

출입문 자물쇠 결쇠 파손 모드 구조 해석 및 사례 분석

조용성
공주대학교 기계자동차공학부

Case Study and Structural Analysis of Door Lock Hasp Failure Mode

Yong-Thung Cho

Division of Mechanical and Automotive Engineering, Kongju National University

요약 외부 출입문 등의 보조적 잠금 장치로 사용되는 자물쇠 결쇠는 비교적 단순한 구조 및 제작 설치의 용이함으로 인하여 매우 오래 전 부터 외부의 침입을 막거나 저지하기 위하여 사용되어 왔다. 자물쇠 결쇠는 사용 및 설치의 편의성 뿐 만 아니라 비용 면에서도 매우 유용하다. 하지만, 자물쇠 결쇠 사용 시 이러한 장점 뿐만 아니라 보안 장치로서의 한계도 있다. 실제로 본 연구에서 이러한 한계에 대해서 구조 해석을 통하여 파손 원인을 분석하였다. 또한, 자물쇠 결쇠의 실제 파손 사례를 분석하였다. 실제 파손 사례 분석 결과, 해당 자물쇠 결쇠는 지렛대 역할을 할 수 있는 날카롭고 강인한 공구를 사용하면 파손할 수 있었으나, 단수의 침입자가 단지 사람의 힘만으로는 파손이 불가능하였다. 또한, 침입자가 자물쇠 결쇠를 쉽게 파손하지 못하도록 한 개선안을 제시하였다.

Abstract Owing to its relatively simple structure and convenience of manufacturing and installation, the door lock hasp has been used to prevent or discourage trespassing intruders from external entrance doors as a supplementary locking device for a very long time. The door lock hasp is very useful because of its convenient and economical manufacture and installation. In addition to such merits, there is also a limitation of door lock hasp as a security device. For the appropriate design and installation of door lock hasps in actual situations, the limitations of door lock hasps were analyzed. In addition, the actual case of door lock hasp failure was analyzed. An analysis of an actual case of door lock hasp failure showed that it was impossible to destroy the door lock hasp using only the power of a single intruder without using a sharp and stiff pry or crowbar. In addition, improvements of door lock hasps are recommended to prevent or discourage trespass by intruders by destroying door lock hasps.

Keywords : Structure Analysis, Door Lock, Hasp, Failure, Crowbar

1. 서론

매우 오래 전 부터 외부의 침입을 막기 위해 잠금 장치를 사용하여 왔다[1,2]. 자물쇠 결쇠는 비교적 단순한 구조로 제작 설치 등이 용이하여 외부 출입문 등의 보조적 잠금 장치로 외부의 침입을 제한하기 위하여 사용되어 왔다. 자물쇠 결쇠는 구조적 특성으로 인하여 사용 및 설치의 편의성 뿐 만 아니라 비용 면에서도 매우 유용하다.

최근 CCTV, 각종 센서 등 보안장치의 급격한 발전 및 보급으로 인하여 사회적으로 보안 및 안전 관련 환경이 많이 향상되었다. 그러므로, 자물쇠 결쇠와 같은 오래전 부터 사용되어 온 고전적인 잠금장치 및 보안장치에 대한 인식이 저하될 수 있다. 여러 종류의 잠금 장치가 사용되고 있으며, 각각 고유한 특성이 존재한다[3,4].

하지만, CCTV 및 각종 보안 관련 센서는 직접적으로 외부 침입을 막지는 못한다. 또한, CCTV는 단수로 사용

*Corresponding Author : Yong-Thung Cho(Kongju National University)

email: cho.yong@gmail.com

Received April 23, 2024

Accepted June 7, 2024

Revised May 21, 2024

Published June 30, 2024

할 시, 사각지역이 클 수 있고, 우회 혹은 무력화 시키기가 상대적으로 수월할 수 있다. 사각 지대 없이 효율적으로 CCTV가 작동하기 위해서는 여러 대의 CCTV가 상호 보완적으로, 유기적으로 작동할 수 있도록 설치 및 운영되어야 한다. 또한, 건물 외부로 부터의 침입자 등을 특정하기 위해서는 CCTV의 해상도도 적절한 수준이 되어야 한다. 즉, 여러 대의 CCTV를 적절한 수준의 해상도로 일정 기간 이상 유지 관리하기 위해서는 영상 저장 장치의 용량이 커질 수 밖에 없을 뿐만 아니라 CCTV 및 관련 영상 저장, 통신 장치 관리를 위해서는 상당한 시간과 노력이 필요하다. 즉, CCTV 등의 방범 장치의 발전 및 보급에도 불구하고 보안 관련하여 상대적으로 설치, 유지, 관리, 운영 등이 수월하고, 비용 측면에서도 상대적으로 저렴하며, 직접적으로 외부 침입을 방지할 수 있는 기존 잠금 장치에 대한 필요성이나 중요성은 오히려 유지되어야 한다.

이미 CCTV 뿐만 아니라 디지털 도어 락 (Digital door lock)의 사용이 보편화 되어, 사용의 편의성 뿐만 아니라 보안성 강화 측면에서도 여러 기능이 향상되었다[5-9]. 그럼에도 불구하고 디지털 도어 락의 여러 취약성이 부각되어 왔다[10,11]. 또한, 디지털 도어 락의 경우, 외부에서 출입문 안 쪽으로 침입하는 침입자를 막을 수는 있어도 이미 출입문을 통하지 않고 내부 까지 침입한 침입자는 자유로이 출입문을 통하여 출입할 수도 있다. 외부에서 자물쇠 결쇠를 이용하여 출입문을 잠그면 다른 경로를 통하여 침입자가 침입하였다 하여도 자물쇠 결쇠를 파손하지 않는 이상 침입자가 출입문을 통하여 자유로이 출입할 수 없다. 그러므로, 디지털 도어 락의 보완적 목적 혹은 디지털 도어 락과는 또 다른 목적으로 자물쇠 결쇠의 설치 필요성이 있을 수 있다.

디지털 도어 락의 보완 목적으로 출입문 이외의 경로로 침입을 방지하기 위하여 방법창 등을 설치할 수 있다. 하지만, 출입문이 한 곳만 있는 경우는 방법창을 설치할 경우, 안전 상의 문제가 발생할 수 있다[3]. 즉, 출입문 쪽에서 화재가 발생시 방법창을 설치했을 경우에는 내부에서의 대피로가 차단되어 매우 위험한 상황이 발생할 수 있다. 창문이 침입자의 침입의 경로로 사용될 수 있지만, 화재 등의 재난 상황 발생 시 대피 통로로 이용될 수 있다. 그러므로, 여러 상황을 고려하여 보안 장치도 설치하여야 한다. 즉, 경우에 따라서는 방법창 등의 설치가 바람직 하지 않을 수 있다. 이러한 상황에서 자물쇠 결쇠가 보다 더 유용하게 사용될 수 있다.

하지만, 자물쇠 결쇠 사용 시 이러한 장점 뿐만 아니

라 보안 장치로서의 한계도 있다. 도구를 사용한 외부 침입에 대하여 출입문과 잠금 장치의 파손에 대하여 상세한 구조해석을 수행하였다[12]. 또한, 항공기 및 일반 창문 잠금 장치의 구조적 신뢰성에 대한 해석을 수행하였다[13,14]. 하지만, 비교적 단순한 형상이지만, 자물쇠 결쇠에 대한 명확한 구조해석은 부재하여 자물쇠 결쇠의 파손 모드에 대한 구조해석을 수행하였고, 실제 파손 사례를 통하여 분석하였다.

2. 연구방법

시중에서 구할 수 있는 대부분의 자물쇠 결쇠는 철판을 프레스 가공하여 만들어졌고, $t=2\text{mm}$ 이상의 두꺼운 철판을 사용하지 않고 있다. 상대적으로 굽힘(bending)에 취약한 구조이다. 본 연구에서 이러한 한계에 대해서 분석하였다. 또한, 자물쇠 결쇠의 실제 파손 사례를 분석하였다.

자물쇠 결쇠를 장착한 출입문을 잡아 당길 때 자물쇠 결쇠를 출입문에 장착한 나사에 걸리는 힘을 계산하였다. 이로 인하여 사람의 힘으로 출입문을 밀거나 잡아 당길시 자물쇠 결쇠의 파손 가능 여부를 계산하였다.

또한, 지렛대 역할을 할 수 있는 날카롭고 강인한 공구를 사용하여 출입문에 장착된 자물쇠 결쇠를 파손하는 경우를 계산하였다. 아울러, 이에 대한 자물쇠 결쇠의 보강안을 제시하였다.

3. 구조적 고찰 및 구조해석

3.1 구조적 고찰

3.1.1 자물쇠 결쇠의 구조

자물쇠 결쇠는 고리를 포함하는 고정부와 경첩을 포함하는 회전부의 2개의 부품으로 구성되어 있다. 고정부 및 회전부 모두 나사(screw)를 이용하여 출입문의 문틀 혹은 기둥과 출입문에 고정된다.

3.1.2 자물쇠 결쇠의 설치

자물쇠 결쇠를 출입문에 설치할 시에 Fig. 1에 나타난 바와 같이 자물쇠 결쇠 회전부를 펴서 설치하는 방법과 자물쇠 결쇠 회전부를 접어서 설치하는 방법이 있다. 실제로 자물쇠 결쇠 회전부를 펴서 설치하는 경우도 볼 수

있지만, 나사(screw)의 머리 부분이 노출되기 때문에 전동 드라이버를 사용 시 침입자가 매우 쉽게 자물쇠 걸쇠를 제거하고 출입문을 통하여 침입할 수 있어, 일반적으로 Fig. 1 (b)와 같이 자물쇠 걸쇠 회전부를 접어서 설치하는 방법이 침입자를 막는데 더 유리하다.

3.2 구조해석

3.2.1 자물쇠 걸쇠의 구조

자물쇠 걸쇠는 Fig. 1 (a)에 보는 바와 같이 고정부와 경첩(hinge)이 포함된 회전부로 구성되어 있다. 실제로 문틀과 출입문의 가장자리에 자물쇠 걸쇠를 장착 후 자물쇠로 잠근 모습을 Fig. 1 (b)에 나타나 있다.

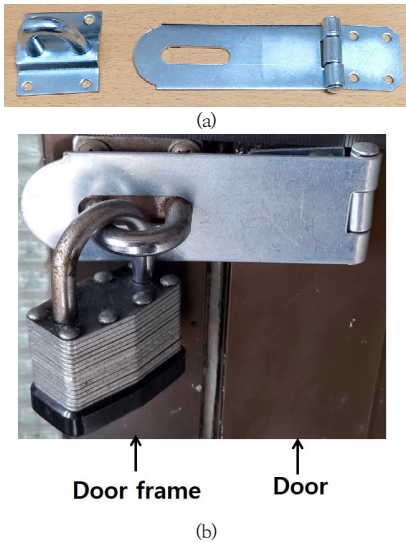


Fig. 1. Door lock hasp
 (a) Fixed part and hinge of door lock hasp
 (b) Door lock hasp installed on frame and edge of door

자물쇠 걸쇠의 고정부가 문틀에 장착되어 있고, 경첩 부분은 출입문의 가장자리에 장착 되어있다. 자물쇠 걸쇠를 장착한 나사 머리 부분이 자물쇠 걸쇠로 가려져 있다. 즉 외부에서 단순히 전동 드라이버 등을 이용하여 장착된 자물쇠 걸쇠를 쉽게 분리할 수 없는 구조이다.

또한, 외부에서 출입문을 당겨서만 열 수 있는 구조이고, 외부에서 출입문을 밀 경우에는 출입문이 문틀에 걸려서 더 이상 움직이지 못하도록 되어있다. Fig. 1 (b)에 보이는 바와 같이 자물쇠로 잠겨있는 상태에서 외부에서 출입문을 잡아 당겨 문을 열려고 시도하면 자물쇠 걸쇠 고정부의 나사(Screw)에는 인장력이 작용한다. 하지만,

자물쇠 걸쇠의 경첩 부위를 고정하고 있는 나사에는 압축력이 작용한다. 즉, 출입문을 강한 힘으로 잡아당겨서 열려고 시도하면 자물쇠 걸쇠 고정부의 나사가 인장력으로 인하여 빠질 우려가 발생할 수 있다. 하지만, 자물쇠 걸쇠의 회전부, 경첩 부위를 고정하고 있는 나사는 압축력이 작용하므로 빠질 우려가 없다. 자물쇠 걸쇠와 나사에 작용하는 힘을 Fig. 2의 자유물체도(Free body diagram)에 나타내었다. 출입문을 잡아 당겨서 열려고 할 때, 경첩(hinge) 쪽의 나사에는 압축력(Compression)이 작용하고 고정부의 나사에는 인장력(Tension)이 작용한다. 즉, 큰 힘이라도 출입문을 잡아 당기는 힘만으로는 경첩 부위의 나사에는 압축력이 작용하므로 나사가 빠질 우려가 없다. 오히려 큰 힘으로 출입문을 잡아당겨서 나사가 빠진다면 고정부의 나사에는 인장력이 작용하므로 나사가 빠질 우려가 있다. 하지만, 단순히 출입문을 잡아 당기는 것 만으로 4개의 나사로 고정되어 있는 고정부의 나사를 모두 뽑는다는 것은 사실상 힘들 수 있다.

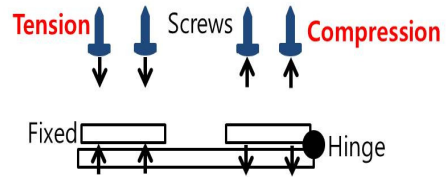


Fig. 2. Free body diagram of door lock hasp and screws, view from top.

3.2.2 나사의 강도 및 체결력

출입문을 큰 힘으로 잡아 당길 경우, 자물쇠 걸쇠의 고정부의 나사에는 인장력이 작용할 수 있다. 이 때에 인장력으로 인하여 체결된 나사가 빠지는 경우를 고려하기 위하여 나사의 강도를 계산하여 나사의 체결토크 및 체결력을 계산할 수 있다.

체결토크 T와 체결력 F_p는[15],

$$T=KF_d \tag{1}$$

Where, K denotes torque coefficient, K= 0.2, d denotes diameter of screw, d= 4 mm.

최소 허용 강도 225 Mpa로 계산하면, 나사 한 개 당 허용 강도에 따른 체결력,

$$F_p=2827 \text{ N}$$

이 되고, 실제 체결력은 이 보다 낮은[15],

$$F_1 = 0.75F_p = 2121 \text{ N} \quad (2)$$

이고, 나사 4개의 체결력

$$F = 4F_1 = 8484 \text{ N} \quad (3)$$

으로 865 kgf에 해당하고, 이는 한 사람의 힘만으로는 낼 수 있는 가능한 범위가 아니다.

또 이에 해당하는 나사 하나 당 체결 토크(torque),

$$T = KF_1d = 1.70 \text{ Nm} \quad (4)$$

이다.

3.2.3 자물쇠 걸쇠의 실제 파손 모드

단순히 사람이 출입문을 강하게 잡아당기는 것만으로는 자물쇠 걸쇠를 고정시키는 나사를 뽑아내지는 못한다. 하지만, 자물쇠 걸쇠는 날카롭고 강인한 지렛대 역할을 할 수 있는 공구로 나사를 뽑아낼 경우 취약할 수 있다.

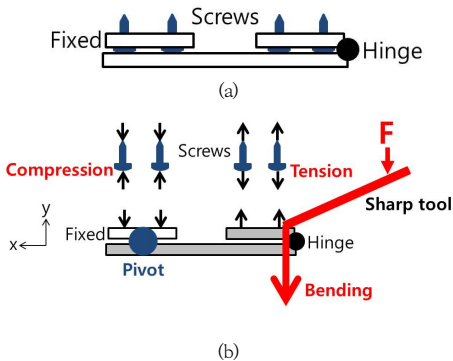


Fig. 3. Door lock hasp failure free body diagram
 (a) Door lock hasp without external force
 (b) External force applied at door lock hasp with sharp and strong tool

자물쇠 걸쇠의 파손과 관련된 힘을 Fig. 3의 자유물체 도에 표시하였다. 자물쇠 걸쇠에 외력이 작용하지 않고 나사로 장착된 상태를 Fig. 3 (a)에 나타나 있다. 자물쇠 걸쇠의 경첩 부분에 지렛대 역할을 할 수 있는 날카롭고 강인한 공구로 외력이 작용하는 상태를 Fig. 3 (b)에 나타나 있다. 날카롭고 강인한 공구로 지렛대 역할을 할 수 있으면 매우 큰 힘이 경첩 부위의 나사에, Fig. 3 (b)에 나타난 바와 같이, 큰 인장력이 작용할 수 있다. 즉 경첩 부위의 나사에는 인장력이 작용하므로 경첩 부위의 나사

를 지렛대 역할을 할 수 있는 강인한 공구로 조금씩 +x 방향으로 움직여가며 힘을 가하면 경첩 부위의 나사를 조금씩 뽑을 수 있다. 하지만, 고정부 부위의 나사는 Fig. 3 (b)에 나타난 바와 같이 압축력이 작용하므로 Fig. 3 (b)에 나타난 외력으로는 고정부 부위의 나사를 뽑아낼 수 없다. 결국 자물쇠 걸쇠의 경첩 부위에 굽힘 모멘트 (bending moment)가 작용하면서 경첩 부위의 나사가 뽑히지만 자물쇠 걸쇠의 고정부 부위는 나사가 뽑히지 않고 그대로 유지된다. 즉, 자물쇠 걸쇠는 굽힘 모멘트 (bending moment)에 의해 파손되고, 장착된 자물쇠 걸쇠는 출입문으로부터 이탈하고 문틀에만 고정된 상태로 남는다.



Fig. 4. Actual case of door lock hasp failure
 (a) Door lock hasp failure top view (-z direction)
 (b) Door lock hasp failure front view (+y direction)
 (c) Door lock hasp failure with screw mounting surface
 (d) Screw mounting surface of door lock hasp failure
 (e) Door lock hasp failure with lock
 (f) Entrance door surface where hasp installed

실제 자물쇠 걸쇠 파손 사례가 Fig. 4에 나타나 있다. 상단(-z 방향)에서 본 파손된 자물쇠 걸쇠가 Fig. 4 (a)에 나타나 있다. 정면(+y 방향)에서 본 파손된 자물쇠 걸쇠가 Fig. 4 (b)에 나타나 있다. 파손된 자물쇠 걸쇠의 경첩 부위의 나사 설치 접촉 표면이 Fig. 4 (c)와 (d)에 나타나 있다. 굽힘에 의해 파손된 흔적 뿐만 아니라 날카롭고 강인한 공구에 의해 굽힘 흔적도 선명하게 나타나 있다. 자

물쇠 걸쇠 경첩 부위의 나사가 완전히 뽑혀 파손된 채 자물쇠가 채워져 있는 자물쇠 걸쇠가 Fig. 4 (e)에 나타나 있다. 자물쇠 걸쇠가 나사로 장착되었던 출입문 표면이 Fig. 4 (f)에 나타나 있다. 출입문 표면이 날카롭고 강인한 공구에 의해 긁힌 흔적도 선명하게 나타나 있다.

3.2.4 자물쇠 걸쇠의 굽힘 응력

자물쇠 걸쇠에는 굽힘 모멘트와 전단력 등에 의한 응력이 발생한다. 하지만, 자물쇠 걸쇠가 길이 방향으로 긴 구조물 이므로 굽힘 모멘트에 의한 굽힘 응력이 주로 지배한다[16,17].

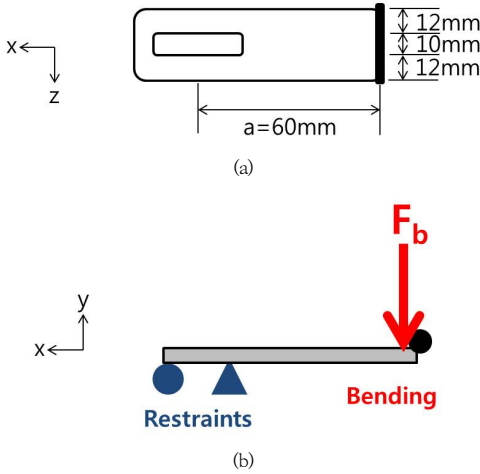


Fig. 5. Door lock hasp dimension and free body diagram
(a) Door lock hasp dimension, front view (+y direction)
(b) Free body diagram for bending, top view (-z direction)

자물쇠 걸쇠에 작용하는 굽힘 모멘트와 굽힘 응력을 구하기 위한 자물쇠 걸쇠의 주요 치수 및 자유물체도가 Fig. 5에 나타나있고, 자물쇠 경첩의 철판 두께 $t=1.5$ mm 이다. 자물쇠 걸쇠의 자물쇠 고리가 들어가는 부위의 중앙은 Fig. 1 (b)에서 보고 알 수 있듯이, 외력에 의한 변형이 제약된다. 자물쇠 고리가 들어가는 부위의 중앙 위치는 Fig. 5 (a)에 나타나 있다. 또한, 그로 인한 제약 조건이 Fig. 5 (b)에 나타나 있다.

그림에는 나타나 있지 않지만 자물쇠 걸쇠의 경첩은 원활한 회전을 위하여 설계 혹은 가공 상 약간의 틈새가 있다. 그 틈새가 경첩의 반경 방향으로 존재한다. 그로 인하여 날카롭고 강인한 공구가 경첩 바로 밑의 틈새로 들어갈 수 있다. 이러한 특성이 Fig. 6에 나타나 있다. 여기서 L 은 날카롭고 강인한 지렛대로 사용할 수 있는 공구의 유효 길이이다. 즉, 평형 조건을 적용하면 자물쇠

걸쇠의 끝단에 작용하는 힘 F_b 는[16,17],

$$F_b = \frac{2FL}{D} \quad (5)$$

Where, F denotes applied force by human on handle of tool, L denotes length of tool, D denotes external diameter of hinge.

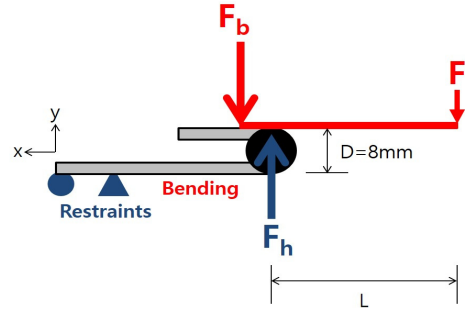


Fig. 6. Bending of door lock hasp due to external force F of sharp and strong tool

굽힘 모멘트 M 에 의한 굽힘 응력 σ 는[16,17],

$$\sigma = \frac{My}{I} \quad (6)$$

Where, M denotes applied bending moment, I denotes second moment of cross-sectional area, y denotes distance from centroid to where bending stress is estimated.

자물쇠 걸쇠 표면에서 항복이 일어나는 굽힘 모멘트 M_y 는

$$M_y = \frac{2\sigma_y I}{t} \quad (7)$$

Where, σ_y denotes yield strength of door lock hasp, t denotes thickness of door lock hasp, $t=1.5$ mm.

자물쇠 걸쇠 표면 뿐만 아니라 중심에서 항복이 일어나는 최대 굽힘 모멘트 M_L 는[16,17],

$$M_L = 1.5M_y = \frac{3\sigma_y I}{t} \quad (8)$$

또한, Fig. 5 (a)로부터, $a=0.06$ m,

$$M_L = aF_b = \frac{3\sigma_y I}{t} \quad (9)$$

$$F_b = \frac{2FL}{D} \quad (5)$$

Fig. 5와 6의 치수를 적용하면,

$$F = \frac{3\sigma_y ID}{2Lat} \quad (10)$$

여기서 항복강도 σ_y 를 일반구조용강의 항복강도 550 MPa, Fig. 6의 $L=0.5$ m로 적용하면,

$$F = 0.99 \text{ N} \quad (11)$$

와 같이 매우 작은 힘으로도 Fig. 6과 같이 지렛대 역할을 할 수 있는 공구를 사용하여 자물쇠 걸쇠를 파손할 수 있다. 하지만, 이에 상응하는 자물쇠 걸쇠의 변형은 제한적이므로 자물쇠 걸쇠를 완전히 파손시키지는 못하고 실제로는 훨씬 더 큰 힘 F 를 지렛대 역할을 할 수 있는 공구에 가하여야 한다.

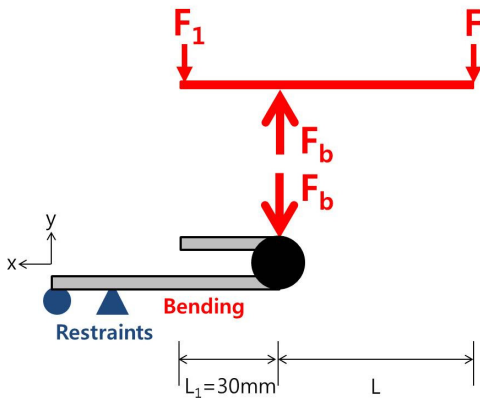


Fig. 7. Bending of door lock hasp with deflection due to external force F of sharp and strong tool

자물쇠 걸쇠의 굽힘 및 변형을 고려한 자유물체도를 Fig. 7에 나타내고 있고, 지렛대 역할을 할 수 있는 공구의 끝 부분이 자물쇠 걸쇠의 굽힘으로 인한 변형으로 L_1 만큼 x 방향으로 들어가 있다. 이로 인하여 자물쇠 걸쇠의 굽힘으로 인한 변형은 더 커질 수 있고, Fig. 6의 상태와 비교시 보다 더 큰 자물쇠 걸쇠의 파손으로 진행시

킬 수 있다. Fig. 7을 이용하여

$$M_L = aF_b = \frac{3\sigma_y I}{t} \quad (9)$$

$$F_b = \frac{F(L+L_1)}{L_1} \quad (12)$$

와 같이 나타낼 수 있으며

$$F = \frac{3\sigma_y IL_1}{(L_1+L)at} \quad (13)$$

Fig. 5와 7의 치수를 적용하면,

$$F = 7.0 \text{ N} \quad (14)$$

와 같이 작은 힘으로도 Fig. 7과 같이 지렛대 역할을 할 수 있는 공구를 사용하여 자물쇠 걸쇠를 파손할 수 있다. 하지만, 자물쇠 걸쇠의 파손 뿐 만 아니라 경첩 주위의 나사도 함께 뽑아야 실제로 자물쇠 걸쇠를 완전히 파손할 수 있으므로 나사도 뽑을 수 있는 외력에 함께 고려해야 한다.

3.2.5 자물쇠 걸쇠의 나사 제거 외력

자물쇠 걸쇠를 완전 파손시키기 위해서는 자물쇠 걸쇠의 변형이 커야 할 뿐만 아니라 경첩 부위의 나사를 완전히 제거할 수 있어야 한다.

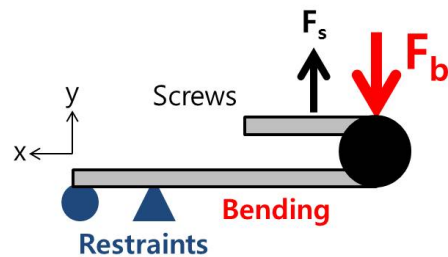


Fig. 8. Bending of door lock hasp with screws due to external force F of sharp and strong tool

경첩 부위의 나사를 모두 제거하기 위한 외력을 구하기 위하여 Fig. 8과 같이 경첩 부위의 나사에 의한 힘을 포함한 자유물체도를 나타내었다. 여기서 나사에 의한 힘 F_s 는 체결된 나사 4개에 의한 합력을 나타낸다. 또한, 평형조건을 이용하여 나사의 체결력 F_s 와 자물쇠 걸쇠에 가해지는 힘 F_b 의 관계를 구하였다. 즉,

$$F_b = F_s \frac{a - \frac{L_1}{2}}{a} = \frac{F(L + L_1)}{L_1} \quad (15)$$

이므로,

$$F = F_s \frac{\left(a - \frac{L_1}{2}\right) L_1}{a(L + L_1)} \quad (16)$$

로 나타낼 수 있으므로, Fig. 7 등과 같은 수치를 사용하면,

$$F = 360.2 \text{ N} \quad (17)$$

로 나온다. 이것은 4개의 나사를 동시에 파손하는 경우이고, 공구의 위치를 적절히 조절하여 한 개 혹은 두 개의 나사에 보다 큰 힘이 가해지도록 하여 파괴하면 이 보다 작은 힘으로도 여러 번에 걸쳐서 나사를 파괴할 수 있다. 즉, 적절한 공구와 시간적 여유를 갖는다면 자물쇠 결쇠를 파괴하는 것이 가능하다.

3.3 자물쇠 결쇠의 구조 보강

기존 자물쇠 결쇠의 구조를 보강하여, 원 사양(Base)과 두께를 증가하거나 리브(rib)를 추가하여 보강한 사양에 대하여 Eq. (11)과 Eq. (14)에서 계산한 외력 F와 비교하여 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Force F recalculated with reinforced door lock hasp

Reinforcement	F, Eq.(11)	F, Eq.(14)
Base	0.99 N	7.0 N
Base, t=2 mm	1.76 N	12.5 N
Base, t=3 mm	3.96 N	28.0 N
Base, 2 ribs	5.39 N	38.1 N

자물쇠 결쇠 원 사양(Base)의 두께 t=1.5 mm에서 두께를 t=2 mm와 t=3 mm로 증가시켜 보강하였다. 또한, 폭 12 mm, t=2 mm인 리브(rib) 2개를 원 사양에 보강한 경우도 포함 시켰다. 원 사양 보다 보강한 사양이 모두 자물쇠 결쇠를 파괴시키기 위한 외력 F가 증가한다. 하지만, Eq. (17)의 F와 비교시, 훨씬 작으므로 보강 효과는 작다. 즉, 자물쇠 결쇠를 Table 1에 나타난 바와 같이 보강하더라도 경첩 부위의 나사를 모두 제거하기 위

한 외력 F=360.2 N 보다는 훨씬 작다.

Table 2. Force F recalculated with revised door lock hasp

Revised hasp	F, Eq.(11)	F, Eq.(14)	F, Eq.(17)
Base	0.99 N	7.0 N	360.2 N
Base, 4 screws L ₁ =45 mm	0.79 N	8.17 N	490.4 N
Base, 6 screws L ₁ =45 mm	0.79 N	8.17 N	735.5 N
Base, 6 screws L ₁ =60 mm	0.66 N	8.84 N	909.0 N
Base, 8 screws L ₁ =60 mm	0.66 N	8.84 N	1212.0 N

Fig. 7에 나타난 원 사양(Base) 자물쇠 결쇠의 장착면의 길이 L₁=30 mm에서 L₁=45 mm, L₁=60 mm로 증가시킨 후 Eq. (11), Eq. (14), Eq. (17)에서 다시 계산한 F와 비교하여 Table 2에 나타내었다. 장착한 나사 개수를 원 사양 4개에서 6개, 8개로 증가시킨 후 계산한 F와 비교하여 Table 2에 함께 나타내었다. 장착면의 길이 L₁을 증가시키면, 나사 개수가 같더라도 경첩 부위의 나사를 모두 제거하기 위한 외력 F가 360.2 N에서 490.4 N으로 증가하였다. 또한, 장착면의 길이 L₁을 증가시키면, 추가적으로 장착면의 나사 개수를 증가시킬 수 있고, 같은 길이의 L₁=45 mm에서도 장착면의 나사 개수를 4개에서 6개로 증가함에 따라 경첩 부위의 나사를 모두 제거하기 위한 외력 F가 490.4 N에서 735.5 N으로 증가하였다. 또한, L₁=60 mm로 증가시켜 장착면의 나사 개수를 8개로 증가함에 따라, 경첩 부위의 나사를 모두 제거하기 위한 외력 F가 1212.0 N으로 증가하였다. 즉, 자물쇠 결쇠의 장착면의 길이 L₁과 장착면의 나사 개수를 동시에 증가시키면 침입자의 날카롭고 강인한 지렛대 역할을 할 수 있는 공구로 자물쇠 결쇠를 파손 하는 것을 매우 효과적으로 막을 수 있다. 하지만, 자물쇠 결쇠의 장착면의 길이 L₁을 증가시킴으로서 Fig. 5에 나온 자물쇠 결쇠의 전체 길이 a도 같이 증가되어야 하므로 Eq. (11)에 나온 F가 오히려 다소 감소한 것이 Table 2에 나와 있다.

또한, 자물쇠 결쇠 경첩 부위의 나사 장착면에 Fig. 9와 같이 추가적으로 강철제 보강판(steel plate)을 설치하면 침입자의 날카롭고 강인한 지렛대 역할을 할 수 있는 공구로부터 자물쇠 결쇠의 파손을 효과적으로 막을 수 있다.

날카롭고 강인한 지렛대 역할을 할 수 있는 공구에 자

물쇠 걸쇠가 취약한 이유는 이러한 공구가 쐐기(wedge) 역할과 지렛대(lever) 역할을 할 수 있기 때문이다. 날카로운 공구 끝단이 장착면 사이에 쐐기처럼 들어가면서 큰 힘을 발생시킬 수 있고, 공구가 지렛대 역할을 할 수 있는 지지점을 발생시킬 수 있다. 하지만, 강철제 보강판을 설치하면 보강판에 걸려 날카로운 공구라도 끝단이 장착면 사이에 들어가기 어려워져서 쐐기 역할을 더 이상 할 수 없게 된다. 뿐만 아니라, 이로 인하여 지렛대 역할을 할 수 있는 지지점도 확보할 수 없어 날카롭고 강인한 공구로도 더 이상 큰 굽힘 모멘트를 발생시키기 힘들게 된다.

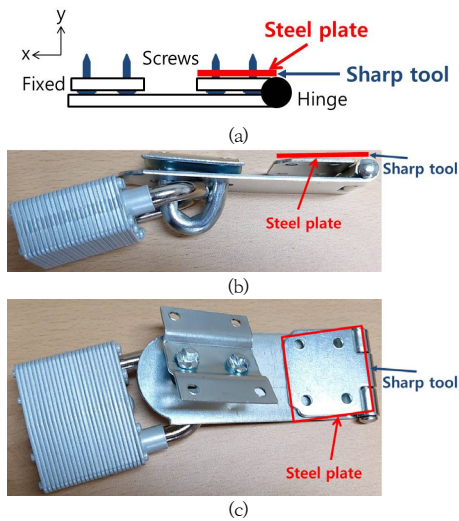


Fig. 9. Door lock hasp reinforced with steel plate
 (a) Reinforced with steel plate, top view (-z direction)
 (b) Reinforced with steel plate, top view
 (c) Reinforced with steel plate, back view

강철제 보강판은 설치가 비교적 용이하고 자물쇠 걸쇠 자체의 구조적 변경이 필요 없이 사용 가능하다는 장점이 있다.

4. 결론

본 연구에서 실제 파손된 자물쇠 걸쇠에 대하여 최대한 실물 혹은 실제 수치와 같게 고려하여 자물쇠 걸쇠의 파손 원인, 설계 및 개선 대책 등을 파악하기 위하여 해석하였다. 해석 결과, 사람의 힘으로 출입문을 잡아당겨 자물쇠 걸쇠를 파손하는 것은 불가능하다. 지렛대 역할을 할 수 있는 날카롭고 강인한 공구를 사용하여 자물쇠

걸쇠를 파손할 수 있으며, 실제 자물쇠 걸쇠의 파손 형상과 정확하게 일치하고 있다. 주요한 해석 결과는 다음과 같다.

- (1) 본 연구 사례의 출입문은 밀어서는 출입문을 열거나 자물쇠 걸쇠를 파손할 수 없고, 출입문을 잡아당겨서 자물쇠 걸쇠를 파손할 경우, $F=8484\text{ N}$ (865 kgf)의 힘이 요구되며, 이것은 평균적인 남성체중의 10배 이상이며, 오차 범위를 고려하더라도 사람의 힘으로는 출입문을 당겨서 파손하는 것은 도저히 불가능하다. 또한, 출입문을 잡아당길 경우, 출입문 쪽에 자물쇠 걸쇠를 고정하는 나사는 압축력이 작용하므로 빠질 수 없는 구조이고, 문틀 쪽에 자물쇠 걸쇠의 고정부를 고정하는 나사는 인장력이 작용하여 나사가 빠질 수 있는 구조이다. 하지만, 파손된 자물쇠 걸쇠를 보면, 출입문 쪽 경첩 부위의 나사가 빠져있으므로 사람의 힘으로 출입문을 잡아당겨 자물쇠 걸쇠를 파손한 경우와 상반되는 형상을 보이고 있다.
- (2) 적절한 지렛대 역할을 할 수 있는 날카롭고 강인한 공구를 사용하여 자물쇠 걸쇠를 파손할 경우, $F=7.0\text{ N}$ 의 매우 작은 외력 만으로도 자물쇠 걸쇠를 파손할 정도의 굽힘 응력을 발생시킬 수 있다. 자물쇠 걸쇠는 구조적으로 굽힘 모멘트에 매우 취약하다. 하지만, 나사를 사용하여 자물쇠 걸쇠를 장착하므로 나사를 뽑을 수 있는 외력이 필요하며, 4개의 나사를 지렛대 역할을 할 수 있는 공구를 사용하여 동시에 파괴할 수 있는 외력, $F=360.2\text{ N}$ 이며, 이는 출입문을 당겨서 자물쇠 걸쇠를 파손할 경우의 4.2%에 해당하며, 특정 나사에 보다 큰 힘이 작용하도록 공구의 위치를 적절히 조절하면서 여러 번에 걸쳐 외력을 가하면 이보다 작은 외력으로도 자물쇠 걸쇠를 장착한 나사와 자물쇠 걸쇠를 완전히 파손할 수 있다. 이 때의 굽힘 방향 등을 고려할 때, 파손 형상과 실제 파손 형상은 잘 일치하고 있으므로, 자물쇠 걸쇠는 지렛대 역할을 할 수 있는 날카롭고 강인한 공구를 사용하여 여러 번의 외력을 가하면서 파손되었다. 사진 상의 자물쇠 걸쇠와 출입문의 흔적으로도 잘 일치하고 있다.
- (3) 자물쇠 걸쇠는 외부의 굽힘 모멘트에 매우 취약한 구조이다. 하지만, 아무 도구 없이 단지 사람의 힘만으로는 절대로 파손할 수 없는 구조이고, 침입자가 적절한 공구를 사용하고 시간적 여유가 있다

면 파손 가능하다. 자물쇠 걸쇠의 두께를 증가시키거나 리브(rib)를 추가 하여도 굽힘에 매우 취약한 특성을 완전하게 보강하기 어려운 구조이다. 하지만, 자물쇠 걸쇠의 장착면의 길이 L_1 과 장착면의 나사 개수를 동시에 증가시키면 침입자의 날카롭고 강인한 지렛대 역할을 할 수 있는 공구로부터 자물쇠 걸쇠를 파손하는 것을 매우 효과적으로 막을 수 있다. 또한, 자물쇠 걸쇠를 설치 시에 경첩 부위에 설치 면과 출입문 사이에 보강재를 넣어 설치하면 날카롭고 강인한 지렛대 역할을 할 수 있는 공구를 이용하여 파손하는 것을 줄일 수 있을 것으로 보인다. 하지만, “지키는 사람 열이 도둑 하나를 못 당한다” 라는 속담이 있듯이, 보다 많은 사람의 관심이 공공의 안전을 보다 증진시킬 수 있을 것이다.

References

- [1] K. Shi, K. H. Hsiao, Y. Zhao, C. F. Huang, W. Y. Xiong, “Structural analysis of ancient Chinese wooden locks”, *Mechanism and Machine Theory*, Vol.146, Article 103741, pp.1-13, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2019.103741>
- [2] K. H. Hsiao, “Structural analysis of traditional Chinese hidden-keyhole padlocks”, *Mechanical Sciences*, Vol.9, No.1, pp.189-199, 2018.
DOI: <https://doi.org/10.5194/ms-9-189-2018>
- [3] K. T. Gee, S. H. Scott, M. G. Wilde, S. E. Highland, Overview of locking systems, Sandia Report, Sandia National Laboratories, USA, pp.28-31. Available From: <https://www.osti.gov/servlets/purl/10142252> (accessed Apr. 22, 2024)
- [4] M. Mathew, R. S. Divya, “Survey on various door lock access control mechanisms”, *2017 IEEE International Conference on circuits Power and Computing Technologies (ICCPCT)*, IEEE, Kollam, India pp1-3, April 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1109/ICCPCT.2017.8074187>
- [5] S. Veijalainen, T. N. Karlsson, Evaluating the security of a smart door lock system, KTH Institute of Technology, Sweden., pp.33-36. Available From: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1602711/FULLTEXT01.pdf> (accessed Apr 22, 2024)
- [6] S. Roy, M. N. Uddin, M Z. Haque, M. J. Kabir “Design and implementation of the smart door lock system with face recognition method using the Linux platform Raspberry Pi”, *International Journal of Computer Science and Network*, Vol.7, Issue 6, pp.382-383, 2018. Available From: <http://ijcsn.org/articles/0706/Design-and-Implementation-of-the-Smart-Door-Lock-System-with-Face-Recognition-Method-using-the-Linux-Platform-Raspberry-Pi.html> (accessed Apr. 22, 2024)
- [7] Y. Ha, S. H. Jang, J. W. Kim, J. W. Yoon, “Side channel attack on digital door lock with vibration signal analysis: Longer password does not guarantee higher security level”, *2017 IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems*, IEEE, Daegu, Korea, pp.103-110, November 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1109/MFI.2017.8170414>
- [8] J. Dabhade, A. Javare, T. Ghayal, A. Shelar, A. Gupta, “Smart door lock system: Improving home security using bluetooth technology”, *International Journal of Computer Applications*, Vol.160, No.8, pp.19-22, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.5120/ijsca2017913058>
- [9] A. Javare, T. Ghayal, J. Dabhade, A. Shelar, A. Gupta, “Access control and intrusion detection in door lock system using bluetooth technology”, *2017 IEEE International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing (ICECDS-2017)*, IEEE, Chennai, India pp.2246-2251, August 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1109/ICECDS.2017.8389852>
- [10] S. Liu, Penetration testing of Sesame Smart door lock, p.103, KTH Institute of Technology, 2023, p.103. Available From: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1750933/FULLTEXT01.pdf> (accessed Apr. 22, 2024)
- [11] A. Viderberg, Security evaluation of smart door locks, p.77, KTH Institute of Technology, 2019, p.77. Available From: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1703318/FULLTEXT01.pdf> (accessed Apr. 22, 2024)
- [12] B. Källman, *Modelling of a lock system in a door subject to break-in with crowbar*, Master’s thesis, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden, pp.31-35, 2017. Available From: <https://odr.chalmers.se/server/api/core/bitstreams/ae102aec-f8eb-4ec0-8a04-f1fb40024d78/content> (accessed Apr. 22, 2024)
- [13] Z. Sun, T. Yu, H. Pang, B. Song, “Failure mechanism and reliability analysis of the rear cargo door lock of transport aircraft”, *Engineering Failure Analysis*, Vol.122, Article 105182, pp.1-9, 2021.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.105182>
- [14] E. S. Jang, J. H. Son, Y. B. Son, H. D. Kang, S. W. Ryu, “An analytic study on the auto locking system of aluminium windows”, *2013 Spring Conference*, Korean Society for Precision Engineering, JeJu, Korea pp.865-866, May 2013. Available From: <https://koreascience.kr/article/CFKO201331748023903.page> (accessed Apr. 22, 2024)
- [15] J. E. Shigley, C. R. Mischke, Mechanical engineering design, p.779, McGraw-Hill, 1989, pp.325-381
- [16] S. H. Crandall, N. C. Dahl, T. J. Lardner, An

introduction to the mechanics of solids, p.623,
McGraw-Hill, 1978, pp.416-510

[17] F. P. Beer, E. R. Johnston, Mechanics of materials,
p.610, McGraw-Hill, 1978, pp.150-233

조 용 성(Yong-Thung Cho)

[정회원]



- 2002년 5월 : Purdue 대학교
기계공학과 (공학석사)
- 2006년 5월 : Purdue 대학교
기계공학과 (공학박사)
- 2011년 3월 ~ 2013년 2월 : 경일
대학교 기계자동차공학부 조교수
- 2013년 3월 ~ 현재 : 공주대학교
기계자동차공학부 부교수

〈관심분야〉

자동차 소음진동, 소음진동 가시화, 구조해석