



플랜트 HVAC 시스템 성능향상을 위한 커미셔닝 절차 개발

김 두 성 / 한미설비(주)
dskim@hanmitab.co.kr

1. 서론

산업사회의 기반인 플랜트(발전소, 각종 대형건물, 산업공장 등을 포함한 의미로 사용함)설비는 다양한 종류의 상품 또는 재화를 경제적이고 효율적으로 생산하기 위해 복잡하게 연관된 건설 기술들이 집약되어 설계·시공된다. 이러한 플랜트 건설 및 운영의 기본에 해당하는 부분이 플랜트 유틸리티 설비이며, 이는 플랜트 공정에 소요되는 전기, 가스, 물, 증기, 공기를 공급하는 설비 및 건축설비인 난방 설비, 냉방 설비, 환기 설비 등을 지칭하는 말로, 플랜트의 설립 목적 또는 역할에 따라 플랜트 전체의 효율성, 경제성, 생산성 등과 밀접하게 연관되어 있다.

플랜트 유틸리티 설비중 HVAC (Heating, Ventilating and Air Conditioning) 설비는 플랜트내의 생산 공정에 직접적으로 관여할 뿐 아니라 실내 환경을 유지·관리하는 공장 및 건물부분에 적용되기 때문에 플랜트의 운영비용 및 사용에너지의 대부분을 소비한다.

따라서 본 원고에서는 현재 국내에 건설된 플랜트 HVAC 설비중 배관 및 덕트 시스템에서 발생하는 하자들을 조사하고 원인을 분석함과 동시에 이에 대한 해결책으로서, 플랜트 HVAC 설비의 커미셔닝(Commissioning) 수행방법 및 절차 개발에 대하여 논하고자 한다. 이러한 결과들로부터 플랜트 HVAC 설비의 성능과 시스템 효율을 개선하고, 그 중에서도 반송설비 시스템의 성능 최

적화를 통해 플랜트 HVAC 설비의 최적화와 동시에 효율성 및 경제성에 있어서도 매우 우수한 효과를 얻을 수 있을 것이라 예상된다.

2. 플랜트 HVAC 설비 문제점 및 해결방안

2.1 배관 시스템 관련 문제점

플랜트 HVAC 설비 중에서 배관 시스템과 관련된 문제점들은 유량부족 문제, 유량분배 문제, 증기배관 문제, 지지대 소음발생, 밸브선정, 펌프 및 배관 부식 등이 있다. 이것은 대체적으로 설계자의 자질과 경험 부족 또는 기술 자료의 부족 등에 기인한다.

(1) 배관 시스템에서 유량부족 관련 문제점

배관 시스템 저항(Hydraulic resistance) 관련 자료의 부실과 배관 설계시 저항계산 결과에 대한 검증이 미비하고 각종 부속품(역지면, 정유량 밸브, 헷더 등)의 압력손실 계산이 생략되어 펌프 양정 부족으로 인한 유량감소가 많이 발생된다.

정유량 밸브 선정시에는 밸브특성 및 차압범위, 유량범위 등 사용조건을 고려하지 않으므로 해서 정유량 밸브에서 과다 압력손실과 소음이 발생되며, 공기빼기밸브 설치에 대한 기본을 무시하여 배관내에 다량의 공기가 제거되지 않아 과다 압력손실이 유발되고 기타 부작용이 발생된다.

(2) 배관 시스템에서 유량분배 관련 문제점

유량 조정이 필요한 곳에는 게이트밸브 대신 글



로브 밸브를 설치하는 등의 유량 밸런싱을 고려한 설계와 시공이 되어야 하지만 부적절한 밸브취부로 유량 조절이 곤란한 경우가 발생된다. 냉동기의 냉각수 밸브는 부하 변동시에도 정유량을 유지하도록 삼방면의 설치위치를 확인하여야 하나, 냉동기 냉각수 배관에 3방 전동밸브의 시공하자로 냉동기 정지를 유발하고 기타 부작용들이 발생된다.

각 냉각탑 입구측에 냉각탑간 균등한 유량 공급을 위한 자동 또는 수동 유량조절밸브를 부착하고 출구측에 냉각탑간의 압력손실차를 최소화하여 동일수위를 유지하도록 해야 하나, 압력 손실차와 수위 레벨 연관성에 대한 이해의 부족으로 펌프 1대로 2대의 냉각탑 사용시 각 냉각탑의 내부압력 손실 차에 의한 수조의 적정 수위 유지가 곤란하여 한 쪽에서 오버 플로우가 발생하며 다른 한 쪽은 수위 하강으로 공기가 유입되어 펌프 및 냉동기의 효율 및 배관 성능에 악영향을 끼친다.

(3) 배관 시스템에서 증기배관 관련 문제점

증기 공급압력이 다른 가슴기와 공조기 가열코일 응축수를 1개의 증기트랩으로 처리하도록 배관이 구성되어 응축수의 배수불능 및 가슴기측으로 응축수가 역류되어 가슴불능 상태를 초래한다. 가열코일용 증기트랩의 경우에도 예열운전 및 비정상 운전시 여유용량에 대한 검토가 부족하여 잘못된 사이즈 선정과 응축수 배관의 자연구배에 의한 응축수 처리를 고려하지 않은 부적절한 시공으로 응축수 배수가 불량하고 가열코일 내에 응축수가 정체되어 수격작용으로 코일이 파손되는 하자가 발생된다.

(4) 배관 시스템에서 유량 불균일 관련 문제점

배관내 적절한 압력 분포가 형성되지 않아서 입상 배관 시스템의 유량 언밸런싱이 발생하며, 배관 최상단부에 공기빼기변을 각각의 입상배관에 별도로 설치하지 아니하고 통합연결 함으로써 입상관의 압력분포가 상호 중속되어 입상관별 적정

압력분포가 불가능해지고 공기빼기 곤란 등의 부작용이 초래된다.

급탕사용이 많을 경우에는 배관내 유속이 급격히 변화하므로 배관내에서 와류가 발생되고 가지관의 유출유량 불균형이 발생되며, 유량과 방열량과의 상관관계와 배관저항으로 인한 유량감소의 이해가 부족하여 난방구역별 배관저항에 의한 공급온수 유량 불균일이 발생된다.

(5) 배관 시스템에서 기타 발생하는 문제점

배관시스템에서 온도조절밸브, 정유량 밸브등의 차압이 과다하거나, 적정 차압설정이 미숙하여 배관에 설치된 온도 조절변, 정유량 조절밸브 및 열량계등에서 소음이 발생된다. 또한, 배관 지지물이 온도변화에 따른 팽창 및 수축을 충분히 반영하지 못했거나 지지물의 시공이 불량하여 입상배관 및 팽창접수의 고정지지 부분에서 불규칙적인 소음이 발생되며, 부적절한 용접방식으로 용접관련절차를 무시한 채 시공하여 STS배관 용접부위에 부식으로 인해 누수가 발생한다.

상기 하자들은 그림 1에서와 같이 시스템 에너지 효율저하, 유량 언밸런스, 시스템 성능부족, 소음, 진동, 누수 및 결로 등으로 구분되어지며, 시스템 에너지 효율저하의 원인이 되는 것은 펌프성능 및 효율부족, 배관시스템의 저항과, 압력분포에 대한 이해부족에 관련한 하자들 및 배관루트의 부적합한 적용등이 있으며, 펌프성능 및 효율부족의 세부원인은 설계자의 펌프선정 착오, 제작자가 제공하는 기술자료의 부실, 펌프성능에 대한 보증시스템의 미비, 펌프제조자의 기술력 부족 및 가격위주의 시장 여건 등에 기인함을 나타낸다.

배관 시스템과 연결된 관련 시스템에 대한 하자는 그림 2와 같이 빙축열시스템 성능부족, 빙축열시스템 냉동기 용량과다, 빙축열시스템 선정오류, 냉각탑 성능부족 및 보일러성능 및 효율부족으로 구분되어지며, 빙축열시스템의 성능부족하자는 축열 및 방열조의 성능부족과 냉동기 성능부족



및 축열운전 미비가 원인이며, 이는 제조사 제공 기술자료의 부실, 냉동기 성능검증 부실, 축열 및 방열 성능시험 절차미비 및 제품의 신뢰성 부족 등에 기인함을 그림으로 나타내었다.

2.2 덕트 시스템 관련 문제점

플랜트 HVAC 설비 중에서 덕트 시스템과 관련하여 송풍기 선정 및 제작, 덕트 시스템 정압 부족, 송풍기와 덕트의 연결부의 부적합, 취출구 선정착오, 풍량 언밸런스, 변풍량 시스템 작동불량, 덕트 누기과다, 공조기 댐퍼제어불량 및 외기량 과부족 등과 같은 다양한 문제점이 발생된다. 본 절에서는 덕트 시스템과 관련되어 발생하는 문제점의 내용과 그 원인에 대하여 살펴보도록 하겠다.

(1) 덕트 시스템에서 송풍기 관련 문제점

국산 송풍기의 성능은 외산에 대비하여 70%수준이며, 성능 및 효율 시험결과에 대한 공인된 기술 자료가 제공되지 않거나 자체 시험시설 운영이 형식적인 경우가 대부분이다. 송풍기 선정시 송풍기의 특성과 효율을 감안하여 적절한 형식의 송풍기를 선정하고 시스템저항에 해당하는 예상 성능곡선을 검토하여야 하나, 설계자의 경험부족과 제조사의 기술자료 부실로 부적절한 선정으로 인한 하자가 발생되고 있다. 또한 송풍기의 효율이 제조사 제공 기술자료에 명시된 최적 효율에 대비하여 현저히 낮아, 선정된 회전수로 가동시 전동기의 과부하 운전 및 소음이 증가되고 전동기를 정격 전류에 맞추면 회전수 및 풍량 부족이 발생된다.



[그림 1] 배관 시스템의 하자 계도



(2) 덕트 시스템에서 덕트 및 취출구 관련 문제점
정압 산출은 다양한 형상의 덕트 및 덕트 부속에 따른 실험 자료와 경험치를 고려하거나 제작 및 설치 조건들을 감안한 시스템 영향계수를 반영하여야 하지만 관련 자료와 표준시공도 미비, 설계자 경험부족 및 시공자 이해 부족등 복합적인 원인에 기인한 부적절한 설계로 정압 부족 및 풍량 과부족이 발생된다. 송풍기와 덕트 연결시에도 권장된 제작 및 시공 방법을 무시하여 과다한 압력 손실을 유발시켜 풍량 과부족, 기류분포불량 및 소음이 발생한다.

후렉시블 덕트는 사용 범위가 넓어 널리 쓰이고 있으나 후렉시블 연결 길이가 너무 길고 굴곡이 심하여 과다 압력 손실에 의한 풍량 감소와 취출 소음이 유발되고, 덕트 제작 소홀 및 코킹처리 미비 등으로 인하여 누기량이 과다하게 발생하여 에너지 손실 및 소음발생 등의 원인이 되고 있다.

(3) 덕트 시스템에서 기타 발생하는 문제점

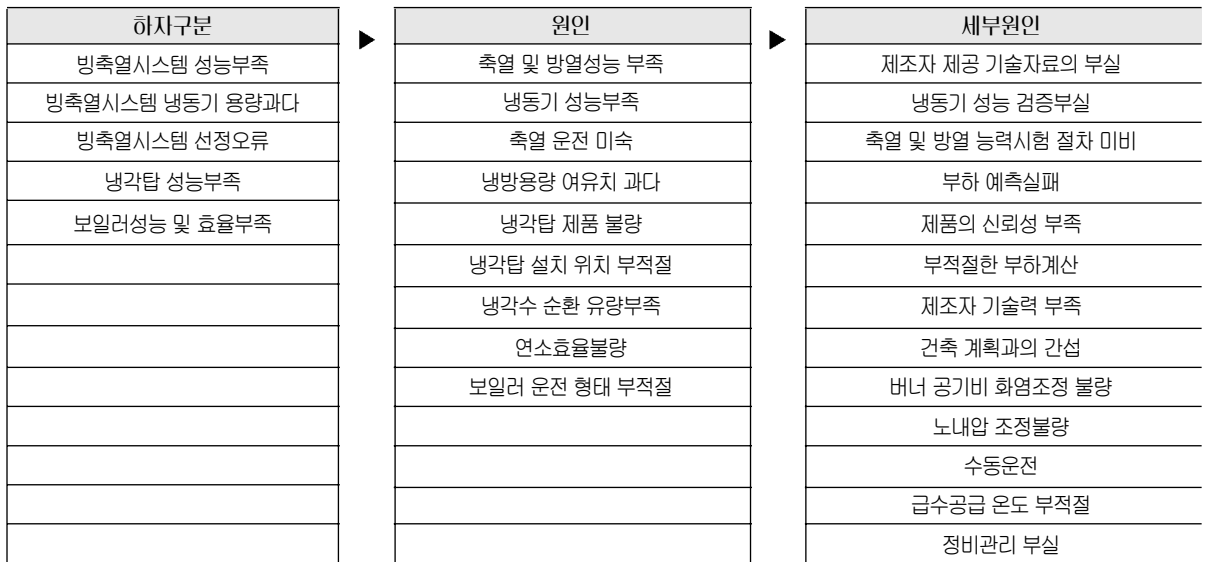
변풍량(VAV, Variable Air Volume)유닛 설치시 풍량 미달, 과다 압력 손실 및 소음이 발생되며 이로

인해 변풍량 유닛의 신뢰성이 문제되어 대표적인 에너지 절약시스템이 널리 보급되지 못하고 있다.

동절기에는 외기도입에 의한 부하가 약 60%이상으로 매우 중요하며 특히 VAV 방식에서는 부하변동에 따른 시스템내 정압변동에 의해 외기도입량이 적정하지 못해 에너지낭비와 실내 환경악화의 주원인이 된다.

공조기의 댐퍼 제어는 외기, 배기 및 혼합의 모터구동(Motorized)댐퍼가 비례적으로 연동하게 되기 때문이므로 각 외기, 배기, 혼합 댐퍼의 개도와 풍량의 개별적인 조정이 될 수 있도록 해야 한다.

상기 하자들은 그림 3에서와 같이 시스템 에너지 효율저하, 시스템 성능부족, 밸런싱 불량, 기류분포 성능저하, 환기성능 저하 등으로 구분되어지며, 시스템에너지 효율저하의 원인이 되는 것은 송풍기성능 및 효율부족, 부적절한 송풍기의 선정, 시스템 저항관련 기술에 대한 이해부족, 덕트 누기시험 시행누락 및 밸런싱에 대한 이해부족 등이 있으며, 송풍기 성능 및 효율부족의 세부원인은 송풍기 관련 규격미비, 국가규격 관리부실, 제조자 기술력 부족, 덕트기술에 대한 설계자의



[그림 2] 배관 관련 시스템의 하자 계도



이해부족 등에 기인함을 나타낸다.

덕트 시스템과 연결된 관련 시스템에 대한 하자는 **그림 4**와 같이 VAV 풍량 이상, VAV 급기온도 이상, 운전 스케줄 부적절, 실내온도분포 불량, 부하예측 착오, 건축적인 요소생략으로 구분되어지며, VAV의 풍량 이상은 공조기 정압부족, 댐퍼 제어 오류, VAV 치수 선정 과소가 원인이며, 이는 공조기 회전수 제어 및 정압계산 오류, 팬선정 오류, 폴리선정 오류, 외기냉방 풍량설정 프로그램 오류등에 기인함을 그림으로 나타내었다.

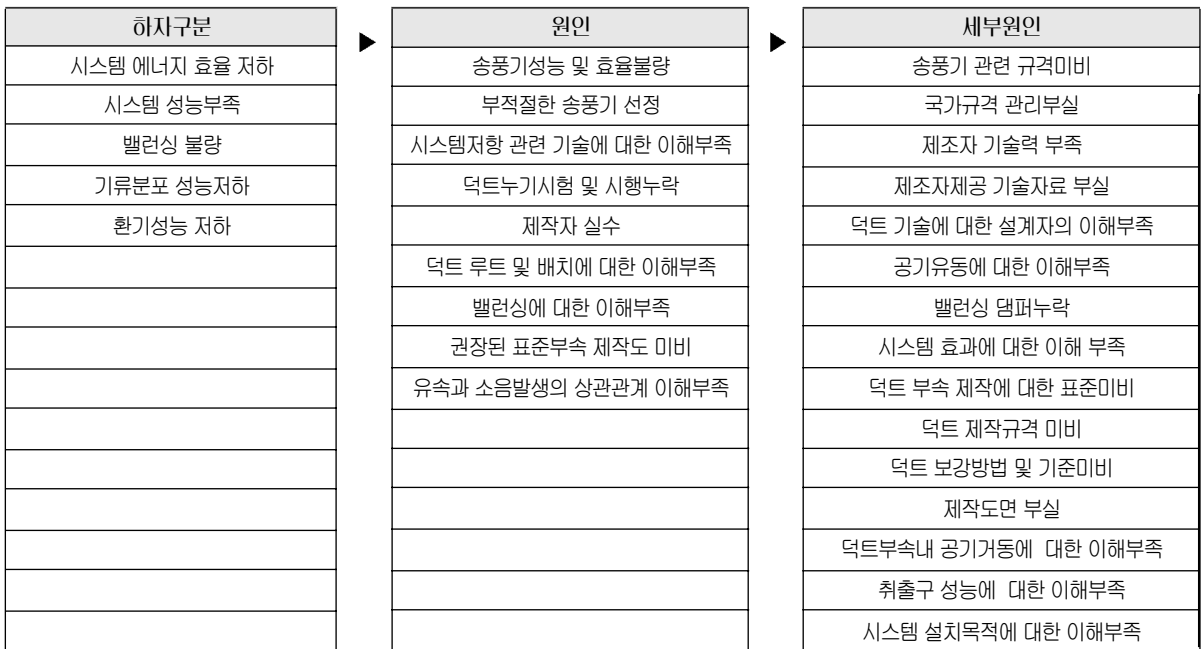
2.3 문제점에 대한 해결방안

(1) 시스템 성능 설계, 시공, 관리 기술조직의 개선
플랜트 HVAC 설비의 문제점 발생에 관련된 기술인력은 일반적으로 발주자측의 감독, 감리자, 설계자, 건설사 시공 기술자, 장비 제조사, 기능인력, 유지 관리자로 구분된다. 설비공사의 기술관련 판단에 가장 영향력이 있는 기술자의 책임이

크므로 공사현장에서의 다양한 기술관련 조직에 따라 책임소재가 달라져야 한다. 하지만 국내의 경우는 대부분 법제화된 감리제도를 채택하거나 일부에서만 CM(Construction Management)을 추구하고 있는 실정이다.

현재는 감리자의 선택권을 가진 발주자측 감독의 권한이 너무 비대하여 기술적인 판단에서조차 거의 모든 결정권을 가지기 때문에 감리자 및 설계자의 기술적인 역할이 축소되어 있다. 그러므로 경험 많은 고급인력이 제 역할을 하지 못할 뿐 아니라 조기에 은퇴할 수밖에 없는 사회적인 여건이 형성되어 있다. 따라서 문제점에 대한 책임을 질 수 있는 여건이 되지 못한다.

더욱이 배관 및 덕트 등의 기계분야는 독립된 설계 및 감리가 불가능하기 때문에 더욱 문제가 된다. 실제로 기술 문제점의 경우에도 감독자의 기술력 부족이나 경험 부족이 전체 기술 문제점에 가장 큰 역할을 하고 있으며, 설계자-감리자-시



[그림 3] 덕트 시스템의 하자 계도



공자-제조사-유지관리자-기능인력 순으로 책임이 있다고 판단된다.

설계자보험제도 및 제조물 책임제도(PL, Product Liability)가 정착되기 위해서는 단계별로 객관적인 업무 검증 제도의 필요성이 매우 시급하다. 따라서 국내에서도 설계에서부터 시공, 운전, 관리에 이르기까지 객관성과 전문성을 보유한 커미셔닝 업체가 감리자나 설계자와 대등한 관계에서 책임을 지고 공사를 진행하는 제도 및 기술관리 조직의 구성이 필요하다.

(2) 단계별 체크리스트 활용

설계자, 시공기술자 및 제조기술자의 기술하자를 분석한 결과 주로 열유체 기술에 대한 기본개념부족과 경험부족에 기인한다고 판단된다. 물론

이러한 문제가 기술자로서의 자질부족 등 개인의 문제이거나 또는 여러 가지 제도적 요인 때문으로 볼 수 있다. 이에 대한 해결책으로 기술하자의 빈도가 높은 부분에 대해서 각 단계별로 체크리스트를 작성하고 활용하여야 한다.

3. 플랜트 HVAC 커미셔닝 절차 개발

3.1 커미셔닝 개요

커미셔닝은 효율적인 기계설비 시스템의 성능 확보를 위한 가장 중요한 요소로서 설계 단계부터 공사완료에 이르기까지 전 과정에 걸쳐 발주자의 요구에 부합되도록 모든 시스템의 계획, 설계, 시공, 성능시험 등을 확인하고 최종 유지 관리자에게 이를 제공하여 입주 후 발주자의 요구를



[그림 4] 덕트 관련 시스템의 하자 계도



충족할 수 있도록 운전성능 유지 여부를 검증하고 문서화하는 과정이다.

이러한 과정은 설계자나 시공자의 책임이나 역할의 축소는 아니며, 커미셔닝 수행이 특별한 테스트나 사전검사를 하는 것은 아니지만, 합리적인 절차서에 따라 객관적인 검증을 수행함으로써 시스템의 완성도와 질을 향상시킨다. 특히 기계설비 커미셔닝은 설계의도에 따라 설비시스템이 성능을 발휘할 수 있도록 하기 위한 공정인데, 플랜트 유틸리티 설비 중에서 기계설비 시스템이 가장 복잡하게 구성 되어있고 타 계통과의 기능적 연동이 많기 때문에, 기계설비의 최적 운전은 최소의 비용으로 최대의 성능을 확보하고 발주자의 시스템 이용에 효과적으로 대처할 수 있을 것이다.

커미셔닝 관리자는 업무수행을 위하여 각 분야의 시공, 제작 및 설치자의 작업범위에 대한 책임과 의무에 대하여 직접 관여 할 수 있다.

3.2 커미셔닝 수행업무내용

커미셔닝 수행업무는 크게 커미셔닝 계획서 작성, 현장 점검, 개별기기 동작시험, 자동제어기기 시험 및 보정, TAB실시, 검증, 계통성능 확인시험, 운전관리자 교육, 커미셔닝 완료의 순서로 진행된다. 그림 5는 커미셔닝 업무 흐름도이며, 커미셔닝 수행시 각 단계별 주요 수행업무 내용에 대하여 요약한 것이다.

(1) 설계 기초자료 수집

설계자가 제공한 각 시스템 설계기준을 문서화하여 구비한다. 여기에는 설계기준과 의도에 대한 설명서가 포함된다.

(2) 설계도서 검토

커미셔닝에 필요한 모든 설계 도서를 철저히 검토한다. 원활한 커미셔닝 수행에 방해가 되는 지역에 대하여는 구체적인 설명서를 작성한다. 검토 사항은 다음과 같다.

- ① 설계기준 및 설계의도에 적합한 성능 발휘가 될 수 있는지의 기술검토
- ② 장비에의 접근 및 유지관리 측면
- ③ 설치 공간 확보측면
- ④ 그 외 TAB 및 커미셔닝을 수행하는데 방해가 되는 장비배치 및 설계상의 문제

(3) 커미셔닝 계획서 작성

커미셔닝 관리자는 현장수행을 위한 커미셔닝 수행을 상세히 설명한 커미셔닝 계획서를 준비한다. 커미셔닝 계획서에는 다음의 내용을 포함한다.

- ① 커미셔닝 관리자의 책임에 대한 설명서
- ② 커미셔닝팀 구성 조직표, 일반적으로 커미셔닝 관리자와 발주자, 시공자 또는 하도급자 및 납품자의 대리인이 포함된다.
- ③ 커미셔닝 일정표
- ④ 각종 현장설치 확인 체크리스트(FIV, Field Installation Verification)
- ⑤ 각종 개별기기 시운전 체크리스트(OPT, Operational Performance Test)
- ⑥ 각종 성능 확인시험 체크리스트(FPT, Functional Performance Tests)
- ⑦ 현장 내 각 파트간의 연락 및 보고지시에 관한 형식 및 방법

(4) 시공전 검토사항

각종 도면, 시방서 및 각종 장비승인서에 대한 검토가 이루어져야 한다. 검토서에는 TAB, 커미셔닝 및 유지관리 측면에서 방해될 수 있는 사항이 설계도서나 시공상에 있는지를 검토하여 기록한다. 당해 업무와 관련된 문제점을 상세히 기록한 검토보고서를 제출한다.

(5) 현장설치 검증

커미셔닝 수행자는 당해 현장 업무범위와 관련된 각 시스템 및 서브시스템에 대한 현장설치 검



사를 실시하고 보고서를 작성한다. 보고서는 도면 및 시방서와 다르게 시공된 모든 부분이 포함된다. 각 시스템 설치상태의 전반을 확인할 수 있는 체크리스트를 구비한다.

(6) 개별기기 시운전 시험

커미셔닝 수행자는 당해 현장 업무범위와 관련된 각 시스템 및 서브시스템에 대하여 시공자 또는 제작자가 실시한 시운전 시험을 검증해야 한다. 각 시스템의 시운전 및 조절치 전반을 확인할 수 있는 체크리스트를 구비한다.

(7) 시험, 조정, 평가

커미셔닝 수행자는 당해 현장의 공조 설비 시스템

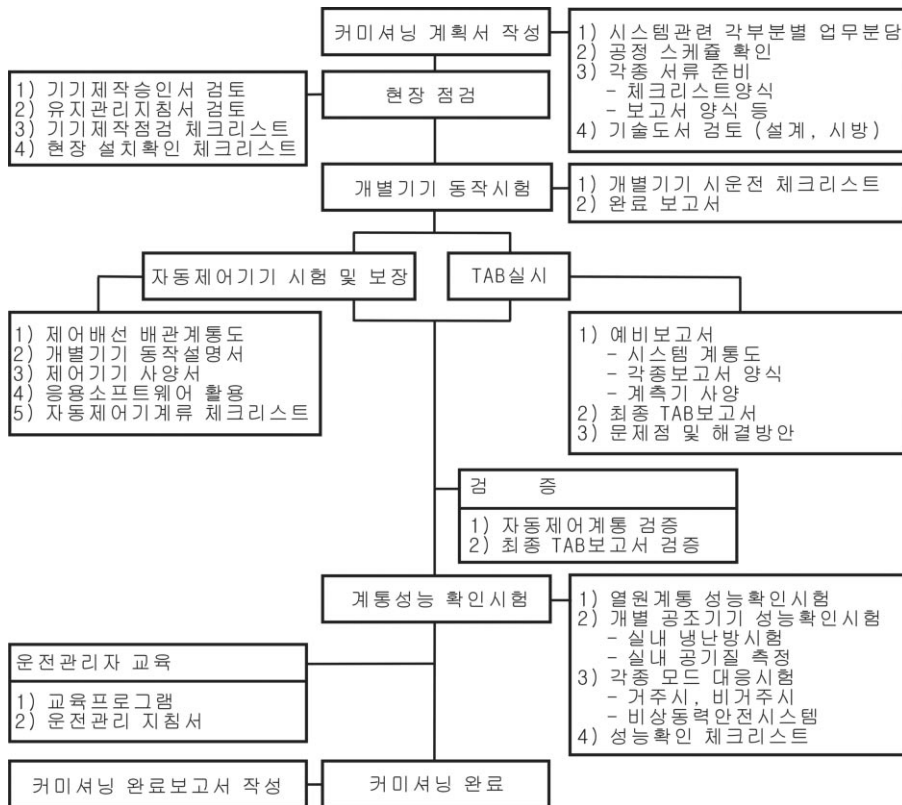
에 대해 설계자가 의도한 대로 시스템이 운영될 수 있도록 시험, 조정, 평가 업무를 실시하여야 한다. 시험, 조정, 평가는 대한설비공학회에서 제정한 시험, 조정, 평가 수행기준에 의해 실시되어야 한다.

(8) 성능확인 시험

커미셔닝 수행자는 당해 현장 업무범위와 관련된 각 시스템 및 서브시스템에 대한 성능확인 시험을 검증해야 한다. 각 시스템의 기능 및 다른 시스템과의 상호작용 전반을 점검할 수 있는 체크리스트를 구비한다.

(9) 운전관리 지침서

커미셔닝 수행자는 각 장비 또는 시스템별로 운



[그림 5] 커미셔닝 업무 흐름도



전지침과 유지보수 지침이 수록된 운전관리 지침서를 검토한다. 운전관리 지침서에는 제조업체, 공급자, 시공자의 정확한 이름, 주소, 전화번호, FAX번호가 기재되어야 한다.

커미셔닝 수행자는 모든 시스템의 운전 필요 기술매뉴얼을 각 해당 업체로부터 수집한다. 여기에는 설치된 설비에 적합한 운전관리 절차서, 부품리스트, 조립분해도, 배선도, 프로그래밍방법 및 관련기술자료 등 모든 기술적 문헌이 포함되어 발주자가 시스템을 운전 관리하는데 지장이 없도록 한다.

(10) 설비 관리자 교육

커미셔닝 수행자는 설비관리와 관련된 교육을 준비하고 관리하여야 한다. 이 교육에는 모든 시스템 및 장비의 운전관리에 대하여 실시해야 한다. 각종 장비 및 시스템의 해당 납품자 및 시공자는 각자 업무범위에 대하여 운전관리 교육을 실시해야 한다. 필요시 교육과정은 추후 발주자가 재사용할 수 있도록 비디오로 녹화할 수도 있다.

(11) 커미셔닝 보고서

커미셔닝 수행자는 하나의 완전한 커미셔닝 보고서를 편집하고 완성해야 한다. 이 보고서에는 현장설치검증, 개별설비 시운전, 성능확인 시험 및 점검에 대한 모든 체크리스트가 포함되어야 한다. 또한 모든 커미셔닝 서류, 커미셔닝 관련 통신문이 포함된다. 각 시스템의 기능에 대한 운전순서를 나타낸 서술된 설명서도 포함되어야 한다.

(12) 준공도면

커미셔닝 수행자는 시스템 커미셔닝과 관련이 있는 준공도면을 시공자로부터 수집하여야 한다. 도면은 추후 발주자가 사용할 수 있도록 관리한다.

(13) 준공 후 커미셔닝

커미셔닝 수행자와 시공자는 공조 설비 시스템

에 대한 계절별 성능확인시험을 수행해야 한다. 이 시험은 당초 커미셔닝 수행시의 계절과 반대되는 계절에서도 시스템 성능이 잘 유지되는지를 평가하는데 있다. 커미셔닝 관리자는 준공 후 커미셔닝에 대한 보고서를 작성해야 한다.

3.3 커미셔닝 절차

플랜트 HVAC 설비의 문제점을 분석하여 그 해결방안으로 커미셔닝 절차를 개발하였다. 커미셔닝은 기획단계, 설계단계, 시공단계, 준공단계로 구분되며, 운전관리자 프로그램 교육까지 진행된다.

4. 결론

본 연구에서는 국내에 건설된 플랜트 HVAC 설비에서 발생하는 하자들을 체계적으로 조사하고, 하자발생의 근본적인 원인을 밝혀내었으며, 이에 대한 해결책으로써 플랜트 HVAC 설비의 커미셔닝 수행방법 및 절차를 개발하여 성능 검증을 거침으로써, 향후 커미셔닝 기술을 보급시키기 위한 기반을 조성하였다.

이에 따른 결과를 요약하여 보면 다음과 같다. 현재 국내에 건설된 플랜트 HVAC 설비 중 배관 및 덕트에서는 다양한 문제점들이 오랜 기간에 걸쳐 반복적으로 발생되고 있다. 본 연구에서는 이러한 하자들을 중점적으로 조사하였고 유형별로 분류한 후, 하자가 발생하게 된 원인을 분석하였다. 그리고 분석된 결과를 바탕으로 하자를 사전에 방지하는 한편, 플랜트 HVAC 시스템의 성능향상에 필요한 커미셔닝 수행업무 내용과 커미셔닝 수행 절차를 개발하였다. 또한 개발된 커미셔닝 수행 업무 내용과 수행 절차의 검증을 위해 ○○ 빌딩에 대하여 커미셔닝을 수행하고 개발된 체크리스트를 적용한 결과, 일반적인 HVAC 설비에서 발생하는 기술하자가 발생되지 않았으며, 전체적으로 20% 정도의 에너지가 절감됨을 알 수 있었다. (KIPEC)