

닥나무를 이용한 새로운 한지의 제조(제2보)

- 인피부 및 목질부 펄프 혼합초지 한지의 특성 -

최태호*¹ · 조남석*²

New Korean Traditional Papermaking from Paper Mulberry(II)

- Properties of the Hanjis Mixed with Bast Part and Wood Core Pulps -

Tae-Ho Choi*¹, and Nam-Seok Cho*²

ABSTRACT

This study was carried out to investigate the papermaking characteristics of paper mulberry (*Broussonetia kazinoki*) for new Korean traditional paper (Hanji). Hanji has been traditionally made only with the bast fiber of paper mulberry. Besides mulberry bast part, wood core was utilized separately or in mixed forms as raw materials for the new Hanji.

Hanjis made from the sulfomethylated pulp were shown higher brightness and sheet strengths than those from alkali and alkali-hydrogen peroxide pulps. The brightness of sulfomethylated pulp was found to be high enough not to need additional bleaching.

In the physical properties of the Hanjis mixed with bast part and wood core pulps, the handsheet strengths were decreased as the increase of the wood core pulp contents. But the sheet strengths of Hanjis containing 10~30% of wood core pulps were higher than those of the Hanji containing bast part pulp only.

The sheet formations were improved as the increase of wood core pulp contents, while the sheet strengths were decreased.

1. 서론

우리 나라의 경우 한지의 제조시 사용되는 주원료가 장섬유인 닥나무의 인피섬유인 관계로 흘림뜨기 위주로 한지를 제조하여 왔다. 장섬유인 인피섬유를 이용하여 균일한 지합의 종이를 제조하

기 위해서는 흘림뜨기가 가장 적합한 초지 방법이 었기 때문이다. 그러나 오늘날 인피섬유 자원 및 숙련공의 부족은 한지의 제조 방법에 많은 변화를 가져왔다.

균일한 지합보다 강도가 요구되는 창호지 및 장판지의 제조에는 인피섬유를 주로 하여 초지하고, 균일한 지합이 요구되는 화선지의 경우 인피섬유

*1 충북대학교 농업과학기술연구소, (Agricultural Science & Technology Institute, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea).

*2 충북대학교 산림과학부, (School of Forest Resources, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea).

만으로 초지 할 경우 먹번짐(發墨) 상태가 불량하므로 목재 펄프 및 짚섬유 등의 단섬유를 혼합하여 초지해 왔다. 그러나 최근에는 원료난과 작업의 효율성 등으로 인하여 화선지 제조시 인피섬유의 함량은 감소하고 폐지의 혼입율이 증가하고 있는 추세이다. 이렇게 제조된 한지는 산성화, 내구성 감소, 황변현상, 발묵성의 불량 등, 많은 문제점을 야기시키고 있다. 또한 초지법에 있어서도 반자동 수초지기 및 기계초지법 등이 도입되고 있으나 수륙법에 비해 아직까지 생산된 제품의 품질이 떨어진다는 문제점을 안고 있다.

따라서 본 연구에서는 새로운 펄프화법으로 제조한 닥나무 펄프들을 이용하여 인피섬유만을 사용하는 종래의 한지 제조법을 지양하고, 인피섬유 특유의 장섬유 부분과 목질부의 단섬유 부분을 효과적으로 조합한 새로운 유형의 다양한 한지를 제조하고 그 특성을 구명코자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 재료

2.1.1 한지 펄프

전보¹⁾의 알칼리법(AK), 알칼리-과산화수소법(AP) 및 설포메틸화법(SM)으로 증해한 닥나무의 인피부 및 목질부 펄프를 사용하였다.

2.1.2 분산제

한지 제조용 시판 polyacrylamide(PAM : 분자량 수백만, 중립상사)를 사용하였다.

2.1.3 시판 한지류

화선지인 고려지, 유선지 및 죽지는 전라북도 전주에서 제조한 것을 사용하였으며, 수륙 창호지는 경상남도 의령에서 제조한 닥나무 인피섬유 100%인 순지를 사용하였다. 한편, 기계초지한 창호지는 대구에서 생산된 꽃무늬 창호지를 사용하였다.

2.2 방법

2.2.1 해리 및 고해

인피부 및 목질부 펄프는 표준 해리기를 이용하여 해리한 다음, 인피부 펄프는 Hollander형 beater를 이용하여 해리를 주목적으로 농도 2%로 15분간 고해하였고, 목질부 펄프는 고해하지 않고 8/1,000 cut flat screen으로 정선한 펄프를 사용하였다.

2.2.2 지료 배합

인피부 및 목질부 펄프를 Table 1과 같은 혼합비로 배합한 다음, 배합지료 3.91g(발규격 3.2척 × 2.2척 기준 장당 5뎀매 지에 해당되는 지료량)을 0.03% PAM 용액 5,000ml에 넣고 균일하게 분산시킨 다음 초지기에 투입하였다.

Table 1. The mixture ratios of pulp components for various Hanjis

Hanji Name	Pulp Resources(%)	
	Bast Part	Wood Core
No.1	100	0
No.2	90	10
No.3	80	20
No.4	70	30
No.5	60	40
No.6	50	50
No.7	40	60
No.8	30	70
No.9	20	80
No.10	10	90

2.2.3 여수도 측정

Table 1과 같은 소정의 혼합비로 혼합된 지료들에 대하여 Schopper-Riegler Freeness tester를 사용하여 여수도를 측정하였다.

2.2.4 초지

2.2.2와 같은 혼합비로 조성된 지료를 특수 제작한 한지 초지기를 사용하여 초지하였으며, 초지용 받은 화선지 제조용을 사용하였다.

2.2.5 건조

초지된 습지를 건조용 스테인레스 철판에 지면이 안쪽으로, 습취용 면포가 바깥쪽으로 향하도록 붙이고, 실온에서 약 6시간 자연탈수 및 건조를 행한 다음, 60℃로 조절된 열풍 항온 건조기에서 2시간 동안 건조하였다.

2.2.6 한지의 특성 조사

소정의 혼합비로 초지한 한지는 Tappi Test Methods에 의거 조습처리 및 물성 측정을 실시하였으며, 시이트의 formation은 Noram사의 REED N.U.I METER(Model MK II)를 사용하여 측정하였다.

3 결과 및 고찰

3.1 인피부 및 목질부 펄프의 혼합초지

닥나무의 인피부 및 목질부 펄프를 원료로 하는 혼합초지 특성을 구명하기 위하여 알칼리법, 알칼리-과산화수소법 및 설포메틸화법으로 제조한 펄

프를 Table 1의 혼합비에 의거, 특수 제작한 한지 수초지기를 사용하여 초지하였다. 각각의 펄프를 이용하여 혼합초지한 한지의 물리적 특성 및 기계적 특성을 측정된 결과를 Table 2, Table 3 및 Table 4에 나타냈다. 아울러 비교를 위하여 Table 5에 현재 시판되고 있는 화선지 및 창호지의 물성도 함께 표시하였다.

3.2 원료 혼합비에 따른 여수도의 변화

원료의 혼합비에 따른 여수도의 변화는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 장섬유인 인피섬유 펄프뿐일 때보다 단섬유인 목질부 펄프의 혼입량이 증가함에 따라 지료의 여수도가 증가하였으나, 목질부 펄프의 혼입량이 20~40%일 때 최대 값을 나타낸 후, 혼입량이 증가하더라도 더이상 높아지지 않고 서서히 감소하는 경향을 나타냈다.

펄프화법별 여수도의 변화는 알칼리법이 24~31°SR, 알칼리-과산화수소법(AP)이 23~29°SR로 비슷한 값을 나타낸 반면, 설포메틸화법은 21~41°SR로 알칼리법 및 AP법에 비하여 상당히 높은 값을 나타냈다. 이것은 설포메틸화법의 증해반응이 알칼리법이나 AP법보다 온화하고, 탈리그닌에 대한 선택성이 우수한 관계로 증해시 셀룰로오스의 붕괴가 적어 상대적으로 많은 양의 헤미셀룰로오스와 유세포 등의 미세섬유가 잔존하고 있을 뿐만 아니라 펄프중의 리그닌에도 설포기가 도입되어 섬유의 친수성 및 유연성이 증대되었기 때문이라 사료된다.

Table 2. Physical and mechanical properties of Hanjis mixing with bast part and wood core pulps cooked by alkali method

Hanji Name	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10
Freeness(°SR)	26	30	31	28	27	26	26	25	24	24
Grammage(g/m ²)	34.5	34.8	35.6	35.1	35.8	34.0	31.7	32.3	31.6	31.4
Density(g/cm ³)	0.21	0.21	0.21	0.20	0.21	0.20	0.20	0.19	0.19	0.18
Formation(NUI)	27.1	22.5	21.0	20.3	22.3	20.0	15.4	14.8	10.9	11.3
Brightness(%)	27.9	31.0	32.7	34.2	33.8	35.0	37.1	38.3	37.9	39.1
Opacity(%)	66.0	68.7	73.2	75.0	78.0	77.5	75.5	79.6	81.3	82.2
Burst index(kPa · m ² /g)	1.81	2.14	2.08	2.09	1.77	1.52	1.42	1.12	0.72	0.51
Tear index(mN · m ² /g)	7.58	7.78	7.20	6.70	5.86	5.50	5.20	3.16	2.63	1.31
Breaking length(km)	1.40	1.63	1.43	1.74	1.32	1.04	0.97	0.97	0.73	0.49
MIT folding endurance(time)	28	69	89	115	27	15	4	1	0	-

Table 3. Physical and mechanical properties of Hanjis mixing with bast part and wood core pulps cooked by alkali-hydrogen peroxide method

Hanji Name	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10
Freeness(°SR)	23	24	26	28	29	29	27	25	25	23
Grammage(g/m ²)	36.9	34.5	36.4	35.0	35.0	35.3	33.2	33.9	32.6	35.3
Density(g/cm ³)	0.20	0.20	0.19	0.21	0.20	0.20	0.19	0.18	0.18	0.18
Formation(NUI)	21.6	19.3	21.5	20.4	17.5	12.8	15.9	14.3	13.4	8.9
Brightness(%)	36.5	36.3	38.4	37.6	37.9	38.9	38.6	39.4	38.8	39.7
Opacity(%)	67.8	68.7	73.2	74.9	76.8	79.9	79.9	82.8	83.0	86.2
Burst index(kPa · m ² /g)	2.05	2.10	1.98	1.95	1.81	1.60	1.35	1.03	0.72	0.37
Tear index(mN · m ² /g)	7.82	8.02	8.07	7.12	6.41	5.89	4.29	2.90	2.52	1.19
Breaking length(km)	2.15	2.27	2.05	2.24	2.05	1.96	1.20	0.97	0.72	0.47
MIT folding endurance(time)	119	93	69	51	24	16	5	0	0	-

Table 4. Physical and mechanical properties of Hanjis mixing with bast part and wood core pulps cooked by sulfomethylated method

Hanji Name	N0.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10
Freeness(°SR)	21	29	36	39	41	37	34	33	32	31
Grammage(g/m ²)	35.8	33.1	34.0	33.7	32.7	32.4	32.0	33.6	34.0	33.5
Density(g/cm ³)	0.21	0.21	0.22	0.21	0.22	0.22	0.22	0.21	0.21	0.20
Formation(NUI)	26.4	24.9	20.7	19.8	20.5	18.2	18.9	11.7	11.2	9.3
Brightness(%)	62.3	62.1	60.2	61.7	60.3	62.3	60.6	61.9	60.4	60.2
Opacity(%)	57.1	57.9	59.5	62.9	64.8	66.0	68.1	72.6	75.4	77.6
Burst index(kPa · m ² /g)	2.15	2.36	2.16	2.09	1.94	1.71	1.19	1.23	0.76	0.58
Tear index(mN · m ² /g)	7.50	8.65	8.99	7.10	5.90	5.29	4.14	3.31	1.94	1.26
Breaking length(km)	1.53	1.90	2.25	1.91	1.78	1.76	1.63	1.57	1.34	1.28
MIT folding endurance(time)	51	196	181	89	55	29	16	9	2	1

Table 5. Physical and mechanical properties of various commercial Hanjis

Hanji Name	Goryeoji	Youseonji	Jookji	Changhoji(H)*	Changhoji(M)**
Grammage(g/m ²)	22.8	28.7	25.8	33.2	67.2
Density(g/cm ³)	0.38	0.38	0.38	0.26	0.56
Formation(NUI)	15.6	20.4	16.4	26.0	11.9
Brightness(%)	79.3	78.8	48.1	67.3	96.5
Opacity(%)	57.8	63.7	65.1	60.8	75.7
Burst index(kPa · m ² /g)	0.60	0.90	1.29	3.30	4.37
Tear index(mN · m ² /g)	0.75	1.82	2.21	4.63	2.57
Breaking length(km)	1.55	2.23	2.89	7.15	10.23
MIT folding endurance(time)	0	6	19	1.934	3.262

* (H) : hand made, ** (M) : machine made

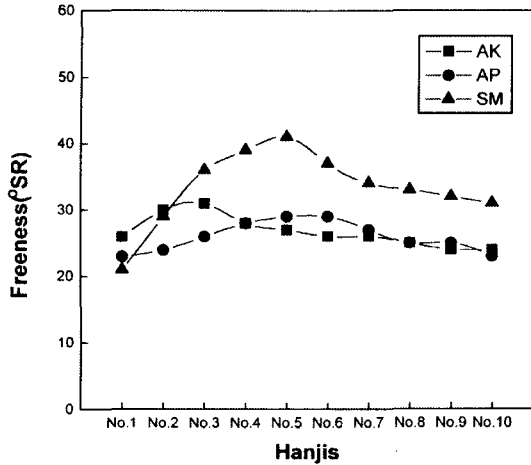


Fig. 1. Relationship between freeness and mixture ratios of bast part and wood core pulps.

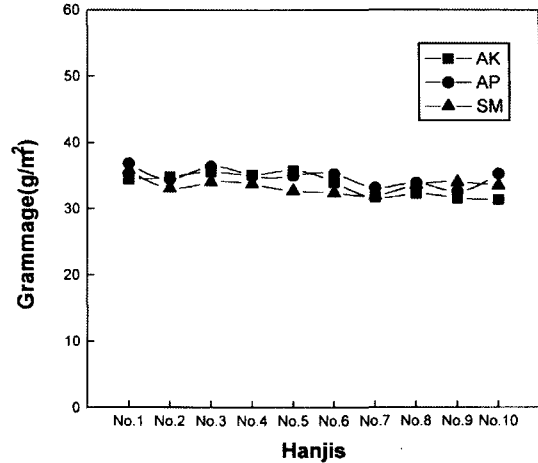


Fig. 2. Relationship between grammage and mixture ratios of bast part and wood core pulps.

3.3 원료의 혼합비에 따른 지질의 변화

인피 펄프에 단섬유인 목질부 펄프를 혼입하여 초지하였을 때, 혼입율에 따른 평량, 밀도, 지합 등 지질의 변화를 검토한 결과는 다음과 같다.

Fig. 2는 목질부 펄프의 혼합비에 따른 평량의 변화를 나타낸 것으로서 알칼리 펄프는 $31.4 \sim 35.8 \text{g/m}^2$, AP 펄프는 $32.6 \sim 36.9 \text{g/m}^2$, 설포메틸 펄프는 $32.0 \sim 35.8 \text{g/m}^2$ 로 펄프화법별로 평량에 있어 약간의 차이가 나타났으나 그 차이는 크지 않았다. 이와 같이 평량에 있어 차이가 발생하는 것은 초지시 유세포 등을 포함하는 미세분들이 보류되지 못하고 초지발 사이를 통과하기 때문이라 생각된다.

제조한 한지와 비교를 위하여 시판 한지류의 평량을 측정 한 결과는 Fig. 5에서 보는 바와 같다. 고려지, 유선지 및 죽지와 같은 화선지류의 평량은 $22.7 \sim 28.7 \text{g/m}^2$ 로 혼합초지한 한지의 $31.4 \sim 36.9 \text{g/m}^2$ 보다 낮았고, 수록 창호지는 33.2g/m^2 로 비슷한 평량범위에 속하는 것으로 나타났다.

밀도는 종이에 있어서 매우 중요한 성질로 밀도의 변화는 종이의 모든 성질을 변화시킨다. 목질부 펄프 혼입율과 한지 밀도와의 관계를 검토한 결과는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 3종류 펄프 모두 낮은 혼입비에서는 약간 증가하였다가 혼입량이 증가할수록 그 차이는 아주 작았으나 감소하

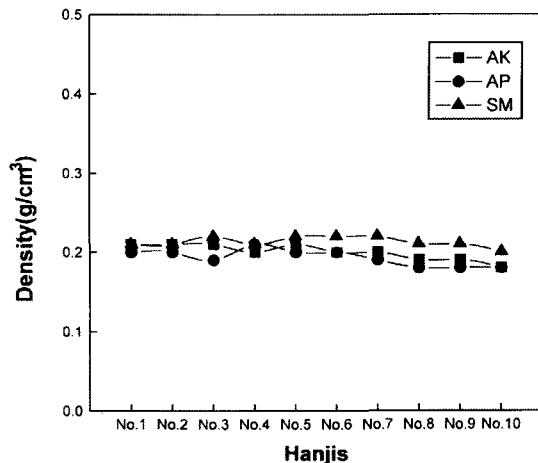


Fig. 3. Relationship between density and mixture ratios of bast part and wood core pulps.

는 것으로 나타났다. 이것은 낮은 혼입량에서는 초지시 장섬유들에 의해 형성된 섬유간의 공극을 목질부의 단섬유가 메워 주기 때문에 섬유간 결합면적이 증가하여 밀도가 증가하나, 높은 혼입량에서 밀도가 감소하는 이유는 미고해 목질부 펄프의 혼입량 증가로 인하여 섬유간 결합이 불량해져 밀도가 감소된 것으로 생각된다. 따라서 밀도가 높고 섬유간 결합이 양호한 한지를 제조하기 위해서는 단섬유원인 목질부 펄프를 고해하여 혼입하는

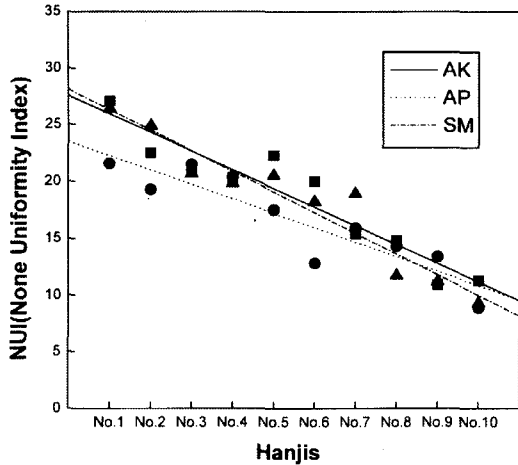


Fig. 4. Relationship between formation (NUI) and mixture ratios of bast part and wood core pulps.

것이 바람직한 것으로 사료된다.

펄프화법별로는 알칼리법이나 AP법보다 설포 메틸화법으로 만든 한지의 밀도가 다소 높게 나타났다. 이것은 여수도의 변화에서 시사한 바와 같이 미세분 함량의 증가 및 펄프중 리그닌에 친수성기의 도입으로 인하여 섬유 유연성 및 미세분의 보류가 향상되어 섬유간 결합이 증가되었기 때문이라 사료된다.

시판 한지류들과 밀도를 비교한 결과, 제조 한지의 밀도가 0.18~0.22g/cm³로 고려지, 유선지, 죽지 등 화선지류의 0.38g/cm³ 및 수록 창호지의 0.26g/cm³보다 다소 낮게 나타났다. 이러한 것은 화선지류의 경우 초지시 인피섬유에 폐지를 다량 혼입하기 때문에 많은 양의 충전물들이 시이트중에 존재할 뿐만 아니라, 초지후 습지를 가압 탈수하는 반면, 본 실험에서는 미고해 펄프를 사용하였고, 습지를 가압 탈수 할 수 없었기 때문에 충분한 consolidation이 일어나지 못하여 밀도가 낮게 나타난 것으로 사료된다.

Fig. 4는 목질부 펄프 혼입율에 따른 지함의 변화를 나타낸 것으로서, 종이의 지함은 지료, 초지기 및 완성지료의 조성 등 많은 인자들의 영향을 받으며, 종이의 인쇄 및 펄기 적성에 대단히 중요한 영향 인자이다.³⁾

3종류의 펄프 모두 목질부 펄프의 혼입량이 증가할수록 인피 펄프 단독으로 초지하였을 때보다

지함이 향상된다는 사실이 판명되었으며, 펄프화법 상호간에는 큰 차이가 없이 거의 동일한 경향을 나타내었다. 이와 같이 목질부 펄프의 혼입에 의해 지함이 향상되는 이유는 전술한 바와 같이 초지시 장섬유들에 의해 형성된 섬유들간의 공극을 단섬유인 목질부 펄프가 메워주기 때문이라 사료된다.

본 실험에서 제조한 한지들과 시판 한지류의 지함을 비교해 보면, 인피섬유 단독으로 초지한 한지들의 NUI는 AP법의 21.6을 제외하고 26.4~27.1로 수록 창호지의 26.0과 비슷한 수준이었으며, 목질부 펄프 혼입량이 30~60%인 경우에는 시판 화선지류의 NUI 값 15.6~20.4와 같은 수준이었으나, 목질부 펄프의 혼입량이 70% 이상 되면 기계초지 창호지와 같은 수준의 지함을 나타냈다.

전체적으로 목질부 펄프 혼입량 증가가 지함을 향상시키는 결과는 보여주었지만, 이와 같은 지함 향상이 한지의 밀도를 향상시키지는 못한 것으로 나타났는데, 그 이유는 한지 펄프의 충분한 해리 및 고해가 이루어지지 못하여 잔존하는 결속섬유나 섬유의 결절들이 섬유간의 결합을 저해했기 때문인 것으로 생각된다.

3.4 원료의 혼합비에 따른 광학적 성질의 변화

인피 펄프에 단섬유인 목질부 펄프를 혼입할 때 이들의 혼입량이 백색도 및 불투명도등 제조 한지의 광학적 성질에 미치는 영향을 분석한 결과는 다음과 같다.

펄프의 백색도는 종이의 백색도에 가장 중요한 영향인자로 작용하며, 또한 다양한 인자들의 영향을 받는데, 특히 물 속에 녹아 있는 철, 구리, 망간 등의 불순물들과의 친화력이 대단히 크고, 펄프 중의 리그닌 함량과 열화에 매우 민감하게 반응한다.³⁾

Fig. 5는 목질부 펄프 혼입에 따른 각 한지들의 백색도 변화를 나타낸 것으로서, 인피섬유 단독 초지의 경우 설포메틸화법의 백색도가 62.3%로 알칼리법의 27.9% 및 AP법의 36.5%보다 월등히 높은 값을 나타냈으며, 알칼리법 및 AP법은 목질부 펄프의 혼입량이 증가할수록 백색도가 증가하는데 이것은 후벽인 인피섬유에 비하여 상

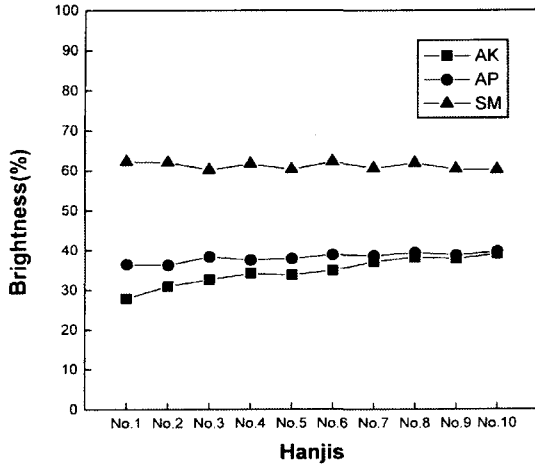


Fig. 5. Relationship between brightness and mixture ratios of bast part and wood core pulps.

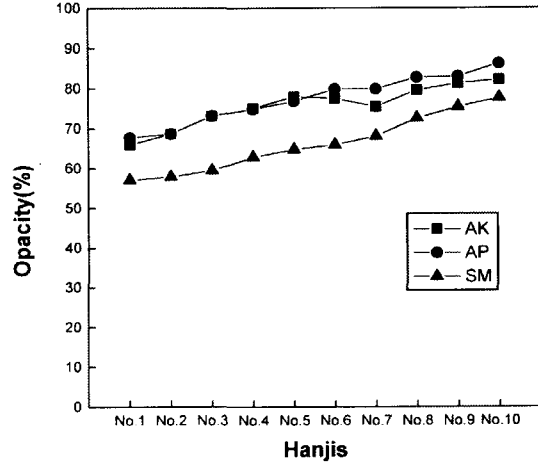


Fig. 6. Relationship between opacity and mixture ratios of bast part and wood core pulps.

대적으로 박백인 목질부 펄프의 혼입량이 증가하여 백색도가 증가하는 것으로 생각된다. 그러나 설포메틸화법은 오히려 백색도가 약간 감소하는 경향을 나타냈는데, 이것은 세척이나 초지시 인피부 펄프보다 수질의 영향을 더 많이 받는 것으로 나타난 목질부 펄프의 혼입량이 증가했기 때문이라 생각된다.

시판 한지류와 백색도를 비교해 보면, 설포메틸화법의 펄프로 제조한 한지는 표백을 하지 않아도 죽지의 48.1% 및 수초지 창호지의 60.8%보다 높게 나타났으며, 고려지의 79.3%, 유선지의 78.8%보다는 낮게 나타났다. 따라서 높은 백색도가 요구되는 제품을 제외한 거의 모든 용도의 제품에 미표백 상태로도 사용 가능하다고 사료된다.

Fig. 6은 목질부 펄프 혼입율에 따른 한지의 불투명도 변화를 나타낸 것으로서 인피 펄프 단독 초지인 경우 백색도가 가장 높았던 설포메틸화법이 57.1%로 알칼리법의 66.0% 및 AP법의 67.8%보다 상당히 낮았으며, 전체적으로 설포메틸화법의 불투명도가 가장 낮았고 알칼리법 및 AP법은 거의 비슷한 경향을 나타냈다. 설포메틸화법 펄프의 불투명도가 낮은 이유는 펄프 자체의 백색도가 높을 뿐만 아니라 섬유간 결합이 증가하였기 때문이라 생각된다.

목질부 펄프 혼입초지의 경우 혼입률이 증가할수록 세 가지 펄프화법 모두 불투명도가 증가하였

는데, 이것은 단섬유의 혼입으로 인하여 빛의 산란을 일으키는 섬유 전체적인 표면적이 증가하기 때문으로 사료된다.

시판 한지의 경우 불투명도가 57.8~65.1%로 알칼리법의 66.0~82.2% 및 AP법의 67.8~86.2%보다 상당히 낮았으며, 설포메틸화법의 목질부 펄프 혼입률 0~50%의 불투명도 57.1~66.0%와는 비슷한 수준이었다. 이와 같이 시판 한지의 불투명도가 낮은 것은 충전제 및 미세섬유가 많이 포함되었음에도 불구하고 평량이 낮고, 밀도가 클 뿐만 아니라 표백 펄프를 사용했기 때문이라 사료된다. 또한 설포메틸화법의 인피섬유 단독으로 초지한 한지는 시판 전통 창호지의 불투명도 60.8%보다 오히려 낮았다.

3.5 원료의 혼합비에 따른 강도적 성질의 변화

장섬유인 인피 펄프에 단섬유의 목질부 펄프 혼입이 파열강도, 인열강도, 인장강도 및 내절도 등 한지의 기계적 성질 변화에 미치는 영향을 분석한 결과는 다음과 같다.

Fig. 7은 목질부 펄프 혼입율에 따른 제조 한지의 파열강도 변화를 나타낸 것이다. 일반적으로 종이의 파열강도는 섬유장과 섬유간 결합이 깊어

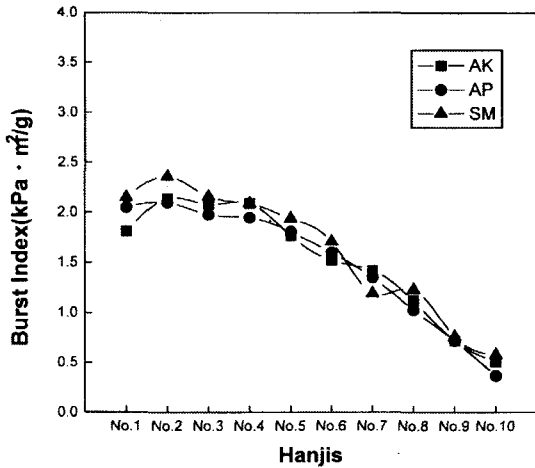


Fig. 7. Relationship between burst index and mixture ratios of bast part and wood core pulps.

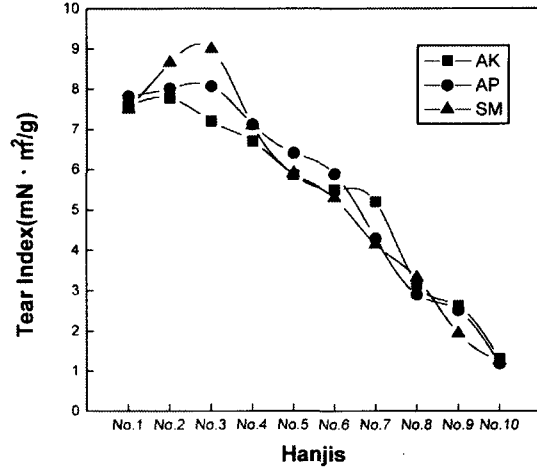


Fig. 8. Relationship between tear index and mixture ratios of bast part and wood core pulps.

관여하는 강도로서 섬유장이 길고 질긴 원질로부터는 밀도가 낮고 파열강도가 높은 종이 만들어지고, 섬유장이 짧고 수화된 원질로부터는 밀도가 높고 파열강도 또한 높은 종이 제조된다.^{3, 4)} 밀도가 증가함에 따라 파열강도도 증가하여 인장강도와 유사한 경향을 나타내는데 특히 중방향의 인장강도와 신도가 주된 요소로 작용한다.

인피섬유 단독 초지시의 파열지수는 설포메틸화법이 2.15kPa · m²/g으로 가장 높았으며, 알칼리법의 1.81kPa · m²/g에 비해 18.8%, AP법의 2.05kPa · m²/g보다는 약 4.9%의 강도 증가를 가져왔다. 한편 목질부 펄프의 혼입량에 따른 파열강도의 변화는 목질부 펄프의 혼입량이 10%일 때 세 가지 펄프화법 모두 가장 높은 파열강도를 나타냈으며, 혼입량 10~30%까지는 인피 펄프 100%보다 강도가 증가하였으나, 그 이상의 혼입량에서는 목질부 펄프의 혼입량이 증가할수록 감소하여 혼입량이 90%일 때 가장 낮은 파열강도를 나타냈다. 이와 같이 장섬유인 인피 펄프에 단섬유인 목질부 펄프를 10~30% 혼입하여 장섬유의 불충분한 지합을 개선하므로써 한지의 강도 향상을 가져올 수 있다고 생각된다.

시판 한지류와 본 실험에서 제조한 한지의 파열강도를 비교하면, 인피섬유 100%의 단독초지의 경우 시판 수륙 창호지가 3.30kPa · m²/g으로 본 실험에서 제조한 한지의 1.81~2.15kPa · m²

/g보다 상당히 높은 것으로 나타났는데, 이것은 시판 창호지의 경우 습압을 실시하는 반면, 본 실험에서는 습압을 실시하지 못하여 충분한 섬유간 결합이 이루어지지 않아 밀도가 낮아졌기 때문이라 사료된다. 혼합초지의 경우 시판 화선지류의 파열지수가 0.60~1.29kPa · m²/g으로 목질부 펄프 혼입율 60~90%의 한지 파열지수와 비슷한 수준을 나타낸 반면, 혼입율 60% 미만에서는 시판 화선지류보다 본 실험에서 제조한 한지류의 파열지수가 우수한 것으로 나타났다.

목질부 펄프의 혼입율에 따른 각 한지의 인열강도 변화는 Fig. 8에 나타낸 것과 같다. 인열강도는 지층구조로부터 섬유를 잡아당기는 힘과 섬유를 절단하는 힘 두 가지가 포함되어 있고, 일반적으로 섬유장이 길면 길수록 강하며, 고해가 진행되어 섬유간 결합면적이 증가되어 최적 면적을 초과하면 인장강도나 파열강도의 경향과는 역으로 인열강도는 저하된다.

인피 펄프 단독초지시 각 펄프화법별 인열강도는 AP법이 7.82mN · m²/g으로 가장 높았고, 다음으로 알칼리법 7.58mN · m²/g, 설포메틸화법 7.50mN · m²/g 순이었으나 세 가지 펄프화법 간에 큰 차이는 없었다.

목질부 펄프 혼입에 따른 인열강도의 변화는 목질부 펄프의 혼입율이 10~20%일 때 인피 펄프 단독초지보다 높은 최고 값을 나타냈으며, 세 가

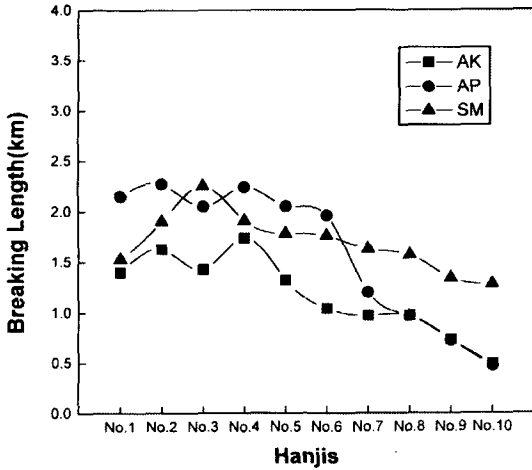


Fig. 9. Relationship between breaking length and mixture ratios of bast part and wood core pulps.

지 펄프화법 모두 비슷한 경향을 나타냈다. 이와 같이 혼합초지가 인피섬유 단독초지보다 높은 인열강도를 나타낸 것은 목질부와 인피부를 혼합초지 함으로서 목질부가 가지고 있는 단섬유가 장섬유에 의해서 형성된 섬유간 공간을 메우면서 섬유간 결합을 향상시켰기 때문이라 생각된다. 그러나 목질부 펄프의 혼입율이 30% 이상이 되면 세 가지 펄프화법 모두 혼입율의 증가에 따라 인열강도가 감소되는데, 이것은 단섬유의 혼입에 의해 지합이 향상된다 하더라도 인열강도의 가장 중요한 인자 중의 하나인 장섬유분이 감소하기 때문이라 사료된다. 일반적으로 지합이 불량한 경우 종이의 인열강도는 섬유의 강도보다 섬유장의 영향이 크며, 지합이 양호한 경우는 반대의 현상이 나타나고, 섬유장 및 강도가 비슷한 경우는 섬유의 coarseness가 큰 것이 인열강도가 높다.³⁾

시판 한지류와 인열강도를 비교해보면, 본 실험에서 제조한 한지류의 밀도가 낮았음에도 불구하고 인피 펄프 단독초지인 경우 세 가지 펄프화법 모두 수록 창호지의 $4.63\text{mN} \cdot \text{m}^2/\text{g}$ 보다 약 62% 이상의 강도 증가를 가져왔다. 혼합초지의 경우 목질부 펄프 혼입율이 80~90%일 때의 인열강도는 시판 화선지류의 인열강도 $0.75 \sim 2.21\text{mN} \cdot \text{m}^2/\text{g}$ 과 비슷하였고, 혼입율이 80% 이상일 때에는 세 가지 펄프화법 모두 시판 화선지류보다 높은 인열강도를 나타냈다. 따라서 시판

화선지류의 경우 장섬유인 인피섬유의 함량이 매우 낮다는 것을 알 수 있다.

Fig. 9는 목질부 펄프 혼입율에 따른 제조한지의 열단장 변화를 나타낸 것으로서 인장강도의 지표로 사용되는 종이의 열단장은 단섬유의 강도, 섬유장, 지합 및 섬유간 결합의 양과 질에 의하여 크게 영향을 받는다. 또한 고해도의 증가로 인한 섬유의 외부피브릴화 및 내부피브릴화가 진행됨에 따라 섬유의 표면적이 증가되고, 섬유 표면에 노출된 셀룰로오스 분자의 수산기에 의해 수소결합의 기회가 증대되어 섬유간 결합이 커지게 된다. 아울러 수화된 섬유는 고해가 진행됨에 따라 유연성이 증가되어 섬유간의 결합에 기여하게 된다.

인피 펄프 단독초지의 경우 AP법의 열단장이 2.15km로 설포메틸화법의 1.53km 및 알칼리법의 1.40km보다 상당히 높은 강도 값을 나타냈는데, 이것은 Fig. 4에서 알 수 있듯이 AP법의 지합이 설포메틸화법이나 알칼리법보다 양호한 것에 기인하는 것으로 사료된다.

목질부 펄프 혼합초지에 의한 열단장의 변화는 목질부 펄프 혼입율이 10~30%일 때의 열단장이 인피 펄프 단독초지시보다 높은 값을 나타냈다. 이와 같은 경향은 단섬유인 목질부 펄프의 첨가가 인피 펄프 단독초지보다 섬유간의 결합을 양호하게 하여 강도가 증가 된 것으로 생각된다. 그러나 목질부 펄프의 혼입율이 30% 이상으로 증가하게 되면 세 가지 펄프화법 모두 열단장은 서서히 감소하여, 혼입율 60% 이상에서는 알칼리법 및 AP법의 감소 경향이 같아지는 것으로 나타났다. 한편, 설포메틸화법은 목질부 펄프의 혼입율이 20%일 때 최대 값인 2.25km를 나타낸 이후 혼입율 증가에 따라 열단장이 서서히 감소하지만 혼입율 70%까지는 인피 펄프 단독초지보다 높은 값을 나타냈다. 이것은 설포메틸화법에 의해 제조된 목질부 펄프가 알칼리법이나 AP법에 의해 제조된 목질부 펄프들보다 온화한 증해로 인한 미세 섬유의 함량이 많고, 펄프화 과정에서 설포기가 도입되어 펄프 자체의 친수성을 향상시켜 섬유의 유연성이 증가되면서 지층의 형성시 섬유간을 더욱 밀착시켜 섬유의 결합면적을 증대시킨 결과로 생각된다.

시판 한지류와 본 실험에서 제조한 한지의 열단장을 비교한 결과, 인피 펄프 단독초지의 경우는 수록 창호지가 7.15km로 본 실험에서 제조한 한지의 1.40~2.15km보다 월등히 높게 나타났는

데, 이것은 수록 창호지 제조시의 습압이 지층의 consolidation을 향상시켜 밀도의 증가와 함께 강도의 증가를 가져온 반면, 본 실험에서는 습압을 실시하지 못한 것이 강도저하의 원인이라 사료된다. 한편 혼합초지의 경우 시판 화선지류의 열단장은 1.55~2.89km로 본 실험에서 제조한 한지류와 비슷하거나 높았다. 이와 같이 시판 화선지류가 저평량임에도 불구하고 밀도가 높고 인장강도가 높게 나타난 것은 제조시 비록 고지이기는 하나 고해가 된 섬유들을 첨가하고 습압을 실시함으로써 섬유의 피브릴화에 의한 섬유간 결합면적의 증가와 지층의 consolidation이 일어나 인장강도의 증가를 가져왔기 때문이라 사료된다.

Fig. 10은 목질부 펄프 혼입에 따른 제조 한지의 내절도 변화의 결과를 나타낸 것이다. 일반적으로 내절도는 종이의 평량이 증가함에 따라 최대 값까지 증가했다가 그 이후부터는 평량이 증가해도 감소하며, 고해도의 증가 및 길고 유연성 있는 섬유의 사용에 의해서도 증가한다.³⁾ 한편 내절도는 종이 구조의 적정성을 나타내는 지표의 하나로 다른 강도에 비하여 내절도가 낮은 값을 나타내는 종이는 섬유장의 파소, 섬유간 결합의 불량, 섬유가 약하다는 것과 같은 결점을 가지고 있다는 것을 나타낸다.²⁾

인피 펄프 100% 단독초지의 경우 AP법이 119회로 알칼리법의 28회 및 설포메틸화법의 51

회보다 상당히 높았는데, 이것은 앞에서 언급했듯이 AP법의 지합이 알칼리법이나 설포메틸화법보다 양호한 것에 연유한다고 할 수 있다.

목질부 펄프를 혼입한 혼합초지의 경우는 AP법을 제외하고 목질부 펄프의 혼입율이 10~30% 일 때 최고 값을 나타냈으며, 그 이후부터는 점차 감소하는 경향을 나타냈다. 펄프화법별 경향을 살펴보면, 설포메틸화법의 내절도가 알칼리법이나 AP법에 비해 전반적으로 높았으며, AP법은 목질부 펄프의 혼입량이 증가함에 따라 점차 감소하다가 혼입율 40% 이후부터는 알칼리법과 거의 같은 감소 경향을 나타냈다. 또한 목질부 펄프 혼입율 90%에서는 설포메틸화법을 제외한 알칼리법 및 AP법은 내절도 시험기의 0.5kg의 장력에도 끊어져 시험이 불가능하였다. 이와 같이 설포메틸화법의 내절도가 다른 펄프화법에 비하여 높은 것은 미세섬유의 함량이 많고, 펄프화시 도입된 설포기에 의해 섬유의 친수성이 향상되고 이것으로 인해 섬유의 유연화가 증가되면서 섬유간 결합이 양호해져 강도가 증가된 것으로 사료된다.

시판 한지류의 내절도와 본 실험에서 제조한 한지류를 상호 비교한 결과, 인피 펄프 단독초지는 시판 수록 창호지가 1,934회로 세 가지 펄프화법의 인피 펄프 단독초지보다 월등히 높게 나타났다. 혼합초지의 경우 시판 화선지류의 내절도는 고려지가 0회로 가장 낮았고, 유선지가 6회, 죽지가 19회로 상당히 낮았다. 본 실험에서 제조한 한지류의 경우 목질부 펄프의 함량이 50~80%인 알칼리법 및 AP법과 60~90%인 설포메틸화법의 한지류가 시판 화선지류와 비슷한 내절도 값을 나타냈다. 이와 같이 시판 화선지류가 본 실험에서 제조한 한지류보다 밀도가 높음에도 불구하고 내절도가 낮은 것은 제조시 투입되는 고지에 포함된 많은 양의 충전물 등에 기인하는 것으로 사료된다.

4. 결론

인피섬유만을 사용하는 종래의 한지 제조법을 지양하고, 화선지 제조시 혼입되는 폐지로 인하여 발생하는 한지의 산성화, 내구성 감소, 황변현상 및 발묵성 불량 등과 같은 여러 가지 문제점을 해결하기 위하여 알칼리 펄프화법을 포함한 새로운

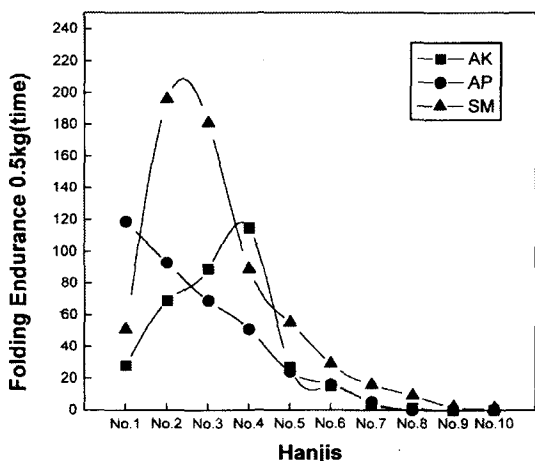


Fig. 10. Relationship between folding endurance and mixture ratios of bast part and wood core pulps.

펄프화법으로 제조한 다투의 인피부 및 목질부 펄프를 이용하여 새로운 유형의 한지를 제조코자 하였다. 이러한 목적을 위하여 장섬유인 인피부 펄프와 단섬유인 목질부 펄프를 다양한 혼합비로 혼합초지하고, 제조된 한지에 대하여 물리적 성질, 광학적 성질 및 기계적 성질을 검토하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

인피부 펄프 단독초지의 경우 설포메틸화법으로 제조한 한지의 백색도는 62.3%로 알칼리법의 27.9% 및 AP법의 36.5%보다 월등히 높았으며, 불투명도는 알칼리법과 AP법에 비하여 상당히 낮았다. 제조된 한지의 강도는 설포메틸화법으로 제조한 한지가 기존의 알칼리법으로 제조한 한지보다 9.3~18.8%의 높은 강도를 나타냈다.

인피부 펄프 및 목질부 펄프 혼합초지의 경우 한지의 백색도는 설포메틸화법이 60.2~62.3%로 알칼리법의 31.0~39.1% 및 AP법의 36.3~39.7%보다 매우 높았으며, 목질부 펄프의 혼입량이 증가할수록 불투명도도 증가하였다.

제조된 한지의 강도는 목질부 펄프를 10~30%

혼입하여 초지한 한지의 강도가 인피부 펄프 단독으로 초지한 한지의 강도보다 우수하였으며, 펄프화법별로는 설포메틸화법이 알칼리법 및 AP법으로 제조한 한지의 강도보다 우수하였다.

한편 한지의 지합은 목질부 펄프의 혼입량이 증가할수록 향상되었으나, 한지의 강도는 낮아졌다.

인용문헌

1. 崔泰鎬, 趙南奭, 펄프 · 종이기술 28(1):49-59(1996).
2. 紙パルプ技術協會, 紙パルプの種類とその試験法, 紙パルプ技術協會, 東京, pp. 36-51(1983).
3. Scott, W. E. and S. Trosset. 1989. Properties of Paper: An Introduction, TAPPI PRESS, Atlanta, pp. 1-122.
4. Dinwoodie, J. M., Tappi 48(8):440-447(1965).