

블류트의 개선에 따른 원심펌프의 성능향상

강 신 형, 홍 순 삼

1. 서론

블류트는 펌프의 최종단에 배치되어 회전차에서 나온 유동을 모아서 송출구로 유도하며 회전차에 의해 유체에 가해진 운동에너지를 압력에너지로 바꾸어 주는 역할을 한다. 블루트에서는 에너지가 생성되지는 않고 때문에 되도록 손실이 적도록 하는 것이 블루트 제작시의 관건이다.

블류트에서의 마찰손실을 최소화하기 하기 위해서는 유로가 가능하면 매끈해야 한다. 이미 만들어진 블루트를 매끈하게 가공한다는 것은 시간이 많이 걸리고 어렵기 때문에 주조시 매끄러운 유로가 되도록 주의를 기울여야한다.

또한 블루트에서 유동이 가지는 운동에너지를 압력에너지로 바꿀 때는 될 수 있는대로 손실을 적게 하여 압력에너지를 회수하지 않으면 안된다. 많은 실험에 의하면 설계유량에서 블루트 유로의 각 단면에 대한 평균유속이 일정하게 되도록 설계하는 것이 특성곡선의 전 유량에 걸쳐 효율이 균일하게 높아진다고 알려져 있다. 평균유속은 유량을 유동에 수직인 단면의 면적으로 나눈 양인데 블루트 설계시 중요한 인자가 된다.

본 연구에서는 원심펌프의 성능을 향상시키기 위해서 블루트를 다음 두 가지로 개선시켰다. 첫째로 기존의 블루트의 내부를 실험실에서 매끈하게 다듬은 경우인데 성능이 상당히 향상되었다. 블루트 제작시 많은 주의를 기울여 블루트 내부를 매끄럽게 하거나 제작후에도 공장에서 조금더 다듬는다면 펌프 성능이 향상될 것이다. 둘째로는 블루트 유로에서의 평균속도가 부드럽게 변하도록 즉, 유로의 단면적이 부드럽게 변하도록 블루트를 새로 제작한 경우이다. 기존의 블루트에서 블루트 텅(volute tongue)에서부터 원주방향으로 따라가면서 압력을 측정하여 본 결과 350°에서 유량이 증가함에 따라 압력이 급격히

감소하였다. 이는 이 부근의 블루트 단면적이 적어서 유동이 가속되기 때문이며 이는 에너지의 손실로 이어진다. 기존의 블루트 유로의 단면적을 구해 보았는데 원주방향으로 직선적으로 증가하던 유로면적이 근처에서는 단면적의 증가율이 둔화되는 것을 알 수 있었다. 따라서 이 부근의 단면적을 키워 새로 제작해 실험한 결과 350°에서 기존의 블루트에 비해 압력이 상승하였고 펌프성능도 향상되었다.

2. 실험장치 및 실험방법

실험은 Fig. 1과 같은 실험장치를 이용하여 수행하였다. 2.5m³ 용량의 물탱크 아래 부분에서 물을 흡입하여 위쪽으로 배출하게 되며 펌프 입구, 출구의 이음 부분을 제외하고는 배관의 직경은 모두 6 inch이다. 유량은 노즐 전후의 압력 차이로부터 구하였고 노즐은 long-radius flow nozzle⁽¹⁾을 사용하였으며 유량은 노즐 뒤쪽에 설치된 게이트밸브(gate valve)로 조절하였다. 양정을 구하기 위해 펌프 입구, 출구 각각 200mm 떨어진 곳에 부르동관식 압력계와 압력변환기(SENSOTEC)를 설치하였으며 압력은 파이프 둘레의 4곳에 설치한 정압구멍을 묶어서 측속하였다. 축동력은 펌프와 모터사이에 설치된 토크미터(KYOWA, TP-20KMC)에서 읽은 토크와 타코미터(LUTRON, DT-2234A)에서 읽은 펌프 회전수로부터 구했다.

블류트에서의 각 위치는 Fig. 2와 같이 블루트 텅(tongue)으로부터의 각도로 나타내었다. 블루트 목(throat)을 넘어서면 각도는 360°가 넘게되는데 이 위치에서는 블루트를 따라간 거리를 기초원(base circle)의 반지름으로 나눈 값으로 각도를 삼았다.

실험에 사용된 블루트는 모두 세 가지인데 기존의 것이 블루트 A, 블루트 내부를 매끄럽게 다듬은 것이 블루트 B, 블루트 B에서 255° 이후의 단면적을 키운 것이 블루트 C이다.

강신형/서울대 기계공학과/1949년생/난류유동장 해석, 유체기계를 전공하였으며, 유체기계의 성능 향상 및 유체기계내의 유동해석에 관심을 가지고 있다.
 홍순삼/서울대 대학원/1968년생/유체기계를 전공하고 있으며, 원심펌프의 성능향상에 관심을 가지고 있다.

Table 1 Type of volute

블류트 종류	블류트 A	블류트 B	블류트 C
블류트 내부의 표면	기존의 상태	매끄럽게 가공	매끄럽게 가공
255° 이후의 단면적	기존의 상태	기존의 상태	증가

3. 실험결과 및 고찰

연구에 쓰인 펌프는 편흡입 원심펌프인데, 기본 사양은 다음과 같다.

유량 : $Q = 1.2 \text{ m}^3/\text{min} = 0.02 \text{ m}^3/\text{s}$
 양정 : $H = 28 \text{ m}$
 회전수 : $n = 1750 \text{ rpm}$
 회전차 직경 : $D_2 = 259 \text{ mm}$
 비속도 : $n_s = 157 [\text{m}^3/\text{min}, \text{m}, \text{rpm}]$

3.1 볼류트의 표면 거칠기가 펌프성능에 미치는 영향

주조 공정으로 제작된 볼류트 A는 밀면중 일부만이 돌출되어 있었고 내부 표면이 상당히 거친 상태였다. 그래서 돌출부를 갈아내고 표면을 사포로 매끄럽게 한 후 다시 실험하여 Fig. 3(a), Fig. 3(b)에서와 같이 이전의 결과와 비교해 보았는데 매끄럽게 한 경우가 양정은 1.4m 증가하고, 축동력은 거의 동일했고, 효율은 실제 3% 증가했다. 각각의 효율분포는, 볼류트 B의 효율을 4차곡선으로 곡선보간(curve fitting)하여 최고효율점을 구한 후 그 값으로 각각의 효율을 나누어서 나타내었다. A. J. Stepanoff⁽²⁾는 소형 펌프에서 볼류트를 매끈하게 하면 효율이 4%까지 증가한다고 했고, George Varghese⁽³⁾는 여러 거칠기(roughness)에서 실험했는데 매끄러운 볼류트가 좋은 성능을 보이고 매끄러운 볼류트에 페인트칠 한 경우가 효율이 가장 좋다고 했다.

볼류트 제작시 조금만 주의를 기울인다면 즉, 주형의 코어(core)를 좀더 매끄럽게 만들거나 볼류트 제작후 볼류트 내부를 매끄럽게 다듬으면 효율을 상당히 향상시킬 수 있는 것이다.

3.2 볼류트에서 단면적 분포가 펌프성능에 미치는 영향

볼류트 B 각 단면에서의 단면적 분포를 보면 $0^\circ \sim 255^\circ$ 에서는 거의 직선적으로 증가하는데 $255^\circ \sim 330^\circ$ 에서는 그 기울기가 감소한다. 따라서 볼류트를 따라 돌던 유체가 $255^\circ \sim 330^\circ$ 에서는 가속이 되고 또한 이것은 에너지의 손실을 가져온다. 그래서 이 부근의 단면적을 조금씩 증가시킨 것이 볼류트 C이다.

볼류트 B와 볼류트 C에서의 단면적 분포를 Fig. 4

에 나타냈는데 볼류트 C의 경우가 볼류트 B의 경우보다 255° 이후에서 단면적이 부드럽게 증가하는 것을 알 수 있다. 그리고 볼류트 단면에서의 평균속도를 계산해 보았는데 평균속도는 볼류트 각 단면에서의 유량을 그 위치에서의 단면적(A_θ)으로 나누어 구했고 각 단면에서의 유량(Q_θ)은 설계 유량(Q_d)의 $\theta/360^\circ$ 배로 구했다.

$$Q_\theta = \frac{\theta}{360^\circ} \cdot Q_d \quad (1)$$

$$v = \frac{Q_\theta}{A_\theta} \quad \text{at } 0^\circ \leq \theta \leq 360^\circ \quad (2)$$

$$= \frac{Q_d}{A_\theta} \quad \text{at } 360^\circ \leq \theta$$

Fig. 5에 나타낸 각 단면에서의 속도분포를 보면, 볼류트 B에서는 330° 까지 가속되다가 이후 급격히 감소되는 것을 알 수 있으며 반면에 볼류트 C에서는 상대적으로 완만한 속도분포를 보인다.

볼류트 B의 각 위치에서의 유량에 대한 압력분포를 Fig. 6(a)에 나타냈는데 유량에 대해 압력은 포물선 분포를 보이는데 각도가 증가함에 따라 포물선의 폭이 좁아진다. 특히 350° 에서는 유량에 따른 압력의 급격한 감소가 눈에 띈다. Fig. 6(a)의 데이터를 각도에 따라 도시한 그림이 Fig. 6(b)인데, 105° 이하에서는 각도가 커짐에 따라 압력이 증가하고 $105^\circ \sim 255^\circ$ 에서는 평탄한 압력분포를 보이며 그 이상의 각도의 경우 낮은 유량에서는 계속 압력이 증가하고 높은 유량에서는 압력이 감소하는 경향을 보인다. Fig. 7에는 볼류트 B와 볼류트 C의 몇 위치에서 압력을 비교해 나타냈는데 315° 이하에서는 두 볼류트가 비슷한 압력분포를 보이지만 그 이상의 각도에서는 볼류트 C의 경우가 볼류트 B의 경우보다 압력이 높게 나타난다. 즉, 속도수두가 압력수두로 많이 회복된 것을 알 수 있다.

볼류트 B와 볼류트 C에서의 성능을 Fig. 8(a), Fig. 8(b)에서 비교해 보았는데, 볼류트 C가 볼류트 B보다 성능이 향상된 것을 알 수 있다. 양정은 1.5m 증가하고 축동력은 거의 동일했으며 펌프효율은 실제 3.2% 증가했다.

펌프 입구를 기준으로 했을 때 총수두는 정압성분과 동압성분의 합으로 표시할 수 있다.

$$H = (P - P_{inlet}) + \frac{V^2 - V_{inlet}^2}{2g} \quad (3)$$

볼류트에서 에너지 손실과 압력회복을 살펴보기 위해, 설계유량에서 볼류트 몇 위치(105° , 195° ,

285°, 350°, 불류트 출구)에서의 세 가지 에너지, 즉 수두를 Fig. 9에 나타냈다. 정압성분은 불류트에서의 압력분포로부터 구했고 동압성분은 (2)식에서와 같이 불류트 단면에서 평균속도를 계산하여 구했는데 정압성분이 동압성분보다 훨씬 큰 것을 알 수 있다. 불류트에서 유동이 가지는 운동에너지가 압력에너지로 바뀌는 곳은 불류트 목 이후의 부분이라고 알려져 있는데 Fig. 9에서도 350° 이후에 운동에너지는 감소하고 압력에너지는 증가하는 것을 알 수 있다. 불류트 B와 불류트 C 모두 285° 이후 총에너지가 감소하고 있는데 불류트 B는 285° 이후 불류트 출구까지 계속 총에너지가 감소하고 불류트 C의 경우, 285° ~ 350°에서는 불류트 B처럼 총에너지가 감소하지만 350° 이후에서는 총에너지 감소가 적어서 불류트 출구에서는 불류트 B에 비하여 1.5m 더 높은 총에너지를 갖는다. 255° 이후의 불류트 단면적을 증가시킨 불류트 C가 285° 이후에 불류트 B보다 손실이 적어 성능이 향상된 것을 알 수 있다.

4. 결론

원심펌프의 성능향상을 위해 불류트 내부를 매끄럽게 하고, 불류트 유로면적을 변화시켰는데 다음과 같은 결론을 얻었다.

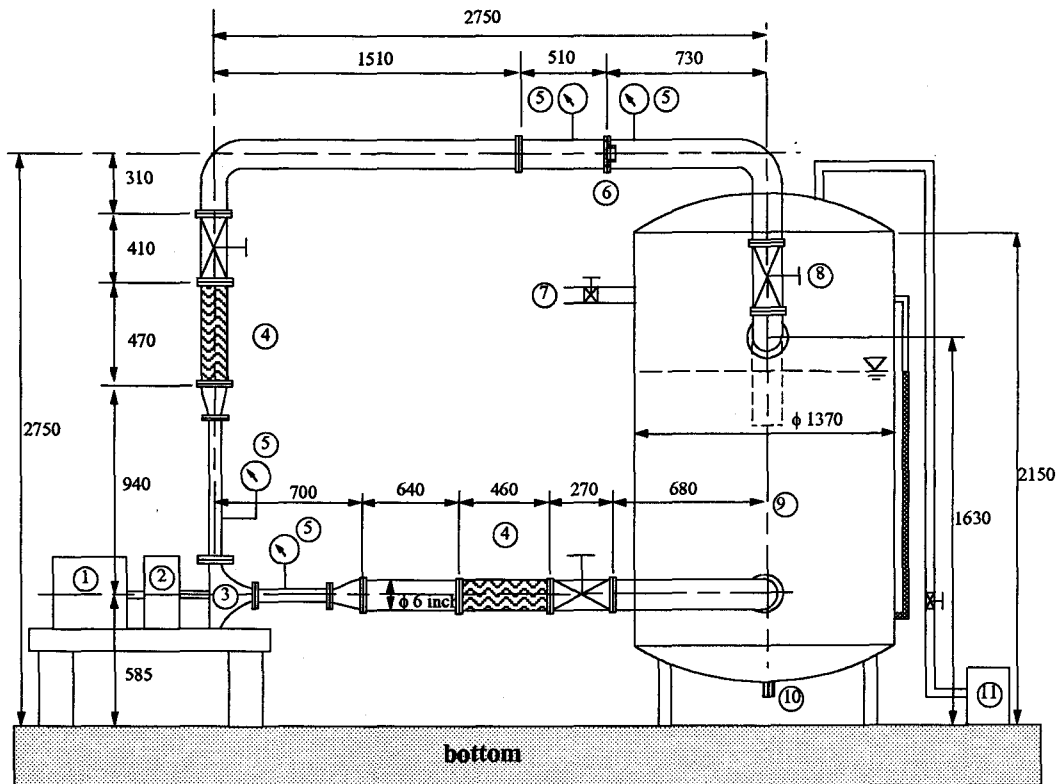
- (1) 실험실에서 불류트 내부를 매끄럽게 가공했더니 양정과 펌프효율이 증가하였다.
- (2) 불류트 유로 면적이 부드럽게 증가하도록 했더니 유동의 운동에너지가 압력에너지로 효율적으로 변환되어 양정과 펌프효율이 증가하였다.

후기

본 연구는 서울대 터보동력기계 연구센터의 시설 지원, 효성 에바라(주)의 산학협동 연구로 지원되었습니다. 이에 관계자 여러분에게 깊은 감사를 드립니다.

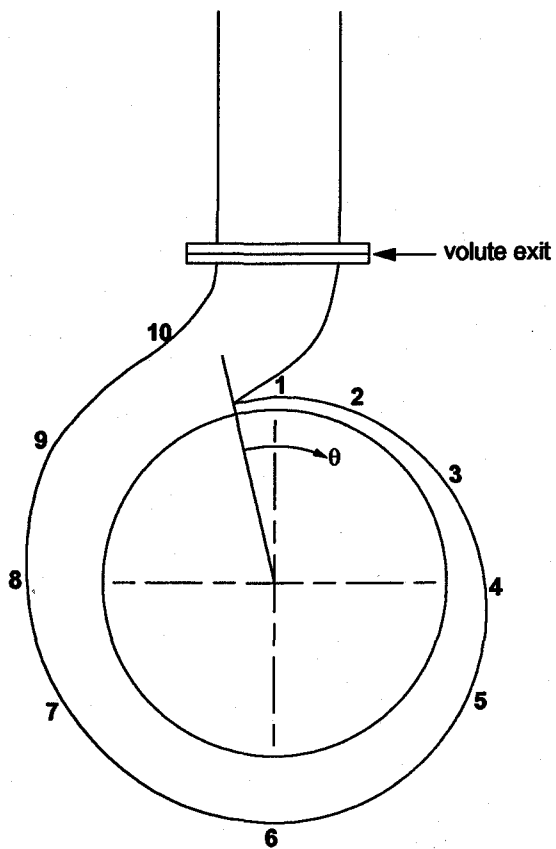
참고 문헌

- (1) Howard S. Bean, 1971, *Fluid meters*, ASME
- (2) A. J. Stepanoff, 1957, *Centrifugal and Axial Flow Pumps*, John Wiley & Sons, INC.,
- (3) George Varghese, 1978, "Influence of volute roughness on the performance of a centrifugal pumps," *Journal of Fluids Engineering*, Vol. 100, pp. 473-476



- | | |
|------------------|---------------------|
| 1. Motor | 7. Water supply |
| 2. Torque meter | 8. Regulating valve |
| 3. Pump | 9. Tank |
| 4. Flexible pipe | 10. Drain port |
| 5. Manometer | 11. Vacuum pump |
| 6. Flow nozzle | |

Fig. 1 Pump test-rig layout



position	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	volute exit
$\theta(\text{deg.})$	15	50	75	105	135	195	255	285	315	350	420

Fig. 2 Position of pressure taps along volute

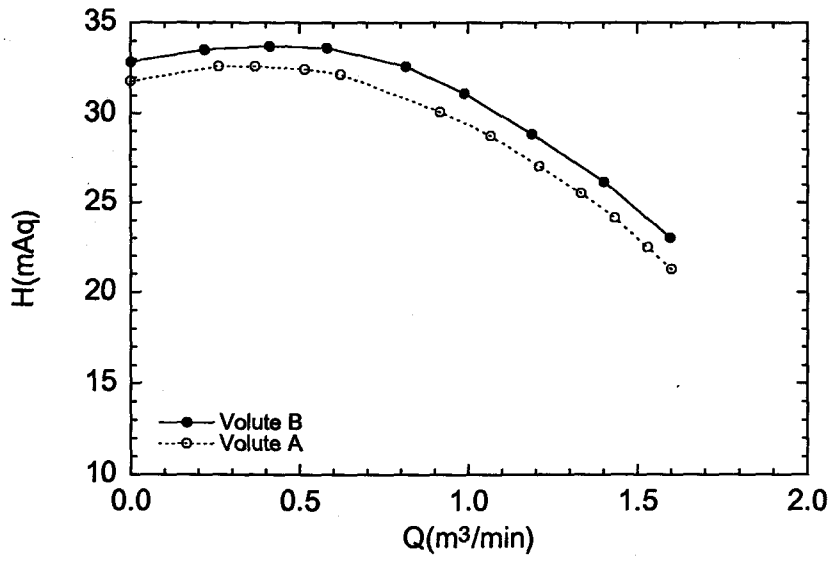


Fig. 3(a) Effect of roughness of volute's inner surface on total head

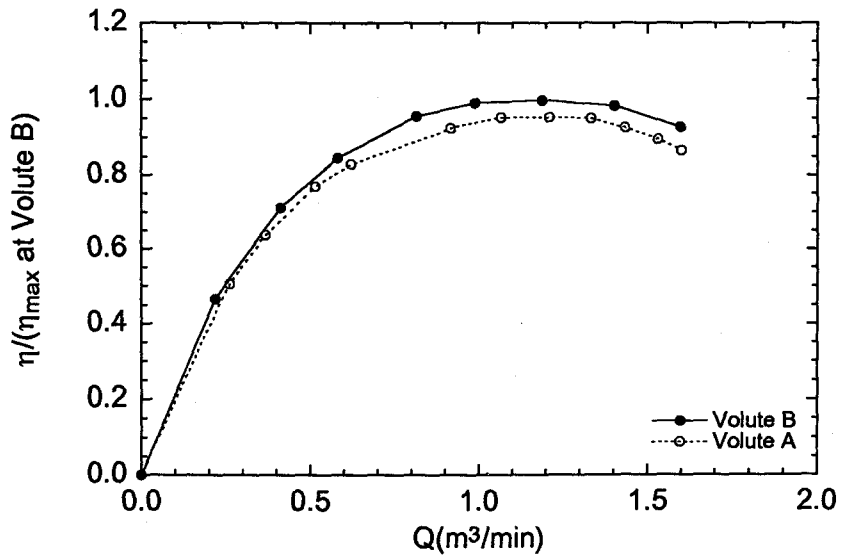


Fig. 3(b) Effect of roughness of volute's inner surface on efficiency

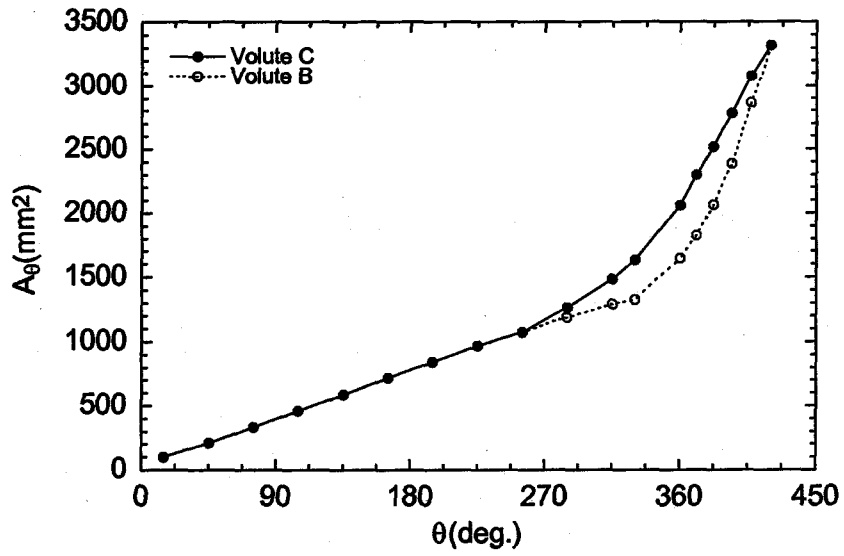


Fig. 4 Cross-sectional area of volute

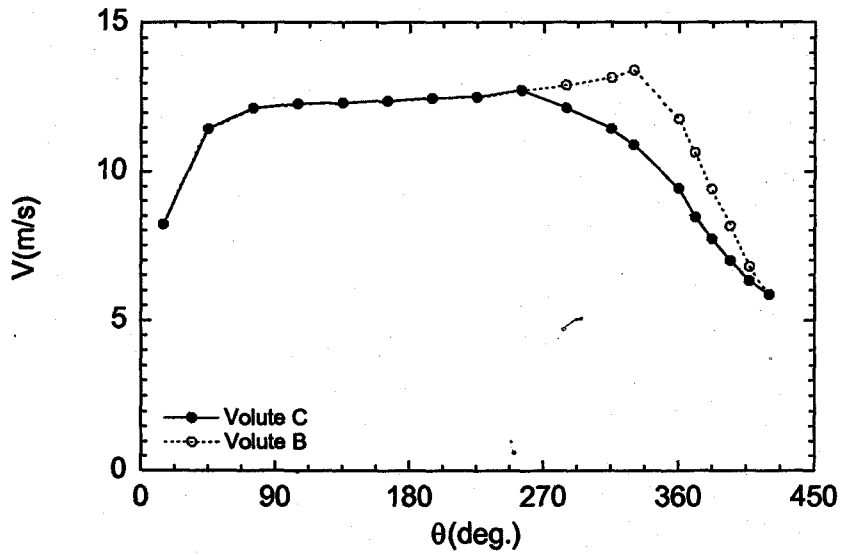


Fig. 5 Average velocity in volute

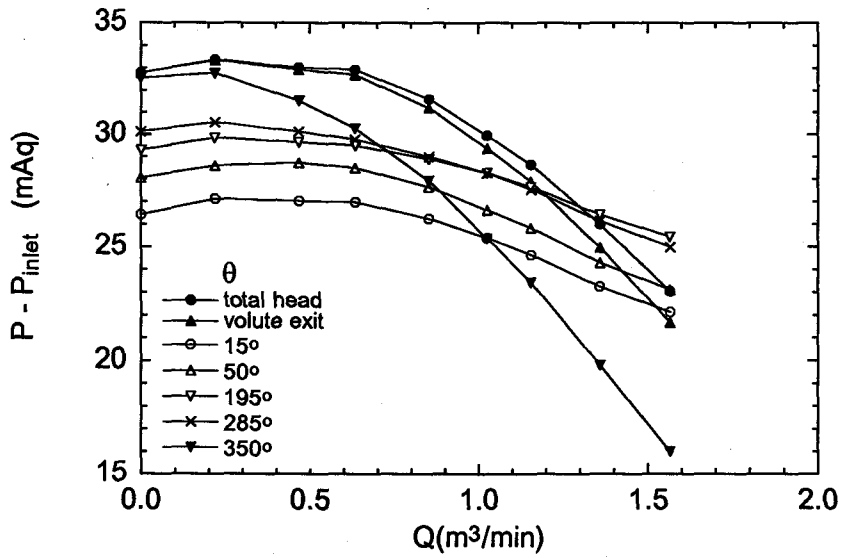


Fig. 6(a) Pressure distribution along Volute B

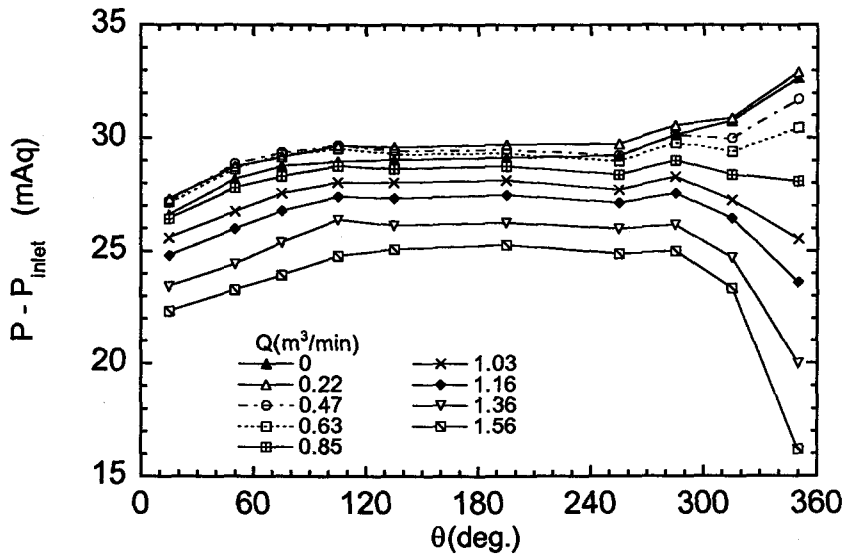


Fig. 6(b) Pressure distribution with flow rate along Volute B

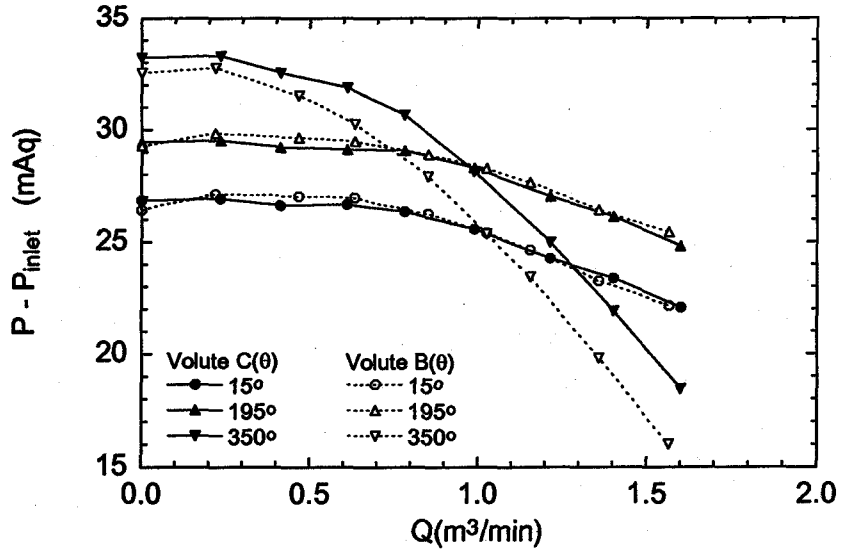


Fig. 7 Pressure distribution along Volute B & Volute C

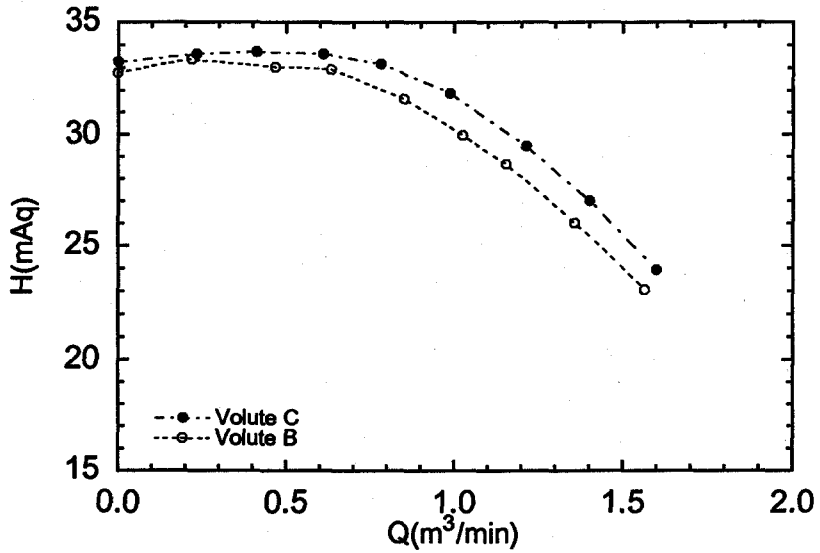


Fig. 8(a) Effect of volute's cross-sectional area on total head

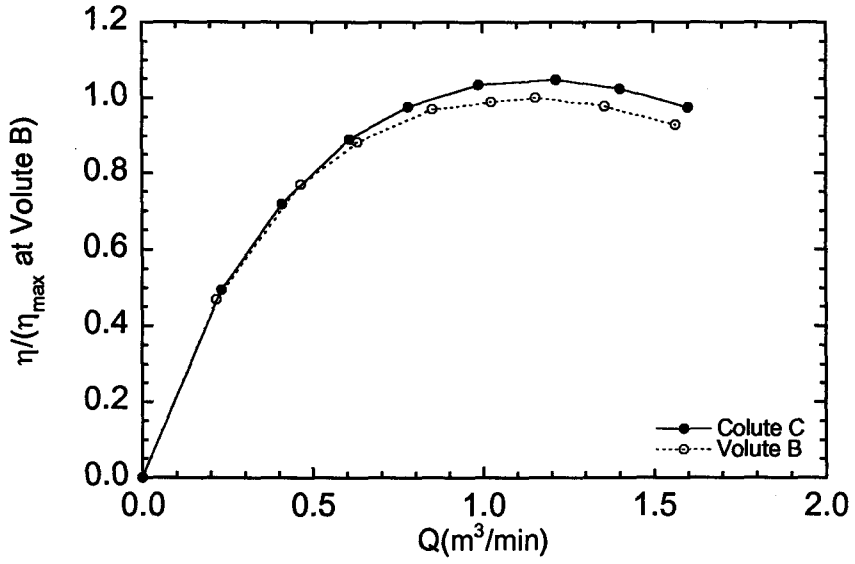


Fig. 8(b) Effect of volute's cross-sectional area on efficiency

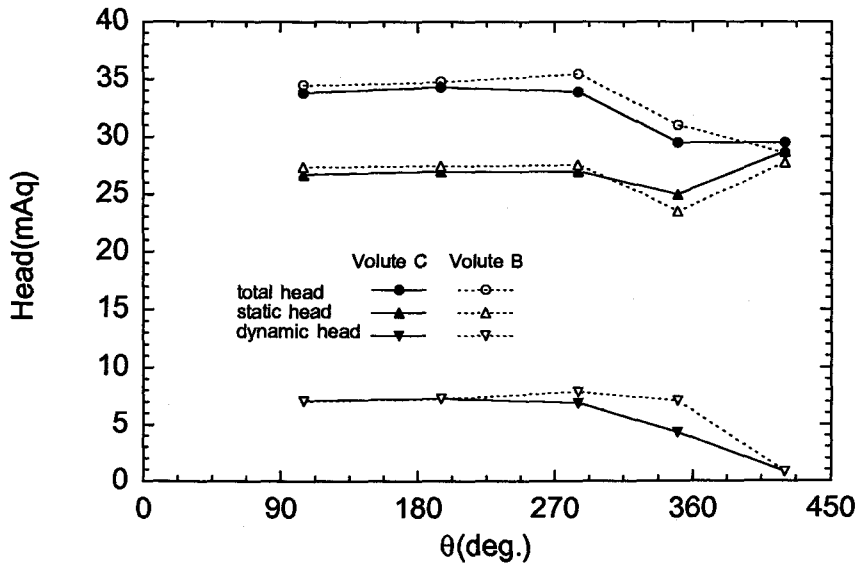


Fig. 9 Variation of head along volute at design discharge