

압송롤러 드럼베이스의 홀 설계에 따른 페인트 유입양상에 대한 연구

정남균
인하공업전문대학 기계과

A Study on the Inflow Pattern of Paint according to the Hole Design of the Drum-base in the Pressure-roller

Nam-Gyun Jeong
Division of Mechanical Engineering, Inha Technical College

요약 최근 환경부의 강화된 규제로 건축물 아파트 등 산업시설을 도장함에 있어 페인트를 유압에 의해 자동으로 이송시켜 스프레이식으로 도장하는 기존 에어리스 방식의 사용을 금지하였다. 따라서 기존의 에어리스 도장장치에 스프레이 대신 부착하여 사용할 압송롤러개발이 필요한데, 현재 개발되어 판매 중인 압송롤러는 롤러를 구성하는 SUS배관 및 드럼베이스의 홀 설계에 대한 자세한 연구 사례가 없어 그 효율성이 의심이 되는 바이다. 특히, 롤러를 이용한 도장 시 롤러 양단에 페인트가 충분히 공급되지 못하면 도장 후 붓을 이용한 재작업이 필요하게 되므로, 롤러 양단에 페인트가 잘 유입될 수 있도록 드럼베이스 홀을 분포시킬 필요가 있다. 본 연구에서는 SUS배관 및 드럼베이스에 가공되는 홀의 형태가 페인트의 유입양상에 미치는 영향을 알아보고 보다 효율적인 홀 설계 방안을 제시하기 위하여 SUS배관 및 롤러에 대하여 전산유체해석을 수행하였다. 해석결과 SUS배관에서 홀 배치는 배관에 균일하게 배치하는 것이 균형 있게 페인트를 유입시키기에 좋고, 드럼베이스의 경우는 홀을 드럼베이스 양단에 밀집하여 가공하면 페인트가 롤러 양단에 더 잘 유입시킬 수 있음이 검증되었다.

Abstract Recently, the ministry of environment banned the use of the existing airless method using the spray in painting industrial facilities. Therefore, it is necessary to develop a pressure-roller attached to existing airless painting systems. The hole design of the SUS piping and drum-bases of pressure-rollers currently developed and sold have not been studied in detail, so their efficiency is questionable. In particular, if sufficient paint is not supplied to both ends of the roller, it is necessary to rework with a brush after painting. Therefore, the holes of the drum base need to be distributed so that the paint can flow to both ends of the roller. In this study, numerical analysis was performed to determine the effects of the hole design in the SUS piping and drum-base on the flow patterns of the paint and to suggest more efficient design measures. The analysis results showed that the uniform placement of the holes in the SUS piping is good for the balanced inflow of the paint. For the drum-base, the paint can flow better into both ends of the roller when the holes are concentrated and machined on both ends of the drum-base.

Keywords : Airless, Pressure-Roller, Drum-Base, SUS Piping, Hole Design, Computational Fluid Dynamics

본 논문은 인하공업전문대학 교내연구과제로 수행되었음.

*Corresponding Author : Nam-Gyun Jeong(Inha Technical College)

email: nkjung@inhac.ac.kr

Received August 28, 2019

Revised October 23, 2019

Accepted January 3, 2020

Published January 31, 2020

1. 서론

도장작업은 시공이 간편하고 다양한 색채, 그림, 텍스처 등의 표현이 가능하여 여러 산업분야의 외부 마감공사에 필수적으로 요구되는 주요 공정이다[1]. 그런데, 이러한 도장 산업에서 우리나라의 인위적인 VOCs(Volatile Organic Compounds)의 약 46%가 발생되고 있고, 특히 건축용이나 자동차용으로 사용하는 페인트에서 발생하는 VOCs는 전체 배출량의 약 20% 및 10%나 될 정도로 아주 많은 양이 배출되고 있다[2]. VOCs는 발암성, 기형성 등의 독성을 가질 뿐 아니라 대기화학반응을 통해 오존, 광화학적 산화물질들과 카보닐 화합물들을 생성시키는 전구물질로서 작용한다[3-6]. 이러한 VOCs에 대한 규제로 자동차 도장 공정에서 사용되는 유성페인트가 전면 사용금지 되어 수성페인트로 대체하게 되었다[7]. 단일성분의 대기 오염물질은 지속적인 연구로 이에 대한 처리 기술이 확보된 상황이나, VOCs와 같은 복합물질에 대한 처리 방법은 현재 연구가 다양한 방법으로 진행되고 있는 실정이다[8,9]. 이에 따라 최근 환경부는 산업시설을 도장함에 있어 페인트를 유압에 의해 자동으로 이송시켜 스프레이식으로 도장하는 기존 에어리스 방식의 사용을 금지하였고, 때문에 규모가 큰 도장 면적도 수작업 즉 붓이나 롤러로 도장을 해야 한다. 이러한 규제로 건설 업체에서는 아파트와 같은 큰 규모의 건축물도 붓이나 롤러 도장으로 시공을 하여야 하나 기존 롤러 도장은 페인트 통에 도료를 준비하여 작업자가 수시로 페인트를 롤러에 묻혀 도장을 해야 하므로 작업의 효율성 및 작업 위험도가 높게 나타나고 있다. 이에 따라 에어리스 도장장치에 스프레이 대신 부착하여 사용할 압송롤러가 발이 필요하다. 일반적인 도장용 롤러는 페인트를 흡수하는 섬유를 원통형으로 고정시키는 드럼베이스와 드럼베이스를 지지하며 롤러의 회전을 돕는 SUS부에 페인트가 유입될 수 있는 홀이 가공되어 있지 않아서 압송된 페인트를 섬유로 유입시킬 수 없으나, 압송롤러는 드럼베이스에 다수의 홀을 천공하여 섬유를 부착시키고 SUS부를 홀이 있는 배관으로 제작하여 페인트 유입이 가능하도록 제작된다.

현재 에어리스 장비에 Fig. 1과 같은 압송롤러를 부착하여 도장하는 방식이 개발되어 판매 중에 있으나, SUS 배관 및 롤러 드럼베이스에 가공되어지는 페인트 유입용 홀의 사이즈와 개수, 분포 등에 따른 페인트 유입양상에 대하여 자세한 연구가 이루어진 사례가 없어 그 효율성이 의심이 되는 바이다. 특히, 롤러를 이용한 도장 시 롤러 양단을 이용한 마감작업이 필수적이어서 이 부분에

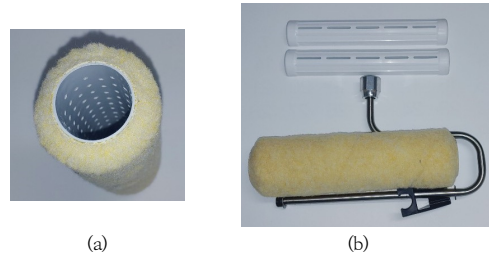


Fig. 1. Example of pressure-roller assembly
(a) Pressure-roller (b) Components

페인트가 충분히 공급되지 못하면 도장 후 붓을 이용한 재작업이 필요하게 되므로, 롤러 양단에 페인트가 잘 유입될 수 있도록 드럼베이스 홀을 분포시킬 필요가 있다.

본 연구에서는 SUS배관 및 드럼베이스에 가공되는 홀의 형태가 페인트의 유입양상에 미치는 영향을 전산유체 해석을 통하여 알아보고, 보다 효율적인 홀 설계 방안을 제시하였다.

2. 본론

2.1 SUS배관 내 유동 해석

기존에 판매되고 있는 제품의 SUS배관과 배관에 가공되어진 홀의 위치는 Fig. 2에 개략적으로 나타내었다. SUS배관에 가공된 홀 간격이 균일하게 분포되어 있지 않고 철심 끝단 쪽으로 갈수록 간격이 줄어드는 것을 알 수 있다. 계산에 사용된 유로 및 격자는 Fig. 3에 나타내었다. 대부분 영역에서의 격자는 Tetrahedral 격자를 사용하였으나, 벽면에서는 Prism 형태의 격자를 이용하여 벽 근처에서의 유동을 보다 정확하게 해석할 수 있도록 하였다.

Fig. 4에 밀도가 1100 kg/m^3 이고, 점도가 0.04 kg/m-s 인 페인트가 33.04 ml/sec 의 유량으로 유입되었을 때 SUS배관에서의 유동 분포를 나타내었다. 계산에서 유동은 정상상태를 가정하였고, 계산에 사용된 격자수는 약 460000개 이다.

해석결과 1번에서 5번까지의 홀을 통해 빠져나가는 페인트 유량은 각각 6.635 ml/sec , 6.627 ml/sec , 6.587 ml/sec , 6.555 ml/sec , 6.633 ml/sec 로 대체로 배관의 끝단에 가까울수록 분출되는 유량이 크게 계산되었는데, 페인트가 배관의 끝단에서 벽면과 충돌하여 벽면 근처의 유속이 0에 가깝게 되고 유속이 줄어들어 따라 압력이 높아지기 때문이다. 5번 홀의 경우는 4번과의 홀 간격이 다른 홀 간격보다 상당히 크기 때문에 점도가

매우 큰 페인트가 5번에서 4번 홀로 흐르면서 Fig. 5에서 보이는 바와 같이 압력 손실이 크게 발생하여 1번을 제외한 다른 홀들 보다 유량이 크게 계산되었을 것으로 판단된다.

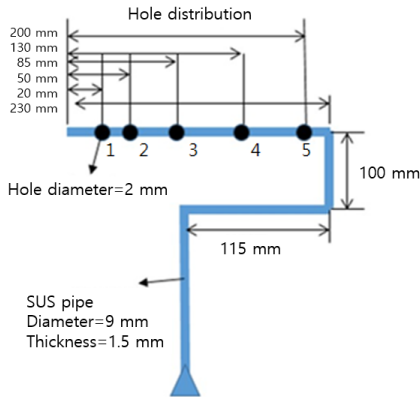


Fig. 2. Schematic diagram of SUS pipe

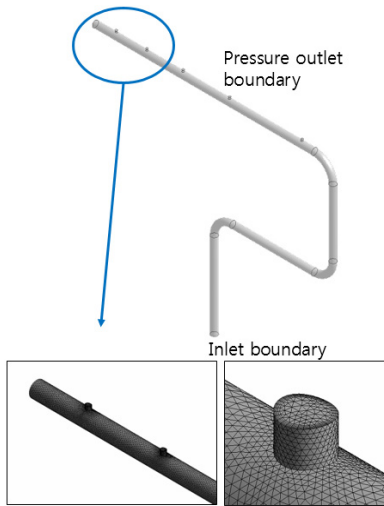


Fig. 3. Computational domain and grids for SUS pipe

정상상태의 유동을 가정했을 때, SUS배관에서의 홀 배치가 페인트 유입양상에 미치는 영향을 알아보기 위하여 홀을 전체에 걸쳐 균일하게 배치하였을 때에 대한 해석을 수행하였고, 그 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 해석 결과 1번에서 5번까지의 홀을 통해 빠져나가는 페인트 유량은 6.639 ml/sec, 6.644 ml/sec, 6.623 ml/sec, 6.601 ml/sec, 6.530 ml/sec로 계산되었다.

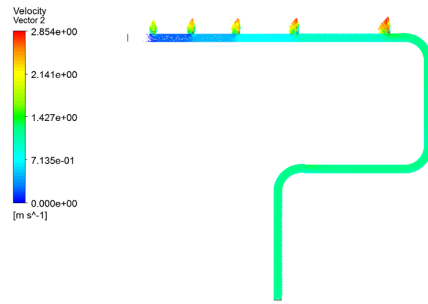


Fig. 4. Velocity distribution of paint in existing SUS pipe

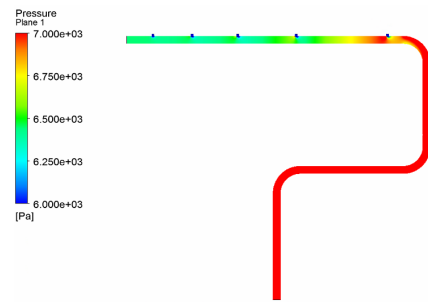


Fig. 5. Pressure distribution in existing SUS pipe

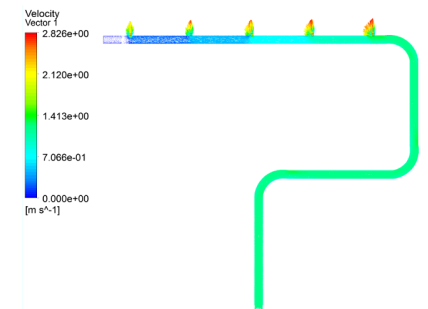


Fig. 6. Velocity distribution of paint in present SUS pipe

기존의 SUS배관에서의 홀 배치는 배관의 중심을 기준으로 좌측에 1번, 2번, 3번 홀이 위치하고 있고 우측에 4번과 5번 홀이 위치하므로, 좌측으로 유입되는 페인트 유량이 총 19.85 ml/sec, 우측으로 유입되는 유량은 13.19 ml/sec가 되어, 좌측으로 유입되는 유량이 전체 유입 유량의 60%가 넘게 된다. 반면, 홀을 균일하게 배치한 경우는 3번 홀이 배관의 중심에 위치하므로 좌측으로 유입되는 유량이 총 16.59 ml/sec 정도가 되어 전체 유입 유량의 50.2%가 되어 우측으로 유입되는 유량과 큰

차이가 나지 않는다. 따라서 압송롤러의 좌, 우측에 균형 있는 페인트 공급을 위해서는 흡을 전체적으로 균일하게 배치하는 것이 좋을 것으로 생각된다.

SUS배관의 끝단은 Cap으로 막혀있는데 Cap과 배관 사이에 공기가 새어나갈 틈이 없으면, 페인트가 배관 안으로 유입될 때 내부의 공기가 밖으로 모두 배출되지 않고 배관 끝에 갇힐 수 있고, 페인트가 끝단에 도달하여 벽면과 충돌이 일어날 때 완충작용을 하게 된다. 이러한 공기의 완충작용이 유동의 흐름에 미치는 영향을 알아보기 위해서는 비정상상태를 가정한 이상유동해석이 필요한데, 본 연구에서는 ANSYS FLUENT에서 제공하는 VOF(Volume of Fluid)방법을 이용하여 해석을 수행하였다[10].

Fig. 7과 Fig. 8에 기존 SUS배관 및 흡이 균일하게 배치된 배관 내에서의 시간에 따른 페인트유입 양상을 나타내었다. 페인트가 유입되고 0.8 sec 후면 배관 안에 페인트가 거의 다 채워짐을 알 수 있다. Fig. 9에는 4초 후 배관 내에서 페인트가 유입된 상태를 도시하였는데, 기존 배관의 경우 1번에서 5번까지의 흡을 통해 빠져나가는 페인트 유량은 6.616 ml/sec, 6.610 ml/sec, 6.575 ml/sec, 6.569 ml/sec, 6.665 ml/sec이고, SUS배관에 흡을 균일하게 분포시켰을 경우는 6.633 ml/sec, 6.620 ml/sec, 6.618 ml/sec, 6.588 ml/sec, 6.555 ml/sec로 정상상태를 가정한 결과보다 페인트가 전반적으로 유량이 고르게 분포됨을 알 수 있다. 배관의 중심을 기준으로 기존 배관의 경우는 전체 유입유량의 59.9%, 본 연구에서 제시한 배관의 경우는 50.1%가 롤러의 좌측으로 유입될 것으로 예측된다. 따라서 SUS배관 내에서의 정상, 비정상해석을 통해 SUS배관의 흡은 기존 설계와 같이 배관 끝에 치우치게 배치하는 것보다 균일하게 배치하는 것이 페인트를 균형 있게 공급하는데 유리할 것으로 판단된다.

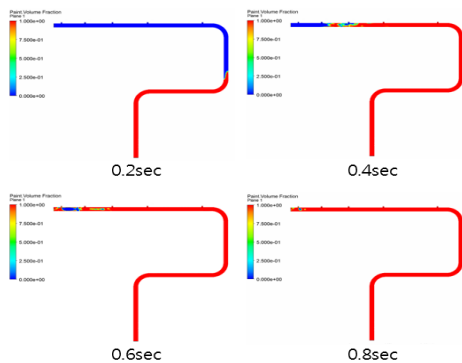


Fig. 7. Inflow pattern of paint along the time for existing SUS pipe

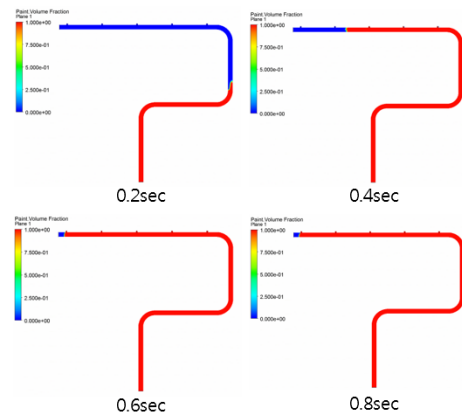


Fig. 8. Inflow pattern of paint along the time for present SUS pipe

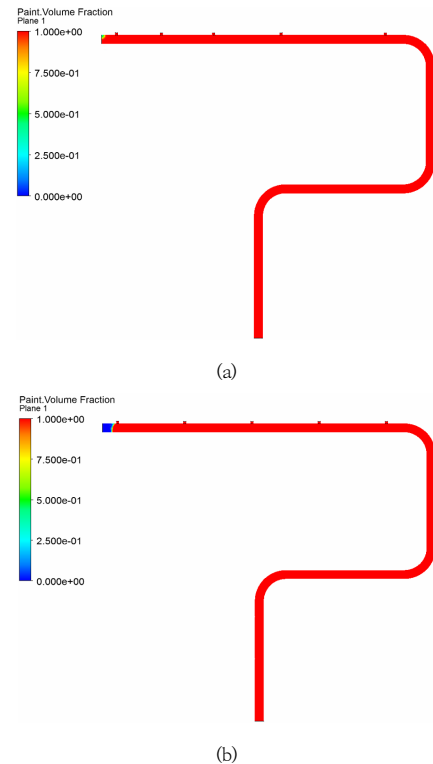


Fig. 9. Distribution of the paint volume fraction at 4 sec
(a) existing SUS pipe (b) present SUS pipe

2.2 롤러 내 유동 해석

2.1절에서는 SUS배관 내에서의 페인트 유입양상에 대한 해석을 수행하여, 기존 SUS배관의 흡 배치보다 본 연구에서 제시한 흡 배치가 페인트를 롤러의 좌, 우측에

균형 있게 유입될 수 있도록 하는 데 좋다는 결과를 얻었다. 이번 질에서는 드럼베이스 내의 홀 설계에 따른 페인트 유입 양상을 알아보기 위하여 Fig. 10과 같이 4 cm 직경의 드럼베이스에 3 mm 홀을 균일하게 가공한 경우와 양끝 쪽으로 밀집시켜 가공한 경우에 대하여 비교를 해보았다.

두 가지의 드럼베이스 형상을 이용했을 때 SUS배관과 롤러 섬유부를 포함한 전체적인 유동영역은 Fig. 11과 같다. 드럼베이스 내부에 SUS배관의 고체영역과 드럼베이스를 지지하는 플라스틱 사출물은 계산 영역에서 제외하였고, 드럼베이스 바깥쪽 영역인 섬유부는 각각의 섬유부를 모델링하지 않고 다공성매질로 가정하였다.

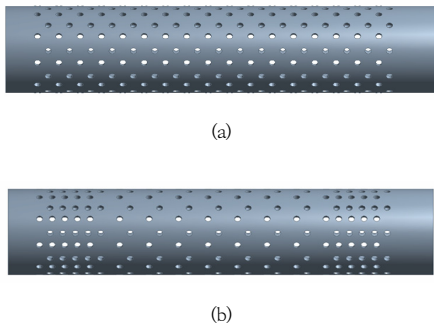


Fig. 10. Geometry of drum-base
(a) existing drum-base
(b) present drum-base

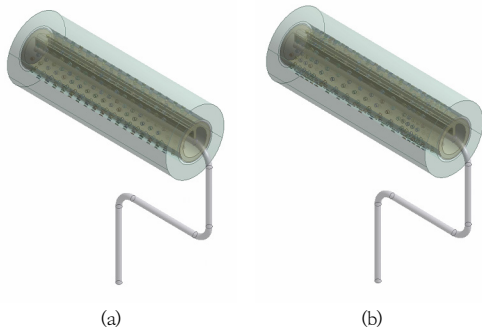


Fig. 11. Computational domains of pressure-roller assembly
(a) existing drum-base (b) present drum-base

SUS배관의 홀 배치는 롤러 좌, 우측에 균형 있게 페인트를 유입시킬 수 있도록 기존의 홀 배치 대신에 본 연구에서 제시한 배치를 사용하였다. 롤러를 이용한 외벽 도장 시에 페인트가 유입되는 동안 롤러가 회전 운동을 하게 되는데, 롤러 전체가 벽에 닿지 않고 일부만 벽과 밀착이 되므로 섬유부의 경계면 중에서 일부만 벽경계 조

건을 주고 나머지는 압력경계 조건을 부여하였다(Fig. 12). 또한 롤러의 회전운동을 모사하기 위하여 유동영역 중에서 녹색으로 구분한 부분의 격자를 9.425 rad/sec의 속도로 회전시켰다.

Fig. 13에는 계산에 사용한 격자를 나타내었는데, SUS배관 벽면에서는 Prism 형태의 격자를, 나머지 영역에서는 Tetrahedral 격자를 사용하였으며 계산에 사용된 총 격자수는 약 4500000개이다.

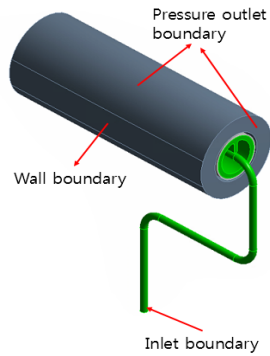


Fig. 12. Boundary conditions

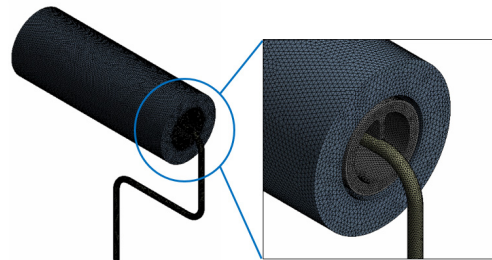


Fig. 13. Grid system for pressure-roller assembly

Fig. 14에 두 가지 드럼베이스에 대한 시간에 따른 페인트의 유입양상을 비교하여 나타내었다. 롤러 섬유에 대한 porosity와 viscous resistance는 각각 0.2와 $3.38 \times 10^8 \text{ 1/m}^2$ 이라고 가정하였고, 페인트 유입량은 SUS배관보다 롤러 내부 공간이 훨씬 크므로 계산 시간을 고려하여 SUS배관 해석 시 유량의 2배인 4 L/min으로 가정하였다. 홀을 드럼베이스에 균일하게 가공한 경우는 초반에도 전반적으로 롤러에 균일하게 페인트가 공급되지만, 롤러 양단에는 페인트가 잘 공급되지 않음을 알 수 있다. 반면에 드럼베이스 양단에 홀을 밀집시켜 배치한 경우는 페인트 유입 초반부터 양 끝 쪽으로 페인트가

더 많이 유입되어 전반적으로는 불균일한 유입양상을 띠나, 점차로 롤러 전체에 균일하게 페인트가 공급되면서 롤러 양단에 페인트가 보다 더 잘 공급되고 있음을 알 수 있다.

롤러가 벽에 닿는 부분에서 페인트가 벽에 도포되는 양을 비교하기 위하여 Table 1에 시간에 따라 벽에 페인트가 도포된 면적을 비교하였다. 비교결과 드럼베이스 양단에 홀을 밀집시켜 배치한 경우가 벽에 페인트를 더 많이 도포시킬 수 있음을 알 수 있다.

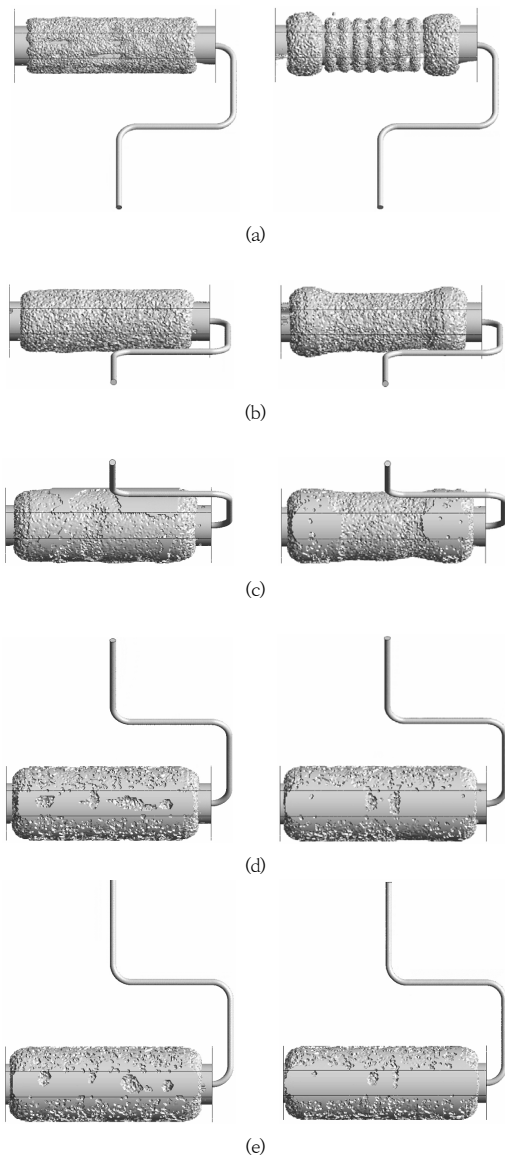


Fig. 14. Comparison results for inflow pattern of paint into the existing (left) and present (right) pressure-rollers along the time
(a) 0.6 sec (b) 1.2 sec (c) 1.8 sec (d) 2.4 sec (e) 3.0 sec

Table 1. Comparison of the amount of paint on the wall

Time	Amount of paint on the wall	
	Existing drum-base	Present drum-base
1.2 sec	0 cm ²	0 cm ²
1.8 sec	3.5 cm ²	24.5 cm ²
2.4 sec	37.6 cm ²	44.9 cm ²
3.0 sec	41.9 cm ²	47.8 cm ²

3. 결론

본 연구에서는 유압 압송장비를 이용하여 페인트를 롤러에 자동으로 공급시킬 수 있도록 개발된 압송롤러에서 SUS배관과 롤러 드럼베이스에 가공되는 홀의 배치가 배관 및 롤러에 유입되는 페인트의 유입양상에 미치는 영향을 전산유체해석을 통해 알아보았다. 연구결과 아래와 같은 결론을 얻게 되었다.

1. 기존에 개발되어 판매되는 압송롤러의 경우는 SUS배관 끝으로 홀이 몰려있어, 배관의 중심을 기준으로 롤러를 양분했을 때 배관의 끝단에 가까운 쪽에 페인트 전체 유입유량의 60%정도가 몰리게 되는 것으로 나타났다. 배관 전체에 홀을 균일하게 가공했을 경우는 50%정도가 유입되는 결과를 보였다. 따라서 홀을 배관 전체에 균일하게 가공하는 것이 균형 있는 페인트 공급에 좋을 것으로 보인다.
2. 드럼베이스에 가공되는 홀을 기존과 달리 롤러 양단에 밀집하여 배치하게 되면, 페인트 유입 초반에 롤러의 양단으로 페인트가 더 많이 유입되어 전반적으로는 불균일한 유입양상을 띠나, 점차로 롤러 전체에 균일하게 페인트가 공급되면서 롤러 양단에 페인트가 보다 더 잘 공급됨을 확인 할 수 있었다. 따라서 본 연구에서 제시한 홀 배치가 기존의 배치보다 롤러 양단을 이용한 마감작업에 더 유리할 것으로 판단된다. 또한, 롤러가 벽에 닿는 부분에서 페인트가 벽에 도포되는 양을 비교한 경우에도 양단에 홀을 밀집하여 배치한 경우가 더 많은 양을 도포할 수 있음을 알 수 있었다.

References

[1] Y. S. Kim, J. H. Lee, "A Conceptual Model and

Technical Economical Feasibility Analysis of Apartment Exterior Wall painting Robot", *J. Archit. Inst. Korea Struct. & Const.* Vol.22, No.9, pp.139-150, 2006.

- [2] E. C. Yoo, G. J. Cho, Y. T. Kim, "Study on th characteristics of THC emission in paint and dry boots", *Rep. Busan Inst. Health & Environ.* Vol.14, pp.60-77, 2004.
- [3] C. W. Sweet, S. J. Vermette, "Toxic volatile organic compounds in urban air in Illinois", *Environ. Sci. Technol.* Vol.26, No.1, pp.165-173, 1992.
DOI: <https://doi.org/10.1021/es00025a020>
- [4] R. Kostiaainen, "Volatile organic compounds in the indoor air of normal and sick houses", *Atmos. Environ.* Vol.29, No.6, pp.693-702, 1995.
DOI: [https://doi.org/10.1016/1352-2310\(94\)00309-9](https://doi.org/10.1016/1352-2310(94)00309-9)
- [5] R. Mukund, T. J. Kelly, C. W. Spicer, "Source attribution of ambient air toxic and other VOCs in Columbus, Ohio", *Atmos. Environ.* Vol.30, No.20, pp.3457-3470, 1996.
DOI: [https://doi.org/10.1016/1352-2310\(95\)00487-4](https://doi.org/10.1016/1352-2310(95)00487-4)
- [6] W. P. L. Carter, "Development of ozone reactivity scales for volatile organic compounds", *J. Air and Waste Manage. Assoc.* Vol.44, pp.881-899, 1994.
DOI: <https://doi.org/10.1080/1073161X.1994.10467290>
- [7] H. K. Han, "Adhesive characteristics of water-paint and silane adhesive mixture", *J. Air and Waste Manage. Assoc.* Vol.16, No.8, pp.5721-5727, 2015.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.8.5721>
- [8] G. H. Baek, J. S. Kim, H. T. Jang, H. W. Kim, "Adsorption/Desorption Properties of VOCs on Activated Carbon Fiber", *J. Korea Acad. Industr. Coop. Soc.* Vol.12, No.5, pp.2439-2444, 2011.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2011.12.5.2439>
- [9] M. J. Park, Y. M. Jo, "Numerical simulation of VOC decomposition in an arc plasma reactor", *J. Korea Acad. Industr. Coop. Soc.* Vol.17, No.8, pp.1-7, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.8.1>
- [10] ANSYS Inc., "ANSYS FLUENT User's Guide"

정 남 균(Nam-Gyun Jeong)

[정회원]



- 2001년 2월 : 한국과학기술원 기계공학과 (공학석사)
- 2007년 2월 : 한국과학기술원 기계공학과 (공학박사)
- 2007년 3월 ~ 2010년 10월 : 삼성전자 책임연구원

- 2010년 11월 ~ 2015년 2월 : 한국원자력연구원 선임연구원
- 2015년 3월 ~ 현재 : 인하공업전문대학 기계과교수

<관심분야>

전산유체역학, 다상유동