

◆ 특집 ◆ 인쇄전자 소자 제작을 위한 다양한 인쇄 공정 기술 개발

유기 태양전지 제작이 가능한 와이어리스 바코터 개발

Development of a Wireless Bar Coater Applied to Organic Solar Cells

유세민^{1,✉}, 유용재¹, 문희광¹, 김정수¹
Semin Yu^{1,✉}, Young Jae Yu¹, Heekwang Moon¹, and Jung Su Kim¹

¹ 주식회사 펨스 (PEMS Co.,Ltd.)

✉ Corresponding author: sam@pems-korea.com, Tel: +82-42-863-5118

Manuscript received: 2013.4.8 / Accepted: 2013.5.24

Studies are using a roll forming bar. A bar coating device available for a variety of coating conditions was developed. It is characterized by the bar forward and reverse rotation, fine-tune coating speed, and stripe coating. To determine the characteristics of the equipment, the coating tests under different coating conditions were carried out. As a result of the coating tests, the equipment was confirmed as one of strong candidates for the production tool of organic solar cells. The further production test of organic solar cells through stripe coating is in progress.

Key Words: Printed electronics (인쇄전자), Coating (코팅), bar coater (바코터), Stripe (줄무늬), OPV (유기태양전지)

1. 서론

최근 인쇄전자(printed electronics) 분야가 전자소자 등 다양한 분야에 응용 가능성을 보이며 많은 연구가 행해지고 있다. 인쇄전자는 금(Au), 은(Ag), 구리(Cu) 등의 전도성 잉크를 플라스틱 필름(PET, PC, PI, PEN, etc.), 종이, 유리(glass), 섬유(fiber) 등의 피인쇄체에 그라비아(gravure), 스크린(screen), 플렉소(flexo), 리버스(reverse) 등의 기존 인쇄 방식을 응용해 전자 제품을 제작하는 기술을 말한다.^{1,3} 인쇄 뿐만 아니라 코팅에서도 기존의 코팅 방식을 응용해 전자 소자를 제작하는 기술들이 다방면으로 연구되고 있다. 주로 연구되고 응용되는 방식들은 슬롯다이(slot-die), 와이어바(wire-bar), 그라비아(gravure) 등의 방식을 이용한 코팅이 있으며 그 중 바-코팅(bar-coating) 기술은 가장 간단하고 잉크의 소모가 적어 실험실 단위의 테스트에 가장 많이 사용되고 있다. 바코터에 사용되는 바는 일반적으로 와이어

를 감은 형태로 제작되는데 이 경우 와이어간에 이물질이 많이 끼서 청소가 어려우며 박막 코팅의 경우 감는 와이어 두께가 얇아져 작은 충격에도 단선되는 문제가 발생해 수명이 짧다는 문제점이 있다. 또한 주로 사용되는 바코터의 경우 바를 밀고 가는 단순 동작만 수행 가능하여 코팅 조건 변화에 따른 다양한 연구가 어려운 단점이 있다.

본 연구에서는 기존 와이어 바 대신 와이어 형태로 진조 가공된 와이어리스 바를 이용해 박막, 줄무늬 코팅 가능성 확인과 함께 바를 장착한 바코터를 제작하고 코팅특성에 변화를 줄 수 있는 요소들을 다양하게 선택 가능한 장비 개발을 수행함으로써 좀 더 다양한 응용이 가능한 연구 장비를 만드는데 그 목적이 있다.

2. 와이어리스 바코터(Wireless Bar Coater)

2.1 와이어리스 바(Wireless bar)

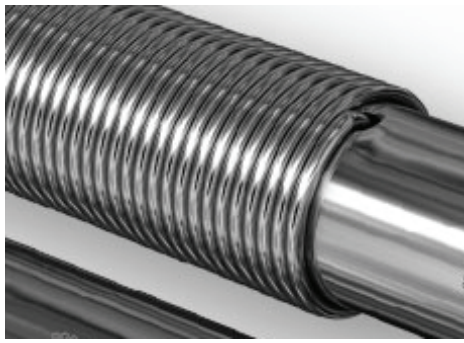


Fig. 1 Structure of a typical wire bar

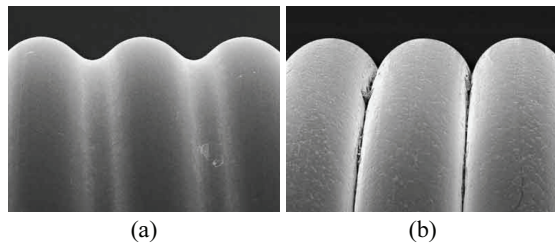


Fig. 2 Comparison of a wireless bar(a) with a wire bar(b)⁴

기존 와이어 바의 경우 Fig. 1에서와 같이 철심 (rod)에 와이어를 감는 형태로 제작된다.

이와 달리 와이어리스 타입인 와이어리스 바의 경우 Fig. 2(a)와 같이 바 자체를 와이어바의 형태로 전조 가공하므로 기존 Fig. 2(b)에 와이어바에서와 같이 와이어 사이(cavity)에 이물이 끼지 않아 사용이 편리하며 반영구적 사용이 가능하다.

2.2 줄무늬 바(Stripe bar)

와이어 바의 단점 중 하나인 단선 문제가 있던 기존 와이어 바와는 달리 전조가공을 통해 제작하는 와이어리스 바의 경우 단선의 문제가 발생하지 않아 영구적인 사용이 가능해졌으며 이러한 와이어리스 바의 특징을 살려 바 사이 단차 가공을 통해 전면 코팅뿐 아니라 줄무늬 형태의 코팅이 가능해져 태양전지 제작과 같이 줄무늬 코팅이 필요한 다양한 분야에 활용이 가능해졌다. Fig. 3은 유기 태양전지 제작 테스트를 위해 와이어리스 바를 단차 가공한 것으로 가공 전(a)과 가공 후(b)로 형상은 폭 13mm, 간격 2mm, 깊이 2mm로 제작되었다.

2.3 코터 특성(Coater spec)

일반적인 자동형 바코터의 경우 코팅속도 조절만 가능한 경우가 대부분이며 정확한 코팅 속도

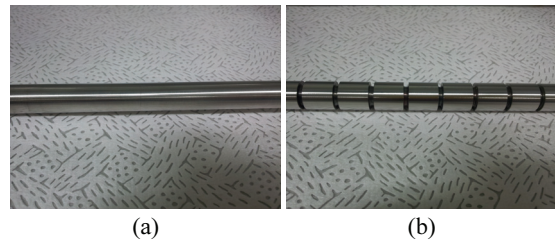


Fig. 3 Before(a) and after(b) of roll forming

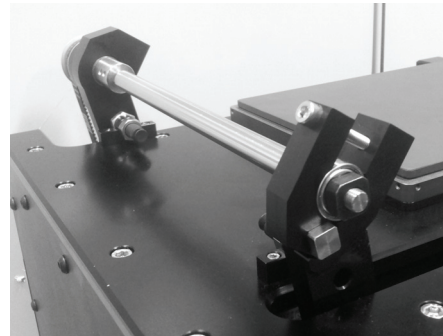


Fig. 4 Bar rotation module

또한 확인이 어려운 경우가 많아 실제 코팅 속도 데이터 정리 시 어려움이 많다. 본 연구를 통해 개발한 장비는 좀 더 폭 넓게 사용 가능하며 정확한 실험 데이터를 내기 위해 개발된 장비로 기본적인 제어는 PLC를 통해 구동하며 기존 이동 속도 조절과 함께 바 회전, 닥터링 모듈, 줄무늬 바 장착으로 다양한 연구가 가능해졌다.

2.3.1 코팅 속도(Coating speed)

코팅하는 속도의 경우 0.1~500.0mm/sec로 소수 첫째 자리까지 정밀 제어가 가능하며 코팅하는 기관의 크기에 따라 mm단위로 일정구간만 선택적인 코팅이 가능하다.

2.3.2 바 회전(Bar rotation)

기존 코터의 경우 바를 고정시켜 바의 회전 없이 코팅이 이루어진다. 하지만 바의 정회전/역회전/무회전, 회전속도 조건 각각에 따라 잉크의 코팅 특성이 다르게 나타난다. 코팅액, 코팅 두께, 기관 등의 조건에 따라 바의 회전특성을 달리하면 다양한 코팅 결과를 얻을 수 있다. 기관이 필름일 경우 표면 스크래치에 민감하다. 이 경우 코팅속도와 바 회전속도를 1:1로 설정 시 스크래치의 최소화 가능할 것으로 예상되며 코팅 두께의 경우

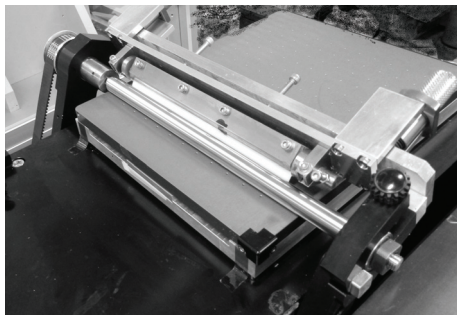


Fig. 5 Doctoring module

바 회전 방향에 따라 코팅 두께 변화가 확연히 나타난다. 또한 코팅 전 용액을 바에 충분히 도포(wetting) 시킬 수 있게 바를 회전 시켜 도포 가능하다.

2.3.3 닥터링 모듈(Doctoring module)

닥터링모듈을 이용해 닥터링을 하지 않을 경우 기관(substrate)에 코팅된 잉크의 두께 편차가 초기와 후기에 크게 나타날 수 있다. 잉크를 바에 직접 공급할 경우 코팅 초기와 후기에 잉크를 머금은 양이 달라져 두께 편차가 발생하게 되는데 이를 방지 하기 위해 닥터링 모듈을 장착하였다. 블레이드(blade)를 이용해 바 표면을 닥터링 시 정확히 바의 용적만큼만 잉크가 빠져나가 코팅 시 전단과 후단의 코팅 두께가 좀더 균일하게 코팅 가능하도록 제작 하였다.

3. 코팅(Coating)

3.1 실험 조건

개발한 장비의 성능 확인과 코팅 조건에 따른 특성 확인을 위해 다양한 코팅 조건 하에서 실험을 진행하였다. 실험조건으로는 우선, 와이어리스바의 사양은 재질 SUS, 선간 10um, 나선 각도 2~3°, 지름 12.7mm이며 기관은 PET film, 코팅액은 유기 태양전지의 정공 수송층으로 많이 사용되는 PEDOT:PSS (Agfa사 S305)를 사용, 박막두께 측정이 어려운 것을 감안해 두께 측정대신 면저항을 측정하여 그 두께를 예측하는 방식으로 진행하였다. 면저항 측정은 Dasol Eng사 FPP-RS8(4-probe)을 사용하여 상·중·하 세 지점을 측정하였다. 기준 면저항은 제조사의 데이터 시트(data sheet)를 참조해 Table 1에 나타냈다. 기본적인 실험 조건은 코팅속도 20mm/sec, 바 회전속도 40mm/sec에 각 코

Table 1 Agfa S305's surface resistance data

Wet thickness(μm)	40	20	10
Resistance(ohm/sq)	<200	<500	<1100

Table 2 Sheet resistance according to bar rotation direction

Direction	Sheet resistance(ohm/sq)		
	top	center	down
Non	1,114	1,178	865
Forward	1,002	993	892
Reward	17	136	.

Table 3 Sheet resistance according to bar rotation speed

Speed	Sheet resistance(ohm/sq)		
	top	center	down
20mm/sec	699	750	672
40mm/sec	1,002	993	892

팅마다 코팅액 2mm씩 공급하였다. 건조조건은 열경화 방식의 오븐을 사용 130°C에서 5분 건조 하였다.

3.2 실험결과

3.2.1 바 회전 방향

바의 회전 방향을 무회전, 정회전, 역회전으로 나누어 회전방향에 따른 코팅 두께 차이를 확인 하였다. 면저항 측정 결과 코팅 두께는 무회전, 정방향 회전의 코팅두께는 10um 수준이며 역방향의 경우 코팅이 초기에는 두껍고 뒤에서는 이루어지지 않는 걸 확인 하였다. 코팅 편차는 바를 무회전시 보다 정방향 회전 시 더 고르게 나타났다. 역방향 회전의 경우 잉크를 바 뒤편으로 넘겨서 초기에만 두껍게 되고 나중엔 잉크가 모자라 코팅이 안 되는 것을 확인 하였다(Table 2).

3.2.2 바 회전 속도

바의 정방향 회전 속도를 코팅속도와 1:1 비율로 설정해 기존 데이터와 함께 바의 회전 속도에 따른 코팅 두께와 표면 조도 변화를 확인 하였다. Table 3에서와 같이 20mm/sec, 40mm/sec 각각의 회전속도에 따라 코팅 두께가 달라지는 것을 확인할 수 있다.

표면 조도 확인을 위해 3D 측정(confocal)과 알파스텝(alpha-step)을 이용하였다. 3D 측정의 경우 코팅액이 박막이며 투명한 물질로 측정이 어려워 알파스텝으로 측정한 자료를 사용 하였다. 측정

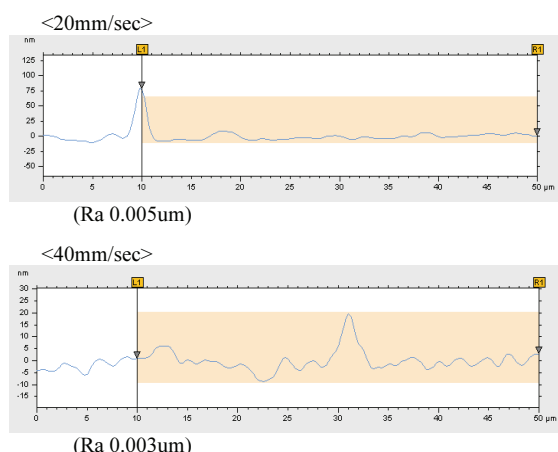


Fig. 6 Surface roughness according to bar rotation speed

Table 4 Sheet resistance according to bar doctoring

Doctoring	Sheet resistance(ohm/sq)			
	top	center	down	average
non-apply	1,002(+40)	993(+31)	892(-70)	962
apply	928(+13)	946(+31)	871(-44)	915

결과 표면 조도 자체가 나노 단위로 큰 차이는 없으나 40mm/sec (Ra 0.003um)에서의 표면 조도가 20mm/sec (Ra 0.005um)보다 전체적으로 부드럽게 나타났다(Fig. 6).

3.2.3 닥터링(Doctoring)

정회전하는 바의 표면을 닥터링하여 기존 결과와의 두께 편차를 비교 하였다. 먼저항 측정 결과 두 조건 모두 평균과 10% 이내의 편차를 보였으며 Table 3에서와 같이 닥터링 전보단 후의 평균적인 두께 편차가 줄어드는 것을 확인 하였다.

3.3 유기태양전지 제작

기존 유기 태양전지 제작 연구에서는 일반 와이어 바 코터를 이용해 셀 단위의 유기태양전지만을 제작하였으며 모듈단위의 유기 태양전지 제작시 와이어 바 코터를 이용해 전면 코팅 후 일일이 중간을 지워 줄무늬로 만드는 방식을 사용하거나 고가의 재료 소모가 많은 슬롯다이틀(P3HT:PCBM 기준 약 50ml 이상 소모) 주로 이용하였으나 와이어리스 바코터 개발에 따라 소량의 재료만으로도 줄무늬 코팅이 가능해져(P3HT:PCBM 기준 약 3ml) 모듈 단위의 유기태양전지 제작이 간단해지고 재료 소모도 적어졌다.



Fig. 7 Inverted type organic photo voltaic

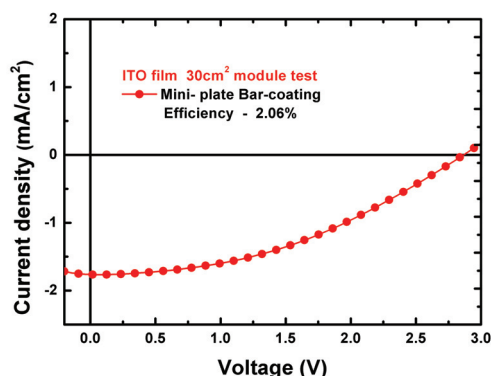
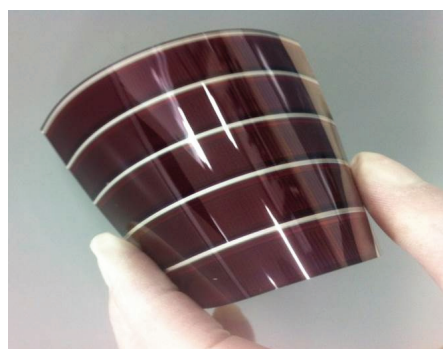


Fig. 8 Efficiency of organic photo voltaic module

개발한 장비를 이용해 유기 태양전지 제작 실험을 진행하였으며 유기 태양 전지 구조는 인버티드 타입이며 구조는 Fig. 7와 같다.^{5,6}

제작 순서는 ITO 코팅된 필름에 ZnO, P3HT:PCBM, PEDOT:PSS를 중첩 코팅 후 스크린 프린터를 이용해 Ag 전극인쇄 하였다.

개발한 장비를 이용해 ZnO, P3HT:PCBM, PEDOT:PSS를 줄무늬 형태로 중첩 코팅해 제작된 Fig. 8에서의 유기태양전지 모듈을 이용, 효율을 측정 하였다. 측정은 슬라 시뮬레이터 Oriel 150W (Xenon lamp based)를 이용하였으며 모듈의 크기는

30cm² 이다. 측정 결과 2.06%를 결과를 얻을 수 있었다.

20, No.41, pp. 8994-9001, 2010.

4. 결론

본 논문에서는 와이어리스 바코터를 이용해 기존 바코터들의 단점을 보완하고 다양한 연구가 가능하도록 장비를 개발하는 연구를 진행 하였다. 장비 제작 및 코팅 실험 결과 기존 바코터 대비 균일한 코팅이 이루어지며 다양한 실험 조건을 선택적으로 사용 가능해 다양하면서도 좋은 결과를 얻을 수 있었다. 특히 줄무늬 코팅이 가능해져 기존에는 제작이 어려웠던 유기 태양전지 모듈 제작이 실험실에서 쉽게 이루어질 수 있게 되었다. 실제 유기태양전지 제작 테스트에서도 유기 태양전지 제작이 어렵지 않게 이루어지는 것을 확인 하였으며 30cm² 모듈에서 효율이 2.06%로 측정되는 것을 확인 할 수 있었다. 이러한 와이어리스 바코터를 이용한 유기태양전지의 재료와 구조들에 대한 지속적인 연구가 이루어 진다면 더욱 높은 효율의 유기 태양전지 개발이 이루어 질 것이다.

추후 지속적인 연구를 통해 더욱 정밀하고 다양한 연구가 가능한 장비를 개발 예정이다.

참고문헌

1. Kim, C. H., Choi, B. O., Ryu, B. S., and Kim. D. S., "Gravure offset printing for printed electronics," J.of Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 25, No. 5, pp. 96-105, 2008.
2. Harrop, P., "Introduction to printed, Organic and Flexible Electronics," IDTechEX, 2012.
3. Holland, G., Harrop, P., and Das, R., "Encyclopedia of Printed Electronics," IDTechEX, 2008.
4. OSG, <http://www.osg.co.jp/products/dbar.html>
5. Krebs, F. C., "Polymer solar cell modules prepared using roll-to-roll methods: Knife-over-edge coating, slot-die coating and screen printing," Solar Energy Materials & Solar Cells, Vol. 93, No. 4, pp. 465-475, 2009.
6. Krebs, F. C., Fyenbo, J., and Jorgensen, M., "Product integration of compact roll-to-roll processed polymer solar cell modules: methods and manufacture using flexographic printing, slot-die coating and rotary screen printing," Journal of Materials Chemistry, Vol.