creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

[UCI]I804:24011-200000263975

2013년 8월

석사학위논문

데이터센터의 외기도입 냉방시스템 적용에 따른 에너지 저감효과 및 경제성 분석

조선대학교 대학원

건축공학과 (건축공학전공)

박 성 현

데이터센터의 외기도입 냉방시스템 적용에 따른 에너지 저감효과 및 경제성 분석

Application of the Air-side economizer system to data centers for achieving Energy saving and Economic performance

2013년 8월 23일

조선대학교 대학원

건축공학과 (건축공학전공)

박 성 현

데이터센터의 외기도입 냉방시스템 적용에 따른 에너지 저감효과 및 경제성 분석

지도교수 조 규 만

이 논문을 공학 석사학위신청 논문으로 제출함.

2013년 4월

조선대학교 대학원

건축공학과 (건축공학전공)

박 성 현

박 성 현의 석사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 조 창 근

위 원 조선대학교 교수 조 규 만

위 원 국민대학교 교수 서 장 후

2011년 5월

조선대학교 대학원

목 차

ABSTRACT

1. 서 론

1.1. 연구의 배경 및 목적 ····· 1
1.2. 연구의 방법 및 절차 ····· 3
1.3. 선행연구 고찰 ····· 5

2. 데이터센터의 이론적 고찰

2.1. 데이터센터의 정의 ····· 7
2.2. 데이터센터의 국내외 산업 동향 ····· 9
2.2.1. 국내외 산업 동향 ····· 9
2.2.2. 국내외 기술 및 특허 동향 ····· 10
2.3. 에너지 관련 정부정책 현황 ····· 11

3. 데이터센터의 냉방에너지 소비량 분석

3.1. 데이터센터 도입 가능 냉방시스템 ····· 14
3.2. 대상 데이터센터 개요 ····· 16
3.2.1. 대상 데이터센터 건물 ····· 16
3.2.2. 중앙냉수 냉방시스템 구성 장비 사양 ····· 18
3.3. TRNSYS 동적에너지 시뮬레이션 개요 ····· 19
3.4. 데이터센터 서버 룸의 냉방부하 분석 ····· 20
3.4.1. 냉방부하 예측 에너지 시뮬레이션 경계 조건 ····· 20
3.4.2. 냉방부하 예측 에너지 시뮬레이션 결과 ····· 21
3.5. 데이터센터의 냉방에너지 소비량 분석 ····· 22
3.5.1. 냉방시스템의 에너지 시뮬레이션 경계 조건 ····· 22
3.5.2. 냉방시스템의 에너지 소비량 분석 ····· 28
3.6. 냉수 설정온도 개선에 따른 에너지 소비량 저감효과 ····· 30
3.6.1. 중앙냉수 냉방시스템의 에너지 소비량 개선 ····· 30
3.6.2. 냉수 설정온도 변화에 따른 CRAH 취출온도 변화 ····· 31
3.6.3. 냉수 설정온도 변화별 에너지 저감효과 분석 ····· 32

4. 외기도입 냉방시스템의 에너지 저감효과 분석

4.1. 외기도입 냉방시스템 개요 ····· 34
4.2. 외기도입용 급기팬 사양 ····· 36
4.3. 외기도입 냉방시스템 제어방식 ····· 37
4.4. 적용필터 사양 및 교체주기 예측 ····· 40
4.5. Case study를 통한 에너지 저감효과 분석 ····· 45
4.5.1. Case 설정 ····· 45
4.5.2. 제어방식별 에너지 소비량 분석 ····· 45
4.5.3. 적용필터별 에너지 소비량 분석 ····· 48
4.5.4. Case별 외기도입 냉방시스템의 에너지 저감효과 ····· 52

5. LCC 분석을 통한 외기도입 냉방시스템의 경제성 분석

5.1. LCC 분석 개요 ····· 54
5.1.1. LCC 정의 ····· 54
5.1.2. 현재가치법 (Present Worth Method) ····· 54
5.2. LCC 경제성 평가를 위한 기본사항 ····· 55
5.2.1. LCC 경제성 평가 모델 및 비용 산정 ····· 55
5.2.2. 각 시스템별 Cash Flow Chart ····· 59
5.2.3. 실질할인율 ····· 60
5.3. LCC 경제성 평가 결과 ····· 62
5.3.1. 시스템별 LCC 계산 및 손익분기점 ····· 62
5.3.2. 실질할인율 변동에 따른 민감도 분석 ····· 64

6. 결 론

6.1. 결 론 ····· 66
6.2. 연구의 제약 및 향후 연구방향 ····· 67

참고문헌 ····· 68

표 목 차

<표 2.1> 데이터센터 분류체계 ····· 9
<표 2.2> 데이터센터 그린화를 위한 기업별 추진 방향 ····· 11

<표 3.1> 서버 룸의 건축 및 설비 개요 ····· 17
<표 3.1> 데이터센터의 냉방시스템 장비개요 ····· 19
<표 3.1> 데이터센터의 냉방부하 예측 에너지 시뮬레이션 경계조건 ····· 21
<표 3.2> 데이터센터의 냉방부하 예측 에너지 시뮬레이션 경계조건 ····· 23
<표 3.3> 냉동기의 부분부하율에 따른 동력비 ····· 25
<표 3.4> 중앙냉수 냉방시스템의 구성장치 월별 전력소비량 ····· 29

<표 4.1> 외기도입 시스템의 급기팬 사양 ····· 36
<표 4.2> ASHRAE (2004h)와 NEBS에서 제안한 서버 랙 유입 온도범위 ····· 39
<표 4.3> MERV 등급별 집진 효율 ····· 40
<표 4.4> 외기도입 냉방시스템 적용필터 사양 ····· 41
<표 4.5> 외기도입 냉방시스템 가동시간을 고려한 각 제어방식별 필터 교체점 ····· 44
<표 4.6> Case별 설정 개요 ····· 45
<표 4.7> Case별 분석 결과 ····· 52

<표 5.1> LCC 경제성 평가 모델 ····· 56
<표 5.2> LCC 경제성 분선을 위한 비용 산출 ····· 56
<표 5.2> 계절별 전력 사용요금표 ····· 57
<표 5.3> 각 시스템의 월별 전력 사용요금 ····· 58
<표 5.4> 연도별 예금금리 및 변동율에 따른 실질할인율 ····· 61
<표 5.5> 각 시스템의 연도별 누적 비용 ····· 63
<표 5.6> 민감도 분석에 따른 LCC 및 손익분기점 변화 ····· 64

그 림 목 차

[그림 1.1] 국내 데이터센터 시장 규모 변화 ····· 1
[그림 1.2] 연구의 흐름도 ····· 4

[그림 2.1] 데이터센터 에너지 소비량 ····· 8

[그림 3.1] 서버 룸 내의 열원 및 공조 흐름 ····· 14
[그림 3.2] 외기냉수 냉방시스템 개념도 ····· 15
[그림 3.3] 중앙냉수 냉방시스템 개념도 ····· 16
[그림 3.4] 데이터센터 전경 및 설비시설 현황 ····· 17
[그림 3.5] 중앙냉수 냉방시스템 열원 흐름도 ····· 18
[그림 3.6] 냉방부하 산출을 위한 TRNSYS 구성도 ····· 20
[그림 3.7] 데이터센터 냉방 부하 및 외기온도 ····· 22
[그림 3.8] 냉방에너지 소비량 산출을 위한 TRNSYS 구성도 ····· 22
[그림 3.9] 냉수 설정온도 및 냉각수 유입온도에 따른 COP 변화 ····· 24
[그림 3.10] 냉각탑의 입구 및 출구 수온 변화 ····· 26
[그림 3.11] 냉각탑의 입구 및 출구 수온 변화 (하절기) ····· 27
[그림 3.12] 서버 부하율 변화에 따른 CRAH 담당 냉방부하량 ····· 27
[그림 3.13] 월별 중앙냉수 냉방시스템의 전력 소비량 ····· 28
[그림 3.14] 시스템 구성장치별 월별 전력소비량 ····· 29
[그림 3.15] 중앙냉수 냉방시스템 연간 구성장치별 전력소비율 ····· 30
[그림 3.16] 시간별 냉동기의 냉수 설정온도 변화에 따른 CRAH 취출온도 변화 · 31
[그림 3.17] 냉동기의 냉수 설정온도 상향조정에 따른 월별 전력소비량 ····· 32
[그림 3.18] 냉수 설정온도 변화에 따른 연간 전력소비량 및 절감율 ····· 33
[그림 3.19] 냉수 설정온도 변화에 따른 구성장치의 전력소비율 변화 ····· 33

[그림 4.1] 직접외기도입 방식 냉방시스템 열원 흐름도 ····· 35
[그림 4.2] 직접외기도입 방식 냉방시스템 열원 흐름도 ····· 35
[그림 4.3] 인터버 변화율에 의한 팬모터 전력량 변화율 ····· 36

[그림 4.4] 인터버 변화율에 의한 팬모터 전력량 변화 ····· 37
[그림 4.5] 제어방식별 도입가능 외기조건 ····· 37
[그림 4.6] 엔탈피 제어 시 도입가능 외기조건 ····· 38
[그림 4.7] 엔탈피 및 온도 제어 시 도입가능 외기조건 ····· 39
[그림 4.8] 필터막힘점 예측 알고리즘 순서도 ····· 42
[그림 4.9] 엔탈피 제어 시 필터별 압력손실 변화 및 필터 교체점 ····· 43
[그림 4.10] 엔탈피 및 온도 제어 시 필터별 압력손실 변화 및 필터 교체점 ····· 43
[그림 4.11] 냉방시스템 구성장치의 월별 전력소비량 (Case 4) ····· 46
[그림 4.12] 냉방시스템 구성장치의 월별 전력소비량 (Case 8) ····· 46
[그림 4.13] 제어방식에 따른 냉방시스템의 월별 전력소비량 ····· 47
[그림 4.14] 필터적용에 따른 외기 급/배기팬의 전력소비량 변화 (엔탈피 제어) ·· 48
[그림 4.15] 필터적용에 따른 외기 급/배기팬의 전력소비량 변화
(엔탈피 및 온도 제어) ····· 48
[그림 4.16] 필터적용에 따른 외기 급/배기팬의 연간 전력소비율 변화
(엔탈피 제어) ····· 49
[그림 4.17] 필터적용에 따른 외기 급/배기팬의 연간 전력소비율 변화
(엔탈피 및 온도 제어) ····· 50
[그림 4.18] 외기도입 냉방시스템의 월별 전력소비량 (Case 2-5) ····· 51
[그림 4.19] 외기도입 냉방시스템의 월별 전력소비량 (Case 6-9) ····· 51
[그림 4.20] Case별 PUE 산정 ····· 53

[그림 5.1] 시간대별 부하적용 변화 ····· 57
[그림 5.2] 중앙냉수 냉방시스템의 현금흐름도 ····· 59
[그림 5.3] 외기도입 냉방시스템 (Prefilter 적용)의 현금흐름도 ····· 59
[그림 5.4] 외기도입 냉방시스템 (Medium filter 적용)의 현금흐름도 ····· 60
[그림 5.5] LCC 분석을 통한 각 시스템별 손익분기점 ····· 63
[그림 5.6] 각 시스템에서 소비되는 비용이 LCC에 차지하는 비율 ····· 64

ABSTRACT

Application of the Air-side economizer system to data centers for achieving Energy saving and Economic performance

Park, Seonghyun
Advisor : Prof. Cho, Kyu-Man,
Department of Architectural Engineering,
Graduate School of Chosun University

With the rapid advancement in domestic IT industry, geometrical development of performance and processing capabilities of related equipments and rapid increase in the demand for data centers, the market size of the domestic data center is increasingly expanding. However, the expansion of the market size of the data center has led to the vast increase in power consumption of server equipments in the data center where is operated for 365 days, and cooling power consumption for removal of heat load of server apparatuses. For such reason, at the moment, domestic and foreign studies on the improvement in air-conditioning efficiency and cooling system are in progress to cut cooling energy spent in data centers. Air-side economizer system is effective in reducing energy consumption by introducing the outside air to the server room directly during intermediate season and winter season that outside air's temperature is low. But, in spite of the need for reflection of the changes of energy consumption which considers temperature and dust of the outside air,

for the application of the air-side economizer system, there is a shortage of research on this. Accordingly, this study analysed the effect of the improvement in energy consumption and air-conditioning efficiency of the central chilled water system in the existing data center on the reduction of energy consumption, according to the changes of chiller's chilled water setting temperature, through a TRNSYS dynamic energy simulation. Moreover, case study was performed to analyse the effect of the air-side economizer system on the reduction of energy consumption depending on types of applied filters and control conditions and furthermore, its economic efficiency was examined. The major research findings are as below.

1) When analysing central chilled water system's annual power consumption, chiller, amongst system devices, showed the highest power consumption(47%), and raising chiller's chilled water setting temperature to 7 degrees was helpful in cutting energy consumption by 8% each year without additional device, due to the improvement of chiller's COP. m widely, optimal design method for it is needed. However, there should be consideration of the decrease in the number of server racks to the unit area which is caused by the improvement of air-conditioning efficiency.

2) This research performed a case study on control methods of the introduced outside air and applied filters of the air-side economizer system's without separate mixing chamber, for mixing of exhaust. As a result, it was revealed that energy consumption was cut by 49%, compared to the existing central chilled water system. But this is the most ideal case, and thus may cause malfunction of server equipments and inequal air currents in the server room coming from the introduced outside air. Though the case study for enthalpy and temperature control was able to remedy these shortcomings, the energy reduction effect declined. Plus, the energy reduction effect showed a slight fall, because of the increase of outside air pan's power, as the applied filter's grade was higher, and ASHRAE recommended filter, Medium Filter was

applied to 34% of the cases. Therefore, it is thought that there would be need for the application of filters in consideration of dust in the outside air in each region.

3) LCC(Life Cycle Cost) was estimated, based on the market research and the result of dynamic energy simulation, and air-side economizer system's economic efficiency was evaluated. After the application of the air-side economizer system, the initial investment cost increased by 17%, but it was possible to reach the break-even point in nearly 2 years, regardless of filters, since power costs that occupied the biggest proportion of LCC, decreased, and it had the lowest LCC, too when the sensitivity was analysed, according to the real rate of interest. Consequently, it was more efficient economically than the existing central chilled water system.

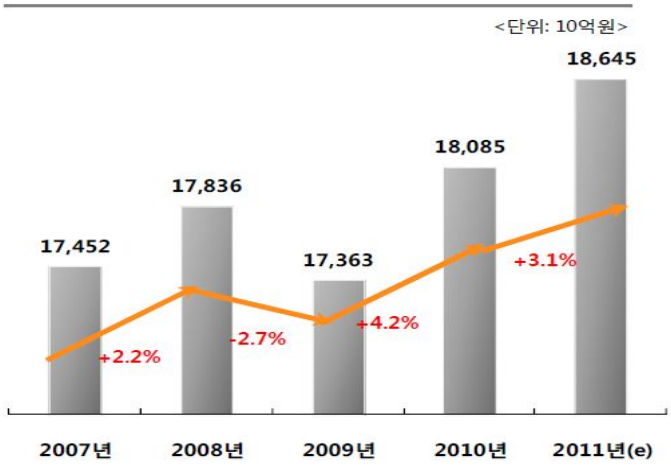
In conclusion, further research needs to examine total energy consumption in data centers, since this study was limited to the analysis of cooling power consumption of the data center for evaluation of energy reduction effect and economic feasibility. There is also research on water-side and air-side energy economizer systems for reduction of data center's energy consumption, currently, however, it would be required in the future to develop a system to cut down on data center's energy consumption using geothermal heat and stream water, as in domestic environment, they are not used a lot during summer season that wet-bulb temperature of the outside air is high, and to cut energy consumption in cooperation with other industries like hot spring industry which needs hot water throughout the year.

1. 서 론

1.1. 연구의 배경 및 목적

최근, 에너지 소비 문제, 도시 열섬현상, 지구온난화 문제 그리고 탄소 저감정책 등 환경에 관한 제반 문제들이 국내뿐만 아니라 세계적으로 이슈가 되고 있다. IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change) 4차 보고서에서는 온실 가스의 가장 인위적인 주범인 지구 대기의 이산화탄소는 산업화 이전의 280ppm으로부터 2005년 379ppm으로 증가했다고 보고하고 있다. 향후 기후 문제에 관한 대책이 없이 이러한 현상이 지속될 경우, 이산화탄소 및 온실가스 발생량이 2030년에는 2000년 대비 40~110% 증가할 것으로 예측하고 있다.[1] 상기의 문제점들은 지구, 도시 환경문제에 국한되지 않고 건축물의 실내외 환경과도 밀접한 관련성이 있으며, 산업을 위한 건축분야에서도 주요 과제로 인식되어 그 관심이 점점 증가하고 있는 실정이다.

이중 국내 IT 산업은 급속한 발전과 더불어 관련 장비들의 성능 및 처리 능력이 기하급수적으로 발전함과 동시에 데이터센터의 수요가 급증하는 상황으로 [그림 1.1]과 같이 국내 데이터센터의 시장 규모도 점점 증가하는 추세이다.



[그림 4.1] 국내 데이터센터 시장 규모 변화
(출처 : KRG-ITSA 세미나, 한국IT서비스산업협회, 2011)

1) IPCC 4th Report, (2007년)

그러나 데이터센터의 시장규모 증가는 365일 항시 운영되는 데이터센터 내 서버기기 자체의 전력소비량 증가와 더불어 서버기기의 발열부하 제거를 위한 냉방 소비전력의 막대한 증가를 초래한다. 또한 전 세계적으로 약 1,000억 kW의 전력량이 IT관련 산업에서 소비되는 것으로 보고되고 있다.[2] 이에 따라 국내 건축환경 및 설비 분야에서도 공조방식 및 냉방에너지 효율 개선을 위한 많은 연구가 진행되고 있으며, 정부에서도 2012년 10월 그린 데이터센터의 전력 효율을 높이기 위한 방안으로 PUE(Power Usage Effectiveness)[3] 지수를 기준으로 한 그린 데이터센터 (IDC) 인증제를 시행하였다. 이중 냉방에너지 효율 개선 측면에서 외기도입 냉방시스템은 외기 온도가 낮은 중간기 및 동절기에 외기를 직접적으로 서버 룸 내에 도입함으로써 중앙냉수 냉방시스템 대비 에너지 소비량을 큰 폭으로 저감시킬 수 있는 장점이 있다. 그러나 오염된 외기가 직접적으로 IT서버에 유입될 경우 시간이 경과함에 따라 서버기기에 치명적인 오류를 발생시켜 막대한 경제적 손실을 초래할 수 있다. ASHRAE[4] Standard 52.2 (2007)에서는 데이터센터의 외기도입 냉방시스템 적용 시 필터사용에 관한 가이드라인을 제안하고 있다. 따라서 외기도입 냉방시스템을 적용한 데이터센터의 동적에너지 시뮬레이션을 수행 할 경우, 적용 필터별 필터차압에 의한 외기도입용 팬동력 및 제어조건에 따른 에너지 소비량 변화를 고려하여야 하며, 이러한 결과 값을 시뮬레이션에 반영해야 될 것으로 판단된다. 뿐만 아니라, 외기도입 냉방시스템의 도입에 따른 초기투자, 유지관리 및 필터교체, 전력사용 비용 등을 고려한 데이터센터의 LCC(Life Cycle Cost)분석을 수행하여 외기도입 냉방시스템의 에너지 효율개선 및 경제성을 고려하고, 이에 따른 외기도입 시스템의 적용 가능성에 관한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

이에 본 연구에서는 동적에너지 시뮬레이션을 수행하여, 기존 데이터센터를 대상으로 중앙냉수 냉방시스템의 에너지 소비량을 분석하고, 기존 냉방시스템에서의 공조효율 개선에 따른 냉수 설정온도 변화별 에너지 소비량 저감효과를 분석하였다. 또한 Case study를 수행하여 외기도입 냉방시스템 도입 시, 적용 필터종류 및 제어조건별 에너지 소비량 저감효과를 분석하고, 나아가 외기도입 냉방시스템 적용에 따른 경제성을 검토하였다.

---

2) Gartner, Green Data Centers: The Six Key Attributes of Data Center Energy Efficiency, 2008 Metrics
3) 2010년 미국의 “Green Grid”에서 발표한 데이터센터의 에너지 효율성을 평가하는 표준 지표
4) American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers

1.2. 연구의 방법 및 절차

[그림 1.2]에 본 연구의 흐름을 도식화 하였다. 먼저 이론적 고찰로서 데이터센터의 정의 및 관련 선행연구를 정리하고, 사례조사를 실시하였다. 또한 대상 데이터센터를 선정하여 서버 룸 내 IT기기의 발열부하를 예측하였으며, 냉방에너지 소비를 중심으로 데이터센터의 에너지 소비량 패턴변화를 분석하였다.

분석도구는 TRNSYS (TRaNsient System Simulation Program)를 이용하였으며, TRNSYS에서 자체 제공하는 서울의 기상데이터를 사용하여 데이터센터 기존 중앙냉수 냉방시스템의 연간 동적에너지 시뮬레이션을 수행하였다. 1차 에너지인 냉방부하는 경제성 평가를 위한 전력사용 비용 산출을 위하여 2차 에너지인 전력소비량으로 통일하였다.

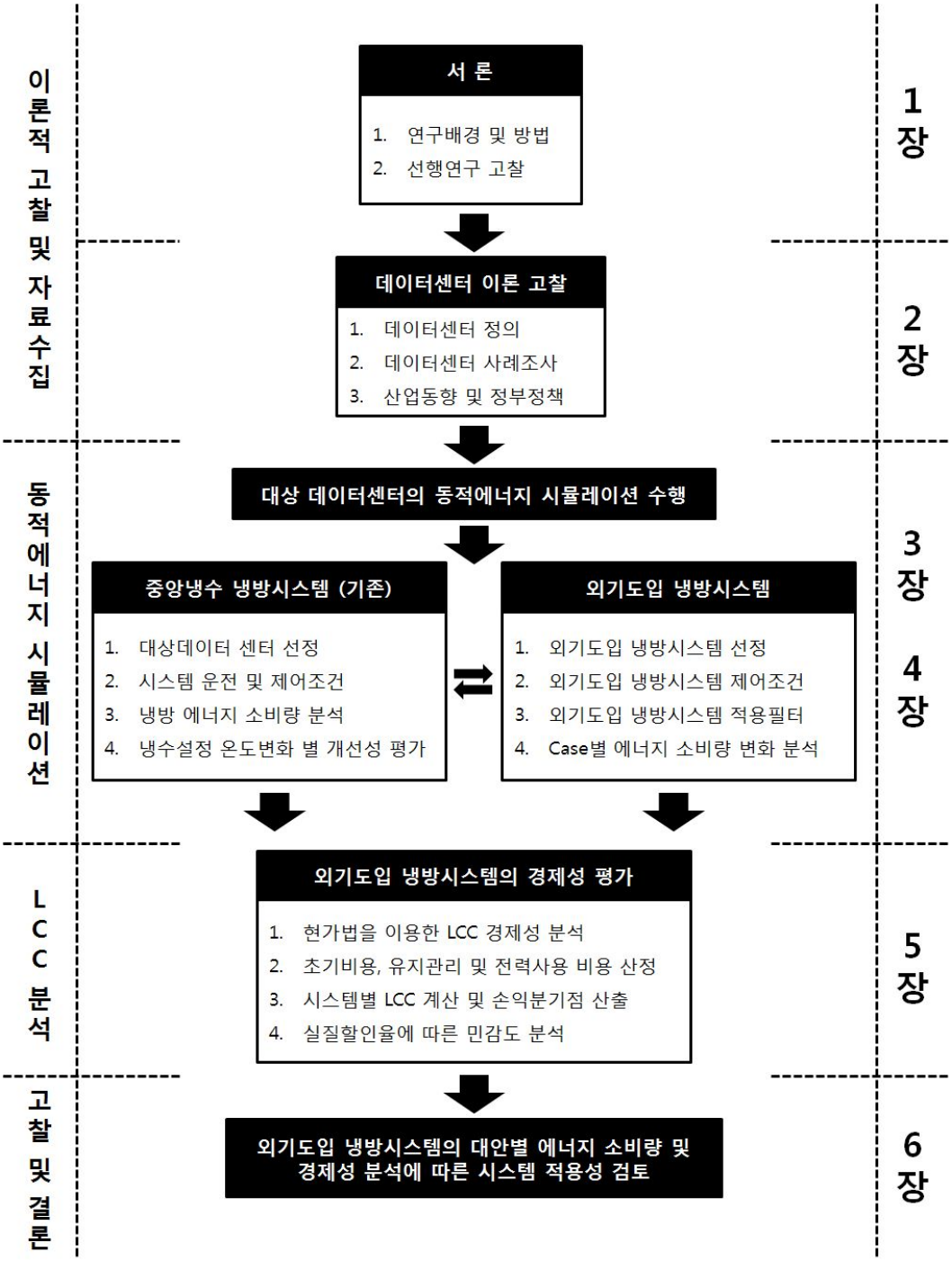
다음으로 냉방에너지의 열원 개선 측면에서의 공조시스템 방식인 외기도입 냉방시스템 적용에 따른 연간 전력소비량 및 시간별 외기도입 풍량을 정량적으로 도출하였다. 뿐만 아니라 외기도입 냉방시스템의 경우 도입외기의 온도와 분진이 IT기기에 직접적으로 영향을 줄 수 있기 때문에 이를 고려한 제어방식 및 필터적용별 냉방 전력소비량 증가치를 고려하여 보다 정밀한 전력소비량을 산출하였다.

사용된 프로그램인 TRNSYS는 동적 건물부하 해석 프로그램으로서 1975년 미국 위스콘신 대학의 Solar Energy Laboratory에서 태양열 집열기를 해석하기 위한 프로그램으로 개발되어 현재는 유럽을 비롯한 세계 각국에서 광범위하게 사용되고 있다. 그 후 해석의 범위를 태양에너지뿐만 아니라 건물에서의 다양한 에너지 이용시스템을 포함시키는 등 여러 차례의 개선을 거쳐 전 세계적으로 널이 이용되는 시스템 시뮬레이션 프로그램이 되었다.[5)]

동적에너지 시뮬레이션 결과 값을 기반으로 연간 전력 사용요금 및 필터교체 주기에 따른 교체비용을 산정하였으며, 각 시스템별 초기투자, 유지관리 및 필터교체 비용을 시장 조사하였다. 또한 실질할인율에 따른 민감도 분석을 포함하여 현가법을 이용한 생애주기비용 LCC 경제성 평가를 실시하였다. 그리고 최종적으로 외기도입 냉방시스템의 기존 중앙냉수 냉방시스템에 대한 경제성 여부를 파악하기 위하여 손익분기점을 도출하였으며, 외기도입 냉방시스템의 에너지 효율 개선 및 경제성 측면에서의 적용성을 검토하였다.

---

5) 정석우, 공동주택에 적용가능한 에너지 저감형 설비시스템에 관한 연구, 조선대학교, 박사학위논문, 2011.


이론적 고찰 및 자료수집
동적에너지 시뮬레이션
LCC 분석
고찰 및 결론
서 론
1. 연구배경 및 방법
2. 선행연구 고찰
데이터센터 이론 고찰
1. 데이터센터 정의
2. 데이터센터 사례조사
3. 산업동향 및 정부정책
대상 데이터센터의 동적에너지 시뮬레이션 수행
중앙냉수 냉방시스템 (기존)
1. 대상데이터 센터 선정
2. 시스템 운전 및 제어조건
3. 냉방 에너지 소비량 분석
4. 냉수설정 온도변화 별 개선성 평가
외기도입 냉방시스템
1. 외기도입 냉방시스템 선정
2. 외기도입 냉방시스템 제어조건
3. 외기도입 냉방시스템 적용필터
4. Case별 에너지 소비량 변화 분석
외기도입 냉방시스템의 경제성 평가
1. 현가법을 이용한 LCC 경제성 분석
2. 초기비용, 유지관리 및 전력사용 비용 산정
3. 시스템별 LCC 계산 및 손익분기점 산출
4. 실질할인율에 따른 민감도 분석
외기도입 냉방시스템의 대안별 에너지 소비량 및 경제성 분석에 따른 시스템 적용성 검토
1장
2장
3장
4장
5장
6장

[그림 1.2] 연구의 흐름도

1.3. 선행연구 고찰

1980년대 서버의 탄생 이후, 컴퓨터의 보급과 더불어 유/무선을 통한 네트워크 시장 또한 확장하였다. 이러한 시장의 수요에 맞춰 1990년대 후반 데이터센터가 등장하게 되었다. 그러나 최근 데이터센터는 에너지 다소비성 건물로 각 분야별로 에너지 소비량 절감을 위한 많은 연구가 진행되고 있다.

M. Ibrahim 외 5인 (2010)은 데이터센터 서버 랙의 작동 프로파일을 적용한 수치모델링을 제안하고, 이를 CFD 해석을 통한 비정상 상태 계산으로 검증하여 서버 랙에 공급되는 전력과 유입 유동과의 상관관계를 분석하였다.

김민용 외 2인 (2010)은 일반 건물을 대상으로 온도제어와 엔탈피제어에 따른 외기도입 냉방시스템의 에너지 소비량을 분석하였으며, 엔탈피 제어 기준으로 약 10% 냉방 부하가 감소한한다는 결론을 도출하였다.

P. Kumar 외 2인 (2011)은 서버 랙의 전면부에 서버 시뮬레이터를 적용한 모델을 개발하였으며, PIV (Particle Image Velocimetry) 기술을 사용하여 균등하지 않은 랙의 부하에 대응하도록 공기분배 방식별 유동변화를 조사하였다. 서버 부하에 따른 변풍량 제어의 중요성을 제안하였다.

B. Fakhim 외 3인 (2011)은 실측과 CFD 해석을 통하여 데이터센터를 모델링 하였으며, Case study를 통하여 총 8가지의 데이터센터의 서버 룸 내의 효율적인 급/배기 시스템 방안에 관한 연구를 수행하였다. 또한 해석 결과 값을 SHI (Supply Heat Index) 와 냉방 부하 증가율로 수치화 하여 분석하였다. 여기서 SHI 지수는 서버 랙의 유/출입 공기 온도와 CRAC 취출 온도와의 차를 비로 나타낸 값으로, 높을수록 CRAC (Computer Room Air Conditioning) 에서 공급되는 공기의 열손실이 낮고, 공조효율이 높다는 것을 의미한다.

J. Cho 외 1인 (2011)은 CFD 해석을 이용하여 데이터센터의 6가지 공조방식에 대한 냉각 효율을 파악하고, SHI 및 RHI (Return Heat Index), RCI (Rack Cooling Index), RTI (Return Temperature Index) 지수를 이용하여 열적 성능에 대하여 검증하였다. 또한 국내 데이터센터의 공조효율 및 열원 시스템의 적용에 따른 에너지 소비량 변화를 분석하여, 설계 단계에서의 가이드 라인을 제작하였으며, 이를 제안하였다.

이승연 외 3인 (2011)은 데이터센터의 냉방에너지 절감을 위한 Fee Cooling 시스템 개

선에 관한 연구를 수행하였으며, 일반 외기냉수 냉방시스템과의 에너지 소비량을 비교하였다. 그 결과 기존 시스템 대비 약 27%의 에너지 절감효과가 있는 것으로 분석하였다.

권오경 외 2인 (2012)은 CFD 해석을 이용하여 데이터센터 서버기기의 발열량 변화에 따른 데이터센터 내부의 온도분포 및 유동특성에 관한 연구를 수행하였다. 그 결과 서버 랙에 유입되는 유량에 따라 바이패스 및 재순환 현상이 발생함을 분석하였으며, RTI 지수를 사용하여 서버의 발열에 따른 적절 유량을 도출하였다.

데이터센터의 냉방에너지 소비량 절감을 위한 연구는 최근도 활발하게 이루어지고 있다. 특히 서버 룸 내의 공조효율 개선 측면에서의 유동해석은 그 결과를 수치화 시켜 객관화 시킬 수 있는 지표를 만들고 있으나, 열원 측면에서의 에너지 저감 노력은 연구단계에 있으며, 아직 국내 도입이 미흡한 실정이다. 미국공조냉동 학회인 ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning)에서는 데이터센터를 다룬 ASHRAE Datacom Series 를 발간하여 데이터센터 설계단계에서 IT기기의 발열, 공조시스템의 도입, 취출방식에 따른 공조효율 측면에서의 고려사항과 함께 가이드 라인을 제안하고 있으며, Case study 를 통한 효율적인 에너지 관리 방안을 명시하였다. 이에 따라 국내에서는 이를 국내 실정에 맞게 고려한 에너지 절약형 냉방시스템의 적용성에 관한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

이에 본 연구에서는 데이터센터의 서버 룸 내 IT기기 냉각을 위해 소비되는 냉방에너지 절감방안에 초점을 맞추어 건축 환경 및 설비측면에서의 관련 설계지침을 고려하였으며, 에너지 절약형 공조시스템으로 외기도입 냉방시스템을 선정하여 냉방에너지 소비량 변화를 보다 정밀성 있게 분석하였다.

2. 데이터센터의 이론적 고찰

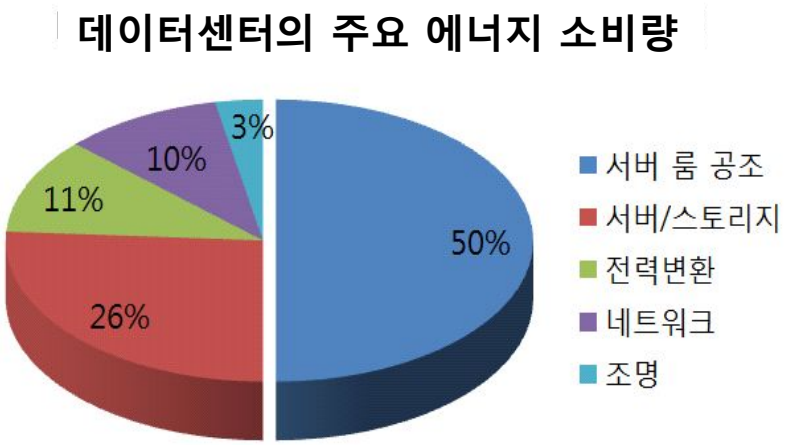
2.1. 데이터센터의 정의

데이터센터는 기업의 서버와 스토리지를 설치하고 운영하는 장소로, 서버와 스토리지 같은 하드웨어들을 효과적이면서도 안정적으로 운영하기 위해 고도화된 전원 관리 시스템이나 고대역 네트워크 환경을 물론 백업 시스템, 보안 시스템, 공조시스템 시설을 갖추고 있다. 또한 인터넷과 관련된 사업에서는 위탁회사들을 위해 중앙 집중식 웹 호스팅과 관련 데이터 서비스 등을 제공하는 공간을 지칭하며, 우리나라에서는 통상적으로 IDC (Internet Data Center)라고 불리고 있다.[6)]

데이터센터는 크게 서버 룸 지원을 위한 전산실, 전력 변환시설을 갖춘 전기실, 직원이 상주하는 운영 관리실, 화재를 대비한 소화가스실 그리고 IT기기들이 위치하는 서버 룸으로 이루어져 있다. 특히, 서버 룸의 경우 IT기기의 작동오류에 따른 경제적 손실이 상대적으로 높기 때문에, 이를 냉각하기 위하여 소비되는 에너지가 매우 크다. 따라서 세계 최고 수준의 국내 IT산업의 발전은 서버기기의 에너지 소비량 증가와 더불어 공조용 에너지의 급격한 증가로 이어지는 결과를 초래하게 된다.

IT기기의 냉각을 위해 서버 룸 내에 설치된 공조장치는 CRAC과 CRAH (Computer Room Air Handling Unit)가 있으며, CRAC의 경우 공급 기류의 온습도 조절이 가능한 장치로 항온항습기로 불리고, CRAH의 경우 냉각코일과 급기팬 배수장치로만 구성되어 있음에 따라 온도제어만 가능하여 항온기로 불린다.

6) 조진균, 고밀도 데이터센터의 공조효율 및 에너지성능 개선을 위한 공조시스템 계획방법 연구, 연세대학교, 박사학위논문, 2009.



[그림 2.1] 데이터센터 에너지 소비량[7)]

[그림 2.1]은 데이터센터의 각 부문별 에너지 소비량을 나타낸다. 일반적으로 총 에너지 소비량의 약 50%가 서버 룸의 냉방부하 제거에 사용되는 것으로 나타나며, 다음으로는 서버/스토리지 부분이다. 또한, 서버기기의 결합 형태가 블레이드 서버 형태로 변화함에 따라 1개의 서버 랙당 적층되는 서버기기의 수가 증가함으로써 장비점유 면적당의 발열량이 큰 폭으로 증가하게 된다. 이에 따라 해외 IT업계에서는 서버/스토리지의 발열량을 줄이고, 서버 룸의 냉방효율을 높이기 위한 방안이 중점적인 기술개발 요소로서 연구가 추진되고 있다.

한국IT서비스산업협회 에서는 국내외 데이터센터의 분류 기준을 바탕으로 데이터센터의 분류체계를 정의하였으며, <표 2.1>에 나타낸다. 건축, 전기, 통신 등의 분야별 평가항목으로 전산실, IT센터, 일반 데이터센터, 전문 데이터센터로 구분하였다. 데이터센터와 전산실의 구분은 크게 전용 건물 여부, 업무공간의 분리 및 무중단 유지보수 가능 여부에 따라 구분되었음을 확인할 수 있다.

7) 장현재 외, 데이터센터의 에너지 사용량 50% 감축을 위한 에너지 절약형 공조시스템 개발, 첨단도시개발사업, 과제번호 (12첨단도시14), 2012.

<표 2.1> 데이터센터 분류체계[8)]

분야	내 역	전산실	IT 센터	일반 데이터센터	전문 데이터센터
건축	데이터센터 전용 건물 여부	아니오	아니오	예	예
	업무공간과 전산공간의 분리 및 별도 관리 여부	아니오	아니오	예	예
	전체 면적 대비 전산설비 사용비율 (%)	10 미만	10 - 20	20-30	30 이상
	보안시설 (로비에서 전살실까지)	일반 장금장치	카드인식	생체인식	생체인식
전기	전력 및 냉방시설 이중화	N	N+1	N+1 동시활성화	2(N+1) or S+S 무정지 상태
	무중단 유지보수	불가	불가	가능	가능
	발전기 백업시간	12 시간	12 시간	24 시간	48 시간
	UPS 용량 (kVA)	2,000	2,000	3,000	4,500
통신	배선 경로	1개	1개	운영용 1개 예비 1개	운영용 2개
기타	연간 서비스 중지 시간	28.8 시간	22.0 시간	1.6 시간	0.4 시간
	가용성 (%)	99.671	99.749	99.982	99.995

2.2. 데이터센터의 국내외 산업 동향

2.2.1. 국내외 산업 동향

국내 인터넷 데이터 시장은 1998년 한국인터넷 데이터센터 (KIDC)가 코로케이션 서비스를 제공하면서 시작되었으며, 1999년에는 KT, 2000년에는 하나로 텔레콤이 진입하였다.

현재는 약 70곳의 데이터센터가 국내에서 운용중이며, 2006년을 기준으로 국가전력소비량의 8.%, 산업분야의 16% 제조업 분야의 16.7%의 전력을 소비하고 있는 것으로 보고되고 있다. 인터넷 데이터 트래픽이 꾸준히 증가하고 있는 추세이며, 최근에는 각종 멀티미디어 서비스가 증가함에 따라 CDN (Contents Delivery Networks)업체들의 수요가 급증하는 등 데이터센터 시장의 성장은 지속되고 있는 것으로 나타난다.

8) 한국IT서비스산업협회, 데이터센터 정의 및 분류체계, 2008

이러한 환경에서 인터넷 데이터센터 사업자들은 코로케이션 서비스, 호스팅 서비스 및 인터넷 접속 서비스 등 기본 서비스 이외에 애플리케이션 서비스와 IT 아웃소싱 서비스를 적극적으로 전개하여 서비스 심화 및 다양화를 통한 신규 부가가치 창출에 몰두하고 있으며, 기간망을 보유하고 있는 통신사업자 계열 인터넷 데이터센터들은 신규시장 활성화를 위해 애플리케이션 서비스와 IT 아웃소싱 서비스에 더욱 적극적인 관심을 보이고 있으며, IT 서비스 업체 계열 인터넷 데이터센터들은 기존 계열사 중심의 영업에서 벗어나기 위한 노력을 기울이고 있다.[9)]

국외의 경우 시장조사기관 Gartner Report[10)]에 따르면 클라우드 서비스 시장규모는 매년 18.9%의 성장률을 보이며, 2015년에는 1,768억 달러 규모를 형성할 것으로 전망하고 있다. 특히, SaaS (Software as a service) 영역은 2015년 210억 달러 규모까지 성장하며 가장 큰 시장을 형성할 것으로 전망하고 있으며, 국내 클라우드 컴퓨팅 시장도 연평균 47.6%의 성장률을 기록하며, 2014년에는 4억 6,000만 달러로 성장할 것으로 보고하였다. 이에 따른 데이터센터의 소요 또한 급증할 것으로 판단된다.

2.2.2. 국내외 기술 및 특허 동향

국내외 IT산업의 성장에 발맞추어 국내에서도 대기업을 중심으로 데이터센터 그린화를 위한 노력을 기울이고 있으며, 국외에서도 그린 데이터센터를 위한 로드맵 작성과 함께 소프트웨어를 통한 효율성을 극대화에 초점을 맞추어 저전력 제품 개발에 힘쓰고 있다. 각 기업별 그린화 추진 방향을 <표 2.2>에 나타낸다. 이중 국내 삼성 그룹의 '그린 액션 21+' 전략은 그린 에너지, 그린 환경, 그린 문화 등 크게 3가지 분류 속에 총 21개의 아이템을 만들어, 각 아이템별 장기적인 목표를 수립해 지속적으로 에너지를 관리하고자 한다. 여기서 21개의 아이템을 3가지 분류로 나눠 진행하는 것은 그린 데이터센터 건립을 위한 대상 분야가 단순히 IT산업에만 국한되지 않고, 환경 및 문화에도 밀접한 연관이 있다고 생각하기 때문이다.

---

9) 장현재 외, 데이터센터의 에너지 사용량 50% 감축을 위한 에너지 절약형 공조시스템 개발, 첨단도시개발사업, 과제번호 (12첨단도시14), 2012.
10) Gartner, Forecast: Public Cloud Services, Worldwide and Regions, Industry Sectors, 2011.

<표 2.2> 데이터센터 그린화를 위한 기업별 추진 방향

구분	기업	추진 방향
국내	SK C&C	• IT서비스 사업 시스템의 가상화(Virtualization), 통합화(Collaboration) 도입 • Green IT 기술 지원을 위한 Green IT 아키텍처 표준 작성 및 도입 • 냉각효율, 전력효율, 에너지 사용 및 친환경 빌딩화를 위한 노력 • UPS (Uninterruptible Power Supply) 배터리 모니터링 시스템 적용 확대를 통한 감시체계 확립
	삼성 그룹	• 2012년까지 국내외 총 9곳의 데이터센터 그린화 계획 발표 • 지속적인 에너지 관리를 위한 'Green Action 21+' 전략 추진 • 삼성 SDS 측은 약 10~20%의 에너지 비용 절감을 기대
국외	마이크로 연구소 (미국)	• 대단위 컴퓨팅 서버군에 대한 부하 예측 및 부하 편중 알고리즘을 개발 • 시간대에 따른 서버 수 예측으로 인한 서버 전원 OFF 기술 개발 • 데이터센터의 물리적 구조와 시스템 구성에 따라 최대 30%의 에너지 절약
	히타치 (일본)	• 고효율 UPS/변압기 기술 개발에 따른 공효율 공조기 운용 가능성 검토 • 통합 IT/인프라 관리 기술등을 적용하여 2012년까지 최대 50%의 에너지 절약
	후지쯔(일본)	• 자사 신축 IDC를 대상으로 공조 및 전력계통, 조명 등의 시설관련 연구 수행 • 기존 다테야바시 IDC에 비해 최대 67% 에너지 소비 감축을 실현 • 일본 내 데이터센터 거축 및 컨설팅으로 인한 확고한 기술우위 확보
	IBM	• Big Green Project를 통한 서버 가상화, 에너지와 시스템 관리의 통합 소프트웨어 측면에서의 전력 관리 등을 통한 전력 절감 및 자원 효율화 도모 • 그린 데이터센터를 위한 5가지 로드맵(에너지 현황 진단, 에너지 효율적 센터 구축, 가상화, 전력관리, 시스템 냉각)을 제안하고, 단계별 솔루션을 제시
	EMC	• 저전력 제품 개발과 더불어 소프트웨어를 통한 효율성 극대화 노력 • 저전력 운용 지원 제품개발에 주력하며, 시스템 자원 활용도의 극대화를 추진

2.3. 에너지 관련 정부정책 현황

최근, 정부에서도 녹색성장을 위해 건축물에서의 에너지 소비량 저감을 위한 많은 노력을 기울이고 있으며, 관련 법령 및 제도를 발표하고 있다. 이에 따라 에너지 다소비성 건축물인 데이터센터의 경우에도 관련 사항에 따라 그린화 방안을 모색하여야 한다. 다음 사항은 에너지 소비량 절감을 위한 정부차원의 관련 사항을 요약하여 정리한 내용이다.

■ 에너지이용 합리화법 개정 (2009.1.30) [법률 제9373호]

- 제3조1항 : 정부는 에너지 효율을 높이고 온실가스 배출을 줄이기 위한 시책 마련
- 제3조2항 : 지방자치단체는 각 지역의 특성을 고려하여 에너지 시책 마련
- 제30조2항 : 정부는 시책에 필요한 인재양성 위해 특정대학원 지정, 지원

■ 그린IT 국가전략계획 (2009. 5.) [건물에너지 관리시스템 보급 확산 및 지원제도 개편]

- IT를 통한 저탄소 업무환경으로 전환
- 건물에너지관리시스템 고도화 : 절감율 8%(현재) → 20%('13)
- 공공부문 BEMS 보급·확대(~'13) 및 민간부문 확산 유도
- 국가적 차원의 건물에너지 모니터링시스템 구축(~'13)

■ 녹색성장 5개년계획 (2009. 7) [8-3-2: 국가차원의 건물에너지 모니터링 시스템 구축]

- 국가 전체 에너지소비 통계시스템을 구축하여, 에너지 사용특성을 DB화 및 건물분야 온실가스 감축정책에 활용
- 용도, 규모, 지역 등에 따른 건물의 에너지사용 경향 제시
- 기존 건축물 개보수 효과의 비교 및 모니터링 등을 통한 건물 에너지 효율화 관리

■ 녹색성장 기본법 (2010. 1) [45조 : 온실가스 종합정보관리체계의 구축]

- 온실가스 배출량, 계수 등 관련 정보 및 통계를 개발 관리 종합정보관리체계 구축
- 종합정보관리체계 구축 시 국제기준을 최대한 반영하여 전문성 및 신뢰성 제고

■ 국가건물에너지 통합관리시스템구축 기본계획 수립 (2010. 3)

- 건물에너지 관리 및 온실가스 감축목표 대응전략 수립에 활용
- 건물에너지 절감 유도 체제 수립 가능
- 건물에너지 소비정보 제공에 의한 소비주체의 자발적 에너지절감 유도
- 사업 구축에 따른 관련 분야 육성 및 일자리 창출 기대

■ 건축물에너지 효율등급 인증제도

- 건축물에너지 효율등급 인증제도의 목적 및 근거 : 에너지성능이 높은 건축물 확대 및 효과적인 에너지관리 유도 (건축법 제66조의2). ※ 지식경제부에서 '01년부터 운영 중 '10년부터 국토해양부와 공동 운영
- 평가대상 및 평가항목
  · 평가대상 : 공동주택, 업무용 건축물(건축주의 자발적 신청)
  · 평가항목 : 에너지소요량(표준건축물 대비 에너지 절감율을 평가)
- 인증등급 및 평가기준
  · 총 에너지 절감율(%)에 따라 5등급으로 구분 1등급 (40%이상), 2등급 (30-40%), 3등급 (20-30%), 4등급(10-20%), 5등급(0-10%)

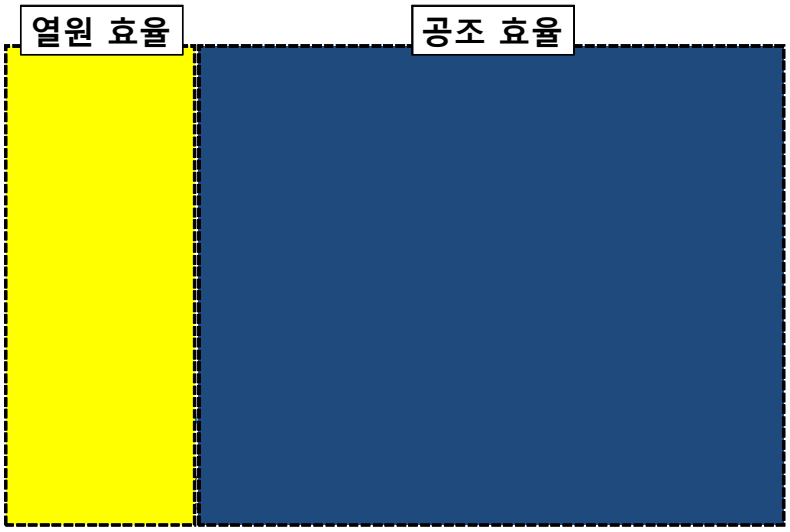
■ 온실가스·에너지 목표관리제

- 기준량 이상의 온실가스 배출업체 및 에너지 소비업체에 대해 온실가스 감축, 에너지 절약 및 에너지 이용효율 목표를 설정하고, 이를 이행토록 관리하는 제도로서,「저탄소 녹색성장 기본법」제42조 및 같은 법 시행령 제26조의 온실가스에너지 목표관리제 운영에 근거하고 있음
- 국토해양부는 저탄소 녹색성장기본법령(2010.4.14. 시행)으로 새롭게 도입된 온실가스·에너지 목표관리제에 따라 건물·교통부문 목표관리업체로 지정된 45개업체(건물 34, 교통11)가 '12년도에 처음으로 이행하여야 할 온실가스 감축량 및 에너지 절감량을 확정하였음

3. 데이터센터의 냉방에너지 소비량 분석

3.1. 데이터센터 도입 가능 냉방시스템

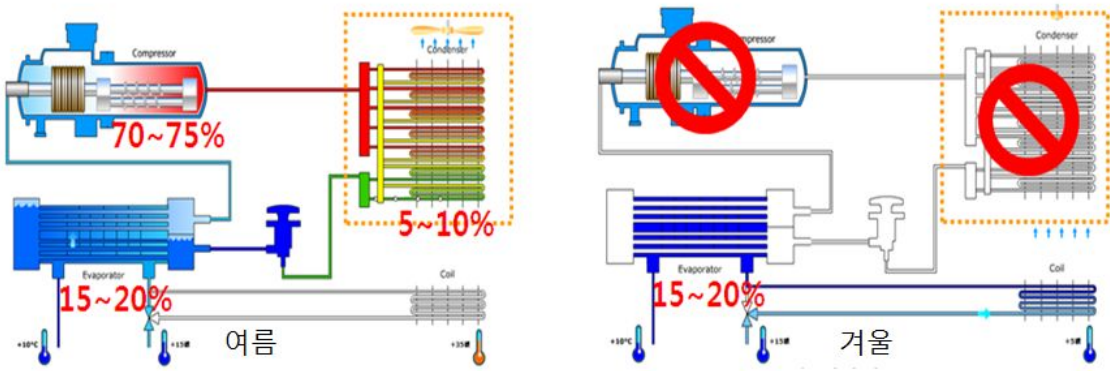
데이터센터의 냉방에너지 소비량 분석 이전에 서버 룸 내의 냉방 패턴 및 열원의 흐름에 관한 이해가 필요하다. [그림 3.1]은 국내에서 운용중인 데이터센터의 서버 룸의 단면을 나타낸다. CRAC에서 냉각된 공기를 서버 룸의 바닥을 통하여 서버 랙으로 공급하고, 서버 랙을 통과한 공기는 다시 CRAC의 상부로 들어가 CRAC 내의 열교환기를 통하여 다시 냉각되는 방식이다. 데이터센터의 냉방에너지 소비를 줄이는 방안은 크게 ⅰ)공조효율 개선 측면과 ⅱ)열원 효율 개선 측면이 있다. 먼저 공조 효율 개선의 측면은 CRAC에서 취출 되는 공기의 열손실을 최대한 줄여 서버 랙의 전면까지 이동시키는 것과 동시에 서버 랙 유입/유출 공기의 바이패스와 재순환을 고려하는 것을 목적으로 한 개선방법이다. 열원 효율 개선은 공조효율과 별도로 CRAC이 담당하는 서버 룸의 냉방부하를 열원의 측면에서 개선시키는 방안이다. 본 연구는 열원 측면에서의 냉방에너지 개선 방안을 연구하였으며, 이에 따라 열원효율 개선이 가능한 냉방시스템에 대하여 이론적 고찰을 실시하였다.



[그림 3.1] 서버 룸 내의 열원 및 공조 흐름

1) 외기냉수 냉방시스템 (Free cooling system)

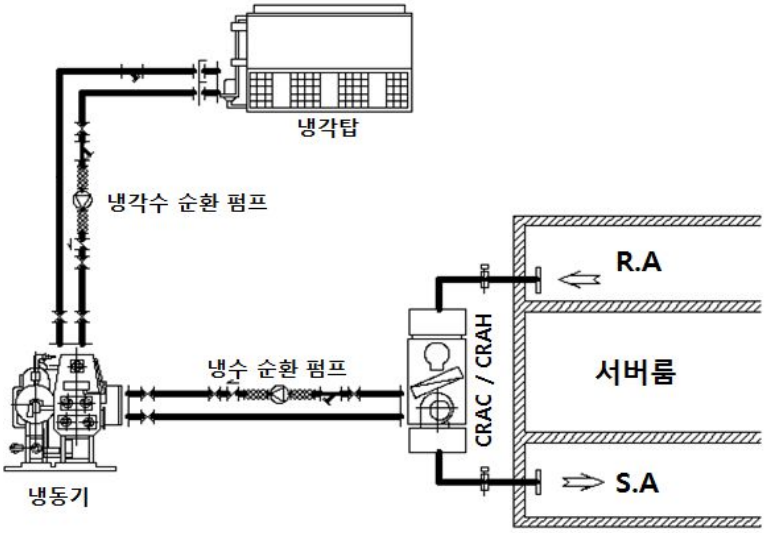
[그림 3.2]는 Free cooling system의 기본 개념도를 나타낸다. 외기의 습구온도 조건에 따라 시스템의 에너지 성능이 크게 영향을 받으며, 외기 습구온도가 높은 여름의 경우 냉동기의 압축기가 냉방 부하를 담당하며, 외기 습구온도가 16℃ 이하로 유지되는 중간기에는 CRAC의 냉각코일 (증발기)에서 냉수를 외기와 간접 열교환 시켜 냉동기의 압축기가 담당하는 부하를 줄일 수 있다. 또한 외기 습구온도가 6℃ 이하인 동절기에는 별도의 냉수 펌프로 CRAC의 냉각코일에 외기와 간접 열교환된 냉수를 직접 공급하여 압축기의 가동 없이 서버 룸의 냉방부하를 담당하게 된다. 간접교환 외기냉수 냉방시스템의 경우 직접교환 방식에 비하여 열효율이 낮으며, 별도의 설비시스템 설치에 따른 초기투자비용이 증가한다.



[그림 3.2] 외기냉수 냉방시스템 개념도

2) 중앙냉수 냉방시스템

[그림 3.3]은 중앙냉수 냉방시스템의 기본 개념도를 나타낸다. 중앙냉수 냉방시스템의 경우 주거 및 상업건물에서도 이용되며, 국내 대다수의 데이터센터에도 가장 일반적으로 적용된 냉방시스템이다. 시스템은 크게 냉동기, 냉각탑, 냉수 펌프, 냉각수 펌프, 공기조화기로 구성되나 데이터센터의 경우 공기조화기 대신 CRAC 또는 CRAH가 구성된다. 외기온에 크게 영향을 받지 않으나, 냉각탑을 통과하는 냉각수의 온도 변화에 따라 냉동기의 소비전력이 변화한다. 기계적 측면에서는 COP (Coefficient of Performance) 값이 높은 수냉식 터보냉동기의 적용에 따른 에너지 효율 증가를 기대할 수 있다.



[그림 3.3] 중앙냉수 냉방시스템 개념도

3) 외기도입 냉방시스템

외기도입 냉방시스템은 외기온이 낮은 중간기나 동절기에 외기를 직접적으로 서버 룸에 공급하여 서버 랙의 발열부하를 담당하는 설비로 별도의 냉각시스템 구성 장치 없이, 외기도입 급/배기 팬만 추가하게 된다. 그러나 균일한 습도유지 및 외기의 분진으로부터 서버기기의 보호를 고려한 외기도입 제어가 필요하며, 챔버를 위한 별도의 공간이 필요하다. 또한 서버 룸 배기의 재순환을 고려하여 급기 및 배기팬을 설치하여야 한다.

3.2. 대상 데이터센터 개요

3.2.1. 대상 데이터센터 건물

본 연구의 대상 데이터센터 건물은 국내 최대 규모로 서울의 목동에 위치한 OO 데이터센터이며, 2013년 1월 국내 첫 “그린데이터인증”을 부여 받았다. 지하 4층에서 지상 12층 규모로 연면적은 약 65,000 m^2 이고, 서버 룸은 총 9개 층에 구성되어 있다. 서버 룸의 건축 및 설비 개요는 <표 3.1>와 같고, [그림 3.1]은 대상 데이터센터의 전경 및 설비시스템 설치현황을 나타낸다.

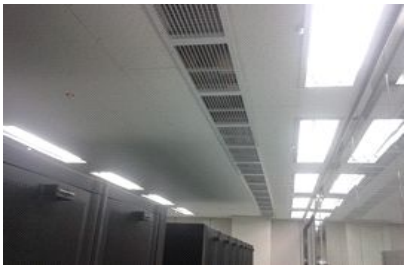
<표 3.1> 서버 룸의 건축 및 설비 개요

구분	내용	비고
층고	4,800 mm	
천정마감	1,200 mm	Ceiling to Slab
이중마루	600 mm	
냉각 방식	중앙냉수식	
항온항습기	30RT	
Air supply	Down flow	
Hot Air Return	Ceiling return	

(a) 데이터 센터 전경

(b) 기계실 전경

(c) 서버랙 후면



(d) 열복도의 환기 그릴

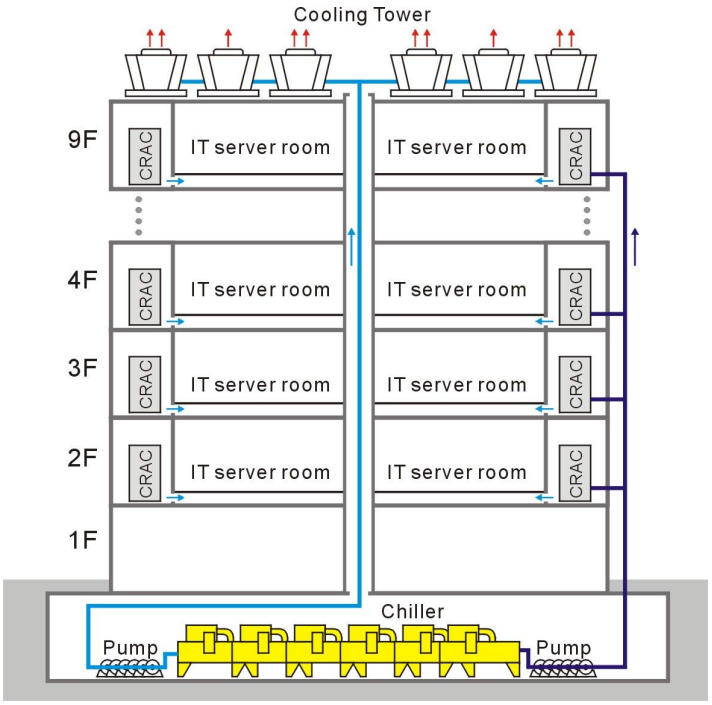
(e) 냉복도 전경

(f) 냉복도 바닥 취출구

[그림 3.4] 데이터센터 전경 및 설비시설 현황 <장현재 외, 2012>

3.2.2. 중앙냉수 냉방시스템 구성 장비 사양

대상 데이터센터의 서버 룸은 중앙냉수 냉방시스템 방식에 의해 냉방되며, 열원시스템의 구성개념과 열원의 흐름은 [그림 3.5]와 같다. 지하에 있는 기계실에 냉동기를 설치하고, 이 곳에서 생산된 냉수를 서버 룸의 CRAC으로 공급하여 IT기기를 냉각하는 방식이다.



[그림 3.5] 중앙냉수 냉방시스템 열원 흐름도 <조진균, 2009>

본 연구에서는 외기온의 변화에 따른 냉방에너지 소비량의 동적에너지 시뮬레이션을 수행하기 위하여 대상 데이터센터의 냉방시스템 장비일람표를 조사하였으며, <표 3.2>에 나타낸다. 터보 냉동기 8대, 냉각탑 8대, 냉각수 및 냉수 펌프 8대, 항온기 324대로 구성되어 있으며, 항온기는 CRAH로 별도의 습도조절 기능이 없다. 특히, 냉동기의 경우 정격기동전력이 약 6,200 kW로 구성장치 중 가장 큰 것으로 조사되었다. 이중 냉동기는 COP 및 PLR (Part Load Ratio)의 변화에 따라 전력소비량 변화가 발생하게 됨으로 동적에너지 시뮬레이션을 통하여 외기온도 변화에 따른 시간별 전력소비량 산출이 필요하다.

<표 3.1> 데이터센터의 냉방시스템 장비개요

터보 냉동기

수량	설치위치	용량 (USRT)	냉매	증발기			응축기			동력 (kW)
				유량 (LPM)	입구 수온 (℃)	출구수온 (℃)	유량 (LPM)	입구 수온 (℃)	출구 수온 (℃)	
8	지하 기계실	1,300	R-123	9,400	12	5	15,600	32	37	765

냉각탑

수량	설치위치	용량 (USRT)	습구 온도(℃)	냉각수			송풍기		
				유량 (LPM)	입구 수온 (℃)	출구 수온 (℃)	형식	풍량 (m^3/min)	동력 (kW)
8	옥탑층	1,400	27	15,600	37	32	SIROCCO	6,737	37-11

냉수 순환 펌프

수량	설치위치	유량 (LPM)	동력 (kW)
8	지하 기계실	9,400	110

냉각수 순환 펌프

수량	설치위치	유량 (LPM)	동력 (kW)
8	지하 기계실	15,600	160

항온기

수량	설치위치	용량 (USRT)	급기 송풍기			냉각 코일				면풍속 (m/s)
324	서버 룸	30	풍량 (m^3/h)	동력 (kW)	형식	용량 (kcal/h)	입구 기온 (℃)	출구 기온 (℃)	냉수 유량 (LPM)	2.5
			22,800	7.5	SIROCCO	90,000	22.5	13.5	215	

3.3. TRNSYS 동적에너지 시뮬레이션 개요

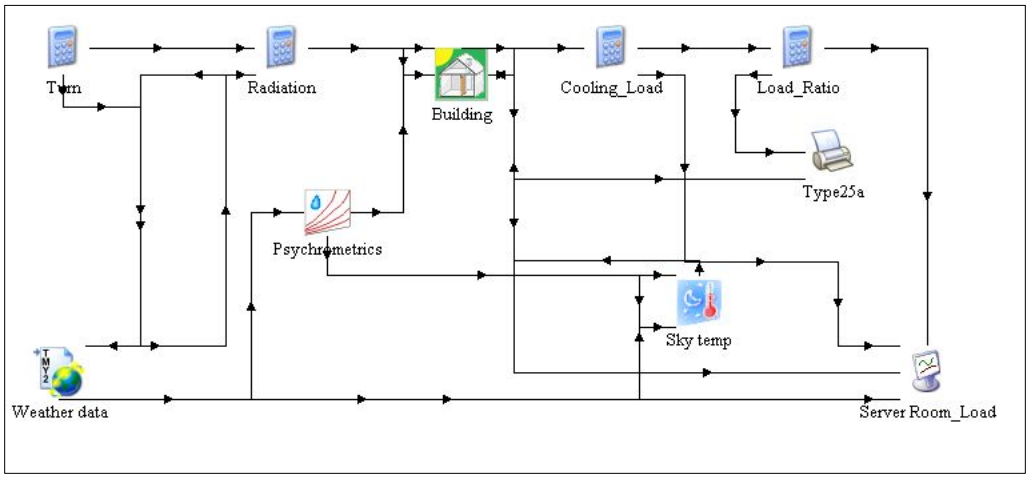
본 연구에서는 데이터센터의 냉방에너지 소비량 산출을 위하여 TRNSYS를 이용한 동적에너지 시뮬레이션을 수행하였다. 그러나 TRNSYS 프로그램은 Node의 연결에 의한 에너지 해석 방법으로 일반 건축물의 공간의 평균값으로 부하를 산출한다. 반면 데이터센터는 공간 내 평균온도 보다 서버 랙의 인입 기류의 온도 상태가 중요하며, 서버 랙을 통과한 반환온도가 CRAH의 취출온도에 영향을 준다. 따라서 공간 내 평균값으로 동적에너지 시뮬레

이션을 수행할 경우 서버 랙의 발열부하가 동일하다는 가정에서 공조효율 개선에 따른 에너지 소비량 평가가 불가능하다. 이에 따라 본 연구에서는 1차로 데이터센터의 발열부하 예측 시뮬레이션을 수행하여 그 값을 제거부하로 설정하고, 1차 시뮬레이션의 결과 값을 다시 2차 시뮬레이션의 입력 값으로 설정하여 최종적으로 중앙냉수 냉방시스템의 부하 제거를 위해 소비되는 냉방에너지를 산출 하였다. 또한 추후 경제성 분석을 위한 전력요금 산출을 위하여 냉방에너지는 전력소비량으로 통일하였다.

3.4. 데이터센터 서버 룸의 냉방부하 분석

3.4.1. 냉방부하 예측 에너지 시뮬레이션 경계 조건

데이터센터의 냉방에너지 소비량을 분석하기 위하여 서버 룸의 냉방부하를 산출하여야 한다. 서버 룸의 냉방부하를 정량적으로 산출하기 위해서는 IT기기의 부하패턴별 부하 및 조명, 인체 부하 등을 고려하여야 한다. 앞서 조진균 (2009)은 본 연구의 데이터센터를 대상으로 서버 부하패턴 및 운영실태를 반영한 냉방부하 해석 에너지 시뮬레이션을 수행하였다. 이에 따라 본 연구에서는 이를 벤치마킹하여 동일한 대상 데이터센터의 냉방부하를 분석하였다.



[그림 3.6] 냉방부하 산출을 위한 TRNSYS 구성도

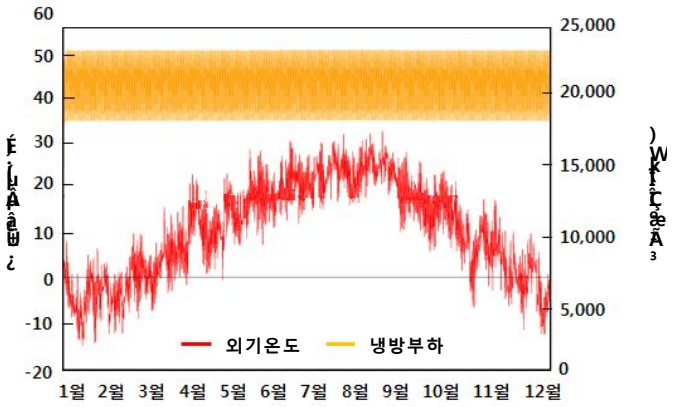
[그림 3.6]은 데이터센터의 냉방부하 산출을 위한 TRNSYS 구성도를 나타낸다. 데이터센터는 TRNBuild 프로그램과 연동된 TYPE 56 모듈을 사용하여 구현하였으며, <표 3.2>와 같이 발열조건을 설정하였다. 서버기기의 발열량은 4 kW 급 서버 720대에서 총 2,880 kW가 발생하는 것으로 설정하였으며, 가동율은 시간단위로 비례 적용하였다. 기상데이터는 TRNSYS 에서 자체 제공하는 서울기상데이터를 사용하였다.

<표 3.1> 데이터센터의 냉방부하 예측 에너지 시뮬레이션 경계조건

IT 장비 발열량	서버의 발열량 환산 2,880 kW × 9(층)
서버 운전 스케줄	서버 가동율을 시간단위로 적용함
	시간별 0.7 - 1.0 적용
조명부하	16W/m^2 × 2,250m^2 (바닥면적)
인체부하	상주인원 20인 일 스케줄 적용
기상조건	TRNSYS 17.0 에서 제공한 서울 기상데이터 (TMY2) 사용

3.4.2. 냉방부하 예측 에너지 시뮬레이션 결과

[그림 3.7]은 연간 데이터센터 서버 룸의 냉방부하 및 외기온도를 나타낸다. 서버 룸의 냉방부하는 최대 약 24,000 kW, 최소 약 18,000 kW 범위로 기존 분석결과와 매우 유사한 것으로 나타났다. 특히, 서버의 발열은 전체 냉방부하량에 약 98% 이상을 차지하였다. 이 경우 서버의 발열이 데이터센터 냉방부하에 지배적으로 영향을 주기 때문에, 부하예측 시뮬레이션 경계조건 입력단계에서 보다 정밀한 근거자료에 의한 서버 부하율의 설정이 요구된다. 이에 따라 냉방부하의 변화폭 역시 외기온에 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 그러나 냉방에너지의 소비량 산출을 위한 동적에너지 시뮬레이션 에서는 외기조건에 따라 냉방시스템의 에너지 소비량이 크게 영향을 받으며, 부하절감을 위하여 냉방부하 변화폭에 따른 설비시스템의 제어가 요구된다.

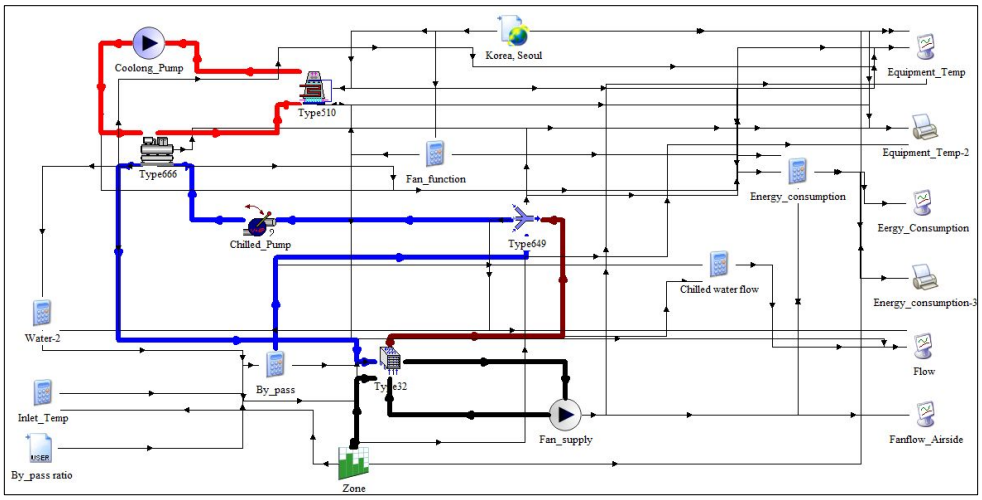


[그림 3.7] 데이터센터 냉방부하 및 외기온도

3.5. 데이터센터의 냉방에너지 소비량 분석

3.5.1. 냉방시스템의 에너지 시뮬레이션 경계 조건

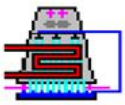
[그림 3.8]은 데이터센터의 냉방에너지 소비량 분석을 위한 TRNSYS 구성도를 나타내며, 정량적인 전력소비량을 분석하기 위하여 중앙냉수 냉방시스템 각 구성장치별 경계조건은 대상 데이터센터의 냉방시스템 장비일람표에 근거하여 산정하였다.



[그림 3.8] 냉방에너지 소비량 산출을 위한 TRNSYS 구성도

<표 3.2> 데이터센터의 냉방부하 예측 에너지 시뮬레이션 경계조건

수냉식 터보냉동기	설정 변수	값 (단위)
Type666-3	냉각용량	36,552 kW
	표준상태 C.O.P	6
	PLR (Part Load Ratio)	1
	냉수 설정온도	5 ℃
	냉수 비열	4.19 kJ/kg.K
	냉각수 비열	4.19 kJ/kg.K

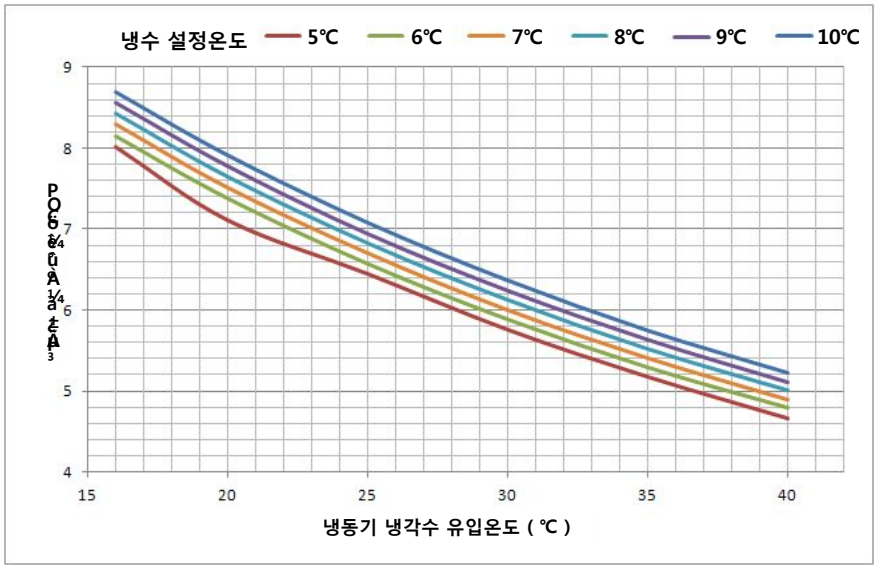
압입송풍식 냉각탑	설정 변수	값 (단위)
 Type510	송풍방식	압입송풍식
	냉각수 출구/입구 설계조건	32℃/37℃
	송풍량	6,500,000 kg/h
	전령소비량 (8대)	960 kW
	냉각수 유량 (8대)	7,488,000 kg/hr
	냉각수 비열	4.19 kJ/kg.K

냉각수 펌프	설정 변수	크기 (단위)	
	펌프 유량	냉각수 (8대)	7,488,000 kg/h
	유체의 비열	4.19 kJ/kg.K	
	펌프 소비전력	냉각수 (8대)	1,440 kW

냉수 펌프	설정 변수	크기 (단위)	
Type695	펌프 유량	냉각수 (8대)	4,512,000 kg/h
	유체의 비열	4.19 kJ/kg.K	
	냉수 밀도	1000 kg/㎥	
	펌프 소비전력	냉각수 (8대)	880 kW

CRAH 항온기	급기팬	설정 변수	크기 (단위)
	Type112a	송풍량	256,000 kg/h
		전력 소비량	7.5 kW
		모터 효율	0.7
	냉각코일	설정 변수	크기 (단위)
	Type32-2	코일의 열수	5
		튜브의 수	60
		핀의 수	1000
		튜브의 외경 지름	12 mm
		튜브의 내경 지름	11 mm

<표 3.2>는 각 시스템 구성장치의 경계조건을 나타낸다. 냉동기 모델을 구현하기 위하여 수냉식 터보냉동기 모듈인 Type 666를 사용하였다. 터보냉동기는 압축기, 응축기, 증발기의 냉매순환에 의해 냉수를 생산하는 방식으로 증발기에서 나오는 저온 저압의 냉매를 임펠러, 인렛 가이드 베인트로 압축시켜 저온 저압의 냉매를 고온 고압의 냉매로 만들고, 이를 응축기에 보내 냉각탑을 거친 냉각수와 열교환 시켜 응축 액화시킨다. 이렇게 만들어진 액화상태의 냉매는 다시 팽창벨브를 거쳐 기체로 증발하게 되는데, 이 때 주변의 열을 빼앗아 설정온도의 냉수를 취출하게 된다. 일반적인 에어컨과의 차이점은 응축기와 증발기에서의 열교환 매체가 기체가 아닌 액체라는 점이다.



[그림 3.9] 냉수 설정온도 및 냉각수 유입온도에 따른 COP 변화

터보냉동기의 성능 지표인 COP는 생산 목표의 냉수 온도 및 냉각수의 유입온도에 따라 변화하는데, 냉각수 유입온도의 경우 외기 습구온도에, 냉수 온도의 경우 서버 룸의 냉방부하 변화에 따른 냉수 반환온도에 영향을 받게 됨으로 이를 반영하여 냉동기의 전력 소비량을 산출 하였다. [그림 3.9]는 본 연구에서 적용된 터보냉동기의 냉수 설정온도와 냉각수 유입온도에 따른 COP 성능변화를 나타낸다. 냉동기의 냉각수 유입온도가 낮을수록, 냉수 설정온도가 높을수록 COP가 증가한다. 본 연구에서는 CRAH으로 보내는 냉수 온도를 5℃

로 고정하였기 때문에 냉동기 냉각수 유입온도에 따라 COP는 변화하게 된다. 따라서 외기 습구온도가 높은 여름의 경우 동일한 유량의 5℃의 냉수를 생산하기 위한 에너지 소비량이 증가하게 된다. 적용된 터보냉동기의 COP 값은 냉수 설정온도 7℃, 냉각수 유입온도 30℃ 기준으로 6이다.

COP와 함께 냉동기의 전력소비량에 영향을 주는 지표로 냉동기의 설계용량에 대한 부하 용량비를 나타낸 PLR이 있다. PLR이 1인 경우는 냉동기에 전부하가 걸린다는 것을 의미하며, PLR이 0.5인 경우에는 냉동기의 부분부하율이 50%라는 것을 의미한다. 그러나 PLR에 따른 동력비는 정비례 되지 않는다. 다시 말해 어떤 자동차가 동일한 거리를 시속 100 km/h 로 달리는데 소비되는 연료량이 10 L라고 한다면 시속 50 km/h로 달린다고 해서 연료 소비량이 5 L가 되지 않는 다는 것이다. 따라서 냉방부하에 따른 냉동기를 대수제어 할 경우 PLR이 동력비와 같거나 높도록 제어한다면 경제성 있는 운용이 가능할 것으로 판단된다.

<표 3.3> 냉동기의 부분부하율에 따른 동력비

냉동기의 부분부하율 (PLR)	냉동기의 동력비
0.00	0.0000
0.25	0.2497
0.50	0.4956
0.75	0.6902
1.00	1.0000

<표 3.3>은 냉동기의 부분부하율에 따른 동력비를 나타낸다. 냉동기의 부분부하율이 낮을수록 냉동기의 동력비가 낮은 것으로 나타나 냉수 By-pass 제어를 통한 냉동기의 COP를 개선할 수 있다. 냉수 By-pass 제어는 현열비가 높은 서버 룸의 냉방부하 감소율에 따라 냉동기에서 생산되는 5℃ 냉수의 일부를 CRAH를 통과한 냉수와 혼합하여 냉동기로 반환되는 냉수의 온도를 낮추는 제어방식이다. 서버 부하율에 따른 바이패스 냉수유량 산정식은 식 3.1과 같으며, Type 649 모듈을 이용하여 시간별 냉동기의 냉수 유입온도를 산출하였다.

$$M_{by-pass} = M_{\max} - (Q_t \times M_{\max})$$ 식 3.1

t = 시간 (1h~8760h)

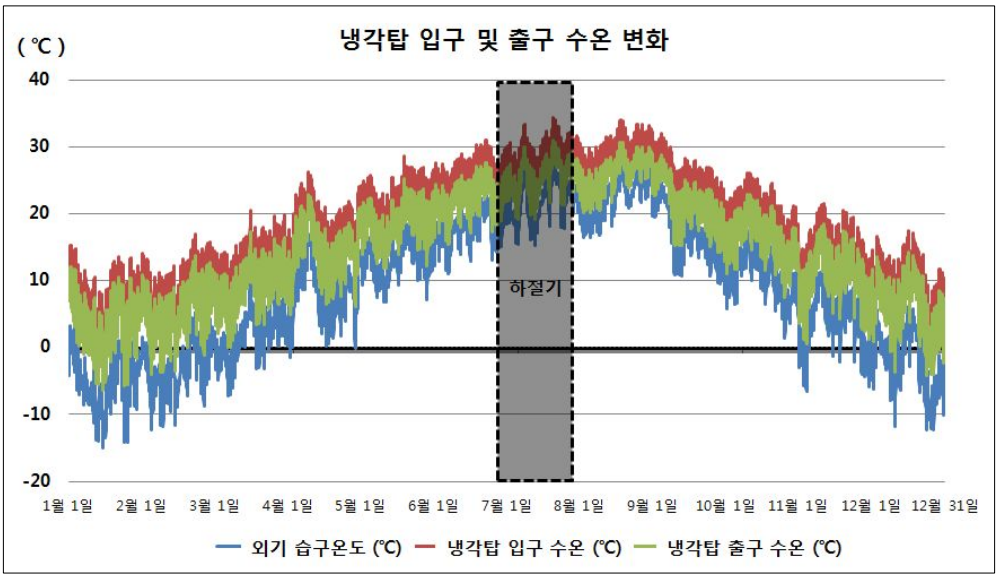
$M_{\max}$ = 서버 룸 최대부하 시 냉수유량 (kg/h)

Q_t = 시간 t 에서 서버 부하율 (-)

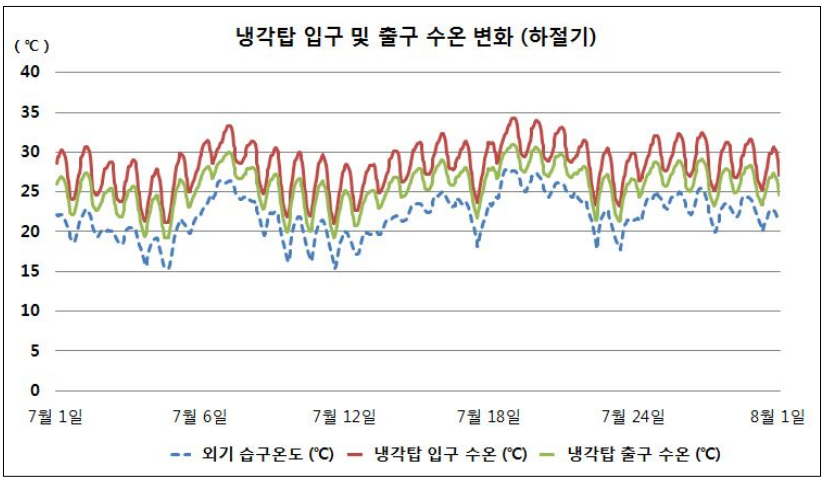
$M_{by-pass}$ = 서버 부하율에 따른 바이패스 냉수유량 (kg/h)

냉각탑 모델은 Type 510 모듈을 사용하였으며, 외기 습구온도 27℃와 냉각탑의 냉각수 유입온도 차에 따른 냉각탑 팬 비례제어를 실시하였다. 한편, 냉각탑의 송풍팬 가동율은 외기 습구온도가 낮은 겨울철을 고려하여 최소 80%로 설정하였다.

[그림 3.10]은 연중 냉각탑 입구 및 출구 수온 변화를 나타낸다. 외기 습구온도가 상대적으로 높은 하절기 (7월 1일 - 8월 1일)에는 그림 [그림 3.11]과 같이 냉각탑으로 유입되는 냉각수의 최대 수온이 34℃로 나타났으며, 외기와 냉각탑의 송풍팬에 의해 29℃로 냉각되어 냉각수 순환펌프를 통해 냉동기의 응축기로 유입된다. 냉각수 입구 수온과 출구 수온의 차를 의미하는 RANGE 범위는 5℃이다.

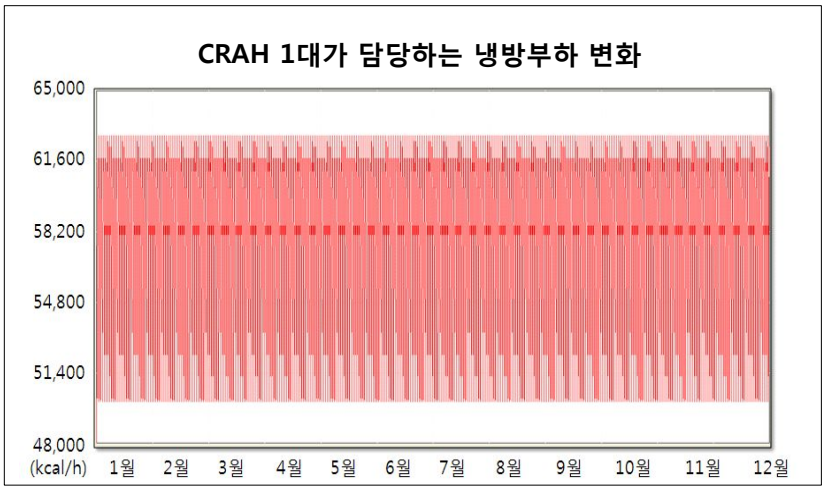


[그림 3.10] 냉각탑의 입구 및 출구 수온 변화



[그림 3.11] 냉각탑의 입구 및 출구 수온 변화 (하절기)

중앙냉수 냉방시스템의 경우 By-pass 및 냉각탑 송풍팬 제어를 통하여 제거부하에 대응함에 따라 냉각수 및 냉수 순환펌프의 운반 유량과 CRAH의 송풍 유량은 연중 서버부하에 관계없이 설계 값과 동일하게 유지된다. [그림 3.12]는 서버 부하율 변화에 따라 CRAH 1대가 담당하는 냉방부하량을 나타낸다. 서버 부하율에 따라 최대 65,000 kcal/h의 냉방부하가 제거부하로 나타나 장비일람표의 냉각코일 설계사양인 90,000 kcal/h에 충족하는 것으로 나타났다.



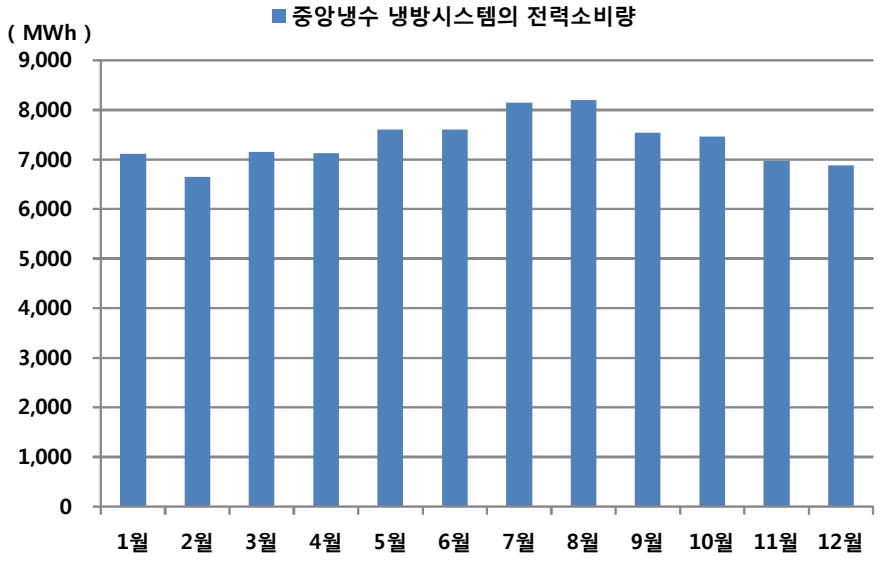
[그림 3.12] 서버 부하율 변화에 따른 CRAH 담당 냉방부하량

3.5.2. 냉방시스템의 에너지 소비량 분석

대상 데이터센터의 서버 룸 냉방부하량 산출 1차 시뮬레이션 결과를 제거부하로 설정하여, 중앙냉수 냉방시스템의 연간 (8,760시간) 냉방에너지 소비량을 전력소비량으로 산출하였다. 따라서 시간별 전력소비량에 따른 정량적인 전력요금 산출이 가능하며, 추후 LCC 분석의 입력 값으로 사용할 수 있다. 중앙냉수 냉방시스템이 적용된 OO 데이터센터의 월별 시스템 전력소비량 예측 동적에너지 시뮬레이션 결과는 [그림 3.13]과 같다.

외기온이 가장 낮은 1월의 경우 냉방시스템의 전력소비량이 2월 보다 높은 것으로 나타났는데, 이는 하루에도 전력소비량이 큰 데이터센터의 소비 특성상 1월의 시스템 가동 일수가 2월 대비 3일이 많기 때문이다. 반면, 외기 습구온도가 상대적으로 높은 하절기 의 경우 8월과 7월의 전력소비량은 각각 약 8,195 MWh, 약 8,149로 MWh로 시스템 가동 일수가 동일함에도 불구하고, 8월의 전력소비량이 소폭 증가하는 것으로 나타났다.

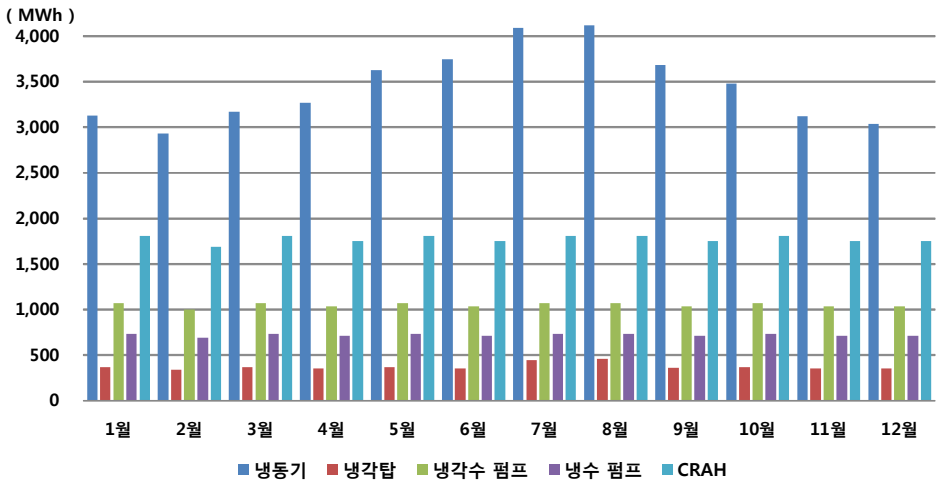
또한, 하절기의 전력소비량이 다소 높은 것으로 나타났다. 냉동기의 COP는 냉각수 유입온도 변화에 영향을 받아 외기 습구온도가 높은 하절기의 경우, COP가 감소하여 냉동기의 전력소비량이 <표 3.4>과 [그림 3.14]와 같이 동절기보다 증가했기 때문이다.



[그림 3.13] 월별 중앙냉수 냉방시스템의 전력 소비량

<표 3.4> 중앙냉수 냉방시스템의 구성장치 월별 전력소비량

월	구성기기의 전력 소비량 (MWh)				
	냉동기	냉각탑	냉각수 펌프	냉수 펌프	CRAH
1월	3130	365	1071	737	1807
2월	2930	342	1002	689	1690
3월	3169	365	1071	737	1807
4월	3272	354	1036	713	1748
5월	3628	365	1071	737	1807
6월	3745	356	1036	713	1748
7월	4093	442	1071	737	1807
8월	4119	462	1071	737	1807
9월	3685	364	1036	713	1748
10월	3479	365	1071	737	1807
11월	3120	354	1036	713	1748
12월	3034	354	1036	713	1748



[그림 3.14] 시스템 구성장치별 월별 전력소비량

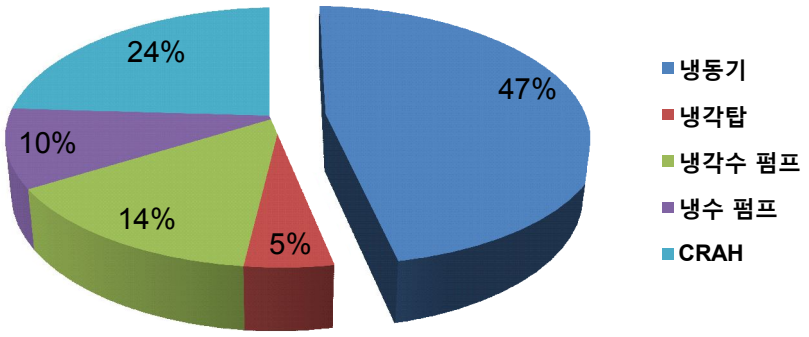
냉각탑의 전력소비량도 가동 일수 증가에 관계없이 하절기의 경우 소폭 상승하였으며, 그 외의 구성장치인 냉각수 펌프 및 냉수 펌프 그리고 CRAH의 전력소비량은 별도의 에너지 저감을 위한 제어가 가동되지 않음에 따라 외기 조건에 관계없이, 월별 전력소비량이 일정한 것으로 나타났다.

3.6. 냉수 설정온도 개선에 따른 에너지 소비량 저감효과

3.6.1. 중앙냉수 냉방시스템의 에너지 소비량 개선

중앙냉수 냉방시스템의 연간 전력소비량에 대한 각 구성장치별 전력소비율을 [그림 3.15]에 나타낸다. 냉동기의 경우 전체 전력소비량에 약 47%를 차지하는 것으로 나타나 냉동기 전력소비 효율 개선에 따른 에너지 저감효과를 기대 할 수 있다.

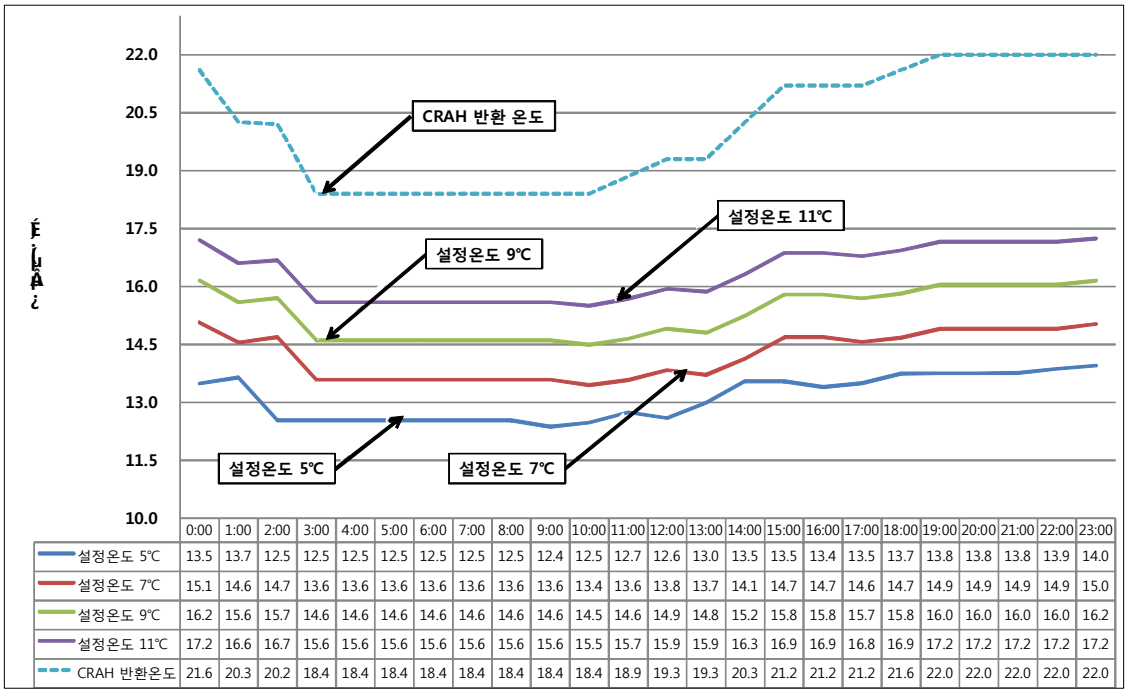
본 연구에서는 서버 부하율과 외기를 고려하여 냉수 By-pass 및 냉각탑 송풍량을 제어하였으나, 이는 시스템 자체의 효율 측면에서 경제성이 있는 방안이다. 이와 더불어 냉동기의 전력소비량을 줄이는 방안으로 공조효율 개선이 있다. 공조효율 개선은 냉방시스템의 제어와 관계없이 서버 룸 내 CRAH에서 취출되는 기류의 열손실을 줄여 서버 랙에 공급함으로써 동일한 서버 룸의 냉방부하를 제거하는데 상대적으로 CRAH의 취출 기류 온도를 높일 수 있는 방안이다. 이에 따라 CARH에 공급하는 냉수의 온도를 상향시켜 냉동기 내 압축기의 전력소비량을 효과적으로 감소시킬 수 있다 장점은 열원 시스템의 교체와 추가 없이 냉수 설정온도 변경만으로 전력소비량 기대가 가능하다는 것이다. 기존 냉수 설정온도인 5℃를 기준으로 공조효율 개선에 따른 냉수 설정온도를 2℃ 상승 폭으로 최대 11℃ 까지 가정하여 전력소비량 저감효과를 분석하였다.



[그림 3.15] 중앙냉수 냉방시스템 연간 구성장치별 전력소비율

3.6.2. 냉수 설정온도 변화에 따른 CRAH 취출온도 변화

[그림 3.16]은 시간별 냉동기의 냉수 설정온도 변화에 따른 CRAH의 취출온도 변화를 나타낸다. 일별 서버 부하율은 계절에 관계없이 연중 일정함으로 하루의 온도 변화를 분석하였다. 동일한 공조 공간에서는 냉수 설정온도를 높이면 CRAH의 취출온도가 상승하여 반환되는 기류의 온도도 일정량 상승하게 되지만 열손실을 줄이면 취출온도가 상승하여도 기존 공조방식과 다르게 동일한 반환온도 값을 가질 수 있다. 이에 본 연구에서는 임의의 공조효율 개선 방식을 적용하여 CRAH의 취출온도가 상승하여도 반환온도는 동일한 것으로 가정하였다. 서버 부하율에 관계없이 냉수 설정온도가 증가할수록 냉각코일의 열적성능에 따라 CRAH를 통해 취출되는 공급기류의 온도는 상승하였다. 서버 룸 최대부하 시 냉수 설정온도에 따른 CRAH의 취출온도는 냉수 설정온도가 5℃, 11℃인 경우 각각, 약 14℃, 17℃로 나타냈다.



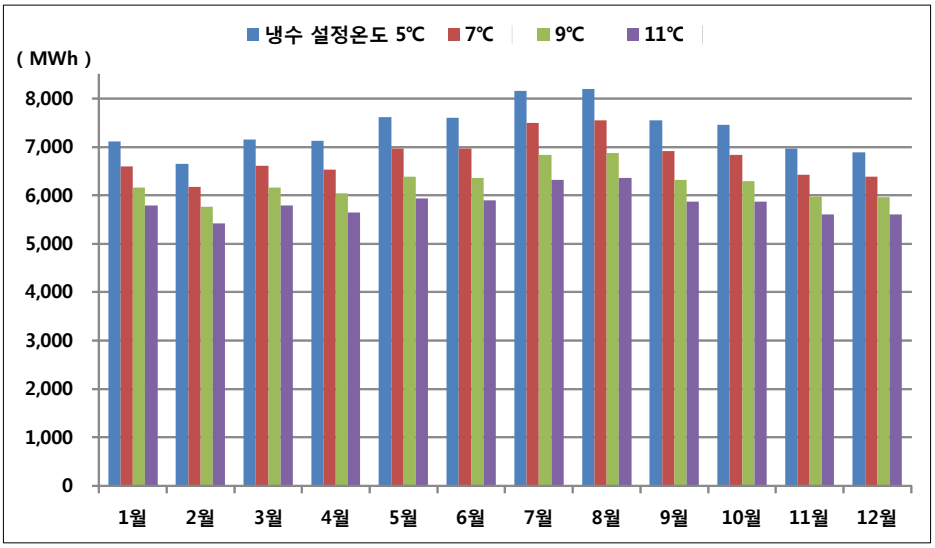
	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00
설정온도 5℃	13.5	13.7	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.4	12.5	12.7	12.6	13.0	13.5	13.5	13.4	13.5	13.7	13.8	13.8	13.8	13.9	14.0
설정온도 7℃	15.1	14.6	14.7	13.6	13.6	13.6	13.6	13.6	13.6	13.6	13.4	13.6	13.8	13.7	14.1	14.7	14.7	14.6	14.7	14.9	14.9	14.9	14.9	15.0
설정온도 9℃	16.2	15.6	15.7	14.6	14.6	14.6	14.6	14.6	14.6	14.6	14.5	14.6	14.9	14.8	15.2	15.8	15.8	15.7	15.8	16.0	16.0	16.0	16.0	16.2
설정온도 11℃	17.2	16.6	16.7	15.6	15.6	15.6	15.6	15.6	15.6	15.6	15.5	15.7	15.9	15.9	16.3	16.9	16.9	16.8	16.9	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2
CRAH 반환온도	21.6	20.3	20.2	18.4	18.4	18.4	18.4	18.4	18.4	18.4	18.4	18.9	19.3	19.3	20.3	21.2	21.2	21.2	21.6	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0

[그림 3.16] 시간별 냉동기의 냉수 설정온도 변화에 따른 CRAH 취출온도 변화

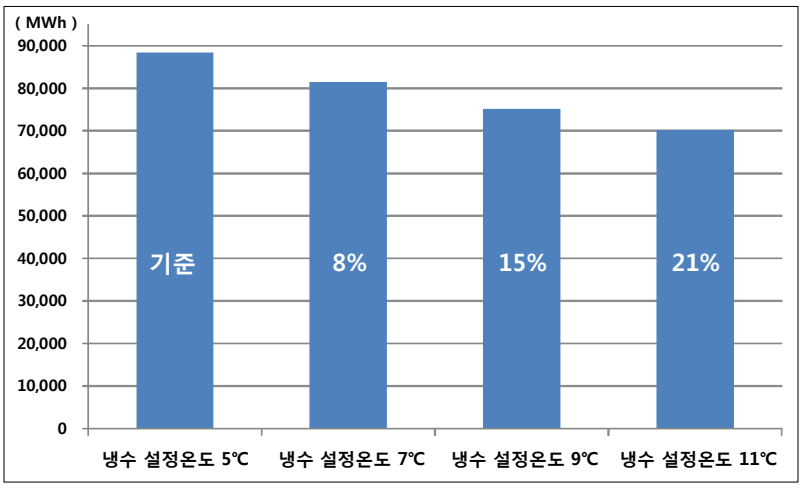
3.6.3. 냉수 설정온도 변화별 에너지 저감효과 분석

[그림 3.17]에 냉동기의 냉수 설정온도 상향 조정에 따른 월별 냉방시스템의 전력소비량과 [그림 3.18]에 연간 전력소비량 및 절감율을 나타낸다. 냉수 설정온도를 2℃ 상향 조정하면 연간 전력소비량이 8% 감소하였다. 이는 냉동기의 냉수 설정온도 상향 설정과 함께 COP가 증가하였기 때문과 동시에 공조효율 개선 방식에 따라 냉동기로 환수되는 냉수의 온도차 ΔT가 냉수 설정온도 증가에 따라 동일하지 않고, 감소하였기 때문이다. 다시 말해, 냉동기의 냉수 설정온도가 5℃일 때, 환수되는 냉수 온도가 13℃도로 가정 하면 ΔT가 8℃가 된다. 반면, 설정온도가 2℃ 상향된 7℃의 경우에는 환수되는 냉수 온도가 15℃가 아니라 13℃가 되어 ΔT는 6℃로 감소된다. 따라서 냉동기는 더 낮은 ΔT의 냉수를 생산해도 되기 때문에 COP와 함께 부분부하율도 낮아지게 되어 전력소비량이 감소된다는 것이다.

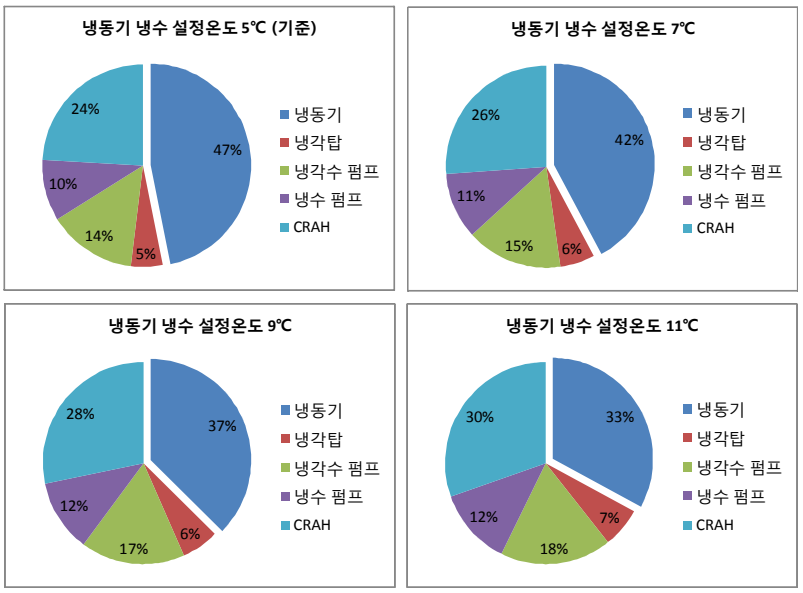
그러나 냉수 설정온도가 상향될수록 전력소비량 감소율은 증가하지만 서버 랙에 의한 발열부하를 제거하지 못 할 수 있으며, 공조효율 방식 개선에 의한 열손실 감소 또한 한계가 있기 때문에 이를 고려하여 냉수 설정온도를 상향 조정하여야 한다.



[그림 3.17] 냉동기의 냉수 설정온도 상향조정에 따른 월별 전력소비량



[그림 3.18] 냉수 설정온도 변화에 따른 연간 전력소비량 및 절감율



[그림 3.19] 냉수 설정온도 변화에 따른 구성장치의 전력소비율 변화

[그림 3.19]는 냉동기의 냉수 설정온도 변화에 따른 구성장치의 연간 전력소비율을 나타낸다. 냉수 설정온도 상향과 관계없이 냉동기를 제외한 구성장치의 연간 전력소비량은 동일하나 냉동기가 차지하는 전력소비량은 크게 감소하는 것으로 나타났으며, 냉수 설정온도가 11℃인 경우에는 냉동기의 전력소비량이 전체 전력소비량에 38%로 감소하는 것으로 나타났다.

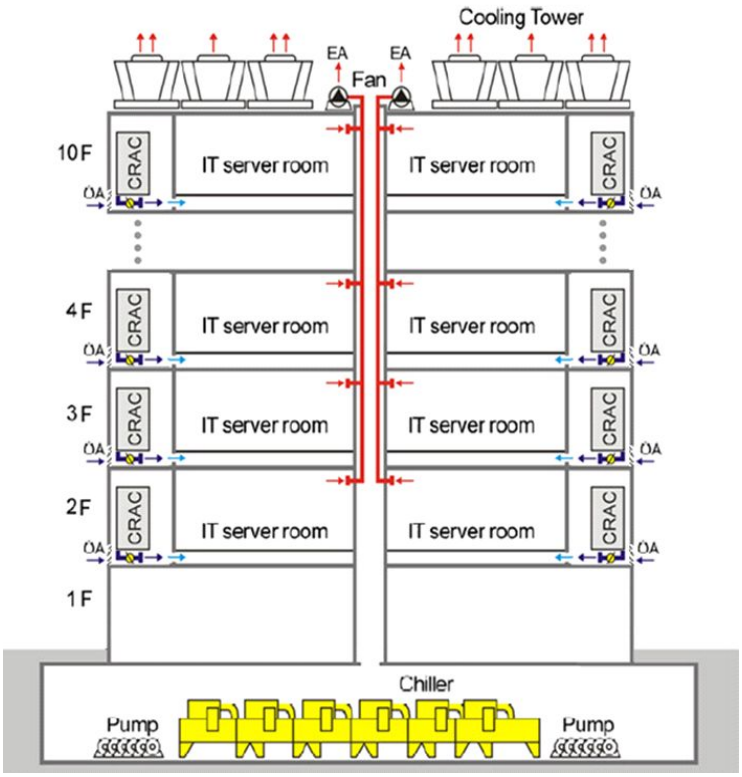
4. 외기도입 냉방시스템의 에너지 저감효과 분석

4.1. 외기도입 냉방시스템 개요

외기도입 냉방시스템은 제어방식에 따라 설정된 조건에 외기가 부합할 경우 외기를 직접 또는 간접적으로 도입하여 건물 내 냉방부하를 담당하는 냉방시스템으로 연중 외기에 관계없이 항시 냉방하여야 하는 데이터센터에 도입 시 중간기 및 동절기의 냉방시스템 에너지 소비량을 크게 낮출 수 있다. 이중 직접외기도입 방식은 별도의 혼합챔버 공간을 두지 않아 공간적으로 효율적이나 제어조건에 따라 제습 및 가습부하가 발생하며, 동절기의 외기조건과 분진에 의한 서버기기의 오작동을 초래할 수 있어 이에 대한 고려가 필요하다. 이에 본 연구에서는 이를 고려하여 외기도입 제어방식별, 필터적용별 에너지 소비량 저감효과를 분석하였다.

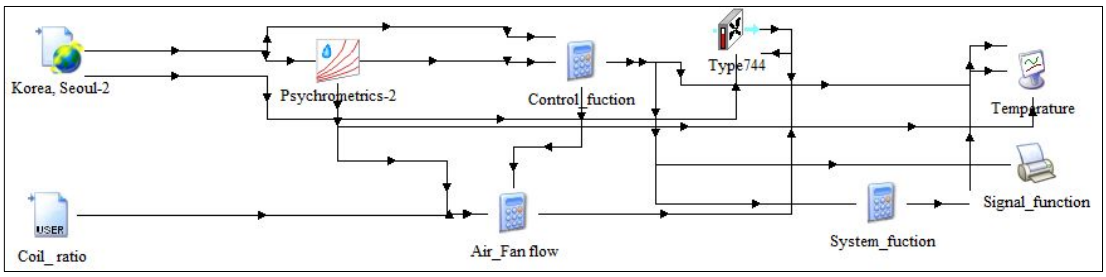
[그림 4.1]은 본 연구의 직접외기도입 방식 냉방시스템 열원 흐름도를 나타내며, 기존 J. Cho 외 (2012)의 외기도입 냉방시스템 열원 흐름도를 일부 수정하여 표현하였다. 제어조건에 따라 외기도입이 불가능 할 경우에는 기존의 중앙냉수 냉방시스템이 On/Off 제어됨으로 중앙냉수 냉방시스템에 추가적으로 건물의 측벽을 뚫어 외기도입 팬을 설치하고, 배기의 재유입을 방지하기 위하여 배기는 건물의 상부를 통해 실시한다.

도입외기의 풍량은 별도의 혼합챔버를 두지 않기 때문에 서버 부하량에 따라 변풍량으로 제어된다. 단점으로는 외기조건과 냉방부하율에 따라 도입 외기의 풍량이 작을 경우, 서버 룸 내의 기류 불균형 분포가 발생할 수 있어 외기도입 풍량 변화에 따른 서버 룸 내의 유동해석이 필요할 것으로 판단된다.



[그림 4.1] 직접외기도입 방식 냉방시스템 열원 흐름도

외기도입 냉방시스템 가동 시에는 외기도입용 급/배기 팬에 의한 전력소비량만 발생하게 된다. 따라서 필터적용에 따른 차압변화별 소비 동력변화를 분석하기 위하여 1차 적으로 TRNSYS를 이용하여 외기도입 냉방시스템 가동 시 외기조건 및 서버부하율에 따른 송풍량을 산출하였다. [그림 4.2]는 송풍량 계산을 위한 TRNSYS 구성도이다.



[그림 4.2] 직접외기도입 방식 냉방시스템 열원 흐름도

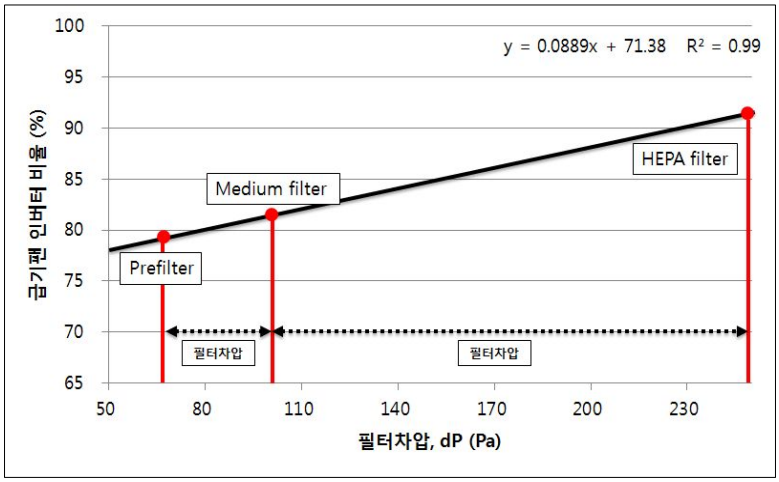
4.2. 외기도입용 급기팬 사양

곽노열 외(2004)은 실험을 통하여 필터 압력손실에 따른 공조기 팬의 전력소비량 변화를 분석하였다. 이에 본 연구는 동일한 공조기 팬을 적용하여 산출된 송풍량과 필터의 압력손실에 따른 전력소비량을 분석하였다.[11] <표 4.1>은 외기도입 팬 사양을 나타낸다.

<표 4.1> 외기도입 시스템의 급기팬 사양

Air volume	CMH	26,450
Fan	Type	AIR FOIL
Motor	kW	11
	PH/V/Hz	3/380/60
인버터 설치여부		설치

[그림 4.3]은 정풍량 조건에서 필터 종류에 따른 필터차압이 증가함에 따라 송풍량을 일정하게 유지하기 위한 급기팬의 인버터 비율을 나타낸다. 본 연구에서는 총 3가지 필터를 대상으로 전력소비량 변화를 산출하였으며, 특정 시간에서 서버 룸에 동일한 외기를 공급하기 위한 인버터 비율은 HEPA filter 가 Prefilter 보다 약 15% 크다.

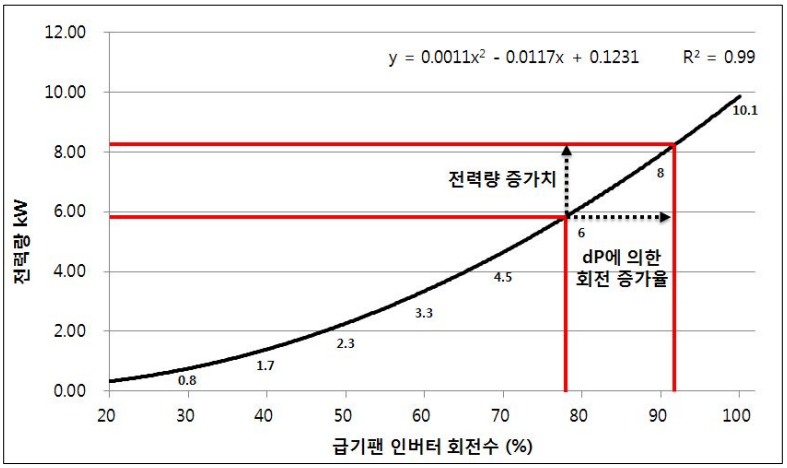


[그림 4.3] 필터차압 변화에 따른 급기팬의 인버터 변화율

11) 곽노열 외 3인, 공조기 필터차압관리에 의한 팬동력 에너지 저감 평가 및 운용시스템 개발, 대한건축학회논문집, 제 20권 5호, 2004.

[그림 4.4]는 필터 압력손실 증가에 의한 전력량을 급기팬 인버터 회전수 함수로 나타낸 그래프이다. [그림 4.3]의 인버터 회전수 증가에 따라 전력소비량 또한 상승하게 된다.

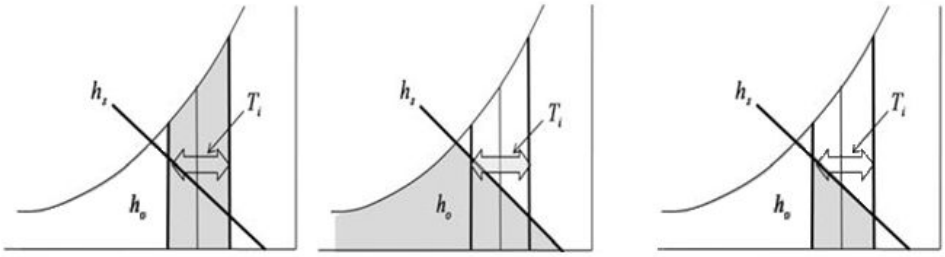
연간 8760시간의 필터종류 및 교체에 따른 차압변화를 반영하여 외기도입 팬의 전력소비량을 산출하였으며, 필터종류 및 교체관련 사항은 본 논문의 4.4장에서 다루도록 한다.



[그림 4.4] 인터버 변화율에 의한 팬모터 전력량 변화

4.3. 외기도입 냉방시스템 제어방식

외기도입 냉방시스템 적용 시 외기의 도입 제어방식은 크게 온도 제어와 엔탈피 제어가 있다. [그림 4.5]에 각 제어방식별 도입가능 외기조건을 나타낸다.



(a) Temperature mode (b) Enthalpy mode (c) Enthalpy + Temperature mode

[그림 4.5] 제어방식별 도입가능 외기조건

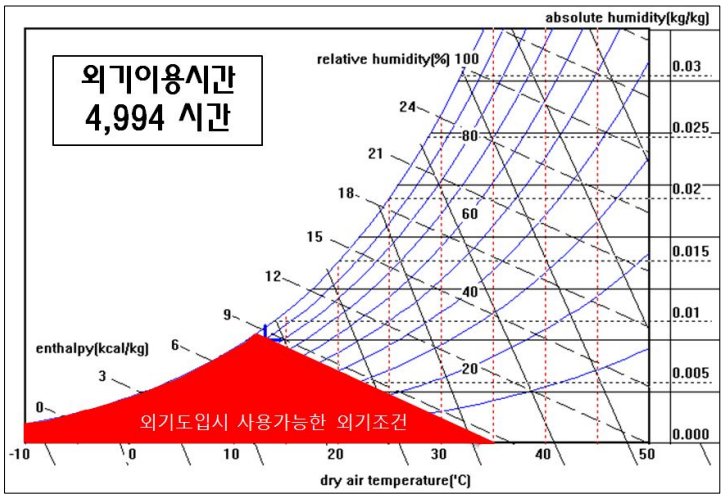
(a) 온도 제어

온도제어는 외기 건구온도를 기준으로 외기도입 여부를 결정하는 것으로 외부 센서에 의해 감지된 외기 건구온도가 설정된 값보다 낮을 경우 가동된다. 그러나 이 제어방식은 외기의 습도가 높은 경우 잠열부하가 발생하여 냉방부하 및 제습부하가 증가할 수 있다.

(b) 엔탈피 제어

엔탈피 제어는 온도제어를 개선한 방법으로 외기도입 여부를 외기의 엔탈피에 의해 결정하는 제어방식으로 온도 및 습도센서가 동시에 필요하다. 이 경우 데이터센터에 적용 시 제습부하를 고려치 않아도 되나 외기 엔탈피가 낮은 동절기의 경우 오히려 가습부하가 발생하여 배기와의 적절한 혼합을 위한 제어가 필요하다.

본 연구에서는 온도 제어를 제외하고, 엔탈피 제어와 엔탈피 및 온도 제어 방식에 따른 외기도입 냉방시스템의 에너지 저감효과를 분석하였다. [그림 4.6]은 서울 기상조건을 기준으로 엔탈피 제어 시 도입가능 외기조건 및 이용시간을 나타낸다. 도입가능 외기의 엔탈피는 CRAH의 장치노점온도(13℃, 90%) 상태를 기준으로 엔탈피 8.16 kcal/kg 이하로 설정하여 제습부하가 발생하지 않도록 하였다.[12] 외기이용 가능시간은 연간 약 5,000시간 이다.



[그림 4.6] 엔탈피 제어 시 도입가능 외기조건

12) 조진균, 고밀도 데이터센터의 공조효율 및 에너지성능 개선을 위한 공조시스템 계획방법 연구, 연세대학교, 박사학위논문, 2009.

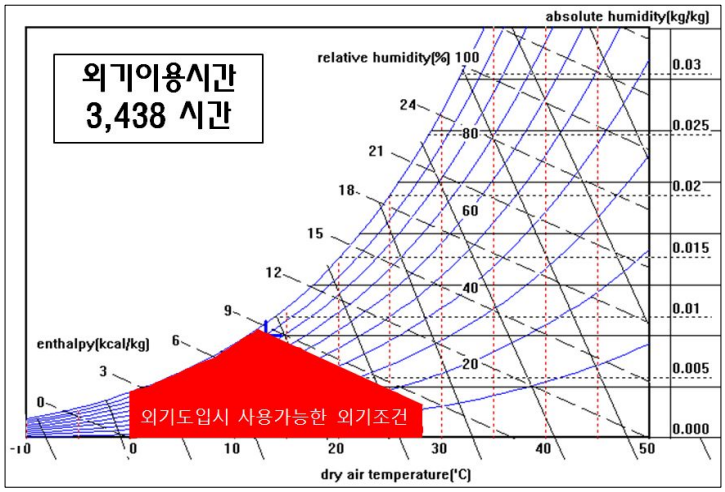
(c) 엔탈피 및 온도 제어

ASHRAE (2004h)[13]와 NEBS (Network Equipment-Building Systems)에서는 데이터 센터의 설계 조건으로 서버 랙에 유입되는 공기의 허용 및 추천 온도 범위에 대한 가이드 라인을 제안하고 있으며, <표 4.2>와 같다.

<표 4.2> ASHRAE (2004h)와 NEBS에서 제안한 서버 랙 유입 온도범위

구분		허용 범위 (℃)	추천 범위 (℃)
ASHRAE (2004h)	Class 1	15 - 32	20 - 25
	Class2	10 - 35	
NEBS		05 - 41	18 - 26

따라서 본 연구에 적용된 직접도입 외기냉방 시스템의 경우 엔탈피 제어에 추가적으로 온도 범위를 제한하여 서버 랙으로 유입되는 공기로부터 서버기기를 보호하여야 한다. 이 경우 동절기의 외기도입을 위한 가습부하 요소 제거와 함께 서버기기를 보호할 수 있으나 [그림 4.7]와 같이 외기이용 가능시간이 3,438시간으로 단축되어 에너지 저감효과는 감소하게 된다.



[그림 4.7] 엔탈피 및 온도 제어 시 도입가능 외기조건

13) ASHRAE (2004h), Thermal Guidelines for Data Processing Environment, Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air_Conditioning Engineers, 2004.

4.4. 적용필터 사양 및 교체주기 예측

ASHRAE (2007b)[14]에서는 데이터센터에 외기도입 냉방시스템 적용 시 필터의 최소 집진 효율값을 나타내는 MERV (Minimum Efficiency Reporting Value)등급에 따른 필터적용을 제안하고 있다. 최소 MERV 8급, 권장 MERV 11-13급의 필터사용을 제안하였으며, MERV의 각 등급별 집진 효율[15]은 <표 4.3>과 같다.

<표 4.3> MERV 등급별 집진 효율

MERV	구분				
	3 - 10㎛	1 - 3㎛	0.3 - 1㎛	중량법 효율	비색법 효율
1	< 20%	-	-	< 65%	< 20%
2	< 20%	-	-	65 -70%	< 20%
3	< 20%	-	-	70 - 75%	< 20%
4	< 20%	-	-	> 75%	< 20%
5	20 - 35%	-	-	80 - 85%	< 20%
6	35 - 50%	-	-	> 90%	< 20%
7	50 - 70%	-	-	> 90%	20 - 25%
8	< 70%	-	-	> 95%	25 - 30%
9	< 85%	< 50%	-	> 95%	40 - 45%
10	< 85%	50 - 60%	-	> 95%	50 - 55%
11	< 85%	65 - 80%	-	> 98%	60 - 65%
12	> 90%	> 80%	-	> 98%	70 - 75%
13	> 90%	> 90%	< 75%	> 98%	80 - 90%
14	> 90%	> 90%	75 - 85%	> 98%	90 - 95%
15	> 90%	> 90%	85 - 95%	> 98%	> 95%
16	> 95%	> 95%	> 95%	> 98%	> 95%
17	> 99%	> 99%	> 99%	-	> 99%
18	> 99%	> 99%	> 99%	-	> 99%
19	> 99%	> 99%	> 99%	-	> 99%
20	> 99%	> 99%	> 99%	-	> 99%

14) AHAREA (2007b), ANSI/ASHRAE Standard 127-2007, Method of Testing for Rating Computer and Data Processing Room Unitary Air Conditioners, Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air_Conditioning Engineers, 2007.

15) AHAREA (2007a), ANSI/ASHRAE Standard 52.2-2007, Method of Testing General Ventilation Air-Cleaning Devices for Removal Efficiency by Particle Size, Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air_Conditioning Engineers, 2007.

본 연구에서는 해당 MERV 등급을 고려하여 Prefilter, Midium filter, HEPA filter를 각각 외기도입 냉방시스템의 외기도입 팬에 적용하였으며, 해당 필터사양은 <표4.4>과 같다.

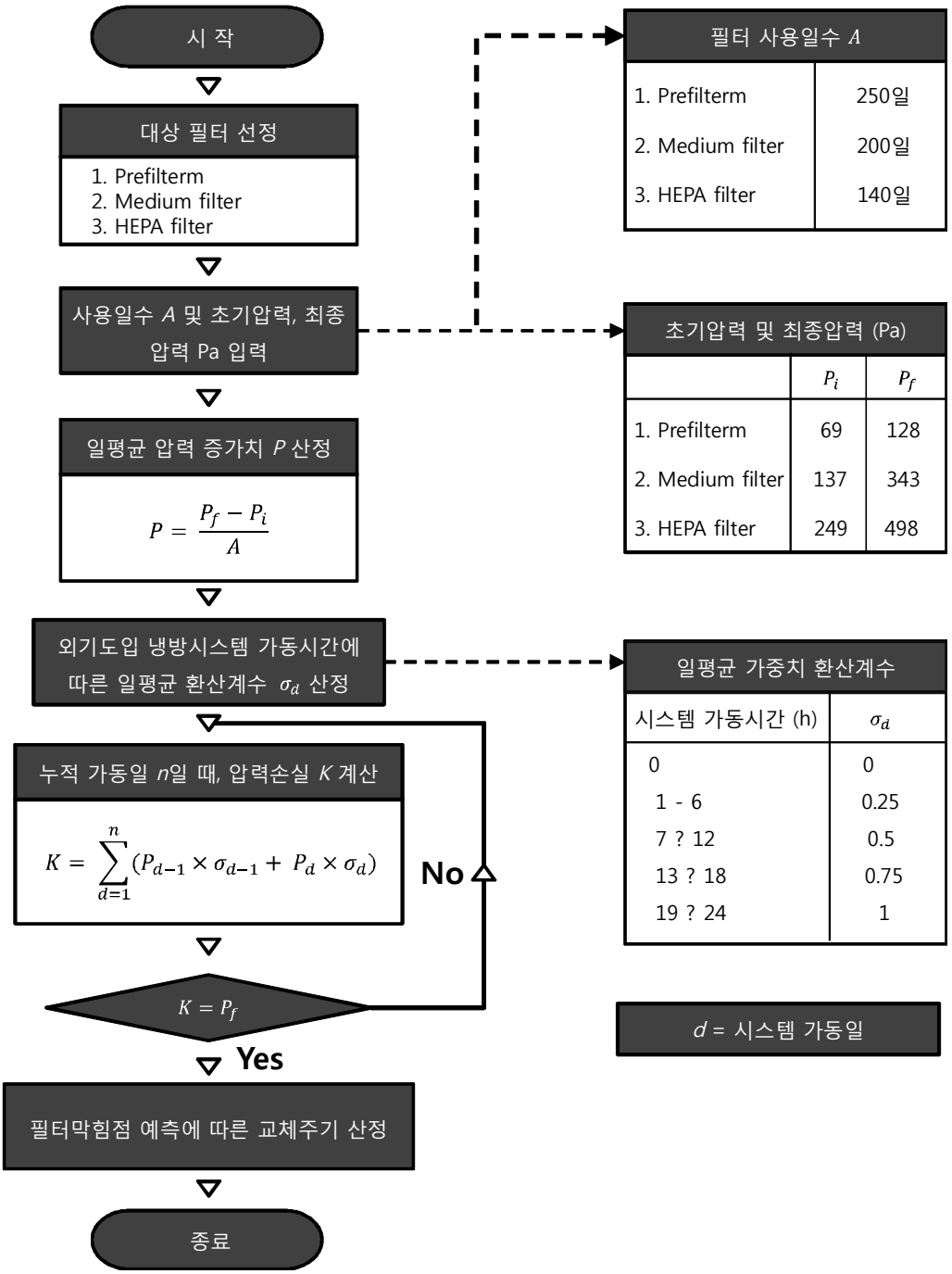
<표 4.4> 외기도입 냉방시스템 적용필터 사양

필터종류	MERV	규격 (W×H×D)	정격풍량 (CMH)	사용 일수	압력손실 (Pa)	
					초기	최종
Prefilter	8급	610×610×292	59	250	69	128
Medium filter	13급	610×610×292	56	200	137	343
HEPA filter	16급	610×610×292	56.6	140	249	498

필터의 MERV 등급이 상향될수록 외기 분진의 집진효율은 증가하지만 필터의 압력손실에 따라 특정시간에서 동일한 풍량을 서버 룸으로 공급하기 위한 팬동력도 증가한다. 또한 같은 필터라도 필터막힘에 따라 압력손실이 변화하고, 그 값이 최종압력에 도달 시 필터를 교체하여야 한다. 각 필터의 교체주기는 사용일수를 기준으로 250일, 200일, 140일 이나, 이는 건물의 공조시스템 방식과 가동시간을 반영하지 않은 일반적인 교체주기이다.

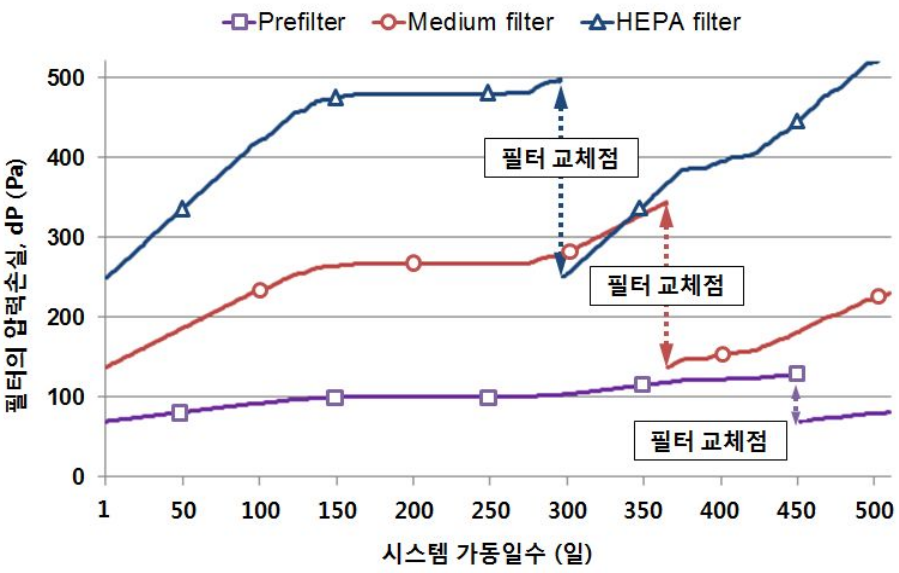
이에 본 연구에서는 외기도입 냉방시스템의 일중 시간별 가동시간에 따른 가중치를 일평균 압력손실 값에 반영하여 외기도입 냉방시스템의 제어방식별 필터교체주기를 예측하였으며, 필터막힘점 예측을 위한 알고리즘 순서도는 [그림4.8]과 같다.

알고리즘을 통해 얻어진 일별 압력손실과 필터 교체점 결과 값을 동적에너지 시뮬레이션에 반영하여 압력손실에 따른 외기도입 팬의 인번터 회전수 변화를 고려한 외기도입 냉방시스템의 전력소비량을 산출하였다.

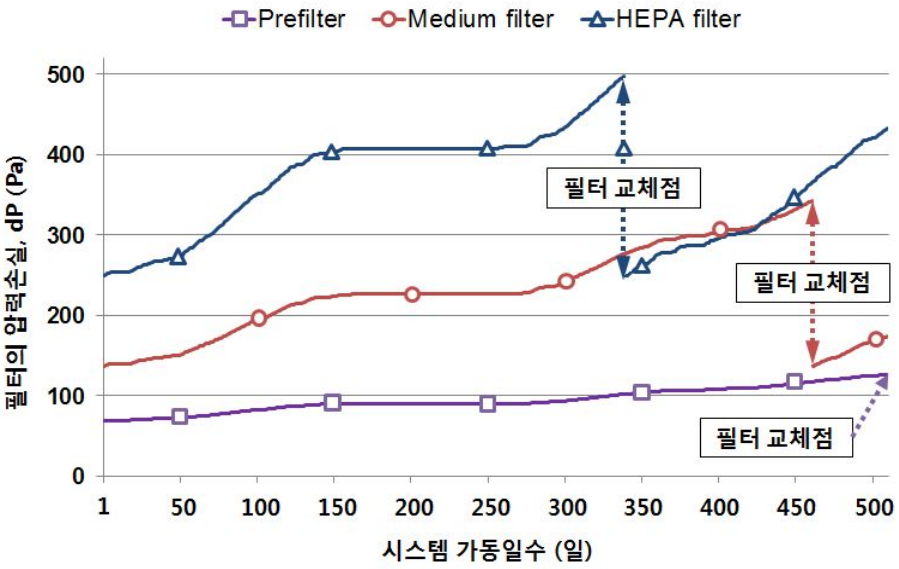


[그림 4.8] 필터막힘점 예측 알고리즘 순서도

외기도입 냉방시스템의 시스템 가동 일수 500일에 따른 제어방식별 압력손실 변화율 및 필터막힘점 예측 결과를 [그림 4.9]와 [그림 4.10]에 나타낸다.



[그림 4.9] 엔탈피 제어 시 필터별 압력손실 변화 및 필터 교체점



[그림 4.10] 엔탈피 및 온도 제어 시 필터별 압력손실 변화 및 필터 교체점

외기도입 냉방시스템에 엔탈피 제어를 실시한 경우, 외기도입 가능시간의 증가에 따라 필터의 압력손실 증가율이 엔탈피 및 온도로 제어한 경우보다 상대적으로 높은 것으로 나타났으며, 특히 외기도입 가능시간이 많은 동절기에는 HEPA filter의 압력손실 증가율이 가장 큰 것으로 나타났다.

또한 [그림 4.10]과 같이 시스템 가동 일수가 약 350일 지점에서는 HEPA filter 적용에 따른 압력손실이 Medium filter 적용 시 보다 작은 것으로 나타났는데, 이는 HEPA filter의 압력손실이 최종압력에 도달하여 필터를 교체함에 따라 압력손실 값이 초기 값으로 변경되었기 때문이다.

필터 교체점 예측에 따른 필터 교체주기는 <표 4.5>에 나타낸다. Prefilter의 경우 일반적인 교체주기는 250일 이였으나, 시스템 가동시간을 고려한 예측 교체주기는 500일로 나타나 필터사용 가능일이 약 2배 증가하였다. 반면, ASHRAE에서 권장한 필터등급에 해당하는 Medium filter의 경우 필터 교체주기는 358일로 나타나 1년 단위의 교체가 가능할 것으로 판단된다.

그러나 본 연구의 필터 교체점 예측은 연간 시스템 가동 시점을 1월 1일로 설정하였으며, 외기도입 냉방시스템의 도입에 따른 연간 전력소비량을 분석하기 위하여 분석 기간을 500일에 한정하였기 때문에, 일부 기간에서의 분석을 위해서는 외기도입 냉방시스템 가동 시점에서의 계절을 고려한 예측주기 산정이 필요하다.

<표 4.5> 외기도입 냉방시스템 가동시간을 고려한 각 제어방식별 필터 교체점

구분	연간 시스템 가동시간 (h)	필터 교체점 예측을 통한 교체주기 (일)		
		Prefilter	Medium filter	HEPA filter
엔탈피 제어	4,994	449	358	290
엔탈피 및 온도제어	3,438	500	451	332
일반적인 교체주기 (일)	-	250	200	140

4.5. Case study를 통한 에너지 저감효과 분석

4.5.1. Case 설정

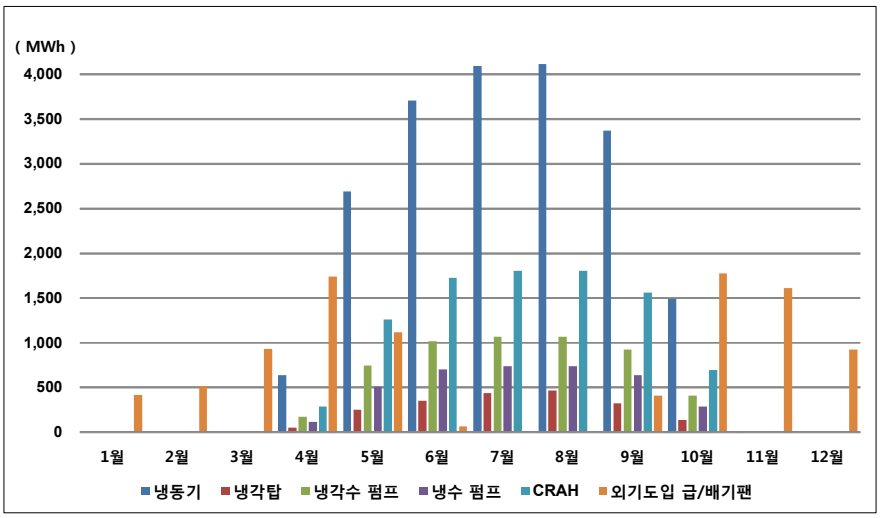
앞서 언급한 외기도입 냉방시스템의 제어방식 및 적용필터별 에너지 저감효과를 분석하기 위하여 Case study를 수행하였으며, 각 Case별 조건을 <표 4.6>에 나타낸다. 총 9개의 Case로 Case 1은 대조군으로 기존 중앙냉수 냉방시스템이다. 크게 엔탈피 제어 방식과 엔탈피 및 온도 제어 방식으로 나뉘고, 다시 필터적용 여부 및 종류에 따라 세분화 된다.

<표 4.6> Case별 설정 개요

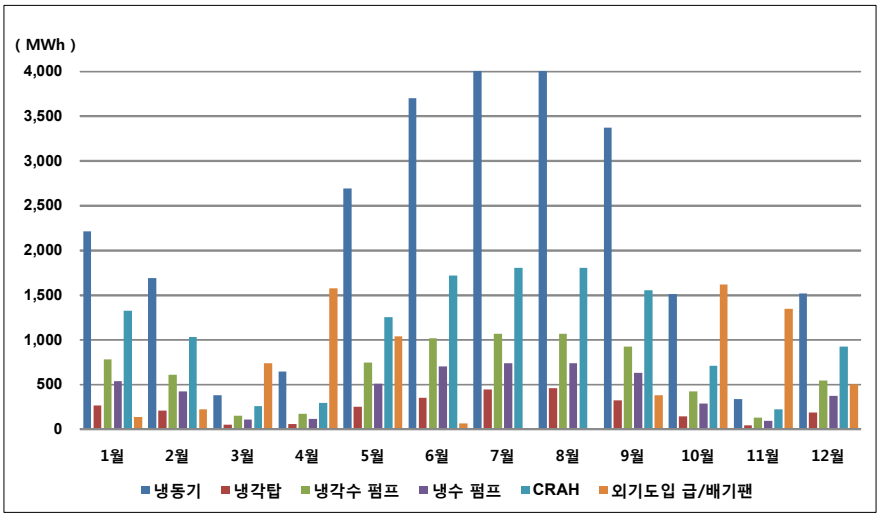
구 분 \ Case	1	2	3	4	5	6	7	8	9
적용 시스템	중앙냉수 냉방시스템	중앙냉수 냉방시스템 및 외기도입 냉방시스템 병행							
외기 도입량	-	변풍량							
엔탈피 제어		ON < 8.16kcal/kg				ON < 8.16kcal/kg			
온도 제어	-	-				0℃ < ON < 28℃			
적용 필터	-	미적용	Pre filter	Medium filter	HEPA filter	미적용	Pre filter	Medium filter	HEPA filter
냉동기 냉수 설정온도(℃)	5								
CRAH 풍량	정풍량								

4.5.2. 제어방식별 에너지 소비량 분석

데이터센터 외기도입 냉방시스템의 권장 필터 등급인 MERV 13급의 Medium filter 적용에 따른 제어방식별 냉방시스템 구성장치의 전력소비량을 [그림 4.11]과 [그림 4.12]에 각각 나타낸다.



[그림 4.11] 냉방시스템 구성장치의 월별 전력소비량 (Case 4)

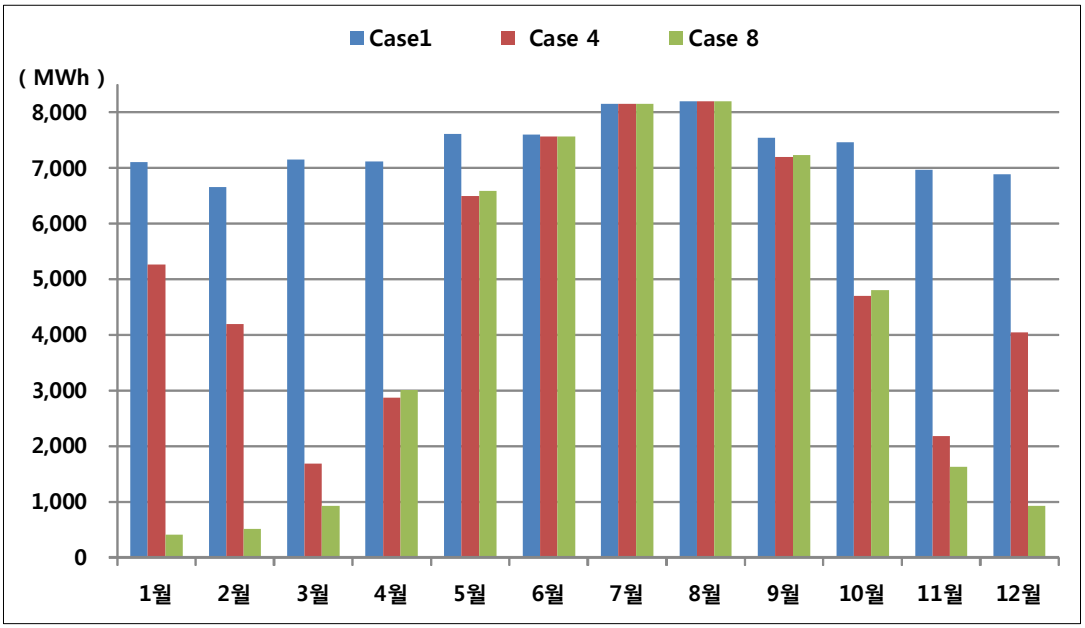


[그림 4.12] 냉방시스템 구성장치의 월별 전력소비량 (Case 8)

엔탈피 조건 충족으로 외기를 도입하는 엔탈피 제어방식에서 Case 4의 경우에는 동절기 및 중간기, 대부분의 전력소비량이 외기를 도입하기 위한 외기도입 급/배기팬 에서 발생하는 것으로 나타났다. 따라서 필터에 의한 압력손실 변화는 동절기의 에너지 소비량 변화에 크게 영향을 미치게 된다. 반면, 동절기 낮은 온도의 외기를 도입하지 않는 엔탈피 및 온도 제어방식에서 Case 8의 경우에는 부분적으로 중앙냉수 냉방시스템이 가동되어 전력

소비량이 다소 증가하였다. 중간기에는 제어방식에 관계없이 연중 가장 흡사한 전력소비량을 나타내어 이 시기에는 외기의 안정적인 도입이 가능할 것으로 판단된다.

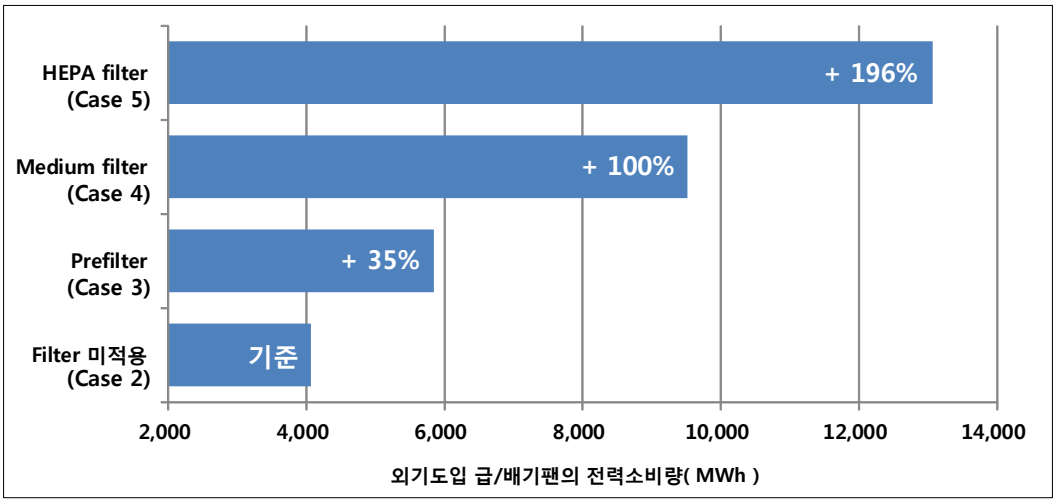
[그림 4.13]은 기존 중앙냉수 냉방시스템인 Case 1과 Case 4, 8의 월별 전력소비량을 나타낸다. 외기 온도가 낮아질수록 Case 8의 월별 전력소비량은 오히려 증가하였으며, Case에 관계없이 외기를 도입할 수 없는 하절기에는 외기도입 냉방시스템의 가동이 중단되고, 기존 중앙냉수 냉방시스템이 가동됨에 따라 전력소비량이 소폭 감소되거나 변화하지 않았다. 그러나 본 논문의 3.6장에서 언급했던 공조효율 개선에 따라 CHAH의 취출온도를 상향 조정하면 냉동기의 냉수설정온도 상향과 동시에 외기도입 냉방시스템의 외기도입 가능 엔탈피 조건도 상향시킬 수 있음으로 하절기에도 전력소비량을 일부 낮출 수 있을 것으로 판단된다.



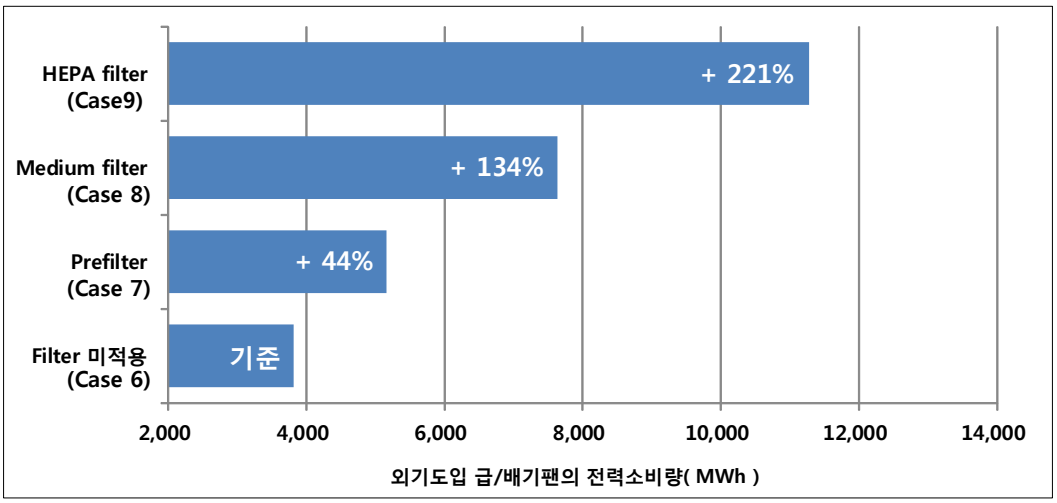
[그림 4.13] 제어방식에 따른 냉방시스템의 월별 전력소비량

4.5.3. 적용필터별 에너지 소비량 분석

동일한 제어방식에서 필터교체 및 종류에 따른 압력손실 변화가 전력소비량에 미치는 영향을 분석하였다. [그림 4.14]과 [그림 4.15]은 각 제어방식별 적용필터에 따른 외기도입 급/배기팬의 연간 전력소비량과 필터 미적용 대비 전력소비량 증가율을 나타낸다.

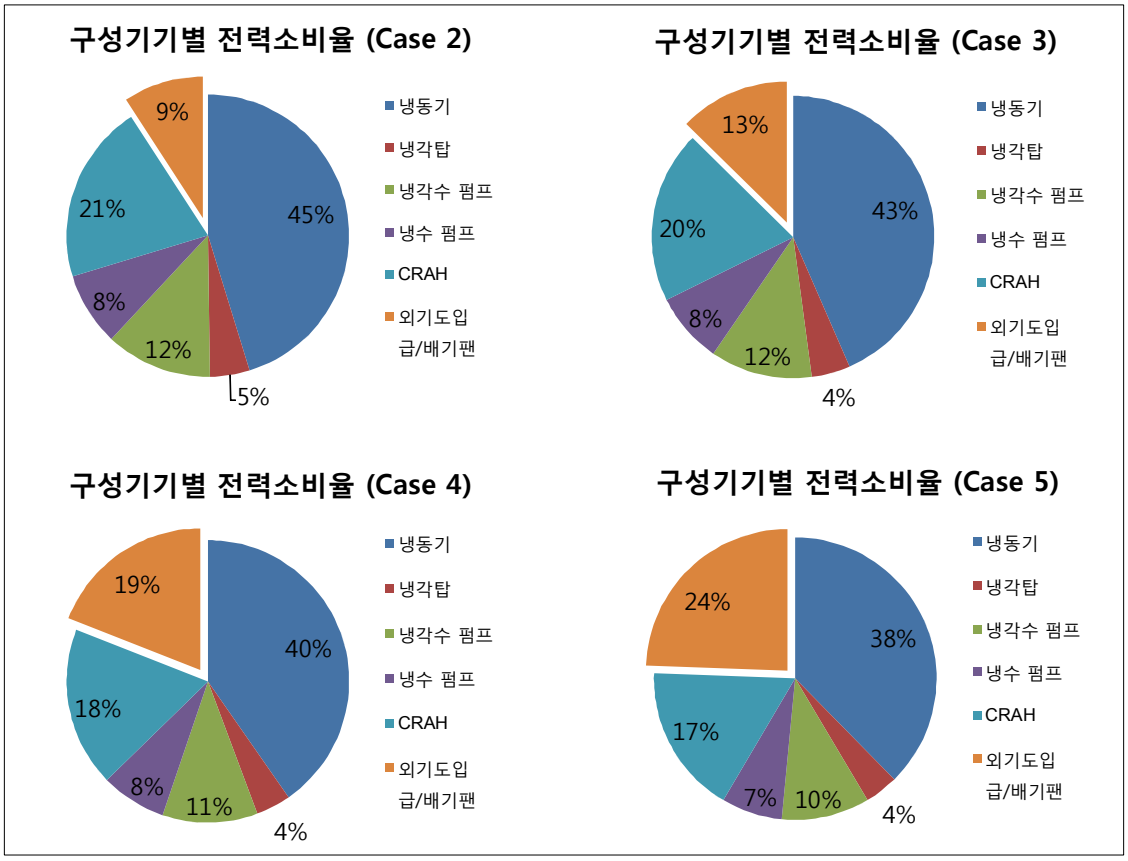


[그림 4.14] 필터적용에 따른 외기 급/배기팬의 전력소비량 변화 (엔탈피 제어)

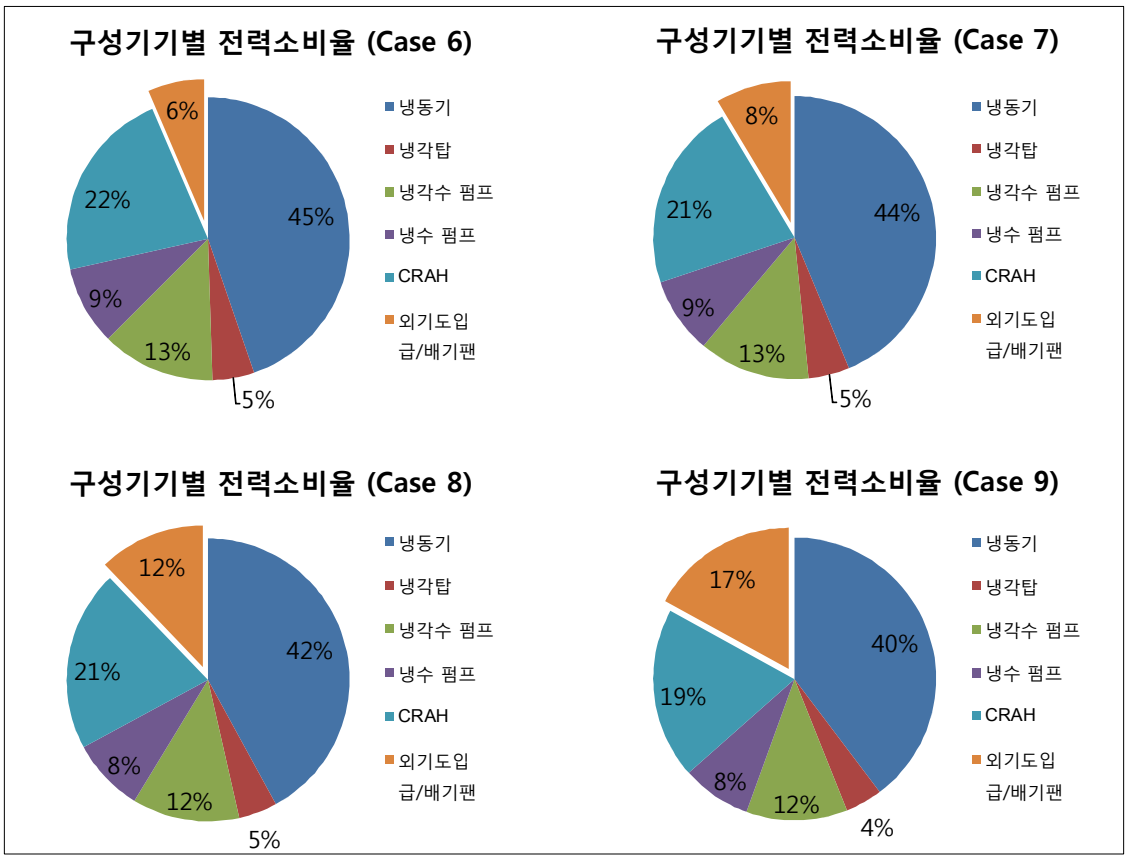


[그림 4.15] 필터적용에 따른 외기 급/배기팬의 전력소비량 변화 (엔탈피 및 온도 제어)

필터를 적용하지 않은 외기도입 냉방시스템인 Case 2와 Case 5의 외기도입 급/배기팬의 연간 총 전력소비량을 기준으로 필터적용에 따른 전력소비량을 분석한 결과, 외기도입이 연간 약 5,000시간 가능한 엔탈피 제어의 경우, Medium filter 적용 시 전력소비량 증가율이 약 100%로 나타났다. 그 밖에도 적용필터에 따라 최대 약 220%의 외기도입 급/배기팬의 소비전력이 증가하는 것으로 나타났다. [그림 4.16]과 [그림 4.17]은 이러한 소비전력 증가가 연간 총 전력소비량에서 차지하는 외기도입 급/배기팬의 전력소비율 변화에 미치는 영향을 나타낸다.



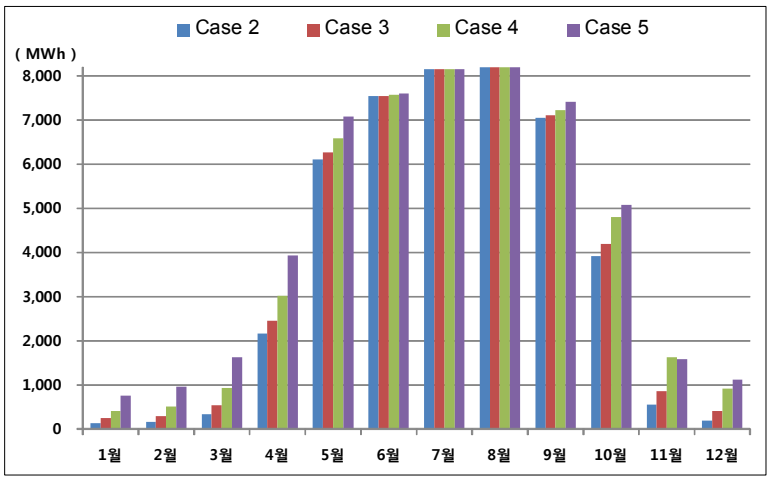
[그림 4.16] 필터적용에 따른 외기 급/배기팬의 연간 전력소비율 변화 (엔탈피 제어)



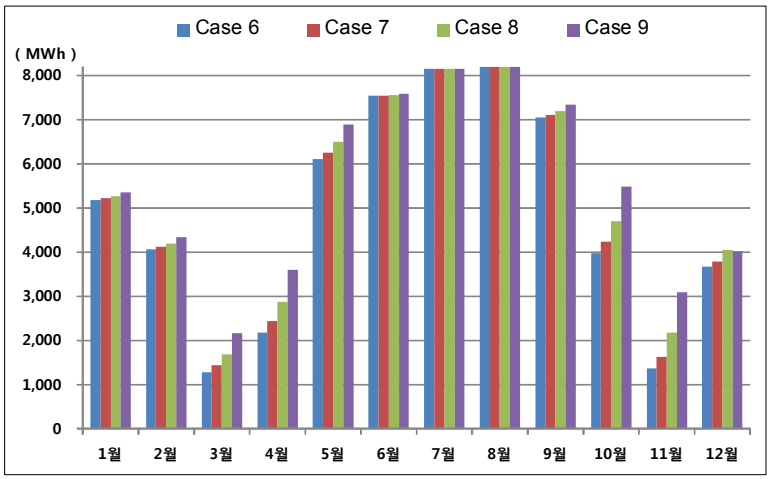
[그림 4.17] 필터적용에 따른 외기 급/배기팬의 연간 전력소비율 변화 (엔탈피 및 온도 제어)

필터적용에 따라 외기도입 급/배기팬의 전력소비량 증가율은 엔탈피 및 온도 제어의 경우가 더 높게 나타났으나, 총 전력소비량에 대한 외기도입 급/배기팬의 전력소비율은 엔탈피 제어 시, 더 높은 것으로 나타났다. 이는 외기도입 가동시간이 더 많은 엔탈피 제어 외기도입 냉방시스템의 외기도입 급/배기팬의 연간 총 전력소비량이 상대적으로 더 높기 때문이다. HEPA filter가 적용된 Case 5에서는 필터 미적용 시 9%인 외기도입 급/배기팬의 전력소비율이 24%로 증가하였다.

이는 외기도입 냉방시스템 도입에 따른 연간 전력소비량 예측 동적에너지 시뮬레이션수행 시 필터적용에 따른 외기도입 급/배기팬의 전력소비량 변화가 중요한 요소임을 의미한다.



[그림 4.18] 외기도입 냉방시스템의 월별 전력소비량 (Case 2-5)



[그림 4.19] 외기도입 냉방시스템의 월별 전력소비량 (Case 6-9)

[그림 4.18]과 [그림 4.19]에 Case별 외기도입 냉방시스템의 월별 전력소비량을 나타낸다. 외기 분진의 집진효율 개선에 따라 적용필터의 MERV등급이 높아질수록 외기도입 냉방시스템의 월별 전력소비량도 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 엔탈피 제어 시에는 11월, 엔탈피 및 온도 제어 시에는 12월에 각각 HEPA filter가 적용된 Case 5, 8보다 Medium filter가 적용된 Case 4, 7의 전력소비량이 일시적으로 높은 것으로 나타났다. 이는 앞서 [그림 4.9], [그림 4.10]의 필터 교체점 예측에 따라 필터가 교체되어 일정기간동안 필터의 압력손실이 역전되었기 때문이다.

4.5.4. Case별 외기도입 냉방시스템의 에너지 저감효과

본 연구에는 Case study를 수행하여 외기도입 냉방시스템의 제어방식 및 적용필터에 따른 전력소비량을 분석하였으며, 그 결과를 <표 4.7>에 나타낸다.

<표 4.7> Case별 분석 결과

구 분 \ Case		1	2	3	4	5	6	7	8	9
적용 냉방시스템		중앙냉수	중앙냉수 및 외기도입 병행							
외기 도입량		-	변풍량							
엔탈피 제어			ON < 8.16kcal/kg				ON < 8.16kcal/kg			
온도 제어		-	-				0℃ < ON < 28℃			
적용 필터		-	미적용	Pre filter	Medium filter	HEPA filter	미적용	Pre filter	Medium filter	HEPA filter
구성장치별 연간 총 전력소비량 (MWh)	냉동기	41,403	20,124	20,124	20,124	20,124	26,293	26,293	26,293	26,293
	냉각탑	4,488	2,030	2,030	2,030	2,030	2,799	2,799	2,799	2,799
	냉각수 펌프	12,606	5,415	5,415	5,415	5,415	7,659	7,659	7,659	7,659
	냉수 펌프	8,672	3,725	3,725	3,725	3,725	5,269	5,269	5,269	5,269
	CRAH	21,273	9,138	9,138	9,138	9,138	12,924	12,924	12,924	12,924
	외기도입 급/배기팬	-	13,069	9,520	5,845	4,069	3,814	5,160	7,636	11,281
연간 총 전력 소비량 (MWh)		88,443	44,502	46,278	49,953	53,502	58,757	60,103	62,580	66,225
전력소비량 감소율		-	49%	48%	44%	40%	34%	32%	29%	25%
PUE[16]		1.92	1.56	1.57	1.61	1.63	1.68	1.69	1.71	1.74

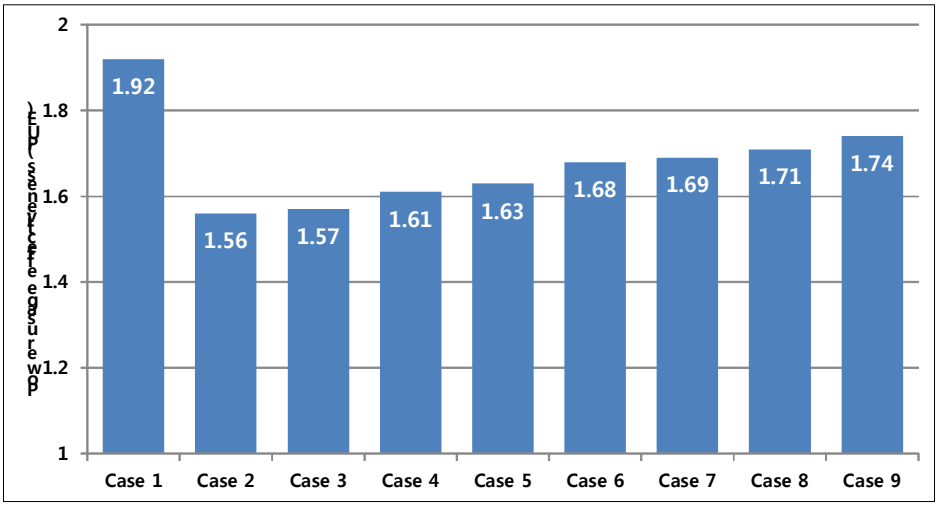
필터를 고려하지 않았을 경우에는 엔탈피 제어 시 기존 중앙냉수 냉방시스템 대비 49%의 에너지 저감효과가 있는 것으로 나타났으나, 이는 필터의 압력손실을 고려하지 않았기 때문이다. ASHREA 권장 필터 등급인 Medium filter를 적용하였을 경우에는 전력소비량 감소율이 증가하는 것으로 나타났다. 특히, 외기직접 도입에 따른 서버기기의 보호를 고려

16) PUE : Power usage effectiveness

한 엔탈피 및 온도 제어 조건에서는 29%의 전력소비량 절감효과가 있는 것으로 나타났다.

또한 본 연구에서는 외기도입 냉방시스템 도입에 따른 에너지 저감효과를 PUE지수를 사용하여 평가하였다. PUE는 Green Grid[17]에서 발표한 데이터센터의 효율성과 생산성을 나타내는 대표적인 기준으로 데이터센터에서 사용되는 전력의 총합을 IT장비에 사용되는 전력량으로 나눈 무차원 계수이다. 따라서 PUE가 높다는 것은 데이터센터의 IT장비를 냉각하기 위해 소비되는 냉방에너지가 비효율적으로 높다는 것을 의미한다.

PUE 산정을 위해 J. Cho 외(2012)[18]에서 설정된 중앙냉수 냉방시스템의 PUE 값 1.92를 기준으로 하였으며, 각 Case별 PUE 산정 결과를 [그림 4.20]에 나타낸다.



[그림 4.20] Case별 PUE 산정

외기도입 냉방시스템의 도입에 따라 Case별 PUE는 차이가 있었으나 최소 0.2의 PUE 값을 개선할 수 있는 것으로 나타나 에너지 저감 측면에서 외기도입 냉방시스템의 도입이 유리할 것으로 판단된다. 그러나 외기도입 냉방시스템의 경우, 기존 중앙냉수 냉방시스템에 추가적으로 가동하는 시스템으로 초기투자비용과 운용비용이 증가하게 된다. 이에 본 연구에서는 LCC 경제성 분석을 통하여 외기도입 냉방시스템의 에너지 저감 측면과 더불어 경제성 측면에서의 도입 타당성을 분석하였다.

17) The Green Grid, Usage and Public Reporting Guidelines for the Green Grid's Infrastructure Metrics (PUE/DCiE), 2009.
18) J. Cho, T. Lim, and B.S. Kim, Viability of datacenter cooling systems for energy efficiency in temperate or subtropical regions: Case study, Energy and Building, v.55 pp. 189-197, 2012.

5. LCC 분석을 통한 외기도입 냉방시스템의 경제성 분석

5.1. LCC 분석 개요

5.1.1. LCC 정의

LCC (Life Cycle Cost)는 건축물의 전생애주기인 기획・설계비, 건설비, 운용관리비, 폐기처분의 생애주기 각 단계에서 발생하는 비용 (Cost)의 총합을 의미한다. LCC 분석은 이러한 생애주기비용을 바탕으로 해당 시설물의 전체 또는 일부기간에 발생하는 모든 현금의 가치를 수치화하여 시설물의 경제성을 평가하는 기법으로 비용 효율성 및 기능 등의 정성적인 평가항목을 포함하며, 시설물 주체자의 의사결정에 합리적 도구로 사용될 수 있는 경제성 평가기법이다.

본 연구의 4장에서는 제어방식 및 적용필터에 따른 연간 전력소비량을 산출하여 데이터센터의 외기도입 냉방시스템 적용에 따른 기존 중앙냉수 냉방시스템 대비 에너지 저감효과를 확인하였다. 그러나 외기도입 냉방시스템의 도입은 시설물의 초기투자비용 및 유지관리비용의 증가를 초래하며, 이에 따라 전생애주기 동안의 경제성이 확보되지 않는다면 오히려 시스템 도입을 고려하여야 한다. 따라서 5장에서는 초기투자비용과 함께 외기도입 냉방시스템의 도입에 따른 연간 유지비용 및 에너지비용을 고려한 LCC 분석을 실시하여 외기도입 냉방시스템의 경제성을 분석하였다.

5.1.2. 현재가치법 (Present Worth Method)

LCC 분석을 위한 비용 산출을 위해서는 시간의 변화에 따른 화폐의 가치를 통일하는 기법이 필요하며, 이러한 등가환산 기법으로 현재가치법과 연등가액법이 있다.

본 연구에서는 현재가치법을 사용하여 LCC 경제성 분석을 실시하였는데 현재가치법은 시설물의 수명주기에 발생하는 모든 비용을 현재 시점으로 환산하는 방법이다. 따라서 현재 시점에서 초기투자가 이루어지는 경우 초기투자 비용은 이미 현재가치로 표시되어 있기 때

문에 환산이 필요 없으나 매년 동일하거나 특정 주기로 발생하는 비용은 현재가치로 환산해 주어야 한다.

식 5.1는 매년 동일하게 비용이 발생할 때 미래비용을 현재가치로 환산하는 방법이며, 식 5.2는 미래의 특정 년도에 1회 비용이 발생할 때 미래비용을 현재가치로 환산하는 방법을 나타낸다.

$$PW = \frac{A}{1+i} + \cdots + \frac{A}{(1+i)^n} = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \times A \qquad \text{식 5.1}$$

$$PW' = \frac{1}{(1+i)^n} \times F \qquad \text{식 5.2}$$

PW = 반복 비용 A의 현재가치

PW' = 비반복 비용 A의 현재가치

A = 연간 발생하는 반복 비용

F = 특정 년도에 발생하는 비반복 비용

i = 할인율

n = 분석기간

5.2. LCC 경제성 평가를 위한 기본사항

5.2.1. LCC 경제성 평가 모델 및 비용 산정

LCC 경제성 분석을 위하여 ASHRAE의 최소 및 권장 필터등급인 Prefilter와 Medium filter가 적용된 엔탈피 및 온도제어 외기도입 냉방시스템을 평가 모델로 선정하였으며, <표 5.1>에 나타낸다. 또한 시스템의 노후화를 고려하여 평가기간은 20년으로 설정하였다.

<표 5.1> LCC 경제성 평가 모델

시스템 구분	외기제어 방식	적용 필터	필터 교체주기	평가 기간
중앙냉수 냉방시스템	-	-		20 년
외기도입 냉방시스템	엔탈피 및 온도 제어	Prefilter	500 일	20 년
외기도입 냉방시스템	엔탈피 및 온도 제어	Medium filter	451 일	20 년

중앙냉수 냉방시스템의 초기비용과 유지 및 필터교체 비용은 기존문헌[19]의 2008년 물가에 현재 물가 상승율을 반영하여 산정하였으며, 외기도입 냉방시스템 모델의 경우에는 현재 시장조사를 통하여 파악하였다. <표 5.2>는 각 소요 비용을 나타낸다. 외기도입 냉방시스템의 경우 필터종류에 관계없이 초기투자 비용은 중앙냉수 냉방시스템 대비 약 17% 증가로 동일하다. 또한 장비 보수비용 및 수선주기는 시장조사 결과를 바탕으로 산정하였으며, 2년 주기로 장비공사 금액의 10%가 발생하는 것으로 설정하였다. 반면, 필터 교체주기는 연간단위로 평가되는 LCC 분석 특성을 고려하여 1년 주기로 설정하였으며, 이에 따라 교체비용을 이에 대응하도록 환산하여 적용하였다.

<표 5.2> LCC 경제성 분석을 위한 비용 산출

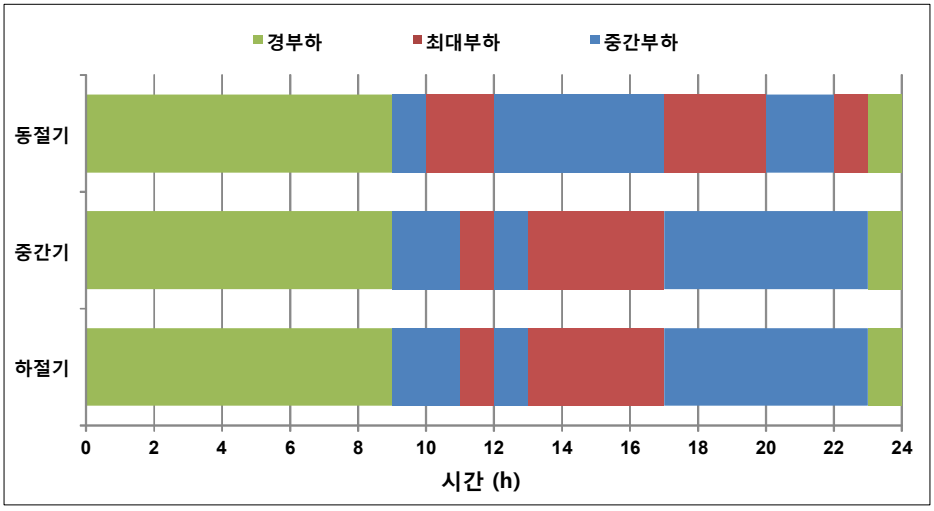
구분	시스템 관련 소요 비용 (천원) - 2013년 2월 기준					
	장비공사	공조공사	자동제어공사	기타경비	장비 보수비용 (수선주기)	필터교체 비용 (교체주기)
중앙냉수 냉방시스템	13,837,243	5,432,151	215,523	946,803	1,383,724 (2년)	-
	초기비용 합계 (증가율)		20,431,720 (-)			
외기도입 냉방시스템	16,337,243	6,432,151	315,523	996,803	1,633,724 (2년)	126,027 (1년)
	초기비용 합계 (증가율)		24,081,720 (17%)			
외기도입 냉방시스템	16,337,243	6,432,151	315,523	996,803	1,633,724 (2년)	273,287 (1년)
	초기비용 합계 (증가율)		24,081,720 (17%)			

19) 조진균 외, 최적 IT 환경제어를 위한 데이터센터의 냉각(열원)시스템 선정에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 제 24권 12호 pp. 313-320, 2008.

본 연구에서는 동적에너지 시뮬레이션 수행을 통해 연중 시간별 냉방시스템의 총 전력 소비량을 도출하였기 때문에 그 값을 <표 5.2>의 전력 사용요금표에 대입하면 해당 시간에 부합하는 전력 사용요금 산출이 가능하다. [그림 5.1]은 계절별 시간대에 따른 부하적용 변화를 나타낸다. 동절기의 경우 외기 온도가 낮아지는 오후시간대에 최대부하가 적용되어 전력요금이 kW당 약 137원으로 나타났으며, 하절기와 중간기의 부하변화 시간대는 동일한 것으로 나타났다. 또한 하절기 최대부하 시간대의 전력요금은 약 161원으로 연간 가장 높은 것으로 나타났다. 따라서 하절기에 신재생 에너지와 같은 대체에너지를 사용하여 전기를 생산하면 연간 전력 사용요금을 줄이는데 효율적일 것으로 판단된다.

<표 5.2> 계절별 전력 사용요금표

산업용 전력(을) 고압 B 선택 II	전력량 요금(원/kW) - 2013년 1월 기준[20]			
	하절기 (7-8월)	중간기 (3-6, 9-10월)	동절기 (11-2월)	기본 요금
경부하	47.20	47.20	52.50	7,140
중간부하	92.60	67.20	91.00	
최대부하	161.20	92.50	137.40	



[그림 5.1] 시간대별 부하적용 변화

20) 한국전력공사 사이버지점, 전기요금 (종합) 2013년 1월 14일 시행, 2013

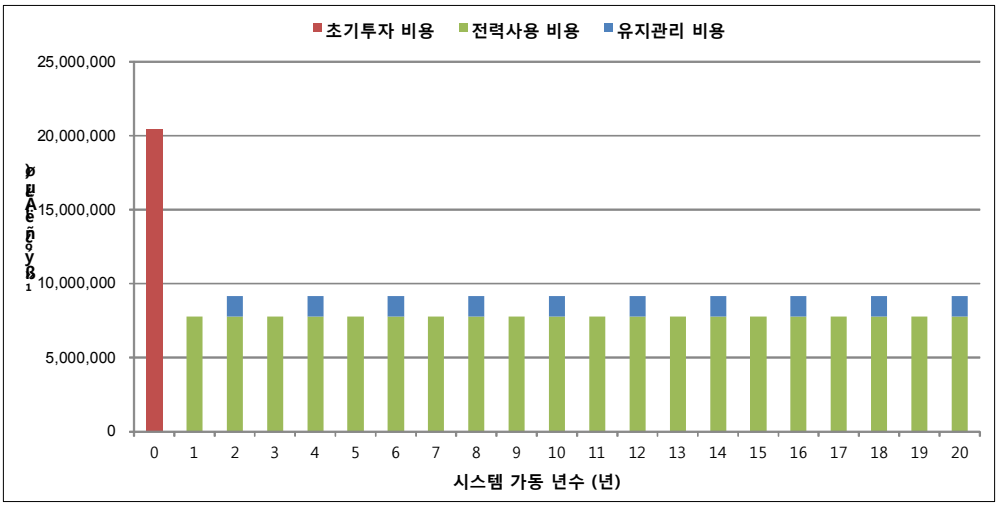
<표 5.3>은 계절 및 시간대별 부하를 고려한 전력 사용요금 산출 결과를 나타낸다. 권장 최소 등급의 Prefilter를 적용한 엔탈피 및 온도 제어방식 외기도입 냉방시스템의 연간 전력 사용요금 감소율은 33%로 약 22억의 전력 사용요금이 절감되는 것으로 나타났다. 반면, 권장 필터 등급인 Medium filter의 경우 외기도입 급/배기팬의 소비전력 증가에 따라 전력 사용요금 감소율이 중앙냉수냉방 시스템 대비 약 30%로 나타났다. 그러나 3%의 전력 사용요금 감소율 차를 비용으로 환산하면 연간 약 2억 원의 비용차이가 발생하기 때문에 외기도입 냉방시스템 도입 시 외기분진 및 서버 기기의 상태를 고려하여 적절한 필터를 채택해야 될 것으로 판단된다.

<표 5.3> 각 시스템의 월별 전력 사용요금

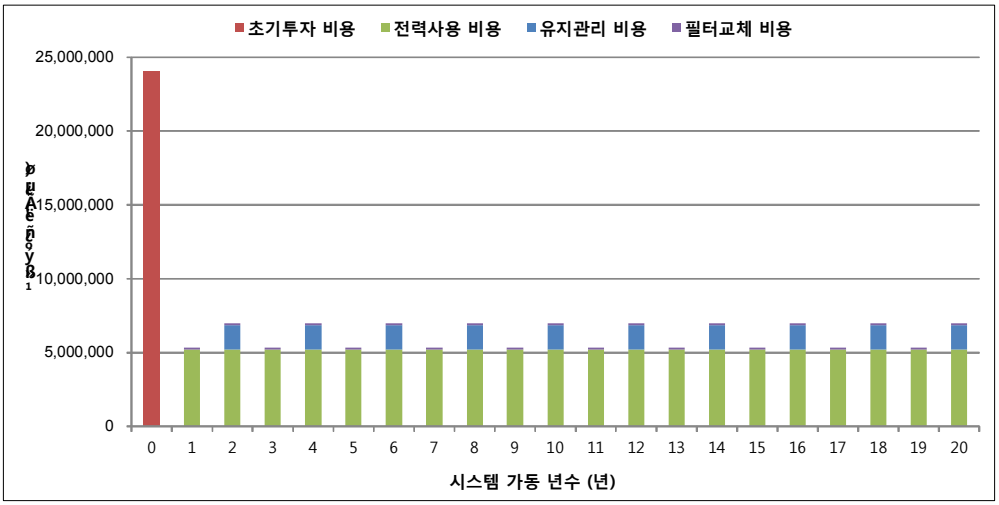
구분	시스템 방식	중앙냉수 냉방시스템	외기도입 냉방시스템	외기도입 냉방시스템
	외기제어 방식	-	엔탈피 및 온도 제어	엔탈피 및 온도 제어
	적용 필터	-	Prefilter	Medium filter
각 시스템의 월별 전력 사용비용 (천원)				
1 월		₩704,442	₩477,633	₩483,052
2 월		₩659,204	₩363,319	₩372,158
3 월		₩539,308	₩94,452	₩114,316
4 월		₩533,774	₩193,054	₩225,174
5 월		₩570,513	₩481,645	₩497,835
6 월		₩569,760	₩564,686	₩565,476
7 월		₩844,012	₩838,251	₩838,251
8 월		₩856,708	₩850,789	₩850,789
9 월		₩565,955	₩537,560	₩543,234
10 월		₩559,226	₩332,311	₩366,098
11 월		₩693,242	₩151,245	₩209,462
12 월		₩682,305	₩336,521	₩366,545
합계 (감소율)		₩7,778,449	₩5,221,465 (-33%)	₩5,432,389 (-30%)

5.2.2. 각 시스템별 Cash Flow Chart

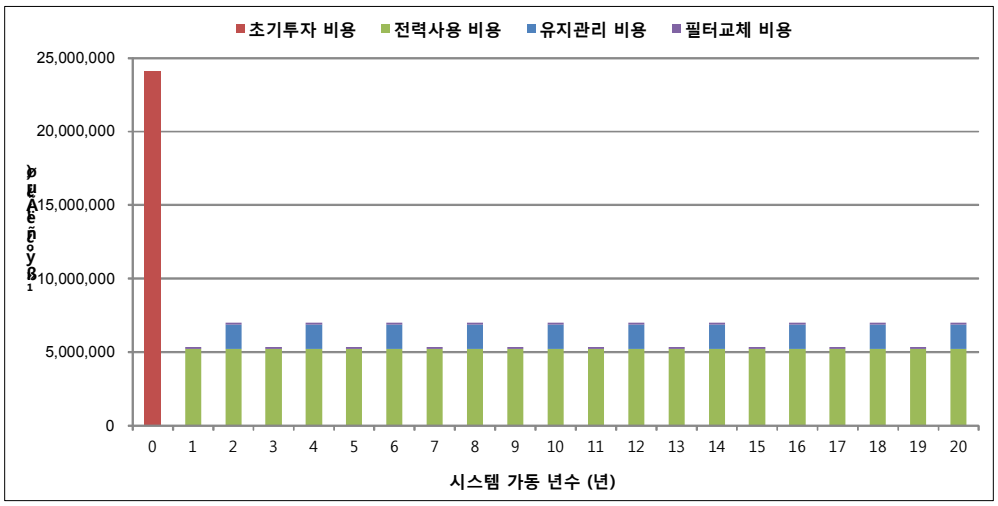
산정된 초기투자, 유지관리 및 필터교체, 전력사용 비용에 따라 본 연구의 LCC 평가기간인 20년 동안의 연간 발생비용을 파악하기 위하여 현금흐름도인 Cash Flow Chart를 작성하였으며, [그림 5.2] - [그림 5.4]에 나타낸다.



[그림 5.2] 중앙냉수 냉방시스템의 현금흐름도



[그림 5.3] 외기도입 냉방시스템 (Prefilter 적용)의 현금흐름도



[그림 5.4] 외기도입 냉방시스템 (Medium filter 적용)의 현금흐름도

중앙냉수 냉방시스템은 초기투자 비용 및 2년 단위로 발생되는 유지관리 비용이 외기도입 냉방시스템 보다 낮지만 연간 발생하는 전력사용 비용이 다소 큰 것으로 나타나는 경향을 보였다. 반면, 동일한 외기도입 시스템에서 필터방식에 따른 연간 발생 비용은 비슷한 것으로 나타났다. 이는 데이터센터의 초기투자 비용이 높음에 따라 필터적용에 따른 전력사용 및 필터교체 비용이 차지하는 비중이 상대적으로 낮았기 때문이다.

또한 연간 누적 비용을 분석하면 기존 중앙냉수 냉방시스템 대비 외기도입 냉방시스템의 도입 시 필터적용에 따른 손익분기점을 산출 할 수 있다.

5.2.3. 실질할인율

그러나 앞서 작성된 현금흐름도는 현재의 가치를 기준으로 작성되었기 때문에 손익분기점 산출을 포함한 LCC 경제성 평가를 위해서는 물가조사를 통한 실질할인율을 적용하여야 한다. 이는 화폐는 시간의 변화에 따라 가치가 달라지기 때문에 미래에 발생하는 비용이 현재의 비용과 맞지 않음으로 이를 LCC 분석을 위한 비용 산정에 반영하여야 하기 때문이다. 식 5.3은 명목할인율과 물가상승율에 의한 실질한일율 산출 식을 나타낸다.

$$I_R = \frac{(1+I_N)}{1+F} - 1 \qquad \text{식 5.3}$$

I_R = 실질할인율

I_N = 명목할인율

F = 인플레이션 (물가상승율)

반면, 실질할인율은 산업분야에 따라 물가지수가 상이하기 때문에 각기 달리 적용되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 유지관리 비용 및 필터교체 비용의 기계시스템 측 물가 변동율과 전력 사용요금의 산업 측 물가 변동율에 따른 실질한일율을 비용 분석단계에서 각각 별도로 적용하였으며, 명목이자율은 한국은행의 예금금리를 적용하였다.[21] 물가는 연도에 따라 변동율이 상이함으로 8년간의 평균값을 사용하고, 유지관리 비용에 대한 물가지수는 한국은행 경제통계표에 나와 있는 산업용 냉동기, 냉각탑, 공기조절장치부품, 송풍기, 열교환기, 펌프 등의 각 연도별 평균값으로 변동율을 산정하여 적용하였다.[22] 또한 전력 사용요금 변동율은 소비자 물가지수를 조사하여 적용하였다.[23] <표 5.4>는 연도별 예금금리 및 변동율에 따른 실질할인율을 나타낸다.

<표 5.4> 연도별 예금금리 및 변동율에 따른 실질할인율

연도	한국은행 예금금리	유지관리 및 필터교체 비용			전력사용 비용		
		물가지수 (2010=100)	변동율	실질할인율	물가지수 (2010=100)	변동율	실질할인율
2005	3.6%	86.3	3.2%	0.4%	97.3	-0.8%	4.4%
2006	4.4%	86.4	0.1%	4.3%	98.8	1.5%	2.9%
2007	4.9%	87.1	0.8%	4.1%	99.2	0.4%	4.5%
2008	5.6%	97.6	12.1%	-5.8%	99.2	0.0%	5.6%
2009	3.6%	95.9	-1.8%	5.5%	99.2	0.0%	3.6%
2010	3.7%	100.0	4.3%	-0.6%	100.0	0.8%	2.9%
2011	3.9%	109.0	9.0%	-4.7%	102.0	2.0%	1.9%
2012	3.6%	108.6	-0.4%	4.0%	104.1	2.1%	1.5%
평균	4.2%	96.3	3.4%	0.8%	100.0	0.8%	3.4%

21) 한국은행 조사통계월보, International Financial Statistics, 2012
22) 한국은행 경제통계, 생산자물가지수 일반기계, 2013
23) 한국은행 경제통계, 소비자물가지수, 전기료, 2013

그 결과, 유지관리 및 필터교체 비용의 8년간 평균 변동율은 3.4%로 실질할인율이 0.8%로 나타났으며, 전력사용 비용에 대한 변동율은 0.8%에 실질할인율이 3.4%로 나타났다. 이는 연간 소비되는 각 비용이 동일하더라도 전력사용 비용에 대한 실질할인율이 높음에 따라 미래의 가치를 현재의 가치로 환산할 때, 그 차이가 크다는 것을 의미한다.

5.3. LCC 경제성 평가 결과

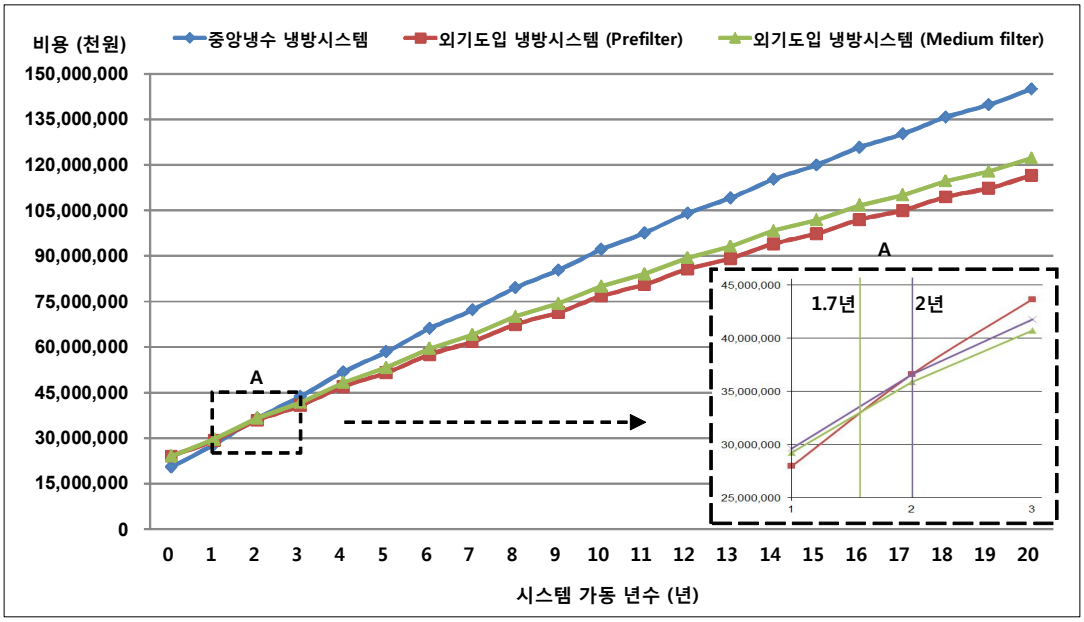
5.3.1. 시스템별 LCC 계산 및 손익분기점

<표 5.5> 는 LCC 분석기간인 20년 동안의 현가법과 실질할인율이 적용된 각 시스템별 연간 누적 비용을 나타낸다. 기존 중앙냉수 냉방시스템의 경우 20년간의 생애주기비용이 144,988,205원으로 나타났으며, 엔탈피 및 온도제어를 실시한 외기도입 냉방시스템에 Prefilter가 적용될 경우는 116,502,128원, Medium filter가 적용될 경우에는 122,253,534원으로 나타났다. 따라서 서버 룸에 도입되는 외기의 분진을 효과적으로 제거할 수 있는 Medium filter를 적용하여도 생애주기 동안 기존 중앙냉수 냉방시스템 대비 약 16%의 비용 절감효과가 있는 것으로 분석되었다.

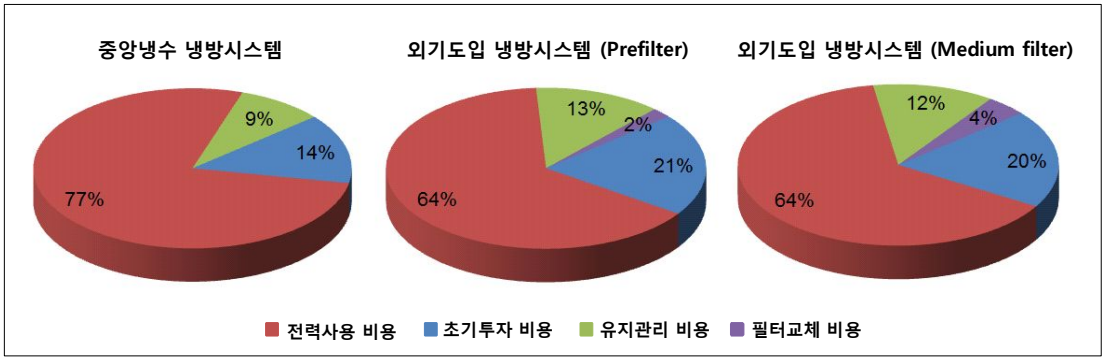
또한 [그림 5.5]는 외기도입 냉방시스템 도입 시 연간 누적 비용에 따른 손익분기점 산출 결과를 나타낸다. Prefilter가 적용된 경우, 손익분기점은 1.7년으로 나타났으며, Medium filter를 적용할 경우에는 필터교체 비용과 전력사용 비용의 증가에 따라 시스템 가동 2년에서 손익분기점이 되는 것으로 나타났다. 초기투자 비용이 많은 데이터센터 임에도 불구하고, 손익분기점이 필터에 관계없이 약 2년 안으로 나타나는 것은 [그림 5.6]과 같이 도입 냉방시스템에 관계없이 생애주기비용에서 차지하는 전력사용 요금이 초기투자 비용과 유지관리 비용보다 비중이 큼에 따라 외기도입 냉방시스템의 도입에 따른 연간 전력소비량 저감효과가 연간 누적비용의 상승률에 큰 영향을 미쳤기 때문이다.

<표 5.5> 각 시스템의 연도별 누적 비용

구분	각 시스템의 연간 누적비용 (천원)		
	중앙냉수 냉방시스템	외기도입 냉방시스템 (Prefilter 적용)	외기도입 냉방시스템 (Medium filter 적용)
초기투자비	20,431,720	24,081,720	24,081,720
1년	27,956,362	29,258,018	29,608,195
2년	36,598,036	35,877,412	36,569,992
3년	43,639,637	40,727,812	41,755,246
4년	51,793,191	47,007,278	48,362,236
5년	58,382,761	51,552,588	53,227,951
6년	66,078,510	57,512,633	59,501,487
7년	72,245,066	61,772,331	64,067,960
8년	79,511,395	67,432,169	70,028,050
9년	85,282,092	71,424,483	74,314,277
10년	92,145,579	76,802,113	79,979,663
11년	97,545,830	80,544,104	84,003,426
12년	104,031,362	85,656,390	89,391,672
13년	109,084,947	89,164,026	93,169,615
14년	115,215,828	94,026,771	98,297,176
15년	119,945,001	97,314,996	101,844,879
16년	125,743,055	101,943,007	106,727,177
17년	130,168,642	105,025,810	110,059,222
18년	135,654,305	109,432,962	114,710,710
19년	139,795,794	112,323,434	117,840,747
20년	144,988,205	116,522,730	122,274,969



[그림 5.5] LCC 분석을 통한 각 시스템별 손익분기점



[그림 5.6] 각 시스템에서 소비되는 비용이 LCC에 차지하는 비율

5.3.2. 실질할인율 변동에 따른 민감도 분석

손익분기점 산출 결과 외기도입 냉방시스템 도입에 따라 분석기간 20년을 기준으로 약 2년 안에 손익분기점이 발생하는 것으로 나타났다. 그러나 LCC 분석은 미래비용을 예측함에 따라 불확실성을 가지게 되며, 특히 실질할인율은 LCC 분석 결과에 큰 영향을 미치는 요소이므로 이를 고려하여야 한다. 이에 본 연구에서는 생애주기비용에 대한 비중이 가장 큰 전력사용 요금에 대하여 실질할인율 3.4%를 기준으로 상하 4% 범위에서 2% 간격으로 변화시켜 이에 따른 손익분기점 및 생애주기비용을 산출하였으며, 그 결과를 <표 5.6>에 나타낸다.

<표 5.6> 민감도 분석에 따른 LCC 및 손익분기점 변화

구분 / 실질할인율	중앙냉수 냉방시스템	외기도입 냉방시스템 (Prefilter 적용)		외기도입 냉방시스템 (Medium filter 적용)	
	LCC (천원)	LCC (천원)	손익분기점	LCC (천원)	손익분기점
-1.37%	213,542,007	162,520,464	1.4년	170,130,807	1.7년
1.37%	168,429,259	132,237,481	1.6년	138,429,259	1.8년
3.37%	145,018,897	116,522,730	1.7년	122,274,969	2년
5.47%	126,343,915	103,986,714	1.8년	109,232,554	2.1년
7.47%	112,635,243	94,784,449	1.9년	99,658,558	2.2년

전기사용 요금에 대한 실질할인율의 민감도 분석 결과, 실질할인율이 커지는 경우, 전력사용 요금의 현재가치 기준으로 LCC에서 차지하는 비중이 감소함에 따라 손익분기점이 소폭 증가하는 것으로 나타났다. 반면 최대 8%의 실질할인율이 차이가 나는 경우, 시스템에 따라 생애주기비용은 최대 약 2배 가까이 차이가 나는 것으로 나타났다. 그러나 외기도입 냉방시스템의 적용에 따른 손익분기점은 적용필터에 관계없이 상하 0.3년 범위 내에 있는 것으로 나타나 외기도입 냉방시스템의 도입은 기존 중앙냉수 냉방시스템 대비 에너지 소비 측면에서의 저감효과와 더불어 경제성에서도 그 적용이 타당함을 확인하였다.

6. 결론

6.1. 결론

데이터센터는 에너지 다소비성 건물로 최근 네트워크 데이터 처리량의 증가에 따라 그 수요가 증가하고 있는 추세이며, 건축적 관점에서 공조효율 개선 및 에너지 절약형 시스템 도입에 관한 많은 연구가 진행되어 왔다. 이 중 외기도입 냉방시스템은 동절기 및 중간기의 외기 온도가 낮은 국내의 경우, 외기를 적극적으로 활용하여 서버기기의 냉각을 위해 소비되는 에너지를 크게 낮출 수 있다. 그러나 외기도입 냉방시스템을 적용할 경우, 외기의 상태 및 분진에 의한 서버기기의 오작동을 고려하여야 하며, 데이터센터의 측벽에 층별로 상부와 하부에 외기 도입 및 배기를 위한 개구부를 둘 경우, 배기의 재유입에 따른 외기 이용률을 고려한 동적에너지 시뮬레이션을 수행해야 한다. 또한 외기도입 냉방시스템의 도입에 따라 데이터센터의 생애주기 동안 발생하는 비용이 기존 중앙냉수 냉방시스템 보다 크다면 이는 경제적 손실로 이어지게 됨으로 이에 대한 고려가 필요하다.

이에 본 연구에서는 TRNSYS를 이용한 동적에너지 시뮬레이션을 수행하여 기존 중앙냉수 냉방시스템의 전력 소비량을 산출하여 외기도입 냉방시스템 적용 시 제어방식과 적용필터에 따른 에너지 저감효과를 확인하고, LCC 경제성 평가를 통하여 외기도입 냉방시스템의 적용 타당성을 분석하였다. 본 논문에서 도출한 결과는 다음과 같다.

1) 중앙냉수 냉방시스템의 전력소비량

벤치마킹 시뮬레이션을 통하여 서버 룸의 냉방부하를 분석하고, 이를 냉방시스템 동적에너지 시뮬레이션의 제거부하로 설정하여 연간 전력소비량을 산출한 결과, 연간 전력소비량의 47%가 냉동기에서 발생하는 것으로 나타났다. 또한 CRAH에 공급하는 냉수 설정온도에 관계없이 냉각수의 냉동기 유입온도가 낮은 하절기에는 냉동기의 성적계수가 상향되어 전력소비량이 감소되는 것으로 나타났으며, 공조효율 개선에 따라 냉수 설정온도가 7℃로 상향될 경우, 연간 8% 전력소비량 저감효과가 있는 것으로 분석되었다.

2) 외기도입 냉방시스템의 에너지 저감효과

본 연구에서는 Case study를 수행하여 외기도입 제어방식 및 적용필터별 에너지 저감효과를 분석하였다. 배기와 도입외기의 혼합을 위한 혼합챔버를 두지 않은 외기도입 냉방시스템 적용에 따라 변풍량으로 도입되는 외기에 의한 서버 룸 내 기류 분포의 불균등이 발생할 수 있으나, 서버 룸 배기의 재유입을 방지하여 외기의 이용률을 높일 수 있다. Case study 수행 결과 에너지 저감효과는 최대 49%로 나타났으나, 이는 엔탈피를 기준으로 하였기 때문에 도입된 외기가 서버기기에 도달할 수 없고, 서버기기에 유입될 경우 오작동을 초래할 수 있다. 반면 엔탈피 및 온도제어를 적용한 Case의 에너지 저감효과는 최대 34%로 감소되었으나 엔탈피 제어의 단점을 보완할 수 있으며, 혼합챔버를 두지 않을 경우에 현실적인 제어방식이 될 것으로 판단된다. 또한 외기의 분진을 고려하여 필터를 적용할 경우 압력손실 변화에 따라 외기도입 팬의 전력소비량이 권장필터 등급인 Medium filter를 적용한 Case에서 최대 134% 증가하는 것으로 분석되어 외기도입 냉방시스템 적용에 따른 동적에너지 시뮬레이션 수행 시 적용필터에 따른 전력소비량 변화를 고려해야 될 것으로 판단된다.

3) 외기도입 냉방시스템의 LCC 경제성 분석

데이터센터 서버 룸 냉각을 위한 냉방시스템 설비 및 에너지 소비량에 관하여 20년 동안의 LCC 경제성 분석을 수행한 결과, 엔탈피 및 온도제어를 실시한 외기도입 냉방시스템의 적용 시 필터에 관계없이 약 2년 후에 손익분기점이 발생하는 것으로 나타났으며, 전력사용 비용의 실질할인율 변화에 따른 민감도 분석 결과에서도 외기도입 냉방시스템의 적용에 따른 경제성이 우수한 것으로 나타나 외기도입 냉방시스템의 적용에 따라 에너지 저감효과 측면과 더불어 경제적 측면에서의 도입 타당성이 확인되었다.

6.2. 연구의 제약 및 향후 연구방향

본 연구는 데이터센터의 2008년도에 준공된 목동의 OO 데이터센터를 대상으로 최대한 현실성을 반영하여 냉방에너지 소비량 분석을 실시하였으나, 보안과 거리상의의 제약에 따

라 실제 운전비용과의 비교분석이 부재되어 심도 있는 비교분석이 불가하였다. 또한 에너지 저감효과 및 경제성 평가의 대상을 데이터센터의 서버 룸 냉방시스템에 국한하여 수행하였기 때문에 서버 룸 내의 배기 재활용에 따른 저감효과를 포함하여 데이터센터 전체를 대상으로 한 동적에너지 시뮬레이션이 수행되어야 할 것으로 판단된다.

또한 PUE 산정에 있어, 공조효율 및 에너지 성능향상 시스템 도입에 따라 냉방에너지 소비량은 감소되었으나 서버 교체주기에서 저발열 서버 랙이 도입된다면 오히려 냉방시스템의 부분부하 운전에 의해 동일 냉방시스템 운전에서 PUE는 증가할 수 있다. 따라서 설계단계에서 이를 고려하여 부분부하율에 유리한 냉방시스템 도입이 필요할 것으로 판단된다.

현재 데이터센터의 에너지 소비량 저감을 위하여 물측과 공기측의 에너지 저감형 시스템에 대한 연구가 주로 이루어지고 있으나, 국내의 경우 외기 습구온도가 높은 하절기에 이용률이 매우 낮기 때문에, 지열 및 하천수를 이용한 하절기 데이터센터의 에너지 소비량 저감을 위한 시스템 개발과 함께 연중 온수가 항시 필요한 온천산업과 같이 타산업과의 연계를 통한 저감노력이 향후 필요할 것으로 판단된다.

참 고 논 문

■ 학위 논문

정석우, 공동주택에 적용가능한 에너지 저감형 설비시스템에 관한 연구, 조선대학교, 박사학위 논문, 2011.

형병익, 지열 시스템의 경제성에 관한 LCC 분석 연구, 원광대학교, 석사학위 논문, 2011.

백남수, LCC 및 LCCO2 분석에 의한 CO2히트펌프 급탕가열기의 경제성 및 환경부하평가에 관한 연구, 한양대학교, 석사학위 논문, 2011.

김진혁, 공기조화시스템에서 플라스틱 열교환기를 사용한 냉각/재가열 장치의 성능에 관한 연구, 충남대학교, 박삭학위 논문, 2009.

백승재, 중앙냉방시스템의 열원 및 공조설비 통합최적제어 적용방안에 관한 연구, 경원대학교, 석사학위 논문, 2010.

조진균, 고밀도 데이터센터의 공조효율 및 에너지성능 개선을 위한 공조시스템 계획방법 연구, 연세대학교, 박사학위 논문, 2009.

장미정, 효율적인 데이터 관리를 위한 인터넷 데이터 센터의 활용방안, 이화여자대학교, 석사학위 논문, 2001.

■ 학술지 논문

박성현, 서장후, 정용호, 장현재. (2013). 데이터 센터의 외기도입 냉방시스템 적용에 따른 에너지 저감 효과. 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 33(1), pp.285～286.

박성현, 서장후, 정용호, 장현재. (2013). 데이터센터에 적용된 외기도입 냉방시스템에서 필터유형별 에너지 소비량 변화, 대한설비공학회 논문집, 7월 게재 예정.

권오경, 김현중, 차동안. (2012). 고밀도 데이터센터의 열환경제어를 위한 수치해석, 대한기계학회논문집 B권, 36(8), pp. 821-828.

장현재, 정용호, 서장후. (2012). 냉복도 밀폐시스템의 적용에 의한 데이터센터 서버실의 냉방에너지 절감 효과 분석, 한국건축친환경설비학회논문집, 6(3), pp. 181-190.

김민용, 김영일, 정광섭. (2011). 외기냉방을 이용한 냉방부하 절감 연구, 한국지열에너지학회논문집, 7(1), pp. 51-58.

이승연, 김민호, 이성구, 연창근. (2011). 데이터 센터의 냉방에너지 절감을 위한 Free Cooling 시스템 개선에 대한 연구, 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, pp. 810-814.

김영일. (2010). 냉수 출구온도 제어에 따른 수냉식의 냉동기의 성능 특성, 대한설비공학회 학술발표대회논문집, 2010(6).

조진균, 정차수, 김병선. (2008). 최적 IT 환경제어를 위한 데이터센터의 냉각(열원)시스템 선정에 관한 연구, 대한건축학회 논문집: 계획계, (24)12, pp. 313-320.

곽노열, (2004). 공조기 필터차압관리에 의한 팬동력 에너지 적마 평가 및 운용시스템 개발, 대한건축학회논문집: 계획계, 20(5), pp. 209-216.

J. Cho, T. Lim, and B.S. Kim. (2012). Viability of datacenter cooling systems for energy efficiency in temperate or subtropical regions: Case study, Energy and Building, v.55, pp. 189-197.

J. Cho and B. Kim. (2011). Evaluation of air management system's thermal performance for superior cooling efficiency in high-density data centers. Energy and Buildings, Vol.43, pp. 2145-2155.

P. Kumar, V. Sundaralingam and Y. Joshi. (2011). Effect of server load variation on rack air flow distribution in a raised floor data center, Semiconductor Thermal Measurement and Management Symposium (SEMI-THERM), 27th Annual IEEE, pp. 90-96.

B. Fakhim, M. Behnia, S.W. Armfield and N. Srinarayana. (2011). Cooling solutions in an operational data centre: A case study, Applied Thermal Engineering, Vol. 31, Issues 14-15, pp. 2279-2291.

R. Singh, M. Mochizuki, K. Mashiko and T. Nguyen. (2011). Heat pipe based cold energy storage systems for datacenter energy conservation, Energy, Vol. 36, Issues 5, pp. 2802-2811.

M Koganei, I Yamaguchi, T Goto, K Miyake and M Tsushima. (2010). Study on outside air cooling system in data processing facility for information technology: part 1 -experimental study on electric power saving with outside

air usage variance, The Society of Heating. Air-Conditioning Sanitary Engineers of Japan, pp.11-19.

M. Ibrahim, S. Gondipalli, S. Bhopte, B. Sammakia, B. Murray and K. Ghose. (2010). Numerical modeling approach to dynamic data center cooling, Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (ITherm), 12th IEEE Intersociety Conference on, pp. 1-7.

■ 단행본

다카하시 다카오/송역학(역). (2012). 건물에너지와 공조제어, 도서출판 세진사.

한국IT서비스산업협회. (2008). 데이터센터 정의 및 분류체계.

서승직/최원기 공저. (2009) TRNSYS 16 사용자 가이드북 트랜시스 응용 프로그램, 도서출판 일진사.

Gartner. (2011). Forecast: Public Cloud Services, Worldwide and Regions, Industry Sectors.

TRNSYS 17(Transient System Simulation Program). (2011). Solar Energy Lab, Rep., University of Wisconsin-Madison.

The Green Grid. (2009). Usage and Public Reporting Guidelines for the Green Grid's Infrastructure Metrics (PUE/DCiE).

ASHRAE. (2009). Thermal Guidelines for Data Processing Environments, ASHRAE Datacom series, vol. 1.

ASHRAE. (2009). Design considerations for datacom equipment centers second edition, ASHRAE Datacom series, vol. 3.

ASHRAE. (2009). Best Practices for Datacom Facility energy Efficiency, ASHRAE Datacom series, vol. 6.

ASHRAE. (2009). Particulate and Gaseous Contamination in Datacom Environments, ASHRAE Datacom series, vol. 8.

Roger Schmidt. (2008), ASHRAE Technical Committee TC 9.9, IBM.

Gartner. (2008). Green Data Centers: The Six Key Attributes of Data Center Energy

Efficiency Metrics.

AHAREA 2007a. (2007). ANSI/ASHRAE Standard 52.2-2007, Method of Testing General Ventilation Air-Cleaning Devices for Removal Efficiency by Particle Size, Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air_Conditioning Engineers.

AHAREA 2007b. (2007). ANSI/ASHRAE Standard 127-2007, Method of Testing for Rating Computer and Data Processing Room Unitary Air Conditioners, Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air_Conditioning Engineers.

ASHRAE 2004h. (2004). Thermal Guidelines for Data Processing Environment, Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air_Conditioning Engineers.