

## 미세금속입자의 루멘충전 특성평가

성용주 · 정웅기 · 이지영<sup>†</sup>

접수일(2012년 8월 7일), 수정일(2012년 8월 16일), 채택일(2012년 8월 20일)

## Evaluation of Lumen-loaded Fiber with Micro Metal Particles

Yong Joo Sung, Woong-Ki Jung and Ji-Young Lee<sup>†</sup>

Received August 7, 2012; Received in revised form August 16, 2012; Accepted August 20, 2012

### ABSTRACT

In this study, the lumen loading technology for preparing magnetic papers were evaluated. The rice husk fiber, softwood kraft pulp, hardwood kraft pulp were applied and the morphological properties of pits on the those fibers were investigated with SEM. The softwood kraft pulp had the bigger size of pits, 3~5  $\mu\text{m}$  in diameter, which resulted in higher loading amount. The comparison of two methods for lumen loading such as the low concentration method with the disintegrator and the high concentration method with the Hobart mixer showed the Hobart mixer could resulted in the higher efficiency. The conditions of lumen loading process such loading time, addition amount of metal particles and addition of PEI were also evaluated. The magnetic hysteresis loop of handsheet samples made of lumen loaded fiber with  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  and  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  were examined. The differences in magnetic properties could be found according to the ferrite types.

**Keywords** : lumen loading, rice husk fiber, hobart mixer, metal particles, magnetic hysteresis

### 1. 서론

지구환경 보전에 대한 관심이 더욱 커져가고 사회적으로 중요한 가치판단의 근거가 되어감에 따라 다양한

산업분야에서 재생가능하면서 폐기 후 재활용이 가능한 종이기반 소재에 대한 관심은 점차 커지고 있는 추세이다. 실제 이러한 추세로 말미암아 기존의 석유화학기반 소재들을 대체하기 위하여 종이기반 소재에 다양한

• 충남대학교 농업생명과학대학 환경소재공학과 (Dept. of Biobased Materials, College of Agriculture and Life Science, Chungnam Natl. Univ., Daejeon, Republic of Korea)

1. 경상대학교 임산공학과/농업생명과학연구원 (Dept. of Forest Products/IALS, Gyeongsang National Univ., Jinju, 660-701, Korea)

<sup>†</sup> Corresponding author : paperyjy@gnu.ac.kr

기능성을 부여한 기능성 특수지의 수요가 더욱 커지고 관련 기술의 개발이 이루어지고 있다.<sup>1)</sup> 특히, 최근 들어 IT 산업의 발전과 함께 전기전자 특성을 가지는 기능성 특수지들은 더욱 많은 관심의 대상이 되고 있다.<sup>2,4)</sup>

종이의 기능성을 강화하고 새로운 특성을 부여하기 위한 방법으로 전기적 특성을 가지는 탄소소재 등을 사용하거나<sup>3,4)</sup> 기능성물질의 코팅과 같은 후처리 방법을 적용하는 등 다양한 기술이 개발되어왔다.<sup>5)</sup> 그러나 대부분의 특수지 제조방법들의 경우 종이제조 시 추가되는 기능성첨가제 및 충전제 등이 섬유표면에 잔류되어 종이강도 등의 저하를 유발하거나 공정의 오염 등을 일으켜 실제 제조공정에서 기술적인 어려움이 발생할 수 있는 단점이 있다.<sup>6)</sup> 이렇게 종이의 품질 저하를 최소화 하면서 종이의 기능성을 강화하기 위한 방법으로 종이의 주원료인 섬유에 기능성을 부여하는 기술인 루멘 충전법을 들 수 있는데, 루멘 충전이란 식물세포 벽공을 통해 식물섬유내강 즉 루멘(Lumen)안으로 기능성소재 및 충전제를 투입하여 보류시킴으로써 섬유특성을 개질하는 기술이다. 실제 기능성을 나타내는 소재가 식물섬유 세포벽에 의해 보호되고 섬유표면 특성은 유지되기 때문에 종이강도 등에 큰 영향을 미치지 않고 기능성을 유도할 수 있는 장점을 가지고 있는데 실제 이러한 루멘 충전 기법은 TiO<sub>2</sub>, Clay, CaCO<sub>3</sub> 등의 제지용 첨가제의 효율적인 보류를 위한 방안으로 연구되어 보고되었다.<sup>6)</sup>

대표적인 단열, 전열 특성을 가지는 목재섬유로 이루어진 종이에 전자기적 특성을 부여하기 위하여 자철석(Magnetite, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)와 마그헤마이트(Maghemite, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)등의 철 산화물을 적용하는 연구개발이 진행되었다. 실제 이러한 산화철들은 여러 가지 색깔과 자성을 가지고 있어서 안료용과 자성소재용의 기초 원료로 사용되어 왔으며, 자기 저장과 정보 저장, 센서 등 여러 분야에 사용되고 왔다.<sup>7)</sup> 산화철을 루멘 충전하여 전기적 특성을 가지는 기능성 종이를 제조하기 위한 연구들이 수행되었는데, 이러한 산화철의 루멘 충전은 사용되는 식물섬유의 종류, 전처리방법 및 충전방법 등에 따

라 충전량 및 제품특성이 다양하게 나타나는 것으로 보고되고 있다.<sup>8-10)</sup> 실제 현재까지의 루멘 충전 방법들은 루멘 충전을 위한 처리시간이 상당히 길고 또 적용되는 산화철의 종류에 따른 특성들에 대한 연구결과들이 보고되지 않은 등 상용화를 위한 추가적인 연구들이 수행될 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 종이에 전자기적 특성을 부여하기 위한 방안으로 목재 및 비목재 섬유에 대한 철산화물의 루멘충전을 실시하여 그 영향과 효과를 평가하였다. 특히, 철산화물의 효율적 루멘충전을 위하여 섬유의 종류별로 또한 루멘충전 방법별로 루멘충전 효과를 비교분석하였다. 특히 루멘충전 효과를 극대화하기 위한 고농도 교반법의 적용성을 비교평가하였고 이러한 결과물들을 통해 향후 고부가가치 기능성특수지의 제조를 위한 기반자료를 제공하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 공시 재료

#### 2.1.1 왕겨 섬유

비목질 섬유의 기능성을 강화하여 그 활용성을 높이기 위한 방안을 모색해보고자 섬유장이 짧은 비목질 섬유인 왕겨 섬유의 벽공특성을 평가하고 루멘충전효과를 분석평가하였다. 본 실험에 사용된 왕겨섬유는 논산에 위치한 RPC에서 분양받은 왕겨를 알칼리 펄핑 처리하여 제조하였으며 이때 왕겨의 펄핑 조건은 Table 1에 나타내었다.<sup>11)</sup> 이러한 전처리를 통해 기존 왕겨의 무기물 성분을 제거함으로써 실제 본 실험에서 적용된 왕겨 섬유의 회분 함량을 0.85% 수준으로 적용할 수 있었다.

#### 2.1.2 목재 펄프

본 연구에서는 국내 제지공장에서 일반적으로 주용하게 활용되는 침엽수 표백 크라프트펄프(SW-BKP), 침엽수 미표백 크라프트 펄프(SW-UBKP) 및 활엽수 표백 크라프트 펄프(HW-BKP)를 분양받아 사용하였

**Table 1. Pulping conditions of rice hull**

Pulping method	Cooking liquor	Liquor to Fiber ratio	Temp.(°C)	Time(min)
Alkali(AK)	NaOH, Active alkali 20%	5:1	170	120

고, 각각의 목재섬유의 벽공특성을 전자현미경을 사용하여 비교 평가하였다.

루멘충전 방법 및 영향 비교시 표준 시료로서 침엽수 표백크라프트 펄프를 적용하였는데, 표준실험을 위해서 NaOH 3%의 농도로 3 시간 동안 섬유를 팽윤시켜 적용하였고 이때 적용된 침엽수 표백 크라프트펄프의 회분 함량은 0.68% 이었다.

### 2.1.3 루멘 충전용 미세 금속입자 및 보류항상제

본 실험에서 루멘 충전용으로 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>와 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 두 가지 종류의 산화철 미세입자를 적용하였다. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>는 Ashland에서 분양받았으며, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 국내 P사에서 분양받아 사용하였다. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>와 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 각각 5 μm 이하와 0.5~1 μm의 입자크기를 가진 미세입자로서 각각 적색과 흑색으로 구분되며, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>가 더 큰 밀도를 가지고 있었고 두 산화철 모두 우수한 자기적 특성을 가지고 있었다. 이러한 미세금속입자의 루멘 내 정착보류를 향상시키기 위하여 polyethyleneimine(PEI, BASF)를 적용하였다.

## 2.2 실험 방법

### 2.2.1 벽공 크기 분석

미세 금속입자는 섬유벽에 존재하는 벽공을 통해 루멘으로 유입되어 충전되는데 이러한 루멘 충전 효율에 큰 영향을 미칠 수 있는 벽공특성을 알아보기 위해 본 실험에 적용된 목재 섬유와 왕겨섬유의 세포벽을 각각 전자현미경으로(Model : JEOL, JSM-7000F) 분석하였다. 전자현미경 분석을 위해서는 시료 섬유를 건조하여 표면코팅처리를 수행해야 하는데 이러한 전처리시 건조과정에 의해 섬유의 수축이 발생하게 되어 섬유 내 벽공 구조 등의 변화가 발생하는 것을 방지하기 위하여 동결 건조기(Vacuum freezer dryer SFDSF 12, Samwon, KOREA)를 사용하여 시료의 건조를 실시하였다. 각 시료의 다양한 섬유벽의 벽공을 관찰하고 각각의 벽공의 크기를 전자현미경으로 분석하여 각 섬유별 벽공크기를 비교 분석하였다.

### 2.2.2 루멘 충전

#### 2.2.2.1 Disintegrator loading

금속입자의 루멘 충전을 위하여 실험실용 헤리기

**Table 2. Condition of lumen loading with Disintegrator**

Pulp consistency (%)	1
PEI Addition (%)	2*
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> Addition (%)	100*
Loading time (hr)	1

\* based on oven dried pulp weight

(Disintegrator, TAPPI Standard Method 205 sp-02)를 적용하였다. 이때 펄프섬유 지료농도를 1%로 유지하면서 보류제 PEI와 산화금속입자 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>를 각각 펄프전 건대비 2% 및 100%로 투입하여 1 시간 동안 교반하면서 루멘 충전을 실시하였다. 충전 처리 후 펄프 섬유의 표면에 잔류되어 남아있는 금속입자들의 완전한 제거를 위해, 처리된 섬유분을 10 분간 수세 및 탈수하였다. 탈수된 섬유분의 추가적인 2차 세척을 위해 증류수로 농도 1%로 희석하여 교반기를 활용하여 600 rpm에서 30 분간 교반한 후 추가적인 세척을 실시하였다. 세척된 시료는 건조한 후 회분을 측정하여 충전량을 평가하였다.

#### 2.2.2.2 Horbart mixer loading

고농도에서 루멘 충전 특성을 알아보기 위하여 기존의 Disintegrator를 적용하여 저농도에서 실시하는 것과 달리 고농도에서 강한 압력으로 적용이 가능한 Horbart mixer를 사용하여 그 영향을 평가하였다. 전건 45g의 펄프지료를 각각 10% 및 20% 농도의 지료를 준비하여 Horbart mixer에 넣고 교반하면서 충전처리 하였다. 이때 충전제 투입량과 충전 시간에 따른 루멘 충전 효과를 조사하기 위하여 Table 3과 같은 조건으로 금속입자 및 보류제를 각각 첨가하였으며 충전 후 펄프 섬유의 표면에 흡착된 충전제를 세척하기 위하여 Disintegrator적용 시와 같은 방법을 적용하여 세척하였다. Fig. 1은 Disintegrator와 Horbart mixer를 적용한 실험방법의 모식도이다.

**Table 3. Condition of lumen loading with Horbart mixer**

Pulp consistency (%)	10, 20
PEI Addition (%)	2*
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> Addition (%)	100, 200, 300, 400, 600, 800*
Loading time (hr)	1, 2, 3

\* based on oven dried pulp weight

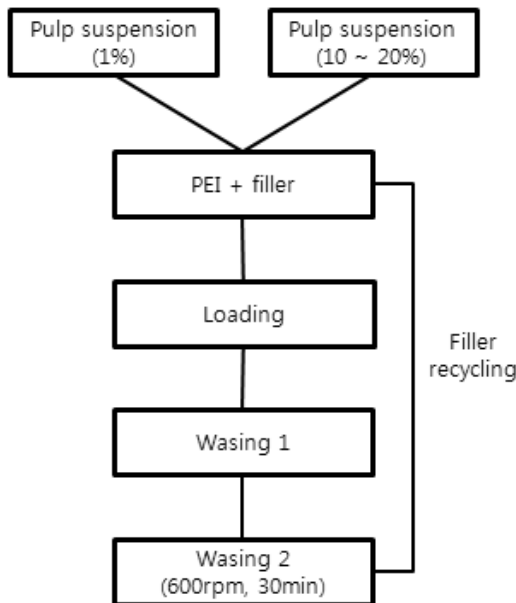


Fig. 1. Lumen loading procedure with Disintegrator and Horbart mixer.

2.2.3 미세금속 입자 충전량 측정

산화철입자의 루멘 충전 후 충전된 섬유에 회분을 TAPPI 표준방법 T413 om-02에 의거하여 분석하여 실제 루멘 충전된 입자의 함량을 평가하였다.

2.2.4 루멘 충전 섬유의 특성 분석

루멘 충전이 종이의 물리적 특성에 미치는 영향 등을 평가하고자 침엽수 표백 크라프트 섬유를 알칼리 팽윤 처리하고 이중 일부에 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>를 적용하여 Horbart mixer로 루멘충전을 실시하여 무처리 펄프지료에 각각 20% 및 40%의 비율로 혼합하여 평량 80 g/m<sup>2</sup>의 수초지를 제조하였다. 제조된 수초지는 항온항습실에서 24시간 이상 조습처리 후, 인장강도, 불투명도 및 백색도를 TAPPI 표준 방법에 의거하여 비교 분석하였다.

2.2.5 산화철 미세입자의 충전효과 분석

산화철 미세입자를 충전한 섬유를 40% 배합하여 제조된 수초지를 교환경사자력계(Alternating Gradient Magnetometer Model 2900, MicroMag)를 적용하여 자성을 측정함으로써 수초지의 전자기적 특성변화를 비교 평가하였다. 또한 실제 루멘 충전 처리된 섬유내의 금속입자의 존재 상태를 평가하고자 섬유의 횡단면을 에너지 분산형 X-선 분광기(Energy Dispersive X-ray Spectrometer, EDXS)로 비교 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 루멘 충전 방법에 따른 특성 평가

루멘 충전 방법에 따른 충전효율의 비교 평가를 위하여 팽윤된 표준 침엽수 표백 크라프트 섬유에 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 충전제를 적용하였고 이때 1% 지료 농도로 처리되는 Disintegrator적용 방법과 20% 지료농도의 Horbart mixer 방법을 각각 적용하였다. 두 가지 방법에서 충전 조건은 섬유전건무게 대비 금속입자를 무게비로 400% 첨가하였으며 보류제로 PEI를 2% 첨가하여 충전 시간을 1시간 및 2시간 각각 처리하여 충전량을 비교 평가하였다.

루멘 충전 방법에 따른 충전량 변화를 나타낸 Table 4에서 볼 수 있듯이 Horbart mixer를 적용했을 때 Disintegrator의 적용시 보다 더 많은 양이 루멘 충전되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 교반시간이 증가함에 따라 두 가지 방법에서 모두 충전량이 증가하는 것을 알 수 있었다. Horbart mixer의 방법과 같이 고농도에서 충전처리 하였을 때는 실제 금속입자와 섬유간의 충돌횟수 등이 증가하면서 루멘으로 금속입자의 유입이 더욱 많이 일어나 실제 루멘 충전효과 더 높게 나오는 것으로 판단된다.

Table 4. Effects of lumen loading methods on the loaded amount

Loading method	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> Addition (%)	Fiber Concentration (%)	Loading Time (hr)	Loaded amount (%)
Disintegrator	400	1	1	2.9
			2	3.74
Horbart mixer	400	20	1	6.57
			2	8.54

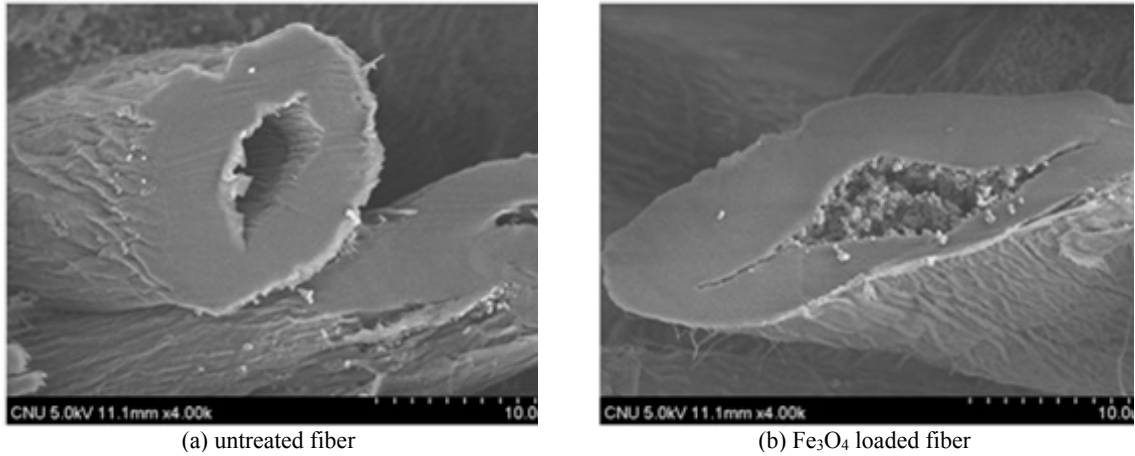


Fig. 2. Scanning electron micrographs of cross section of untreated fiber and lumen loaded fiber.

Table 5. Element composition of loaded fiber obtained with EDXS

Element	Atomic ratio(%)						
	C	O	Al	Ca	Fe	Cu	Zn
Control	75.75	22.97	1.02	0.11	0.05	0.05	0.04
loaded fiber	75	18.65	0.29	0.05	5.91	0.05	0.06

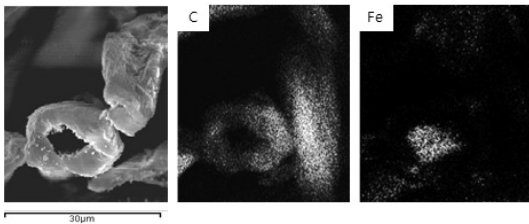


Fig. 3. Scanning electron micrographs of chemical components obtained with EDXS.

실제 루멘 충전된 섬유와 미처리 섬유의 횡단면을 전자현미경으로 관찰하여 금속입자들이 섬유 루멘에 분포되어 있는 상태를 평가하였다. Fig. 2의 (a)에서 볼 수 있듯이 미처리 시료의 루멘은 비어있는 상태이지만 루멘충전 시 미세금속입자들이 루멘에 고르게 분포되어 있는 것을(Fig. 2, (b)) 확인할 수 있었다.

루멘 충전된 섬유와 미처리 섬유의 원소구성을 EDXS를 활용하여 평가하였으며 그 결과를 Table 5에 나타내었다. 원소분석결과 루멘 충전된 시료의 경우 미처리 시료보다 Fe 함량이 높게 나타나는 것을 알 수 있는데 이러한 개별원소의 분포를 EDXS로 분석하여 Fig. 3에 나타내었다. 목재섬유의 주원소인 탄소의 분

포를 나타내었을 때 섬유의 횡단면을 볼 수 있는 반면 Fe 원소의 분포를 평가한 사진의 경우 섬유의 루멘 공간에 집중적으로 Fe 성분이 관찰되는 것을 확인할 수 있었다.

### 3.2 섬유 종류에 따른 특성 평가

#### 3.2.1 섬유 종류별 벽공의 특성비교

섬유 종류별로 섬유의벽에 존재하는 벽공의 특성을 전자현미경을 적용하여 비교분석하였다. 비목재 섬유로서 적용된 왕겨섬유의 특성을 평가하였고 일반적인 목재섬유로서 활엽수 표백펄프(HW-BKP), 침엽수 표백펄프(SW-BKP), 침엽수 미표백펄프(SW-UKP)의 벽공 특성을 비교분석하였다. 각각의 시료들의 다양한 섬유들의 벽공을 확인하여 전형적인 벽공을 나타내는 전자현미경 사진을 Figs. 4~7에 나타내었다.

왕겨섬유의 경우 직경이 약 0.5~2 μm 이하의 벽공을 가지고 있는 것으로 나타났고 활엽수 표백펄프의 벽공의 경우 직경 약 1.5~3 μm 이하의 크기를 가진 것으로 판단되며, 침엽수 펄프의 경우에는 약 3~5 μm 크기를 가진 것으로 판단된다. 실제 침엽수 펄프 섬유에서 벽공의 크기도 크고 벽공의 수도 상대적으로 많은 것으로 평가

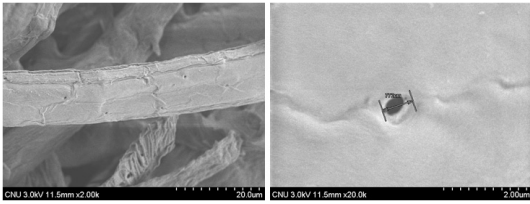


Fig. 4. Scanning electron micrographs of rice husk fiber.

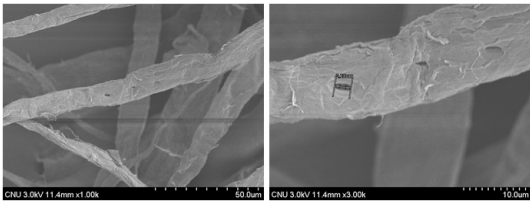


Fig. 5. Scanning electron micrographs of HW-BKP.

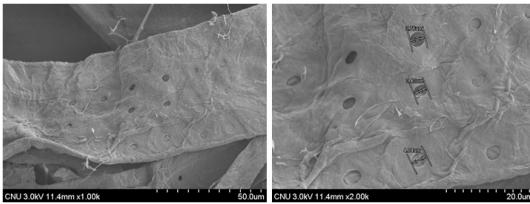


Fig. 6. Scanning electron micrographs of SW-BKP fiber.

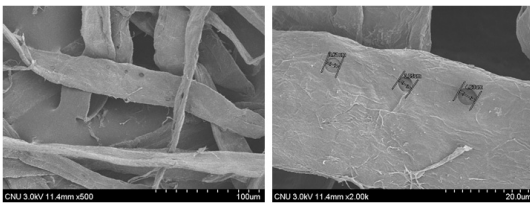


Fig. 7. Scanning electron micrographs of SW-UKP fiber.

되었다.

3.2.2 섬유 종류에 따른 루멘 충전 특성 평가

섬유 종류에 따른 루멘 충전 영향을 알아보기 위해 Hobart mixer를 적용하여 비교실험을 실시하였다. 침엽수 표백펄프와 왕겨섬유를 농도 10% 지료로 준비하여 Fe3O4 금속입자를 섬유 대비 100% 첨가한 후, PEI는 섬유대비 2% 첨가하여 1시간 동안 루멘충전하여 충전량을 비교평가 하였다. Fig. 8에서 보이듯이 침엽수 표

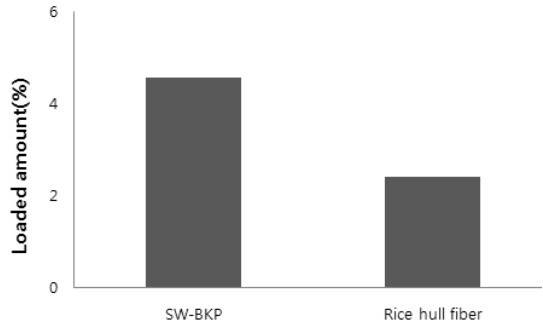


Fig. 8. Lumen loaded amount depending on the fiber types.

백펄프의 루멘충전량이 왕겨섬유의 경우보다 높은 것을 알 수 있는데 이것은 침엽수 표백펄프의 벽공의 수와 직경이 큰 영향으로 생각된다.

3.3 루멘충전 조건에 따른 루멘로딩 특성 평가

3.3.1 충전 시간에 따른 영향

충전 시간에 따른 영향을 알아보기 위하여 Hobart Mixer를 활용하여 충전 시간을 1, 2, 3, 4시간으로 각각 처리하여 루멘충전량의 변화를 평가하였다. 본 실험에서는 침엽수 표백펄프를 사용하였고 섬유대비 Fe3O4 금속입자를 섬유무게대비 400%, 보류제 PEI는 2% 첨가하였고 교반 시 섬유농도는 20%였다. Fig. 9에서 볼 수 있듯이 루멘 충전 처리 시간이 길어질수록 충전된 금속입자의 충전량은 더욱 늘어나는 것을 알 수 있었다.

3.3.2 PEI 첨가에 따른 영향

PEI 첨가가 루멘충전에 미치는 영향을 알아보기 위

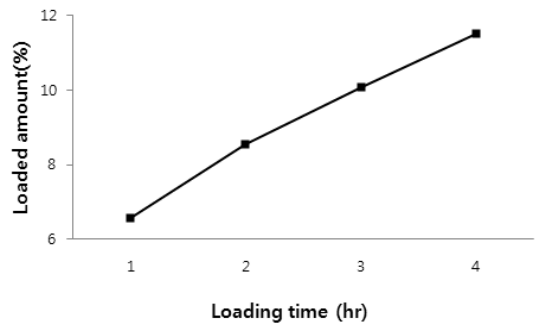
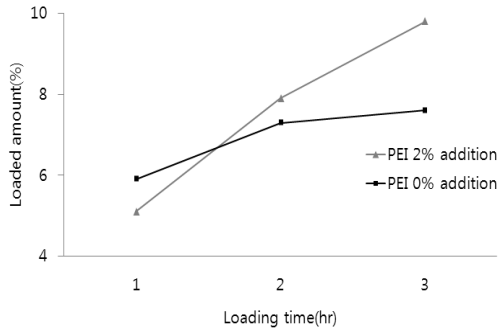


Fig. 9. Lumen loaded amount depending on lumen loading time.

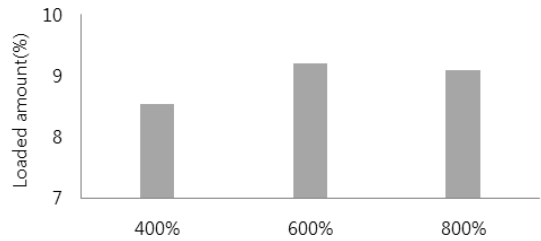


**Fig. 10. Lumen loaded amount depending on lumen loading time and amount of PEI addition.**

하여 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 섬유대비 400 %와 PEI를 섬유대비 0, 2 % 각각 첨가하여 루멘충전 특성을 비교평가 하였다. 실험은 Hobart mixer를 사용하였고, 충전시간 1~3시간, 교반시 섬유 농도는 20 %로 하여 실험을 진행하였다. Fig. 10의 실험결과에서 보이듯이 1시간 충전 시에는 PEI 첨가에 따른 영향이 나타나지 않았지만 2시간 이후부터 PEI 2 % 첨가한 섬유가 더 많은 충전량을 나타내는 것을 볼 수 있다.

### 3.3.3 루멘처리 시 적용되는 금속입자의 양에 따른 영향

루멘처리 시 투입되는 금속입자의 양이 섬유의 루멘 로딩 효율에 미치는 영향을 평가하기 위하여 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 금속입자의 양을 섬유대비 400 %, 600 %, 800 %로 각각 투입량을 달리하여 처리하였다. 실험 조건은 Hobart mixer를 사용하여 충전시간 2 시간, PEI 2 %, 섬유 농도 20 %로 실험을 진행하였다. 루멘 충전 처리시 금속입자 첨가량이 섬유무게 대비 600 %일때 충전량이 가장 많게 나타났고, 그 이상의 금속입자 투입량에서는 큰 효과가 발생되지 않는 것을 알 수 있다. (Fig. 11)



**Fig. 11. Effects of addition amount of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> on the loaded amount.**

## 3.4 루멘 충전 섬유 배합에 따른 수초지의 특성 평가

### 3.4.1 광학적 성질

Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>와 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 두 가지 종류의 산화철 미세입자를 각각 침엽수 표백필프에 Hobart mixer를 활용하여 3시간 동안 루멘 충전하였다. 이렇게 루멘 충전한 섬유를 각각 20 % 및 40 % 씩 미충전 섬유와 혼합하여 수초지를 제조하고 수초지의 광학적 특성에 미치는 영향을 평가하였다. Table 6에서 정리된 바와 같이 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>의 루멘충전은 수초지의 불투명도를 높여주나 백색도 크게 감소하는 것으로 확인할 수 있었고 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>에 비해 상대적으로 높은 백색도를 나타내는 것으로 확인할 수 있었다. 이것은 미세금속입자 자체의 광학적 특성과 각 조건별로 루멘 충전된 금속입자량의 차이에서 발생하는 것으로 생각된다.

### 3.4.2 전자기적 특성 평가

산화철을 루멘 충전시킨 종이에서의 전자기적 특성을 평가하고자 루멘 충전된 섬유를 40% 배합하여 제조한 수초지의 전자기특성을 교환경사자력계(Alternating Gradient Magnetometer, AGM)를 이용하여 평가하였다. Fig. 12는 각 수초지의 자기이력곡선(Magnetic

**Table 6. Properties of handsheet papers made of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> loaded fiber**

	Control	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> loaded fiber		Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> loaded fiber	
		20 %	40 %	20 %	40 %
Opacity (%)	89.63	98.99	99.55	99.43	99.82
Brightness (%)	82.95	44.78	33.02	40.54	25.84
Loaded amount in handsheets (%)	0.68	2.17	3.96	2.33	4.55

hysteresis loop)를 보여주고 있다. 시료의 특성평가 시 시료의 자기장을 유도하는데 포화유도를 발생시키기 위하여 필요한 최소 자기유도 정도를 포화자화(Saturation), Hs라 하며, 외부자기장값(Oe)을 0으로 감소시켰을 때 잔류하는 자기유도 정도를 잔류유도 또는 잔류자기(Residual Magnetism), Br이라 한다. 또한 자기유도 정도가 0이 되기 위해 반대 방향의 외부장이 요구되며, 이를 보자력(Coercive field), Hc이라 한다. 이러한 세가지 전자기 특성 값을 통해 소재의 특성을 평가하게 되는데 실제 Hs, Br, Hc가 높은 재료들은 이력곡선에 의해 둘러싸인 면적이 크며, 이와 같은 재료들은 경자석(Hard magnet)으로 분류되고, 낮은 포화 자기장과 높은 잔류자기를 가진 재료들은 연자석(Soft magnet)으로 분류되어 자기기록 소자 등으로 사용된다.<sup>12)</sup>

루멘충전 처리되지 않은 수초지의 포화자화값은 0의 가까운 값을 나타냈고 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>가 충전된 수초지 시료의 경우에는 포화 자화값 Hs이 2.44 emu, Br값은 0.29 emu, Hc값은 92.348 Oe로 측정되었다. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>로 충전된 경우에는 Hs값이 1.60 emu로 Br 0.9286 emu, Hc 1724.558 Oe로 나타났다. 각 루멘충전된 시료의 자기 이력곡선을 평가하였을 때 모두 자성을 나타내고 있는 것을 볼 수 있는데<sup>8)</sup> 특히, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>로 처리된 섬유로 제조된 수초지의 경우 포화자화값(Hs)은 크지만 보자력(Hc)값이 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>로 처리된 시료보다 낮게 나타나는 것을 알 수 있다. 이렇게 낮은 Hc 값을 가지는 자성체의 경우 전자파 차폐(electromagnetic shielding) 소재로의 기능성을 우수한 것으로 알려져 있어<sup>13)</sup> 최종 용도에 따라 산화철의 종류를 다르게 적용하면 기능성을 강화할 수 있을 것으로 판단되었다.

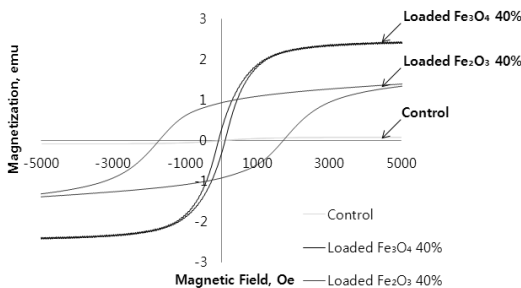


Fig. 12. Hysteresis loops the magnetic properties of handsheet made of SW-BKP fiber.

## 4. 결론

본 연구에서는 전자기적 기능성을 부여하기 위한 방법으로 루멘 충전을 적용하여 섬유의 특성에 따른 영향과 충전조건에 의한 영향 및 산화철의 종류에 따른 충전 효과 등을 비교 평가하였다. 전자현미경을 통해 목재섬유와 왕겨섬유의 벽공 분석을 실시한 결과 침엽수 표백 크라프트 펄프 섬유에서 상대적으로 크기가 큰 많은 수의 벽공을 관찰할 수 있었고 이러한 영향으로 루멘 충전 효율도 높은 것을 확인할 수 있었다.

루멘 충전 조건 즉, 처리방법을 비교 평가한 결과 저농도의 지료를 사용하는 Disintegrator의 방법보다는 고농도의 지료를 교반할 수 있는 Hobart mixer를 적용하는 경우 루멘 충전 효율이 큰 것을 볼 수 있었고 PEI 보류제의 첨가로 충전효과가 상승효과를 확인하였다.

두 종류의 산화철을 각각 루멘충전한 후 수초지를 제조하여 실제 전자기적 특성을 평가한 결과 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>로 처리된 섬유로 제조된 수초지의 경우 포화 자화값(Hs)은 크기 나타났지만 보자력(Hc)값이 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>로 처리된 시료보다 낮게 나타나는 것을 알 수 있었고 이러한 특성 차이로 각각의 경우에서 다른 용도로 적용이 가능함을 확인할 수 있었다. 향후 전자기적 특성을 부여하기 위한 방법으로 루멘 충전 방법을 활용할 수 있을 것으로 판단되고 특히, 루멘 충전 효율을 높이기 위한 처리방법과 산화철에 의한 백색도 감소 등을 극복할 수 있는 소재의 발굴 및 적용 등에 대한 추가적인 연구들이 이루어진다면 친환경적 소재 특성을 가지는 종이의 다양한 전자기적 기능성 부여가 가능할 것으로 생각된다.

## 사 사

본 연구는 농림수산식품부 농림기술개발사업의 지원으로 수행되었습니다.

## 인용문헌

1. 이해성, 특수지 제조기술의 최근 및 향후동향, 한국 펄프·종이공학회 2005년 추계학술발표논문집, 한국 펄프·종이공학회, pp. 78-87, (2005).



2. 김형진, 이지영, 전파흡수 제어용 특수지 제조, 한국 펄프·종이공학회, 한국펄프·종이공학회 2005년 추계학술발표논문집 2005.11, page(s): 374-381
3. Kim, B. Y., Characteristics of Electroconductive Paper Manufactured with Carbon Fiber, Journal of Korea TAPPI, 38(4): 29-34 (2009).
4. Kim, H-J., Um, G. J., The Manufacturing of Electromagnetic Shielding Sheet using the Carbon and Wood Fiber Mixture, Journal of Korea TAPPI, 38(4): 68-75 (2006).
5. Lee, H-M., Min, D-J., Lee, Y-K., Cho, J-H., Kim, Y-S., The effects of surface-modified pigment on the properties of coated paper, Journal of Korea TAPPI, 35(3):13-20 (2003).
6. Miller, M. L, Raliwal, D. C., The effects of lumen-loading on strength and optical properties of paper, Journal of Pulp and Paper Science, 11(3) :15-19 (1985).
7. Kim, D. K., Zhang, Y., Voit, W., Rao, K. V., Muhammed, M., Synthesis and characterization of surfactant-coated superparamagnetic monodispersed iron oxide nanoparticles. J. Magn. Magn. Mater., No.225, 30-36 (2001).
8. Zakaria, S., Ong, B. H., Ahmad, S. H., Abdullah, M., Yamauchi, T., Preparation of lumen-loaded Kenaf pulp with magnetite, Materials Chemistry and Physics, 89: 216-220 (2005).
9. Zakaria, S., Ong, B. H, van de Ven, T.G.M, Lumen loading magnetic paper I :floculation, Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects, 251: 1-4 (2004).
10. Chia, C. H., Zakaria, S., Nguyen, K. L., Abdullah, M., Utilization of unbleached kenaf fibers for the preparation of magnetic paper, Industrial crops and products, Vo1. 28: 333 - 339 (2008).
11. Sung, Y. J., Oh, M-T., Study of rice husk pulping for utilization of rice husk fiber, Journal of Korea TAPPI, 44(3):63-69 (2012).
12. 류영식, 김동호, 자기광학 Kerr 효과를 이용한 자화축 측정, 석사학위논문, 영남대학교 (2008).
13. Small, A., Johnston, J. H., Novel hybrid materials of magnetic nanoparticles and cellulose fibers, Journal of Colloid and Interface Science, 331: 122-126 (2009).