

AC Fan Motor의 고장분석과 가속열화시험

2006. 5. 18 ~ 5. 19


김진우

E-mail : jinwoo@dwe.co.kr

정준식 · 이재국 · 이희진 · 문지섭 · 신재철
(주)대우일렉 품질신뢰성연구소

김명수 · 차상원
수원대학교

Quality & Reliability Research Center

 DAEWOO Electronics Corp.

Contents

1. 개요
2. AC Fan Motor 고장 분석
 - Fan Motor 고장 메커니즘
 - Field 고장품 분석
 - Blade & Clip 부위 파손 원인분석
 - Locked-Rotor 원인분석
3. ADT (Accelerated Degradation Test)
 - FAN의 수명예측
 - 2-Stage QFD
 - ADT 설계
 - 시험 데이터 분석
4. 결론
5. 후기

Quality & Reliability Research Center

 DAEWOO Electronics Corp.

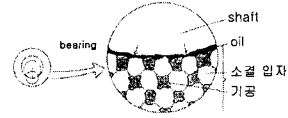
개요

1. AC Fan Motor

- 전자기기의 유체(냉기) 순환 및 공급, 내부 열 냉각 / 저소음, 저진동, 장기 수명

2. Shaded Pole Motor 원리

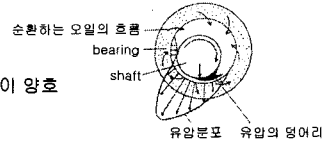
- Shading Coil에 의해 회전 자기장이 형성, Torque 발생하여 회전함
- 정지시의 상태: shaft는 회전체의 자중에 의해 베어링의 가장 일부에 떨어져 있고 윤활 오일은 베어링의 기공 중에 내장되어 있음



[베어링의 정지시의 상태]

- 회전시의 상태:

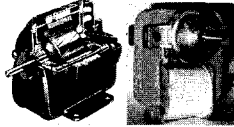
- shaft와 베어링의 마찰열 발생으로 윤활작용
- pump 작용의 메커니즘에 의한 윤활작용



[윤활 오일의 pump 작용의 메커니즘]

3. Shaded Pole Motor 특징

- 자기윤활작용, 무급유로 장시간 운전, 다공질체로서 축과의 결합성이 양호
- 효율과 역률이 작으며 기동 토크 작음
- 구조가 간단하고 견고함
- 모세관에 의한 윤활과 옴의 흡수
- 동작시 Blade의 반복적 편심 하중에 노출되어 Field 고장 발생



Quality & Reliability Research Center

DAEWOO Electronics Corp.

AC FAN MOTOR 고장 메커니즘

1. 구속(Locked-rotor)

: shaft 와 bearing 간의 고착에 의한 FAN의 회전 불량

2. RPM 저하(Reduction in rotational speed)

: 구속의 전 단계로 모터 회전 속도가 감소

3. 소음(Excessive vibration or noise)

: FAN의 회전은 정상적이나 소음 발생

4. Blade 간섭(Rubbing or hitting of the blade)

: 모터 회전시 blade와 주변 기구물과의 간섭으로 인한 이음

5. 기동불(Failure to start)

: 모터 고장에 의한 기동 불가

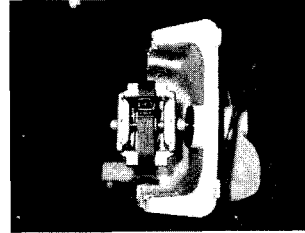
Quality & Reliability Research Center

DAEWOO Electronics Corp.

Field 고장품 분석

1. Field 고장품 수집

- 고장시료 : 총 63개 입수 (제조업체: A, B, C, D)
- 규격 : AC 220V, 60Hz
- RPM : Blade 크기에 따라 다름



[고장시료 사진]

2. Field 고장품 분석

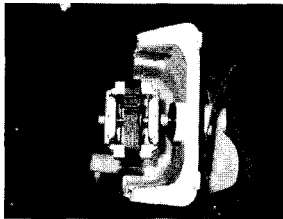
분류	구속 및 RPM 저하	소음(blade 파손)	합계
시료 수	41	22(15)	63
점유율	65%	35%	100%

Quality & Reliability Research Center

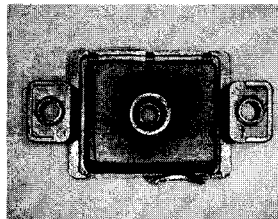
DAEWOO Electronics Corp.

FAN MOTOR 구속 원인 분석

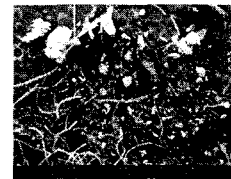
1. 구속 시료 분해 분석



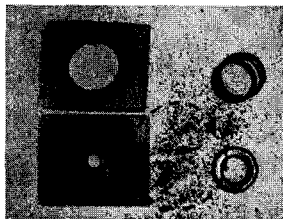
[구속된 시료 사진]



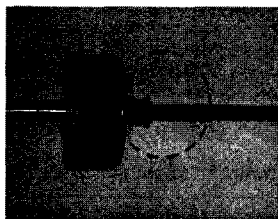
[오일 필터에 함유된 오일이 완전 소모됨]



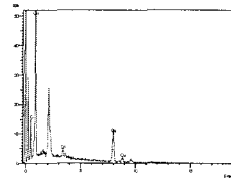
[마멸 및 산화물의 SEM 사진]



[오일 필터 표면 위에 이물질 존재]



[Shaft 표면의 베어링과 닿는 부위에 이물질 고착됨]



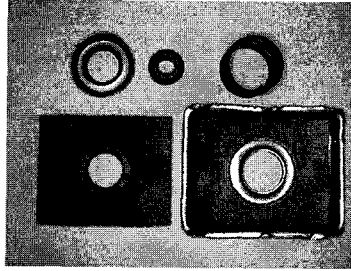
EDS 성분분석 Data
- Cu, Sn, O, C 검출됨

→ 베어링의 마멸물 및 오일의 산화물

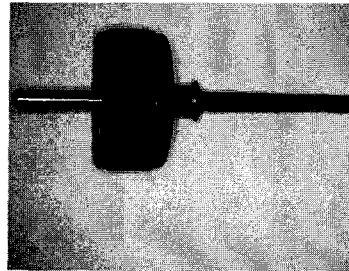
Quality & Reliability Research Center

DAEWOO Electronics Corp.

2. RPM 저하 시료



[오일 펠트에 함유된 오일이 소모되어 없어짐]



[Shaft 표면의 베어링과 닿는 부위에 검은색 이물질 존재]

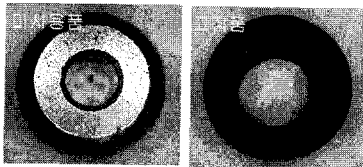
- ▶ 구속시료에 비해 마멸물 및 산화물은 적으나 오일 펠트(oil felt)에 함유된 오일이 소모되어 없어짐
→ 구속시료와 동일 메커니즘이나 그 정도가 심하지 않음

Quality & Reliability Research Center

DAEWOO Electronics Corp.

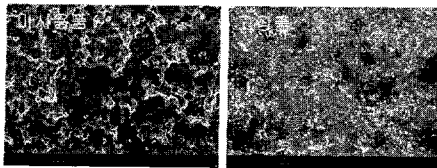
Bronze self-lubricating bearing 분석

■ Visual Inspection (Hi-Scope)

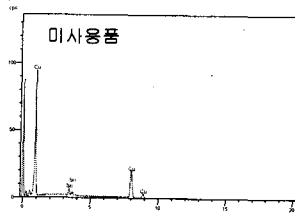


[고장품(Fan Motor 구속) 베어링 표면 부식 심함]

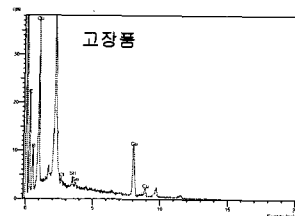
■ DPA 분석 (SEM & EDS)



- 미사용품의 경우 소결 함유 베어링의 기공이 작음
- 고장품의 경우 표면 부식이 심함



• 미사용품: Cu-10%Sn
(정동계 소결 함유 베어링, Grade III)



• 고장품: Cu-Sn계 베어링으로서 부식물 검출됨(O, Cl 검출)

Quality & Reliability Research Center

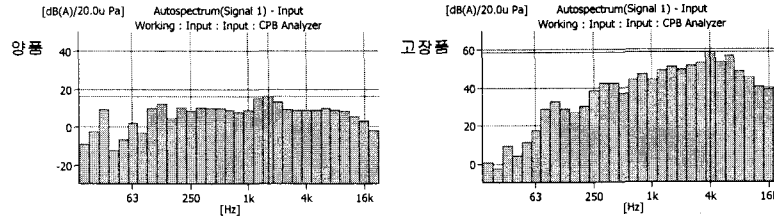
DAEWOO Electronics Corp.

Fan Motor 소음 원인 분석

■ 측정 조건

- 측정 항목 : Sound Pressure Level (SPL)
- 측정 조건 : Semi-anechoic Chamber, free-free condition, 시료와의 거리 50cm

■ 측정 결과



시음	소음	Blade 제거 후 소음	소음 원인
미사용품	23.7dB	-	-
고장품 - blade 날개 파손	63.2dB	42.2dB	Blade 파손에 의해 편심 발생 → 베어링 마찰 → 소음 발생
고장품 - center 파손	36.5dB	22.7dB	베어링 부위 이상 없음

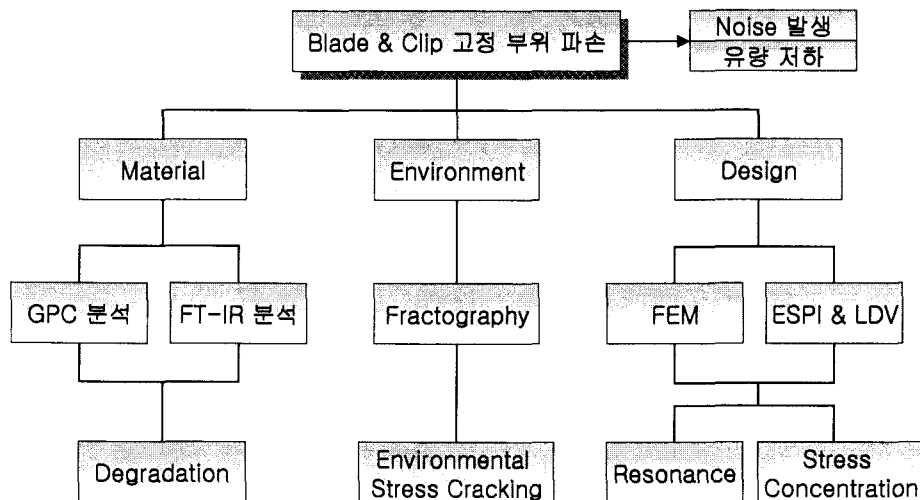
(소음 규격: 40dB 이하)

- ▶ 소음 측정결과 주 소음원은 Blade 파손이며, Blade 파손에 의한 편심 발생으로 소음이 발생
- ▶ 편심에 의한 베어링 마찰 가속 및 소음 증가 유발

Quality & Reliability Research Center

DAEWOO Electronics Corp.

Blade & Clip 부위 파손 원인 분석



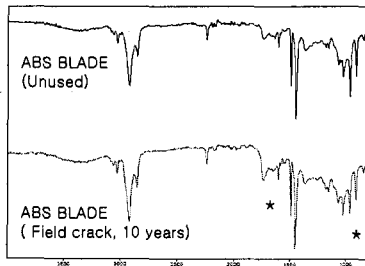
Quality & Reliability Research Center

DAEWOO Electronics Corp.

Blade 재료의 열화분석

■ ABS의 소재의 열화분석

- ▶ FT-IR (Fourier transform Infrared Spectroscopy)
 - ABS blade 파면 (10년 사용품) 측정결과 미사용품에 비하여 재료의 산화가 관찰됨
 - 1760cm^{-1} ($-\text{C}=\text{O}$) , 966cm^{-1} (PU 열화)
- ▶ 분자량 평가 (by Gel Permeation Chromatography)
 - Mac + 0.05MliBr solvent, Calibrated PMMA
- ▶ Blade 표면에 산화 현상은 있지만 파손의 직접적인 원인은 아님



[FT-IR Spectra : Unused/Cracked sample]

[GPC 분석결과]

No.	Mn	Mw	Mn/MW(PI)
Unused blade	62,379	142,405	2.3
10 years used blade	58,448	142,678	2.4

Quality & Reliability Research Center

DAEWOO Electronics Corp.

Blade 파면분석 (Fractography)

■ 환경응력균열 (ESC: Environmental Stress Cracking)

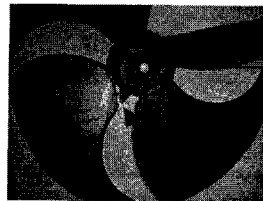
- ESC는 화학반응에 의한 것이 아니고 응력(stress)과 화학매체(chemical medium)에 의한 파괴현상
- 파면은 전형적인 취성파괴(brittle fracture)를 나타내고 Craze 형성에 의해 진행
- Craze는 화학매체(오일 및 수분)에 의해 팽윤(swollen) 현상이 일어나고 균열선단에서의 압력은 노치(notch)로 작용하여 크레이징(crazing) 발생 및 항복강도를 감소시켜 파괴를 일으킴

■ FAN Blade 파손분석

- 고장품의 23%가 Blade edge 및 Blade Center Clip 고정 부위 파손됨

■ Clip 고정부 ESC 고장

- Clip으로 고정되어 있는 Blade Center 부위(스트레스 작용)은 사용 중에 베어링 윤활 오일(화학매체)이 Shaft 축을 타고 흘러나와 Blade 표면에 비산되고, 동작조건에서 수분에 노출됨
- 파면분석결과 ESC의 특징인 smooth surface (brittle fracture)와 rough surface 동시에 관찰됨



[Blade center clip 부위 및 blade 파손]



[SEM image: (a) Chemical (b) Mechanical crack]

Quality & Reliability Research Center

DAEWOO Electronics Corp.

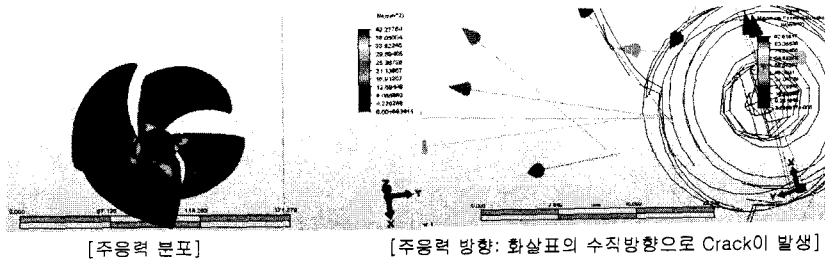
Blade 유한요소해석 (FEM)

■ 개요

- 목적 : FAN 회전시 유체로부터 받는 압력에 의한 Blade의 응력분포 해석
- 해석 TOOL : ALGOR
- Material Property
 - 재질: ABS 수지 밀도: 1.1506 g/cm³
 - 탄성계수: 2496 MPa 포아송비: 0.31 인장강도: 32~45 MPa
- Boundary Conditions : Blade 끝단에 z축 방향으로 0.1MPa 부가, 축의 반대편 고정

■ 주응력 분포 및 주응력 방향

- Blade 날개 시작부위에 최대주응력(maximum principle stress)이 발생하고 응력집중이 발생함
- 주응력 방향에 수직인 방향으로 파손이 예측되며 이것은 실제 파손 방향과 일치함
- Von Mises 응력이 17 MPa 정도로 인장강도(32 ~ 45 MPa)에는 미치지 않으나, 회전에 의해 계속적으로 반복응력이 가해지므로 피로에 의해 Crack이 발생함



[주응력 분포]

[주응력 방향: 화살표의 수직방향으로 Crack이 발생]

Quality & Reliability Research Center

DAEWOO Electronics Corp.

ESPI를 이용한 FAN의 진동 가시화 (Modal Analysis)

■ 개요 : 한 모드의 동 특성을 나타내는 매개변수인 고유진동수와 모드형상의 정보 획득

- 측정 : 가진 주파수에 따른 응답주파수를 LDV와 Puls ESPI (Electronic Speckle Pattern Interferometry) 를 사용하여 측정함. 단, 축 방향(z축)의 모드만을 고려함



[1st Natural mode at 133Hz]

[2nd Natural mode at 210Hz]

[3rd Natural mode at 246Hz]

■ 결과 : 1st 고유진동수(약 130Hz)에서의 z축 상대 변위 값(5.34 μ m)이 최대임

- 1st, 2nd 고유모드에서 일정하게 인가되는 외력(가진 주파수)에 대한 각 blade의 응답(변위 값) 분포가 균일하지 않음

→ 각각의 blade의 질량과 강성의 불균일에 의한 것임

일반적인 탄성계에 있어 통상 처음 몇 개의 고유진동수가 주요한 영향을 미침을 감안할 때,

1st, 2nd 고유진동수에서 Fan이 거동할 경우, z축 변위 값이 가장 큰 blade는 항복으로 파손될 것임

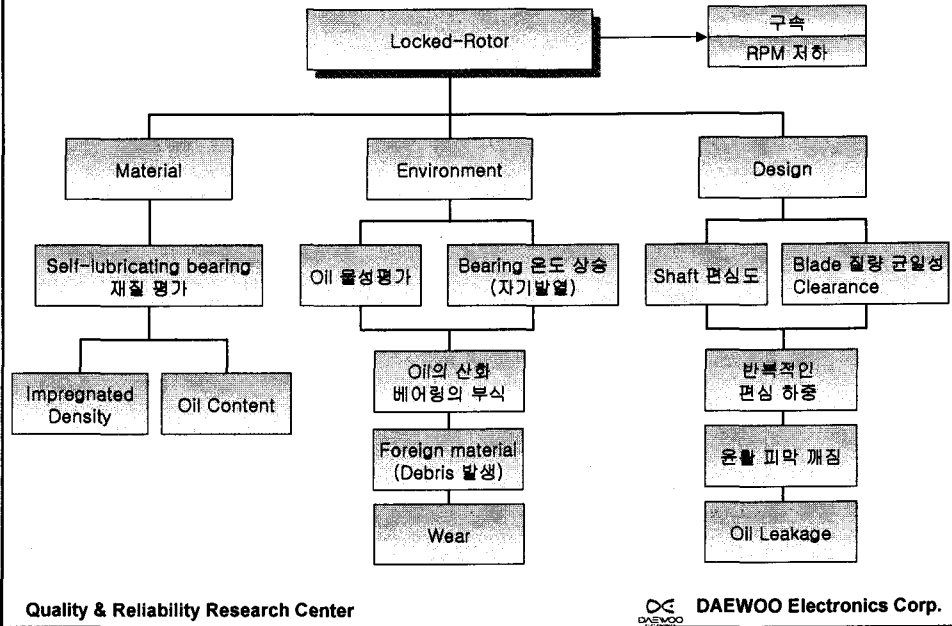
→ 고유 진동수가 실제 FAN의 RPM과 일치하지 않기 때문에 공진에 의한 파괴는 아님

Mode	1 st Natural frequency	2 nd Natural frequency	3 rd Natural frequency
ESPI	133Hz	210Hz	246Hz
FEM	168Hz	244Hz	270Hz

Quality & Reliability Research Center

DAEWOO Electronics Corp.

Locked-Rotor 원인분석



Bronze self-lubricating bearing 재질 평가

■ 소결 밀도 (impregnated density)

(단위: g/cm³)

시료	1	2	3	4	5	평균
미사용품	7.0427	7.2113	7.1038	7.0713	7.0427	7.0944
고장품	6.8481	6.8421	6.8899	6.8626	6.8431	6.8572

■ 함유율 (oil content)

(단위: vol %)

시료	1	2	3	4	5	평균
미사용품	1.8287	1.3265	2.1553	1.2353	1.6138	1.6319
고장품	0.4334	0.5865	0	0.2188	0	0.2477

- 관련 규격: ASTM B 438, KS B 2003, KS D 0033
- ASTM B 438에 의하면 청동계 GRADE III에 해당함 (GRADE III: 6.8 ~ 7.2)
- 미사용품에 비해 고장품의 소결 밀도가 낮음
- 표면 산화물의 영향이 있을 수 있으나 함유율 측면에서는 소결 밀도가 낮은 것이 좋음

$$D = \frac{A}{B-C} (g/cm^3)$$

- 관련 규격: ASTM B 438, KS B 2003, KS D 0034
- 측정방법: Archimedes principle $P = \frac{B-A}{(B-C) \times S} \times 100$
- SPEC: 12 이상 (ASTM B 438 기준) [Porosity: 19%]
- 미사용품의 함유율이 SPEC에 크게 미달함
- 고장품의 경우 오일 유출에 의해 함유율이 거의 0임
- 본 베어링은 외부에 오일을 함유한 오일 필트가 있어, 외부에서 오일을 공급 받는 구조이므로 베어링 자체의 함유율은 윤활 작용에 크게 영향을 미치지 않음

- ▶ AC FAN MOTOR FIELD 고장품(구속)의 베어링 재질분석 결과 청동계 소결 함유 베어링으로서 함유율은 매우 작은 편이며, 고장품의 경우 베어링 부식이 심함
- 베어링의 윤활 기능은 거의 외부 오일 필트에서 공급 받는데, 오일 필트의 오일이 완전 소모될 경우 윤활 기능 저하로 외부 수분에 의해 쉽게 부식이 발생

Quality & Reliability Research Center

DAEWOO Electronics Corp.

에 특성 평가

■ 오일의 환경시험 결과

- FAN 모터 오일의 주요 특성인 점도, 산화도, 내마모성의 사용 중의 변화를 관찰하기 위함
- 저온 및 고온, 고습 방치시험 후 점도특성 (40℃, 100℃ 동점도 및 점도지수), 전산가, 4-ball wear 특성 측정
 - 고온 방치 및 고습 방치 시험 중에 전산가 증가함
 - 오일의 전산가 : 오일중에 포함된 산성성분의 양, 오일의 산화 정도를 파악하는 기준이 됨
 - 오일의 산화는 Oil Sludge를 생성하고 베어링의 마멸을 유발함

특성	초기	저온방치(-40℃)			저온방치(0℃)			고온방치(150℃)			고습방치(60℃, 95%RH)		
		200h	500h	1000h	200h	500h	1000h	200h	500h	1000h	200h	500h	1000h
동점도 (40℃) cst	33.29	31.31	30.62	·	31.1	31.08	·	31.1	31.67	·	30.65	30.07	·
동점도 (100℃) cst	6.25	6.14	6.25	·	6.16	6.31	·	6.19	6.34	·	6.23	5.91	·
점도지수	140	148	160	·	153	159	·	153	156	·	158	90	·
전산가 mgKOH/g	0.04	0.05	0.05	0.06	0.05	0.06	0.08	0.05	0.04	0.51	0.05	0.19	51.57
마모특성, mm (4-ball wear)	0.89	0.87	0.85	·	0.86	0.9	·	0.86	0.92	·	0.87	0.83	·

Quality & Reliability Research Center

DAEWOO Electronics Corp.

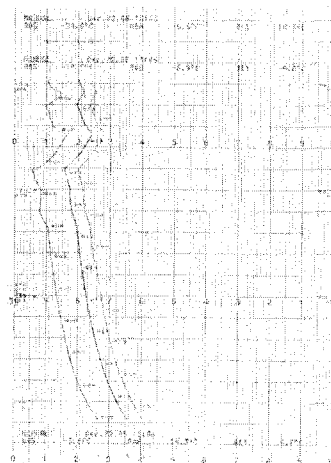
Bearing 온도 측정

■ 측정 방법

- 시험 조건: 제품 동작 상태
- 측정 방법: Thermocouple을 이용한 온도 Recorder로 측정
- 온도 측정 부위 : 베어링 표면(그림의 8번),
브라켓 내부 오일 펠트(11번) 및 제품 내부(5번)

■ 측정 결과

- 베어링 표면의 온도는 -6℃에서 -2℃ 사이에서 변화함
- 정상적인 제품의 동작상태에서 베어링의 마찰열 또는 주위 온도에 의한 산화 및 부식은 일어나지 않음
- 제품 동작시 유입된 수분은 습공기 선도(Psychrometric chart)에 의해 포화 수증기가 되어 오일의 산화 및 베어링의 부식에 영향을 미침



[온도 측정 data]

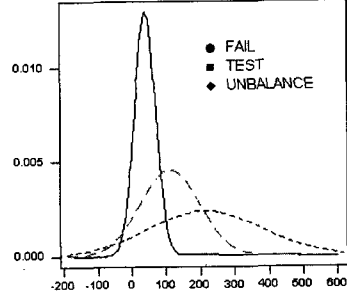
Quality & Reliability Research Center

DAEWOO Electronics Corp.

Shaft 편심도 (unbalance) 측정

구분	시료번호	편심도 측정값(μm)	평균	표준편차
고장품 (FAIL)	1	3.3	39.0	34.47
	2	12.4		
	3	83.9		
	4	30.2		
	5	65.0		
시험품 (TEST)	1	4.9	111.4	92.22
	2	2.8		
	3	50.5		
	4	59.7		
	5	282.0		
	6	120.8		
	7	81.7		
	8	212.5		
	9	193.3		
	10	105.8		
편심품 (UNBALANCE)	1	74.5	214.8	175.41
	2	71.5		
	3	182.5		
	4	95.5		
	5	110.8		
	6	341.7		
	7	135.8		
	8	236.7		
	9	645.8		
	10	222.5		

(측정 길이: 50mm)



■ 시료이력

- 고장품 : 제조업체 A
- 시험품 : 제조업체 B
- 편심품 : B, 시험품에 일정량의 편심을 인위적으로 가한 것

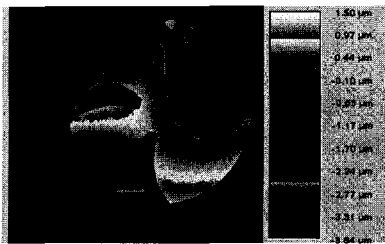
■ 결과

- 고장품의 경우 Shaft 편심도와는 관계가 없음
→ 편심도가 오히려 시험품에 비해 작은 것은 업체별 차이임
- 시험품에 비해 편심품의 편심도가 2배 가량 큼

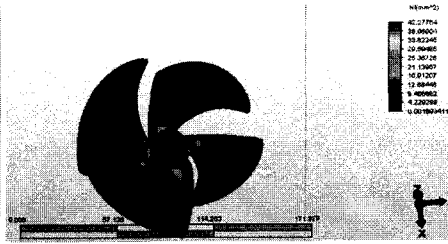
Quality & Reliability Research Center

DAEWOO Electronics Corp.

Blade의 질량 균일성



[ESPI 분석 결과]



[FEM 해석 결과]

- ▶ Fan의 응력분포는 FEM 해석 결과 Blade edge 부위에 집중되나 4개의 날개에 대칭적으로 분포
- ▶ 반면 실제 FAN을 가지고 ESPI & LDV를 이용한 진동 가시화 결과는 한 개의 FAN에 진동이 집중됨. 이는 Blade가 설계상과는 달리 실제 Lot별로 질량이 불균일하여 회전시 반복적인 편심 하중이 발생하여 윤활 피막(lubricant film)이 깨져 Oil Leakage가 일어남을 보여줌
- ▶ Shaft와 Bearing 간의 Clearance도 Oil Leakage에 중요한 Factor이나 Blade의 질량 불균일로 인한 Unbalancing이 더 Dominant 함

Quality & Reliability Research Center

DAEWOO Electronics Corp.

ADT (Accelerated Degradation Test)

■ FAN의 수명예측

- Reliability Standpoint: *How to evaluate fan lifetime?*
 - So many variables involved: bearing type, lubricant type, percentage of oil fill, operating conditions,
 - No industry standard for life test procedures: It may not be meaningful to compare life expectancy information obtained from different vendors
 - Different vendors use different acceleration factors and probability distribution functions for statistical calculation
- Reliability Concepts
 - Weibull distribution provides a good fit to fan life data, because it accurately represents wear-out phenomena
- Fan Lifetime Estimation
 - E. R. Booser(1976) & Sidarth(2004) Grease Life Equation (for ball bearing)

$$\text{Log}L = -2.3 + \frac{2450}{273+t} - 0.301(S_o + S_N + S_W)$$
 - Ball Bearing Load Rating Life: ISO 281, KS B 2019

$$L_n = a_1 a_2 a_3 \frac{10^6}{60 \times \text{RPM}} \left(\frac{C}{P}\right)^p$$
- Fan Lifetime Experiments
 - Zero Failure Test Strategy $n \geq (r^*/T)^p \times \chi^2_{\alpha, 2c+2} / \{2 \times \ln(1-0.1)^{-1}\}$
 - Accelerated Life Test (on/off cycles, temperature, etc.)

Quality & Reliability Research Center

DAEWOO Electronics Corp.

2-Stage QFD (Quality Function Deployment)

Matrix 1. Mode / Mechanism

Requirements & Stress		Mechanisms	
		Locked-rotor	Noise (blade fracture)
Performance	2000 ± 150RPM		○
Life	10 years	◎	
Temperature & Humidity	-25 ~ 40°C / 0 ~ 95%RH	○	○
Score		8	4

Matrix 2. Test Method

Test Contents			Accelerated degradation test	On/Off Test
No.	Failure mechanism	Weight		
1	Locked-rotor	8	◎	○
2	Noise	4	◎	○
Total score			60	36
Rank			1	2

○ : 3
◎ : 5

Quality & Reliability Research Center

DAEWOO Electronics Corp.

ADT 설계

1. 시험 인자의 설정

- 6가지의 시험 인자를 제어인자 / 잡음인자로 나누어 설정
- 제어 인자 : 설계상 변경이 가능한 인자
- 잡음 인자 : 사용시의 환경 조건 및 사용 조건

제어인자		잡음인자	
A : Shaft 길이		D : 온도	
B : Blade 크기		E : 전압	
C :油量		F : Unbalance	

2. 시험 배치

- L₁₆(2⁶) 형 직교 배열 사용 : 16개 시험 조건

Test #	Shaft	Oil	U/b	Bias	Temp.	Test #	Shaft	Oil	U/b	Bias	Temp.
1	70	1.2g	0	242V	60°C	9	70	1.2g	0	264V	70°C
2	70	1.2g	Max. (0.05)	264V		10	70	1.2g	Max. (0.05)	242V	
3	70	1.5g	0	242V		11	70	1.5g	0	264V	
4	70	1.5g	Max. (0.05)	264V		12	70	1.5g	Max. (0.05)	242V	
5	90	1.5g	0	242V		13	90	1.5g	0	264V	
6	90	1.5g	Max. (0.05)	264V		14	90	1.5g	Max. (0.05)	242V	
7	90	1.2g	0	242V		15	90	1.2g	0	264V	
8	90	1.2g	Max. (0.05)	264V		16	90	1.2g	Max. (0.05)	242V	

Quality & Reliability Research Center

DAEWOO Electronics Corp.

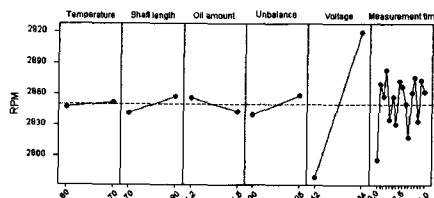
Test Data 분석

1. RPM 분석

- ANOVA Table

Source	DF	SS	MS	F	p-value
Temperature	1	385954	385954	2.30	0.130
Shaft length	1	52160	52160	0.31	0.577
Oil amount	1	35656	35656	0.21	0.645
Unbalance	1	23173	23173	0.14	0.710
Voltage	1	3979790	3979790	23.72	0.000
Measurement Time	15	948584	63239	0.38	0.985
Error	795	133407455	167808		
Total	815				

- Main Effect Plot



- ▶ RPM은 전압에 영향을 받으나 시간의 영향을 받지 않음

Quality & Reliability Research Center

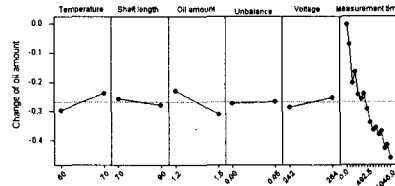
DAEWOO Electronics Corp.

2. Oil 변화량 분석

• ANOVA Table

Source	DF	SS	MS	F	p-value
Temperature	1	0.00000	0.00000	0.00	1.000
Length	1	0.09600	0.09600	1.71	0.192
Oil amount	1	1.37436	1.37436	24.41	0.000
Unbalance	1	0.00566	0.00566	0.10	0.751
Voltage	15	0.22745	0.22745	4.04	0.045
Measurement Time	785	14.97065	0.99804	17.73	0.000
Error	815	44.75288	0.05629		
Total	815				

• Main Effect Plot



- ▶ Oil 변화량은 전압과 Oil 함유량에 영향을 받으며 시간에 따라 감소하는 추세를 보임
- ▶ Regression Analysis 에 의한 Oil 변화량

$$Y = -0.095 - 0.274X_1 + 0.00153X_2 - 0.000428X_3 \quad (Y: \text{Oil 변화량}, X_1: \text{Oil 함유량}, X_2: \text{전압}, X_3: \text{시간})$$

Quality & Reliability Research Center

DAEWOO Electronics Corp.

Conclusion

- AC Fan Motor의 고장분석 결과 주된 고장메커니즘은 Fan Motor 구속 및 소음임
- Fan Motor RPM 저하 및 구속의 근본 원인
 - ▶ 베어링의 오일 함유율이 규격에 크게 미달
 - ▶ Blade 간 질량 불균일로 인한 반복적인 편심 하중으로 윤활피막 파괴로 Oil Leakage 발생
 - ▶ 제품의 정상동작 상태에서 베어링 및 오일이 수분에 의해 산화 발생으로 Debris 발생시킴
 - ▶ 고장메커니즘: 오일 펠트에 함유된 O의 고갈로 윤활 저하 및 수분에 의한 오일의 산화로 Oil Sludge 생성 → Bearing의 부식 및 마멸 → Shaft와 Bearing 사이에 고착
- Fan Motor 소음의 근본 원인
 - ▶ Blade 간 질량 불균일로 반복적인 편심 하중 인가됨
 - ▶ Blade edge 부위에 응력집중으로 피로 파괴 발생
 - ▶ Blade Center Clip 고정부위에 응력이 존재한 상태에서 오일/수분에 노출되어 ESC 발생
 - ▶ 고장메커니즘: Blade 파손에 의해 편심 발생 → 베어링 마멸 → 소음 발생
- Fan Motor의 구속(Locked-rotor)에 대한 수명예측을 위해 가속열화 모델을 이용
 - ▶ RPM 및 Oil 변화량 측정결과 RPM의 저하는 미미하나 전압과 Oil 함유량의 영향을 받으며 시간에 따라 감소함

$$Y = -0.095 - 0.274X_1 + 0.00153X_2 - 0.000428X_3$$

(Y: Oil 변화량, X₁: Oil 함유량, X₂: 전압, X₃: 시간)

Quality & Reliability Research Center

DAEWOO Electronics Corp.

Acknowledgments

- 본 연구는 산업자원부의 “부품소재 신뢰성 기반기술 확산사업”의 지원으로 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

Quality & Reliability Research Center

 DAEWOO Electronics Corp.