

실험에 의한 원심 압축기의 최적 성능 선정 방법

정용수**, 염기웅**, 김명섭**

1. 서론

최근 우리나라에는 원심 압축기에 대한 관심이 높아지고 있다. 이것은 기존에 사용되어온 왕복동 압축기와 스크류 압축기에 비하여 원심 압축기가 효율이 높고 대량의 압축공기를 안정된 압력으로 연속적으로 공급할 수 있는 이점이 있기 때문이다. 특히, 환경에 대한 관심이 높아지면서 고효율 압축기의 중요성이 강조되고 있다. 그러나 국내의 기술 현황을 보면, 펌프와 송풍기의 설계 및 제작 기술 축척은 어느 정도 이루어지고 있으나 원심 압축기에 대한 설계 및 제작 기술은 아직 선진국 수준에 못 미치고 있는 것이 사실이다. 따라서 국내의 원심 압축기 시장은 해외 선진 업체에 의존하고 있는 실정이다. 이에 삼성항공에서는 고효율 원심 압축기의 국산화 필요성을 인식하여 자체 기술로 공기용 원심 압축기를 개발하게 되었다.

본 논문에서는 원심 압축기의 개발 과정에서 수행한 원심 압축기의 Rig test 결과로부터 압축기의 최적 성능을 선정하는 방법에 대해 기술하였다. 개발에 사용된 원심 압축기는 Fig. 2에서 보는 것과 같이 impeller, vaneless space, vaned diffuser, vaneless diffuser 와 volute 순으로 구성되어 있다. 원심 압축기의 설계 단계에서 Diffuser vane의 stagger angle 과 solidity, 그리고 pinch 등을 정확하게 정의할 수 없었기 때문에 실험을

통하여 최적의 성능이 가능한 조합을 선정하였다.

2. 실험 방법 및 장치

Table 1.에서 보는 것과 같이 diffuser vane의 solidity를 변경한 3가지, diffuser vane stagger angle을 변경한 3가지, 그리고 pinch를 적용한 것 1가지 조합 등 7가지 조합에 대하여 실험을 수행하였다.

| 조합 | solidity | normalized vane angle (tangential) | pinch 여부 (%) |
|----|----------|------------------------------------|--------------|
| 1 | 0.88 | 0.0 | 0.0 |
| 2 | 1.54 | 0.0 | 0.0 |
| 3 | 0.66 | 0.0 | 0.0 |
| 4 | 0.88 | 0.214 | 0.0 |
| 5 | 0.88 | 0.321 | 0.0 |
| 6 | 0.88 | 0.428 | 0.0 |
| 7 | 0.88 | 0.0 | 15.0 |

Table 1 실험 조합

측정 장치 및 센서 위치는 Fig.1 과 Fig.2에 각각 도시한 것과 같다. 압력 측정을 위해 ScanniValve System을 사용하였고, 온도는 thermocouple을 사용하여 T/D board를 통해 측정하였으며, 출구 배관 후반부에 장착한 control valve의 개폐 정도를 valve

controller 로 조절하여 배압을 형성함으로써 유량을 조절할 수 있었다.

압력은 Fig. 2 에서 보는 것과 같이 임펠러 출구에 3 개, vaned diffuser 출구에 3 개, vaneless diffuser 출구에 3 개 그리고 volute 출구에 3 개 등 각 구성 요소의 출구에 동일 반경상에 원주 방향으로 일정한 간격으로 압력 센서를 설치하여 정압을 측정하였다.

온도는 thermocouple 을 사용하여 대기(2 개)와 압축기 출구(3 개)에서 정온을 측정하였다.

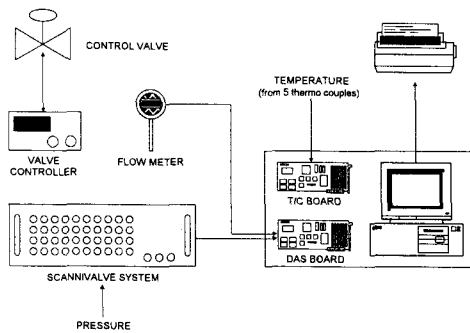


Fig. 1 Measuring System

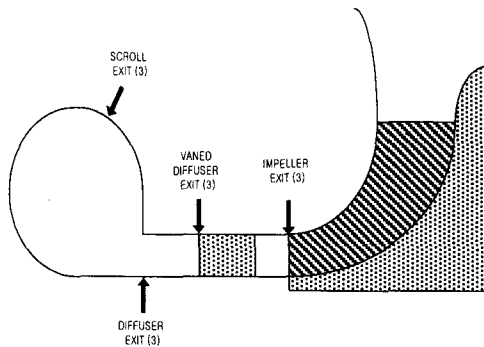


Fig. 2 Pressure Tap Locations

3. 실험 결과

실험 결과를 solidity 변화 별로 유량 계수(ϕ) 대 효율과 유량 계수 대 압축비의 성능곡선을 Fig. 3(a)와 Fig. 3(b)에 각각 도시하였다. Fig. 3(a), (b)에서 보는 것과 같이 Solidity가 증가함에 따라 최대 효율과 압축비가 모두 상승하는 것을 볼 수 있다. 이것은 vane 수가 증가 함에 따라 vaned diffuser 에서의 정압 상승이 더 많았기 때문이며 이에 따라 효율도 증가 하였다. 그러나 조합 1 과 3 은 거의 유사한 choking mass 를 보여 주고 있으나 조합 2 의 경우 약 6.2% 감소 하였다. 이는 조합 1 과 3 의 경우 vane 과 vane 사이에 throat area 가 없으므로 동일한 유량에서 choking 이 발생하였고 조합 2 의 경우 vane 개수의 증가로 vane 에서 choking 이 발생하였기 때문이다. Surge mass 는 모든 조합이 동일한 것을 볼 수 있다. 이는 vane stagger angle 이 동일할 경우 vane 의 개수가 surge mass 에 큰 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있다.

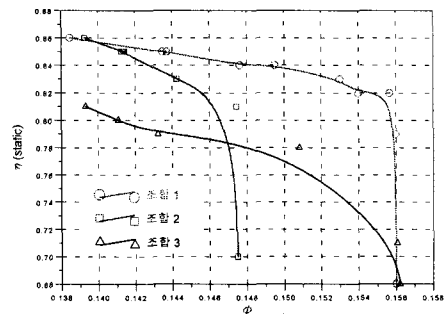


Fig. 3(a) Solidity 에 따른 효율의 변화

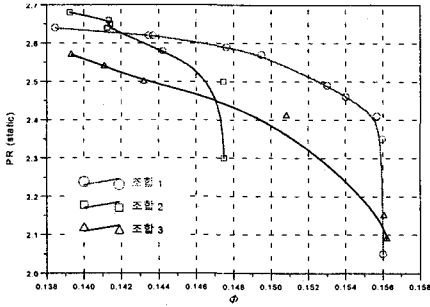


Fig. 3(b) Solidity에 따른 압축비 변화

다음은 vane stagger angle의 변화 별로 유량 계수 대 효율과 유량 계수 대 압축비의 곡선을 Fig.4(a)와 Fig.4(b)에 도시하였다. Fig. 4에서 보는 것과 같이 vane angle이 커지면 커질 수록 (tangential에 가까워질 수록) choking mass가 줄어드는 것을 알 수 있다. 이는 vane과 vane 사이의 throat area가 줄어들기 때문이다. 이와 비슷하게 surge mass도 줄어드는 것을 볼 수 있다. 그러나 조합 6은 다른 조합들에 비해 많이 줄지 않았다. 이는 $\phi=0.115$ 근처에서 vane이 아닌 impeller inducer에서 surge가 발생하는 것으로 판단된다.

Surge margin을 다음과 같이 정의하면

$$\text{Surge margin} = \frac{m_{choke} - m_{surge}}{m_{choke}} \times 100,$$

조합 5가 16.5%로 상대적으로 넓은 운용 영역을 나타내고 있다. 이것은 낮은 유량에서도 유동이 diffuser vane 입구에서 안정적으로 유입될 수 있기 때문이다.

마지막으로 impeller와 vaned diffuser 사이에 pinch를 적용한 것과 적용하지 않은 것의 성능을 Fig.5(a)와 Fig.5(b)에 비교하였다. Pinch를 적용한 것의 choking mass는 Pinch를 적용하지 않은 것에 비해 약 8% 정도

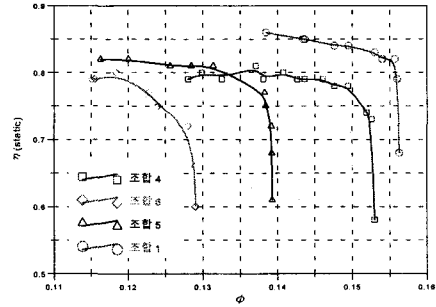


Fig.4(a) Diffuser vane stagger angle의 변화에 따른 효율의 변화

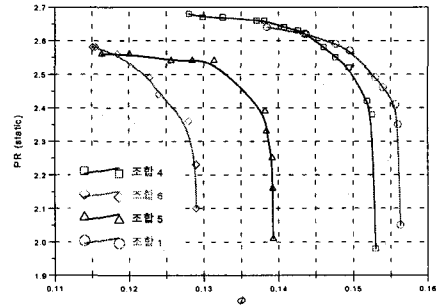


Fig.4(b) Diffuser vane stagger angle의 변화에 따른 압축비의 변화

감소하였다. 이는 pinch를 적용하면서 vane 높이가 낮아져 vane 입구 throat area가 줄었기 때문이다. Surge mass는 vane 입구 유동각이 커짐으로 해서 줄어드는 경향을 보이고 있다.

Surge margin은 pinch를 적용한 것이 20.3%로 다른 어떤 조합보다도 높았다. 이는 pinch를 적용할 경우 diffuser vane 입구로 유입되는 유동이 안정되어 separation이 발생하지 않기 때문인 것으로 판단된다.

압축비를 비교하여 보면 최대 압축비가 조합 1과 비교하여 약간 높았고 효율은 조합 1에 비해 낮았으나 다른 조합보다 비교

적 높게 나타났다.

4. 결론

7 가지 조합을 실험하여 본 결과 공기 압축기에서 필요로 하는 운영 영역(surge margin)과 효율 및 압축비를 만족시키는 조합으로 조합 7을 선택하였다. Pinch를 적용함으로써 해서 vaned diffuser 입구의 유동을

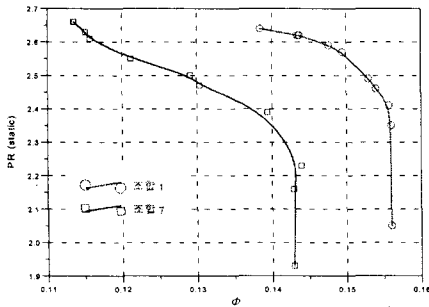


Fig.5(a) Pinch의 유무에 따른 효율의 변화

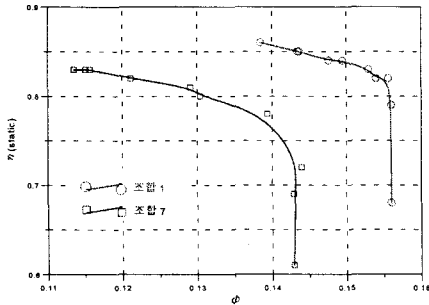


Fig.5(b) Pinch의 유무에 따른 압축비의 변화

안정시킬 수 있었고, 결과적으로 넓은 운영 영역을 확보할 수 있었다. 즉, 설계 단계에서 정확하게 예측하기 어려운 diffuser vane 입구에서 압축공기의 유동에 적절한 diffuser vane의 stagger angle을 선정하고 diffuser vane 입구의 유동을 안정시킴으로

해서 원심 압축기의 최적 성능을 확보하게 되었다. 고정된 rpm에서 유동각을 변경하기 위해서는 impeller와 diffuser vane 사이의 space를 조절하는 방법이 있고, 또 하나는 이 구간에 pinch를 적용할 수 있다. [1] Pinch를 적용할 경우 유동각의 변화와 함께 유동도 안정시킬 수 있어 두 가지 효과를 동시에 취할 수 있다.[1] 그러나 너무 많은 pinch는 vane 입구의 유속을 증가시켜 mach 수가 증가하고 이는 choking mass와 효율 등의 감소를 가지고 온다.[1] 아직까지는 설계 단계에서부터 정확한 성능의 예측이 어려워 실험을 통하여 vane 각과 pinch 정도를 알아내고 있으나 좀더 많은 실험을 통하여 설계 데이터가 축적되면 설계 단계에서부터 정확한 예측이 가능하다

5. 참고 문헌

1. Japikse, D., "Centrifugal Compressor Design and Performance," Concepts ETI, Inc., 1996.