<응용논문> DOI https://doi.org/10.3795/KSME-A.2017.41.9.887 ISSN 1226-4873(Print)
2288-5226(Online)

전자파 차폐도어용 힌지의 가속 수명 시험법 설계[§]

김 도 식[*†] · 정 한 영[*]
* 한국기계연구원 신뢰성평가센터

Accelerated Life Test Design of an Electromagnetic Shielding Door Hinge

Do Sik Kim[*†] and Han Young Cheong[*]
* Reliability Assessment Center, Korea Institute of Machinery & Materials

(Received February 28, 2017 ; Revised June 20, 2017 ; Accepted June 21, 2017)

Key Words: Hinge(힌지), Load(하중), Wear(마모), Failure(고장), Accelerated Life Test(가속수명시험)

초록: 본 논문에서는 일반적으로 문틀과 문짝을 연결하여 개폐시 작동하는 부품인 힌지의 가속수명시험법에 대한 연구이다. 힌지는 사용하는 용도에 따라 구조와 고장모드가 상이하며 본 연구에서는 전자파 차폐시설에 사용되는 개폐장치 구성품 중 하나인 힌지에 대해서 고장모드를 분석하고 현장작동조건에서의 이론적 검증과 시험장비에 대한 타당성을 분석하였다. 그리고 형상모수와 가속지수의 추정을 통한 특성수명 예측을 위한 가속수명시험법을 설계하였다.

Abstract : This paper presents a study on the accelerated life tests of parts that operate during the opening and closing of door frames, particularly door hinges. Hinge theoretical verification and validation of the test equipment in the present study and the different structures and fault mode, depending on the purpose of usage analysis, failure mode for one of the hinges of the switchgear components used for electromagnetic shielding facilities and on-site operating conditions. The accelerated life test was designed for the characteristic lifetime prediction of the components, by estimating the shape parameter and the acceleration factor.

- 기호설명 -

CL : 신뢰수준
n : 시료 수
p : 불신뢰도
$F(t)$: 분포함수
$R(t)$: 신뢰도함수
$h(t)$: 고장률함수
t : 시험시간
β : 형상모수
η : 척도모수
L : 특성수명
K : 모델상수
P : 가속인자(수직하중)
m : 가속지수

§ 이 논문은 대한기계학회 2016년도 학술대회(2016. 12.14.-16., 강원랜드 컨벤션센터) 발표논문임.
† Corresponding Author, dohsik@kimm.re.kr

1. 서 론

전자파 차폐용 도어세트는 자기공명장치(magnetic resonance imaging, MRI)나 전자기 펄스(electro magnetic pulse, EMP) 방호용 구조물 등에 사용되는 전자파 차폐 시설의 유일한 출입구로서, 운용 중 반복되는 부품들의 기계적 내구성과 전자파 차폐라는 전기적 성능 요구를 동시에 충족시켜야 하는 융합기기이다. 일반적인 도어세트에 대한 시험 규격은 ISO와 KS에 제정규격이[(1~6)] 있으며, 차폐도어에 관한 기준은 일반적이지 않으며, 미국 공병대(united state army corps of engineer)에 의해서 차폐도어에 대한 요구 성능[(7)]에 대한 기준이 기술되어 있다. 전자파 차단에 대한 측정 관련은 MIL-STD-188-125과 IEEE 299[(8,9)]에 명시되어 있다. 이러한 특수한 도어세트에 대한 고장해

Fig. 1 Electromagnetic shielding doorset

석, 제품 평가, 가속시험법 등은 아직 제한적이고, 고장해석이나 예측 등도 난해한 실정이다. 또한, 시험 대상이 크고 많은 시간과 비용이 요구되어 현장에서는 와이블분포(Weibull distribution)를 적용한 무고장 시험이 적용되어 시험이 수행되기도 하며, 신정훈 등[10]은 규격 등을 바탕으로 차폐도어세트에 대한 신뢰성 시험방법에 대하여 연구하였다.

도어세트에서 핑거스트립과 힌지는 기계적 수명에 직접적으로 미치는 부품이다. Fig. 1은 EMP 차폐도어의 구성도이며 힌지는 수백 kg의 문짝을 문틀에 고정하여 작동하게 된다. 차폐 도어세트의 수명은 핑거스트립이 문과 문틀 사이를 잘 밀폐하고 있어야 하는데, 핑거스트립이 마모가 되거나, 휘거나, 부러지게 되면 전자파가 누출되게 된다. 일차적으로 핑거스트립이 손상되면 도어세트중 핑거스트립을 교체하거나, 심하면 도어세트를 교체하여야 한다. 핑거스트립은 문과 문틀 사이에 정확히 위치하여 작동하면 도어세트 요구수명까지도 사용 가능하나 핑거스트립이 도어세트에서 정렬이 틀어지게 되면 수명이 급속하게 감소되어 마모뿐 아니라, 변형 및 파괴도 발생하게 되는 것을 이주홍 등[12]이 핑거스트립 가속수명시험을 수행하여 평가하였다. 이러한 원인은 도어세트중 힌지가 잦은 사용으로 인하여 힌지 부품의 마모나, 변형, 크랙등의 고장이 발생하면서 핑거스트립의 사용 조건을 악화시키게 된다.

핑거스트립 자체의 수명을 높이는 것보다 오히려 힌지의 수명을 향상시키는 것이 더욱 중요하다. 힌지는 문짝을 문틀에 연결하여 개폐시 작동하는 부품으로 문짝의 하중을 지지함과 더불어 작동시 처짐이나 변형등이 발생하지 않아야 하며

Fig. 2 Wear due to rotational friction

기계적 내구성이 요구된다. 그러나, 힌지를 포함한 도어세트 전체를 완전한 고장 시점까지 시험하는 것은 자체로서의 성능을 평가할 수 있지만 과도한 시간과 비용이 요구되기 때문에 본 연구에서는 전자파 차폐시설에 사용되는 개폐장치 구성품 중 하나인 힌지에 대해서 현장에서 발생되는 고장모드를 분석하고 현장 작동조건에서의 이론적 검증과 신뢰성 시험장비에 대한 타당성을 분석하였다. 그리고 형상모수와 가속지수의 추정을 통한 특성수명 예측을 위한 가속 수명 시험법을 설계하였다.

2. 고장분석

2.1 현장 고장 사례 분석

힌지는 면 마찰이 들어가나 차폐도어용 힌지는 볼 구름요소와 면 마찰이 이루어진다. 또한 힌지의 특성상 복합적인 힘을 받고 있으므로 특정방향에서는 높은 인장강도를 보이나 또 다른 방향에서는 외력에 취약한 특징을 가지고 있다. 필드조건에서의 힌지의 고장현상은 Fig. 2와 같이 지지하는 베어링의 마모로 인한 파손이다. 따라서 힌지에는 수평하중 및 수직하중이 작용하고 하중에 대한 반복적인 회전마찰에 의한 마모 및 파손이 발생한다. 또한, 힌지에 인가되는 수평하중과 수직하중은 실제 도어에 힌지를 체결할 때 힌지와 힌지사이의 간격을 작업자 임의대로 설치하는 상황이고 힌지에 인가되는 수평하중과 수직하중은 간격에 따라 도어에 체결되는 힌지 3개 중 어느 한 힌지에 집중적으로 하중에 인가될 수 있는 상황이다. Table 2는 힌지에 발생 가능한 고장모드들에 대한 가속 스트레스 인자의 영향을 평가하기 위한 매트릭스를 나타낸다. 각 고장모드의

Table 1 Failure modes and mechanisms analysis

Components	Failure mode	Failure mechanism
Hinge	transform	plasticity increase
	crack	fatigue load
	damage	fatigue load
	wear	cleeping due to load
	brittle fracture	brittleness increase
	corrosion	chemical action

Table 2 Decision matrix for acceleration stress factors

Failure mode	Weight	Acceleration stress factor				
		Temp.	Load	velocity	Vibration	Humidity
defor-mation	3	○	◎	○	△	△
crack	3	○	◎	○	○	△
damage	1	○	◎	○	○	△
wear	5	○	◎	◎	○	△
brittle fracture	1	○	○	○	△	△
corrosion	1	○	△	△	△	◎
Sum		42	64	50	32	18

가중치는 필드 사용조건에서 발생하는 정도에 따라 1, 3, 5로 결정한다. 따라서 주 고장모드에 대한 가중치는 가장 높게 5로 결정할 수 있다. 고장모드와 가속 스트레스 인자의 관련성은 고장모드를 각각의 가속 스트레스 인자로 얼마나 가속할 수 있는지에 따라 값을 결정할 수 있다. 관련성이 매우 높을 경우에는 ◎(5), 관련성이 존재하는 경우에는 O(3), 관련성이 미미한 경우에는 △(1)로 정하며, 관련성이 전혀 없는 경우에는 어떤 기호도 표시하지 않는다. 각 가속 스트레스 인자의 총합은 각 고장모드의 가중치와 관련성 값을 곱한 후 모든 고장모드들의 값을 모두 더하여 얻는다.

2.2 고장모드 및 메커니즘 분석

힌지는 도어 개폐시 문틀과 문짝을 연결하여 하중을 지지하고 위치를 유지하는 기능을 한다. Table 1은 힌지에서 발생하는 고장모드별로 고장 메커니즘을 분석하였다. Table 2에서는 가속인자에 대한 각각의 고장모드에 중요도 점수를 합산한 결과 힌지에 대한 주요 가속인자는 하중으로 분석되었다. 따라서, 주고장 모드는 반복적인 피로 하중에 의한 균열 및 파손과 정적부하에 의한 균열 및 파손으로 분석되었다. EMP 차폐도어 분야의 특성상 필드 고장 데이터가 거의 없으므로 초기의 성능과 장기간 사용 후의 성능을 파악하여야 하기 때문에 시험을 통한 신뢰성 데이터 확보가 중요하다.

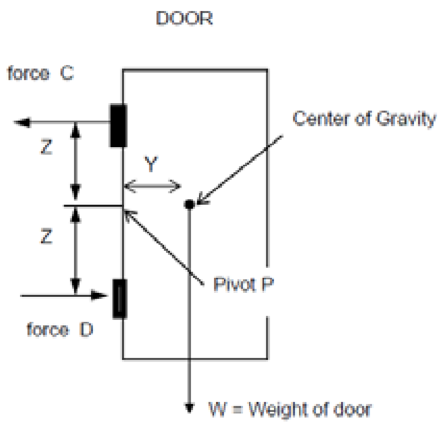

Fig. 3 Load due to position of force hinge spacing

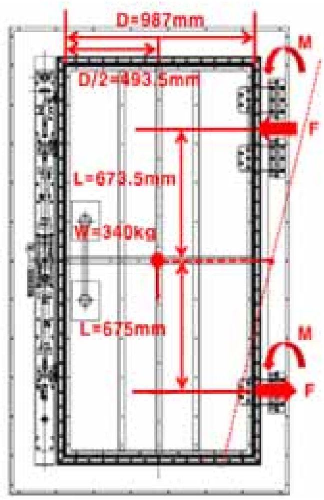

Fig. 4 Tensile and compressive force of the hinge

3. 고장재현을 위한 시험장비

3.1 이론적 검증

힌지의 주 고장모드인 반복 회전마찰에 의한 마모 및 파손 발생의 주요 스트레스 요인인 수직 하중을 가속인자로 결정하였다. 가속 수명 시험의 수직 하중 인자는 지지하는 도어의 중량이며, 가속 수준에 맞는 하중 조건에서 회전을 주기적으로 반복하여 전자파 차폐도어 힌지에 부하를 인가한다. Fig. 3은 도어에 2개의 힌지가 체결될 경우 상단의 힌지와 하단의 힌지에 대한 인장력

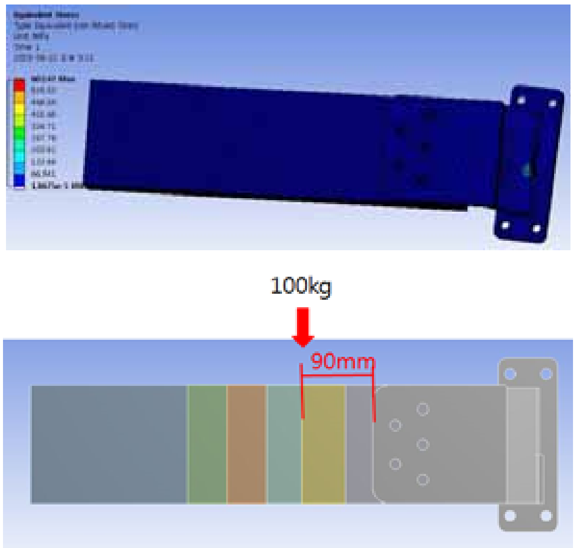

Fig. 5 Load analysis results on test equipment equivalent to field conditions

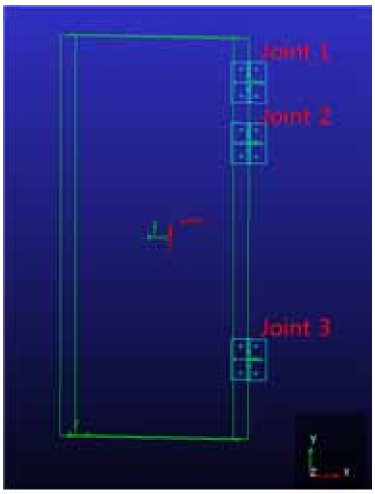

Fig. 6 Analysis of location-specific load of hinge with ADAMS

과 압축력을 산출하는 기본적인 역학관계를 보여주고 있다. Fig. 4는 실제 도어에 장착되는 힌지의 위치와 무게중심과의 거리를 측정하여 실제 힌지에 작용되는 인장력과 압축력을 산출하였다. 도어 중량에 대한 사용 조건은 일반적으로 도어의 무게를 340 kg으로 가정하고 도어 상단부에 설치되는 힌지는 인장력을 받고, 하단부에 설치되는 힌지는 압축력을 받는다. 가속시험에서 사용 수준에 상응하는 인가 하중은 실제 차폐도어 문세트에서 힌지는 3개가 배치되고 맨 위의 힌지에서 인장력을 맨 아래 힌지에서는 압축력을 받는 것으로 Fig. 5와 같이 시험장비에서는 1개의 힌지에 독립적으로 하중이 인가되므로 실제 운용

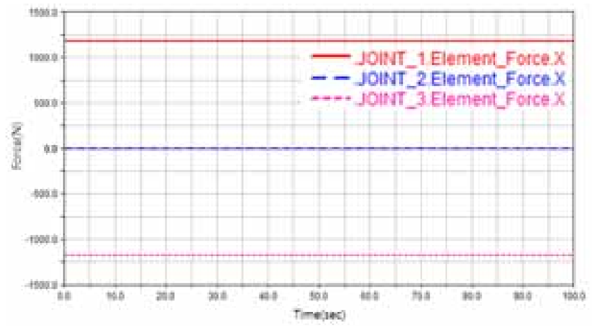

Fig. 7 Load analysis value for x axis

상황과 같은 응력이 발생하는 하중인가위치와 하중량을 해석으로 분석한 결과 100 kg이다.

$$Z(C+D) = WY \tag{1}$$

Z : distance between hinge and Pivot P
C : tensile force
D : compressive force
W : weight of door
Y : distance between Pivot P and COG

인장력 (수직하중 340kg)

$$\frac{DW}{2} = 2FL \qquad F = \frac{DW}{4L} \tag{2}$$

$$F = \frac{987mm \times 340kg}{4 \times 673.5mm} = 124.56kg$$

압축력 (수직하중 340kg)

$$F = \frac{987mm \times 340kg}{4 \times 675mm} = 124.28kg$$

3.2 해석적 검증

실제 현장에서 전자파 차폐시설에 사용되는 도어세트에 대하여 힌지의 위치에 따라 하중조건을 부여한 상태로 해석을 진행하였다. Fig. 6은 X, Y, Z축에 대한 하중을 ADAMS를 활용하여 도어 무게중심을 찾아 340 kg 조건으로 수직하중을 인가하고 힌지의 수직하중과 수평하중의 조건에 대한 위치와 하중값을 도출하였다. 또한 실제 시험장비에서의 고장판단을 위하여 Z방향의 하중은 운용중에 발생되는 하중으로 고장판단 기준에 활용하였다. 해석결과 Fig. 7과 같이 맨 위에 설치되는 힌지에 도어의 무게에 해당하는 하중, 즉 X축 방향으로 인가되는 것을 확인하였고 Fig. 8과 같이 Y축 방향으로 인가되는 하중은 이론적으로 검증했었던 압축력, 인장력 결과와 유사하게 측

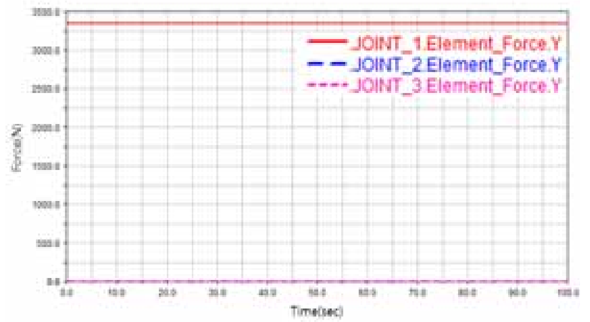

Fig. 8 Load analysis value for y axis

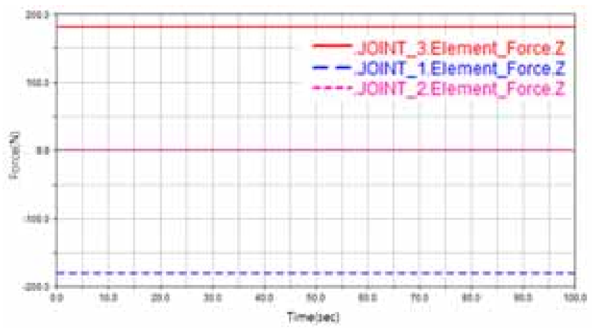

Fig. 9 Load analysis value for z axis

정되었다. 또한 Fig. 9는 Z방향의 하중은 사람이 운용할 수 있는 힘의 단위인 15 kg에 근사한 값을 확인하였다.

3.3 시험장비설계

이론적 검증과 해석을 통해 실제 현장에서 유발되는 고장모드를 재현하고 동시에 다수의 힌지를 시험할 수 있도록 Fig. 10과 같이 시험장비가 고안되었다. 기본적으로 문이 열고 닫히는 작동상태에서 도어의 하중으로 인해 발생되는 횡방향 인장력과 수직하중을 모사하기 위해 공기압실린더를 사용하였으며 특히 수직하중을 인가하는 실린더는 탠덤실린더를 사용하여 도어의 무게에 해당하는 하중을 인가할 수 있도록 선정하였다. 또한 회전실린더를 사용하여 도어를 여닫는 메커니즘을 모사하고 힌지에서 마모가 발생할 시에 사용자의 여닫는 힘이 증가하기 때문에 로드셀을 장착하여 작동되는 하중을 측정하도록 설계하였다. 로드셀에서 측정되는 하중은 힌지의 고장에 대한 판정기준으로 활용한다.

4. 가속인자 및 가속수준의 결정

4.1 가속 인자 선정 매트릭스

가속인자를 선정하는 기준은 각 고장모드별로

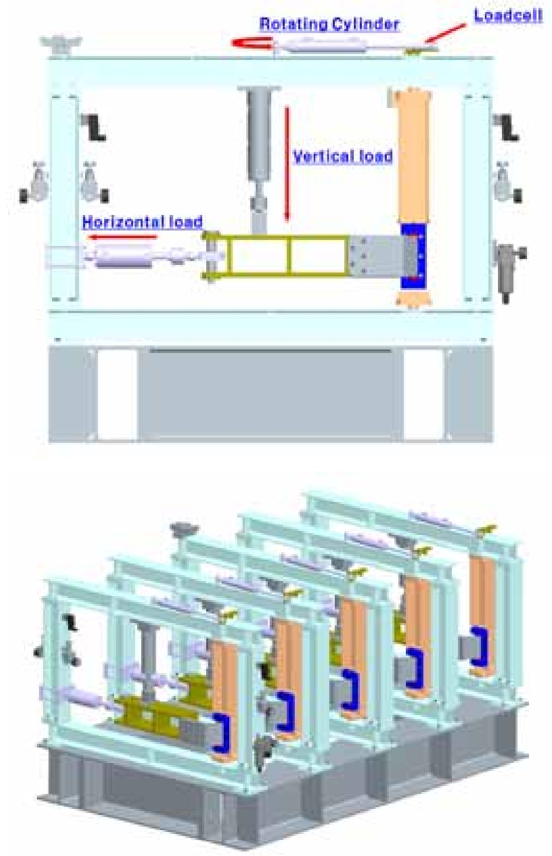

Fig. 10 Concept of hinge life test equipment

가중치를 부여하여 필드에서 발생하는 고장비율을 고려하여 입력하였다. 고장모드와 가속 인자와의 관련성은 해당 고장모드를 가속할 수 있는 정도에 따라 결정하였다.[13]

4.2 가속인자의 수준 및 샘플 수 결정

힌지에 대한 가속인자 선장 매트릭스와 이론적, 해석적 검증을 통해 가속인자의 수준 및 샘플 수를 결정하였다.

5. 가속수명시험 결과 및 데이터 분석

5.1 와이블 분포

일반적으로 기계류 부품의 수명분포는 형상모수(shape parameter), 척도모수(scale parameter) 값에 따라 다양한 형상으로 표현할 수 있는 와이블 분포를 대부분 적용하고 있다.[14]

확률밀도함수 $f(t)$

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta}\left(\frac{t}{\beta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}} \quad \beta > 0,\ \eta > 0 \qquad (3)$$

분포함수 $F(t)$

$$F(t) = \int_0^t f(x)\,dx = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \tag{4}$$

신뢰도 함수 $R(t)$

$$R(t) = 1 - F(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \tag{5}$$

고장률 함수 $h(t)$

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\beta}{\eta}\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \tag{6}$$

5.2 가속시험결과

Table 3과 같이 시료수 9개로 가속시험을 진행한 결과 Table 4와 같이 level 1과 level 2로 시험한 6개의 시료에서 주고장 모드로 분석된 고장이 발생하였고 도어의 중량에 해당하는 level 3로 시험한 3개의 시료는 관측중단하였다. 각 수준별로 시험한 시료들은 대체로 비슷한 시점에서 고장이 발생하는 것을 확인하였다.

5.3 수명분포의 적합도 검정

분포에 대한 적합도 검정은 AD(anderson-darling) 통계량을 이용하여 실시한다. AD 통계치는 확률지에 도시된 점과 이들을 적합한 직선의 대응점과의 차이를 측정하는 값으로 후보 분포 중에서 더 적은 AD 통계치를 가지는 분포에 잘 적합 된다는 것을 의미한다. 분석 결과의 AD 통계치를 살펴보면, 대수 정규분포와 와이블 분포의 AD 값에 큰 차이는 없으므로 기계류부품의 수명분포로 적합한 와이블 분포를 힌지의 수명분포로 선정한다.

Table 3 Test conditions and sample size of accelerated life test

Acceleration stress factor	Acceleration stress level		Sample size
Vertical load	Level 1	250kg	3EA
	Level 2	200kg	3EA
	Level 3	150kg	3EA

Table 4 Life cycles of accelerated life test

Sample number	Vertical load (kg)	Life cycles	Failure mode
Sample 1	250	108,705	Bearing wear and tear
Sample 2	250	91,688	Bearing wear and tear
Sample 3	250	136,188	Bearing wear and tear
Sample 4	200	162,349	Bearing wear and tear
Sample 5	200	158,088	Bearing wear and tear
Sample 6	200	176,147	Bearing wear and tear
Sample 7	150	2,268,072	Test suspension
Sample 8	150	1,985,692	Test suspension
Sample 9	150	2,062,217	Test suspension

5.4 가속 모델

힌지의 주 고장모드를 가속화할 수 있는 가속스트레스 인자로 수직 하중을 선정하였다. 이에 따라 가속모델은 역승 모델(inverse power law model)로 결정하였으며, 수명과 스트레스 인자와의 관계식은 아래와 같다.[15]

$$L = \frac{1}{K \cdot P^m} \tag{7}$$

5.5 가속성 확인

힌지의 가속수명시험 데이터에 대해 가속성이

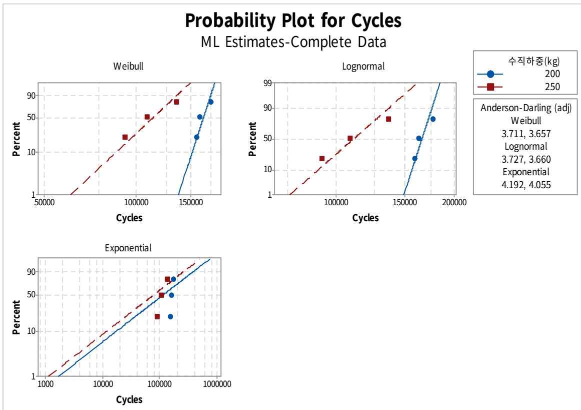

Fig. 11 Goodness-of-fit test results

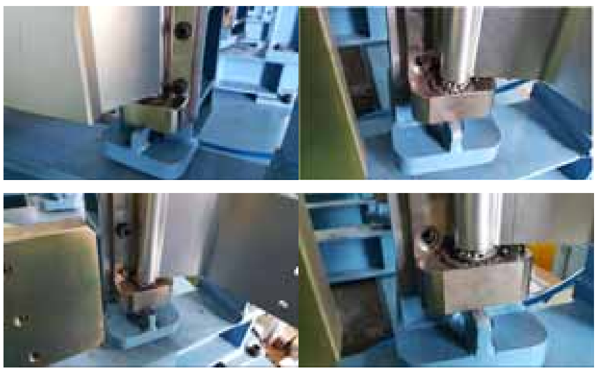

Fig. 12 Hinge failure during accelerated life test

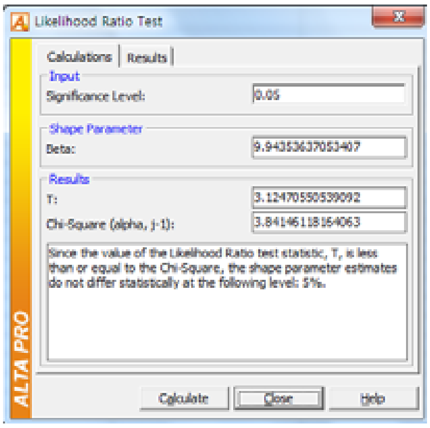

Fig. 13 Likelihood ratio test results

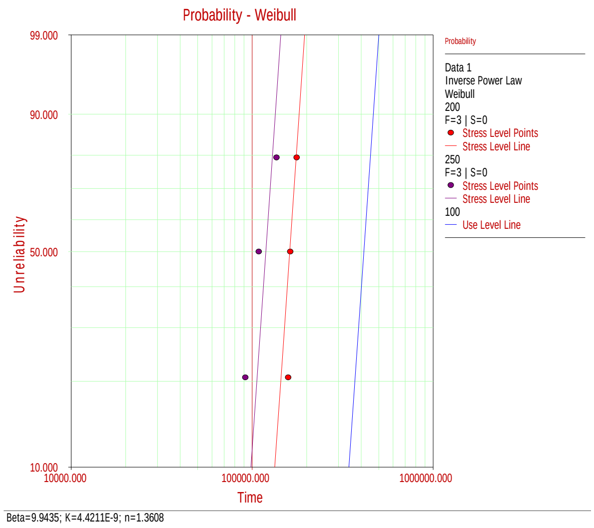

Fig. 14 Weibull plot for each stress level

성립하는지, 즉 와이블 분포의 형상모수가 동일한지에 대해 ALTA 소프트웨어의 우도비 검정을 실시하였다. 아래의 그림과 같이 유의수준 5%에서 $T = 3.1247 < \chi^2 = 3.8415$이므로 가속성이 성립하며, 스트레스 수준별 형상모수가 동일하다고 할 수 있다. 또한 가속시험의 고장품에서 발생한 고장모드는 현장 사용조건에서 발생하는 고장모드와 일치하였다.

5.6 수명분포의 모수와 가속지수의 추정

힌지에 대해 수직하중의 2가지 수준에서 시험한 데이터를 이용하여 신뢰성 분석을 실시하였다. 먼저, 최대우도법을 이용하여 추정한 와이블 분포의 형상모수 β는 9.94이며, β에 대한 95% 신뢰구간은 (5.11, 19.36)이다. 힌지에 적용한 역승 모델의 상수 K는 4.4211×10^{-9}이며, 수직하중에 대한 가속

Table 5 Estimated reliability information through accelerated test method

	Point estimate	95% lower confidence limit	95% upper confidence limit
Shape parameter	9.94	5.11	19.36
Acceleration index of vertical load	1.36	0.62	2.10

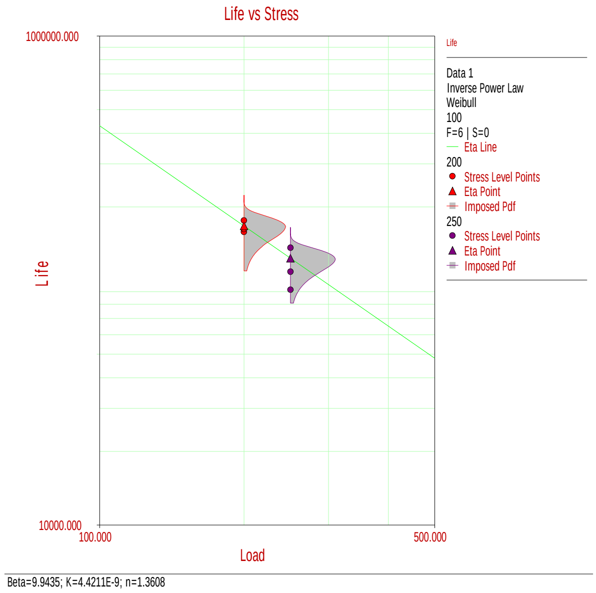

Fig. 15 Life-load Relationship plot

지수 n은 1.36이며, n에 대한 95% 신뢰구간은 (0.62, 2.10)으로 추정되었다.

5.7 사용조건의 수명예측결과

가속모델을 통한 힌지의 사용조건(100 kg)에서의 특성수명을 계산한 결과는 다음과 같으며, 특성수명의 90% 신뢰하한은 290,580 사이클이다.

$$L = \frac{1}{K \cdot P^m} = \frac{1}{4.4211 \times 10^{-9} \cdot 100^{1.36}} = 429,390$$

특성수명을 사용하여 MTTF와 B_{10} 수명을 계산한 결과는 아래와 같으며, MTTF의 90% 신뢰하한은 277,380사이클이며, B_{10} 수명의 90% 신뢰하한은 233,260사이클이다. 즉, 힌지의 가속시험법을 통해 사용조건에서 B_{10} 수명은 신뢰수준 90%에서 233,260사이클을 보장할 수 있다.

$$MTTF = \eta \cdot \Gamma\left(1+\frac{1}{\beta}\right)$$
$$= (429{,}390) \cdot \Gamma\left(1+\frac{1}{9.94}\right) = 408{,}400$$

$$B_{10} = \eta \times (-\ln(1-p))^{\frac{1}{\beta}}$$
$$= (429{,}390) \times (-\ln(1-0.1))^{\frac{1}{9.94}} = 342{,}430$$

힌지의 사용조건에 대한 가속 스트레스 수준인 수직하중 250 kg에서의 가속계수(AF)는 3.48이 된다.

$$AF = \left(\frac{P_{test}}{P_{field}}\right)^n = \left(\frac{250}{100}\right)^{1.36} = 3.48$$

6. 결 론

본 연구에서는 차폐도어에 사용되는 힌지의 가속수명시험법을 제안하였다. 차폐도어의 주요 부품인 힌지가 차폐도어 수명에 매우 중요한 요인으로 작용하므로, 힌지에 대한 작용력 해석과 시험장비설계, 가속시험법등을 제안하였다.

차폐도어세트에서 힌지는 매우 큰 중량의 도어를 지탱하여 반복 작동하므로 힌지에 작용하는 힘을 해석적으로 분석하였다. 힌지 설치 위치에 따라 인장, 압축력 등을 정확히 계산하여 현장 작동 조건을 분석하였다. 또한, 해석 및 분석을 통해 도출된 결론은 도어에 힌지를 설치할 때의 작업이 표준화 되지 않아 품질의 비균일화로 불량률이 10%로 높고, 불량난 제품의 선별이 어려워 도어의 EMP 차폐 성능에 영향을 주었으나, 힌지와 힌지 사이의 간격에 대한 균일화를 시켜 품질을 높이는 계기가 되었다.

해석 결과를 참조하여 차폐도어 조립세트 상태로 시험하는 대신에 힌지 부품의 수준으로 가속수명시험이 가능하도록 시험장비를 설계하여 가속시험을 수행하였다. 가속시험법을 설계하여 가속시험을 수행하였고 수명데이터를 획득하여 형상모수 값 9.94와 가속지수 값 1.36 등을 획득 할 수 있었다.

힌지의 가속수명시험 데이터를 분석한 결과 사용조건(100 kg)에 대한 가속 스트레스 수준인 250 kg에서의 가속계수(AF)는 3.48이 되며, 이는 사용조건(100 kg)에 비해 250 kg에서 시험을 할 경우 시험시간을 약 3배 이상 줄일 수 있는 효과가 있으며, 향후 힌지 시험에 활용이 가능하며 힌지의 수명 예측을 수행하여 EMP 차폐도어세트에서 요구되는 수명을 만족하는지 확인할 수 있었으며, 해석 및 분석을 통한 검증과 비교분석을 하여 힌지의 교체주기 설정을 정립할 예정이다.

참고문헌
(References)

(1) KS F 2236, 1999, "Doorsets - Soft Heavy Body Impact Test," Korean Standard Association.

(2) KS F 2630, 2007, "Doorsets - Static Torsion Test," Korean Standard Association.

(3) KS F 2631, 2007, "Doorsets - Vertical Load Test," Korean Standard Association.

(4) KS F 2632, 2007, "Doorsets - Repeated Opening and Closing Test," Korean Standard Association.

(5) KS F 2634, 2000, "Doorsets - Static Loading Test," Korean Standard Association.

(6) KS F 3109, 2013, "Doorsets," Korean Standard Association.

(7) UFGS-13 27 54.00 10, 2007, "Special Construction - Electromagnetic Shielding," United State Army Corps of Engineers.

(8) MIL-STD-188-125, 1998, "High-Altitude Electromagnetic Pulse (HEMP) Protection for Ground-based C4I Facilities Performing Critical, Time-Urgent Missions for Common Long-Haul/Tactical Communication Systems,"
USA Department of Defense.

(9) IEEE 299, 1997, Standard Method for Measuring the Effectiveness of Electromagnetic Shielding Enclosures, The Institute of Electrical and Electronics Engineers.

(10) Reliabiliy Assessment Criteria, 2013, "Electromagnetic Sheilding Doorsets," RS-KIMM-2013-0195.

(11) Shin, J. H., Lee, H. K., Jang, J., Kim, D. S., Nam, T. Y. and Jung, D. S., 2014, "Reliability Demonstration Test Method for Electromagnetic Shielding Doorset with a Sub-unit Subjected to Preventive Replacement," *Trans. Korean Soc. Mech, Eng. A*, Vol. 38, No. 10, pp. 1171~1177.

(12) Lee, J. H., Kim, D. S., Chang, M.S. and Cho, H. Y., 2015, "Accelerated Life Testing and Validity Evaluation of Finger Strips used for Electromagnetic Shielding Doors," *Trans. Korean Soc. Mech, Eng. A*, Vol. 39, No. 9, pp. 831~837.

(13) Jeong, H. S., 2007, “A Study on Optimal of Accelerated Life Tests,” International Research of Reliability Application, Vol. 7, No. 2, pp. 57~72.
(14) Wasserman, G. S., 2003, Reliablity Verification, Testing and Analysis in Engineering Design, Marcel Dekker, New York.
(15) Nelson, W., 1990, Accelerated Testing; Statistical Models, Test Plans, and Data Analysis, Wiley, New York.