

로테이션 래치 시스템 성능 향상을 위한 최적 설계

장재환*, 김진호*,#

*영남대학교 기계공학과

Optimal Design for Improved Rotation Latch System Performance

Jae-Hwan Jang*, Jin-Ho Kim*,#

*School of Mechanical Engineering, Yeungnam UNIV.

(Received 14 July 2015; received in revised form 24 July 2015; accepted 24 August 2015)

ABSTRACT

In this paper, we study the optimal design for improved rotation latch system performance. The factors affecting the Torque generated in the armature were chosen as design variables. Utilizing the vertical matrix, the orthogonal array table was created to predict the results through minimal analysis. To confirm the Torque generation amount, by utilizing the commercial electromagnetic analysis software MAXWELL, finite element analysis was performed. The approximation method and experimental design through the commercial PIDO tool PIA_nO for optimal design and calculations were utilized to perform experiments using an optimization method with evolutionary algorithms. Using the approximation model, design factors were determined that can maximize the torque generated in the armature, and the simulation was performed.

Key Words : Rotation Latch System(로테이션 래치 시스템), Electromagnetic Latch(전자기 래치), Optimal Design(최적설계), Evolution Algorithm(진화알고리즘)

1. 서 론

래치 시스템은 회전운동을 제어하여 잠금 및 해제를 수행함으로 회전운동 시 효율적인 힘을 전달할 수 있는 중요한 매개체이다. 차량에 사용되는 래치 시스템은 닫힘 상태를 유지해 주는 장치로써 개폐 및 잠금 장치들과 연결되어 사용자가 필요시, 열고 닫게 하는 매개 역할을 한다. 래치 시스템의 구조는 기계식과 전자기식으로 나눌 수 있다. 기계식은 사용자가 수동으로 로드에 힘을 주어 개폐하는 구조이며, 전자기식에 비해 오작동이

없으므로 안정적이다. 전자기식은 전기신호를 이용하여 조작성이 간편한 장점이 있다.^[1] 최근에는 사용자의 편의 및 전자장치의 보급화에 따라 전자기식 래치의 사용이 증가하고 있다. 전자기식 래치 시스템은 조작성은 편리해졌지만, 구조는 복잡해지고 있는 추세이다.^[2] 따라서, 본 논문에서는 솔레노이드를 이용한 방식의 로테이션 래치 시스템을 개발 및 최적설계를 수행한다.

아마추어에 발생하는 Torque를 최대화하는 최적설계를 위해 아마추어와 스테이터 teeth 사이의 공극 A_g 와 코일의 높이 C_h , 스테이터의 총 반경 R 을 구속조건으로 고려하였으며, 스테이터의 두께 S_t , 아마추어의 반경 A_r , 스테이터 teeth의 두께 T_h 를 각 3수준의 설계변수로 선정하였다. Fig. 1은 로테

Corresponding Author : jinho@ynu.ac.kr
Tel: +82-53-810-2441, Fax: +82-53-810-4627

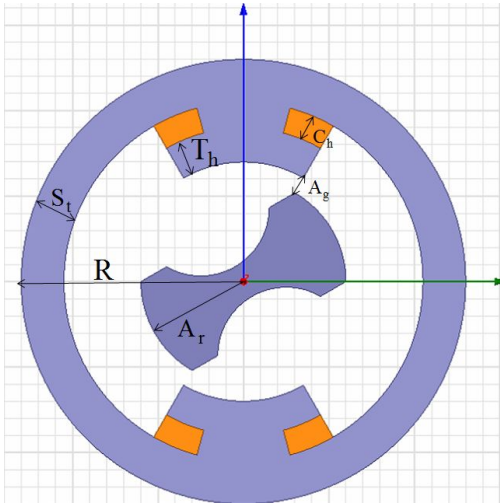


Fig. 1 Diagram and variables of Latch system

이선 래치 시스템의 개념도이다. 수직행렬을 활용하여 최소한의 해석을 통해 결과를 예측하도록 직교배열표를 작성하여, 상용 전자기 해석 소프트웨어 MAXWELL을 활용하여 유한요소해석을 수행하였다. 이를 바탕으로 상용 PIDO 툴인 PIAAnO를 이용하여 최적화하여 초기 모델과 비교를 하였다.

2. 설계 목표 및 문제 정의

2.1 설계변수

본 연구는 로테이션 래치 시스템의 성능을 향상시키는 것이 목표이다.

로테이션 래치 시스템은 전류가 인가되면 아마추어가 60° 만큼 회전하면서 래치가 결합하게 되고, 전류가 차단되면 제자리로 돌아가면서 풀리게 되는 원리이다. 따라서, 아마추어에 발생하는 Torque에 영향을 미치는 변수를 설계변수로 지정한다. 선정된 각 설계 변수를 Table 1에 나타내었다.

2.2 구속조건

로테이션 래치 시스템의 전체적인 크기는 래치 시스템의 설치를 위한 공간이 제한되어 있기 때문에, 래치 시스템의 전체 크기가 제한되어 있다. 따라서, 래치 시스템의 반경 R을 6.5mm, 코일의

Table 1 design variables

	Design variables
S_t	thickness of stator
T_h	height of teeth of stator
A_r	radius of amateur

Table 2 Electronic characteristics

	Parameter	Value
V	Input voltage	12 [V]
R	Resistance	0.548 [Ω]
I	Current	1000[A · turns]
I_{allow}	Allowable current	10.16 [A]

높이 C_h 를 1mm, 스테이터 teeth 사이의 공극 A_g 를 0.5mm로 설정하였다. 본 연구에서 설계한 스테이터와 아마추어의 재질은 Steel 1010이다.

2.3 솔레노이드 설계

솔레노이드를 설계하기 위해서 본 연구에서는 코일 규격 AWG(American Wire Gauge) 38을 사용하였다. AWG 38의 직경은 0.1 mm 이다. 코일 내부온도를 상온 25°C로 설정하여 Onderdonk's equation; 식 (1)을 이용하여 코일에 흐를 수 있는 허용 전류를 계산할 수 있다.^[3]

$$I_{allow} = A \times \sqrt{\frac{\log(1 + \frac{T_m - T_a}{234 + T_a})}{33 \times t}}$$

(1)

I_{allow} : 허용전류[A]

A : 코일의 단면적[mm²]

t : 전류 인가 시간[sec]

T_m : 애나멜의 녹는점[°C]

T_a : 상온[°C]

코일의 저항을 R이라 할 때, 식 (2)을 이용하여 전체 코일의 저항을 구할 수 있다.^[4] 충분한 양의 전류가 흐를 수 있도록 코일은 100턴을 권선하였다.

$$R = N \times \frac{l}{A} \times \rho_{copper} \quad (2)$$

N : 코일의 턴수 [turns]
 l : 코일 한 턴의 길이 [mm]
 A : 코일의 단면적 [mm²]
 ρ_{copper} : 구리의 비저항 [Ω m]

Table 2은 설계된 솔레노이드에 따른 전기적 특성을 나타낸다.

3. 최적설계

3.1 설계요구사항

로테이션 래칭 시스템 최적 설계의 목표는 최대의 토크를 발생시키는 것이다. 토크에 영향을 미치는 설계변수의 초기값과 하한값, 상한값은 Table 3에 나타내었다.

3.2 최적설계 문제 정식화

주어진 설계요구사항을 만족하는 설계변수를 찾기 위한 설계문제를 정식화하면 다음과 같다.

Find S_t, T_h, A_r

To maximum torque

Subject to

$$1 \text{ mm} < S_t < 1.5 \text{ mm}$$

$$0.75 \text{ mm} < T_h < 1.25 \text{ mm}$$

$$2.5 \text{ mm} < A_r < 3.5 \text{ mm}$$

$$S_t + T_h + A_r + 0.5\text{mm}(\text{공극}) + 1\text{mm}(\text{코일의 높이}) = 6.5 \text{ mm}$$

3.3 실험계획법

Table 3 Initial, lower limit and upper limit of design variables

	Lower	Initial	Upper
S_t	1 mm	1.25 mm	1.5 mm
T_h	0.75 mm	1 mm	1.25 mm
A_r	2.5 mm	3 mm	3.5 mm

Table 4 Table of orthogonal arrays

case	S_t	T_h	A_r
1	1	0.75	3.5
2	1	1	3.25
3	1	1.25	3
4	1.25	0.75	3.25
5(initial)	1.25	1	3
6	1.25	1.25	2.75
7	1.5	0.75	3
8	1.5	1	2.75
9	1.5	1.25	2.5

본 논문에서는 설계변수의 개수와 수준을 고려하여 상용 PIDO틀인 PIANO를 활용하여 근사모델의 높은 정확도를 위한 실험이 되도록 $L_9(3^4)$ 를 활용하여 최소한의 해석을 통해 결과를 예측할 수 있는 직교배열표를 작성하고 상용 전자기 해석 프로그램 MAXWELL을 활용하여 유한요소해석을 수행하였으며, 사용된 직교배열표는 Table 4와 같다.^[5]

3.4 근사화기법

근사모델은 관심영역 일부나 전체 영역에서 실제 해석모델의 반응값과 변수값과의 관계를 근사화 한다.^[6] 직교배열표를 이용한 결과로부터 근사모델인 크리깅(kriging)모델을 생성하였다. 대표적인 보간모델인 크리깅은 설계변수가 많고 비선형성인 시스템에서 우수한 예측성능을 보이고, 값을 알고 있는 주위의 값들을 선형 조합으로 예측하는 통계학적 기법이다.^[7] PIANO에서 제공하는 R^2_{pred} 의 값은 85%로서 정확도가 충분하다고 판단되어 최적화에 적용하였다.

3.5 최적화기법

진화알고리즘(Evolution Algorithm: EA)를 이용하여 최적 설계를 수행하였다. 확률론적 최적화 기법의 하나인 진화 알고리즘은 설정한 설계 변수인 부모 개체군으로부터 일정한 범위 내에서 확률 변수를 발생시켜 차기 개체군을 생성 시킨다. 부모 개체군과 차기 개체군을 통해 원하는 설계 목표에 가장 근접한 변수를 선택하여 설계 변수를 재구성

한다. Fig. 2는 진화알고리즘의 순서도이다.

3.3 실험계획법 및 3.4 근사화기법을 통해 85%의 크리깅모델 성능 정확도를 확인하였고 진화알고리즘을 사용하여 최적화 값을 도출하였다.^[8]

Table 5에 최적화를 통해 도출된 변수값을 나타내었다.

3.6 최적설계 결과 및 고찰

최적설계의 결과는 주어진 구속조건을 만족하면서 아마추어에 발생하는 Torque를 초기값(11.12 N·mm)에 비해 12.412 (N·mm)으로 11.57% 증가하였다. 근사모델을 이용한 최적설계 결과와 실제 해석값의 차이를 확인하기 위해 최적화를 통해 얻어진 설계 변수를 사용하여 상용 전자기 해석 프로그램인 MAXWELL을 이용하여 확인 해석을 수행하였다.

Table 5 Result of optimization

	Lower	Initial	Optimal	Upper
St	1 mm	1.25 mm	1.314mm	1.5mm
Th	0.75mm	1 mm	0.752mm	1.25mm
Ar	2.5 mm	3 mm	3.184mm	3.5mm

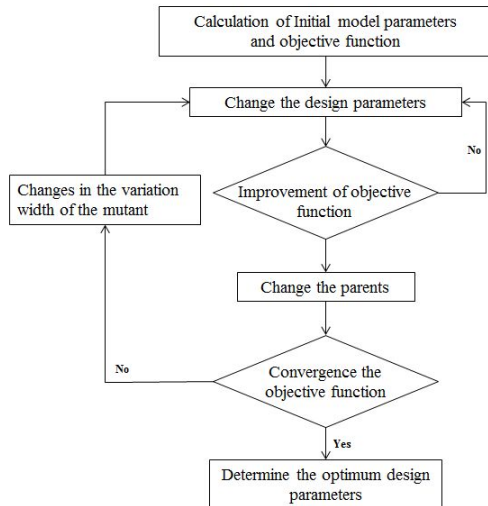


Fig. 2 Flowchart of Evolution Algorithm

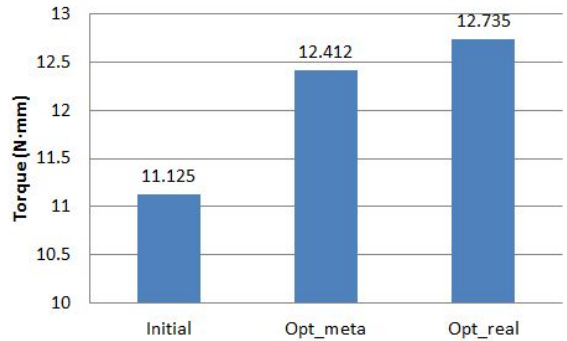


Fig. 3 Comparison of performance number

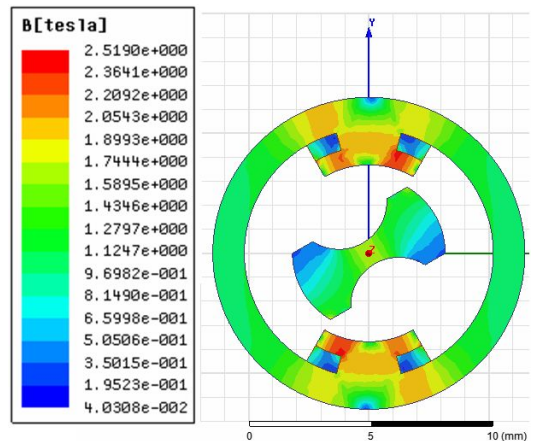
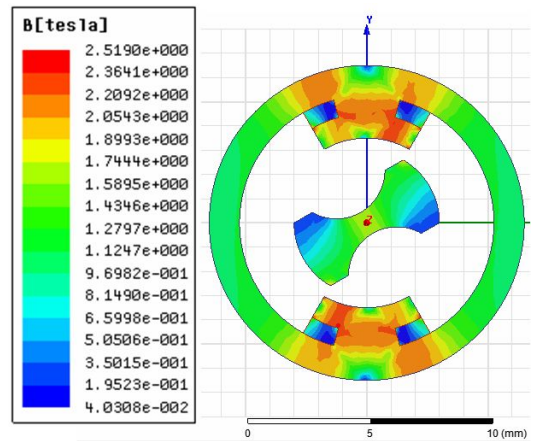


Fig. 4 Comparison of B field of initial model and optimal model

근사모형을 이용한 최적설계 결과(Opt_meta)에 비해 최적설계를 통해 결정된 변수값을 사용한 실제 해석값(Opt_real)은 2.6% 증가한 12.735 (N · mm)으로 발생하였다. Fig. 4는 (a) 초기 모델과 (b) 최적 설계 모델의 자속 분포도를 나타내고 있다. (a) 초기 모델에 비해 (b) 최적 설계 모델은 자속 분포가 고르기 때문에 Torque가 더 크게 발생한다.

4. 결론

본 연구에서는 로테이션 래치 시스템 성능향상을 위한 최적화 설계 연구를 진행하였다. 상용 전자기 해석 프로그램인 MAXWELL을 이용하여 아마추어에 발생하는 Torque를 구하였다. Torque에 영향을 미치는 설계변수 및 수준을 결정하여, 상용 PIDO 툴인 PIAAnO를 사용하여 전산 실험을 수행하였다. 전산 실험 결과로부터 근사모델 생성 후 정확도를 검증하였다. 검증된 근사모델과 진화 알고리즘을 사용하여 구속조건을 만족시키면서 아마추어에 발생하는 Torque를 초기 11.12 N · mm에서 최적화 12.735 N · mm로 14.52% 증가된 설계 변수를 결정하였다.

본 연구의 결과를 바탕으로 추후에 로테이션 래치 시스템을 제작 및 실험을 통한 해석결과와의 비교 연구를 진행 할 예정이다.

REFERENCES

1. Yoon, H. S., Chae, H. J., Lee, J. H. and Cho, N. K., "Development of Hydrazine Thruster Latching Valve," Proceedings of the Korean Society of Propulsion Engineers, pp. 363-367, 2005.
2. Kim, K. N., Noh, Y. J. and Kim, D. H., "Optimization of Base Plates and Contact Switches in Trunk Latches," Trans. of KSAE, Vol. 22, No. 3, pp. 97-104, 2014.
3. Shong, K. M. and Roh, Y. S., "A Study on Discrimination between Short-Circuit and Overload based on the Characteristics of the Fusing Current of an Electrical Wire," J. KIEE, Vol. 21, No. 10, pp. 176-180, 2007.
4. Lee, S. J., Lee, J. H., Lee, D. Y., Seo, T. W. and Kim, J. H., "Optimal Parametric Design of Coil Gun to Improve Muzzle Velocity," J. KSMTE, Vol. 23, No. 4, pp. 408-412, 2014.
5. Kang, D. M., Kwak J. S., Choi J. W. and Park, K. D., "Optimization for Friction Welding of AZ31 Mg Alloy by Design of Experiments," J. KSMPE, Vol. 10, No. 4, pp. 64-69, 2011.
6. Ha, H. G., Oh, S. J. and Yee, K. J., "Feasibility Study of Hierarchical Kriging Model in the Design Optimization Process," J. of KSAS, Vol. 42, No. 2, pp. 108-118, 2014.
7. Kim, J. G. and Lee K. H., "A Structural Design of Microgyroscope Using Kriging Approximation Model," J. KSMPE, Vol.7, No. 4, pp. 149~154, 2008.
8. Lim, S. H., Choi, N. S., Kim, N. K. and Kim, D. H., "Optimization of BLDC Motor to Minimize Cogging Torque Using Response Surface Method and Evolutionary Algorithm," Proceedins of KIEE Conference, pp. 213-215, 2010.