

초고층 건물 기계설비 시공

KLCC Twin tower mechanical work

함 명 남
M. N. Ham
삼성건설(주) 건축설비팀



- 1950년생
- 기계공학을 전공하였으며 냉동 및 공기조화에 많은 관심을 가지고 있다.

1. 머리말

우리는 말레이시아의 독창성을 유지하면서 2020년 선진국 지위 획득이라는 이상을 구현하고 국제도시의 위상에 걸맞는 상징적 의미를 갖는 KLCC Twin tower를 시공하였다.

이 빌딩은 Kuala Lumpur의 심장부라고 일컫는 최적의 위치상 이점을 극대화하면서 KLCC complex의 상징 건물로 사무소 건물이 주를 이룬 인텔리전트빌딩으로 세계 제일의 높이인 451.9m를 자랑하고 있으며 중공(中空 : 지상 160m)에 스카이 브릿지를 성공적으로 설치하여 엔지니어링의 우수성을 알리는 계기가 되었으며 외벽의 금속재 커튼월 고유 이슬람건축을 따른 의장은 미래지향적인 이미지와 동시에 지금까지의 초고층 빌딩과는 한차원 다른 중후한 전통미를 자랑하고 있다.

아시아의 신시대의 개막을 알리는 KLCC Twin Tower를 완공한 삼성건설(주)은 역대 건축사에 빛나는 한 페이지를 장식하게 되었으며 한국의 건설기술력이 초고층을 시공할 수 있는 능력을 세계에 알리고 증명한 프로젝트이다.

2. 건축물 개요

발주처는 Kuala Lumpur City Centre Berhad 사이고 설계는 미국의 Cesar Pelli and Associates Inc.사로 건물은 지하 6층, 지상 92층으로 총높이 451.9m로 세계 최고높이의 건물이고 연면적은 216,901㎡ (65,728평), 기준층면적은 2,615.55㎡ (783평), 건물의 기준층 층고는 4m, 천정고는 2.65m 이다.

건물의 용도를 보면 지하6층에서 지하4층은 주차장, 창고, 저유조, 지하3층은 하역실, 변전실, 변압기실, 컴퓨터실, 주차장이 있고 지상층은 소매점과 건물의 연결부이고 1층~5층은 상가로 구성되어 있다.

그리고 기계실인 지하6층, 3층, 지상6층, 7층, 38층, 39층, 84층, 84M1~84 M3층, 87층, 88층을 제외한 실은 사무실로 구성되어 있다.

기준층의 서비스면적중 코아면적은 161평, 보조건물의 계단 및 서비스면적은 8.3평으로 서비스면적 대 기준층면적의 비는 21.62%(코아월 구조체 포함)이며 코아내부 면적의 구성을 보면 설비면적 12.8%(휨 룸 7.8%, 덕트 및 입상 샤프트 4.96%) 엘리베이터 43.4%, 구조체 면적

13.4%, 현관 8.96%, 계단실 7.44% 화장실 7.43%, 전화교환실 3.73%, 기타 2.94%로 되어 있다.

골조공사의 공기는 1994.3.14부터 1996.6.16 (27개월)로 총당 4.5일(실제공사일 기준)주기의 공정으로 시공하였다.

3. 건축계획 및 설계상의 특징

초고속 시공을 하기 위해 RC와 철골 조합, 공정에 맞춘 설계와 금속계단, 건식벽 시스템, 커튼월 시스템등을 적용하였고 본 타워의 외관은 정사각형을 돌려 8각형을 만들고 그 안에 원을 채워넣은 기하학적 형상으로 위로 갈수록 줄어드는 외관에 이슬람식 문양에서 빌려온 것이며 첨탑, 보조건물의 구성으로 초고층 건물이 갖고 있는 외관을 탈피한 아르데코적 요소로 개방형 평면을 채택하여 임대면적을 확보하였다.

설비라인을 코아월 내부의 자투리 공간을 이용해 분산 배치함으로써 임대면적을 최대화하고 기계실층은 분산하여 설비공간의 분산화를 유도하였다.

특수 구조물로는 두개의 초고층 타워를 중간 높이에서 잭킹으로 브리지를 끌어올리는 시공기술을 적용한 스카이브리지와 세계최고의 건물이 되게하는 65m의 스테인레스 구조로 된 첨탑이 있다.

외부 커튼월은 차광막을 도입하여 에너지 절약 효과 및 건축의장 요소로 이용하였다.

입주자의 분할에 따른 입주자의 요구를 극대화시켜 반영할 수 있는 장점은 있으나 설계정보의 부족으로 코디네이션의 어려움이 발생(특히 시공자)하였고 그 내용은 향후 요구의 불확실성 및 건축마감의 분산등을 말할 수 있고 설계는 미국에서, 감리는 현지에서 이루어져 의사결정이 늦어지는 경우가 많고 코아월이 주요한 구조체 역할을 하기 때문에 최소한의 개구만 허용하므로 건축, 설비 및 전기 각 공정에 대한 코디네이션의 어려움이 발생되기도 하였다.

4. 기계설비

4.1 개요

실시설계는 Tenaga Ewbank Preece(M) Sdn. bhd. (malaysia)에서 하고 기본설계 및 감리는 미국의 Flack + Kurtz사에서 하였다. 기계실의 구성을 보면 지하 6층은 소화 펌프 및 위생급수 펌프실, 지하 3층은 지역냉방 플랜트로부터 냉수를 공급받는 A/C 메인 냉수 순환 펌프, 지상 6층 & 7층은 저층부 급배기 웬 및 장비실, 38 & 39층은 중층부용 A/C, 위생 및 소화설비 장비실, 43 & 44층은 보조건물용 AHU 및 웬 장비실, 84층~84M3층은 상층부용 A/C, 위생 및 소화설비 장비실, 87층은 85층 & 86층용 장비실 등으로 구성되어 있다.

주요 기계장비로는 열 교환기 5대 (38층 3대, 84층 2대), 냉수 펌프 9대 (지하3층 4대, 38층 3대, 43층 2대, 84층 2대), 각종 급배기 웬 101대, 리프트 모터 R/M A/C 유닛 26대(통신실 포함), 공기조화기 102대이며 급수펌프는 지하6층 및 38층에 트리플렉스 펌프 각1대, 84층에 부스터 펌프 2대, 소화펌프는 지하6층 및 38층에 6개 zone의 스프링클러 12대, 습식입상 12대, 자키 펌프 12대가 갖추어 있다.

공조배관 시스템은 냉수 밸런싱을 위하여 리버스 리턴 입상배관 및 장비별로 밸런싱 밸브를 설치하였고 구역 2와 3은 판형 열교환기(동양 최대)를 사용하여 냉수를 공급하였다. 지하 6층~87층까지의 입상배관의 높이가 약 390m 정도로 자체수두를 분산 시키기 위해 다음 "표1"과 같이 3개의 구역으로 분리하였다.

공조 시스템은 층별 공조 시스템으로 각 층의

표 1 각 구역에 해당하는 펌프의 양정

| 구 분 | 해 당 층 | 각 펌프의 양정 |
|--------|------------|-----------|
| Zone 1 | 지하 6~지상 38 | 2,775 Kpa |
| Zone 2 | 38~84M1 | 2,775Kpa |
| Zone 3 | 84M1~87 | 1,040 Kpa |

공기조화기로부터 코아일 주변에 루프형상으로 설치한 메인 트렁크 덕트를 통하여 VAV 박스로 공급되므로 사무실 어느 위치에서나 정압이 균일하며 또한 덕트의 내부에 방음장치를 하여 소음기의 역할을 하도록 하였고 입상 덕트로부터 외기를 도입하여 배기 및 제연 시스템을 연결, 공조시스템을 단순화시켰다. 또한 배연용으로 사용된 불연덕트는 불연재(밤라이트 종류)의 양면에 다공 함석을 부착한 것으로 6mm(2시간 방화) 및 9mm(4시간) 2종류를 사용하였으며 시공성이 양호하고 재료자재가 차지하는 면적이 작은 장점이 있다.

배관 시스템에서 위생급수는 지하6층(RC 탱크), 38층(FRP 탱크), 84M1층(FRP 탱크)에서 각각 하향중력식으로 감압변을 통하여 공급하는 방식과 최상부층은 부스터 펌프를 통하여 공급하는 2가지 방식을 적용하였으며 배수는 별도의 압력강하장치 없이 배수시켰다.

배관재질을 보면 급수관은 동관, 양수 주배관은 후렌지 타입 아연도 강관, 오배수 및 우수관은 주철관, 압력이 걸리는 저층부의 우수관은 후렌지 및 메케니컬 조인트 타입 아연도 강관을 사용하였고 소화배관은 압력구분에 따라 배관 두께가 다른 SCH.#40과 SCH.#80강관을 사용하였다.

건물 수축에 따른 문제를 해결하는 방안으로 냉수 배관은 지하6층과 38층에 모든 입상배관의 하중을 받을 수 있는 엘보 서포트를 설치하고 각 층간 입상과 수평배관의 연결에는 충격을 흡수할 수 있는 기계적 이음쇠를 사용하며 위생 및 소화 배관은 매 10개층 간격으로 고정점을 설정하고 그 사이의 배관에 신축이음 장치를 설치하였다.

건물제어 시스템은 제어되는 모든 밸브 및 댐퍼는 NOS(Network Out Station) 또는 DDC(Direct Digital Controller)에 내장된 연산방식에 의해 작동하며 NOS, DDC, PID(Proportional Integral & Derivative)에서 상태감시를 하여 최적상태가 되도록 제어하고 각 층 AHU마다 DDC가 있어 매 3개층을 1개의 NOS 및 PID가 담당하여 독립제어시스템으로 중앙제어 없이 3개층 단위의 독립운전이 가능하게 하였다.

4.2 입상배관 및 수직 운동흡수

건물의 수직 운동에 따른 빌딩수축은 하중의 재하와 무관하게 콘크리트내의 수분이 줄어 이로 인한 체적의 감소로 기둥이나 코아등이 어느 일정기간 동안 수축하는 현상으로 매층당 5mm 수축을 기준으로 적용하였다. 냉수배관은 초기 통수시 매층당 0.45mm가 열축소되며 온도의 차이가 거의 없는 냉각수관 및 덕트는 고려대상에서 제외하였고 건물축소와 축소방향이 같으므로 이에 대한 고려는 무시하였다.

입상 배관 및 수직 운동흡수에 따른 문제를 보완하기 위해 적용된 시공방식으로 냉수, 급수 및 소화배관 입상관에 엘보 서포트로 지지하고, 입상관 지지용으로 스텔브 고정을 피하고 배관신축을 허용하되 수평변위를 고정하기 위해 스텔브 가이드를 설치하고, 입상관의 하부고정에 따른 배관 신축을 흡수하기 위하여 입상 최상부의 수평배관에 볼 조인트를 사용하였으며 일반 신축계수는 소구경 배관에 적용하였다.

또한 메케니컬 커플링(victaulic coupling)을 사용하여 배관신축에 따른 흡수가 가능하게 하고 입상배관에는 PFP방식 적용과 배수관의 입상신축을 흡수하기 위해 텔리스코픽 조인트를 설치하였고 입상덕트에는 후렉시블 조인트(캠바스 연결)를 사용, 수직 운동을 흡수하였다.

그리고 배관 및 덕트에는 서포트 & 브라켓을 사용하므로 각각의 지지 및 앙카에 대하여 하중(동,정하중)계산을 하여 서포트 및 브라켓을 설계하고 제작,시공하였다.

4.3 공조설비

단지내의 메인 칠러 플랜트에서 전 건축물의 냉방부하를 담당하는 지역냉방 시스템으로 KLCC twin tower 냉방용량인 11,500RT에 해당하는 냉수를 공급하고 있다.

공조배관은 시스템에 작용하는 정수두가 390m로 일반 건물에서 적용하고 있는 배관재 및 장비는 사용하지 못하므로 3개 구역으로 나누어 과도한 압력으로 인한 문제점을 해결하기 위해 3개의 존으로 구분하였다. 따라서 칠러 플랜트에

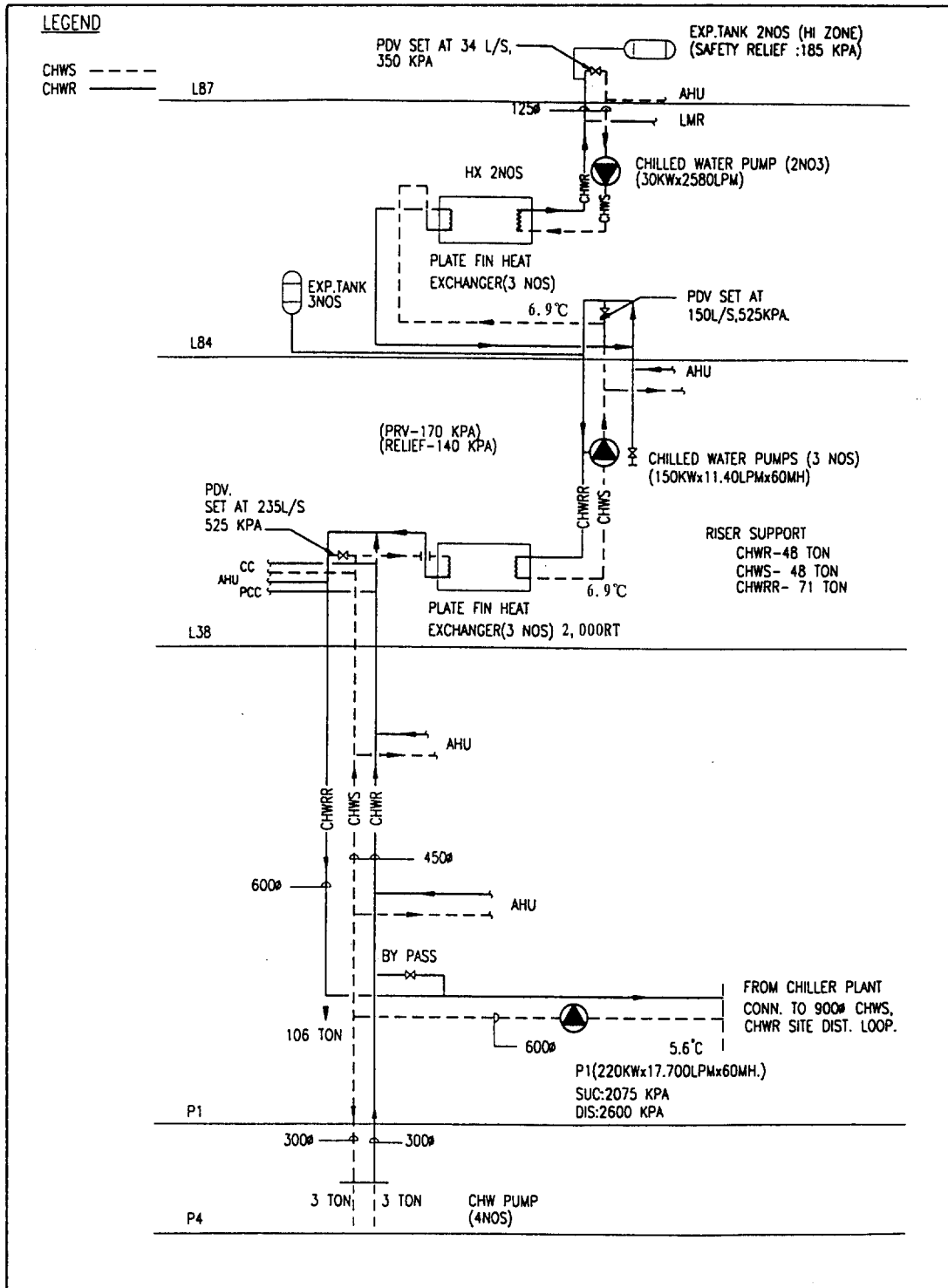


그림 1 Chilled Water Schematic

서 지하6층~38층 공기조화기 및 38층 열교환기(3대)에 5.6℃ 냉수공급하고 40층~83층은 공기조화기 및 84층 열교환기(2대)에 6.9℃ 냉수를 공급하며 최상층부인 84층~92층 공기조화기에는 8.33℃ 냉수를 공급하는 배관 시스템을 구성하였다.

배관 설계 및 시공에서 고려한 사항을 보면 연간 냉방부하가 걸리는 곳이므로 열신축에 대한 고려보다는 초고층 빌딩에서 초래되는 기동수축에 대비한 설계와 시공을 하였다. 따라서 냉수입상관에는 Victaulic joint 이음(8층~37층, 55층~83층)을 하고 입상관의 구부러지는 현상을 방지하기 위해 파이프 가이드를 2개층 마다 설치함과 동시에 L38층 기계실의 횡주관에는 볼조인트 설치하였다.

배관재 및 관내 유체중량에 따른 배관 지지방법으로는 입상배관에 전달하는 고정하중 동하중을 계산하여 지하3층에서 38층까지 감당하는 서포트를 지하3층에 설치하고 38층 이상은 스틸프레임을 38층에 설치하여 입상관의 하중을 감당하였다.

공조덕트는 층별공조 시스템이며 년중 냉방에 따른 최소 외기 도입방식으로 VAV 시스템이 적용되어 전층의 AHU 쉘을 인버터 콘트롤에 의해 회전수를 조절하고 전열교환기 및 예냉기를 사용하여 에너지절약을 유도하였다.

각층 공조실을 환기용 챔버로 이용하여 화재시 공조실 내부를 통하여 제연하고 6층, 38층, 84층에 위치한 기계실에서 외기 도입용 공조기로 3개 Zone으로 구분하여 외기를 취입, 덕트샤프트를 통해 각층 AHU에 외기를 공급하는 시스템을 구성하였다.

건물 기동수축에 대비하는 방법으로 입상덕트의 약 10개층 마다 후랙시블 조인트를 설치하였고 화장실배기는 방화 샤프트인 배기샤프트를 통하여 배기시켰다.

4.4 위생설비

고가수조를 이용한 하향급수방식을 채택하고 36층이하, 81층이하, 82층 이상의 3개 구역으로 구성되어 있으며 배수 시스템은 오배수 합병방식

으로 오배수 배관과 우수 배수배관으로 구분하였다.

급수설비는 고가수조에 의한 하향공급 방식으로 지하에 저수조를 두고, 38층, 84M1층에 고가수조가 있으며 DW(drinking water), FW(flushing water)의 두가지 시스템으로 하여 기구말단의 최소압력이 초과되는 구역은 감압밸브로 감압하고 82층 이상은 부스타펌프를 설치하여 공급하였다.

저수조내의 물은 펌프로 연속순환시키면서 UV소독기를 통과하게 하여 소독하였고 숯을 이용한 필터를 사용하여 수중에 함유되어 있는 화학계성분을 제거한 물을 공급하여 커튼월 청소작업에 따른 유리 손상을 방지하는 방식도 적용하였다.

배관설계 및 시공을 보면 내압 차이에 따라 지하 6층~15층, 38층~54층은 G.I(API SCH40), 16층~38층, 55층~84MO층은 G.I(JIS 3452로 배관재질을 변경하였고 오배수는 합병방식으로 배수 입상관을 하나의 구역으로 설계 및 시공하고 우수 배관의 경우 지하 2층~10층간은 내압이 높으므로 G.I(SCH40), 11층 이상은 C.I를 사용하였다.

기동수축에 대한 대책으로는 각 물탱크로의 양수 배관은 메카니컬 타입 익스팬션 조인트를 이용하고 하향 급수배관은 10개층마다 익스팬션 루프를 설치하고 배수 및 우수배관의 입상관에는 각 10층마다 텔리스코픽 조인트를 설치하였고 입상이 시작되는 부분에는 엘보 서포트를 설치하였다.

4.5 소화설비

물배관의 경우 NEPA를 기준으로 공기의 경우는 호주소방법을 기준으로 설계되었으며 옥내 소화전 설비는 고가수조를 통하여 중력에 의한 자연수압을 이용하여 옥내소화전에 소화수를 공급하고 8개 구역으로 구분하였다. 기능은 국내와 동일하나 틀린점은 소화반경 30m, 호스직경 25m, 방수량 24lpm이다. 스프링클러 설비는 지하층과 38층에 있는 소화수조가 있으며 주펌프 및 보조펌프를 이용한 상향공급하는 방식으로 6

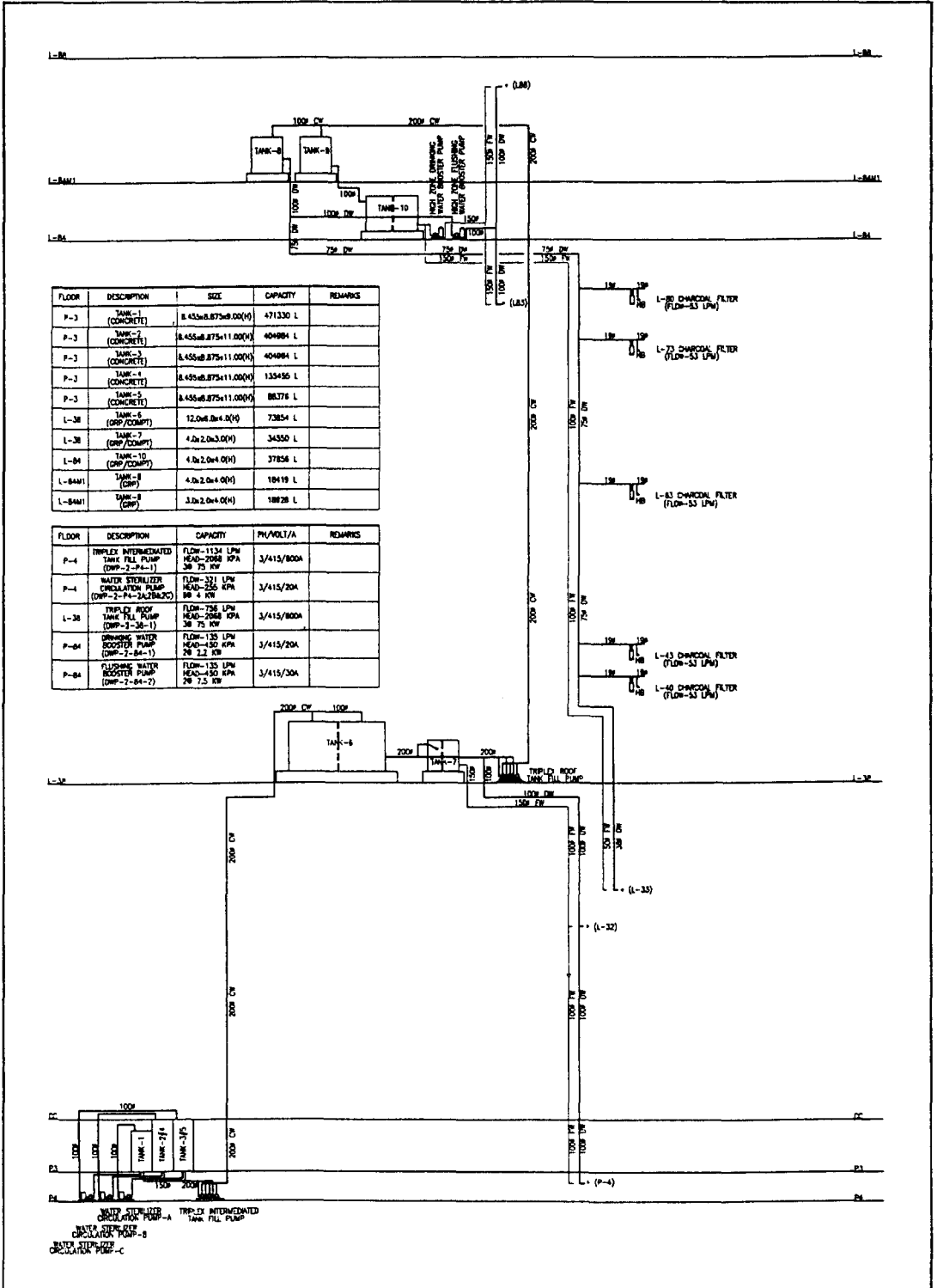


그림 2 Domestic water & flushing water piping schematic diagram

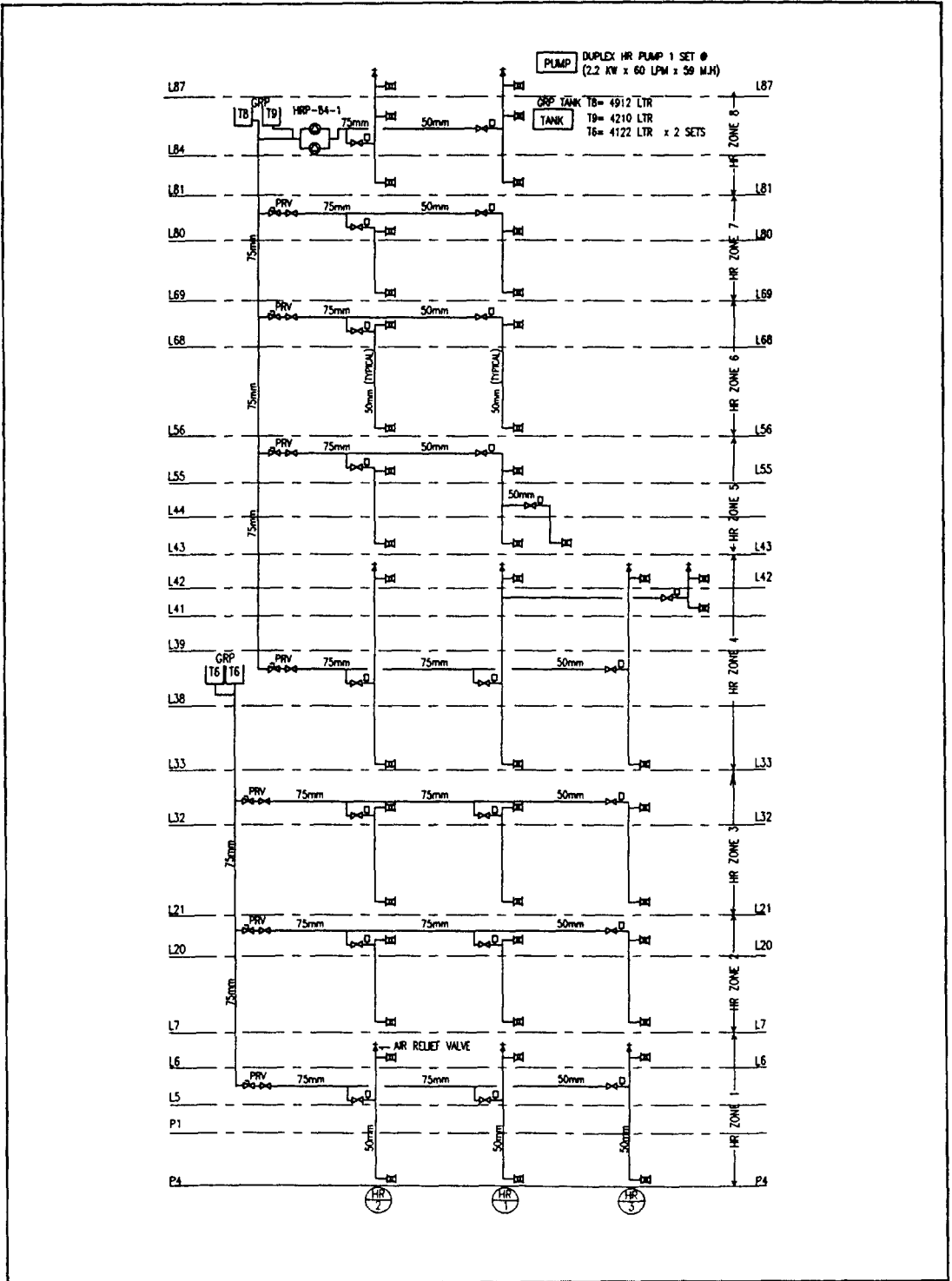


그림 3 Fire hose riser diagram

개 구역으로 구분하였고 방수압이 기준(7kg/cm²이내)이상인 곳은 층별로 감압밸브를 설치하였다.

그리고 연결송수관 설비는 국내 연결살수 설비와 동일한 방식으로 주펌프 및 보조펌프로 상향공급하는 방식으로 6개 구역으로 구분하였고 방수압이 기준치 이상인 층은 층별 감압변을 설치하였다. 계연설비의 경우 공조실 자체가 플래넘 챔버로 화재시 이곳을 통하여 4시간용 계연샤프트(방화샤프트)를 통하여 연기를 배출하며 계단실과 엘리베이터 등이 있는 전실은 가압 덕트방식을 적용하였다.

소화배관의 설계 및 시공을 보면 기동수축에 대한 대책으로 입상의 약 10개 층마다 메케니컬 커플링 타입 익스팬션 조인트를 설치하고 입상이 시작되는 부분에 엘보 서포트를 설치하였다.

4.6 자동제어 설비

고도의 정밀제어가 요구되고 편리한 제어 및 에너지 절감을 극대화 할 수 있는 DDC와 주파수 속도 조절 방식을 적용하고 3개층 단위로 독립제어 및 호스트컴퓨터간의 신호체계를 구축하였다.

4.7 시공상의 유의점

첫째, 장비 및 자재의 양중시 적용된 방입방법 및 고려사항은 다음과 같다.

둘째, 초고층 건물 시공시 문제점을 발체하면 작업 space의 부족을 들수 있는데 수직공정으로 인해 현장에 자재 야적장이 부족하여 장비 및 자재가 공장에서 모든 공정이 이루어져야 하는 어려움과 양중의 경우 장비 및 자재양중 대기시간이 길어 적절한 시기에 양중하지 못하므로 공정에 차질이 발생한다. 또한 인력양중은 인력투입시간이 길어 업무능률이 떨어지고 효율적인 작업자 관리가 어려우며 쓰레기양중의 경우 작업장내 쓰레기처리가 원활하지 못하여 작업에 방해되므로 이에 대한 고려가 있어야 한다.

QA/QC의 경우 작업자의 능력부족으로 인하여 시행착오가 발생하고 모든 공정에 정밀한 시험이(덕트 및 배관압력 등)요구되며 공정완료 후 검사가 까다로워 인도가 지연되는 경우가 많아 계획 수립에 충분한 고려를 해야 한다.

셋째, 용접은 배관작업의 많은 부분을 차지하는 용접수준이 6G수준으로 요구되나 고기능의 용접기술자가 부족하여 작업에 어려움이 있다. 따라서 배관용접 품질보증을 위해 시행한 기준을 열거하면 모든 배관은 ANSI B31.1-Power Piping의 기준에 따르고 Factories and Machinery Dept.에 등록된 숙련 용접공만을 고용하며, 용접사는 공인된 시험소에서 발부한 유효한 자격증명서를 소지한 자로서 자격증명서는 발부된지 1년이 넘지 않아야 한다. 90일이상 용접을 하지 않은 용접공은 재시험을 받지 않거나 무자격 용접공은 고용해서는 않된다.

시공자는 각 용접공의 작업을 관리하여야 하며 각 용접공에 의해 수행된 각각의 용접은 표기 및 기록 보존되어야 한다. 만일 용접공이 계속적으로 불량용접을 할 경우에는 현장에서 배제시킬수 있다. 이 용접공에 의하여 수행된 모든 용접은 시공자의 비용으로 검사 및 교체작업을 하여야 하고 용접개소의 검사 감광필름을 E.R 검토 후 보관하여 공사완료시점에 E.R에 바인더로 제출하도록 한다. 모든 용접 소모재는 제작자의 규정에 맞게 보관 및 취급되어야 하고 시공자는 용접공에게 정기적으로 가열되는 용접봉 보관통을 지급하여야 하고 4시간후에 미사용된 용접봉이 반납되는 것을 확인할 책임이 있다.

그리고 ANSI에서 규정하는 것보다 5%이상의 용접불량이 발생할 경우, 시공자는 용접의 100%를 테스트 하여야 하고 모든 불량 용접개소는 절단하여 새 파이프용 용접해야 하며 강관은 ASME규격 B31.1을 기준하여 테스트해야 한다.

| 반 입 방 법 | 고 려 사 항 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>1. L5이하층 이동 크레인을 이용하여 직접 반입하고 층고가 낮은 부분은 손수레를 사용하여 층에 반입.</p> <p>2. L6-7, L38~39, L84(기계실층) 1) 반입 장비량이 많고 배관, 덕트, 전기 T/R의 자재가 많아 상하차대를 설치하여 반입.</p> <p>2) L6층 보조건물 스라브를 본건물과 같은시기에 콘크리트를 타설하여 상하차대로 사용.</p> <p>3. L8-L6(기준층) 1) 손수레를 사용하여 반입.</p> <p>2) 철골 완료후 수직으로 반입 금속판을 설치 이전 상부층 철골에 걸기</p> <p>4. L17-L81 & L87(기준층)3의 2항의 매달리게 하는 방법</p> | <ul style="list-style-type: none"> · 이동 크레인 50톤이 워그 데크 진입 가능 여부 확인 되어야 함. · 가장 안전한 방법이나 가대제작 및 설치 비용 · L38 및 L84의 판형열교환기(13톤) 반입 방법. · L84 양중시 바람에 의한 영향고려. · L84 차광판 설치. · KLCC 승인 문제 및 골조공정가능하면 가장 이상적인 방법임. · 저층부의 공사순서가 확정되기 전이므로 안정성 및 타공정과의 간섭을 줄이기 위해 사전반입하여 매다는 방법보다 손수레 사용방법을 택함. · AHU 바닥 프레임 보강 및 보연결 부 방화막 추가 덧 씌움. · 하도자측에서 전혀 경험이 없는방법이라 채택을 주저함. 공정상 꼭 필요할 경우 시공업체의 경제적 부담을 덜도록 지원하는 방법 고려. · 매달때의 안정성. · 장비 반입시기가 정확해야함. |

5. 맺은말

상기에서 보여진 바와 같이 KLCC 건물에 적용된 설계와 시공에 대해 지면을 통해 전부를 나타낼 수는 없지만 국내 초고층 건물 계획시 필요

한 자료로 활용되기를 바라며 향후 국내에서 초고층 건물의 시공이 더욱더 활발해 지리라고 예상되며 한차원 발전된 설비기술 개발에 참고가 되기를 기대해 본다.