

쿨런트 펌프 임펠러 형상 최적화를 통한 성능개선에 관한 연구

길민형*, 이건명**,#

*경상대학교 대학원 기계항공공학부 기계공학전공, **경상대학교 항공기부품기술연구소

Study on Improvement of Performance by Optimizing Impeller Shape of a Coolant Pump

Min Hyeong Gil*, Gun-Myung Lee**,#

*Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Graduate School, Gyeongsang National Univ.,

**Research Center for Aircraft Parts Technology, Gyeongsang National Univ.

(Received 8 March 2019; received in revised form 16 March 2019; accepted 23 March 2019)

ABSTRACT

A coolant pump is the device that cools processed articles and tools when using cutting, boring, and grinding machine tools and provides cutting oil for distributing or cleansing the cut chip to the worktable, processing position, etc. In particular, it consumes a large proportion of energy in machine tools, so it plays an important role in terms of energy efficiency. The purpose of this research is to optimize the shape of impeller, which directly affects performance improvements, to determine the capacity of the coolant pump. To do so, we carried out a parametric analysis with the geometric shape of the impeller as the input variable.

Key Words : Coolant Pump(쿨런트 펌프), Impeller Shape(임펠러 형상), Design of Experiment(실험계획), Optimization(최적화)

1. 서 론

쿨런트 펌프는 공작기계의 절삭, 보링 및 그라인딩 작업 시 가공물과 공구를 냉각시키고 절삭된 칩을 분산시키거나 세척하기 위한 절삭유를 작업 테이블 또는 가공 위치 등에 공급하는 기기이다.

공작기계를 사용한 절삭 및 연삭가공 시 절삭 유제를 적용하는 형태는 Flood(범람식), Jet(분사식), Mist(연무식)의 3가지이며 때로는 수동으로 절삭 부위에 뿌려 지기도 한다. 범람식과 분사식은 저

압 또는 고압의 쿨런트 펌프를 사용하여 다량의 절삭유가 절삭면에 끊임없이 쏟아지도록 하는 방식이며, 연무식은 빠른 속도의 공기 흐름에 절삭 유제를 혼합하여 연무(煙霧) 형태로 분사하는 방식이다.

따라서 피삭성(Machinability, 被削性)의 개선(절삭저항 감소, 마무리면 정도 향상, 공구수명의 연장 등) 및 작업성(Workability, 作業性)의 개선(가공물의 냉각, 잘라낸 칩(Chip) 제거, 가공물의 단기 방청 등)을 위해서는 적절한 위치에 적정량의 절삭유를 분사해 주어야 한다. 또한 John A. Schey^[1]에 따르면 쿨런트 펌프에 의해 공급되는 절삭유의 유량이 많으면 가공 작업 또는 소재에 따라서 칩

Corresponding Author : gmlee@gnu.ac.kr

Tel: +82-55-772-1621, Fax: +82-55-772-1577

컨트롤과 배출이 개선되어 가공물의 높은 세정효과와 큰 가공물 가공 시 효율적으로 열 제거가 가능하여 공구 날끝의 온도를 낮추는데 효과적이다.

일반적으로 가공공정에 필요한 질삭유의 유량은 50 ℓ/min 이상으로, 400 W 이상의 쿨런트 펌프를 사용하고 있는 상황이며, 이는 앞서 언급한 공작기계의 에너지 효율의 저하로 이어져 외국 선진사에 비해 경쟁력이 떨어지는 원인의 하나로 지목되고 있다.

김경엽^[2-3] 등에 의하면 쿨런트 펌프의 에너지 효율을 높이기 위한 설계 요소들 중에는 임펠러 형상, 흡입구 형상, 토출 유로 형상, 임펠러와 하우징의 간격 등이 중요한 요소로 알려져 있으나, 본 논문에서는 쿨런트 펌프의 성능에 가장 크게 영향을 미치는 임펠러 형상 최적화를 통해 성능 개선을 하고자 한다.

임펠러 형상 최적화를 위해 먼저 형상 파라미터를 선정하고, 그 특성을 분석하기 위한 실험계획을 설정한다. 실험계획에 따라 임펠러 형상을 생성하고, 생성된 형상을 이용하여 유동해석을 수행한다. 수행된 결과를 이용하여 형상 파라미터의 특성을 분석하고 그 결과로부터 국부 최적화를 위한 파라미터를 선정한다. 선정된 파라미터로부터 반응표면을 생성하고, 생성된 반응표면과 다목적 유전자알고리즘을 이용하여 국부 최적화를 수행하여 형상 최적화를 수행 하고자 한다.

2. 임펠러 형상 최적화

Fig. 1은 본 연구에서 제안하는 임펠러의 형상 최적화를 위한 파라메트릭 디자인에 따른 최적화의 흐름도를 나타내고 있으며, 파라미터를 선정하고 파라미터 조정을 위한 전역 최적화 과정과 조정된 파라미터에 대한 국부 최적화 과정의 두 부분으로 구성되어 있다.

2.1 전역 최적화

쿨런트 펌프의 에너지 효율을 높이기 위한 설계 요소들 중에는 흡입구 형상, 토출 유로 형상, 임펠

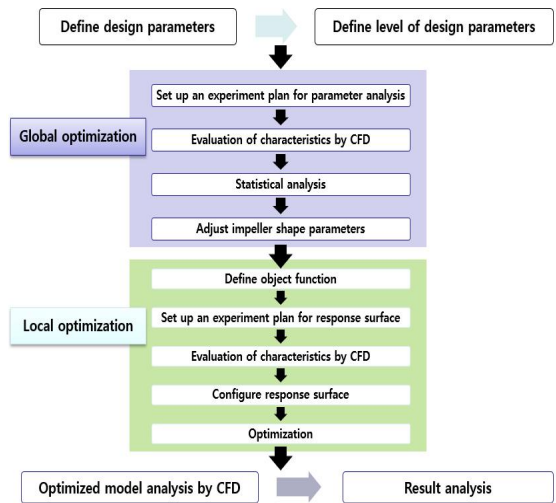


Fig. 1 Optimization process

러와 하우징의 간격 등의 요소들이 있으나, 본 논문에서는 그 중에서 가장 영향이 큰 쿨런트 펌프의 임펠러 형상에 따른 성능 개선을 목표로 삼았다. 쿨런트 펌프 임펠러의 주요 형상 파라미터는 Fig. 2 및 Table 1과 같이 임펠러 날개의 받음각(A), 꼬리각(B), 꼬리반경(R1), 머리반경(R2)을 4개의 인자로 설정하였다. 또한 Phadke, M. S.^[4] 에 따르면 설계 파라미터를 2 수준으로 설정하는 경우는 보통 선형 효과를 파악하는 경우에 주로 사용하며, 3 수준은 비선형성, 즉 곡률 효과와 큰 값과

Table 1 Definition of design parameters

Symbol	Description	Unit	Values
A	Angle of attack	deg	65 ~ 75
B	Angle of tail	deg	65 ~ 75
R1	Tail radius	mm	65 ~ 75
R2	Head radius	mm	2 ~ 4

Table 2 Matrix of design parameters

Levels	Factors			
	A[deg]	B[deg]	R1[mm]	R2[mm]
1	65	65	65	2
2	70	70	70	3
3	75	75	75	4

※ Interaction: AR1 & AR2

작은 값으로 이루어진 구간을 탐색하는데 용이하다.

따라서 본 연구에서는 4개의 인자들에 대해 Table 1 및 Fig. 2와 같이 정의하고, 각 형상 파라미터의 비선형성을 고려하기 위해 형상 파라미터의 수준은 Table 2와 같이 3 수준으로 설정하여 파라미터 분석을 위한 실험계획법에 따른 Matrix를 구성하였다.

생성된 실험계획에 따라 임펠러 형상에 따른 효율을 계산하기 위해 유동해석을 실시하였으며, 이때의 경계 조건은 Fig. 3과 같다. 펌프의 하단에서 유체가 흡입되고, 토출구에 배압이 걸리는 것으로 가정하였다. 토출구에 걸리는 배압은 0.1, 0.4, 0.8, 1.2, 1.6 bar가 걸리는 것으로 설정하여 유동해석을 진행하였다. 임펠러는 3,600 RPM으로 회전하는 것으로 가정하였으며, 작동 유체는 상온의 물을 적용하였다.

평균 Mesh size는 3.0 mm로 설정하였으며, 사용된 난류 모델은 SST (Shear Stress Transport) 모델을 사용하였다. Fig. 4는 유동해석에 대한 성능 특성 계산 결과를 나타내고 있다.

유동해석을 통한 결과로부터 토출 유량, 임펠러 토크 및 효율에 대한 평균분석을 수행하였다. 본

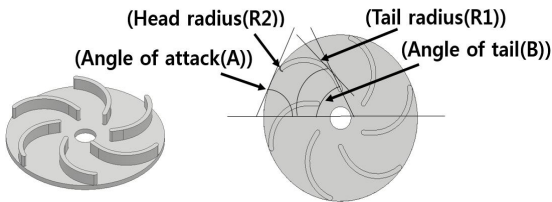


Fig. 2 Design parameters

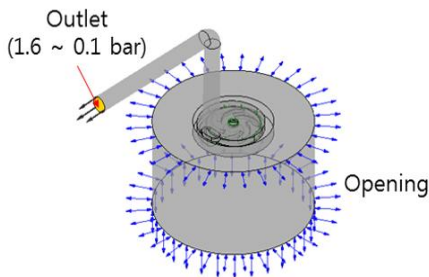


Fig. 3 Boundary condition

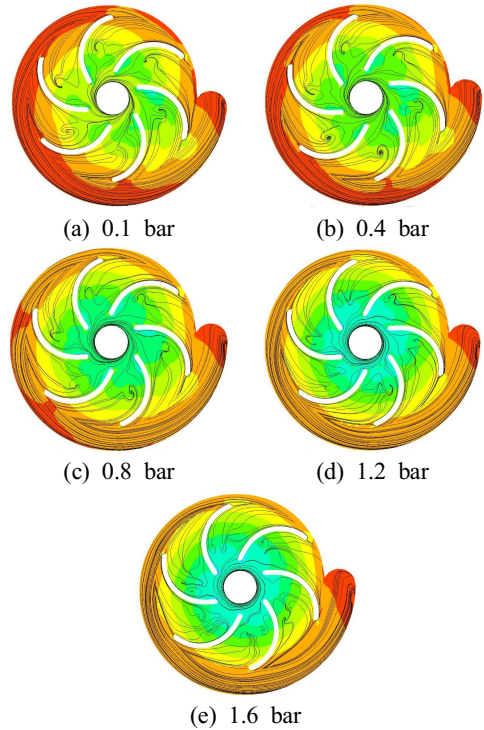


Fig. 4 Primary examples of pressure distribution around the impeller

논문에서는 도출된 실험 특성치인 토출 유량, 임펠러 토크, 효율을 실험 요인 변동으로 분해하여 오차 요인 변동에 비해 큰 영향을 주는 실험 요인을 찾아내었다.

토출 유량 평균분석을 한 결과를 보면 받음각(A)과 꼬리각(B)이 작을수록 토출 유량이 많음을 알 수 있었으며, 임펠러 토크 평균분석을 한 결과를 보면 받음각(A)과 꼬리각(B)이 클수록 임펠러 토크가 작게 나오는 것을 알 수 있었다. 또한 위의 두 결과로부터 효율 평균분석을 한 결과를 보면 받음각(A)과 꼬리각(B)이 클수록 효율이 커지는 것을 알 수 있었다.

평균분석을 통해서 토출 유량과 임펠러 토크에 영향을 미치지 않는 머리반경(R2)을 고정하고, 영향을 미치는 다른 3가지 요소들의 범위를 Table 3과 같이 재조정하여 파라미터 분석 과정을 다시 반복하여 수행하였다.

Table 3 Design parameters adjustment

Symbol	Description	Unit	Values
A	Angle of attack	deg	65 ~ 75
B	Angle of tail	deg	65 ~ 75
R1	Tail radius	mm	65 ~ 75
R2	Head radius	mm	4

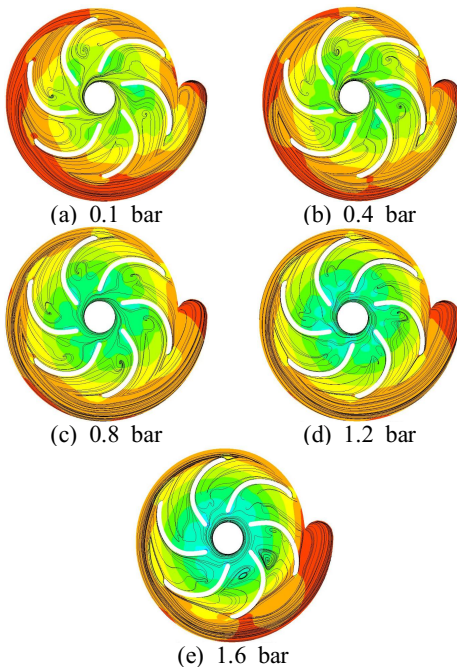


Fig. 5 Secondary examples of pressure distribution around the impeller

2.2 국부 최적화

국부 최적화를 위한 목적 함수는 쿨러트 성능 개선을 위한 요소인 토출 유량, 임펠러 토크, 효율 3가지를 선정하였다. 토출 유량은 최대, 임펠러 토크는 적게, 그리고 효율을 최대화하는 것을 목적 함수로 설정하였다.

또한 실험점의 수가 많지 않으면서 직교블록을 만들기 용이한 Box-Behnken 계획법을 사용하여 반응표면 생성을 위한 실험계획표를 생성하였다.

생성된 실험계획에 따라 위의 2.1 항에서와 같은 방법으로 유동해석을 실시하였으며 특성을 Fig. 5와 같이 분석하였다.

본 연구에서는 보간 기법에 기반을 둔 근사 모델링 기법으로서 비선형성에 강한 특징을 가지고 있는 크리깅 반응표면법을 이용하여 최적화를 수행하여 크리깅 응답 반응표면을 생성하였으며, 다목적유전자 알고리즘을 이용하여 최적화를 수행하였다.

Table 4 Final optimized design parameter values

Symbol	Description	Unit	Values
A	Angle of attack	deg	75
B	Angle of tail	deg	67
R1	Tail radius	mm	67
R2	Head radius	mm	4

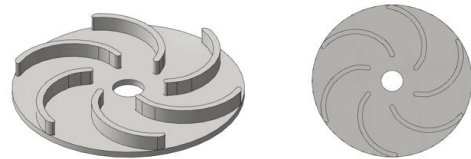


Fig. 6 Final optimized impeller shape

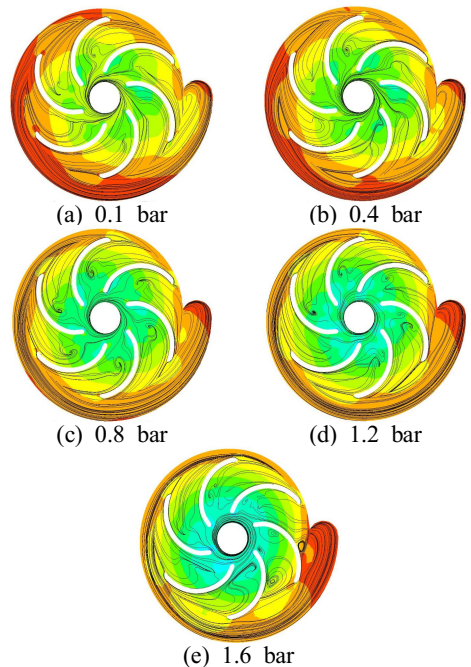


Fig. 7 Pressure distribution around the final optimized impeller

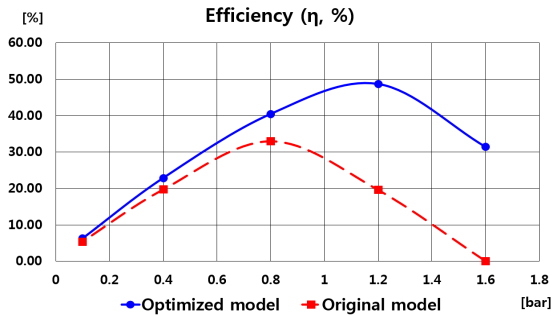


Fig. 8 Comparison of efficiency curves

최적화를 수행한 최종 최적 형상 파라미터를 Table 4와 같이 도출하였으며, Fig. 6은 최적화된 임펠러의 형상이다. 최적화된 임펠러의 형상을 적용하여 유동해석을 수행하였으며, 기존 임펠러 형상을 적용할 때와의 비교 결과를 Fig. 7 ~ Fig. 8과 같이 도출하였다.

해석 결과, 기존 대비 1.2 bar 기준에서 보면 효율이 19.60 %에서 48.68 %로 개선되었음을 알 수 있었다.

3. 결론

본 연구에서는 쿨런트 펌프의 성능을 개선하기 위해 임펠러의 형상을 최적화하는 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 쿨런트 펌프 임펠러 형상 최적화에 필요한 파라미터를 선정하고, 실험계획법을 이용하여 그 특성을 분석하였다.
2. 형상 파라미터 특성 분석 결과로부터 국부 최적화를 위한 파라미터의 인자를 줄일 수 있었다.
3. 국부 최적화된 파라미터를 이용하여 반응표면을 생성하고 다목적유전자 알고리즘을 이용하여 최적화를 수행할 수 있었다.
4. 최적화된 임펠러 형상을 적용한 모델로 유동해석을 수행하여 쿨런트 펌프의 성능이 개선되었음을 확인할 수 있었다.
5. 본 연구에서 제안한 쿨런트 펌프 임펠러 형상 최적화 방법을 통하여 쿨런트 펌프 성능 개선에 대한 타당성을 입증할 수 있었다.

6. 본 연구는 쿨런트 펌프의 성능 개선을 위한 임펠러 형상을 도출할 수 있도록 실험계획법에 의해 제시하였다.

특히 쿨런트 펌프는 동작기계의 운전 조건에서 매우 큰 비중을 차지하기 때문에 본 연구에서 제안한 개선 방안은 큰 의미가 있을 것으로 판단된다. 그리고 향후 후속 연구를 통해 임펠러 형상에 다른 설계 요소들의 최적해를 도출하는 데에도 상당히 유용한 기초 자료로 활용되기를 기대한다.

REFERENCES

1. John A. Schey, "Introduction to Manufacturing Processes", Interscience, Vol. 1, pp. 565-573, 2001.
2. Kim, K. Y., Park, H. Y., "Pump Handbook", Dong Myeong Publishers, Vol. 1, pp. 65-82, 2002.
3. Lee, S. K., "Influence of Impeller Outlet Angles in Pump Flow Patterns and Characteristics", Korean Society for Fluid Machinery. Vol. 3, No. 1, pp. 28-36, 2000.
4. Phadke, M. S., "Quality Engineering Using Robust Design", AT&T Bell Laboratories, Vol. 1, pp. 165-182, 1992.