

Static Mixer의 펄프제지공업에의 응용기술

Application of Static Mixers in the Pulp and Paper Industry

Horie Masahiko, Noritake Ltd.

1. 서 론

가동부가 전혀 없는 정지형 혼합교반기인 「Static Mixer」가 개발된지 벌써 약 20년이 되었으나, 화학공업, 합성섬유공업, 펄프제지공업, 식품공업 등의 많은 업계에서 공정 중에 이용된지는 10년도 되지 않는다. 이는 Static Mixer가 대상으로 하는 「혼합·교반」의 조작이 모든 산업에 있어서의 보편적인 조작임에도 불구하고 그 목적이 단위조작이라 불리우는 가스흡착, 추출, 열전도 등 대부분의 분야에 걸쳐있고 대상도 너무 넓으며, 또 그 기능도 복잡하기 때문에 이론적인 해명이 어려운 조작이기 때문이다. 또 과거에 보고된 바 있는 특정분야의 혼합도의 측정, 피혼합물의 거동 등의 실험식은槽 내 교반방식이 대상이고, Static Mixer와 같은 관내 연속교반방식에는 적용할 수 없었기 때문이다. 그러나 단순한 혼합원리와 우수한 특징을 가진 Static Mixer에 의하여 이 조작이 보다 효과적으로, 보다 이론적으로 행할 수 있음이 많은 실험과 실제 조업결과에서 실증됨에 따라 그 응용은 비약적으로 증가하고 있으며, 또 그 범위도 넓어지고 있다.

본 원고에는 이 Static Mixer의 기본원리와 특성을 설명하고 펄프제지공업에 있어서의 대표적인 사용예에 대하여 개략적으로 보고하고자 한다.

2. Static Mixer의 구조

Static Mixer의 구조는 Fig.1과 같이 관내에 오른쪽과 왼쪽으로 흰 나선상 엘레먼트가

교대로 있고 또 이들 가장자리가 다른 엘레먼트의 가장자리에 대하여 직각으로 만나는 형태로 배열하고 있다. 엘레먼트를 파이프의 하우징에 고정하는 방법은 취급하는 유체, 혼합 목적에 따라 선정하여야만 한다.

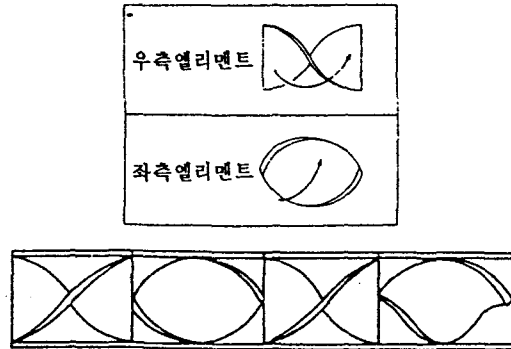


Fig. 1. Static Mixer의 구조

펄프제지공업에 있어서 취급하는 유체는 고체인 섬유와 물의 고체2相流인 펄프원료와 일반적인 유체, 기체 또는 슬러리인 각종의 약품으로 크게 나눌 수 있다. 펄프원료를 취급하는 경우에는 섬유가 Static Mixer내에서 막히거나 걸리지 않도록 엘레먼트와 하우징 사이에 간격이 없어야 하는 것이 조건이다. 내약품성의 재질이 필요한 표백공정에서는 FRP계의 FSM형과 테프론계의 수지라이닝 처리를 한 KSM형이나 세라믹제의 CSM형 등의 표백용 Static Mixer가 사용된다.

스케일이나 異常체류를 피해야만 하는 지료 조성공정에서는 일반적인 엘레먼트 양끝을 고정한 N10형이나 Mixer내의 세정 등의 목적으로 엘레먼트 탈착가능형인 N60형의 Static Mixer가 사용되는 경우가 많다(Fig.2 참조).

3. Static Mixer의 혼합원리

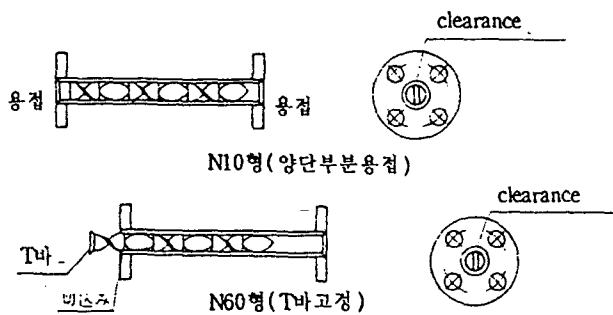
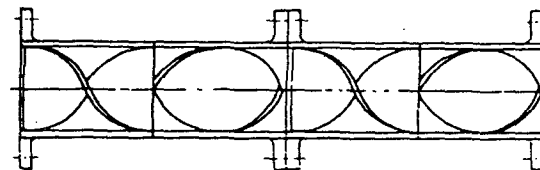
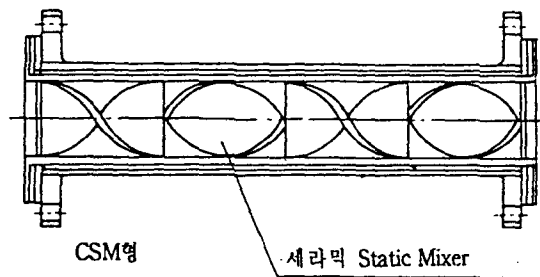
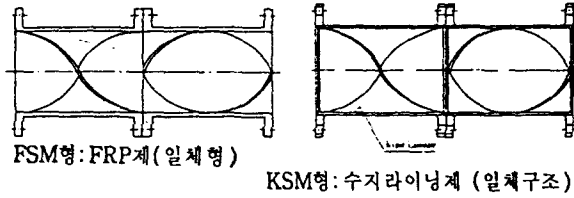


Fig. 2. 펄프·제지공업에 사용되는 Static Mixer의 예

Static Mixer를 통과하는 유체는 엘레먼트에

의하여 다음의 3가지 혼합작용으로 혼합이 진행된다.

(1) 흐름의 분할(Fig. 3)

유체는 입구엘레먼트의 edge에서 2개로 분할되어 엘레먼트의 형상에 따라 흐르고 뒤이은 엘레먼트에 의하여 이 2개의 흐름은 다시 분할되어, 즉 모두 4개로 분할된다. 그 결과 엘레먼트를 통과할 때마다 흐름은 지수적으로 분할된다.

분할수를 S, 엘레먼트수를 n으로 하면, $S = 2^n$ 의 식으로 표시할 수 있다. 이 경우 층의 두께 d는, Mixer의 내경을 D로 한다면 $d = D/2^n$ 이 된다.

엘리먼트수	1	2	3
분할도			
분할수	2	4	8

Fig. 3. 흐름의 분할

(2) 흐름의 반전(Fig. 4)

Static Mixer의 엘레먼트는 좌우로 뒤틀려서 배열하고 있기 때문에 유체는 엘레먼트를 통과할 때마다 흐름의 방향이 반전한다.

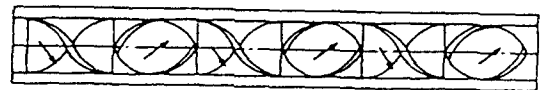


Fig. 4. 흐름의 반전

(3) 흐름의 전환(Fig. 5)

Static Mixer의 단면은 엘레먼트로 등분되어 있어 관의 중심부의 유체는 엘레먼트의 뒤틀린 면을 따라 진행되는 과정에서 관벽방향에 속도 vector가 부여되어 전체적으로 반원형의 단면 내에서 유체가 회전력을 받는다. 따라서 관중심부의 유체는 관벽부로, 관벽부의 유체는 관중심부로 이동한다. 이 회전방향은 엘레먼트의 뒤틀린 방향과 역으로 되어 있다. 오

큰쪽으로 뒤틀린 엘리먼트에 있어서 이 엘리먼트 내에 포함된 유체의 반원형의 流路는 왼쪽으로 회전한다.

이상의 혼합작용에 의하여 유체는 Mixer 내에서 혼합되어 결과적으로 반경방향에서 유체

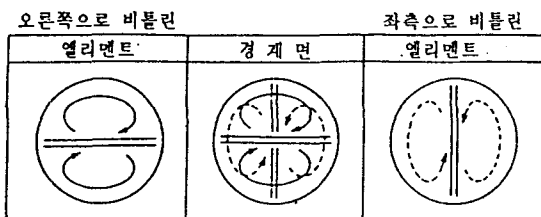


Fig. 5. 흐름의 전환

의 성상이 균일화되어 piston흐름에 가까운 이상적인 흐름이 된다(Fig. 6 참조).

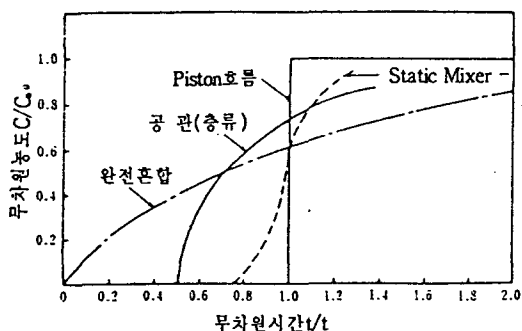


Fig. 6. Static Mixer의 단계별응답

일반적으로 혼합에는 난류영역과 층류영역의 혼합이 있고, 관내를 흐르는 흐름의 상태는 레이놀즈수(Re)로 표시할 수 있다. Static Mixer에 있어서 유체흐름의 상태도 레이놀즈수를 기본으로 생각할 수 있다.

$$Re = Du \rho / \mu$$

D : Static Mixer의 내경(cm)

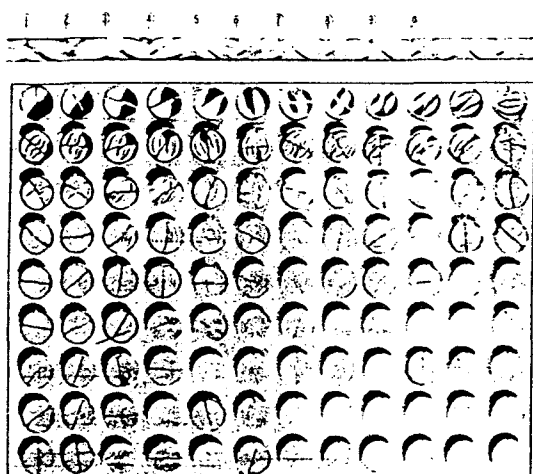
u : 유체의 평균유속(cm/sec)

ρ : 유체의 밀도(g/cm³)

μ : 유체의 점도(g/cm · sec)

층류영역에서는 유체의 각부가 흐름방향에

규칙적이고 전후의 순서를 흐트리지 않으며 인접한 유체층은 서로 혼합되지 않고 흘러간다. 따라서 층류영역(Re ≤ 10)에 있어서 Static Mixer내의 유체는 앞서 말한 3가지의 혼합작용만으로 혼합된다. 그리고 혼합의 정도는 구경과 엘리먼트수에 의하여 결정되며, 유량의 변동이 있어도 동일한 혼합결과를 얻을 수 있다(Fig. 7 참조).



○안의 숫자는 엘리먼트의 번호를 나타낸다. 한개의 엘리먼트 내부의 흐름상태, 다시 말하면 엘리먼트를 통과할때 매번 혼합이 진행되어 모양이 구별된다.

Fig. 7. 고점도물질의 혼합단면

이에 대하여 난류영역에서는 유체의 각부가 불규칙적으로 혼합되면서 흘러 정상적인 흐름에서도 한점에 있어서 속도, 압력 등이 그 평균치의 전후에 그치지 않고 불규칙적으로 변동하고 있다. 이 변동, 즉 흐트러짐은 유로의 각부에서 발생하는 규칙적인 소용돌이가 하류에서 붕괴되어 발행하는 것이다. 따라서 난류영역(Re ≥ 2,300)에 있어서 Static Mixer의 유체는 앞서 말한 Mixer 특유의 3가지의 혼합작용 이외에 흐트러짐인 난류혼합이 상승적으로 부가되기 때문에 4~6개의 적은 엘리먼트수로 충분한 혼합결과를 얻을 수 있다(Fig. 8 참조).



난류영역에서 사용되는 경우 그림처럼 혼합이 된다.

Fig. 8. 액·액혼합(산·알칼리 중화).

층류영역과 난류영역의 사이에는 천이영역이 있으며 층류영역이 있으며 층류영역에 가까워질수록 난류혼합의 작용은 작아지기 때문에 이에 맞추어서 Static Mixer의 엘레먼트수도 6~12(2,300 > Re > 200), 12~24(200 ≥ Re > 10)로 변화시킬 필요가 있다.

그러나 일반적으로 혼합이라 하여도 취급하는 유체가 천차만별이며 그 목적도 희석, 중화, 흡수, 분산 등 여러가지이기 때문에 단순히 Static Mixer의 내경, 엘레먼트수를 결정할

수 없다. Fig. 9는 이 엘레먼트의 선정예이다. 다음으로 펄프원료의 경우, 일반적인 관 내에서는 유속에 관계없이 층류의 상태로 흘러가나 Static Mixer 내에서는 유속에 의하여 뉴턴 유체의 경우와 유사한 거동을 나타낸다. 즉, 어떤 유속 이상에서는 난류영역에서의 혼합에 의하여, 또 어떤 유속이하에서는 층류영역에서의 혼합이 된다. 이는 원료가 Static Mixer 내에서는 그 전단력에 의하여 Mixer벽 표면에 물의 층과 그리고 그 위에 난류영역 경계층을 형성한 흐름이 되고 그 층은 끊임없이 치환되고 있기 때문이다. 일반적으로 펄프원료의 희석, 서로 다른 펄프의 혼합, 각종 내첨제와의 혼합 등 반응을 수반하지 않는 물리적인 혼합의 경우 충분한 혼합을 달성하기 위하여 필요한 Static Mixer의 엘레먼트수 E는 펄프원료의 레이놀즈수(변형레이놀즈수) Rem에 대하여 뉴턴유체의 경우와 동일하게 다음과 같이 된다.

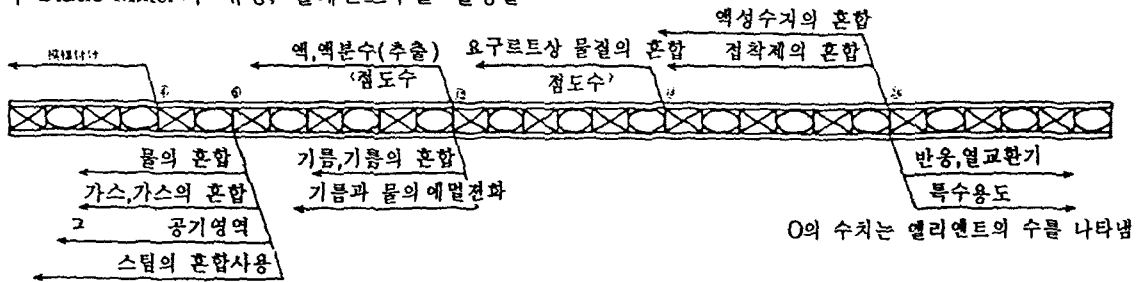


Fig. 9. 엘레먼트수의 선정예

$$Rem = D^{0.205} u \rho / C^{1.16}$$

D : Mixer의 내경(m)
 u : 유속(m/sec)
 ρ : 밀도(kg/m³)
 C : 농도(%)

$$1.5 < C < 6$$

- (1) Rem < 110일 때, E ≈ 12~24
- (2) 110 ≤ Rem < 160일 때, E ≈ 6~8
- (3) Rem ≥ 160일 때, E ≈ 4

또, 염소단에 있어서 펄프원료와 염소가스의 혼합과 같이 가스흡수반응을 동반하는 경우, Static Mixer는 Fig. 10과 같은 특성이 된다. 이는 일정조건 하에 Static Mixer의 엘레먼트수와 혼합도(흡수효율, 반응을 등으로 간접적으로 측정된 혼합의 정도)의 관계를 달성하는 것을 알 수 있다. 염소단에 있어서 펄프원료와 염소가스의 혼합에 있어서도 동일한 관계가 성립되는 것이 실험과 실제의 조업결과로부터 확인되었다.

$$1.5 < C < 6$$

$$Rem \geq 110 \text{ 일 때, } E \geq 12$$

또, 중농도펄프 (6 ≤ C ≤ 16)의 경우는 뉴

혼유체에 있어서 층류영역에서의 혼합원리를 적용할 수 있다.

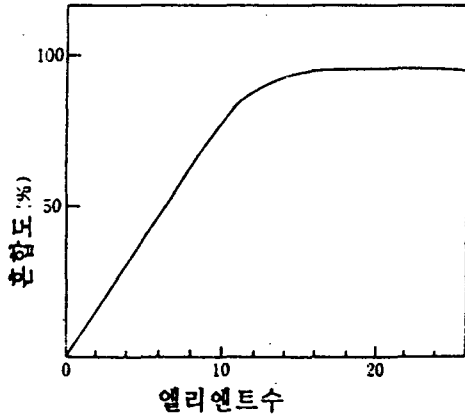


Fig. 10. 가스흡수반응의 예

4. 펄프원료에 있어서 Static Mixer의 압력손실

Static Mixer에는 외부로부터 동력을 받아 움직이는 부분이 전혀 없다. 따라서 유체가 가진 에너지의 일부가 Static Mixer 내를 통과하기 때문에 소비된다. 이 소비된 에너지는 압력손실의 형태로 나타나며 Static Mixer의 교반소요동력에 해당한다.

일반적으로 동력형 교반기의 경우, 모터와 프로펠러 및 탱크 내 대량의 유체를 동시에 회전시키기 위하여 큰 에너지가 소비되기 때문에 큰 동력의 모터가 필요하다. 이에 대하여 Static Mixer에서는 압력손실을 보완하는 정도의 에너지만 필요하므로 대단히 효율이 좋은 혼합을 행할 수 있다.

펄프원료의 경우, Static Mixer의 압력손실은 Durst, R. E., A. J. Chose, L. C. Jenness가 TAPPI에 발표한 호프에서의 뉴톤유체에 있어서 Fanning식에 유사한 실험식과 동일한 방법으로 정리할 수 있다.

(1) 호프에서의 압력손실

$$\Delta P_E (1.5 < C < 6)$$

$$\Delta P_E = 4f_m(\rho u^2/2g_c) (L/D) K$$

여기에서 f_m 은 호프에서의 펄프마찰계수,

L 은 호프의 길이, K 는 펄프종류에 따른 정수이다(Table 1).

Table 1.

종 류	K값
미표백SP	1.00
강화펄프(Southern)	1.00
KP	1.00
Soda 펄프	0.90
SP	0.90
표백SP	0.90
재생지	0.90
강화펄프(Canadian)	1.20
GWP	1.40

f_m 은 변형레이놀즈수 Rem 의 관수로 다음식으로 표시될 수 있다.

$$f_m = 564(Rem)^{-1.63}$$

(2) Static Mixer에서의 압력손실

$$\Delta P_m (1.5 < C < 6)$$

$$\Delta P_m = 4f_{m,sm}(u^2/2g_c) (L/D) KE$$

여기에서 $4f_{m,sm}$ 은 Static Mixer에서의 펄프마찰계수, L/D 는 엘레먼트 1개당 호프의 길이와 내경의 비, E 는 엘레먼트수이다. $4f_{m,sm}$ 은 $4f_m$ 과 동일한 Rem 의 관수가 되는 것이 실험에 의하여 증명되어 있다.

5. 펄프제지공업에서의 응용에

5.1 표백공정(염소단)

C단에 있어서 동력형 교반기 및 ejector를 사용한 종래의 방식 대신에 표백용 Static Mixer, Dispersion Mixer 및 Injection T를 조합하여 사용하는 방식을 Fig. 11에 나타내었다.

Injector와 Static Mixer를 조합하여 고성능의 氣液분산성능을 가진 Dispersion Mixer (Fig. 12)에 加注水와 같이 공급된 염소가스는

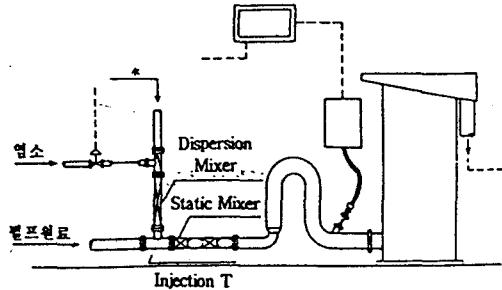


Fig. 11. C단표백단계

미세하고 균일한 기포가 되어 수중에 분산된다. 분산된 가스는 Injection T에 의하여 펄프원료 중에 최적의 상태로 주입되고, Static Mixer에 의하여 펄프원료와 균일히 혼합, 흡수되어 반응이 진행된다. 이 방식에 의하여 약품의 절감, 소요동력의 절감, 펄프품질의 향상 등의 장점을 얻을 수 있으며, 아래에 그 실례를 소개한다.

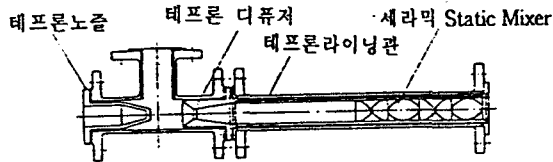


Fig. 12.

(1) 실시예

① 사양

- 처리량 : 330 ADT/D
- 펄프농도 : 3%
- 첨가약품 : 염소
- 첨가약품량 : 33kg/ADT

② Flow Sheet

- a) 종래의 방식(Fig. 13)
- b) Static Mixer를 이용한 방식(Fig. 14)
- ③ 조업결과(종래방식과의 비교)
 - a) 유효염소의 사용량이 5% 감소하였다.

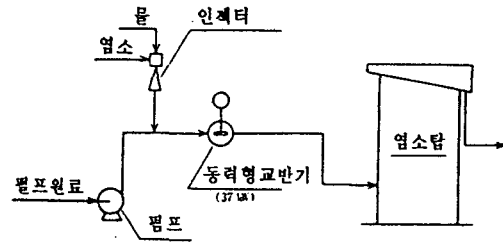


Fig. 13. 종래의 방식

이 경우는 C단에서의 염소첨가량을 줄일 수 있었기 때문에 실제적으로 후단의 H단에서의 Sodium Hypochlorite의 첨가량을 절감시켰다.

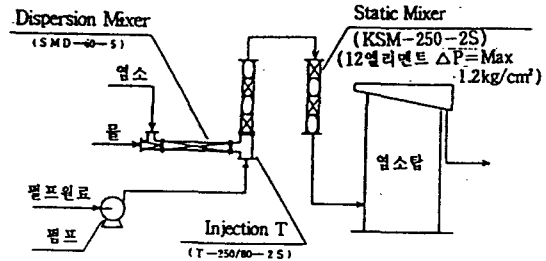


Fig. 14. Static Mixer를 사용한 방식

b) E단에서의 알칼리 사용량이 10% 감소하였다.

C단에서의 잔류염소가 감소하였기 때문에 후속의 E단에서의 알칼리 첨가량을 줄일 수 있었다.

c) 펄프의 품질이 향상되었다.

점도 0.5cP, 백색도는 0.3% 향상되었다.

d) 소요동력이 80% 감소하였다.

소요동력으로서 Static Mixer의 압력손실 만이며, 이 경우 13.5kW에 해당하나 실제 Static Mixer를 설치함으로써 원료유송펌프의 7kW 증가하였을 뿐이었다.

5.2 표백공정(Hypo단, 이산화염소단, 과산화수소단)

담하부의 Radial Flow Mixer와 동력식의 Chemical Mixer 등을 이용한 종래방식 대신에

원료 첨가용으로 Steam Mixer(Fig. 15)를, 약품과의 혼합용으로 4-point Injector(Fig. 16) 및 표백용 Static Mixer 등을 조합하여 사용하는 방식을 Fig. 17에 나타내었다. 이 방식에 의하여 약품의 절감, 소요동력의 절감 등의 장점을 얻을 수 있었으며 아래에 그 실례를 소개한다.

(1) 실시예 1

① 사양

처리량 : 50 ADT/D

펄프농도 : 3%

첨가약품 : 차아염소산나트륨

첨가약품량 : 90kg/ADT

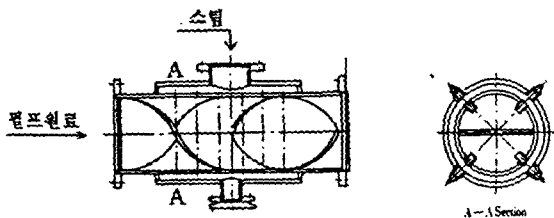


Fig. 15. 원료용 스팀믹서의 구조

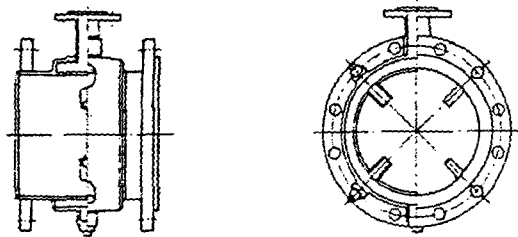


Fig. 16. 4-point injector의 구조

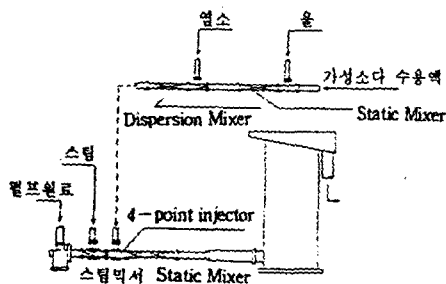


Fig. 17. D단(H단) 표백단계

② Flow Sheet

a) 종래의 방식(Fig. 18)

b) Static Mixer를 이용한 방식(Fig. 19)

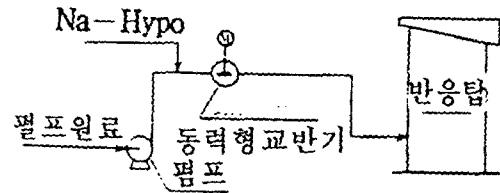


Fig. 18. 종래의 방식

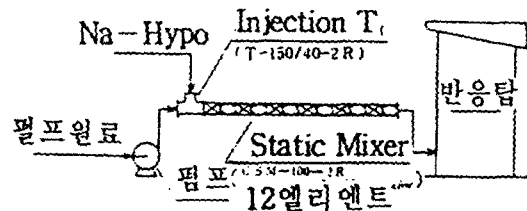


Fig. 19. Static Mixer를 사용한 방식

③ 조업결과(종래방식과의 비교)

a) 약품의 사용량이 15kg/ADT 감소하였다.

b) 소요동력이 약간 감소하였다.

이 경우 기설치한 펌프의 능력이 부족하였기 때문에 부스터펌프를 설치하였다. 따라서 동력형 Mixer를 제외함으로써 감소한 동력은 약간이었다.

c) 펄프의 품질(점도, 백색도)의 변화는 나타나지 않았다.

d) 보수가 불필요하였다.

(2) 실시예 2

① 사양

처리량 : 250-400 ADT/D

펄프농도 : 11~12%

첨가약품 : 이산화염소

② Flow Sheet

a) 종래의 방식(Fig. 20)

b) Static Mixer를 이용한 방식(Fig. 21)

③ 조업결과(종래방식과의 비교)

a) 소요동력이 약 50kW 감소하였다.

- b) 약품의 사용량이 1~2% 감소하였다.
- c) 펄프품질이 향상되어 균일하게 되었다.
- d) 보수가 불필요하였다.

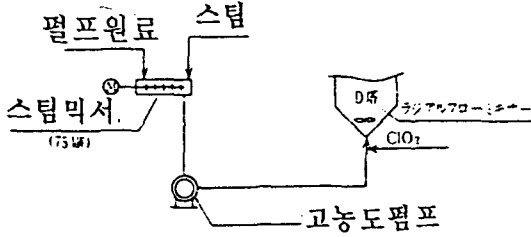


Fig. 20. 종래의 방식

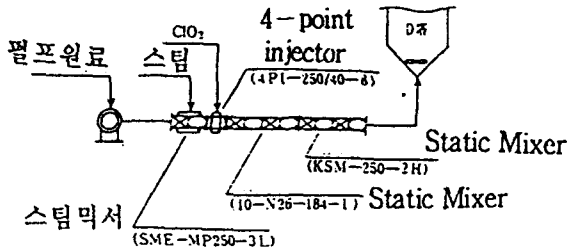


Fig. 21. Static Mixer를 사용한 방식

5.3 지료조성공정

지료조성공정에 있어서 펄프원료의 회석, 서로 다른 펄프의 혼합 및 약품(염료, 사이즈제, 지력증강제 등)과 원료의 혼합 등의 공정은 종래 chest내 교반 또는 구동형의 Line Mixer에 의한 방법이 일반적이다. 그러나 최근 조성용 Static Mixer와 Injector를 조합한 방식이 종래 방법 대신에 다수 사용되게 되었다. Fig. 22는 그 대표적인 flow이다. 이 방식에 의하여 소요동력의 절감, 제품품질의 향상과 균일화 및 공정의 단축화와 연속화를 기할 수 있는 등 많은 장점을 얻을 수 있다. 다음에 그 구체적인 예를 소개한다.

(1) 실시예(농도회석공정)

① 사양

처리량 : 70~100 BDT/D
 펄프농도 : 5%를 3%로 회석한다.

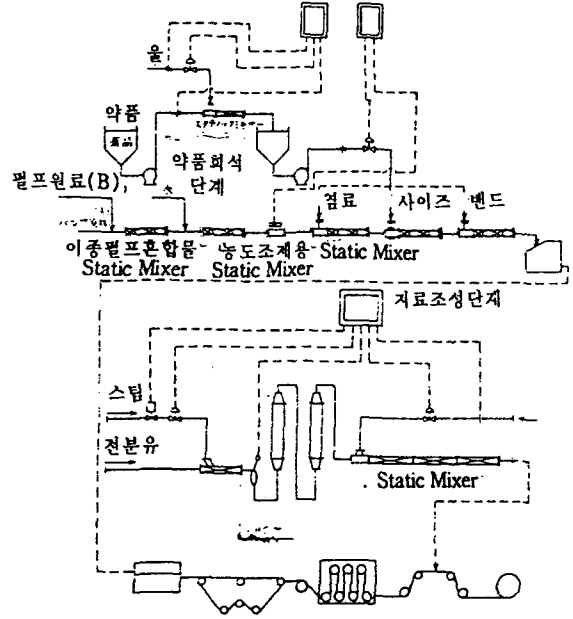


Fig. 22. 지료조성 공정

② Flow Sheet

- a) 종래의 방식(Fig. 23)
- b) Static Mixer를 이용한 방식(Fig. 24)

③ 작업결과(종래방식과의 비교)

a) 종래 정확하게 펄프농도를 조절할 수 없어 농도가 변동하였으나, Static Mixer에 의하여 원하는 농도로 정확히 조절할 수 있었다.

b) 원료농도가 일정하게 됨에 따라 다음 공정의 처리가 안정되고 제품품질이 균일하게 되어 향상되었다.

(2) 실시예(지료조성공정)

① 사양

처리량 : 100 BDT/D
 펄프농도 : 3%
 첨가약품 : 염료, 사이즈제, 지력증강제, 충전제

② Flow Sheet

- a) 종래의 방식(Fig. 25)

b) Static Mixer를 이용한 방식(Fig. 26)

③ 조업결과(종래방식과의 비교)

a) 혼합 chest가 불필요하게 되었다.

b) Machine Chest가 소용량화되었다.

종래의 Machine Chest의 용량이 30m³이었으나, 새로운 Machine Chest는 10m³로 작아지고 소요동력도 종래의 절반 이하로 되었다.

시간이 종래 1시간이상 걸렸던 것이 20분에 끝낼 수 있어 대폭 단축되었다.

d) 약품첨가량이 적어졌다.

정확한 Mixing에 의하여 지력증강제 등 약품첨가량을 줄일 수 있었다.

e) Line의 연속화가 가능하게 되어 computer에 의한 관리가 용이하게 되었다.

f) 제품품질이 균일하게 되어 향상하였다.

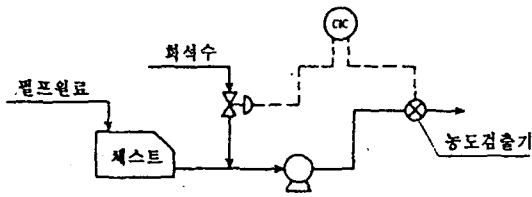


Fig. 23. 종래의 방식

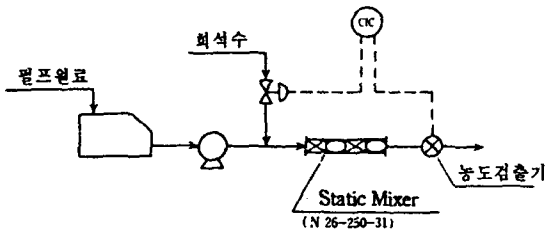


Fig. 24. Static Mixer를 사용한 방식

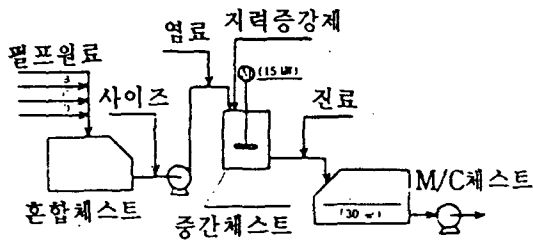


Fig. 25. 종래의 방식

c) 지중교체가 용이하게 되었다.

Static Mixer내의 원료체류시간은 수초이며 따라서 지중교체에 따라 발생하는 파지의 양이 크게 저하하였다. 또 지중교체 시의 세정

5.4 조약공정

5.4.1 전분호화공정

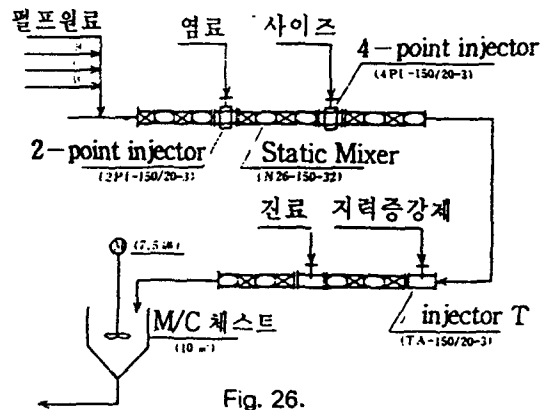


Fig. 26.

종래 전분의 호화는 단속식으로 행하여져 왔다. Noritake의 전분슬러리 연속호화장치는 독특한 구조의 cooker에 의하여 스팀으로 직접 가열, 호화하고, 그 호화전분을 Static Mixer로 회석하여 전자동으로 연속생산하는 장치이다(Fig. 27).

이 장치의 특징은 양성전분, 산화전분 등 전분의 종류에 관계없이 저농도로부터 고농도까지 안정되게 호화할 수 있으며, 품질이 일정한 전분호액을 연속하여 얻을 수 있다. 또 부하의 변동에 대하여 폭넓게 대응할 수 있으며 나아가 에너지의 효율이 높고 장치가 compact한 등의 많은 장점이 있다.

5.4.2 표면사이즈제와 코팅제의 조제

표면사이즈제와 코팅제의 조제는 종래 단속식의 교반조 등에서 행하여졌다. 통상 미리 준비된 일정량의 약품이 교반조에 들어가 혼합된다. 그리고 조제된 혼합물은 저장조로 유

송된다. 그러나 이 방식에서는 넓은 설치면적을 필요로 하고 소요동력도 크며 노동력과 보수도 큰 일이었다. 또 조약방식의 교체도 간단히 할 수 없었다. Fig. 28의 flow와 같은 Static Mixer를 사용한 조약방식에서는 교반조가 불필요하게 되었고 소요동력도 크게 절약할 수 있었다. 설치면적도 적어지며 노동력 및 보수가 거의 필요없게 되었다. 그리고 조약방법의 교체도 液槽의 교체만으로 용이하게 되었다.

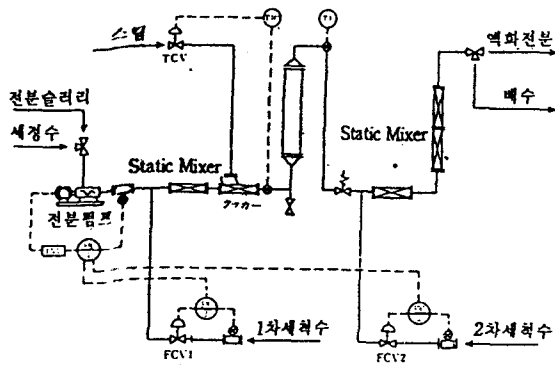


Fig. 27. 전분 슬러리 연속호화장치 공정

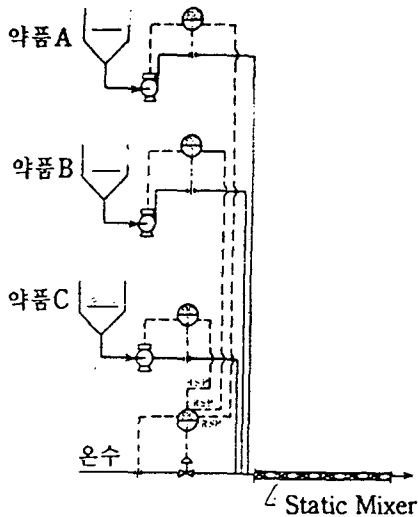


Fig. 28. Static Mixer를 사용한 조약방식

5.4.3 약품회석용의 온수제조

약품회석용 온수는 종래 Fig. 29와 같이 조내에 직접 불어넣어 제조하는 것이 일반적이다. 그러나 이와 같은 방법에서는 소음과 진동이 심하고 또 조내에 불어 넣은 스팀도 완전히 응축하지 않고 일부 미응축의 스팀이 조외로 방출되는 등 에너지 효율이 나쁜 등의 문제가 있다. 제조하는 온수의 온도가 높아질수록 이 효율은 나빠지며 사용스팀의 20%가 방출되었던 예도 있다. 이 방법에 대하여

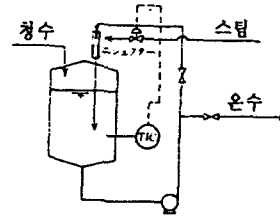


Fig. 29. 증래의 방식

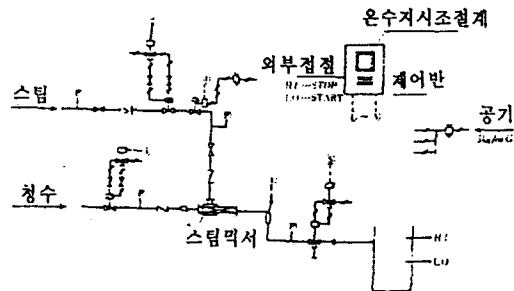


Fig. 30. 온수제조장치

Steam Mixer를 이용하여 Inline으로 물과 스팀을 직접 혼합하여 균일한 온수를 신속히 연속적으로 제조하는 온수제조장치가 있다(Fig. 30).

Steam Mixer는 Static Mixer와 스팀주입노즐 및 액체유입부로 구성되어 있으며 싱글노즐의 SME형(소용량용)과 멀티노즐의 SME-M형(대용량용)이 있다(Fig. 31). 스팀의 응축을 Static Mixer로 행하기 때문에 균일한 온도의 온수가 신속히 얻어져서 열효율이 높고 열손실이 거의 없다. 증기의 응축에 의한 진동과 소음도 적으며 온도의 제어가 용이하고 또

한 정확하다. 또 폭넓은 부하의 변동에도 대응할 수 있으며 장치도 compact한 등 우수한 특징이 있다. Steam Mixer를 이용한 온수제조 시스템은 전분 등 약품회석용 온수 이외에 calender roll 가열용, 원료회석용 및 세척용 등의 온수제조에 사용되고 있다.

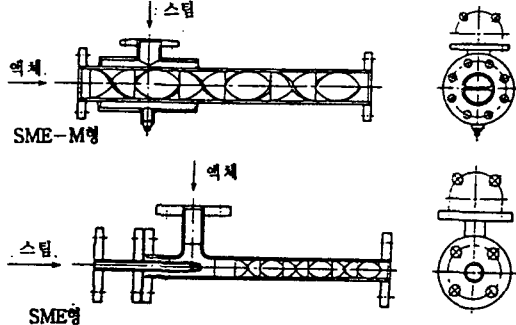


Fig. 31. 스팀믹서의 구조

5.4.4 도료, 접착제 등 점성액체의 균일화

도료와 접착제 등을 도포하는 경우 도료의 온도가 일정하지 않으면 점도도 일정하지 않기 때문에 노즐로부터 분출량이 변화한다. 따라서 제품품질이 균일하게 되지 않는 문제가 발생한다. 이 경우 SM 열교환기를 사용하여 약품을 일정온도로 가열하여 점도를 균일하게 하는 방법이 대단히 효과적이다. SM 열교환기는 열전도관에 Static Mixer를 사용한 열교환기로서 Mixer의 혼합효과에 의하여 관내측의 열전도율이 크게 개선되었으며 이 결과 총괄열전도계수값(U)은空관의 3~4배가 된다. 따라서 열전도면적이 종래의 1/3~1/4정도가 되어 대단히 compact화 되고 또한 체류시간도 짧으며 단시간에 가열이 가능하다. 또 Static Mixer의 혼합효율에 의하여(흐름이 piston flow)를 형성, 국부적으로 가열되지 않고 체류시간분포가 균일하기 때문에 일정온도 즉, 점도가 균일한 제품을 얻을 수 있다.

Fig. 32는 도료의 가열에 SM 열교환기를 사용한 flow로서, 종래의 다관식 열교환기와의 비교를 Table 2에 나타내었다.

이와 같이 열전도관 내 유체의 흐름이 층류인 경우 Static Mixer를 사용한 SM 열교환기는空관형의 열교환기보다 대단히 유리하다.

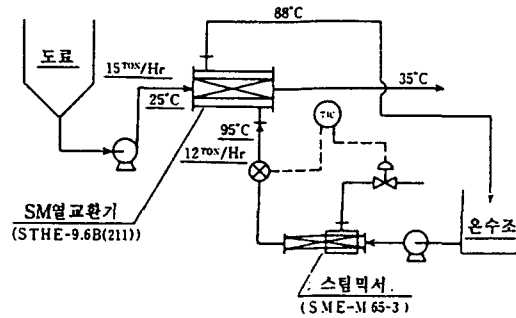


Fig. 32. 스팀믹서

Table 2.

	SM 열교환기	열전도관空관형
총괄열전도계수 : U (Kcal/m ² · hr · °C)	170	48
열전도면적 : A (m ²)	9.6	31.8
유효길이 : L (m)	0.66	2.2
체류시간 : T (sec)	6	23
압력손실 : ΔP (kg/cm ²)	1.1	0.4

6. 맺는말

펄프제지공업에서는 앞으로 공정의 합리화와 생에너지화가 더욱 중요하게 되며 제품의 고부가가치화는 선결과제이다. 지금까지 소개한 Static Mixer와 그 응용기술은 이에 충분히 일익을 담당할 것이며 앞으로 이의 이용은 한층 넓어질 것으로 생각한다. 본 원고에 소개한 것이 조금이라도 여러분에게 참고가 되었으면 다행이라고 생각한다.

참고문헌

- 1) S. J. Chen, et al. "STATIC MIXING HANDBOOK"
- 2) 化學工業協會編 "化學工業便覽"
- 3) Noritake Technical Report No. 1 ~ No. 10.