서버 전력효율성 평가를 위한 SPECpower 벤치마크 소개 및 분석

황세진 TTA 소프트웨어시험인증연구소 선임연구원

1. 머리말

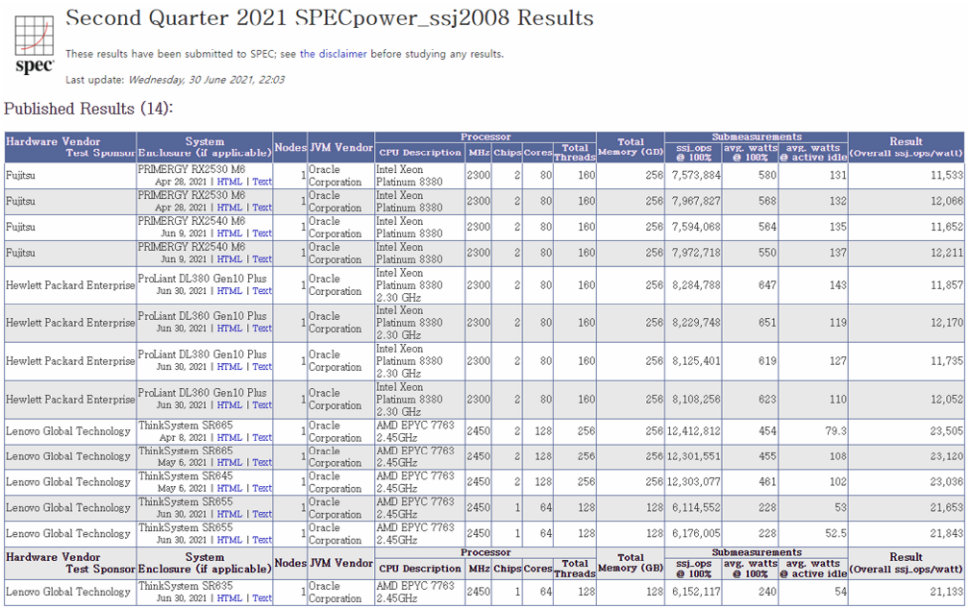
4차 산업혁명의 시대가 열리고 코로나19로 인해 재택근무와 실내 활동이 일반화되면서 정보기술 서비스 수요 및 데이터센터 규모가 증가하고 있다. 이로 인해 늘어난 전력수요는 전기요금 상승을 유발하였으며, 데이터센터의 전력비용과 탄소 배출량을 줄이기 위해 기업과 국가가 탄소 중립에 집중하고 있다.

데이터센터는 세계 전력 사용량의 1%에 해당하는 약 200TWh의 전력을 매년 사용하고 있다[1]. 이는 일부 국가의 총 전력 사용량보다 많은 양이며, 늘어가는 데이터와 연산량에 따라 매해 증가하고 있다. 소비전력과 전기요금이 상승함에 따라 데이터센터 에너지 비용은 기업 의사결정의 중요한 요인이 되었다. 기업과 경영진은 총 소유비용[1](TCO, Total Cost of Ownership)을 줄이기 위한 방법 중 하나로 에너지 비용 절감을 고려하며 이를 위해 여러 가지 노력을 기울이고 있다. 프로세서와 메모리 사용이 집중되는 대규모 온라인 서비스는 유연한 확장성을 위해 일반적으로 상용 서버를 통해 배포, 운영된다. 또한 이러한 서비스는 특정 성능의 서비스 수준 계약(SLA, Service-Level Agreement)에 따라 운영된다[2]. 운영자는 데이터센터 비용 효율성 측면에서 비용을 절감하여 이익을 얻기 위해 서비스 수준 계약을 결정하며, 이를 통해 전체적인 성능을 향상시키고 총 소유 비용을 절감할 수 있다.

본고에서는 서버의 에너지 효율성을 평가하는 벤치마크의 일종인 SPECpower에 대한 소개와 게재된 결과에 대한 경향을 다루고자 한다.

2. SPECpower 벤치마크 소개

1 **총소유비용**(total cost of ownership, TCO): 기업이 특정 기술에 대한 구현비용을 결정하기 위해 필요한 비용. 제품가격뿐 아니라 눈에 보이지 않는 비용까지 포함하는 것으로 도입비용, 운영비용, 유지보수비용 등 많은 요소가 있다.



Second Quarter 2021 SPECpower_ssj2008 Results

These results have been submitted to SPEC; see the disclaimer before studying any results.

Last update: *Wednesday, 30 June 2021, 22:03*

Published Results (14):

Hardware Vendor / Test Sponsor	System / Enclosure (if applicable)	Nodes	JVM Vendor	Processor					Total Memory (GB)	Submeasurements			Result
				CPU Description	MHz	Chips	Cores	Total Threads		ssj_ops @ 100%	avg. watts @ 100%	avg. watts @ active idle	(Overall ssj_ops/watt)
Fujitsu	PRIMERGY RX2530 M6 Apr 28, 2021 | HTML | Text	1	Oracle Corporation	Intel Xeon Platinum 8380	2300	2	80	160	256	7,573,884	580	131	11,533
Fujitsu	PRIMERGY RX2530 M6 Apr 28, 2021 | HTML | Text	1	Oracle Corporation	Intel Xeon Platinum 8380	2300	2	80	160	256	7,967,827	568	132	12,068
Fujitsu	PRIMERGY RX2540 M6 Jun 9, 2021 | HTML | Text	1	Oracle Corporation	Intel Xeon Platinum 8380	2300	2	80	160	256	7,594,068	564	135	11,652
Fujitsu	PRIMERGY RX2540 M6 Jun 9, 2021 | HTML | Text	1	Oracle Corporation	Intel Xeon Platinum 8380	2300	2	80	160	256	7,972,718	550	137	12,211
Hewlett Packard Enterprise	ProLiant DL380 Gen10 Plus Jun 30, 2021 | HTML | Text	1	Oracle Corporation	Intel Xeon Platinum 8380 2.30 GHz	2300	2	80	160	256	8,284,788	647	143	11,857
Hewlett Packard Enterprise	ProLiant DL360 Gen10 Plus Jun 30, 2021 | HTML | Text	1	Oracle Corporation	Intel Xeon Platinum 8380 2.30 GHz	2300	2	80	160	256	8,229,748	651	119	12,170
Hewlett Packard Enterprise	ProLiant DL380 Gen10 Plus Jun 30, 2021 | HTML | Text	1	Oracle Corporation	Intel Xeon Platinum 8380 2.30 GHz	2300	2	80	160	256	8,125,401	619	127	11,735
Hewlett Packard Enterprise	ProLiant DL360 Gen10 Plus Jun 30, 2021 | HTML | Text	1	Oracle Corporation	Intel Xeon Platinum 8380 2.30 GHz	2300	2	80	160	256	8,108,256	623	110	12,052
Lenovo Global Technology	ThinkSystem SR665 Apr 8, 2021 | HTML | Text	1	Oracle Corporation	AMD EPYC 7763 2.45GHz	2450	2	128	256	256	12,412,812	454	79.3	23,505
Lenovo Global Technology	ThinkSystem SR665 May 6, 2021 | HTML | Text	1	Oracle Corporation	AMD EPYC 7763 2.45GHz	2450	2	128	256	256	12,301,551	455	108	23,120
Lenovo Global Technology	ThinkSystem SR645 May 6, 2021 | HTML | Text	1	Oracle Corporation	AMD EPYC 7763 2.45GHz	2450	2	128	256	256	12,303,077	461	102	23,036
Lenovo Global Technology	ThinkSystem SR655 Jun 30, 2021 | HTML | Text	1	Oracle Corporation	AMD EPYC 7763 2.45GHz	2450	1	64	128	128	6,114,552	228	53	21,653
Lenovo Global Technology	ThinkSystem SR655 Jun 30, 2021 | HTML | Text	1	Oracle Corporation	AMD EPYC 7763 2.45GHz	2450	1	64	128	128	6,176,005	228	52.5	21,843
Hardware Vendor / Test Sponsor	**System / Enclosure (if applicable)**	**Nodes**	**JVM Vendor**	**Processor**					**Total Memory (GB)**	**Submeasurements**			**Result**
				CPU Description	**MHz**	**Chips**	**Cores**	**Total Threads**		**ssj_ops @ 100%**	**avg. watts @ 100%**	**avg. watts @ active idle**	**(Overall ssj_ops/watt)**
Lenovo Global Technology	ThinkSystem SR635 Jun 30, 2021 | HTML | Text	1	Oracle Corporation	AMD EPYC 7763 2.45GHz	2450	1	64	128	128	6,152,117	240	54	21,133

※참조: https://www.spec.org/power_ssj2008/results/res2021q2/

[그림 1] 개재된 SPECpower_ssj2008 테스트결과 리스트

2.1 SPEC

SPEC(스펙) [2]은 컴퓨터 및 마이크로프로세서 공급자들이 벤치마크 테스트의 표준을 만들기 위해 1988년 설립한 비영리기관이다[3]. 이 단체가 개발한 성능 평가 기준 프로그램을 스펙 벤치마크라고 부른다. 스펙에서는 매 분기마다 각 시험에 관한 결과를 취합하고 검토하여 각 분과의 페이지에 스폰서별 시험 결과를 개재하여 공개한다. 각 결과는 테스트 스폰서, 테스트 환경, 벤치마크 성능 수치, 테스트 날짜, 테스트 대상 제품 등 다양한 정보를 포함하고 있다. 주요 벤치마크로는 JAVA웹서버 성능을 평가하는 SPECjbb, CPU 성능을 평가하는 SPEC CPU, 워크스테이션 성능을 평가하는 SPECworkstation 등이 있다.

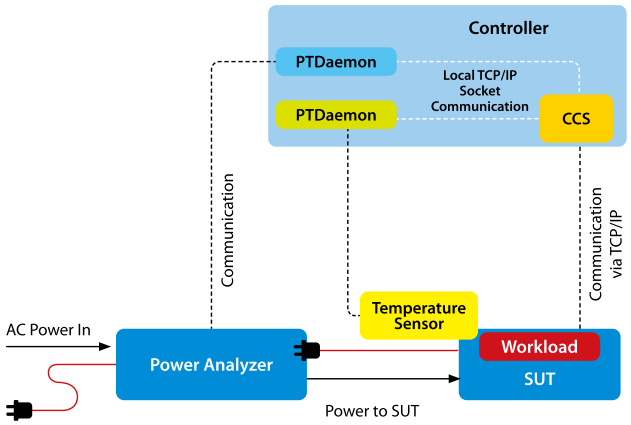
2.2 SPECpower_ssj2008

다양한 벤치마크 제품군 중에서, SPEC power®는 서버급 컴퓨터의 전력/에너지 효율성을 평가하기 위한 표준 벤치마크 제품군이다. 시험에 필요한 장비 및 구성요소는 다음과 같다.

- SUT(Sytem Under Test), 시험 대상 서버. 해당 서버를 대상으로 벤치마크 부하를 발생시킨다.
- 전력측정기(power analyzer), SUT는 전력분석기를 거쳐서 전원이 공급되며 이를 통해 전력분석기는 SUT가 소비하는 전력을 측정한다. 해당 벤치마크에서 호환되는 전력측정기는 SPEC.org에서 확인할 수 있다. [3]
- 온도센서(temperature sensor), 온도센서는 SUT가 벤치마킹 되고 있는 환경의 온도를 확인하고 기록하기 위해 사용된다. 공정한 시험결과를 위해 허용되는 주변 환경의 최저온도를 제한하고 있다. 해당 벤치마크에서 호환되는 온도센서는 SPEC.org에서 확인할 수 있다.

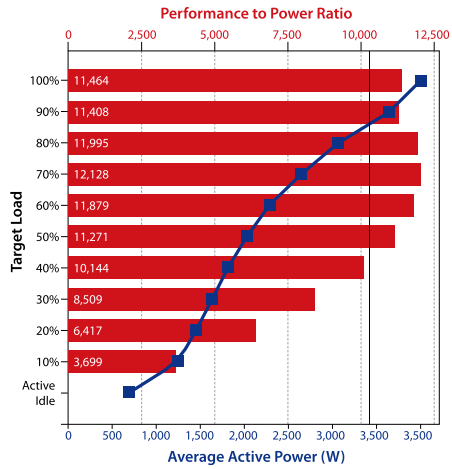
2 **SPEC**(스펙), Standard Performance Evaluation Corporation, 컴퓨터 시스템의 성능 평가 기준 검사(benchmark test)를 개발하기 위하여 1988년에 아폴로 컴퓨터, 휼렛 패커드(HP), 밉스 컴퓨터 시스템스, 선 마이크로시스템스 등에 의해 결성된 비영리 단체. 컴퓨터의 성능을 측정하기 위한 성능 평가 기준 테스트 프로그램의 개발과 테스트를 한다.

3 https://www.spec.org/power/docs/SPECpower-Device_List.html



※ 참조: SPECpower_ssj2008 User Guide Figure 1.2-1

[그림 2] SPECpower_ssj2008 시험 환경 구성



[그림 3] SPECpower_ssj2008 전력대비 성능 그래프

- 컨트롤러(CCS, Control and Collect System), 컨트롤러는 SPECpower 벤치마크를 구동하는데 있어 필요한 제어를 수행하고 센서를 통해 수집되는 데이터를 관리한다. 또한 시각화 도구를 통해 수집되는 데이터 및 성능 수치를 실시간으로 모니터링 할 수 있다.

SPECpower_ssj2008은 일정 시간 동안 100%의 최대 부하에서 10%의 부하까지 단계적으로 부하량을 감소시키면서 대기전력(Active Idle)을 함께 고려하여 총 11단계의 처리량에 대한 전력 소모량을 관찰한다. 최종 결과는 아래의 수식처럼 각 단계의 평균 처리량의 합을 평균 전력 소모량으로 나누어 계산되며 단위는 "overall ssj_ops/watt"로 표기된다.

[그림 3]은 SPECpower_ssj2008 워크로드의 각 단계에 대해 표본 부하 대비 소비 전력을 나타낸다. 일반적으로 부하가 감소함에 따라 소비 전력도 감소하나, 시스템에 따라 서로 다른 효율성을 갖기 때문에 결과는 다양한 그래프로 표현된다.

그래프를 살펴보면, 기존 벤치마크와 달리 SPECpower_ssj2008은 다양한 부하환경에서 전력사용량을 효율적으로 감소시켜야 우수한 성적을 낼 수 있다는 것을 예상할 수 있다. 이를 위해서는 고성능의 처리량을 달성하면서도 전력을 적게 소모하도록 튜닝 및 개발이 필요하며, 부하가 없는 상태에서 전력사용을 줄일 수 있는 절전모드도 성능을 높이는데 큰 역할을 한다. 다음 절에서는 SPECpower_ssj2008 벤치마크 성능을 높이는 방안에 대해 간략하게 소개하고 CPU 코어에 따른 벤치마크 결과의 경향에 대해 분석한다.

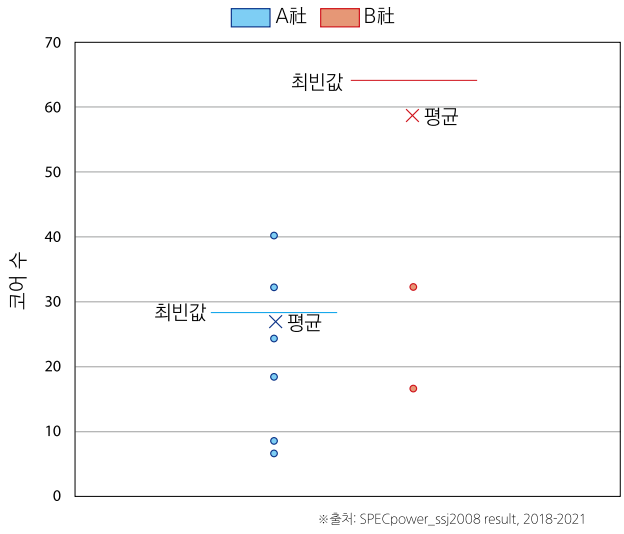
3. SPECpower_ssj 성능 튜닝 및 결과분석

3.1 성능 튜닝

SPECpower_ssj2008의 높은 벤치마크 성능

$$\text{overall}\ \frac{ssj_{ops}}{\text{watt}} = \frac{\sum_{n=1}^{10} target\ load\ n\ ^{ss}j_{ops}}{\sum_{n=1}^{10} target\ load\ n\ watts + active\ idle\ interval\ watts}$$

[수식 1] SPECpower_ssj2008 최종 결과 산정 수식



[그림 4] CPU 제조사별 칩 당 코어 수 분포

달성을 위해서는 모든 부하레벨에서 전력을 효율적으로 사용해야 한다. 이를 위해 SUT의 대기 전력 모드를 활성화하고, 중앙처리장치(CPU)의 전력효율성을 높이기 위해 CPU Governor 등을 통해 클럭 수를 조절하여 성능을 높일 수 있다. CPU는 낮은 클럭 속도로 작동할 때 전력소비량과 발열량이 낮다[4]. 이를 통해 클럭 속도를 동적으로 제어하여 시스템 사용률에 따라 전력 소비량을 조절할 수 있다.

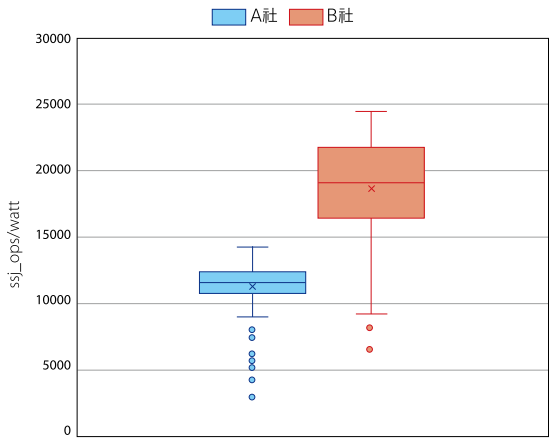
또한 기본적인 SPECpower_ssj2008 워크로드의 단위 처리량을 높이기 위한 최적화도 필요한데, 이를 위해서 메모리 인터리빙, NUMA, JAVA 머신 가비지컬랙션 시간 단축, OS 최적화 등을 수행한다.

3.2 SPECpower_ssj2008의 CPU코어 수에 따른 결과

SPECpower_ssj2008은 매 분기마다 다양한 제조사의 벤치마크 결과를 수집하고 개재한다.

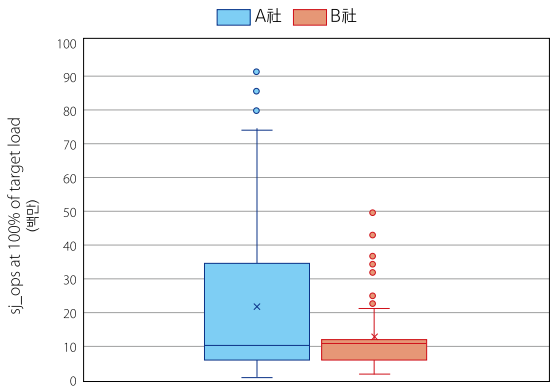
그 중에서 CPU 제품군에 따른 성능을 확인하기 위해 2018년부터 2021년까지의 데이터를 바탕으로 주요 CPU 제조사별 칩 당 코어 수 분포도를 그려보면 [그림 4]와 같이 표현된다. 이를 통해 SPECpower에 개재된 결과에서 B社 계열의 CPU 코어 수 평균은 58.8개, A社 계열의 CPU 코어 수 평균은 27개임을 알 수 있다. 해당 표본에 대하여 각 제조사별 SPECpower_ssj2008 성능을 Box plot으로 표현하면 [그림 5]와 같다.

[그림 5]를 보면, 코어가 많은 B社 계열 제품의 SPECpower_ssj2008 성능이 A社 계열의 제품보다 높게 분포하고 있는 것을 확인할 수 있다. 동일한 데이터를 다시 가공하여 각 제품군에 대해 100% 부하 처리량 성능 결과의 통계를 확인해 보면 [그림 6] 과 같이 반대로 A社 계열제품이 B社 계열 제품보다 높게 분포하고 있다. 이와 같이 단위 처리량 평가 결과만으로는 CPU의 전체적인 전력효율성이 좋고 나쁨을 판단할 수 없으며, 사용되는 목적에 따라 그에 적절한 벤치마크 테스트를 선정하여 평가할 필요가 있다.



※출처: PECpower_ssj2008 result, 2018-2021

[그림 5] CPU 제조사 별 SPECpower_ssj2008 성능 결과 (ssj_ops/watt) 분포



※출처: SPECpower_ssj2008 result, 2018-2021

[그림 6] CPU 제조사 별 SPECpower_ssj2008 최대 처리량 결과 분포

4. 맺음말

앞으로 다가올 시대는 친환경 경영이 가장 중요한 키워드가 될 것이다. 이에 발맞추어 부응하기 위해서는 데이터센터 및 정보화시스템 구축에서 탄소중립은 빠져서는 안 될 요소이다. 따라서 탄소중립 및 에너지절감을 지표화하여 평가하기 위해 다양한 운영환경과 부하에 대해 분석하는 SPECpower®의 벤치마크 제품군과 같은 평가도구가 필요할 것이다. 기업과 기관은 친환경 경영 목표를 달성할 수 있도록 정보화시스템 구축 시 이와 같은 평가도구를 활용하고, 규모 산정지침이나 정보화시스템 도입 가이드에 에너지 효율성 평가지표를 반영하기를 기대한다.

참고문헌

[1] '[에너지 효율&절약] 데이터센터 에너지효율화 동향 및 사례',http://blog.energy.or.kr/?p=19132, 2019.9.3

[2] Intel&Microsoft corporation, "server power and performance evaluation in high temperature", White paper

[3] TTA 정보통신용어사전

[4] 한국데이터산업진흥원, 데이터기술자료,"Linux 전력 소비량 줄이기"