ISBN 978-89-5884-985-8 98560

하멜 클러스터 I/O 워크로드 분석 보고서

ver.1.0

부　서 : 슈퍼컴퓨팅센터
작성자 : 조혜영, 차광호, 김성호

한국과학기술정보연구원

Korea Institute of Science and Technology Information

목 차

제 1장 파일 I/O WORKLOAD 분석 3

1. 연구 목적 및 필요성 3

제 2장 워크로드 분석 환경 3

1. 시스템 환경 3

제 3장 사용자 환경 4

제 4장 워크로드 분석 5

1. 파일 종류별 분포 5
2. 파일 크기 6
3. 디렉토리당 파일 수 8
4. 전체 데이터량 변화 9

제 4장 워크로드 분석 결과 및 향후 계획 10

제 5장 워크로드 분석 상세 데이터 10

1. DATA FILE SIZE & DATA SCALE 10
2. DATA SET SIZE 17
3. DIRECTORY DEPTH 28

참고문헌 31

제 1 장 파일 I/O Workload 분석

1. 연구 목적 및 필요성

클러스터 시스템의 응용 분야가 다양화되고 복잡해짐에 따라, 대규모 클러스터 시스템을 보다 효율적으로 사용하기 위해서 실제 사용자의 이용 패턴을 예측할 수 있는 워크로드 분석의 필요성이 높아지고 있다. 또한 클러스터 파일 시스템에 대한 I/O Workload 분석은 클러스터 파일 시스템에 대한 기술 확보를 위한 필수 요소이며, 새로운 시스템의 설계 및 운영에 있어 중요한 자료가 된다. 이에 256 노드 규모의 현재 가동중인 클러스터 시스템에서 파일 시스템에 대한 워크로드를 분석하였다. 본 워크로드 분석 결과는 과년도 하반기에 수행했던 정적(static) 정보들에 부족한 점들을 보완했으며, 전체 데이터량 변화와 같은 동적(dynamic) 정보를 추가로 분석하였다.

제 2 장 워크로드 분석 환경

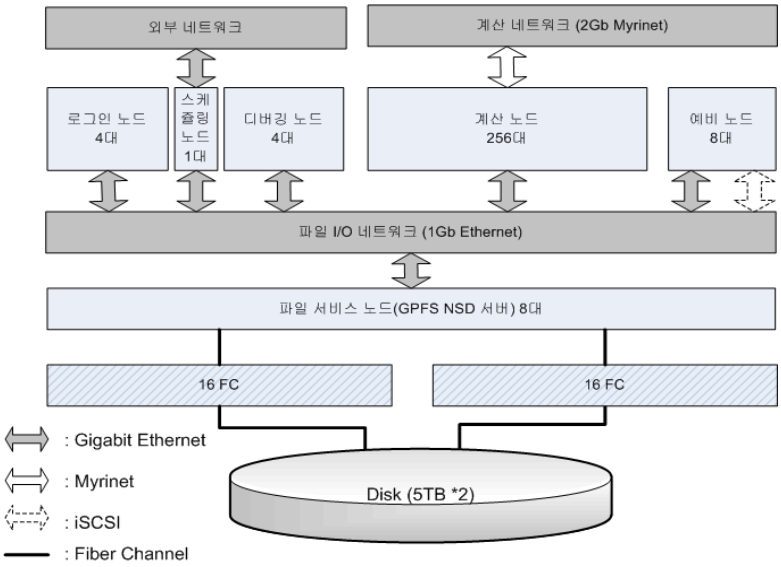
1. 시스템 환경

본 논문에서는 클러스터 시스템의 파일 시스템에서 요구되는 워크로드 정보를 확보하기 위하여 현재 운영중인 256 노드 규모의 클러스터 시스템(HAMEL)을 대상으로 파일 시스템의 특성을 분석하였다. 하멜 클러스터 시스템은 256 노드/512CPU(Intel PIV 2.8GHz) 규모의 이론 성능 2.867TFlops 테라플롭스급 클러스터 시스템이다. 하멜(HAMEL) 클러스터 시스템의 구성도를 아래 그림에 나타내었다. 하멜 클러스터 시스템은 로긴 노드 4 대, 디버깅 노드 4 대, 스케쥴링 노드 1 대, 계산 노드 256 대, 예비 노드 8 대, 관리 노드 1 대로 구성되며, 10TB(5TB*2)의 대용량 저장자원을 8 대의 파일서비스 노드를 통해 제공한다.

256 대의 계산 노드는 초고속 통신 장비인 2Gbps myrinet 을 사용하여 독립적인 계산전용 네트워크로 연결되어 있으며, 파일 I/O 를 위한 네트워크로 기가비트 이더넷을 사용한다. 계산전용 네트워크는 6 개의 M3-E128 myrinet 스위치를 이용하여 fat-tree 구조로 구성되었으며, 파일 I/O 네트워크는 2 개의 Cisco 4006 스위치를 중심으로 star topology 형의 기기비트 이더넷으로 구성된다.

저장자원으로 엔터프라이즈급 스토리지 서버인 IBM FAStT900 2 개를 사용하고 있으며, 총 10TB 의 저장용량을 제공한다. 이 저장자원은 2 개의 FC

Fabric 스위치를 통하여 8 개의 파일서비스 노드에 이중의 Fibre Channel Loop 로 연결되어 있다.



<figure 1> hamel cluster system

제 3 장 사용자 환경

본 연구의 분석 대상인 하멜 클러스터 시스템은 주로 대학, 정부출연연구소, 정부기관, 산업체 등의 기관을 대상으로 대기, 환경, 물리, 화학, 생명 등의 다양한 과학기술 분야의 연구 주제에 대하여 서비스를 실시하고 있다. 표 1 에 하멜 시스템의 사용률 분포를 나타내었다. 물리/천체의 사용률이 44.51%로 가장 높았으며, 열/유체, 구조/고체, 화학/생명, 대기/환경의 순으로 높은 사용률을 보였다. 워크로드 분석 대상은 사용자의 기본 환경 설정 파일들과 사용자 소스 데이터들을 포함하는 사용자 홈 디렉토리(/home)와 사용자들이 대용량의 I/O 작업을 실행할 때 주로 사용하는 임시 작업 디렉토리(/ytmp)인 스크래치(scratch)를 대상으로 조사, 분석하였다.

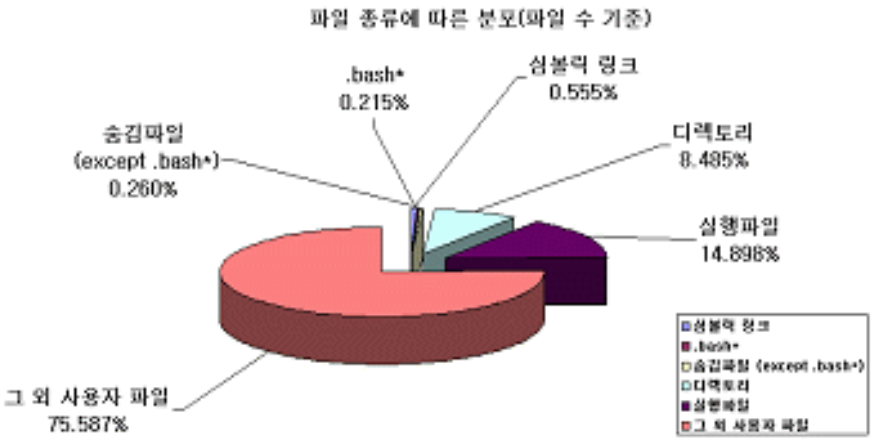
<table 1> distribution of hamel users

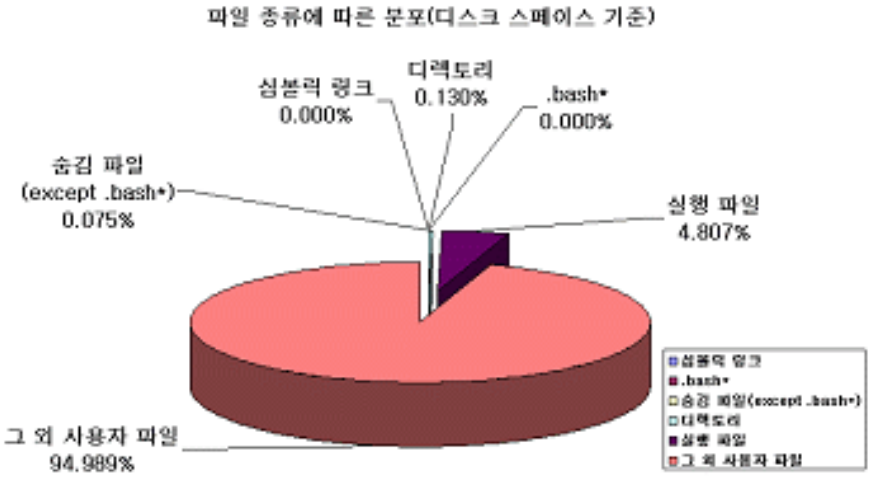
	구조/고체	열/유체	대기/환경	물리/천문	화학/생명	합계
사용률	15.32%	19.84%	8.28%	44.51%	12.06%	100%

제 4 장 워크로드 분석

1. 파일 종류별 분포

<figure 2>는 사용자 홈 디렉토리의 전체 파일을 디렉토리, 실행파일, “.bash”로 시작하는 설정 파일, 숨김 파일, 심볼릭 링크 파일 등 파일 종류에 따라 파일 수와 디스크 스페이스 기준으로 통계를 낸 것이다. 파일 수 기준으로 할 때, 총 1,331,716 개의 파일 중에 현재 디렉토리와 부모 디렉토리가 5.657%, 그 외 디렉토리가 2.828%, 심볼릭 링크가 0.555%, ".bash"로 시작하는 설정파일이 0.215%, "."으로 시작하는 숨김 파일이 0.260%(".bash"로 시작하는 파일 제외), 실행 파일이 14.898%를 자치하였으며, 그 외 나머지 사용자 데이터가 75.587%를 차지하였다. 이 데이터는 디스크 스페이스 기준으로 할 때, 전체 홈 디렉토리의 94.989%에 해당하는 용량이다.





<figure 2> distribution of file type(user home, /home)

2. 파일 크기

파일 크기는 파일 시스템에서 블록(block) 크기와 같은 설정을 결정하는데 있어서 중요한 특성이 된다. 예를 들어 파일 시스템의 블록 크기를 크게 설정할 경우, 시스템에서 주로 사용하는 파일의 크기가 크다면 성능에 도움이 되지만 시스템에서 주로 사용하는 파일이 크기가 작은 파일이라면 스페이스 낭비가 발생할 수 있다.

하멜 클러스터 시스템의 스크래치(scratch) 공간에 대해 파일 크기에 따른 분포를 파일 수와 디스크 스페이스를 기준으로 분석한 결과를 <table Ⅲ-2-13>에 나타내었다. 표 <table Ⅲ-2-13>의 (a)에서 파일 수 기준으로 볼 때, 4MB 이하 크기의 파일이 전체의 79.48% 정도를 차지하지만, 디스크 스페이스 기준으로 볼 때, 4MB 이하 크기의 파일이 차지하는 공간은 전체 용량의 5.13% 정도이다. 그리고 <table Ⅲ-2-13>의 (b)에서 파일 수 기준으로 전체 파일의 97.29%가 100MB 이하의 파일로 이루어져 있으며, 그 파일은 전체 용량의 41.61%를 차지함을 알 수 있다. 그리고 디스크 스페이스 기준으로 볼 때, 특히 0~100MB, 400~500MB 크기의 파일이 많은 비중을 차지함을 알 수 있다. 이는 사용자들이 100MB 이하 크기의 파일을 주로 많이 사용하며, I/O 집중적인 응용 과학 프로그램에서 400~500MB 규모의 결과 파일을 많이 생성하거나 또는 스크래치 디렉토리를 데이터 백업용으로 많이 사용하고 있다고도 해석할 수 있다.

<table 2> distribution of file size(scratch, /ytmp)

파일 크기	파일 수 기준		디스크 스페이스 기준	
	파일 수	백분율(%)	용량(byte)	백분율(%)
0 - 10KB	12,227	32.21192	46,796,714	0.00720
10KB - 1MB	8,935	23.53917	898,226,048	0.13827
1MB - 2MB	391	1.03009	522,594,102	0.08044
2MB - 3MB	255	0.67180	685,238,430	0.10548
3MB - 4MB	8,361	22.02698	31,148,006,548	4.79473
4MB - 64MB	4,925	12.97487	71,800,973,172	11.05260
64MB - 1GB	2,847	7.50040	520,518,378,376	80.12539
1G - MAX	17	0.04479	24,009,574,100	3.69589
총 파일 수	37,958	100	649,629,787,490	100

파일 크기	파일 수 기준		디스크 스페이스 기준	
	파일 수	백분율(%)	용량(byte)	백분율(%)
0 - 100MB	36,930	97.29174	270,327,692,531	41.61258
100MB - 200MB	205	0.54007	27,885,722,406	4.29256
200MB - 300MB	65	0.17124	16,822,344,688	2.58953
300MB - 400MB	117	0.30824	44,001,980,637	6.77339
400MB - 500MB	617	1.62548	261,145,037,864	40.19906
500MB - 600MB	2	1.00527	1,137,153,600	0.17505
600MB - 700MB	0	0.00000	0	0.00000
700MB - 800MB	3	0.00790	2,455,134,336	0.37793
800MB - 900MB	1	0.00236	884,285,440	0.13612
900MB - 1GB	1	0.00236	960,861,888	0.14791
1GB - MAX	17	0.04479	24,009,574,100	3.69589
총 파일 수	37,958	100	649,629,787,490	100

3. 디렉토리당 파일 수

디렉토리당 소유하고 있는 파일의 전체 분포를 분석하기 위해서 디렉토리당 파일 개수를 구간별로 나누어 통계를 낸 결과를 <table Ⅲ-2-14>에 나타내었다. 홈 디렉토리와 스크래치 모두 94%정도가 100 개 미만의 파일을 가기고 있으며, 디렉토리당 파일 수의 구간을 축소하여 분석한 결과 디렉토리당 파일 수가 10 개 미만인 경우가 홈 디렉토리의 경우 전체의 62.05%, 스크래치 디렉토리의 경우 전체의 77.79%를 차지하였다.

<table 3> the member of files per a directory

디렉토리당 파일 수	대상 : /home	
	디렉토리 수	백분율(%)
0 - 99	35,563	94.787
100 - 499	1,621	4.320
500 - 999	95	0.253
1000 - MAX	240	0.640
총 디렉토리 수	37,519	100

디렉토리당 파일 수	대상: /ytmp	
	디렉토리 수	백분율(%)
0 - 99	2,689	94.186
100 - 499	160	5.604
500 - 999	2	0.070
1000 - MAX	4	0.140
총 파일 수	2,855	100

4. 전체 데이터량 변화

클러스터 시스템의 데이터량의 변화를 예측하는 것은 클러스터를 구축하고 관리하는데 있어서 중요하다. 본 워크로드의 분석 대상 중 홈 디렉토리는 사용자의 컴파일 환경과 소스들을 포함하고 있기 때문에 용량의 변화가 많지 않은 편이다. 반면 사용자들이 주로 I/O 작업이 많은 프로그램을 실행할 때 사용하는 임시 작업 디렉토리인 스크래치는 대용량의 결과 파일들이 주로 생성되며, 홈 디렉토리에 비해 데이터의 생명주기(life time)가 짧고, 데이터량의 변화폭도 크다. 이에 스크래치 스토리지에 대해 2005 년 12 월부터 2006 년 8 월 2 일까지 기간 동안의 데이터량의 변화 추이와 용량의 증감량을 <figure Ⅲ-2-16>과 <figure Ⅲ-2-17>에 나타내었다. 전체 데이터량의 변화는 일부

동적인 데이터의 변화를 하루 단위로 보여준다. 분석 결과, 하루에 평균적으로 55GB 의 용량 증가와 144GB 의 용량 감소를 보였고, 하루 최대 증가량은 169GB, 최대 감소량은 798GB 였다.

제 4 장 워크로드 분석 결과 및 향후 계획

본 연구는 가동중인 256 노드 규모의 클러스터 파일 시스템에서 사용자 홈 디렉토리와 I/O 집중적인 프로그램을 수행할 때 주로 사용하는 임시 디렉토리인 스크래치를 대상으로 파일의 종류별 분포, 파일 크기, 디렉토리당 파일 수, 전체 데이터 변화량 등을 분석하였다.

홈 디렉토리의 경우 환경 설정 파일들과 실행 파일을 제외한 나머지 실제 사용자들의 데이터는 전체 데이터의 99%정도의 용량을 차지하였으며, 이는 파일 수 기준으로 볼 때 76%를 차지하였다. 홈 디렉토리와 스크래치 디렉토리 모두 전체 파일의 80%정도가 4MB 이하의 작은 파일들로 이루져 있었다. 그리고 대용량 파일의 생성이 빈번한 스크래치는 하루에 평균적으로 55GB 의 용량 증가, 144GB 의 용량 감소를 보였으며, 하루 최대 증가량은 168GB, 최대 감소량은 798GB 였다.

본 워크로드 분석은 전체 데이터의 변화량 분석으로부터 일부 동적인 데이터의 변화를 하루 단위로 보였으나, 대부분은 정적(static) 정보들을 분석한 결과이여서 그 한계가 있다. 이에 향후 Access 패턴이나 빈도 등에 관한 동적(dynamic) 정보의 분석을 포함한 워크로드 연구가 필요할 것으로 보인다.

제 5 장 워크로드 분석 상세 데이터

1. Data file size & Data scale

현재 사용되고 있는 파일 크기에 대한 통계

◆ 분석 대상

- /home2 : user home
- /ytmp : scratch 로 사용되는 temporary working directory

1.1 /home2 분석 결과 - test1

```
[hycho@db03 test3]$ ./fsize ./result/ls-home2.dat
File open  : ./result/ls-home2.dat
=================================================================
  1. The analysis of Files ( ./result/ls-home2.dat )          Unit: # of files
=================================================================
# of file                      :          1469361(      100.00000 %)
# of current/parents dir       :            75038(        5.10685 %)
# of Symbolic Link             :             6225(        0.42365 %)
# of .bash*                    :             2776(        0.18893 %)
# of .* (except .bash*)        :             4276(        0.29101 %)
# of directory                 :            36543(        2.48700 %)
# of execute file              :           196752(       13.39031 %)
# of real sample data          :          1147751(       78.11225 %)
=================================================================


=================================================================
  2.Sample Data : real sample data                    Unit # of files
=================================================================
0   -  10K  :                 837861(        73.00024 %)
10K -  1M   :                 237957(        20.73246 %)
1M  -  1G   :                  71811(         6.25667 %)
1G  -  MAX  :                    122(         0.01063 %)
=================================================================
NUM_FILE    :                1147751(        100.00000 %)
TOTAL_SIZE  :           1585449679311(   byte     )
MAX_SIZE    :             26777896960(   byte     )
=================================================================


=================================================================
  3.Sample Data : 0 -         10 (Kbyte), interval :       1( Kbyte )
  file size (byte)  - (byte)                # of file
=================================================================
          0 ~        1023 :             282949(     33.77040 %)
       1024 ~        2047 :              84841(     10.12590 %)
       2048 ~        3071 :             103211(     12.31839 %)
       3072 ~        4095 :             225518(     26.91592 %)
       4096 ~        5119 :              36996(      4.41553 %)
       5120 ~        6143 :              25884(      3.08930 %)
       6144 ~        7167 :              27449(      3.27608 %)
       7168 ~        8191 :              24151(      2.88246 %)
       8192 ~        9215 :              15159(      1.80925 %)
       9216 ~       10239 :              11703(      1.39677 %)
       NUM_TOTAL          :              837861(    100.00000 %)
=================================================================
```

위의 결과에서 1.The analysis of files 는 전체 파일을 디렉토리, 실행파일, .bash* 파일, 숨김 파일 심볼릭 링크 파일 등의 종류에 따라 통계를 낸 것이다.

2 는 The analysis of files 의 결과에서 마지막 real sample data 를 대상으로 파일 크기별로 분포를 조사한 것이다. 3 은 2 의 분포에서 73%를 차지하는 0-10Kbyte 크기의 파일들을 1kbyte 단위로 분포를 조사한 내용이다.

1.2 /ytmp 분석 결과 - test1

```
[hycho@db03 test3]$ ./fsize ./result/ls-ytmp.dat
File open : ./result/ls-ytmp.dat
=================================================================
  1. The analysis of Files ( ./result/ls-ytmp.dat )          Unit # of files
=================================================================
# of file                    :            185001(      100.00000 %)
# of current/parents dir     :             10782(        5.82808 %)
# of Symbolic Link           :              2861(        1.54648 %)
# of .bash*                  :                 0(        0.00000 %)
# of .* (except .bash*)      :               164(        0.08865 %)
# of directory               :              5388(        2.91242 %)
# of execute file            :              9779(        5.28592 %)
# of real sample data        :            156027(       84.33846 %)
=================================================================

=================================================================
  2.Sample Data : real sample data                    Unit # of files
=================================================================
0   -  10K  :                86870(        55.67626 %)
10K -  1M   :                34392(        22.04234 %)
1M  -  1G   :                34531(        22.13143 %)
1G  -  MAX  :                  234(         0.14997 %)
=================================================================
NUM_FILE    :                156027(       100.00000 %)
TOTAL_SIZE  :          1302941952360(   byte    )
MAX_SIZE    :            9520335416(   byte    )
=================================================================

=================================================================
  3.Sample Data : 0 -       1024 (Kbyte), interval :     102.40( Kbyte )
       (byte)  - (byte)                      # of file
=================================================================
          0 ~       104857 :              109983(     90.69865 %)
     104858 ~       209715 :                3686(      3.03970 %)
     209716 ~       314573 :                2077(      1.71282 %)
     314574 ~       419431 :                1826(      1.50583 %)
     419432 ~       524289 :                1503(      1.23946 %)
     524290 ~       629147 :                 292(      0.24080 %)
     629148 ~       734005 :                 293(      0.24163 %)
     734006 ~       838863 :                 612(      0.50469 %)
     838864 ~       943721 :                 498(      0.41068 %)
     943722 ~      1048579 :                 492(      0.40573 %)
       NUM_TOTAL           :              121262(    100.00000 %)
=================================================================
```

3 은 2 의 분포에서 55%와 22%를 차지하는 0-10Kbyte, 10Kbyte-1Mbyte 구간 크기의 파일(86870+ 34392=121262 개)을 100kbyte 단위로 분포를 조사한 것이다.

1.3 /home2 분석 결과 - test2 (파일 크기에 따른 용량별 백분율 추가)

test1 에서는 파일의 크기별 백분율을 파일 개수 중심으로 통계를 낸 것이었다. test2 는 test1 에 파일의 크기별 백분율을 용량별로 구한 것을 추가하였다.

```
scanDatasize-home2.20051108-1.result
=================================================================
  1. The analysis of Directory ( /home2 )     Unit # of files
=================================================================
# of file                  :            1331716(       100.00000 %)
# of current/parents dir   :              75330(         5.65661 %)
# of Symbolic Link         :               7390(         0.55492 %)
# of .bash*                :               2859(         0.21469 %)
# of .* (except .bash*)    :               3463(         0.26004 %)
# of directory             :              37664(         2.82823 %)
# of execute file          :             198405(        14.89845 %)
# of real sample data      :            1006605(        75.58706 %)
=================================================================

=================================================================
  2. The analysis of Directory ( /home2 )     Unit the size of files(byte)
=================================================================
# of file                  :       1113357166726(       100.00000 %)
# of current/parents dir   :          665276416(         0.05975 %)
# of Symbolic Link         :             207192(         0.00002 %)
# of .bash*                :            3832650(         0.00034 %)
# of .* (except .bash*)    :          581814941(         0.05226 %)
# of directory             :          342523904(         0.03076 %)
# of execute file          :        373078223315(        33.50930 %)
# of real sample data      :        738685288308(        66.34756 %)
=================================================================

=================================================================
  3.Sample Data : real sample data          Unit # of files
=================================================================
0   -  10K  :                731302(        72.65034 %)
10K -  1M   :                239048(        23.74794 %)
1M  -  1G   :                 36166(         3.59287 %)
1G  -  MAX  :                    89(         0.00884 %)
=================================================================
NUM_FILE    :                1006605(       100.00000 %)
=================================================================
```

위의 결과파일에서 1, 3, 5 는 test1 에서의 설명과 동일하며, “2. The analysis of Directory (/home2) Unit: the size of files”는 "1. The analysis of Directory (/home2)"의 내용을 용량별 백분율로 산출한 것이고, “4. Sample Data : real sample data Unit: the size of files”는 “3.Sample Data : real sample data Unit: # of files”을 용량별 백분율로 산출한 것이다.

```
=================================================================
  4.Sample Data : real sample data          Unit  the size of files(byte)
=================================================================
0   -  10K  :            2257741656(          0.30564 %)
10K -  1M   :           20851523594(          2.82279 %)
1M  -  1G   :          372436270719(         50.41880 %)
1G  -  MAX  :          343139752339(         46.45277 %)
=================================================================
NUM_FILE    :               1006605(        100.00000 %)
TOTAL_SIZE  :          738685288308(    byte    )
MAX_SIZE    :           25819842560(    byte    )
=================================================================


=================================================================
  5.Sample Data : 0 -       1024 (Kbyte), interval :     102.40( Kbyte )
    (byte)  - (byte)                        Unit: # of file
=================================================================
          0 ~       104857 :              925707(     95.39929 %)
     104858 ~       209715 :               20544(      2.11717 %)
     209716 ~       314573 :                8665(      0.89298 %)
     314574 ~       419431 :                3281(      0.33813 %)
     419432 ~       524289 :                2508(      0.25846 %)
     524290 ~       629147 :                2477(      0.25527 %)
     629148 ~       734005 :                2172(      0.22384 %)
     734006 ~       838863 :                2275(      0.23445 %)
     838864 ~       943721 :                1628(      0.16777 %)
     943722 ~      1048579 :                1093(      0.11264 %)
       NUM_TOTAL           :              970350(    100.00000 %)
=================================================================
```

1.4 /ytmp 분석 결과 - test2 (파일 크기에 따른 용량별 백분율 추가)

```
scanDatasize-ytmp.20051108-1.result
=================================================================
  1. The analysis of Directory ( /ytmp )     Unit # of files
=================================================================
# of file                    :              95640(       100.00000 %)
# of current/parents dir     :               7684(         8.03430 %)
# of Symbolic Link           :               1761(         1.84128 %)
# of .bash*                  :                  0(         0.00000 %)
# of .* (except .bash*)      :                171(         0.17880 %)
# of directory               :               3841(         4.01610 %)
# of execute file            :               4859(         5.08051 %)
# of real sample data        :              77324(        80.84902 %)
=================================================================

=================================================================
  2. The analysis of Directory ( /ytmp )     Unit the size of files(byte)
=================================================================
# of file                    :       1498967941403(       100.00000 %)
# of current/parents dir     :          395366400(         0.02638 %)
# of Symbolic Link           :              62872(         0.00000 %)
# of .bash*                  :                  0(         0.00000 %)
# of .* (except .bash*)      :           24701199(         0.00165 %)
# of directory               :           34447360(         0.00230 %)
# of execute file            :         2632805036(         0.17564 %)
# of real sample data        :       1495880558536(        99.79403 %)
=================================================================

=================================================================
  3.Sample Data : real sample data          Unit # of files
=================================================================
0   -  10K  :                 23626(        30.55455 %)
10K -  1M   :                 22038(        28.50085 %)
1M  -  1G   :                 31627(        40.90192 %)
1G  -  MAX  :                    33(         0.04268 %)
=================================================================
NUM_FILE    :                 77324(       100.00000 %)
=================================================================

=================================================================
  4.Sample Data : real sample data          Unit the size of files(byte)
=================================================================
0   -  10K  :              61376773(         0.00410 %)
10K -  1M   :            3776822684(         0.25248 %)
1M  -  1G   :         1416358969620(        94.68396 %)
1G  -  MAX  :           75683389459(         5.05945 %)
=================================================================
NUM_FILE    :                 77324(       100.00000 %)
TOTAL_SIZE  :          1495880558536(    byte     )
MAX_SIZE    :            5275371520(    byte     )
=================================================================
```

```
=================================================================
 5.Sample Data : 0 -       1024 (Kbyte), interval :     102.40( Kbyte )
   (byte)  - (byte)            # of file
=================================================================
         0 ~       104857 :              37842(     82.87053 %)
    104858 ~        209715 :               2401(      5.25797 %)
    209716 ~        314573 :               1552(      3.39874 %)
    314574 ~        419431 :                522(      1.14313 %)
    419432 ~        524289 :               1153(      2.52496 %)
    524290 ~        629147 :                130(      0.28469 %)
    629148 ~        734005 :                526(      1.15189 %)
    734006 ~        838863 :                612(      1.34022 %)
    838864 ~        943721 :                264(      0.57814 %)
    943722 ~       1048579 :                662(      1.44972 %)
      NUM_TOTAL            :               45664(    100.00000 %)
=================================================================
```

2. Data Set size

Data Set size 는 디렉토리당 파일 개수로 한다.

2.1 /home2 분석 결과

```
[hycho@db03 test3]$ dataSetsize ./result/scanDir-home2.dat
File open  : ./result/scanDir-home2.dat
=================================================================
  1. The analysis of Files ( ./result/scanDir-home2.dat )
=================================================================
# of Data Set(directory)      :                37519(       100.00000 %)
TOTAL_FILE                    :                 1394308
MAX(# of File(each directory)) :                       19767
MIN(# of File(each directory)) :                           0
Average(# of File(each directory)):                37.16272
=================================================================


=================================================================
  2.Sample Data : # of Data set(directory)
# of file          :            # of directory
=================================================================
0      -  100  :                      35563(        94.78664 %)
100    -  500  :                       1621(         4.32048 %)
500    - 1000  :                         95(         0.25321 %)
1000   -  MAX  :                        240(         0.63968 %)
=================================================================


=================================================================
  3.Sample Data : 0 -        100(개 미만 ), interval :        10(개)
       # of file          :                  # of directory
=================================================================
          0 ~           9 :              23279(     65.45848 %)
         10 ~          19 :               5822(     16.37095 %)
         20 ~          29 :               2636(      7.41220 %)
         30 ~          39 :               1470(      4.13351 %)
         40 ~          49 :                798(      2.24391 %)
         50 ~          59 :                498(      1.40033 %)
         60 ~          69 :                386(      1.08540 %)
         70 ~          79 :                282(      0.79296 %)
         80 ~          89 :                248(      0.69735 %)
         90 ~          99 :                144(      0.40492 %)
       NUM_TOTAL          :               35563(    100.00000 %)
=================================================================
```

1 은 전체 디렉토리에 대상으로, 디렉토리당 가지고 있는 파일의 개수의 MAX, MIN, AVERAGE 를 구한 결과이다. 2 는 디렉토리당 파일의 개수의 전체 분포를 보기 위해서 디렉토리당 파일개수가 1-100, 100-500, 500-1000, 1000 이상의 구간으로 나누어 통계를 낸 것이다. 3 은 2 의 결과에서 전체의 94% 이상을 차지하는 0-100 개의 파일 개수를 가지는 디렉토리에 대해서 10 개 단위 구간으로 통계를 낸 것이다.

2.2 /ytmp 분석 결과

```
File open  : ./result/scanDir-ytmp.10111000.result
=================================================================
  1. The analysis of Files ( ./result/scanDir-ytmp.10111000.result )
=================================================================
# of Data Set(directory)      :                2855(       100.00000 %)
TOTAL_FILE                    :                 58481
MAX(# of File(each directory)) :                      4041
MIN(# of File(each directory)) :                         0
Average(# of File(each directory)):              20.48371
=================================================================


=================================================================
  2.Sample Data : # of Data set(directory)
# of file          :          # of directory
=================================================================
0      -  100  :                     2689(        94.18564 %)
100    -  500  :                      160(         5.60420 %)
500    - 1000  :                        2(         0.07005 %)
1000   -  MAX  :                        4(         0.14011 %)
=================================================================


=================================================================
  3.Sample Data : 0 -        100(개 미만 ), interval :        10(개)
       # of file          :                  # of directory
=================================================================
          0 ~          9 :              2221(     82.59576 %)
         10 ~         19 :               192(      7.14020 %)
         20 ~         29 :                71(      2.64039 %)
         30 ~         39 :                34(      1.26441 %)
         40 ~         49 :                19(      0.70658 %)
         50 ~         59 :                18(      0.66939 %)
         60 ~         69 :                24(      0.89253 %)
         70 ~         79 :                81(      3.01227 %)
         80 ~         89 :                25(      0.92971 %)
         90 ~         99 :                 4(      0.14875 %)
       NUM_TOTAL          :               2689(    100.00000 %)
=================================================================
```

data2 size % 다른 데이터 file 이름 : data2.hwp

```
=====================================================================
  1. The analysis of Directory ( /ytmp )       Unit: # of files
=====================================================================
# of file                    :          95640(        100.00000 %)
# of current/parents dir     :           7684(          8.03430 %)
# of Symbolic Link           :           1761(          1.84128 %)
# of .bash*                  :              0(          0.00000 %)
# of .* (except .bash*)      :            171(          0.17880 %)
# of directory               :           3841(          4.01610 %)
# of execute file            :           4859(          5.08051 %)
# of real sample data        :          77324(         80.84902 %)
=====================================================================


=====================================================================
  2. The analysis of Directory ( /ytmp )       Unit: the size of files
=====================================================================
# of file                    :   1498967941403(        100.00000 %)
# of current/parents dir     :      395366400(          0.02638 %)
# of Symbolic Link           :          62872(          0.00000 %)
# of .bash*                  :              0(          0.00000 %)
# of .* (except .bash*)      :       24701199(          0.00165 %)
# of directory               :       34447360(          0.00230 %)
# of execute file            :     2632805036(          0.17564 %)
# of real sample data        :  1495880558536(         99.79403 %)
=====================================================================


=====================================================================
  3.Sample Data : real sample data             Unit: # of files
=====================================================================
0    -   10K   :                23626(          30.55455 %)
10K -   1M    :                22038(          28.50085 %)
1M   -   1G    :                31627(          40.90192 %)
1G   -   MAX   :                   33(           0.04268 %)
=====================================================================
NUM_FILE      :                77324(         100.00000 %)
```

```
=====================================================================

=====================================================================
  4.Sample Data : real sample data            Unit: # of files
=====================================================================
0    -   10K   :                61376773(            0.00410 %)
10K -   1M    :               3776822684(           0.25248 %)
1M   -   1G    :            1416358969620(          94.68396 %)
1G   -   MAX   :              75683389459(           5.05945 %)
=====================================================================
NUM_FILE      :                    77324(          100.00000 %)
TOTAL_SIZE   :            1495880558536(      byte      )
MAX_SIZE      :               5275371520(      byte      )
=====================================================================

=====================================================================
  5.Sample Data : 0 -          1024 (Kbyte), interval :       102.40( Kbyte )
    (byte)   - (byte)              # of file
=====================================================================
            0 ~         104857 :                  37842(       82.87053 %)
      104858 ~         209715 :                   2401(        5.25797 %)
      209716 ~         314573 :                   1552(        3.39874 %)
      314574 ~         419431 :                    522(        1.14313 %)
      419432 ~         524289 :                   1153(        2.52496 %)
      524290 ~         629147 :                    130(        0.28469 %)
      629148 ~         734005 :                    526(        1.15189 %)
      734006 ~         838863 :                    612(        1.34022 %)
      838864 ~         943721 :                    264(        0.57814 %)
      943722 ~        1048579 :                    662(        1.44972 %)
        NUM_TOTAL              :                  45664(      100.00000 %)
=====================================================================

=====================================================================
  5.Sample Data :      1048576 - 1073741824 (byte),   interval : 107269325.00( byte )
  5.Sample Data :          1024 -      1048576 (Kbyte),   interval :   104755.20( Kbyte )
```

```
 5.Sample Data :            1 -          1024 (Mbyte), interval :       102.30( Mbyte )
   (byte)   - (byte)                # of file
=====================================================================
            0 ~      107269324 :          455282813695(       32.14488 %)
   107269325 ~      214538649 :          423169210348(       29.87752 %)
   214538650 ~      321807974 :           34605730229(        2.44331 %)
   321807975 ~      429077299 :          135316197460(        9.55389 %)
   429077300 ~      536346624 :           79870414852(        5.63919 %)
   536346625 ~      643615949 :          176306603672(       12.44799 %)
   643615950 ~      750885274 :           16214912748(        1.14484 %)
   750885275 ~      858154599 :            1599698040(        0.11295 %)
   858154600 ~      965423924 :            2768065600(        0.19544 %)
   965423925 ~     1072693249 :           91212740064(        6.44000 %)
        NUM_TOTAL              :         1416346386708(      100.00000 %)
=====================================================================
```

/home2/super/hycho/FS/test4/scanDatasize /ytmp > ytmp-20060307-3.result

```
Mon Mar   6 14:37:14 KST 2006
Filesystem            1k-blocks        Used Available Use% Mounted on
/dev/sda6               65386088    7892820   54171832   13% /
/dev/sda1                 101089      28846      67024   31% /boot
none                     2001060          0    2001060    0% /dev/shm
/dev/sda5                1035660     352668     630384   36% /var
master:/opt/xcat         3020140    1751092    1115632   62% /opt/xcat
/dev/gpfs0            3428388864 1212633856 2215755008   36% /home2
/dev/ytmp             2285592576 687019008 1598573568   31% /ytmp
/dev/account          1142796288 929530624 213265664   82% /account
/home2/super/hycho/FS/test4/scanDatasize /ytmp > ytmp-20060307-3.result
=================================================================
  1. The analysis of Directory ( /ytmp/ )       Unit: # of files
=================================================================
# of file                    :                39813(          100.00000 %)
# of current/parents dir     :                  980(            2.46151 %)
# of Symbolic Link           :                   83(            0.20847 %)
# of .bash*                  :                    0(            0.00000 %)
# of .* (except .bash*)      :                    2(            0.00502 %)
```

```
# of directory              :              489(        1.22824 %)
# of execute file           :              301(        0.75603 %)
# of real sample data       :            37958(       95.34072 %)
=====================================================================


=====================================================================
  2. The analysis of Directory ( /ytmp/ )      Unit: the size of files(byte)
=====================================================================
# of file                   :     650238993314(      100.00000 %)
# of current/parents dir    :        258609152(        0.03977 %)
# of Symbolic Link          :             2498(        0.00000 %)
# of .bash*                 :                0(        0.00000 %)
# of .* (except .bash*)     :          6446176(        0.00099 %)
# of directory              :          5472256(        0.00084 %)
# of execute file           :        338675742(        0.05208 %)
# of real sample data       :     649629787490(       99.90631 %)
=====================================================================


=====================================================================
  3.Sample Data : real sample data          Unit: # of files
=====================================================================
 0    -  10K :              12227(       32.21192 %)
10K   -   1M  :               8935(       23.53917 %)
 1M   -   2M  :                391(        1.03009 %)
 2M   -   3M  :                255(        0.67180 %)
 3M   -   4M  :               8361(       22.02698 %)
 4M   -   5M  :                600(        1.58069 %)
 5M   -   6M  :                 47(        0.12382 %)
 6M   -   7M  :                312(        0.82196 %)
 7M   -   8M  :                509(        1.34096 %)
 8M   -   9M  :                207(        0.54534 %)
 9M   - 10M  :                 154(        0.40571 %)
10M   - 11M  :                  71(        0.18705 %)
11M   - 12M  :                 384(        1.01164 %)
12M   - 13M  :                 113(        0.29770 %)
```

13M	- 14M	:	1203(3.16929 %)
14M	- 15M	:	13(0.03425 %)
15M	- 16M	:	64(0.16861 %)
16M	- 17M	:	61(0.16070 %)
17M	- 18M	:	571(1.50429 %)
18M	- 19M	:	4(0.01054 %)
19M	- 20M	:	6(0.01581 %)
20M	- 21M	:	7(0.01844 %)
21M	- 22M	:	6(0.01581 %)
22M	- 23M	:	17(0.04479 %)
23M	- 24M	:	182(0.47948 %)
24M	- 25M	:	21(0.05532 %)
25M	- 26M	:	58(0.15280 %)
26M	- 27M	:	28(0.07377 %)
27M	- 28M	:	13(0.03425 %)
28M	- 29M	:	2(0.00527 %)
29M	- 30M	:	3(0.00790 %)
30M	- 31M	:	2(0.00527 %)
31M	- 32M	:	3(0.00790 %)
32M	- 33M	:	0(0.00000 %)
33M	- 34M	:	34(0.08957 %)
34M	- 35M	:	6(0.01581 %)
35M	- 36M	:	11(0.02898 %)
36M	- 37M	:	8(0.02108 %)
37M	- 38M	:	4(0.01054 %)
38M	- 39M	:	4(0.01054 %)
39M	- 40M	:	3(0.00790 %)
40M	- 41M	:	4(0.01054 %)
41M	- 42M	:	0(0.00000 %)
42M	- 43M	:	2(0.00527 %)
43M	- 44M	:	0(0.00000 %)
44M	- 45M	:	7(0.01844 %)
45M	- 46M	:	14(0.03688 %)
46M	- 47M	:	5(0.01317 %)
47M	- 48M	:	4(0.01054 %)

```
48M  - 49M  :                    6(          0.01581 %)
49M  - 50M  :                    3(          0.00790 %)
50M  - 51M  :                    0(          0.00000 %)
51M  - 52M  :                    2(          0.00527 %)
52M  - 53M  :                    0(          0.00000 %)
53M  - 54M  :                    4(          0.01054 %)
54M  - 55M  :                   64(          0.16861 %)
55M  - 56M  :                    0(          0.00000 %)
56M  - 57M  :                    3(          0.00790 %)
57M  - 58M  :                    3(          0.00790 %)
58M  - 59M  :                   62(          0.16334 %)
59M  - 60M  :                    3(          0.00790 %)
60M  - 61M  :                    0(          0.00000 %)
61M  - 62M  :                    0(          0.00000 %)
62M  - 63M  :                    8(          0.02108 %)
63M  - 64M  :                    0(          0.00000 %)
64M  -  1G  :                 2847(          7.50040 %)
1G  -  MAX  :                   17(          0.04479 %)
=================================================================
NUM_FILE      :                37958(        100.00000 %)
=================================================================


=================================================================
  4.Sample Data : real sample data          Unit: the size of files(byte)
=================================================================
 0  -  10K  :              46796714(          0.00720 %)
10K -   1M  :             898226048(          0.13827 %)
 1M  -  2M  :             522594102(          0.08044 %)
 2M  -  3M  :             685238430(          0.10548 %)
 3M  -  4M  :           31148006548(          4.79473 %)
 4M  -  5M  :            2745904192(          0.42269 %)
 5M  -  6M  :             266722814(          0.04106 %)
 6M  -  7M  :            2188859228(          0.33694 %)
 7M  -  8M  :            4082159737(          0.62838 %)
 8M  -  9M  :            1825153173(          0.28095 %)
```

9M	- 10M	:	1537736283(0.23671 %)
10M	- 11M	:	784869827(0.12082 %)
11M	- 12M	:	4440547424(0.68355 %)
12M	- 13M	:	1474754138(0.22701 %)
13M	- 14M	:	17074086446(2.62828 %)
14M	- 15M	:	196852999(0.03030 %)
15M	- 16M	:	1054543259(0.16233 %)
16M	- 17M	:	1046265569(0.16106 %)
17M	- 18M	:	10625385522(1.63561 %)
18M	- 19M	:	77195603(0.01188 %)
19M	- 20M	:	121330717(0.01868 %)
20M	- 21M	:	150649931(0.02319 %)
21M	- 22M	:	134420311(0.02069 %)
22M	- 23M	:	402560062(0.06197 %)
23M	- 24M	:	4419321489(0.68028 %)
24M	- 25M	:	545414874(0.08396 %)
25M	- 26M	:	1548049066(0.23830 %)
26M	- 27M	:	775595336(0.11939 %)
27M	- 28M	:	370879162(0.05709 %)
28M	- 29M	:	59027644(0.00909 %)
29M	- 30M	:	91351620(0.01406 %)
30M	- 31M	:	64580991(0.00994 %)
31M	- 32M	:	99095396(0.01525 %)
32M	- 33M	:	0(0.00000 %)
33M	- 34M	:	1201127758(0.18489 %)
34M	- 35M	:	217620480(0.03350 %)
35M	- 36M	:	408842048(0.06293 %)
36M	- 37M	:	304979065(0.04695 %)
37M	- 38M	:	156843283(0.02414 %)
38M	- 39M	:	162060913(0.02495 %)
39M	- 40M	:	123795539(0.01906 %)
40M	- 41M	:	169541029(0.02610 %)
41M	- 42M	:	0(0.00000 %)
42M	- 43M	:	88833360(0.01367 %)
43M	- 44M	:	0(0.00000 %)

```
44M  - 45M  :              327605239(          0.05043 %)
45M  - 46M  :              667966450(          0.10282 %)
46M  - 47M  :              242900504(          0.03739 %)
47M  - 48M  :              199712539(          0.03074 %)
48M  - 49M  :              305002823(          0.04695 %)
49M  - 50M  :              156342210(          0.02407 %)
50M  - 51M  :                      0(          0.00000 %)
51M  - 52M  :              107022472(          0.01647 %)
52M  - 53M  :                      0(          0.00000 %)
53M  - 54M  :              224421120(          0.03455 %)
54M  - 55M  :             3662851200(          0.56384 %)
55M  - 56M  :                      0(          0.00000 %)
56M  - 57M  :              177012103(          0.02725 %)
57M  - 58M  :              182009264(          0.02802 %)
58M  - 59M  :             3801843100(          0.58523 %)
59M  - 60M  :              186175860(          0.02866 %)
60M  - 61M  :                      0(          0.00000 %)
61M  - 62M  :                      0(          0.00000 %)
62M  - 63M  :              523152000(          0.08053 %)
63M  - 64M  :                      0(          0.00000 %)
64M  -  1G  :           520518378376(         80.12539 %)
1G  -  MAX  :            24009574100(          3.69589 %)
=====================================================================
NUM_FILE    :                   37958(        100.00000 %)
TOTAL_SIZE  :           649629787490(     byte      )
MAX_SIZE    :             1835413992(     byte      )
=====================================================================


=====================================================================
  5.Sample Data : 0 - MAX,            # of file(byte)
=====================================================================
 000M  -  100M  :                 36930(          97.29174 %)
 100M  -  200M  :                   205(           0.54007 %)
 200M  -  300M  :                    65(           0.17124 %)
 300M  -  400M  :                   117(           0.30824 %)
```

```
400M  -  500M  :                    617(          1.62548 %)
500M  -  600M  :                      2(          0.00527 %)
600M  -  700M  :                      0(          0.00000 %)
700M  -  800M  :                      3(          0.00790 %)
800M  -  900M  :                      1(          0.00263 %)
 900M  -  1G   :                      1(          0.00263 %)
   1G  -  MAX  :                     17(          0.04479 %)
   NUM_TOTAL   :                  37958(        100.00000 %)
=====================================================================
 6.Sample Data : 0 - MAX,    the size of file(byte)
=====================================================================
000M  -  100M  :          270327692531(         41.61258 %)
100M  -  200M  :           27885722406(          4.29256 %)
200M  -  300M  :           16822344688(          2.58953 %)
300M  -  400M  :           44001980637(          6.77339 %)
400M  -  500M  :          261145037864(         40.19906 %)
500M  -  600M  :            1137153600(          0.17505 %)
600M  -  700M  :                     0(          0.00000 %)
700M  -  800M  :            2455134336(          0.37793 %)
800M  -  900M  :             884285440(          0.13612 %)
 900M  -  1G   :             960861888(          0.14791 %)
   1G  -  MAX  :           24009574100(          3.69589 %)
   SIZE_TOTAL  :          649629787490(        100.00000 %)
=====================================================================
```

3. Directory Depth

평균 디렉토리 깊이를 조사한다. (2006.04.11)

테스트 당시 하멜 시스템의 파일 시스템 사용량은 다음과 같다.

```
1006% [root@lg04 root]# date
Tue Apr 11 11:01:51 KST 2006
1007% [root@lg04 root]# df
Filesystem            1k-blocks      Used Available Use% Mounted on
/dev/sda6              65386088  15840664  46223988  26% /
/dev/sda1                101089     29080     66790  31% /boot
none                    2001028         0   2001028   0% /dev/shm
/dev/sda5               1035660    214972    768080  22% /var
master:/opt/xcat        3020140   1751096   1115628  62% /opt/xcat
/dev/gpfs0           3428388864 1255275520 2173113344  37% /home2
/dev/ytmp            2285592576 1530152192 755440384  67% /ytmp
/dev/account         1142796288 929548544 213247744  82% /account
[hycho@db03 test5]$ df -h
Filesystem             Size  Used Avail Use% Mounted on
/dev/sda6               62G  7.5G   51G  13% /
/dev/sda1               99M   44M   49M  47% /boot
none                   1.9G     0  1.8G   0% /dev/shm
/dev/sda5             1011M  319M  641M  34% /var
master:/opt/xcat       2.9G  1.7G  1.0G  62% /opt/xcat
/dev/gpfs0             3.2T  1.2T  2.0T  37% /home2
/dev/ytmp              2.1T  1.5T  732G  67% /ytmp
/dev/account           1.1T  887G  203G  82% /account
```

3.1 /home2 분석 결과

```
=====================================================================
  2.Sample Data : the depth of directory
 Depth      :              # of directory
=====================================================================
     0      :                    1(          0.00171)
     1      :                  218(          0.37352)
     2      :                 1498(          2.56665)
     3      :                 3066(          5.25324)
     4      :                12429(         21.29566)
     5      :                10282(         17.61702)
     6      :                10845(         18.58166)
     7      :                13062(         22.38023)
     8      :                 4382(          7.50805)
     9      :                 1703(          2.91789)
    10      :                  515(          0.88239)
    11      :                  301(          0.51573)
    12      :                   52(          0.08910)
    13      :                    9(          0.01542)
    14      :                    1(          0.00171)
    15      :                    0(          0.00000)
=====================================================================
 Total Depth   = 329641,        # of directory = 58364
 avg of Depth = 5.648019
 MAX(Depth) = 14,              MIN(Depth) = 0
=====================================================================
```

3.2 /ytmp 분석 결과

```
=====================================================================
 the depth of directory
 Depth      :          # of directory
=====================================================================
     0      :                    1(          0.12165)
     1      :                   44(          5.35280)
     2      :                  123(         14.96350)
     3      :                  216(         26.27737)
     4      :                  184(         22.38443)
     5      :                  166(         20.19465)
     6      :                   60(          7.29927)
     7      :                   18(          2.18978)
     8      :                   10(          1.21655)
     9      :                    0(          0.00000)
    10      :                    0(          0.00000)
    11 이상  :                    0(          0.00000)
=====================================================================
 Total Depth   = 3070,        # of directory = 822
 avg of Depth = 3.734793
 MAX(Depth) = 8,              MIN(Depth) = 0
=====================================================================
```

참고문헌

[1] Drew Roselli, Jacob R. Lorch, and Thomas E. Anderson, "A comparison of file system workloads," Proc. of 2000 USENIX Annual Technical Conference, 2000.

[2] E. Smirni and D. A. Reed, "Workload characterization of input/output intensive parallel applications," Proc. of the Conference on Modeling Techniques and Tools for Computer Performance Evaluation, LNCS, Vol. 1245, Springer-Verlag, 1997.

[3] Phyllis E. Crandall and RuthA. Aydt and Andrew A. Chien and Daniel A. Reed, "Input/Output Characteristics of Scalable Parallel Applications," Proc. of Supercomputing 1995.

[4] Nils Nieuwejaar, David Kotz, Apratim Purakayastha, Carla Schlatter Ellis, and Michael L. Best, "File-Access Characteristics of Parallel Scientific Workloads," IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, Vol.7, No. 10, pp. 1075~1089, 1996.

[5] Apratim Purakayastha, Carla Schlatter Ellis, David Kotz, Nils Nieuwejaar, and Michael Best, "Characterizing Parallel File-Access Patterns on a Large-Scale Multiprocessor," Proc. of the 9th IEEE International Parallel Processing Symposium", pp. 165~172, 1995.

[6] Feng Wang, Qin Xin, Bo Hong, Scott A. Brandt, Ethan L. Miller, Darrell D. E. Long, and Tyce T. McLarty, "File System Workload Analysis For Large Scale Scientific Computing Applications," Proc. of the 21st IEEE / 12th NASA Goddard Conference on Mass Storage Systems and Technologies, 2004.

[7] J. Ousterhout, Da Costa, H. Harrison, J Kunze,M. Kupfer, and J. Thompson. "A Trace-DrivenAnalysis of the Unix 4.2 BSD File System," InProceedings of the 10th Symposium on Operat-ing Systems Principles, pages 15-24, December1985.

[8] Dominic Giampaolo, "Practical File System Design with the Be File System," Morgan Kaufmann, 1999.