

# 초대형 해상구조물의 붕괴거동 및 최종강도 특성

박주신† · 고재용\* · 이 경우\*\*

†오사카대학교 공학연구과, \*,\*\*목포해양대학교 해양시스템공학과

## Characteristics for Progressive Collapse Behavior and Ultimate Strength of Very Large Marine Structure

Joo-Shin Park† · Jae-Yong Ko\* · Kyoung-Woo Lee\*\*

†Graduate school of Engineering, Osaka University, Suita, 565-0834, Japan

\*,\*\*Ocean System Engineering, Mokpo National Maritime University, Mokpo city, 530-729, Korea

**요 약 :** 초대형 해양 구조물은 매립 방법을 대신한 새로운 해양공간의 이용방법으로서 주목받고 있다. 따라서, 이와 같은 요구에 부합하기 위해서 초대형 해양 구조물이 제안되고 있다. 초대형 해양 구조물은, 매립 공법과 달리, 수심이나 해저의 지질에 관계없이 설치할 수 있고, 또 부체의 아래에 흐름이 존재하기 때문에 자연환경에 영향이 전혀 발생하지 않는다. 또한, 용이하게 조립·해체를 할 수 있기 때문에, 확장이나 철거를 쉽게 할 수 있는 장점이 있다. 초대형 부유체 구조물 설계 기준안에 의하면, 구조 안전성에 관한 항목 중, 부유체 구조물의 사용환경 및 설치환경에서 발생할 수 있는 최악의 해상조건에 있어 적절한 구조강도 여유를 갖는 것을 규정하고 있다. 따라서, 예상 가능한 하중 시나리오에 의해서, 적절한 구조 해석 및 실험을 수행하고, 안전성을 확인하도록 요구하고 있다. 전자에 관해서는 구조부재 레벨의 강도 평가를 수행하고, 후자에 관해서는 구조물의 파괴를 수반한 거동을 확인한다. 지금까지 탄성 응답 해석을 기초로 주요 구조부재의 강도 한계치를 기준으로 한 다양한 검토, 평가가 행해져 왔다. 그렇지만, 부재의 붕괴를 초과한 부하가 작용할 때의 구조 전체로서의 붕괴 거동 및 안전성에 관한 검토는 적다. 따라서, 본 연구에서는 이상 환경 조건하에서 발생 가능한 하중조건에 대해서 대형 해상구조물의 비선형 붕괴 거동을 파악한 것을 목적으로 하고 있다.

**핵심어 :** 초대형 해양 구조물, 구조강도, 붕괴, 탄성응답, 부체, 구조해석

**Abstract :** The Very Large Marine Structure has been widely used new method of ocean space instead of method for reclamation. Therefore, VLFS is proposed to coincide on such request. It can be established regardless of nature of soil and height of water, and stream of flow exists under the floating structure, there is seldom effect in natural environment. Furthermore, it can do easily to do assembly and taking to pieces due to expansion or removal. Based on the regulation by class, VLFS have to possess more than enough structural strength against severe wave loading induced by green sea condition. Therefore, There are performed structural simulation as well as experimental test about expected loading scenario in order to examine the safety of structure. Up to now, various examinations based on the strength limit value of the main structural material have been done based on the elasticity response analysis. However, there is little finding about the collapse behavior and the safety when the load that exceeds the collapse of the material acts. In the present study, we investigated the collapse behavior based on the ultimate limit state calculated by FE-analysis.

**Key words :** Very large marine structure, Structural strength, Collapse, Elastic response, Floating structure, Structural analysis

## 1. 서 론

해상 및 해양공간은 오래 전부터 교통 및 물류 수송의 역할과 함께, 어업의 장소로서도 중요한 역할을 해왔다. 특히 국토가 좁고 임해지대에 공업이 집중된 우리나라의 특성상 해양공간의 활용이 절실히 요구되어지고 있다. 우리나라와 사정이 비슷한 이웃나라 일본의 경우는 해양공간을 아주 잘 활용하고 있다.

일본은 1995년 운수성 지원 하에 12개의 조선소와 5개의 철

강회사가 함께 메가플로트(mega float) 기술연구조합을 설립하고 수km급의 초대형 부유식 해상구조물을 이용한 해상공항, 해상복합도시 등의 실현을 위한 실증적 연구를 활발히 수행하고 있다(Suzuki, 2005). 6년간의 연구를 바탕으로 하여, 길이 1000m, 폭 60m, 깊이 3m의 상자형 대형 부유식 구조물을 제작하였다. 해상공항으로 활용할 가능성을 점검하기 위하여, 이 구조물 위에서 비치99, 도니어 228 등 경비행기의 이/착륙 실험을 250회나 수행하였다. 이 연구를 통하여, 대형 부유식 구조물에 관련한 기본 요소 기술은 대부분 개발되었다. 하지만, 보잉 747

† 교신저자 : 박주신(정회원), Joo\_Shin\_Park@naoe.eng.osaka-u.ac.jp

\* 정회원, kojy@mmu.ac.kr 061)240-7305

\*\* 정회원, kwlee@mmu.ac.kr, 061)240-7307

정도의 대형 여객기가 이/착륙하는 해상공항을 만들려면, 구조물의 길이가 4000m는 되어야만 한다. 이를 위해서는 국부적 충격하중에 의한 변형을 방지하는 기술, 구조물의 위치제어 기술 그리고 구조물의 손상을 모니터링 하여, 즉각 유지 및 보수 할 수 있는 기술 등이 해결되어야만 한다.

1920년 경 미국의 에드워드 암스트롱(Edward Armstrong)은 대양을 가로질러 비행하는 항공기들의 안전한 비행을 위해, 해상긴급 이착륙 설비 개념을 제안하였다(M. Myint Lwin, 1994). 그 당시에, 비행기들은 긴 거리를 지속적으로 비행할 수 없었고, 주기적인 연료의 보급이 필수적 이었다. 1943년, 미국 해군 공병단은 10,920개의 폰툰으로 구성된 해상에 떠 있는 비행장(1810피트×272피트)을 건설하였다. 이 구조물은 비행갑판과 격납고를 가지고 있는 구조 형태로 구성되어 있었으며, 이러한 구조물은 수면 경계 지형 구조가 대체적으로 평평하기 때문에, 항공기들의 이/착륙은 더욱더 안전하였다. 이후, 1990년 부터 21세기 마린토피아 건설을 위한 정책을 추진하고 있으며, 최근에는 초대형 부유식 구조물을 이용한 군사적 목적의 해상이동기지 개발에 박차를 가하고 있다.

최근, 초대형 해양 구조물(mega float)은 육상의 공간을 매립하는 방식을 대신한 새로운 해양공간의 이용방법으로서 주목받고 있다. 특히, 국토가 좁은 우리나라의 경우, 공항이나 공업용지 등 사회 자본의 공간을 육상에 건설하는 것은 사실상 어렵고, 용지 확보에 따른 엄청난 비용의 손실을 초래하였다. 또한 반도지역의 육상 매립을 통한 용지확보를 통해서, 여러 가지 환경적인 부작용이 나타나면서, 여러 가지 어려움에 부딪혀 왔었다. 이러한 문제점들에 대한 해결책으로 부상한 것이 초대형 해양 구조물이 제안되고 있다. 초대형 해양 구조물은, 매립 공법과는 다르게, 수심이나 해저의 지질에 관계없이 설치할 수 있고, 부유체 구조물의 아래에 유동이 존재하기 때문에 자연환경에 미치는 좋지 않은 영향은 존재하지 않는다. 또한, 용이하게 조립 및 해체를 할 수 있기 때문에, 확장이나 철거를 쉽게 할 수 있는 장점을 갖고 있다. 초대형 부체 구조물의 기술 기준안에 의하면, 구조 안전성에 관한 항목 가운데에서, 부유체가 사용되는 기간 중 만나게 되는 최악의 자연환경 조건(최대하중조건)에 있어, 해당 구조물이 적절한 구조 강도 여유를 갖고 있을 것을 권고하고 있다. 또한, 구조물의 안정성 평가에 있어서, 적절한 구조 해석 및 실험을 수행하도록 규정되어 있다. 지금까지의 설계에 의하면, 탄성 응답 해석을 기초로 하여, 주요 구조부재의 허용응력 한계치를 기준으로 한 다양한 검토 및 평가가 수행되어 왔다. 그렇지만, 부재의 붕괴를 초과한 외력이 작용할 때의 구조 전체로서의 붕괴 거동 및 안전성에 관한 검토에 관한 연구 결과는 아직도 미흡하다.

따라서, 본 연구에서는 구조물에 발생 가능한 최대 하중 조건 상태를 고려하고, 재료의 항복을 수반한 비선형 붕괴 거동을 파악한 것을 목적으로 하고 있다.

## 2. 기본 구조 개념

### 2.1 초대형 해양 구조물의 구조

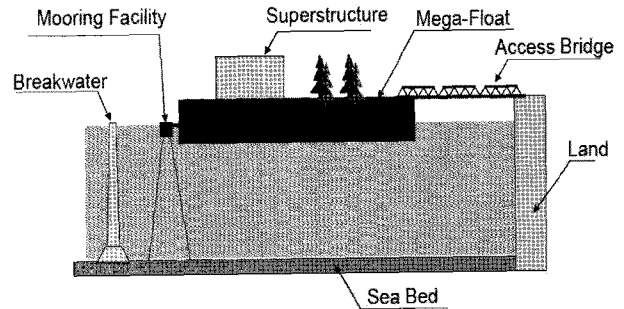


Fig. 1 Components of very large marine structure

Fig. 1에서는 초대형 해양구조물이 설치된 환경에 대해서 간략하게 나타내고 있다. 해상에 활용 가능한 부유체 구조물을 설치하고, 이러한 부유체 구조위에 각종 편의시설 및 사회기반 시설을 설치하게 된다. 또한, 설치환경에 따른 조파력 및 해양파에 대한 간섭효과를 상쇄시키기 위하여, 별도의 해양구조물을 설치하기도 한다.

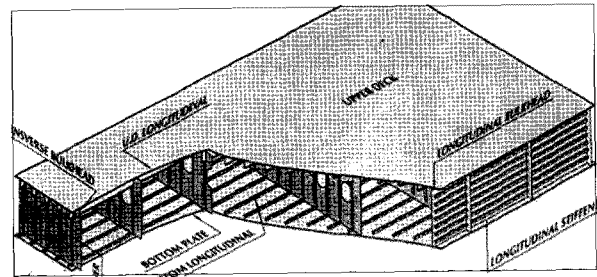


Fig. 2 Detailed structure of very large marine structure

이러한 초대형 해양구조물은 간단한 박스형 구조로 표현할 수 있으며, Fig. 2에서 나타내는바와 같다. 선저(bottom)와 갑판(deck)를 중심으로 내부 구조부재는 거더(girder)와 플로어(floor)가 격자 구조로 위치한 벌집형 구조형태를 나타내고 있다. 이러한 기본 구조위에, 고려하는 하중조건과 여러 가지 붕괴거동을 고려하여, 종방향 보강재와 횡방향 보강재가 위치하며, 강도상의 여유가 있는 부위에 대해서는 중량경감과 유지 보수를 위한 개구가 존재한다.

### 2.2 기본 구조 설계 및 조건

본 논문에서 고려하는 해석 대상 구조물은 초대형 해상 공항의 일부분을 나타내고 있다. 따라서, 구조물의 특징상 항공기의 착륙 시 발생하게 되는 큰 충격하중에 견디기 위하여, 갑판 구조는 상당히 큰 강성을 갖고 있으며, 선저 구조는 갑판구조에 비해서 약한 구조 강성을 갖고 있다. 이러한 부유체 구조물이 외부 파랑하중에 의해서, 굽힘모멘트가 발생하는 경우, 선저 구조에는 압축력을 받게 되고, 이러한 하중의 작용으로 인하여,

좌굴이 일어나기 쉽다고 예측할 수 있다. 선저구조에 압축이 작용하게 되면, 같은 횡방향 굽힘 및 종방향 굽힘 하중이 작용하게 된다. 이러한 조건에서의 구조물의 좌굴 강도 평가는 전체 구조 안전성 평가에 있어 무엇보다도 중요한 요소라고 할 수 있다.

이와 같은 초대형 해상 구조물은 통상의 선체와는 다음과 같은 점이 다르다. 선체는 연속적인 보(beam)구조로 이상화 할 수 있으며, 안전상 가장 중요하고도 기본적인 강도는 길이 방향의 굽힘하중에 대한 종굽힘 강도이다. 이러한 하중이 작용 시, 갑판, 선저 및 선측에 선박의 길이방향으로 보강재를 배치한 종보강 형식(longitudinal stiffened type)이 가장 효과적이다. 따라서, 종방향 압축에 대한 좌굴 붕괴강도를 파악하는 것이 가장 중요한 문제이다. 이에 반하여, 초대형 해상 구조물은 전체가 평평한 박스형 구조를 가진다. 이러한 이유로 인하여, 종/횡방향으로 동일한 크기의 굽힘이 작용하게 된다. 현재의 설계로는, 초대형 부유체 구조물은 선체와 마찬가지로 종방향 보강형식이 채택되고 있다. 이러한 경우, 종방향의 휨과 비교하여, 그것과 직각방향의 휨에 대해서는 상대적으로 구조강도가 낮기 때문에, 횡방향 굽힘 하중에 대한 파악이 중요해진다. 단면이 상당히 큰 초대형 해상 구조물은 종방향 단면이 종방향의 굽힘을 받는 경우라고 할지라도, 포아송(Poisson)효과에 의하여, 횡방향 굽힘이 발생하게된다. 일반적으로, 판의 압축 최종강도는 종방향 압축과 비교하여, 횡방향 압축 최종강도가 상대적으로 낮기 때문에, 포아송 효과에 의한 횡방향 하중이 큰 경우나, 횡방향 압축하중이 극도로 작은 경우(종횡비가 큰 경우)는 종방향 굽힘을 받는 경우라 할지라도, 횡방향 압축으로 인한 좌굴이 발생할 가능성이 높다. 이러한 현상은 과거에 화물선에서의 여러 가지 손상 사례가 발생하였다.

2.3 유한요소 모델링 및 해석방법

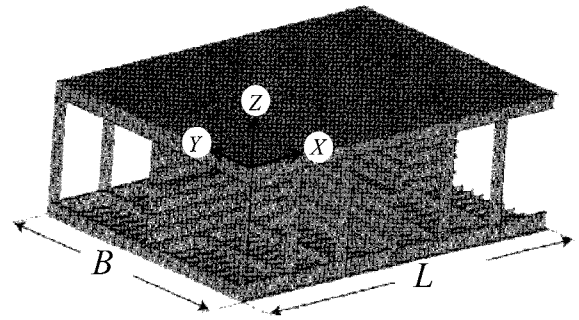


Fig. 3 Finite element analysis model

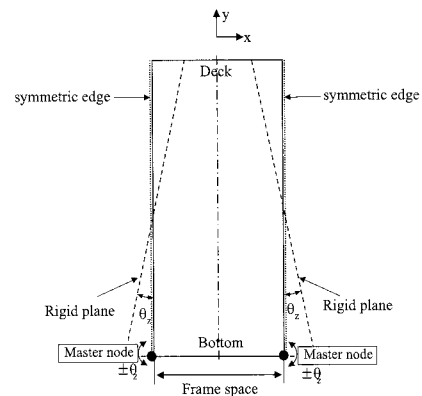
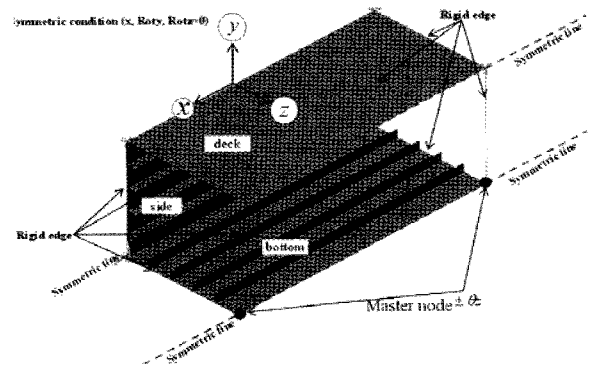


Fig. 4 Boundary condition

Table 1 Principal dimension of the target structure

Girder	19.8m
Floor	14.25m
Longi stiffener	0.75m
Trans stiffener	3.30m
Thickness of deck	32.5mm
Thickness of bottom	24.5mm

Table 1에서는 본 논문에서 고려한 구조물의 주요제원에 대해서 나타내고 있다. 또한 Table 2 에서는 해석에서 고려한 재료의 물성치에 대한 정보를 나타내고 있다. 연강 계열을 사용하였으며, 물성치는 균일 등방성 재료로 고려하였다.

Table 2 Mechanical properties of material used to build the structure

Mild steel (SM400A)	
Young's modulus(E)	205800 MPa
Poisson's ratio( $\nu$ )	0.3
Yield stress( $\sigma_y$ )	245 MPa

Fig. 3에서는 초대형 해상 공항 구조물의 일부분을 유한요소 모델로 나타내고 있다. 실제의 구조는 초대형 구조물로서, 이러한 구조전체를 해석하기에는 시간적인 제약이 크게 된다. 따라서, 본 연구에서는 초대형 해상 공항 구조물의 연속적인 구조의 형태를 다음과 같이 정의하였다. 연속적인 구조의 정의는 거터와 플로어가 만나는 지점을 중심으로 정하였다. 길이(L) 19.8m, 폭(B) 14.25m를 연속적인 구조물의 해석영역으로 결정하였다. 길이방향으로는 0.75m 간격의 종방향 보강재가 위치하고, 폭방향으로는 3.3m 간격으로 횡 프레임이 갖고 있는 박스형그릴리 구조이다. 해석대상 구조물은 모든 부재를 셸 요소(Shell 181)로 모델링하였으며, 유한 요소 해석에서 사용된 프로그램은 범용 구조해석 패키지인 ANSYS V10. Multiphysics module을 사용하였다. 구조물의 좌굴을 수반한 붕괴거동을 묘사하기 위

해서, 유한요소 메쉬는 다음과 같은 조건을 적용하였다.

- 판재와 판재 사이의 폭 : 8개
- 종보강재의 높이 방향 : 6개
- 플랜지의 폭 방향 : 3개
- 보강재 사이의 판재(횡프레임과 종거더) : 12개
- 기타 부재는 위 메쉬 기준을 적용하여, 비례적으로 적용하였다.

순수 굽힘(pure bending)을 재현하기 위하여, Fig. 4에서 나타낸 것과 같이, 경계조건을 이상화 하였다. 양쪽 강체면(rigid edge)을 설정하고, 이러한 강체면은 지정된 한 개의 마스터 노드(master node) 작용한 휨모멘트에 의해서 강체운동을 하게 되어 있다(Jeom Kee Paik, et al 2008). 강제 회전각의 작용 시 모델단면은 평면을 유지하도록 적용하였으며, Fig. 4에서 나타내는 단순모델에서의 적용 사례를 보여주고 있다.

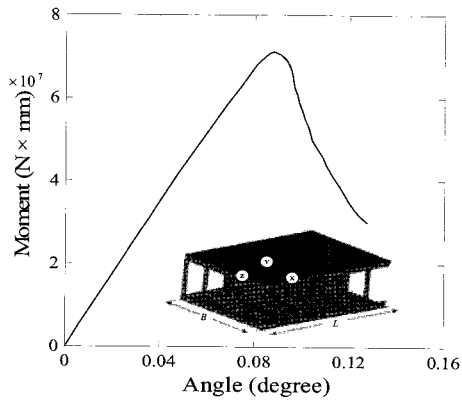
### 3. 구조해석 결과 및 검토

#### 3.1 횡방향 굽힘모멘트 적용

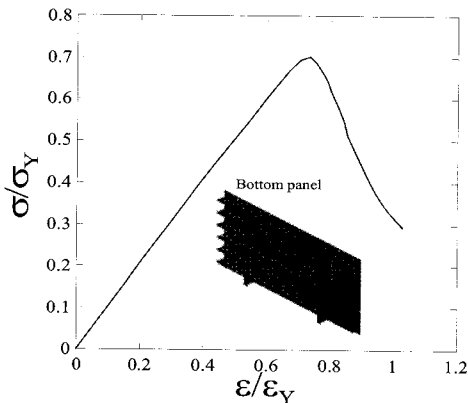
하중이 작용하는 단면과 직각 방향 단면은 고정지된 경계조건을 고려하여, 해석을 수행하였으며, 해석에서 사용된 하중은 다음과 같다.

종방향 휨 모멘트 (moment-longi.= $8.91 \times 10^6 (kNm)$ )

횡방향 휨 모멘트 (moment-longi.= $6.72 \times 10^5 (kNm)$ )



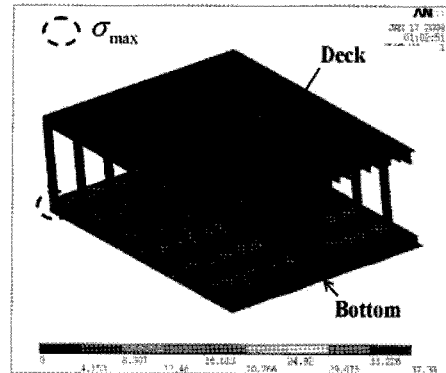
(a) Moment versus angle



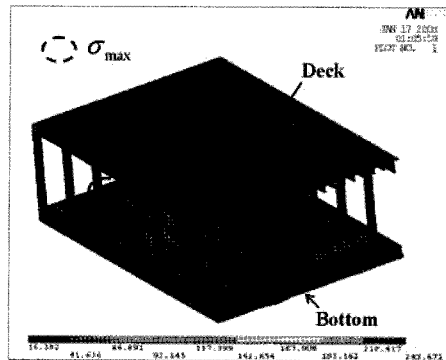
(b) Average stress versus average strain

Fig. 5 Results of progressive collapse behaviour

Fig.5-(a)의 그래프는 횡방향 굽힘모멘트와 회전각의 관계를, 5-(b)는 횡방향 압축하중을 받는 선저 판넬의 평균응력과 평균 변형률 결과를 나타내고 있다. 두가지 모델에서의 최종 강도 이후, 구조물의 면내 강성은 급격하게 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이러한 원인은, 박스형 판넬 구조에 횡방향 굽힘모멘트가 작용하는 경우 좌굴발생 전까지는 선형 응답을 보이다가, 좌굴을 동반한 항복의 진전으로 급격하게 붕괴하는 거동을 나타내기 때문이다.



(a) Ultimate strength



(b) After ultimate strength

Fig. 6 Von-Mises stress distribution and deformed shape

최종강도와 최종강도 이후에서의 변형 형상과 본 미세스 응력(von Mises stress)기준으로 평가한 결과를 Fig. 6에서 나타내고 있다. 최종강도 지점에서의 변형 결과를 Fig. 6-(a)에 도시하고 있으며, 최종강도 이후 본 미세스 응력 분포 결과를 Fig. 6-(b)에 각각 나타내고 있다. 횡방향 굽힘모멘트 작용 시 선저 판넬 구조의 외판과 횡방향 보강재의 교차 지점에서 국부 좌굴이 발생하고 있다. 하중이 점진적으로 증가하게 되면, 이 지점을 기준으로 하여, 응력과 처짐이 크게 성장하게 된다. 특히, 최종강도 이후, 선저 판넬 구조를 구성하고 있는 종방향 보강재에서 국부적인 트리핑(tripping)이 발생하고 있으며, 이 시점부터 붕괴거동은 크게 감소하는 특징을 나타내고 있다. 종방향 보강재에서 발생한 트리핑 좌굴에 의한 붕괴는 짧은 시간내에 구조물 전체의 붕괴를 일으킬 수 있는 메커니즘이며, 이를 방지하기 위해서는 보강재의 단면을 증가시키거나, 종방향 보강재와 만나는 횡 프레임 구조부재에 트리핑 방지 브래킷을 설

치하여야 한다고 판단된다.

또한 해석모델에 따른 영향을 확인하기 위해서, Fig. 7.에서 나타내는 모델은 종방향 보강재와 횡 프레임 사이의 단독 평판 모델을 선택하였다. 주요치수는 길이 3.15m에 폭 0.75m이고, 네 변 모두 단순지지 조건을 적용하였다. 판두께는 선저 판넬 구조에서 사용 중인 두께 0.024m를 동일하게 적용하였다. 용접이나 절단등과 같은 열가공에 의해서 파생되는 초기부정에 대해서는 고유치좌굴해석에서 구해진 좌굴모드에 초기치짐의 최대 진폭 ( $0.05 \times \beta^2 \times t$ )만 다음과 같이 정의하였다. 판부재는 종방향 보강재와 횡프레임 사이의 모델을 선택하였다. 여기에서,  $\beta$ 는 판넬의 세장비를 나타내고, 다음과  $\beta = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}}$  같이 표현된다 (Smith, 1977). 길이방향보다 짧은 변인 폭방향에 압축하중이 작용하게 되면, 길이방향 압축력을 받는 경우에 비해서, 압축최종강도는 상당히 낮게 평가된다. 또한, 일정 이상의 압축력이 작용하게 되면, 판의 중앙부위에서 소성 붕괴하는 거동이 발생한다.

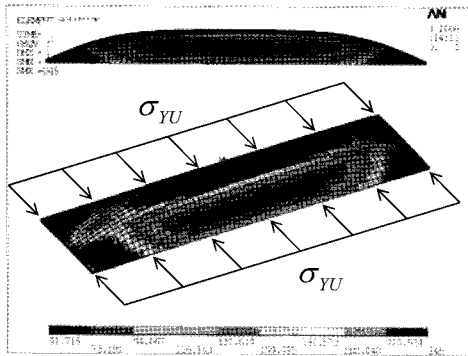


Fig. 7 Deformed shape and von Mises stress distribution on the ultimate strength of the isolated plate

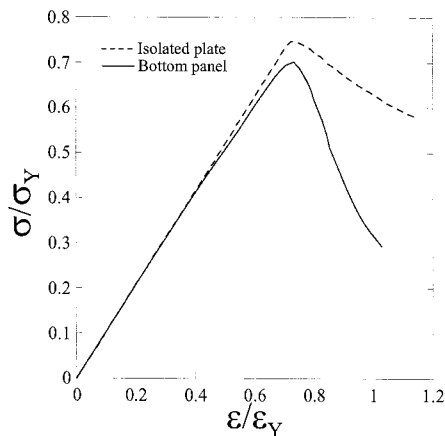


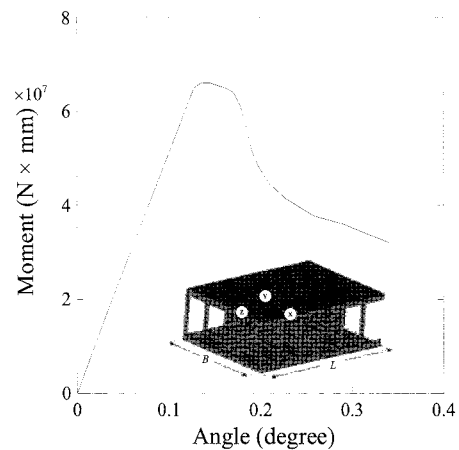
Fig. 8 Average stress versus average strain curves

Fig. 8의 결과는 단독 평판과 판넬구조에서의 압축하중 작용에 의한 평균 응력 및 평균 변형률 관계의 결과를 나타내고 있다. 단독 평판의 해석 결과를 점선으로 표시하고 있으며, 선저 판넬 모델의 해석 결과를 실선으로 비교하고 있다. 단독 평판을 고려한 경우에서, 최종강도를 높게 평가하고 있다. 이러한 원인

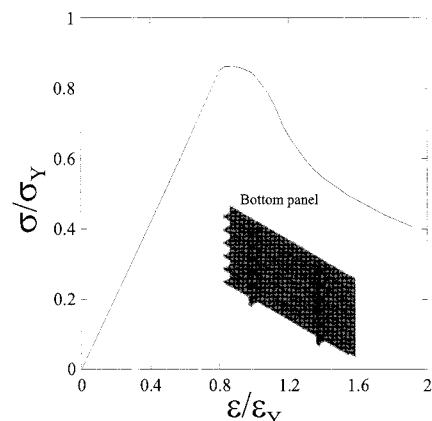
은, 진자의 경우, 폭방향 1반파의 좌굴 형상과 중앙부와 네 모서리가 항복하는 붕괴 패턴이지만, 후자의 경우, 하중증가에 따라서, 보강재에서 트리핑 붕괴거동이 발생하기 때문이다. 즉, 보강재에서 트리핑이 발생하면서, 주변 구조부재의 면내강성 감소를 유발하고 있다. 따라서, 이러한 원인으로 인하여 전체적인 구조물의 최종강도는 국부 모델에 비해서 낮게 평가되고 있다.

### 3.2 종방향 굽힘 적용

하중이 작용하는 단면과 직각 방향 단면이 구속된 경우에 대하여, 비선형 붕괴해석을 수행하였다. Fig. 9-(a)의 결과는 모멘트와 회전각 관계를, Fig. 9-(b)에서는 선저 판넬 모델의 평균 압축응력과 평균 변형률 관계를 나타내고 있다. 선저 판넬은 최종강도 이후, 횡방향 굽힘이 작용한 경우와 동일하게, 최종강도 후 강성이 감소하고 있다. 종방향 굽힘 모멘트의 증가에 따라서, 거의 선형을 유지하는 거동에서, 갑작스럽게 최종강도가 결정되고, 최종강도 이후의 거동의 형태가 크게 변화한다. 이러한 초대형 해상 구조물의 특성상 구조물의 합리적인구조 안정성 평가를 위해서는, 최종강도 이후의 붕괴거동 검토 또한 중요하게 파악해야할 부분이다.

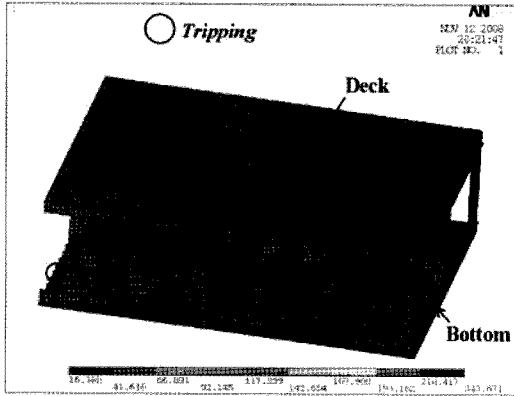


(a) Moment versus angle

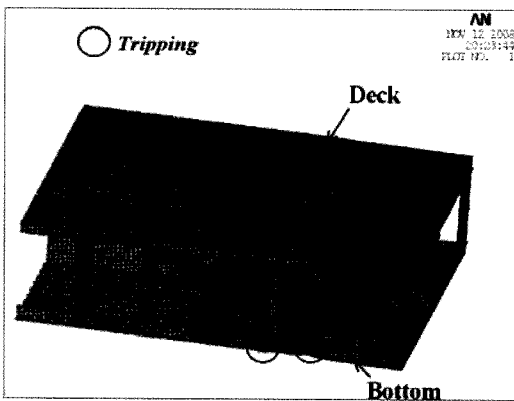


(b) Average stress versus average strain

Fig. 9 Results of progressive collapse behaviour



(a) Ultimate strength



(b) After ultimate strength

Fig. 10 Von-Mises stress distribution and deformed shape

앞서 언급한 것과 같이, 하중과 변형의 관계 응답에서 구해진 붕괴거동에 대한 명확한 현상 규명을 위하여, 각 단계에서의 붕괴패턴을 조사하여, Fig. 10에 각각 나타내고 있다. 최종강도 상태에서는 선저 판넬부와 종격벽에서 항복이 발생하였다. 또한 횡프레임 사이의 종보강재의 중심에서 항복이 발생하였으며, 그 부위에서 동시에 큰 처짐이 발생하였다. 그리고, 횡프레임 사이에 위치한 종보강재의 중심에서 항복 영역이 크게 나타나고 있다. 이러한 붕괴 특징을 좀 더 세밀하게 확인하기 위하여, 선저 판넬 모델의 결과를 Fig. 11에서 비교하고 있다.

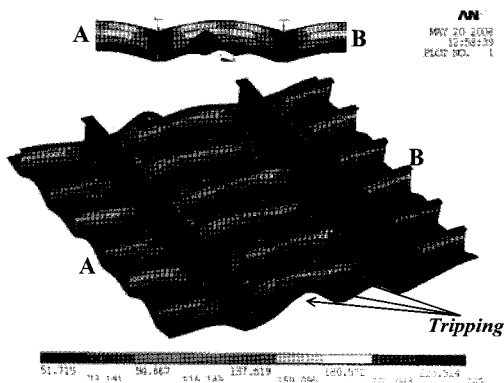


Fig. 11 Von-Mises stress distribution and deformed shape of the stiffened panel

비교결과 국부 판넬 모델의 경우에서도 횡프레임 사이의 보강재와 판에서 좌굴에 의한 항복과 함께 큰 처짐이 발생하고 있다. 즉, 종방향 굽힘이 작용하는 경우, 선저 판넬의 보강재에서 발생한 트리핑 붕괴거동으로 인하여, 최종강도가 결정되어지며, 하중의 점진적인 증가에 따른 면내강성의 감소로 인하여, 판과 보강재에서의 처짐과 응력은 크게 성장한다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 초대형 해상 공항 구조물의 구조강도 해석방법에 대해서 다루고 있다. 외부 환경에 의하여 발생하는 종방향 및 횡방향 굽힘 하중을 받는 조건을 상정하고, 유한요소법을 이용한 구조물의 비선형 붕괴거동을 검토하였다. 해석모델은 거대 구조물로서 연속적인 구조를 나타내는 일부분을 고려하였으며, 간단한 선저보강 판넬 모델과의 붕괴거동 결과를 비교하였다. 이와 같은 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 종방향 굽힘 하중조건에서는 선저 판넬의 좌굴과 동시에 보강재에서 발생한 트리핑으로 인하여, 압축최종강도가 결정되어진다. 이러한 붕괴 매커니즘으로 인하여, 최종강도 이후의 거동은 크게 감소하는 경향을 나타낸다.
2. 횡방향 굽힘 하중조건을 고려한 경우, 전체모델의 선저판 보강재에서 트리핑 붕괴가 나타난다. 판넬 모델에서는 보강재의 처짐과 판넬 중앙부의 항복화로 인한 붕괴거동을 나타내고 있다.
3. 박스형 구조인 초대형 해상 공항 구조물에 종방향 굽힘하중이 작용할 경우, 포아송 효과에 의하여 횡방향 굽힘성분이 발생한다. 그러나, 이러한 효과는 최종강도에 큰 영향을 주지 못함을 알 수 있었다.

#### 후 기

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과이며, 위 기관의 지원에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

[1] ANSYS Inc, (2000), "ANSYS theory manual-Nonlinear buckling problem," Chapter 3, Part-4, pp. 120-132.  
 [2] Hideyuki Suzuki, (2005), "Overview of Megafloat: Concept, design criteria, analysis and design," Marine Structures, 18, pp.111-132.  
 [3] J. K. Paik, Kim, B. J. and Seo, J. K. (2008), "Methods for ultimate limit state assessment of ships and ship-shaped offshore structures: Part III Hull girders," Ocean Engineering, Vol.35, pp.281-286.

- [4] Myint Lwin, M.(1994), "Floating Bridges in the United States," Proceedings of international workshop on floating structures in coastal zone, pp. 56-73.
- [5] Paik, J. K., Kim, B. J. and Seo, J. K. (2008), "Methods for ultimate limit state assessment of ships and ship-shaped offshore structures: Part I Unstiffened plates," Ocean Engineering, Vol.35, pp.261-270.
- [6] Paik, J. K., Kim, B. J. and Seo, J. K. (2008), "Methods for ultimate limit state assessment of ships and ship-shaped offshore structures: Part II Stiffened panels," Ocean Engineering, Vol.35, pp.271-280.
- [7] Paik, J. K., Anil Kumar Thayamballi and Lee, J. M. (2004), "Effect of initial deflection shape on the ultimate strength behavior of welded steel plates under biaxial compression," Journal of Ship Research, Vol.48, No.1, pp.45-60.
- [8] Paik, J. K., Anil Kumar Thayamballi(2003), "Ultimate limit state design of steel-plated structures," John Wiley & Sons, Chichester, UK.
- [9] Park, J. S., Ko, J. Y. and Lee, K. H. (2007), "Development of Designed Formulae for Predicting Ultimate Strength of the Perforated Stiffened Plate," Journal of Korean Navigation and Port Research, pp.1-8.
- [10] Smith, C. S. (1977), "Influence of local compressive failure on ultimate longitudinal strength of a ship's hull," In proceedings of International Symposium on Practical Design in Shipbuilding, Tokyo, Japan, pp. 73 - 79.
- [11] Watanabe, (1994), "Large Offshore Facilities in Japan-Present and Future," Proceedings of international workshop on floating structures in coastal zone, pp. 3-16.

---

원고접수일 : 2009년 1월 15일

심사완료일 : 2008년 6월 3일

원고채택일 : 2008년 6월 30일