리프트업 공법의 動向과 특성

A Trend of "LIFT UP" Method and Case Study

- 건축 사례에 따른 기술적 고찰 -

최근 건축현장에서 리프트업(Lift Up) 공법이 관심을 끌고 있다. 공법을 가능하게 하는 배경에는 제어, 계측기, 유압장비, 와이야의 개발, 컴퓨터 등이 있어, 몇 천톤되는 구조물을 양정시키고 있다. 소개하는 사례는 국내, 일본, 말레이시아 등인데, 본 사례는 기술분야 뿐만 아니라, 설계 의도를 구체화 시키는데 많은 도움이 있을 것으로 확신한다.

李 鶴 榮*
Lee, Hak Young

1. 머리말

뷔트루뷔우스(Vitruvius)가 저술한 건축10서에 보면, 기원전 4세기경의 신전이나 공공건물을 건축하는데 도르래, 활차, 감아 올리는 장치(Hoisting Class) 등이 이미 활용된 것으로 알려지고 있다. 그 당시에 사용된 동력은 주로 사람의 힘이나 바람 등을 이용하는 극히 원시적인 기구들이었음을 생각하여 볼 때, 24세기가 지난 오늘날의 양정계획은 그동안 인간의 지혜를 총 동원하여 개발한 기계, 장비, 제어시설, 전산개발 등이 양정을 가능하게 만들었다.

최근에 시공중인 대형 프로젝트의 건축현장에서 이러한 리프트업(Lift Up)공법이 과감히 시도되고 있는 여건을 감안할 때, 학계 및 업계에서는 비상한 관심을 갖고 주시하고 있다.

일례로 종로에 시공중인 삼성생명보험의 톱크라우드 빌딩, 일본의 동경 국제전시장의 회의동 건물, 말레이시아의 쿠알라룸푸르 시티센터에 있는 페트로나스 빌딩의 공중교량의 사례는 모두 제어계측과 유압잭의 발전이 있었기 때문이다.

이것은 종합기술의 개가이며, 장비의 발전이다. 이러한 대형 건물 블록을 목적 지점까지 이동시킬 수 있는 기계의 개발은 무한히 발전될 것이며, 필자가 견학한 자료를 비교 검토하므로서 향후 이 분야에 관심 있는 실무자들에게 본 공법의 특색을 소개하는데 목적이 있다.

2. "리프트업"공법의 적용동향

건설기술은 실제 공사에 적용될 수 있을 때에 실질적 가치가 있다는 관점에서 볼 때, 최근 이러한 공법의 시도는 주시해 볼 시공 역사이며, 설계의도를 만족시키려는 엔지니어링과 시공 기술력 확보에 진일보된 시도가 아닐 수 없다.

1) 국내의 리프트업 사례 : 우리 나라에서는 '97년초 김포공항에서 항공시설의 대경간 트러스를 양정한 실적이 있고, '98년 7월에는 건물의 일

*건축시공기술사, 극동엔지니어링 사업본부/ 감리팀 상무이사, 본회 홍보위원.

부골조에 마감공사를 완성하여 리프트업 시킨 사례는 이번에 시도한 톱 크라우드 현장에서 양정한 것이 선두적 사례라 할 수 있다.

이번 시도된 양정 대상은 22층 높이에서, 23층으로 거의 마감된 1개층을 들어올리는 작업으로, 총중량이 3,200톤인 양정 구조물의 용도는 스카이 라운지, 주방, 기계실 등이 수용되어있다. 지하 6층, 지상 23층 이지만 30m 중공층이 있으므로 실제 층수는 35층 높이에 해당되고, 최고 높이는 133.5m로 전망대의 성격을 가진 레스토랑으로 설계 되어있다.

2) 일본의 적용동향 : 지난 '94년 7월 2일 동경만에 위치한 "동경 국제전시장" 건물은 하자마외 7개 회사가 시공중인 현장이며, 대회의동이 수용하는 회의실, 스카이 라운지 등의 시설물을 양정 23.2m, 총중량 약 6,500톤의 대공간 건축물을, 4개의 대형 기둥에 리프팅 빔을 걸고 인양이 시작되어 약 9시간에 걸쳐 리프트업이 진행되어, 마감된 몸체를 정착시킨 바 있다.

또한 같은 현장에서 시미즈(淸水)건설이 개당 무게가 2천톤이나 되는 지붕부재를 19m까지 양정하였으며, '93년 3월 가지마(鹿島) 건설은 하내다 공항의 점보기 격납고 신축공사에 6,000톤의 대형지붕을 프시업(Push Up) 공법으로 시공한 바 있다. 그리고 '92년 5월에는 다케나카(竹中) 공무점이 신 우메다(新梅田) 스테이의 1,036톤 되는 공중정원을 스트랜드 와이어 방식으로 리프트업 시킨 바 있고, '94년 동경만에 있는 텔레콤센터 현장에서도 타이세이(大成) 건설외 6개건설 J.V팀이 철골조를 지상에서 시공하여 거의 마무리된 회의실을 20층까지 리프트업 시킨 바 있다.

3) 말레이시아/페트로나스 빌딩의 공중교량 : '95년 8월 말레이시아의 수도 쿠알라룸프르 시티센타(KLCC)의 페트로나스 빌딩에 시공된 바 있는 스카이 브리지는 지상에서 연결 교량을 조립하여 지상 177m를 양정하여 공중에서 블록을 접합하였으며, 양정된 중앙블록의 양정 무게는 400톤이며, 가이드 레일 없이 리프트업이 시도되었다.

3. 대상 건축물의 비교검토

1) 건축개요와 여건분석

앞에서 언급한 바와 같이 국내외에서 적용된

〈표 1〉 건축 개요

구 분	톱 클라우드	동경 국제전시장	페트로나스 빌딩
1. 대지위치	서울 종로구 공평동	일본 동경도	말레이시아 쿠알라룸프르
2. 발 주 자	삼성생명보험	동경도 노동경제국	쿠알라룸프르 시티센터
3. 부지면적	5,034.73㎡	약 60,000㎡	약 660,000㎡
4. 건물높이	133.5m	65m	450m
5. 연 면 적	53,616.77㎡	65,000㎡	216,901㎡
6. 건물규모	지하 6층, 지상 23층	지하1층, 지상 8층	지하 6층, 지상 92층
7. 구 조	SRC조	SRC조	SRC조 및 RC조
8. 설 계 자	삼우설계&RVA(미)	동경도재무국/사또종합계획	시저 펠리팀
9. 시 공 자	삼성물산/건설부문	하자마외 7개사 JV	삼성,극동, 자사테라 JV
10. 공 기	'90. 3~'99.10(예정)	'92. 10~'95. 10	'94. 3~'96. 6
※리프트업 대상부위	지상23층의전망대 /레스토랑(1개층) (설계변경:공기지연)	6층~8층의 대,중회의실 및 스카이레스토랑(3개층)	지상177m(41층/44층)에 있는 2층의 공중교량

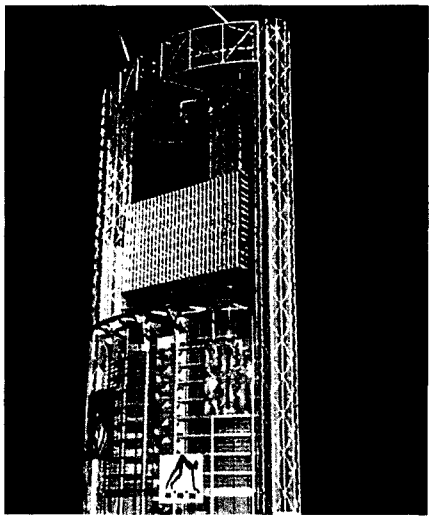
〈표 2〉 3개 사례에 대한 특성비교

구 분	톱 클라우드	동경 국제전시장	페트로나스/스카이브리지
1. 양정 제원	64L*40W*11.5H (m)	90L*90W*21.6H (m)	57L*5W*8H (m)
2. 양정 무게	1차:1,700톤 → 2차:3,200톤	1차:5,600톤 → 2차:6,500톤	중앙블록:400톤
3. 양 정 고	1차:0.4m → 2차:30m	1차:0.15m → 2차:23.2m	지상 170m
4. 동 원 잭	300톤 잭:16대	200톤잭외 2종:64대	120톤 잭:8대
5. 가이드 레일	있 음	있 음	없 음
6. 수평제어기준	변형±5㎜/하중±10%	양정시±7㎜	변형±50㎜
7. 레벨 계측기	레이져 빔+물수평	레이져빔	물 수 평
8. 난 이 도	▶ 비대칭형 구조물 ▶ 변형 및 하중제어 ▶ 하중지점의 거동해석	▶ 해안의 해풍 고려 ▶ 지진다발 지역고려	▶ 중앙블럭의 경사 ▶ 바침 지지대의 연결 ▶ 양정시 속도조절

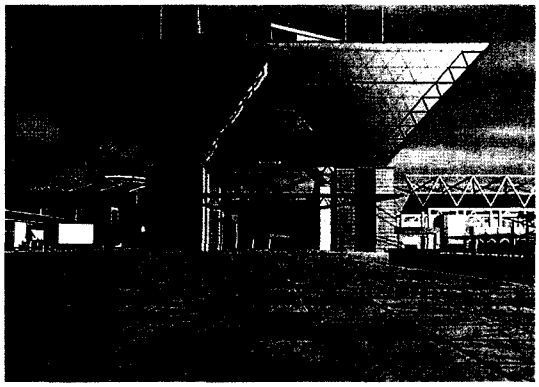
현장별 공사규모와 리프트업의 대상 제원에 대하여 비교검토 하므로서, 쌍방 기술적인 대비를 할 수 있는 것으로 3개 모델의 건축개요를 비교하면 앞의 〈표 1〉과 같이 정리된다.

이상의 3개 모델의 리프트업 적용대상 건축물의 외형적인 개축개요를 비교 하였는 바, 3개 프로젝트는 공통적으로 상징적인 조형물과 설계 디자인 개념이 이미 리프트업의 적용을 고려 했어야 할 필요조건을 갖추고 있음을 좀더 구체적인 접근을 통하여 알 수 있다.

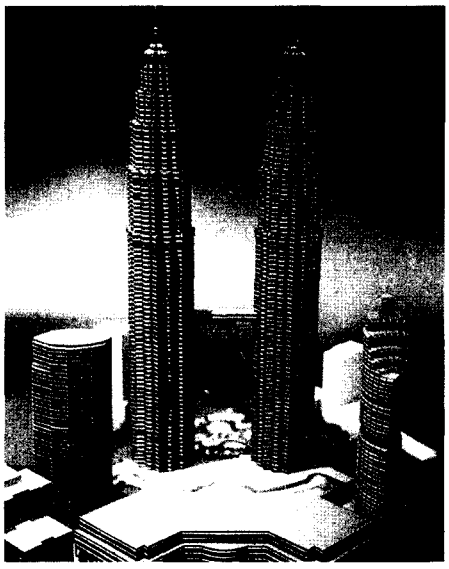
톱 클라우드는 중앙의 중공(中空)층이 약 30m



〈사진 1〉 탑 클라우드 외관



〈사진 2〉 동경 국제 전시장



〈사진 3〉 페트로나스/스카이 브리지

있으므로, 고소의 비계공사를 필요로 하고 있고 (사진 1 참조) 동경 국제전시장은 역 사각추의 구조물(사진 2 참조), 이므로 지상에서의 공사가 여러측면에서 용이 할 것이라는 잇점을 갖고 있다.

페트로나스 빌딩은 쌍둥이 건물의 중간에 설치될 공중교량이므로 건물의 중앙에 비계를 조립하여 지상 177m 위치에서 철골을 조립하는 것은 연관 공정을 위하여 많은 장애 요인이 있음을 감안하고(사진 3 참조), 2개동이 일본과 한국측에 각각 분리 발주된 주건물의 수직공정이나 상호 여건으로 봐서, 단 시간내에 거의 완제품을 시공하여, 접합하는 것이 모든 공정상 유리할 것이라는 판단을 얻을 수 있을 것이다.

2) 대상 건축물의 리프트업 개요

앞에서 언급한 바와 같이 각종 건축물의 특성과 설계 여건상 리프트업의 필요성을 직접, 간접적으로 적용하게 되는 구체적 이유들이 있게 마련이다. 그러한 기술적 검토와 장비동원, 계측제어, 프로그램 시뮬레이션 등을 모니터링 할 수 있게 되면서, 가능성을 더욱 구체화 시키고 실행에 옮겨지게 된다. 앞페이지의 (표 2)에서는 구체적으로 동원된 아이템들을 비교 하므로서 그 특성을 고찰할 수 있다.

4. 사례에 따른 특색

최근 리프트업 공법의 적용사례는 실적이 늘어나고 있는 추세이다. 이 공법을 대체적으로 구분하여 보면 로트(Lot)방식, 푸쉬업(Push Up)방식, 스트랜드 와이어(Strand Wire)방식, 핀(Pin) 삽입방식 등이 있다. 중량물을 밀어 올리거나 당겨 올리거나 유압이 동원되기는 비슷한 방법이나, 연구나 문헌상 아직 정립된 분류방법은 없지만, 잭에 사용되는 로푸가 어떤 것을 이용하느냐에 따라 연구해 볼 필요가 있다고 생각한다.

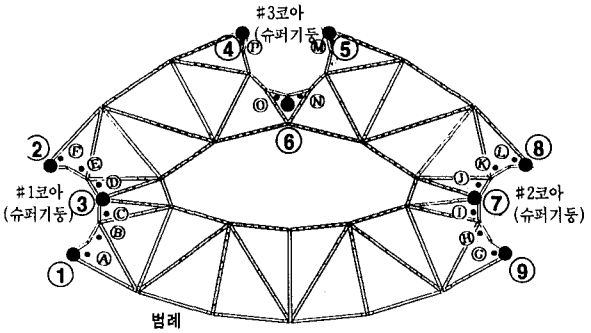
1) 톱 클라우드의 특성

위의 현장은 물수평과 레이져 빔의 계측이 병행되었으며, 레벨의 변형은 ±5mm, 하중제어 ±10%로 계획되었으나, 대칭하중이 아닌 평면에서 응력의 분포와 거동의 이동이 주요한 문제중의 하나 이었다.

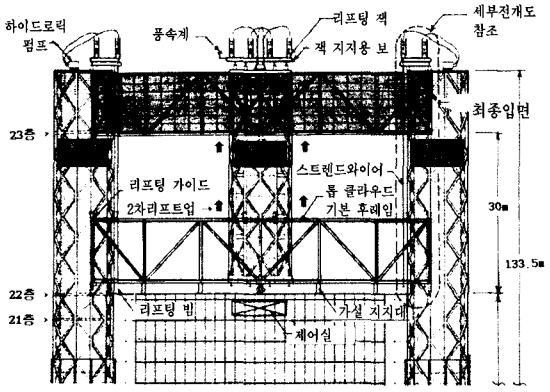
대상의 전면부가 돌출되어 기본층 평면보다 전면이 내빈보의 성격을 갖고 있으므로 철골 조립이나 마감을 위하여 가설 댁(Deck)을 설치하여야 하는 어려움을 확인할 수 있었다.

리프트업 진행을 위한 작업 프로세스는 ① 22층 철골작업이 완료되면서 가설 스테이지와 19층, 21층의 가설 사포트(Support)설치, ② 22층 바닥 콘크리트 타설, ③ 먹메김, ④ 가설지지대 설치, ⑤ 23층용 철골조립, ⑥ 1차 리프트업 실시, ⑦ 2차 리프트업의 순서로 진행되었다.

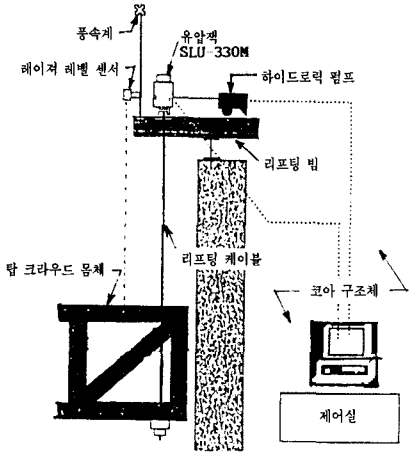
계측된 1차 실측지점은 〈그림 1〉에서 보는 바와 같이 9개의 유압잭이 동원되었고, 계측 계획과 시행결과는 〈표 3〉에서 보는 바와 같은 결과를 얻게 되었는데, 이 작업은 22층에서 골조 조립을 시작하여 계획된 철골하중은 1,700톤이었으나, 1차 리프트업 결과 실재 재하된 무게는 1,544톤이 재하되었고, 계측된 평균 높이 측정도 398.3mm로 양정시킨 결과가 되어 결국 1.7mm



〈그림 1〉 1차 계측지점과 2차 하중분배



〈그림 2〉 각종제어 기능의 설치약도



〈그림 3〉 세부 전개도

〈표 3〉 1차 리프트 업의 계측결과

측정지점		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	합계
하중	계획	195	120	87*4	95	95	90*2	88*4	120	195	1,700
(톤)	결과	181	107	77*4	87	89	85*2	78*4	105	185	1,544
레벨	계획	1차 리프트업 높이 : 400mm									400
(mm)	결과	405	395	401	395	394	399	400	398	398	398.3

의 오차를 가져왔으나, 허용 변형내에 있으므로 1차 시도는 계획대로 양정 되었다고 할 수 있다. 제어실은 21층에서 관측, 조종되었으며, 〈그림 2,3〉에서 보는 바와 같은 계기들이 설치되어있는 3개코아는 구조상 슈퍼기둥 역할을 하면서 시공중에는 가설계단 역할을 하고, 완공후에는 설비 닥트나, 수직 동선인 승강기, 계단 역할을 할 수 있도록 설계 되어있다.

타원 도넛 형태인 평면도는 가운데 공간사이에 2개의 공중복도가 있고, 이 건물은 기둥 자체가 기수열이기 때문에 비대칭, 불균등한 하중의 분배를 제#3 코어를 중심으로 대칭화하여, 잭에 하중분배(Load Distribition)된 것을 소개하면 〈표 4〉와 〈그림 1〉과 같이 계획되었다.

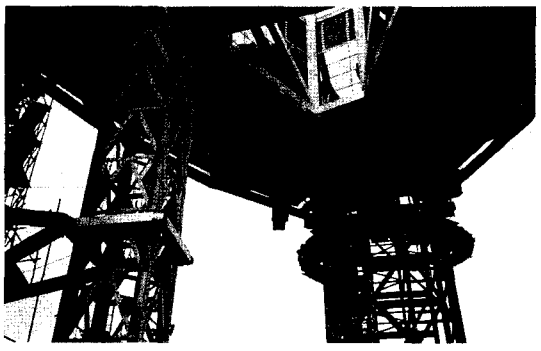
〈표 4〉 불균등 하중에 따른 잭의 하중분배

잭의 반력(하중제어±10%)									
분배지점	A&G	B&H	C&I	D&J	E&K	F&L	M&P	N&O	합계
1지점반력(톤)	225	250	251	255	254	226	258	228	1,947
2지점반력(톤)	450	500	502	510	508	452	516	456	3,894

단계별	부재상황 (mm)	처짐 예상 약도	비 고
1	당초 제작설계시 · 캠버 : 140	140	
2	프레임 설치후 · 가설 구대처짐 : 50	50 90	골조하중 → 1,700톤
3	1차 리프트업시 · 1차양정시 처짐 : 25	75 65	
4	2차 리프트업시 · 2차양정시 처짐 : 20	95 45	골조+마감 → 3,200톤
5	최종 잔여 캠바 · 최종 처짐 : 25	120 20	

〈그림 4〉 처짐에 대한 캠바계획

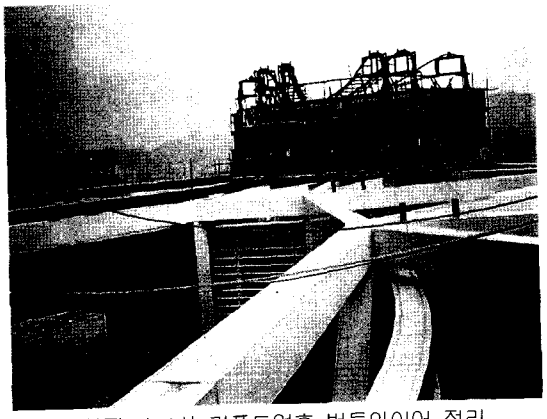
16개 지점의 잭이 전체 부담하는 하중은 3,894톤이며, ±10% 제어범위는 3,504.6톤에서 4,283.4톤의 범위 내에서 조절되면서, 양정고 29.6m를 평균속도 3m/hr로 리프트업시켜, 약 10시간에 걸쳐 양정이 성공리에 끝나, 제2코어의 계측지점 H, I, J, K,는 〈사진 4〉와 같은 접합



〈사진 4〉 제2코아 접합디테일

디테일을 볼 수 있다.

유압잭에 의한 스트렌드 와이어의 정리상태는 〈사진 5〉와 같이 정리되어, 완전정착 될 때까지 유압잭의 기능이 유지되었고, 리프트업의 단계별 처짐 상태와 캠버(Camber) 결정은 〈그림 4〉와 같이 계획되어 기술적 접근이 시도되었다.

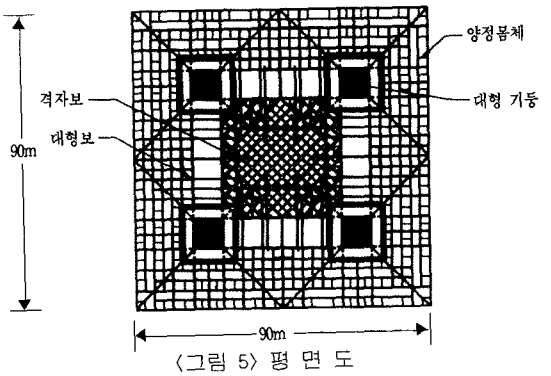


〈사진 5〉 2차 리푸트업후 번들와이어 정리

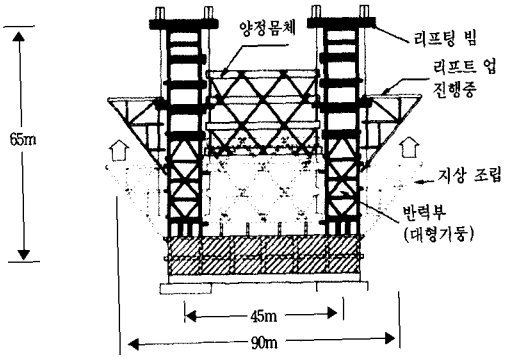
2) 동경 국제전시장의 특성

일본 동경 국제전시장의 회의동은 로트(Lot) 방식으로 대형기둥(6m*6m) 4개에 〈그림 5, 6〉에서 보는 바와 같이 전체하중을 지지 시키고 있다. 평면도와 단면도 및 리프트업 진행 등을 검토하여 보면 모든 것이 대칭구조로 설계되어, 하중의 분배가 용이하며 4개의 대형 기둥이 반력부가 되고, 스텝 롯트(Staff Lot)가 인장을 받으면서 양정이 진행되는데, 특이한 것은 롯트의 피치 150㎜가 유압에 제동되면서 상승하므로, 로트는 완료까지 이동이 없이 인장 레일과 같은 역할을 하고 있다. (〈그림 7〉 참조)

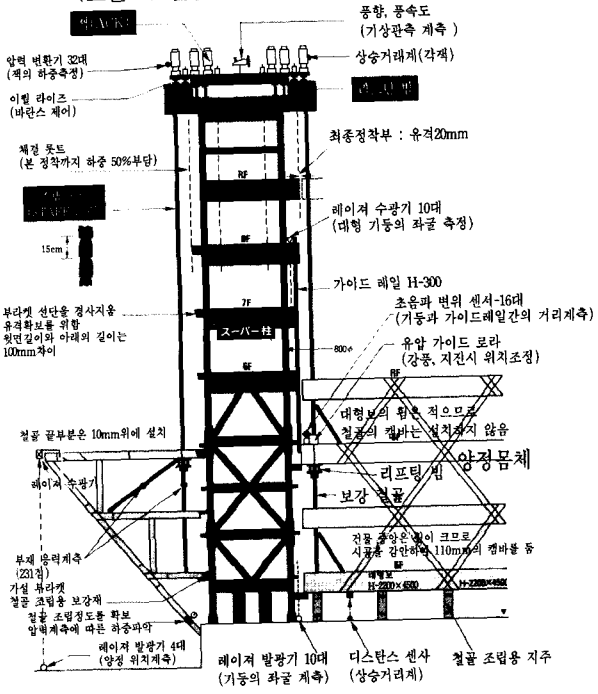
리프트업이 진행되는데 소요되는 계측관리는 철골구조가 완성되고, 리프트업이 완료 될 때까지 일관성 있는 안전시공이 유지되어야 하므로, 계측기기가 적재 적소에서 그 기능이 발휘되어야 한다. 수용되는 계측 시스템은 응력, 변위, 기상,



〈그림 5〉 평 면 도

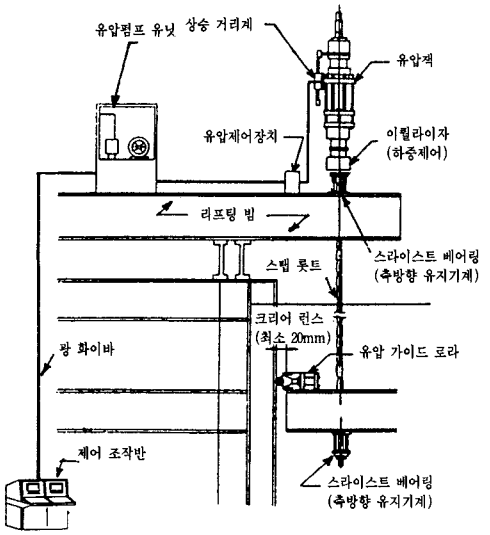


〈그림 6〉 단면도 및 리프트업 전개도

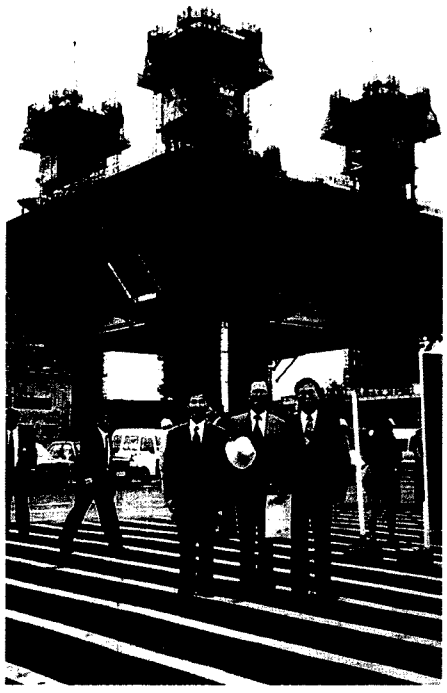


〈그림 7〉 리프트업 개시전 전개도

하중, 상승량, 데이터 기록까지 일관성 있게 관리되고 유지되어야 함은 물론이고, 특히 〈그림 8〉과 같이 릴타임(Real Time)이 진행되면서 철골



〈그림 8〉 세부 전개도



〈사진 6〉 리프트업의 진행(10m 지점)

구조의 거동이 자동계측 되어야 한다.

8층 대형보의 중앙은 지상에 있을시 6mm변형이 양정시엔 7mm의 변형이 발생하였고, 격자보는 지상에 있을시 52mm에서 양정시에는 65mm의 변형이 있은 것으로 보고되었다. 이러한 앞의 모든 조건 속에서 동경 국제전시장의 전개도의 예를 들면 〈그림 7〉과 같은 준비가 완료된 이후 상황이 진행되었다.

앞의 〈그림 7〉에서 보는 바와 같이 세부적인 특징은 대형기둥 1개당 200톤 잭(롯트직경ø140mm)이 4대, 150톤 잭(ø120mm)이 4대, 80톤 잭(ø85mm)이 8대가 동원되어, 기둥 1대당 2,040톤의 지지력이 작용하여, 4개의 대형기둥은 8,016톤의 하중을 받아도 지장이 없도록 체크되었다.

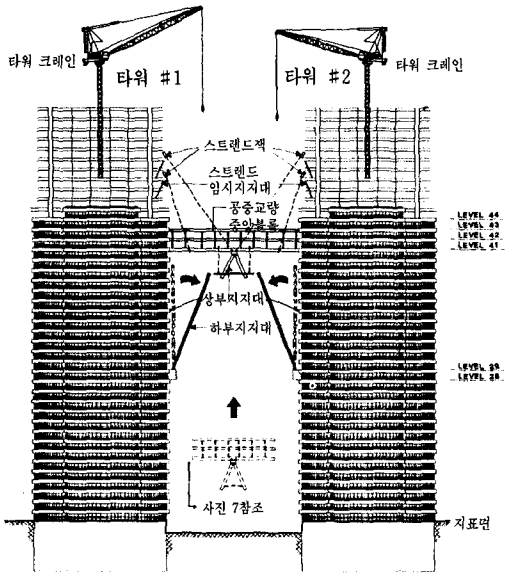
여유율(양정능력/중량)은 약 1.3이며, 상승속도는 2.7m/hr로 진행되었고, 리프트업의 진행을 중단하여야 하는 조건은 10분간 평균풍속이 10m/sec 이상 이거나 지진이 발생했을 때 진행을 중단하여야 하는 조건하에 양정고 23.2m를 약 9시간에 걸쳐 리프트업 시켰다.

3) KLCC/페트로나스의 공중교량

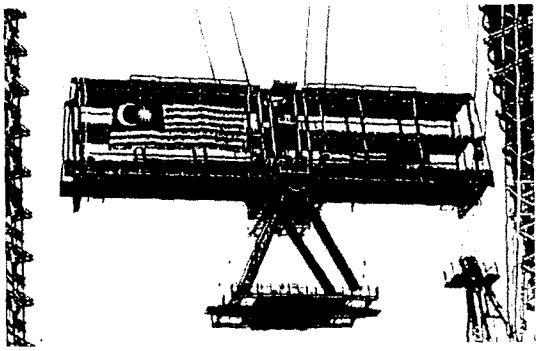
쌍둥이 건물의 유기적 동선 확보를 위하여 41, 42층을 잇는 이 공중교량(Sky Bridge)은 건물도 최고를 자랑하고 있지만, 최고의 건물을 잇는 공중교량으로도 최고(最高)로 기록된바, 길이 57m의공중교량은 지상에서 177m 위치에 있다.

이를 공중에서 시공한다는 것은 가설비계나 연관작업, 공정관리상 쌍방에 지장을 초래하기 쉬우므로 지상에서 반완제품을 제작하여 양정을 시도 하는 것이 시공성, 안전성, 경제성으로 봐서 가장 합리적인 방법으로 고려되었을 것이다.

〈그림 9〉에서 보는 바와 같이 중앙블록과 양측 부라켓 블록, 지지대 2개 블록을 합하여 5개 분할 구조물을 120톤 스트렌드 잭 8대를 동원하여



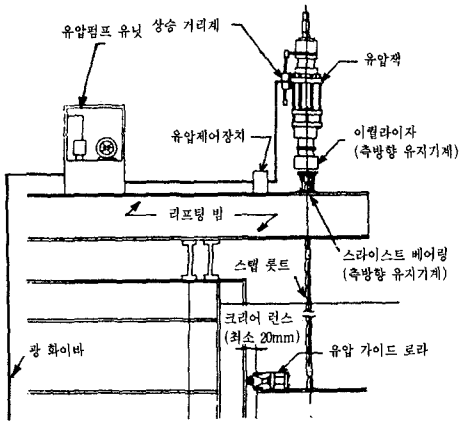
〈그림 9〉 공중교량의 양정 계획도



〈사진 7〉 공중교량의 양정진행

400톤의 중앙블록을 양정하여 하부 지지대와 상부 지지대를 도킹 접합하고, 양측 브라켓이 레벨의 변형제어 ±50mm 허용한도 내에서 수평계측되어 총중량은 580톤으로 〈사진 7〉과 같이 양정이 진행되어 〈사진 8〉과 같이 마감 되었다.

본 리프트업에는 리프팅 가이드 레일이 없었으



〈사진 8〉 공중교량의 접합완료

므로 센타블록의 양정시에 수평유지와 안전양정을 위하여 장비와 사람이 혼연일체가 되어, 심혈을 기우려야 되는 작업 이었다.

5. 리프트업 공법의 전망

본 소고의 전망은 다음과 같이 정리 요약된다.

앞으로 디자인의 창작범위를 넓히고, 건축과 구조물의 시공 정도를 높이는 계기가 될 것이며, 엔지니어링 측면에서도 가일층의 발전이 있을것으로 기대된다.

일본에서 시도된 사례는 국내보다 많으나, 국내에서 이번에 시도한 22층에서의 양정은 많은 관심과 고난도의 문제점을 해결했다는 점에서 긍정적으로 평가되며, 고소작업 일수록 공사비의 절감, 공사기간의 단축, 안전성의 확보, 기계화 시공 등의 필요성은 계속될 것이므로 리프트업 공법은 더욱 정진되어 나갈 것으로 판단된다.

(원고 접수일 1998. 9. 29)