

# TSD 半剛接 接合部를 適用한 超大型 浮遊式 上部構造物의 2次 彈性解析

## Second Order Elastic Analysis of Superstructures on Very Large Floating Structures with TSD Semi-Rigid Connections

宋 和 澈\*      李 恩 淑\*\*  
Song, Hwa-Cheol      Lee, Eun-Suk

### Abstract

In general, the semi-rigid connections are preferred for low rise structure. If semi-rigid connections are used for superstructures of very large floating structures(VLFS), the number of rigid connections can be reduced and more economical construction will be possible.

In this study, considering service load and wave load in VLFS, the applicability of mixed use of rigid and semi-rigid connections has been studied using TSD connections for a four-bay eight-story frame. ABAQUS(Finite element analysis program) is used for conducting second order elastic analysis.

Key Words: semi-rigid connections, wave load, second order elastic analysis, very large floating structures

### 1. 序 論

일반적으로 구조물에 반강접 접합부를 적용하였을 경우 모멘트가 감소하기 때문에 부재단면을 줄일 수 있어 매우 경제적이거나 접합부에 대한 시공의 불확실성 등 여러 가지 문제로 저층구조물에 한해서 적용을 하고 있는 실정이다. 그러나 시공의 편리함과 여러 가지 장점 등으로 인해 최근에는 고층건물에 대한 반강접 접합부에 관한 연구도 진행되고 있으며 그 적용범위를 넓혀나가고 있는 추세이다.

초대형 부유식 구조물(Very Large Floating Structure : VLFS)의 상부시설물은 일반건축의 형태와 같지만 기초가 땅이 아닌 대형 부체에 지지되는 구조물이다. 초대형 부유식 구조물의 상부구조는 육상 구조물과는 달리 파랑하중의 영향을 많이 받기 때문에 부가 모멘트가 크게 작용한다. 그러므로 모멘트를 줄이기 위해 반강접 접합부를 도입하여 경제적인 설계를 위한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 초대형 부유식 구조물의 상부구조물에 정적하중과 진폭의 크기가 다른 파랑하중이 동시에 작용할 경우 강접 골조와 부분적으로 반강접 접합부가 사용된 세 가지 구조시스템에 2차 탄성해석을 수행하였다.

접합부는 웨브에 더블 앵글을 가진 상하 앵글(TSD)

을 적용하였으며 중고층 구조물에 파랑하중이 작용할 경우 반강접 접합부의 위치에 따른 모멘트와 수평변위에 대하여 연구하였다.

### 2. 半剛接 接合部의 moment-回轉角 解析 model

유한요소법을 이용하여 접합부의 해석적인 연구가 많이 시도되어 왔으나 접합부의 재료 및 기하학적 비선형 관계 때문에 실무에서 직접 사용하기는 어려움이 있다. 가장 많이 사용되는 접합부 해석 모델링 방법은 접합부의 모멘트-회전각 관계의 실험결과를 곡선으로 분석한 해석 모델을 이용하는 것이다.

반강접 접합부의 초기강성 예측식은 초기강성을 매개변수로 하는 선형모델에서 시작하여 Bilinear나 Piecewise Linear 모델 그리고 Power Model은 두 가지 변수로 이루어진 가장 간단한 형태에서 발전하였다 Richard는 힘과 변위의 관계를 이용하여 멱급수 형태의 모멘트-회전각 관계의 Power Model<sup>1)</sup>을 제안하였고 Kishi-Chen은 세 가지 변수를 사용한 Three-Parameter Power Model<sup>2)</sup>을 제안하였다.

이중 가장 많이 사용되고 있는 Kishi-Chen의 Three-Parameter Power Model을 웨브에 더블 앵글을 가진 상하 앵글 적용하였으며 그 특징을 살펴보면 다음과 같다.

Three-Parameter Power Model은 초기접합부 강성,

\* 韓國海洋大學校 海洋空間建築學部 助教授

\*\* 韓國海洋大學校 海洋建築工學科 碩士課程

접합부 모멘트 극한강도, 형상계수의 세 가지 변수를 포함하고 있다. 이를 식 1과 圖 1에 나타내었다.

$$M = \frac{\theta}{(1 + \theta^n)^{1/n}} M_u \dots\dots\dots \text{식 1}$$

여기서  $\theta = \theta_r / \theta_0$ ,  $\theta_0 =$ 기존소성회전각 ( $=M_u / R_{ki}$ ),  $M_u =$  접합부의 모멘트 극한강도,  $R_{ki} =$ 초기 접합부의 강성,  $n =$  형상계수이다.

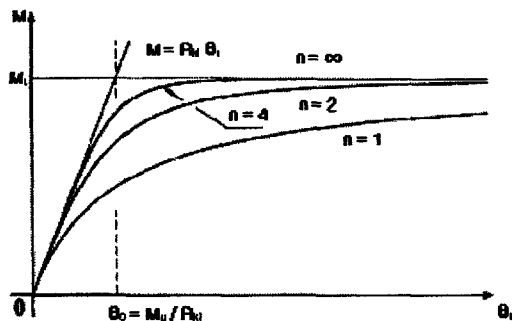


圖 1 Three-Parameter Power Model<sup>3)</sup>

형상계수  $n$ 이 작을 경우 초기 강성에 최대 모멘트에 이르기까지 완만한 곡선을 나타내며 초기 강성이 큰 경우에는 기울기가 큰 곡선을 나타낸다.

### 3. 適用 例題 構造物 및 半剛接 接合部

#### 3.1 適用 例題 構造物

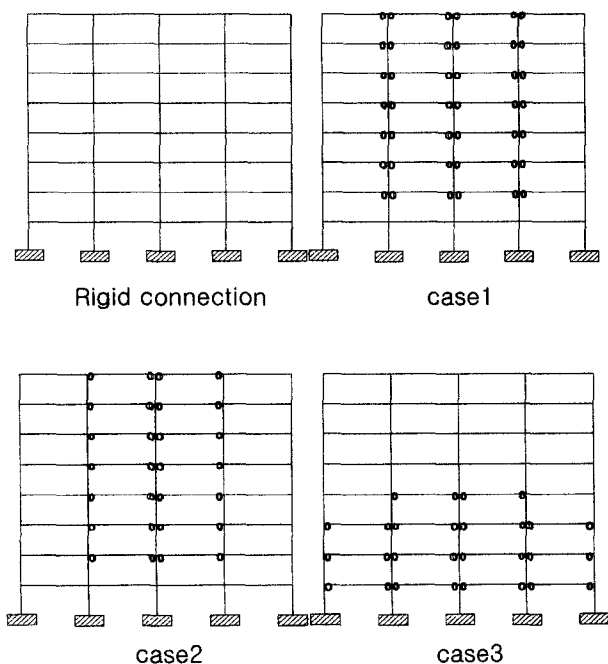


圖 2 Example model

表 1 Member size

Girder	Column	Steel
Floor Girder :W21×57	1~3floor:W14×90	A36
Roof Girder :W14×30	4~6floor:W12×65	
	7~8floor:W10×33	

모델은 Kishi와 Chen의 연구에서 적용된 예제를 모델<sup>4)</sup>로 사용하였다. 기본 강접합 모델은 4경간 8층 구조물로 각 기둥 중심 간격은 300in이고 1개 층의 높이는 144in이다. 모델의 형태를 圖 2에 나타내었고 해석 모델의 보와 기둥의 부재 사이즈를 表 1에 나타내었다.

일반적으로 고층구조물에 반강접 접합부를 적용할 경우 횡변위가 크게 증가하게 된다. 그래서 반강접 접합부의 배치에 따른 골조의 거동을 파악하고 효율적인 반강접 접합부의 위치를 찾기 위해 예제구조물을 반강접 접합부의 위치가 다른 네 가지로 해석하였다. Case1~3은 강접 접합부와 반강접 접합부를 섞어서 사용하였다. 해석 프로그램은 ABAQUS/Standard Version 6.2를 사용하였으며 접합부 강성을 비선형의 형태로 입력하여 P-Δ효과를 고려한 2차 탄성해석을 하였다.

#### 3.2 Top- and seat-angle with double web-angle (TSD) connection의 特性

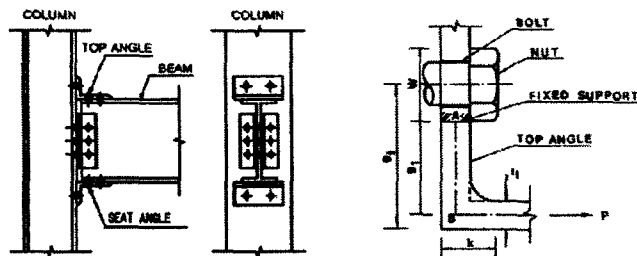


圖 3 TSD 接合部<sup>5)</sup>

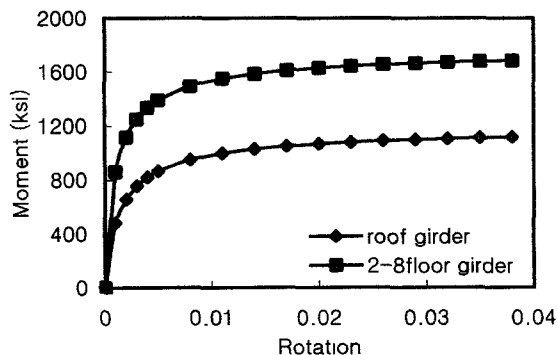


圖 4 TSD 接合部の moment-回轉角 曲線

TSD 접합부에 적용한 부재 치수를 表 2에 나타내었다. 모멘트-회전각 거동에 관한 예측 모형식을 구하기 위해 Three-Parameter Power Model을 이용하였다. 본 접합부 각 층의 기둥과 보에 대한 모멘트-회전각 곡선을 圖 4에 나타내었다.

表 2 TSD 接合部の Member size

Member	Size (in)
Top angles Seat angles	L4×4×1/2, $l_t=6"$ , $g_t=2.5"$
Web angles	L3×3×1/2, $l_w=7.5"$ , $g_w=1.75"$

4. 荷重 算定法

4.1 靜的荷重

정적하중은 고정하중과 적재하중, 풍하중의 조합으로 나타내었으며 조합된 하중을 表 3에 나타내었다.

表 3 靜的荷重

	Location	Static loads
Dead+Live loads	$W_{Roof}$	0.0833 kip/in
	$W_{Floor}$	0.2250 kip/in
Wind loads	$P_{Roof}$	3.0 kip
	$P_{Floor}$	6.0 kip

4.2 波浪荷重

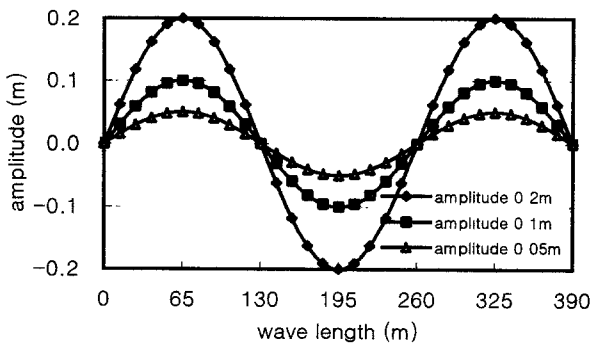


圖 5 假像變形mode

본 논문에서는 주기와 진폭을 가정한 가상파랑하중(사인함수)으로서 파랑하중을 적용하였다. 파장은 260m로 가정하고 진폭은 5cm, 20cm일 경우 가정하여 적용하였다. 아래 圖 5에 진폭별 파랑하중에 대한 가상변형모드를 나타내었다.

상하진폭이 클 경우 상하 강제변위에 의한 상부구조물의 응력 증가가 크다. 가상변형모드의 기울기가 큰 부분의 값을 적용했을 경우 각 기둥에 작용하는 상하변위값 차이가 크기 때문에 부가모멘트가 크게 작용한다. 圖 6에 강제변위 입력방법과 表 4에 진폭별 강제변위값을 나타내었다.

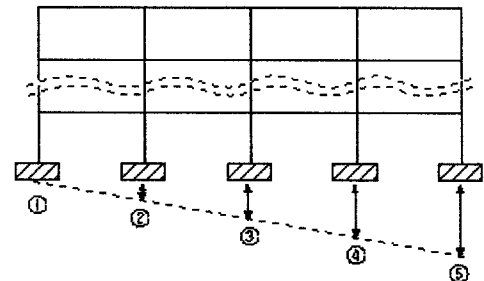


圖 6 強制變位 入力方法<sup>6)</sup>

表 4 振幅에 따른 上下 變位

	振幅 5cm		振幅 10cm		振幅 20cm	
	cm	in	cm	in	cm	in
①	0.000	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
②	-0.916	-0.360	-1.83	-0.721	-3.66	-1.442
③	-1.800	-0.709	-3.60	-1.417	-7.20	-2.835
④	-2.624	-1.033	-5.25	-2.066	-10.50	-4.132
⑤	-3.359	-1.322	-6.72	-2.645	-13.44	-5.289

5. 半剛接 接合部를 適用한 構造system別 彈性 應答分析

5.1 波浪荷重別 變位 比較

(1) 파랑하중(진폭 5cm)이 작용할 경우

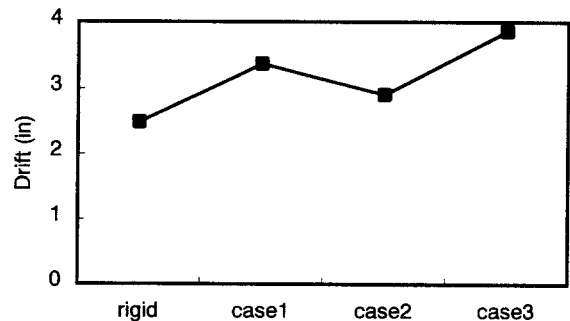


圖 7 組合荷重(振幅 5cm)이 作用하였을 경우 構造system別 最大變位

정적하중이 작용하는 경우 최대 변위가 구조시스템에 따라 큰 차이가 있었다. 파랑하중(진폭 5cm)이 작

용하는 경우는 변위가 비슷한 분포를 보이고 있어 구조시스템과는 상관없다는 것을 알 수 있었다. 조합하중(진폭 5cm)이 작용했을 경우 강접 골조가 가장 변위가 적었다. Case3에서 접합부의 종류에 따라 변위가 최고 48% 까지 차이가 났다. 일반적으로 반강접 접합부의 수가 많을수록 변위가 커지지만 Case3은 Case1에 비해 반강접 접합부의 수는 적지만 하부층과 외부기둥에 반강접 접합부를 배치하여 변위가 크게 나타난 것으로 사료된다. 정적하중에 의한 변위는 H/400 (=2.88in)를 충분히 만족하지만 조합하중(진폭 5cm)에서 Case1과 Case3은 H/400를 만족하지 못하였다.(表 5)

表 5 波浪荷重(振幅 5cm)이 작용하였을 경우 변위

model		波浪荷重 (振幅5cm)	靜的荷重	組合荷重 (振幅5cm)
Rigid connentions		1.163	1.327	2.485
TSD connentions	case1	1.161	2.238	3.367
	case2	1.160	1.759	2.903
	case3	1.151	2.781	3.864

(2) 진폭이 20cm인 파랑하중이 작용할 경우

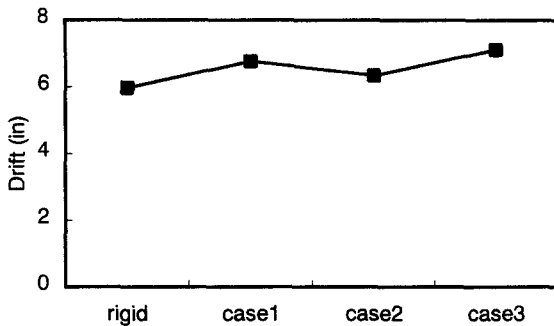


圖 8 組合荷重(振幅 20cm)이 작용하였을 경우 構造system별 最大變位

파랑하중(진폭 20cm)도 파랑하중(진폭 5cm)와 마찬가지로 구조시스템과 접합부와는 상관없이 변위가 비슷한 분포를 보이고 있다. 조합하중(진폭 20cm)이 작용했을 경우 강접 골조가 가장 변위가 가장 적었다. 파랑하중에 의한 영향이 커지면서 상대적으로 구조시스템별 변위차이가 줄어들었다.(表 6)

파랑하중에 의한 접합부별 구조시스템에 의한 변위 차이는 거의 없고 정적하중에 의한 차이가 커 파랑하중의 진폭이 증가할수록 접합부 종류별 격차가 줄어들었다.

表 6 波浪荷重(振幅 20cm)이 작용하였을 경우 변위

model		波浪荷重 (振幅20cm)	靜的荷重	組合荷重 (振幅20cm)
Rigid connentions		4.659	1.327	5.965
TSD connentions	case1	4.650	2.238	6.760
	case2	4.646	1.759	6.340
	case3	4.610	2.781	7.121

### 5.2 波浪荷重별 moment 比較

(1) 파랑하중(진폭 5cm)이 작용할 경우

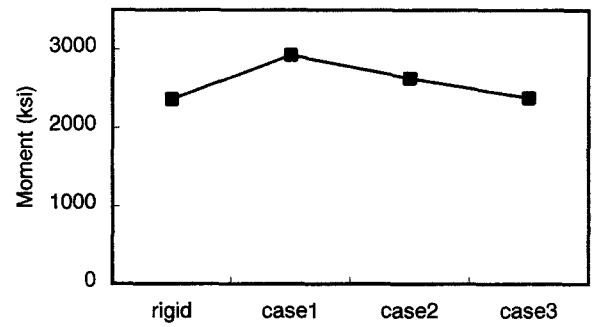


圖 9 組合荷重(振幅 5cm)이 작용하였을 경우 構造system별 最大moment

表 7 波浪荷重(振幅 5cm)이 작용하였을 경우 moment

model	位置	波浪荷重 (振幅5cm)	靜的荷重	組合荷重 (振幅5cm)	
Rigid connentions	2-4-R	156.3	2097	2263	
	2-1-R	34.3	2316	2359	
TSD connentions	case1	2-4-R	156.7	2267	2433
		3-4-R	58.7	2863	2924
	case2	2-4-R	157.1	2168	2336
		3-4-R	64.2	2556	2629
	case3	2-4-R	127.2	1358	1386
		5-4-R	39.7	2337	2381

조합하중(진폭 5cm)에 의한 모멘트가 가장 큰 부분과 정적하중에 의해 모멘트가 가장 큰 부분을 비교하여 表 6에 나타내었다. 파랑하중(진폭 5cm)에 의한 영향이 적어 정적하중에 의한 휨변위가 지배적임을 알

수 있었다.

파랑하중(진폭 5cm)에 의해서 2층바닥-4번째보-오른쪽(2-4-R)에 최대모멘트가 발생하였다. 조합하중(진폭 5cm)에 의해 모멘트가 강접 골조에 비해 증가율이 가장 큰 것은 Case1으로 24% 증가하였다. Case3은 강접 골조에 비해서 모멘트를 줄일 수 있는 성과를 거둘 수 있었다. 외곽보를 강접 접합한 Case1과 Case2는 강접 골조일 때 보다 큰 모멘트가 크게 작용하였다.

(2) 파랑하중(진폭 20cm)이 작용할 경우

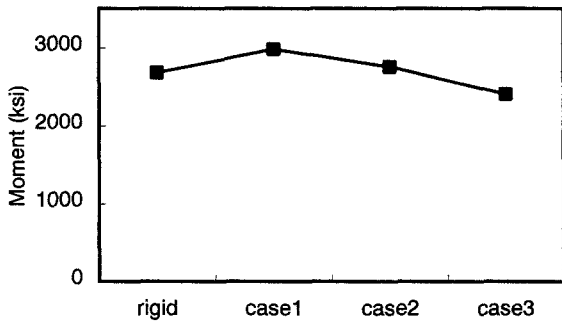


圖 10 組合荷重(振幅 20cm)이 作用하였을 경우 構造system별 最大moment

表 8 波浪荷重(振幅 20cm)이 作用하였을 경우 moment

model	位置	波浪荷重 (振幅 20cm)	靜的荷重	組合荷重 (振幅 20cm)	
Rigid connentions	2-4-R	631.7	2055	2687	
	2-1-R	136.3	2275	2412	
TSD conne ntions	case1	2-4-R	633.3	2199	2829
		3-4-R	236.6	2748	2981
	case2	2-4-R	634.6	2116	2755
		3-4-R	259.3	2477	2758
	case3	2-4-R	509.6	1331	1411
		5-4-R	161.1	2237	2409

조합하중(진폭 20cm)에 의한 모멘트가 가장 큰 부분과 정적하중에 의해 모멘트가 가장 큰 부분을 비교하여 表 7에 나타내었다. 파랑하중(진폭 20cm)은 파랑하중(진폭 5cm)에 비해 파랑하중에 의한 모멘트 증가율이 4배정도 커져서 파랑하중의 진폭의 증가와 모멘트의 증가가 비례하는 것을 알 수 있었다.

파랑하중(진폭 5cm)와 마찬가지로 파랑하중(진폭

20cm)에 의해 2층바닥-4번째보-오른쪽(2-4-R)에 최대모멘트가 발생하였다. 외곽보를 강접 접합한 Case1과 Case2는 강접 골조일 때 보다 큰 모멘트가 크게 작용하였고 파랑하중의 진폭이 커질수록 접합부 종류별 모멘트 차이가 줄어들었다.

## 6. 結 論

본 논문에서는 초대형 부유식 구조물의 상부구조물에 정적하중과 파랑하중이 동시에 작용할 경우 강접 골조와 부분적으로 반강접 접합부가 사용된 구조시스템에 TSD 반강접 접합부를 적용하였다. P-Δ 효과를 고려한 2차 탄성해석을 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 파랑하중의 진폭이 작을 경우에는 구조시스템별 변위 및 모멘트 응답의 차이가 컸지만 진폭이 큰 경우에는 파랑하중에 의한 응답이 지배적이기 때문에 시스템별 차이가 줄어들었다.
2. Case1은 강접 접합보다 최대모멘트가 증가하였으며 Case3과 같이 파랑하중에 의한 부가모멘트가 크게 작용하는 하부 부분을 반강접 접합부로 할 경우 하부층 보에 부가 모멘트는 줄일 수 있었다.
3. Case3과 같이 외곽보에 반강접 접합부를 배치하면 다른 시스템에 비해 변위가 크게 발생하는 것을 알 수 있었다.

## Acknowledgement

This research was supported by the Ministry of Maritime Affairs & Fisheries. The writers are grateful for this support.

## 참고문헌

1. Richard, R.M. and Gillet, P.E. and Kreigh, J.D. and Lewis, B.A., "The Analysis and Design of Single Plate Framing Connections", AISC Engineering Journal, 2nd Quarter, pp. 38-52, 1980
2. Chen, W.F., and Sohal, I., "Plastic design and second-order analysis of steel frame", New York: Springer-Verlag, c1995
3. Chen, W. F. and Goto, Y. and Richard Liew, J. Y., "Stability Design of Semi-Rigid Frames", John Wiley & Sons, INC, 1996

4. Kishi, N. and Chen, W. F. and Goto, Y. and Hasan, R.,  
"Behavior of Tall Buildings with Mixed Use of Rigid  
and Semi-Rigid Connections", Computer & Structures  
Vol. 61, No. 6. pp 1193~1206, 1996
5. Faella, C. and Piluso, V. and Rizzano, G., "Structural  
Steel Semirigid Connections", CRC Press LLC, 2000
6. 한국해양연구소, "초대형 부유식 해상구조물 기술개  
발 - 2차년도 최종보고서", 서울: 해양수산부, 2000
7. ABAQUS/Standard(2001), User Manual, I ~ III,  
Version 6.2, Hibbitt Karlsson & Sorensen, Inc