

## PC 사용 환경의 2.5 인치 하드디스크의 가속 수명 시험

조의현\*, 박정규\*\*, 서희돈\*\*\*

### 요약

본 연구는 PC 사용 환경에 주로 사용되는 2.5인치 HDD의 수명을 예측하기 위해서, 시장 불량 모드 분석을 반영한 시험계획을 수립하고, 온도 스트레스 인자를 반영한 가속 수명 모델을 구하고자 하였다. PC 사용 환경을 분석 한 후, 쓰기과 읽기 동작을 각 50 %, 임의 주소와 순차 주소방식을 각 50 %로 시험 절차를 정했고, 50 °C, 60 °C 환경에서 최대 성능의 95 % 성능조건으로 1000시간 시험하는 조건으로 가속 수명을 실시하였다. 시험과정에서 발생하는 불량 발생시간의 데이터로 anderson-darling 적합도 검증을 진행하여 불량 분포가 weibull 분포를 따름을 확인하였고, 형상모수와 척도모수가 동일함을 확인하였으며, 와이블-아레니우스 모형을분석하여, 형상모수 0.7177, 사용 조건(30 °C)에 특성 수명 429434시간을 산출하였다. 가속 온도별 시험데이터로 동질성 검증을 실시한 결과 통계적으로 유의하지 않았으며 ( $p < 0.05$ ), 활성화 에너지로 0.2775 eV를 산출하였다. 가속 시험의 정확성 확보차원에서 가속시험 불량시료와 시장 반품 시료로 고장분석을 진행한 결과, 불량 모드 별 점유율에 세부차이는 있으나, 점유율 순위는 일치 하였다. 본 연구는 PC환경에서 사용되는 2.5 inch HDD의 가속 시험 절차를 제안하며, 제조자와 사용자 간에 수명 예측에 대한 도움을 주고자 한다.

키워드 : 가속수명시험, 수명예측, 하드 디스크 드라이브, 활성화 에너지

## The Accelerated Life Test of 2.5 Inch Hard Disk In The Environment of PC using

Euy-Hyun Cho\*, Jeong-kyu Park\*\*, Hui-Don Seo\*\*\*

### Abstract

In order to estimate the life of 2.5 inch HDD which is adopted by PC environment, make the test plan which reflect the failure mode of market, make the test model of accelerated life test which reflect the stress of temperature. after an analysis of the environment of PC using, test procedure was decided that operation was write 50 % and read 50 %, and then access method was sequential 50 % and random 50%.

The acceleration life test was executed on condition that temperature was 50°C and 60°C, performance was 95 % in max performance, test time was 1000 hours. by the test of goodness of fit of anderson-darling of the failure data during test, it was confirmed that the distribution of failure fellow weibull. test for shape and scale was equal, and shape parameter was 0.7177, characteristic life was 429434 hours at normal user condition(30 °C) by the analysis of weibull-arrhenius modeling. It made no difference about the statistics when equality test was executed. The activation energy was 0.2775eV. In analyzing between the failure samples of acceleration test and the samples of market return even though there is detail difference about the share of failure mode, the rank of share was almost same. This study suggest the test procedure of acceleration test of 2.5 inch HDD in PC using environment, and help the life estimation at manufacture and user

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

※ 교신저자(Corresponding Author): Jeong-kyu Park  
접수일:2013년 11월 11일, 수정일:2014년 02월 17일  
완료일:2014년 02월 26일

\* 삼성전자 의료기기사업부  
Tel: +82-32-200-9547, Fax: +82-2-200-0700  
\*\* 대구보건대학교 방사선과  
email: pj7407@hanmail.net

### 1. 서론

개인용 컴퓨터(personal computer, PC)의 소형화, 휴대화, 다변화에 추세에 맞추어 Note PC, Game Player, 일체형 PC 등이 시장에서 많이 사용되고 있다. 그 속에서 개인의 정보를 저장하는 2.5 인치 하드 디스크 드라이브(Hard disk drive, HDD)의 수명에 대해서 관심이 높아지고 있다. 하지만 소비자는 업체가 제공하는 평균 고장 시간(Mean time to failure, MTTF)을 토대로 HDD의 대략적인 수명을 예측할 뿐이며, HDD 제조사는 하드디스크의 수명을 예측하는 방법과 결과를 비공개로 하고 있다. 또한 HDD 제조사는 컴퓨터 제조사가 요청하는 절차에 따라 가속 수명 시험을 진행하고 결과를 컴퓨터 제조사에 제출하고 있다.

현재까지 제조사는 가속 수명 시험 진행 및 분석 절차 확립이 미흡한 상태에서, MTTF 산출을 위해서 평균 년 간 가동시간(Average annual power On Hours, POH)을 년 간 불량률(Annualized failure rate, AFR)로 나누어서 산출하는 방법과<sup>[1]</sup>, 제조사가 공개하지 않은 수명 시험(life test)의 결과물인 고장시간(Time to failure, TTF)을 토대로 웨이블(Weibull)분포와 지수(Exponential)분포를 결합하여 수명을 예측하는 방법<sup>[2]</sup>이 사용되어 왔다.

따라서, 본 연구는 HDD의 수명을 예측하기 위해서 신뢰성 기법으로 고장나무 분석, 품질기능전개, 확률분포 결정, 가속 스트레스에 맞는 수명 산출을 반영한 시험계획 수립 및 시험결과 분석을 진행하여, PC환경에서 사용되는 2.5 인치 HDD 가속 수명 시험 절차를 확립하여 정확한 수명 예측을 위한 토대를 마련하고자 하였다.

### 2.장비 및 방법

#### 2.1 시험 대상

2011년 2월부터 4월까지 2.5인치 HDD로 제조사의 신뢰성 입증 시험(Reliability demonstration test, RDT)을 실시한 후 시험결과를 토대로 사용 조건에서의 수명을 예측하고자 하였다. 시험

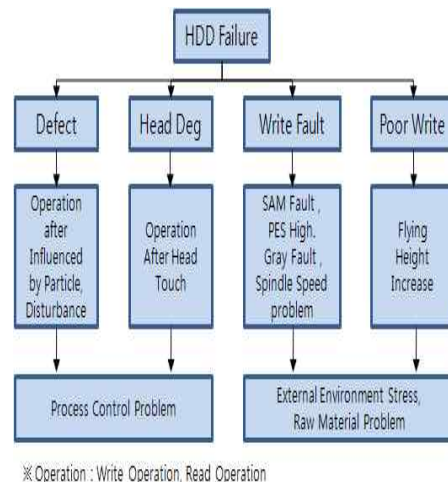
결과 정확성 확보를 위해서, RDT 시험 중에 발생한 불량 시료 21개와 시장에서 반품된 시료 50개로 고장 분석을 진행하였다.

#### 2.2 시험 방법

##### 2.2.1 시험조건

HDD 시장 불량 반품 분에 대해서 고장 나무 분석(Failure tree analysis, FTA)을 진행하고, 품질 기능 전개<sup>[3]</sup>(Quality Function Deployment)를 진행하여 시험에 대한 조건을 수립하였다. 불량 현상과 발생 원리를 반영한 고장나무 분석(Failure mode/mechanism of HDD using FTA)과 품질기능 전개 결과(Quality function deployment result)를 토대로 하였다(그림 1, 2).

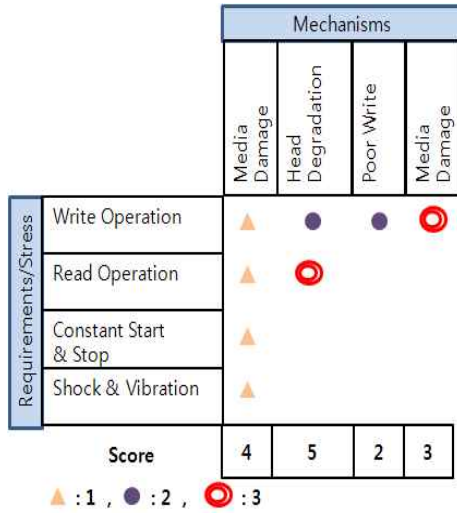
(그림 1) FTA를 사용하여 HDD의 고장 모드 / 메커니즘



(Figure 1) Failure mode / mechanism of HDD using FTA

\*\*\* 대구미래대학교 총장

(그림 2) 품질기능전개의 결과

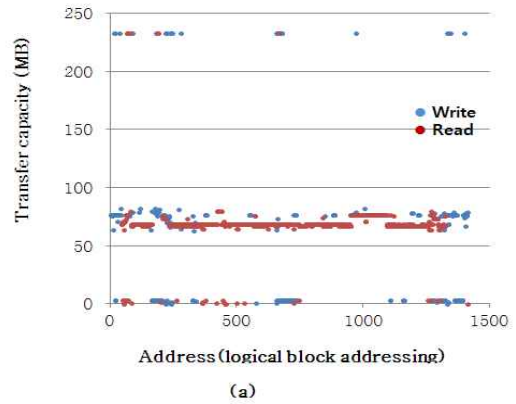


(Figure 2) Quality Function Deployment Result

(그림 3)의 (a)는 개인용 컴퓨터에서 엑셀파일 읽기를 진행하면서 하드디스크와 통신하는 내용을 저장하고 분석 하였다. 3 MB 이하의 단위로 읽기를 75 % 수행하였고, 쓰기를 25 % 수행하였다. (그림 3)의 (b)는 엑셀파일 읽기를 수행할 때 반복되는 패턴을 분석한 것이다.

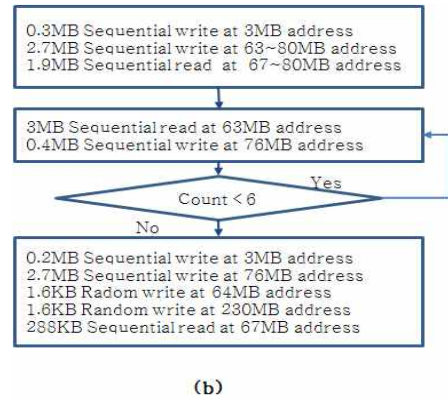
(그림 4)의 (a)는 개인용 컴퓨터에서 엑셀파일 저장을 진행하면서 하드 디스크와 통신하는 내용을 저장하고 분석한 것이다. 3 MB 이하의 단위로 쓰기를 62 % 수행하였고, 읽기를 38 % 수행하였다. (그림 4)의 (b)는 엑셀파일을 저장할 때 반복되는 패턴을 분석한 것이다. 엑셀파일 읽기와 저장시의 주소 접근 방식은 순차주소와 임시 주소의 비율이 6대 4였다.

(그림 3-a) 엑셀 파일을 읽는 동안 PC와 HDD 사이의 통신 분석



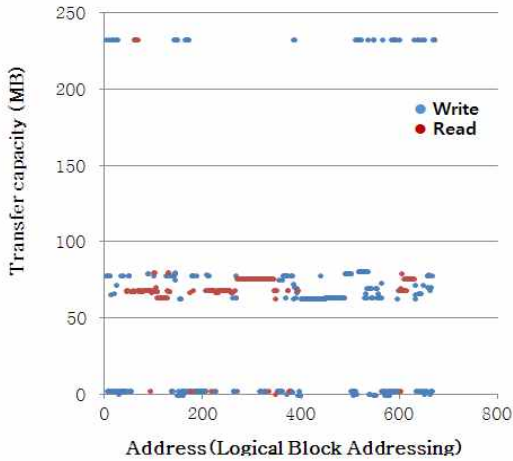
(Figure 3-a) The analysis of communication between personal computer and HDD during reading excel file.

(그림 3-b) 엑셀 파일을 읽는 도중 명령 이력의 흐름도



(Figure 3-b) The flowchart of command history during reading excel file.

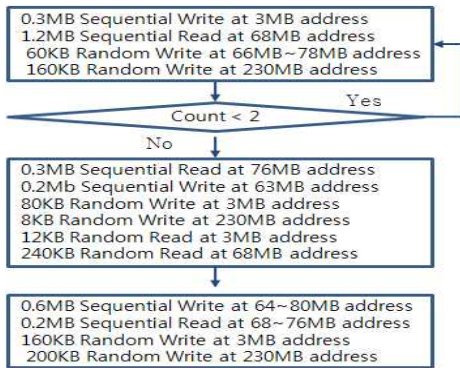
(그림 4-a) 엑셀 파일을 저장하는 동안 PC와 HDD 사이의 통신의 분석



(a)

(Figure 4-a) The analysis of communication between personal computer and HDD during saving excel file.

(그림 4-b) 엑셀 파일을 저장하는 동안 명령 이력의 흐름도.



(b)

(Figure 4-b) The flowchart of command history during saving excel file.

실사용자 환경에서는 읽기와 쓰기의 비율이 1.3대 1이지만 HDD의 불량 대다수가 쓰기 동작에서 많이 일어나기 때문에 가속 시험에서는 읽기와 쓰기의 비율을 1대 1로 시험을 진행 하였다.

주소 접근방식에 대해서는 임의 주소(Random address)가 실제 디스크 동작을 많이 하여, 순차

주소(Sequential address)보다 불량 발생 가능성이 많기 때문에 임의 주소와 순차 주소 비율을 1대 1로 시험을 진행하였다.

HDD는 제조 시 2일~7일 동안 40 °C에서 고온 번인 시험을 진행하기 때문에 HDD 제조사는 40 °C는 가속 수명을 진행하지 않으며, 가속 수명 시험은 50 °C와 60 °C에서 진행되었는데, 이유는 HDD의 사용 보장 온도가 60 °C이하로 60 °C 이상에서 동작 시에는 HDD 내부 Head가 Disk위를 낮게 날라 다녀서 Head가 Disk에 충돌하여 불량을 유발할 가능성이 매우 커서 HDD 제조사에서는 60 °C 이하의 2 가지 온도 조건에서 가속 수명을 진행하였다<sup>[4]</sup><표 1>.

<표 1> 테스트 환경 조건

chamber	1	2
Temperature (°C)	50	60
Sample (EA)	276	910
Voltage	12V/5V	

<Table 1> The condition of test environment

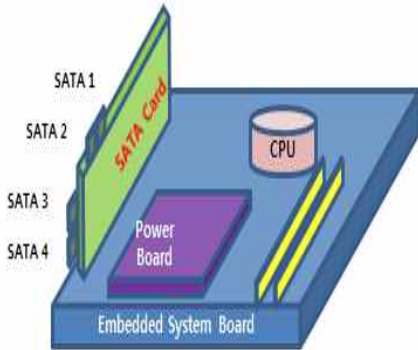
시료에 공급된 전압은 12V와 5V모두 공급되었고, 최대성능의 95 %조건으로 1000시간 동안 시험 하였다.

### 2.2.2 시험 장비

본 시험에 사용된 RDT 장비는 10 °C~70 °C까지 온도 제어가 가능하며, 시험 장비(Winstar, Samsung, Korea)에서 최대 100대의 HDD를 병렬 컴퓨터 연결 (Parallel at attachment, PATA) 방식과 직렬 컴퓨터 연결 (Serial at attachment, SATA) 방식 환경에서 시험 가능하다. 한 장비에서 100개의 HDD를 동시에 시험하기 위해서, 임베디드 시스템 보드(embedded system board) 25개가 들어가고, 각 시스템 보드에 SATA 인터페이스 카드를 장착하여 총 4개의 HDD를 동시에 연결 하였다

(그림 5).

(그림 5) 테스트 보드 구조 (SATA2, 삼성)



(Figure 5) Test Board Structure (SATA2, Samsung)

### 2.2.3 신뢰성 분석

모든 자료의 신뢰성 분석을 위해서 윈도우용 미니탭 소프트웨어(Minitab Inc, version 14)을 이용하였다. 온도별 고장시간 (Time to failure, TTF)의 정보로 Anderson-Darling 적합도 검증, 형상모수의 동일성 검증을 하였고, 와이블-아레니우스 모형 분석을 하였으며, 반응을 일으키는 데 최소한의 에너지를 나타내는 활성화 에너지 (Activation energy) 와 온도별 가속 계수 산출 하였다.<sup>[5]</sup> Anderson-Darling 적합도 검증에서는 값이 가장 작은 분포가 가장 잘 적합하며, 형상모두의 동일성 검증은 p값이 0.05보다 크면 추정 한 모수가 통계적으로 차이가 없으며, 와이블-아레니우스 모형은 높은 온도가 낮은 온도에 비 교해서 B10(전체 시료에서 10 % 불량발생 시 간) 수명이 작으며, 활성화 에너지(Activation energy)와 온도별 가속 계수는 아레니우스식에 직접 대입하여 산출 하였다.

## 3.결과

### 3.1 Anderson-Darling 적합도 검증을 통한 고장시간 데이터의 확률분포 선정

50°C, 60°C에서 시험한 고장시간 데이터가 어떤 확률 분포인지를 검증하기 위해서, Anderson-Darling 적합도 검증<sup>[6]</sup>을 진행하였다.

50°C, 60°C 조건에서, 각 분포 Weibull, Lognormal, Exponential, Loglogistic에서의 Anderson-Darling값이 모두 동일하여, 다양한 분포를 대변할 수 있는 Weibull 분포를 선정하였다<표. 2>.

<표 2> 확률 분포에 대한 앤더슨 - 달링의 결과

	50°C	60°C
Weibull	361.298	177.175
Lognormal	361.298	177.175
Exponential	361.298	177.176
Logl-logistic	361.298	177.175

<Table 2> The result of Anderson-Darling about probability distribution

### 3.2 형상 모수와 척도 모수의 동일성 검증

50°C, 60°C에서 시험한 고장시간 데이터로 형상모수와 척도모수의 동일성 검증을 진행하였다. 동일성 검증 결과 p 값이 0.05보다 커서 50°C, 60°C의 고장시간 데이터 분포로 부터 추정한 모수가 통계적으로 서로 차이가 없었다(그림 6).

(그림 6) 모양 및 규모 매개 변수의 평등 테스트 결과

```

Test for Shape and Scale Equal to 0.717788 and 429434
-----
Chi-Square DF P
6.84702 4 0.144
-----

Test for Shape Equal to 0.717788
-----
Chi-Square DF P
0.0471064 2 0.977
-----

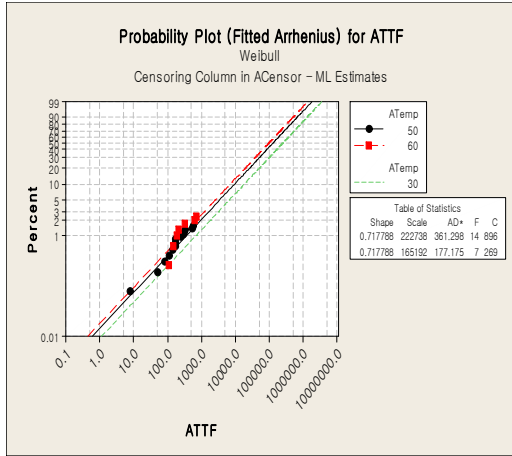
Test for Scale Equal to 429434
-----
Chi-Square DF P
0.559387 2 0.756
-----
    
```

(Figure 6) Equality Test Results of Shape & Scale Parameter

### 3.3. 와이블-아레니우스의 모형 분석

50 C, 60 °C 두 가지 가속조건에서 얻은 데이터를 와이블-아레니우스 모형을 분석한 결과 형상모수는 0.71777 이며, 사용조건(30°C)의 특성 수명은 429434 시간이다.<sup>[7]</sup> (그림 7, 8).

(그림 7) 와이블 아레니우스 모형



(Figure 7) Weibull-Arrhenius Plots

(그림 8) 와이블 아레니우스 모형의 분석결과

Regression Table					
Predictor	Coef	Standard Error	Z	P	95.0% Normal CI Lower Upper
Intercept	2.35604	21.6110	0.11	0.913	-40.0007 44.7128
ATemp	0.277293	0.614756	0.45	0.652	-0.927606 1.48219
Shape	0.717788	0.156181			0.468583 1.09953

Table of Percentiles				
Percent	ATemp	Percentile	Standard Error	95.0% Normal CI Lower Upper
63.2	30	429434	989816	4687.41 39342254

(Figure 8) Analysis Result of Weibull-Arrhenius Model

### 3.4 명목 수명과 가속 인자의 산출

본 연구는 온도 가속 환경(50 °C, 60 °C)에서 수명 시험시의 TTF(Time to failure) 정보를 아레니우스(Arrhenius) 모형 식 (1)에 대입하였다. 식 (2)는 식(1)의 양변에 자연로그를 취하여 온도 변화에 대한 수명의 비를 이용하여 활성화

에너지 산출에 활용된다.

$$N = A \exp\left(\frac{Ea}{kT}\right) \quad (1)$$

$$\ln(N) = \frac{Ea}{k} \frac{1}{T} + \ln(A) \quad (2)$$

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

50 °C, 60 °C에서 시험한 고장시간 데이터로 분포 분석을 진행하여 시험한 시료의 63.2 %가 불량 발생 시간 나타내는 특성수명, 시험한 시료의 10 % 불량 발생 시간을 나타내는 B10 수명, 평균 고장 시간의 평균값을 나타내는 MTTF 평균값을 구한 후에 식 (2)에 대입하여 <표 3>과 같이 활성화 에너지를 산출했다.<표 3>.

<표 3> 활성화 에너지 계산의 결과

life	Characteristic life	B10	Mean
temp	50	50	50
	60	60	60
$\Delta \ln(N)$	0.298887759	0.298887292	0.298885151
$\Delta 1/T$	9.28872E-05	9.28872E-05	9.28872E-05
Slope	3217.749	3217.744	3217.72
k	8.623E-05	8.623E-05	8.623E-05
Ea	0.27746646	0.277466026	0.277464039

<Table 3> The result of activation energy calculation

그리고 명목수명  $\tau$ 는 식(3)과 같이 유도할 수 있다.(그림 8).

$$\gamma = \text{Exp} \left[ 2.356 + \frac{0.2775}{[8.16 \times 10^{-5} * (^\circ\text{C} + 273.16)]} \right] \quad (3)$$

30°C의 온도 가속 계수(Accelerator factor, AF)를 1로 정할 때, 산출된 Ea를 토대로 온도에 다른 가속 계수를 산출 했다.

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

식 (4)의 T<sub>co</sub>는 303.16(=273.16+30°C), T<sub>cs</sub>는 테스트 온도(°C) + 273.16이다.

사용온도를 30°C로 규정하였으며, 각 온도별 특성수명(Characteristic life)과 계산된 가속 계수를 정리하였다. 온도가 높아지면 빨리 불량 발생하여 특성수명이 작아지고, 반대로 가속 계수는 더 커짐을 확인할 수 있다<표 4>.

<표 4> 온도에 의해 다음과 같은 가속기 요인 및 특징 수명

Temperature (°C)	Characteristic Life	Accelerator Factor
30	429434	1
35	361492	1.188
40	305978	1.403
45	260350	1.649
50	222636	1.929
55	191295	2.245
60	165117	2.601
65	143142	3

<Table 4> Accelerator factor and Characteristic life following by temperature

### 3.5 고장 분석

동일 모델의 HDD에 대해서, 가속 수명 시험에서 불량 발생한 시료21개와 시장에서 반품된 시료 50개로 고장 분석(Failure Analysis)을 진행하였다.

각 고장 모드(Failure Mode)에 대한 불량발생 원리(mechanism)을 정리 하였는데, 그때 점유율 3 %이하는 제외하였다(표 5).

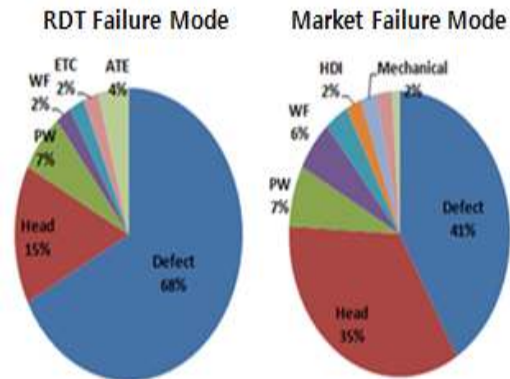
<표 5> 불량 모드

Mode	Failure Mechanism
Defect	Media Damage, so no read or write at specific location
Head (Head Deg)	Head touch during operation, so Head didn't read or write normally
PW (Poor Write)	Weak write because of Flying Height increase
WF (Write Fault)	Didn't write normally because of external environment and material
ATE (Adjacent Track Erase)	adjacent track data erase due to abnormal write operation or material problem

<Table 5> Failure mode

가속 시험 불량 모드 점유율 순위는 결점(Defect) > 헤드(Head) > 쓰기 미흡(Poor Write, PW) > 인접 트랙 지워짐(Adjacent Track Erase, ATE) > 쓰기 실패(Write Fault, WF) 순이며, 시장 반품 분의 불량 모드 점유율 순위는 결점(Defect) > 헤드(Head) > 쓰기 미흡(Poor Write, PW), > 쓰기 실패(Write Fault, WF) 순이었다(그림 7).

(그림 9) 불량모드 점유율 비교



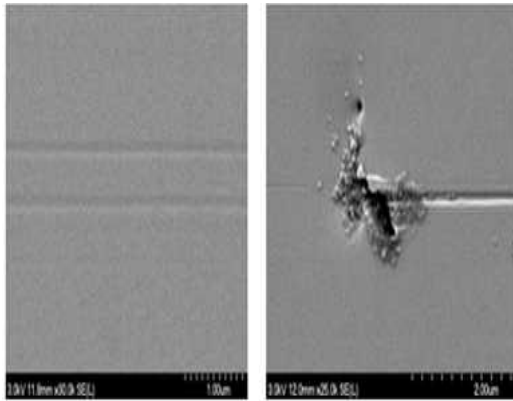
\* WF : write fault, ATE : adjacent track erase, HDI : head disk interference, PW : poor write Head : head degradation

(Figure 9) Failure Mode Share Comparison

불량 모드 점유율 비교에서 불량 모드 중에 가장 많은 점유율을 차지하는 결점(Defect)과 헤

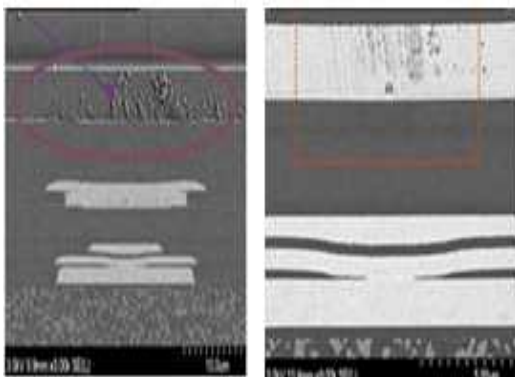
드(Head) 불량 시료에 대해서(그림 8), 전자 현미경(Scanning Electron Microscope, SEM)을 사용하여 불량 발생 부위를 측정하였다(그림 8, 9).

(그림 10) 결점 불량 SEM 데이터



(Figure 10) Defect Fail SEM Data

(그림 11) 헤드 불량 SEM 데이터



(Figure 11) Head Fail SEM Data

SEM 측정 결과, 동일 불량일 경우에 가속 시험 불량 시료와 시장 반품 시료 간에 차이가 없었다.

#### 4. 고찰 및 결론

본 연구는 제조사에서 미공개로 실시하는 하드디스크의 가속 수명 시험에 대해, 신뢰성 기법을 최대한 적용하여, 시험 계획 수립, 시험 데이

터 분석, 수명을 예측하여 하드 디스크의 가속 수명 시험을 명확히 정립하기 위해서 수행되었다.

본 연구의 시험 대상은 최근 시장에서 가장 많이 사용되는 2.5 인치 HDD를 대상으로 하여 가속 수명 시험을 실시한 후, 가속시험 데이터로부터 분포의 적합도 및 동질성을 검증하였고, 형상모수, 활성화 에너지, 온도별 가속 계수, 사용 온도별 특성 수명 산출하였다.

온도 가속인자를 포함한 와이블-아레니우스 모형으로부터 추정된 형상모수는 0.7177 이며, 사용조건(30 °C)의 특성수명은 429434 시간이다. 가속온도별 시험데이터로 동질성 검증을 실시한 결과 통계적으로 서로 유의하지 않았으며, 아레니우스 모델 식에 반영하여 활성화 에너지 0.2775 eV을 산출하였다.

가속시험의 정확성 확보차원에서 가속시험 불량시료와 시장 반품 시료로 고장 분석을 진행한 결과, 불량 모드별 점유율에 세부 차이는 있으나, 점유율 순서는 일치 하였다. 전자 현미경으로 같은 불량 모드에 대해서 정밀 분석을 진행한 결과 불량 모드별로 동일함을 관찰할 수 있었다.

본 연구는 PC환경에서 사용되는 2.5 인치 HDD의 가속수명 시험을 진행하는 절차를 확립 하였으며, HDD 제조자의 가속 수명 시험으로부터 산출된 수명 예측 결과와 시장에서의 년 간 제품 고장률 (Annual failure rate, AFR)차이를 규명하는 데 활용 할 수 있다.

또한, PC 정비의 전문화를 유도하는데 기초자료로 활용 할 수 있으며, 국제 경쟁력 제고에도 기여할 수 있다.<sup>[8]</sup>

그리고, 가속 수명 결과와 시장 년 간 불량률에 대한 차이를 최소화 하는 방법에 대해서 추가 연구를 진행할 필요성이 있다고 사료된다.

#### References

[1] Yang J, Feng-Bin Sun, "A Comprehensive Review of Hard Disk Drive Reliability", Reliability and Maintainability Symposium, Proceedings. Annual Vol.18 No.21, pp.403-409, Jan. 1999.  
 [2] Shaohsin Chen, Feng-Bin Sun, Yang, J, "A New Met



hod of Hard Disk Drive MTTF Projection Using Data from an Early Life Test”, Reliability and Maintainability Symposium, Proceedings. Annual Vol.18, No.21, pp. 252-257, Jan. 1999.

- [3] Beoung-NAM Kim, Jae-Jung Kim, Seog-Weon Chang, Seung-Jung Shin and Kae-Dal Kwack, "Accelerated Life Test for LED", The Korean Society of Mechanical Engineers, Proceedings, Autumnal symposium, 2006
- [4] Strom BD, Lee SC, Tyndall GW, "Hard disk drive reliability modeling and failure prediction", Institute of electrical and electronics engineers transaction on magnetics, Vol43, No.9 pp.3676-84, 2007.
- [5] McPherson JW, " Reliability physics and engineering, Springe", pp 37-116, 2011.
- [6] ERETEC Inc, "MINITAB Reliability Analysis", Vol.13, pp.119-124, 310-323, 2009
- [7] Bo-Sik Kang, Hyoung-Eui Kim and Mu-Seong Chang, "A Study on Validation of Accelerated Model for Pneumatic Cylinder", The Korean Society of Mechanical Engineers, Proceedings, Autumnal symposium pp. 112-114, 2009
- [8] Jae-Min Lee, "A Diagnostic Database System for PC Maintenance and Repair", Journal of Digital Contents Society, Vol.9 No.4, pp.717-723 2008



**조 의 현**

2010년 : 영남대학교 대학원 (의공학 석사)  
 2014년 : 영남대학교 대학원 (의공학 박사)

1996년~현재 : 삼성전자  
 관심분야 : 디지털 의료영상, 뇌파분석, 저장 장치 시약



**박 정 규**

2008년 : 한서대학교 대학원 (방사선학석사)  
 2013년 : 영남대학교 대학원 (의공학 박사)

1999년~2006년: 차의과학대학교병원  
 2007년~2010년: 유일검사엔지니어링 방사선안전팀  
 2010년~현재: 대구보건대학교 방사선과 교수  
 관심분야 : 방사선학, 디지털의료영상, 컴퓨터 저장장치



**서 희 돈**

도호쿠 대학교 대학원 박사

1987년~2012년: 영남대학교 교수,  
 영남대학교 대학원장,  
 연구처장, 교무처장  
 2013년 : 대구미래대학교 총장  
 관심분야 : 전자공학, 디지털의료영상, 컴퓨터 저장장치