

스프레이 코팅 룸의 온도분포 해석

김남웅¹, 김성용², 김국원^{3*}

¹동양미래대학교 기계공학부, ²태성에스앤이 유동해석팀, ³순천향대학교 기계공학과

Analysis of Temperature Distributions in Spray Coating Room

Nam Woong Kim¹, Sung-Yong Kim², Kug Weon Kim^{3*}

¹School of Mechanical Engineering, Dongyang Mirae University

²Team of Flow Analysis, Taesung S&E, Inc

³Department of Mechanical Engineering, SoonChunHyang University

요 약 아연말 코팅은 친환경성 및 고성능으로 인하여 널리 사용되고 있다. 일반적으로 코팅온도가 코팅층 두께 및 코팅품질 을 결정하는 주요한 요소이므로 아연말 코팅의 경우에도 최적의 코팅온도가 요구되고 있다. 본 연구에서는 아연말 스프레이 코팅 룸의 온도분포를 해석하기 위해 룸 내부의 공기유동을 포함하는 열 유동 전산 시뮬레이션을 수행하였다. 3차원 CAD 프로그램인 SolidWorks를 이용하여 스프레이 코팅 룸 전체와 예열실과 건조실을 모두 고려한 모델링을 수행하였으며 Flow Simulation 프로그램을 이용하여 열 유동 해석을 수행하였다. 해석된 결과는 열화상카메라를 이용한 실험으로 검증하였다. 해석결과 제1스프레이실과 제2스프레이실의 온도분포 특성을 파악할 수 있었으며, 현재의 상태로는 목표 온도 값인 25 °C에 미달하고 있었음을 알 수 있었다. 단순히 히터를 추가하는 방법 대신, 현재 조건에서 스프레이실의 온도를 높이는 방안으로 배기팬을 사용하지 않는 경우에 대해 시뮬레이션을 수행하였으며, 그 결과 제1스프레이실의 온도가 6.2 °C, 제2스프레이실의 온도가 5.8 °C 상승하였다. 본 연구 내용은 향후 스프레이 코팅 룸의 성능향상을 위한 설계에 이용될 수 있다.

Abstract Recently, Zinc coating is often used with environment friendly features and high performance. Generally The coating temperature is one of main factors for determining coating thickness and coating ability, so the optimal coating temperature is strongly required. In this paper, the thermo-flow simulation considering the air flow inside the coating rooms for analyzing the temperature distributions of Zinc spray coating room was performed. Two spray coating rooms, preheating room and drying room were all modeled by SolidWorks program and the temperature distributions were analyzed by Flow simulation program. The analysis results were verified with the measured data by thermal image camera. The characteristics of temperature distributions of the first spray room and the second spray room were understood and the results showed that the temperatures of two spray coating room were low compared with the target temperature 25 °C. To the exclusion of heater addition, the simulation with all the same conditions exclusive the exhaust fan was performed, which showed that the temperatures of the first and the second spray rooms increased by 6.2 °C and 5.8 °C. This analysis can be applicable for designing a new spray coating room for improving performance.

Keywords : Spray coating room, Thermo-flow analysis, Temperature distribution

1. 서론

고강도 볼트, 너트 등에는 크로메이트 코팅이 널리 사

용되었으나 환경규제 물질인 6가 크롬(Cr+6)이 포함되 어 있어, 유럽에서는 2007년부터 전면 사용금지 되었다. 이에 따라 Cr-free 코팅 법에 대한 연구가 활발히 진행되

본 논문은 (주)갈물코리아 및 순천향대학교 학술연구비 지원을 받았음.

*Corresponding Author : Kug Weon Kim(Soonchunhyang Univ.)

Tel: +82-2-3276-0420 email: kimkug1@sch.ac.kr

Received July 7, 2015

Accepted November 6, 2015

Revised (1st October 5, 2015, 2nd November 6, 2015)

Published November 30, 2015

었다[1-2]. 아연말 코팅의 경우 탁월한 방청력(고내식성)으로 인하여 대기 중에서 부식을 견뎌 철강의 수명을 연장시킨다. 또한 6가 크롬(Cr+6)과 달리 낮은 원가와 휘발성 용액에 의한 악취가 없고 인체에 무해하기 때문에 산업 분야에 널리 사용되고 있다[3-4].

아연말 코팅 방법으로 스프레이 방식이 널리 이용되고 있다. 일반적으로 코팅온도가 코팅 층 두께 및 코팅품질을 결정하는 주요한 요소이므로[5-6], 스프레이 코팅의 경우에도 최적의 코팅온도가 요구되며, 특히 스프레이 코팅의 특성상 스프레이 코팅 룬의 균일한 온도분포를 위한 온도제어가 매우 주요한 공정요소가 된다.

본 연구는 아연말 코팅 업체의 의뢰를 받아 스프레이 코팅 룬의 온도분포를 해석하였고, 균일한 온도분포를 얻기 위한 개선 방안을 연구하였다. 스프레이 코팅 룬은 부분적으로 개방되어 있는 구조를 가지고 있으며, 배기관의 팬에 의한 공기 유동을 고려해야 하므로 스프레이 코팅 룬 전후로 존재하는 예열실과 건조실을 모두 고려한 모델링을 실시하였고, 열 유동 해석을 수행하였다.

2. 해석 모델 개발

아연말 스프레이 코팅의 공정 순서는 Fig. 1과 같다. (a)는 예열실로서 히터를 이용하여 공기를 예열시켜 아연말 스프레이 코팅에 맞는 최적의 온도를 맞춘다. 여름철의 경우 거의 사용하지 않고, 겨울철의 경우 피도물(Coating Object)의 온도가 매우 낮아 코팅에 부적합한 온도가 되므로, 예열을 하여 코팅이 잘 되도록 온도 조절을 해준다. 온도는 대략 150 °C ~ 190 °C 로 조절이 가능하다. (b)와 (c)는 각각 제1 및 제2 스프레이실로서 피도물에 아연말을 스프레이 형식으로 분사하여 코팅을 하는 구간이다. (d)는 건조실로서 아연말 코팅이 된 피도물에 묻은 시너를 증발시키기 위하여 220 °C로 건조시키는 구간이다. 현재 아연말 코팅 룬을 사용하는 기업에서는 예열 → 스프레이 코팅 → 건조 순서로 공정을 진행하고 있다.

그림에서 각각의 룬은 부분적으로 개방되어 있음을 알 수 있다. 예열실(a)에는 피도물이 투입되는 투입구(Inlet), 제1 및 제2 스프레이 실에는 스프레이 건 투입구(Opener 1 & 2), 건조실에는 건조실 문(Opener 3)과 퇴출구(Outlet) 등이 개방되어 있는 곳이다. Fig. 2는 언급된 개방된 구조의 실제 모습을 보이고 있다.

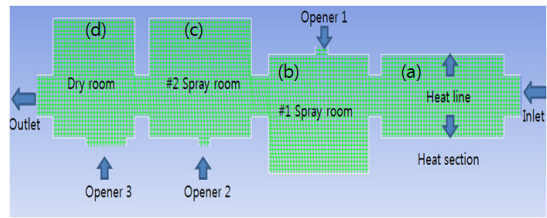


Fig. 1. Simple schematic figure of Zinc flake spray coating process; (a) Heating room (b) First spray room (c) Second spray room (d) Dry room

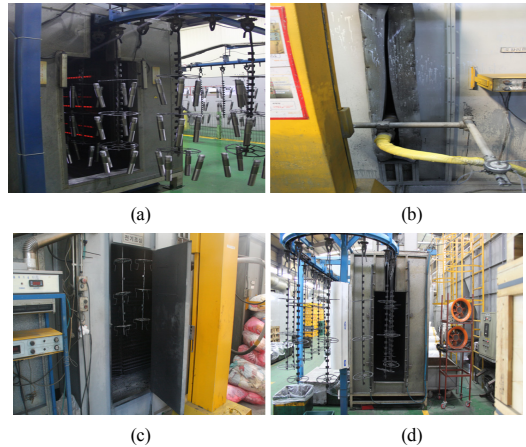


Fig. 2. Each opened portion of spray coating process; (a) Inlet of spray coating process (b) Entrance of spray gun (c) Dry room door (d) Outlet of spray coating process

Fig. 3은 피도물에 스프레이 코팅이 되는 공정에 대한 개략도이다. 피도물은 3단 환봉장치(3-Stage Round Bar)에 매달려있으며, 레일에 의해 이송된다. 이송된 피도물은 스프레이 건 투입구에서 정지하고, 코팅 작업이 시작된다. 환봉의 회전과 동시에 스프레이 건이 상, 하 방향으로 움직이면서 코팅 액을 분사하게 된다.

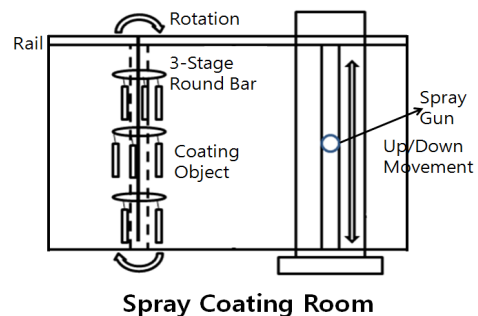


Fig. 3. Schematic figure of coating process in Zinc flake spray coating room

3. 해석 조건

스프레이 코팅 룸 내부의 온도 및 유동해석을 위하여 Fig. 4에 나타난 바와 같이 예열실, 제 1 스프레이 실, 제 2 스프레이 실, 건조 실 모두를 고려하여 모델링 하였다. 모델링에 사용된 프로그램은 SolidWorks 이다. 코팅 룸의 배기는 공장 전체 배기에 관여하는 50 HP의 집진기와 룸 상부에 설치되어있는 시로코 팬에 의해 처리된다. 집진기는 여러 시설물에 관여하고 코팅 룸과 매우 멀리 위치하고 있다. 따라서 배기에 영향력이 작다고 판단하여 유동 해석에서 제외하고, 시로코 팬에 의한 유동 경계조건을 설정하기 위해 풍속계를 사용하여 유동 속도를 실제 측정하였다.

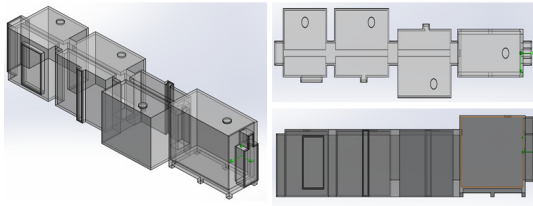


Fig. 4. 3-dimensional modeling of spray coating rooms

예열실의 히터부분에는 측정값인 190 °C의 온도 경계조건을 설정하였고, 각각 룸의 개방된 부분과 배기관에는 대기압의 압력경계조건을 부여하였다. 스프레이 코팅이 종종 문제가 되는 거울철에서의 공정을 가정하였기 때문에 외부 공기의 온도를 0 °C로 설정하였다.

4. 해석 결과 및 검토

아연말 스프레이 코팅 룸 내의 열유동 특성을 알아보기 위해 SolidWorks의 열 유동해석 모듈인 Flow Simulation을 이용하였다.

배기관의 유동 경계조건을 설정하기 위해 사용된 풍속계는 CEM dt-618이며, 측정된 값은 1.5 m/s이다. 풍속계의 제원은 온도 측정범위 -10 °C ~ 60 °C, 속도 측정범위 0.40 m/s ~ 30.00 m/s, 정확도는 온도 ± 2 °C, 속도 $\pm 3\% \pm 0.20$ m/s이다.

Fig. 5는 배기관 유동 속도는 1.5 m/s, 코팅 룸 장비의 온도 초기 값을 0 °C로 가정하였을 때의 온도분포 해석 결과이다. 해석결과를 살펴보면, 예열실에서 히터에 의

해 급격히 온도가 상승하지만, 외부 찬 공기의 영향으로 상부 및 하부방향으로 비교적 큰 온도구배를 보이고 있다. 또한 배기관의 영향으로 하부에 비해 상부 쪽으로 온도구배의 범위가 넓은 것을 알 수 있다. 예열실을 통과한 후, 제 1 스프레이실에서는 공기 유동 방향으로 큰 온도구배를 보이고 있으며, 제 2 스프레이실의 온도는 거의 일정한 값을 보이고 있다.

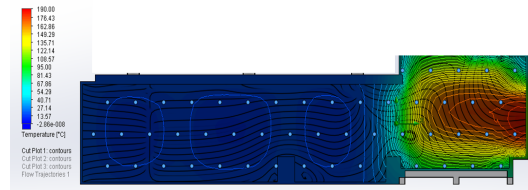


Fig. 5. Temperature distribution of thermo-flow analysis in spray coating rooms

해석결과를 검증하기 위해 열화상 카메라를 사용하여 제 1 스프레이실과 제 2 스프레이실의 온도를 측정하였다. 사용된 열화상 적외선 카메라는 FLIR ThermoCAM E45 모델이며 온도 분해능 <0.07 °C, 정확도 ± 2 °C, 대상 물체의 온도 범위 -20 °C ~ +120 °C/0 °C ~ +650 °C이다. Table 1은 열화상 카메라로 코팅 룸의 상단, 중단, 하단 세 부분의 온도를 측정한 값이며, Table 2는 수치해석으로 얻은 결과이다.

측정된 결과는 시뮬레이션 결과와 같은 경향을 보이고 있으며, 온도 값의 오차도 미미한 편이다. 두 스프레이실 모두 중단에서 가장 온도가 높으며, 상단, 하단의 순으로 온도가 감소한다. 이는 외부 온도를 0 °C를 가정하였기 때문에 외부로의 열손실이 스프레이실 상단과 하단으로 크게 발생하기 때문이다. 또한 제1 스프레이실의 온도가 더 높고 제2 스프레이실의 온도 편차가 더 크게 나타나는 경향을 보인다. 온도 값의 오차를 살펴보면, 평균 온도 값에서 측정결과와 해석결과는 제1 스프레이실과 제2 스프레이실 각각 1.0 °C ~ 1.5 °C의 미소한 온도 오차를 보이고 있다.

스프레이 코팅의 경우 코팅 액의 온도가 25 °C이며, 피도물의 온도가 코팅 액의 온도와 일치할 경우 코팅이 가장 잘 이루어진다. 해석 및 측정결과를 살펴보면, 현재 조건으로는 목표 온도인 25 °C에 크게 미달하고 있음을 알 수 있다. 따라서 스프레이실의 온도 평균값을 25 °C로 맞추는 것이 매우 중요하며, 또한 각 스프레이실의 온도편차를 줄이는 일이 중요하다.

Table 1. Measured temperatures of the spray coating room

Coating object	1st spray room	2nd spray room
upper part	18 °C	16 °C
middle part	18 °C	18 °C
lower part	16 °C	13 °C
mean value/ max. deviation	17.3 °C/ 2 °C	15.7 °C/ 5 °C

Table 2. Simulated temperatures of the spray coating room

Coating object	1st spray room	2nd spray room
upper part	16.2 °C	14.6 °C
middle part	17.2 °C	15.6 °C
lower part	15.6 °C	12.4 °C
mean value/ max. deviation	16.3 °C/ 1.6 °C	14.2 °C/ 3.2 °C

스프레이실의 온도평균값이 목표 값인 25 °C 보다 매우 낮기 때문에 겨울철의 경우 예열실의 온도를 더 높일 필요가 있다. 단순히 히터를 추가하는 방안을 적용하기 전에 현재 조건에서 스프레이실의 온도를 높이는 방안에 대해 검토할 필요가 있다.

Fig. 6은 Fig. 5의 해석조건에서 배기관 유동 속도를 0 m/s로 바꾸어 해석한 온도분포를 나타낸다. Fig. 5와 비교하면 예열실 상부의 온도가 약간 더 높은 것을 알 수 있으며, 제 1 스프레이실 입구 쪽 온도가 더 높은 것을 알 수 있다. Table 3에 스프레이실 상단, 중단, 하단의 온도 값을 나타내었다. Table 2와 비교하면 제 1 스프레이실의 평균온도 값이 6.2 °C 제 2 스프레이실의 경우 5.8 °C 상승했음을 알 수 있다. 온도편차의 경우 제 1 스프레이실이 1.6 °C에서 2.4 °C로 약간 증가하였지만 제 2 스프레이실의 경우 상/하단 온도편차가 제로인, 완전히 동일한 온도분포를 나타내었다. 이러한 결과는 배기팬을 사용하지 않는 것이 스프레이실 온도상승을 위해 더 유리하다는 것을 알 수 있다. 하지만 배기관의 팬을 사용하지 않는 경우, 예열실 히터에 의한 자유대류에 의해서만 공기의 유동이 일어나므로 환기부족에 따른 악취 등 다른 문제가 발생할 수 있으므로 주의를 요한다.

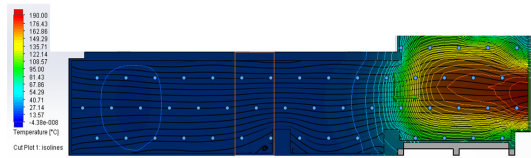


Fig. 6. Temperature distribution of thermo-flow analysis in spray coating rooms with exhaust air velocity 0 m/s

Table 3. Simulated temperatures of the spray coating room with exhaust air velocity 0 m/s

Coating object	1st spray room	2nd spray room
upper part	22.0 °C	20.0 °C
middle part	23.9 °C	20.0 °C
lower part	21.5 °C	20.0 °C
mean value/ max. deviation	22.5 °C/ 2.4 °C	20.0 °C/ 0.0 °C

5. 결론

본 연구에서는 겨울철 아연말 스프레이 코팅 룸의 예열구간부터 건조실까지 전체적인 온도분포를 해석하였다. 연구결과 다음의 결론을 얻을 수 있다.

1. 스프레이 코팅 시스템을 3차원 모델링하고 열 유동 분포에 대한 수치해석 결과, 예열실에서 히터에 의해 급격한 온도상승이 이루어지며, 외부 찬 공기 및 배기관의 영향으로 상/하부 방향으로 비교적 큰 온도구배를 보이고 있다. 공기는 예열실을 통과한 후 급격히 온도가 감소하며 두 스프레이실 모두 중단에서 가장 온도가 높으며, 상단, 하단의 순으로 온도가 감소한다. 이는 외부 온도를 0 °C를 가정하였기 때문에 외부로의 열손실이 스프레이실 상단과 하단으로 크게 발생하기 때문이다. 또한 제1 스프레이실의 온도가 더 높고 제2 스프레이실의 온도 편차가 더 크게 나타나는 경향을 보인다. 그러나 스프레이실 목표 온도 값인 25 °C 보다 현저히 낮기 때문에 예열실의 히터를 추가하여야 한다.

2. 현재의 조건으로 스프레이실 온도를 높일 수 있는 방안으로 배기팬을 사용하지 않는 경우에 대해 해석을 수행하였다. 그 결과 제1 스프레이실의 온도는 6.2 °C, 제2 스프레이실의 온도는 5.8 °C 상승하였다. 배기팬을 사용하지 않는 경우 악취 등 다른 문제를 야기할 수 있으므로 신중한 검토가 필요하다.

3. 본 연구내용은 다양한 조건변화에 따른 스프레이 코팅 룬의 온도분포를 예측할 수 있으므로 스프레이 코팅의 성능향상 및 새로운 스프레이 코팅 룬의 설계에 이용될 수 있다.

References

- [1] J.K.Lee, H.K.Cho, M.J.Kang, D.J.Woo, S.H.Kim, S.J.Kim, "The Corrosion Comparison of the Bolt of Zinc Frake Coating in Line Test", Proceedings of the KISE Spring Conference, pp.147-148, 2011.
- [2] S.S.Kim, A Study of Non-Chrome Flake Coating, Ph.D. Dissertation, Pukyong National University, 2010.
- [3] J.R.Davis, Corrosion: Understanding the Basics -, ASM International, 2000
- [4] K.Y.Lee, K.W.Kim, "A Study on Numerical Analysis and Performance Improvement of Ventilation System in Coating Room," Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol.14, No.5, pp.2086-2091, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.5.2086>
- [5] J.W.Ha, H.Y.Park, "The Effect of Practical Size of Coating Powder and Coating Temperature on the Thickness of Coating Layer Formed on Metal Surface", Journal of the Korean Industrial and Engineering Chemistry, Vol.10, No.7, pp.1061-1065, 1999.
- [6] K.H.,Seok, J.W.Ha, S.B.Lee, I.J.Park, H.J.Kim, Surface Characterization of Poly(vinylidene fluoride) and Poly(methyl methacrylate) Blend Coatings Prepared by Dispersion Coating", Polymer, Vol.37, No.2, pp.177-183, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.7317/pk.2013.37.2.177>

김 성 용(Sung-Yong Kim)

[정회원]



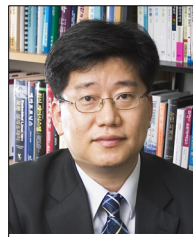
- 2007년 2월 : 안산고등학교
- 2013년 2월 : 순천향대학교 기계공학과 (학사)
- 2015년 2월 : 순천향대학교 기계공학과 (석사)
- 2015년 3월 ~ 현재 : 태성에스엔이

<관심분야>

기계설계, 전산유체역학, 공기역학

김 국 원(Kug Weon Kim)

[정회원]



- 1988년 2월 : 서울대학교 기계설계학과 (공학사)
- 1990년 2월 : 서울대학교 기계설계학과 (공학석사)
- 1995년 2월 : 서울대학교 기계설계학과 (공학박사)
- 1995년 2월 ~ 1999년 2월 : LG 전자 디지털미디어연구소 책임연구원

- 2001년 3월 ~ 현재 : 순천향대학교 기계공학과 교수

<관심분야>

CAD/CAM, 초정밀가공

김 남 웅(Nam Woong Kim)

[정회원]



- 1995년 2월 ~ 2003년 8월: LG 전자 디지털미디어연구소 선임연구원
- 2008년 8월 : 서울대학교 기계항공공학부 (공학박사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 동양미래대학교 기계공학부 조교수

<관심분야>

전산역학, 나노생산공정, 진동학