

플로팅 함체의 시공단계별 수직처짐의 영향

† 이 영욱 · 채 지용*

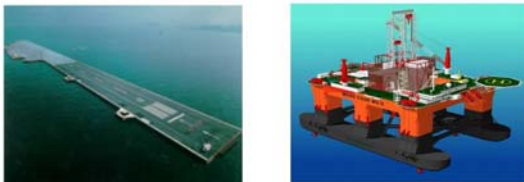
† 군산대학교 건축공학과 교수, * 군산대학교 건축공학과 박사과정

요 약 : 본 연구에서는 수상위에 진수된 콘크리트 플로팅 폰툰에 상부골조를 단계별로 시공함에 따라 발생하는 추가 처짐이 상부골조에 미치는 영향을 고찰하고 하였다. 이러한 추가변형에 의한 상부골조에 추가 모멘트량을 산정하는 해석절차를 제시하였으며 제시된 절차에 따라 3층 예제 철골 건물을 해석하고 분석하였다. 제시된 시공단계를 고려한 해석 방법과 비교하여, 상부골조를 지반위에 고정하여 모델링하는 일반적인 해석은 수직하중에 의한 변형을 무시하여 설계하중을 과소평가 하며, 플로팅 구조물을 전체적으로 모델링하고 하부 폰툰에 등가의 스프링으로 치환하여 하중을 동시에 재하하는 모델은 과도한 처짐의 영향으로 설계하중을 과대평가함을 알게 되었다.

핵심용어 : 콘크리트 폰툰, 상부구조물, 시공단계, 수직 처짐

연구 배경

- 지구온난화에 따라 해수면의 상승에 따른 자연스러운 해결 방법
- 플로팅 구조물에는 폰툰식과 변침수식이 널리 사용되고 있으며, 정온 수역에서는 폰툰식 폰툰이 경쟁성 있음
- 일본의 경우 폰툰형 폰툰을 이용한 초대형 폰툰 프로젝트가 수행(Mega-Float Project)
- 국내에서는 초대형 부유식 구조물의 설계와 해석 평가 기법 개발 및 시스템 개념 설계 연구가 수행



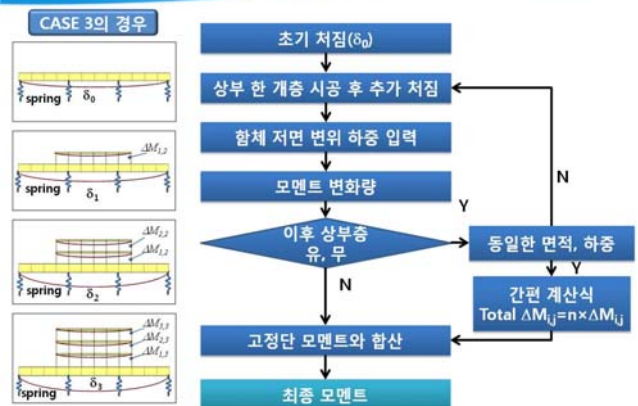
해석 방법

<p>CASE 1</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 폰툰의 변형을 고려하지 않는 하부가 고정된 일반적인 해석 방법 • 변형을 무시함으로 예상되는 설계하중을 과소평가할 수 있음
<p>CASE 2</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 폰툰의 변형을 고려하고 전 층을 모델링 하여 해석하는 방법 • 변형을 일시적으로 고려하여 상부골조의 설계하중을 과대평가 할 수 있음
<p>CASE 3</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 폰툰위에 상부골조를 증별로 시공함에 따른 처짐의 증가를 고려하는 해석 방법 • 폰툰의 변형을 고려한 시공단계별 해석 방법

연구 배경

- 콘크리트 폰툰위에 상부골조를 시공하는 방법
 - Case A: 도크(dock)내에 플로팅폰툰과 상부골조를 시공한 후에 이를 진수하는 방법
 - Case B: 플로팅 폰툰을 제작하여 수상에 진수한 후에 상부 골조를 시공하는 방법
- 해석방법
 - Case 1: 지반위에 상부골조를 모델링하고 기둥의 하부를 지지하는 일반적인 해석 방법
 - Case 2: 폰툰과 골조를 전체적으로 모델링하고 폰툰 하부 수압을 등가압력 스프링으로 모델링하는 방법
 - Case 3: 폰툰위에 상부골조를 증별로 시공함에 따른 처짐의 증가를 고려하는 해석 방법

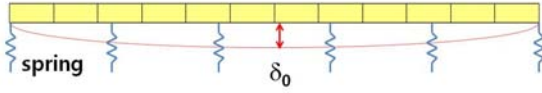
해석 방법



† leeyu@kunsan.ac.kr
* chaey@kunsan.ac.kr

해석 방법

- CASE 3 (시공단계 고려)



- 폰텐이 수상에 진수되면 콘크리트 폰텐의 자중에 의하여 δ_0 의 처짐이 발생함
- 1층의 모멘트는 δ_0 의 영향을 받지 않음

해석 방법

- 2중 시공시 1중 골조의 모멘트 $M_{1,2}$ 는 아래식 (2), (3)에 의하여 표현됨

$$M_{1,2} = M_{0,2} + \delta M_{0,2} + \Delta M_{1,2} \quad (2)$$

$$\delta M_{0,2} = M_{0,2} - \Delta M_{0,1} \quad (3)$$

($\Delta M_{1,2}$ 는 2중 시공에 따른 주기변위 δ_2 에 의한 1층의 모멘트 증가량
 $\delta M_{0,2}$ 는 주어진 2중 골조에 의한 모멘트의 변화량)

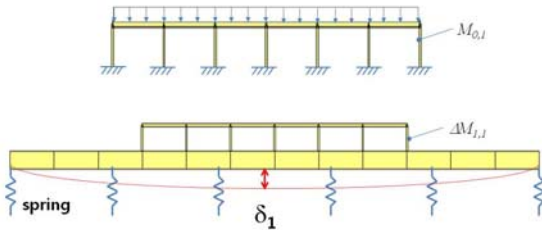
- 2중 시공에 의한 2층의 모멘트

$$M_{2,2} = M_{0,2} + \Delta M_{2,2} \quad (4)$$

($\Delta M_{2,2}$ 는 2중 시공에 따른 주기변위 δ_2 에 의한 2층의 모멘트 증가량)

해석 방법

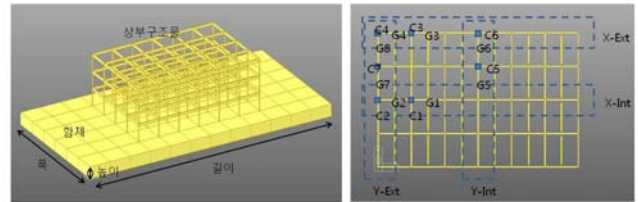
- CASE 3 (시공단계 고려)



- 1층에 의한 주기처짐 δ_1 을 1층이 시공된 합체에 강계변위로 입력(1층의 자중에 의한 변위)

$$M_{1,1} = M_{0,1} + \Delta M_{1,1} \quad (1)$$

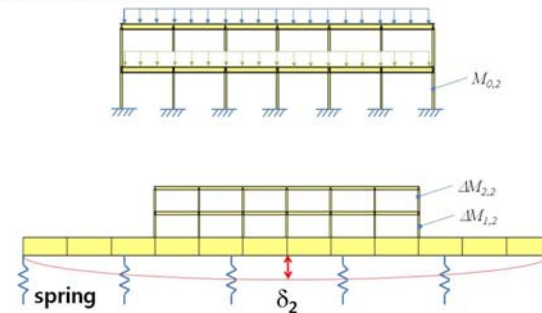
예제 해석



- 합체 - 길이 96m, 폭 48m, 높이 2.5m (8m×8m의 모듈, 두께 0.2m)
- 상부구조물 - 기둥 H-310×305×15×20(mm)
 - 보 H-482×300×11×15(mm)

해석 방법

- CASE 3 (시공단계 고려)



예제 해석

- 시공단계를 고려하기 위한 하중

- 고정하중 = 5kN/m²
- 시공 후 외벽 마감 하중 = 0.5kN/m²
- 활하중 = 3kN/m²

(활하중이 전체 면적에 동시에 재하가 되지 않는다고 판단하여 활하중 저감계수 사용)

$$C = 0.3 + \frac{4.2}{\sqrt{A}} \quad [c \text{는 활하중 저감계수, } A \text{는 영향면적}(A \geq 36\text{m}^2)]$$

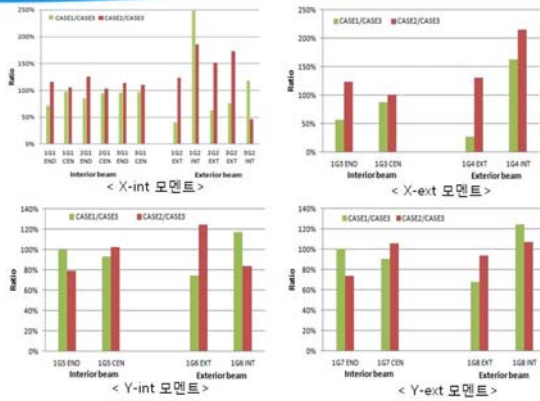
해석 결과 및 분석

• 시공하중에 의한 부재별 모멘트(보)

Method	X-INT Frame (kN-m)															
	Interior beam								Exterior beam							
	101 End	201 End	301 End	mean	101 Cen	201 Cen	301 Cen	mean	102 Ext	202 Ext	302 Ext	mean	102 Int	202 Int	302 Int	mean
(1) CASE 1	-187	-187	-187	-187	144	146	143	145	-134	-146	-154	-144	-159	-186	-194	-185
(2) CASE 2	-303.3	-273.7	-226.3	-269	156	162.3	159	158	-414.3	-337.1	-236.9	-334	47.4	3.3	-61.2	-10
(3) CASE 3	-262.6	-219.1	-189.6	-227	148.2	154.3	143	150	-334.6	-235	-137.3	-236	25.5	-111.8	-174.8	-104
(1)(X3), (%)	71	84	95	83	87	94	96	96	40	62	75	59	770	174	117	354
(2)(X3), (%)	115	125	113	116	105	103	106	106	128	151	179	150	185	2	46	75
ΔM_{ij}	-99.7	-23.4	-8.3		3	3.2	4.8		-72.4	-53	-33.3		63.5	40	31.4	

Method	X-EXT Frame (kN-m)				Y-INT Frame (kN-m)				Y-EXT Frame (kN-m)			
	103 End	103 Cen	104 Ext	104 Int	105 End	105 Cen	106 Ext	106 Int	107 End	107 Cen	108 Ext	108 Int
	(1) CASE 1	-86.8	73.6	-88.6	-102.3	-103.3	52.8	-52.4	-115	-57.5	27.7	-27.8
(2) CASE 2	-268.4	85	-340.4	135.4	85.8	38	-87.4	-82.1	-42.2	32.2	-37.8	-52.6
(3) CASE 3	-168.2	84.2	-260.7	82.6	-103.4	56.5	-70.3	-88.2	-57.2	35.5	-45.5	-48
(1)(X3), (%)	57	87	26	162	100	83	74	117	100	80	68	124
(2)(X3), (%)	123	100	130	215	79	102	124	83	73	105	83	107
ΔM_{ij}	-28.6	2.8	-88.3	60.6	-0.3	1.2	-6.5	6	-0.1	0.9	-4.8	4.4

해석 결과 및 분석



해석 결과 및 분석

- 만약 동일한 면적의 건물이라면 자중이 동일하므로 지지점 δ_B 는 일정

$$M_{i,r} = M_{0,r} + P \times \Delta M_{i,j} \quad (8)$$

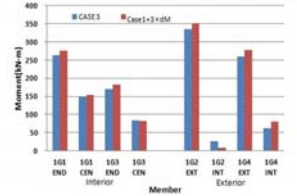
- 예) 1G2 Ext.부재
 - 밑면이 고정된 상태에서의 모멘트 $M_{0,i}$ 는 -139.6kN-m
 - $\Delta M_{i,j}$ 는 -72.4kN-m
 - 멀티 모멘트를 세번곱하여 더한 값은 -356.6kN-m
 - CASE 3의 경우 -334.6kN-m
 - 역간의 값의 차이가 없으니 상부층이 적절하게 되면서 1층에 발생하는 모멘트가 작아진다는 것을 감안하면 유사한 결과를 확인

해석 결과 및 분석

• 단순계산식에 의한 비교

부재위치 해석방법	1G1	1G2	1G2	1G3	1G3	1G4	1G4	1C1		1C2		
	End.	Cen.	Ext.	Int.	Cen.	Ext.	Int.	P	M	P	M	
CASE 3	-262	148.2	-334	-25.5	-169	84.2	-260	62.8	-1004	170	-504	221
CASE 1+ 3x $\Delta M_{i,j}$	-276	153.7	-352	-7.5	-183	82.5	-277	80.1	-1005	165	-575	218
비율(%)	94.9	96.4	95	340	92.3	102.1	93.9	78.4	99.9	103	87.7	101.4

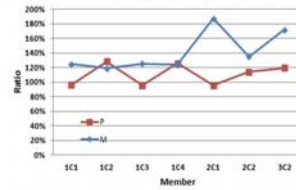
* CASE3/CASE1+3x의 백분율, P의 단위는 kN



해석 결과 및 분석

• 시공하중에 의한 부재별 모멘트 및 주력

Method	1C1		1C2		1C3		1C4		1C1		1C2		1C1		1C2	
	P	M	P	M	P	M	P	M	P	M	P	M	P	M	P	M
(1) CASE 1	-1947	-3	-603	59	-695	-3	-330	89	-343	-32	-759	334	-343	-18	-759	105
(2) CASE 2	-964	212	-845	262	-640	193	-430	179	-320	111	-588	238	-329	145	-198	236
(3) CASE 3	-1094	170	-804	221	-679	80	-598	132	-320	91	-566	137	-328	24	-186	137
(1)(X3), (%)	134	2	100	27	103	4	82	82	101	4	95	76	101	87	96	77
(2)(X3), (%)	96	125	129	113	96	189	114	135	97	107	113	172	97	104	115	172
Δ	14	96	-24	53	11	39	-20	27	4	40	-1	33	5	41	-4	33



결론

- 수상에 건립되는 플로팅 잠재의 시공단계별 수직적점에 따른 해석방법론을 제안하였으며, 예제 모델의 해석을 통하여 기존의 해석방법과 비교 검토한 결과는 다음과 같음

- 지반 위에 상부구조를 모델링하고 해석하는 방법(CASE 1)은 각 부재의 모멘트를 과소평가하는 것이며 플로팅 구조물의 해석을 수행 시 부적합

- 플로팅 구조물을 전체적으로 모델링하고 허브 폰트에 수압을 등가압력의 스프링으로 모델링하는 방법(CASE 2)은 과도한 처짐의 영향으로 상부구조의 반력이 과대하게 산정될 수 있으므로 시공단계별 해석을 수행해야 함

- 상부구조물의 각종이 동일한 면적이러면 자중이 동일하며 처짐도 동일하므로 각종 미다 반복된 구조해석이 필요하지 않으며 한 층의 시공에 의한 모멘트의 변화량을 중수 별로 곱하여 고정하중에 따른 시공단계의 중 모멘트를 구할 수 있음

감사의 글

본 논문은 2010년 국토해양부 기술연구개발의 지역기술 혁신 사업(과제번호:10지역기술혁신B01)의 일환으로 수행된 연구임을 밝히며 이에 감사를 드립니다.