

공학석사 학위논문

기존 건설 자료를 이용한 케이슨  
구조물의 최적설계에 관한 연구



2007년 8월

부경대학교 대학원

해양공학과

김현성

공학석사 학위논문

기존 건설 자료를 이용한 케이슨  
구조물의 최적설계에 관한 연구

지도교수 류 연 선

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함

2007년 8월

부경대학교 대학원

해 양 공 학 과

김 현 성

김현성의 공학석사 학위논문을  
인준함

2007년 7월 13일



주 심 공학박사 나 원 배 ㉠

위 원 공학박사 김 정 태 ㉠

위 원 공학박사 류 연 선 ㉠

# 목 차

<b>List of Figures</b> .....	ii
<b>List of Tables</b> .....	iv
<b>Abstract</b> .....	v
<b>1. 서론</b> .....	1
1.1 연구배경 .....	1
1.2 연구목적 및 내용 .....	1
<b>2. 케이스구조물</b> .....	3
2.1 방과제 .....	3
2.1.1 케이스식 직립제 .....	3
2.1.2 케이스식 혼성제 .....	4
2.1.3 소파블록 피복제 .....	12
2.1.4 이형 케이스제 .....	16
2.2 안벽 .....	28
<b>3. 기존케이스의 데이터베이스</b> .....	30
3.1 케이스 설계조건, 구조형식 및 특징 .....	30
3.2 MS-Access .....	31
3.3 데이터베이스 .....	34
<b>4. 설계 최적화 과정</b> .....	36
4.1 SQL을 이용한 설계과정 .....	36
4.2 수치예제 .....	37
<b>5. 요약 및 결론</b> .....	43
<b>참고문헌</b> .....	44

## List of Figures

- Fig 2.1 Structural type of caisson.
- Fig 2.2 Caisson of upright breakwater.
- Fig 2.3 Caisson of composite breakwater.
- Fig 2.4 Cross-section of Yokohama harbor breakwater.
- Fig 2.5 Cross-section of Otaru harbor R.C. caisson breakwater. (1912-1917)
- Fig 2.6 Cross-section of Yokohama harbor breakwater.(1928-1943)
- Fig 2.7 Cross-section of Hedono harbor caisson breakwater.
- Fig 2.8 Cross-section of Ofuno harbor tsunami breakwater.
- Fig 2.9 Cross-section of Naples harbor's Granili breakwater.
- Fig 2.10 First example of caisson breakwater.
- Fig 2.11 Cross-section of Keelung harbor caisson breakwater.
- Fig 2.12 Cross-section of Keelung harbor east breakwater.
- Fig 2.13 Cross-section of Keelung harbor new breakwater.
- Fig 2.14 Cross-section of Taichung harbor north breakwater.
- Fig 2.15 Armor unit caisson breakwater.
- Fig 2.16 Cross-section of Rumoi harbor armor unit breakwater.
- Fig 2.17 Horizontal composite breakwater.  
: Ravenna jetty wharf(1957, up), Fontvielle lee breakwater(1965, middle), Castellamare di Stabia(down).
- Fig 2.18 Cross-section of Yun-An LNG harbor breakwater.
- Fig 2.19 Perforated caisson breakwater.
- Fig 2.20 Cross-section of Kamaisi harbor caisson breakwater.
- Fig 2.21 Cross-section of Funakawa harbor curved slit caisson.
- Fig 2.22 Nagashima harbor dual cylinder caisson
- Fig 2.23 Cross-section of half circle caisson breakwater.
- Fig 2.24 Miyazaki harbor half circle caisson.
- Fig 2.25 Square caisson breakwater.
- Fig 2.26 Cylinder caisson breakwater.
- Fig 2.27 Cylinder caisson.
- Fig 2.28 Cross-section of Porto Torres harbor perforated caisson breakwater.

Fig 2.29 Speciality upper structure.

: Cross-section of Fontvieille breakwater(up), Gela, Bagnara breakwater (down).

Fig 2.30 Cross-section of Kaohsiung harbor cylinder caisson breakwater.

Fig 2.31 Cross-section of Taichung harbor north breakwater.

Fig 2.32 Cross-section of Hualien harbor east breakwater.

Fig 2.33 Cross-section of In-chon north harbor caisson quay-wall.

Fig 2.34 Cross-section of Busan Sinsundae harbor caisson.

Fig 3.1 Table of MS-Access.

Fig 3.2 Query of MS-Access.

Fig 3.3 Form of MS-Access.

Fig 4.1 Input data of using purpose.

Fig 4.2 The icon for execution.

Fig 4.3 Database by using purpose.

Fig 4.4 Input data of design conditions.

Fig 4.5 Database of Dong-hae port breakwater 11 section caisson.

Fig 4.6 Cross section of Dong-hae port breakwater 11 section caisson.

Fig 4.7 Database of Kwang-yang harbor quay-wall caisson.

Fig 4.8 Database of Busan newport north container terminal quay-wall caisson.

Fig 4.9 Database of Taichung harbor north breakwater caisson.

## List of Tables

Table 3.1 Caisson database

Table 4.1 Examples of design condition



# Optimum Design of Caisson Structures Based on the Characteristic Database of Existing Constructions

Kim Hyun-sung

*Department of Ocean Engineering, Graduate School,  
Pukyong National University*

## **ABSTRACT**

Caisson structures are commonly used in the coastal and harbor construction such as upright part of composite breakwaters, seawalls, coast levees and quay walls.

A number of caisson types have been applied for the various purpose of construction.

In this study, firstly, a database of existing caissons is established using the MS-Access and their characteristics are classified according to the construction environments, control purposes, external conditions.

Then, optimum structural type of caisson can be systematically determined in a new project based on the characteristics of construction site.

The optimum design process propose to used SQL(Structured Query Language).

When it inputs design conditions, there is getting an optimum structural type of caisson.

# 1. 서론

## 1.1 연구배경

연안역에 대한 이용자의 다양한 요구와 해양산업의 발전에 따른 해역시설의 대형화는 기존 천해에 국한되었던 해안의 공간을 대수심, 그리고 대규모의 해안 시설로 발전하게 하였다.(전, 2005)

이러한 연안역의 확대는 새롭고 다양한 공학적 문제를 야기하였으며, 해안시설의 외곽에서 외해로부터 입사하는 파랑의 에너지를 제어하여 해안의 시설을 보호하는 방파제, 선박을 대기 위하여 항만에 설치하는 계선안으로 그 앞면이 거의 연직인 안벽 등이 있고, 이들의 형식도 다양한 변화를 맞이하게 되었다.

일반적으로 방파제는 중력식이 많이 사용되었지만, 대수심 적용성과 연약지반에 설치가 상대적으로 용이한 직립제와 혼성제의 장점이 부각되고 있다. 중력식 방파제는 구조물의 안정성과 입사파의 에너지 제어 측면에서는 경사제의 장점이 우수하지만, 대수심에 경사제가 설치될 경우 구조물의 대형화에 따른 공사비의 증대, 인근 골재원의 부족 등으로 설치영역의 한계, 항로확보의 문제 등 여러 가지 단점을 함께 보유하고 있다.

따라서 설치 대상해역의 자연조건과 이용환경 그리고 제반 시공조건을 고려한 종합적인 측면에서의 구조물 선택이 중요하다. 최근에는 구조물의 대형화, 지반조건의 문제 등에 대해 상대적으로 양호한 혼성제 형식이 국외에는 이미 많이 시공되었으며, 국내에도 시공되고 있다.

케이슨식 안벽은 항만개발에 있어 기초지반이 양호하고 접안수심이 비교적 깊은 곳에 널리 적용되고 있다. 안벽구체를 케이슨으로 축조, 견고하고 내구성이 양호, 기초부 부등침하 방지에 유리하다. 콘크리트 구체로 부식우려가 없고, 유지관리가 용이하다.

케이슨이 많이 시공되고 있지만 그 데이터는 방파제나 안벽의 범주 안에 포함되어있고, 케이슨만의 데이터베이스는 특별히 만들어져있지 않다. 따라서 케이슨의 데이터베이스를 만들고, 그 데이터베이스를 활용하여 최적화된 케이슨형식을 설계할 수 있다.

## 1.2 연구목적 및 내용

본 연구의 목적은 다양한 자료를 통해서 케이슨의 데이터베이스를 만들고, 설계조건이 주어졌을 때 데이터베이스로부터 최적화된 케이슨 형식을 찾는 것이다.

케이슨의 데이터베이스는 사용목적, 수심, 설계과고, 최고조위, 지반조건, 지반처리, 속채움, 케이슨형식, 설치장소, 단면도, 케이슨의 특징으로 구성되어있다. 데이터베이스는 MS-Access를 이용하여 만들었다. MS-Access는 마이크로소프트사에서 개발된 개인형/사무용 개발툴로서 프로그래머가 아닌 일반사용자도 사무용이나 개인용으로 쉽게 프로그램을 가능하게 하는 프로그램 개발언어이다. 일반적으로 데이터베이스를 다루기 위해서는 SQL(Structured Query Language)이라는 데이터베이스 전용 언어를 익혀야 한다. 하지만 MS-Access는 Query builder라는 도구를 이용하여 그래픽환경에서 쉽게 데이터베이스를 추가하거나, 검색, 삭제하는 등의 많은 작업을 순조롭게 만들어 준다.

SQL을 이용하여 설계최적화 과정을 제안하였다. 그리고 수치예제를 통해 실제 설계조건을 입력하여 최적화된 케이슨 구조물을 확인 할 수 있다.



## 2. 케이슨(Caisson) 구조물

말뚝기초는 일반적으로 수심이 깊은곳에서는 사용하기 힘들며 또 수평력에 대해서도 저항하기 힘들다. 이러한 결점을 보완하여 더 한층 확실한 기초공법으로서 케이슨구조물이 있다. 즉 케이슨은 육상 또는 수상에서 건조된 콘크리트 블럭 케이슨자중 또는 재하중에 의하여 소정의 깊이까지 침하시키는 방법으로 그 구체 자체도 영구구조물의 일부로 쓰여진다.

케이슨 사용방법은 fig 2.1과 같이 방파제와 안벽이 있고, 방파제는 케이슨식 직립제, 혼성제, 이형케이슨제가 있다. 안벽은 중력식 케이슨식이 있다.

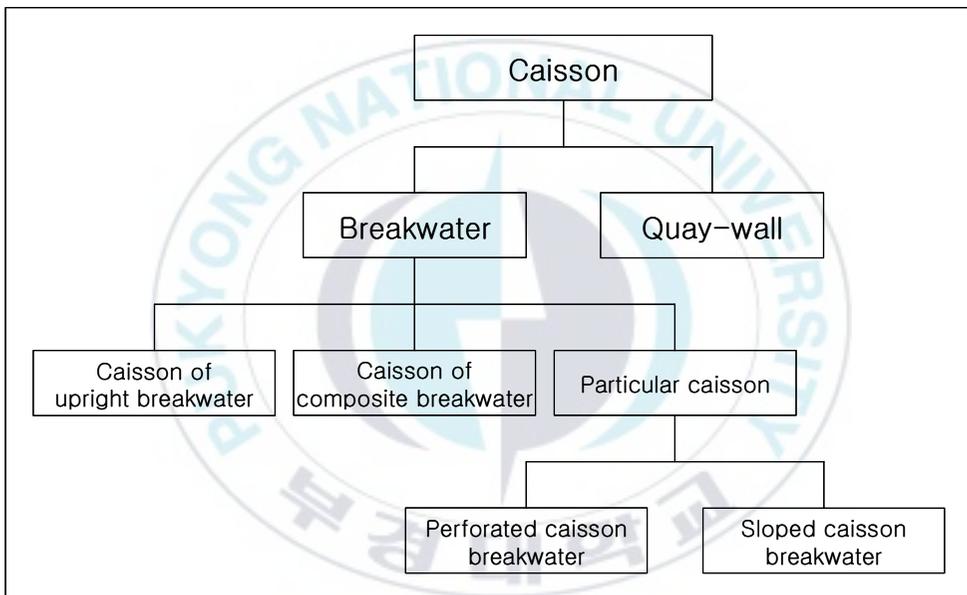


Fig 2.1 Structural type of caisson.

### 2.1 방파제

#### 2.1.1 케이슨식 직립제

직립제는 fig 2.2와 같이 전면이 연직인 벽체를 수중에 설치한 구조물로서 주로 파랑의 에너지를 반사시켜 파랑의 향내진입을 차단한다.(한, 2005)

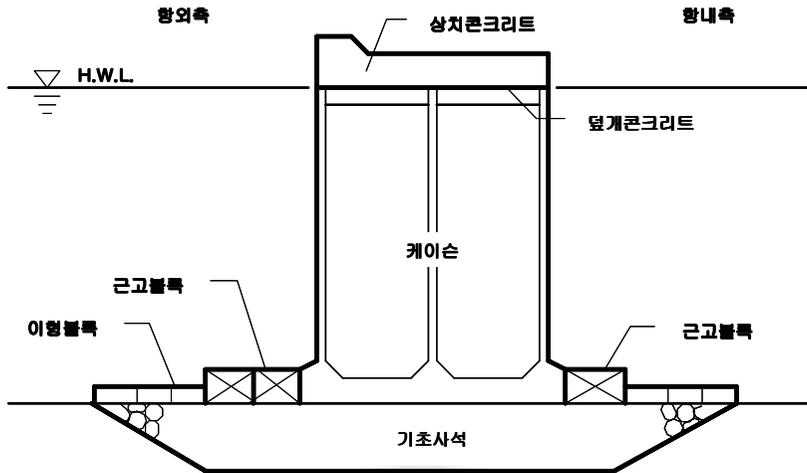


Fig 2.2 Caisson of upright breakwater.

### 2.1.2 케이슨식 혼성제

혼성제는 fig 2.3과 같이 기초 사석부 위에 직립벽을 설치한 것으로 파고에 비하여 사석부 마루가 높은 경우에는 경사체에 가깝고 낮은 경우에는 직립체의 기능에 가깝다. 대수심, 연약지반에도 시공이 가능하며, 사석마운드와 직립부의 높이의 비율을 조정하여 경제적인 단면의 도모가 가능하고 항내 임시 접안시설로도 활용이 가능하다는 장점을 가지고 있다.

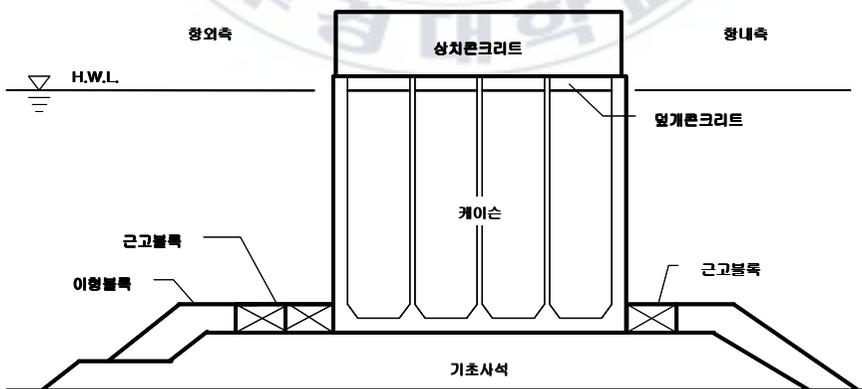


Fig 2.3 Caisson of composite breakwater.

일본에 건설된 최초의 현대적인 방파제는 1891년에 요코하마항에 H .S. Palmer에 의해 만들어진 것이다(Fig 2.4). 이 시대의 혼성식방파제는 경사제기초부를 낮추는 경향이 있었다. 요코하마항의 방파제가 1896년에 완성되었을 때, 길이는 3630m 였지만, 1902년의 폭풍에 피해를 입은 후에 상부는 콘크리트로 다시 만들어졌다.

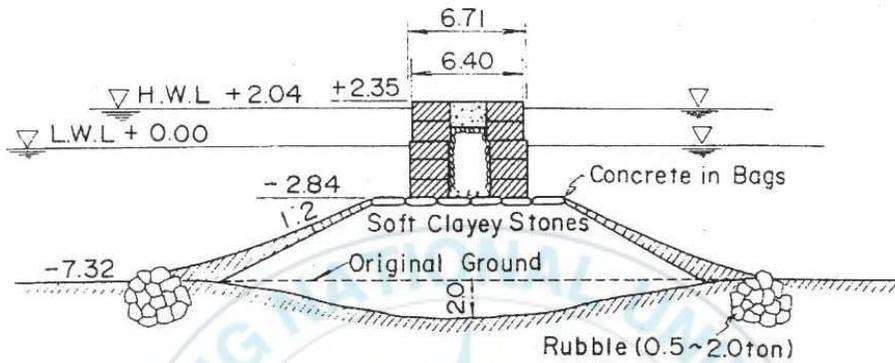


Fig 2.4 Cross-section of Yokohama harbor breakwater.

Fig 2.5은 1912년 오타루항에 만들어진 철근콘크리트 케이슨을 이용한 방파제로서 오늘날에도 그대로 남아있다. 파랑이 심했기 때문에 그림에서와 같이 상당히 튼튼하게 만들어졌다. 883톤에 달하는 케이슨은 콘크리트로 타설했다.

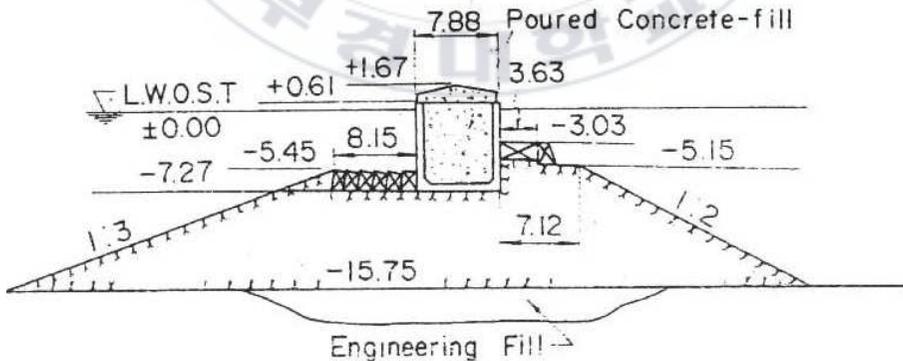


Fig 2.5 Cross-section of Otaru harbor R.C. caisson breakwater.  
(1912-1917)

콘크리트로 케이슨을 채우는 것이 초기의 형태였지만, 2차 세계대전 후 시멘트를 조달하는 것이 어려워지면서 자갈과 모래로 콘크리트를 대체하게 되었다. Fig 2.6은 모래로 채운 형태로 초기에 선보인 것 중의 하나인데 요코하마항의 외곽 방파제이다. 케이슨은 매우 견고하며, 모래와 조약돌을 섞어 채움으로써 밀도를 높였다.

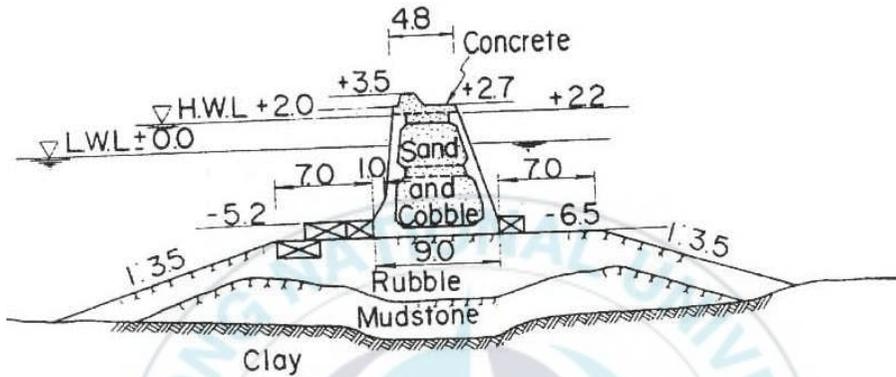


Fig 2.6 Cross-section of Yokohama harbor breakwater.(1928-1943)

가장 폭이 넓은 케이슨 방파제는 Hedono항에 있는 것인데(Fig 2.7), 케이슨의 너비가 38m이다.

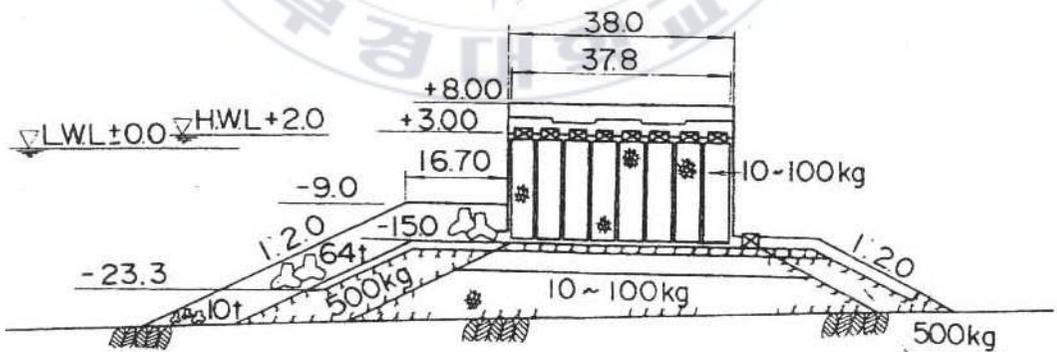


Fig 2.7 Cross-section of Hedono harbor caisson breakwater.

일본 Ofuno항에 건설된 방파제는 쓰나미에 의한 피해를 방지하기 위한 것으로

1963-1967년에 건설되었다(Fig 2.8). 이 방파제는 만의 입구에 건설된 것으로 최대수심이 38m에 달한다.

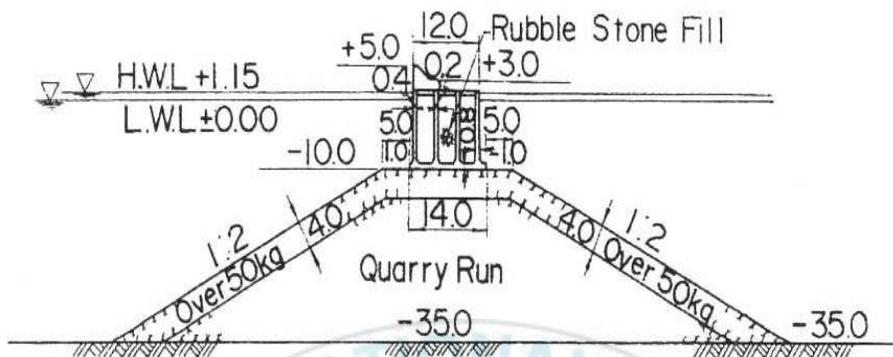


Fig 2.8 Cross-section of Ofuno harbor tsunami breakwater.

이태리에서 많은 항만은 오래된 도시를 끼고 있다. 케이슨 방파제는 주로 대수심과 도시 항만에서 사용되었다. 사실 오늘날 도시가 커지면서, 많은 항만은 도시 안에 포함되게 되었다. 케이슨 방파제는 경사식 방파제보다 선호되는데, 그 이유는 같은 안전도에서는 더 경제적이기 때문이다. 또 다른 이유는 케이슨은 일반적으로 다른 곳에서 만들어져서 방파제의 건설 위치로 옮겨지기 때문에 건설 기간 중에 미치는 영향이 작다. 케이슨방파제의 건설은 도시생활이나 교통에 영향을 주지 않는 바다에서 만들어진다.

거의 현대적인 모양의 방파제인 Granili 방파제가 있다(Fig 2.9). 요즈음은 Duca d'Aosta 방파제로도 불린다. 이 방파제는 수심 20m에 건설되어는데, 벽체는  $9\text{m} \times 5\text{m} \times 2.3\text{m}$ 의 철근콘크리트 셀 블록이 겹으로 되어있어, 폭이 18m가 된다. 블록의 한 개의 무게는 90톤 정도이다. 5개의 블록을 쌓은 다음 블록 중앙은 콘크리트로 채웠다.

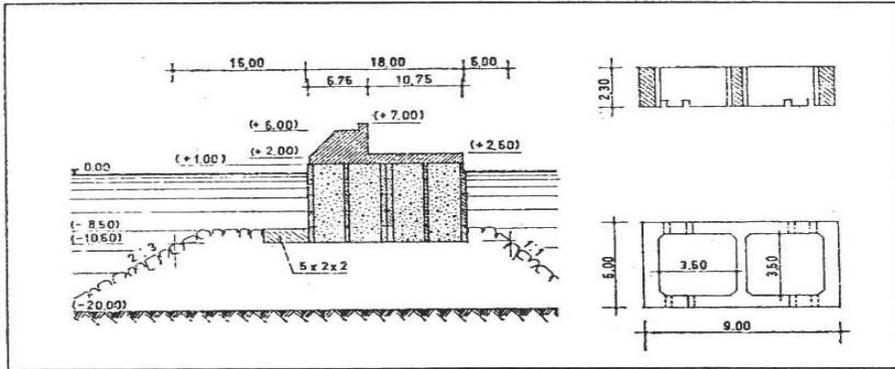
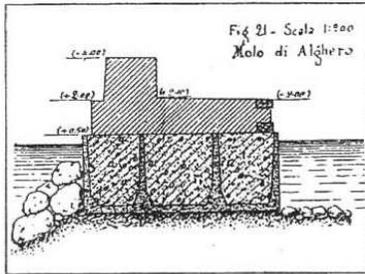


Fig 2.9 Cross-section of Naples harbor's Granili breakwater.

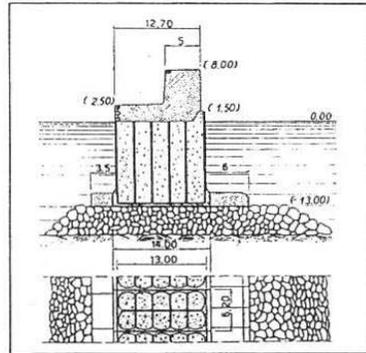
이태리에서 기록으로 남아있는 최초의 케이슨 방파제는 Alghero 항에 있는 것일 것이다(Fig 2.10). 규모로는 Civitavecchia 주 방파제의 북쪽연장공사에서 사용된 것이 큰 것이었다. 또한 Capri island에 있는 Marina Grande에 길이 340m에 달하는 방파제도 있다. 그 당시의 철근콘크리트 케이슨은 매스 콘크리트로 채워졌는데, 철근콘크리트는 내구성 면에서 신뢰할 만하지 못하다는 인식이 있었다. 6.2m 길이의 비교적 작은 케이슨도 다 채우려면  $700\text{m}^3$ 의 콘크리트가 필요했고, 공사는 생각처럼 빨리 진척되지 않았다. 케이슨을 채우는데 점성이 없는 재료가 사용된 것은 Genoa에서 Sestri 산업공항 방파제의 건설이 처음이었다.

대만에서는 수직혼성식방파제가 다른 형태보다는 더 많이 사용되고 있다. 수심은 보통 6-40m 정도이다. 수직혼성식방파제는 주로 자연석이 현장근처에서 조달될 수 없고, 또한 케이슨을 끌고 갈 만한 수심인 경우에 사용된다. 또 다른 잇점은 수면에서의 공사기간을 크게 줄이는 것이다. 설계는 지침서 “Harbor Structures Design Standard”를 사용하는데, 일본에서 사용하는 것과 유사하다.

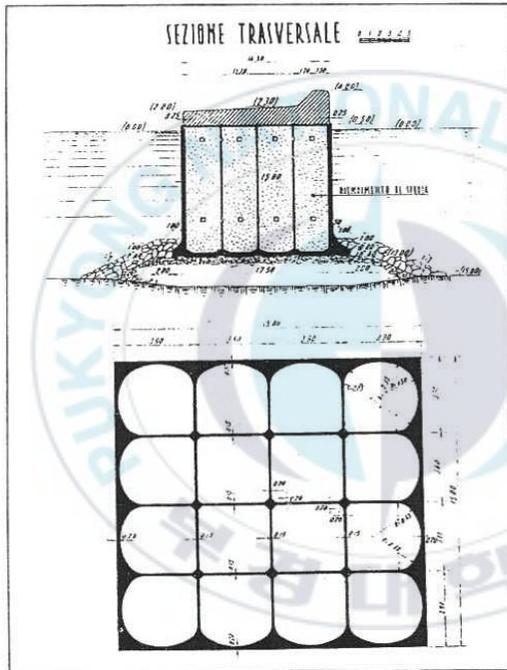
Keelung항구는 1906년에 처음 건설이 시작되었고, 안쪽의 방파제는 1912년에 완공되었다. 정사각형의 케이슨은 크기가  $6.6\text{m} \times 6.6\text{m} \times 6.0\text{m}$ 였다.



Caisson in Alghero breakwater (1915)↑



Extension of Civitavecchia harbour (1935)↑



Section and planview of a caisson for Sestri Industrial Airport jetty (1938)

Fig 2.10 First example of caisson breakwater.

1935-1945년에 걸쳐서 850m길이의 외곽방파제가 최대수심 30m까지 건설되는 항만 확장공사를 하였다. 전형적인 외곽방파제의 단면은 Fig 2.11와 같다. 방파제의 기초는 채석을 사용하였고, 그 위에 큰 콘크리트 블록으로 덮었는데, 수심 30m에서 그 면이 고르게 정리되어있다. 길이가 20m, 높이가 16m, 바닥에서의 폭이 16m, 그리고 위쪽에서의 폭이 14m인 콘크리트 케이슨이 암반마운드리 초 위에 거치되었다. 각각의 콘크리트 블록은 무게가 35톤 정도이다.

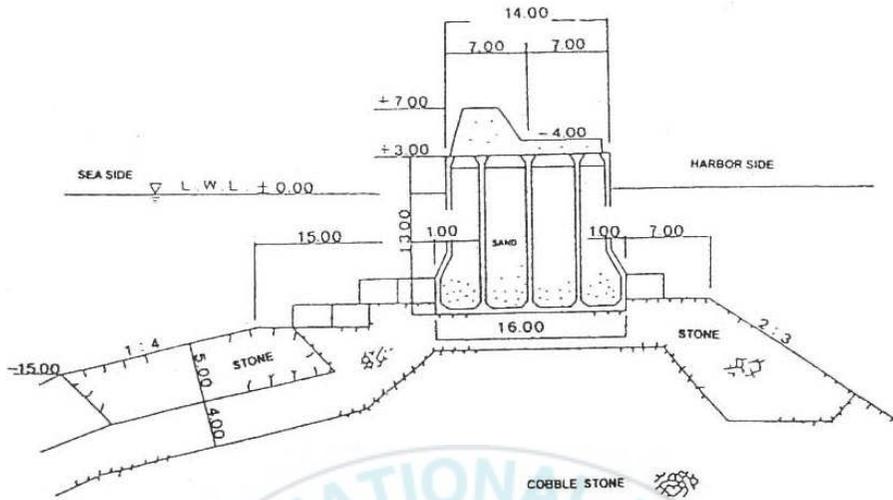


Fig 2.11 Cross-section of Keelung harbor caisson breakwater.

1976년부터 1981년 사이에, 동편 방파제가 350m정도 확장되었는데, 그 단면은 Fig 2.12에 보인 바와 같다. 수심은 5-40m범위이다. 콘크리트 케이슨은 폭이 21m, 높이가 19m, 길이가 20m정도인데, 콘크리트 상부는 수면 6m 위이다. 케이슨의 기초는 사석으로 수심 17m에서 면이 고르게 정리되어있다. 콘크리트 블록의 무게는 35톤 정도이다. 설계파고는 8.7m, 주기는 11.1초이고, 활동 및 전도에 대한 안전율은 각각 1.2, 2.0이다. 이 값은 쇄파에 대한 것이고, 정지파에 대해서는 그 값이 각각 2.0, 2.5가 된다. 지진으로 인한 침하는 최대 700m 정도까지 관측되었다. 모든 사석기초와 케이슨은 큰 손상 없이 유지되고 있다.

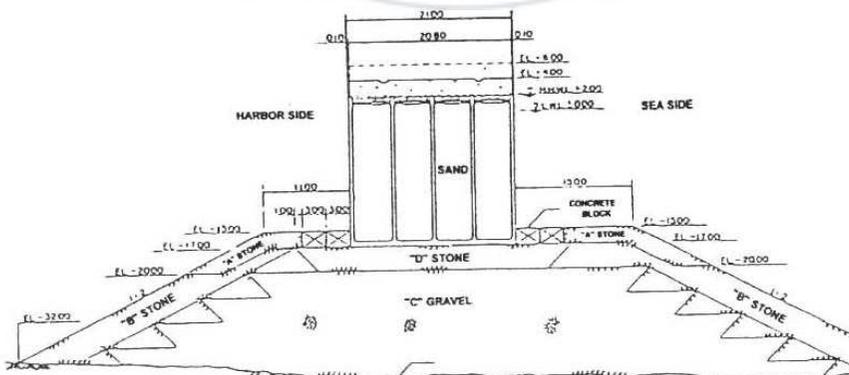


Fig 2.12 Cross-section of Keelung harbor east breakwater.

증가하는 물동량에 대처하기 위해서 계획하고 있는 새로운 항만은 방파제의 길이가 3600m에 달한다. 항외에서의 수심이 급격하게 변하는 지형이기 때문에, 방파제는 수심 40m 지역의 등수심선을 따라서 건설될 것이다. 새로 건설된 혼성식방파제의 기본단면은 Fig 2.13와 같다.

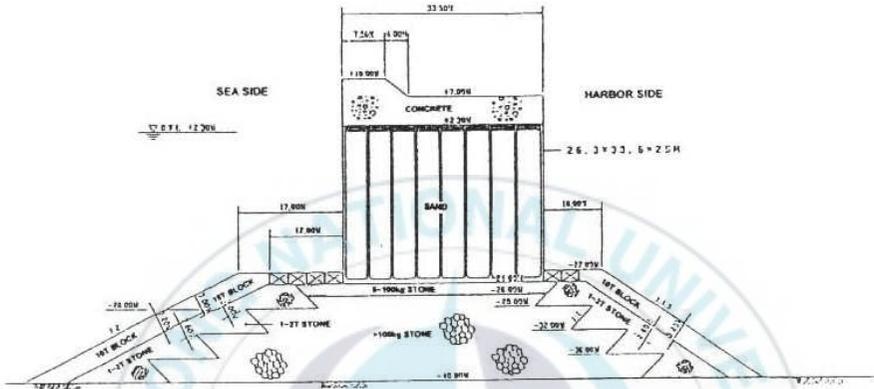


Fig 2.13 Cross-section of Keelung harbor new breakwater.

1969년 대만정부는 대만의 서부해안의 가운데에 새로운 대형 수출항을 건설하기로 결정하였다. 해변의 경사는 완만하였고, 4.5m 정도의 높은 조차를 가지고 있었다. 또한 겨울 몬순기간에 바람과 파랑으로 인한 심각한 해안표사가 존재했다. 항만은 8km에 달하는 방조제와 3km정도로 확장된 두 개의 방파제에 의해서 둘러싸이게 되었다. 방조제는 해안과 거의 평행으로 만들어졌고, 해안에서 4.5km정도 떨어져 있었다. 방파제는 해안에 거의 수직방향으로 확장되었고, 또한 빈도수가 높고 가장 센 폭풍파 및 표사와 수직 방향이다. 1972년부터 1976년까지의 공사 첫 단계에서 총 6530m 연장의 방파제가 세워졌다. 북측방파제는 5000m이상 해안에서 뺏어나갔으며, 수심은 13m에 달하였다. 수심 5m에서 22m까지는 길이 1962m의 혼성식방파제가 세워졌는데, Fig 2.14가 그 단면이다. 여기서 파라펫 정점(parapet crest)의 높이는 10.2m인데, 케이슨 윗 부분까지는 6.0m정도이다. 또한 사석기초의 깊이는 -12m이다. 콘크리트 케이슨의 크기는 길이가 24m, 폭과 높이가 18m이다. 시공기간을 단축시키기 위해서 56개의, 무게로 총 3200톤에 달하는 케이슨이 한꺼번에 해안에서 건설되었다. 케이슨은 시공현장에 연간 40개의 케이슨거치 속도로 120일 동안 행해졌다. 사석은 채석이

사용되었고, 피복석 및 45톤짜리 정육면체의 콘크리트 블록으로 표면을 덮었다, 설계파고는 5.8m, 주기는 9.9초이고, 폭풍때의 조위는 6.0m인데, 이것은 재현주기 20년에 해당한다.

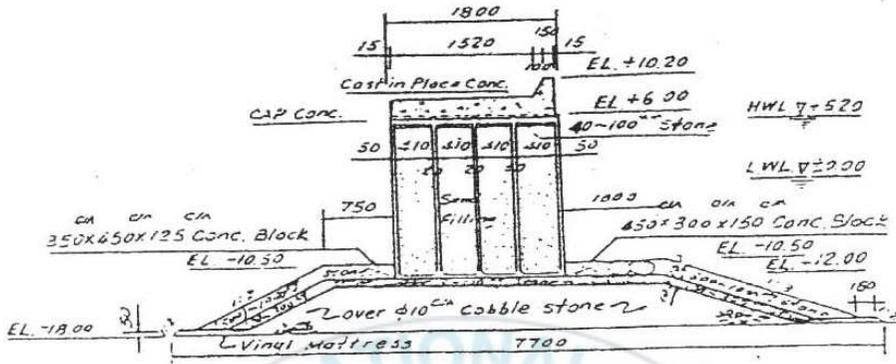


Fig 2.14 Cross-section of Taichung harbor north breakwater.

### 2.1.3 소파블록 피복제

Fig 2.15의 소파블록 피복제는 직립제 또는 혼성제의 전면에 소파블록을 설치한 것으로 소파블록으로 파랑의 에너지를 소산시키며, 직립부는 파랑의 투과를 억제하는 기능을 가진다. 소파블록 피복제는 직립제·혼성제에 비하여 월파 및 전달파가 적게 된다. 소파공은 파압감소효과, 월파에 의한 전달파의 감소효과 및 반사파 제어기능을 가진다. 이들 기능을 정확하게 파악하기 위한 모형실험 및 불규칙파의 불확정성과 불규칙성(방향성, 고파랑)을 고려한 확률론적 평가과정을 거치는 것이 바람직하다. 소파공의 마루높이가 직립부 마루높이에 비하여 너무 낮으면 직립부에 충격적인 쇄파파력이 작용할 위험이 있고 반대로 직립부 마루높이보다 너무 높으면 마루의 블록이 불안정하다. 직립부에 충격적인 쇄파력이 작용할 가능성이 큰 경우에는 수리모형실험으로 직립부에 작용하는 파압의 크기를 검토함을 권장하며, 이때 파압자료의 독취 시간간격은 1.400초보다 크지 않게 함을 권장한다. 소파공의 마루폭은 충분한 소파효과를 얻기 위해서는 소파블록 2개를 설치한 폭 이상으로 할 필요가 있으며, 소파공의 단면은 일양단면 또는 복합단면으로 구성할 수 있다. 이는 사석 경사제의 외해쪽 단면에 관한 설계과정을 준용할 수 있다. 안정계산에 있어서는 직립부가 가장 위험한 상태의 조위조건 및 파랑조건과 피복제가 가장 위험한 상태의 조위조건 및 파랑조건 등이 같지 않은 경우가 있으므로 주의를 요한다. 기초사석부의 어깨마루가 높고 어깨폭이

적당히 넓으면 충격쇄파압을 유발하는 경우가 있다. 또, 방파제의 마루높이를 높게 하면 극한 상태의 파압강도가 증대되는 경향이 있으므로 주의를 요한다.

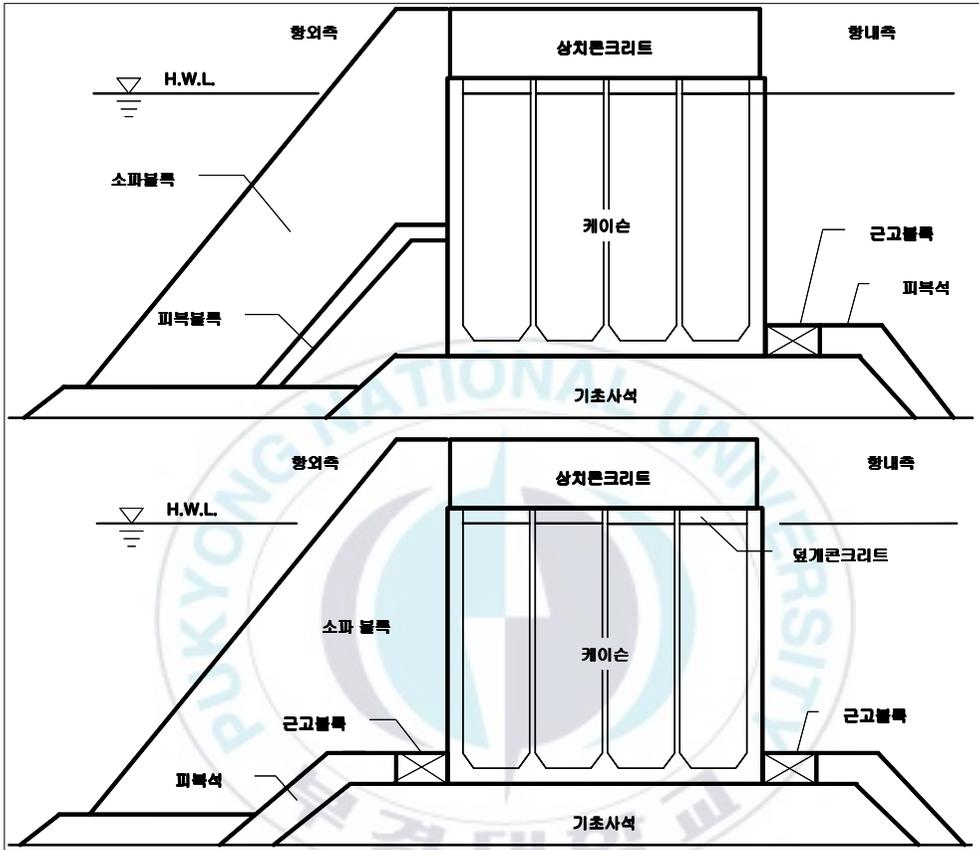


Fig 2.15 Armor unit caisson breakwater.

테트라포드라는 이형콘크리트 블록은 1949년 P. Danel에 의해서 처음 제안되었는데, 그 후 방파제의 구조에 많은 영향을 미쳤다. 일본에서는 1955년 Yagi항에서 최초로 사용되었다. 그 후 Rumoi항에 있는 케이슨 방파제의 보강에 사용되었다(Fig 2.16). 이런 유형의 방파제는 깊지는 않지만 높은 쇄파가 일어나는 곳에 많이 사용되었다. 경사제에서의 이형콘크리트 블록은 아래층을 보호하기 위해서 사용되었지만, 블록수직벽 앞에서의 이형콘크리트 블록의 주된 역할은 벽에 작용하는 파의 충격, 율파, 반사 등을 완화시키는 것이다.

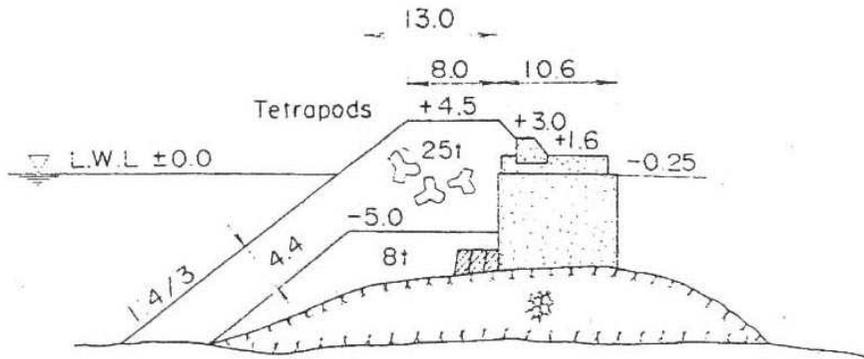


Fig 2.16 Cross-section of Rumoi harbor armor unit breakwater.

수평혼성식방파제는 이탈리아에서 자주 건설되는 형태는 아니다. 처음으로 만들어진 것은 1957년에 건설된 Ravenna 돌제인데, 외부 테트라포드는 수심이 얇아서 설치되었고, 안쪽 케이슨은 시공기간을 단축시키고 기초의 총 중량을 줄이기 위해서 설치되었다(Fig 2.17). 또 다른 예는 Fontvieille항의 두 번째 방파제로서 항 입구에서의 반사를 줄이기 위해서 설치되었다. 이들과 비슷한 구조를 하고 있지만, 실린더 케이슨을 사용한 것이 Castellamare di Stania에 최근에 건설되었다. 여기서는 케이슨의 내향쪽 면에 구멍을 내어 항내진동을 줄이려고 했다. Sibari에는 바닥에서는 횡방향 혼성식방파제의 모양으로 점차 변하는 형태로 만들어졌다.

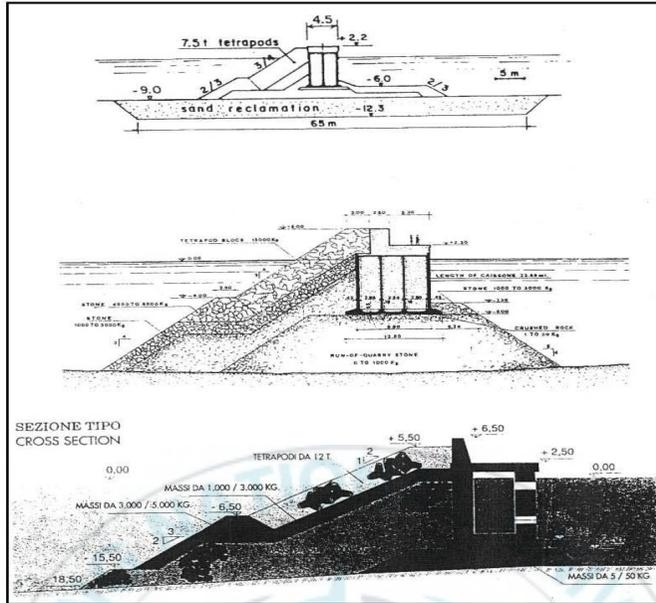


Fig 2.17 Horizontal composite breakwater.

: Ravenna jetty wharf(1957, up), Fontvielle lee breakwater(1965, middle),  
Castellamare di Stabia(down).

1 : 1.5-1 : 2 콘크리트 피복으로 항외쪽을 덮은 혼성식방파제는 비교적 수심이 얇은 곳에 많이 사용되었는데, 충격파에 의한 파압을 흡수할 수 있다. Fig 2.18는 이러한 유형의 방파제 중에 Yunan LNG 항에 사용된 것이다. 앞에서 지적한 것처럼, 대만에서 가장 많이 사용되고 있는 것은 혼성식방파제로 박스형의 케이슨은 사석기초 위에 배치한 것이다. 이러한 형태를 많이 취한 것은 짧은 시공기간 중에 더 긴 방파제를 건설할 수 있기 때문이다. 또한 현장근처에서 조달할 수 있는 돌이 부족하므로 경사식방파제보다 상대적으로 경비가 적게 든다.

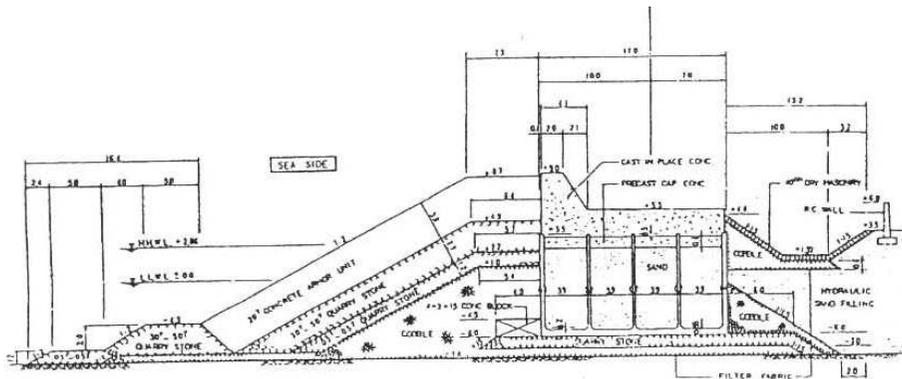


Fig 2.18 Cross-section of Yun-An LNG harbor breakwater.

### 2.1.4 이형 케이슨제

이형 케이슨제는 파력에 대하여 중량으로 저항하는 형식이므로 주로 재래식 혼성제의 직립부를 소파성능이나 내파안정성 등의 면에서 개량한 구조물이다. 이들 각 형식에는 다시 통수성을 갖는 투과형과 그렇지 않은 불투과형이 있으나 불투과형이 많다.

이형 케이슨제는 직립소파형, 사면형등으로 분류된다. 직립소파형 케이슨은 일반적으로 파랑환경이 잔잔한 곳에서 쓰여 왔으나, 이중 원통케이슨 등과 같이 대수심, 고평랑 지역으로 적용성을 확장할 수 있는 것이 있다. 이들 방파제는 그 적용조건이 한정된 것이 많으므로 해역의 환경 및 이용조건에 따라서 신중히 검토하여 적절한 형식의 것을 선정할 필요가 있다.

#### (1) 소파 케이슨제

소파 케이슨제는 적절한 구조형식을 선정하여 설치하였을때, 기본형식의 직립제에 비하여 반사파를 저감시킬 수 있고, 월파에 의한 전달파를 저감시킬 수 있다. 또한 파력을 저감시킬 수 있다. 특히, 높은 기초사석부를 가지는 케이슨제에서는 큰 충격쇄파력이 작용하는 경우라도 소파 케이슨제에서는 충격적 쇄파파력을 발견하기 어렵다. 이 외에도 기포의 혼입을 촉진하고 해수의 포기(曝氣)기능을 가지며 유수실이 어초기능 등 친환경적 효과를 가지는 등의 부차적 장점도 있다.

소파 케이슨은 전면부에 투과벽과 유수실을 갖고 이것에 의하여 소파효과를 발휘하는 구조형식을 말한다. Fig 2.19은 소파 케이슨의 구조요소를 보여주는 것이나 각 요소의 형상, 조합에 따라서 중 Slit Caisson, 횡 Slit Caisson, 곡면

Slit Caisson, 다공형 Caisson 등 다양한 구조형식을 생각할 수 있다. 소파 케이슨의 구조형식의 선정에 있어서는 각 구조의 소파성능, 내파성 등의 특성을 체계적으로 검토한 후 설계조건, 이용조건, 경제성 등을 고려하여 적절한 구조를 선정할 필요가 있다.

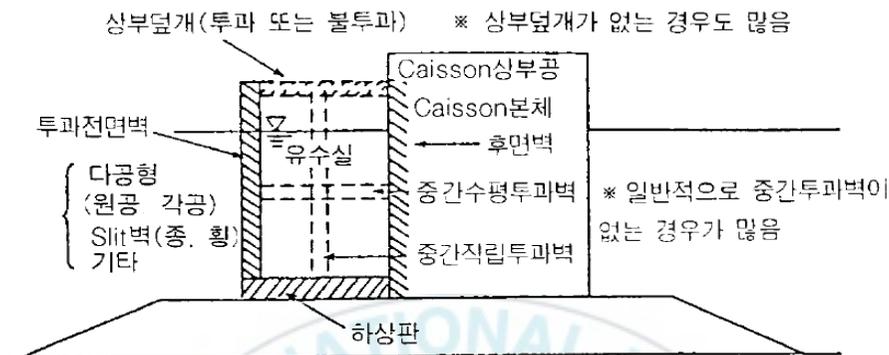


Fig 2.19 Perforated caisson breakwater.

## (2) 상부사면 케이슨제

상부사면 케이슨제는 수평파력을 저감하는 동시에 사면벽에 작용하는 파력을 제체의 안정에 이용할 수 있는 방파제 구조형식이다. 기본형식의 직립제와 비교하여 전달파고가 커지므로 항내정온도 등을 고려하여 마루높이를 결정한다.

상부사면 케이슨제에 있어서 사면벽의 경사를 급하게 하면 항내전달파는 상대적으로 저감하는 효과가 있지만 역으로 파압이 커져서 사면제로서의 효과가 감소된다. 전달율의 변화 양상, 파압감쇄효과, 시공성 등으로 보아 사면경사는 45°로 하는 것이 좋다. 상부사면 케이슨제에서의 전달파고는 마루높이가 같은 직립제의 2배 정도가 되며 마루높이를 설계유역의  $H_{1/3}$ 과 같게 하면 직립제의 마루높이가 설계유역의 파고의 0.6배인 경우와 같은 정도로 전달파고를 억제할 수가 있다.

상부사면 케이슨제에서는 정수면에서부터 사면으로 하는 것이 일반적이거나 사면하단이 정수면 보다 밑에 있는 반잠수형으로 하면 파력을 더욱 저감시킬 수 있다. 조차 등이 큰 해역에서는 이 기준면의 설정에 주의할 필요가 있다. 케이슨 전면의 직립부 영역을 소파 Block으로 피복한 소파 Block 피복 상부사면제에서는 반사파를 저감시킬 뿐 아니라 전체의 안정성도 통상의 상부사면제보다 우수하다. 단, 소파블록의 마루높이에 따라서는 충격 쇄파압의 발생으로 이어지는 경우도 있다. 또, 소파블록이 정수면까지만 있으므로 블록의 안정성을 확보하기 위하여 특히 주의할 필요가 있다.

세계에서 가장 깊은 수심에 건설되어 있는 방파제 중의 하나는 수심 60m에 건설 중인 일본 카마이시항 방파제이다. Fig 2.20은 가장 깊은 곳에서의 단면이

다. 상부의 아래쪽은 안정성을 높이기 위해서 사다리꼴의 모양을 하고 있다. 이 케이슨은 파를 감쇠시킬 수 있는 모양을 갖추고 있는데, 수평방향으로 구멍이 나 있다. 1961년 G. E. Jarlan에 의해서 이러한 유공케이슨이 처음으로 제안된 이후에 파를 감쇠시키는 형태의 케이슨이 일본에서 많이 건설되어 왔다.

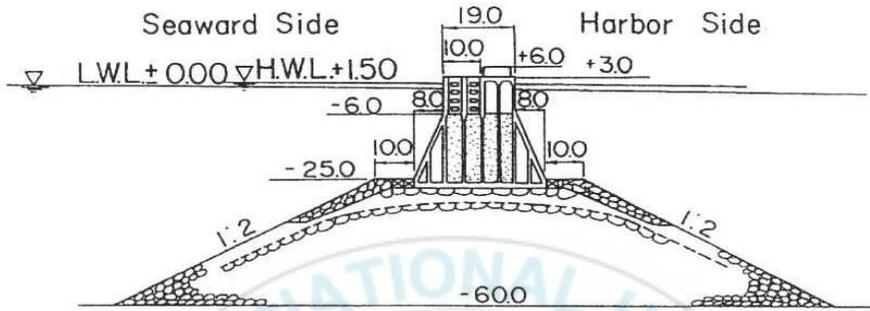


Fig 2.20 Cross-section of Kamaisi harbor caisson breakwater.

여러 가지 형태의 케이슨 구조물이 수심과 파랑의 형태에 따라서 개발되어 왔다. 굽은슬릿케이슨, 멀티셀케이슨, 이중 실린더케이슨, 반원 케이슨, 파력발전케이슨 등이 일본에서 연구 시공된 형태들이다. 굽은슬릿케이슨은 소파 케이슨에 적용하기 위해서 1976년에 제안되었다. 실험실 실험과 현장 실험을 통해서 1984년에 Funakawa항에서 150m 길이로 처음 건설되었다. 이 케이슨의 단면도가 Fig 2.21이다. 곡선형 슬릿 부재는 프리스트레스트 콘크리트로 미리 만들어져, 운반된 후에 건조상태로 본체에 연결되었다.

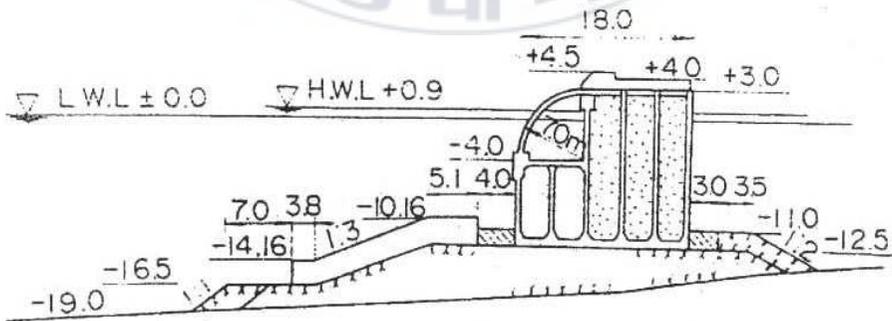


Fig 2.21 Cross-section of Funakawa harbor curved slit caisson.

계산에 의하면(Tanimoto et al., 1987), 사다리형과 실린더형 케이슨이 험한

해양에서 수심이 증가할 때에 더 효과적이고 안정성이 있는 것으로 보고되었다. 카마이시항의 방파제는 대수심 사다리꼴 방파제의 대표적인 예이다. 대수심 방파제라 할지라도, 저 반사, 투수 가능한 구조물이 환경에 미치는 영향을 줄이는데 보다 더 효과적일 수 있다. 이러한 영향을 고려하여 이중실린더케이슨(dual cylinder caisson)이 개발되었다(Fig 2.22). 도넛형의 방이 바깥쪽의 투수 가능한 실린더와 안쪽의 투수 불가능한 실린더 사이에 배치되어 있다. 현재 180m 길이의 방파제가 나가시마(Nagashima)항의 휴양지에 건설되어있는데, 수심은 그리 깊지 않아 11m이다.

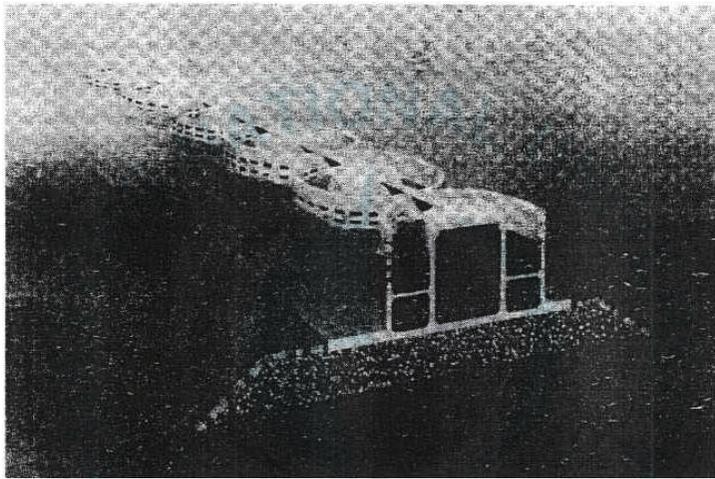


Fig 2.22 Nagashima harbor dual cylinder caisson

Fig 2.23과 같은 얕은 수심에서의 반원케이슨 방파제가 미야자기(Miyazaki)항에서 개발되고 있다. 파력에 대한 높은 안정성과 둥근 모양의 윗부분으로 인하여 이 형태는 휴양지에서 해변을 보호하기 위한 방파제로 적합하다(fig 2.24).

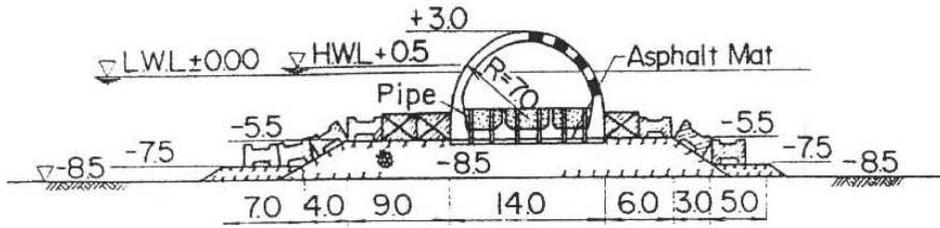


Fig 2.23 Cross-section of half circle caisson breakwater.

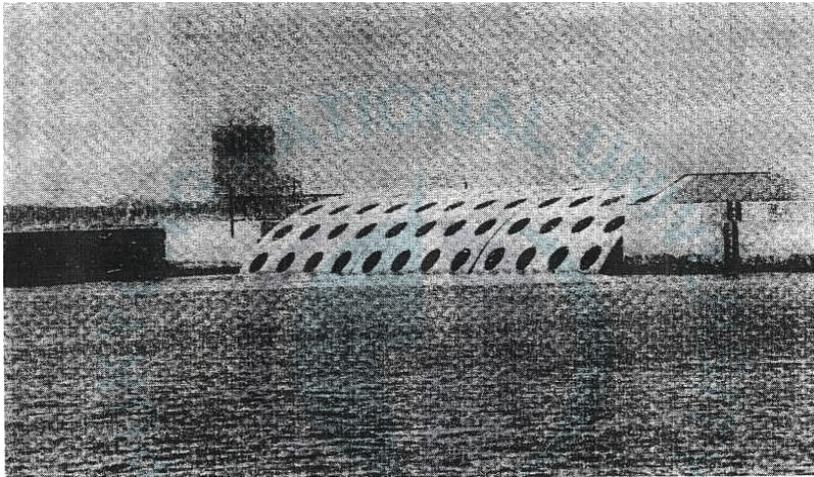


Fig 2.24 Miyazaki harbor half circle caisson.

Hebei Province의 Qinhuangdao 항의 동남편 방파제는 유류수송을 위해서 1979년에 완공되었다. 이 모서리를 깎아낸 수직형방파제의 벽 구조는 사각형 케이슨을 이용하여 만들어졌다(Fig 2.25). 설계파도는 50년 주기였다.

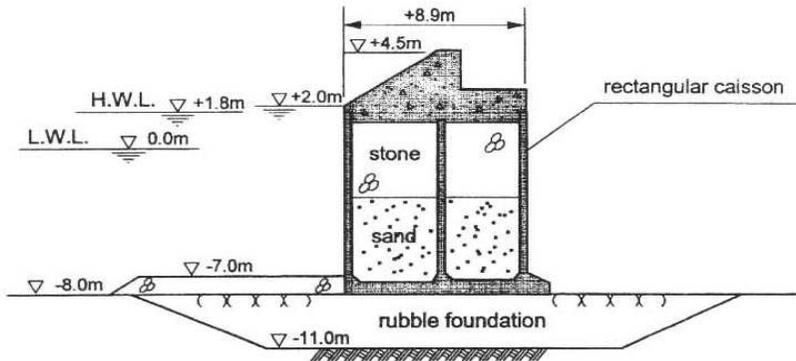


Fig 2.25 Square caisson breakwater.

Qindao 지역에 세워진 이안제의 단면도는 Fig 2.26와 같다. 설계파고는 5.2m 이고 설계주기는 10.3초이다. 벽체구조는 실린더 케이슨으로 만들어졌는데, 지름은 14m이고 높이는 13m이다. 실린더케이슨과 사각형케이슨을 비교할 때, 실린더케이슨의 경우가 철근콘크리트의 양이 15%정도 적게 소모된다. 더군다나, 실린더케이슨의 경우가 파의 반사가 더 적다.

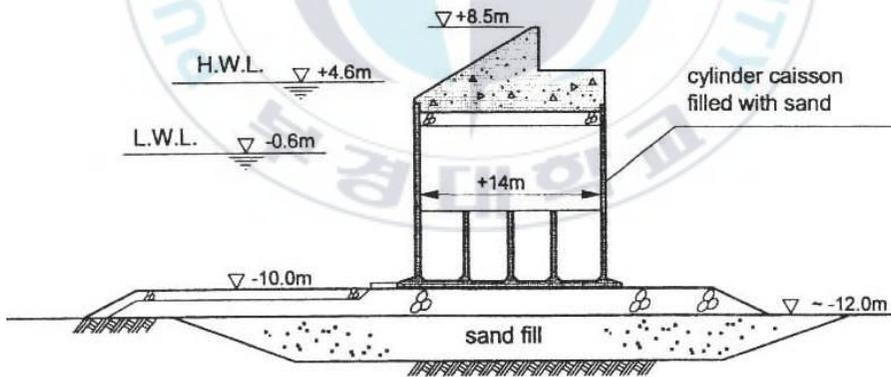


Fig 2.26 Cylinder caisson breakwater.

이탈리아에서는 1967년 처음으로 실린더 형태의 케이슨이 Marsa el Brega의 서편 방파제에 처음으로 세워졌다(Fig 2.27). 실린더케이슨은 Naples의 Duca degri Abruzzi 방파제를 확장하는데 사용되었는데, 여기서는 각 방파제가 두 개의 돌출된 반원실린더 형태를 가지고 있다. 여러 가지 모델실험을 통해서 밝혀진

바에 따르면, 원형 케이슨의 수리학적인 성능이 사각형케이슨의 경우보다 더 낮다. Civitavecchia 방파제의 원형케이슨과 사각형케이슨의 비교실험에서는 정적 하중은 비슷하나, 최고 충격하중은 원형 케이슨의 경우가 1.5배정도 더 작다. 그럼에도 불구하고 사각형케이슨이 많이 쓰이고 있는데 그 이유는 건설업자들이 현재 보유하고 있는 건설장비를 이용하기 위해서는 사각형케이슨이 더 유리하기 때문이다.

Duca degli Abruzzi 방파제의 확장부는 내향으로의 2차 반사를 줄이기 위해서 구멍이 난 벽을 내향 쪽으로 설치했다. 유사한 형태를 Bagnara 방파제에서도 볼 수 있다. 또 다른 유공방파제는 Naples Martello 방파제, Sorrento and Porto Torres 등이다. 대부분의 이러한 구조물들은 현대적인 케이슨 방파제의 특징을 지니고 있는데, 그것은 파라펫벽이 경사졌거나, 곡선이거나, 아니면 후부설치형이다.

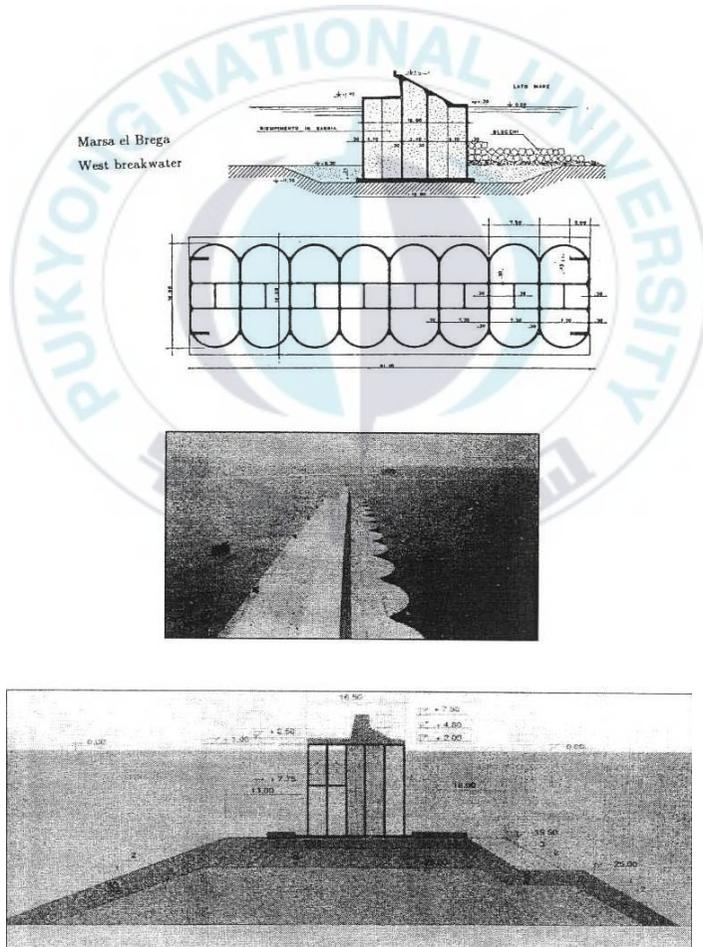


Fig 2.27 Cylinder caisson.

셀의 벽, 특히 유공방파제에서 구멍이 난 부분은 파가 매우 심하게 작용하며, 계속되는 강한 조류로 인해 손상이 매우 크다. 특별히 더 나은 성능을 보이는 구멍의 형태(원형 혹은 사각형인 구멍, 둥글거나 날카로운 모서리)는 별로 없어 보인다. 구멍은 일반적인 보강을 어렵게 만들며, 또한 변형을 상태를 예측하기 어렵게 만든다. 유공방파제의 내구성은 불확실한 면이 더 많다. 이러한 여러 가지 이유와 새로운 것을 기피하는 사용자의 특성으로 인해서 유공방파제는 이탈리아에서는 프랑스와 비교해서 덜 일반적이다.

현존하는 Porto Torres 산업항의 대수심케이슨방파제(1974년)는 1990-1992년 2km의 길이의 방파제를 이용해서 육지와 연결되었다(Fig 2.28). 경제성 이유로 이 공사는 17m 수심까지 경사제(rubble mound) 단면으로 건설되었고, 수심 17-19m 사이는 유공케이슨으로, 그리고 수심 19-21m에서는 평면벽체 케이슨 형태로 건설되었다. 이렇게 함으로써 파를 반사하는 형태와 파를 흡수하는 형태의 구조물 사이에 점진적인 변화가 일어나게 만들었다. 유공케이슨은 6개의 셀로 구성된 4개의 행(row)으로 나누어져 있으며, 바깥쪽의 3개의 행은 구멍이 뚫린 벽체를 통해서 바다와 서로 통하게 되어있는데, 연속적으로 파를 흡수하는 장소로 길이가 10m 정도이다. 바깥 쪽의 두 개의 방에는 콘크리트 바닥짐이 들어있고, 안쪽의 두 개는 모래와 자갈로 채워져 있다. 항외쪽의 외벽은 두께가 0.4m이고, 첫번째 내벽은 두께가 0.25m이다. 처음에는 지름 1m의 원형으로 구멍이 설계되었으나, 시공상의 이유로 1.9m x 0.9m의 사각형구멍으로 대체되었다. 그리고 수압과 공동현상으로부터 둘레를 보호하기 위해서 사각형의 구멍은 섬유보강 콘크리트 부재를 이용하여 격자형으로 보강하였다. 여기에는 폴리프로플렌 섬유를 첨가하여 재료의 투수성을 낮추고 화학적, 역학적 저항성을 향상시켰다.

항외쪽의 정점은 원래 벽을 타고 오르는 물을 반사시키고, 월파량을 줄이기 위해서 설계되었다. 그러나 사실은 이들도 쇄파에 노출되어 매우 큰 구조물 전도모멘트를 발생시킨다. 이런 이유로 요즈음은 경사졌거나 혹은 곡선모양의 후부설치형 파라펫벽으로 대체하는 경우가 많다. 이렇게 할 경우의 주된 잇점은 파라펫에 작용하는 힘은 전면에 작용하는 파력보다 시간적으로 뒤늦게 작용하여 구조물에 작용하는 최고하중을 줄이게 된다. 더군다나 전면벽체에 의해서 만들어지는 수직물줄기(vertical jets)는 후퇴배치 파라펫을 쉽게 넘지 못하므로, 월파가 줄어들게 된다. 일반적으로 파라펫 앞의 경사진 면에 작용하는 수압은 마운드에 작용하는 수직력을 증가시키기 때문에 안정이 향상된다.

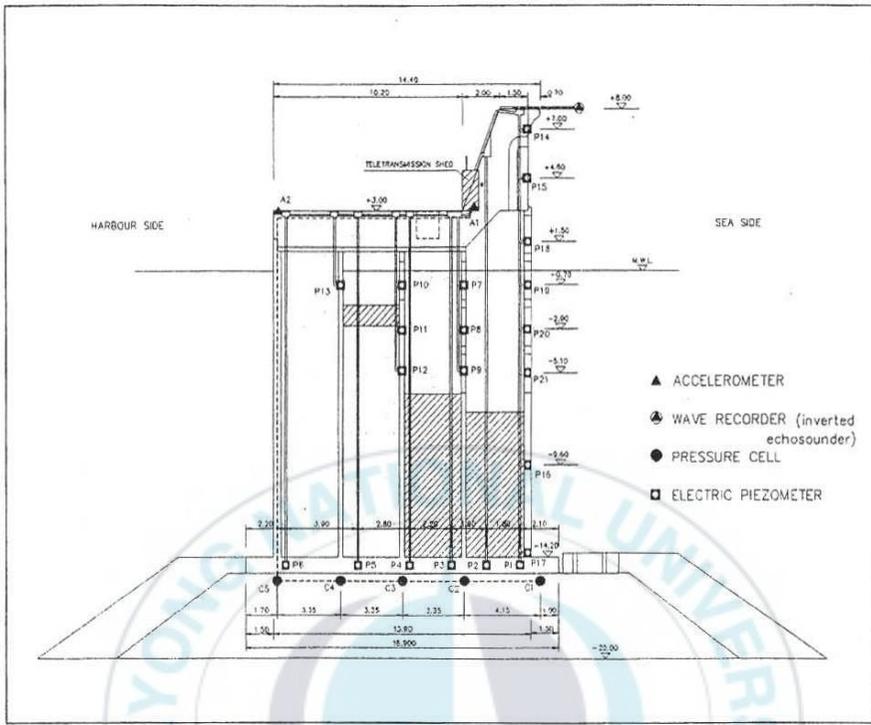


Fig 2.28 Cross-section of Porto Torres harbor perforated caisson breakwater.

Fig 2.29은 이러한 형태의 최초의 예라 할 수 있는 것으로 Fontvieille embankment방파제(1966-1972년)이다. 외벽을 수직방향으로 더 높이 올려, 수직방향의 물줄기를 더 잘 조절할 수 있다. 전면벽체와 상부벽체사이의 통로는 월파로 인한 물로 채워져 상부벽체에 작용하는 충격을 완화시키는 역할을 한다. 상부는 약간 시간을 두고 건설되기 때문에, 모양자체는 케이슨을 만드는데 영향을 미치지 않는다. Naples Duca degli Abruzzi와 Civitavecchia 파라펫벽의 모양은 몇 가지 중에서 전도모멘트를 최소화하는 방향으로 결정되었기 때문에, 상부벽체가 Fontvieille나 Sorrento에서와는 달리 항외쪽으로 굽지는 않았다. 파라펫의 모양은 파의 작용과 월파를 최소화하는 복합적인 기준에 의해서 최적화 되어야 한다. 이 경우 그 중요성은 경우에 따라서 상대적인 기준을 갖게 된다.

이탈리아에서 순수한 수직형방파제로서 유일한 것은 1970년대에 Manfredonia의 해양항만을 보호하기 위해서 콘크리트 벽을 이용해서 건설한 파일방파제이다. 수심은 11m 였다. 이러한 것은 보기 드문 예에 속하는데, 그것은 11-15m에 해

당하는 soft clayed silt, 11-18m의 medium fine sand, 10-14m의 hard clay  
 으로 이루어진 지반조건 때문이었다.

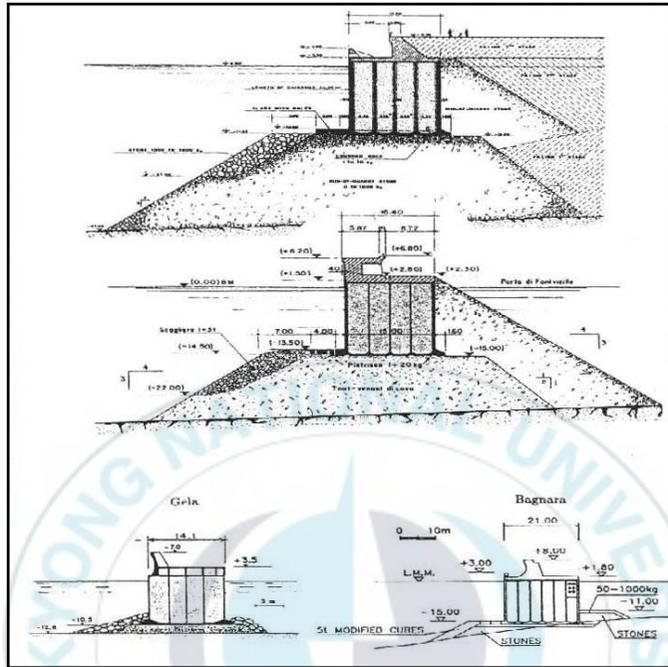


Fig 2.29 Speciality upper structure.

: Cross-section of Fontvieille breakwater(up), Gela, Bagnara breakwater  
 (down).

선박의 규모가 커짐에 따라, 1967년 이래로 새로운 건설계획이 수립되어 왔다. 1967년부터 1975년까지 두 개의 방파제로 막은 두 번째 관문이 건설되었다. Kaohsiung항의 주운수로의 깊이는 저조에서는 16m, 방파제의 길이는 남쪽 것이 2189m, 북쪽 것이 1322m, 실린더 케이슨의 수는 136개인데, 이 중 37개는 길이가 17m이고, 99개는 24m이다(Fig 2.30). 이들은 해안이나 dock에서 제작한 후에 현장으로 견인하여 모래로 채워 가라앉힌다. 케이슨 설계 중에 언급할 만한 것 중의 하나는 절삭벽체를 설치한 것인데, 케이슨의 바닥에 스킵처럼 튀어나오게 만들어져 있으며, 깊이는 1.25-1.5m 정도이다. 케이슨이 모래지반 위에 놓인 다음, 모래로 채워진 후에 자중에 의해서 지반 속으로 파고 들어가도록 설계된 것이다. 이렇게 함으로써 케이슨의 활동 및 선단쇄굴에 대한 안정성을 높일 수 있을 것이다. 실린더 케이슨의 기초를 세굴로부터 보호하기 위해서 선단부는

쇄석으로 채워졌고, 그 위를 9.5-20톤의 피복콘크리트 블록으로 덮었다.

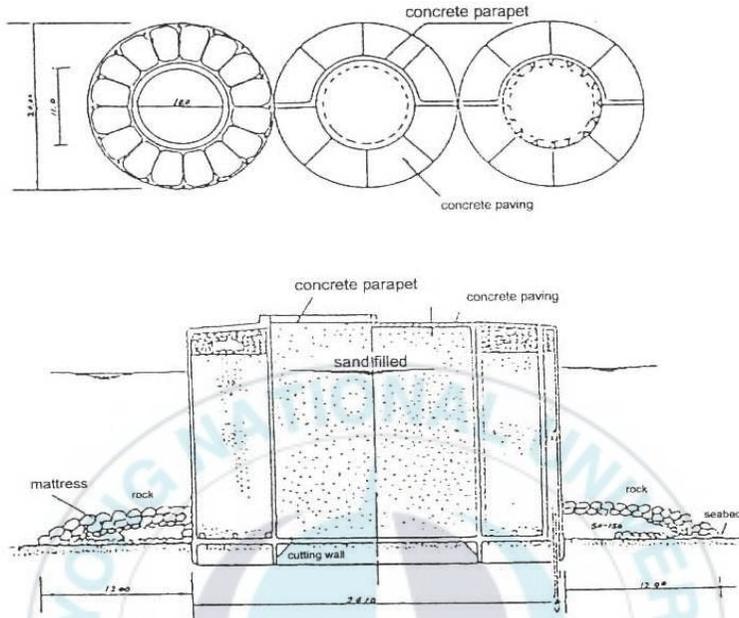
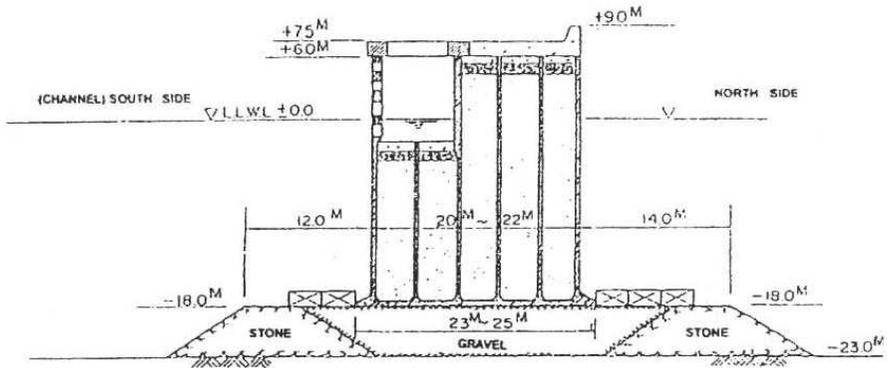


Fig 2.30 Cross-section of Kaohsiung harbor cylinder caisson breakwater.

1989년부터 1994년까지의 Taichung항의 북편 방파제는 수심 21m에서 수심 27m까지 길이 850m 정도가 더 확장되었다. 단면은 22.5×22×25m로 Fig 2.31에 보인 바와 같다. 또한 설계파고는 6.8m, 또한 주기는 12.2초로 변경되었다. 방파제를 건설하는 동안 케이슨 기초의 임시 단부는 방파제 끝 부분의 초속 2m에 달하는 강한 조류로 인해 종종 수 미터씩 세굴되기도 했다.

Hualien항은 대만에서 가장 많이 노출된 동쪽해안에 위치한다. 1917-1924년에 길이 1330m의 콘크리트블록 방파제가 건설되었는데, 이것은 수심 4m 깊이를 따라 해안에 평행하게 만들어졌다. 1983년부터 시작된 확장공사에서는 동편 방파제가 수심 25m까지 1835m 정도 확장되었고, 서편방파제는 1050m가 더 확장되었다. 새로 건설된 동편방파제는 혼성식방파제이지만 만조수위 윗부분은 부분 유공벽이 설치되어있다. 길이 25m, 높이 26m, 폭 33m의 프리캐스트콘크리트 케이슨이 사용되었다. 박스형의 케이슨은 Fig 2.32에 보인 바와 같은 구조를 가지고 있다. 케이슨의 윗부분은 폭14m로 항외쪽으로 현장타설 유공 크립(crib)으로 건설되었다. 이곳에서는 고조위가 3.6m-10.0m에 달하는데, 월파와 파력을



1/400

Fig 2.31 Cross-section of Taichung harbor north breakwater.

줄이기 위한 것이다. 항만쪽으로는 현장타설 파라펫벽이 건설되었다. 이러한 변형된 부분 유공케이슨은 대형 유공케이슨이 필요하긴 하지만, 대형 크레인이 없을 때에 사용된다. 케이슨 상부의 유공벽은 입사 파에너지 중에 단지 윗부분만을 흡수하는데, 유수부로 작용하여 파정점의 처오름 해수량을 줄이고, 충격파력을 흡수하며, 또한 반사와 월파를 상당히 줄이는 역할을 한다. 이런 류의 케이슨은 대만의 동쪽 해안을 따라서 다른 어항에도 많이 적용되었는데, 이것은 월파를 줄이기 위한 것이다.

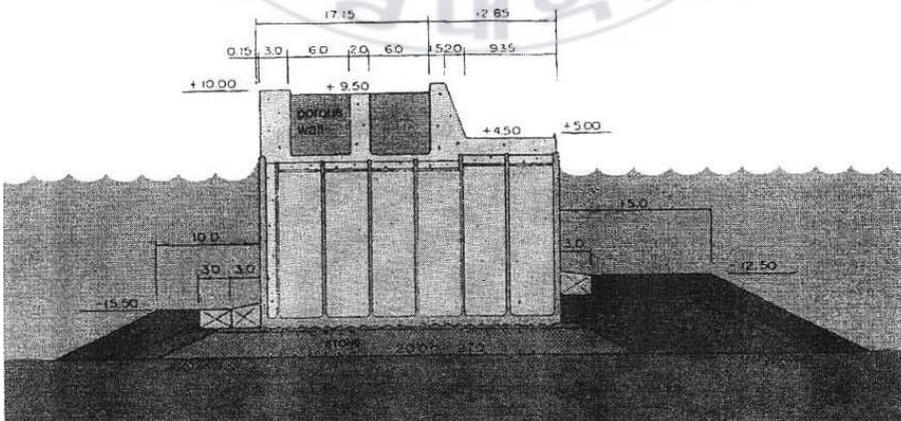


Fig 2.32 Cross-section of Hualien harbor east breakwater.

## 2.2 안벽(중력식 케이슨식)

중력식 케이슨식 안벽은 주로 벽의 자중과 벽체위의 중량에 의해 뒤의 토압을 지지하도록 하는 구조물이고 이 양식은 벽체가 견고해서 선박의 충격에 대해서도 강하여 일반적으로 널리 쓰여지고 있다. 기초부 부등침하 방지에 유리하다. 육상시공으로 품질확보가 용이하고 콘크리트 구체로 부식우려가 없고, 유지관리가 용이하다.

인천북항의 입지연건 및 장래계획을 고려하여 가장 적합한 안벽의 구조형식인 중력식 케이슨식이 선정되었다(Fig 2.33). 케이슨폭은 제체자중 및 지지력에 직접적으로 영향을 미치므로 기초사석의 허용지지력을 초과하지 않도록 계획하였다. 접안시 전면 케이슨 벽체에 작용하는 충격력의 원활한 흡수를 위해 해측부에 DL(+ )1.00m까지 콘크리트로 채웠다. 시공중 S.R.C개량체에 대한 Core확인 결과 사석층의 두께가 시공 전 예상수치보다 두껍고 불규칙하게 형성되어 천공 및 주입에 어려움이 있었다. 또한 조수간만의 차에 의한 해수유동으로 주입체의 경화단계에서 재료분리 및 유실에 따라 품질저하가 우려되며, 천공 과정 및 주입체의 경화시간 동안, 석축하중에 의한 석축기초의 이완 및 석축 배면지반의 부등침하가 발생하였다. 그리고 케이슨 제작장 전면부의 준설이 시행될 경우 제작장 전면부의 설계에 준한 사면경사 1:2는 인근 부두 공사현장 사례에서 볼 수 있듯이 1:2사면의 조성 후 1~2개월 사이에 1:5의 사면경사로 변화되므로 S.R.C공법만으로는 당 현장의 중요공정인 케이슨 제작장 조성공사가 불안정하다고 판단되어 S.R.C공법+강관파일+돌망태시공으로 변경하였다.

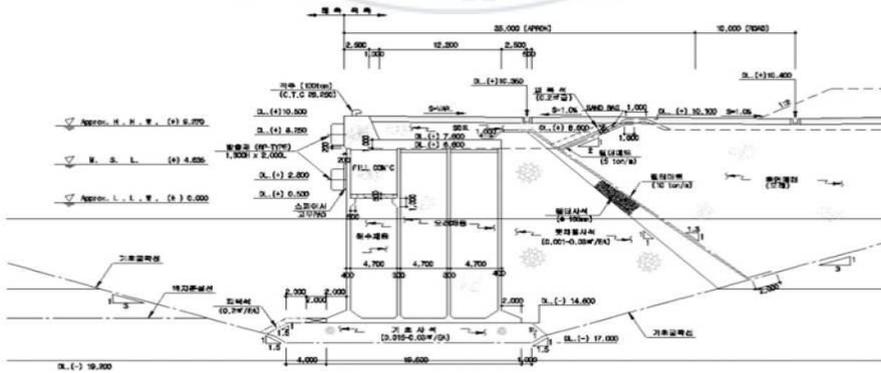


Fig 2.33 Cross-section of In-chon north harbor caisson quay-wall.

Fig 2.34는 부산신선대지역에 심층혼합처리공법을 적용한 안벽의 설계단면(김, 2001)으로 케이슨 안벽은 폭 9m, 높이 16m이다. Fig 2.35에서 연약점토층의 깊이는 원지반 기준으로 10.7m, 굴착부는 4.1m로 평균 7.4m이다. 연약지반 10m인 경우의 심층혼합처리공법을 적용하였다.

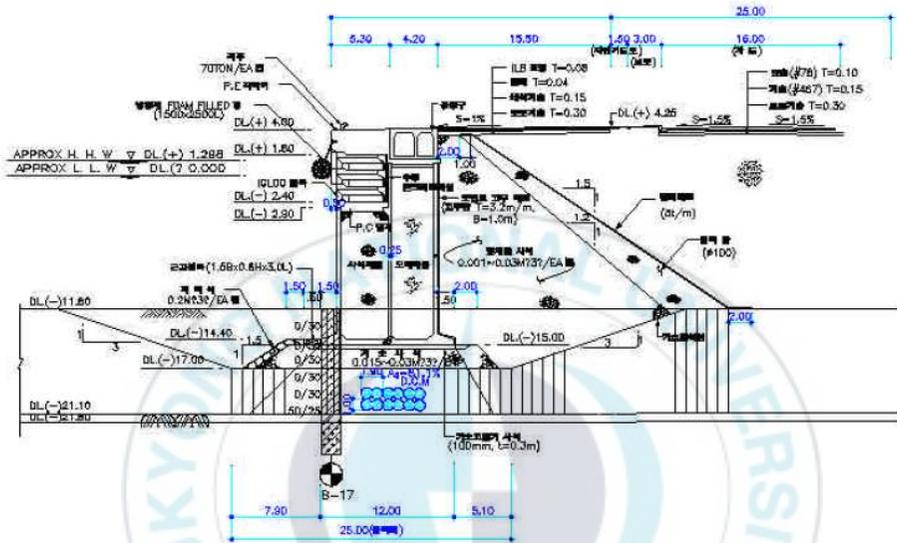


Fig 2.34 Cross-section of Busan Sinsundae harbor caisson.

### 3. 기존 케이스의 데이터베이스

#### 3.1 케이스 설계조건, 구조형식 및 특징

데이터베이스는 설계조건으로 사용방법, 수심, 최고조위, 설계과고, 지반이고 구조형식 및 특징으로 케이스 형식, 설치장소, 단면도, 속채움, 지반처리, 각 케이스의 특징을 사용하였다.

사용방법은 방파제와 안벽으로 나누어진다. 방파제와 안벽은 앞장에서 설명하였다.

설치 수심은 구조물의 형식과 규모, 시공성, 경제성에 크게 영향을 미친다. 케이스 직립체는 수심이 얇은 곳에서는 월파에 포함된 모래에 의하여 항내가 매물 되는 일도 있으므로 얇은 모래 해안의 방파제 설계에 있어서는 이 점까지를 고려하여 마루높이를 높게 할 필요가 있다. 케이스 혼성체는 사석부의 마루가 충격쇄파력의 작용을 피하기 위하여 될 수록 깊은 수심을 유지하도록 하는 것이 바람직하다. 직립부의 케이스 높이와 연계하여 거치가 가능한 심도로 한다.(한, 2005)

설계조위는 구조물이 가장 위험하게 되는 조위로 하는 것이 원칙이다. 구조물의 목적에 따라, 그리고 같은 목적의 구조물이라도 설계 계산의 목적에 따라 다른 설계조위를 적용하는 경우가 있다. 예를 들면, 폭풍해일 대책시설에 있어서 마루높이는 월파량에 의하여 결정되므로 월파량이 최대가 되는 조위를 설계 조위로 하지만, 안정계산에 있어서는 보다 낮은 조위에서도 위험한 경우가 있으므로 이때에는 그 조위를 설계조위로 하여야 한다. 방파제 안전계산의 경우에는 그 구조물이 가장 불안정하게 되는 조위를 적용한다.

폭풍해일(이상고조), 쓰나미 등의 영향을 고려할 필요가 없는 항만에서는 삭망평균만조면을 마루높이 결정의 설계조위로 하며, 폭풍해일, 쓰나미 등의 영향을 고려할 필요가 있는 항만에서는 삭망평균만조위에 과거의 기록과 수치모의기법 등을 종합적으로 이용하여 구한 확률론적 편차를 더한 조위를 설계조위로 한다.

파랑자료는 장기간의 실측자료 또는 기상자료에 의해 추산한 값을 실측치로 보정한 자료를 기초로 하여 상시 파랑과 이상시의 파랑으로 구분하여 파랑 특성을 통계 분석한다. 설계파랑은 이상 시 파랑자료에 대해 적절한 통계처리방법으로 발생확률을 추정하고, 재현기간에 상응하는 파랑으로 결정한다. 확률과고 추정방법을 이용하여 임의 재현기간에 대한 파고를 추정하기 위한 통계자료의 특성, 후보 분포함수의 선정, 자료와의 관계식 도출, 분포함수의 적합성을 측정하는 통계지표 등에 대한 참고자료로서는 Goda(1985) 등이 있고, 여기에는 관련사항

이 잘 기술되어 있으며 프로그램도 사용가능하다.

한편, 항만구조물의 설계과를 실제로 적용할 때는 대상 항만의 위치, 항 입구가 열린 방향, 항만 주변의 해저지형 등 현장특성을 고려하여 적용할 수 있다.

방파제의 배치 법선은 확률적으로 발생빈도가 높은 주 방향별 파랑 및 가장 큰 파고 즉 설계파의 방향에 대하여 효율적으로 차단할 수 있도록 한다. 직립제체의 상부공의 두께는 너무 얇으면 재해를 입게 되므로 설계파고 2m이상인 경우에는 1m이상으로 하고 파고 2m미만의 경우라도 초소 두께는 50cm이상으로 하는 것이 바람직하다. 혼성제의 사석부 어깨 폭은 제체의 원호활동, 편심경사하중에 대한 소요안전율이 확보되도록 하며 파랑의 영향이 큰 곳에서는 항외측으로 적어도 5m이상 두는 것이 보통이다. 또, 항내측은 항외측의 2/3정도의 어깨 폭으로 하는 경우가 많다. 사석부의 비탈경사는 안정성을 검토하여 결정하나 파랑의 영향을 고려하여 일반적으로 항외측 사면을 1:1.5~1:2 정도로 하는 경우가 많다.

지반조건은 흙의 성질로 입경의 크기뿐만 아니라 입자의 형상에도 영향이 있지만 편의적으로 자갈(사력층), 모래(사질토), 실트, 점토, 이토(콜로이드)로 구분한다.

설치장소는 이미 케이슨이 사용된 항과 항내외의 장소를 나타낸다. 데이터베이스는 국내에 설치된 케이슨 20개 국외에 설치된 케이슨 16개이다.

케이슨형식은 방파제, 안벽에 사용된 케이슨의 종류를 확인할 수 있다. 기본적인 형태인 케이슨 직립제, 혼성제와 이형으로 설계된 유공형 Slit 케이슨, 곡면, 반원형 케이슨 등이 있다.

단면도는 실제 케이슨 설계에 사용된 단면도와 조감도, 일반 단면도로 구성되어 있다.

속채움, 지반처리는 자료가 조사된 것으로만 구성되어 있다. 속채움 재료로는 고로 슬래그시멘트, 모래, 콘크리트, 자갈, 잡석등이 있고, 지반처리 방법은 강제치환, 심층시멘트혼합처리공법, 굴착치환, 기초사석다짐공법등이 있다.

### 3.2 MS-Access

데이터베이스는 MS-Access를 이용하여 만들었다. MS-Access는 마이크로소프트사에서 개발된 오피스에 포함된 개인형/사무용 개발툴로서 프로그래머가 아닌 일반 사용자도 사무용이나 개인용으로 쉽게 프로그램을 가능하게 하는 프로그램 개발언어이다. MS-Access는 관계형 데이터베이스와 프로그램개발 툴로 이루어져 있다. 체계적이고 효과적인 자료를 구축하고 운용할 수 있다. 일반적으로

데이터베이스를 다루기 위해서는 SQL(Structured Query Language)이라는 데이터베이스 전용언어를 익혀야하지만 MS-Access는 Query Builder 라는 도구를 이용하여 그래픽환경에서(GUI : Graphical User Interface) 쉽게 데이터베이스를 추가하거나, 검색, 삭제하는 등의 많은 작업을 순조롭게 만들어 준다.

MS-Access의 구성은 다음과 같다.

### 1) 테이블(Table)

프로그램을 사용하면서 화면이나 기타 작업을 통하여 입력된 데이터를 저장하는 곳이다. 이 테이블은 데이터의 저장뿐만 아니라 필요한 데이터를 가공하고 조회하는 곳이다. 일반적으로 프로그램을 개발하다 보면 10여개에서 수백 개에 이르는 테이블들을 만들게 되는데 이러한 다수의 테이블의 집합을 데이터베이스라고 생각하면 된다. Fig 3.1은 MS-Access에서 사용된 테이블의 모습이다.

No	사용목적	수심(m)	최고조위(m)	설계표고(m)	지반	설계장소	케이슨형식	단면도	속제출/지반처리	특징
1		2	16	3.822	2,3 3.4	광양항 3단계 2차 컨테이너 터미널	Semi-Hybrid S18 케이슨	단면도부동액상 단면도 2차 컨테이너 터미널 케이슨 안벽.ppt	고로 슬러그 시멘트	지반은 S, R, C 구조, 벽체는 R, C 구조. 신기술 도입 및 공사비 절감. 대항케이슨으로 약 3개월 단축. 격실수 거점으로 결빙성 중대. 지반 강자간 도출물로 지반 반감소. 단면 광항화로 관성력 저하. S18 케이슨 형식으로
2		2	17	3.822	2,3 3.4	광양항 컨테이너부두	케이슨형	단면도부동액상 컨테이너부두 케이슨 안벽.ppt	고로 슬러그 시멘트	광양항 컨테이너 부두 축조시에 시공 높이 20.50m, 폭 18.05m, 길이 31.45m인 초대형 케이슨. 배후에 위치 용사석, 기공의 원토층, 미등층 및 천연의 기초가 존재된 복잡한 형태
3		2	8.9	7.246	5 3.4	군장 신항만 남측안벽(3공구)	반원형 S18 케이슨식	단면도부동액상 신항만 남측안벽.ppt	고로 슬러그 시멘트	다방향 입사파랑에 대한 수면특성 우수. 평면 S18 케이슨에 비해 대항도 해상도 개선효과 우수. 단면에 수직하고 배향식도로서는 국내 최초 적용. 고로 슬러그 시멘트 사용으로 내구성 증진
4		1	16	1.4	8.5	대대포항	케이슨혼성제	단면도부동액상 대대포항.ppt	굴착치환	연약한 지반의 부동층하에 잘 대응하는 형식
5		1	18.5	0.392	8 2	동해항 방파제 제 11구간	케이슨 직립제	단면도부동액상 방파제 11구간.ppt		케이슨 전면에 사석 0.015~0.03m <sup>3</sup> /EA 및 테트라포드 40ton 2층으로 피복하여 보강
6		1	8	0.392	7.4 2	동해항 방파제 제 7구간	수평 혼성식	단면도부동액상 방파제 7구간.ppt		테트라포드 29ton 위에 40ton 테트라포드를 2층으로 피복하여 보강
7		1	8.5	0.5		미야자카항	반원케이슨	단면도WMyazaka항 방파제케이슨.ppt		피복에 대한 높은 안정성. 동근 모양의 뒷부분으로 연하류방지 예방효과
8		2	17	1.906	5.5	부산 남컨테이너 부두 2-2	유공 이중 S18 케이슨	단면도부산 남컨테이너부두 2-2.ppt		저반사 이중 중 S18 설치로 생태, 친환경 시설 확보. 견인 유공설 설치로 부동층하 안정성 확보. 저반사 구조도입으로 항만 기능을 향상. 최대 12,000TEU급 선박 수송(DL-17.0m 확보).
9		2	12	1.906	5.5 4.5	부산신항(1)	케이슨혼성제		굴착치환	
10		2	18	1.906	1.58 4.5	부산신항(2)복컨테이너	대형 이중 중 S18케이슨	단면도부산신항(2)복컨테이너.ppt		구조물이 해동, 해수 및 기타 유해물질에 노출될 경우 발생하는 침투는 설계기준 강도 300kg/cm <sup>2</sup> 이상의 콘크리트를 사용. 내구성 증진을 위해 항만계기준보다 상향조정
11		1	10	1.282	7.4 4.5	부산항	유공소파케이슨제		굴착치환	
12		2	11.8	1.288	7.4 4	시선대항	케이슨	단면도부산시선대항 케이슨 안벽.ppt	모래	연약점토층의 깊이는 원지반 기준으로 10.7m로 심층준입처리공법적용.
13		1	10	3.616	5.6 4.5	대수항	케이슨혼성제			
14		1	15.75	0.61		오타루항	케이슨혼성제	단면도Wotaru항 R.C 케이슨 방파제.ppt	콘크리트	방파식벽기 때문에 원근콘크리트 케이슨을 이용. 889톤의 콘크리트 투입

Fig 3.1 Table of MS-Access.

### 2) 쿼리(Query)

데이터가 입력된 데이터베이스에서 원하는 조건의 데이터를 가져오려면 특정한 구조의 프로그램언어(데이터베이스언어)를 사용하게 되는데 이러한 데이터베이스용 언어를 SQL이라고 한다.

이러한 SQL언어는 대부분의 데이터베이스가 95% 이상되는 호환성을 가진 언어로 이루어져 있으며 이러한 언어로서 특정데이터베이스에서 원하는 조건의 데이터를 조작하는 언어의 집합을 쿼리라 한다. 이러한 쿼리는 데이터베이스를 조작하는 여러 가지 형태로 표현될 수 있으며 데이터를 다루는 프로그램에서는 필수적인 요소이다.

필드:	사용목적	수심(m)	최고조위(m)	설계파고(m)	지반	설치장소	케이스형식	단면도	속채움	지반처리	특징
데이터:	사용목적	수심(m)	최고조위(m)	설계파고(m)	지반	설치장소	케이스형식	단면도	속채움	지반처리	특징
장형:	사용목적	수심	최고조위	설계파고	지반	설치장소	케이스형식	단면도	속채움	지반처리	특징
표시:	<input checked="" type="checkbox"/>										
조건:											
또는:											

Fig 3.2 Query of MS-Access.

### 3) 폼(Form)

입출력하는 화면이 없는 프로그램은 없을 것이다. MS-Access에서 폼의 역할은 데이터를 저장하거나 저장된 데이터를 검색하고 기타 레포트를 출력하거나 메뉴를 구성하는 등 사용자가 모든 작업을 하는데 있어서 시작과 종료를 하는 부분이다.

No	1
사용목적	2
수심(m)	16
최고조위(m)	3,822
설계파고(m)	2,3
지반	3,4
설치장소	광양항 3단계 2차 컨테이너 터미널
케이스형식	Semi-Hybrid Slit 케이스
단면도	단면도없광양항 단계 2차 컨테이너 터미널
속채움	고로 슬래그 시멘트
지반처리	
특징	저판은 S,R,C 구조, 벽체는 R,C 구조

레코드: 1 전체: 36

Fig 3.3 Form of MS-Access.

### 3.3 데이터베이스

MS-Access의 폼에 케이슨의 자료를 입력하면 테이블의 형태로 저장된다.

3.1절에서 설명된 설계조건, 구조형식 및 특징들로 데이터베이스를 작성하였다. Table 3.1 은 실제 만들어진 데이터베이스의 약식이다. 사용목적, 수심, 최고조위, 설계과고, 지반의 자료들은 데이터베이스와 동일하다. 설치장소, 형식은 데이터베이스의 내용을 보기에 알맞게 줄인 상태이다.(강, 2003)(김등, 2006)(소, 2003)(해, 2006) 현재 데이터베이스에 포함된 케이슨 자료는 국내 케이슨 20개, 국외 케이슨 16개이고, 이안제를 1개 포함한 방파제 27개, 안벽8개이다.

MS-Access의 데이터베이스에는 포함되어 있지만, Table 3.1에는 나타내지 않은 테이블은 단면도, 속채움, 지반처리, 케이슨의 특징이다. 케이슨의 채원은 단면도 내에 포함되어 있거나 단면도를 통해 알 수 있다. 그리고 케이슨의 특징은 케이슨이 무엇에 사용되는지, 어떤 환경에 사용되는지, 무슨 형식을 가지고 있는지 구체적으로 설명한다.

사용목적은 방파제, 안벽이 있다. 수심은 6.2m~60m, 최고조위는 0.246m~9.22m이다. 설계과고는 1.58m~9.2m이다. 지반조건은 자갈(사력층), 모래(사질토), 실트, 점토, 이토(콜로이드)로 구성되어있다.

Table 3.1 Caisson database

	사용 목적	수심 (m)	최고조위 (m)	설계과고 (m)	지반	설치장소	형식
1	안벽	16.00	3.822	2.30	점토,이토	광양항	Slit케이슨
2	안벽	17.00	3.822	2.30	점토,이토	광양항	케이슨제
3	안벽	8.90	7.246	5.00	점토,이토	군장신항	Slit케이슨
4	방파제	16.00	1.400	8.50	-	다대포항	케이슨혼성제
5	방파제	18.50	0.392	8.00	모래	동해항	케이슨직립제
6	방파제	8.00	0.392	7.40	모래	동해항	케이슨혼성제
7	안벽	17.00	1.906	5.50	-	부산신항	Slit케이슨
8	안벽	12.00	1.906	5.50	이토, 점토	부산신항	케이슨혼성제
9	안벽	18.00	1.906	1.58	이토, 점토	부산신항	Slit케이슨
10	방파제	10.00	1.282	7.40	이토, 점토	부산항	유공소파케이슨
11	안벽	11.80	1.288	-	점토	신선대항	케이슨제
12	방파제	10.00	3.616	5.60	이토, 점토	여수항	케이슨혼성제
13	방파제	20.00	0.632	6.50	-	울산신항	Slit케이슨
14	방파제	20.00	0.632	6.40	-	울산신항	Slit케이슨
15	방파제	14.80	0.608	6.30	이토, 모래	울산항	케이슨혼성제
16	안벽	17.00	9.220	-	-	인천북항	케이슨제
17	방파제	9.50	1.282	7.40	이토, 점토	인천항	케이슨혼성제
18	방파제	13.00	2.830	6.00	-	제주외항	케이슨혼성제
19	방파제	15.00	2.830	6.00	-	제주외항	Slit케이슨 혼성제
20	방파제	6.20	0.246	7.40	-	포항신항	케이슨제
21	방파제	8.50	0.500	-	-	Miyazaki항	반원케이슨
22	방파제	15.75	-	-	-	Otaru항	케이슨혼성제
23	방파제	7.32	2.040	-	점토	Yokohama항	케이슨혼성제
24	방파제	12.00	2.000	-	점토	Yokohama항	케이슨혼성제
25	방파제	60.00	1.500	9.20	실트, 모래	Kamishi항	케이슨혼성제
26	방파제	19.00	0.900	-	-	Funakawa항	Slit케이슨
27	방파제	30.00	2.000	-	-	Hedono항	케이슨혼성제
28	방파제	30.00	-	-	자갈	Keelung항	케이슨혼성제
29	방파제	40.00	2.000	8.70	자갈	Keelung항	케이슨혼성제
30	방파제	40.00	2.500	-	-	Keelung항	케이슨혼성제
31	방파제	10.50	5.100	6.80	-	Lanshan항	실린더케이슨
32	방파제	20.00	6.700	-	-	Naples항	케이슨혼성제
33	방파제	35.00	1.150	-	-	Ofuno항	케이슨제
34	이안제	12.00	4.600	5.20	모래	Qindao항	실린더케이슨
35	방파제	8.00	1.800	-	자갈	Qinhuangdao항	케이슨제
36	방파제	22.00	6.000	5.80	자갈	Taichung항	케이슨혼성제

## 4. 설계 최적화 과정

### 4.1 SQL을 이용한 설계과정

새로운 케이스를 설계할 때 기존에 사용된 케이스의 데이터베이스로부터 새로운 설계조건에 맞는 최적화된 자료를 찾을 수 있다. 설계조건을 입력하여 데이터베이스 내에서 최적화된 케이스의 구조형식을 구하는 과정이다.

설계조건은 SQL(Structured Query Language)을 이용하여 설계최적화 과정을 거치게 된다. SQL은 데이터가 입력된 데이터베이스에서 원하는 조건의 데이터를 가져오는 특정한 구조의 프로그래밍언어이다.

다음 STEP은 설계최적화 과정이다.

STEP 1. 사용목적을 입력한 뒤 실행한다.

여기서 주의 할 점은 사용목적은 방파제는 1, 안벽은 2로 숫자로 바꾸어 입력한다.

STEP 2. 수심을 입력한 뒤 실행한다.

STEP 3. 최고조위를 입력한 뒤 실행한다.

STEP 4. 설계파고를 입력한 뒤 실행한다.

STEP 5. 지반조건을 입력한 뒤 실행한다.

지반조건도 STEP 1.의 사용목적과 마찬가지로 자갈(사력층)은 1, 모래(사질토)는 2, 실트는 3, 점토는 4, 이토(콜로이드)는 5의 숫자로 바꾸어 입력한다. 또한 지반조건은 1개 이상의 조건을 같이 입력할 수 있다.

STEP 6. 케이스의 구조형식 및 특징을 결과로 확인 할 수 있다.

STEP 1.~ STEP 5.는 설계조건을 입력하는 과정이고, STEP 6.은 입력한 설계조건에 따른 최적화된 케이스의 자료이다.

## 4.2 수치예제

케이슨의 데이터베이스에 실제 설계조건을 입력하여 MS-Access 쿼리를 실행하였다. 쿼리에 다음 Table 4.1와 같은 네 가지의 기존 데이터베이스의 설계조건을 입력하여 결과를 얻었다. 설계조건에서 사용목적과 지반은 4.1절에서 설명한 바와 같이 숫자로 대체하여 입력한다.

Table 4.1 Examples of design condition

설계조건	사용목적	수심(m)	최고조위(m)	설계파고(m)	지반
1	1(방파제)	18.5	0.392	8	2(모래)
2	2(안벽)	17	3.822	2.3	3,4(점토, 실트)
3	2(안벽)	18	1.906	1.58	4,5(이토, 점토)
4	1(방파제)	22	6	5.8	1(자갈)

설계조건 1은 선택쿼리에 설계조건을 입력하여 실행하는 방법을 자세히 나타내어 보았다. Fig 4.1은 쿼리의 사용목적 조건에 설계조건 1(방파제)를 입력한 것이다.

필드:	사용목적	수심(m)	최고조위(m)	설계파고(m)	지반
테이블:	사용목적	수심	최고조위	설계파고	지반
정렬:					
표시:	<input checked="" type="checkbox"/>				
조건:	1				
도구:					

Fig 4.1 Input data of using purpose.

쿼리의 조건에 설계조건을 입력한 뒤 Fig 4.2의 실행아이콘을 클릭한다.



Fig 4.2 The icon for execution.

실행아이콘을 클릭하면 Fig 4.3과 같이 사용목적이 1(방파제)인 자료들을 확인할 수 있다.

사용목적	수심(m)	최고조위(m)	설계파고(m)	지반	설치장소	케이슨형식	속채움	단면도	지반처리
1	16	1.4	8.5		다대포항	케이슨혼성제		단면도WDA M포항.ppt	굴착치환
1	18.5	0.392	8.2		동해항 방파제 제 11구간	케이슨 직립제		단면도W동 해항 방파제 11구간.ppt	
1	8	0.392	7.4.2		동해항 방파제 제 7구간	수평 혼성식		단면도W동 해항 방파제 7구간.ppt	
1	8.5	0.5			미야자키항	반원케이슨		단면도 W Miyazaki 항 반원케이	
1	10	1.282	7.4.4.5		부산항	우공소파 케이슨제			굴착치환
1	10	3.616	5.6.4.5		여수항	케이슨혼성제			

Fig 4.3 Database by using

사용목적, 수심, 최고조위, 설계파고, 지반조건을 모두 입력한 뒤(Fig 4.4) 실행 아이콘을 클릭하면 Fig 4.5와 같이 결과를 확인 할 수 있다.

필드:	사용목적	수심(m)	최고조위(m)	설계파고(m)	지반
테이블:	사용목적	수심	최고조위	설계파고	지반
정렬:					
표시:	<input checked="" type="checkbox"/>				
조건:	1	18.5	0.392	8	"2"
또는:					

Fig 4.4 Input data of design conditions.

사용목적	수심(m)	최고조위(m)	설계파고(m)	지반	설치장소	케이슨형식	속채움	단면도	지반처리	특징
1	18.5	0.392	8.2		동해항 방파제 제 11구간	케이슨 직립제		단면도W동 해항 방파제 11구간.ppt		케이슨 전면에 사석 0.015~0.03m <sup>3</sup> /EA 및 테트라포드 40ton 2층으로 피복하여 보강

Fig 4.5 Database of Dong-hae port breakwater 11 section caisson.

결과는 설치장소, 케이슨 형식, 속채움, 단면도, 지반처리, 케이슨의 특징으로 확인 할 수 있다. 여기서 단면도는 링크를 클릭하여 케이슨의 실제 단면도를 확인 할 수 있다(Fig 4.6). 설계조건 1의 최적화된 케이슨자료는 동해항 방파제 11구간에 설치된 케이슨으로 직립케이슨제이고, 케이슨 전면에 사석 0.015~0.03 m<sup>3</sup>/EA 및 테트라포드 40ton 2층으로 피복하여 보강한 것이 특징이다.

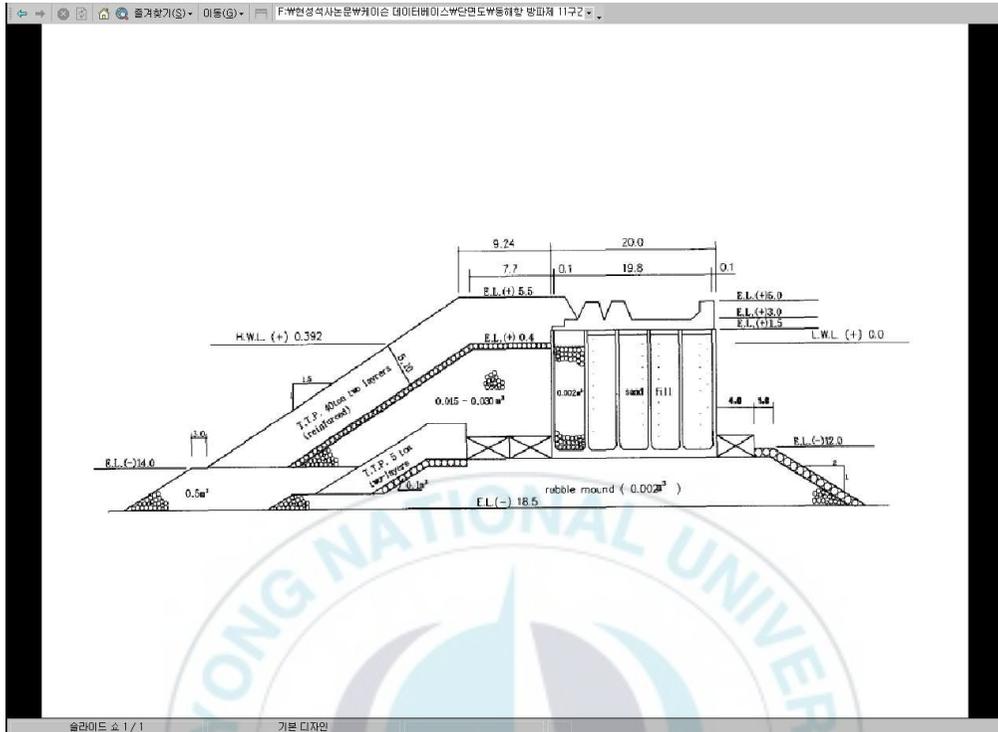


Fig 4.6 Cross section of Dong-hae port breakwater 11 section caisson.

Fig 4.7은 광양항 컨테이너부두 안벽 케이슨의 자료이다. 케이슨 형식은 직립 케이슨체이고 고로 슬래그시멘트로 속채움을 하였다. 지반처리는 강제치환을 하였다. 케이슨의 체원은 높이 20.50m, 폭 18.85m, 길이 31.45m이다. 배후의 뒷채움은 사석, 기존의 점토층, 매립층 및 크레인 기초가 혼재된 복잡한 형태이다. 단면도는 실제 설계에 사용된 것을 사용하였다.

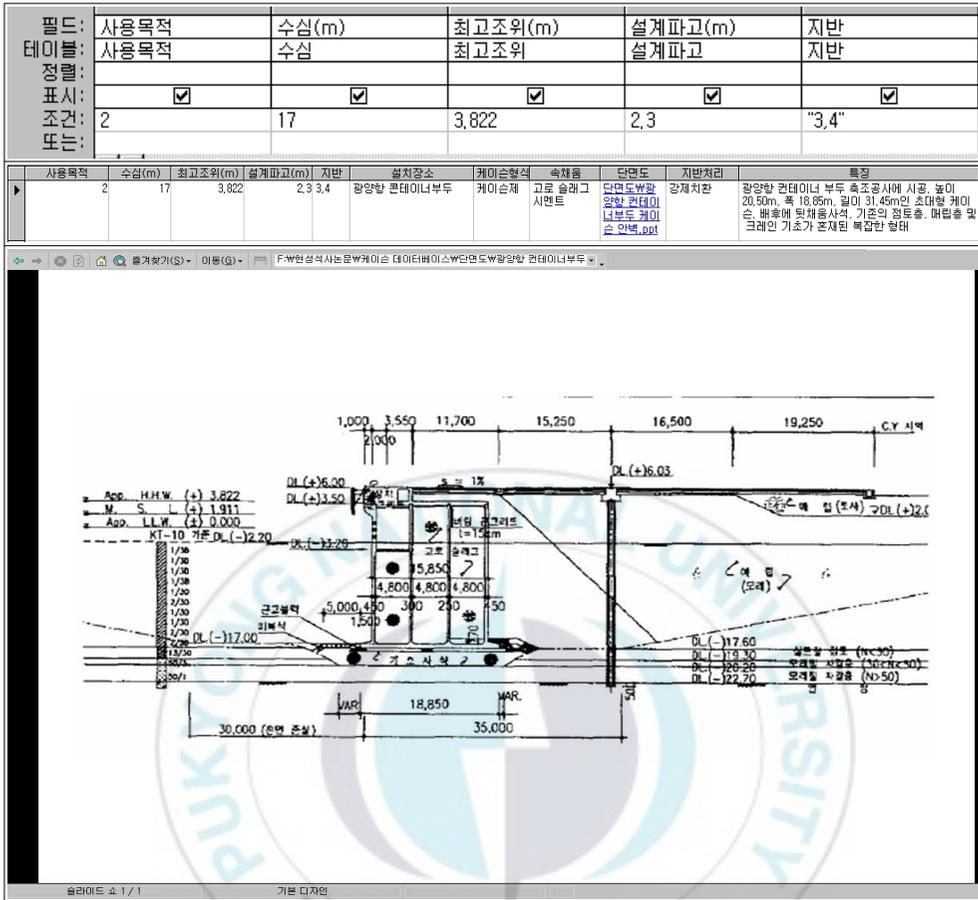


Fig 4.7 Database of Kwang-yang harbor quay-wall caisson.

Fig 4.8은 부산신항 북컨테이너 안벽 케이슨이다. 케이슨 형식은 대형 이중 중 Slit 케이슨이다. 지반처리는 기초사석진동다짐공법을 사용하였다. 특징은 케이슨 구조물이 해풍, 해수 및 기타 유해물질에 노출된 콘크리트는 설계기준 강도 300kgf/cm<sup>2</sup> 이상인 콘크리트를 사용하였다. 또한 내구성 증진을 위해 항만설계 기준보다 상향조정 하였다.

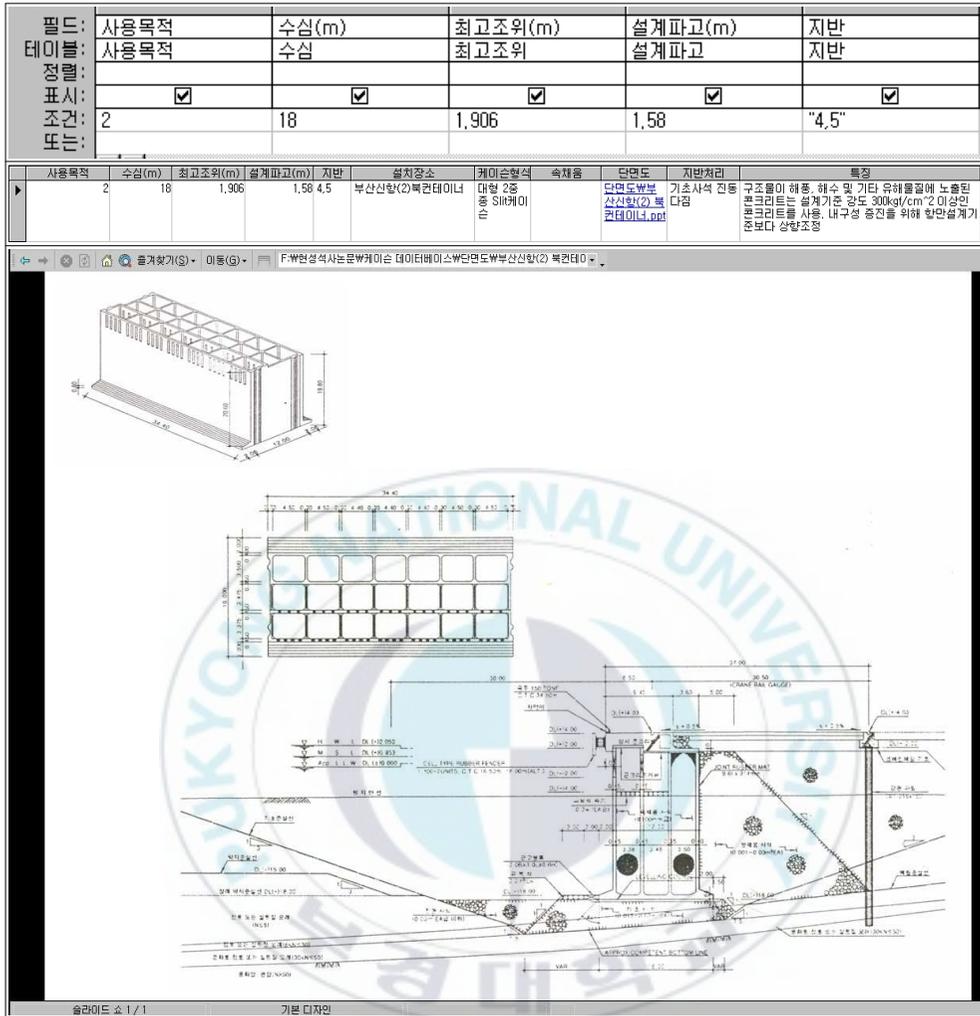


Fig 4.8 Database of Busan newport north container terminal quay-wall caisson.

Fig 4.9는 대만 Taichung항 북방과제 케이슨이다. 수직 케이슨혼성체로서 모래로 속채움을 하였다. 시공기간을 단축하기 위해 56개, 총 3200톤의 케이슨이 한꺼번에 해안에서 건설되었다. 사석은 피복석 및 45톤 정육면체의 콘크리트 블록으로 표면을 덮었다.

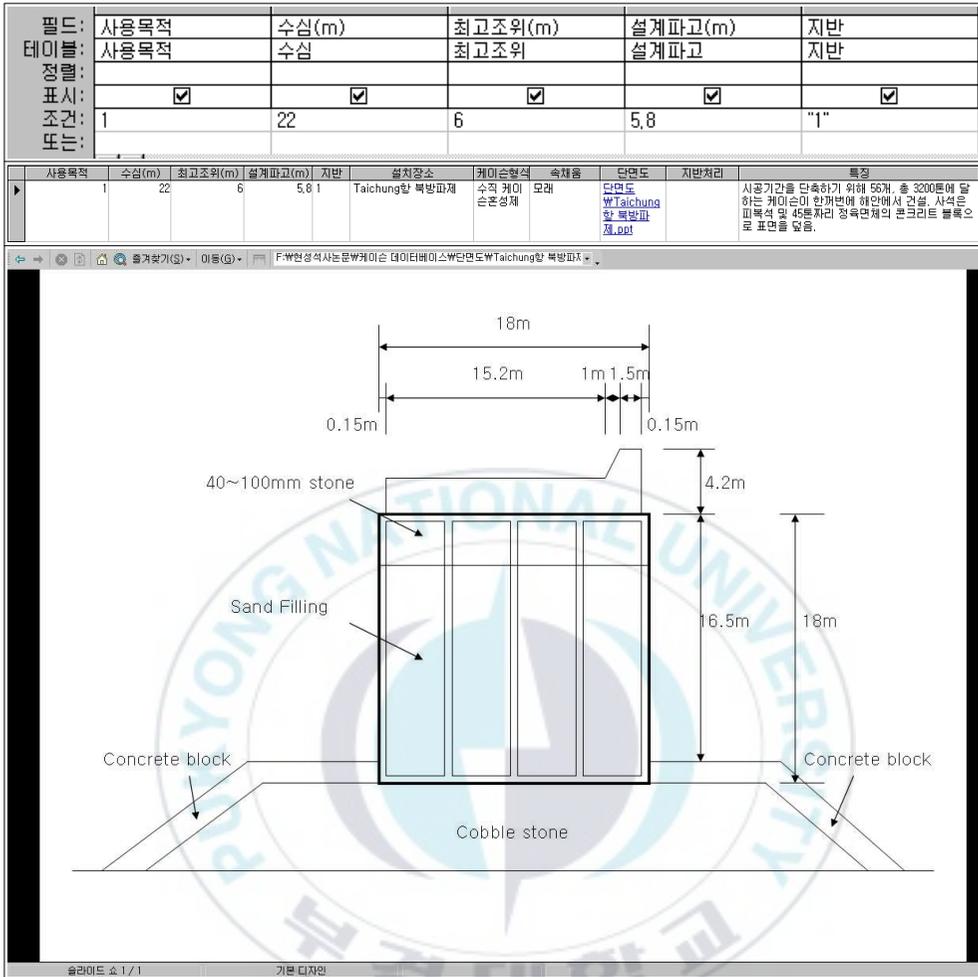


Fig 4.9 Database of Taichung harbor north breakwater caisson.

## 5. 요약 및 결론

연안역이나 해역시설의 개발로 인해 방파제와 안벽이 많이 건설되고, 그런 방파제와 안벽에 케이슨이 많이 사용됨에 따라 케이슨의 데이터베이스를 만들 필요가 있다. 또한 다양한 설계조건에 주어졌을 때 케이슨의 최적화된 구조형식을 데이터베이스로부터 찾을 수 있어야 한다.

이를 위하여 사용방법, 수심, 설계파고, 최고조위, 지반조건, 설치장소, 케이슨 형식, 단면도, 속채움, 지반처리, 케이슨의 특징으로 데이터베이스를 만들었다. 데이터베이스는 MS-Access를 이용하여 만들었다.

SQL(Structured Query Language)을 이용한 케이슨의 최적설계과정을 제안하였다.

기존 케이슨의 설계조건을 쿼리에 입력하여 최적화된 구조형식 및 케이슨의 특징을 찾을 수 있다.

또한 수치예제를 통해서 기존케이슨의 데이터베이스에 설계조건을 대입했을 때 최적화된 케이슨의 자료를 찾을 수 있음을 확인했다.

향후과제로는 데이터베이스에서 누락된 자료 및 새로운 자료들은 앞으로도 지속적으로 업데이트 되어야 할 것이고, 새로운 설계조건, 구조형식에 대한 자료도 계속 구축되어야 한다.

## 참고문헌

Goda, Y.(1985), "Random Seas and Design of Maritime Structures, University of Tokyo Press, 323p.

강석형(2003), 해수교환방과제에 의한 항내오염 개선에 관한 연구, 연세대학교 석사 학위논문

김승우, 서경덕, 오영민(2006), 동해항 방과제를 대상으로 한 신뢰성 설계법의 비교 연구. 2. 케이슨의 활동, 한국해양·해양공학회지 제 18권 제 2호, pp.137~146

김재현(2001), 지반개량공법을 적용한 연약지반상 케이슨 안벽의 지진시 수평변위 특성에 관한 연구, 연세대학교 석사 학위논문

소준영(2003), 제주외항 곡면슬리트 케이슨 방과제적용에 관한 실험적 연구, 연세대학교 석사 학위논문

손형모(2003), 초대형 중력식 안벽의 거동에 관한 실험연구, 연세대학교 석사 학위논문

전충녕(2005), 유공 Slit 케이슨의 수리학적 특성 연구, 부경대학교 석사 학위논문

조덕인, 황현철, 임영래, 이만호(2007), 케이슨식 안벽 및 케이슨 진수 공법 적용 사례, 한진 건설기술 Vol.41 (2007-01)

양태선, 고영희(2005), 항만 구조물과 기술 동향, 한국지반공학회지 Vol.21, No.6

한국항만협회(2005), 항만설계기준 2편(설계조건), 한국항만협회

한국항만협회(2005), 항만설계기준 7편(외곽시설), 한국항만협회

한상준(1999), 대수심 방과제 및 연약지반 관련기술(I), 해양수산부, 연구용역보

교서

해양수산부(2006), 항만 신공법 사례집, 해양수산부 행정간행물



## 감사의 글

지난 3년 6개월간의 긴 시간동안 여러모로 부족한 저를 위하여 학문적으로 이끌어주시고, 평소의 생활속에서도 많은 것을 깨닫게 해주신 지도교수님이신 류연선 교수님께 진심으로 감사하다는 말씀을 드리고 싶습니다. 그리고 마지막까지 격려해주시고 많은 가르침을 주신 김정태 교수님, 후배로서 제자로서 많이 답답한 모습을 보였지만 다시 한 번 기회를 주셨던 나원배 교수님께 감사드립니다. 학부와 석사과정동안 많은 것을 가르쳐주신 류청로 교수님, 윤길수 교수님, 김헌태 교수님, 이인철 교수님 그리고 김운태 교수님께도 감사드립니다.

대학원 생활을 시작할 때 저를 이끌어 주시고 늘 함께하고 싶은 조현만박사님, 임동주선배님께 감사드립니다.

졸업 후에도 저를 생각해주고 챙겨주시는 준일선배, 광수선배, 종렬선배, 창환선배, 창근선배, 진영선배, 지금은 예전처럼 뭉쳐다니지 못하고 잘 만나지도 못하지만 언제 만나도 좋은 친구인 석환이, 지홍이, 현준이, 화훈이, 친구 같은 후배들인 병호, 재현이게도 감사하다는 말을 전하고 싶습니다.

티격태격했지만 끝까지 파이팅을 아낌없이 보내준 민희, 쉽지만은 않았던 연구실생활에 같이 수다떨어주고 고민을 함께해준 고마운 현진이, 말도 많고 탈도 많았지만 결국은 함께 웃고 지내는 원민이, 영후, 연호, 명종이, 남수, 원일이, 경환이, 아련이, 영선이, 아름이와 사들가족들에게도 감사드립니다.

좋은 친구인 재민이, 종훈이, 명재, 정희, 미선이와 성당친구와 동생들, 자올아 이 친구들에게도 고맙다는 말을 전합니다.

마지막으로 오늘에 오기까지 기다림과 인내로 기다려주신 부모님들께 사랑한다는 말과 함께 감사하다는 말을 드리고 싶습니다.