

저반동 전차포의 주퇴력 저감 연구

박진생*,#

*국방기술품질원

A Study on Recoil Force Reduction Using a Low-recoil Direct Gun

Jin-Saeng Park*,#

*Defence Agency for Technology and Quality

(Received 22 February 2016; received in revised form 9 April 2016; accepted 27 April 2016)

ABSTRACT

A low-recoil direct gun is useful in reducing the fire impulse generated by using a traditional shell. To apply a control equation to an AMESim Model, we have formulated a control equation for a recoil mechanism from the free object diagram. By modeling this equation, we have been able to compare the recoil distance and recoil force of a low-recoil direct gun. Here, we can analyze the recoil characteristics between traditional direct guns and low-recoil direct guns with perforated muzzle brakes. It is possible to mount a low-recoil direct gun with a perforated muzzle brake on a lightweight tracked vehicle by reducing its fire impulse.

Key Words : Low Recoil Direct Gun(저반동 전차포), Recoil Mechanism System(주퇴복좌 시스템), Perforated Muzzle Brake(다공형 제퇴기)

1. 서 론

냉전 시대 이후에 국가 간의 전면전 위험은 감소하였지만 민족 및 종교 문제 등에 의한 국지전 가능성이 높아지고 있다. 이러한 시대의 요구조건에 따라 좀 더 경량화되고 기동성이 높은 휠 차량이나 경량화된 궤도차량에 탑재가 가능한 저반동 전차포(이하 저반동포)의 필요성이 대두되고 있다. 저반동포는 동급의 포에서 사용하는 포탄을 그대로 사용하면서 사격충격력(이하 주퇴력)을 현저히 감소시킨 포를 말한다.

포의 주퇴력을 저감시키는 방법은 주퇴거리 증대, 고효율 제퇴기 적용, 전방운동량을 이용한 연식주퇴 등의 방법이 있다. 최근에 개발된 저반동포는 주퇴거리 증대와 고효율 제퇴기를 동시에 사용하여 주퇴력을 감소시켰다. 이러한 저반동포는 이탈리아, 미국, 독일 등에서 개발하여 휠 차량이나 경량화된 궤도차량에 탑재하여 운용하고 있다^[1].

본 연구에서는 주퇴력 저감을 위해 주퇴복좌 운동 시 지배방정식을 구하고, 지배방정식을 유압해석 프로그램에 적용하여 다공형 제퇴기를 사용하였을 때 주퇴력과 주퇴거리 등을 비교하여 효과에 있는 지를 알아보고, 경량화 차량에의 적용 가능성을 제시하고자 한다.

Corresponding Author : parkdu4@daq.re.kr

Tel: +82-55-279-4036, Fax: +82-55-287-4780

2. 본 론

2.1 주퇴력 저감 요소

사격 시 발생하는 높은 약실 압력(Chamber pressure)은 그대로 사격 충격력이 된다. 이런 사격 충격력을 저감시키기 위해 주퇴복좌기와 제퇴기를 장착한다.

2.1.1 주퇴복좌기(Recoil mechanism)

Fig. 1은 사격 충격력(주퇴력)의 개략도이다. 주퇴복좌기는 사격 시 발생하는 높고 가파른 약실압력을 주퇴복좌 시스템으로 분산하여 긴 시간과 낮고 균일한 주퇴압력의 형태로 변형하여 차체에 전달되는 사격 충격력을 최소화 한다.

사격 시 발생하는 사격 충격력은 주퇴압력과 복좌압력을 측정하여 작용하는 면적에 곱하여 간접적으로 계산^[3] 하거나, 포이축에 스트레인 게이지를 붙여서 직접적으로 측정하는 방법이 있다. 주로 측정이 용이한 압력을 이용한 간접 계산법을 사용한다.

Fig. 2는 화포의 주퇴 운동부 자유 물체도이고, 자유물체도로부터 지배방정식을 유도하면 다음과 같다.

$$M\ddot{x} = B(t) - K(t) + W_r \sin\theta$$

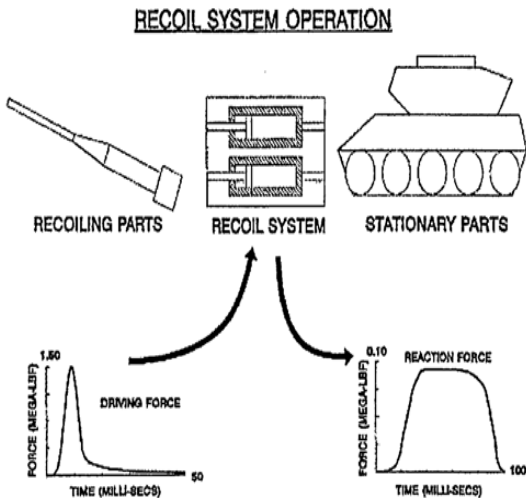


Fig. 1 Recoil system operation^[5]

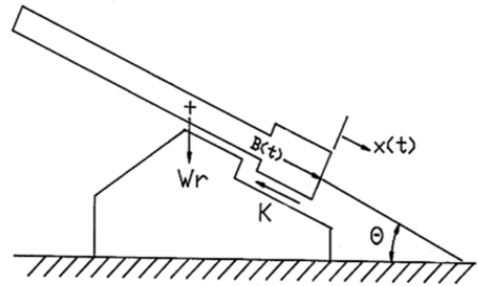


Fig. 2 Free object diagram of recoil mechanism

여기서 M 은 주퇴운동부 질량, $B(t)$ 는 포미 반동력(Breach Force), $K(t)$ 는 총주퇴 저항력, W_r 은 주퇴운동부 중량, x 는 주퇴거리이다.

2.1.2 제퇴기(Muzzle brake)

화포에서 주퇴력을 감소시키는 또 다른 방법은 제퇴기를 포구 끝에 설치하는 방법이다. 제퇴기는 포강 내부에서 팽창하여 포구 바깥으로 나오는 추진가스의 일부를 제퇴기 벽면에서 방향을 편향시켜 주퇴력의 일부를 감소시킴으로써 차체 및 포 구조물에 작용하는 사격 충격력을 저감시키는 작용을 한다^[4]. 아래의 Table 1은 제퇴기 형상에 따른 특성을 나타낸 것이다. 제퇴기는 주로 곡사포에 적용하였으나, 최근에는 전차포에 효율이 비교적 낮으나 포구 유동이 안정적인 다공형 제퇴기(Perforated muzzle brake) 또는 다공형 제퇴기와 다단형 제퇴기를 결합한 복합형 제퇴기를 사용하고 있다.

Table 1 Muzzle brake characteristics by shape

Model	Shape	Characteristics
Baffle		<ul style="list-style-type: none"> Traditional muzzle brake High efficiency but high sound pressure and floating instability
Multi-level		<ul style="list-style-type: none"> Lower sound pressure than baffle type Less efficiency than baffle type
Perforated		<ul style="list-style-type: none"> Light weight and simple structure Less efficiency than multi-level

제퇴효과는 탄이 포구를 이탈하는 순간($t=t_e$)부터 작용하므로 주퇴운동에 대한 지배방정식은 제퇴기 영향계수 β 를 고려하여 다음과 같이 나타낼 수 있다^[2].

$$M\ddot{x} = (1 - \beta)B(t) - K(t)$$

($t < t_e$ 인 경우 $\beta=0$)

주퇴복좌 과정 동안에 적분하면

$$\int_0^{t_r} (1 - \beta)B(t)dt = \int_0^{t_r} K(t)dt$$

이를 제퇴기 영향계수와 효율로 나타내면

$$\beta = \frac{\int_0^{t_r} B(t)dt - \int_0^{t_r} K(t)dt}{\int_{t_r}^{t_r} B(t)dt}$$

$$\eta = \frac{\int_0^{t_r} B(t)dt - \int_0^{t_r} (1 - \beta)B(t)dt}{\int_0^{t_r} B(t)dt}$$

여기서 포미 반동력 $B(t)$ 은 사격 시 발생하는 약실 압력을 측정하여 구할 수 있고, 총주퇴 저항력 $K(t)$ 는 주퇴압력, 복좌압력 및 마찰력의 합으로 구할 수 있다. 하지만 마찰력은 주퇴력에 미치는 영향이 미비하므로 무시할 수 있다.

2.2 모델링

2.2.1 주퇴복좌기 AMESim 모델링

지배방정식^[6]을 유압해석 전문프로그램인 AMESim^[7]에 적용하면 Fig. 3과 같다.

여기서 1은 주퇴기, 2는 복좌기, 3은 주퇴운동부, 4는 저유기, 5는 주퇴오리피스, 6은 주퇴유 특성, 7은 복좌가스 특성, 8은 포미 반동압력을 나타낸 것이다. 1~7은 주포조립체의 주퇴복좌기를 모델링한 것이고, 8은 실제 사격에서 계측된 데이터가 입력된다. 또한 각 모델링 요소에 설계인자들이 입력된다.

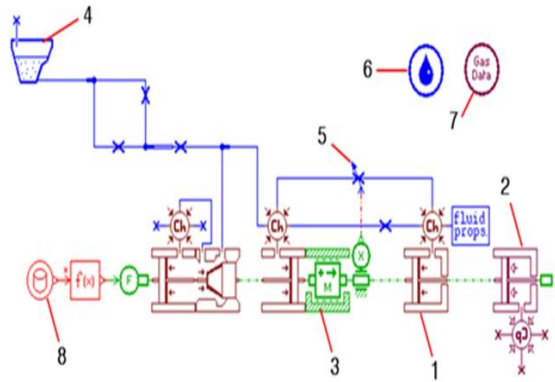


Fig. 3 AMESim modeling

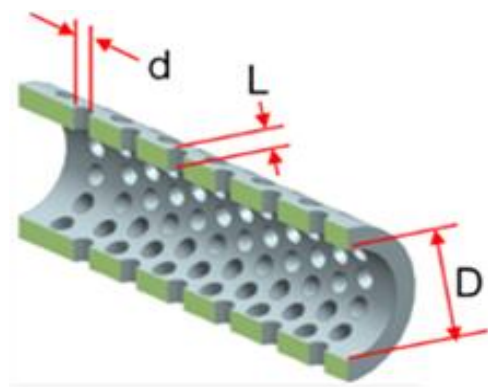


Fig. 4 Muzzle brake modeling

2.2.2 제퇴기 모델링

저반동포에 적용된 제퇴기는 기존의 다공형 제퇴기 특성연구 논문^[2]을 토대로 Fig. 4과 같이 노즐 잇갈림 배열을 적용하였다.

여기서 D 는 포강직경(120mm), d 는 직경(25mm), L 은 노즐길이(25mm), AR비는 5.8(노즐충단면적/포강단면적), 제퇴기 효율은 16.5%이다. 실제 사격 시 계측한 포미 반동압력을 앞서 제퇴기 효율식을 이용하여 계산하면 아래 Fig. 5의 빗금 친 부분의 'A'와 같은 제퇴 효과를 얻을 수 있다.

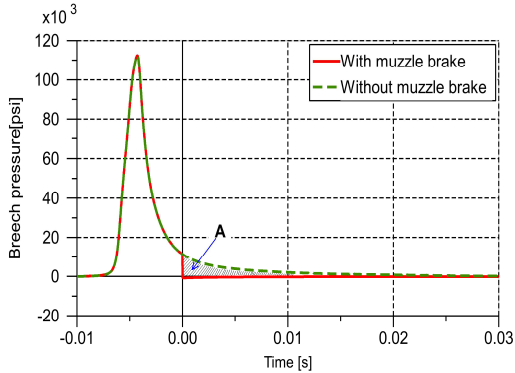


Fig. 5 Muzzle brake effect

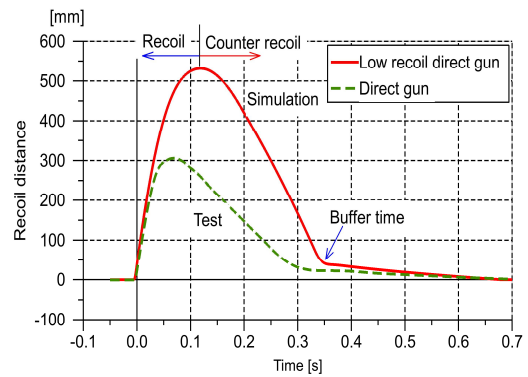


Fig. 7 Comparison of recoil distance

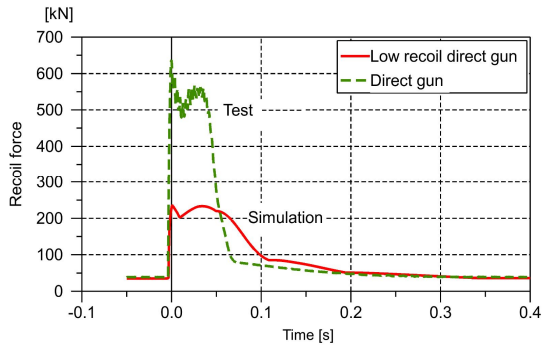


Fig. 6 Comparison of recoil force

2.3 해석결과

2.3.1 저반동포 해석결과

Fig. 3의 AMESim 모델링에 Fig. 5의 제퇴효과를 적용한 입력변수를 반영하여 기존 전차포와 저반동포의 주퇴력, 주퇴거리, 주퇴속도를 비교 분석하였다.

Fig. 6은 저반동포와 기존 전차포의 주퇴력을 비교한 것으로, 본 연구에서는 주퇴력 저감을 위하여 주퇴거리 증대 및 활강형 전차포에 적합한 다공형 제퇴기를 채택하여 적용하였다. Fig. 5의 제퇴기 효율을 16.5%로 적용하여 포미반동 압력을 Fig. 3의 AME Sim 모델링에 입력하였고, 주퇴 오리피스 는 장주퇴에 적합하도록 설계하여 반영하였다. Fig. 6에서 알 수 있듯이 전차포(Direct gun)의 주퇴력은 시험결과를 이용하여 계산한 시험 값이고, 저반동

포(Low recoil direct gun)의 주퇴력은 Fig. 3의 AMESim 모델링을 해석한 결과 값이다. 사격 전에는 주퇴력이 없다가 사격하자마자 최대의 주퇴력이 나타나며, 전차포와 저반동포의 최대 주퇴력을 비교하면 기존대비 약 63.2%의 주퇴력 저감이 될 것을 알 수 있으며, 이후 저반동포의 주퇴력이 기존의 전차포보다 주퇴력이 서서히 감소되고 0.2초 이후에는 AMESim 모델링의 해석 결과값이 시험결과와 유사한 경향을 보이고 있다.

Fig. 7은 저반동포와 기존 전차포의 주퇴거리 비교를 나타낸 것이다.

앞서 언급하였듯이 주퇴력을 감소하기 위해서 장주퇴가 가능한 주퇴 오리피스 설계요소를 반영한 결과, 기존 전차포 대비 최대 주퇴거리를 약 73.9% 증대됨을 알 수 있다. 전체 주퇴복좌 시간은 약 0.7초로 거의 동일하지만 저반동포의 주퇴운동부가 최대 주퇴거리에 도달하는 시간은 기존 전차포 대비 약 0.05초 지연되고, 복좌말기 완충영역에 도달하는 시간도 약 0.03초 느린 것은 장주퇴로 인한 것이다.

Fig. 8은 저반동포와 기존 전차포의 주퇴복좌속도 비교를 나타낸 것이다.

기존 전차포에 비해서 최대 주퇴속도는 약 14% 증가됨을 알 수 있다. 이것은 주퇴거리 증대에 유리하도록 초기 주퇴 오리피스 면적을 크게 하였기 때문에 발생한 것으로 보인다. 또한 복좌속도는 기존 전차포에 비해서 장주퇴로 인하여 약 0.05초 늦게 도달하지만 완전복좌 시점으로 갈수록 빨라지다

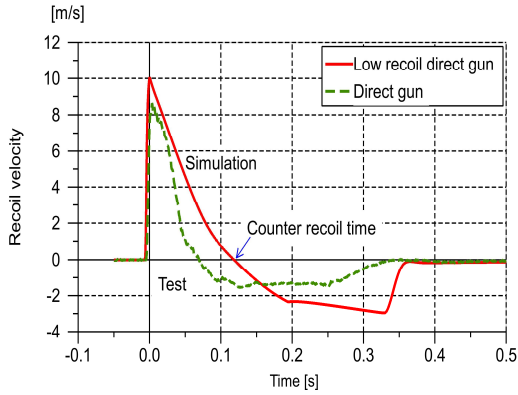


Fig. 8 Comparison of recoil velocity

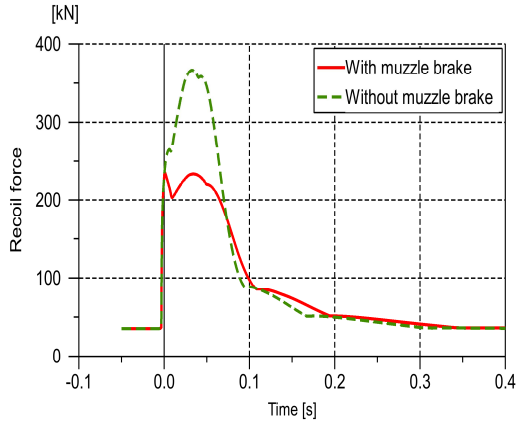


Fig. 9 Comparison of recoil force with and without recoil brake

가 0.33초 부근에서는 급격하게 감속하는 것을 볼 수 있다. 이것은 복좌충격을 줄이기 위한 주퇴 완충효과에 의한 것으로 보인다.

2.3.2 저반동포의 제퇴기 효과

저반동포의 주퇴복좌시스템은 주퇴거리 증대만으로 주퇴력을 저감하기에는 한계가 있다. 저반동포는 기존 전차포보다 훨씬 경량화된 차량에 탑재를 목적으로 주퇴력 저감이 반드시 필요하다.

그래서 대부분의 저반동포는 강외탄도에 미치는 영향이 적은 다공형 제퇴기를 채택하고 있다. 다공형 제퇴기의 단점을 보완하기 위해서 다단형 제퇴기와 결합된 복합형 제퇴기 사용을 앞서 언급한 바

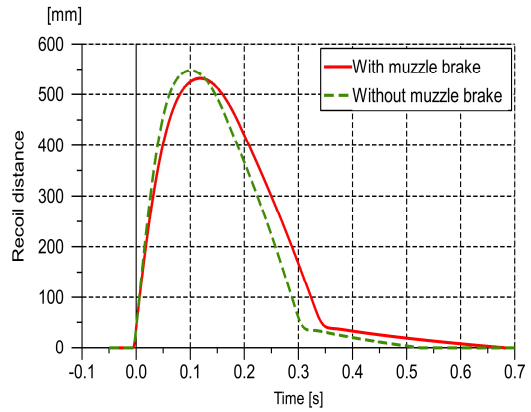


Fig. 10 Comparison of recoil distance with and without recoil brake

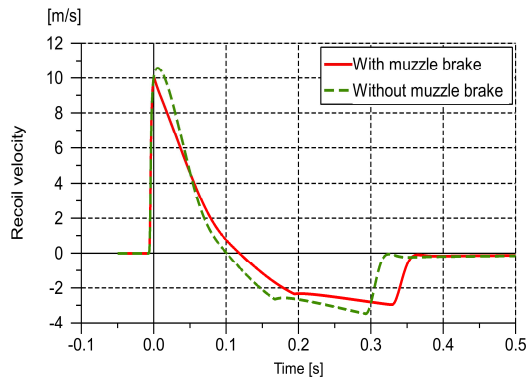


Fig. 11 Comparison of recoil velocity with and without recoil brake

있다. 그러나 본 연구에서는 복합형 제퇴기의 시험결과나 해석결과 확보가 어려워 다공형 제퇴기 특성연구 논문의 결과값을 활용하였다.

Fig. 9는 다공형 제퇴기 적용유무에 따른 주퇴력을 비교한 것이다.

제퇴기가 있는 경우에는 최대 주퇴력이 약 40% 감소될 수 있다는 것을 보여준다. 또한 시간 흐름에 따라 주퇴력이 증가됨을 알 수 있다. 이것은 Fig. 5에서 보듯이 탄이 포구를 이탈한 이후부터 발생하는 제퇴 효과로 포미 반동압력의 상쇄 효과가 사라졌기 때문이다.

Fig. 10은 제퇴기 유무에 따른 주퇴거리를 비교한 것이다. 제퇴기 유무에 따른 주퇴거리는 주퇴력

에 비해서 크게 변화는 없지만 최대 주퇴거리는 약 3% 정도 차이가 난다는 것을 알 수 있다. 또한 최대 주퇴거리 도달시간도 제퇴기가 미 적용된 저반동포에 비해서 약 0.02초 지연됨을 확인 할 수 있다. 이에 따라 복좌시간 및 완충영역 도달시간에도 영향을 끼침을 알 수 있다.

Fig. 11은 다공형 제퇴기 적용 유무에 따른 주퇴복좌속도를 비교한 것이다.

최대 주퇴속도는 제퇴가 없는 저반동포보다 약 5% 정도 더 낮음을 확인 할 수 있다. 이것은 탄이 포구를 이탈할 때 발생하는 제퇴효과로 인하여 포미 반동압력이 상쇄되어 주퇴 에너지가 낮아진 것으로 판단된다. 이후의 복좌과정에서도 일정한 시간 지연이 발생하고 복좌충격도 제퇴기를 설치한 저반동포가 더 낮음을 알 수 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 저반동포의 주퇴력 저감 방법을 고찰하였고, 화포의 주퇴시스템 자유물체도를 이용하여 지배방정식을 도출하였다. 그리고 경량화 차량에 적용하기 위해 강외탄도에 미치는 영향이 적은 다공형 제퇴기를 채택하였다. 또한 제퇴기 영향계수와 효율을 이용하여 포미 반동압력의 제퇴효과를 계산하였다. 이를 AMESim 모델링에 적용하여 저반동포에 적합한 주퇴 특성을 비교 분석하였다. 이상의 전차포와 저반동포의 주퇴특성 비교, 다공형 제퇴기 유무에 따른 저반동포의 주퇴 특성 비교를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 저반동포의 주퇴 시스템을 자유물체도로부터 도출한 지배방정식을 AMESim으로 모델링하고 해석하여 기존 전차포의 사격시험과 비교한 결과 주퇴력 63.2% 감소, 주퇴거리 73.9% 증가, 주퇴속도 14% 증가하였다.
2. 제퇴기 유무에 따른 저반동포의 주퇴특성을 비교 분석한 결과 제퇴기가 있는 경우가 주퇴력 40% 감소, 주퇴거리 3% 감소, 주퇴속도 5% 감소 및 복좌 충격 감소효과가 있음을 확인하였다.
3. 이상의 결과로부터 도출된 저반동포는 경량화된 궤도차량이나 휠 차량에 탑재가 가능할 것으로 판단된다.

REFERENCES

1. Jun, S. B., Yoon, S. H., Yeo, C. M. and Ann, S. T., "The need to develop leading technology of low recoil gun and related technology review", The 21th Ground Weapon Scholarship Conference on fire power branch of KIMST, 2013.
2. Kang, K. J., Lee, S. B., Kim, I. W. and Hong, S. K., "A Study of Perforated Muzzle Brakes Characteristics", J. of KIMST, Vol. 5, No. 4, pp. 9-18, 2002.
3. Kang, K. J. and Lee, Y. H., "A Study of muzzle brake efficiency about recoil mechanism", Autumn Scholarship Conference Journal of KSPE, pp. 1088~1092, 1996.
4. Hong, S. K., "Practical business affairs apprehension of gun technology", ADD, pp. 89-91, 2012.
5. Ronald, G., Eric, K., and Michael, G., "Design, testing and simulation of an experimental 105-mm M35 fire out-of-battery(FOOB) direct fire gun", Technical report ARCCB-TR-03013, Us army armament research, development and engineering center, pp. 1-49, 2003.
6. Yum, M. O., "Control characteristics Improvement of single rod hydraulic cylinder subjected to varying load" J. Korean Soc. Manuf. Process Eng., Vol. 2, No. 4, pp. 46-52, 2003.
7. Kang, H. J., Kim, B. H., Kim, D. K., Kim, S. D. and Yoo, C. Y., "Performance Evaluation of Bladder Press Hydraulic System Using AMESim" Proceeding of Korean Soc. Manuf. Process Eng. Spring Conference, pp. 79, 2014.