https://doi.org/10.14400/JDC.2017.15.7.223

PCB Handler의 과도응답해석 및 충격계수 산출 연구

이병화*, 권순기**, 고만수**
한국단자공업주식회사*
호서대학교 기계공학부**

A Study on the Transient Response and Impact Coefficient Calculation of PCB Handler

Byoung-Hwa Lee*, Soon Ki Kwon, Man-Soo Koh****
Korea Electric Terminal Co,. LTD.*
School of Mechanical Engineering, Hoseo University**

요 약 유럽, 미국을 비롯한 일본 등 선진 업계에서는 오랜 기간의 시험을 거쳐 충격계수의 시험결과를 보유하고 있으며, 장비를 설계할 때 이를 적용하여 구조물의 안정성을 확보하고 있다. 그러나 국내 산업체의 실정으로는 실제 구조물이 받는 여러 가지 동적인 외력에 의한 영향을 시험을 통해 충격계수를 확보하기에는 많은 비용과 시간이 소요되기 때문에 선진업체에서 제공하는 충격계수를 활용하여 장비를 설계하고 있다. 본 논문에서는 유한요소해석 프로그램인 NX/NASTRAN을 이용하여 반도체 검사 장비인 PCB Handler의 정하중해석과 충격하중에 대한 과도응답 해석을 진행하고, 변위 결과를 비교하는 방법으로 충격계수를 산출하였다. 충격계수 산출 방법은 일본 구조 구격에서 사용하고 있는 방법을 적용하였으며, PCB Handler가 검사를 위해 급출발 또는 급정지 시 충격계수는 1.27로 산출되었다. 해석으로 얻어낸 충격계수는 향후 장비의 구조개선과 기존장비를 기반으로 제품 개발 시 사용할 수 있어 업계에 도움이 될 것으로 판단된다.

주제어 : 충격 하중, 충격 계수, 과도 응답, 유한요소해석, 스트레인 게이지 시험

Abstract Europe, the US and Japan have acquired test results on impact coefficient for a long time and applied it to equipment design to secure safety of structures. However, Korean enterprises use the impact factor held by advanced business to design equipment as it is difficult for them to obtain it through tests. In this paper, NX/NASTRAN, was used to perform static load analysis and impact load analysis of a PCB Handler, semiconductor test equipment, and the result was employed to study how to calculate the impact coefficient with the finite element analysis. The calculation method was applied to the JIS(Japanese Industrial Standard), and the impact coefficient of the PCB handler was calculated as 1.27 for the sudden start or stop. The impact coefficient generated by the analysis is expected to make a great contribution to the industry as it can be used to improve the equipment structure and develop on existing equipment in the future.

Key Words : Impact Force, Impact Coefficient, Transient Response, FEA(Finite Elements Analysis), Strain Gage Test

Received 1 June 2017, Revised 30 June 2017
Accepted 20 July 2017, Published 28 July 2017
Corresponding Author: Soon Ki Kwon
(The Professor of Hoseo University)

Email: skkwon@hoseo.edu
ISSN: 1738-1916

© The Society of Digital Policy & Management. All rights reserved. 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.

1. 서론

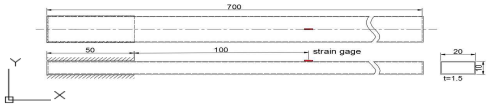
최근 산업기술의 발달로 많은 구조물들이 자동화되고 다양해지면서 동적 외력을 고려하는 연구가 많아지고 있다. [1,2] 일찍이 건설 장비 등과 같이 겉으로 동적인 움직임이 눈에 보이며 안전사고에 노출된 장비의 경우 동적인 외력을 필수적으로 고려하였으며[3,4,5], 유한요소해석 프로그램이 상용화 되면서 미세한 진동에도 큰 영향을 받는 반도체 분야 등 여러 분야에서도 설계 시 동적인 외력을 고려하는 연구를 하고 있다[6,7]. 특히 반도체 검사 장비는 검사헤드가 검사(촬영)를 위해 이동하면서 급출발 급정지를 하게 되고 이는 구조물에 충격하중을 유발하여 상이 흔들려 검사 품질을 저하시키게 된다[8]. 반도체 검사 장비의 검사 품질 향상을 위해 검사 헤드는 점점 무거워지고 있으나 검사 효율을 높이기 위해 검사 속도는 줄일 수 없어 진동의 영향이 커지는 문제가 발생한다[9]. 이와 같이 충격 등의 동적인 외력의 영향을 고려하기 위해 건설 장비 분야에서는 유럽, 미국을 비롯한 일본 등 선진국에서는 오랜 기간을 거쳐 충격계수(Impact Coefficient)의 시험결과를 보유하고 있다[10].

질량이 등속도로 이동을 하다가 급정지 하면 충격하중이 발생하게 된다. 기계 설계에 있어서 일반적으로 정하중에 계수를 곱해서 마치 이 크기의 정하중이 작용하고 있는 것으로 간주하여 취급한다. 이 계수를 충격계수 또는 동하중계수라 부른다[11]. 그러나 실제 구조물이 받는 동적인 외력을 모두 적용하여 시험을 통해 충격계수를 확보하기에는 많은 시간과 비용이 소요되기 때문에 이러한 자료를 확보할 수 없는 국내 산업체의 실정으로는 선진 업체에서 제공하는 충격계수를 대부분 활용하고 있으며 이마저도 반도체 분야에서는 구조의 동적 외력에 대한 안전성을 뒷받침해줄 충격계수와 같은 자료는 전무한 상황이다.

본 논문에서는 실제 반도체 장비에 이를 적용하여 시제품 생산 전 유한요소 해석을 이용하여 구조물에 맞는 충격계수를 확보하는 방법을 연구하였다. 먼저 유한요소해석의 정확도를 검증하기 위해 외팔보에 대한 스트레인 게이지(Strain gage) 시험과 유한요소해석 결과의 오차율을 확인해 보았다. 또한, 실 사례로 반도체 검사 장비 종류인 PCB Handler를 이용하여 유한요소해석으로 정하중을 받을 때의 최대 변위 결과와 충격하중을 받을 때의 최대 변위결과를 비교하여 충격계수를 구하였다. 충격하중은 검사장비가 급출발 또는 급정지 시 발생하는 충격력을 이용하였으며, 이 충격계수는 향후 구조변경 혹은 유사장비 개발 시 충격에 의한 검사장비의 변위를 유한요소해석을 통해 확인해볼 수 있다. 이러한 방법을 이용하면 충격이 예상되는 구조물의 충격계수를 설계과정에서 확인 하고 설계 변경 시 확인하여 구조물의 과설계를 방지하고 안전성이 확보된 장비를 개발하는데 도움이 될 것으로 판단된다.

2. 스트레인 게이지를 이용한 유한요소 해석의 신뢰성 검증

시험에 사용한 외팔보는 [Fig. 1]과 같이 길이 700mm, 두께 1.5mm이며 내부는 비어있는 구조이다. 스트레인 게이지 부착위치는 바이스(Vise)로 고정한 부분에서 100mm 떨어진 곳이며, 최대 인장 변형률 방향인 X축 방향의 변형률을 측정하였다.



[Fig. 1] Cantilever beam used strain gage test

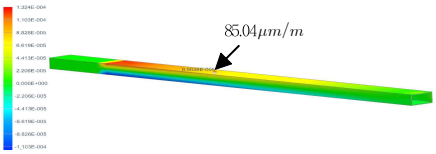
시험과 해석은 정하중 해석과 충격하중을 이용한 동적해석 두 가지로 진행하였다. 외팔보의 끝 부분에 1kg과 2kg 두 가지 무게 추를 줄에 매다는 방법으로 정하중을 가하였다. 시험에 사용한 외팔보의 재질은 Stainless Steel로 기계적 물성치는 <Table 1>과 같다[12].

<Table 1> Material properties of stainless steel

	Steel
Modulus of Elasticity	210GPa
Poisson's Ratio	0.28
Yield Stress	206MPa
Structural Damping Coefficient	0.05

먼저 2kg의 무게 추를 정하중으로 가한 경우의 스트레인 게이지 시험결과와 동일한 외력을 적용하였을 때의 유한요소해석결과를 비교해보았다. [Fig. 2]는 2kg 무게

에 대한 정하중 상태의 유한요소해석 결과이며, <Table 2>에 상세 결과를 명시하였다.



[Fig. 2] Strain results of FEA using 2kg static load

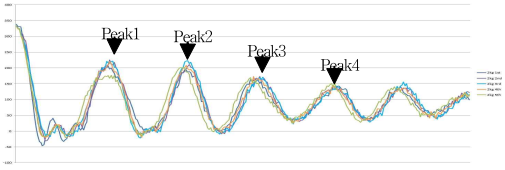
<Table 2> Comparison of FEA results and test result using static load

	Test Result	FEA Result	Error Rate
2kg	86.1$\mu m/m$	85.04$\mu m/m$	1.2%

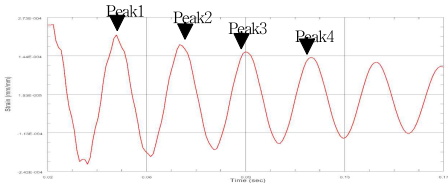
정하중일 때의 유한요소해석결과와 스트레인 게이지 해석 결과를 비교한 결과 오차율은 2% 이내로 두 결과가 동일하다고 판단할 수 있다. 따라서 유한요소해석만으로도 실제 시험과 동일한 결과를 내기 때문에 유한요소 해석이 신뢰할 수 있음을 알 수 있다.

충격하중의 경우 2kg 무게 추를 일정 높이에서 떨어뜨려 [Fig. 3]과 같은 하중을 적용하였다. 스트레인 게이지 시험 시 발생할 수 있는 오차를 최소화하기 위해 5번의 시험을 통해 평균값을 이용하였다. [Fig. 4]는 2kg의 무게 추를 이용하였을 때의 스트레인 게이지 시험결과이며 [Fig. 5]는 동일한 충격하중을 인가하였을 때의 유한요소해석 결과를 나타낸다. 상세 결과는 <Table 3>에 정리하였다.

[Fig. 3] Impact load applied to strain-gage test



[Fig. 4] Test results using 2kg impact load



[Fig. 5] FEA results using 2kg impact load

오차율은 Peak 1에서 가장 크게 발생한다. 무게 추를 손으로 떨어뜨릴 때 이중 충격이 발생하여 Peak 1은 오차율이 크게 나타났으나 Peak 2 이후 오차율은 2% 이내로 충격하중을 이용한 유한요소 해석 결과를 신뢰할 수 있음을 확인하였다.

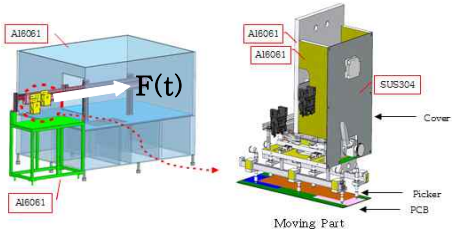
<Table 3> Comparison of FEA results and test result using 2kg impact load

		Peak 1	Peak 2	Peak 3	Peak 4
2kg	Test Result	218.71	211.37	169.8	141.36
	FEA Result	249.3	205.8	169.5	143.6
	Error Rate	14%	2%	0%	0%

3. 반도체 장비를 이용한 유한요소 해석

3.1 유한요소해석 모델

해석에 사용한 PCB Handler는 PCB의 납땜 불량, 회로 결선 여부 등의 다양한 검사를 진행함에 있어 PCB를 장비에 공급해주고 검사 결과에 따라 PCB를 분류한 뒤 매거진(Magazine)에 적재하는 자동화 기기이다. PCB Handler의 구성은 [Fig. 6]과 같다. 무빙 파트(Moving Part)의 피커(Picker) PCB를 들고 이송 및 검사를 위해 레일 축을 따라 이동하다 급정지, 급출발 하면 충격하중 F(t)를 받게 된다.



[Fig. 6] PCB Handler

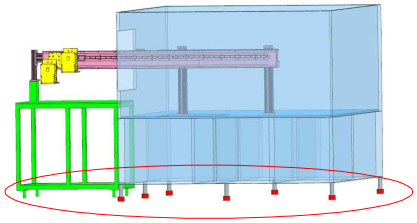
구조물의 전체적으로 Aluminum 6061로 이루어져 있으며, PCB를 들고 운반하는 무빙파트의 커버(Cover)는 SUS 304로 이루어져 있다. 해석에 사용한 재질의 기계적 물성치는 <Table 4>와 같다[13,14].

<Table 4> Material properties of SUS 304 and AL6061

	Aluminum 6061	SUS 304
Modulus of Elasticity	72GPa	210GPa
Poisson's Ratio	0.320	0.288
Yield Stress	245MPa	138MPa

3.2 경계조건 및 외력조건

PCB Handler의 경계조건은 [Fig. 7]과 같이 지면과 닿는 부분인 11개의 지지대의 부분을 완전구속 시켰으며 내부의 전장품 등 해석에 불필요 하지만 무게가 무거운 부품은 질점으로 표현하여 중력가속도 $9.81m/s^2$ 수직방향으로 적용하였다.



[Fig. 7] Boundary condition

본 연구에서는 반도체 검사 시 PCB를 운반하게 되는 Picker가 급출발 및 급정지 시 발생되는 충격하중에 의해 발생되는 변위결과를 이용하여 충격계수를 도출하게 되므로 충격량에 대한 정보가 필요하다. 충격량은 운동량의 변화량으로 식 (1) 같은 관계를 갖는다.

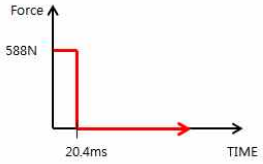
$$I = F\triangle t = m\triangle v \tag{1}$$

$$\begin{cases} I : \text{충격량} \\ F : \text{충격력} \\ t : \text{시간} \\ m : \text{질량} \\ v : \text{속도} \end{cases}$$

PCB Handler의 무빙파트는 총 2개로 개당 6kg으로 축방향(X방향)을 따라 운동 하며, 최대 속도는 1m/s, 가감속도는 $49m/s^2$이다. 따라서 충격력은 뉴턴의 운동 법칙에 의해 588N이 되며, 각각을 활용하면 식 (2)와 같이 $\triangle t$를 산출할 수 있다.

$$12kg \cdot m/s = 588N \cdot \triangle t \tag{2}$$
$$\triangle t = 0.0204\text{sec}$$

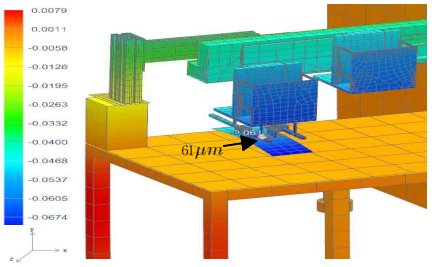
앞서 산출한 충격력과 충격력이 작용하는 시간을 그림으로 표현하면 [Fig. 8]과 같다. 이와 같이 아주 짧은 시간에 발생하는 충격하중에 대한 응답을 고려하는 해석을 과도응답해석(Transient Response Analysis)이라고 하며 이를 두 개의 무빙파트의 무게 중심에 이동방향인 X축 방향으로 적용하였다[15].



[Fig. 8] Impact load of PCB handler

3.3 정하중해석 결과

PCB를 운반하는 무빙파트의 충격력(588N)을 정하중으로 고려하여 해석하였다. 정하중 해석결과는 최대변위는 X축 방향에서 발생하며, PCB판이 위치하는 정 중앙에서의 변위는 [Fig. 9]와 같이 $61\mu m$로 확인되었다.



[Fig. 9] FEA results using static load

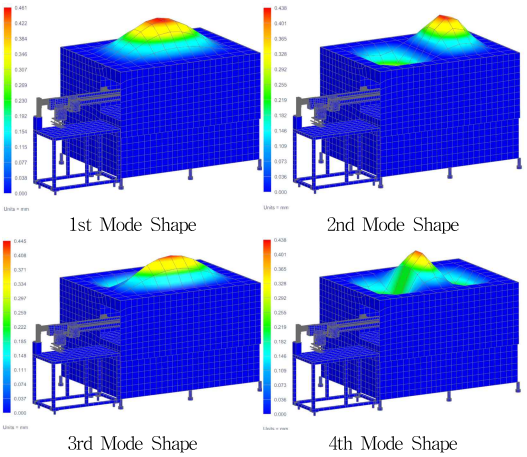
3.4 고유진동수해석결과

과도응답해석에서 모드합성법을 사용하기 위해 유진동수와 모드형상을 확인해 보았다. 모드합성법은 식 (3)과 같이 동적응답을 고려할 때 고유진동수와 모드형상을

이용하는 방법이다[16]. 고유진동수 해석 결과 초기 10번째 모드까지 고유진동수는 <Table 5>와 같다. 그 중 네 번째 고유진동수까지의 모드형상을 [Fig. 10]에 나타내었다.

$$\overrightarrow{x(t)} = \sum_{i=1}^{\infty} d_i e^{-\zeta w_i t} \sin(w_{di} t + \phi_i) \overrightarrow{u_i} \quad (3)$$

$$\begin{cases} d_i, \phi_i : \text{초기조건으로구할수있는상수} \\ w_i : \text{고유진동수} \\ w_{di} = w_i \sqrt{1-\zeta_i^2} \\ \overrightarrow{u_i} = \text{모드형상} \end{cases}$$

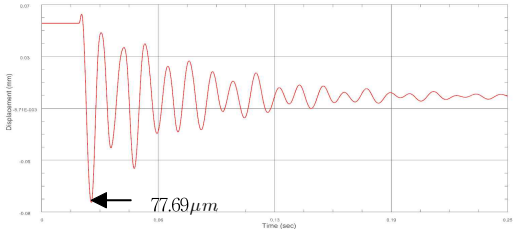


[Fig. 10] Mode Shape of PCB Handler

<Table 5> Natural frequencies to 10th modes

Mode	1st	2nd	3rd	4th	5th
Frequency [Hz]	10.38	16.85	25.25	27.83	30.88
Mode	6th	7th	8th	9th	10th
Frequency [Hz]	40.32	41.78	43.25	48.34	52.46

3.5 과도응답해석 결과



[Fig. 11] Transient response results of PCB Handler

앞서 구한 고유진동수와 모드형상을 이용하여 충격에 의한 과도응답해석을 진행하였다. 가진력은 3.2에서 도출한 충격하중을 사용하였으며([Fig. 8]참고), 변위는 정하중 해석결과와 동일한 위치를 비교하였다. 과도응답해석 결과는 [Fig. 11]과 같으며 X축 방향의 최대변위는 PCB 판의 중심에서 77.69μm가 발생하였다.

4. 충격계수 산출

유한요소해석을 이용하여 PCB를 운반하다 급출발 또는 급정지 시 발생하는 충격에 의한 변위결과를 이용하여 반도체 검사 장비인 PCB Handler의 충격계수를 계산하였다. 정하중해석 결과 PCB판의 중심에서 측정된 X축 방향의 최대 변위는 61μm로 나타났으며, 과도응답해석 결과 X축 방향의 최대변위는 77.69μm로 나타났다. 충격계수(f_d) 식 (4)을 이용하면 1.27의 충격계수를 도출할 수 있다[17].

$$f_d = \frac{\text{충격하중시최대변위}}{\text{정하중시최대변위}} \quad (4)$$

$$= \frac{77.69\mu m}{61\mu m}$$

$$= 1.27$$

이렇게 과도응답 해석을 통해 구한 충격계수를 이용하면 향후 장비의 구조 변경 또는 유사 장비 개발 시 시제품 생산 전 유한요소해석에 정하중에 충격 계수를 곱하여 적용하면 충격에 대한 결과 예측이 가능하다.

5. 결론

본 연구에서는 유한요소해석을 이용해 PCB Handler의 정하중해석과 충격하중해석을 진행한 뒤 각각의 결과를 활용하여 충격계수를 산출하였다. 본 연구는 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

1. 정하중만 고려하여 구조를 설계하면 충격하중이 적용 시 예상치 못한 곳에서 변형이나 파손이 일어날 수 있다.

2. 본 연구에서 제시한 충격계수를 도출하는 방안을 활용하면 오랜 기간을 거쳐 충격계수의 시험결과를 보유하고 있는 해외 선진 업계와의 기술격차를 줄일 수 있다.
3. 충격계수를 사용하면 향후 장비의 구조변경 또는 유사장비 개발 시 사용하여 복잡하고 계산시간이 많이 소요되는 과도응답해석 대신 간단하고 계산시간이 짧은 정하중해석으로 대체할 수 있다.

REFERENCES

[1] J. Y. Kim, "Mathematical Model for Dynamic Performance Analysis of Multi-Wheel Vehicle", J. KCS, Vol. 3, No. 4, pp. 35-44, 2012.

[2] J. L. Cui, M. H Chey, S. l. Kim, "Seismic Performance of Urban Structures with Various Horizontal Irregularities using Equivalent Static Analysis," J. SMB, Vol. 6, No. 1, pp. 25-32, 2016.

[3] S. W. Lee, J. Kim, and Y. K. Kong, "A Shock-Proof Evaluation of a Naval Vessel Motor using DDAM and Transient Response Analysis", J. Korean soc. Manuf. Process. Eng, Vol. 9, No. 5 pp,76-82, 2010.

[4] K. H. Lee, Y. H. Cho, and J. T. Chung, "Dynamic Analysis of Catenary System Subjected to Moving Load", Trans. Korean Soc. Mech. Eng., Vol. 35, No. 1, pp. 99-106, 2011.

[5] S. K. Kwon, "Development of the Vibration Analysis Model of Passenger Car", KSNVE, Vol. 21, No. 4, pp. 291-298, 2011.

[6] S. K. Hong, C. H. Lee, J. H. Park, K. H. Lee, "A Study of Vibration Characteristic for Semiconductor Chip Test Equipment", Korean soc. Manuf. Process. Eng, Vol. 11, No. 3, pp. 76-82, 2012.

[7] K. H. Rim, C. H. An, J. B. Oh, H. Lee, J. H. Roh, "Vibration Analysis of Inspection Equipment for a Semiconductor", KSNVE Spring meeting, 2008.

[8] Y. H. Kim, "3D AOI Equipment in Koh young Technology", Korea Business News Agency-NSP, 2013.

[9] M. S. Koh, S. K. Kwon, S. Lee, "A Study for the Dynamic Characteristics and Correlation with Test Result of Gentry Robot based on Finite Element Analysis", SDPM, Vol. 13, No. 1, pp.269-274, 2015.

[10] B. H. Lee, "Impact Coefficient Calculation using Transient Response Analyis", Hoseo Univ. 2016

[11] Hiro Ito, Knowledge of mobile crane, Kajima Publishing, p.101, 1973.

[12] Stainless Steel, MatWeb, http://www.matwe b.com /search/DataSheet.aspx?MatGUID=71396e57ff5940b791ece120e4d563e0&ckck=1, 2016.10

[13] SUS 304, MatWeb, http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=abc4415b0f8b490387e3c922237098da, 2016.10

[14]Aluminum 6061, Matweb, http://www,matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=626ec8cdca604f1994be4fc2bc6f7f63, 2016.10

[15] Daniel J. Inman, Engineering Vibration, 3rd ed. Pearson, Korea, p207, 2012.

[16] Daniel J. Inman, Engineering Vibration, 3rd ed. Pearson, Korea, pp. 217-218, 2012.

[17] Hiro Ito, Knowledge of mobile crane, Kajima Publishing, p.102, 1973.

이 병 화(Lee, Byoung Hwa)

- 2017년 2월 : 호서대학교 기계공학과(공학석사)
- 2017년 4월 ~ 현재 : 한국단자공업 주식회사 연구원
- 관심분야 : 구조 및 진동해석
- E-Mail : leepng@naver.com

권 순 기(Kwon, Soon Ki)

- 1990년 12월 : 아이오와주립대학교 기계공학과 (공학박사)
- 1991년 2월 ~ 1995년 7월 : 삼성중공업 중장비연구소 CAE팀장
- 1995년 8월 ~ 1997년 8월 : 삼성자동차 중앙연구소 CAE파트장
- 1997년 8월 ~ 1998년 8월 : 삼성SDS CG사업팀장
- 1998년 8월 ~ 2004년 3월 : 기술보증기금 기술평가센터 기계/운송장비팀장
- 2010년 ~ 현재 : 호서대학교 기계공학부 교수
- 관심분야 : 최적설계, 구조 및 진동해석, 다물체동역학
- E-Mail : skkwon@hoseo.edu

고 만 수(Koh, Man Soo)

- 2012년 2월 : 호서대학교 로봇공학과 (공학학사)
- 2014년 2월 : 호서대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2014년 3월 ~ 현재 : 호서대학교 기계공학과 박사과정
- 관심분야 : 구조 진동해석, 최적설계
- E-Mail : mansoo116@naver.com