

# 가속시험을 이용한 전동공구 신뢰성 평가

## Reliability Evaluation of Electric Power Tools based on Accelerated Tests

김종걸(성균관대학교 시스템경영공학부) , 이동욱(계양전기)

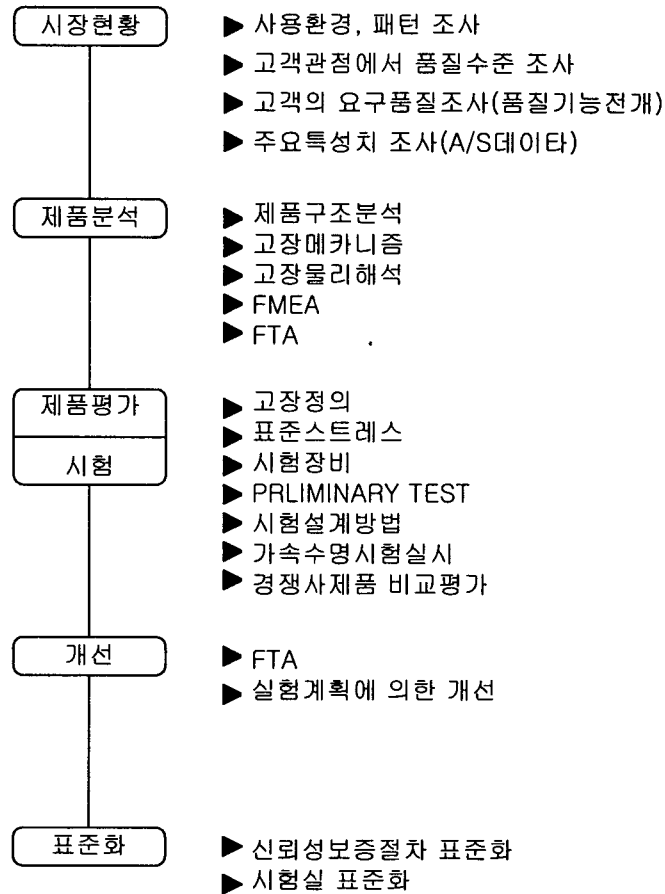
### 목 차

- PROJECT 개요설명
- 수행기증선정
- 고객관점에서의 주요특성치, 사용조건
- 제품특성치 분포
- 제품구조분석
- 고장메카니즘
- 고장물리해석
- FMEA(PHD-38G, HC-14D)
- FTA
- 고장정의
- 표준 스트레스
- 시험설계(HC-14D)
- 시험장비
- 향후계획

## 1. 목적

제품의 가속수명시험을 통한 신뢰성 보증PROCESS 개발

## 2. 절차



## 3. 가속 시험 절차

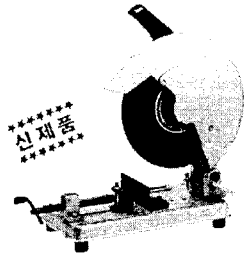
- 1) 시험목적
- 2) 시험대상 품목 및 특성치 결정
- 3) 제품구조 분석
- 4) 고장 정의
- 5) FMEA/FTA(기존정보 이용)
- 6) 고장물리 해석
- 7) 유관 수명자료 분석
- 8) 표준 스트레스 결정
- 9) 시험장비 준비 및 장비 신뢰성 평가
- 10) 사전시험 설계 및 시험실시
  - 시험수준(고수준, 저수준)
  - 시료수
  - 시점

- 관측 중단 방법(시험시간)
  - 스트레스 부하 방법
- 11) 사전 시험 자료분석
- 수명 분포 해석
  - 수명 스트레스 관계식
  - 설계수준, 고수준에서의 불 신뢰도 측정
  - 분포모수, 백분비, 등분산성, 이상치, 고장모드 등
- 12) 본시험 설계
- 시료수 결정
  - 시료배분
  - 저수준 스트레스
- 13) 시험실시
- 시험일정 계획
  - 시험관리(신뢰성, 안정성)
- 14) 자료분석
- 사전시험 자료분석
  - 사전시험 자료와 본 시험자료 차이 검토
  - 유관자료와의 비교 검토
- 15) 시험결과에 의한 FMEA/FTA
- 16) 개선목표 설정(QFD)
- 17) 개선 대안(목표) 설정
- 신뢰성 전개
  - 비용 전개
- 18) 프로토 타입(Proto type)
- 19) 대안별 시험설계(강건설계) 및 실시
- 20) 자료분석
- 21) 재현성 검토

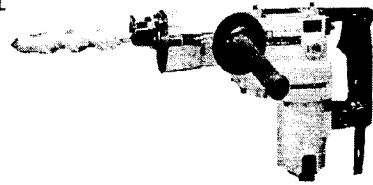
#### 4. 제품의 특징(예 : HC-14D)

- ① 강력한 MOTOR채용으로 고객의 절단력을 만족
- ② A/S성을 고려한 HOUSING-ARM일체형.
- ③ 고객의 안전을 고려한 PLASTIC재질 HANDLE.
- ④ 경량화된 제품으로 이동이 자유롭다.
- ⑤ 절단물의 신속한 장착 및 이탈이 가능한 QUICK CLAMP TYPE의 FEMALE BODY ASS'Y
- ⑥ 보조공구(육각 HEX WRENCH)의 본체부착으로 분실배제 및 사용편의성 고려

**고속절단기**  
HIGH SPEED CUT-OFF MACHINE  
HC-14D



**전기햄머드릴**  
ELECTRIC HAMMER DRILL  
PHD-38



## 5. 시험계획

### 고객관점에서의 주요 특성치 및 사용조건 조사

- 목적 : 고객입장에서 강점을 가질 수 있는 항목을 선정하여 상품기획 및 설계 FTA(Fault Tree Analysis)와 FME(Failure Mode and Effect Analysis) 기본자료

- 고객관점에서의 주요 특성치

주요 특성치	세부내용
작업성	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 단위시간당 절단량</li> <li>· 절단각도의 정밀성</li> <li>· 절단면의 정밀성</li> <li>· 과부하시의 작업성</li> </ul>
편리성	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 미숙련자도 쉽게 조작 가능한 제품도구</li> <li>· 표준 부속품의 장, 탈착편리(C/B, 지석 등)</li> <li>· 출력/속도 조절기능 요구</li> <li>· GRIP(HANDLE)</li> </ul>
피로도	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 작업성과 비례</li> </ul>
수명	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 시간경과에 따른 힘의 감소</li> <li>· 고장 (작동불능, 파손)</li> <li>· 지석의 수명</li> </ul>
안전성	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 미숙련자도 안전하게 작업할 수 있는 제품도구</li> </ul>
A/S성	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 표준부속품의 구입기간 단축(C/B 등)</li> <li>· 고장재발</li> <li>· A/S 기간 단축</li> </ul>

### 특성치 분포

#### ① 기초 데이터 수집

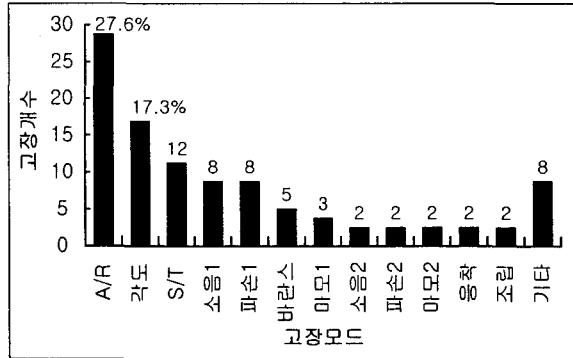
- 서비스팀과 품질관리과의 A/S 교환품

#### ② 데이터 정리

- 제조번호, 사용시작일자, 고장발생일자, 고장수명, 고장형태, 고장순위별 정리

### 고장모드

사용일자와 고장발생일자의 차에 대한 A/S 클레임



### 제품 구조분석

- 신제품 설계방안 설정, 새로운 특징

#### 고속절단기의 특징

- ① 강력한 모터 채용 : 절단력 만족
- ② A/S성
- ③ 플라스틱 재질의 핸들
- ④ 이동이 자유로움
- ⑤ 분실배제 및 사용편의성 고려

#### 고장메카니즘

- 신제품 개발시 고장을 최소화

#### 고장 물리해석

- 고장관계 역학적으로 해석

### F.T.A(Fault Tree Analysis)

- 고장이나 결함의 원인을 논리적으로 규명

#### 고장점의

- ① 고장모드별 매트릭스표 작성
  - 고장모드와 원인부품상관정도
- ② 작성방법
  - 고장모드와 원인부품의 가중치 합

#### 가속수명시험계획

##### 표준스트레스

- 브레인스토밍(Brain-storming) 방법

##### 부가기능스트레스

- ① 부하전류
- ② 전압
- ③ 주파수
- ④ 온도
- ⑤ 습도
- ⑥ 먼지

표준스트레스 선정을 위한 고려항목(중요도 순)

- ① 제품수명에 미치는 영향이 클 것
- ② 스트레스 상승시 고장모드에 주는 영향이 적을 것

- ③ 스트레스 제어가 요일할 것
- ④ 스트레스를 부가하기 위한 시험장치 제작 및 구입에 드는 비용이 적을 것
- ⑤ 시험장치 설계/ 제작/ 구입이 용이할 것
- ⑥ 시험장치의 유지/ 보수가 용이할 것

스트레스병	부하전류	전압	주파수	온도	습도	먼지
점수 計	111	78	63	68	56	65
순위	1	2	5	3	6	4

**시험장비**

**시험기원리**

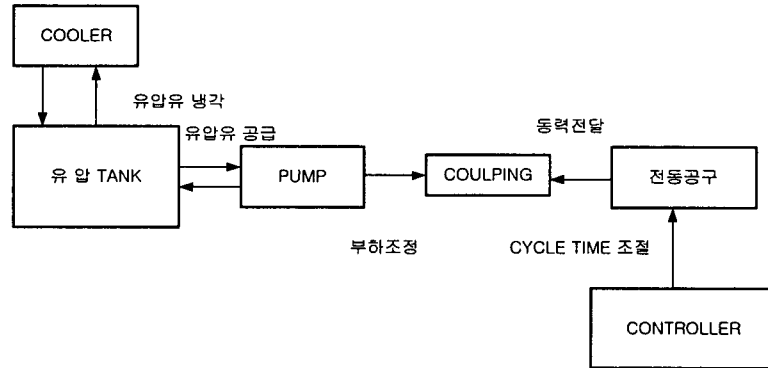
① 부하제어방법

- RELIEF VALUE 설정유압 일정부하

$$P = T \cdot n = \Delta P \cdot Q$$

$$\left( \begin{array}{l} T : \text{토크} \\ n : \text{회전수} \\ \Delta P : \text{압력차} \\ Q : \text{유압유도출량} \end{array} \right)$$

② 동작원리



**시험설계목적**

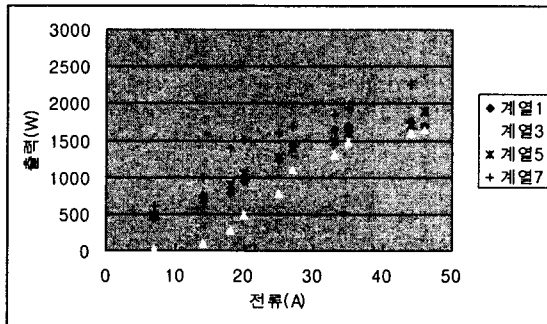
- ① 스트레스 수준 결정
  - ② 스트레스 수준별 최저 시료수 결정
- ⇒ 최소의 시간과 비용 : 제품수명분포, 신뢰성 파악

**시험설계 방법**

- 일정스트레스 부가방법, 스트레스의 유지 편리

**최적 시험설계**

**사전자료의 분석**



$$\Rightarrow W = -643.884 + 242.705X - 4.759X^2$$

### 시험설계 모수 추정 절차

- 단계 1 : 설계 표준 스트레스,와 고수준 표준스트레스
- 단계 2 : 사전확률값 정함
- 단계 3 : 추정된 분포(와이블분포), 관계식
- 단계 4 : 최적 저수준 스트레스, 배분비율 정함
- 단계 5 : 실험제어인자 값을 구함

### 시험설계 모수 추정 결과

- 단계 1 : 전류 : 11A, 설계 스트레스 : 1449.97,  
전류 : 16A, 고수준 스트레스 : 2020.92
- 단계 2 : 사전확률값  
기어 :  $P_1^H = 0.60, p_1^D = 0.01$   
모터 :  $P_2^H = 1.00, p_2^D = 0.0001$
- 단계 3 : 수명분포 와이블 분포  
대수수명과 대수출력의 수명분포 : 극치분포
- 단계 4 :  $\xi^* = 0.503, \pi^* = 0.596$
- 단계 5 : 출력값은 1731.4907  
실험제어인자 전류값
- 단계 6 : 실험 제어인자 전류 : 13.2084이다.  
배분비율 6:4(저수준 : 18대, 고수준 : 12대)

## 6. 시험결과 및 분석

### < 시험결과 >

#### 1. 시험방법 :

- ① 일정스트레스 가속수명시험  
고수준 스트레스 : 16A      스트레스 : 2020.92W  
저수준 스트레스 : 13.2A      스트레스 : 1731.409W
- ② 주기시간 : 120초(100초;가동, 20초;휴지시간)  
IEC 규격
- ③ 관측방법 : 회전수, 불꽃상태, S/T 온도 측정

### < 시험분석 >

#### 1. 분석방법

· 모델의 적합성 검증

- ① 수명과 스트레스와의 선형성
- ② 수명분포 평가
- ③ 표준편차의 일정성
- ④ 이상데이터 조사

2. 분석결과

1) 분포결정

	와이블 최대우도 $\hat{\mathcal{L}}_1$	대수정규 최대우도 $\hat{\mathcal{L}}_0$	분포종류	오차 합	$R^2$	결정분포
고수준 스트레스	34	31.089	와이블	0.04971	0.9979	와이블 분포
			대수정규	0.20917	0.9654	
저수준 스트레스	65.163	61.913	와이블	0.08059	0.9947	
			대수정규	0.32365	0.9477	

2) 분산의 동일성 검정

Bartlett's

$$s = 0.81717$$

$$Q = 4.076, \quad \chi^2(0.99, 1) = 6.645$$

$$\Rightarrow Q \leq \chi^2(0.99, 1) : \text{표준편차는 동일}$$

3) 모수추정

(1) 모형에 대한 모수추정

① 회귀계수 추정

$$c_1 = S_{xy} / S_{xx},$$

$$c_0 = \bar{y} - c_1 \bar{x};$$

② 표준편차 추정

$$s = [(\nu_1 s_1^2 + \dots + \nu_j s_j^2) / \nu]^{1/2}$$

$$s' = [(S_{yy} - c_1 S_{xy}) / (n - 2)]^{1/2}$$

③ 대수 평균수명에 대한 추정(설계 스트레스의 경우)

$$m(x_0) = c_0 + c_1 x_0$$

④ 백분위수에 대한 추정

$\eta_p(x_0)$ 의 추정값

$$y_p(x_0) = m(x_0) + [0.5772 + u(p)] \times 0.7797$$

$$= c_0 + c_1 x_0 + [0.5772 + u(p)] \times 0.7797s$$

(2) 신뢰구간

① 대수평균에 대한 신뢰구간(설계 스트레스인 경우)

$$\underline{\mu}(x_0) = m(x_0) - t(r'; \nu) \cdot s[m(x_0)]$$

$$\overline{\mu}(x_0) = m(x_0) + t(r'; \nu) \cdot s[m(x_0)]$$

② 백분위수에 대한 신뢰한계

$$\underline{\eta}_p(x_0) = y_p(x_0) - t(r'; \nu) S[m(x_0)]$$

$$= \mu(x_0) + [\mu(p) + 0.5772] \times 0.7797s,$$



$$\begin{aligned}\overline{\eta}_p(x_0) &= y_p(x_0) + t(r'; v)S[m(x_0)] \\ &= \mu(x_0) + [\mu(p) + 0.5772] \times 0.7797s\end{aligned}$$

③  $r_0$ 에 대한 신뢰구간(95%)

$$\underline{r}_0 = c_0 - t(r'; v)s(c_0)$$

$$\overline{r}_0 = c_0 + t(r'; v)s(c_0)$$

④  $r_1$ 에 대한 신뢰구간(95%)

$$\underline{r}_1 = c_1 - t(r'; v)s(c_1)$$

$$\overline{r}_1 = c_1 + t(r'; v)s(c_1)$$

<모수추정치와 신뢰구간>

특성	모수추정	신뢰구간(신뢰수준 95%)
회귀계수	$c_0 = 166.341$ $c_1 = -21.3592$	$\underline{r}_0 = 136.010$ $\overline{r}_0 = 196.673$ $\underline{r}_1 = -25.393$ $\overline{r}_1 = -17.325$
표준편차	$s = 0.81717$ $s' = 0.79071$	
대수평균	극치분포 $m(x_0) = 10.8633$	와이블 특성수명 $\alpha^*(x_0) = 75439$
백분위수	설계수준(11A) $B_1 = 8.30018$ $B_{10} = 9.79747$ $B_{50} = 10.9972$ $B_{90} = 11.7624$ $B_{99} = 12.2041$	설계스트레스 : 하한 : 9.85085, 상한 : 11.8760 저수준 스트레스 하한 : 6.67756, 상한 : 7.46648 고수준 스트레스 하한 : 3.28680, 상한 : 4.25297

<스트레스 대비 백분위수 추정(예비시험)>

백분위수 스트레스 (출력)	와이블 분포 위치 모수	42.8번째(분)		
		대수 수명 평균 추정	신뢰수준 95% 양측 백분위수	
			하한	상한
7.2792(11A)	5306	4100	1810	9285
7.5631(15A)	76	59	43	81
7.6113(16A)	37	28	20	40
7.6529(17A)	20	15	10	22
7.7184(19A)	7	5	3	9

<스트레스 대비 백분위수 추정(예비시험에서 이상치 제외)>

백분위수 스트레스 (출력)	와이블 분포 위치 모수	42.8번째(분)		
		대수 수명 평균 추정	신뢰수준 95% 양측 백분위수	
			하한	상한
7.2792(11A)	4443	3661	1966	6817
7.5631(15A)	65	53	41	68
7.6113(16A)	31	26	20	33
7.6529(17A)	17	14	10	18
7.7184(19A)	6	5	3	7

< 스트레스 대비 백분위수 추정(본 시험)>

백분위수 스트레스 (출력)	와이블 분포 위치 모수	42.8번째(분)		
		대수 수명 평균 추정	신뢰수준 95% 양측 백분위수	
			하한	상한
7.2792(11A)	75439	52223	18969	143773
7.3672(12A)	11515	7971	4207	15778
7.4567(13.2A)	1702	1178	794	1748
7.5072(14A)	578	400	294	545
7.5631(15A)	175	121	85	173
7.6113(16A)	62	43	26	70
7.6528(17A)	25	17	9	33

< 스트레스 대비 백분위수 추정 (본 시험에서 이상치 제외)>

백분위수 스트레스 (출력)	와이블 분포 위치 모수	42.8번째(분)		
		대수 수명 평균 추정	신뢰수준 95% 양측 백분위수	
			하한	상한
7.2792(11A)	95971	70486	28744	172843
7.3672(12A)	13266	9743	5349	17745
7.4567(13.2A)	1773	1302	924	1834
7.5072(14A)	569	418	318	549
7.5631(15A)	162	119	85	164
7.6113(16A)	54	40	25	62
7.6528(17A)	21	15	8	28

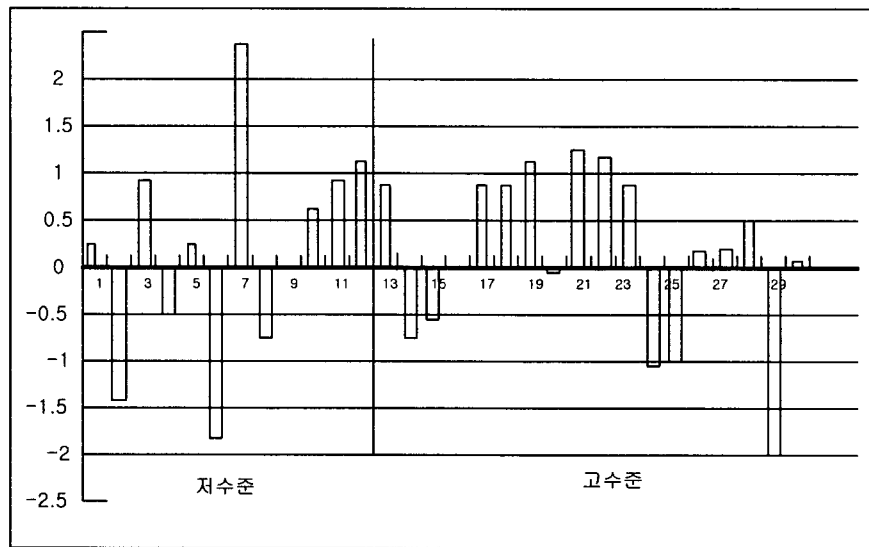
< 스트레스 대비 백분위수 추정(예비시험+본시험)>

백분위수 스트레스 (출력)	와이블 분포 위치 모수	42.8번째(분)		
		대수 수명 평균 추정	신뢰수준 95% 양측 백분위수	
			하한	상한
7.2792(11A)	75439	52223	18969	143773
7.4567(13.2A)	11515	7971	4207	15778
7.5631(15A)	1702	1178	794	1748
7.6113(16A)	578	400	294	545
7.6528(17A)	175	121	85	173
7.7184(19A)	62	43	26	70

4) 수명-스트레스 관계

관계식	표준오차	결정계수
LT=166.3832	0.14239	0.8349

5) 이상치 데이터의 검정



< 이상치 데이터의 잔차도 >

6) 와이블 분포에서의 평균수명 추정

- 예비시험+본시험의 와이블 누적 분포

( 위치모수 :  $\alpha$  , 형상모수 :  $\beta$  )

$$F(t) = 1 - \exp[-\ln(t/18594)^{1.71}]$$

- 와이블 분포 백분비 100<sub>p</sub>%

$$\tau_p = \alpha \cdot [-\ln(1-p)]^{1/\beta} \quad (\alpha = 18594, \beta = 1.71)$$

- A/S 데이터로 조사된 HC-14D의 평균수명과 표준편차

제 품	평균 수명	표준 편차
HC-14D	130.5일	84.6일

- 평균 수명에 대한 추정

시험 종류	와이블 분포 평균 수명
본시험	67759분
예비시험	4699분
예비시험+본시험	16579분

7) 시험결과에 대한 검정

· 예비시험과 본시험의 고수준 스트레스에서 평균검정

TTEST PROCEDURE						
GROUP	N	MEAN	Std Dev	Std Error	Minimum	Maximum
예비	4	22.5000000	8.69865890	4.34932945	14.00000000	30.00000000
본시	12	56.0000000	54.45932594	15.72105325	18.00000000	220.00000000
variances	T	Method		DF	Prob> T	
Unequal	-2.0528	Satterthwaite		12.5	0.0616	
		Cochran			0.0707	
Equal	-1.1978			14.0	0.2509	
For HO: Variances are equal ,F' = 39.20				DF = (11.3)	Prob>F' = 0.0117	

· 예비시험과 본시험의 회귀선에 대한 동일성검정

Parameter Estimates(예비시험기준에서의 계수)					
Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for HO: parameter=0	prob > T
INTERCEP	1	137.608433	27.75296932	4.958	0.0003
LW1	1	-15.638844	1.57613819	-9.922	0.0001
LW2	1	-2.019125	2.54655302	-0.793	0.4432
Parameter Estimates(본시험기준에서의 계수)					
Variable	DF	Parameter Estimate	Standard Error	T for HO: parameter=0	prob > T
INTERCEP	1	136.566693	3479254908	3.925	0.0020
LW1	1	2.229625	1.97592786	1.128	0.2812
LW2	1	-19.646158	3.19248978	-6.154	0.0001
Multivariate Statistics and Exact F Statistics (다변량에 의한 값들의 비교)					
Statistic	S=1		M=0,5		N=5
	Value	F	Num DF	Den DF	Pr > F
Wilks' Lambda	0.13111045	79.5259	1	12	0.0001
Pillai's Trace	0.86888955	79.5259	1	12	0.0001
Hotelling-Lawley Trace	6.62715722	79.5259	1	12	0.0001
Roy' Greatest Root	6.62715722	79.5259	1	12	0.0001