발사형 소형정찰 로봇 개발

The Development of Small-sized Launchable Robot for Reconnaissance

이 승 호*

Seung-Ho Lee

정 원 석*

Won-Suk Jung

이 민 구*

Min-Gu Lee

박 지 혁*

Ji-Hyuk Park

박 현 수**

Hyun-Soo Park

유 규 제**

Kyu-Jae Yoo

김 수 현*

Soo-Hyun Kim

Abstract

Recently, the study on small-sized reconnaissance robot has been progressed through grafting robot technology to military fields for minimizing the casualties. Especially, throwable robots have been focusing for their's efficiency in anti-terror operation. However, it is impossible to launch throwable robot to long range(approximately 100m) by hand. So we need another type of robots, so called launchable robots, which can launch farther and is more accurate by launcher.

In this paper, we presented the process of developments of launchable robots('launchbot') which are available for remote launch from collection of user's opinions to field test. Based on the opinions of users, we established the goal of development, designed and manufactured the robots. Through the field test, we found that our launchable robot satisfied the performance requirements.

Keywords : Throwable Robot(투척형 로봇), Launchable Robot(발사형 로봇), Reconnaissance(정찰), Small Unmanned Ground Vehicle(소형 지상무인로봇)

1. 서 론

현대 사회에서의 군사력은 해당 국가의 기술수준에 비례한다. 인류의 역사가 곧 전쟁의 역사이기도 하기 에 예로부터 인류가 창조한 모든 문화는 대부분 군사

적으로 활용 및 발전되어 왔다. 최근의 과학기술의 군사적인 활용은 최소한의 인명피해로 적에게 최대한으로 타격을 입힐 수 있는 시스템으로 전환되고 있다. 이 과정에서 필수적으로 자리매김하는 것은 로봇이다.

로봇의 군사적 활용은 20세기 말까지만 해도 개념 단계에 머물러있었으나, 미국을 중심으로 한 실전 투입 경험이 축적되면서 점차적으로 유용한 역할을 수행하게 될 것으로 예상하고 있다. 특히 최근에는 전 세계적으로 각종 테러가 지속적으로 발생되고 있어 이에 대응하고자 감시정찰용 로봇의 활용이 증대되고

† 2012년 3월 23일 접수~2012년 9월 14일 게재승인

* 한국과학기술원(KAIST)

** 마이크로오토메이션(Micro Automation)

책임저자 : 김수현(soohyun@kaist.ac.kr)

있다. 대테러용 로봇의 활용은 기능적인 측면에서 감시·정찰, 위협물 탐지, 폭파 등으로 분류할 수 있다. 이중 감시·정찰분야는 작전의 초기단계에서 중요하게 요구되는 기능으로 인명의 손실 없이 적의 위협을 포착 및 대처할 수 있는 능력을 제공한다. 따라서 이러한 기능이 로봇에 의해 수행된다면 테러 현장이나 시가전과 같은 도시지역 상황발생 시 획득한 적에 대한 정보를 통해 아군을 보호하고 유리한 위치 선점 및 효과적인 이동 경로 등을 제공할 수 있다.

효과적인 감시·정찰 로봇설계를 위해서는 ‘로봇의 크기’ 및 ‘적 은거지역까지 원거리 투사’ 등의 제약사항이 발생한다. 적에게 노출 및 피해를 예방하기 위해서는 로봇의 크기가 소형화하여 적진으로 신속한 투입을 통해 적에게 피탐되는 확률을 최소화하여야 한다.

이스라엘, 미국 등의 주요 군사선진국은 이미 대테러용 로봇, 특히 투척형 로봇(Throwable Robot)을 개발하여 실전에서 운용하고 있으며, 실전경험을 통해 얻은 운용경험을 토대로 지속적으로 발전시키고 있다. 하지만 현재 우리 군은 미국의 ‘Packbot’ 등 소형정찰 로봇조차 없는 실정이며, 폭발물제거(E.O.D¹⁾) 분야로만 한정되어 있다^[1]. 따라서 각종 대테러전 등에서 아군의 피해를 최소화하면서 적을 무력화 할 수 있으며, 기존 선진국의 투척형 로봇의 한계점을 극복할 수 있는 한국형 발사형 정찰로봇 개발이 절실히 필요한 실정이다.

본 논문에서는 발사형 정찰로봇 개발을 위해 사용자 요구사항을 수립 및 분석을 통해 연구개발 목표를 도출하였고, 개발목표를 바탕으로 실제 설계 및 각종 테스트 진행한 결과를 제시하였다.

2. 개발현황, 사용자 요구사항 및 연구목표

가. 로봇 개발 현황

감시·정찰용 투척용 로봇에 대한 국내 개발 사례는 전무한 반면, 국외에서는 Fig. 1과 같이 활발한 연구가 진행되고 있다^[2~5]. 미국 iRobot사의 six-wheel ‘Brick’는 좌우에 각각 3개씩 총 6개의 바퀴로 이루어진 메커니즘을 갖고 있어서 스키드 조향(Skid Steering)방식으로 구동된다. 몸체 한쪽에는 패들(Paddle)이 있어 몸체가 뒤집어졌거나 장애물을 극복할 때 사용된다. Carnegie

Mellon University에서 개발된 ‘Dragon Runner’는 6.4kg 정도의 무게를 갖고 있고 약 9m/s의 속도까지 낼 수 있으며 충격에 매우 강하게 설계되어 있다. 또한 위와 아래가 대칭으로 되어있어서 로봇이 뒤집혔을 때에도 구동이 가능하다. 그러나 six-wheel 형태의 로봇은 다른 투척형 로봇에 비하여 크기 때문에 원거리 투척 및 피탐확률이 높다는 단점을 가지고 있다.

현재까지 투척형 로봇으로 가장 많이 개발된 형태는 two-wheel 방식이다. Two-wheel 방식을 기반으로 하는 로봇의 대부분은 실린더 형태의 몸체와 몸체 양쪽에 2개의 바퀴가 조립된 구조로 되어 있으며, 자세 안정화를 위하여 뒤쪽에는 꼬리(Tail)가 장착되어 있다. University of Minnesota에서 개발된 소형 투척형 로봇 ‘Scout’는 현재 투척형 로봇 중 유일하게 상용화에 성공하여 제품으로 판매되고 있다. 이는 소형화 및 경량화를 통하여 비교적 일정거리 이상을 투척할 수 있기 때문이다.

이외에 이스라엘 ODF Ltd.에서는 이동 메커니즘을 제외한 투척형 감시 시스템인 ‘EyeBall R1’을 개발하였다. ‘EyeBall R1’은 지름 8.25cm의 구 형태로 한 손으로 원하는 방향으로 투척이 가능하며, 투척 후 원하는 방향으로 360° 회전이 가능한 모터를 내장하고 있어 전방향을 탐색할 수 있는 장점이 있다. 그러나 다른 투척형 로봇과 달리 이동메커니즘이 없으므로 자체적인 주행이 제한된다는 단점을 가지고 있다.

Fig. 1. Examples of throw robot

1) EOD : Explosive Ordinance Disposal

나. 사용자 요구사항

사용자 요구사항을 수렴하기 위하여 00경찰 특공대에 방문하였다. 의견수렴은 크게 2가지, 즉 발사형 로봇의 필요성과 발사거리 등 요구성능으로 나누어 실시하였다.

첫째, 발사형 로봇의 필요성 분야로서 설문에 참여한 인원은 로봇의 개발필요성(국산화)에 대해 모두 공감하였으며, 로봇의 필요성의 이유에 대해서는 팀원의 피해 최소화 및 임무수행을 위한 효율성이라 답변하였다. 이는 대테러 임무수행간 팀원의 안전이 무엇보다 중요하며, 미국 등 대테러팀의 피해가 끊이지 않게 발생하고 있다는 것을 대변하고 있다.

둘째, 발사형 로봇의 요구 성능분야로 다음과 같이 3가지 성능에 대하여 의견을 수렴하였고 그 결과는 Fig. 2와 같다. 발사형 로봇의 효율적인 개발을 위해서는 운용환경에 대한 검토가 선행되어야 한다. 운용환경에 대한 의견수렴결과 Fig. 2. (a)항과 같이 대부분이 콘크리트/아스팔트가 대부분인 도심지역(67%)이라고 답변하였다. 이는 대테러전이 주로 핵심시설 등이나 사람들이 밀집되어 있는 도심지에서 발생하는 경향을 반영한 것으로 보인다. 운용시간에 대해서는 Fig. 2. (b)항과 같이 응답자의 약 68%가 최소 1시간 이상, 약 44.4%는 1시간미만으로 답변을 하였다. 일반적으로는 운용시간이 길수록 좋으나 그만큼 상쇄되는 부분(중량 증가 등)이 발생하므로 투척 후 적 예상은 거지에 대한 최소한의 정찰시간을 고려시 1시간정도가 적당할 것으로 판단하였다. 발사형 로봇의 투척거리(원격운용 거리)에 대해서는 Fig. 2. (c)항과 같이 50m 미만(11%), 50~100m(22%), 100~150m(68%), 150m 이상(11%)으로 답변하였으며, 이는 최소 100m 정도의 안전거리를 두어야 한다는 것으로 분석이 되었다. 기타 요구되는 사양으로는 무소음성, 발사 후 지면과의 충돌에 의한 충격보호, 로봇 운용이 용이한 OCU개발 등을 언급하였다.

Fig. 2. Collection of opinions for required performance

다. 개발목표 선정

기존 개발현황 분석 및 인터뷰와 설문을 통해 수렴된 의견을 바탕으로 개발목표 항목 및 달성수치를 Table 1과 같이 결정하였다.

Table 1. Development objectives of launchable robot

주요 성능	단위	비중 (%)	개발 목표치	세계최고 수준
			성능수준	성능수준
1. 크기/부피	mm (cc)	20	Ø100 (600)	Ø76*187 (756)
2. 무게	g	10	500	544
3. 구동륜직경/극복둔턱높이	-	10	5	-
4. 이동속도	cm/s	10	50	30
5. 정숙성	dB	10	60	-
6. 내충격 (자유낙하높이)	m	10	30	10
7. 통신거리	m	10	150	91
8. 영상전송	fps	10	30 (칼라)	30 (흑백)
9. 지속성 (절전/연속)	hr	10	72/2.5	-

첫째, 로봇 메커니즘 분야로, 발사형 로봇의 크기 및 부피 등은 인력으로 투척하는 선진국과 달리 별도의 발사체를 이용하여 투사해야 하므로, 소형 및 경량화가 되도록 목표를 선정하였다. 또한 이동속도 및 둔턱극복 높이는 건물진입 후 신속하게 적진 정찰을 위해 최소 50cm/s의 속력으로 구동륜직경과 둔턱높이의 비가 최소 2배 이상 된 장애물지역을 극복할 수 있도록 선정하였다. 이는 나무, 돌 등이 산재되어 있는 야외에서 운용하는 것이 아닌 도심지역의 포장도로나 건물내부에서 운용을 목적으로 하기 때문이다. 정숙성 부분은 평상시 도심지역의 소음도를 기준으로 측정거리 1m에서 최대 50dB가 이하로 되도록 선정하였다. 이 이상을 초과하기 되면, 소음으로 소형정찰로봇의 존재가 노출될 수 있기 때문이다.

둘째, 통신/원격제어 및 통합운용분야로서, 개활지를 기준으로 약 150m 통신이 가능하도록 선정하였으며

(발사거리 : 100m, 정찰거리 : 50m), 실시간으로 식별에 필요한 최소한의 수준으로 영상(칼라, 30fps)이 전송할 수 있도록 목표를 선정하였다. 또한 운용시간은 배터리 효율을 높이기 위해 'wake-up'기능을 개발하여 절전모드와 운용모드로 운용할 수 있도록 하였다. 절전모드시 최대 72시간 이상, 운용모드시 최대 2.5시간 운용하여 지속적인 정보 등을 전송할 수 있도록 목표를 선정하였다.

셋째, 충격흡수분야로서 로봇이 최대거리 100m 이상 비행시 최고 높이는 30m에서 자유낙하시에도 로봇이 충격에 의한 정상작동을 보장할 수 있도록 하였다. 약 30m의 높이에서 자유낙하시 허용 가능 충격량은 약 12Ns이다. 주요 성능분야에서는 기존에 개발된 발사형 로봇의 성능이상이 될 수 있도록 하여, 개발종료시 수요자(군, 경찰 등)에서 즉각 전력화할 수 있도록 하였다.

3. 발사형 로봇의 설계 및 제작

로봇은 우선 경량화를 위해 'two-wheel'타입으로 제작하는 것으로 결정하였으며, 세부 설계 및 제작은 로봇 이동메커니즘, 통신/원격제어 및 통합운용, 충격흡수 등 3가지 분야로 구분하여 진행하였다.

가. 로봇 이동메커니즘

로봇의 이동메커니즘은 바퀴 휠이 내부 부품들에 대해 상대적으로 회전을 함에 따라 이동하는 방식으로 구현된다^[6]. 로봇이 구형 형상을 가지므로 투척직 후나 고속으로 회전을 할 경우 전복될 가능성이 있다. 하지만 전복되더라도 지면과 맞닿아 있는 바퀴를 회전하게 되면, 로봇에 회전력이 생기게 되고 배터리 등의 내부 부품에 낮게 설계된 무게 중심에 따라 로봇은 정상 자세로 복귀할 수 있다^[7]. 아래 Fig. 3와 같이 3년간의 연구기간을 통해 다양한 버전의 로봇을 설계 및 실험을 통해 최적화된 이동 메커니즘을 개발하였다. 핵심이 되는 메커니즘으로는 Fig. 4와 같이 중공축 설계를 도입하여 로봇 중앙의 전장부 공간 확대, 메커니즘 단순화, 배터리 공간 확보, 볼 베어링 및 축 이탈 방지 Roller등을 통하여 외부 충격 흡수 등을 할 수 있도록 최적 설계를 하였다.

또한 목표사양에 맞는 모터선정을 위하여 아래 Table 2와 같은 사양을 기준으로 최종 선정하였다. 모터 선

정은 다음과 같은 방법을 따른다. 본 로봇의 경우 군사 정찰용 로봇에 적용되는 로봇으로서, 적정 무게인 500g에 안전 무게 10%를 추가하여 모터를 선택 제작하였다.

Fig. 3. Robot shape

Fig. 4. Designing robot using hollow shaft

Table 2. Selection criteria

속도 (m/s)	중량 (kg)	휠사이즈 (cm)	가속시간 (sec)
0.5	0.55	7	1

아래 Fig. 5와 같이 두 바퀴와 구동에 필요한 토크 값을 구해야 하는 상황에서는 로봇의 가속구간과 등속구간으로 나누어 모터의 필요 토크를 계산한다.

가속구간 : $T_m = T_a + L$, 등속운동구간 : $T_m = L$

로봇이 정지해 있다가 구동을 시작할 때는 가속구간으로 등속구간시의 일정한 마찰 부하 토크 이상의 가속토크 향이 추가로 필요하다. 이때의 가속토크와 마찰부하 토크는 다음과 같이 4단계의 절차를 거치게 된다.

Fig. 5. Calculation of robot torque

- A step
 - 가속구간 필요토크 : $T_m = T_a + L = 14.4\text{Nm}$
 - 등속구간 필요토크 : $T_m = L = 9.8\text{Nm}$
 - B step
 - 요구토크 : $\left(\frac{14.7}{2}\right) \times 3 = 22\text{Nm}$
 - * 안전을 3배 고려하여 요구토크 계산
 - C step : 모터 가선택(효율 - 70%, 감속비 - 64:1)
 - Motor torque = $1.21\text{Nm}(12,000\text{rpm})$
 - D step
 - Motor assembly speed : $\left(\frac{12,000}{64}\right) \times 0.7 = 131.25\text{rpm}$
 - Motor assembly torque : $1.21 \times 64 \times 0.7 = 54\text{Nm}$
- ∴ 기선택된 모터는 요구토크 만족 : $54\text{Nm} > 22\text{Nm}$

1mNm 이상의 모터 중 가장 소형(지름 - 10mm, 기어비 - 64:1)을 선택하였다. 구동모터는 DC-Micromotors 1024 006S(제조사 : FAULHABER), 꼬리 부분의 모터는 HS-65MG(서보모터)를 선정하였다.

나. 통신/원격제어 및 통합운동

소형정찰로봇의 특성상 외부의 제 3자가 감청하기 어려운 디지털방식의 새로운 전용 코덱을 적용하여 'Wi-Fi' 기반 무선영상 전송 시스템을 개발하였다. 무선 통신 대역은 2.4GHz를 기반으로 54Mbps의 데이터 전송률을 같은 'Wi-Fi' 802.11g 규격을 기본으로 최대 100Mbps의 데이터 전송률도 가능한 802.11n 규격확장도 가능하게 설계하였다^[8]. 시스템은 아래 Fig. 6과 같이 로봇의 구동제어부와 통신을 하며 물리적으로 2층 형태의 집적이 가능한 $42 \times 42\text{mm}$ 크기의 모듈로 개발하였다.

Fig. 6. Communication module

카메라 영상은 2M 1/3 inch CMOS²⁾ 모듈을 사용하여, 640×480 해상도의 영상을 30fps로 전송이 가능하며, VIDEO CODEC은 H.264/MPEG4/JPEG Dual Stream이 가능하도록 개발하였다. 통신거리는 안테나에 따라 50~150m 이상이 가능하도록 하였다. 또한 적에게 노출이 되지 않으면서 원거리 발사가 가능한 석궁형 발사체를 Fig. 7과 같이 개발하였다. 이 석궁형 타입은 무소음을 장점으로 간단한 탄성력의 원리를 이용하여 원거리 발사가 가능하다^[9].

Fig. 7. Crossbow type launcher

배터리는 목표 운용시간(2.5H) 및 구동시 필요한 전류량(500mA)를 고려하여 리튬폴리머 배터리(모델명 : AAE562438P)를 선정하였다.

다. 충격흡수

소형정찰로봇은 모터 축이 바퀴와 직접 연결되어 있기 때문에 회전 방향 충격에 취약한 면을 보인다. 따라서 소형정찰로봇의 모터 축 어긋남을 방지하기 위해서는 외력이 바퀴에 가해지더라도 모터 축에 가해지는 충격이 흡수되어야 한다. 이를 위해 보호체 및 충격흡수 구조를 설계하였으며, 설계된 구조는 Fig. 8과 같다^[10].

2) CMOS : Complementary metal-oxide semiconductor

Fig. 8. Designing wheel for shock absorbers

하지만 최적의 정찰 임무수행을 위한 로봇의 크기 및 무게가 제한되어, 보호체의 재질을 변경하고 별도의 보호체를 제작하여 이를 해결하였다. 지면과의 충돌로부터 오는 충격으로 로봇을 보호하기 위하여 초고분자 에틸렌(UHMW.PE) 소재를 사용하였다. 이 소재는 비중이 작음에 따라 무게를 절감할 수 있으며, 충격 강도 부분에서도 재료의 특성상 파괴가 일어나지 않는 특성이 있다. 또한 열변형 온도가 130°로 PP 재질의 80°, 아크릴재질의 103°보다 높으며, 화학적 반응도에서도 타 플라스틱재료보다 우수한 성질을 보이는 것을 알 수 있다^[11].

그리고 로봇을 보호하기 위하여 Fig. 9과 같이 로봇의 보호체를 별도로 제작하여 충격으로부터 로봇이 정상 작동할 수 있도록 하였다^[12~14].

Fig. 9. Protection system

4. 발사형 로봇 개발결과

가. 로봇 이동메커니즘

1) 둔턱극복능력

‘구동륜직경/극복둔턱높이’ 항목은 지름 10cm일 때 ‘5’의 값을 갖으며, 이는 구동륜 직경 10cm의 로봇이 둔턱높이 2cm 이상을 극복할 수 있어야 한다는 것이다.

아래 Table 3과 같이 제작된 로봇의 직경이 7cm로서 1.7cm의 둔턱을 극복하였고, 이를 수치로 계산하면

목표치 ‘5’보다 작은 4.12로서 목표수치보다 높은 성능임을 확인할 수 있었다.

Table 3. Experiments results of overcoming bump

	둔턱높이 (cm)	구동륜직경 (cm)	구동륜직경/ 극복둔턱높이
값	1.6	8.3	5.18

2) 구동속도

발사형 로봇의 구동속도 평가는 일정시간(5초) 이동한 평균거리를 이용하여 평가하였다. 평가결과는 아래 Table 4와 같이 목표치인 50cm/s를 초과하여 달성한 것을 알 수 있다.

Table 4. Experiments results of driving speed

	1차	2차	3차	4차	5차	비고
시간 (sec)	5	5	5	5	5	평균속도: 51.52cm/sec
이동거리 (cm)	255	256	260	262	255	

나. 통신/원격제어 및 통합운용

1) 정숙성

최적의 정찰 임무수행을 위해서는 모터와 기어에서 발생하는 소음을 최소화하여야 한다. 소음평가는 로봇을 최고속도로 구동 후 약 1m 거리에서 이격되어 측정기를 이용하여 소음정도를 측정하였다. 측정 모드는 최고속도 주행, 최고속도 회전으로 구분하여 측정하였다.

Table 5와 같이 평상시 소음은 약 42.7dB로 최고속도로 주행시 평균 52.6dB을 보였고, 주행방향을 바꾸기 위한 최고속도 회전시에는 주행 시 보다 약간 높은 56.4dB의 값을 보였다. 이 수치는 목표수치보다 작은 값으로 정숙성을 만족시킴을 알 수 있다.

Table 5. Experiments results of silence

	평시 (dB)	1차측정 (dB)	2차측정 (dB)	3차측정 (dB)	평균 (dB)
주행	42.7	52.4	51.7	53.7	52.6
회전	42.7	56.1	56.7	56.5	56.4

2) 지속성

로봇의 연속구동을 통해 배터리가 방전이 될 때까지 구동시간을 측정하였다. 고속 구동, 저속 구동 등 모드별 약간의 차이가 발생하지만 평균적인 구동속도를 기준으로 작동시간을 측정하였고, Table 6과 같이 목표수치를 달성한 것을 확인하였다.

Table 6. Experiments results of operating hour

	1차 구동	2차 구동	3차 구동	평균구동
시간 (hr)	2.7	2.9	2.7	2.77

3) 통신거리/영상전송

본 항목에 대한 평가는 Fig. 10과 같이 로봇과 보호체를 발사체에 탑재하여 약 100m 발사시킨 후 보호체의 분리, 로봇 정찰 및 영상 등 송·수신 작동상태를 검증하는 것이다. 원거리 발사를 위해 제작된 석궁형 발사체를 이용하여 발사 후 로봇이 지면충격으로부터 정상적으로 작동(통신, 제어, 영상전송 등)하는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 10. Communication distance/video transmission

다. 충격흡수

발사형로봇은 충격흡수를 위해 별도로 제작된 보호

체에 탑재되어 발사하게 된다. 충격흡수분야는 약 30m의 높이에서 보호체로 보호된 로봇을 수직 낙하하였을 때, 정상적으로 구동이 가능해야 한다. 이를 위해 약 30m 이상의 빌딩에서 로봇을 Fig. 11과 같이 수직 낙하하여 작동여부를 확인하였다.

Fig. 11. Free-fall experiments

총 10회를 자유낙하 테스트 중 총 8회 정상 작동하였다. 나머지 2번의 경우도 전장부와 구동부와 같은 내부 기계는 정상적으로 작동하였으나, 지면과 충돌로 인한 충격으로 타이어가 바퀴에 켜 들어감으로 인한 속도가 감소되는 문제였다.

5. 결 론

발사형 로봇 개발을 위해 대테러부대 등을 방문하여 직접 보고 듣는 과정을 거쳐 대테러부대의 임무수행 환경을 이해할 수 있었고, 사용자의 요구사항을 충분히 식별 및 분석을 할 수 있었다. 이를 통해 발사형 로봇의 개발목표를 선정하였으며, 설계에 착수하였다.

또한 설계후 실제 제작된 발사형 로봇을 평가항목 별 평가를 통해 목표로 하는 요구 성능을 모두 충족함을 확인할 수 있었다.

향후 연구는 실제로 군 및 경찰 등 수요자가 전장 환경에서 운용될 수 있도록 MIL-STD³⁾ 등의 요건을 만족하며, 위의 평가에서 부족한 부분을 보완할 추가 연구가 필요하다.

References

- [1] 이승호 외 4명, “한국군 폭발물처리 로봇 개발 방향에 대한 고찰”, 한국군사과학기술학회지, 제14권,

3) MIL-STD : Military standard

- 제5호, pp. 747~752, 2011.
- [2] Visiongain, "The Unmanned Ground Vehicles(UGV) Market 2010-2020 : Military Robots for EOD & Counter-IED", 2009.
 - [3] M. Barnes et al., "Throwbot Design Considerations for a Man-portable Throwable Robot", in Proceedings of the SPIE Unmanned Ground Vehicle Technology VII, Orlando, FL, Mar. 2005.
 - [4] Rudakevych et al., "ThrowBot Phase 1 : Final Test Report", iRobot, Inc, 2004.
 - [5] Barnes M. et al., "Surveying Results from Fort Benning Test of Throwbot May 25~26", SPAWAR Robotics, 2004.
 - [6] 정원석 외 3명, "장거리 정찰을 위한 소형 구형 로봇의 개발", 한국군사과학기술학회 2009년 종합 학술대회, 2009.
 - [7] 정원석 외 4명, "장거리 정찰을 위한 소형 구형 투척로봇의 동적자세 분석", 한국군사과학기술학회 종합학술대회, 2010.
 - [8] 김상훈, "초고속 무선랜 IEEE 802. 11n 표준기술 동향", IT리포트(전자부품연구원), 2004.
 - [9] 김철영 외 4명, "소형 정찰로봇 발사를 위한 석궁 타입의 발사체 개발", 한국군사과학기술학회 종합학술대회, 2010.
 - [10] 이민구 외 4명, "충격흡수를 위한 소형정찰로봇의 휠 구조 설계", 한국군사과학기술학회 2011년 종합학술대회, 2011.
 - [11] http://en.wikipedia.org/wiki/Ultra-high-molecular-weight_polyethylene.
 - [12] 강봉수 외 1명, "발사형 로봇을 위한 보호체 설계 및 충격해석", 대한기계학회 추계학술대회, 2010.
 - [13] 박문식 외 1명, "낙하충격해석을 위한 명시법 과도 응답의 가우스커널 평화화 기법", 대한기계학회, 제35권, 제3호, 2011.
 - [14] 강봉수 외 1명, "발사형 정찰로봇을 위한 보호체 설계 및 충격해석", 대한기계학회, 제35권, 제8호, 2011.