

전자빔 처리가 대마 인피섬유의 펄프화 및 초지 특성에 미치는 영향

배백현 · 서재환 · 정진호 · 이재정 · 백기현 · 김형진^{1†}
접수일(2012년 7월 26일), 수정일(2012년 8월 7일), 채택일(2012년 8월 9일)

Effects of Electron Beam Treatment on the Characteristics of Pulping and Papermaking of Hemp Bast Fibers

Paek-Hyun Bae, Jaehwan Seo, Jinho Jung, Jaejung Lee, Ki Hyun Paik and Hyoung-Jin Kim^{1†}

Received July 26, 2012; Received in revised form August 7, 2012; Accepted August 9, 2012

ABSTRACT

The new alkali pulping process combined with electron beam treatment was applied to utilize hemp bast tissues as a new valuable fibrous resource. Hemp bast tissues have some chemical properties with high lignin contents and holocellulose not to be defiberized by alkali pulping only, compared with the bast tissue of paper mulberry. To make up for the weakness of traditional alkali pulping process, electron beams were directly irradiated into the swelled bast tissue of hemp in NaOH solution and distilled water, and then facilitated the defiberization of hemp bast tissues. The papermaking from hemp bast fibers manufactured by the combination pulping process showed good apparent density, formation structure and air permeability, and had some mechanical properties with lower tensile, tear, burst strength and folding endurance. It is finally concluded that the combination pulping process with electron beam treatment could be suggested a new alternative for non-woody fibers.

keywords : *alkali pulping, electron beam, bast fiber, hemp, paper mulberry, fiberization, handsheet*

1. 서론

과거로부터 우리나라를 비롯한 일본, 중국 및 동남

아시아 지역에서는 일상생활에 대마, 아마, 황마 등의 마류나 닥나무, 산닥나무, 삼지닥나무 등으로부터의 인피섬유 및 벗짚, 보릿짚, 밀짚 등 다양한 종류의 비목

• 고려대학교 환경생태공학부(School of Environmental Science and Ecological Engineering, Korea University, Seoul, 136-713, Korea)

1. 국민대학교 임산생명공학과(Department of Forest Products & Biotechnology, Kookmin University, Seoul, 136-702, Korea)

† 교신저자 (Corresponding Author) : E-mail ; hyjikim@kookmin.ac.kr

질계 셀룰로오스 섬유자원을 이용해 왔다. 비목질계 섬유의 활용은 종이의 발명 시기 이전으로 거슬러 올라간다. 산업기술의 급속한 발달과 더불어 1840년 쇄목펄프화법이 개발되고 목질계 섬유자원의 이용이 본격화되면서 점차 쇠퇴하기는 했지만, 현재까지도 여전히 사용되고 있다. 그러나 1854년 영국에서 소다 펄프화 공정을 통한 목재펄프 생산, 1867년 아황산 펄프화 공정, 1884년 독일에서 크라프트 펄프화 공정 등이 개발되며 목질계 섬유의 이용은 극대화되기 시작했다.

2011년 기준 한국제지공업연합회 통계자료¹⁾에 의하면 우리나라의 목재펄프 공급량은 3,084,851 M/T로서 총 제지용 섬유원료 공급량의 22.9%를 차지하고 있다. 총 목재펄프 공급량 중 국내 생산량은 585,108 M/T으로서 18.9%에 해당되며, 나머지는 전량 수입에 의존하고 있다. 그러나 국내산 목재펄프 공급량 중에서도 펄프를 제조하기 위한 대부분의 목재칩을 해외로부터 수입하고 있는 현실을 감안한다면 천연펄프 공급량 중 목질계 원료의 대부분이 해외의 목질자원으로부터 충당되고 있다.

더욱이 최근 들어 세계 각국에서는 지구환경 보호를 위해 산림 벌채 및 이용에 대해 강력히 규제하면서 펄프용 원목의 공급은 자국의 환경 정책에 따라 보호 자원의 대상이 되고 있으며, 이러한 현실에 근거하여 제지용 섬유원료로서 목재펄프 외의 대안으로서 비목질계 섬유자원²⁻⁷⁾의 이용이 새롭게 조명되고 있다. 우리나라에서 종이 제조용으로 이용하고 있는 대표적인 비목질계 섬유자원은 닳나무 인피섬유가 있으며, 주로 한지 제조에 사용하고 있다. 닳 펄프 생산 및 한지제조는 전통적인 문화산업으로서 기계화 되어 있지 않으며, 소규모 가내수공업 규모로서 주로 노동력에 의해 제조되고 있다. 최근 들어 태국, 라오스, 중국 등에서 저렴한 인건비를 근간으로 한 닳펄프 및 수록지가 무분별하게 수입되면서 국내의 유통시장을 완전 잠식하기에 이르렀고, 순수한 국내 생산은 전통한지를 생산하는 몇몇 장인들에 의해 명맥만 유지되고 있다.

최근 친환경 상품에 대한 소비자 인식이 높아지며 비목질계 섬유자원을 활용한 기능성 한지 및 수록지 수요가 확대되고 있으며, 동시에 닳 펄프의 수요도 늘어나고 있다. 그러나 닳펄프의 공급 한계로 인해 많은 문제점들이 노출되고 있으며, 비목질계 섬유의 자원량, 분포, 재배방법 및 펄프 자원으로서의 이용과 관련된 연

구⁸⁻¹¹⁾들이 부분적으로 이루어지고 있다. 또한 닳나무의 생산량 한계를 극복하기 위한 대안으로서 마류를 이용한 연구²⁾들도 이루어지고 있다. 최근 양마를 이용한 연구¹²⁻¹⁴⁾ 결과로써 닳나무 인피섬유의 기계적 성질과 대등하거나 또는 우수한 강도적 특성을 보였으며, 닳나무의 대체자원으로 사용 가능하다고 나타냈지만 일조 시간 및 기후 등 양마의 재배 조건으로 인해 국내에서의 재배량은 많지 않다.

이에 따라, 최근 비목질계 자원인 대마를 이용하여 목재 펄프의 화학펄프화법을 적용하여 펄프화하여 대체 섬유자원화 하는 연구^{15,16)}가 이루어지고 있다. 대마는 3 개월에 2 m 이상 자라는 1년생 식물로써 주로 섬유를 이용할 목적으로 재배하고 있다. 대마는 라미, 쥬트 등과 같이 삼속식물로서 인피섬유의 총칭이며, 닳나무보다 생장이 빨라 재배지역에 관계없이 대량으로 재배할 수 있는 이점이 있다. 또한 닳나무 인피섬유와 비교했을 때 물리·화학적 특성에 있어 장점이 많지만 아직 대체자원으로서 활용하기 위한 산업적 적용은 이루어지고 있지 않는 실정이다.

본 연구에서는 닳 섬유 이외의 인피섬유로서 대마를 원료로 하여 화학펄프화법을 개선하고자 최근 각 산업분야에서 다양하게 적용되고 있는 전자빔 조사 기술¹⁷⁻¹⁹⁾을 도입하였으며, 대마 인피섬유의 효율적 이용을 증대시키고 펄프 섬유의 품질을 개선하고자 하였다. 전자빔 처리는 강력한 산화물질인 수산화라디칼($\cdot\text{OH}$)을 발생시켜 난분해성 유기물질을 분해하는데 매우 효과적인 고급산화공법²⁰⁻²¹⁾으로 알려져 있다. 따라서 본 논문에서는 국내 주요 대마 생산지인 안동 대마를 이용하여 전자빔 처리가 알칼리 펄프화 및 초치 특성에 미치는 영향을 분석하고 닳나무 대체자원으로서의 타당성을 평가하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

공시재료로 사용한 대마 인피부는 경상남도 안동에 위치한 안동삼베 저전 작목반에서 분양받아 Fig. 1에서와 같이 약 1~2 cm 크기로 잘게 절단한 후 화학적 분석 및 펄프화에 사용하였다.



Fig. 1. Bast tissue of hemp (*Cannabis Sativa* L.).

2.2 대마 인피부의 화학적 특성 분석

대마 인피부를 음지에서 충분히 건조한 다음 마쇄기를 이용하여 60~80 mesh screen을 통과하는 분말로 제조하였으며, TAPPI Test Method²²⁻²⁵에 의거하여 대마 인피부의 냉수 추출, 홀로셀룰로오스, 리그닌 및 회분 함량을 측정하였다.

구체적으로, 잔류 회분 중량은 대마 인피부 시료 1 g을 575±25℃에서 연소시킨 후 측정 하였다. 냉수 추출물은 동일 시료 10 g을 23±2℃ 물에 48 시간 침적 한 후

제거된 추출물 함량으로 계산하였다. 추출물이 제거된 시료 1.5 g을 17.5% 수산화나트륨과 반응시켜 홀로셀룰로오스를 얻었고, 탈지시료 1.0 g을 72% 황산에 2 시간, 3% 황산에 4 시간 반응시켜 리그닌을 얻어 함량을 계산하였다. 화학 분석을 위한 시료는 모두 105±2℃ 건조기에서 24 시간 건조하여 이용하였으며, 3회 반복 실험의 평균을 화학 성분 조성으로 제시하였다.

2.3 알칼리 펄프화

대마 인피부를 섬유화하기 위하여 가성소다를 증해 약액으로 이용하여 알칼리 펄프화를 실시하였으며, 증해 조건은 Table 1과 같다.

2.4 전자빔 처리

전자빔 처리는 전자가속기(ELV-8, EB Tech Co., Ltd, Korea)를 이용하여 실시하였다. 전진 중량 50 g의 대마 인피부를 칭량하여 전자빔 처리 전에 증류수 및 NaOH 용액에서 액비 8 : 1 조건의 상온에서 24 시간 동안 충분히 침적, 팽윤시킨 다음 전자빔 처리조건에 따라 처리를 행하였다. 전자빔 조사는 2.5 MeV, 10.7 mA, 5 m/min의 조건으로 8회 반복하였으며 조사선량 200

Table 1. Alkali pulping conditions

Cooking chemical	Active alkali concentration, % as Na ₂ O	Liquor to wood ratio	Cooking temp., °C	Cooking time, hr
NaOH	15, 20, 25	8 : 1	100	2, 3

Table 2. Pulping methods with electron beam treatment

	Pulping conditions	Remark
Traditional alkali pulping	* cooking with 15% of NaOH for 3 hr	AP-1
	* cooking with 20% of NaOH for 3 hr	AP-2
	* cooking with 25% of NaOH for 3 hr	AP-3
Electron beam treatment after soaking in alkali solution	* electron beam treatment (200 kGy) after soaking in 15% of NaOH for 24 hr, then cooking for 3 hr	ESA-1
	* electron beam treatment (200 kGy) after soaking in 20% of NaOH for 24 hr, then cooking for 3 hr	ESA-2
	* electron beam treatment (200 kGy) after soaking in 25% of NaOH for 24 hr, then cooking for 3 hr	ESA-3
Electron beam treatment after soaking in distilled water	* electron beam treatment (200 kGy) after soaking in distilled water for 24 hr, then cooking with 15% of NaOH for 3 hr	EDA-1
	* electron beam treatment (200 kGy) after soaking in distilled water for 24 hr, then cooking with 20% of NaOH for 3 hr	EDA-2
	* electron beam treatment (200 kGy) after soaking in distilled water for 24 hr, then cooking with 25% of NaOH for 3 hr	EDA-3

kGy로 처리하였으며, 이후 2.3의 방법에 준하여 알칼리 펄프화를 실시하였다. 이상의 알칼리 펄프화 시료(AP로 표기), 알칼리 침적 후 전자빔 처리 시료(ESA로 표기)와 증류수 침적 후 전자빔 처리 시료(EDA로 표기)들의 처리 조건을 정리하면 Table 2와 같다.

2.5 대마 펄프의 수율

증해가 끝난 펄프를 표준형 펄프해리기를 이용하여 10,000 회전으로 해리 시킨 후 실험실용 섬머빌 스크린(No. 2626, KRK, Japan)에서 물을 통과시키며 충분히 세척한 다음, 100℃의 항온 건조기에서 건조하여 총 수율을 측정하였다.

2.6 대마 섬유를 이용한 시트의 초지 및 물리적 특성 평가

세척한 대마 섬유를 이용하여 표준형 수초지기 및 화선지 받을 이용하여 수초지를 제작하였다. 지료 제조 시 대마섬유의 엉킴 특성을 제어하기 위해 분산제인 PAM 0.03%를 첨가하였으며, 초지된 습지는 압착 탈수 과정을 거쳐 표면 온도 120℃로 조절된 드럼형 건조기를 이용하여 건조하였다. 제조된 수초지의 물리적 특성은 KS standards에 따라 겉보기 밀도(KS M ISO 534), 인장강도(KS M ISO1924-2), 인열강도(KS M ISO 1974), 내절도(KS M ISO5626) 등을 측정하였다.

2.7 닥 인피섬유

대마 인피섬유의 물리·화학적 특성을 평가하기 위한 대조군으로서 닥 인피섬유를 평가하였으며, 전북대학교에서 분양받아 사용하였다. 닥 인피부를 NaOH 15% 용액을 사용하여 액비 8 : 1의 조건에서 100℃에서 2시간 동안 증해한 다음, 차아염소산나트륨 20% 용액을 이용하여 12시간 동안 표백처리를 하여 닥 섬유 펄프를 제조하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 대마 인피부의 화학적 조성

대마의 펄프화 특성을 평가하기 위하여 원료로 사용된 대마 인피부의 화학적 특성을 분석하였으며, 그 결과를 Table 3에 나타냈다.

Table 3. Chemical composition of hemp bast fibers

Chemical compositions	Contents, %
Extractives, cold water	3.89
Ash	5.29
Holocellulose	80.54
Lignin	9.27

펄프 섬유의 특성에 중요한 인자 중 하나인 홀로셀룰로오스 함량은 약 80.5%로써 기 연구결과²⁻⁷⁾인 닥 인피부의 61.6% 보다는 오히려 높았으며 뽕나무 인피부의 56.6%보다는 우수한 특성을 나타냈다. 리그닌 함량은 9.27%로써 기 연구결과²⁻⁷⁾인 닥 인피부의 8.4% 보다는 높았으나 뽕나무 인피부의 10.2% 보다는 낮은 결과를 나타냈다. 또한 대마 인피부의 냉수 추출물 함량은 3.89%로써 비목질계 섬유인 닥 인피부 및 뽕나무 인피부의 기 연구보고²⁻⁷⁾와 비교했을 때 낮았다.

이상의 결과에서와 같이 전반적으로 대마 인피부의 화학조성은 닥 인피부나 뽕나무 인피부의 비목질계 섬유에 비해 홀로셀룰로오스 함량은 높으나, 리그닌의 함량은 큰 차이를 나타내지 않았다.

3.2 대마 인피부의 펄프화 특성

대마 인피부의 내피를 이용하여 알칼리 펄프화법 및 전자빔 처리를 이용한 펄프화를 시도 하였다. 알칼리 펄프화의 경우 Table 4에 나타낸 바와 같이 펄프화 조건에 따른 수율 변화를 탐색하기 위하여 다양한 알칼리 조건 및 펄프화 방법을 시도 하였다. 본 연구의 결과에 있어서는 기 연구 보고¹⁶⁾의 결과와 달리 알칼리 펄프화법만으로는 대마 인피부의 충분한 펄프화가 이루어지지 않았다. 알칼리 처리 방법 중 NaOH 25% 조건에서 2시간 동안 증해한 조건에서 수율이 76.9%로써 가장 높았으며, 증해를 행하기 전에 NaOH 20%에서 24시간 동안 침적한 후 3시간 동안 증해하였을 경우 수율은 56.3%로써 가장 낮게 나타났다.

알칼리 펄프화법만을 적용한 대마 인피부의 펄프 특성을 개선하기 위해 전자빔 조사가 대마 섬유 특성에 미치는 영향을 분석하였으며, 그 결과를 Fig. 2에 나타냈다. 대마 인피부를 액비 8 : 1의 비율로 NaOH 또는 증류수에 24시간 동안 침적하여 충분히 팽윤시킨 다음 전자빔 처리를 행한 후 알칼리 펄프화를 시도하였다. 대

Table 4. Pulp yields of hemp bast tissue according to alkali pulping conditions

Class	Alkaline pulping conditions	Yield, %	Std. Dev.
Group I	* cooking with 15% of NaOH for 3 hr	59.72	1.5
	* cooking with 20% of NaOH for 3 hr	56.90	1.7
	* cooking with 25% of NaOH for 3 hr	59.04	1.5
Group II	* cooking with 25% of NaOH for 2 hr	76.87	1.6
	* cooking with 25% of NaOH for 3 hr	58.80	1.8
Group III	* extracting with hot water for 2 hr, then cooking with 15% of NaOH for 2 hr	62.70	1.9
	* extracting with hot water for 2 hr, then cooking with 20% of NaOH for 2 hr	60.21	1.6
	* extracting with hot water for 2 hr, then cooking with 25% of NaOH for 2 hr	58.58	1.7
Group IV	* soaking in 20% of NaOH for 24 hr, then cooking for 3 hr	56.33	1.8
	* soaking in 25% of NaOH for 24 hr, then cooking for 3 hr	58.33	1.8
Group V	* cooking with 20% of NaOH for 3 hr, then soaking for 24 hr	56.88	1.5
	* cooking with 25% of NaOH for 3 hr, then soaking for 24 hr	55.53	1.6

마 인피부의 전처리는 전자빔을 조사하기 전 NaOH 용액에 침적했던 시료군과 증류수에 침적했던 시료군으로 분류하여 펄프 후의 총수율을 비교하였다.

전자빔 병용 처리의 경우 대마 인피부를 증류수에 침적한 후 200 kGy 선량으로 전자빔 처리를 행한 후 NaOH 15% 조건에서 3 시간 동안 알칼리 증해를 실시하였을 때 펄프의 총수율은 60.2%로서 가장 높았으며, NaOH 25%의 용액에 침적한 후 200 kGy 선량으로 전자빔 처리를 행한 후 NaOH 25% 조건에서 3 시간 동안 알칼리 증해를 실시하였을 때 펄프의 수율은 36.3%로서 가장 낮은 결과를 나타냈다.

따라서 알칼리 펄프화법 만에 의한 펄프 수율과 전자빔 처리를 병행한 펄프 수율을 비교했을 때 전자빔 처리가 펄프화 수율은 저하시키는 경향을 나타냈지만, 알칼리 펄프화법 만을 적용한 경우보다 전자빔 병용처리를 행한 대마 인피섬유의 해섬 특성이 훨씬 개선됨을 확인할 수 있었다.

3.3 대마 인피섬유로 초지한 시트의 물리적 특성

대마 인피부를 전자빔 처리와 알칼리 펄프화를 병용시켜 펄프화한 섬유를 이용하여 수초지를 제조하였으며, 평량 및 밀도 등의 물리적 특성을 평가하였다. 본 연구에서는 대마의 비목질계 부분을 섬유화 원료로 활용코자 하였기 때문에 대마 인피섬유에 대한 대조군으로서 닥 인피섬유(PM으로 표기)로 초지한 시트와의 물리적 특성도 비교 하였다.

Table 5은 인피섬유의 종류 및 펄프화 조건에 따라 제조된 섬유를 이용하여 초지한 시트의 평량 및 겉보기 밀도 결과이다. 여기서, 알칼리 펄프화에 의한 대마 인피섬유와 닥 인피섬유를 사용하여 초지한 시트에서의 경우 평량 50 g/m²를 목표로 초지하였고, 전자빔 처리와 알칼리 펄프화를 병행한 대마 인피섬유의 경우 평량 35 g/m²를 목표로 초지하여 상대 비교하였다. 평량과 겉보기 밀도 분포는 알칼리 펄프화 만에 의한 대마 인피섬유로 초지한 시트의 밀도는 상대적으로 낮았다. 이는 펄프화 과정에서 대마 인피부의 충분한 펄프화가 이루어지지 않아 해섬 후 결속섬유가 상대적으로 높아 시트의 구조가 치밀하지 못한 결과이다. 반면, 전자빔 처리와 알칼리 펄프화를 병용한 대마 인피섬유로 초지한 시트의 경우 평량 35 g/m² 정도의 박막 시트화가 가능하였을 뿐 아니라 상대적으로 밀도가 치밀한 시트를 초지할 수 있었다.

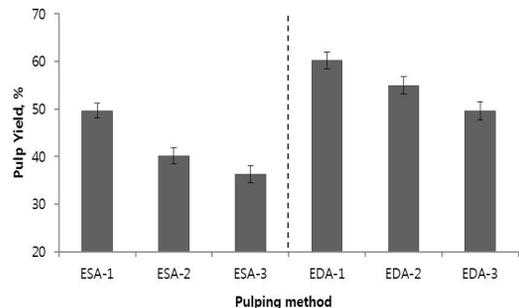


Fig. 2. Yield of hemp bast fibers cooked by the combination process of electron beam treatment and alkali pulping.

Table 5. Basic physical properties of handsheet

Types of sheet	PM	AP-1	AP-2	AP-3	ESA-1	ESA-2	ESA-3	EDA-1	EDA-2	EDA-3
Basis Weight, g/m ²	48.11	46.45	47.38	48.20	35.34	35.65	33.55	35.14	34.44	34.99
Density, g/cm ³	0.29	0.25	0.24	0.24	0.31	0.31	0.30	0.31	0.29	0.30

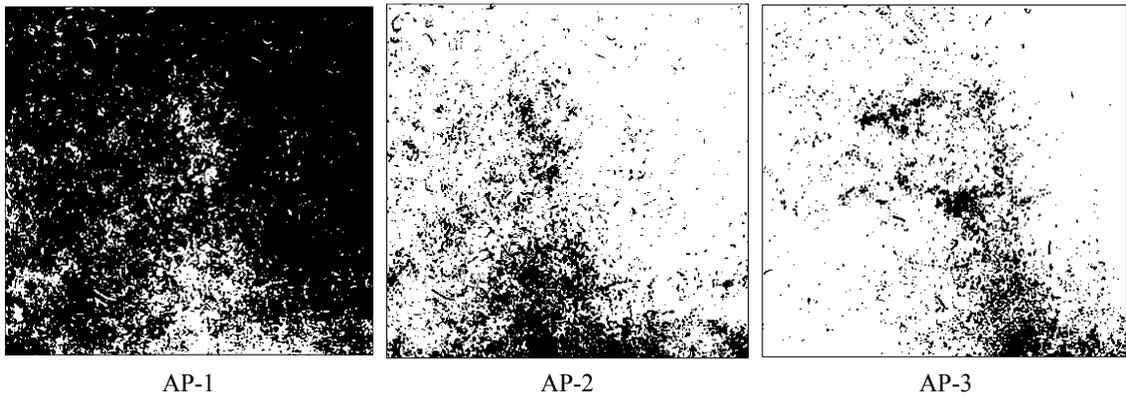
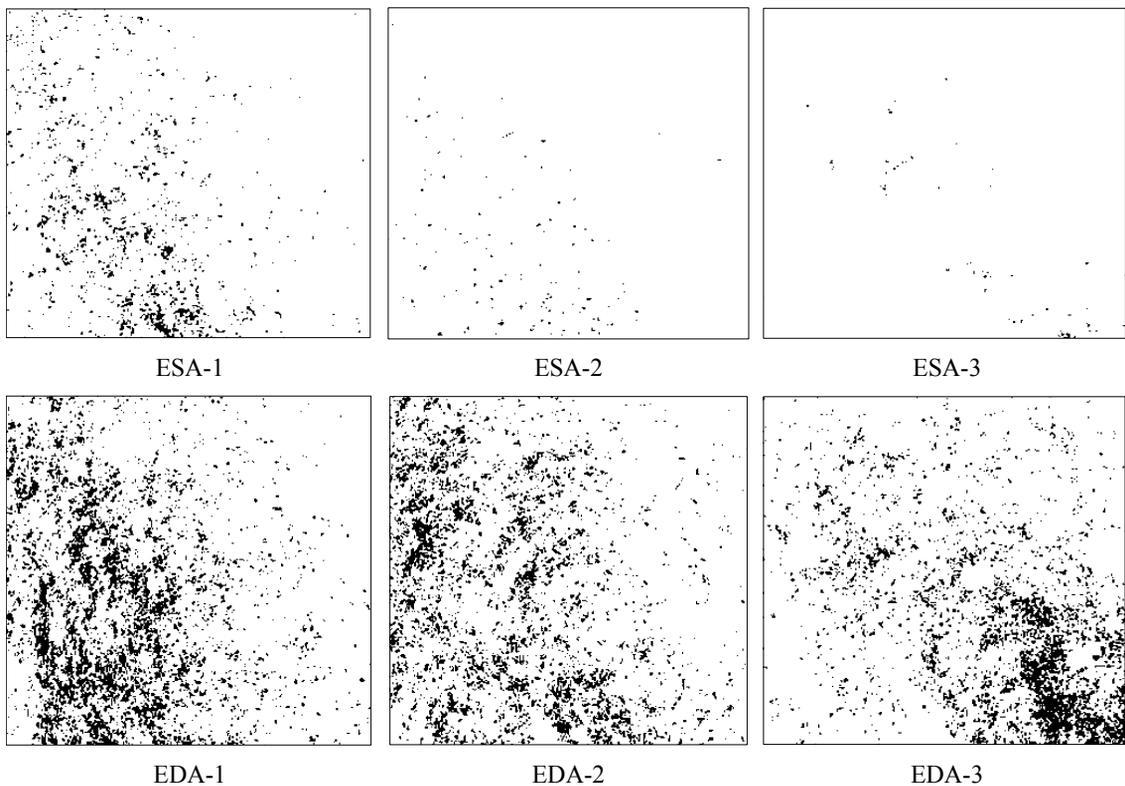
**Fig. 3. Formation image of handsheets prepared from hemp pulp fibers by alkali pulping only.****Fig. 4. Formation image of handsheets prepared from hemp pulp fibers by the combination of electron beam treatment and alkali pulping.**

Table 5의 결과에서와 마찬가지로 Fig. 3 및 4는 펄프화 조건에 따라 제조된 대마 인피섬유를 이용하여 초지한 시트의 지합 구조를 나타낸 것이다. Fig. 3은 알칼리 펄프화만으로 제조된 대마 인피섬유를 이용하여 초지한 시트의 지합 구조 이미지이다. 알칼리 농도를 높임에 따라 펄핑 후 섬유의 해섬 특성이 개선되어 초지한 시트의 지합 구조도 보다 양호하게 개선됨을 관찰할 수 있었다. 또한 Fig 4는 전자빔 처리와 알칼리 펄프화를 병용 처리한 다음 초지한 시트의 지합 구조 이미지로서, 대마 인피부를 알칼리 용액에 침적시킨 상태에서 전자빔 처리를 한 후 펄프화를 행한 시료 ESA-1, 2, 및 3의 조건이 증류수에 침적시킨 상태에서 전자빔 처리를 한 후 펄프화를 행한 시료 EDA-1, 2 및 3의 조건 보다 시트의 지합 특성이 훨씬 우수함을 확인할 수 있다. 이와 같이, 지합은 시트에서 펄프 섬유들의 균일한 분산 혹은 분포 정도를 나타내는 것으로서 궁극적으로 시트의 강도적 특성에도 영향을 미칠 수 있다.

이상의 결과에서와 같이 알칼리 펄프화법만으로 제조된 대마 인피섬유 시트의 지합보다 전자빔 처리를 병용하여 알칼리 펄프화 한 시트의 지합 특성이 개선됨을 확인할 수 있었다.

3.4 대마 인피섬유로 초지한 시트의 강도적, 광학적 특성

Fig. 5는 닥 인피섬유 및 펄프화 조건을 달리하여 제조한 대마 인피섬유 시트의 내절도 결과이다. 닥 인피섬유로 초지한 시트의 내절도는 122회를 나타냈으며, 알칼리 농도를 달리하여 펄프화 한 시트에서는 농도를

각각 15, 20, 25%로 증가함에 따라 내절도도 33, 92, 122회로 증가하였다. 이러한 결과는 알칼리 농도에 따라 펄프화 된 대마 인피섬유의 해섬 특성과 직접적으로 관련이 있으며, 또한 궁극적으로 수초 시트의 균일성에도 영향이 있을 것으로 사료된다. 또한 전자빔 조사 및 알칼리 펄프화를 병용하여 제조한 시트의 경우 전반적으로 낮은 내절도 특성을 나타냈다. 이는 전자빔 처리가 대마 인피부의 펄프화 과정에서 알칼리에 의한 해섬 거동을 가속화시켜 대마 인피섬유의 물리·화학적 구조에 영향을 미친 것으로 사료되며, Table 5에 나타낸 바와 같이 상대적으로 시트의 저평량과도 관련이 있을 것으로 판단된다.

Fig. 6는 닥 인피섬유 및 대마 인피섬유로 초지한 시트의 인장강도 특성을 나타낸 결과이다. 인장지수는 대마 인피섬유에 대한 대조구로서 사용한 닥 인피섬유 시트의 경우 70.6 N·m/g로 상대적으로 높았으며, 알칼리 농도를 조절하여 펄프화 한 대마 인피섬유 시트는 농도에 따라 각각 15, 25, 28 N·m/g로서 닥 인피섬유 시트보다 상대적으로 낮은 결과를 나타냈다. 또한 전자빔과 알칼리 전처리 후 알칼리 펄프화를 병용 처리한 시트에서 보다 전자빔과 증류수 전처리 후 NaOH 20% 조건으로 알칼리 펄프화 한 대마 인피섬유 시트에서의 인장지수가 상대적으로 낮았다. 전반적으로 대마 인피섬유로 초지한 시트는 닥 인피섬유로 초지한 시트에 비해 낮은 인장강도를 나타냈으나, 대마 인피부의 알칼리 펄핑에 의한 시트와 전자빔 병행 처리한 시트의 인장강도는 큰 차이를 나타내지 않았다.

Fig. 7은 닥 및 대마 인피섬유로 초지한 시트의 파열

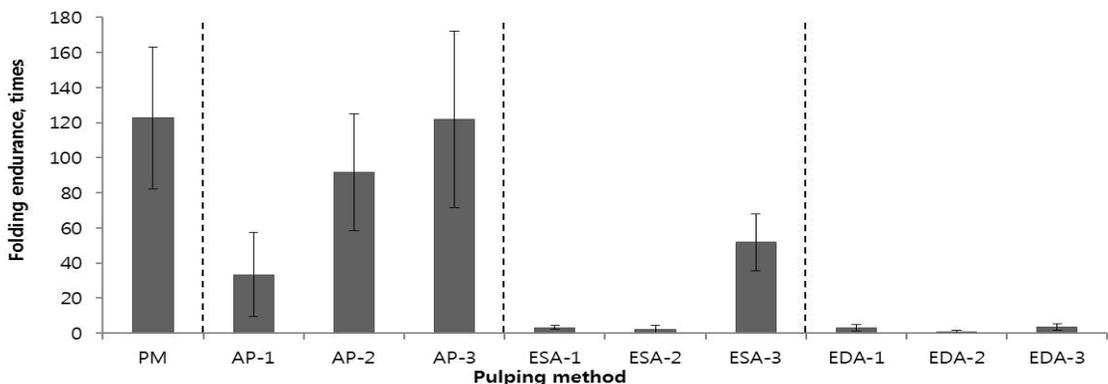


Fig. 5. Changes in folding endurance of handsheets according to alkali pulping conditions of hemp bast tissue.

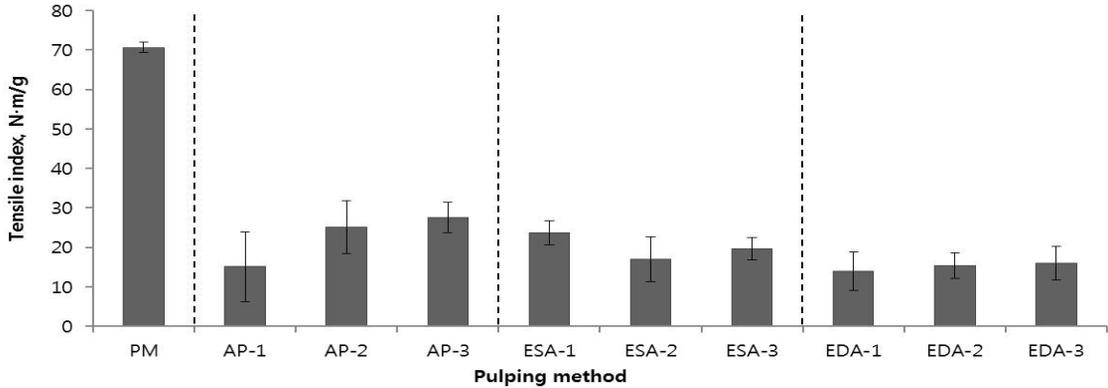


Fig. 6. Changes in tensile index of handsheets according to alkali pulping conditions of hemp bast tissue.

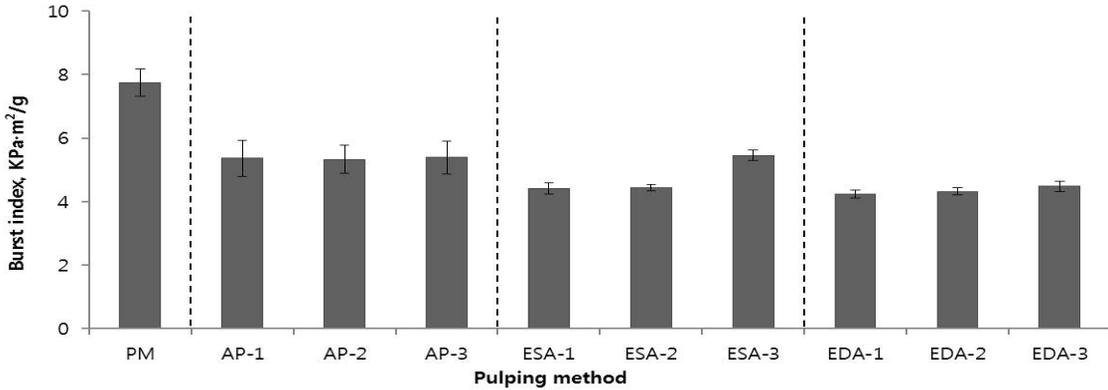


Fig. 7. Changes in burst index of handsheets according to alkali pulping conditions of hemp bast tissue.

강도 특성을 나타낸 것이다. 일반적으로 파열강도는 섬유장 및 섬유간 결합력과 깊은 관련이 있다. 따라서 주로 섬유장이 길고 질긴 섬유로부터는 밀도는 낮으나 파열강도는 우수한 반면 섬유장이 짧고 충분히 수화된 섬유로부터는 밀도와 파열강도가 우수한 특성을 지닌다. 비목질계 섬유로서 장섬유인 닥 인피섬유로 초지한 시트의 파열강도는 7.75 kPa·m²/g 이었지만, 대마 인피섬유의 경우에서 전자빔과 알칼리 병용 처리 후 NaOH 15% 조건에서 증해한 시료로 초지한 시트에서는 4.24 kPa·m²/g 로서 상대적으로 낮았다. 또한 대마 인피부를 알칼리 용액에 침적시켜 전자빔 처리를 행한 다음 펄프화한 시트에서의 파열강도가 증류수에 침적시켜 전자빔 처리한 후 알칼리 펄프화한 시트에서 보다 개선된 특성을 나타냈다.

Fig. 8는 닥 인피섬유 및 대마 인피섬유로 초지한 시

트의 인열강도 특성을 나타낸 결과이다. 인열강도는 주로 시트의 지층구조로부터 섬유를 잡아당기는 힘과 시트가 찢어지며 섬유가 절단될 때의 저항을 표현하는 인자이므로 인피섬유의 물리적 특성을 평가하기에도 적합하다. Fig. 8의 결과에서와 같이 닥 인피섬유로 초지한 시트와 대마 인피섬유를 알칼리만으로 펄프화한 후 초지한 시트의 인열지수는 평균적으로 40 mN·m²/g 정도로서 우수한 강도 특성을 나타냈으며, 그 중 NaOH 20% 조건에서 펄프화한 대마 인피섬유 시트의 인열강도는 51.7 mN·m²/g 으로 가장 높은 결과를 보였다. 반면 대마 인피섬유를 전자빔과 알칼리 처리를 병용한 다음 펄프화한 시트의 인장지수는 전반적으로 낮은 특성을 나타냈다.

Fig. 9는 닥 인피섬유 및 대마 인피섬유로 초지한 시트의 공기 투기도를 나타낸 결과이다. Gurley형 공기

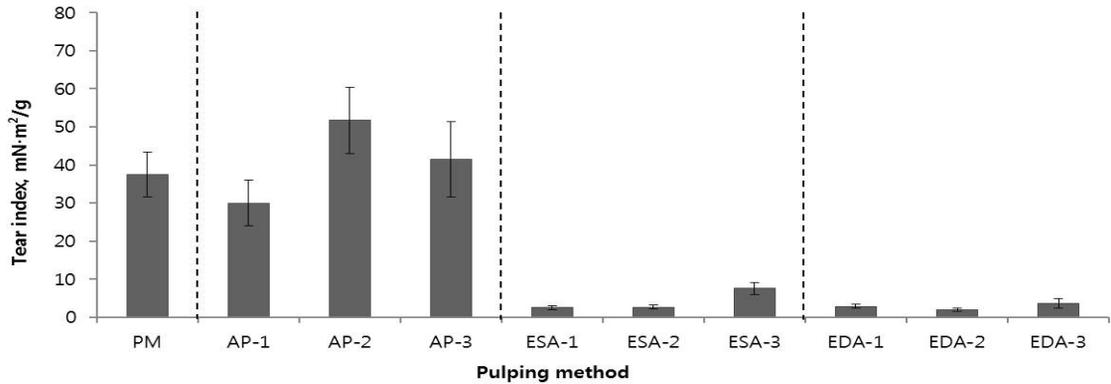


Fig. 8. Changes in tear index of handsheets according to alkali pulping conditions of hemp bast tissue.

투기도의 경우 대마 인피섬유를 전자빔과 알칼리 병용 처리 후 NaOH 15% 조건에서 펄프화 한 시트가 210 sec 로 가장 우수한 특성을 나타냈으며, 닥 인피섬유로 초

지한 시트에서는 1.4 sec로 가장 낮게 나타났다. 펄프화 조건에 따른 공기 투기도 차이를 분석했을 때, 알칼리 만으로 펄프화 한 경우 보다 알칼리와 전자빔 처리를 병

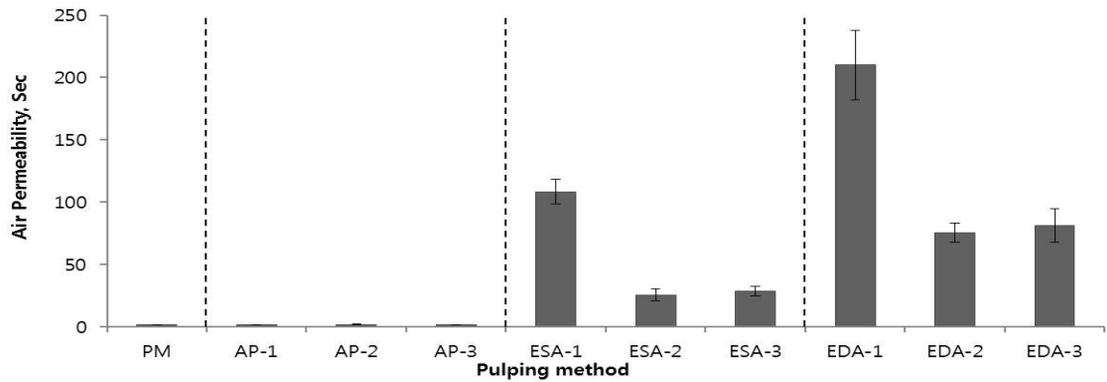


Fig. 9. Changes in air permeability of handsheets according to pulping conditions of hemp bast tissue.

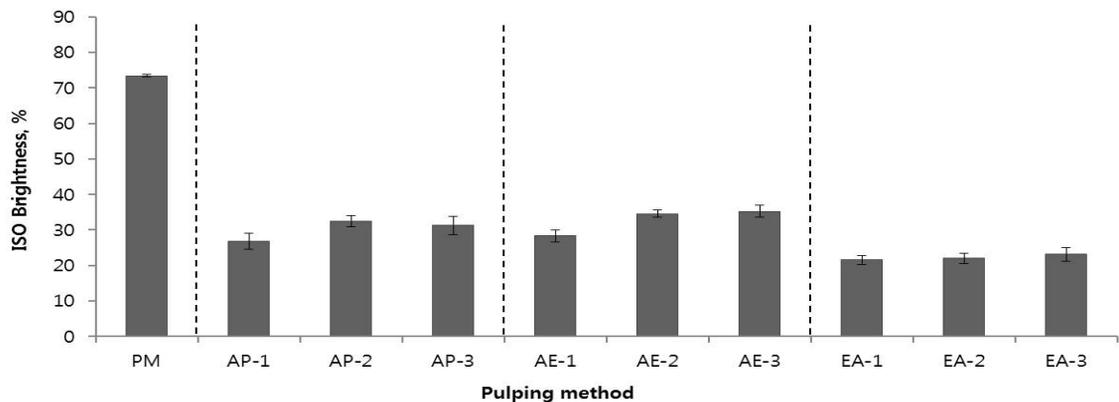


Fig. 10. Changes in brightness of handsheets according to alkali pulping conditions of hemp bast tissue.

용한 경우의 시트에서 높은 경향을 나타냈다. 이는 대마 인피섬유가 알칼리와 전자빔 병용 처리에 의해 보다 균일하게 섬유화 됨으로써 치밀한 구조의 시트를 형성하였기 때문으로 사료 된다.

다 인피섬유 및 대마 인피섬유로 초지한 시트의 백색도 특성을 Fig. 10에 나타냈다. 미표백 대마 인피섬유로 초지한 시트의 ISO 백색도는 평균적으로 27.5% 정도로서 연갈색을 나타냈다. 전자빔 처리에 있어 대마 인피부를 알칼리에 침적한 후 전자빔을 처리하고 알칼리 펄프화 한 경우가 증류수에 침적한 후 전자빔을 처리한 다음 알칼리 펄프화 한 경우에서 보다 우수한 백색도 특성을 나타냈다. 또한 알칼리 펄프화 만으로 제조된 대마 인피섬유에서의 백색도는 NaOH 농도가 높을수록 증가하는 경향을 나타냈다.

4. 결론

비목질계 대체자원으로써 대마 인피부를 새로운 섬유 유용자원으로 활용하기 위해 전자빔 처리를 통한 알칼리 펄프화를 시도하였다. 대마 인피부는 닥나무에 비해 홀로셀룰로오스와 리그닌의 함량이 높아 일반적인 알칼리 펄프화법만으로는 인피조직의 해섬이 완전하게 이루어지지 않았다. 따라서 기존의 알칼리 펄프화법을 보완하기 위하여 전자빔 처리를 병용한 결과, 알칼리 펄프화법에 비해 섬유의 해섬 특성이 개선되었으며, 이에 따라 대마 인피섬유를 이용한 시트 제조 시 보다 균일한 지함 특성을 얻을 수 있었다. 대마 인피섬유로 초지한 시트의 강도적 특성은 닥나무 인피섬유로 초지한 시트와 비교했을 때 전반적으로 낮은 특성을 보였다. 또한 대마 인피섬유에 대해 알칼리와 전자빔 처리를 병용하였을 경우 알칼리 펄프화법만으로 제조된 시트의 제반 강도적 특성은 낮은 경향을 나타냈지만 균일한 지함을 지니는 시트를 제조할 수 있었다. 결론적으로, 대마 인피섬유를 이용한 시트 제조 시 기존의 알칼리 펄프화법만으로는 섬유화가 충분하지 않으며, 이에 대한 대안으로 전자빔 처리가 효과적일 것으로 판단된다.

인용문헌

- 통계연보, 한국제지공업연합회, (2011).
- Jeong, S.H., Cho, N.S., Choi, T.H., Manufacturing of Korean Paper (Hanji) with Indian Mallow (Abutilon avicennae Gaertner) as the Alternative Fiber Resources (3) - Characteristics of Chinese Ink Spreading Distance by Korean Paper with Indian Mallow -, MOKCHAE KONGHAK, 33(4): 60-65 (2005).
- Jeong, S.H., Cho, N.S., Choi, T.H., Manufacturing of Korean Paper(Hanji) with Indian Mallow (Abutilon avicennae Gaertner) as the Alternative Fiber Resources(2) -Manufacturing of The Hanjis Made from Bast Fiber and woody core fibers-, MOKCHAE KONGHAK, 32(1):1-8 (2004).
- Jeong, S.H., Cho, N.S., Choi, T.H., Manufacturing of Korean Paper (Hanji) with Indian Mallow (Abutilon avicennae Gaertner) as the Alternative Fiber Resources (1) -Productivity and Pulping Characteristics of Indian Mallow-, MOKCHAE KONGHAK, 30(2):144-150 (2002).
- Jeong, S.H., Cho, N.S., Study of mophology and physical properties of indian mallow fibers by CLSM(I), J. of Korea TAPPI 34(2):61-66 (2002).
- Choi, T.H., Cho, N.S., New korean traditional papermaking from Morus spp.(I) - Properties of the Hanjis made from bast fiber and whole stalk fiber-, J. of Korea TAPPI 31(4):84-92 (1999).
- Choi, T.H., Cho, N.S., New korean traditional papermaking from Morus spp.(I) - Anatomical and chemical properties and pulping characteristics-, J. of Korea TAPPI 31(3):96-104 (1999).
- Marguerite, S., Environmental compatibility of effluents of aspen biomechanical pulping of bagasse and wheat straw. Tappi J., 77(1):161-166 (1994).
- H. Pande., Non-wood fibre and global fibre supply, the faculty of Forestry, University of Toronto, Canada, p.44-50 (1998).
- Maddern Kenneth N. and Jim French, The potential application of non-wood fibres in papermaking: an Australian perspective, Appita 48(3):191-197 (1995).
- Maddern Kenneth N. and Jim French, Papermaking Properties of Some Australian Non-Wood fibres, Appita 42(6):433-437 (1989).
- Laurel M. Sheppard., How Product are Made: Industrial Hemp, (2009).
- Correia, Fatima, Roy, D. N., Goel, Krishan., Chemistry

- and delignification kinetics of canadian industrial hemp. *J. of Wood Chemistry and Technology*, 21(2):97-111 (2001).
14. Fatima, M. C. C., Fibre characteristics and chemical pulping of Canadian industrial hemp(*Cannabis sativa L.*), The thesis for the degree of master of science in forestry faculty of forestry, University of Toronto, Canada, (1999).
 15. Yoon, S.L., Lee, M.K., Effective utilization of hemp fiber for pulp and papermaking, *J. Korea TAPPI*, 42(1):7-12, (2010).
 16. Cho, N.S., Hanji manufacturing from bast fibers of kenaf, hibiscus cannabinus, *J. Korea TAPPI*, 40(4):1-9, (2008).
 17. Iller E., Stupinska H., Starostka P., Properties of cellulose derivatives produced from radiation, - Modified cellulose pulps, *Radiation physics and chemistry*, 76(7):1189-1194 (2007).
 18. Bouchard J., Methot M., Jordan B., The effects of ionizing radiation on the cellulose of wood free paper, *Cellulose* 13(5):601-610 (2006).
 19. Dubey K.A., Pujari P.K., Ramnani S.P., Kadam R.M., Sabharwal S., Microstructural studies of electron beam-irradiated cellulose pulp, *Radiation Physics and Chemistry*, 69(5):395-400 (2004).
 20. Pikaev K., Environmental applications of radiation technology, *High Energy Chem.*, 28:5-16 (1994).
 21. Kang S.W., Shim S.B., Park Y.K., Jung J., Chemical degradation and toxicity reduction of 4-chlorophenol in different matrices by gamma-ray treatment. *Radiat. Phys. Chem.*, 80:487-490 (2011).
 22. TAPPI (US Technical Association of Pulp and Paper Industry) Test Methods T211 om-80. Ash in wood and pulp. TAPPI press, Atlanta, GA. (1984).
 23. TAPPI (US Technical Association of Pulp and Paper Industry) Test Methods T222 om-83. Acid-insoluble lignin in wood and pulp. TAPPI press, Atlanta, GA. (1984).
 24. TAPPI (US Technical Association of Pulp and Paper Industry) Test Methods T203 om-83. Alpha-, beta-, gamma-cellulose in pulp. TAPPI press, Atlanta, GA. (1984).
 25. TAPPI (US Technical Association of Pulp and Paper Industry) Test Methods T207 om-81. Water solubility of wood and pulp. TAPPI press, Atlanta, GA. (1984).