

SERT 도구를 활용한 공랭식 대비 액침식 서버의 에너지 효율 비교

김효실, 황세진, 서병준, 안태현, 이지현, 한주연, 박성진*, 전성환**
한국정보통신기술협회(TTA), *유니와이드, **단국대학교

{hyosil.kim, hsejin314, sbj8388, asz319, miu529, hanjy}@tta.or.kr, *jinhan42@uniwide.co.kr,
**72160261@dankook.ac.kr

Comparing Energy Efficiency of Immersion and Air-Cooled Servers using Server Efficiency Rating Tool (SERT)

Hyo-Sil Kim, Sejin Hwang, Byoungjun Seo, Taehyun Ahn, Jihyun Lee, Juyeon Han,
Sungjin Park*, Seonghwan Jun**
Telecommunications Technology Association, *Uniwide, **Dankook Univ.

요약

본 논문은 SERT 도구를 활용하여 공랭식 대비 액침식 서버의 에너지 효율 비교에 대해 연구한다. 본 논문에서는 동일한 사양의 액침식 및 공랭식 서버를 제작하여 공랭식 서버는 일반 서버실(온도: $20\pm 1^{\circ}\text{C}$, 습도: $63\pm 3\%$)에, 액침식 서버는 액침랙(오일 온도: $28\pm 2^{\circ}\text{C}$)에 완전 침지 상태로 시험하였으며, 시험 결과 전력 대비 성능(SERT 2 Efficiency Score)은 공랭식 서버가 평균 21.3, 수랭식 서버가 평균 26.3 으로 공랭식 보다 5 점 높았다. 이러한 차이는 액침식에서는 냉각유가 서버를 식혀주므로 CPU 등의 온도상승 폭이 공랭식보다 낮아 동일 전력에서 성능이 높거나 혹은 동일 성능에 낮은 전력소비가 가능하고, 팬으로 인한 전력 소모가 없기 때문으로 사료된다. 본 연구는 실험을 통해 액침식 서버가 공랭식 대비 23.47% 정도 에너지 효율이 더 높다는 것을 정량적으로 보여준다는 점에서 의의가 있다.

I. 서론

클라우드 서비스, 인공지능 학습과 추론, 스트리밍, 전자상거래 등을 위한 대규모 데이터센터가 디지털 인프라의 핵심으로 자리잡으면서 전력 소비와 발열 문제 해결이 중요한 과제로 대두되고 있다. 특히, 고집적 GPU가 장착된 AI 서버의 보급으로 인해 랙 당 수십~수백 kW 수준의 열밀도가 현실이 되고 있으며, 랙 당 50kW 이상의 열밀도는 기존 공랭식(air cooling)으로 해결이 불가하다[1]. 이러한 배경에서 최근 데이터센터는 공랭 중심에서 수랭·액침식으로의 전환을 가속화하고 있다. 수랭은 D2C(Direct-to-Chip)와 RDHx(Rear-Door Heat Exchanger)로 나뉘는데, D2C는 CPU/GPU에 열교환기(콜드플레이트)를 장착하여 핫스팟을 직접 냉각하는 구조이고, RDHx는 랙 후면 도어에 라디에이터를 달아 배기 공기를 물로 식히는 것으로 서버는 여전히 공랭식 구조를 유지한다. 액침식(Immersion cooling)은 서버 전체를 절연유에 완전히 담가 냉각하는 것으로 냉각유체의 증발(상변화) 유무에 따라 단상과 2상 방식으로 나뉜다[2].

수랭식에서 전력 효율을 실험적으로 연구한 결과로는 Moskovsky 등(2016)과 Sickinger 등(2014)이 있다[3,4]. 전자에서는 열저항이 낮은 콜드 플레이트를 직접 설계하여 냉각수 온도와 에너지 효율에 관한 연구를 수행했고, 후자에서는 D2C 수랭 시스템을 National Renewable Energy Laboratory(NREL) 데이터센터 서버의 CPU에 직접 적용해 16개월간 장기 시험을 수행하고 냉각 효과에 대해 연구하였다.

액침식 서버에 대한 연구로 Eiland 등(2017)은 오일에 서버를 완전 침지하고 오일 유입 온도 및 유량을 변경해 가며 CPU, 메인보드 구성요소, 유체의 온도를 측정하고

공랭식과 직접 비교해 열저항(thermal resistance) 34.4% 개선, pPUE 최소 1.03 달성을 보여주었다[5].

본 논문에서는 단상 액침 시스템에서 공랭식 대비 액침식 서버의 전력 효율에 대해 연구한다. Eiland 등(2017)과 접근은 비슷하지만, 해당 논문이 서버 구성품(CPU 등)의 온도 차이에 집중했다면 본 논문에서는 전성비, 즉 전력 대비 실제 성능을 비교한다.

전성비 비교를 위해서 본 논문에서는 Server Efficiency Rating Tool(SERT)를 사용한다. SERT는 컴퓨터서버 성능을 비교하는 단체인 SPEC(www.spec.org)에서 만든 도구로, 서버의 에너지 효율을 ISO/IEC 21836 표준에 따라 측정하며, 미국의 Energy Star에서 사용하는 공식 도구이다. CPU, 메모리, 스토리지 각각의 전성비를 구하고, 그 전성비들의 기하평균을 통해 종합 점수를 산출한다.

본 논문에서 SERT를 활용하여 동일한 사양의 공랭식 대비 액침식 서버의 에너지 효율 비교 결과, 액침식 서버가 공랭식 서버보다 전력 대비 성능(SERT 2 Efficiency Score)이 평균 5 점 정도(23.47%) 더 높다는 것을 실험적으로 보여주었다.

II. 본론

공랭식 대비 액침식 서버 전성비 비교를 위해 먼저 서버를 2 세트 준비하였다. 공랭식은 일반 서버를 준비하였으며, 액침식은 팬을 제거한 후 표 1과 같이 공랭과 동일한 사양의 액침 서버를 준비하였다.

표 1. 공랭식 서버와 액침식 서버 사양 비교

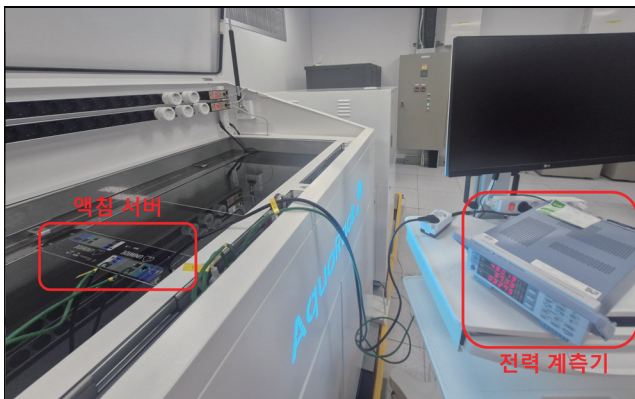
	Air-cooled server	Immersion server
OS	Rocky Linux 9.6	
JAVA	OpenJDK 1.8.0_462	

2025년도 한국통신학회 추계종합학술발표회

Main Board	Giga Computing MS73-HB1-000	
CPU	1x Intel® Xeon® Gold 5515+	
Mem	4x 32GB DDR4(M393A4K0EB3-CWETY)	
Storage	1x Samsung SSD 990 EVO Plus 1TB (OS) 2x Micron 5200_MTFD 3.84TB (Data)	
Power	1x R1CA2801A (800W) 80PLUS PLATINUM	
Fan	CPU heatsink/fan, System Fan, Power Fan	No fan and connectors

공랭 서버는 일반 서버실(온도: $20 \pm 1^\circ\text{C}$, 습도: $63 \pm 3\%$)에 두고 시험하였으며, 액침식 서버는 아쿠아랙 액침시스템(오일: Kixx Immersion Fluid S 30, 오일 온도: $28 \pm 2^\circ\text{C}$)에 완전히 침지한 상태로 시험하였다. 그림 1 은 서버가 아쿠아랙에 완전히 침지된 상태에서 전력계측기와 연결된 시험환경을 보여준다.

그림 1. 액침 서버 시험환경



SERT 시험을 위해 각 서버의 전원은 전력계측기(Yokogawa 310T)의 멀티 탭에 연결하였으며, SERT 프로그램이 설치되어 전력계측기 값을 수집하는 컨트롤러 서버와는 TCP/IP 로 연결되었다.

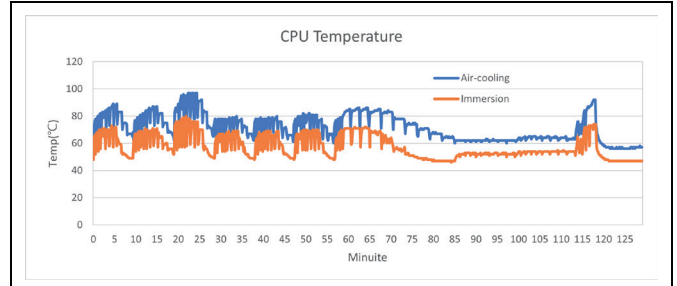
테스트는 서버 별 OS 튜닝을 달리하여 throughput-performance 에서 turbo 및 no_turbo 모드, powersave 에서 no_turbo 모드로 총 3 회 실행되었으며, 테스트 결과는 표 2 와 같다. 각 테스트는 약 2 시간 27 분 소요되며, 표 2 의 마지막 열은 3 회 Score 의 산술 평균을 기재하였다.

표 2. 공랭식 서버와 액침식 서버의 SERT 점수 비교

	Workload Efficiency Score	Air-cooled server	Immersion server
Throughput- performance (turbo)	CPU	10.4	13.2
	Storage	338.7	402.7
	Memory	55.8	68.7
	Score	20.5	25.7
Throughput- performance (no turbo)	CPU	10.0	12.5
	Storage	343.7	403.2
	Memory	56.0	69.5
	Score	20.0	24.9
Powersave (no turbo)	CPU	12.7	15.2
	Storage	348.0	405.0
	Memory	56.8	68.7
	Score	23.5	28.2
Average	Score	21.3	26.3

테스트 수행 시 CPU 온도는 공랭식에서는 $56 \sim 57^\circ\text{C}$ 사이에 분포하다가 부하가 주어졌을 때는 최대 97°C 까지 올라갔다. 액침식에서는 평균 $46 \sim 47^\circ\text{C}$ 사이에 분포하다가 부하가 주어졌을 때는 최대 80°C 까지 올라갔다(그림 2 참조). 메모리의 경우 공랭식은 평균 $29 \sim 31^\circ\text{C}$ 사이에서 최대 47°C 까지, 액침식은 평균 $37 \sim 38^\circ\text{C}$ 부하 구간에서 47°C 까지 올라갔다. 다른 부품들은 부하가 있을 때와 없을 때 큰 차이를 보이지 않았다.

그림 2. 공랭식 vs. 액침식 서버 CPU 온도 분포도



공랭식 대비 액침식의 전성비가 평균 5 점 정도 차이는 것은 액침식에서는 냉각유가 서버를 식혀주므로 CPU, 메모리 등 서버 부품의 온도상승·핫스팟이 공랭식보다 비교적 낮아 동일 전력에서 성능이 높거나 혹은 동일 성능에 낮은 전력소비가 가능하고, 팬으로 인한 전력 소모가 없기 때문으로 사료된다.

III. 결 론

본 논문에서는 SERT 도구를 활용하여 공랭식 대비 액침식 서버의 에너지 효율을 비교하였다. 다만, SERT 는 아직 GPU 워크로드를 지원하지 않아, 열 발생이 많은 GPU 워크로드가 적용되었을 때 전력 효율에 대한 연구에는 활용될 수 없다. MLCommon(www.mlcommons.org)의 경우 GPU 워크로드를 제공하며 향후, MLCommons 도구를 활용해 공랭식 대비 액침식 서버에 대한 에너지 효율성 연구를 진행 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 정보통신산업진흥원의 PJT-25-040314 과제의 일환으로 수행됨

참 고 문 헌

- [1] K. Haghsheenas, B. Setz, Y. Blosch, and M. Aiello, "Enough hot air: the role of immersion cooling", Energy Informatics 6, Article 14, 2023.
- [2] K. Zhou, X. Yu, B. Xie, H. Xie, and W. Fu, "Immersion cooling technology development status of data center", Science and Technology for Energy Transition 79, 41, 2024.
- [3] A. A. Moskovsky, E. A. Druzhinin, A. B. Shmelev, V. V. Mironov, and A. Semin, "Server Level Liquid Cooling: Do Higher System Temperatures Improve Energy Efficiency?", Supercomputing Frontiers and Innovations, 3(1), 67- 74., 2016.
- [4] D. Sickinger, O. Van Geet, and C. Ravenscroft, "Energy Performance Testing of Asetek's RackCDU System at NREL's High Performance Computing Data Center", Computational Science, Accelerated Deployment and Decision Support, National Renewable Energy Laboratory, TR 2014.
- [5] R. Eiland, J. E. Fernandes, M. Vallejo, A. Siddharth, D. Agonafer, and V. Mulay, "Thermal Performance and Efficiency of a Mineral Oil Immersed Server Over Varied Environmental Operating Conditions", J. Electron. Packag, 139(4): 041005, 2017.