

부유식 강상자형 거더교의 안전성 평가기술 제안

Proposal of Safety Evaluation Technology for Floating Steel Box Type Girder Bridges

심준기^{1*}¹주식회사 유신 구조부 공학박사Jun Gi Sim^{1*}¹Ph.D., Department of Structural Engineering, Yooshin Engineering Group, 8, Yeoksam-ro 4-gil, Gangnam-gu, Seoul 06252, Korea

*Corresponding author : Jun Gi Sim, sjk0605@korea.ac.kr

Received : November 29, 2023

Revised : December 13, 2023

Accepted : December 15, 2023

A B S T R A C T

A combination of allowable strength design and hydrodynamic diffraction and response was proposed as a safety evaluation technology for floating steel box type girder bridges. For the steel box girder, AISC specification for allowable strength design was considered, and for pontoons, Design Manual of Port Design were applied. In designing the steel box girder, load combinations and load factors were presented to examine the ultimate strength. In addition, for the Pontoon foundation, a hydrodynamic dynamic analysis was performed on the environmental load in the sea area, and the natural period was evaluated. As a result, it was possible to evaluate safety of floating steel box girder bridges using the proposed safety evaluation technology. The strength examination results of the steel box girder were confirmed to be within the allowable strength. For hydrodynamic analysis, the response amplitude function of the pontoon foundation was largest for roll motion, and the damping case was largest for surge motion. In addition, the natural period based on each pontoon was able to evaluate the response amplitude operator to avoid the extreme load.

Keywords : floating steel box girder bridge, allowable strength design, hydrodynamic diffraction and response, damping and natural period evaluation, safety evaluation technology

1. 서론

부유식 거더교는 수로 교통, 항구 시설, 해양 에너지 발전 및 환경 보호 등 다양한 응용 분야에서 사용되며, 안전하고 효율적인 건설과 운영이 필수적이다(Watanabe 2003). 양단 고정 방식의 곡선형 부유식 강상자형 거더의 경우 폰툰 기초에 별도로 계류선을 적용하지 않는다. 이러한 특성으로 파도, 너울, 바람 등 다양한 환경하중에 따라 복잡한 동적 거동이 발생된다. 이러한 곡선형 부유식 강상자형 거더교의 동적 거동 중 공진은 반드시 주의해야 할 현상으로 설계에 있어 주요 관심사이다. 이러한 공진 응답을 줄이는 데 중요한 역할을 하는 것이 감쇠이다(Hong et al. 2020). 부유식 강상자형 거더교의 감쇠 효과에 미치는 주요 인자들로는 구조적, 공기역학적, 유체역학적 영향으로 구분된다. 이 중 부유식 거더교의 특성상 유체역학적 영향은 가장 중요한 인자이다. 특히, 유체역학적 특성 중 수평, 연직, 회전 방향 폰툰 기초의 강성별 감쇠에 미치는 가장 큰 인자가 무엇인지를 안다면 부유식 거더교의 감쇠 효과를 크게 증대시킬 수 있다. 또한, 현재 부유식 교량을 해석하고 안전성을 평가할 적절한 기준이 마련되지 못한 상황이다. 이에, 본 연구에서는 부유식 강상자형 거더교의 안전성 평가 기준 제안 및 유체역학적 동해석을 통해서 고유진동주기 검토, 강성 및 감쇠에 대하여 분석하였다. 이를 위해 각 폰툰에 대해서 응답진폭함수(RAOs)와 감쇠(Damping)에 대해서 유체역학적 회절(Hydrodynamic diffraction) 및 반응(Response)을 검토하여 가장 큰 반응을 보이는 인자를 분석하고 각 폰툰의 고유주기가 가장 큰 반응이 발생하는 주기를 회피하는 지 확인하였다. 이 연구의 목표는 부유식 강상자형 거더교의 유체역학적 특성을 반영한 설계기술, 고유진동주기 검토, 강성 및 감쇠에 대한 이해를 향상시키는 것이다.



2. 유체역학적 구조해석

2.1 해석개요

본 연구에서는 부유식 교량 설계시 강상자형 거더는 AISC(American Institute of Steel Construction)에서 제시한 허용강도설계법을 적용하여 설계하였다(Muir and Duncan 2011). 식 (1)과 같이 허용강도설계법은 구조 부재의 설계강도(R_n/Ω)는 하중조합에 의해 가해진 강도(M_u)와 같거나 크도록 설계하는 방법이다. 이때, 하중조합은 상부자중, 기동, 폰툰자중, 부력, 활하중, 조류력, 조위차를 고려하였고 온도하중이 고려될 경우 온도가 상승되는 경우와 하강하는 경우로 나누어 고려하였다. 하중계수는 온도하중이 고려된 경우 1.15을 적용하고 그렇지 않은 경우에는 1.0을 적용하였다. 부유식 교량 설계시 적용되는 강상자형 거더는 휨부재로 허용휨강도(M_n/Ω_b)에서 안전율(Ω_b)이 1.67이다(Williams and Eng 2016). Fig. 1은 조밀단면 H-빔의 탄성 및 소성 휨 거동이다. 한계상태인 소성 구간의 거동으로 진행될 때 소성 중립축의 위치를 알기 위해서는 조밀단면으로 하여야한다. 또한, 식 (2)와 같이 허용강도설계법에서는 강재의 폭과 두께의 비율이 조밀한 단면일 경우 공칭휨강도가 소성휨강도와 동일하기 때문에 부유식 강상자형 거더의 단면은 조밀단면을 적용하였다.

$$\frac{M_n}{\Omega} \geq M_u \tag{1}$$

$$M_n = M_p \tag{2}$$

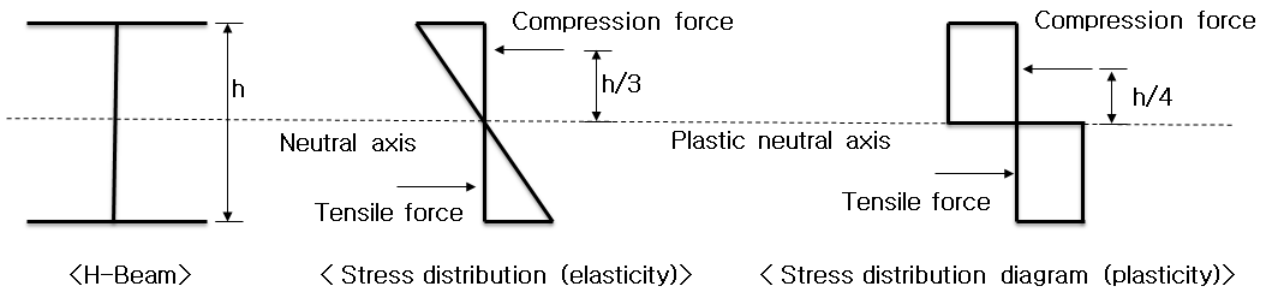


Fig. 1. Stress distribution ratio of elastic behavior and plastic behavior

Table 1. Load combinations for superstructure of the floating bridge

Load Condition		Normal State	Temperature State	
			Case #1	Case #2
Load Combination	Superstructure self-weight	○	○	○
	Column self-weight	○	○	○
	Pontoon self-weight	○	○	○
	Buoyancy load	○	○	○
	Live load	○	○	○
	Tidal force	○	○	○
	Temperature (+)	-	○	-
	Temperature (-)	-	-	○
	Tide difference	○	○	○
Load factor		1.00	1.15	

Table 1과 같이 허용강도설계법으로 부유식 강상자형 거더에 대해서 하중조합을 적용시에는 ASCE7-16, KDS 14 30 05 및 Yume Mai Bridge 설계 지침을 참조하여 보수적으로 가장 큰 하중 계수인 1.15를 적용하였다(MOLIT 2019; Maruyama and Kawamura 2000). 또한, Yume Mai Bridge 설계 지침의 활하중에 대한 처짐 검토는 400 mm 정도로 제한하고 있으나 경간장에 대한 변화에 대응하기 위해 국내 2010년도 도로교설계기준의 사장교형식 허용 처짐 값으로 경간장을 400으로 나눈 값을 적용하였다(MOLIT 2010).

기둥 및 폰톤의 설계는 KDS 64 90 30 : 2017 항로표지시설 설계기준을 참조하여 폰톤의 고유진동주기, 교축직각방향 크기에 따른 파장 및 경사각 검토를 수행하였다(MOF 2017). 고유진동주기(t_0)는 식 (3)과 같이 회전반경(k), 경심(GM) 및 중력가속도(g)를 적용하여 구한다. 파장의 경우 폰톤의 교축직각방향 크기가 최대 파장 이상이 되도록 하였다. 경사각에 대한 허용 기준은 국내에 별도로 제시된 바 없기 때문에 Yume Mai Bridge 설계 지침에 제시된 1.43° 을 적용하였다.

$$t_0 = 2\pi \sqrt{\frac{k^2}{GM \cdot g}} \tag{3}$$

2.2 하중조건

Table 2와 같이 현재 부유식 교량이 건설된 사례는 총 15개소가 있으며, Table 3과 같이 최대 파고는 3.3 m으로 미국 워싱턴주에 위치한 후드 케널 부유식 교량이 있고 최대 주기는 5.1 sec으로 노르웨이 베르겐에 위치한 노드호드랜드 부유식 교량이 있다 (Halim Saleh 2010). 국내의 환경하중은 1차적으로 전국파랑관측자료 제공시스템을 활용한 결과, Table 4와 같이 서해안 칠발도 외해 인근에서 최대 파고가 5.60 m이었으며, 남해안 여수(여수신항) 외해에서 최대 파고가 10.57 m으로 조사되었다. 외해 지역에서 최대 파고인 지역의 내해에 기 시공된 해상교량의 실시설계보고서를 참고하여 실제 설계에 적용된 자료를 조사한 결과, 서해안 칠발도 압해~압태 천사대교에서는 유의파고 2.30 m, 주기 5.87 sec이었으며 남해안 여수(여수신항) 남도대교에서는 유의파고 1.39 m, 주기 4.55 sec이었다. 이에, Table 5와 같이 국·내외 환경하중을 비교한 결과 상호 유사하여 적용성이 타당한 것으로 판단된다. 본 연구에서는 남해안 여수(여수신항) 남도대교의 환경하중을 적용하여 부유식 거더교를 설계하여 분석하였다.

Table 2. Floating bridge construction

No.	Year	Name	Location	Deepest (m)	Length (m)	Pontoon dimensions (m)
1	1912	Galata	Istanbul, Turkey (River mouth)	41	466	25×9×3.7
2	1940	Lacey V Murrow	Washington State, USA (Lake)	75	2,018	107×18×4.4
3	1943	Hobart	Tasmania, Australia (River mouth)	31	965	40×11×3.7
4	1957	Kelowna	British Columbia, Canada (Lake)	49	640	61×15×4.6
5	1961	Hood Canal Old (east side)	Washington State, USA (Lake)	104	1,972	110×15×4.4
6	1963	Evergreen point	Washington State, USA (Lake)	61	2,310	110×18×4.5
7	1983	Hood Canal new (west side)	Washington State, USA (Lake)	104	1,972	110×18×5.5
8	1989	Third Lake Washington	Washington State, USA (Lake)	61	1,771	108×23×5.0
9	1992	Bergsoysund	Kristiansund, Norway (Fjord)	300	934	34×20×6.0
10	1994	Nordhordland	Bergen, Norway (Fjord)	500	1,246	42×12.5×6.8
11	1996	West India Quay Foot Bridge	London, England (River mouth)	-	94	∅ 2.8×10
12	1996	Nagoya Fish port Terminal	Nagoya, Saga, Japan (Inner Harbor)	10	110	110×15×3.0
13	1998	Admiral Clarey	Hawaii, USA (Inner Harbor)	15	310	93×15×5.1
14	2000	Kujira	Nishino Omote, Kagoshima (Lake)	-	180	-
15	2000	Mumal Oohashi	Osaka (Inner Harbor)	10	410	58×58×8.0

Table 3. Characteristic of floating bridge

No.	Natural Condition					Lanes	Pontoon structure material	Methods of restraint
	Water level change (m)	High wave force Hs (m)	Wave cycle Ts (sec)	Flow (m/sec)	Wind speed (m/sec)			
1	0.6	-	-	3.0	-	4	Steel	Chain/Anchor
2	1.2	2.4	4.0	-	28	4	Concrete	Chain/Anchor
3	2.4	2.1	-	1.5	55	2	Concrete	Fixed end
4	1.5	1.8	-	-	-	2	Concrete	Chain/Anchor
5	5.0	3.3	-	1.5	37	2	Concrete	Chain/Anchor
6	1.2	2.7	-	-	38	4	Concrete	Chain/Anchor
7	5.0	3.3	-	1.5	37	2	Concrete	Chain/Anchor
8	1.2	2.4	4.6	-	28	5	Concrete	Chain/Anchor
9	4.0	1.4	4.5	1.3	37.5	2	Concrete	Fixed end
10	3.0	1.7	5.1	-	27.1	2	Concrete	Fixed end
11	-	-	-	-	-	-	Steel	Chain/Anchor
12	-	-	-	-	-	2	PC Hybrid	Jacket
13	-	-	-	-	-	2	Concrete	Chain/Anchor
14	-	-	-	0.3	-	-	Aluminium	-
15	2.0	2.5	7.7	0.3	42	4	Steel	Fender/Dolphin

Table 4. Investigation of maximum and average significant wave height values on the open sea of west and south coasts in Korea (MOF 2023)

Division		Year	Maximum significant wave height (m)	Significant wave height average value (m)	Note
West coast	Deokjeokdo	2020	3.10	0.47	-
		2021	3.20	0.56	-
		2022	3.50	0.94	-
	Saemangeum New Port	2020	4.28	0.81	-
		2021	5.56	0.79	-
		2022	3.90	0.74	-
	Chilbaldo	2020	5.60	0.93	-
		2021	5.30	0.93	-
		2022	5.60	0.95	-
South coast	Wando	2020	-	-	No observation data
		2021	-	-	No observation data
		2022	5.68	0.68	-
	Yeo su (Yeosu New Port)	2020	7.69	0.78	-
		2021	4.32	0.81	-
		2022	10.57	0.75	-
	Busan (Gimcheon Port)	2020	8.08	0.73	-
		2021	3.73	0.75	-
		2022	10.10	0.75	-

Table 5. Marine environmental conditions of worldwide and Korea

Division		High wave force Hs (m)	Wave cycle Ts (sec)
Worldwide		3.30	5.10
Korea	West coast	2.30	5.87
	South coast	1.39	4.55

2.3 안정성 평가 기준

부유식 거더교의 폰툰기초 계류안정성 검토는 폰툰의 교축직각방향 크기가 최대 파장 32.01 m 이내인지를 평가하고, 경사각이 허용 경사각 1.41° 이내인지를 평가한다. 부재강도 검토에서는 HSB460의 휨강도는 허용강도 설계 안전율 1.67을 적용하여 구하중계수 및 하중조합을 적용한 최대 발생 강도에 모두 만족하는지 확인한다. 또한, 최대 처짐에 대해서도 전체 경간장 630 m에 40을 나눈 허용 처짐량 1.575 m 이내인지 확인한다.

3. 유체역학적 구조해석

3.1 구조해석

상부구조인 강상자형 거더는 Fig. 2와 같이 MIDAS Civil 3차원 프레임 요소 모델을 통하여 각 부재력을 구하였다. 강상자형 거더교의 평면도는 Fig. 3과 같이 곡선형으로 구성된다. 경간 구성은 Fig. 4와 같이 S1~S6까지 80 + 5@85 + 125 = 630 m로 이루어진다. 마지막 125 m 경간은 아치교이며, 양단 고정 방식의 계류를 적용하였다. 지점강성은 폰툰의 견현과 흡수를 고려하여 수상 면적과 해수의 밀도 및 증력가속도를 곱하여 구하였다(Giske 2019). 표준 횡단면도 및 주탑 단면도는 Fig. 5와 같다. 사용재료 중 철근의 경우 기둥과 폰툰에 사용되며 SD40A D29, D22, D16(이형철근), $f_y = 400$ MPa(항복강도), $E_s = 2.000 \times 10^5$ MPa(탄성계수), $\nu = 0.3$ (포아송 비), $\alpha = 1.200 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ (열팽창계수), $\gamma = 76.98$ kN/m³(단위중량)의 특성을 갖는다. 콘크리트의 경우도 기둥과 폰툰에 사용되며 C40(고강도콘크리트), $f_{ck} = 40$ MPa(압축강도), $E_c = 2.998 \times 10^4$ MPa(탄성계수), $\nu = 0.18$ (포아송 비), $\alpha = 1.000 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ (열팽창계수), $\gamma = 24.52$ kN/m³(단위중량)의 특성을 갖는다. 강상자형 거더 상판, 하판, 복부판, 상부종리브, 하부 종리브, 다이아프램, 아치 보강형, 리브, 행어에 사용되는 강재는 HSB460(교량구조용압연강재), $F_u = 600$ MPa(인장강도), $F_y = 460$ MPa(항복강도), $E_s = 2.100 \times 10^5$ MPa(탄성계수), $\nu = 0.3$ (포아송 비), $\alpha = 1.200 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$ (열팽창계수), $\gamma = 76.98$ kN/m³(단위중량)의 특성을 갖는다(MOLIT 2019).

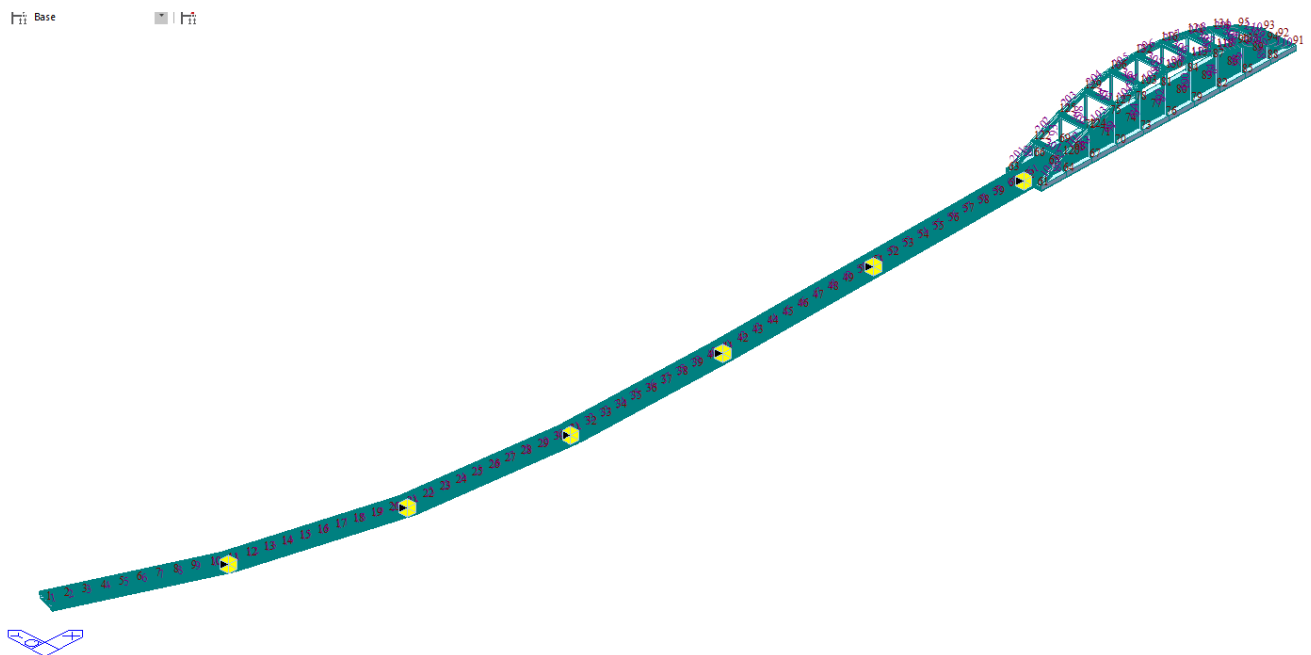


Fig. 2. Three-dimensional frame element model of the floating steel box girder bridge for structural analysis

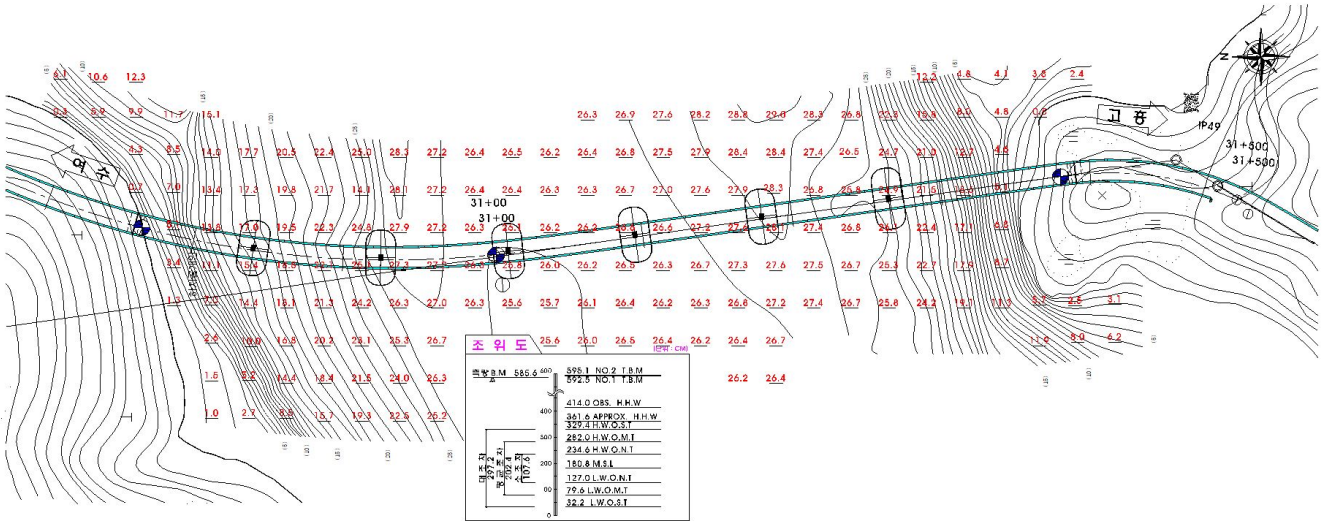


Fig. 3. Top view of the floating steel box girder bridge

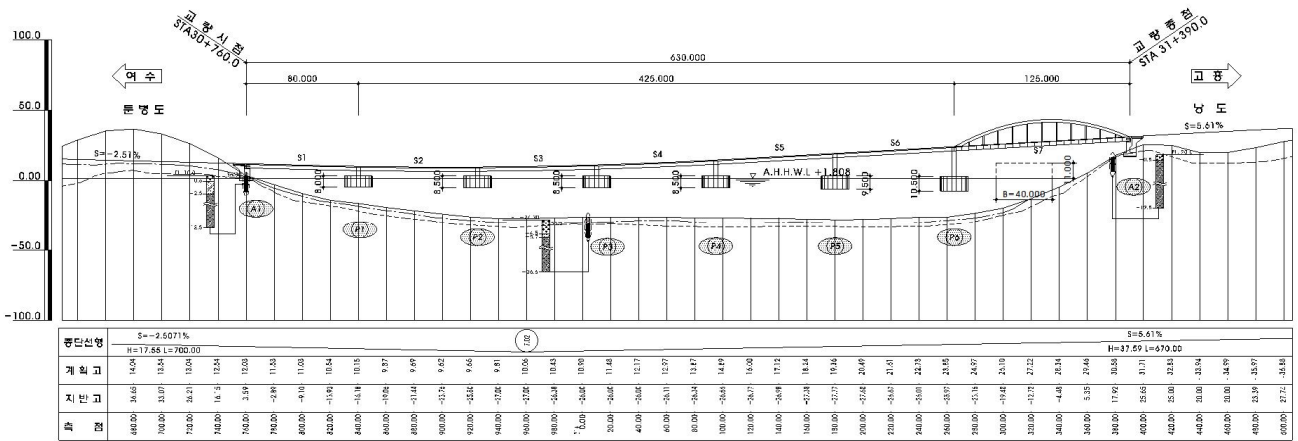


Fig. 4. Longitudinal section view of the floating steel box girder bridge

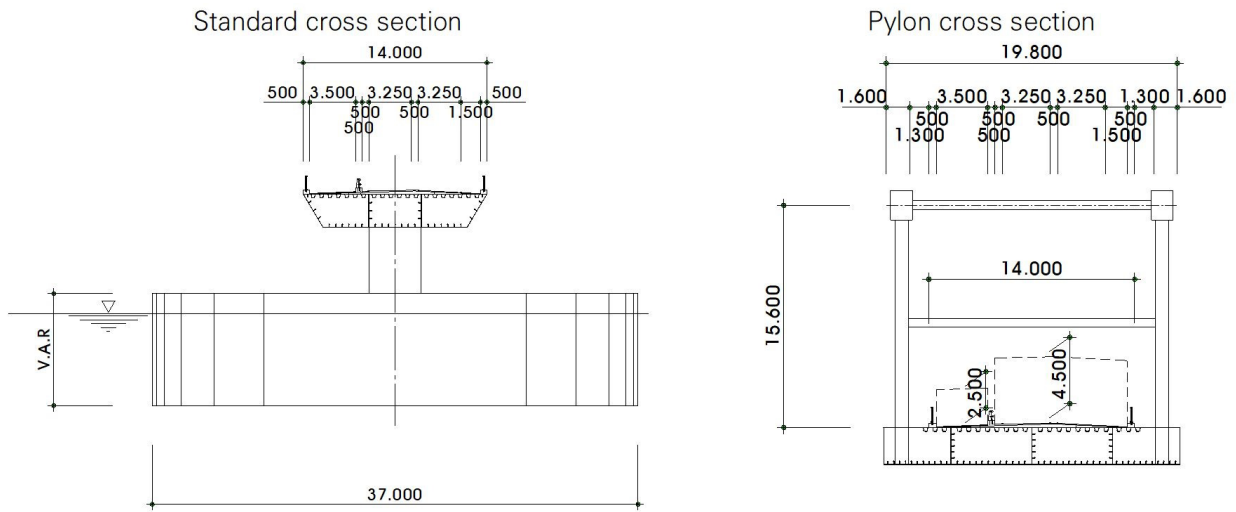


Fig. 5. Standard cross section and pylon cross section of the floating steel box girder bridge

Table 6과 같이 폰툰기초의 선형 지점강성은 각 폰툰별 여유부력을 고려하여 흘수와 견현을 구하여 산정하고, 회전 지점강성에 대해서는 양단 고정 계류방식임을 감안하여 휨 거동만 발생한다는 가정으로 피치 운동만 자유로 하고 롤과 요 운동은 고정으로 하였다(Faltinsen 1993; Multiconsult 2017). 또한, 상부구조, 기둥 및 폰툰의 강성과 질량을 이용하여 유의파고와 주기에 대한 유체 역학적 회절 및 반응 구조해석을 ANSYS AQWA로 수행하였다. 이 때, 고유주기 검토를 통한 유체역학적 동해석에 따른 구조 안정성을 검토하고 고유주기 검토에 따라 상부구조의 단면을 수정하는 반복적인 작업으로 Fig. 6과 같이 부유식 거더 교량의 구조해석을 수행하였다.

Table 6. Point stiffnesses of the pontoons [Unit: kN/m]

Division	x-direction stiffness (Surge)	y-direction stiffness (Sway)	z-direction stiffness (Heave)	x-axis rotational stiffness (Roll)	y-axis rotational stiffness (Pitch)	z-axis rotational stiffness (Yaw)
Starting point	Fix	Fix	Fix	Fix	Free	Fix
Pontoon 1	1,869	1,010	7,181	Fix	Free	Fix
Pontoon 2	2,028	1,096	7,181	Fix	Free	Fix
Pontoon 3	2,028	1,096	7,181	Fix	Free	Fix
Pontoon 4	2,028	1,096	7,181	Fix	Free	Fix
Pontoon 5	2,347	1,269	7,181	Fix	Free	Fix
Pontoon 6	4,261	2,303	7,181	Fix	Free	Fix
End point	Fix	Fix	Fix	Fix	Free	Fix

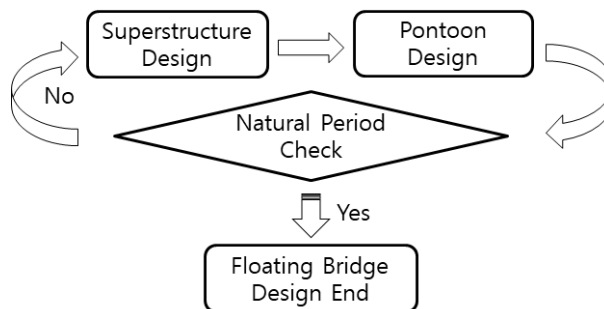


Fig. 6. Design method of the floating steel box girder bridge

3.2 해석 결과

부유식 거더교의 폰툰기초 계류안정성 검토 결과, 적용수심 28.10 m, 유의파고 1.39 m, 주기 4.55 sec에 대해서 최대 파장은 32.01 m로 폰툰 교축직각방향 크기 37.0 m보다 작아 만족하였으며, 최대 경사각 0.29°로 허용 경사각 1.41° 이내로 만족하였다. Table 7과 같이 부재강도 검토에서는 HSB460의 휨강도가 $6.000 \times 10^3 \text{ kN/m}^2$, HSB460의 압축강도가 $4.500 \times 10^3 \text{ kN/m}^2$ 에 허용 강도 설계 안전율 1.67을 적용하여 구한 허용 강도에 대해서 하중계수 및 하중조합을 적용한 최대 발생 강도에 모두 만족하였다. 또한, 최대 처짐에 대해서도 전체 경간장 630 m에 400을 나눈 허용 처짐량 1.575 m에 대해서 최대 0.388 m로 모두 만족하였다.

유체역학적 회절 및 반응 구조해석 검토에서는 Fig. 7과 같이 조류속 방향인 교축직각방향 대한 파랑에 대해서 롤 운동의 응답 진폭합수가 크게 발생하는 경향을 보였으며, 서지 운동에 대해서는 감쇠가 크게 발생하는 경향을 보였다. 즉, 적용된 폰툰 단면의 특성상 롤 운동에서 변위가 크게 발생할 수 있으며, 서지 운동에 대해서는 감쇠 효과가 큰 것으로 나타났다. 특히, 각 폰툰별 고유진동주기가 응답진폭합수의 주기와 상이하여 해당 해역의 환경하중에 대한 동적 거동의 구조 안정성도 확보된 것으로 확인되었다.

Table 7. Structural analysis result of the floating steel box girder bridge by using allowable strength design

[Unit: MPa]

	Division	Ultimate strength	Allowable strength	Note
Longitudinal flexural strength	Middle span girder	171	359	O.K
	End span girder	227	359	O.K
	Arch rib	34	359	O.K
	Main girder of Arch span	12	359	O.K
Longitudinal axial strength	Middle span girder	63	269	O.K
	End span girder	61	269	O.K
	Arch rib	61	269	O.K
	Main girder of Arch span	200	269	O.K

Table 8. Maximum deflection of the floating steel box girder bridge

[Unit: m]

Division	Maximum deflection	Allowable deflection	Note
Starting point	0.000	1.575	O.K
Pontoon 1	0.351	1.575	O.K
Pontoon 2	0.388	1.575	O.K
Pontoon 3	0.372	1.575	O.K
Pontoon 4	0.379	1.575	O.K
Pontoon 5	0.384	1.575	O.K
Pontoon 6	0.326	1.575	O.K
End point	0.000	1.575	O.K

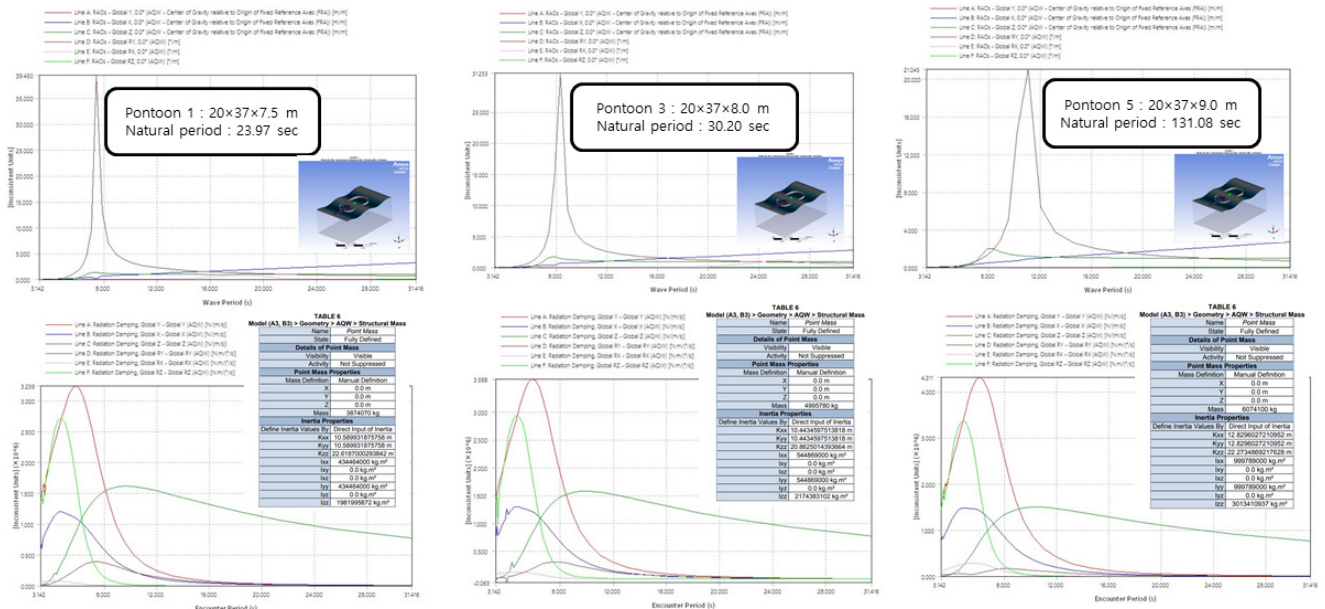


Fig. 7. Hydrodynamic diffraction and response of the floating steel box girder bridge

4. 결론

부유식 강상자형 거더교의 안전성 평가 기술로 허용강도설계법과 유체역학적 회절 및 반응 구조해석의 조합을 제안하였다. 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 부유식 거더교의 폰톤 기초의 경우 교축직각방향 대한 파랑에 대해서 롤 운동의 응답진폭합수가 크게 발생되었으며, 서지 운동에 대해서는 감쇠가 크게 발생하는 경향을 보였다. 즉, 공진을 저감할 수 있는 감쇠는 서지 방향의 폰톤 크기가 가장 큰 영향을 미치는 것으로 보였다.
- 2) 부유식 거더교를 해석하고 안전성을 평가할 기준으로 허용강도설계법을 적용한 부유식 강상자형 거더교의 부재별 허용강도 검토는 적절하였다.
- 3) 향후, 부유식 강상자형 거더교의 안전성 평가를 고도화하기 위한 허용 강도, 허용 처짐과 파장에 대한 폰톤 허용 제원, 허용 경사각 및 하중조합·계수는 국내 환경하중에 대한 누적된 확률론적 연구를 바탕으로 보완이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 서울대학교 부유식인프라연구단을 통한 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 RS-2023-00250727).

References

- Faltinsen, O. (1993) *Sea Loads on Ships and Offshore Structures*. Vol. 1. Cambridge University Press.
- Giske, J. H. (2019) *Optimizing pontoon spacing for floating bridge over Bjørnafjorden*.
- Halim Saleh, A. (2010) *Mega floating concrete bridges*.
- Hong, S., Cheng, Z., Gao, Z., Shao, Y. and Xiang, X. (2020, October). Effect of damping on the dynamic responses of a floating bridge in wind and waves. In *ISOPE International Ocean and Polar Engineering Conference* (pp. ISOPE-I). ISOPE
- Maruyama, T. and Kawamura, Y. (2000) *Construction of a floating swing bridge -Yumemai bridge*, *Osaka Technol*, 39, 28-43.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT) (2010) *Road bridge design standards*. (In Korean)
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT) (2019) *Korean Design Standard (KDS 14 30 05)*. (In Korean)
- Ministry of Oceans and Fisheries (MOF) (2017) *Korea Design Standard (KDS 64 90 30 2017)*. (In Korean)
- Ministry of Oceans and Fisheries (MOF) (2023) *WINK (Wave Information Network of Korea)*. (In Korean)
- Muir, L. and Duncan, C. J. (2011) *The AISC 2010 specification and the 14th edition steel construction manual*, In *Structures Congress* 2011 pp. 661-675.
- Multiconsult (2017) *Brief Description of the static load carrying system for Bridge over Bjørnafjorden*. SBJ-31-C3-MUL-22-RE-004. Oslo: Multiconsult.
- Watanabe, E. (2003) Floating bridges: past and present. *Structural engineering international*, 13(2), 128-132.
- Williams, A. and Eng, C. (2016) *About the International Code Council*.

요약

부유식 강상자형 거더교의 안전성 평가기술로 허용강도설계와 유체역학적 회절 및 응답의 조합을 제시하였다. 강상자형 거더는 허용 강도설계기준은 AISC 기준을 인용하였으며, 폰툰은 항만 및 어항설계기준을 적용하였다. 강상자형 거더 설계에 있어서는 하중조합 및 하중계수를 제시하여 극한강도에 대한 검토를 수행하였다. 또한, 폰툰기초는 해당 해역의 환경하중에 대한 유체역학적 동해석을 수행하여 고유진동주기 검토를 수행하였다. 그 결과, 제안한 안전성 평가기술로 부유식 강상자형 거더교의 안전성 평가가 가능하였다. 강상자형 거더의 강도 검토 결과 모두 허용강도 이내로 확인되었다. 유체역학적 동해석에서는 폰툰 기초의 응답진폭함수의 경우 롤 운동에 대해서 가장 컸으며, 감쇠의 경우 서지 운동에 대해서 가장 컸다. 또한, 각 폰툰 기초의 고유진동주기가 응답진폭함수가 가장 큰 주기들을 회피함을 확인할 수 있었다.

핵심용어 : 부유형 강상자형 거더 교량, 허용 강도 설계, 유체역학적 회절 및 응답, 감쇠 및 고유주기 평가, 안전성 평가기술