

코깅힘 저감 방법을 적용한 선형모터로 구성되는

Pick & Place 모듈

Pick & Place Module consist of Linear Motor using Cogging Force Reduction Method

정 명 진*

Myung-Jin Chung*

Abstract

The pick & place module is used as a core module in the process equipment for producing and inspecting semiconductor components. The conventional pick & place module has the disadvantage that the precision and durability of the system are reduced and the size and weight of the module are increased by using a conversion device that converts rotary motion into linear motion. In this study, we proposed a pick & place module that implements up-and-down linear motion without a conversion device by improving such disadvantage and employs a linear motor with no limit on average thrust and travel distance. Design parameter values, that can reduce cogging force while maintaining average thrust by selecting parameters for designing a core type linear motor with a large thrust to volume ratio and analyzing the effect of cogging force according to design parameter changes through magnetic analysis, was selected. Average thrust and cogging force were measured for the pick & place module composed of the manufactured linear motor and compared with the design values.

요 약

반도체 부품을 생산 및 검사하기 위한 다양한 공정 장비에서 상하직선운동과 회전운동을 동시에 수행하기 위한 Pick & Place 모듈이 핵심 모듈로 사용되고 있다. 기존의 Pick & Place 모듈은 회전운동을 직선운동으로 변환하는 변환장치를 사용하여 시스템의 정밀도 및 내구성이 저하되고 모듈의 크기와 무게가 증가되는 단점이 있다. 본 연구에서는 이와 같은 단점을 개선하여 변환장치 없이 상하직선운동을 구현하며, 평균 추력과 이동거리에 제한이 없는 선형모터를 적용한 Pick & Place 모듈을 제안하였다. 체적대비 추력비가 큰 코어 방식의 선형모터를 설계하기 위한 파라미터를 선정하고, 자기해석을 통해 설계 파라미터 변화에 따른 코깅힘의 영향을 분석하여 평균 추력을 유지하며 코깅힘을 저감할 수 있는 설계 파라미터 값을 선정하였다. 제작된 선형모터로 구성되는 Pick & Place 모듈에 대해 평균 추력 및 코깅힘을 측정하여 설계값과 비교하였다.

Key words : Cogging force, Linear motor, Magnetic analysis, Pick & Place, Structural analysis, Trust force

* Dept. of Mechatronics Engineering, Korea Polytechnic University

★ Corresponding author

E-mail : mjchung@kpu.ac.kr, Tel : +82-31-8041-0461

※ Acknowledgment

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(NRF-2018R1D1A1B07041829).

Manuscript received Aug. 27, 2020; revised Sep. 9, 2020; accepted Sep. 14, 2020.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

I. 서론

반도체 부품을 생산 및 검사하기 위한 테스트 핸들러, 칩마운터, Die Bonder, Die Sorter, LCD Glass Scribe 등의 다양한 공정 장비에서 상하직선운동과 회전운동을 동시에 수행하기 위한 Pick & Place 모듈이 핵심 모듈로 사용되고 있다[1-5]. 기존의 Pick & Place 모듈은 회전운동을 직선운동으로 변환하는 볼 스크류, 랙 & 피니언과 같은 변환장치를 사용하여 시스템의 정밀도 및 내구성이 저하되고 모듈의 크기와 무게가 증가되는 단점이 있다[1]. 이를 개선하기 위해 Y.G. Bae는 반도체 패키지 검사 장비에 사용되고 있는 Picking System의 경량화를 위한 방법을 제안하였으며[4], A.R. Jeon은 반응표면법과 유한요소법을 이용하여 Pick & Place 모듈의 디텐트 힘 저감을 위한 리니어 모터의 고정자 치 형상을 찾는 방법을 제안하였다[5]. SMAC 사에서는 소형화를 위해 보이스 코일모터를 적용하여 상하직선운동을 구현한 Pick & Place 모듈을 적용하고 있으나[6], 추력과 이동거리에 제한이 있어 다양한 제조공정에 적용하는데 한계를 가지고 있다.

본 연구에서는 기존의 Pick & Place 모듈에서 사용하는 변환장치 없이 상하직선운동을 구현하며, 평균 추력과 이동거리의 제한을 극복하기 위해 선형모터를 적용한 Pick & Place 모듈을 제안하였다. Pick & Place 모듈에서 요구되는 평균추력 확보 및 코깅힘 저감을 위해 코어 방식의 선형모터에 대한 자기해석을 통해 설계 파라미터 변화에 따른 평균 추력 및 코깅힘의 영향을 분석하여 설계 파라미터 값을 선정하고, 설계된 선형모터의 구조 안정성을 검증하기 위해 구조해석을 수행하였다. 제작된 선형모터로 구성되는 Pick & Place 모듈에 대해 평균 추력 및 코깅힘을 측정하여 설계값과 비교하였다.

II. 본론

1. Pick & Place 모듈 구성

Pick & Place 모듈은 그림 1과 같이 상하직선운동을 수행하기 위한 선형모터(코일, 자석, 코어, backiron 등을 포함), 회전운동을 수행하기 위한 회전모터 및 부품을 집고 놓기 위한 마운트로 구성된다.

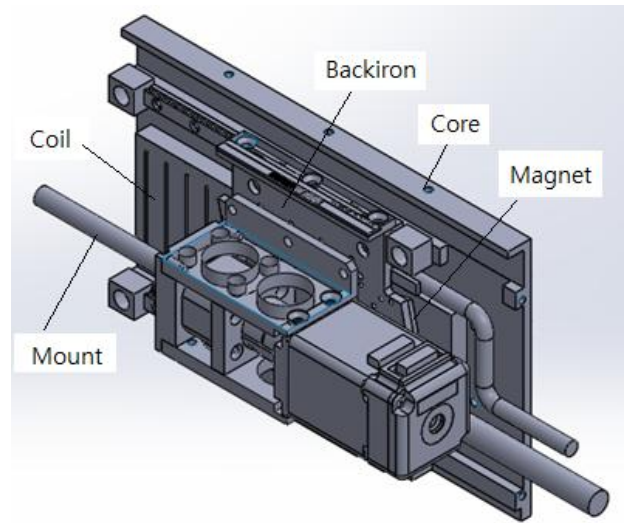


Fig. 1. Configuration of Pick & Place Module.

그림 1. Pick & Place 모듈 구성도

2. Pick & Place 모듈용 선형모터 설계

Pick & Place 모듈용 선형모터로 체적대비 추력비가 큰 특성을 갖는 코어 방식의 선형모터를 선정하고, 선형모터의 설계 파라미터를 설정하여 코어 방식에서 발생하는 코깅힘을 저감하기 위한 자기해석을 수행 하였다.

가. 코깅힘에 영향을 주는 설계 파라미터 선정

그림 2와 같이 Pick & Place 모듈용 선형모터는 고정 코일형 선형모터를 적용하므로 자석이 부착되는 이동자의 backiron 길이, backiron의 bump 높이, 코일이 배치되는 고정자의 코어 치의 chamfer 폭, 자석-코일의 상대 skew 길이를 코깅힘에 영향을 주는 설계 파라미터로 설정하였다.

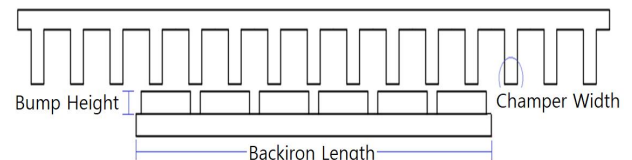


Fig. 2. Define of design parameter of linear motor.

그림 2. 선형모터의 설계 파라미터 설정

설정된 각 설계 파라미터에 따른 코깅힘을 자기해석을 통해 추정하고, 기본주기에 해당하는 이동거리에서 코깅힘의 최대-최저값이 작은 설계 파라미터 값을 선형모터의 설계값으로 결정한다.

나. 설계 파라미터에 따른 코깅힘 비교

(1) Backiron 길이에 따른 코깅힘

그림 3과 같이 자석이 부착되는 이동자의 backiron 길이(L) 변화에 따른 코깅힘을 비교하기 위해 자기해석 모델을 설정하였다. 자기해석 모델에서 backiron 길이 이외의 설계 파라미터는 기본 설계값을 사용하였다.

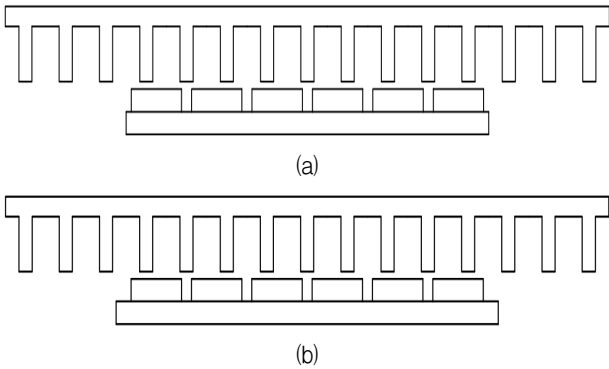


Fig. 3. Magnetic analysis model according to backiron length: (a) L=24mm, (b) L=28mm.

그림 3. Backiron 길이에 따른 자기해석 모델 : (a) L=24mm, (b) L=28mm

자기해석을 통해 이동자의 backiron 길이에 따른 자속 분포(그림 4)와 이동거리에서 코깅힘의 변화(그림 5)를 분석하였다.

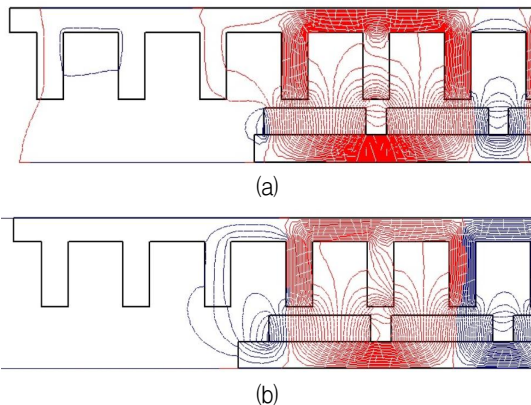


Fig. 4. Magnetic flux distribution according to backiron length: (a) L=24mm, (b) L=28mm.

그림 4. Backiron 길이에 따른 자속 분포 : (a) L=24mm, (b) L=28mm

그림 5에서 선형모터의 기본주기에 해당하는 24mm의 이동거리에서 코깅힘의 최대-최저값은 backiron 기본길이 24mm에서 12.42N, 비교길이 28mm에서

8.87N으로 비교길이의 경우에 코깅힘의 최대-최저값이 28.6% 감소됨을 확인하였다.

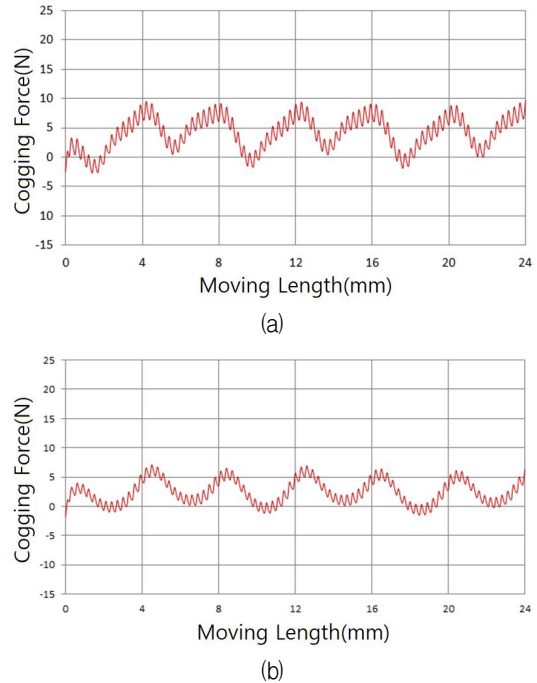


Fig. 5. Cogging force in the stroke according to backiron length: (a) L=24mm, (b) L=28mm.

그림 5. Backiron 길이에 따른 이동거리에서 코깅힘 : (a) L=24mm, (b) L=28mm

(2) Bump 높이에 따른 코깅힘

그림 6과 같이 자석이 부착되는 backiron의 bump 높이(H) 변화에 따른 코깅힘을 비교하기 위해 자기해석 모델을 설정하였다. 자기해석 모델에서 bump 높이 이외의 설계 파라미터는 기본 설계값을 사용하였다.

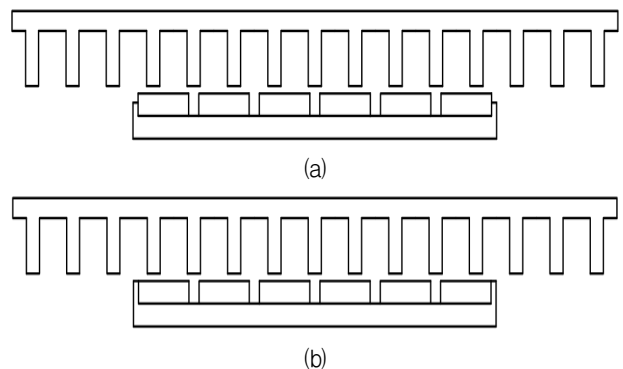


Fig. 6. Magnetic analysis model according to bump height: (a) H=1.5mm, (b) H=2.5mm.

그림 6. Bump 높이에 따른 자기해석 모델 : (a) H=1.5mm, (b) H=2.5mm

자기해석을 통해 이동자의 bump 높이에 따른 자속 분포(그림 7)와 이동거리에서 코깅힘의 변화(그림 8)를 분석하였다.

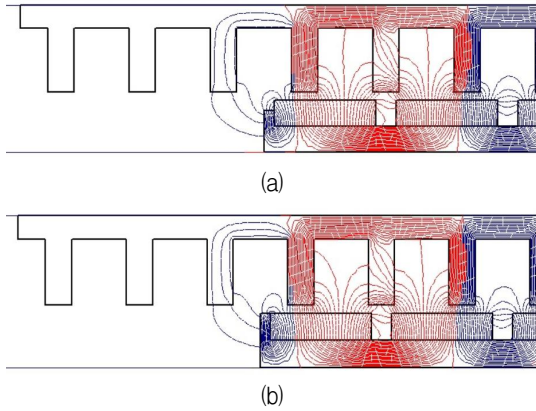


Fig. 7. Magnetic flux distribution according to bump height: (a) H=1.5mm, (b) H=2.5mm.
그림 7. Bump 높이에 따른 자속 분포 : (a) H=1.5mm, (b) H=2.5mm

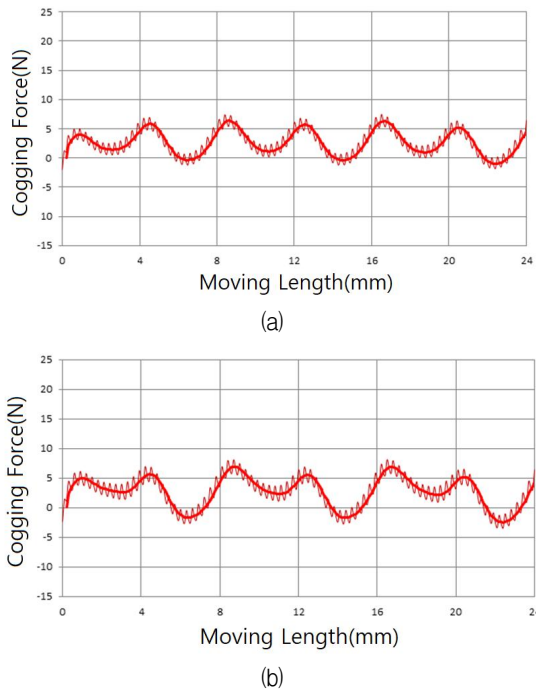


Fig. 8. Cogging force in the stroke according to bump height: (a) H=1.5mm, (b) h=2.5mm.
그림 8. Bump 높이에 따른 코깅힘 : (a) H=1.5mm, (b) H=2.5mm

그림 8에서 선형모터의 기본주기에 해당하는 24mm의 이동거리에서 코깅힘의 최대-최저값은 bump 기본높이 0mm에서 12.42N, 비교높이 1.5mm에서 9.51N, 비교높이 2.5mm에서 11.62N으로 비교높이

1.5mm의 경우에 코깅힘의 최대-최저값이 23.4% 감소됨을 확인하였다.

(3) Chamfer 폭에 따른 코깅힘

그림 9와 같이 코일이 배치되는 고정자의 코어 tooth의 chamfer 폭(W) 변화에 따른 코깅힘을 비교하기 위해 자기해석 모델을 설정하였다. 자기해석 모델에서 chamfer 폭 이외의 설계 파라미터는 기본 설계값을 사용하였다

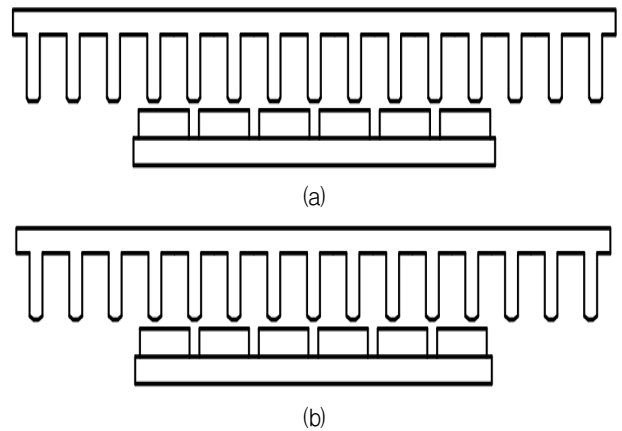


Fig. 9. Magnetic analysis model according to tooth chamfer width: (a) W=0.4mm, (b) W=0.8mm.
그림 9. Chamfer 폭에 따른 자기해석 모델 : (a) W=0.4mm, (b) W=0.8mm

자기해석을 통해 tooth의 chamfer 폭에 따른 자속 분포(그림 10)와 이동거리에서 코깅힘의 변화(그림 11)를 분석하였다.

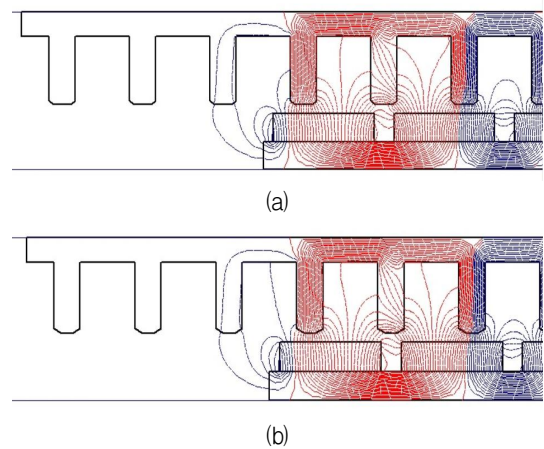


Fig. 10. Magnetic flux distribution according to tooth chamfer width: (a) W=0.4mm, (b) W=0.8mm.
그림 10. Chamfer 폭에 따른 자속 분포 : (a) W=0.4mm, (b) W=0.8mm

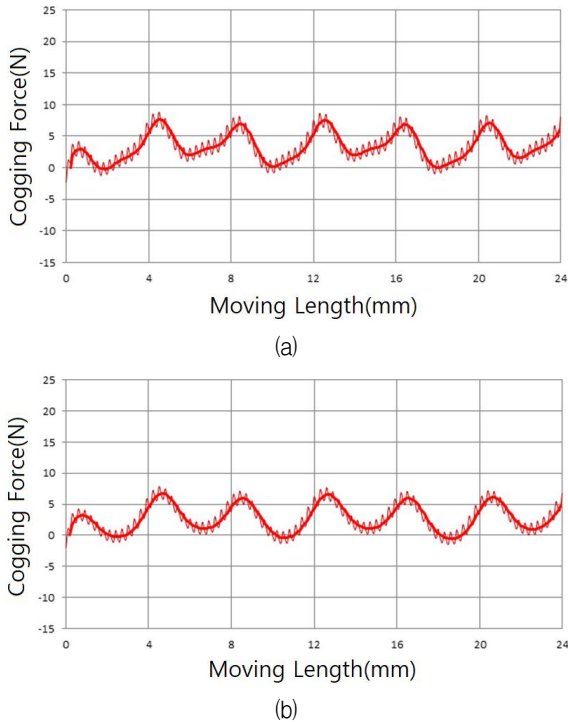


Fig. 11. Cogging force in the stroke according to tooth chamfer width: (a) W=0.4mm, (b) W=0.8mm.
 그림 11. Chamfer 폭에 따른 코깅힘 : (a) W=0.4mm, (b) W=0.8mm

그림 11에서 선형모터의 기본주기에 해당하는 24mm의 이동거리에서 코깅힘의 최대-최저값은 chamfer 기본폭 0mm에서 12.42N, 비교폭 0.4mm에서 11.14N, 비교폭 0.8mm에서 9.81N으로 비교폭 길이 0.8mm의 경우에 코깅힘의 최대-최저값이 21.0% 감소됨을 확인하였다.

(4) 상대 skew 길이에 따른 코깅힘

선형모터의 설계 파라미터에 대해 기준값을 적용하여 자기해석으로 구한 기본주기의 이동거리에서 코깅힘 분포를 이용하여 자석-코일의 상대 skew를 2mm, 4mm, 8mm로 하는 경우에 대한 코깅힘의 분포는 그림 12와 같다.

그림 12에서 자석-코일의 상대 skew 길이에 따른 코깅힘의 최대-최저값은 0mm skew에서 12.42N, 2mm skew에서 6.87N, 4mm skew에서 3.33N, 8mm skew에서 0.88N로 8mm skew의 경우에 코깅힘이 92.9% 감소됨을 확인하였다. 표 1은 자석-코일의 상대 skew 길이에 따른 코깅힘의 최대-최저값 및 추력의 평균값을 나타낸다.

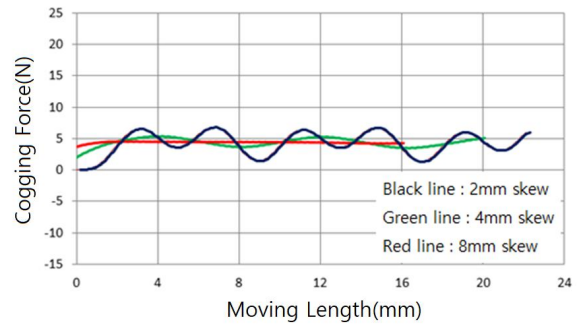


Fig. 12. Cogging force according to relative skew length of magnet and coil.
 그림 12. 자석-코일의 상대 skew 길이에 따른 코깅힘

Table 1. Cogging force and average trust force according to relative skew length.

표 1. 상대 skew 길이에 따른 코깅힘 및 평균추력

Force		Skew length			
		0mm	2mm	4mm	8mm
Cogging	Pk-Pk(N)	12.42	6.87	3.33	0.88
	reduction rate(%)	-	44.7	73.2	92.9
Trust	Mean(N)	17.85	17.65	17.05	14.76
	reduction rate(%)	-	98.9	95.5	82.7

상대 skew 길이가 커짐에 따라 코깅힘의 최대-최저값이 작아지나 평균추력도 같이 작아짐을 알 수 있다. 허용 가능한 코깅힘과 평균추력을 고려하여 상대 skew 길이를 4mm로 선정함으로써 코깅힘의 최대-최저값이 73.2% 감소하였다.

다. 선형모터 파라미터 설계값 및 설계사양

표 2는 코깅힘을 저감하기 위해 자기해석을 통해 설계된 선형모터 파라미터의 기준값과 설계값이며, 표 3은 파라미터의 설계값을 적용한 선형모터의 사양을 표시한다.

Table 2. Designed linear motor parameter value.

표 2. 설계된 선형모터 파라미터 값

Parameters	Reference Value	Designed Value	Unit
backiron length	24	28	mm
bump height	0	1.5	mm
chamfer width	0	0.8	mm
skew length	0	4.0	mm

Table 3. Specifications of designed linear motor.

표 3. 설계된 선형모터 사양

Parameters	Value	Unit
Thickness	50	mm
Linear motion stroke	30	mm
Trust force constant	8.5	N/A
Rated current	2	A
Rated trust force	17.05	N
Pk-Pk cogging force	3.33	N

Table 4. Mechanical material properties of S45C.

표 4. 재질(S45C)의 기계적인 물성값

Parameters	Value	Unit
Elastic modulus	2.1e+11	N/m ²
Poissons ratio	0.28	-
Shear modulus	7.9e+10	N/m ²
Mass density	7800	kg/m ³
Tensil strength	3.99e+8	N/m ²
Yield strength	2.20e+8	N/m ²

3. Pick & Place 모듈용 선형모터 구조 검증

코어 방식 선형모터의 구조적인 특성으로 자석이 부착되는 이동자 backiron과 코일이 배치되는 고정자 코어 사이에 자석에 의한 인력이 발생하고, 이로 인해 backiron 및 코어에 응력 및 변형이 발생하게 된다. 설계된 선형모터의 구조 안정성을 검증하기 위해 구조해석을 수행하였다.

가. 구조해석을 위한 조건 설정

그림 13은 구조해석을 위한 모델을 나타내며, 구조해석을 수행하기 위해 구속조건, 하중조건, 및 물성값 등에 대한 조건을 설정하였다. 고정자코어와 이동자 backiron에 대해 구속조건으로 LM 가이드가 고정되는 부분에 대해 상대변위를 구속하고, 이동자 backiron에 부착되는 자석에 의해 발생하는 인력을 하중조건으로 설정하였다. 이동자와 고정자로 사용되는 재질(S45C)에 대한 물성값은 표 4와 같다.

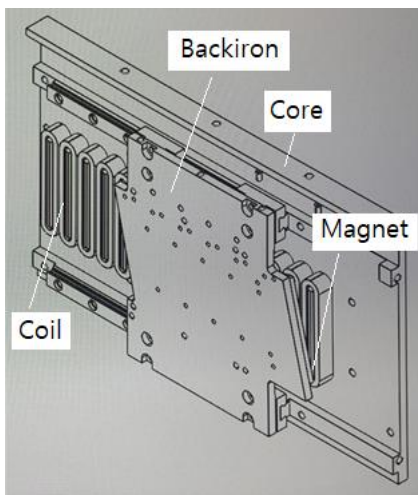


Fig. 13. Model of structural analysis.

그림 13. 구조해석 모델

나. 구조해석을 통한 응력 및 변형량 분석

(1) 고정자 코어에 대한 구조해석

그림 14와 같이 최대 변형량은 코어 중앙에서 0.007mm로 나타나고, 최대 응력은 LM 가이드가 고정되는 부위에서 22MPa로 발생한다. 최대 응력이 항복 강도(220MPa)의 10% 수준이며, 최대 변형량이 설계기준(0.02mm)의 35%로 나타남을 확인하였다.

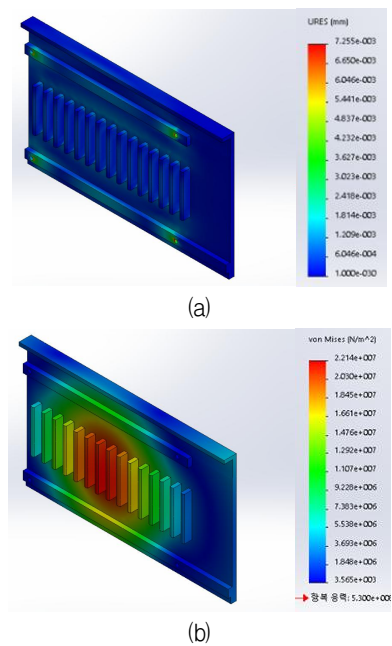


Fig. 14. Structural analysis of stator core;

(a) stress distribution, (b) strain.

그림 14. 고정자 코어에 대한 구조해석 결과 :

(a) 응력분포, (b) 변형량

(2) 이동자 backiron에 대한 구조해석

그림 15와 같이 최대 변형량은 backiron 우측 중앙 끝에서 0.003mm로 나타나고, 최대 응력은 LM 가이드가 고정되는 부위에서 32MPa로 발생한다.

최대 응력이 항복 강도(220MPa)의 15% 수준이며, 최대 변형량이 설계기준(0.02mm)의 15%로 나타남을 확인하였다.

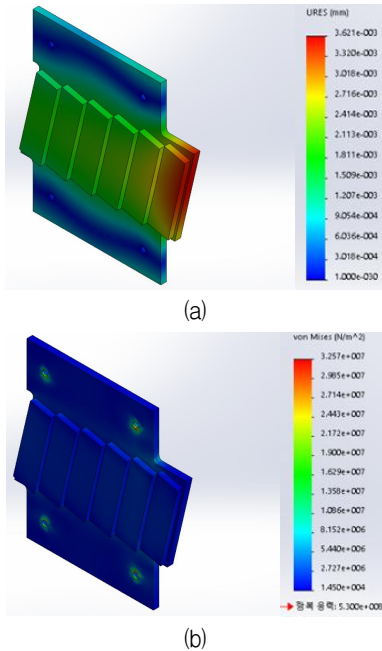


Fig. 15. Structural analysis of mover backiron: (a) stress distribution, (b) strain.

그림 15. 이동자 backiron에 대한 구조해석 결과 : (a) 응력분포, (b) 변형량

4. 실험 및 고찰

그림 16은 자기해석 및 구조해석을 통해 설계된 선형모터 파라미터 값을 적용하여 제작된 Pick & Place 모듈을 나타낸다. 직선운동을 구현하기 위한 선형모터에 회전운동을 구현하기 위한 회전모터가 부착되며, 공기압을 제공하기 위한 튜브 및 부품을 핸들링하기 위한 마운트를 포함한다. 제작된 Pick & Place 모듈을 사용하여 그림 17과 같이 추력을 측정하기 위한 실험장치를 구성하였다.

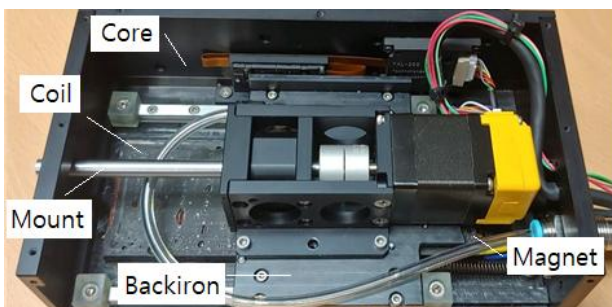


Fig. 16. Manufactured Pick & Place Module. 그림 16. 제작된 Pick & Place 모듈

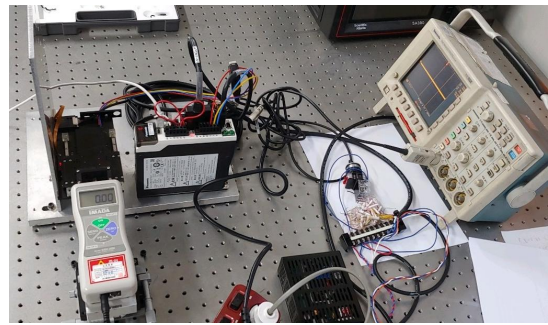


Fig. 17. Experimental setup for measurement of trust force. 그림 17. 추력을 측정하기 위한 실험장치

그림 18(a)는 선형모터 코일에 2A의 직류 전류를 인가하고, 0.5mm 간격으로 이동자의 이동위치에서 디지털푸시풀게이지를 사용하여 측정된 추력을 나타내며, 평균 추력 13.2N, 코깅힘의 최대-최저값이 5.0N으로 측정되었다. 그림 18(b)는 코깅힘이 0N인 이동자 위치에서 선형모터 코일에 전류를 증가시켜 가며 측정된 추력을 나타내며, 평균 추력상수는 7.7N/A로 측정되었다.

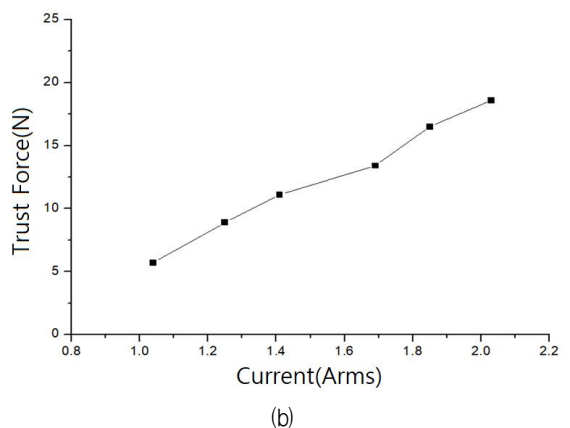
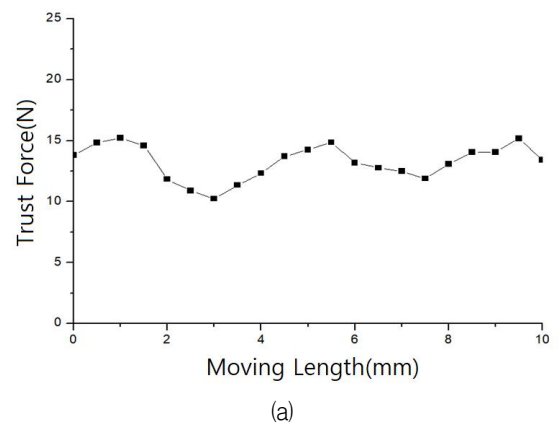


Fig. 18. Experimental results: (a) trust force according to moving length, (b) trust force according to current. 그림 18. 실험 결과 : (a) 이동거리에 따른 추력, (b) 인가 전류에 따른 추력

제작된 선형모터를 적용한 Pick & Place 모듈 실험으로 측정된 사양은 표 4와 같다. 추력과 추력상수로 계산된 정격추력의 차이는 실험에서 추정된 추력상수의 오차에 기인하는 것으로 분석되며, 코깅힘의 최대-최저값이 설계값(3.33N)에 비해 측정값(5.0N) 크게 측정된 이유는 LM 가이드에서 발생하는 마찰력의 원인으로 분석되었다.

Table 4. Specifications of manufactured linear motor.

표 4. 제작된 선형모터 사양

Parameters	Value	Unit
Thickness	50	mm
Linear motion stroke	30	mm
Trust force constant	7.7	N/A
Rated current	2	A
Rated trust force	15.4	N
Average trust force	13.2	N
Pk-Pk cogging force	5.0	N

III. 결론

본 연구에서는 코어 방식의 선형모터에 대한 자기해석과 구조해석을 통해 50mm의 두께, 13.2N의 평균 추력과 5N의 코깅힘을 갖는 Pick & Place 모듈을 구현하였다. 선형모터의 설계 파라미터에 따른 코깅힘 분석을 통해 기준값 대비 설계값을 적용함으로써 코깅힘의 최대-최저값이 60% 저감되었다. 또한, LM 가이드에서 발생하는 마찰력 등의 원인으로 코깅힘의 최대-최저값이 설계값 보다 측정값이 1.67N 크게 측정되었다. 이는 설계시에 마찰력에 대한 영향을 고려함으로써 해결할 수 있을 것이다.

Pick & Place 모듈에서 취급하는 대상 부품이 점차 소형화 됨에 따라 모듈의 두께를 줄이기 위한 추가적인 연구가 요구된다.

References

[1] M. Pfeffer, et al, "3D-Assembly of Molded Interconnect Devices with standard SMD pick & place machines using an active multi axis workpiece carrier," *2011 IEEE International Symposium on*

Assembly and Manufacturing, pp.1-6, 2011.

DOI: 10.1109/ISAM.2011.5942362

[2] S. David, T. Giles, G. J. Jasper, "Simple rules to modify pre-planned paths and improve gross robot motions associated with pick & place assembly tasks," *Assembly Automation*, vol.31 no.1, pp.69-78, 2011. DOI: 10.1108/01445151111104191

[3] H. Gael, "Development of a methodology to improve the performance of multi-robot pick & place applications: From simulation to experimentation," *Industrial Technology (ICIT), 2016 IEEE International Conference*, pp.1960-1965, 2016.

DOI: 10.1109/ICIT.2016.7475067

[4] Y. G Bae, C. W Lee, J. Y Song, S. S Park, Y. S Jung, "Lightweight Picking System of high speed inspection system for semiconductor package," *KSMTE Anual Spring Conference*, pp.92-97, 2008.

[5] Ah-Ram Jeon, Il-Kyo Lee, Jung-Ho Lee, "Optimum Design Criteria of Miniature Type Linear Servo Motor of Precise Pick & Place Module for Detent Force Reduction Using Response Surface Methodology & Finite Element Method," *The 41st KIEE Summer Conference*, pp.818-819, 2010.

[6] SMAC Corporation, "Linear Rotary Actuators" <https://www.smac-mca.com/products/linear-rotary-actuators>, 2020.

BIOGRAPHY

Myung-Jin Chung (Member)



1989 : BS degree in Mechanical Engineering, Hanyang University.
1991 : MS degree in Production Engineering, KAIST.
2002 : PhD degree in Mechanical Engineering, KAIST.

1989~1997 : Research Engineer, Hyundai Electronics.

1997~2004 : Researcher, Hynix Semiconductor.

2004~current : Professor, Dept. of Mechatronics Engineering, Korea Polytechnic University.