

소형구 속도 증폭을 위한 사보조립체 디자인 최적화 연구

박근휘¹⁾ · 진두한²⁾ · 김태연¹⁾ · 강 형³⁾ · 정동택^{*1)}

¹⁾ 한국기술교육대 메카트로닉스공학과

²⁾ 주식회사 타드 연구개발실

³⁾ 국방과학연구소 제4기술연구본부

A Study on the Optimization of Sabot Assembly Design for Micro Ball Velocity Multiplication

Geunhwee Park¹⁾ · Doohan Jin²⁾ · Teayeon Kim¹⁾ · Hyung Kang³⁾ · Dongteak Chung^{*1)}

¹⁾ Department of Mechatronics Engineering, Korea University of Tech. & Edu., Korea

²⁾ R & D Office, TAAD Corp., Korea

³⁾ The 4th Research and Development Institute, Agency for Defense Development, Korea

(Received 25 October 2019 / Revised 7 January 2020 / Accepted 17 January 2020)

ABSTRACT

This study is for a bulletproof experiment through speed acceleration of steel ball(2.385 mm) at the laboratory level. The secondary propulsion method is used for speed acceleration, which uses a sabot assembly consisting of a sabot body, a plunger, water, and a sabot cap. At the core of the secondary drive, it is important that the energy in the water of the private particle is transferred well to the steel ball. The experiment was conducted by selecting a plunger that pushes water and water charged with variables. judging that the longer the contact time, the greater the energy transferred to the steel ball. As a result of experiments with each variable, the amount of water does not affect the speed acceleration efficiency of the steel ball and, when the length of the plunger is increased by 200 %, the speed of the steel ball can be accelerated up to 130 m/s.

Key Words : Sabot Assembly(사보조립체), Steel Ball(소형구), Contact Time(접촉시간)

1. 서론

미래에는 인명 손실을 줄이고 전투의 효율을 높일 수 있는 방법으로 드론이 중요시 되고 있다. 군사적인

부분에서는 드론을 무력화하는 방법으로 전파 방해와 교란, 레이저, 그물 등과 같은 방법이 있다. 본 연구실에서는 접근이 용이하고 효율성이 좋은 실험 장비를 지속적으로 연구해 왔다. 에어건 장비는 물리적 타격으로 재료의 방호 성능을 확인 할 수 있는 장비로서 이를 이용하여 재료의 성능을 확인하는 연구를 진행한 바 있다¹⁾. 하지만 현재의 에어건으로는 소형구

* Corresponding author, E-mail: dtchung@koreatech.ac.kr
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

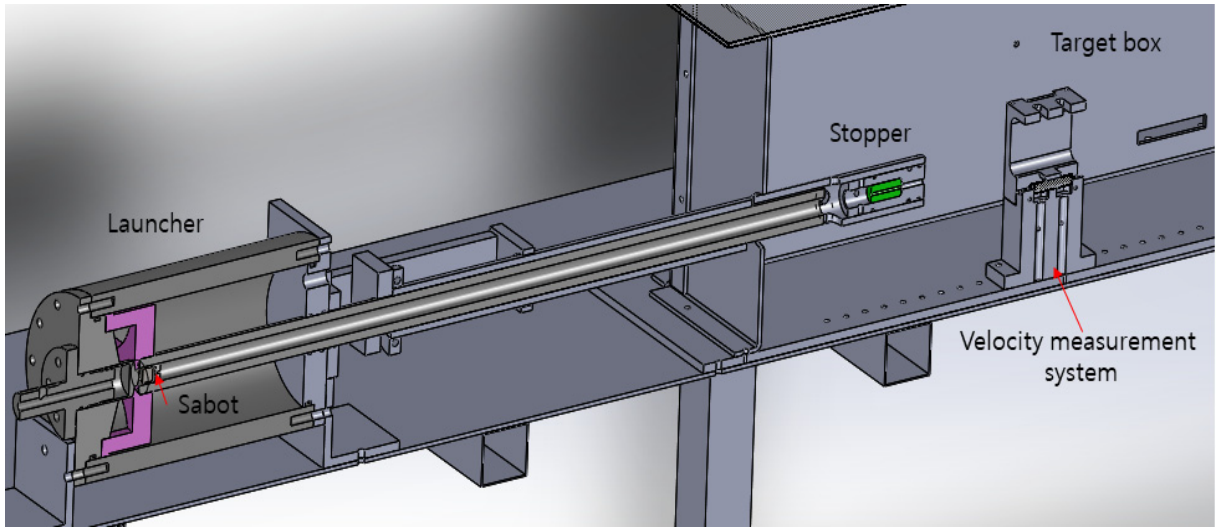


Fig. 1. Air gun sectional view

($\phi 2.385$ mm, steel)를 고속으로 발사하는데 제한이 있다. 그렇기 때문에 다양한 소재의 방호 성능을 확인하기 위한 연구가 필요하다. 이번 연구를 통해 에어건 시스템의 속도증폭비를 증가시켜 연구실 수준에서 드론 제작에 사용되는 소재와 다양한 소재의 방호 성능 확인을 할 수 있는 장비의 개선이 필요하다.

2. 사보조립체

Fig. 1의 런처(Launcher)에 일정 압력의 가스를 채운 뒤 밸브를 열면 압력 차에 의해 사보조립체가 스톱퍼(stopper)방향으로 발사된다. 발사된 사보조립체는 스톱퍼에 부딪히며 정지된 뒤 Fig. 2의 플런저(Plunger)가 관성에 의해 물을 압축 시키면서 일정 시간동안 밀어준다^[23]. 이 때 멤브레인(Membrane)은 소형구에 전달되는 물의 압력을 짧은 시간동안 차단하여 초기 압력을 높여주는 역할을 한다. 일정 압력에 도달하면 멤브레인이 찢어지면서 증폭된 압력이 소형구에 전달되어 더 빠르게 가속 되도록 한다. 소형구의 속도는 사보조립체의 에너지 전달 물질로 인해 최종 속도가 결정된다. 그렇기 때문에 식 (1)^[4]로 표현할 수 있다.

$$\text{속도증폭비 (Velocity multiplication ratio)} = \frac{\text{소형구속도}}{\text{사보조립체속도}} \quad (1)$$

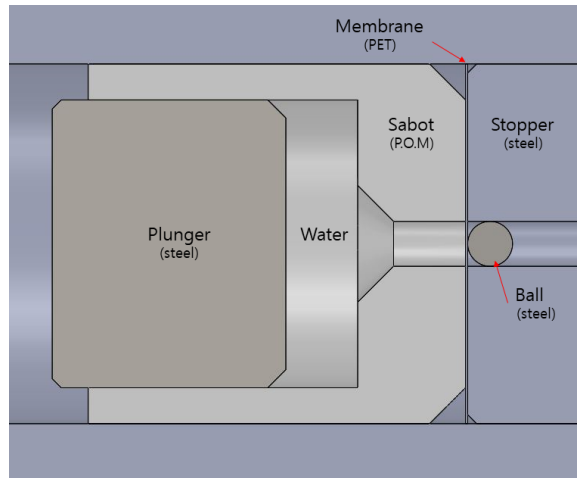


Fig. 2. Sabot assembly sectional view

3. 변수 설정 및 실험방법

사보조립체 시스템에서 물과 플런저는 소형구에 에너지를 전달하는 중요 매개체다^[5]. 일정 압력으로 발사된 사보조립체는 스톱퍼와 충돌 후 정지한다. 이때 플런저는 관성에 의한 운동에너지를 물을 통해 소형구에 전달하는 방식이다. 따라서 본 과정에서 영향을 미치는 물의 양을 첫 번째 변수로 선정하였다. 물의 양이 증가하면 플런저가 물을 밀어주면서 소형구

에 전달되는 에너지의 시간이 늘어난다고 판단하였다. 두 번째 변수는 플런저 길이에 따라 밀어주는 시간이 증가하고 소형구에 전달되는 에너지를 증폭시킬 수 있다고 판단하여 현재 사보조립체보다 높은 효율을 낼 수 있는 지에 대한 현상을 확인하고자 실험을 진행했다.

Table 1. Variable type

Variable	Increment
The amount of water	150 %
The amount of water	200 %
Length of plunger	150 %
Length of plunger	200 %

기존 사보조립체의 물의 양과 플런저의 길이를 100%로 기준하여 각 변수를 150%, 200%로 증가시켜 변수를 선정하였다. 100% 조건의 사보조립체와 Table 1과 같은 조건으로 제작된 사보조립체 4 가지를 6, 8, 10, 12 kg/cm² 압력으로 각각 5회씩 발사하여 사보조립체의 속도와 소형구의 속도를 측정하였다. 기존 사보조립체와 각 변수들에 대해서도 실험을 반복 진행하였다. 각 변수들에 대한 실험에서 최솟값과 최댓값을 제외한 데이터를 그래프에 표기하였다.

4. 속도측정시스템

사보조립체는 플런저로 인해 무게중심이 뒤에 있다. 그래서 사보조립체는 자유 비행을 하면 바른 자세를 유지하며 비행하지 못한다. 그러므로 배럴부터 스톱퍼까지 자유 비행구간을 최소화하여 측정영역을 확보하고 사보조립체의 자세가 흐트러지지 않도록 해야 한다. Fig. 3처럼 1개의 레이저 센서를 이용하여 사보조립체가 센서를 통과 하는 동안의 시간을 측정하여 속도를 계산한다^[6].

사보조립체에 의해 증폭된 에너지로 가속된 소형구는 매우 작고 빠르다. 소형구를 측정하기 위해 고안된 방법은 빛의 굴절을 이용하여, 도트레이저를 원형렌즈와 실린더 렌즈를 통해 레이저를 리본 형태로 변환하여 넓은 측정 영역을 확보하여 측정 신뢰성을 높였다. Fig. 4는 소형구의 측정을 위한 한 개의 모듈이다^[6].

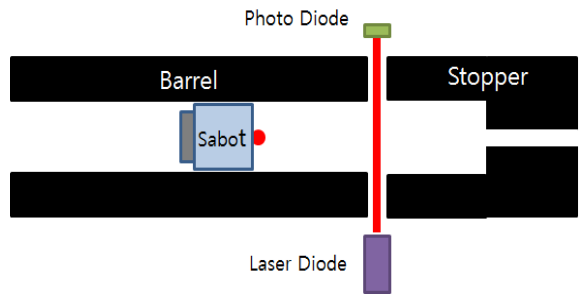


Fig. 3. Sabot velocity measurement system^[6]

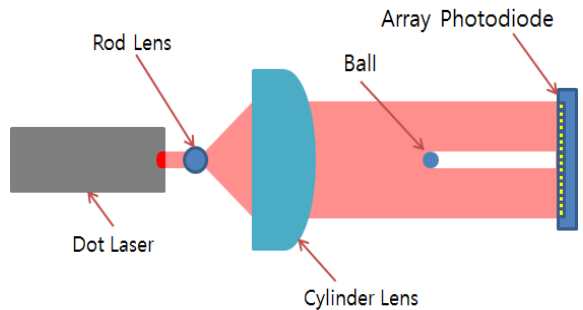


Fig. 4. Micro ball velocity measurement system^[6]

5. 실험결과

5.1 물의 양과 플런저의 길이가 100% 일 때

3항 실험방법에서 설명한 사보조립체 5가지에서 발사된 소형구의 속도와 속도증폭비를 기준으로 각 변수들에 대한 실험 결과 값을 비교하여 정리하였다.

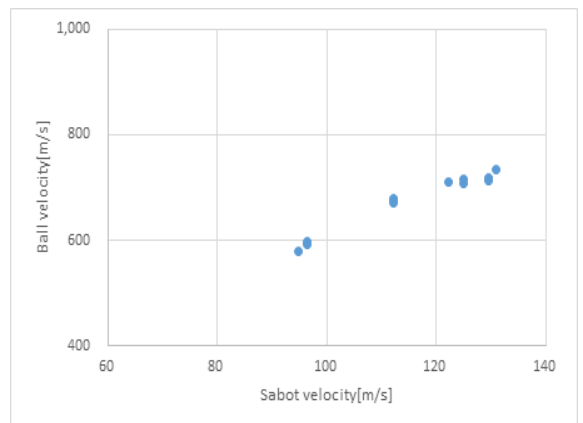


Fig. 5. Sabot velocity vs Ball velocity

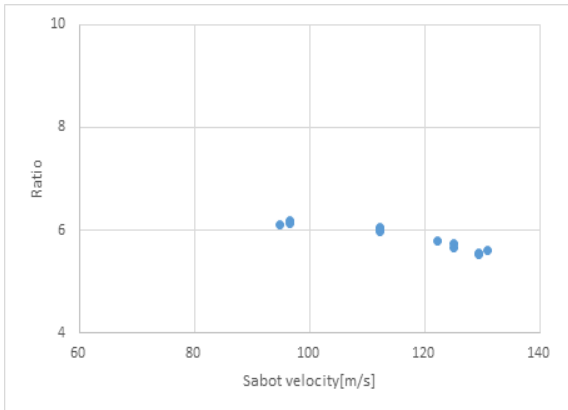


Fig. 6. Sabot velocity vs Ball velocity Ratio

Fig. 5는 물의 양과 플런저의 길이가 각각 100 %인 사보조립체와 소형구를 이용한 실험결과이다. 사보의 속도가 증가할수록 소형구의 속도가 증가함을 볼 수 있다. 이 때 사보조립체의 속도에 대한 소형구의 속도 증폭비는 Fig. 6과 같다. 사보조립체의 속도가 90~100 m/s 부근에서는 소형구의 속도증폭비가 약 6.1~6.3배로 증폭되며 130 m/s 부근에서는 약 5.4~5.6배로 속도가 증폭되었다. 사보조립체의 속도가 증가함에 따라서 속도증폭비는 점차 줄어드는 현상을 확인 할 수 있다.

5.2 물의 양을 150 %, 200 % 증가 시켰을 때

2항에서 설명된 물의 양을 150 %로 늘린 후 실험을 진행하였다. 물의 양이 증가함에 따라 사보조립체의 길이도 증가하였고 기존 물의 양 보다 속도가 떨어지는 것을 Fig. 7에서 확인 할 수 있다.

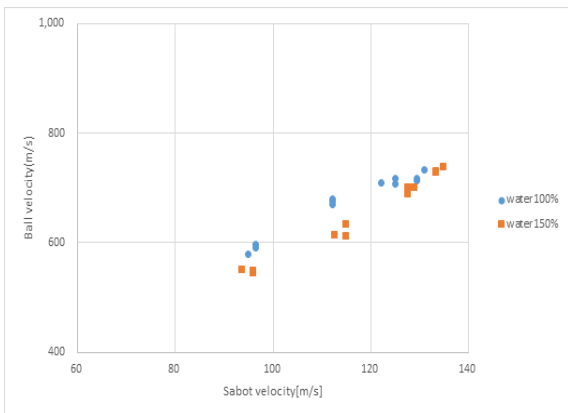


Fig. 7. The amount of water 150 %

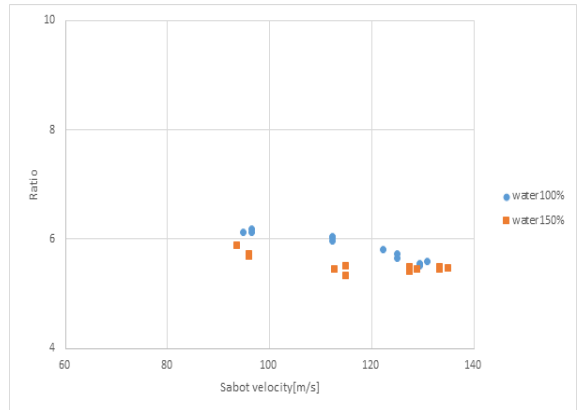


Fig. 8. The amount of water 150 % Ratio

사보조립체의 속도가 130 m/s에 이르러서는 물의 양이 100 %와 소형구의 속도가 비슷하지만 다른 구간에서는 속도가 떨어지는 경향을 보인다. 즉, Fig. 8 과 같이 속도증폭비가 물의 양이 100 %인 것과 비교 하여 감소하는 것을 확인 할 수 있다. Fig. 9-10은 물의 양을 200 %로 증가 시켰을 때의 실험 결과이다. 물의 양이 100 %인 사보조립체와 비교 했을 때 같은 속도의 사보조립체가 가속시킨 소형구의 속도가 더 느린 것을 확인 할 수 있다. Fig. 10을 보면 속도증폭비는 최대 약 0.7배의 차이가 나타나고 물의 양 150 %일 때와 비교하여도 소형구의 속도증폭비는 더 낮다. 물의 양을 150 %, 200 %로 늘려도 100 %로 적용된 경우보다 사보조립체의 속도가 느리며 소형구의 속도도 느려 얻고자하는 속도증폭비를 찾을 수 없어 물의 양은 소형구의 가속요인에서 배제할 수 있다.

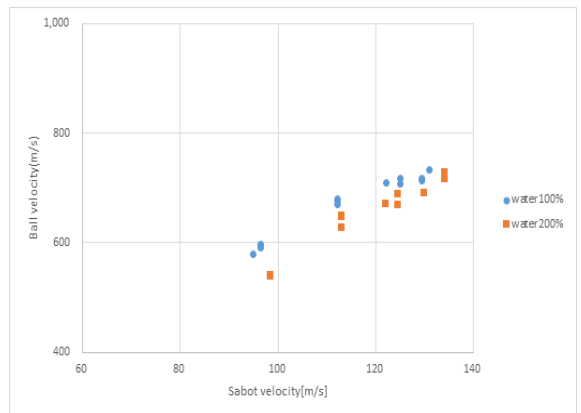


Fig. 9. The amount of water 200 %

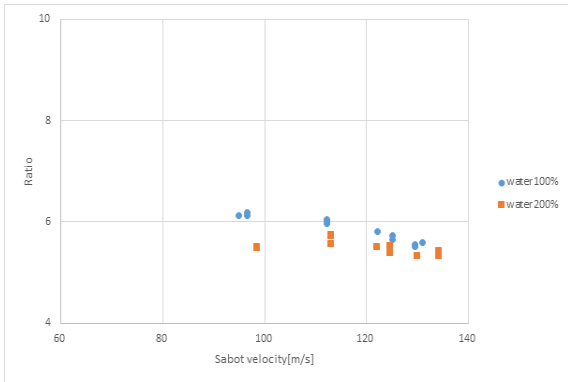


Fig. 10. The amount of water 200 % Ratio

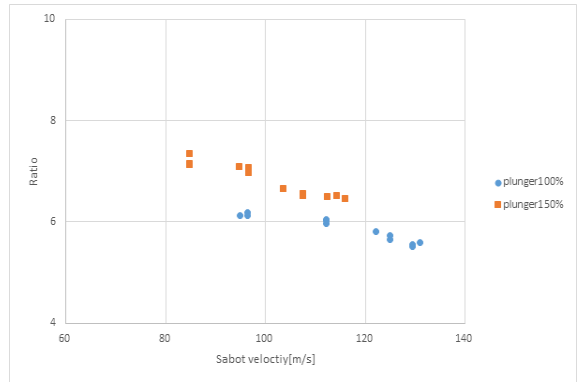


Fig. 12. Length of plunger 150 % Ratio

5.3 플런저의 길이를 150 %, 200 % 증가 시켰을 때 2항에서 설명된 사보조립체의 부품 중 플런저의 길이를 각각 150 %, 200 %로 증가시키고 물의 양은 100 %로 유지한 실험에 관한 결과이다.

플런저의 길이가 100 %일 때 사보조립체의 속도 약 100 m/s 이하일 때 소형구의 속도는 약 590 m/s이다. 150 %로 증가시킨 경우 소형구의 속도는 약 620 m/s 이다. 150 %일 때 100 % 보다 소형구의 속도가 더 빠르다는 것을 Fig. 11에서 확인할 수 있다. 사보조립체의 속도를 같은 영역에서 비교하면 150 %로 증가 시킨 것이 30~80 m/s 정도 더 빠른 것을 확인할 수 있다.

사보조립체의 속도와 소형구의 속도증폭비를 비교한 Fig. 12를 보면 속도증폭비가 플런저의 길이가 100 % 일 때 보다 0.5~1이상 증가 한 것을 확인할 수 있다. 즉 플런저의 길이를 100 %에서 150 %로 증가시킨 것이 더 효율적이다.

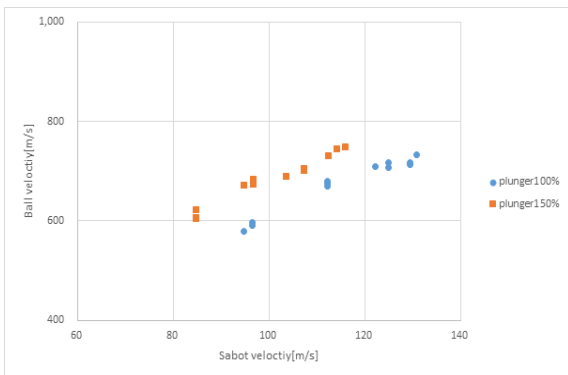


Fig. 11. Length of plunger 150 %

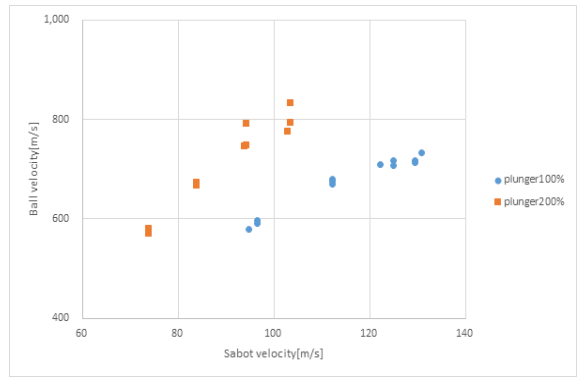


Fig. 13. Length of plunger 200 %

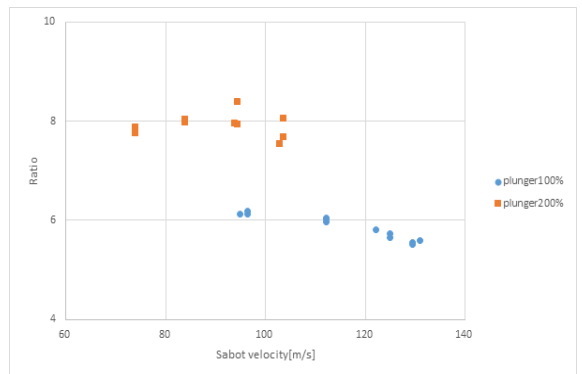


Fig. 14. Length of plunger 200 % Ratio

Fig. 13-14는 플런저의 길이를 200 %로 증가 시켰을 때의 결과이다. 사보의 속도가 증가함에 따라 소형구의 속도가 점차 증가하는 것을 볼 수 있다. 사보조립체가 약 100 m/s 일 때 플런저 길이가 100 %, 200 %

각각의 경우를 비교하면 소형구의 속도는 약 200 m/s 차이를 보인다.

플런저의 길이를 200 %로 증가시킨 경우 소형구의 속도증폭비를 보면 사보조립체의 속도와 무관하게 거의 비슷하게 유지되며 소형구의 속도도 본 연구에서 수행된 모든 경우의 실험 중 최고속도를 보인다. 이것은 플런저의 길이가 길어지며 사보조립체 내의 물을 밀어주는 시간이 더 증가하여 소형구에 전달되는 에너지는 더 크게 작용할 것으로 추론된다.

속도증폭비는 150 %에서 최대 7.5배 200 %일 때 최대 8.5배 나타나는 것을 볼 수 있다.

6. 결 론

본 연구는 기존의 사보조립체 시스템을 수정하여 소형구에 전달하는 에너지 전달 시간을 늘림으로써 속도증폭비를 증가시키기 위한 연구이다. 물의 양의 변화와 플런저의 길이를 변수로 두고 실험을 진행한 결과, 물의 양의 증가는 소형구를 밀어주는 시간을 증가시키지 못하였고 오히려 200 %에서는 속도를 감소시키는 현상을 확인하였다. 이는 기존의 사보조립체의 물의 양만으로 충분하다는 결론을 얻을 수 있다. 두 번째 변수는 플런저의 길이가 늘어남에 따라 밀어주는 시간이 증가하는 것을 확인할 수 있었고, 속도 증폭 비는 5배에서 8배로 늘어났다. 사보조립체 시스템에 사용되는 동일 압력에서 소형구의 속도가 기존 시스템보다 3배 증가하였다. 하지만 소형구의 속도는 사보조립체의 속도가 증가함에 따라 속도증폭비가 점차 줄어드는 현상이 확인되었으므로 속도증폭비 증가에 영향을 주는 요소에 관한 보완 연구가 필요하다.

후 기

본 연구는 계약번호 UM18306RD3, 과제명 “적외선 영상광학계용 단결정 Ge소체 제조기술 개발”인 민국사업의 지원을 받아 연구함을 밝힌다.

References

- [1] Chelsoo Kim, Joonhong Choi, Changwook Kim, Jongmin Lee, “A Study on the Damage of DRONE Components against Steel Fragments,” ISSN 2636-0659, 2019, pp. 876-877
- [2] D. T. Chung, D. H. Jin and H. Kang, “Development of a New Rain Erosion Test Method,” International Journal of Modern Physics B, Vol. 22, Nos. 9, 10 & 11, pp. 1056~1061, 2008.
- [3] Teayeon Kim, “A Study on Supersonic Acceleration System of Ball,” Korea University of Tech. & Edu., a Master’s Thesis, 2012.
- [4] Youngmin Kim, “A Study for Minimization of the Velocity Deviation of Supersonic Micro Ball Launcher,” Korea University of Tech. & Edu., a Master’s Thesis, 2015.
- [5] D. T. Chung, Joo Yeon Lee, Tae Yeon Kim, Doo Han Jin and Hyung Kang, “The Development of Micro Ball Supersonic Impact Test System,” Applied Mechanics and Materials, Vol. 566, pp. 536-541, 2014.
- [6] Teayeon Kim, “A Study on Supersonic Acceleration System of Ball,” Korea University of Tech. & Edu., a Master’s Thesis, pp. 20-27, 2012.