면포의 염색가공(3)

- 면포의 염색(9) -

3.5 세정

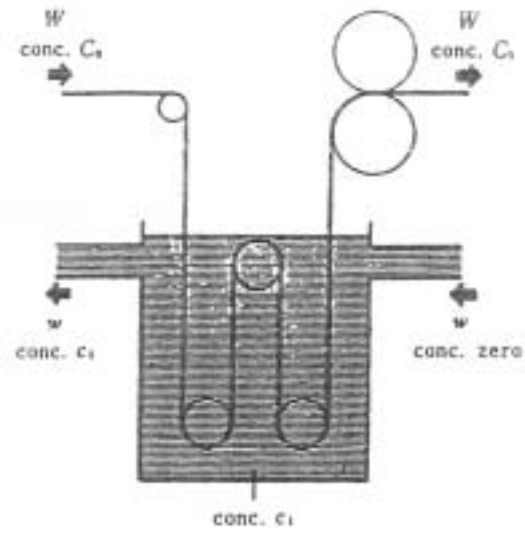
염색가공에서 후처리(aftertreatment)는 제품의 품질을 향상시키기 위해 필수 불가결하며, 각종 견뢰도 증진방법, 수세 소우핑 등이 행해진다. 여기서는 연속수세에 관한 기본적인 문제를 Parish이론을 중심으로 설명한다.

3.5.1 세정수의 양(F값)

세정조(washing bath)에서 물의 흐름과 각 부(part)의 오염농도, 포에 함유된 오염농도 등을 <그림 3.61>과 같이 가정하고, 세정조에 들어가기 전 면포상의 오염농도를 C_0, 세정후의 오염농도를 C_1이라고 하면, 세정효과 E*w*는 (3-65)식으로 표현된다.

$$Ew = (C_0-C_1)-C_0$$

$$= 1-C_1/C_0 \cdots\cdots (3\text{-}65)$$



<그림 3.61> 단일조에서의 흐름 및 농도조건

그리고 세정이 완전하게 행해진 경우는 $C_1 = 0$, $E_w = 1$이 되고 전혀 세정이 되지 않은 경우는 $C_1 = C_0$, $E_w = 0$이 된다.

(3-65)식에서 세정의 지표로서 C_1/C_0을 생각할 수 있는데, 경우에 따라서는 C_0/C_1를 지표로 하는 경우도 있다.

위 그림에서 W를 포상의 수량w를 욕조로 유입 및 유출하는 수량으로 하고, 그림의 조건과 같이 세정이 평형으로 되었다고 가정하면, 욕조로 들어가는 오염량(C_0W)과 욕조에서 나오는 오염량(C_1W+c_1w)이 같게 된다.

$$C_0 \cdot W = C_1 \cdot W + c_1 \cdot w \quad \cdots\cdots (3\text{-}66)$$

여기서 포에 대해 오염의 친화력이 없고, 세정조건이 완전하다고 가정하면, $c_1 = C_1$ 이다. 또한,

$$F = w/W \quad \cdots\cdots (3\text{-}67)$$

로 하면, (3-66)식은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$C_0 \cdot W = C_1 \cdot W + C_1 \cdot W \cdot F$$

$$C_0 = C_1(1+F) \quad \cdots\cdots (3\text{-}68)$$

$$C_1/C_0 = 1/(1+F) \quad \cdots\cdots (3\text{-}69)$$

(3-69)식으로부터,

① 세정조건이 완전하다면, 세정효과는 주입하는 물의 양이 많을수록 크다.

② (3-67)식에서 탈수율을 높이고, W를 적게 하면 세정효과는 커진다. 또 탈수율을 높이면 동일 수량이라도 다량의 물을 사용한 것과 같은 세정효과를 얻을 수 있다.

3.5.2 세정 피라미터(K값)

Parish는 실험실적으로 F값과 관계없이 일정한 파라미터 K값을 제시하였다. 즉 세정조의 농도 c_1과 평형상태로 된 포상의 오염농도를 C_{eq}라고 하면,

$(C_1 - C_{eq})/(C_0 - C_{eq}) =$ 일정 $= K$ ····· (3-70)

이다.

때문에 포에 대해 오염이 친화력을 가지면 $C_{eq} > C_1$이고, 친화력이 없으면 $C_{eq} = c_1$이다.

(1) 친화력이 없는 경우

친화력(affinity)이 없으면 (3-70)식으로부터,

$(C_1 - c_1)/(C_0 - c_1) = K$ ····· (3-71)

이다.

또한 (3-66), (3-67)식으로부터,

$C_0 = C_1 + c_1 \cdot F$ ····· (3-72)

이다.

(3-71), (3-72)식으로부터 (3-73)식을 구할 수 있다.

$$\frac{C_1}{C_0} = \frac{1 - K + F \cdot K}{1 - K + F} \quad \cdots\cdots (3\text{-}73)$$

세정을 완전히 할 수 있는 경우는 $C_1 = c_1, K = 0$ 이고, 완전히 세정할 수 없는 경우는 $C_1 = C_0, K = 1$이다. K는 F 이외의 모든 조건에 의해 정해지는 매개변수(parament)로서 온도, 시간, 기계특성을 포함한다.

C_1 / C_0에 미치는 K 및 F의 영향을 <표 3.22>에 나타냈다. 표에서 보면 C_1 / C_0은 K의 영향을 크게 받으므로 세정효과를 높이는 데는 K 를 가급적 적게 할 필요가 있다.

<표 3.22> C_1 / C_0에 미치는 K 및 F의 영향(친화성이 없는 경우)

K	C_1 / C_0					
	F → 2	5	10	20	50	∞
0.8	0.82	0.81	0.80	0.80	0.80	0.80
0.5	0.60	0.54	0.52	0.51	0.50	0.50
0.2	0.43	0.31	0.26	0.23	0.21	0.20
0.1	0.38	0.24	0.18	0.14	0.12	0.10
0.05	0.35	0.20	0.13	0.10	0.07	0.05
0	0.33	0.17	0.09	0.05	0.02	0

(2) 친화력이 있는 경우

(3-70)식에서 $C_{eq} = A \cdot c_1$이라고 하면,

$$\frac{C_1}{C_0} = \frac{A(1+K)+F \cdot K}{A(1-K)+F} \quad \cdots\cdots (3\text{-}73')$$

이다. A는 포와 오염에 따라 정해지며, pH와 세제의 종류에 좌우된다.

3.5.3 다조에서의 연속세정

식(3-73) 및 (3-73′)에서 알 수 있듯이 F를 무한대로 해도 C_1 / C_0는 K보다 작게 할 수 없다. 그래서 보다 우수한 세정효과를 얻기 위해서는 세정조를 연결하여 사용한다.

(1) 역류배관을 직렬로 연결한 다조에서의 세정

욕조를 <그림 3.62>의 (A)와 같이 역류배관을 직렬(series)로 연결한 경우,

제1조에 대해서는,

$C_0 \cdot W + c_2 \cdot W \cdot F = C_1 \cdot W + c_1 \cdot W \cdot F$

제2조에 대해서는,

$C_1 \cdot W = c_2 \cdot W + c_2 \cdot W \cdot F$

이다. 또한 완전한 세정효과가 있다고 하면,

$C_1 = c_1$

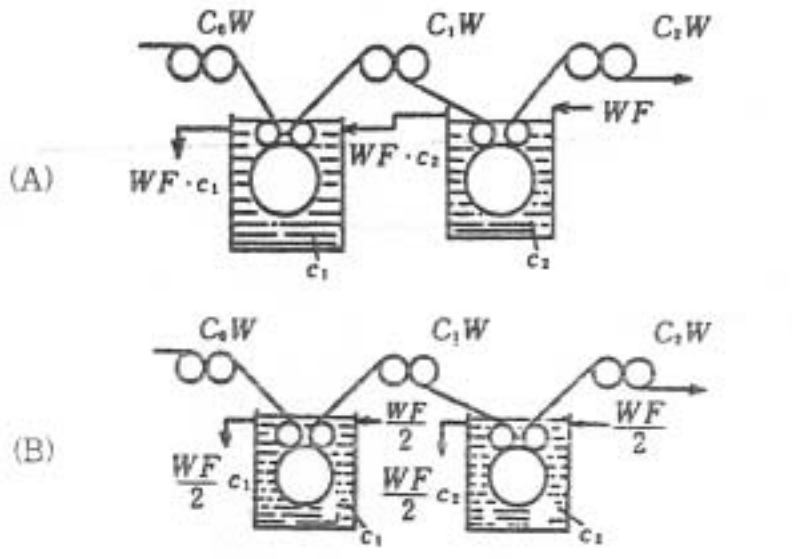
$C_2 = c_2$ 이고, 다음 식이 성립한다.

$$\frac{C_2}{C_0} = \frac{1}{1+F+F^2} \quad \cdots\cdots (3\text{-}74)$$

마찬가지로 n조를 역류(counter-flow)배관으로 직렬로 연결하면,

$$\frac{C_n}{C_0} = \frac{1}{1+F+F^2 \cdots +F^n}$$

$$= \frac{F-1}{F^{n+1}-1} \quad \cdots\cdots (3\text{-}75)$$



<그림 3.62> 2조에서 흐름 및 농도조건

(2) 역류배관을 병렬로 연결한 다조에서의 세정

전체 급수량을 역류배관과 일치시키기 위해 각 욕조에 WF/2 급수를 하고,

<그림 3.62>의 (B)와 같이 역류배관을 병렬(parallel)로 연결한다.

제1조에 대해서는,

$C_0 \cdot W = C_1 \cdot W + c_1 \cdot W \cdot F/2$

제2조에 대해서는,

$C_1 \cdot W = C_2 \cdot W + c_2 \cdot W \cdot F/2$

이다. 또한 완전한 세정효과가 있다고 하면,

$C_1 = c_1$

$C_2 = c_2$ 이며, 다음 식이 성립한다.

$$\frac{C_2}{C_0} = \frac{1}{(1+F/2)^2} \quad \cdots\cdots (3\text{-}76)$$

마찬가지로 n조에서 연속세정을 하면,

$$\frac{C_n}{C_0} = \frac{1}{(1+F/n)^n} \quad \cdots\cdots (3\text{-}77)$$

욕조의 수, 급수방법, 급수량(F값) 등과 세정효과와의 관계를 <표 3.23>에 나타냈다. 이 표에서 C_0/C_n로 세정효과를 나타내므로 값이 클수록 세정효과가 크다.

<표 3.23> C_0/C_n에 미치는 욕조수, 급수방법 및 급수량(F)의 영향

구 분		C_0/C_n			
욕조수	급수방법	F → 4	6	8	10
1	-	5	7	9	11
2	역류/직렬	21	43	73	111
3	역류/병렬	9	16	25	36
3	역류/직렬	85	259	585	1,111
3	역류/병렬	13	27	49	81

표로부터 역류/직렬식의 급수가 얼마나 효과가 있으며, 또한 역류/직렬식에서 욕조를 1개 증가하는 것이 얼마나 세정효과에 효과가 있는지를 알 수 있다. 때문에 여러대의 세정조에 역류/직렬로 급수하는 것은 세정효과의 향상뿐만 아니라 용수의 절약에도 매우 효과가 있다.

그러나 이들 결과는 완전세정($C_1 = c_1$)의 경우로서, 어느 욕조를 빠져나가는 포상의 오염농도가 그 욕조의 오염농도와 같다고 가정한 것이다. 그러나 실제로는 K와 A를 고려하지 않으면 안된다.

Bonkáló는 K를 고려했을 때 2조세정의 이론식으로서 병렬식에 (3-78)식, 직렬식에 (3-79)식을 제시하였다.

$$\frac{C_2}{C_0} = \left\{\frac{1 - K + KF/2}{1 - K + F/2}\right\}^2 \quad \cdots\cdots (3\text{-}78)$$

$$\frac{C_2}{C_0} = \frac{(1 - K + KF)^2}{1 + F + F^2 - K(2 - K + KF)} \quad \cdots\cdots (3\text{-}79)$$

이들 식에 따라 계산한 결과를 <그림 3.63>에 나타냈다. K가 큰 경우, F가 증가할수록 병렬식과 직렬식의 세정효과(C_2/C_0)는 비슷하다. 그리고 K_1, K_2, $\cdots K_n$ 의 특성을 가진 세정조를 연결하여 세정하는 경우, F가 매우 크면 직렬식에서나 병렬식에서나 항상,

$$Cn/C_0 = K_1, K_2, \cdots\cdots K_n \quad \cdots\cdots (3\text{-}80)$$

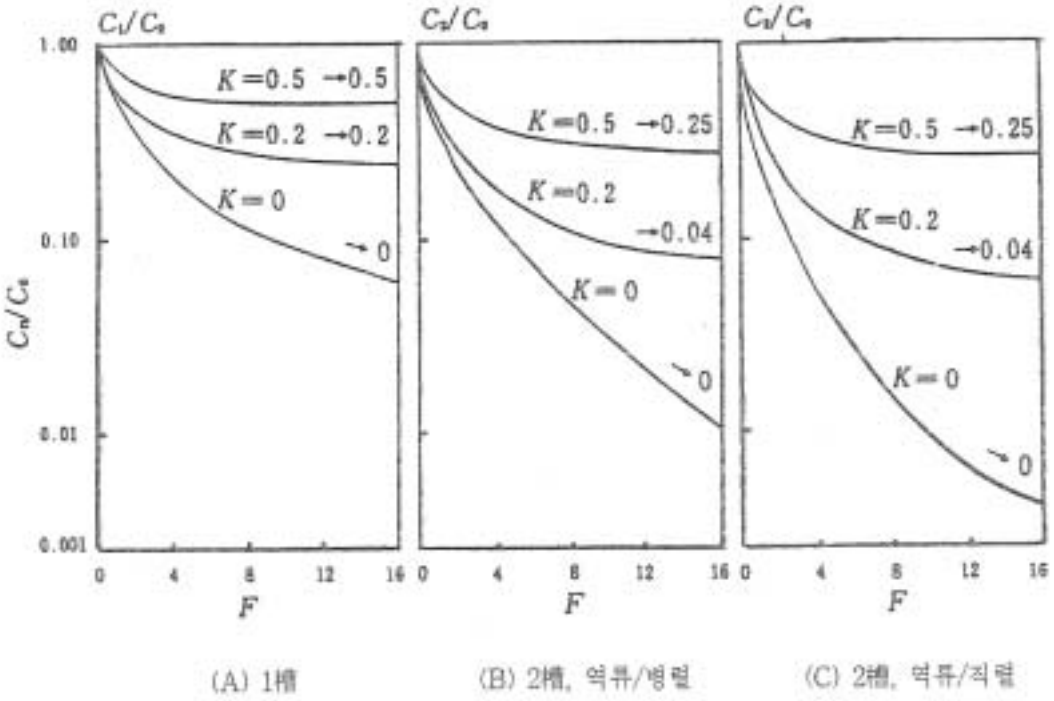
에 접근한다. 예를 들면 K = 0.5의 욕조를 2개 연결하면 급수량을 아무리 증가시켜도 직렬식에서나 병렬식에서나 C2/C0는 0.25 이하로는 되지 않는다. 즉 세정효과를 높이는 데는

① 세정조의 연결

② K가 작은 세정조의 선택

③ 역류 급수방법의 이용.

등의 조건을 충족하여야 한다. 예를 들면 <표 3.24>에 나타낸 것처럼 C_2/C_0를 0.1로 설정한 경우, 이와 같은 세정효과를 유리하게 얻기 위해서는 K, F, 물의 흐름방향, 욕조배열 등에 세심한 주의가 필요하다는 것을 알 수 있다.



<그림 3.63> K 및 F와 C_n/C_0과의 관계

<표 3.24> $C_2/C_0 = 0.1$로 하기 위한 K와 F와의 관계

욕조수	1	2	3
급수방법	-	역류/병렬	역류/직렬
K= 0.5의 경우	F = ∞에서도 불가능	F = ∞에서도 불가능	F = ∞에서도 불가능
K = 0.2의 경우	F = ∞에서도 불가능	F = 8에서 달성	F = 5.5에서 달성
K = 0의 경우	F = 9에서 달성	F = 4.3에서 달성	F = 2.6에서 달성

3.5.4 세정장치의 여러 문제점

(1) 급수량(F)

Parish는 급수량의 기준으로서,

$F = 1/K$ ····· (3-81)

을 나타냈으며, 어떤 세정장치에 급수해야 할 수량 F는 1/K이 표준이다. 즉 F를 증가하면 세정효과는 올라가지만, <그림 3.63>에서도 알 수 있듯이 1/K 이상으로 증대해도 효과에 극히 미미하다.

F를 결정하는 데는 맹글이 탈수율과 K를 알아야 한다. 맹글의 탈수율은 간단히 측정할 수 있으나 K를 알기 위해서는,

① (3-71)식의 C_0, C_1 및 c_1을 구하는 계산

② (3-71)식에서 $c_1 = 0$ 으로 하면, $C_1/C_0 = K$

의 방법을 생각할 수 있다.

②항에서는 세정조건을 갖춘 장치에서 소량의 세정할 포를 양산조건으로 처리할 수 있는데, 그 경우 욕조의 오염 c_1을 제로(0)으로 하고, C_1/C_0로부터 K를 구한다. 단위시간(예 1분)에 포와 함께 움직이는 물의 양 W는,

W = 생지중량 ×포폭×포속×픽업률(pick up%)

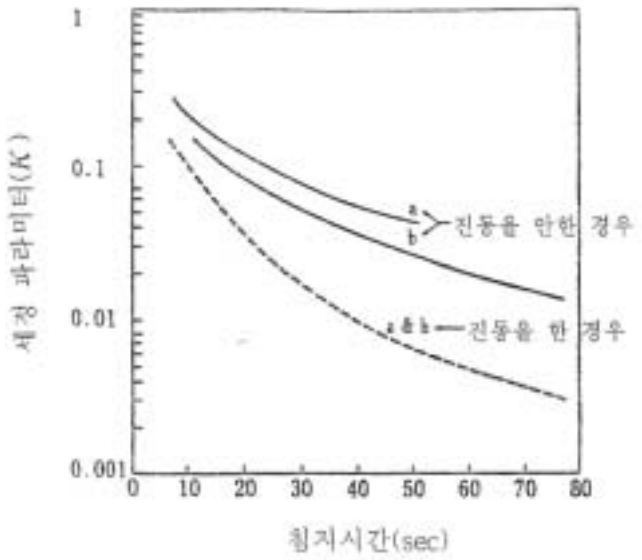
이고, 단위시간당 소요되는 수량 F · W는,

F · W = W/K이다.

(2) 세정 파라미터(K)

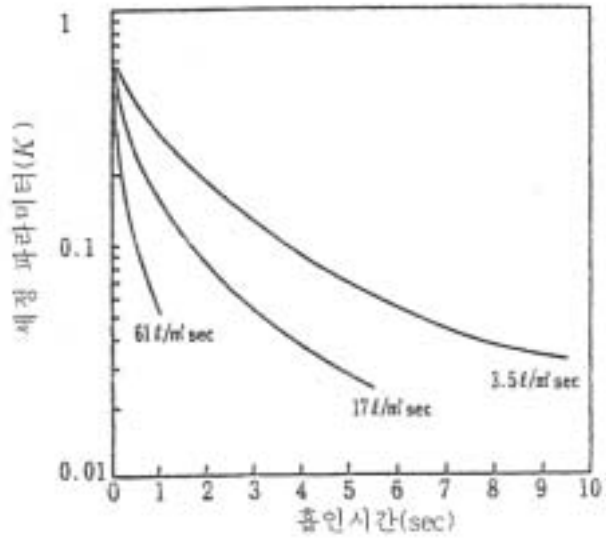
세정 파라미터 K는 침지시간, 온도, 진동, 흡인 등과 밀접한 관계가 있다.

<그림 3.64>는 침지시간 및 진동과 K와의 관계이며, 침지시간도 진동(포 사이에 다수의 가이드 바를 설치, 200회/분 요동)도 뚜렷한 저하효과를 나타낸다.



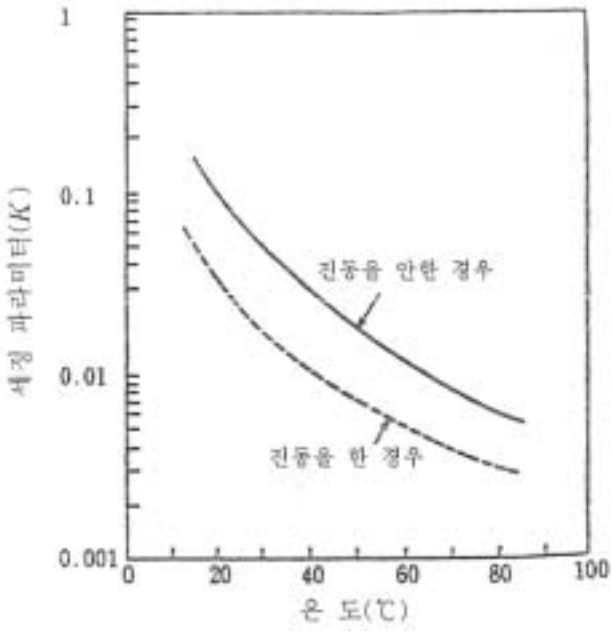
<그림 3.64> K에 미치는 침지시간과 진동의 영향

(수온 18℃에서 125g/m^{2}의 면포로부터 가성소다를 제거하는 경우, 침지거리 7m(a), 11m(b))



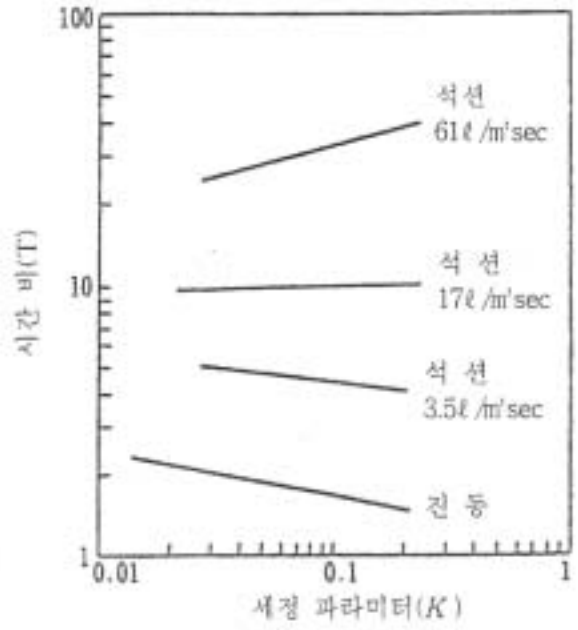
<그림 3.65> K에 미치는 흡인방식의 시간과 통액량의 영향

(세정할 포는 그림 3.64와 동일)



<그림 3.66> K에 미치는 온도 및 진동의 영향

(세정할 포는 그림 3.64와 동일)



<그림 3.67> 세정 파라미터(K)와 시간 비(T)와의 관계

<그림 3.65>는 흡인효과를 나타내며, 세정액을 포면에 직각으로 통과시키는 흡인(suction)방식은 단 시간에 K를 급감시키는 수단으로서 효과가 있다. 흡인방식이 이와 같이 효과가 있는 이유 중 하나는 경계층의 파괴에 의한 것으로 생각된다. <그림 3.66>은 온도효과를 나타내며, 온도의 영향도 매우 현저하다.

세정을 높은 능률로 행하는 데는 K를 어떻게 단시간에 떨어뜨리느냐가 문제인데, 이점에 대해 Parish는 시간비 T를 지표로 하였다.

$$T = \frac{\text{단순 침지식 세정기로 소정의 K를 얻는 데 요하는 시간}}{\text{그 세정장치에서 동일한 K를 얻는 데 요하는 시간}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3\text{-}82)$$

T를 <그림 3.64>, <그림 3.65>로부터 계산하면 <그림 3.67>이 얻어진다. 그림에서 보면 흡인방식은 진동방식에 비해 T가 현저하게 크기 때문에 고속세정에서도 매우 효과가 있다는 것을 알 수 있다.