아제르바이잔 업무시설 및 베트남 시청사 구조설계

Structural Design of Azerbaijan's Office Building and Vietnam's City Hall Building

이인영* *In-Young Lee*
박정현** *Jung-Hyun Park*
김정연*** *Jung-Yeon Kim*
손강혁*** *Kang-Hyuk Shon*

1. 해외 설계프로젝트 수행 배경

1990년대 이후 다국적 기업들의 해외시장 개척으로 인한 산업의 국제화 및 IT산업과 인터넷의 광범위한 보급으로 인한 급속한 정보화를 이루게 되어 우리나라 건설 산업이 해외프로젝트에 참여하는 비중이 지속적으로 늘어나고 있는 실정이다.

세계적 유력 건설전문지인 미국 ENR(engineering news record)지의 발표에 의하면 우리나라의 2007년 해외건설 수주실적은 약 398억 달러에 이르며, 시장점유율로는 약 5.2%로 세계 10위를 기록하였다.

그러나 설계와 관련된 엔지니어링 분야는 시공분야에 비하여 상대적으로 낮은 국가경쟁력을 가지고 있으며, 분야도 플랜트 부분에 편중되어 있어 추후 해외건설 시장에서 우리의 위상을 강화시키는데 큰 장애요인으로 지적되고 있다.

국내 건설시장의 무분별한 과열 경쟁이 초래한 빗나간 수요예측으로 인한 과잉공급과 지속적인 경기하락으로 일부 건설 회사들은 해외시장으로의 진출을 도모하고 있다. 현재 우리나라에서 활발하게 개척하고 있는 해외시장은 과거 구소련에서 독립한 국가들과 동남아시아 국가들로 이들 나라에서 국내 건설회사와 설계사무소가 공동으로 프로젝트를 공동으로 수행하고 있으며 이러한 추세는 당분간 지속될 것으로 전망된다. 이에 본고에서는 구소련에서 독립한 국가인 아제르바이잔(Azerbaijan)과 동남아시아 국가인 베트남(Vietnam)에 당사에서 구조설계를 수행한 프로젝트를 소개하여 추후 새로운 해외프로젝트 구조설계를 위한 미력하나마 정보를 제공하고자 한다.

* 정회원, (주)오푸스펄구조기술사사무소 대표
** (주)오푸스펄구조기술사사무소 기술연구소 소장
pjh3149@chol.com
*** (주)오푸스펄구조기술사사무소 소장

2. 해외프로젝트 구조설계 소개

2.1 Azerbaijan Project – New Management Office of SOCAR

2.1.1 구조설계 개요

(1) 건물 개요

건물명	New Management Office of Socar
위 치	Baku, Azerbaijan
용도 및 규모	OFFICE : Tower(39F/B2), Podium(3F/B2)
구조형식	RC structure+steel structure
건축설계	Heerim Architectures and Planners

(2) 사용재료의 종류 및 설계기준강도

구분	콘크리트	철근
Shear wall	C50-C40(based on cylinder)	f_y= 415 MPa
Column	C40(based on cylinder)	
RC floor slab	C30-C24(based on cylinder)	
Concrete on floor deck	C24(based on cylinder)	
Foundation mat/footing	C40-C35(based on cylinder)	

(3) 적용기준

1) Applicable codes : ASCE7-05/IBC 2006

2) Steel design : AISC-LRFD

3) Concrete design : ACI 318-05

4) Wind load(per ASCE5-05/IBC2006)

·Basic wind pressure(SNiP 2.01.07-89) : $w_0 = 120\,psf$

·Basic wind pressure(ASCE7-05) : $v_0 = 60\,m/s$

5) Seismic load(per ASCE5-05/IBC2006)

·Design spectrum acceleration : S_{DS}=1.03, S_{D1}=0.60

·Soil site classification : D

·Seismic design category : D

·System factors : R_w=7

·Importance factor : I=1.0

2.1.2 구조설계 절차 및 구조계획

(1) 구조설계 절차

현상설계에서 당선된 본 프로젝트는 설계사에서 발주처와의 관계를 이유로 SD(schematic design)와 DD(design development)에 대한 구조설계를 국제적으로 지명도를 가진 미국의 T&T에 의뢰하고, CD(construction design)에 대한 설계는 폐사에 의뢰하였다. 이렇게 한 프로젝트 구조설계에 두 회사가 참여하다 보니 사용하는 프로그램(Thornton Tomasetti-ETABS/SAFE, OPUS Pearl-MIDAS GENw/SDS)의 차이를 비롯한 여러 가지 문제로 인하여 많은 시간이 낭비되었다.

미국의 구조설계 업체인 Thornton Tomasetti와 우리의 명확한 역할 분담 및 설계단계 및 설계완료 후 지원 사항, 현지 파트너의 역할 등에 대한 범위가 정확히 설정되어야 추후 발생되는 문제에 대하여 정확한 책임 소재를 파악할 수 있다. 본 프로젝트는 다국적 업체들로 구성되어 이들과의 의사소통 문제 및 의사결정 시간 등이 다소 늦어져 실시 설계 시 시간적인 제약을 많이 받았다.

·Thornton Tomasetti, USA-SD, DD

·OPUS Pearl, KOREA-CD

(2) 구조계획

1) 횡력저항시스템 : Special Reinforced Concrete Shear Walls와 작용하는 지진하중의 25% 이상을 부담하는 SMF(special moment frames)로 구성된 이중골조시스템(dual systems)으로 설계하였다. 철골구조에 대해 SMF설계 시, 추후 보-기둥 접합부에 대한 설계에서 많은 어려움이 수반되므로 기본설계 시 기둥단면 등에 대한 고려를 하여야 한다<그림 1>.

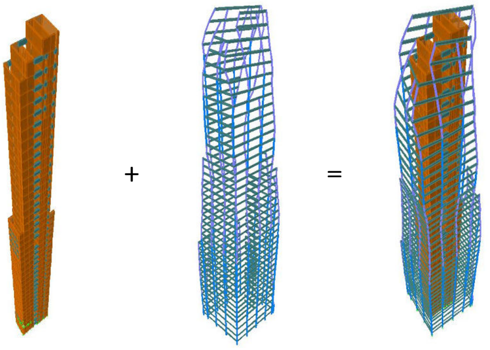


그림 1. 횡력저항시스템

기둥들은 대부분 이형적인 평면으로 인하여 경사기둥으로 구성되어 있으며 골조의 횡력저항은 외측의 보와 기둥에 의해서만 저항되도록 설계되었다.

2) 바닥구조 및 중력구조시스템 : 바닥구조는 강구조 및 거더가 지지하는 140 mm Ferro Deck으로 하였다. 기준층 보(beam)의 춤은 400 mm로 하여 합성으로 설계하였고 거더의 춤은 900 mm로 설계하였으며, AISC design guide에 의한 바닥의 진동 검토를 수행하였다.

2.1.3 구조 해석 및 결과<그림 2~5>

사용하중 상태에서 층전단력은 X-방향의 경우, 130 m 이하에서는 풍하중에 의한 것이 큰 것으로 나타났으며 130 m 이상에서는 지진하중이 큰 것으로 나타났다. Y-방향은 150 m를 전후로 풍하중과 지진하중에 의한 지배 전단력이 바뀌는 것으로 나타났다. 사용하중 상태에서 전도모멘트는 X-방향의 경우, 110 m 이하에서는 풍하중에 의한 것이 큰 것으로 나타났으며 110 m 이상에서는 지진하중이 큰 것으로 나타났다. Y-방향은 135 m를 전후로 풍하중과 지진하중에 의한 지배 모멘트가 바뀌는 것으로 나타났다.

풍하중에 의한 횡변위(drift)는 X-방향과 Y-방향이 각각 $\Delta_x = H/510$, $\Delta_y = H/1700$ 정도로 나타나 제한치인

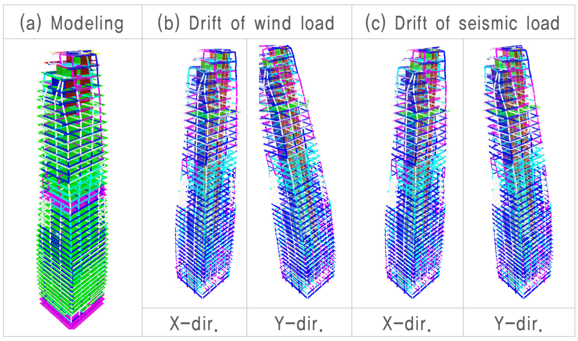
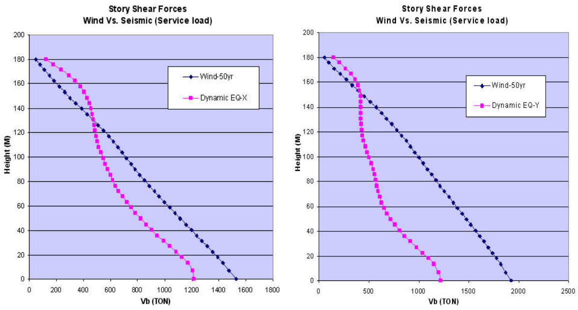


그림 2. 구조 해석 결과

$H/500$를 모두 만족하는 것으로 나타났으며, 층간변위(drift ratio)는 제한치인 $0.020h$ 이하인 것으로 나타나 문제가 없는 것으로 해석되었으나, 풍동 실험에 의한 floor acceleration이 기준을 초과하여 TMD damper를 설치하였다.

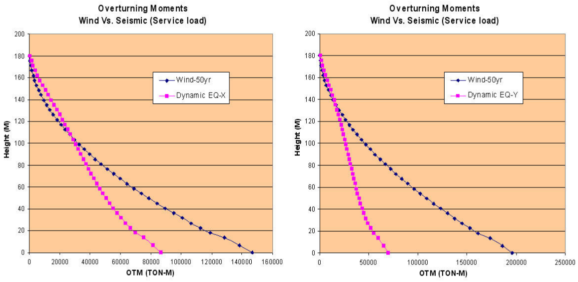
2.1.4 콘크리트 사용 계획

Socar project의 콘크리트 압축강도는 상층부에서 40 MPa, 하층부에서 50 MPa을 사용하였으며, 본 프로젝트의 최고높이는 209 m로서 IBC2006 기준상 높이에 따른 횡력저항시스템 제한에 따라 SMRF+special shear wall을 적용하였다<그림 6>. 아



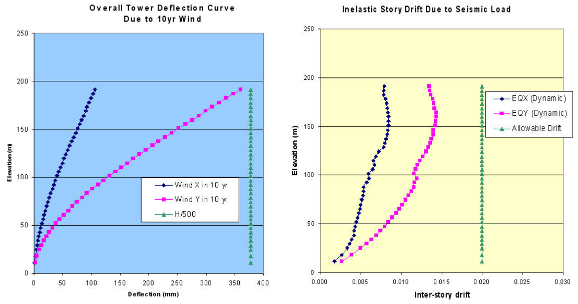
(a) X-direction (b) Y-direction

그림 3. Wind vs. seismic for story shear forces



(a) X-direction (b) Y-direction

그림 4. Wind vs. seismic for overturning moments



(a) Drift due to Winds (b) Drift ratio due to seismic

그림 5. Drift and drift ratio check

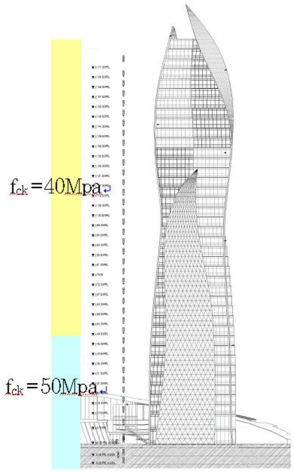


그림 6. Socar project

제르바이잔의 바쿠지역은 지진하중과 풍하중이 상당히 큰 지역으로 벽 두께가 하부층에서 1,000 mm로 계획되었으며, 이 또한 위와 같은 제한 사항(변위, 주기 등)으로 인해 적절한 벽 강성이 필요하여 콘크리트 강도를 선정하게 된 것이다.

2.1.5 구조설계 시 고려사항

구소련이라는 국가는 공학기술에 있어서의 자부심은 대단하다. 일례로 미국은 돈의 힘을 빌려 달나라를 갔다고 하면서 자신들은 기술력으로만 우주를 왕복했다고 믿을 정도로 기술에 있어서는 어느 나라에도 뒤지지 않는다고 생각한다. 이렇듯 건축에서 기술과 관련된 구조를 어느 분야 보다고 중요하다고 인식하여 구조설계에 임하는 우리의 태도는 어느 프로젝트보다 신경을 써야 문제가 없을 것으로 보인다. 우리나라 설계사에 의해 수행된 프로젝트임에도 불구하고 주요 구조설계에 대한 업무를 외국사에 의뢰한 것은 많은 아쉬움이 남는 프로젝트이다. 외국사에서 구조설계한 것을 맹목적으로 받아들이는 우리들의 태도도 분명히 문제지만 이러한 작업을 통해서 우리가 알지 못한 기술적인 면들을 습득한다는 차원에서 긍정적으로 생각하고 싶다.

앞으로 이와 유사한 설계 프로젝트가 진행된다면 구조설계 계약은 SD 단계는 외국사에서 수행하더라도 DD 단계부터는 국내 업체에서 수행하여 우리의 기술력을 축적하는 것이 바람직하다. 다소의 시행착오가 있더라도 우리나라의 기술력을 한 단계 신장시키기 위해서는 이 분야에 종사하는 모든 분들의 마음자세를 바꿀 필요가 있다.

2.2 Vietnam project - The City Hall of Danang

2.1.1 구조설계 개요

(1) 건물 개요

건물명	Danang City Hall
위치	24 Tran Phu St. Danang City, Vietnam
용도 및 규모	OFFICE : 34F/B2
구조형식	RC structure+ steel structure
건축설계	Mooyoung Architectures and Engineers

(2) 사용재료의 종류 및 설계기준강도

재료	재료강도	구분
콘크리트	MARK 400 (f_{ck}=40 MPa) MARK 450 (f_{ck}=45 MPa)	RC 구조 (모든 부재)
철근	ALL(D10~D16, f_y=280 MPa) ALL(D18~D28, f_y=360 MPa) SD500 (D32, f_y=490 MPa)	
철골	SM490(F_y=330 MPa)	4층 지붕 트러스
	SS490(F_y=240 MPa)	캐노피 트러스

2.1.2 적용기준<표 1>

베트남 프로젝트를 진행하던 초기단계인 2006년에는 베트남에 내진설계기준이 없었으나 2007년에 내진설계기준이 재정되었다. 풍하중, 내진설계기준 및 사용프로그램 등에 대하여 발주처 및 현지 엔지니어링 업체와 협의하는 과정에서 상당한 논쟁이 있어 접점을 찾기가 어려웠으나 최종적으로 결정된 설계기준은 다음과 같이 하여 구조설계에 반영하였다.

표 1. 적용 기준 및 근거

적용기준	근거
• TCVN 2737-1995 : Wind Load	Construction Publishing House (Vietnam)
• UBC 1997 Code(V.2) : Seismic Load	International Conf. of Building Officials
• ACI 318-02 : Concrete Design	American Concrete Institute
• Allowable Stress Design : Steel Design	American Institute of Steel Construction
• Structural Welding Code 1996	American Welding Society

2.1.3 구조설계 절차 및 구조계획

(1) 구조설계 절차

베트남의 민간건물의 설계절차는 우리나라와 큰 차이가 없으나 공공건물의 설계 절차는 우리가 흔히 알고 있는 SD(schematic design), DD(design development), CD(construction design)로 말하지 않고 아래와 같이 구분하여 진행한다.

베트남 프로젝트는 FS 단계에서 적용하는 각종 규준 및 하중 및 설계기준, 구조재료 등을 결정해야하며 협의 시 베트남 기준에 익숙하지 않으므로 우리에게 익숙하고 국제적으로 많이 통용되는 ACI, ASCE 등을 적용하도록 유도하는 것이 좋다.

1) FS(feasibility study) : CD(concept design)와 SD (schematic design) 단계로 이 단계에서 design criteria와 구조시스템이 결정되어야 한다.

2) TD(technical design) : DD(design development)와 CD(construction design) 단계에 해당되며 심의 및 승인절차가 까다로우며 실질적으로 우리나라의 실시설계에 가까운 단계에 해당된다.

3) ED(engineering design) : TD를 보완하는 마지막 단계이며 우리나라 현장에서의 미비한 상세가 추가되며 shop drawing 수준에 가까운 상세를 요구하는 단계라 할 수 있다.

(2) 구조계획

1) 횡력저항시스템 : 풍하중과 지진하중 등의 횡력은 coupled된 core wall과 모멘트 골조가 협력하여 저항하는 시스템을 적용하였으나 탄성역내에서는 core wall의 강성이 모멘트 골조에 비하여 상대적으로 매우 커서 횡력에 대한 저항은 대부분 core wall이 부담하도록 하였다.

2) 바닥구조 및 중력구조시스템 : 지상4층 이하는 슬래브두께 150 mm의 이방향 슬래브로 계획하고, 지상5층 이상은 슬래브 두께 150~250 mm의 일방향 슬래브로 계획하였다. 고층부는 내진 성능을 향상시키고 횡변위를 감소시키기 위하여 외주부 기둥을 900×600 크기의 wide girder로 연결시켰다.

2.1.4 구조해석 및 결과

해석 결과 풍하중에 의한 횡변위(drift)는 X-방향이 52 mm, Y-방향이 60 mm로 나타나 $\Delta_x = H/2840$, $\Delta_y = H/2440$로 각각 나타나 변위 제한 값인 $H/600$ 이하로 풍하중에 의한 변위는 여유가 있는 것으로 나타났다. 이렇게 변위에 상당한 여유를 가지고 있고 건물의 높이도 초고층이 아니므로 콘크리트 강도는 우리의 기준으로 볼 때 50 MPa 이하의 강도를 사용하였다.

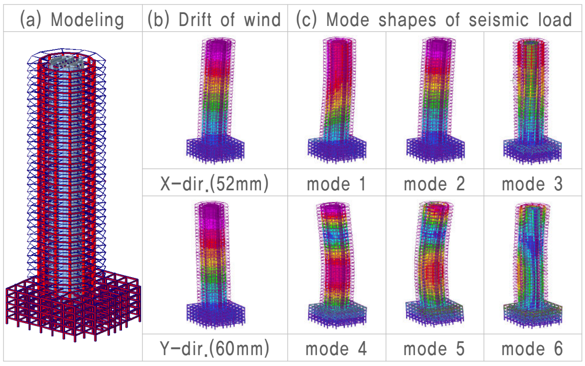


그림 7. 구조 해석 결과

2.1.5 콘크리트 강도계획

다낭시청사 콘크리트 압축강도는 MARK400(40 MPa), MARK450(45 MPa)을 사용하였다. 베트남의 콘크리트 강도 시험에서 공시체는 우리나라에서 흔히 사용하는 실린더 형태가 아니고 유럽 국가들이 많이 사용하는 큐빅 형태를 기준으로 하고 있어 이를 고려하여 강도감소계수 0.85를 적용하였다.

콘크리트 압축강도 선정은 현지 엔지니어링업체(UPI)와 협의하고 현지에서 수급가능하며 일반적으로 많이 사용하는 강도를 선정하였으며, 더 큰 고강도 콘크리트 사용이 가능은 하였으나 횡하중에 의한 변위 및 적정한 주기를 위한 강성확보를 위해 더 큰 고강도 콘크리트 사용을 배제하였다.

2.1.5 구조설계 시 고려사항

베트남 현지에 국내업체인 MIDAS IT에서 공식적으로 배포한 MIDAS 프로그램은 없으나 현지 엔지니어링 업체의 구조기술자들의 MIDAS 프로그램에 대한 거부감은 상대적으로 적은 것으로 나타났다. 이처럼 현지기술자들의 태도는 FS 단계에서 구조해석 프로그램은 ETABS를 사용할 것으로 요구했으나 협상과정에서 우리측이 요구한 MIDAS 프로그램을 사용하기로 결정되는 계기가 되었다. TD 심사는 우리의 심의과정 형태로 진행하며 우리나라에서는 건축계획 및 외관 디자인 위주의 심의가 이뤄지는 것에 반해 베트남은 엔지니어링 분야인 건축구조 및 토목 관련 내용을 심의에서 중요하게 다루어지고 있으며, 이는 최종적인 결과물인 도면의 분량에서도 이를 반영하고 있다.

설계 초기에 현지 업체의 역할을 명확하게 하지 않으면 곤란을 겪을 수 있으므로 현지 업체의 업무 내용 및 범위를 구체적이고 명확히 문서화해야 될 필요성을 느꼈으며 특히 대관업무 상에서 현지 업체의 역할이 중요하다. 발주처와 협의시에는 협의된 내용을 모두 문서화하여 승인을 받은 후 진행하지 않으면 곤란을 겪을 수 있으므로 프로젝트의 진행 상황을 잘 파악할 필요가 있다. 또한 설계 과정에서 발주처의 출장요청이 많으므로 이에 대한 명확한 한계를 설정해야 하며 각 설계단계별 영문 보고서 및 구조계산서 또한 영문으로 요구하므로 이에 대한 비용을 고려하여 용역계약을 해야 할 것이다.

3. 맺음말

해외프로젝트를 수행한 경험이 있는 시행사 및 설계사무소 직원들과 이야기를 하다보면 프로젝트를 수행하고 나서의 이익은 거의 없거나 적자를 보았다는 이야기를 종종 듣는다. 막연하게 해외프로젝트는 우리가 생각하는 장밋빛만이 있는 것이 아니라 경제·사회적인 측면에서 부정적인 면들이 곳곳에 많이 내재되어 있어 프로젝트를 잘못 수행하게 된다면 국제적인 망신을 초래하여 국가의 신인도도 하락할 수 있다는 측면에서 매우 신중해야만 한다. 근래에 수행되는 많은 해외프로젝트들에 대하여 건축설계 및 구조설계에 참여하는 회사들이 단발성이 아닌 자료들의 축적을 통하여 이와 유사한 프로젝트를 수행하는 업계에 자료를 제공할 수 있는 마음의 자세를 가져야 할 것이다. 즉 해외 설계를 위한 체계적인 지침을 마련한다면 향후 해외프로젝트를 수행하는 건설회사와 건축설계 및 구조설계사무소에 큰 도움이 될 수 있을 것을 기대한다.

작금의 건설시장은 경제적인 위기상황과 맞물려 국내시장이 급속도로 위축을 거듭하고 있어 자연적으로 해외시장으로 눈을 돌릴 수밖에 없다. 국가적인 위기를 극복하기 위한 하나의 수단으로도 해외시장 개척은 분명히 매력적이다. 시공적인 측면에서는 세계시장에서 우리의 기술력은 크게 뒤지지 않지만 설계분야는 아직까지 선진 국가들과 비교하여 높은 경쟁력을 갖지 못하고 있다. 경쟁력을 갖추기 위해서 정부 및 관련학회에서 해외프로젝트를 수행하는 나라들에 대한 많은 정보들을 공유할 수 있도록 보다 체계적인 시스템을 갖추어야 할 것이다. ■

참고문헌

1. 이인영, 베트남 시청사 및 아제르바이잔 업무시설, 건축구조, 15권, 2호, 2008. 06, pp.47~49.
2. 천용화, 이용호, 권창룡, "K-project를 통한 해외공동주택 설계에 관한 연구," 대한건축학회 학술발표대회논문집, 26권, 1호, 2006. 10, pp.379~383.
3. 한종률, "건축설계의 국제화 추세와 대응," 건축, 2007. 07, pp.39~40.
4. 정영균, "희림의 해외 설계 시장 진출 전략," 건축, 2004. 04, pp.43~45.
5. 윤세한, "건축설계 업계의 미래 전망과 대책," 건축, 2006. 07, pp.40~42.