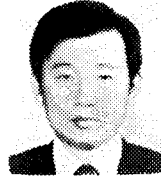


# 화학공장용 프로세스 펌프의 특성

이 동 양  
영풍정밀공업(주) 이사



• 1943年 10月 8日生  
• 耐酸, 耐蝕性機械 및 化學工程에 興味를 가지고 直接 生産 및 耐酸 라이닝 等 化學工程에 關聯된 모든 裝置 및 設備의 施工·制作에 參與하고 있다.

## 1. 머리 말

일반적으로 화학공장에서 요구되는 프로세스 펌프는 취급하는 액의 물리적 화학적 성질 및 고형체(solid)함량, 결정생성 여부 등을 고려하여 충분히 견디고 유지보수가 용이하며 가격면에서도 저렴하고 여러가지 운전 조건에 상응할 수 있는 호환성 있는 제품이어야 한다. 다양한 액성 및 운전조건에 적합한 펌프 선정에는 실제적인 많은 시험과 경험이 필요하다. 본 글에서는 원심펌프 선정시 보편적으로 고려되어야 할 일반사항에 대하여 기술하고자 한다.

## 2. 액성분석

### 2.1 성분분석

액의 성질을 파악하는데 가장 중요한 것은 성분분석이다. 이러한 성분분석에 있어서 중요 성분분석 뿐만 아니라 미량성분에 대하여도 전량 분석하는 것이 중요하다.

때로는 미량 성분이 부식에 절대적인 영향을 끼칠 경우가 있다. 예를들면 고규소철(high silicon iron)재질의 경우 불화물(fluoride)이 없을 경우 주어진 조건에서 최적일 수 있다. 그러나 동일조건하에서도 미량의 불화물로 인해 갑작스런 재질상의 결함이 유발될 수 있다.

### 2.2 pH

일반적으로 pH는 생산과정에서 잘 조절되어야 할 항목이다. pH는 프로세스 특성에 따라 어떤 범위로 조정될 수 있다. 때로는 산, 알칼리가 교대로 취급될 수 있으므로 이러한 사항들이 상세히 파악되어야 한다.

왜냐하면 어떤 재질은 특정 범위의 산, 알칼리에 내식성이 뛰어나지만 그 범위를 벗어나게 되면 갑작스런 부식을 초래하게 된다. 또 산, 알칼리를 교대로 사용할 때는 재질선정이 달라지기 때문이다.

### 2.3 슬러리

각 공정에 취급되는 슬러리(slurry)는 고형체의 함량, 크기, 경도, 형태에 따라 재질 마멸에 커다란 영향을 주게 된다. 고형체의 크기와 정도가 크면 클수록 마멸을 가속 시킨다. 형태가 날카로우면 둥글거나 매끄러운 것에 비해 마멸을 빠르게 한다. 펌프에서 슬러리에 의한 마멸이 크게 3가지 형태로 분류할 수 있다.

(1) 가우징(gouging)마멸 : 유동중인 거치른 입자가 강한 충격으로 부딪쳐 표면으로부터 미세한 조각으로 뜯어내는 형태

(2) 연삭 마멸 : 유동중인 입자와 표면 사이의 마찰로 일어나는 형태

(3) 침식 마멸 : 자유로이 유동중인 입자들이 와류에 의해 일어나는 마멸 형태

(가) 펌프 설계시 고려사항으로서는

(i) 마멸에 견디는 재질선정, (ii) 마멸을 고려 두께에 충분한 여유, (iii) 마멸을 최소화 하도록 하는 수력학적인 설계, (iv) 마멸시 부품 교체비용이 용이

(나) 금속 재료의 내마멸 성향(순서에 따라 마멸을 감소)

(i) 주철, (ii) 청동, (iii) 망간청동, (iv) 니켈 알루미늄청동, (v) 주강, (vi) 300계열 스테인리스강, (vii) 400계열 스테인리스강

(다) 슬러리 농도에 따라 점도가 갑자기 변하는 경우가 있으며 이는 성능저하의(양정 및 유량저하)요인이 되므로 대단히 중요하다.

석탄(coal)의 슬러리 농도 변화에 대한 점도 변화예를 그림 1에 표시한다.

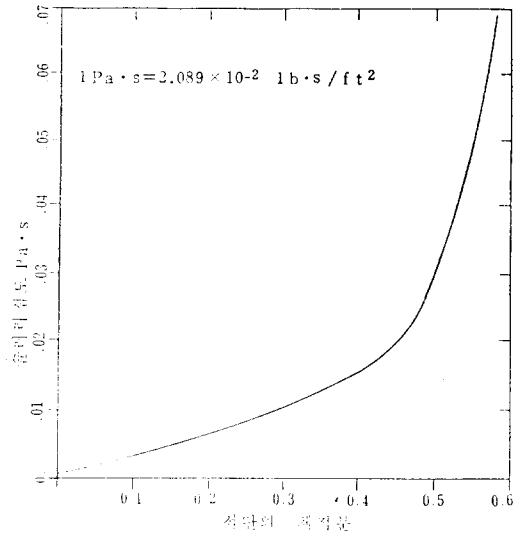


그림 1 석탄의 슬러리 농도에 대한 점도변화

### 2.4 점 도

근본적으로 점도는 유체의 층과 층 사이의 마찰력으로서 펌프작동시 유체의 흐름은 각층의 전단력에 영향을 받음으로 점도가 높은 액은 더 많은 에너지가 필요하게 된다. 이 에너지는 소요동력을 증가시키며 아울러 양정, 유량 효율을 저하시킨다. 또한 점도는 온도에 의하여 민감하게 변하므로 사용온도 조건에 해당하는 점도를 표시하여야 한다. 점도를 가지는 모든 액체가

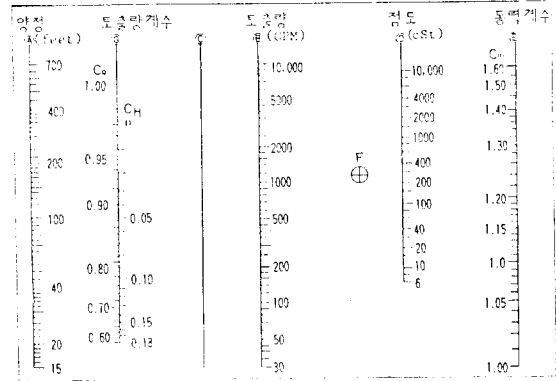


그림 2 점도에 따른 성능변화

펌프성능에 미치는 영향에 대한 해석 방법이 확립되어 있지는 않지만 여러가지 실험을 통해 성능을 예견할 수 있는 경험적인 방법을 다음과 같이 예시한다(그림 2).

$$Q_v = C_Q \tag{1}$$

$$H_v = (1 - C_H \times Q_w / [Q_w]) \times H_w \tag{2}$$

$$B_{HPV} \times C_{HS} \times S_{Per} \times B_{HPW} \tag{3}$$

$Q_v$ : 점성 용량(viscous capacity), gpm

$H_v$ : 점성 총양정, ft

$B_{HPV}$ : 점성 제동마력

$Q_w$ : 물 용량, gpm

$[Q_w]$ : 최대 효율에서의 물 용량, gpm

$H_w$ : 물 총양정, ft

$B_{HPW}$ : 물 제동마력

$C_Q$ : 용량에 대한 점성수정계수

$C_H$ : 총양정에 대한 점성수정계수

$C_{HP}$ : 제동마력에 대한 점성 수정계수

물로 시험한 성능시험 곡선상의 최고 효율점에서의  $Q_w, H_w$ 를 구하여 직선 A 및 B에 표시하고 두점을 일직선으로 연결하여 직선 C와의 교점을 구한다. 직선 C선의 점과 직선 D상의 점성 점을 일직선으로 연결하여 직선 E와의 교점을 구하여 읽으면  $C_{HP}$ 값이 얻어진다. 또한  $C_{HP}$ 결과 F와 일직선으로 연결하여 직선 G와의 교점을 읽으면  $C_Q, C_H$  구할 수 있다.

물로 시험한 성능곡선상의 수점에 대하여 상기 그림 2에 의하여 구하면 점도를 가지는 유체성 능곡선을 얻을 수 있다.

## 2.5 공기

때로는 공정중에 산화(oxidizing)로 공기를 주입하게 되어 이것이 펌프액 중에 존재하게 되어 재질에 영향을 주는 경우가 있다. 예를들면 니켈 몰리브데늄 합금의 경우 순수 염산에 대하여는 최적이거나 조금이라도 산화경향이 있으면 부적합하게 된다.

## 2.6 온도

일반적으로 화학반응은 온도 증가에 따라 반응도(activity)가 증가하게 된다. 부식(corrosion)은 화학반응의 반응도에 따라 크게 좌우되므로 고려해야 할 중요한 사항이다.

또한 운전 조건상 온도차가 클 경우에는 「열에 의한 충격」(thermal shock)에 대한 대책도 고려되어야 한다.

## 3. 재 료

위에 서술된 액성을 면밀히 검토하여 가장 적합하고 경제적인 재질을 선정하여야 한다.

대부분의 화학펌프(chemical pump)는 스테인리스강, 니켈합금, 희귀금속 즉, 티타늄, 지르코늄 등으로 만들어 지거나 탄소, 유리자기(glass porcelain), 고무플라스틱(rubbery plastic)의 비철금속재로 만들어 진다.

### 3.1 재료 선정 방법

(1) 자체 운전시험을 통해 실경험을 토대로 입증된 데이터에 의한 선정

(2) 실험실이나 파일럿플랜트 경험을 토대로 한 선정

(3) 주어진 Sol spec.에 따라 펌프 메이커에서 선정

재료 선정에 고려될 사항이 대단히 많기 때문에 (1)항에 의한 선정이 가장 바람직하나 플랜트 운전조건이 다양하며 신규 프로젝트에 대하여는 거의 불가능하므로 대부분 (3)항의 메이커 추천에 의해 정해진다. 좀더 바람직한 것은 여러가지 시험쿠폰(test coupon)을 동일조건의

표 1 제질선정시 고려사항

순서	부품	케 이 싱	임 펠 러	축	비교
1		강 도	케비테이션	내구성	
2		부 식	부 식	부식	
3		내마멸성	내마멸성	노치감도	
4		구조 및 기계적 성질	구조 및 기계적 성질	—	
5		원 가	원 가		

파일럿 설비에서 시험하여 얻어진 데이터를 근거로 하여 선정하는 것이 바람직하다(표 1 참조).

### 3.2 부식 형태

#### (1) 일반 및 균일 부식

근본적으로 점액부분이 일정 비율로 균일하게 부식되는 것이며 때로는 천천히 때로는 빨리 일어날 수 있다. 예측이 가능하기 때문에 기타 형태의 부식보다는 단순하다.

#### (2) 농도셀 균열부식(concentration cell crevice corrosion)

소량의 액이 나사부분, 구멍, 틈사이 가스켓, 볼트머리부 등에 정체되어 주액체(main liquid)와의 사이에 전위차가 형성되어 국부적으로 일어나는 부식 형태로서 일반 화학펌프에서는 고려하지 않아도 무방할 것으로 생각된다.

#### (3) 피팅 부식(pitting corrosion)

국부적으로 나타나는 부식 형태로서 방심할 수 없고 파괴적이다. 대단히 예측하기 힘들며 적거나 또는 꽤 큰 구멍 형태를 나타낸다.

특히 염소 이온이 피팅을 일으키는 대표적인 성분이며 펌프 뿐만 아니라 모든 장비에서도 일어날 수 있으며 (2) 항의 부식형태와 유사하나 (2)항의 현상이 정체된 부분에서 일어나는 반면에 피팅은 일반 어느 부위에서도 일어날 수 있다.

#### (4) 응력 부식균열(stress-corrosion cracking)

인장력과 특수 조건의 결합하에 일어나는 국부적인 크랙 발생으로서 정확한 발생원인은 잘 알려져 있지 않다. 반복 하중을 받는 샤프트 등

의 피로, 무리한 설계에 의한 주물등에서 발생 되는 크랙 현상이 이에 속한다.

(5) 입자간부식(intergranular corrosion)

합금 입자 경계(alloy grain boundary)에서 일어나는 대표적인 부식형태로서 스테인리스강 또는 기타 합금 재료에서 일어날 수 있다. 이는 경계부분이 입자(grain)보다 활성적이기 때문에 부식성이 가속화되기 때문이며 일반균일부식 형태와 구분하기 힘들다.

(6) 전기 부식(galvanic corrosion)

부식성 액체 속에서 상이한 금속이 접촉되었거나 전기적으로 연결되었을때 귀금속(noble metal)의 부식 현상은 줄어드는 반면 보다 저급인 귀금속(less noble metal)의 부식 현상이 가속되는 부식 형태로서 화학펌프에서는 자주 일어나지 않는 형태이다.

(7) 침식-부식(erosion-corrosion)

부식과 기계적인 마멸이 동시에 일어나는 형태로서 액중의 현탁 고체(suspension solid)나 고속에 기인하며 화학펌프에서 자주 일어나는 형태 이것을 방지하기 위해서는 내식성, 강도, 연성, 고경도 등의 특성을 고루 갖춘 재질선택이 요구된다.

공동(cavitation)현상은 이의 특수한 형태로서 이것은 액중의 가스폭발로 야기된 고압에 의한 응력이 금속 표면을 파괴 하기에 충분할 경우 일어나는 현상이다.

(8) 선택적 부식(selective reaching corrosion)

부식성 있는 액중에서 어떤 합금으로부터 한 개의 원소가 빠져나가는 형태의 부식으로서 특히 아연, 알루미늄, 흑연의 원소가 대표적이다. 일반적인 화학펌프에서는 이러한 원소들의 합금이 사용되지 않기 때문에 흔히 일어나는 형태는 아니다.

각종 재료의 내공동현상(cavitation resistance)(순서대로 증가)

- (i) 주철, (ii) 청동, (iii) 주강, (iv) 망간 청동, (v) 모넬, (vi) 400 계열 스테인리스강, (vii) 300 계열 스테인리스강, (viii) 니켈 알루미늄-청동

4. 운전조건 변화와 적응성

일반적으로 화학펌프에 사용되는 재질은 합금이므로 주철 제품에 비해 상당히 비싸다. 실제 운전에 있어서는 시스템조건의 변화 또는 운전 조건의 변화에 따라 정격이상 또는 이하에서 운전될 수도 있다. 정격 이상 운전 요구시는 펌프 자체 또는 동력설비 전체를 교체하여야 할 경우도 있으며, 정격이하 운전시는 동력손실을 감소하여야 한다. 이러한 점들을 고려, 펌프 선정시에는 가급적이면 현척(full size)으로 선정하지 않는 것이 바람직하다.

(1) 임펠러 직경 변경에 따른 성능 변화(그림 3 참조)

$$Q_2 = Q_1 \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^3$$

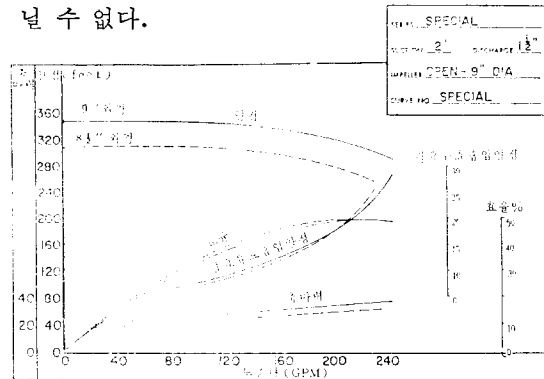
$$H_2 = H_1 \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^3$$

Q : 유량, H : 양정, B<sub>HP</sub> : 제동마력,

D : 임펠러 직경

(2) 축봉장치 (shaft sealing)

펌프 샤프트상으로 누설이 발생하는 경우가 있다. 특히 화학공정에서는 누설로 인하여 생산손실, 화재 및 환경상의 위험 등이 야기된다. 누설을 사전에 막기 위해서는 펌프설계시 안전설계가 되어야 하는데, 매우 어려운 문제가 아닐 수 없다.



Model : 영풍-Durco MK II 2 × 1 1/2 - 10

그림 3 임펠러 외경 변화에 따른 성능 변화

임펠러와 주물 사이의 회전유동은 강제와류이며, 이 경우 액의 각속도는 임펠러 각속도에 비해하게 된다.

결과적으로 이러한 속도 에너지가 스테핑박스(stuffing box)내에 압력을 형성 축상에 수력학적인 불균형을 야기시킨다. 이러한 압력은 임펠러의 설계나 흡입압력에 따라 변화하게 된다.

이러한 효과를 최소화 하기 위하여 임펠러와 주물간의 회전부분의 간격을 최소화하거나 또는 임펠러 시라우드 뒤에 별도의 유체펌프 베인(hydrodynamic pumping vane)을 설치할 수도 있다.

설계상으로는 다음과 같은 사항들이 고려 되어져야 한다.

(i) 축상에서 동심원으로 회전, (ii) 마멸, (iii) 압력의 불균형(unbalance)의 크기, (iv) 마멸입자의 혼입, (v) 온도변화, (vi) 누설액의 부식성

이런 점들을 고려한 여러가지 형태의 시일(seal) 방법이 개발되었으나, 어느 것이나 사용상의 제한이 있으므로 시일 방법 선정시 메이커와 충분히 협의 되어야 한다. 대표적인 시일 형태로서는 패킹 형식과 기계식 시일 형식으로 대별된다. 상기 조건을 고려하여 경제적이고 운전조건에 적합한 재질의 형태를 선정하여야 한다.

패킹 시일과 기계식 시일의 장단점을 대별하면,

• 패킹 시일(packing seal)

가. 액의 누설이 있다.

나. 냉각 또는 윤활용으로 외부액(물)을 사용시는 회석될 수 있다.

다. 보수가 간단하고 초기 투자가 적다.

라. 마멸액 혼입시는 축 및 패킹 마멸이 심할 경우 보수비가 많다.

• 기계식 시일(mechanical seal)

가. 초기 투자비가 비싸다.

나. 누설이 없다.

다. 설치시 정밀조정이 요구되며, 충격에 민감하다.

라. 교체시 펌프 운전이 중지되고 보수가 복

잡하다.

마. 갑작스런 파손이 일어날 수 있다.

• 정비 비용(maintenance cost): 정비 비용에 영향을 미치는 요인으로는,

(가) 베어링 수명

(나) 패킹

(다) 예비품 수준

(라) 재질상의 결함에 의한 보수

(마) 보수 인건비

이중 무엇보다도 중요한 것은 보수 인건비로서 펌프 분해조립시 인건비 비중이 크며, 또한 구조에 따라 이에 필요한 연시간이 좌우되기 때문에 대단히 중요한 사항이다. 또한 예비품 수준을 줄이기 위하여는 메이커에서 규격제품으로 대량생산이 가능하며 항시 일정재고를 유지, 즉시 아프터 서비스가 가능하여야 한다.

## 5. 품질관리

설계상의 성능보장 및 수명유지를 위해서는 구조에서 완성품까지 아래의 시험이 요구된다.

(1) 주조품: (i) 화학성분 분석 및 물리적 시험, (ii) 열처리, (iii) 액체탐상시험 또는 X-선, (iv) 육안검사, (v) 현미경 조직 검사

(2) 가공품, (i) 수압시험, (ii) 물리시험, (iii) 산세척, (iv) 치수검사, (v) 밸런싱 시험

(3) 완성품: (i) 성능시험, (ii) 물리시험, (iii) 진동시험, (iv) 음향 수준 시험

## 6. 효 율

운전비용의 대부분이 동력비용이므로 고효율의 펌프를 선정하여야 하는 것은 재론의 여지가 있다면 간단히 계산하여 연간 약 350,000 원이 절감되는 것이다.

$$1 \text{ kW} \times 365 \text{ 일/년} \times 24 \text{ 시간/일} \times 50 \text{ W/kWH} \times 0.8 = 350,400 \text{ W/년}$$

