

인쇄 전자 용지의 특성 구현을 위한 종이의 평활도 증가에 대한 연구

김병현[†], 유희태, 강영립

중부대학교 인쇄미디어학과

(2011년 5월 2일 접수, 2011년 5월 23일 최종 수정본 접수)

Improvement of Paper Smoothness for the Printed Electronics Base Paper

Byong-Hyun Kim[†], Hee-Tae Yoo, Young-Reep Kang

Dept. of Printing Media, Joongbu University

(Received 2 May 2011, in final from 23 May 2011)

Abstract

The making of high leveled smoothness for the printed electronics base paper, wood pulp and sea algal pulp were mixed.

If sea algal pulp contents is increased to 9%, the smoothness was moderately increased, and more effective in Softwood mixture than Hardwood, low freeness(high wetness) than high freeness(low wetness).

Keyword: printed electronics, printed electronics base paper, sea algal pulp, smoothness, softwood, hardwood.

1. 서론

인쇄 전자(Printed electronics)^{1~3)} 기술은 기존의 인쇄 기술(오프셋 인쇄 기술, 그라비아 인쇄 기술, 플렉소 인쇄 기술, 스크린 인쇄 기술 등)을 응용하여 기능성 물질을 basic film에 인쇄하여 기능성 특성을 갖게 하는 방식으로 기존의 인쇄 방식은 망점 인쇄 방식을 채택하고 있으나 인쇄 전자 기술은 선상 인쇄 방식을 구현함으로써 다양한 점도의

전도성 물질, 반전도성 물질, 절연성 물질을 각각 정밀도 특성에 맞도록 중첩 인쇄를 통해 기능적 특성을 갖게 하는 인쇄 기술이다.

대표적으로 이용되는 인쇄 전자 방식은 LCD, OLED 구현 기술, RFID 안테나 인쇄 기술 등 다양한 용도로 활용되는 실정이며,^{4~7)} 이중 RFID 안테나 인쇄 기술의 경우 바탕 원지를 종이로 대체할 경우 제조 원가의 절감은 물론 적용성에서 film류 보다 탁월한 특성을 갖기 때문에 이에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있는 실정이나 근본적으로 종이가 갖는 낮은 평활도 특성 때문에 미세한 기능성 물질을 정교하게 적용해야 하는 인쇄 전자 용지의 바탕 원지로 적용에 한계를 갖고 있는 실정이다.

본 연구에서는 이와 같은 한계를 극복할 수 있는 기반 기술을 확보하기 위해 섬유의 구조적 특성상 평활성이 우수하고 치수 안정성이 우수한 해조류 펄프를 일반적인 목재 펄프에 적용하여 기존의 인쇄용지 대비 향상된 평활도와 치수 안정성을 갖는 종이를 제조할 수 있는 기술을 개발하고자 한다.

2. 실험

2-1. 공시 재료

2-1-1. 목재 펄프

본 연구에서 사용된 목재 펄프는 수종에 따라 침엽수(Softwood)와 활엽수(Hardwood)로 구분하였으며, 특성에 관련된 사항을 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Characteristics of Pulp Samples

Species	Sw-Bkp	Hw-Bkp
	Western Hemlock, Western Red Cedar, White Spruce	Oaks G _{μm} Poplar Others
Initial Freeness(ml, CSF)	650	630
Weighted Average Fiber Length(mm)	2.44	1.13
Brightness(%, ISO)	88.5	88.0
Dirt(PPM, TAPPI)	1.0	2~3
Ash Content(%)	<0.5	0.3

2-1-2. 해조류 펄프

해조류 펄프는 (주)페가서스 리서치로부터 분양받아 사용하였으며, 그 특성을 Table 2에 수록 하였다.

Table 2. Characteristics of Red Algae Pulp

Fiber Length(mm)	0.345
Fiber Width(μ m)	14.8
Fiber Fines Length(%)	75.45
Fiber Fines Area(%)	22.3
Curl(%)	14.9

Figure 1은 목재 섬유 백상지 표면과 해조류 섬유의 수초지 표면을 각각 동일한 300배 배율에서 촬영한 전자 현미경 사진이다.

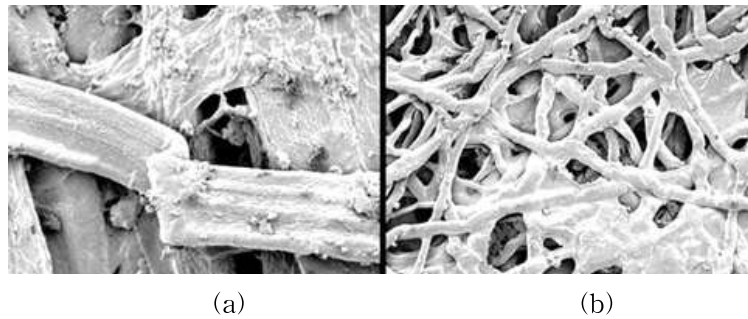


Figure 1. Electronic microscope photograph of wood fiber(a) and sea algae fiber(b)

2-2. 실험 방법

2-2-1. 고해

침엽수 표백 크라프트 펄프(SwBkp)와 활엽수 표백 아황산 펄프(HwBsp)를 Valley Deater를 이용 동일 조건(고해 농도, 하중)으로 별도 고해를 실시하여 각각 500ml CSF, 400ml CSF, 300ml CSF의 여수도 값을 갖는 시료를 제조하였다.

2-2-2. 종이 제조

원형수초지기(The British Sheet Former)를 사용했으며 원료배합 및 해조류 첨가조건 및 특성변화 관찰을 용이하게 하기 위해 60g/m² 평량의 종이를 제조하였으며 원료 배합의 배합 조건은 별도 고해된 침엽수 및 활엽수 펄프 지료를 혼합비를 달리하여 배합하였으며 해조류 섬유의 경우 고해 없이 미지근한 물에 녹인 후 첨가 비율을 달리하여 혼합하였다. 수초공정에서는 수초지가 갖는 특성 평가의 한계를 극복하기 위해 수압, 교반

방법 등 수초지 조건을 최대한 균일화 하여 실시하였다. 압착 압력 345kPa에서 5분간 실시한 후(1-step pressing) 여지를 교체하여 345kPa에서 2분간 압착(2-step pressing)을 실시하였다. 수초지의 건조는 원형 링에 고착 후 열풍 건조기를 이용하여 105°C에서 40분간 건조하였다.

2-2-3. 종이의 평활도 측정

TAPPI T-479에 준하여 Gurley Type Smoothness Tester를 이용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

LCD, OLED 및 RFID 등의 인쇄 전자 기술에서 바탕 원지를 종이로 대체할 경우 제조 원가의 절감은 물론 적용성에서 필름 보다 탁월한 특성을 얻을 수 있겠다.⁸⁻⁹⁾ 그러나 종이가 갖는 근본적인 물성인 낮은 평활도 및 높은 신축성 등으로 인하여 미세한 기능성 물질을 정교하게 적용해야 하는 인쇄 전자 용지의 바탕 원지로 적용에 한계를 갖고 있다. 이와 같은 물성을 보완하고자 목재 펄프를 고해도, 수종 및 그들의 혼합 농도별로 구분한 다음 각각에 섬유유의 구조적 특성상 평활성이 우수하고 치수 안정성이 우수한 해조류 펄프를 혼합 처리함으로써 인쇄 전자 용지로서 적합한 종이의 특성을 갖게 한다.

3-1. 활엽수 펄프의 고해도별 효과

Figure 2는 활엽수 펄프를 사용하여 제조된 종이를 고해도에 따라 구분한 결과이다. 본 연구의 조건에서 고해도가 가장 높은 300ml CSF, 이 보다 낮은 400ml CSF 그리고 상대적으로 가장 낮은 500ml CSF 여수도 값을 갖는 시료지로 구분하고, 이들의 각각에 해조류 펄프를 3%, 6%, 9%, 12% 및 15%로 구분지어 첨가 처리한 다음 평활도 변화에 관계된 결과를 나타내고 있다.

우선 300ml CSF 펄프지에 대하여 살펴보면, 해조류 펄프를 3%를 첨가 처리한 경우 약 평활도 10(sec)에서 12% 첨가 처리의 경우 17(sec)까지로 나타나고 있다. 이러한 결과를 일반적으로 활엽수 펄프로 제조된 종이가 300ml CSF에서 평활도 8(sec)을 나타내는 것과 견주어 본다면 평활도가 상당히 상승되었음을 확인할 수 있다. 300ml에서 뿐만 아니라 400ml, 및 500ml CSF에서도 유사한 경향으로서 활엽수 펄프에 해조류 펄프를 혼합 처리함으로써 평활도가 상승함을 볼 수 있는데, 이러한 실험적 결과로서 활엽수 펄프만으로 제조된 종이보다 목재 펄프에 해조류 펄프를 혼합 처리함으로써 평활도가 상승된 종이를 제조할 수 있음을 판단할 수 있다.

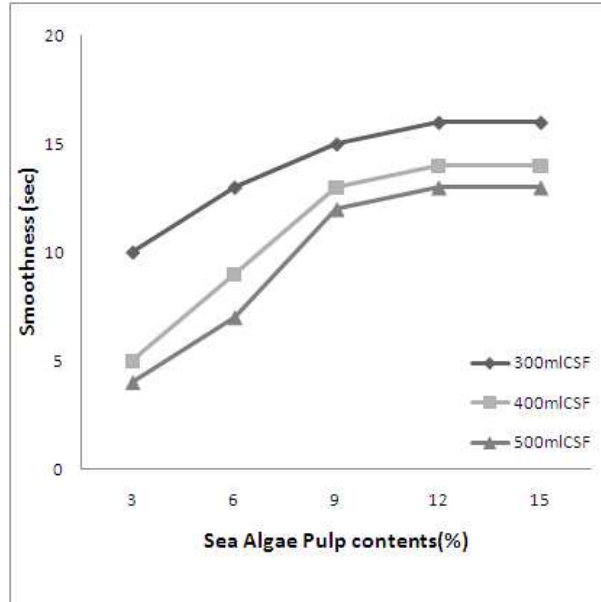


Figure 2. Effect of smoothness treated with different contents sea algae pulp according to freeness of hardwood pulp

한편 300ml, 400ml, 및 500ml CSF들 중에서 300ml CSF에서 가장 양호한 평활도 상승 효과를 확인할 수 있었으며 해조류 펄프 9% 첨가시 가장 양호한 15(sec)값을 나타내고 있다. 이 자료는 해조류 펄프를 첨가처리 하지 않은 무처리 활엽수 펄프의 경우 300ml CSF에서 평활도가 일반적으로 8(sec)인 수치와 비교해 볼 때 거의 90%에 근접하는 평활도 증가 효과를 얻을 수 있는 가능성을 보여준다고 할 수 있겠다. 그리고 이러한 결과에 대한 근거는 Table 1 및 2에 수록된 자료에서 활엽수 펄프와 상대적으로 비교된 해조류 펄프의 특징에서 찾아 볼 수 있겠다. 활엽수 펄프의 섬유에 비하여 해조류 펄프의 섬유는 가늘고 길며, 표면이 평활한 특성을 가지고 있기에 상대적으로 거친 활엽수 펄프 섬유 표면을 충전하는 효과를 발휘한 것으로 판단되며 아울러 Figure 1의 확대된 현미경 사진은 활엽수 펄프의 섬유 모습과 해조류 펄프의 섬유 모습을 쉽게 비교하여 볼 수 있다.

Figure 2의 자료에 대한 또 하나의 고찰은 300ml CSF에 비하여 상대적으로 고해도가 낮은 400ml 및 500ml CSF 시료에 해조류 펄프를 첨가 처리한 결과이다. 비록 이들의 경향은 상호 유사하게 나타나고 있을 지라도 평활도 상승률은 상당한 차이를 보여주고 있음을 알 수 있다. 300ml CSF의 경우에는 해조류 펄프 3%~15% 까지 첨가량에 따라 완만한 평활도 상승률을 나타내고 있는 반면에 400ml 및 500ml CSF 시료의 경우, 해조

류 펄프 첨가량 3%~9%까지는 평활도 상승률이 가파르게 변하다가 9%~15% 사이는 300ml CSF의 경우와 유사한 유형으로 완만하게 나타나고 있음을 볼 수 있다. 그리고 고해도가 낮은 400ml 및 500ml CSF 시료지의 평활도는 고해도가 높은 300ml CSF의 평활도보다 그 값이 절대적으로 낮게 나타나고 있음을 볼 수 있으며 400ml CSF의 시료지에 비하여 이보다 고해도가 더 낮은 500ml CSF 시료지의 평활도가 더욱 낮게 나타나고 있다. 이렇게 활엽수 펄프에 해조류 펄프를 첨가 처리 하면 평활도가 증가되며, 고해도가 높을수록 평활도 상승률이 높아지는 결과에 대한 원인은 고해도가 낮은 목재펄프에서 나타나는 지함의 불균일성에 관계된 문제가 해조류 펄프의 첨가에 의해 상당 부분 상쇄되기 때문인 것으로 판단할 수 있다.

3-2. 침엽수 펄프의 고해도별 효과

Figure 3은 침엽수 펄프를 사용하여 제조된 종이를 고해도에 따라 300ml CSF, 400ml CSF 및 500ml CSF 여수도 값을 갖는 시료지로 구분하고, 이들의 각각에 해조류 펄프를 3%, 6%, 9%, 12% 및 15%로 구분지어 첨가 처리한 다음 평활도 변화에 관계된 결과를 수록한 자료이다.

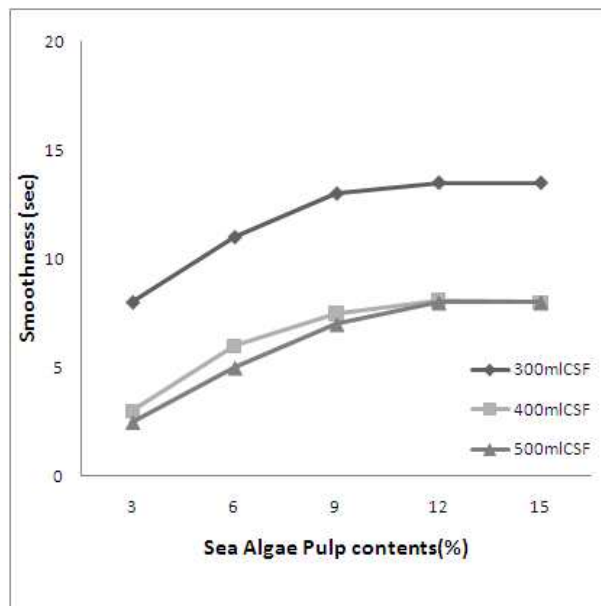


Figure 3. Effect of smoothness treated with different contents sea algae pulp according to freeness of softwood pulp.

Figure 3의 결과와 같이 침엽수 펄프의 고해도별 해조류 펄프 첨가에 의한 평활도 변화의 전반적인 형태는 활엽수 펄프에서와 유사한 경향을 나타내고는 있으나 수치적인 절대 값은 활엽수 펄프 보다 낮게 나타나고 있음을 볼 수 있다.

구분된 고해도에서 상대적으로 높은 300ml CSF 펄프에 해조류 펄프 9% 첨가하였을 때 평활도 값은 12(sec)로 나타나고 있다. 해조류 펄프를 첨가 처리 하지 않은 침엽수 펄프만으로 제조된 300ml CSF 시료지의 일반적인 평활도 값 7(sec)과 비교하였을 때 약 70% 정도의 상승효과를 가져온 것으로 나타난다. 이와 같은 경향은 고해도가 낮은 시료 400ml CSF 및 500ml CSF의 경우에서도 유사하게 나타나고 있다.

침엽수 펄프에 해조류 펄프를 혼합 처리 하면 종이의 평활도가 상승하는 경향은 활엽수에서의 경우와 상호 유사하게 나타나고 있으나 세부적인 사항에서는 상당한 차이점이 있음을 발견할 수 있다.

특히 Figure 2와 재고한 결과 활엽수 펄프의 경우, 고해도가 높은 300ml CSF와 고해도가 낮은 400ml 및 500ml CSF 시료지에 해조류 펄프를 첨가 처리한 시료지의 평활도가 다르게 나타났다. 해조류 펄프 3% 첨가 했을 때, 300ml CSF는 평활도가 10(sec)이었고 400ml 및 500ml CSF에서는 각각 4(sec) 및 5(sec)를 나타내었다. 9% 첨가에서는 300ml CSF의 15(sec)에 비교되어 11(sec) 및 12(sec)이었으며, 15% 첨가에서는 17(sec)에 비교되어 12(sec) 및 13(sec) 값을 나타내었다. 이렇게 해조류 펄프 첨가량 3%에서 9%까지 가파른 변화를 보이다가 해조류 펄프 첨가량 9%를 넘어서면서 둔화되기 시작하여, 12% 이상에서는 거의 수렴되었다. 활엽수 펄프에서는 높은 고해도를 갖는 펄프에 비하여 낮은 고해도를 갖는 펄프에서 해조류 펄프 첨가량에 따른 평활도 변화율이 크게 차이난다고 할 수 있겠다. 이러한 Figure 2의 자료에 비교되어 침엽수 펄프에서는 상당히 다르게 나타나고 있다. Figure 3에 나타나 있는 침엽수 펄프의 경우 활엽수 펄프에서와는 다르게 해조류 펄프 첨가량에 따라 계속적으로 완만한 평활도 변화를 보여주고 있다. 더욱이 고해도가 낮은 400ml 및 500ml CSF 시료지의 경우 상호 거의 동일한 평활도를 나타내고 있음을 볼 수 있다. 활엽수 펄프에서는 낮은 고해도를 갖는 시료의 해조류 펄프 첨가 효과의 변화율이 상대적으로 크게 나타나고 있는 반면에 침엽수 펄프의 경우는 고해도가 낮은 시료에서의 첨가 효과 값과, 고해도가 낮은 시료의 첨가 효과 값이 거의 변화가 없는 유사한 그래프 형태를 나타내는 결과를 미루어 침엽수재와 활엽수재를 구성하는 cellulose fiber의 형태의 차이점에 의한 결과로 예측 된다. 즉 활엽수재를 구성하는 cellulose fiber는 목섬유와 도관 요소로서 목섬유의 경우 섬유폭과 섬유장이 침엽수재에 비해 상대적으로 작은 침상 형태를 띠고 있어 침엽수재를 구성하는 가도관 요소의 원통형 구조와 대비되는 형태를 띠고 있어 평활도 증진 효과에 차이를 나타내는 것으로 판단된다.

3-3. 침엽수 및 활엽수 펄프의 혼합 시료의 고해도별 효과

침엽수 펄프와 활엽수 펄프를 별도로 고해한 후 고해도에 따라 구분한 다음 침엽수와 활엽수를 일정한 비율의 농도로 혼합한 다음 해조류 펄프를 혼합하였다. 이 실험에서도 고해도는 300ml, 400ml 및 500ml CSF로 구분하였으며, 혼합한 해조류 펄프의 첨가량은 3%, 6%, 9%, 12% 및 15%로 구분지어 처리한 다음 평활도 변화에 관계된 결과를 수록한 자료를 Figure 3 및 Figure 4에 나타내었다. 여기서 Figure 3은 중량 비율로서 침엽수 펄프 30%와 활엽수 펄프 70%를 혼합한 시료에 관계된 자료를 수록한 것이며, Figure 4는 중량 비율로서 침엽수 펄프 70%와 활엽수 펄프 30%를 혼합하여 실험한 자료를 수록하였다.

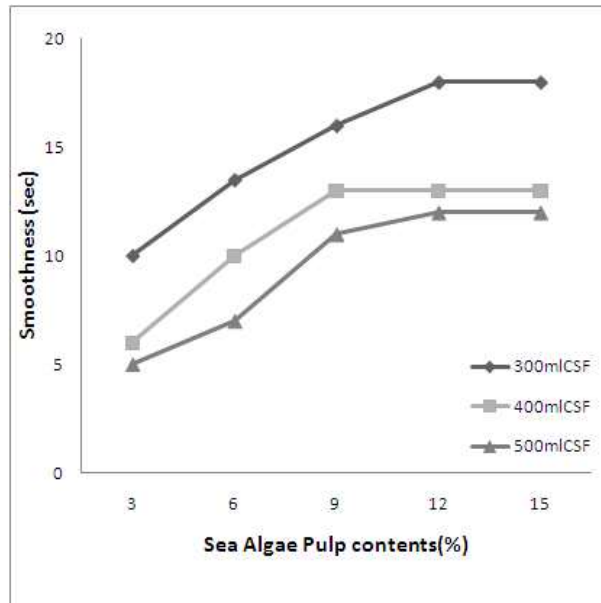


Figure 4. Effect of smoothness treated with different contents sea algae pulp according to freeness of softwood 30% and hardwood 70% mixed pulp.

Figure 4의 자료에서 침엽수 30%, 70% 첨가한 후 초지한 결과 고해가 진행될수록 비례해서 평활도 값이 상승하는 결과를 확인하였으며 특히 침엽수 30% 혼합 초지의 경우 고해도 300ml CSF에서 해조류 펄프의 첨가 농도에 비례해서 평활도 값이 상승하여 해조류 펄프 12% 첨가시는 무처리 시료 대비 120% 이상의 평활도 값의 상승효과를 확인하였다. 이와 같은 결과는 활엽수 펄프 100%로 초지한 시료 대비 30% 이상의 상승효과와 침엽수 펄프 100% 초지 시료 대비 60% 이상의 상승효과를 나타내는 결과로 이는

종이 내부의 기공성 향상으로 인해 첨가한 해조류 펄프가 sheet 표면에 균일하게 분산되어진 결과로 판단된다.

그리고 고해도가 낮은 경우에서도 400ml CSF, 500ml CSF 해조류 펄프의 첨가농도에 비례해서 평활도가 증가하는 결과를 확인 할 수 있다.

Figure 5의 자료에 나타나있는 침엽수 70%와 활엽수 30%를 혼합한 시료지에서는 300 ml CSF 및 400ml CSF로 초지한 경우 해조류 펄프의 첨가 농도에 비례해서 평활도가 증가하는 경향을 나타내고 있으나 500ml CSF로 초지한 경우는 해조류 펄프의 혼합에 의한 평활도 증가 효과가 거의 확인되지 않는 결과로 미루어 침엽수 펄프의 혼합 농도가 높을 경우 섬유장이 4mm 이상인 장섬유의 가도관으로 이루어진 침엽수 섬유의 특성으로 미루어 지합의 불균일성을 극복하지 못한 결과로 판단되어진다.

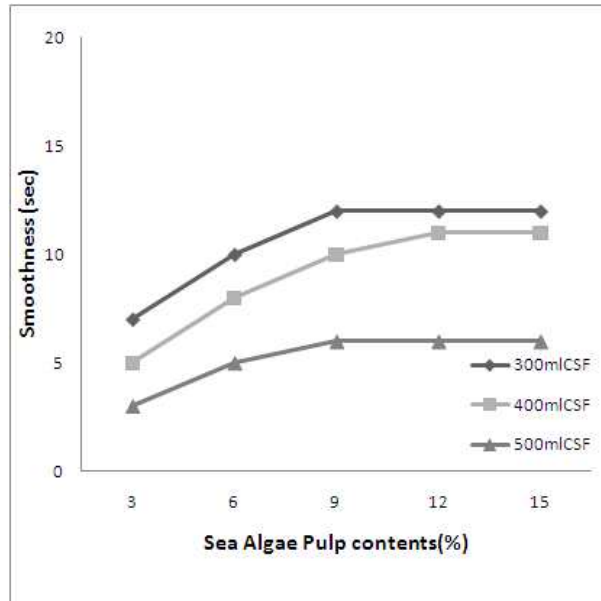


Figure 4. Effect of smoothness treated with different contents sea algae pulp according to freeness of softwood 70% and hardwood 30% mixed pulp.

4. 결 론

인쇄 전자 용지 특성 구현을 위해 해조류 펄프의 처리 농도별, 고해도별, 침엽수와 활엽수의 첨가 농도별 초지 조건을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 활엽수 및 침엽수 등의 목재 펄프에 해조류 펄프를 첨가하여 초지된 종이의 평활도는 상승한다.
- 2) 해조류 펄프 첨가에 의한 평활도 상승효과는 펄프 수종별로 구분하여 침엽수 보다 활엽수에서 더 높다.
- 3) 펄프의 고해도에 따라서도 다르게 나타나는데 동일 수종에서 고해도가 높을수록 효과가 높다.
- 4) 평활도 상승 효율은 해조류 첨가 함량 비에 의존하는데, 9% 첨가할 경우 효율이 높다.
- 5) 침엽수 펄프와 활엽수 펄프를 혼합한 시료에 해조류 펄프를 첨가하는 경우 활엽수 혼합비가 높을 때 평활도 상승효과가 높다.

감사의 글

"이 논문은 2010년도 중부대학교 학술연구비 지원에 의하여 이루어진 것임"
(This Paper was Supported by Joongbu University Research and Development Fund. in 2010)

참고 문헌

1. Printed Electronics Europe 2006, Cambridge, UK, April(2006).
2. Printed Electronics USA 2007, San Francisco, USA, November(2007).
3. Printable Electronics, NanoMarkets Report, September 2006, 3rd Global Plastic Electronics, Germany, October(2007).
4. S. Y. Chou, P. R. Krauss, P. J. Renstrom, *Appl. Phys. Lett.* Vol. **67**, pp. 3114(1995).
5. L. J. Guo, *J. Phys. D* Vol. **37**, pp. 123(2004).
6. N. Lin, J. Kim, S. Lee, N. Kim, G. Gho, "Screen Printed Resonant Tague for Electronic Article Surveillance Tags," *IEEE Trans. Advanced packaging*, Vol. **32**, pp. 72~76 (2009).
7. M. Jung, J. Kim, J. Noh, N. Lim, C. Lim, K. Lee, J. Kim, H. Kang, K. Jung, A. Leonard, J. M. Tour, G. Cho, "All Printed and Roll-to-Roll Printable 13.56MHz

- Operated 1-bit RF Tag on Plastic Foils," IEEE Trans. Electron Device(Accepted).
8. 조규진 외, "Roll-to-Roll 인쇄 RFID Tag 개발현황", 화학공학기술 정보지.
 9. S. Chun et. al., "Roll-to-Roll Printing of Silver Oxide Pastes and Low Temperature conversion to Silver Patterns", Chem. Mater., Vol. **21**, No. 2, pp. 343(2009).