

발사형 정찰로봇을 위한 파단형 보호체 개발[§]

강봉수^{*†}, 조운호^{*}, 최정남^{*}

* 한남대학교 기계공학과

Development of Fracture-Type Protector for a Launching Reconnaissance Robot

Bong Soo Kang^{*†}, Yoon Ho Cho^{*} and Jeong Nam Choi^{*}

* Dept. of Mechanical Engineering, Hannam Univ.

(Received April 20, 2012 ; Revised July 9, 2012 ; Accepted July 10, 2012)

Key Words: Launch-Reconnaissance Robot(발사형 정찰로봇), Fracture-Typed Protector(파단형 보호체), Shock Experiment(충격 실험), Finite-Element Modeling(유한요소 모델링)

초록: 본 논문은 원거리에 떨어진 작전지역으로 정찰로봇을 발사하여 투하하기 위해서 필요한 파단형 보호체에 대한 개발내용을 제시한다. 실제 전장에서의 활용성을 높이기 위해 기존 외피 전개를 위한 기구사용을 배제하고 체결부의 파단에 의해서 보호체의 외피가 개방되는 방식을 채택하여 소형, 경량을 이루었다. 보호체와 정찰로봇의 유한요소 모델링을 통해서 주어진 하중조건에 맞추어 체결부의 파단이 이루어지는지 전산모의실험을 수행하였으며, 낙하시험기를 이용한 충격실험을 통해서 충돌에 대한 보호체의 충격흡수성능을 분석하였다. 실제 외부환경에서의 100m 발사시험을 통해서 제안된 보호체가 정찰로봇을 탑재하여 정해진 지점으로 비행·도착한 후 안전하게 정찰로봇을 이탈시킴을 확인하였다.

Abstract: This paper presents the development of a fracture-type protector for carrying a reconnaissance robot to a remote target area. Instead of a conventional unlocking mechanism, a separation method based on the fracture of assembled parts was implemented in the proposed lightweight protector in order to improve the feasibility for a real battlefield. Simulations using the finite element model of the protector and the robot were performed to verify the fracture under the given loading conditions, and shock experiments using a drop table were performed to calculate shock transmittance through the protector to the robot. Several field tests for a 100-m flight proved that the proposed scenario (launching, flying, landing, and separation) was achieved successfully.

1. 서 론

자원분쟁, 종교갈등 등 민족간, 국가간의 마찰로 인한 국지적 전쟁이 전세계적으로 지속적으로 발생하고 있다. 따라서 인명의 손실을 줄이고 대치 국면을 빠른 시간에 해결하기 위해서는 상대방 전력 파악이 가장 중요한 요소이므로 기술선진국들은 첨단 메카트로닉스기술을 활용한 정찰로봇 개발에 많은 투자를 하고 있다. 항공이 아닌 근접접근이 가능한 육상이동의 정찰로봇으로 한정하여 연구동향을 살펴보면 정보수집의 정확성을 높이기

위해 카메라 등 다수의 고가센서를 사용하고 캐터필러와 같은 복합 기구나,⁽¹⁾ 혹은 바퀴기구를 사용하여 주행능력을 높이려는 제품들이 개발되고 있다.^(2,3)

또한 보안감시성능보다는 실제 전장에서의 활용성을 높이기 위해서 이스라엘 ODF에서 개발한 정찰로봇, eyeball⁽⁴⁾은 주행기능을 포기하고 대신 360° 회전이 가능한 카메라만을 장착한 저가의 구형 정찰로봇으로서 사람의 힘을 이용한 투척이나 높은 지역에서 투하방식으로 상대방의 점거지역에 대량으로 침투시켜 정찰활동을 수행한다. 다수의 로봇 군집들이 정보를 수집하므로 다양한 수집활동이 가능하며 일부 로봇의 기능이 상실되어도 전체 정찰업무가 실패할 가능성이 줄어든다. 이와 유사한 방식으로 단순 로봇하드웨어에 추가적으로 주행기구를 장착한

§ 이 논문은 2012년도 대한기계학회 동역학 및 제어부분 춘계학술대회(2012. 4. 11.-13., 제주 KAL 호텔) 발표논문임.

† Corresponding Author, bskang@hnu.kr

© 2012 The Korean Society of Mechanical Engineers

소형 정찰로봇^(5,6)이 국내·외적으로 개발되고 있으나, 투척방식의 정찰로봇은 투척거리가 작아 멀리 떨어진 적진에 도달하기 힘들며 바닥면과의 충돌 시 파손가능성이 높은 단점이 있다.

이를 극복하기 위해 정찰로봇을 인공위성을 탑재한 로켓처럼 특수하게 설계된 보호체로 정찰로봇을 탑재하여 목표지점까지 안전하게 운송하고 도착 후에는 정찰로봇은 보호체에서 이탈하여 정찰업무를 수행하도록 하는 발사형 정찰로봇 및 보호체에 대한 개발이 저자에 의해 국내·외에서는 처음으로 개발되었다.⁽⁷⁾

본 논문에서는 처음으로 개발된 발사형 정찰로봇의 보호체보다 경제성이나 개방 확률에서 우수한 기능을 가지도록 설계된 개량된 보호체의 설계개념, 그리고 이에 대한 충격해석 및 실험에 대한 분석 및 토의를 제시한다. 먼저 2 장에서는 발사형 정찰로봇을 위한 보호체의 설계개념과 파단장치의 장단점을 분석하며 3 장에서는 설계된 보호체의 충격흡수 성능을 해석하기 위한 유한요소해석 결과와 실제 낙하실험을 통한 충격실험결과를 제시한다. 4 장에서는 정찰로봇을 탑재한 보호체의 실외 환경실험결과 및 분석을 제시한다.

2. 정찰로봇을 위한 보호체 설계

발사 및 투척방식으로 모두 사용이 가능하도록 설계된 정찰로봇은 Fig. 1 과 같다. 좌측의 1 차 버전 정찰로봇에 비하여 2 차버전은 충격에 대해서 더 우수한 성능을 가지도록 Table1 과 같이 경량으로 제작하였다. Fig. 2 는 정찰로봇을 보호하기 위한 보호체의 사진이다. 각 버전의 정찰로봇에 맞도록 보호체도 각기 다른 버전으로 설계 제작되었다. 1 차버전의 보호체는 발사 비행 후 Fig. 2(a) 왼쪽 푸쉬핀(push-pin)이 도달지점의 바닥이나 벽면에 부딪히면 보호체 내부에 위치한 슬라이드-크랭크 개방기구를 작동시켜 Fig. 2(b)와 같이 보호체가 개방되어 내부의 놓인 정찰로봇이 이탈할 수 있다.

Table 1 Specifications of the robot and the protector

		Length	Diameter	Mass
Robot	v1	168 mm	87 mm	600 g
	v2	102 mm	60 mm	320 g
Protector	v1	241 mm	100 mm	770 g
	v2	236 mm	70 mm	220 g

그러나 보호체가 발사지점에서 발사되어 비행 중 뒤집혀서 보호체의 옆면이나 후면이 바닥과 충돌하게 되면 보호체가 개방되지 않아 정찰로봇이 이탈하지 못할 가능성이 존재한다.

이러한 문제점을 해결하고 추가적으로 부품수를 줄여 경제성을 높이기 위해서 개방기구를 없애고, 파단방식의 단순구조로 2 개의 부분(piece)으로 구성한 보호체를 Fig. 3 과 같이 설계하였다. 두 부분



(a) 1st version (b) 2nd version

Fig. 1 Photograph of reconnaissance robots developed



(a) Assembled (b) Opened

Fig. 2 Photograph of the 1st version protector⁽⁷⁾



(a) Assembled (b) Opened

Fig. 3 Photograph of the 2nd version protector

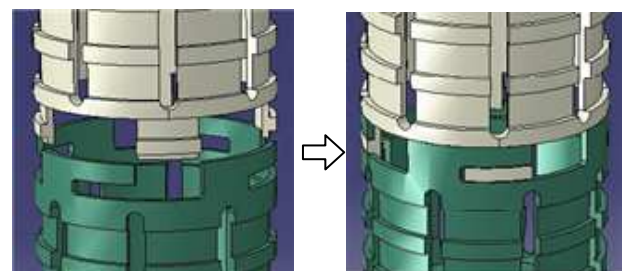


Fig. 4 Assembling two outer pieces of the protector

Table 2 Simulation parameters for shock analysis

Total Element Number (for Outer Shell)	5404 (2803)
Constrain Numbers	28
Material	POM, steel
Loading condition (Initial Velocity)	24 m/s

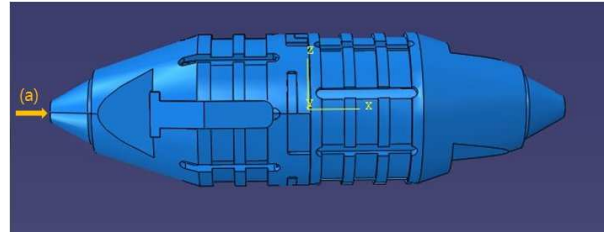
의 결합부위는 인위적으로 구멍과 노치(notch)를 두어 무게를 줄인 동시에 체결부가 약한 강도를 가지게 설계하였다. 체결부위는 Fig. 4 와 같이 한 쪽은 돌기형 다른 한쪽은 ‘L’형 홈으로 설계되어 삽입 후 회전하면 체결이 되며, 두 외피의 전면에 위치한 스프링의 복원력으로 (Fig. 4 에서 아래·위 방향으로 미는 힘) 체결부위를 견고하게 유지할 수 있다.

정찰로봇을 포함한 보호체의 중량은 1 차버전의 경우 1.4 kg 에서 2 차버전은 0.5kg 으로 경량화하여 동일한 발사장치로 발사할 경우 비행거리를 더욱 높여 보호체의 내충격성을 고려할 때 100m 까지 비행할 수 있도록 설계하였다. 보호체의 설계목표는 ① 먼저 포물선으로 100m 의 비행 후 바닥면에 도착하였을 때의 충돌로부터 내부의 정찰로봇을 보호해야 하는 반면, ② 바닥면의 충돌로 Fig. 4 의 결합부분이 파손되어 보호체의 두 외피가 분리가 되어 내부의 정찰로봇이 이탈해야 한다. 따라서 보호체를 설계하고 제작하는 과정에서 반복시험의 오류를 줄이기 위해 유한요소방법(Finite Element Method)를 통해서 보호체를 모델링하여 충격에 대한 전산 모의실험을 수행하여 목표를 달성할 수 있는 보호체의 설계치수를 선정하였다.

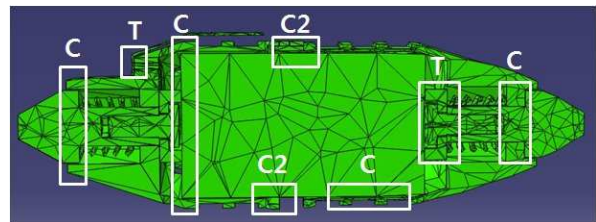
3. 보호체 충격해석

보호체의 설계안에 대한 충격해석을 모의실험하기 위해서 Abaqus 를 이용하여 정찰로봇과 보호체를 유한요소 모델링하였다. 보호체 주요 구성품인 외피 재질은 수지계열인 POM(Poly Oxy Methylene) 그리고 스프링은 탄소강(carbon steel)의 물성치를 사용하였다.⁽⁸⁾ Table2 와 같이 외피에 많은 요소를 가지도록 하였으며 하중조건은 30m 를 수직 낙하하여 정면충돌을 가정하여 시험을 수행하였다. 즉

$$v = \sqrt{2gh} \tag{1}$$



(a) Loading condition



(b) Constraints applied to part assemblies

Fig. 5 Finite Element Model for robot and protector

낙하높이, h 로 바닥 강체와의 충돌 시의 속도, v 를 계산하여 Fig. 5(a)와 같이 전방에 수직으로 하중조건을 부여하였다. 내부부품간의 연결조건은 Fig. 5 (b)와 같이 일반접촉인 경우 C, 스프링 복원력이 작용하는 접촉인 경우 C2, 그리고 볼트결합과 같이 결합된 경우 T로 설정하였다.

조립된 정찰로봇과 보호체가 바닥면에 충돌하게 될 경우 보호체 재질의 점탄성특성과 내부 스프링의 탄성작용으로 충격과는 완화되어 Fig. 6(a), (b) 와 같이 시간에 따라 다른 부위로 전달된다. 충돌 후 보호체 외피 체결부위에서의 von Mises 응력의 크기변화를 관찰하면 충돌 후 급격히 증가하여 Fig. 6(c)와 같이 2ms 시점에 63.5 MPa 의 값에 도달하여 POM 의 인장강도인 44 MPa 을 넘어서므로 결합부위가 파괴되어 두 외피는 분리되고 내부의 정찰로봇은 이탈할 수 있다. 즉 지면에서 사선으로 100m 를 발사할 경우 도달높이인 30m 에서 낙하하여 바닥과 충돌하면 보호체는 분리된다.

그리고 보호체가 바닥면과의 충돌로 인한 충격에너지가 내부에 위치한 정찰로봇으로 전달되는 영향을 살펴보면 Fig. 6(d)와 같이 최대응력은 9.7 MPa 로서 정찰로봇의 기구적 파손이 일어나지 않을 것으로 예측된다.

4. 충격실험

보호체가 낙하하여 바닥면과의 충돌 시 보호체와 정찰로봇의 동특성을 실제 실험을 통해서 분석

Table 3 Results of shock experiment

Height (cm)	Shock Accl. of Protector	Shock Accl. of Robot	Shock Transmittance
20	147 g	123 g	0.84
40	297 g	196 g	0.66
60	465 g	298 g	0.64

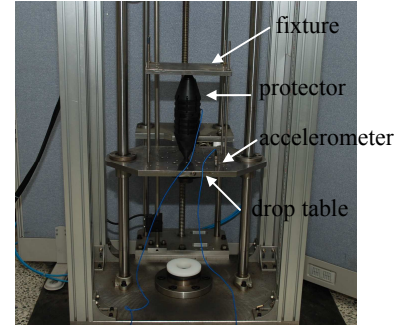
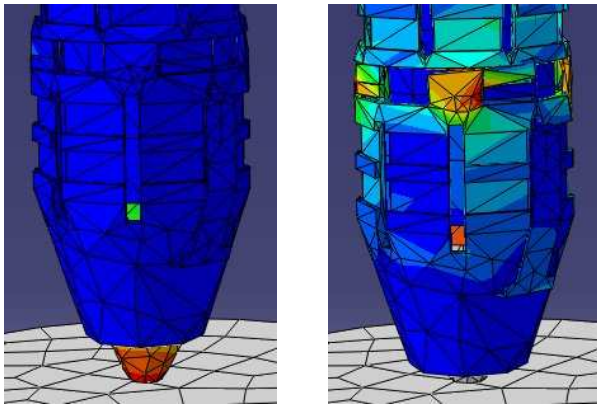
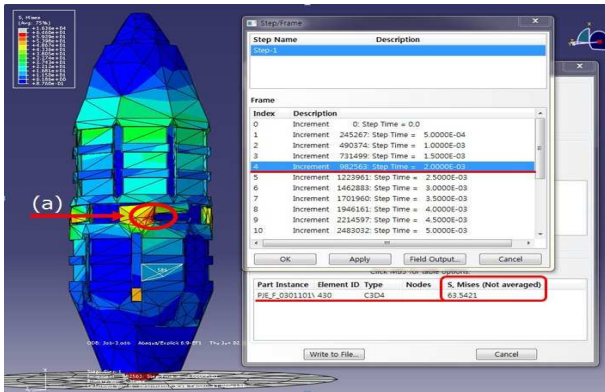


Fig. 7 Shock experiment by the drop table



(a) 1.5 ms

(b) 2 ms



(a) Maximum stress of the protector (2 ms)



(d) Maximum stress of the robot (2 ms)

Fig. 6 Simulation results of the protector after falling on the rigid floor

하고 3 장에서 서술한 전산모의실험결과와 비교하기 위해서 Fig. 7 과 같은 낙하시험기를 통해서 충격실험을 수행하고 그 결과를 Table 3 과 Fig. 8 에

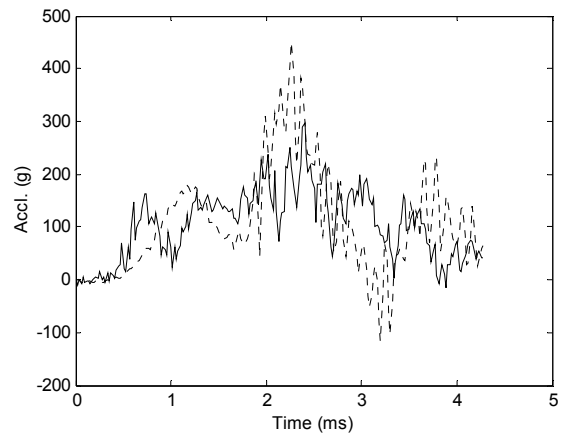


Fig. 8 Shock acceleration of the protector and the robot attached on the drop table (60cm drop) solid line: robot, dotted line: protector

나타내었다. 낙하는 충돌면에서 각각 20cm, 40 cm, 60 cm 높이에서 수행하였으며, 낙하정반의 무게가 15kg 으로서 보호체의 무게가 0.55 kg 임을 고려하면 낙하정반의 높이는 보호체만 낙하시켰을 때 비해서 실제 28 배 이상의 높이에서 보호체만 낙하시킨 충격효과와 유사하게 모방할 수 있다.

정반에 충격가속도계(측정범위: 10,000 g, PCB)를 설치하여 충돌 시 보호체가 받는 충격가속도를 측정하였으며 LabVIEW™ 환경에서 고성능 데이터수집장치(NI4496, National Instruments)를 통해서 51.2 kHz 의 샘플링으로 신호처리를 수행하였다. 또한 보호체안에 경찰로봇과 동일한 무게와 부피를 가지는 로봇더미(dummy)을 위치하고 충격가속도계를 장착하여 경찰로봇에 전달되는 충격력을 동시에 측정하였다.

Fig. 8 과 같이 충돌 후 약 2ms 에 경과한 시점에서 보호체에 작용하는 충격가속도가 최대값을 가져 전산모의실험과 유사하게 나왔다. Fig. 8 에서 두번째 양의(positive) 피크는 낙하정반이 바닥블록과 충돌하고 튀어오른 후 다시 재 충돌하면서 발

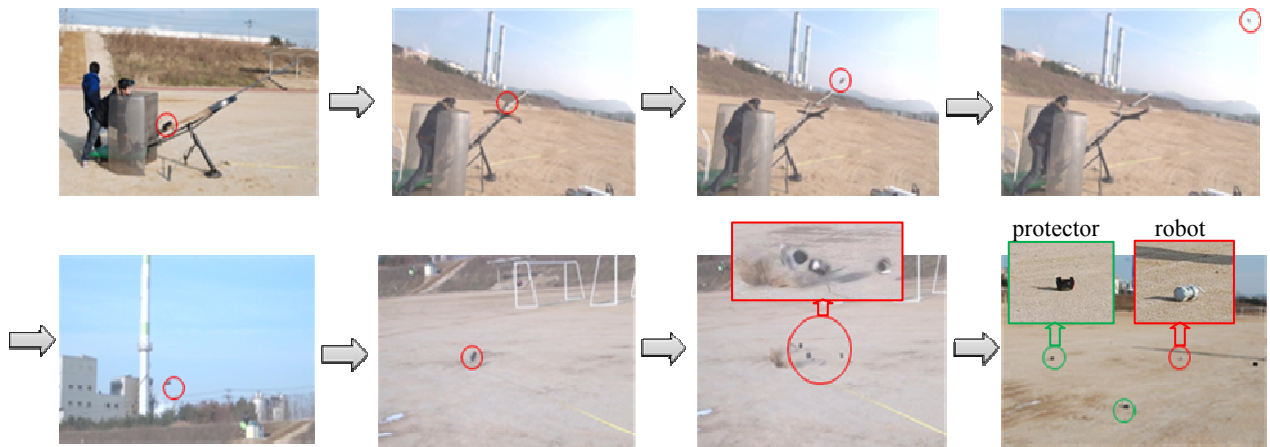


Fig. 9 Field test of the protector containing the reconnaissance robot

생한 충격가속도로 예측되며 정찰로봇에 작용하는 충격가속도 피크는 보호체 피크에 비해서 약 0.3 ms 이후에 발생하고 있다. 그리고 보호체에 비해서 내부에 위치한 정찰로봇에 전달되는 충격가속도는 스프링의 탄성에 의해 약 35% 정도 감소하여 전달되었으며 이는 전산모의실험에서 계산된 값 85%에 비해서는 큰 차이를 보이지만 실제 실험에서는 보호체를 지그에 완전히 고정하기 위해 스프링이 이미 압축된 상태에서 충격을 받아 충격력을 충분히 흡수하지 못한 것으로 분석된다.

최종적으로 Fig. 9 는 실제 외부환경에서 보호체의 발사 및 전개 시험과정을 연속적으로 보여주고 있다. 자체 제작한 석궁형 발사장치⁽⁹⁾ 고탄성 고무밴드와 병렬형 판스프링을 각각 활줄과 활대로 사용하여 제작하였으며 1kg 정도의 정찰로봇이 탑재된 보호체와 보호체를 발사장치 직선가이드에 따라 이동시키는 어댑터(adapter)를 포함하여 100m 이상 비행시킬 수 있다. Fig. 9 첫번째 사진과 같이 발사장치에 보호체를 장착한 후 45° 사선으로 발사하면 정찰로봇은 Fig. 9 와 같이 포물선을 그리며 100 m 를 비행한 후 바닥면과 충돌한다. 그리고 충돌 직후 7 번째 사진처럼 보호체 외피가 파손되면서 분리가 되고 내부에 위치한 정찰로봇이 이탈하여 8 번째 사진과 같이 정찰로봇은 도착지점 인근에서 정찰업무를 시작할 수 있다. 여러 번의 실험을 통해서 보호체의 어느 면이 바닥에 충돌하여도 체결부위에서 파단이 일어나 정찰로봇이 이탈함을 확인하였다.

5. 결 론

본 연구에서는 저가의 정찰로봇을 발사방식으로

상대방의 진영에 다수 살포하여 여러 지역의 영상 정보를 수집할 수 있도록 목표지점까지 정찰로봇을 운송하는 일회용 보호체에 대한 설계개념과 실험결과를 제시한다. 보호체의 목표지점 도착 후 전개방식은 추가적인 개방기구를 사용하지 않고 보호체 외피의 파단을 이용한 분리방식으로 보호체의 경량 및 소형화가 가능하다.

유한요소모델링을 통해서 보호체 외피의 설계인자가 주어진 하중조건에서 파단이 일어나는지를 분석하였으며, 실제 충격실험을 통해서 보호체가 외부의 충격을 완화하여 내부의 정찰로봇을 효과적으로 보호하고 있음을 알 수 있었다. 실제 야외 환경에서 보호체의 발사시험을 실시하여 100m 이상 정찰로봇 투입이 가능함을 보였으며 향후 발사장치를 석궁대신 화약을 사용하고 하중조건에 맞게 설계치수를 선정한다면 유탄발사기와 같이 개인용 화기를 통해서 정찰로봇의 발사와 정찰이 가능할 것으로 예측된다.

후 기

연구는 2011 년 한남대학교 교비학술연구비 그리고 지식경제부 지역산업기술개발사업(과제번호: 70004887)의 지원으로 이루어졌으며 이에 감사를 드립니다.

참고문헌

- (1) http://www.irobot.com/gi/ground/510_PackBot/
- (2) O'Halloran, D., Wolf, A. and Choset, H., 2004, "Design of a High-Impact Survivable Robot," *Proc. IEEE Conf. on Robotics and Automation*, pp. 3551~3558.

- (3) Matthies, L., Xiong, Y., Hogg, R., Zhu, D., Rankin, A., Kennedy, B., Hebert, M., Maclachlan, R., Won, C. and Frost, T., 2002, "A Portable, Autonomous, Urban Reconnaissance Robot," *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 40, pp. 163~172.
- (4) http://www.odfopt.com/eyeball_r1/eyeballr1_home.htm
- (5) Hougen, D. F., 2000, "Miniature Robotic System for Reconnaissance and Surveillance," *Proc. IEEE Conf. on Robotics and Automation*, pp.501~507.
- (6) Tadakuma, K., Tadakuma, R., Nagatani, K., Yoshida, K., Aigo, M., Shimojo, M. and Iagnemma, K., 2009, "Throwable Tetrahedral Robot with Transformation Capability," *Proc. IEEE/RSJ Conf. on Intelligent Robotics and Systems*, pp. 2801-2808.
- (7) Kang, B. S. and Park, M. S., 2011, "Protector Design and Shock Analysis for a Launch-Reconnaissance Robot," *Trans. of the KSME (A)*, vol. 35, No. 8, pp. 971~976.
- (8) <http://www.matweb.com/>
- (9) Kim, C.-Y., Jung, W.-S., Kang, B.-S., Kim, K.-S., Kim, S.-H., 2010, "Development of the Crossbow Type Launcher for a Small Reconnaissance Robot," *Proc. Korea Institute of Military Science and Technology Conference*, pp. 1736~1739.