

데이터센터의 공조효율 향상을 위한 공조파티션시스템 성능평가에 관한 연구

조진균[†], 정차수, 김병선^{*}

(주) 한일 엔지니어, ^{*}연세대학교 건축공학과

Evaluation of Aisle Partition System's Thermal Performance in Large Data Centers for Superior Cooling Efficiency

Jin-Kyun Cho[†], Cha-Su Jeong, Byung-Seon Kim^{*}

Hanil Mechanical Electrical Consultants Ltd., Seoul 150-103, Korea

^{*}Department of Architectural Engineering, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

(Received September 29, 2009; revision received January 27, 2010)

ABSTRACT: In a typical data center, large numbers of IT sever racks are arranged multiple rows. IT environments, in which extensive electronic hardware is air-cooled, cooling system inefficiencies result when heated exhaust air from equipment prematurely mixes with chilled coolant air before it is used for cooling. Mixing of chilled air before its use with heated exhaust air results in significant cooling inefficiencies in many systems. Over temperatures may not only harm expensive electronic equipment but also interrupt critical and revenue generating services. Cool shield is a cost effective aisle partition system to contain the air in cold aisles and hot aisles of an IT server room. This paper focuses on the use of performance metrics for analyzing aisle partition system in data centers.

Key words: Datacenter(데이터센터), Cold/Hot aisle(공조구역구분), Air-recirculation(공조재순환), Aisle partition system(공조파티션시스템), CFD simulation(전산유체해석)

기 호 설 명

- T_i : (i)서버의 공기 유입구 평균온도 [°C]
- n : 공기 유입구 수량
- $T_{max-rec}$: 최대 권장 실내온도 기준 [°C]
- $T_{max-all}$: 최대 허용 실내온도 기준 [°C]
- $T_{min-rec}$: 최소 권장 실내온도 기준 [°C]
- $T_{min-all}$: 최소 허용 실내온도 기준 [°C]
- T_{Supply} : CRAC 유닛 급기공기 평균온도 [°C]
- T_{Return} : CRAC 유닛 환기공기 평균온도 [°C]
- ΔT_{Equip} : IT서버 통과 후 평균 상승온도 [°C]

1. 서 론

최근 IT(Information Technology)산업의 급속한 발전과 동시에 기업들의 사업변화에 따른 데이터센터의 수요가 급증하는 상황이다. 데이터센터는 지식서비스의 근간이 되는 전산 인프라의 중앙집중식 환경으로 전용 건물에 구축하고 24시간 365일 운영, 관리 또는 이를 지원하는 장소로 정의하고 있다.⁽¹⁾ 데이터센터 내 IT장비의 소비전력 및 처리능력이 기하급수적으로 발전함에 따라 효율적인 발열처리에 대한 공기분배시스템의 중요성이 커지고 있다.⁽²⁾ 데이터센터는 장비보호를 최우선으로 하는 산업공조의 개념이기 때문에 발열제거를 위한 효율적인 공기분배 시스템에 대한 선택이 중요하며 이를 통

[†] Corresponding author

Tel.: +82-2-6340-3025; fax: +82-2-6340-3039

E-mail address: jinkyun.cho@himec.co.kr

하여 국지적 온도상승(hot spot) 등 불균형을 해소함으로써 불필요한 냉방에너지 소비를 줄이는 효과도 기대할 수 있다.⁽³⁾ 공조효율 저하 및 에너지 증가의 원인은 발열을 제거하여 상승된 공기가 다시 IT서버로 재순환되는 것과 발열이 제대로 제거되지 않은 공조 공기가 다시 CRAC(Computer Room Air Conditioning) 유닛으로 바로 유입되는 것으로 설계 단계에서는 CFD 분석 등을 활용하여 사전에 검토가 필요하다. 랙 서버 상부의 온도가 25℃를 넘어가면 고장이나 장비수명 단축과 같은 문제가 발생하기 때문에 cold aisle과 hot aisle의 공조구역 영역의 공기가 서로 혼합되지 않도록 하는 것이 매우 중요하다. 본 연구는 데이터센터의 IT서버 발열제거와 관련된 공조효율 증대를 위한 공조파티션시스템을 제안하고 그 성능을 객관적으로 분석하는데 목적이 있다.

2. 데이터센터의 공기분배시스템

2.1 IT서버룸의 공기분배 문제점 및 효율관리

IT서버룸의 공기흐름을 효율적으로 유지하면 가장 적은 노력으로 높은 효과를 얻을 수 있다. 그러나 대부분의 데이터센터에서는 아직 이러한 사항에 대한 인식 부족으로 공조효율 및 에너지성능 개선의 기회를 놓치고 있으며 충분한 냉각용량을 확보하고 있음에도 불구하고 서버룸의 국부적인 온도상승으로 설비시스템을 추가적으로 설치하여 문제를 해결하고 있다. 이는 장비의 용량이 증가하고 에너지사용량의 증가로 이어지기 때문에 효율적인 공기분배시스템 선정 및 계획이 매우 중요하다. 서버룸의 공기분배 관리의 기본은 CRAC 유닛에서 토출되는 모든 공기가 IT서버로 유입되고 발열을 제거하고 온도가 상승된 공기를 다시 CRAC

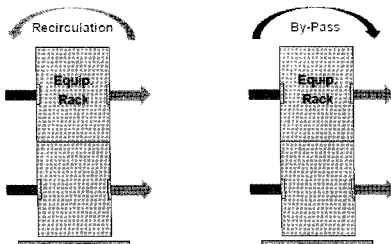


Fig. 1 Importance of air management without air-recirculation/air-bypass(US DOE, 2008).

유닛으로 환기하는 것이다. 그러나 현실은 Fig. 1과 같이 공기의 혼합(mixing), 재순환(recirculation) 또는 바이패스(bypass) 등 공기의 흐름을 방해하는 요소들로 인하여 공조효율이 저하되고 국지적으로 온도가 상승하는 악순환이 발생한다.⁽⁴⁾

Cho et al.(2008)은 IT서버의 전/후단부의 온도를 측정하여 실제 서버 내에서 발열이 제거된 후의 공기의 분포를 고찰하였다. Fig. 2와 같이 IT서버룸은 바닥급기 방식으로 서버 전단부의 하부는 취출구에 근접하여 일정한 온도를 유지하고 있으며 상부는 장비발열의 재순환과 실내공기가 혼합되어 변동이 심하게 나타났다.⁽⁵⁾ 이러한 현상은 서버의 상부에서 주로 발생하며, 전체 시스템 장애 중 2/3는 랙(rack)서버 상부 1/3에서 발생하고 서버오류 및 고장 등으로 막대한 경제적 손실이 따른다.⁽⁶⁾

2.2 데이터센터의 공기분배시스템 기본구성

Fig. 3(a)에서와 같이 데이터센터 내 핵심 요소인 서버룸의 구성을 보면 데이터를 처리·저장하는 IT서버가 가장 큰 비율로 구성되어 있으며 상호 연결이 가능한 데이터 케이블, 전력 케이블 그리고 서버를 설치할 수 있는 랙이 구성된다. 또한 IT서버룸 환경유지를 위한 공조시스템인 CARC 유닛 및 raised floor 등으로 구성된다. 데이터센터의 공기분배시스템의 주된 목표는 IT장비의 과열을 방지하는 것으로 장비 자체에 설치된 공기 도입구와 배기구에서 혼합되지 않게 하는 것이 중요하다.⁽⁷⁾ Cho et al.(2009)은 단계별로 CFD 시뮬레이션을 통

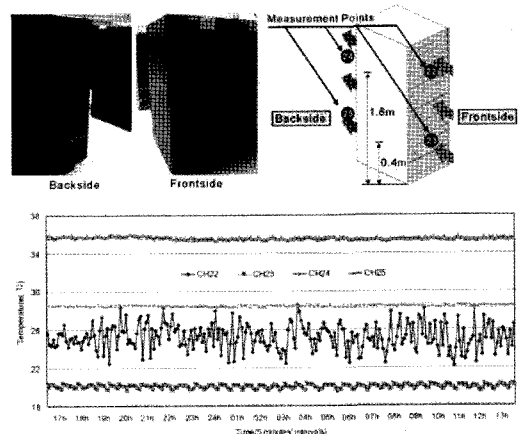


Fig. 2 Temperature distribution at front/back side of an IT server(Cho et al., 2008).

해 cold aisle, hot aisle의 공조구역구분으로 인한 효율개선 효과를 분석하고 현시점에서 데이터센터에 보편적으로 적용 되는 공기분배시스템 대안을 제시하고 각각의 공조효율 도출하였다. 공기분배시스템 방식별 효율평가는 급기와 환기의 공급방식에 의해서 6가지 대안에 대하여 실시하였는데, 바닥급기/천장환기 방식의 평균온도 분포로 보면 서버 상부에서 약간의 공기재순환현상만 효과적으로 방지하면 가장 효율적인 공기분배방식임을 검증하였다.⁽³⁾

3. 공기분배방식의 공조효율 개선안 제시

3.1 공조파티션시스템 제안

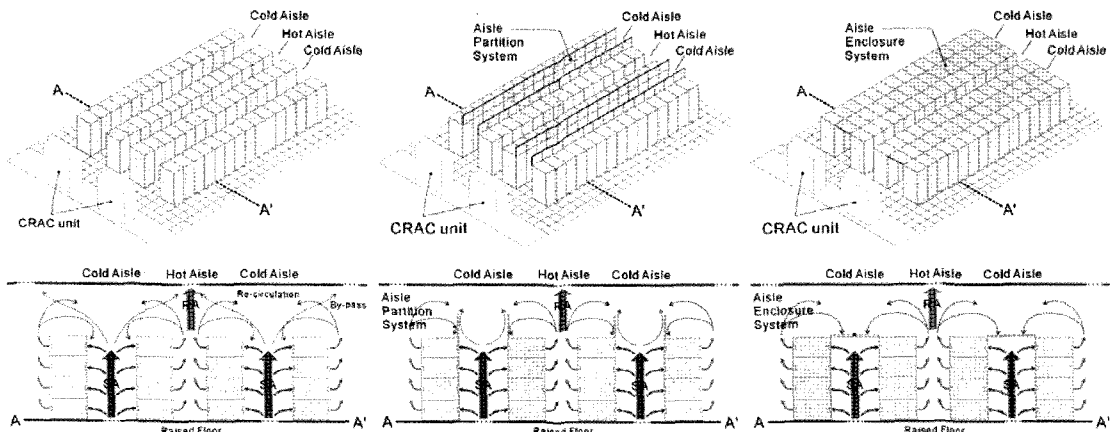
선행연구 결과에서와 같이 공조효율 저하를 막기 위해 cold aisle과 hot aisle 공기의 혼합방지를 고려해야한다. 그러나 개방된 공간에서 이러한 현상을 급·배기구의 배치로만 효과적으로 방지하는데 한계가 있고, 현재 운영 중인 데이터센터에서 지속적으로 국지적 온도상승 문제가 발생하고 있는 현실이다. 따라서 추가적으로 물리적인 장치의 구성을 통해 공기분배효율 개선이 필요하며, 간단한 파티션 패널을 랙 서버에 설치하여 공조효율을 개선할 수 있다. 여기에는 크게 두 가지 방식의 구성이 가능한데, Fig. 3(b)와 같이 수직으로 cold aisle과 hot aisle을 구획하는 aisle partition system과 Fig. 3(c)와 같이 cold aisle 상부를 막는 aisle enclosure system으로 구분 할 수 있다. 공조효율

측면에서는 cold aisle을 완전하게 둘러싸는 aisle enclosure system이 간략하게 공기장벽을 구성하는 aisle partition system에 비해 공기 재순환을 확실하게 방지할 수 있다. 그러나 IT서버 재배치, 소방시스템의 구성(헤드설치 위치)과 화재 시 신속한 대응에 저해요인으로 작용할 수 있기 때문에 aisle partition system 설치가 합리적이다. 또한 대규모 데이터센터는 IT장비의 수가 많기 때문에 투자비용에 대한 사항도 간과할 수 없는 현실이다.

3.2 CFD 시뮬레이션에 의한 온도분포 분석

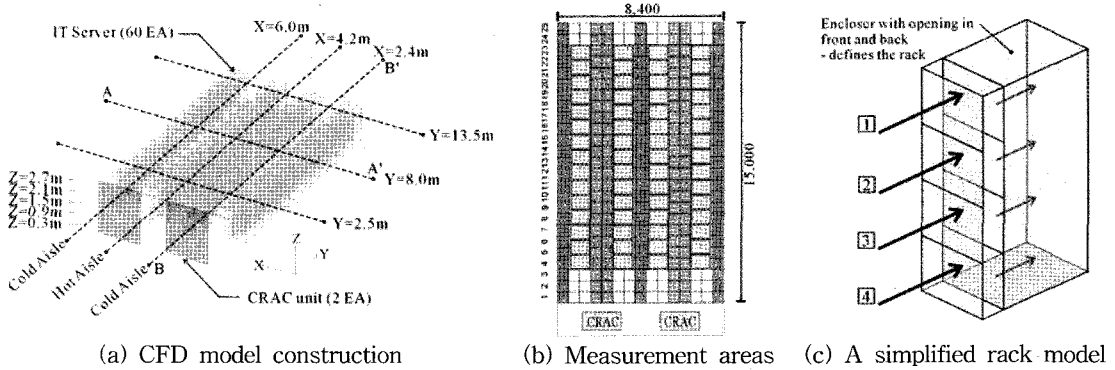
3.2.1 시뮬레이션 개요 및 경계조건

데이터센터의 온도분포를 분석하기 위해 전산유체해석을 수행하였다. 시뮬레이션은 선행연구⁽³⁾에서 검증된 가장 효율적인 공기분배방식인 바닥급기/천장환기 방식을 기준으로 공조파티션시스템을 적용하였을 때와 미적용 하였을 때를 구분하여 해석하였다. 해석대상은 Fig. 4(a), (b)와 같이 국내 최대 규모인 K데이터센터의 IT서버룸 일부구역을 대상으로 하였으며, 서버배치는 4열의 cold aisle과 hot aisle을 기본모듈로 모델링 하였다. 상용 프로그램인 Star-CD 프로그램과 k-ε high reynolds 난류모델을 사용하였다. 유체영역의 크기는 8.4m × 15m × 3.2m이며, 모델링에 사용된 격자는 polyhedral cell type으로 격자수는 약 30만 개이다. 본 시뮬레이션은 공조효율 분석하기 위하여 실시되었으며, 이때 공조파티션 패널 설치 유무를 제외한 모든 실내조건은 동일하다고 가정하였다. 또한 서



(a) Normal air distribution (b) Aisle partition system (c) Aisle enclosure system

Fig. 3 Air distribution system applications in high compute density data centers.



(a) CFD model construction (b) Measurement areas (c) A simplified rack model

Fig. 4 Basic case layout for IT server room air distribution system infrastructure.

Table 1 Case study models' physical specifications and boundary conditions

Under floor locally ducted supply		
Perforated tiles	Size	0.4 m × 0.4 m
	Quantity	80 tiles
	Air volume	570 CMH
Locally ducted return		
Return grilles	Size	0.5 m × 0.5 m
	Quantity	20 grilles
	Air volume	2,280 CMH
Two CRAC units : 45,600 CMH/16 °C (supply)		
Aisle partition panel height : 0.6 m		

비발열이 전체 부하의 95% 이상을 차지하기 때문에 전등과 인체 등의 내부발열은 무시하였다. 벽면 조건은 건축계획상 외란의 영향을 최소화하기 위해 이중벽체를 구성하여 완충공간을 구성하고, 서버룸의 4열 모듈 일부구간을 해석하였기 때문에 벽체조건이 없거나, 어떠한 발열도 없는 단열된 상태로 가정하였다. 랙 서버는 내부에 4kW/rack의 발열을 주었으며 표면은 단열로 가정하였다.

형태는 Fig. 4(c)와 같이 단순화하여 급·배기 슬롯을 4개씩 가지는 것으로 가정하였으며 각각 동일한 풍량으로 합계 650 CMH로 설정하였다. 그리고 IT서버룸 전체 inlet 조건은 랙 60대의 발열량을 기준으로 CRAC 유닛의 용량을 선정하고 급기는 CRAC 유닛 2대에서 16 °C의 공기가 총 45,600 CMH로 급기되는 것으로 하였다. Outlet의 경우도 환기풍량은 급기와 동일한 45,600 CMH로 선정하였다. 마지막으로 유체는 이상기체로 설정하여 온

도와 압력에 따라 결정되어 부력이 작용하는 것으로 설정하였다.

3.2.2 시뮬레이션 결과

데이터센터 내부의 전반적인 실내환경을 고찰하기 위해 해석모델을 X, Y, Z축 구간별로 산술평균 값을 도출하였다. Fig. 5와 같이 바닥급기/천장환기 방식이 수직높이 2.1 m 이하에서 매우 우수한 공기의 흐름을 보인다. 그러나 랙서버 상단부 온도 분포를 보면 서버 최상부에서 높이 0.6m~1.0m 지점에서 공기의 재순환이 이루어지는 것으로 분석되었다. 따라서 일반적인 바닥급기/천장환기 시스템에서 서버상부의 0.6 m 지점까지 cold aisle과 hot aisle을 물리적으로 구분하는 패널을 설치하면 공기의 흐름을 차단하고 환기구를 통해 원활한 배출이 가능하다.

Fig. 5, Fig. 6의 Y-축의 cold aisle의 구간별 수직온도분포를 보면, 2.1m까지는 20 °C 전후의 비교적 안정적으로 온도분포를 유지하고 있으나 IT서버 상부에서는 hot aisle의 공기가 재유입 되는 현상이 발생하여 cold aisle 구역임에도 불구하고 30 °C 전후를 유지한다. 랙을 수직으로 4개 부분으로 구분하여 볼 때, 최상부의 서버에서 이러한 고온의 상태가 유지된다면 장비고장의 주원이 된다. Cold aisle 기준으로 공조파티션시스템을 설치할 경우, 바닥에서 급기하는 16 °C 전후의 공기가 cold aisle 전역으로 공급되며 상부로 갈수록 온도는 상승하지만 hot aisle에서 배출되는 30 °C 이상의 공기가 cold aisle로 재순환되어 혼합되는 현상이 현저하게 감소됨을 볼 수 있다.

X-축의 전체 cold aisle 영역인 X1-X1'를 살펴보면 공조파티션패널 설치 유무에 따라 상부 IT

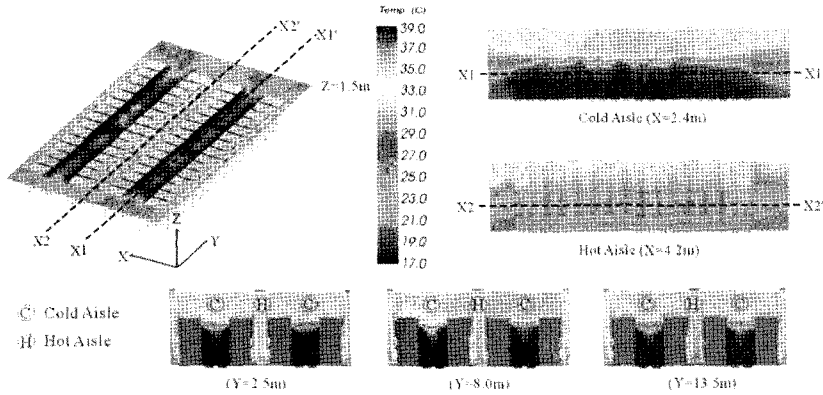


Fig. 5 Predicted distributions of air temperature for a conventional air distribution system.

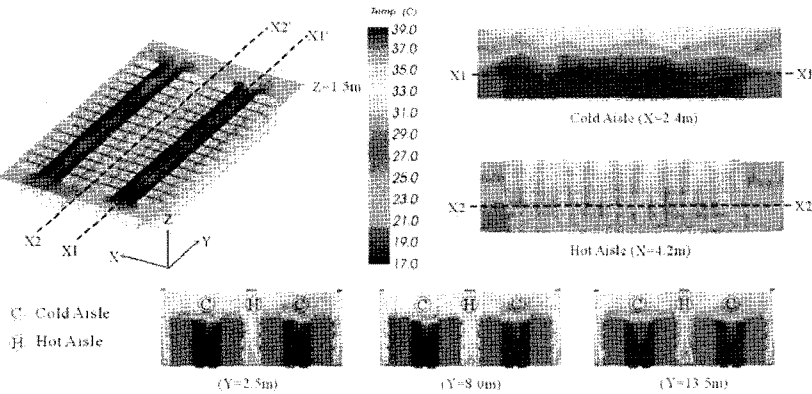


Fig. 6 Predicted distributions of air temperature for an aisle partition system.

서버의 공기 인입구 온도분포가 현저하게 차이가 나는 것을 볼 수 있다. 즉 IT서버 높이별 상하 온도차는 공조파티션 설치시는 10 °C 미만이지만 설치하지 않을 경우 최대 15 °C까지 차이가 나는 것으로 분석되었다. 또한 hot aisle 영역인 X2 -X2'에서는 공조공기의 재순환 여부에 따라서 최종적으로 CRAC 유닛으로 되돌아가는 공기의 온도에 차이가 난다. IT서버룸의 리턴배기구 위치에서 평균온도 차이는 파티션 설치 유무에 따라 31.8 °C과 33.2°C로 공조공기 재순환에 의해 약 1.4 °C 정도의 온도가 상승하는 것으로 분석되었다.

4. 데이터센터 공조효율 평가

4.1 공기분배시스템 효율평가 방법

일반적으로 데이터센터를 관리하고 있는 지표들은 IT서버룸의 온도에 치중하고 있다. 최근 관련

연구에서는 성능지표인 SHI(Supply Heat Index), RHI(Return Heat Index), RCI(Rack Cooling Index)와 RTI(Return Temperature Index)를 사용하여 공조효율을 평가하는 방안이 제시되고 있다.⁽⁸⁾ 이는 발열을 제거하여 상승된 공기가 다시 IT서버로 재순환되는 것과 발열이 제대로 제거되지 않은 공조공기가 다시 CRAC 유닛으로 재유입되는 것을 방지하기 위한 척도이다. SHI와 RHI는 무차원 지표로 고온의 서버배출 공기와 저온의 공조공기의 혼합량을 나타낸다. 이는 데이터센터내의 IT서버들을 통과하여 상승된 총열량을 나타내며, IT서버로 공급되는 공기와 서버를 통과하여 발열을 제거하고 온도가 상승한 공기의 풍량과 온도차를 기준으로 열량을 산출한다. 그러나 이 지표는 전체적인 공조효율 평가는 가능하지만 공기의 재순환과 또는 바이패스 방지에 의한 자세한 공조효율개선 판단이 어려워 각 서버의 유입구와 배출구의 온도를 기준으로 가장 보편적으로 평가할 수 있는 RCI

와 RTI를 사용하여 분석하였다.

4.1.1 RCI(Rack Cooling Index)

RCI는 서버룸의 설계기준 또는 지침에서 허용하는 온도범위를 기준으로 공조효율을 판단하는 지표이다. Fig. 7은 ASHRAE에서 정의하는 class 1 기준으로 IT서버로 공급되는 권장온도범위와 허용 온도범위를 보여준다. 또한 권장온도를 초과하는 범위와 미달하는 범위의 비율을 산출하여 RCI_H와 RCI_{LO}의 지표를 구할 수 있다.

$$RCI_H = \left(1 - \frac{\text{Total over temperature}}{\text{Max(Allowable over temp.)}} \right) = \left(1 - \frac{\sum(T_i - T_{\text{max-rec}})_{T_i > T_{\text{max-rec}}}}{n \cdot (T_{\text{max-all}} - T_{\text{max-rec}})} \right) \quad (1)$$

$$RCI_{LO} = \left(1 - \frac{\text{Total under temperature}}{\text{Max(Allowable under temp.)}} \right) = \left(1 - \frac{\sum(T_{\text{min-rec}} - T_i)_{T_i < T_{\text{min-rec}}}}{n \cdot (T_{\text{min-rec}} - T_{\text{min-all}})} \right) \quad (2)$$

식(1), 식(2)은 RCI_H와 RCI_{LO}의 연산식을 보여준다. 공조효율은 별도로 IT장비의 보호측면에서 RCI는 권장온도보다 초과하여 높게 유지되는 것이 보다 큰 위험성을 갖는다. 따라서 RCI_{LO} 보다는 RCI_H가 데이터센터의 위험성과 효율성을 평가하는 지표가 된다. Table 2와 같이 RCI의 등급은 96% 이상 유지될 때를 효율성이 있다고 평가한다.

4.1.2 RTI(Return Temperature Index)

개방된 건축공간에서는 RCI_H는 급기온도의 상

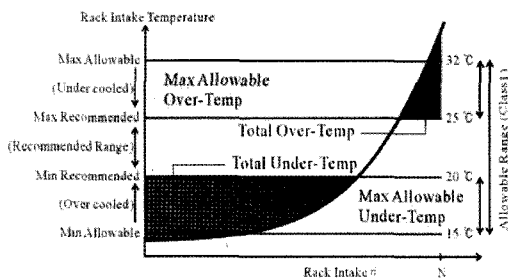


Fig. 7 Definition of total over/under temp.

Table 2 Rating of the RCI(Herrlin, 2005)

Rating	Ideal	Good	Acceptable	Poor
RCI	100%	≥ 96%	91~95%	≤ 90%

승률을 판단할 수 있는데 이는 에너지 페널티에 해당된다. 반면에 RTI는 공조시스템의 에너지 성능을 측정할 수 있으며 CRAC 유닛의 급기와 환기의 온도상승과 IT장비를 통과 하여 발열을 제거한 후의 온도상승의 비율을 평가의 척도로 보고 있으며⁽⁹⁾ 연산식은 식(3)과 같다. 계산을 위한 온도인 T_{Return}은 CRAC 유닛 환기공기온도로 서버룸 환기구에서의 평균온도, T_{Supply}는 CRAC유닛 급기 온도 그리고 IT서버의 전/후단의 온도차인 ΔT_{Equip}는 IT서버 통과 후 평균 상승온도를 기준으로 한다.

$$RTI = \left[\frac{T_{Return} - T_{supply}}{\Delta T_{Equip}} \right] \quad (3)$$

Table 3 Rating of the RTI(Herrlin, 2008)

Rating	Target	Recirculation	By-pass
RTI	100%	>100%	<100%

CRAC 유닛으로의 돌아오는 잠재적인 고온의 리턴공기는 IT장비를 통과하여 온도가 상승하였기 때문이며 이러한 현상을 고려하여 RTI의 표준을 설정하여야 한다. Table 3에서와 같이 평가는 100%를 기준으로 100% 이상이면 IT장비의 배기공기가 인입구로 재순환 현상이, 100% 이하이면 CRAC 유닛의 공급공기가 IT장비로 통과하지 못하고 다시 리턴되는 바이패스 현상이 발생하는 것으로 판단할 수 있다.

4.2 데이터센터의 공조효율 분석

데이터센터의 공조과티션시스템 효율을 평가하기 위해 CFD 시뮬레이션에서 도출된 온도분포를 바탕으로 RCI와 RTI 평가지표를 활용하여 일반적인 바닥급기/천장환기 시스템과 비교하였다.

이를 위해서 Fig. 8과 같이 총 60대의 랙 서버의 240개의 공기유입구 온도(T_x)를 도출하였으며, 대안별 온도분포는 다음과 같다(Fig. 9).

IT서버의 공기유입구 온도와 IT서버룸의 리턴 배기구 위치에서 평균 배기온도를 이용하여 RCI_H, RCI_{LO}와 RTI를 산출한 결과는 Fig. 10과 같다. 결과 그래프에서와 같이 공조과티션시스템을 적용할 경우 기존 시스템에 비해 공조재순환의 현상을 어느 정도 방지할 수 있다. 즉, RCI_H는 약 10%, RTI는 약 8%의 성능이 향상되지만 공조과티션시스템

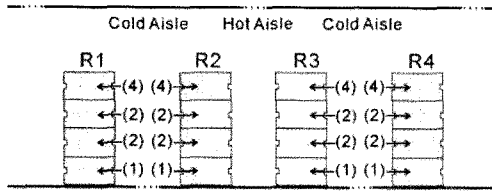


Fig. 8 Temperature distribution for selected systems at rack intake.

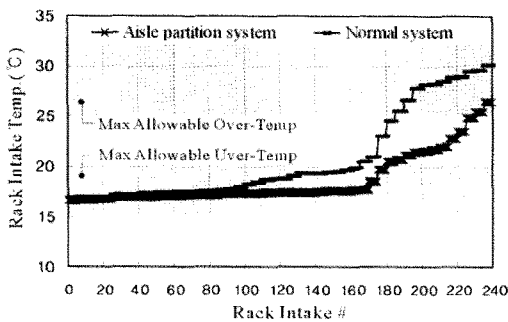


Fig. 9 Rack intake temperature distribution for each system.

을 적용하여도 개방된 공간이기 때문에 약간의 공조제순환이 발생한다. RCI_{Lo}는 반대로 성능이 감소되는 것을 볼 수 있지만 서버의 안전성에는 아무런 변수가 되지는 않는다. 그러나 에너지 저감 측면에서 공조파티션시스템은 RCI_{Hi}가 높기 때문에 CRAC 유닛의 취출 온도를 더 상승시켜서 제어할 수 있으며 적용성에 있어서 매우 우수할 것으로 판단된다. 즉 냉수온도를 상향시켜 냉동기의 성적계수(COP : coefficient of performance)를 증가시켜 냉동기에 소요되는 입력 에너지를 줄이는 방안이 될 수 있다.

5. 결 론

본 연구는 데이터센터의 공조를 효과적으로 향상시킬 수 있는 공조파티션시스템 적용을 위한 객관적인 방안을 정량적 해석과 평가지표를 사용하여 분석하였다.

공조효율이 가장 우수한 바닥급기/천장환기 방식은 서버 최상부의 높이 0.6m~1.0m지점에서 공기의 재순환이 이루어지는 것으로 분석되었고 이를 방지하기 위해 서버상부의 0.6m지점까지 cold aisle과 hot aisle을 물리적으로 구분하는 공조파티션시스템

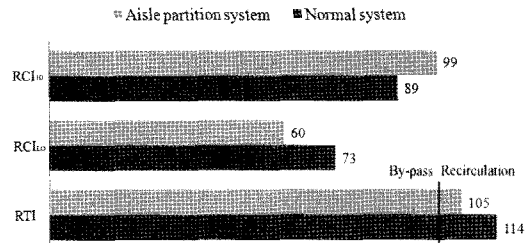


Fig. 10 RCIs and RTIs for selected systems with environmental class 1(ASHRAE 2004) as the guideline.

을 제안하였다. 여러 대안 중 경제성, 데이터센터의 운영에 특성과 소화시스템 구성을 고려한다면 aisle partition system 적용이 합리적이다.

CFD 시뮬레이션 결과, IT서버 높이별 상하 온도차는 공조파티션 패널 설치시는 10℃ 미만이지만 설치하지 않을 경우 최대 15℃까지 차이가 나는 것으로 분석되었고 배기온도는 공조공기 재순환 억제에 의해 약 1.4℃정도의 온도가 감소하는 것으로 분석되었다. 그리고 마지막으로 공조효율을 평가하는 지표를 통해 분석한 결과, RCI_{Hi}는 약 10%와 RTI는 약 8%의 성능향상을 보였다. 공조파티션시스템은 또한 급기온도의 상향시킬 수 있어서 열원시스템과 연계된 에너지성능 개선도 가능하다.

본 연구는 데이터센터의 관리자나 엔지니어가 공조파티션시스템 적용성을 판단하는데 보다 객관적인 데이터를 제공함과 동시에 효율적인 공조시스템 운영에 대한 대안 제시가 가능하므로 그 자체로도 가치가 있을 것으로 예상된다.

향후 공조파티션 패널의 높이와 형태변화를 변수로 하는 후속연구를 통해서 설계의 최적화를 할 필요가 있는 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Korea Information Technology Service Industry Association, 2008, Definition and classification of datacenter, Report of ITSA, 2008-05.
2. Magunus K. Herrlin, 2005, Rack Cooling Effectiveness in Data Centers and Telecom Central Offices, Transactions(ASHRAE), Vol.III, Part 2.
3. Cho, J. K. et al., 2009, Measurements and

- predictions of the air distribution systems in high compute density (Internet) data centers, *Energy and Buildings*, Vol. 41, No. 11, pp. 1107-1115.
4. Energy Efficiency and Renewable Energy, 2009, Data Center Energy Efficiency Training, US Department of Energy
 5. Cho, J. K. et al., 2008, Cooling systems for IT environment heat removal in (Internet) Data Centers, *Journal of Asian Architecture and Building Engineering* Vol. 7 No. 2, pp. 387-394.
 6. Lars Larsen, 2008, White Paper : Open rack approaches for maximizing the efficiency of equipment in a cold-aisle/hot-aisle data center environment, Ortronics/Legrand.
 7. TC 9.9-Mission Critical Facilities, 2005, Thermal Guidelines for Data Processing Environments, ASHRAE.
 8. Magnus K. Herrlin, 2008, Airflow and Cooling Performance of Data Centers : Two Performance Metrics, *Transactions(ASHRAE)*, Vol. 114, Part 2, 2008.
 9. Magnus K. Herrlin, 2007, Improved Data Center Energy Efficiency and Thermal Performance by Advanced Airflow Analysis, Digital Power Forum.