

UV 챔버 내부 온도 및 체류시간이 Urethane Acrylate의 경화속도에 미치는 영향

문승호¹, 김광희^{2*}, 김정식²

¹(주) 두하 기술연구소

²(재)인천테크노파크 기술혁신본부

The Effect of Temperature and Exposure Time on UV-curing of Urethane Acrylate

Seung-Ho Moon¹, Kwang-Hee Kim^{2*} and Jeong-Sik Kim²

¹R&D Center, Dooha Co., Ltd.

²Division of Technical Innovation, Incheon Technopark

요 약 소형 UV 챔버 내부온도 및 챔버 내 체류시간이 Urethane Acrylate 의 경화속도에 미치는 영향을 조사하였다. UV 램프에 가해지는 Power를 60, 80, 100% 로 조절하여 UV 조사량 (UV dose)를 변경하였고 필름이 지나가는 챔버 내부의 가이드롤 (또는 패턴롤)에 냉각수를 투입하여 롤 자체의 온도에 변화를 주었다. 또한 코팅속도를 조절하여 챔버 내부에서의 체류 시간을 변경시켰는데 이들 조건들이 Urethane Acrylate 의 경화에 어떠한 영향을 미치는지를 알아보기 위하여 경화된 필름의 gel 분율을 측정, 비교하였다. 본 연구를 통해 Power가 증가 할수록 경화기 내부의 온도는 상승 하였으며 냉각수 투입에 따라 경화기 내부의 온도는 감소하였는데 이러한 경화기 내부의 온도변화는 UV 경화에 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다. 반면에 코팅속도가 증가할수록 경화필름의 gel 분율은 감소하였는데 이는 충분한 경화를 위해서는 경화기내부에서의 체류시간이 일정 이상이 되어야 함을 의미하였다. 한편, 체류시간에 따른 UV dose 측정 및 UV 램프주변의 열유동 해석을 통하여 램프주변의 온도분포 해석을 시도하였는데 이러한 결과들을 바탕으로 UV 경화기 구조 및 운전 조건이 UV 경화된 제품의 특성에 어떠한 영향을 미치는지 알 수 있었다.

Abstract We have studied the effect of temperature and exposure time on the UV curing rate of Urethane Acrylate. UV dose has been modulated by changing the electric power, and temperature has been controlled by coating rate and water temperature of the coating roll. Curing rate was evaluated by measuring gel fraction of the cured film. It has been found that effect of coating velocity on the gel fraction of the final film is predominant, but role of temperature of the UV chamber is negligible. These observations imply that exposure time of UV light is critical to have a fully cured film. To better understand the effect of design and operating condition of UV coater on the behavior of UV curing of Urethane Acrylate, we have also conducted heat-flux analysis of UV chamber.

Key Words : UV-curing, Urethane Acrylate, Gel %, Heat-Flux Analysis

1. 서론

가구 내외장재를 비롯하여 문틀, 도어 등 건축자재, 고
급크루즈선박의 내부 마감재에 이르기까지 다양한 용도

로 사용되고 있는 인테리어 시트는 그 수요가 날로 증가
하고 있으며 품질 및 가격 경쟁 또한 매우 치열하다. 특
히 고부가치 제품인 고풍택 (High-glossy) 인테리어필름,
실내 장식에 사용되는 특수문양의 패턴 필름의 경우 광

*Corresponding Author : Kwang-Hee Kim

Tel: +82-10-2825-4052 email: kkhkbs@itp.or.kr

접수일 12년 08월 22일

수정일 12년 09월 04일

게재확정일 12년 09월 06일

경화 코팅기술 및 패턴가공 기술 등 다양한 요소기술들을 필요로 하고 있다. 특히 이러한 UV-patterning 기술은 LCD 용 광학필름 시장의 성장과 함께 급격히 발전해 왔으며 사용되는 UV 소재와 점착제에 대한 연구가 다양하게 진행 되어 왔다.[1-2] 그러나, 대부분의 연구는 모노머 및 광개시제 특성 및 경화조건에 따른 최종 필름의 특성에 집중되어 있었다.[3-6] 이에 반해 코팅 설비 및 제조공정 변수와 연계된 연구와 simulation을 통한 기초 연구는 매우 드문 실정이다.[7]

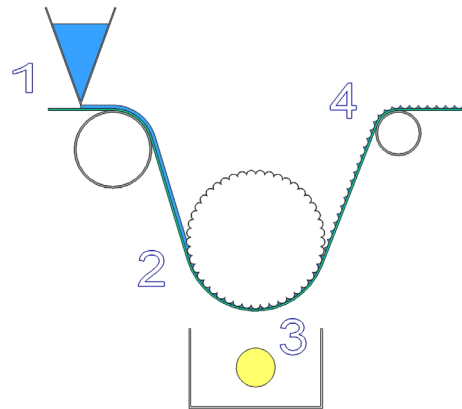
일반적으로 UV coating 설비의 경우 기본 디자인들이 정형화 되어 있으므로 생산속도, UV 경화 필요시간, 폭, 경화 파장 등이 결정 되면, 필요한 UV 광량을 계산해서 램프의 숫자를 결정하는 단순한 과정을 거치게 된다. 즉, 특별한 이론적인 접근없이 단순 경험만을 통해 설비를 제작하여 왔는데, 이로 인해 설비 설치 후 조건최적화를 위한 추가적인 보안을 해야 하는 등의 문제점이 발생하고 있다. 따라서 본 연구에서는 UV 경화 Pilot 을 제작하여 코팅환경의 변화에 따른 UV 경화기 내부의 열적거동을 관찰하고 이러한 변화들이 최종 필름의 경화특성에 어떠한 영향을 미치는지를 살펴보았다. UV 경화기 내부의 열적변화를 구체적으로 이해하기 위해 열유동해석 simulation을 하였으며 실제 경화기 가동중의 온도를 측정하여 simulation 결과와 비교 하였다.

2. 실험

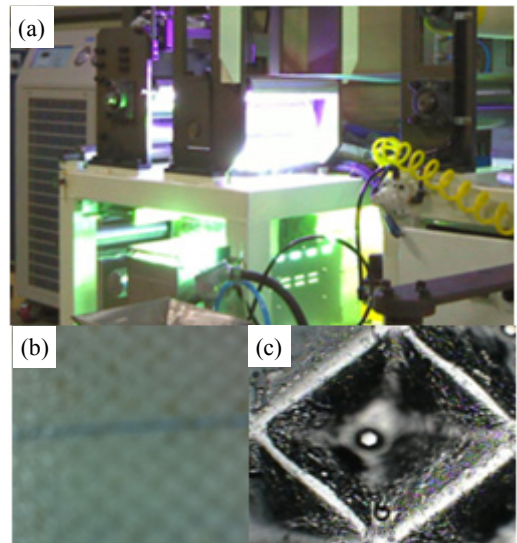
2.1 UV 코팅 Pilot 장치

본 실험에 사용된 UV 코팅 Pilot 의 전체적인 모습을 그림 1에 나타내었다. ① UV 액이 필름상부에 균일하게 코팅되고, ② 코팅부분이 패턴롤을 지나면서 표면에 무늬가 생긴다. ③ 무늬가 만들어진 시트표면이 UV 경화기를 통과하면서 경화되고 ④ 가이드롤을 통해 완성되는 구조로 되어있다.

UV 램프에 가해지는 power를 3단 (60, 80, 100%)으로 조절 할 수 있도록 제작하였으며 상부 패턴롤에 냉각수를 공급 할 수 있도록 장치하여 power 및 냉각수에 따른 영향을 고찰하였다. Peak 파장 및 power 가 각각 385 nm, 120 W/cm² 인 메탈 UV 램프를 사용하였으며, 필름이동속도는 0.1 - 5 m/min으로 조절하였다. power 및 체류시간에 따른 광량은 UV Radiometer (USA EIT Co., LTD)로 측정 하였다.



[그림 1] 장치 개략도
[Fig. 1] Schematic diagram of pilot



[그림 2] UV 코팅 Pilot 사진과 시제품
[Fig. 2] UV coating pilot & test product
(a) Pilot 사진, (b) Patterned Film, (c) 확대사진

2.2 UV 램프 경화기의 온도 예측

UV 경화기의 설계 도면 분석을 통해 3차원 모델을 만들어 UV 램프 가동시 셔터 개방에 따른 영향을 고려한 열유동을 해석하였다. UV 램프 주변 열이 레진으로 전달되는 것을 모사하기 위해 다음과 같은 가정을 하였다. 첫째, 유입되는 레진의 온도는 각 조건별로 부여하는 온도이며 둘째, 롤러를 지나는 레진은 롤러 내부 냉각수(온도 10℃)와 열교환을 하며 셋째, 레진에서 롤러로의 열전달 계수는 150 W/m² K이다. 또한, 레진온도는 레진 끝단의 평균온도로 간주하여 각 운전조건에 따른 온도를 예측하였다.

2.3 재료 및 평가

본 실험에 사용된 UV 코팅액은 고형분 100% 인 Urethane Acrylate (RS-1657, 애경화학) 이며 점도 및 특성 조절을 위해 상온에서 고체상태인 Tri-Hydroxyethyl Isocyanurate Acrylate 를 첨가하여 사용하였다. 광학현미경을 이용 패턴의 정확도를 분석 하였으며, 경화된 필름을 100°C Toluene에서 20분간 reflux 시킨 후 미용해 부분의 무게를 측정하여 gel % 를 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

우선 UV 램프를 가동 시켰을 시 경화기 내부온도를 알아보기 위하여 UV 램프 power를 변경시키면서 필름이 지나가는 패턴롤 하단의 온도를 접촉식 온도와 열화상카메라를 이용하여 측정 하였다.

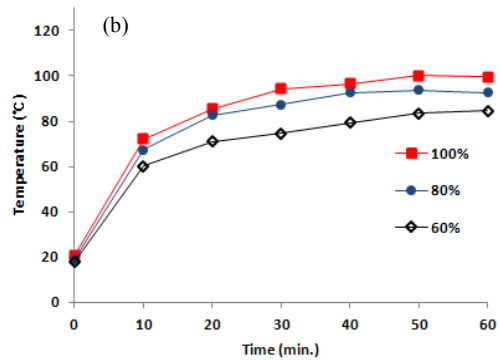
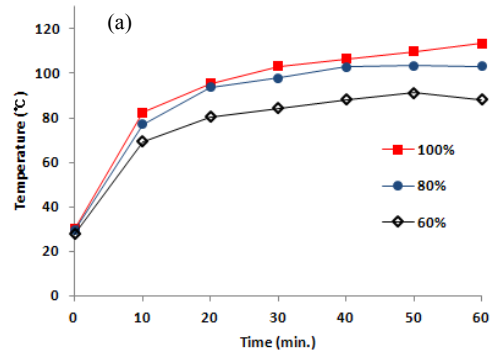
그림 3은 UV 램프 가동시간에 따른 패턴롤의 온도변화이다. 램프에 전원이 공급되면 온도는 급격히 상승하다가 30분 이후 증가속도가 감소하면서 거의 일정수준으로 유지 되었는데 power 가 증가 할수록 최종 도달온도가 증가했음을 알 수 있다.

또한, 온도 10°C 수준의 냉각수를 패턴롤에 공급하면서 동일한 실험을 진행했는데 power 에 따른 경향성은 동일하지만 최종도달온도는 10°C 정도 떨어짐을 알 수 있었다.

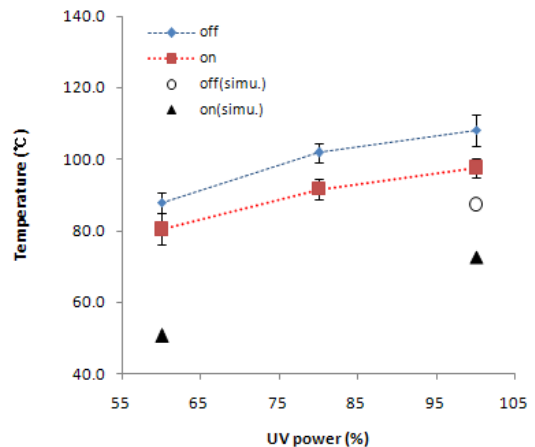
이러한 온도 실측 결과를 좀 더 구체적으로 이해하기 위하여 열유동해석을 통한 경화기 내부온도를 예측하여 그 결과를 표 1에 정리하였다. 실험1, 2, 3, 4는 각각 power, 코팅속도, 냉각수온도, 투입레진의 온도를 변화시킨 것이다.

표 1에서 알 수 있듯이 투입레진의 온도변화 (No. 4) 및 코팅속도의 변화 (No. 2)는 경화기 내부 온도에 거의 영향을 미치지 않는 반면, power 및 냉각수 온도에 대한 영향은 매우 큼을 알 수 있다.

그림 4는 UV램프 power에 따른 패턴롤의 실측 온도와 예측온도를 비교한 것인데, 경화기 내부온도에 직접적인 영향을 미치는 인자는 기구자체의 디자인, 램프에 가해지는 power 및 실제 패턴롤에 직접 가해지는 외부온도(물의 온도)임을 알 수 있다. 여기서 패턴롤의 실제 온도는 30분에서 60분까지 10분 단위로 측정한 온도의 평균치이다. Simulation 예측치 및 실측치 모두 power 에 비례하여 증가함을 알 수 있으며 냉각수를 공급 할 경우 10°C 안팎으로 온도가 감소함을 알 수 있다.



[그림 3] UV 램프 가동에 따른 패턴롤 표면 온도 변화
[Fig. 3] Pattern roll temp. variation with turn-on UV lamp
(a) coolant off, (b) coolant on

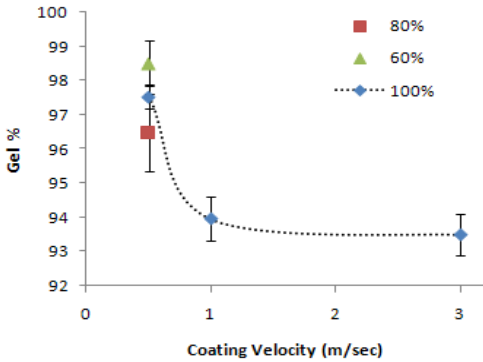


[그림 4] Power에 따른 패턴롤의 실측과 열유동해석 온도 비교
[Fig. 4] Comparison of pattern roll temperature

[표 1] 가동조건에 따른 온도변화예측

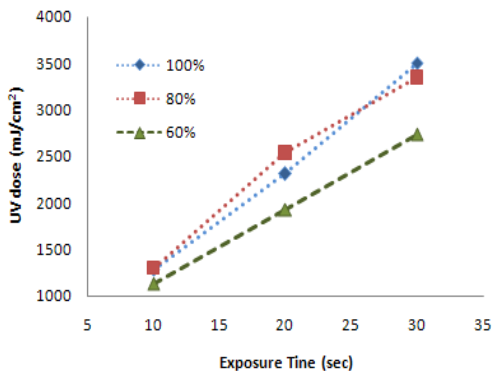
[Table 1] Temperature variation on condition

실험 No	조건				예측 온도 °C
	레진 온도	냉각수 온도	코팅 속도	power	
	°C	°C	m/min	%	
1	100	10	5	100	72.5
	100	10	5	60	50.6
2	100	10	5	100	72.5
	100	10	10	100	72.6
	100	10	15	100	72.7
3	100	10	5	100	72.5
	100	25	5	100	87.3
4	80	10	5	100	72.3
	100	10	5	100	72.5
	130	10	5	100	72.7
	160	10	5	100	73



[그림 5] 코팅속도 및 UV power 변경에 따른 최종 경화 필름의 gel 함량 변화

[Fig. 5] Variation of gel content with coating speed & UV power change



[그림 6] Power 및 체류시간에 따른 광량 (UV dose) 변화
[Fig. 6] Variation of UV dose with power & exposure time

그림 5는 경화조건에 따른 Gel 함량변화를 나타낸 것이다. 경화기내부의 온도변화가 최종 제품의 경화도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 power를 변경 시키면서 필름을 제작한 후 gel % 를 측정 하였다.

이 때 코팅속도에 따른 효과를 동시에 알아보기 위하여 코팅속도는 0.5 에서 3 m/min 사이에서 실시하였다. 실험에서 냉각수는 투입하지 않았으며, 투입 레진의 온도는 40°C로 유지하고 UV 램프를 켜고 30분이 지난 후 측정을 시작하였다. 실험 결과, power에 의한 Gel 함량변화의 경향성은 찾아 볼 수 없었다.

즉, 0.5 m/min 정도의 낮은 속도에서는 power 에 상관없이 모두 96% 이상의 높은 경화도를 보여주었다. 패턴롤의 직경이 250mm 이므로 패턴롤 하단부의 1/3 정도가 필름을 감싸고 있고 이 부분에 UV가 조사된다고 가정할 경우, 0.5 m/min의 코팅 속도에서 머무는 시간이 약 31초 정도가 된다. 이에 반해 코팅속도가 1m/min 이상으로 증가 할수록 최종 제품의 gel %는 급격히 감소하는데, 이러한 경향을 미루어 볼 때 레진의 UV 경화 정도는 경화기 내부의 온도보다는 실제 UV가 가해지는 시간에 더욱 민감하게 반응하고 있음을 알 수 있다. 일반적으로 광량이 1000 mJ/cm² 이상일 통상의 UV 레진은 충분한 경화가 진행된다고 알려져 있다.[8]

그림 6는 본 UV 경화기의 성능을 확인하기 위하여 조사시간에 따른 광량(UV dose)을 UV radiometer를 이용하여 측정한 결과이다. Power 및 조사시간이 증가 할수록 광량이 증가하지만 power 보다는 체류시간에 따른 증가 폭이 훨씬 크고 정비례 관계를 나타내고 있음을 알 수 있는데, 이는 코팅속도에 따른 gel % 결과와 어느 정도 상관성이 있다고 보여진다.

일반적으로 UV 경화의 장점은 빠른 경화속도인데, 본 실험에 사용된 Pattern 의 깊이는 500μ 로 매우 두꺼운 코팅층이 형성되었고 따라서 수십μ 이하로 코팅하는 일반 UV 코팅에 비해 경화시간이 훨씬 더 중요한 인자가 되었다고 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 UV 챔버의 내부온도 및 챔버 내 체류시간이 Urethane Acrylate 의 경화속도에 미치는 영향을 조사하였다.

- 1) 여러 공정 변수들을 조절하여 실험한 결과 두꺼운 pattern을 형성하기 위하여 UV 경화 zone에서 체류하는 시간이 가장 중요한 인자였다.
- 2) 열유동 해석을 통해 경화기 내부에서의 온도와 레

진 온도를 예측하였으며, 향 후 이러한 자료를 바탕으로 UV 코팅설비를 개발하는데 유용할 것으로 판단된다.

References

- [1] Matijasic, C, "Pattern Curing of UV-curable PSAs", Adhesive Ages, Dec., 29-34, 2002
- [2] Sung-Ho Kim, "The Development of UV Blocking Type Pressure-Sensitive Adhesive Sheet for Window", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 12, No. 1, pp. 559-564, 2011
- [3] Vu, C., La Ferte, O. and Eranian, A., "High Performance UV Multi-Layer Coatings Using Inorganic Nanoparticles", Radtech Europe Conferences & Exhibition, 2005
- [4] Kim, B., Seo, D. H., Chae, H. S. and Shin, S. "Determination of Processing Parameters Affecting the Conversion and Thermal Stability of Photocurable Acrylate-based Binder", Appl. Chem. Eng., Vol 23, No 1, pp. 18-22, 2012
- [5] Kwon, Y. and Cho U. Y., "Study on the Improvement of Film Shrinkage in UV-curing Process", Polymer (Korea), Vol 35, No. 4, pp. 320-324, 2011
- [6] Hyun-Jung Yoon, Jin-Wook Ha, "A study on the Manufacture and Application of UV-Cured Anti-stain Coating Compounds for PVC Tile", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 11, No. 5, pp. 1141-1146, 2010
- [7] Okamitsu, J. K., "Process Development for 3D UV Curing Via Computer Simulation", 24th CADFEM User's Meeting 2006
- [8] Moon, J. I., Choi, J. H., Hwang, H. D., Kim, H. J. and Kim, H. J. and Kim, N. H., "Physical Properties of UV-Curable Powder Coatings with Different Photoinitiator Contents", J. Adhesion and Interface, Vol. 9, No. 2, pp. 32-37, 2008

문 승 호(Seung-ho Moon)

[정회원]



- 2003년 12월 : Univ. of Akron, Polymer Science (공학박사)
- 2012년 9월 ~ 현재 : (주) 두하 기술연구소 연구소장

<관심분야>

광학용 점착제, 친환경 소재 및 코팅

김 광 희(Kwang-hee Kim)

[정회원]



- 2005년 2월 : 국민대학교 대학원 기계설계공학과 (공학박사)
- 2009년 2월 ~ 현재 : (재)인천테크노파크 기술혁신본부 본부장

<관심분야>

CAD/CAM/CAE, 정밀가공, 최적설계

김 정 식(Jeong-sik Kim)

[정회원]



- 2002년 3월 : 일본 큐슈대학 대학원 종합이공학연구과 (공학박사)
- 2012년 9월 ~ 현재 : (재)인천테크노파크 기술혁신본부 선임연구원

<관심분야>

열전달촉진, 에너지효율향상, 공정개선