

닥나무 인피섬유의 절단장이 펄프화 및 한지의 물성에 미치는 영향(제1보)

– 국산 닥 백피의 특성 –

임강혁 · 최태호[†]

(2008년 3월 31일 접수: 2008년 5월 22일 채택)

The Effects of the Cutting Length of Paper Mulberry Bast Fiber on Pulping and Hanji Properties(I)

– White bast of Korea grown paper mulberry –

Gang-Hyouk Lim and Tae-Ho Choi[†]

(Received March 31, 2008: Accepted May 22, 2008)

ABSTRACT

In general, the entire of paper mulberry bark, which is not cut into pieces with an appropriate length, have been used in the pulping. This kind of pulping method couldn't accomplish the improvement of beating and sheet forming efficiency. For this reason, we investigated the effects of the cutting length of paper mulberry bast fiber on pulping and Hanji (Korean traditional paper) properties, in order to develop high quality Hanji manufacturing process.

The cutting length variation of paper mulberry white bast did not great effects on pulp yields. The pulp yields based on pulping methods were sulfomethylated pulping av. 57.4%, alkali-hydrogen peroxide pulping av. 55.4%, and alkaline pulping av. 53.5% respectively. The optical properties such as brightness, opacity, scattering coefficient, and absorption coefficient were slightly improved by the increase of paper mulberry white bast cutting length. The increase of paper mulberry white bast cutting length resulted in poor sheet formation. Physical properties such as breaking length, TEA, tear index, burst index, and folding endurance were slightly improved by the increase of cutting length. The modified pulping processes, which used sulfomethylated method and alkali-hydrogen peroxide method, showed better pulp and sheet properties than conventional alkaline pulping.

• 이 논문은 2006학년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비지원에 의하여 연구되었음.

• 충북대학교 목재·종이과학과(Dept. of Wood and Paper Science, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea).

† 교신저자(Corresponding author): E-mail: tchoi@cbnu.ac.kr

Keywords : korean traditional paper, hanji, bast fiber, paper mulberry, pulping

1. 서론

우리나라는 중국에 비견할 수 있는 오랜 제지 역사를 가지고 있을 뿐만 아니라, 오히려 중국을 능가하는 우수한 제지술을 보유하고 있었다. 이러한 우수한 기술력을 바탕으로 한지는 삼국시대부터 조선후기 양지가 도입되기 전까지는 우리의 일상생활에서 없어서는 안 될 생활필수품이었다. 그러나 생활양식의 변화와 생산의 기계화 및 대량생산의 어려움으로 인해 한지는 서화용 이외에 건축 내장재 및 공예용 등 극히 제한된 분야에서만 사용되어져 왔다. 최근 들어 생활수준의 향상과 전통문화에 대한 관심의 고조로 한지의 수요가 조금씩 회복되고 있으며, 기존의 용도 외에 고부가가치 산업을 위한 신소재로서의 활용 또한 모색되고 있다.

한편 한지의 제조법에 있어서는 약품과 초지 설비에 있어서 약간의 개량 및 발전이 있었으나 원료의 준비 및 전처리에 대한 연구 개발은 최근 몇몇 연구¹⁻³⁾를 제외하고는 전무한 편이다. 특히 종래의 한지 펄프 제조방법은 닥나무 인피 섬유 절단 없이 박피된 전체 길이의 인피 섬유를 펄프화에 이용하였다. 이러한 전장 펄프화법의 문제점은 절단하지 않은 긴 섬유를 펄프화에 이용함으로써 고해가 곤란하고 고해된 섬유의 품질이 불량하여 제조된 한지의 품질 또한 불량한 결과를 가져온다. 따라서 본 연구는 닥나무 인피 섬유의 절단장이 펄프화 및 한지의 품질에 미치는 영향을 평가하고 절단장 변화를 통하여 제조된 한지의 물성과 기존 한지의 물성을 비교함으로써 작업성 및 고해 특성이 보다 효율적이며 고품질의 한지 제조법 개발을 목적으로 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

한지의 원료인 닥(*Broussonetia kazinoki* Siebold) 백피는 경북 안동산을 1, 2, 3, 4, 5, 10 cm 단위로 절단하여 사용하였으며, 한지 초지용 분산제는 시판 한지 제조용 음이온성 polyacrylamide(PAM; 중립상사)을 사용하였다.

2.2 방법

2.2.1 펄프화

알칼리 펄프화(AK; alkali pulping)는 활성알칼리 농도 18%의 NaOH를 사용하여 액비 8:1로 증해온도 150°C에서 1시간 증해하였다. 알칼리-과산화수소 펄프화(AP; alkali-hydrogen peroxide pulping)^{4,5)}는 활성알칼리 농도 18%의 NaOH와 H₂O₂ (3%)를 첨가한 증해약액을 사용하여 액비 8:1로 증해온도 150°C에서 1시간 증해하였으며, 킬레이트제로 1% EDTA를 첨가하였다. 설포메틸화 펄프화(SM; sulfomethylated pulping)^{6,7)}는 1 M Na₂SO₃에 0.3 M HCHO를 첨가한 증해약액을 사용하여 액비 8:1, 증해온도 170°C에서 1시간 증해하였다.

2.2.2 펄프 수율 측정

증해가 끝난 펄프를 해리기를 이용하여 해리한다음, 부호너 여과기로 여과하고 충분히 세척한 후 105°C의 항온 건조기에서 소정시간 건조하여 전수율을 구하였다.

2.2.3 한지의 초지

한지 제조용 초지기와 화선지발을 사용하여 평량 30 g/m²이 되도록 초지하였다. 이때 분산제인 PAM의 농도는 0.03%가 되도록 하였으며, 제조된 습지는 압착 탈수를 거쳐 스테인리스 스틸 판에 붙이고, 60°C로 조절된 열풍 항온 건조기에서 5시간 건조하였다.

2.2.4 한지의 물성 측정

제조된 한지는 TAPPI T 402 am-88에 의거하여 조습 처리하였으며, 한지의 제물성은 TAPPI Test Methods에 의거하여 측정하였다. 한지의 지합은 2D-F-sensor를 사용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 펄프화 특성

한지 제조용 펄프화법으로 가장 널리 사용되고 있는

알칼리 펄프화법과 새로운 펄프화법으로 알려져 있는 알칼리-과산화수소법 및 설포메틸화법을 이용하여 국산 닥 백피의 절단장 변화에 따른 펄프화 특성을 조사하였다.

Table 1은 펄프화법의 종류에 따른 닥 백피 절단장별 펄프 수율을 나타낸 것이다. 3가지 펄프화법 중 설포메틸화법의 펄프 수율이 평균 57.4%로 가장 높았으며, 우리나라에서 일반적으로 사용하고 있는 알칼리 펄프화법이 평균 53.5%로 가장 낮은 수율을 나타냈다. 알칼리-과산화수소법의 펄프 수율은 평균 55.6%로 설포메틸화법보다 낮지만 알칼리 펄프화법보다는 높은 것으로 나타났다. 이와 같은 펄프 수율은 닥 흑피를 펄프화했을 때, 설포메틸화법 50.2%, 알칼리-과산화수소법 39.5% 및 알칼리법 38.1%의 결과보다²⁾ 상당히 높게 나타났다. 이것은 펄프화시 닥 흑피의 외피제거가 펄프 수율 향상에 상당히 기여한다는 것을 알 수 있다.

이상의 결과로부터 검토할 때, 기존의 알칼리 펄프화법 대신 새로운 펄프화법의 도입이 필요하며 가능한 흑피 대신 백피를 증해에 이용하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

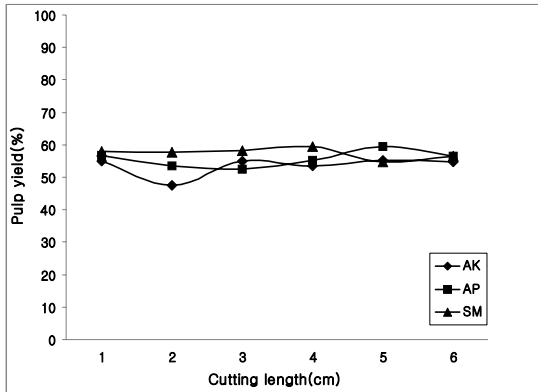


Fig. 1. Relationship between pulp yield and cutting length.

Table 1. Pulp yields depend on pulping methods

Pulping method	Cutting length(cm)						Mean (%)
	1	2	3	4	5	10	
Alkali	55.1	47.4	55.1	53.5	55.2	54.7	53.5
Sulfomethylated	57.9	57.7	58.2	59.5	54.8	56.6	57.4
Alkali-H ₂ O ₂	56.6	53.4	52.4	55.3	59.5	56.4	55.6

으로 판단된다.

Fig. 1은 닥 백피 절단장과 펄프 수율과의 관계를 나타낸 것이다. 닥 백피의 절단장이 1 cm에서 10 cm로 증가하더라도 펄프의 수율 변화에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 따라서 한지 제조의 작업성, 고해성 및 품질적 특성을 고려할 때, 닥 백피를 10 cm 전후로 절단하여 이용하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

3.2 인피섬유의 절단장 변화에 따른 한지의 특성

3.2.1 광학적 성질의 변화

인피섬유의 절단장 변화가 한지의 광학적 성질에 미치는 영향을 분석한 결과는 Table 2, 3, 4에 나타난 것과 같다. 펄프의 백색도는 종이의 백색도에 가장 중요한 영향인자로 작용하며, 다양한 인자들의 영향을 받는다. 특히 물속에 녹아 있는 철, 구리, 망간 등의 금속이온들과의 친화력이 매우 크고, 펄프중의 리그닌 함량과 열화에 매우 민감하게 반응한다.⁸⁾

3가지 펄프화법 모두 절단장이 증가할수록 백색도가 약간 증가하는 경향을 나타냈으나 그 차이는 미미한 것으로 분석되었다. 이것은 절단장이 증가할수록 섬유간 결합면적이 감소하고 산란율이 증가하기 때문으로 사료된다. 펄프화법별로는 알칼리-과산화수소법이 평균 45.0%로 가장 높았으며, 설포메틸화법 평균 36.1%, 알칼리법 평균 35.6%의 순으로 나타났다. 일반적으로 백색도가 가장 우수한 펄프화법으로 알려져 있는 설포메틸화법의 백색도가⁹⁻¹¹⁾ 알칼리-과산화수소법보다 낮게 나타난 이유는 세척시 철분이 함유된 수돗물을 사용함으로써 펄프에 착색을 야기했기 때문이라 생각된다.

각각의 펄프화법으로 제조한 한지의 불투명도는 인피섬유의 절단장이 증가할수록 다소 증가하는 경향을 나타냈으나 그 차이는 크지 않은 것으로 분석되었다.

Table 2. Physical and optical properties of Hanji made of alkaline pulp

Properties	Cutting length(cm)						Mean
	1	2	3	4	5	10	
Grammage(g/m ²)	30.9	28.9	27.2	30.5	33.2	32.7	30.6
Apparent density(g/cm ²)	0.31	0.31	0.31	0.30	0.30	0.28	0.30
Brightness(ISO,%)	39.4	34.7	33.7	35.6	35.8	34.3	35.6
Opacity(%)	70.8	74.1	72.7	72.6	73.0	77.1	73.4
Scattering coefficient(%)	29.4	27.2	25.8	24.9	27.6	29.0	27.3
Absorption coefficient(%)	3.9	5.8	5.7	5.9	5.2	6.8	5.6
Formation(L.T. value)	154.27	162.33	173.13	181.79	205.35	210.89	181.29
Breaking length(km)	1.05	1.09	1.33	0.95	1.00	1.26	1.11
TEA(J/m ²)	3.14	3.21	3.61	2.44	2.61	3.32	3.06
Tear index(mN·m ² /g)	44.37	60.95	83.24	72.51	58.58	62.59	63.73
Burst index(kPa·m ² /g)	2.09	2.38	2.61	2.36	2.06	2.19	2.28
M.I.T. folding endurance(log ₁₀ times)	1.30	1.21	1.22	1.05	1.56	1.25	1.27
	20.0	16.4	16.5	11.3	36.2	17.8	19.7

펄프화법별로는 설포메틸화법이 평균 75.2%로 가장 높게 나타났으며, 알칼리법이 평균 73.4%, 알칼리-과산화수소법이 평균 61.2%로 가장 낮게 나타났다. 이상의 결과로 볼 때, 한지의 불투명도는 인피섬유의 절단장보다 펄프화법에 더 큰 영향을 받는 것으로 생각된다.

광산란계수는 지층을 구성하는 섬유의 광학적 비결합면적에 비례하고 섬유의 팽윤도 및 인장강도와 관계가 있으며,¹²⁾ 광흡수계수는 주로 시료의 성분조성에 의존한다.¹³⁾ 제조된 한지의 광산란계수 및 광흡수계수는 3가지 펄프화법 모두 인피섬유의 절단장이 증가할수

록 다소 증가하는 경향을 나타냈으며, 광산란계수보다 광흡수계수가 좀더 뚜렷한 경향을 나타냈으나 절단장에 따른 차이는 미미한 것으로 나타났다. 펄프화법별 특성을 검토한 결과 광산란계수는 설포메틸화법 및 알칼리-과산화수소법이 비슷한 경향을 나타냈으며, 광흡수계수의 경우는 설포메틸화법 및 알칼리법이 비슷한 경향을 나타냈다.

3.2.2 지합의 변화

인피섬유의 절단장과 한지 지합과의 관계를 Fig. 2

Table 3. Physical and optical properties of Hanji made of sulfomethylated pulp

Properties	Cutting length(cm)						Mean
	1	2	3	4	5	10	
Grammage(g/m ²)	30.3	32.4	31.9	32.6	32.3	35.3	32.4
Apparent density(g/cm ²)	0.31	0.31	0.31	0.30	0.31	0.33	0.31
Brightness(ISO,%)	39.7	39.9	34.3	31.2	35.6	35.6	36.1
Opacity(%)	67.2	71.6	78.5	80.2	77.5	76.0	75.2
Scattering coefficient(%)	27.6	30.6	30.1	28.1	30.92	29.3	29.4
Absorption coefficient(%)	3.2	3.9	7.1	8.8	6.3	6.1	5.9
Formation(L.T. value)	153.90	177.93	180.15	170.90	186.10	165.55	172.42
Breaking length(km)	1.21	1.36	1.31	1.27	1.37	1.49	1.34
TEA(J/m ²)	3.26	4.23	3.85	3.61	4.11	4.32	3.90
Tear index(mN·m ² /g)	48.88	70.42	77.55	78.52	61.9	57.3	65.77
Burst index(kPa·m ² /g)	2.60	2.67	3.84	3.27	3.17	2.90	3.08
M.I.T. folding endurance(log ₁₀ times)	1.21	1.71	1.62	2.03	1.95	1.62	1.69
	16.3	51.4	41.9	107.8	88.3	41.6	57.9

Table 4. Physical and optical properties of Hanji made of alkali-H₂O₂ pulp

Properties	Cutting length(cm)						Mean
	1	2	3	4	5	10	
Grammage(g/m ²)	30.1	31.9	30.1	30.0	32.6	31.3	31.0
Apparent density(g/cm ²)	0.30	0.31	0.33	0.30	0.30	0.30	0.30
Brightness(ISO,%)	45.3	47.3	46.1	42.3	47.0	41.7	45.0
Opacity(%)	60.0	62.2	58.6	60.7	63.7	61.8	61.2
Scattering coefficient(%)	29.0	31.8	28.9	26.6	32.0	26.3	29.1
Absorption coefficient(%)	1.2	1.2	1.0	1.7	1.4	2.0	1.4
Formation(L.T. value)	141.99	173.53	201.67	135.18	188.36	159.61	166.72
Breaking length(km)	1.26	1.18	1.07	1.44	1.35	1.17	1.25
TEA(J/m ²)	4.49	3.77	3.14	3.98	4.05	2.85	3.71
Tear index(mN·m ² /g)	71.15	60.77	66.88	64.44	79.59	80.32	70.36
Burst index(kPa·m ² /g)	2.68	3.06	2.29	2.73	2.19	2.16	2.52
M.I.T. folding endurance(log ₁₀ times)	1.22	1.59	1.30	1.39	1.37	1.05	1.32
	16.6	38.9	20.1	24.6	23.3	11.1	22.4

에 나타냈다. 3가지 펄프화법 모두 인피섬유의 절단장이 증가할수록 지합이 불량해지는 것으로 나타났다. 펄프화법에 따른 지합의 변화는 기존의 알칼리 펄프화법이 가장 지합이 불량하였으며, 알칼리-과산화수소법이 가장 양호한 지합을 형성하는 것으로 나타났다. 인피섬유의 절단장에 있어서는 3가지 펄프화법 모두 1 cm로 절단한 펄프로 제조한 한지가 가장 양호한 지합을 나타냈다. 인피섬유의 절단장 1-3 cm의 범위에서는 절단장이 증가할수록 지합이 불량해지는 것으로 나타났으나, 그 이상의 범위에서는 지합의 변화가 미미하였다. 따라서 매우 우수한 지합의 한지를 제조하기 위해서는 인피섬유의 절단장을 1 cm 이내로 하는 것이 바람직하다고 판단되며, 기타의 경우에는 10 cm 이내로 인피섬유를

절단하여 한지를 제조하는 것이 여러 가지 측면에서 유리할 것으로 생각된다. 실제로 일본의 경우 인피섬유를 0.5 cm 정도로 아주 짧게 절단하여 얇고 지합이 극히 우수한 화지를 제조하는 곳도 있다.

3.2.3 강도적 성질의 변화

인피섬유의 절단장이 인장강도, 인장에너지흡수(TEA), 인열강도, 파열강도 및 내절도 등 한지의 강도적 성질에 미치는 영향을 분석한 결과는 다음과 같다.

Fig. 3은 인피섬유의 절단장에 따른 한지의 열단장 변화를 나타낸 것이다. 종이의 열단장은 단섬유의 강도, 섬유장, 지합 및 섬유간 결합의 양과 질에 의하여 크게 영향을 받는다. 3가지 펄프화법 모두 인피섬유의 절

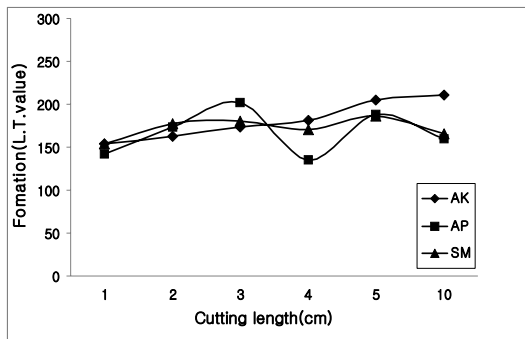


Fig. 2. Relationship between sheet formation and cutting length.

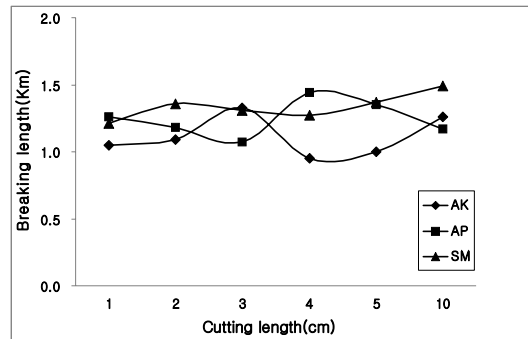


Fig. 3. Relationship between breaking length and cutting length.

단장이 증가할수록 한지의 열단장은 다소 증가하였으나 그 차이는 미미한 것으로 나타났다. 펄프화법별 열단장의 변화는 일반적인 알칼리 펄프화법이 가장 불량하였으며, 설포메틸화법이 알칼리-과산화수소법보다 다소 양호한 인장강도를 나타냈다.

인장에너지흡수란 시편에 인장하중을 가하였을 때 일어나는 stress-strain 곡선으로 둘러싸이는 면적으로 인장강도와 신장율이 결합되어 나타나는 강도이다. 일반적으로 인장에너지흡수는 인장강도에 비례하며, 이것이 높다는 것은 파괴에 소요되는 에너지의 양이 크다는 것을 의미한다.⁸⁾

Fig. 4는 인피섬유 절단장과 한지 인장에너지흡수와의 관계를 나타낸 것이다. 절단장에 따른 인장에너지흡수의 경향은 펄프화법에 따라 각각 다른 경향을 나타냈다. 인장강도가 가장 낮았던 알칼리 펄프화법이 인장에너지흡수 역시 가장 낮았으며, 절단장간의 차이는 크지 않았다. 열단장이 가장 높았던 설포메틸화법의 인장에너지흡수가 가장 높았으며, 인피섬유의 절단장이 증가할수록 인장에너지흡수가 증가하는 것으로 나타났다. 알칼리-과산화수소법은 절단장이 증가할수록 인장에너지흡수가 감소하는 경향을 나타냈다.

Fig. 5는 인피섬유의 절단장과 한지 인열강도와의 관계를 나타낸 것이다. 인열강도는 지층구조로부터 섬유를 잡아당기는 힘과 섬유를 절단하는 힘 두 가지가 포함되어 있다. 일반적으로 섬유장이 길수록 강하고 고해가 진행되어 섬유간 결합면적이 증가되어 최적면적을 초과하면 인장강도나 파열강도와는 달리 역으로 저해되는 경향을 나타낸다. 인열강도는 알칼리-과산화수소

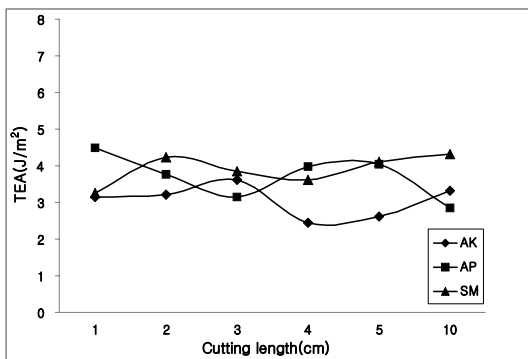


Fig. 4. Relationship between TEA and cutting length.

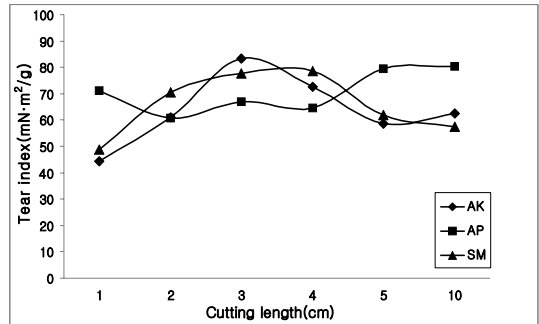


Fig. 5. Relationship between tear index and cutting length

법이 가장 우수한 것으로 나타났으며, 인피섬유의 절단장이 증가할수록 향상되는 경향을 나타냈다. 알칼리법 및 설포메틸화 펄프법은 절단장 1-4 cm의 범위에서 인열강도가 증가하다가 5-10 cm 범위에서는 감소하는 경향을 나타냈는데 이것은 섬유장의 영향보다 섬유간 결합면적의 영향에 기인된 것으로 생각된다.

Fig. 6은 인피섬유의 절단장과 파열지수와의 관계를 나타낸 것이다. 일반적으로 종이의 파열강도는 섬유장과 섬유간 결합이 깊이 관여하는 강도로서 섬유장이 길고 질긴 원질로부터는 밀도가 낮고 파열강도가 높은 종이 만들어지고, 섬유장이 짧고 수화된 원질로부터는 밀도와 파열강도가 높은 종이 제조된다.³⁾ 제조된 한지의 파열강도는 설포메틸화법이 가장 우수하였으며, 알칼리법이 가장 낮은 것으로 나타났다. 인피섬유의 절단장에 따른 한지 파열강도의 변화는 설포메틸화법 및 알칼리법이 유사한 경향을 나타냈으며, 알칼리-과산화

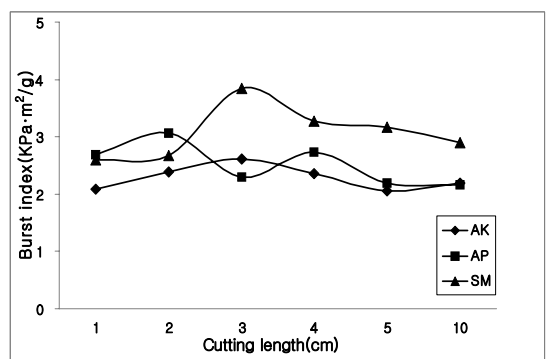


Fig. 6. Relationship between burst index and cutting length.

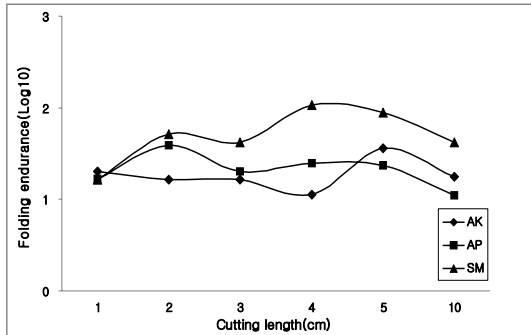


Fig. 7. Relationship between folding endurance and cutting length.

수소법은 절단장이 증가할수록 감소하는 경향을 나타냈다.

Fig. 7은 인피섬유의 절단장과 내절도와의 관계를 나타낸 것이다. 제조된 한지의 내절도는 설포메틸화법이 가장 우수하였으며, 절단장에 따른 내절도의 변화 경향은 설포메틸화법과 알칼리-과산화수소법이 절단장이 증가할수록 내절도가 증가하는 유사한 경향을 나타냈다. 현재 일반적으로 사용되는 알칼리법의 내절도가 가장 불량하였으며, 절단장이 증가할수록 감소하는 경향을 나타냈다.

4. 결론

본 연구는 한지 제조시 고해특성 및 작업성의 향상을 통한 고품질의 한지 제조법 개발을 목적으로 국산 닥 백피의 절단장이 펄프화 및 한지의 품질에 미치는 영향을 비교 검토하였으며 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 닥 백피의 절단장 변화가 펄프의 수율에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으며, 펄프의 수율은 설포메틸화법이 평균 57.4%, 알칼리-과산화수소법이 평균 55.4%, 일반적인 알칼리법이 53.5%로 가장 낮게 나타났다.

2. 인피섬유의 절단장이 증가할수록 광학적 특성인 백색도, 불투명도, 광산란계수 및 광흡수계수는 다소 증가하는 경향을 나타냈으나 그 차이는 미미한 것으로 나타났다.

3. 인피섬유의 절단장 1-3 cm의 범위에서는 절단장

이 증가할수록 지합이 불량해지는 것으로 나타났으나, 그 이상의 범위에서는 지합의 변화가 미미하였다. 펄프화법에 따른 지합은 알칼리 펄프화법이 가장 불량하였으며, 알칼리-과산화수소법이 가장 양호하였다.

4. 인피섬유의 절단장이 증가할수록 일반적인 강도적 특성인 열단장, 인장에너지흡수, 인열강도, 파열강도 및 내절도가 대체적으로 다소 향상되는 경향을 나타냈다. 펄프화법에 있어서는 종래의 알칼리법의 강도적 특성이 가장 불량하였으며, 개량법인 설포메틸화법 및 알칼리-과산화수소법의 강도적 특성이 우수한 것으로 나타났다.

인용문헌

1. 최태호, 뽕나무를 이용한 새로운 한지의 제조(제1보)-해부학적, 화학적 성질 및 펄프화 특성-, 펄프·종이기술 31(3):96-104(1999).
2. 최태호, 조남석, 닥나무를 이용한 새로운 전통한지의 제조(제1보)-닥나무의 펄프화 특성-, 펄프·종이기술 28(1):49-59(1996).
3. 최태호, 닥나무를 이용한 새로운 전통한지의 제조, 충북대학교 박사학위논문(1994).
4. 御田昭熊, 栢原 進, 河村英司, 今井重明, 過酸化水素のアルカリ溶液を蒸解薬液にするバルヘ(PAP)の研究, -第1報, Japan Tappi 37(3):262-271 (1983).
5. 御田昭熊, 栢原 進, 河村英司, 今井重明, 過酸化水素のアルカリ溶液を蒸解薬液にするバルヘ(PAP)の研究, -第2報, Japan Tappi 37(6):537-547 (1983).
6. De Groot, R. A. M. C., M. G. Neumann, J. R. Lechat, A. A. S. Curvelo, and J. Alaburda, The Sulfomethylation of lignin, Tappi 70(3):139-140(1987).
7. 大井 洋, 中野準三, 石津 敦, 針葉樹材のキノン添加亞硫酸ナトリウム・ホルムアルデヒド蒸解に関する研究, Japan Tappi 41(8):708-716(1987).
8. Scott, W. E. and S. Trosset, Properties of Paper: An Introduction, TAPPI PRESS, Atlanta, pp.1-122 (1989)
9. 최태호, 조남석, 닥나무를 이용한 새로운 전통한지의 제조(제2보)-인피부 및 목질부 펄프 혼합초지 한지의 특성-, 펄프·종이기술 30(2):74-84(1998).

10. 최태호, 조남석, 닥나무를 이용한 새로운 전통한지의 제조(제3보)-인피부 및 전간부 펄프 혼합초지 한지의 특성-, 펄프 · 종이기술 30(2):85-95(1998).
11. 최태호, 조남석, 뽕나무를 이용한 새로운 한지의 제조(제2보)-인피부 및 전간부 섬유 한지의 특성-, 펄프 · 종이기술 31(4):84-92(1999).
12. 紙バルブ技術協會, 紙ブルバ種類とその試験法, 紙バルブ技術協會, 東京, pp.1-208(1983).
13. 日本木材學會, 木材科學實驗書 II, 化學編, 中外産業調査會. p.72(1985).