

산업용 취출로봇의 소음 저감에 대한 연구

Study on Noise Reduction of an Industrial Take-out Robot

조 재 연* · 김 덕 수* · 정 진 태†

Jae Yun Cho, Deok Su Kim and Jintai Chung

(2010년 10월 26일 접수 ; 2010년 12월 20일 심사완료)

Key Words : Take-out Robot(취출로봇), Noise(소음), Gear Clearance(기어유격), Gear Machining Accuracy(치형 오차), Gear Mesh Frequency(기어물림주파수)

ABSTRACT

In this paper, we experimentally investigate factors that decrease in noise of a industrial take-out robot at driving state. For this, we analyse change in the noise of the take-out robot with gear machining accuracy and clearance. In order to calculate the noise related to gear machining accuracy that is based upon the Japanese Industrial Standard(JIS), we equally increase motor speed from 0 rpm to 1250 rpm. In addition, to investigate influence of clearance on noise, we evenly change clearance from 0.5 mm to 1.2 mm. These experiments show that clearance is more effective factor than gear machining accuracy to reduce the noise of the take-out robot.

기 호 설 명

- ω : 모터 회전 속도(Hz)
- ω_c : 캐리어의 회전 속도(Hz)
- ω_p : 피니언의 회전 속도(Hz)
- ω_r : 링기어의 회전 속도(Hz)
- ω_s : 선기어의 회전 속도(Hz)
- N_p : 피니언의 잇수(개)
- N_r : 링기어의 잇수(개)
- N_s : 선기어의 잇수(개)
- GMP_p : 핀 피니언의 기어물림주파수(Hz)
- GMP_R : 감속기의 기어물림주파수(Hz)

1. 서 론

취출로봇은 일반적으로 금형으로부터 플라스틱을 분리해내는 전용 로봇으로 후속 공정기계로의 로딩 또는 언로딩 작업을 병행하는 등 산업현장에 널리 사용되고 있으며 생산 자동화에 크게 기여하고 있다. 근래에는 고속화, 고효율화, 그리고 정밀화를 구현할 수 있는 취출로봇을 개발하기 위한 노력이 활발히 진행되고 있으며 성능을 향상시키기 위하여 소음 및 진동의 저감은 반드시 해결하여야 할 중요한 과제이다. 일반적으로 취출로봇은 제어 시스템과 동력전달 시스템으로 이루어져 있으며, 소음 및 진동에 큰 영향을 미치는 요인은 동력전달 시스템이다. 동력전달 시스템은 랙 피니언 기어, 감속기, 모터로 구성되어 있다. 모터로부터 고속의 회전동력을 일정한 감속비를 가진 감속기를 통하여 랙 피니언으로 동력을 전달한다. 그러므로 랙 피니언이 고속으로 회전을 하게 되며, 이에 따라 랙과 피니언 사이, 감속기, 그리고 모터에서 진동과 소음이 유발된다.

† 교신저자; 정회원, 한양대학교 기계공학과
E-mail : jchung@hanyang.ac.kr
Tel : (031)400-4735, Fax : (031)406-6964

* 한양대학교 일반대학원 기계공학과

이 논문의 일부는 2010년 추계 소음진동 학술대회에서 발표되어 우수논문으로 추천되었음.

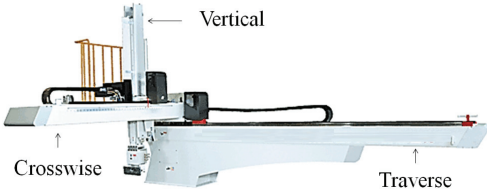


Fig. 1 The photograph of a take-out robot

동력전달 시스템에서 발생하는 진동과 소음은 취출로봇의 안정성, 구동 성능 그리고 내구성 저하에 큰 영향을 주며, 공장소음, 기계요소 소음 등 정숙성에도 큰 영향을 미친다. 그러므로 취출로봇의 소음 저감을 위해서는 동력전달 시스템의 소음 저감이 필요하다.

기존 연구로는 치형오차와 물림틀에 관한 헬리컬 기어의 진동특성 규명 및 스피커의 백래쉬가 래틀 소음에 미치는 영향을 분석하였으며, 인벌류트 기어 열의 축간거리 조절을 통한 진동 및 소음 저감에 대하여 연구되었다⁽¹⁻⁴⁾. 또한 상용 유한요소해석 프로그램을 이용한 취출로봇 프레임의 자중해석 및 진동해석을 통한 구조 안정성에 대하여 연구되었다⁽⁵⁾.

동력전달 시스템에 대한 연구는 많이 이루어져 있으나 그 시스템이 취출로봇의 소음 진동에 미치는 영향에 관한 연구는 아직 미비하다. 동력전달 시스템에 의한 취출로봇의 소음은 기어치의 강성변화, 치형오차, 조립오차 등에 의해 발생하는 기어 소음이 외부로 방사되는 구조전달소음이다.

이 연구에서는 실험적으로 동력전달 시스템에 의한 취출로봇의 소음 원인 분석 및 저감 방안을 다루었다. 실험적 방법인 신호분석법을 통해 취출로봇에서 발생하는 소음을 측정하고, 측정된 주파수영역의 데이터로부터 치형오차, 조립오차 등의 소음원을 규명하였다. 또한 이들 소음원이 취출로봇의 전체 음압에 끼치는 영향을 분석하였다. 동력전달 시스템의 소음원 중에 치형오차는 질량 불평형을 발생시켜 소음 및 진동을 유발할 수 있는데, 치형오차는 기어의 가공정밀도에 따라 변화하므로 가공정밀도가 다른 두 개의 기어를 제작하고 각각의 기어에 대한 소음 실험을 수행하여 치형오차가 취출로봇 소음에 미치는 영향을 파악하였다.

다른 소음원인 조립오차는 상대운동을 허용하는 구성 부품들의 기계적 헐거움에 의해 발생할 수

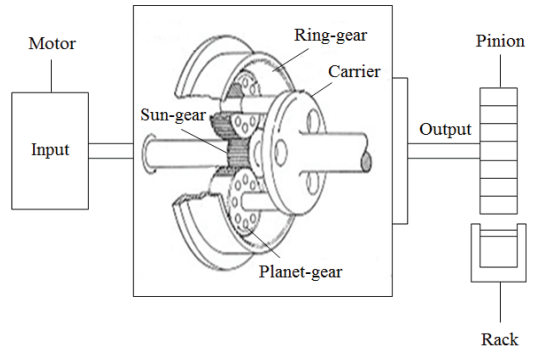


Fig. 2 Schematic diagram of driving system for the take-out robot

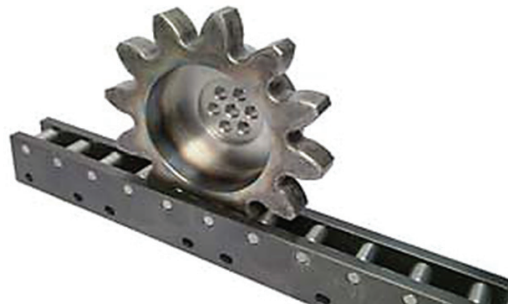


Fig. 3 The photograph of a pin-pinion

있으며 이는 핀 피니언의 유격과 밀접한 관련이 있다. 따라서 핀 피니언의 유격을 일정하게 증가시키면서 각각의 유격이 취출로봇에 미치는 영향을 평가하였다. 이 논문에서는 취출로봇 소음에 영향을 끼치는 인자 파악 및 분석을 통하여 취출로봇의 소음 저감 방안을 제시하였다.

2. 취출로봇의 구조

실험 대상인 주행형 취출로봇의 구동을 위해서는 직선이송을 위한 핀 피니언 기어뿐만 아니라 감속기 및 모터가 필요하다. 모터의 입력을 감속기가 전달받아 일정 속도로 감속하여 핀 피니언 기어를 통하여 직선 이송하는 시스템이다. Fig. 1은 취출로봇의 구조를 나타낸다. 취출로봇은 트래버스(traverse), 크로스와이즈(crosswise), 버티컬(vertical)로 이루어져 있으며, 각 축마다 핀 피니언 기어가 장착되어 있다. Fig. 2는 취출로봇의 동력전달 메커니즘을 위한 개략도를 나타낸다.

Table 1 Gear mesh frequencies[Hz]

Planetary gear				Pin pinion gear	
Sun gear		Planet gear		Pinion	
Shaft	GMF_R	Shaft	GMF_R	Shaft	GMF_P
ω	12ω	0.35ω	12ω	0.2ω	2.4ω

핀 피니언 기어는 Fig. 3에 나타난 것처럼 인벌류트 치형인 랙 피니언 기어와 달리 수정된 사이클로이드 치형의 피니언과 플러 핀의 랙으로 구성되어 있다. 핀 피니언의 경우 백래쉬 감소로 전달효율이 극대화되어 정밀 제어 및 효율성 측면에서 인벌류트 랙 피니언보다 우수한 성능을 갖는 것으로 알려져 있다.

3. 취출로봇의 소음원 분석

감속기와 핀 피니언 기어는 기어열로 구성되기 때문에 기어의 물림에 의해서 발생하는 가진 성분을 가지게 되며 기어물림주파수(gear mesh frequency, GMF)로서 나타낸다. 기어물림주파수는 이론적인 해석을 바탕으로 각각 구하여졌다. Fig. 2를 살펴보면 취출로봇의 구동시스템은 핀 피니언 기어 부분과 감속기 내부에서 각각 기어물림이 이루어진다. 따라서 취출로봇의 구동 시스템은 두 개의 기어물림주파수로 핀 피니언 기어의 기어물림주파수(GMF_P)와 감속기의 기어물림주파수(GMF_R)를 각각 가진다. 두 기어물림주파수를 구하기 위한 이론식은 다음과 같다.

$$GMF_P = N_p \omega_p \tag{1}$$

$$GMF_R = |(\omega_r - \omega_c)| N_r \tag{2}$$

여기서 N_p 와 N_r 은 피니언의 잇수와 링기어의 잇수를 나타내며 ω_c , ω_p , ω_r 은 순서대로 캐리어, 피니언, 링기어의 회전속도를 나타낸다. 감속기의 기어물림주파수를 구하기 위하여 링기어는 고정이며, 선기어는 입력부로서 모터의 회전속도와 같다. 이를 식 (3)에 대입하여 출력부인 캐리어의 회전속도를 계산한 후 식 (2)에 대입하여 감속기의 기어물림주파수를 계산하였다.

$$\omega_c = \frac{N_s \omega_s + N_r \omega_r}{N_s + N_r} \tag{3}$$

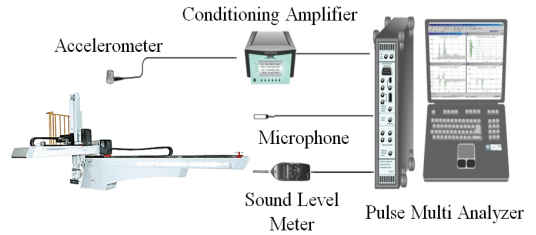


Fig. 4 Experimental setup for the noise and analysis of the take-out robotvibration



Fig. 5 Photograph of the noise experiment for the take-out robot

여기서 N_s 는 선기어의 잇수이고 ω_s 는 선기어의 회전속도이다. 그 결과는 Table 1에 나타내었으며 취출로봇의 소음진동 실험에서 얻어지는 신호의 소음원 규명 자료로 이용된다.

취출로봇의 소음/진동 측정은 모터의 회전속도 1250 rpm에서 수행하였다. 소음신호 채집은 마이크 로폰(B&K 4190)을 취출로봇 트래버스의 중간부분에서 1 m 이격시킨 위치에 설치하여 측정하였다. 소음레벨은 소음계(larson davis)를 마이크로폰과 같은 위치에 설치하여 측정하였으며 소음신호와 소음레벨은 A-가중치(A-weighting)를 이용하여 dBA값을 측정하였다. 진동신호의 채집은 마이크로폰과 같은 위치인 취출로봇의 중간부분에 가속도계(B&K 4383)를 부착하여 측정하였으며 진동 소음 신호에 대한 주파수 분석은 주파수 분석기(B&K 3190)를 이용하여 3200 Hz까지 분석하였다. 개략적인 실험 장치도는 Fig. 4와 같으며, Fig. 5는 실제 실험 모습을 보여준다.

이론적 기어물림주파수와 비교해보면, 유성기어 감속기의 기어물림주파수 성분인 12ω 의 고조파 성분이 소음과 진동 신호에 크게 나타나는 것을 확인

할 수 있다. Fig. 6과 Fig. 7은 측정된 소음 신호와 진동 신호에 대한 주파수 스펙트럼을 나타낸다. 이는 12ω , 36ω 주파수 성분의 구조 진동이 소음을 유발하는 것을 의미한다. 핀 피니언 기어의 기어물림주파수에 해당하는 50 Hz에서의 소음 및 진동 신호는 크게 나타나지 않는 것을 확인할 수 있다. 이를 통해서 취출로봇의 주요 소음원이 유성기어의 기어물림주파수임을 알 수 있다. 12ω 와 36ω 는 각각 감속기의 기어물림주파수의 1X와 3X를 나타낸다. 회전체의 1X성분은 회전체의 제작이나 조립 시의 정밀도에 의해 발생하는 오차 또는 운전시의 고정자와의 접촉에 의한 마모나 부식에 의한 변형으로 인해 회전체의 축 중심과 무게 중심이 일치하지 않는 질량불평형(unbalance)에 의해 발생한다. 3X성분은 상대운동을 허용하는 구성 부품들 사이에 헐겁거나 부적절한 설치에 의한 기계적 헐거움(mechanical looseness)에 의해 발생한다⁶⁾. 그러므로 취출로봇의 소음 저감을 위해서는 1X와 3X성분의 크기를 감소

시켜야 한다. 질량불평형은 치형오차에 의해서 발생할 수 있으며 기계적 헐거움은 핀 피니언의 유격에 의해서 발생할 수 있다. 따라서 이 연구에서는 치형오차와 핀 피니언의 유격이 취출로봇의 소음에 미치는 영향을 분석한다.

4. 치형오차의 영향

기어의 물림은 이상적으로 구름접촉이 이루어져야 하지만 가공 과정 중에 발생하는 제작오차에 때문에 접촉이 매끄럽지 못하여 질량불평형에 의한

Table 2 Pitch deviation of gears

Gear	Left		Right	
	Error(μm)	Grade	Error(μm)	Grade
A	2.0	2	1.7	2
B	3.9	4	5.1	5

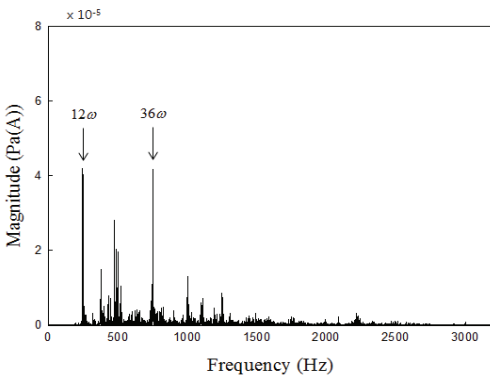


Fig. 6 Autospectrum of the noise signal

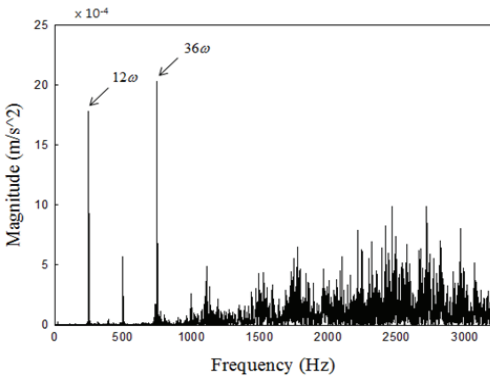


Fig. 7 Autospectrum of the vibration signal

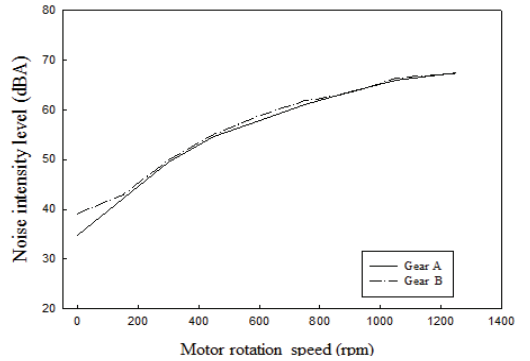


Fig. 8 Sound level of the take-out robot by gear machining accuracy

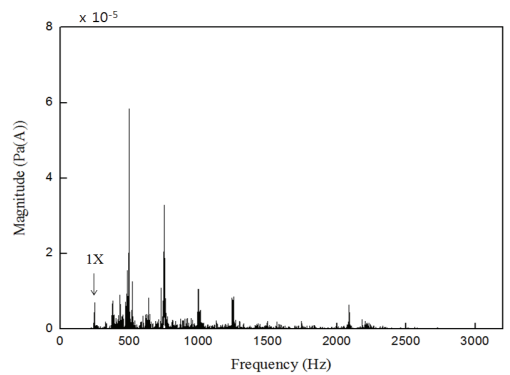


Fig. 9 Autospectrum of the noise for gear A

가진력이 증가된다. 치형오차별 소음 수준을 측정하기 위하여 기어가공정밀도가 다른 두 개의 피니언 기어를 제작하였으며 한국산업기술시험원(KTL)의 기어 정밀도 측정 장비를 이용하여 일본공업규격(JIS)을 기준으로 치형오차를 측정하였다. 측정된 치형오차는 Table 2와 같다. Table 2에서 나타난 것과 같이 A기어의 치형오차가 B기어의 치형오차보다 더 정밀한 것을 알 수 있다.

치형오차에 따른 취출로봇의 소음 측정은 모터의 정지상태에서 1250 rpm까지 50 rpm 간격으로 속도를 증가시키면서 실험을 수행하였다. 소음 측정을 위한 마이크로폰의 설치 위치와 실험방법은 취출로봇의 소음/진동 실험과 동일하게 구성하였다. 치형오차가 다른 두 기어에 대한 취출로봇의 소음레벨 측정결과는 Fig. 8에서 보듯이 기어의 치형오차에 따른 차이가 큰 편에 속하는 B기어와 A기어에 의해 발생하는 소음레벨차이가 평균 0.5 dBA로 크지 않다는 것을 알 수 있다. 뿐만 아니라 Fig. 9와 Fig. 11의

두 주파수 그래프에서 알 수 있듯이 치형오차에 따른 1X성분의 변화량이 매우 작은 것을 알 수 있다. 그러므로 치형오차는 취출로봇 소음에 미치는 영향이 미미한 것으로 판단된다.

5. 유격의 영향

취출로봇의 소음에 영향을 미치는 인자는 질량불평형 이외에 기계적 헐거움이 존재한다. 이 연구에서는 핀 피니언의 유격을 조정하여 취출로봇의 소음을 측정하였다. 유격에 따른 취출로봇의 소음 측정은 치형오차와 소음의 관계분석 실험과 동일한 조건에서 수행하였다. 실험 장치 구성도는 Fig. 4에 나타난 것과 같으며 모터의 속도가 1250 rpm일 때 유격량을 0.5에서 1.2 mm까지 0.1 mm씩 증가하면서 실험을 수행하였으며, 다이얼게이지를 이용하여 핀 피니언의 유격량을 조정하였다. Fig. 11은 유격량이 증가할수록 소음 레벨이 증가하는 것을 보여

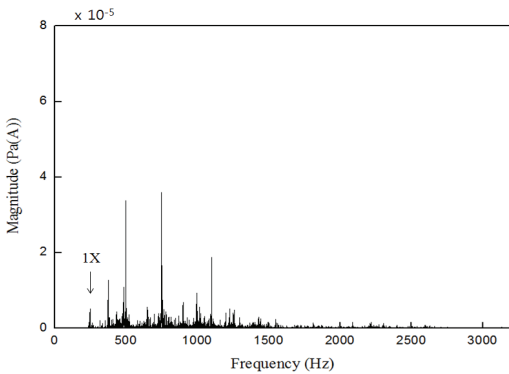


Fig. 10 Autospectrum of the noise for gear B

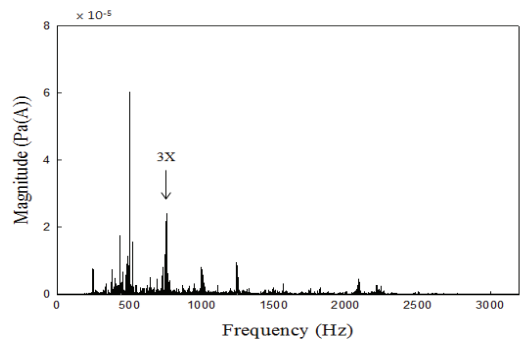


Fig. 12 Autospectrum of the noise at 0.1 mm clearance

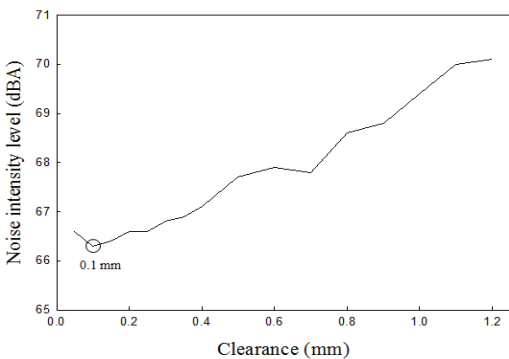


Fig. 11 Sound level of the noise by the clearance

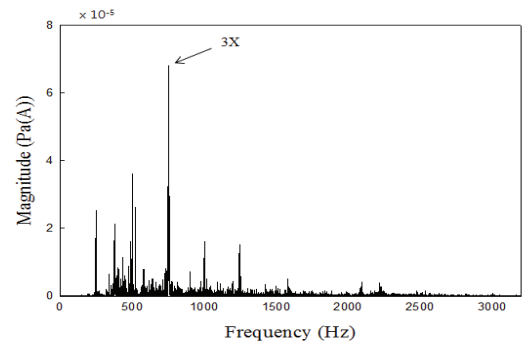


Fig. 13 Autospectrum of the noise at 0.8 mm clearance

준다. 취출로봇은 0.1 mm 근처에서 가장 적은 소음을 발생하며 0.1 mm일 때와 1.2 mm일 때의 소음량의 차이가 3.8 dBA로 크게 나타나고 있다. Fig. 12와 Fig. 13은 유격이 각각 0.8 mm, 0.1 mm일 때의 주파수 그래프를 나타낸다. 두 그래프에서 확인할 수 있듯이 3X성분은 유격량이 0.1 mm에 가까울수록 많이 감소한다는 것을 확인할 수 있으며, 2X성분의 증가는 기어 축의 반경방향 진동 증가로 인하여 크게 나타난다고 판단된다. 그러므로 감속기의 3X성분이 핀 피니언 유격에 의한 소음과 관련이 있으며 취출로봇의 소음에 큰 영향을 미친다.

6. 결 론

이 연구는 실험적인 방법을 이용하여 취출로봇의 소음원을 규명하고 저감하는 것이 목적이다. 취출로봇의 치형오차 및 핀 피니언의 유격 변화에 따른 소음 변화를 계측하였으며 이로부터 다음과 같은 결론을 도출할 수 있다.

(1) 치형오차에 의한 취출로봇 소음의 영향은 미미하며, 핀 피니언 기어의 유격에 의한 취출로봇의 소음의 영향은 크다.

(2) 취출로봇의 소음은 상대운동을 허용하는 기계부품들 사이의 기계적 헐거움에 의해서 발생하며 핀 피니언 기어의 유격량이 0.1 mm에 가까울수록 소음레벨이 감소하므로 소음 저감을 위하여 유격량 0.1 mm 근처에서 취출로봇을 조립하여야 한다.

후 기

이 연구는 지식경제부(70004838) 지원으로 수행

하는 전략기획기술개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

(1) Park, C. I. and Lee, J. M., 1996, A Study of the Vibration Characteristics of Helical Gears with Tooth Errors, Transactions of the KSME, Vol. 20, No. 5, pp. 1534~1542.

(2) Park, C. I. and Jeon, D. H., 2007, An Experimental Study of Tridirectional Vibration of Helical Gears with Different Contact Ratios,” Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 17, No. 2, pp. 177~184.

(3) Kim, J. H., Sung, H. K. and Chung, J. K., 2001, An Investigation on Noise Quality of the Small Gear Reducers through Change of Gear Backlash, Proceedings of KSME, pp. 635~640.

(4) Kim, C. S., Lee, W. C. and Lee, J. P., 2006, A Study on the Vibration/Noise Reduction of a Gear Driving System by Adjusting the Distance between Gear Shafts, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 16, No. 7, pp. 697~703.

(5) Lee, Y. C., Lee, J. S., Lee, E. C., Choi, Y. J., Lee, H. J. and Lee, C. R., 2009, Frame Safety Analysis for Optimal Design by Extraction Robot, Proceedings of KSPE, pp. 745~746.

(6) Kenneth, G. M., 1995, Vibration Testing, John Wiley & Sons, Inc., New York.