

저분진 케이블 POD 생산을 위한 히팅 롤러의 열전도 분석

송영준*, 임종학*, 변영일*, 홍성민**, 정영환**, 박장용***, 송철기****,#

*경상국립대학교 대학원 기계항공공학부, **LS 전선, ***삼원절연,

****경상국립대학교 기계공학부, 공학연구원

Thermal Conductivity Analysis of Heating Rollers for Cable Low Dust POD Production

Young-Jun Song*, Jong-Hak Lim*, Young-il Byun*, Seong-Min Hong**, Young-Hwan Jeong**,
Jang-Yong Park***, Chul Ki Song****,#

*Department of Mechanical Engineering, Gyeongsang National University, **LS Cable and System,

Samwoncable, *School of Mechanical Engineering, ERI, Gyeongsang National University

(Received 16 September 2021; received in revised form 1 October 2021; accepted 30 October 2021)

ABSTRACT

The heating roller of an actual pulse output device (POD) production facility is composed of a steel roller and a rubber roller. The time to reach a specific temperature and the temperature distribution on the roller surface were analyzed and compared according to the change in the number of cartridge heaters inside the heating roller. In this analysis, a steady-state thermal analysis of a steel roller was performed for the cases of a 5-cartridge heater and 9-cartridge heater. Finite element analysis was applied with reference to the surface temperature data of the heating roller during operation and the calorific value of the cartridge heater. Using the 9-cartridge heater, faster target temperature achievement and more uniform temperature distribution were confirmed than for the 5-cartridge heater.

Keywords : Emissivity(방사율), Convection(대류), Radiation(복사), Cartridge Heater(발열 카트리지)

1. 서 론

최근 반도체 및 디스플레이 제조 과정에서의 분진 발생에 의한 품질 이슈가 제품 생산성에 영향을 미치며, 미세분진 발생을 최소화하기 위해 플라스

틱 소재의 케이블 보호 기구를 대체하여 저분진 케이블 POD를 사용하고 있다. 기존 케이블 POD 생산 장비는 5개의 카트리지 히터를 가지고 6개의 POD를 생산해왔다. 하지만 생산성을 높이고자 8개의 POD를 생산한 결과, 양쪽 끝부분에서 생산된 POD는 완성도가 떨어졌다. 원인을 분석하여 롤러의 양쪽 끝부분의 온도가 중심에 비해 낮은 것을 확인하였고, 이를 해결하기 위해 히팅 롤러 내부의

Corresponding Author : cksong@gnu.ac.kr

Tel: +82-55-772-1633, Fax: +82-55-772-1699

카트리지 히터 개수를 늘리게 되었다. 본 연구에서는 위의 저분진 케이블 POD 생산 장비의 히팅 롤러 내의 발열 카트리지의 개수 변화를 통해 롤러에 필요한 온도까지의 도달 시간과 접촉력에 영향을 미치는 불균일한 열분포 및 도달 온도에 관한 해석을 진행하고자 한다. 해석에 필요한 히팅 롤러 재료의 물성치를 이용하여 모델을 작성하여 진행하였다. 그리고 카트리지 히터의 온도 데이터 및 히팅 롤러의 표면 온도 데이터를 실제 모델의 결과로 비교 분석을 진행하였다.

2. 본 론

본 연구는 케이블 POD 생산 장비의 히팅 롤러 내부의 발열 카트리지 개수 변화에 따른 롤러 표면 온도 분포와 목표 온도 달성 시간을 유한요소 해석을 통해 검증하였다. 발열 카트리지가 5개인 구형 모델과 9개인 개선 모델을 CATIA V5를 활용하여 Table 1과 같은 3D 모델링을 수행하였다.

해석 대상 모델은 Fig. 1과 같이 히팅 롤러와 내부의 발열 카트리지 형상과 물성치를 나타내고 있으며, 해석은 실온 22℃, 롤러의 도금된 표면을 통해 22℃의 공기와 대류, 필름 계수는 5 W/m², 롤러와 카트리지 표면 간 “Surface to surface”, Emissivity에는 실제 측정값인 high, medium에 해당하는 0.9, 0.3을 적용하였다. 금형의 재질은 SCM440, SUS304, HCr, 고무의 물성을 적용하여 다음 Table 2와 같이 나타내었다.

대류 조건을 적용시키기 위해서 열전달계수를 구하고자 하였다. 히팅 롤러 안의 발열 카트리지는 일정온도에 도달하면 꺼지고 온도가 떨어지면 다시 켜지는 ON/OFF 시스템으로 구성되어있다. 본 연구는 발열 카트리지가 22℃에서 250℃의 온도까지 시간의 흐름에 따라 발열하게 설정하였으며, 롤러의 양 끝을 지지하는 부분과 롤러 내부의 Air part에 대류 조건을 적용하였다. 롤러의 양 끝을 지지하는 부분은 자연대류 조건을 적용하여 외부 접촉 온도로 22℃, 대류 열전달 계수로 5×10⁻⁶ W/m²·K를 적용하였다. 롤러 내부의 Air에는 Table 3에서 Air, free convection을 적용하여 20 W/m²·K의 열전달 계수를 적용하였다. Thermal Condition의 조건은

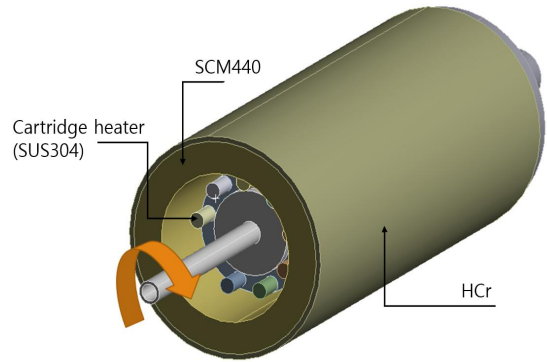


Fig. 1 Model of a heating roller

Table 1 Configuration information

Division	Quantity
Elements	709,930
Nodes	1,365,815

Table 2 Material property of a heating roller

	SCM440	SUS304
Young's modulus	205 GPa	193 GPa
Poisson's ration	0.29	0.3
Density	7860	8000
Thermal expansion	12.2 /K	17.2 /K
Thermal conductivity	33 W/m·K	16.2 W/m·K
Specific heat		500 J/kg·K

정상상태의 열전달 해석(steady-state thermal analysis)으로 설정하였다.^[1-2]

Fig. 2는 히팅 롤러 내부의 카트리지 히터 온도를 0s에서 5400s까지 실온인 22℃에서 250℃까지 상승하게 설정하였다. Fig. 3은 카트리지 히터의 복사조건을 적용시킨 것이다. 카트리지 히터의 재질인 SUS304의 방사율 0.35를 적용하여 상승하는 온도만큼 22℃에서 250℃까지를 적용하여 해석을 수행하였다.^[3-4]

Table 3 Convective heat transfer coefficient

Type of fluid and flow	Convective heat transfer coefficient h_c ($W/m^2 \cdot K$)
Air, free convection	6 - 30
Water, free convection	20 - 100
Air or superheated steam, forced convection	30 - 300
Oil, forced convection	60 - 1800
Synthetic refrigerants, boiling	500 - 3000
Water, boiling	3000 - 60000
Synthetic refrigerants, condensing	1500 - 5000
Steam, condensing	6000 - 120000

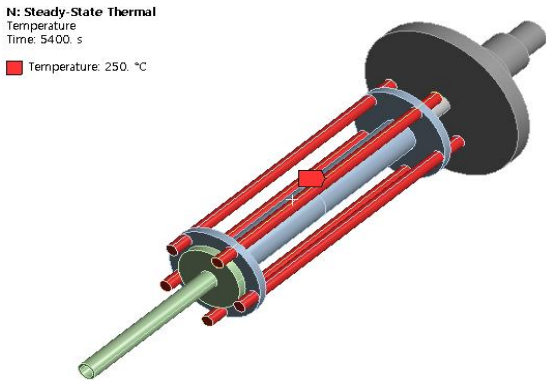


Fig. 2 Temperature condition

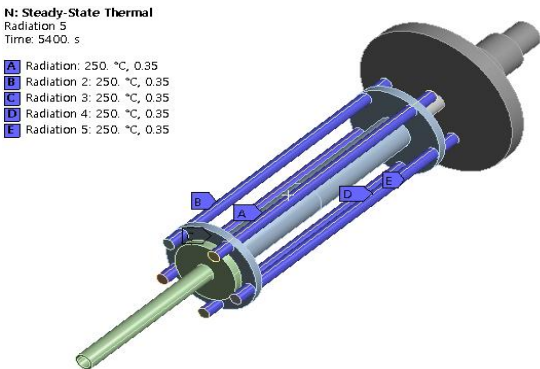
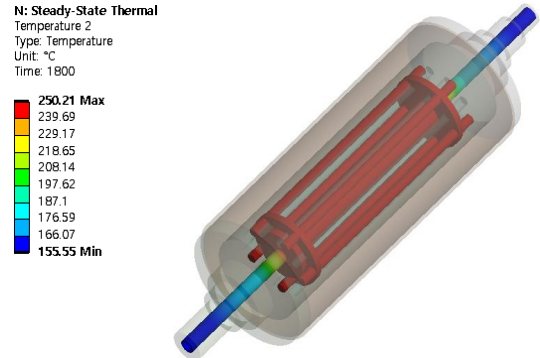


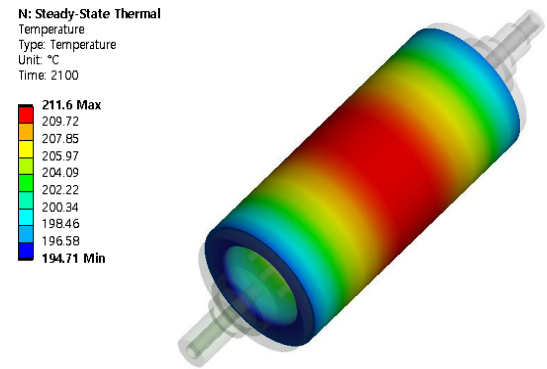
Fig. 3 Radiation condition

3. 연구결과 및 고찰

3.1 해석결과



(a) Cartridge temperature



(b) Roller temperature

Fig. 4 Heating roller with the 5-cartridge heater

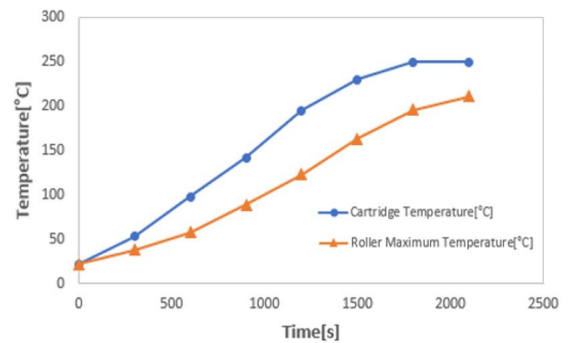


Fig. 5 Temperature of the 5-cartridge heater and the roller

Table 4 Average temperature of the heating roller with the 5-cartridge heater and the 9-cartridge heater

Time(s)	Average temperature(°C)	
	5 Cartridge heaters	9 Cartridge heaters
0	22	22
300	37	47
600	51	84
900	87	120
1200	121	163
1500	160	192
1800	191	209
2100	207	209
2400	207	209
2700	207	209

경계조건을 준수하여 해석을 진행하였으며 Fig. 4는 5개의 발열 카트리지를 가진 히팅 롤러를 보여주는 그림이다. Fig. 4에서 보는 바와 같이, 카트리지 최대 온도는 250.2°C 이고(그림 (a)), 텅 롤러의 표면 중심 온도는 211.6°C 이며(그림 (b)), 참고로 실제 측정된 POD 제조가 되는 면의 가장자리 부분에서의 온도는 204°C 이었다.

Fig. 5는 히팅 롤러에 5개의 발열 카트리지가 들어있는 경우, 상온 25°C 에서 시작하여 시간에 따른 온도 추이를 보여주는 그래프이다. 카트리지 히터가 0 s부터 시작해 2100 s에 도달할 때까지의 롤러의 표면온도를 그래프로 나타낸 것이다.

Fig. 6은 9개의 발열 카트리지를 가진 히팅 롤러를 보여주는 그림이다. Fig. 6에서 보는 바와 같이, 카트리지 최대 온도는 250.1°C 이고(그림 (a)), 텅 롤러의 표면 중심 온도는 212.1°C 이며(그림 (b)), 참고로 실제 측정된 POD 제조가 되는 면의 가장자리 부분에서의 온도는 204°C 이었다.

Fig. 7에 보이는 바와 같이, 9개의 발열 카트리지를 가진 히팅 롤러의 온도를 비교해 봤을 때, 9개의 발열 카트리지의 히팅 롤러 표면은 중심은 212.1°C 이며, 실제 POD 제조가 되는 면의 가장자리 부분은 206.4°C 이다.

Fig. 5과 Fig. 7을 비교함에 따라, 5개의 카트리지 히터가 있는 히팅 롤러는 1910 s에 200°C 에 도달하지만, 9개의 카트리지 히터가 있는 히팅 롤러는 1610 s에 200°C 에 도달한다.^[5-6]

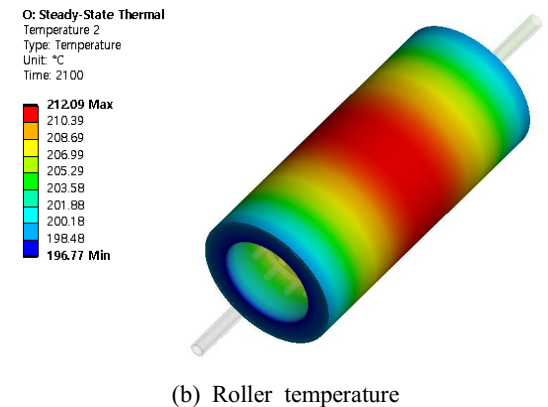
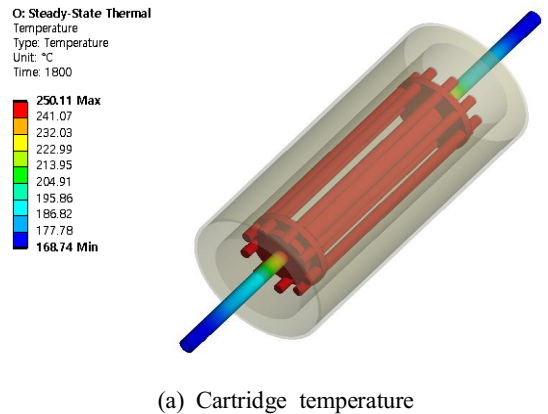


Fig. 6 Heating roller with the 9-cartridge heater

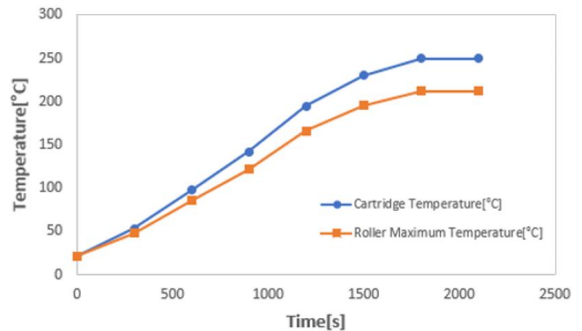


Fig. 7 Temperature of the 9-cartridge heater and the roller

Table 5 Measured temperature of the heating roller with the 9-cartridge heater

Time(s)	Temperature(°C)		
	PB1	PB2	PB3
0	22	22	22
300	41	47	41
600	70	85	70
900	99	123	105
1200	135	165	141
1500	168	200	177
1800	180	213	190
2100	184	201	180
2400	187	200	187
2700	186	203	195

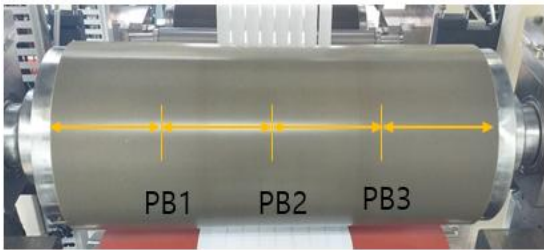


Fig. 9 Heating roller with the 9-cartridge heater

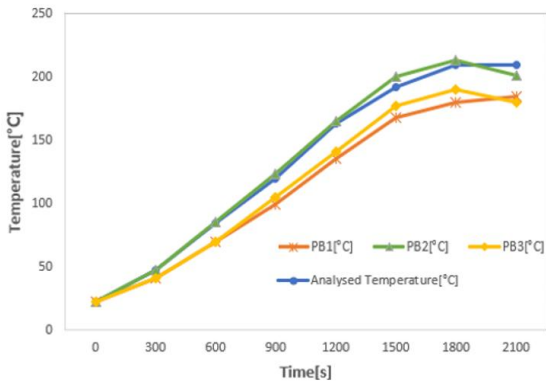


Fig. 10 Analysed temperature and measured temperature of the heating roller with the 9-cartridge heater

Fig. 9는 해석에 대한 타당성을 확인하기 위하여 실시한 9개의 발열 카트리지를 가진 히팅 롤러 실험에서의 세 측정점을 보여주는 그림이다.

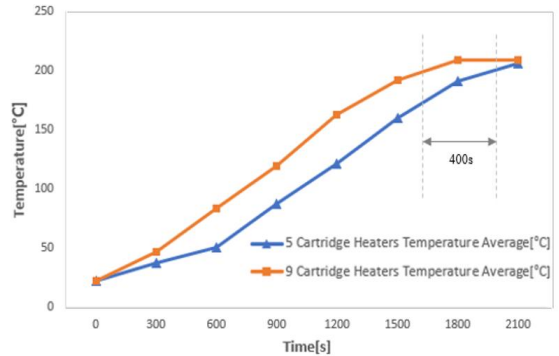


Fig. 11 Average temperature of the 5-cartridge heater and the 9-cartridge heaters

Table 5는 9 카트리지 히팅 롤러에서 중심을 PB2, 양 옆으로 PB1, PB3로 설정하고, 시간에 따른 온도변화를 측정 한 값이다. Fig. 10은 측정 한 히팅 롤러의 측정값(PB1, PB2, PB3)과 유한요소해석을 통해 얻어낸 온도의 결과값을 그래프로 나타낸 것이다. 실제 측정값과 해석을 통한 결과값이 거의 일치하다는 것을 확인했다.

따라서, Fig. 11에 나타난 5개의 카트리지 히터를 가진 히팅 롤러와 9개의 카트리지 히터를 가진 히팅 롤러의 시간에 따른 온도 증가의 차이를 확인하였다. 5개의 카트리지 히터를 가진 히팅 롤러와 9개의 카트리지 히터를 가진 히팅 롤러가 200°C에 도달하는 시간은 400s의 차이를 확인하였다.^[7-8]

4. 결론

본 연구는 케이블 POD 생산 장비의 히팅 롤러 내부의 발열 카트리지 개수 변화에 따른 롤러 표면 온도 분포와 목표 온도 달성 시간을 유한요소 해석을 통해 검증하였다. 반도체 및 디스플레이 제조 과정에서 사용되는 저분진 케이블 POD의 제조 과정에서 동시 생산량을 늘리기 위해, 5개 카트리지 히터를 사용할 때와 9개의 카트리지 히터를 사용한 경우를 비교 연구하였다. ANSYS를 이용한 해석으로 비교하였으며, 해석의 타당성을 검증하기 위하여 실험적으로 확인하였다.

5개의 카트리지 히터를 이용할 때보다 9개의 카트리지 히터를 이용했을 시 더 높은 온도 균등분포

와 가열 시간 단축을 확인했기에 POD 생산 시 ON/OFF 시스템인 롤러의 오작동을 줄일 수 있으며, 불량품 발생 저하, 높은 생산성을 가져올 것으로 보인다.

후 기

“본 연구는 한국산업기술진흥원 2020년도 소재·부품·장비 양산성능평가지원사업과 경상국립대학교 대학원 기계항공공학부의 지원을 받아 수행되었음.”

REFERENCES

1. Lee, Y. U., “A Study on the Cooling Performance of Hot Forming Process using Finite Element Analysis”, Journal of the Korean Society of Mechanical Technology, Vol. 19, No. 5, pp. 711-717, 2017.
2. Min, B. K., Park, C. H., and Chung, S. C., “Thermal Analysis of a Ball Screw by ADI Finite Difference Method,” The Korean Society of Mechanical Engineers A, Vol. 42, No. 11, pp. 975-984, 2018.
3. Yoon, J. I., “Predicting Thermo-mechanical Characteristics from the 2nd Phase Fraction of Al-AlN Composites for LED Heat Sinks with FEM,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 17, No. 5, pp. 137-142, 2018.
4. Song, M. J., Cha, B. S., Hong, S. K., and Ko, Y. B., “Optimum design of injection mold heater of uniform curing of LSR seal for waterproof connector,” Journal of the Korea Academy Industrial Cooperation Society, Vol. 18, No. 7, pp. 310-315, 2017.
5. Choi, D. S., and Kang, H. B., “Finite Element Analysis of Multistage Hot Forging Process During Mold Cooling,” Journal of the Korean Society Manufacturing Process Engineers, Vol. 19, No. 5, pp. 75-81, 2020.
6. Jung, S. H., Shin, Y. I., and Song, C. K., “Finite Element Analysis of an Elongation Rolling Process for Manufacturing Seamless Pipes,” Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 31, No. 10, pp. 923-928, 2014.
7. Kim, K. S., Bang, S. K., Seo, I. H., Lee, S. Y., and Yi, C. S., “Thermal and Flow Analysis of Organic Rankine Cycle System Pipe Line for 250 kW Grade Waste Gas Heat Recovery,” Journal of Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 18, No. 4, pp. 26-33, 2019.
8. Kang, C. W., Kim, T. J., and Lee, C. W., “Numerical Analysis on the Characteristics of Thermal Flow in an Automobile Radiator,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 18, No. 6, pp. 55-61, 2019.