

특신인프라코어

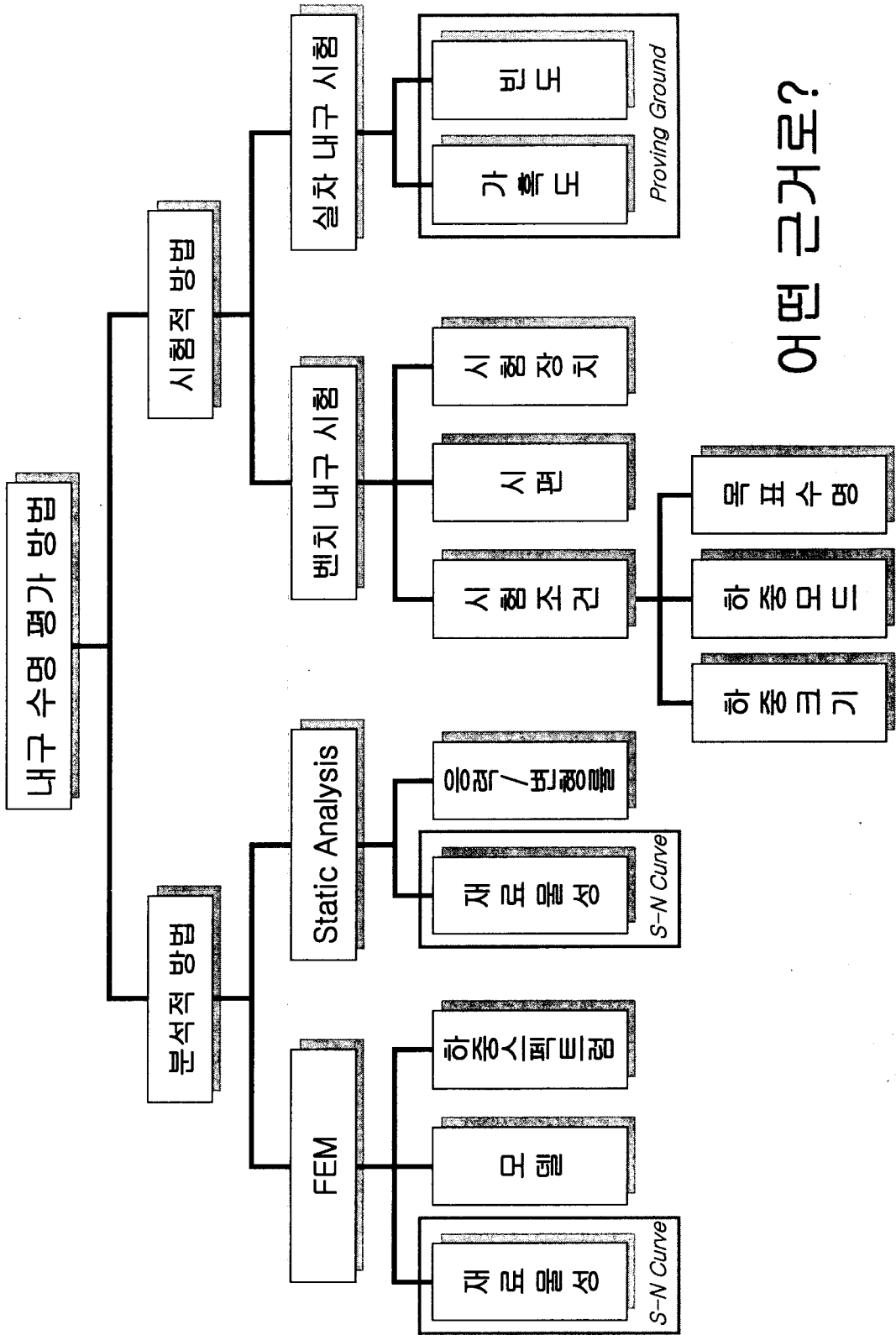
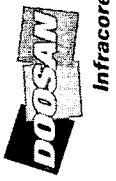
중장비의 Duty Cycle 측정 및 활용

2005. 6.

특신인프라코어(주) 신뢰성평가센터

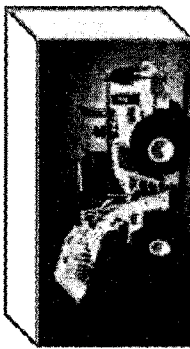
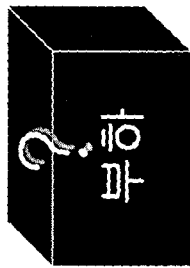
책임연구원 양치훈

내구 수명의 평가 방법



어떤 근거로?

부하 ~ 모델 ~ 수명 관계



필드사용조건

다수의 사용자
다양한 사용 환경
- 석산, 도로...
서로 다른 부착물
- 버켓, 브레이커...

필드 사용
조건

사실적 재현이
선결과제

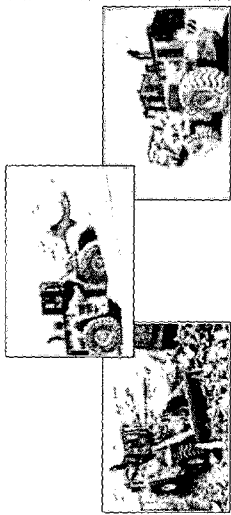
간략화
등가성

벤치시험조건

제한된 시료수
정형화/간략화된 하중 조건
목표 수명

필드 운용

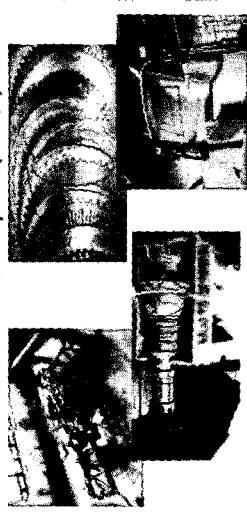
- 양산 차량 (다수)



물성
대표성

벤치 내구시험

- Proto or Sample (소수)



수명 관련 지수

B-10 Life
MTTF
Failure Rate
균열 발생 위치
* 통계적 산포 특성

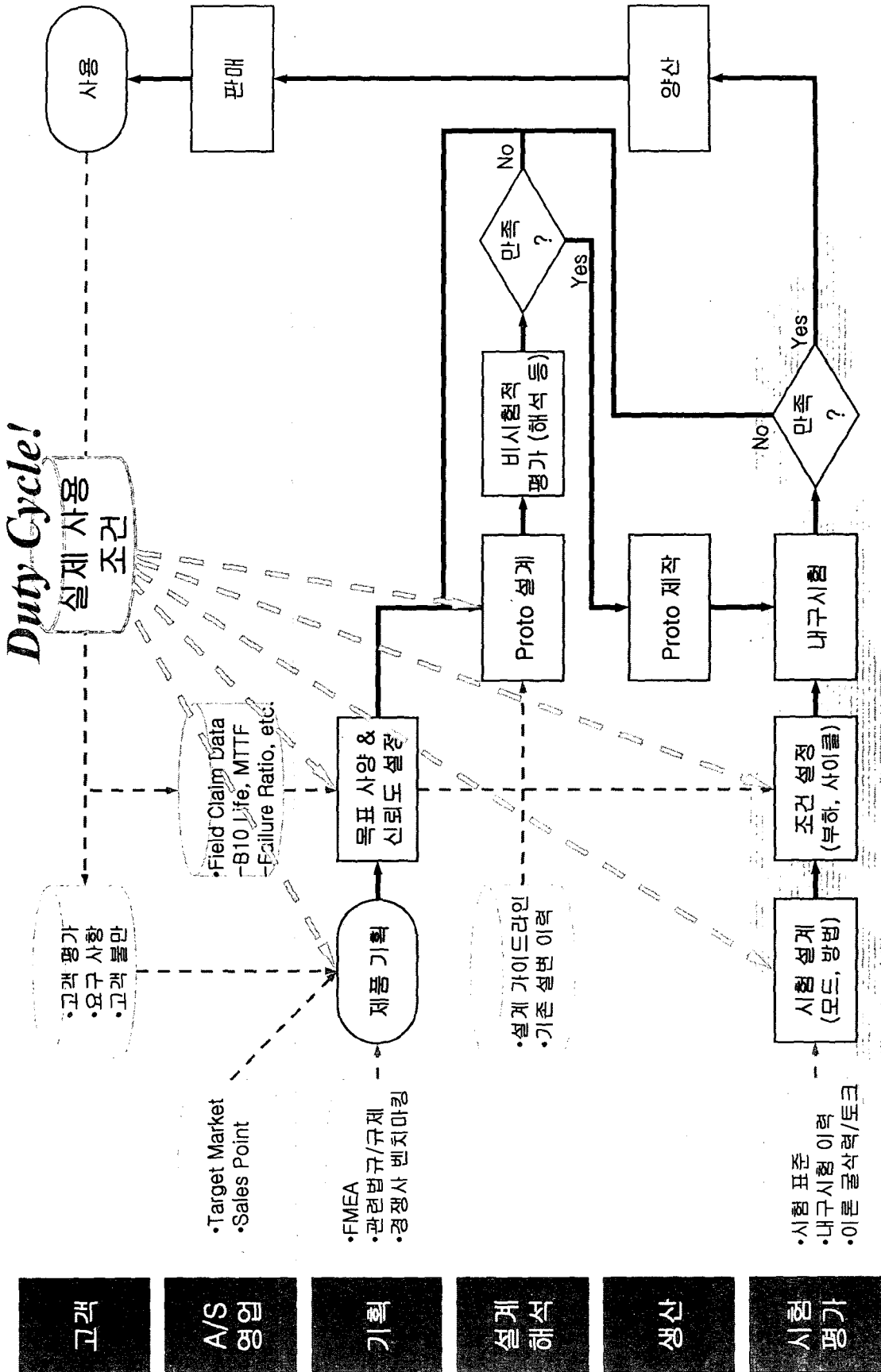
필드 수명
예측

벤치 내구
시험의 목적

시험 결과

목표 Cycle 달성 여부
균열 발생 위치
균열 발생 사이클

신뢰성 평가 절차



Duty Cycle



• Duty Cycle

-대상물에 대한 정량적이며 정형화된 부하 조건

1) 작동 중 부하 크기가 일정한 경우

- On/Off 동작 스위치, 디지털 디바이스 등
- 일정 기간동안에 부품, 장비 또는 시스템 등이 작용하는 시간의 비로 나타냄
- 이 경우 Usage만 고려하면 됨

2) 부하가 단계별, 또는 연속적으로 변하는 경우

- 대부분의 기계류 부품 및 구조물의 경우

-예1) Transmission

» 전진 1단/2단/3단..., 후진

-예2) Cooling Fan

» 정지/Idle~Max. rpm

- 각 단계에서의 점유율(Usage Ratio) 및 대표 부하를 동시에 고려하여야 함

-작업 모드/작업 환경 등 고려

• 등가 손상 (Equivalent Damage)

-서로 다른 부하 조건에 의하여 초래되는 손상의 정도가 동일함을 의미함

-부하 인자에 대한 수명 모델 및 손상의 누적 관계 (Miner 법칙 등)를 고려하여야 함

작업 모드 세분화

모드별 Usage 설정

모드별 부하 측정

모드별 데이터 분석

전체 모드 종합

Duty Cycle 확립

등가손상 Cycle 도출

가속수명시험 적용

♣ 주의 사항

-Target 설정

- 국내/국외

- 가혹/통상 조건

-작업모드의 명확한 정의

- 재현 가능할 것

- 표준화/문서화

-Usage 고려

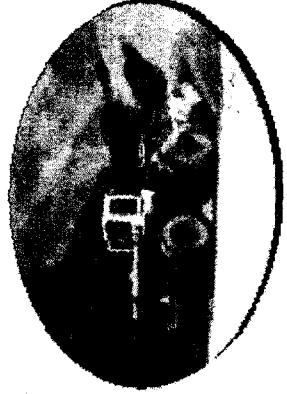
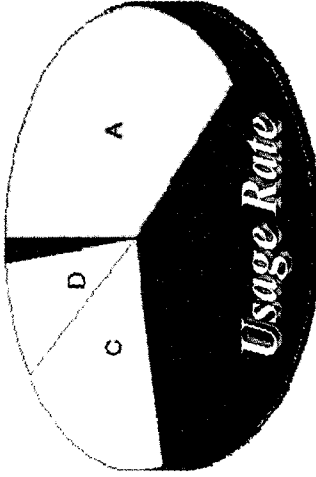
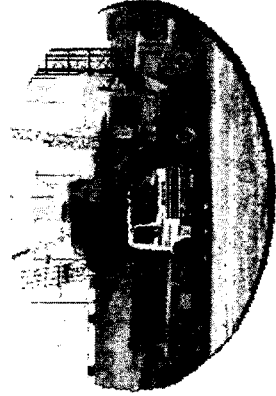
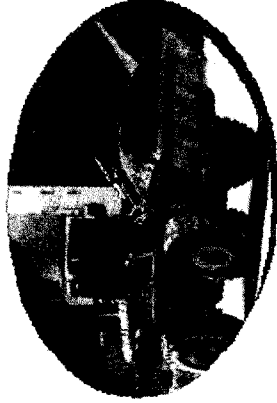
Usage



1) 일정 기간 동안의 사용량

-예

- Annual Usage (연간 사용량)
 - 1,000 hr/year, 20,000 km/year, 5 hr/day 등
- 내구시험 목표 수명 설정의 기본 자료
- 물리적 시간 경과와 실제 부하 작용 시간과의 관계 의미

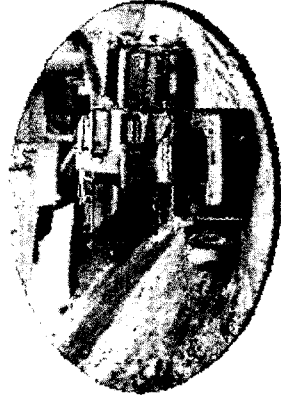
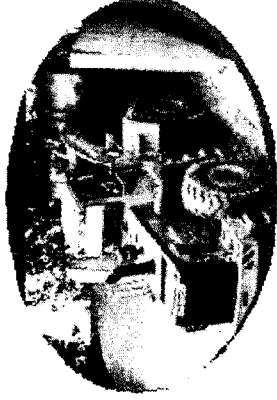


2) 사용법 또는 방식, 환경 등의 점유율

-예

- 무부하 30 %, 부하 70 %
- 저부하 30 %, 중부하 60 %, 고부하 10 %
- 1속 70 %, 2속 30 %
- 평탄로 주행 85 %, 험로 주행 15 %
- 산지 40 %, 평지 60 % 등

-평가 모드 선정 및 배분의 기본 자료



평가 대상 Item의 선정



• 평가 대상 Item 선정 기준

- Field (Claim) Data Analysis
- 신규 채용 Item
- 설계 변경품 및 연관 Item
- 고객의 소리 (VOC)
- 영업 전략적 고려 (Sales Point)

• 측정 대상 물리량의 결정

- FMEA/FTA 등
 - 고장 모드 및 기구
 - Root Cause 파악
 - 위험도, Corrective Action 검토
- Field Failure Analysis
 - 고장 원인 및 취약 부위/부품
- 측정 물리량 및 방법 선정
 - 응력/온도/진동/가속도 등
 - 데이터 획득 장비/센서류
 - Corrective Action 사전 고려
 - 평가 방법 선 검토 후 필요 물리량 측정

• Front Frame

- 특성
 - 하중 지지/용접부 등 피로 내구성 중요
- 측정 방법
 - Strain Gage를 이용한 응력측정



• Axle

- 특성
 - 차량 자중 지지 및 구동력 전달
 - 지면 외력 및 견인 구동력 전달 통로
- 측정 방법
 - Telemetry를 이용한 Input Torque 측정
 - Customized Torque & Load Cell 제작



• Cylinder

- 특성
 - 유압에 의한 작업체 구동 및 하중 전달 통로
 - 내압/내피로 특성 필요
- 측정 방법
 - Customized Load Cell 제작

휠로더 Duty Cycle의 측정 방법



The collage includes several images: a close-up of a sensor on a wheel loader's bucket, a person working on a machine, a large wheel loader in operation, a computer monitor displaying data, and various technical diagrams and sensor components.

• 작업 모드의 분류

- 연속 모드/단속 모드 총 30여 개 모드 설정

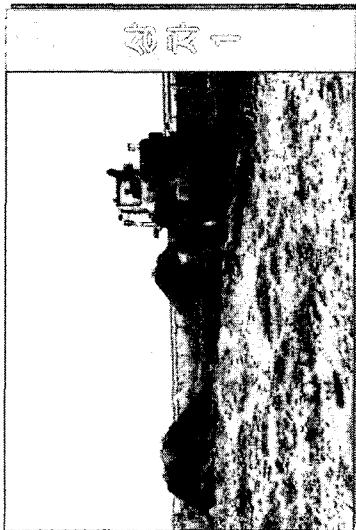
• Usage Rate 측정

- 분류된 모드별 점유율 결정
- Field Survey, Video Analysis 등

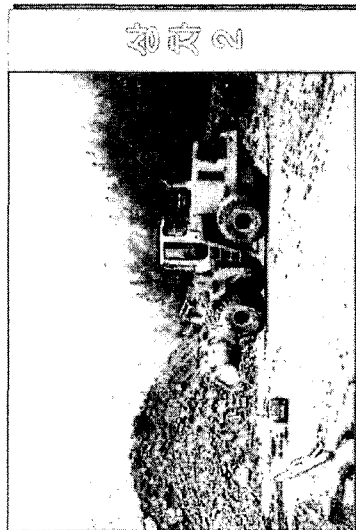
• 시험 설계

- 측정 채널: 총 50여 채널
 - Strain, 압력, Load, Torque, RPM 등
 - Strain Gage, 압력계, Customized Load/Torque Cell, 근접 센서 등
- 시험 장소
 - 사내 시험장 및 고객 사이트
- 측정 장비
 - 대용량 무선 계측 실차 설비 이용

시험 측정 모드



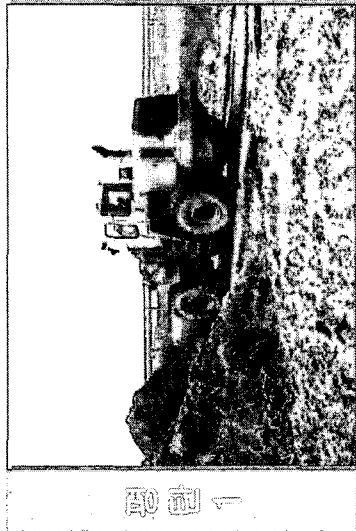
상차 1



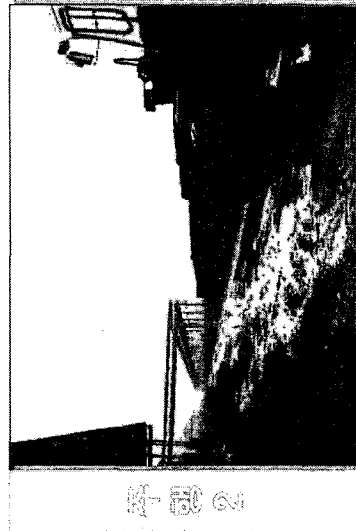
상차 2



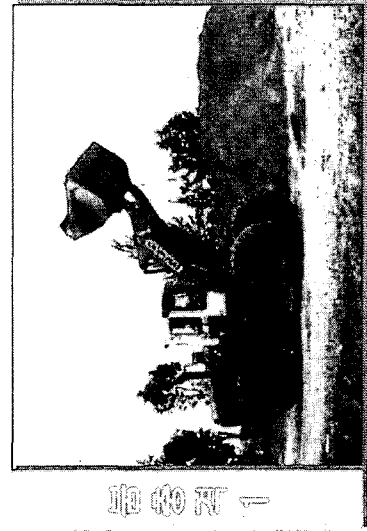
버킷 충전 1



평탄 1



주행 2

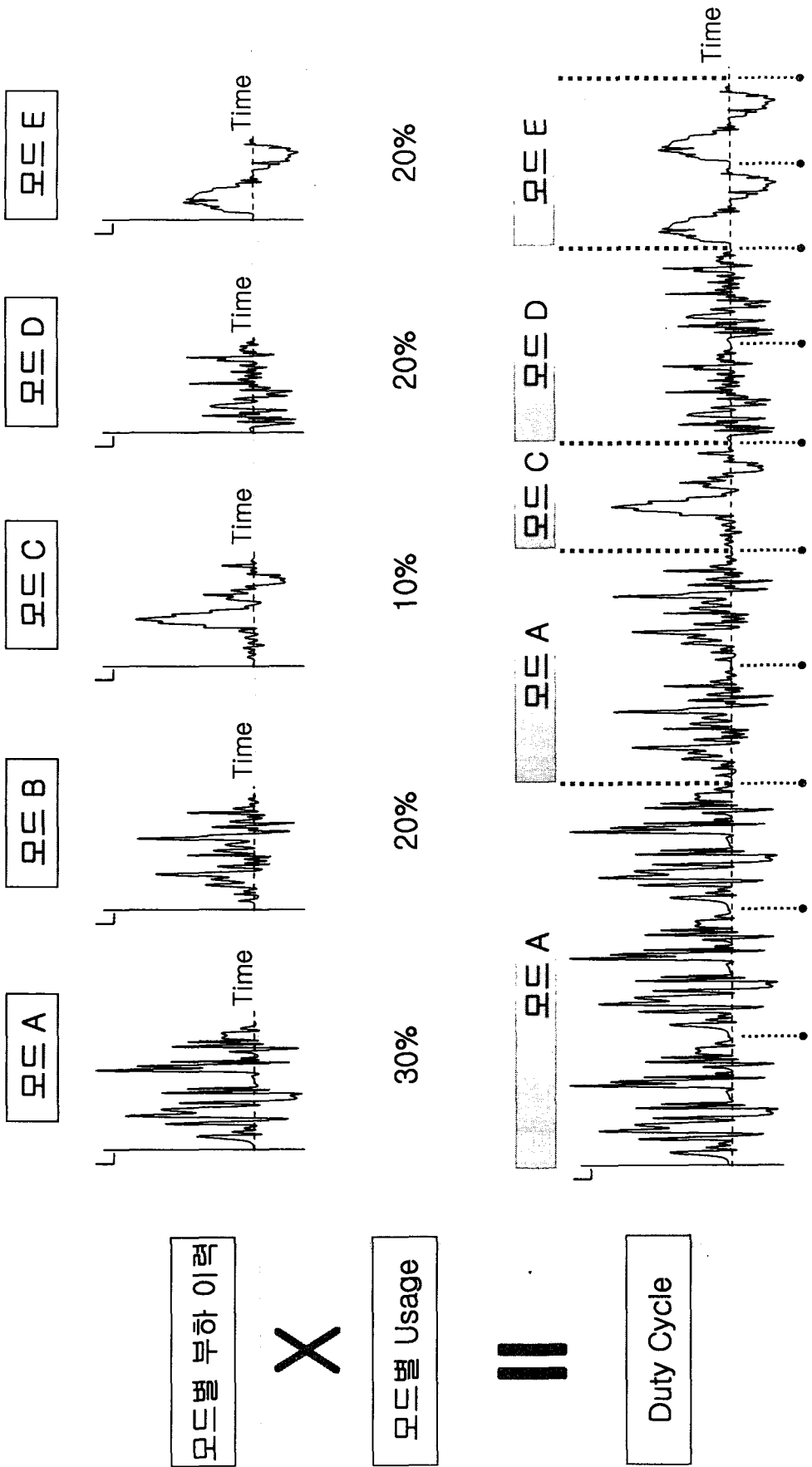


버킷 충전 2

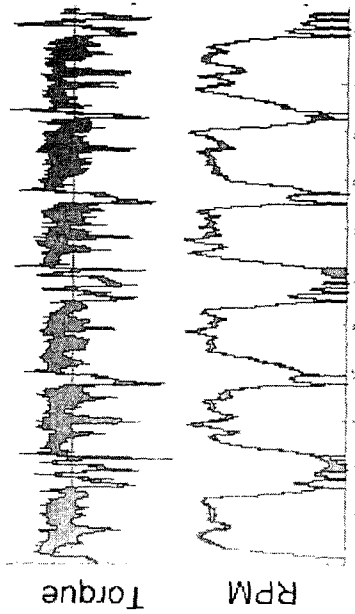
연속 작업 모드		Usage Rate
Code	작업 모드	
C-1-1	상차 작업 1	A
C-1-2	상차 작업 2	B
C-1-3	상차 작업 3	C
C-1-4	상차 작업 4	D
C-2-1	운반 작업 1	E
C-2-2	운반 작업 2	F
C-2-3	운반 작업 3	G
C-3-1	평탄 작업 1	H
C-3-2	평탄 작업 2	I
C-4-1	주행 1	J
C-4-2	주행 2	K
		L
		M
		N
		O
		P
		Q
		R
		S
		T
		U
		V
		W
		X
		Y
		Z

단속 작업 모드		
Code	작업 모드	
E-1-1	버킷 충전 1	a
E-1-2	버킷 충전 2	b
E-2-1	물 충전 1	c
E-2-2	물 충전 2	d
		e
		f
		g
		h
		i
		j
		k
		l
		m
		n
		o
		p
		q
		r
		s
		t
		u
		v
		w
		x
		y
		z

모드별 측정 부하의 종합에 의한 Duty Cycle 완성

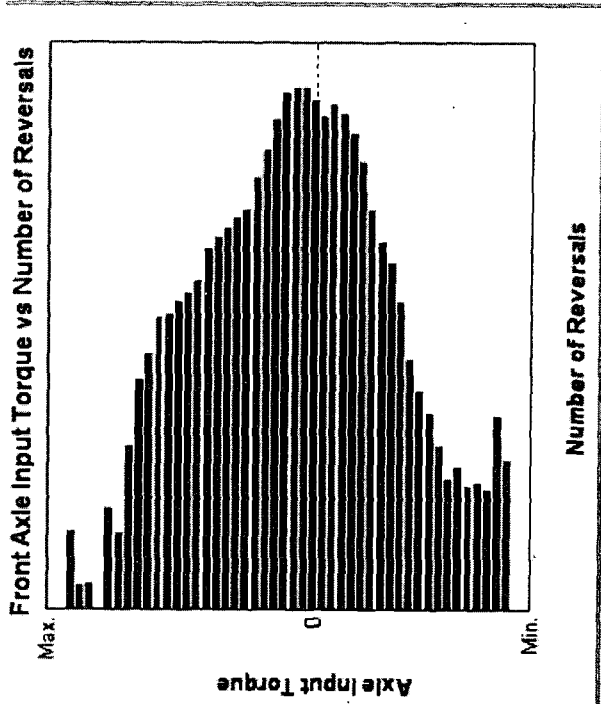
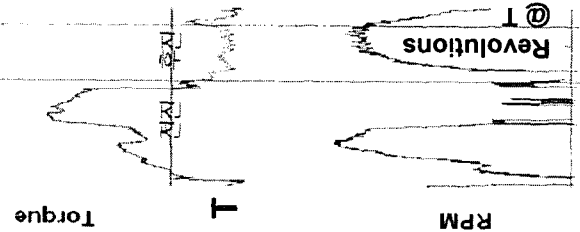


Axle Input Torque의 분석



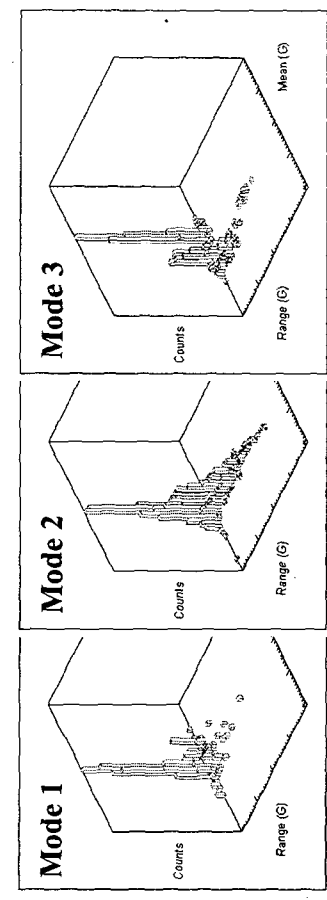
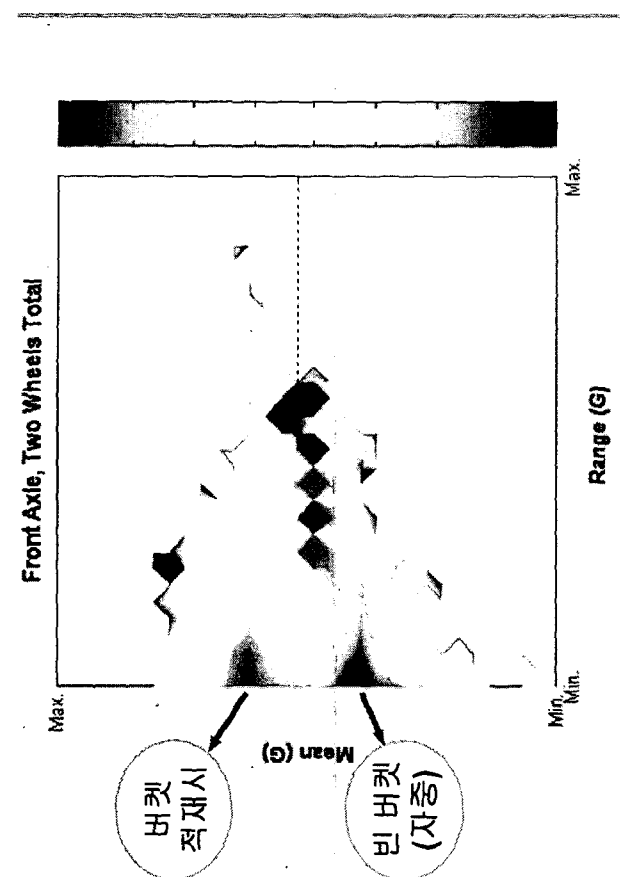
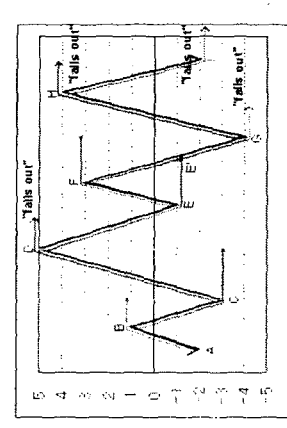
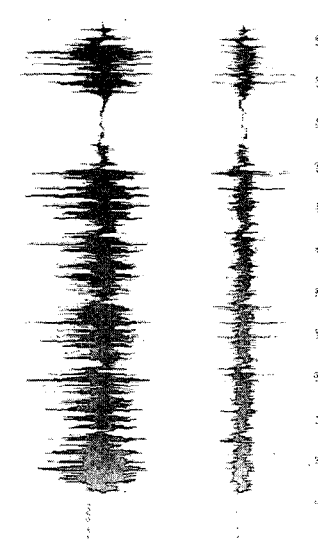
• 토크 단계별 총 회전수

- 특정 토크 구간에서의 회전수 (No. of Revolution)
 - 해당 부하에서의 부하 빈도 (Cycle 또는 점유율)에 해당
 - 토크를 일정 구간으로 나누어 해당 구간의 회전수를 누적하여 계수
- 각 모드별 계수값 종합
 - Usage 감안, 전체 모드 종합하여 Duty Cycle 완성



Axle 작용 하중의 분석

- Rain-Flow Counting
 - 외력에 의한 주요 손상 기구
 - Axle Housing의 피로
 - 하중 단계별 점유율 보다 하중의 변동량(Range) 및 평균(Mean), 반복회수(Cycle)이 중요함
 - 모드별 Counting 실시 후 종합
 - Usage 고려, Duty Cycle 완성

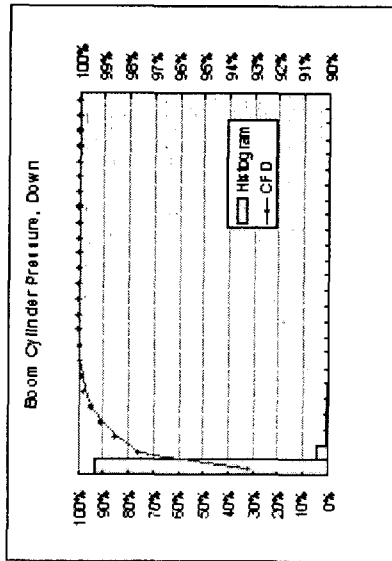


Cylinder Pressure Distribution

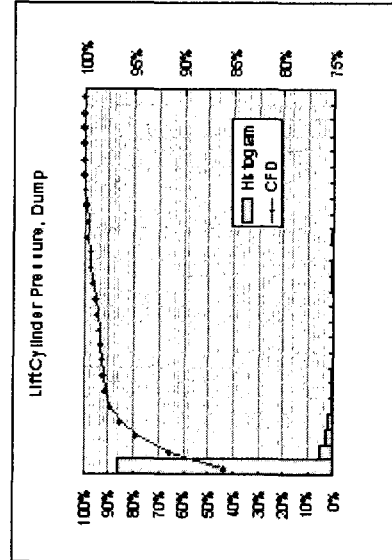


Infracore

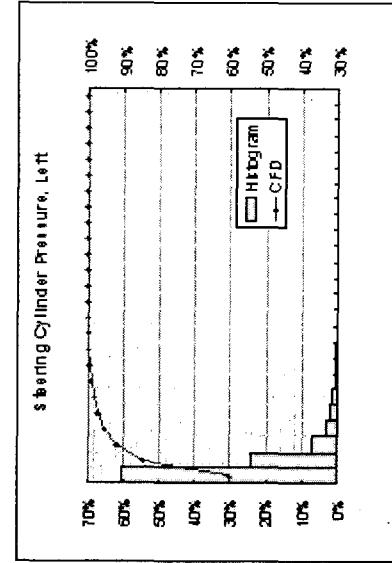
Boom Cylinder



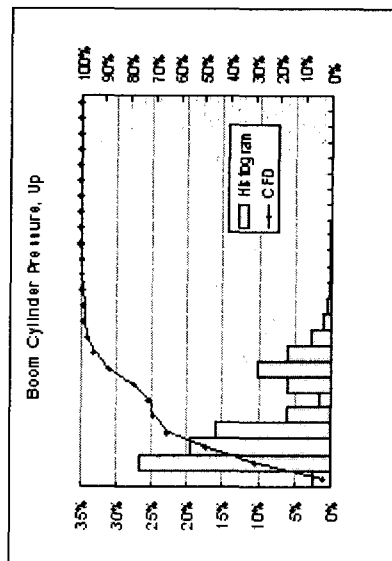
Bucket Cylinder



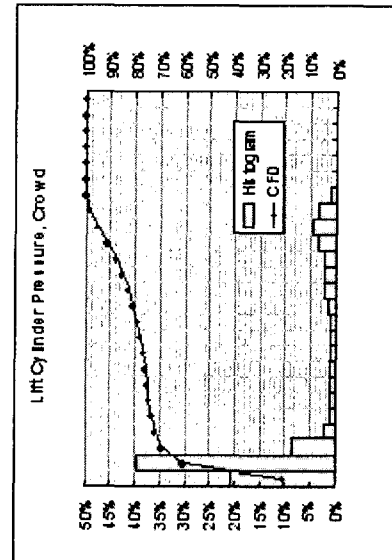
Steering Cylinder



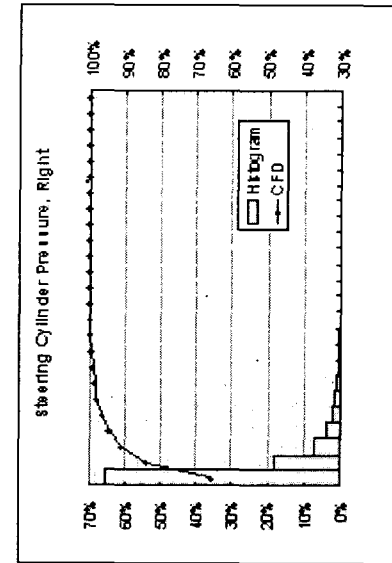
Boom Cylinder Pressure, Up



Lift Cylinder Pressure, Crowd



Steering Cylinder Pressure, Right



측정 Duty Cycle을 이용한 부품 시험 사례

• FMEA 실시

1. 수명분포: 와이볼
2. Failure Mode: Seal 마모
3. Failure Mechanism: Abrasive Wear
4. 주요 Stress: Temperature, Particulate, Mud

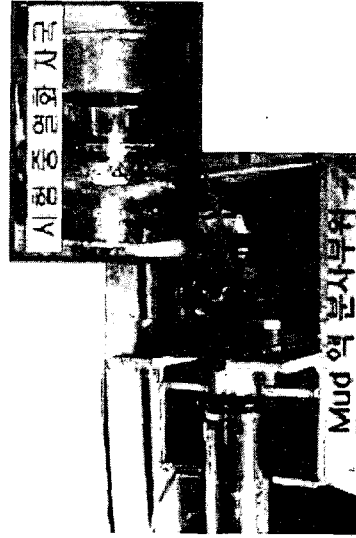
• 가속 모델의 선정

$$AF = \left(\frac{W_{(best)}}{W_{(field)}} \right)^{exp} \left[\frac{E_A}{K} \left(\frac{1}{T_{field}} - \frac{1}{T_{best}} \right) \right]$$

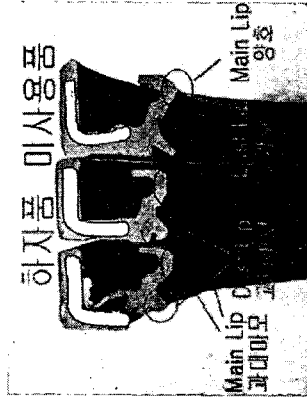
• 신뢰성 보증 시험 설계

시료수 n	1	
허용고장수 r	0	
형상모수 β	1.2	
신뢰수준 P	60%	
보증수명 Bx x	10%	
보증 Bx LIFE Bx	A	
사용률 적용 보증수명 Bxur	A'	
사용률 Ur	B	
사용조건 시험시간 h (hr)	C	
가속 계수 AF	D	
가속 조건 시험시간 (hr)	E	
시험인자	필드 조건	시험 조건
회전속도 (rpm)	R	R + r
온도 (°C)	T	T + t

프롤펠링 테스트 내부시험 (Mud Box) (동영상)



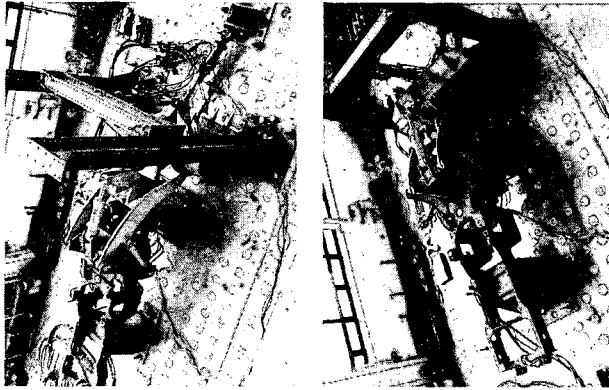
하자품 미사용품



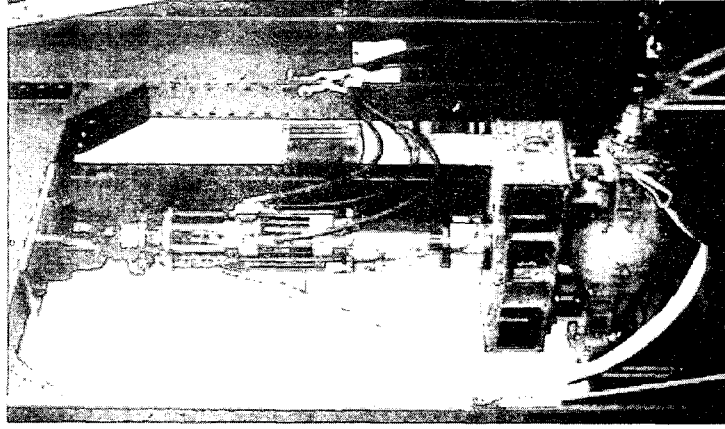
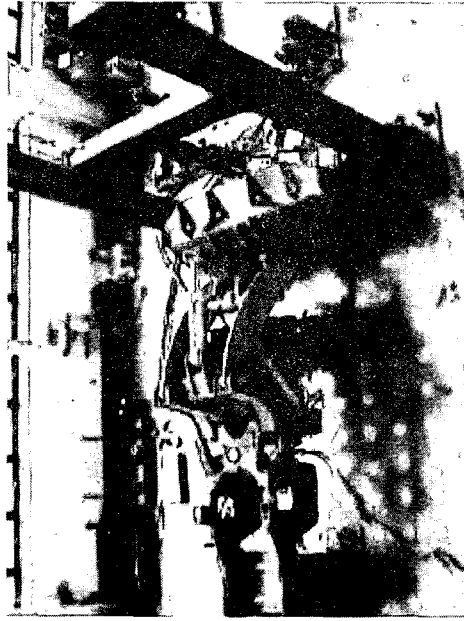
외관1차 Seal



축정 Duty Cycle을 이용한 구조물 시험 사례



원로터 프레임 내구시험 (충동)



원로터 케이스 내구시험

- 하우징 내구시험 조건 설정 사례
 - 목표 수명 : B-10 수명 30,000 hrs.
 - 신뢰수준 : 70% ($1/\theta_L = 1.2/T$)
 - 시료수 : 2, 고장허용개수 : 0

- 내구시험 조건

단계	하중	Cycles
1	2.5G	5,000
2	2.1G	430,000
3	1.6G	8,600,000