

셰일 셰이커 기초 내구성 평가에 관한 연구

오정수^{1*}, 김성민², 황종덕²

¹한국기계전기전자시험연구원, 기계금속센터, ²우민기술, 부설연구소

A Study for Basic Durability Assessment of Shale Shaker

Jung-Soo Oh^{1*}, Sung-Min Kim², Jong-Duk Whang²

¹Division of Machinery Testing Center, Korea Testing Certification

²Research Institute, Woo-Min Tech Co., Ltd

요약 본 연구에서는 이수순환시스템 핵심 장비 중의 하나인 셰일 셰이커 시작품의 핵심 부품을 선정하여 기초 내구성 평가를 수행하고 분석하였다. 기초 내구성 평가의 경우, 바이브레이터 모터(이하, 모터)가 장시간 운전애 따른 모터 베어링의 수명과 모터로부터 유발된 진동에 의한 지지 스프링의 강성저하가 장비의 내구성에 적지 않은 영향을 미칠 수 있을 것이란 가정을 두었다. 모터 연속운전에 있어, 전 초기 진동 가속도의 P-P 수준은 0.72 g 수준이었으나 운전 100 시간 경과 후, 진동 가속도의 P-P 수준은 1.26 g로 급격히 상승함을 볼 수 있었으며, 진동 상승의 원인분석을 위해 볼 결함주파수 분석기법을 통해 베어링 결함을 추정할 수 있었다. 또한, 셰일 셰이커의 가진 조건을 피로내구시험에 적용하여 시험 2,000 시간 경과 시, 스프링의 강성이 약 3.78 % 감소함을 확인 할 수 있었다. 향후 본 연구는 스프링 강성의 저하가 셰일 셰이커의 입자제거 효율이 미치는 영향 분석과 그에 따른 고장수명에 예측에 관한 후속 연구를 수행 할 예정이다.

Abstract In this study, a basic durability assessment was performed by selecting the main part of a trial product of a shale shaker, which is one of components for a mud circular system. For a preliminary durability assessment, it was assumed that the lifetime of the bearing for the vibrator motor and the stiffness of the support spring are affected by the vibration when the motor operates continuously. In the case of the motor, the initial p-p level was 0.72 g, but after 100 hours of operation, the p-p level was rapidly increased to 1.26 g. Bearing defects could be estimated through ball defect frequency analysis. In the case of the spring, the stiffness of the spring was reduced by approximately 3.78% at the end of 2,000 hours of the fatigue-durability test by applying excitation conditions to shale shaker body. In the future, we will analyze the influence of the particle removal efficiency of the shale shaker.

Keywords : Bearing, Mud Circulation System, Shale Shaker, Stiffness, Vibrator Motor

1. 서론

일반적으로 전달되는 기계장비에 전달되는 진동은 진동을 감소하거나 억제하도록 설계되어 있어야 한다.

하지만, 이수순환시스템의 핵심장비 중 하나인 셰일 셰이커(Shale Shaker)의 경우, 바이브레이터 모터(Vibrator

motor, 이하 모터)에서 유발된 진동은 셰일 셰이커를 지지하는 스프링을 장비 본체를 상하 및 좌우 방향으로 가진하여 스크린 필터를 통해 시추 중 시추공(Borehole)으로부터 되돌아오는 이수(Mud)속 이물질들을 제거하며, 진폭은 크고 가속은 더 빠를수록 제거 효율이 높아진다 [1,2].

본 논문은 국토교통부 2019 플랜트연구사업(No. 19IFIP-B133609-03)의 지원으로 수행되었음

*Corresponding Author : Jung-Soo Oh(Korera Testing Certification)

email: ojs82@ktc.re.kr

Received July 8, 2019

Accepted October 4, 2019

Revised August 7, 2019

Published October 31, 2019

그러나, 과도한 진동은 모터 내 베어링과의 내구수명을 단축할 수 있으며 이는 이물질 제거 효율을 감소할 수 있다.

또한 시추의 경우, 지층의 상태와 심도, 시추공법에 따라 시추시간의 차이가 발생되지만 심도 14,700 ft (약, 4,480m)까지 시추공의 굴진 소요 시간이 26.5 일 수준임을 감안할 때, 장시간 장비 운영시간에 따른 점검과 유지보수가 필요하다[3].

이에 본 연구는 현재 연구개발 중인 세일 셰이커 시작품의 주요 부품을 선정하여 기초 내구수명 평가를 수행하고자 한다.

2. 진동 측정

Fig. 1은 개발 중에 있는 세일 셰이커 시작품이다. 세일 셰이커는 크게 장비의 진동을 유발하는 모터 2개소와 모터로부터 유발된 진동을 장비 본체로 전달하고 장비의 하중을 지지하는 스프링(Support spring, 이하 스프링) 4 개소 그리고 이수 속 이물질을 제거하는 스크린 부로 구성 된다. 다음 Table 1에 장비의 주요 사양을 나타내었다.

우선 본 연구에서는 세일 셰이커의 기초 내구성 평가에 있어 모터의 장시간 운전에 따라 모터베어링의 수명과 모터가 유발하는 진동에 의한 지지 스프링의 강성저하 등 핵심부품의 내구성에 적지 않은 영향을 미칠 수 있을 것이라 가정 하에 모터를 작동하여 장비 본체에 전달되는 진동 수준을 살펴보았다.

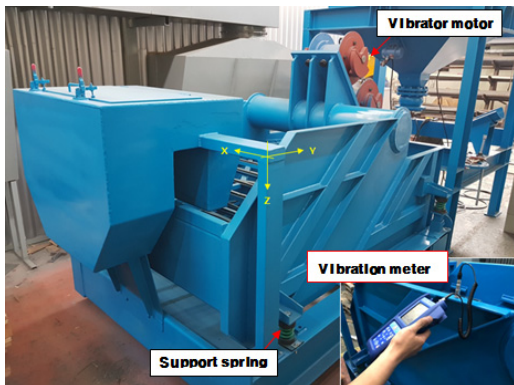


Fig. 1. Prototype for shale shaker

Table 1. Specification of shale shaker

Item	Specification
Treat Capacity	120 m ³ /h
Filteration Range	75 ~ 2,000 μm
Vibration Strength	Max. 7 g
Deck Adjustment	-3° ~ 5°
Dimension	1,650 × 1,260 1,077 mm
Weight	1,000 kg
Note	g = 9.81 m/s ²

진동 측정에는 Rion 사의 정밀 진동측정계 (VA-12)를 이용하여 장비의 X, Y, Z 3축 방향으로 진동 가속도를 측정하였고 측정된 가속도와 환산된 진동 변위량을 Table 2에 나타내었다.

측정 결과를 살펴보면, 측정된 최대 가속도는 Z축 방향으로 약 5.91 g 로 환산된 진동 변위량Peak to peak (이하 P-P) 값은 약 1.35 mm이다.

반면, 측정된 최소 가속도는 X축 방향으로 4.48 g 수준으로 이때 환산된 P-P 값은 약 0.25 mm를 보였으며 측정 중 모터의 회전수는 최대회전수 인 1,200 rpm이다.

본 연구에서는 측정된 진동값을 이용하여 세일 셰이커의 회전모터와 스프링의 기초 내구수명을 평가하고자 한다.

Table 2. Measurement results on shale shaker

Dir.	Acceleration (RMS)	Displacement (P-P)
X	4.48 g	0.5 mm
Y	3.56 g	2.6 mm
Z	5.91 g	2.7 mm

3. 기초 내구성 평가

3.1 진동모터 내구성 평가

Fig. 2는 모터 연속운전에 따른 실시간 진동 측정 셋업이다. 진동측정을 위해 PCB 사의 가속도계, 333B30(Max. ±10 g)를 모터 하우징 상단에 부착을 하였다. 또한 데이터의 고속 샘플링 이 가능한 DEWE 사의 DAQ(DEWE-43, 16 bit)를 사용하였다. 또한 모터의 회전주파수 조정이 용이하도록 인버터를 채용하여 모터와 결합하였다.

Fig. 2의 모터는 1쌍의 언밸런스 웨이트(Unbalance weight, 이하 웨이트)가 모터 전후로 장착되었으며 웨이트의 결합각도 조절에 따라 최대 44.1 kN의 가진력 구현이 가능하다. 본 시험에서는 모터의 최대 회전수 보다 조금 낮은 1,000 rpm에서 운전을 하였으며 다음 Table 3에 모터의 주요 사양을 정리하였다.

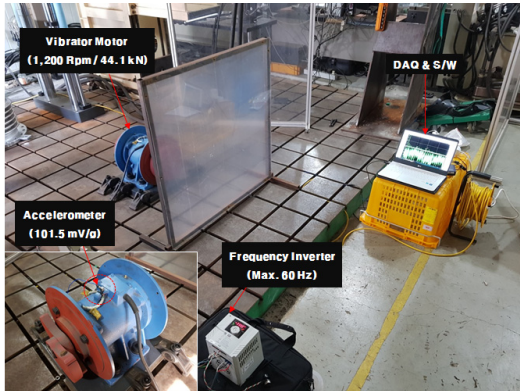


Fig. 2. Setup for vibration measurement of vibrator motor

Table 3. Specification of vibrator motor

Item	Specification
Pole (P)	4
Phase (ϕ)	3
Max. Rotational Speed (rpm)	1,200
Voltage (V)	380
Power (kW)	2.2
Max. Vibrating Force (kN)	44.1

모터 연속운전에 따른 진동측정 결과를 Fig. 3에 나타내었다.

먼저 진동측정 결과를 분석하면, 운전 초기, 진동 가속도의 P-P 수준은 0.72 g 수준을 보였다. 이후 운전 50 시간 경과 후, 진동 가속도 P-P 수준은 0.86 g로 상승하였고 이후 운전 100 시간 경과 후 진동 가속도 P-P는 1.26 g로 급격히 상승하였다.

이러한 진동상승 원인 분석을 위해 FFT 주파수 분석을 Fig. 4에 나타내었다.

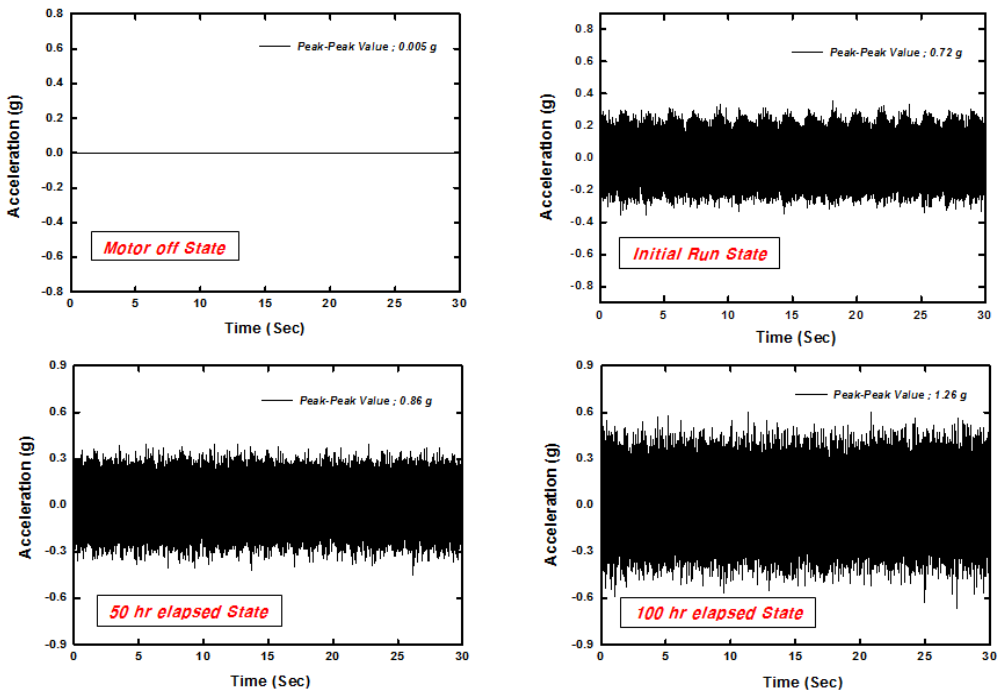


Fig. 3. Vibration tendency according to vibrator motor operation

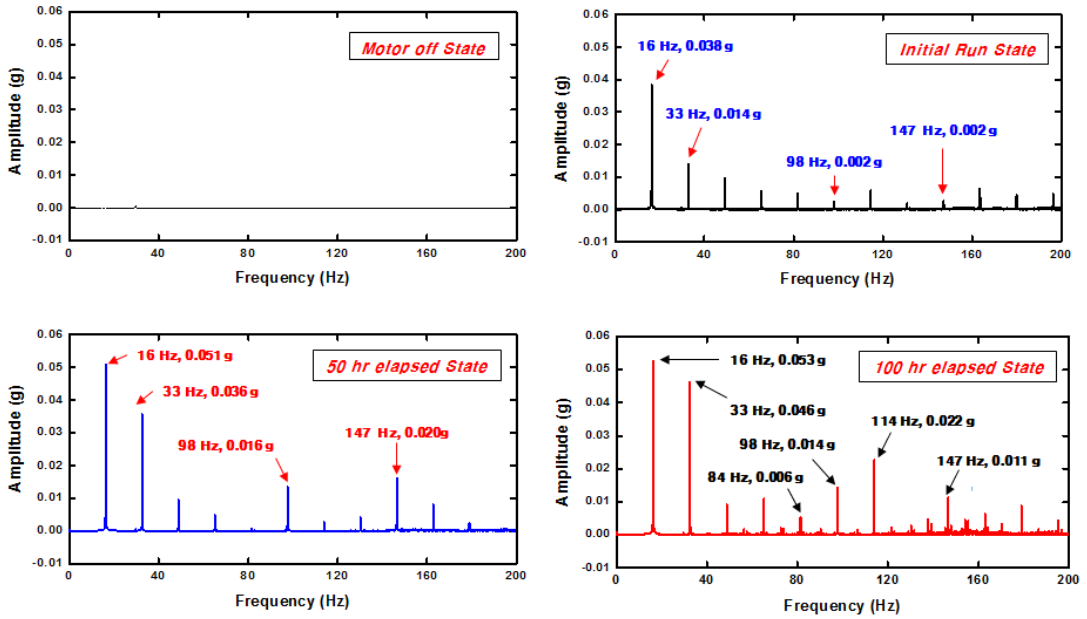


Fig. 4. FFT results using vibration measurement

먼저, 운전초기에는 진동의 주요 성분인 16 Hz 와 33 Hz 성분을 볼 수 있으며 회전주파수, 33 Hz 성분의 경우 운전 50 시간과 100 시간 경과 시 각각 0.038 g 및 0.046 g로 상승되었다.

또한 16 Hz 성분이 운전 50 시간 경과 후 각각 0.051g 로 상승됨을 볼 수 있으며 운전 100 시간 경과에서는 초기 발견되지 않았던 84 Hz 및 114 Hz 성분이 발견이 된 점을 고려해 볼 때, 베어링 결함으로 추정되는 현상 운전 50 시간에서 100 시간 구간에 발생 된 것으로 추정된다.

한편, 이상주파수 발생원인 분석은 기본 베어링 결함 주파수 계산식 (1) ~ (5)를 통해 분석이 가능하다[4,5].

- 회전 주파수(Rotating Frequency)

$$RF = \frac{rpm}{60} (Hz) \quad (1)$$

- 내륜 결함주파수(Inner Race Defect Frequency)

$$IRDF = \frac{RF}{2} N_e \left(1 + \left(\frac{D_c \cos \alpha}{D_p} \right) \right) (Hz) \quad (2)$$

- 외륜 결함주파수(Outer Race Defect Frequency)

$$ORDF = \frac{RF}{2} N_e \left(1 - \left(\frac{D_c \cos \alpha}{D_p} \right) \right) (Hz) \quad (3)$$

- 기본 열 주파수(Fundamental Train frequency)

$$FTF = \frac{RF}{2} \left(1 - \left(\frac{D_c \cos \alpha}{D_p} \right) \right) (Hz) \quad (4)$$

- 볼 결함주파수(Ball Defect Frequency)

$$BDF = \frac{D_p}{2D_c} RF \left(1 - \left(\frac{D_c \cos \alpha}{D_p} \right)^2 \right) (Hz) \quad (5)$$

모터 베어링(NJ311, NTN)의 주요정보와 베어링 결함 주파수를 Table 4와 Table 5에 나타내었다.

Table 5, 베어링 결함주파수를 분석해보면, 베어링 내·외륜 결함주파수는 Fig. 4, 주파수 분석 상 유사한 성분은 볼 수 없으나 기본 열 주파수, 13.3 Hz 및 볼 결함 주파수, 81.7 Hz 성분들이 이상 주파수 16 Hz 및 84 Hz 성분들과 매우 유사함을 확인 할 수 있으며 모터 운전 시 베어링 결함이 발생되었음을 추정할 수 있다.

한편, 이상 주파수, 114 Hz 성분은 측대역 주파수 (Sideband frequency, 147 Hz = 172.8 - 33 Hz)로부터 유발된 측대역 주파수(147 - 33 Hz)로 추정되며 측대역 주파수의 검출 또한 베어링 결함에 의한 현상으로 사료된다.

Table 4. Specification bearing of bearing

Item	Values
Number of element (N_e)	13
Element diameter (D_e)	17.0 mm
Pitch diameter (D_P)	87.5 mm
Contact angle (α)	0

Table 5. Defect frequencies of bearing

Item	Values (Hz)
Rotating Frequency	33
Inner Race Defect Frequency	256.2
Outer Race Defect Frequency	172.8
Fundamental Train frequency	13.3
Ball Defect Frequency	81.7

3.2 스프링 피로내구 시험평가

본 절에서는 모터의 장시간 운전에 따른 진동 내구성 영향을 살펴보기 위하여 스프링 피로·내구 시험과 그에 따른 강성(Stiffness) 변화를 살펴보고자 한다.

본 연구의 스프링 내구시험에는 예압과 진동 등 실제 현장데이터를 반영한 진동환경을 HILS 기법을 적용하였다[6].

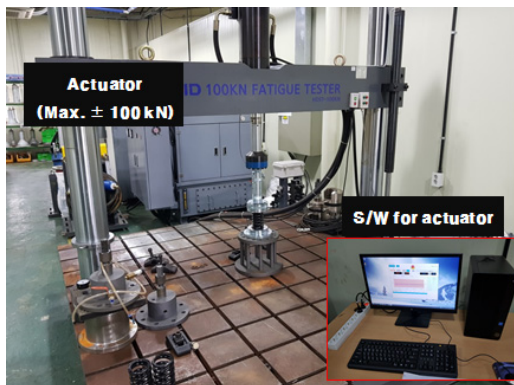


Fig. 5. Setup for spring fatigue-durability test



Fig. 6. Setup for stiffness measurement of spring

스프링에 적용된 예압 경우, 향후 장비 실증 시 장비로 유입되는 이수의 양과 장비무게를 고려하여 스프링 1개 소 당 약 300 kgf 로 설정하였으며 내구 시험 시, 가진 진동수와 진폭은 Table 2, Z축 측정결과를 적용하였다. 다음 Table 6에 스프링 피로·내구 시험에 관한 조건을 정리하였다.

Table 6. Test condition for spring durability test

Conditions	Values
Preload	300 kgf
Excitation frequency	33 Hz
Excitation amplitude	1.35 mm
Durability & observation time	500 hr
	1,000 hr
	2,000 hr

한편, Fig. 7은 내구시험 시간에 따른 스프링의 강성 변화 추이를 정리한 결과로 시험 초기, 스프링의 강성은 약 105.8 N/mm 이었으나 500 시간 내구시험 경과까지 스프링의 강성은 약 105.5 N/mm로 큰 변화는 보이지 않았다.

그러나, 시험경과 1,000 시간과 2,000 시간 이후스프링 강성은 각각 103.8 N/mm 및 101.8 N/mm 로 초기 강성대비 약 1.89 % 및 3.78 % 감소를 보였다.

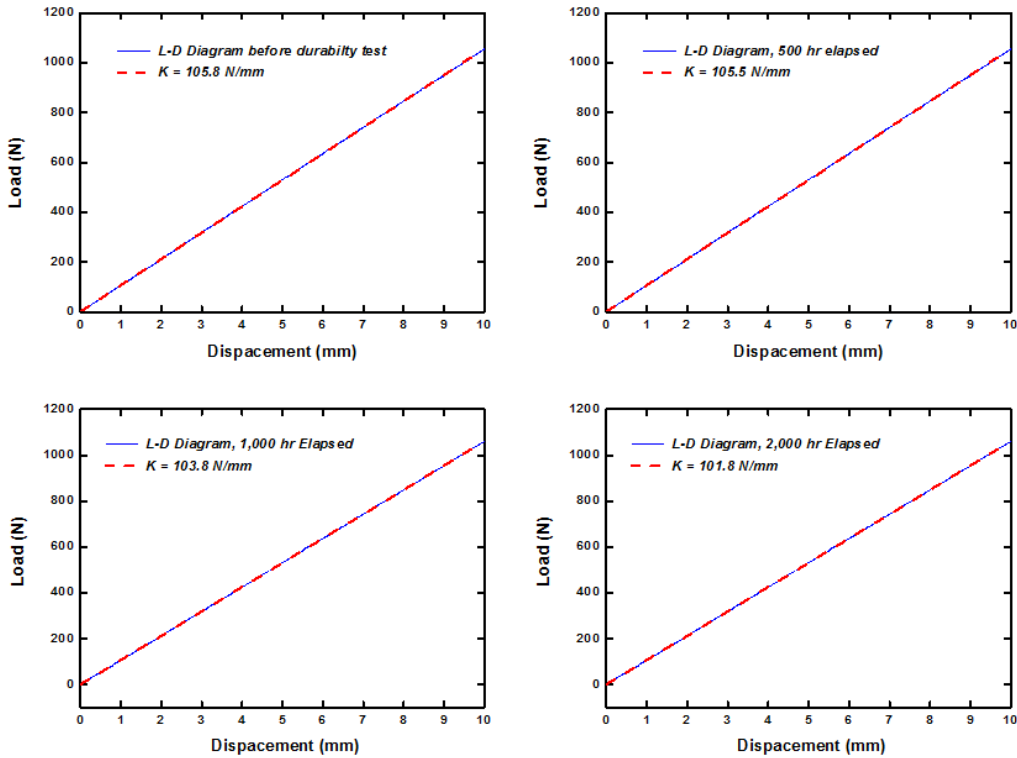


Fig. 7. Stiffness change of spring according to durability time

4. 결론

본 연구에서는 이수순환시스템 핵심 장비 중의 하나인 셰일 셰이커 시작품의 핵심 부품을 선정하여 기초 내구성 평가를 수행하고 분석하였다.

- 1) 모터 운전초기, 진동 가속도의 P-P 수준은 0.72 g 수준 이었으나 운전 100 시간 경과 후 진동 가속도의 P-P 수준은 1.26 g로 급격히 상승함에 따라 본 연구는 진동상승의 원인을 분석에 베어링 결합주파수 분석기법을 통해 진동상승의 원인으로 추정할 수 있었다.
- 2) 모터 운전에 따른 지지 스프링의 강성 저하를 확인하기 위하여 현장데이터를 피로·내구 시험에 적용하여 스프링의 강성이 시험 초기 대비 2,000 시간 경과 후의 약 3.78 % 감소함을 확인할 수 있었다.
- 3) 본 연구를 통해 장시간 시추에 따른 셰일 셰이커의 운영시간을 고려할 때 모터의 경우, 가진력의 조정과 베어링 상태의 상시점검이 요구되며 스프링의

경우, 주기적인 교체시간을 설정 이후 스프링의 교체 또는 기존의 스프링보다 내구수명이 뛰어난 스프링 채용이 필요하다 판단된다.

향후 본 연구는 스프링 강성의 저하가 셰일 셰이커의 입자제거 효율에 미치는 영향 분석과 그에 따른 고장수명을 예측에 관한 후속 연구를 수행 할 예정이다.

References

- [1] ASME Shale Shaker Committee, Drilling Fluids Processing Handbook 1st Edition, p.111-123, Elsevier, 2011.
- [2] American Assoc. of Drilling Engineers, Shale Shaker and Drilling Fluids Systems, 1th Edition, p.1-35, Elsevier, 1999.
- [3] J. K. Choe, Offshore Drilling Engineering 2nd Edition, p.66-67, CIR, 2012.
- [4] H. Saruhan, S. Sandemir, A. Çiçek, I. Uygur, "Vibration Analysis of Rolling Element Bearings Defect", *Journal*

of Applied and Technology, Vol.12, Issue 3, pp.384-395. June 2014.

DOI : [https://doi.org/10.1016/S1665-6423\(14\)71620-7](https://doi.org/10.1016/S1665-6423(14)71620-7)

- [5] Y. J. Park, G. H. Lee, J. J. Lee, "Faults Detection of Industrial Gearbox using an Envelope Analysis", *Journal of Biosystems Engineering*, Vol.34, No.2, pp. 82-88, April 2009.
- [6] J. S. Oh, B. S. Lee, "Development for Mixed Lifespan Prediction Model of Expansion Joint Using Field Data", *Journal of applied reliability*, Vol.19, No.1, pp.48-54, March 2019.
DOI : <https://doi.org/10.33162/JAR.2019.03.19.1.48>

황 중 덕(Jong-Duk Whang)

[정회원]



- 2016년 2월 : 동명대학교대학원 냉조공조공학과 (공학박사수료)
- 1990년 1월 ~ 1999년 6월 대영 F.A 전장설계 팀장
- 2011년 8월 ~ 현재 : 우민기술(주) 대표이사

<관심분야>

이수순환시스템 설계, 디지털 트윈

오 정 수(Jung-Soo Oh)

[정회원]



- 2012년 8월 : 과학기술연합대학원대학교 나노메카트로닉스학과 (공학석사)
- 2009년 3월 ~ 2012년 5월 한국기계연구원 초정밀시스템연구실 연구원
- 2016년 4월 ~ 현재 : 한국기계전기전자시험연구원 연구원

<관심분야>

플랜트 기자재 성능평가, 가속수명시험, 수명예측

김 성 민(Sung-Min Lee)

[정회원]



- 2016년 2월 : 동아대학교대학원 기계공학과 (공학석사)
- 2016년 2월 ~ 2017년 8월 동연스틸(주) 기술연구소 연구원
- 2017년 9월 ~ 현재 : 우민기술(주) 기업부설연구소 선임연구원

<관심분야>

이수순환시스템 설계, 유공압시스템