

# Condebelt Drying Technology를 이용한 산업용지의 품질향상

이학래 / 서울대학교 임산공학과 교수

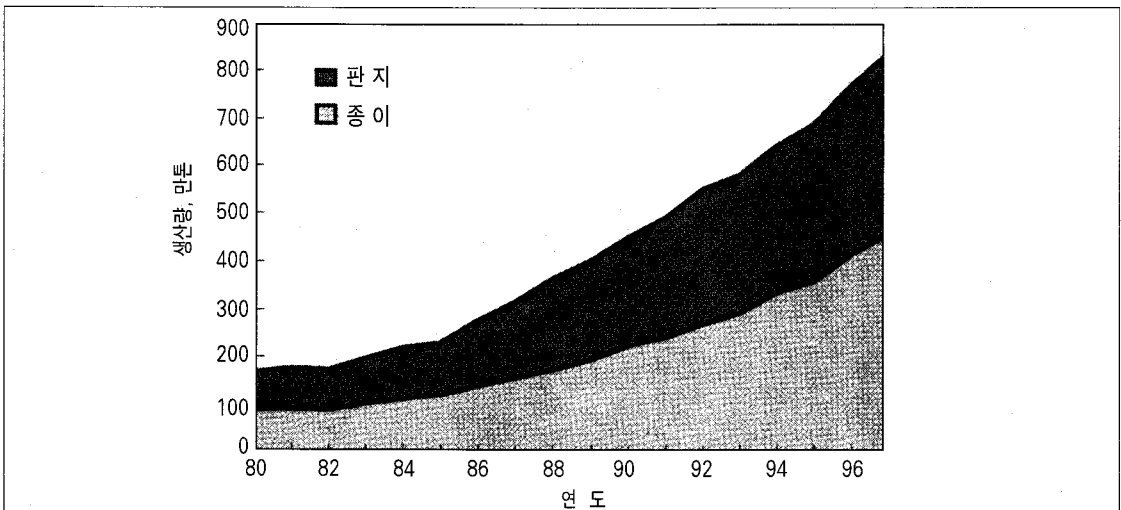
## 1. 서론

우리 나라의 제지산업은 국내 지류소비량의 꾸준한 증가에 힘입어 지속적으로 성장하여 왔으며, 특히 최근 10여년간 연평균 성장률이 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 위

해서는 무엇보다 원료문제를 해결해야만 할 것이다.

주지하는 바와 같이 제지산업은 원료의존도가 높은 장치산업인 동시에 재활용 산업이기도 하다. 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 자급률의 증대는 당분간 불가능할 것으로 예상되고

[그림 1] 국내 지류 생산량 변화



있다. 이는 국제 경쟁력을 지닌 일산 1천톤 규모의 펄프 생산시설을 건설하는 데는 3천5백억원 이상의 신규투자가 요청되기 때문이다. 국내 제지산업이 가지고 있는 이러한 근원적인 원료부족의 문제점을 극복하기 위해서는 국내에서 소비되고 있는 지류를 적절하게 수거하여, 재활용하는 것이 최선의 대책이라 할 수 있다.

현재 국내에서는 인쇄 필기용지 등의 고급지종을 제외한 신문용지와 라이너지, 판지 등은 주로 재활용 섬유자원을 원료로 하여 생산되고 있으며 특히 산업용지 분야에서는 재활용섬유자원에 대한 의존도가 매우 높은 실정이다.

국내 폐지 재활용 현황을 보면 1980년에는 총 폐지사용량이 108만톤이었으며 그 가운데 국산 폐지가 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, 폐지사

용율도 69.4%로 증가하였다(그림 2).

이는 국내 폐지 회수율이 그동안 쓰레기 종량제 등 제도 개선을 통하여 꾸준히 증가되어 50% 이상을 기록하고 있기 때문이다.

97년 현재 우리나라의 회수율은 56.8%였다. 이와 같은 현상은 국내 제지산업이 자원재활용에 있어서 시범적인 산업이라는 것을 극명하게 보여주고 있다.

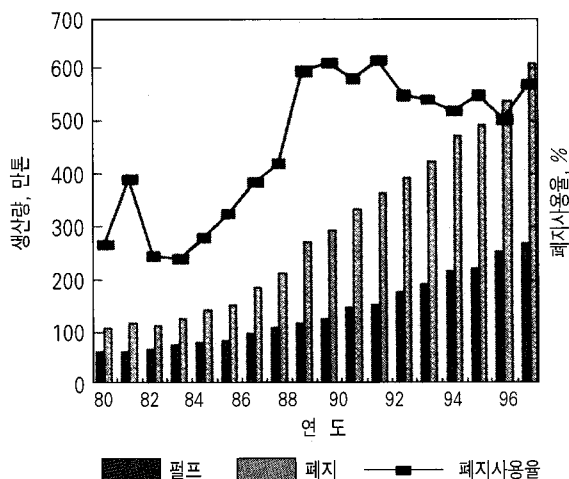
폐지의 수집량을 폐지 종류별로 분류한다면(표 1)에서 보는 것과 같이 신문용지 폐지(Old News Prints, ONP), 골판지 폐지(Old Corrugated Container, OCC) 및 기타 폐지로 나눌 수 있다. 여기에서 보는 것과 같이 1997년도의 경우 ONP는 58%, OCC는 80%, 기타 폐지는 약 69%를 국내에서 수거·공급했다.

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 라이너지를 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 증가함에 따라서 각질화되어 유연성이 감소되기 때문에 섬유간 결합력이 감소하고, 이에 따라서 종이의 인장강도, 파열강도, 내절도, 밀도 등이 저하된다. 리파이닝을 통하여 이들 강

(그림 2) 국내 제지원료 및 폐지사용율 추이



[표 1] 폐지 종류별 재활용 현황

(단위 : M/T, %)

구분		'80	'90	'95	'96	'97
ONP	국산	461,591 (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)
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)

도를 증가시키는 경우에는 각질화된 섬유질 절단이 집중적으로 발생하여 탈수성이 저하되는 문제가 발생한다.

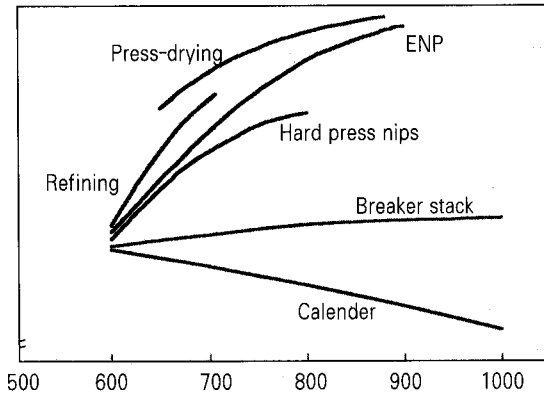
더우기 만약 펄프 섬유의 강도를 리파이닝을 통하여 향상시킨다면 이 종이를 다시 재활용할 경우에는 전단계에서 발생한 이차 미세섬유가 다시 일차미세섬유의 거동을 나타내기 때문에 물성개선을 위해서는 더욱 많은 리파이닝을 해야만 하는 문제가 발생한다. 따라서 펄프 섬유의 재활용 가능성을 증대시키기 위해서 리파이닝 기술에 의존하는 것은 재활용 포텐셜을 감소시키는 결과를 초래할 수 있다.

## 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. 이

(그림 3) 종이의 밀도변화를 일으키는 제지공정별 강도 변화 현상



를 위해서는 고해, 압착, 캘린더링, 블레이크 스택 등 다양한 방법을 활용할 수 있다. 이들 방법에 의해서 종이의 밀도를 변화시키게 되면(그림 3)에서 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 압착 건조기술이다.

최근 들어 개발된 압착건조기술 가운데 Condebelt process라 칭해지는 고온압착건조기술은 기존 실린더 건조방식에 비해 에너지 이용효

율과 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 라이너지 생산에 적용할 경우 강도향상 효과에 의한 제품의 저형량화, 저급 원료활용률의 증대를 통한 원가 절감이 가능할 뿐 아니라 우수한 표면평활성과 인쇄적성에 의한 제품의 차별화가 가능하다.

특히 국내와 같이 폐지 원료를 다량 사용하여 라이니지를 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 파일릿 공정으로 발전하였다. 이러한 발전과정을 거친 후 Condebelt 공정은 1996년에 이르러 핀란드 ENSO사의 Pankakoski 판지공정에 설치됨으로써 세계 최초의 상업생산설비로 태어나게 되었다. 하지만 이때 설치된 Condebelt dryer는 지폭이 2.5m, 초속도가 200m/min인 소형 설비였다. 우리나라의 동일제지주식회사는 1997년 5월 Valmet과 Condebelt process 설비 도입계약을 체결하였으며 1998년 말 공사를 완공하고 곧 이어 상

업생산을 시작할 예정이다. 금번 동일제지주식 회사에 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 4)에 도시한 것과 같은 구조를 가지고 있다. 여기에서 보는 것과 같이 습지필은 습지필과 같은 속도로 움직이는 두 장의 실린더 드라이어에서 볼 수 있는 오픈 드로우가 전혀 존재하지 않으므로 지질이 근원적으로 제거된 건조방식이다.

상부 스틸벨트는 수증기 혹은 고온 가스에 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 1bar에서

5bar까지 (포화수증기를 사용할 경우 온도는 111℃~159℃까지 증기압에 따라 연동됨) 변화시킬 수 있다. 압력 챔버 내의 증기압력은 스틸벨트에 전달되어 지필을 가압하게 된다.

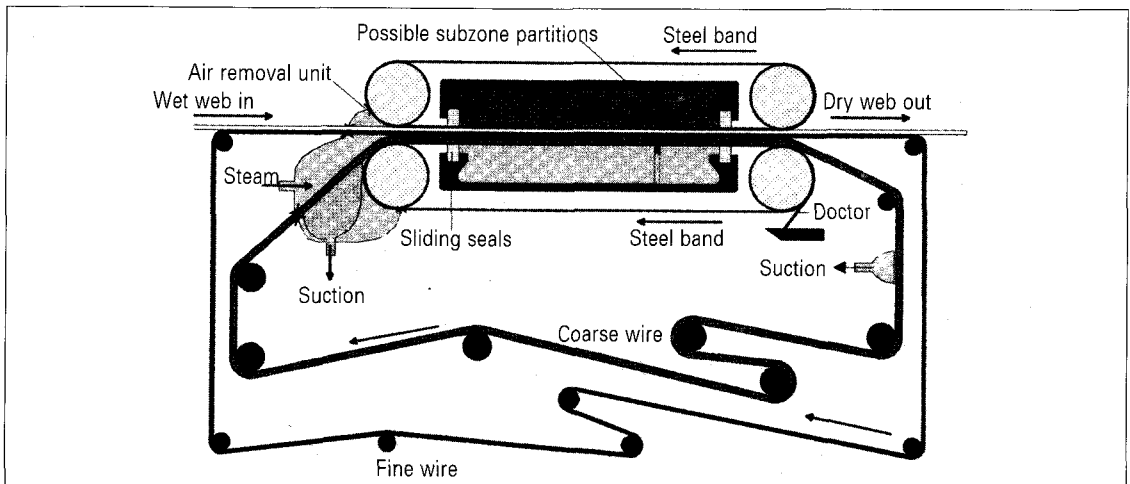
하부 스틸벨트 아래에 위치한 냉각수 챔버는 내부에서 고압의 냉각수를 분사하여 하부 스틸벨트를 냉각시키고 상부 스틸벨트의 압력과 같은 압력으로 지필을 지지하는 역할을 한다. 하부 스틸벨트 위에는 fine wire와 coarse wire가 설치되어 습지필로부터 배출된 수분을 응축수 형태로 와이어의 공극에 포집하여 출구로 배출시킨다.

상부 스틸벨트와 fine wire사이로 유도된 습지필은 상부 스틸벨트에 의해 가열되어 건조된다. 지필 내의 수분은 수증기의 형태로 변환되어 제거되기도 하지만 heat pipe현상에 의해 액상으로 지필로부터 밀려나와 제거되기도 한다.

제거된 수분은 fine wire와 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 따

(그림 4) 콘디벨트의 구조



라 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 못한다.

(그림 4)의 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 별크나 표리차가 중요하지 않은 라이너지와 판지 등의 지종을 생산하는 데 적합한 공정이라 할 수 있다.

Condebelt process의 주요 장점은 전술한 바와 같이 건조속도가 140~160kg/m<sup>2</sup>/hr 정도로 기존의 실린더 건조 방식에 비해 매우 높으며 건조 에너지를 절감시킬 수 있고 종이의 강도를 크

게 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 지필내의 공기가 완전히 제거된 상태에서 건조되므로 열전도도가 높으며 증발된 수분의 이동 경로가 극히 짧기 때문이다(그림 5).

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.

(다음호에 계속)

(그림 5) Condebelt process에서의 온도 변화

