

스크류펌프의 유량특성과 적용

임종순*

Flowrate characteristics and application of screw pump

Jong-Soon Lim*

Key Words : Screw pump(스크류펌프), Flowrate coefficient(유량계수), Inclination(경사각), Screw diameter(스크류직경), Screw pitch(스크류피치), Trough(트라프), Lift(양정)

ABSTRACT

The main purpose of this study is to get flowrate coefficient "q" and to study characteristics of flowrate of screw pump. This study is based on Muskin's formula and depends on the computer simulation. The results of study are as follows.

1. Flowrate coefficient will reduce according to increase of inclination. The larger the pitch ratio is and the smaller the diameter ratio is, the more coefficient reduces.
2. As a rule, the coefficient increases according to reduction of the diameter ratio, but the coefficient tends to reduce when the ratio is less than 0.45. So, in actual application, it is recommended that the ratio should be above 0.45.
3. If the pitch ratio increases, the coefficient increases in case of small inclination and decreases in case of large inclination.
4. The coefficient increases according to number of windings. Especially, singles winding is not used in actual application because it has too small coefficient.
5. The coefficient decreases when the influent water level falls. Flowrate is almost zero when the water level is below 40% of Filling Points.

1. 서론

스크류펌프는 경사된 원형단면의 수로(Trough)의 중심에 스크류날개를 회전시켜 양수시키는 일종의 용적식 특수펌프로써 그 원리는 서기 201년경 아르키메데스에 의해 고안되어 아르키메데스 펌프(Archimedean Screw pump)라고도 불리운다.

우리나라에서는 중랑천하수처리장에 설치한 것이 처음이며, 그이후 구미하수처리장, 영종도 신공항, 과천

빗물배수펌프장 등 30여 개소에 약 150여대의 스크류펌프가 설치, 운전되고 있다.

스크류펌프는 하수처리장 뿐만아니라 관개용수용 펌프장, 우수, 홍수시에 대비한 배수 펌프장, 농업용수의 취수장, 폐수처리장등 그 용도가 다양하다.

현재까지 국내에서 대용량펌프로 널리 사용되어온 입축사류형 원심펌프에 비해 스크류펌프는 다음과 같은 장점⁽¹⁾을 가지고 있다.

(1) 고형물, 나무토막등의 이물질이 함유된 유체(하수 등)를 펌핑할때도 막힐 염려가 없으며, 펌프장 전단에 별도의 제진설비가 필요없다.

(2) 펌프의 수명이 길다. (20 - 30년)

*(주)송림위터테크 대표이사

책임저자 E-mail : songlimw@kornet.net

- (3) 공회전으로 인한 펌프의 손상여려가 없고 구조가 간단하여 유지관리가 쉽고 무인운전에 적합하다.
- (4) 물이 없어도 운전이 가능하고 손상을 주지 않는다.
- (5) 유입부하의 변동에 관계없이 광범위한 유량범위에서 양호한 효율의 특성을 나타내며, 유입부하에 변동에 따른 처리능력이 우수하여 별도의 자동제어 설비가 필요없다.
- (6) 스크린 시설이 필요없고, 하수처리장에서 침사지 시설이 유입펌프 뒤에 위치할수 있으므로 침사지 시설을 지상에 배치하므로 시공비를 절감하고 유지관리를 쉽게한다.
- (7) 저속회전이므로 하수처리장의 반송슬러지 같은 파손되기 쉬운 물질이 함유된 유체나 오일폐수의 펌핑에 적합하다.
- (8) 개방형 구조이므로 폐수중 함유된 이물질로 인해 막히는 일이 없다.
- (9) 일반 펌프장처럼 유입수보다 깊게 펌프피트를 시공할 필요가 없다.

위에 언급한 바와 같이 스크류펌프는 여러 가지 장점을 가지고 있음에도 불구하고 국내에서는 잘 알려지지 못한 펌프로서 이에 대한 이론적 연구는 거의 없는 상태이다. RITZ가 발간한 스크류펌프 핸드북⁽²⁾에서 스크류펌프의 유량을 식(1)으로 정리하였다.

$$Q_m = q \cdot n \cdot D_3 \quad (1)$$

즉, 유량은 스크류 날개 외경의 삼승과 회전수에 비례하고 이때 q는 유량계수로서 스크류날개의 형상 및 치수를 결정하는 경사각 (β), 직경비 (δ), 피치비 (σ), 날개수 (a) 등의 함수이다.

이 스크류 펌프의 유량계수는 위에 언급한 조건외에도 유입 수위등에 따라서도 크게 영향을 받는데, 각 조건에 따른 유량계수의 변화 상태는 스크류펌프의 유량 특성을 이해하고 설계하는데 매우 유용하다.

본 연구는 스크류펌프의 설계시 가장 기본이 되는 스크류펌프의 유량계수의 식을 유도하고 여러 가지 변수에 따른 유량변화를 추정함으로써 스크류펌프의 유량특성을 파악하고자 한다.

2. 스크류펌프의 구조

스크류펌프는 본체, 상,하부 베어링, 구동부및 원형

단면의 Trough로 구성된다.

Fig.1에 일반적인 스크류펌프의 구조도를 제시하였다.

스크류 본체는 강관의 외주에 두줄 혹은 세줄로 강관제 날개를 나선형으로 용접 부착 하고 양끝을 강관으로 용접한다. 일반적으로 강관의 직경은 스크류 외경의 0.4 - 0.65배이며 이비율을 직경비라 하여 δ 로 표시한다. 또한 스크류 날개의 피치는 스크류 외경의 0.8 - 1.2배로 이비율을 피치비라 하여 σ 로 표시한다. 이 직경비, 피치비 및 날개수는 스크류 유량의 특성을 결정하는 가장 중요한 인자들이다.

하부베어링은 물속에 잠기는 수중 베어링으로 펌프가 운전 중일때는 구리스 펌프에 의하여 연속적으로 구리스를 주입하여 저어널 베어링의 윤활을 돕고 쉘부분으로 구리스를 배유시켜 오수의 침입을 방지하고 모래입자 등으로 인한 베어링의 손상을 방지한다.

그러나 최근에는 유지관리를 최소화하고 구리스 유출로 인한 오염을 방지하기 위하여 연속적인 구리스의 추가 주입이 필요없이 영구적으로 사용할수 있는 무급유방식의 하부베어링이 개발되었다.

펌프의 하중 및 펌핑으로 인해 발생하는 축방향의 추력은 상부 베어링에서 지지되도록 설계하는 것이 바람직 하며 상부베어링은 자동조심형 롤러베어링을 사용한다. 스크류펌프는 원심 펌프에 비해 낮은 속도로 운전되되며 그 동력전달 방법은 원동기 - V벨트 - 기어감속기 - 후렉시블커플링 - 펌프 순이 된다. 감속기와 원동기간에 V벨트 전동을 함으로써 펌프의 최고 효율 운전을 위해 정확한 회전수를 맞출수 있고 풀리경을 조정하여 회전수를 쉽게 변경시킬 수 있으므로, 용량 변경이 용이하다.

주로 사용하는 원동기는 전동기이다. 그러나 우수용 펌프로 사용하는 경우 연간 사용 운전시간이 적기 때문에 대신 태풍, 폭우등을 대비한 디젤엔진을 사용할 수도 있다.

소용량의 펌프경우에는 기어드 모타나 사이클로 감속기를 후렉시블 커플링에 의하여 펌프에 직결로 연결하기도 한다.

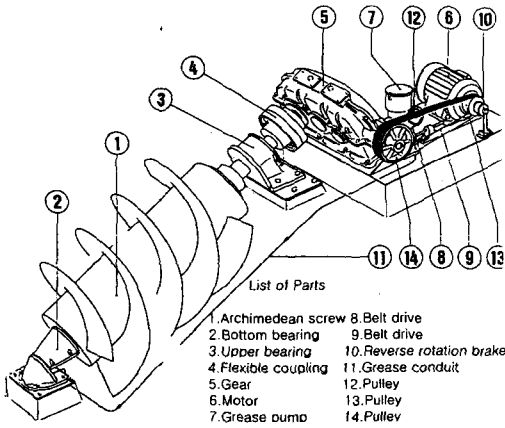


Fig. 1 Screw pump structure

스크류펌프는 트라프방식에 따라 몇가지 형식으로 나눌수 있다. 가장 일반적으로 사용하는 형식은 경사진 수로(Trough)를 토목 구조물로 하는 콘크리트 트라프 방식이다. 원심펌프의 케이싱에 해당하는 부분이 트라프인데 이를 콘크리트로 하게 되며 최종마감은 펌프를 설치한 후 펌프를 저속으로 회전시키며 물탈을 채워가며 완성시킨다.

이때 콘크리트 트라프의 내측 폭은 최소한 스크류 외경(D)에 400mm 이상의 공간을 확보해야 한다. 트라프와 스크류 날개 사이의 간격을 정밀하게 유지하여야 제 성능 및 효율이 보장될 수 있으므로 트라프의 마감시공은 매우 중요하고 어렵다.

또한 설치에 소요되는 비용과 기간이 많이들고 설치가 잘못으로 인한 하자 발생 가능성이 있다. 콘크리트 트라프대신 철강재 트라프를 사용하면 보다 정밀한 시공을 할 수 있다. 최근에는 철강재 트라프와 상,하부 베어링 구동부 일체를 공급하는 콤팩트형 스크류펌프가 많이 사용되며 이 방식은 공장에서 완전조립이 되므로 시공이 매우 간편하고, 토목 구조물이 필요없어 토목공사의 설계 및 시공이 매우 쉽다. 또한 콘크리트 트라프 방식에 비해 설치가 쉬우므로 시공결함으로 인한 하자를 막을 수 있다.

3. 스크류펌프의 특성

3.1 스크류 펌프의 유량

스크류펌프는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 원통형 축에 나선형의 스크류날개를 용접시켜 콘크리트 혹은 철

제의 경사진 수로(Trough)에 설치하여 수로나 스크류 날개 사이의 공간을 이용하여 물을 양수하는 펌프다.

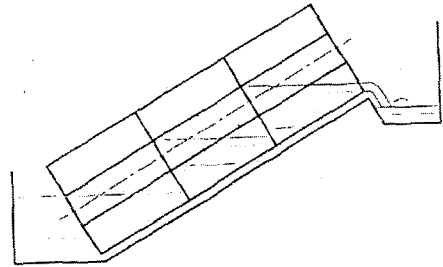


Fig. 2 Basic principle

스크류펌프의 유량결정에 영향을 주는 인자들은 다음과 같다.

- 유입수위
- 스크류날개 직경
- 스크류 축 직경
- 회전속도
- 스크류날개의 피치
- 스크류 날개수
- 설치경사각도

일반적으로 튜브의 직경 (d)은 스크류날개 외경(D)의 1/2 정도가 정상이나 고양정으로 인하여 처짐량을 고려할때는 그 이상이 되기도 한다.

스크류 펌프의 경사각도는 일반적으로 30 - 40° 범위에서 결정되고 경사각도가 클수록 펌프의 유량과 효율은 저하되지만 스크류 길이를 줄일 수 있으므로 고양정에 적용할 때는 유리하다. Table 1는 유량 및 양정에 따라 적절한 경사각도를 표시하고 있다.

Table 2에 스크류날개 직경에 따른 개략적인 유량과 양정을 경사각도별로 정리하였다.

Table 1 Inclination at different capacity and lift

lift	Q (l /sec)		
	20	100	500
- 3m	30°	30°	30°
3 - 4m	35°	35°	30°
4 - 6m	-	37°	35°
6 - 8m	-	-	38°
8m-	-	-	38°

Table 2 Capacity and maximum lift at different inclination

Diameter (mm)	30°		35°		38°	
	Q (l/s)	Lift (m)	Q (l/s)	Lift (m)	Q (l/s)	Lift (m)
400	24	3.1	18	3.7	16	4.0
500	39	3.6	31	4.2	28	4.6
600	62	3.9	48	4.5	42	4.9
700	90	4.5	68	4.5	61	5.6
800	148	4.1	116	4.8	100	5.2
900	192	4.6	152	5.3	128	6.0
1000	250	4.6	195	5.3	166	5.7
1100	310	5.0	245	6.0	207	6.5
1200	380	5.5	300	6.5	250	7.0
1400	540	6.4	430	7.4	360	7.9
1600	745	6.3	586	7.25	500	7.7
1800	980	6.65	770	7.7	650	8.2
2000	1250	7.05	980	8.1	870	8.65
2200	1550	7.9	1200	9.15	1000	9.7
2400	1900	8.25	1500	9.45	1280	10
2600	2300	8	1800	9.2	1500	9.8
2800	2700	8.25	2100	9.6	1800	10.2
3000	3200	8.55	2500	9.9	2160	10.5
3200	3750	8.85	2950	10.3	2500	>10
3400	4300	9.1	3350	>10	2900	>10
3600	4900	9.4	3900	>10	3300	>10
3800	5600	9.7	4400	>10	3750	>10
4000	6350	9.7	5000	>10	4250	>10
4500	8300	>10	6500	>10	5600	>10
5000	10600	>10	8300	>10	7100	>10

스크류 날개수는 보통 2줄 혹은 3줄로 선정된다. 스크류 날개수가 많으면 그 용적효율은 좋아지므로 유량을 증가시킬 수 있다. Fig. 3은 날개수와 경사각도의 변동에 따라 그 용적 효율의 변화를 보여주고 있다.

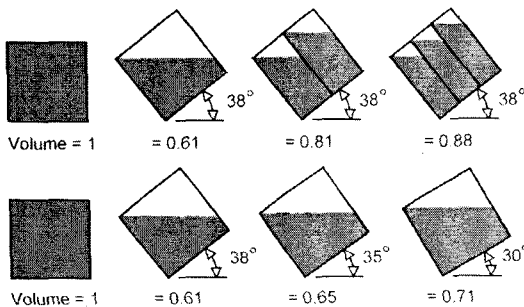


Fig. 3 Factor effecting for screw pump capacity

3.2 스크류 펌프의 양정

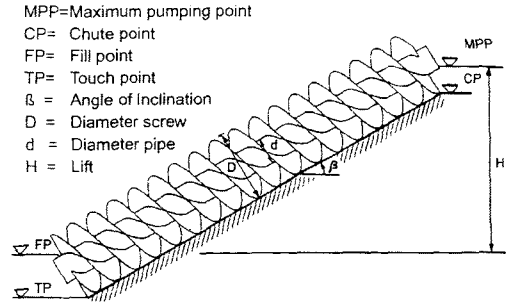


Fig. 4 Lift of Screw pump

Fig. 4는 스크류펌프의 양정을 도시하고 있다. 휠링 포인트 (F.P)는 스크류 날개와 튜브와 연결된 시작부분으로 이때 유입수위에서 최대유량, 최고효율의 성능이 발휘되므로 유입수위는 휠링포인트를 중심으로 설계해야 한다. 유입수위가 휠링 포인트 이하로 내려가며 유량은 점차 감소하게 되고 휠링포인트 보다 유입수위가 올라가더라도 더 이상의 유량증가는 없다.

터치 포인트(T.P)는 스크류 날개의 끝단의 시작부분으로 이론상 유량이 0이 되는 지점이다. 슈트 포인트(C.P)는 수로 상단의 정점으로서 양수된 물이 넘어가는 지점이다. 최대 펌핑포인트(M.P.P)는 실제로 물이 넘어가는 지점으로서 유출부의 최대수위는 최대 펌핑포인트 이하가 되도록 설계되어야 역류되지 않는다.

최대 펌핑포인트(M.P.P)와 슈트포인트(C.P)의 차이는 개략적으로 스크류 외경(D)의 10 - 30% 범위이다. 펌프가 병렬로 여러대 설치될 때는 정지되었는 스크류 펌프를 통하여 물이 역류되지 않도록 슈트 포인트(C.P)를 결정하여야 한다.

스크류 펌프의 양정(H)은 제작사에 따라 다 차이가 있지만 휠링 포인트(F.P)로부터 최대 펌핑 포인트(M.P.P)까지의 높이로 정의할 수 있다.

스크류 펌프의 가장 큰 단점 중 하나는 양정에 제한을 받는다는 것이다.

펌프의 양정의 증가는 곧 스크류 펌프의 길이 증가를 의미하고 이것은 곧 스크류 펌프의 허용치침과 깊은 관련이 있다. 스크류 펌프의 허용치침은 일반적으로 4 - 6mm 범위내에서 설계된다. 그 이상의 허용치침은 수로와 스크류 날개 사이의 누수량이 증가되어 펌프의 효율을 저하시키고 또한 펌프의 상,하부 베어링의수명도 단축시키게 된다. 일반적으로 스크류 펌프의 양정은 약 8m 범위⁽¹⁾이내에서 선정하는 것이 바람직하다. 특별히 그이상의 양정을 설계할때에는 그 처

짐량의 설계에 유의해야 하며 이를 위하여 튜브의 직경을 충분히 설계해야 한다. 그러나 이런 경우에는 튜브직경의 증가로 인한 스크류 외경증가등 비경제적인 설계가 될 수 있으므로 이를 충분히 고려해야 한다.

따라서 어느 한계까지는 양정증가가 가능하여도 그이상의 양정에서는 다단 스크류 펌프를 고려하는 것이 바람직하다. 다단 스크류 펌프를 사용하면 펌프의 댓수는 증가하지만 최적 설계를 할 수 있으므로 보다 경제적인 방안이 될 수 있을뿐 아니라 설치작업도 용이하고 기기의 수명에도 훨씬 안정적인 방안이다,

3.3 스크류 펌프의 효율과 소요동력

일반적으로 스크류펌프의 효율은 원심펌프에 비하여 효율이 낮은 것으로 인식이 되어있다. 그러나 운전점을 벗어날 경우 효율이 급격히 저하되는 원심펌프에 비하여 스크류펌프는 유량의 감소폭이 정격유량의 30%에 이를때까지도 양호한 효율을 유지하는 특성을 가지고 있으며 깊은 유입피트에 의한 흡입수두의 증가나 흡,토출배관으로 인하여 발생하는 관손실이 없으므로 실제적인 동력의 절감효과는 크다고 할수 있다.

일반적으로 스크류 펌프의 효율은 정격유량에서 약75%이다. Fig. 5에서 보여주는 유입수위에 따른 효율(η) 및 유량곡선은 용량이 감소하여도 효율에 큰 감소를 가져오지 않는다는 것을 보여주고 있다. 예를들면 최대유량의 30%의 용량을 펌핑할 때에도 (P수위에서) 효율은 65%를 유지하고 있다. 즉 용량이 100%에서 30%로 변동되었음에도 불구하고 효율의 변화는 75%에서 65%로 감소한 것에 불과하다. 이 그림은 유량변동이 심한, 예를들면 하수처리장의 하수이송용으로 큰 장점이 있음을 가리키고 있다. 즉,

- 1) 최소의 펌프 댓수로 최대의 효율을 얻을수 있다.
- 2) 펌프의 기동회수를 줄일 수 있다.
- 3) 유입피트를 깊게할 필요가 없다.
- 4) 유입유량에 따라 스크류 펌프의 유량이 자동적으로 변동된다.

Efficiency vs Capacity

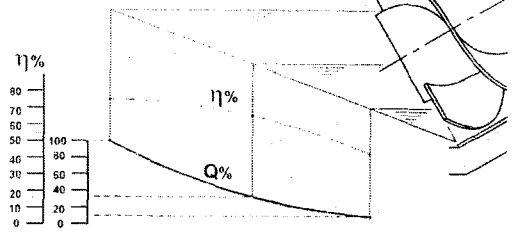


Fig. 5 Changes in capacity and efficiency with varying levels at the inlet the screw

eff (%)

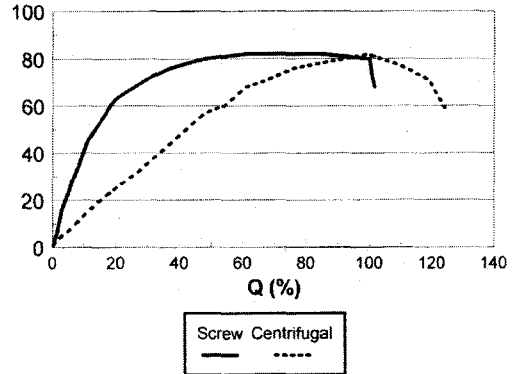


Fig. 6 Comparison for Efficiency variation with variable capacity

Fig. 6은 유량 변동에 따른 스크류 펌프와 원심펌프의 효율변화를 나타낸 것이다. 점선으로 표시된 원심펌프의 효율이 유량이 감소함에 따라 급격히 저하되는 반면 실선으로 표시된 스크류 펌프의 효율은 유량이 감소하여도 효율이 양호하게 유지되는 것을 알 수 있다.

Fig. 7은 동일조건하에서 스크류펌프를 적용할 때 필요한 양정과 원심펌프를 적용할 때 필요한 양정을 도시하였다. 스크류펌프의 특징중 하나는 자연유하의 조건만 사용되므로 압송에 의한 배관손실을 고려할 필요가 없다는 것이다.

따라서 스크류 펌프는 적은 수두손실로 운전된다. 스크류 펌프는 유입하수의 수위 자체만으로 운전이 가능하다. 유입관로 이하의 깊은 피트를 필요로 하지 않는다. 그러므로 H_{ww} 로 표시된 아무 필요가 없는 흡입정 손실을 없앨수 있다.

흡입, 토출관이 없으므로 H_{sl} , H_{dl} 로 표시된 손실수도도 일어나지 않는다. 따라서 스크류 펌프의 필요동

력을 계산할 때는 오직 실양정(Static Head)만 고려하면 된다. 그러나 원심 펌프의 경우에는 여기에 제손실수두를 함께 고려해야 한다. 이 큰차이는 초기 투자비와 유지관리비의 큰비중을 차지하는 전력비를 고려할 때 매우 중요한 사항이다.

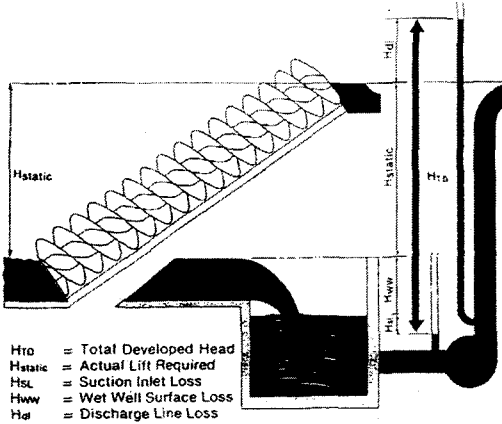


Fig. 7 Comparison for required lift

4. 스크류펌프의 유량계수

4.1 유량계수의 정의

하수처리 기계계산법⁽³⁾에 의하면 스크류 펌프의 이론 양수량은 다음과 같다.

$$Q_{th} = A \cdot v \quad (2)$$

이때 A는 양수 단면적이다.

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \cdot \Phi \\
 &= \frac{\pi}{4} \{ D^2 - (\delta \cdot D)^2 \} \cdot \Phi \\
 &= \frac{\pi}{4} (1 - \delta^2) \cdot \Phi \cdot D^2
 \end{aligned} \quad (3)$$

식 (3)에서 D는 스크류 날개의 외경, d는 축직경, δ 는 스크류 날개 외경에 대한 축직경의 비율인 직경비, Φ 는 양수단면계수를 나타낸다.

$$v = S \cdot n \quad (4)$$

따라서 이론양수량 Q_{th} 는 다음과 같이 바꾸어 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned}
 Q_{th} &= \frac{\pi}{4} (1 - \delta^2) \cdot \Phi \cdot D^2 \cdot S \cdot n \\
 &= \frac{\pi}{4} (1 - \delta^2) \cdot \Phi \cdot \sigma \cdot n D^3 \\
 &= q \cdot n \cdot D^3
 \end{aligned} \quad (5)$$

식 (5)에서 σ 는 스크류 날개 외경에 대한 스크류 날개의 피치의 비율인 피치비를 나타낸다. 이때 q는 유량계수라 하고 다음과 같이 정의된다.

$$q = \frac{\pi}{4} (1 - \delta^2) \cdot \Phi \cdot \sigma \quad (6)$$

그러나 Muysken⁽⁴⁾은 보다 구체적으로 스크류펌프의 유량에 관하여 언급 하였다.

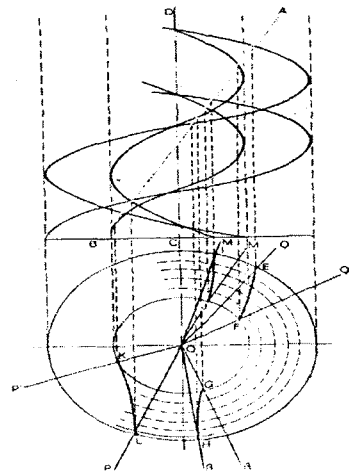


Fig. 8 Determination of content of water between screw flight

Fig. 8에서 보듯이 C-D는 스크류날개의 중심선이고 경사각도 β 에 따른 수면은 A-B로 표시된다. 수면과 이루는 스크류날개의 접선부분을 스크류날개에 투영하면 각각 E-F, G-H와 I-J, K-L로 나타내어진다. 이때 M-O-P, Q-O-R로 표시되는 각도를 각각 α_1, α_2 라 한다. 인접한 두날개 사이의 물의 용적을 계산하기 위하여 스크류날개를 반경 방향으로 세분하면 두날개

사이의 미세두께로 인한 물의 체적은 다음식으로 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \Delta I &= \frac{(a_1 + a_2)}{2 \cdot 360} \cdot 2\pi r \cdot \ell \cdot \frac{D}{Z} \\ &= \frac{(a_1 + a_2) \cdot \pi \cdot f \cdot S \cdot D^2}{360 \cdot a \cdot z} \end{aligned} \quad (7)$$

식 (7)에서 r 은 스크류날개내에서 임의 지점까지의 반경, ℓ 은 인접한 두 스크류날개 사이의 간격, Z 는 스크류날개의 반경방향의 분할수, f 는 반경율(r/D), a 는 스크류 날개수를 나타낸다. 따라서 인접한 두날개 사이의 물의 용적 I 는 다음과 같다.

$$I = \frac{\pi \cdot \sigma \cdot D^3}{360 \cdot a \cdot z} \sum f(a_1 + a_2) \quad (8)$$

이론유량 Q_{th} 는

$$\begin{aligned} Q_{th} &= n \cdot a \cdot I \\ &= \frac{n \cdot \pi \cdot \sigma \cdot D^3}{360 \cdot z} \sum f(a_1 + a_2) \\ &= q \cdot n \cdot D^3 \end{aligned}$$

이때 유량계수 q 는 다음과 같이 정의된다.

$$q = \frac{\pi \cdot \sigma}{360 \cdot z} \sum f(a_1 + a_2) \quad (9)$$

식 (9)는 앞에서 정의된 유량계수식 (6)과 같은 값을 갖는다고 할수 있다. 그러나 상기식에 의해 계산된 유량이 실제 유량과 같다고 할 수는 없다. RITZ⁽²⁾에 의하여 실제유량 Q 와 이론유량 Q_{th} 와의 관계를

$$Q = \varepsilon \cdot Q_{th} \quad (10)$$

로 표시하고 ε 의 값은 이론유량대비 실제 유량의 비율인 유량비를 나타내며 보통 1.15를 적용시키고 있다.

4.2 유량계수의 계산식 유도

Fig. 9는 스크류 날개가 축과 접한 부분이 길이방향

으로 투영되어지면서 나타난 곡선과 경사각도 β 로 인한 수면을 나타내는 직선과의 접점을 찾아서 수면을 표시하는 직선의 식을 구하기 위한 것이다.

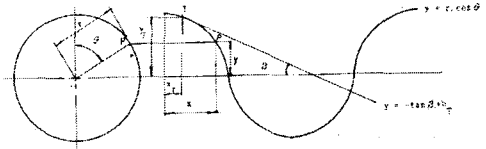


Fig. 9 Contact point at water surface

스크류 날개의 일정한 반경 r 에 의하여 길이 방향으로 투영되어진 곡선은 진폭이 $2r$ 이고 주기가 S 인 코사인 함수로 표시할 수 있고 이때 곡선상의 임의점 P 에 대하여 다음의 관계가 성립한다.

$$y = r \cdot \cos \theta, \quad x = \frac{S}{2\pi} \theta \quad (11)$$

식 (11)으로부터

$$y = r \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{S} \cdot x\right) \quad (12)$$

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{2\pi r}{S} \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{S} \cdot x\right) \quad (13)$$

를 구할수 있고, 또한 수면 경사각도 β 로 인한 직선의 식은 다음과 같다.

$$y = -\tan \beta \cdot x + b_T \quad (14)$$

이곡선의 r 이 $\frac{d}{2}$ 라면 경사각도 β 로 인한 수면이 이루는 직선의 기울기인 $-\tan \beta$ 와 $\frac{dy}{dx}$ 가 같다고 할 수 있으므로 교점 T 의 x 값인 x_T 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\frac{2\pi r}{S} \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{S} \cdot x_T\right) = \tan \beta$$

$$\sin\left(\frac{2\pi}{S} \cdot x_T\right) = \frac{\tan \beta \cdot S}{2\pi r}$$

$$\frac{2\pi}{S} \cdot x_T = \sin^{-1}\left(\frac{\tan \beta \cdot S}{2\pi r}\right)$$

$$x_T = \frac{S}{2\pi} \sin^{-1}\left(\frac{\tan \beta \cdot S}{2\pi r}\right)$$

$$= \frac{\sigma \cdot D}{2\pi} \sin^{-1} \left(\frac{\tan \beta \cdot \sigma \cdot D}{2 \cdot \pi \cdot \delta \cdot D \cdot \frac{1}{2}} \right) \quad (15)$$

식 (15)를 전산프로그램으로 계산이 가능하도록 \tan^{-1} 항으로 표현하면

$$\begin{aligned} x_T &= \frac{\sigma D}{2\pi} \cdot \tan^{-1} \left(\frac{\frac{\tan \beta \cdot \sigma}{\pi \delta}}{\sqrt{1 - \left(\frac{\tan \beta \cdot \sigma}{\pi \delta} \right)^2}} \right) \\ &= \frac{\sigma D}{2\pi} \cdot \tan^{-1} \left(\frac{\tan \beta \cdot \sigma}{\sqrt{(\pi \delta)^2 - (\tan \beta \cdot \sigma)^2}} \right) \end{aligned} \quad (16)$$

교점 T의 y값은 식 (12)로부터 구하면

$$\begin{aligned} y_T &= r \cdot \cos \left(\frac{2\pi}{\sigma D} \cdot x_T \right) \\ &= r \cdot \cos \left(\frac{2\pi}{\sigma D} \cdot \frac{\sigma D}{2\pi} \cdot \sin^{-1} \left(\frac{\tan \beta \cdot \sigma}{\pi \delta} \right) \right) \end{aligned} \quad (17)$$

이다. 이때 $P = \cos \left\{ \sin^{-1} \left(\frac{\tan \beta \cdot \sigma}{\pi \cdot \delta} \right) \right\}$ 로 놓으면

$$\begin{aligned} P^2 &= \cos^2 \left\{ \sin^{-1} \left(\frac{\tan \beta \cdot \sigma}{\pi \cdot \delta} \right) \right\} \\ &= 1 - \sin^2 \left\{ \sin^{-1} \left(\frac{\tan \beta \cdot \sigma}{\pi \cdot \delta} \right) \right\} \\ &= 1 - \left(\frac{\tan \beta \cdot \sigma}{\pi \cdot \delta} \right)^2 \end{aligned} \quad (18)$$

이다. 따라서 $P = \pm \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \beta \cdot \sigma^2}{\pi^2 \cdot \delta^2}}$ 이고

$$\begin{aligned} \text{식 (17)은 } y_T &= r \cdot \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \beta \cdot \sigma^2}{\pi^2 \cdot \delta^2}} \\ &\quad (\text{-부호는 경계조건에 따라 제거됨}) \\ &= \frac{\delta D}{2} \cdot \frac{\sqrt{\pi^2 \sigma^2 - \tan^2 \beta \cdot \sigma^2}}{\pi \cdot \delta} \\ &= \frac{D}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\pi^2 \delta^2 - \tan^2 \beta \cdot \sigma^2} \end{aligned} \quad (19)$$

로 정리되고,

직선식의 절편은 “식 (14)”으로부터

$b_T = y_T + \tan \beta \cdot x_T$ 로 구할수 있다.

지금 우리가 구하려는 유량계수는 스크류 직경 D와 무관하므로 x_T , y_T , b_T 를 각각 D로 나누어 XTR, YTR, BTR 이라고 정의하면,

$$XTR = \frac{x_T}{D} = \frac{\sigma}{2\pi} \cdot \sin^{-1} \left(\frac{\tan \beta \cdot \sigma}{\pi \delta} \right) \quad (20)$$

$$YTR = \frac{y_T}{d} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\pi^2 \delta^2 - \tan^2 \beta \cdot \sigma^2} \quad (21)$$

$$BTR = \frac{b_T}{D} = YTR + \tan \beta \cdot XTR \quad (22)$$

로 나타낸다.

이제 식 (9)로 정의된 대로 유량계수 q를 구하기 위하여 먼저 할일은 Fig. 10에 표시된 것처럼 반경 r의 변화에 따른 각각의 α_1 , α_2 와 f값을 계산하는 일이다.

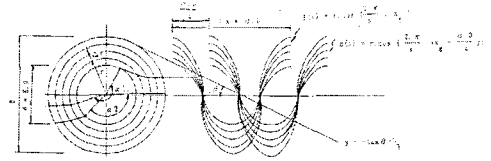


Fig. 10 Variation of α_1 , α_2 with variable r

그림에서 반지름 r의 증분이 $\Delta r = \frac{D}{z}$ 이므로

$\frac{d}{2}$ 에서 시작된 r은 $\frac{D}{2}$ 가 될 때까지 증가하며 m번째의 r은 식 (23)과 같다.

$$\begin{aligned} r_0 &= \frac{\delta D}{2} \\ r_1 &= \frac{\delta D}{2} + \Delta r \\ r_2 &= \frac{\delta D}{2} + 2\Delta r \\ &\vdots \\ r_m &= \frac{\delta D}{2} + m\Delta r \\ &\vdots \\ r &= \frac{\delta D}{2} \end{aligned} \quad (23)$$

반경을 스크류 날개의 외경 D로 나눈값을 f라고 정의하면

$$f_m = \frac{r_m}{D} = \frac{\frac{\delta}{2} \cdot D + m \cdot \frac{D}{z}}{D} = \frac{\delta}{2} + \frac{m}{z} \quad (24)$$

이다. 그림에서 첫 번째 날개의 식은 다음과 같다.

$$f(x) = r \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{S} \cdot x_f\right) \quad (25)$$

두 번째 날개와 첫 번째 날개간의 거리는 스크류 날개의 피치를 날개수로 나눈값 $\frac{\sigma \cdot D}{a}$ 로 나타낼수 있으므로, 두 번째 날개의 식은 다음과 같다.

$$g(x) = r \cdot \cos\left\{\frac{2\pi}{S} \left(x_g - \frac{\sigma D}{a}\right)\right\} \quad (26)$$

경사각도 β 로 인한 수면의 식 $y = -\tan \beta x + b_T$ 와 스크류 날개의 식 $f(x)$, $g(x)$ 와의 교점이 이루는 각도의 차를 각각 α_1 , α_2 라 한다.

α_1 를 구하기 위하여 식 (14)과 식 (25)를 합쳐서 정리하면

$$\begin{aligned} r_m \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{S} \cdot x_f\right) + \tan \beta \cdot x_f - b_T &= 0 \\ f_m \cdot D \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{\sigma \cdot D} \cdot XFR \cdot D\right) + \tan \beta \cdot XFR \cdot D - BTR \cdot D &= 0 \\ f_m \cdot D \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{\sigma \cdot D} \cdot XFR \cdot D\right) + \tan \beta \cdot XFR \cdot D - BTR \cdot D &= 0 \quad (27) \end{aligned}$$

식 (27)을 만족하는 값 XFR1, XFR2를 구하면,

$$\alpha_1 = \frac{2\pi}{\sigma} (XFR2 - XFR1) \quad (28)$$

같은 방법으로 α_2 를 구하기 위하여 식 (14)과 식 (26)를 합쳐서 정리하면

$$\begin{aligned} r_m \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{S} \left(x_g - \frac{\sigma D}{a}\right)\right) + \tan \beta \cdot x_g - b_T &= 0 \\ r_m \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{\sigma} \left(XGR - \frac{\sigma}{a}\right)\right) + \tan \beta \cdot XGR - BTR &= 0 \quad (29) \end{aligned}$$

식 (29)을 만족하는 값 XGR1, XGR2를 구하면

$$\alpha_2 = \frac{2\pi}{\sigma} (XGR2 - XGR1) \quad (30)$$

식 (28), (30)로 구한 α_1 , α_2 를 이용하여, 식 (9)로 정의된 유량계수 q 를 구하게 된다.

4.3 유량계수의 계산결과

유량계수 q 는 경사각 β , 직경비 δ , 피치비 σ 및 날개수 a 의 함수이다. q 가 이들의 변수에 의해 받는 영향을 파악하기 위해 $\beta = 22 \sim 40$, $\delta = 0.3 \sim 0.7$, $\sigma = 0.8 \sim 1.2$, $a = 1 \sim 3$ 에 대하여 계산하고 이들이 q 에 미치는 영향이 Fig. 11 ~ Fig. 23에 제시되어 있다.

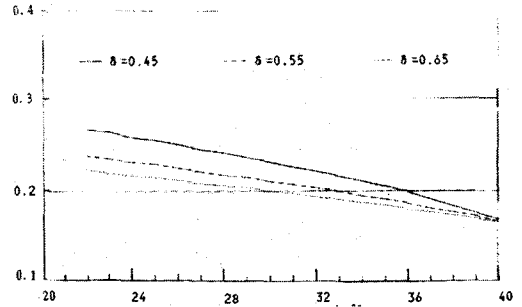


Fig. 11 Flowrate coefficient for different inclination (β) ($a = 3$, $\sigma = 0.8$)

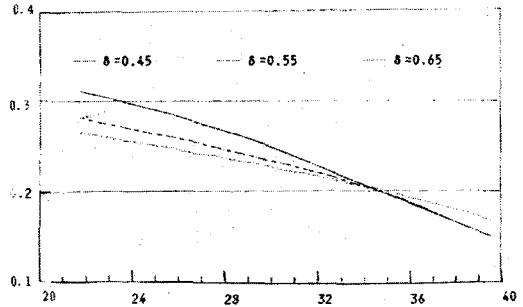


Fig. 12 Flowrate coefficient for different inclination (β) ($a = 3$, $\sigma = 1$)

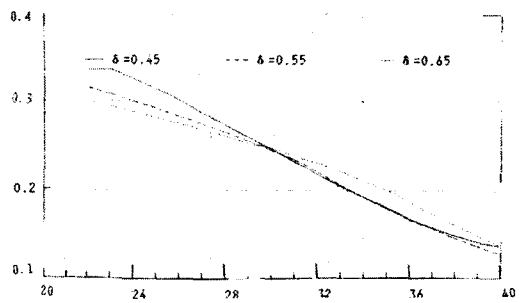


Fig. 13 Flowrate coefficient for different inclination (β) ($a = 3$, $\sigma = 1.2$)

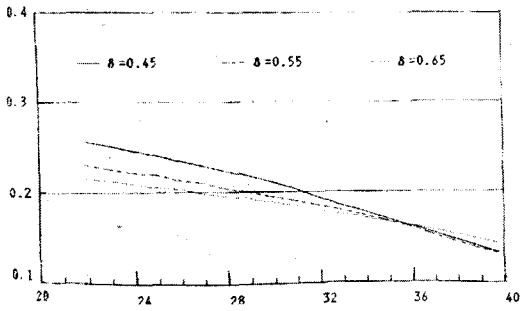


Fig. 14 Flowrate coefficient for different inclination(β)
($a = 2, \sigma = 0.8$)

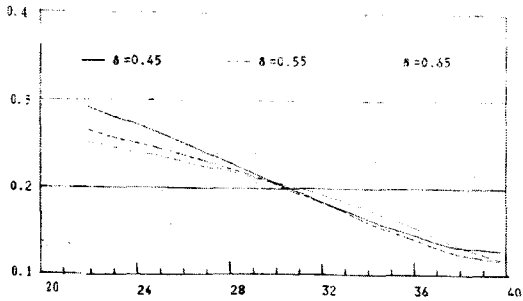


Fig. 15 Flowrate coefficient for different inclination(β)
($a = 2, \sigma = 1$)

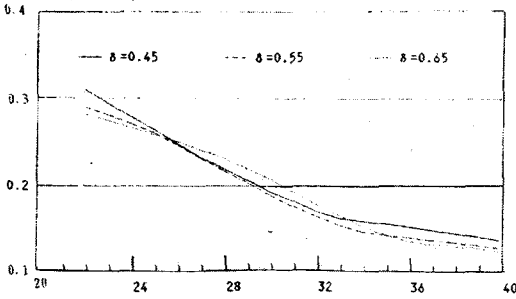


Fig. 16 Flowrate coefficient for different inclination(β)
($a = 2, \sigma = 1.2$)

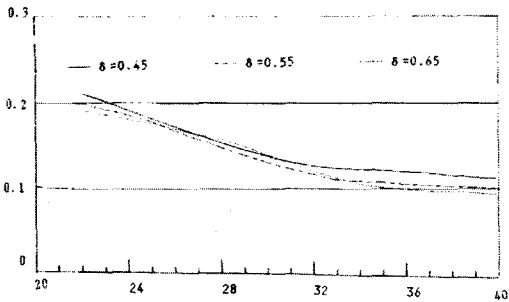


Fig. 17 Flowrate coefficient for different inclination(β)
($a = 1, \sigma = 0.8$)

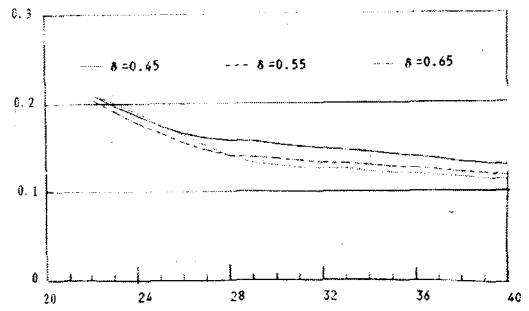


Fig. 18 Flowrate coefficient for different inclination(β)
($a = 1, \sigma = 1$)

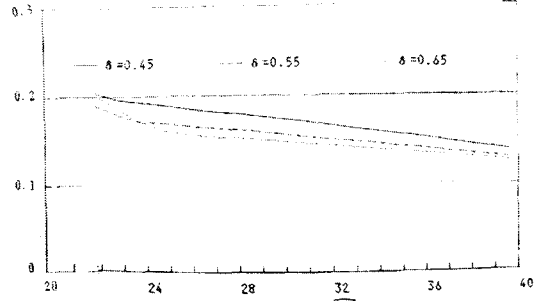


Fig. 19 Flowrate coefficient for different inclination(β)
($a = 1, \sigma = 1.2$)

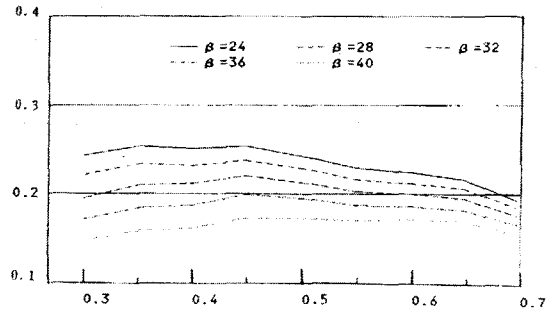


Fig. 20 Flowrate coefficient for different diameter ratio(δ)
($a = 3, \sigma = 0.8$)

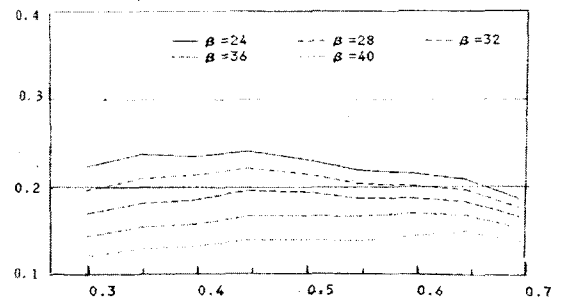


Fig. 21 Flowrate coefficient for different diameter ratio(δ)
($a = 2, \sigma = 0.8$)

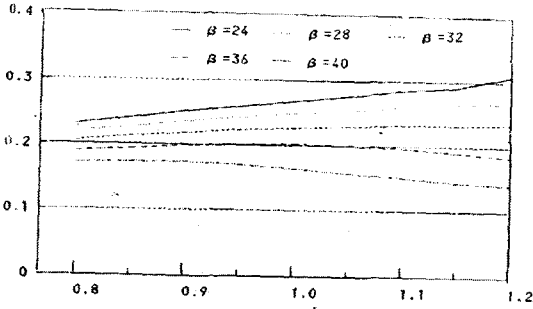


Fig. 22 Flowrate coefficient for different pitch ratio (σ) ($a = 3, \sigma = 0.6$)

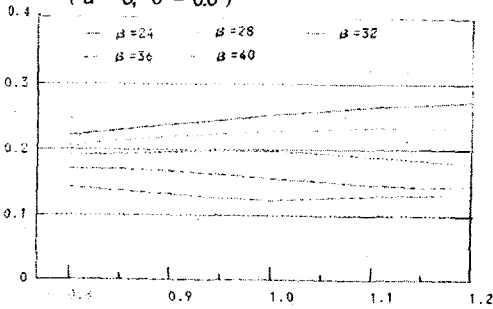


Fig. 23 Flowrate coefficient for different diameter ratio (σ) ($a = 2, \sigma = 0.6$)

4.4 계산결과와 분석

4.4.1 경사각도에 따른 유량 계수의 변화

다른 조건을 동일하게 하고 경사각도를 증가시키면 Fig. 11에서 Fig. 19에 나타나는 바와 같이 그 유량계수는 점차 감소한다. 이때 유량의 감소율은 피치비 σ 가 클수록, 직경비 δ 가 적을수록 더 커진다.

4.4.2 직경비에 따른 유량계수의 변화

직경비가 감소할수록 유량계수가 증가할 것이라는 것은 쉽게 예측할 수 있으며, 실제적으로 Fig. 20,21에서 보는 바와 같이 직경비 0.45이하에서는 직경비 감소에 따라 오히려 유량계수가 감소하므로 직경비 0.45 이하로 설계하는 것은 피해야 한다. 앞에서 언급한 바와 같이 직경비가 적을수록 경사각도 변화에 따른 유량계수의 변화율은 더 크다.

즉 작은 경사각 경우에는 직경비에 따른 유량계수의 차이가 크나, 큰 경사각 경우에는 직경비 감소에 따른 유량계수의 증가율이 둔화되거나 유량계수가 오히려 감소한다. 바꾸어 말하면 낮은 경사각에서는 작

은 직경비 일수록 경제적인 설계가 되고 높은 경사각에서는 직경비가 클수록 경제적인 설계가 된다.

4.4.3 피치비에 따른 유량계수의 변화

Fig. 22,23을 통해서 피치비 증가에 따른 유량계수의 변화가 경사각도가 작은 경우에는 증가하는 방향으로, 경사각도가 큰 경우에는 감소하는 방향으로 나타나는 것을 알 수 있다.

동일한 조건에서는 피치비가 작을수록 스크류펌프의 중량이 증가하므로, 경사각도가 낮은 경우에 피치비를 증가시키면 스크류 펌프 중량을 감소시키면서 유량계수를 증가시킬 수 있게 된다.

4.4.4 날개수에 따른 유량계수의 변화

동일한 조건에서 스크류날개수가 증가할수록 유량은 증가한다. 특히 한줄날개의 유량을 나타내는 Fig. 17,18,19를 검토하면 두줄 혹은 세줄의 유량계수에 비해 극히 낮은 값을 나타내므로 가능한 한줄 날개는 사용하지 않는 것이 좋다.

4.4.5 유입수위 변동에 따른 유량계수의 변화

스크류 펌프의 유량은 유입수위에 따라서도 크게 변한다. Fig. 24로부터 유입수위 h_i

$$h_i = r \cdot \cos \beta + \frac{D}{2} \cos \beta = \left(\frac{\delta + 1}{2} \right) D \cos \beta \quad (31)$$

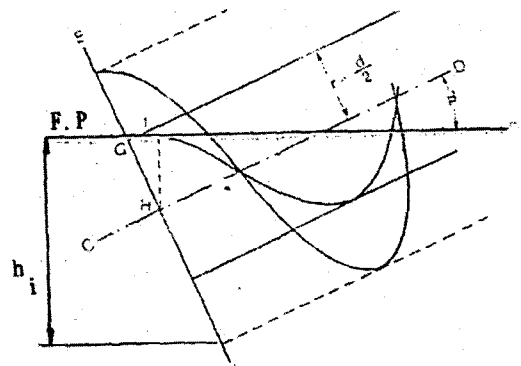


Fig. 24 Variable level at the inlet to the screen

이 높이 h_i 의 수위를 웰링포인트라 하며 유량이 최

대가 될 수 있는 수위이다. 이 높기 이상으로 유입수위가 증가하여도 수위증가량 만큼 점 I를 통하여 율류되므로 유량은 더 이상 증가하지 않는다. 반대로 수위가 낮아짐에 따라 유량은 점차 감소한다. Fig. 25, 26은 유입 수위 변동에 따른 유량의 변화 예를 그래프로 표시한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 수위가 낮아짐에 따라 유량이 감소하다가 수위가 40% 이하로 떨어지면 유량이 거의 없게 된다.

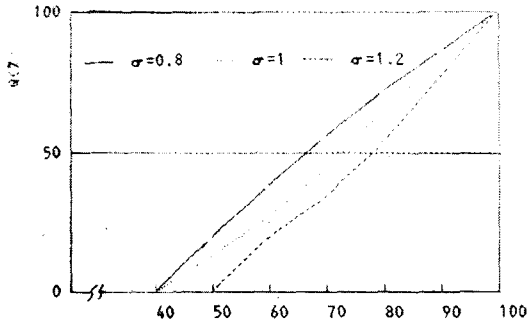


Fig. 25 Flowrate coefficient for different influent water level ($\beta = 30$, $\alpha = 0.6$)

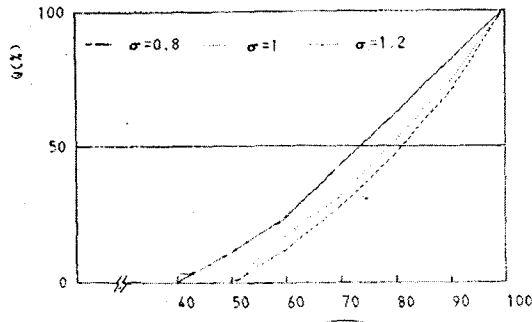


Fig. 26 Flowrate coefficient for different influent water level ($\beta = 33$, $\alpha = 0.5$)

5. 결론

스크류 펌프의 유량특성을 파악하기 위하여 유량계수를 유도하고, 이를 경사각도, 직경비, 피치비, 날개수, 유입수위 등의 각조건에 따라 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 경사각도 증가에 따른 유량계수의 감소율은 피치비가 클수록 직경비가 적을수록 더커진다.
- 2) 직경비가 감소할수록 유량은 증가하지만 0.4이하가 되면 오히려 유량은 감소한다.
- 3) 피치비 증가에 따른 유량계수의 변화가 경사각도가 작은 경우에는 증가하는 방향으로, 경사각도가 큰 경우에는 감소하는 방향으로 나타난다.
- 4) 날개수가 증가 할수록 유량계수는 증가한다. 특히 1중 날개의 유량계수는 2중 혹은 3중 일때의 유량계수에 비해 현저히 작은 값을 가지므로 설계시 피하는 것이 좋다.
- 5) 유입수위는 일정수위, 즉 휠링포인트 이상이 되어도 유량은 더 이상 증가하지 않지만 반대로 휠링포인트 이하로 떨어지면 유량은 크게 감소되며, 휠링포인트의 40% 이하의 수위로 내려가면 유량은 거의 0이 된다.

참고문헌

- (1) 환경부, 1998, "하수도 시설기준", 한국수도협회, pp.301 ~ 302.
- (2) RITZ Pumpenfabrik OHG, 1968, "Handbuch der Wasserforder Schnecken", pp.22~25.
- (3) 眞島卯太郎, 1976, "하수처리기계 계산법", pp. 32 0~321.
- (4) Ir. I. Muysken, 1931, "Calculation of the Screw Pump Efficiency", De Ingenieur