

중장비용 유압 Sealing 부품의  
고장분석 및 가속수명시험

신뢰성 평가센터  
선임연구원 이경목

□ 서론

- O-Ring의 기능 및 조건
- 검사 및 평가방법
- 누유 요인도
- 고장분석

□ 본론

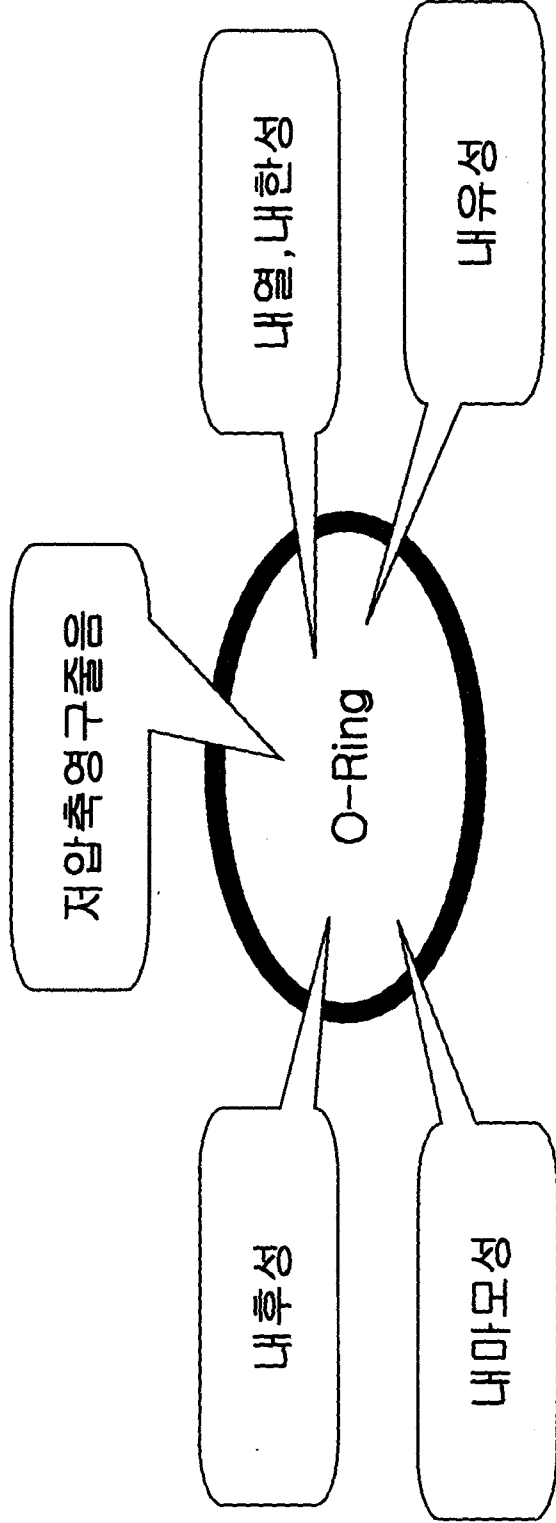
- Field 수명 및 고장분석
- 고장사례
- O-Ring 수명 비교시험(Maker)
- 시험장치
- 가속수명시험 설계 및 가속계수
- 모수 동일성 검증

□ 결론

□ 서론

◇ O-Ring의 기능 및 조건

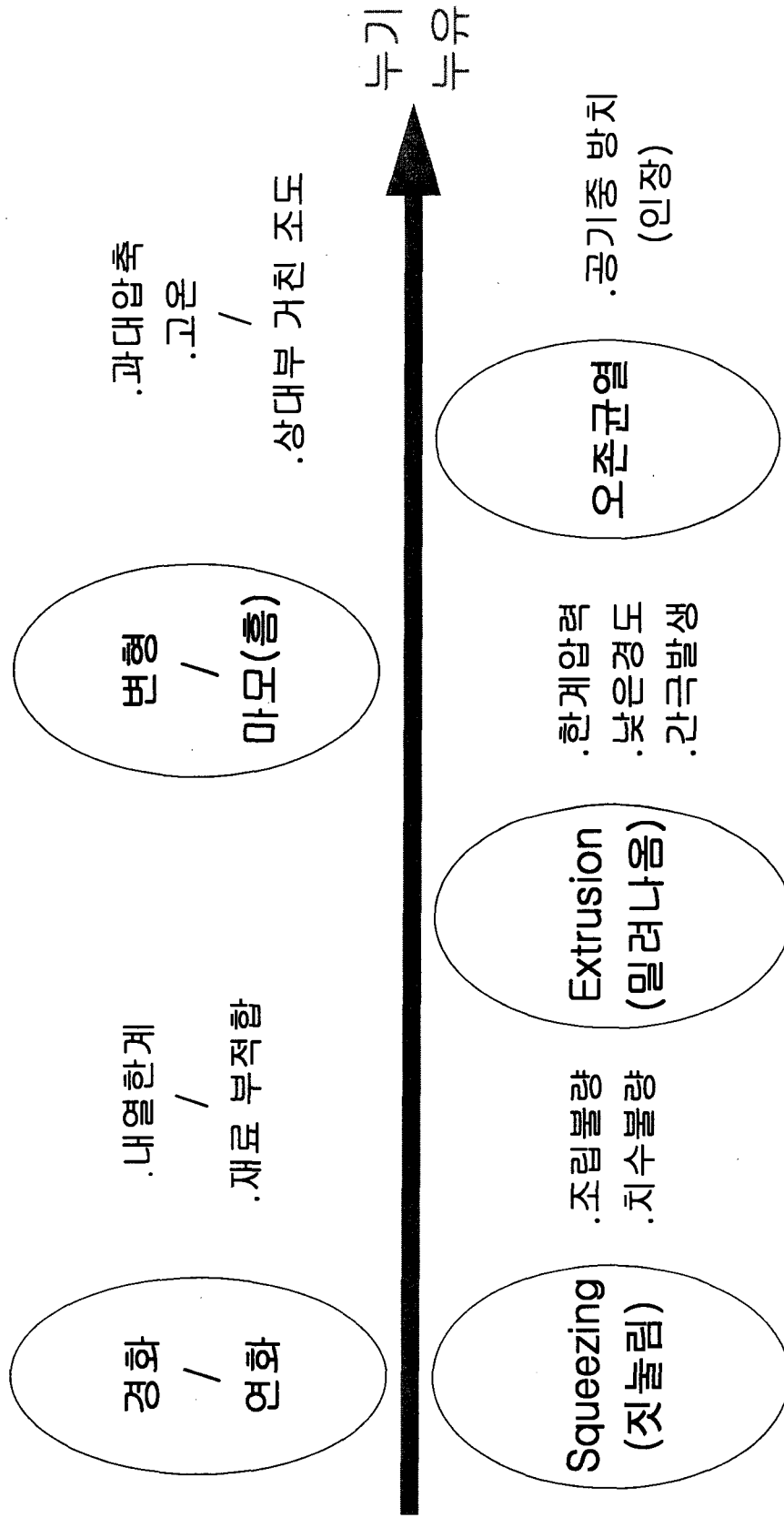
- 조립후 압축시에 발생하는 응력에 의해 밀봉 기능을 하는 기계 요소
- 소형화, 경량화, 장착 / 분해 용이, 다양한 재료, 광범위하게 적용
  - ⇒ 온도(-60 °C ~ 220 °C)
  - ⇒ 압력(1500 Kgf/cm<sup>2</sup> : Back Up Ring 병행 적용)



◇ 검사 및 평가방법(KS B 2805)

구분	검사항목	불량원인 및 평가내용	평가방법
치수	내경, 외경, 두께	치수확인	버니어, 투영기
	흠, 균열, Burr	성형상태	외관, 투영기
외관검사	재질	재질종류 확인	FT/IR
	비중	이종재질 투입 여부	비중계
	경도	가항도 확인	Shore A/IRHD 경도계
재료물성	인장강도	재료의 기계적 물성	인장시험기외
	신장률		
	인열강도		
	압축영구줄임률		
	내구성		
성능	내노화성	오일과의 적합성	침지시험기
	제품성능	온도에 의한 적합성	노화시험기
		실차조건(압력, 오일, 온도, 압축량)	내구성능시험기

◆ O-Ring 누유 요인도



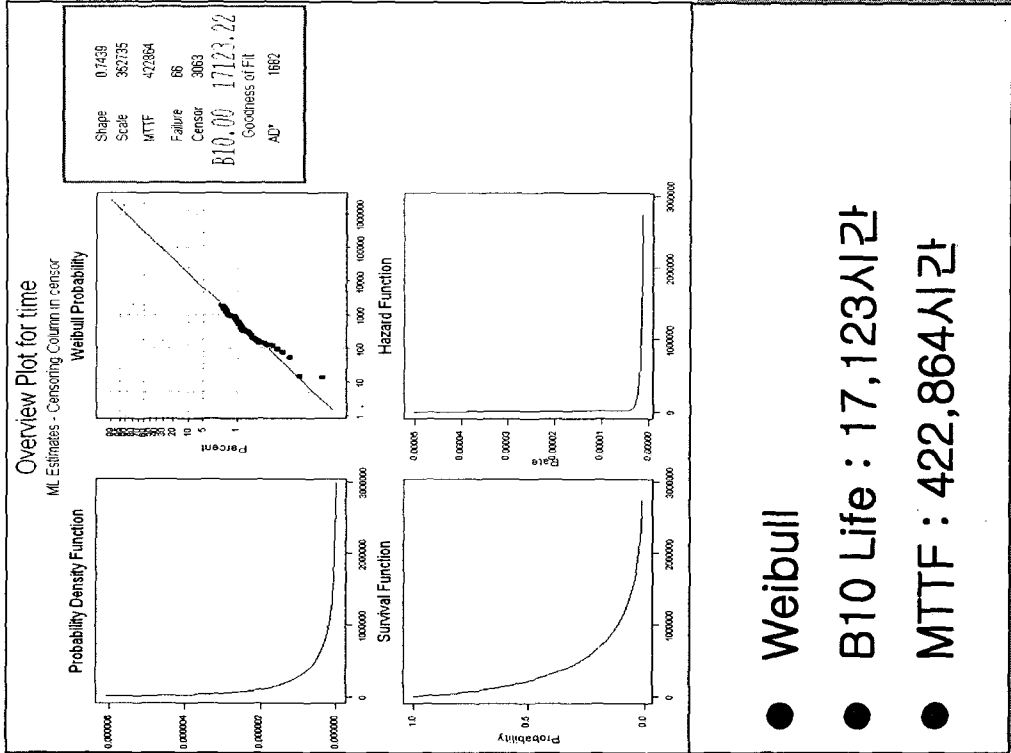
◇ O-Ring 고장분석

요인	고장 Mode	원인	대책
경화	경화, 균열	과도한 유온으로 재료의 내열한계 이상	내열성 재료 적용
연화	재료 부적합 Swelling(팽윤)	재료와 윤활유의 부적합성	윤활유에 적합한 재료변경
		용제등에 접촉하여 팽윤(Swelling)	세정시 사용윤활유 사용
변형	Groove(홈)형상으로 변형	고온(경화), 과내압축량의 상호작용	눌림량과 재료선정 검토
Extrusion (밀려나옴)	짜어짐	과내압력	Back up Ring 병행
		간극반새	Clearance 검토
		경도저하(Swelling)	재료 재선정
Squeezing (지눌림)	끼기 뉘임	O-Ring > 홈	홈치수 재검토
		조림불량	조림성 검토
오존균열	표면 균열	공기중 방치(인자)	윤활유 도포 밀봉 관리
마모/흠	흠, 마모반새	흠부 거친표면에 접촉	상대면 조도관리

◇ Field 수명분석

- 당사 증장비용 유압 O-Ring 누유품
- 재질 : NBR
- 적용부위 : 유압호스 연결부
- 분석 시료수 : 3129개
- 2,000시간 우측 관측중단

- 2,000시간 이내 고장 : 66개
- 2,000시간 이내 무고장 : 3063개



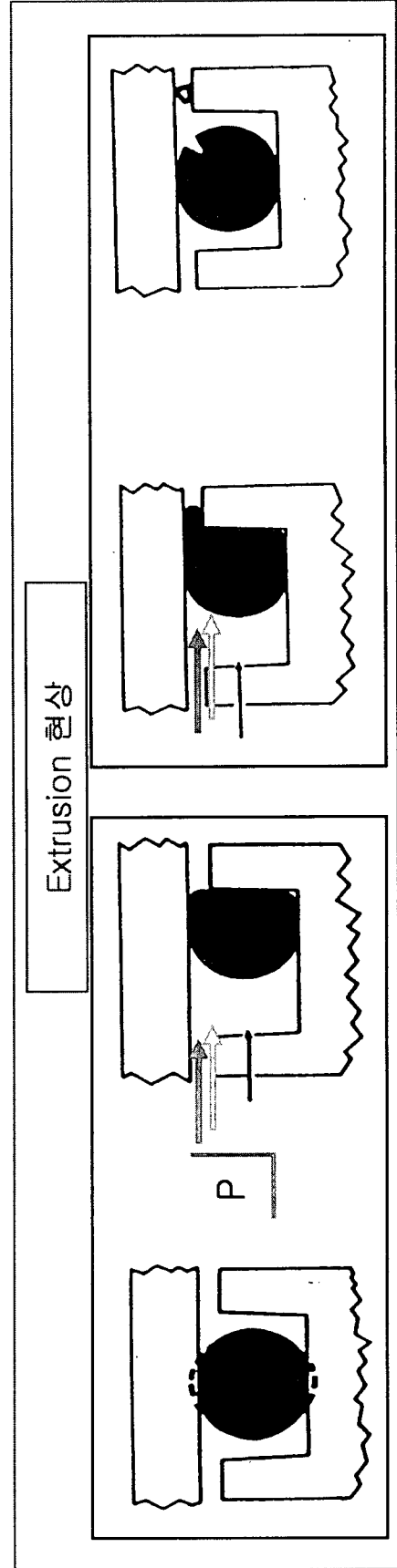
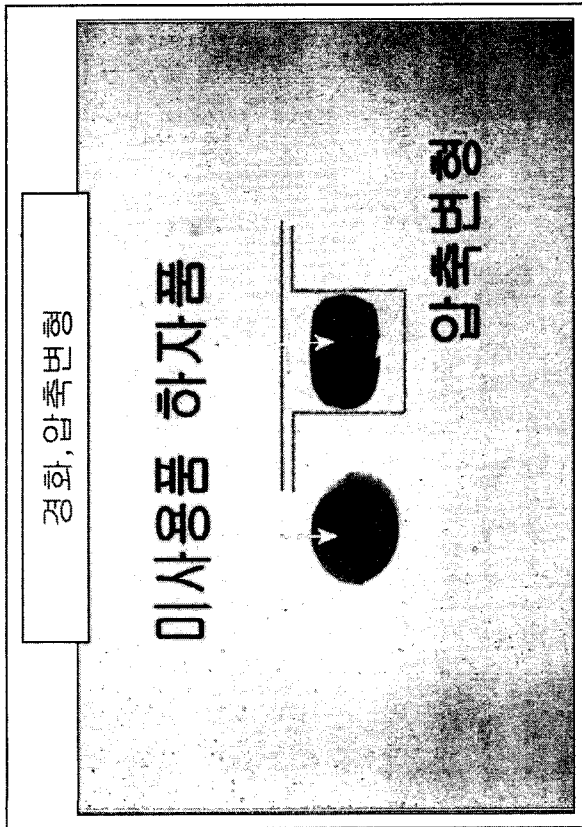
- Weibull
- B10 Life : 17,123시간
- MTTF : 422,864시간

◆ Field 고장분석

NO	부품명	기능	잠재 고장모드	잠재적 고장영향	시간도 심각도	고장원인 Immediate Cause/Root Cause	발생도 빈도	현 설계관리	검출도	RPN
1	O-Ring	기밀유지	누유	작동저하	6	온도에 의한 경화 이차영구변형 압축영구변형	6	내열 내구시험	4	144
						조립불량에 의한 새힘/질손	6	자어표준 작성 토크관리	4	144
						압력과대 및 조임부족에 의한 Extrusion	3	경도 및 재질관리 토크관리	2	36
2	Hose	유압동도	누유	작동불능	9	압력변동에 의한 파손	3	impouise 내구시험	1	27
3	Fitting	연결	누유	작동저하	6	진동 및 압력변동에 의한 풀림	4	impouise 내구시험 토크관리	4	96

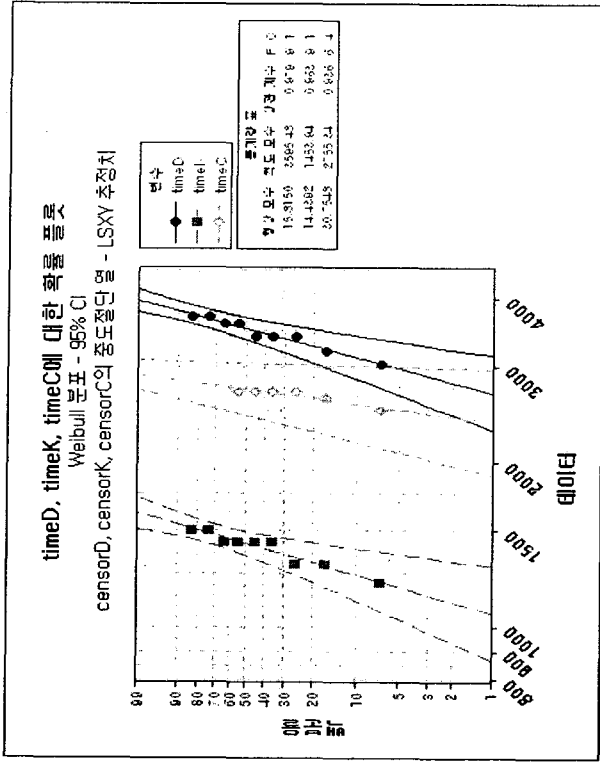


◆ Field 고장사례



### ◇ O-Ring 수명 비교시험(Maker)

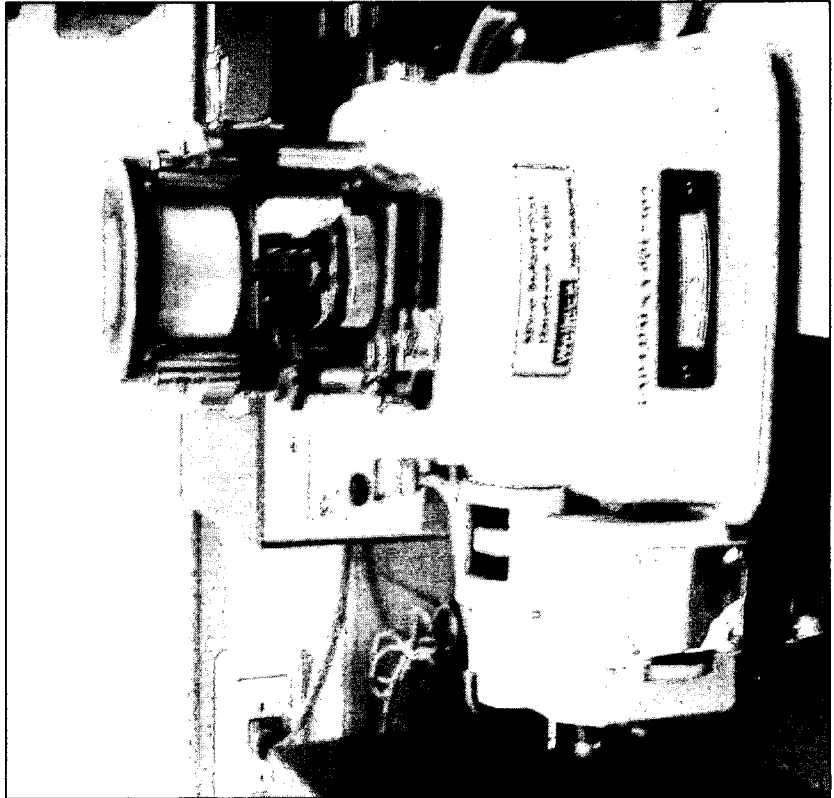
- 중장비 Maker 유압 O-Ring 3종
  - 재질 : NBR
  - 적용부위 : 유압호스외
  - 침지시험
- ⇒ ISO VG 46,85 °C/100 °C/120 °C
- 고장기준 : 경도(IRHD) +7 상승
  - 우측 관측중단



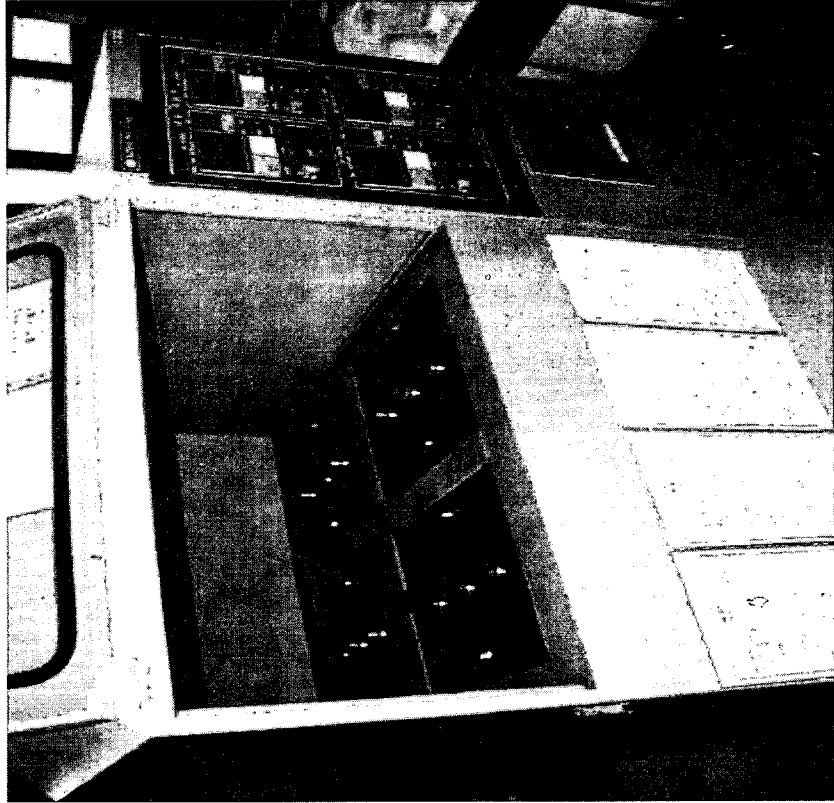
Maker	85 °C		100 °C		120 °C	
	B10	MTTF	B10	MTTF	B10	MTTF
당사	3477H	3118H	2275H	2127H	696H	627H
C 사	2706H	2560H	982H	960H	219H	180H
K 사	1402H	1244H	845H	700H	210H	172H

◆ 시험장치

IRHD 경도기

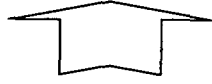


침지시험기



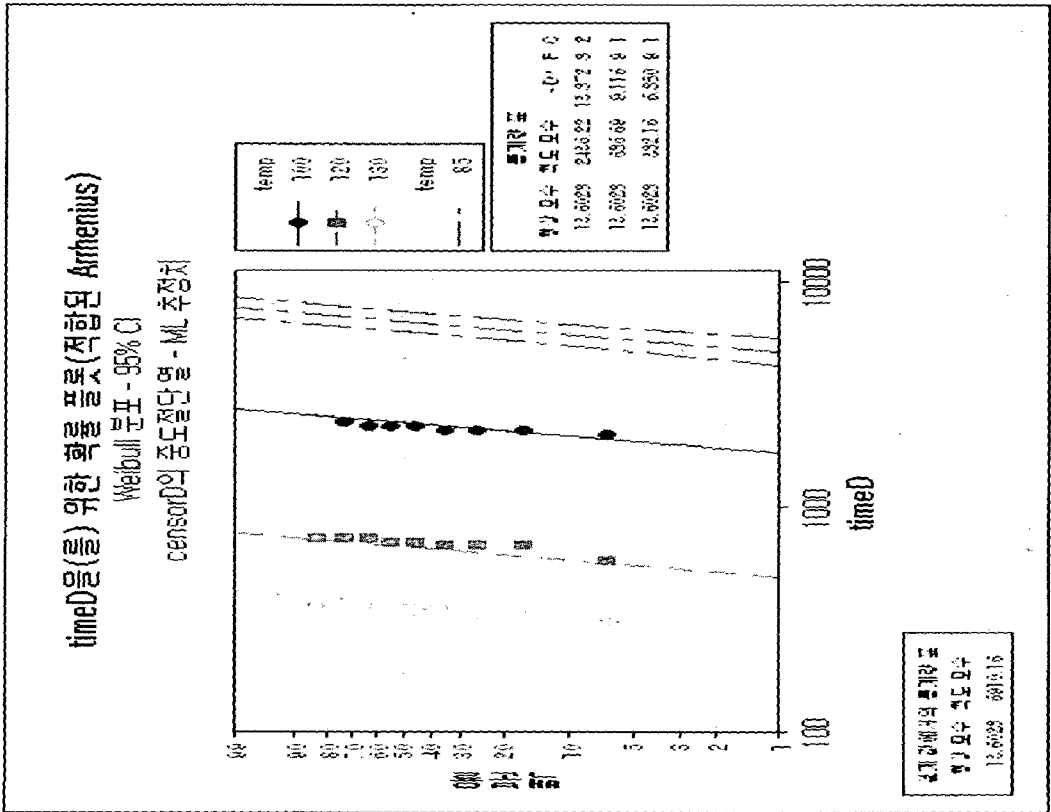
◇ 가속수명시험 설계

- 당사 증장비용 유압 O-Ring
- 재질 : NBR
- Arrhenius Model 적용
- 온도에 의한 가속시험  
⇒ 사용온도 : 85 °C



- 침지시험(ISO VG46)  
⇒ 시험온도 : 100 °C/120 °C/130 °C
- 고장기준 : 경도(IRHD) +7 상승
- 유축 관측중단

◆ 가속계수



가속 변수와의 관계: Arrhenius

예측 변수	계수	표준 오차	Z	P	하한	상한
절편	-17.0950	0.552915	-30.92	0.0000	-18.1787	-16.0113
temp	0.800457	0.0185711	43.10	0.0000	0.764058	0.836855
할상 모수	13.6028	2.12094			10.0210	18.4649
			로그 우도 =		-151.381	

timeD을(를) 위한 확률 분포(적합된 Arrhenius)  
Anderson-Darling(수정된) 적합도

활성화 에너지(Ea)  
0.8

백분위수 표

백분위수	temp	백분위수	표준 오차	하한	상한
53.2	85	6910.00	353.452	6250.82	7638.69
63.2	100	2436.16	70.2213	2302.34	2577.75
63.2	120	686.675	10.5413	666.322	707.650
63.2	130	382.152	8.91764	365.067	400.036

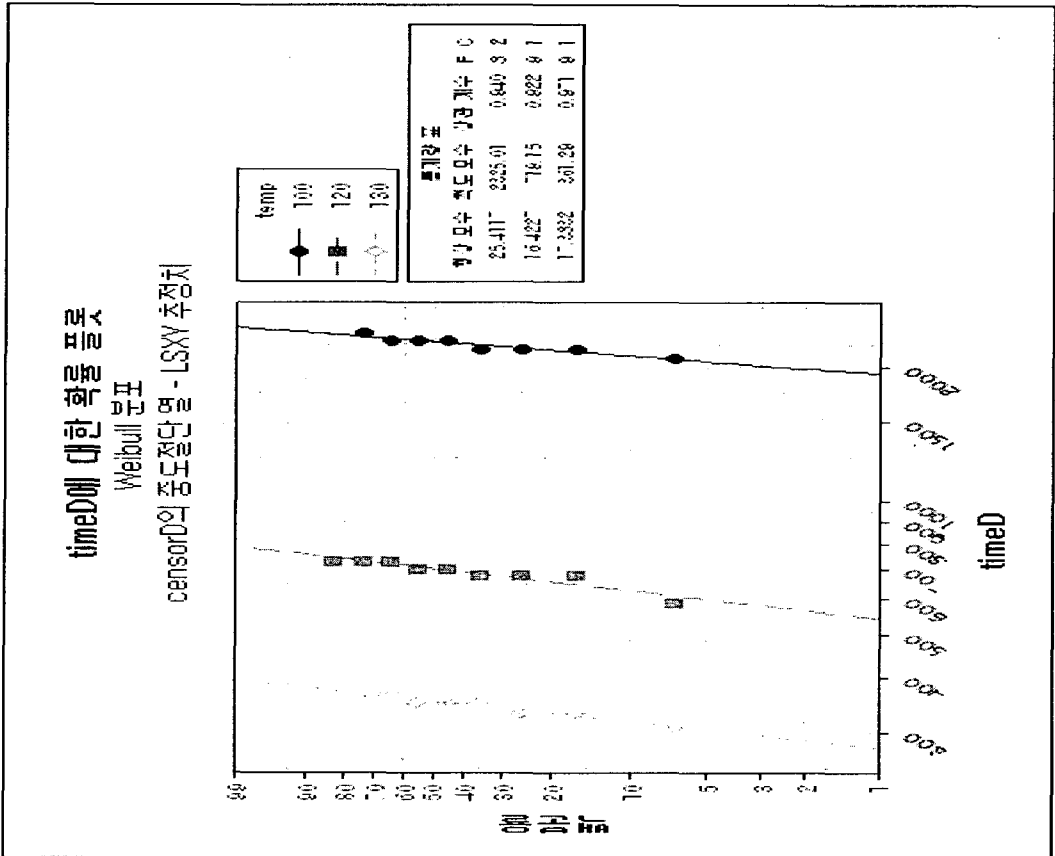
95.0% 정규 CI

생존 확률 표

시간	temp	확률	하한	상한
8760	85	0.00000000	0	0.0103515
8760	100	0.00000000	0	0.00000000
8760	120	0.00000000	0	0.00000000
8760	130	0.00000000	0	0.00000000

- 85 °C 기준
- 100 °C ⇒ AF = 6910 / 2436.16 = 2.8
- 120 °C ⇒ AF = 6910 / 686.675 = 10.1
- 130 °C ⇒ AF = 6910 / 382.152 = 18.1

# ◇ 모수 동일성 검증



동일 형상 모수에 대한 검증

## 검정 통계량

카이-제곱 DF P  
2,430.12 2 0.297

Bonferroni 95.0% (개별 98.33%) 동시적 CI

timeD x temp에 대한 형상 모수 = 100을(를) 다음으로 나눔:

temp 하한 추정치 상한  
120 0.2456 0.6463 1,700 (-----)  
130 0.3483 0.6841 1,344 (-----)

timeD x temp에 대한 형상 모수 = 120을(를) 다음으로 나눔:

temp 하한 추정치 상한  
130 0.3737 1.0585 2,998 (-----)  
0.80 1.60 2.40

각 스트레스 수준에 따른 모수의 동일성 검증

- 검정 통계량(P) = 0.297  
⇒ 0.05이상으로 유의하지 않다.  
따라서, 동일함

■ 중장비용 유압 O-Ring의 Field 주요 고장요인

- 1) 온도에 의한 경화 및 압축 영구 변형
- 2) 조립불량에 의한 Squeezing(씰힘/질손)
- 3) 압력과대 및 조임부족에 의한 Extrusion(밀려나옴)

■ Maker별 O-Ring 수명 비교 시험결과

- 당사 > C사 > K사
- 동일재질(NBR)의 O-Ring에서도 수명 차이 발생  
⇒ 재료물성은 O-Ring 수명의 주요 영향 인자

■ 당사 중장비용 유압 O-Ring(NBR) 온도 가속수명 결과

- 활성화 에너지 : 0.8  
⇒ 고무 활성화 에너지 : NBR 0.7 / 불소 1.0
- 온도별 가속계수  
: 85°C 기준  
⇒ 100°C : 2.8배 / 120°C : 10.1배 / 130°C : 18.1배