

기술제언

FELT CONDITIONING에 대한

체계적 접근

NASH ENGINEERING CO.,

PULP & PAPER DIV. DOUGLAS F. SWEET 글

한국나쉬(유) 개발영업부장 김 형 덕 역

1. 개요

FELT CONDITIONING은 전체 종이 제조 공정에 있어 매우 중요한 부분이나 때로 잘못 이해되는 경우도 있다.

FELT 설계, 속도, 진공도, 진공 FACTOR, DWELL, TIME, UHEL BOX와 COVER 설계, SHOWERING, 진공 SYSTEM 배치, 화학약품 세척 등은 FELT CONDITIONING의 중요한 변수들이다.

이러한 요인들에 있어 그 근거와 효과와의 관계는 분명치는 않으나, 이는 PRESS에서의 부적절한 탈수, CRUSHING, 또다른 품질결함, 짧은 FELT 수명, 종이수분변화 등에서 기인한다.

이 장에서는 측정가능한 실제 CASE STUDY와 FELT CONDITIONING의 중요한 변수들에 대하여 언급하기로 한다.

FELT CONDITIONING은 FELT의 등급, 기계 속도, 원료 등급(RE-

CYCLE 혹은 VIRGIN FIBER), 기계 수명, 종이제조의 경험과 지식 정도에 따라 변한다.

많은 제지공장에서 FELT CONDITIONING에 문제점을 가지고 있으며, VACUUM LEVEL의 증가, SLOT WIDTH와 UHEL BOX 확장, SHOWERING 향상 등을 통하여 변화를 피하여 왔다.

이는 공정상의 향상을 가져왔으나 반면 부정적인 결과를 초래하기도 하는데 이는 주로 FELT CONDITIONING 장비의 부족과 좋지 못한 설비 등에서 기인한다.

2. FELT MOISTURE 대 % MOISTURE

FELT의 수분함량은 측정장비인 "SCAN-PRO"로 측정되고, g/m²으로 표시된다.

◎ MOISTURE RATIO = GRAMS OF WATER / GRAMS OF FELT

◎ % MOISTURE = $\frac{\text{GRAMS OF WATER} \times 100}{\text{GRAMS OF WATER} + \text{GRAMS OF FELT}}$

이 DATA는 MOISTURE의 두가지 수치가 있으며, 이 두가지 수치는 가끔 동일하게 사용하는 오류를 범하기도 하나 이들은 명백히 다르다.

예를 들면 0.4 MOISTURE RATIO를 가진 FELT는 28% MOISTURE와 같다.

이들 두 수치는 동일한 MOISTURE STUDY에 사용되지 않으며 FELT 업체에 따라 다르게 사용한다. 더욱 중요한 것은 UHEL BOX 전, 후의 수분 수치를 확인하는 것으로 PRESS GEOMETRY 때문에 CD 측정이 불가능하더라도 MD 측정은 가능하다.

UHEL BOX 전단 FELT에서 측정된 함수량이 DRYER SECTION 중간에서의 종이 MOISTURE 측정에 근거하여 REEL MOISTURE를 판단하는 것보다 유용하다.

3. UHEL BOX SLOT WIDTH VS. DWELL TIME

USEL BOX(FELT BOX 또는 FELT TUBE 라고도 함)는 WET 또는 PRESS FELT로부터 물과 이물질 제거를 위한 장치이다. 이 구조는 단순하며 동작 부품은 없으나 UHEL BOX의 올바른 설계 및 응용에는 많은 기술적 의미가 내포되어 있다.

UHEL BOX 선정의 두가지 변수는 SLOT WIDTH와 FELT WIDTH이다.

SLOT WIDTH는 기계의 속도와 비례하고 진공영역을 지나는 DWELL TIME과 관계가 있으며, DWELL TIME은 FELT가 진공영역에 있을 때의 시간이며 MILLISECONDS(MS) 단위로 표시된다. WATER 제거에 가장 적합한 DWELL TIME은 2~4 MS이며 SLOT WIDTH를 결정하기 위한 공식은 다음과 같다.

$$\text{SLOT WIDTH(mm)} = \frac{\text{DWELL (MILLISECOND)} \times \text{M/C SPEED (m/min)}}{60}$$

$$\text{SLOT WIDTH(mm)} = \frac{\text{DWELL (SECOND)} \times \text{M/C SPEED (ft/min)}}{5}$$

이 공식은 각각의 SLOT가 아닌 각 UHEL BOX에 있어서 총 SLOT WIDTH를 산출하는데 사용된다.

예를 들면 25mm로 계산된 SLOT WIDRH는 두 개의 12.5mm SLOT을 가진 DOUVLE SLOTTED UHEL BOX의 사용에 적용된다.

UHEL BOX에서 DWELL TIME을 계산하기 위하여 공식을 재배열하면,

$$\text{DWELL (MILLISECOND)} = \frac{\text{SLOT WIDTH(mm)} \times 60}{\text{M/C SPEED (m/min)}}$$

$$\text{DWELL (SECONDS)} = \frac{\text{SLOT WIDTH(IN)} \times 60}{\text{M/C SPEED (ft/min)}}$$

DWELL TIME 2MS 이하일 경우 UHEL BOX에서의 탈수는 불충분하게 이루어지며 4MS 이상일 경우 부가적인 진공용량에 맞는 충분한 탈수량이 증가되지 않는다.

SLOT WIDTH는 전형적으로 12~25mm(0.5~1 IN)이며 12mm보다 작은 SLOT은 막히게 되고 25mm

보다 큰 SLOT은 FELT의 과도한 노후화(닿음)의 원인이 된다.

일반적으로 M/C SPEED 100 ft/min이하에서는 12mm의 SLOT WIDTH가 적합하고 설계된 총 SLOT WIDRH가 25mm를 넘으면 DOUBLE SLOTTED BOX를 사용하는 것이 바람직하다.

또한 총 SLOT WIDTH가 같다면 SINGLE 이진 DOUBLE SLOT을 사용하던 UHEL BOX에서 배출되는 FELT MOISTURE에는 영향을 주지 않는다.

DWELL TIME이 2MS일 때 UHEL BOX 당 총 SLOT WIDTH는 "TABLE I"과 같다.

4. UHEL BOX DESIGN과 VACUUM FACTORS

FELT WIDTH 근거한 SLOT WIDTH AREA가 결정된 후 다음 단계는 VACUUM FACROT의 적용인바 TAPPI TIS 0502-01에서는 OPEN SLOT AREA에서 660 m³/min/m²(15 CFM/IN²)이며 LONG NIP 혹은 SHOE PRESS와

Felt/machine speed m/min(ft/min)	Total slot width mm(in.)	Uhle box capacity m ³ /min(ft ³ /min)	Uhle box diameter min(in.)
Below 300 (980)	12 (0.5)	20 (700)	150 (6)
300-450 (100-1500)	15 (0.6)	34 (1200)	200 (8)
450-600 (1500-2000)	20 (0.8)	54 (1900)	250 (10)
600-750 (2000-2500)	25 (1.0)	79 (2800)	300 (12)
750-900 (2500-3000)	30 (1.2)	110 (4000)	350 (14)
900-1050 (3000-3500)	35 (1.4)	160 (5600)	400 (16)
1050-1400 (3500-4500)	40 (1.6)	230 (8000)	450 (18)
Above 1400 (4500) 46-	50 (1.8-2.0)	290 (10000)	500 (20)

I. Guide for determining slot width

II. Recommended uhle box diameters

1375 g/m² 이상의 FELT에서는 750 ~ 970 m³/min/m² (17-22 CFM/IN²) 이 적용된다. UHEL BOX의 진공용량은 다음 공식으로 산출된다.

$$\text{VACUUM CAPA} = \text{SLOT AREA (m}^2\text{)} \times \text{VACUUM FACTOR (m}^3\text{/min/m}^2\text{)}$$

진공용량 결정 후 종종 잊는 것이 있는데 이는 적절한 UHEL BOX 직경의 선정이다.

신규 혹은 UPGRADE 진공 시스템에 있어서 내부의 진공손실을 최소화하기 위하여 많은 노력을 하면서도 UHEL BOX 직경은 종종 무시된다.

전반적으로 SEPARATOR 전단에서 WET AIR의 속도는 18~20 m/s (3500~4000 ft/min)가 SEPARATOR 후단에서의 DRY AIR의 속도는 28~30 m/s (5500~6000 ft/min)가 요구된다.

따라서 UHEL BOX의 직경은 "TABLE II"와 같다.

이론적으로 적절한 DWELL TIME과 VACUUM FACTOR가 주어졌을 경우, 각 FELT는 하나의 UHEL BOX가 적합하다. 두 개의 UHEL BOX는 고급, 경량의 종이, 빠른 속도의 기계에서 SHEET FILLER가 사용되는 경우 및 다량의 물을 배출하는 경우 사용된다.

610 m/min (2000 ft/min) 이하의 기계 속도에서는 FELT당 두 개의 UHEL BOX는 필요치 않으며 가장 건조한 FELT (#3 혹은 #4 PRESS) 역시 하나의 UHEL BOX만이 필요하다.

주의할 것은 UHEL BOX 전단에 OSCILLATING NEEDLE SHO-

WER, CHEMICAL SHOWER와 LUBE SHOWER 설치할 충분한 공간이 확보되어야 하며, 특히 LUBE SHOWER는 두 개의 UHEL BOX 중 두번째 전단에 설치되어야 한다. UHEL BOX COVER나 WEAR STRIP 재질로는 고밀도 POLYETHYLENE가 가장 보편적으로 쓰리고 있고, CERAMIC은 반영구적이거나 초기 설치비용이 높다는 단점이 있다.

CERAMIC의 또다른 장점으로 CERAMIC STRIP상에 PITCH가 쌓이지 않거나 감소된다는 것이다.

5. SHOWERING

저압 FAN, LUBE SHOWERS, 고압의 OSCILLATING NEEDLE SHOWERS가 적절히 조화된 지속적인 SHOWERING은 FELT CONDITIONING 시스템에 반드시 적용하여야 한다.

일반적으로 UHEL BOX는 FELT가 흡수한 물만을 제거한다고 믿고 있으나 실제로 잘 설계된 시스템에서는 UHEL BOX에 의해 제거되는 물의 양은 종이로부터 오는 저압과 고압의 SHOWERS로 부터 오는 것이다. 이것은 FELT상의 오염물질은 진공만으로는 제거되지 않는다는 사실을 보여주며 물은 이러한 오염물질을 FELT로 부터 떨어져 나가게 하는데 필요하다.

FAN SHOWERS는 FELT 폭 전체를 3~4 BAR (40~60 psig)의 저압으로 균일하게 SHOWERING 하여야 하며, 대부분의 경우 LUBE SHOWERS와 같이 UHEL BOX 전단에 위치한다. 이 SHOWER는

FELT 전체를 고르게 덮도록 설계되어야 하며, 몇몇 회사에서는 노즐이 막히거나 불충분한 작동 등으로 인한 영향을 최소화 하기 위하여 이 SHOWER를 OSCILLATING 하기도 한다. 모든 FAN NOZZLE은 균일한 SPRAY를 가져야 함이 중요하다. 또한, 가동중 NOZZLE을 청소하기 위해 내부에 BRUSH를 가진 SHOWERS를 사용하는 추세에 있다.

고압 NEEDLE SHOWERS는 좁은 면적에 집중적으로 HIGH ENERGY SPRAY를 행한다. 이 SHOWERS는 고압의 물을 PUMPING 하기 위한 COST를 감안할 때 SHOWER PIPE가 FELT 전체를 완전히 덮을 만큼의 충분한 NOZZLE을 갖는다는 것은 사실상 불가능하다.

이를 해결하기 위하여 SHOWER를 FELT의 직각방향으로 전후 이동시키면서 사용하는데 WSTROKE의 끝부분에서 정체없이 균일하게 작동해야 한다.

SHOWER를 이동시키기 위하여는 공압, 수압 실린더와 크랭크를 가진 GEAR MOTOR 최근에는 ELECTRO-MECHANICAL SHOWER OSCILLATOR를 사용한다.

CYLINDER-DRIVEN과 CRANK-ARM은 SHOWER가 균일한 방향 전환과 일정한 STROKE를 제공하지 못한다는 제약이 있다.

이러한 불균일한 CLEANING은 최악의 경우 CD SHEET MOISTURE의 변화와 FELT STRIPPING을 초래 한다. OSCILLATING SHOWER는 FELT를 균일하게 CLEANING 할 수 있고 또한 속도

를 조절할 수 있다는 장점이 있다.

이러한 동작은 다음과 같이 산출된다.

$$R = S \times T / S$$

S : FELT SPEED IN m/min
(ft/min)

L : LOOP LENGTH OF THE
CLOTHING IN m (ft)

T : NOZZLE CLEANING
WIDTH IN mm (IN)

R : STROKE RATE IN
mm/min (IN/min)

STROKE RATE는 저속의 CYLINDER M/C의 LONG, WET FELT에서는 6mm/min (0.25 IN/min) 이하이고, 고속의 신문용지 M/C의 PRESS FELT에서는 100~150 mm/min (4~6 IN/min)이다.

SHOWER STROKE의 길이는 SHOWER NOZZLE 간격과 관련이 있다. 대개 FELT CLEANING NOZZLE은 중심에서 150mm 지점에 설치되며 STROKE 길이는 NOZZLE 간격의 두배 정도이다.

노즐길이와 노즐 간격간의 이러한 연관성은 만일 어느 하나의 노즐이 막히더라도 노즐이 서로 완벽하게 중복되게 하기 위함이다. 노즐의 ORIFICE 직경은 1~1.5mm (0.04~0.06IN)가 적합하며 FILTER 된 청수를 사용하여야 한다.

NEEDLE SHOWER 역시 FAN SHOWER와 같이 내부에 청소용 BRUSH를 설치하는 것이 좋다.

일반적으로 NEEDLE SHOWER의 압력은 10~17 BAR (150~250 psig)이며 이 이상의 고압사용시 FELT에 손상을 주며 저압을 사용할 경우는 충분한 CLEANING이 이루어지

지 않는다. PRESS FELT 세척을 위한 NEEDLE SHOWER는 FELT의 종이 접촉면 측에 설치되어야 한다. SHOWER 설치시 가장 중요한 것은 SHOWER와 FELT간의 적합한 거리로서 최상의 세척은 FELT로 부터 75~150mm (3~6 IN)에서 이루어진다.

6. VACUUM SYSTEM

진공 SYSTEM은 PIPING, SEPARATORS, VALVES, SEPARATOR REMOVAL PUMPS, SEAL/WEIR TANK, 그리고 진공펌프 등으로 구성되어 있다.

진공펌프의 OVER SIZING이 잘못 설계된 SYSTEM, 작은 PIPE SIZE, 기수 분리장치의 결함 등을 대신할 수는 없다. SYSTEM 설계에서 가장 중요한 점은 1대의 진공펌프는 1장의 FELT에만 사용한다는 점으로 각각 다른 밀도를 가진 두, 세장의 FELT(OLD 혹은 NEW)에 1대의 진공펌프를 사용하여서는 안된다. 다만 같은 FELT에 두 개의 UHEL BOX를 연결하여 1대의 진공펌프를 사용하는 것은 무방하다.

다음 BACUUM PIPING은 UHEL BOX 선정과 마찬가지로 속도를 고려하여 선정하여야 하는데, UHEL BOX와 SEPARATOR 전단까지는 4장에서 언급한 바와 같이 18~20 %, SEPARATOR 후단과 PUMP까지는 28~30 %의 속도를 고려해야 한다.

SEPARATOR 전단에서의 PIPING은 수평 또는 아래로 경사를 가져야 하며 절대로 위로 경사를 가져서는 안된다. SEPARATOR는 이 진공 SYSTEM에서 가장 중요한 요소

이다.

계속적인 SHOWERING으로 인한 다량의 물, FIBER, 오염물질, 화학약품 등이 진공펌프 전단에서 제고되어야 하는데 SEPARATOR 내부 속도에서 이루어진다. 대개의 SEPARATOR는 STAINLESS STEEL로 제작되며, 한 장의 FELT에 두 개의 UHEL BOX 설치시 한 대 또는 두 대의 SEPARATOR를 사용할 경우 진공 PIPING은 진공펌프 전단에서 연결하여야 하고, WATER OUTLET PIPING은 연결하지 않아야 하되 각각의 SEPARATOR에는 적합한 진공 수두를 가진 SEAL LINE(BAROMETRIC LEG)이나 WATER REMOVAL PUMP를 설치하여야 한다. 대부분의 TOP FELT UHEL BOX는 VAROMETRIC LEG를 사용하는데 그 PIPING은 수직이 가장 바람직하며 어느 경우라도 경사가 45°를 초과해서는 안된다.

PIPE 지경을 선정하기 위한 속도는 1~2 % (4~6 ft/s)가 적합하며 최소의 PIPE 직경은 100mm (4IN)이다. SEAL TANK는 진공효과를 높이기 위하여 SEPARATOR 하단에 설치되어야 하며 SEPARATOR 하단에서 SEAL TANK의 WATER LEVEL 간에 충분한 수직 거리를 확보하여야 한다. 수직거리는 1" Hg VAC. 당 1.14ft이며 안전율과 마찰손실 등을 감안하여 3ft(약 1mm)를 더한다.

예를 들면, 15" Hg VAC. (380 mmHg VAC)에서 필요한 수직거리는 $(15" \text{ Hg} \times 1.14) + 3' = 20.1' (6.12\text{m})$ 이다.

마지막 단계는 진공펌프의 선정으로 오늘날 기계들을 HEAVY FELT로 설계되어 있어 고진공을 요구하고 있다. 4장에서 언급한 바와 같이 LINERBOARD와 FINE PAPER에 있어서 660~880 m³/min/m² (15~20 ft³ / min/IN²) 사이의 VACUUM FACROT는 UHEL BOX의 진공도를 17~20" Hg (430~510 mmHg)까지 올려 놓는다. 여기서 중요한 것은 최대 진공에서 과도한 FELT SUCTION으로 인하여 FELT의 조기 노후화를 막기 위하여 VACUUM RELIFF V/V를 설치하는 것이다.

7. CHEMICAL CLEANING

몇몇 PAPER나 BOARD는 화학약품이 아니고서는 제거하기 힘든 표면 처리제나 충전제를 사용하기도 한다. 이러한 오염물질은 OLD FELT의 성분 분석시 발견되는데 이들은 가용성과 불용성 등으로 구분된다. 불용성 물질(INSOLUBLES)은 FIVER, FINE, CLAY, TALC, TI02, SILICA 등이며 가용성 물질(SOLUVLES)은 크게 세가지로 구분 되는데 산, 알칼리, 솔벤트이며 ALUMINUM HYDROXIDE, LATEX, OIL, GREASE, WAX 등이 이에 속한다.

화학약품으로 오염물질을 제거하려면 CHEMICAL 공급자의 실험을 거쳐 적합한 화학약품을 선정해야 하며, FAN SHOWER를 통해 FELT에 공급되고 FAN SHOER는 종이와 FELT가 분리되는 지점 직후의 부위, FELT의 종이 접촉부위 반대편에서

가급적 가깝게 설치되어야 한다.

8. CASE STUDY

여기서는 5.6m (221 IN) COATED VOARD MACHINE의 실패를 들겠다.

FELT의 수명은 약 25~30일이며 높은 FELT MOISTURE로 인하여 종이에 결함이 생기고 있고 FELT SHOWERING은 간헐적으로 이루어지고 있었다.

FELT CONDITIONING SYSTEM을 분석한 결과

①. 작게 설계된 UHEL BOX들은 공통 VACUUM HEADER로 연결되어 있었고

② 과도한 SLOT OPEN 면적으로 인하여 VACUUM FACTOR는 220 m³/min/m² (5 ft³/min/IN²) 이하로 측정 되었다.

③ 하나의 FELT에 두 개의 UHEL BOX가 설치되어 있었으나 SEPARATOR는 설치되어 있지 않았고

④ 부적절한 SHOWERING과 작게 설계된 VACUUM PIPING이 발견되었다.

⑤ 진공펌프는 바르게 선정 되었고 상태도 양호한 편이었으며 고객은 그 펌프를 그대로 사용하길 원하고 있었다.

상기와 같은 상태에서 SYSTEM을 개선하기 위하여

① UHEL BOX는 하나의 FELT에 하나씩 설치하였고, VACUUM FACTOR가 660 m³/min/m² (15 ft³/min/IN²)에 도달 되도록 SLOT COVER를 교환 하였다.

② REMOVAL PUMP를 부착한 SEPARATOR를 설치 하였으며 작게

설계된 VACUUM PIPING은 교환 하였다.

③ FELT SHOWER는 재설계 제작 하였으나, 진공펌프는 바꾸지 않았다.

이와같이 설비를 개선후 시운전 결과는 아래와 같이 나타났다.

① M/C SPEED는 15m/min (50ft/min)가 더 증가 하였으며

② 지속적인 SHOWERING으로 인하여 종이의 결함이 없어지고

③ FELT의 수명은 45~50일로 향상 되었다.

9. 결론

대부분의 경우 약간의 이론적 지식과 공통적인 인식을 FELT CONDITIONING SYSTEM에 적용한다 하더라도 우리는 주목할 만한 결과를 얻을 수 있을 것이다.

가끔 이들은 비용이 적게 들면서도 결과는 빠르게 나타날 것이다.

올바른 DATA를 수집하고 분석하는 것이 문제를 확인하는 중요한 요소이며 그 해법은 비교적 쉽게 도출 될 것이다.

※ 저자 DOUGLAS F. SWEET는 현재 미국 NASH ENGINEERING COMPANY의 PULP & PAPER DIV. 에서 REGIONAL SALES DIRECTOR로 근무하고 있다.