

데이터센터내 고효율 IoT 필터 적용을 통한 탄소 저감에 대한 연구

안재욱^{1,3}, 권순박², 노재학³, 황용우^{4*}

¹LG U+, ²(주)나옴, ³인하대학교 순환경제환경시스템전공, ⁴인하대학교 환경공학과

A Study on Carbon Reduction through Applying High Efficiency IoT Filter Solution in Data Center

Jae Wook Ahn^{1,3}, Soon-Bark Kwon², Jae Hak No³, Yong Woo Hwang^{4*}

¹LG U+

²Naom Inc.

³Program in Circular Economy Environmental System, Inha University

⁴Department of Environmental Engineering, Inha University

요약 본 연구에서는 디지털화 확산으로 증가하는 컴퓨팅과 스토리지 인프라인 데이터센터의 에너지 소비 및 탄소 배출 증가에 대한 지속 가능한 대안을 모색하고자 한다. 데이터센터는 서버와 데이터 저장장치를 365일 24시간 운영하기 때문에 전력 소모가 크고, 컴퓨터 장비를 사용하는 환경에서는 안정적인 온도와 습도를 유지해야하기 때문에 냉각 시스템이 필수적이다. 이를 위해 전력 사용량을 줄이기 위한 다양한 방법들이 제안되었으나, 본 연구에서는 저차압, 고효율 특성을 지닌 고효율 IoT 필터 솔루션을 적용하여 기존 부직포 필터 대비 냉각부하를 줄여 에너지 소비를 최적화하고, 탄소 배출을 줄여 데이터센터의 전력 효율을 향상시켜 환경부하를 줄이는 것으로 확인되었다. 이러한 접근 방식은 데이터센터가 환경 및 에너지 절감 측면에서 지속 가능한 방향으로 발전하는데 기여한다.

Abstract This study examined sustainable alternatives to the increase in energy consumption and carbon emissions of data centers, which are computing and storage infrastructures that are increasing due to the spread of digitalization. Data centers consume considerable power because they operate servers and data storage devices 24 hours a day, 365 days a year, and cooling systems are essential because stable temperature and humidity are essential in an environment where computer equipment is used. To this end, various methods have been proposed to reduce power usage. This study applied a high-efficiency IoT filter solution with low differential pressure and high-efficiency characteristics to optimize energy consumption by reducing the cooling load compared to existing non-woven filters and reduce carbon emissions in data centers. It will reduce environmental load by improving power efficiency. This approach will enable data centers to develop sustainably regarding environment and energy savings.

Keywords : IoT Filter, Data Center, Energy & Carbon Reduction, Cooling Optimization, Performance Testing

이 논문은 정부(환경부)의 재원으로 한국환경산업기술원의 지원을 받아 수행된 연구(지식기반환경서비스 특성화대학원사업)임

*Corresponding Author : Yong Woo Hwang(Inha Univ.)

email: hwangyw@inha.ac.kr

Received January 26, 2024

Revised March 25, 2024

Accepted April 5, 2024

Published April 30, 2024

1. 서론

데이터 사용량 증가에 따라 전 세계적으로 데이터센터의 구축 및 운영이 크게 증가하고 있다. 전 세계에 720만 개의 데이터센터의 전기 사용량은 전 세계 전기 사용량의 1.4%를 사용하고 있으며 2030년까지 8%로 증가[1]할 것으로 예상된다. 현재 한국에도 147여 개의 데이터센터가 운영되고 있고 데이터센터 1개당 평균 연간 전력사용량은 25GWh로 4인가구 6천세대가 연간 사용하는 전력량과 맞먹는다. 국내 147개 데이터센터의 전력수요는 1,762MW이고, 향후 2029년까지 신설될 총 732개의 신규 데이터센터의 전력수요는 4만9,397MW로 예상된다[2]. 데이터센터는 365일, 24시간 서버와 데이터 저장장치를 가동하고 내부 온도와 습도를 일정하게 유지하기 위해 사용되는 서버룸 공조에 50%의 에너지를 사용하고 있고, 고효율 서버와 스토리지에 26%의 에너지를 사용하고 있다.

데이터센터의 전력량을 저감하기 위한 기본적인 기술은 에너지 고효율 공조 설비의 적용과 컴퓨터 등 전산기기의 고효율화가 우선되어야 하며, 외기냉방을 활용하여 냉방부하를 줄이는 방안이 적용될 수 있다. 특히, 외기냉방은 낮은 온도의 외기를 직접 혹은 간접 활용하는 방식 [3]으로 냉방에너지 비용절감에 효과적이다.

그래서 최근에는 외기냉방을 통해 냉동기 가동을 최소화하여 외기와 환기 등을 통해 내기를 적정하게 유지하는 외기 냉방이 도입되고 있다. 그러나 외기에 포함된 미세 먼지가 전산실 내에 유입될 경우, 실내 오염문제와 장비 고장 원인이 될 수도 있기 때문에 적절한 관리방안이 요구된다. 특히, 유입 먼지를 저감하기 위해 사용되는 프리 필터 및 미디엄 필터가 쉽게 막힐 경우, 증가하는 차압으로 오히려 송풍 전력량이 증가할 수도 있다[4]. 본 연구에서는 냉방부하를 줄이는 방법인 저차압, 고효율 특성을 가진 IoT 필터 솔루션을 개발하고 적용하여 기존 필터 대비 에너지와 탄소 저감[5]의 효과를 실증해보고자 한다.

2. 본론

2.1 관련 연구

본 연구에서는 통기성 및 먼지 흡착력이 뛰어난 필라민트 구조의 프리 필터를 개발하여, 데이터센터내 기존 부직포 필터(NWF: Non Woven Filter)와 고효율 IoT (HEF: High Efficiency Filter) 필터를 적용했을 때의 차압, 풍량, 전류, 미세먼지 등을 데이터를 IoT센터로 모니

터링하고 수집하였다[6]. 차압이 적으면 풍량이 지속적으로 유지되어 전력량이 줄어드는 효과가 있다는 가설을 설정하였다.

2.1.1 데이터센터내 공조 현황

외기 공기를 팬을 통해 일정량의 풍량을 내부로 끌어들이고, 프리 필터와 미디엄 필터를 통해 걸러진 깨끗한 공기가 냉각 코일을 통해 냉각되고 신선한 냉각 공기가 전산실로 인입되어 적정 온도를 유지하기 위해 순환과 배기를 Fig. 1과 같이 하게 된다. 이 과정에서 외기의 공기 질에 따라 필터의 오염이 빈번하게 발생한다.

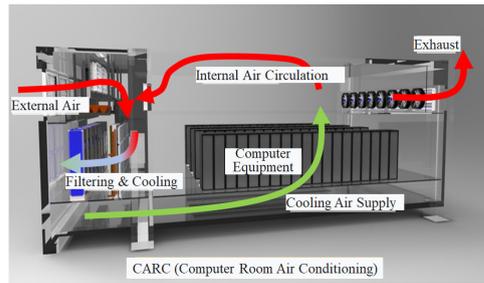


Fig. 1. Data center air conditioning system

그래서 데이터센터내 냉방과 청정을 지속적으로 유지하기 위해 현장 관리자는 Fig. 2와 같은 구조를 가진 공조시스템의 필터 차압(ΔP)을 주기적으로 점검한다.

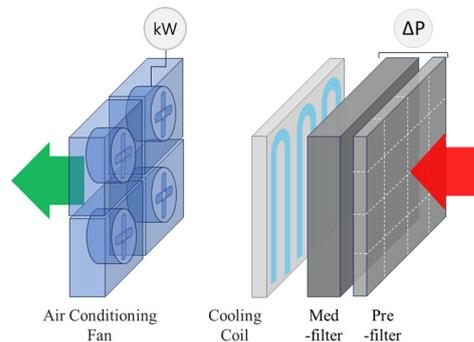


Fig. 2. Outdoor air conditioning system

필터가 막혀 차압이 커지면 풍량 감소 및 인버터 회전 수 증가로 에너지 손실 및 필요 전력량이 증가하여 필터를 교체해야 한다[7]. 미디엄 필터의 성능 및 수명을 연장하기 위해 프리 필터의 TBM(Time Based Management)를 통해 격월 단위로 교체하여 사용하고 있는 폐기물 증가로 이어져 ESG (Environment, Social, Governance) 측면에도 악영향을 미친다.

2.1.2 프리필터 효율 비교

차압(ΔP)이 적으면서 먼지 포집량이 뛰어난 3D공간 먼지부착방식 구조를 가진 필터를 Fig. 3과 같이 필라멘트 구조로 설계하여 적용하였다.

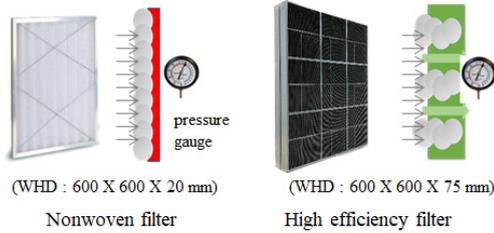


Fig. 3. Filter Structure Comparison

국가공인인증기관인 한국섬유시험연구원 (KOTITI : KOREA TEXTILE INSPECTION & TESTING INSTITUTE)에서 필터의 효율, 차압, 분진포집 용량 등을 기존 필터와 비교 시험을 하여 시험 성적의 결과가 Table 1과 같이 필터 효율은 90% 수준으로 동등하였고, 차압은 2배 이상 우수, 분진포집용량 및 필터의 수명도 8배 우위가 있음을 확인 할 수 있었다. 이를 실제 데이터센터내 현장에 IoT센서와 함께 설치하고 운영하며 필터의 효율(차압, 풍량, 소비전력량, 미세먼지) 등을 실시간 모니터링하여 에너지 저감 및 탄소배출량의 수준을 비교하여 알아보고자 한다[8].

Table 1. Filter Performance Test Result

Classification		NWF	HEF
Pressure (mmAg)	Initial	10.7	9.8
	Final	21.3	15.1
	Difference	10.6	5.3
Dust Collection Capa.(g)		65.0	539.0

2.2 연구 내용

본 연구에서는 일정 시간이 경과됨에 따라 공조필터의 초기차압과 말기차압의 차이(ΔP)가 적고, 일정량의 통기량이 유지되면 소비전력 사용이 적을 것이라는 가설을 검증[9]하고, 기존 부직포 필터와 고효율 필터간의 전력사용량 및 탄소배출량 등의 우위를 비교 분석하고자 한다. 이를 위해 데이터센터내에 기본 부직포 필터(비교존)과 고효율 필터(실증존)에 실제로 차압, 통기량, 전류, 미세먼지를 측정할 수 있는 IoT 센서를 Fig. 4와 같이 설치하여 실시간으로 모니터링을 실시하였다.



Fig. 4. IoT filter installation status

- 설치 장소 : 데이터센터내 1개 Zone
- 설치 내용 : 고효율 필터 64개, 센서류 각 2개 (차압, 풍량, 전류, 미세먼지 등) 5G활용 IoT 플랫폼 (데이터수집)
- 기간 : '23년 10월 1일 ~ 11월 30일 (2개월)

센서를 통해 측정된 차압, 풍량, 전류, 미세먼지, 온도, 습도 등의 데이터가 5G를 통해 실시간으로 데이터 플랫폼 내에 수집되어 아래와 같이 관제화면에서 실시간으로 Fig. 5과 같이 확인할 수 있다.

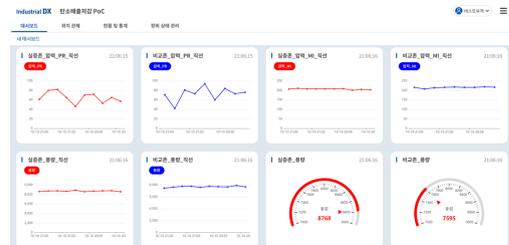


Fig. 5. IoT Filter Real Time Monitoring

60여 일간 수집된 (1)통기저항, (2)송풍량, (3)소비전류, (4)미세먼지의 Data를 시계열적으로 나열하면 Fig. 6 및 Fig. 7과 같은 그래프로 나타낼 수 있다. 고효율 필터의 통기저항이 부직포 대비 낮고, 많은 송풍량이 일정하게 유지되고 있음을 아래의 Fig. 6과 같이 알 수 있다.

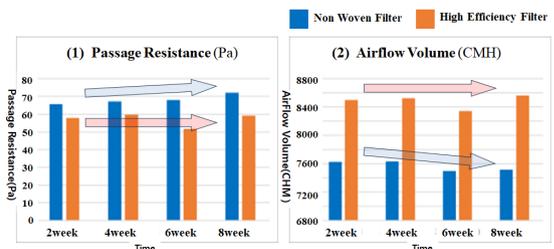


Fig. 6. Comparative experiment results 1

이는 아래 Fig. 7에서와 같이 더 낮은 소비전류로 이 어짐을 알 수 있다. 이는 가설에서 설정한 “차압이 적으면 풍량이 지속적으로 유지되어 전력량이 줄어드는 효과가 있다” 는 가설내용을 만족시키고 있음을 알 수 있다. 이는 건물용 공조기에 대한 실증연구를 통해, 공조기 필터 막힘에 따른 차압 증대로 동일한 풍량을 유지하기 위하여 팬 동력을 약 23% 증대시켜야 한다는 내용과도 일치하는 내용이다[10]. 더불어, 일정 주기로 필터를 관리하는 방식(TBM : Time Based Management)보다는 상태기반관리방식 (CBM : Condition Based Management) 를 통해 필터 교체시기를 결정하는 것이 경제적인 관리 방안임을 입증하였다. 필터의 말기압까지 도달하여 교체하는 경우, 송풍량이 약 40% 감소하게 되며, 이를 극복하기 위하여 팬 동력을 63% 증대시켜야한다는 점을 본 연구를 통해 검증하였다[11].

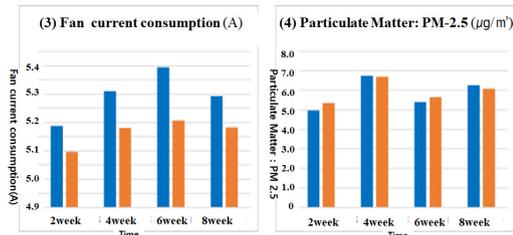


Fig. 7. Comparative experiment results 2

또한 Fig. 7에서 보는 바와 같이 고효율 필터가 부직포 필터 대비 미세먼지 필터링 성능도 동등 수준임을 알 수 있다. 이를 전체적인 시계열로 Fig. 8과 같이 나타내면 고효율 필터가 부직포 필터 대비 통기저항은 10% 감소되었고, 풍량은 12% 증대되었으며 소비전류는 2.2% 감소되었음을 알 수 있다.

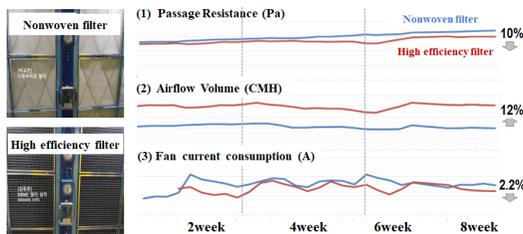


Fig. 8. Comparative experiment results 3

2.3 연구 결과

위 연구 내용을 바탕으로 실제 전기요금 및 탄소 배출량은 얼마나 절감되는지에 대한 분석결과를 Table 2와

같이 도출하였다. 기존 부직포 필터 1개를 사용함으로써 발생하는 실제 전기요금은 1,479원/일이며, 데이터센터의 1개 Zone (64개 필터)에서 발생하는 전기요금은 약 94,655원을 아래 공조필터사용에 따른 전기요금산정 방법으로 알 수 있다. 이는 송풍기의 축동력 계산값에 데이터센터 CRAC 송풍기수를 곱하고, 전기요금 단가를 곱하는 방식으로 산출하는 것이다[12]. 또한 탄소배출 저감량은 [2021년 승인 국가 온실가스 배출 흡수계수]의 전력배출계수 소비단의 CO₂-eq. 배출환산 계수 1kWh = 0.4781kgCO₂ 적용하여 산출하였다.

Table 2. Effect Comparison of NWF vs. HEF

Classification	NWF	HEF Maintain	Air Flow 2% ↓	Air Flow 10% ↓
Elec. Charges (Won/day)	94,655	90,000	88,200	80,708
Saving Rate (%)	-	5%	7%	15%
CO ₂ Reduction (CO ₂ Ton/yr)	-	1,135	1,578	3,406

위의 식을 바탕으로 기존 부직포 필터 사용 시보다 고효율 필터 사용 시 기존 풍량이 유지되면서 통기저항이 12% (2.95mmHg) 줄어들어, 전기요금이 약 5% 절감됨을 Table 2에서 알 수 있다. 하지만 실제 현장에서는 차압 감소로 인입되는 풍량이 기존보다 많아져서 풍량을 최소 2%에서 최대 10%까지 낮추어 운영을 할 수 있어 풍량을 2% 낮추어 운영했을 때 전기요금이 7%, 절약되고, 풍량을 10% 낮추어 운영했을 때 최대 15%까지 전기요금을 절약할 수 있음을 알 수 있다. 이에 따라 탄소배출량도 연간 1,135톤 ~3,406톤까지 감소함을 알 수 있다.

3. 결론

본 연구에서는 국내 데이터센터 전력 수요가 향후 10년 안에 42배 급증함에 따라 전력공급 부족 문제가 수면위로 떠오를 상황에서 데이터센터 내 고효율 IoT 필터 접근 방식으로 에너지 및 탄소를 저감하는 방식을 제시하였다. 데이터 센터내 에너지 소비의 50%가 냉방, 35%가 ICT 장비 등에 쓰이고 있다. 절반에 달하는 에너지가 냉방을 위해 사용되고 있는 것이다. 효율적인 냉각 시스템을 도입하여 서버 및 데이터 센터 환경을 안정화하고, 냉각을 위해 자연 공조 시스템을 채택하여 전력 소비를 최소화해야 한다. 본 연구를 통해 고효율 IoT 필터 솔루션

션을 활용한다면 실시간 풍량 조절을 통해 전력 소비를 최소화하고 효율적인 운영을 실현하는 데 기여할 것이다. 또한 기존 부직포 필터 대비 10배 이상의 수명을 가진 고효율 필터와 실시간 공기질 관리 시스템으로 환경 친화적인 운영과 함께 작업 환경의 품질을 향상시키는데 중요한 역할을 할 것이다. 데이터센터의 공조시스템의 실시간 모니터링 및 수집된 데이터 분석을 통해 에너지 소비 패턴을 이해하고 최적 운영을 통해 전기에너지 및 탄소 배출량을 줄이는 노력을 지속적으로 해야 데이터센터가 환경적 책임과 비용 효율성을 동시에 만족시키게 될 것이다.

향후 연구 방향으로서 데이터센터 내에서의 에너지 및 탄소 저감을 지속적으로 개선하고 지속 가능성을 추구하기 위한 방향으로, 다양한 환경 조건에서의 효율적인 성능을 확인하는 체계적이고 정교한 실험적 연구와 실무 적용을 통한 효과적인 에너지 및 탄소 저감 기술의 개발과 적용이 필요하다. 이를 통해 산업 및 환경에 대한 긍정적인 영향을 창출할 수 있는 새로운 지식과 기술로 확산해 나갈 것이다.

이 논문은 정부(환경부)의 재원으로 한국환경산업기술원의 지원을 받아 수행된 연구(지식기반환경서비스 특성 확대학원사업)임

References

- [1] Timothy Rooks, Data centers keep energy use steady despite big growth, <https://www.dw.com/en/data-centers-energy-consumption-steady-despite-big-growth-because-of-increasing-efficiency/a-60444548>, 2022.1
- [2] I. H. Yeo Government and local government 'incentives' for DC local construction, <http://www.kharn.kr/mobile/article.html?no=22596>, 2023.7
- [3] J. K. Cho, S. J. Kim, Y. D. Jeong and B. Y. Park. "A study on data center air conditioning and cooling system method classification and suitability performance test methods/standards" Journal of Facility Engineering 32, no.5 (2020): 235-248. DOI: <https://doi.org/10.6110/KJACR.2020.32.5.235>
- [4] S. H. Park, J.S. Yongho, J. H. Jang, S. H. Hwang. "Changes in energy consumption by filter type in outdoor air-supplied cooling systems applied to data centers" Journal of Facilities Engineering 25, no.7 (2013): 371-376. DOI: <http://dx.doi.org/10.6110/KJACR.2013.25.7.371>
- [5] H. S. Hwang and Y.W. Seo. "Development of IoT-based real-time energy use data collection and analysis system" Journal of Multimedia Society 22, no.3 (2019): 366-373. DOI: <https://doi.org/10.9717/kmms.2019.22.3.366>
- [6] M. S. Joo, H. A. Kim, G. J. Lee and J. H. Kang, "Online predictive control of air supply fans for data center energy efficiency" Journal of the Korean Society of Precision Engineering 38, no.12 (2021): 943-951. DOI: <http://doi.org/10.7736/JKSPE.021.068>
- [7] M. K. Park, H. J. Jang "Study on regional energy saving effects of multi-outdoor cooling systems for data centers" Journal of the Korea Solar Energy Society 37, no.1 (2017): 71-80. DOI: <https://doi.org/10.7836/kses.2017.37.1.071>
- [8] W. T. Kim, Y. C. Kim and S. Y. Kwak. (2016). IoT-based indoor air pollution measurement system. Journal of the Korea Contents Association, 16(2), 143-151. DOI: <https://doi.org/10.5392/JKCA.2016.16.02.143>
- [9] G. H. Won, N. Y. Kwak, J. H. Heo, "Evaluation of energy consumption performance according to changes in filter differential pressure of air conditioning equipment" Journal of Facility Engineering 16, no.12 (2004): 1227-1233.
- [10] N. Y. Kwak, G. H. Won, J. H. Huh, "Evaluation of energy saving and development of energy management system of AHU's fan by filter differential pressure in building" Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction 20, no5 (2004): 209-216
- [11] Zaatariet M., Novoselac A. and Siegel, J. "The relationship between filter pressure drop, indoor air quality, and energy consumption in rooftop HVAC units" Building and Environment 73 (2014): 151-161. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.12.010>
- [12] J. S. Kim, H. D. Yoon, "Air conditioning equipment combining theory and practice" Sejin Publishing (2003)

안 재 욱(Jae Wook Ahn)

[정회원]



- 2000년 8월 : 인하대학교 환경공학 (공학석사)
- 2000년 5월 ~ 2020년 11월 : LG 전자, 책임연구원
- 2020년 12월 ~ 현재 : LG U+ 전문위원

<관심분야>

산업 IoT, 스마트팩토리, LCA, 탄소중립, 에너지저장

권 순 박(Soon-Bark Kwon)

[정회원]



- 1999년 2월 : 광주과학기술원 환경공학과 (공학석사)
- 2003년 2월 : 광주과학기술원 환경공학과 (공학박사)
- 2006년 2월 ~ 2017년 8월 : 한국 철도기술연구원 책임연구원
- 2017년 9월 ~ 현재 : 주식회사 나옴 CTO

<관심분야>

탄소중립, 에어필터, 산업 IoT, 미세먼지

노 재 학(Jae Hak No)

[준회원]



- 2023년 2월 : 인하대학교 환경공학 (공학사)
- 2023년 3월 ~ 현재 : 인하대학교 순환경제환경시스템전공 석사과정

<관심분야>

탄소중립, LCA(전과정평가), 온실가스

황 용 우(Yong Woo Hwang)

[정회원]



- 1987년 2월 : 서울대학교 도시공학과 (공학석사)
- 1992년 9월 : 동경대 도시공학과 (공학박사)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 인하대학교 환경공학과 정교수
- 2024년 1월 ~ 현재 : 한국 환경영학회 학회장

<관심분야>

환경공학, LCA(전과정평가)