

# 유한요소해석을 이용한 Gantry Robot의 동특성 및 측정 결과와의 상관관계 연구

고만수\*, 권순기\*, 이석\*\*  
호서대학교 기계공학부\*, (주)미르기술\*\*

## A Study for the Dynamic Characteristics and Correlation with Test Result of Gantry Robot based on Finite Element Analysis

Man Soo Koh\*, Soon Ki Kwon\*, Soek Lee\*\*  
School of Mechanical Engineering, Hoseo University\*  
MIRTEC Co., Ltd.\*\*

**요약** IT 산업의 발달로 AOI 장비의 보급이 확산되고 있으며, 장비의 사용되는 카메라의 높은 해상도를 요구하고 있다. 높은 해상도를 얻기 위해 카메라의 중량이 증가되고 있으며, 그로 인해 진동변위가 커지게 되어 촬상에 문제가 생기고 제어 또한 어려워지고 있다. 본 연구에서는 유한요소 해석프로그램인 NX/NASTRAN을 이용하여 카메라가 관성에 의한 충격력을 받을 때의 과도응답분석을 해 보았다. 또한 Laser Interferometer 측정 결과와의 상관관계 분석을 통하여 향후 AOI의 구조 개선 시, 유한요소해석으로 설계의 신뢰성을 검증할 수 있도록 하기 위한 해석모델을 개발하였다.

**주제어** : AOI, 충격력, 유한요소해석, 과도응답분석, 상관관계

**Abstract** According to the development of IT industry, prevalence of AOI equipment is spreading, and also requiring the high resolution of the camera used in the equipment. The weight of the camera is increased to obtain a high resolution, and thus increases the vibration displacement is a problem occurring in the picturing, camera motion control also becomes difficult. In this study, using a finite element analysis program NX/NASTRAN, the transient response of the camera was analysed which is subjected to an impact force due to inertia. The finite element analysis result is correlated with laser interferometer measurement. When AOI equipment is restructuring, the correlated finite element analysis model can be used to verify the authenticity of the new design.

**Key Words** : Automatic Optical Inspection, Impact Force, Finite Element Analysis, Transient Response, Correlation

\*본 연구는 2013년 (주)미르기술의 학술연구비에 의하여 지원되었음

Received 18 November 2014, Revised 20 December 2014

Accepted 20 January 2015

Corresponding Author: Soon Ki, Kwon

(The professor of Hoseo University)

Email: skkwon@hoseo.ac.kr

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 IT 산업의 발달로 AOI(Automatic Optical Inspection) 장비의 보급이 빠른 속도로 확산 되고 있다. AOI 장비의 성능을 결정하는 척도는 단시간에 필요한 영상을 선명하게 촬영하여 검사에 필요한 영상정보를 제공하는 것인데, 로봇이 빠른 속도로 이동하다 측정 위치에서 정지하게 되면 관성력에 의해 과도 진동(Transient response)이 발생하여 광학계가 선명한 영상을 얻을 수 없게 된다. 더욱이 높은 해상도를 얻기 위해 카메라의 중량이 증가되고 있으며, 그로 인해 진동변위가 커지게 되어 활상에 문제가 생기고 제어 또한 어려워지고 있다[1]. 이러한 문제를 해결하기 위해서 AOI 장비의 동특성을 확인하여 진동 변위 및 정착시간(Settling time)을 감소시키는 구조의 개선이 필요하게 된다.

설계를 하면서 생길 수 있는 문제나 구조의 성능을 검토하는 방법으로 시험적인 방법과 해석적인 방법을 사용할 수 있다. 하지만 시험적인 방법은 측정 장비가 필요하고, 기본적으로 시제품이 있어야 하기 때문에 측정 조건을 만드는데 시간과 비용이 많이 소모 된다 [2]. 시험 결과가 만족스럽지 않을 경우 위의 과정을 반복해야 하기 때문에, 해석적인 방법을 많이 이용하고 있다.

실제로 유한요소해석을 이용한 동특성 연구는 이루어지고 있지만, 대부분 진동 현상이 두드러지는 차량 시스템이나 대형 구조물 등에 대한 연구이다 [3,4,5]. 하지만 IT 산업의 발달로 AOI장비와 같이 미세한 진동의 영향도 고려해야 하는 연구가 필요한 시점에 도래했다.

또한, 선명한 상을 얻기 위해 늘어나는 카메라의 중량으로 인하여 구조가 지속적으로 변경되고 있다. 이러한 경우 측정 모델과 해석 모델의 상관관계 분석을 통하여 새로운 해석 모델을 개발하면, 구조 개선 시 유한요소해석으로 원하는 특성을 확인할 수 있는 효율적인 방법이 될 것이다 [6].

본 연구에서는 AOI 장비의 동특성을 확인하기 위해 광학계가 이동하면서 발생할 수 있는 관성에 의한 충격력의 크기를 적용하여 유한요소 해석을 이용한 과도응답을 확인하였다. 또한 Laser interferometer 측정 결과와의 상관관계분석을 통하여 향후 장비의 구조 개선 시, 시제품 제작 전 유한요소해석으로 설계의 신뢰성을 검증할 수 있도록 하기 위한 해석 모델을 개발하였다.

## 2. 유한요소해석

### 2.1 해석모델

비전 AOI장비를 유한요소해석에 용이하도록 진동특성에 영향을 주지 않을 것으로 판단되는 작은 부품 및 Hole, 전자 제어 장치 등을 단순화 하였다. 해석에 사용한 소프트웨어는 NX/NASTRAN v8.0 이다. 해석시간을 줄이기 위해 전체 프레임은 육면체 요소인 Hexahedron 8 요소를 사용하였고, 형상이 복잡한 광학계는 사면체 요소인 Tetrahedral 4 요소를 사용하였다. Hexahedron 8 요소를 사용하면 해석에 사용할 FE 모델을 만드는데 시간이 다소 소요되지만, 해석시간이 빠르기 때문에 여러 가지 조건의 해석을 수행해야 할 경우 매우 효율적이다. <Table 1>에 각 요소를 사용하였을 때의 요소 수 및 자유도 수, 해석 시간을 비교하였다.

<Table 1> Comparison with tetrahedral 4 and hexahedron 8

	Tetrahedral 4	Hexahedron 8
Number of elements	4,968,909	134,855
Number of DOF	3233734	124419
Analysis time	101hour 56min	4min 23sec

Frame 및 광학계(Optical system)는 Steel로 이루어져 있으며, 광학계가 부착되어 있는 X축 가이드레일은 Aluminum alloy로 이루어져 있다. 해석에 사용된 각 재료의 물성치는 <Table 2>,<Table 3>과 같다. 각 재료의 물성치는 해석에 사용한 소프트웨어인 NX/NASTRAN v8.0에서 제공하는 기본 값을 사용하였다 [7,8].

<Table 2> Material property of steel used in FEA

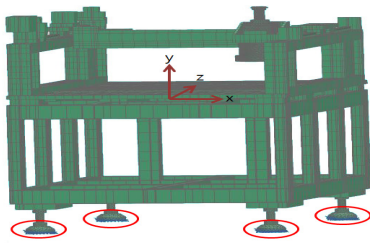
Material	Steel (Optical system)	Steel (Frame)
Density[kg/m <sup>3</sup> ]	4455	9824.9
Young's modulus[Pa]	210E9	210E9
Poisson's ratio	0.3	0.3
Structural damping coefficient	0.05	0.05

〈Table 3〉 Material property of aluminum alloy used in FEA

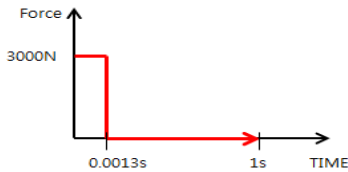
Material	Aluminum alloy (Guide rail)
Density[kg/m <sup>3</sup> ]	3333
Young's modulus[Pa]	70E9
Poisson's ratio	0.3
Structural damping coefficient	0.05

### 2.2 경계 조건 및 외력 조건

경계조건은 [Fig. 1]과 같이 지면과 닿는 부분인 4개의 받침대 부분을 완전 구속시켰다. 외력은 광학계의 무게 중심에 [Fig. 2]와 같이 시간에 따른 충격력이 X축 방향으로 작용 한다[9]. 이 때 중력가속도는 -Y축 방향으로 9.81m/s<sup>2</sup>이 작용한다.



[Fig. 1] FE model and boundary condition



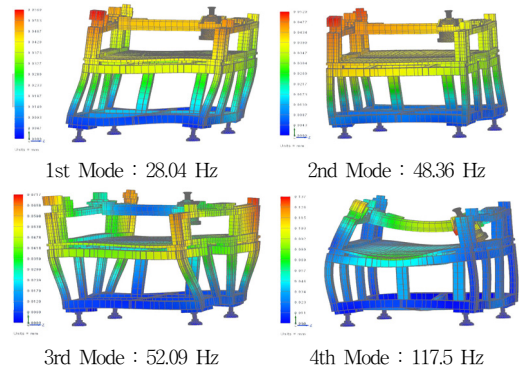
[Fig. 2] Impact force

### 2.3 과도응답해석

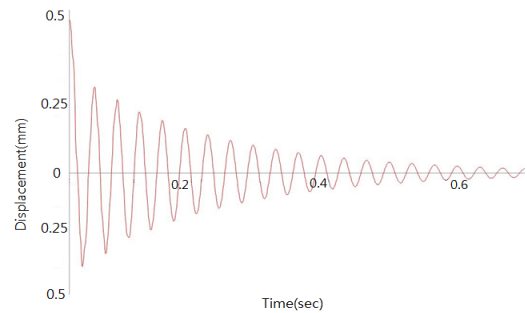
과도응답을 구하는 방법에는 Direct integration method(직접적분법)와 Mode summation method(모드합성법)가 있다. 본 연구에 사용한 유한요소프로그램인 NX/NASTRAN은 과도 응답 해석 시 모드합성법을 사용

하고 있다. 모드합성법은 자유 진동 운동으로 구한 각 모드에 대한 고유진동수와 모드형상을 나타내는 모드벡터를 이용하여 응답을 계산하는 방법이다. 유한요소해석을 이용해 구한 AOI장비의 4번째 모드까지의 고유진동수와 모드형상은 [Fig. 3]과 같다.

각 모드의 고유진동수와 모드형상을 이용하여 과도응답 해석을 해본 결과는 [Fig. 4]와 같다. 자유 진동 운동 해석에서 구한 고유진동수와 모드형상을 이용하였으며, 2.2 절에서 설명한 시간에 따른 충격력이 가진 되었을 때의 광학계의 응답을 해석한 결과이다. 변위 측정 위치는 광학계에 상이 맺히는 부분이다.



[Fig. 3] Natural frequencies and mode shapes



[Fig. 4] Transient response

## 3. 상관관계 분석

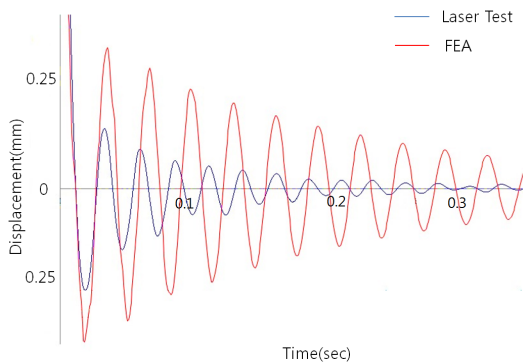
### 3.1 해석결과와 측정결과의 비교분석

[Fig. 5]는 유한요소 해석을 이용한 과도응답 결과와 Laser interferometer test 결과를 비교한 결과이다.

<Table 4>의 결과 비교 표를 살펴보면 주기와 진폭 모두 오차가 크게 발생하는 것을 볼 수 있다. 이러한 오차를 줄이기 위한 방법으로 오차가 생길 수 있는 원인을 변수로 선정하였고, 선정된 변수를 이용하여 상관관계 분석을 하였다.

<Table 4> Comparison with transient response and laser interferometer measurement

		Peak 2	Peak 3
Displacement [mm]	Laser	0.044	0.031
	FEA	0.242	0.197
Period(T) [sec]	Laser	0.025	
	FEA	0.036	



[Fig. 5] Comparison with laser measurement and FEA

### 3.2 상관관계 분석을 위한 변수

해석 결과와 측정 결과에 오차가 생기는 이유로 다음과 같이 두 가지 원인을 예상 할 수 있다. 첫 번째 이유는 해석에 AOI 장비의 모든 구조물 및 부품을 그대로 적용할 수 없었기 때문이다. 해석을 용이하게 하기 위해 많은 부품들을 단순화 하였고, 접촉부에 대해서는 모두 단순히 고정된 접촉으로 해석을 진행하였기 때문에 오차가 발생 할 수 있다. 또한, 해석에 사용한 물성치가 정확하지 않다. 해석에 적용한 물성치 값은 실제 장비에 사용한 재질을 측정에 의해 구한 값이 아닌, 일반적으로 쓰는 값을 적용하였다. 측정을 통해 장비의 물성치 값을 정확하게 입력하고, 양산 모델링을 그대로 이용하였다면 해석결과가 측정결과와 일치하였을 것이다.

오차를 줄이기 위한 방법으로 해석 모델을 실제 형상

과 가장 유사하게 만드는 것이 좋으나, 이는 형상이 복잡해져 유한요소 모델링 및 해석 시간이 오래 걸리는 단점이 있다. 따라서 정확하지 않은 물성치의 값을 적절히 조절하여 오차를 줄이려고 한다. 알려져 있는 Steel과 Aluminum alloy의 알려져 있는 물성치를 확인해 보면 <Table 5>, <Table 6>과 같다 [10,11]. 각각의 값들을 보면 특정 값으로 떨어지는 값이 아닌 범위로 나타나 있으며, 그 범위 또한 매우 넓다. 실제로는 각 재질에 대한 측정을 거쳐 정확한 물성치 값을 얻어야 보다 정확한 값을 알 수 있지만, 측정에 대한 Data가 없는 경우 각 재질에서 과도 응답에 영향을 줄 수 있는 값을 조절하여 해석 모델을 개발하고자 한다.

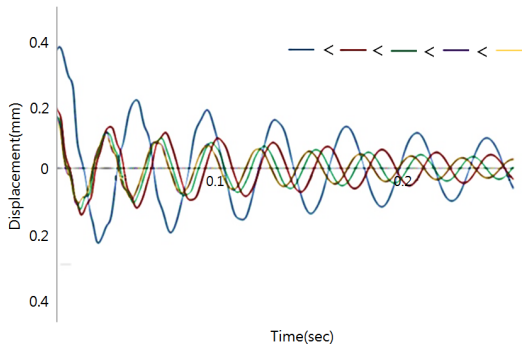
<Table 5> Material property of steel

Material	Steel
Density[kg/m <sup>3</sup> ]	176.05 ~ 9023.80
Young's modulus[Pa]	68.9 ~ 417
Poisson's ratio	0.220 ~ 0.346
Structural damping coefficient	0.05 ~ 0.5

<Table 6> Material property of aluminum alloy

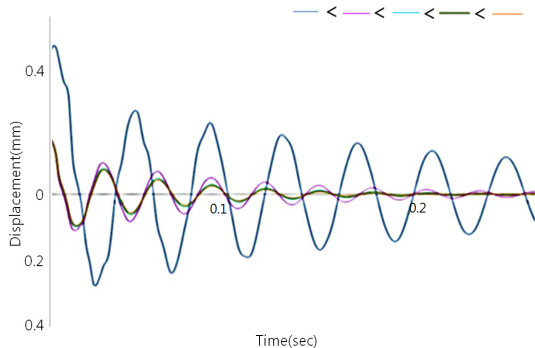
Material	Aluminum Alloy
Density[kg/m <sup>3</sup> ]	15.78 ~ 3487.73
Young's modulus[Pa]	0.048 ~ 738
Poisson's ratio	0.230 ~ 0.036
Structural damping coefficient	0.05 ~ 0.5

해석에 사용 된 물성치 중 해석에 영향을 줄 수 있는 값은 영률(Young's modulus)과 구조감쇠계수(Structure damping coefficient)이다. 영률은 구조물의 강성을 조절할 수 있는 값이다. 강성을 조절하면 고유진동수를 조절할 수 있고, 이는 주기를 조절할 수 있는 방법이 된다[12]. [Fig. 6]는 Steel 과 Aluminum alloy의 영률을 증가시켰을 때(파란색에서 노란색으로 증가)의 변화를 보여주고 있다. 영률은 <Table 5>과 <Table 6>의 범위 안에서 조절하였으며, 영률을 증가시킬수록 주기가 감소하고 있음을 알 수 있다.



[Fig. 6] Displacement according to the change of Young's modulus

구조감쇠계수는 감쇠되는 시간을 조절할 수 있는 값으로 감쇠되는 시간을 조절하여 진폭을 조절할 수 있는 값이 된다. 감쇠계수가 클수록(파란색에서 주황색으로 증가) 감쇠되는 시간이 빨라져 진폭이 현저하게 줄어드는 것을 볼 수 있다. [Fig. 7]에서는 감쇠계수가 커질수록 진폭이 줄어드는 모습을 볼 수 있다.

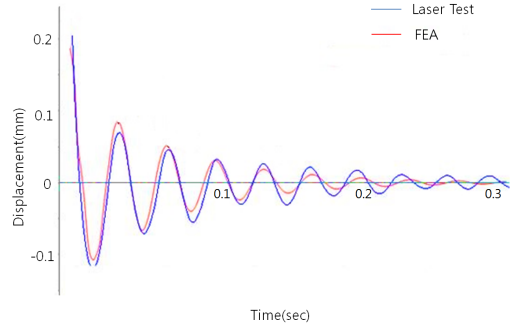


[Fig. 7] Displacement according to the change of structural damping coefficient

### 3.3 상관관계 분석 수행 결과

상관관계 분석을 이용하여 오차가 가장 작게 나온 결과와 Laser interferometer 측정 결과를 [Fig. 8]에 비교하였다. 관심영역인 2~3번째 파형에서 측정결과에 거의 근접함을 볼 수 있다. 수치적인 값을 살펴보면 2번째 파형의 진폭은 0.051mm로 <Table 4>의 측정 값인 0.044mm와 0.006mm의 미세한 차이를 보이며, 3번째 파형은 0.031mm로 측정 값과 일치하는 것을 볼 수 있다. 장비 제어 시 정착시간을 조율하여 오차가 최소일 때 촬영

을 하면 보다 선명한 영상을 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 상관관계 분석을 통해 얻은 최종 물성치 데이터는 <Table 7>, <Table 8>와 같다.



[Fig. 8] Correlation Result

<Table 7> Material property of steel by correlation

Material	Steel (Optical system)	Steel (Frame)
Density[kg/m <sup>3</sup> ]	4455	9824.9
Young's modulus[Pa]	400E9	400E9
Poisson's ratio	0.3	0.3
Structural damping coefficient	0.16	0.16

<Table 8> Material property of aluminum alloy by correlation

Material	Aluminum alloy (Guide rail)
Density[kg/m <sup>3</sup> ]	3333
Young's modulus[Pa]	200E9
Poisson's ratio	0.3
Structural damping coefficient	0.16

## 5. 결론

본 연구에서는 AOI장비의 고유진동수 및 모드형상 등의 동특성을 유한요소해석으로 파악해 보았으며, Laser interferometer 측정 결과와 유한요소해석을 이용한 과도 진동 결과와의 상관관계를 분석하여 해석결과가 측정결과에 근접하도록 유한요소해석용 모델을 개발하였다. 상관관계 분석 수행을 위한 변수는 장비의 구조로 사용

된 각 재질의 영률과 구조감쇠계수이다.

본 연구의 결과로 개발된 유한요소 모델은 상관관계 분석을 통해 신뢰성이 확보되었으므로, 이 개발된 모델을 바탕으로 개발자가 변경하고자하는 구조물이 카메라 렌즈의 변위에 어떠한 영향을 주는지 파악하기 용이하며, 그 결과 역시 신뢰성이 높다고 볼 수 있다.

따라서 높은 해상도를 얻기 위해 카메라의 중량이 증가되고 그로 인해 진동변위가 커지는 최근의 개발 추세에서 진동변위를 감소시키기 위한 구조개선 방안 도출에 유용하게 사용될 수 있어 장비 개발 시 시간적, 경제적 절감 효과를 기대할 수 있다.

## ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by MIRTEC Co.,Ltd.

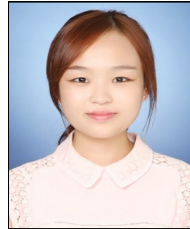
## REFERENCES

- [1] Y. H. Kim, "3D AOI Equipment in Kohyoung Technology", Korea Business News Agency-NSP, 2013.
- [2] J. C. Koh, Y. S. Park, I. S. Kang, "NX 7.5 CAE Bible[NX Nastran]", Onsia, pp 6~7, 2011.
- [3] D. K. Hong, J. B. Jeong, W. S. Jung, G. B. Kim, and C. W. Ahn, Investigating Natural Frequency Analysis and Measurement of Railway Vehicle to Avoid Resonance, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration, Engineering, Vol. 22, No. 8, pp. 713~719. 2012.
- [4] Tiernam, S., and Fahy, M., Dynamic FEA modelling of ISO tank containers, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 124, pp 126~132. 2002.
- [5] S. K. Kwon, Dynamic Model Development and Simulation of Crawler Type Excavator, Journal of the Korean Society of Machine Tool Engineers, Vol. 18, No.6, pp 642~651, 2009.
- [6] J. M. Choi, I. K. Jun, M. H. Cho, O. H. Jeon, S. H. Ji, A Method for FEM-EMA Correlation and Applications for Automotive Door Assembly, Journal of the Korean Society of Automotive Engineers, Vol.

IV, pp 2096~2101, 2006.

- [7] NX/NASTRAN v8.0, Material Property, "Steel"
- [8] NX/NASTRAN v8.0, Material Property, "Aluminum Alloy"
- [9] <http://mirtec.com/business/smt/02/test/index.jsp>
- [10] <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=71396e57ff5940b791ece120e4d563e0>
- [11] <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=ab8aeb2d293041c4a844e397b5cfd4e>
- [12] Daniel J. Inman, Engineering Vibration, Pearson Education, Edition 3, pp 22~25, 2009.

### 고 만 수(Koh, Man Soo)



- 2014년 2월 : 호서대학교 기계공학부(공학석사)
- 2014년 3월 ~ 현재 : 호서대학교 기계공학부 박사과정
- 관심분야 : 구조 및 진동 해석, 최적 설계
- E-Mail : mansool16@naver.com

### 권 순 기(Kwon, Soon Ki)



- 1990년 12월 : 아이오주립대학교 (공학박사)
- 1991년 2월 ~ 1995년 7월 : 삼성중공업 중장비연구소
- 1995년 8월 ~ 1997년 8월 : 삼성자동차 중앙연구소
- 1997년 8월 ~ 1998년 8월 : 삼성 SDS
- 1998년 8월 ~ 2004년 3월 : 기술보증기금 기술평가센터
- 2010년 ~ 현재 : 호서대학교 기계공학부 교수
- 관심분야 : 최적설계, 구조 및 진동해석, 다물체동역학
- E-Mail : skkwon@hoseo.edu

### 이 석(Lee, Seok)



- 1999년 2월 : 인하대학교 선박공학대학원 (공학석사)
- 2011년 7월 ~ 현재 : (주)미르기술 융합기술연구소 기구설계팀
- 관심분야 : 구조해석, 진동, 최적화 설계
- E-Mail : slee@mirtec.com