

데이터센터의 합리적인 환경제어를 위한 공기분배 시스템에 대한 연구

조진균[†], 차지형, 홍민호, 연창근*

(주)한일 엠이씨 부설 기술연구소, *(주)한일 엠이씨 설계사업본부

A Study on Air-distribution method for the Thermal Environmental Control in the Data Center

Jin-kyun Cho[†], Ji-hyoung Cha, Min-ho Hong, Chang-kun Yeon

ABSTRACT: The cooling of data centers has emerged as a significant challenge as the density of IT server increases. Server installations, along with the shrinking physical size of servers and storage systems, has resulted in high power density and high heat density. The introduction of high density enclosures into a data center creates the potential for "hot spots" within the room that the cooling system may not be able to address, since traditional designs assume relatively uniform cooling patterns within a data center. The cooling system for data center consists of a CRAC or CRAH unit and the associated air distribution system. It is the configuration of the distribution system that primarily distinguishes the different types of data center cooling systems, this is the main subject of this paper.

Key words: 데이터센터(Data Center), 공기분배 시스템(Air-distribution System), CRAC/CRAH (Computer Room Air Conditioning/Computer Room Air Handling Unit), 전산유체 해석(CFD Simulation)

1. 서론

데이터센터 내 IT장비의 소비전력 및 처리능력이 기하급수적으로 발전함에 따라 효율적인 발열 처리에 대한 공기분배시스템의 중요성이 커지고 있다. 현재까지 데이터센터가 갖춰야 할 경쟁력 요소로는 일반적으로 고객에 대한 지속적인 서비스 보장, 비즈니스 요구에 빠르게 대응할 수 있는 인프라, 시스템에 대한 보안 등을 주요 핵심 사항으로 여겼다. 하지만 국제유가가 지속적으로 상승하는 현시점에서 시스템의 최적화를 통한 운영비용의 절감이 가장 중요한 요소로 부각되고 있다. 데이터센터 내에서 가장 중요한 구성요소

는 IT서버이다. 이러한 장비가 안전하고 효과적으로 운영되기 위해서 정밀한 환경제어가 요구되며 실내를 일정한 환경으로 유지하기 위해서는 장비에서 발생하는 열이 우선적으로 제거되어야 한다. 데이터센터는 장비보호를 최우선으로 하는 산업공조의 개념이기 때문에 발열제거를 위한 효율적인 공기분배 시스템에 대한 선택이 중요하며 이를 통하여 hot spot 등 불균형을 해소함으로써 불필요한 냉방에너지 소비를 줄이는 효과도 기대할 수 있다[1]. 최근 IDC(Internet Data Center)의 수요가 급증하고 있으며 기능적으로 다양한 형태 및 규모의 데이터센터가 건설되고 있다. 따라서 적용된 서버의 발열부하 등 각각의 IT환경을 고려하여 최적의 공기분배시스템을 선정하는 것이 최우선되어야한다. 본 연구는 IT환경에 대응하는 최적의 공기분배시스템 선정을 위한 객관적인 방

[†] Corresponding author
Tel.: +82-2-6340-3025; fax: +82-2-6340-3039
E-mail address: jinkyun.cho@himec.co.kr

안을 제시함으로써 데이터센터의 합리적 시스템 구현이 가능하도록 하는데 목적이 있다.

2. 데이터센터의 공기분배시스템 고찰

(1) IT환경의 공기분배 설계기준

IT서버의 발열제거는 공조공기를 전면부에서 받아 후면부로 내보내 냉각 시키는 것이 일반적이다. 공기의 재순환(short-circuiting)을 최소화하기 위해 IT장비의 취출공기는 cold aisle과 배출은 hot aisle로 구분하여 기류를 유도한다. 이러한 공조구역의 전형적인 배치는 Fig. 1에서 보여준다.

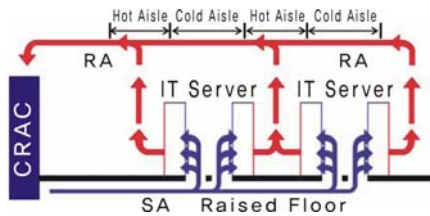


Fig. 1 View of a hot and cold aisle configuration

대규모 IT환경의 경우 서버의 개수가 많기 때문에 효과적인 냉각을 위해 일반적으로 바닥급기를 통해 냉각시키는 방식을 적용하는데, 표1은 가장 보편적인 aisle의 배치기준이다.

Table 1 Aisle pitch allocation [2]

| | Tile size | Aisle pitch | Cold aisle size | Hot aisle size |
|--------|-----------|-------------|-----------------|----------------|
| U.S | 2 ft | 14 ft | 4 ft | 3 ft |
| Global | 600 mm | 4,200 mm | 1200 mm | 914 mm |

| | | | | |
|------------------------|--|--|--|--|
| Seven-tile aisle pitch | | | | |
| | | | | |

(2) IT환경의 적용 가능한 공기분배시스템 [1]

모든 공조시스템의 공기분배는 급기(SA)와 환기(RA)로 구성된다. 즉 CRAC 유닛으로부터의 냉각된 공기를 부하측으로 공급하는 급기분배방식과 IT장비를 거쳐 부하를 제거한 공기를 CRAC 유닛으로 유입하는 환기분배방식으로 구분된다. 이러한 두 급기, 환기의 공기분배시스템은 CRAC 측면공급, 덕트/플래넘을 이용하여 공

급공기를 분배하는 2가지 기본적인 방식이 있다.

Table 2 The 6 basic types of air distribution system

| Return Supply | CRAC Flooded Return | Locally Ducted Return |
|------------------------------------|---------------------|-----------------------|
| CRAC Flooded Supply | ALT-1: HCSCR | ALT-2: HCSLR |
| Hard-floor Locally Ducted Supply | ALT-3: HLSCR | ALT-4: HLSLR |
| Raised-floor Locally Ducted Supply | ALT-5: RLSCR | ALT-6: RLSLR |

- 1.HCSCR: Hard floor Crac flooded Supply Crac flooded Return
- 2.HCSLR: Hard floor Crac flooded Supply Locally Ducted Return
- 3.HLSCR: Hard floor Locally Ducted Supply Crac flooded Return
- 4.HLSLR: Hard floor Locally Ducted Supply Locally Ducted Return
- 5.RLSCR: Raised floor Locally Ducted Supply Crac flooded Return
- 6.RLSLR: Raised floor Locally Ducted Supply Locally Ducted Return

그 중 급기시스템의 덕트/플래넘을 이용한 공급방식은 hard floor 또는 raised floor 구조인가에 따라 바닥급기와 천장급기로 구분된다. 여기서 raised floor구조는 바닥을 이중으로 구획하여 하부를 전기, 통신설비 및 공조를 위한 하부플래넘 개념으로 이용하는 구조를 말한다. 현실적으로 각각의 3가지 급기방식과 2가지 환기방식을 조합하며 총 6가지 시스템 조합이 가능하다. Table 2는 데이터센터에 적용 가능한 보편적인 공기분배시스템을 분류한 것이다. 데이터센터의 공기분배시스템의 주된 목표는 IT장비의 과열을 방지하는 것으로 장비 자체에 설치된 공기 도입구와 배기구에서 혼합되지 않게 하는 것이 중요하다. 이러한 계획은 앞에서 언급된 cold/hot aisle을 구분하는 목적과 동일하며 CRAC 유닛의 효율과 냉각능력을 증대할 수 있다. IT장비의 능력과 소비전력이 증대함에 따라 냉각을 위한 공조풍량이 증가하게 되는데, 이는 인접한 IT장비 간 냉각공기 유입구와 배출구를 격리시키는데 한계가 있다. 이러한 이유로 덕트 및 바닥 플래넘을 이용한 분배 시스템이 도입된다.

3. CFD 시뮬레이션을 이용한 데이터센터 공기분배 시스템 성능분석 개요

(1) 시뮬레이션 개요

공기분배 시스템의 효율을 증대를 위해 IT 서버의 후면을 마주보게 배치하여 취출부(cold aisle)와 배출부(hot aisle)를 분리하여 기류를 유도하는 방안이 보편화 되고 있다. 이러한 공조구역을 구분은 기본으로 ①측면급기/측면환기, ②측면급기/천장환기, ③천장급기/측면환기, ④천장급기/천장환기, ⑤바닥급기/측면환기 및 ⑥바닥급기/천장환기의 총 6가지의 공기분배 시스템 구성이 가능하다. 본 장에서는 데이터센터에 적용 가능한 공기분배 시스템의 성능을 분석하기 위해 CFD를 이용한 수치해석을 수행하였다.

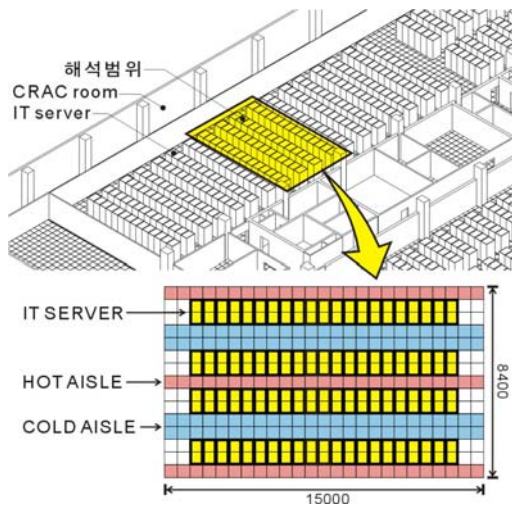


Fig. 2 Modeling areas of data center for simulation

(2) 수치해석의 모델링 및 경계조건

시뮬레이션은 급기 및 환기위치를 변수로 하여 데이터센터내의 적정 환경유지와 발열제거효율을 분석하는 것을 목적으로 수행되었다. 총 6 case를 해석하였으며 Star-CD 프로그램과 k-ε/high reynolds 난류모델을 사용하였다.

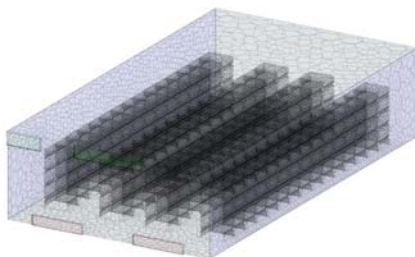


Fig. 3 Simulation modeling

해석대상의 유체영역에 대하여 유체 유동 및 온도분포를 객관적으로 파악하고자 3D모델링 하였으며 유체영역의 크기는 8.4m×15m×3.2m이다. 모델링 시 사용된 격자는 polyhedral cell type으로 격자수는 약 30만개이다. 급기 및 환기방식에 의해 총 6가지 공기분배 시스템을 해석하였으며 각각의 경계조건을 다음과 같다.

Table 3 Boundary condition for CFD simulation

| | | | |
|-----------|---------|-----------------------------|----------------|
| Supply | Case | ALT-1: HCSCR | ALT-2: HCCLR |
| | Method | CRAC Flooded | |
| | Size | 2.1m×0.4m | 2.1m×0.4m |
| | Numbers | 2 EA | 2 EA |
| | Case | ALT-3: HLSCR | ALT-4: HLSLR |
| | Method | Hard-floor Locally Ducted | |
| Return | Size | 0.5m×0.5m | 0.5m×0.5m |
| | Numbers | 20 EA | 20 EA |
| | Case | ALT-5: RLSCR | ALT-6: RLSLR |
| | Method | Raised-floor Locally Ducted | |
| | Size | 0.4m×0.4m | 0.4m×0.4m |
| | Numbers | 80 EA | 80 EA |
| Air-flow | | 45,600 CMH, 13 °C | |
| IT server | Case | ALT-1: HCSCR | ALT-2: HCCLR |
| | Method | CRAC Flooded | Locally Ducted |
| | Size | 2.8m×0.5m | 0.5m×0.5m |
| | Numbers | 2 EA | 20 EA |
| | Case | ALT-3: HLSCR | ALT-4: HLSLR |
| | Method | CRAC Flooded | Locally Ducted |
| IT server | Size | 2.8m×0.5m | 0.5m×0.5m |
| | Numbers | 2 EA | 20 EA |
| | Case | ALT-5: RLSCR | ALT-6: RLSLR |
| | Method | CRAC Flooded | Locally Ducted |
| | Size | 2.8m×0.5m | 0.5m×0.5m |
| | Numbers | 2 EA | 20 EA |
| Air-flow | | 45,600 CMH | |
| IT server | Inlet | 650 CMH | |
| | Outlet | 650 CMH, 35 °C | |

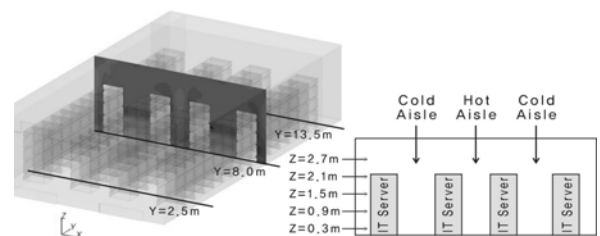
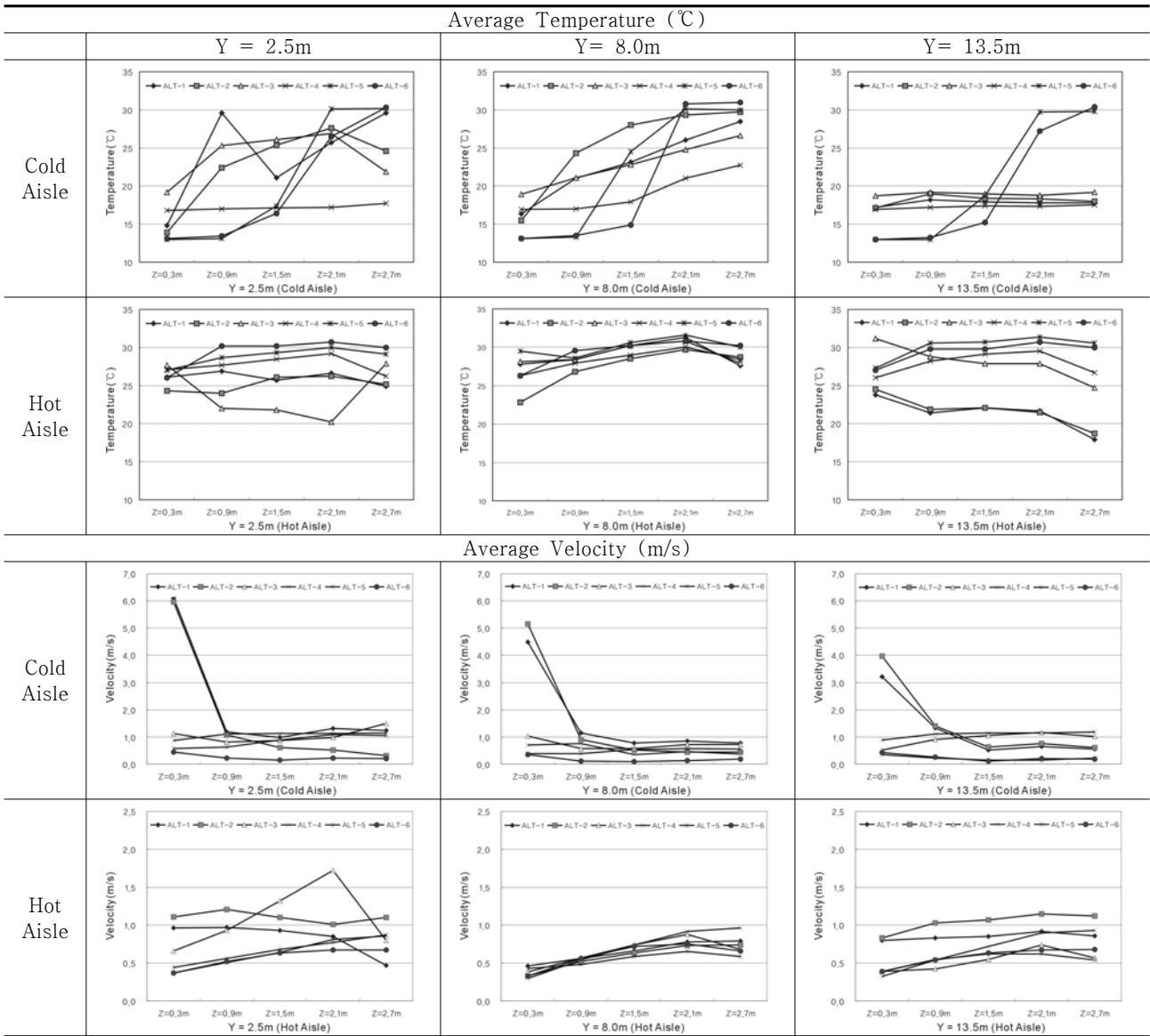


Fig. 4 Y-Z axis section

4. 시뮬레이션 결과

데이터센터의 공기분배 시스템의 효율을 객관적으로 판단하기 위해 Case별로 데이터센터내의 온도와 기류를 해석하였다. 데이터센터 내부의

Table 4 Vertical temperature and velocity distribution



전반적인 실내환경을 고찰하기 위해 해석모델을 Y, Z축 section 구간별로 산술평균값을 도출하였으며 Table 4, 5는 시뮬레이션 결과를 보여준다.

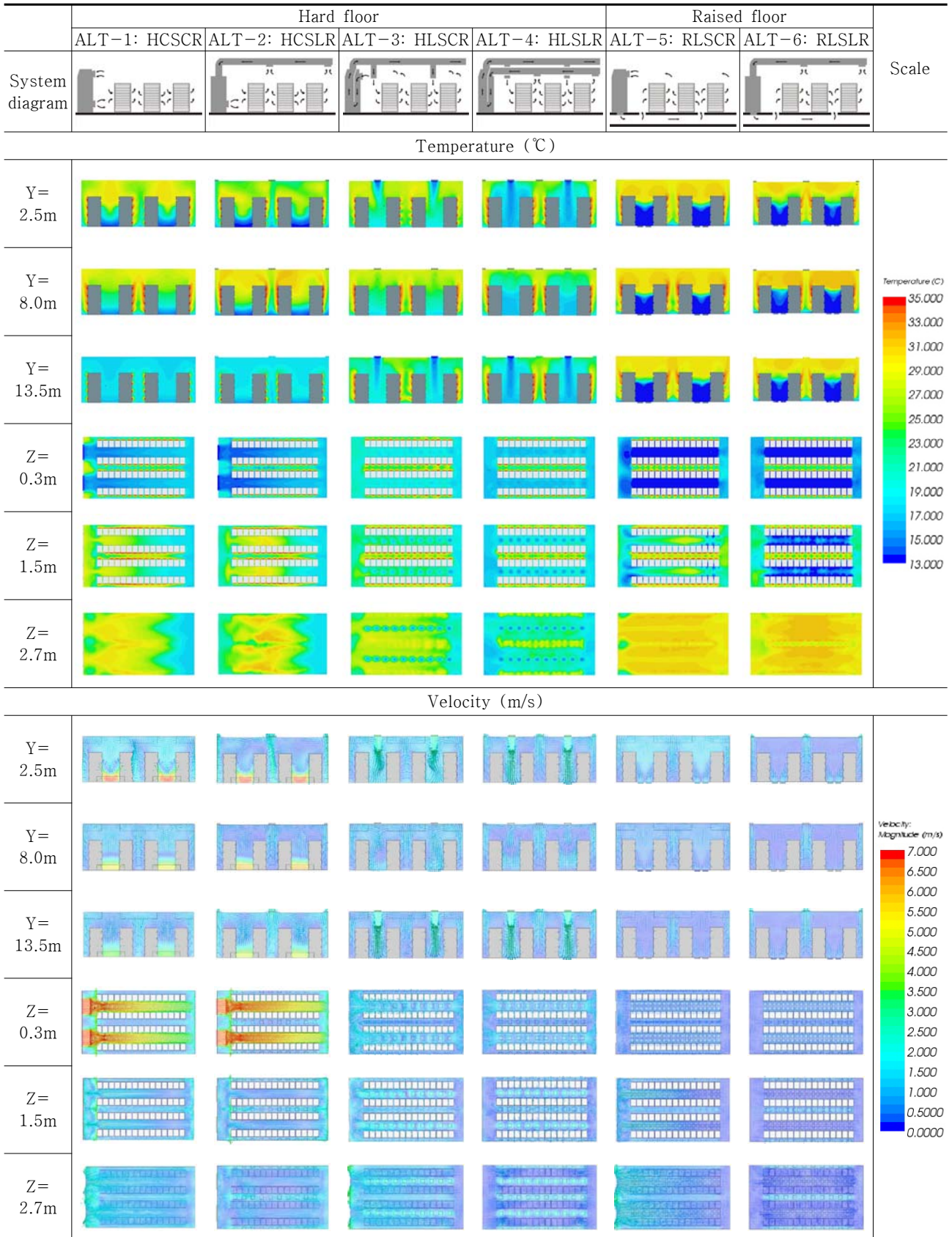
(1) 데이터센터 온도분포

Cold aisle의 Y축 구간별 수직온도분포를 보면 ALT-4인 천장급기/천장환기 방식이 전 구간에 걸쳐 수직적으로 안정적인 온도분포를 보이고 있다. ALT-5, 6인 바닥급기방식은 2.1m까지는 가장 우수한 온도분포를 유지하고 있으나 서버상부 높이에서는 hot aisle의 공기가 재유입 되는 현상이 발생하여 cold aisle 구역임에도 불구하고 30°C 전후를 유지한다. ALT-1, 2인 측면급기방식

은 CRAC 유닛 측(Y=2.5m)과 반대 측(Y=13.5m)의 온도편차가 발생하였다. 데이터센터의 한쪽 측면에서 급기하는 방식이기 때문에 동일 수직높이에서 구간에 따라 약 10°C 이상의 온도 차이를 보이기도 하였다.

Hot aisle의 Y축 구간별 수직온도분포를 보면 대다수 시스템이 25°C 이상으로 고온상태가 유지되었다. Hot aisle은 서버에서 발열을 제거한 공기가 배출되는 구역으로 온도가 높게 유지되는 것은 자연스러운 현상이다. 또한 환기방식보다는 급기방식에 따라 온도분포에 차이를 보인다. 천장급기방식은 상부보다는 하부가, 바닥급기방식은 하부보다는 상부의 평균온도가 높았다.

Table 4 CFD simulation results of the air distribution systems



(2) 데이터센터 기류분포

데이터센터는 재실공간이 아니기 때문에 기류 속도는 실내환경을 평가하는 중요한 요소가 되지 않는다. 그러나 공기분배시스템의 발열제거 효율을 판단하기 위해서는 구간별 수직기류분포에 대한 고찰이 필요하다. 공조된 공기를 공급하는 cold aisle의 기류분포는 측면에서 고속으로 급기하는 ALT-1, 2를 제외하고는 전 구간에 걸쳐 1.5m/s이하의 안정적인 분포를 보였고, 측면급기 방식은 측면하부에 취출구가 배치되어 서버 하단부의 기류속도가 높다. Hot aisle은 발열제거를 위해 서버를 통과한 고온의 공기를 CRAC 유닛으로 환기하는 구역으로 천장환기와 측면환기에 따라 약간의 기류속도에는 차이가 있지만 전반적으로 1.0m/s 내외의 저속의 분포를 보였다.

(3) 데이터센터 공기분배 시스템 성능분석

데이터센터의 공기분배 시스템 효율 및 성능은 IT 서버의 발열제거에 관련된다. 따라서 공조구역구분에 가장 부합하는 온도와 기류분포는 ALT-4인 천장급기/천장환기 방식이 전체적으로 양호한 것으로 분석되었다. 현재 데이터센터의 공기분배 시스템의 과반수를 차지하는 바닥급기 시스템인 ALT-5와 ALT-6은 전반적으로 우수한 성능을 보였지만 서버의 상부에서 고온의 공기가 서버로 재 유입되는 현상이 문제가 된다. 따라서 서버의 상부에 재유입을 방지할 수 있는 공기장벽을 설치하면 효과적으로 성능을 증대할 수 있다. 또한 ALT-1과 ALT-2의 측면급기 방식은 온도 및 기류의 분포가 안정적이지 않기 때문에 중규모 이상의 데이터센터보다는 소규모 전산센터 적용에 적합한 것으로 판단된다. 공기분배시스템 선정은 급기온도에 따른 열원시스템의 에너지효율, 장비의 구성차이, 설치공간, 층고 등 건물조건에 의해 시스템의 물리적 구성과 관련되는 설계변수에 우선적으로 고려해야한다.

5. 결론

본 연구는 IT환경에 대응하는 합리적인 공기분배시스템 선정을 위한 객관적인 방안에 대해 정량적, 정성적인 설계변수에 대한 관련요소를 분석하였다. 그 결과는 다음과 같다.

(1) 데이터센터의 공기분배시스템은 환기 및

급기시스템의 취출/유입방식과 hard floor 또는 raised floor 환경에 따라 총 6가지의 시스템의 조합이 가능하다. 또한 시스템의 효율 및 성능은 IT 서버의 발열제거에 관련된다.

(2) CFD 시뮬레이션을 통해 각각의 공기분배 방식의 온도 및 기류분석 결과, 천장급기/천장환기 방식이 전반적으로 양호한 것으로 확인되었다. 또한 바닥급기시스템은 상부에서 고온의 공기가 서버로 재유입되는 현상만 보완되면 가장 우수한 성능을 갖는다. 측면급기방식은 전구간에 걸쳐 온도 및 기류의 분포가 안정적이지 않기 때문에 소규모 전산센터 적용에 적합한 것으로 분석되었다.

(3) 공기분배시스템 선정은 급기온도에 따른 열원시스템의 에너지효율, 장비의 구성차이, 설치공간, 층고 등 건물조건에 의해 시스템의 물리적 구성과 관련되는 설계변수에 대해 먼저 검토해야 한다.

본 연구는 데이터센터에 적용 가능한 공기분배시스템 성능을 분석하여 설계자나 엔지니어에게 보다 객관적인 데이터를 제공함으로써 데이터센터의 합리적인 공기분배시스템 선정 가이드라인 역할이 가능할 것으로 예상된다.

참고 문헌

1. Neil Rasmussen, 2003, Air Distribution Architecture Options for Mission Critical Facilities, APC White Paper #55
2. TC 9.9, Mission Critical Facilities, Technology Spaces, and Electronic Equipment, 2004, Thermal Guidelines for Data Processing Environments, ASHRAE
3. Cho J.K., Kim B.S. and Jeong C.S., 2006, A Study on Equipment Power Trends and Heat Loads for the Optimal IT Environment Control in the (Internet) Data Center, Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol.22 No.9.
4. Cho J.K., and Kim B.S., 2008, The Cooling and Air Distribution Systems for the Optimal IT Environment Control in the (Internet) Data Center. Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol.24 No.2