

Continuous Commissioning의 절차와 적용

조영흠*

*금오공과대학교 건축학부(yhcho@kumoh.ac.kr)

Continuous Commissioning Process and Application

Cho, Young-Hum*

*School of Architecture, Kumoh National Institute of Technology(yhcho@kumoh.ac.kr)

Abstract

This paper presents the continuous commissioning process, information on the case study facility, improved system operation, and building energy consumption measures before and after continuous commissioning implementation. Continuous commissioning is an ongoing process to resolve operating problems, improve comfort, optimize energy use and identify retrofits for existing commercial and institutional buildings and central plant facilities. Continuous commissioning process consists of two phases. The first phase is the project development phase and the second phase implements and verifies project performance. Results of a case study show that continuous commissioning implementation can reduce energy costs. The energy reports show the electricity savings of 22% and gas savings of 47% on an average.

Keywords : 건물 커미셔닝(Continuous Commissioning), 시스템 최적화(System Optimization), 에너지 절감(Energy Savings)

1. 서 론

전 세계는 잠재적인 기후 변화, 에너지원의 고갈, 환경 악화에 위협을 받고 있다. 우리가 누렸던 혜택을 다음 세대에도 이어주기 위해선 천연 자원, 생태 시스템을 유지해야만 한다. 환경이 파괴되지 않고 계속될 수 있고, 자원이 고갈됨이 없이 이용할 수 있는 신재생 에너지와 그린 에너지의 사용이 부각되고 있다. 이와 함께, 건물 에너지 효율의 증대는 가장

실현 가능한 방법 중의 하나이다. 최근 정부와 많은 기업체에서 에너지 효율 증대를 목표로 하고 있다.

건물 커미셔닝(Commissioning 혹은 Cx)은 디자이너에 의해 계획된 성능을 제공하기 위해 건물 시스템들이 설치되고 운영되어야 한다는 취지에서 등장하였다. ASHRAE 지침서에서 커미셔닝 프로세스를 구체화했고, 디자인 의도에 맞게 건물의 적절한 운영이 필요하다는 같은 목표아래, 다른 조직에서 수 많은

투고일자 : 2010년 8월 23일, 심사일자 : 2010년 8월 30일, 게재확정일자 : 2010년 10월 11일
교신저자 : 조영흠(yhcho@kumoh.ac.kr)

건물 커미셔닝과 관련된 지침서를 개발하였다.

1999년에 Department of Energy (DOE)에서 기존의 건물을 위한 실제적인 커미셔닝 지침서를 개발하였고, 여러 건물들을 대상으로 신축 건물의 커미셔닝, 기존 건물의 커미셔닝, 개보수 커미셔닝, Continuous commissioningSM (CC) 그리고 재 커미셔닝과 같은 여러 커미셔닝 절차를 소개하였다. 대부분의 커미셔닝 절차는 최초의 디자인 의도에 맞춰 건물 운영을 하도록 하는 것에 초점을 맞추었지만, CC는 HVAC 시스템 운영과 제어를 최적화시키는 것에 중점을 두었다. Texas A&M 대학내의 Texas Engineering Experiment Station's Energy Systems Laboratory 에서 10년 동안 CC를 수행한 건물의 평균 에너지 사용량이 약 20% 절감되었고 2년이내에 투자 비용을 회수하였다. CC는 지속적으로 에너지 절감의 모니터링을 통해 장기적으로 에너지 절감을 유지할 수 있었다. 또, 실제 건물의 상태에 따라 시스템의 운영과 제어 방법을 최적화함으로써 시스템의 신뢰성, 건물의 쾌적성을 향상시키고 유지 관리자의 직접적인 참여를 유도하여 운영자의 기술 및 유지관리 비용을 절감할 수 있었다.¹⁾

2002년 DOE에서 University of Nebraska-Lincoln의 에너지 시스템 연구실로 상업용 건물의 개보수 시 커미셔닝을 적용하는 프로세스를 마련하기 위한 프로젝트를 진행하였다. 새롭게 제시된 Continuous Commissioning Leading Energy Project (CCLEP)는 개보수 비용의 절감과 에너지 비용 절감을 실현하였다. 주요한 기계 설비 및 제어 시스템의 개보수를 통해 5년 이내에 에너지 비용을 절감하여 투자비용을 회수하였다.²⁾

1) Liu, M, D.Claridge, and D. Turner, 2002. Continuous Commissioning[®]Guidebook: Maximize Building Energy Efficiency and Comfort. Federal Energy Management Program.

2) Liu, M, Wang, J., Hansen, K. and Selzer, A., 2006, Continuous Commissioning Leading Energy Project Process-An Industry Approach, *Proceedings of the 6th International Conference for Enhanced Building Operations*.

국내에서도 건물 커미셔닝에 관한 소개와 사례를 통한 적용에 관한 연구가 진행 중이다. 단기간의 실측과 설정값의 조정을 통한 에너지 절감을 실현하였으나, 장기간에 걸쳐 실제 건물을 대상으로 시스템의 최적화를 통한 건물 커미셔닝을 실시한 경우는 드문 상황이다.

따라서 본 논문에서는 건물 커미셔닝의 하나인 Continuous Commissioning의 정의와 절차를 설명하고, 이를 실제 사무소 건물에 적용하였다. 그리고 적용 대상 건물의 소개와 시스템의 최적화에 따른 에너지 사용량을 분석하였다.

2. Continuous Commissioning (CC)의 정의

CC는 운영의 문제점을 해결하고, 쾌적을 향상시키고, 에너지 사용을 최적화시키며 기존의 건물과 설비 시스템의 개보수를 파악하는 진행 과정이다.

CC는 현재 사용되고 사용용도에 맞도록 전체 시스템의 제어와 운영을 향상시키는 것에 중점을 둔다. 운영과 유지관리에 중점을 두며, 시스템을 최초의 디자인 기능에 완전히 일치시킬 수는 없지만, 현재의 요구 사항에 맞도록 최적으로 운영되도록 한다. CC 과정 동안, 포괄적인 평가가 건물의 기능과 시스템의 기능에 맞춰 수행된다. 최적의 운영 요소와 스케줄은 실제 건물 상태와 현재 거주자의 요구 수준에 맞춰 개발된다. 통합된 접근 방법에 따라 최적의 제어와 스케줄이 수행된다.

CC 팀은 프로젝트 매니저, CC 엔지니어, CC 기술자, 시설 운영팀원으로 구성된다. 프로젝트 매니저의 주요한 역할은 건물 직원과 커미셔닝 팀의 활동을 조정하며 프로젝트 일정을 관리한다.

CC 엔지니어의 주요한 임무는 계측 및 현장실측 계획, 개선된 운영과 제어 스케줄 및

설정 값들의 개발, 빌딩 자동화 시스템 프로그램의 수정 필요성 검토, 설비 시설들의 교체 수행을 위한 기술자의 감독, 가능성 있는 성능 변화와 에너지 절감의 예측, 시스템 변화의 엔지니어링 분석보고서의 작성이다.

CC 엔지니어는 특정 작업을 수행할 자격을 가져야 하며 CC 기술자는 현장 측정과 설비, 전기, 제어 프로그램 수정을 수행한다.

3. Continuous Commissioning (CC)의 절차

그림 1과 같이 CC 프로세스는 두 단계로 구성된다. 첫 번째 단계는 프로젝트 개발, 건물과 시설의 파악과 프로젝트의 범위를 정의, 계약을 체결하는 단계이다. 두 번째 단계는 커미셔닝을 수행하고 이를 검증하는 단계이다.



그림 1. 커미셔닝의 절차 개요

3.1 프로젝트 계획 단계

(1) 건물 및 설비시설의 파악

건물과 설비시설을 파악하고 커미셔닝의 목표를 결정하는 것이 프로젝트 계획의 첫 번째 단계이다. 초기의 커미셔닝의 목표는 불쾌

적, HVAC 시스템의 불완전한 사용, 과다 에너지 소비를 줄이는 것이다. 커미셔닝은 에너지 효율을 위한 개보수를 행한 건물, 새롭게 지어진 건물에 효과적으로 수행될 수 있다.

커미셔닝 목표는 건물주 혹은 계약자에 의해 결정될 수 있다. 건물의 진단에 앞서 목표하는 건물에 커미셔닝 프로세스의 적용 가능성 여부를 확인하기 위한 기초적인 평가를 수행한다. 기초적인 평가를 위해서는 기본적인 정보를 필요로 한다. 12개월 이상의 실제 매월 전기와 가스 사용량 데이터, 일반적인 건물 정보(크기, 기능, 주요한 장비, 재실 스케줄) 및 유지 관리 기록, 건물의 문제점(불쾌적, 공기질, 습도, 곰팡이등)을 기술한다. 정보를 검토하고 쾌적의 향상과 에너지 비용을 줄일 수 있는 커미셔닝 프로세스를 결정한다. 커미셔닝 프로젝트는 종종 건물의 쾌적성 향상과 에너지 소비량 절감을 동시에 실현한다. 그러나 커미셔닝 프로젝트의 일부는 쾌적과 공기질의 요구 수준을 맞추기 위해 에너지 사용이 증가될 수도 있다.

(2) 건물 진단과 프로젝트 범위 결정

커미셔닝의 목표를 결정한 후, 건물주의 요구사항들을 정리하고 커미셔닝 기술들의 적용 가능성 및 방법을 검토하기 위한 진단과 프로젝트의 범위를 결정하는 것이 다음 단계이다.

커미셔닝 프로젝트 매니저와 엔지니어는 쾌적의 향상, 사용 비용의 감소, 유지관리 비용의 감소와 같은 건물주의 관심과 요구 사항에 대해 토의하고 쾌적성 향상과 에너지 성능 향상을 위한 건물주의 요구사항을 파악하기 위해 워크 스루(Walk through)를 실시되어야 한다.

모든 설비와 제어 시스템의 디자인 문서들이 요구되며 엔지니어와 기술자는 설비시설 운영의 기초적인 측정을 수행한다. 보조적인 에너지 소비량 검침 장치나 건물 자동화 시스

템을 이용하여 전체 건물 대상에 유효한 측정 방법을 고려한다. 건물 진단 보고서는 기초적인 커미셔닝 측정을 기술하고, 커미셔닝 수행을 통한 에너지 절감을 예측한다.

3.2 프로젝트 실행 단계

(1) 프로젝트 계획 수립과 팀 구성

프로젝트 실행에서는 계획 수립과 프로젝트 팀의 파악 및 팀 구성원의 업무 분담이 첫 번째 단계이다. 프로젝트 매니저와 엔지니어는 주요한 임무, 요구되는 시간과 기술들을 포함한 업무 계획을 수립한다. 프로젝트 범위와 기간, 팀 구성, 구성원 각자의 임무가 포함된 보고서를 제출해야 한다.

(2) 성과 기준 마련

커미셔닝을 수행하기 전 프로젝트의 성과를 평가하기 위한 기준 마련이 필요하다. 기존의 거주자의 쾌적 상태, 시스템 상태, 에너지 성능을 문서화한다.

개인 공간의 과도한 냉난방, 습도, 곰팡이로부터의 악취, 신선한 외기 공급 부족등과 같은 기존의 쾌적과 관련된 문제들을 문서화시키고, 밸브와 댐퍼의 헛팅(hunting), 미작동 시스템이나 부속물, 운영의 문제, 자주 교체되는 부분들과 같은 HVAC 시스템의 문제점들을 파악한다.

실의 쾌적과 관련된 문제점들은 휴대용 측정기나 데이터 로거로 정량화시키며, 거주자나 기술자의 인터뷰에 근거하여 실측과 관측을 통해 시스템의 문제점들을 문서화시켜야 한다.

건물 커미셔닝 후에 에너지 절감을 검증하기 위해 건물의 성능과 관련된 에너지의 기준이 필요하다. 이는 데이터 로거나 Energy Management Control System (EMCS) 을 이용해서 얻은 단기간의 측정 데이터, 전체 건물의 전기 사용량, 냉난방 에너지 소비량과 같은 장기간의 에너지 데이터, 전기, 가스 공급요금과 같은 유형으로 마련되어진다.

비록 단기간의 측정 데이터보다 많은 비용이 들지만, 장기간의 측정 데이터는 가장 신뢰성 있는 자료로써 커미셔닝 후의 유지 관리 기간에 시스템의 문제점을 진단하기 위해 사용된다.

데이터 수집이 힘들 경우, 커미셔닝 엔지니어는 추가적으로 에너지 계량기를 설치해야 한다.

기존 건물의 성능, 에너지 성능, 쾌적, 시스템 문제점, 측정 계획등이 보고서화 되어야 한다. 또한 전기 및 가스 공급요금이 기준으로 사용된다면, 이를 보고서에 포함시킨다.

(3) 시스템 분석과 커미셔닝 방법의 제안
기존 운영 스케줄, 설정값, 문제점들을 파악하고 현재 문제점들의 해결책을 마련한다. 그리고 개선가능한 운영 스케줄, 설정값을 마련하고 가능성 있는 효과적인 에너지 시스템의 개보수 방법을 파악한다.

EMCS나 휴대용 측정도구를 사용하여 주요한 운영 요소들을 파악하고 현재 제어 방법을 확인한 후 건물의 시스템 운영방법을 검증한다.

현재 시스템의 상태, 제어 알고리즘과 설정값, 사용하지 않고 있는 제어 알고리즘의 목록과 작동이 불가능한 시설이나 제어 장치 목록 등을 정리한다. 또한, 현재 문제점의 해결 방안과 수리가 필요한 장비 목록과 개선가능한 제어와 운영 방법을 문서화 한다.

(4) 수행

건물주로부터 제안된 커미셔닝 방법에 대한 허가를 받은 후, 현재 시스템의 운영과 거주자의 쾌적 문제를 해결하기 위한 개선가능한 운영과 제어 방안을 수행한다.

커미셔닝 수행의 시작은 현재의 문제점들을 해결하는 것이다. 현재의 쾌적과 제어 문제점들은 거주자, 운영자, 시설 담당자에게 가장 중요한 해결과제이다. 이러한 문제점들의 해결은 거주자에게 쾌적을 향상시키며 생산성을 증가시킨다. 쾌적의 향상으로부터 경

제적인 이익들은 쉽게 정량화 시킬 수는 없지만 에너지 절감보다 더 높은 이익을 제공한다. 현재 문제점들의 성공적인 해결은 시설 운영자, 시설 관리자, 거주자로부터 커미셔닝 엔지니어를 신뢰하도록 한다.

실제로 수행된 운영과 제어 알고리즘, 유지 관리 절차, 유지관리 지침서와 추가적으로 추천하는 방법들이 보고서화 되어야 한다.

(5) 개선된 쾌적과 에너지 절감의 문서화
커미셔닝 수행 후 개선된 쾌적 상태, 시스템 운영 상태, 에너지 성능을 문서화 한다.

에너지 절감의 분석은 인정된 측정과 검증 방법에 따르며 쾌적 상태는 적절한 지침서를 따라 수행한다.

커미셔닝 후에 실의 상태와 에너지 소비량 및 개보수 제안 사항등의 자세한 측정 결과들을 보고서로 만들어야 한다. 실의 상태와 에너지 소비량은 커미셔닝 전의 기간과 비교되어야 한다. 연간 에너지 사용량 절감은 측정 데이터로부터 평가할 수 있다.

(6) 수행 후 유지 관리

개선된 쾌적 상태와 에너지 성능의 유지 및 측정된 연간 에너지 절감 데이터를 제공한다.

엔지니어는 운영의 문제점들을 파악하기 위해 주기적으로 시스템 운영의 재검토가 필요하고, 개선 가능한 운영과 제어 스케줄을 마련해야 한다.

엔지니어는 필요하면 전화나 현장 방문을 통해 운영 직원에게 컨설팅을 제공하여야 한다. 이를 통해 쾌적과 에너지 절감을 유지시킨다. 장기적으로 측정된 데이터가 유효하다면, 엔지니어는 분기별로 에너지 데이터를 검토하여 현장 방문의 필요성을 파악한다. 건물 에너지 소비량이 증가한다면, 엔지니어는 가능성 있는 이유를 검토하여 운영 직원과 검증한다. 문제점이 발견된다면, 엔지니어는 현장을 방문하여 건물의 성능을 복구하기 위한 방법들

을 마련해야 한다. 만약, 엔지니어가 EMCS 시스템을 사용하여 원거리로 데이터를 저장할 수 있다면, 엔지니어는 EMCS 시스템을 이용하여 현재 운영 시스템의 운영 상태를 분기별로 확인할 수 있다. 엔지니어가 장기간 측정된 에너지 데이터나 EMCS 시스템 정보를 통해 시설을 평가할 수 없다면, 6개월 주기로 건물을 방문하여 설비시설을 점검하여야 한다.

커미셔닝 후 1년이 지나면, 엔지니어는 프로젝트 보고서를 작성하고, 연간 에너지 절감, 컨설팅이나 현장 방문을 통한 제안 사항이나 변경 사항들을 작성하고 추가적으로 건물의 운영을 개선할 제안사항들도 문서화한다. 신입 직원들을 위한 커미셔닝에 관한 교육과 훈련도 필요하다.

첫 해의 에너지 절감에 관한 보고서, 커미셔닝 후의 유지 관리 보고서, 직원의 교육과 관련된 건의 사항, 추가적인 커미셔닝 활동의 계획등의 보고서가 필요하다.

4. Continuous Commissioning (CC)의 적용

4.1 적용 대상 건물 및 시스템 개요

그림 1과 같이 적용 대상 건물은 미국의 네브라스카 오마하에 위치한 5층의 사무소 건물이다. 1988년도에 지어졌고, 면적은 8,472 m² 이다.



그림 1. 적용 대상 건물 전경

표 1. 적용 대상 건물 개요

분류	내용	
건물	장소	오마하, 네브라스카, 미국
	외기 온도 용도 면적 층수	-19.4 ~ 36.1°C 사무실 8,472 m ² 5층
재실자	인원	300 명
	재실 시간	08 : 00 AM ~ 05:00 PM
설비시설	터미널 박스	106 가변형 박스
	공조기 냉열원 시스템 온열원 시스템	단일 덕트 가변형 공조기 2대 냉동기 1대 보일러 3대
운영 조건	공급 공기 온도	12.7 °C
	온수 온도	82.2 °C
	실내 온도	23.8 °C
최대 부하	난방	2,951 MJ/hr
	냉방	3,165 MJ/hr



(a) 공조기



(b) 냉동기



(c) 보일러

그림 2. 적용 대상 건물 시스템 전경

냉동기 1대와 보일러 3대, 공조기 2대 그리고 106개의 터미널 박스로 구성된다. 표 1은 적용 대상 건물의 개요를 나타내고, 그림 2는 적용 대상 건물의 시스템 전경이다. 사무실의 재실 스케

줄은 주중 오전 8시 부터 저녁 5시까지이다.³⁾

최적의 제어와 운영 및 에너지 성능 향상을 실현하기 위해 개보수를 실시하였다. HVAC 시스템을 위한 공기식 제어기를 전자식 자동 제어기로 교체하였고, 에너지 관리 시스템 (BEMS)를 설치하였고, 펌프에 가변속 장치 (VFD)를 설치하였다.

4.2 시스템의 최적화

기존의 운영 스케줄을 바탕으로 HVAC 시스템의 측정 및 데이터 경향 파악을 통해 제어 알고리즘을 평가하였다. 현재 상태를 근거하여 커미셔닝을 위한 제안사항들을 마련하였다. 표 2에서 주요한 제안사항과 수행한 작업을 요약하였다. 추가적으로 커미셔닝은 터미널 박스의 기계적인 문제를 해결함으로써 불쾌적 문제를 해결했고, HVAC 시스템의 운영의 신뢰성을 향상시켰고 유지관리 비용을 절감하였다. 그리고 전기 및 가스 공공요금도 절감하였다.

커미셔닝은 HVAC 시스템 운영의 최적화, 에너지 비용의 절감을 포함한다. 새로운 비용 효과적인 시스템 제어 기술을 적용하여 시스템의 문제점을 해결하고 쾌적의 향상과 건물 에너지 시스템의 성능 향상을 실현하였다.

4.3 커미셔닝의 결과

약 1년 동안, 커미셔닝 팀은 건물의 전체 HVAC 시스템을 대상으로 커미셔닝을 실시하였다. 커미셔닝의 결과 건물의 압력 제어가 향상되었고 시스템의 신뢰도도 향상되었다. 커미셔닝의 수행 후 쾌적에 영향을 미치지 않고 연간 HVAC 전기와 가스 소비량이 감소되었다. 그림 3은 연간 전기 사용량을 나타내며 전기 사용량이 1,123,200 kWh 절감되어 약 22% 절감되었다. 그림 4는 연간 가스 소비

3) Cho, Y. H., X. Pang, T. Lewis, J. Wang and M. Liu. 2009, Improving Control and Operation of a Single Duct VAV System through CCLEP, ASHRAE's Annual Conference in Louisville

량을 비교하며 가스 사용량이 577,771 MJ 감소되어 약 47% 감소되었다.

표 2. 설비 시설 개선 사항

설비 시설	개선된 제어 및 운영 방안
터미널 박스	최적 공급 공기량 제어
공기 조화기	공급 덕트 정압 제어
	공급 공기 온도 제어
	외기 댐퍼 제어
	난방 밸브 제어
	빌딩 압력 제어
냉열원 시스템	운영 스케줄 개선
	냉수 온도 제어
	냉수 펌프 제어
온열원 시스템	운영 스케줄 개선
	운수 온도 제어

시스템 개보수와 커미셔닝 총 비용은 약 \$131,000였고, 연간 공공요금 절감액은 약 \$54,000였다. 표 3과 같이 연간 전기 비용 절감은 \$21,301, 가스 비용 절감은 \$33,151였다. 공공요금 절감액을 기준으로 약 2.4년 이내에 투자비용을 회수할 수 있을 것으로 판단된다.

표 3. 연간 에너지 사용량과 비용

		전기	가스
커미셔닝 전	사용량	4,958,496 kWh	1,207,669 MJ
	비용	\$ 225,275	\$ 85,333
커미셔닝 후	사용량	3,835,296 kWh	629,898 MJ
	비용	\$ 203,974	\$ 52,182
절감량	사용량	1,123,200 kWh	577,771 MJ
	비용	\$ 21,301	\$ 33,151

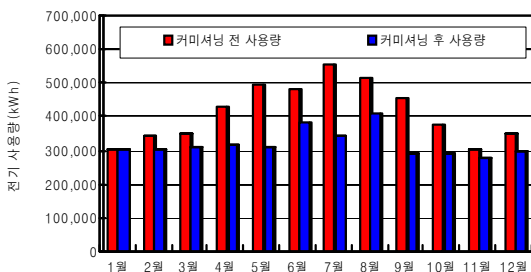


그림 3. 연간 전기 사용량 비교

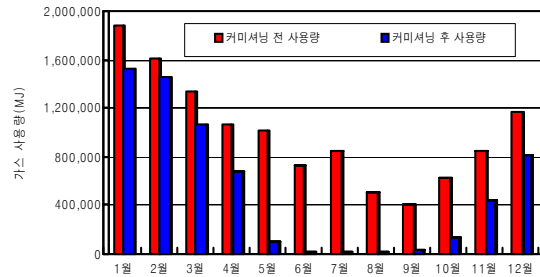


그림 4. 연간 가스 사용량 비교

5. 결론

본 연구에서는 Continuous Commissioning의 정의와 절차를 설명하였고, 이를 실제 사무소 건물을 대상으로 적용하여 에너지 사용량을 분석하였다. 결론은 다음과 같다.

- (1) Continuous Commissioning은 운영의 문제점을 해결하고 쾌적을 향상시키며 에너지 사용을 최적화시켜 기존의 건물과 설비 시스템의 개보수를 파악하는 과정이다.
- (2) Continuous Commissioning 프로세스는 두 단계로 구성되어 있다. 첫 번째 단계는 프로젝트 개발, 건물과 시설의 파악과 프로젝트의 범위를 정의하고 계약을 체결하는 단계이다. 두 번째 단계는 커미셔닝을 수행하고 프로젝트의 수행을 검증하는 단계이다.
- (3) Continuous Commissioning을 적용한 실제 사무소 건물은 쾌적에 영향을 미치지 않으면서 연간 전기 사용량은 약 22% 절감되었고 연간 가스 소비량은 약 47% 감소되었다. 공공요금 절감액을 기준으로 약 2.4년 이내에 투자비용을 회수할 수 있을 것으로 판단된다.

본 논문은 Continuous Commissioning의 시스템 최적화 부분을 간략히 소개하였으나, 향후에 개별 설비 시스템의 제어 및 운영 방법 개선 사항에 대한 자세한 결과를 제시할 필요가 있을 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 연구된 논문임 (과제번호 : 2010-104-126)

참 고 문 헌

1. Liu M, Claridge D, and D Turner, Continuous Commissioning® Guidebook: Maximize Building Energy Efficiency and Comfort, 2002
2. Liu, M., Wang, J., Hansen, K. and Selzer, A., Continuous Commissioning Leading Energy Project Process-An Industry Approach, Proceedings of the 6th International Conference for Enhanced Building Operations, 2006
3. Cho, Y. H., X. Pang, T. Lewis, J. Wang and M. Liu., Improving Control and Operation of a Single Duct VAV System through CCLEP, ASHRAE's Annual Conference in Louisville. 2009
4. Cho, Y. H., and M. Liu., Improving energy efficiency with the various control sequences for a VAV system through Continuous Commissioning®, International Journal of Energy Research, DOI: 10.1002/er.1673, 2010
5. Zheng B, Liu M, and Xiufeng Pang', Continuous Commissioning® of an Office Building, Proceedings of the 5th International Conference for Enhanced Building Operations, Pittsburgh, PA, 2005
6. 조추영, 「건물자동화 시스템의 커미셔닝」, 대한설비공학회, 설비저널, 제30권, 제8호, pp. 39~44, 2001
7. 김두성, 김천용, 「공기조화설비의 커미셔닝 수행절차」, 대설비공학회, 설비저널, 제30권, 제8호, pp. 9~23, 2001
8. 조성환, 태춘섭, 「커미셔닝기술의 국내외 연구개발동향」, 대한설비공학회, 설비저널, 제30권, 제8호, pp. 34~38, 2001
9. 윤동원, 「실내공기환경(IAQ)과 커미셔닝에 관한 고찰」, 대한설비공학회, 설비저널, 제30권, 제8호, pp. 24~33, 2001
10. 조성환, 태춘섭, 박상동, 「그린빌딩의 커미셔닝 사례」, 대한설비공학회, 대한설비공학회 2002년도 하계학술발표회 논문집(I), pp. 377~383, 2002