

# FCT 검사 자동화 System의 구조해석 및 구조 안전성에 관한 연구

정해진\*, 이종찬\*<sup>,#</sup>

\*금오공과대학교 기계공학과

## Structural Analysis and Safety of FCT Inspection Automation System

Hae-Jin Jeong\*, Jong-Chan Lee\*<sup>#</sup>

\*Kumoh National Institute of Technology

(Received 17 April 2022; received in revised form 21 April 2022; accepted 02 May 2022)

### ABSTRACT

The analysis conditions were established using the self-weight of the FCT automation equipment, and natural frequency analysis was performed under the same conditions. For the structural analysis, 3D modeling was performed using Inventor, and structural analysis was performed using the Ansys workbench. From the structural analysis, it was concluded that the resulting values of the stress and deformation of the equipment do not affect the equipment. From the dynamic analysis, the resonance does not occur in the equipment driving area, and thus it is judged to be stable.

**Keywords** : FCT(기능회로테스트), Stability(안정성), Stress(응력), Deformation(변형), Resonance(공진), Structural Analysis(구조해석)

### 1. 서 론

4차 산업혁명의 대표적인 분야로 로봇산업을 손꼽을 수 있으며, 다양한 산업에 일반화되어 사용되고 있다. 의료, 항공, 물류, 반도체, 자동차, 가전 등 다양한 분야에서 로봇을 이용하여 작업자의 단순노동을 대체하고 있으며, 특히 3D 업종의 작업환경 개선과 근로자들의 애로사항들을 대체하고 있다.

특히 전기전자 제품은 IT와 통신, 인버터 드라이브와 같은 디지털소자와 회로기술의 발전으로 인해 예전보다 훨씬 복잡하면서도 집적화된 PCB(Printed

Circuit Board)가 제조되고 있으며, 최근의 PCB는 더 많은 로직(Logic)을 더 작은 면적에 복잡하게 집적되고 있어 시스템 설계 통과 제조장비, 특히 검사장비에 대한 시장의 요구가 높아지고 있다.

최근의 PCB 생산공정은 PCB→SMD 자삽→IMD 자삽→솔더링→검사→출하로 이루어지고 있으며, 예전의 소물량 수작업 보다는 대량 생산 및 고집적화를 위해 자삽기계와 자동 솔더링 그리고 검사의 단계로 구성되고 있다. 이 중에서도 PCB 생산의 제일 끝 공정인 검사공정은 고집적화된 PCB의 작업 불량 및 주요소자의 불량을 파악하기 위해 꼭 필요하면서도 수율 관리를 위해 가장 중요한 공정이라 할 수 있다.

일반적으로 전자제품에 사용되는 PCB의 회로검

# Corresponding Author : [jclee@kumoh.ac.kr](mailto:jclee@kumoh.ac.kr)

Tel: +82-54-478-7376, Fax: +82-54-478-7382

사방법은 보드의 특성이나 종류에 따라 전기적인 신호로 검사하는 방법과 육안검사가 있다. 전기는 검사는 PCB에 조립된 부품에 미세 신호를 인가하여 부품의 전압, 전류, 주파수 특성을 읽어서 판단하는 ICT(In Circuit Test)검사와 PCB에 실제 사용되는 전압을 인가하여 완전 조립된 제품을 소비자가 직접 사용하는 것과 동일한 상태가 되도록 시뮬레이션하여 ICT검사로 불량을 검출할 수 없는 부품을 검사하는 FCT(Functional Circuit Test) 검사방법이 있다.

육안검사는 전기적 검사가 완료된 PCB의 외관적인 결함을 사람의 눈으로 검사하는 공정이며, 점차 고밀도 회로화로 인해 육안검사의 한계점에 도달하고 있기 때문에 기계적으로 검사가 가능한 장비를 개발하여 이용하는 추세로 변화하는 중에 있다. 이러한 검사방법은 집적도가 높고 복잡성이 높은 전자 소자들을 다수 장착한 PCB 보드가 점차 늘고 있는 추세여서 검사시간과 판별 정확도를 고려할 때 비효율적인 방법이며, 최근에는 전기적 검사의 발전로 생산된 PCB보드에 전원을 가하여 중요 동작부들의 신호 파형들을 측정하고 이를 바탕으로 공정의 불량 유무를 판별하는 FCT가 많이 활용되고 있다.

본 연구를 위하여 사용된 FCT(Functional Circuit Test) 검사 자동화 System은 기존 작업자에 의해 검사하던 방법에서 로봇과 비전 카메라를 이용하여 자동으로 PCB를 검사하는 장비이다.

검사하고자 하는 PCB의 형태는 Curved Type과 Flat Type이 있으며 이를 검사하기 위해서는 로봇이 다축으로 움직이기 때문에 로봇하중에 대한 장비의 안전성이 매우 중요하다.<sup>[1]</sup>

따라서 본 연구에서는 FCT 검사 자동화 System에 대한 초기 설계를 진행하고 구조해석 및 동특성 해석을 통해 구조 안전성을 파악하고 동특성 분석을 통한 공진 회피 설계를 진행하고자 한다.

## 2. 본 론

### 2.1 실험 방법

본 연구에서는 FCT 검사 자동화 System에 대한 구조 안전성을 평가하기 위하여 검사 자동화 System의 설계 및 구조해석을 진행하였다.

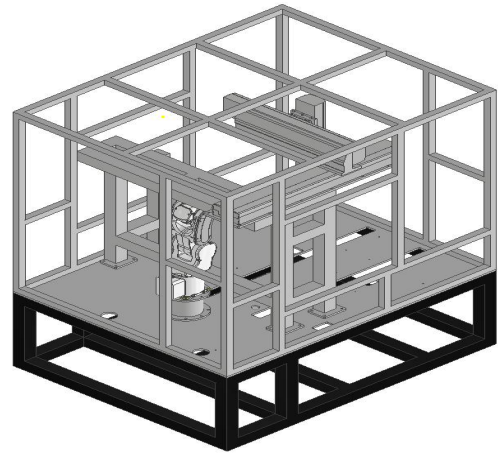


Fig. 1 3D Modeling of auto inspection system

Table 1 Material properties of structural steel

Density (kg/m <sup>3</sup> )	Young's Modulus (GPa)	Poisson Ratio
7,850	200	0.3

3D 모델링은 AUTODESK INVENTOR를 활용하였으며, 구조해석은 ANSYS Workbench를 활용하여 실험을 진행하였다. 3D 모델링은 Fig. 1에 나타내었다.

FCT 검사 자동화 System의 재질은 Frame의 재질인 Structural Steel을 적용하여 해석을 진행하였으며, Table 1에 기계적 성질을 나타내었다.

FCT 검사 자동화 System 로봇의 무게와 하중을 고려하여 설계를 진행하였으며, 공정간의 간섭이 발생하지 않고 최적화 될 수 있는 구조로 설계를 진행하였다.<sup>[2],[3]</sup>

### 2.2 자중에 의한 구조해석

FCT 검사 자동화 System의 구조해석을 위하여 먼저 구조 단순화를 진행하였으며, System의 유한요소 생성을 수행하였다. 유한요소 생성은 Skewness 분석을 통해 최적화를 진행하였으며, 유한요소 생성결과 Node 494,963개 Elements가 270,971개로 정의되었다. 유한요소 생성 결과를 Fig. 2와 Table 2에 나타내었다.<sup>[4]</sup>

유한요소 생성 후, 자중에 의한 해석을 진행하기 위해 경계조건을 적용하여 자중에 의한 변형, 응력 및 고유진동수 해석을 진행하였으며 Fig. 2에 나타난 것처럼 실제 구속영역부분을 Fixed Support 부분으로 구속하고, Fig. 3과 같이 자중에 대한 하중을 부여하였다.<sup>[5]</sup>

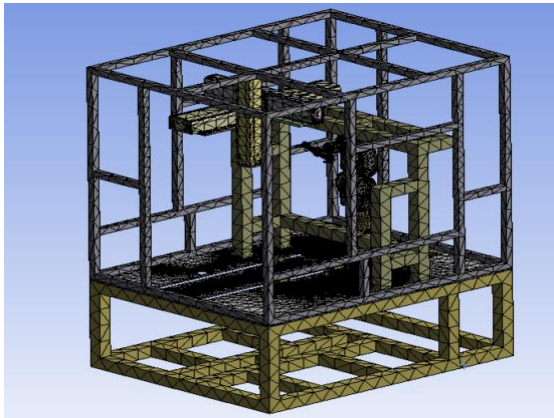


Fig. 2 FCT inspection automation system finite element generation result

Standard Earth Gravity: 9.806 mm/s<sup>2</sup>

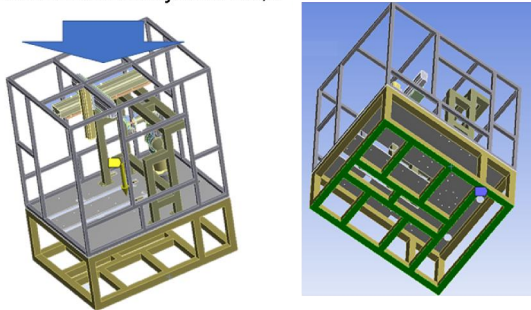


Fig. 3 Analysis conditions and constraints of FCT inspection automation system

Table 2 Finite element creation result

Mesh Result	
Node	494,963
Element	270,971

### 2.3 자중에 의한 Deformation 해석 결과

FCT 검사 자동화 System의 경계조건과 구속 조건을 부여하여 구조해석을 수행한 결과 변형과 응력에 대한 결과를 얻을 수 있었다.

변위에 대한 구조해석은 X, Y, Z Axis Deformation과 Total Deformation을 확인하였으며,<sup>[6]</sup> 그 결과는 Fig. 4~7과 Table 3에 나타내었다. FCT 검사 자동화 System의 최대 변형량은 Robot Arm 상부에서 발생하였으며 0.69669mm의 변형량을 나타내었다. X, Y, Z Axis Deformation은 0.012997mm, 0.55678mm, 0.0086477mm로 각각 나타났다.

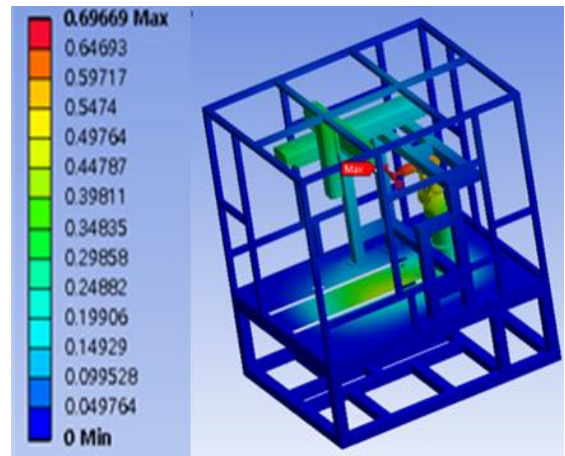


Fig. 4 Total deformation structural analysis results

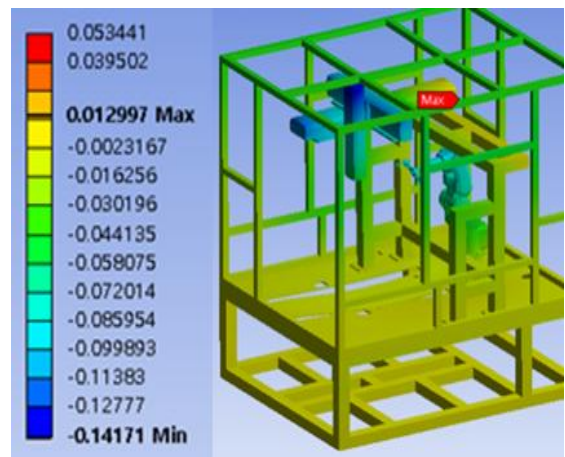


Fig. 5 X-axis deformation structural analysis results

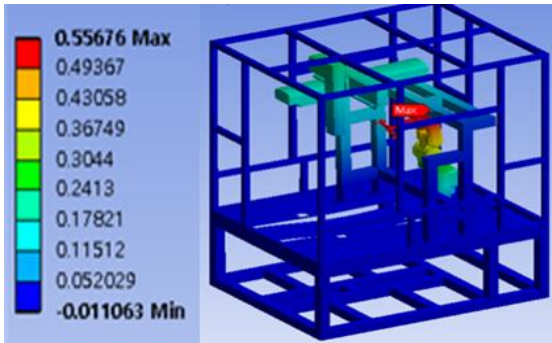


Fig. 6 Y-axis deformation structural analysis results

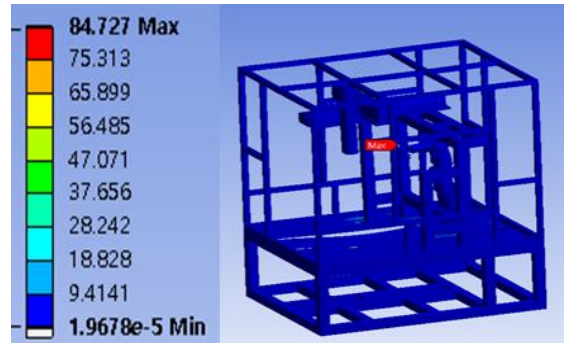


Fig. 8 Equivalent (Von-mises) Stress analysis results

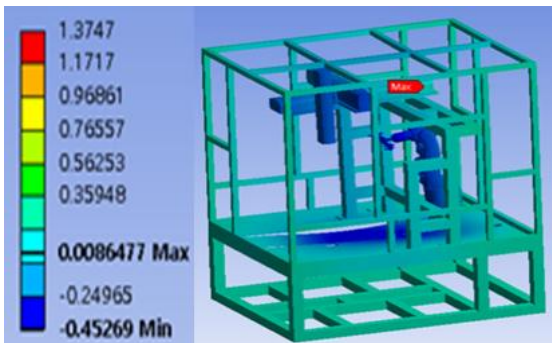


Fig. 7 Z-axis deformation structural analysis results

Table 3 Deformation structural analysis results

Total Deformation	0.69669mm
X Axis Deformation	0.012997 mm
Y Axis Deformation	0.55676 mm
Z Axis Deformation	0.0086477 mm

## 2.4 자중에 의한 응력 해석 결과

FCT 검사 자동화 System의 응력해석은 변위의 경계조건과 구속 조건을 동일하게 하여 수행하였으며, Equivalent Stress를 통하여 측정하였다.

응력분포는 FCT 검사 자동화 System 전반에 걸쳐 매우 미비하게 나타났지만 로봇 Arm 축에서 로봇의 무게에 의한 응력집중이 84.727MPa 발생하는 것으로 확인되었다.<sup>[7]</sup>

Fig. 8과 Table 4에서 응력 분포에 대한 결과를 나타내었다.

Table 4 Result of structural analysis

Type	Result
Equivalent Stress(MPa)	84.727

## 2.5 FCT 검사 자동화 System의 동특성 해석

FCT 검사 자동화 System의 공간 회피 설계를 위해서 동특성 해석을 진행하였다. 해석 조건은 앞서 진행한 변위 및 응력의 해석 경계조건과 동일하며 Fig. 9~12와 Table 5에 모드별 변형 형상과 고유진동수값, 그리고 변형량을 나타내었다. 1차 모드는 27.831Hz가 발생하였으며 Frame의 외부 상판 부분에서 발생하였으며, X축 굽힘 모드가 발생하였다. 2차 모드는 68.155Hz로 Frame 내부의 바닥면에서 X축 굽힘 모멘트가 관측되었으며, 3차 모드에서는 85.829Hz의 진동이 관측되었고 외부 Frame의 좌측면에서 상하의 굽힘 모드가 발생하는 것으로 확인되었다. 4차 모드에서는 Frame 외부 상판에서 Y축으로의 굽힘 모드가 발생하였고 102.55Hz의 진동이 발생되었다.

1~4까지의 모드 해석 결과 진동의 발생은 27.83~102.55Hz로 발생하는 것을 확인하였으며, 변형은 1차 모드에서 3.0891mm, 2차 모드에서 4.4891mm, 3차 모드에서 2.9492mm, 4차 모드에서 4.3528mm로 발생하였으며 최대 변형량은 4.4891mm로 2차 모드에서 발생하는 것을 확인하였다. FCT 검사 자동화 System의 가동간 공진영역은 벗어난 것으로 확인되며, Deformation이 발생하는 부분이

외부 Frame 영역으로 나타나 FCT 검사 자동화 System의 가동 시 공진에 의한 문제는 없을 것으로 판단된다.<sup>[8]</sup>

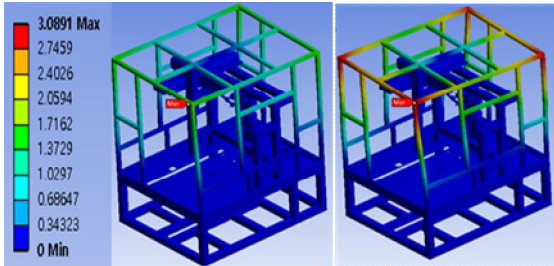


Fig. 9 Modal analysis result 1<sup>st</sup> mode

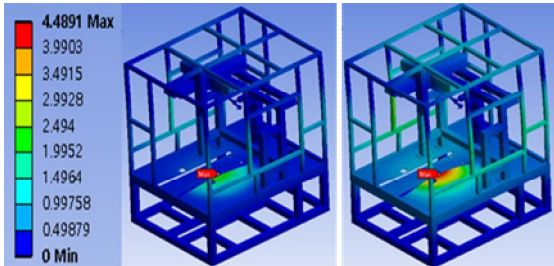


Fig. 10 Modal analysis result 2<sup>nd</sup> mode

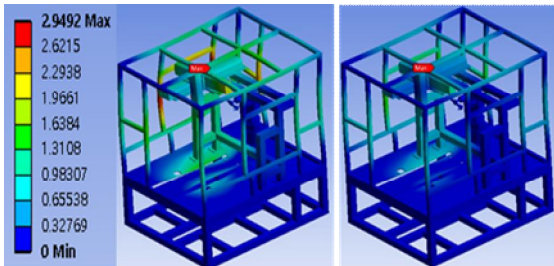


Fig. 11 Modal analysis result 3<sup>rd</sup> mode

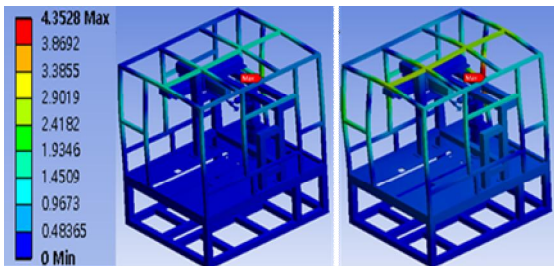


Fig. 12 Modal analysis result 4<sup>th</sup> mode

Table 5 Frequency results of modal analysis

Mode	Frequency (Hz)	Shape
1	27.83	Bending
2	68.155	Bending
3	85.829	Bending
4	102.55	Bending

Table 6 Deformation results of modal analysis

Mode	Deformation (mm)
1	3.0891
2	4.4891
3	2.9492
4	4.3528

### 3. 결 론

본 연구는 FCT 검사 자동화 System의 제작에 앞서 로봇 자동화를 위한 System의 구조 안전성을 연구하기 위하여 자중에 대한 구조해석과 동특성 해석을 진행하였으며 아래와 같은 결론을 얻었다.

1. FCT 검사 자동화 장비의 설계를 토대로 구조해석을 진행하였으며, 구조해석 결과 최대 처짐량은 0.69669mm로 나타났다.
2. 각 축의 Deformation 해석 결과는 X-axis 0.012997mm, Y-axis 0.55676mm, Z-axis 0.0086477mm로 Total Deformation을 넘지 않고 장비의 영향을 주지 않는 결과로 판단된다.
3. 자중에 의한 FCT 검사자동화 장비의 응력해석결과는 84.727MPa로 안전율 2.3이상의 값을 가지므로 안정된 구조로 판단된다.
4. 고유진동수 해석 결과는 공진 발생 시, 최소 3.0891mm의 변형이 발생하며, 그 값이 장비의 미치는 영향은 매우 크기 때문에 공진현상을 회피하기 위한 설계를 통하여 실험이 진행되어야 할 것으로 판단된다.
5. 고유진동수의 발생은 1차 모드에서 27.83Hz가 발생하는 것으로 나타났으며, 장비의 가동영역보다 매우 아래에서 발생되어 공진영역에 대한 설계는 안전성을 가지는 것으로 판단된다.

## 후 기

“이 논문은 2019년도 중소벤처기업부 창업성장기  
술개발사업 연구비 지원에 의하여 연구되었음.”

## REFERENCES

1. Lee, W. S., Lee, J. C., Yang, D. H., Cha, S. H., Yoo, J. G., “A Study on the Structural Characteristics of Integral Type Auto Packaging M/C Main Frame”, Proceeding of the KSMPE autumn Conference, pp. 156-156, 2018.
2. Jang, Y. J., Jung, J. H., Lee, J. H., Kang, K. W., “Structural Integrity through Aerodynamic Analysis and Structural Test for Small Wind Turbine Composite Blade,” The KSFM Journal of Fluid Machinery, pp. 63-68, 2012.
3. Kim, H. S., Kim, E. J., "Feed-forward control of fast tool servo for real-time correction of spindle error in diamond turning of flat surfaces", International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 43, pp. 1177-1183, 2003.
4. Lee, S. H., Yang, D. H., Cha S. W., Kwak, J., Lee, J. C., “A Study of Structural Stability of Complex CNC Automatic Lathe Base”, Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 20, No. 8, pp. 80~85, 2001.
5. Lee, J. H., Lho, T. J., “A study on design and structural strength analysis of positioner in robot overlay welding system of ball for ball-valve”, Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 16, No. 3, pp. 1639-1644, 2015.
6. Naumann, M., Fechter, M., Robots as enablers for changeability in assembly applications, 15th Internationales Stuttgarter Symposium: Springer Fachmedien Wiesbaden, pp. 1155-1171, 2015.
7. Moon, D. J., Cho, J. H., Choi, Y. S., Hwang, I. H., Lee, J. C., “High-Stiffness Structure Design of 8-Axis Multi-tasking Machinefor Automotive Powertrain Shafts”, Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 15 No. 2, pp.78~83, 2016.
8. Kim, S. W., Kim, H. J., “A Study on Implementation of Special-Purpose Manipulator for Home Service Robot,” Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 12, No. 11, pp. 5219-5226, 2011.