

Autohydrolysis 전처리를 실시한 굴참나무 크라프트 펄프의 물성

박종문, 신수정, 김문성, 채희재, 박창순

충북대학교 농업생명환경대학 임산공학과

1. 서 론

산업의 발달로 인하여 에너지 소비가 상당히 증가하였다. 석유는 주요 에너지 자원이었으며 여러 산업에 이용되어 왔다. Cambell과 Laherrere은 현재 알려진 석유 매장량과 아직 발견되지 않은 석유의 매장량 대하여 여러 방법들을 이용하여 조사하였는데, 2010년이면 석유 생산이 감소할 것이라 하였다. 뿐만 아니라 현재 세계 석유 생산량이 250억 배럴을 생산하고 있지만, 2050년에는 연간 50억 배럴로 감소할 것이라 예측하였다¹⁾. 따라서 세계 여러 나라는 태양열, 수력, 조력, 풍력 등에 대한 대체에너지에 큰 관심을 가지고 있다. 또한 지속적인 재생산 가능한 구조로 바뀐 식물 바이오매스에 대한 관심도 고조되고 있다.

산림은 지구 표면의 약 9.5%를 차지하며, 육지 면적의 약 32%를 차지하고 있다. 목질계 바이오매스의 양은 총 바이오매스의 양의 약 89.3%를 차지하고 있다²⁾. 이렇듯 세계의 주요 바이오매스는 목재이며, 우리나라의 주요 바이오매스는 목재이다. 목질계 자원을 효과적으로 이용하기 위해서는 경제성을 높여야 하며, 목재의 주요 성분인 cellulose의 이용에 국한되어서는 안되고, hemicellulose와 lignin을 종합적으로 이용할 수 있어야 한다. 많은 전처리 연구들이 실시되고 있으며, 그 방법들은 미분세화, 증자처리, 자기가수분해, 산수분해, 알칼리가수분해, 가스화, 유기용매를 이용하는 방법 등이 있다. 이러한 전처리 방법을 응용할 수 있는 산업의 좋은 예로써 펄프 제지 산업을 말할 수 있다.

세계적으로 펄프의 생산은 화학 펄핑 공정이 대부분을 차지하고 있으며, 2000년대의 목재를 원료로한 섬유의 77%이상이 화학 펄핑 공정으로 생산되어졌다. 화학펄프중 약 89%가 크라프트 펄핑 공정이다³⁾. 크라프트 펄핑 공정이 주요 펄핑 공정이 된 이유는 목재내 주요성분인 cellulose, hemicellulose, lignin 중에서 lignin을 효과적으로 분리하여, 높은 강도의 섬유를 생산할 수 있기 때문이다. 또한 수년 동안 크라프트 펄프 공장은 폐액회수, 증발, 농축 및 연소를 통하여 증해 약품과 에너지 회수를 할 수 있는 시스템을 구축하였기 때문이다.

참나무류는 우리나라의 경우 4속 15종이 분포하며, 전체 산림 축적량의 약 27%를 차

지한다⁴⁾. 우리나라의 최대 임목 축적량을 보유하는 참나무류 중 굴참나무를 공시 재료로 하여, 목질계 전처리 방법으로 자기가수분해법을 실시하였다.

Lignocellulose 물질의 자기가수분해는 물과 원료만을 사용한다는 관점에서 환경 친화적인 공정이다. 폐액은 거의 없고, 무공해하며 고온에서 단 시간 처리를 통해 목재 주요성분을 효과적으로 분리할 수 있다. Masura 등에 의하면 자작나무 칩을 160℃와 170℃로 전가수분해를 실시할 경우 45-60분 동안 칩수율의 감소가 최대로 일어났다⁵⁾. 따라서 본 실험은 굴참나무 칩을 165℃에서 1시간동안 자기가수분해를 실시하였다. 또한 굴참나무 칩을 자기가수분해 처리를 통해 얻어진 칩을 이용하여 제조한 크라프트 펄프에 대한 특성을 조사하고자 실시하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

월악산 충북대학교 연습림내 약 20년생의 굴참나무를 벌채하여 이용하였다.

2.2 시료조제

2.2.1 공시 칩의 조제

시료는 벌채직후 수피를 제거하였으며, 대전 소재인 (주)풍림에서 칩을 조제 후 건조를 실시하였다.

2.2.2 전처리 및 펄핑 조건

굴참나무 칩 전건 400 g을 이용하여 다이제스터에서 165℃, 60분 동안 1500 ml 물을 사용하여 자기가수분해를 실시하였다. 자기가수분해 후 가수분해 액을 채취(1100 ml)하여 동결건조를 실시하였고, 백액(600 ml)과 증류수(500 ml)를 넣은 후 증해를 실시하였다. 백액은 황화도 30%로 13% EA와 15% EA로 제조를 하였으며, 증해 최종온도는 170℃이었으며, 증해 시간은 120분(90분 승온, 최종온도 30분 유지)동안 실시하였으며, H-factor는 562였다. 무처리 크라프트 펄프의 경우 15% EA(KP 15% EA; control)를 적용하였고, 자기가수분해 전처리한 크라프트 펄프는 각각 15% EA(Au-KP 15% EA)와 13% EA(Au-KP 15% EA)를 적용하였다(Table 1).

Table 1. Reaction conditions for autohydrolysis and kraft pulping

Pretreatment	Chip	Wood to	Maximum	Treatment time (min.)		
	weight (O.D. g)	liquor ratio	temperature (°C)			
Autohydrolysis	400	1 : 3.25	165	60		

Kraft cooking	Effective alkali (%)	Sulfidity (%)	Wood to liquor ratio	cooking time (min.)		H-factor
				Time	Time	
				to target temp.	at target temp.	
Kraft pulping	15	30	1 : 3.25	90	30	560
Autohydrolyzed kraft pulping	15, 13	30	1 : 3.25	90	30	560

2.2.3 목분 및 펄프 분말 제조

IKA cutting meal(MF 10B)을 이용하여 처리를 하지 않은 목재칩과 자기가수분해 처리한 목재칩을 목분으로 제조하여, 40-60 mesh 부분을 채취하여 목분을 조제하였다. 크라프트 펄프와 자기가수 분해 처리를 실시한 크라프트 펄프 역시 IKA cutting meal을 이용하여 분말을 제조하였다.

2.2.4 목분의 조성 분석

미국 NREL의 laboratory analysis procedure에 따라 목재칩과 자기가수분해 처리한 목분을 아세톤으로 추출하여 유기용매 추출물(organic solvent extractive)과 끓는 물 추출물(water extractive)을 측정하였으며, 추출된 시료는 Klason lignin을 정량하여 리그닌 함량과 다당류 함량을 추정하였다. 펄프내 리그닌은 kappa number로 추정하되 % Klason lignin = kappa number × 0.15식을 이용하였다⁶⁾.

2.2.5 목분 및 펄프 분말 시료의 잔사 탄수화물 조성 분석

굴참나무 목분 및 크라프트 펄프 분말 시료를 72% 황산으로 30°C에서 한 시간 동안 1차 산 가수분해를 시킨 후 중수(D₂O)를 이용하여 희석 시킨 후 120°C에서 한 시간 동안 2차 가수분해를 실시하였다. 가수분해 후 여과하여 여과된 액을 수집하여 충북대학교 공동실습관에서 ¹H-NMR(500 MHz) 분석을 실시한 후 Anomeric hydrogen 피크를

적분하여 탄수화물의 조성을 계산하였다⁷⁾.

2.2.6 펄프의 물성 평가

2.2.6.1 고해 및 수초지 제작

펄프의 물성을 평가하고자 TAPPI T205 om-88에 의거하여 수초지를 제작하였다. 고해 시간에 대한 고해정도를 분석하기 위하여 일정한 농도(약 1.2%)에서 실험실용 valley beater를 이용하여 각각 0분, 10분, 20분, 30분 고해를 하여 ml CSF를 측정하였다. 각각 고해진 펄프의 sample을 채취(약 0.2g)하여 한국화학연구원이 보유한 FQA(fiber quality analyzer)를 이용하여 섬유장, 섬유폭, 조도, curl, kink 등을 분석하였다.

2.2.6.2 백색도 측정

펄프를 평량 100 g/m²로 초지하여 Technidyne Corporation의 Color Touch 2 Model을 이용하여 ISO 백색도를 측정하였다.

2.2.6.3 펄프의 Kappa number 측정

각각의 펄프의 리그닌의 함량을 측정하기 위하여 TAPPI standard T236 cm-85에 의거하여 Kappa number를 평가하였다.

2.2.6.4 수초지의 물성평가

제작한 수초지의 물성 측정을 위해 TAPPI T402 sp-98에 의거하여 조습처리를 실시한 후 항온항습실에서 물성을 측정하였다.

섬유의 자체 강도를 측정하기 위하여 TAPPI T220 om-88 TAPPI T494 om-88에 의거하여 Zero-span tensile tester를 이용하여 zero-span을 측정하였다.

내부결합강도를 측정하기 위하여 TAPPI T541 om-89에 의거하여 L&W사의 ZD tensile tester를 이용하여 ZDT(Z-direction Tensile strength)를 측정하였다.

수초지의 인장강도와 파괴인성을 측정하기 위하여 SCAN-P 67/ P77에 의거하여 한국화학연구원이 보유한 L&W사의 Tensile tester with fracture toughness를 이용하여 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 화학조성 분석

3.1.1 굴참나무 칩의 화학조성 분석

굴참나무의 무처리, 자기가수분해 처리한 목분 각각의 화학조성은 Table 2, 3 같다. Table 2에서 보는 바와 같이 무처리 건조 목분에는 유기용매 또는 끓는물 추출물과 같은 가용성 성분(non-structural components 혹은 extractives)의 함량이 10.7%이었으며,

리그닌 함량은 21.1%로 나타났다. 따라서 탄수화물의 함량은 68.2%로 추정된다. 자기 가수분해 처리한 목분의 경우는 수율의 감소(82.3%)를 기준으로 화학 조성을 분석하였다. 건조 분말에는 유기용매 또는 끓는 물 추출물과 같은 가용성 성분의 함량이 14.1%이었으며, 리그닌 함량은 23.6%로 나타났다. 따라서 탄수화물의 함량은 44.6%로 추정된다.

Table 3에서 보는 바와 같이 KP 15% EA(Control) 펄프의 리그닌 함량은 3.3%이며, 탄수화물의 함량은 96.7%로 추정하였다. Au-KP 15% EA 펄프는 리그닌 함량이 1.9%였으며, 탄수화물의 함량이 98.1%로 추정하였다. Au-KP 13% EA 펄프는 리그닌 함량이 2.8%였으며, 탄수화물의 함량은 97.2%로 추정하였다.

Table 2. Chemical composition of *Quercus variabilis*

Components	Woodmeal	Woodmeal by autohydrolysis (Yield 82.3%)
Acetone solubles	0.8	2.4
Hot-water solubles	9.9	11.7
Lignin	21.1	23.6
Carbohydrates	68.2	44.6

Table 3. Chemical composition of control kraft pulp and autohydrolyzed kraft pulps(Au-KP)

	KP 15% EA	Au-KP 15% EA	Au-KP 13% EA
Kappa no.	21.9	12.9	18.7
Lignin (%)	3.3	1.9	2.8
Carbohydrates (%)	96.7	98.1	97.2

* EA = Effective alkali

굴참나무 목분과 크라프트 펄프 분말의 탄수화물 조성은 산 가수분해 후 NMR 스펙트럼의 anomeric hydrogen 피크 영역 적분하여 분석을 실시하였다. 산 가수분해 시 xylose의 빠른 분해속도 때문에 일부가 furfuraldehyde를 거쳐 산 축합 반응이 일어나기에 보정이 필요하며 이를 고려하여 탄수화물 조성을 분석하였다.

Table 4에서 보는 바와 같이 NMR 분석 결과 자기가수분해 처리에 의한 목분의 당

조성은 처리를 하지 않은 목분과 비교하였을 때 당 조성이 변한 것으로 나타났다. 또한 무처리 칩과 자기가수분해를 실시한 칩을 이용하여 크라프트 펄핑을 실시한 경우에도 당 조성이 변화된 것을 알 수 있었다. 무처리 목분과 비교하였을 때, 자기가수분해 처리를 실시한 경우에는 글루코스의 함량이 높았으며, 자일란의 함량이 상대적으로 줄어들었다. 무처리 크라프트 펄프의 경우 13.5%의 자일란 함량을 가졌지만, 자기가수분해 처리를 실시한 후 제조한 15% EA, 13% EA 크라프트 펄프의 경우에는 자일로스의 함량이 각각 0.7%, 0.9%로 나타났으며, 증해과정 중에 대부분의 자일란이 분해된 것을 알 수 있었다. 즉 자기가수분해 처리를 실시 할 경우 대부분의 자일란이 저분자화 된 것이라 판단할 수 있다.

Table 4. Carbohydrate compositional changes by $^1\text{H-NMR}$

	NMR peak areas		Relative composition of carbohydrates (%)		Composition of carbohydrates (%)	
	Glucose	Xylose	Glucose	Xylose	Cellulose	Xylan
Oak-woodmeal	1.645	0.645	62.7	37.3	42.8	25.4
Au-Oak-woodmeal	1.680	0.240	82.2	17.8	36.7	7.9
KP 15% EA	1.650	0.395	73.4	26.6	37.1	13.5
Au-KP 15% EA	1.640	0.05	95.6	4.4	35.8	0.7
Au-KP 13% EA	1.635	0.025	97.7	2.3	37.6	0.9

3.2 자기가수분해와 크라프트 펄핑

3.2.1 크라프트 펄프와 자기가수분해 전처리 크라프트 펄프의 성질

Table 5에서 보는 바와 같이 굴참나무 칩 400 g에 대하여 무처리 크라프트 펄핑(KP 15% EA)을 실시하였을 경우 펄프의 수율은 52.3%였으며, reject은 0.2%였다. 펄프의 Kappa number는 21.9였으며, 백색도는 25.4% ISO이었다.

165°C에서 1시간동안 자기가수분해 처리한 굴참나무 400 g 칩의 경우 수율은 82.3%로 나타났다. 처리된 액은 약 1100 ml를 회수 하였다. 회수액을 동결건조를 실시하였을

경우 약 60 g의 고형분을 얻을 수 있었다. 자기가수분해 처리한 칩을 이용하여 15% EA로 크라프트 펄핑(KP 15% EA)을 실시할 경우의 수율은 38.2%였으며, Kappa no.는 12.9, 백색도는 32.7이었다. 활엽수의 경우 적당한 Kappa no. 15-25정도인 것을 보았을 때 과도한 증해가 일어난 것을 알 수 있었다. 따라서 약액의 농도를 낮추어 Kappa number를 20에 가깝도록 증해를 실시하였다. 증해는 13% EA로 실시하였으며, 수율은 39.6%였으며, Kappa number는 18.7, 백색도는 29.9이었다.

크라프트 펄프에서 총 탄수화물의 회수율을 보았을 때 Au-KP 13% EA의 경우가 가장 많은 양의 탄수화물을 회수할 수 있었으며, 그 다음으로 Au-KP 15% EA, KP 15% EA순으로 나타났다. 즉 탄수화물의 이용 측면에서 자기가수분해를 실시한 경우에 좀 더 많은 양의 탄수화물을 이용할 수 있을 것이다. 또한 자기가수분해를 실시할 경우 Kappa number가 낮아지고, 백색도가 높아짐으로 표백약품의 사용이 적어질 것으로 판단된다.

Table 5. Results of pulping and Autohydrolysis pretreatment

	Yield (%)	Rejects (%)	Kappa number	Brightness (% ISO)	Recovered carboh. from auto.(g)	Total carboh. (g)
Oak Chip by	-	-	-	-	-	260.4
Auto-hydrolysis	82.3	-	-	-	60	230.2
KP 15% EA	52.3	0.2	21.9	25.4	-	209.2
Au-KP 15% EA	38.2	<0.1	12.9	32.7	60	212.8
Au-KP 13% EA	39.6	<0.1	18.7	29.9	60	218.4

* carbo = carbogydrate

auto. = autohydrolysis

3.2.2 크라프트 펄프의 물성

3.2.2.1 섬유특성

Fig. 1에서 보는 바와 같이 굴참나무 펄프의 섬유장에 따른 분포는 0.6-1.0 mm 사이에서 가장 많이 분포하는 것으로 나타났다.

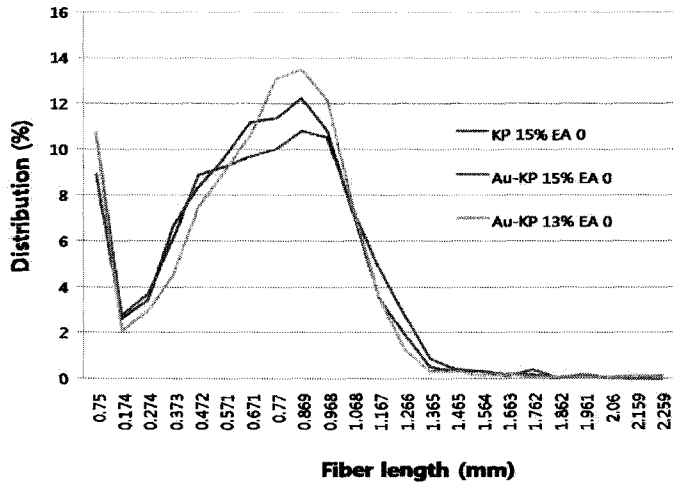


Fig. 1. Different fiber length distribution between control and autohydrolyzed kraft pulp fibers.

Table 6에서 보는 바와 같이 섬유의 휘어짐과 꼬임을 나타내는 값인 curl과 Kink는 자기가수분해 처리와 펄핑 효과에 의해 나타내는 정도가 달라하였다. 자기가수분해를 실시하였을 경우 더 높은 값을 나타냈으며, 그 중 Au-KP 13% EA가 더욱 높은 값을 나타내었다. 섬유의 세포벽의 두께를 나타내는 조도(corseness)값은 약액의 농도 (Au-KP 13% EA)가 낮을수록 높은 값을 나타내었다. 약액의 농도가 낮음으로 인하여 세포벽의 손상이 적어지며, 자기가수분해 처리를 하면 셀룰로오스의 결정화도 증가로 인하여 세포벽의 두께에 기인한 섬유의 변형이 높아짐을 추정할 수 있다(Table 6).

Table 6. FQA result of control and autohydrolyzed kraft pulp fibers

	Fiber length weighted in length (mm)	Average curl (%)	Kinked fiber (%)	Coarseness (mg/m)
KP 15% EA	0.812	3.913	12.77	0.1867
Au-KP 15% EA	0.802	5.439	23.91	0.1402
Au-KP 13% EA	0.810	6.226	30.18	0.2149

고해가 진행됨에 따라 섬유 주쇄에 대한 마이크로피브릴 비율이 증가하였는데, 처리 조건에 따라 고해 10분과 20분 단계에서 Au-KP 13% EA의 microfibril이 비율이 가장

많이 증가하는 경향을 보였다. 그 이유는 Au-KP 13% EA의 조도가 높아 고해 하중이 전달될 수 있는 면적이 넓기 때문에 microfibril의 비율이 증가하는 것으로 사료된다.

30분 고해 시 그 효과가 다르게 나타났다. 무처리 크라프트 펄프인 KP 15% EA의 경우 microfibril 비율이 가장 높은 값을 나타내었으며, 자기가수분해 전처리 크라프트 펄프의 경우 조도가 높은 Au-KP 13% EA가 microfibril의 비율이 높게 나타났다. KP 15% EA 펄프에는 헤미셀룰로오스(비결정성 영역)의 존재로 인한 섬유 microfibril이 증가한다는 것을 추정할 수 있다. 반면 자기가수분해를 실시한 Au-KP 13% EA의 경우 15% EA보다 섬유의 조도가 높기 때문에 microfibril의 이 보다 많이 일어날 수 있을 것이라 추정할 수 있다. 이러한 microfibrils의 비율이 증가한다는 것은 고해 효과를 나타낼 수 있는 간접적인 지표로 나타낼 수 있을 것이다(Table 7).

Table 7. Refining effect of control and autohydrolyzed kraft pulp of rate in length of microfibrils

	Beating time (min)			
	0	10	20	30
	Rate in length of microfibrils (%)			
KP 15% EA	0.236	0.32	0.45	0.727
Au-KP 15% EA	0.237	0.309	0.409	0.595
Au-KP 13% EA	0.22	0.363	0.593	0.648

고해가 진행됨에 따라서 미세분의 발생 정도가 다르게 나타났다. Au-Kp 13% EA는 미세분의 비표면적이 높게 나타나고 조도가 높기 때문에 섬유가 깨지기 쉬운 강직한 펄프인 것을 추정 할 수 있다(Table 8).

Table 8. Refining effect of sample fibers of Fines % area/fines

	Beating time (min.)			
	0	10	20	30
	Fines % area/fines			
KP 15% EA	11.4	10.2	13.2	15.2
Au-KP 15% EA	10.1	12.3	15.4	18.5
Au-KP 13% EA	11.6	12.3	14.6	21.2

섬유의 특성 분석 결과 크라프트 펄프는 자기가수분해 전처리를 실시한 펄프보다 유연성이 높은 것으로 판단된다. 자기가수분해 전처리를 실시할 경우 curl과 kink의 발생률, 섬유의 강직성, 미세분의 발생이 높아졌다. 조도의 경우 KP 15% EA와 Au-KP

15% EA를 비교하였을 때 조도가 낮아지는 반면에 약액의 농도를 낮게 할 경우 (Au-KP 13% EA) 조도가 높아짐을 알 수 있다. 섬유 주쇄의 microfibril의 비율을 보았을 때 무처리 크라프트 펄프의 경우 펄프의 microfibril의 발생률이 최종적으로 가장 많이 증가하였으며, 조도가 높고 강직한 섬유를 가지는 Au-KP 13% EA의 경우에 중간단계에서 microfibril의 비율이 증가함을 알 수 있다.

3.2.2.2 수초지의 물성

Fig. 2는 수초지의 고해정도를 나타내주는 지표로 무처리한 펄프의 경우 여수도 값이 낮게 나온 것을 보았을 때 섬유가 유연하기 때문에 고해 효과가 높은 것으로 사료된다. Au-KP 13% EA의 경우 초기 여수도 값이 높게 나왔으며, 이는 섬유의 조도와 연관이 된 것으로 생각되어진다. 섬유의 두께가 상대적으로 높기 때문에, 섬유간 network 사이에 공간이 크기 때문에 배수가 잘 된 것으로 생각되어진다.

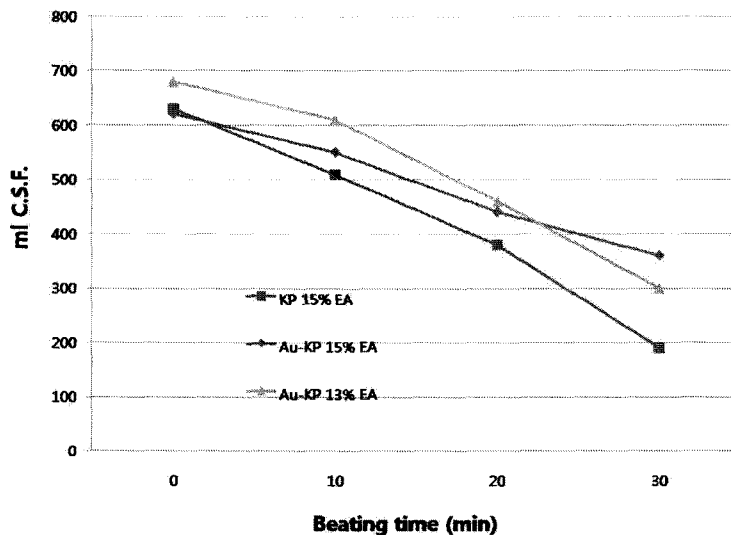


Fig. 2. Freeness of control kraft pulp and autohydrolyzed kraft pulp handsheets.

Fig. 3은 펄핑 조건에 따른 수초지의 인장강도와 인열강도에 대한 것을 나타내는 것이다. KP 15% EA보다 자기가수분해 전처리를 실시한 Au-KP 15% EA와 Au-KP 13% EA의 강도값이 낮게 나왔다. 인장 강도는 잡아 당겼을 때 견디는 모든 강도적 성질의 기본이 되는 특성이며 자기가수분해를 실시한 펄프의 경우에 낮은 강도 값을 나타내었다. 인열 강도는 섬유의 뿔힘과 섬유간 network, 응력집중과 관련이 되는 에너지

이기에 자기가수분해 처리를 실시한 펄프의 경우 curl과 kink가 많고 섬유가 강직하여 결합할 수 있는 면적이 적어지며, 섬유자체의 물리, 화학적인 처리로 인해 약해진 상태이기 때문에 무처리 크라프트 펄프와 비교하였을 때 인열 강도가 낮게 나온 것으로 판단된다. 또한 자기가수분해 처리를 실시한 펄프의 경우 대부분의 자일란이 제거됨으로 섬유간 결합 능력이 낮아져 강도가 낮게 나온 것으로 판단된다.

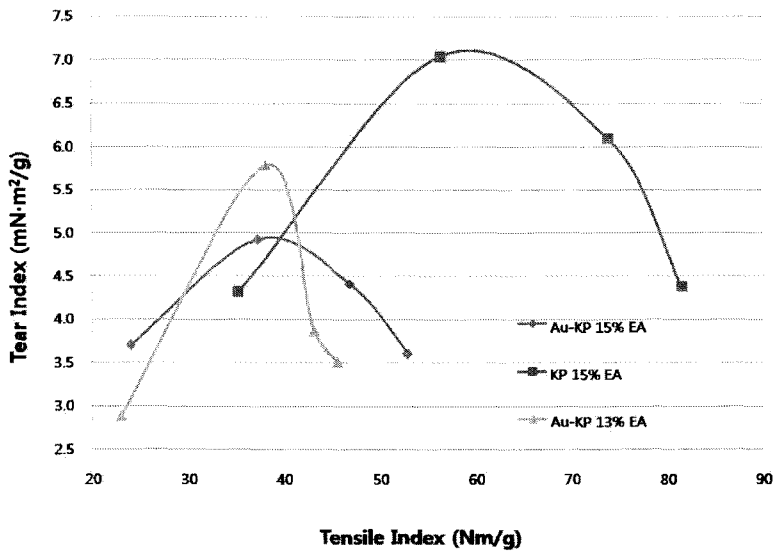


Fig. 3. Tear and Tensile Index of control kraft pulp and autohydrolyzed kraft pulp handsheets.

Fig. 4는 Zero-span tensile strength로 종이 내의 결합에 의한 종이 자체의 강도 보다는 섬유 자체의 강도를 의미한다. 자기가수분해 처리를 실시하였을 때 섬유 자체의 강도가 낮아지게 되며, 고해를 실시할수록 그 값은 현격하게 감소함을 알 수 있다. 즉 강직한 섬유를 가지는 경우 고해에 의한 섬유에 손상이 가해져 결점이 증가함으로 섬유 자체 강도가 낮아지는 것으로 생각된다.

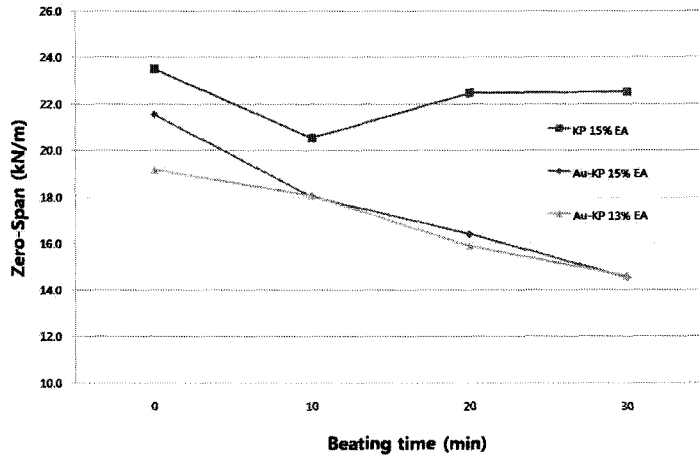


Fig. 4. Zero-span tensile strength of control kraft pulp and autohydrolyzed kraft pulp handsheets.

Fig. 5는 ZDT로 종이의 내부 결합강도를 평가한 것이다. 자기가수분해 전처리를 실시한 펄프의 경우 처리를 하지 않은 KP 15% EA와 비교하였을 때 낮은 값을 나타내었다. 자기가수분해로 인한 펄프내의 자일란의 용해로 인하여 섬유간 결합 능력이 줄어든 것으로 사료된다.

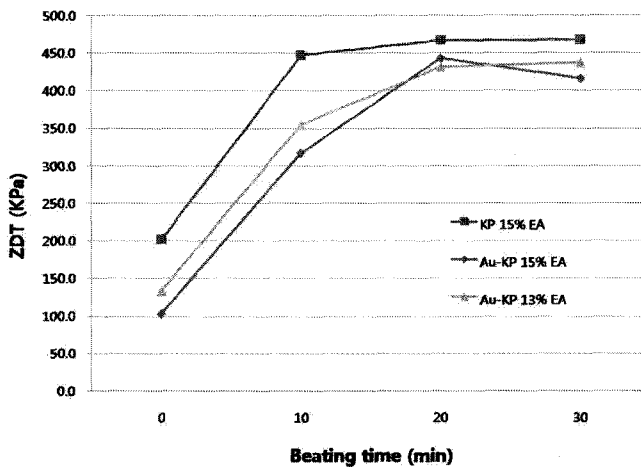


Fig. 5. ZDT of control kraft pulp and autohydrolyzed kraft pulp handsheets.

4. 결 론

굴참나무칩에 자기가수분해를 실시할 경우의 화학조성 변화는 자일란의 감소가 뚜렷하게 나타났으며, 이를 이용하여 크라프트 펄핑을 실시할 경우 펄프내 자일란이 거의 존재하지 않았다.

굴참나무에 자기가수분해 전처리를 실시한 펄프의 경우, 무처리 크라프트 펄프보다 모든 강도적 측면이 낮음을 확인 할 수 있었다. 그 이유는 자기가수분해에 의하여 섬유 자체의 강도와 섬유간 결합 능력이 떨어지는 것이라 할 수 있다. 자기가수분해를 전처리를 실시할 경우에 펄프의 수율은 낮게 나왔으나, 총 탄수화물의 양을 높여주었기에 보다 효율적인 자원의 이용 측면이라 생각되며, 가수분해 처리를 실시한 당을 회수하여, 발효 처리 등으로 부가가치 자원으로 이용할 수 있을 것이다. 백색도가 높아지고 약액 농도와 Kappa no. 낮아짐으로 인한 크라프트 펄핑 공정에 사용되는 약품의 사용량을 줄여 줄 수 있을 것이다.

인용문헌

1. Sun, Y. and Cheng, J., Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review, *Bioresour. Technol.* 83:1-11(2002).
2. Thomas E. Amidon, Shijie Liu, Wood-Based Biorefinery: Technological Overview and Benefits, 2008 International Bioenergy and Bioproducts conference pp. 260-261.
3. Herbert Sixta, Handbook of pulp, WILEY-VCH(2006).
4. 오승원, 참나무아속 주요 수종의 조직적 성질과 종압축강도와의 관계, 목재공학 29(2):133-139(1998).
5. V. Masura, Prehydrolysis of beechwood, Highly purified dissolving pulp produced by sulphur-free pulping, *Wood Sci. Technol.* 21:89-100(1987).
6. Stephen Y.Lin, Carlton W.Dence, Methods in lignin chemistry, Springer-Verlag, p. 53(1992).
7. Soo-Jeong Shin, Nam-Seok Cho, Conversion Factors for carbohydrate analysis by hydrolysis and $^1\text{H-NMR}$ spectroscopy, *Cellulose* 15:255-260(2008).