

# 임펠러 출구각이 펌프 내부유동 및 특성에 미치는 영향

이선기\*

## Influence of Impeller Outlet Angles in Pump Flow Patterns and Characteristics

Sun-ki Lee\*

*Key Words: Mixed-Flow Pump(사류펌프), Flow Pattern(유동패턴), Reverse Flow(역류), Separation-Stall(박리-실속), Pump Characteristics(펌프특성), Pressure Distribution(압력분포), Oil Film Method(유막법)*

### ABSTRACT

For the improvement of the pump characteristics in the partial capacity range, it must be verified that the influence of the impeller design factor on the internal flows and the influence of the impeller internal flows on the pump characteristics. In this paper, in order to understand the influence of outlet angles on flow conditions and characteristics of a mixed flow pump, experiments were carried out for four kinds of impeller, which have the same inlet angle distributions and meridional section shapes. Results shown that separation and stall in the partial capacity range were enlarged by the outlet angles. The relationship between the separation and the stall at the impeller and the discharge flow conditions were clarified.

### 1. 서 론

사류펌프는 비속도가 축류펌프와 원심펌프의 중간에 위치하고 있으며 차단 양정, 차단 축동력이 축류펌프보다 적고 또한 동일 용량의 원심펌프보다 소형-경량화가 가능하다는 등의 이점이 있다. 이와 같은 이점 때문에 과거에 축류 및 원심펌프가 차지하였던 영역을 빠른 속도로 대체해 가고 있다.

그러나, 부분유량영역에서 양정-유량곡선에서 극대-극소점이 나타나는 불안정 특성이 있고, 진동 소음이 다소 높으며, 캐비테이션이 발생하기가 쉽기 때문에 특

성의 개선이 요구되고 있다.

부분유량영역에서 발생하는 상기의 현상 중, 불안정 특성 및 진동 소음은 임펠러 내부의 박리(separation)-실속(stall) 및 임펠러 입출구부의 역류(reverse flow)에 기인<sup>(1)</sup>함으로 박리-실속 및 역류가 펌프의 부분유량영역 성능을 지배한다고 할 수 있다.

부분유량영역 특성을 개선하기 위해서는 임펠러의 깃수, 현절비, 단면 형상, 입출구 직경, 입출구각 분포 등등의 설계 파라메타가 내부유동에 미치는 영향과 임펠러 내부유동이 펌프 특성에 미치는 영향을 명백히 밝혀야 한다. 그러나 사류펌프의 경우에는 임펠러 설계 파라메타 중 1개의 인자를 변경하면 다른 인자도 함께 변해 버림으로 설계 파라메타 개개의 영향에 대한 명확한 설명은 매우 어렵다. 또한, 부분유량영역에

\* 한전 전력연구원 원자력연구원  
E-mail : sunlee@kepri.re.kr

서는 상술한 바와 같이 박리-실속이나 임펠러 입출구 부 역류의 발생으로 인하여 임펠러 내부의 유동은 설계점 부근의 유동과는 전혀 다른 매우 불안정하고 복잡하여 유동을 정확히 이해하기가 곤란하다.<sup>(2-4)</sup>

한편, 부분유량영역 특성을 개선하기 위한 연구는 계속되어 지고 있어, 임펠러 hub비의 영향,<sup>(5,6)</sup> 유동형식의 영향,<sup>(7)</sup> 임펠러 익 설치각의 영향,<sup>(8)</sup> 사류각의 영향,<sup>(9)</sup> 임펠러 자오면 단면 형상의 영향<sup>(10)</sup> 등의 연구 결과로부터 내부유동 상태 및 불안정 특성의 발생 매카니즘이 해명되고 있다. 특히, 불안정 특성의 발생은 임펠러 입구측 tip side에서의 박리-실속이 발달-확대됨으로 인한 손실의 증가가 주원인으로 설명된다.

본 저자 등은 사류 임펠러의 부하분포가 내부유동과 특성에 미치는 영향에 대해서 유막법을 이용한 내부유동의 가시화, 벽면 비정상 압력분포 측정 등을 통한 실험적인 검토를 하여 왔다.<sup>(11-13)</sup> 그 결과 불안정 특성의 발생은 임펠러 입구측 박리-실속보다도 임펠러 입구측의 대규모 역류를 동반하는 유동 패턴의 급변에 기인하고 있음을 알았다. 그러나 임펠러 부하분포를 변경함으로써 인해 임펠러 입출구각 분포, 자오면 단면형상 등이 동시에 변해 버리는 결과를 초래하여 각각의 설계 파라메타 영향을 명확히 설명하지 못했던 점이 있었다.

이선기(1997)의 연구<sup>(14)</sup>에서는 임펠러 출구각 분포와 임펠러 자오면 단면 형상이 동일하고 임펠러 입구각만이 상이한 3종류의 임펠러를 대상으로 각종 실험을 통하여 임펠러 입구각 변경으로 불안정 특성의 발생 원인으로 알려진 임펠러 tip side에서의 박리-실속을 촉진 혹은 억제시킴으로써 박리-실속과 불안정 특성과의 관련에 대해서 검토하였다.

본 논문에서는 상기 참고문헌<sup>(14)</sup>의 연장으로 임펠러 입구각 분포, 자오면 단면 형상 및 출구 유동형식이 동일하고 출구각 분포만이 상이한 3개의 임펠러를 설계, 제작하여 임펠러 출구각 변경(입구각 분포, 자오면 단면 형상 및 출구유동형식은 동일)에 의한 임펠러 내부유동 변화와 내부유동 변화가 부분유량영역에서의 양정-유량 특성에 미치는 영향에 대하여 검토하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

본 시험에 사용한 사류펌프는 참고문헌<sup>(14)</sup>와 동일하며 단면도를 Fig. 1에 나타낸다. 펌프는 임펠러 입구측에 정류판, 출구측에는 안내익이 설치되어 있으며 임펠러

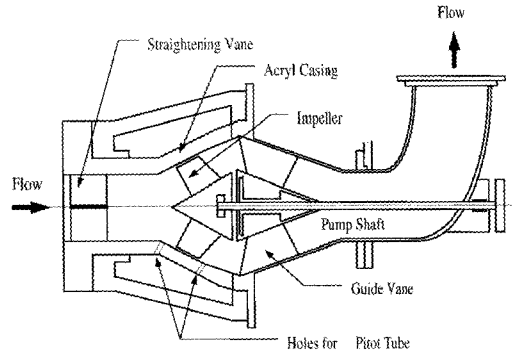
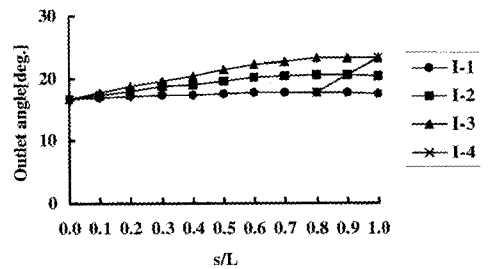
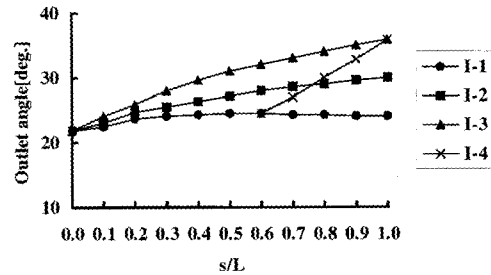


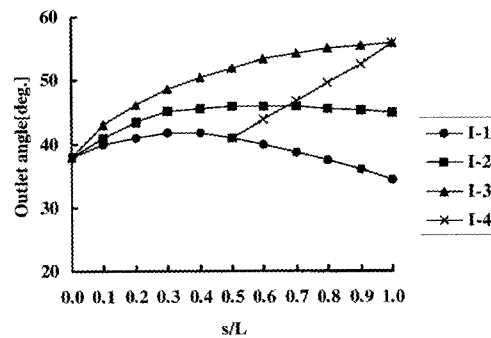
Fig. 1 Schematic of test pump



(a) tip side



(b) mean side



(c) hub side

Fig. 2 Impeller design angle distribution

입구 직전 및 출구 직후에 각각 유속 측정 공을 설치하였다. 한편 임펠러의 외주는 투명한 아크릴 케이싱으로 제작되어 있다.

각 임펠러는 자오면 단면 형상 및 입구각 분포는 동일하고 임펠러 출구각 분포만이 상이하다. 임펠러 출구각을 변화시킬 때 기준이 된 임펠러는 I-1이고, 임펠러 중앙유선에서 I-2는 I-1보다 6° 크게, 또한 I-3은 I-2보다도 6° 크게 설계되어 있다. 임펠러는 유동형식이 free vortex에 가깝게 하기 위해 hub side에서는 출구각 변화가 중앙 유선에 비해 크며 tip side에서는 반대로 적게 하였다. 한편 I-4의 출구각 변경 방법은 임펠러 깃 전연에서 중앙 부근까지는 기준 임펠러인 I-1과 일치시키고 깃 후연 부근에서 급격하게 I-3과 일치한 출구각 분포를 갖게끔 설계하였다. 이것은 출구각 변경방법과 내부유동과의 관계 및 내부유동과 펌프 특성과의 관계를 설명하려는 의도이다. Fig. 2에 임펠러 설계각 분포를 도시하였다.

실험은 펌프의 일반성능, 임펠러 입출구부의 유속분포, 유막법을 이용한 내부유동의 가시화, 임펠러 외주의 비정상 압력분포 등의 측정을 수행하였다. 자세한 실험측정 방법 및 사용 기호 등은 참고문헌<sup>(14)</sup>를 참조하기 바란다.

### 3. 실험결과 및 검토

#### 3.1 토출속 유동

Fig. 3에는 각 임펠러에 대한 성능곡선을 나타낸다. 양정은 임펠러 출구각이 클수록 대유량 영역에서 큰 값을 나타내고 있으나 저유량 영역에서는 출구각에 관계없이 거의 같은 값을 나타내고 있다. 한편 I-4인 경우 대유량 영역에서의 양정은 I-2와 I-3 사이를 나타내고 있다. 또한 기준 임펠러인 I-1을 제외하고 모두 부분유량영역에서 양정-유량 곡선에 극대-극소점이 존재하는 불안정특성이 나타나고 있다.

최고 효율점을 나타내는 유량은 I-4를 제외하고 임펠러 출구각이 클수록 대유량 영역에서 나타나고 있다. 이것은 임펠러 출구각의 증가로 펌프의 작동 영역이 대유량 영역으로 확대되기 때문이다. 대유량 영역 임의의 유량에서의 양정은 임펠러 출구각이 클수록 큰 결과를 나타내고 있으나 축동력 또한 증가하므로 임펠러 출구각의 증가가 펌프효율에 미치는 영향은 적다.

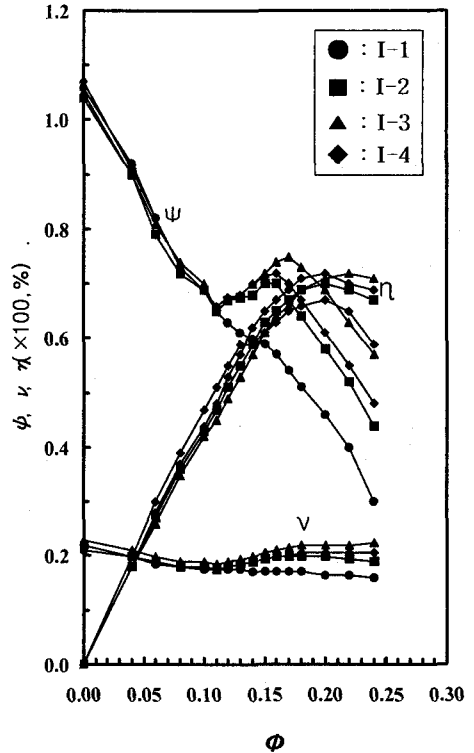
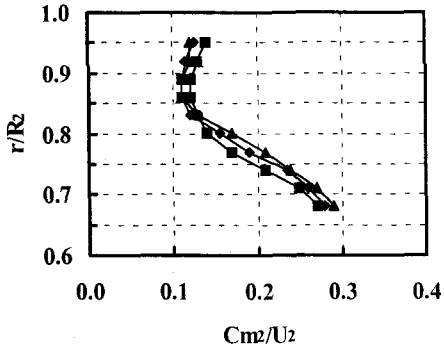


Fig. 3 H-Q characteristics

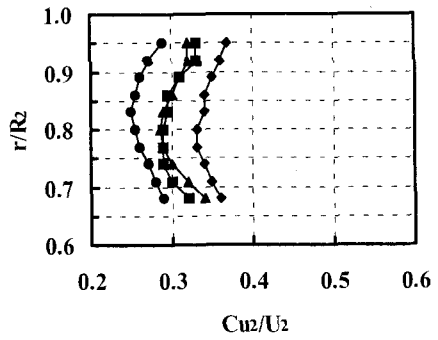
Fig. 4-5에는 각 임펠러의 유량계수 0.20, 0.14, 0.12에서의 자오면 방향 및 원주방향 유속분포를 비교하여 나타내었다. 단, 자오면 방향 유속분포에서는 I-1은 I-2와 거의 같은 값을 나타내고 있으므로 I-1은 제외하고 I-2, I-3, I-4를 대표로 나타내었다. 그림에서 가로축은 무차원화 유속성분을, 세로축에는 반경비를 나타낸다. 먼저 유량계수 0.20의 자오면 방향 유속성분은 각 임펠러에서 tip side보다 hub side에서 큰 경향을 나타내고 있으며 값은 hub side에서 I-2 임펠러가 약간 작으며 tip side에서 약간 크게 나타나고는 있으나 전반적으로 각 임펠러의 값에는 큰 차이를 보이지 않고 있다.

유량계수가 0.14, 0.12로 작아짐에 따라 유량계수 0.20과 비교하면 hub side에서의 유속성분 저하가 현저하다. 유량계수 0.10에서는 그림에 나타내지는 않았으나 hub side에서의 유속성분이 부(-)의 값을 나타내 hub side에서 임펠러 출구 역류가 발생하고 있다.

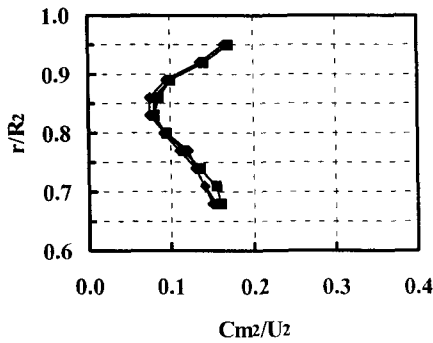
한편, 원주방향 유속분포는 I-3이 반경방향 전 영역에서 보다 큰 값을 나타내고 있으며 I-1이 가장 작은 값을 나타내고 있다. I-2와 I-4는 I-3과 I-1의 중간에



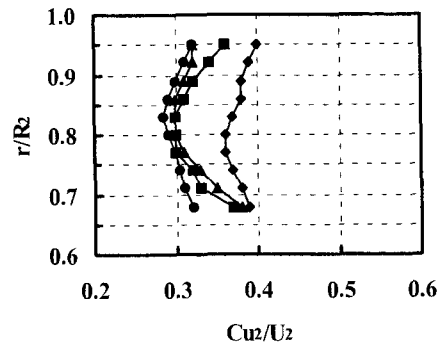
(a)  $\phi=0.20$



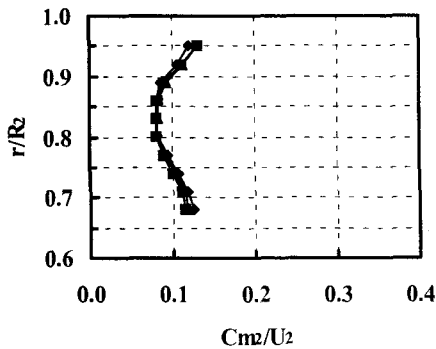
(a)  $\phi=0.20$



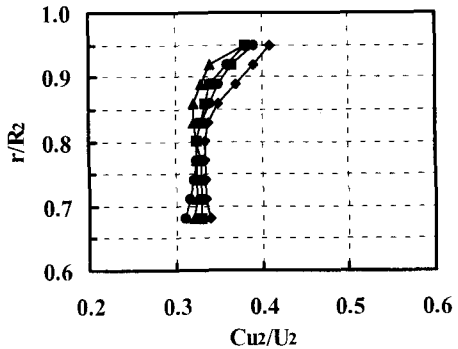
(b)  $\phi=0.14$



(b)  $\phi=0.14$



(c)  $\phi=0.12$



(c)  $\phi=0.12$

Fig. 4 Meridional velocity distribution at impeller outlet

Fig. 5 Circumferential velocity distribution at impeller outlet

위치하고 있으며 두 임펠러의 차는 매우 작다. I-4의 출구각은 I-3과 같음에도 불구하고 이와 같은 원주방향 유속분포에 차가 나타나고 있는 것은 I-4의 출구각 분포 변경 방법의 영향으로 임펠러 출구 후연 부근에서의 급격한 출구각 변경이 임펠러 출구 유동에 충분한 선회성분을 주지 못하기 때문이다. 양정-유량 특성곡선의 유량계수 0.20에서의 양정도 임펠러 출구 원주방향 유속성분의 크기를 반영하여 I-3이 가장 높고 I-1이

가장 낮으며 I-4는 I-2에 가까운 값을 나타내고 있다. 유량계수 0.14의 자오면 방향 유속분포는 각 임펠러 모두 tip side에서 유속이 크게 나타나지만 각 임펠러 값의 반경방향 분포는 상기의 유량계수 0.2의 경우에서와 같이 거의 일치한 값의 분포를 나타내고 있다. 한편, 원주방향 유속분포는 I-3이 가장 큰 값의 분포를 하고 있다. 이 유량에서의 양정도 I-3이 가장 큰 값을 나타내고 있다.

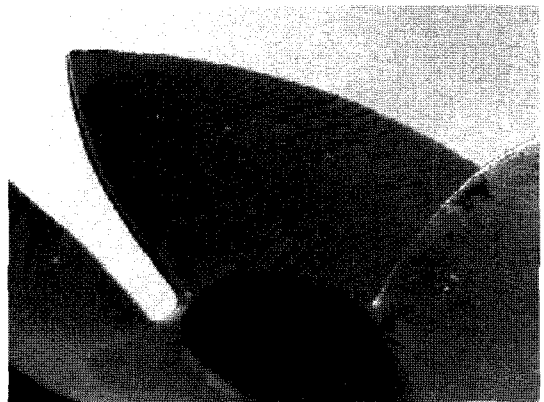
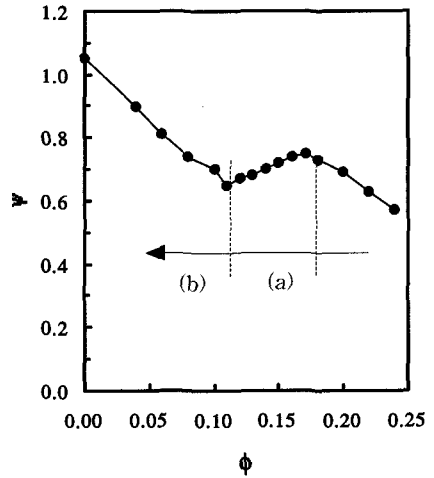
유량계수 0.12에서도 자오면 방향 유속분포에 각 임펠러의 차이는 나타나지 않고 거의 일치한 값의 분포를 나타내고 있다. 원주방향 유속분포에서는 유량계수 0.20과 0.14에서 나타났던 각 임펠러의 차이는 많이 줄어들었으나 크기는 여전히 I-3이 가장 크며 I-1이 가장 작은 값을 나타내고 있다. 특히 유량계수 0.20, 0.14에서 I-3이 가장 큰 값의 분포를 나타내었으나 유량계수 0.12에서는 각 임펠러의 차가 많이 줄어들어 이 유량영역에서는 I-3의 원주방향 속도가 현저하게 떨어지고 있음을 알 수 있다. 이 유량영역에서의 양정은 각 임펠러에서 큰 차이는 나타나지 않고 있다. 또한 이 유량영역 부근에서의 I-3의 큰 양정 강하(불안정 특성의 발생)는 임펠러 출구에서의 속도헤드(원주방향 유속)의 현저한 저하를 반영하고 있다. 부분유량영역에서의 이와 같은 원주방향 유속의 현저한 저하 원인에 대해서는 후술하기로 한다. 그림에 나타내지는 않았지만 출구 정압분포는 각 임펠러에서 큰 차이를 보이지 않고 있으며 거의 일치한 값의 분포를 나타내고 있으나 전압분포는 상기의 원주방향 유속성분의 영향을 받아서 각 유량에 대해서 상기의 원주방향 유속분포와 유사한 경향을 나타내고 있다.

한편 임펠러 출구측 역류개시 유량은 각 임펠러에서 거의 같은 유량에서 발생하고 있다. 저자의 연구결과<sup>(11~13)</sup>에 의하면 임펠러 출구의 역류개시 유량은 임펠러 부하분포 및 자오면 단면 형상의 영향이 크며 본 연구에서와 같이 유동 형식 및 자오면 단면 형상이 동일한 임펠러는 거의 같은 유량에서 출구역류가 발생한다.

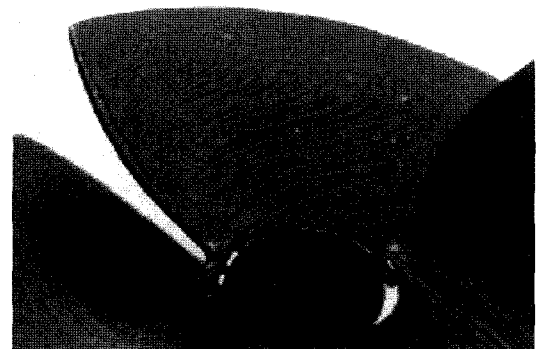
### 3.2 흡입측 유동

저자의 연구에 의하면 임펠러 흡입측 역류는 Fig. 6과 같이 (a)박리-실속의 발달에 따른 임펠러 tip side에서 국소적으로 발생하는 소규모 역류와 (b)입의 유량에서 부압면(suction surface) 속 깊숙이 까지 급격히 발달하는 대규모 역류의 존재가 알려져 있다. 또 임펠러 내부에서 소규모 역류가 발생한 경우에 더욱 유량을 감소해 가면 입의 유량에서 대규모 역류로 발달해 간다. Fig. 6에 유량의 변화에 따른 임펠러 부압면 유막패턴 변화를 양정-유량곡선과 대응하여 일례를 I-3에 대하여 나타낸다. 본 논문에서 검토하는 I-1, I-2, I-3, I-4도 흡입측 역류의 초기발생은 소규모 역류이며, 그 후 유량의 감소와 더불어 어떤 유량에서 대규모 역류로 발달하는 2단계 변화를 하고 있다(Fig. 6 참조).

흡입측 소규모 역류 개시 유량은 I-1, I-2, I-3, I-4에서 유량계수 0.130, 0.132, 0.134, 0.134를 나타내고 있으며 대규모 역류로 발달된 유량은 각 임펠러에서 유량



(a)  $\phi=0.12$



(b)  $\phi=0.10$

Fig. 6 Oil film pattern of Impeller I-3

계수 0.11의 유량에서 발생하고 있다. 임펠러 tip side에서 국소적으로 발생하는 소규모 역류 발생은 박리-실속의 발달에 의한 것으로써 직접적인 원인은 임펠러 입사각의 증대에 의한 것이다.

한편 대규모 역류 개시 유량은 전술한 바와 같이 임펠러 출구 부하분포 및 자오면 단면 형상의 영향이 크기 때문에 본 논문에서 검토되는 임펠러 출구 유동 양상이 동일하고 자오면 단면 형상이 동일한 임펠러에서는 흡입측 대규모 역류 발생은 거의 같은 유량에서 발생하고 있다.

### 3.3 후리에 1차 계수에 의한 검토

Fig. 7은 임펠러 외주에 압력센서를 설치하여 측정된 임펠러 외주의 압력파형에 대해서 후리에 1차 계수의 유량에 대한 변화(유량계수 0.20, 0.12, 0.10)를 임펠러 전연( $s/L=0.0$ )에서 후연( $s/L=1.0$ )에 걸쳐서 나타낸다. 여기에서 후리에 1차 계수인 임펠러 깃과 깃 사이의 압력파형의 진폭을 근사하고 있다.

우선 각 임펠러의 유량계수 0.20과 0.12의 계수를 비교하면 유량계수 0.12에서는 깃 전연에서부터 후연에 걸쳐서 전반적으로 낮아지고 있다. 각 임펠러의 유량계수 0.12에서는 임펠러 흡입측에 박리-실속에 의한 역류가 발생하고 있는 유량이며 이때의 1차 계수 값의 저하는 이 역류의 규모를 나타내고 있다. 즉, I-3에서 계수의 저하가 가장 현저하며 상기의 박리-실속이 가장 현저하게 발달하고 있음을 알 수 있다.

유량계수 0.12와 0.10을 비교하면 유량계수 0.10에서의 계수의 저하는 각 임펠러 모두 깃 전연에서부터 중앙부근에 걸쳐서 나타나고 있으나 특히 전연 부근에서의 저하가 현저하다. 이 유량은 임펠러 부압면 깊숙이 까지 발달하는 대규모 흡입측 역류가 발생하는 유량에

해당되며 계수의 저하는 대규모 역류의 발생 규모를 반영하고 있다.

한편 임펠러 후연에서의 1차 계수는 유량에 의한 커다란 변화는 보이지 않고 있다.

### 3.4 유막패턴에 의한 검토

Fig. 6에 나타난 바와 같이 임펠러의 흡입측 유동은 유량의 감소와 더불어 정류에서 박리-실속에 의한 흡입측 역류, 부압면 속 깊숙이 까지 발달하는 대규모 역류로 발달하는 패턴을 나타내고 있으며 이와 같은 유동 패턴은 참고문헌<sup>(14)</sup>의 결과에서는 입구각이 비교적 큰 임펠러에서 나타난다.

유량계수 0.12의 유막패턴을 보면 tip side 임펠러 중앙 부근에서 후연에 걸쳐서 반경방향으로 굽은 패턴이 관찰된다. 이 반경방향으로 굽은 패턴의 발생은 임펠러 출구 부근에서 유동이 임펠러 깃을 따라 흐르지 못하고 임펠러 날개로부터 떨어지고 원심력의 영향을 받아서 반경방향으로 굽어지는 것으로 생각된다. 그 결과 부분유량영역에서는 임펠러 전연으로부터의 박리와 더불어 후연에서도 박리하고 있음을 나타낸다. 또 정류시에 입구 hub side에서 관찰되는 반경방향 유동도 부분유량영역에서 어느 정도 개선되는 모습도 상기의 박리 규모의 영향이다.

### 3.5 압력편차에 의한 검토

상술한 바와 같이 임펠러 출구각의 변경으로 인해 임펠러 내부유동은 부분유량영역에 있어서 임펠러 전연의 박리-실속 유동과 더불어 임펠러 후연 부근에서도 박리-실속한다. 이 임펠러 후연에서의 박리-실속 유동도 임펠러 전연의 박리-실속과 같이 강한 변동 유

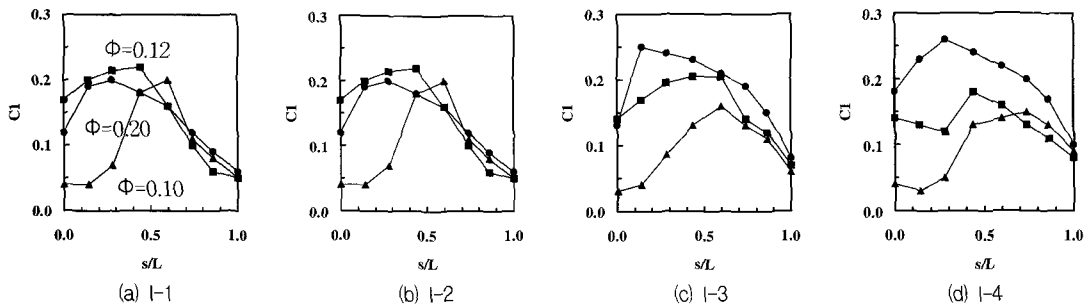


Fig. 7 Variations of pressure coefficient on the surface of impeller

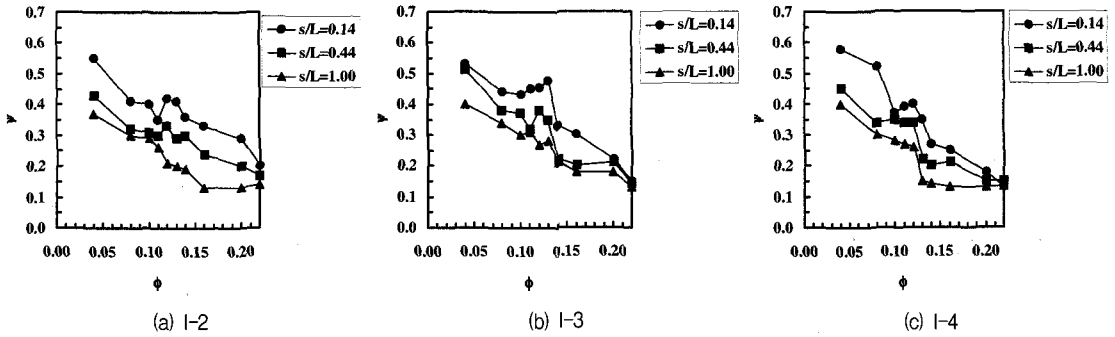


Fig. 8 Pressure deviation of the blade

동을 하고 있다고 여겨진다. Fig. 8에는 각 임펠러 전연 ( $s/L=0.14$ ), 중앙( $s/L=0.44$ ), 후연( $s/L=1.00$ )에서 측정된 임펠러 깃간 압력파형(깃간 12과형, 임펠러 3회전 분)을 위상 평균하여 이때 나타나는 편차를 유량의 변화에 대해서 나타낸다. 압력변동은 유량의 감소와 더불어 증가하는 경향을 나타내고 있으며 또한 임펠러 전연에서 최대로 후연에 가까워짐에 따라 감소하고 있다. 그러나 I-2, I-3, I-4와 I-1을 비교하면 후연에서의 값이 크게 나타나 출구각의 증가에 따라 후연에서의 박리-실속 규모 확대를 반영하고 있다.

### 3.6 임펠러 후류폭 및 미끄럼계수

Fig. 9에 임펠러 후류 폭(반폭)의 유량에 대한 변화를 나타낸다. 저자의 연구<sup>(14)</sup>에 의하면 임펠러 전연에서의 박리 실속의 발달은 후류 확대와 깊은 상관관계에 있으며 상당확산계수  $De_q$ 와 후류폭은 직선으로 근사할 수 있음이 알려져 있다. 즉 후류 폭의 대소관계는 임펠러 내부 유동의 박리 실속의 규모를 판단하는데 유효하다고 할 수 있다.

한편 그림에서는 각 임펠러에 있어서 유량의 감소와 더불어 반폭이 증가하고 있다. 또한 전 유량역에 있어서 I-3이 가장 큰 값을 나타내고 있으며 I-2와 I-4는 거의 같은 값의 분포를 나타내고 있다.

이와 같이 임펠러 출구각의 변경방법에 의해서도 임펠러 내부의 박리-실속의 규모가 현저하게 변하고 있음을 나타내고 있다.

Fig. 10에 각 임펠러의 유량계수 0.20에 있어서의 미끄럼계수의 비고를 나타낸다.

여기에서 미끄럼 계수는  $1-\sigma = C_{s1}/U_2$ 로 나타내어지며 임펠러 출구에서의 상대유동이 깃을 따라 흐르지 못하고 출구각보다도 작은 각도로 유출된다. 이것은

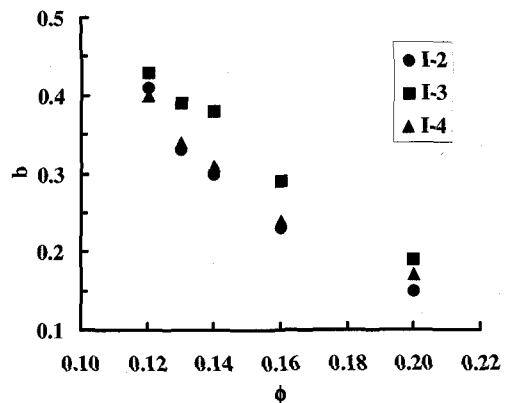


Fig. 9 Relation to flow rate and half width

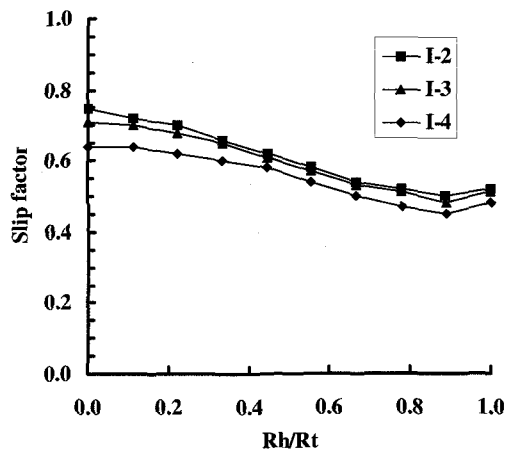


Fig. 10 Slip factor at  $\phi=0.20$

임펠러의 회전에 의한 상대 vortex가 발생하기 때문이다.

그림에서 미끄럼 계수는 hub side ( $Rh/Rt=0.0$ )에서 tip side( $Rh/Rt=1.0$ )를 향해 감소하는 경향을 나타내는데 이것은 tip side에서 상대속도의 감속율이 hub side보다

크게 작용하기 때문이다.

한편 I-4는 hub side부터 tip side까지 전역에서 가장 작은 계수의 분포를 나타내고 있다. 이것은 I-4의 설계 방법에 의한 것으로써 출구유동에 충분한 선회속도성분이 얻어지지 못하기 때문이다.

### 3.7 양정 특성

임펠러 출구각 증대에 따라 최고효율을 나타내는 유량은 대유량 쪽으로 이동하는 경향을 나타내고 있으며 동일 유량에 대해서는 양정은 증가한다. 과대 유량 영역에서의 양정은 I-3이 가장 크며 I-4, I-2, I-1 순이다.

특히 I-4와 I-3은 같은 출구각임에도 불구하고 이와 같은 차가 생기는 것은 I-4는 출구부근에서 급격히 I-3과 같은 출구각이 되도록 변화 시켰기 때문에 출구유동이 충분한 선회성분을 얻지 못했기 때문이다. 그러나 양정이 낮으나 축동력도 낮기 때문에 효율에는 직접 관계는 없다.

출구각을 변화할 때 기준이 되었던 I-1과 비교하면 대유량 영역에서의 양정에 큰 변화가 있으나 흡입측에서 대규모 역류가 발생하는 유량을 경계로 그 유량 이하에서는 거의 차가 나타나지 않고 있다. 저유량에서의 양정곡선은 흡입측 대규모 역류의 규모에 의해서 정해지며 규모에 큰 영향을 미치는 인자는 임펠러 출구 부하분포(유동형식) 및 자오면 단면 형상이다. 일반적으로 동일 용량에 대해서 임펠러 출구각이 클수록 임펠러 외경이 작아도 됨으로 펌프의 소형화 및 고속화 관점에서 유리하다. 그러나 부분유량영역에서 양정-유량 곡선상의 굴곡(불안정 특성) 발생 위험이 있어 안정특성을 얻기 위해서는 출구각에 한계치가 존재하며 본 논문에서는 기준 임펠러인 I-1보다 큰 모든 임펠러에서 불안정 특성이 발생하고 있다.

### 3.8 내부유동과 양정특성

임펠러 출구각 증대에 따라 임펠러에서는 깃 전연에서의 박리-실속과 더불어 깃 후연에서도 박리-실속이 발생 발달함으로 그 규모가 크게 된다. 임펠러 출구 직후에는 박리-실속의 영향으로 후류폭이 커지게 되나 바로 하류에서 혼합하여 평균화된다. 임펠러 부압면 근방의 박리-실속 유동이 주류와 하류에서 혼합하면서 평균화될 때 각운동량의 저하를 유발하여 커다란 혼합손실을 유발하게 된다. 이것이 원주방향 유속

성분의 저하로 나타나게 되어 양정이 떨어지게 된다. 그 후 저유량 영역에서 대규모 역류가 발생하게 되면 임펠러 내부에서는 강한 원심력의 영향을 받아서 양정은 다시 증가하게 된다.

한편 I-4는 대유량 영역에서 I-3과 같이 충분한 선회성분을 얻지 못하고 그 만큼 부분유량영역에서의 양정의 강하가 적게되며 불안정 특성도 I-3에 비해 약하다. 또 I-2의 출구각은 I-3보다 작고 부분유량영역에서의 박리-실속 규모도 작다. 때문에 부분유량영역에서의 손실은 I-3보다 적으며 불안정 특성도 I-3보다 약하다.

이와 같이 임펠러 자오면 단면 형상 및 출구 유동 형식을 동일하게 유지하면서 임펠러 출구각을 크게 하면 대규모 흡입측 역류 개시유량 및 그 발생규모는 거의 변화하지 않으므로 저유량 영역에서의 양정에는 커다란 변화는 생기지 않는다. 그러나 대유량 영역에서는 임펠러 출구각을 반영하여 출구 선회 유속성분의 증가를 초래하여 양정은 현저하게 크게 된다.

한편 부분유량영역에서는 임펠러 출구각의 증대에 의해 깃 후연 부근의 유동은 깃 면을 따라 흐르지 못하고 후연 부근에서도 박리가 발생하게 된다. 즉 부분유량영역에서는 깃 전연의 박리-실속에 깃 후연에서의 박리-실속이 가해져 임펠러 내부에서는 박리-실속이 매우 커지게 되며 후류의 확대를 초래하게 된다. 확대된 후류는 하류에서 혼합되어 평균화되나 이때 커다란 혼합 손실을 유발하여 그 만큼 양정은 떨어진다.

임펠러 출구각의 증대에 의해 대유량영역에서는 양정이 커지나 부분유량영역에서는 박리-실속이 현저하게 증가되어 하류에서의 선회속도성분 저하도 현저하게 되어 커다란 양정의 저하(불안정 특성 발생)로 나타난다.

양정 유량 특성의 안정화를 위해서는 임펠러 내부의 박리-실속 유동을 깃 전연의 국소적인 유동으로 국한하는 것이 중요하다. 이를 위해서는 임펠러 출구각이 어느 값 이상이 되지 않게끔 설정하는 것이 중요하며 이것이 유량 양정 특성의 안정화 관점에서 출구각에 상한치가 존재하는 이유이다.

## 4. 결 론

임펠러 출구각 변경(입구각 분포 및 자오면 단면 형상, 출구유동 형식)에 의한 임펠러 내부 유동변화와 내부 유동 변화가 부분유량영역에서의 양정특성에 미치는 영향에 대하여 검토하였다. 결과를 요약하면 다음과 같다.



- (1) 출구 유동형식 동일, 입구각 분포 동일 및 자오면 단면 형상이 동일하고 임펠러 출구각만을 변화시켰을 경우, 흡입측 및 토출측 역류개시 유량은 거의 변하지 않는다.
- (2) 임펠러 출구각을 크게 하면 부분유량영역에서는 깃 전연에서의 박리-실속과 더불어 깃 후연에서도 박리-실속하여 그 규모는 현저하게 크게된다. 임펠러 출구에서는 깃 부압면상의 박리-실속 유동과 주류와의 혼합에 의해 각운동량이 떨어지고 큰 혼합손실이 발생하게 된다. 그 결과 임펠러 하류에서는 유동의 선회성분이 현저하게 작아지고 양정의 저하를 초래하여 불안정특성이 발생하게 된다.
- (3) 한편, I-4와 같이 깃 후연 부근에서 출구각을 급격히 크게 하였을 경우에는 임펠러 출구 유동에 충분한 선회성분을 주지 못한다.

**참고문헌**

- (1) 白倉 創明, 豊倉 富太郎, 1971, “ターボ機械の低流量域特性”, 機械の研究, 第23卷1號, pp. 211~217.
- (2) 村井 等, 1967, “油膜法による軸流ポンプの低流量域における流跡とその特性との関係”, 日本機械學會誌, 第70卷578號, pp. 359~364.
- (3) 豊倉 富太郎, 1978, “ターボ機械の内部流れと不安定性能”, ターボ機械, 第6卷7號, pp. 390~395.
- (4) 須藤 純男, 近藤 正道, 1977, “斜流ポンプの内部流れの觀察”, ターボ機械, 第5卷12號, pp. 754~759.
- (5) 松村 邦夫, 1978, “ポンプの性能に関する設計上の諸問題”, ターボ機械, 第6卷9號, pp. 542~549.
- (6) 金子 賢二, 1986, “低負荷翼形斜流送風機の研究”, 日本機械學會論文集B編, 第52卷473號, pp. 379~387.
- (7) Tahara. H. and Shoji. H., 1987, “Influence of Spanwise Loading Distribution of Mixed-Flow Impeller on Pump Characteristics,” The 2nd China-Japan Joint Conference on Fluid Machinery, pp. 55~62.
- (8) Balakrishnan. K., 1983, “Recirculation at Pump Inlet,” Proc. 7th Conf. Hungary, Fluid Machinery Vol. 1, pp. 21~29.
- (9) 田原 晴男, 正司 秀信, 李 先基, 1989, “斜流ポンプの流れと特性に及ぼす斜流角の影響”, 日本機械學會論文集B編, 第55卷515號, pp. 1952~1957.
- (10) Kubota. N., 1980, “Influence of Meridian Profile Mixed Flow Impeller on Pump Characteristics,” Proc. of IAHR Symposium TOKYO, pp. 379~386.
- (11) 正司 秀信, 田原 晴男, 李 先基, 1990, “羽根幅方向負荷分布の異なる斜流ポンプの特性”, ターボ機械, 第18卷 4號, pp. 225~230.
- (12) 李 先基, 正司 秀信, 田原 晴男, 1990, “斜流ポンプの流れにおよぼす羽根幅方向負荷分布の影響”, 日本機械學會論文集B編, 第56卷 529號, pp. 2665~2671.
- (13) 李 先基, 正司 秀信, 田原 晴男, 1993, “斜流羽根車の入口角分布が内部流れにおよぼす影響”, ターボ機械, 第21卷 4號, pp. 208~214.
- (14) 이선기, 1997, “사류 임펠러의 입구각 변화가 내부 유동 및 펌프특성에 미치는 영향”, 대한기계학회 논문집 B편, 제21권 제8호, pp. 1034~1045.