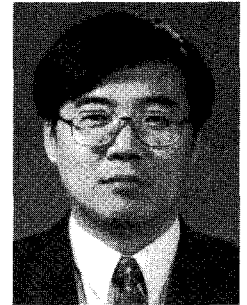


Condebelt Drying Technology를 이용한 골판지원지의 품질향상



서울대학교 농업생명과학대학 교수
농학박사 李鶴來

이 報文은 지난 98. 10. 16日 京畿道 果川 中小企業廳 서울支廳 大講堂에서 國立技術品質院 主催, 韓國골판紙包裝工業協同組合, 韓國製紙工業聯合會 및 韓國製紙工業協同組合 後援으로 開催된 『環境親和型 廢紙 再活用 技術 Work Shop』에서 發表된 것으로, 東日製紙 株式會社가 1997年 5月에 Finland VALMET社와 導入契約을 締結 設置하여, 1998年 試運轉 稼動될 골판紙原紙 強度向上 最新技術에 關한 內容입니다.

1. 서론
2. 종이의 물성개선 방안과 Condebelt process의 장점
3. Condebelt의 구조
4. Condebelt process에 의한 종이의 물성변화
5. Condebelt process에 영향을 미치는 인자
6. Condebelt process에 의한 국산 라이너의 물성 개선
7. 맺는 말

1. 서론

우리 나라의 제지산업은 국내 지류소비량의 꾸준한 증가에 힘입어 지속적으로 성장하여 왔으며, 특히 최근 10여년간 연평균 성장율이 10%를 상회하는 고도 성장을 거듭하여 왔다. 그 결과 1997년도 현재 국내 지류생산실적을 보면 종이 456만톤, 판지 380만톤, 합계 836만톤을 생산하여

세계 10대 지류생산국 중의 하나로서 위치를 확고히 하였다 (그림 1). 그러나 국내 제지산업은 원료자원의 부족이라는 근원적인 문제를 안고 있어, 앞으로의 지속적인 성장을 위해서는 무엇보다 원료문제를 해결해야만 할 것이다.

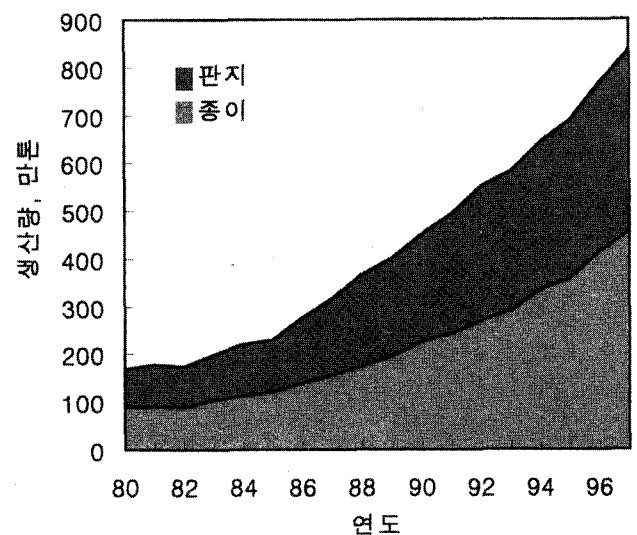


그림 1. 국내 지류 생산량 변화.

주지하는 바와 같이 제지산업은 원료의존도가 높은 장치 산업인 동시에 재활용 산업이기도하다. 지류 생산의 원료로는 펄프와 재활용 자원인 폐지 혹은 고지가 사용된다. 하지만 국내의 펄프 자급율은 20% 정도에 불과한 실정이다. 예를 들어 1997년의 경우를 살펴보면 국내 펄프생산량은 58만톤, 펄프 수입량은 230만톤이었다. 이처럼 펄프 자급율이 낮다는 사실은 국내 제지산업이 지닌 가장 큰 문제점의 하나이지만, 펄프 자급율의 증대는 당분간 불가능할 것으로 예상되고 있다. 이는 국제 경쟁력을 지닌 일산 1000톤 규모의 펄프 생산시설을 건설하는 데는 3500억원 이상의 신규투자가 소요되기 때문이다.

국내 제지산업이 가지고 있는 이러한 근원적인 원료부족의 문제점을 극복하기 위해서는 국내에서 소비되고 있는 지류를 되도록 많이 수거하여, 재활용하는 것이 최선의 대책이라 할 수 있다. 현재 국내에서는 인쇄 필기용지 등의 고급지종을 제외한 신문용지와 라이너, 판지 등은 주로 재활용 섬유자원을 원료로하여 생산되고 있으며, 특히 산업용지 분야에서는 재활용섬유자원에 대한 의존도가 매우 높은 실정이다.

국내 폐지 재활용 현황을 보면 1980년에는 총폐지사용량이 108만톤이었으며, 그 가운데 국산폐지가 54.3%, 수입폐지가 45.7%를 점유하였다. 1980년의 폐지사용율은 63.3%였다. 그러나 1997년에는 총폐지사용량 608만톤으로 재활용 폐지의 양이 1980년에 비해 약 6배 증가하였다. 이 가운데 국산폐지가 74.4%를 차지하여 국산 폐지 비율도 크게 높아졌으며, 폐지사용율도 69.4%로 증가하였다

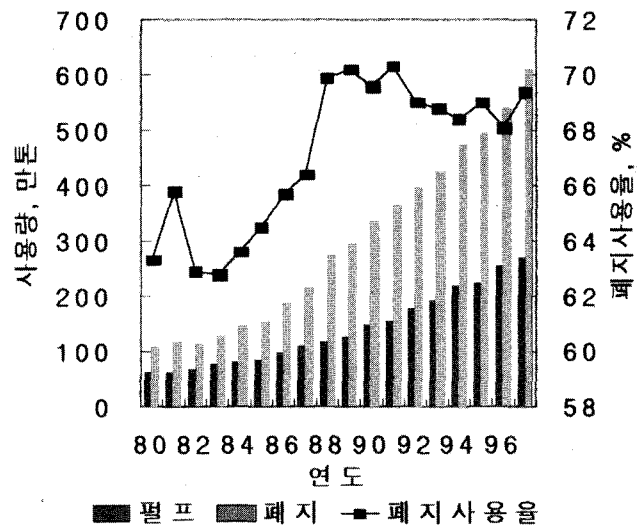


그림 2. 국내 제지원료 및 폐지사용율 추이

이는 국내 폐지 회수율이 그동안 쓰레기 종량제 등 제도 개선을 통하여 꾸준히 증가되어 50% 이상을 기록하고 있기 때문이다. 97년 현재 우리 나라의 회수율은 56.8%였다. 이와 같은 현상은 국내 제지산업이 자원재활용에 있어서 시범적인 산업이라는 것을 극명하게 보여주고 있다.

폐지의 수집량을 폐지 종류별로 분류한다면, 표 1에서 보는 것과 같이 신문용지 폐지 (Old newspapers, ONP), 골판지 폐지 (Old corrugated container, OCC) 및 기타 폐지로 나눌 수 있다. 여기에서 보는 것과 같이 1997년도의 경우 ONP는 58%, OCC는 86%, 기타 폐지는 약 69%를 국내에서 수거, 공급하였다.

표 1. 폐지 종류별 재활용 현황

단위 : M/T, %

		'80	'90	'95	'96	'97
ONP	국산	46,591 (16.6)	111,947 (13.0)	469,057 (44.2)	851,381 (59.8)	835,830 (58.0)
	수입	234,384 (83.4)	752,447 (87.0)	591,172 (55.8)	572,799 (40.2)	606,232 (42.0)
	계	280,975 (100.0)	864,394 (100.0)	1,060,229 (100.0)	1,424,280 (100.0)	1,442,062 (100.0)

표 1. 폐지 종류별 재활용 현황 (계속)

단위 : M/T, %

		'80	'90	'95	'96	'97
OCC	국산	220,891 (57.7)	750,304 (64.6)	2,111,061 (86.1)	1,927,324 (84.0)	2,479,896 (86.0)
	수입	162,190 (42.3)	411,566 (35.4)	342,072 (13.9)	367,624 (16.0)	402,565 (14.0)
	계	383,081 (100.0)	1,161,870 (100.0)	2,453,133 (100.0)	2,294,948 (100.0)	2,882,461 (100.0)
기타	국산	314,553 (77.1)	1,012,602 (91.8)	1,081,856 (75.6)	1,164,985 (69.7)	1,214,938 (69.0)
	수입	93,355 (22.9)	303,255 (23.0)	350,105 (24.4)	507,193 (30.3)	546,918 (31.0)
	계	407,908 (100.0)	1,315,857 (100.0)	1,431,961 (100.0)	1,672,178 (100.0)	1,761,856 (100.0)
합계	국산	582,035 (53.4)	1,874,853 (56.1)	3,661,974 (74.0)	3,943,690 (73.1)	4,530,664 (74.4)
	수입	489,929 (45.7)	1,467,268 (43.9)	1,283,349 (26.0)	1,447,616 (26.9)	1,555,715 (25.6)
	계	1,071,964 (100.0)	3,342,121 (100.0)	4,945,323 (100.0)	5,391,306 (100.0)	6,086,379 (100.0)

펄프·폐지통계연보 (제지공업연합회)

현재 생산되고 있는 지종 가운데 가장 회수율이 높은 지종은 골판지 폐지이다.

이는 국내 골판지 원지산업이 국내에서 수거되는 폐지에 크게 의존하고 있다는 것을 의미한다. 이러한 점은 자원재활용 측면에서 매우 바람직한 것이지만, 국내에서 생산되는 산업용지의 물성을 악화시키는 근본적인 원인이 되고 있다. 국내 골판지 폐지는 평균적으로 5회 정도 재활용된 원료를 이용하여 라이너와 골심지를 생산하고 있으므로 재활용 횟수 증가에 따라서 현격하게 감소하는 각종 물성의 저하를 극복할 수 있는 획기적인 방안이 마련되지 못한다면 소비자의 품질요구를 충족시킬 수 없다는 것은 자명하다.

잘 알고 있는 바와 같이 펄프섬유는 재활용 횟수가 증가

함에 따라서 각질화되어 유연성이 감소되기 때문에 섬유간 결합력이 감소하고, 이에 따라서 종이의 인장강도, 파열강도, 내절도, 밀도 등이 저하된다. 리파이닝을 통하여 이들 강도를 증가시키는 경우에는 각질화된 섬유의 절단이 집중적으로 발생하여 탈수성이 저하되는 문제가 발생한다. 더욱이 만약 펄프 섬유의 강도를 리파이닝을 통하여 향상시킨다면, 이 종이를 다시 재활용할 경우에는 전단계에서 발생한 이차 미세섬유가 다시 일차 미세섬유의 거동을 나타내기 때문에 물성개선을 위해서는 더욱 많은 리파이닝을 해야만 하는 문제가 발생한다. 따라서 펄프 섬유의 재활용 가능성을 증대시키기 위해서 리파이닝 기술에 의존하는 것은 재활용 포텐셜을 감소시키는 결과를 초래할 수 있다.

2. 종이의 물성개선 방안과 Condebelt process의 장점

종이의 물성을 결정하는 가장 기본적 인자인 섬유자체의 강도와 섬유간 결합강도는 재활용을 거듭할수록 크게 저하된다. 특히 섬유자체의 강도는 한번 손상을 받아 저하되면 회복이 불가능하므로, 재활용 원료를 사용하여 물성이 우수한 종이를 생산하기 위해서는 섬유간 결합력을 증가시킬 필요가 있다.

섬유간 결합력을 증가시키기 위한 가장 간단한 방법은 종이의 밀도를 증가시키는 것이다. 이를 위해서는 고해, 압착, 캘린더링, 블레이커 스택 등 다양한 방법을 활용할 수 있다. 이들 방법에 의해서 종이의 밀도를 변화시키게 되면 그림 3에서 보는 것과 같이 종이의 강도적 성질은 각 처리별로 특정한 곡선을 따라서 변화된다.

종이의 밀도를 증가시키기 위한 처리 단계에 있어서 섬유가 습윤상태인지 혹은 건조된 상태인지에 따라서 그 효과는 크게 달라진다. 건조된 지필을 캘린더링함으로써 종이의 밀도를 증가시킬 경우에는 섬유간 결합이 파괴되므로 캘린더링이 진행됨에 따라서 지속적으로 강도가 저하된다. 이와 반대로 압착공정이나 고해공정을 통하여 습윤상태의 섬유를 밀착시키거나 유연성을 부여한 경우에는 종이의 밀도 증가가 종이의 강도향상으로 연결된다. 그러나 압착과 고해공정을 통하여 얻을 수 있는 종이의 강도 증가보다 더 큰 효과를 거둘 수 있는 것이 바로 압착건조기술이다.

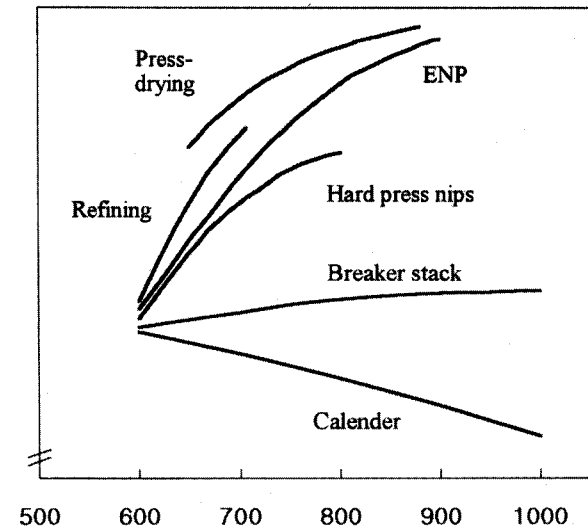


그림 3. 종이의 밀도변화를 일으키는 제지공정별 강도 변화 현상.

최근들어 개발된 압착건조기술 가운데 Condebelt process라 칭해지는 고온압착건조기술은 기존 실린더 건조 방식에 비해 에너지 이용효율과 종이의 물성 향상 등 다양한 부문에 걸쳐 독특한 효과를 나타내는 새로운 제지기술로 큰 주목을 받고 있다.

Condebelt process는 기존의 실린더 건조 기술과 비교할 때, 건조속도를 약 5-15배 향상시킬 수 있으며, 건조 에너지 절감에 큰 효과가 있을 뿐 아니라 인장강도, 압축강도, 내부결합강도, 밀도, 표면평활성, 투기저항성 등 종이의 중요한 물성을 대폭 향상시키는 혁신적인 제지기술이다. 특히 본 기술을 판지 또는 라이너 생산에 적용할 경우 강도향상 효과에 의한 제품의 저평가, 저급 원료활용율의 증대를 통한 원가절감이 가능할 뿐 아니라 우수한 표면평활성과 인쇄적성에 의한 제품의 차별화가 가능하다. 특히 우리나라와 같이 폐지 원료를 다량 사용하여 라이너를 생산하는 경우, 원료의 저급화에 따른 품질의 저하를 극복할 수 있는 방안으로 특히 적합한 기술이다.

3. Condebelt의 구조

Condebelt process는 70년대 중반부터 80년대에 이르는 10여년에 걸친 개발과정을 거친 후, 90년대에 들어서 파일럿 공정으로 발전하였다. 이러한 발전과정을 거친 Condebelt 공정은 1996년에 이르러 핀란드 ENSO사의 Pankakoski 판지공장에 설치됨으로써 세계 최초의 상업생산설비로 태어나게 되었다. 하지만 이때 설치된 Condebelt dryer는 폭이 2.5m, 초지속도가 200m/min인 소형 설비였다. 우리 나라의 동일제지주식회사는 1997년 5월 Valmet과 Condebelt process 설비 도입계약을 체결하였으며, 1998년 말 공사를 완공하고 곧 이어 상업생산을 시작할 예정이다. 금번 동일제지주식회사에 설치될 Condebelt 설비는 폭이 4.5m, 속도가 650m/min로 세계에서 두번째의 상업생산용 Condebelt process이나, 설비의 규모 면에서 볼 때 실질적으로 세계 최초의 상업생산설비라 해도 과언이 아니다.

Condebelt 공정은 기존의 실린더 건조방식과는 완전히 다른 새로운 건조설비를 이용하는 기술로 그림 4에 도시한 것과 같은 구조를 가지고 있다. 여기에서 보는 것과 같이 습지필은 습지필과 같은 속도로 움직이는 두 장의 스틸벨트

사이로 유입되어 와이어에 얹혀 고정된 상태로 건조된다. 따라서 일반 실린더 드라이어에서 볼 수 있는 오픈 드로우가 전혀 존재하지 않으므로 지질이 근원적으로 제거된 건조 방식이다.

상부 스틸벨트는 수증기 혹은 고온 개스에 의해 111-159℃로 가열되어 지필 건조의 열원으로 작용하며, 하부 스틸벨트는 물 또는 공기에 의해 냉각되어 지필로부터 방출된 수증기를 응축시키는 냉각작용을 한다. 상부 스틸벨트 위에 설치된 스팀 챔버는 2개 이상의 부분으로 나누어져 있으며, 챔버 내의 증기 압력은 1 bar에서 5 bar까지(포화수증기를 사용할 경우 온도는 111℃-159℃까지 증기압에 따라 연동됨) 변화시킬 수 있다. 압력 챔버 내의 증기압력은 스틸벨트에 전달되어 지필을 가압하게 된다.

하부 스틸벨트 아래에 위치한 냉각수 챔버는 내부에서 고압의 냉각수를 분사하여 하부 스틸벨트를 냉각시키고 상부 스틸벨트의 압력과 같은 압력으로 지필을 지지하는 역할을 한다. 하부 스틸벨트 위에는 Fine wire와 Coarse wire가 설치되어 습지필로부터 배출된 수분을 응축수 형태로 와이어의 공극에 포집하여 출구로 배출시킨다.

상부 스틸벨트와 Fine wire 사이로 유도된 습지필은 상부 스틸벨트에 의해 가열되어 건조된다. 지필 내의 수분은 수증기의 형태로 변환되어 제거되기도 하지만, Heat pipe 현상에 의해 액상으로 지필로부터 밀려나와 제거되기도 한다. 제거된 수분은 Fine wire와 Coarse wire를 통과하여 하부 스틸벨트에 의해 응축되어 Coarse wire와 함께 외부로 배출되게 된다. 와이어에 포집된 응축수는 진공에 의해

제거되며, 하부 스틸벨트에 잔류하는 수분은 닥터 블레이드를 이용하여 제거된다.

Condebelt process는 압력 챔버의 유무에 따라 고압형(High z-pressure type)과 저압형(Low z-pressure type)으로 나누어진다. 저압형이란 두께와 휨강성이 중요한 저평량지에 적용될 수 있는 것으로 일반 산업용지 분야에는 적합하지 못하다. 그림 4의 구조는 고압형 Condebelt이다.

Condebelt process에 사용되는 Fine wire는 Forming wire와, Coarse wire는 프레스 펠트의 베이스와 유사하다. 이러한 고압형 Condebelt process로 제조된 종이는 상부 스틸벨트와 접한 표면은 매우 평활하지만 와이어와 접한 이면에는 와이어 마크가 나타나게 된다. 따라서 고압형 Condebelt process는 벌크나 표리차가 중요하지 않은 라이너와 판지 등의 지종을 생산하는 데 적합한 공정이라 할 수 있다.

Condebelt process의 주요 장점은 전술한 바와 같이 건조속도가 140-160kg/m²/hr 정도로 기존의 실린더 건조 방식에 비해 매우 높으며, 건조 에너지를 절감시킬 수 있고, 종이의 강도를 크게 향상시킬 수 있다는데 있다.

Condebelt process의 건조속도가 크게 높은 이유는 건조부 전체에 걸쳐 지필과 상부 스틸벨트가 완벽하게 접촉하고 있으며, 스틸벨트의 두께가 1.2mm 정도로 기존의 실린더 드라이어의 두께 25mm에 비해서 크게 얇을 뿐 아니라 지필 내의 공기가 완전히 제거된 상태에서 건조되므로 열전도가 높으며, 증발된 수분의 이동 경로가 극히 짧기 때문이다

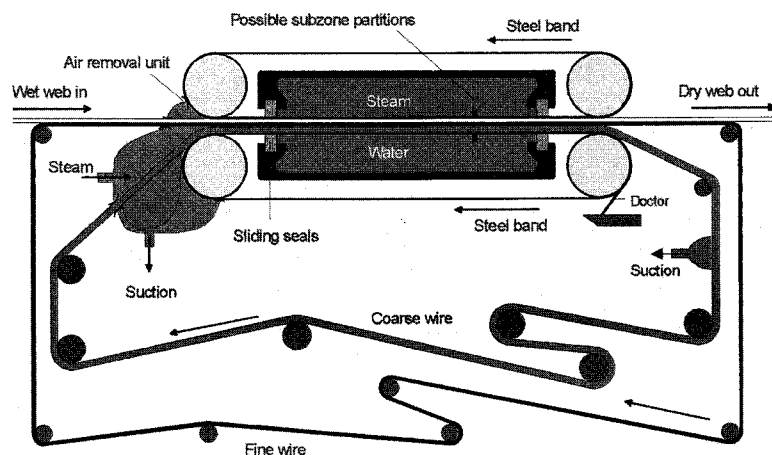


그림 4. 콘디벨트의 구조

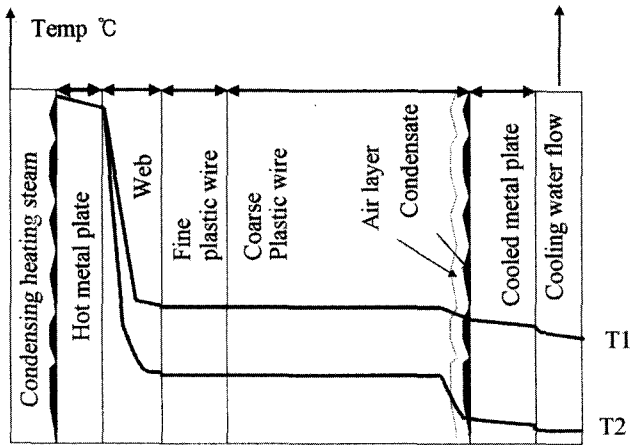


그림 5. Condebelt process에서의 온도 변화

Condebelt process는 에너지 효율면에서도 기존의 실린더 드라이어에 비해 우수하다. 이러한 장점은 지폭이 넓은 경우 더욱 크게 나타나게 된다. 대체적으로 실린더 드라이어에 비하여 약 10-20%의 건조 에너지 절감 효과를 거둘 수 있다.

특히 Condebelt process는 건조 에너지의 약 85%를 80℃의 고온 상태로 회수할 수 있지만, 실린더 드라이어는 건조 에너지의 약 50%만을 50℃의 상태로 회수할 수 있어 회수 에너지의 활용도도 Condebelt process가 월등히 우수하다.

4. Condebelt process에 의한 종이의 물성변화

Condebelt process는 실린더 드라이어로 제조된 종이에 비해서 압축강도, 파열강도, 내부결합강도, 밀도, 평활도, 사이즈도 등을 크게 증가시키는 특징이 있다.

Condebelt process에 의한 종이의 물성 향상효과는 첫째, 고온, 고압 하에서 펄프섬유의 유연성이 증가되어 섬유간 결합면적이 증가되며, 둘째, 건조시 발생하는 지필의 수축을 근원적으로 방지할 수 있기 때문이다. 이밖에도 Condebelt process는 펄프 섬유간의 가교결합을 촉진시키고, 셀룰로오스의 결정화도를 증가시키며, 종이의 평형함수율을 감소시키기 때문에 강도 향상 효과를 나타낸다고 보고된 바도 있다.

먼저 Condebelt process가 섬유간 결합을 증가시키는 이유를 살펴보도록 하겠다. 잘 알고 있는 바와 같이 펄프

섬유를 구성하고 있는 주성분은 리그닌, 셀룰로오스 및 헤미셀룰로오스이다. 완전히 건조된 상태에서의 이들 물질의 유리전이점은 리그닌이 약 200℃, 셀룰로오스가 약 220℃, 헤미셀룰로오스가 약 170℃이다.

종이에 수분이 함유되어 있는 경우에는 그림 6에서 보는 것과 같이 수분함량이 증가함에 따라서 유리전이점이 급속히 감소한다. 하지만 리그닌의 경우에는 함수율이 증가하여도 100℃ 이상의 유리전이점을 유지한다. 일반적으로 실린더 건조를 행할 경우에는 지필 내에 수분이 함유되어 있으며, 다공성의 건조 패브릭에 의해 지지되고 있으므로 지필의 온도는 실질적으로 100℃ 이하에서 건조된다. 따라서 일반적인 실린더 건조를 행하게 되는 경우에는 리그닌의 연화현상은 발생할 수 없다.

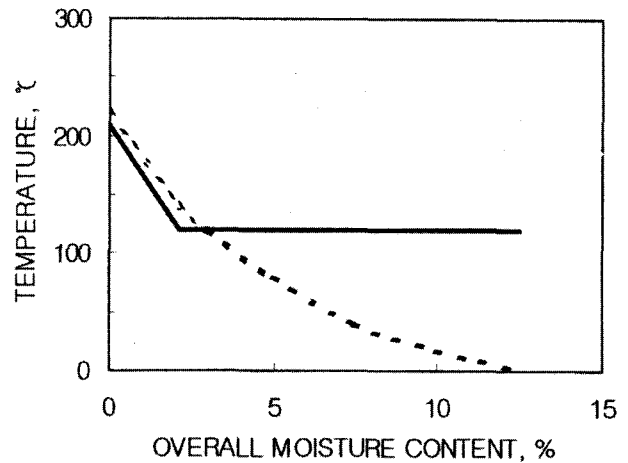


그림 6. 함수율 변화에 따른 섬유 구성성분의 유리전이점 변화.

골판지 원지는 주지하는 바와 같이 NSSC 펄프와 UKP를 원료로 하여 제조되고 있으며, 이들 섬유에는 다량의 리그닌이 함유되어 있다. 따라서 일반적인 실린더 건조방법을 사용할 경우에는 섬유간 결합이 크게 억제되지만, 건조시의 온도를 리그닌의 유리전이점 이상으로 상승시키면 섬유의 유연성이 크게 증가하여 섬유간 결합이 개선된다 (그림 7). Condebelt process를 통하여 제조된 종이의 물성 가운데 섬유간 결합에 직접적으로 좌우되는 인장강도, 파열강도, 내부결합강도 등은 증가하지만 신장율, 인열강도, 불투명도 등은 감소된다. 따라서 Condebelt process는 감소되는 물성의 중요성이 적은 지종의 생산에 더욱 적합하다.

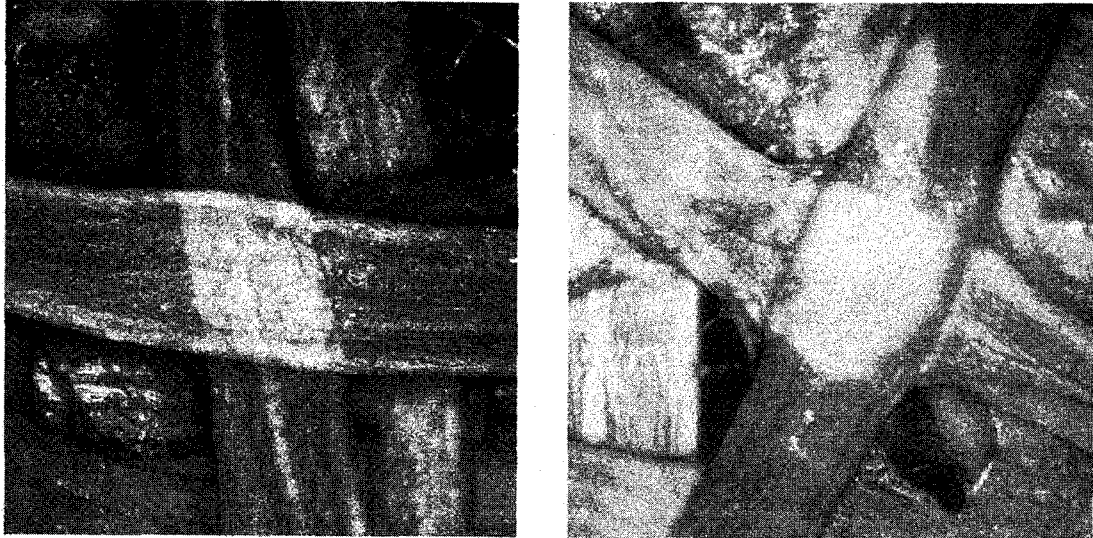


그림 7. 실린더로 건조된 종이(좌)와 Condebelt로 건조된 종이의 CLSM 사진

Condebelt process에서는 종이의 한쪽면이 고온의 스틸 벨트에 접하게 되므로 상부 지필의 밀도가 중간부분이나 이면의 밀도에 비해서 크게 증가되는 특징이 있다. 일반적으로 건조시간의 20%에 달하면 상부 스틸벨트와 접한 표면은 거의 완전히 건조되지만, 중층과 이면은 건조가 진행됨에 따라서 서서히 건조된다.

Condebelt를 이용하여 지필을 건조시키면 지필의 수축이 완전히 배제되므로 폭방향 치수안정성이 일정하게 유지되는 효과를 얻을 수 있다.

이러한 현상은 실린더 드라이어를 사용하는 초지기에서 발생하는 폭방향의 불균일한 수축에 의한 폭방향 물성 변화가 Condebelt process를 통하여 제조된 종이에서는 나타나

지 않는다는 것을 뜻한다 (그림 8).

Condebelt process에 의한 종이의 물리적 성질 변화는 위에서 언급한 두 가지 원인으로 설명될 수 있으며, 온도, 압력, 지필의 수분함량에 따른 펄프 섬유 변형, 섬유간 결합형성, 건조시 발생하는 지필의 수축 등에 대하여 더욱 많은 연구가 진행되면 Condebelt process는 보다 경제적인 압착건조방식으로 개선될 수 있을 것이 분명하다.

5. Condebelt process에 영향을 미치는 인자

Condebelt process를 통하여 생산된 종이의 물성은 펄프 섬유 종류와 운전조건에 따라 변화된다. Condebelt process의 주요 공정인자로는 상하 가압 챔버의 온도, 지필

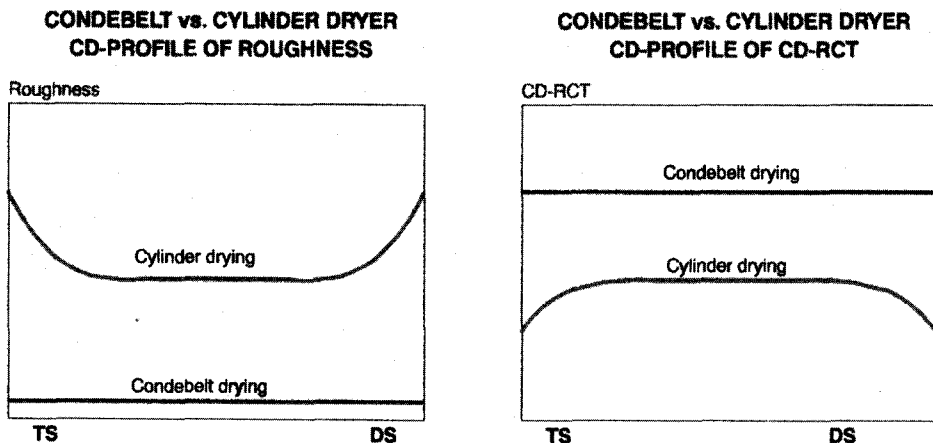


그림 8. 폭방향 Roughness 및 압축강도 모식도

의 함수율, 압력, 체류시간을 들 수 있다.

이러한 인자의 영향을 연구하기 위해서는 Condebelt process의 공정변수를 검토할 수 있는 실험설비를 갖추어야 한다. 그림 9에 나타낸 모식도는 현재 서울대학교 임산공학과 제지과학연구소에 설치된 파일로트형 Condebelt process 연구설비이다. 본 설비는 외형상으로는 일반 열압기와 같은 형태를 띠고 있다. 상부 플레이트는 내부에 존재하는 코일을 통해 300℃까지 가열할 수 있으며, 하부 플레이트의 온도는 냉각수 저장조, 가열장치, 냉각장치 및 순환 펌프로 구성된 냉각 시스템을 이용하여 40~80℃의 범위에서 조절할 수 있다. 또 상부 플레이트의 개폐와 압체시간, 압체압력은 유압을 이용하여 자동 조절할 수 있다.

Schematic of Static Condebelt

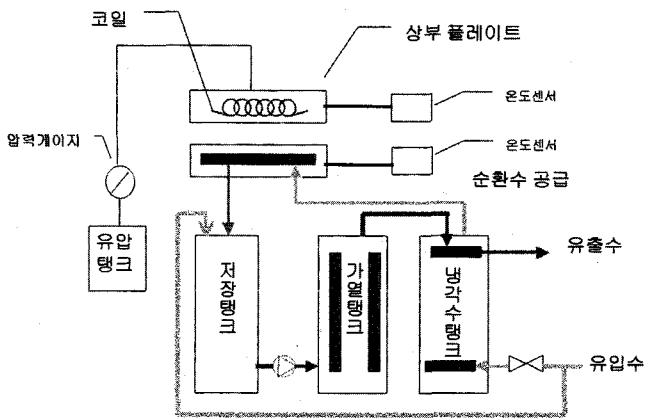


그림 9. 파일로트 콘디벨트 건조기 모식도

실제 Condebelt 공정에 있어서 스팀 챔버의 온도와 압력은 연동된다. 즉 챔버 내의 수증기 온도가 증가할수록 압력이 증가하며, 지필에 가해지는 압력도 높아진다. 지필에 가해지는 압력은 스팀 챔버의 압력에서 지필 내의 증기압과 지필을 구성하는 섬유에 의한 구조압을 제한 압력이 된다. 일반적으로 스팀 챔버의 온도와 압력 증가는 종이의 밀도를 증가시켜 강도를 향상시킨다. 그림 10은 다양한 펄프를 원료로하여 Condebelt process로 건조시킨 종이의 밀도를 보여주고 있다.

여기에서 보는 것과 같이 압력이 증가할수록 Condebelt process를 이용하여 제조된 종이의 밀도는 지속적으로 증가한다. KOCC의 밀도증가율이 다른 원료를 사용한 경우보다 낮은 이유는 다른 종이는 평량이 300g/m²로 초조하였으나, KOCC의 경우에는 150g/m²로 낮았기 때문이다. 평량이 낮은 경우에는 이면의 와이어 마크에 의해 밀도가 낮게 측정된다.

종이의 밀도증가는 곧 인장강도와 압축강도의 증가로 연결된다. 아래 그림 11에서 보는 것과 같이 모든 펄프에 있어서 압축강도 증가는 밀도와 비례한다. 이 경우에도 KOCC의 강도가 낮게 나타났으나, 이 역시 평량이 낮아 와이어 마크에 의한 영향이 컸기 때문이다.

냉각수 챔버의 온도가 낮을수록 스팀 챔버와의 온도차가 증가하므로 열전달이 더 효과적으로 이루어지고 이에 따라 건조 능력도 크게 증가하지만, 회수 에너지의 활용성은 저하된다. 또 냉각수 챔버의 온도가 낮을수록 종이의 제반 물성이 저하된다. 이러한 점을 고려하여 냉각수 챔버의 온도는 80℃로 유지하는 것이 일반적이다.

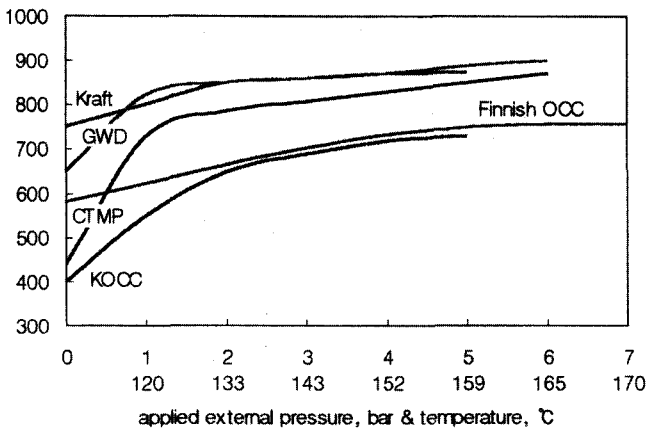


그림 10. Condebelt process의 압력에 따른 종이의 밀도변화

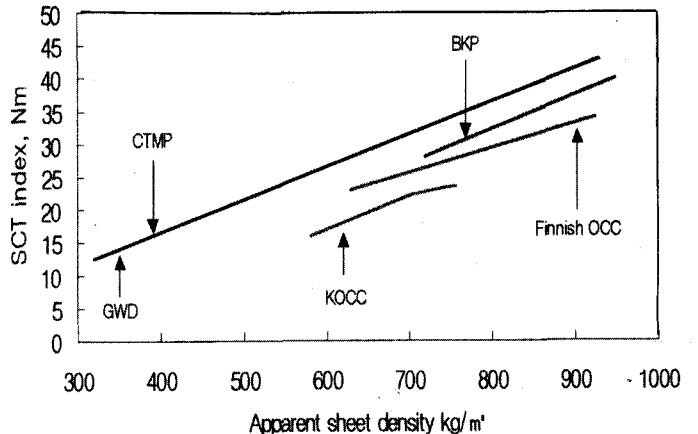


그림 11. 종이의 밀도에 따른 압축강도 변화

Condebelt process를 통하여 제조된 종이의 물성은 지필의 입구 건조도에 의해 큰 영향을 받는다. 대개 입구 건조도가 낮을수록, 다시 말해 지필 내에 수분이 많이 존재할수록 가열시 섬유유연성이 더 크게 증가하므로 리그닌 유동과 건조수축 방지 효과가 더욱 크게 나타난다. 가장 높은 강도향상 효과를 얻기 위해서는 Condebelt로 유입되는 지필의 건조도를 40-45%로 유지하는 것이 적당하다

(그림 12.) 이보다 건조도가 높은 경우에는 너무 신속히 건조되므로 리그닌 유동에 의한 효과가 감소한다.

Condebelt process의 출구 건조도는 상부 스틸벨트와 지필의 박리특성에 의해 크게 제약된다. 지필이 상부 스틸벨트로부터 잘 분리되도록 하기 위해서는 일반적으로 지필의 출구 건조도를 82% 이상으로 유지해야 한다. 펄프 종류에 따라서 약간 변화되기는 하지만 출구 건조도가 82% 이상인 경우 출구 건조율 변화에 따라 종이의 인장 스티프니스는 약간 증가하는 경향을 보인다.

Condebelt process의 공정 인자는 아니지만 보수성과 리그닌 함량 등의 펄프 특성 역시 콘디벨트 건조 공정의 효과에 영향을 미친다. 기계펄프의 경우에는 건조시 발생하는 지필의 수축 억제와 리그닌의 유동으로 인한 섬유간 결합면적 증가가 물성 개선의 주된 요인이라 밝혀지고 있으며, 기계펄프보다 보수성이 높은 화학펄프의 경우에는 기존 건조 방식을 사용할 경우 지필의 수축이 크게 발생하여 물성의

악화가 초래되므로 지필의 수축 억제가 Condebelt에 의한 물성 향상의 주된 원인이 된다.

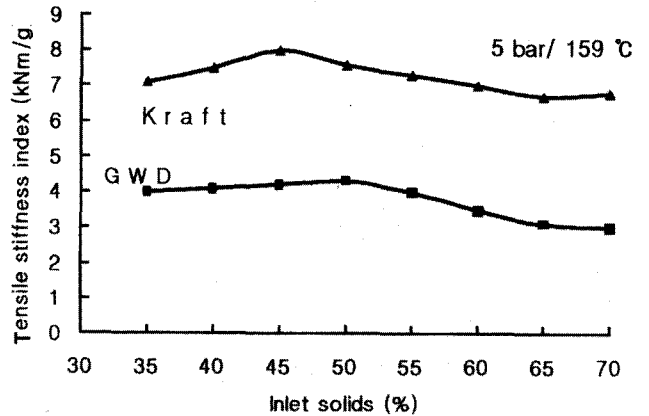


그림 12. Condebelt process에서의 입구 건조도에 따른 인장 스티프니스 변화

6. Condebelt process에 의한 국산 라이너의 물성개선

서울대 임산공학과 제지과학연구소에서는 동일제지주식회사와 협력하여 산업자원부 생산기술연구원이 지원하는 청정기술개발사업의 일환으로 “고온압착건조기술 개발, 최적화 및 재활용성 평가”라는 연구를 수행하고 있다. 본 연구는 주로 Condebelt process를 이용하여 국산 라이너, 골심지

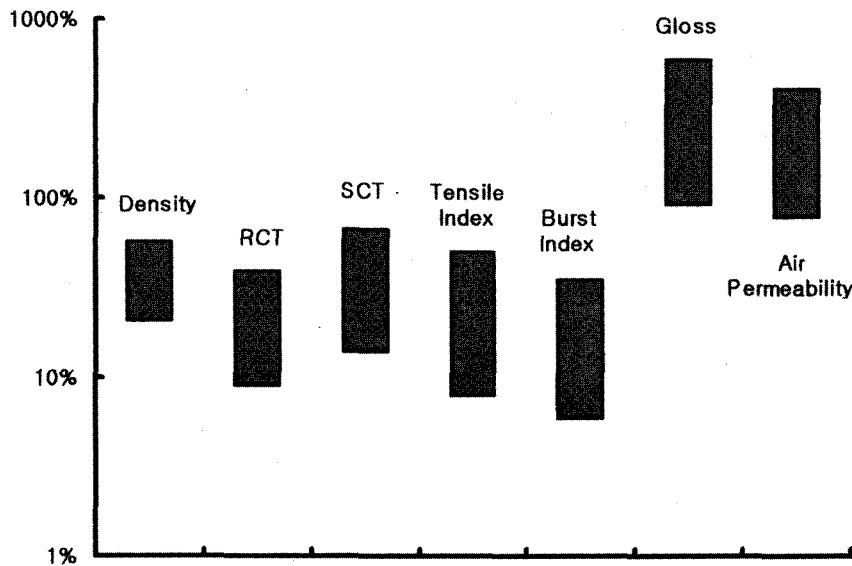


그림 13. Condebelt process에 의해 제조된 국산 라이너지의 실린더 건조된 라이너에 대한 품질향상 효과.

및 판지 품질의 극대화를 모색하고, 1998년 말 본 기술을 도입할 예정인 동일제지주식회사의 공정 최적화 및 조기 정상화를 일차적 목표로 하고 있다.

그림 13은 국산 KOCC를 원료로하여 Condebelt process로 제조된 종이의 각종 물성 향상비율을 일반 실린더 건조된 종이와 비교한 것이다. KOCC를 원료로 이용할 경우에도 제반 물성개선효과가 크게 나타나고 있어, Condebelt process를 통하여 국산 폐지를 원료로 사용하여 우수한 품질의 라이너를 제조할 수 있다는 것이 확인되었다. 이러한 효과는 종이의 평량을 낮춤으로써 원료를 절감하는 방안으로도 활용될 수 있을 것이다.

이러한 물성개선 효과는 단순한 품질향상 뿐 아니라 저평량화를 통한 원료절감에도 기여할 수 있을 것으로 생각된다. 그림 14에서 보는 것과 같이 Condebelt process에 의해 초지된 종이의 물성 개선효과는 동일한 강도를 얻기 위해서 평량을 저하시키는 방법으로 활용될 수 있다. 이 경우에는 실린더 건조된 평량 180 g/m²의 라이너 압축강도를 콘디벨트 건조된 라이너의 경우에는 130g/m²으로 달성할 수 있다. 이는 약 30%의 원료절감 효과에 해당한다.

원료 절감

Condebelt process는 국산 OCC를 원료로하여 고강도, 고품질의 라이너를 생산할 수 있는 기술일 뿐 아니라 저평량화와 저급 원료의 사용 증대를 통한 원가 절감을 실현시킬 수 있는 새로운 제지기술이라 할 수 있다. 이는 Condebelt process는 펄프 섬유의 결합을 극대화시키는데 필요한 온도, 압력, 수분함량의 세 가지 조건이 충족된 상태에서 지필을 건조시킬 뿐 아니라 건조에 의해 발생하는 지필의 수축 또한 근원적으로 방지할 수 있기 때문이다. 라이너의 경우에는 실린더 드라이어를 사용한 종이와 비교할 경우 평량을 20-30% 감소시키더라도 동일한 강도적 특성을 얻을 수 있다. 또 리그닌 함량이 높은 고수를 펄프를 이용할 경우 더욱 높은 강도 증가 효과를 얻을 수 있으므로 장기적으로는 펄프 원료인 목재 자원의 절감에도 기여할 수 있을 것이라 생각된다.

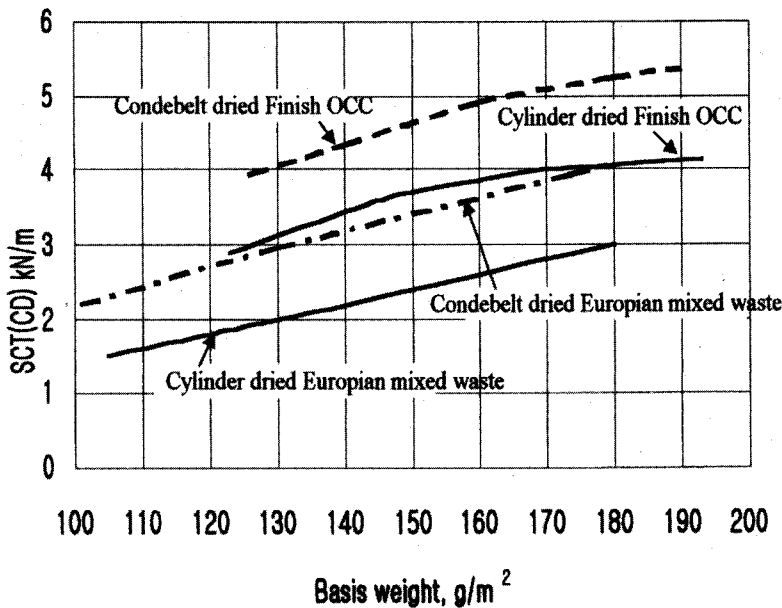


그림 14. 실린더 건조된 종이와 Condebelt로 생산된 종이의 평량별 압축강도 비교