

공기압용 관연결 피팅의 수명 분석

강보식[†] · 송주섭^{*} · 유영철^{**} · 김형의^{***}

Life Analysis of Flexible Tubes Fitting for Pneumatic system

Bo-Sik kang, Joo-Sub Song, Yung-chul Yoo and Hyoung-Eui Kim

Key Words : Flexible Tubes Fitting(관연결 피팅), Life Test(수명시험), Failure Mode(고장모드), Weibull Distribution(와이블분포)

Abstract

In this study, we are to analyze the life and the main failure mode of flexible tubes fitting for pneumatic that are usually applied in the factory automation line. Flexible tubes fitting for pneumatic have complicated failure cause because they are organized as a complex of various elements. Therefore, in this paper, we analyzed the main failure mode of flexible tubes fitting for pneumatic, and then performed life test and performance test according to the international standards. On the basis of these processes, we estimate shape parameter that is the main factor for the calculation of test time for the reliability of flexible tubes fitting for pneumatic and their data analysis of life distribution.

기호설명
 β : 와이블 분포의 형상모수
 η : 와이블 분포의 척도모수
 $f(t)$: 확률밀도함수
 $F(t)$: 분포함수
 $R(t)$: 신뢰도함수
 $\lambda(t)$: 고장률함수

1. 서 론

공기압 시스템은 비용적 측면과 안정성 측면에서 산업현장의 자동화 라인에 폭넓게 사용되고 있고, 그 적용범위가 점차 확대되고 있다. 자동화 라인의 특성상, 관련 부품의 고장이 발생할 경우에는 생산 중단 등으로 인해 막대한 손실이 발생하

므로 고장이 발생하기 전에 미리 관련 부품의 수명을 예측하여 부품을 교체하여야 하지만, 공기압 부품의 수명예측 및 신뢰성 개선을 위한 데이터 확보와 분석이 활발히 진행되지 않고 있는 실정이다.

공기압용 관연결 피팅은 각종 공장자동화 생산 라인 및 산업기계 등에 널리 사용되고 있으며, 적용된 분야의 시스템 및 기계에서 최종 작동기구인 밸브와 액츄에이터 등에 압축공기를 공급하기 위한 플렉시블 튜브의 접속 및 착탈을 원활히 할 수 있게 하는 공기압 시스템의 핵심 요소이고, 플렉시블 튜브를 고정하는 척(Chuck)과 기밀을 위한 패킹(Packing), 플렉시블 호스 착탈을 위한 릴리즈 푸시(Release Push) 등으로 구성되어 있는 복합체이므로 각 구성요소의 성능변화에 의해 다양한 고장 원인을 가지고 있다.

따라서 본 논문에서는 공기압용 관연결 피팅의 주요 고장 모드를 분석하고 국제규격에 준하는 시험기준을 적용하여 수명 시험 및 성능 시험을 수행하고, 이를 바탕으로 공기압용 관연결 피팅의 수명분포 데이터를 분석하여 신뢰성 시험 시간 산출과 수명예측을 위한 핵심 요소인 형상 모수 및 척도 모수를 제안하고자 한다.

[†] 강보식, 한국기계연구원 신뢰성평가센터
E-mail : kbs668@kimm.re.kr
TEL : (042)868-7156 FAX : (042)868-7186

^{*} 한국기계연구원 신뢰성평가센터

^{**} 한국기계연구원 신뢰성평가센터

^{***} 한국기계연구원 신뢰성평가센터

2. 고장 모드 및 고장 분석

2.1 고장 모드 및 고장 분석 절차

ISO/TC 131 에서 진행중인 공기압 부품의 신뢰성 평가 규격⁽¹⁾ 초안에 따르면 신뢰성 평가를 위한 최소 시료수를 7 개 이상으로 지정하고 있으므로, 본 연구에서는 Fig. 1 에 나타난 나사부 1/4 inch, 플렉시블 튜브 연결부 8 mm 인 피팅 20 개를 사용하여 시험을 수행하였다.

본 논문에서는 고장 모드 및 고장 메커니즘 분석(FMMA: Failure Mode & Mechanism Analysis)과 치명도 매트릭스 분석(CMA: Criticality Matrix Analysis)을 통해 고장 메커니즘의 영향과 위험도 평가(FMECA: Failure Mode Effects & Critically Analysis)를 수행하였고, 2 단계 품질기능 전개(QFD: 2-Stage Quality Function Development)를 통해 주요 시험 항목들을 선정하였다.

2.2 고장 모드 및 고장 메커니즘 분석

Fig.1 과 같은 공기압용 관연결 피팅 바디, 패킹, 척, 콜릿, 가이드, 릴리즈 푸시 등의 주요부품으로 구성되어 있고, 대부분의 고장형태는 척 파손으로 나타났다. 주요 부품의 고장 모드 및 고장 메커니즘을 Table 1 에 나타내었다.

2.3 고장 심각도 및 발생 빈도 분석

고장 심각도를 중축으로, 발생 빈도를 횡축으로 하여 치명도 분석을 수행하였고, 그 결과를 Table 2 에 나타내었다.

2.4 고장 모드의 영향 및 위험도 분석

Table 3 은 고장 모드에 대한 치명도 평가결과를 나타낸다.

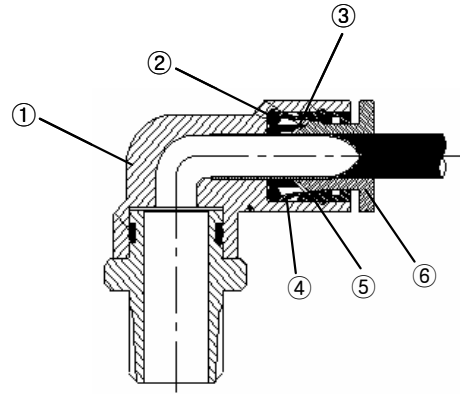
2.5 1-단계 품질기능 전개

공기압용 관연결 피팅의 시험항목을 선정하기 위해서 사용자의 요구조건 또는 사양과 주요 구성품별 고장 모드와의 관계를 평가하여 1 단계 품질기능 전개표를 작성하여 Table 4 에 나타내었다.

2.6 2-단계 품질기능 전개

주요 구성품별 고장 메커니즘과 시험 항목들과의 관계를 평가하여 Table 5 와 같은 2 단계 품질기능 전개표를 작성하였다.

이를 통해 유량특성 시험, 기밀성 시험, 내압성 시험, 반복결합성 시험, 인발 강도 시험 등을 주요 성능 시험 항목으로 도출하였다.



①Body ②Packing ③Chuck ④collet
⑤Guide ⑥Release push

Fig. 1 Structure of Flexible Tubes Fitting

Table 1 Analysis of failure mode and failure mechanism

	Function	Failure Mode	Failure Mechanism and Cause	
Release Push	tube opening	impossibility of tube opening	①	wear, fracture, caught
Guide	release push transferring	impossibility of release push transferring	②	wear, fracture
Chuck	tube fixation	tube separation	③	fracture
Packing	leakage prevention	leakage	④	wear, fracture

Table 2 Criticality matrix analysis

Failure severity	High	①	④	③
	Medium		②	
	Low			
Failure frequency	Low	Medium	High	

Table 3 Failure mode effects & criticality analysis

	Failure Mode	Effects of failure	Evaluation		
			Frequency	Severity	Criticality
Release Push	impossibility of tube opening	impossibility of tube opening & leakage	low	high	5
Guide	impossibility of release push transferring	impossibility of tube opening	mid	mid	5
Chuck	tube separation	tube separation by air pressure	high	high	9
Packing	Leakage	Leakage of air	mid	high	7

Table 4 1-stage quality function deployment

	Release Push	Guide	Chuck	Packing
Failure	Tube open impossible	Release push transfer impossible	Tube separate	leakage
Function				
High outflow capacity			△	○
Airtight capacity			◎	◎
Repeat operation	◎	○		
Endurance of pressure			○	△
Life	○	○	◎	△
Score	14	10	26	20

Most importance ◎(9), Importance ○(5), Commonness △(3)

Table 5 2-stage quality function deployment

Test		Flow capacity test	Airtight test	Repeat joint test	impression intensity test	Life test
Tube open impossible	14			◎		○
Release push transfer impossible	10			○		○
Tube separate	26	○	○		◎	◎
Leakage	20	○	◎		△	◎
Score		138	178	100	150	302
Priority		4	2	5	3	1

Most importance ◎(5), Importance ○(3), Commonness △(1)

3. 시험 기준 및 평가 방법

공기압 관연결 피팅에 관한 주요 규격으로서는 JIS⁽¹⁾와 KS⁽²⁾ 등이 있고, 본 시험에서는 공기압용 관연결 피팅의 수명을 평가하기 위한 시험기준으로 JIS⁽¹⁾의 규격을 채택하여 시험을 수행하였다.

공기압용 관연결 피팅의 수명시험은 시험대상 피팅에 자유장 240 mm의 튜브를 장착하여 Fig.2의 시험장치에 설치하고, 0.7 MPa의 공기압을 0.5초간 가압, 0.5초간 개방하는 싸이클을 부여함과 동시에, 피팅이 장착된 관을 3축 방향(전·후, 좌·우, 상·하)으로 작동시킨다.

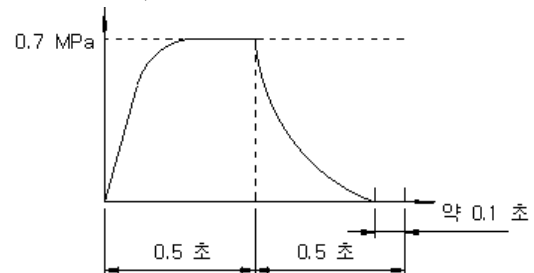




Fig. 2 The apparatus of life test

4. 공기압용 관연결 피팅의 수명분석

4.1 공기압용 관연결 피팅의 수명 이론

기계부품의 수명분포를 나타내는데 적합한 와이블 분포는 형상 모수(shape parameter), 척도 모수(scale parameter) 및 위치 모수(location parameter)의 값에 따라 감소형 고장률, 일정형 고장률, 증가형 고장률 등의 다양한 수명 분포를 표현 할 수 있어 신뢰성 데이터 분석에 가장 널리 사용된다.

3 모수 와이블 분포의 확률밀도함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다⁽⁴⁾.

$$f(t) = \left(\frac{\beta}{\eta}\right) \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right] \quad (1)$$

$$t \geq 0, \beta, \eta, \gamma > 0, t \geq \gamma$$

3 모수 와이블 수명분포에 대한 신뢰성 척도로서는 불신뢰도 함수(분포함수), 신뢰도 함수(생존 함수), 고장률 함수가 있으며 각 함수를 다음 식과 같이 나타낼 수 있다⁽⁴⁾.

$$F(t) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right] \quad (2)$$

$$R(t) = \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^\beta\right] \quad (3)$$

$$\lambda(t) = \left(\frac{\beta}{\eta}\right) \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (4)$$

4.2 공기압용 관연결 피팅의 수명 시험 결과 분석

앞서 언급된 시험 방법 및 기준을 적용하여 공

기압용 관연결 피팅의 시험을 수행한 결과를 Table 6 에 나타내었다. Table 6 의 수명데이터는 2,581,785 사이클까지 시험을 수행한 정시중단 데이터이다.

Table 3 Termination cycle count

Termination Cycle count	Chuck fracture	Result
1,291,949	unit NO.19	failed
1,385,421	unit NO.5	failed
1,426,873	unit NO.7	failed
1,456,321	unit NO.6	failed
1,553,579	unit NO.15	failed
1,613,529	unit NO.17	failed
1,658,934	unit NO.8	failed
1,720,415	unit NO.18	failed
1,854,314	unit NO.4	failed
1,865,424	unit NO.10	failed
1,924,867	unit NO.14	failed
1,943,702	unit NO.20	failed
2,386,743	unit NO.9	failed
2,581,521	unit NO.13	failed
2,581,785	unit NO.1, unit NO.2, unit NO.3, unit NO.11, unit NO.12, unit NO.16	censored



Fig. 3 Fitting failure by chuck fracture

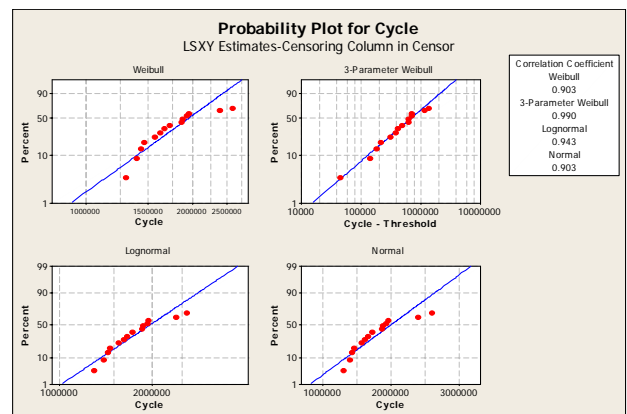


Fig. 4 The analysis goodness of fitness

획득된 수명데이터에 적합한 수명분포를 확인하기 위하여 와이블 분포(weibull distribution), 3 모수 와이블 분포(3-parameter weibull distribution), 대수정규 분포(lognormal distribution), 정규 분포(normal distribution)에 대하여 적합도 분석을 수행하였고, 분포의 적합성을 나타내는 척도로 상관 계수(correlation coefficient)값을 사용하였다. 상관 계수 값은 관측된 수명 데이터가 어떤 분포에 가장 적합한지를 판단할 수 있는 정보를 제공하여 주며 동일한 수명데이터를 다수의 분포에 적용하였을 경우, 상관 계수 값이 1에 가까울수록 해당 분포에 적합함을 의미한다.

Fig. 4에 적합도 분석결과를 나타내었다. Fig. 4의 적합도 분석결과 와이블 분포의 상관 계수값은 0.99로 1에 가장 근접하였으므로 본 시험의 수명 데이터는 3 모수 와이블 분포가 가장 적합한 수명 분포임을 알 수 있다.

Fig. 4의 적합도 분석에서 선정된 와이블 분포에 대한 확률밀도 함수(probability density function), 와이블 확률지(weibull probability plot), 신뢰도 함수(reliability function) 및 고장률 함수(hazard function)를 Fig. 5에 나타내었다.

Fig. 6은 공기압용 관연결 피팅의 수명 와이블 확률지 도시결과를 나타낸다. 상기의 도시결과를 바탕으로 와이블 분포의 모수를 추정하면 형상 모수(shape parameter) β 는 1.1, 척도 모수(scale parameter) η 는 988,191사이클, 위치 모수(location parameter) γ 는 1,247,877로 추정되었다. 또한 평균수명(MTTF)은 2,197,876 사이클, 중앙값(median)은 1,958,724 사이클, B_{10} 수명은 1,378,625 사이클로 확인되었다.

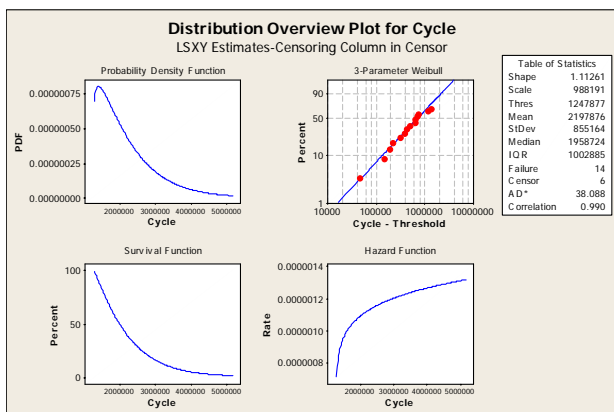


Fig. 5 Overview of weibull distribution

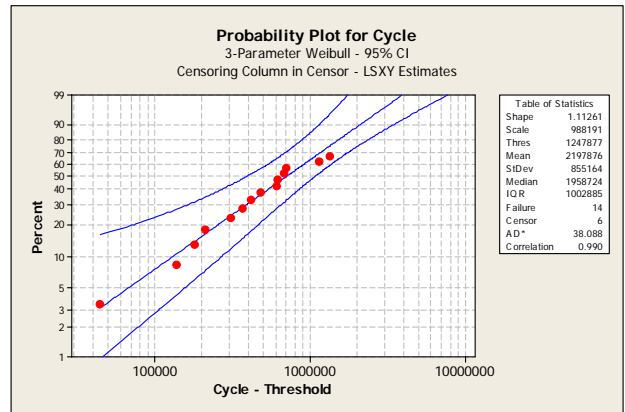


Fig. 6 Weibull probability plot

Table 4 Estimation value of reliability

	Estimated value	Confidence level 95%	
		lower	upper
Shape parameter	1.11261	0.722556	1.71322
Scale parameter	988,191	629,562	1,551,112
Location parameter	1,247,877	-	-
MTTF	2,197,876	1,799,794	2,684,007
B_{10} life	1,378,625	1,252,716	1,517,187

Table 7에 95% 신뢰구간에서의 와이블 분포의 모수 및 수명의 추정치를 표시하였다. 형상 모수의 하한 값은 0.722556 이고 상한 값은 1.71322로 추정되었고, 척도 모수의 하한 값은 629,562 사이클, 상한 값은 1,551,112 사이클로 나타났다.

5. 결론

본 연구에서는 공기압용 관연결 피팅의 수명분포 분석을 통하여 신뢰성 시험 시간 산출과 수명 예측을 위한 주요 요소인 형상 모수를 제안하였다.

와이블 수명분포의 형상 모수는 실험적 방법을 통하여 추정해야 하므로 형상 모수 추정을 위한 성능시험 항목을 선정하고자 주요 고장 모드 및 고장 모드의 영향과 위험도 분석을 수행하였고, 2 단계 품질기능 전개를 통하여 유량 특성 시험, 기밀성 시험, 반복 결합성 시험, 인발 강도 시험 등을 주요 성능 시험 항목으로 도출하였다.

또한 국제규격에 준하는 시험기준 및 평가방법을 상기의 시험항목에 적용하여 고장을 관측하였으며 관측된 수명데이터의 적합도 분석을 수행하

여 와이블 분포를 공기압용 관연결 피팅의 수명분포로 선정하였다.

채택된 와이블 분포의 와이블 확률지 도시결과를 바탕으로 형상모수 β 는 1.1, 척도모수 η 는 988,191 사이클, 평균수명 (MTTF)는 2,197,876 사이클, B_{10} 수명은 1,378,625 사이클로 추정하였다. 95% 신뢰구간에서 형상 모수의 하한 값과 상한 값은 각각 0.722556, 1.71322 로, 척도 모수의 하한 값은 6,29,562 사이클, 상한 값은 1,551,112 사이클로 나타났다.

참고문헌

- (1) JIS B 8381, 1995, "Pneumatic system – Flexible – Tube fittings."
- (2) KS B 1558, 2002, “공기압용 플렉시블 관-관 연결구”
- (3) KS B 6379, 1986, “공기압용 관이음(플렉시블 튜우브)”
- (4) 김윤광 외 13 인, 2005, "신뢰성 용어 해설서", 산업자원부 기술표준원, pp. 46~53.
- (5) Gary S, Wasserman, 2003, “Reliability Verification Testing, and Analysis in Engineering Design”, Marcel Dekker, New York.
- (6) Robert B. Abernethy, 2003, “The New Weibull Handbook”, Robert B. Abernethy, Florida
- (7) 서수근, 2002, “MINITAP 신뢰성 분석”, 이레테크
- (8) Dimitri Kececioglu, 1993, “Reliability & Life Testing Handbook”, Prentice Hall, New Jersey.
- (9) NSWC, 1998, “Handbook of Reliability Prediction Procedures for Mechanical Equipment”, Naval Surface Warfare Center Carderock Division