

도공공정에 대기압 플라즈마 기술 적용(I)

- 전압의 변화에 따른 도공원지 표면처리 -

신동준, 김선경, 조병욱, 이용규

강원대학교 산림환경과학대학 제지공학과

1. 서 론

세계적으로 제지업계는 활발한 산업화가 이루어짐에 다양한 원료와 안료 그리고 새로운 기술을 개발하여 고기능성, 고품질 제품을 위해 연구하고 있다. 현재 우리나라에는 적용된 사례가 없으나, 이미 미국, 중국, 유럽 등에서 플라즈마공정이라는 새로운 어플리케이션을 이용하여 연구를 진행 하고 있다.¹⁻⁵⁾

플라즈마 표면처리는 주로 폴리머 또는 금속박막코팅에 대해 적용되어 왔다. 최근에는 진공을 필요로 하지 않는 대기압 플라즈마의 생산 공정 자동화에 대한 연구가 활발히 진행되고 있고, 응용 분야가 넓어 개발의 중요성을 갖고 있다.⁶⁾

대기압 플라즈마 공정은 대기압에서 발생하는 플라즈마를 이용하므로 진공 시스템이 필요 없으며, 대면적 기판에 대응 가능한 플라즈마 발생, 균일한 플라즈마를 이용 할 수 있고, 이전의 장치보다 시스템을 제작, 유지, 보수하는데 비용이 적게 드는 이점이 있다.⁶⁾ 또한 표면 특성 개선 및 표면 세정효과에 대한 연구가 진행되고 있어 앞으로 그 가치가 기대되고 있다.⁷⁾

도공의 목적은 종이의 외관을 좋게 하고, 인쇄적성을 개선하기 위한 것이다. 이러한 목적을 달성하기 위해 도공지의 품질 특성에 맞는 도공층을 원지 위에 형성시키는 것이 필요하다.⁸⁾ 도공층의 구조에 영향을 미치는 주요 인자로는 원지의 특성, 안료 형태와 입도 분포, 바인더의 성질 도공액 내에 존재하는 교질입자의 상호작용 등이 있다.^{9,10)}

이들 요인들 가운데 특히 도공원지는 일반적인 양면 도공지의 경우 부피를 기준으로 할 때 약 90%, 무게를 기준으로 할 경우 약 70%이상을 차지하므로 그 중요성이 크다 하겠다.¹¹⁾

원지에 도공액을 도포 시, 수분이 원지방향으로 이동하면서 동시에 바인더 마이그레이션이 발생하고 이는 도공지의 인쇄적성에 큰 영향을 미치기 때문에 중요한 인자이다.¹²⁾

플라즈마 처리는 원지의 특성이 친수성/소수성으로 개질 되어 도공액을 원지에 도포 시 바인더 마이그레이션에 영향을 미치므로 도공특성이 제어 되어질 것이라 기대된다.

따라서 본 연구에서는 도공층에 기여하는 가장 큰 인자인 도공원지에 Ar/O₂가스를 사용한 대기압 플라즈마를 이용하여 표면 처리하여 원지의 표면특성을 개질하여 우수한도공지 제조에 적합한 도공원지를 제조하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

2.1.1 원지

본 연구에 사용된 원지는 국내 HI에서 분양 받은 평량 75g/m², 두께100 μ m의 도공 원지를 사용하였다.

2.1.2 상압 플라즈마(Atmospheric pressure plasma)

상압 플라즈마는 Fig. 1 에서와 같이 Dielectric barrier discharge (DBD)형의 플라즈마를 사용하였다. DBD형 플라즈마는 장치는 두 개의 평행한 금속 전극으로 구성되어 있다. 전극 중 하나는 유전체 층으로 덮여있고, 직류 전력의 경우 전극을 통한 전류의 흐름이 불가능하므로 교류(AC) 전력을 이용하여 플라즈마를 발생한다. 안정적인 플라즈마 작동을 보장하기 위하여 전극을 분리하는 간격은 수 밀리미터로 제한되며 Ar/O₂ 가스는 이 간격 사이로 흘러간다. 방전은 사인함수 혹은 펄스 형의 전원으로 점화된다. 작동 가스의 조성, 전압 그리고 여기 주파수에 따라 방전은 필라멘트 형태 혹은 글로우 형태가 된다.¹⁶⁾

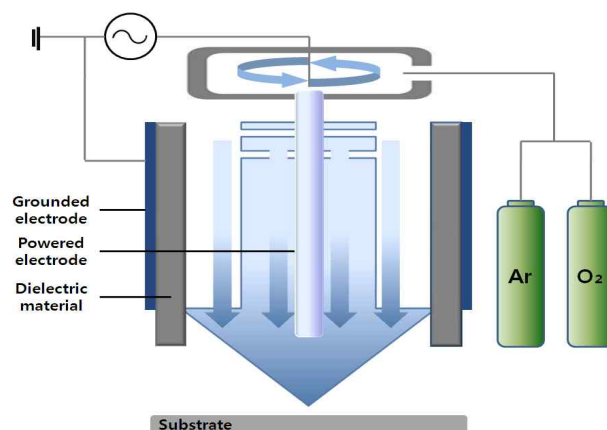


Figure 1. Schematic diagram of Atmospheric pressure plasma.

2.2 실험방법

2.2.1 플라즈마 처리

AC고전압(최대 power 2 kW, 최대 인가전압 15 kV, 출력 주파수 30 kHz)이 인가되는 전극은 스테인 스틸로 외경이 12 mm이고 유전체로 외경이 20 mm이고두께가 2 mm인 알루미늄 관을 사용하였다. 접지전극은 그물 형태의 스테인스틸로 유전체 관의 외부에 감겼다. 반응기체인 아르곤 과 산소는 각각 500scc, 250scc을 사용하였고, Table 2에서와 같이 인가 전력을 0, 20W, 40W 그리고 60W로 변화하였다. 시료의 위치는 플라즈마 장치로부터 3 mm 에 위치시켜 각각의 샘플을 2회 처리 하였다.

Table 2. Properties of Power and Voltage

Power	Voltage
20 W	1.61 kV
40 W	2.97 kV
60 W	3.69 kV

2.2.2. 접촉각 측정

플라즈마 처리를 통한 원지 표면특성 변화를 분석하기 위하여 The Pocket Goniometer(PG-3, FIBRO system AB SWEDEN) 접촉각 측정기로 탈이온수 물방울에 대한 표면 접촉각과, 대기압 플라즈마로 처리 된 반대면의 접촉각을 측정하였다.

2.2.3 원지의 표면 화학결합 변화

시료에 적외선을 흡수시키거나 투과시켜서 정성분석과 정량분석을 수행하는 장치인 적외선 분광 분석기(FT-IR, BIO-RAD, Cambridge, U.S.A.)를 사용하여 샘플의 표면을 관찰함으로써 표면의 화학적인 결합 상태 및 분포의 변화를 분석하였다.

2.2.4 원지의 물성 평가

원지 물성은 거칠음도(PPS, L&W, Sweden), 백지광택(Gloss meter, Model T480A, Technidyne corp, U.S.A.), Whiteness, Brightness, Opacity(Elrepho 3000, Datacolor, International, U.S.A.)를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 플라즈마가 도공원지의 표면화학 특성에 미치는 영향

3.1.1 원지의 접촉각

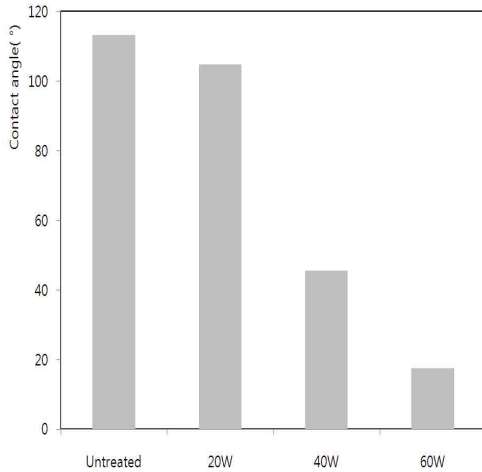


Fig. 3. Contact angle

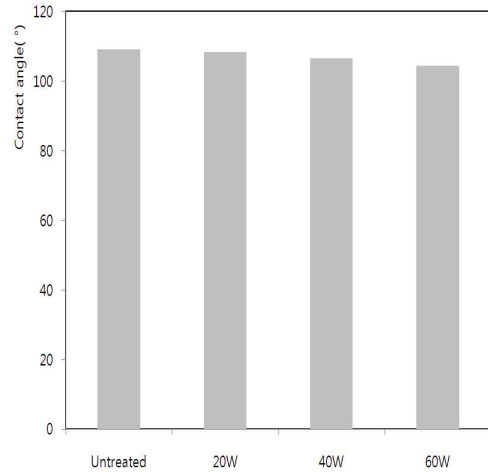


Fig. 4. Contact angle of reverse side

대기압 플라즈마의 전압을 변화하여 원지에 처리 후 접촉각 측정의 결과를 Fig. 3.에 나타내었다. 전압이 강해질수록 물방울의 접촉각이 확연히 낮아지는 것을 관찰 할 수 있었고, 20W와 40W 사이에서 급격한 기울기가 나타났다. 또한 처리 된 원지의 반대면의 접촉각을 Fig. 4에 나타내었다. 대기압 플라즈마 처리면과는 다르게 반대면의 접촉각은 거의 변함이 없었다. 이로부터 대기압 플라즈마의 처리는 처리된 면에만 영향을 준다는 사실을 확인할 수 있었다.

3.1.2 IR spectrum

대기압 플라즈마의 전압을 변화하여 처리한 도공원지의 화학적 변화를 알아보기 위하여 적외선 분광법을 사용하였다. 적외선 분광계는 시료에 적외선을 흡수시키거나 투과시켜 정성분석과 정량분석을 수행하는 장치이다. 분자가 전자기 복사선에 의해 조사될 때 진

동하는 분자의 진동수와 복사선의 진동수가 일치할 경우에 에너지는 흡수하게 되고,^{13,14)} 이를 측정함으로써 분자 내에 들어있는 작용기를 알 수가 있다.

대기압 플라즈마를 처리하지 않은 원지와 20W, 40W, 60W으로 처리한 원지는 알데하이드($1720-1740\text{cm}^{-1}$)와 염화물($540-785\text{cm}^{-1}$) 영역에서, 특히 알코올($3400-3650\text{cm}^{-1}$)과 아민($1030-1230\text{cm}^{-1}$) 영역에서 큰 차이가 났다.(Fig. 5.) 이는 Ar/O₂가스를 사용한 대기압 플라즈마에서, O₂가스로 인해 원지에 친수기가 생성되어 -OH, -CHO, -COOH 같은 작용기가 늘어났기 때문이라 판단된다.¹⁵⁾ 알코올, 아민과 염화물의 작용기는 수소결합을 하므로 물과의 친화력이 있다. 알데하이드기는 산소원자에 의해 산화되어 쉽게 카르복실기가 되므로 친수기를 갖게 된다.^{13,14)} 따라서 Ar/O₂가스를 사용한 대기압 플라즈마 처리 후 물과의 결합력이 더욱 강해질 것이라고 사료된다. 또한 전압이 높아질수록 친수기가 더 많이 발생한다는 것을 확인하였다.

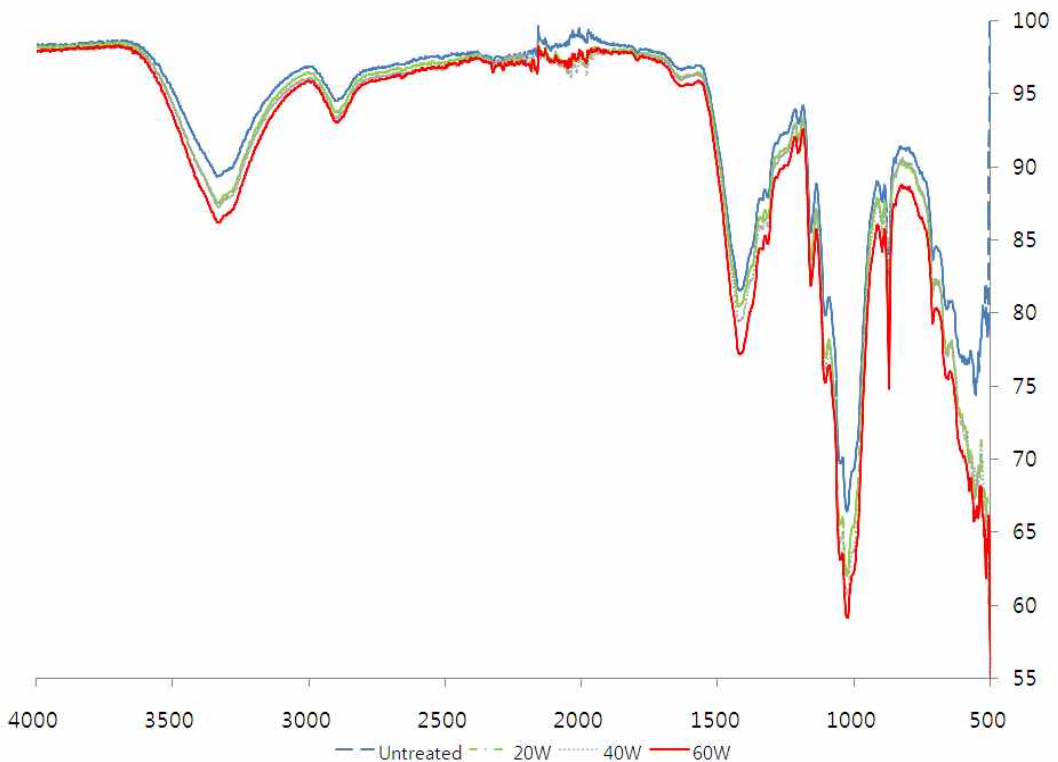


Fig. 5. IR spectrum

3.2 플라즈마가 도공원지의 표면특성에 미치는 영향

3.2.1 백지광택과 거칠음도

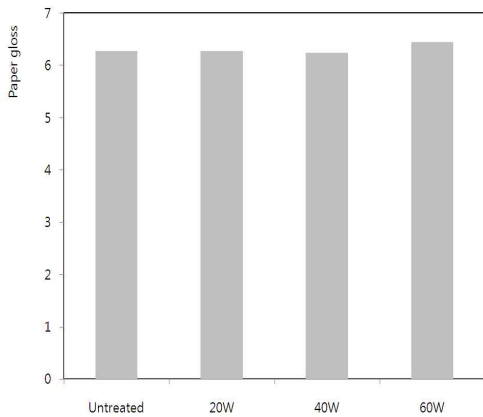


Fig. 6. Paper Gloss

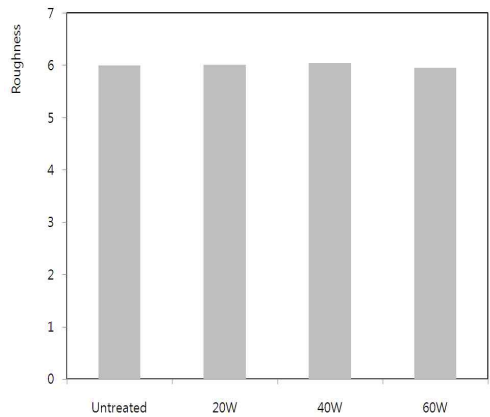


Fig. 7. Roughness

대기압플라즈마의 전압을 변화하여 처리한 도공원지의 결과를 위의 Fig. 6, 7에 나타내었다. 60W로 처리한 도공원지가 백지광택과 거칠음도에서 다소 우수한 경향을 나타내었지만 큰 차이는 없었다. 이는 대기압플라즈마의 영향보다 원지 자체의 물성이 더 큰 영향을 미친 것으로 사료된다.

3.3 플라즈마가 도공원지의 광학적 성질에 미치는 영향

3.3.1 백색도와 불투명도

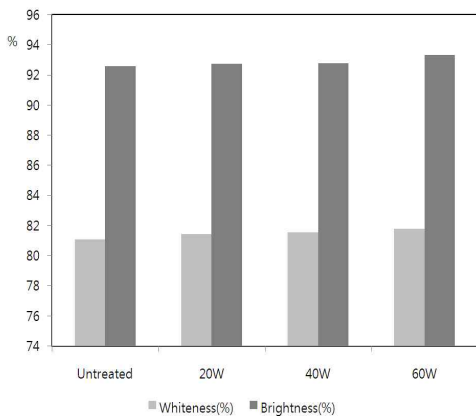


Fig. 8. Whiteness, Brightness

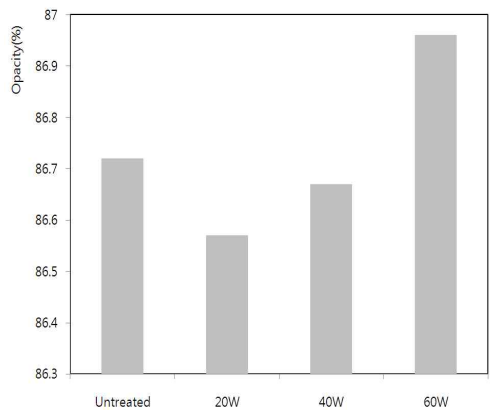


Fig. 9. Opacity

대기압플라즈마를 처리하지 않은 원지와 처리한 원지는 백색도와 불투명도에서도 큰 차이가 나타나지 않았다. 이는 대기압플라즈마 처리가 원지의 광학적 특성에 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 연구는 도공공정 중 도공원지에 새로운 어플리케이션인 대기압 플라즈마를 사용하여 적용 가능성에 대해 알아보고자 하였다. 그 결과는 다음과 같다.

1. 전압이 높아질수록 플라즈마 처리한 면의 접촉각이 낮아졌고, 반대면은 영향을 받지 않았다.

2. 대기압 플라즈마를 처리한 원지는 알데하이드와 염화물 영역에서, 특히 알코올과 아민 영역에서 차이가 났고, 전압이 높아질수록 친수기가 더 많이 발생한다는 것을 확인하였다.

4. 도공원지에 대기압 플라즈마의 전압을 달리 하여 처리하여도 백지광택과 걸칠음도인 원지 자체 물성과 백색도 불투명도인 광학적 특성은 크게 변하지 않았다.

대기압 플라즈마로 원지에 처리 할 경우, 원지의 물리적·광학적 특성은 변화 없이 원지 표면의 화학 구조만 변하였다. 또한 처리된 면과 전압이 강해짐에 따라 개질되기 때문에 사용목적에 맞게 요구되는 수준에서의 처리는 유용할 것이라 판단되며, 이러한 특징을 활용한다면 도공지에 요구되는 도공원지 제조가 가능하다고 사료된다.

참고문헌

1 Rory A Wolf, V.P. "New printing adhesion improvements using Atmospheric Plasma glow discharge technology" Business Development Enercon Industries Corporation. 2005 EuroPLACE conference.

2. D. A. Markgraf "Atmospheric Plasma - The new functional treatment for extrusion coating and lamination processes.". 2003 TAPPI European PLACE Conference - Rome, Italy.

3. Zhang Guang-qiu, GE yuan-jing, Zhao Zhi-fa, QIAO Zhi-shan, Liu Yi-min "Investigation on Application of Plasma Technology in Printing Industry" Laboratory of Application Physics of Beijing Institute Printing , Beijing 102600, China. Plasma Science & Technology, Vol 3, No. 4. 2001.
4. Ludmila Cernkova, Pavel Stahel, Dusan Kovacik Kenth Johansson and Mirlo Cemak. "Low cost high-speed Plasma treatment of Paper Surface" 2006 TAPPI Advanced Coating Fundamentals Symposium.
5. Mikko Tuominen, Johanna Lahti, Jurkka Kuusipalo "Atmospheric Plasma Treatment Equipment and Its Utilisation in Paper Converting" Paper converting technology, Tampere University of Technology, Finland. 2008, Advanced Coating Fundamentals Symposium.
6. (주)에스이 플라즈마 "The developmint of Atmospheric pressure Plasma Etching technology" 차세대정보 디스플레이 기술개발사업, 지식경제부. 2008
7. Kim, M. C., Yang, S. H., Boo, J. H. and Han, J. G, 2003 "Surface Treatment of metals Using an Atmospheric Pressure Plasma Jet and Their Surface Characteristics, "Surface & Coating Technology, Vol. 174~175, pp.839~844
8. 임현아, 강진하, 이용규, "비목재펄프를 이용한 도공원지의 특성이 도공지의 물성 및 인쇄적성에 미치는 영향(II) -벚꽃 표백 크라프트 펄프-" Journal of Korea TAPPI Vol. 32. No. 4, 2000
9. Hua, X. P. A. Tanguy, R. Li and J. S. Van Wagner. Tappi J. 79(5):112 (1996)
10. Lee. Y. K., Onabe. F. and M. Usuda, Japan Tappi J. 46(8):75 (1992)
11. 이학래, 제지계 224:67(1991)
12. 이용규, "종이도공학". 2008, 강원대학교 제지공학과 (2008)
13. John McMury, "Organic Chemistry", THOMSON, Vol. 6
14. 한치선, "유기기기분석", 광림사 Vol. 1, 17:85
15. Dong Su won, Tea kyung Kim, Won Guu Lee, "Effect of Low pressure and Atmospheric Pressure Plasma Treatment on Contact Angle of Polycarbonate Surface." J, Korean Ind. Eng. Chem, Industrial Chemistry, Vol 21
16. Won Kyu Lee, "Atmospheric Plasma Technology & Applications". Kangwon Univ. chemistry engineering.