

韓·豪 항만구조물 설계기준 비교

- 잔교식 안벽을 중심으로

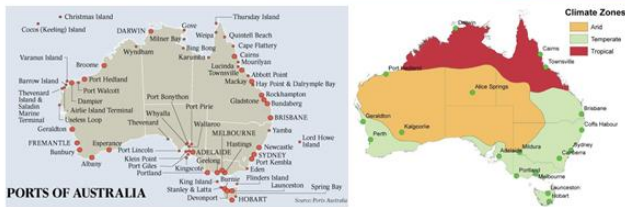
† 변기준 · 강규원* · 한광필**

† 포스코 건설 해외인프라 영업 리더, *포스코 건설 베트남 LSP 현장 PM, **포스코 건설 해외인프라 영업 부장

요약 : 해외 입찰 시 각 나라에서 적용하고 있는 설계기준의 이해 정도는 적정 설계 물량 산출은 물론 시공성, 공사비 등에 영향을 미쳐 프로젝트 수주 및 수행 성공여부에 매우 중요한 요소로 작용한다. 본 자료는 잔교식 안벽의 해외 입찰설계 단계에서 주요 단면 결정을 위한 주요 설계기준 항목에 대해 호주와 한국의 항만구조물 설계기준을 비교하여 호주 프로젝트를 추진하는 엔지니어에게 도움이 되고자 한다.

핵심용어 : 콘크리트 설계기준 압축강도, 최소 근입심도, 말뚝의 방식, 하중 조합

■ 호주 항만 현황 및 물동량 처리현황



호주 2014/2015	Imports(t)	Exports(t)	Total(t)	한국 전국 항만 물동량 처리 현황	합계 (천톤)	증감율 (%)
New South Wales	27,031,640	185,745,588	212,777,223	2011	1,311,190	8.9
Northern Territory	1,514,997	1,908,683	3,423,680	2012	1,338,590	2.1
Queensland	62,247,744	282,562,259	344,810,003	2013	1,368,930	1.5
South Australia	7,791,154	21,115,271	28,906,425	2014	1,415,904	4.2
Tasmania	5,092,427	7,595,126	12,687,553	2015	1,483,054	3.2
Victoria	9,776,856	10,376,011	20,152,867	2016	1,505,479	3.2
Western Australia	21,940,538	687,256,345	709,196,883	2017	1,574,341	4.3
Total	135,395,356	1,196,559,278	1,331,954,634			

■ 설계사항

● 콘크리트 설계기준 압축강도 및 최소 피복두께

□ AS 4997-2005
6.3.7 Cover to reinforcement

Exposure classification Definition	Minimum Cover for Standard Compaction (mm)		Minimum Cover for Intense Compaction (mm)	
	$f_{cu} \geq 40$ MPa	$f_{cu} = 50$ MPa	$f_{cu} \geq 40$ MPa	$f_{cu} = 50$ MPa
A2 Members permanently submerged below seabed	40	30	35	30
B2 Members permanently submerged 1m below lowest sea water level to 500mm below seabed level	50	40	40	30
C1 Spray Zone, (i.e. exposed to airborne salt spray, but not in splash zone e.g. the top side of deck slabs)	70	50	60	45
C2 Splash Zone, from 1m below water level up to 1m above water crest levels on vertical structures, and all exposed soffits of structures over the sea	75	65	65	60

□ 항만 및 어항 설계기준 · 해설, 해양수산부, 2014
3-4 콘크리트의 재료성

구분	항상등급 1)	최소 설계기준 압축강도(MPa)	중간층피복을 받는 경우	중간층피복을 받지 않는 경우
공통	C0	-	21	21
	C1	30	30	21
일반 콘크리트	C2	35	35	30
	C2.5b	30	30	27
무근 콘크리트	C2	30	27	24
	C2.5b	30	24	27

주: 1) 노출등급은 아래의 값이 초과할 경우
C0: 강중하중, 수중으로부터 보호되는 콘크리트
C1: 수중에서 노출되지만 외부 환경에 노출되지 않는 콘크리트
C2: 계절적으로, 소금, 염수, 해수 노출 등과 같은 영향에 직접적으로 노출되는 콘크리트. 다만, C2 등급의 경우, 아래의 값이 노출등급을 제한함
C2.5: 벽체(대중교통차량) 및 강판
C2.5b: 해양구조물

3-5 최소 피복두께

(1) 콘크리트의 피복두께는 콘크리트 구조물에서 규정하는 최소 피복두께 이상을 확보하여야 한다. 다만, 해수나 직접 염화기나 습한 해풍을 받는 특수환경에 노출된 부분의 피복두께는 최소 20mm이다.
표 3-2 특수환경에 노출된 콘크리트의 최소 피복두께

구분	최소 피복두께	비고
변형재 콘크리트	80mm	부재의 종류에 무관
공정재 콘크리트	50mm	

(2) 특수환경에 노출된 변형재 콘크리트에서 80mm의 피복두께를 확보하기 어려운 경우는 피복두께를 100mm로, 시공이 어려운 경우 120mm로, 해수나 염화물 노출 환경에 노출된 경우 150mm로 확보하여야 하며, 100mm 이하의 피복두께를 사용할 수 있으며, 이 경우에도 최소 50mm 이상이어야 한다.

■ 일반사항

● 항만 구조물 설계 기준 일반사항

□ AS 4997-2005 : Guideline for the design of maritime structures

• Design Life of Structures

Facility category	Type of facility	Design Life (years)
1	Temporary works	5 or less
2	Small craft facility	25
3	Normal commercial structure	50
4	Special structure/residential	100

• Serviceability
Horizontal deflection and acceleration limits for trafficable structures should be limited to a maximum deflection of $l/150$, where l is the distance between underside of the deck structure to the level of the support in the seabed, and a maximum acceleration of 0.1g

• Structure Height
The minimum height of deck of a wharf or jetty in tidal conditions should be determined as the 1/100 annual exceedance of probability elevated water level, plus a suitable freeboard deepening on exposure to waves, wave heights, wind set-up, formation of bars at river entrances and seaiche.

• Allowance for Sea Level Rise

Design life	Sea level rise (m)
25 years	0.1
50 years	0.2
100 years	0.4

NOTE: Based on the mid-scenario from International Panel on Climate Control(2001). These values are updated by IPCC from time to time.

• Design wave(H_1)
The highest 1% of waves in any given time interval. Used, for example, in the analysis of structures.
 $H_1 = f \cdot H_s$
대안거리(fetch) 10km이내의 내해에서
 $f = 1.5$ (short narrow fetch) ~ $f = 1.7$ (long wider fetch)

외해조건 조건에서는
 $f = 1.7$ (e.g. normally calm waters-tropical Australian coastlines) ~ $f = 2.0$ (e.g. high energy waters-southern Australian coastlines)

■ 설계사항

● 말뚝의 최소 근입심도

□ AS 2159-2009
4.4.7 Design ultimate geotechnical strength for lateral loading

For a pile subjected to lateral loading, its design ultimate geotechnical strength shall be determined as the lesser of the following two values:

(a) The design ultimate geotechnical strength for 'short pile' failure, in which the ultimate lateral resistance of the soil surrounding the pile is fully mobilized along the entire length of the pile.

(b) The design ultimate geotechnical strength for 'long pile' failure, in which the ultimate structural strength of the pile section at some point along the pile shaft is fully mobilized before the ultimate soil resistance along the entire length of the pile.

Broms' Method

Short pile	L/R ≤ 2.0	L/T ≤ 2.0
Long pile	L/R ≥ 3.5	L/T ≥ 4.0

Where,
 $T = \frac{EI}{h_0} \cdot \frac{1}{\beta}$ $R = \left(\frac{EI}{k_b} \right)^{1/2}$
 k_b : 지반반력계수
 n_b : 지반반력계수의 깊이방향 증가율
말뚝직경 B를 곱한 값(지반반력계수)

□ 항만 및 어항 설계기준 · 해설 (해양수산부, 2014)
4.2 말뚝의 횡방향 허용지지력 추정
4-2-2 해석적 방법에 의한 추정

(2) 극한 평형법
극한 평형법은 지반의 극한상태에 대한 힘의 균형조건에 의해 말뚝의 수평 지지력을 결정하는 방법이다. 대표적인 해법으로는 Broms의 이론 (Broms, 1964a,b)을 들 수 있다.
Broms는 횡하중을 받는 연직말뚝을 긴 말뚝과 짧은 말뚝으로 나누어 각각의 파괴형태를 가정하고 말뚝의 굴곡변형 및 필요한 근입 깊이를 구하는 설계방법을 제안하였다.
짧은 말뚝과 긴 말뚝의 구별은 아래 표와 같다.

구분	정정도	사정도
짧은 말뚝	$H/L \leq 2.25$	$H/L \geq 2.0$
중간 말뚝	-	$2.0 \leq H/L \leq 4.0$
긴 말뚝	$H/L \geq 2.25$	$H/L \geq 4.0$

위 표에서,
 L = 말뚝의 길이
Where,
 $\beta = \left(\frac{k_b n_b}{4EI} \right)^{1/4}$ $\eta = \left(\frac{2H_b}{EI} \right)^{1/4}$
 H_b : 지반반력계수
 n_b : 지반반력계수의 깊이방향 증가율
말뚝직경 B를 곱한 값(지반반력계수)

† 교신저자 : 정희원, bgj1341@gmail.com
* kangkw@poscoenc.com
** hanpi8949@poscoenc.com

설계사항

말뚝의 방식

- 방법 1. 부식속도를 감안하여 두께를 추가 : 허용 부식두께 = 부식속도 x 구조물 수명

· 항만 및 어항 설계기준 · 해설, 해양수산부, 2014

2-4-3 강재의 부식속도 비교

· AS 4997-2005 Maritime structures

6.4.4.7 Corrosion allowance for permanently submerged steel

· AS 2159-2009 Piling

6.5.3 Corrosion allowance for steel pile

부식환경	부식속도 (mm/yr)	Exposure classification	Conditions	Annual corrosion rate (mm)
여측	H.W.L 이상	0.3		
	H.W.L ~ L.W.L(+1.0m)까지	0.1 ~ 0.3		
	L.W.L(+1.0m ~ 해저면)까지	0.1 ~ 0.2	Mild	0.01
	해저 미상 중	0.03		
육측	육상 대기중	0.1	Moderate	0.05
	부후 (인류주위 여측)	0.03		
	부후 (인류주위 여측)	0.02		
			Strong	0.10

이 수치는 항목 연의 부식속도이므로 강재 양면이 모두 부식 환경에 노출되어 있는 경우 양면의 수치를 합쳐서 사용한다

방법 2. Paint System(피복 방식법)

· 구조물 하단부위 규정된 길이까지

· 한국 항만 설계기준 : 평균 저조위 하 1m 상부

· 호주 사례(Adbot Point) : 해저지반 하 2m 상부

· 호주 사례(Geraldton Port) : 해저지반 하 3m 상부

방법 3. Cathodic Protection (희생 양극식)

· 수몰부(평균 저조위 하)

상기 방식공법의 조합

· 상기 방식 공법의 적용을 위해서 언급한 기본 원칙을 준수하도록 시공성, 경제성 등을 고려하여 방식을 조합하여 적용한다

BS EN 1993-5:2007 Eurocode 3

EN 1993-5:2007 (E)

Table 4.2: Recommended values for the loss of thickness (mm) due to corrosion for piles and sheet piles in fresh water or in sea water

Required design working life	5 years	25 years	50 years	75 years	100 years
Constant design water zone, fully immersed in the zone of high attack in sea water	0.15	0.55	0.90	1.15	1.40
Very partial fresh water zone, average submersed portion, ... in the zone of high attack in sea water	0.30	1.30	2.30	3.30	4.30
Sea water in temperate climate in the zone of high attack in sea water and slight immersion	0.55	1.90	3.75	5.60	7.50
Sea water in temperate climate in the zone of permanent immersion or in the intertidal zone	0.25	0.90	1.75	2.60	3.50

1) The highest corrosion rate is usually found in the splash zone or at the low water level in tidal waters. However, in most cases, the highest loading stresses occur in the permanent immersion zone, see figure 4.1.

2) The values given for 5 and 25 years are based on measurements, whereas the other values are computed.

설계사항

하중조합 - 사례

· 호주 사례 (Adbot Point)

· 국내 사례 (삼척 Dolphin부두)

항목	항상	일시	비고
1.1	1.0	1.0	1.0
1.2	1.0	1.0	1.0
1.3	1.0	1.0	1.0
1.4	1.0	1.0	1.0
1.5	1.0	1.0	1.0
1.6	1.0	1.0	1.0
1.7	1.0	1.0	1.0
1.8	1.0	1.0	1.0
1.9	1.0	1.0	1.0
2.0	1.0	1.0	1.0
2.1	1.0	1.0	1.0
2.2	1.0	1.0	1.0
2.3	1.0	1.0	1.0
2.4	1.0	1.0	1.0
2.5	1.0	1.0	1.0
2.6	1.0	1.0	1.0
2.7	1.0	1.0	1.0
2.8	1.0	1.0	1.0
2.9	1.0	1.0	1.0
3.0	1.0	1.0	1.0
3.1	1.0	1.0	1.0
3.2	1.0	1.0	1.0
3.3	1.0	1.0	1.0
3.4	1.0	1.0	1.0
3.5	1.0	1.0	1.0
3.6	1.0	1.0	1.0
3.7	1.0	1.0	1.0
3.8	1.0	1.0	1.0
3.9	1.0	1.0	1.0
4.0	1.0	1.0	1.0
4.1	1.0	1.0	1.0
4.2	1.0	1.0	1.0
4.3	1.0	1.0	1.0
4.4	1.0	1.0	1.0
4.5	1.0	1.0	1.0
4.6	1.0	1.0	1.0
4.7	1.0	1.0	1.0
4.8	1.0	1.0	1.0
4.9	1.0	1.0	1.0
5.0	1.0	1.0	1.0
5.1	1.0	1.0	1.0
5.2	1.0	1.0	1.0
5.3	1.0	1.0	1.0
5.4	1.0	1.0	1.0
5.5	1.0	1.0	1.0
5.6	1.0	1.0	1.0
5.7	1.0	1.0	1.0
5.8	1.0	1.0	1.0
5.9	1.0	1.0	1.0
6.0	1.0	1.0	1.0
6.1	1.0	1.0	1.0
6.2	1.0	1.0	1.0
6.3	1.0	1.0	1.0
6.4	1.0	1.0	1.0
6.5	1.0	1.0	1.0
6.6	1.0	1.0	1.0
6.7	1.0	1.0	1.0
6.8	1.0	1.0	1.0
6.9	1.0	1.0	1.0
7.0	1.0	1.0	1.0
7.1	1.0	1.0	1.0
7.2	1.0	1.0	1.0
7.3	1.0	1.0	1.0
7.4	1.0	1.0	1.0
7.5	1.0	1.0	1.0
7.6	1.0	1.0	1.0
7.7	1.0	1.0	1.0
7.8	1.0	1.0	1.0
7.9	1.0	1.0	1.0
8.0	1.0	1.0	1.0
8.1	1.0	1.0	1.0
8.2	1.0	1.0	1.0
8.3	1.0	1.0	1.0
8.4	1.0	1.0	1.0
8.5	1.0	1.0	1.0
8.6	1.0	1.0	1.0
8.7	1.0	1.0	1.0
8.8	1.0	1.0	1.0
8.9	1.0	1.0	1.0
9.0	1.0	1.0	1.0
9.1	1.0	1.0	1.0
9.2	1.0	1.0	1.0
9.3	1.0	1.0	1.0
9.4	1.0	1.0	1.0
9.5	1.0	1.0	1.0
9.6	1.0	1.0	1.0
9.7	1.0	1.0	1.0
9.8	1.0	1.0	1.0
9.9	1.0	1.0	1.0
10.0	1.0	1.0	1.0

항목	항상	일시	비고
1.1	1.0	1.0	1.0
1.2	1.0	1.0	1.0
1.3	1.0	1.0	1.0
1.4	1.0	1.0	1.0
1.5	1.0	1.0	1.0
1.6	1.0	1.0	1.0
1.7	1.0	1.0	1.0
1.8	1.0	1.0	1.0
1.9	1.0	1.0	1.0
2.0	1.0	1.0	1.0
2.1	1.0	1.0	1.0
2.2	1.0	1.0	1.0
2.3	1.0	1.0	1.0
2.4	1.0	1.0	1.0
2.5	1.0	1.0	1.0
2.6	1.0	1.0	1.0
2.7	1.0	1.0	1.0
2.8	1.0	1.0	1.0
2.9	1.0	1.0	1.0
3.0	1.0	1.0	1.0
3.1	1.0	1.0	1.0
3.2	1.0	1.0	1.0
3.3	1.0	1.0	1.0
3.4	1.0	1.0	1.0
3.5	1.0	1.0	1.0
3.6	1.0	1.0	1.0
3.7	1.0	1.0	1.0
3.8	1.0	1.0	1.0
3.9	1.0	1.0	1.0
4.0	1.0	1.0	1.0
4.1	1.0	1.0	1.0
4.2	1.0	1.0	1.0
4.3	1.0	1.0	1.0
4.4	1.0	1.0	1.0
4.5	1.0	1.0	1.0
4.6	1.0	1.0	1.0
4.7	1.0	1.0	1.0
4.8	1.0	1.0	1.0
4.9	1.0	1.0	1.0
5.0	1.0	1.0	1.0
5.1	1.0	1.0	1.0
5.2	1.0	1.0	1.0
5.3	1.0	1.0	1.0
5.4	1.0	1.0	1.0
5.5	1.0	1.0	1.0
5.6	1.0	1.0	1.0
5.7	1.0	1.0	1.0
5.8	1.0	1.0	1.0
5.9	1.0	1.0	1.0
6.0	1.0	1.0	1.0
6.1	1.0	1.0	1.0
6.2	1.0	1.0	1.0
6.3	1.0	1.0	1.0
6.4	1.0	1.0	1.0
6.5	1.0	1.0	1.0
6.6	1.0	1.0	1.0
6.7	1.0	1.0	1.0
6.8	1.0	1.0	1.0
6.9	1.0	1.0	1.0
7.0	1.0	1.0	1.0
7.1	1.0	1.0	1.0
7.2	1.0	1.0	1.0
7.3	1.0	1.0	1.0
7.4	1.0	1.0	1.0
7.5	1.0	1.0	1.0
7.6	1.0	1.0	1.0
7.7	1.0	1.0	1.0
7.8	1.0	1.0	1.0
7.9	1.0	1.0	1.0
8.0	1.0	1.0	1.0
8.1	1.0	1.0	1.0
8.2	1.0	1.0	1.0
8.3	1.0	1.0	1.0
8.4	1.0	1.0	1.0
8.5	1.0	1.0	1.0
8.6	1.0	1.0	1.0
8.7	1.0	1.0	1.0
8.8	1.0	1.0	1.0
8.9	1.0	1.0	1.0
9.0	1.0	1.0	1.0
9.1	1.0	1.0	1.0
9.2	1.0	1.0	1.0
9.3	1.0	1.0	1.0
9.4	1.0	1.0	1.0
9.5	1.0	1.0	1.0
9.6	1.0	1.0	1.0
9.7	1.0	1.0	1.0
9.8	1.0	1.0	1.0
9.9	1.0	1.0	1.0
10.0	1.0	1.0	1.0

설계사항

말뚝의 방식

- 추가적인 부식 공제

본 사항에 대해 전문 기준을 규정하는 Standards는 없으며 프로젝트 환경을 고려하여 엔지니어의 판단으로 결정되는 사항임

· 한국 사례 : 2mm

· 항만 및 어항 설계기준 · 해설에 의하면 강관말뚝의 부식공제 두께에 대하여 특별한 언급은 없으며, '강관말뚝의 내력과 같이 필레트 공간에는 산소의 공급이 차단되므로 부식을 고려하지 않아도 지장이 없다.'라고 규정하고 있음

· 드로고 표준시방서에서는 강관말뚝의 부식공제 두께에 대하여 다음과 같이 규정하고 있음

· 해수 및 유해한 공중 폐수 등의 영향을 받지 않는 조건인 경우에 있어서 부식에 대한 조사 결과도 없고 강관말뚝의 부식저지도 하지 않았을 때 중상시 물속 혹은 물속에 있는 부위에 대해 일반적으로 2mm의 부식공제를 고려하면 된다고 규정하고 있음

· 해수 또는 강의 부식을 촉진시키는 수중폐수 등의 영향을 받는 부위와 염상시 건조와 습윤을 반복하는 부위는 특별한 부식저지를 실시해야 한다고 언급하고 있음

· 강관말뚝의 부식공제 두께로서 해당에 설치하는 강구조물, pile caps, rail girders, cross girders, headstock beams, longitudinal stringer beams, tubular bracing members providing restraint to the main wharf structure and similar members, the following minimum corrosion allowances will apply to all external surfaces of steel sections:

Above 7.5 m CD Atmospheric zone = 0 mm

Between 0.0 and 7.5 m CD Splash zone = 1 mm

Between seabed and 0.0 m CD Submerged zone = 1 mm

Below seabed Buried Zone = 0 mm

Below seabed Buried Zone = 0 mm

결론

- 주요 단면 결정에 필요한 항목의 비교 내용은 다음과 같음

· 콘크리트 설계기준 압축 강도 및 최소 피복 두께

-> 호주 : AS 4997-2005 6.3.7 Cover to reinforcement에서 규정

-> 한국 : 항만 및 어항 설계기준 · 해설 (해양수산부, 2014)

제3장 재료, 제3장 콘크리트 3-4 콘크리트의 재료성을 표 3.38 최소 설계기준압축강도에서 규정

· 말뚝의 최소 근입심도

-> 한국 : AS 4997-2005 6.4.4.7 Design ultimate geotechnical strength for lateral loading

-> 한국 : 항만 및 어항 설계기준 · 해설 (해양수산부, 2014)

제4장 기초, 제4장 말뚝기초 4.2 말뚝의 횡방향 허용지지력 추정 4-2-2 해석적 방법에 의한 추정

· 강재의 방식

-> 호주 : AS 4997-2005 6.4 STEEL 6.4.3 Material requirements, 6.4.4.7 Corrosion allowance for permanently submerged steel, Table 6.7 Corrosion allowance for steel sections (Permanently submerged in sea water)

AS 2159-2009 6.5.3 Corrosion allowance for steel pile, Table 6.5.3 Corrosion allowances for steel piles

-> 한국 : 항만 및 어항 설계기준 · 해설 (해양수산부, 2014)

제3장 재료, 제3장 말뚝기초 3-4 말뚝의 부식속도 비교, 표 (2-6) 강재의 부식속도의 표준치

· 방법 1 : 부식속