

Spar Buoy설치로 『안전항로』 확보

오 제 봉*

요 약 : 우리나라에서는 선박의 항로를 표시하기 위하여 등부표를 설치하여 운영하고 있으나 등부표는 수면하에 침추를 설치하고 체인으로 연결되는 특성으로 인하여 정확한 위치표시가 되지 않아 선박이 항로를 이탈하는 사고가 빈발하여, 항해자가 정확한 항행목표로 이용하기 어려운 실정에 있어, 이를 개선하기 위하여 시인성과 위치 유동성이 거의 없는 새로운 스파부이 개발방법에 대한 연구와 시험설치 효과를 분석하였다.

핵심용어 : 등부표, 항로, 스파부이

1. 서 론

부산항 신항은 21세기 동북아 물류중심인 국제항으로써의 역할을 확대하기 위하여 항로를 지정하고 적기 적소에 항해보조시설을 설치하여 선박이 안전하고 경제적으로 입출항 할 수 있는 항로여건은 필수적이라 할 수 있다.

따라서 부산항 신항 내항 좁은 항로에 적합하고 유지관리도 용이한 항로표지를 설치하기 위하여 표준형 Spar Buoy를 검토하게 되었으나 여러 가지 문제점이 도출되어 부력향상 및 침추 등 보안이 필요함에 따라 자료수집 및 시공사례를 조사하여 Spar Buoy를 개선하게 되었다.

특히 부산항 신항은 대형 화물선 및 대형 고속 컨테이너선박이 이용하게 됨에 따라 국제해사기구(IMO)의 항로지정방식과 PIANC Rule에 부합되는 항로의 설계와 배치가 필요한 실정이었으나 기존 가덕수로를 따라 신항 내항쪽으로 진입하게 되면 항로폭이 급격하게 좁아져 대형선박의 경우 돌풍 등 외력의 영향에 의하여 안전사고 위험이 높은 곳으로 개선형 Spar Buoy를 부산항 신항 내항 항로경계에 좌우측에 설치하여 선박을 안전하게 유도할 수 있도록 하였다.

2. 설 계

기존의 등부표를 대체할 목적으로 설계된 Spar Buoy는 높이 19m의 강구조물로 부력과 무게중심을 대폭 보강해 기울어짐이 없이 몸통이 침추 약 55톤의 철근콘리트 블록과 직접 연결되어 이출거리가 전혀 발생되지 않고 고정되어 있도록 하였다.

설계기준은 부산항 신항 항로의 경우 외항인 가덕수로의 항로폭은 평균 2.1km 길이는 약 11km 수심은 약 30m이고, 내항인 신항 내항의 항로폭은 약 300m, 길이는 약 6km, 수심은 약 15m를 반영하였다.

국제해사기구(IMO)의 항로지정방식과 PIANC Rule에 의한 항로폭 기준에 의거해 신항 입항선박을 8천TEU를 기준으로 봤을 때 최대 501m의 항로폭 정도는 확보되어야 하나 부산항 신항 토도와 호란도 사이 항로폭은 약 300m로 조류나 돌풍

등 바람의 영향이 있을때 위험이 뒤따른다.

따라서 부산항 신항의 항로를 최대한 확보하고자 이출거리가 없고 항로경계선에 설치할 수 있는 Spar Buoy 배치를 검토하였다. Spar Buoy는 2001년 3월에 이미 표준형으로 설계되어 일부 지역에 특수표지로 설치 운영되고 있으나 부력이 부족하여 한쪽으로 기울어짐이 발생하는 등 안전성이 미확보됨에 따라 우리청 자체적으로 외국의 시공사례 등 자료를 수집 보완하여 부산항 신항의 좁은 항로에 적합하도록 설계하였다.

설계도에 의한 Spar Buoy구조의 안정성 및 복원력계산결과 표준형 표체의 넓이 2.4m에서 2.8m, 높이를 2.2m에서 3.5m로 조정하여 부력을 향상시켰으며, 또한 침추설치 심도 검토는 준설계획 심도인 DL(-)15.00m를 비롯해서, 연약점성토층의 하부 토층까지 침추가 관입되는 것으로 가정하여 최대 심도인 DL(-)22.5m인 경우에 대해서도 구조체의 안정성 검토를 시행하였다. 해상조건(파고 4.1m, 조류 0.2m/sec, 풍속 26.1m/sec)을 반영하여 구조체의 안정성을 검토한 결과, 침추 규격은 4.0B×4.0L×1.5H로 검토 되었으며, 침추관입 심도에 따른 하부 마스트 조정이 필요한 것으로 검토하였다.

이와 같이 제작된 Spar Buoy는 안정성검토 및 복원력 시험결과 만족할 만한 결과가 나오에 따라 가덕수로와 마산·통영항로가 분리되는 지역부터 우항로우선표지를 시작으로 서방파제 끝단, 토도 우측 끝단, 북컨테이너부두 좌측항로끝단을 연결하는 항로경계에 좌현표지 5기를 배치하였고, 북컨테이너부두부터 우측으로 호란도 좌측경계 동방파제 끝단과 가덕수로 우측경계선 항로끝단에 우현표지 8기를 배치하여 항로폭 300m를 100% 활용할 수 있도록 하였다. 이로 인하여 대형 컨테이너선 등의 입출항시 우려되는 외력의 영향 및 기타 안전사고를 사전에 예방할 수 있도록 하였다.

《주요자재 비교표》

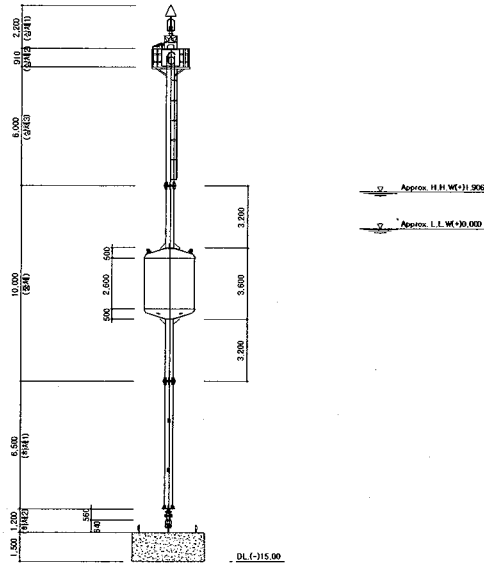
주요공정	표준형		개선형	
	규격	주자재	규격	주자재
표체	2.4 × 2.2	STPL 9t	2.8×3.5	STPL 9t
Pipe	φ500	강관 15t	φ400	강관 16t
침추	2.4×2.4×0.9	콘크리트 9톤	4×4×1.5	콘크리트 55톤

* ojbong@momaf.go.kr

▣ SPAR BUOY(LSP-28) 안정검토 : DL.(-)15.0m 기준

1. 설계기준 및 조건

- 수 심 : DL.(-)15.00m
- 풍 속 : 26.1m/sec
- 조 류 : 0.2 m/sec
- 파 고 : 4.1 m
- 해 수 단 위 중 량 : 1.03t/m³
- 해 수 밀 도 : 105kg·sec²/m⁴
- 공 기 밀 도 : 0.125kg·sec²/m⁴



2. SPAR BUOY 안정검토

1) 부력에 대한 계획 침추 중량검토

부력이 가장크게 작용하는 H.H.W인 경우에 대하여 검토함

① $U = (\text{표체의 체적} + \text{마스트 체적}) \times 1.03$
 $= (\pi/4 \times 2.8^2 \times 3.587 + \pi/4 \times 0.457^2 \times 17.2) \times 1.03$
 $= (22.08 + 2.82) \times 1.03$
 $= 25.64 \text{ Ton}$

② 안정검토

㉠ 계획 침추 중량 : $W' = 348 \text{ Ton} (4.0B \times 4.0L \times 1.5H)$

㉡ $W + W' > U \Rightarrow W' > U - W$

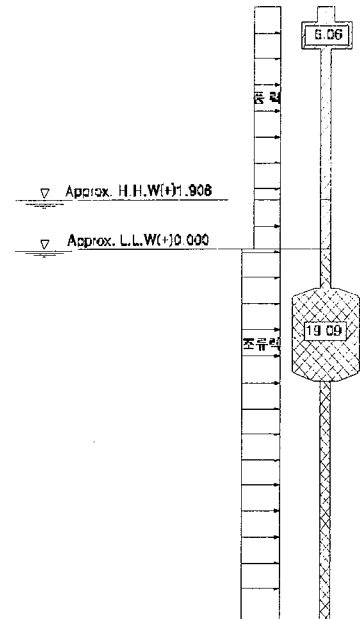
$\therefore U - W = 25.64 - 8.79 = 16.85 \text{ Ton} < W' = 348 \text{ Ton (O.K)}$

2) 풍력과 조류력을 고려한 침추 중량검토

① H.H.W인 경우 작용외력

$$H = (1/2 \times P_1 \times V_1^2 \times C_{w1} \times S_1) + (1/2 \times P_2 \times V_2^2 \times C_{w1} \times S_2)$$

- H = 수평력(kg/m⁴)
- P₁ = 해수의 밀도(105kg·sec²/m⁴)
- P₂ = 공기의 밀도(0.125kg·sec²/m⁴)
- V₁ = 유속(0.2m/sec)
- V₂ = 풍속(26.1m/sec)
- C_{w1} = 흡수하의 저항계수(0.7)
- S₁ = 흡수하의 수압면적(19.96)
- S₂ = 흡수상의 풍압면적(5.17)
- H = (1/2 × 105 × 0.2² × 0.7 × 19.96) + (1/2 × 0.125 × 26.1² × 0.7 × 5.17)
- = 29 + 154 = 183
- ≅ 0.1834 Ton

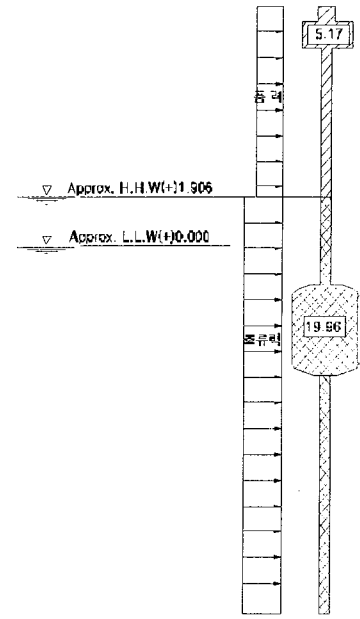


< H.H.W인 경우 작용외력 모식도 >

② L.L.W인 경우 작용외력

$$H = (1/2 \times P_1 \times V_1^2 \times C_{w1} \times S_1) + (1/2 \times P_2 \times V_2^2 \times C_{w1} \times S_2)$$

- H = 수평력(kg/m⁴)
- P₁ = 해수의 밀도(105kg·sec²/m⁴)
- P₂ = 공기의 밀도(0.125kg·sec²/m⁴)
- V₁ = 유속(0.2m/sec)
- V₂ = 풍속(26.1m/sec)
- C_{w1} = 흡수하의 저항계수(0.7)
- S₁ = 흡수하의 수압면적(19.09)
- S₂ = 흡수상의 풍압면적(6.06)
- H = (1/2 × 105 × 0.2² × 0.7 × 19.09) + (1/2 × 0.125 × 26.1² × 0.7 × 6.06)
- = 28 + 180 = 208
- ≅ 0.208 Ton



< L.L.W인 경우 작용외력 모식도 >

③ W' > H+(U-W) = 0.208 +16.85 = 17.059 Ton

∴ 사용 침추 중량 : W' = 34.8Ton > 17.058 Ton (O.K)

3) 파력과 조류력을 고려한 경우 안정검토

① 파의 작용범위

파의 작용고 η_d 는 H.W.L.상에서 $\eta_c = 0.8 Hd$ 를 적용함

$$\eta_d = \eta_c = 0.8Hd = 0.8 \times 4.1 = 3.28\text{m}$$

따라서 DL.(+)5.186m까지 파압작용

② 파압력(P_s) 계산

$$\begin{aligned} P_s &= 0.5 \times W_0 \times Hd \\ &= 0.5 \times 1.03 \times 4.1 \\ &= 2.11 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

③ 작용외력 산정

㉠ 파력산정(H.H.W인 경우)

$$P_s \times S_2 = 2.11 \times 1.5 = 3.17 \text{ Ton}$$

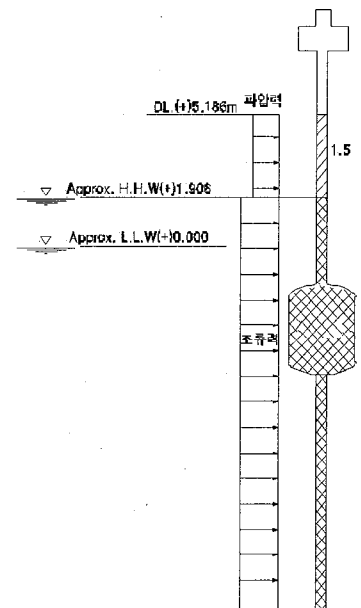
㉡ 조류력 산정(H.H.W인 경우)

$$\begin{aligned} H &= (1/2 \times 105 \times 0.2^2 \times 0.7 \times 19.96) \\ &= 29 \approx 0.029 \text{ Ton} \end{aligned}$$

㉢ 침추중량검토

$$W' > H + (U - W) = 3.17 + 0.029 + 16.85 \approx 20.05 \text{ Ton}$$

$$\therefore \text{사용 침추 중량 : } W' = 34.8 \text{ Ton} > 20.05 \text{ Ton (O.K)}$$



< 파압력 작용시 외력 모식도 >

■ SPAR BUOY(LSP-28) 복원력검토(DL.(-)15.00m 기준)

1. 자중에 의한 전도모멘트

1) SPAR BUOY의 자중에 의한 전도 모멘트

부재 번호	명칭 (Description)	기준선에서 중심 까지의 거리(m)	중량 (kg)	모멘트 (tonf m)	비 고
1	상체1	등명기	$25.070 \times \cos 40^\circ = 19.205$	0.007	0.135
2		등명기 받침대	$25.070 \times \cos 40^\circ = 19.205$	0.021	0.404
3		리플렉터 지지 중심관	$25.070 \times \cos 40^\circ = 19.205$	0.003	0.058
4		리플렉터 고정판	$25.070 \times \cos 40^\circ = 19.205$	0.047	0.903
5		레이더 리플렉터	$25.070 \times \cos 40^\circ = 19.205$	0.012	0.231
6		통풍관	$25.070 \times \cos 40^\circ = 19.205$	0.001	0.020
7	상체2	축전지실 측판	$23.515 \times \cos 40^\circ = 18.014$	0.077	1.388
8		축전지실 해치	$23.515 \times \cos 40^\circ = 18.014$	0.018	0.325
9		태양전지판	$23.515 \times \cos 40^\circ = 18.014$	0.007	0.127
10		태양전지판 지지대	$23.515 \times \cos 40^\circ = 18.014$	0.019	0.343
11		축전지	$23.515 \times \cos 40^\circ = 18.014$	0.040	0.721
12		핸드레일	$23.515 \times \cos 40^\circ = 18.014$	0.013	0.235
13		상부 수평바	$23.515 \times \cos 40^\circ = 18.014$	0.039	0.703
14		핸드레일 수직보강재	$23.515 \times \cos 40^\circ = 18.014$	0.011	0.199
15		주간표지용 패널	$23.515 \times \cos 40^\circ = 18.014$	0.034	0.613
16		바닥판	$23.515 \times \cos 40^\circ = 18.014$	0.136	2.450
17		바닥 수평보강재-1	$23.515 \times \cos 40^\circ = 18.014$	0.039	0.703
18		상부 지지대	$23.515 \times \cos 40^\circ = 18.014$	0.059	1.063
19		태양전지판지지대 거치대	$23.515 \times \cos 40^\circ = 18.014$	0.006	0.109
20		축전지실 스텝	$23.515 \times \cos 40^\circ = 18.014$	0.005	0.091
21		바닥수평보강재-2	$23.515 \times \cos 40^\circ = 18.014$	0.029	0.523
22		축전지실 내부원판	$23.515 \times \cos 40^\circ = 18.014$	0.035	0.631
23		번호판	$23.515 \times \cos 40^\circ = 18.014$	0.059	1.063
24	상체3	마스트-상	$20.060 \times \cos 40^\circ = 15.367$	0.791	12.156
25		사다리 고정재	$20.060 \times \cos 40^\circ = 15.367$	0.010	0.154
26		사다리 측판	$20.060 \times \cos 40^\circ = 15.367$	0.040	0.615
27		사다리 스텝	$20.060 \times \cos 40^\circ = 15.367$	0.017	0.262
28	중체	마스트-중	$12.060 \times \cos 40^\circ = 9.238$	1.317	12.168
29		플렌지 및 브리켓-상	$12.060 \times \cos 40^\circ = 9.238$	0.088	0.813
30		표체 인양고리	$12.060 \times \cos 40^\circ = 9.238$	0.032	0.296
31		표체 상판	$12.060 \times \cos 40^\circ = 9.238$	0.585	5.405
32		표체 측판	$12.060 \times \cos 40^\circ = 9.238$	2.650	24.483
33		표체 하판	$12.060 \times \cos 40^\circ = 9.238$	0.585	5.405
34		내부 수평보강재 - 상	$12.060 \times \cos 40^\circ = 9.238$	0.070	0.647
35		내부 수평보강재 - 하	$12.060 \times \cos 40^\circ = 9.238$	0.070	0.647
36		표체 벌크헤드	$12.060 \times \cos 40^\circ = 9.238$	0.699	6.458
37		플렌지 및 브리켓 - 중	$12.060 \times \cos 40^\circ = 9.238$	0.088	0.813
38	하체1	마스트 - 하	$3.250 \times \cos 40^\circ = 2.490$	0.791	1.970
39	하체2	계류고리	$-0.320 \times \cos 40^\circ = -0.245$	0.028	-0.007
40		유니버설 조인트부	$-0.320 \times \cos 40^\circ = -0.245$	0.127	-0.032
41		계류샤클	$-0.320 \times \cos 40^\circ = -0.245$	0.019	-0.005
42		플렌지 및 브리켓 - 계류단	$-0.320 \times \cos 40^\circ = -0.245$	0.089	-0.022
		합 계	9.675	8.813	85.264

2. SPAR BUOY 복원 모멘트

1) SPAR BUOY의 부력

부력이 가장 작게 작용하는 L.L.W인 경우에 대하여 검토함

- ① U_1 (표체의 부력) = $(\pi/4 \times 2.8^2 \times 3.600) \times 1.03 = 22.832 \text{ Ton}$
- ② U_2 (마스트의 부력) = $(\pi/4 \times 0.457^2 \times 22.500) \times 1.03 = 3.801 \text{ Ton}$
- ③ U (SPAR BUOY의 부력) = $22.832 + 3.801 = 26.633 \text{ Ton}$

2) SPAR BUOY의 복원 모멘트

부력이 가장 작게 작용하는 L.L.W인 경우에 대하여 검토함

- ① $MU_1 = U_1 \times 12.06 \times \cos 40^\circ = 22.167 \times 12.06 \times \cos 40^\circ = 204.790 \text{ Ton}\cdot\text{m}$
- ② $MU_2 = U_2 \times 11.25 \times \cos 40^\circ = 3.970 \times 11.25 \times \cos 40^\circ = 34.213 \text{ Ton}\cdot\text{m}$
- ③ $MU = MU_1 + MU_2 = 239.003 \text{ Ton}\cdot\text{m}$
- ④ 작용점 거리 = $239.003 \text{ Ton}\cdot\text{m} / 26.633 \text{ Ton} = 8.974 \text{ m}$

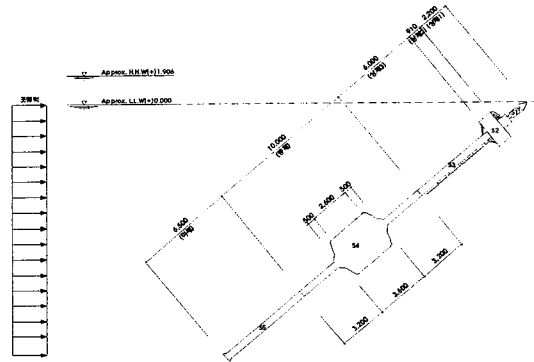
3. 외력에 의한 전도 모멘트

1) SPAR BUOY에 작용하는 외력

$$H = (1/2 \times P_1 \times V_1^2 \times C_{w1} \times S)$$

- H = 수평력(kg/m⁴)
- P_s = 해수의 밀도(105kg·sec²/m⁴)
- V₁ = 유속(0.2m/sec)
- C_{w1} = 흡수하의 저항계수(0.7)
- S = 흡수하의 수압면적

- ① $H_1 = 1/2 \times 105 \times 0.2^2 \times 0.7 \times 1.028 \times \sin 40^\circ = 0.971 \text{ kgf}$
- ② $H_2 = 1/2 \times 105 \times 0.2^2 \times 0.7 \times 2.020 \times \sin 40^\circ = 1.909 \text{ kgf}$
- ③ $H_3 = 1/2 \times 105 \times 0.2^2 \times 0.7 \times 3.508 \times \sin 40^\circ = 3.315 \text{ kgf}$
- ④ $H_4 = 1/2 \times 105 \times 0.2^2 \times 0.7 \times 12.575 \times \sin 40^\circ = 11.882 \text{ kgf}$
- ⑤ $H_5 = 1/2 \times 105 \times 0.2^2 \times 0.7 \times 2.995 \times \sin 40^\circ = 2.830 \text{ kgf}$
- ⑥ $H = 0.971 + 1.909 + 3.315 + 11.882 + 2.830 = 20.907 \text{ kgf}$



2) 외력에 의한 전도 모멘트

- ① $MH_1 = 0.971 \times 25.070 \times \cos 40^\circ = 18.648 \text{ kgf} \cdot \text{m}$
- ② $MH_2 = 1.909 \times 23.515 \times \cos 40^\circ = 34.388 \text{ kgf} \cdot \text{m}$
- ③ $MH_3 = 3.315 \times 20.060 \times \cos 40^\circ = 50.941 \text{ kgf} \cdot \text{m}$
- ④ $MH_4 = 11.882 \times 12.060 \times \cos 40^\circ = 109.772 \text{ kgf} \cdot \text{m}$
- ⑤ $MH_5 = 2.830 \times 3.250 \times \cos 40^\circ = 7.046 \text{ kgf} \cdot \text{m}$
- ⑥ $MH = 18.648 + 34.388 + 50.941 + 109.772 + 7.046 = 220.8 \text{ kgf} \cdot \text{m}$

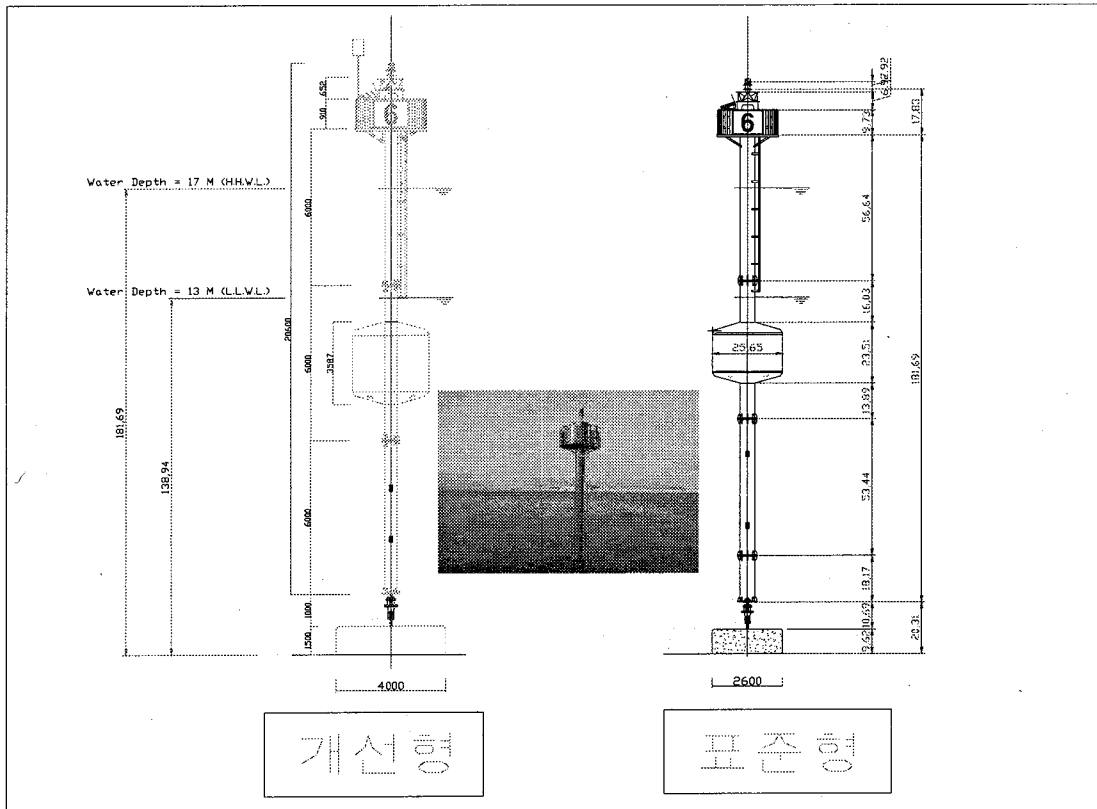
4. SPAR BOUY의 복원 안정성

$$\begin{aligned}
 F_s &= \frac{\text{SPAR BUOY의 복원 모멘트}}{\text{자중에 의한 전도 모멘트 + 외력에 의한 전도 모멘트}} \\
 &= \frac{239.003}{85.264 + 0.228} = 2.796 \geq 1.2
 \end{aligned}$$

3. 시험운영과정

해양수산부 기준에 의한 표준형 Spar Buoy는 침추 증량 및 외력에 의한 영향 등을 고려할 때 부력이 적어 안정성이 부족함에 따라 부산항 신항 내항의 좁은 항로폭에 부적합함으로써 여러 가지 기능을 검토하여 디자인 및 구조 등 설계도를 작성하였으며, 이를 근거로 안정성 및 복원성계산결과에 의한 1기만을 제작 부산항 신항 해상의 악조건에 설치하여 각종 시험운영결과 이출거리 및 기울어짐이 전혀 발생하지 않고 안정성이 확보됨에 따라 침추 및 브라켓트만을 보강하였고 그 결과 만족할 만한 성과가 도출되어 부산항 신항 좁은항로 좌우현에 항로유도표지로 Spar Buoy 14기를 설치 운영하고 있다.

〈시험운영 전경〉



4. 평 가

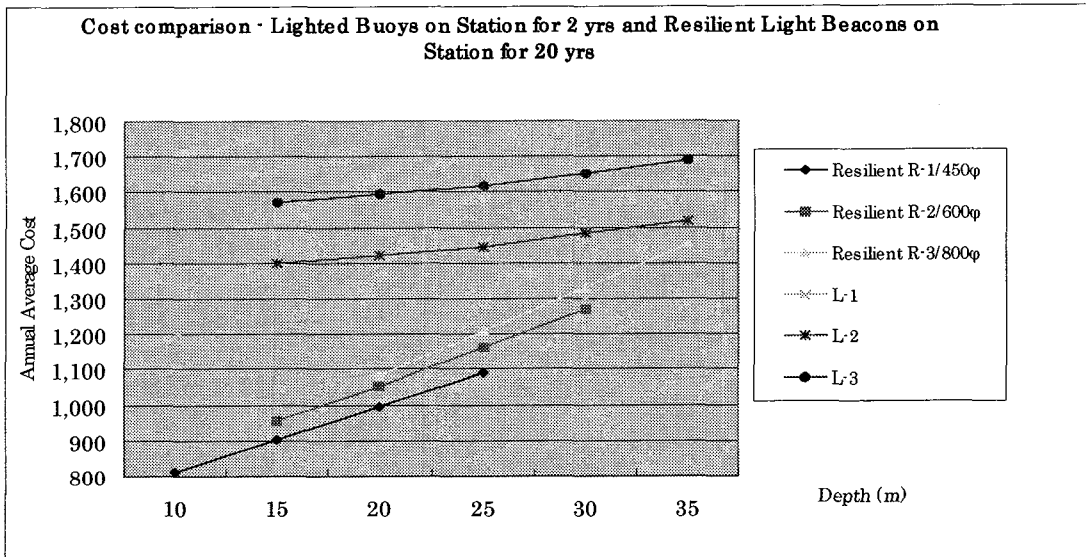
국제적으로 항로를 표시하기 위하여 등부표를 많이 이용하고 있으나 부산신항 내항의 좁은 항로폭을 최대한 확보하고 관리비 절감 등 효율적 운영을 위해 Spar Buoy가 최적이라고 판단됨에 따라 안정성을 대폭 강화한 개선형 Spar Buoy를 적기적소에 배치함으로써 항로폭을 최대한 활용하여 안전하고 편리한 해양환경조성에 크게 기여하리라 본다.

또한 국내 최초로 항로상에 설치된 개선형 Spar Buoy는 이출거리가 전혀 발생하지 않고 조류 돌풍 등 외력에 의하여 기울어짐이 없어 선박에 정확한 운항정보를 제공하므로써 좁은 협수로 및 항로상에 최적의 항로표지로 사료된다.

Spar Buoy의 모든 장비는 상부에 설치되어 있어 파도에 의한 침수 영향이 없으며, 장비수명 연장 등 예산절감에 기여하고 또한, 외국의 사례를 보면 예산 절감 등 경제성면에서도 우수한 것으로 평가되었다.

(외국의 항로표지 운영에 따른 관리비 비교표)

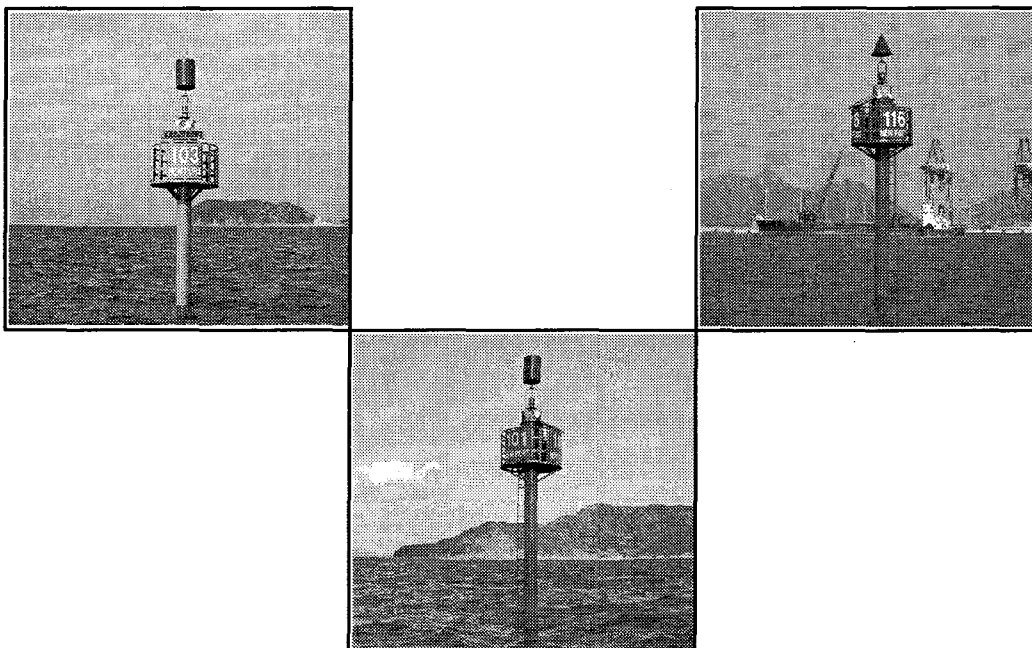
관리운영비 비교표



※ Resilient Light : Spar Buoy, Lighted Buoy : 등부표

5. 결 론

국내 무역항 등 좁은 수로 항로상에 등부표만을 고집하므로써 항로를 효율적으로 사용하지 못하는 불편함이 있었으나 국내 최초로 부산항 신항에 개선형 Spar Bouy를 배치함으로써 고정관념을 과감히 탈피하여 해상교통안전에 크게 기여한 개선된 사례라 하겠다.



개량형 항로표지 SparBuoy 설치 전경