

초대형 부유식 해상공항의 시설계 (일반배치와 깊이 결정)

신현경* · 임춘규* · 정재희*
*울산대학교 수송시스템공학부

Trial Design of a Very Large Floating Airport (General Arrangement and Decision of Depth)

H. SHIN*, C. G. LIM*, and J. H. Joung*

*School of Transportation Systems Engineering, University of Ulsan, Ulsan 680-749, Korea

KEY WORDS: Very large floating airport 초대형 부유식 해상공항, Source-dipole distribution method 소오스-다이폴 분포법, Finite element method 유한요소법, Allowable stress 허용응력, Radius of curvature 곡률반경, Deck wetness 갑판침수, Slamming 슬래밍

ABSTRACT: The length and the breadth of a very large floating airport are determined by airplane types and airport facilities. However, the depth affect not only the structural strength but also the functional requirement such as a possibility of taking off and landing. The optimization problem for determining the depth is to select a design so that the cost is minimized. In this paper, a general arrangement and a method to decide the depth are proposed. Strength, functional requirement, and possibility of occurrence of deck wetness and slamming are considered in order to determine the depth of structure. Hydrodynamic forces of the diffraction and radiatin problems are predicted by applying the source-dipole distribution method, and the structural responses are obtained by the finite element method.

1. 서 론

경제사회의 발전과 과학기술의 진보에 따라 해양이용은 연안으로부터 근해에 이르기까지 점점 증대해가고 있다. 특히 3면이 바다인 우리 나라의 경우 해양공간이용은 필연적으로 확대 되어갈 수밖에 없으며, 21세기 국토종합개발에 있어서 중요한 역할을 담당할 것이다.

최근 해양공간이용에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 특히 초대형 부유식 해상공항에 대한 필요성이 대두되고 있다. 지금까지의 해상공항은 주로 매패식으로 건설되고 있는데, 천문학적인 공사비와 해양오염과 같은 심각한 문제를 가지고 있어, 부유식 해상공항에 대한 필요성이 증대되면서, 이미 해양선진국에서는 많은 연구가 이루어진 상태이다.

이에 따라, 국내에서도 초대형 부유식 해상공항에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며(신현경 등 2000, 이와 신 2000, 신현경 등 2001, 이호영 등 2001, 이호영 등 2001), 부산지역의 김해공항의 공항수요가 절대적으로 부족한 현실에서 이 지역에 대한 해상공항에 대한 건설이 가시화되고 있다(부산광역시 등 2001).

본 논문에서는 해상공항의 시설계를 수행한다. 공항의 설계는 공항 기능의 유지를 위한 공항 시설의 일반배치와 공항의 깊이를 결정하는 문제로 나뉘어진다. 기본적인 공항설계는 먼저 해상공항에서 사용되어질 항공기를 포함하는 항공 운항에

대한 미연방항공청(FAA)과 국제민간항공기구(ICAO)의 기준을 사용한다(ICAO 1990, FAA 1989). 공항 설계기준은 FAA의 권고 회람에 포함되어 있다. 공항설계는 먼저 Airport Reference Code(ARC)를 선정해야 한다. ARC는 착륙속도와 항공기의 날개폭에 의해 결정된다. ARC는 일반적으로 공항에서 운항될 가장 큰 항공기를 채택한다. 항공기의 타입이 정해지면 서로의 간섭이 발생하지 않도록 FAA와 ICAO의 표준치수를 적절히 이용하여 실제 해상공항의 시설을 배치하게 된다. 계기착륙장치는 공항의 처리능력에 관계된 항공기의 수, 화물의 양, 승객 수에 의해 결정된다. 공항이 설치될 위치는 김해지역의 해역을 기준으로 한다.

공항의 깊이 결정은 구조물의 초기 설계 단계에서 일반 배치와 함께 구조물의 건조비 절감 측면에서 매우 중요하다. 일반적으로 공항의 길이와 폭은 공항의 부대시설에 따라 결정되어 변화시키기는 어렵지만 구조물의 깊이는 강도와 기능을 고려할 때 변화 가능하므로 강도와 기능상 가장 적합한 깊이를 결정해야 된다. 일본에서 Motoi 등은 2차원 부재를 이용한 간 해석법을 사용하여 강도적 측면과 기능적 측면을 고려하여 구조물의 깊이를 결정하는 방법을 제안하였다(Motoi 등 2001). 본 연구에서는 소스-다이폴 분포법과 유한요소법을 사용하여 구조물의 강도적 측면과 기능적 측면 등을 살펴 보았다. 깊이 결정을 위해 어느 정도의 외력에 구조물이 견디는지를 알 수 있는 강도적인 측면과 비행기가 이·착륙이 가능한지를 알 수

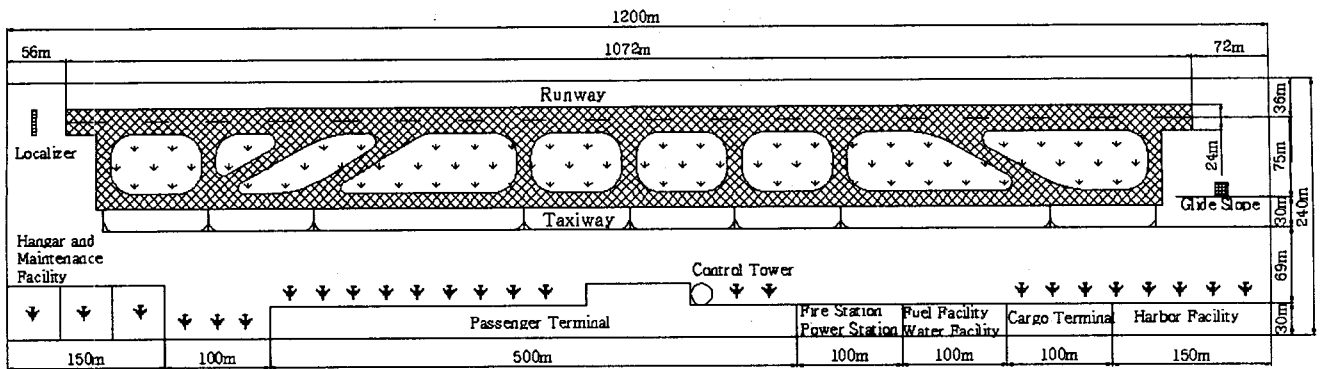


Fig.1 General arrangement of a floating airport

있는 기능적인 측면, 그리고 깊이와 강도에 따른 구조물의 운동에 기인한 갑판침수 및 슬래밍 발생 가능성 관점에서 살펴본다.

2. 공항의 일반배치

활주로의 방향, 위치 및 수의 결정에는 많은 요소가 관련되어 있다. 가장 중요한 요소는 바람의 분포에 의해 결정되는 이용가능률이다. 비행장의 활주로 위치와 방위는 비행장 이용가능률이 적어도 95%가 되도록 해야 한다. 김해지역 주변 해역의 경우 1, 2, 3, 9, 11, 12월의 최다 풍향은 NNW이고, 4, 5, 6, 7, 8월은 SSW로 조사되고 있다(공군 제73기상전대 1994). 활주로의 방향은 일반적으로 바람의 방향을 최대한 마주보도록 위치되어야 한다. 왜냐하면, 이륙시에는 양력의 증가 효과를 볼 수 있고, 착륙시에는 바람에 의한 저항에 의해 이착륙거리가 짧아지기 때문이다.

해상공항의 일반배치는 FAA의 표준을 준수하여야 하며, 일반 배치도는 Fig. 1과 같다.

공항에서 사용되어질 항공기는 Cessna Citation CJ1을 사용하였다. 항공기의 Airport Reference Code(ARC)는 항공기의 주익 폭과 착륙속도에 의해 결정되며, 이 항공기는 주익 폭이 14.26m, 착륙 속도는 108kt(216m/s)이다. 따라서, 이 항공기는 ARC-B-I에 포함된다. FAA의 규정에 의해 계산된 공항의 크기는 1,200m×240m이다.

활주로의 길이는 항공기의 이륙거리에 의해 결정된다. Cessna Citation CJ1의 이륙거리는 sea level, 15°C일 때, 1,000m이다. 본 연구에서는 이륙거리를 충분히 포함하고, 계기착륙장치의 설치를 포함할 수 있도록 1,200m로 결정하였다.

활주로의 유도로 사이의 표준간격은 ARC-B-I인 항공기의 경우 75m이다. 유도로는 각각의 목적과 형태에 따라 교차유도로, 출입유도로, 우회유도로, 우회탈출유도로, 긴급탈출유도로 등이 있으며, 모든 항공기에 대한 지연시간을 최소화하도록 배치되어야 하고, 시뮬레이션을 통한 지연시간을 확인하고 가장 효율적인 배치와 그 수를 결정하도록 검증과정을 거쳐 확정하여야 한다.

여객 터미널은 여객 터미널 계류장과의 효과적인 이동을 위해 중앙에 배치하고, 그 규모는 1일 여객과 수하물 처리에 충분해야 하며, 각종 여객 편의시설을 포함하여 이용자 편의를 최우선으로 고려하여야 한다(FAA 1988). 항공기 주기 형태는 해상공항의 특성상 nose-in/push-out 형태를 사용하였고, 주기장의 면적을 최소화하기 위해 Linear형식을 사용하였다. 이 형태로 배치한 결과 항공기 약 25대가 동시에 주기할 수 있는 공간을 확보하였다. 화물터미널은 화물의 양에 따라 그 규모가 정해지며, 그 위치는 항만 시설 쪽에 배치하였다.

Table 1 Dimensions of airport elements

element	dimension
Runway length	1,000m
Runway width	18m
Runway shoulder width	3m
Runway safety area width	36m
Taxiway width	7.5m
Taxiway shoulder width	3m
Taxiway safety area width	15m
separation from runway to taxiway centerline	75m

공항의 안전성과 효율성을 책임지고 있는 관제탑은 공항의 모든 지역을 한 눈에 살펴볼 수 있고, 이착륙 항공기와의 충돌가능성을 최소화하기 위해 갑판의 중앙부분에 배치하였다. 관제탑은 공항 전체를 한 눈에 볼 수 있도록 높이가 결정되어야 한다(ICAO 1987).

정비시설 계류장은 항공기 3대를 동시에 수용할 수 있는 공간을 확보하였다. 소방시설, 공항관리센터, 중수처리시설, 발전시설, 소각시설, 원유저장시설 등은 본 연구에서는 그 규모를 파악할 수 없으므로 유동성을 가질 수 있도록 배치하였다.

계기착륙장치(ILS, Instrument Landing System)는 악천후로 시계가 불량할 때 착륙 진입중인 항공기를 안전하고 확실하게 활주로의 착륙할 수 있도록 지향성 전파를 발사하여 활주로의 전 코스를 지시하는 시설이다. 착륙보조시설의 성능에 따라 CAT-I, II, III로 분류한다(ICAO 1990). 계기착륙장치는 방위각 장비(Localizer), 활공각 장비(Glide Path), 마커 비콘

(Marker Beacon)으로 구성된다.

3. 깊이 결정

본 연구에서 깊이 결정을 위해 강도 요구에 대한 설계조건과 기능상 요구에 대한 설계조건 그리고 갑판침수 및 슬래밍 발생 가능성에 대한 해석을 수행한다. 강도 요구 조건에 대한 설계조건은 강도 평가의 기준으로 구조물의 굽힘응력으로 평가를 하고 기능상 요구조건은 구조물의 경사와 곡률반경을 이용하여 평가한다.

3-1. 강도적 측면

구조물의 운동과 굽힘모멘트는 소스-다이폴 분포법과 유한요소법을 사용하여 계산되었다(신현경 등 2000).

Fig.2에 구조물의 수직 운동 RAO를 나타내었다. 구조물은 유탄성 운동에 기인하여 양 끝에서 운동이 가장 크게 나타남을 알 수 있고 구조물의 강성이 커짐에 따라 운동이 작아짐을 알 수 있다.

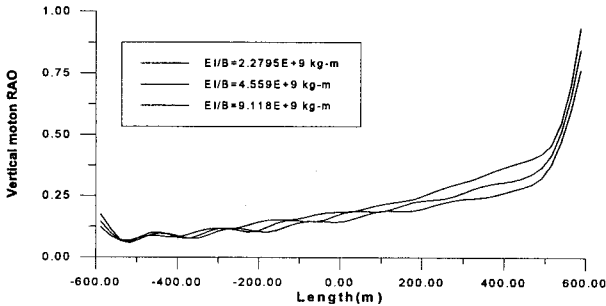


Fig.2 Vertical motion RAO

재료가 균일하다는 가정하에 길이 1,200m, 폭 240m 구조물을 대상으로 깊이와 강성의 변화에 따른 굽힘모멘트를 계산하여 구조물의 중앙부에서 가장 큰 굽힘모멘트를 Table 2에 나타내었다. E는 탄성계수, I는 2차모멘트, B는 구조물의 폭, Depth는 구조물의 깊이를 나타낸다.

Table 2 Bending moment RAO

Depth \ EI/B	3.5m	4.5m	5.5m
	M	M	M
2.28×10^9	25,970	15,710	10,520
4.56×10^9	35,980	21,770	14,570
9.12×10^9	48,680	29,450	19,710

[Unit] EI/B : kgf-m, M : kgf-m/m

실제 구조물은 갑판과 선저에 외판이 위치하게 되므로 구조물 단면의 2차모멘트는 갑판 및 선저판이 기여한다고 생각하면 단위 폭인 경우의 I/B는 다음 식(1)과 같이 계

산된다.

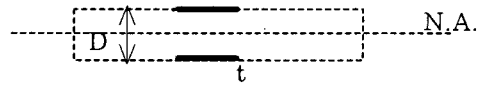


Fig.3 Sectional property

$$\frac{I}{B} = 2 \times t \times \left(\frac{D}{2}\right)^2 \quad (1)$$

구조물이 배치될 환경은 파주기:15초, 파고:4.81m이다. 단위폭을 가진 부재에서 EI'의 변화에 따른 최대응력값을 Fig.4에 나타내었다. 깊이와 외판두께가 증가함에 따라 응력이 작아진다. 깊이가 5.5m인 경우는 응력값이 모두 100N/mm²보다 작게 나타나고 깊이가 4.5m인 경우는 두께가 10mm인 경우만 제외하고 응력값이 모두 150N/mm²보다 작게 나타난다. 한국선급 규정(한국선급 1998)을 살펴보면 일반 선박에서의 허용굽힘응력은 175N/mm²이다. 따라서 D=3.5m, t=10mm, EI/B=4.56×10⁹, 9.12×10⁹kgf-m인 경우와 D=3.5m, t=15mm, EI/B=9.12×10⁹kgf-m인 경우만 허용굽힘응력보다 크게 나타난다.

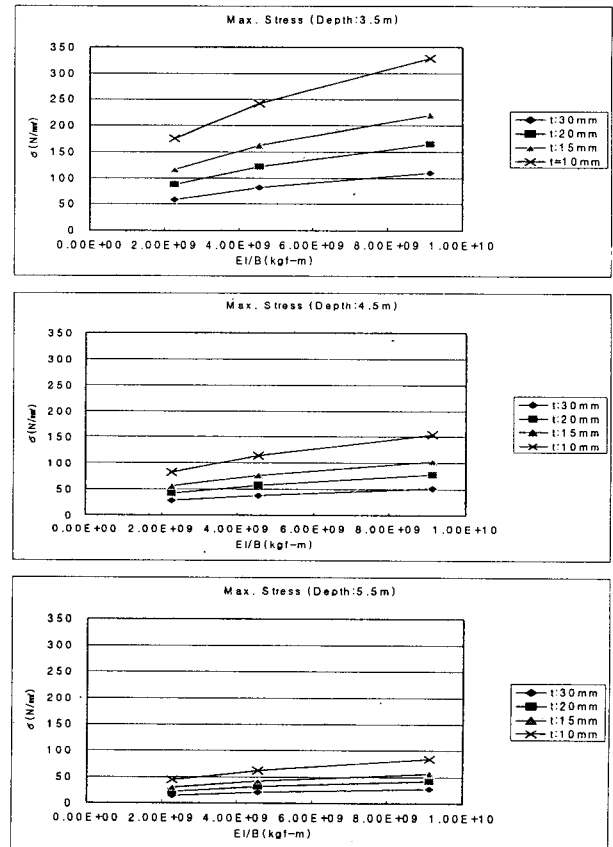


Fig.4 Maximum stress

3-2. 기능적 측면

ICAO에서는 활주로 규격별로 종단구배 변화율을 규정하는데 활주로 길이가 800m미만인 경우는 코드번호 1, 800~1,200m인 경우는 코드번호 2, 1,200~1,800m인 경우는 코드번호 3, 1,800m이상인 경우는 코드번호 4로

구분하고 구배 변화율을 달리 적용한다(ICA0 1990). 본 연구에서는 활주로 길이가 1,000m이므로 코드번호 2에 해당되는데 이때의 최소 곡률 반경은 7,500m이다. 따라서 공항의 운용이 가능한 조건은 곡률 반경이 7,500m 이상이어야만 된다. 곡률반경은 식(2)에서 구할 수 있다.

$$\rho = \frac{EI}{MB} \quad (2)$$

식(2)를 이용하여 구조물의 깊이 변화에 따른 곡률 반경을 Fig.5에 나타내었다. 깊이가 3.5m이고 $EI/B=2.28 \times 10^9$, 4.56×10^9 kgf-m인 경우와 깊이가 4.5m이고 $EI/B=2.28 \times 10^9$ kgf-m인 경우만을 제외하고 나머지 경우에는 7,500m보다 큰 곡률 반경이 나타난다.

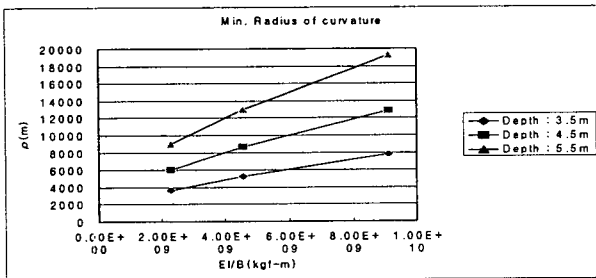


Fig.5 Radius of curvature

3-3. 항공기 하중을 포함한 최종 깊이 결정

YS-11기종의 항공기 하중은 23.5tons이고, 착륙시 충격계수를 1.35로 하여 갑판의 두께를 15mm로 결정하였다(메가플로트 기술연구조합 1998). 본 연구에서도 두께 15mm인 경우 Fig.4와 Fig.5에 나타난 깊이 변화에 따른 응력과 곡률 반경 결과를 Table 3에 나타내었다.

Table 3 Maximum bending stresses and minimum radii of curvature

Depth(m)	EI/B(kgf-m)	σ (N/mm ²)	ρ (m)
3.5	2.28×10^9	117.21	3,650
	4.56×10^9	162.39	5,270
	9.12×10^9	219.71	7,790
4.5	2.28×10^9	55.09	6,030
	4.56×10^9	76.35	8,710
	9.12×10^9	103.28	12,900
5.5	2.28×10^9	30.17	9,010
	4.56×10^9	41.78	1,3000
	9.12×10^9	56.52	1,9200

최종적으로 허용응력과 최소 곡률 반경을 모두 만족시키는 구조물의 깊이와 강성 중 진조비 측면에서 가장 적합한 구조물의 깊이와 강성은 깊이가 4.5m이고, $EI/B=4.56 \times 10^9$ kgf-m²인 경우이다.

3-4. 갑판침수 및 슬래밍 발생 가능성에 관한 고찰
해상공항 구조물은 유탄성 운동에 기인하여 구조물의 끝단에서 운동이 크게 나타난다. 따라서 깊이 결정을 위한 방법의 일환으로 갑판침수 및 슬래밍 발생 가능성에 대한 해석을 수행하였다. ITTC 스펙트럼을 사용하여 평균파 주기가 15초이고 유의파고가 4.81m인 장파정 불규칙파 중 구조물의 갑판침수 및 슬래밍 발생 가능 확률을 결정하였다.

구조물의 운동과 입사파의 차를 이용하여 계산된 상대변위 (Z_r)를 이용하여 갑판침수 및 슬래밍 발생 가능 여부를 알 수 있다. 갑판침수 발생 가능한 상황은 식(3)과 같고 슬래밍 발생 가능한 상황은 식(4)와 같다. 그리고 상대변위가 Rayleigh 분포라 가정하면 침수 발생 가능 확률 (P_{dw})과 슬래밍 발생 가능 확률(P_{sl})은 식(5)와 (6)을 이용하여 결정할 수 있다.

$$Z_r - \zeta < -f \quad (3)$$

$$Z_r - \zeta > d \quad (4)$$

$$P_{dw} = \exp[-f^2/2m_0] \quad (5)$$

$$P_{sl} = \exp[-d^2/2m_0] \quad (6)$$

$$m_0 = \int_0^\infty |R(\omega)|^2 s(\omega) d\omega \quad (7)$$

where, d : Draft

f : Freeboard

$R(\omega)$: Vertical motion RAO

$s(\omega)$: Wave spectrum

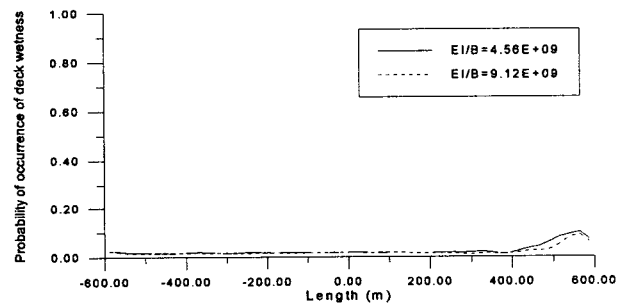


Fig.6 Possibility of occurrence of deck wetness

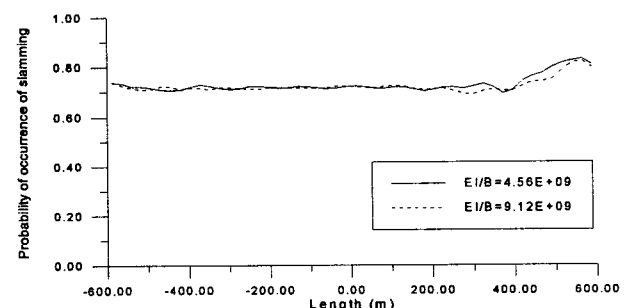


Fig.7 Possibility of occurrence of slamming

Fig.6과 Fig.7은 $EI/B=4.56 \times 10^9$ kgf-m와 9.12×10^9 kgf-m 이고 깊이가 4.5m인 경우 구조물 우현부의 갑

판침수 및 슬래밍 발생 가능 확률을 나타내었다. 강성의 차이가 두배임에도 갑판침수 및 슬래밍 발생 가능 확률은 큰 차이를 보이지 않는데 이는 Fig.2에 나타난 것처럼 강성의 차이에 따라 구조물의 운동은 별 차이가 없기 때문이다. 구조물의 슬래밍 발생 가능 확률은 갑판침수 발생 가능 확률보다 크게 나타나는데 이는 건현(3.5m)보다 홀수(1.0m)가 상대적으로 작기 때문이다. 따라서 건조비 측면에서 강성(EI/B)은 $4.56 \times 10^9 \text{kgf-m}$ 인 경우가 가장 적합하며, 갑판침수와 슬래밍을 막기 위한 대책이 필요하다.

4. 결 론

1.2km급 초대형 부유식 해상공항의 시설계를 수행하였으며 일반배치와 깊이 결정에 관한 연구를 하였다. 일반적으로 항공기의 종류 및 부대시설 등에 따라 구조물의 길이와 폭은 결정된다.

또한 공항의 기하학적 설계로부터 결정된 1,200m의 길이와 240m의 폭을 갖는 해상공항의 최적 깊이를 도출하였다. 강도적 측면과 기능적 측면 그리고 갑판 침수 및 슬래밍 발생 가능 관점에서 살펴보았다.

최종적으로 1,200m급 부유식 공항에서는 깊이가 4.5m 이고 $EI/B = 4.56 \times 10^9 \text{kgf-m}$ 인 경우가 가장 적합하다.

참 고 문 헌

- 신현경, 이호영, 임춘규, 신현수, 박인규 2000 "불규칙 파 중 초대형 부유식 해양구조물에 대한 운동", 대한조선학회논문집, 제 37권 제 4호, pp.75-81.
- 이호영, 신현경 2000 "시간영역에서 초대형 부유식 해양구조물에 대한 유탄성 응답해석", 한국해양공학회지, 제 14권 제 3호, pp29-34.
- 신현경, 이호영, 임춘규, 강점문, 윤명철 2001 "규칙파 중 항공기 이·착륙시 초대형 부유식 해양구조물의 천이 응답 해석", 한국해양공학회지, 제 15권 제 1호, pp26-30.
- 이호영, 신현경, 임춘규, 김외현, 강점문, 윤명철 2001 "방파제를 고려한 초대형 부유식 해양구조물의 응답", 대한조선학회 논문집, 제 38권 제 2호, pp26-32.
- 이호영, 신현경, 임춘규, 김외현, 강점문, 윤명철 2001 "불규칙파 중에서 들핀 계류된 해상공항에 대한 운동", 대한조선학회 논문집, 제 38권 제 2호, pp10-18.
- 부산광역시 VLFS연구회 2001 "2001 부산해역의 미래 개발을 위한 심포지엄 - 초대형 부유식 해상 구조물(VLFS)의 기술동향과 활용방안", 제2회 VLFS연구회 심포지엄.
- International Civil Aviation Organization 1990 "국제민간항공 협약부속서, ANN EX 14 VOLUME 1", 비행장 설계 및 운용, Montreal, Canada.
- Federal Aviation Administration 1989 "Ad visory Circular 150/5300-13, Airport Design", Washington, D.C
- T. Motoi, T. Fujita, K. Kada 2001 "The Effective Designing Method for the Initial Sectional Structure of VLFS", Proceedings of 16th Ocean Engineering Symposium, The Society of Naval Architects of Japan, pp179-186
- 공군 제73기상전대 1994 "기상총감"
- International Civil Aviation Organization 1987 "Airport Planning Manual Part1, Master Planning second edition", Montreal, Canada
- (사)한국선급 1998 "선급 및 강선규칙".
- 메가플로트 기술연구조합 1998 "초대형 부유식 공항 이용에 관한 실증적 연구", 초대형 부유식 기술연구조합.