Journal of the KIMST, Vol. 20, No. 5, pp. 633-638, 2017
ISSN 1598-9127
DOI http://dx.doi.org/10.9766/KIMST.2017.20.5.633

Research Paper 시험평가 부문

소형 무인 로봇의 소음 측정법 개발 및 측정 장소에 따른 상관성 분석

옥진규*,1) · 박은주1) · 박민수1) · 이명천2)

1) ㈜한화/방산 종합연구소 핵심기술 4팀
2) 국방과학연구소 제5기술연구본부

Noise Measurement Method Development and Correlation Analysis According to Measurement Location of Small Unmanned Robot

Jinkyu Ok*,1) · Eunjoo Park1) · Minsu Park1) · Myungchun Lee2)

1) *Actuator Systems Team, Hanwha Corporation R&D Center, Korea*
2) *The 5th Research and Development Institute, Agency for Defense Development, Korea*

(Received 5 December 2016 / Revised 20 March 2017 / Accepted 11 August 2017)

ABSTRACT

The small unmanned robot developed in this paper can perform tasks such as surveillance and reconnaissance in the battle field. The noise generated during the operation of the robot may expose the operation area. Therefore, in this study, we developed a method to quantitatively measure the noise of the developed small unmanned ground robot. The criteria for noise measurement in indoor and outdoor are presented. It was used for statistical verification method to verify the reliability of the developed noise measurement method. The noise was measured at different places, and the correlation was analyzed. Thus, we proposed a method to predict the noise level in the operation area where the robot is operated by the noise test data measured during the development process.

Key Words : Unmanned Robot(무인로봇), Unmanned Ground Vehicles(무인지상로봇), Noise Measurement(소음 측정), Correlation Analysis(상관성 분석)

1. 서 론

최근의 전쟁은 IT(Information Technology) 기술의 발달로 많은 부분이 전자화되고 있다. 그리고 테러와 전장에서 병사들의 안전과 작전의 다양화를 위해서 무인 로봇을 이용하여 작전의 효용성을 향상시키고 있다. 또한 이동형 무인 로봇은 복잡한 구조의 건물 및 핵연료 교체 작업과 같은 위험도가 높은 지역에서 사용 가능하기 때문에 무인 이동 로봇 개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이동형 로봇이 복잡한 산악지형이나 공간이 복잡한 건물내에서 자유롭게 이동

* Corresponding author, E-mail: jinkyu.ok@hanwha.com
Copyright ⓒ The Korea Institute of Military Science and Technology

을 하기 위해서는 휠타입의 로봇보다 전차에서 주로 사용되는 트랙을 이용한 시스템이 주행 자유도가 더 높아지게 된다[1,2]. 그러나 이러한 궤도 타입의 트랙을 이용한 무인 이동 로봇 플랫폼은 휠타입의 구조보다 지면과의 접촉 면적이 늘어나서 구동 소음이 커지는 문제가 발생할 수 있다[3].

본 논문의 대상체인 소형 무인 로봇은 최대속도 15 kph이며, 매복지와 같은 곳에서 감시 정찰과 같은 임무를 수행할 수 있으며, 이때 통상 작동 속도는 3 kph 이하이다. 또한 무인 로봇은 매복지에 투입되어 수색 작전시, 작전병력에 대한 병사 투입을 최소화 할 수 있다. 또한 감시공백을 최소화하며, 초소 주변 및 보급로에 투입되어 혹한기, 혹서기, 우천에 관계없이 운용 가능한 장점이 있다. 그러나, 이러한 장점에도 불구하고 로봇의 운용 중 발생할 수 있는 소음이나 기동중의 소음은 작전 지역을 노출할 가능성이 있다. 따라서 본 연구에서는 소형 무인 로봇의 소음을 저감하기 위한 연구의 일환으로서 개발된 소형 무인 지상 로봇의 형상을 Fig. 1에 나타냈으며, 소음을 정량적으로 측정할 수 있는 방법을 개발하였다. 실내와 실외에서의 소음 측정 방법에 기준을 제시하였다. 그리고, 다양한 환경이나 지역에 대해서 소음을 측정하여 상관성을 분석하였다. 즉, 개발 과정에서 측정한 소음 시험의 데이터로 로봇이 운용되는 작전 지역에서의 소음 수준을 예측할 수 있는 방안을 제시하였다.

2. 소음 측정 방법

2.1 실내 소음 측정법

본 논문에서는 소형 무인 지상 로봇의 임무 또는 작동시 발생하는 소음을 측정하는 방법을 개발하였다. 로봇의 소음을 측정하기 위해 사용된 장비는 사운드 레벨 미터 TES-1350A를 이용하였다. 사운드 레벨 미터는 측정의 정확도는 다소 떨어지지만, 비교적 저렴한 가격에 구입이 가능한 장점이 있다. 또한 데이터 측정 시스템이나 분석 프로그램 없이 소음 데이터를 바로 확인할 수 있는 장점이 있다. 본 논문에서 사운드 레벨 미터 사용시 정확도가 떨어질 수 있는 단점을 보완하기 위한 시험법 개발과 통계적 접근법을 이용하였다. 이러한 내용은 3장에서 자세히 다루었다. 테스트기의 측정 범위는 최소 35 dB, 최대 130 dB 까지이며, 일상 생활에서 발생할 수 있는 대부분의 소음을 측정할 수 있다.

실내 소음 측정 시험은 회사 내의 로봇 조립실에서 측정하였다. 로봇의 구동 소음을 측정하기 전 로봇 조립실에서 발생하는 소음에 대한 테스트를 먼저 수행하였다. 로봇 구동 소음을 측정할 때 항상 동일한 조건에서 측정하도록 공실 소음을 일정하게 유지하였으며, 배경 소음은 약 44~45 dB이다. 시험의 측정 횟수는 측정한 값에 데이터가 수렴하도록 5회를 하였다. 통상 이러한 시험은 5번 시험값에서 최대값과 최소값을 제외한 3회의 데이터에 대해 평균값을 구하면 시험의 반복성이 재현되는 것을 확인할 수 있다. 그러나, 본 논문에서는 1표본 T검정을 통해 데이터의 평균을 추정하였다[4].

로봇의 구동 속도는 주요 임무를 수행하는 속도구간을 선택하였다. 무인 로봇의 작전 상황을 고려하여 최대 속도보다 주요 임무에서 발생하는 소음이 가장 주요하다고 판단했기 때문이다. 계측기의 위치는 로봇에서 수평거리 1 m, 수직거리 1 m 위치의 같은 곳에서 측정을 하였다. 로봇의 실내 소음 측정 시험을 Fig. 2에 나타내었다.

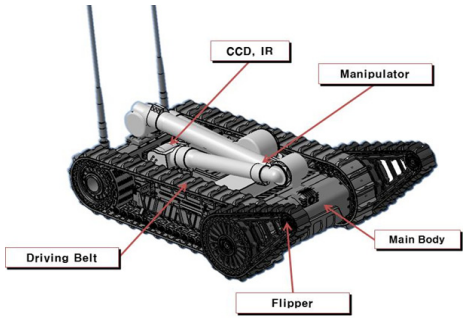


Fig. 1. Shape and name of the unmanned robot

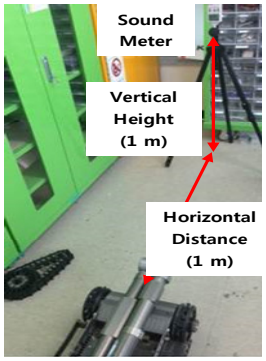


Fig. 2. Indoor noise test of unmanned robot

2.2 실외 소음 측정법

무인 로봇의 실외 소음 측정법은 기본적으로 로봇 조립실내 소음 측정 시험과 동일하다. 그러나 실내 소음 측정법은 로봇의 거리와 계측기의 거리가 동일하지만, 무인 로봇의 실외 소음 측정은 계측기의 위치는 고정하고 로봇의 위치를 옮기면서 소음을 측정하였으며, 이는 로봇의 작전 반경에 따른 소음의 수준을 확인하기 위함이다. 측정 장소는 회사내의 직선거리가 확보된 위치와 사외에서 각각 시험을 하였다. 사외의 시험 장소는 로봇이 운용되는 환경과 최대한 유사한 조건으로 하였다. 그리고, 로봇의 작동시간은 20초 동안 측정하였으며, 전후 각각 5초는 안정화 시간이다. 사내 소음의 측정거리는 1, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 50, 90, 100 m로 하였다. 사외 소음의 측정거리는 1, 5, 10, 50, 100, 200, 300 m 이며, 로봇의 작전 환경을 고려해서 측정 거리를 선택하였다. 사내 시험은 직선로를 확보하기 어렵기 때문에 부득이하게 100 m 거리까지만 측정하였다. 하지만, 3장의 시험 결과에서 확인할 수 있듯이 사내 시험의 결과 데이터로부터 데이터 외삽(Extrapolation)을 통해서 300 m 까지의 소음을 예측할 수 있다고 판단하였다. 로봇의 실외 소음 측정 시험을 Fig. 3에 나타내었다.

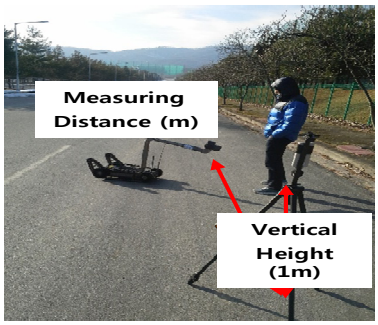


Fig. 3. Outdoor noise test of unmanned robot

3. 측정 장소에 따른 소음의 상관성 분석

3.1 실내 소음 측정 결과

실내 소음 측정 시험은 주요부품의 오버홀 전과 후로 나누어서 진행하였다. 실제 운용환경에서 운용되는 로봇은 먼지나 모래 등의 이물질이 침투가 되어 소음을 유발하는 원인이 된다. 또한 베어링, 오링 등의 노화가 진행되어 오버홀을 진행한 후 소음의 변화를 측정하였다. 또한, 실내 소음 측정 시험은 완제품 상태와 플리퍼 제거, 벨트 제거를 진행하면서 각각 진행하였으며, 소음의 주요 원인 분석과 소음의 변화를 관찰하였다. 오버홀 전의 실내 소음 측정치를 Table 1에 나타내었다. 완조립 상태에서 소음은 평균 76.56 dB로 나타났으며, 플리퍼제거, 벨트제거시 각각 74.96, 74.88 dB로 측정되어 소음이 감소한 것을 확인할 수 있었다. 그러나 이러한 소음의 변화는 크게 의미가 없다고 판단되며, 로봇의 구동 소음은 모터와 감속기에서 발생하는 소음이 주 원인인 것을 확인할 수 있었다. 그리고, 1표본 T검정 결과를 Table 2에 나타내었다. 1표본 T 검정을 통해 소음의 평균과 표준편차, 평균의 표준오차, 95 % 신뢰구간을 산출하였다. 측정된 데이터의 적합도 검정을 사용하여 특정 통계 분포가 데이터에 적합한지 결정할 수 있다. 즉, 특이치 검정을 통해 소임이 불규칙한 부분이 있거나 값이 평균에서 많이 벗어난 데이터가 있는지 확인 가능하다. 완조립 상태에서 특이치 검정 결과를 Fig. 4에 나타내었으며, 데이터 분포에서 특이치가 발견되지 않을 것을 확인하였다. 정규성 검정 결과를 Fig. 5에 나타내었으며, p값이 0.05 이상으로 측정되어 정규분포함을 확인하였다.

Table 1. Indoor noise test data before overhaul

(Unit : dB)

차수	완조립	플리퍼 제거	벨트 제거
1	78.6	74.7	75.3
2	78.3	74.9	75.0
3	75.7	75.2	74.7
4	75.3	75.0	74.7
5	74.9	75.0	74.7

Table 2. 1 sample t-test : Indoor noise test data before overhaul

(Unit : dB)

	완조립	플리퍼 제거	벨트 제거
평균	76.56	74.96	74.88
표준편차	1.752	0.182	0.268
평균 표준오차	0.783	0.081	0.120
95 % CI	(74.385, 78.735)	(74.734, 74.186)	(74.547, 75.213)

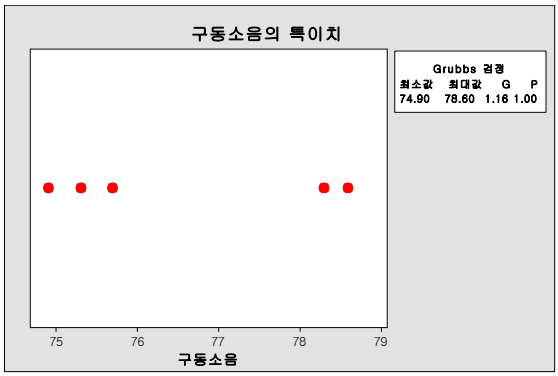


Fig. 4. Outlier test of noise indoor test

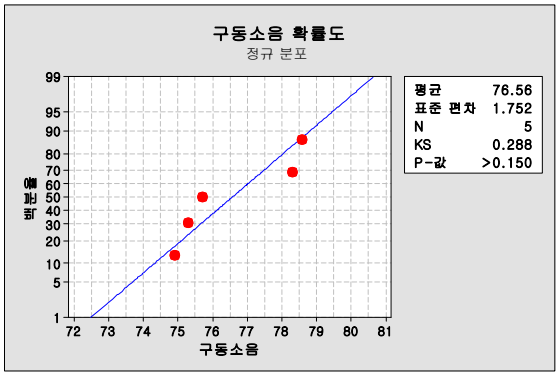


Fig. 5. Normality test of noise indoor test

실내 소음 측정 시험에서 오버홀 후의 결과를 오버홀 전과 비교하여 Fig. 6, 오버홀 전과 후 통계량 비교치를 Table 3에 나타내었다. 오버홀 후 소음에 대한 평균치는 76.56 dB에서 76.64 dB로 0.1 % 이하의 미미한 변화량을 나타낸다. 그러나 오버홀 후 소음의 편차가 확연히 줄어든 것이 확인된다. 따라서, 로봇의 구동 소음을 정확히 측정하기 위해서 오버홀이 필요한 것을 확인하였고, 이에 따른 소음의 변화보다 측정된 소음의 표준편차가 감소한 것을 확인할 수 있다.

Table 3. Indoor noise results comparison after overhaul

	오버홀 전	오버홀 후
표본 크기	5	5
평균	76.56	76.64
표준편차	1.7516	0.1949
95 % CI	1.076, 4.688	0.1126, 0.5552

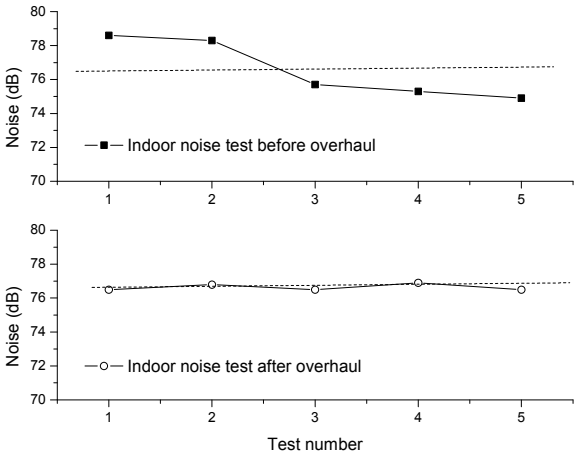


Fig. 6. Indoor noises test results : average value comparison after overhaul

3.2 실외 소음 측정 결과 : 사내

실외 소음 측정 시험은 2.2.절에서 설명한바와 같이 사내에서의 소음 측정과 사외에서 소음 측정 2가지 장소에서 각각 수행하였으며, 사외에서의 소음 측정은 주간과 야간에서 실행하였으며, Table 4에 나타내었다. 주간 사외 시험의 배경 소음은 약 38~39 dB, 야간 사외 시험의 배경 소음은 약 35~36 dB이다.

Table 4. Outdoor noise test outline

시험 장소	측정 시간
사내	주간
사외	주간, 야간

먼저, 사내에서 실외 소음 시험 결과를 Table 5에 나타내었다. 측정 구간이 길어질수록 소음이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 특성을 반영하고, 200, 300 m의 소음을 예측하기 위해 Curve Fitting을 수행하였다. 상대 성장 스케일링 방법과 지수함수 형태 2가지로 Curve Fitting을 수행하였으며, 수식은 다음과 같다. 상대 성장 스케일링인 Allometry 식은 식 (1)과 같이 표현되며, log 함수 형태 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다. 지수함수 형태의 Curve Fitting은 식 (3)과 같이 표현된다. 따라서 사내에서의 실외 소음 측정 시험 결과는 Allometry 식을 적용할 경우 R^2 = 0.9663, 지수함수 형태의 식을 적용하여 Curve Fitting을 수행하

면 R^2 = 0.99565로 나타났다. 그리고 이러한 결과를 Fig. 7에 나타내었는데, R^2의 값에서 확인한 바와 같이 지수함수 형태의 커브 피팅(Curve Fitting) 결과가 시험 데이터 특성을 정확히 추종하는 것이 확인되었다. 그리고, 사내의 실외 소음에서 측정하지 못한 200, 300 m 소음에 대한 값을 식 (3)으로부터 예측하면 각각 38.2, 37.7 dB로 계산될 수 있다.

$$y = kx^{a} \tag{1}$$

$$\log y = a\log x + \log k \tag{2}$$

$$y = y_0 + A_1 e^{-x/t_1} + A_2 e^{-x/t_2} \tag{3}$$

Table 5. Outdoor noise test results : In company

거리(m)	소음(dB)	거리(m)	소음(dB)
1	69.1	25	46.2
5	61.9	30	45.3
10	54.2	50	42.0
15	51.1	90	40.2
20	47.4	100	40.0

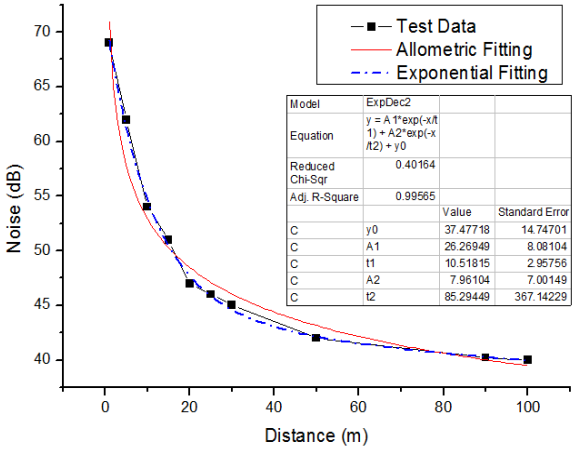


Fig. 7. Outdoor noise test results : Curve fitting

3.3 실외 소음 측정 결과 : 사외 주간

사외의 소음 측정은 주간과 야간으로 구분하여 측정하였다. 주간은 배경 소음 등에 의한 영향으로 무인 로봇의 구동 소음이 덜 민감한 반면, 야간에서 무인 로봇의 구동으로 인한 소음은 군의 작전에 영향을 줄 만큼 큰 문제가 될 수 있다. 사외 주간 소음 측정에 대한 결과를 Table 6에 나타내었다. 주간에서의 구동 소음에 대한 가청거리는 약 200 m로 파악되었다. 배경 소음에 대한 평균값은 약 39 dB로 측정되었으며, 주변 구동소음과 유사한 수준에서는 무인 로봇의 소음이 확인되지 않았다.

Table 6. Outdoor noise test results : Field, Day

거리(m)	소음(dB)	거리(m)	소음(dB)
1	68.5	100	40.6
5	63.1	200	39.7
10	58.4	300	38.8
50	45.2		

3.4 실외 소음 측정 결과 : 사외 야간

사외, 야간 소음에 대한 시험 결과를 Table 7에 나타내었다. 야간에서 배경 소음은 평균 35.8 dB로 측정되었으며, Table 7에서 300 m의 소음은 35.6 dB로 측정되어 무인 로봇의 구동소음이 약하게 들리는 정도로 측정되었다.

Table 7. Outdoor noise test results : Field, Night

거리(m)	소음(dB)	거리(m)	소음(dB)
1	65.5	100	39.5
5	61.8	200	37.6
10	55.0	300	35.6
50	42.7		

3.5 실외 소음 측정 결과 : 상관성 분석

사외에서의 소음을 회사 내의 한 곳과 무인 로봇의 작전환경과 유사한 사외에서 주간과 야간에 대해서 각각 측정하였다. 본 논문의 목적은 무인 로봇의 소음을 정량적으로 측정할 수 있는 방법을 개발하고, 무인 로봇의 작전지역에서의 소음을 예측하는 방법을 개발하는 것이다. 무인 로봇이 운용되는 작전지역은 민간인이 출입이 어려운 경우가 많은 곳이 될 수 있고, 자연 재해 지역이나, 방사능 노출이 심한 곳이 될 수 있

다. 따라서, 접근성이 용이한 곳에서 무인 로봇의 작전지역에 대한 소음을 정량적으로 예측할 수 있으면 시간과 비용 측면에서 효과가 클 것으로 예상된다.

사내 주간 소음 측정 결과를 바탕으로 사외 주간, 야간 소음에 대한 상관성을 분석하였다. 사내 주간과 사외 주간 소음에 대한 상관성 분석 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 사내 소음 시험과 사외 주간 소음에 대한 상관성은 R^2 = 0.9866으로 나타났으며, 무인 로봇의 소음 측정에 대한 사내 시험으로 사외 주간 소음을 예측할 수 있음을 확인하였다.

사내 주간과 사외 야간 소음에 대한 상관성 분석 결과를 Fig. 9에 나타내었다. 사내 소음 시험과 사외 야간 소음에 대한 상관성은 R^2 = 0.9848으로 나타났다. 야간에서 발생하는 소음 역시 주간에서의 소음과 마찬가지로 상관성 분석에서 선형성이 보장되어 사내 시험으로 사외 야간 소음을 예측 가능함이 확인되었다.

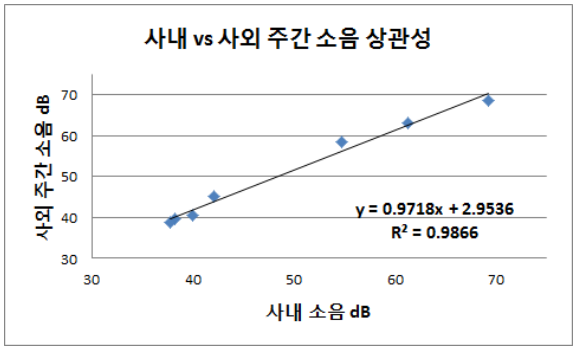


Fig. 8. Noise correlation analysis to company vs field : Day

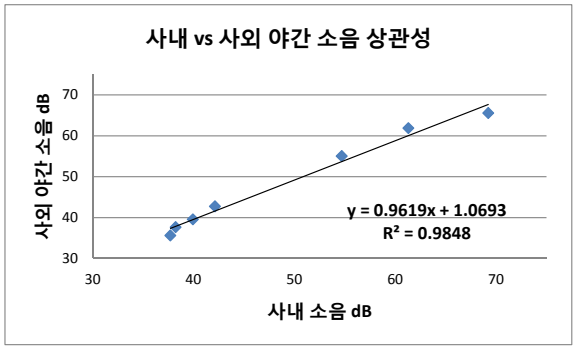


Fig. 9. Noise correlation analysis to company vs field : Night

4. 결 론

본 논문에서는 무인 로봇의 작동시 발생하는 소음을 정량적으로 측정하는 방법을 개발하였다. 비교적 간단한 장비인 사운드 레벨 미터를 이용하여 측정 방법을 개발하였으며, 통계적으로 검증하는 방안을 제시하였다.

무인 로봇의 실내 소음 측정에서 로봇의 주요 부품에 대한 오버홀 전과 오버홀 후를 나누어서 각각 측정하였으며, 오버홀에 따른 소음의 표준편차가 줄어든 것이 확인되었다. 또한 측정된 소음의 특이치와 정규성 검정을 통해 시험 방법의 타당성을 확인하였다.

개발된 실내 소음 측정 시험법을 바탕으로 실외 환경에서의 무인 로봇의 구동 소음을 사내와 사외 각각에서 측정하였다. 장소에 따른 로봇의 소음 측정값과 측정 시간에 따른 소음 측정값에 대해서 상관성 분석을 하였으며, 상관계수가 1에 근접하여 신뢰성 있고, 예측 가능한 방법인 것을 확인하였다. 따라서 본 논문에서 제시한 방법으로 무인 로봇 개발과정에서 일정 단축 및 비용 절감 차원에서 상당한 이점이 있다고 판단된다.

후 기

본 연구는 산업부 로봇산업진흥원 로봇시범보급 사업의 지원으로 수행되었습니다.

References

[1] J. Ok, G. Seo, J. Ryu, S. Kim, S. Hong and M. Jang, “Optimum Design of a Rescue Robot for Reduction of Vibration and Shock Using Multi-Body Dynamic Analysis,” 2015 KIMST Annual Conference Proceedings.

[2] D. Park, “Design and Analysis of Variable Geometry Single-Track Mechanism for Climbing Stairs,” KAIST Ph. D. Thesis, 2006.

[3] Y. Lee, Y. Chang and Y. Ryoo, “Platform Design of Caterpillar Typed Electrical Vehicle,” Journal of Korean Institute of Intelligent Systems, Vol. 26, No. 4, pp. 279-285, 2016.

[4] Minitab 16 Users Manual.