 배치

그림 10에 수치해석 온도분포와 측정된 온도 분포를 비교하였는데 수치해석 및 실험 결과는 각각의 최고온도로써 무차원화 하였다. 수치해석은 최고 온도 지점이나 절대 온도 값은 정확히 예측하지 못하였으나 정성적인 온도 변화는 예측 가능하였고 향후 진보된 연소 모델이나 비교 검증을 통해 정확도를 향상시킬 수 있을 것이다.



[그림 10] 화염 중심선 온도 분포 비교

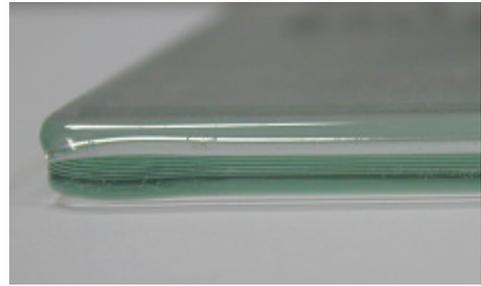
그림 11은 유리용접 토치에서 발생하는 실제 화염의 가시화 사진을 보여준다. 화염의 가시거리의 약 50mm 정도이며 수차례 결과와 같이 노즐입구 근처에서 약 2~3mm 정도 떨어진 곳에서 최대 화염 밝기가 관측되었고 약 10mm 정도 이후의 거리에서 안정화됨을 알 수 있다. 실제 10mm 이내에서는 육안으로도 각 노즐에서 형성된 화염이 완전히 혼합되지 않고 있음이 식별 가능하였다. 이것은 10mm이내의 구간에서는 화염이 불균일하여 유리용접에는 사용하지 않아야 한다.



[그림 11] 실제 화염 사진

3.4 유리 용접 파일럿 실험

가스 유량을 7 l/min으로 고정시키고 노즐로부터 10mm 거리에서 약 600 mm/min의 이송 속도로서 유리 파일럿 용접을 실시하였다. 그림 12에 용접된 유리 사진을 나타내었다. 진공 유리의 기능을 수행하기 위해서는 용접 부위에 크랙, 기포 혼입 및 유리변형이 생겨선 안 된다. 본 연구에서 시도된 유리의 용접 상태에서는 육안으로 이러한 불량요소가 발견되지 않았으며 이는 저가의 진공유리 개발의 가능성을 보여 준다.



[그림 12] 유리 접합 부위

4. 결론

본 연구에서는 고효율 진공 유리 개발을 위한 수소-산소 혼합가스 토치 개발을 위하여 수치해석 및 실험을 통하여 최적화하였고 파일럿 유리 용접 실험을 성공적으로 수행하였다. 본 연구에서 고려된 토치의 경우 얻어진 결론은 다음과 같다.

- 1) 유리 용접에 적합한 수소-산소 혼합가스 토치는 0.25mm의 노즐 직경 및 두 번째 노즐 배치형상에서 $h=3\text{mm}$ 일 때 가장 우수한 온도 균일도를 나타냈다.
- 2) 유리용접은 화염 온도가 급격히 변화하는 구간을 피하여야 하는데 이것은 토치 노즐에서 약 10mm 이상 떨어진 거리에서 용접이 이루어져야함을 의미한다.
- 3) 토치 설계시 노즐 직경이 노즐 배치 형상보다 더 직접적으로 화염 특성에 영향을 미친다.
- 4) 개발된 토치를 사용하여 용접된 유리 접합부는 변형이나 크랙 혹은 기포 등이 발견되지 않아 성공적 이었음을 알 수 있다.

향후 개발된 토치를 이용하여 다양한 유리 용접 및 용접부위 검사를 통하여 경제적인 진공 유리개발을 수행할 예정이다.

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] Hwan-Chul Lee, "Characteristics of H_2/O_2 gas mixture fabricated by water electrolysis", Journal of the New science Research, Vol. 1, pp. 43~55, 1998.
- [3] 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.

- [4] 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.
- [5] Jin-Sung Lee, "The Comparison of Thermal Insulation Performance and Surface Temperature of Windows by the Glazing System", J. Korean. Soc. Living. Environ. Sys, Vol. 15, No. 3, pp 392~399, 2008.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] Catia, V5R17, Dassault Systems, 2006.
- [9] Fluent, Version 6.1, fluent, Inc., Lebanon, NH 2005.

이 영 림(Young Lim Lee)

[정회원]



- 1995년 5월 : U of Texas at Austin 기계공학과 (공학박사)
- 1996년 8월 ~ 2000년 2월 : 삼성자동차-삼성전자 책임연구원
- 2000년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계자동차공학부 교수

<관심분야>

열유체공학, 에너지공학, 자동차공학

황 순 호(Soon Ho Hwang)

[준회원]



- 2009년 2월 : 공주대학교 기계설계공학전공 (공학학사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 대학원 석사과정

<관심분야>

열유체공학, 에너지공학, 자동차공학

전 의 식(Euy Sik Jeon)

[정회원]



- 1995년 2월 : 한양대학교 대학원 기계공학과 (공학박사)
- 1995년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계자동차공학부 교수

<관심분야>

구조재료공학, 반도체-자동차공학