

클라우드 컴퓨팅 응용을 위한 효율적 전력 사용을 고려한 VM 관리

(Power-aware VM Management for Cloud Computing Applications)¹

최지은, 안윤선, 김윤희

숙명여자대학교 컴퓨터과학과

jechoi1205@gmail.com , ahnysun@sm.ac.kr , yulan@sm.ac.kr

요 약

최근 자원을 가상화하고, 기업 또는 개인이 컴퓨터 시스템을 유지 보수하는데 드는 비용과 시간 및 인력을 줄일 수 있는 클라우드 컴퓨팅이 많은 관심을 받으면서 관련 연구가 활발히 진행되고 있다. 한편 지구 온난화 등의 문제가 대두되면서 그런 컴퓨팅이 새로운 트렌드로 부각되고 있다. Green500 은 전세계의 슈퍼컴퓨터를 에너지 효율성이 높은 순으로 리스트를 제공하는 것으로 에너지 효율적인 컴퓨팅 기법의 전세계적인 관심이 높아졌다는 것을 보여준다. 이러한 관심을 바탕으로 높은 컴퓨팅 수준을 보장하고 슈퍼컴퓨팅에서 전력량을 고려한 기법을 제안하는 연구가 이뤄지고 있다. 본 논문에서는 클라우드 컴퓨팅에서 전력 소비량을 고려한 가상 머신 할당 기법의 동향을 Bag-of-tasks 응용을 중심으로 분석하였다. 선행 연구의 경우 빠른 수행시간 내에 작업을 끝낼 수 있는 자원 프로비저닝 기법을 제안하고 있지만 전력 소모량은 고려하고 있지 않다. 본 논문에서는 클라우드 컴퓨팅 환경에서 대량의 Bag-of-tasks 응용을 처리하는데 있어서 전력 소모량을 고려한 가상 머신 할당하는 기법에 대해 제안하고 사용자의 데드라인 요구사항을 충족하면서 플랫폼 제공자의 전력 소모량을 감소시키는 것을 실험을 통해 분석하였다. 또한 전산유체역학(CFD) 응용을 대상으로 데드라인 내에 작업을 완료할 수 있는 가장 낮은 주파수 가상 머신을 선택하는 알고리즘에 따라 줄어든 전력 소모량을 계산하여 선행연구와 비교하였다.

Keywords: Bag-of-tasks, Cloud Computing, Virtual Machines, Power consumption, CFD

1. 서론

클라우드 컴퓨팅은 사용자가 지불한 만큼 컴퓨팅 서비스를 사용할 수 있도록 하는 웹 기반의 컴퓨팅 패러다임이다. 클라우드 제공자가 제공하는 서비스의 형태에 따라 Infrastructure as a Service(IaaS), Platform as a Service(PaaS), Software as a Service(SaaS)로 구분된다. Service Level Agreements(SLAs)에 따라 사용자와 클라우드 제공자 사이의 컴퓨팅 성능에 대한 요구사항 및 성능 보장이 이루어진다[1]. 한편, 지구 온난화 등의 문제가 대두되면서 그런 컴퓨팅이 새로운 트렌드로 부각되고 있다. 기존에는 컴퓨팅 성능에 중점을 둔 슈퍼컴퓨터가 존재했지

이 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (NRF-2013R1A1A3007866)

만, 최근 Green500[6]과 같이 전세계의 슈퍼컴퓨터를 에너지 효율성이 높은 순으로 평가하여 리스트를 제공하는 등의 에너지 소모량에 관한 세계적인 관심이 높아지고 있는 수준이다[2]. 이처럼 지구 온난화와 같은 환경적 문제를 고려한 그린 컴퓨팅이 새로운 트렌드로 자리하면서 클라우드 컴퓨팅 환경에서 데이터 센터의 전력량을 고려하는 연구의 중요성이 강조되고 있다.

클라우드 컴퓨팅에서 전력량을 고려한 기법으로는 크게 Static Power Management (SPM)과 Dynamic Power Management (DPM)의 두 가지로 나눌 수 있다. SPM 기법은 저전력 에너지 효율적인 하드웨어를 사용하여 최대 전력 소비량과 에너지 사용량을 줄이는 기법이다. DPM 기법은 현재 자원 이용률과 응용의 작업배치를 기반으로 에너지 사용량을 줄이는 기법이다. DPM 기법의 대표적인 기술로는 CMOS 회로의 동적 전력을 줄여 전체 전력 소비량을 줄이는 Dynamic Voltage and Frequency Scaling (DVFS) 기술이 있다. DVFS 는 CPU 주파수나 공급전압을 조절하여 CPU 동작 속도를 줄여 전체 에너지 사용량을 줄이는 기술이다[2]. 따라서 본 논문에서는 저전력 가상 머신 할당 기법을 위해 낮은 CPU 주파수의 가상 머신을 스케줄링 하는 알고리즘을 제안한다.

한편 선행 연구[5]에서는 작업의 종료시간인 데드라인을 기반으로 작업을 스케줄링하고, 일정한 주기마다 자원 및 작업에 대한 모니터링을 통해 오토 스케일링을 수행하는 알고리즘을 제안하였다. 또한 성능과 비용 지향 정책에 따라 자원을 적절히 프로비저닝하여 자원 활용의 효율 극대화 및 효율적인 비용 산출을 목표로 하는 연구를 진행하였다.

본 논문에서는 기존의 오토 스케일링 기법 연구에서는 고려하지 않았던 수행 응용에 대한 전력 소비량을 고려하여 적정 자원에 작업을 수행시키는 가상 머신 할당 기법을 제안하였다. 또한 Bag-of-tasks 형태의 전산유체역학(CFD)[9] 응용을 대상으로 CloudSim[7]을 이용하여 시뮬레이션을 진행하였다. Bag-of-tasks 형태의 응용은 작업간의 순서가 정해지지 않은 응용을 말한다. 시뮬레이션을 통해 선행연구와 비교 실험을 진행하여 본 논문에서 제안한 기법의 효율성을 검증하였다. 또한 데드라인을 변화시키면서 전력 소모량을 분석하는 실험을 진행하여 제안된 기법과 데드라인의 관계를 분석하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 관련 연구에 대해 설명하며, 3 장에서는 제안하는 저전력 스케줄링 알고리즘을 소개한다. 4 장에서는 알고리즘을 클라우드 컴퓨팅 환경에서 구현하여 실험한 내용을 다루고, 5 장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

클라우드 컴퓨팅이 새로운 패러다임으로 화두가 되면서, 데이터센터에서 시스템 신뢰도와 운영비용을 절감시키는 저전력 자원 프로비저닝 기법이 중요해지고 있다. DVFS(Dynamic Voltage and Frequency Scaling) 기법은 자원의 동작 전압과 동작 주파수를 조절하여 CMOS 회로의 동적 전력을 감소시키는 대표적인 에너지를 고려한 기법으로 관련 연구가 활발히 진행되고 있다.

이와 관련하여 [1]연구에서는 실시간 클라우드 서비스에 대한 전력량을 고려한 가상 자원 프로비저닝 기법을 소개한다. 이 연구에서는 클라우드 환경의 실시간 서비스를 데드라인에 관점으로 Hard Real-Time (HRT) 서비스와 Soft Real-Time (SRT) 서비스로 구분하고 각각에 적합한 DVFS 기법을 소개하고 있다. HRT 서비스에 적용 가능한 DVFS 기법은 다시 Lowest-DVFS, δ -Advanced-DVFS, Adaptive-DVFS 기법의 3 가지로 구분된다. Lowest-DVFS 기법은 가상 머신 요청에 대해 가장 낮은 프로세서 속도를 가진 가상 머신을 할당하는 기법이다. HRT 서비스에 Lowest-DVFS 기법을 적용할 경우 작업의 수락률이 낮다. 따라서 낮은 수락률을 극복하고자 δ -Advanced-DVFS 기법은 현재의 요구되는 MIPS 율을 δ 만큼 오버 스케일링 하여 가상 머신을 할당한다. 마지막으로 HRT 서비스에 대한 도착률과 작업 시간이 사전에 알려진 경우 계산식을 사용해 최적의 값으로 스케일링 하는 Adaptive-DVFS 기법이 있다. 이 세가지 기법의 경우 HRT 서비스를 제공하기 위해 데드라인을 위반하는 서비스에 대해서는 거절함으로써 정책을 유지한다. 반면 SRT 서비스는 데드라인을 넘어서는 서비스에 대해서도 지연에 따라 패널티를 부과하는 정책을 소개한다. 이 기법은 태스크의 요구성능에 따라 가상 머신을 제공하여 사용자에게 불필요한 비용 부담을 안길 수 있다.

기존의 DVFS 연구들이 하나의 주파수만을 사용하는 것을 보완하여 [3] 연구에서는 최대 주파

수와 최소주파수 2 개를 사용하여 동적으로 주파수를 변화시키는 MMF(Maximum-Minimum Frequency)-DVFS 기법을 제안한다. 이 경우 최대주파수를 이용하여 작업이 수행되다가 데드라인에 영향을 주지 않는 선에서 자원의 최소 주파수로 변경시켜 전력량을 감소시키는 기법이다. 제안된 MMF-DVFS 기법은 LU 분해와 가우스 조던 그리고 랜덤 형태의 응용을 대상으로 한다. 또한 최대 주파수를 사용하는 Original 기법과 하나의 최적의 주파수를 사용하는 Optimal 기법, 최대와 최적의 중간 주파수를 사용하는 REVFS 기법과 비교 분석하였다. 그러나 MMF-DVFS 기법의 경우 최대 주파수에서 최소 주파수로 주파수를 조절하는 시점을 계산하는 복잡한 계산과정이 존재하기 때문에 이에 따른 오버헤드가 발생할 수 있다.

[4]연구는 데드라인을 고려하여 Bag-of-tasks 응용에 대해 Dynamic Voltage Scaling (DVS) 기법을 적용한 스케줄링 알고리즘을 제안한다. 이 연구의 시스템 모델에서 사용하는 Processing Elements(PEs)는 MIPS(Million Instruction Per Second)의 관점에서 같은 처리 성능을 가진 동질 시스템으로 가정하고 있다. 또한 기존의 공유 정책을 Earliest Deadline First(EDF)기반의 공간 공유 정책과 시간 공유 정책으로 구분하여 실험을 진행하였다. 공간 공유 정책은 일반적으로 우선 순위 기반의 스케줄링 알고리즘에 의해 구현되는 시간에 하나의 작업을 실행한다. 반면 시간 공유 정책에서 다수의 작업은 각자의 시간 슬라이스를 위해 처리 단위를 공유한다. [4]연구에서 제안하는 기법에 각 정책을 적용했을 때 성능이 줄어든 반면 전력 소모량은 줄어들었고, 주파수에 따라 작업 수락률이 달라지는 것을 실험을 통해 보였다. [10]연구에서는 DVFS 가능한 클러스터에서 전력량을 고려한 가상 머신 스케줄링 기법을 제안하고 있다. 제안된 기법은 프로세서 주파수를 낮춰서 프로세서의 공급전압을 최소화 하고, 가상 머신을 가능한 높은 전압의 PEs 가 아닌 낮은 전압의 PEs 에 스케줄링 하는 기법이다. 제안한 기법을 적용하여 시뮬레이션 결과 가상 머신의 수가 많을수록 전력 소비량이 증가하고, 높은 주파수의 스케줄링 할수록 전력량이 증가하는 것을 확인하였다. 하지만 [4]연구와 [10]연구의 경우 클라우드 환경이 아닌 그리드 환경에서 진행되었고, 동질의 클러스터만을 고려한 시스템이다.

한편 [8]연구에서는 클라우드 환경에서 보다 복잡한 응용인 워크플로우 응용을 대상으로 하여 사용자의 데드라인 요구 조건을 위반하지 않으면서 오토 스케일링 기술을 통해 비용을 감소시키는 연구를 진행하였다. 워크플로우 형태의 응용은 작업간의 수행 순서가 정해져 있는 보다 복잡한 응용이다. 이 연구에서 제안된 기법은 응용의 수행 순서를 고려하여 임계 경로를 결정하고 각 작업을 클러스터로 묶은 후 요구된 작업의 데드라인 내에 클러스터 별로 작업을 자원에 할당시킨다. 다음 단계에서 이미 실행 중인 가상 머신의 합병 가능 여부를 판단하여 가상 머신을 합병하거나 제거해서 전력 소모량을 줄인다. 하지만 이 연구는 간단한 워크플로우만을 이용한 한계가 있으며 실험을 진행하지 않아 제안한 기법의 타당성 및 효율성을 검증할 수 없다. [5]연구에서는 데드라인과 사용자 비용을 고려하여 자원을 할당하고, 사용자가 정의한 규칙을 기반으로 자원 규모의 확장과 축소를 결정하는 기법을 제안한다. 제안된 기법은 비용 지향 정책과 성능 지향 정책을 기준으로 사용자가 선택한 정책기반의 자원 할당과 오토 스케일링이 진행된다. 비용 지향 정책의 경우 기본적으로 상용 클라우드 자원을 선택해서 비용을 최소화 한다. 성능 지향 정책의 경우 사용자가 자원의 최소 성능 요구조건을 SLA 에 포함시켜 최소 성능 이상의 자원만을 가능한 후보군으로 지정하는 방식이다. 그러나 이 연구의 경우 자원의 전력 소모량은 고려하지 않는다.

[11]연구는 응용 프로그램들의 특성에 따른 전력 소비량을 연구하였다. CPU 의 DVFS 를 변화시키면서 해당 응용에 대한 작업을 수행시키고 그에 따른 성능과 전력 소비량을 분석한 결과 응용의 특성 별로 전력 소비량의 변화가 유사함을 실험을 통해 보였다. [12]연구는 사용자의 과거 가상 머신 사용률을 기반으로 노드의 CPU 사용률을 계산해 가장 작은 CPU 사용률을 갖는 노드를 선택하여 가상 머신을 할당하는 기법을 제안하고 전체 가상 머신의 CPU 사양이 같은 경우와 다른 경우의 두 가지 시나리오로 실험을 진행하였다. [12]연구에서 제안된 기법을 따르면 대부분의 노드에서 CPU 사용률이 고르게 분산되어 효율적인 부하 분산이 가능해진다. 하지만 진행된 실험 규모가 작았고, 실제 환경에서는 CPU 사용률이 더 복잡하고 다양할 것으로 예상된다.

본 논문에서는 클라우드 컴퓨팅 환경에서 전력량을 고려한 가상 자원 할당 기법을 제안한다. 고려되는 클라우드 서비스는 사용자가 요구하는 데드라인을 지켜야 하는 HRT 서비스이다. 제안한 알고리즘은 시뮬레이션을 통해 검증한다. 시뮬레이션에서 사용되는 응용은 많은 양의 Bag-of-

- 수를 가진 vm 을 선택하여 그 결과를 VM 에 넣는다.
- 10) 작업의 길이를 자원의 주파수로 나누면 해당 자원에서 작업을 수행시킬 경우 각 작업의 실행시간 Execution Time(ET)이 계산되는데, 이때 자원의 EST 에 작업의 ET 를 더한 시간이 해당 자원에서 작업을 실행하였을 때 예상되는 작업의 종료시간 Estimated Finish Time(EFT)가 된다.
 - 11) 해당 vm 에 작업을 스케줄링 한다.
 - 12~14) 대기하고 있는 모든 다음 작업에 대해서 3~14 까지의 과정을 반복한다.
 - 15) 마지막 작업까지 스케줄링 완료되면 각 작업에 대한 VM 할당 결과가 결정되어 제안된 전력량 고려 스케줄링 알고리즘의 출력 값으로 나온다.

4. 실험

본 장에서는 제안한 저전력 스케줄링 알고리즘의 효율성을 검증하기 위해 진행한 실험을 소개한다. 진행된 실험은 CloudSim[7]으로 클라우드 환경에서 시뮬레이션 하였으며 Bag-of-tasks 형식의 CFD[9] 기반의 응용을 대상으로 하였다. 실험 결과 제안된 저전력 스케줄링 기법은 선행 연구의 전력량을 고려하지 않고 작업을 가장 빨리 수행시킬 수 있는 가상 머신에 작업을 할당시키는 기법과 비교한다. 전력 소모량을 비교하기 위해서는 4-1 절에서 소개하는 전력 소모량 계산식을 이용한다. 또한 테드라인을 변화 시키면서 전력 소모량을 측정하고, 테드라인과 제안된 기법의 관계를 분석한다.

4-1. 전력 소모량 계산식

다음의 식(1)은 [1]연구의 Power Model 식으로 본 논문에서 전력 소모량을 계산하기 위해 사용하였다. 전체 에너지 소모량(E)은 비례상수 α 와 머신의 상대속도(S)의 제곱과 사용시간(t)를 곱하여 계산할 수 있다. 머신의 상대속도 S 는 각 가상 머신의 주파수를 최대 주파수로 나눈 값으로 한다.

$$E = \alpha * S^2 * t \quad (1)$$

표 1 은 실험에서 사용된 가상 머신의 MIPS(Million Instruction Per Second)와 상대속도를 나타낸다. 총 4 개의 가상 머신을 사용하였고, 가상 머신의 MIPS 는 200 에서 700 까지 각각 다르게 설정하였다. 식(1)에서 머신의 상대속도를 각 가상 머신의 주파수에 대해서 최대 주파수로 나누어 계산하였기 때문에 가장 높은 700MIPS 를 가진 가상 머신의 경우 상대속도가 1 이 된다. 반면 가장 낮은 200MIPS 를 가진 가상 머신의 상대속도는 0.28 이 된다.

표 1. 시뮬레이션에서 사용된 가상 머신의 동작점

NO.(vm _i)	MIPS(M _i)	Relative Speed(S _i)
0	200	0.28
1	400	0.57
2	500	0.71
3	600	0.85
4	700	1

4-2. 성능 평가 및 비교

실험에서 사용된 응용은 Bag-of-tasks 형태의 전산유체역학(CFD) 응용으로 5,000 개의 작업을

가진다. 각 작업의 길이는 최소 420,000MI (Million Instruction)부터 최대 1,200,000MI 길이 내에서 평균 길이 660,000MI 를 기준으로 정규 분포를 이용하여 랜덤 하게 생성한다. 데드라인 조건은 100 만초로 하였다.

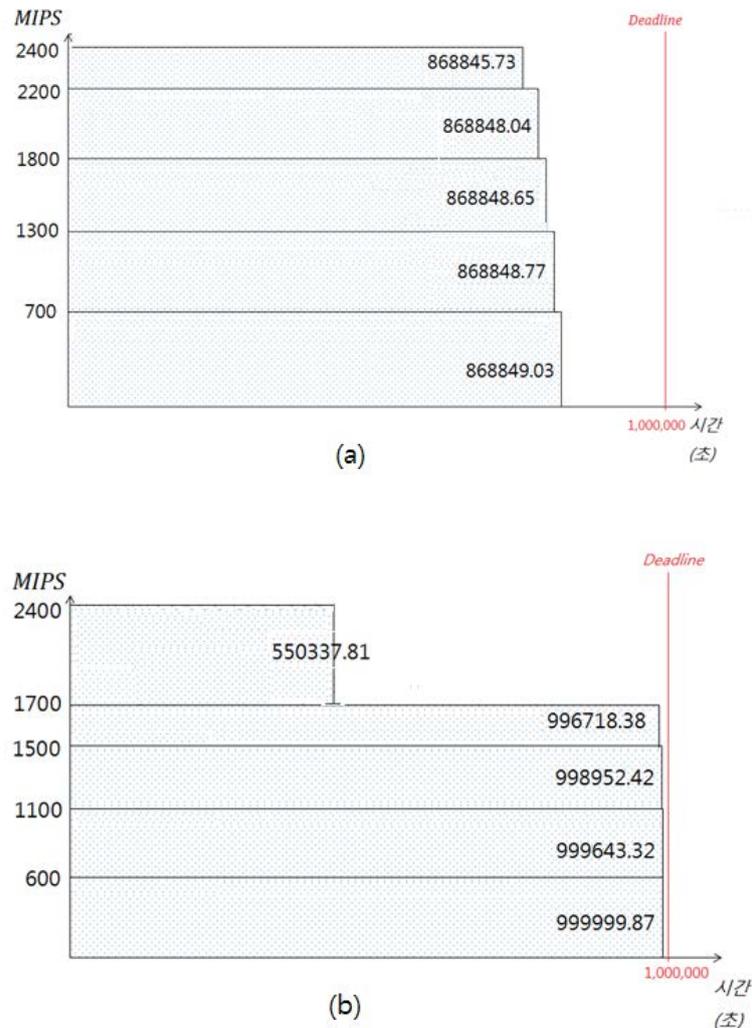


그림 2. VM 스케줄링 결과 비교 (a)EST, (b) Lowest frequency

그림 2-(a)는 데드라인 내에 EST 를 고려하여 작업을 가장 빠른 시간에 시작할 수 있는 가상 머신에 작업을 할당할 경우를 나타낸다. 그림 2-(b)는 본 논문에서 제안하는 알고리즘에 따라 데드라인 내에 가장 낮은 주파수의 VM 에 작업을 할당한 경우를 보여준다. x 축은 작업이 가상 머신에서 수행 되는 시간을 나타내고, 1,000,000 초의 데드라인을 그래프에 나타내었다. 두 경우 모두 데드라인 내에 작업이 수행되었다. y 축은 각 가상 머신의 MIPS 를 나타낸다. 그래프를 통해 각 가상 머신에서 작업이 얼마나 수행되었는지 알 수 있다. 그림 2-(a)의 경우 700MIPS 의 가상 머신에서 가장 오래 작업이 수행되었고 200MIPS 의 가상 머신에서 가장 짧게 작업이 수행되었다. 한편, 그림 2-(b)의 경우 600MIPS 의 가상 머신에서 작업이 가장 오래 작업이 수행되었고 700MIPS 의 가상 머신에서 작업이 가장 짧게 수행되었다. 식(1)에 따라 각각의 전력 소모량을 계산한 결과 그림 2-(a)의 전력 소모량은 2,284,935 이고, 그림 2-(b)에서는 2,179,460 로 본 논문에서 제안하는 알고리즘을 적용한 결과 약 5%의 전력 감소를 보였다. 즉, 가장 빠른 시간에 작업을 시작할 수 있는 가상 머신을 선택한 그림 2-(a) 보다 제안한 알고리즘을 적용하여 데드라인 내에 작업을 완료하면서 낮은 MIPS 의 가상 머신을 선택한 그림 2-(b)이 전력 효율적인 방법이라 할 수 있다.

4-3. 데드라인에 따른 전력 소모량 비교

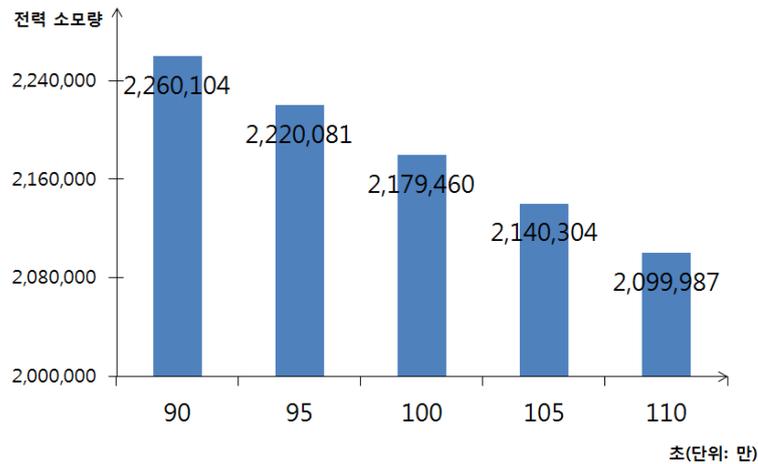


그림 3. 데드라인 - 전력소모량 관계

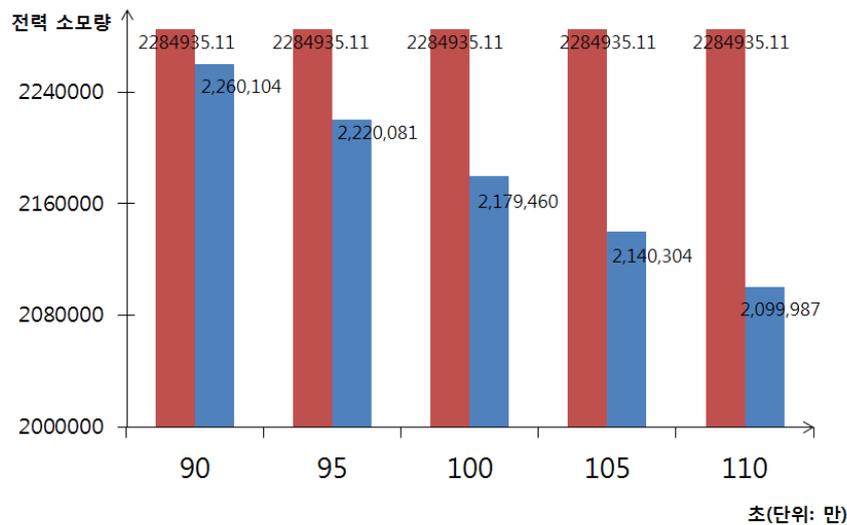


그림 4. 데드라인 별 전력소모량 비교

그림 3 는 제안한 알고리즘에서 데드라인에 따른 전력 소모량의 변화를 보여준다. 실험은 데드라인을 90 만초에서 110 만초로 변화시키면서 실험하였다. 그래프를 통해 데드라인이 길어질수록 전력 소모량이 줄어드는 것을 알 수 있다. 또한 데드라인의 증가에 따른 전력 소모량 감소율이 급격하게 변하는 것이 아니라 데드라인 증가 폭에 따라 일정한 감소율을 보이고 있다.

그림 4 는 그림 3 에서 데드라인 별로 변화하는 전력량에 대해 전력량을 고려하지 않고 스케줄링 한 경우와의 비교를 보여주고 있다. EST 를 이용한 스케줄링 기법을 따르는 경우 데드라인 내에서 가장 빨리 작업을 시작할 수 있는 자원을 고려하기 때문에 전력 소모량이 변하지 않는다. 반면 본 논문에서 제안하는 저전력 기법을 사용한 경우 데드라인이 변함에 따라 전력 소모량이 달라지는 것을 알 수 있다. 따라서 본 논문의 기법을 이용하는 경우 데드라인을 충분히 길게 할 경우 전력소모량의 감소율이 높아진다.

5. 결론

현대의 클라우드 컴퓨팅 패러다임에서는 컴퓨팅 성능과 더불어 에너지 효율적인 관리 기법이

중요해지고 있다. 본 연구에서는 클라우드 환경에서 Bag-of-tasks 응용에 대한 전력량 고려 가상 자원 할당 기법을 제안하였다. 기존의 EST 를 고려한 오토 스케일링 기법에 저전력 기법을 적용하여 CloudSim 을 이용한 시뮬레이션을 통해 전산유체역학(CFD) 응용에 대해서 비교 실험하였다. CFD 응용에 대해 데드라인 내에 작업을 완료할 수 있는 가장 낮은 주파수 가상 머신을 선택하는 알고리즘에 따라 줄어든 전력 소모량에 대해 분석하였다. 정규분포를 이용하여 발생시킨 같은 작업에 대해 데드라인이 길어질수록 전력소모량은 줄어든다. 또한 EST 를 이용한 스케줄링은 데드라인에 따라 전력소모량이 변하지 않는 반면 본 논문에서 제안한 기법은 데드라인에 따라 전력소모량의 감소가 커짐을 비교하여 확인하였다. 따라서 제안한 기법은 데드라인을 위반하지 않아 사용자의 요구사항을 만족시키면서 전력 소모량을 감소시킴으로써 플랫폼 제공자의 운영 비용 감소 및 시스템 신뢰도의 향상을 가능하게 한다.

향후에는 본 연구에서 제안한 기법을 Bag-of-tasks 응용뿐만 아니라 workflow 와 같이 작업의 순서를 고려해야 하는 더 복잡하고 다양한 응용에서 수행할 수 있도록 확장한다. 또한 기존의 Bag-of-tasks 응용에 대해서 delay 를 고려하여 작업의 재배치가 가능하도록 확장하는 것이 필요하다.

6. 참고 문헌

- [1] K. H. Kim, A. Beloglazov and R. Buyya, "Power-aware provisioning of virtual machines for real-time Cloud services", *Concurrency and computation: Practice and experience*, vol. 23, no. 13, pp. 1491-1505, Mar. 2011.
- [2] Valentini GL, Lassonde W, Khan SU, Min-Allah N, Madani SA, Li J, Zhang L, Wang L, Ghani N, Kolodziej J et al(2011), "An overview of energy efficiency techniques in cluster computing systems", *Cluster Computing*, vol. 16 no. 1, pp. 3-15, Mar. 2013.
- [3] N. B. Rizvandi, J. Taheri, A.Y. Zomaya, Y. C. Lee, "Linear Combinations of DVFS-enabled Processor Frequencies to Modify the Energy-Aware Scheduling Algorithms", 2010 10th IEEE/ACM International Conference on Cluster, Cloud and Grid Computing, pp. 388-397, May 2010.
- [4] K. H. Kim, R. Buyya, J.Kim, "Power Aware Scheduling of Bag-of-Tasks Applications with Deadline Constraints on DVS-enabled Clusters", in: *Proceeding of the Seventh IEEE International Symposium on Cluster Computing and the Grid*, pp. 541-548, 2007
- [5] 강혜정, 고정인, 김윤희, "과학 계산 응용 실행을 위한 하이브리드 클라우드에서의 SLA 기반 VM 오토-스케일링 기법", *정보과학회논문지: 시스템 및 이론*, 제 40 권 제 6 호, 2013 년 12 월.
- [6] Green500, <http://www.green500.org/>
- [7] W. Long, L. Yuqing and X. Qingxin, "Using CloudSim to Model and Simulate Cloud Computing Environment", 2013 Ninth International Conference on Computational Intelligence and Security, 978-1-47---2548-3/13, DOI 10.1109/CIS.2013.75
- [8] 이준영, 강혜정, 김윤희, "워크플로우 응용을 위한 에너지 효율적인 가상 자원 할당 기법", *KNOM Review*, 제 16 권 제 1 호, 2013 년.
- [9] Computational Fluid Dynamics, <http://222.cfd-online.com>
- [10] G. von Laszewski, L. Wang, A. J.Younge, Xi He, "Power-aware Scheduling of Virtual Machines in DVFS-enabled Clusters", *Cluster Computing and Workshops*, 2009.
- [11] 서동유, 송내영, 김신규, 최찬호, 엄현상, 엄현영, "응용 프로그램들의 특성에 따른 전력 소비량 변화에 대한 연구", *한국인터넷정보학회 하계학술발표대회 논문집*, 제 13 권, 제 1 호, 2012
- [12] 배준성, 이봉환, "클라우드 컴퓨팅에서 CPU 사용률을 고려한 가상머신 할당 기법", *한국해양정보통신학회논문지*, 제 15 권, 제 3 호, 2011.

<저자 소개>



최 지 은

2014 숙명여자대학교, 컴퓨터과학과 학사
<관심분야> 분산시스템, 클라우드 컴퓨팅



안 윤 선

2013 숙명여자대학교, 컴퓨터과학과 학사
2013 ~ 현재 숙명여자대학교, 컴퓨터과학과 석사 과정
<관심분야> 하이브리드 클라우드 컴퓨팅, 온톨로지, 지능형 시스템



김 윤 회

1991 숙명여자대학교, 전산학과 학사
1996 Syracuse University, 전산학과 석사
2000 Syracuse University, 전산학과 박사
1991~1994 한국전자통신연구원, 연구원
2000~2001 Rochester Institute of Technology, 컴퓨터공학과 조교수
2001~2004 숙명여자대학교, 컴퓨터과학과 조교수
2004~2009 숙명여자대학교, 컴퓨터과학과 부교수

2009~현재 숙명여자대학교, 컴퓨터과학부 교수

<관심분야> 그리드/클라우드 컴퓨팅, 워크플로우 제어, 그리드/클라우드 관리