

재생펌프 소음특성의 측정 및 해석에 관한 연구

The measurement and analysis of Regenerative Pump Noise

김태훈* 서영수* 정의봉** 정호경***

Tae Hoon Kim, Young Soo Seo, Weui Bong Jeong and Ho Kyeong Jeong

Key Words : Regenerative Pump(재생펌프), Flow induced noise(유동소음), Root mean square value(실효값), Noise source(소음원), Intensity map(인텐시티 맵), Sound pressure(음압)

ABSTRACT

In this paper, the characteristic of the regenerative pump is reviewed by the measurement and the analysis. The dominant noise sources are harmonic components of the rotating impeller frequency. The acoustic characteristics and the noise source position at the pump are identified. In order to reduce the high-level peak noise, the interior flow of the pump chamber is analyzed by CFD (Computational Fluid Dynamics). Acoustic pressure is calculated with Ffowcs Williams and Hawkings equation. As the result of the analysis, new design of the pump chamber is recommended. The recommended pump is compared with original pump by evaluating the RMS value of a interior static pressure and the sound pressure level. The new pump chamber recommended by analysis results is proved by a process of the measurement. The overall SPL of a recommended pump is reduced about 3 dBA.

1. 서론

재생펌프(Regenerative Pump)는 생활용 펌프로써 가정에서 양수용, 가압용으로 많이 사용되고 있다. 그래서 예전부터 성능향상을 위한 이론적인 연구와 실험적 연구가 많이 진행 되어 왔다.[1,2,3] 그러나 펌프의 성능향상을 위한 임펠러(impeller)의 고속 회전 때문에, 펌프 내부의 복잡한 유동으로 큰 소음이 발생하여 사용자에게 큰 불편을 초래하고 있다. 이러한 소음 문제를 해결 하기 위해서는 이론적인 면과 경험적인 것을 동시에 요구하기 때문에 어려운 분야라고 할 수 있다.

본 논문에서는 재생펌프의 소음 특성을 파악하고 펌프 내부의 유동장을 파악해 유동소음(flow induced noise)으로 발생하는 소음을 줄이는데 초점을 맞추고 있다. 먼저 재생펌프의 소음특성을 파악하기 위해 실험을 통해 주파수분석을 했고 펌프의 소음원(noise source)을 규명하기 위해 인텐시티 맵(intensity map)을 작성하여 주파수별 소음 분포를 규명했다. 펌프내부의 유동을 해석하기 위해 CFD (Computational Fluid Dynamics) 상용 패키지를 이용하여 수행하였다. 유동장에서 계산된 펌프내부의 정압력(static pressure) 변동의 RMS(root mean square value)값을 구하여 소음원의 크기를 대체하였다. 그리고 내부유동으로 인한 유동 소음을 Ffowcs Williams and Hawkings 방정식으로 원음장(far field)에서 음압을 예측하였다. 이러한 해석결과를 바탕

으로 개선된 모델을 제시 하였으며 실험으로 검증 하였다.

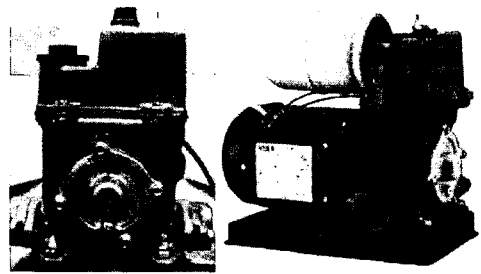


Fig. 1 Regenerative pump

2. 재생펌프의 소음특성

2.1 주파수 분석

재생펌프의 주파수 분석을 통해 소음 특성을 파악 하기 위해 펌프 챔버(chamber)중앙에서 30cm 떨어진 위치에서 마이크로폰으로 소음 측정하였다.

* 부산대학교 기계설계공학과 대학원
.. 부산대학교 기계공학부
... 한국 항공우주 연구원 구조그룹

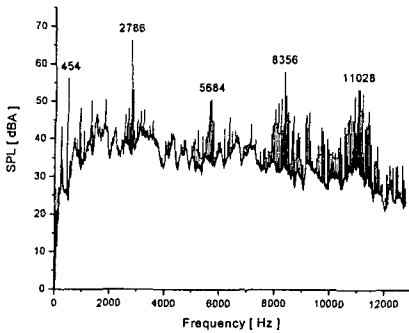


Fig. 2 Sound pressure spectrum of the regenerative pump

재생펌프는 임펠러 잇수가 49 개, 모터를 냉각시키기 위한 팬(fan) 날개수 8 개로 구성되어 있다. 모터는 60Hz 로 가동된다. 그래서 임펠러 회전주파수는 2940Hz, 팬 회전주파수는 480Hz 로 계산할 수 있다. 그런데 출구 쪽에 압력을 가하기 때문에 모터가 60Hz 보다 약간 낮은 57Hz 주파수로 회전하기 때문에 Fig. 2 에서와 같이 팬 회전주파수는 454Hz, 임펠러 회전주파수는 2786Hz 로 된다. 펌프 소음의 지배적인 임펠러 회전주파수는 Fig. 2 에서와 같이 높은 피크(peak)를 가지며 조화(harmonic)성분으로 나타나고 overall 값은 75.5dBA 나왔다.

2.2 소음원 규명

재생펌프 소음 신호의 주파수 분석을 통해 임펠러 회전주파수는 1 차 2786Hz, 2 차 5684Hz, 3 차 8356Hz, 4 차 11028Hz 로 하모닉으로 나타났다. 임펠러 회전주파수의 하모닉 성분이 펌프의 어느 위치에서 소음이 발생하는지를 알기 위해 인텐시티 프로브 마이크로폰(intensity probe mic)을 사용하여 인텐시티 실험을 하였다.

Fig. 3 의(a),(b),(c),(d)에서와 같이 각 주파수별 소음원을 인텐시티 맵을 통해 규명하였다. 임펠러 회전주파수 1 차는 임펠러가 돌아가는 수로부의 입출구 중앙에서 발생했다. 2 차는 물이 들어오는 펌프 챔버 왼쪽부위에서 발생했다. 3 차는 임펠러 수로부와 펌프 챔버 부분에서 발생했다. 마지막으로 4 차는 임펠러 수로부에서 토출되어 펌프 챔버 위쪽으로 올라가는 방향으로 나타났다.

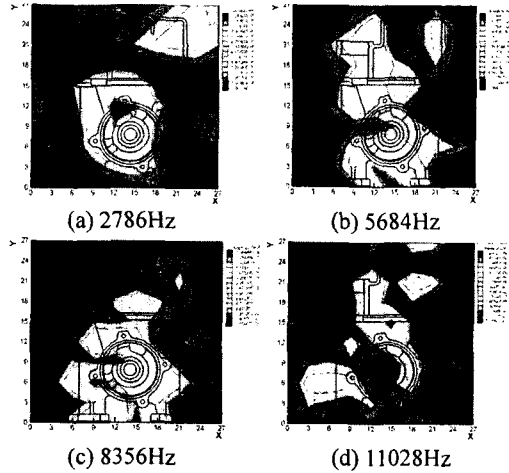


Fig. 3 Intensity map of pump

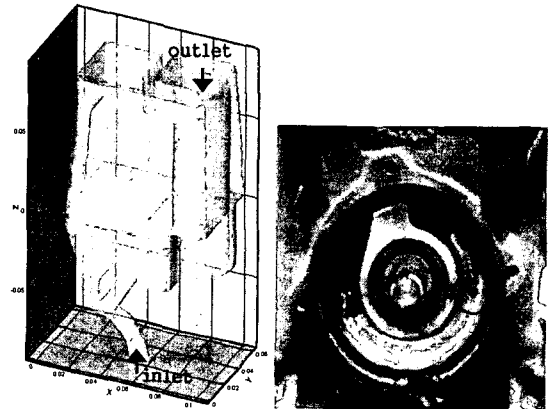


Fig. 4 Pump modeling

Fig. 5 A site of the pressure sensor

3. 재생펌프의 해석

3.1 펌프 내부의 유동장 해석

재생펌프 내부의 유동장 해석을 하기 위해 CFD 상용 패키지를 사용하였다. 모델링은 임펠러가 돌아가는 수로부에서 펌프 챔버 위쪽으로 나가는 출구까지 Fig. 4 같이 3차원으로 하였다.

임펠러 회전 때문에 수로부 토출부에 압력이 맥동하게 된다. 그래서 Fig. 5 같이 압력센서를 사용하여 측정된 신호를 함수로 만들어서 입력 경계조건으로 하였다.

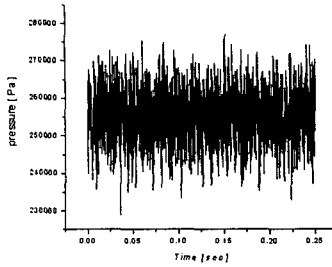


Fig. 6 Time signal of pressure for the inlet boundary condition

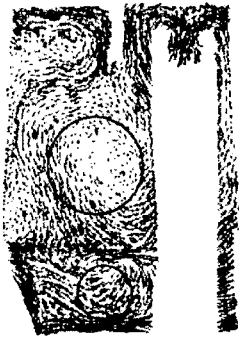


Fig. 7 Velocity vector of a 3cm section

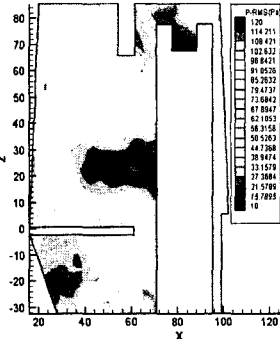


Fig. 8 Static-pressure RMS value of a 3cm section

실제 재생 펌프의 설치 환경과 동일한 조건으로 해석하기 위해 출구 경계 조건을 130000Pa 로 하였다. 재생펌프 해석은 난류모델은 k-ε standard, 비정상 (unsteady) 해석, 시간간격 ($dt=3.0518 \times 10^{-5}$ 초)으로 3 초간 해석하였다.

Fig.7 은 펌프 챔버에서 y 축으로 3cm 단면의 속도 벡터이다. 챔버에서 원 표시 주위의 속도 벡터가 회전하는 것을 알 수 있다. 원 표시 부분에서 와류(vortex)가 발생 한다고 할 수 있다. Fig.8 은 펌프 챔버에서 y 축으로 3cm 단면의 정압력의 RMS 값을 나타내고 있다. 이것은 단면의 각 노드(node)에서 해석된 정압력 변동값을 식(1)로 계산하였다.

$$P_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (p(t) - \bar{p})^2 dt} \quad (1)$$

Fig.8 은 Fig.7 의 원 표시 부분과 같은 위치에서 정압력 RMS 값이 높게 나왔다. 정압력 변동을 나타내는 RMS 값을 통해 펌프 내부에서 압력변동이 어느 위치에서 높게 발생 하는지를 알 수 있다.

3.2 유동소음 해석

재생펌프는 임펠러의 고속회전으로 인한 내부의 복잡한 유동으로 난류가 발생 될 것이다. 난류 때문에 발생하는 유동소음의 크기를 원음장(far field)에서 예측하기 위해 해석하였다. 펌프 챔버 중앙에서 30cm 떨어진 위치에서의 음장 해석을 위해 비정상(unsteady), 난류모델은 LES (Large Eddy Simulation)로 Ffowcs Williams and Hawkings 방정식을 계산하였다.

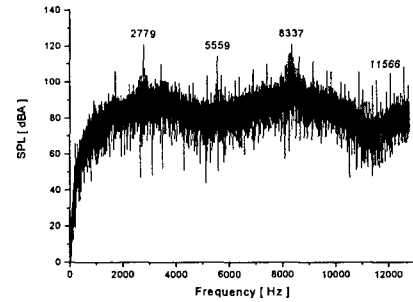


Fig. 9 Sound pressure spectrum of the analysis

해석에 나타난 결과그래프 Fig. 9 는 임펠러 회전 주파수의 하모닉 성분이 실험결과와 거의 일치 하는 것을 확인 할 수 있다. 전체 소음도(overall)값은 135dBA 이다. 해석과 실험의 전체 소음도 값이 차이가 있다. 그 이유는 펌프 챔버의 외각은 쇠로 되어 있어 투과손실(Transmission Loss)이 높고 해석에서는 투과손실이 고려 되지 않았기 때문이다.

그러나 같은 조건의 다른 형상 모델의 유동소음 해석결과를 서로 비교 하여 최적의 모델을 선정 할 수 있겠다.

4. 개선된 펌프 챔버 모델 해석

본 논문 2 절과 3 절에서 재생펌프의 소음특성과 내부유동을 파악하였다. Fig. 8 에서 정압력 RMS 값 분포를 보면 펌프 챔버 중앙에서 와류(vortex)가 많이 발생 하는 것을 확인 할 수 있다. 이 와류를 없애기 위해 간단히 펌프 챔버 중앙에 칸막이를 넣어 Fig. 10 과 같이 모델링 하였다.

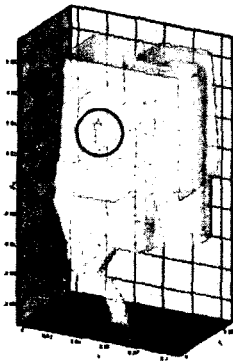


Fig.10 Recommended pump modeling

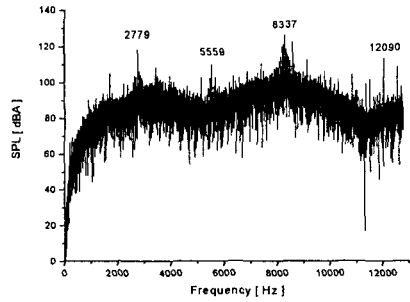


Fig. 13 Sound pressure spectrum of the analysis

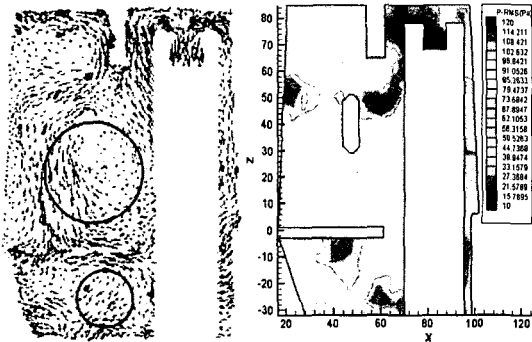


Fig. 11 Velocity vector of a 3cm section

Fig. 12 Static-pressure RMS value of a 3cm section

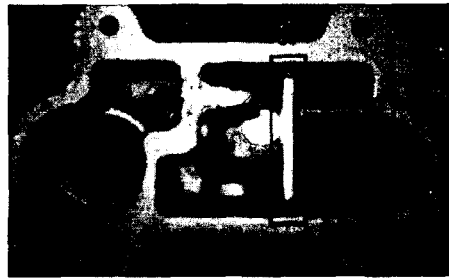


Fig. 14 Modified pump chamber

Fig.13 은 펌프 챔버 중앙에서 30cm 떨어진 위치에서의 해석에 의한 음압 스펙트럼이다. Fig.9 와 같이 임펠러 회전 주파수의 하모닉 성분이 실험결과와 거의 일치 하는 것을 확인 할 수 있다. Fig.13 은 Fig.9 보다 피크들이 조금 낮게 나왔다. 전체 소음도는 실제 펌프 모델 해석 결과보다 2dBA 낮게 예측되었다.

4.1 개선된 모델내부의 유동장 해석

개선된 펌프 챔버 모델을 3 절에서 해석한 것과 같은 과정으로 해석하였다. 펌프 챔버 y 축으로 3cm 단면의 유동장을 비교 하였다.

Fig.11 에서 같이 원 표시 주위의 속도 벡터가 Fig.7 보다 안정적이고 낮게 나왔다. Fig.12 에서 정압력의 RMS 값은 Fig.8 보다 전체적으로 낮게 나왔고, 특히 챔버 중앙부위에서의 높은 값이 없어졌다. 그래서 개선된 모델의 내부 유동이 안정적이고 와류로 인한 유동소음이 낮아 질것이다.

4.2 개선된 모델의 유동소음 해석

개선된 챔버 모델의 원음장을 해석하기 위해 3.2 절에서 실제 재생 펌프 모델에 수행한 방법과 똑같이 유동 소음을 계산하였다.

5. 개선된 모델의 실험

4 절에서 개선된 펌프 챔버 모델 해석 결과가 실제 펌프 해석결과 보다 유동이 안정되고 유동소음이 낮은 값이 나왔다. 해석결과의 타당성을 검증하기 위해 해석에 사용된 개선된 모델과 똑 같은 펌프 챔버를 만들어서 실험 하였다.

Fig.14 에서와 같이 제작한 챔버 모델로 실제 재생펌프 실험과 같은 과정으로 소음 실험하였다.

참고문헌

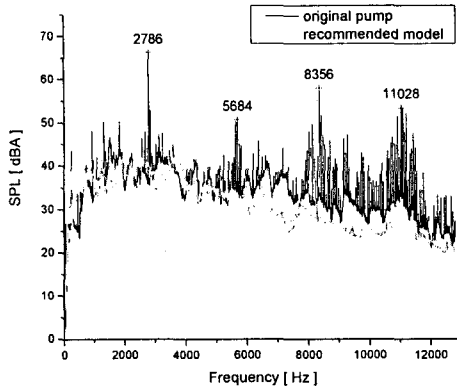


Fig. 15 Measured sound pressure spectrum of the Regenerative pump and recommended chamber model

위에서의 그래프와 같이 개선된 모델이 실제 재생 펌프의 소음레벨보다 전체적으로 낮게 나왔다. 실제 펌프는 75.5dBA, 개선된 모델은 72.5dBA 로 3dBA 줄었다. 해석에서 나타난 결과와 같은 경향성으로 나타났다.

6. 결론

재생펌프의 소음특성을 실험으로 파악한 결과 높은 피크를 가지는 임펠러 회전주파수의 하모닉 성분이 펌프의 지배적인 소음원임을 알 수 있었다. 그리고 인텐시티 맵을 통해 재생펌프에서 소음원 위치를 알 수 있었다. 재생펌프 내부의 유동장 해석을 통해 내부 단면의 정압력의 RMS 값을 가시화 하였다. 또한 Ffowcs Williams and Hawkings 방정식을 이용하여 원음장에서 음압을 예측하였다. 펌프 내부 단면의 정압력 RMS 값의 가시화와 유동장 해석을 통해 유동 소음저감을 위한 개선된 재생펌프 모델을 제시 하였다. 개선된 펌프는 개선전보다 3dBA의 소음저감 효과를 나타내었다.

본 논문에서는 재생펌프의 내부 유동장을 해석하여 실제 제작 단계 전에 형상에 따른 내부 유동 소음을 예측 할 수 있는 방법을 제시 하였다.

앞으로 다양한 형상 변경된 펌프 모델을 선정하여 해석의 타당성을 실험으로 검증 할 필요가 있다.

- (1) Iverson, H.W., 1955, "Performance of the Periphery Pumps", Trans. ASME, Vol.77, pp.19~28.
- (2) Wilson, W.A., Santalo, M.A. and Oelrich, J.A., 1955, "A Theory of the Fluid Dynamics Mechanism of Regenerative Pumps", Trans. ASME, Vol.77, pp1303~1316.
- (3) 이찬 등, 1991, "재생펌프의 성능해석 및 최적화에 관한 연구", 제 15 권, 제 2 호, 대한기계학회논문집, pp 661~667
- (4) 심창열 등, 2003, "재생펌프의 유동해석 및 누설 유동에 관한 연구", B 권, 제 27 권, 제 8 호, 대한기계학회논문집, pp 1015~1022
- (5) 전완호 등, 2003, "가전제품 웬 공력소음 특성 및 해석", 춘계학술발표회 논문집, 한국소음진동공학회, pp.1140~1145.
- (6) A. P. Dowling and J.E Ffowcs Williams, "Sound and Source of Sound"
- (7) F,J Fahy, "Sound Intensity", second edition