

자외선 경화기의 급기 및 배기 조건에 관한 연구

Research on The Air Supply and Exhaust Condition of Ultraviolet Curing System

*김승욱¹, #조성욱¹, 공배성², 이규봉³

*S. W. Kim¹, #S. W. Cho(scho@cau.ac.kr)¹, B. S. Kong², G. B. Lee³

¹중앙대학교 기계공학부, ²시스템코리아(주), ³한국생산기술연구원

Key words : Ultraviolet, UV, Curing system, Radiation

1. 서론

자외선 (UV, ultraviolet) 경화 시스템은 100 ~ 400 nm 의 파장을 가진 자외선의 강한 화학 작용 에너지를 이용하여, 자외선에 민감하게 반응하는 도료를 순식간에 변화 시킨다. 이러한 작용을 경화 (curing)라고 하며 열에 의한 건조 (dry)와 달리 열에 민감한 제품의 코팅, 인쇄 등의 공정을 수 초 만에 이루어 낼 수 있으며 오염배출 물질이 없는 환경 친화적인 공정을 수립할 수 있다.

자외선 경화 시스템에 최우선으로 고려해야 할 사항은 조사 장치 선정을 통해 자외선의 분포를 결정하고, 냉각 시스템을 통해 발생하는 열을 차단하거나 외부로 내보내는 일이다. 즉, 램프에서 조사되는 빛의 파장중 자외선 영역과 같은 특정 파장만을 선택적으로 반사시키거나 투과시켜 제품의 경화에 활용하고, 빛의 다른 파장영역, 특히 복사열전달이 활발히 이뤄지는 적외선 (IR)영역을 효과적으로 차단하는 메커니즘이 요구된다. 그러나 이 과정에서 차단되거나 반사된 적외선은 경화기 내부 반사판 등의 온도 증가를 유발하고 이에 따른 내부 구조물의 열 변형, 열응력 등을 야기하여 경화 시스템의 성능에 치명적인 영향을 미칠 수 있다. 따라서 경화 시스템에서 복사로 인해 발생하는 열전달에 대한 이해와 이를 효과적으로 제어하기 위한 냉각시스템의 구축이 반드시 필요하다.

본 연구에서는 수치 시뮬레이션을 통해, 복사열 전달에 따른 내부 구조물의 온도 분포와 공랭 시스템을 이용한 냉각성능에 대한 분석을 수행하였다. 특히, 공기 펌프 작동방식을 급기 (air supply) 조건과 배기 (exhaust) 조건으로 구분하여 이에 따른 열전달 특성을 분석하였다.

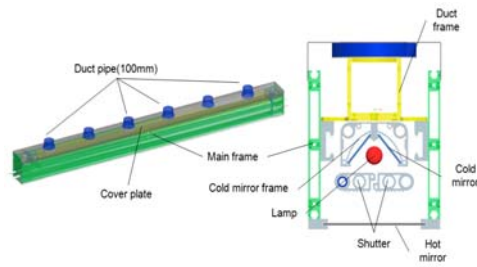


Fig. 1 Three dimensional drawing and schematic view of UV (ultraviolet) curing system

2. 수치 모델

본 연구에서 분석한 자외선 경화기의 조사장치는 Fig 1과 같이 UV 램프 (2,500 mm), 평행 광원형 반사갓, 회전식 셔터 (shutter), 콜드 미러 (cold mirror) 및 핫 미러 (hot mirror)로 구성되어 있다. 또한 공랭을 위하여 경화기 상단에 유닛당 4개의 펌프와 2개의 입·출구가 설치되어 있다. 각 구성요소의 사양은 Table 1을 통해 상세히 설명하였다.

경화기의 기하학적 대칭성과 패턴을 고려하여 수치 모델은 1개의 펌프와 1/2개의 입·출구를 포함한 영역을 해석 대상으로 삼았으며 식(1)~(3)의 continuity equation, momentum equation 및 energy equation을 계산하였다.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial (\rho U)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U \otimes U) = -\nabla p + \nabla \cdot \tau + S_M \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial (\rho h_{tot})}{\partial t} - \frac{\partial p}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U h_{tot}) \\ = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) + \nabla \cdot (U \cdot \tau) + S_E \end{aligned} \quad (3)$$

Table 1 Capacity of UV curing system's components

Component	Capacity
Lamp	136 W/cm
Pump	Diameter(100 mm), Pressure(150mmAp), Power(5 Hp, 50 Lube)

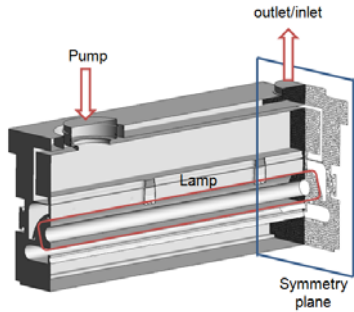


Fig. 2 Boundary condition and Grid system

작동 유체는 상온의 공기이며 내부 유동은 라미나, 회색체 복사, 정상상태로 간주하였으며 경계조건으로 램프의 일률중 80%가 적외선 영역으로 조사된다고 가정하였다. 펌프의 용량은 최대 출력의 50%상태로 가정하였으며 입·출구의 길이방향 단면은 대칭면으로 적용하였다. Fig 2와 같이 ANSYS ICEM을 이용하여 약 3,500,000개의 격자를 생성하였으며 ANSYS CFX 13.0을 이용하여 계산을 수행하였다.

3. 결과

램프에서 조사된 복사열은 콜드 미러 프레임(cold mirror frame)과 셔터(shutter)의 윗면에 집중된다. 이는 콜드 미러와 셔터가 경화 대상으로부터 적외선을 차단하거나 반사시키는 용도로 활용되기 때문이며, 특히 콜드 미러의 경우 조사된 적외선을 모두 투과시키기 때문에 콜드 미러 안쪽의 콜드 미러 프레임에서 최대 온도가 발생하였다. 그러나 냉각방식의 차이에 따라 최대 온도와 발생 부위의 차이가 다르게 나타났다. Fig 3은 급기 상태의 온도 분포 (temperature distribution)와 복사도 (radiation intensity)를 설명하는 그림이다. 급기 상태의 온도 분포는 20℃에서 110℃로 나타났으며 최고 온도는 출구 쪽의 콜드 미러 프레임에서 발생했다. Fig 4와 같은 배기 상태의 경우, 20℃에서 92℃의 온도 분포가 나타났으며 최고 온도는 입구 영역의 콜드 미러 프레임에서 나타났다.

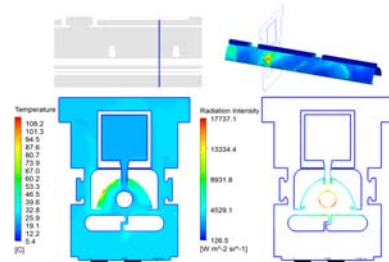


Fig. 3 Temperature distribution(left) and Radiation intensity(right) of air supply condition

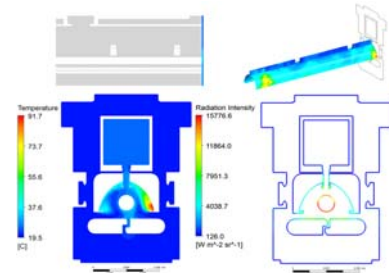


Fig. 4 Temperature distribution(left) and Radiation intensity(right) of exhaust condition

4. 결론

급기와 배기 조건에 따른 경화기 내부 냉각효과는 유사하게 나타나는 것으로 나타났다. 그러나 내부 온도분포와 최대 온도 발생 지점은 다르게 나타난다. 따라서 자외선 경화기 작동환경의 변경이나 설계변경 등이 요구될 때 급·배기 조건에 따라 내부 온도 분포가 바뀌며 이에 따른 구조적 변형 및 응력 상태의 차이가 발생 할 수 있음을 고려하여야 한다.

후기

본 연구는 2010 반월시화 PCB산업 RIS 사업단의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 한동훈, "근 적외선을 이용한 고효율 순간 도장 시스템," 산업자원부, 2008.
2. 한동훈, "근적외선을 이용한 Coil coating 순간 건조기 개발," 산업자원부, 2006.
3. 강동필, "고효율 적외선 건조기 실용화 연구," 한국전기연구원, 2005.
4. Kim, M.R., Choi, Y.K., Lee, G.B. and Kim, J.D., "Thermal Investigation of an Infrared Reflow Furnace with a Convection Fan," InterSociety Conference on Thermal Phenomena, 1996.