

지료 도입부(Approach Flow System)의 고찰(I)

강 흥†

1. 서론

지료도입부는 머신 체스트부터 헤드박스까지의 공정을 가르킨다.

초지기의 속도가 빨라지면서 습부(wet end)중에서 지료도입부가 조업성에 미치는 영향의 중요성을 이해하게 되어 공정의 오염과 맥동 방지를 위한 배관 및 설비의 개발면에서 많은 개선이 있었고 습부 화학(wet-end chemistry)의 연구 결과 보류의 제어를 통한 공정의 안정을 확보하는 등 지속적인 발전이 있는 것은 사실이지만 초지기가 거대화 할수록 지료도입부의 문제점들이 속속 부각되고 있다.

지료 도입부는 그 중요성에도 불구하고 근본적인 설계에는 별다른 진전이 없었다하여도 과언이 아니다.

종래의 지료 도입부는 단위 설비의 성능이 만족스럽지 못할 뿐만 아니라 종합적인 효율이 낮은 문제점을 안고 있다. 또한 공정 용적이 과다하여 지중 교체 손실이 크고 에너지 소비가 큰 것이 결점이다.

본고에서는 지료 도입부의 각 기능을 고찰하고 원료여건의 변화, 계장을 비롯한 자동제어 기술의 진전을 감안하여 공정의 합리화와 간소화를 통하여 종래의 지료 도입부가 안고 있는 문제점을 극복할 수 있는 새로운 기술들을 살펴보았다.

Wet-End Block Diagram

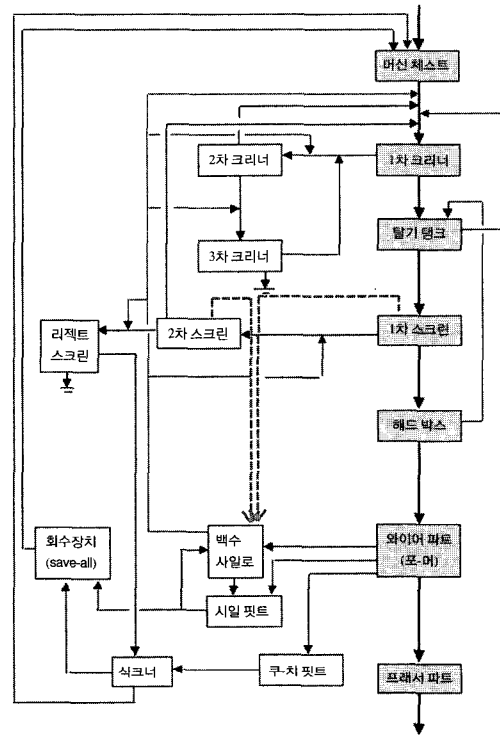


그림 1. 습부 공정도

2. 지료 도입부의 기능

지료 도입부(그림 1 및 그림 2 참조)는 조성에서 기계적, 화학적 처리를 한 지료를 초지에 적합하게끔 정제를 하여 일정한 양을 초지기에 공급하는 기능을 한다.

즉 진한 지료를 계량하여 백수와 혼합, 희석한 후 초지가 원활히 이루어지도록 협잡물, 이물질 제거하고 이 과정에서 섬유를 분산시키고 유해한 난류를 정류하여 균일한 지필이 안정적으로 형성되도록 한다.

근래에는 약품의 연속 첨가가 일반화함에 따라 각종 화학 약품을 지료도입부에서 첨가하기도 한다. 지료도입부의 구체적인 단위 조장을 표 1에 보인다.

- 지료 도입부에 요구되는 중요한 성능은
- 첫째 안정적이고 균일한 유량과 농도를 가진 묽은 지료를 헤드박스에 공급하고
- 둘째 지료를 정제(이물과 공기 제거)하며
- 셋째 에너지 소비를 절감하고

† J-J 엔지니어링(주)

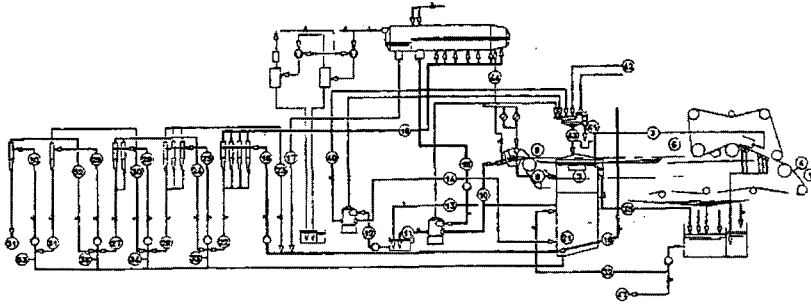


그림 2. 자료 도입부의 예

표 1. 자료 도입부의 기능

1. 자료의 계량, 공급(metering)
2. 농도 조정, 백수 혼합
3. 정선(精選), 제진(除塵)
4. 탈기
5. 섬유분산
6. 정류(整流)
7. 약품 첨가
8. 온도 조절

표 2. 자료도입부의 설비

1. 머신 체스트 펌프(machine chest pump)
2. 조르단 리파이너(Jordam refiner)
3. 자료상(stuff box)
4. 평량 발브(basis weight valve)
5. 펜 펌프(fan pump)
6. 원심 트리너(centrifugal cleaner)
7. 탈기 장치(deaerator)
8. 헤드박스 공급 펌프(headbox feed pump)
9. 머신 스크린(machine screen)
10. 백수 사일로(white water silo)
11. 시일 핏트(seal pit)

넷째 원료 로스를 최소화하는 것이다.

이를 위해 각종 설비를 연속 공정으로 구성하고 원칙에 맞추어 배관을 설계, 시공 하여 운영하고 있으나 각 단위 설비의 성능이나 공정의 효율이 만족스럽지 못한 것이 현실이다.

3. 자료 도입부의 구성

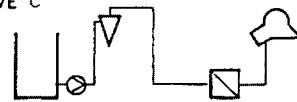
자료 도입부는 표 2에서 보는 바와 같이 다종다양한 설비들로서 구성되고 있다.

이들 설비의 레이아웃(layout)에는 지중과 농도에 따라 여러 가지 방식이 있다(그림 3).

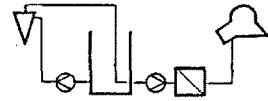
A형은 가장 간단한 구성으로 대부분의 저속 초지기에 적용되고 있다. 고지를 미리 원심 크리너로 정제를 하여 주원료로 사용하는 라이너지와 같은 초지기에는 이 보다 더 간단하게 자료 도입부의 크리너를 생략하기도 한다. 또한 장섬유를 사용하는 특수지의 경우 크리너의 와류로 인해 비목재 펄프의 섬유가 꼬이는 트러블을 피하기 위하여 리플러(riffler)를 쓰는 공장도 있다.

B형은 박엽지에 이용되는 2단 희석방식으로 일차 펜 펌프에서 크리너의 농도를 0.7% 내외로 만든 후

ALTERNATIVE C



ALTERNATIVE B



ALTERNATIVE A

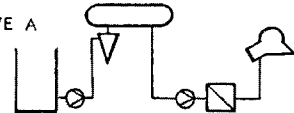


그림 3. 자료 도입부의 구성

드박스 공급 농도를 다시 0.2% 내외로 희석한다. 크리너 본수를 줄일 수 있어 설비비, 동력비가 절약되고 한꺼번에 낮은 농도로 뭉힐 때 생기는 농도 불균일을 완화

할 수 있는 이점이 있다. 또한 슬롯(slot) 스크린을 쓸 경우 농도가 낮아져 정선 효율이 향상된다.

C형은 탈기장치를 설치하는 전형적인 구성이다. 기포가 많은 기계펄프를 주 원료로 사용하는 신문용지나 LWC지에는 필수적이다. 고진공 탈기 탱크에 일차 크리너의 액셉트(accept)류를 공급, 오버플로를 시켜 일정한 수위를 유지한다. 압력 변동이 적어 공정이 안정되므로 고속 초지기들은 대부분 이 방식을 택하고 있다. 설비비가 비싸고 진공 발생 설비의 동력이 큰 것이 결점이다. 또 드롭 레그(drop leg)을 부여하기 위하여 탱크를 높은 위치에 설치하여야 하기 때문에 건축비가 많이 든다.

대용량의 펌프를 2대 사용하고 있으나 헤드박스 공급펌프의 축동력 만큼만 동력이 더 들 뿐이다.

지료 도입부를 구성함에 있어서 일반적으로 크리너를 스크린 앞에 두는 것은 첫째 철물이나 거대 이물로 인해 고가의 스크린 바스켓이 손상되는 것을 방지하기 위함이고 둘째 스크린의 적정 정선 농도가 크리너 보다 낮기 때문이다.

4. 지료 도입부 각론

4.1 지료의 계량과 공급

4.1.1 머신 체스트(machine chest)

믹싱 체스트는 여러 종류의 원질을 균일하게 혼합하는 것이 주 기능이다. 오늘날 연속 혼합/연속 배출이 일반화 되어 비구동형 인라인 믹서(in-line static mixer)를 프리 믹서(pre-mixer)로 흔히 사용하고 있다. 그러면서도 여전히 믹싱 체스트를 두고 있는 것은 지료의 체류 시간이 길수록 혼합효과가 양호해진다는 점과 자동화 설비의 신뢰성에 대한 불안감에 기인하는 것으로 보인다. 그러나 체스트의 믹싱 효과는 그 설계가 적절하지 못하면 국부적인 정체가 생겨 오히려 불균일하여 질 수 있다. 균일한 혼합은 적은 용적에 강력한 교반을 가할 때 더 효과적이다.

머신 체스트의 필요성은 지료의 변동을 흡수하여 농도나 고해도의 순시 변동폭을 줄여 피드 백 제어의 시간 지연에 대응 하는데 있다. 또한 수위를 일정하게 유지함으로써 머신 체스트 펌프의 유량을 안정시키는 역할도 한다.

위와 같은 믹싱, 머신 체스트의 역할은 오늘날 정밀

한 계장에 의하여 대체되고 있다. 원질의 고해로부터 지료 혼합에 이르는 공정을 연속적으로 제어, 연속 혼합함으로써 체스트를 없애는 이른바 탱크리스(tankless) 방식을 채택하여 설비비를 줄이고 지중 교체를 용이하게 할 수 있다(그림 4).

4.1.2 머신 체스트 펌프(machine chest pump)

머신 체스트 펌프는 펜 펌프에 진한 지료를 공급하는 역할을 하므로 맥동이 있거나 공기가 혼입되어서는 안된다. 일정한 농도를 유지하기 위하여 펌프 출구 배관에 농도 조절기를 설치하는 것이 일반적이다. 그러나 최근에는 후술하는 바와 같이 절건 지료량을 피드 포워드(Feed-forward) 방식으로 제어할 때는 농도 측정기만을 설치한다.

지료의 유송에 가장 많이 사용되는 펌프는 원심형 펌프이다.

일반적으로 고형분이 적은 유체에는 폐쇄형 임펠러를 사용하지만 지료와 같이 섬유를 함유하고 있는 슬러리는 개방형 임펠러로 유송하며 이물질이 많은 재생 섬유 처리용으로는 특수 형상을 한 개방형 임펠러를 사용한다. 비목재 섬유와 같이 섬유장이 특별히 길어서 꼬임이나 뭉치가 생길 소지가 있을 경우에는 스�크류 펌프나 모이노 펌프를 사용하기도 한다(그림 5).

4.1.3 조르단 리파이너(Jordan Refiner)

예전에 완성 지료를 초지기에 공급하기 전에 한번 더 고르게 섞어주고 탈수성을 미조정하려는 목적으로 조르단 리파이너를 통과시켰다. 원질 고해용 코니컬 리파이너 보다 느린 회전을 시켜 섬유의 절단을 피하

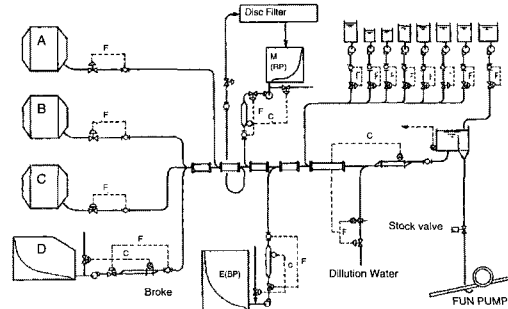


그림 4. 탱크리스 조성

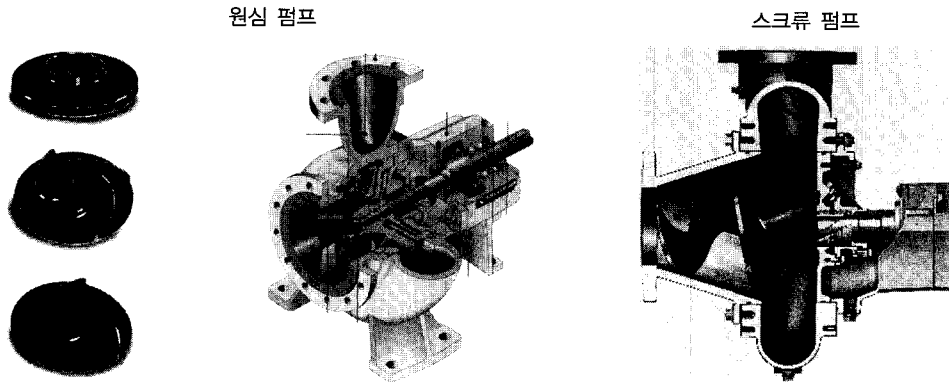


그림 5. 머신 체스트 펌프

였다. 오늘날에도 일부 특수지에 아직도 사용하고 있는 곳이 더러 있지만 대부분의 공장에서는 효과에 비하여 동력 소모가 크기 때문에 철거한지 오래다.

4.1.4 지료상(stuff box)

팬 펌프에 공급되는 지료는 농도와 유량이 일정하지 않으면 곧바로 평량의 변동으로 나타나므로 대단히 주의 깊게 관리하여야 한다. 지금까지 대부분의 공장은 지료상을 높은 위치에 설치하여 지료의 일부를 오버플로 시켜 수위를 일정하게 유지함으로써 평량 발브에 작용하는 압력을 일정하게 하고 있다(그림 6).

지료상(그림 7-1)은 지료속에 들어있는 공기가 빠져나갈 기회를 주고 짧은 주기의 변동을 완화해 주며 무엇보다도 머신 체스트 펌프의 압력 변동에 관계없이 일정한 압력으로 지료를 공급할 수 있게 해준다. 반면에 설치 장소가 높아 건축상의 제약이나 설치비용이 많이 들며 일정량(10~20%)을 항상 오버플로 시킴에 따라 머신 체스트의 농도가 계속 묽어지고 동력 낭비

가 있는 등 문제점도 없지 않다. 개방형 구조인 까닭에 지료상 주변이 지지분하여 슬라임이나 원료 덩어리가 떨어질 우려가 있는 것이 사실이다. 이러한 폐해를 해소하기 위하여(그림 8)에서 보는 것처럼 지료상 자체 내에서 오버플로가 순환되게 하는 방안도 실용화 되고 있다.

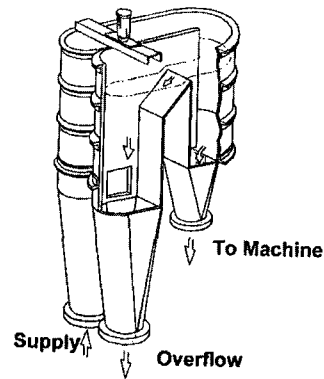


그림 7-1. 지료상(Stuff box)

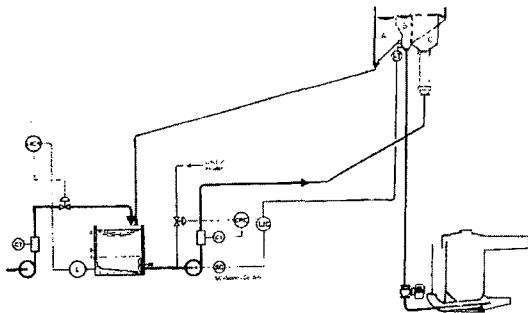


그림 6. 지료상 방식 원질 공급

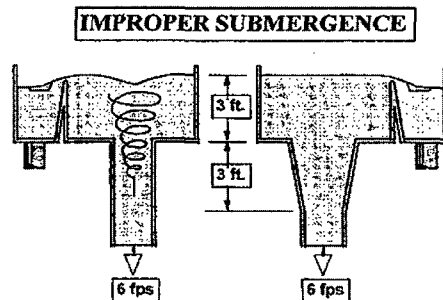


그림 7-2. 지료상(Stuff box)

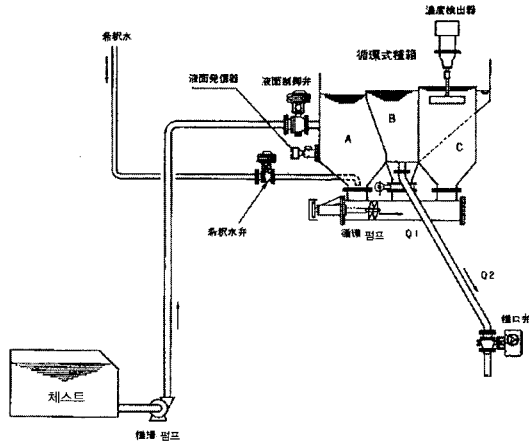


그림 8. 개량형 지료상

지료상에서 하강하는 배관은 관 마찰 저항이 최소가 되게끔 가급적 밴드를 최소로 사용하는 수직 배관이 되도록 한다. 수평부나 급각도 곡관은 피해야 한다. 관내 유속은 섬유와 물이 분리되지 않게 비교적 고속(3~5m/s)으로 설계한다. 지료상의 출구는 완만한 축관을 하여야 한다. 그렇지 않으면 와류가 발생하여 출구 유속이 불규칙하게 변할 염려가 있다(그림 7-2 참조).

팬 펌프 직전에 진한 지료와 백수를 고르게 섞으려면 진한 지료의 주입 속도가 빨라야 한다. 지료상을 쓸 경우에는 배압이 낮으므로 빠른 유속을 얻기가 어렵다. 정도(精度)가 양호하고 저렴한 가변속 AC 모터의 등장으로 머신 체스트 펌프를 변속 구동하여 압력을 일정하게 제어하면서 진한 지료를 직접 주입하는 방식이 지료상을 대체함으로써 지료 공급 설비가 한결 간단하여졌다(그림 9). 단 이때 지료 속의 공기로 말미암아 맥동이 생기지 않도록 주의 할 필요가 있다.

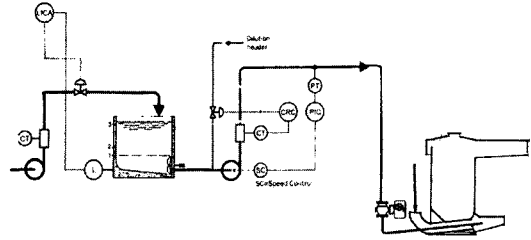


그림 9. 압입 방식 원질 공급

4.1.5. 평량 발브

머신 체스트의 지료를 팬 펌프에 공급하는 방식은 농도와 압력을 먼저 일정하게 조절한 후 평량 발브로서 유량을 계량하는 것이 일반적이다. 평량발브의 개도는 QCS의 신호를 받아 제어한다. 평량발브는 최소한 1/1000이상(통상 1/2000)의 분해능을 가진 고정밀 제어가 가능하며 개구부에서 섬유가 끼이지 않도록 V형 홈을 판 볼 발브를 사용한다(그림 10). 평량발브는 고가이므로 유량범위에 상응하는 Cv값을 계산하여 적합한 크기를 선정하여야 한다. 평량발브를 설치할때는 케스케이딩(cascading)문제가 생기지 않게 가급적 펌프에 가깝게, 백수 사일로의 수면보다 낮은 위치에 설치하여야 한다(그림 11).

QCS에 의한 피드 백 평량 제어는 보통 2~3분의 시간 지연이 있기 때문에 지료의 순시 농도 변동이 있을 경우에는 제어가 불가능하다. 이 때문에(그림 12)에서 보는 것처럼 지료의 농도와 유량을 산출하여 절건 지료량을 피드 포워드 제어(feed forward control)하는 방식이 채용되고 있다. 최근 머신 체스트 펌프를 응답 속도가 빠르고 제어 정밀도가 우수한 AC 인버터 모터

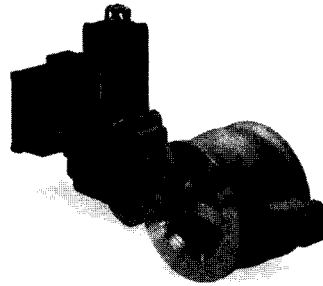
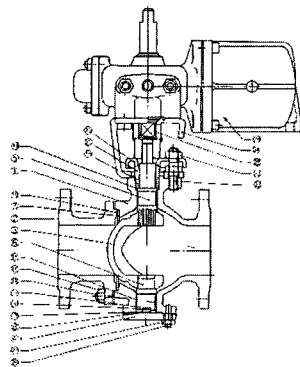


그림 10. 평량 발브

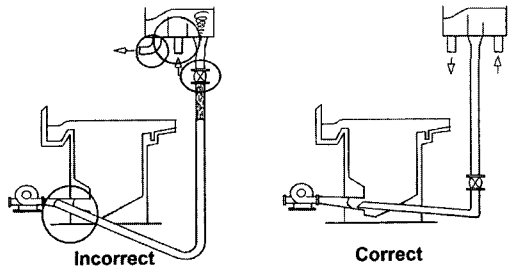


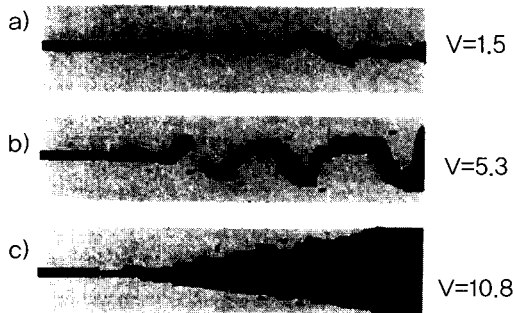
그림 11. 평량 발브의 설치

로 구동하여 고가의 평량발브 없이 평량을 자동 제어하는 추세이다. 지료 농도를 희석하지 않고 변동폭을 좁은 펄프에서 사전에 대처하게 되어 평량의 변동폭을 감소시키고 공급 지료의 농도를 4% 이상 높일 수 있다. 공급 지료의 농도가 올라가면 와이어 파트에 유입하는 잉여 백수의 양이 감소하므로 회수장치의 부하를 줄일 수 있는 이점이 있다.

4.2 지료의 희석/혼합

4.2.1 믹서

진한 지료와 백수는 펌프 입구에서 혼합된다. 펌프의 임펠러에 지료가 흡입되기 전에 두 성분이 완전히 섞여야 평량의 변동이 감소되나 실제로는 완전한 혼합을 얻기가 대단히 어렵다. 이 때문에 여러 가지 방법이 고안되고 있다. 기본적으로는 진한 지료의 유속이 묽은 백수의 흡입 속도보다 5~10배 빠르게 도입될 것(그림 13)과 펌프 앞에 충분한 혼합 구간을 부여하는 것이 중요하다. 고속에 의한 강한 전단력과 난류의 생성으로 지료의 균일한 혼합이 이루어 지기 때문



NBKP(4.1% cons.)의 희석

그림 13. 주입 속도비와 혼합효과

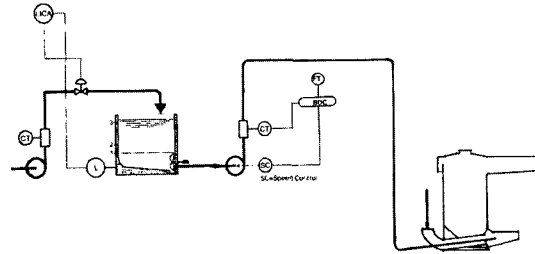


그림 12. 원질 공급의 절건량 제어

이다.

이점 머신 체스트 펌프에 의한 강제 압입이 지료상 방식보다 유리하다. 진한 지료의 주입 속도가 빨라지면 혼합 구간의 길이도 진한 지료 배관의 12D 정도로 길어져야 하기 때문에 믹싱 콘(mixing cone)을 삽입하여 소요 구간을 단축하기도 한다(그림 14). 고전적인 주입구 설계로 Voith 사의 Hydromixer(그림 15) 방식이 대표적으로 쓰여 왔다. 진한 지료가 우선적으로 흡입되게 하기 위하여 중심축을 관통하게 위치시키고 다음으로 농도가 높은 차례로 순환지료를 각각

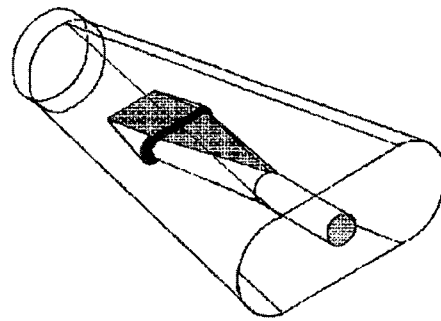


그림 14. Mixing Cone

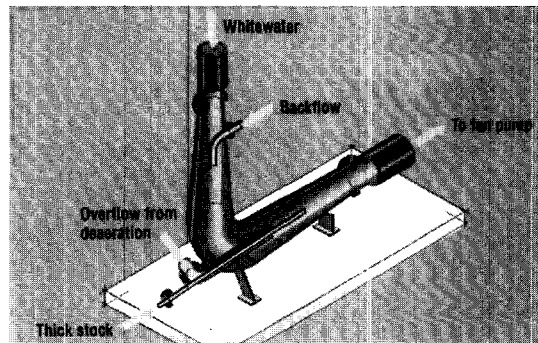


그림 15. Hydro Mixer

0.3-0.7m/s의 유속차를 두고 환상으로 흡입되게 한다. 최근 혼합 효과를 강제적으로 향상시키기 위하여 Valmet사는 Lobe Mixer(그림 16)라는 고정 믹서

(static mixer)를, Ahlstrom사는 Propeller Mixer(그림 17)를 제안하고 있다.



그림 16. Lobe Mixer

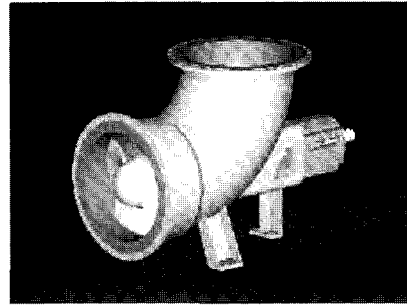


그림 17. Propeller Mixer

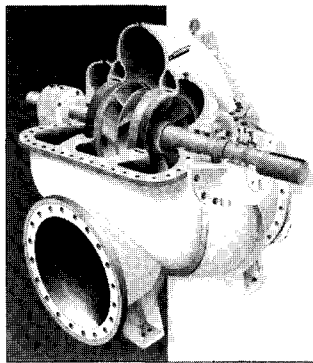


그림 18-1

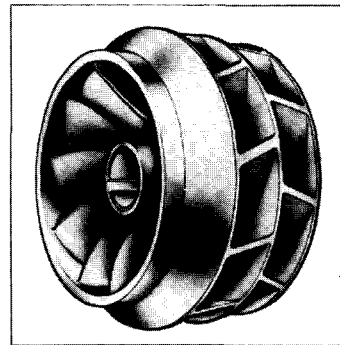


그림 18-2

그림 18. 양흡입 외권 펌프
(double suction volute pump)

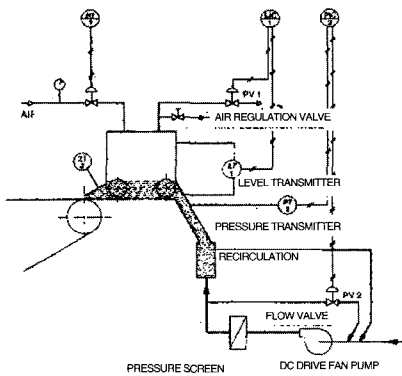


그림 19-1

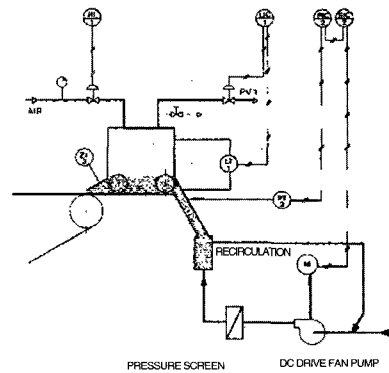


그림 19-2

그림 19. 헤드박스의 압력 제어

4.2.2 펜 펌프(fan pump)

펜 펌프(또는 헤드박스 공급 펌프)는 헤드박스에 지료를 일정량 안정되게 보내어 주어야 한다. 압력변동이나 맥동이 있으면 평량 변동으로 직결된다. 유량이 크면서 수두가 높지 않으므로 양 흡입 와권펌프(그림 18-1)를 쓴다. 맥동을 감소시키기 위하여 임펠러는 두 개의 수차가 엇물리게하고 칸막이를 기울어지게 설계한다(그림 18-2). 수차실의 용적이 동일하고 로터의 진원도, 동 발란스가 맞아야만 진동, 맥동이 적다. 또한 가능한 한 최고 효율 영역에서 회전이 되도록 용량

을 선정하는 것이 중요하다. 케이싱은 침식(侵蝕)이나 섬유 걸림이 없게 평활하게 처리 할 필요가 있다. 스테인리스 스틸 재질이 고가이므로 표면 메탈라이징을 하여 쓰기도 한다.

헤드박스에 보내는 유량은 지중에 따라 대폭 변화하므로 한때 바이 패스 밸브(그림 19-1)나 유선형밸브(stream flow valve)로서 조절하기도 하였으나 동력의 손실이 많으므로 오늘날에는 모두 D.C 또는 A.C 가변속 모터로 제어를 한다 (그림 19-2).