212 설비공학논문집 제 24 권 제 3 호(2012)/pp. 212-217
http://dx.doi.org/10.6110/KJACR.2012.24.3.212

데이터센터의 공조시스템 계획을 위한 IT장비의 전력 및 발열량 예측에 대한 연구

조 진 균†, 신 승 호
삼성물산(주) 건설부문 기술연구센터 친환경에너지연구소

Power and Heat Load of IT Equipment Projections for New Data Center's HVAC System Design

Jin-Kyun Cho†, Seung-Ho Shin
Construction Technology Center, Samsung C&T Corporation, Seoul 137-956, Korea

(Received October 4, 2011; revision received December 7, 2011)

ABSTRACT: The cooling of data centers has emerged as a significant challenge as the density of IT equipment increased. With the rapid increasing of heat load and cooling system, predictions for electronics power trends have been closely watched. A data center power density projection is needed so that IT organizations can develop data centers with adequate cooling for reasonable lifetimes. This paper will discuss the need for something more than processor and equipment power trend projections which have overestimated the required infrastructure for customers. This projection will use data from a survey of actual enterprise data centers and the ASHRAE projections to formulate a data center server heat load trend projection.

Key words: Data center(데이터센터), Power trend(전력량 경향), IT server heat load(IT서버 발열), Rack server(랙 서버), Blade server(블레이드 서버)

1. 서 론

1.1 연구의 배경

전 세계적으로 클라우드 데이터센터 프로젝트가 화두다. 최근 데이터센터의 전력은 IT장비의 기술 발전에 따라 가파른 증가추세를 보이고 있으며 이와 동시에 IT서버에서 발생하는 발열도 지속적으로 증가하고 있다. 서버발열이 증가하면 이를 제거해야 하는 냉각시스템의 용량이 증가하고 에너지 사용량도 직접적인 영향을 받는다. 2000년 이후 IDC와 클라우드 데이터센터 등장으로 x86 기반의 다수의 서버가 대량으로 검색서버로 사용되고 있으며 이러한 볼륨서버가 데이터센터의 68% 전력을 소모하고 있다.[(1)] 현대의 데이터센터의 효과적인 서버 냉각솔루션을 설계하기 위해 데이터센터의 전력 및 발열밀도를 정확하게 예측하는 것이 매우 중요하다. 이러한 조사는 최초에 서버제조업체로부터 시작되어 실질적으로 이 분야에서 지난 10년 동안 많은 연구가 진행되었다. IT서버의 사용전력 및 발열이 지속적으로 증가함에 따라 서버냉각을 위한 시스템의 계획과정에서 명확한 기준을 정하기가 더욱 어려워지고 있다. 또한 데이터센터의 계획시점과 완공 후 운영단계의 서버의 서버발열량이 상이하여 과오를 범하는 경우가 많다. 그리고 지어진지 5년 이상 된 데이터센터는 전력시스템과 냉각시스템을 완전히 새로 교체해야 할 필요성도 제기되고 있다.

† Corresponding author
Tel.: +82-2-2145-6999; fax: +82-2-2145-7660
E-mail address: jinkyun.cho@samsung.com

1.2 선행연구 및 연구방향

컴퓨터의 역사와 함께 전산센터는 과거에도 존재하고 있었지만 IT서버 기술발전에 따라서 새로운 기준정립이 필요하게 되었다. 관련 연구로는 1990년대 후반에는 HP와 같은 서버업체들에 의한 단지 microprocessor roadmaps 정도의 정보만 제공되었지만 서버전력예측 분야에서 보다 많은 정보가 필요하다는 인식이 형성되었다.[2] 대부분의 서버업체들은 서버전원이 크게 증가하고 있다고 인지하고 고객이 요구사항에 대비하기 시작하여 주요 IT 기업은 Thermal Management Consortium을 구성하였고, 1998년 최초로 IT장비의 전력(발열)에 대한 예측연구를 시작하였다.[3] 2000년 Uptime Institute에서 각 회사의 제품군을 기준으로 2010년까지 전력량을 예측하여 발표하였는데 이는 관련 분야에서 가장 중요한 참고자료가 되었다.[4] 그러나 제시하는 랙(rack)의 단위면적 전력밀도로는 IT서버룸의 발열밀도를 얻기는 어려웠다. 이후 ASHRAE는 분과기술위원회인 TC 9.9를 개설하였다. 그리고 2005년 Uptime Institute에서 발표한 데이터를 기반으로 고밀도서버를 포함하고 예측기간도 2014년까지 확장하여 새로운 IT장비의 전력 및 발열 경향차트를 발표하였다.[5] Fig. 1은 Uptime Institute에서 발표한 초기의 IT장비의 전력경향차트(a)와 이를 기반으로 발전시킨 ASHRAE TC 9.9의 차트(b)를 보여준다. 그러나 이러한 경향차트는 서버를 설치하는 랙에 최대로 설치했을 때의 이론적인 수치로 현실에서보다는 크게 반영되어있다. 즉 서버의 설치밀도, 종류 및 비율이 반영되지 않았기 때문에 그 수치를 기준으로 냉각시스템을 선정하는 데에는 무리가 있었다. 이러한 문제로 비현실적이라는 우려가 제기되었다. Belady and Malone[2]는 다수의 데이터센터의 조사를 통해 랙에 탑재 가능한 서버의 최대 및 평균 전력을 고려한 서버의 발열을 예측하였으며, Cho et al.[6]은 ASHRAE TC 9.9에서 제시한 서버(최소, 표준, 최대구성)정보를 바탕으로 데이터센터에 서버가 설치되는 면적을 조사하여 서버발열밀도 및 수치를 도출하였다. 이러한 논문은 현실적인 서버 발열량을 산출하려는 목적에서 시작되었다. 그러나 블레이드(Blade) 서버 등 고발열 서버가 랙에 구성되는 비율 등이 정확하게 반영되어 예측되지 못했다. 본 논문에서는 데이터센터의 합리적인 공조시스템 계획을 위한 IT장비의 발열량을 현실적으로 예측하고 제시하는데 그 목적이 있다. 최종사용자(IT 관련 엔지니어)에게 유용하게 사용 가능하도록 현실성을 고려하여 접근 하였다. 기본적으로 ASHRAE의 최대발열량을 기준으로 서버의 종류와 비율에 따른 조합을 조사하고 이를 기반으로 현실적인 발열밀도를 도출하고 제시하였다.

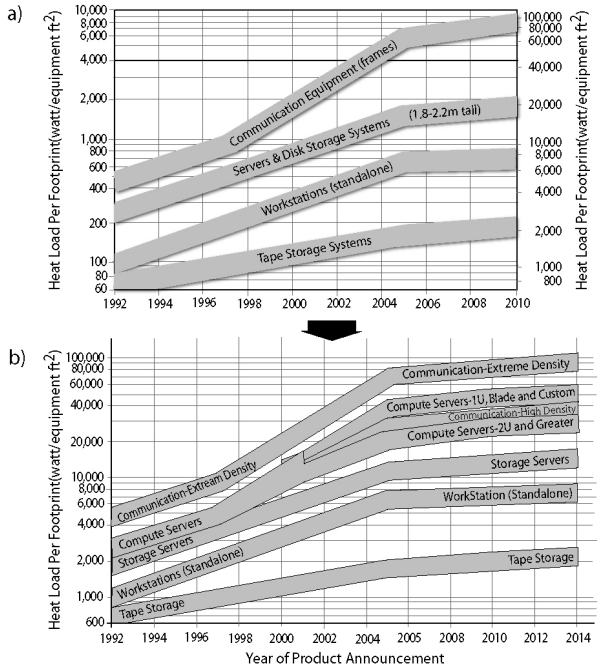


Fig. 1 Old and new updated and expanded IT servers' power trend chart.

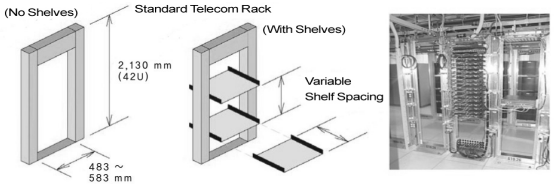
2. IT서버의 발열경향 분석

2.1 IT서버의 종류 및 구성

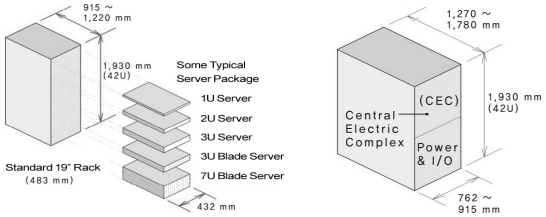
데이터센터에서의 전산발열량은 IT서버의 소비전력과 동일하다. 극히 일부의 예외를 제외하고는 IT서버 전력사용의 99% 이상이 열로 변환 된다.[6] IT서버는 Fig. 2에서와 같이 용도, 형태 등에 따라 크게 랙에 탑재가 가능한 볼륨서버, 워크스테이션, 저장서버 및 블레이드 서버 등으로 구분되고 있다. 서버의 크기는 유닛 단위(1U, 2U, 3U, 7U)로 표현되며 1U 서버의 경우 두께가 약 45 mm이다. 보통 표준 랙에 서버를 탑재할 경우 42U가 일반적이다. 시스템 확장성, 적용성, 그리고 높은 가격대 성능비도 만족시키기 위해서 랙 서버가 보편적으로 적용되었으나 최근에는 랙 서버는 부피가 커지고 각 모듈들을 케이블로 연결함으로써 시스템 확장성과 유지관리에 불리하여 블레이드 서버가 급속하게 적용되고 있다. 블레이드 서버는 단일 고밀도 회로판에 전력

과 다수의 전통적인 서버를 집약시켜 하드웨어 컴포넌트를 줄이고 데이터센터 공간을 절약한다. 보통 3U 이상의 세시에 상하로 삽입되는 블레이드 서버는 수십 개의 서버들을 하나의 캐비닛에 장착할 수 있게 되었다. 따라서 단위면적당 장비의 발열량이 급격하게 증가하게 되었다. IT서버는 냉각된 공기를 전면부에서 받아 후면부로 내보내 발열을 제거하는 F-R(front to rear) 방식이 일반적이다.

IT서버 배치는 대규모 데이터센터의 경우 IT서버의 개수가 많기 때문에 효과적인 냉각을 위해 hot aisle과 cold aisle로 공조구역을 설정하여 효과적인 공조를 한다. Table 1은 보편적인 IT서버 및 aisle의 배치기준이다.



(a) Typical telecommunications rack config



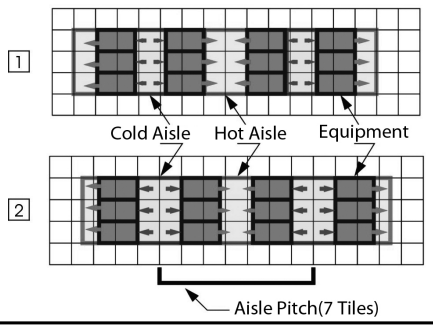
(b) Typical compute sever rack and packaging

(c) Typical storage server and blade server

Fig. 2 Datacom equipment packaging.[5]

Table 1 Aisle pitch allocation[7]

	Tile size	Aisle pitch	Nominal cold aisle size	Hotaisle size
U.S	2 ft (610 ㎜)	14 ft (4,267 ㎜)	4 ft (1,220 ㎜)	3 ft (914 ㎜)
Global	600 ㎜ (23.6 in)	4,200 ㎜ (13.78 ft)	1200 ㎜ (3.94 ft)	914 ㎜ (3 ft)



2.2 IT서버의 발열량 변화 및 경향분석

Fig. 1의 (b) 경향그래프는 랙에 서버유닛을 최대로 배치할 때를 기준으로 발열량의 최고치를 제시한 이론적인 수치이다. 따라서 IT서버 내 프로세서, 메모리 또는 I/O 장치 그리고 랙 내에 설치된 IT서버의 수량에 따라서 실제 전력(발열)량은 상이할 수 있다. 그러나 현재 데이터센터에 적용되는 주요 제조업체의 IT서버의 정보가 반영되어 있기 때문에 전력(발열)량에 대한 절대적인 수치보다는 증가비율에 대한 정보의 활용측면에서 매우 유용한 자료이다. IT서버의 발열 증가율을 보면 2005년 기준으로 1992년부터 저장서버는 약 6배 1U, 2U 또는 블레이드 서버는 최대 약 15배까지 발열량이 증가했다. 앞으로도 급격한 증가는 아니라도 계속적인 증가가 예상되어 2005년을 기준으로 2014년까지 평균 약 1.5배에 다다를 것으로 예상하고 있다. 미국의 데이터센터 사용자 그룹에서 2006 가동 중인 97개,[2] 계획 중인 28개[8]의 데이터센터의 전력량은 조사한 결과, Fig. 3과 같이 랙 당 5~8 kW가 전체의 34%를 차지하고 있으며 15 kW 이상인 고밀도 랙을 구성한 곳도 8%에 이르렀다. 조사대상만 보면 평균 9.5 kW/rack, 상면(raised floor)의 단위면적 당 전력 밀도도 1,500 W/㎡ 수준이었다. 앞에서도 언급되었듯이 블레이드 서버의 등장으로 데이터센터의

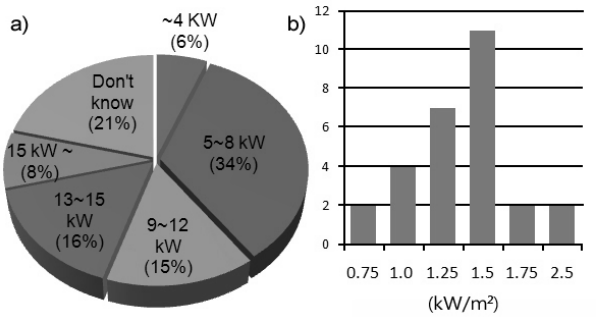


Fig. 3 Maximum rack power(kW/rack) and datacenter power density(kW/㎡) survey results.

전산발열의 예측이 보다 복잡하게 되었다. 2002년 IDC의 조사에 의하면 출하량 기준으로 블레이드 서버가 전체 서버에서 차지한 비율은 1%가 채 되지 못했다. 그러나 2006년 7.9%에서 2013년 22%까지 증가할 것으로 예측하였다.[9] 국내의 경우도 2007년 3.2%, 2013년 22.6%로 전망하고 있다. 그러나 현재의 서버냉각시스템의 용량을 고려한다면 데이터센터에서 하나의 랙에 30% 이상의 비율이 적용하기 힘들기 때문에 2015년 까지는 이 수준을 유지할 것으로 예상된다(Fig. 4 참조).

3. 데이터센터의 전산발열 예측

3.1 현실적인 IT서버 발열예측 방법

현재까지도 데이터센터의 전력 및 발열밀도는 ASHRAE의 경향차트가 가장 빈번하게 참고 되고 있다. 그러나 여기는 랙에 서버를 최대로 설치했을 때를 가정한 값이기 때문에 실제보다 과다하며, 이 수치를 바로 서버냉각시스템 계획을 위해 사용할 수 없다. 따라서 많은 데이터센터 HVAC 엔지니어들이 설계에서 많은 과오를 범하고 있다. 본 장에서는 현실적인 데이터센터의 서버구성 정보를 반영한 전력, 발열밀도를 산출하는 방법을 찾는 것인 중요하다. 랙에 탑재 가능한 서버의 최대 및 평균 전력(발열)을 고려하여 현실적인 서버의 발열을 예측해야한다. 이를 위해서 데이터센터의 IT 서버와 관련된 변수들이 우선적으로 정의되어야 한다. 또한 최대 전력밀도는 ASHRAE TC 9.9[5] 기준을 전제로 한다.

3.1.1 랙 서버 면적(F_{RA} : Rack Area Factor)

데이터센터의 전력 및 발열밀도는 IT장비의 단위면적(㎡)을 기준으로 표시가 되었다. 이러한 수치를 랙 단위(W/rack)로 변환하려면 랙 서버 면적계수를 가정해야한다. 일반적인 랙 서버의 점유면적은 Fig. 2(b)의 보편적인 19인치 랙을 기준으로 산출하면 F_{RA} = 0.6 ㎡/rack과 같다. 이 계수를 사용하여 단위 랙당 발열량은 재산출하면 Fig. 5와 같다. 서버구성에 따라 2006년 기준으로 15~25 kW/rack, 2015년까지 약 20~35 kW/rack에 다다른다. 그러나 2006년을 기준으로 2장에서 실제 조사된 초 고밀도 데이터센터 군에서도 최대 15 kW/rack, 평균 10 kW/rack으로 상당한 차이가 보였다. 따라서 랙 서버의 구성비율 및 종류에 대한 현실적인 인자가 고려되어야 한다.

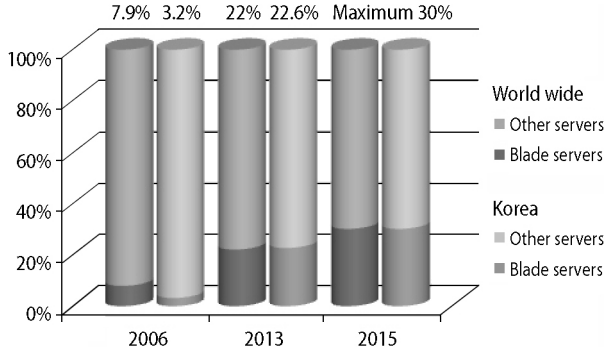


Fig. 4 2006~2015 blade server market trends.

3.1.2 랙 적재율(F_{RL} : Rack Loading Factor)

데이터센터는 보통 1U 서버 42대를 설치할 수 있는 42U 랙을 주로 사용하고 있다. 하지만 42U 랙에 서버를 평균 50% 수준으로 설치하고 있다. 본 연구에서는 최대 F_{RL} = 0.75로 가정하였다.

3.1.3 워크 셀(Work Cell)[8]

Fig. 6의 워크 셀은 랙 서버와 공조를 위한 cold aisle과 hot aisle로 구성된 최소의 상면공간을 의미한다. 일반적인 워크 셀의 Table 1에서와 같이 바닥타일(0.6 m × 0.6 m) 3.5개에 해당하는 1.3 ㎡의 면적이다.

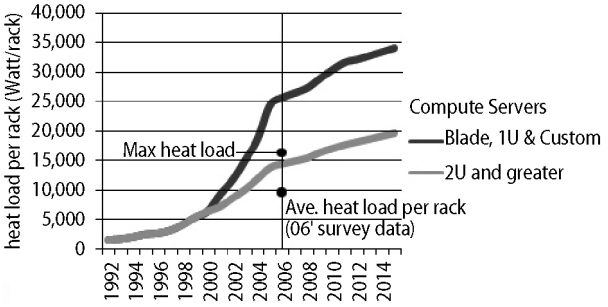


Fig. 5 ASHRAE rack server power trend chart.

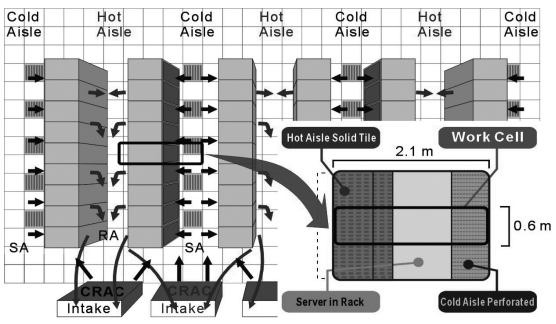


Fig. 6 Single work cell in a data center.

3.1.4 랙 점유율(F_{RP} : Rack Penetration Factor)

IT서버 냉각을 위한 HVAC 시스템 계획에 필요한 발열밀도는 최종적으로 IT서버룸의 상면공간의 단위면적 당 발열량으로 산출되어야 한다. 랙의 발열량 정보가 있으면 해당하는 상면공간면적(A_{DC})과 랙 서버설치면적($A_{rack-total}$)으로 점유율을 계산하면 된다. 랙 서버 점유율은 식(1)과 같이 정의된다.[2] 데이터센터에서 랙 서버 점유율은 일반적으로 F_{RP} = 0.25정도이다. 하지만 랙 서버 면적계수(F_{RA} = 0.6 ㎡/rack)와 단위 워크 셀(1.3 ㎡) 기준으로 점유율을 산출하면 0.48까지 증가한다. 따라서 F_{RP}은 0.25~0.48 사이의 값을 기준으로 하였다.

$$F_{RP}(x) = A_{rack-total}(x)/A_{DC}(x) \quad (1)$$

3.1.5 블레이드 서버 비율(F_{blade} : Blade Factor)

블레이드 서버는 일반 서버에 비해 집적도가 매우 높고, 전력 및 발열량이 매우 크기 때문에 발열밀도 계산 시, 랙에서 블레이드 서버가 차지하는 비율이 중요하다. 블레이드 서버의 비율은 Fig. 4의 증가비율을 고려하여 반영해야 한다.

3.2 데이터센터 전산발열 계산 및 예측

앞에서 정의한 변수(계수)를 사용하여 데이터센터의 현실성을 고려한 실질적인 전산발열을 산출할 수 있으며, 데이터센터 전산발열을 예측하는 함수는 식(2), 식(3)과 같이 도출하였다. IT서버 랙 당 발열량(P_{rack})은 기본적으로 IT서버 자체의 전력/발열 정보가 비교적 정확하게 반영된 ASHRAE TC 9.9의 데이터를 사용하여 블레이드 서버 비율(F_{blade})과 랙 적재율(F_{RL})을 고려하여 산출이 가능하다. 그리고 이 수치에 랙 점유율(F_{RP})과 랙 서버 면적(F_{RA})을 적용하면 IT서버룸의 단위면적당 기기 발열(P_{DC})을 도출

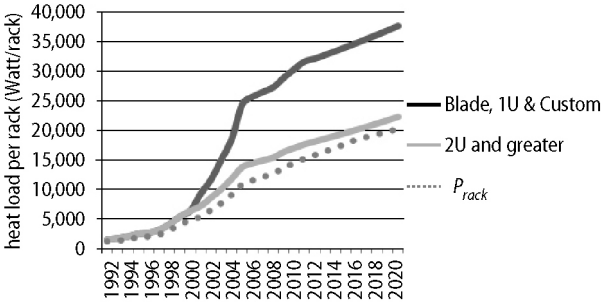


Fig. 7 Rack power prediction with blade factor.

할 수 있다. Table 2에서는 단위 랙의 발열량(P_{rack})과 데이터센터의 상면공간의 단위면적 당 IT장비 발열밀도(P_{DC})를 서버의 전력증가 비율을 고려하여 2020년까지의 예측량을 보여준다. 여기에 적용된 계수들은 앞 절에서 조사된 보편적 데이터를 토대로 도출하여 적용하였기 때문에 보다 현실적인 수치를 제시할 수 있었다. Fig. 7은 랙 적재율(F_{RL})과 블레이드 서버 비율(F_{blade})을 고려하여 예측한 단위 랙 서버의 발열량(P_{rack})으로 2011년 현재 15 kW/rack, 2020년까지 꾸준하게 증가하여 20 kW/rack에 이를 것으로 예상된다.

$$P_{rack}(x) = \{P_{100\%2U+}(x) + F_{blade}(P_{100\%blade}(x - P_{100\%2u+}(x))\} \cdot F_{RL} \quad (2)$$

$$P_{DC}(x) = P_{rack}(x) \cdot F_{RP}/F_{RA} \quad (3)$$

단위 랙 서버의 발열량을 기준으로 데이터센터의 발열밀도(P_{DC})를 연도별로 산출이 가능하며 Fig 8.과 같다. 랙 점유율(F_{RP})과 랙 면적(F_{RA}) 등 현실적인 계수를 적용하여 결과 값을 도출하였고 2011년 6 kW/㎡에서 2020년 최대 16 kW/㎡까지 증가되는 추세이다. ASHRAE에서 초기에 제시한 수치보다는 현실적인 변수들이 적용되어 합리적인 발열밀도를 제시하였으나 초 고밀도 데이터센터에 속한다.

Table 2 Projected IT server heat load trends based on ASHRAE TC 9.9

x (year)	$P_{ASHRAE(Blade/1U/Custom)}$ (W/rack)	$P_{ASHRAE(2U/greater)}$ (W/rack)	F_{brade} –	F_{RL} –	F_{RP} –	F_{RA} (㎡/rack)	P_{rack} (W/rack)	$P_{DC(Ave.)}$ (W/㎡)	$P_{DC(max)}$ (W/㎡)
2006	25,800	14,500	0.08	0.75	0.25 ~0.48	0.6	11,600	4,800	9,200
2008	27,400	15,500	0.12				12,700	5,300	10,200
2010	30,500	17,100	0.16				14,500	6,000	11,600
2012	32,300	18,200	0.21				15,800	6,600	12,700
2014	33,500	19,200	0.25				17,100	7,100	13,700
2016	34,900	20,200	0.30				18,500	7,700	14,800
2018	36,300	21,300	0.30				19,300	8,100	15,500
2020	37,800	22,400	0.30				20,300	8,400	16,200

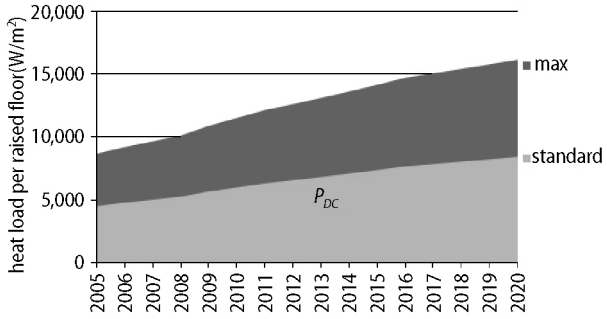


Fig. 8 Actual data center heat load prediction.

4. 결 론

본 연구는 데이터센터의 합리적인 공조시스템 계획을 위한 IT장비의 전력 및 발열량을 현실적으로 예측하고 제시하였다. 그 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

(1) 기존의 데이터센터의 발열밀도는 랙에 서버를 최대로 설치했을 때를 가정한 값이기 때문에 현실성 결여와 실제보다 과다한 것이 문제였다.

(2) 현실적인 데이터센터의 발열밀도를 도출하기 위해 관련된 변수(랙 서버 면적, 랙 적재율, 워크 셀, 랙 점유율 및 블레이드 서버 비율)를 도출하고 현실적인 전산발열을 산출하는 함수를 유도하여 2020년까지 확장한 데이터센터의 전력 밀도를 예측하였다.

(3) 현실적인 변수 값을 반영하여 예측한 데이터센터 발열밀도는 ASHRAE에서 제시한 수치보다는 합리적인 수치를 제시하였으나 10 kW/㎡가 넘는 초 고밀도 데이터센터 군을 형성한다.

현재의 CRAC 유닛(최대용량 : 30RT)이 담당할 수 있는 랙 서버의 수량이 매우 적어지기 때문에 기존의 전형적인 서버냉각 시스템은 더 이상 유효하지 못하게 된다. 따라서 프리쿨링 운전, 외기 냉방, 대온도차 공조를 통한 에너지절약 방법을 신중하게 고려해야 할 것으로 사료된다. 또한 향후 데이터센터 종류 및 서비스에 따른 발열밀도를 예측하는 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Josselyn, S. L., 2007, Worldwide and regional server 2007~2011 forecast, IDC Market Analysis.
2. Belady, C. and Malone, C., 2006, Datacenter power projection to 2014, Thermal and Thermo-mechanical Phenomena in Electronics Systems, pp. 439-444.
3. Belady, C., Schmidt, R. R., Classen, A., Davidson, T., Herrlin, M. K., Novotny, S., and Perry, R., 2004, Evolution of data center environmental guidelines, 2004 Winter Annual Meeting, pp. 559-566.
4. Brill, K. G., 2000, 2005~2010 Heat density trends in data processing, Computer Systems, and Telecommunications Equipment, The Uptime Institute, Inc.
5. ASHRAE TC 9.9, 2005, Datacom equipment power trends and cooling application.
6. Cho, J. K., Jeong, C. S., and Kim, B. 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, pp. 315-322.
7. ASHRAE TC 9.9, 2004, Thermal guidelines for data processing environments.
8. Patterson, M. K. and Loeffler, M., 2007, Data center TCO : a comparison of high-density and low-density spaces, intel co.
9. Hewitt, J., 2008, Dataquest insight : blade servers continue steady proliferation, Gartner Research Note (G00162493).