

롤투롤 나노 임프린트 시스템 균일 가압 모듈 개발김가을^{a,b}, 김현태^a, 이승현^a, 강유성^b, 전용호^b, 이문구^b, 권 신^{a*}**Development of Roll-to-roll Nanoimprint System Uniform Pressing Module**Ga Eul Kim^{a,b}, Hyuntae Kim^a, Seung-Hyun Lee^a, Yousung Kang^b, Yongho Jeon^b, Moon Gu Lee^b, Sin Kwon^{a*}^a Department of Printed Electronics, Nano-Convergence Manufacturing Systems Research Division,
Korea Institute Machinery Materials (KIMM)^b Department of Mechanical Engineering, Ajou University**ARTICLE INFO***Article history:*

Received	19	July	2021
Revised	27	July	2021
Accepted	2	August	2021

*Keywords:*Roll-to-roll
Nano-imprint
Roll pressing
Uniform pressing**ABSTRACT**

It is difficult to use roll-to-roll (R2R) substrate transfer and pressing process to secure the productivity of the nanoimprint lithography (NIL) process based on the contact pressing mechanism R2R NIL patterning with a precise level of uniform pressure in the imprinting area. In conventional pressing, the precision of the imprint process is limited by bending deformation of the pressing roller, processing errors of roundness and straightness, and roller alignment errors. Thus, a new type of force point adjustable pressing roller (FPAP) module to minimize bending deformation of the pressing roller and an air cushion pressing roller (ACP) module to improve unevenness caused by roller deformation, roller geometrical errors were developed. The performance of the new uniform pressing module was experimentally verified: pressure uniformity at the imprinting contact surface was $\pm 30\%$ for the conventional pressing module compared to $\pm 7\%$ for the FPAP module. The ACP module improved this value to $\pm 3.5\%$.

1. 롤투롤 나노 임프린트 리소그래피

NIL (nanoimprint lithography) 기술은 미세 패턴이 각인된 몰드(mold)를 이용하여 손쉽게 패턴을 복제할 수 있으며 마이크로 스케일의 패턴뿐만 아니라 나노 스케일의 패턴까지도 재현성 있게 복제가 가능하여 반도체나 디스플레이 소자의 제조 공정에 적용 가능성이 매우 높은 기술이다^[1]. 최근에는 10 nm 이하의 크기를 가진 패턴을 나노 임프린트 공정을 적용하여 제작한 결과가 발표되었고, step-and-repeat 공정을 적용하면 대면적화가 가능하여 포토리소그래피를 대체할 수 있는 차세대 패턴링 공정으로 여겨지고 있다^[2-4].

기존의 접촉 임프린트 공정을 기반으로 하는 NIL은 형태에 따라 plate-to-plate (P2P), roll-to-plate (R2P), roll-to-roll (R2R)과 같은 가압 공정을 기반으로 하며, 이 중 R2R 기판 이송 공정 및 가압 공정을 적용한 NIL은 산업 분야에서 높은 생산성과 공정 효율성으로 인해 P2P 및 R2P에 비해 생산 장비로써 많은 연구가 수행되어 왔다^[5-10]. 고집적 전자회로, 정밀 광학 제품 등 요구되는 제품의 정밀도는 더욱 고도화되고 있으며, 이에 따라 R2R 임프린트 장비의 공정 정밀도에 대한 요구도 더욱 높아지고 있다. 특히 접촉/가압 공정을 기반으로 이루어지는 임프린팅 공정에서 가압 균일도는 패턴의 균일성 및 잔류막 두께(residual layer thickness) 등 제품의 주요 특성을 결정하는 매우 중요한 변수로서 전체 임프린트 공

* Corresponding author. Tel.: +82-42-868-7219

E-mail address: skwon@kimm.re.kr (Sin Kwon).

정 영역에서 균일하게 유지되어야 한다.

2. 균일 가압 모듈 개발

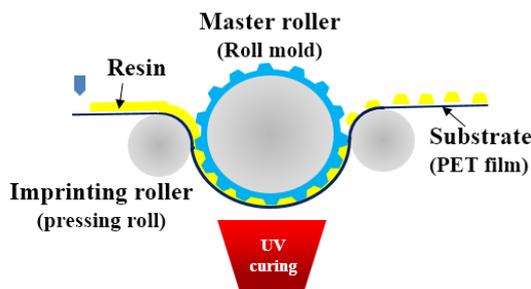
2.1 기존의 가압 공정

기존의 R2R NIL 시스템의 임프린팅 모듈(imprinting module)은 Fig. 1(b)과 같이 스틸 재질의 마스터 롤러(master roller)와 고무 코팅이 된 임프린팅 롤러(imprinting roller)로 구성된다. 마스터 롤러는 절삭 가공 및 레이저, 노광/에칭 공법 등을 이용하여 직접 패턴을 형성하기도 하고^[11-13], 평판 마스터 몰드로부터 복제된 소프트 몰드를 직접 감아서 활용하는 형태로도 많이 사용된다^[11,14-16]. Fig. 1(a)는 R2R NIL 공정을 나타낸 것으로 기판에 레진(resin)이 도포된 후, 마스터 롤러와 임프린팅 롤러의 접촉 영역을 통과한다. 임프린팅 롤러의 외력 점 F_1 과 F_2 에 힘을 가하여 레진과 마스터 롤러 패턴이 임프린팅 되며, 마스터 롤러 패턴의 역상이 복제된다. 이 때 임프린팅 롤러의 양 끝단에 가한 외력에 의해 굽힘 변형이 발생하게 되며, 이로 인해 접촉면에서 불균일한 압력 분포를 야기한다. 롤러의 축 방향 길이가 비교적 짧더라도 필연적으로 롤러의 굽힘을 초래한다^[17,18]. 이로 인해 롤러의 변형이 발생하여 미세 패턴 임프린팅이 가능한 NIL 공정에서 균일한 패턴링이 어렵게 된다. 롤러의 변형을 억제하여 균일 가압 임프린팅 공정을 수행하기 위해 백업 롤러(backup roller)를 포함하는 가압 모듈이 보편적으로

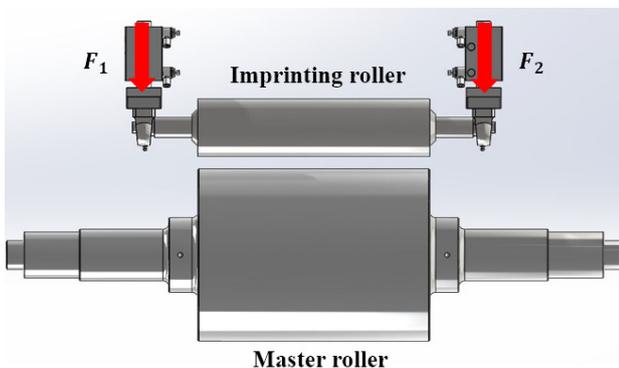
사용되고 있다. 하지만 추가적으로 설치되어야 하는 기구 구조물들이 발생하여 기존의 구동 중인 시스템에 적용하기는 어려운 경우가 존재하며 백업 롤러를 이용하는 방식으로 앞서 서술한 굽힘 변형에 대한 오차를 일부 완화할 수 있으나, 롤러 가공 오차 또는 조립 오차 등으로 인한 비대칭 불균일도에 대해서는 보정이 불가능한 한계가 있다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 기존의 시스템에서 롤러 교체만으로 균일 가압이 가능하도록 2가지 롤러 가압 모듈을 제안한다.

2.2 힘-작용점 가변 가압 롤러

R2R NIL 시스템을 이용해 미세한 패턴을 정밀하게 패턴링하기 위해서 일정한 프린팅 압력을 필요로 한다. 2.1절에서 서술한 기존 가압 방식과 새롭게 제안한 힘-작용점 가변 가압 롤러의 개념을 Fig. 2에 나타내었다. 양 끝에 힘을 가하여 굽힘 현상으로 인한 불균일 가압이 발생하는 기존 방식을 Fig. 2(a)에 나타내었으며, 이러한 굽힘 현상을 방지하기 위해 하중이 가해지는 부분을 실제 임프린팅 영역 내에 존재할 수 있게 Fig. 2(b)와 같은 원리로 설계하였다. Fig. 3(a)와 같이 가압 롤러 축의 힘 작용점을 이동 시킬 수 있는 형태로 설계하여 가압 시 하중 지점을 임프린팅 영역 내에 존재할 수 있도록 하였으며, 또한 하중 지점 이동이 가능하도록 하여 가압 시 접촉 면에서의 압력 분포를 최적화 할 수 있도록 설계하였다. 이를 힘-작용점 가변 가압 롤러(force point adjustable pressing roller)

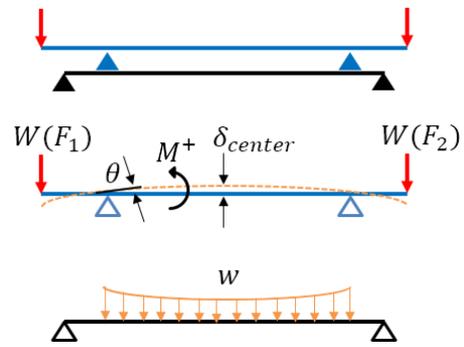


(a) Schematic design of R2R NIL

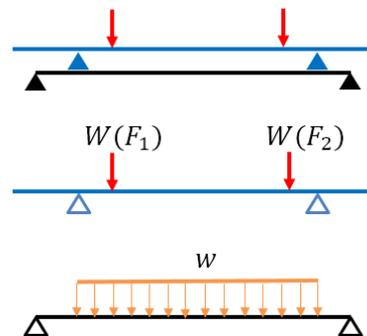


(b) Conventional R2R NIL imprinting module

Fig. 1 R2R pressing process

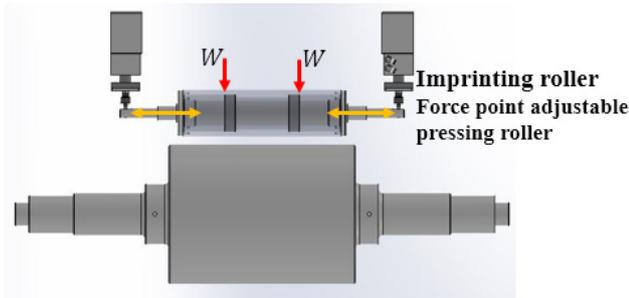


(a) FBD of conventional imprinting roller

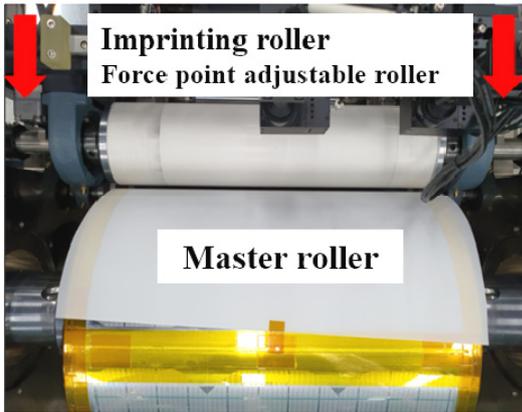


(b) FBD of force point adjustable pressing roller

Fig. 2 FBD of R2R pressing process



(a) Design of force point adjustable pressing roller



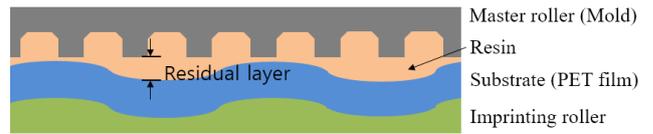
(b) Force point adjustable pressing roller

Fig. 3 FPAP module

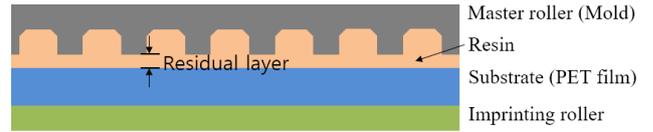
roller; FPAP)라 칭하며 제작된 롤러는 Fig. 3(b)와 같다.

2.3 에어 쿠션 가압 롤러

NIL의 일부 어플리케이션에서 가압 균일도는 특히 중요하게 요구된다. 예를 들어 마이크로 렌즈를 응용한 제품에서는 초점 거리를 결정하는 잔류막을 포함 막 두께와 같은 형상의 특성이 매우 중요하고 에칭 베리어(etching barrier)로 활용되는 경우에도 매우 중요한 품질 특성이 된다. 이때 롤러의 진원도 및 진직도 등 가공 오차 및 조립/정렬 오차에 의한 영향으로 Fig. 4(a)와 같은 불균일 문제가 발생할 수 있다. 앞 절의 가압 임프린팅 롤은 고무 등 소프트한 재질로 코팅하여 이러한 문제를 완화 하고자 하였으나 압력이 커짐에 따라 소프트 특성으로 인한 보정에는 한계가 있다. 이를 해결하기 위해 P2P 임프린트 공정에서는 에어 쿠션을 이용한 가압 기구를 적용한 연구가 수행되어 균일도 향상의 결과를 확인한 바 있다^[19]. 이를 R2R NIL 공정으로 확장하여 적용하기 위해 Fig. 5(a)와 같은 에어 쿠션 가압 롤러(air cushion pressing roller; ACP)를 설계 및 제작하였다. 미세한 홈을 갖는 내부의 축과 간격을 가지고 축을 감싸는 고무 튜브로 구성되며 내부 축에 공압을 가하면 고무 튜브와 축 사이의 공간에 공압에 의한 균일한 압력이 형성 되고, 이 압력에 의해 고무 튜브가 부풀어 올라 마스터 롤과 균일한 접촉 상태가 되어 Fig. 4(b), 내부의



(a) Schematic of non-conformal contact in NIL



(b) Schematic of conformal contact in NIL

Fig. 4 Contact uniformity in imprinting process

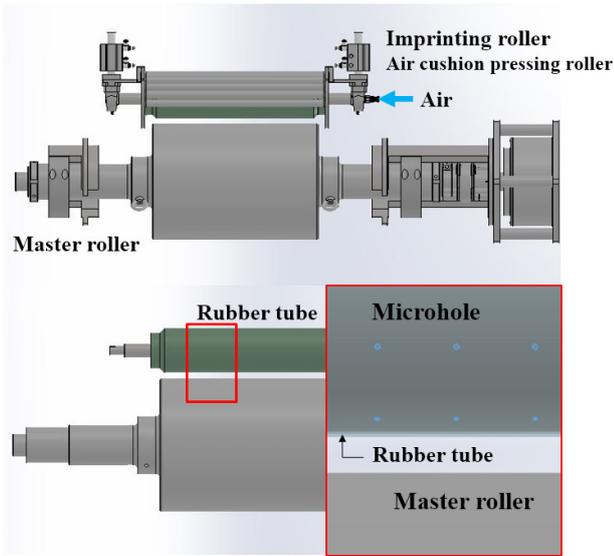
공압에 의해 균일한 접촉 압력을 가질 수 있도록 설계하였다. 제작된 에어 쿠션 가압 롤러는 Fig. 5(b)와 같다. 접촉면 이외의 영역에서 고무 튜브의 큰 팽창을 최소화하기 위해 가이드 롤러를 설치하여 임프린트 영역에서 균일한 접촉 및 가압이 원활하게 수행될 수 있도록 하였다.

3. 실험

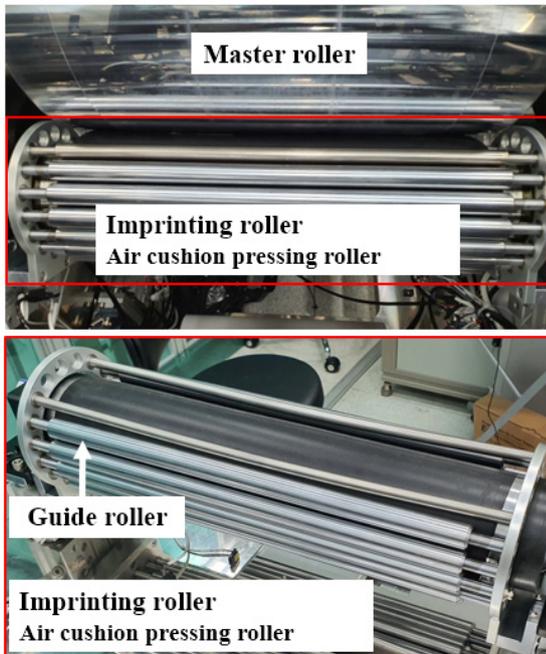
Fig. 6(a)는 임프린팅 롤러와 마스터 롤러 사이의 가압력 측정을 위해 사용된 FUJIFILM社의 압력측정필름(PRESCALE, Model: LLLW)이며 측정 분해능은 1 mm² 영역의 색농도를 측정하여 채도 변화에 따라 압력을 수치화 한 것이다. 실제 측정값은 많은 노이즈를 포함하고 있기 때문에 MATLAB을 이용하여 측정 데이터를 피팅(fitting)하였으며, 이를 통해 접촉면의 양 끝 단 부분에서 측정된 압력이 중심 부분에 비해 측정값이 더 높은 경향을 가진다는 것을 Fig. 6(b)에서 확인할 수 있다. 이는 Fig. 2에서 모델링한 결과와 동일한 경향을 나타내는 것으로 볼 수 있으며 이러한 불균일한 압력 분포를 개선하기 위해 적용한 두 가지 롤러 가압 모듈을 실험하여 접촉 영역에서의 압력 분포를 확인하였다.

3.1 힘-작용점 가변 가압 롤러 실험

Fig. 7과 같이 힘-작용점 가변 가압 롤러의 축 양 끝 하중 지점 이동이 가능한 조정부를 10 mm 표시 눈금을 기준으로 조정하여 실험을 진행하였으며, 역시 압력측정필름을 이용하여 측정하였다. 실험 결과는 Fig. 8과 같다. 힘-작용점을 가변하여 하중 지점이



(a) Design of air cushion pressing roller



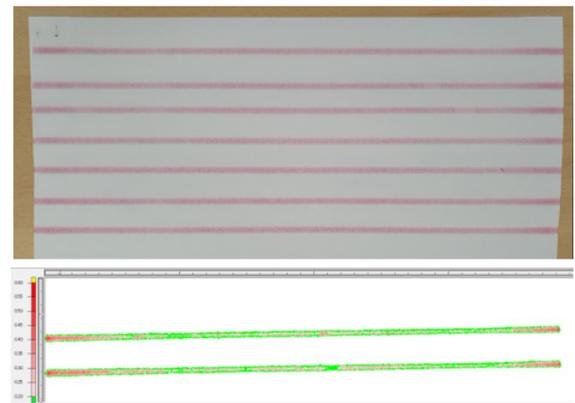
(b) Air cushion pressing roller

Fig. 5 ACP module

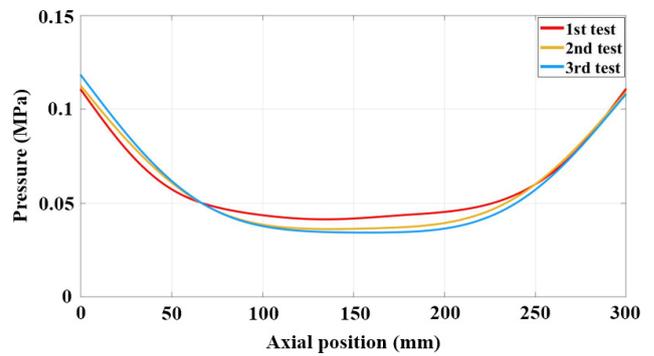
롤러의 중심부에 가깝게 이동하며 변화함에 따라 실제 접촉면에서의 압력 분포가 영향을 받는다는 것을 확인할 수 있다. 롤러의 중심부에 하중 지점이 가까워질수록 오히려 중심부 부분의 압력 분포가 더 높게 나타나며 눈금 기준 양 끝 40 mm 정도 하중 지점 이동 시 균일한 압력 분포측면에서 적절한 수준인 것을 확인할 수 있다.

3.2 에어 쿠션 가압 롤러 실험

에어 쿠션 가압 롤러의 축에 직접 공압을 가해 실험을 진행하였으며, 에어 쿠션 가압 롤러를 이용해 가압 시 고무 튜브 층이 부풀



(a) Pressure measurement film



(b) Pressure distribution along roller using conventional imprinting roller

Fig. 6 Measurement of pressure distribution in pressing process using conventional imprinting roller

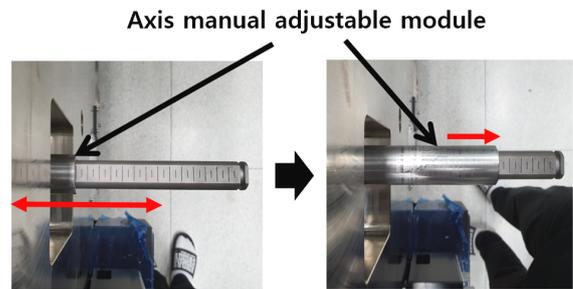


Fig. 7 Force point adjustment

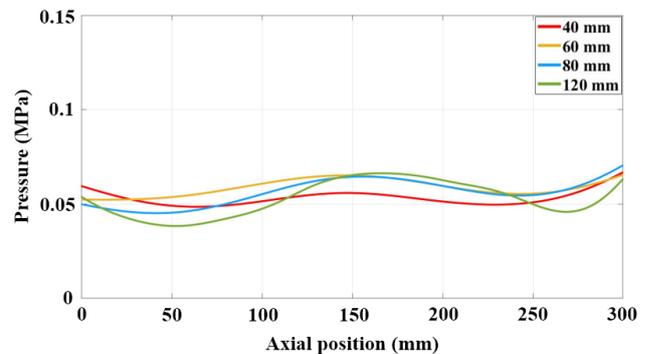


Fig. 8 Measurement of pressure distribution along roller using FPAP

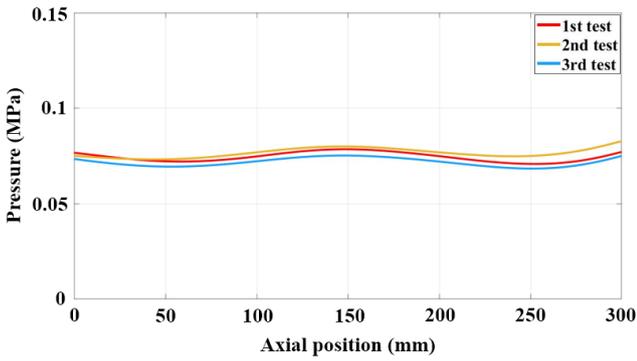


Fig. 9 Pressure distribution in contact area using ACP

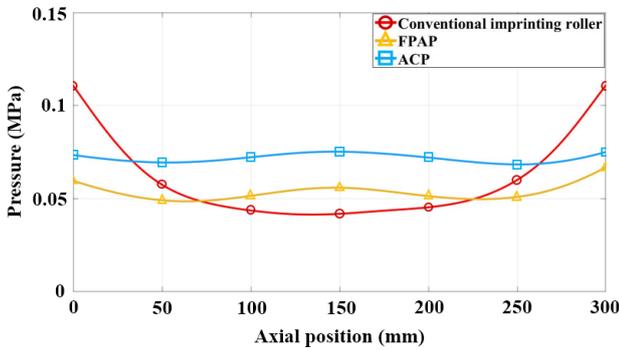


Fig. 10 Comparison of pressure distribution in contact area using conventional pressing and FPAP, ACP

어 올라 실제 접촉 면적이 증가할 수 있고 이는 고무 튜브의 물성을 조정하는 것으로 조절이 가능하다. 측정은 앞서 힘-작용점 가변 롤러 실험과 마찬가지로 압력측정필름을 사용하였으며 측정 값은 임프린트 롤러와 마스터 롤러 사이의 접촉면 중앙부를 기준으로 Fig. 9와 같이 나타내었다.

4. 결론

기존의 R2R NIL 시스템은 가압 공정 시 집중 하중을 양 끝단에 가하여 가압 공정을 진행하는 시스템이 주를 이루고 있다. 이러한 가압 공정은 롤러의 굽힘 현상으로 인해 임프린팅 시 접촉면의 압력 분포가 균일하게 형성되지 않는다. 이를 해결하기 위해 기존의 가압 방식인 양 끝단의 집중 하중을 가하는 방식에서 롤러 축이 하중 지점을 이동할 수 있는 형상의 축을 가지는 힘-작용점 가변 가압 롤러를 이용해 균일 가압 모듈을 개발하였으며, 롤러의 정렬 오차 및 진원도, 진직도에 의해 발생하는 경향성을 가지지 않는 불균일한 압력 분포를 개선하기 위해 에어 프레싱 가압 롤러를 이용해 가압 시 균일한 접촉을 발생시킬 수 있는 가압 모듈을 개발하였다.

Fig. 10과 Table 1의 결과를 비교해 보면 두 가압 모듈 모두

Table 1 Maximum and minimum pressure values and deviation in contact area

Roller module	Conventional	FPAP (40 mm)	ACP (3rd)
Min (MPa)	0.048	0.050	0.073
Max (MPa)	0.109	0.066	0.078
Dev (%)	±39%	±16%	±3.5%

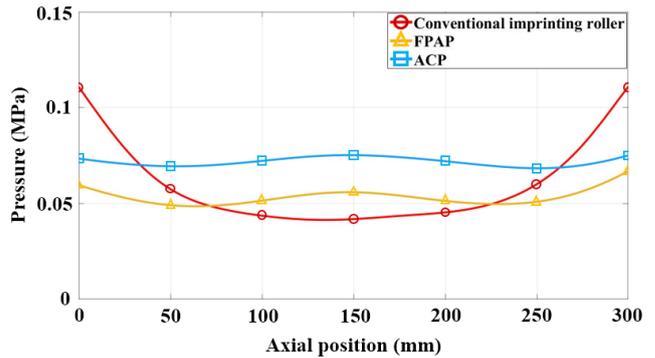


Fig. 11 Comparison of pressure distribution in imprinting area using conventional pressing and FPAP, ACP

Table 2 Maximum and minimum pressure values and deviation in imprinting area

Roller module	Conventional	FPAP (40 mm)	ACP (3rd)
Min (MPa)	0.048	0.050	0.063
Max (MPa)	0.077	0.058	0.071
Dev (%)	±30%	±7%	±3.5%

기존의 가압 방식 대비 전체 접촉면 영역(폭 300 mm)의 압력 분포 측면에서 균일도가 크게 개선되었다는 것을 확인할 수 있었다. 실제 생산 공정 시 유효한 영역인 임프린팅 영역(폭 250 mm)에서의 압력 분포는 Fig. 11과 Table 2에서와 같이 기존의 가압 방식의 ±30% 수준의 압력 분포 균일도를 나타내지만 힘-작용점 가변 롤러를 적용한 가압 모듈의 경우 ±7% 수준의 압력 분포 균일도를 확보할 수 있으며, 에어 프레싱 가압 롤러를 적용한 가압 모듈 역시 ±3.5% 수준의 압력 분포 균일도를 확보할 수 있었다.

힘-작용점 가압 롤러의 경우 축 내부의 하중 지점을 이동할 수 있지만 축 자체는 기존의 가압 방식과 동일한 양 끝단에서 집중 하중을 받는 형태로 축의 굽힘 현상이 발생한다. 이로 인해 마스터 롤러와 임프린트 롤러의 접촉 영역 내에 하중 지점을 이동한다 하여도 축 반력으로 인해 또 다른 미세한 변형 및 임프린팅 압력 저하라는 단점이 발생할 수 있으므로 설계 단계에서 이를 고려하여야 한다.

에어 프레싱 가압 롤러의 경우 고무 튜브 내의 일정한 압력을

유지하기 위해 클램프 등을 이용해 끝단을 고정할 필요가 있다. 이로 인해 클램프 근처의 양 끝단에서는 압력 균일도가 좋지 않은 현상이 발생할 수 있으며, 유효한 공정 면적을 감안한 설계 및 제작이 필요하다. 본 연구에서는 기존의 가압 방식 대비 균일 가압이 가능한 두 가지 형태의 균일 가압 모듈을 제안하고 실험적 검증을 하였으며, 기존의 완성된 시스템에 효율적인 롤러 교체형의 형태만으로 임프린팅 패턴의 품질 향상이 가능하다는 것을 확인하였다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부 및 한국산업기술평가관리원(KIET) 연구비 지원에 의한 연구입니다(No. 20000665).

References

- [1] Cho, Y. T., Jung, Y. G., 2013, A Study on the Expectation of Residual Layer Thickness in Roller Pressing Imprint Process, *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, 12:1 104-109.
- [2] Austin, M. D., Ge, H., Wu, W., Li, M., Yu, Z., Wasserman, D., Lyon, S. A., Chou, S. Y., 2004, Fabrication of 5 nm Line Width and 14 nm Pitch Features by Nanoimprint Lithography, *Appl. Phys. Lett.*, 84:26 5299, <https://doi.org/10.1063/1.1766071>.
- [3] Wu, W., Tong, W. M., Bartman, J., Chen, Y., Walmsley, R., Yu, Z., Xia, Q., Park, I. K., Picciotto, C., Gao, J., Wang, S. Y., Morecroft, D., Yang, J., Berggren, K. K., Williams, R. S., 2008, Sub-10 nm Nanoimprint Lithography by Wafer Bowing, *Nano Lett.*, 8:11 3865-3869, <https://doi.org/10.1021/nl802295n>.
- [4] McMackin, I., Choi, J., Schumaker, P., Nguyen, V., Xu, F., Thompson, E., Babbs, D., Sreenivasan, S. V., Watts, M., Schumaker, N., 2004, Step and Repeat UV Nanoimprint Lithography Tools and Processes, *Emerging Litho. Technol. VIII*, 5374 222-231, <https://doi.org/10.1117/12.538733>.
- [5] Ahn, S. H., Guo, L. J., 2009, Large-Area Roll-to-roll and Roll-to-plate Nanoimprint Lithography: A Step toward High-throughput Application of Continuous Nanoimprinting, *ACS Nano*, 3:8 2304-2310, <https://doi.org/10.1021/nn9003633>.
- [6] Kooy, N., Mohamed, K., Pin, L. T., Guan, O. S., 2014, A Review of Roll-to-roll Nanoimprint Lithography, *Nanoscale Res. Lett.*, 9:1 320, <https://doi.org/10.1186/1556-276X-9-320>.
- [7] Ok, J. G., Youn, H. S., Kwak, M. K., Lee, K. T., Shin, Y. J., Guo, L. J., Greenwald, A., Liu, Y., 2012, Continuous and Scalable Fabrication of Flexible Metamaterial Films via Roll-to-roll Nanoimprint Process for Broadband Plasmonic Infrared Filters, *Appl. Phys. Lett.*, 101:22 223102, <https://doi.org/10.1063/1.4767995>.
- [8] Kang, M. G., Park, H. J., Ahn, S. H., Guo, L. J., 2010, Transparent Cu Nanowire Mesh Electrode on Flexible Substrates Fabricated by Transfer Printing and its Application in Organic Solar Cells, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, 94:6 1179-1184, <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2010.02.039>.
- [9] Ahn, S. H., Kim, J. S., Guo, L. J., 2007, Bilayer Metal Wire-grid Polarizer Fabricated by Roll-to-roll Nanoimprint Lithography on Flexible Plastic Substrate, *J. Vac. Sci. Technol. B*, 25:6 2388-2391, <https://doi.org/10.1116/1.2798747>.
- [10] Bae, S., Kim, H., Lee, Y., Xu, X., Park, J. S., Zheng, Y., Balakrishnan, J., Lei, T., Kim, H. R., Song, Y. I., Kim, Y. J., Kim, K. S., Ozyilmaz, B., Ahn, J. H., Hong, B. H., Iijima, S., 2010, Roll-to-roll Production of 30-inch Graphene Films for Transparent Electrodes, *Nat. Nanotechnol.*, 5:8 574-578, <https://doi.org/10.1038/nnano.2010.132>.
- [11] Ahn, S. H., Choi, M. S., Bae, H. D., Lim, J. S., Myung, H., Kim, H. M., Kang, S. I., 2007, Design and Fabrication of Micro Optical Film by Ultraviolet Roll Imprinting, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 46 5478, <https://doi.org/10.1143/JJAP.46.5478>.
- [12] Uh, J. H., Lee, J. S., Kim, Y. H., Choi, J. T., Joo, M. G., Lim, C. S., 2002, Laser Engraving of Micro-patterns on Roll Surfaces, *ISIJ Int.*, 42:11 1266-1272, <https://doi.org/10.2355/isijinternational.42.1266>.
- [13] Hwang, E. S., Park, J. W., Kim, J. G., Cho, Y. T., Yeo, K. M., Seo, J. W., Kim, H., Lee, S. W., 2009, Micro Pattern Roll Mold for Large Area Display by Electroforming and Wrapping Method, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 48 050211, <https://doi.org/10.1143/JJAP.48.050211>.
- [14] Ahn, S. H., Guo, L. J., 2008, High-speed Roll-to-roll Nanoimprint Lithography on Flexible Plastic Substrates, *Adv. Mater.*, 20:11 2044-2049, <https://doi.org/10.1002/adma.200702650>.
- [15] Chang, C. Y., Yang, S. Y., Sheh, J. L., 2006, A Roller Embossing Process for Rapid Fabrication of Microlens Arrays on Glass Substrates, *Microsyst. Technol.*, 12:8 754-759, <https://doi.org/10.1007/s00542-006-0103-5>.
- [16] Hwang, E. S., Kim, Y. J., 2003, Flexible Polysilicon Strain Gauge Array, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 42 L810, <https://doi.org/10.1143/JJAP.42.L810>.

- [17] Lee, H., 2013, Effect of Imprinting Pressure on Residual Layer Thickness in Ultraviolet Nanoimprint Lithography, *J. Vac. Sci. Technol. B*, 23:3 1102-1106, <https://doi.org/10.1116/1.1900732>.
- [18] Roisum, D. R., 1998, *The Mechanics of Rollers*, Tappi press, Atlanta, USA.
- [19] Gao, H., Tan, H., Zhang, W., Morton, K., Chou, S. Y., 2006, Air Cushion Press for Excellent Uniformity, High Yield, and Fast Nanoimprint across a 100 mm Field, *Nano Lett.*, 6:11 2438-2441, <https://doi.org/10.1021/nl0615118>.



Ga Eul Kim

Researcher in the Department of Printed Electronics, Korea Institute of Machinery & Materials. His research interests include roll-to-roll processing system and pressure uniformity control for roll-to-roll system.
E-mail: autumn@kimm.re.kr



Hyuntae Kim

Researcher in the Department of Printed Electronics, Korea Institute of Machinery and Materials. His research interests include printed electronics and roll-to-roll continuous manufacturing systems.
E-mail: kht1682@kimm.re.kr



Seung-Hyun Lee

Principal Researcher in the Department of Printed Electronics, Korea Institute of Machinery & Materials. His research interest is Roll-to-roll coating, imprinting and printing system.
E-mail: shlee79@kimm.re.kr



Yousung Kang

Ph. D candidate in the Department of Mechanical Engineering, Ajou University. His research interest is printable electronics.
E-mail: gidalim89@ajou.ac.kr



Yongho Jeon

Professor in the Department of Mechanical Engineering, Ajou University. His research interest is Novel manufacturing processes.
E-mail: princaps@ajou.ac.kr



Moon Gu Lee

Professor in the Department of Mechanical Engineering, Ajou University. His research interests include the analysis, design, and control of high-precision positioning systems and biomedical devices.
E-mail: moongulee@ajou.ac.kr



Sin Kwon

Principal Researcher in the Department of Printed Electronics, Korea Institute of Machinery & Materials. His research interest is roll-to-roll processing/printing system for printed electronics
E-mail: skwon@kimm.re.kr