

공 학 석 사 학 위 논 문

대형 케이슨의 진수 안전성 향상을 위한 장비개선에 관한 연구



2010년 2월

부경대학교 산업대학원

해양개발학과

백 근 우

공 학 석 사 학 위 논 문

대형 케이슨의 진수 안전성 향상을
위한 장비개선에 관한 연구

지도교수 류 청 로

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.



20010년 2월

부경대학교 산업대학원

해양개발학과

백 근 우

백근우의 공학석사 학위논문을 인준함.

2009년 12월 21일



주 심 공학박사 강 윤 구 ㉠

위 원 공학박사 김 홍 진 ㉠

위 원 공학박사 류 청 로 ㉠

목 차

List of Figures	iii
List of Tables	iv
ABSTRACT	v
1. 서 론	1
1.1 연구배경	1
1.2 연구목적 및 방법	4
2. 대형케이슨 제작 및 진수	5
2.1 대형케이슨 제작	5
2.1.1 대형케이슨 제작 공법	5
2.1.2 대형케이슨 제작공법의 선정	6
2.2 대형케이슨 진수	8
2.2.1 기본개념	8
2.2.2 대형케이슨의 진수공법	9
2.3 대형케이슨 제작 및 진수를 위한 설계요소	12
2.3.1 복원력	12
2.3.2 자유수면의 영향	13
2.3.3 불규칙파 스펙트럼(Wave Spectrum)	14
2.3.4 설계파 이론(Wave Theory)	18
2.3.5 파력 계산	20
2.3.6 진수해석 안정성 기준	21
3. 대형케이슨의 진수 시 거동해석 시뮬레이션	25
3.1 시뮬레이션 해석의 개요	25
3.2 대형케이슨 부양 시 정적안전성	27
3.3 대형케이슨 부양 시 동적안전성	29
3.3.1 Model 및 해석조건	30

3.3.2 DCL선의 흘수에 따른 안정성 검토	30
3.3.3 DCL선의 Trim 각도에 따른 안정성 검토	31
3.3.4 동유체력계수와 파랑강제력	33
3.3.5 전달함수(Response Amplitude Operator)	36
3.3.6 Bottom Clearance에 대한 검토	38
3.3.7 진수시 케이슨과 DCL선 간섭 검토	42
3.3.8 한계파고 산정	46
3.3.9 케이슨 내부 해수 침범방지 대책	49
3.3.10 한계파고 발생시 DCL선의 Pitch 동요	50
3.5 실험결과요약	51
4. 요약 및 결론	53



List of Figures

Fig. 1.1. Damage of Production Caisson.	2
Fig. 1.2. Damage of Launching Caisson.	3
Fig. 1.3. Damage of Derangement Wave FD.	3
Fig. 1.4. Flow chart of this study.	3
Fig. 2.1. Construction Time Per Caisson.	7
Fig. 2.2. Production Cost Per Caisson.	7
Fig. 2.3. Form of Caisson.	8
Fig. 2.4. Draft Controlled Launcher.	11
Fig. 2.5. Floating Caisson Launcher.	11
Fig. 2.6. Decrease GM for flow Wave.	14
Fig. 2.7. Application of Wave Theory.	19
Fig. 2.8. Launcher Safe limit of Caisson.	24
Fig. 3.1. Flow Chart of Numerical Simulation.	25
Fig. 3.2. Height of Ballast concrete.	27
Fig. 3.3. Height of Ballast Water.	28
Fig. 3.4. Modeling for Launching.	30
Fig. 3.5. GM of DCL.	31
Fig. 3.6. Safety Staring for Trim.	33
Fig. 3.7. Minimum Bottom Clearance for launching time Caisson A type.	39
Fig. 3.8. Launching Track of Caisson A Type.	40
Fig. 3.9. Minimum Bottom Clearance for launching time Caisson B type.	41
Fig. 3.10. Launching Track of Caisson B Type.	41
Fig. 3.11. A permissible Range Interference Caisson with DCL.	42
Fig. 3.12. Maximum Movement distance of Caisson A Type.	44
Fig. 3.13. Maximum Movement distance of Caisson B Type.	45
Fig. 3.14. Maximum a Limit Wave Height of Caisson A Type.	47
Fig. 3.15. Maximum a Limit Wave Height of Caisson B Type.	47

Fig. 3.16. Launching Bottom Clearance of Caisson A Type.	49
Fig. 3.17. Launching Bottom Clearance of Caisson B Type.	49
Fig. 3.18. Pitch angle The Limit Wave Height of DCL.	51



List of Table

Table 2.1. Comparison of Form	5
Table 2.2. ABS Rule 과 DNV Rule	23
Table 3.1. Initial Stability of DCL Ship on Trim	32
Table 3.2. Application of the hydrodynamic coefficients	34
Table 3.3. RAO-Trim 5°	36
Table 3.4. RAO-Trim 10°	37
Table 3.5. RAO-Trim 15°	38
Table 3.6. Bottom Clearance	39
Table 3.7. Distance of Caisson Launching	44
Table 3.8. Pitch and Roll Launch Following of Caisson	50



A Study on a Equipment System Consideration Launching Safety Improve of a Large Sized Caisson

Keun Woo Beak

*Department of Ocean Science and Technology, The Graduate School,
Pukyong National University*

Abstract

This study is the case study for the large caisson integrated production and launching method in the port structure. This study proposes the improved safer method than the existing launching method which is composed of multi-integrated production system, horizontal shifting system and submergible floating dock. Therefore, the cases study and its analysis for the existing method of large caisson and launching method has been studied and analyzed and through the MOSES Modeling, the caisson compartment, Ballast concrete height, seawater height in the chamber and Floating Dock compartment has been carried out.

The main results are as follows in the case study.

- 1) During the large caisson is being launched, the wave height could be limited to process the launching of Caisson and the tide shall be SWL and water stopper shall be installed to prevent water getting into the chamber.
- 2) The large caisson shall be launched within the initial draft height and Floating Dock shall be considered about trim during launching period.

During the launching of large caisson, large area of caisson will be faced the sea wave, therefore most effect launching method should be considered.

3) In case the wave came from stern to bow, The large caisson shall be launched the vessel positioned parallel to wave direction.

4) Guide Frame is needed in order not to collided large caisson with Floating Dock.

This study is the basic study for the large caisson construction and launching method. It is considered that this study can be used for the safest and the most effective method in large caisson construction and launching.



1. 서 론

1.1 연구 배경

최근 케이슨을 이용한 안벽 및 방파제의 시공이 증가하고 있으며, 선박의 대형화 추세와 석재원의 부족으로 인한 사석경사제 적용의 한계, 품질확보와 공기단축 등의 이유로 대형케이슨의 적용이 점차 늘고 있는 추세이다.

기존의 항만공사용 케이슨의 제작·진수에는 건선거(Dry Dock)나 부선거(Floating Dock)에 의한 방법, 가체절에 의한 방법 및 기중기선에 의한 방법 등이 주로 이용되었다. 그러나 조선산업의 활황으로 주변의 기존 건선거를 이용한 케이슨의 제작이 불가능하고, 공사부지가 협소하여 한정된 공간에서 케이슨을 제작하여야 하며, 공기단축 및 수심을 고려하여 대형케이슨의 제작이 불가피함에 따라 해상크레인의 양중용량과 관계없이 대형케이슨을 진수시킬 목적으로 부선거를 이용하여 대형케이슨을 진수시키는 공법을 적용하게 되었다.

그러나 부선거공법의 적용시 발생하는 진수 및 부양시의 거동에 대한 문제와 외력에 의한 부선거 동요 등의 문제는 다양한 시공현장에서의 피해사례를 통해 중요시 되고 있으며 이에 대한 모의실험에 의한 예측 및 안정성 확보는 대형케이슨의 현장적용을 위한 중요한 결과를 제공하고 있다.

다음은 최근 우리나라 대형케이슨의 제작 및 진수과정에서 발생한 피해사례이다.

Fig. 1.1은 케이슨 제작시 케이슨 규격에 비하여 작은 부선거에서 케이슨을 제작하다가 부선거가 기울어져 전도 피해가 발생한 경우이며, Fig. 1.2는 부선거의 Ballast Tank에 충수가 균등하게 주수되지 못하여 편심이 발생 대형케이슨이 전도되는 사고가 발생한 사례이다. Fig. 1.3은 20시간이 넘는 진수시간동안 기상악화에 따른 고파랑의 내

습으로 부선거가 이탈하여 해안측에 좌초된 피해사례이다.

이러한 피해사례는 부선거공법 적용 시 발생하는 여러 가지 피해의 유형을 보여주고 있으며, 이러한 다양한 위해요소를 고려한 설계단계에서의 모의실험 및 예측이 중요하다.



Fig. 1.1 Damage of produced caisson.

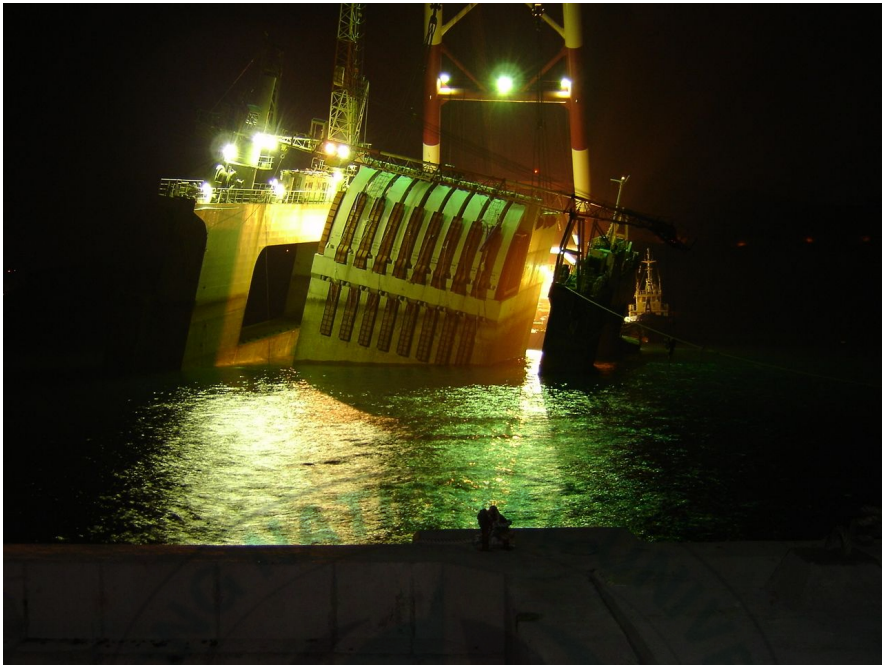


Fig. 1.2 Damage of launching caisson.



Fig. 1.3 Damage of Derangement Wave FD.

1.2 연구목적 및 방법

본 연구에서는 대형케이슨 제작에 필요한 거푸집 검토, 케이슨 진수 방안등을 검토하고 케이슨 진수를 위한 수치모형실험을 통하여 케이슨 균형콘크리트와 해수충수 높이, 진수용 부선거 부양력, 케이슨 자체 부양시 안전성, 동유체력계수등을 분석하여 진수시 케이슨과 부선거간의 간섭, 해저면과의 간섭, 케이슨과 부선거간 상호안전성, 진수한계 파고등을 검토하여 진수시 개선방안을 강구하여 케이슨 진수의 안전성을 확보하고자 한다.

이를 위해서 2장에서는 건선거 및 부선거를 이용한 대형케이슨 제작과 관련한 일반적인 공법의 특성과 설계요소를 검토하였으며, 3장에서는 대형케이슨의 부양과 진수를 위한 위해요소 및 동적거동 해석을 위해 MOSES프로그램을 이용한 수치모의를 통해 부선거의 부양시 정적안정성과 진수시 동적안정성을 검토하였다.

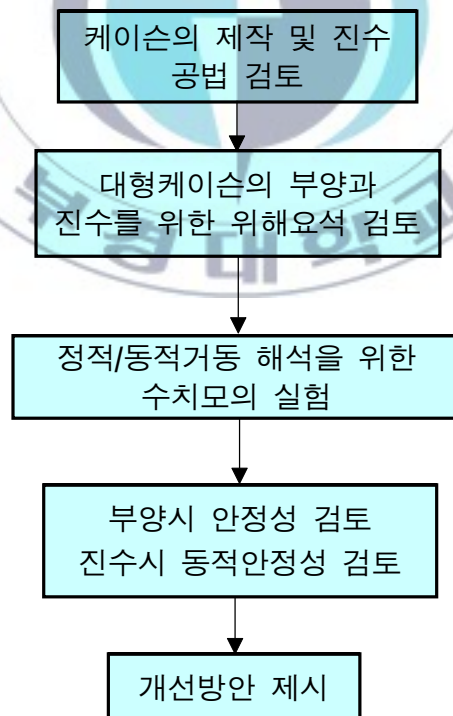


Fig. 1.4 Flow chart of this study.

2. 대형케이스 제작 및 진수

2.1. 대형케이스의 제작

2.1.1 대형케이스 제작 공법

대형케이스의 제작은 일반적인 소형콘크리트 구조물의 제작과 거치와는 그 규모와 비용에서 그 차이가 크며, 그에 따른 설계인자도 다르게 나타난다. 대표적인 대형케이스의 제작방법은 Gang Form, Traditional Slipform, Gantry Slipform 세가지 공법이 일반적으로 적용되고 있으며, 특히 대형구조물의 특성상 현장의 여러 조건(작업장, 장비, 공사기간, 비용 등)에 영향을 많이 받게 된다.

Gang form 제작공법은 기존 재래식 거푸집을 이용하여 콘크리트 타설 및 외부견출부위의 작업을 할 경우에 안전작업을 위한 발판이 없어 이에 따른 안전사고를 방지하기 위한 비계를 별도로 설치 해양할 뿐아니라 골조공사 완료시까지 장기간 동안 기 설치한 비계의 이동이 불가능 한 점 등은 많은 불편을 겪어 왔으나, 최근 STEEL을 사용한 Gang Form이 정확한 치수와 지-그에 의해 공장에서 정밀 제작되어 보급되므로써 규격, 수평, 수직 및 평탄도가 완벽하여 정밀시공은 물론 해체 또한 용이하기 때문에 공기단축과 공사 품질 향상을 기할 뿐 아니라 기준 층 설치 후 반복 사용이 가능하므로써 기존 재래식 목재 거푸집보다 월등한 경제성이 있다.

Traditional Slipform은 구조물에 맞춰 거푸집들을 만들고 여기에 유압잭 등의 기계적 장치를 설치해서 연속적으로 콘크리트를 타설하여 일관된 작업으로 단시간에 수직적 구조물을 시공 이음이 없이 균일한 형상으로 시공하는 연속공법이다.

Gantry Slipform은 거푸집이나 작업 Deck의 분해, 조립이 필요하지 않으며, 고정식 작업 Deck, 난간 및 안전망 등을 반영구 시설로 설치한다. 진입계단등은 Gantry Tower에 반영구 시설로 설치가 가능하며 모든 전동공구나 기계류를 적절한 위치에 안전하게 설치할 수 있다.

이러한 대형케이스 제작공법의 장단점을 정리하면 Table 2.1과 같다.

Table 2.1 Comparison of Form

공법	Gang Form	Traditional Slip Form	Gantry Slip Form
개요	APT공사 등에 사용되는, 발판 등이 일체화된 일반적인 System Form	콘크리트 벽체에 잭 튜브를 매입하여 유압 JACK을 이용, SLIDING 시키는 공법	슬립폼 및 유압잭을 공장 내부에 설치하여 연속적으로 SLIDING 시키는 공법
장점	• FORM 자재비 저렴(초기 투자비 최소)	• 비계 작업이 간단 • 연속적인 콘크리트 타설로 품질 향상	• 전천후 작업 가능 • 수밀성, 차폐성이 높음 • 시공 속도가 빠름 • Slit 이나 Box 처리 가능 • 작은 규모의 제작장 소요 • 안전 System 일체화로 안전 관리 완벽
단점	• 생산성 저하 • 시공 이음부 발생에 따른 표면 불량 및 누수 가능성 • 기상 영향을 받음 • 넓은 제작장 필요 • 안전 관리 취약	• 구조물의 형상 규격화 요구 • SLIT이나 BOX 처리 불가능 • 타설 후 매회 해체 후 재설치	• 초기 투자비 과다 • 제작장 조성 시간 과다

2.1.2 대형케이슨 제작공법의 선정

케이슨 제작을 위한 거푸집 공법으로는 Jump Form 등 전통 거푸집 공법, 재래식 Slipform 공법, Gantry Slipform 공법 등이 있으며, 공법의 선정은 Fig. 2.1. ~ Fig. 2.3.과 같이 케이슨의 크기, 제작함수, 공기, 제작장 조건 등을 비교 검토하여 경제적인 공법을 선정하여야 한다.

일반적으로 대형케이슨의 제작을 위한 공법선정기준은 케이슨제작함의 수 즉, 케이슨의 제작 규모에 의한 선택, 제작비용을 고려한 선택 그리고, 제작기간에 따른 여건들을 종합적으로 고려하여 선택한다.

이러한 요소들을 고려하여 일반적으로는 제작함의 수를 이용하여 적용공법을 다음과 같이 구분할 수 있다. 이때 함의 수는 케이슨의 규모와 주변의 제작장 및 장비의 여건에 따라 변동 가능하므로 현장의 적용성을 고려한 효율적인 공법선택이 우선되어야 할 것이다

Fig. 2.1은 전통 거푸집 공법, 재래식 Slipform 공법, Gantry Slipform 공법의 공사기간을 비교하고 있다. 전통 거푸집 공법의 경우 케이슨 1함의 제작에 소요되는 기간이 7주정도 소요됨을 생각할 때 Slipform 공법의 경우 2.5주의 3배정도 짧은 공사기간을 보이며, Gantry Slipform의 경우 1주 이내의 전통거푸집 공법의 7배가 넘게 공사기간의 단축을 가져올 수 있다.

또한 대부분의 건설공사에서 효율성의 판단은 공사비에 대한 부분이 크며, 위의 세 가지 공법에 대한 제작함의 수와 공사비의 변화추이를 비교하여 나타낸 그림이 Fig. 2.2이다. 그림에서 전통 거푸집 방식은 5함 ~ 10함의 조건에서 가장 경제적인 적용성을 보이며, Slipform 공법의 경우 대략 7함 ~ 25함의 조건에서 가장경제적은 적용성을 나타낸다. 그리고 Gantry slipform의 경우 30함 이상일 경우 상대적으로 세 가지 대형케이슨 제작공법 중에서 비교우위를 보이고 있다.

이러한 제작비용 및 공사기간은 현장의 여건에 따라 변동성을 가지고 있으며, 특히 제작 케이슨의 규모에 따라 영향을 많이 받는다. Fig. 2.3은 제작함의 수에 따른 세가지 공사방법의 적용성을 모식적으로 나타내고 있다. 그 결과 일반적인 대형케이슨의 제작공법의 적용기준은

다음과 같다.

- 제작함수 1~10함 : Gangform 등 일반거푸집공법
- 제작함수 5~20함 : Traditional Slipform
- 제작함수 20함 이상 : Gantry Slipform

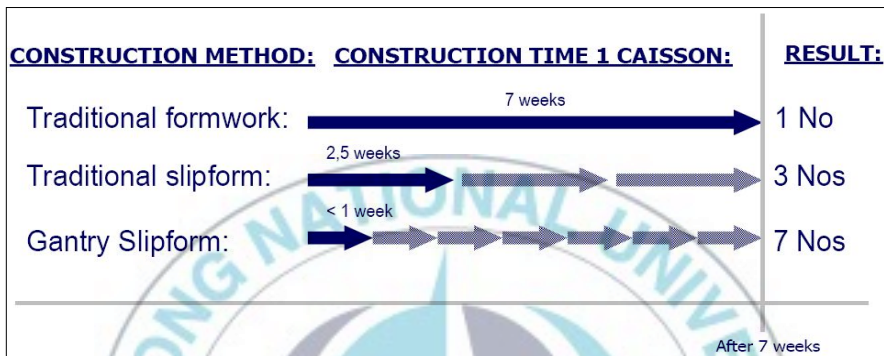


Fig. 2.1 Construction Time Per Caisson.

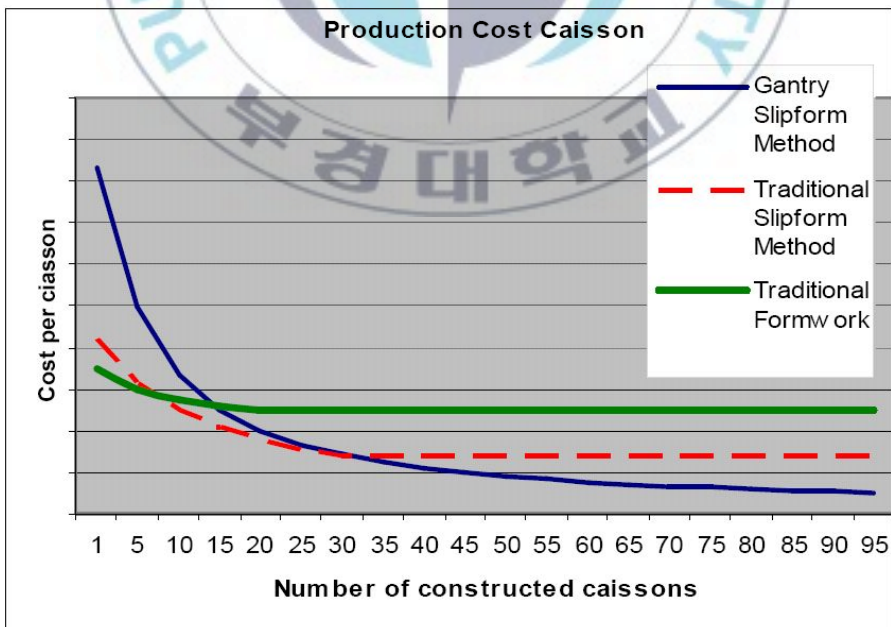


Fig. 2.2 Production Cost Per Caisson.

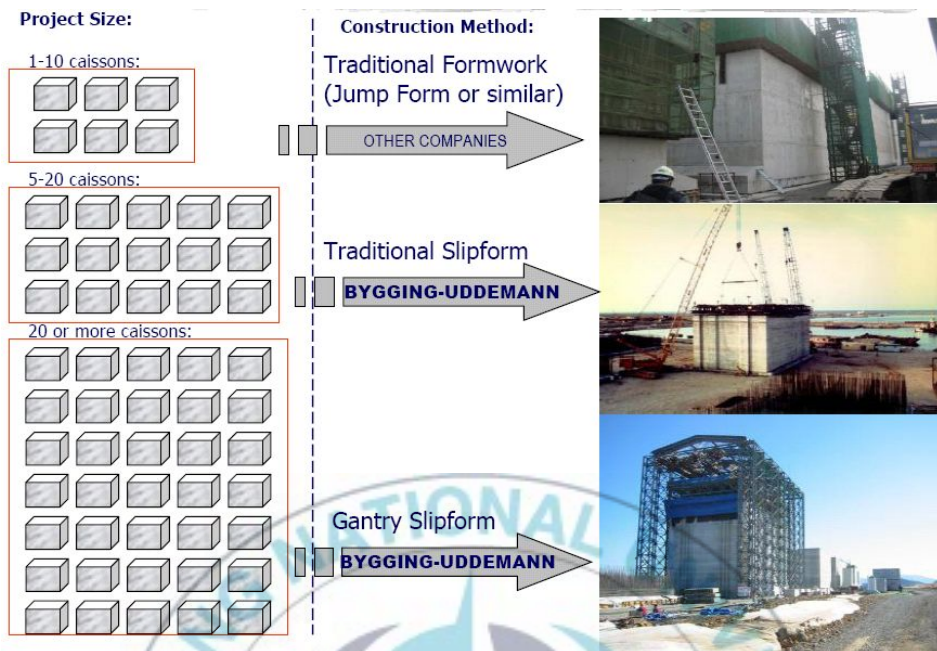


Fig. 2.3 Form of Caisson.

2.2 대형케이슨의 진수

2.2.1 기본개념

Cassion은 Concrete로 제작한 함선으로 제작 → 진수 → 운반과정이 선박의 건조 진수방법과 공정이 거의 같다. 현장에서는 케이슨 진수시설을 신설하기 보다는 기존의 시설을 활용하여, 콘크리트 타설이 끝나고 소정기간이 양생된 케이슨은 탈형하여 진수하며 진수방식은 케이슨 Yard양식에 따라 다르다.

Cassion 진수공법 선정시 고려사항은 다음과 같다.

- 공사기간
- 공사비용
- 환경 : 해양오염
- 설치 위치의 지형 및 자연 조건 : 토질, 수심, 수위, 파고, 파랑, 조수간만의 차 등

- 케이슨 크기
- 케이슨의 제작 및 진수수량
- 설치 장소까지의 거리와 운반 방법

2.2.2 대형케이슨의 진수공법

케이슨 Yard 양식에 따른 Cassion 의 진수공법은 다음과 같다.

- 경사로에 의한 진수
- 사상 진수
- 가체절 방식에 의한 진수
- 기중기선에 의한 진수
- 건선거에 의한 진수
- 부선거에 의한 진수
- Syncrolift에 의한 진수

각 케이슨 진수방법별 시공법 및 적용성은 다음과 같다.

(1) 경사로에 의한 진수

경사로 각부의 경사도는 Cassion 제작부에서 1 : 20, Cassion 진수부의 경우 경사를 급하게 하여 경사로 길이를 짧게하며, 최종부의 경사는 1:7 이며 안전하게 진수할 경우 1 : 3.5 ~ 7 의 경사를 가진다.

경사로의 기초는 사석 깔고 소요의 경사로 고른다. 이탈 전도에 대비 부등침하 방지하고, 경사로 선단부 세굴 방지 대책 수립하여야 한다.

(2) 사상진수

케이슨 제작장 위치는 예정 준설 계획지 위에 설치하며, 준설을 겸한 조건이 아니면 시행할 수 없다. 사상진수 방식은 우리나라에서 성공적으로 시행한 진수 방식이다.

그 적용성은 토질은 사질형태로, 장래 항로, 박지 등 준설을 하여야 할 모래위(사상)에 케이슨을 제작한 후 Pump 준설선(Dredger)으로 준설하여 수심을 유지시켜 케이슨이 부상시켜 진수한다.

사상진수의 문제점은 침수가 되기 쉽고, 준설중에 진수가 되어 준설

장비의 대기 시설이 필요하며, 우리나라의 적용 예로는 포항 신평, 동해항에 이용되었다.

(3) 가체절 방식에 의한 진수

가체절 방식의 경우, 가체절 시공 → Cassion 제작 → 가체절 제거 → 진수의 순으로 진수하게 되며, 진수시 유속작용으로 Cassion이 전도되어 침수가 되는 경우가 있으므로 주의하여야 한다.

Cassion이 제작되면 최저수위가 되는 시기에 가체절내에 주수를 하면 내외 수위차가 같게 되고 일정수위가 유지 될 때 진수한다.

(4) 기중기선에 의한 진수

기중기선에 의한 진수의 경우, 기중기선이 작업할 수 있는 수면과 수심 필요하다. Cassion 제작장은 기중기의 권상작업이 가능한 Boom의 길이가 미치는 범위내여야 하며, 기중기선의 권상능력은 설악호의 경우 2,000ton 이다.

(5) 건선거(Dry Dock)에 의한 진수

건선거에 의한 진수의 경우 시설비가 많이 들며, 시설공사의 공기가 길다.

케이슨 제작용도에 국한해서 시설할 수 없기 때문에, Cassion 의 제작 거치 현장이 인근에 있고 건선거 사정이 Cassion 제작시기에 선박 건조나 수리 등의 제작 공정이 없어야 한다.

(6) 부선거(Floating Dock)에 의한 진수

부선거상에서 제작한 Cassion의 양생이 끝나면 부선거에서 진수하는 방법으로 진수시 Cassion을 실은 부선거를 소요수심이 되는 해상까지 예인하여 부선거를 정박한 후, 선내 Ballast Tank에 충수하여 서서히 선체를 가라앉히는 대표적 진수방법이다.

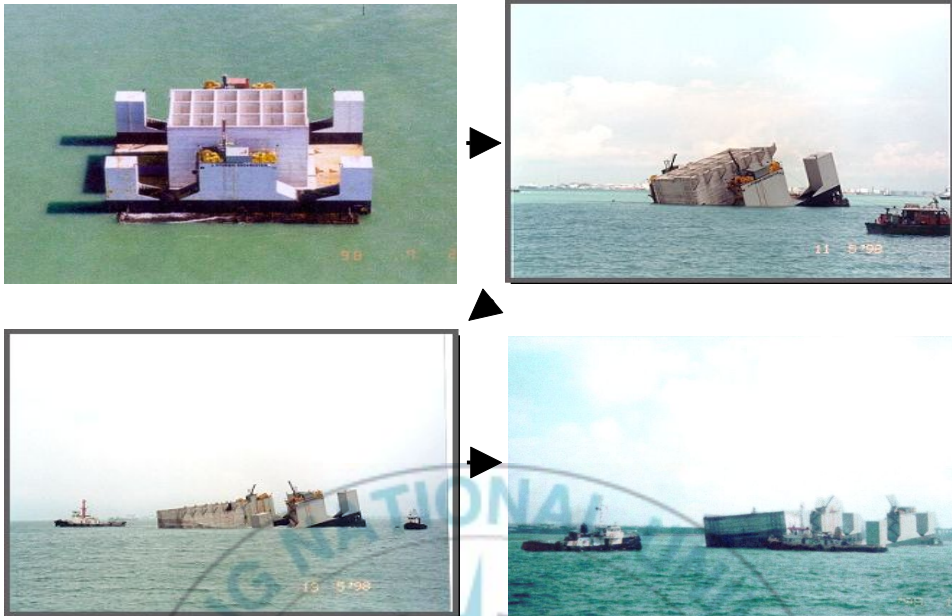


Fig. 2.4 Draft Controlled Launcher.



Fig. 2.5 Floating Caisson Launcher.

(7) Syncrolift에 의한 진수

Syncrolift 에서의 제작은 선거 후방에 Rail을 중, 횡방향으로 설치한 후 Rail 위의 대차에서 Cassion을 제작한다. 제작된 Cassion은 대차를 끌고, Syncrolift Steel Platform 까지 운반되면 Syncrolift Hoist로 Wire Rope를 서서히 풀면서 일정수심까지 내린다. 수중에 들어간 platform 위의 Cassion이 부력을 받아서 진수하는 형태로 국내 시공사례는 없다.

2.3 대형케이슨 제작 및 진수를 위한 설계요소

대형케이슨의 설계요소는 케이슨자체의 복원력, 자유수면의 변동, 해양파랑의 불규칙성, 적용가능한 설계파랑이론, 입사파력 그리고 진수해석의 안정기준 등 다양하고 종합적인 설계요소가 고려되고 적용되어야 한다. 각각 요소의 적용을 위한 기본 개념은 다음과 같다.

2.3.1 복원력

대형케이슨에 작용하는 복원력은 케이슨의 형상에 의한 정수압과 부력에 의한 복원력의 2차 모멘트를 해석해서 안정성을 유도한다.

먼저, 수심 z 에서의 정수압은 다음식과 같이 표현되며,

$$P = P_a + \rho g z$$

여기서 P_a 는 대기압, ρ 는 해수의 밀도($1,025 \text{ kg/m}^3$)이다. 해수의 밀도로부터 10.08m 깊이마다 1기압이 상승하는 것을 알 수 있다.

정수압에 의해서 임의 표면에 작용하는 힘은 다음 식과 같이 계산하며

$$T = \int \int P dx dy$$

또한 압력 중심의 좌표는 다음과 같이 계산한다.

$$\xi = \frac{\int \int P_x dx dy}{\int \int P dx dy}, \quad \eta = \frac{\int \int P_y dx dy}{\int \int P dx dy}$$

기본적으로 부력(정수압에 의해 부유체에 작용하는 힘)은 물체의 침수 용적과 같은 유체의 무게와 같고 침수용적에 해당하는 유체의 무게 중심에서 수직 상방향으로 작용한다.

초기안정성을 판단하는 기준으로는 $KB > KG$ 일 경우 안정평형이며 $KB = KG$ 이면 중립평형이며 $KB < KG$ 는 불안정평형으로 볼 수 있으며 여기서 KB 는 부유식 구조물 바닥에서 부력중심과의 거리이며 KG 는 부유식구조물 바닥에서 무게 중심까지의 거리이다.

복원모멘트는

$$RM = \rho g V (KB - KG) \sin \theta = W (KB - KG) \sin \theta \text{ 로 계산 한다.}$$

자유표면을 가질 경우에는

$$RM = \rho g V G M \sin \theta = E G Z$$

여기서 $GZ = G M \sin \theta$ 이며 복원정이라 한다.

GM 을 계산하기 위해서는 $GM = KB + BM - KG$ 로부터 얻을 수 있으며 여기서 $BM = I/V$ (I 는 수선면의 2차 모멘트)으로 구할 수 있다.

2.3.2 자유수면의 영향

케이슨 내부에 있는 격실(Compartment)을 완전히 비우거나 가득 채우면 케이슨이 기울어지더라도 무게 중심은 이동하지 않는다. 만일 격실 내에 일부분만 물로 차있고 자유수면이 발생한다면 파랑에 의해 케이슨 동요시 격실 내 물이 이동하게 되고, 이에 의해 DCL선 전체의 무게중심이 변화하여 GZ 값이 변하고 결국 복원성에 변화가 발생한다.

Fig. 2.6에서 격실 내에 자유표면이 있고 유동수가 중심 g 가 경사 ψ 에 따라 g' 로 옮겨졌다면 복원력 = $W \cdot G M \sin \phi - w \cdot \overline{gm} \sin \phi$, 여기서 $\overline{gm} = \frac{i}{v}$ 이며 i 는 자유표면 자체의 Roll축에 대한 2차모멘트, v 는 자유수 체적이다.

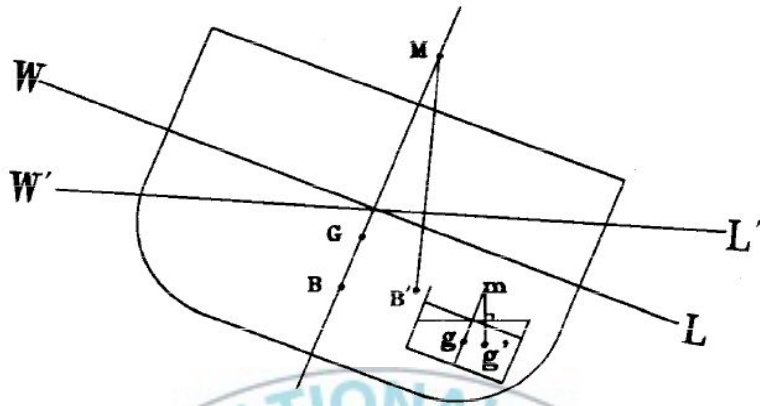


Fig. 2.6 Decrease GM for Flow Wave.

복원력 = $W(GM - \Delta GM) \sin \phi$ 로 쓰면 ΔGM 은 자유수에 의한 GM 감소량을 나타내게 되고 $\Delta GM = \frac{w}{W} \overline{gm} = \frac{\rho' g v}{\rho g V} \cdot \frac{i}{v} = \frac{\rho'}{\rho} \cdot \frac{i}{V}$ 가 된다.

즉 자유수에 의한 GM 감소량은 자유수의 밀도(ρ')와 자유표면의 2차모멘트(i) 및 원래 케이슨의 배수용적(V)에만 관계되고 자유수면 체적(v)와는 무관하다. 따라서

1) 케이슨의 복원력은 수선면의 2차모멘트에 비례하고 침수체적에 반비례 하는 것을 알 수 있다.

2) 케이슨의 경우 밸러스트를 통해 케이슨을 진수 하므로 이때 각 격실의 자유수면은 GM값을 감소하게 하므로 반드시 자유수면효과(Free Surface Effect)를 고려하여 GM값을 산정해야 한다.

2.3.3. 불규칙파 스펙트럼 (Wave Spectrum)

해상에는 파고, 파장이 다른 수많은 파랑이 발생하고 있으며 이런 불규칙한 해상상태를 정의하는 방식으로써 각 파도가 소유한 파랑 에

너지(Wave Energy)를 파랑 주파수(Wave Frequency)에 따른 분포곡선으로 나타낼 수 있다. 이를 에너지 스펙트럼(Energy Spectrum) 또는 파 스펙트럼(Wave Spectrum)이라고 한다.

일반적으로 주파수 영역 해석에서 적용되는 파 스펙트럼의 종류는 많으나 주로 적용되는 스펙트럼으로는 PM(Pierson-Moskowitz), ISSC, JONSWAP 스펙트럼 등이 있다.

본 연구에서는 국내에서 많이 쓰이며 PM Spectrum에서 발달된 형태의 ISSC 스펙트럼을 적용하였다.

1) PM(Pierson-Moskowitz) Spectrum

PM 스펙트럼은 여러 가지 형태의 수식표현이 가능한데, 스펙트럼 에너지가 최대일 때의 주파수를 F_m 이라 할 때, 스펙트럼 밀도(Spectral Density)는 풍속(Wind Speed)의 함수로 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$S_{\eta\eta}(f) = \frac{\alpha g^2}{(2\pi)^4 f^5} \exp\left[-0.74 \left(\frac{f}{f_0}\right)^{-4}\right]$$

여기서,

α 는 Phillip의 경험상수(Empirical Constant)로서 0.0081

g 는 중력가속도

f_0 는 기준 주파수로서 $g/(2\pi U_{19.5})$

$U_{19.5}$ 는 해표면(Sea Surface)으로부터 19.5m 높이에서의 풍속

또한 스펙트럼 밀도는 두개의 매개변수 즉, 유의파고(Significant Wave Height) H_s 와 평균 파주기(Average Wave Period) T_z 에 의해 다음식과 같이 전개할 수 있다.

$$S_{\eta\eta}(f) = \frac{H_s^2 T_z}{4\pi (T_z)^5} \exp\left[\frac{1}{\pi} (f T_z)^{-4}\right]$$

여기서,

$$f_0 = 1.14(1/\text{sec})$$

$$f_z = 1.0/T_z = 1.4(1/\text{sec})$$

$$S(f) = 2\pi S(\omega)$$

또한 $\bar{H}$, H_s , $H_{1/10}$ 에 의해서 아래식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\bar{H} / H_s = 0.65 \text{ (기록된 파 자료에 근거)}, 0.625 \text{ (이론에 근거)}$$

$$H_{1/10} / H_s = 1.29 \text{ (기록된 파 자료에 근거)}, 1.27 \text{ (이론에 근거)}$$

최대 파고는 풍속에 의한 아래의 관계식으로 표시할 수 있다.

$$H_{\max} = 9 \times 10^{-3} \times U_{10}^{2.5}$$

2) JONSWAP Spectrum

JONSWAP 스펙트럼은 다음과 같은 두 개의 매개변수인 Fetch의 F와 풍속 U_{10} 에 의해 다음과 같이 정의된다.

무차원 Fetch $\bar{F}$

$$\bar{F} = \frac{gF}{U_{10}^2} \text{ 이고, 무차원 주파수 } \bar{f}_m = 2.84 \bar{F}^{-0.3} \text{ 이다.}$$

따라서 JONSWAP 방정식은 아래와 같이 표현될 수 있다.

$$S_{\eta\eta}(f) = \frac{\alpha g^2}{(2\pi)^4 f^5} \exp\left[-\frac{5}{4} \left(\frac{f}{f_m}\right)^{-4}\right] \gamma^a$$

여기서, $f_m = g \bar{f}_m / U_{10}$

$$\alpha = \exp\left[\frac{-(f - f_m)^2}{2\sigma^2 f_m^2}\right]$$

$$f < f_m, \sigma = \sigma_a = 0.07$$

$$f > f_m, \sigma = \sigma_b = 0.09$$

$$\alpha = 0.0062(f_m / 2.84)^{2/3}$$

여기서 α 는 Phillips 상수가 아니며 기준 바람 높이(Wind Level)는 10m이다.

총 에너지의 무차원 상수 $\bar{E}$ 는, $\bar{E} = E g^2 U_{10}^{-4}$,
여기서,

$$E = \int_0^\infty S_{\eta\eta}(f) df$$

$$E = 1.6 \times 10^{-7} F$$

여기서 $\bar{E}$ 와 $\bar{F}$ 는 선형관계를 형성하고 있다.

JONSWAP 스펙트럼은 두 가지의 문제점을 가지고 있으며, 첫째로는 f 가 f_m 으로부터 멀어짐에 따라 PM 스펙트럼의 Peak Enhanced를 고려할 경우 수식 $E = m_0 = \int_0^\infty S_{\eta\eta}(f) df$ 는 분명히 성립하지 않는다. 이런 경우 $\gamma=1.92$ 일 때에만 H_s 와 E 사이에서 선형관계를 만족한다.

JONSWAP 스펙트럼이 가지는 최대값(Peak Value)은 PM 스펙트럼보다 크나 에너지 균형을 유지하기 위해 피크로부터 멀수록 폭은 좁아진다.

두 번째로 JONSWAP 스펙트럼은 해상 상태가 다른 경우는 매개 변수가 허용되지 못하므로 기술적용이 쉽지 않으며 이러한 이유로 1976년 Houmb와 Overvik에 의해 JONSWAP 스펙트럼의 매개 변수 보정(Parameterization)에 착수하였는데, 그 결과 아래와 같은 식이 개발되었다.

$$\alpha = 603.9(H_s f_m^2 / g)^{2.036} (-0.298 \log \gamma + 1.0)$$

3) ISSC(International Ship Structure Congress) Spectrum

ISSC에서 Pierson-Moskowitz가 표시한 완전발달파에 대한 파 스펙트럼을 아래와 같이 표시하였다.

$$S(f) = Pf^{-5} \exp(-Qf^{-4}) \text{ (m}^2 \cdot \text{sec)}$$

여기서, $Q = 63V_w^{-4}$, $P = 5.5 \times 10^{-4}$, V_w =풍속(knot), f =주파수 이다.

목시관측 파고 H_v 및 주기 T_v 는 $H_{1/3}$ 및 T_{01} 과 같다고 생각하여 다음 식으로 나타 낼 수 있다.

$$H_v \approx H_{1/3} \approx 4\sqrt{m_0}$$

$$T_v \approx T_{01} \approx m_0 / m_1$$

P , Q 를 H_v , T_v 로 나타내면 개정된 Pierson-Moskowitz형 파 스펙트럼이 아래와 같이 얻을 수 있다.

$$S(f) = 0.11 H_v^2 T_v (T_v f)^{-5} \exp\{-0.44 (T_v f)^{-4}\}$$

2.3.4. 설계파 이론(Wave Theory)

선박을 포함한 부유식 해양구조물 설계에 적용되는 일반적인 파 이론으로는 Airy, Stokes, Stream Function, Cnoidal, Solitary 등이 있으며, 가동해역의 수심과 파장에 따른 가장 적합한 파이론을 선정하여야 한다(Fig. 2.7). 가동해역의 수심을 d , 설계파의 파장을 L 이라 하면, 일반적으로 $d/L > 0.5$ 인 심해(Deep Sea)에서는 Airy나 Stokes의 파이론을, $d/L < 0.04$ 인 천해(Shallow Sea)에서는 Cnoidal이나 Solitary의 파이론을 적용한다.



Fig. 2.7 Application of Wave Theory.

1) Airy 파

파고가 파장이나 수심에 비해 매우 작다는 가정 하에서 자유 표면 경계 조건을 선형화하여 해를 구한 것이며, Small Amplitude Wave 또는 선형파라고도 한다. Airy파에서는 물 입자가 폐쇄 경로로 운동을 하고 질량 수송이 생기지 않으며 계산 결과로 나온 입자 가속도가 고차 이론 결과와 큰 차이가 없기 때문에 주로 선체의 파력을 구하는데 많이 쓰인다.

2) Stokes 파

Stokes 파는 고차 이론을 적용하여 해를 구하기 때문에 비선형 경계 조건을 어느 정도 만족시키며, 파정이 더 뽕족해지고 파곡이 더 평평해지는 실제 파랑에 더욱 근접한 형태를 나타낼 수 있다.

3) Stream 파

Airy파나 Stokes파처럼 Velocity Potential Function을 풀지 않고 Stream Function을 풀어 해를 구하여 얻은 파 이론이다. Stream Line을 가로지르는 흐름이 없다는 가정 하에서 Stream Function이 정의되었으므로 자유표면 같은 Stream Line은 Stream Function이 상수가 된다. 이를 컴퓨터로 수치 해석하여 연속적으로 풀면 비선형 항을 잘 나타내고 다른 파 이론에 비해 넓은 범위에 걸친 실제 파를 더 효과적으로 나타내는 해를 얻을 수 있는 장점이 있다.

4) Conoidal 파

수심이 낮은 지역의 파들은 해저면의 효과를 고려해야 하기 때문에 Stokes파를 쓸 수가 없음. 이때는 Cnoidal 파가 적용되며 이 파는 수심의 양 극단에서 각각 Stokes파, Solitary파와 같아진다.

5) Solitary 파

매우 수심이 낮은 지역에서는 파정이 뽕족해지고 파꼭은 평평해져 파장과 주기가 무한대인 하나의 이동하는 파정으로 나타낼 수 있는데 쓰나미와 같은 대형파, 천해에서의 쇄파, 심해에서 Steepness가 매우 큰 파 등에 적용되어진다.

2.3.5. 파력 계산

선박, 부유식 해양구조물, 고정식 해양구조물의 부재에 파도가 입사할 경우 구조물에 작용하는 파력은 구조물의 부재치수와 입사파(Incident Wave)의 파장과의 비율에 따라 일반적으로 Froude Kriloffs Force, Diffraction Force 및 Radiation Force로 대별될 수 있다.

1) Froude Kriloffs Force

부유구조물의 수평부재 치수가 파장에 비해 매우 작은 관계로 입사파의 Kinematics of Flow가 교란되지 않는다고 가정하였을 경우의 구조물 침수표면적(Wetted Surface Area)에 작용하는 총 유체 압력(Fluid Pressure)을 말하며 Morisons Equation으로 계산되어진다.

2) Diffraction Force

부유구조물의 수평부재 치수가 파장에 비해 비교적 큰 관계로

Kinematics of Flow가 교란될 경우이며 반사파(Reflection Wave), 투과파(Outgoing Wave) 및 산란파(Scattered Wave)에 따른 힘으로서 Diffraction Theory로 계산된다.

3) Radiation Force

부유식 구조물을 정수(Still Water) 중에서 강제로 동요시킬 경우 발생하는 파(Wave)의 반작용으로 발생하는 파력을 말한다.

Diffraction Force와 Radiation Force는 특이점분포법(Singularity Distribution Method), 다중극전개법(Multi-pole Expansion Method), 직교함수 전개법 및 유한요소법으로 얻을 수 있다.

수평치수(D)와 파장(L)의 비 D/L값이 0.05(DNV규정에서는 0.2)보다 작을 때는 Morison's Formula에 따라 파력을 계산하고, 이보다 클 때는 3차원회절이론(3D Diffraction Theory)에 따라 파력을 계산한다.

본 연구에서 적용되는 DCL선은 길이 방향에 대한 단면 형상의 변화가 작기 때문에 2차원회절이론(2D Diffraction Theory(Strip Theory))를 적용할 수 있으나 정확한 해석을 위해서 본 연구에서는 3차원 회절이론(3D Diffraction Theory)을 사용한다.

2.3.6. 진수해석 안정성 기준

1) 케이슨의 정적안정성 기준

초기복원력은 다음 3가지 조건을 만족해야만 안전하다.

조건 1) $GMT \geq 0.05d$ & $GML \geq 0.05d$, 여기서 d =케이슨 홀수 (항만설계기준)

조건 2) $GMT \geq 0.0$ & $GML \geq 0.0$ (ABS Rule)

조건 3) $GMT \geq 0.5$ & $GML \geq 0.5$ (DNV Rule)

ABS Rule과 DNV Rule은 "해저석유개발을 위한 Offshore Platform 설계기술개발(제 6권 운송 및 설치) P 2-54"에서 발췌한 내용이다.

2) 진수해석 허용 안전기준

케이슨 진수해석에서 안정성을 검토하는 부분은 케이슨과 해저면과의 간섭, 케이슨과 DCL선의 간섭, 케이슨과 DCL선의 구조적 안정이다.

본 연구에서는 구조해석 부분이 포함되지 않으므로 케이슨과 해저면과의 간섭, 케이슨과 DCL선의 간섭에 대하여 허용안전기준을 적용하였다.

케이슨과 해저면과의 간섭을 검토하기 위한 케이슨의 주요운동은 다음과 같다.

가) 병진운동 : 케이슨의 Heave

나) 회전운동 : 케이슨의 Roll, 케이슨의 Pitch

이때 케이슨과 DCL선 간섭검토는 Springing Effect, Resonance, Motion Statistics등 추가 발생 가능한 현상을 고려하여 안전 계수 2를 고려하였다.

상기 조건들을 고려한 허용안전기준은 아래와 같으며 케이슨의 동요가 순간적으로 발생하므로 해저면과의 간섭을 검토하는 Heave방향 허용안전기준은 1 m로 산정되었다. 회전운동인 케이슨의 Roll, 케이슨의 Pitch의 경우, 케이슨 A형은 Roll 40.15°, Pitch 23.87°, 케이슨 B형은 Roll 31.16°, Pitch 17.60° 이내에서 진수되어야 케이슨이 전복되지 않고 부양될 수 있는 허용안전 기준이 된다.

Item	Authority	ABS	BY	DRY	IMO	NOA	YACS
Initial G_{H_1}		Positive	$G_{H_1} \geq 0.3 \text{ m}$	$G_{H_1} \geq 0.5 \text{ m}$	$G_{H_1} \geq 0.15 \text{ m}$	No comment	$G_{H_1} \geq 0.25 \text{ m}$ Area to $F_{max} \geq 0.03 \text{ m}^2$
Minimum range of positive statical stability		Second intercept of Righting and heeling arm curve	35° for the transic condition 20° for operating condition	No comment but towing guideline -40°	Same as ABS	40°	No comment
Area Ratio				Greater or equal to 1.40			
Comments			$(A+C)/(B+C)$ calculated as ratio of righting area to gust area excluding steady wind heel	Second intercept angle should exceed 30°		Down flooding angle should exceed 20°	

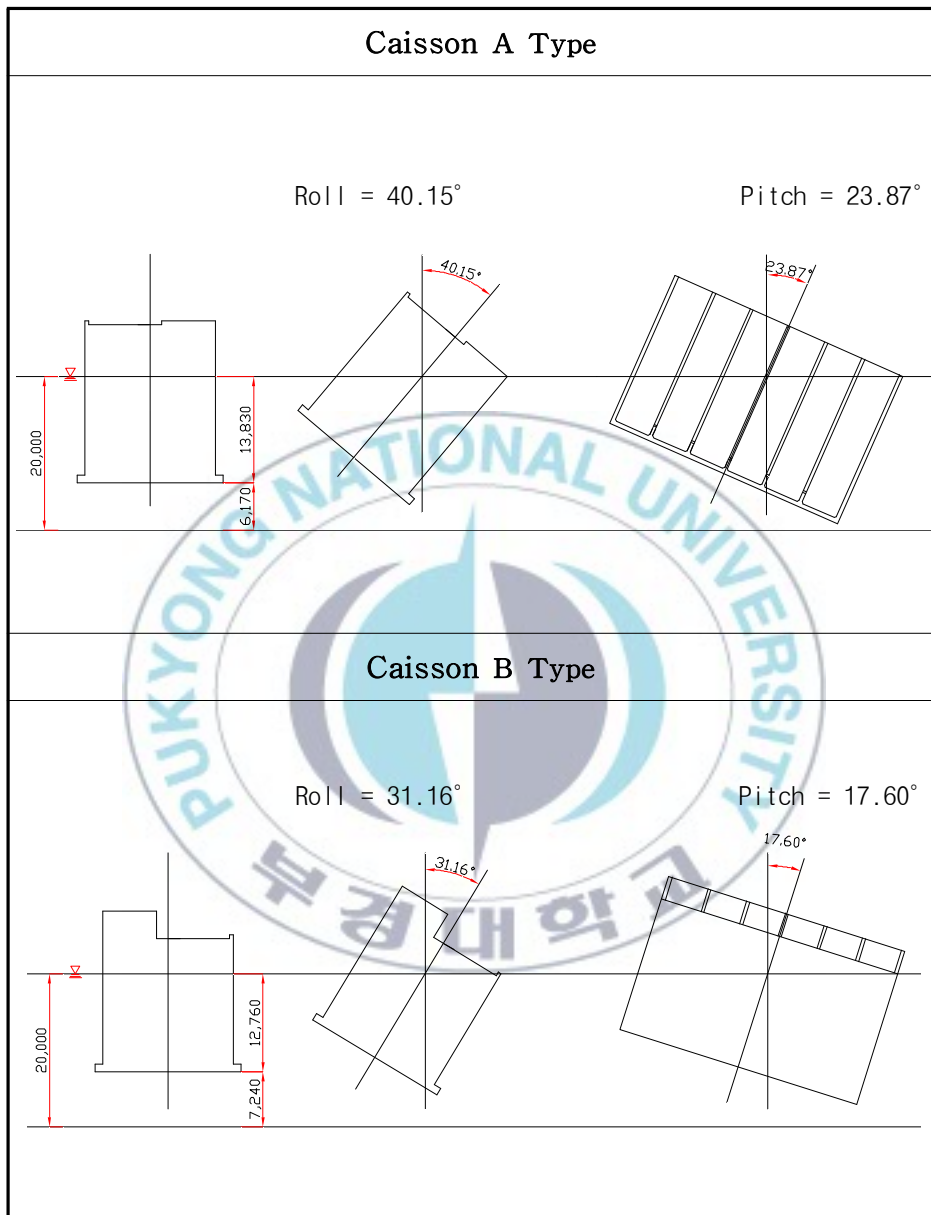


Fig. 2.8. Launch Safe Limet Of Caisson.

3. 대형케이스 진수 시 거동해석 시뮬레이션

3.1 시뮬레이션 해석의 개요

본 연구는 부선거(FD)를 이용한 DCL 방식에 의한 비대칭케이스 진수시 안정성 검토와 진수 후 케이스 부양시 안정성을 검토하여 문제 발생에 대비한 대안 및 개선사항을 제시하여 케이스 진수시 안정성을 확보하는 것이 주목적이다.

수치모형실험의 흐름도는 Fig. 3.1과 같다.

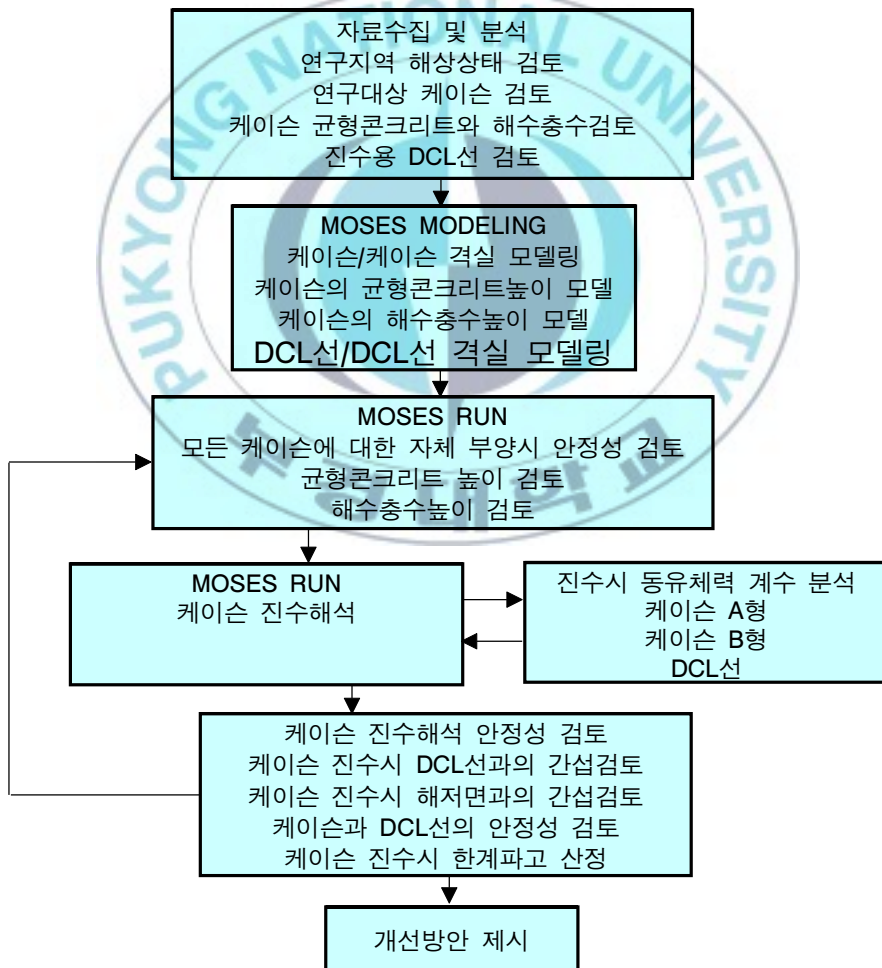


Fig. 3.1 Flow Chart of Numerical Simulation.

- MOSES 프로그램

본 수치해석에 사용된 MOSES는 미국 Ultramarine사에서 1978년에 개발하여 모든 형태의 해상 부유 구조물 해석과 설계에 전 세계적으로 사용되어온 OSCAR/OTIS 프로그램을 보다 발전적으로 보완하여 개발한 프로그램이다.

MOSES는 Multi-Operational Structural Engineering Simulator의 약자로 부유식 및 고정식 해상구조물의 설계와 해상 운송, 해상 작업 등 해양에서 일어나는 모든 현상에 대한 동적 해석을 수행할 수 있다.

MOSES가 수행하는 주요 작업은 다음과 같다.

- Jacket Launch from One or More Barges
- Time or Frequency Domain Simulation of A Structure on A System of Vessels
- Time or Frequency Domain Simulation of Moored Vessels
- Time or Frequency Domain Simulation of A Tension Leg Platform
- Docking Simulation of A Jacket and A Pile
- Upending of A Jacket
- Ballasting and Stability of A Vessel and Cargo
- Laying of Pipe from A Lay Vessel
- Lifting A Structure from A Barge
- Lowering A Structure into The Water
- Load-out of A Structure onto A Vessel
- Stress Analysis of Any of The Above
- In-place Analysis of A Jacket

케이슨 부유식 안정성 해석에서 수행되는 MOSES 기능은 다음과 같다.

- 케이슨을 유체력 계수값을 계산하기 위하여 케이슨의 외형모델
- 케이슨 내부 격실의 자유수면(Free Surface Effect)을 고려하기 위한 격실 모델

- 케이슨의 초기복원력(GM)을 산정하여 안정성 평가
- 케이슨 균형콘크리트와 해수 충수시 평형상태에 대한 Roll, Pitch 각도 계산

3.2 대형케이슨 부양 시 정적안전성

본 연구에서는 진수 후 케이슨 자체 부양시 안정성을 확보하기 위하여 케이슨 균형콘크리트와 해수충수높이를 산정을 "MOSES"를 이용하여 해석하였으며 산정순서는 다음과 같다.

- Step 1 : 비대칭인 콘크리트의 무게중심과 부력중심을 확인한다.
- Step 2 : 균형 콘크리트로 비대칭인 케이슨의 무게중심과 부력중심을 일치시킨다.

부력중심과 무게중심을 일치하기 위하여 아래와 같이 균형콘크리트를 산정하여 무게중심을 부력중심과 같게 하였다.

- Step 3 : 해수충수높이를 증가시켜 케이슨 안정성을 검토한다.

케이슨A형 부양시 안정성을 확보하기 위하여 해수충수높이를 2 m, 3 m, 4 m, 5 m로 증가하여 검토하였다.

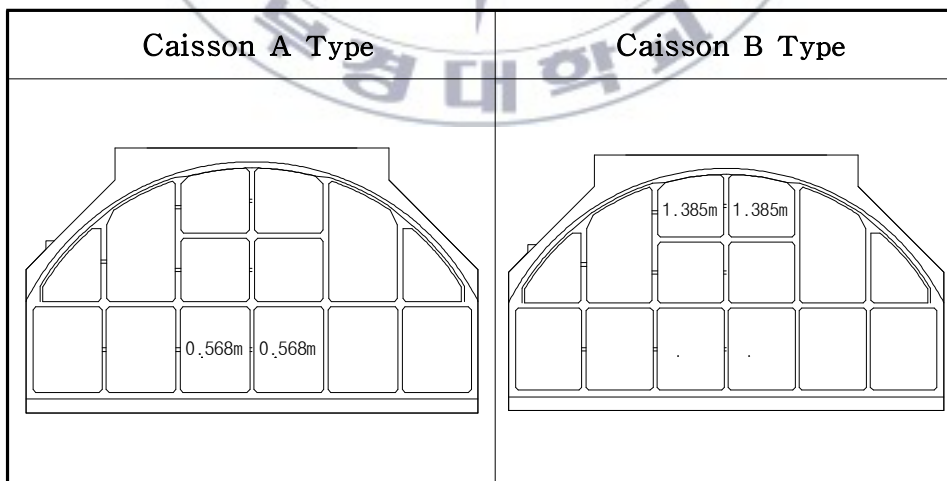


Fig. 3.2 Height of Ballast Concrete.

해수충수높이는 균형콘크리트 위에서나 케이슨저판상단에서의 높이를 나타내므로 균형콘크리트가 1 m 있다고 가정하면 해수충수높이 2 m는 실제 균형콘크리트 격실내부에는 3 m(균형콘크리트 1 m + 해수충수 2 m)까지 해수가 충수된 상태이다. 만약 균형콘크리트가 없는 격실이라면 케이슨저판상단에서의 해수충수 높이 2 m를 나타낸다.

허용 케이슨 흘수는 케이슨 최저높이에 예상파고(1 m)와 여유고(1 m)를 제외한 높이이며 케이슨A형은 모든 격실의 해수충수높이를 5 m로 산정할 경우에도 허용 케이슨 흘수를 초과하지 않으므로 케이슨 흘수에는 문제없는 것으로 판단된다. 케이슨A형은 초기복원력 GM이 항만설계기준을 만족하기 위해서는 모든 격실에 3.6 m 이상 해수충수를 해야만 하며 실제 작업시에는 수치해석 오차를 고려하여 해수충수 3.8 m 정도하면 문제없을 것으로 판단되나 해상상태가 양호한 상태에서 진수하는 것이 바람직하다. 케이슨B형 부양시 안정성을 확보하기 위하여 해수충수높이를 2 m, 3 m, 4 m, 5 m로 증가하여 검토하였다.

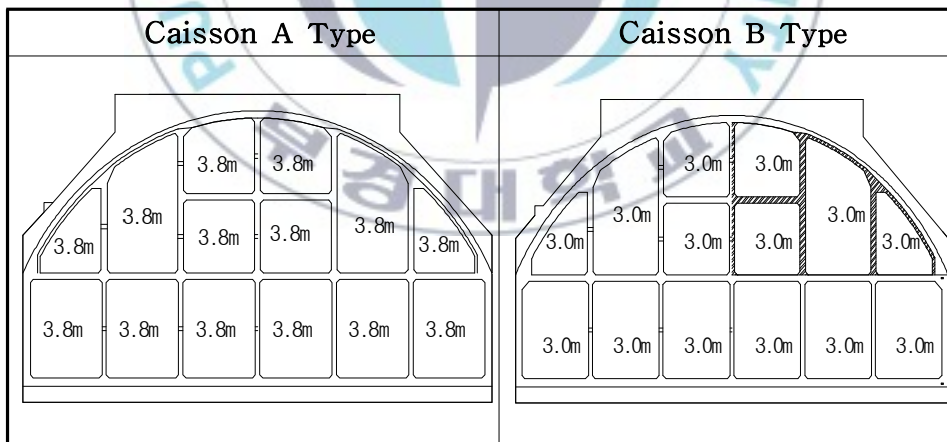


Fig. 3.3 Height of Ballast Water.

케이슨 B형의 경우, 허용 케이슨 흘수는 케이슨 최저높이에 예상파고(1 m)와 여유고(1 m)를 제외한 높이이며 모든 격실의 해수충수높이를 5 m로 산정할 경우에도 허용 케이슨 흘수(15.9 m)를 초과하지

않으므로 케이슨 흘수에는 문제없는 것으로 판단된다. 케이슨B형은 GM이 항만설계기준을 만족하기 위해서는 모든 격실에 2.7 m 이상 해수 충수를 해야만 하며 실제 작업시에는 수치해석 오차를 고려하여 해수충수 3.0 m 정도 해수충수하면 문제없을 것으로 판단된다.

3.3 대형케이슨 진수 시 동적안정성

본 연구는 육상 제작장에서 제작된 케이슨을 DCL선을 이용하여 운반한 후, 설치위치 부근 해상에서 진수(Launch)시키는 과정을 연구하기 위하여 케이슨 형태는 비대칭으로 무게가 가장 무거운 케이슨A형 및 케이슨B형에 대하여 수행한다.

케이슨 진수해석에서 고려하여야 할 사항은 아래와 같다.

- DCL선의 한 방향 경사에 의한 자연 Sliding을 통해 해상에 진수되도록 한다.
- 진수시 케이슨의 상부가 수심 아래로 잠수하지 않도록 한다.
- 진수시 전 과정에 걸쳐서, 케이슨 저판과 해저면 사이의 충분한 이격거리(Minimum Bottom Clearance)가 확보되어야 한다.
- 케이슨 진수시 DCL선과 케이슨 사이에 충분한 이격거리를 유지해야 한다.

본 연구에서 진수해석 방법은 해석을 수행하여 케이슨과 DCL선의 간섭과 진수시의 한계파고를 산정하였다.

- Step 1 : 진수시의 DCL선 최대흘수 선정
- Step 2 : 진수시의 DCL선 최대허용 Trim 각도 선정
- Step 3 : 동유체력계수, 파랑강제력, RAO 산정 (주파수영역)
- Step 4 : 항력계수와 부가질량계수 선정(시간영역)
- Step 5 : 진수해석 수행(시간영역)
- Step 6 : 한계파고 산정(주파수영역 + 시간영역)

상기 진수해석 방법과 같이 본 연구는 시간영역해석과 주파수영역 해석을 적절히 조합하여 진수시의 한계파고와 안정성을 검토하였다.

3.3.1. Model 및 해석조건

MOSES Model을 이용한 진수해석에 적용된 Caisson Type은 Fig. 3.4와 같다. 본 연구에서는 케이슨 진수시 케이슨저판과 Sliding Rail과의 불확실한 마찰계수에 대한 영향과 진수시 DCL선의 초기 Trim 각의 영향을 분석하기 위하여 마찰계수는 0.08, 0.12 및 0.15를 적용하고 DCL선 Trim을 5°, 10° 및 15°씩 변화를 주었으며, 진수수심은 (-)4.0를 기준으로 하였다.

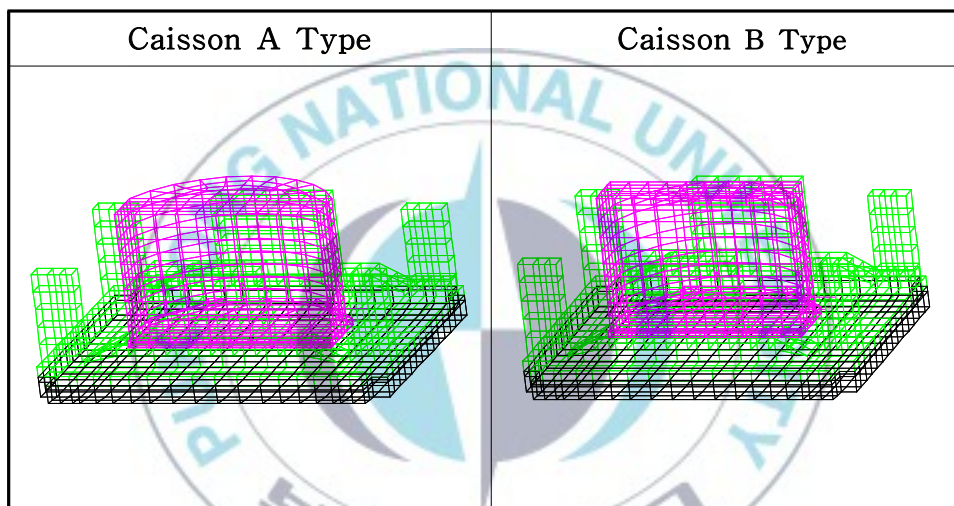


Fig. 3.4 Modeling for Launching.

3.3.2. DCL선의 흘수에 따른 안정성 검토

진수 후 케이슨의 안정성을 확보하기 위하여 케이슨 격실 내부에 균형콘크리트와 해수충수가 반드시 필요하다.

케이슨A형과 케이슨B형 진수시의 초기무게는 자체 부양시 충분한 초기복원력을 확보하기 위하여 6,000톤을 초과하므로 케이슨 적재상태의 DCL선의 안정성 검토가 반드시 필요하다.

DCL선위에 케이슨A형과 케이슨B형 적재시의 초기안정성 검토를 위한 DCL선 흘수에 따른 DCL선의 초기복원력 GM이 케이슨A형과 케이슨B형 적재시에도 DCL선의 GM이 거의 유사하여야 한다.

Fig. 3.5는 흘수에 따른 DCL선의 초기복원력 GM을 나타내며 남방파제 제간부 케이슨 적재시와 간이접안시설 케이슨 적재시의 DCL선의 GM이 거의 유사하게 나타났다.

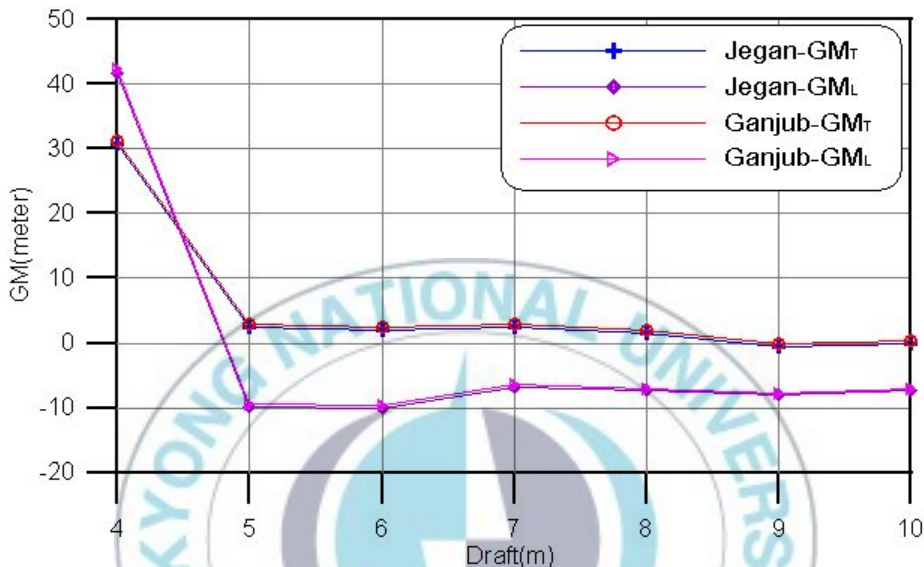


Fig. 3.5 GM of DCL.

DCL선 Pontoon위로 흘수(Draft)가 형성되면 길이방향의 초기복원력(GML)이 음수가 나오므로 DCL선이 불안정한 상태임을 알 수 있다.

일반적으로 DCL선이나 FD의 경우에는 흘수(Draft)가 Pontoon 높이보다 높은 곳에 형성되면 불안정해지므로 DCL선의 흘수를 4.75 m이 내에서 케이슨 진수를 수행하는 것이 바람직하다. 본 연구에서는 DCL선의 흘수(Draft) 4.0 m에서 진수해석을 수행하였다

3.3.3. DCL선의 Trim 각도에 따른 안정성 검토

본 연구에 적용되는 케이슨 진수 방법은 DCL선을 Pitch 방향으로 경사하여 케이슨을 자연 Sliding 시키는 방법이다. 그러나 만약 DCL선 위의 케이슨이 Sliding이 되지 않는 경우에는 DCL선을 평형상태로 되돌려야 할 것이다.

따라서 DCL선 Trim시에 케이슨이 경사 되지 않을 경우를 위해서 DCL선 경사시의 정적안정성을 판단하여 진수시의 문제 발생을 최소화시켜야 하며, DCL선의 격실을 모델하여 자유수면효과(Free Surface Effect)를 고려한 DCL선 Trim시의 정적안정성을 확보하여야 한다.

Table. 3.1와 Fig. 3.6은 DCL선 Trim시의 초기안정성을 판단하는 초기복원력 GM을 나타낸 것이다.

DCL선 Trim시의 초기안정성을 판단하는 초기복원력 GM을 검토한 결과 DCL선 흘수(Draft) 4.0 m에서 Trim 각도 5도, 10도, 15도에 대하여 DNV Rule과 항만설계기준을 만족한다.

Table 3.1 Initial Stability of DCL Ship on Trim

Load Case	케이슨	DCL선 Trim (°)	DCL선 Draft (m)	GMT (m)	GML (m)	평가기준		평가
						DNV	항설	
Case1	A-Type	5	4.0	5.69	8.28	0.5	0.2	OK
Case2		10	4.0	2.56	3.99	0.5	0.2	OK
Case3		15	4.0	1.71	3.19	0.5	0.2	OK
Case4	B-Type	5	4.0	6.10	8.5	0.5	0.2	OK
Case5		10	4.0	2.92	4.41	0.5	0.2	OK
Case6		15	4.0	2.04	3.48	0.5	0.2	OK

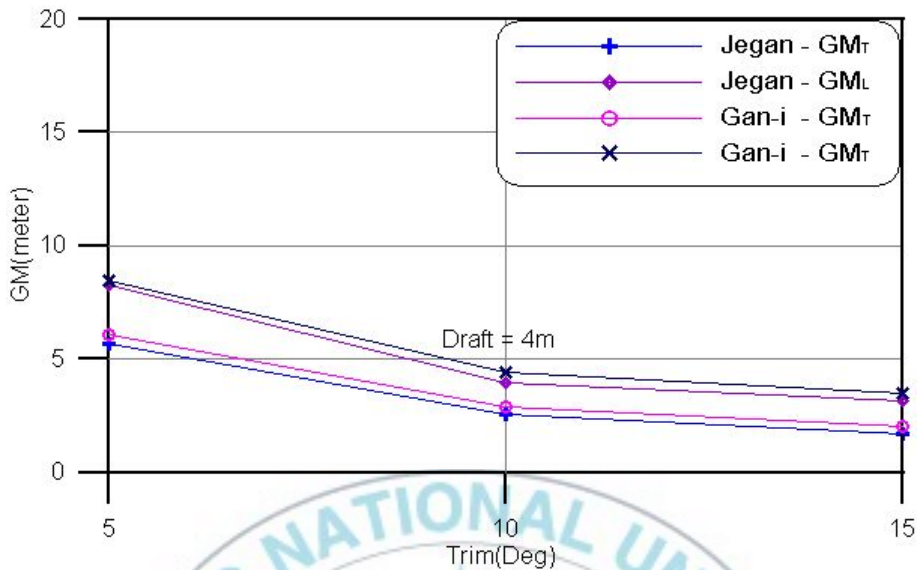


Fig. 3.6. Safety Starting for Trim.

따라서 케이슨 진수시 DCL선을 15도까지 경사하여도 정적안정성에 문제가 없으므로 케이슨이 Sliding되지 않는 경우에도 DCL선을 안정하게 평형상태로 되돌릴 수 있을 것으로 판단된다.

3.3.4. 동유체력계수와 파랑강제력

동유체력계수는 DCL선과 케이슨 거동에 큰 영향을 주며 동적인 환경외력인 파랑에 대한 구조물의 응답을 계산하기 위하여 반드시 필요하다.

동유체력계수는 부가관성계수(Added Mass Coefficient), 항력계수(Damping Coefficient)를 나타낸다.

파랑강제력(Wave Exciting Force)은 단위진폭의 파고를 가진 파랑이 구조물에 전달한 하중이며 입사파(Incident Wave)와 회절파(Diffraction Wave)를 포함한다.

동유체력계수는 주파수영역 해석(Frequency Domain Analysis)에서 자동적으로 계산되어지며 본 연구에서는 다음 Table 3.2와 같은 해석방법에 따라 동유체력 계수를 산정하였다.

Table 3.2 Application of the hydrodynamic coefficients

해석 방법	동유체력계수	적용	비고
주파수 영역해석 (Frequency Domain Analysis)	MOSES 자동 계산	동요량 검토	프로그램 자체적으로 파주기에 따라 동유체력계수를 결정하므로 문제없음.
시간 영역해석 (Time Domain Analysis)	동유체력계수 입력	진수해 석 검토	부가질량계수와 항력계수는 구조물의 속도에 따라 변하는 값이며 입력하는 값은 하나의 값만을 입력하므로 동유체력계수를 추정하는 것이 진수해석에서 가장 중요한 요소임.

1) 진수해석을 위한 부가관성계수

MOSES의 동적해석은 주파수영역해석(Frequency Domain Analysis)과 시간영역해석(Time Domain Analysis)으로 나뉘지며 시간영역해석은 주파수영역해석에서 구해진 동유체력계수(Hydro-Dynamic Coefficient)를 이용하는 해석방법과 독자적으로 시간영역해석을 수행하는 방법이 있으며 진수해석은 후자에 속하므로 주파수영역해석 과정을 거치지 않고 해석을 수행하게 된다.

시간영역해석에서는 동유체력계수가 자동적으로 계산이 되어지지 않으므로 진수해석에서는 적절한 값을 입력해주어야 한다.

또한 구조물의 운동속도 즉 Reynolds Number에 따라 값이 변하는 동유체력계수는 아직까지 Program의 개발이 이루어지지 않아 해양구조물해석에 가장 월등한 MOSES일 지라도 진수해석에서는 고려하기가 힘들다(구조물 속도에 따른 동유체력계수 입력 불가능).

만약 동유체력계수를 입력하지 않는다면 진수해석 계산에 Damping 항이 없어 구조물은 계속 거동하여 실제현상을 재현할 수 없으므로 본 연구에서는 다음과 같은 방법으로 진수해석에 적용할 동유체력계수를 산정하였다.

가) 진수해석 결과로부터 구조물의 속도를 유추한다.

나) 주파수영역 해석에서 구조물의 동유체력계수를 파주기에 따라 계산한다.

다) MOSES에서 계산된 동유체력 계수는 파주기에 따라 산출되므로 파주기에 따른 파랑의 파속을 계산한다.

라) 가)에서 유추한 구조물의 속도와 다)에서 계산한 파속을 비교하여 MOSES 주파수 영역해석에서 얻는 동유체력 계수 값을 결정한다.

단, 상기 동유체력계수 산정에서 보수적인 결과 값을 얻기 위하여 외력에 대응하는 힘인 부가질량계수와 항력계수가 작은 값으로 유추하는 것을 가정하여 산정한다.

가) 구조물의 속도 유추

구조물의 속도는 진수시 가장 중요한 시점인 DCL선과 Caisson이 분리되는 속도로부터 유추하는 것이 가장 적절하다고 판단하고 이때의 속도를 유추하였다.

대략적으로 이때의 구조물의 속도는 대략 1.5~3.0 m/s이다.

나) 파주기에 따른 파속 산정

MOSES에서 자동 계산되는 동유체력계수는 파주기에 따라 산출되므로 다음표와 같이 파주기에 따른 파속을 계산하였다.

수평방향과 수직방향의 파속도는 최대속도이며 수평방향과 수직방향의 파속이 같은 위치에서 발생하지는 않으나 같은 위치에서 발생된다고 가정하고 합을 구하였다. 따라서 케이슨 진수시 구조물의 속도는 대략 1.5 m/s~3.0 m/s이므로 대략 파주기 10초의 동유체력 계수를 산정하는 것이 타당하다고 판단된다.

다) 진수해석에 사용될 동유체력계수 산정

다음은 MOSES에서 계산된 케이슨A형, 케이슨B형 및 DCL선의 동유체력계수(부가질량계수와 점성계수)를 나타낸다.

균형콘크리트와 해수충수된 상태에서의 케이슨 자체 부양시의 동유체력 계수를 산출하였으며 DCL선은 진수흘수 4.0 m로 부양시의 동유체력 계수를 산정하였다.

3.3.5 전달함수(Response Amplitude Operator)

RAO는 단위 진폭과 입사시 구조물의 동요량을 나타내며 RAO로부터 구조물의 특징을 판단할 수 있다.

Table 3.3 ~ Table 3.5는 각각 Trim 각도 5도, 10도, 15도 일때의 RAO를 나타낸 것이다.

Table 3.3 RAO-Trim 5°

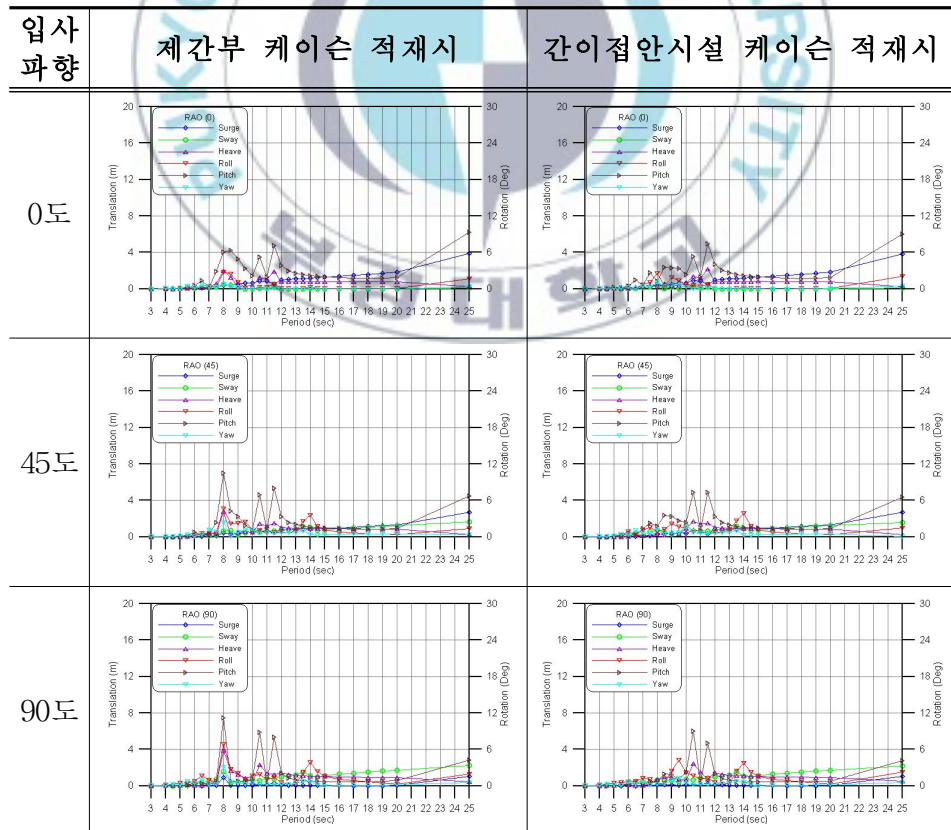


Table 3.4 RAO-Trim 10°

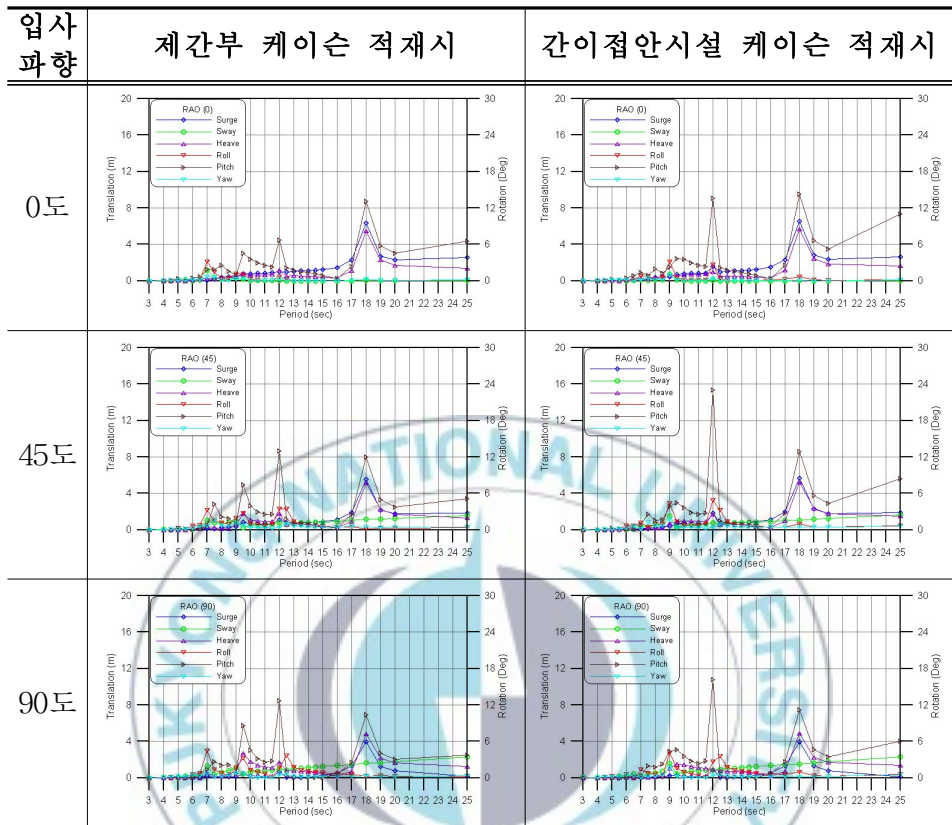
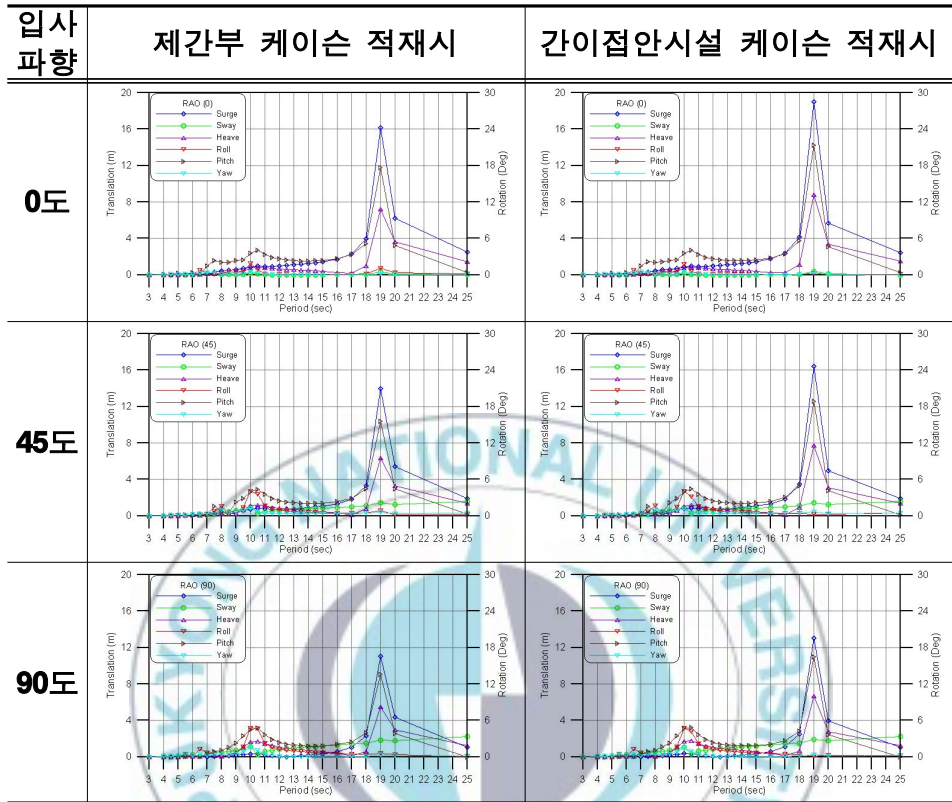


Table 3.4 RAO-Trim 15°



3.3.6 Bottom Clearance에 대한 검토

다음은 케이스 저판과 해저면의 간섭을 검토하였다. Table 3.6는 Bottom Clearance에 대한 결과를 정리하면 진수시 수심을 20 m를 적용하였기 때문에 음수 값은 수심 20 m인 해저면과의 간섭이 발생된 것이다. 또한 허용 Bottom Clearance는 해저면에서 1 m로 보았으며 이는 케이스의 Roll 또는 Pitch 거동시 순간적으로 발생한 Bottom Clearance이므로 최소 이격거리를 1 m로 보아도 타당할 것으로 판단 된다.

케이스A형의 Bottom Clearance은 Fig. 3.7~Fig. 3.8에서와 같이 DCL선의 초기경사각 Trim이 5도, 10도, 15도일 경우 각각 -4 m, -1.5 m, 2.3 m이다.

Table 3.6 Bottom Clearance

Load Case	마찰 계수	DCL선 Trim (°)	제간부 케이슨 진수시 (m)		간이접안시설 케이슨 진수시 (m)		허용 Bottom Clearance	비고
			DCL	Caisson	DCL	Caisson		
LC1/ LC4	0.08	5	7.90	-4.00	8.00	-3.20	1m	-
		10	6.30	-1.50	6.30	0.50		-
		15	1.50	2.30	1.50	3.30		-
LC2/ LC5	0.12	5	7.50	-3.70	7.60	-2.30		-
		10	5.80	-0.40	6.00	1.80		-
		15	1.50	2.50	1.50	3.40		-
LC3/ LC6	0.15	5	7.20	-3.20	7.30	-2.70		-
		10	5.20	-0.70	5.40	1.80		-
		15	2.50	2.60	1.50	3.50		-

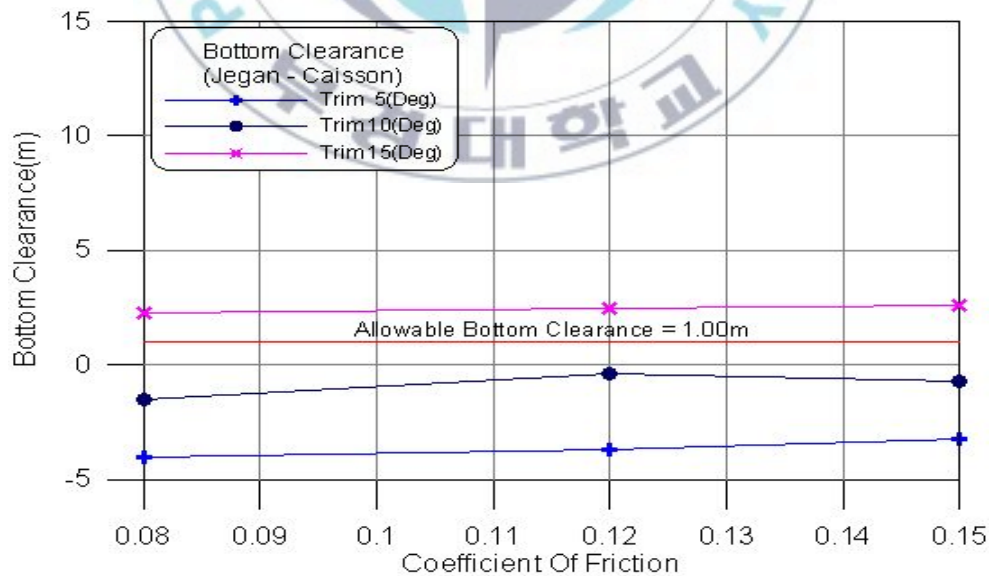


Fig. 3.7. Minimum Bottom Clearance for Launching Time Caisson A Type.

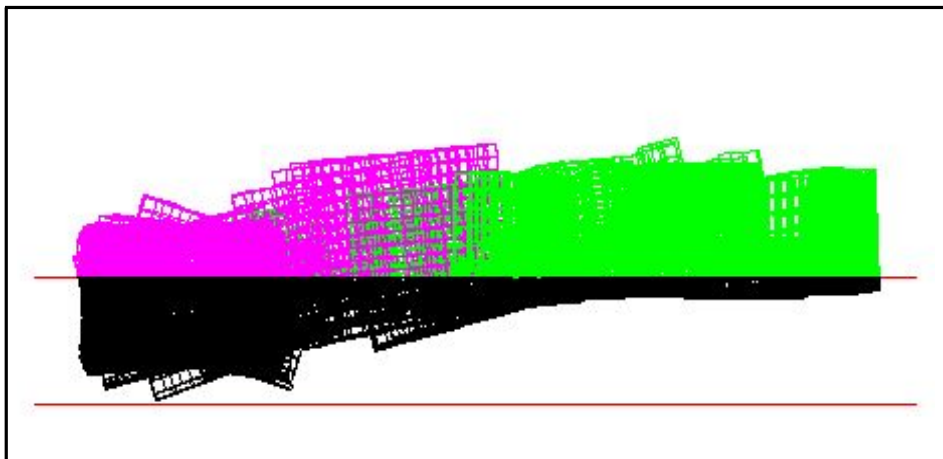


Fig. 3.8. Launching Track of Caisson A Type.

마찰계수는 기존 Concrete와 Steel의 마찰계수를 적용할 수 있으나 불확실한 값이므로 마찰계수의 영역을 0.08~0.15라 가정하고 불확실한 마찰력으로 인한 DCL선의 초기 경사각 Trim이 5도~15도 사이에서 케이슨이 진수되어진다고 가정하면 수심 25 m 이상에서 남방파제 케이슨 A형을 진수해야만 해저면의 간섭이 발생하지 않을 것으로 판단된다.

케이슨B형의 진수시의 Fig. 3.9~Fig. 3.10에 나타내었다. 진수시 DCL선의 Bottom Clearance는 1 m 이상이므로 진수시 초기경사각 5도~15도와 마찰계수 0.08~0.15일 경우에 수심 20 m에서 케이슨B형 진수시 해저면과 DCL선의 간섭이 발생하지 않을 것으로 판단된다.

케이슨B형의 Bottom Clearance은 DCL선의 초기경사각 Trim이 5도, 10도, 15도일 경우 각각 -3.2 m, 0.5 m, 3.3 m이다.

불확실한 마찰계수에 따른 케이슨의 갑작스런 Sliding을 고려할 때 DCL선 초기경사각 Trim 5에서의 케이슨 진수에도 문제가 발생하지 않아야 한다. 이때 Bottom Clearance는 -3.2 m이므로 수심 24.5 m 이상에서 케이슨B형을 진수한다면 불확실한 마찰계수와 DCL선의 불확실한 초기경사각으로 인한 문제가 발생하지 않고 케이슨B형이 진수될 것으로 판단된다.

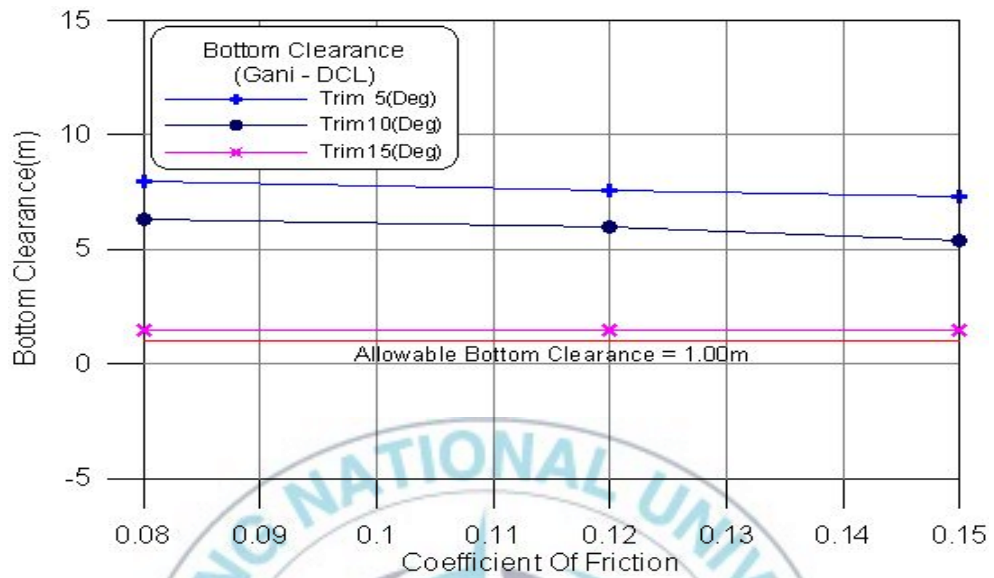


Fig. 3.9. Minimum Bottom Clearance for Launching Time Caisson B Type.

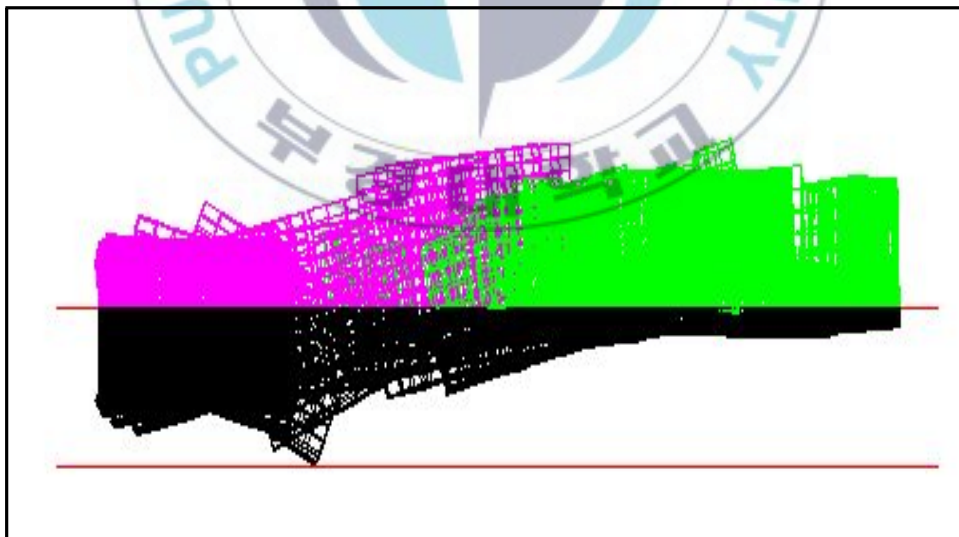


Fig. 3.10. Launching Track of Caisson B Type.

3.3.7. 진수시 케이슨과 DCL선 간섭 검토

진수시 케이슨과 DCL선과의 간섭을 검토하기 위하여 케이슨과 DCL선이 분리(Separating) 되는 시점까지 DCL선과 케이슨의 Track을 검토하였다.

본 연구에서는 케이슨 저판과 DCL선 Sliding Rail과의 마찰을 이상 상태로 고려하여 해석을 수행하였으므로 접촉면적은 마찰력에 고려되지 않고 편심된 무게중심과 마찰계수에 의해서만 마찰력이 발생하는 것으로 해석을 수행하였다.

또한 케이슨과 DCL선의 상대이동거리를 계산하여 케이슨과 DCL선의 여유거리를 확인하였으며 케이슨과 DCL선의 간섭은 DCL선위에서 케이슨이 이동할 경우에 발생하므로 DCL선 길이방향의 상대거리(케이슨과 DCL선의 거리)가 40 m인 시점에서 분리된다고 가정하였다.

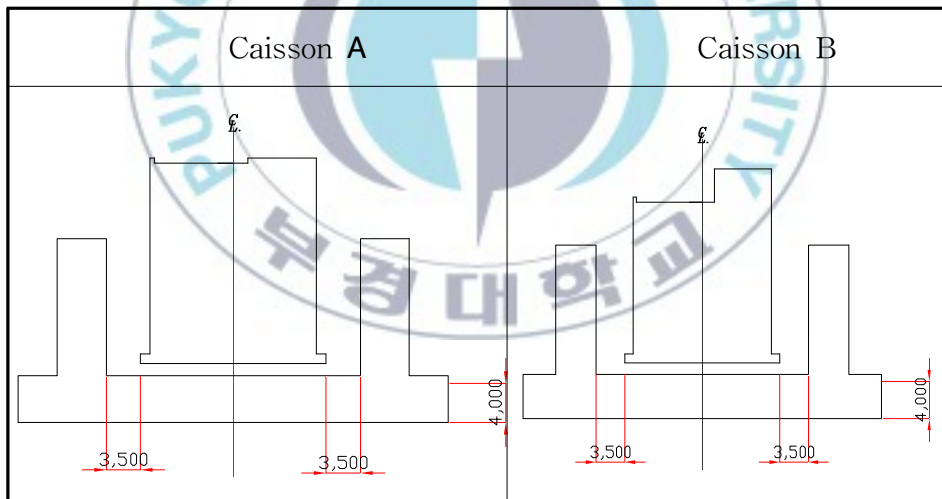


Fig. 3.11. A Permissible Range Interference Caisson with DCL.

케이슨과 DCL선의 간섭검토에 대한 결과를 정리하면 Table 3.7과 같으며, 마찰계수 값과 진수초기 Trim각도는 케이슨과 DCL선의 폭방향 이동거리에 큰 영향이 없는 것으로 나타났다. 또한 허용 폭방향 이동거리는 케이슨 외측벽과 DCL선 기둥과의 거리 3.5 m의 50%인 1.75

m로 결정하였다.

DCL선의 초기 Trim 각도와 마찰계수가 폭방향 이동거리에 미치는 영향은 크지 않는 것으로 판단되며 전체경향은 Trim 각도가 크고 마찰계수가 작을수록 즉 케이슨의 진수속도가 클수록 폭방향 이동거리가 커지는 경향을 보이고 있다.

케이슨 진수시 DCL선의 동요를 고려하기 위한 진수초기 Roll 경사 적용시 Roll 경사각이 커지면 케이슨과 DCL선의 충돌가능성이 높아지는 것을 알 수 있다.

진수시 초기 Roll 각도에 따른 케이슨 A형과 DCL선과의 폭방향 최대거리이며 허용이동거리는 1.75 m이므로 다음 Fig. 3.12로부터 DCL선 2.69도에서 케이슨과 DCL선과의 폭방향 이동거리가 허용이동거리와 같아지는 것을 알 수 있다.

즉 진수시 환경외력으로 인해 DCL선이 Roll 방향으로 2.69도 회전하면 DCL선과 케이슨의 충돌가능성이 있다는 것이다. 따라서 DCL선 Roll 각도 2.69도 이내에서 케이슨 A형을 진수해야만 한다.

Fig. 3.13으로 부터 케이슨 B형은 DCL선 2.20도에서 케이슨과 DCL선과의 폭방향 거리가 허용이동거리와 같아지는 것을 알 수 있다.

따라서 진수시 환경외력으로 인해 DCL선이 Roll 방향으로 2.20도 회전하면 DCL선과 케이슨의 충돌가능성이 있으므로 DCL선 Roll 각도 2.20도 이내에서 케이슨B형을 진수해야만 한다.

허용 폭방향 이동거리 1.75 m를 케이슨 A형과 케이슨B형 진수시 모두 초과하지는 않으나 편심에 의한 영향만으로 0.98 m~1.20 m을 폭 방향으로 이동하고 있으며 이상마찰을 고려(마찰면적이 고려하지 않음)하여 진수해석을 수행하였으므로 예상하지 못한 현상을 고려하여 Guide Frame을 설치하여 DCL을 보호하는 것이 타당하다.

Table 3.7. Distance of Caisson Launching

Load Case	마찰 계수	DCL 선 Trim (°)	제간부 케이슨 진수시 폭방향 이동거리 (m)			간이접안시설 케이슨 진수시 폭방향 이동거리 (m)			허용 폭방향 이동거리 (m)
			DCL	Caisson	Total	DCL	Caisson	Total	
LC1/ LC4	0.08	5	-0.90	0.11	1.01	-0.89	0.11	1.00	3.5/2= 1.75
		10	-0.94	0.12	1.06	-0.92	0.14	1.06	
		15	-0.99	0.10	1.09	-1.04	0.16	1.20	
LC2/ LC5	0.12	5	-0.86	0.12	0.98	-0.95	0.13	1.08	
		10	-0.94	0.13	1.07	-0.90	0.15	1.05	
		15	-1.00	0.09	1.09	-0.89	0.15	1.04	
LC3/ LC6	0.15	5	-0.84	0.14	0.98	-1.04	0.16	1.20	
		10	-0.95	0.13	1.08	-1.05	0.16	1.21	
		15	-0.99	0.08	1.07	-1.05	0.15	1.20	



Fig. 3.12. Maximum Movement Distance of Caisson A Type.

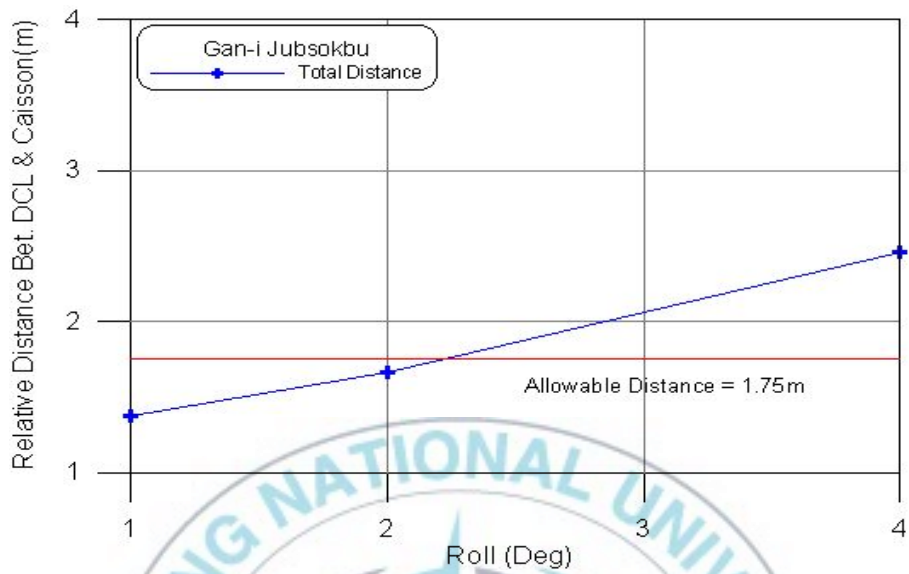


Fig. 3.13. Maximum Movement Distance of Caisson B Type.

3.3.8 한계파고 산정

1) 동요량 산정을 위한 Load Case

본 해석에서는 파고와 풍속 및 조류를 5가지 방향(0° , 45° , 90° , 135° , 180°)로 변화시켜 진수 각도에 따른 동요량을 산정하였으며 불규칙해상을 재현하기 위하여 ISSC Spectrum을 적용하였다.

파랑은 한계파고를 산정하기 위하여 0.5m, 1.0m, 2.0m에 대하여 동요량을 산정하였다. 이때 파랑의 주기는 해당해면의 평상시의 주기인 7.0sec를 모두 적용하였다.

풍속과 조류속의 변화는 일반적으로 부유식구조물의 고유주기와 근접하지 않으므로 정적으로 하중을 재하 하였다. 케이스 A형 적재시의 DCL선 동요량은 파고에 따른 DCL선의 병진운동 Surge, Sway, Heave을 나타내며 케이스 A형 적재시 DCL선의 동요는 Heave와 Sway 방향이 가장 크나 DCL선의 크기에 비해 상대적으로 작으므로 큰 거동은 아닌 것으로 판단된다. 이는 케이스 A형에 충수를 한 상태이므로 전체적으로 무게가 증가되어 입사파에 비해 거동이 작은 것으로 판단된다.

파고에 따른 DCL선의 회전운동 Roll, Pitch, Yaw를 나타내며 Pitch와 Roll이 유사하게 나타나고 있으며 Yaw 방향의 동요는 폭에 비해 길이가 긴 Barge 형식의 부유구조물의 거동과 같이 작게 계산되었다.

Pitch 방향의 동요는 케이스 진수시 방향과 일치하므로 케이스 저판과 해저면의 충돌을 발생시킬 수 있으며 Roll 방향의 동요는 케이스와 DCL선의 충돌이 발생할 수 있으므로 한계파고 산정시 Roll과 Pitch 방향의 동요를 적용해야만 한다.

케이스B형 적재시의 DCL선의 동요는 Heave 방향이 가장 크나 DCL선의 크기에 비해 상대적으로 작으므로 큰 거동은 아닌 것으로 판단된다. 이는 케이스B형에 충수를 한 상태이므로 전체적으로 무게가 증가되어 거동이 작은 것으로 판단된다.

그래프는 파고에 따른 DCL선의 회전운동 Roll, Pitch, Yaw를 나타내며 케이스B형 적재시의 DCL선의 동요는 Roll이 가장 큰 값을 보여

주고 있다.

Fig. 3.14 와 Fig. 3.15는 계산된 허용 Roll 경사각으로 부터 각각 케이슨 A형과 B형 진수시의 한계파고계산을 위한 파고에 따른 DCL선의 Roll 경사각을 나타낸 그래프이다.

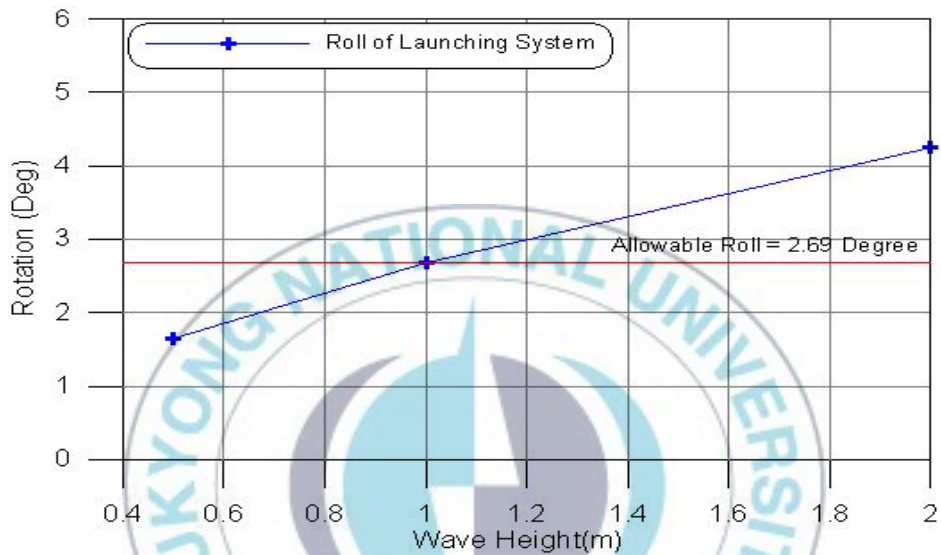


Fig. 3.14. Maximum a Limit Wave Height of Caisson A Type.

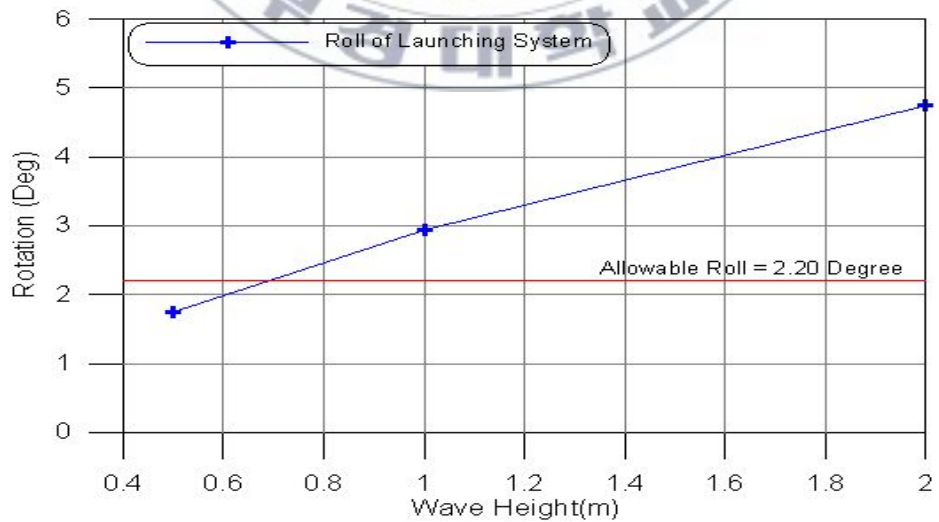


Fig. 3.15. Maximum a Limit Wave Height of Caisson B Type.

2) 진수시의 소요 수심

Roll 각도는 1도, 2도, 4도를 적용하고 케이슨 진수시의 일반적인 Trm(10도)와 마찰계수(0.15)를 적용하여 진수해석을 수행하였다.

케이슨 진수시에는 케이슨의 속도가 크므로 파랑에 의한 영향이 작으며 케이슨 진수 후에는 케이슨과 DCL선 모두 충분한 초기복원력을 확보하고 있기 때문에 문제가 없다고 가정하였다. 따라서 진수초기상태에서 환경하중이 가장 큰 영향을 준다고 판단하고 동요량을 고려한 진수해석을 초기 DCL선의 Trim에 Roll 방향으로 추가 경사각을 주어 해석하였다

DCL선의 동요를 고려한 진수해석에 대한 케이슨과 DCL선의 Bottom Clearance에 정리하면 다음 표와 같으며 진수시 수심을 20 m로 적용하였기 때문에 음수 값은 수심 20 m인 해저면과의 간섭이 발생된 것이다. 또한 허용 Bottom Clearance는 해저면에서 1 m로 보았으며 이는 케이슨의 Roll 또는 Pitch 거동시 순간적으로 발생한 Bottom Clearance이므로 최소 이격거리를 1 m로 보아도 타당할 것으로 판단된다.

Bottom Clearance의 경우는 만약 해저면과 간섭이 발생하면 수심이 깊은 곳에서 케이슨 진수를 수행하면 Bottom Clearance에 대한 간섭을 피할 수 있다.

Fig. 3.16과 Fog. 3.17은 동요량을 고려한 진수해석에서의 케이슨 A형과 케이슨B형의 최소 Bottom Clearance는 각각 -0.5 m와 1.70 m로 계산되었다.

그러나 파랑의 영향이 없을 경우의 Bottom Clearance 보다 작으므로 케이슨 A형과 케이슨B형의 Bottom Clearance는 각각 -4 m와 -3.2 m 이므로 여유 거리 1 m를 추가고려 하면 케이슨 A형은 최소 25 m 수심에서 케이슨B형은 최소 24.5 m 수심에서 진수하는 것이 타당하다.

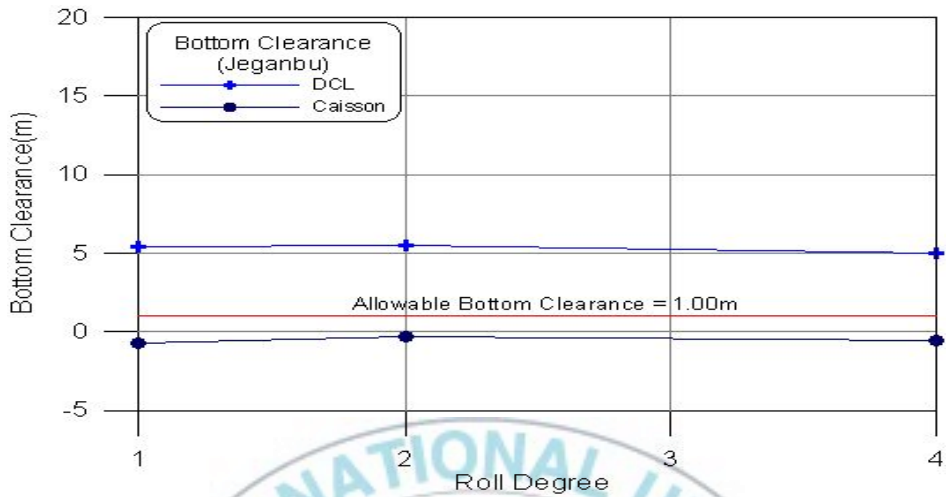


Fig. 3.16. Launching Bottom Clearance of Caisson A Type.

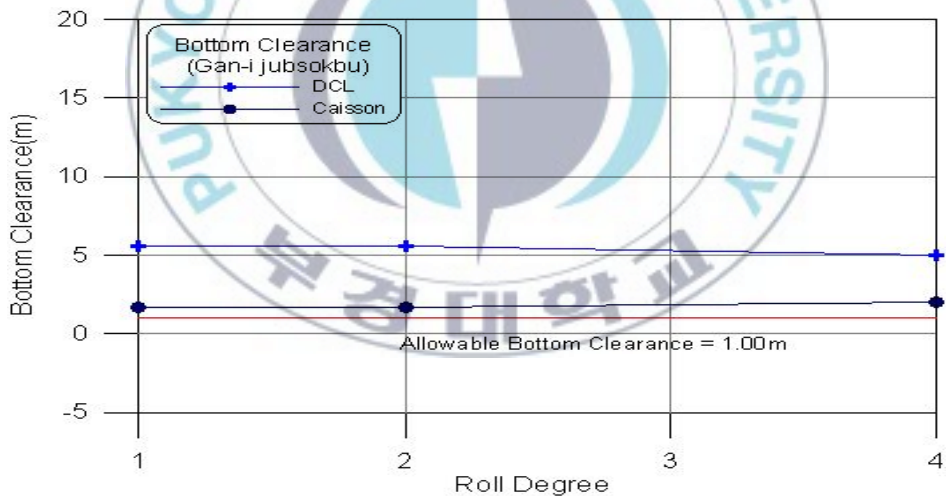


Fig. 3.17. Launching Bottom Clearance of Caisson B Type.

3.4.9 케이슨 내부 해수 침범방지 대책

진수 후 케이슨의 Roll과 Pitch 허용동요는 안전기준 이내 이어야 하며(Table 3.8), 진수한계과고 발생시 케이슨의 동요량을 계산한 결과 케이슨 A형 진수시에는 Pitch가 25.77도이며, 케이슨B형 진수시에는

Pitch가 26.70도로 나타났다.

각각의 허용 경사각인 23.87도와 17.6도를 초과하므로 차수막이판을 설치하여 진수시 격실 내부로 해수가 침범하지 못하도록 해야만 케이슨이 안정하게 진수될 것으로 판단된다.

Table 3.8 Pitch and Roll Launch Following of Caisson

DCL선 초기Roll 경사 (°)	Caisson A Type(°)		Caisson B Type(°)	
	Roll	Pitch	Roll	Pitch
1	2.21	26.15	2.14	26.70
2	2.84	25.61	2.79	26.73
4	4.23	25.77	4.24	26.19
허용 경사각(°)	40.15	23.87	31.16	17.60

3.4.10 한계파고 발생시 DCL선의 Pitch 동요

진수한계파고 발생시 DCL선의 Pitch 동요이며 이로부터 진수시의 DCL선의 파랑에 의한 Trim 변화 각도를 유추 할 수 있다.

Fig. 3.18은 진수한계파고 발생시 DCL선의 Pitch 동요각은 케이슨 A형 진수시에는 ± 2.26 도이며, 케이슨B형 진수시에는 ± 1.56 도로 나타났다.

따라서 진수시 Trim 각도가 환경하중에 의해 케이슨 A형 진수시는 2.26도 증감할 수 있으며 케이슨B형 진수시에는 1.56도 증감할 수 있으므로 이점 유의하여 케이슨을 진수해야할 것이다.

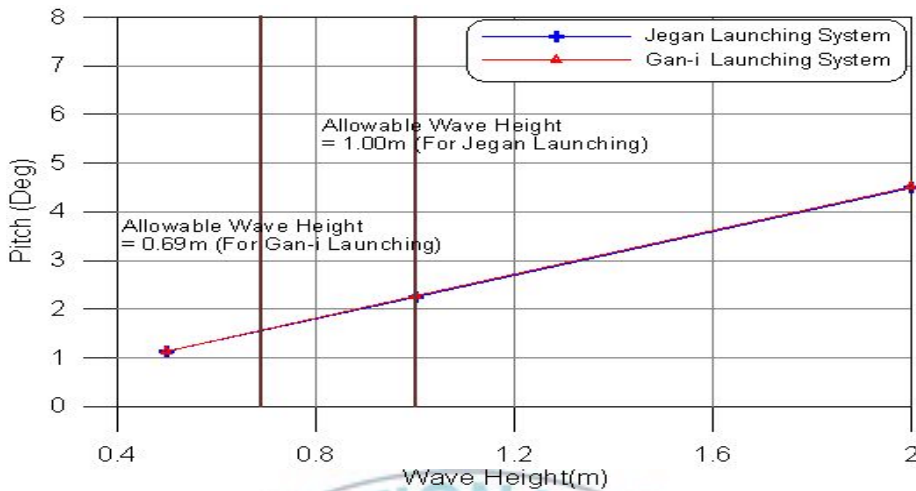


Fig. 3.18. Pitch Angle The Limit Wave Height of DCL.

3.5. 실험결과요약

본 연구에서 대형케이슨의 안전한 진수를 위하여 단계별로 검토한 결과 유의사항 및 개선사항은 다음과 같다.

- 케이슨의 진수 후 안정성 검토 결과 균형콘크리트 크기가 변동되었으므로 모든 케이슨에 대하여 Load-Out시의 문제점이 예상되는 케이슨은 구조 안전성을 확인할 필요가 있다.
- 시공오차와 수치해석오차가 발생할 수 있으므로 현장에서는 해수층수높이에 따른 복원력과 평형상태를 인지한 후 현장상태에 알맞게 작업하는 것이 바람직하다.
- 진수시의 한계파고는 케이슨 A형과 케이슨B형 각각 1.0m와 0.69m로 산정되었으므로 한계파고 이내에서 진수해야만 한다.
- 진수시의 적정수심은 케이슨 A형과 케이슨B형 모두 수심 25.0m 이상에서 진수 수행시 문제없을 것으로 판단된다.
- 진수 후 케이슨의 동요가 크므로 차수막이판을 설치하여 격실내부에 해수침범을 방지해야만 한다.
- 진수시 DCL선의 초기흘수는 4.5m 이내에서 진수해야한다.
- 진수한계파랑 입사로 인해 케이슨 A형 진수시와 간이접안 케이슨

진수시에 DCL선의 Trim이 각각 ± 2.26 도와 ± 1.56 도 증감할 수 있으므로 케이슨 진수시에 DCL선의 Trim을 8도~13도 내에서 진수해야한다.

- 입사 파랑이 DCL선의 선미에서 선수로 입사하는 경우가 DCL선의 동요가 가장 작으므로 DCL선을 입사파향과 평행하게 위치한 후 진수하는 것이 바람직하다.
- 수치해석오차와 예상하지 못한 현상으로 인해 케이슨과 DCL선이 충돌할 수 있으므로 Guide Frame을 DCL선의 Web Frame에 설치하는 것이 바람직하다.



4. 요약 및 결론

선박의 대형화 추세와 대규모 항만시설이 늘어남에 따라 대심도에 적합한 케이슨의 시공이 증가하고 있으며, 케이슨 제작부지의 확보가 어렵고, 크레인의 인양능력의 한계에 따라 앞으로도 FD선을 이용한 케이슨의 제작 및 진수방법은 널리 활용될 것으로 전망된다. 또한 구조물의 대형화로 자연조건에 제약을 많이 받는 해상공사의 특성상 공사의 효율성과 공기단축, 품질개선의 효과도 기대할 수 있다. 다만 대형 케이슨의 경우 취급이 용이하지 않으며, 특히 해상에서 대형구조물을 취급하기 위해서는 사전에 철저한 검토와 준비작업이 선행되어야 하며, 각 단계별로 세심한 주의와 확인과정이 결들여져야만 완성도 높은 구조물이 축조될 수 있다.

본 연구에서는 기존의 대형케이슨 제작 및 진수과정에 대한 자료를 수집 및 분석을 실시하고 MOSES Modeling을 통한 케이슨 격실 모델링, 케이슨 균형콘크리트 높이 모델, 해수층수높이 모델, FD선 격실모델을 실시하고 케이슨의 안전한 진수에 대한 연구를 하였다.

본 연구의 주요결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 대형케이슨 진수시에는 한계과고 이내, 적정수심 이상에서 실시하여야 하며, 격실내부에 해수침범 방지를 위한 차수막이판을 설치하여야 한다.

2) 산정된 초기흘수이내에서 진수하여야 하며 케이슨 진수기간내 한계과고로 인해 Trim이 증감될수 있으므로 진수장비의 Trim 안전성이 확보되어야 한다.

3) 한계과랑의 입사방향이 선미에서 선두로 입사하는 경우 부선거의 동요가 가장 작으므로 입사과랑과 평행하게 위치하여 진수하여야 한다.

4) 케이슨 진수시 환경외력으로 인해 FD선이 Roll 방향으로 회전하면 FD선과 케이슨의 충돌가능성이 있으므로 Guide Frame을 FD선의 Web Frame에 설치하여 케이슨 회전을 최소화하여야 한다.

최근의 케이슨 형태가 이형화(異形化), 대형화되고 있으며, FD의 대형화도 동시에 발전되고 있는 실정으로 케이슨의 안정적인 진수에도 기여하고 있는 동향이다.

그러나 경제적인 진수방안을 고려하고자 할 경우 본 연구에서 확인한 사항을 충분히 고려하여 케이슨 형태에 적합한 케이슨 제작 및 진수에 보다 많은 검토가 이루어져야 할 것으로 판단되며 케이슨의 거치 후에도 케이슨의 형태나 특성에 따라 속채움이나 침하과정에서 과도한 변위가 생길 우려가 있으며, 특히 외항 방파제 같은 파랑이나 태풍 등의 영향을 받기 쉬운 케이슨은 시공 중 시공 단계별 안정성에 대하여 설계시부터 충분한 검토와 고려가 필요하다.



참 고 문 헌

- 울산지방해양수산청, 2004. 울산신항 남방파제 및 기타공사 (제1공구)
축조공사 구조계산서 및 대안설계보고서
- 울산지방해양수산청, 2004. 울산신항 남방파제 및 기타공사(제2공구)축
조공사 구조계산서 및 대안설계보고서
- 주재욱·강석형, 2006, 실무자를 위한 항만 및 어항공학
- 국토해양부, 2005, 신기술 지정서 제444호

