

## 취출로봇의 안전성 평가를 위한 유한요소해석

홍희록<sup>1</sup>, 이준성<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>경기대학교 대학원 기계공학과, <sup>2</sup>경기대학교 기계시스템공학과

# Finite Element Analysis for the Safety Assessment of Take-out Robot

Hee-Rok Hong<sup>1</sup> and Joon-Seong Lee<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Mechanical Engineering, Graduate School, Kyonggi University

<sup>2</sup>Dept. of Mechanical System Engineering, Kyonggi University

**요 약** 일반적으로 감속기, 모터 등과 같은 동력 전달시스템에 의해 발생하는 진동, 소음 등은 취출로봇의 효율성, 내구성, 정밀도와 신뢰성 등을 결정짓게 된다. 본 연구는 유한요소해석을 통하여 취출로봇 구조물의 안전성을 평가하고자 한다. 취출로봇은 사출물을 한 곳에서 다른 곳으로 이송시키는 자동화 로봇이다. 취출로봇 구조는 가로 1300mm, 세로 670.5mm, 높이 670mm 이고, 구조물의 무게는 380kg이다. 자중해석을 통하여 자중과 하중에 의한 변위와 등가응력을 확인하고, 모드해석을 통하여 취출로봇의 고유진동수를 찾는다. 응답해석을 통하여 취출로봇의 고유진동수에 대한 변위와 가속도 응력을 확인하고자 한다. 또한, 취출로봇 구조를 변경해가면서 해석을 반복하여 결과를 확인하고 구조물의 안전성 여부를 판단한다. 이들 해석결과들은 취출로봇의 진동을 저감시키는데 유용하다.

**Abstract** Take-out robots used for handling of the plastic parts manufactured with the injection mold are usually the gantry type that consists of long and thin links. In this study, we want to evaluate the safety of the take-out Robot structure through finite element analysis. The take-out Robot is automated robot to transport from one location to another in the molded article. The take-out Robot structure has a 380 kilogram weight, a 1300mm width, a 670.5mm depth and a 670mm height. It confirms the equivalent stress and the deformation of the load and its own weight through weight analysis. It looks for the natural frequency of the take-out robot through modal analysis. It confirms the acceleration, the normal stress and the deformation about the natural frequency of the take-out robot through response analysis. Also It repeats the analysis by changing the structure of the take-out robot, to confirm the results and it is determined whether the safety of the structure. These analysis results are effectively used to reduce the vibration of the take-out robot.

**Key Words** : Natural Frequency, Modal Analysis, Response Analysis, Take-out Robot

### 1. 서론

취출로봇은 사출물을 한 곳에서 다른 곳으로 이송시키는 자동화 로봇이다. 성형된 플라스틱 부품을 사출기에서 취출하여 일정한 위치로 이송하여 낙하시키는 작업을 반복해서 진행하는 취출로봇은 일반 로봇에 비하여 비교적 가볍다[1,2]. 일반적으로 취출로봇은 후속 공정기계로의

로딩 또는 언로딩 작업을 병행하는 등 산업현장에 널리 사용되고 있으며 생산 자동화에 크게 기여하고 있다. 취출로봇의 사용으로 생산성 향상, 품질 향상, 원가절감, 산업재해 방지 등 여러 가지 이익을 가져다주었다. 이는 사출성형 업계가 획기적으로 발전하는데 지대한 역할을 하였다. 특히 IT 산업의 급속한 성장에 따라 다양한 사출 제품들의 생산이 요구되고 있는 시점에서 고속화, 고효율

본 연구는 2013학년도 경기대학교 대학원 연구원장학생 장학금 지원에 의하여 수행되었음.

\*Corresponding Author : Joon-Seong Lee(Kyonggi Univ.)

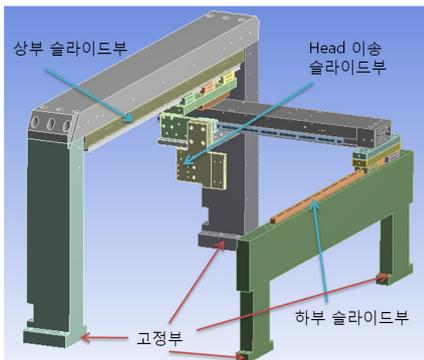
Tel: +82-31-249-9813 email: jsleel@kyonggi.ac.kr

Received October 24, 2013 Revised December 12, 2013 Accepted March 6, 2014

화, 그리고 정밀화를 구현할 수 있는 취출로봇을 개발하기 위한 노력이 활발히 진행되고 있으며, 성능을 향상시키기 위하여 소음 및 진동의 저감은 반드시 해결되어야 할 중요한 과제이다[3,4]. 또한, 취출로봇의 경우 정적 상태에서 취출 선단의 안전성 확보가 가장 중요한 인자이다. 취출 선단의 안전성이 확보되지 않으면 정확한 위치에서의 취출이 되지 않아 불안정한 작업이 된다[1]. 따라서 이번 연구에서는 취출로봇의 안전성 평가에 대한 유한요소해석[7]의 기초적 기반에 도움을 주고자 한다.

## 2. 취출로봇 구조물 특성

본 연구에서 취출로봇의 해석 모델 구조는 Fig. 1과 같이 Head 이송 슬라이드부와 상부 슬라이드부, 하부 슬라이드부, 고정부로 구성되어 있으며 슬라이드부(상부, 하부, Head 이송부)는 X, Z 두 축으로만 움직인다. 취출 부품들을 취출로봇의 치수는 가로, 세로, 높이는 각각 1300mm, 670.5mm, 670mm로 구성되어 있으며 구조물의 무게는 380kg 이고, 재료 물성치는 Table 1과 같다. Fig. 2와 같이 취출로봇 구조물의 절점(nodes)과 요소(elements)의 수는 각각 1,403,696개와 458,880개로 구성되어 있다.

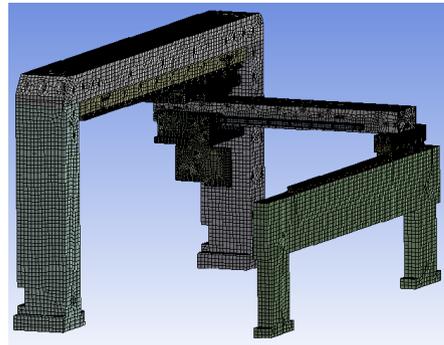


[Fig. 1] Structure of Take-out robot

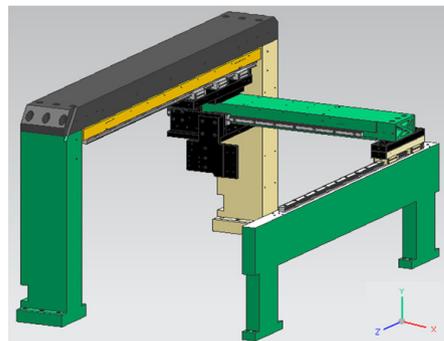
[Table 1] Material property

Material	Steel
Density	7850 kg/m <sup>3</sup>
Young's Modulus	200,000 MPa
Poisson's Ratio	0.3
Tensile Yield Strength	250 MPa
Compressive Yield Strength	250 MPa
Tensile Ultimate Strength	460 MPa

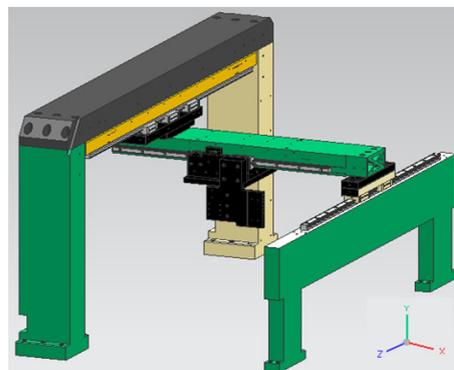
취출로봇 구조물이 정적 상태에서 취출 선단의 안전성 확보가 중요하며 짧은 구간을 이송하여 정지할 때 취출로봇 구조물에 진동을 일으키는 요인이 되고 있다. 따라서 취출로봇 구조물의 Head 이송 슬라이드부의 위치에 따른 자중과 하중이 작용했을 때의 최대 변형량과 최대 등가응력을 예측하고, 모드해석을 통하여 취출로봇 구조물의 고유진동수를 확인한다. 가중량을 외부 가진으로 하여 공진부분을 판단하고 설계 시 고려하고자 한다.



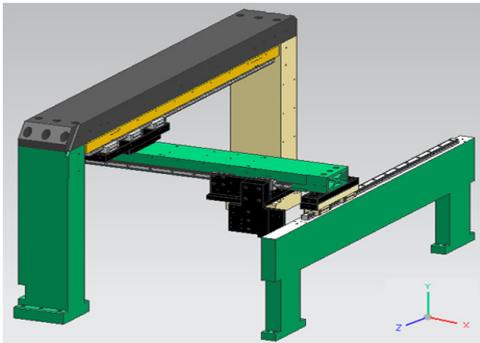
[Fig. 2] Mesh of model



[Fig. 3] Type I of model



[Fig. 4] Type II of model



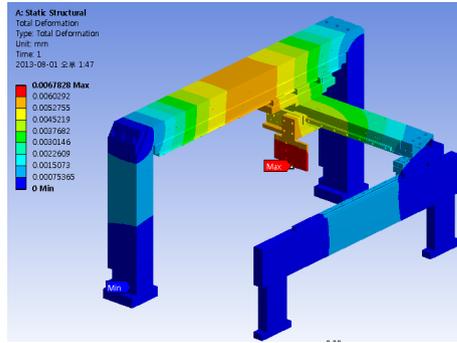
[Fig. 5] Type III of model

Type I 은 Head 이송 슬라이드부가 X, Y, Z, 축으로부터 Home에 위치한 경우이다. Type II는 Head 이송 슬라이드부가 Home을 기준으로 X 축으로 190mm, Z 축으로 290mm 이동한 경우이고, Type III는 Head 이송 슬라이드부가 Home을 기준으로 X 축으로 360mm, Z축으로 550mm 이동한 경우이다.

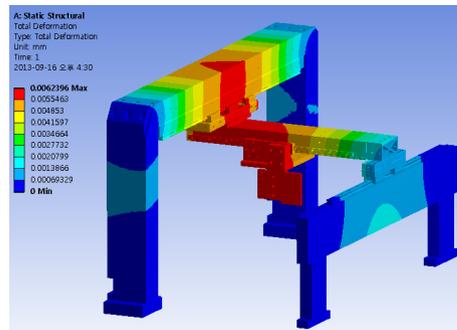
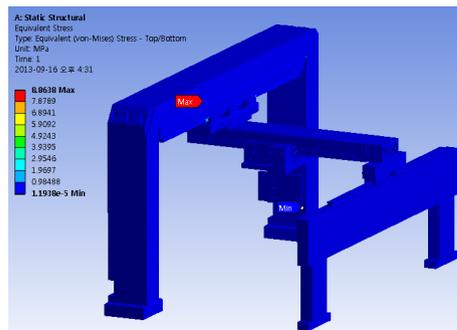
### 3. 유한요소해석 해석조건 및 결과

#### 3.1 자중해석

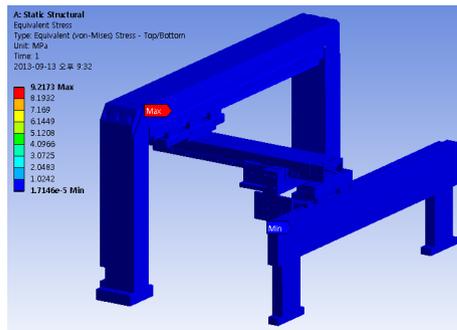
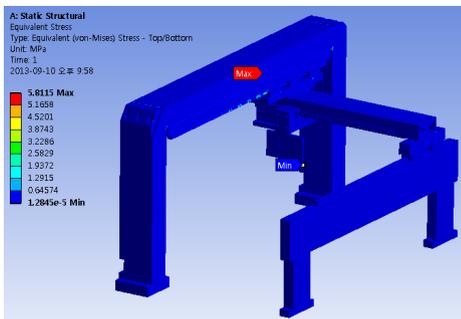
자중과 하중에 의한 취출로봇 구조물의 최대 변형량과 최대 등가응력을 확인하여 구조물의 안전성을 평가 하고자 한다. 각 Type 별 경계조건은 취출로봇 구조물의 고정부 4개의 면을 완전구속을 하였고, Head 이송 슬라이드부에 사출물의 무게인 15N의 하중과 구조물 전체의 자중의 중력가속도 9806.6mm/s<sup>2</sup>을 경계조건으로 적용하여 해석을 수행하였다. 세 가지 Type에 따른 해석 결과는 Fig. 6~8과 같다.

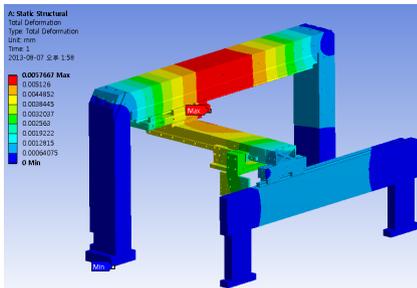


[Fig. 6] Equivalent stress and displacement of static structure(Type I)



[Fig. 7] Equivalent stress and displacement of static structure(Type II)



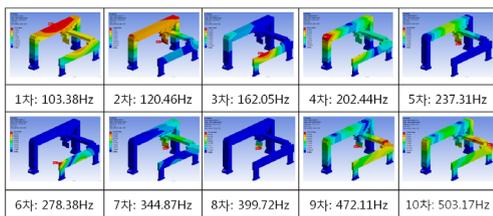


[Fig. 8] Equivalent stress and displacement of static structure(Type III)

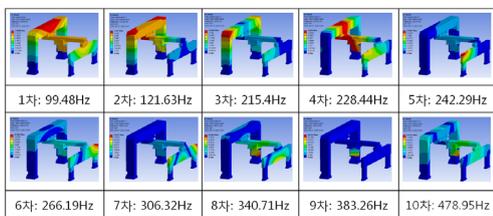
자중해석 결과 Type I의 최대 변형량은 0.00678mm 이고, 최대 등가응력은 5.81MPa이다. Type II의 최대 변형량은 0.00624mm이고, 최대 등가응력은 8.86MPa이며, Type III의 최대 변형량은 0.00578mm, 최대 등가응력은 9.22MPa의 결과가 나왔다. Head 이송 슬라이드부의 위치 이동에 따라 최대 변형량은 감소하지만 최대 등가응력은 증가하는 것을 알 수 있다.

### 3.2 모드해석

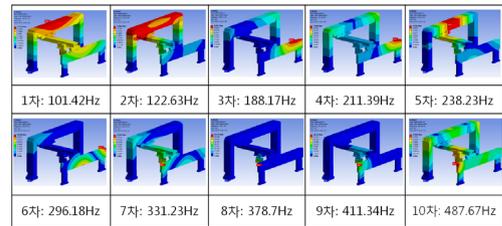
모드해석은 취출로봇 구조물의 고유진동수를 찾기 위한 해석방법이다. 일반적으로 물체는 무한개의 질량 파티클(Mass Particle)로 이루어져 있다. 자유도는 무한개이나 수학적으로 풀기 위해 유한개의 자유도로 제한하여 구조물의 진동특성을 결정한다. 자중해석에서 주었던 경계조건과 동일한 조건으로 적용하여 10차 모드까지 해석을 수행하였다[4,5] 세 가지 Type에 따른 해석 결과는 Fig. 9~11과 같다.



[Fig. 9] Results of Modal Analysis(Type I)



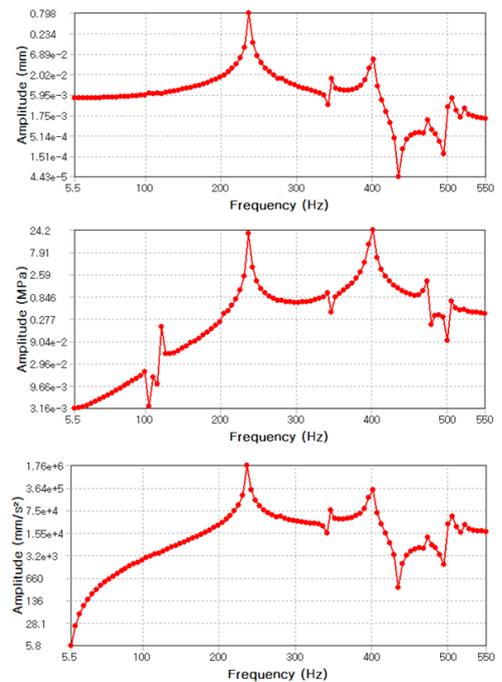
[Fig. 10] Results of modal analysis(Type II)



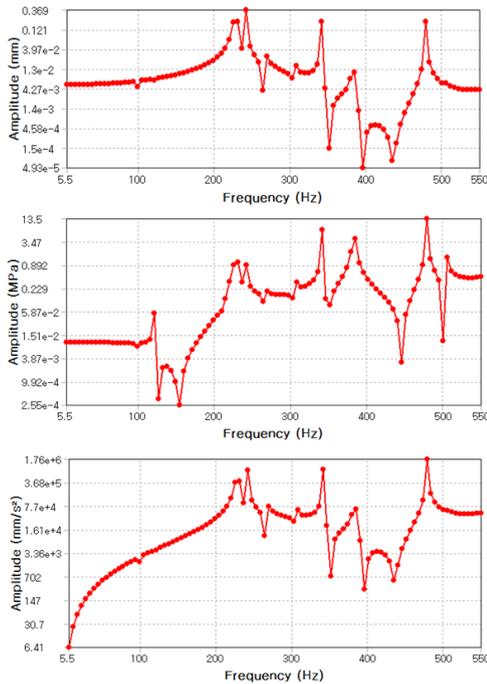
[Fig. 11] Results of modal analysis(Type III)

### 3.3 응답해석

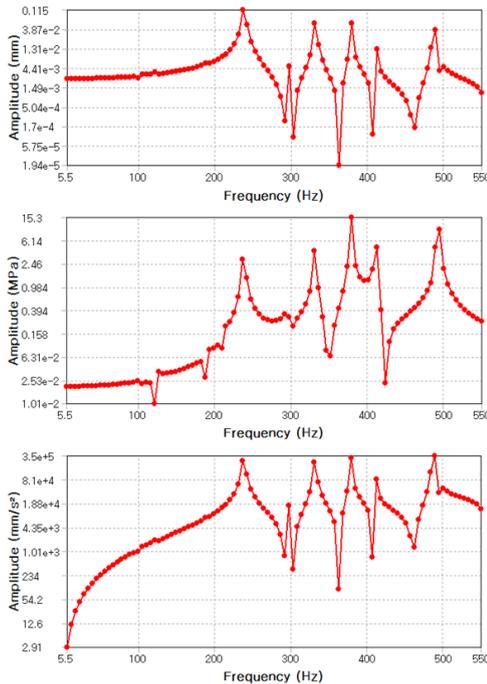
취출로봇 구조물에 영향을 주는 가진 형태는 일반적으로 두 가지로 분류할 수 있다. 하나는 시간에 따라 크기가 결정되고 예측될 수 있는 형태를 Deterministic이라 하고 대표적으로 주기성을 갖는 조화가진(harmonic force) 또는, 과도하중(transient force)이 있다. 지진, 바람, 바닥에 불규칙하게 들어오는 가진 형태는 시간에 따라서 예측이 불가능한 경우이다. 이러한 경우를 Non-Deterministic이라 한다. 따라서 취출로봇 구조물에 작용하는 가진형태는 조화가진으로 설정하였다. 응답해석에서 진동수 영역에 가진 주파수 범위를 0~550Hz로 설정하고, 자중해석에서 주었던 경계조건과 동일한 조건으로 해석을 수행하였다[4,5]. 세 가지 Type에 따른 해석 결과는 Fig. 12~14와 같다.



[Fig. 12] Results of response analysis(Type I)



[Fig. 13] Results of response analysis(Type II)



[Fig. 14] Results of response analysis(Type III)

응답해석 결과 Type I에서는 237.31Hz와 399.72Hz에서 변위와 응력, 가속도가 가장 크게 발생한다. 변위는

최대 0.798mm가 응력은 최대 24.2MPa이 가속도는 최대  $1.76e+6\text{mm/s}^2$ 이 발생한다. Type II에서는 242.29Hz와 340.71Hz, 478.95Hz에서 변위와 응력, 가속도가 가장 크게 발생한다. 변위는 최대 0.369mm가 응력은 최대 13.5MPa이 가속도는 최대  $1.76e+6\text{mm/s}^2$ 이 발생한다. Type III에서는 237.31Hz와 378.7Hz, 487.67Hz에서 변위와 응력, 가속도가 가장 크게 발생한다. 변위는 최대 0.115mm가 응력은 최대 15.3MPa이 가속도는 최대  $3.5e+5\text{mm/s}^2$ 이 발생한다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 유한요소해석 프로그램을 이용하여 취출로봇 구조물의 안전성을 평가하는 것이 목적이며 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

- (1) 자중해석을 통하여 세 가지 Type 별 최대 변형량은 0.00578~0.00678mm로 크게 변형이 일어나지 않고, 세 가지 Type 별 최대 등가응력 값은 9.22MPa로서 재료의 항복강도 250MPa의 3.7%로 탄성한계 내에 있으므로 안전한 구조로 평가할 수 있다.
- (2) 응답해석을 통하여 237.31Hz~242.29Hz에서 가장 큰 변형이 발생한다는 것을 알 수 있다. 변위는 최대 0.798mm, 응력은 최대 24.2MPa, 가속도는 최대  $1.76e+6\text{mm/s}^2$ 이 발생하였다.
- (3) 상당히 높은 Hz로서 취출로봇 작동에 크게 영향을 받지 않을 것으로 보이나 취출로봇의 정밀도를 위하여 취출로봇 구조물 설치 시 외부 진동에 대해서 고려해야 한다.

추가적으로 가속도센서를 이용하여 실질적인 가속도, 속도 및 변위를 측정하고 로봇의 급정지에 따른 구조적인 변화도 측정하여 설계에 이용할 수 있도록 하겠다.

#### References

- [1] H. B. Im, B. G. Kim, B. H. Park, J. T. Chung., "Finite Element Analysis of a Take-out Robot considering Welding Effects," Proceedings of the Korean Society for Noise and Vibration Spring Conference, pp. 296-297, 2009.
- [2] S. S. Rhim, J. H. Park., "Residual Vibration Control of High Speed Take-out Robot Used for Handling of Injection Mold Plastic Part," Journal of the Korean

Society for Precision Engineering Vol. 28, No. 9, pp. 1025-1031, 2011.

- [3] J. Y. Cho, D. S. Kim, J. T. Chung., "Study on Noise Reduction of an Industrial Take-out Robot," The Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 21, No. 1, pp. 41-46, 2011.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5050/KSNVE.2011.21.1.041>
- [4] Y. C. Lee, J. S. Lee, E. C. Lee, Y. J. Choi, H. J. Lee, C. R. Lee., "Frame Safety Analysis for Optimal design by Extraction Robot," Proceedings of the Korean Society for Precision Engineering Spring Conference, pp. 745-746, 2009.
- [5] Y. C. Lee, J. S. Lee, E. C. Lee, Y. J. Choi, H. J. Lee, B. K. Bae, D. C. Gwon., "Structural Analysis for Vertical Rotor Die Casting Machine," Proceedings of the Korean Society for Precision Engineering Spring Conference, pp. 1211-1212, 2010.
- [6] H.S. Chang, J.S. Lee, D.K. Park, "Heat Analysis for Heat Sink Design Using Finite Element Method," J. of Korea Academia-Industrial cooperating Society, Vol. 13, No. 3, pp. 1027-1031, 2013.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.3.1027>

---

**이 준 성(Joon-Seong Lee)**

[정회원]



- 1988년 2월 : 성균관대학교 대학원 기계공학과 (공학석사)
- 1995년 9월 : 동경대학교 (공학 박사)
- 1988년 7월 ~ 1991년 7월 : 육군사관학교 교수부 기계공학과 교수
- 1996년 3월 ~ 현재 : 경기대학교 기계시스템공학과 교수

<관심분야>

최적설계, Neural Network, 자동요소생성기법

---

**홍 희 록(Hee-Rok Hong)**

[정회원]



- 2013년 2월 : 경기대학교 기계시스템공학과 (공학사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 경기대학교 대학원 기계공학과 석사과정

<관심분야>

구조물해석, 피로/파괴, CAD