

산업설비에서의 펌프 응용



글/이정우 <영풍정밀공업(주) 기술이사·기술연구소장>

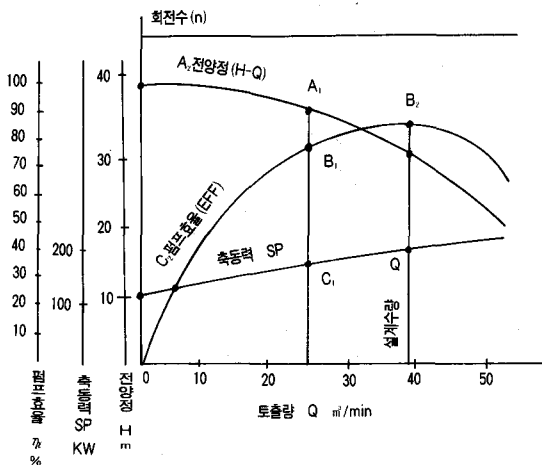
3. 펌프의 응용 기술

1) 펌프의 성능

(1) 일반성능

① 펌프의 성능을 표시하는 수단으로서 성능곡선도가 있다. 펌프성능 측정방법은 KS B 6301에 규정되어 있다.

펌프 성능곡선은 펌프의 규정회전수(부하변동에 따라서 다소는 변동이 생기지만 거의 일정하다)에서의 토출량과 전양정, 펌프효율, 소요동력 등의 관계를 나타내는 것으로 <그림 1>에 그 예를 나타내었다.



<그림 1>

② 횡축상의 임의 토출량에서 올린 수직선이 각 성능곡선과 만나는 점이 그 토출량에서의 전양정 A₁, 펌프효율 B₁, 소요동력 C₁을 나타낸다.

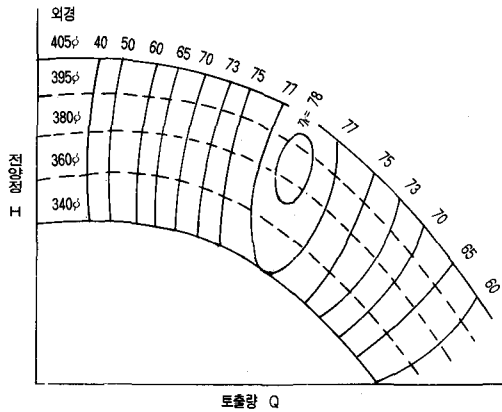
그림에서 명확한 것은 토출량이 큰 범위에서 운전되면 펌프가 낼 수 있는 전양정은 감소하고, 역으로 작은 토출량에서 운전되면 펌프가 낼 수 있는 전양정을 증대하며, 토출량이 0인 체결점에서는 거의 A₂에 이르지만 펌프효율은 0으로 되며, 그 때의 소요동력 C₂는 유효한 펌프일이 아니라 대부분이 열로 낭비되어 버린다.

③ 펌프효율은 설계유량 Q에서 최고값을 가지므로 그 부근에서 운전하는 것이 가장 합리적이며 터보형 펌프는 다음에 기술하는 과열현상, 과부하, 진동, Cavitation 등이 없는 광범위한 조건에서 사용이 가능하여야 한다.

④ 여기에서 가리키는 펌프효율은 펌프 전양정이 전부 유효하게 이용되는 경우의 값이므로 Valve 등에서 교축시켜 손실을 주면서 운전하는 실제의 이용효율은 성능곡선도의 값보다도 낮다.

⑤ 회전차의 외경 가공에 의해 펌프성능 곡선(H-Q 곡선)을 변화시키면 엄밀한 의미에서 상사법칙의 적용이 곤란하며, 펌프효율도 약간 변화된다.

이와 같은 방법으로 펌프의 H-Q 곡선을 변화시켜 각 H-Q 곡선에서 같은 효율점을 연결하여서 등효율곡선을 그릴 수가 있다. <그림 2>는 그 일례이다.



〈그림 2〉

(2) 회전수 변화와 펌프성능 변화

일반적으로 회전수를 변화시키면 펌프 성능은 아래와 같이 일정한 법칙에 따라서 변화한다. 펌프효율도 어느 정도 변화되지만 일반적으로 기준회전수의 +20% 정도의 변동범위에서는 그 효율변화는 미소한 것으로 무시하여도 좋다.

회전수가 n 에서 n' 로 변화하면 전양정 및 동력곡선은 〈그림 3〉, 〈그림 4〉와 같이 (I), (II)에서 (I)', (II)'로 변화하고, 회전수 n 인 경우의 특성곡선도상의 사양점을 전양정 H , 토출량 Q , 소요동력 L 및 유효흡입 Head $NPSH_{re}$ 라고 하면 이것에 대응하는 n' 의 경우의 상태점 H' , Q' , L' 및 $NPSH_{re}'$ 는 펌프의 상사법칙에 의하여 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$Q' = Q \times (n'/n) \quad (2.1)$$

$$H' = H \times (n'/n)^2 \quad (2.2)$$

$$L' = L \times (n'/n)^3 \quad (2.3)$$

$$NPSH_{re}' = NPSH_{re} \times (n'/n)^2 \quad (2.4)$$

이것들은 KS D 6301에도 규정되어 있으며, 최고효율점 뿐만 아니라 성능곡선도상의 어느 점에서도 적용할 수가 있다.

단, 회전수의 변동이 큰 경우에는 이 환산식은 다소 오차가 있으므로 주의하지 않으면 안된다.

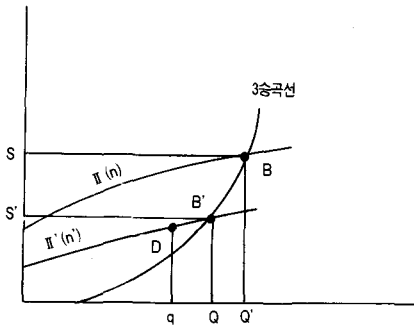
(주) 유효흡입 Head에 대해서는 2) "Cavitation"을 참조할 것.

또한 이상의 사항은 펌프 자체의 성능환산을 나타내는 것으로 실제의 운전조건에 적용시켜보면 〈그림 5〉와 같이 되고, System에서의 토출량은 관로저항곡선과 펌프의 유량-양정곡선(H-Q곡선)과의 교점으로 결정되는 것으로, 처음에는 펌프성능(I)과 관로저항곡선(III)과의 교점 A(토출유량 Q)에서 운전되지만, 회전수 변경에 의해 펌프성능(I)'로 변화하면 성능상의 대응점은 A'(토출량 Q')로 되지만, 실제의 토출량은 관로저항곡선(III)과 펌프성능(I)'의 교점 a(토출량 q')로 된다.

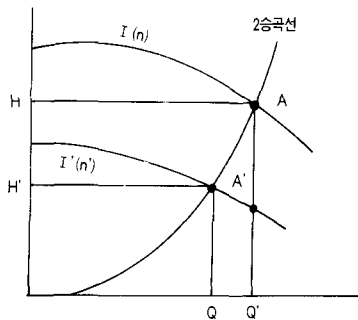
소요동력도 이것에 준하는 〈그림 3〉의 동력곡선(II')상에서 토출량 q에 대한 값 b로 된다. 즉, 운전점에서의 토출량 또는 동력은 회전수비에서 계산되며 대응값보다도 현저히 변화된 값이 된다.

(3) 회전차 외경가공과 펌프 성능변화

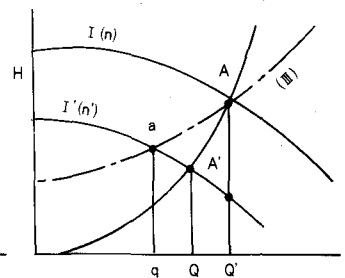
현재 가지고 있는 펌프의 성능이 현장의 사정에 맞



〈그림 3〉



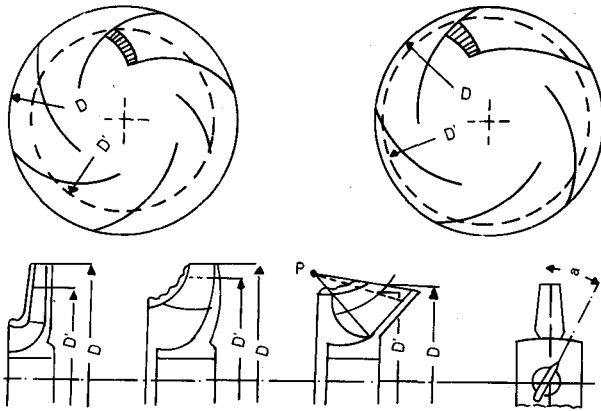
〈그림 4〉



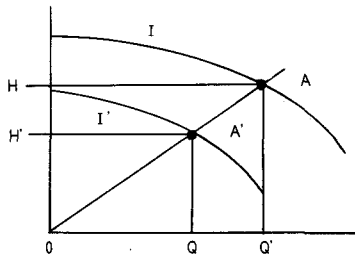
〈그림 5〉

지 않아서 펌프성능의 감소가 필요한 경우에는 전술한 바와 같이 펌프의 회전수를 내리거나, 펌프를 교체하여 펌프 성능을 변경하는 것이 가능하지만 그 외의 방법으로서 회전수를 변화시키거나 회전차를 교체하지 않고 회전차의 외경가공에 의해서도 목적의 결과를 얻을 수 있다.

그러나 회전차 외경가공시에는 원주속도의 변화는 물론 잇의 간섭 및 길이, 회전차 출구폭 뿐만 아니라 종종 출구각까지도 변화하므로 토출유량과 양정 감소의 결과는 회전차의 형상에 따라 다르다.



〈그림 6〉



〈그림 7〉

그러나 원래의 외경 D를 새로운 외경 D'로 감소하여도 잇의 간섭범위가 적절하다면 (〈그림 6〉의 윗그림의 빗금친 부분으로 표시됨) 회전차 외경의 가공이 성능감소에 미치는 영향은 대강 추정할 수 있다. 〈그림 7〉에 나타난 바와 같이 회전차 형상은 D'/D의 최소값에 대단한 영향을 준다. 즉, 비속도(Ns)가 작은 회전차는 펌프효율이 거의 저하하지 않는 범위에서도 비교적 상당량을 가공할 수 있고, 반면에 비교적 비속도가 큰 회전차의 외경가공은 펌프효율에 민감한 영향을 준다.

또한 안내깃을 가지고 있는 펌프의 경우, 전술의 사항들은 회전차의 끝과 안내깃 사이의 틈새가 급격하게 증가하지 않는 경우에 유효하므로 보통 슈라우드는 원래의 치수대로 두고 다만 회전차의 잇만을 가공하고, 안내깃이 없는 펌프인 경우는 슈라우드를 잇과 같이 가공한다.

여기서 회전차의 원래 외경이 D인 경우의 성능곡선을 (I)로 두고, 외경 D'로 가공하여 성능(I')로 변경시킨다고하면 성능(I)상의 상양점 A(토출량 Q, 양정 H)와 이것에 대응하는 (I')상의 상양점 A'(Q', H')와의 관계는 가공전후의 속도 삼각형이 근사적으로 상사가 되어 회전차 출구폭이 변하지 않았다고 가정한다면

$$Q/Q' \approx (D/D')^2, H/H' \approx (D/D')^2 \quad (2.5)$$

즉, Q, H 모두 D의 2승에 비례하므로 대응점 A, A'를 연결하는 직선은 〈그림 7〉에 나타난 바와 같이 원점 O를 통과하게 된다.

그러나 실제로는 가공전후 회전차의 출구폭 및 출구각도, 중량 등에 변화가 있기 때문에 점차 형상의 상사성이 약해져서 윗식은 성립되지 않게되고, 또한 효율도 외경가공과 동시에 저하하는 것이 보통이다.

그러나 축류펌프인 경우에는 회전차 외경을 가공하여 사양의 감소효과를 얻을 수 없다. 만약 잇이 회전되도록 설계되었다면 잇을 회전시켜서 그 효과를 얻는다.

사류펌프인 경우의 전차 외경가공은 원래 회전차의 입구와 출구 끝을 연결한 선이 만나는 점 P를 통과하도록 출구끝을 가공하는 것이 최선이다. 또한 회전차 출구경 D와 D'는 〈그림 10〉에 나타난 바와 같이 평균 유속선상에서 취해야 한다.

전술한 바와 같이 회전차 외경의 가공의 결과는 회전차의 형상에 따라 다양하게 변화하므로 모든 경우에 대하여 회전차 경을 가공하기 전에 펌프 제작자의 조

언을 받는 것이 바람직하다.

(4) 특수액에 의한 펌프 성능변화

특수한 액체를 양수하는 경우의 펌프성능은 상온의 청수를 양수하는 경우에 비하여 성능이 현저하게 변화하는 것으로 알려져 있으며, KS B 6301 또는 KS B 6306에 이들에 대해 설명하고 있다. 펌프의 양액의 점도가 크거나 고형물을 함유하는 경우의 성능시험을 미리 그 펌프의 상온 청수에서의 성능제원을 정하여 청수로 시험하여도 된다.

펌프성능에 영향을 미치는 요소는 양액의 비중, 점도, 농도, 함유고형물 등이 있으며 실질 양액의 사양에서 청수의 사양으로의 환산을 실시하기 위하여 이것들에 의한 저감율을 알 필요가 있다.

① 온도에 의한 성능변화

펌프의 성능은 온도 그 자체에 의해서는 변화하지 않지만, 온도변화의 영향을 받은 양액의 비중, 점도, 포화증기압 등의 변화에 의한 동력 또는 펌프성능, 흡입성능 등이 변화한다.

② 양액의 비중에 의한 성능변화

양액이 수온 40°C를 초과하는 청수 또는 단위체적당 중량이 상온청수와 다를 경우에, 양액이 청수와 같이 낮은 점성을 가지는 액체라면 소요동력은 상온, 청수의 경우에 대하여 비중배로 되고, 펌프의 성능곡선도 H-Q곡선의 표시단위가 전양정을 액주로, 토출량을 체적으로 표시하는 경우에는 불변이지만 다른 단위로 표시되는 경우에는 값이 변화한다.

시방양액의 경우의 토출량(m^3/min) = 시험양액의 경우의 토출량(m^3/min)

시방양액의 경우의 총양정(m) = 시험양액의 경우의 총양정(m)

시방양액의 경우의 압력(kgf/cm^2) = $r'/r \times$ 시험양액의 경우의 압력(kgf/cm^2)

{(NPa) = $\ell'/\ell \times$ [시험양액의 경우의 압력 (MPa)]}

시방양액의 경우의 축동력(KW) = $r'/r \times$ [시험양액의 경우의 축동력(KW)]

= $\ell'/\ell \times$ [시험양액의 경우의 축동력(KW)]

다만, r' : 시방양액의 단위체적당 중량(kgf/l)

(ℓ' : 시방양액의 밀도(kg/m^3))

r : 시험양액의 단위체적당 중량(kgf/l)

(ℓ : 시험양액의 밀도(kg/m^3))

③ 고점성액에 의한 펌프성능 변화

점성이 높은 액체를 취급하는 경우에는 회전차, 케이싱 등의 측벽에서의 유체마찰 등의 영향에 의해 청수를 취급하는 경우보다도 토출량 또는 전양정, 효율 등의 저하로 소요동력이 증대한다.

그러므로 취급액에서의 펌프사양이 정해졌을 경우 이 사양을 내기위해 펌프를 청수를 써서 운전했을 때의 사양 즉, 청수시 사양을 안다는 것은 펌프 선정상 필요하다.

점도에 따르는 토출량, 양정, 효율이 저감율을 나타낸 것이 <그림 8>이다.

i) 적용범위

펌프의 청수성능에서 기름 등 고점성액에서의 펌프성능으로의 수정방법에 대하여 KS B 6306에 기술된 방법은 HI(American Hydraulic Institute) 표준상의 수정방법으로, 이것은 일반적인 원심펌프(Open 및 Close형)에 한하여 적용하며 사류펌프, 축류펌프 및 점도가 불균일한 액체에는 적용할 수 없다.

ii) 수정방법

청수를 써서 운전했을 때의 사양 즉 청수시 사양을 알기 위해서는 <그림 12>를 써서 토출량, 양정, 효율의 저감율 C_Q, C_H, C_η 를 구하고, 아래의 관계를 이용하면 각각의 사태에서의 관계를 알 수 있다.

① 청수에서의 펌프 성능곡선도상에서 최고효율점의 토출량을 Q_n 으로 하여 $0.6 \times Q_n, 0.8 \times Q_n, 1.0 \times Q_n, 1.2 \times Q_n$ 에 대하여 전양정 m , 펌프효율 %를 그림상에서 읽는다.

(읽은 값을 Q_n, H_n, η_n 로 한다)

② <그림 8>에서 토출량 Q_n 의 경우의 전양정 H_n 및 동점도 μ 또는 Centistokes (cst)으로 수정계수 (C_Q, C_H, C_η)를 읽는다.

③ 수정토출량 : $Q_o = Q_n \times C_Q \quad m^3/min$

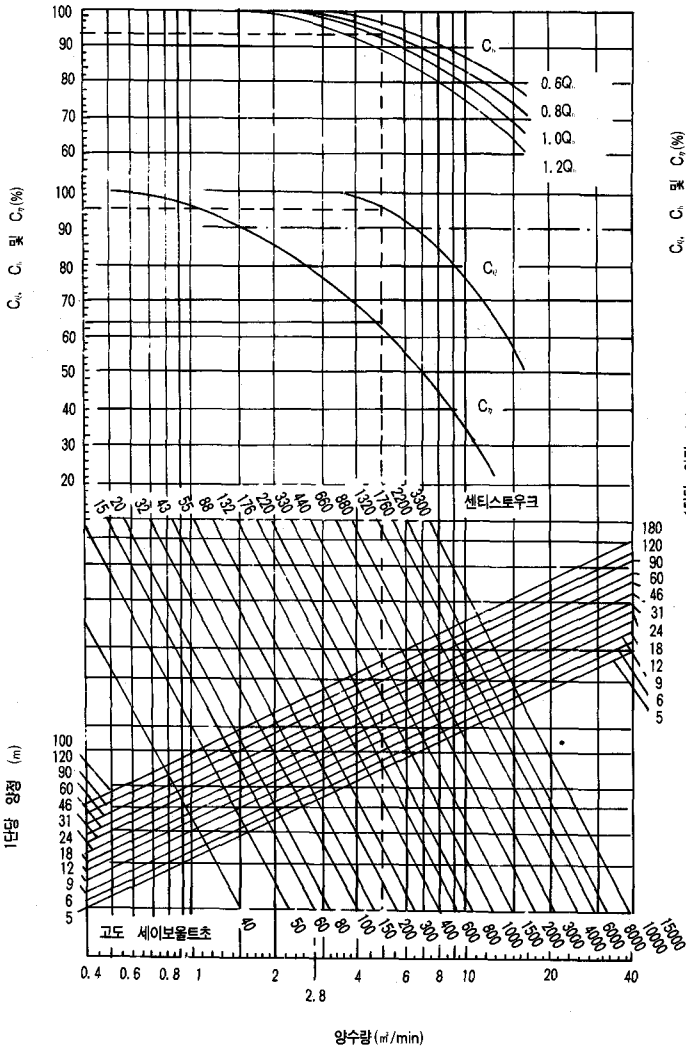
수정전양정 : $H_o = H_n \times C_H \quad m$

수정펌프효율 : $\eta_o = \eta_n \times C_\eta \quad \%$

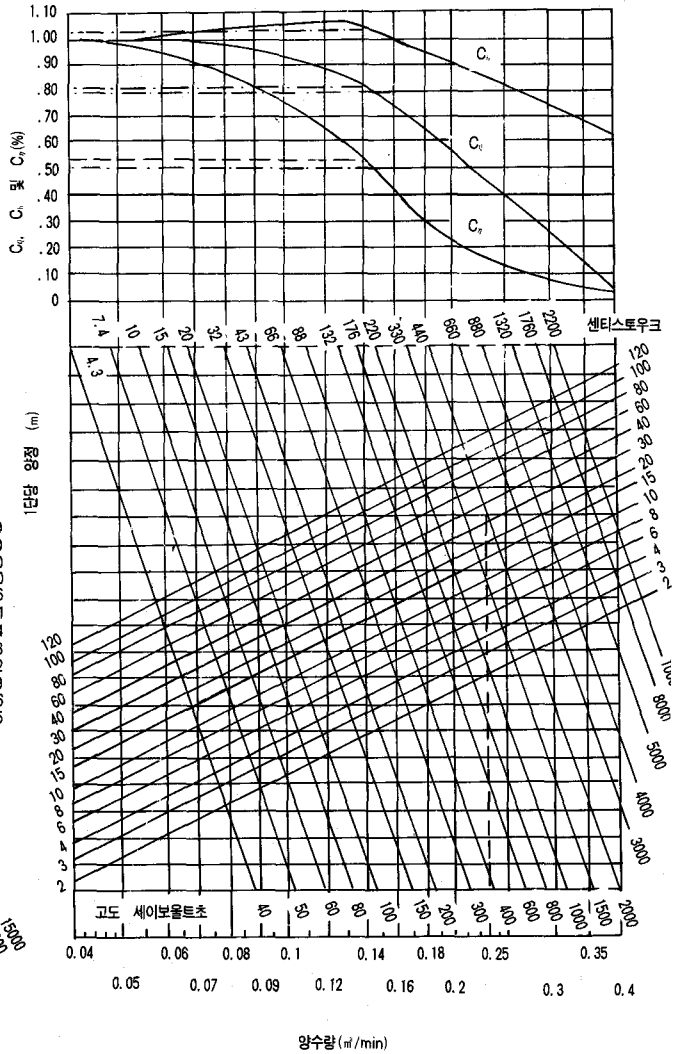
수정축동력 : $r \times Q_o \times H_o / (\eta_o \times 367.2)$

(단, r = 단위체적당 중량 kg/m^3)

④ Slurry에 의한 펌프 성능변화



(a) 대용량의 펌프용



(b) 소용량의 펌프용

〈그림 8〉 성능의 점도저감을

i) 적용범위

청수에서의 펌프성능에서 미세 Slurry의 양액을 취급하는 경우로의 펌프성능 수정의 방법에 대하여 기술한다.

ii) 수정방법

① 입자의 크기가 100 이하의 경우 〈그림 9〉 (1)에서 토출량의 수정계수 A와 효율수정계수 B를 읽는다.

수정토출량 : $Q_0 = Q_F \times A$ (m^3/min)

수정양정 : $H_0 = H_F \times$ (m)

수정효율 : $\eta_F = \eta \times B$ (%)

© 입자의 크기가 100 μ 이상의 경우 <그림 9> (2) 에서의 입자의 크기에 상당하는 양정수정계수 A'와 효율 수정 계수 B'를 읽는다.

④ 수정토출량 : $Q_0 = Q_r$ (m^3/min)
 수정양정 : $H_0 = H_r \times A'$ (m)
 수정효율 : $\eta_0 = \eta_r \times B'$ (%)

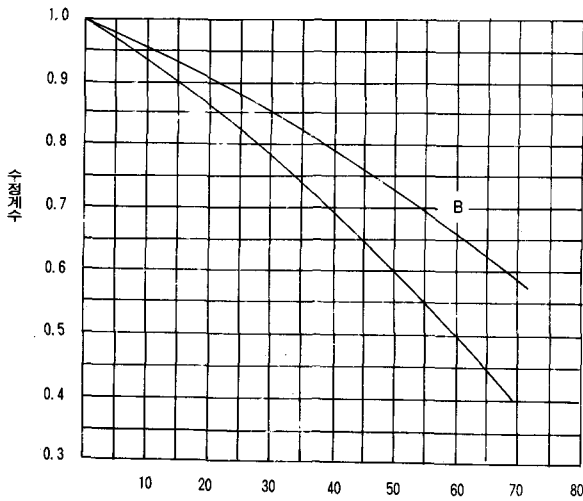
⑤ 단, Q_r : 청수에서의 토출량 (m^3/min)

H_r : 청수에서의 양정 (m)

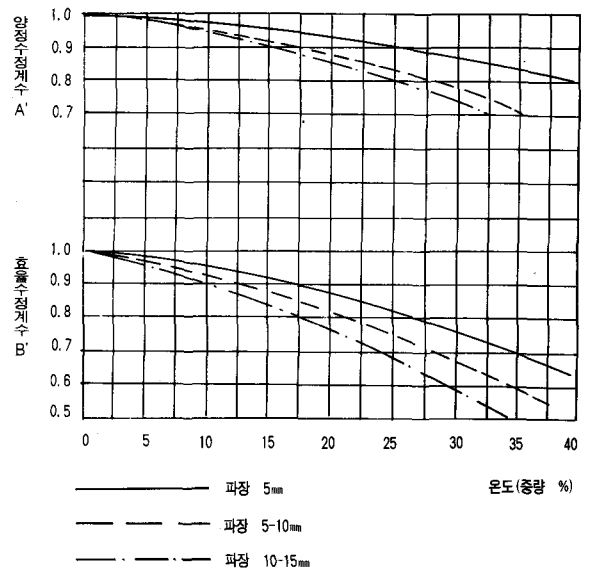
η_r : 청수에서의 효율 (%)

⑥ 수정 축동력 (KW) = $r \times Q_0 \times H_0 / (\eta_0 \times 367.2)$

단, r = Slurry액의 단위체적당 중량 (kgf/m^3)



<그림 9> (1) Slurry 농도와 수정계수
(입자크기 100 이하)



<그림 9> (2) Slurry 농도와 수정계수
(입자크기 100 이상)