Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 17, No. 7 pp. 726-733, 2016

http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.7.726
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

파티션 시스템 적용을 통한 기존 데이터센터 서버실의 냉방 에너지 절감 성능평가

박종수
인하공업전문대학 건축과

Evaluation of Cooling Energy Saving through Applying Aisle Partition System on a Data Center Server Room

Jong-Soo Park
Department of Architecture, Inha Technical College

요 약 본 연구에서는 기존 데이터센터 서버실에서 공기분배시스템으로 파티션 시스템의 적용성을 평가하기 위해 기존 시스템 그리고 파티션의 설치 높이와 위치를 변수로 하는 파티션 시스템과 컨테인먼트 시스템에 대해 총 21가지 경우의 컴퓨터시뮬레이션을 실시하고 다음과 같은 결론을 얻었다. 공기온도 및 기류 분포 해석결과를 이용하여 평가해 본 공기분배시스템별 냉방 에너지 절감 성능은 컨테인먼트 시스템, 파티션 시스템, 기존 시스템 순서로 우수한 것을 확인할 수 있었다. 기존 시스템과 파티션 설치높이 0.1~0.7m까지의 파티션 시스템은 재순환 공기에 의해 냉복도에서 1.0~1.2m 높이를 기점으로 공기온도가 급격히 상승하면서 중간 높이의 서버와 상부 서버의 인입구 온도차는 11~15℃로 큰 차이를 보여, 재순환 공기가 상부 서버의 과열의 원인을 제공하는 것으로 나타났다. 파티션 시스템에서 냉복도 상부에 파티션을 설치할 경우에 파티션의 적정 높이는 서버 랙 상부에서 천장까지 높이의 90%(0.9m)이상, 열복도 상부에 파티션을 설치하는 경우는 파티션 높이가 80%(0.8m)이상은 되어야 재순환 공기를 충분히 차단하여 서버 인입구 공기온도가 RCI 권장온도 범위를 만족하는 냉방 에너지 절감효과를 볼 수 있는 것으로 나타났다.

Abstract In this study, a computer simulation of the three types of air distribution systems, open type system, aisle partition system and aisle containment system, to evaluate the applicability of the aisle partition system on a data center server room. The variables of the simulation were the height and location of the partition fixed on the top server rack. The energy efficiency of the air distribution systems were confirmed to be excellent in the order of the aisle containment system, aisle partition system, and open type system. In the cold aisle partition system, the height of the partition that can be effective in saving cooling energy by obstructing sufficient air recirculation was found to be more than 0.9m. In the hot aisle partition system, the height of the partition was found to be more than 0.8m.

Keywords : Aisle partition system, Data center, Energy, Partition height and location, Simulation

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 인터넷 및 모바일 데이터 사용량의 증가로 데이터센터의 수요가 증가하는 추세이다. 데이터센터는 서버의 발열에 의한 냉방에너지 소모량이 일반 업무용 건물 대비 약 12~15배로 이러한 수요 증가는 공조용 에너지의 급격한 증가를 초래하고 있다. 이에 따라 신축 데이터센터는 랙 서버, 열원장비 등을 구성함에 있어 에너지 절감을 위한 기술을 적용하고 있다[1,2].

이 논문은 2014년도 인하공업전문대학 교내연구비 지원에 의하여 연구되었음.
*Corresponding Author : Jong-Soo Park(Inha Technical college)
Tel: +82-32-870-2256 email: jspark@inhatc.ac.kr
Received April 26, 2016 Revised May 4, 2016
Accepted July 7, 2016 Published July 31, 2016

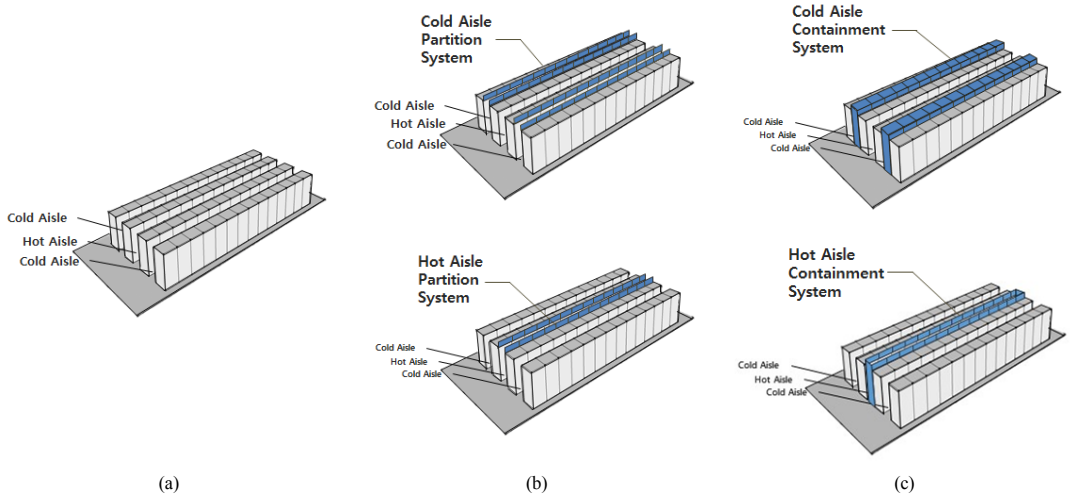


Fig. 1. Air distribution systems in data center sever rooms
(a) Open type system (b) Aisle partition system (c) Aisle containment system

그러나 기존 시스템(open type system)을 채용하고 있는 데이터센터들의 경우는 그 상태의 설비 조건에서 이러한 에너지 요구량 증가에 대응해야 하므로 비용 및 신규 설비 도입에 한계를 가지고 있다.

데이터센터의 냉방에너지 절감 및 냉각시스템의 고효율 화를 위해서는 일반적으로 서버실 내부를 냉복도(cold aisle)와 열복도(hot aisle)로 구분하는 컨테인먼트 시스템(aisle containment system)이 많이 적용된다. 컨테인먼트 시스템은 완전 밀폐방식으로 이를 기존 데이터센터에 적용하기 위해서는 기존에 운영 중인 IT서버를 재배치해야 하고, 소방문제로 별도 소화 가스 설치 및 자동 개폐장치를 설치해야 하는 문제점이 있으며, 높은 비용으로 적용의 한계가 있다.

따라서 기존 데이터센터의 냉방에너지 절감을 위해서는 컨테인먼트 시스템에 비해 공조 효율은 낮으나 비용이 저렴하고 적용성이 우수한 파티션 시스템(aisle partition system)의 적용을 검토할 수 있을 것이다. 파티션 시스템은 간단한 파티션 패널을 서버 랙 상부에 설치하여 수직으로 냉복도와 열복도를 구분하는 시스템으로 적용방법과 적용한계를 파악하는 연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 기존 데이터센터의 냉방에너지 절감을 위한 방안으로 제안하고자 하는 파티션 시스템의 적용 목적이 냉복도와 열복도의 공기의 섞임을 방지하기 위한 것이므로 컴퓨터시뮬레이션을 이용하여 파티션의 설치 높이와 위치에 따른 공기의 섞임 정도를 분석하고 기존 시스템 및 컨테인먼트 시스템과 비교하여 파티션 시스템의 적용성을 검토하고자 한다.

1.2 선행 연구 고찰

최근 데이터센터의 냉방 에너지 절감을 위한다양한 연구가 수행되고 있다. 본 절에서는 관련 선행 연구를 고찰하고자 한다.

Cho et al.[3]은 공조효율 개선을 위한 공기분배시스템으로 파티션 시스템과 컨테인먼트 시스템을 제안하고 공조효율을 평가하였다.

Yoon.[4]은 기존 데이터센터의 에너지 효율 개선을 위해 컨테인먼트 시스템, 동절기 외기도입 시스템, CFD를 이용한 에너지 효율 개선 및 LED 조명시스템을 적용한 사례를 제시하고 있으며, 기존 데이터센터에서 컨테인먼트 시스템을 적용할 때의 기술적·비용적 어려움을 제시하였다. Ham et al.[5]은 컨테인먼트 시스템이 적용된 데이터센터의 CFD 모델링 기법 연구를 통해 누기량 설정 방법과 그에 따른 성능 평가 결과를 제시하여 CFD 기법을 통해 설계 정밀도를 높일수 있도록 하였다.

Cho et al.[6]은 IT장비의 전력 및 발열량 예측 연구를 통해 공조시스템 계획에 활용할 수 있도록 하였으며, Jung et al.[7,8]은 서버실 실내온도 조건에 대한 실험을 통해 서버실의 취출 온도를 완화하는 연구를 수행하였고, 이를 통해 냉방에너지 절감 방안을 제시하였다.

2. 연구방법 및 내용

본 연구에서는 CFD를 이용하여 데이터센터 서버실의 공기분배시스템 중 Fig. 1에 표현된 기존 시스템 그리고 파티션 설치 높이와 위치를 변수로 하는 파티션 시스템과 컨테인먼트 시스템에 대해 컴퓨터시뮬레이션을 실시한다.

데이터센터 서버실의 온도 및 기류분포 결과를 이용하여 시스템별 에너지 절감 성능을 확인하며, 서버 인입구의 평균 공기온도 결과 값을 이용하여 파티션 시스템에서 파티션의 적정한 설치 높이와 위치를 평가한다. 또한 RCI(Rack Cooling Index) 값을 구하여 시스템별 공조효율을 평가한다.

공조효율을 평가하는 성능지표로 활용되고 있는 RCI는 서버실의 실내 기준온도 또는 지침에서 허용하는 온도범위를 기준으로 공조 효율을 판단하는 지표이다. Fig. 2는 ASHRAE에서 정의하는 class 1 기준으로 IT서버로 공급되는 권장온도 범위와 허용온도 범위를 나타낸다 [9].

서버실의 IT장비가 과열에 의한 위험성을 내포하고 있는 데이터센터의 특성상 RCI 지표 중 RCI_{HI}가 RCI_{LO}보다 유용한 지표라고 판단하여 RCI_{HI}를 본 연구의 평가지표로 활용하였다.

RCI_{HI} 값은 식(1)을 이용하여 산출하였다.

$$RCI_{HI} = 1 - \frac{\sum (T_i - T_{Max\ Recommended})_{T_i > T_{Max\ Recommended}}}{n \cdot (T_{Max\ Allowable} - T_{Max\ Recommended})} \quad (1)$$

여기서, T_i : 서버 인입구 온도[°C]

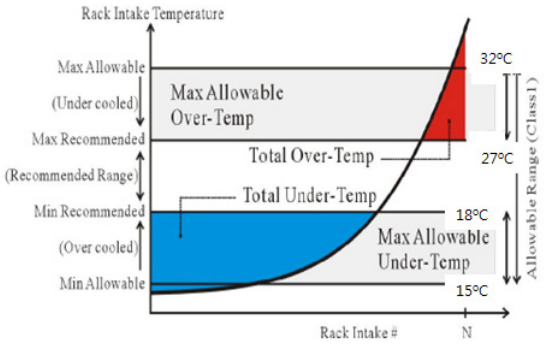


Fig. 2. Definition of total over & under Temp.

3. 컴퓨터시뮬레이션

3.1 개요

본 연구에서 적용한 2차원 해석모델은 다양한 데이터센터 서버실들의 현장 그대로의 조건을 재현할 수 없는 해석상의 한계를 갖고 있다.

따라서 컴퓨터시뮬레이션을 통해 구해지는 서버실의 공기온도 및 기류 분포와 서버 인입구의 평균 공기온도 그리고 공조효율을 평가하는 성능지표인 RCI_{HI} 값들은 상대비교를 통해 데이터센터 서버실의 공기분배시스템별 냉방 에너지 절감 성능을 평가하게 된다.

3.2 시뮬레이션 모델 및 경계조건

Fig. 3은 해석공간을 2차원으로 단순화시킨 시뮬레이션 모델을 나타낸 것이다. 해석대상 공간의 크기는 4.4m × 3.0m이며, X_1-X_1'는 냉복도 측의 단면선을 X_2-X_2'는 열복도 측의 단면선을 나타낸 것이다. 바닥면의 INLET으로 급기가 되고 천장의 OUTLET을 통해 환기가 이루어진다.

컴퓨터시뮬레이션은 Table 1에서와 같이 기존 시스템 그리고 파티션 설치 높이와 위치를 변수로 하는 파티션 시스템과 컨테인먼트 시스템을 대상으로 총 21가지 경우에 대해 실시하였다.

해석에는 범용 프로그램인 Fluent와 RNG k-ε 난류모델을 사용하였다. 해석을 위한 경계조건은 모든 경우에 대해 INLET의 급기온도는 15°C로 급기풍속은 1.5m/s로 설정하였으며, 서버의 발열량은 500W/m^2, FAN의 압력은 10㎪, 파티션은 열전도 조건으로 천장과 바닥, 벽체는 단열조건으로 가정하였다.

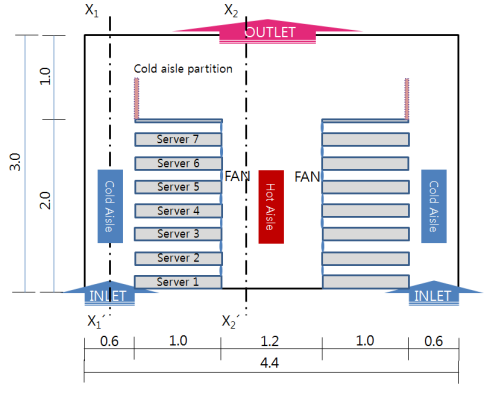
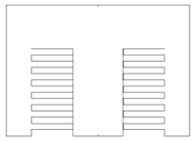
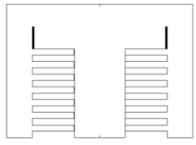
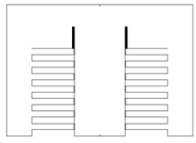


Fig. 3. Conditions of Simulation model[m]

Table 1. Simulation cases

cases	air distribution systems	partition		CFD model
		height[m]	location	
case1	open type system	uninstalled		
case2	aisle partition system	0.1	cold aisle	 cold aisle partition  hot aisle partition
case3			hot aisle	
case4		0.2	cold aisle	
case5			hot aisle	
case6		0.3	cold aisle	
case7			hot aisle	
case8		0.4	cold aisle	
case9			hot aisle	
case10		0.5	cold aisle	
case11			hot aisle	
case12		0.6	cold aisle	
case13			hot aisle	
case14		0.7	cold aisle	
case15			hot aisle	
case16		0.8	cold aisle	
case17			hot aisle	
case18		0.9	cold aisle	
case19			hot aisle	
case20	aisle containment system	1.0	cold aisle	
case21			hot aisle	

4. 시뮬레이션 결과 및 분석

4.1 공기온도 및 기류 분포

Fig. 4와 Fig. 6의 서버실 공기온도 분포 해석결과에서 냉복도의 경우를 보면 모든 경우에서 공기온도 값이 실 하부에서 상부로 올라 갈수록 높아지는 경향을 나타냈다. 특히, case1~case16에서 냉복도 상부의 공기온도는 31~35°C 범위의 높은 값을 나타냈고, 1.0~1.2m 높이를 기점으로 상하 공기온도차는 10°C 이상이 발생하였다.

이러한 이유는 Fig. 5의 기류분포에서 나타났듯이 냉복도 바닥에서 급기된 차가운 공기가 하부에서 상부로 갈수록 빠른 속도로 서버를 통과하면서 30°C 이상의 더운 공기가 되어 열복도로 배출된 후, 많은 양의 더운 공기가 배기구로 환기되지 못하고 냉복도 약 1m 높이 이상에 위치한 서버들의 인입구로 다시 혼입되어 재순환되었기 때문이다.

따라서 재순환 공기가 상부 서버의 과열의 원인으로 제공될 가능성이 큰 것으로 판단되었다.

이에 반해, case17은 냉복도 상부공간에서 공기온도가 6°C 이상 떨어졌고, case18에서 case21로 갈수록 상부 및 하부 공간의 공기온도 값의 차이는 더 작아지는 것으로 나타났다.

공기분배시스템 별 냉방 에너지 절감 성능은 컨테인먼트 시스템, 파티션 시스템, 기존 시스템 순서로 우수하다는 것을 확인할 수 있었다.

4.2 서버 인입구의 평균 공기온도

Fig. 7은 서버 인입구에서의 공기온도 분포 값을 나타낸 것으로 case1~case16은 재순환 공기에 의해 1.0~1.2m 높이를 기점으로 공기온도가 급격히 상승하면서 중간 높이의 서버와 상부 서버의 인입구 온도차는 11~15°C로 나타났다.

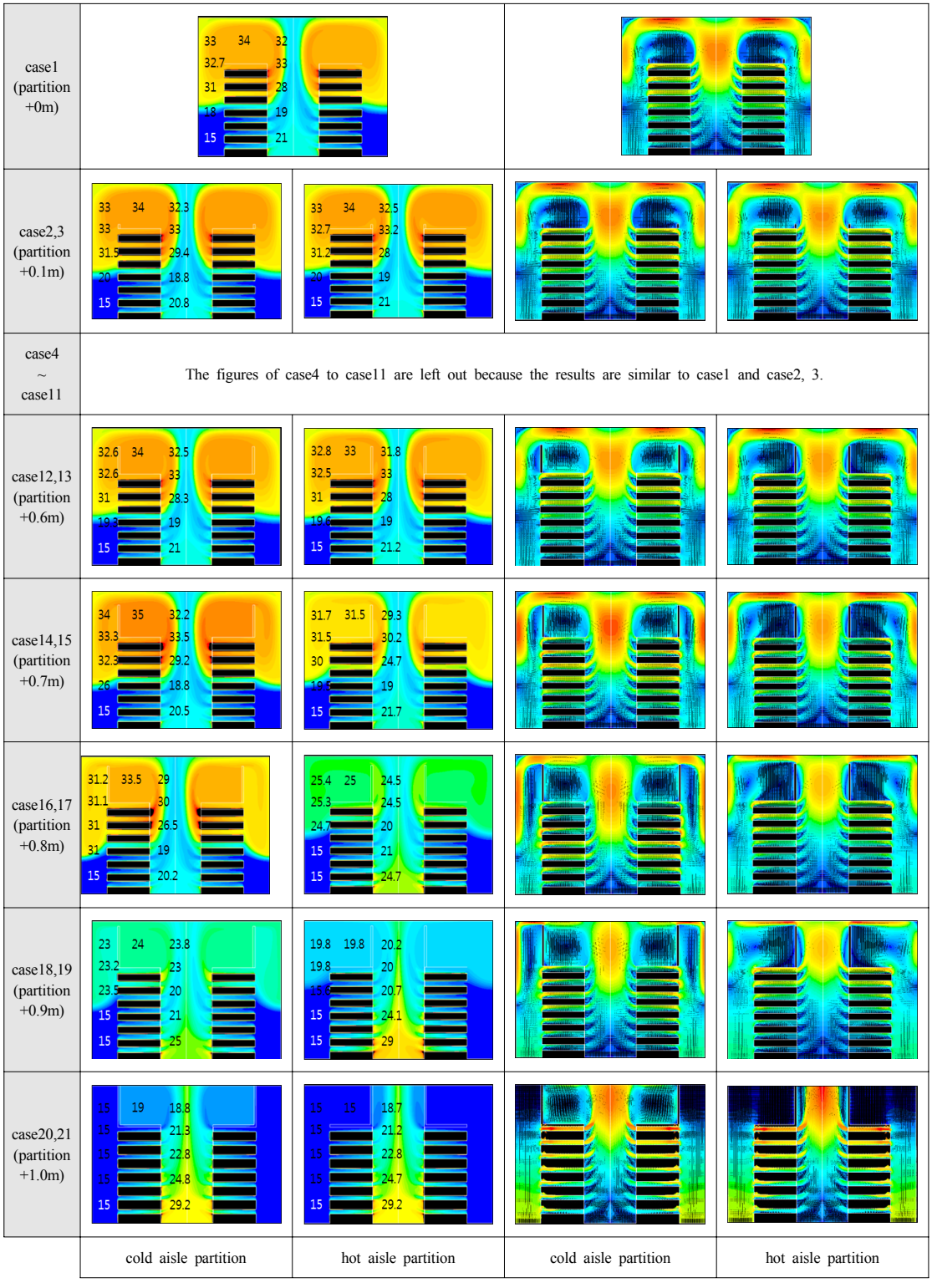


Fig. 4. Air temperature distributions

Fig. 5. Velocity vector distributions

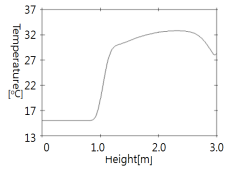
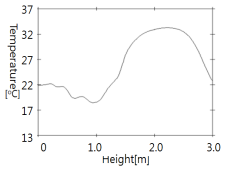
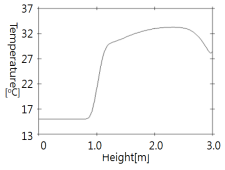
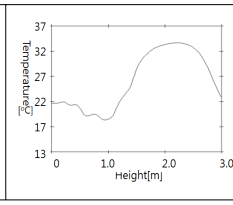
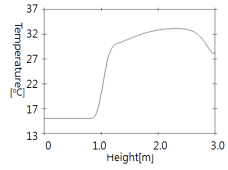
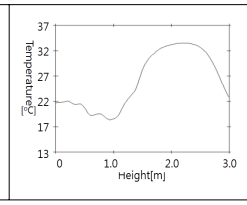
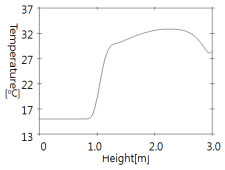
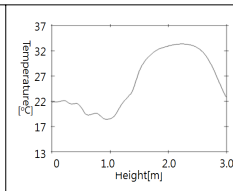
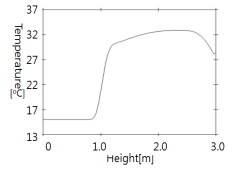
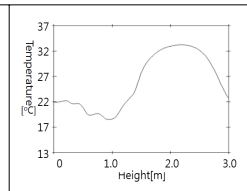
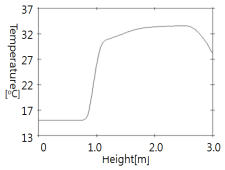
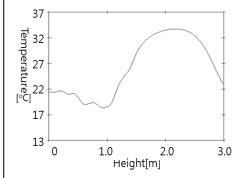
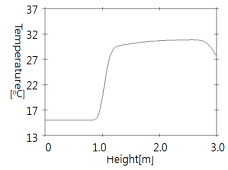
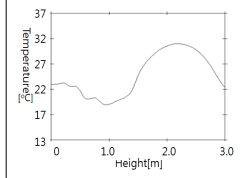
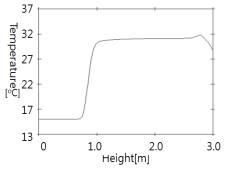
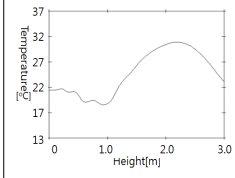
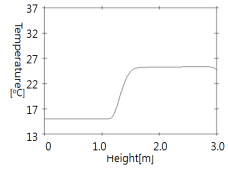
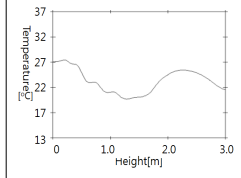
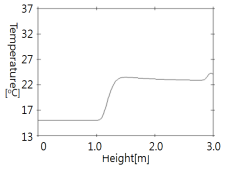
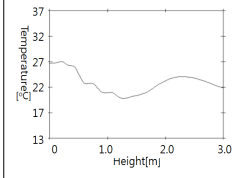
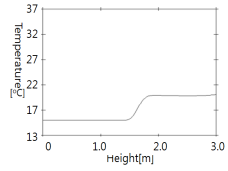
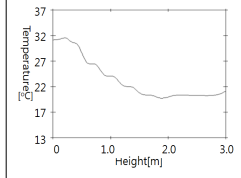
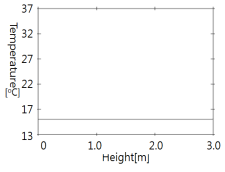
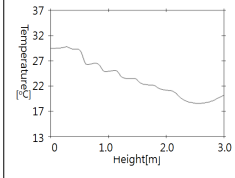
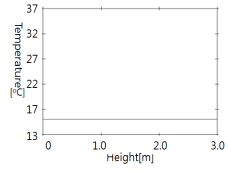
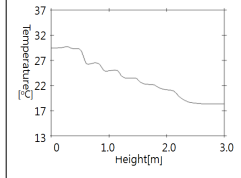
case1 (partition +0m)				
case2,3 (partition +0.1m)				
case4 ~ case11	The figures of case4 to case11 are left out because the results are similar to case1 and case2, 3.			
case12,13 (partition +0.6m)				
case14,15 (partition +0.7m)				
case16,17 (partition +0.8m)				
case18,19 (partition +0.9m)				
case20,21 (partition +1.0m)				
	X_1-$X_{1'}$ section(x=0.3m)	X_2-$X_{2'}$ section(x=1.9m)	X_1-$X_{1'}$ section(x=0.3m)	X_2-$X_{2'}$ section(x=1.9m)
	cold aisle partition		hot aisle partition	

Fig. 6. Vertical air temperature distributions in cold and hot aisles

이것은 4.1절에서 공기온도 및 기류 분포 값을 이용한 평가와 동일한 결과로 재순환 공기가 상부 서버의 과열의 원인을 제공하는 것을 확인하였다.

파티션 시스템에서 재순환 공기를 충분히 차단하여 냉방 에너지를 절감하고 공조효율을 높일 수 있는 파티션의 적정한 설치 높이와 위치는 서버의 인입구 평균 공기온도 값과 Fig. 2의 ASHRAE에서 권장하는 온도범위 값을 이용하여 다음과 같이 산정하였다.

Fig. 7(a)에서 보면 냉복도 상부에 파티션을 설치하는 경우는 파티션 높이 0.9m인 case18에서부터 상부 서버 인입구의 온도가 급격히 하강하여 상부 서버에서도 인입구 공기온도가 RCI 권장범위를 만족하는 것으로 나타나 냉복도 상부에 파티션을 설치하는 경우에서 파티션의 적정 높이는 0.9m 이상으로 나타났다.

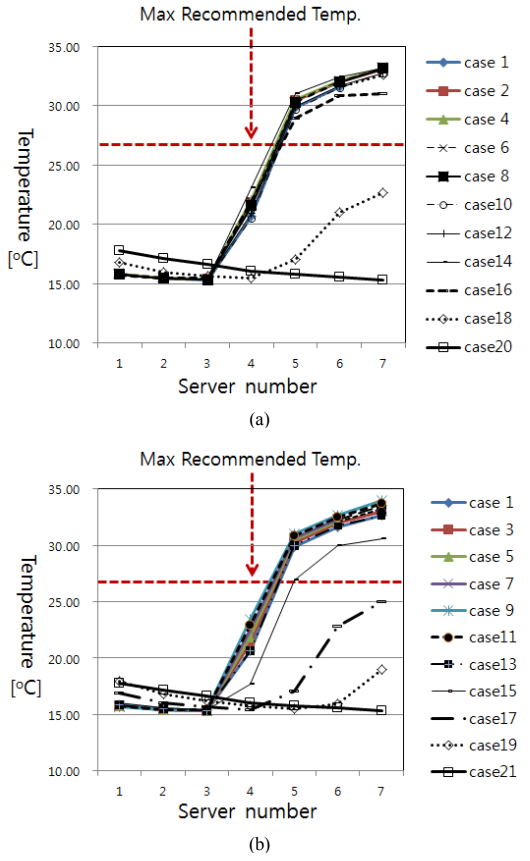


Fig. 7. Average air temperature in server inlet
(a) open type system, cold asile partition system and cold asile containment system
(b) open type system, hot asile partition system and hot asile containment system

열복도 상부에 파티션을 설치하는 경우는 Fig. 7(b)에 나타낸 바와 같이 파티션 높이가 0.7m인 case15부터 상부 서버 인입구 온도가 하강하기 시작하여 0.8m인 case17에서부터는 RCI 권장범위를 만족하여 열복도 상부에 설치하는 파티션의 적정 높이는 0.8m 이상으로 평가되었다.

4.3 RCI(Rack Cooling Index)

수평적인 서버 인입구 온도 결과 값이 고려되지 못하고, 서버의 표본 수가 적은 본 연구가 갖는 해석의 한계로 인해 본 절에서 산출된 RCI_{HI} 값은 정량적인 값보다는 정성적 의미의 상대비교 용으로 활용하고자 한다[10].

Fig. 8에 산출된 RCI_{HI} 값을 보면 case1~ case16은 case17~case21의 경우보다 상대적으로 크게 낮은 RCI_{HI} 값을 나타내었다.

이것은 전 절에서 제시한 파티션의 적정 높이와 같은 결과로, 공조효율 면에서도 파티션 시스템에서 파티션의

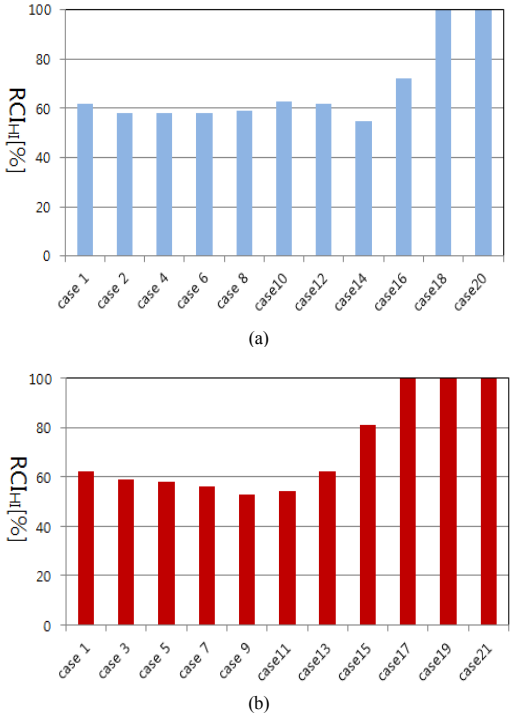


Fig. 8. RCI_{HI} values in cases
(a) open type system, cold asile partition system and cold asile containment system
(b) open type system, hot asile partition system and hot asile containment system

높이는 냉복도 상부에는 0.9m이상, 열복도 상부에는 0.8m이상으로 파티션을 설치하는 것이 우수한 결과를 나타내었다.

5. 결론

본 연구에서는 기존 데이터센터 서버실에서 공기분배 시스템으로 파티션 시스템의 적용성을 평가하기 위해 기존 시스템 그리고 파티션 설치 높이와 위치를 변수로 하는 파티션 시스템과 컨테인먼트 시스템을 대상으로 총 21가지 경우의 컴퓨터시뮬레이션을 실시하고, 그 결과를 비교평가한 후 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 공기온도 및 기류 분포 해석결과를 이용하여 공기분배시스템 별 냉방 에너지 절감 성능을 평가해 본 결과 컨테인먼트 시스템, 파티션 시스템, 기존 시스템 순서로 우수하다는 것을 확인할 수 있었다.
2) 기존 시스템과 파티션 설치높이 0.1~0.7m까지의 파티션 시스템은 재순환 공기에 의해 냉복도에서 1.0~1.2m 높이를 기점으로 공기온도가 급격히 상승하면서 중간 높이의 서버와 상부 서버의 인입구 온도차가 11~15°C로 큰 차이를 보여, 재순환 공기가 상부 서버의 과열의 원인을 제공하는 것으로 나타났다.
3) 파티션 시스템에서 냉복도 상부에 파티션을 설치할 경우에 파티션의 적정 높이는 서버 랙 상부에서 천장까지 높이의 90%(0.9m)이상, 열복도 상부에 파티션을 설치하는 경우는 파티션 높이가 80%(0.8m)이상은 되어야 재순환 공기를 충분히 차단하여 상부 서버의 인입구 공기온도가 RCI 권장온도 범위를 만족하는 냉방 에너지 절감효과를 볼 수 있는 것으로 나타났다.
4) 파티션 시스템 적용 시 파티션의 위치는 냉복도 보다는 열복도 상부에 설치하는 것이 상대적으로 파티션 높이를 약10%(0.1m) 정도 낮게 할 수 있어 현장 설치와 관리 그리고 에너지 절감 면에서도 유리하다는 것을 알 수 있었다.

향후에는 서버실과 IT장비 등의 모듈화를 실시하고, 다양한 변수들에 대한 컴퓨터시뮬레이션과 현장실험을 실시하여 실무에서 응용이 가능한 실무용 데이터 작성을 위한 연구가 필요하다고 판단된다.

References

[1] ASHRAE, High density data centers case studies and best pratices, Datacom series vol. 7, 2012.

[2] ASHRAE, Design considerations for datacom equipment centers second edition, Datacom series vol. 3, 2009.

[3] J. K. Cho, C. S. Jung, B. S. Kim, "Evaluation of Aisle Partition System's Thermal Performance in Large Data Centers for Superior Cooling Efficiency", Korea Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, vol. 22, no. 4, 2010.

[4] D. S. Yoon, "The energy efficiency improvement of the Internet Data Center", Magazine of the SAREK, vol. 42, no. 2, 2013.

[5] S. W. Ham, J. W. Jeong, "Modeling Strategies and Thermal Management Performance of a Data Center with Cold-aisle Containment using CFD", Journal of the Architectural Institute of Korea, vol. 31, no. 1, 2015. DOI: http://dx.doi.org/10.5659/jaik_pd.2015.31.1.159

[6] J. K. Cho, S. H. Shin, "Power and heat load of IT equipment projections for new data center's HVAC system design", Korea Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, vol. 24, no. 3, 2012. DOI: http://dx.doi.org/10.6110/KJACR.2012.24.3.212

[7] Y. H. Jung, H. J. Chang, J. H. Seo, "Server Room Temperature Condition in Data Center with Cold Aisle Containment System", Korea Journal of Air- Conditioning and Refrigeration Engineering, vol. 25, no. 2, 2013.

[8] H. J. Chang, Y. H. Jung, J. H. Seo, "The relaxation plan of cooling discharge temperature condition in data center server room", Proceedings of the Korean Solar Energy Society, vol. 32, no. 2, 2012.

[9] ASHRAE, Thermal Guidelines for Data Processing Environments Second Edition, Datacom Series, 2009.

[10] Magunus K. Herrlin, "Rack Cooling effectiveness in data centers and telecom central offices", Transaction (ASHRAE), vol. 3, Part 2, 2005.

박 종 수(Jong-Soo Park) **[정회원]**

- 1988년 2월 : 한양대학교 대학원 건축공학과 (공학석사)
- 2002년 2월 : 한양대학교 대학원 건축공학과 (공학박사)
- 1992년 10월 ~ 1998년 2월 : 현대건설 기술연구소
- 1998년 3월 ~ 현재 : 인하공업전문대학 건축과 교수

<관심분야>
건축환경, 건축설비, 친환경 건축