

# 곡면 코팅 공정을 위한 수직 지향 경로 생성 알고리즘 적용에 대한 연구

김건호\* · 김기현\*\* · 박재현\*\*†

\*† 한국생산기술연구원 스마트생산시스템연구부, \*\* 한국공학대학교 메카트로닉스공학부

## A Study on Application of Normal Oriented Path Generation Algorithm for Curved Surface Coating Process

Gun Ho Kim\*, Kihyun Kim\*\* and Jaehyun Park\*\*†

\*† Smart Manufacturing System R&D Department, Korea Institute of Industrial Technology,  
\*\* Mechatronics Engineering Department, Tech University of Korea

### ABSTRACT

This study is normal orientation technology of slit coating equipment to improve the quality of curved displays. Currently, the demand for curved displays is increasing significantly due to advantages such as screen immersion or design in various industries. Accordingly, changes in the display coating process are essential. In the curved display coating process, unlike the existing flat coating process, the nozzle must be rotated along the curvature of the curved surface to spray the coating solution. The coating solution must be applied while maintaining a uniform thickness. If the thickness of the coating liquid applied to the target surface is non-uniform, the quality of the product may be degraded such as image quality deterioration and light spreading. This paper presents technology and experimental results for keeping the nozzle of slit coating equipment perpendicular to the curved surface and is expected to contribute to the quality improvement of curved displays.

**Key Words** : Normal orientation, Curved surface coating, Path generation, Uniform thickness

### 1. 서 론

최근 전자 제품 시장에서 디스플레이 산업 분야는 빠른 속도로 성장하고 있다.[1] 특히 스마트폰, TV, 차량용 계기판 등에 사용되는 디스플레이는 곡면 형태의 디스플레이가 기존의 평면 형태의 디스플레이보다 사용자에게 시각적으로 더 나은 가시성을 제공할 수 있어 곡면 형태로 디자인되는 경우가 증가하고 있다. 또한 플렉시블 디바이스 및 웨어러블 디바이스처럼 가변이 가능한 디스플레이가 적용된 기기의 수요 또한 증가하고 있다. [2-5] 이러한 수요에 따라 디스플레이 패널에 커버 유리를 접착하는

코팅 공정에서 기존 평면 디스플레이용 방식이 아닌 새로운 방식의 코팅 방식이 필요하게 되었다.

패널에 커버 유리를 접착하기 위해서는 레진 형태의 접착 용액을 커버 유리에 도포한다.[6] 이 때 레진의 두께가 균일하게 도포되지 않을 경우 화면의 가시성이 저하되어 제품의 품질에 문제가 생기는 현상이 발생할 수 있다. 코팅 용액의 두께 균일성은 코팅 공정에서 중요한 요소 중에 하나이며 균일한 두께로 용액을 도포하기 위하여 다양한 연구들이 진행되고 있다.[7-12] 기존의 평면 디스플레이의 경우에는 노즐이 대상 기판에 수직인 상태로 평행하게 구동하는 경로를 구성하여도 노즐이 기판에 대해 일정한 거리를 유지할 수 있다. 평면 디스플레이에서 코팅 두께 균일성을 위한 기존의 연구들은 구동 경로가

†E-mail: jh8145@kitech.re.kr

아닌 구동 속도, 코팅 용액 물성 비교 등의 세부적인 요소들로 진행되었다.[13-14] 그러나 곡면 형태의 디스플레이를 코팅하는 공정은 부착되는 커버 유리도 곡면 형태이다. 노즐이 대상 기관에 수직하면서 일정한 거리를 유지하는 구동 경로를 생성하기 위해서는 노즐의 회전과 상하 구동이 추가적으로 필요하게 된다.

본 논문에서는 곡률이 있는 디스플레이의 코팅 공정에 대응하기 위해 X축 경로와 더불어 노즐의 회전을 위한 Ty축과 대상 기관과의 거리 조절을 위한 Z축의 구동 경로를 생성하기 위한 알고리즘을 개발하였다. 또한 대상 기관과 일정한 거리를 유지하면서 각 축이 구동되고 있는지 확인하기 위해서 노즐부에 레이저 변위 센서를 부착하여 성능 평가를 수행하였다.

## 2. 수직 지향 경로 생성

수직 지향을 위해서는 노즐의 방향이 곡면의 법선 방향으로 위치해야 하는데 이를 위해서는 노즐의 끝점, 곡면 상의 점, 곡면의 중심점이 일치해야 한다. 수직 지향한 노즐의 끝점이 곡면과 일정 간격을 두고 움직이기 위해서는 경로를 수직화 하는 작업이 필요하다. 이론적으로 경로를 해석하기 위해 곡면 상에서 일정한 거리를 유지한 노즐의 전체 경로는 Fig 1과 같이 표현이 가능하다.

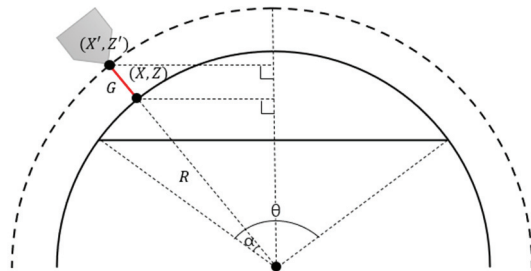


Fig. 1. Principle of path generation for vertical orientation.

수직 지향 모션을 위한 노즐의 구동 축 경로를 생성하기 위해서는 Fig 1을 참고하여 대상이 되는 시편의 곡률과 회전 각도, 노즐과 기관 사이의 거리를 이용하여 기하학적으로 해석이 가능하다. 앞에서 말한 곡률, 회전 각도, 노즐과 기관 사이의 거리를 변수로 하여 구동 축 경로를 모델링을 할 수 있다. 대상 시편 표면의 좌표를 X, Z로 하는 노즐 경로의 좌표 X', Z'를 다음의 식(1), (2)과 같이 정의하였다.

$$X' = X - (R + G) \sin\left(\frac{\theta}{2} - \alpha\right) - R \sin\left(\frac{\theta}{2} - \alpha\right) \quad (1)$$

$$Z' = Z + (R + G) \cos\left(\frac{\theta}{2} - \alpha\right) - R \cos\left(\frac{\theta}{2} - \alpha\right) \quad (2)$$

위의 식에서 변수 R은 시편의 곡률이고 G는 노즐과 시편 사이의 거리이다. 노즐이 코팅 용액 분사 지점에 대하여 수직을 유지하기 위해 필요한 회전 각도  $\alpha$ 의 변화에 따라 좌표를 생성할 수 있도록 식을 구성하였다.

## 3. 실험 구성

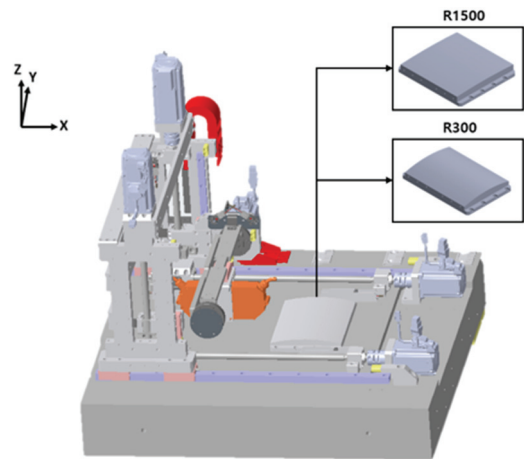


Fig. 2. System model for vertical orientation experiment.

수직 지향 실험을 위해서 Fig 2에 보이는 것처럼 X, Z, Ty 축으로 구성된 3축 시스템을 구성하였다. X, Z축은 볼스크류 모터 2개씩 구성되어 갠트리 제어를 하게 되며 Ty축은 곡면을 수직지향 할 수 있도록 회전 모션을 하게 된다. 실험은 노즐부가 테스트 시편의 곡률을 따라 수직으로 유지될 수 있게 앞에서 계산한 각 축의 경로 수직을 장비에 입력하여 구동하였다. 또한 곡면 시편에 대해 일정한 거리를 유지하며 구동하는 것을 판단하기 위해 노즐부를 레이저 변위 센서로 대체하여 노즐과 시편 사이의 거리를 측정하였다.

Fig 3는 시스템의 소프트웨어 블록 선도이다. 레이저 변위 센서로 테스트 시편을 측정하여 얻은 곡률을 기반으로 각 축의 경로를 생성하여 수직 지향 모션을 구동하도록 구성하였다. 데이터 처리를 위하여 ACS사의 SpiiPlusEC 모델 제어를 사용하였다.

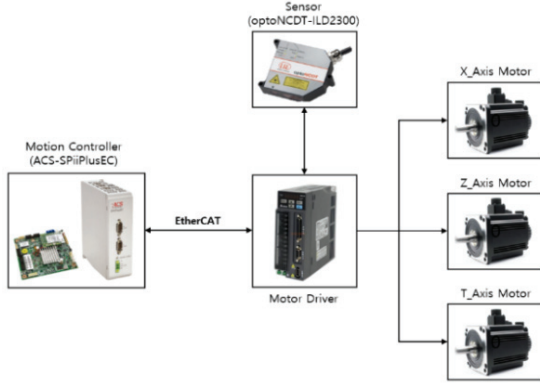


Fig. 3. Software block diagram of vertical orientation.

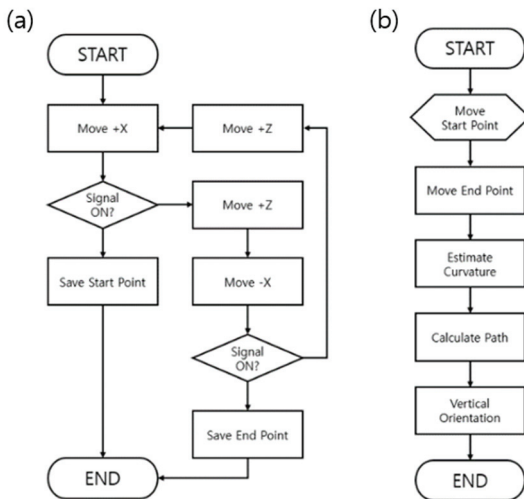


Fig. 4. (a) Flow chart for measuring specimen curvature, (b) Flow chart for system control.

Fig 4의 (a)는 레이저 변위 센서를 이용하여 시편의 곡률을 측정하기 위한 플로우 차트이다. 시편의 곡률을 측정하기 위해서는 시편의 길이에 해당하는 데이터가 필요하기 때문에 센서의 레이저가 인식할 수 있는 범위 내에서 시편의 양 끝단의 위치를 자동으로 지정할 수 있도록 구성하였다.

Fig 4의 (b)는 노즐의 수직 지향 구동을 위한 전반적인 구성을 플로우 차트로 나타낸 것으로 Fig 4 (a)에서 얻은 양 끝단 위치 데이터를 기반으로 시작 지점부터 끝 지점까지 시편을 스캔하여 곡률을 계산한다, 구해진 곡률로 식 (1), (2)를 통해 각 축의 경로를 생성하여 수직 지향 모션을 구동할 수 있다.

### 4. 실험 결과

실험은 곡률이 다른 두 개의 시편을 이용해 평가를 진행했다. 시편은 곡률R300과 곡률 R1500 시편으로 진행했으며 반복성을 확인하기 위해 시편 당 두 번씩 반복 실험하였다. Fig 5의 (a)는 R300 시편의 표면을 스캔한 그래프이며 (b)는 R1500 시편의 표면을 스캔한 그래프이다. 레이저 변위 센서에 측정된 데이터를 이차원 평면에 좌표화 하여 해당 시편의 곡률을 측정하였다.

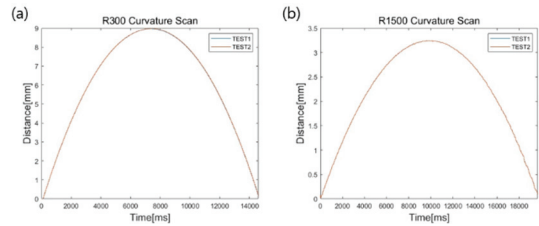


Fig. 5. (a) Curvature measuring of R300 specimen, (b) Curvature measuring of R1500 specimen.

각 시편을 스캔하여 얻은 곡률을 기반으로 수직 지향 모션을 수행하기 위한 각 구동축의 경로를 생성하여 구동하였다. 계산된 경로로 구동하였을 때 수직 지향 성능을 평가하기 위해 노즐을 대체하여 부착한 레이저 변위 센서의 측정값이 일정하게 측정되는지 확인하였다. 이를 통해 레이저 변위 센서가 일정 거리를 유지하며 곡률을 수직 지향함을 확인할 수 있다.

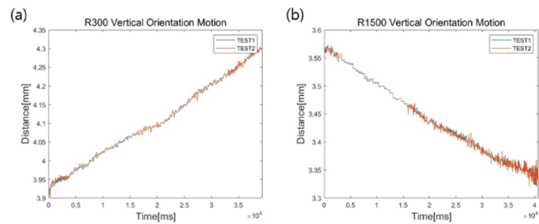


Fig. 6. (a) R300 vertical orientation motion, (b) R1500 vertical orientation motion.

Fig 6의 (a)는 곡률 R300 시편에 대해 수직 지향 모션을 적용했을 때 레이저 변위 센서에 측정된 결과 그래프이다. Fig 6의 (b)는 곡률 R1500 시편에 대하여 수직 지향 모션을 적용했을 때 레이저 변위 센서에 측정된 결과 그래프이다. 각 그래프의 Y축에 해당하는 Distance는 센서와 시편 표면 사이의 거리로 수직 지향 시 해당 값이 일정하게 유지되는지를 확인하는 실험을 진행하였다.

**Table 1.** (a) R300 specimen measurement result,  
(b) R1500 specimen measurement result

Curvature	Experiment	Max	Min	Variance
R300	TEST1	4.3045	3.9019	0.0112
	TEST2	4.3063	3.9138	0.0113
R1500	TEST1	3.5721	3.3220	0.0046
	TEST2	3.5725	3.3216	0.0047

Table 1은 레이저 변위 센서 측정 결과를 보여주고 있다. 각 곡률에 대해서 두번씩 반복 실험을 하였으며 결과가 반복해서 나오는 것을 알 수 있다. 곡률 R300 시편 실험은 전체 곡면에 대해서 거리 최대값은 4.3mm, 최소값은 3.9mm으로 약 0.4mm의 오차가 발생하였으며 거리 데이터들의 흠어진 정도를 계산하기 위한 지표인 분산은 0.011로 측정되었다. 곡률 R1500 시편 실험은 전체 곡면에 대해서 거리 최대값은 3.5mm, 최소값은 3.3mm으로 약 0.2mm의 오차가 발생하였으며 분산은 0.004로 측정되었다. 곡률이 작은 R1500 시편에 대해서 오차가 더 작게 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 최근 수요가 급증하고 있는 곡면 디스플레이의 코팅 공정 기술 중 수직 지향 기술을 구현하기 위해 곡면 측정값을 기반으로 구동 축 경로 생성을 하여 실험을 진행하였다. 실험은 곡률이 R300 인 시편과 R1500 인 시편으로 진행되었고 각 시편에 대한 실험에서 측정된 레이저 변위 센서의 측정값은 일정 오차가 발생하였다. 이는 레이저 위치 센서로 곡면을 측정하고 이론적으로 레이저 변위 센서 끝 단의 경로를 계산하였기 때문에 일정 오차가 발생하였다고 보여진다. 실험에서 발생한 오차를 보상하는 연구를 추가로 진행한다면 더욱 정밀한 공정에 적용될 수 있을 것으로 생각된다.

추후 연구방향으로는 수직 지향을 위한 경로 생성 기술을 코팅 장비에 적용하여 커버 유리에 코팅되는 용액의 두께 균일도를 측정할 수 있다면 실제 공정에서의 적용 여부를 판단하는데 유용한 연구가 될 것이며 곡률이 일정하지 않은 플렉시블 디스플레이 코팅 분야의 수직 지향 연구의 초석이 될 수 있을 것으로 기대된다.

## 감사의 글

본 연구는 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원을 통해 수행되었습니다. (Nos. 20014812 and KM230030).

## 참고문헌

- G.H Kim, Y.H Song, "Plastic Substrates for Flexible Display", Electronics and Telecommunications Trends, Vol. 23(5), pp. 111-123, 2008.
- Sung Hee Ahn, Byungki Jin, Sanghyun Kwon, Myung Hwan Yun, "A Research on Curved Display Comparing to Flat Display Regarding Posture, Tilt Angle, Focusing Area and Satisfaction", J Ergon Soc Korea, Vol. 33(3), pp. 191-202, 2014.
- Nooree Na, Kyeong Ah Jeong, Hyeon Jeong Suk, "Do Curved Displays Make for a More Pleasant Experience?", SPIE-IS&T Vol. 9394 939419-1, 2015.
- Häkkinen, J., Pölonen, M., Salmimaa, M., and Hautanen, J., "Reading experience with curved hand-held displays," Journal of the Society for Information Display, Vol. 16(11), pp. 1099-1103, 2008.
- Sung Hwan Choi, "Trends of flexible display and wearable devices", The Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 71(11), pp. 45-48, 2022.
- D. Satas, "Coating Technology Handbook", Marcel Dekker, Inc., New York, 19 (1991).
- Jeong Woo Woo, Dal Je Sung, Min Young Lyu, "Analysis of coating Uniformity through Unsteady and Steady State Computer Simulation in Slot Coating", J. Polymer Vol. 38(5), pp. 640-644. 2014.
- Si Hyung Lee, Hyun Jung Koh, Hyun Wook Jung, Jae Chun Hyun, "An Optimal Die Design for the Coating Uniformity of Non-Newtonian Liquids in Slot Coating Process", The Korean Institute of Chemical Engineers, Vol. 49(3), pp. 314-319, 2011.
- T.H Kim, D.Y LEE, D.J Sung, M.Y Lyu, "Coater Die Design and Coating Quality Evaluation in the Machine Direction of Slot Coating Through Computer Simulation", Elastomers and Composites, Vol. 48(4), pp. 282-287, 2013.
- Songun Hong, Kyungjun Jeon, Youngkyun Shin, Jongwoon Park, "Fabrication of Anti-moiré Filter with Light Diffusing Particles Using Slot-die Coating", Journal of the Semiconductor & Display Technology, Vol. 21(4), pp. 33-38, 2022.
- Chang Hwa Woo, "Research Trend of OCA (Optically Clear additive) for Display Panel by Analysis of Patent and Papers Publication", Journal of the Semiconductor & Display Technology, Vol. 17(3), pp. 75-81, 2018.

- 
12. Jinyoung Lee, Jongwoo Park, “Effect of the Microtip Length in a Slot-die Head on Fine Stripe Coatings”, *Journal of the Semiconductor & Display Technology*, Vol. 18(4), pp. 69-74, 2019.
13. Semi Lee, Jaewook Nam, “Analysis of Slot Coating Flow Under Tilted Die”, *J. AIChE*, Vol. 61(5), pp. 1745-1758, 2015.
14. Hsien-Ming Chang, Yu-Rong Chang, Chi-Feng Lin, Ta-Jo Liu, “Comparison of vertical and horizontal slot die coatings”, *J. Polymer Engineering & Science*, Vol. 47, pp. 1927-1936, 2007.
- 
- 접수일: 2023년 11월 29일, 심사일: 2023년 12월 08일,  
 게재확정일: 2023년 12월 14일