논클로그 및 스크류식 원심펌프의 임펠러 형상이 펌프성능에 미치는 영향

김동주* · 서상호* · 성순경**

Effects of the Impeller Shapes on the Non-Clogging and the Screw-type Centrifugal Pump Performances

Dong-Joo Kim*, Sang-Ho Suh*, Sun-Kyung Sung**

Key Words: Pump Performance(펌프성능), Screw-Type Pump(스크류식 펌프), Non-Clogging Pump(논클로그 펌프), Impeller Shape(임펠러 형상), Number of Vanes(깃 수)

ABSTRACT

In this study, the effects of the impeller shapes on the pump performances of the non-clogging and the screw-type centrifugal pumps are experimentally studied. The characteristics of total head, efficiency and power of the non-clogging pump increase as the number of vanes increases. The screw-type centrifugal pump with the linear-shape vane shows a little better performance than that of the screw-type centrifugal pump with the curved-shape vane. The differences in the characteristics of total head, efficiency and power are, however, insignificant. Therefore, it is advisable that, considering the convenience of pump manufacturing, the screw-type centrifugal pump with the linear-shape vane should be used. This study also compares the pump characteristics of the non-clogging pump and screw-type centrifugal pump. The characteristics of total head and efficiency of the non-clogging pump are better than those of the screw-type centrifugal pump. The screw-type centrifugal pump requires more shaft power than the non-clogging pump.

1. 서 론

현재 산업현장에서 가장 널리 사용되고 있는 원심펌프는 임펠러의 회전에 의해서 액체를 양수하는 유체기계의 한 종류로서 그 구조가 간단하고 취급이 용이하며 송출유량과 양정의 범위가 넓을 뿐만 아니라 비교적 효율이 높기 때문에 사용범위가 계속해서 확대되고 있다. 원심펌프중에서 논클로그 펌프는 임펠러내의 유로를 넓게 하여 섬유, 고형물 및 이물질이 걸리지 않게 임펠러를 특수하게 설계한 펌프로서 펌프구경의 70%

* 숭실대학교 기계공학과
** 경원전문대 건축설비과

정도 크기의 고형물도 수송 가능한 펌프이다. 따라서, 논클로그 펌프는 각종 산업의 설비용으로 오수, 정화처리되지 않은 하수, 제지펄프액, 큰 고형물이 함유된 액체, 마모성 슬러리 현탁액 등 특수액체의 수송에 적합한 펌프이다.[1~3] 논클로그 펌프의 일종인 스크류식 원심펌프는 나선형으로 된 1매의 깃을 갖는 임펠러로 어획한 생선을 하역하기 위해 개발된 펌프이다. 스크류식 원심펌프도 논클로그 펌프와 함께 슬러리, 현탁액과 같은 섬유고형물이 포함된 액체를 수송하기 위해 널리 이용되고 있다. 펌프 형식은 축방향 흡입, 연직 상방향 토출의 편흡입 단단 원심펌프로 분류된다.[4~8]

일반적으로 원심펌프는 임펠러의 형상과 작동조건이 펌프의 성능에 미치는 영향이 크다고 할 수 있다.[9~11] 임펠러의 형상과 작동조건 변화에 따르는 펌프의 특성변화에 대한 연구가 선진각국에서는 활발히 진행되어 펌프성능에 대한 자료가 잘 정립되어 있다. 국내에서는 대부분의 원심펌프 제조업체가 중소기업으로서 기술개발 및 연구활동이 저조한 상태이므로 펌프에 관한 연구자료가 충분히 확보되어 있지 못한 실정이다. 본 연구에서는 논클로그 펌프와 스크류식 원심펌프에 대한 펌프성능을 좌우하는 임펠러의 깃수와 형상변화가 펌프성능에 어떤 영향을 미치는가를 고찰하여 논클로그 펌프와 스크류식 원심펌프의 펌프특성을 비교하고, 그 결과를 펌프 제조회사의 기초설계자료로 제공하여 논클로그 펌프에 대한 기초자료를 구축하도록 하는 것이 연구의 목적이다. 논클로그 펌프에서는 임펠러 외경을 같게 하여 깃 수를 변화시키고, 스크류식 원심펌프에서는 임펠러외경과 깃의 전개각도를 같게 한 상태에서 회전수를 변화시키면서 임펠러 깃 형상과 회전수 변화가 펌프의 양정 및 효율 그리고 축동력 등 펌프성능에 미치는 영향을 연구하고자 한다.

2. 논클로그 펌프의 형상과 임펠러 모델의 선정

2.1. 논클로그 펌프의 형상

논클로그 펌프는 고형물이 포함된 액체를 양수하기 위하여 임펠러내의 유로와 출구 폭이 넓게 설계된 특징을 가진 원심펌프의 일종이다. 논클로그 펌프의 종류는 임펠러 형상과 깃수에 따라 다양하다고 할 수 있다. 논클로그 펌프를 임펠러 형상에 따라 구분해 보면 Fig. 1과 같다.

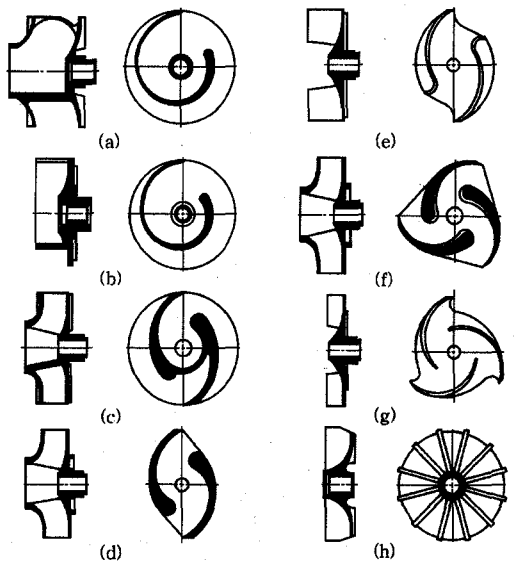

Fig. 1 Non-clogging pumps with different impeller shapes: (a) closed single vane type, (b) open single vane type, (c) closed single passage type, (d) closed two passage type, (e) open two passage type, (f) closed three passage type, (g) open three passage type, (h) free flow type

Fig. 1에서 (a)와 (b)는 깃 수가 한 개인 논클로그 펌프로서 (a)는 밀폐형(closed type)이고, (b)는 개방형(open type)이다. 이들은 깃의 수가 적기 때문에 깃의 수가 많은 임펠러에 비해 큰 고형물을 양수할 수 있다. (c), (d), (e)는 깃 수가 2개인데, (c)와 (d)는 밀폐형, (e)는 개방형이다. (c)는 깃의 수가 2개이긴 하지만 유체의 통로는 하나이다. 또한, (d)와 (e)와 같이 슈라우드(shroud)를 절단한 것은 가능하면 고형물이 막히지 않게 하기 위함이

다. 그림에서 (f)와 (g)는 각각 깃의 수가 3개인 밀폐형 그리고 개방형의 임펠러로서 (a)~(e)에서와 같이 깃의 수가 1개 또는 2개인 경우보다 유체 속에 함유된 고형물이 적을 때 사용할 수 있다. (h)는 논클로그 펌프대신에 오·배수의 이송에 이용되는 볼텍스(vortex) 펌프의 일종으로 와류를 일으켜 유체를 강제이송할 수 있는 임펠러이다.

2.2. 임펠러 모델의 선정

본 연구에서는 Fig. 2와 같이 널리 이용되는 밀폐형 임펠러를 갖는 논클로그 펌프를 설계하여 논클로그 펌프의 깃 수 변화가 양정-유량 특성 및 효율-유량 특성 그리고 축동력-유량 특성에 미치는 영향을 연구하였다.

Fig. 2의 (a)는 임펠러의 외경이 219 mm 이고, 출구폭이 120 mm이며, 깃의 수가 1개인 경우이고, (b)는 출구폭과 임펠러의 외경이 (a)와 같으면서 깃의 수가 2개인 경우이며, (c)는 임펠러의 외경은 219 mm이지만, 출구폭은 (a)보다 20 mm 작고, 깃의 수가 3개인 경우이다. (d)와 (e)는 스크류식 원심펌프로서 임펠러 깃의 전개각도는 500° 로 하고 경사각은 58.6° 로 설계하였다. (d)는 임펠러 입구부분을 직선으로 설계한 직선형 임펠러 모델이고, (e)는 임펠러 입구부분을 곡선으로 설계한 곡선형 임펠러 모델이다. 두 모델의 임펠러 외형의 치수는 같게 하였으며 곡선형 임펠러 모델의 출구부분의 깃의 길이는 직선형 임펠러 모델의 경우보다 길게 하였다.

3. 성능시험

3.1. 실험장치

논클로그 펌프와 스크류식 원심펌프의 임펠러 깃 수와 형상이 펌프성능에 미치는 영향을 연구하기 위하여 선정한 펌프는 Table 1과 2에 제시된 바와 같으며 성능시험은 청수에서 Fig. 3과 같은 실험장치를 이용하여 수행하였다. 실험을 위한 상류와 하류의 배관은 각각 흡입 및 송출구경의 4배가 되는 직관을 설치하여 물의 흐름을 안정되게 하였으며 플랜지 측면으로부터 구경의 2배 되는 지점에 압력측정용 구멍을 뚫고 부르동관식(Bourdon type) 압력계와 진공계를 평면에 대해 수직으로 설치하였다. 송출유량을 측정하기 위하여 삼각위어(v-notch weir) 및 온나비위어(surpressed weir)를 사용하였다.

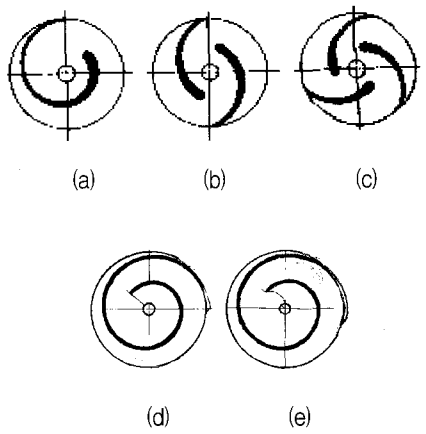

Fig. 2 Geometric configurations of testing impellers :
(a) non-clogging pump with one vane,
(b) non-clogging pump with two vanes,
(c) non-clogging pump with three vanes,
(d) linear screw-type pump, (e) curved screw-type pump

Table 1 Specification of the non-clogging pump and motor

Specification		Value
Non-clogging Pump	Capacity range	0~5 m^3/min
	Head	12~28 m
	Inlet diameter	150 mm
	Outlet diameter	125 mm
	Impeller diameter	219 mm
Motor	Power	22 kW
	Voltage	380 V (3 ϕ)
	Pole	4
	Frequency	60 Hz

Table 2 Specification of the screw-type pump and motor

Specification		Value		
Screw-type Pump	RPM	1320	1560	1780
	Capacity range	0 - 1.723 m^3/min		
	Head	9.9 - 24 m		
	Inlet diameter	100 mm		
	Outlet diameter	80 mm		
	Impeller diameter	221 mm, width 156 mm		
Motor (TBTE)	Power	3.75kW	7.5 kW	
	Voltage	220V (3 ϕ)		
	Pole	4		
	Frequency	60 Hz		

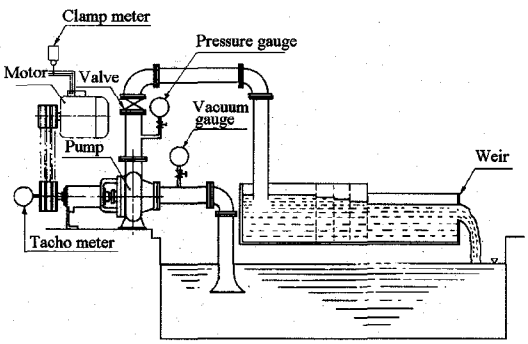

Fig. 3 Schematic diagram of the experimental apparatus

3.2. 실험방법

본 연구에서는 Fig. 2와 같이 제작한 5개의 임펠러를 실험대상으로 하여 펌프에서 임펠러를 교체하는 방법으로 송출량의 변화에 따른 전양정, 축동력, 펌프의 효율, 흡입양정 그리고 송출양정을 측정하였다.[12~13] 펌프의 성능시험은 청수를 사용하여 상온에서 KS B 6301 원심펌프, 사류펌프 및 축류펌프의 시험 및 검사방법과 KS B 6302 펌프 송출유량 측정방식에 의하여 송출유량은 수조에 설치된 직각 삼각위어를 이용하여 측정하였다. 송출부에 부착된 밸브를 차단상태에서부터 밸브를 단계적으로 개방하면서 차단점으로부터 각각의 송출유량에 대한 송출압력과 흡입압력, 축동력 및 회전수를 측정하였다 배관에 설치된 진공계와 압력계를 이용하여 흡입양정과 송출양정을 계산하였고, 축동력은 펌프에 공급되는 전류값을 측정하여 계산하였다. 논클로그 펌프와 같이 오수 및 하수 등과 같은 특수한 액체를 양수하는 경우의 펌프성능은 상온의 청수보다 성능이 현저하게 변화하는 것으로 알려져 있다. 점성이 높은 액체를 양수하는 경우 임펠러, 케이싱 등의 측벽에서의 유체마찰 등의 영향에 의해 청수를 취급하는 경우보다 송출유량, 전양정 그리고 효율의 저하로 소요동력이 증대된다. 그러나 KS B 6301 또는 KS B 6303에 의하면 이송액체의 점도가 크거나 고형물을 함유하는 경우에도 청수를 사용하여 펌프의 성능특성을 구하고, 액체의 비중, 점도, 함유고형물에 따른 송출유량, 양정, 효율의 저감율을 구한 뒤 실제 액체의 사양에서 청수의 사양으로 환산하는 방법을 사용한다

4. 결과 및 검토

4.1. 논클로그 펌프의 성능특성

4.1.1. 송출유량에 따른 전양정의 변화

논클로그 펌프에서 깃 수의 변화에 따른 송출유량에 대한 성능특성의 변화를 Fig. 4와 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 4의 결과들은 다음 식과 같이 정의된 무차원 성능변수들을 이용하여 무차원화하여 Fig. 5에 나타내었다.

$$P = L_p/\rho N^3 D^5 \tag{1}$$

$$\Psi = gH/N^2 D^2 \tag{2}$$

$$\phi = Q/ND^3 \tag{3}$$

여기서, N, D, ρ는 각각 축회전속도(rpm), 임펠러의 직경(m) 및 사용유체의 밀도를 의미한다.

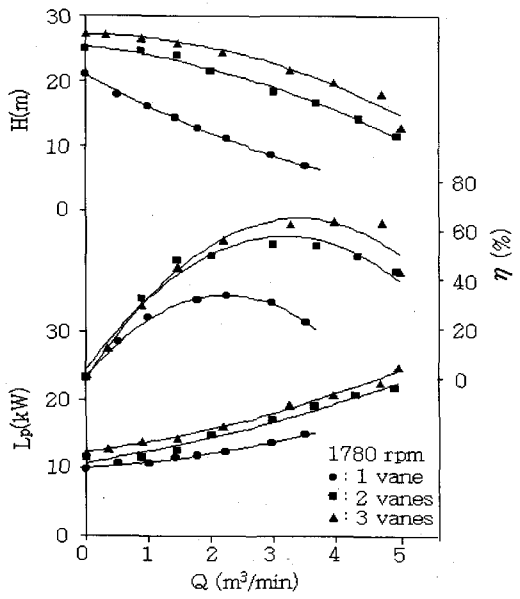

Fig. 4 H-Q, η-Q, and Lp-Q relationships of non-clogging pump for different number of vanes

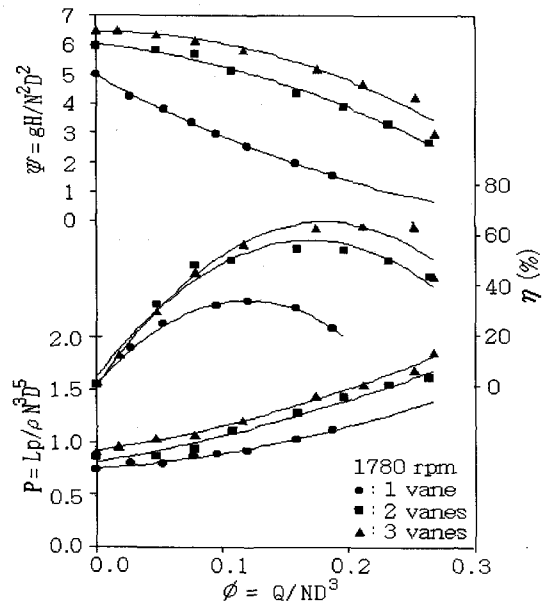

Fig. 5 Ψ-ϕ, η-ϕ, and P-ϕ relationships of non-clogging pump for different number of vanes

Fig. 4와 Fig. 5에서 보는 바와 같이 차단점으로부터 송출유량이 증가함에 따라 전양정은 점차적으로 감소한다. 송출유량에 대한 전양정의 변화는 전양정-유량곡선에서 보는 바와 같이 차단점에서는 깃 수가 증가함에 따라 전양정은 높게 나타남을 알 수 있다. 유량이 증가함에 따라 깃 수가 1개인 논클로그 펌프는 깃 수가 2개 또는 3개인 경우보다 양정이 크게 감소한다. 깃 수가 1개인 논클로그 펌프의 최대유량은 깃 수가 2개 이상인 경우보다 작게 되는데 그 이유는 깃 수가 작은 경우는 유체에 작용하는 원심력이 적어 송출유량이 적어지기 때문이다. 무차원변수를 이용하여 나타낸 성능특성은 Fig. 5에서 보는 바와 같이 Fig. 4 의 결과와 동일하게 나타난다. 그 이유는 회전속도의 변화가 없이 깃 수의 변화만 고려하여 성능특성을 비교하였기 때문이다.

4.1.2. 송출유량에 따른 펌프효율의 변화

송출유량에 대한 효율의 변화(η-Q곡선)는 유량이 증가함에 따라 깃 수가 한개인 경우보다 깃 수가 2개 또는 3개로 증가하면서 효율이 높게 나타나고 깃 수가 증가하면서 최대효율점이 송출유량이 많은쪽으로 이동하고 있다.

4.1.3. 송출유량에 따른 축동력의 변화

축동력과 송출유량의 관계(Lp-Q곡선)에서 송출유량이 증가함에 따라 축동력은 증가하고 있다. 차단점에서는 깃의 수가 달라도 축동력은 거의 차이를 나타내지 않지만, 유량이 증가함에 따라 축동력은 깃의 수가 증가할 수록 증가의 폭도 커지고 있다. 차단점 부근에서 축동력의 변화가 거의 없는 것은 전양정은 증가되지만 송출유량이 0이 되어 소요동력이 유효한 일로 바뀌지 않고 열로 소산되기 때문이다. 전양정-유량곡선 및 효율-유량곡선에서와 마찬가지로 깃 수가 2개 또는 3개인 경우의 축동력은 깃 수가 한개인 경우보다 증가하지만 그 증가폭은 효율이나 양정보다는 낮게 나타난다.

4.2. 스크류식 원심펌프의 성능특성

4.2.1. 송출유량에 대한 전양정의 변화

Fig. 6은 직선형 깃과 곡선형 깃으로 된 임펠러를 스크류식 원심펌프에 장착하여 회전수를 변화시켜 가면서 송출량에 대한 전양정의 변화를 실험으로 구한 결과이다. 논클로그 원심펌프의 경우에서 검토한 바와 같이 식 (1)~(3)을 이용하여 무차원화된 결과를 Fig. 7에 나타내었다.

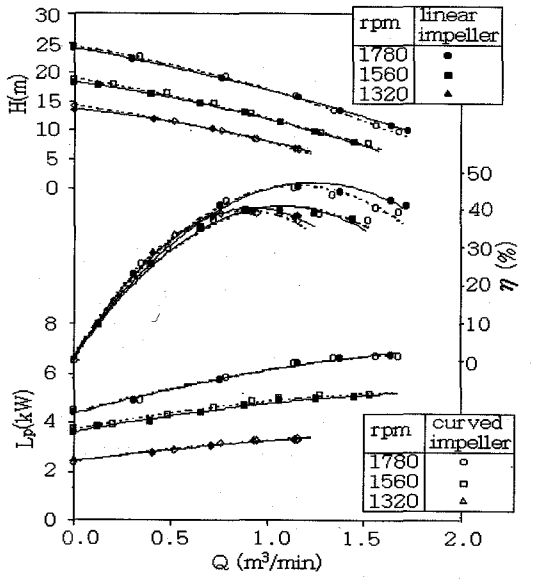

Fig. 6 H-Q, η-Q, and Lp-Q relationships for screw-type centrifugal pump with 5 the linear and curved impellers

Fig. 6과 Fig. 7에서 실선과 점선은 각각 직선형과 곡선형 임펠러를 장착한 스크류식 원심 펌프에 대한 성능을 곡선접합(curve-fit)한 성능곡선을 나타낸다. 회전수가 증가하면 전양정이 높아지고 최대 송출유량도 증가한다. 임펠러 깃 형상 변화에 따른 차단점 부근의 전양정은 곡선형 임펠러를 장착한 스크류식 원심펌프가 직선형 임펠러를 장착한 경우보다 크게 나타나지만, 송출유량이 증가함에 따라 그 차이는 점점 줄어들어 최대유량점에서 같게 나타난다. 회전수가 1780 rpm일 때는 차단점에서 곡선형 깃을 갖는 임펠러가 직선형 깃을 갖는 임펠러보다 전양정이 높게 나타나지만 송출유량이 증가하면서 그 차이가 점점 줄어들어 송출유량이 1.2 m^3/min인 곳에서 전양정은 같아진 뒤, 계속 송출유량이 증가함에 따라 곡선형 깃을 갖는 펌프의 전양정이 직선형의 경우보다 작아지는 경향을 나타내고 있다.

이상과 같은 결과로부터 스크류식 원심펌프의 임펠러 깃 형상변화에 따른 전양정의 변화는 차단점 부근을 제외하고는 거의 유사함을 알 수 있다. 이러한 결과는 Fig. 7의 무차원화된 결과를 보면 확연히 알 수 있다. 즉, 스크류식 원심펌프의 임펠러 깃 형상변화에 따른 전양정의 변화는 회전수의 변화에 따른 영향이 거의 없게 나타난다.

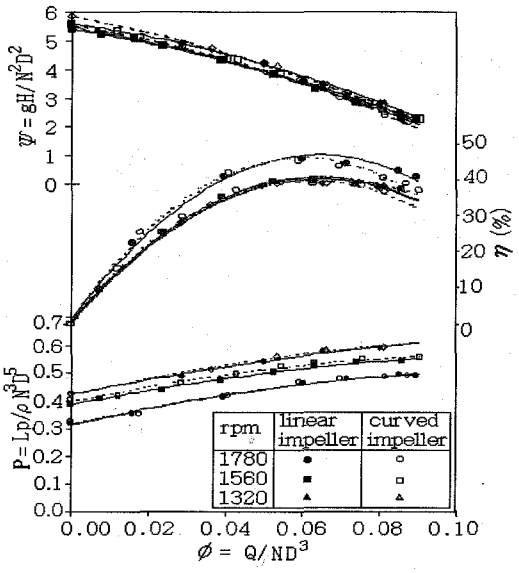

Fig. 7 Ψ-ϕ, η-ϕ, and P-ϕ relationships for screw-type centrifugal pump with the linear and curved impellers

4.2.2. 송출유량에 대한 효율의 변화

송출유량에 대한 펌프효율(η-Q)의 관계를 나타낸 곡선에서 회전수가 1320 rpm에서 1560 rpm, 그리고 1780 rpm으로 증가하면서 최고 효율점이 송출유량이 많은 쪽으로 이동하고 있고, 효율도 크게

높아짐을 알 수 있다. 회전수가 1320 rpm일 때 최고 효율은 송출유량이 0.9 m^3/min 부근에서 나타난다. 최대 유량점에서의 펌프효율은 직선형 깃을 갖는 임펠러가 곡선형 깃을 갖는 임펠러보다 다소 높은 것을 알 수 있다. 회전수가 높아짐에 따라 최대효율점은 η-Q 곡선의 우측으로 이동하고, 최대 유량점 부근에서 임펠러 깃 형상 변화가 펌프효율에 미치는 영향이 커진다. 즉 곡선형 깃을 갖는 임펠러의 최대효율이 직선형 깃을 갖는 임펠러의 효율보다 낮게 나타남을 알 수 있다. 회전수가 1560 rpm과 1780 rpm일 때도 임펠러 깃 형상이 효율에 미치는 영향은 최대 효율점까지는 거의 없음을 알 수 있다. 그러나, 최대 효율점을 지나면서 송출유량이 증가함에 따라 직선형 깃을 갖는 스크류식 원심펌프의 효율이 곡선형 깃을 갖는 스크류식 원심펌프의 효율보다 다소 크게 나타난다. 또한, 무차원화된 결과를 살펴보면, Fig. 6의 결과와 유사하게 나타나지만, 임펠러가 직선형이든지 곡선형인지 상관없이 1560 rpm과 1320 rpm의 결과는 동일하게 나타났다.

4.2.3. 송출유량에 대한 축동력의 변화

송출유량에 대한 축동력(L_p-Q)의 관계에서 회전수가 증가하면 축동력은 증가한다. 송출유량이 증가하고 회전수가 증가하면 차단점 부근의 축동력보다 최대 유량점 부근의 축동력이 훨씬 많이 요구됨을 알 수 있다. 즉, 회전수가 높아지면 송출유량의 증가에 따라 축동력이 증가하게 된다. 회전수가 1320 rpm과 1780 rpm일 때 스크류식 원심펌프의 송출유량에 대한 축동력의 변화는 직선형 깃을 갖는 임펠러와 곡선형 깃을 갖는 임펠러의 경우에 거의 같게 나타나고 있다. 그러나, 회전수가 1560 rpm일 때는 직선형 깃을 갖는 임펠러의 축동력이 곡선형 깃을 갖는 임펠러의 축동력보다 다소 감소하고 있음을 알 수 있다.

이상의 성능특성으로부터 스크류식 원심펌프의 깃 형상은 곡선형보다 직선형으로 채택하는 것이 바람직함을 알 수 있다. 직선형 깃을 갖는 스크류식 원심펌프는 곡선형 깃을 갖는 경우보다 효율과 양정을 다소 높일 수 있으며 축동력도 감소시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.

4.3. 논클로그 및 스크류식 펌프의 성능특성 비교

서론에서 이미 기술한 바와 같이 스크류식 원심펌프는 논클로그 펌프와 사용용도가 거의 같다. 스크류식 원심펌프는 논클로그 펌프보다 유동통로가 넓게 설계되어 있고, 나선형 임펠러를 갖는 구조이기 때문에 상대적으로 고형물이 많은 액체의 이송에 많이 이용된다. 본 연구에서 스크류식 원심펌프와 논클로그 펌프의 성능특성을 비교하여 적합한 펌프를 선정할 때 참고가 될 자료를 제시하고자 한다. Fig. 6은 스크류식 원심펌프와 논클로그 펌프의 성능특성을 실험하고 그 결과를 비교한 그림이다. 논클로그 펌프의 성능실험에 사용된 임펠러의 외경, 출구폭, 그리고 깃의 수는 각각 219 mm, 120 mm, 2개로 하였으며, 스크류식 원심펌프의 깃 형상은 직선형과 곡선형 깃 중에서 효율과 양정이 높으면서 축동력이 작게 소요되는 직선형 깃을 갖는 임펠러 모델을 채택하였다. 실험에 사용된 스크류식 원심펌프와 논클로그 펌프의 흡입·송출구의 직경, 용량 등이 동일하지 않기 때문에 성능시험후 송출유량은 최대송출유량에 대한 비로 무차원화하고 전양정과 펌프효율, 축동력도 최대값을 기준으로 무차원하여 두 펌프의 성능을 비교하였다. 실선은 스크류식 원심펌프에 대한 성능곡선이고, 점선은 논클로그 펌프에 대한 성능곡선을 나타내고 있다. 차단점에서는 송출유량에 대한 전양정이 두 펌프가 거의 일치하지만 송출유량이 점점 증가함에 따라 논클로그 펌프의 전양정이 스크류식 원심펌프의 전양정보다 크게 나타난다. 펌프효율은 논클로그 펌프가 스크류식 원심펌프보다 크게 나타난다. 그러나, 논클로그 펌프는 스크류식 원심펌프보다 송출유량이 작은 곳에서 최대효율점이 나타난다. 축동력은 스크류식 원심펌프가 차단점에서 뿐만 아니라, 최대효율점에서도 논클로그 펌프보다 많이 소요됨을 알 수 있다. 위와 같은 결과자료를 토대로 고형물의 함유량이 많아서 스크류식 원심펌프를 반드시 사용해야만 하는 경우를 제외하고는 논클로그 펌

프를 사용하는 것이 양정과 효율을 높게 유지하면서 소요축동력을 절감할 수 있을 것으로 판단된다.

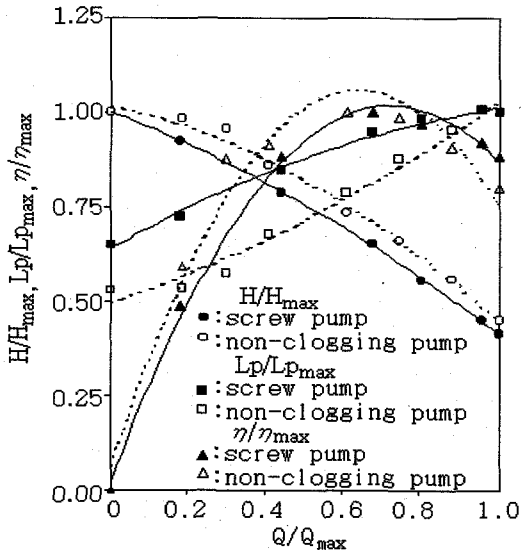

Fig. 8 Comparison of pump characteristics between screw-type centrifugal pump and non-clogging pump

5. 결 론

논클로그 펌프의 깃 수 변화가 펌프의 양정 및 효율 그리고 축동력에 미치는 영향과 논클로그 펌프의 대용으로 사용되는 스크류식 원심펌프의 성능을 실험적으로 연구한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 논클로그 펌프는 차단점에서 깃 수가 증가함에 따라 전양정은 높게 나타나고, 송출유량이 증가함에 따라 깃 수가 한개인 논클로그 펌프는 깃 수가 2개 또는 3개인 경우보다 양정이 낮게 나타나고 급격히 감소하는 현상을 나타낸다. 송출유량에 대한 효율의 변화는 유량이 증가함에 따라 깃 수가 하나인 논클로그 펌프보다 깃 수가 2개 또는 3개인 경우에 효율이 높게 나타난다. 축동력은 차단점에서 거의 차이가 없지만, 송출유량이 증가함에 따라 깃의 수가 증가할 수록 축동력은 증가한다.
2) 스크류식 원심펌프에서 임펠러 깃 형상이 직선형인 경우는 곡선형인 깃의 경우보다 전양정과 펌프효율이 다소 높게 나타나고, 축동력도 작아지지만 그 차이는 그다지 크지 않다. 따라서, 펌프제작시 직선형 깃이 곡선형 깃보다 가공이 용이하므로 직선형 깃을 갖는 임펠러로 스크류식 원심펌프를 설계하는 것이 바람직하다고 할 수 있다.
3) 동일한 용도로 사용되는 스크류식 원심펌프와 논클로그 펌프의 성능을 비교한 결과 논클로그 원심펌프의 양정과 효율은 스크류식 원심펌프보다 다소 높게 나타나고, 스크류식 원심펌프는 논클로그 펌프보다 큰 축동력을 필요로 한다.

참고문헌

(1) 梶原滋樂, 1989, 新版 ポンプとその使用法, 丸善株式會社, pp. 185~188.
(2) 효성펌프편람, 1994, 효성중공업 주식회사.
(3) I. J. Karassik, W. C. Krutzsch, and W. H. Fraseir, 1976, Pump Hand Book, McGraw-Hill Book Company, pp. 2-51, 2-52.
(4) 田中和博, 田口孝司, 池尾 茂, 1988, "スクリュ-式遠心ポンプの羽根車に働く半徑方向推力", 日本機械學會論文集(B編), 54卷, 504号, pp. 2017~2022.
(5) 伊藤幸雄, 谷清人, 大場利三郎, 伊藤降, 平田泰茂, 1989, "スクリュ-式 スラリ-ポンプの內部流れの觀察",日本機械學會論文集(B編) 55卷, 515号 ,pp. 1911~1916.
(6) 荒井通晴, 田中和博, 池尾 茂, 1990, "働く軸スラスト", タ-ボ機械, 第18卷, 第11号, pp. 7~12.
(7) 松井良雄, 宮江伸一, 岡島 厚, 1992, "三次元差分によるスクリュ-式 遠心 ポンプ內 ポテンシャル流れの解析", 日本機械學會論文集

(編), 58卷, 547号, pp. 791~798.

(8) 松井良雄, 宮江伸一, 木綿隆弘, 岡島 厚, 1994, "スクリュ-式遠心ポンプの完全特性と能", 吸込性日本機械學會論文集(B編), 60卷, 576号, pp. 2785 ~ 2791.

(9) 안태현, 김문헌, 1994, "원심펌프 임펠러의 출구각도 변화에 따른 성능특성", 공기조화·냉동공학회 하계학술발표회 논문집, pp. 257~262.

(10) 김영대, 서상호, 조민태, 유상신, 1994, "원심펌프 임펠러 깃 끝의 형상변화가 성능에 미치는 영향", 공기조화·냉동공학회 하계학술발표회 논문집, pp. 205~208.

(11) 서상호, 김동주, 조민태, 유상신, 신철수, 1995, "임펠러 깃 끝의 형상과 회전수 변화가 펌프성능에 미치는 영향", 대한기계학회 춘계학술대회 논문집, pp. 337~340.

(12) KS B 6301, 1978, 원심펌프, 사류펌프 및 축류펌프의 시험 및 검사방법, 한국공업표준협회.

(13) KS B 6302, 1978, 펌프 송출량 측정방법, 한국공업표준협회.