

전산실의 환기성능 최적화를 위한 연구

A Study for Optimization the Ventilation Performance of the Computer Room

권용일(Yong-il Kwon)[†]

신한대학교 자동차공학과

Department of Automobile Engineering, Shinhan University, Euijungbu, 480-701, Korea

(Received September 4, 2014; revision received October 27, 2014; Accepted: October 28, 2014)

Abstract The objective of the present study is to identify the ventilation problems and to suggest the optimal ventilation system to save energy and to improve IAQ in the computer rooms, which annually performs the cooling operation by the server with the highly thermal load. Numerical results on the temperature and local mean age are presented along with some of the discharge velocities. Results show many interesting aspects of airflow patterns affecting the ventilation performances, according to the discharge velocity of the supply diffuser installed in the bottom surfaces between the servers. As the results, 2.5 m/s of the optimal discharge velocity is needed in order to improve the ventilation performance.

Key words Ventilation performance(환기성능), Supply diffuser(급기디퓨저), IAQ(실내공기질), Local mean age(국소공기연령)

[†] Corresponding author, E-mail: yikwon@shinhan.ac.kr

기호설명

AEE : 공기교환효율 [%]

AT : 평균 온도 [°C]

LMA : 국소평균공기연령 [sec]

1. 서 론

최근, 통신 산업의 급격한 발전과 더불어 대용량 데이터의 처리속도가 증가됨으로 인해, 데이터센터에 설치되는 전산실과 UPS실의 발열부하가 급격히 증가되고 있는 현실이다. 이러한 문제를 극복하기 위해, 세계에서 가장 큰 데이터센터를 운영하는 업체인 구글¹⁾에서는 이러한 시설에서 소비되는 에너지를 절약하기 위해, 에너지사용량 측정, 공기흐름의 관리, 온도조절, 무료냉각시스템 활용 및 전력공급최적화와 같은 5가지 에너지절약법을 제시하고 있다. 국내에서도 통신시장이 활성화되어 대형, 데이터센터의 건설이 증가하고 있는 것이 현실이다. 이러한 실에서 발생하는 열부하는 연중 발생되며 고밀도로 서버를 배치함으로 인해, 고 발열량을 갖고 있는 것으로 알려져 있다.²⁾ 전산실에서 연중 발생하는 고 발열 냉방부하를 에너지절약적으로 제거하기 위해, 구글에서도 전략적으로 적용하고 있는 무료 냉각시스템 중의 하나인 외기 냉방시스템과 외기냉수냉방시스템이 일반적으로 적용되고 있으며 이와 관

련된 자연에너지 활용 공기분배 시스템과 열원시스템의 성능향상연구는 국내에서도 많이 진행되었다.³⁾ 그러나 전산실의 환기효율을 평가한 연구는 전무하다. 이에 본 연구는 전산실 바닥면으로 급기 되고 향온향습기의 상부면이 환기되는 실에 토출속도를 변화시켜 전산실과 IT장비가 설치된 위치별로 냉각 및 환기성능을 분석하여 최적 공기분배 시스템을 제시하기 위해, 수행되었다. 급기온도는 토출속도에 관계없이 적합한 RCI⁴⁾ (Rack Cooling Index)를 유지하도록 14°C로 일정하게 고정하였고 급기구면적은 변화시켰다.

2. 전산실의 형상 및 해석조건

2.1 서버의 배치와 급기디퓨저 배치현황

전산실의 폭은 19.7 m이고 길이가 8 m인 소규모 전산실에 7열로 5단의 서버가 균일하게 배치되어져 있다. 4대의 향온향습기는 측면에 설치되어 있으며 향온향습기의 상부면 전체는 환기구로 활용된다. 5단으로 배치된 서버의 높이는 2.1 m이며 전산실의 천정고는 3.1 m이다. 이와 같이 설치된 서버에서 발생하는 냉방부하를 제거하기 위해, 전산실로 공급되는 냉기류의 온도는 14°C이며 실내 평균 온도는 23°C로 가정하였다. 전산실의 냉방을 위해, 서버와 인접한 바닥면에 설치된 각

Table 1 Number of supply diffusers installed according to the server location

discharge velocity (m/s)	Number of supply diffuser				the sum total
	between 1st and 2nd server	between 3rd and 4th server	between 5th and 6th server	side of 7th server	
1.5	21	26	26	13	86
2	18	20	18	12	68
2.5	16	18	14	8	56
3	14	14	12	6	46

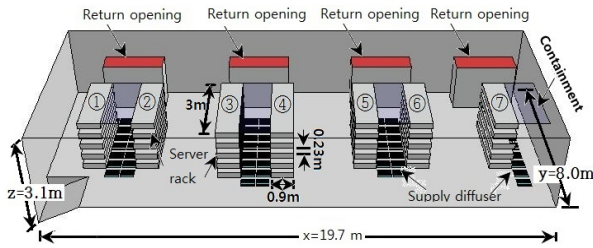


Fig. 1 Schematic diagram of the server room for $V_d = 2$ m/s.

형 급기구는 35%의 자유면적비율을 갖고 있으며 치수는 600×600 mm이다. 본 연구는 동일한 자유면적비를 갖는 급기구의 토출풍속이 서버의 냉각효과에 미치는 영향을 판단하기 위해, 수행되므로 급기구의 개수를 Table 1과 같이 토출풍속에 따라 변화시켰다. 그러므로 토출풍속이 감소됨에 따라 증가된 급기구는 Fig. 1과 같이 서버주변에 추가적으로 배치시켰다. 또한 최적 토출풍속이 선정되면 서버의 냉각효과를 향상시키기 위해, 일반적으로 적용되는 컨테인먼트(containment)를 급기구가 위치한 양쪽 서버의 상부면에 Fig. 1과 같이 설치하였다.

2.2 유동현상 해석조건

본 연구의 주요목적은 서버주변의 바닥면에 설치된 급기구의 토출풍속에 따라 변화되는 실내의 환기성능을 평가하는 것이다. 이를 위해, 사용된 경계조건은 항온항습기의 상부에 위치한 환기구는 압력경계조건을 적용하였으며 서버주변의 바닥면에 위치한 급기구는 Table 1과 같이 등속조건으로 가정하였으며 공기교환 효율을 평가하기 위한 명목시간 상수는 25.16 s이다. 면적당 발열부하는 약 2.51 kW/m²이며 이 부하는 7열로 배치된 5단 서버의 랙(rack)의 바닥면에서 균등하게 발생하는 것으로 가정하였고 각 랙(rack)상부의 자유공간은 0.9×3.0×0.23 m로 가정하였다. 본 연구는 환기성능

Table 2 Boundary condition for the numerical analysis

Volume (m ³)	Volume flow rate (m ³ /s)	Nominal time constant(s)	Temperature of the supply air(°C)	Heat load in the server rack(w)
447.88	17.797	25.16	14	200,265

을 평가하기 위해, 체강법(step-down method)을 사용하였다. 전산실의 공기교환효율은 실 평균연령과 명목시간상수를 이용하여 식(1)과 같이 평가하였다.

$$\epsilon = \frac{\tau_n}{\tau_x} \quad (1)$$

본 연구를 수행하기 위해 사용한 상용 프로그램은 Fluent Ver.3.4를 이며 해석을 위한 격자계는 257,000개의 비균일격자계를 사용하였으며 수렴조건은 압력방정식을 소스 항으로 구성되는 연속방정식이 10⁻⁸ 이하로 유지되는 조건으로 가정하였다. 압력방정식은 SIMPLE 알고리즘을 사용하였다. 또한 난류유동의 해석은 표준 벽함수(standard wall function)를 적용한 난류(k-ε 2-equation) 모델을 적용하였다.

3. 결과 및 고찰

전산실과 같이 발열부하가 큰 실은 일반적으로 열부력방향으로 환기를 수행하는 것이 적합하다고 알려져 있다. 그러므로 전산실은 치환환기시스템(displacement ventilation system)을 적용한 설계가 일반화 되어있다. 본 연구는 Fig. 1과 같이 서버가 배치된 실의 환기성능을 급기구의 토출속도에 따라 급기구의 개수를 변화시켜 그 영향을 평가하는 것이다. 본 연구를 수행하기 위

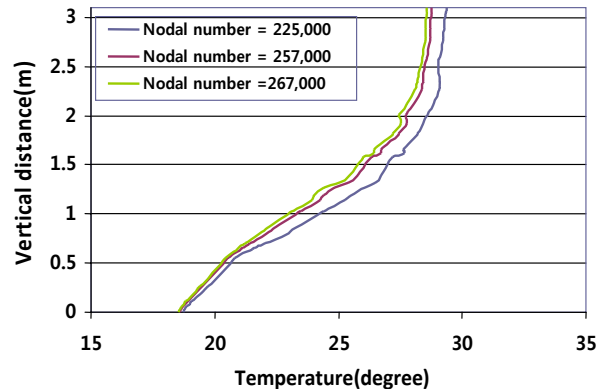


Fig. 2 LMA distribution along Z direction distance for various nodal numbers at $x = 10.9$ m, $y = 4$ m.

해, 수치해석 시 적합한 격자계의 타당성을 검증하고자 격자계를 22만 5천개에서 26만 7천개까지 변화시켜 해석을 수행하였으며 그 결과는 Fig. 2와 같다. 타당성검증은 스칼라변수인 온도를 사용하였다. 격자계가 작은 경우, 단열조건을 적용한 천정 면 부근에서 미소한 온도구배를 나타내고 있으나 격자계를 25,7000개 이상으로 증가시키면 단열현상이 유지되고 있음을 확인하였다. 또한 격자계의 개수가 증가함에 시킴에 따라 수직높이 변화에 따른 온도분포의 편차도 감소하는 것을 확인하였다. 전산실에 설치된 서버주변의 바닥면에 설치된 급기구에서 토출되는 냉기류의 속도에 관계없이 냉기류가 토출되는 서버사이 영역은 Fig. 3과 같이 서버의 최상부면에서 천정고까지 온도경계층이 존재하며 토출풍속이 3 m/s인 경우, 서버의 상부에 형성된 온도경계층의 두께가 다른 조건보다 얇아지고 온도가 현저히 낮게 유지되는 현상이 발생되고 있다. 그러나 냉기류가 토출되지 않는 서버사이의 공간은 열기둥(thermal plume)이 형성되고 급기구의 토출풍속이 증가할수록 온도가 미소하게 높아지는 현상을 나타내고 있다. 토출속도변화에 따른 국소공기연령분포는 Fig. 4에 나타내고 있다. 서버사이에 급기구가 설치된 영역은 토출속도가 증가함에 따라 전산실 상부의 공기연령이 온도분포와 유사하게 현저히 낮게 나타내고 있다. 또한 서버 사이에 급기구가 설치되지 않은 영역은 국소공기연령이 높게 나타나고 있다. 그러나 토출속도가 증가함에 따라 이 값이 현저히 증가하거나 낮아지는 영역이 동시에 존재한다. 이는 열 기둥이 형성되는 지점에서 정체영역을 발생하기 때문이다. Fig. 5는 급기구의 토출속도와 서버에 설치된 랙(rack)의 위치 변화에 따른 평균 온도분포를 나타내고 있다. 토출속도가 1.5 m/s인 경우, 실 평균 온도보다 랙(rack)의 최소온도가 높게 유지되고 있다. 그리고 5번째 서버를 제외하고 랙(rack)의 평균 온도가 30℃ 이상을 유지하고 있다. 그러나 급기구의 토출풍속이 2.0 m/s 이상으로 증가함에 따라 실 평균 온도보다 랙(rack)의 최소온도가 낮게 나타내는 서버가 존재하지만 7번째 서버의 경우, 실 평균 온도와 랙의 평균 온도의 편차가 증가하고 랙(rack)의 최대온도가 60℃부근까지 상승되고 있다. 또한 토출풍속이 2.5 m/s인 경우, 7번째 서버를 제외하고 실 평균 온도와 랙의 평균 온도의 차이가 가장 크게 나타나고 있다. 7번째 서버의 온도가 높아지는 이유는 토출풍속이 증가함에 따라 인접한 항온항습기로 직접 환기되는 짧은 재순환(Short recirculation)현상이 발생되기 때문이다.

Fig. 6는 Fig. 5와 동일하게 급기구의 토출속도와 서버의 위치 변화에 따른 국소공기연령의 평균값을 나타내고 있다. 실 평균 국소공기연령은 7번째 서버를 제외하고 토출속도에 관계없이 랙(rack)의 국소공기연령의 최대 값 보다 높게 유지되고 있다.

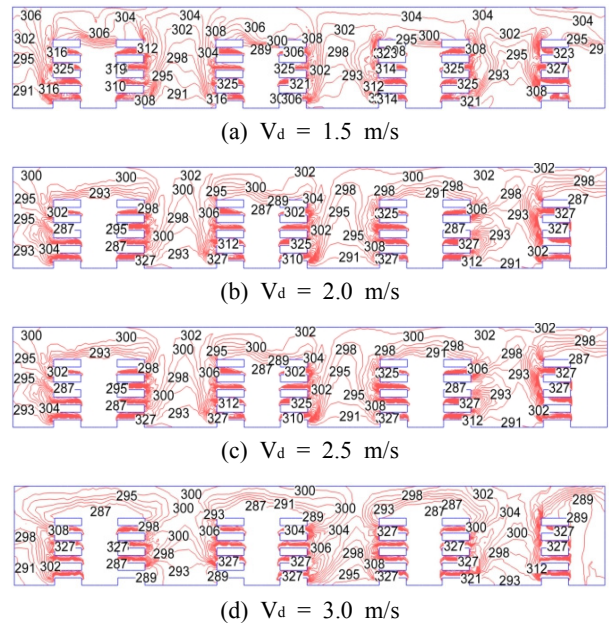


Fig. 3 Temperature distribution(Kelvin) along discharge velocity.

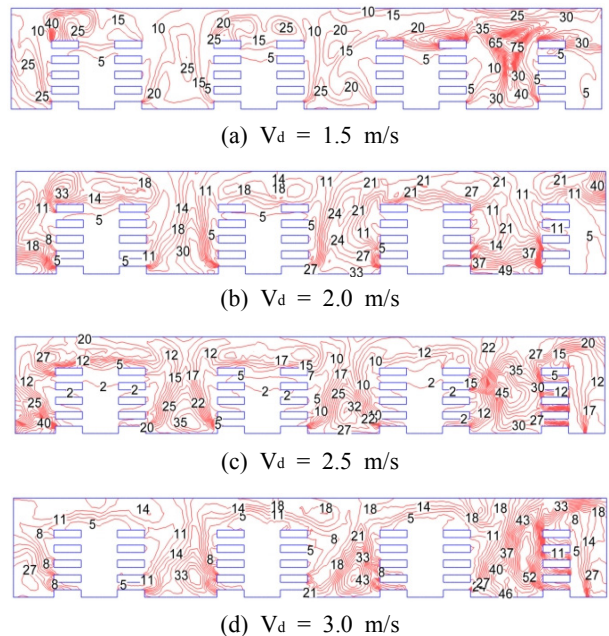
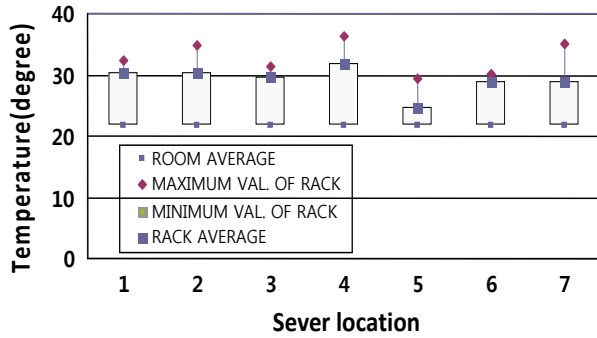
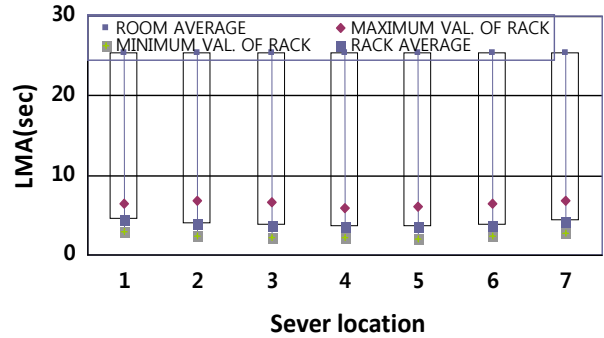


Fig. 4 Local mean age(LMA) distribution along discharge velocity.

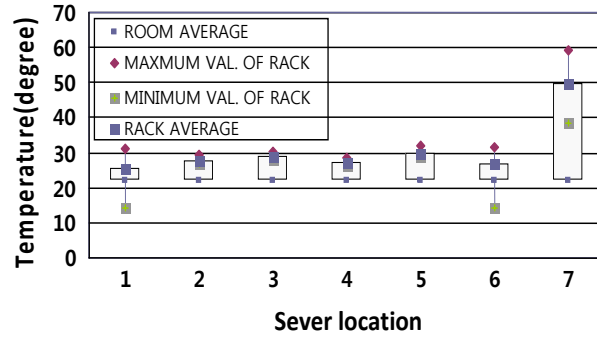
이는 서버주변의 바닥면에서 토출된 냉기류가 랙(rack)을 통하여 고루 이동된 후, 환기구로 이동하고 있음을 입증하는 것이다. 토출풍속이 3.0 m/s인 경우, 실 평균 국소공기연령과 랙(rack)의 최대공기연령은 토출풍속이 낮은 조건보다 미소하게 높게 유지되고 있다. 이는 토출



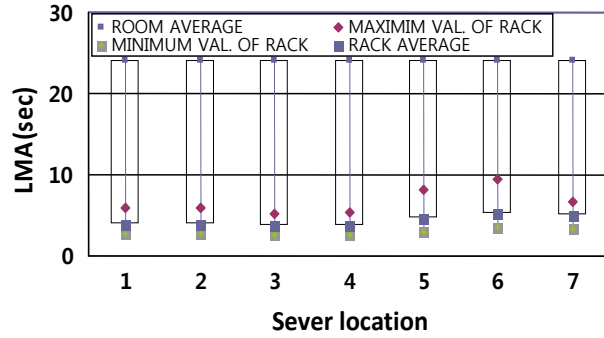
(a) $V_d = 1.5$ m/s



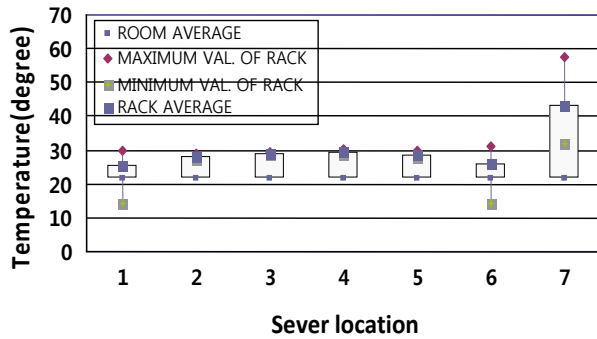
(a) $V_d = 1.5$ m/s



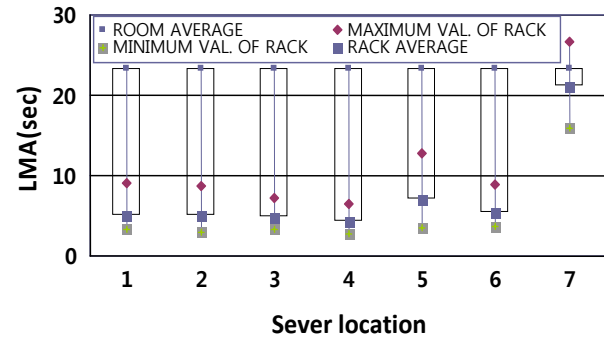
(b) $V_d = 2.0$ m/s



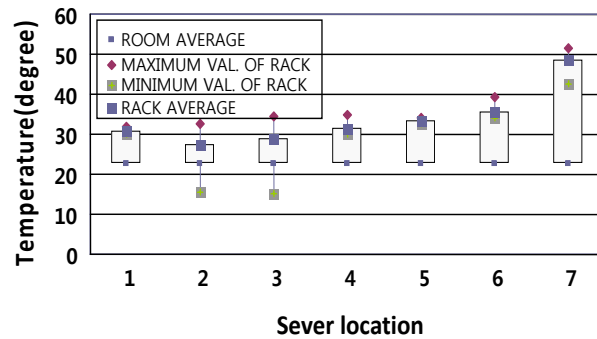
(b) $V_d = 2.0$ m/s



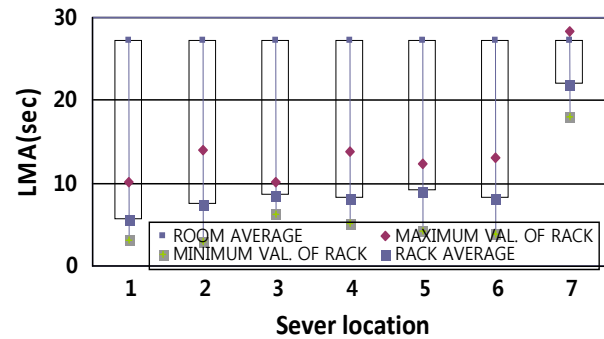
(c) $V_d = 2.5$ m/s



(c) $V_d = 2.5$ m/s



(d) $V_d = 3.0$ m/s



(d) $V_d = 3.0$ m/s

Fig. 5 Average temperature of the rack due to the discharge velocity and the server location.

Fig. 6 Local mean age of the rack due to the discharge velocity and the server location.

풍속이 증가함에 따라 실내에 체류하는 시간이 감소하기 때문이다. 또한 토출풍속이 증가함에 따라 7번째 서버에 설치된 랙(rack)의 평균 공기연령이 실 평균공기연령보다 미소하게 증가하는 현상을 나타내고 있다. 이는 7번째 서버의 하부면에 설치된 급기구에서 토출된 냉기류가 랙(rack)사이로 이동하지 않고 인접한 항온항습기의 환기구로 직접 이동하는 짧은 재순환현상이 발생되었기 때문으로 판단된다. Fig. 7은 Fig. 3에서 Fig. 6까지 고찰한 실 평균공기연령과 실 평균 온도를 토출

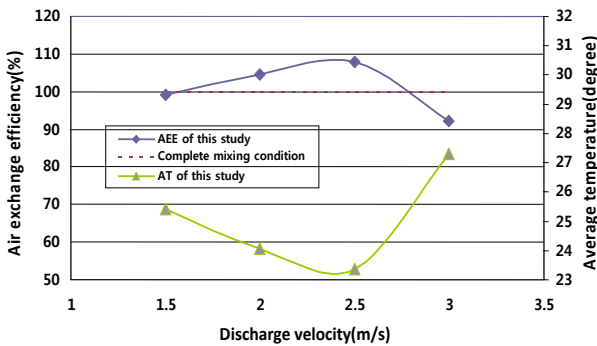


Fig. 7 Air exchange efficiency and average temperature along with the discharge velocity.

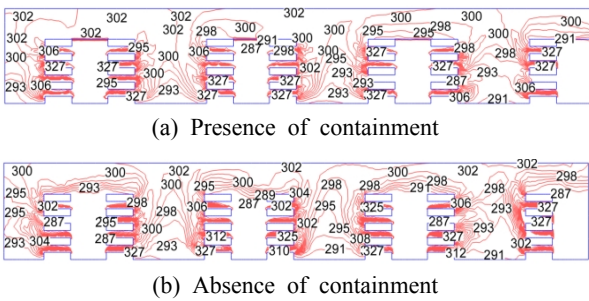


Fig. 8 Temperature distribution according to the presence or absence of the containment for $V_d = 2.5$ m/s.

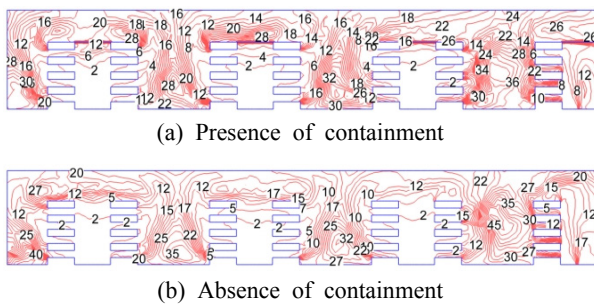


Fig. 9 Local mean age(LMA) distribution according to the presence or absence of the containment for $V_d = 2.5$ m/s.

속도변화에 따라 정리한 것이다. 급기구의 개구율이 동일한 조건에서 급기구의 토출속도를 증가하면 바닥면에 설치된 급기구의 배치면적이 감소하는 장점을 갖고 있으나 토출풍속이 3 m/s에서는 공기교환효율이 완전혼합조건보다 8%정도 낮게 나타내며 이로 인해, 실 평균 온도는 27.5°C까지 증가되고 있다. 이러한 현상은 토출풍속이 1.5 m/s인 경우에도 발생하고 있다. 토출풍속이 1.5 m/s인 경우는 설치되는 급기구의 개수가 증가하여 항온항습기 부근에도 설치됨으로 인해, 짧은 재순환(short recirculation)유동이 발생되기 때문이다. 최대 공기교환효율은 토출풍속이 2.5 m/s에서 나타났으며 완전혼합조건보다 약 8% 이상 향상되었고 이로 인해, 실 평균 온도가 23.2°C로 가장 낮게 유지되고 있다. 이러한 현상을 종합한 결과, 전산실에 설치되는 급기구의 토출속도는 낮게 유지하고 짧은 재순환 유동이 발생하지 않도록 서버사이에 급기구를 효과적으로 배치한다면 공기교환효율을 향상시킬 수 있어 토출속도를 3 m/s로 높게 유지할 필요가 없는 것으로 판단되었다.

Fig. 8과 Fig. 9는 토출속도가 2.5 m/s인 경우, 바닥면에 급기구를 설치한 서버의 상부 면에 컨테이너먼트를 설치한 경우, 온도분포와 공기연령분포를 각각 나타내고 있다. 컨테이너먼트를 설치한 경우, 실 평균 온도는 22.9°C이며 공기교환효율은 110%를 나타내고 있어 컨테이너먼트를 설치하지 않는 경우보다 실 평균 온도는 약 0.3°C 감소하였고 공기교환효율은 약 2%정도 미소하게 증가하였다. 이는 Fig. 8(b)와 같이 컨테이너먼트가 설치되지 않아도 급기구를 설치한 서버사이의 서버상부영역에서 열성층화 현상이 발생하여 냉기류가 상승하여 천장에 도달하는 것을 차단하기 때문으로 판단된다. 이는 천정면과 상부사이의 공간이 낮아서 열성층화 현상이 발생되기 때문이며, 국소 공기연령은 Fig. 9과 같이 서버사이에 급기구를 설치한 지점 상부의 공기연령분포가 컨테이너먼트의 설치유무에 관계없이 유사한 분포를 나타낸다.

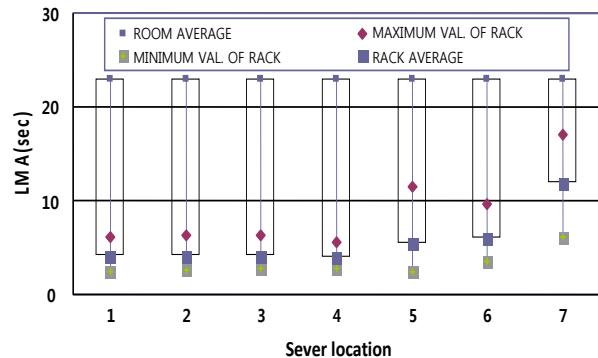


Fig. 10 Local mean age of the condition installed the containment for $V_d = 2.5$ m/s.

그러나 7번째 서버 우측에 컨테인먼트가 설치된 경우, 국소공기연령분포가 차이나는 것을 알 수 있으며 이로 인해, Fig. 10와 같이 7번째 서버에 설치된 랙(rack)의 최대 국소공기연령이 실 평균 국소공기연령보다 낮게 유지되어 컨테인먼트의 설치효과가 간헐적으로 나타남을 확인하였다.

4. 결 론

전산실에 일반적으로 설치되는 치환환기시스템(displacement ventilation)의 환기성능에 토출풍속이 미치는 영향을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 전산실의 환기성능을 향상시키기 위해서는 토출풍속이 낮게 유지되어야 하며 본 연구에서는 토출풍속을 2.5 m/s인 경우, 환기성능이 가장 좋은 것으로 나타났다.
- (2) 서버의 높이가 높은 경우, 컨테인먼트의 설치로 인한 환기성능 향상효과는 크지 않다.
- (3) 서버사이에 급기구를 설치하지 않은 영역은 온열 쾌적감 및 환기성능이 악화됨을 확인하였으며 이

러한 영역도 환기성능을 개선하기 위해, 급기구를 간헐 배치해야 한다.

References

1. Cooney, M., 2011, Google : Five data center energy saving ideas you can implement, Network World.
2. Cho, J. K., Jeong, C. S., and Kim, B. S., 2008, The planning and design of the optimal cooling system for IT environments in data centers, Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 24, No. 12, pp. 313-320.
3. Cho, J. K., Jeong, C. S., and Kim, B. S., 2010, Viability of HVAC system for energy conservation in high density internal-load dominated buildings, Korean Journal of Air-conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 22, No. 8, pp. 530-537.
4. ASHRAE, 2012, High density data centers-case studies and best practices, ASHRAE Datacom series, Vol. 7, pp. 26-28.