

플로팅아일랜드 구조설계

Structural Design of Floating Island



이인영 대표

김효성 사장

박정현 소장

손강혁 소장

(주) 오피스·펠 구조기술사사무소

1. 플로팅아일랜드(floating island) 구조설계 배경

지난 2월 6일 오후, 동작대교 남단의 고수부지에서 플로팅아일랜드 프로젝트의 3개의 섬 중에서 2섬이 진수되었다. 서울시가 한강 르네상스 프로젝트의 일환으로 추진되는 플로팅아일랜드는 7개사 컨소시엄으로 총사업비 규모는 960억 정도이며, 1섬은 3월, 3섬은 4월에 진수하여 완공은 2010년 8월로 예정하고 있다.

이 프로젝트는 새로운 수공간의 활용방법으로 매립 방법을 대신하는 부유 구조물에 대한 시도가 주목을 받고 있다. 부유 구조물은 매립 공법과 달리 수심이나 강바닥의 지질에 관계없이 설치할 수 있고, 부유체 하부에 흐름이 존재하기 때문에 환경적인 측면에서 수질을 보호할 수 있고, 조립 및 해체를 용이하게 할 수 있어 친환경적인 요소를 가지는 장점이 있다. 부유체 구조물 설계에서는 부유체 구조물의 사용 환경 및 설치환경에서 발생할 수 있는 최악의 조건에 저항할 수 있는 적절한 구조강도를 가져야 하므로 예상 가능한 하중을 산정하고 구조 해석을 수행하여 안전성을 확인하여야 한다.

플로팅아일랜드는 반포대교 남단 쪽에 위치하며, 3개의 섬으로 구성되어 있으며, 1섬(비스타, Vista)은 지상3층, 연면적 5,507.55m², 2섬(비바, Viva)은 지상3층, 연면적 3,449.34m², 지상3층, 3섬(테라, Terra)은 지상2층, 연면적 1,038.11m²으로 용도는 문화 집회시설 및 근린생활시설이다. 구조물의 기본 구성은 부유체 상판을 강판으로 계획하여 상부의 철골구조물을 지

지하는 형식을 취하고 있으며, 구조물의 부상 및 위치에 대한 이격(떠내려가는 것)은 강 하부에 기초 및 앵커를 설치하여 체인 형태의 케이블을 이용하여 이를 방지하고 있다.

2. 플로팅아일랜드(floating island) 구조설계 개요 및 특징

2.1 구조설계 개요

2.1.1 사용재료의 종류 및 설계기준강도

- (1) 콘크리트 : (재령 28일 기준) : $f_{ck}=24MPa$ (재령 28일 기준)
- (2) 철근 : $f_{yk}=400MPa$ (SD400)
- (3) 강재 : $f_y=235MPa$ (SS400, STK400, SPSR400)

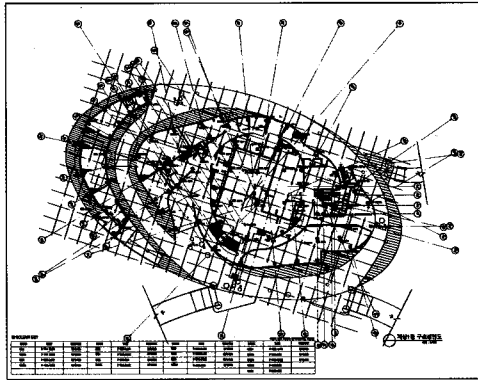
2.1.2 적용기준

- (1) 건축물의 구조기준 등에 관한 규칙(건설교통부, 2005)
- (2) 건축구조설계기준(대한건축학회, 2005)
- (3) 한계상태법에 의한 강구조설계기준(대한건축학회, 2005)
- (4) 건축물 하중기준 및 해설(대한건축학회, 2000)

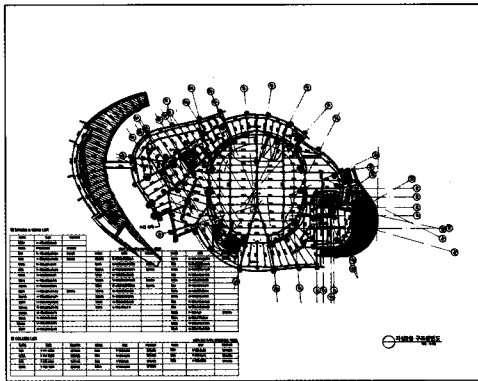


2.2 각 섬의 구조적 특징

2.2.1 1섬(비스타, Vista)



(a) 지상1층 구조평면도

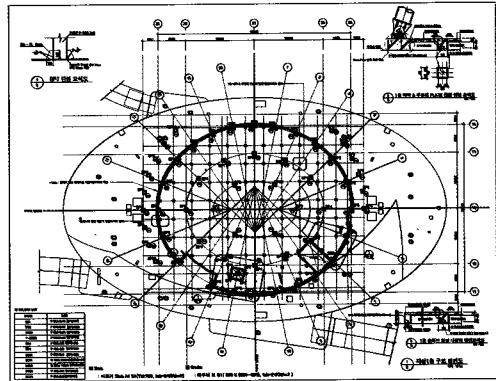


(b) 지상2층 구조평면도

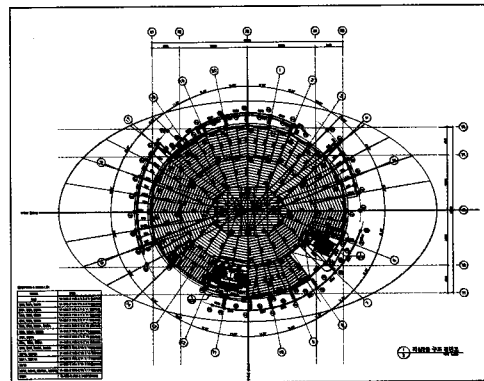
[그림1] 1섬(비스타, Vista) 지상1층 및 2층 구조평면도

기둥의 설치 위치가 건축적으로 간섭을 받아 기둥의 스패ンを 10~13m로 계획하였으며 이러한 부분의 수평부재는 단일보를 사용하였고, 스패ん이 20m 이상인 부분은 트러스구조로 계획하였다. 구조설계 시 2층의 용도가 컨벤션 센터로 사용되어 각종 무대장치 및 리프트 하중을 고려하였으며, 횡력에 대한 저항시스템은 외장재가 커튼월 형식으로 주골조에 횡력에 저항할 수 있는 가새를 설치할 수 없어 기둥과 보 접합을 모멘트 접합으로 계획하여 기둥 및 보 부재 크기가 증가시켰다. 건축 계획상 경사 기둥이 많고, 고정단으로 설계하는 것이 불합리하여 지상1층의 주각부는 베이스플레이트에 기둥을 핀형식으로 설계하였고, 지상1층 바닥 하부의 부유체 상판이 12mm 강판으로 계획되어 있어 상부층 하중의 원활하게 부유체에 전달될 수 있도록 기둥 베이스플레이트 하부에 페데스탈을 계획하였다.

2.2.2 2섬(비바, Viva)



(a) 지상1층 구조평면도



(b) 지상2층 구조평면도

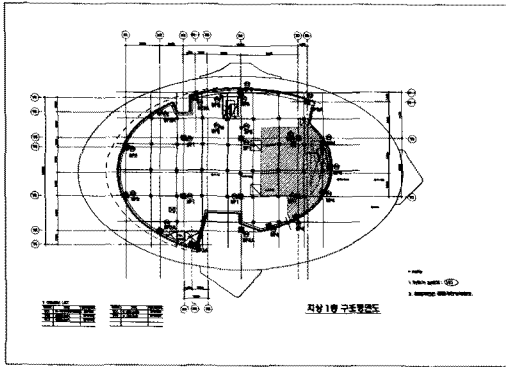
[그림2] 2섬(비바, Viva) 지상1층 및 2층 구조평면도

지붕층 원형 테두리보에서 내부 스패ん으로 별 모양의 트러스를 형성하여 내부 지지점이 없이 그물 모양으로 짜여진 구조체가 골조 조합에 의해 강성을 가지도록 설계하였으며, 외부 커튼월 일부 구간은 바닥에 지지되지 않고 캔틸레버로 매달려 있으며 좌굴 방지 등을 위해 부재 사이에 브레이스로 보강하였으며, 장스패ん 외부 돛기둥의 횡력 저항을 위해 지그재그 형식의 브레이스를 설치하여 횡하중에 대한 저항 성능을 증가시켰다. 돛 형식의 외부 기둥을 층층 보에 의해 횡지지 시키며 지붕층에서 트러스에 의해 결속시키므로 서 구조물이 전체적으로 횡력에 대한 지지 효과를 극대화 시키는 역할을 하도록 하였다.

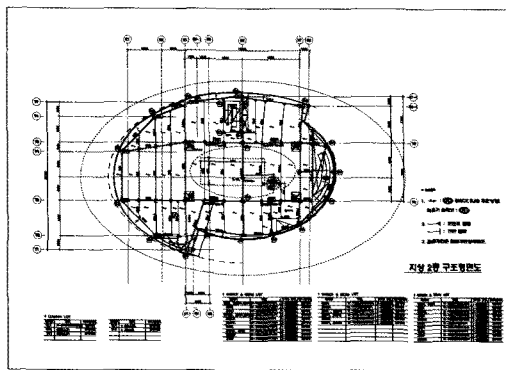
구조해석 상, 구조물의 형상이 정형이 아니고 비정형이고, 지상3층 중앙부에 대형 OPENING으로 인해 다이어프램이 불연속적이고, 지붕층이 경량 판넬바닥으로 다이어프램 효과를 기대하기 어려우며, 비정형적인 외부 커튼월에 의해 전달되는 하

중을 자동 설계시 반영하기 어렵고, 구조물의 높이별 변화되는 하중의 크기를 어느 정도 반영하기 위하여 풍하중을 자동설계를 사용하지 않고 직접 입력하여 실제 거동에 가깝게 구조설계를 하였다. 또한 외부 커튼월 설계시 Local 축 풍하중의 영향을 반영하여 설계를 수행하였다.

2.2.3 3섬(테라, Terra)



(a) 지상1층 구조평면도



(b) 지상2층 구조평면도

[그림3] 3섬(테라, Terra) 지상1층 및 2층 구조평면도

기둥의 스패를 10~13m로 계획하였으며 이러한 부분의 수평 부재는 단일보를 사용하였고, 횡력에 대한 저항시스템은 외장재가 커튼월 형식으로 주골조에 횡력에 저항할 수 있는 가새를 설치할 수 없어 기둥과 보 접합을 모멘트 접합으로 계획하여 기둥 및 보 부재 크기가 증가시켰다. 지상1층의 주각부는 베이스 플레이트에 기둥을 편형식으로 설계하였고, 지상1층 바닥 하부의 부유체 상판이 12mm 강판으로 계획되어 있어 상부층 하중의 원활하게 부유체에 전달될 수 있도록 기둥 베이스플레이트 하부에 페데스탈을 계획하였다.

3. 부유체와 관련된 구조적 고려사항

3.1 부유체 설계를 위한 상부하중 DATA

상부 구조물을 지지하는 부유체를 설계하기 위한 1단계 작업으로 상부시설 하중 및 사용인원수를 고려한 상부시설 추정사용인원수 및 보정상부시설 하중을 산정하여 부유체 설계에 반영하도록 한다. 부유체는 이러한 상부의 하중을 떠 받쳐주면서 수면에 800mm 정도 잠겨 있도록 설계되었으며, 2섬의 경우 부유체는 가로 11m, 세로 3m의 철제 블록 134를 이어 붙여 만들어졌으며, 1섬의 경우는 블록의 개수가 181개이다. 홍수 시 부상에 대해 유연하게 대처하기 위하여 부유체는 강바닥에 설치되는 약 500tf짜리 콘크리트 블록과 케이블이 연결되며, 케이블의 길이는 평상시 3~4m 정도를 유지하다가, 홍수 시에는 자동으로 17m 정도까지 풀리도록 설계되었다. 또한 위치 고정을 위하여 각 섬마다 4개의 윈치를 설치하여 1m 이상 위치를 이탈하면 자동으로 윈 위치할 수 있는 시스템이 도입되었다.

3.2 환경하중 조건에 따른 각 섬별 동요량 및 가속도 산정 결과

3.2.1 가속도에 기인하는 관성력의 설계적용

가속도에 기인하는 관성력을 계산하기 위해서는 아래의 그림 4에서 다음과 같은 단계에 따라 관성력 F_x , F_y 및 F_z 를 구하여 설계에 반영하였다. 병진운동 가속도에 기인하는 질량 m 을 갖는 물체의 관성력 $F_a = -ma$ 이므로 X축에 대한 관성력은 식(a)와 같으며, 여기서 aX 는 X축에 따르는 가속도 성분($aX = a \cos \beta$)이다.

$$F_{aX} = maX \quad (a)$$

물체의 회전에 기인하는 접선가속도는 $\delta_\theta = r\ddot{\theta}$ 고, 원심가속도는 $\delta_w = r\omega^2$ 이며, 여기서 w 와 θ 는 각각 회전 중심에 대한 각속도와 각가속도로 접선력은, $F_\theta = -m\delta_\theta = -m(r\ddot{\theta})$, 원심력은 $F_w = m\delta_w = -m(r\omega^2)$ 로 나타낼 수 있다.

회전 관성력 F_θ 과 F_w 의 X축 성분은 다음과 같다.

$$F_{\theta X} = -m(r\ddot{\theta} \sin \alpha) \quad (b)$$

$$F_{wX} = -m(r\omega^2 \cos \alpha) \quad (c)$$

식(a), 식(b)와 식(c)를 합치면, 병진 및 회전 운동에 기인하는 X축에 대한 총관성력 F_x , F_y 및 F_z 는 아래와 같다.

$$F_x = -m(a_x + r\ddot{\theta} \sin \alpha + r\omega^2 \cos \alpha) \quad (d)$$

$$F_y = -m(a_y + r\ddot{\theta} \sin \alpha + r\omega^2 \cos \alpha) \quad (e)$$

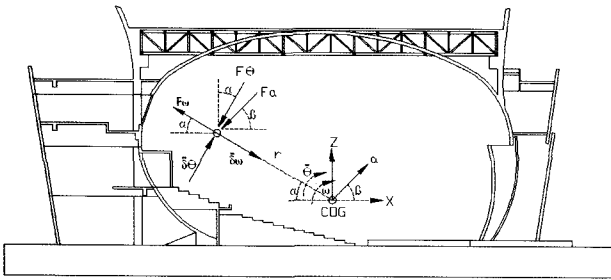
$$F_z = -m(a_z + r\ddot{\theta} \sin \alpha + r\omega^2 \cos \alpha) \quad (f)$$

[표 1] 상부하중 집계표(단위 : tf)

구 분	세부항목	1섬	2섬	3섬	합 계	비 고
건물자중	1층기둥+2~3층전체(D+L)	9,424.50	3,623.00	1,283.00	14,330.50	
	1층구조바닥하중(D+L)	2,490.00	1,479.00	659.24	4,628.24	
	1층기계장비하중(기계실+열교환기)	311.40	0.00	0.00	311.40	장비패드포함
	1층전기장비하중(전기실+발전기실)	0.00	0.00	0.00	0.00	장비패드포함
공동구내 설비하중	기계하중	83.00	20.30	50.00	153.30	
	전기하중	30.00	8.30	5.30	43.60	
토목하중	우수처리조하중	5.06	5.06	3.00	13.12	
조경하중	조경하중	815.00	606.00	150.00	1,571.00	
합 계	상부시설하중	13,158.96	5,741.66	2,150.54	21,051.16	

[표 2] 상부시설 추정사용인원수 및 보정상부시설하중

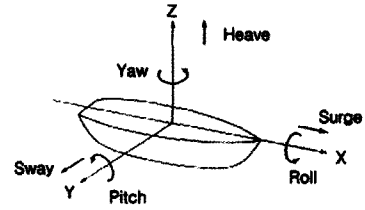
구 분	세부항목	1섬	2섬	3섬	합 계	비 고
일반사항	부유체면적(m ²)	4,881.50	3,477.10	1,246.58	9,605.18	실부유체면적
	연면적(m ²)	5,507.55	3,449.34	1,038.11	9,995.00	
	건축면적(m ²)	2,929.66	1,735.87	661.40	5,326.93	
	건물자중에 포함된 인원수(인)	11,015	6,899	2,076	19,990	2인/m ² 산정
	건물자중에 포함된 명목인원하중(tf)	771.06	482.91	145.34	1,339.30	70kg/인 산정
	명목인원하중을 제외한 상부시설하중(tf)	12,387.90	5,258.75	2,005.20	19,651.86	
	추정사용 인원수(인)	1,984	1,160	153	3,297	
	추정사용인원 하중(tf)	138.88	81.20	10.71	230.79	70kg/인 산정
	추정사용인원수를 고려한 상부시설하중(tf)	12,526.78	5,339.95	2,015.91	19,882.65	
합 계	보정 상부시설하중(tf)	12,526.78	5,339.95	2,015.91	19,882.65	



[그림 4] 병진운동 가속도

- 1. Surge: 전후축(x), 앞뒤 왕복운동
- 2. Sway: 수평축(y), 좌우 왕복운동
- 3. Heave: 상하축(z), 위아래 왕복운동

- 4. Roll: 전후축(x), 회전운동
- 5. Pitch: 수평축(y), 회전운동
- 6. Yaw: 상하축(z), 회전운동



[그림 5] 6자유운동 개념도

[표 3] 무게중심에서의 각 선별 등요량 및 가속도

구분		정상시			운영 한계시			홍수시		
		파랑: 0.7m/2.85sec 풍속: 32.0m/s 유속: 0.2m/s			파랑: 0.7m/2.85sec 풍속: 32.0m/s 유속: 0.55m/s			파랑: 0.7m/2.85sec 풍속: 32.0m/s 유속: 3.2m/s		
		1섬	2섬	3섬	1섬	2섬	3섬	1섬	2섬	3섬
동요량	Surge(m)	1.00	1.20	1.70	3.40	3.70	3.70	3.10	2.50	2.80
	Sway(m)	1.00	1.10	1.70	3.10	3.20	3.80	6.00	5.70	12.10
	Yaw(°)	2.84	6.32	12.36	6.69	9.99	16.17	14.19	17.10	16.50
	Heave(m)	0.01	0.02	0.04	0.01	0.04	0.03	0.01	0.01	0.04
	Roll(°)	0.08	0.14	0.44	0.07	0.12	0.37	0.08	0.12	0.42
	Pitch(°)	0.02	0.04	0.19	0.02	0.04	0.16	0.02	0.04	0.20
병진가속도	수직(a_z) (m/sec^2)	0.02	0.07	0.36	0.02	0.07	0.36	0.02	0.07	0.36
	수평(a_x, a_y) (m/sec^2)	0.35	0.35	0.46	0.35	0.35	0.46	0.35	0.35	0.46
각가속도($\ddot{\theta}$) (rad/sec^2)		0.0010	0.0017	0.0054	0.0009	0.0015	0.0045	0.0010	0.0015	0.0051
각속도(ω) (rad/sec)		0.0003	0.0006	0.0019	0.0003	0.0005	0.0016	0.0003	0.0005	0.0018

*각 섬의 VCG : 1섬(8.5m), 2섬(6.7m), 3섬(3.7m)

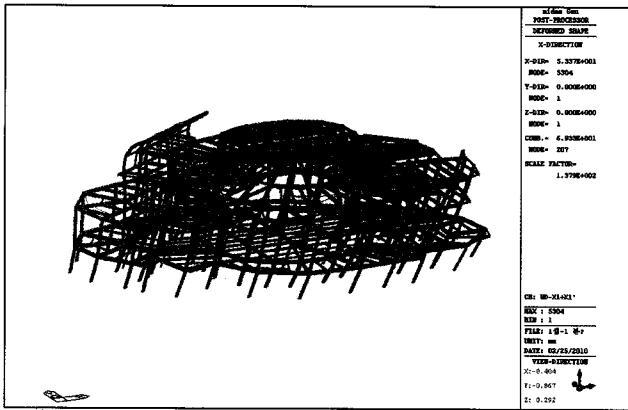
4. 플로팅아일랜드(floating island) 구조설계 결과

4.1 풍하중에 의한 변위

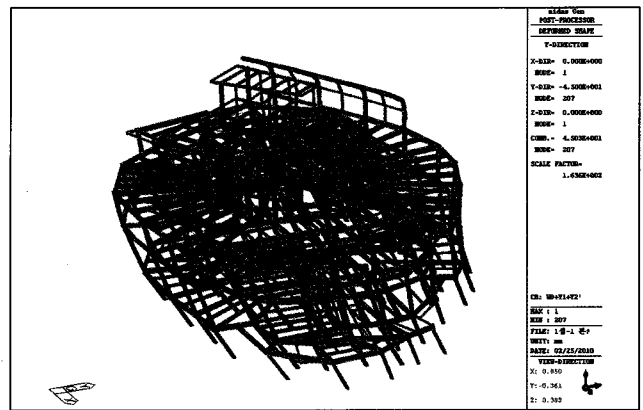
4.2 부유체 변위

부유체의 변위는 1섬의 필라(fillar) 위치 및 그에 따른 변위를 [그림 7] 및 [표 4]에 표기하였다. 변위 값의 Case 1은 선저부에 수

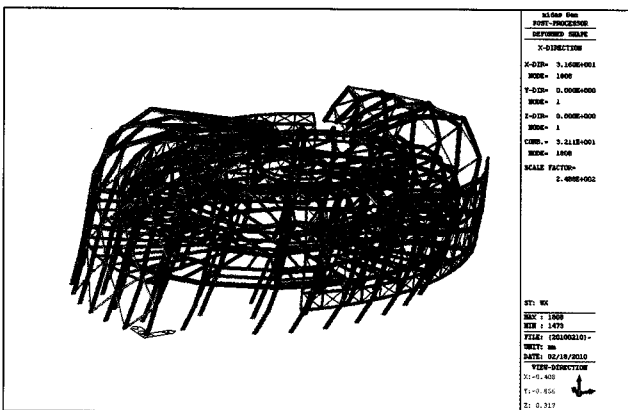
직변위를 0으로 가정한 상태(정상시 조건)에서 건축하중만을 적용하여 도출된 값이고, Case 2는 부력과 자중, 건축하중, 고정 발라스트하중 등 모든 하중 조건을 입력하여 나온 값이다. 특히 Cas2 2는 좌우현의 회전 및 부유체의 처짐이 포함된 값이다.



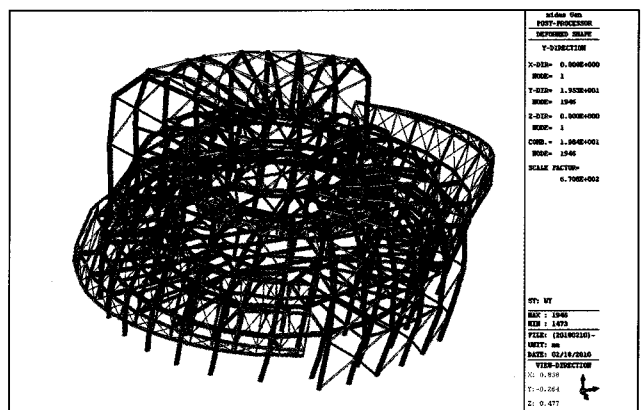
(a) 1점 X-방향 변위



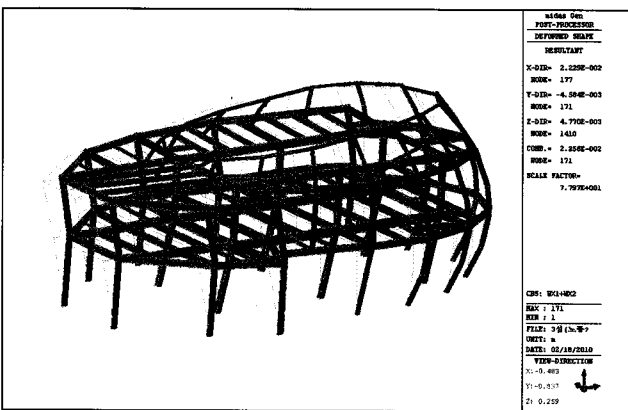
(b) 1점 Y-방향 변위



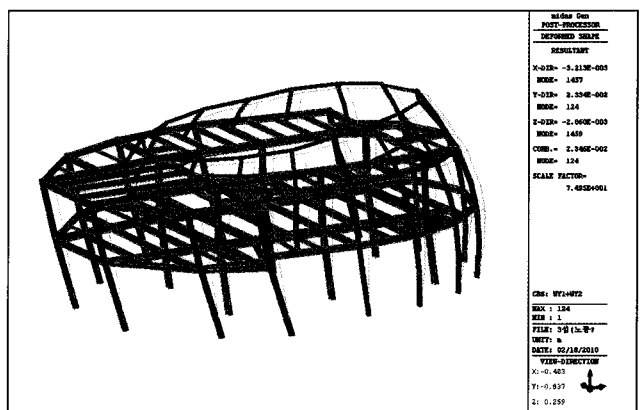
(c) 2점 X-방향 변위



(d) 2점 Y-방향 변위



(e) 3점 X-방향 변위



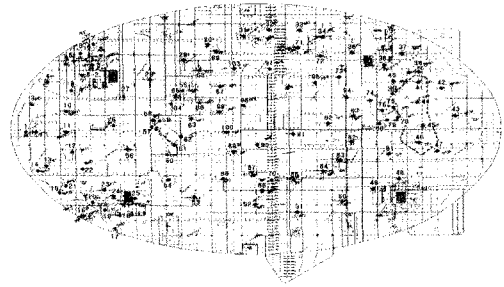
(f) 3점 Y-방향 변위

[그림 6]

5. 결론

한강의 인공섬인 플로팅아일랜드는 상징적인 측면에서는 많은 사람들로부터 각광을 받고 랜드마크적인 요소로 자리매김하리가 생각된다. 하지만 무분별한 인공섬의 조성은 홍수시 발생할 수 있는 안전적인 문제와 많은 사람들이 이용하므로써 발생

할 수 있는 환경적인 문제를 완벽하게 해결해야만 하는 당위성을 가지고 있으므로 보다 많은 연구를 통해 문제를 해소하여야 할 것으로 보인다. 특히 시공과정에서 공기에 쫓겨 안전에 소홀히 한다면 돌이킬 수 없는 재난이 발생할 수 있음을 시공 당사자 및 서울시 관계자가 명심하여야 할 것이다.



[그림 7] 필라 위치

[표 4] 필라 하부 변위

Pillar No.	Weight	Displacement	Pillar No.	Weight	Displacement	Pillar No.	Weight	Displacement
26	63	0.8	51	86	0.62	78	58	0.26
27	60	0.7	52	69	0.61	79	41	0.22
28	68	0.65	53	65	0.7	80	105	1.21
29	38	0.78	54	13	3.02	81	138	0.0015
30	39	1.47	55	34	0.36	82	182	1.09
31	81	0.64	56	69	0.65	83	161	1.73
32	80	0.57	57	74	0.62	84	161	1.02
33	72	0.49	58	108	0.66	85	119	0.97
34	55	0.73	59	34	0.37	86	13.4	0.43
35	97	1.11	60	104	0.72	87	111	0.82
36	118	1.67	61	98	0.93	88	127	0.76
37	10	0.18	62	64	0.65	89	197	1.17
38	14	0.3	63	62	0.84	90	54	0.26
39	32	0.99	65	114	0.96	91	79	0.3
40	83	0.79	66	69	0.76	92	54	0.88
41	23	0.4	67	160	1.1	93	171	1.44
42	16	0.53	68	106	1.51	94	216	2.51
43	24	0.28	69	78	0.99	95	62	0.67
44	48	0.36	70	80	0.35	97	56	0.5
45	58	0.54	71	212	1.66	98	61	0.86
46	89	0.72	72	148	1.75	99	164	1.29
47	19	0.67	73	209	1.46	100	187	1.34
48	64	1.1	74	40	0.59	103	231	2.75
49	109	0.85	75	13	0.22			
50	97	1.14	76	81	0.49			

(a) Case 1

Pillar No.	disp. (mm)	Pillar No.	disp. (mm)	Pillar No.	disp. (mm)
26	60.3	51	63.5	78	69
27	51.3	52	111	79	79.2
28	63.5	53	118	80	85.5
29	80.9	54	113	81	62.2
30	89.7	55	94.6	82	97.3
31	107	56	84.5	83	95.9
32	116	57	89.6	84	96.5
33	121	58	90.3	85	107
34	120.7	59	85.3	86	114.5
35	112.4	60	136	87	124.1
36	96.6	61	31.6	88	123
37	83.4	62	29.5	89	126.5
38	71.4	63	112	90	125.4
39	84.1	65	89.3	91	122
40	86.4	66	112.4	92	114.3
41	69.4	67	11.7	93	107.2
42	50.7	68	97	94	120.5
43	29	69	99.5	95	124
44	63.7	70	116	97	123.8
45	48.9	71	126.1	98	125
46	42.8	72	124.2	99	124.9
47	42.4	73	121.5	100	125.9
48	86.5	74	99.8	103	118.8
49	52.6	75	82.7	-	-
50	59.6	76	80.5	-	-

(b) Case 2

참고문헌

1. “한강인공섬 플로팅아일랜드 안전성 · 환경파괴 논란”, 박석원기자, 인터넷한국일보, 2010.02.09
2. “한강인공섬 200년 만의 대홍수에도 견딘다”, 강갑생기자, 중앙일보, 2009.12.16
3. “플로팅아일랜드 한강 진수작전 성공”, 윤종석기자, 연합뉴스, 2010.02.06
4. “우리나라 近海에 대한 浮游式海洋構造物의 住居性能을 위한 動搖特性에 관한 研究”, 李相擘, 加藤賢治, 대한건축학회논문집 13권 6호 통권104호, pp.283-293, 1997.06
5. “초대형 해상구조물의 붕괴거동 및 최종강도 특성”, 박주신, 고재용, 이 경우, 한국항해항만학회지 제33권 제5호 통권 제141호, pp.315-321, 2009.06