creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

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

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 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

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[UCI]I804:24011-200000265304

2016년 2월

석사학위 논문

데이터센터 에너지절감 공조시스템의 경제성 평가

조선대학교 대학원

건 축 공 학 과

김 동 필

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

데이터센터 에너지절감 공조시스템의 경제성 평가

Economic Evaluation of Energy-reduced Data Center Cooling Systems

2016년 02월 25일

조선대학교 대학원

건 축 공 학 과

김 동 필

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

데이터센터 에너지절감 공조시스템의 경제성 평가

지도교수 조 규 만

이 논문을 건축공학석사학위 신청 논문으로 제출함

2015년 10월

조선대학교 대학원

건 축 공 학 과

김 동 필

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

김동필의 석사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 황 태 연 (인)

위 원 조선대학교 교수 김 태 훈 (인)

위 원 조선대학교 교수 조 규 만 (인)

2015년 11월

조선대학교 대학원

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

목 차

표 목 차 ····· III
그 림 목 차 ····· IV
ABSTRACT ····· V
제1장 서 론 ····· 1
제1절 연구의 배경 및 목적 ····· 1
제2절 연구의 방법 및 절차 ····· 3

제2장 이론적 고찰 ····· 5
제1절 데이터센터 ····· 5
1. 데이터센터의 구성 ····· 6
2. 데이터센터의 에너지소비 ····· 7
3. 데이터센터의 냉방시스템 ····· 9
제2절 LCC 분석 ····· 12
1. LCC분석의 정의 ····· 12
2. LCC분석의 항목 ····· 13
3. LCC분석의 방법 ····· 14
가. 현가법 ····· 14
나. 연가법 ····· 16
4. LCC분석의 기간 ····· 16
5. LCC분석의 절차 ····· 17
제3절 냉방시스템의 기존 사례 ····· 18

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

1. LCC 분석 ····· 18
2. CO2 분석 ····· 24

제3장 데이터센터 공조시스템 경제성 분석 ····· 25
제1절 경제성 분석 방향 ····· 25
제2절 경제성 분석을 위한 가정사항 ····· 25
1. 분석대상 데이터센터의 규모 ····· 25
2. 분석대상 및 에너지절감 공조시스템 대안 ····· 27
3. 초기투자비 산정 조건 ····· 33
가. 산정조건 ····· 33
나. 공조시스템별 구성 요소 ····· 33
4. 유지보수비 산정 조건 ····· 35
가. 수선비 ····· 35
나. 교체비 ····· 35
다. 에너지비 ····· 37
5. CO2 배출 거래비 산정조건 ····· 39
가. CO2 배출량 ····· 39
나. CO2 배출 거래비 ····· 39
6. 기타 ····· 40
가. 실질할인율 ····· 40
나. 분석기간 ····· 41
7. 가정사항 정리 ····· 42
제3절 경제성 평가를 위한 비용 분석 ····· 43
1. 설치단계 ····· 43

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. 운영단계 ····· 47
가. 수선비 ····· 47
나. 교체비 ····· 50
다. 에너지비 ····· 51
라. CO2 배출 거래비 ····· 57
3. 경제성 비용 분석 결과 ····· 60
가. CO2 배출 거래비용을 감안한 경제성 분석 ····· 60
나. CO2 배출 거래 비용을 고려한 경제성 분석 ····· 63
다. CO2 배출 거래 비용응 고려한 연간비용편익 ····· 64

제4장 민감도 분석 ····· 67
제1절 실질할인율 변화에 따른 LCC 변화 ····· 68
제2절 에너지소비량의 변화에 따른 LCC 변화 ····· 70
제3절 유지보수비용의 변화에 따른 LCC 변화 ····· 72

제5장 결론 ····· 75

【참고문헌】 ····· 77
감 사 의 글 ····· 81

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

표 목 차

<표 2.1> LCC 분석의 비용 구성 항목별 분류 ····· 14
<표 2.2> 냉방시스템의 기존 연구 사례 분석 ····· 18
<표 2.3> 냉방시스템의 기존 연구 사례 분석을 통한 LCC 구성 항목 선정 ····· 23
<표 2.4> CO2 분석의 기존 연구 사례분석 ····· 24
<표 2.5> 기존 연구 사례 분석을 통한 CO2 배출 분석 항목 설정 ····· 24

<표 3.1> 공조시스템 냉방설비 구성요소 ····· 25
<표 3.2> OO데이터센터 공조설비_터보냉동기 ····· 26
<표 3.3> OO데이터센터 공조설비_냉각탑 ····· 26
<표 3.4> OO데이터센터 공조설비_냉각수 펌프 ····· 26
<표 3.5> OO데이터센터 공조설비_냉수 펌프 ····· 26
<표 3.6> OO데이터센터 공조설비_CRAC(항온항습기) ····· 26
<표 3.7> 대안 공조시스템 ····· 27
<표 3.8> 공조시스템별 구성 요소 ····· 33
<표 3.9> 공조시스템 설비의 구성요소별 연간 수선율 ····· 35
<표 3.10> 국가별 냉방시스템 구성요소의 교체주기 및 연구에 적용한 교체주기 36
<표 3.11> 에너지 시뮬레이션 조건 ····· 37
<표 3.12> 시간대별, 계절별 전력사용에 따른 전력요금 ····· 38
<표 3.13> 에너지원별 발열량 및 CO2 배출량 ····· 39
<표 3.14> CO2 배출 거래비용 ····· 39
<표 3.15> 할인율 설정을 위한 10년간 한국은행 예금금리 및 설비시스템 물가지수 ····· 41
<표 3.16> 기존 공조시스템 냉발설비의 설치비용 ····· 44
<표 3.17> 기계식 냉방시스템(M)의 설치비용 ····· 44
<표 3.18> 외기 냉방시스템(M_A)의 설치비용 ····· 45
<표 3.19> 외기냉수 냉방시스템(AW)의 설치비용 ····· 45
<표 3.20> 수냉식 냉방시스템(W)의 설치비용 ····· 46
<표 3.21> Multi 냉방시스템의 설치비용 ····· 46

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

<표 3.22> 냉방시스템별 초기투자비 종합 ····· 47
<표 3.23> 공조시스템 냉방설비별 연간 수선비용 ····· 48
<표 3.24> 냉방시스템 구성요소별 수선비용의 연도별 현재가치 및 합계 ····· 50
<표 3.25> 냉방시스템별 1회 교체비용 ····· 51
<표 3.26> 냉방시스템의 교체주기별 교체비용 ····· 52
<표 3.27> 기존시스템의 월별 에너지 사용량 및 에너지비용 ····· 53
<표 3.28> 기계식 냉방시스템의 월별 에너지 사용량 및 에너지비 ····· 53
<표 3.29> 외기 냉방시스템의 월별 에너지 사용량 및 에너지비 ····· 54
<표 3.30> 외기냉수 냉방시스템의 월별 에너지 사용량 및 에너지비 ····· 54
<표 3.31> 수냉식 냉방시스템의 월별 에너지 사용량 및 에너지비 ····· 55
<표 3.32> Multi 냉방시스템의 월별 에너지 사용량 및 에너지비 ····· 55
<표 3.33> 냉방시스템 구성요소별 수선비용의 연도별 현재가치 및 합계 ····· 57
<표 3.34> 냉방시스템별 연간 CO2 배출량 ····· 58
<표 3.35> 냉방시스템별 연간 CO2배출비용 및 기존시스템대비 냉방시스템별 비율 ····· 59
<표 3.36> 냉방시스템별 연간 CO2 배출비용 누적금액 ····· 60
<표 3.37> 냉방시스템별 경제성분석 결과 ····· 62
<표 3.38> 기존시스템 대비 냉방시스템별 CO2배출 비용편익을 거려한 경제성분석 ····· 64
<표 3.39> 냉방시스템별 연간 비용편익 분석 결과 ····· 65

<표 4.1> 실질할인율 변화에 따른 민감도분석결과 ····· 69
<표 4.2> 연간에너지비용의 변화에 따른 민감도분석결과 ····· 71
<표 4.3> 유지보수비용의 변화에 따른 민감도분석결과 ····· 73

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

그 림 목 차

[그림 1.1] 국내 데이터센터 전력사용량 ····· 2
[그림 1.2] 연구의 진행 절차 ····· 4

[그림 2.1] 국내외 IT시장전망 ····· 5
[그림 2.2] IT서버 내부의 일반적인 구성요소 ····· 6
[그림 2.3] 데이터센터 에너지 소비 비율 ····· 7
[그림 2.4] IT장비의 발열변화 경향 ····· 7
[그림 2.5] IT장비의 소비 전력량 비교 ····· 8
[그림 2.6] 공기분배시스템 ····· 9
[그림 2.7] 외기냉수 냉방시스템 ····· 10
[그림 2.8] 중앙냉수 냉방시스템 ····· 11
[그림 2.9] 외기도입 냉방시스템 ····· 11
[그림 2.10] LCC 비용항목 ····· 13

[그림 3.1] 대안 냉방시스템 ····· 28
[그림 3.2] 대안1_기계식 냉방시스템(M) ····· 29
[그림 3.3] 대안2_외기 냉방시스템(A) ····· 30
[그림 3.3] 대안3_외기냉수 냉방시스템(AW) ····· 31
[그림 3.4] 대안4_수냉식 냉방시스템(W) ····· 31
[그림 3.6] 대안5_Multi 냉방시스템 ····· 32
[그림 3.7] LCC 분석 60년 손익분기 그래프 ····· 62

[그림 4.1] 민감도분석 시나리오에 따른, M시스템 대비 냉방시스템별 LCC값의 비율 ····· 69
[그림 4.2] 민감도분석 시나리오에 따른, 각 시스템별 생애주기 에너지비용 비율 ····· 71
[그림 4.3] 민감도분석 시나리오에 따른, 각 시스템별 생애주기 유지보수비용 비율 ····· 73

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

ABSTRACT

Economic Evaluation of Energy-reduced Data Center Cooling Systems.

Kim Dong Pil
Advisor : Prof. Cho, Kyu-Man Ph.D.
Departmant of Architectural Engineering
Graduate School of Chosun University

There is a growing demand for the data center due to the rapid growth of information and technology industry. As a result, the power consumption of these data centers has been growing by 45 percent per annum. 50 percent of the power consumption at the data centers are utilized to make the cooling energy. Of this, 30 percent is wasted due to the inefficiency of cooling installations. To resolve this issue, many research and development projects are currently under progress for saving the energy.

On that account, the objective of this study is to verify the saving effect through the economic feasibility analysis on the newly developed cooling systems and the conventional cooling systems. Moreover, this study also aims to verify the energy saving effect and CO2 emission reduction effect by comparing CO2 emission in relation to energy consumption.

The procedure of this study is as follows: 1) theoretical review, 2) assumptions for economic feasibility analysis, 3) energy saving assessment through economic feasibility analysis, 4) CO2 emission reduction assessment based on CO2 emission cost, 5) sensitivity analysis and 6) final conclusion deduction.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

As a result of the economic feasibility analysis, the machine type air conditioning system had a saving effect of 13.62 percent as compared with the conventional air conditioning system, whereas the air side economizer system had a saving effect of 14.56 percent and the air & water side economizer system had a saving effect of 12.13 percent. Also, the water side economizer system had a saving effect of 18.09 percent and the multi air conditioning system had a saving effect of 32.09 percent.

As a result of the CO2 emission analysis, the machine type air conditioning system had a reduction effect of 0.73 percent as compared with the conventional air conditioning system, whereas the air side economizer system had a reduction effect of 0.93 percent and the air & water side economizer system had a reduction effect of 0.83 percent. Also, the water side economizer system had a reduction effect of 0.96 percent and the multi air conditioning system had a reduction effect of 1.87 percent.

The analysis result of this study implies that the data centers would be able to reduce the energy consumption and CO2 emission through the energy-saving type air conditioning system developed in this study.

It would be possible to achieve an energy saving effect with higher efficiency if a follow-up study could be performed on the power consumption of computing system in a server room. Furthermore, it would also be possible to make a large contribution to the energy reduction at the data centers if this study could be extended to the other countries where electricity charge is relatively high.

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제1장 서 론

제1절 연구의 배경 및 목적

ICT(Information Communication Technology : 정보통신기술)의 발전은, 인터넷 및 통신의 보급을 확산시켰고, 데이터 처리 능력 및 속도의 향상으로 이어졌으며, 이로 인한 데이터의 저장 및 처리방식, 사용범위에 변화가 시작 되었다. 개인 컴퓨터와 이동식 저장디스크를 이용하던 예전과 달리, 인터넷을 통한 개인 서버 구축으로, 개인 PC, 스마트폰, 테블릿PC 와 같은 전자기기를 통해 장소에 구애 받지 않고 데이터를 업로드 하거나 다운로드할 수 있는 클라우드 시스템 방식으로 진화 하고 있다. 클라우드 시스템 방식의 사용은 보안 문제와 용량의 범위가 제한적이던 예전과 달리 보안을 강화하고 대용량 서비스를 제공하기 시작하면서, 개인사용자의 수요가 기하급수로 늘고 있다. 또한, 전 세계적으로 데이터정보를 제공하는 검색포털사이트나, 이용자들의 새로운 인맥 및 기존 인맥의 관계를 강화할 수 있는 SNS(Social Networking Service) 서비스, 실시간으로 메시지와 데이터를 주고받을 수 있는 메신저, 교육, 쇼핑, 게임 등의 이용이 늘면서, 이를 제공하는 기업들의 규모 또한 증가 하고 있다.

이에 따라, 데이터 정보를 저장 및 제공하기 위한 시설인 데이터센터가 필요하며, 중요도가 매우 높다. 서버컴퓨터들의 집합체인 데이터센터는, 작은 공간에 저장의 매체인 서버 랙들이 적층 구조로 되어 있으며, 원활한 서비스 제공을 위해 24시간 365일 가동된다. 데이터센터는 운영상 서버의 가동에 따라 경제적 이윤이 발생하기에 서버의 안전한 운영이 우선시 되며, 이를 위해 서버실의 환경을 지속적으로 관리 및 유지해주어야 한다.

데이터센터 주요 환경 관리로는 데이터의 저장 매체인 서버 랙의 냉방부하 관리다. 서버 랙은 발열량이 많으며, 작은 공간에서 밀집된 형태에 적층구조로 쌓여 있기 때문에 전체 발열량이 매우 많다. 따라서 적정온도로 유지하기 위해 냉방에너지를 사용하며, 이는 많은 전력이 소모된다. 데이터센터의 전력사용량은 [그림 1.1]과 같이 2006년 5.3억 KWh, 2007년 7.2억 KWh, 2008년 11.2억 KWh로 3년간 매해 약 45% 이상 사용량이 증가 하였으며, 2013년에는 26억 KWh로 5년 사이 약 132%로 전력 사용량이 증가 되었다.[1] 이 수치는 국내 전력사용량의 약 2%, 산업용 전력 사용량의 7~8%를 차지하는 수준이며, 인구 180만 명이 이용 할 수 있는 전력량이다.

1) 한국IT서비스산업협회, 「데이터센터 전력사용 증가량」, 2008.

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[그림 1.1] 국내 데이터센터 전력사용량

데이터센터 전력의 50%는 냉방에너지로 사용되며, 이중 30% 이상이 낭비되고 있다.[2] 이는 데이터센터의 냉방부하에 따른 냉방시스템 효율성 보다, 서버의 안전성을 우선시 하였고, 효율이 떨어지는 냉방시스템을 운영하였기 때문에 냉방에너지가 낭비가 되고 있다. 이런 냉방에너지를 절감하기 위한 연구가 활발히 진행 중이며, 효율을 높인 에너지절감 냉방시스템들이 개발되고 있다.

또한, 전력사용량의 절감은, CO2 배출의 감소로 이어진다. 온실가스의 64%인 CO2[3]는 화석연료를 통해 57%[4] 배출되며, 화석연료의 66%[5]는 전력을 생산하기 위해 사용된다. 그렇기 때문에 전력사용의 절감은 CO2 배출의 감소로 이어질 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 데이터센터의 전력사용량을 절감할 수 있는 에너지절감 공조시스템들과 기존 공조시스템에 대한 LCC분석을 통해 경제성평가를 진행하고, 기존 공조시스템과 에너지절감 공조시스템의 절감효과를 비교하여, 에너지절감 및 CO2 배출감소에 대한 검증을 목표로 한다.

2) 지디넷코리아, 「데이터센터 전력낭비 이대론 위험하다.」 2012. (http://www.zdnet.co.kr)
3) 기상청, 「지구온난화 온실가스의 특성」, 2013. (http://climate.go.kr)
4) 김종수, 「대기로 배출되는 CO2 붙잡아 격리한다」, 한국2008.
5) 한국전력공사, 「KEPCO in Brief」 2014

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

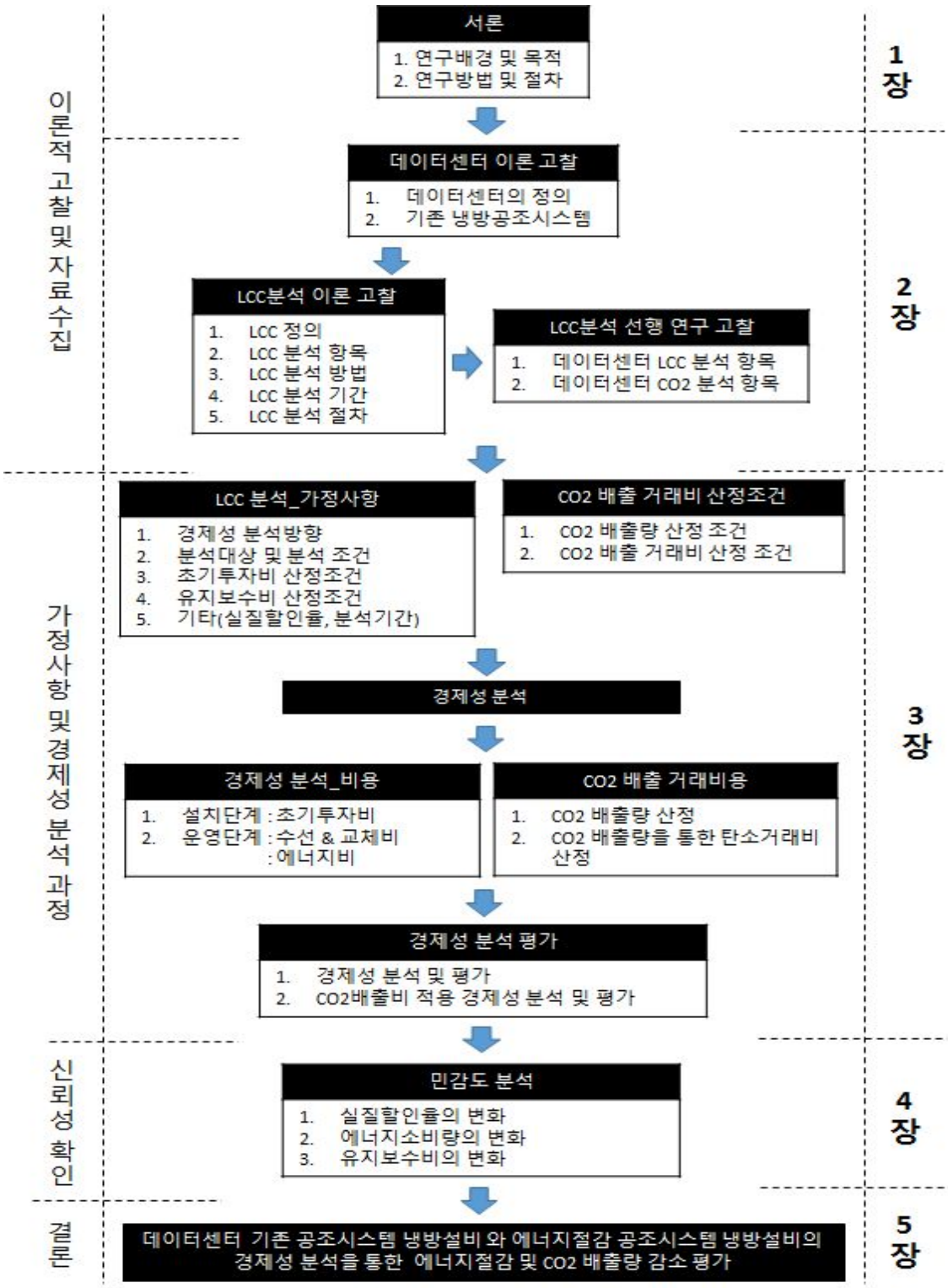
제2절 연구의 방법 및 절차

본 연구는 데이터센터의 기존 공조시스템과, 에너지절감 공조시스템에 대한 경제성 평가를 목적으로 다음과 같은 연구방법으로 진행할 것이다.

연구의 방법으로는 1)이론적 고찰을 통한 데이터센터의 구성 및 기존냉방시스템에 대한 이해, LCC분석의 정의 및 절차에 대한 이해, 냉방시스템에 대한 선행 연구의 고찰, 2)경제성 분석을 위한 LCC 분석 방향설정 및 가정 사항 설정, 에너지절감 공조시스템 대안 설정, 3)공조시스템별 비용항목 분석을 통한 경제성 분석 및 평가 4) CO2 배출비용 적용에 대한 경제성 평가 및 환경성 평가, 5) 민감도 분석을 통한 경제성분석 값 신뢰성 판단, 6) 최종 결론의 도출로 진행 된다. 이를 도식화 하면 [그림 1.3]과 같은 연구의 진행 절차가 된다.

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



[그림 1.2] 연구의 진행 절차

Collection @ chosun

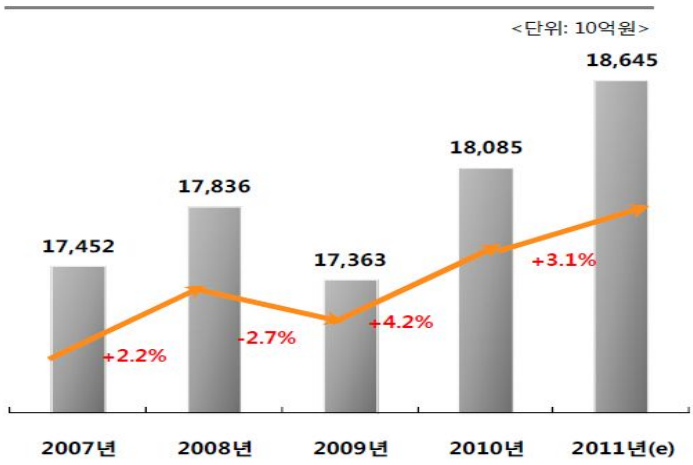
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제2장 이론적 고찰

제1절 데이터센터

국내외 IT시장의 전망은 [그림 2.1]과 매년 상승세를 보이고 있다. 이는, 통신업체에서 대부분의 일반 기업까지 컴퓨터 서버 관리 명목상 전문 업체에 위탁 하고 있기 때문이다. 또한, 이를 수용하기 위한 데이터센터의 수요가 급증하고 있으며, 데이터센터의 시장의 규모 또한 늘고 있다.

데이터센터란, 지식서비스의 근간이 되는 IT인프라를 중앙 집중식 환경으로 전용 건물에 구축하고 24시간 365일 운영, 관리 또는 이를 지원하는 곳을 말하며, 이를 통해 수익을 창출하는 것이라 할 수 있다.[6] 데이터센터의 목적은 개인사용자의 서비스제공을 위한 IT서비스업체의 운영과 기업을 대상으로 코로케이션(Co-location), 호스팅 등의 서비스 제공을 위하여 사용된다. 이런, 데이터센터는 실내에 컴퓨터시스템, 통신장비, 저장장치인 스토리지(storage)등의 설비를 설치하여 놓고, 전산 설비, 네트워크 설비 등을 임대해주거나, 고객설비를 유치하여 상면 제공 및 유지보수 업무 서비스를 제공한다.



[그림 2.1] 국내외 IT시장전망[7]

6) 한국IT서비스산업협회, 「데이터센터 정의 및 분류체계」, 2008.
7) 한국IT서비스산업협회, 「국내외 IT시장전망」 KRG-ITSA 세미나, 2011.

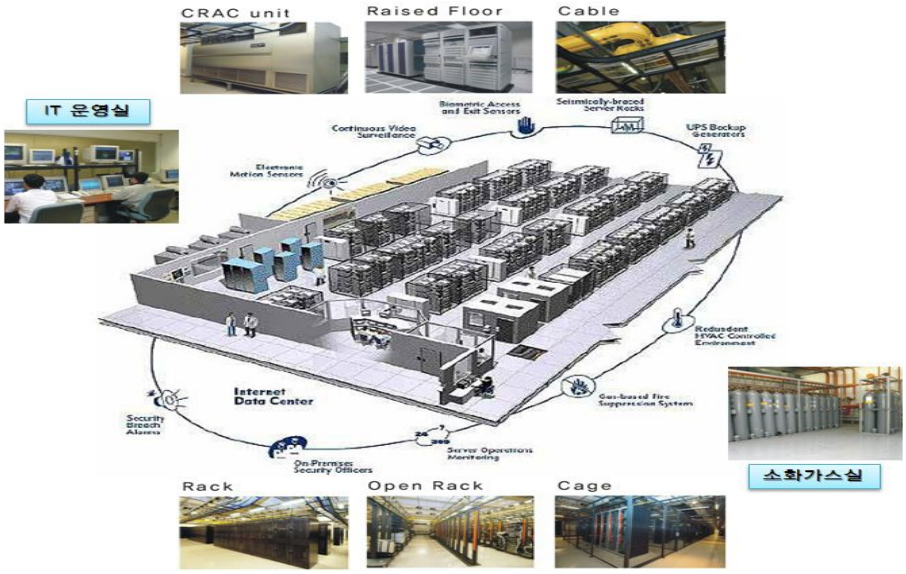
dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

1. 데이터센터의 구성

데이터센터는 저비용 구조를 달성하기 위해 고밀도 환경으로 서버의 핵심 요소인 대량의 랙(Rack)이 적층 구조로 배치되어 있으며, 컴퓨터시스템, 통신장비, 스토리지등의 하드웨어 또한 고밀도 환경으로 설비가 설치되어 있다. 또한, 24시간 365일 가동되는 데이터센터의 안정적인 운영을 위해 고도화된 전원 관리 시스템, 고대역 네트워크 환경, 백업시스템, 보안 시스템, 공조시스템의 시설을 갖추고 있다.

데이터센터의 IT서버룸의 내부는 [그림 2.2]과 같이 일반적으로 전산실, IT운영실(종합상황실), 소화가스실, 전기실, 기계실로 구성되어 있다. 전산실은 ICT 장비가 설치되어 운영되는 장소로 ICT 장비의 냉각을 담당하는 항온항습기가 전산실 내 또는 전산실과 연접하여 별로로 분리된 항온항습기실에 설치된다. IT운영실은 종합상황실로 서버룸을 제어하기 위한 모니터시설이며, 소화가스실은 발열량이 높은 서버랙의 화제를 대비하기 위한 시설이다. 기계실은 냉각시스템의 기계 설비들이 설치되어 있는 장소로 CRAC, CRAH와 실내기의 냉매를 응축하거나 응축 효율을 도와주는 실외기, 중앙냉수식에서 집중된 냉동을 담당하는 냉동기 그리고 냉매와 냉수, 냉각수를 운반하는 펌프 등이 있다.



[그림 2.2] IT서버 내부의 일반적인 구성요소[8)]

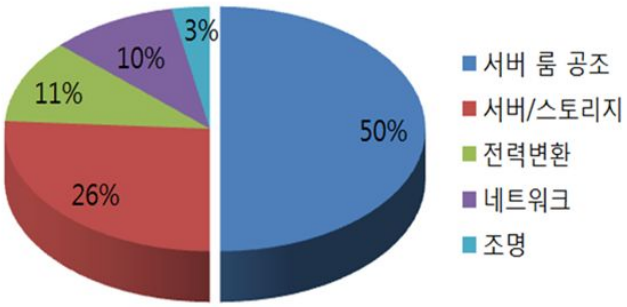
8) 장현재외, 「데이터센터의 냉방에너지 사용량 50% 감축 가능한 공조시스템 개발」, 『보고서』, 홍익대학교, 2014.

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

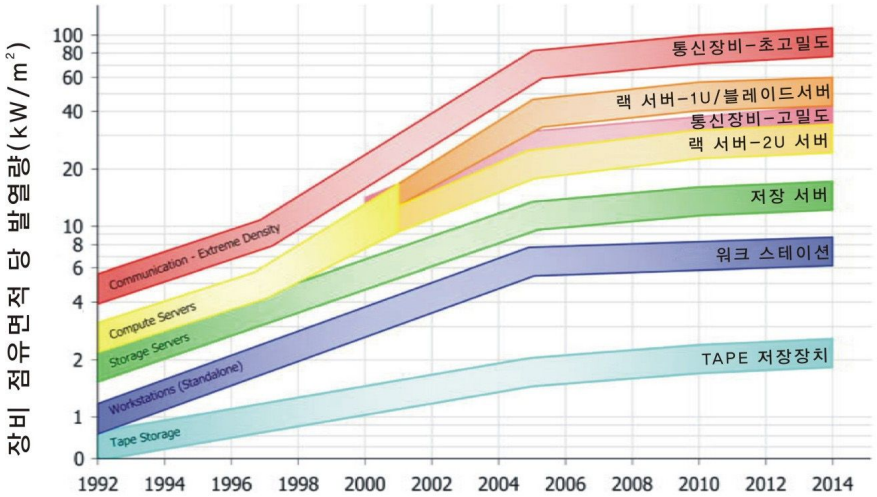
2. 데이터센터의 에너지소비

데이터센터의 주요 에너지 소비율(전력사용률)을 살펴보면 [그림 2.3]과 같이 IT서버룸(전산실) 공조 50%, 서버/스토리지 26%, 전력변환 11%, 네트워크 10%, 조명 3%에 사용 되고 있다.



[그림 2.3] 데이터센터 에너지 소비 비율[9)]

전체 에너지의 50%를 사용하는 IT서버룸(전산실)공조는 [그림2.4]와 같이 서버 컴퓨터의 형태가 블레이드 서버 형태로 바뀌면서 1개의 랙(rack)에 적층되는 서버의 수가 증가하였고, 장비점유 면적당 발열량 또한 큰 폭으로 증가하여, 이를 냉각시키기 위한 많은 에너지가 사용되기 때문이다.

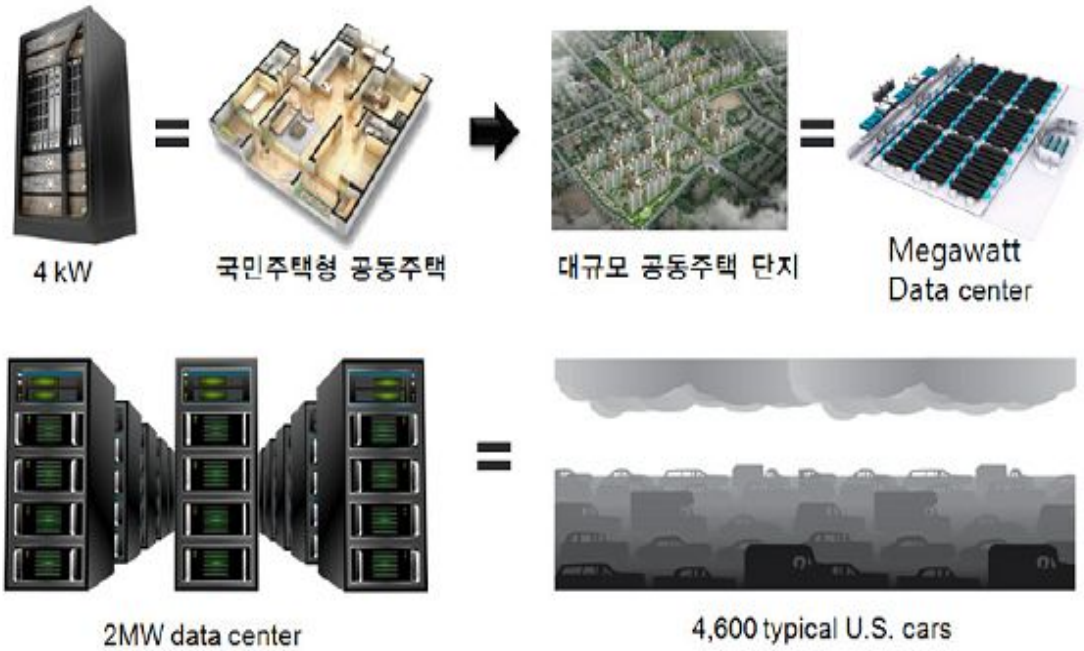


[그림 2.4] IT장비의 발열변화 경향[10)]

9) ITU-T FG ICT&CC, 「Direct and indirect impact (on energy) of ITU-T standards」, 『보고서』, 2008.
10) ASHRAE. 「Datacom Equipment Power Trends and Cooling Application.」, 2005.

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



[그림 2.5] IT장비의 소비 전력량 비교[11)]

IT장비의 전력소비량은 [그림2.5]와 같이 4kW 서버랙을 기준으로 국민주택형 공동주택 1가구의 전력 사용량과 같으며, 대규모 공동주택 단지는 MW데이터센터의 전력사용량과 같다. 2MW 데이터센터의 전력 사용량은 미국의 자동차 4,600대의 일반적인 CO2 배출량과 같다. 전 세계 IT 관련 전력소비량은 한해, 1,000억 kW이며, 데이터센터의 서버 수는 매년 13%증가하고, 데이터 저장 요구량도 연평균 50%씩 증가할 것으로 예상되고 있어, 이에 따라 전력 소비량은 연 20% 증가할 것으로 보고되고 있다.[8] 국내 데이터센터의 에너지 소비량은 위에서 언급한 바와 같이 2013년에 26억 kWh를 사용하였고, 이는 전체 전력의 2%, 산업용 전력의 6~7%에 해당하며, 180만 명이 사용할 수 있는 전력량이다.[1]

11) U.S Department of Energy,「U.S Data Centers Save Energy Now, Industrial Technologies Program」, D.O.E/energy efficiency and renewable energy, 2009.

dCollection @ chosun

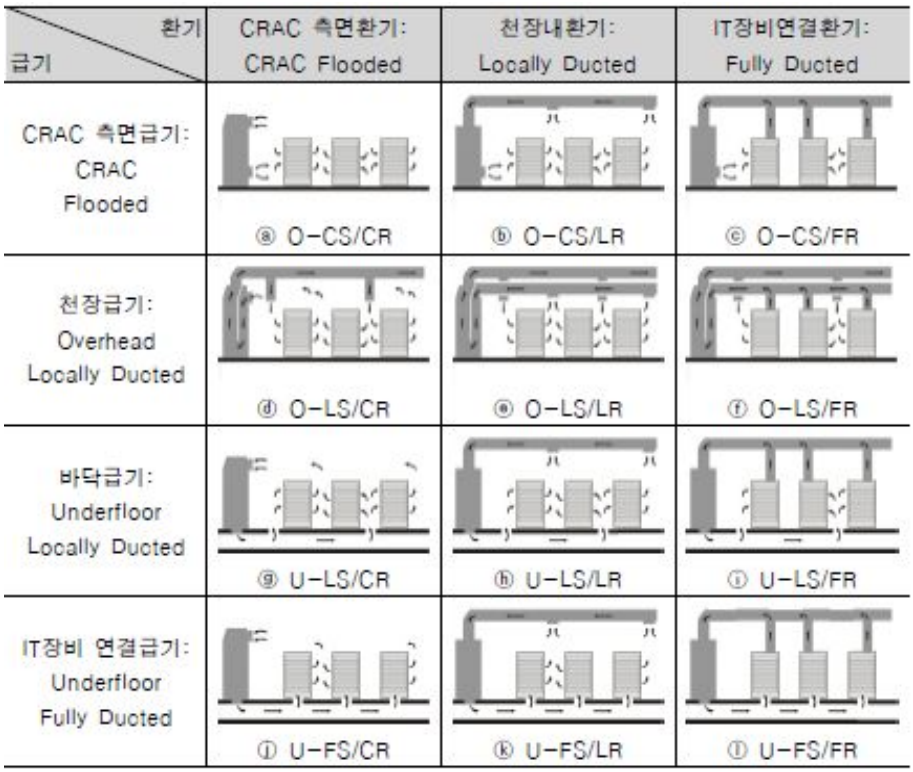
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3. 데이터센터의 냉방시스템

데이터센터의 서버를 냉각시키기 위한 냉방시스템은 냉각방식과 공기분배시스템의 조합으로 분류 할 수 있다.

냉각방식으로는 냉수, 냉각수 등을 냉매로 하여 기계적 설비의 순환을 통해 열교환을 하고 여기에서 얻어진 냉각공기를 사용하는 방식과, 냉수 및 외기를 직접 실내로 도입하여 열교환 하는 방식으로 분류 할 수 있다.

이렇게, 열교환된 냉방에너지는 [그림 2.6]과 같이 13가지 공기분배시스템을 통해 실내에 공급되어 서버를 냉각 시킨다.[12)]



[그림 2.6] 공기분배시스템[12)]

12) 조진균외, 「최적 IT 환경제어를 위한 데이터센터의 냉각시스템 및 공기분배시스템 계획에 관한 연구」, 『대한건축학회지』, 대한건축학회, 2008.

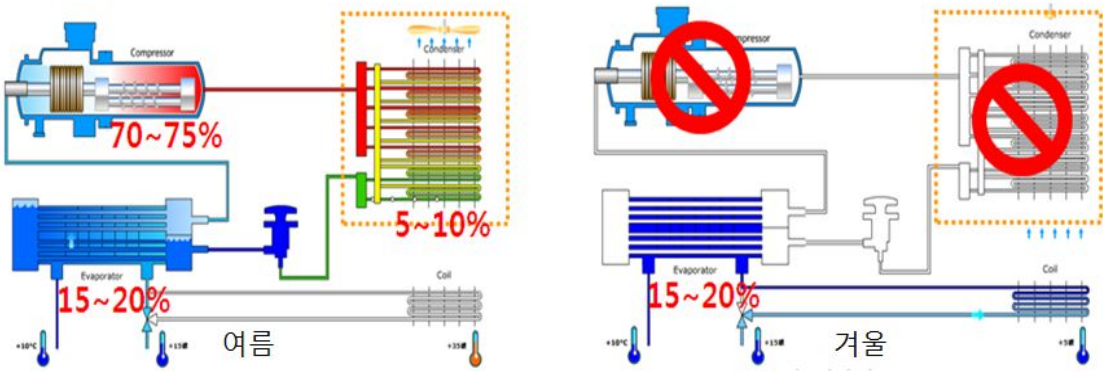
dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

데이터센터에 사용되고 있는 냉방시스템은 외기냉수 냉방시스템, 중앙냉수 냉방시스템, 외기도입 냉방시스템이 있다.

1) 외기냉수 냉방시스템

외기냉수 냉방시스템은 냉수와 냉각수를 냉매로 하여 냉동기 또는 실외기를 통해 냉각공기를 만들어 사용 하는 방식으로 [그림 2.7]과 같이 여름철에는 냉동기를 가동하여 사용하고, 외기의 습구온도가 약 7~8℃WB 이하로 유지되는 중간기 및 동절기에 냉동기를 가동하지 않고 냉각탑을 순환하는 냉각수와 대기를 접촉하여 냉각된 냉각수를 직접 이용하거나 또는 열교환기를 통한 간접방식으로 부하 측에 순환시켜 냉방하는 방식을 말한다.



[그림 2.7] 외기냉수 냉방시스템[13)]

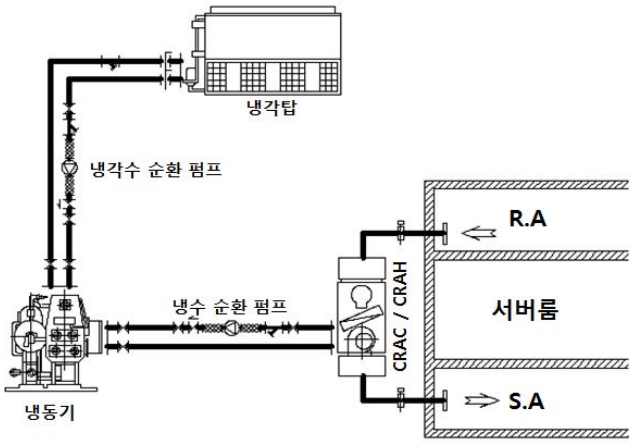
2) 중앙냉수 냉방시스템

기존 데이터센터에서 일반적으로 가장 많이 적용되는 냉각방식인 중앙냉수 냉방시스템은 [그림 2.7]와 같이 냉수와 냉각수를 냉매로 하여 냉동기를 통해 냉각공기를 만들어 사용하는 방식이다. 이는 외부 기온에 영향을 받지 않기 때문에 계절에 상관없이 24시간 365일 가동할 수 있다.

13) 김세훈, 「외기냉수냉방 시스템의 에너지 성능과 경제성 분석에 관한 연구」, 『박사학위논문』, 중앙대학교, 2005.

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

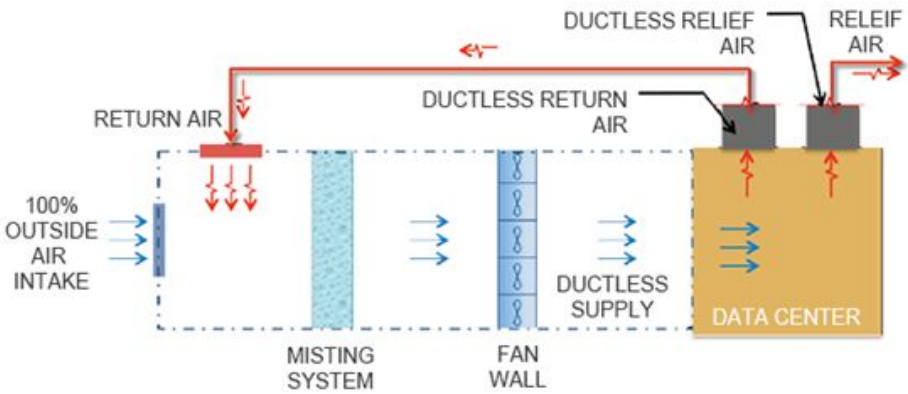


[그림 2.8] 중앙냉수 냉방시스템

3) 외기도입 냉방시스템

외기도입 냉방시스템은 냉수와 냉각수를 냉매로 하지 않고, 외부의 외기를 직접 실내로 도입하여 서버실을 냉방하는 방식으로, 외부 기온이 약 13℃에서 영하로 떨어지게 되면 전산실 내부의 서버 발열량과 혼합하여 상시 적정 온도를 공급하는 방식이다.

[그림 2.9]과 같이 외기도입 냉방시스템의 원리로는 외부의 공기를 리턴공기와 혼합하여 필터시스템의 여과를 지나 Fan에 의해 데이터센터 내부의 서버룸에 급기 되어 적정 온도를 유지한다.



[그림 2.9] 외기도입 냉방시스템[14)]

14) 이미지 출처 = http://blog.lgcns.com/881

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제2절 LCC 분석

1. LCC 분석의 정의

건축물의 계획, 설계, 시공과정에서 비용관리(Cost Management)는 전통적으로 건설사업에 참여하는 수많은 당사자들에게 가장 중요한 의사결정요소 중 하나로 간주되어 왔다. 프로젝트의 계획 및 설계단계에서 비용계획(Cost Planning)과 프로젝트의 건설단계에서의 비용 통제(Controlling)은 건설프로젝트의 성공적 수행을 결정짓는 매우 중요한 관리(Management)활동이었다. 최근 10년 사이, 프로젝트의 건설단계에 투입되는 초기비용(Initial Costs) 뿐만 아니라, 운영 및 유지관리단계에서 요구되는 비용을 동시에 고려한 Life Cycle Cost(LCC)의 고려는 건설프로젝트의 비용관리(Project Cost Management)분야에서 가장 큰 변화였다. LCCA(LCC Analysis)는 건설프로젝트의 초기단계인 기획 및 설계단계에서 수행하는 것이 가장 효과가 큰 것으로 알려져 있기 때문에, 프로젝트의 관리자나 엔지니어들은 그들의 건축물을 구성하는 다양한 요소, 공법, 아이템 등을 대상으로 다양한 대안별 경제성을 분석하고자 노력해 왔다[15].

LCC(Life Cycle Cost)는 생애주기비용으로 건축물 혹은 건축물의 구성요소를 대상으로 수명 범위 내에서 발생하는 모든 중요한 비용을 등가로 환산하여 경제성을 평가하는 방법이다[16]. 즉, 일반적으로 제품의 생산, 사용, 폐기·처분의 각 단계에서 발생하는 비용을 바탕으로 경제성을 평가하는 방법을 의미하며[17], 프로젝트의 여러 대안 중 최적 대안을 선택함에 있어 고려되어야 할 모든 비용구성 항목에 대해 일정기간에 발생하는 금전적 가치의 비교를 통하여 경제적 평가를 수행하는 절차로 정의할 수 있다.

---

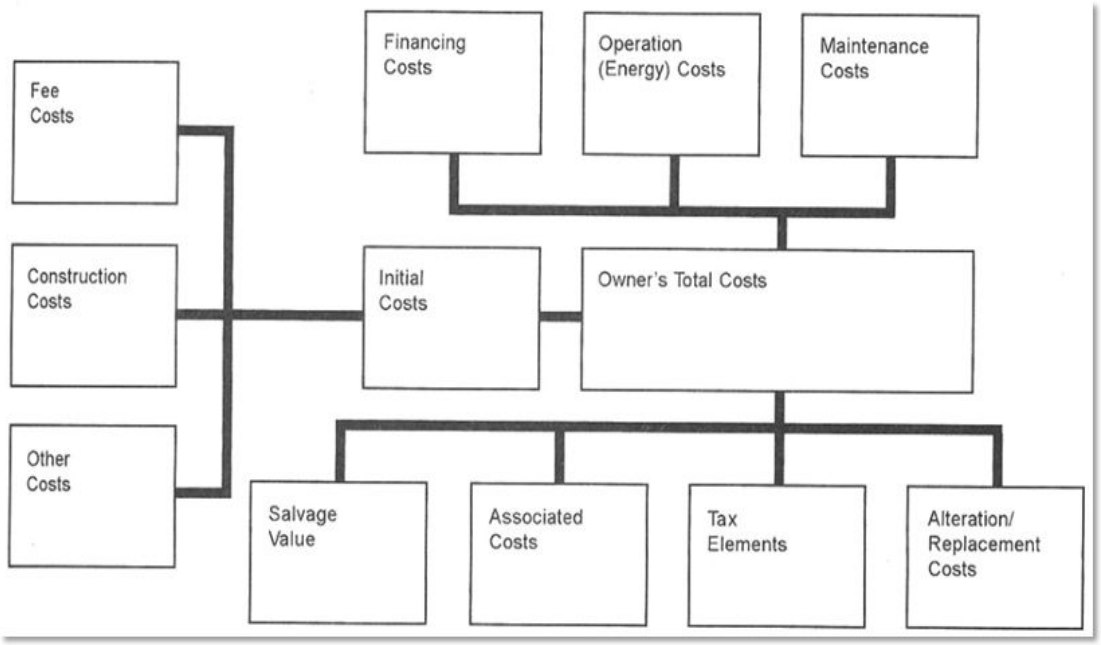
15) Li, W., Zhu, J., and Zhu, Z. 「The Energy-saving Benefit Evaluation Methods of the Grid Construction Project Based on Life Cycle Cost Theory」『*Energy Procedia* 17, 227-232』, 2012.
16) Dell'Isola, A.J. and Kirk, S.J 「Life Cycle Costing for Facilities」, 『Construction Publishers & Consultants』, Kingston, MA. 2003.
17) 박태근, 「Life Cycle Cost 분석에 의한 공동주택의 최적설계 방법론에 관한연구」, 『박사학위논문』 서울대학교, 1992.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. LCC 분석의 항목

일반적으로 LCC 분석의 대상이 되는 비용요소는 [그림 2.11]에서 볼 수 있듯이, 크게 2가지 항목으로 구분될 수 있다. 초기투자비(Initial Costs)와 운영단계에서 발생하는 미래비용으로 구분되며, 초기투자비는 그림에서 볼 수 있듯이, 공사비(Construction Costs)와 설계비, 감리비 등의 용역관련 비용(Fee Costs) 등으로 구성되어 있다. 운영단계에서 발생하는 미래비용은 다시 두 가지 부분으로 구분이 가능하다. 즉, 운영기간동안 매년 주기적으로 발생하는 비용과, 일회성으로 발생하는 부분으로 구분된다. 주기적으로 발생하는 비용요소는 금융비용, 에너지 비용, 유지보수 비용 등으로 구성되어 있으며, 수선/교체 비용(Alteration/Replacement Costs) 및 잔존가치는 일회성 비용요소의 대표적인 항목이다.



[그림 2.10] LCC 비용항목[17]

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

국내에서는 국토해양부(2008)에 따라 LCC분석의 비용 구성 항목별 분류[18]를 <표 2.1>과 같이 "초기투자비(공사비, 설계비, 감리비, 보상비 등), 유지관리비(점검 및 진단비, 관리비, 보수비, 교체비, 보강비, 에너지비용등), 이용자비, 사회·경제적 손실비용, 해체·폐기비용, 잔존가치 비용으로 분류 하고 있다.

<표 2.1> LCC분석의 비용구성 항목별 분류

대분류	중분류	소분류
초기투자비	시설투자비	재무비, 노무비, 경비
유지관리비	장비수선비	점검, 진단, 보강, 수선, 교체
		에너지비용
해체·폐기 처분비	해체·폐기 처분비	해체비
		폐기처분비
	잔존가치	폐기물 재활용비

3. LCC 분석의 방법

LCC 이론은 내용년수 내의 각 년에 대한 초기투자비와 유지관리비를 합한 총비용을 산정하여 총비용이 가장 낮은 시점을 최적 경제 수명으로 판단하는 기법이다. 앞서 설명한 바와 같이, LCC를 집계하기 위해서는 생애주기동안의 모든 비용에 대해 동일한 가치로 환산해야 한다. 환산의 기준점에 따라 생애주기동안 발생하는 모든 비용을 현재시점의 가치로 환산하는 현가법, 운용기간중의 1년당의 비용으로 환산하는 연가법, 사용연수가 끝난 시점의 가치로 환산하는 종가법으로 나누며, 일반적으로 LCC분석을 위해 현가법과 연가법이 주로 사용된다.[12]

가. 현가법

현가법을 중심으로 LCC분석을 수행하기 위해서는, 초기투자비와 미래비용(즉, 유지관리비, 교체비, 잔존가치 등)을 파악하여 이들을 동일 시점을 기준으로 현가 처리한

18) 국토해양부 기술안전정책관,「생애주기비용 분석 및 평가요령」, 국토해양부, 2008.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

후 합산해야 한다. 초기투자비 그리고 대표적인 미래비용인 보수교체비는 아래의 산식을 활용하여 산정될 수 있다.

$$\text{초기투자비} = \sum_{j=1}^{n}[(M_j + L_j) \times A + I_j]$$

$$\text{보수교체비} = \sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{T}[(RR \times IC_j) \times PW_I]$$

n : 경과년수

j : 구조체 또는 건물 부위의 종류(공종 또는 기초, 바닥, 내외벽, 지붕)

M : 재료비 단가

L : 노무비 단가

A : 해당 구조체 또는 부위의 면적

I : 간접공사비

T : 내용연수

RR : 보수교체주기를 고려한 수선교체율

IC_j : 구조체 또는 부위별 초기투자비 ,

PW_i :현가계수

여기에서, 현가계수(PW_i)는 미래비용의 발생형태에 따라 아래의 계수들 중 선정할 수 있다. 우선, 미래의 비용이 일회성 비용일 경우, 이를 현재가치로 변경하기 위해 활용되는 현가계수는 아래와 같다.

$$\text{일회성 미래비용에 대한 현재가치 환산계수} \quad PW = \frac{1}{(1+i)^n}$$

한편, 미래의 비용이 전기세 등과 같이, 매년 동일한 크기로 발생하는 비용일 경우, 이를 현재가치로 환산하기 위한 현가계수는 아래와 같다.

$$\text{연간 발생비용에 대한 현재가치 환산계수} \quad PWA = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}$$

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

나. 연가법

미래에 발생하는 비용 등을 가정하고, 생애주기에 발생하는 모든 비용이 매년 균일하게 발생한다고 가정할 경우, 아래의 산식을 활용하여, 현재의 비용 (P)와 이자율(i)를 바탕으로 연간의 균일한 비용으로 환산할 수 있다. 현가법과 마찬가지로, 발생비용의 연간가치로 환산하기 위해서는 계수를 활용하는데, 우선, 연간가치로 환산해야 할 비용이 현재의 금액일 경우 활용되는 계수는 아래와 같다.

현재비용에 대한 연간가치 환산계수 $$PP = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

한편, 연간가치로 환산해야 할 비용이 미래의 금액일 경우, 이를 연간가치로 환산하기 위한 계수는 아래와 같다.

미래비용에 대한 연간가치 환산계수 $$USF = \frac{i}{(1+i)^n - 1}$$

이상에서 설명한 다양한 환산계수를 바탕으로, LCC분석대상의 특성에 따라 현가법 혹은 연가법을 적용하여, 생애주기동안의 총비용을 산정할 수 있다.

4. LCC 분석 기간

분석기간은 수명주기를 얼마동안으로 산정할 것인가를 설정하는 것이며, 이에 따라 분석기간을 설정하기 위해서는 시설물 또는 시설물 부품의 수명주기에 대한 고려가 필요하다. 분석기간의 설정은 LCC분석의 결과에 크게 영향을 미치기 때문에, 신중하게 결정해야만 한다. 일반적으로 LCC분석을 위한 분석기간 설정을 위해, 다음과 같은 네 가지의 기준에 따라 선택적으로 적용될 수 있다.[16]

분석대상의 경제적 수명(Economic life): 고장률이 높아져서 유지관리비의 지출이 대폭 증가되어, 새로운 시스템으로 갱신하여 사용하는 것이 더욱 경제적일 때까지의 내용년수를 의미한다.

분석대상의 물리적 수명(Facility life): 분석대상의 고장 등에 따른 물리적인 노후

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

화에 의해 결정되는 분석기간을 말하며, 예를 들어 철골조/철근콘크리트조 등의 건축물의 경우 물리적 수명을 40년으로 설정하고 LCC분석을 수행하게 된다.[19]

분석대상의 기대 수명(Investment or mission life): LCC분석의 대안들에 대해, 특별히 발주자 혹은 투자자들이 운영계획을 가지고 있을 경우 적용가능한 분석기간이다. 예를 들어 시설물에 대한 투자를 결정하고, 이를 20년간 운영한다는 계획이 있을 경우 이러한 기대수명을 적용할 수 있다.

분석대상들의 경제적, 물리적, 공통배수(Common multiple of component lives): 분석의 대상이 되는 대안들의 경제적 혹은 물리적 수명이 서로 다를 경우, 이들의 공배수를 분석기간으로 설정하는 것을 의미한다. 예를들어, 시스템 A의 물리적 수명은 4년이고, B의 물리적 수명이 6년이라면 LCC분석기간은 12년으로 설정하는 것을 의미한다.

5. LCC 분석 절차

LCC 분석은 다음과 같은 절차로 수행된다.

1)분석 대상 파악 : 최소 성능기준을 만족 시킬 수 있는 대안을 창출하고 평가함으로써 비용효율적인 의사결정을 이루기 위한 최초 과정이다.

2) 기본 가정의 설정 : 분석기간(Analysis Period), 가치변동률(Discount Rate) 등의 LCC분석을 위한 공통적 가정 안을 설정한다. 또한 초기 투자비, 운영비, 기타 보조관계 비용에 대하여 확인하고 각각 비용의 발생시점을 확인한다. 위의 COST ITEMS는 각기 다른 시점에서 발생하기 때문에, 각각의 비용을 하나의 시점의 가치로 환산한 값으로 변환해야한다.

3) 각 대안의 생애주기비용 계산: 각 대안에 대하여 유형별 비용을 총합함으로서 LCC를 산정한다.

4) 경제성 평가를 위한 관련 지표 산정(LCC 해석): 순익(Net Savings), 투자 대 이익의 비율(Savings to Investment Ratio), 회수기간(Payback Period) 등의 경제성 평가 지표를 산정한다. 또한 추정 값을 사용하는 LCC분석의 방법론을 보완하기 위하여 민감도 분석(Sensitivity Analysis)을 수행한다.

---

19) 국가법령정보센터, 「건축물 등의 기준내용연수 및 내용연수범위표」, 법인세법시행규칙 [별표 5], 개정 2011.2.28.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제3절 냉방시스템의 기존 사례

1. LCC 분석

앞서 설명한 바와 같이, 최근 들어 LCC분석의 중요성이 부각되며, 건설과 관련된 거의 모든 부분에서 LCC 분석이 수행되고 있다. 본 연구의 대상이 되는 데이터센터 공조시스템에 대한 LCC분석도 2000년도 초/중반부터 본격적으로 수행되어 오고 있기 때문에, 이들의 분석을 통해, 냉방시스템의 LCC분석을 위한 다양한 내용을 살펴보고자 한다. 본 연구에서 분석한 공조시스템 냉방설비의 LCC분석을 목적으로 수행된 8개의 기존의 연구를 살펴보고, 이를 통해 본 연구의 대상이 되는 데이터센터의 냉방 설비에 대한 LCC분석의 방향을 설정하고자 한다. 다음 <표 2.2>와 같이 기존 연구 사례 대상으로 8개를 선정 하였으며, 자세한 연구 내용은 다음과 같다.

<표 2.2> 냉방시스템의 기존 연구 사례 분석

구분	저 자	연도	주제 (LCC분석)
1	김용수 외	2005	냉,난방 공조설비 경제성분석 - 사례연구
2	박문선 외	2006	오피스빌딩 냉난방시스템 경제성분석 - 사례연구
3	변운섭	2007	중소규모 건축물 냉난방시스템 경제성 평가
4	백승효 외	2009	공동주택 냉방시스템 대안별 경제성 평가
5	홍두표	2010	건축물 냉난방시스템 - 사례연구
6	이송우	2010	고층주거시설 냉,난방시스템 경제성 평가
7	이일규	2011	친환경 냉,난방설비 경제성분석
8	김춘동	2012	실내체육관 냉난방설비 경제성 평가

1) 김용수 외(2005)[20] 연구는 기존 냉·난방 공조설비시스템과 신기술 냉·난방 공조설비시스템에 대한 사업 실행 전·후를 LCC분석하여 성과측정 및 경제성 평가를 실시하였고, 이를 통해 경제성 있는 대안을 제시하는 것을 목적으로 하였다. LCC분석을

20) 김용수 외, 「LCC 기법을 이용한 신기술 냉·난방 공조설비 시스템의 경제성 분석에 관한 사례연구」, 『한국건설관리학회논문집』, 2006.

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

위해 기존 건축물을 대상으로 실적자료 및 견적자료, 전문가 인터뷰 등을 통해 기존 냉·난방 공조 설비 시스템과, 신기술 냉·난방 공조 설비 시스템의 정보를 조사하였다. LCC 분석 절차로는 (1)분석 대상 사례 선정 및 기본 가정사항 결정, (2)분석 대상 사례 건축물의 기존 냉·난방 공조설비 시스템 및 신기술 냉·난방 공조설비 시스템의 구성항목 및 비용산정, (3)구성항목별 LCC 비용분석, (4) LCC분석을 바탕으로 민감도 분석 및 경제성평가, (5)결론도출 순으로 진행 되었다. 분석대상은 Y빌딩(오피스), LCC구성항목으로 초기투자비와 유지관리비 및 해체·폐기비, 분석기간은 15년(설비 장비의 내용연수 등에 의거한 교체주기 공통연수), 할인율은 4.17% (1993년~2002년,10년간 금리 및 물가상승률의 평균을 적용), 분석방법으로는 현가법을 사용하였다. LCC분석 결과 기존 냉·난방 공조설비 시스템일 경우, 초기투자비는 22,088원/m2(비용 전체의 2.2%), 유지관리비는 일반관리비 및 유지보수비가 82,473원/m2(비용 전체의 8.22%) - 에너지비가 898,778원/m2 (비용 전체의 89.53%), 해체·폐기비는 593원/m2(비용 전체의 0.6%)으로 총1,003,933원/m2 임을 알 수 있다. 신기술 냉·난방 공조설비 시스템의 경우 초기투자비는 33,358원/m2(비용 전체의 4.26%), 유지관리비는 일반관리비 및 유지보수비가 60,808원/m2(비용 전체의 7.78%) - 에너지비가 687,632원/m2 (비용 전체의 87.93%), 해체·폐기비는 197원/m2(비용 전체의 0.03%)으로 총 781,994원/m2 임을 알 수 있다. 기존 냉·난방 공조설비 시스템과 신기술 냉·난방 공조설비 시스템을 비교해보면, 기존 방식이 초기투자비가(11,270원/m2) 더 저렴하였지만, 신공법 방식이 유지관리비(232,811원/m2) 및 해체·폐기비(396원/m2)에서 더 저렴하였다. 종합적으로 볼 때 기존 냉·난방 공조설비 시스템보다(1,003,933원/m2 100%) 신기술 냉·난방 공조설비 시스템(781,994원/m2 77.9%)이 22.1%만큼 더 경제적임을 알 수 있다. 또한, 에너지비가 각각 87.93% ~ 89.53%로 LCC에서 차지하는 비율이 가장 높음을 알 수 있다.

2) 박문선 외(2006)[21]는 사례대상 건물의 냉·난방설계용량에 대한 냉·온수 유닛의 설치 유형을 단일설치, 분할설치(균등분할),분할설치(차등분할)의 유형으로 구분하여 각각의 사례를 선정하여 LCC분석 기법을 이용하여 경제성 평가를 목적으로 연구를 수행하였다. LCC분석을 위한 정보를 실적자료 및 견적자료로 사용 하였다. LCC 분석 절차로는 (1) 흡수식 냉·온수 유닛과 LCC개념 및 경제성 분석방법에 대한 이론적 고찰,

21) 박문선 외, 「오피스빌딩 냉난방시스템의 수명주기비용 분석에 관한 연구」, 『한국건설관리학회논문집』, 2006.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

(2)LCC분석을 위한 사례대상 및 LCC 구성항목들을 선정, 기본 가정사항을 설정, (3)사례대상 냉·온수 유닛의 LCC 분석 모형을 구축하고, 유형별 LCC 구성항목의 비용을 분석, (4)사례대상 냉·온수 유닛의 유형별 LCC 분석과 민감도 분석을 통한 경제성 평가 실시 및 결론 도출 순으로 진행 되었다. 분석대상은 빌딩(오피스), LCC구성항목은 냉·온수유닛의 초기투자비(재료비+노무비)와 유지관리비(교체 및 수선비, 에너지비) 및 해체비, 분석기간은 15년(실무 전문가들을 대상으로 조사한 유지관리 효율성의 냉·온수유닛 수명주기), 할인율은 3.85%(1994년~2003년,10년간 금리 및 물가상승률의 평균을 적용), 분석방법으로는 현가법을 사용하였다. LCC분석결과 단일설치 시 초기투자비가 2,131원/100m(전체 비용의 24.58%), 유지관리비가 6,530원/100m (전체 비용의 75.31%), 해체비가 9원/100m(전체비용의 0.11%)로 총 8,671원/100m이다. 균등분할설치 시 초기투자비가 2,638원/100m(전체 비용의 22.62%), 유지관리비가 9,008원/100m (전체 비용의 77.22%), 해체비가 18원/100m(전체비용의 0.16%)로 총 11,664원/100m이다. 차등분할설치 시 초기투자비가 2,879원/100m(전체 비용의 23.39%), 유지관리비가 9,408원/100m (전체 비용의 76.42%), 해체비가 22원/100m(전체비용의 0.19%)로 총 12,311원/100m이다. LCC결과를 비교하여 보면, 초기투자비와 유지관리비 및 해체비가 단일설치(8,671원/100m 100%) < 균등분할설치(11,664원/100m 135.24%) < 차등분할설치(12,311원/100m 142.46%) 순으로 단일설치가 가장 경제적임을 알 수 있다. 또한 에너지비가 각각 75.31% ~ 76.62%임을 알 수 있었다.

3) 변운섭(2007)[22]은 중소규모 건축물의 냉난방 시스템의 경제성 분석을 진행하였다. 분석의 대상으로는 각 지역별 설비설계 사무실을 통하여, 최근 5년간 설계된 업무시설 및 근린생활시설을 대상으로 하였고, 총 6개(1안 : 온수보일러+방열기+PAC, 2안 : 냉온수기+FCU+외조기, 3안 : EHP+외조기, 4안 : EHP+환기유니트, 5안 : GHP+외조기, 6안 : GHP+환기유니트)의 분석 대상 시스템이 선정 되었다. LCC구성항목으로는 초기투자비와 연간유지관리비로 분류하였다. 분석 기간은 15년(설비 내용 연수), 할인율은 4.58%(1992년~2001년,10년간 금리 및 물가상승률의 평균을 적용), 분석방법으로는 현가법을 사용하였다. LCC분석결과 1안의 초기투자비는 288,968천원, 연간유지관리비는 21,545천원으로 총 310,513천원이다. 2안의 초기투자비는 884,037천원, 연간유지관리

22) 변운섭, 「생애주기비용(LCC),가치공학(VE)분석을 통한 중소규모 건축물의 냉난방시스템에 관한연구」, 『석사학위논문』, 한양대학교 공학대학원, 2007.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

비는 47,710천원으로 총 931,747천원이다. 3안의 초기투자비는 558,382천원, 연간유지관리비는 68,616천원으로 총 천원 627,001천원이다. 4안의 초기투자비는 521,131천원, 연간유지관리비는 45,429천원으로 총 575,560천원, 5안의 초기투자비는 788,150천원, 연간유지관리비는 65,683천원으로 총 853,833천원, 6안의 초기투자비는 750,899천원, 연간유지관리비는 42,494천원으로 총 793,393천원이다. LCC분석 결과를 종합하여 보면, 1안 (310,513천원 100%) < 4안(575,560천원 185%) < 3안(627,001천원 202%) < 5안(788,150천원 254%) < 6안 (793,393천원 256%) < 2안 (931,747천원 300%) 순으로 1안(온수보일러+방열기+PAC)이 가장 경제적인 것을 알 수 있다.

4) 백승효 외(2009)[23]는 공동주택의 세대 내 냉방시스템인 기존시스템(패키지 에어컨_PAC)과 대안1 시스템(팬코일 유닛 시스템_FCU), 대안2 시스템(바닥복사패널+제습을위한팬코일유닛_RFC+FCU)의 경제성 분석을 위한 연구를 진행하였다. LCC구성항목으로는 초기투자비(실시 설계안을을 바탕으로 내역을 산출), 에너지비용(에너지 시뮬레이션을 통한 전력사용비용 산출), 교체비용(설비시스템의 사용연수를 통한 비용 산정), 유지보수비용(실무에서 활용하는 초기투자비용에 대한 비율로 산출), 잔존가치(초기투자비용에 감가상각을 하여 산출)로 분류하였다. 분석 기간은 40년(건축물 LCC분석에서 40년 이후부터 발생하는 비용의 현재 가치가 전체비용에서 차지하는 비율이 5% 미만이므로 분석기간을 40년으로 설정), 할인율은 2.57%(1999년~2008년,10년간 금리 및 물가상승률의 평균을 적용), 분석방법으로는 현가법을 사용하였다. LCC분석결과 기존시스템의 초기투자비는 9,383,225원, 에너지비용은 2,967,472원, 교체비용은 33,978,234원, 유지관리비용은 278,922원, 잔존가치는 -388,832원으로 총 46,269,020원이다. 대안1의 초기투자비는 12,625,080원, 에너지비용은 2,181,457원, 교체비용은 21,244,800원, 유지관리비용은 398,863원, 잔존가치는 -2,112,914원으로 총 34,337,285원이다. 대안2의 초기투자비는 8,502,383원, 에너지비용은 2,048,880원, 교체비용은 14,143,399원, 유지관리비용은 276,313원, 잔존가치는 -1,517,424원으로 총 23,453,551원이다. LCC결과를 종합하면, 대안2 시스템 (23,453,551원 기존안 대비 50%) < 대안1 시스템(34,337,285원 기존안 대비 74%) < 기존 시스템 (46,269,020원 100%) 순으로 대안2 시스템이 가장 경제적임을 알 수 있다.

23) 백승효 외,「지역냉방 도입을 위한 공동주택 세대 내 냉방시스템 대안별 경제성 평가」,『학술발표대회 논문집』, 한국건축친환경 설비학회, 2009.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

5) 홍두표(2009)[24]의 건축물 냉난방시스템을 경제적인 대안으로 선정할 수 있도록 LCC분석 기법을 활용하여 경제성분석을 진행한 연구이다. 연구의 대상으로 대안1시스템(냉온수유니트+팬코일유니트+외기조화기)과, 대안2시스템(전기구동형 히트펌프_EHP+환기유니트), 대안3시스템(가스구동형 히트펌프_GHP+환기유니트)으로 하였다. LCC구성항목으로는 초기투자비(사례를 통한 견적자료), 유지관리비용(수선 및 교체, 에너지사용비-전기, 가스)으로 분류하였다. 분석 기간은 30년(건축물의 경제적 수명), 할인율은 3.08%(1993년-2008년,16년간 금리 및 물가상승률의 평균을 적용), 분석방법으로는 현가법을 사용하였다. LCC분석결과 대안1의 초기투자비는 88,037,000원, 유지관리비는 1,202,173,413원으로 총 2,090,210,413원이다. 대안2의 초기투자비는 521,131,000원, 유지관리비는 1,091,145,647원으로 총 1,612,276,647원이다. 대안3의 초기투자비는 765,899,000원, 유지관리비는 909,811,935원으로 총 1,675,710,935원이다. 결과를 종합하면, 대안2(1,612,276,647원 100%) < 대안3(1,675,710,935원 104%) < 대안1(2,090,210,413원 130%) 순으로 대안2가 가장 경제적임을 알 수 있다.

6) 이송우(2010)[25],7) 이일규(2011)[26] ,8) 김춘동(2012)[27]의 연구는 위에서 언급한 5개의 문헌과 LCC분석 진행 방법 및 절차가 유사하므로, 세부적 사례분석 내용에 대한 기술은 생략 하였다.

24) 홍두표, .「건축물 냉난방시스템 선정을 위한 VE/LCC 평가모델에 관한 연구」,『석사학위논문』, 경기대학교 건설·산업대학원, 2009.
25) 이송우,.「생애주기비용기법에 의한 고층 주거시설 최적 냉·난방 시스템평가에 관한연구」,『석사학위논문』, 한양대학교 공학대학원, 2010.
26) 이일규,「LCC분석을 통한 건축물의 친환경 냉·난방설비에 대한 경제성 분석」,『석사학위논문』, 중앙대학교 건설대학원, 2011.
27) 김춘동,「대규모 실내체육관이 냉난방설비 시스템의 에너지성능 분석 및 경제성 평가에 관한 연구」,『석사학위논문』, 대구가톨릭대학교 대학원, 2012.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

<표 2.3>은 앞서 설명한 8개의 기존 연구에서 LCC분석의 수행을 위해 적용한 비용항목을 정리한 것이다. 표에서 볼 수 있듯이, 대부분의 연구에서 초기투자비로서 냉난방 공조시스템의 설치와 관련된 비용을 포함하였다. 또한 유지관리비로써, 냉난방시스템의 보수, 교체 비용을 포함하였으며, 냉난방시스템의 운영을 위한 에너지비용을 유지관리비에 포함하여 LCC분석을 수행하였다. 한편, 해체 및 폐기 비용은 일부연구에서 포함하였으나, 비용의 크기가 작기 때문에 포함하지 않고 LCC분석을 수행하였음을 알 수 있었다.

<표 2.3> 냉방시스템의 기존 연구 사례 분석을 통한 LCC 구성 항목

구분	저 자	LCC 분석 구성 항목					
		초기투자비	유지관리비			해체	
		설치비	보수	교체	에너지	해체	폐기
1	김용수 외	○	○	○	○	○	○
2	박문선 외	○	○	○	○	×	×
3	변운섭	○	○	○	○	×	×
4	백승효 외	○	○	○	○	×	×
5	홍두표	○	○	○	○	×	×
6	이송우	○	○	○	○	×	×
7	이일규	○	○	○	○	○	○
8	김춘동	○	○	○	○	×	×

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

나. CO2 분석

냉방시스템의 CO2 분석에 관한 연구는 진행이 미비하고, 사례를 찾을 수 없어, 이와 유사한 CO2 분석 연구를 <표 2.4>과 같이 3개를 분석하였다. 이를 바탕으로 CO2 분석에 관한 분석대상 및 분석 방법 등을 도출하였다.

<표 2.4> CO2 분석의 기존 연구 사례 분석

구분	저 자	연도	연구내용
1	최두성 외	2008	빙축열시스템과 냉온수기의 LCA분석
2	설진호	2008	전열교환, 바닥축열 환기시스템의 LCC, LCCO2 평가
3	박재형 외	2010	멀티 외기 냉방 공조시스템의 LCC, LCCO2 평가

<표 2.5>는 기존 연구 사례를 통해 CO2 배출 분석 항목을 정리한 표이다. CO2 분석은 자재생산 단계와 사용단계로 나누어 분석하였고, 분석결과 전체 CO2 발생 의 95% 이상이 사용단계에서 발생 하였다. 평가 방법으로 사용단계에서 에너지 사용량을 계산하고, 이에 따라 탄소 배출량을 계산하였다. 또한, 에너지원별 환경비용을 산출하였다.

<표 2.5> 기존 연구 사례 분석을 통한 CO2 배출 분석 항목

구분	저 자	CO2 분석 구성 항목				
		분석 목록		평가 방법		
		자재 생산단계	사용 단계	에너지 사용량 계산	탄소 배출량 계산	에너지원별 환경비용산출
1	최두성 외 [28]	0	0	0	0	X
2	설진호 [29]	x	0	0	0	0
3	박재형 외 [30]	x	0	0	0	0

28) 최두성, 「건축물 열원설비에서의 LCA 적용에 관한 사례연구」, 『학회지』, 한국생활환경, 2008.
29) 설진호, 「LCC와 LCCO2 분석에 의한 전열교환 환기시스템과 바닥축열 환기시스템의 경제성 및 환경부하 평가」, 『석사학위논문』, 가천대학교, 2008.
30) 박재형 외, 「LCC 및 LCCO2 분석을 통한 하이브리드 공조시스템의 경제성 및 친환경 성능평가」, 『학술발표대회논문집』, 대한건축학회, 2010.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제3장 데이터센터 공조시스템 경제성 분석

제1절 경제성 분석 방향

본 연구에서의 경제성 및 CO2 분석방향을 다음과 같이 설정 하였다.

1) LCC분석 방법은 현가법으로 한다.

2) LCC분석 비용항목은

▸ 설치비, 보수비, 교체비, 에너지비를 대상으로 한다.

3) LCC분석 비용항목을 바탕으로 경제성 평가를 진행한다.

4) CO2분석 항목은

▸ 사용단계의 에너지 사용량 계산, 탄소 배출량 계산, 탄소 배출 거래비로 한다.

4) CO2 배출 비용을 산정하여 경제성 평가를 진행한다.

5) 민감도 분석을 통하여 경제성 분석 결과 값의 신뢰를 판단한다.

6) 최종적으로 에너지절감 공조시스템의 에너지 절감 및 CO2 배출 감소를 평가한다.

제2절 경제성 분석을 위한 가정사항

1. 분석대상 데이터센터의 규모

기존 데이터센터의 공조시스템과 에너지절감 공조시스템을 대상으로 에너지 절감 및 CO2 감소를 평가하기 위해서는 분석대상의 설치 규모를 설정하여야 한다. 분석대상의 설치 규모는 <표 3.1>과 같이, 서울 목동에 위치한 OO 데이터센터를 기준으로, 연면적 약 65,000㎡ , 냉동기 능력 10,400RT 규모로 설정하였다.

<표 3.1> 대상 데이터센터 개요

구분	내용
위치	서울 목동
규모	지하4층, 지상12층
연면적	65,000㎡
서버룸	총 9개층
냉동기 RT	10,400

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

또한, 00데이터센터의 공조설비 장비로 <표 3.2 ~ 표 3.6>과 같이 터보 냉동기, 냉각탑, 냉수 순환 펌프, 냉각수 순환 펌프, 항온기 구성으로 설정 하였으며, 각각의 옵션은 표와 같다.

<표 3.2> OO데이터센터 공조설비_터보냉동기

수량	용량 [usrt]/ [kcal/h]	증발기				응축기			
		유량 [LPM]	입구온도 [℃]	출수온도 [℃]	손실수두 [mAq]	유량 [LPM]	입구온도 [℃]	출수온도 [℃]	손실수두 [mAq]
8	1300/ 3931200	9400	12	5	5.4	15600	32	37	9.2

<표 3.3> OO데이터센터 공조설비_냉각탑

수량	용량 [usrt]/ [kcal/h]	증발기				송풍기	
		유량 [LPM]	입구온도 [℃]	출수온도 [℃]	손실수두 [mAq]	풍량 [m^3/min]	동력 [kW]
8	1400/ 5460000	15600	37	32	-	6737	37*3-11*3

<표 3.4> OO데이터센터 공조설비_냉각수 펌프

수량	유량 [LPM]	동력 [kW]	양정 [m]	구경	
				흡입 [mm]	토출 [mm]
8	15600	160	35	300	300

<표 3.5> OO데이터센터 공조설비_냉수 펌프

수량	유량 [LPM]	동력 [kW]	양정 [m]	구경	
				흡입 [mm]	토출 [mm]
8	9400	110	44	250	250

<표 3.6> OO데이터센터 공조설비_CRAC(항온항습기)

수량	냉각코일					급기팬		
	용량 [kcal/h]	입구온도 [℃]	출구온도 [℃]	냉수유량 [LPM]	면풍속 [m/s]	수량	풍량 [m^3/min]	동력 [kW]
324	90000	22.5	13.5	215	2.5	324	22800	7.5

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. 분석대상 및 에너지절감 공조시스템 대안

데이터센터의 에너지절감 공조시스템으로 Economizer system의 냉각방식을 적용할 수 있다. Economizer system은 외기를 이용하여 냉동기 가동 시간을 줄여, 에너지를 절감 할 수 있는 시스템이다. Economizer system은 Air Side Economizer 와 Water Side Economizer로 나눌 수 있다. Air Side Economizer 시스템은 전산실에서 나오는 더운 공기를 외부로 배출하고 상대적으로 낮은 온도의 외기를 직접 전산실로 유입하는 방식을 말하며, Water Side Economizer 시스템은 외부의 일정 기온(통상 5℃) 이하인 경우 냉동기의 콤프래서를 가동하지 않고 냉각 타워를 거치며 차가워진 냉각수의 순환만으로 냉수의 열을 흡수하는 방식이다.

또한, 공기분배시스템으로 서버 룸에 전체 공급되던 개방형 Rack 시스템을 서버 랙마다 직접 급기 및 배기가 가능한 밀폐형 Rack 시스템으로 적용 할 수 있다.

이와 같이, Economizer System의 냉각방식과 밀폐형 Rack 공기분배시스템을 적용한 5개의 대안은 [그림 3.1]과 <표3.7>와 같이 설정하였다.

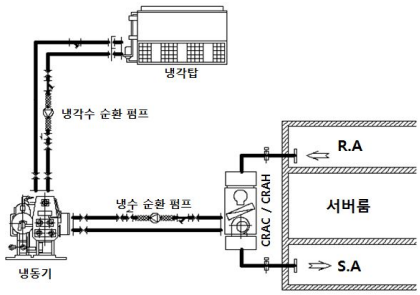
<표 3.7> 대안 공조시스템

구분	명 칭	냉각방식	서버랙 공조
기존	기존 냉방시스템 (Machine System)	냉매	개방형 Rack 시스템
대안1	기존 냉방시스템 (Machine System)	냉매	밀폐형 Rack 시스템
대안2	외기 냉방시스템 (Air side economizer system)	외기도입	밀폐형 Rack 시스템
대안3	외기냉수 냉방시스템 (Air side economizer + Water side economizer system)	냉매	밀폐형 Rack 시스템
대안4	수냉식 냉방시스템 (Water side economizer system)	냉매	밀폐형 Rack 시스템
대안5	Multi 외기 냉방시스템 [외기(A) + 외기냉수냉방(AW) + 수냉식(W)]	냉매 + 외기도입	밀폐형 Rack 시스템

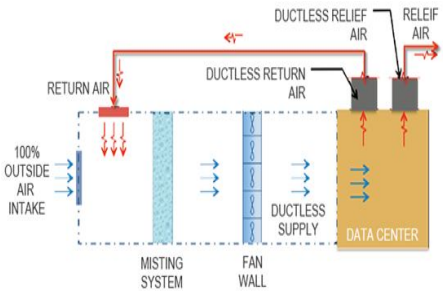
본 논문에서 공조시스템들의 명칭 약어는 각각 기존안은 기존시스템, 대안1은 기계식(M), 대안2는 외기식(A), 대안3은 외기냉수식(AW), 대안4는 수냉식(W), 대안5는 Multi식으로 표현하였다.

dCollection @ chosun

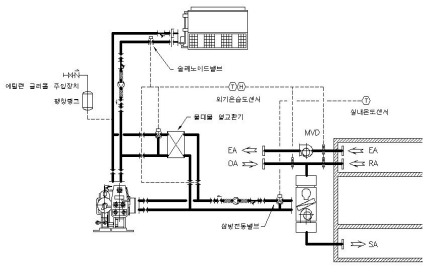
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



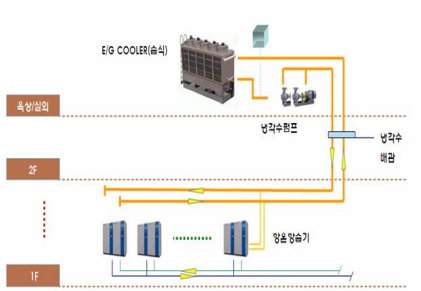
ALT-1 기계식 냉방시스템(M)



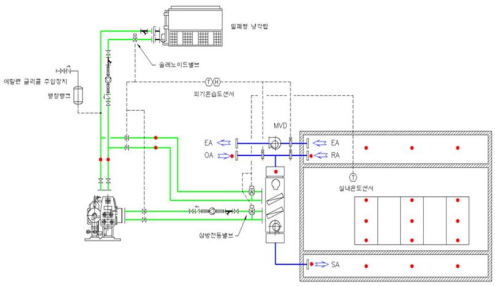
ALT-2 외기 냉방시스템(A)



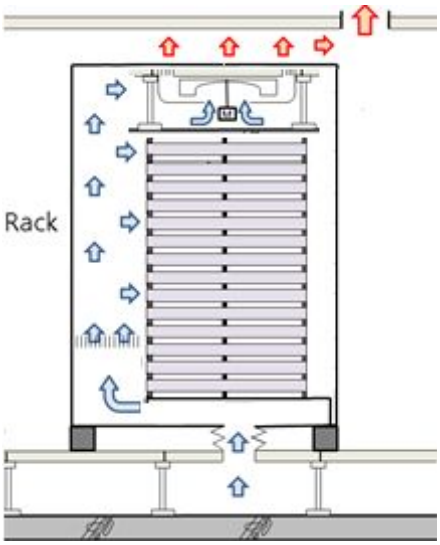
ALT-3 외기냉수 냉방시스템(AW)



ALT-4 수냉식 냉방시스템(W)



ALT-5 멀티 시스템(Multi)



밀폐형 Rack 시스템

[그림 3.1] 대안 공조시스템

Collection @ chosun

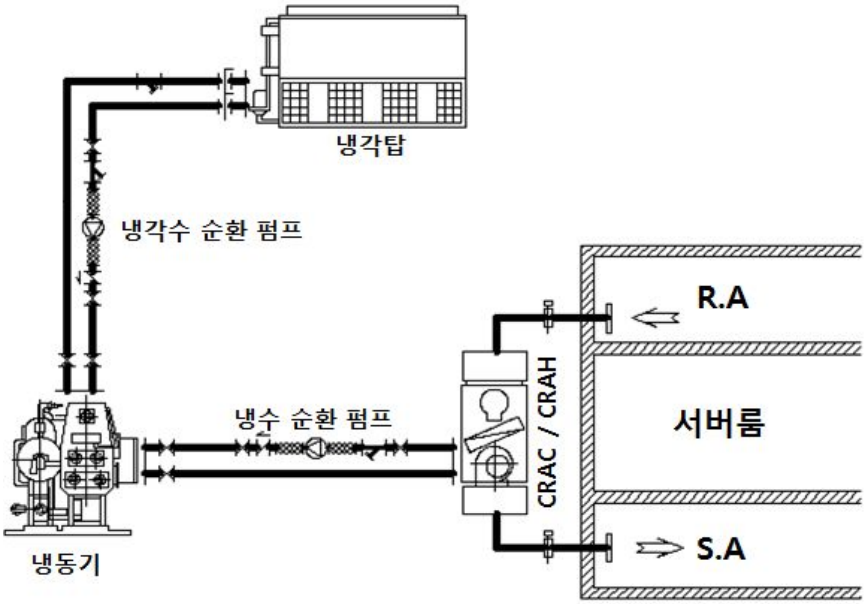
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

▶ 기존안

분석 대안의 기준이 되는 기존 공조시스템은 냉수, 냉각수가 냉매의 매체가 되어 냉각 공기를 만들어 냉각 하는 방식인 중앙냉수 냉방시스템과 개방형 Rack 방식이 적용된 냉방시스템이다.

▶ 대안1 기계식 냉방시스템(M)은 중앙냉수 냉방시스템에 밀폐형 Rack 방식을 적용한 공조시스템이다. 가동설비로는 냉동기, 냉각탑, 냉수 펌프, 냉각수 펌프, 공기조화기가 있으며, 데이터센터에는 공기조화기 대신 CRAC 또는 CRAH가 구성된다.

작동의 원리로는 냉각수가 순환 펌프를 통해 냉동기로 들어와 일정 온도로 냉각된 후 냉수와 열교환을 통해 냉수의 고온을 뺏어 냉수를 차갑게 만들고 이런 냉수를 순환 펌프를 통해 CRAC로 전달하여, CRAC내의 열교환기를 통해 냉각공기를 생성하고 냉각된 공기가 하부의 바닥을 통해 서버룸으로 공급되고 공급된 공기는 서버룸의 상부를 통해 다시 CRAC로 돌아오는 사이클의 반복이다. 기존냉방시스템의 개념도는 [그림 3.2]과 같다.



[그림 3.2] 대안1_기계식 냉방시스템(M)[8]

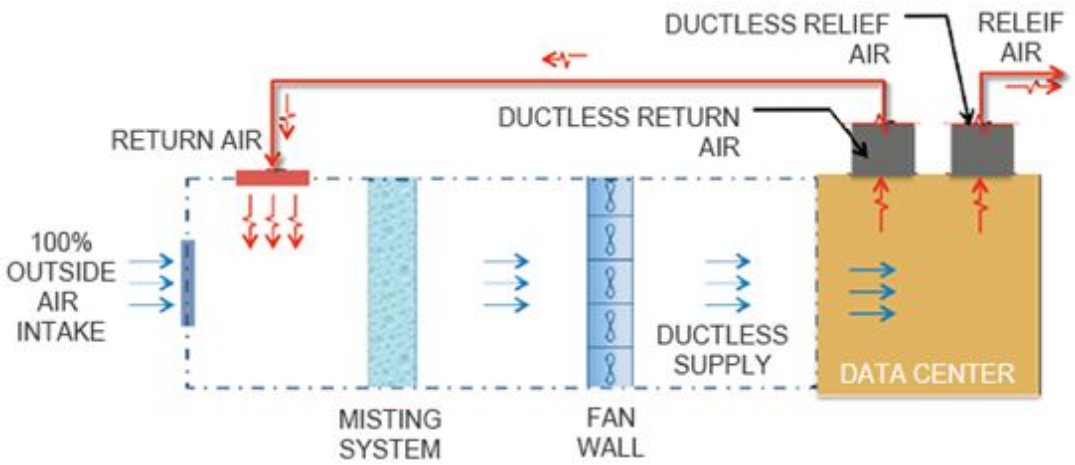
Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

▸ 대안2 외기 냉방시스템은(A) 전산실에서 나오는 더운 공기를 외부로 배출하고 상대적으로 낮은 온도의 외기를 직접 전산실로 유입하는 냉각방식에 밀폐형 Rack 방식을 적용한 공조시스템이다.

외기도입 냉방시스템의 원리는 외부의 공기를 리턴공기와 직접 혼합하여 필터시스템의 여과를 지나고 Fan에 의해 데이터센터로 내부의 서버룸에 급기 되며, 상시 적정 온도에 따라 사이클이 반복된다.

외기 냉방시스템의 개념도는 [그림 3.3]과 같다.



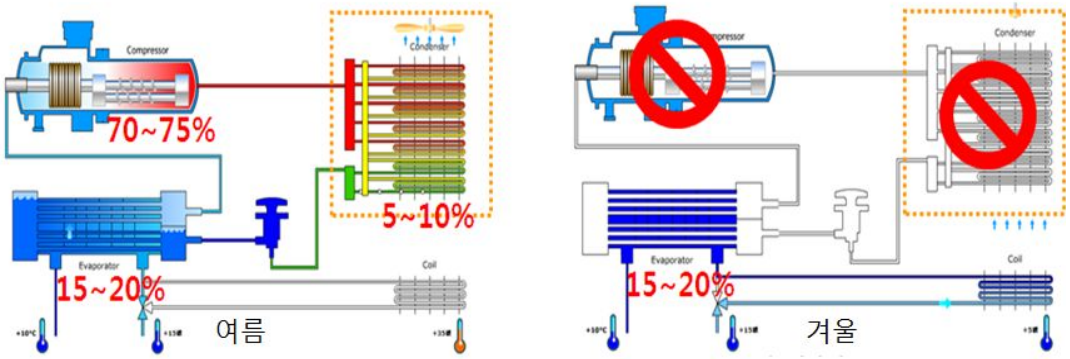
[그림 3.3] 대안2_외기 냉방시스템[14]

▸ 대안3 외기냉수 냉방시스템(AW)은 냉수, 냉각수를 냉매의 매개체로 냉각공기를 만들거나, 외기 직접도입을 통해 냉각하는 방식이다.

여름철에는 냉동기를 가동하여 냉방하고, 외기의 습구온도가 약 7~8℃WB 이하로 유지되는 중간기 및 동절기에는 냉동기를 가동하지 않고 외기를 직접 도입하여 냉방하는 냉각방식에 밀폐형 Rack 방식을 적용시킨 공조시스템을 말한다. 외기냉수 냉방시스템의 개념도는 [그림 3.4]과 같다.

dCollection @ chosun

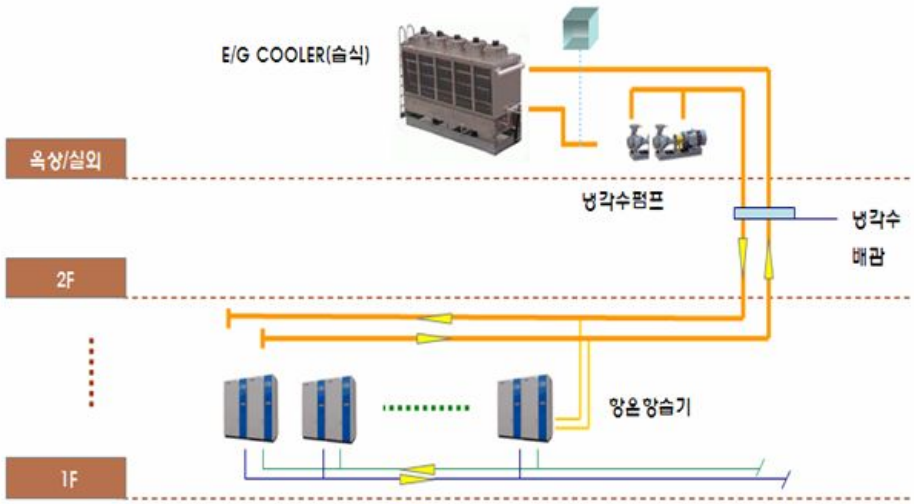
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



[그림 3.4] 대안3_외기냉수 냉방시스템[13]

▸ 대안4 수냉식 냉방시스템(W)은 냉수, 냉각수를 매개체로 냉각공기를 만들어내 냉각하는 방식으로 외부의 일정 기온(통상 5℃) 이하인 경우 냉동기의 콤프래서를 가동하지 않고 냉각 타워를 거치며 차가워진 냉각수의 순환만으로 냉수의 열을 흡수하여 냉각하는 방식에 밀폐형 Rack 방식을 적용한 공조시스템이다.

수냉식 냉방시스템의 개념도는 [그림 3.4] 과 같다.



[그림 3.5] 대안4_수냉식 냉방시스템(W)

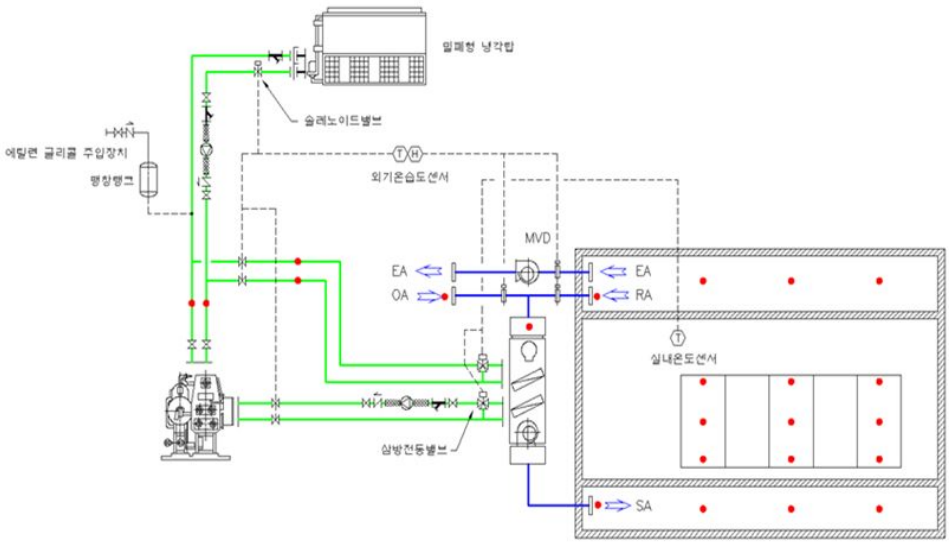
Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

▶ 대안5 멀티외기시스템은 외기를 이용할 수 있는 모든 수단을 사용하는 방식으로, 외기직접도입 + 외기 냉수냉방 + 직접도입, 외기냉수냉방 시스템을 모두 한 번에 적용한 냉방시스템에 밀폐형 Rack 방식을 적용한 공조시스템이다.

냉수, 냉각수를 매개체로 냉각공기를 만들거나, 외기를 직접 도입하여 냉각하는 방식으로, 설정온도에 따라 계절에 구애 받지 않고, 외기도입 또는 냉각공기를 자동제어하여 냉각 하는 방식이다.

멀티외기냉방시스템의 개념도는 [그림 3.6]과 같다.



[그림 3.6] 대안5_Multi 냉방 시스템[8]

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3. 초기투자비 산정 조건

가. 산정 조건

LCC분석의 비용항목인 초기투자비를 산정하기 위해서는, 분석의 대상이 되는 공조시스템들의 구성 요소를 설정하여야 하며, 설정된 구성 요소에 따라 비용 단가를 적용하여 초기투자비를 산정한다. 따라서 본 연구에서는 신명엔지니어링[31]에서 제공하는 자료를 바탕으로 공조시스템별 구성 요소를 분류 하였고, 비용의 단가를 냉동기 능력인 1RT의 단위로 적용하여 초기투자비용을 산정하였다.

나. 공조시스템별 구성 요소

앞서 설명한 바와 같이, 신명엔지니어링에서 제공하는 자료를 바탕으로 공조시스템 설비구성 요소를 <표 3.8> 과 같이 총 13개로 구분 하였고, 각각의 공조시스템 설비는 다음과 같이 구분 된다.

<표 3.8> 공조시스템별 구성 요소

구분	냉방시스템 구성 요소	기존 시스템	기계식 (M)	외기식 (A)	외기냉수식 (AW)	수냉식 (W)	Multi 식
1-1	밀폐형 냉각탑	공통요소					
1-2	냉수 펌프	공통요소					
1-3	냉각수 펌프	공통요소					
1-4	수냉식냉동기	공통요소					
1-5	CRAC-항온항습기	공통요소					
1-6	필터박스	n/a	n/a	○	○	n/a	○
1-7	공기조화기-흡기팬	n/a	n/a	○	○	n/a	○
1-8	공기조화기-급기팬	공통요소					
1-9	공기조화기-배기팬	공통요소					
1-10	배관	공통요소					
1-11	2 Way 밸브	공통요소					
1-12	3 Way 밸브	공통요소					
1-13	서버랙 환기팬	n/a	공통요소				

기존 공조시스템 설비는 밀폐형 냉각탑, 냉수펌프, 냉각수 펌프, 수냉식 냉동기, CRAC, 급기팬, 배기팬, 배관으로 구성된다.

31) 신명엔지니어링, http://www.smeng.co.kr

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

대안 공조시스템의 경우 모두 기존 공조시스템 설비와 같은 공통구성요소를 가지고 있으며, 추가요소로 외기도입에 관한 필터박스와 흡기팬, 밀폐형 Rack 시스템의 서버랙 환기팬이 구성된다.

대안1의 기계식 냉방시스템 (Machine system)과 대안4의 수냉식 냉방시스템(Water side economizer)의 경우, 앞서 설명한 기존 공조시스템의 공통요소에 서버랙 환기팬을 추가 하는 것만으로 정의될 수 있다.

대안2의 외기 냉방시스템 (Air side economizer system)과 외기냉수 냉방시스템 (Air side economizer + Water side economizer system), 그리고 멀티 외기냉방 시스템 (Multi system)은 앞의 공통요소에 외기를 흡입하기 위한 흡기팬과 필터박스가 추가된다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

4. 유지보수비 산정 조건

가. 수선비

공조시스템의 수선비를 산정하기 위해서는 공조시스템별 설비들에 대한 수선율의 가정이 필요하다. 공조시스템 설비의 수선율은 <표 3.9>와 같이 이일규 외(2011) 문헌1[26]과 백승효 외(2010) 문헌2[23]의 선행연구 고찰을 통해 연간 수선율을 산정하였고, 초기투자비에 연간 수선율을 적용하여 수선비용을 산정 한다.

<표 3.9> 공조시스템 설비의 구성요소별 연간 수선율

구분	냉방시스템 구성 요소	구성요소별 연간 수선율(%)	
		문헌1	문헌2
1-1	밀폐형 냉각탑		0.11%
1-2	냉수 펌프		1.17%
1-3	냉각수 펌프		1.17%
1-4	수냉식냉동기		0.35%
1-5	CRAC-항온항습기	-	-
1-6	필터박스		0.30%
1-7	공기조화기-흡기팬		0.22%
1-8	공기조화기-급기팬		0.22%
1-9	공기조화기-배기팬		0.22%
1-10	배관		0.12%
1-11	2 Way 밸브	0.12%	
1-12	3 Way 밸브	0.12%	
1-13	서버랙 환기팬		0.22%

나. 교체비

공조시스템의 교체비를 산정하기 위해서는 공조시스템 설비의 구성요소별 교체주기의 가정 설정이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 공조시스템의 설비별 교체시기를 결정하기 위해, 국내, 미국, 독일, 일본에서 발간된 문헌 등을 분석하였으며, 분석결과는 <표 3.10>와 같다. 표에서 보는 바와 같이, 4건의 국내에서 발간된 논문을 분석하였고, 미국의 사례로써 LCC 분석의 가장 저명한 책과 미국공조학회(ASHRAE)에서 발간한 자료를 분석하였다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

또한 독일과 일본의 경우, ASHRAE의 기준과 마찬가지로 각 나라의 기술인 협회 등에서 발간한 자료를 분석하였다.

<표 3.10> 국가별 냉방시스템 구성요소의 교체주기 및 본 연구에서 적용한 교체주기

냉방시스템 구성요소	국내논문				미국		독일	일본	교체주기			
	문헌1 32)	문헌2 [22]	문헌3 33)	문헌4 34)	문헌5 [12]	문헌6 35)	문헌7 36)	문헌8 [27]	최소	평균	최빈값	최대
밀폐형 냉각탑	17	15		19	15	20	15	15	15	17	15	20
냉수 펌프	9	20	13	12	15	15	10	15	9	14	15	20
냉각수 펌프	9	20	13	12	15	15	10	15	9	14	15	20
수냉식냉동기	15	15	-	16	25	20	20	15	15	18	15	25
CRAC	-	-	-	-	-	15		-	15	15	15	15
필터박스	20	15	-	15	20	-	15	-	15	17	15	20
송풍기(흡기팬)	-		15	-	-	15	20	15	15	16	15	20
송풍기(급기팬)	10	-	15	-	-	15	20	15	10	15	15	20
송풍기(배기팬)	-	-	15	-	20	15	20	15	15	17	15	20
배관	-	20	15	17	20	-	-	-	15	18	20	20
2 Way 밸브	6		15	10	15	-	15	15	6	13	15	15
3 Way 밸브	6		15	10	15	-	15	15	6	13	15	15
서버랙 환기팬	10	-	15	-	-	15	20	15	10	15	15	20

표에서 보는 바와 같이, 각각의 문헌에서 정의한 냉방시스템별 구성요소의 교체주기는 대체로 유사하다. 예를 들어, 밀폐형 냉각탑의 경우 분석된 8개의 문헌에서 15년부터 20년까지 교체시기를 적용하였으며, CRAC은 ASHRAE의 문헌에서 15년을 주기로 100% 교체된다고 기술하고 있다. 표에서 보는 바와 같이, 8개의 문헌들을 분석한 결과, 가장 빈번하게 적용된 교체주기를 이 연구에서는 채택하였다.

즉, 냉방시스템을 구성하는 다양한 구성요소들 중, 냉각탑, 냉수펌프, 냉각수 펌프,

32) 정문복, 「LCC기법을 이용한 부산지역 사무소 건물의 열원방식 비교연구」, 『석사학위논문』, 동의대학교 대학원, 2008.
33) 백승효 외, 「지역냉방 도입을 위한 공동주택 세대내 냉방시스템 경제성 평가」, 『학술발표대회논문』, 한국건축친환경설비학회 , 2010.
34) 정종림 외, 「LCC분석에 의한 고층건물 설비시스템의 대안평가」, 『논문집』, 대한건축학회, 2003.
35) ASHRAE, 「ASHRAE Handbook Application」, 1999
36) 독일기술자협회, 「VDI 2067/40 Economic efficiency of building services installations」, 2013.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

수냉식 냉동기, CRAC, 필터박스, 흡기팬, 급기팬, 배기팬, 2 Way, 3Way 밸브, 서버랙 환기팬의 교체주기는 15년으로 설정하였고, 배관의 교체주기는 20년으로 설정하였으며, 이를 통해, 교체비용을 산정 할 수 있다.

다. 에너지비

공조시스템의 에너지비를 산정하기 위해서는, 시스템별 에너지시뮬레이션을 통해 에너지소비량의 산정이 필요하며, 산정된 에너지소비량을 국내 전력사용 요금에 맞게 적용하여 산정 할 수 있다.

1) 에너지 소비량 산정 조건(전력사용량)

에너지 소비량은 김제영 외(2014)[37]의 연구에서 산정된 소비량을 사용하였고, 에너지소비량 산정의 조건은 <표 3.11> 과 같이 기준평면 20,250m^{2}의 9개층 규모를 대상으로, TRNSYS 17 프로그램을 사용하여 에너지 시뮬레이션을 진행하였고, 에너지 시뮬레이션에 의해 월별 에너지 소비량이 산정 되었다.

<표 3.11> 에너지 시뮬레이션 조건

구분		적용 값	비고
기준평면		20,250m^2	2250m^2 x 9개층
IT서버 수량		6,480대	720대/층 x 9개층
실내 환경 기준	온도	20℃	class 1(가동시) Ashrae기준 온도: 20~25℃ Ashrae기준 습도: 45~55%
	습도	50%	
내부발열	IT서버	25,920 kW	4kW/대 × 6,480개
	조 명	22W/m^2	2250m^2 × 9(층)
	인체	100W/인	sensible heat : 60W, Latent heat : 40W 상주인원 20명 x 9개층
기상데이터		서울지방	TMY2

37) 김제영 외, 멀티 외기냉방을 이용한 데이터센터의 에너지절약 시스템 개발에 대한연구, 2014

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2)에너지비 산정조건

에너지비를 산정하기 위해서는 월별 전력사용량이 산정되어야 하며, 앞장에서 에너지시뮬레이션으로 산정된 전력사용량을 바탕으로 에너지비를 산정 할 수 있다.

분석된 냉각시스템에 따른 월별 에너지 소비량을 바탕으로, 연간 요구되는 전력량을 계산하고, 이들을 한국전력공사에서 제공하는 전력량 요금에 대입하여 연간 에너지 비용을 산정한다.

우선 <표 3.12> 은 한국전력공사에서 제공하는 시간대별, 계절별 연기요금을 보여주고 있다. 에너지 비용의 산정을 위해, "산업용 고압B"의 요금체계를 적용하였으며, 에너지 비용의 산정은 기본 1KWh에 대한 기본 전력요금 7,380을 바탕으로, 초과되는 전력량 소비에 추가비용이 청구되는 형태로 계산된다.

즉, <표 3.12> 에서 볼 수 있듯이, 한국전력의 전기료산정 방식에 따르면, 1일 기준으로 경부하, 중간부하, 최대부하가 걸리는 시간에 따라, 또한 계절을 기준으로 여름철, 중간기, 겨울철로 구분되어 전기료가 산정된다. 이 연구에서는 월별 에너지 소비량을 중심으로 추가금액을 적용하였고, 시간대는 중간부하의 금액 (여름철 및 겨울철 108.5원/kwh, 중간기 78.5원/kwh)을 적용하여 에너지 비용을 산정하였다.

<표 3.12> 시간대별, 계절별 전력사용에 따른 전력요금 (한국전력)

1일 기준 전력소비량 시간대별 구분	계절별 전력사용에 따른 추가금액 (원/kWh)		
	여름철 (7~8월)	중간기 (3-6월), (9-10월)	겨울철 (11-2월)
경부하 : 23:00 - 09:00	56.2	56.2	63.2
중간부하 : 09:00-11:00/12:00-13:00/17:00-23:00	108.5	78.5	108.5
최대부하 : 11:00-12:00/13:00-17:00	189.7	108.8	164.7

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

5. CO2 배출 거래 비용 산정조건

공조시스템 냉방설비의 CO2배출 비용을 산정하기 위해서는, 우선 에너지시뮬레이션에 따라 연간 전력사용량의 산정이 필요하며, 산정된 전력사용량에 CO2 배출계수를 적용하여 CO2 배출량을 산정하고, 산정된 CO2 배출량에 탄소배출 거래비용을 적용하여 CO2 배출 거래 비용을 산정할 수 있다.

즉,CO2 배출 거래 비용 = 연간 전력사용량 * 탄소배출계수 * 탄소배출 거래비용이다.

가. CO2 배출량

CO2 배출량은 에너지시뮬레이션을 통해 산정된 연간 전력사용량에 <표 3.13> 과 같이 탄소배출계수[38]를 적용하여 산정 한다.

<표 3.13> 에너지원별 발열량 및 CO2 배출량

구분	단위	발열량 [Kcal/단위]	탄소배출계수		CO2배출량 [Kg-CO2/단위]
			Kg-c/Kcal	Ton C/TOE	
전기[1]	kWh	2500	0.000132	0.1319	0.43464

1) 전기부문의 이산화탄소 배출원단위는 IPCC 분류가 되어 있지 않아 전력부문의 배출계수는 전기사용에 따른 배출계수로 이는 전원구성비에 따라 종합평균 배출계수를 산출한 것 (에너지경제연구원, 1998)

나. CO2 배출 거래비

CO2 배출 거래 비용은 산정된 CO2 배출량에 <표3.14>과 같이 탄소배출 거래비용[39]을 적용하여 산정 할 수 있다.

<표 3.14> 탄소배출 거래비용

탄소배출 거래비용 (TCO2/원)
12,000

38) 설진호, LCC와 LCCO2 분석에 의한 전열교환 환기시스템과 바닥축열 환기시스템의 경제성 및 환경부하평가,(2008)
39) 산업통상자원부 (http://www.motie.go.kr)

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

6. 기타

가. 실질할인율

LCC를 구성하는 각 비용요소들은 시간적 가치를 가진다. 따라서 앞서 기술한 바와 같이, 각각의 대안 또는 하나의 대안 내에서 발생하는 비용들을 산술적으로 계산하여 상호비교하기 위해서는 하나의 시점(현재, 미래, 연간)으로 모든 비용을 전환하는 과정, 즉 현가법 및 연가법, 이 필요하다. 이 과정에서 가장 먼저 고려되어져야 하는 개념은 이자율(할인율)이다. Dell`Isola and Kirk (2003)[12], Ross et al.(2003)[40], Hong and Hastak(2005)[41] 등에 따르면, 실질할인율은 다음의 산식에 의해 정의된다. 산식에서 볼 수 있듯이, 실질할인율 i를 산정하기 위해서는 명목이자율 (i_n)과 물가상승률(f)가 필요하며, 일반적으로 경제성 분석을 수행할 때, 명목이자율은 한국은행의 대출금리를 활용하여 분석할 수 있다. 한편, 물가상승률과 관련된 데이터는 설비시스템의 물가지수를 바탕으로 정리하였다.[42]

$$(1 + i_n) = (1 + i) \times (1 + f)$$

$$\text{실질할인율} \quad i = \frac{(1 + i_n)}{(1 + f)} - 1$$

즉, <표 3.15> 에서 보는 바와 같이, 최근 10년간 한국은행의 예금금리와 설비시스템의 물가지수를 바탕으로 전년대비 변동률을 작성하였고, 이들의 평균값을 활용하여 실질할인율을 산정하였다. 표에서 보는 바와 같이, 한국은행 예금금리의 과거 10년간 평균치는 3.90%이며, 설비시스템의 물가지수의 변동률의 10년간 평균치는 1.90%이다. 따라서 위의 수식을 활용하여, 이 연구에서 적용할 실질할인율을 산정한 결과, 0.68%의 **실질할인율**을 산정하였고, 이를 중심으로 미래비용의 현재가치를 환산하였다.

---

40) Stephen A. Ross, Randolph W. Westerfield, and Bradford D. Jaffe (2003). "Corporate Finance", 6th edition, McGraw Hill, New York, 2003, pp.169-199

41) Hong, T., and Hastak, M. (2005). "MEMRRES: Model for Evaluating Maintenance, Repair, and REhabilitation Strategies in concrete bridge decks." Journal of Civil Engineering and Environmental Systems, Elsevier, 22(4), pp.233-248

42) 한국은행 경제통계시스템, (http://ecos.bok.or.kr)

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

<표 3.15> 할인율 설정을 위한 10년간 한국은행 예금금리 및 설비시스템 물가지수

연도	한국은행 예금금리 (%)	설비시스템 물가지수	
		물가지수	전년대비 변동률(%)
2003	4.20	86.00	0.17
2004	3.80	89.63	3.63
2005	3.60	91.95	2.32
2006	4.41	91.41	-0.54
2007	5.07	91.34	-0.07
2008	5.71	95.63	4.29
2009	3.26	99.85	4.22
2010	3.19	100.00	0.15
2011	3.69	104.34	4.34
2012	3.43	106.68	2.34
2013	2.66	107.00	0.32
평균	3.9		1.9

나. 분석기간

경제성의 분석기간은 앞에서 언급한바와 같이, 분석대상의 경제적 수명, 분석대상의 물리적 수명, 분석대상의 기대 수명, 분석대상의 경제적, 물리적, 공통배수로 가정 할 수 있다. 따라서 본 연구에서의 분석기간은 분석의 대상이 되는 공조시스템들의 경제적, 물리적 수명이 서로 다르기 때문에 공조시스템 설비 구성 요소의 교체 주기에 따라 15년과 20년의 공통배수인 60년을 분석기간으로 설정하였다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

7. 가정사항 정리

경제성분석을 위한 가정사항을 정리하면 다음과 같다.

▶ 분석대상 : 데이터센터 기존 공조시스템과 에너지절감 대안시스템

▶ 분석규모 : 서울 목동 00데이터센터 : 연면적 65,000㎡, 냉동기 규격 10,400RT

▶ 분석기간 : 60년 (분석대상들의 경제적, 물리적, 공통배수)

▶ 분석방법 : 현가법

▶ 실질할인율 : 0.68%

▶ 분석항목 : 설치단계(초기투자비), 운영단계(수선비, 교체비, 에너지비)

▶ 산정조건

- 초기투자비 : 공조시스템 설비 구성요소에 따라 1RT당 비용 (10,400RT 값으로 적용)
- 수선비 : 수선율에 따라 산정 (초기투자비 * 수선율)
- 교체비 : 교체주기에 따라 산정 (60년간 설비 구성요소별 교체횟수 * 초기설치비용)
- 에너지비 : 에너지시뮬레이션 전력사용량에 따라 “산업용 고압B” 전기세 적용 산정
- CO2 배출량 : 에너지시뮬레이션 연간 전력사용량에 “탄소배출계수” 적용 산정
- CO2 배출거래비 : CO2 배출량에 “탄소배출 거래비용” 적용 산정

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제3절 경제성 평가를 위한 비용 분석

1. 설치단계

LCC분석을 수행하기 위해, LCC의 비용항목 중 초기비용에 관해 분석하였다. 앞서, 기존의 냉방시스템의 경제성 분석을 수행한 연구와 신명엔지니어링의 자료를 바탕으로 본 연구에서 분석의 대상인 냉방시스템별 구성요소를 설정하였으며, 이들의 설치비용을 분석하였다. <표 3.16> ~ <표 3.21>까지 6개의 표는 각 공조시스템 냉각설비 설치비용을 정리한 것이다.

일반적으로 냉방시스템의 설치비용은 냉동기 용량(RT)에 비례하여 증가하기 때문에 "냉동기 용량당 설치단가(Unit Price/RT)"를 산정하였고, 이를 바탕으로 에너지시뮬레이션의 조건에 맞는 냉동기용량(10,400RT)을 고려한 설치비용으로 추정하였다.

설치단계 비용을 분석해보면 다음과 같다.

기존 시스템의 경우 <표 3.9>과 같이 10개의 구성요소로 정의될 수 있으며 (즉, 밀폐형 냉각탑, 냉수펌프, 냉각수 펌프, 수냉식 냉동기, CRAC, 급기팬, 배기팬, 배관, 2Way, 3Way 밸브), 이들의 설치 단가(Unit price/RT)를 적용하여 설치비 34,528,000,000원을 산정하였다.

기계식 냉방시스템(Machine system)과 수냉식 냉방시스템(Water economizer system)은 11개의 구성요소로 정의될 수 있으며 (즉, 냉각탑, 냉수펌프, 냉각수 펌프, 수냉식 냉동기, CRAC, 급기팬, 배기팬, 배관, 2Way, 3Way 밸브, 서버랙 환기팬), 이들의 설치단가 (Unit price/RT)를 적용하여 설치비 34,793,680천원을 분석하였다. 한편, 외기냉방방식과 외기냉수 냉방시스템 그리고 멀티 외기냉방 시스템의 경우, 기계식 냉방과 수냉식 냉방시스템에 비해, 흡기팬과 필터박스가 추가되고 이들의 설치비는 38,433,680천원으로 결정되었다.

이상의 내용을 중심으로 <3.22>와 같이 정리 할 수 있으며, 초기투자비(설치비)의 경우, 기존의 기계식냉방방식과 냉수 냉방시스템이 저렴한 것으로 분석되었고, 멀티 외기냉방 시스템의 설치비가 가장 큰 것으로 나타났다.

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

<표 3.16> 기존 시스템의 설치비용

구분	기존시스템 구성요소	단가 (Unit Price/RT)	설치비용 (천원)
1-1	밀폐형 냉각탑	400,000	4,160,000
1-2	냉수 펌프	55,000	572,000
1-3	냉각수 펌프	55,000	572,000
1-4	수냉식냉동기	900,000	9,360,000
1-5	CRAC-항온항습기	750,000	7,800,000
1-6	송풍기 - 급기팬	75,000	1,560,000
1-7	송풍기 - 배기팬	75,000	1,560,000
1-8	배관	600,000	6,240,000
1-9	2 Way 밸브	60,000	1,248,000
1-10	3 Way 밸브	35,000	1,456,000
소계			34,528,000

<표 3.17> 기계식 냉방시스템(M)의 설치비용

구분	기계식 냉방시스템의 구성요소	단가 (Unit Price/RT)	설치비용 (원)
1-1	밀폐형 냉각탑	400,000	4,160,000
1-2	냉수 펌프	55,000	572,000
1-3	냉각수 펌프	55,000	572,000
1-4	수냉식냉동기	900,000	9,360,000
1-5	CRAC-항온항습기	750,000	7,800,000
1-6	송풍기 - 급기팬	75,000	1,560,000
1-7	송풍기 - 배기팬	75,000	1,560,000
1-8	배관	600,000	6,240,000
1-9	2 Way 밸브	60,000	1,248,000
1-10	3 Way 밸브	35,000	1,456,000
1-11	서버랙 환기팬	41,000*	265,680
소계			34,793,680

*: 서버랙 환기팬의 단가는 서버랙 1개당 비용임

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

<표 3.18> 외기 냉방시스템(M_A)의 설치비용

구분	외기 냉방시스템 구성 요소	단가 (Unit Price/RT)	설치비용 (천원)
1-1	밀폐형 냉각탑	400,000	4,160,000
1-2	냉수 펌프	55,000	572,000
1-3	냉각수 펌프	55,000	572,000
1-4	수냉식냉동기	900,000	9,360,000
1-5	CRAC-항온항습기	750,000	7,800,000
1-6	필터박스	200,000	2,080,000
1-7	송풍기 - 흡기팬	75,000	1,560,000
1-8	송풍기 - 급기팬	75,000	1,560,000
1-9	송풍기 - 배기팬	75,000	1,560,000
1-10	배관	600,000	6,240,000
1-11	2 Way 밸브	60,000	1,248,000
1-12	3 Way 밸브	35,000	1,456,000
1-13	서버랙 환기팬	41,000*	265,680
소계			38,433,680

*: 서버랙 환기팬의 단가는 서버랙 1개당 비용임

<표 3.19> 외기냉수 냉방시스템(AW)의 설치비용

구분	외기냉수 냉방시스템 구성 요소	단가 (Unit Price/RT)	설치비용 (천원)
1-1	밀폐형 냉각탑	400,000	4,160,000
1-2	냉수 펌프	55,000	572,000
1-3	냉각수 펌프	55,000	572,000
1-4	수냉식냉동기	900,000	9,360,000
1-5	CRAC-항온항습기	750,000	7,800,000
1-6	필터박스	200,000	2,080,000
1-7	송풍기 - 흡기팬	75,000	1,560,000
1-8	송풍기 - 급기팬	75,000	1,560,000
1-9	송풍기 - 배기팬	75,000	1,560,000
1-10	배관	600,000	6,240,000
1-11	2 Way 밸브	60,000	1,248,000
1-12	3 Way 밸브	35,000	1,456,000
1-13	서버랙 환기팬	41,000*	265,680
소계			38,433,680

*: 서버랙 환기팬의 단가는 서버랙 1개당 비용임

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

<표 3.20> 수냉식 냉방시스템(W)의 설치비용

구분	수냉식 냉방시스템 구성 요소	단가 (Unit Price/RT)	설치비용 (천원)
1-1	밀폐형 냉각탑	400,000	4,160,000
1-2	냉수 펌프	55,000	572,000
1-3	냉각수 펌프	55,000	572,000
1-4	수냉식냉동기	900,000	9,360,000
1-5	CRAC-항온항습기	750,000	7,800,000
1-6	송풍기 - 급기팬	75,000	1,560,000
1-7	송풍기 - 배기팬	75,000	1,560,000
1-8	배관	600,000	6,240,000
1-9	2 Way 밸브	60,000	1,248,000
1-10	3 Way 밸브	35,000	1,456,000
1-11	서버랙 환기팬	41,000*	265,680
소계			34,793,680

*: 서버랙 환기팬의 단가는 서버랙 1개당 비용임

<표 3.21> Multi 냉방시스템의 설치비용

구분	Multi system 구성 요소	단가 (Unit Price/RT)	설치비용 (천원)
1-1	밀폐형 냉각탑	400,000	4,160,000
1-2	냉수 펌프	55,000	572,000
1-3	냉각수 펌프	55,000	572,000
1-4	수냉식냉동기	900,000	9,360,000
1-5	CRAC-항온항습기	750,000	7,800,000
1-6	필터박스	200,000	2,080,000
1-7	송풍기 - 흡기팬	75,000	1,560,000
1-8	송풍기 - 급기팬	75,000	1,560,000
1-9	송풍기 - 배기팬	75,000	1,560,000
1-10	배관	600,000	6,240,000
1-11	2 Way 밸브	60,000	1,248,000
1-12	3 Way 밸브	35,000	1,456,000
1-13	서버랙 환기팬	41,000*	265,680
소계			38,433,680

*: 서버랙 환기팬의 단가는 서버랙 1개당 비용임

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

<표 3.22> 냉방시스템별 초기투자비 종합 (천원)

구분	구성 요소	기존시스템	기계식 (M)	외기식 (A)	외기냉수식 (AW)	수냉식 (W)	Multi
1-1	밀폐형 냉각탑	4,160,000	4,160,000	4,160,000	4,160,000	4,160,000	4,160,000
1-2	냉수 펌프	572,000	572,000	572,000	572,000	572,000	572,000
1-3	냉각수 펌프	572,000	572,000	572,000	572,000	572,000	572,000
1-4	수냉식냉동기	9,360,000	9,360,000	9,360,000	9,360,000	9,360,000	9,360,000
1-5	CRAC - 항온항습기	7,800,000	7,800,000	7,800,000	7,800,000	7,800,000	7,800,000
1-6	필터박스			2,080,000	2,080,000		2,080,000
1-7	송풍기 - 흡기팬			1,560,000	1,560,000		1,560,000
1-8	송풍기 - 급기팬	1,560,000	1,560,000	1,560,000	1,560,000	1,560,000	1,560,000
1-9	송풍기 - 배기팬	1,560,000	1,560,000	1,560,000	1,560,000	1,560,000	1,560,000
1-10	배관	6,240,000	6,240,000	6,240,000	6,240,000	6,240,000	6,240,000
1-11	2 Way 밸브	1,248,000	1,248,000	1,248,000	1,248,000	1,248,000	1,248,000
1-12	3 Way 밸브	1,456,000	1,456,000	1,456,000	1,456,000	1,456,000	1,456,000
1-13	서버랙 환기팬		265,680	265,680	265,680	265,680	265,680
소계		34,528,000	34,793,680	38,433,680	38,433,680	34,793,680	38,433,680
%		100	100.8	111.3	111.3	100.8	111.3

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. 운영단계

가. 수선비

<표 3.23>은 제 3장 2절 3번을 기준으로 공조시스템 냉방설비의 수선비용을 산정한 결과이다. <표 3.23>에서 보는 바와 같이, 공조시스템 냉방설비별 연간 수선비용으로, 1) 기존 냉방설비는 연간 68,317천원이 발생하고, 2) 기계식 냉방과 냉수냉방의 경우, 냉방시스템을 구성하는 구성요소가 동일하기 때문에, 연간 68,902천원이 발생하였으며, 3) 외기냉방과 외기냉수냉방 그리고 멀티 외기냉방 시스템의 수선비용은 연간 78,574천원이 발생하는 것으로 분석되었다.

<표 3.23> 냉방시스템별 연간 수선비용 (천원)

구분	구성 요소	기존시스템	기계식 (M)	외기식 (A)	외기냉수식 (AW)	수냉식 (W)	Multi
1-1	밀폐형 냉각탑	4,576	4,576	4,576	4,576	4,576	4,576
1-2	냉수 펌프	6,692	6,692	6,692	6,692	6,692	6,692
1-3	냉각수 펌프	6,692	6,692	6,692	6,692	6,692	6,692
1-4	수냉식냉동기	32,760	32,760	32,760	32,760	32,760	32,760
1-5	CRAC-항온항습기	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
1-6	필터박스			6,240	6,240		6,240
1-7	송풍기 - 흡기팬			3,432	3,432		3,432
1-8	송풍기 - 급기팬	3,432	3,432	3,432	3,432	3,432	3,432
1-9	송풍기 - 배기팬	3,432	3,432	3,432	3,432	3,432	3,432
1-10	배관	7,488	7,488	7,488	7,488	7,488	7,488
1-11	2 Way 밸브	1,497	1,497	1,497	1,497	1,497	1,497
1-12	3 Way 밸브	1,747	1,747	1,747	1,747	1,747	1,747
1-13	서버랙 환기팬		584	584	584	584	584
소계		68,317	68,902	78,574	78,574	68,902	78,574
%		100	100.8	111.3	111.3	100.8	111.3

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

한편, 실질할인율 (0.68%)과 이를 활용한 미래의 비용을 현재의 가치로 환산하기 위한 환산지수(present value)를 바탕으로, <표 3.24>과 같이 위 표에서 정의한 냉방시스템별 구성요소들의 연간 수선비용을 현재의 가치로 환산한 금액과 이들의 합계를 보여준다. 예를 들어, 표에서 볼 수 있듯이, 냉각탑의 수선비용을 현재가치로 환산함에 있어, 1년, 2년 후에 발생할 연간 수선비용 4,576천원의 현재의 가치 4,545천원과 4,514천원은 아래와 같이 각각 산정될 수 있다.

1년 후의 수선비용의 현재가치, $4,545,093 = 4,576,000 \times \frac{1}{(1+0.0068)^{1}}$

2년 후의 수선비용의 현재가치, $4,514,395 = 4,576,000 \times \frac{1}{(1+0.0068)^{2}}$

이상의 방법을 활용하여, 각 구성요소별 미래 발생 수선비용의 현재가치를 계산하였고, 이들의 합계를 <표 3.24> 같이 산정하였다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

<표 3.24> 냉방시스템 구성요소별 수선비용의 연도별 현재가치 및 현재가치의 합계 (천원)

년	PWf	냉각탑	냉수펌프	냉각수 펌프	냉동기	필터박스	흡기팬	급기팬	배기팬	배관	2 Way	3 Way	서버랙
1	0.9933	4,545	6,647	6,647	32,539	6,197	3,408	3,408	3,408	7,437	1,487	1,735	580
2	0.9866	4,514	6,602	6,602	32,319	6,156	3,385	3,385	3,385	7,387	1,477	1,723	576,
3	0.9799	4,484	6,557	6,557	32,101	6,114	3,363	3,363	3,363	7,337	1,467	1,712	572
4	0.9733	4,453	6,513	6,513	31,885	6,073	3,340	3,340	3,340	7,288	1,457	1,700	568
5	0.9667	4,423	6,469	6,469	31,669	6,032	3,317	3,317	3,317	7,238	1,447	1,689	565
6	0.9602	4,393	6,426	6,426	31,456	5,991	3,295	3,295	3,295	7,190	1,438	1,677	561
7	0.9537	4,364	6,382	6,382	31,244	5,951	3,273	3,273	3,273	7,141	1,428	1,666	557
8	0.9473	4,334	6,339	6,339	31,033	5,911	3,251	3,251	3,251	7,093	1,418	1,655	553
9	0.9409	4,305	6,296	6,296	30,824	5,871	3,229	3,229	3,229	7,045	1,409	1,643	549
10	0.9346	4,276	6,254	6,254	30,616	5,831	3,207	3,207	3,207	6,997	1,399	1,632	546
11	0.9283	4,247	6,212	6,212	30,409	5,792	3,185	3,185	3,185	6,950	1,390	1,621	542
12	0.9220	4,219	6,170	6,170	30,204	5,753	3,164	3,164	3,164	6,903	1,380	1,610	538
13	0.9158	4,190	6,128	6,128	30,000	5,714	3,142	3,142	3,142	6,857	1,371	1,600	535
14	0.9096	4,162	6,087	6,087	29,798	5,675	3,121	3,121	3,121	6,811	1,362	1,589	531
15	0.9035									6,765			
16	0.8974	4,106	6,005	6,005	29,397	5,599	3,079	3,079	3,079	6,719	1,343	1,567	524
17	0.8913	4,078	5,965	5,965	29,199	5,561	3,058	3,058	3,058	6,674	1,334	1,557	520
18	0.8853	4,051	5,924	5,924	29,002	5,524	3,038	3,038	3,038	6,629	1,325	1,546	517
19	0.8793	4,023	5,884	5,884	28,806	5,487	3,017	3,017	3,017	6,584	1,316	1,536	513
20	0.8734	3,996	5,845	5,845	28,612	5,450	2,997	2,997	2,997		1,308	1,526	510
21	0.8675	3,969	5,805	5,805	28,419	5,413	2,977	2,977	2,977	6,495	1,299	1,515	507
22	0.8617	3,942	5,766	5,766	28,227	5,376	2,957	2,957	2,957	6,452	1,290	1,505	503
23	0.8558	3,916	5,727	5,727	28,037	5,340	2,937	2,937	2,937	6,408	1,281	1,495	500
24	0.8501	3,889	5,689	5,689	27,848	5,304	2,917	2,917	2,917	6,365	1,273	1,485	496
25	0.8443	3,863	5,650	5,650	27,660	5,268	2,897	2,897	2,897	6,322	1,264	1,475	493
26	0.8386	3,837	5,612	5,612	27,473	5,233	2,878	2,878	2,878	6,279	1,255	1,465	490
27	0.8330	3,811	5,574	5,574	27,288	5,197	2,858	2,858	2,858	6,237	1,247	1,455	486
28	0.8274	3,786	5,537	5,537	27,104	5,162	2,839	2,839	2,839	6,195	1,239	1,445	483
29	0.8218	3,760	5,499	5,499	26,921	5,127	2,820	2,820	2,820	6,153	1,230	1,435	480
30	0.8162									6,112			
31	0.8107	3,709	5,425,	5,425	26,559	5,059,	2,782	2,782	2,782	6,070	1,214	1,416	473
32	0.8053	3,684	5,389,	5,389	26,380	5,024	2,763	2,763	2,763	6,029	1,205	1,406	470
33	0.7998	3,660	5,352,	5,352	26,202	4,990	2,745	2,745	2,745	5,989	1,197	1,397	467
34	0.7944	3,635	5,316,	5,316	26,025	4,957	2,726	2,726	2,726	5,948	1,189	1,388	464
35	0.7891	3,610	5,280,	5,280	25,850	4,923	2,708	2,708	2,708	5,908	1,181	1,378	461
36	0.7838	3,586	5,245,	5,245	25,676	4,890	2,689	2,689	2,689	5,868	1,173	1,369	458
37	0.7785	3,562	5,209,	5,209	25,502	4,857	2,671	2,671	2,671	5,829	1,165	1,360	455
38	0.7732	3,538	5,174,	5,174	25,330	4,824	2,653	2,653	2,653	5,789	1,157	1,350	451
39	0.7680	3,514	5,139,	5,139	25,159	4,792	2,635	2,635	2,635	5,750	1,150	1,341	448
40	0.7628	3,490	5,105,	5,105	24,990	4,760	2,618	2,618	2,618		1,142	1,332	445
41	0.7577	3,467	5,070,	5,070	24,821	4,727	2,600	2,600	2,600	5,673	1,134	1,323	442
42	0.7526	3,443	5,036,	5,036	24,654	4,696	2,582	2,582	2,582	5,635	1,127	1,314	439
43	0.7475	3,420	5,002,	5,002	24,487	4,664	2,565	2,565	2,565	5,597	1,119	1,306	436
44	0.7425	3,397	4,968,	4,968	24,322	4,632	2,548	2,548	2,548	5,559	1,111	1,297	433
45	0.7374									5,521			
46	0.7325	3,351	4,901	4,901	23,995	4,570	2,513	2,513	2,513	5,484	1,096	1,279	428
47	0.7275	3,329	4,868	4,868	23,833	4,539	2,496	2,496,	2,496	5,447	1,089	1,271	425
48	0.7226	3,306	4,836	4,836	23,673	4,509	2,480	2,480	2,480	5,411	1,082	1,262	422
49	0.7177	3,284	4,803	4,803	23,513	4,478	2,463	2,463	2,463	5,374	1,074	1,254	419
50	0.7129	3,262	4,771	4,771	23,354	4,448	2,446	2,446	2,446	5,338	1,067	1,245	416
51	0.7081	3,240	4,738	4,738	23,197	4,418	2,430	2,430	2,430	5,302	1,060	1,237	413
52	0.7033	3,218	4,706	4,706	23,040	4,388	2,413	2,413	2,413	5,266	1,053	1,228	411
53	0.6986	3,196	4,675	4,675	22,885	4,359	2,397	2,397	2,397	5,230	1,046	1,220	408
54	0.6939	3,175	4,643	4,643	22,731	4,329	2,381	2,381	2,381	5,195	1,039	1,212	405
55	0.6892	3,153	4,612	4,612	22,577	4,300	2,365	2,365	2,365	5,160	1,032	1,204	402
56	0.6845	3,132	4,581	4,581	22,425	4,271	2,349	2,349	2,349	5,125	1,025	1,196	400
57	0.6799	3,111	4,550	4,550	22,274	4,242	2,333	2,333	2,333	5,091	1,018	1,187	397
58	0.6753	3,090	4,519	4,519	22,123	4,214	2,317	2,317	2,317	5,056	1,011	1,179	394
59	0.6708	3,069	4,489	4,489	21,974	4,185	2,302	2,302	2,302	5,022	1,004	1,171	392
60	0.6663	3,048	4,458	4,458	21,826	4,157	2,286	2,286	2,286	4,988	997,7	1,164	389
합계		213,644	312,454	312,454	1,529,499	291,333	160,233	160,233	160,233	355,746	69,919	81,573	27,288

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

나. 교체비

<표 3.25>은 제 3장 2절 4를 기준으로 냉방시스템별 교체주기에 딸 교체비용을 산정한 결과이다.

앞서 기준에서 언급한 바와 같이 배관을 제외한 다른 구성요소들의 교체주기는 15년이기 때문에, <표 3.25>에서 설명한 각 구성요소별 교체비용의 의미는 15년에 한번 씩 해당 비용이 발생한다는 의미이다. 즉, 냉각탑의 경우, 설치가 끝난 후 15년이 지나면 4,160,000,000원을 투입해서 새로운 냉각탑으로 교체해야 한다는 의미이다.

<표 3.25> 냉방시스템별 1회 교체비용 (천원)

구성 요소	교체주기 (년)	기존시스템	기계식 (M)	외기식 (A)	외기냉수식 (AW)	수냉식 (W)	Multi
밀폐형 냉각탑	15	4,160,000	4,160,000	4,160,000	4,160,000	4,160,000	4,160,000
냉수 펌프	15	572,000	572,000	572,000	572,000	572,000	572,000
냉각수 펌프	15	572,000	572,000	572,000	572,000	572,000	572,000
수냉식냉동기	15	9,360,000	9,360,000	9,360,000	9,360,000	9,360,000	9,360,000
CRAC	15	7,800,000	7,800,000	7,800,000	7,800,000	7,800,000	7,800,000
필터박스	15			2,080,000	2,080,000		2,080,000
송풍기 - 흡기팬	15			1,560,000	1,560,000		1,560,000
송풍기 - 급기팬	15	1,560,000	1,560,000	1,560,000	1,560,000	1,560,000	1,560,000
송풍기 - 배기팬	15	1,560,000	1,560,000	1,560,000	1,560,000	1,560,000	1,560,000
배관	20	6,240,000	6,240,000	6,240,000	6,240,000	6,240,000	6,240,000
2 Way 밸브	15	1,248,000	1,248,000	1,248,000	1,248,000	1,248,000	1,248,000
3 Way 밸브	15	1,456,000	1,456,000	1,456,000	1,456,000	1,456,000	1,456,000
서버랙 환기팬	15		265,680	265,680	265,680	265,680	265,680
소계		34,528,000	34,793,680	38,433,680	38,433,680	34,793,680	38,433,680

<표 3.26>은 실질할인율 (0.68%)과 이를 활용한 미래의 비용을 현재의 가치로 환산하기 위한 환산지수(present value)를 바탕으로, <표 3.25>에서 정의한 냉방시스템별 구성요소들의 교체주기마다 교체비용을 현재의 가치로 환산한 금액과 이들의 합계를 보여준다. 예를 들어, 냉각탑의 교체비를 산정해보면, 분석기간인 60년간 총 3번의 교체가 15년마다 이루어진다. 이에 따라, 15년, 30년, 45년 후에 발생할 교체비용을 현재가치로 환산하면 1회 교체비용인 4,160,000천원이 3,758,403천원, 3,395,576천원, 3,067,775천원으로 아래와 같이 각각 산정될 수 있다.

15년 후의 교체비용의 현재가치, $3{,}758{,}403{,}656 = 4{,}160{,}000{,}000 \times \dfrac{1}{(1+0.0068)^{15}}$

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

30년 후의 수선비용의 현재가치, $3,395,576,453 = 4,160,000,000 \times \frac{1}{(1+0.0068)^{30}}$

45년 후의 수선비용의 현재가치, $3,067,775,711 = 4,160,000,000 \times \frac{1}{(1+0.0068)^{45}}$

이상의 방법을 활용하여, 각 구성요소별 미래 발생 교체비용의 현재가치를 계산하였고, 이들의 합계를 <표 3.26> 같이 산정하였다.

<표 3.26> 냉방시스템들의 교체주기별 교체비용 (천원)

교체 년도	기존시스템	기계식 (M)	외기식 (A)	외기냉수식 (AW)	수냉식 (W)	Multi
15	25,557,144	25,797,176	29,085,779	29,085,779	25,797,176	29,085,779
20	5,450,019	5,450,019	5,450,019	5,450,019	5,450,019	5,450,019
30	23,089,919	23,306,779	26,277,909	26,277,909	23,306,779	26,277,909
40	4,760,049	4,760,049	4,760,049	4,760,049	4,760,049	4,760,049
45	20,860,874	21,056,799	23,741,103	23,741,103	21,056,799	23,741,103
종합	79,718,008	80,370,825	89,314,861	89,314,861	80,370,825	89,314,861
%	100	100.82	112.04	112.04	100.82	112.04

다. 에너지비

<표 3.27> ~ <표 3.32> 까지는 기존 공조시스템 냉방설비와 대안 5개의 월별 에너지 사용량 및 에너지비용을 나타낸 표이다. 월별 에너지사용량은 제3장 2절 4의 다를 기준으로 이를 적용하여 산정하였다. 에너지비용 산정의 예를 들면, 1월의 에너지비용 674,624,210원은 다음과 같이 계산된다.

1월의 에너지 비용 $674,624,210\text{원} = (6,217,668 - 1) \times 108.5$

$(\text{전력사용량} - 1) \times (\text{겨울철 중간부하})$

이상의 방법에 따라, 월별 에너지 비용을 산정하였으며, 이를 합산하면 연간 에너지 비용 6,939,621,633원이 된다.

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

<표 3.27> 기존시스템의 월별 에너지 사용량 및 에너지비용

월	구성 요소별 전력 사용량 (Kwh)						에너지사용비 (천원)
	냉각탑	냉각수펌프	칠러	냉수펌프	CRAC	총사용량	
1	593,280	659,200	2,505,858	653,840	1,805,490	6,217,668	674,624
2	537,984	597,760	2,269,804	591,360	1,632,960	5,629,868	610,847
3	597,888	664,320	2,543,000	654,720	1,807,920	6,267,848	492,033
4	584,064	648,960	2,486,546	633,600	1,749,600	6,102,769	479,074
5	609,408	677,120	2,597,756	654,720	1,807,920	6,346,924	498,240
6	592,128	657,920	2,524,228	633,600	1,749,600	6,157,476	483,369
7	612,864	680,960	2,630,514	654,720	1,807,920	6,386,978	692,994
8	612,864	680,960	2,632,615	654,720	1,807,920	6,389,079	693,222
9	586,368	651,520	2,509,583	633,600	1,749,600	6,130,671	481,264
10	603,648	670,720	2,585,788	654,720	1,807,920	6,322,795	496,346
11	579,456	643,840	2,482,774	633,600	1,749,600	6,089,270	660,693
12	593,280	659,200	2,523,615	654,720	1,807,920	6,238,735	676,909
합계	7,103,232	7,892,480	30,292,081	7,707,920	21,284,368	74,280,080	6,939,621

<표 3.28> 기계식 냉방시스템의 월별 에너지 사용량 및 에너지비용

월	구성 요소별 전력 사용량 (Kwh)							에너지사용비 (천원)
	냉각탑	냉각수 펌프	칠러	냉수펌프	CRAC	RACL팬	총사용량	
1	586,368	651,520	1,221,419	654,720	1,647,738	308,552	5,070,317	550,136
2	532,224	591,360	1,104,543	591,360	1,488,280	278,692	4,586,458	497,637
3	589,824	655,360	1,271,555	654,720	1,647,738	308,552	5,127,749	402,535
4	572,544	636,160	1,276,853	633,600	1,594,585	298,598	5,012,340	393,475
5	595,584	661,760	1,383,059	654,720	1,647,738	308,552	5,251,412	412,243
6	578,304	642,560	1,374,978	633,600	1,594,585	298,598	5,122,625	402,133
7	600,192	666,880	1,448,561	654,720	1,647,738	308,552	5,326,643	577,948
8	601,344	668,160	1,425,625	654,720	1,647,738	308,552	5,306,139	575,723
9	576,000	640,000	1,343,977	633,600	1,594,585	298,598	5,086,761	399,318
10	596,736	663,040	1,346,020	654,720	1,647,738	308,552	5,216,806	409,526
11	573,696	637,440	1,265,401	633,600	1,594,585	298,598	5,003,320	542,867
12	587,520	652,800	1,259,034	654,720	1,647,738	308,552	5,110,364	554,481
합계	6,990,336	7,767,040	15,721,025	7,708,800	19,400,787	3,632,947	61,220,934	5,718,027

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

<표 3.29> 외기 냉방시스템의 월별 에너지 사용량 및 에너지비용

월	구성 요소별 전력 사용량 (Kwh)								에너지사용비 (천원)
	냉각탑	냉각수 펌프	칠러	냉수펌프	CRAC	배기팬	RACL팬	총사용량	
1	457,234	855,301	404,134	177,232	1,647,738	481,647	308,552	4,331,838	470,011
2	422,772	741,160	504,058	218,167	1,488,280	395,004	278,692	4,048,132	439,229
3	526,106	653,394	1,342,184	560,076	1,647,738	113,917	308,552	5,151,966	404,436
4	519,636	614,270	1,425,335	582,868	1,594,585	63,679	298,598	5,098,971	400,276
5	498,068	765,581	901,208	362,765	1,647,738	387,229	308,552	4,871,416	382,413
6	439,529	830,797	339,133	165,367	1,594,585	700,028	298,598	4,368,037	342,898
7	562,869	739,429	1,099,564	425,451	1,647,738	378,677	308,552	5,162,279	560,114
8	567,247	715,878	1,195,862	469,275	1,647,738	348,715	308,552	5,253,266	569,986
9	472,881	790,600	637,496	255,039	1,594,585	502,917	298,598	4,552,118	357,348
10	531,013	681,140	1,332,476	529,423	1,647,738	157,668	308,552	5,188,009	407,266
11	515,467	630,554	1,337,468	554,107	1,594,585	97,074	298,598	5,027,853	545,529
12	482,068	783,716	738,152	313,603	1,647,738	370,764	308,552	4,644,593	503,945
합계	5,994,889	8,801,820	11,257,068	4,613,370	19,400,787	3,997,321	3,632,947	57,698,477	5,383,456

<표 3.30> 외기냉수 냉방시스템의 월별 에너지 사용량 및 에너지비용

월	구성 요소별 전력 사용량 (Kwh)							에너지사용비 (천원)
	냉각탑	냉각수 펌프	칠러	냉수펌프	CRAC	RACL팬	총사용량	
1	534,528	593,920	1,492,928	654,720	1,647,738	308,552	5,232,385	567,721
2	483,840	537,600	1,366,293	591,360	1,488,280	278,692	4,746,064	514,955
3	539,056	613,714	1,520,347	634,421	1,647,738	308,552	5,263,828	413,217
4	477,929	736,441	858,730	351,164	1,594,585	298,598	4,317,448	338,926
5	491,820	787,428	819,635	323,151	1,647,738	308,552	4,378,323	343,705
6	534,824	629,474	1,530,051	585,435	1,594,585	298,598	5,172,968	406,085
7	565,632	628,480	1,732,678	654,720	1,647,738	308,552	5,537,800	600,858
8	564,480	627,200	1,718,475	654,720	1,647,738	308,552	5,521,165	599,053
9	519,079	658,318	1,319,903	517,161	1,594,585	298,598	4,907,645	385,257
10	480,754	814,149	678,918	269,749	1,647,738	308,552	4,199,860	329,696
11	511,381	642,356	1,283,233	531,637	1,594,585	298,598	4,861,791	527,511
12	540,288	600,320	1,541,067	654,720	1,647,738	308,552	5,292,685	574,263
합계	6,243,611	7,869,399	15,862,258	6,422,958	19,400,787	3,632,947	59,431,962	5,601,253,122

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

<표 3.31> 수냉식 냉방시스템의 월별 에너지 사용량 및 에너지비용

월	구성 요소별 전력 사용량 (Kwh)							에너지사용비 (천원)
	냉각탑	냉각수 펌프	칠러	냉수펌프	CRAC	RACL팬	총사용량	
1	515,194	690,938	1,088,794	477,488	1,647,738	308,552	4,728,703	513,071
2	457,915	656,600	862,235	373,193	1,488,280	278,692	4,116,915	446,692
3	459,014	890,972	275,452	114,943	1,647,738	308,552	3,696,670	290,195
4	512,927	745,930	814,723	333,168	1,594,585	298,598	4,299,931	337,551
5	560,498	630,319	1,600,582	631,048	1,647,738	308,552	5,378,737	422,238
6	544,896	605,440	1,655,932	633,600	1,594,585	298,598	5,333,052	418,651
7	565,632	628,480	1,732,678	654,720	1,647,738	308,552	5,537,800	600,858
8	564,480	627,200	1,718,475	654,720	1,647,738	308,552	5,521,165	599,053
9	539,136	599,040	1,617,079	633,600	1,594,585	298,598	5,282,039	414,647
10	559,331	690,951	1,284,266	510,268	1,647,738	308,552	5,001,106	392,594
11	468,264	826,290	437,987	181,456	1,594,585	298,598	3,807,180	413,086
12	496,696	768,924	802,915	341,117	1,647,738	308,552	4,365,942	473,712
합계	6,243,982	8,361,083	13,891,120	5,539,321	19,400,787	3,632,947	57,069,240	5,322,353

<표 3.32> Multi 냉방시스템의 월별 에너지 사용량 및 에너지비용

월	구성 요소별 전력 사용량 (Kwh)								에너지사용비 (천원)
	냉각탑	냉각수 펌프	칠러	냉수펌프	CRAC	배기팬	RACL팬	총사용량	
1	125,362	257,792	0	0	1,647,738	481,647	308,552	2,821,090	306,095
2	152,575	317,333	0	0	1,488,280	395,004	278,692	2,631,884	285,566
3	376,757	814,656	0	0	1,647,738	126,140	308,552	3,273,842	257,003
4	408,663	847,808	0	0	1,594,585	258,792	298,598	3,408,446	267,570
5	198,991	522,187	178	7,524	1,647,738	606,625	308,552	3,292,070	258,434
6	117,816	178,504	177,378	117,201	1,594,585	720,608	298,598	3,204,691	251,575
7	387,253	430,281	919,514	425,451	1,647,738	378,677	308,552	4,497,465	487,982
8	427,115	474,572	992,573	469,275	1,647,738	348,715	308,552	4,668,540	506,543
9	160,119	307,860	282,874	138,600	1,594,585	509,277	298,598	3,291,914	258,422
10	364,804	770,069	0	0	1,647,738	470,367	308,552	3,561,530	279,587
11	380,835	805,973	0	0	1,594,585	159,801	298,598	3,239,793	351,524
12	215,199	456,149	0	0	1,647,738	370,764	308,552	2,998,403	325,333
합계	3,315,489	6,183,184	2,372,518	1,158,051	19,400,787	4,826,418	3,632,947	40,889,668	3,835,641

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

<표 3.33>은, 위에서 산정한 냉방시스템별 연간에너지 비용을 현재의 가치로 환산한 결과를 보여준다. 즉, 수선비용에서 설명한 바와 같이, 미래에 연간으로 발생할 에너지 비용을 실질할인율을 고려하여 현재의 가치로 환산한 결과를 보여주고 있다. 예를 들어, 기존 시스템의 연간 에너지비용 6,939,621천원에 대하여, 1년, 2년 후 에너지 비용의 현재가치는 다음과 같이 6,892,750천원 6,846,196천원으로 46,554천원의 차이를 보인다.

1년 후의 에너지비용의 현재가치, $6{,}892{,}750\text{천원} = 6{,}939{,}621 \times \dfrac{1}{(1+0.0068)^1}$

2년 후의 에너지비용의 현재가치, $6{,}846{,}196\text{천원} = 6{,}939{,}621 \times \dfrac{1}{(1+0.0068)^2}$

<표 3.33>에서 볼 수 있듯이, 각 냉방시스템별 경제성 분석기간(60년)을 바탕으로 에너지 비용의 현재가치 합계를 살펴보면, 기존 시스템의 에너지 비용이 340,962,173,020 원으로써 가장 큰 값을 보여주고 있으며, 멀티 외기냉방 시스템의 소요 에너지 비용은 188,455,334,039원으로 가장 작은 값을 보여주고 있다. 기존 시스템의 에너지 비용을 100%로 설정하고, 각각의 냉방시스템별 에너지 비용의 비율을 환산한 결과, 기계식 냉방은 82.40%, 외기 냉방은 77.58%, 외기 냉수냉방은 80.71%, 냉수냉방은 76.70%, 멀티 외기 냉방은 55.27%로 나타났다. 즉, 기존의 냉방시스템을 멀티 외기냉방 시스템으로 변환하면, 약 45%의 에너지 비용을 절감할 수 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

<표 3.33> 냉방시스템 구성요소별 수선비용의 연도별 현재가치 및 현재가치의 합계 (천원)

년	PWf	기존시스템	기계식 (M)	외기식 (A)	외기냉수식 (AW)	수냉식 (W)	Multi
1	0.9933	6,892,812	5,679,458	5,347,144	5,563,471	5,286,453	3,809,769
2	0.9866	6,846,319	5,641,149	5,311,076	5,525,944	5,250,795	3,784,071
3	0.9799	6,800,139	5,603,098,	5,275,252	5,488,671	5,215,377	3,758,547
4	0.9733	6,754,271	5,565,304	5,239,669	5,451,649	5,180,199	3,733,195
5	0.9667	6,708,712	5,527,765	5,204,327	5,414,876	5,145,257	3,708,014
6	0.9602	6,663,460	5,490,480	5,169,222	5,378,352	5,110,551	3,683,002
7	0.9537	6,618,514	5,453,445	5,134,355	5,342,074	5,076,080	3,658,160
8	0.9473	6,573,870	5,416,661	5,099,723	5,306,040	5,041,840	3,633,485
9	0.9409	6,529,528	5,380,124	5,065,324	5,270,250	5,007,832	3,608,976
10	0.9346	6,485,485	5,343,834	5,031,157	5,234,701	4,974,053	3,584,633
11	0.9283	6,441,740	5,307,789	4,997,221	5,199,392	4,940,502	3,560,454
12	0.9220	6,398,289	5,271,987	4,963,514	5,164,321	4,907,178	3,536,438
13	0.9158	6,355,131	5,236,426	4,930,034	5,129,487	4,874,078	3,512,584
14	0.9096	6,312,264	5,201,105	4,896,780	5,094,887	4,841,201	3,488,891
15	0.9035	6,269,687	5,166,023	4,863,750	5,060,521	4,808,546	3,465,358
16	0.8974	6,227,397	5,131,177	4,830,943	5,026,387	4,776,112	3,441,983
17	0.8913	6,185,392	5,096,566	4,798,358	4,992,483	4,743,896	3,418,766
18	0.8853	6,143,670	5,062,189	4,765,992	4,958,808	4,711,897	3,395,706
19	0.8793	6,102,230	5,028,043	4,733,844,	4,925,360	4,680,115	3,372,801
20	0.8734	6,061,069	4,994,128	4,701,913	4,892,137	4,648,546	3,350,051
21	0.8675	6,020,186,	4,960,442	4,670,198	4,859,139	4,617,191	3,327,454
22	0.8617	5,979,578	4,926,983	4,638,697	4,826,363	4,586,047	3,305,010
23	0.8558	5,939,245	4,893,749	4,607,408	4,793,808	4,555,113	3,282,717
24	0.8501	5,899,183	4,860,740	4,576,330	4,761,473	4,524,388	3,260,574
25	0.8443	5,859,392,	4,827,953	4,545,462	4,729,356	4,493,870	3,238,581
26	0.8386	5,819,870	4,795,388	4,514,802	4,697,455	4,463,558	3,216,736
27	0.8330	5,780,613	4,763,042	4,484,348	4,665,770	4,433,451	3,195,039
28	0.8274	5,741,622	4,730,914	4,454,101	4,634,298	4,403,546	3,173,488
29	0.8218	5,702,894	4,699,003	4,424,057	4,603,039	4,373,843	3,152,082
30	0.8162	5,664,426	4,667,307	4,394,216	4,571,991	4,344,341	3,130,820
31	0.8107	5,626,219	4,635,826	4,364,576	4,541,152	4,315,037	3,109,702
32	0.8053	5,588,269	4,604,556	4,335,136	4,510,521	4,285,932	3,088,727
33	0.7998	5,550,575	4,573,497	4,305,894	4,480,096	4,257,022	3,067,893
34	0.7944	5,513,135	4,542,648	4,276,850	4,449,877	4,228,308	3,047,199
35	0.7891	5,475,948	4,512,007	4,248,002	4,419,862	4,199,787	3,026,645
36	0.7838	5,439,011	4,481,573	4,219,348	4,390,049	4,171,458	3,006,230
37	0.7785	5,402,324	4,451,344	4,190,888	4,360,437	4,143,321	2,985,952
38	0.7732	5,365,884	4,421,318	4,162,620	4,331,025	4,115,374	2,965,811
39	0.7680	5,329,690	4,391,496	4,134,542	4,301,812	4,087,615	2,945,806
40	0.7628	5,293,741	4,361,874	4,106,654	4,272,795	4,060,043	2,925,936
41	0.7577	5,258,033	4,332,453	4,078,954	4,243,974	4,032,657	2,906,200
42	0.7526	5,222,567	4,303,229	4,051,440	4,215,348	4,005,456	2,886,597
43	0.7475	5,187,340	4,274,203	4,024,112	4,186,914	3,978,438	2,867,127
44	0.7425	5,152,350,	4,245,373	3,996,969	4,158,673	3,951,603	2,847,787
45	0.7374	5,117,596	4,216,737	3,970,009	4,130,622	3,924,949	2,828,578
46	0.7325	5,083,077	4,188,294	3,943,230	4,102,760	3,898,474	2,809,499
47	0.7275	5,048,791	4,160,043	3,916,632	4,075,086	3,872,178	2,790,548
48	0.7226	5,014,736	4,131,983,	3,890,214	4,047,599	3,846,059	2,771,726
49	0.7177	4,980,910	4,104,112	3,863,973	4,020,297	3,820,117	2,753,030
50	0.7129	4,947,313	4,076,429	3,837,910	3,993,179	3,794,350	2,734,460
51	0.7081	4,913,942	4,048,932	3,812,023	3,966,244	3,768,756	2,716,016
52	0.7033	4,880,797	4,021,622	3,786,310	3,939,491	3,743,335	2,697,696
53	0.6986	4,847,875	3,994,495	3,760,770	3,912,918	3,718,085	2,679,499
54	0.6939	4,815,175	3,967,551	3,735,403	3,886,525	3,693,006	2,661,425
55	0.6892	4,782,696	3,940,789	3,710,207	3,860,310	3,668,096	2,643,473
56	0.6845	4,750,435	3,914,208	3,685,181	3,834,271	3,643,354	2,625,643
57	0.6799	4,718,393	3,887,806	3,660,324	3,808,408	3,618,779	2,607,932
58	0.6753	4,686,566	3,861,582	3,635,634	3,782,720	3,594,369	2,590,341
59	0.6708	4,654,954	3,835,535	3,611,111	3,757,204	3,570,125	2,572,869
60	0.6663	4,623,556	3,809,663	3,586,753	3,731,861	3,546,044	2,555,514
합계		**341,048,913**	**281,013,481**	**264,570,917**	**275,274,559**	**261,568,013**	**188,503,276**
%		100%	82%	78%	81%	77%	55%

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

라. CO2 배출 거래비

CO2 배출 거래비용을 산정하기 위해서는 제3장 2절 5에서 언급한바와 같이 전력소비량에 탄소배출환산 계수를 적용하여 산정된다.

<표 3.34>은 CO2 배출량을 산정한 표로, 에너지비에서 산정된 전력소비량을 제3장 2절 5에서의 탄소배출환산 계수를 적용하여 기존 및 대안별 연간 CO2 배출량을 비교 하여 나타낸 것이다. 분석결과 전력사용량에 따라 CO2 발생량이 변하는 것으로 분석되었다. 분석내용을 자세히 살펴보면, 연간 발생되는 CO2 배출량은 기존 시스템이 32,285,094 kgCO2/kwh 로 가장 배출량이 많았으며, 다음으로 M 냉방시스템, 26,609,067 kgCO2/kwh 가장 배출량이 많으며, 다음으로 AW 냉방시스템이 25,831,508 kgCO2/kwh로 두 번째, A 냉방시스템이 25,078,066 kgCO2/kwh로 세 번째, W 냉방시스템이 24,804,575 kgCO2/kwh로 네 번째이며, Multi 냉방시스템이 17,772,285 kgCO2/kwh으로 6개의 냉방시스템 중 가장 적은 CO2배출하는 것으로 나타났다.

<표 3.34> 냉방시스템별 연간 CO2 배출량

구분	기존시스템	기계식 (M)	외기식 (A)	외기냉수식 (AW)	수냉식 (W)	Multi
연간 전력소비량 [kWh]	74,280,080	61,220,934	57,698,477	59,431,962	57,069,240	40,889,668
탄소배출환산 [kgCO2/kWh]	0.43464					
CO2배출량 [kgCO2/kWh]	32,285,094	26,609,067	25,078,066	25,831,508	24,804,575	17,772,285

<표 3.35>는 탄소배출거래비용을 산정한 표로, <표 3.34>에서 산정된 CO2 배출량에 산업통상자원부에서 제시한 CO2 톤당 거래비용인 12,000원/TCO2를 적용하여 기존 및 대안별 연간 탄소배출 거래비용을 비교 분석 한 표이다. 분석 내용을 세부적으로 살펴보면, 연간 CO2배출량에 따라 기존시스템이 391,125,502원 으로 가장 많은 탄소배출 거래비용이 산정 되었다. ⅰ)M 냉방시스템이 341,112,456원으로 기존시스템과 비교 시 17.58% 절약된 거래비용을 보이는 것으로 나타났고, ⅱ) M_A 시스템은 278,231,566원의 탄소배출비용을 나타냈으며, 이는 기존 시스템 대비 22.32% 절약된 비용이었으며, ⅲ) M_AW 냉방시스템은 319,814,920원의 탄소배출비용이 예측되며, 이는 기존 시스템

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

대비 19.99%가 절감된 비용이고, ⅳ) M_W 냉방시스템은 307,491,724원의 탄소배출 비용이 예상되고, 기존 시스템대비 23.17%의 비용이 절감되었으며, ⅴ) Multi 냉방시스템은 기존시스템의 연간 탄소배출비용의 44.95% 수준인 223,313,298원의 연간 탄소배출비용이 나타나는 것으로 분석되었다.

<표 3.35> 냉방시스템별 연간 탄소배출비용 및 기존시스템대비 냉방시스템별 비율

구분	기존시스템	기계식 (M)	외기식 (A)	외기냉수식 (AW)	수냉식 (W)	Multi
탄소배출량 [TC02]	32,285.094	26,609.067	25,078.066	25,831.508	24,804.575	17,772.285
탄소배출 거래비용 [원/TC02]	12,000					
탄소배출 비용[천원]	391,125	341,112	278,231	319,814	307,491	223,313
기존시스템대비 비율	100.00%	82.42%	77.68%	80.01%	76.83%	55.05%

<표 3.36>는 각 냉방시스템별 탄소배출 거래비용 <표3.35>을 바탕으로 60년간 운영에 따른 현재가치의 합계금액을 분석한 결과이다. 분석결과에서 볼 수 있듯이, 60년간 운영을 가정하였을 때, ⅰ) 기존시스템이 19,039,878,797원으로 가장 많은 탄소배출비용이 소비되는 것으로 나타났으며, ⅱ) M 냉방시스템이 15,692,486,641원, ⅲ) M_AW 냉방시스템이 15,233,927,356원, ⅳ) M_A 냉방시스템이 14,789,591,130원, ⅴ) M_W 냉방시스템이 14,628,301,690원, ⅵ) Multi 냉방시스템이 10,481,064,784원으로 가정 적은 배출비용을 나타냈다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

<표 3.36> 냉방시스템별 연간 탄소배출비용 누적금액 (천원)

연도	기존시스템	기계식 (M)	외기식 (A)	외기냉수식 (AW)	수냉식 (W)	Multi
1	384,807	317,155	298,906	307,887	295,647	211,828
2	382,212	315,015	296,890	305,810	293,652	210,400
3	379,634	312,890	294,888	303,747	291,672	208,980
4	377,073	310,780	292,899	301,698	289,704	207,571
5	374,530	308,684	290,923	299,663	287,750	206,171
6	372,003	306,601	288,961	297,642	285,809	204,780
7	369,494	304,533	287,011	295,634	283,881	203,399
8	367,002	302,479	285,076	293,640	281,967	202,027
9	364,526	300,439	283,153	291,660	280,065	200,664
10	362,067	298,412	281,243	289,692	278,176	199,310
11	359,625	296,400	279,346	287,738	276,299	197,966
12	357,199	294,400	277,461	285,797	274,436	196,631
13	354,790	292,414	275,590	283,870	272,584	195,304
14	352,397	290,442	273,731	281,955	270,746	193,987
15	350,020	288,483	271,885	280,053	268,920	192,679
16	347,659	286,537	270,051	278,164	267,106	191,379
17	345,314	284,604	268,229	276,288	265,304	190,088
18	342,985	282,685	266,420	274,424	263,514	188,806
19	340,671	280,778	264,623	272,573	261,737	187,532
20	38,373	278,884	262,838	270,735	259,971	186,267
21	336,091	277,003	261,065	268,908	258,218	185,011
22	333,824	275,134	259,304	267,095	256,476	183,763
23	331,572	273,279	257,555	265,293	254,746	182,524
24	329,336	271,435	255,818	263,503	253,028	181,292
25	327,114	269,604	254,092	261,726	251,321	180,069
26	324,908	267,786	252,378	259,961	249,626	178,855
27	322,716	265,980	250,676	258,207	247,942	177,648
28	320,539	264,185	248,985	256,466	246,270	176,450
29	318,377	262,403	247,306	254,736	244,609	175,260
30	316,230	260,634	245,637	253,017	242,959	174,078
31	314,097	258,875	243,981	251,311	241,320	172,904
32	311,978	257,129	242,335	249,616	239,692	171,737
33	309,874	255,395	240,700	247,932	238,075	170,579
34	307,784	253,672	239,077	246,260	236,469	169,428
35	305,708	251,961	237,464	244,598	234,874	168,286
36	303,645	250,262	235,862	242,949	233,290	167,150
37	301,597	248,574	234,271	241,310	231,717	166,023
38	299,563	246,897	232,691	239,682	230,154	164,903
39	297,542	245,231	231,122	238,065	228,601	163,791
40	295,535	243,577	229,563	236,460	227,059	162,686
41	293,542	241,934	228,014	234,865	225,528	161,589
42	291,562	240,302	226,476	233,280	224,006	160,499
43	289,595	238,682	224,949	231,707	222,495	159,416
44	287,642	237,072	223,431	230,144	220,995	158,341
45	285,702	235,473	221,924	228,592	219,504	157,273
46	283,775	233,884	220,427	227,050	218,023	156,212
47	281,860	232,307	218,940	225,518	216,553	155,158
48	279,959	230,740	217,464	223,997	215,092	154,112
49	278,071	229,183	215,997	222,486	213,641	153,072
50	276,195	227,637	214,540	220,985	212,200	152,040
51	274,332	226,102	213,093	219,495	210,769	151,014
52	272,482	224,577	211,655	218,014	209,347	149,995
53	270,644	223,062	210,228	216,544	207,935	148,984
54	268,818	221,557	208,810	215,083	206,532	147,979
55	267,005	220,063	207,401	213,632	205,139	146,981
56	265,204	218,579	206,002	212,191	203,756	145,989
57	263,415	217,104	204,613	210,760	202,381	145,004
58	261,638	215,640	203,233	209,338	201,016	144,026
59	259,874	214,185	201,862	207,926	199,660	143,055
60	258,121	212,741	200,500	206,524	198,314	142,090
합 계	19,039,878	15,692,486	14,789,591	15,233,927	14,628,301	10,481,064

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3. 경제성 비용 분석 결과

가. CO2 배출 거래비용을 감안한 경제성 분석

<표 3.37>은 냉방시스템별 60년 사용을 중심으로 분석된 경제성 분석 결과이다. 표에서 보는 바와 같이, 본 연구에서 제안하는 멀티 외기냉방 시스템을 활용하면 기존 냉방시스템에 비해 약 69.78%의 비용만이 소요되는 것으로 나타났다. 보다 세부적으로 살펴보면,

설치비용의 경우, 기존의 냉방시스템에 비해 멀티 외기냉방 시스템이 높은 것으로 나타났고, (34,528,000 vs. 38,433,680천원)

수선비용 및 교체 비용 역시, 멀티 외기 냉각시스템의 구성요소의 다양함으로 인해, 높은 것으로 나타났다.

한편, 최종적으로 LCC분석결과에서 멀티 외기냉방 시스템이 훨씬 경제적으로 도출된 이유는 에너지 비용의 차이이다. 즉, 멀티 외기냉방 시스템을 활용하면 에너지 소비량 측면에서 큰 절감을 가져올 수 있기 때문에, 전체적인 LCC분석결과 약 30.22%의 비용을 절감 할 수 있는 것으로 계산되었다.

[그림 3.1]은 냉방시스템별 현재가치의 누적금액과 손익분기점을 나타낸 그림으로, 초기투자비가 대안들 보다 저렴했던 기존 공조시스템은 운영 3년 차에서부터 연간 수선비 및 에너지비로 인해 모든 대안시스템들이 기존 시스템을 역전 하는 것으로 나타났다.

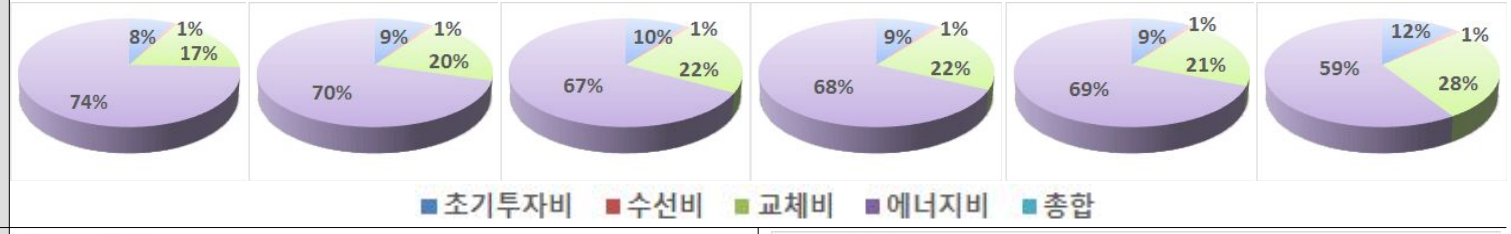
Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

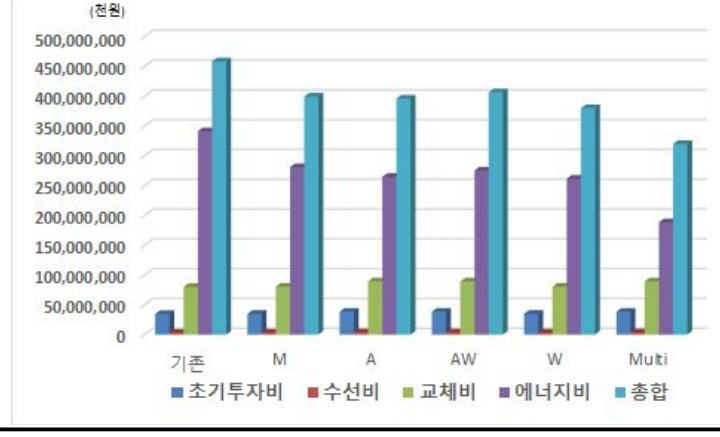
<표 3.37> 냉방시스템별 경제성분석 결과 (천원)

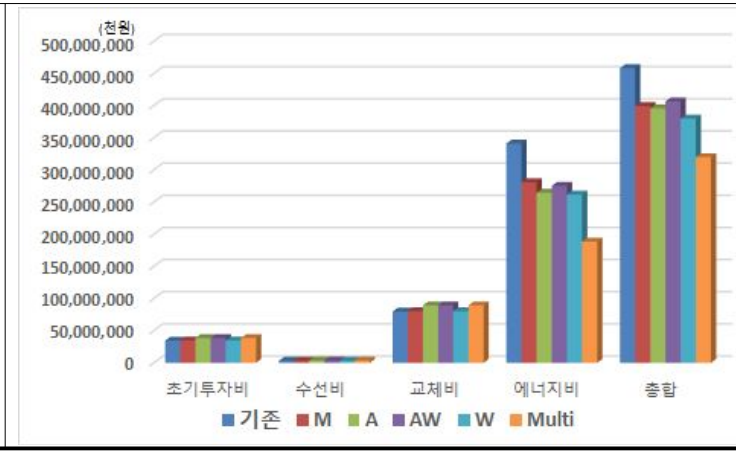
구분	기존	대안1	대안2	대안3	대안4	대안5
초기투자비	34,528,000	34,793,680	38,433,680	38,433,680	34,793,680	38,433,680
수선비	3,195,760	3,223,049	3,674,616	3,674,616	3,223,049	3,674,616
교체비	79,718,008	80,370,825	89,314,861	89,314,861	80,370,825	89,314,861
에너지비	341,048,913	281,013,481	264,570,917	275,274,559	261,568,013	188,503,276
비용총합	458,490,682	399,401,036	395,994,074	406,697,717	379,955,567	319,926,434
%	100.00%	87.11%	86.37%	88.70%	82.87%	69.78%

냉방시스템별 LCC분석 비용 비율



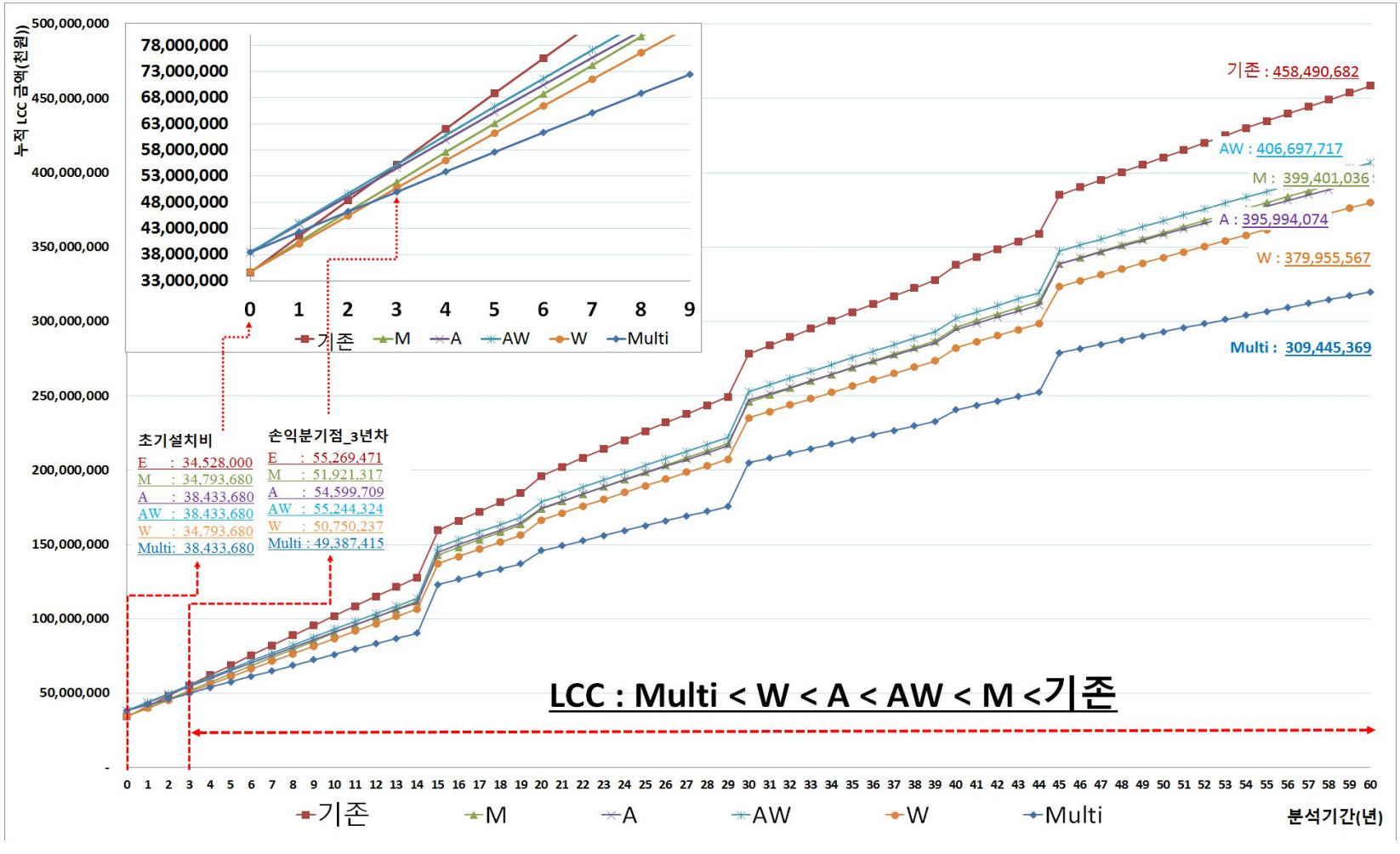
LCC 분석결과 그래프





Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



[그림 3.7] LCC 분석 60년 손익분기 그래프

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

나. CO2 배출 거래비용을 고려한 경제성 분석

<표 3.38>은 기존시스템 대비 냉방시스템별 탄소배출비용을 고려한 최종 경제성 분석결과를 보여주고 있다.

즉, 앞서 분석한 60년간 시스템별 탄소배출비용을 중심으로 각각의 냉방시스템의 경제성 분석결과를 다시 계산하였다. <표 3.38>에서 볼 수 있듯이, 기존 시스템대비 각 냉방시스템별 CO2발생에 따른 탄소배출비용의 60년간 누적액은 상대적으로 적은 비용으로 나타났기 때문에, 기존의 경제성분석결과 (표 3.36의 CO2비용 미고려)를 기반으로 기존 시스템대비 절감금액으로 인한 편익을 고려하여 경제성분석을 다시 수행하였다.

기존의 LCC분석결과는 지출액을 중심으로 계산된 반면, 탄소배출비용의 상대적 절감으로 인해 발생한 비용편익은 수익금액으로 볼 수 있다. 따라서 기존시스템 대비 각 시스템별 탄소배출비용을 해당 시스템의 비용편익으로 가정하여 경제성 분석을 다시 수행하였다.

표에서 볼 수 있듯이, 1) 기존시스템 대비 편익으로는 M 냉방시스템이 3,347,392,157원, 2) M_A 냉방시스템이 4,250,287,668원, 3) M_AW 냉방시스템이 3,805,951,441원, 4) M_W 냉방시스템이 4,411,577,107원, 5) Multi 냉방시스템이 8,558,814,014원이다.

이 결과를 활용하여, 탄소배출비용이 미고려된 부분과 고려하였을 경우를 비교해 보면, 표에서 보는 바와 같이, 기존시스템은 변화가 없으며, M 냉방시스템은 3,347,392,157원을 차감하여, 최종 396,053,644,167원이 되었으며 이는 약 0.73% 절감됨을 알 수 있다. 이와 같은 방식으로 M_A 냉방시스템은 4,250,287,668원으로 0.93%, M_AW 냉방시스템은 3,805,951,441원으로 0.83%, M_W 냉방시스템은 4,411,577,107원으로 0.96%, Multi 냉방시스템은 8,558,814,014원으로 1.87% 절감됨을 알 수 있다.

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

<표 3.38> 기존 시스템 대비 냉방시스템별 탄소배출 비용편익을 고려한 경제성분석 (천원)

구분		기존시스템	기계식 (M)	외기식 (A)	외기냉수식 (AW)	수냉식 (W)	Multi
탄소 배출 비용	60년간 누적비용	19,039,878	15,692,486	14,789,591	15,233,927	14,628,301	10,481,064
	기존시스템 대비 편익	0	3,347,392	4,250,287	3,805,951	4,411,577	8,558,814
LCC 비용	탄소배출 비용 미고려	458,490,682	399,401,036	395,994,074	406,697,717	379,955,567	319,926,434
		100.00%	87.11%	86.37%	88.70%	82.87%	69.78%
	탄소배출 비용 고려	458,490,682	396,053,644	391,743,787	402,891,766	375,543,990	311,367,620
		100.00%	86.38%	85.44%	87.87%	81.91%	67.91%

다. CO2 배출 거래비용을 고려한 연간비용편익

한편, <표 3.39>에서 제시된 60년간의 누적 현재가치와 더불어, 경제성 분석의 결과를 효율적으로 나타내기 위해 누적 현재가치를 연간비용으로 변환하였다. 이러한 연간비용을 계산하기 위해서는 아래의 산식을 활용하여, 현재의 비용 (P)와 이자율(i)를 바탕으로 연간의 균일한 비용으로 환산할 수 있다. 현가법과 마찬가지로, 발생비용의 연간가치로 환산하기 위해서는 계수를 활용하는데, 우선, 연간가치로 환산해야 할 비용이 현재의 금액일 경우 활용되는 계수는 아래와 같다.

현재비용에 대한 연간가치 환산계수 $$PP = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

위의 연간가치 환산계수와 앞서 <표 2.7.43>에서 제시된 60년간 누적금액을 곱하여, 60년간 누적금액에 상응하는 연간금액을 환산할 수 있으며, <표 2.7.44>는 연간비용으로 변환된 결과이다. 예를 들어, 기존냉방시스템의 “탄소배출비용을 미고려” LCC비용을 연간 금액으로 환산하면, 아래의 산식과 같이 산정할 수 있다.

$$9,329,312,412 = 458,490,682,918 \times \frac{0.0068(1+0.0068)^{60}}{(1+0.0068)^{60} - 1}$$

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

이상의 결과를 포함하여, 각 냉방시스템별 연간금액을 살펴보면,

▶ 탄소배출비용을 미고려한 냉방시스템별 연간비용은 기존시스템이 9,329,312,412원으로 가장 높으며, 그 다음으로 M시스템이 8,057,639,067원, M_AW 시스템이 8,275,435,480, M_A 시스템이 8,057,639,067원, M_W 시스템이 7,731,289,484원, Multi 시스템이 6,509,824,011원 순임을 알 수 있다.

▶ 탄소배출비용을 고려한 냉방시스템별 연간비용은 기존시스템은 동일하고, M 시스템이 탄소배출비용을 고려치 않았을 경우에 비해 68,112,327원 절감된 8,057,639,067원, M_AW 시스템이 77,443,035원 절감된 8,197,992,445원, M_A 시스템이 86,484,334원 절감된 7,971,154,733원, M_W 시스템이 89,766,232원 절감된 7,641,523,252원, Multi 시스템이 174,153,702원 절감된 6,335,670,309원 임을 알 수 있다.

<표 3.39> 냉방시스템별 연간 비용편익 분석결과 (단위: 천원)

구분		기존시스템	기계식 (M)	외기식 (A)	외기냉수식 (AW)	수냉식 (W)	Multi
LCC 비용	탄소배출 비용 미고려	458,490,682	399,401,036	395,994,074	406,697,717	379,955,567	319,926,434
		9,329,312	8,126,963	8,057,639	8,275,435	7,731,289	6,509,824
		100.00%	87.11%	86.37%	88.70%	82.87%	69.78%
	탄소배출 비용 고려	458,490,682	396,053,644	391,743,787	402,891,766	375,543,990	311,367,620
		9,329,312	8,058,851	7,971,154	8,197,992	7,641,523	6,335,670
		100.00%	86.38%	85.44%	87.87%	81.91%	67.91%
탄소배출비용 고려 시 연간금액 절감액		-	68,112	86,484	77,443	89,766	174,153

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제4장 민감도 분석

LCC분석은 미래에 발생하는 비용을 가정하고, 이들을 현재 혹은 미래의 어느 하나의 시점으로 통일하여, 여러 대안들의 경제적 성능을 평가하는 기법이다. 따라서 미래에 발생하는 비용에 대한 신뢰성을 확보하는 것이 매우 중요하다.[43] 이러한 관점에서, 이 연구에서는 미래 비용의 신뢰성을 높이기 위해, 1) 기존에 출간된 다양한 문헌을 조사하여 미래에 발생할 수선 및 교체주기에 대한 분석을 수행하였고, 2) 에너지 시뮬레이션을 통해 각 냉방시스템별 에너지소비량을 측정하였다. 이러한 노력들과 더불어, 경제성 분석결과에 대한 불확실성(Uncertainty)을 줄이기 위해 민감도 분석을 수행하였다.

민감도 분석은 기본적으로 LCC분석을 수행하는 과정에서 LCC분석결과에 영향을 미치는 다양한 요인들을 선정하고, 이들의 변화에 따라 LCC분석결과를 살펴봄으로써, 산정된 LCC분석 결과값의 신뢰성을 부여하는 방법론을 의미한다.[16] 따라서 이 연구에서는 3가지 측면에서 민감도 분석을 수행하였다.

- 민감도분석에서 필수적으로 수행되는 실질할인율의 변화에 따른 민감도 분석 (이자율과 물가상승율의 변화)
- 에너지 소비량의 변화에 따른 민감도 분석 (기후 환경에 따른 가동률의 변화)
- 유지보수 비용의 변화에 따른 민감도 분석 (재료비 및 인건비 상승의 요인 등)

43) Cho, K., Hong, Y., and Seo, J. (2014). "Assessment of the economic performance of vacuum insulation panels for housing projects," Energy and Buildings, Elsevier, 70, 45-51

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제1절 실질할인율 변화에 따른 LCC 변화

실질할인율은 앞서 설명한 바와 같이, 미래의 비용을 현재의 가치로 환산하기 위해, 명목할인율, 물가상승률 등을 바탕으로 산정되는 값을 의미한다. 이러한 실질할인율은 미래의 비용에 대한 현재의 가치를 결정하는 중요한 요소이기 때문에, LCC분석결과에 큰 영향을 미친다. 따라서 실질할인율을 설정하는 것은 매우 중요하다. 이 연구에서는 앞서 기술한 바와 같이, 과거 10년 동안의 데이터를 수집하고 이들의 평균값을 중심으로 실질할인율을 0.68%로 설정하였으나, 이 값은 Stochastic method에 의한 추정 값이기 때문에, 이 값의 변화에 따라 LCC 결과 값이 어떻게 변하는지를 분석해 보았다.

<표 4.1> 과 [그림 4.1]는 실질할인율이 0.68%를 중심으로 -10%, -5%, 5%, 10% 변할 때, LCC결과 값을 보여주고 있다. 연구에서 적용한 실질할인율 (0.68%, 원안)을 중심으로 실질할인율의 값을 변동하였을 때의 LCC분석 결과 값을 보여주는데, 표와 그림에서 보는 바와 같이 실질할인율의 변화에 따라 냉방시스템별 LCC의 크기는 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다.

▶ 원래의 실질할인율 값을 바탕으로 LCC분석결과 기존의 냉방시스템대비, 대안1 : 87.11%, 대안2 : 86.37%, 대안3 : 88.70%, 대안4 : 82.87%, 대안5 : 69.78% 정도를 나타냈고,

▶ 실질할인율이 -10% ~ 10%로 변함에 따라, 기존 냉방시스템 대비, 대안1 : 87.07% ~ 87.13%, 대안2 : 86.33% ~ 86.40, 대안3 : 88.67% ~ 88.73%, 대안4 : 82.85% ~ 82.90%, 대안5 : 69.72~ 69.82% 사이의 값을 보여주는 것으로 나타났다.

이는 기존의 원안을 넘지 않는 범위 내에 변화를 보였다.

▶ 따라서, 실질할인율의 변화에 따라 산정된 LCC결과 값은 기존 냉방시스템에 대한 변화를 주지 않았기 때문에, 영향을 받지 않는 것으로 판단할 수 있으며,

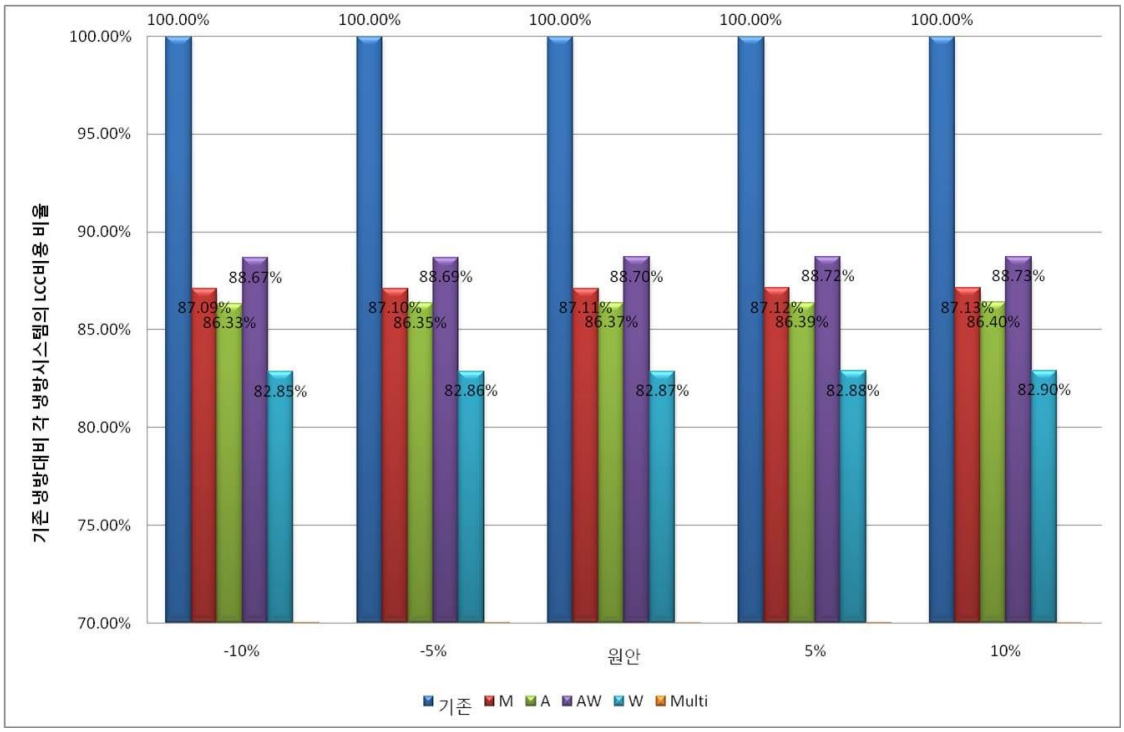
▶ 나아가, 본 연구에서 적용된 실질할인율 0.68%의 적용에 따른 불확실성은 해소된 것으로 볼 수 있다.

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

<표 4.1> 실질할인율 변화에 따른 민감도분석결과

냉방시스템	민감도분석 시나리오 1 : 실질할인율 변화									
	-10%		-%		원안		5%		10%	
	LCC	비율	LCC	비율	LCC	비율	LCC	비율	LCC	비율
기존	466,772,181	100%	462,604,161	100%	458,490,68	100%	454,430,919	100%	450,424,062	100%
M	406,527,166	87.09%	402,940,733	87.10%	399,401,036	87.11%	395,907,370	87.12%	392,459,045	87.13%
A	402,985,837	86.33%	399,467,113	86.35%	395,994,074	86.37%	392,566,037	86.39%	389,182,326	86.40%
AW	413,897,866	88.67%	410,274,246	88.69%	406,697,717	88.70%	403,167,573	88.72%	399,683,119	88.73%
W	386,703,119	82.85%	383,307,252	82.86%	379,955,567	82.87%	376,647,400	82.88%	373,382,098	82.90%
Multi	325,437,254,	69.72%	322,663,997	69.75%	319,926,434	69.78%	317,224,036	69.81%	314,479,066	69.82%



[그림 4.1] 민감도분석 시나리오에 따른, M시스템 대비 냉방시스템별 LCC값의 비율

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제2절 에너지소비량의 변화에 따른 LCC 변화

LCC 값에 가장 큰 비중을 차지하는 연간에너지 소비량을 중심으로, 이 값이 변할 때, 60년간의 에너지 비용의 변화를 살펴보았다. 실질할인율에서 적용한 방법과 동일하게, 분석된 에너지 소비량을 중심으로 (원안), 연간 에너지 소비량이 -10%, -5%, 5%, 10% 변할 때, 60년간의 에너지 비용의 변화를 <표 4.2>와 [그림 4.2]과 같이 분석하였다.

표와 그림에서 보는 바와 같이 연간에너지소비량의 변화에 따른 냉방시스템별 60년간의 에너지비용은 크게 변하지 않는 것으로 나타났다.

▶ 즉, 원래의 연간에너지소비량을 바탕으로 에너지비용을 분석한 결과 기존 냉방시스템대비, 대안1 : 84.09%, 대안2 : 80.68%, 대안3 : 83.53%, 대안4 : 78.91%, 대안5 : 60.42% 정도를 나타냈고,

▶ 연간에너지 소비량의 변화를 -10% ~ 10%로 변함에 따라, 기존 냉방시스템 대비, 대안1 : 84.25 ~ 83.95%, 대안2 : 80.99 ~ 80.42%, 대안3 : 83.81 ~ 83.29%, 대안4 : 79.13 ~ 78.72%, 대안5 : 60.94 ~ 59.99%의 사이의 값을 보여주는 것으로 나타났다. 이는 기존의 원안을 넘지 않는 범위 내에 변화를 보였다.

▶ 따라서, 연간에너지소비량의 변화에 따라 산정된 생애주기동안의 에너지비용은 큰 영향을 받지 않는 것으로 판단할 수 있으며,

▶ 이를 중심으로 계산되는 총 LCC비용역시 크게 영향을 받지 않을 것으로 판단된다.

▶ 따라서, 본 연구에서 적용한 연간 에너지소비량의 적용에 따른 불확실성은 해소된 것으로 볼 수 있다.

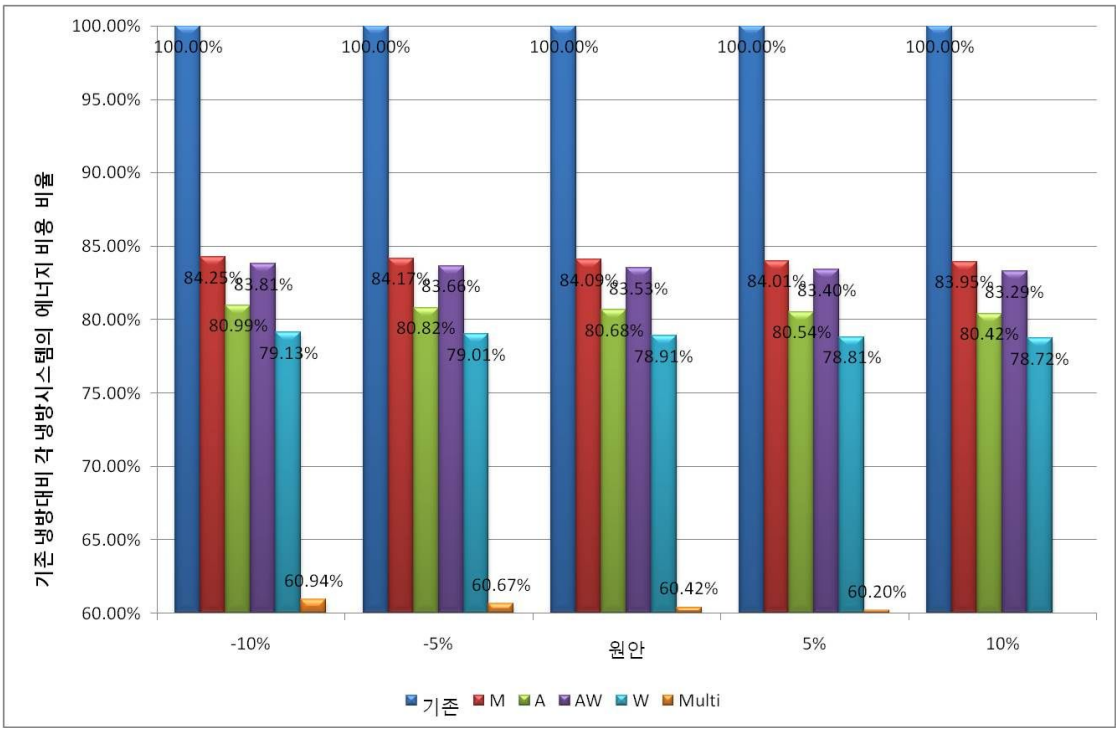
이상의 결과는 에너지비용이 LCC 값에 미치는 영향도가 매우 클 뿐만 아니라, 분석기간이 60년으로 길기 때문에 에너지비용의 변화가 전체 LCC에 미치는 영향이 적은 것으로 판단된다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

<표 4.2> 연간에너지비용의 변화에 따른 민감도분석결과

냉방 시스템	민감도분석 시나리오 2: 에너지비용의 변화									
	-10%		-5%		원안		5%		10%	
	LCC	비율	LCC	비율	LCC	비율	LCC	비율	LCC	비율
기존	341,472,022	100%	358,524,467	100%	375,576,913	100%	392,629,359	100.00%	409,681,804	100%
M	287,705,813	84.25%	301,756,487	84.17%	315,807,161	84.09%	329,857,835	84.01%	343,908,509	83.95%
A	276,547,505	80.99%	289,776,051	80.82%	303,004,597	80.68%	316,233,143	80.54%	329,461,689	80.42%
AW	286,180,783	83.81%	299,944,511	83.66%	313,708,239	83.53%	327,471,967	83.40%	341,235,695	83.29%
W	270,204,891	79.13%	283,283,292	79.01%	296,361,693	78.91%	309,440,093	78.81%	322,518,494	78.72%
Multi	208,086,629,	60.94%	217,511,793	60.67%	226,936,956	60.42%	236,362,120	60.20%	245,787,284	59.99%



[그림 4.2] 민감도분석 시나리오에 따른, 각 시스템별 생애주기 에너지비용 비율

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제3절 유지보수비용의 변화에 따른 LCC 변화

마지막으로, 유지보수비용의 변화에 따른 냉방시스템의 LCC변화에 대해 살펴보았다. 앞서 적용한 방법과 동일하게, 기존의 문헌을 중심으로 정의한 수선 및 교체비용의 원안을 중심으로, 이들의 값이 -10%, -5%, 5%, 10% 변할 때, 총 LCC 값의 변화를 <표 4.3>과 [그림 4.3]과 같이 분석하였다.

표와 그림에서 보는 바와 같이 유지보수 비용의 변화에 따른 냉방시스템별 60년간의 총 LCC비용은 역전이 생기지 않는 것으로 분석되었다.

▶ 즉, 원래의 유지보수비용을 바탕으로 총 LCC값을 분석한 결과 기존 냉방시스템 대비, 대안1 : 87.11%, 대안2 : 86.37%, 대안3 : 88.70%, 대안4 : 82.87%, 대안5 : 69.78% 를 나타냈고,

▶ 유지보수비용의 변화를 -10% ~ 10%로 변함에 따라, 기존 냉방시스템 대비, 대안1 : 86.86 ~ 89.39%, 대안2 : 85.89 ~ 90.65%, 대안3 : 88.27 ~ 92.59%, 대안4 : 82.54 ~ 85.85%, 대안5 : 69.00 ~ 76.81%의 사이의 값을 보여주는 것으로 나타났다.

이는 기존의 원안을 넘지 않는 범위 내에 변화를 보였다.

▶ 따라서, 유지보수비용의 변화에 따라 산정된 총 LCC 값은 큰 영향을 받지 않는 것으로 판단할 수 있으며,

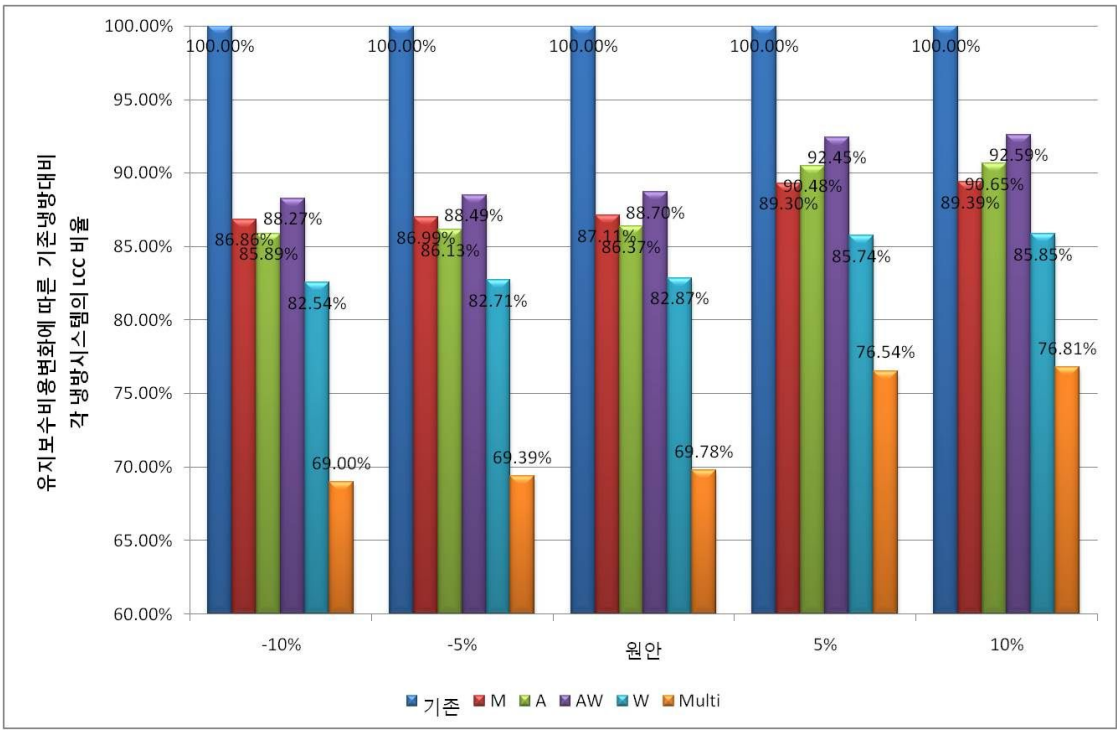
▶ 나아가, 본 연구에서 적용한 유지보수 비용 값에 불확실성은 해소된 것으로 볼 수 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

<표 4.3> 유지보수 비용의 변화에 따른 민감도분석결과

냉방 시스템	민감도분석 시나리오 3: 유지보수비용의 변화									
	-10%		-5%		원안		5%		10%	
	LCC	비율	LCC	비율	LCC	비율	LCC	비율	LCC	비율
기존	450,199,305	100.%	454,344,994	100.00%	458,490,682	100.00%	545,550,140	100.00%	549,695,829	100%
M	391,041,648	86.86%	395,221,342	86.99%	399,401,036	87.11%	487,174,604	89.30%	491,354,298	89.39%
A	386,695,127	85.89%	391,344,601	86.13%	395,994,074	86.37%	493,633,026	90.48%	498,282,500	90.65%
AW	397,398,769	88.27%	402,048,243	88.49%	406,697,717	88.70%	504,336,669	92.45%	508,986,143	92.59%
W	371,596,180	82.54%	375,775,874	82.71%	379,955,567	82.87%	467,729,136	85.74%	471,908,830	85.85%
Multi	310,627,486	69.00%	315,276,960	69.39%	319,926,434	69.78%	417,565,386	76.54%	422,214,859	76.81%



[그림 4.3] 민감도분석 시나리오에 따른, 각 시스템별 생애주기 유지보수비용 비율

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

민감도 분석결과, 다음과 같은 사항을 확인할 수 있었다.

▶ 냉방시스템의 종류에 관계없이, 각각의 총 LCC비용 중 에너지비용이 차지하는 비중이 매우 크기 때문에, 실질할인율의 변화는 분석된 LCC결과에 큰 영향을 미치지 못한다. 따라서 실질할인율의 설정에 따른 LCC비용의 결과는 신뢰할 수 있다.

▶ 한편, 연간에너지비용이 워낙 크고, LCC분석기간이 60년으로 길기 때문에, 연간에너지비용의 크기의 변화도 생애주기동안의 에너지비용값에 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다. 따라서 연구에서 LCC분석을 위해 적용한 연간에너지비용에 따른 냉방시스템별 LCC분석결과는 신뢰할 수 있다.

▶ 최종적으로, 본 경제성 분석에서 설정한 가정 사항들의 불확실성은 전체 LCC분석결과에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단되었으며, 이를 바탕으로 산정된 LCC 값을 신뢰할 수 있다.

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제5장 결론

데이터센터 공조시스템 냉방설비의 유형에 따른 경제성을 LCC기법을 활용하여 평가하였다. 평가결과, 본 연구에서 제시한 에너지절감 시스템 대안 중 5번의 멀티 외기냉방 시스템이 경제성 및 친환경성 측면에서 가장 우수한 것으로 분석되었다. 따라서 기존 데이터센터 공조시스템 냉방설비와 에너지절감 멀티 외기냉방시스템을 세부적으로 비교하면 다음과 같다.

▶ 냉방시스템 종류별 초기투자비(설치비용)는 기존 냉방시스템에 비해, 대안 시스템들이 높은 것으로 나타났다. (M: 0.8%, A: 11.3%, AW: 11.3%, W:0.8%, Multi 11.3%로 기존 시스템보다 높다.)

▶ 운영단계 비용 중, 연간 수선비용도 기존 공조시스템에 비해 대안 시스템들이 높은 것으로 나타났다. (M: 0.9%, A: 15%, AW: 15%, W: 0.8%, Multi: 15%로 기존시스템보다 높다.) 60년의 운영기간동안 누적 수선비용을 분석한 결과도 연간 수선비용과 유사하게 대안들이 높은 것으로 분석되었다.

▶ 운영단계 비용 중 교체비용 또한, 기존 공조시스템 보다 대안 시스템들이 높은 것으로 나타났다. (M: 0.8%, A: 12%, AW: 12%, W: 0.8%, Multi: 12%로 기존시스템 보다 높다.)

▶ 운영단계 비용 중 에너지비용에서는 기존의 냉방시스템 보다 대안 시스템들이 더 적게 나왔다.(M: 17.6%, A: 22.42%, AW: 19.29%, W: 23.3%, Multi: 44.72%로 기존시스템에 비해 대안시스템들이 에너지 절감효과가 뛰어나다.) 60년 운영기간동안 누적 에너지비용을 분석한 결과도 연간 수선비용과 유사하게 기존시스템에 비해 대안시스템들이 절감되는 것으로 분석되었다.

▶ 이상의 내용을 기반으로, 60년간 각각의 냉방시스템을 운영하는 것을 가정하였을 때, 기존 시스템에 비해 1) 대안1_기계식 공조시스템이 약 12.1%, 2) 대안2_외기냉방 공조시스템이 약13.6%, 3) 외기냉수 공조시스템이 약11.3%, 4) 수냉식 공조시스템이 약 17.2%, 5) Multi 공조시스템이 약 31.2% 경제적으로 우수한 것으로 분석되었다.

▶ 냉방시스템별 CO2 배출 비용을 기준으로 친환경성능을 평가한 결과, 기계식 공조

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

시스템 0.73%, 외기냉방 공조시스템 0.93%, 외기냉수 공조시스템이 0.83%, 수냉식 공조시스템이 0.96%, Multi 공조시스템이 1.87%의 절감 효과를 보였다.

이상의 내용을 종합하여 보면, 기계식 공조시스템 13.62%, 외기냉방 공조시스템 14.56%, 외기냉수 공조시스템이 12.13%, 수냉식 공조시스템이 18.09%, Multi 공조시스템이 32.09%로 Multi 공조시스템이 가장 많은 절감 효과를 확인할 수 있다.

본 연구를 통해, 데이터센터 전력사용은 에너지비용에 의해 크게 좌우되는 것을 확인 할 수 있었고, 이런 에너지비용을 기존 공조시스템과 에너지절감 공조시스템을 통해 절감 할 수 있음을 확인 할 수 있었다. 또한, 동일 규모의 같은 용량 설비들에 대한 냉방시스템 조합으로 냉방에너지 절감 효과를 다르게 할 수 있다는 것을 확인 하였다. 또한, 전력사용량에 따라 CO2 배출의 감소 영향을 확인 할 수 있었고, 최종적으로 냉방에너지의 사용량이 크게 절감되는 멀티 외기 공조시스템의 경제성 및 친환경성능에서 가장 우수한 것으로 확인 하였다.

따라서, 본 연구를 통해 데이터센터의 급증에 대한 전력사용의 증가를 어느 정도 해소 할 수 있을 것으로 사료된다.

향후, 데이터센터의 전력사용에 영향을 미치는 서버 룸의 전산장비를 추가 하여 연구를 진행한다면, 좀 더 높은 에너지절감 효과를 낼 수 있을 것으로 사료된다.
또한, 전력사용요금이 국내시장 보다 비교적 높은 국외를 대상으로 연구를 확장한다면, 연구가치의 상승은 물론, 전 세계 데이터센터의 에너지절감에 많은 기여를 할 수 있을 것으로 전망된다.

마지막으로, 기존 데이터센터를 대상으로 새로운 공조시스템에 대한 리모델링 측면의 연구를 진행 한다면, 현장적용성이 증가하여, 실무적 측면에서 기여가 될 것으로 전망한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

【참고문헌】

1. 국가법렵정보센터, 「건축물 등의 기준내용연수 및 내용연수범위표」, 법인세법시행규칙 [별표 5], 개정 2011.2.28.

2. 국토해양부 기술안전정책관, 「생애주기비용 분석 및 평가요령」, 국토해양부, 2008.

3. 기상청, 「지구온난화 온실가스의 특성」, 2013. (http://climate.go.kr)

4. 김세훈, 「외기냉수냉방 시스템의 에너지 성능과 경제성 분석에 관한 연구」,『박사학위논문』, 중앙대학교, 2005.

5. 김용수 외, 「LCC 기법을 이용한 신기술 냉·난방 공조설비 시스템의 경제성 분석에 관한 사례연구」, 『한국건설관리학회논문집』, 2006.

6. 김종수, 「대기로 배출되는 CO2 붙잡아 격리한다」, 한국과학기술연구원, 2008.

7. 김제영 외, 「멀티 외기냉방을 이용한 데이터센터의 에너지절약 시스템 개발에 대한연구」, 2014

8. 김춘동, 「대규모 실내체육관이 냉난방설비 시스템의 에너지성능 분석 및 경제성 평가에 관한 연구」, 『석사학위논문』, 대구가톨릭대학교 대학원, 2012.

9. 독일기술자협회, 「VDI 2067/40 Economic efficiency of building services installations」, 2013.

10. 박문선 외, 「오피스빌딩 냉난방시스템의 수명주기비용 분석에 관한 연구」, 『한국건설관리학회논문집』, 2006.

11. 박재형 외, 「LCC 및 LCCO2 분석을 통한 하이브리드 공조시스템의 경제성 및 친환경 성능평가」, 『학술발표대회논문집』, 대한건축학회, 2010.

12. 박태근, 「Life Cycle Cost 분석에 의한 공동주택의 최적설계 방법론에 관한연구」, 『박사학위논문』 서울대학교, 1992.

13. 백승효 외, 「지역냉방 도입을 위한 공동주택 세대내 냉방시스템 경제성 평가」, 『학술발표

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

대회논문』, 한국건축친환경설비학회 , 2010.

14. 백승효 외, 「지역냉방 도입을 위한 공동주택 세대 내 냉방시스템 대안별 경제성 평가」, 『학술발표대회 논문집』, 한국건축친환경 설비학회, 2009.

15. 변운섭, 「생애주기비용(LCC),가치공학(VE)분석을 통한 중소규모 건축물의 냉난방시스템에 관한연구」, 『석사학위논문』, 한양대학교 공학대학원, 2007.

16. 산업통상자원부 (http://www.motie.go.kr)

17. 설진호, 「LCC와 LCCO2 분석에 의한 전열교환 환기시스템과 바닥축열 환기시스템의 경제성 및 환경부하 평가」, 『석사학위논문』, 가천대학교, 2008.

18. 신명엔지니어링, http://www.smeng.co.kr

19. 이미지 출처 = http://blog.lgcns.com/881

20. 이송우, 「생애주기비용기법에 의한 고층 주거시설 최적 냉·난방 시스템평가에 관한연구」, 『석사학위논문』, 한양대학교 공학대학원, 2010.

21. 이일규, 「LCC분석을 통한 건축물의 친환경 냉·난방설비에 대한 경제성 분석」, 『석사학위논문』, 중앙대학교 건설대학원, 2011.

22. 장현재 외, 「데이터센터의 냉방에너지 사용량 50% 감축 가능한 공조시스템 개발」, 『보고서』, 홍익대학교, 2014.

23. 정문복, 「LCC기법을 이용한 부산지역 사무소 건물의 열원방식 비교연구」, 『석사학위논문』, 동의대학교 대학원, 2008.

24. 정종림 외, 「LCC분석에 의한 고층건물 설비시스템의 대안평가」, 『논문집』, 대한건축학회, 2003.

25. 조진균 외, 「최적 IT 환경제어를 위한 데이터센터의 냉각시스템 및 공기분배시스템 계획에 관한 연구」, 『대한건축한회지』, 대한건축학회, 2008.

26. 지디넷코리아, 「데이터센터 전력낭비 이대론 위험하다.」 2012. (http://www.zdnet.co.kr)

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

27. 최두성, 「건축물 열원설비에서의 LCA 적용에 관한 사례연구」, 『학회지』, 한국생활환경, 2008.

28. 한국전력공사, 「KEPCO in Brief」 2014

29. 한국IT서비스산업협회, 「국내외 IT시장전망」 KRG-ITSA 세미나, 2011.

30. 한국IT서비스산업협회, 「데이터센터 전력사용 증가량」, 2008.

31. 한국IT서비스산업협회, 「데이터센터 정의 및 분류체계」, 2008.

32. 한국은행 경제통계시스템, (http://ecos.bok.or.kr)

33. 홍두표, 「건축물 냉난방시스템 선정을 위한 VE/LCC 평가모델에 관한 연구」, 『석사학위논문』, 경기대학교 건설·산업대학원, 2009.

34. ASHRAE. 「Datacom Equipment Power Trends and Cooling Application.」, 2005.

35. ASHRAE, 「ASHRAE Handbook Application」, 1999.

36. Dell'Isola, A.J. and Kirk, S.J 「Life Cycle Costing for Facilities」, 『Construction Publishers & Consultants』, Kingston, MA. 2003.

37. Hong, T., and Hastak, M.「MEMRRES: Model for Evaluating Maintenance, Repair, and REhabilitation Strategies in concrete bridge decks.」 Journal of Civil Engineering and Environmental Systems, Elsevier, 2005.

38. ITU-T FG ICT&CC, 「Direct and indirect impact (on energy) of ITU-T standards」, 『보고서』, 2008.

39. Li, W., Zhu, J., and Zhu, Z. 「The Energy-saving Benefit Evaluation Methods of the Grid Construction Project Based on Life Cycle Cost Theory」 『Energy Procedia 17, 227-232』, 2012.

40. Stephen A. Ross, Randolph W. Westerfield, and Bradford D. Jaffe, 「Corporate Finance」, 6th edition, McGraw Hill, New York, 2003

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

41. U.S Department of Energy, 「U.S Data Centers Save Energy Now, Industrial Technologies Program」, D.O.E/energy efficiency and renewable energy, 2009.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

감사의 글

2006년 시작한 대학생활이 어느덧 석사라는 마침표로 끝을 보이고 있습니다. 설레임과 두려움으로 시작했던 건축학부 학부생 시절의 7년, 학부생 때보다 짧지만 더 오래된 듯한 대학원 석사과정의 3년이 주마등처럼 머릿속을 스치고 지나갑니다. 지난 시간들을 돌이켜 생각해 보면 많은 아쉬움과 후회가 남습니다. 학업적 성취를 많이 이루지 못한 아쉬움도 크지만, 학업 및 도움을 주신 분들께 감사의 마음을 제대로 전하지 못한 것이 후회가 됩니다. 이를 기회삼아 지면을 통해서나마 감사의 마음을 전해 보겠습니다.

우선, 학부생 졸업과 더불어 석사과정의 지도까지 물신양면 도움을 주신 **조 규 만** 지도교수님께 감사의 말씀을 전하고 싶습니다. 아마도 교수님의 배려와 관심덕분에 제가 여기까지 올 수 있었던 것 같습니다. 목표를 세우고 매사에 충실히 임하면, 좋은 결과가 있을 거라고 하셨던 교수님의 말씀을 세기며, 앞으로의 더 큰 무대에서 빛을 바랄 수 있는 인재가 되도록 노력 하겠습니다. 마지막으로, 끝까지 기회를 주셔서 너무 감사합니다.

흔쾌히 논문심사 위원장이 되어주시고 때로는 날카롭게, 때로는 다정다감하게 논문심사 지도를 해주신 **황 태 연** 교수님, 응원을 아낌없이 주시고 꼼꼼히 논문을 심사해주신 **김 태 훈** 공동지도 교수님 정말 감사합니다. 교수님의 가르침을 세기면 매사에 정진할 수 있도록 노력하겠습니다.
또한, 건축의 지식을 공유해주신 **김의식** 교수님, **최재혁** 교수님, **조창근** 교수님, **김형기** 교수님, **신응주** 교수님, **김경원** 교수님께 감사드립니다.

그리고, 저를 이 자리에 있게 만들어 주신 사랑하는 저의 **어머니**. 모든 것을 저에게 내어주신 어머님의 희생을 가슴속에 새기며, 인생에 모난 부분 없는 효자가 되도록 노력하겠습니다. 항상 툴툴 거리지만 지원을 아끼지 않는 세상에 하나 뿐인 우리 **누나**, 이런 누나를 옆에서 지켜주는 **매형**, 항상 에너지를 주는 조카 **은찬**, **은우** 고맙습니다. 물질적 정신적 힘을 주는 **큰 외삼촌, 작은 외삼촌** 그리고 뒤에서 서포트 해주시는 **큰 외숙모**, **작은 외숙모** 언급 안했으면 서운해 하실꺼지요? 나를 많이 생각해주는 우리 **이모**, 그리고 결혼 후 얼굴이 많이 좋아진 **막내외삼촌**, **막내외숙모,** 나의 든든한 기둥

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

인 군 복무중인 우리 **김원,** 4차원 말괄량이 아가씨 **김민영**, 나이차이가 조금 있지만 아끼는 사촌동생 **김시원**, **김래원**, 그리고 자주 못 보지만 마음속에 있는 **정유찬** 고맙습니다. 제가 힘들 때 마다 응원해주시고, 진로상담을 해주신 가장 좋아하는 **작은아버지,** 건축으로 이끌어주셔서 감사합니다. 말없이 옆에서 지켜봐주던 사촌형 중 가장 좋아하는 **김동안** 형 고맙습니다. 이 외에도 언급하지 못한 많은 가족 및 친척분들에게 감사의 인사를 전하고 싶습니다.

저의 동반자이자 힘이되어주고, 추억을 공유할 수 있는 고등학교 클래식기타 29기 동기들, 김선웅, 이대한, 이봉은, 이재환, 임용휘, 최세원 따로 말하지 않아도 잘알지? 항상 붙어 생활하던 그때가 그립구나.

연구실 초기에 많은 조언을 해주던 철근콘트리트복합구조 연구실 **임현진** 선배님, 형님과 고민상담하던 시간이 좋았었는데, 덕분에 고민이 많이 줄었어요. 그리고, 학교 업무적으로 도움을 많이 준 **문형주** 선배님, 형님 힘내요!, 이상하게 나와 비슷한 체형으로 말하지 않아도 뭔가 마음이 통하는 강구조·내진공학연구실 **장정현** 선배님, 아직도 귀에 멜로디가 들릴 것 같은 이름을 자주 부르던 **정시정** 선배님, 에티오피아 **다니엘** 형 이 외에 많은 도움을 주신 대학원 선, 후 배님 감사합니다.

대학교 선,후배로 만나 대학원 동기가 된 우리 **신영수**. 형이 너를 보고 많은 것을 배우고 느꼈다. 초기 연구실 멤버로 남다른 애착이 가는구나, 너는 미국에 가서도 잘 할 수 있을 거야. 힘내고, 형이 약속했던 김치는 꼭 보내줄게, 안되면 다른거라도. 그것도 안되면 싸들고 가마. 또한, 연구실 생활에 활력을 불어 줬던 **민가영**, **한지현**, **민수지**, **김현재** 졸업한 학부생과 현재 같이 생활하고 있는 **김재훈**, **정승진** 학부생, 같은 석사의 길을 가고 있는 **김재성**, **이지현**, 그리고 석사 길을 가려고 준비중인 **김정우**에게 감사의 말을 전합니다.

말없이 지켜봐주셨던 조대 팀맥 **박종국** 관장님, **김민성** 부관장님, **하상곤**, **박상욱**, **임준영**코치에게도 감사의 말을 전합니다. 또한 우리 팀맥 식구들 모두에게도 감사의 말을 전합니다.

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

마지막으로 이 많은 분들과, 여기에 언급하지 못한 분들에게 다시 한번 감사의 말씀을 전하며, 현재의 경험이 인생의 밑거름이 되어 좀 더 성숙하고 발전된 제가 될 수 있도록 오늘도 노력하겠습니다. 감사합니다.

2016년 2월

김 동 필 올림

dCollection @ chosun