

BEMS 서비스 관련 해외연구동향

채 영 태 교수
 청주대학교 건축공학과

1. 서론

건물에너지관리시스템(Building Energy Management System, 이하 BEMS)는 차세대 건물 또는 시설 관리와 운전관리를 구현하는 자료기반의 의사결정 도구이다. BEMS는 개별 건물 및 건물군(군)의 운전과 유지, 건물시스템의 성능향상에 추가되는 비용산정 및 인력과 노동의 효율적인 활용에 대해 전략적 관리를 가능하게 하는 시스템이다. 하지만, BEMS관련 기술은 실제 사용자의 관심보다는 보다 빠른 속도로 진화하고 있다. 그 결과, 기술기반 시스템으로서 상당히 주목할 만한 신규시장이라 할 수 있다. 최근 10년간, BEMS 산업과 시장은 지속적으로 성장하고 있으며, 2024년까지 신규 투자 모멘텀이 지속된다는 연구가 있다^[1]. 세계경제의 상황, 주요 산업군의 변화에 기인하여 BEMS의 수요는 단순히 한 건물, 한 지역에서의 제한적인 수요가 아니라, 전세계적으로 다양한 적용대상(공장-건물-주택 등)에 대해 확대되고 있다.

이에 따라 전통적인 건물제어회사부터 기술중심의 벤처기업 또는 글로벌 System Integration 회사들까지 다양한 공급자들이 BEMS시장에 진출

하고 있으며, 각 회사의 주요목표에 따라 BEMS에 대한 정의가 상이하지만, 시장에서의 공통적인 논의는 BEMS는 IT에 기반한 솔루션으로 센서, 제어, 자동화설비의 능력을 확대시켜 자동 또는 수동으로 건물/시설물 시스템의 작동을 개선하기 위한 도구로 정의 된다^[2].

BEMS가 하나의 서비스 또는 건물운영에 대한 의사결정도구로 활용하기 위해서는 건물의 에너지 절감에 대한 다양한 기능들이 확보되어야 하는데, 결국 이러한 기능의 복잡성과 수준에 따라서 서비스의 품질과 시스템의 질을 결정하게 된다. 따라서, 본 기고에서는 BEMS 서비스와 관련된 해외 연구중 주목할만한 내용들을 소개하고 우리나라 BEMS의 국제화를 위한 기능설계에 참고자료를 제공하고자 한다.

2. 본론

BEMS는 건물이나 시설물의 하드웨어 인프라나 사용목적에 따라 요구되는 기능이 다양하며 기능의 수준 또한 역시 초기투자비 및 향후 에너지 절감에 대한 기대효과에 의해 다양한 내용으로 구성될 수 있다. 각 건물별로 수많은 형태의 기능이

제공되고 있으므로, 명시적으로 정의하기는 어렵지만 대략 가시화 및 보고기능, 이상현상감지 및 분석 기능, 예측제어 및 지속적인 커미셔닝, 그리고 최적화로 주요 기능이 분류되고 있다. 각 범주별로 주요 연구내용은 다음과 같다.

2.1 가시화

가시화 및 보고기능은 BEMS의 기능중 가장 단순하면서도 직접적인 기능이다. 현재 건물 또는 특정설비에 대한 정확한 에너지 소비특성을 사용자에게 제공하게 되면 이를 이용하여 적절한 조치를 취할 수 있게된다.

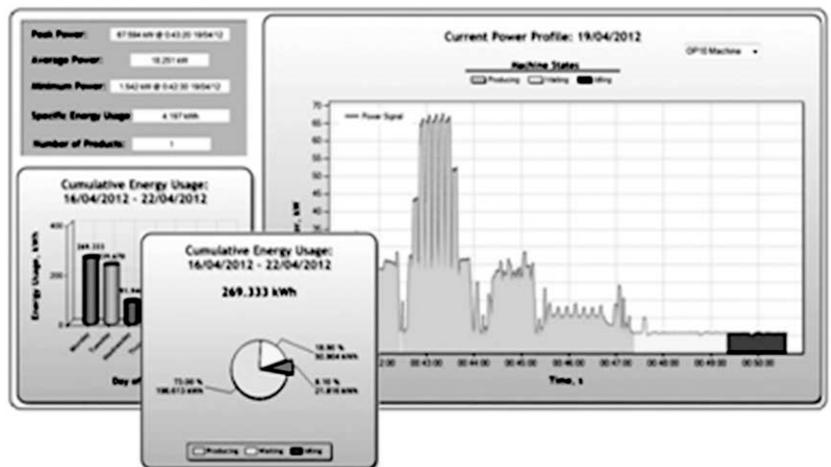
Vikhorev등은 최근의 연구에서 특정한 기계의 에너지 성능상태에 대한 가시화방법에 대한 사전 연구를 조사하여 각종 도표를 이용하여 사용자에게 정보를 제공하는 방법을 정리하였다. 저자는 해당 논문에서 그림 1과 같은 예를 활용하였는데 이는 효과적인 가시화를 위해서는 단순히 단일 그래프 보다는 다양한 그래프를 사용하는 것이 사용자의 주의를 이끌어 내는데 효과적이라고 판단하였다^[2].

Henze등은 에너지를 사용하는 요소들의 사용패턴을 분석하고 이에 대한 불확실성의 변수들을 추출하고, 실제 건물에너지 모델에서 동일 변수에 대한 반응을 검토하여 에너지소비의 이상패턴을 가시화 하는 플랫폼을 다음 그림 2와 같이 개발하였다^[3]. 실제 BEMS설치되는 분석툴들은 그 수준의 고도화가 중요한 것 만큼, 적절한 정보를 왜곡없이 사용자에게 전달하는 것도 역시 중요하다. 따라서 이러한 “복잡한 연산과정의 단순한 결과정리” 방법은 사용자에게 즉각적인

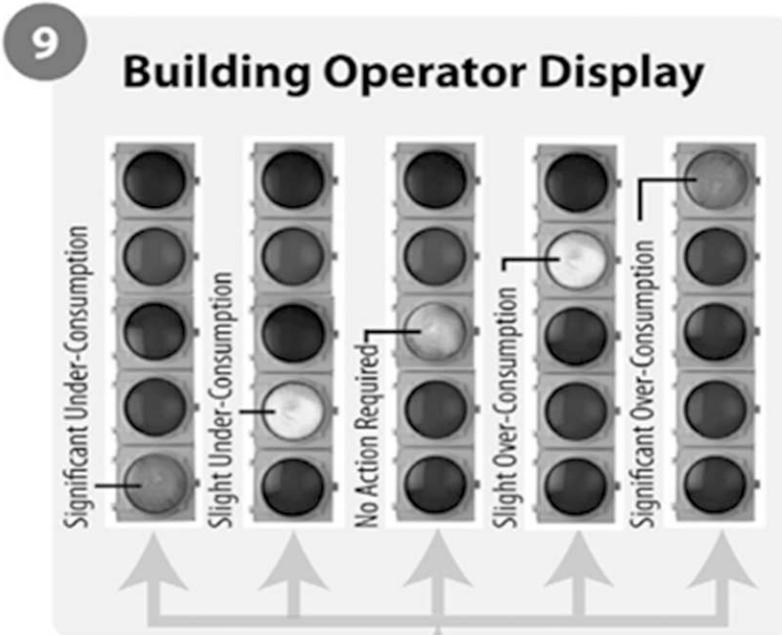
행위를 이끌어 낼 수 있다는 점에서 상당히 효율적일 것이다^[3].

BEMS는 단일 건물에만 적용되는 것이 아니라 BEMS가 설치된 동일용도의 건물이 다양한 지역에 분포되는 경우가 종종 있다. 이러한 조건에서는 BEMS를 더욱 효과적으로 사용하기 위해서 각 건물별, 용도별 에너지 소비량을 상호평가하고 이를 이용하여 전체 건물의 효율향상을 도모 할 수 있다. Lee등은 미국 뉴욕시 내의 유치원에서 고등학교까지 약 1,200여 학교의 월별 에너지 소비량자료를 이용하여 건물군내에서 각 학교별 주요 성능지표를 지리정보시스템(GIS)를 이용하여 나타내었다^[4]. 주요성능지표(Key performance Index) 분석을 위해 냉방, 난방, 그리고 기본에너지 소비량을 통계학적 방법으로 분해하고 이를 바탕으로 바닥면적, 재학생수 등을 이용하여 정규화(Normalization)를 수행하였다. 이러한 자료들은 자료필터들의 격층화를 통해 학군별, 의원 지역구별, 자치구별로 성능지표를 제공할 수 있기 때문에 시의 교육예산을 효율적으로 배치하는데 많은 도움을 주고 있다.

가시화 및 보고기능의 경우 단순히 에너지 소비량을 시각적인 효과를 통해 보여준다는 개념에서 다른 여러가지 주요 분석툴들의 결과물을 효과적



[그림 1] 공작기계의 에너지소비패턴 가시화^[2]



[그림 2] 건물운전 상태신호체계⁹⁾

으로 제공하고 사용자의 즉각적인 관심을 이끌어 내는 방향으로 설계되어야 할 것이다.

2.2 이상감지 및 분석

이상감지 및 분석기능(Fault Detection and Diagnostics)는 BEMS기능중에서 기존의 건물자동화 시스템과 차별적인 기능이 될 수 있다. 기존의 건물자동화 시스템이 특정 설비시스템의 폐회로에 대한 기계신호의 이상감지가 중심이라면 BEMS에서의 이상감지 및 분석은 보다 입체적(Context)으로 전개될 수 있다. 이는 BEMS가 장비에서 발생하는 자료 이외에 다양한 정보가 데이터 베이스에 확보되고 이를 실제 운전특성과 연결하여 현재 건물운전의 비정상상태가 장비의 고장에 대한 이상인지, 장비와 연관된 사용패턴에 대한 이상인지 분석할 수 있기 때문이다.

Wijayasekara등은 건물에서 발생하는 다양한

신호들을 Fuzzy이론으로 분석하고 이상현상감지 및 언어형 설명 (Anomaly Detection and Linguistic Description) 지표를 개발하고 이를 검증하였다⁵⁾. 센서 오류 3종류와 급기구 장애물과 같은 건물운영상의 오류 3종류등 6가지 오류에 대하여 일반적인 장비알람 중심의 이상현상 감지 시스템과 비교하였다. 다음 표 1에서 나타난 바와 같이 동일한 현상에 대해서 장비알람 시스템이 탐지하지 못하는 이상현상에 대해서도 개발 시스템이 적절히 작동하고 있었으며, 설비운영의 이상현상도 대조시스템에 비하여 신속하게 오류를 탐지하

는 것으로 나타났다.

2.3 예측 및 지속 커미셔닝

앞서의 이상현상감지 및 분석, 가시화 기능이 현재 건물 운영상태의 정보를 제공하는 역할을 한다면 다음의 예측 및 지속 커미셔닝 및 최적화는 향후 발생할 일에 대한 자료를 제공하여 사용자에게 이를 대비할 수 있는 역할을 하는 기능이다.

예측기능의 경우 대표적으로 건물에너지에 대한 수요를 시계열별로 예측하는 다양한 방법들이 서로다른 성공도를 가지고 연구되어 오고 있다. 특히 시계열에 따른 예측기능은 예측대상의 시분해능(Time Resolution)에 따라 예측모델의 복잡성이 크게 달라지게 된다. 일반적으로 연간 및 월간 에너지 소비특성은 통계모델 또는 분석모델을 통해 수월하게 이루어질 수 있으나, 시간 또는 분별 에너지 소비량예측과 같은 STLF(Short term



[그림 3] 뉴욕시 공립학교 건물성능 가시화^[4]

<표 1> Fuzzy ADLD모델의 성능평가^[5]

Case	Linguistic Description	Time Detected		Difference
		Fuzzy-ADLD Method	Alarm Based System	
Case 1	Zone Temperature is Very Low	09/16/2013 23:15	09/16/2013 23:15	0
Case 2	Return Air Temperature is Medium Mixed Air Temperature is Low Zone Temperature is Very High	09/01/2013 23:15	Not Detected	NA
Case 3	Return Air Temperature is High Zone Temperature is Very Low	09/17/2013 04:30	09/17/2013 10:15	5 Hours 45 Minutes
Case 4	Chiller Temperature is High Zone Temperature is Very Low	09/03/2013 03:00	09/03/2013 04:15	1 Hour 15 Minutes
Case 5	Chiller Temperature is Very Low Zone Temperature is Very High	09/19/2013 01:15	Not Detected	NA
Case 6	Chiller Temperature is Very Low Zone Temperature is Very High	09/19/2013 14:15	Not Detected	NA

load forecast)는 오차율을 줄이는데 높은 수준의 모델링 기법이 필요하다.

Chae 등은 일반적인 전력 그리드망의 기본적인 사용량 해석 범위인 15분별 에너지소비량 예측을 24시간전에 해석하기 위해 인공신경망(Artificial Neural Network: ANN)을 이용하였다. 통상

ANN과 같은 감독방식 기계학습의 경우 사전데이터가 증가할 수록 초과학습(Overfitting)상태가 되어 실제 예측정확도가 떨어지는 단점이 발생하는데, 이를 상쇄시키기 위해 Bayesian 제약 조건을 활용하였으며, 4주간의 데이터를 이용하는 경우 매 15분별 오차율이 5%이내로 유지되는

Device name	Network type	Index name	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
boites Term.	Heat	AVG_PL_H	27,3	27,3	27,3	30,4	27,3	22,1	23,1	22,4	23,1	22,9	23,3	22,8	21,7	0	0	0	0,9
		CP_NET_CONV	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2
		CP_N_SIF_HIGHLOAD	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8
		CP_N_SIF_LOWLOAD	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		CP_N_SIP_HIGHLOAD	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
		CP_N_SIP_LOWLOAD	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130
		CP_N_SIST_HIGHLOAD	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70
		CP_N_SIST_LOWLOAD	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
		CP_PUMP_NBSMAX	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		CP_SIET_MAX	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
		MAX_PL_H	100	100	100	64,4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100			3,3
		N_SIET																	
		N_SIP	48,9	50,6	51,5	106,6	153,2	161,4	160,8	159	160,5	158,3	154,3	158,1	158	160,3	58,7	58,3	58,2
		N_SIPSP	139,6	139,6	139,6	139,6	139,6	139,6	139,6	139,6	139,6	139,6	139,6	139,6	139,6	139,6	139,6	139,6	139,6
		N_SIST	80	89,3	91,4	90,2	92	92,1	93,3	90,8	86,2	80,9	77,4	78	80,4	78,2	75	69,9	66,8
		N_SISTSP	68,3	68,4	69,4	70,2	68,1	66,5	65,4	63,4	61,8	60,5	59,1	58,5	59,3	59,2	60,4	59,4	58,4
		N_V	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		PL_DEV	0	0	0	10	10,4	10,5	10,8	10,1	9	7,7	6,8	6,9	7,5	7	0	0	0
		PLET																	
		PL_F																	
		PL_FSP																	
		PL_P	-405,2	-397,1	-392,6	-117	116	156,7	153,9	144,9	152,3	141,4	121,6	140,6	140	151,4	-356,4	-358,7	-358,9
		PL_PSP	-64,9	-63,7	-63,1	-23,6	9,7	15,5	15,1	13,8	14,9	13,3	10,5	13,2	13,1	14,8	-57,9	-58,2	-58,2
		PL_PU	0	0	0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	0	0	0
		PL_T	150	196,5	207	201	209,9	210,2	216,6	203,9	180,9	154,6	136,7	139,9	151,8	141,1	125	99,4	83,8
		PL_TSP	17,2	30,6	31,8	28,6	35	38,4	42,6	43,1	39,5	33,8	30,9	33,4	35,6	32,1	24,1	17,5	14,2
		SUM_PL_PU_S	0	0	0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	0	0	0

[그림 4] 연속형 커미셔닝 리포트의 예^[7]

것을 실제 건물을 대상으로 검증하였다^[6].

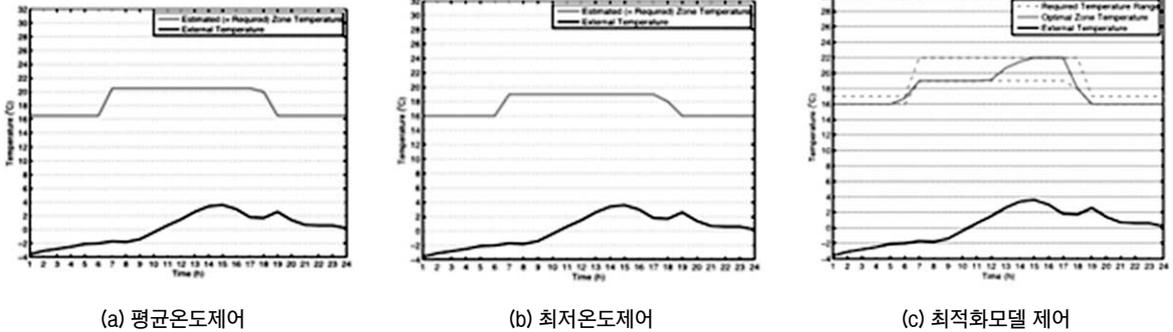
Padilla등은 캐나다 정부의 재원을 이용하여 BEMS기반 지속형 커미셔닝 플랫폼을 제안하였다. 이 플랫폼 내에는 장비이상감지 및 지속커미셔닝 리포트를 시간별로 분석하여 매 시간별, 월/년별 장비성능을 파악할 수 있도록 구성되어 있는데 향후 에너지 모델링 및 사전유지기능까지 포함 할 수 있도록 계획하고 있다^[7].

2.4 최적화

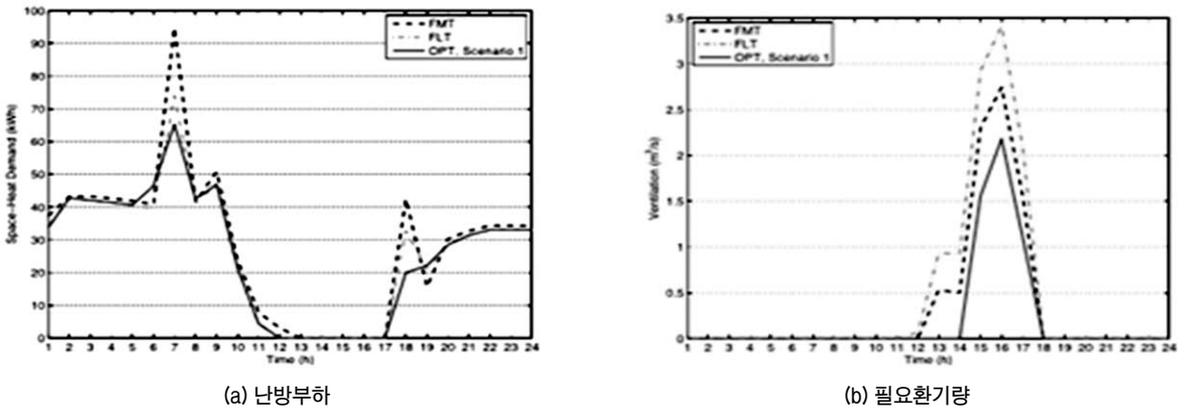
Rocha등은 열전달 특성을 기반으로 하는 건물 열해석 방정식을 이용하여 실내의 각 시간별 온도를 예측하는 부하해석 모듈과, 그리드 및 에너지 원의 가격, 특징들을 기반으로 하는 에너지 활용전략에 대한 수학적 모델을 제안하고, 실제 두 개의 현장에 4가지의 서로다른 운전 시나리오로

건물을 운전하는 경우에 있어서 에너지 소비특성을 비교 평가 하였다. 일반적인 제어조건, 평균온도 설정제어 또는 최저온도 설정제어, 과 저자들이 개발한 최적화 기반 온도제어를 비교해 볼 때, 다음의 그림 5~그림 6과 같이 개발된 시스템으로 약 6%~10%의 공조에너지 절감을 거둘 수 있는 것으로 나타났으며, 이에 따른 이산화탄소 배출량도 유사한 비율로 감소하였다^[8].

Zhao등은 다중에이전트 시스템을 이용하여 분산 열병합발전(CHP)을 채용하는 건물에 있어서 CHP의 운전최적화 기법을 제안하고 검증하였다. 개발된 모델은 다음 그림 7과 같이 냉방, 난방, 그리고 전력에 대한 에이전트 노드로 구성되어 있으며, 부하패턴은 EnergyPlus모델에서 추출하여 실시간 에너지가격과 부하량을 바탕으로 가장 적절한 CHP운전 스케줄을 작성하는 최적화 모델을 제안하였다. 미국 콜로라도 지방의 냉난방 기준일



[그림 5] 기본온도제어((a), (b))와 개발제어방식(c)의 실내설정온도 추이^[8]



[그림 6] 제어방식별 난방부하 및 필요환기량 비교^[8]

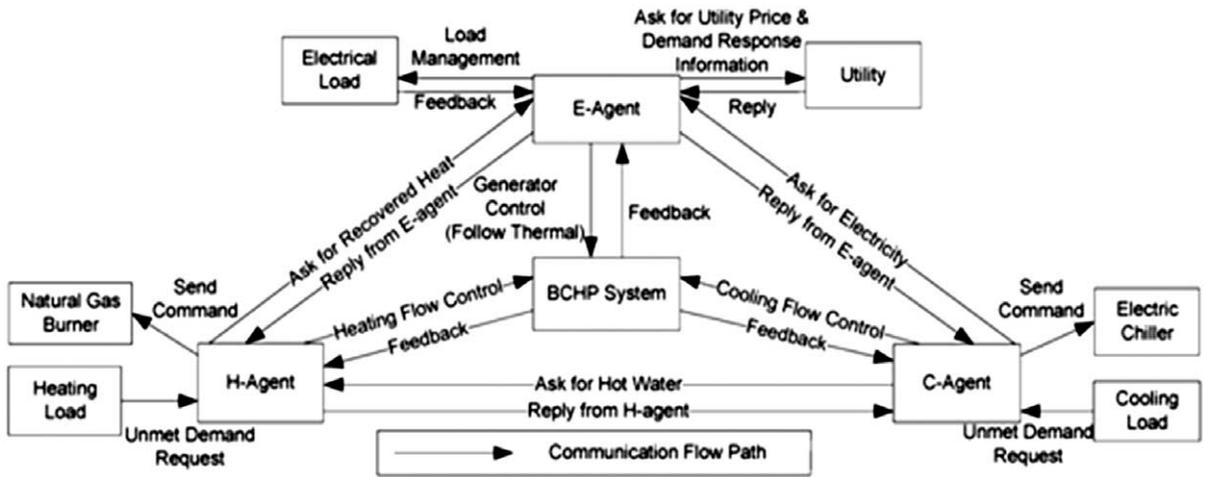
에 대한 개발 모델의 적정성을 검토하였으며, 다음 표 2와 같이 냉방기준일의 경우 CHP를 설치하지 않는 경우에 대비하여 CHP와 개발모델을 동시에 적용시 약 80%의 에너지비용을 절감하는 것으로 나타났으며, 난방기준일의 경우 개발된 최적화 기반 CHP 운전을 수행하는 경우 약 61%의 에너지 비용감소효과가 있을 것으로 제안하였다^[9].

Lee 등은 공조기의 운전에 있어서 필요한 실내 설정온도의 자유도를 실제 공조기 운전시 소비되는 에너지를 기반으로 재설정하는 실내 설정온도 제한 모델을 개발하였다. 해당 모델을 바탕으로 설정온도의 변동에 따른 공조기의 에너지 소비량을 예측하고 에너지 공급시간, 가격 등의 제약조건들을 이용하여 정수혼합 비선형프로그래밍 (Mixed Integer Non-linear Programming) 을

기반으로 하는 최적화 모델을 구현하였다. 해당 모델은 전력저장장치(ESS)의 개입시간에 대한 스케줄과 가동 범위를 최적화하여 경제적인 운전설정이 가능하다. 해당 모델의 적용결과 다음 [그림 8]과 같이 일반운전 온도조건 보다 약 20%의 에너지 비용절감효과가 있는 것으로 나타났으며, ESS를 가동하는 경우 추가적으로 약 20%의 에너지 비용감소 효과가 나타났다^[10].

3. 결론

국내에서와 마찬가지로 해외에서도 BEMS는 아직 형성중인 시장으로 특정기능이 반드시 필요하거나, 어떤 기능은 전적으로 필요하지 않다는 통일된 의견이 존재하지 않는다. 어떤 기능은 실제



[그림 7] 멀티에이전트 기법을 이용한 CHP 최적화 운전 모델 구성도^[9]

<표 2> CHP 최적화 모델의 성능비교^[9]

Cost(\$)	Typical Summer Day			Typical Winter Day		
	Base Case	BCHP Model	CEBEMS Model	Base Case	BCHP Model	CEBEMS Model
Energy Charges	25.92	12.45	11.39	12.33	9.42	8.57
Domand Charges	174.58	33.94	28.34	33.13	12.35	10.56
Service Charges	2.91	2.91	0.425	2.91	2.91	0.425
Subtotal	203.41	49.3	40.15	48.37	24.68	19.56
Taxes	16.27	3.94	3.21	3.87	1.9744	1.56
Total	219.68	53.24	43.37	52.24	26.65	21.12

* Basecase: CHP미적용시 * BCHP : CHP를 부하추정으로 적용시 * CEBEM : CHP최적화모델

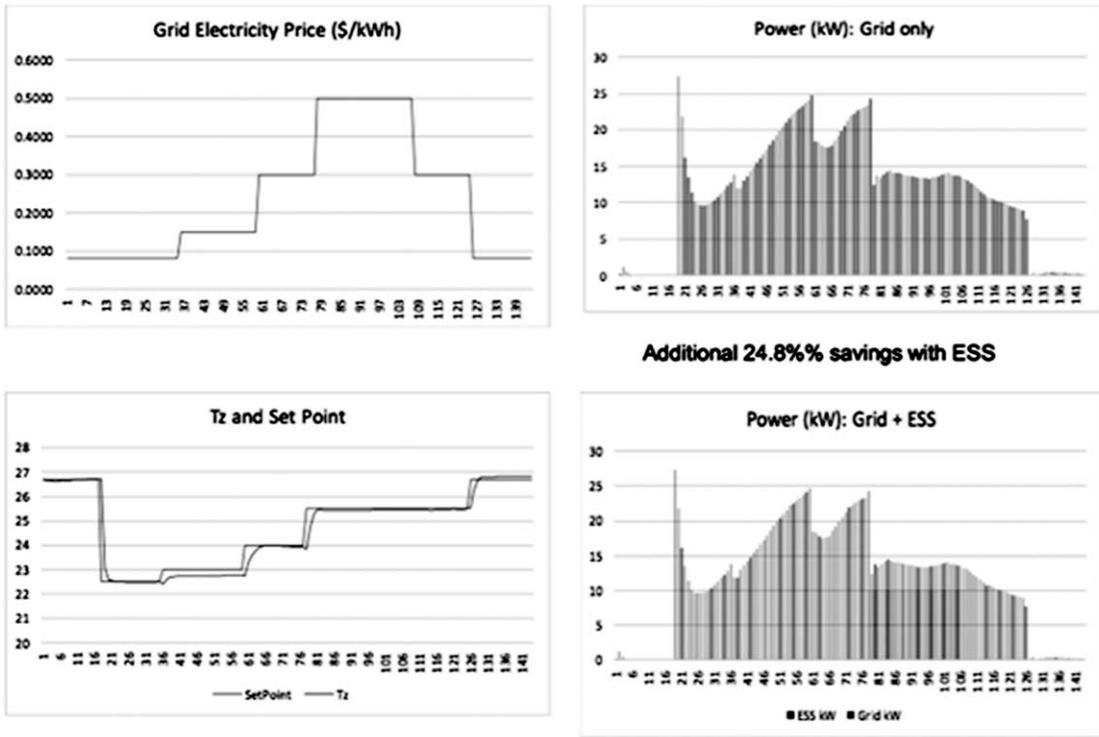
고도화된 BEMS 시스템의 주요기능으로 사용될 수 있지만, 사용자 및 관리자의 여건에 따라 전혀 필요없는 기능이 되는 불확실성을 내포하고 있다.

하지만, BEMS가 IT를 기반으로 하는 서비스라는 점에서 해당 서비스의 핵심이 되는 알고리즘 개발 및 서비스에 대한 제안이 해외에서는 활발히 진행되고 있다. 국내에서도 효과적인 서비스를 위한 기능개발에 대한 관심이 필요하고, 이를 구체화 시키기 위해 중요한 요소기술인 데이터 구조화 방법, 데이터 분석 및 활용에 대한 연구를 지속적으로 진행할 필요가 있다. 이를 통해 BEMS

를 이용한 건물의 에너지 및 운영비용 절감에 효과적인 수단으로 활용하여 건물부분의 에너지 절감 및 기후변화영향 감소의 목표를 달성할 수 있다.

참고문헌

1. Navigant Research, 2015, “Building Energy Management Systems:Software, Services, and Hardware for Energy Efficiency and System Optimization: Global



[그림 8] 에너지 가격(a)에 따른 실내설정온도 최적화(b)와 이에 따른 공조기 에너지 소비특성(c) 및 ESS활용 최적화 (d) 결과⁽¹⁰⁾

Market Analysis and Forecasts.

2. Vikhorev, Konstantin, Richard Greenough, and Neil Brown. "An advanced energy management framework to promote energy awareness." *Journal of Cleaner Production* 43 (2013): 103–112.
3. Lee, Young M., et al. "Analytics for Smarter Buildings." *International Journal of Business Analytics (IJBAN)* 1.1 (2014): 1–15.
4. Henze, Gregor P., et al. "An energy signal tool for decision support in building energy systems." *Applied Energy* 138 (2015): 51–70.
5. Wijayasekara, Dumidu, et al. "Mining building energy management system data using fuzzy anomaly detection and

- linguistic descriptions." *Industrial Informatics, IEEE Transactions on* 10.3 (2014): 1829–1840.
6. Chae, Young Tae, et al. "Artificial neural network model for forecasting sub-hourly electricity usage in commercial buildings." *Energy and Buildings* 111 (2016): 184–194.
7. Padilla, Miguel, and Daniel Choinière. "A combined passive-active sensor fault detection and isolation approach for air handling units." *Energy and Buildings* 99 (2015): 214–219.
8. Rocha, Paula, Afzal Siddiqui, and Michael Stadler. "Improving energy efficiency via smart building energy management systems: A comparison with policy measures."

- Energy and Buildings 88 (2015): 203–213.
9. Zhao, Peng, Siddharth Suryanarayanan, and Marcelo Godoy Simões. “An energy management system for building structures using a multi-agent decision-making control methodology.” Industry Applications, IEEE Transactions on 49.1 (2013): 322–330.
10. YM Lee, R Horesh, L Liberti, YT Chae, R Zhang. “Optimal Control of HVAC Systems for Demand Response.” INFORMS Annual Meeting 2014, San Francisco (2014). 