

## PACS 환경에서 하드디스크의 가속 수명시험

조의현\*, 박정규\*\*, 채종규\*\*\*

### 요약

본 연구는 PACS의 영상저장부의 디스크 배열에 들어가는 하드디스크의 수명을 제조회사의 가속 수명시험 결과로 예측하고자 하였다. 50 °C, 60 °C의 고장시간 데이터로 Anderson-Darling 적합도 검증을 진행하여 와이블 분포를 채택하였다. 형상모수와 척도모수로 동일성 검증을 진행한 결과, 가속 수명 시험 50 °C 조건과 가속 수명 시험 60 °C 조건의 확률분포가 통계적으로 유의하지 않았다. 온도 가속인자를 포함한 와이블-아레니우스 모형으로부터 추정한 형상모수는 1.0409이며, 사용조건(30 °C)의 특성수명은 24603.5 시간이었다. 또한 아레니우스 모델 식에 반영하여 활성화 에너지 0.5011 eV을 산출하였다. 그리고 가속시험의 정확성 확보차원에서 가속시험 불량시료와 시장 반품 시료로 고장 분석을 진행한 결과, 불량 모드별 점유율의 세부 차이는 있으나, 점유율 순서는 일치 하였다.

본 연구는 PACS 환경 하에서 하드디스크의 가속시험절차를 제안하며, 제조사와 사용자간에 수명예측에 도움을 주고자 한다.

키워드 : PACS, 하드디스크, 가속수명시험, 활성화에너지

## The Accelerated Life Test of Hard Disk In The Environment of PACS

Euy-Hyun Cho\*, Jeong-kyu Park\*\*, Jong-Gyu Chae\*\*\*

### Abstract

In this paper, we estimate the life cycle from acceleration life test about the hard disk of disk array of image storage of PACS. Webuil distribution was selected by the Anderson-Darling goodness-of-fit test with data of down time at 50 °C and 60 °C. The equality test of shape parameter and scale parameter was conducted, so that the probability distribution estimated from data of down time at 50 °C and 60 °C was not statistically significant. The shape parameter was 1.0409, The characteristic life was 24603.5 hours at normal user condition(30 °C) by the analysis of weibull-arrhenius modeling which included the acceleration factor of temperature, and The activation energy was 0.5011 eV through arrhenius modeling. The failure analysis of the failure samples of acceleration test and the samples of market return was conducted, so that the share percentage of failure mode was detail difference but the rank of share percentage was almost same. This study suggest the test procedure of acceleration test of hard disk drive in PACS using environment, and help the life estimation at manufacture and use

Keywords : PACS ,Hard disk drive, Accelerated Life Test, Activation Energy

### 1. 서론

\* Corresponding Author : Jeong-kyu Park

Received: January 01, 2015

Revised: February 20, 2015

Accepted: February 27, 2015

\* Yeungnam University Dept.of Biomedical  
Engineering

\*\*Daegu Health College Dept.of Radiologic  
Technology

Tel: 053-320-1363, Fax: 053-320-1449

email: pjk7407@hanmail.net

\*\*\* Yeungnam University Dept.of Digital  
Convergence Business

최근 의료 영상 전송 저장 시스템(picture archiving communication system, PACS)이 대형 병원에서 중소형 병원에까지 널리 보급되었다.

PACS는 각종 의료 장치(X-Ray, CT, MR, Angio, 내시경, 초음파, BMD 등)에서 발생한 영상을 단말기가 설치된 진료실과 병동에서 동시에 실시간으로 환자의 영상을 조회 검색할 수 있는 시스템이다.

PACS의 넓은 보급으로 인하여 사용자는 장기간 저장장치인 디스크 배열에 대한 수명에 관심이 커지고 있는 실정이다.

따라서 디스크 배열에 사용되는 대용량 하드 디스크의 신뢰성과 연간 제품 고장률(annual failure rate, AFR)에 대한 연구가 수행되고 있다.[1,2]

사용자는 업체가 제공하는 평균 고장시간(Mean time to failure, MTTF)을 토대로 하드 디스크 드라이브(Hard Disk Drive, HDD)의 대략적인 수명을 예측할 뿐이며, HDD 제조사는 하드디스크의 수명을 예측하는 방법과 결과를 비공개로 하고 있다.[3]

현재까지 제조사는 가속 수명 시험 진행 및 분석 절차의 확립이 미흡 하였으며, 수명시험(life test)의 결과물인 고장시간(Time to failure, TTF)을 토대로 웨이블(Weibull)분포와 지수(Exponential)분포를 결합하여 수명을 예측하는 방법을 사용하기도 하였다.[4]

본 연구에서는 제조사의 가속수명시험 결과를 토대로 PACS 환경 하에서 HDD의 수명을 예측하기 위한 가속 수명시험 절차를 확립하고 보다 정확한 수명 예측을 위한 토대를 마련하고자 하였다.

## 2. 시험대상 및 방법

### 2.1 시험 대상

2011년 5월부터 7월까지 디스크 어레이 사용을 목표로 개발된 제조사(Samsung) 3.5인치 HDD 499대를 대상으로 하였다.

### 2.2 시험방법

#### 2.2.1 시험조건

PACS의 영상저장 장치에서 사용되어 반품

된 하드디스크에 대해서 고장 나무 분석(failure tree analysis, FTA)을 진행하여[5,6] 가속 실험에 대한 조건을 수립하였다.(그림 1)

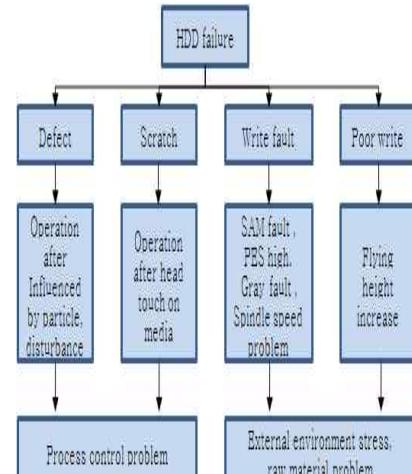
시험 테스트 사용패턴은 의료용 디지털 영상통신(Digital Imaging and Communications in Medicine, DICOM)으로 컴퓨터 단층촬영(Computed Tomography, CT) 영상을 사용하였다.

시험 대본으로 읽기(read operation)와 쓰기(write operation) 비율을 50대 50으로 하였으며, 주소 접근(access) 방식은 임의 주소(random address)와 순차 주소(sequential address)의 비율을 20대 80으로 하였다.(그림 2)

가속 수명 시험은 50 °C와 60 °C 조건에서 각각 499대로 시험을 진행하였다.

5 V와 12 V 전압이 실험 샘플(sample)에 공급되었고, 최대 성능의 95 % 조건으로 500시간 동안 실험 하였다. 제조자 측면에서 가속수명 시험 500시간은 시험 중 불량수를 고려해서 사용자 조건(30 °C)에서 연간 제품 고장률이 0.5 % 이상이라는 가정 하에 진행되었다.

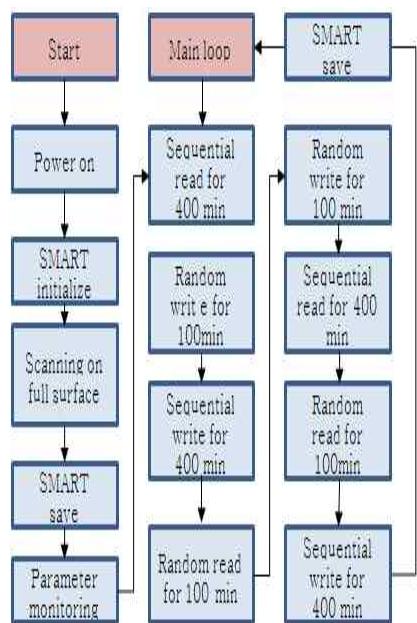
(그림 1) FTA를 사용하여 HDD의 고장모드와 메커니즘



Operation: write operation, read operation; SAM: Servo address mark,  
Gray: manufactured a special pattern; PES: position error signal

(Figure 1) The failure mode and mechanism of HDD using FTA.

(그림 2) PACS 와 HDD 간의 통신분석을 적용하는 가속 수명시험의 흐름도



(Figure 2) The test flowchart of acceleration life test applying the analysis of communication between PACS and HDD.

### 3. 연구결과

#### 3.1. 가속 수명 시험 결과

가속 수명시험을 50 °C와 60 °C에서 각각 하드 디스크 499대로 500시간 동안 시험을 진행하였다. 시험 중 고장 발생 시간을 기록하였으며, <표 1> 시험결과는 온도 스트레스가 큰 60 °C에서 더 많은 불량이 발생하였다. 그리고 시험 종료 후 합격된 시료 5대를 분해해서 하드디스크 내부 상태를 조사해 보니, 내부에 금속조각(particle)들이 검출되어 장기적 사용이 힘들어 폐기하였다.

<표 1> 50 °C 와 60 °C에서 가속 수명시험 결과

Temperature (°C)	Time to failure	Drive number	Temperature (°C)	Time to failure	Drive number
50	31.95	1	60	63.60	1
50	52.67	1	60	66.55	1
50	62.15	1	60	82.00	1
50	66.30	1	60	88.65	1
50	67.85	1	60	101.35	1
50	93.50	1	60	124.00	1
50	96.00	1	60	125.73	1
50	124.62	1	60	130.77	1
50	129.08	1	60	133.83	1
50	153.87	1	60	136.15	1
50	169.50	1	60	142.62	1
50	217.67	1	60	168.02	1
50	284.08	1	60	222.70	1
50	289.05	1	60	228.43	1
50	316.10	1	60	233.62	1
50	403.75	1	60	234.60	1
50	412.67	1	60	246.78	1
50	412.92	1	60	267.02	1
50	414.25	1	60	268.05	1
			60	283.27	1
			60	303.70	1
			60	313.43	1
			60	316.15	1
			60	346.35	1
			60	360.87	1
			60	367.43	1
			60	374.22	1
			60	382.00	1
			60	382.03	1
			60	442.72	1
			60	444.30	1
			60	464.52	1

<Table 1> The result of acceleration life test at 50 °C and 60 °C

#### 3.2 고장시간 데이터의 확률분포 선정

Anderson-Darling 적합도 검증은 측정 데이터를 가장 잘 대표하는 확률분포가 어떤 것인지를 결정하기 위해서 사용된다.

PACS 환경에 사용되는 하드디스크를 50 °C 와 60 °C 가속 시험 조건에서 시험 한 후, 고장 시간 데이터로 Anderson-Darling 적합도 검증을 실시하였다.[7]<표 2>

50 °C, 60 °C 조건에서, 와이블(weibull)분포, 로그노말(lognormal)분포, 지수(exponential)분포, 로그로지스틱(logistic)분포에서

Anderson-Darling 값이 모두 동일하여서 다양한 분포를 대변할 수 있는 와이블(weibull) 분포를 선정하였다.

&lt;표 2&gt; 확률분포에 대한 엔더슨-달링의 결과

	Weibull	Log-normal	Exponential	Log-logistic
50 °C	467.53	467.537	467.537	467.537
60 °C	763.92	763.919	763.921	763.920

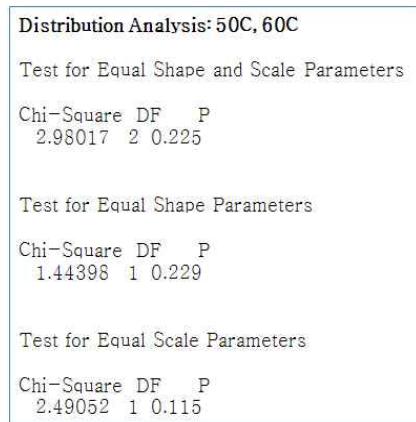
&lt;Table 2&gt; The result of Anderson-Darling about probability distribution

### 3.3 형상 모수와 척도모수의 동일성 검증

가속 수명시험을 50 °C와 60 °C 조건에서 시험 한 후, 고장시간 데이터로 형상모수와 척도모수의 동일성 검증을 진행하였다(그림 3).

p 값이 0.05보다 커서 가속 수명 시험 50 °C 조건과 60 °C 조건의 고장시간 데이터 분포로부터 추정한 모수가 통계적으로 유의하지 않았다.[8]

(그림 3) 형상모수와 척도모수의 동일성검증 결과



(Figure 3) The equality test results of shape and scale parameter.

### 3.4 와이블-아레니우스의 모형 분석

와이블-아레니우스 모형은 화학적 반응률에 대한 아레니우스 법칙에 기초하여 온도와 반응의 속도가 높은 관계를 갖는 경우 적용할 수 있는 가속 시험 모형인데, 온도 가속에 수명이 영향을 받을 수 있는 전자, 기계, 화학 등 다양한 분야에서 사용된다.

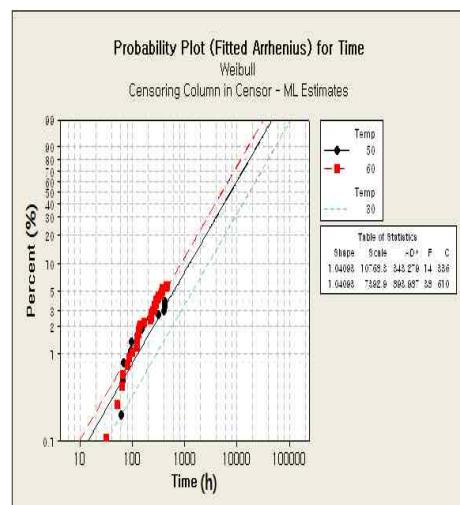
가속 수명시험을 50 °C와 60 °C 조건에서 시험 한 후, 얻은 고장시간 데이터를 와이블-아레니우스 모형에 대입한 결과를 얻었다.(그림 4)

(그림 4)를 관찰하면 60 °C 조건이 50 °C 조건보다 같은 시험 시간에서 더 많은 불량이 발생함을 알 수 있다.

(그림 5)는 50 °C와 60 °C 조건에서의 가속 시험결과를 와이블-아레니우스 모델에 대입하여, 30 °C 조건에서의 특성 수명을 산출한 결과이다.

확률 분포의 모양에 관련된 형상 모수(shape parameter)와 시험시료 전체의 63.2%가 불량이 발생하는 시간을 나타내는 특성 수명을 산출한 결과, 형상모수는 1.0409이고, 실제 사용조건 30 °C의 특성수명은 24603.5 시간이었다.[8]

(그림 4) 고장시간에 대한 와이블 아레니우스 분포



(Figure 4) Weibull-arrhenius plots about failure time.

(그림 5) 와이블-아레니우스 모델의 분석결과

Regression Table						
Predictor	Standard Coef	Error	Z	P	Lower	Upper
Intercept	-3.24525	9.87006	-0.33	0.742	-22.5902	16.0997
Temp	0.348912	0.282619	1.23	0.217	-0.205011	0.902835
Shape	1.04093	0.143194			0.794929	1.36306

Log-Likelihood = -526.435

Table of Percentiles						
Percent	Standard Temp	Percentile	Error	Lower	Upper	
63.2	30	24603.5	25548.5	3214.41	188319	
63.2	50	10764.9	5333.16	4076.67	28425.8	
63.2	60	7390.57	2986.33	3347.58	16316.5	

(Figure 5) The analysis result of weibull-arrhenius model.

### 3.5 명목 수명과 온도 가속계수 산출

온도 가속 환경(50 °C, 60 °C)에서 수명 시험 시의 고장 발생 시간(time to failure, TTF) 정보를 아레니우스(arrhenius) 모형인 식 (1)에 대입하였다. 식 (2)은 식 (1)의 양변 자연로그를 취하여 온도 변화에 대한 수명의 비를 이용하여 활성화 에너지를 산출하는데 활용되었다.

$$N = A \times \text{Exp}\left(\frac{E_a}{kT}\right) \quad \text{-----}(1)$$

$$\ln(N) = \frac{E_a}{kT} + \ln(A) \quad \text{-----}(2)$$

식 (1)과 식 (2)에 사용된  $N$ 은 고장시간,  $E_a$ 는 활성화 에너지(activation energy),  $A$ 는 상수,  $k$ 는 Boltzmann상수( $8.617 \times 10^{-5}$  eV/K),  $T$ 는 절대 온도(273.16°C)이다.

가속 수명시험을 50 °C와 60 °C 조건에서 시험한 후, 고장시간 데이터로 분포 분석(distribution analysis)을 진행하였다. <표 3>은 시험한 시료의 특성수명 값과 10%가 불량이 났

을 때의 시간인 B10수명 값, 평균 고장 시간(mean time to failure, MTTF)의 평균값을 식 (2)에 대입하여 온도를 고려한 제품고유의 성질을 반영한 값인 활성화 에너지를 산출한 결과이다.[7,9]

&lt;표 3&gt; 활성화 에너지의 산출결과

life	temp (°C)	$\Delta(I_n(N))$	$\Delta(I/T)$	Slop e	k	$E_a$
B10	50	0. 54	9.29 E-0	582 3.8	8.623 E-05	0.5 02
	60	0. 64	5	82	E-05	19 3
	50	0. 54	9.29 E-0	582 3.8	8.623 E-05	0.5 02
	60	0. 64	5	96	E-05	19 3
	50	0. 54	9.29 E-0	582 3.9	8.623 E-05	0.5 02
	60	0. 64	5	04	E-05	19 3

&lt;Table 3&gt; The result of activation energy calculation

명목수명  $\tau$ 는 식 (3)과 같이 유도할 수 있다.

$$\gamma = \text{Exp}\left[-3.245 + \frac{0.3489}{[8.16 \times 10^{-5} \times (\text{°C} + 273.16)]}\right] \quad \text{-----}(3)$$

30 °C의 온도 가속계수를 1로 정할 때, 산출된  $E_a$ 를 토대로 온도 가속계수를 산출 했다.

$$AF = \text{Exp}\left[\frac{E_a}{k} \left(\frac{1}{T_{co}} - \frac{1}{T_{cs}}\right)\right] \quad \text{-----}(4)$$

식 (4)의  $T_{co}$ 는 사용온도인 30 °C의 절대온도이며,  $T_{cs}$ 는 테스트 온도의 절대 온도 이다. <표 4>은 각 온도별 특성수명과 계산된 가속계수를 정리한 것이다. 온도가 높아지면 빨리 불량이 발생하여 특성수명이 작아지고, 반대로 가속계수는 더 커짐을 확인할 수 있다.

&lt;표 4&gt; 온도에 따른 특성수명의 가속인자

Temperature (°C)	Characteristic Life	Accelerator Factor r
30	24603.5	1
35	19809.9	1.3660
40	16061.0	1.8475
45	13107.7	2.4752
50	10764.9	3.2861
55	8894.05	4.3253
60	7390.57	5.6463
65	6174.97	7.3130

&lt;Table 4&gt; Accelerator factor and characteristic life following by temperature

### 3.6 고장 분석 결과

동일 모델의 HDD에 대해서, 가속 수명 시험에서 고장 발생한 시료 52대와 시장에서 반품된 시료 50대로 고장 분석(failure analysis)을 진행하였다. <표 5>는 각 고장 모드(failure mode)에 대한 고장발생 원리(mechanism)을 정리한 것이다. 이 때 점유율 3 % 이하는 제외하였다.

(그림 6)은 가속 시험의 고장 모드 점유율 순위를 나타낸 것인데, 결점(defect) > 스크래치(scratch) > 인접 트랙 지워짐(adjacent track erase, ATE) > 쓰기 미흡(poor write, PW) 순이었으며, 시장에서 반품분의 고장모드 점유율 순위는 결점(defect) > 스크래치(scratch) > 쓰기 미흡(poor write, PW), > 인접 트랙 지워짐(adjacent track erase, ATE) 순이었다.

불량 모드 점유율 비교에서 가장 많은 점유율을 차지한 결점(defect)과 스크래치(scratch) 불량 시료에 대해서, 전자 현미경(scanning electron microscope, SEM)을 사용하여 불량 발생 부위를 측정하였다. (그림 7)의 (a)와 (b)는 결점에 대한 SEM 측정 결과이고, (그림 7)의 (c)와 (d)는 그림 (a)와 (b)를 확대한 그림이다.

(그림 8)의 (a)는 스크래치의 SEM 측정 결과이고, (그림 8)의 (b)는 (a)를 확대한 그림이다. SEM 측정 결과를 비교해 보면, 동일 불량일 경우에 가속 시험 불량 시료와 시장 반품 시료 간에 차이가 없었다.

&lt;표 5&gt; HDD의 고장 메커니즘

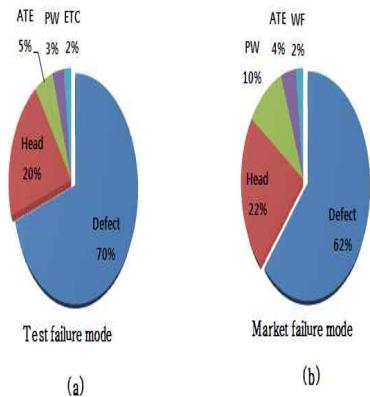
Mode	Failure mechanism
Defect	Head or media was damaged because of particle or raw materials, so don't read or write at specific location or full area
Scratch	Head touched media during operation, so head don't read or write normally
PW (Poor write)	Weak write because of flying height increase
WF (Write fault)	Don't write normally because of external environment change and material
ATE (Adjacent track erase)	Adjacent track data was erased due to abnormal write operation or material problem

PW : Poor write, ATE : Adjacent track erase, WF : Write fault,

Scratch : Head touch, Defect : Weak write

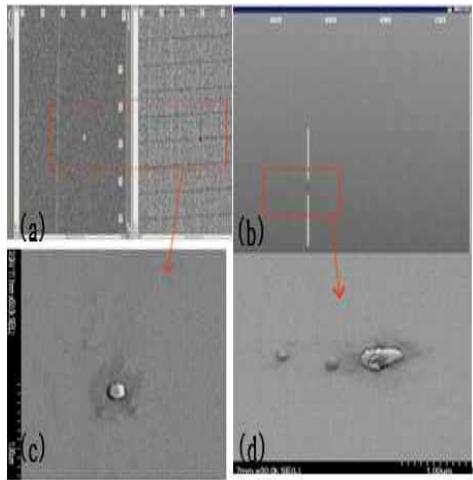
&lt;Table 5&gt; The failure mechanism of HDD

(그림 6) 고장 모드의 공유비교



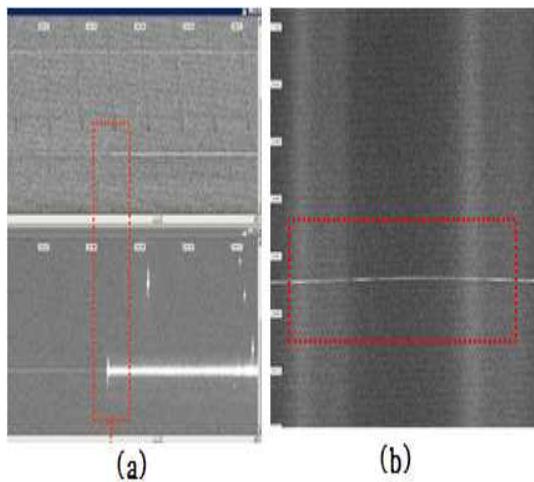
(Figure 6) The share comparison of failure mode.

(그림 7) (a)~(b) 결점에 대한 SEM 측정 결과,  
(c)~(d) 결과의 확대 영상



(Figure 7) (a)~(b) The SEM data of defect failure, (c)~(d) The magnified SEM data of defect failure.

(그림 8) (a)스크래치의 SEM 측정 결과, (b)확대 영상



(Figure 8) (a) The SEM data of scratch failure, (b) The magnified SEM data of scratch failure.

#### 4. 고찰

하드디스크 제조업자는 대형 컴퓨터 회사가 국제 디스크 장비와 재료 협회(international

disk drive equipment and material association, IDEMA)의 규격을 변형한 것에 맞추어 가속 시험을 진행하고 있는 반면, 본 연구에서는 시험 온도와 전송률에 대해서는 대형 컴퓨터 회사의 요청에 맞추어서 시험을 진행하였으나, 고장시간 데이터로 통계적 기법을 활용하여 수명을 예측하였다.[5,8,10]

하드 디스크 수명 예측에 대하여 스마트 정보가 어떤 측정항목에 효과가 있는지에 대한 연구가 있었다.[5] 또한 내부 저장된 정보 간에 규칙을 만들어서 수명을 예측하는 방법에 대한 연구도 있었다.[6]

본 연구는 하드디스크의 내부정보로 하드 디스크의 수명을 산출하는 방식은 기존 연구[11]와 비슷한 반면, 정확도가 높은 연간 제품 고장률 산출을 위해서 전송률 계수를 산출하였다.

그러나 내부 정보간의 상관성을 연구하는 것에는 부족하다고 판단된다.

#### 5. 결론

본 연구는 PACS의 영상저장부의 디스크 배열에 들어가는 하드디스크의 수명을 제조회사의 가속 수명시험 결과로 예측하고자 하였다.

고장시간의 데이터로부터 분포의 적합도 검증 결과로 와이블 분포를 선택하였다.

형상모수와 척도모수로 동일성 검증을 진행한 결과, 가속 수명 시험 50 °C 조건과 가속 수명 시험 60 °C 조건의 확률분포가 통계적으로 유의하지 않았다. 온도 가속인자를 포함한 와이블-아레니우스 모형으로부터 추정한 형상모수는 1.0409이며, 사용조건(30 °C)의 특성수명은 24603.5 시간이었다. 또한 아레니우스 모델 식에 반영하여 활성화 에너지 0.5011 eV을 산출하였다.

가속시험의 정확성 확보차원에서 가속시험 불량시료와 시장 반품 시료로 고장 분석을 진행한 결과, 점유율 순서와 같은 불량 모드의 정밀 분석 결과는 동일하나 불량 모드별 점유율의 세부 차이는 있는 것으로 나타났다.

#### References

- [1] Elerath JG. Enhanced reliability modeling of RAID

- storage systems. dependable systems and network s. 37th annual institute of electrical and electronics engineers/international federation for information pr ocessing, international conference, pp 175–184, 2007.
- [2] Schroeder B, Gibson GA: Disk failures on the real world: What does an MTTF of 1000000 hours mean to you ?. ACM Trans Storage 3(1): 1–16, 2007.
- [3] Euy-Hyun Cho, Jeong-kyu Park, Hui-Don Seo: The Accelerated Life Test of 2.5 Inch Hard DiskIn The Environment of PC using Journal of Digital Content s Society Vol. 15 No. 1 pp. 19–27,2014
- [4] Shaohsin Chen, Feng-Bin Sun, Yang, J, “A New Met hod of Hard Disk Drive MTTF Projection Using Da ta from an Early Life Test”, Reliability and Maintain ability Symposium, Proceedings. Annual Vol.18, No. 21,pp. 252–257, Jan. 1999.
- [5] Kim BN, Kim JJ, Jang SW, Shin SJ, Gwak GD: Accel erated life test for LED. The Korean society of mech anical engineers proceedings autumnal symposium, 2006.
- [6] Strom BD, Lee SC, Tyndall GW: Hard disk drive reliability modeling and failure prediction institute of electrical and electronics engineers transaction on magnetics, 43(9): 3676–84, 2007.
- [7] Seo SG: Minitab reliability analysis. Eretec: Gyungg i, 2009, pp 113,119–124, pp 310–323.
- [8] Kang BS, Kim HU, Jang MS, Song CS: A study on validation of accelerated model for pneumatic cyli nder. The Korean society of mechanical engineers 33(10): 1139–1143, 2009.
- [9] McPherson JW: Reliability physics and engineering, Springer. pp 37–116, 2011.
- [10]. Kim JJ, Chang SW, Son YK: Electrical lifetime esti mation of a relay by accelerated life test. The Korea n society of mechanical engineers, Proceedings 32 (5): 430–436, 2008.
- [11] Agarwal V, Bhattacharyya C, Niranjan T, Susarla S: Discovering rules from disk event for predicting hard disk failure. Machine learning and applications, ICMLA 09 International Conference, pp 782–786, 200 9.



### 조의현

2010년 : 영남대학교 대학원 (의공  
학석사)  
2014년 : 영남대학교 대학원 (의공  
학박사)

1996년~현재: 삼성전자 의료기기사업부 책임연구원  
관심분야 : 디지털 의료영상, 뇌파분석, 컴퓨터 저장  
장치



### 박정규

2008년 : 한서대학교 대학원 (방사  
선학석사)  
2013년 : 영남대학교 대학원 (의공  
학 박사)

1999년~2006년: 차의과학대학교병원  
2007년~2010년: 유일검사엔지니어링 방사선안전팀  
2010년~현 재: 대구보건대학교 방사선과 교수  
관심분야 : 방사선학, 디지털의료영상, 컴퓨터 저장장  
치



### 채종규

1980년 : 경북대학교 전자공학과  
(공학사)  
2003년 : 경북대학교 경영대학원  
(기술경영석사)  
2014년: 영남대학교 대학원 박사과  
정(디지털융합비지니스전  
공)

1983년 ~ 2009년 : 삼성전자 수석연구원, 그룹장, 상  
무, 차문역  
2010년 ~ 2013년 : (재)대구디지털산업진흥원 원장  
관심분야 : ICT융합 비즈니스, 웨어러블 컴퓨터, 컴퓨터 저장장치