

# 데이터센터의 외기도입 냉방시스템 적용에 따른 경제성 평가

## Economic Evaluation of Air-side Economizer System for Data Center

박성현(Seonghyun Park)<sup>1</sup>, 서장후(Janghoo Seo)<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>국민대학교 대학원 건축학과, <sup>2</sup>국민대학교 건축학부/테크노 디자인 대학원

<sup>1</sup>Department of Architecture, Graduate School of Kookmin University, Seoul 136-702, Republic of Korea

<sup>2</sup>School of Architecture/The Graduate School of Techno Design, Kookmin University, Seoul 136-702, Republic of Korea

(Received September 23, 2013; revision received December 2, 2013; Accepted: December 5, 2013)

**Abstract** Many studies are being conducted with the aim of reducing the energy consumption in data centers, which are one of the highest consumers of energy. The use of an air-side economizer system that uses external air during intermediate and winter seasons is being considered for reducing the energy consumption of air conditioners. In this study, using the energy simulation, we evaluated the energy performance of a central chilled water cooling system and air-side economizer system in domestic data centers. Further, the cost-effectiveness of the air-side economizer was analyzed through Life-Cycle Cost Analysis. The results showed that with the use of air-side economizer systems, the energy costs increased as the applied filter grade increased; however, unlike existing central chilled water systems, it would break even within 2 years.

**Key words** Data center(데이터센터), Air-side economizer system(외기도입 냉방시스템), Economic evaluation (경제성 분석), Sensitivity analysis(민감도 분석)

† Corresponding author, E-mail: seojh@kookmin.ac.kr

## 1. 서 론

### 1.1 연구배경 및 목적

최근, 에너지 다소비성 건축물 중의 하나인 데이터센터의 에너지 사용량 절감을 위해 많은 연구가 진행되고 있다.<sup>(1-3)</sup> 데이터센터는 서버와 스토리지를 설치하고, 운영하는 장소로 고도화된 시스템을 갖추어 개인 및 기업을 위한 웹 호스팅 관련 데이터 서비스 등을 제공하는 곳으로 대규모 데이터센터의 경우는 크게 서버 룸, 전산실, 전력변환실, 운영실 그리고 소화가스실로 이루어져 있다. 이 중 서버 룸은 Rack으로 구성된 서버들이 자리하는 곳으로 안정적인 운영을 위해서는 서버로부터 발생하는 열을 제어하여 서버의 오작동 초래를 방지해야 한다. 이를 위해 대규모 데이터센터의 경우, 총 에너지 소비량의 약 40%가 서버의 냉각을 위해 소비되는 것으로 나타나고 있다.<sup>(4)</sup> 따라서, 데이터센터의 열원 측면에서 에너지 소비량 절감을 위한 방안으로 중간기 및 동절기에 외기를 직접적으로 서버룸 내에 도입하여 냉방효과를 얻을 수 있는 외기도입 냉방시스템이 주목받고 있다. 그러나 에너지 성능 개

선이 뛰어난 시스템이라 하더라도 전 생애주기 동안 경제성을 확보하지 못한다면 이는 또 다른 경제적 손실을 초래할 것으로 판단된다. 이에 본 연구에서는 국내 데이터센터를 대상으로 기존 중앙냉수 냉방시스템 및 외기도입 냉방시스템 적용에 따른 에너지 성능개선 효과를 검토하였다. 또한, 초기투자 비용, 운전 및 보수 비용 등을 고려한 LCC(Life cycle cost) 분석을 수행하여 데이터센터의 외기도입 냉방시스템 적용에 따른 경제성을 검토하였다.

### 1.2 연구 방법

본 연구의 대상 건물인 데이터센터의 경우, 냉방시스템의 전력소비량이 매우 큼에 따라 연간 전력사용 비용이 LCC 분석에 큰 영향을 미치게 된다. 이에 본 연구에서는 TRNSYS 17.0<sup>(5)</sup>를 이용한 동적에너지 시뮬레이션을 수행하여 냉방시스템별 전력소비량을 정량적으로 도출하였으며, 이에 따른 연간 전력사용 비용을 산출하여 경제성 분석 비용에 반영하였다. LCC 분석은 미래의 가치를 현재의 가치로 환산하는 현재가치법을 사용하였으며, 불확실한 미래상황을 감안하여 민

감도 분석을 실시하였다.

## 2. 데이터센터 냉방시스템별 에너지 성능

### 2.1 데이터센터 서버 룸의 냉방부하 산출

LCC 분석을 위한 전력사용 요금을 산출하기 위해서는 선행적으로 각 냉방시스템의 에너지 소비량을 전력 소비량으로 전환하여 예측해야 한다. 이에 따라 본 연구에서는 선행 시뮬레이션으로 데이터센터 서버 룸에서 발생하는 냉방부하량을 산출하였으며, 그 값을 다시 냉방시스템의 담당부하로 설정하여 각 냉방시스템별 전력소비량을 산출하였다. Table 1은 대상 데이터센터 서버 룸의 연간 냉방부하량 산출을 위한 경계조건을 나타낸다. 목동에 위치한 OO 데이터센터로 국내에서 첫 ‘그린데이터인증’을 부여 받았으며, 지하 4층에서 12층의 규모로 연면적은 약 65,000 m<sup>2</sup>, 서버 룸은 총 9개 층으로 구성되어 있다. 시뮬레이션 수행시간은 8,760시간이다.

Fig. 1은 냉방부하량 산출 시뮬레이션 결과를 나타낸다. 시간당 최소 약 18,000 kW, 최대 약 24,000 kW 범위에서 서버의 부하율에 따라 변화하는 것으로 나타났으며, 외기 온도에 의한 영향은 거의 받지 않는 것으로 나타났다. 이는 서버랙으로부터 발생하는 열이 전체 냉방부하량에 차지하는 비중이 큼에 따라 외기에 의한 데이터센터의 외피부하가 전체 냉방부하 변화에 영향을 미치지 못했기 때문이다. 그러나 냉방시스템의 에너지 소비량은 외기온도에 직접적으로 영향을 받게 됨으로 이를 고려하여 각 냉방시스템의 에너지 소비량을 산출하여야 한다.

### 2.2 데이터센터 냉방시스템별 에너지 소비량

Table 2는 외기도입 냉방시스템의 경제성 평가를 위한 대안별 냉방시스템 및 구성조건을 나타낸다. ALT 1은 대조군으로 기존 중앙냉수 냉방시스템으로 설정되었다. ASHRAE Standard 52.2(2007a)에서는 데이터센터의 외기도입 냉방시스템 적용 시 사용되는 필터의 등급을 MERV(Minimum Efficiency Reporting Value) 지표를 사용하여 장려하고 있으며, 11급에서 13급을 서버 룸 유입 공기개선을 위한 필터등급으로 제안하고, 최소 8급 이상의 필터를 사용하도록 권장한다.<sup>(6)</sup> 이에 따라 ALT 2~ALT 4는 ASHRAE 허용 및 권장범위 등 총 3가지 종류의 필터를 적용한 것으로 설정하여 외기도입 냉방시스템의 적용 필터에 따른 에너지 소비량 변화를 분석하였다. 외기도입 냉방시스템의 가동 조건은 필터에 관계없이 외기 엔탈피가 34.3 kJ/kg 이하일 경우로, 이

Table 1 Boundary conditions of simulation

IT equipment heat load	Converted value of server heat 2,880 kW×9(floor)
Server operation schedule	Applied for each hour Load of each hour is 0.7~1.0
Lighting load	16 W/m <sup>2</sup> ×2,250 m <sup>2</sup> (floor area)
People load	Personnel/daily schedule of 20 residing personnel
Weather data	Seoul, Korea (obtained from TRNSYS)

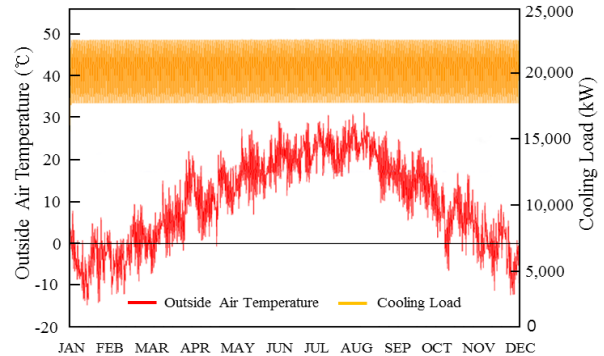


Fig. 1 Annual outdoor temperature and cooling load of server room.

Table 2 Operation conditions of HVAC system

	ALT 1	ALT 2	ALT 3	ALT 4
Equipment system	Central chilled water cooling	Air-side economizer		
Applied filters	-	Prefilter	Medium filter	HEPA filter
Enthalpy control	-	On < 34.3 kJ/kg		
Outdoor air supply fan	-	11 kW×748 Unit		
Chiller	765 kW×8 Unit			
Cooling tower	123 kW×8 Unit			
Water Cooling pump	110 kW×8 Unit			
CRAH	160 kW×8 Unit			
	7.5 kW×324 Unit			

같은 CRAH에서 서버 룸으로 취출되는 공급기류에 대한 장치노점온도 상태(13°C, 90%)의 엔탈피이다. 또한, 외기를 이용할 수 없는 경우에는 기존과 동일하게 중앙냉수 냉방시스템이 가동되도록 On/Off 제어된다.

TRNSYS를 이용하여 예측한 각 대안별 냉방시스템의 에너지 소비량을 월별 전력소비량으로 환산한 값은 Table 3과 같다. 중앙냉수 냉방시스템의 경우, 동절기(12월~2월) 전력소비량이 가장 낮은 것으로 나타났다. 이는 외기 습구온도가 상대적으로 낮은 동절기, 냉각탑에서 냉동기로 유입되는 냉각수의 온도가 낮아져 Fig. 2의 터보냉동기 성능곡선에 따라 냉동기의 COP가 표준상태(냉각수의 냉동기 입구온도 30℃, 냉동기의 냉수 설정온도 7℃) COP값 6보다 다소 높게 형성되었기 때문이다. 따라서 동일한 양의 5℃ 냉수를 생산하기 위한 냉동기의 소비전력도 감소하게 된다. 외기도입 냉방시스템이 적용된 ALT 2~ALT 4의 경우에는 외기 온도가 낮은 동절 및 중간기에 중앙냉수 냉방시스템을 가동하지 않음에 따라 전력소비량이 큰 폭으로 감소되는 것으로 나타났다. 그러나 MERV 등급이 높을수록 압력손실에 따른 외기 도입용 팬의 동력이 증가됨에 따라 연간 총 전력소비량 절감율은 ALT 1안 대비 각각 48%, 46%, 40%로 나타났다. 또한, 외기도입 냉방시스템은 적용된 필터의 막힘에 따른 차압변화와 최종압력(막힘점)에 도달하면 필터를 교체해 주어야 한다. 따라서 본 연구에서는 냉방시스템 가동 시간을 고려한 적용 필터별 막힘점을 예측하여 교체주기 및 전력소비량을 산출하였으며,<sup>(7)</sup> 그 결과는 Fig. 3에 나타낸다. HEPA filter가 적용된 ALT 4의 경우, 11월경 필터가 교체됨에 따라 일시적으로 Medium filter가 적용된 ALT 3의 필터차압보다 낮아져 11월의 냉방시스템 전력소비량 또한 역전되는 것으로 나타났다.

### 3. 데이터센터 냉방시스템별 경제성 평가

#### 3.1 경제성 분석 개요

외기도입 냉방시스템의 경우, 외기 온도가 낮은 동절기 및 중간기에 외기를 직접적으로 서버 룸으로 도입함으로써 데이터센터에서 소비되는 냉방시스템의 에너지 소비를 개선시킬 수 있다. 그러나 에너지 성능이 우수한 냉방시스템이라 하더라도 초기투자 및 유지·보수비용이 많아 생애주기 동안 경제성을 확보할 수 없다면 이는 또 다른 경제적 손실을 초래하게 된다. 이에 본 연구에서는 미래의 가치를 현재의 가치로 환산하여 비용을 산출하는 현재가치법<sup>(8)</sup>을 이용, 냉방시스템 생애주기를 20년으로 가정하여 경제성 분석을 수행하였다.

Table 4는 기존문헌<sup>(9)</sup> 및 시장조사 결과를 바탕으로 산정된 각 대안별 초기투자비용 및 유지·보수 비용을 나타내며, 외기도입 냉방시스템의 경우 기존 중앙냉수 냉방시스템 대비 약 17%의 초기투자 비용이 증가하는 것으로 나타났다. 반면, 외기도입 냉방시스템의 필터

Table 3 Energy consumption for each alternative

Month	Monthly energy consumption(kWh)			
	ALT 1	ALT 2	ALT 3	ALT 4
JAN	7,109,789	250,052	413,180	754,980
FEB	6,652,675	289,841	515,348	958,959
MAR	7,148,190	545,975	933,647	1,636,557
APR	7,123,371	2,454,159	3,017,956	3,940,806
MAY	7,607,383	6,267,644	6,583,843	7,070,732
JUN	7,597,532	7,549,193	7,567,475	7,594,945
JUL	8,148,724	8,148,724	8,148,724	8,148,724
AUG	8,194,693	8,194,693	8,194,693	8,194,693
SEP	7,545,631	7,107,936	7,226,303	7,407,347
OCT	7,458,349	4,199,232	4,799,262	5,078,946
NOV	6,971,262	867,262	1,625,874	1,593,434
DEC	6,884,912	403,786	926,628	1,121,844
Total	88,442,510 (100%)	46,278,496 (52%)	49,952,933 (54%)	53,501,967 (60%)

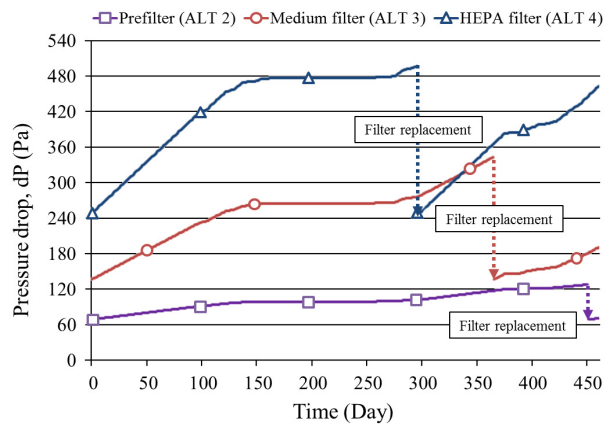


Fig. 2 Chiller performance curves.

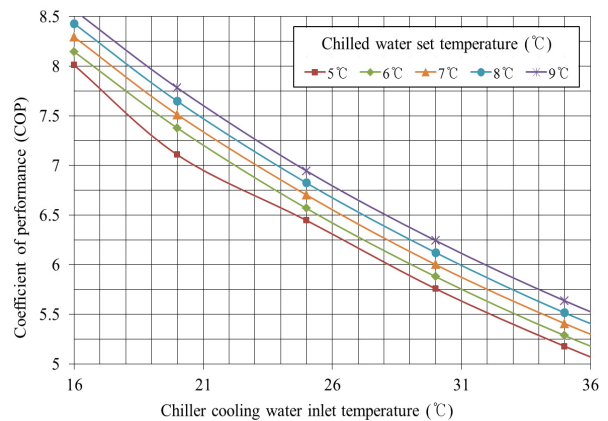


Fig. 3 Pressure drop of each filter with elapsed time.

Table 4 Initial and maintenance cost of each alternative

Alternative	System-related cost(10 <sup>3</sup> ×Won)-February 2013					
	Equipment cost	HVAC cost	Automatic control cost	Other expenses	Equipment maintenance cost(Repair cycle)	Filter replacement cost(Repair cycle)
ALT 1	13,837,243	5,432,151	215,523	946,803	1,383,724	-
	Total initial cost(Rate of increase)			20,431,720(-)	(2 year)	
ALT 2	16,337,243	6,432,151	315,523	996,803	1,633,724	124,431
	Total initial cost(Rate of increase)			24,081,720(17%)	(2 years)	(1 year)
ALT 3	16,337,243	6,432,151	315,523	996,803	1,633,724	203,910
	Total initial cost(Rate of increase)			24,081,720(17%)	(2 years)	(1 year)
ALT 4	16,337,243	6,432,151	315,523	996,803	1,633,724	380,208
	Total initial cost(Rate of increase)			24,081,720(17%)	(2 years)	(1 year)

교체주기는 연간 단위로 평가되는 LCC 분석 특성을 고려하여 1년 주기로 설정하였으며, 이에 따라 막힘점 예측에 따른 교체주기에 대응하도록 각 필터별 교체비용을 환산하여 적용하였다.

본 연구에서는 데이터센터의 각 대안별 연간 전력 소비량 계산치를 바탕으로 전력사용 요금을 산정하였으며, 요금 산출 기준은 (주)한국전력공사의 2013년 고시요금으로 계절별 시간대에 따른 부하변동을 고려하였다.

Table 5는 각 대안의 월별 전력사용 요금을 나타낸다. Medium filter가 적용된 ALT 3의 경우 전력사용 요금이 ALT 1 대비 56%로 전력사용량에 대비하여 2% 높은 것으로 나타났다. 이는 연간 전력사용 요금이 높은 동절기에 외기도입 팬의 동력증가에 따른 요금 상승 반영분이 다른 대안에 비해 높았기 때문이다.

본 연구에서는 등가환산 방법을 적용하여 LCC 분석을 수행함으로써 현재가치를 기준으로 산정된 각 금액은 시간변화에 따른 화폐가치의 변화를 고려해야 한다. 이에 따라, 물가조사를 통하여 실질할인율을 파악하고 이를 적용하여 각 비용을 산출하였다. 또한, 산업 분야에 따른 물가지수는 서로 상이함으로 전력사용 요금과 유지·보수 및 교체 비용을 각각 별도로 산정하여 적용하였으며, Table 6에 나타낸다.

### 3.2 경제성 평가 및 민감도 분석

Fig. 4는 냉방시스템의 생애주기 20년 동안의 대안별 연간 누적 비용에 따른 손익분기점 산출 결과를 나타낸다. Prefilter가 적용된 ALT 2의 경우, 손익분기점이 약 1.1년으로 나타났으며, 필터의 MERV 등급이 높은 대안일수록 필터교체 비용 및 전력사용 요금 상승에 따라 손익분기점도 증가하였다. 외기도입 냉방시스템의 초기투자 비용이 중앙냉수 냉방시스템 대비 17% 많음에도 불구하고, 이처럼 손익분기점이 필터적용에 관계

Table 5 Electricity charge of each alternative

Month	Electricity charge(10 <sup>3</sup> ×Won)			
	ALT 1	ALT 2	ALT 3	ALT 4
JAN	704,442	25,936	42,297	76,302
FEB	659,204	30,197	52,830	96,957
MAR	539,308	43,266	72,886	126,205
APR	533,774	197,096	238,918	306,906
MAY	570,513	485,632	506,048	537,372
JUN	569,760	567,154	568,140	569,620
JUL	844,012	844,012	844,012	844,012
AUG	856,708	856,708	856,708	856,708
SEP	565,955	539,951	547,122	558,064
OCT	559,226	333,791	376,191	393,112
NOV	693,242	94,474	171,608	168,312
DEC	682,305	41,620	93,724	113,041
Total	7,778,449	4,059,838	4,370,484	4,646,611

Table 6 Volatility and real rate of interest

Year	Deposit rate	Maintenance and replacement costs		Electricity charge	
		Volatility Price index (2010 = 100)	Real rate of interest	Volatility Price index (2010 = 100)	Real rate of interest
2005	3.6%	3.2%	0.4%	-0.8%	4.4%
2006	4.4%	0.1%	4.3%	1.5%	2.9%
2007	4.9%	0.8%	4.1%	0.4%	4.5%
2008	5.6%	12.1%	-5.8%	0.0%	5.6%
2009	3.6%	-1.8%	5.5%	0.0%	3.6%
2010	3.7%	4.3%	-0.6%	0.8%	2.9%
2011	3.9%	9.0%	-4.7%	2.0%	1.9%
2012	3.6%	-0.4%	4.0%	2.1%	1.5%
Ave	4.2%	3.4%	0.8%	0.8%	3.4%

없이 2년 안으로 나타나는 것은 전력사용 요금에 냉방시스템의 생애주기비용에 차지하는 비중이 크에 따라 외기도입 냉방시스템에 의한 전력소비량 저감효과가 연간 누적비용 절감에 큰 영향을 미쳤기 때문이다.

반면, LCC 분석은 미래비용을 예측함에 따라 불확실성을 가지게 되며, 특히 실질할인율은 LCC 분석 결과에 큰 영향을 미치는 요소가 됨으로 이를 고려하여 분석결과에 대한 신뢰성을 확보하여야 한다. 이에 본 연구에서는 생애주기비용에 대한 비중이 가장 높은 전력사용 요금에 대하여 실질할인율 3.4%를 기준으로 상하 4% 범위에서 2% 간격으로 변화시켜 이에 따른 손익분기점 및 생애주기비용을 산출하였으며, 그 결과를 Table 7에 나타낸다.

민감도 분석 결과, 실질할인율이 높아지는 경우 전력사용 요금이 생애주기비용에서 차지하는 비중이 감소됨에 따라 손익분기점이 소폭 증가하는 것으로 나타났으며, 할인율 폭이 최대 8% 차이가 나는 경우에는 대안에 따라 생애주기비용의 차가 다소 큰 것으로 나타났다. 그러나 손익분기점 변화는 ±0.3년 범위 내에 있는 것으로 나타나 지역별 미세먼지 입자를 고려한 필

터를 적용하여도 기존 중앙냉수 냉방시스템 대비 외기도입 냉방시스템의 경제성이 확보될 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 TRNSYS 17.0 동적 에너지 시뮬레이션과 LCC 기법을 이용한 경제성 분석을 통하여 기존 중앙냉수 냉방시스템에 대한 외기도입 냉방시스템의 대안별 경제성 평가를 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

(1) 외기도입 냉방시스템을 엔탈피 제어할 경우 외기의 이용률이 증가함에 기존 중앙냉수 냉방시스템 대비 최대 48% 에너지 저감효과가 있는 것으로 나타났으나, 외기온도가 높은 하절기에는 시스템 도입에 따른 저감효과를 기대하기 어려운 것으로 나타났다.

(2) 외기도입 냉방시스템 적용시 필터의 MERV 등급이 높아질수록 집진 성능은 개선될 수 있으나, 팬동력 증가에 따른 전력사용 요금 및 필터교체 비용도 증가하는 것으로 나타났다.

(3) 현재가치법을 이용한 생애주기 20년 동안의 각 대안별 냉방시스템에 대한 LCC 분석 결과 외기도입 냉방시스템의 경우 초기투자 비용은 17% 증가하였으나 운전 비용이 큰 폭으로 개선됨에 따라 필터에 관계없이 2년 안에 손익분기점이 발생하는 것으로 나타났다. 또한, 전력사용 요금에 대한 민감도 분석 결과에서도 외기도입 냉방시스템의 손익분기점의 변화폭은 크지않는 것으로 나타나 지역별 미세먼지를 고려한 고성능 필터를 적용하여도 외기도입 냉방시스템 적용에 따른 경제성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 후 기

이 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 지원을 받아 수행된 연구임(NO. 2008-0061908). 또한 본 연구는 2013년도 국민대학교 신진교수 연구지원금으로 수행된 연구임.

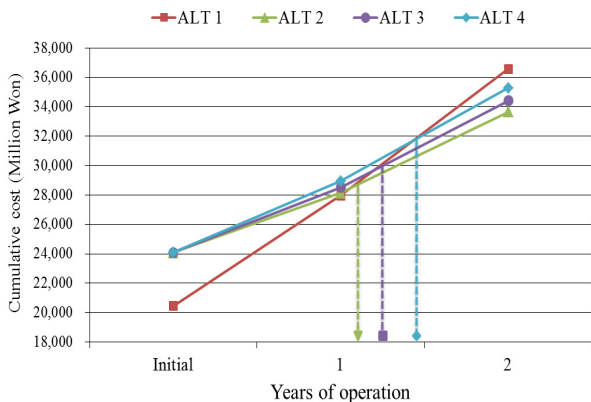


Fig. 4 Break-even point for cumulative cost of each alternative.

Table 7 Change of breakeven point according to sensitivity analysis

Alternative	ALT 1		ALT 2		ALT 3		ALT 4	
	LCC (10 <sup>3</sup> ×Won)	LCC (10 <sup>3</sup> ×Won)	Break-even point(Year)	LCC (10 <sup>3</sup> ×Won)	Break-even point(Year)	LCC (10 <sup>3</sup> ×Won)	Break-even point(Year)	
-1.37%	213,542,007	162,520,464	1.4	170,130,807	1.7	162,520,464	1.4	
1.37%	168,429,259	132,237,481	1.6	138,429,259	1.8	132,237,481	1.6	
3.37%	145,018,897	116,522,730	1.7	122,274,969	2	116,522,730	1.7	
5.47%	126,343,915	103,986,714	1.8	109,232,554	2.1	103,986,714	1.8	
7.47%	112,635,243	94,784,449	1.9	99,658,558	2.2	94,784,449	1.9	

## Reference

1. Sun, H. S. and Lee, S. E., 2006, Case study of data centers' energy performance, *Energy and Buildings*, Vol. 38, No. 5, pp. 522-533.
2. Cho, J. and Kim, B. S., 2011, Evaluation of air management system's thermal performance for superior cooling efficiency in high-density data centers, *Energy and Buildings*, Vol. 43, No. 9, pp. 2145-2155.
3. Covas, M. T., Silva, C. A., and Dias, L. C., 2013, On locating sustainable Data Centers in Portugal : Problem structuring and GIS-based analysis, *Sustainable Computing : Informatics and Systems*, Vol. 3, No. 1, pp. 27-35.
4. Cho, J., Lim, T., and Kim, B. S., 2012, Viability of datacenter cooling systems for energy efficiency in temperate or subtropical regions : Case study, *Energy and buildings*, Vol. 55, pp. 189-197.
5. TRNSYS 17(Transient System Simulation Program, 2011, Solar Energy Lab, Rep., University of Wisconsin-Madison.
6. ASHRAE, 2009, Particulate and Gaseous Contamination in Datacom Environments, Vol. 8.
7. Park, S., Seo, J., Jung, Y. H., Chang, H. J., and Hwang, S. H., 2013, Energy consumption analysis based on filter differential pressure when adopting an air-side economizer system for a data center, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 25, No. 7, pp. 371-376.
8. Donald, G. N., Ted, G. E., and Jerome, P. L., 2004, Study Guide for ENGINEERING ECONOMIC ANALYSIS, 9th ed., Oxford University Press, pp. 71-93.
9. Cho, J. K., Jeong, C. S., and Kim, B. S., 2008, The Planning and Design of the Optimal Cooling System for IT Environments in (Internet) Data Centers, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Vol. 24, No. 12, pp. 313-320.