

실린더타입 도어클로저의 구조 및 내구해석

김민건*, 정구현+, 박찬원**

(논문접수일 2003. 11. 15, 심사완료일 2004. 2. 27)

Analysis of Structure and Endurance for Cylinder-type Door Closer

Min-gun Kim*, Ku-hyun Chung+, Chan-won Park**

Abstract

The door closer is a typical system which consists of spring and damper. The door closer is a device to close the door more slowly. The virtual prototypes of cylinder-type door closer are developed. The simulations of virtual prototype are performed to obtain the load history of the guide pin. The structural strength assessment of the guide pin is performed to verify a design safety. The fatigue life and damage of the guide pin are predicted using a FEMFAT 4.3h based on the finite element analysis.

Key Words : Door Closer(도어 클로저), Fatigue Life(피로수명), Structural Analysis(구조해석), Virtual Prototype(가상 시제품)

1. 서론

도어클로저(door closer)는 문이 자동적으로 부드럽게 닫히게 하는 장치를 말한다. 일반적인 도어클로저는 암(arm)과 완충유가 들어있는 바디(body)로 구성되어 있다. 실린더타입 도어클로저는 암을 제거하였고 원통형 실린더(cylinder), 도어 및 장착위치에 고정할 수 있는 브래킷(bracket)으로 구성되어 있어, 암이 없는 것이 특징이다.

이 제품은 브래킷의 회전운동에 의해 피스톤이 가이드핀(pin)을 따라 운동함으로써 수직왕복운동으로 전환된다.

이 도어클로저는 충분한 구조 및 내구강도를 갖추어야 하고, 이를 위해서는 적합한 설계기준을 확립하여야 한다. 최근에는 복잡한 기계적인 시스템을 실제 제작하기에 앞서, ADAMS, NASTRAN 등을 이용하여 동적인 거동을 시뮬레이션하는 가상 시제품(virtual prototype)에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 가상 시제품에 관한 연구는 제품개발의 초기단계에서 효율적인 설계를 가능하게 한다. 정상화 등⁽¹⁾은 틸팅터릿이 장착되어 있는 3축 이송시스템을 모델링하고, 가상시제품 개발 진행 단계에서 상용 프로그램을 이용하여 구조해석을 수행하였다. 또한,

* 강원대학교 기계메카트로닉스공학부 (kmg@kangwon.ac.kr)

주소: 200-701 춘천시 효자2동 192

+ 강원대학교 대학원 기계메카트로닉스공학과

++ 강원대학교 전기전자·정보통신공학부

조용범 등⁽²⁾은 전산해석을 이용한 자동차 충돌 특성에 대한 영향인자에 관한 연구를 수행하였다. 이 밖에도, 실험을 전산해석으로 대체함으로써 제품개발 초기단계에서 설계 요구성능을 분석하고 평가하는 프로세스가 문제점의 조기발견과 초기 품질확보를 위한 유용한 도구로서 많이 활용되고 있다⁽¹⁻³⁾.

따라서, 본 연구에서는, 방화문용 신형 도어클로저의 가상 시제품을 개발하여 실제 작동 메카니즘을 구현하고, 이때 제품에서 중요한 역할을 하는 가이드 핀에 작용하는 하중을 계산하려한다. 이 응력을 근거로 상용 유한요소 전·후처리 프로그램을 이용하여, 제품의 각 부품에 대한 모델링을 수행하여 구조해석을 수행하였다. 또한 구조해석을 통해 얻어진 해석 결과를 바탕으로, 내구해석 전용 솔루션인 FEMFAT 4.3h⁽⁴⁾를 이용하여 피로내구해석을 수행하였다.

2. 구조해석 및 시뮬레이션

Fig. 1은 실린더타입 도어클로저의 구조를 나타낸 것으로, 원통형 실린더의 형태이며, 도어를 열고 닫을 때의 회전운동을 피스톤이 가이드 핀을 따라 운동함으로써 왕복운동으로 바뀌게 된다. 본 연구에서는 도어 클로저의 실제 작동 메카니즘을 구현하기 위해서 각각의 부품을 모델링하고, 조인트(joint)로 연결하여 각 부품의 자유도를 구속하였다. 도어의 힌지가 정상적으로 장착되어 제 기능을 수행한다면, 도어의 자중에 의한 영향은 없다고 가정할 수 있다. 제품의 크기가 비교적 작기 때문에 관성에 의한 영향은 고려하지

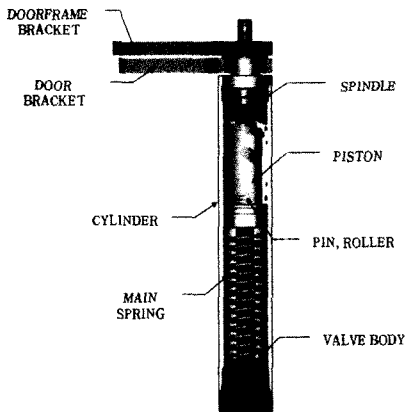


Fig. 1 Cylinder-type door closer

않았으며, 완충유에 의한 댐핑 또한 고려하지 않았다.

먼저 실제 작동 메카니즘을 구현하기에 앞서, 핀과 롤러를 단일화하여 요소분할한 후 스프링의 최대압축 시의 하중을 적용하여 최대응력의 발생위치를 파악해 보았다. 그 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 그림과 같이 단면적이 제일 작은 부위에서 최대응력이 발생하는 것을 알 수 있었다.

2.1 구조해석 및 시뮬레이션을 위한 시스템 모델링

해석에 사용된 모델들은 Fig. 3과 같다. Fig. 3(a)를 기본 모델(model I)로 하여, 스피들(spindle)을 그라운드(ground)에 고정시키고 핀(pin)과 스피들은 리지드 조인트(rigid joint), 핀과 롤러를 레벌룻 조인트(revolvute joint)로 구속하였다. 하중은 실제 작동메카니즘을 구현하여 적용할 하중을 구하였으며, 도어가 열릴 경우만을 대상으로 하였다. 하중을 구하기 위해 사용된 모델들은 Fig. 3(b), (c), 및 (d)와 같다. 각각의 재료 물성치를 Table 1에 나타내었다.

Fig. 3(b)에 제시한 모델(model II)은 실제 조건의 1/2만

Table 1 Mechanical properties of the door-closer

	Materials	Yield Strength (MPa)	Poisson's Ratio
Spindle	S45C	485	0.3
Pin	SCM440	675	0.3
Roller	SCM440	675	0.3
Piston	S45C	485	0.3

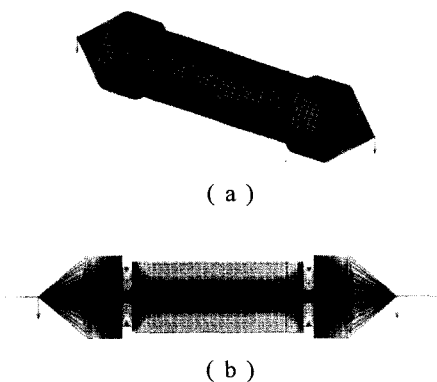


Fig. 2 The shape of mesh and stress distribution

을 적용한 모델로서, 실재는 존재하지 않는 가상의 지지대 (supporter)를 추가하여 피스톤이 지지대와 평행이동하면서 스프링을 압축할 수 있도록 모델링하였으며, 피스톤과 롤러 사이를 충돌(collide)조건으로 처리하였다. 실제 제품에서 도어 브래킷이 회전함으로써 피스톤에 토션(torsion)이 걸리게 된다. 이를 구현하기 위해서 model II에서는 피스톤이 운동하는 수평방향으로 인장력을 0부터 기울기 0.05로 증가시켜 가면서 스프링이 최대 변위까지 압축될때 핀에 작용하는 하중을 구한다.

Fig. 3(c)의 모델(model III)에서, 핀이 이동하는 경로는 평면이지만 실제제품에서 핀이 이동하는 경로는 헬리컬 라인 이므로 그 영향을 알아보기 위해 (c)와 같이 모델링하였다. 또한 각 부품의 조인트 연결은 Fig. 3(a)와 같다. Fig. 3(d)의 모델(model IV)은 가상의 도어에 제품을 장착한 모델이다. 롤러와 피스톤 사이의 동작이 일종의 스크류와 너트사이의 운동과 유사하고, 이전 모델들의 단점을 보완하기 위

해 롤러와 피스톤 사이를 충돌조건이 아닌 스크류 조인트 (screw joint)로 구축하였다.

2.2 시뮬레이션 및 구조해석 결과

앞장에서 제시한 각각의 모델들에 대해 해석을 수행한 결과를 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 3의 model II는 피스톤이 운동하는 수평방향으로 인장력을 0부터 기울기 0.05로 증가시켜 가면서 스프링이 최대 변위까지 압축될 때, Fig. 4(a)와 같은 변화를 나타내었다. 이때 핀에 작용하는 하중을 구한 결과가 Fig. 4(b)이다. 그래프로부터, 스프링의 압축량이 늘어날수록 핀에 가해지는 하중이 증가함을 알 수 있다. 피스톤에 가한 인장력이 약 300 N일 경우에 480 N 정도의 힘이 핀에 전달되었다. 이 모델의 해석 결과, 스프링이 동일한 압축량을 가질 경우, 스프링의 길이방향으로 압축하는 것보다 측면으로 경사지게 압축하는 것이 더 큰 하중을 필요하다는 것을 알 수 있었다. Fig. 3의 model III에서도

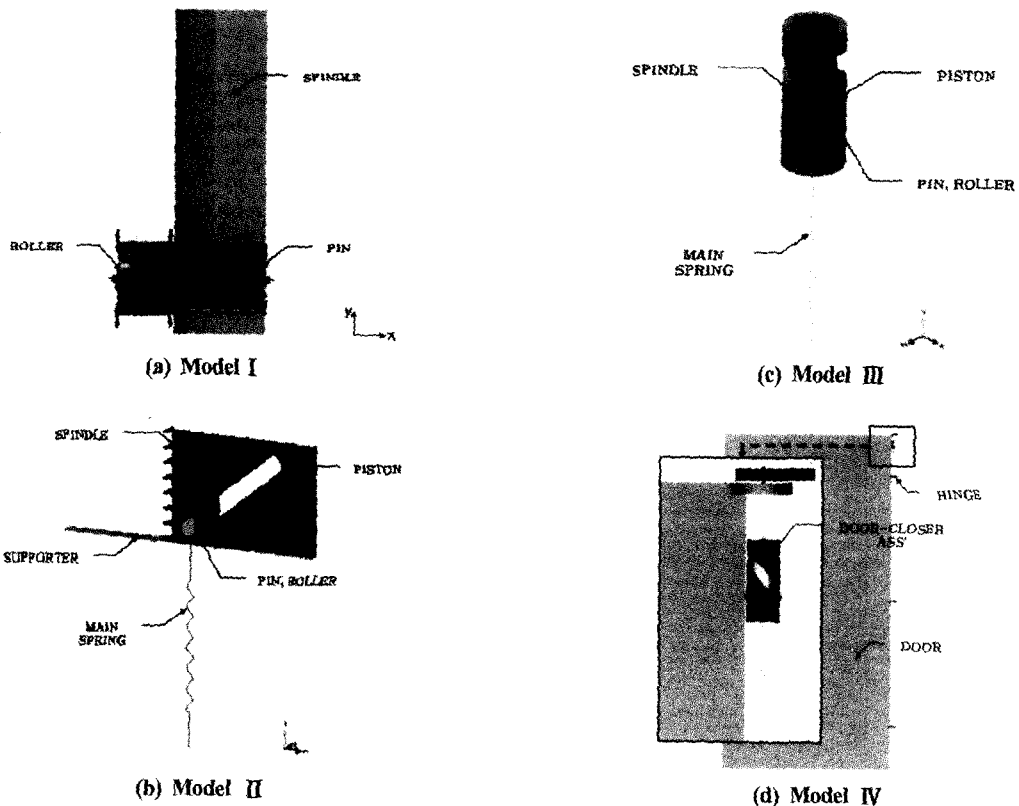


Fig. 3 Modeling of door-closer for simulation and structural analysis

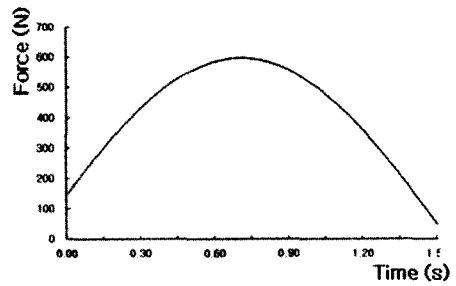
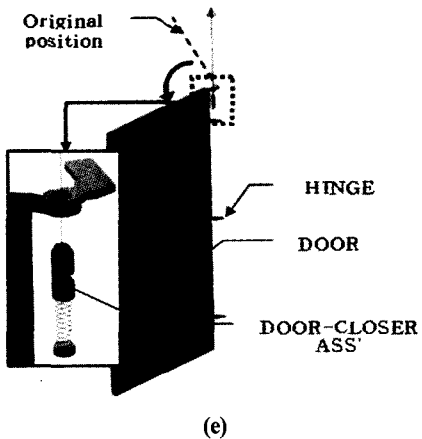
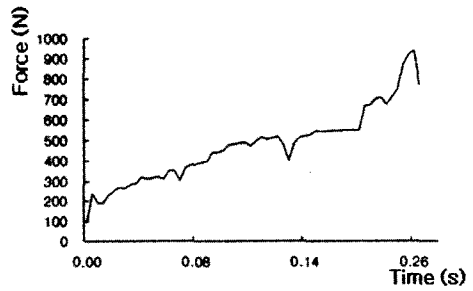
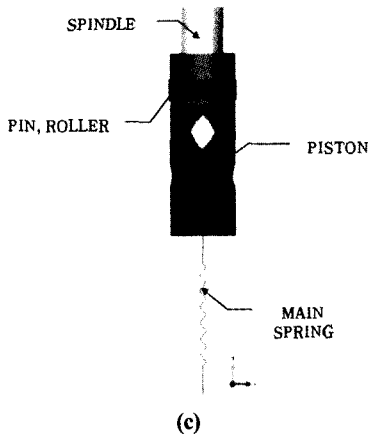
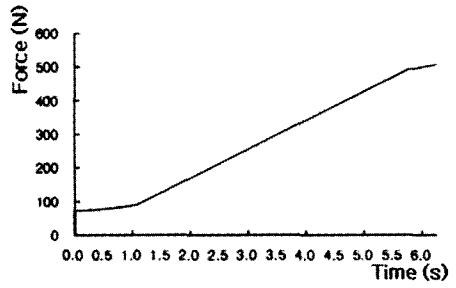
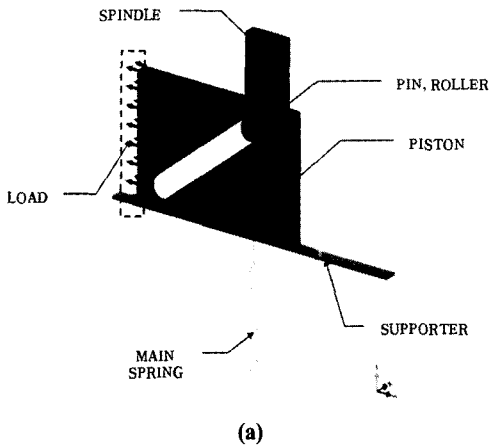


Fig. 4 Results of simulations

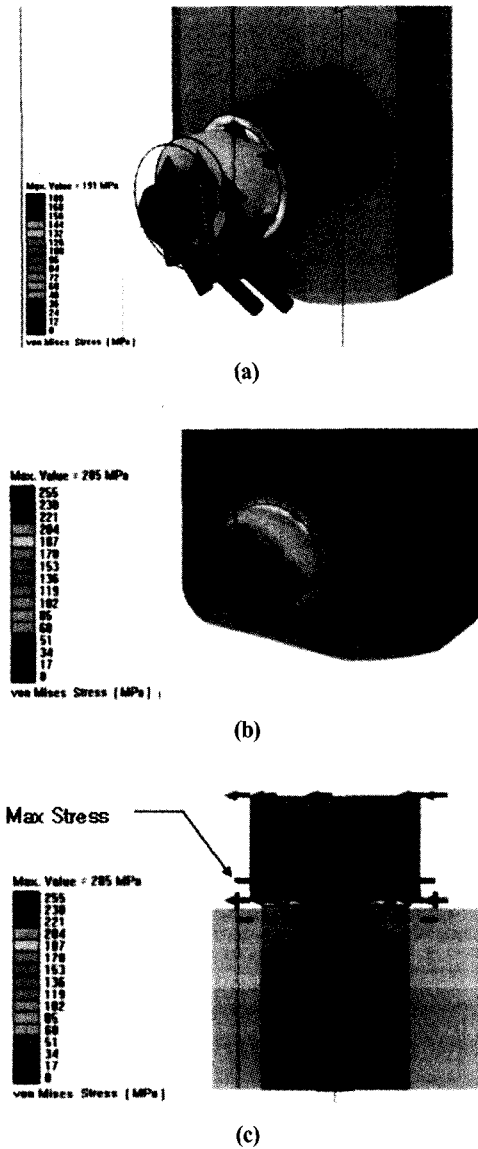


Fig. 5 Results of structural analysis

스프링의 압축량이 증가할 수록 핀에 가해지는 하중 역시 증가하는 경향을 나타내었다. 그러나 model II에서와는 다르게, 가이드 라인과 롤러사이의 접촉으로 인하여 Fig. 4(d)와 같은 결과를 나타내었다. 최대 하중은 model II 보다 큰 수치를 나타내었으며, 최대 압축시의 형상은 Fig. 4(c)와 같다.

Fig. 3의 model IV를 해석한 결과, Fig. 4(f)와 같이, 핀

의 한쪽에 최대 약 600 N의 하중이 전달된다는 해석 결과를 얻었다. 이 모델의 경우, model II, III와는 다르게 스프링의 전체 압축량의 약 2/3까지만 압축하였으며, 이것은 제품의 특성 상 180°까지 완전히 회전하는 경우는 극히 드물고, 힌지에 토션으로 운동을 주었기 때문이다.

도어 클러저에서 핀이 항복강도 이상의 힘을 받아 소성변형을 한다면 도어 클러저의 제 기능을 수행할 수 없다. 따라서, 기준 강도를 핀의 항복강도로 하여 동적인 하중과 하중의 불확실성 등을 감안하여 안전율=2로 계산한 결과, von Mises 응력이 337MPa 이하의 응력이 나타나야한다는 결론을 얻을 수 있었다. 앞의 모델들로부터 얻어진 핀에 전달되는 최대 하중을 model I에 적용하여 구조해석을 수행한 결과, Fig. 5(a)의 화살표 방향의 하중을 받는 것으로 나타났다. 이는 목표에러(target error) 20% 한도 내에서 Fig. 5(c)와 같은 결과를 얻을 수 있으며, 이 결과는 안전율을 고려한 설계기준에 부합됨을 알 수 있다.

3. 내구 해석

도어클로저는 제품의 사용기간동안 반복적인 하중을 계속적으로 받기 때문에 제품 설계시 피로하중에 대한 내구성 평가가 필요하며, 한국공업규격(KS F 2806)에서도 이에 대한 시험방법 등을 제시하고 있다.

3.1 내구해석 조건

본 연구에서는, Fig. 6에 나타난 해석의 흐름에 따라, 구조해석을 통해 얻은 응력결과를 바탕으로 내구해석 전용 프로그램인 FEMFAT 을 이용하여 제품의 내구성에 영향을 미치는 여러 인자들을 적용하여 내구 해석을 수행하였다. FEMFAT에 의한 내구해석은 제품에 대한 안전성의 판단 기준으로 마이너의 선형손상법칙(Miner's Rule)⁽⁵⁻⁶⁾을 이용하여 손상(damage)을 산출하여 피로내구수명을 평가한다. 내구성평가에 사용한 하중은 Fig. 7에 나타난 정현파형의 교번 피로하중이다. 마이너의 선형손상법칙에 따라 다음 식을 만족할 경우 파괴가 일어난다고 가정하였다.

$$\sum D_i \geq 1 \quad (1)$$

여기서 D_i : 손상률(damage fraction)

내구 해석에 사용된 반복하중은, 한국 공업규격에 제시되어 있는 것처럼, 열림 각도 70° 이상에서의 하중과 10만회

이상의 반복수를 사용하였다. 표면거칠기는 부재의 피로수명에 지대한 영향을 미치므로, 그 영향을 알아보기 위해서 표면 거칠기를 바꿔가면서 해석을 수행하였다. 해석에 사용된 세부조건은 Table 2에 요약하였으며, 해석에 사용된 물성치들은 Table 1에 나타난 구조해석용을 적용하여 FEMFAT

Table 2 Conditions of fatigue analysis

Stress Amplitude(A)	298 MPa
Cycles(N)	100,000 cycle
Mean Stress Factor	0
Stress Ratio(R)	-1
Surface Roughness	grinded

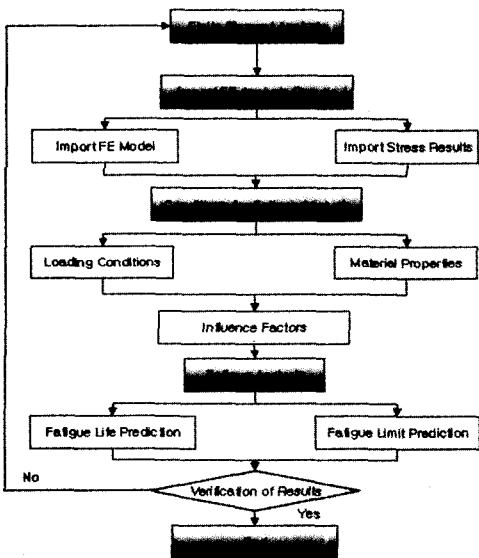


Fig. 6 Schematic diagram of FEMFAT analysis

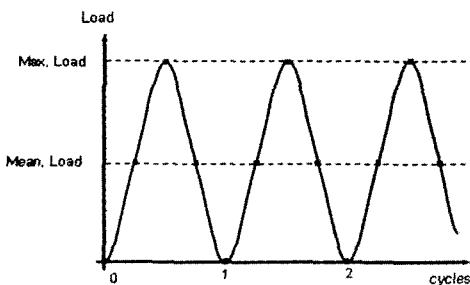


Fig. 7 Cyclic load

에서 제공하는 재료생성기(material generator)를 이용하여 생성하였다.

3.2 내구 해석 결과

일반적인 연삭작업을 한 상태로 가정하고 핀에 대한 내구 해석을 수행한 결과, Fig. 8과 같이 최대 응력이 나타난 곳에서 역시 0.0256의 최대손상이 나타나는 것을 알 수 있었으며, 규격에 제시된 내구시험의 허용범위를 만족함을 알 수 있었다. Fig. 9(a), (b)는 각각 FEMFAT으로 해석한 결과

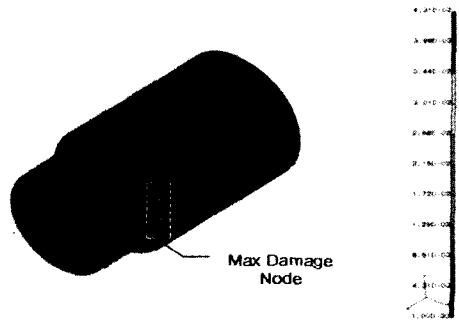
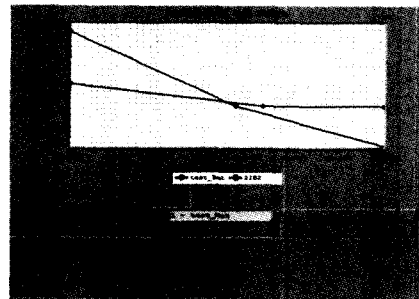
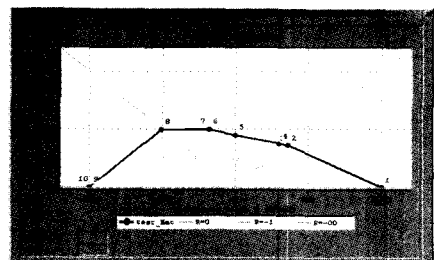


Fig. 8 Damage distribution contour



(a) Calculated S/N curve



(b) Haigh diagram

Fig. 9 Results of fatigue analysis

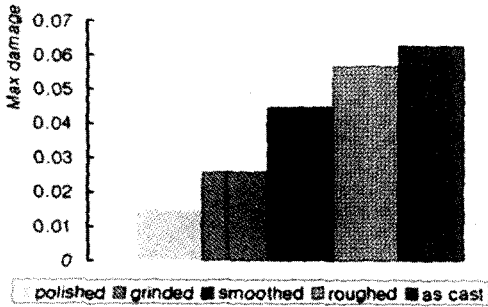


Fig. 10 Surface roughness vs. max damage

최대 손상 절점에 대한 S-N 곡선과 Haigh-Diagram이다. 동일한 모델에 대해서 표면거칠기에 따른 해석을 수행한 결과를 Fig.10에 나타내었다. 표면거칠기가 작을수록 피로 하중에 대한 손상이 현저히 줄어드는 것을 알 수 있으며, 또한 내구한도도 증가하였다.

4. 결론

도어클로저의 효율적인 설계를 위하여 스프링이 장착된 가상의 도어클로저를 제작하여 구조해석 및 내구해석을 수행하였으며, 연구결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 도어클로저의 가상 시제품제작에 의한 동적해석을 수행한 결과, 핀의 양단에서 스프링의 반력보다 큰 하중이 작용하는 것을 알 수 있었으며, 비교적 안정적인 시스템임이 판명되었다. 그러나, 하중이 비교적 크기 때문에 하중을 효율적으로 분산시킬 수 있는 또 다른 메카니즘의 필요성이 제기되었다.
- (2) 가상 시제품의 동적해석을 통하여 구해진 하중을 핀에 작용시켜 FEM 해석을 수행한 결과, 안전율을 고려한 기준한도보다 낮은 응력이 작용함을 알 수 있었고, 이는 구조적으로도 안전한 상태이다.
- (3) 구조해석을 통하여 얻어진 핀의 응력상태를 바탕으로

내구해석(전용 프로그램인 FEMFAT 사용)을 수행한 결과, 한국 공업규격에서 제시한 내구시험기준을 만족하는 제품임이 확인되었다. 또한, 제품 제조시의 표면 거칠기가 제품의 내구성에 많은 영향을 끼칠 수 있음도 확인하였다.

- (4) 본 연구의 결과는, CAD 및 기구학의 상용 소프트웨어와 연결하여 동적거동, 구조해석 및 내구성 등의 가상 실험을 수행함으로써, 제품의 설계타당성을 검토하는데 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

- (1) Jeong, S. H., Kim, J. Y., Kim, S. S., and Na, Y. C., 2001, "Dynamic Characteristic Analysis of Tilting Turret Systems Using Finite Element Modeling," *Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 10, No. 5, pp. 60~70.
- (2) Cho, Y. B., Ko, J. H., Sin, H. C., and Byun, J. H., 2000, "A Basic Study of the European Side Impact Characteristics of Electric Vehicle(1)," *Transactions of the KSAE*, Vol. 8, No. 5, pp. 173~180.
- (3) Ban, J. S., Lee, K. W., Kim, G. H., and Cho, K. Z., 2003, "Study on the Tooth Modification for High Speed Gear by Finite Element Method," *Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers*, Vol. 12, No. 1, pp. 72~77.
- (4) Steyr-Daimler-Push, 2003, *FEMFAT4.3 User's Manual*, Magna-Steyr, FEMFAT BASIC.
- (5) Miner, M. A., 1945, "Cumulative Damage in Fatigue," *ASME*, Vol. 67, pp. A159~A164.
- (6) Bannatine, J. A., Comer, J. J., and Handrock, J. L., 1999, *Fundamentals of Metal Fatigue Analysis*, Cheongmungak, pp. 197~200.