

군용 지상궤도차량의 해치 작동력 개선에 대한 연구

김록한^{1*}, 손민구¹, 강승주¹, 윤동혁²
¹국방기술품질원, ²현대로템

A Study on Improvement of Operating Force of Hatch of Military Ground Tracked Vehicle

Rok-Han Kim^{1*}, Min-Gu Son¹, Seung-Ju Kang¹, Dong-Hyuk Yoon²
¹Defence Agency for Technology and Quality
²Hyundai Rotem

요약 본 연구는 군용 지상궤도차량에서 승무원용 해치의 작동력 과다로 인해 사용자가 장비 운용에 어려움을 겪고 있는 것을 통해 작동력 개선의 필요성을 인지하였다. 군용 지상궤도차량의 현 실태를 확인을 통해 과 조립된 부품에 의해 마찰 부하가 발생하여 작동력을 증대시키고 있는 것을 확인하였다. 이 문제를 해결하기 위하여 개선방안으로 과 조립해소를 위해 와셔를 변경함으로써 마찰부하를 감소시켰고 판스프링의 형상 최적화를 통해 비틀림 복원력을 증가시켰다. 개선효과를 확인하기 위하여 실차 적용한 결과, 해치의 작동력이 일반 성인남성의 평균 근력 수준으로 개선된 것을 확인하였다. 또한, 야전 입증 시험을 통해 개선 효과 및 사용자의 만족도를 확인하였다. 본 연구의 개선 활동을 통해 군용 지상궤도차량의 장비 운용성 향상 및 안전사고 방지 효과가 기대된다.

Abstract In this study, we reduce the force needed to operate the crew hatch in a military tracked vehicle after soldiers had to use excessive force to open it. From the actual condition of the tracked vehicle, we confirmed that over-assembled parts generated a friction load on the hatch that increased the force needed to operate it. In order to solve this problem, the friction load was reduced by changing a washer to eliminate the over-assembly, and torsional restoring force was increased through shape optimization of the leaf spring. After modifying the vehicle, we confirmed that the operating force of the hatch improved such that the strength of a normal adult male was required to open it. In addition, the improvement and user satisfaction were confirmed through a field verification test. The effect of this study is expected to improve equipment operability and prevent accidents.

Keywords : Hatch, Leaf Spring, Military Vehicle, Operating Force, Equipment Operability.

1. 서론

군용 지상궤도차량은 강과 산이 많은 한국 지형조건에 최적화되어 기동할 수 있도록 국내에서 독자적으로 개발되었다. 따라서 중, 형경사로에서의 등판 전/후진 기동 및 지탱능력을 보유하고 있으며 최고 0.0 m 깊이의 강을 잠수하여 도하할 수 있도록 개발되었다.

잠수도하 시에는 잠수도하 키트를 설치하여 운용하게 되며 스노클을 제외한 전차의 대부분이 물에 잠겨 도하하게 된다.

도하 중에는 최고 0.0 m 수심까지 잠수한 채로 이동하므로 전차 내부로 물이 유입될 경우 승무원의 안전사고와 장비 고장 발생의 우려가 있다.

*Corresponding Author : Rok-Han Kim(Defence Agency for Technology and Quality)

email: krh20@daq.re.kr

Received March 24, 2022

Accepted June 3, 2022

Revised April 27, 2022

Published June 30, 2022

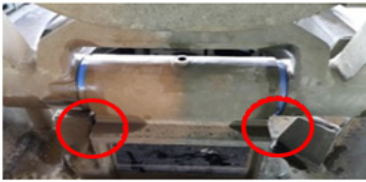


Fig. 1. Water inflow of the crew hatch

전력화되어 군용 지상궤도차량을 운용하면서 잠수도 하 이후 Fig. 1과 같이 차량의 해치의 힌지 내부에 유입된 물이 제대로 배수되지 않는 문제가 발생되었고 Fig. 2처럼 판스프링이 부식되어 파손되어 해치가 제 기능을 상실하는 사례가 발생되었다.



Fig. 2. A failure of the leaf spring caused by corrosion

군용 지상궤도차량에서 해치의 기능은 승무원이 출입하는 출입구 역할과 해치 밀폐 시 상부를 보호하는 역할이다. 해치는 상부 방호역할을 위해 장갑판재와 같이 중량물로 구성되었다. 또한, 전투 상황에서는 적에게 피격되었을 때 폭발 반응을 통해 적의 공격을 무력화 시킬 수 있는 반응 장갑이 부착되어 운용되기 때문에 해치의 무게는 000 kg이 넘도록 설계되었다.

000 kg이 넘는 무게의 해치 운용을 위하여 Fig. 3과 같이 해치 힌지 내부에 판스프링을 설치함으로써 스프링 복원력을 통해 해치 작동을 보조할 수 있도록 설계되었다.

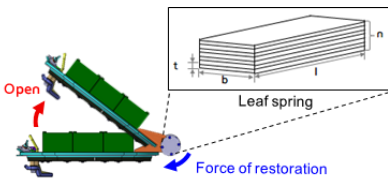


Fig. 3. Installation shape of leaf springs

앞서 언급한 고장 사례처럼 판스프링이 파손될 경우 해치가 판스프링의 복원력을 상실함으로써 개폐가 제한되어 장비 운용에 문제를 초래할 수 있다.

Yoon et al.은 위와 유사한 고장 사례들을 분석함으로써 힌지 내부에 유입된 수분을 통한 부식과 반복 비틀림 하중 인가에 따라 판스프링에 균열이 원인임을 확인하였다. 또한, 원인분석을 통해 판스프링에 그리스를 도포, 판스프링 및 고정부 설계 변경 등의 개선을 진행하였고 비틀림 내구도 시험을 통해 판스프링의 내구성 개선 효과를 입증하였다[1].

Yoon et al.의 연구를 통해 해치의 내구성을 개선함으로써 장비의 수명과 안정성은 향상되었지만 내구성 개선 이후에도 작동력 과다 문제로 단독 운용이 불가하여 2인 1개조로 운용하는 등의 장비 운용에 어려움이 남아 있었다.

해치의 작동력은 000 N(00 kgf)으로 규격에 명시되어 있으며 실제 해치의 작동력은 Push & Pull 게이지를 통해 실측한 결과 규격 대비 00 % 낮아 규격을 만족하는 것으로 확인되었다. 하지만 일반 성인 남녀의 최대 근력의 평균값(Table 1)과 비교해보았을 때, 일반 성인 남녀의 근력은 해치 작동력에 비해 한 항목을 제외하고 약 0 kgf에서 약 00 kgf 정도 부족함을 보였다. 이는 일반 성인 남녀의 기준에서는 현재 해치 작동력은 부담되는 무게이며 작동력이 성인 남녀의 근력 수준으로 개선된다면 군의 운용 측면에서도 향상될 것이라 판단된다.

Table 1. Average strength of adult[2]

Part	Left(kgf)	Right(kgf)	Both(kgf)
Male	28.5	29.5	37.4
Female	18.4	19.6	24.6

따라서 본 연구에서는 작동력 과다로 발생하는 장비의 운용성 저하 해소를 목적으로 진행하였다. 군용 지상궤도차량의 현 실태 확인을 통해 작동력을 감소시킬 수 있는 판스프링의 최적의 형상을 찾고 해치의 조립 및 공정을 분석하여 과 조립된 부품에서 발생하는 작동력을 제거함으로써 작동력을 개선한 내용과 앞선 연구에서 개선된 내구 수명을 동일한 비틀림 내구도 시험을 통해 입증하고자 하였다.

본 연구의 서론에서는 군용 지상궤도차량의 승무원용 해치의 운용 개념과 작동력 개선의 필요성에 대하여 서술하였으며 본문에서는 군용 지상궤도차량의 현 실태 및 개선 방안에 대하여 서술하였다. 마지막으로 본문에서는 개선 효과 및 사용군 운용평가 결과를 통해 개선 만족도 및 필요성에 대하여 확인한 내용과 기대효과를 서술하였다.

2. 본론

2.1 현 실태

군용 지상궤도차량의 해치조립체의 체결부는 Fig. 4와 같이 포탑 구조물 힌지에 조립되며 판스프링 조립체, 덮개, 와셔 등으로 구성되어 있다. 덮개는 힌지 양 측면에 장착되어 판스프링 조립체를 고정하는 역할을 하며 와셔는 해치와 구조물 힌지의 간격을 유지 역할을 하고 있다.

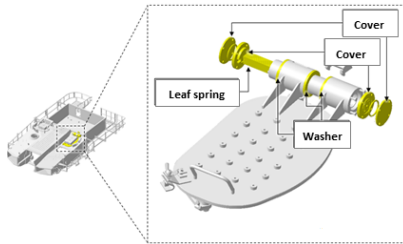


Fig. 4. Component of hatch

그리고 판스프링 조립체는 Fig. 5와 같이 힌지 내부에 조립되며 해치가 힌지 축을 중심으로 회전하면서 개폐될 때 비틀림 복원력을 발생시켜 해치 작동력을 보조하는 역할을 수행한다.

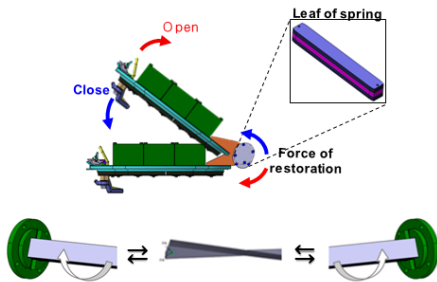


Fig. 5. Operating principle

일반적으로 판스프링은 여러 장의 긴 띠 모양의 판을 쌓아 만든 것으로 스프링으로 작용을 할 때 스프링의 강성과 더불어 판 간 마찰을 감쇠력으로 제공하는 비선형적인 특성을 가진 기계요소이다. 따라서 외부에서 들어오는 진동을 효율적으로 줄일 수 있고 또한 지지하는 구조물의 역할을 겸할 수 있기 때문에 상용자동차의 현가장치로 널리 사용되고 있다[3]. 판스프링은 판의 수량 및 길이를 다양하게 변화시킴으로써 활용도가 높은 장점이 있으나 스프링간 마찰 등에 따른 소음이 많고 무거워 접차 코일 스프링 등으로 대체되고 있다[1].

군용 지상궤도차량의 해치에는 현가장치에 필요한 진동 제어 및 감쇠력 보다는 해치 작동 시 발생하는 비틀림 하중에 대한 완충이 목적이었기 때문에 판의 형상에 따라 스프링의 강성을 높일 수 있는 판스프링이 적합하다. 따라서 Yoon et al.의 연구에서는 판스프링 및 고정부 설계 변경을 통해 약 0,000회 개폐했을 때, 파손되었던 판스프링의 내구성을 약 00,000회 이상의 내구성으로 향상시켰다.

하지만 개선된 해치를 운용할 때도 여전히 단독 운용이 불가능하였기에 2인 1개조로 짝을 이루어 해치를 운용하고 있다. 이 결과로 해당 군용 지상궤도차량이 국내에서 독자적으로 개발되면서 자동장전장치 등의 기술력 향상을 통해 기존 장비 대비 운용에 필요한 승무원이 1명 감소되었으나 해치 개폐에 필요한 인력이 증가하면서 개발된 장비의 이점을 살리지 못하고 오히려 장비의 운용성을 저하시키고 있는 실정이다. 따라서 작동력을 감소시키기 위하여 해치의 작동 원리를 분석하였다. 먼저 판스프링에 작용하고 있는 힘을 Fig. 6과 같이 도식화하였고,

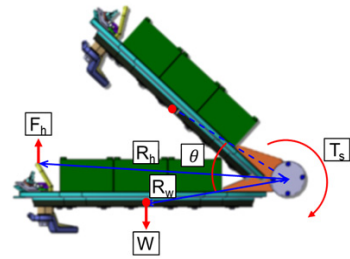


Fig. 6. Free body Diagram

Where, F_h denotes operating force, R_h denotes length between handle and center of hinge, T_s denotes spring torque, R_w length between center of gravity and center of hinge, W denotes self-load, θ denotes angle of operation of hatch

이를 바탕으로 힘의 평형방정식을 이용하여 아래의 식을 유도하였다.

$$F_h R_h + T_s = R_w W \cdot \cos \theta \quad (1)$$

$$T_h = T_w - T_s \quad (2)$$

$$\therefore T_h = F_h R_h, \quad T_w = R_w W \cdot \cos \theta$$

Where, T_h denotes torque according to operation of hatch, T_w denotes torque according to self-load

Eq. (2)를 통해 해치의 작동토크(T_h)는 해치 자중에 의해 발생하는 토크(T_w)에 스프링 회전토크(T_s)를 뺀 값으로 결정되는 것을 알 수 있었다. 해치의 자중에 의해 작용하는 작동토크(T_w)는 해치의 각도에 따라 변화하는 값이지만 해치의 작동범위가 0~000도로 정해져 있기 때문에 고정 변수가 되고 해치 손잡이에서 힌지 중심까지의 거리(R_h) 또한 고정 변수이기 때문에 해치의 작동력은 판스프링의 회전토크에 의해 결정된다는 것을 알 수 있다. 또한, 판스프링의 회전토크는 판스프링의 두께, 길이 등의 형상에 따라 변하기 때문에 판스프링 형상의 최적화 설계가 필요하다고 판단되었다.

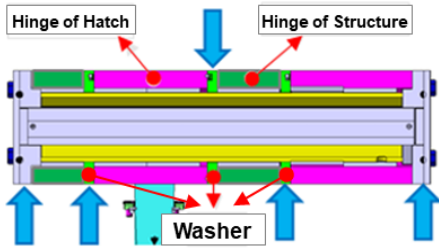


Fig. 7. Hinge section

추가적으로 해치 조립 과정에서 Fig. 7과 같이 구조물의 힌지와 해치의 힌지 사이의 간격을 유지하기 위한 와셔가 과 조립되어 장착되어있었고 이로 인해 해치 작동간에 마찰부하가 발생하여 작동력을 증가시키고 있었다.

2.2 개선방안

현 실태 확인을 통해 작동력 과다로 인한 장비 운용성 저하 문제와 과 조립된 와셔에 의해 작동 간에 마찰부하가 발생하여 작동력이 증가되는 것을 확인하였다. 따라서 판스프링의 형상에 대한 치수 최적화 설계와 과 조립된 와셔의 설계 변경을 함으로써 작동력을 개선하는 방향으로 선정하였으며, 또한 장비 운용성 저하 방지를 위하여 양산 장비뿐만 아니라 운용중인 장비에도 적용이 필요하였기 때문에 기존 해치와 호환 가능하도록 설계하고자 하였다.

2.2.1 판스프링 개선

치수 최적화 설계는 설계의 완성 단계에서 설계 변수에 따른 제약 조건을 만족하는 최적의 목적함수 값을 찾을 때 이용된다[4]. 판스프링의 회전토크는 앞서 언급한 바와 같이 판스프링 형상에 따라 결정되나 기존 장비와

의 호환성, 작동범위 등을 고려하면 형상 변경이 제한된다. 따라서 판스프링의 형상에 대한 제약 조건을 확인하고 설계변수를 선정하여 치수 최적화 설계를 진행하였다.

판스프링 회전토크는 Eq. (3)과 같이 표현된다.

$$T_s = K_t \cdot \phi \quad (3)$$

Where, K_t denotes torsional spring constant, ϕ denotes torsional angle[5].

비틀림 각은 해치의 작동범위가 정해져 있고 비틀림 스프링 상수는 비틀림 각을 구하는 Eq. (4)를 Eq. (3)에 대입하여 구하면 Eq. (5)와 같이 표현된다.

$$\phi = \frac{T_s l}{Gnk_s bt^3} \quad (4)$$

$$K_t = \frac{Gnk_s bt^3}{l} \quad (5)$$

Where, l denotes length, G denotes modulus of rigidity, n denotes the number of leaf springs, k_s denotes shape modification factor, b denotes width of leaf springs, t denotes thickness of leaf springs[5].

Eq. (5)를 통해 비틀림 스프링 상수는 판스프링의 두께(t), 수량(n), 너비(b)와 비례 관계에 있으며 판스프링의 길이(l)과는 반비례 관계에 있다는 것을 확인할 수 있다.

판스프링의 형상은 Fig. 8과 같으며 해치 힌지 내부에 장착된 판스프링의 단면은 Fig. 9와 같다.

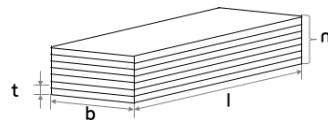


Fig. 8. Leaf Spring Shape

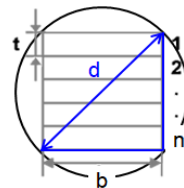


Fig. 9. Leaf spring cross section

Fig. 8과 9를 보면 판스프링 형상 변경에 필요한 변수는 t, n, b, l 그리고 힌지 내부 직경(d)까지 총 5개이다. 하지만 본 연구에서는 기존 장비와의 호환성을 고려하여 개선하고자 했기 때문에 해치의 힌지를 변경하지 않고 판스프링의 형상만 변경하였다. 따라서 l 와 d 는 기존 장비와 동일하기 때문에 최종적으로 t, n, b 를 치수 최적화를 위한 설계 변수로 두고 설계를 진행하였다.

Fig. 10에서 피타고라스 정리를 통해 판스프링의 형상에 대한 관계식은 Eq. (6)과 같이 표현된다.

$$d^2 = (nt)^2 + b^2 \tag{6}$$

여기서 Eq. (6)을 통해 b 값이 결정되면 nt 값이 결정되고 t 값이 결정되면 n 값 또한 결정되는 관계를 확인하였다. 그렇기 때문에 변수를 하나씩 통제하면서 K_i 값과 F_h 값의 경향 파악을 통해 제한된 형상 내에서 최적의 모델을 찾고자 하였다.

먼저, 수급 가능한 판스프링의 두께 범위 ($t = 2.0 \sim 2.3 \text{ mm}$)에서 b 값에 따라 변하는 K_i 값의 경향성을 확인해보았다.

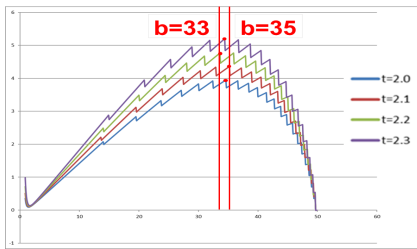


Fig. 10. Calculation K_i according to width

Fig. 10에서 보는 바와 같이 $t = 2.0 \sim 2.3 \text{ mm}$ 에서 $b = 33 \sim 35 \text{ mm}$ 일 때, 높은 K_i 값을 가지는 경향을 보였다.

이번에는 $b = 33 \sim 35 \text{ mm}$ 일 때, 각 $t = 2.0 \text{ mm}, t = 2.1 \text{ mm}, t = 2.2 \text{ mm}, t = 2.3 \text{ mm}$ 에서 F_h 값의 경향성을 그래프로 나타내보았다.

Fig. 11-(a), (b), (c), (d)을 보면 t 가 두꺼워질수록 해치의 작동범위 $0^\circ \sim 40^\circ$ 에서는 반대 방향으로 작용하는 힘이 커지고 $40^\circ \sim 80^\circ$ 에서는 작동력이 감소하는 경향을 나타내었다. 반대로 $80^\circ \sim 152^\circ$ 에서는 점차 작동력이 증가하는 경향을 나타내었다.

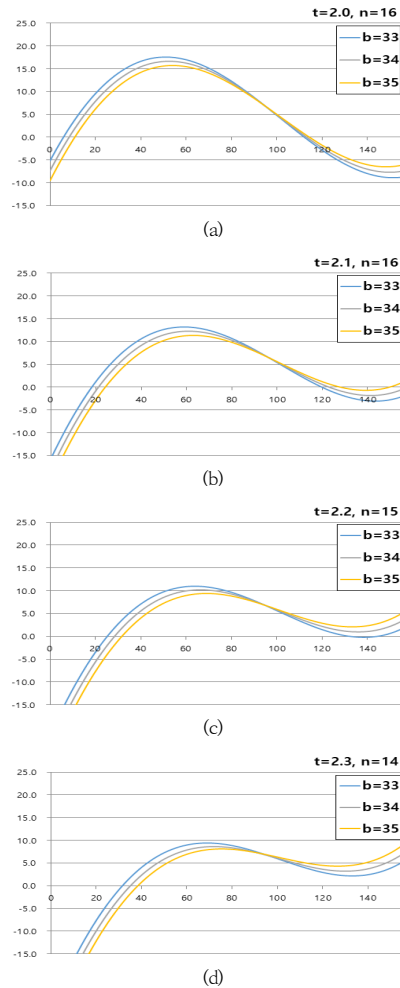


Fig. 11. Calculation F_h according to thickness and number

판스프링은 두께가 두꺼워질수록 스프링상수가 커짐으로써 발생하는 복원력도 커지게 된다. 따라서 최대 비틀림 상태로 만드는데 필요한 힘이 많이 필요하여 두께가 커질수록 양 끝단에서 오히려 작동력이 증가하는 경향을 보이는 것으로 판단된다. 그로 인해 해치의 작동범위 $0^\circ \sim 20^\circ$ 에서의 기울기 경사가 점점 커지는 것을 확인할 수 있다. 이는 해치가 닫히는 방향으로 복원력이 더해져 오히려 사용자가 해치를 닫을 때 힘을 역으로 지지하는 경우가 발생하여 부상을 초래할 수 있을 것이라고 판단되었다.

따라서 해치의 작동범위 $0^\circ \sim 152^\circ$ 에서 작동력이 전체적으로 감소하는 경향을 보이는 $t = 2.0$ 의 판스프링

을 선정하였으며 $t = 2.0$ 에서의 최적의 판스프링 형상을 결정하였다.

2.2.2 와셔 설계 변경

Table 2에서 보는 바와 같이 기존 해치 조립 공정에서는 장착 간격이 $-0.785 \sim 0.105$ mm로 과 조립되어 마찰 부하를 유발하였으나 Fig. 12와 같이 장착되는 와셔를 두께가 얇은 와셔로 변경함으로써 장착 간격을 $0.940 \sim 1.400$ mm으로 늘려 과 조립에 의해 발생하는 마찰부하를 해소하였다.

Table 2. Gap Improvement

Part	Thickness	Width	Gap
before	00.000~0.000	0.000~0.000	0.105~-0.785
after	0.000~0.000		1.400~0.940

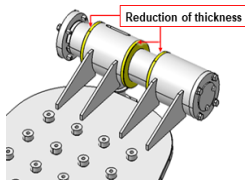


Fig. 12. Washer thickness reduction

2.3 개선방안 적용 결과

판스프링 형상 변경을 통해 Fig. 13과 같이 기존 해치와 대비하여 00 kgf에서 00.0 kgf로 약 0.0 kgf 감소된 작동력을 확인하였다.

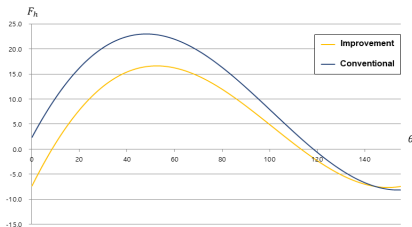


Fig. 13. Comparison of Conventional and Improvement

또한, 변경된 와셔까지 적용한 작동력에 대한 개선 효과를 확인하기 위하여 실제 차량에 장착하여 Push & Pull Gage를 통해 실측해보았다.

Table 3에서 보는 바와 같이 실측한 개선품의 작동력

은 000.0 N(00.0 kgf)으로 기존 대비 35.7 %가 개선된 것을 확인하였다.

Table 3. Improvement results

Part	Conventional	Improvement	Effect
Operating force (Measurement,)	000.0 N	000.0 N	35.7 %
Operating force (Calculation)	000.0 N	000.0 N	28.9 %
Frictional force	000.0 N	00.0 N	48.9 %

또한, [1]의 연구에서 개선한 판스프링의 비틀림 내구도 수준(요구 수명은 00,000회로 1일 0회 작동, 연간 사용 일수 000일, 00년을 사용한다고 가정)을 만족하는지 확인하기 위하여 비틀림 각도 $0 \sim 96^\circ$ 의 범위에서 작동하고 000 N·m의 토크를 가하여 Fig. 14와 같이 비틀림 내구 시험을 구성하여 진행하였다.

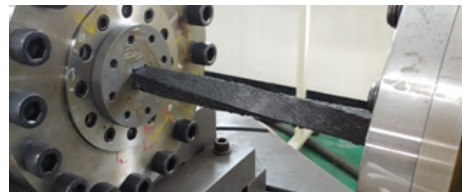


Fig. 14. Durability tests of the leaf spring

Table 4에서 보는 바와 같이 개선품의 비틀림 내구성은 약 00,000회로 내구도 요구수명을 만족하는 것을 확인하였다.

Table 4. Durability tests results

Part	Improvement hatch
Operating time(Num.)	00,000

3. 결론

군용 지상궤도차량에서 승무원용 해치의 작동력 과다로 인해 장비 운용성이 저하되는 문제가 확인되었다. 해치의 작동력은 규격을 만족하고 있었고 앞선 연구를 통해 해치의 내구 수명 개선을 완료하였지만 실제 사용군의 인터뷰에서는 단독 운용이 불가할 정도로 작동력이 과다하다는 얘기를 들을 수 있었다. 이 문제는 추가적인

인력 소모로 장비 운용성 저하를 유발하고 있었다. 따라서 이 문제를 해결하기 위하여 해치에 적용된 판스프링의 역설계를 통해 판스프링의 최적의 형상을 찾고자 하였으며, 조립 간 불필요하게 과증되는 부하를 제거함으로써 작동력을 개선하였다.

이러한 개선을 통해 작동력은 35.7 % 감소하였고 이 수치는 본 연구에서 목표하였던 성인 남자 근력 수준에 준하는 000.0 N로 군의 장비 운용에 긍정적인 결과를 가져올 것이라고 기대되었다. 따라서 해당 장비를 운용하고 있는 부대에 입증시험을 진행하였으며 인터뷰 결과 5점 만점에 4점 이상의 만족도와 함께 설문 응답 인원 중 85 %가 작동력 개선 필요성에 동의를 하며 사용자의 감성 품질을 만족시킨 것을 확인할 수 있었다.

또한, 본 연구에서는 호환성을 고려하여 양산 장비 외에 현재 운용중인 장비에 개선품을 적용함으로써 현존 전력 손실을 방지하였다.

본 연구를 통해 군용 궤도차량을 사용하는 승무원들의 장비 운용성을 향상시키고 운용 장비에도 즉시 반영함으로써 우리 군의 전투력 손실 및 사용자의 안전사고 방지 효과를 기대할 수 있을 것이다.

References

- [1] H. J. Yoon, T. Y. Kim, Y. W. Nam and K. R. Kim, "A Study on the Durability Improvement of the Leaf Spring using Field Data Analysis", Korean Soc. Mech. Technol., Vol. 22, No. 1 p146~151, 2020
DOI: <http://dx.doi.org/10.17958/ksmt.22.1.202002.146>
- [2] D. P. Woo, "A Study on the Push and Pull Strength for the Design of Cart Handle", Journal of the Ergonomics Society of Korea, Vol.32, No.4 pp. 332-336, August 2013
DOI: <http://dx.doi.org/10.5143/JESK.2013.32.4.405>
- [3] S. S. Kim, W. K. Moon and Y.I. Yoo, "An Efficient Method for Calculating Stiffness of the Progressive Multi-Leaf Spring", Korean Soc. Mech. Technol., Vol. A, pp. 413-419, 2000
- [4] Jasbir S. Arora, 2004, Introduction to Optimum Design, KAcademic Press.
- [5] S. H. Noh, 2020, Standard Mechanical Design Chart Handbook

김 록 한(Rok-Han Kim)

[정회원]



- 2014년 8월 : 경상대학교 기계공학과 (공학사) 졸업
- 2020년 9월 ~ 현재 : 국방기술품질원 기동화력센터 연구원

〈관심분야〉

국방, 기계, 동력

손 민 구(Min-Gu Son)

[정회원]



- 2016년 8월 : 동아대학교 기계공학과(공학사) 졸업
- 2016년 12월 ~ 2018년 8월 : (주)유니크 품질보증부 기사
- 2019년 8월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

〈관심분야〉

국방, 기계, 총포

강 승 주(Seung-Ju Kang)

[정회원]



- 2018년 2월 : 경상대학교 기계공학부(공학사) 졸업
- 2019년 8월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

〈관심분야〉

국방, 기계, 유압

윤 동 혁(Dong-Hyuk Yoon)

[정회원]



- 2010년 8월 : 창원대학교 기계설계학과 (공학사) 졸업
- 2015년 7월 ~ 현재 : 현대로템 방산생산기술팀 매니저

〈관심분야〉

국방, 기계, 구조