

# 플로팅 건축 상부시설에서 모듈러 시스템 적용 유럽 사례 연구

† 송 석 기

† 군산대학교 건축공학과 교수

## A Case Study on the Application of Modular System to the Superstructure of Floating Architecture in Europe

† Seog-Ki Song

† Department of Architecture & Building Engineering, Kunsan National University, Gunsan 573-701, Korea

**요 약 :** 현장 공사의 제약이 많은 플로팅 건축 상부시설에서 모듈러 시스템 적용 방안 정립을 위한 기초 연구로서 모듈러 시스템이 적용된 유럽의 사례를 분석하여 이를 유형에 따라 분류하였다. 플로팅 건축 상부시설에서 모듈러 시스템 적용 유형은 단위 건축물 모듈러 유형, 단위 공간 모듈러 유형, 계획 개념으로서 모듈러 유형으로 구분될 수 있었다. 유럽에서 가장 많이 사용된 유형은 소규모 플로팅 주거 건축에서 적용된 단위 건축물 모듈러 유형이었고, 단위 공간 모듈러 유형은 중규모 이상의 건축물에 적용 가능한 유형이었다. 계획 개념으로서의 모듈러 유형은 실현된 사례는 많지 않았으나, 건축물의 다양성을 수용할 수 있는 유형이며, 플로팅 건축의 영역을 확장하여 플로팅 도시와 같이 보다 큰 규모의 영역에 적용될 수 있는 가능성을 내포하고 있다.

**핵심어 :** 플로팅 건축, 모듈러 시스템, 단위 건축물 모듈러, 단위 공간 모듈러, 계획 개념 모듈러

**Abstract :** This study is about the case study on the application of modular system to the superstructure of floating architecture in Europe. There are many restraints in the onsite construction of floating architecture. Then, various industrialized construction methods are needed to reduce the portion of the onsite construction in floating architecture. Among the various industrialized construction methods, the modular system can be more suitable for floating architecture. At this background, this study analysed the European cases of the application of modular system and classified the types of applied modular system. As a result, this study could classify the three types of modular system, such as, building unit modular, space unit modular and planning concept modular, and define the characteristics of three types by comparing with each other.

**Key words :** floating architecture, modular system, building unit modular, space unit modular, planning concept modular

### 1. 서 론

플로팅 건축물은 일반 건축물에 비하여 현장 공사에서의 제약조건이 발생할 가능성이 높다. 공사현장이 정수역에 위치하더라도 수면 위에서의 건축공사는 자연 환경 조건의 영향을 받기 쉽고, 현장으로의 접근, 건설기계의 운용, 자재의 조달, 노동력의 수급, 공사 중의 안전 확보 등 다양한 측면에서의 제약조건이 발생할 수 있다. 따라서 플로팅 건축물은 그 초기 계획단계에서부터 현장에서의 건축공사를 최소화하고, 공사와 관련된 의사결정의 시기를 최대한 앞당기기 위한 건축공사 전 과정에 대한 충분한 검토와 종합적인 계획을 필요로 한다. 특히, 다양한 공업화 건축 시스템의 적용을 통해 건축 구성재 및 요소의 부품화, 공업화, 경량화, 표준화 등이 충분히 고려되어야 하며, 품질 관리와 공사 기간의 단축, 공사비 절감, 공사 정밀도의 향상 등에 대한 계획도 필요하다.

일반 건축물과 마찬가지로 플로팅 건축물 역시 개별 프로젝트의 유형과 특성에 따라 적용 가능한 공업화 건축 시스템의 종류와 그 적용 범위에서 차이가 있기 때문에 각각의 프로젝트에 적합한 공업화 건축 시스템의 선택과 효율적인 조합이 검토되어야 한다. 공업화 건축 시스템 중 모듈러 시스템의 경우, 일반적인 건축 공사에서 현장 공사의 비율을 최대 5%까지 낮출 수 있는 것으로 알려져 있다.

또한, 플로팅 건축 상부시설은 부유체인 폰툰 상부에 축조되는 건축 공간으로서 그 특성상 하부 구조인 폰툰의 구조와 밀접하게 연관될 수 있다. 폰툰의 구조는 그 규모와 재료에 따라 상이할 수 있지만, 대부분의 경우, 일정한 구조 모듈이 적용되어 형성된다. 따라서 플로팅 건축물 계획에서는 그 초기 단계에서 건축물 상부와 하부의 구조 모듈 사이의 대응 관계 및 거주 공간의 연속성에 대한 충분한 검토와 계획이 필요하다. 상부시설에서 모듈러 시스템을 적용하는 경우, 하

† 교신저자 : 종신회원, songsk@kunsan.ac.kr 063)469-4788

(주) 이 논문은 “플로팅 건축 상부시설에서 모듈러 시스템 적용 사례 연구”란 제목으로 “한국항해항만학회, 2012 추계학술대회논문집(한국해양과학기술원 선박해양플랜트연구소, 2012.10.25-27, pp.297-299)”에 발표된 것을 수정 및 보완하였음을 밝힙니다.

부 폰톤의 구조 모듈 설정이 용이할 수 있다는 장점을 갖기 때문이다.

이 연구는 우선, 플로팅 건축물에서 넓은 의미에서 모듈러 시스템이 적용된 해외 사례를 분석하였다. 다음으로는 사례 분석에 기초하여 플로팅 건축물에 적용된 모듈러 시스템의 유형을 구분하고자 하였다. 이 연구의 직접적인 사례 분석 대상은 현장 답사<sup>1)</sup>를 통해 조사된 유럽의 플로팅 건축물 사례이다. 답사와 인터뷰를 통해 조사되고 수집된 자료를 연구 분석의 1차 자료로 하였고, 이들 사례에 대한 보충적인 문헌조사를 중심으로 연구를 진행하였다. 또한, 문헌조사 과정에서 현장 답사가 수행되지 못한 것은 모듈러 시스템 적용과 밀접하게 관련된 사례를 부분적으로 분석 대상에 포함하였다.

이에 따라, 3장에서는 현장 답사를 통해 확인한 유럽의 플로팅 건축물 중 모듈러 시스템이 적용된 사례를 집중 분석하였고, 4장에서는 문헌 조사를 통하여 수집된 모듈러 시스템 적용 사례를 포함하여 넓은 의미에서의 모듈러 시스템 적용 사례를 유형화하였다. 이러한 플로팅 건축물 상부시설에서 모듈러 시스템 적용 유형에 대한 연구는 향후 플로팅 건축물에서 모듈러 시스템 적용 방법론을 정립하기 위한 기초 연구로서의 의의를 갖는다고 할 수 있다.

## 2. 모듈러 시스템 개요

### 2.1 공업화 건축 시스템의 분류

공업화 건축 시스템이란 현장 생산 중심의 전통적인 건축물 생산 체계와 구별하여, 현장 생산 비율을 감소시키면서, 상대적으로 기후 조건 등에서 자유롭고, 건축물의 품질과 정밀성을 확보할 수 있는 생산 조건이 최적화된 공업 생산으로 전환된 건축물 생산 체계를 포괄적으로 지칭한다. 공업화 건축 시스템은 건축 구성재의 재료 및 형상, 접합 방법, 접합 재료 등의 다양한 기준에 따라 구분할 수 있다. 일반적으로 공업화 건축 시스템은 그 구법과 시공 방식을 중심으로 골조 시스템, 패널 시스템, 모듈러 시스템으로 구분<sup>2)</sup>된다.

1) 골조 시스템 : 기둥과 보와 같은 선형의 건축 구성재와 가새가 결합된 구조로 건축물의 기본적인 내력 시스템을 구성하는 방법으로 강재와 목재, 콘크리트를 사용하여 구축이 가능하다. 골조 시스템에서는 구조재와 비구조재가 명확히 구분되며, 내부 공간은 별도의 벽체나 공간 모듈러에 의하여 구성될 수 있다. 수평하중에 대응하는 가새 계획이 공간의 활용과 밀접한 관련을 갖는다. 골조와 내외장재와의 접합 및 조화가 중요하며, 특히 내외장재는 건축물의 환경 성능과 밀접한 관련을 갖는다.

2) 패널 시스템 : 벽체와 바닥판을 구성하는 패널을 이용하

여 내부 공간을 형성하는 방법으로 강재와 목재, 콘크리트와 함께 벽돌과 같은 재료를 이용한 조적 패널에 의한 구축도 가능하다. 외벽을 형성하는 패널 구성재가 건축물에서 요구되는 모든 물리적 성능을 확보해야 하므로 모든 접합부가 치밀하게 결합되어야 한다. 패널 구성재는 충분한 성능을 갖춘은 물론 운반과 조립이 용이하도록 충분히 가벼워야한다. 각 패널 구성재의 크기는 재료에 따라 상이하지만, 층고와 운반 조건, 시공 조건 등에 따라 결정된다.

3) 모듈러 시스템 : 단위 공간을 형성하는 모듈러를 결합하여 건축물을 구성하는 방법으로 공간 모듈러는 강재와 목재, 콘크리트를 사용하여 구축이 가능하다. 공간 모듈러는 기능 계획의 수준에 따라 내력 또는 비내력 구조와 내장재, 각종 설비, 불박이 가구 등을 모두 갖춘 모듈러의 제작이 가능하다. 제작 공장에서 창호 등의 설치까지 완비될 수 있으므로, 모듈러 시스템에서는 다른 시스템과 달리 건축 공사 이전에 모든 계획이 치밀하게 수립되어야만 한다. 공간 모듈러는 가설 건축물이나 영구적인 건축물에 모두 적용 가능하며, 특수한 기능적 요구 등의 복합적 조건을 갖는 건축물에도 적용 가능하다.

### 2.2 모듈러 시스템 적용 조건 및 범위

건축물에서 모듈러 시스템의 적용 여부 또는 다른 공업화 건축 시스템과의 조합 방식 등을 결정하기 위해서는 프로젝트의 초기 단계에서 프로젝트의 다양한 조건에 대한 정확한 평가가 선행되어야 한다. 관련된 조건들은 Table 1과 같이 참여주체와 관련된 조건과 프로젝트와 관련된 조건으로 나누어 볼 수 있다. 참여주체와 관련된 조건으로는 건축주나 발주처를 비롯하여 설계사, 시공사와 같은 참여주체의 경험이나 자본 등과 관련된 조건과 참여주체 간의 조직에 관련된 조건들로 나누어 볼 수 있다. 프로젝트 자체의 성격과 관련된 조건으로는 프로젝트의 건축물 유형, 공사 현장의 조건, 요구되는 또는 적용 가능한 기술의 수준 등이 있다<sup>3)</sup>.

프로젝트에서 모듈러 시스템을 포함한 공업화 건축 시스템의 적용 여부는 최종적으로 건축주를 포함한 프로젝트 참여주체에 의해 결정된다. 따라서 참여주체가 갖는 유사 프로젝트에 대한 경험이나 요구하는 건축물의 품질에 대한 관리 의지 등이 주요한 결정 조건이 될 수 있다. 또한, 모듈러 시스템의 경우 초기 투자 비용의 비중이 높기 때문에 건축주의 초기 투자 규모나 향후 참여주체에 의한 유사 프로젝트의 반복 가능성 등도 주요한 결정 조건이 된다. 그리고 모듈러 시스템을 적용하여 프로젝트를 통합적으로 수행하기 위해서는 프로젝트 참여주체의 보다 밀접한 협력이 필요하고, 전통적인 건축 생산 체계에 비하여 보다 유연하면서, 상호 밀접하게 반응할 수 있는 참여주체 간의 소통 및 계약 방식이 설정되어야 한다.

1) 현장답사는 2011년 8월 2일~13일까지 진행되었고, 네덜란드와 독일, 스웨덴의 주요 플로팅 건축물을 조사하였다. 총 10여곳의 플로팅 건축물을 조사하였고, 설계사무소 3곳과 폰톤 시공사 1곳을 방문 조사하였다.

2) Gerald Staib, et al.(2008), Components and Systems, Birkhäuser, p. 42.

3) Ryan E. Smith.(2010), Prefab Architecture, John Wiley & Sons, pp. 47-73.

Table 1 Conditions for the Adaptation of Modular System

조건의 종류		조건의 내용
참여주체의 조건	경험, 자본 등	- 참여주체의 유사 프로젝트 경험 - 참여주체의 프로젝트 관리 의지 - 참여주체의 초기 투자 규모
	조직	- 참여주체 간의 의사소통과 협력 - 참여주체 간의 계약 형식 - 의사결정의 유연성, 반응 방식
프로젝트의 조건	유형	- 건축물의 유형, 단위 건축 구성재 및 공간의 반복성 - 공사 기간 및 비용 - 생산 및 품질 관리의 요구 정도
	현장	- 지리적, 지형적 자연 조건 - 자재의 조달 및 노동력 수급 - 지역의 법적 규정 및 상위 계획
	기술	- 단위 건축 구성재 또는 단위 공간의 생산 및 조립 기술, 자동화 - BIM 등 통합적 기술의 적용

건축물의 유형에 따라 공사 기간, 단위 건축 구성재 또는 단위 공간의 반복성 등의 조건이 상이하며 이러한 특성이 모듈러 시스템 적용에 영향을 준다. 공사기간 단축의 필요성이나 단위 건축 구성재 및 공간의 반복성이 높은 프로젝트의 경우 모듈러 시스템 적용이 용이하다. 그러나 단위 건축 구성재 및 공간의 반복성이 높지 않더라도, 프로젝트의 특수성으로 인하여 생산 관리와 품질 관리의 필요성이 높으면 모듈러 시스템의 적용 필요성도 높다. 그리고 공사 현장의 조건은 지리적이거나 지형적인 자연 조건 뿐만 아니라 건축 구성재 및 노동력의 수급과도 밀접하게 연관된다. 상대적으로 현장으로의 접근이 어렵고, 건축 구성재의 생산지 및 노동력의 수급지와 거리가 멀리 떨어진 공사 현장의 경우 모듈러 시스템의 적용 필요성은 더욱 높아진다. 기술 조건은 건축물과 관련된 직접적인 기술 수준의 문제 뿐만 아니라 광범위하게 논의되는 BIM(Building Information Modeling)과 같은 통합적 접근 및 고도의 협업 관계를 요구하는 새로운 기술의 적용<sup>4)</sup>이 요구된다.

### 2.3 공간 모듈러의 설계 및 구법

모듈러 시스템의 기본적인 전제는 완성될 건축물을 운반 가능한 단위로 자르는 것이다. 따라서 공간 모듈러의 크기는 많은 부분 운송 수단에 의해 결정된다. 공간 모듈러의 폭과 길이, 높이는 일반적으로 단위 모듈러를 운반할 도로와 운반 트럭의 구조나 시설, 안전 기준에 따라 결정<sup>5)</sup>된다. 플로팅 건축물의 경우 해당 프로젝트의 성격에 따라 공간 모듈러의 운송이 육상 교통을 이용하지 않고 해상 교통을 이용할 수 있다. 이 경우에는 운송 수단의 성격에 따라 공간 모듈러의 폭, 길이, 높이 등에 대한 별도의 기준이 적용될 수 있다.

모듈러는 현장으로 운송되어야 하기 때문에 운송 중 손상되지 않도록 운송 과정에서 충분한 주의가 필요하다. 그리고 그 이전에 이미 설계 단계에서 운송 중 손상을 최소화할 수 있도록 설계되어야 한다. 뿐만 아니라 모듈러 시스템을 포함한 모든 공업화 건축 시스템은 건축 구성재의 조립 과정에서 접합부가 발생되며 이 접합부는 건축물의 입면에 중요한 영향을 주는 요소이다. 따라서 접합부의 처리 역시 설계 단계에서 입면에서의 영향에 대한 충분한 검토가 이루어져야 한다.

건축물에 적용되는 모듈러 시스템에 사용될 수 있는 재료는 강재와 목재, 콘크리트, 그리고 다양한 복합재료가 가능하다. 그러나 프로젝트의 성격에 따라 경량화에 대한 요구가 높은 경우에는 콘크리트 모듈러의 사용은 매우 제한적이라고 할 수 있다. 강재는 모듈러 시스템에 가장 적합한 재료로 평가 받는다. 정형화된 접합 기술의 발달로 빠른 조립이 가능할 뿐만 아니라 구조재와 마감재로서 활용 가능하며, 복잡한 형상의 제작도 가능하다는 장점을 갖는다. 또한, 목재는 보편화된 재료 중 하나로서 가볍고 강하여 구조재와 마감재로 모두 사용 가능하다. 특히, 합성 목재는 기존 목재가 갖는 단점을 극복한 새로운 재료로서 플로팅 건축물에서 충분히 활용 가능하다.

모듈러 시스템의 경우 디자인에서의 단조로움이 단점이 될 수 있다. 이를 극복하기 위해서는 초기 단계에서 폭 넓은 접합 가능성을 갖는 공간 모듈러의 설계와 함께 개별 프로젝트의 성격에 적합한 디자인을 수용한 공간 모듈러의 설계가 요구된다.

## 3. 모듈러 시스템 적용 사례 분석

### 3.1 네델란드 암스테르담 아이버그(IJburg) 집합 주거 단지

네델란드 암스테르담에 위치한 아이버그 집합 주거 단지는 2011년 준공된 플로팅 주거와 일반 주거가 혼합된 단지이다.(Fig. 1 참조) 전체 주거 중 플로팅 주거는 총 55가구를 차지하고 있다. 암스테르담 동쪽에 위치한 아이버그 지역은 호수에 인공적으로 조성된 6개의 섬으로 구성된 지역으로서 1990년대 말부터 개발이 시작되었고, 2002년부터 거주가 시작<sup>6)</sup>되었다.

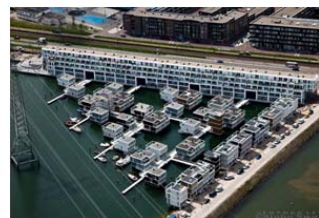


Fig. 1 Aerial View of IJburg Housing



Fig. 2 Type Sydney

4) Ryan E. Smith.(2010), Prefab Architecture, John Wiley & Sons, pp. 224-229.

5) 국내의 경우 “도로의 구조·시설기준에 관한 규칙”, “도로교통법 시행령”, “도로법 시행령”, “자동차 안전기준에 관한 규칙” 등에서 이를 규정하고 있다.

6) Anne Loes Nillesen and Jeroen Singelenberg(2011), Amphibious Housing in the Netherlands, NAI Uitgevers, pp. 69-73.

아이버그 집합 주거 단지는 인공섬 사이의 저수지에 조성된 주거 단지로서 저수지를 남북으로 관통하는 고압송전선로의 서쪽에 위치한 주거 단지이다. 동쪽에도 플로팅 주거 단지가 조성되어 있는데 이곳은 단독 주택 단지로 조성되었다. 집합 주거 단지의 플로팅 주거는 네델란드 설계사무소 마를리스 로머(Marlies Rohmer)에 의해 3가지의 유형으로 설계되었다. 각 유형은 그 면적과 세부적인 유형 상의 차이점은 있으나 기본적인 주택 구조는 동일하다. 3가지 유형<sup>7)</sup>의 플로팅 주거의 평면도는 Fig. 3과 같다.



Fig. 3 Plan of 3 Types : Vancouver, Sydney, Seattle

- 밴쿠버 유형 : 3개 층 규모의 플로팅 단독주택, 연면적 156 m<sup>2</sup>와 테라스 20m<sup>2</sup>, 총 13가구
- 시드니 유형 : 3개 층 플로팅 2동 연립주택, 연면적 107m<sup>2</sup>와 테라스 14m<sup>2</sup>, 총 24가구(Fig. 2 참조)
- 시애틀 유형 : 3개 층 플로팅 3동 연립주택, 연면적 100m<sup>2</sup>와 테라스 10m<sup>2</sup>, 총 18가구

연립주택인 시드니와 시애틀 유형의 경우, 최종 마감재를 포함한 1동의 외곽 크기는 출입구가 있는 중간층에서 대략 4,800mm×9,200mm이고, 최상층은 테라스를 포함하여 4,800mm×10,600mm의 크기이다. 단독주택인 밴쿠버 유형의 외곽 크기는 중간층에서 대략 6,800mm×9,200mm이고, 최상층은 6,800mm×10,600mm이다. 최하층인 합체에는 침실 2개와 욕실, 계단실이 있고, 출입구가 있는 중간층은 부엌과 방으로 구성되어 있다. 최상층은 거실과 테라스의 구성이다.



Fig. 4 Under Construction in the Dry Dock



Fig. 5 Towing the Modular House

아이버그 주거 단지에서 각 주택들은 Fig. 4와 같이 공장의 드라이 도크에서 제작되었다. 콘크리트로 제작된 합체 위에 목재로 제작된 골조시스템으로 3개 층이 연결되어 단위 주거

를 형성하였다. 이 단위 주거가 하나의 모듈러로서 제작되었다. 2동 연립주택(시드니 유형)과 3동 연립주택(시애틀 유형)의 경우에는 각 단위주거를 결합하여 연립주택의 형태를 완성한 후 운송하였다. 각 플로팅 주거의 운송은 Fig. 5와 같이 해상을 통한 운송이었다. 이 과정에서 갑문을 통과해야 했기 때문에 연립주택의 최대 크기는 9m×20m로 제한되었다.

### 3.2 독일 함부르크 도시 건축 정보센터(IBA Dock)

독일 함부르크의 도시 건축 정보센터(IBA Dock)은 2009년 IBA 함부르크 본부 및 전시장으로 지어진 플로팅 건축물로 하노버의 한 슬라빅(Han Slawik) 교수가 설계하였고, 현재는 함부르크 도시 건축 정보센터로 활용<sup>8)</sup>하고 있다. 3개 층으로 이루어진 연면적 1,623m<sup>2</sup>의 건축물로 안정성과 경량화의 요구에 따라 상부시설에 모듈러 시스템을 도입하였다.

기본적인 단위 모듈러는 2.5m×6m×3m의 크기로 각 모서리는 100mm×100mm의 강재 기둥으로 처리되었다. 기둥을 연결하는 상하부의 보는 폭×높이가 100mm×200mm이다. 단위 모듈러를 수평으로 길이 방향과 폭 방향으로 연속시키고, 수직으로 적층하여 전체 건축물을 구성하였다. Fig. 10은 기본적인 모듈러 적용 개념을 나타낸다. 건축물의 측면은 모듈러를 길이 방향으로 3개 연속시켜 구성하였고, 폭 방향으로는 약 13개의 모듈러를 연결하여 1개 층의 정면을 구성하고 있다. 따라서 총 39개의 모듈러가 결합되어 1개 층을 형성한다고 볼 수 있다.



Fig. 6 IBA Dock



Fig. 7 Back Side



Fig. 8 Interior Space



Fig. 9 Under Construction

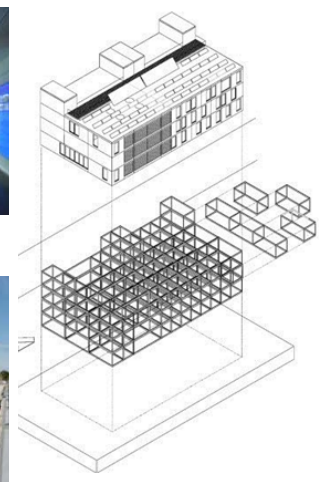


Fig. 10 Modular System

7) <http://waterbuurtwest.nl/> 참조.

8) <http://www.iba-hamburg.de/> 참조.



좌우 측면과 내부에서 넓은 개방 공간이 필요한 부분에서는 기본 모듈러가 적용되지 않았다. 좌우 측면에서는 폭이 조금 넓어진 3m×6m×3m 크기의 모듈러를 적용하였다. 1층에서 집회 시설로 계획된 부분은 폭×길이가 7m×6m의 크기로 기본 모듈러가 적용되지 않았다. 모듈러의 바깥쪽으로 150mm 두께의 별도 패널로 외벽을 마감하였다. 실제 시공과정에서는 모듈러 3개를 길이 방향으로 접합한 2.5m×18m×3m의 모듈러를 적층하는 방식으로 시공되었다. Fig. 9는 시공과정을 보여 준다.

도시 건축 정보센터 1층의 전체적인 내부 공간의 구성은 육상에서 가까운 배면 쪽의 좌우측 끝부분에 계단실이 위치하고 있고 우측 공간은 배면 쪽에서 정면 쪽으로 모듈러가 3개의 켄으로 구성되는데 배면과 정면의 외기에 면한 부분은 사무실과 회의실로 사용되고, 가운데 부분은 화장실이 있는 공용 공간이다. 좌측 공간은 기본 모듈러의 형태를 벗어나 원래는 집회 공간으로 계획되었으나 현재는 식당으로 사용되는 넓은 내부 공간이 형성되어 있다. 식당 공간에서 상부를 개방하여 2층과 시각적으로 연결되고 별도의 계단을 통해 동선이 연결된다. 배면 쪽으로 좌우측 공간의 사이에 엘리베이터 배치하였고, 정면 좌측 모서리에는 식당의 보조 공간이다. 식당 보조 공간과 계단실 사이에서 콘크리트 폰툰 상부의 외부공간과 연결되어 출입이 가능하도록 계획되었다.(Fig. 11 참조)

정면과 배면 쪽에 가까운 모듈러는 좌우로 결합되어 100mm×200mm의 기둥과 150mm의 내벽으로 구성되어 있고, 외벽은 외벽 마감 패널이 더해져 300mm 두께로 구성되었다. 정면과 배면 모듈러 사이의 모듈러 크기는 기본 모듈러와 같지만 기둥이 없이 보만으로 구성되었다. 상대적으로 넓은 내부 공간인 식당으로 사용되는 부분의 기둥은 각 모듈러의 기둥 4개를 결합하고 마감재를 추가하여 300mm×300mm의 크기로 계획되었다. 배면에서는 모듈러 2개 또는 3개를 연속시켜 사무실을 구성하였고, 정면에서는 모듈러 5개를 연속시켜 회의실을 구성하였다. 모듈러가 완전한 하나의 단위 공간 형식으로 계획되기 보다는 단위 모듈러의 연결을 통해 공간을 형성하는 방식으로 계획하였다.



Fig. 11 1st Floor Plan

Fig. 12 2nd Floor Plan

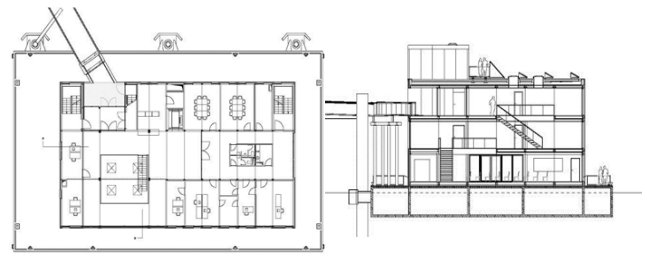


Fig. 13 3rd Floor Plan

Fig. 14 Section

2층 역시 좌우측을 구분하여 우측은 사무실과 소규모 회의실 등으로 구성하였고, 좌측 공간은 전시실로 구성하고 좌측면 쪽으로 화장실을 설치하였다. 3층 역시 좌우측을 구분하여 우측은 사무실과 소규모 회의실 등으로 구성하였고, 좌측 공간은 건물 전체의 출입구와 안내실, 2층 전시실을 내려다 볼 수 있는 공간으로 계획하였다. 2층으로 연결되는 별도의 계단실을 계획하였다. 지붕 층에서는 태양열 및 태양광 집열판을 두었고, 폰툰에는 강물을 이용한 열교환기를 설치하여 신재생 에너지를 활용할 수 있도록 계획<sup>9)</sup>하였다.

### 3.3 네델란드 로테르담 플로팅 파빌리온(Floating Pavilion)

네델란드 로테르담의 마스(Maas) 강에 위치한 플로팅 파빌리온은 네델란드 설계사무소인 델타싱크(Deltasync)에서 설계하였고, 건설회사인 두라 베르미어(Dura Vermeer)에서 시공한 집회 및 전시시설로서, 2010년에 완공된 건축물이다. 세계 최대의 무역항 중 하나인 로테르담에서 항구시설이 외곽으로 이전하면서 과거 항구시설이 있던 영역을 재개발하기 위한 다양한 아이디어가 제기되었고, 이 건축물 역시 그러한 아이디어의 하나로 시도<sup>10)</sup>되었다. 플로팅 파빌리온은 부속 시설인 야외 집회 시설과 결합되어 있는데 이 부속시설 역시 플로팅 구조물이다. 야외 집회시설은 돌핀으로 계류되어 있고, 플로팅 파빌리온은 야외 집회시설에 케이블과 강봉으로 결합되어 있다. 플로팅 파빌리온의 폰툰 내부는 정화시설로 사용되고 있고, 야외 집회시설의 폰툰 내부는 기계실로 사용되고 있다.



Fig. 15 Aerial View

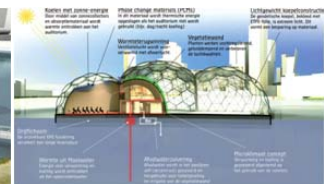


Fig. 16 Conceptual Drawing

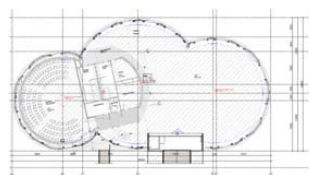


Fig. 17 Plan

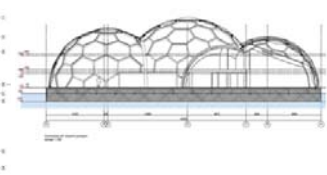


Fig. 18 Section

9) <http://www.iba-hamburg.de/> 참조.

10) Bart van Bueren(2011), "Water Architect", Presentation file.



Fig. 19 Under Construction Fig. 20 Towing the Pavilion

콘크리트와 폴리스틸렌 수지를 복합화한 폰툰 위에 막구조의 상부시설을 설치하였고, 외부공간의 야외 집회시설을 연결하여 동시 활용하고 있다. 파빌리온의 전체적인 길이는 46m이고 폭은 24m로 계획되었다. 파빌리온의 상부시설은 서로 연결된 3개의 반원형 돔으로 구성되어 있다. 중심선을 기준으로 각각의 반원형 돔의 지름은 각각 17.1m, 23m, 19.7m로 서로 다른 크기의 3개의 반원형 돔이 결합되어 있다. 폰툰 부분 역시 상부시설과 동일한 형상이다. 야외 집회시설은 24m×24m의 크기로 계획되었다.

평면에서 좌측의 가장 작은 돔 부분은 150석 규모의 강당으로 계획되었다. 우측의 전시 공간과는 달리 실내 환경의 조절을 위하여 별도의 내벽을 형성하였다. 중앙의 돔에는 부분적으로 별도의 내부공간으로 화장실과 소규모 회의실 등이 구성되어 있고, 중앙 돔의 남은 부분과 우측의 돔은 전시 공간으로 사용되고 있다. 동일한 크기와 형태의 단위 공간이나 건축물을 반복하는 앞의 사례와는 달리 플로팅 파빌리온은 서로 다른 크기의 분절된 공간 단위가 결합되어 건축물 전체를 구성하고 있다. 그리고 서로 다른 형태와 크기이지만 플로팅 구조물인 파빌리온과 야외 집회시설을 현장에서 결합하여 전체 건축물을 완성하고 있다.

모듈러 개념을 넓은 의미에서 해석한다면, 플로팅 파빌리온에 사용된 서로 다른 크기의 분절된 공간 단위도 모듈러에 포함된다고 볼 수 있다. 이러한 서로 다른 형상과 크기를 갖는 구성 단위의 결합이라는 보다 넓은 의미에서의 모듈러 개념은 플로팅 건축물 설계에서의 다양성 및 확장성을 확보할 수 있는 계획 개념으로서의 의미를 갖는다고 할 수 있다.

#### 4. 모듈러 시스템 적용 유형

##### 4.1 단위 건축물 모듈러

아이버그 집합 주거단지의 경우 동일한 형태와 크기를 갖는 단위 건축물 모듈러를 적용한 유형으로 볼 수 있다. 이 유형은 도크에서 폰툰을 제작하고 그 위에 저층의 상부시설을 적층하여 형성된 유사한 크기와 형태의 단위 건축물 모듈러를 해상 또는 육상 교통 수단을 통해 현장으로 운송 후 설치하거나 결

합하는 형식이다. 따라서 주거와 같은 저층의 소규모 건축물에서 적합하고, 단위 건축물의 크기는 운송 수단의 영향을 강하게 받는다.

단위 건축물 모듈러 유형은 네덜란드의 많은 플로팅 주거단지에서 적용된 형식이다. Fig. 21과 22는 네덜란드 유타레흐트(Utrecht) 인근의 털위드(Terwijde) 주거 단지의 사례이다. 네덜란드 설계사무소 아쿠아텍처(Aquatecture)에서 설계하였고, 에이비씨아르켄보우(ABC Arkenbouw)에서 시공<sup>11)</sup>하였다. 2층 단독 주택으로 연면적은 132m<sup>2</sup> 정도이고, 2008년에 준공되었다. 아이버그 집합 주거단지에 비해 규모가 작은 총 14동의 플로팅 단독 주택이 소규모 하천에 지어졌다. 각 동의 주택은 그림에서와 같이 도크에서 제작되었고, 육상 교통을 통해 운송된 후 크레인으로 현장에 설치되었다.

이와 유사한 주거 단지이지만, 현장에서 플로팅 주거 단지를 시공한 사례도 있다. Fig. 23과 24는 네덜란드 마스봄멜(Maasbommel)의 고든 쿠스트(Gouden Kust) 주거 단지<sup>12)</sup>의 사례이다. 현장에서 직접 폰툰을 제작하였고 목조로 상부시설을 지은 후 별도 제작한 지붕을 올렸다. 현장 시공을 중심으로 부분적으로 지붕 등에서 패널 시스템을 적용한 사례이다.



Fig. 21 Under Construction for Terwijde Housing



Fig. 22 Transporting for Terwijde Housing



Fig. 23 Construction on Site for Gouden Kust Housing



Fig. 24 Construction on Site for Gouden Kust Housing

이상과 같이 이 유형은 소규모 주거 건축물 등에 적합한 방법으로 네덜란드 등 유럽에서 다양한 사례가 있으며, 가장 많이 실현된 일반화된 유형이라고 할 수 있다. 운송 조건 및 현장 조건에 의한 변수와 제약이 많은 영향을 준다는 점을 계획 단계에서 충분히 고려할 필요가 있다.

11) <http://www.arkenbouw.nl/> 참조.

12) Anne Loes Nillesen and Jeroen Singelenberg(2011), Amphibious Housing in the Netherlands, NAI Uitgevers, pp. 57-61.

#### 4.2 단위 공간 모듈러

함부르크 도시 건축 정보센터의 경우 동일한 형태와 크기를 갖는 단위 공간 모듈러를 적용한 유형으로 볼 수 있다. 이 유형은 단위 공간 모듈러의 장점을 가장 적절하게 적용한 전형적인 모듈러 시스템 형식으로서 일반 건축물에서도 학교나 병영 같은 건축물에 적용된 사례가 많다. 함부르크 도시 건축 정보센터의 경우, 상대적으로 넓은 공간이 필요한 집회 공간 등의 일부에서 모듈러가 적용되지 않았지만, 대부분의 공간은 단위 공간 모듈러를 반복, 결합하여 전체적인 상부시설을 구성하였다.

이와 유사한 방식의 모듈러를 적용한 사례로 볼 수 있는 것이 Fig. 25와 26의 독일 비터펠트(Bitterfeld)의 플로팅 호텔 계획안이다. 시공된 건축물은 아니지만, 동일한 단위 공간이 반복되는 총 142개의 객실에 모듈러를 적용하였고, 스파와 식당 등의 공간이 결합된 저층 호텔이다. 호수에 자리 잡은 플로팅 호텔로 레저 워크그룹(Leisure Workgroup)의 건축가 젠스 니치케(Jens Nitschke)가 설계<sup>13)</sup>하였다.

Fig. 27과 28은 네덜란드의 잔담(Zaandam)에 2007년 완공된 플로팅 구치소로서 외국인 불법 체류자를 수용하기 위한 시설이다. 콘크리트로 제작된 100m×22m 크기의 폰툰은 벨기에의 겐트(Ghent)에서 제작되었고, 현장으로 해상 운송되어 계류<sup>14)</sup>되었다. 상부시설은 골조시스템과 패널시스템의 결합으로 건축되었다. 따라서 모듈러 시스템이 적극적으로 적용된 사례로 볼 수는 없으나 공업화 시스템을 통해 현장 시공 부분을 축소시키고 있는 것을 확인할 수 있다.



Fig. 25 Aqua Hotel Project, Bitterfeld



Fig. 26 Aqua Hotel Project, Bitterfeld



Fig. 27 Detention Centre, Zaandam



Fig. 28 Close View of Detention Centre

이 유형의 경우 중규모 이상의 건축물에서 동일한 형태와 크기의 단위 공간이 반복되는 경우에 적합하지만, 부분적인 모듈러의 변형이나 다른 공업화 시스템 또는 부분적인 현장 시공과의 결합을 통하여 충분히 다양하게 응용될 수 있다.

#### 4.3 계획 개념으로서의 모듈러

로테르담 플로팅 파빌리온의 경우 서로 다른 형태와 크기를 갖는 모듈러를 적용한 유형으로 볼 수 있다. 이 유형이 실현된 사례를 찾기는 어려우나 소재에 대한 정밀 가공 기술 등의 발달로 충분한 실현 가능성을 갖고 있다. 플로팅 파빌리온의 경우, 상부 구조재는 독일에서 정밀 제작하였고 현장에서 조립하였다. 넓은 의미에서 공업화 건축 시스템에 속하는 유형으로 볼 수 있으나, 분절된 형태의 결합이라는 측면에서 모듈러 개념을 내포하고 있다.

이와 유사한 방식을 적용한 사례로 볼 수 있는 것이 Fig. 29와 30의 상하이 엑스포 플로팅 파빌리온 계획안이다. 이 계획안이 실현되지는 못하였지만, 축소된 형태로 실현된 것이 플로팅 파빌리온이다. 상하이 엑스포 계획안 역시 서로 다른 크기와 용도를 갖는 돔이 결합된 형태로 계획되었다. 델타싱크에서 설계하였고, 집회 및 전시 시설과 최상층의 식당 등이 계획<sup>15)</sup>되었다. 앞의 사례 유형에 비해 디자인의 다양성을 갖는다.

Fig. 31과 32는 델타싱크에서 계획한 플로팅 공원 계획안과 플로팅 농장 계획안<sup>16)</sup>이다. 2개의 계획안 모두 서로 결합 가능한 모듈러 폰툰 위에 다양한 형태와 기능을 갖는 공간을 계획하고 있다. 그리고 이를 결합하여 조성할 수 있는 대규모의 플

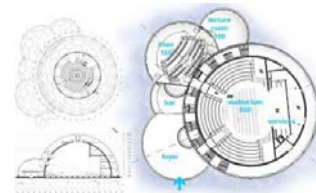


Fig. 29 Shanghai Expo Floating Pavilion Project

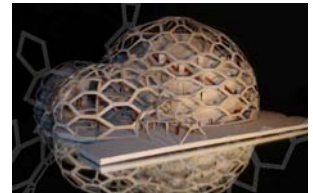


Fig. 30 Shanghai Expo Floating Pavilion Project

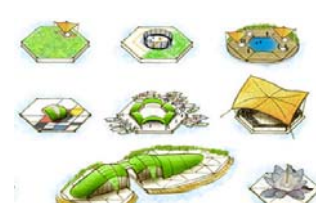


Fig. 31 Project for Floating Park



Fig. 32 Project for Floating Agriculture

13) <http://www.floating-solutions.net/leistungen.html>,

<http://www.flexbase.eu/default.asp?id,542/index.html> 참조.

14) <http://www.royalhaskoning.com/en-GB/Fields/UrbanAreasAndBuildings/StructuralDesign/Pages/FloatingPrison.aspx> 참조.

15) Rutger de Graaf(2010), "Floating urbanization, As a Strategy to reduce vulnerability", Presentation file.

16) Delta Sync(2011), Company Profile, An introduction to DeltaSync 2011, p. 9.



로팅 시설물을 구상한 것이다. 대부분 계획안의 형태이지만, 플로팅 건축의 차원을 확장하여 다양한 기능을 수용하고 확장 및 축소, 결합과 분리 등이 자유로운 도시 구성 요소로서의 개념을 보여주고 있다.

이 유형의 경우 모듈러 시스템의 단점이 될 수 있는 획일성 등의 문제를 극복하고 개념적으로 다양한 응용 가능성을 갖는다. 다만, 폰툼을 중심으로 다양한 기능을 수용하기 위한 보편적이며, 공통의 요구사항에 대한 명확한 정의를 필요로 하며, 상대적으로 정밀한 가공 기술과 접합 기술을 요구한다고 볼 수 있다.

### 5. 결 론

플로팅 건축물은 그 특성 상 일반 건축물에 비하여 상부시설에서 경량화와 공업화, 조립화 등의 요구가 높으며, 이에 따라 적합한 공업화 건축 시스템의 적용을 필요로 한다. 이 연구는 다양한 플로팅 건축물이 실현된 유럽에서 넓은 의미에서의 모듈러 시스템이 적용된 사례를 분석하고 이를 유형화하고자 하였다. 이를 통하여 다음의 Table 2와 같이 모듈러 적용 유형을 단위 건축물 모듈러를 적용한 유형과 단위 공간 모듈러를 적용한 유형, 계획 개념으로서 모듈러를 적용한 유형의 3가지로 구분하였다. 그리고 각 유형에서 사례가 된 프로젝트의 성격과 적용된 공업화 시스템의 종류, 유형이 갖는 특성과 한계, 모듈러 시스템 적용을 위한 고려 사항 등을 정리하였다.

Table 2 Types of Modular System

	건축물 모듈러	공간 모듈러	계획 개념 모듈러
프로젝트 사례의 성격	- 소규모 주거 건축물 - 개별 건축물의 반복성 - 부분적인 변화 유형	- 중규모 이상 건축물 - 단위 공간의 반복성 - 부분적인 모듈러 변형	- 중규모 이하의 건축물 - 건축물의 독자성, 개별성 - 접합 가능한 이형 모듈러
사례별 적용 시스템	- 골조 및 패널 시스템, 목재 및 복합소재	- 모듈러 및 패널 시스템, 강재	- 골조 및 모듈러 시스템, 강재 및 복합소재
유형의 특성	- 현장 시공성의 최소화 - 질적 우수성 및 완성도 - 용도 및 규모의 한계	- 일반성 및 보편성 - 반복에 의한 표준화 - 획일성의 한계	- 환경 및 용도에 따른 디자인의 개별성, 독창성 - 높은 수준의 접합기술 요구
확장 가능성	- 플로팅 건축물의 대중화 - 단지 규모의 다양성, 민간 사업화의 가능성	- 모듈러의 부분적 변형 및 부분 현장 시공에 의한 요구 충족	- 도시 규모의 확장 가능한 계획안 - 다양한 대안의 제시
주요 고려 사항	- 운송 수단 및 현장 시공 조건에 대한 검토 - 개별 건축물 디자인의 다양화 요구	- 건축물의 성격에 따른 동형 모듈러 적용 범위 계획 - 부분 변형을 고려한 모듈러 설계	- 초기 계획 단계에서 포괄적인 디자인의 요구 - 다양한 확장 가능성을 포괄한 패턴화의 요구

3가지로 구분된 유형 중 그 적용 사례가 가장 많은 것은 건축물 단위의 모듈러 시스템이라고 할 수 있다. 이것은 유럽에서 실현된 플로팅 건축 중 소규모 플로팅 주거 건축이 가장 대중화된 사례이기 때문이다. 단위 건축물 모듈러를 해상이나 육상으로 운송하기 때문에 운송 수단과 운송 경로에 따른 제약과 현장에서의 시공 조건 등에 많은 영향을 받고 있다.

단위 공간 모듈러를 적용한 유형은 그 적용 사례가 많지는 않으나 모듈러 시스템의 가장 보편화된 형식이다. 중규모 이상의 건축물에도 적용 가능하다는 장점을 가지지만, 다양한 요구를 수용하기 어렵다는 한계를 가질 수 있다. 그러나 다른 공업화 시스템 및 현장 시공과의 조합과 모듈러의 부분적인 변형으로 융통성을 높임으로서 다양한 요구에 대응할 수 있다.

마지막으로 계획 개념으로서의 모듈러는 서로 다른 크기나 형상의 분절된 공간 또는 건축물이 결합되는 사례로서, 실현된 사례가 많지 않고, 정밀 제작과 높은 기술 수준을 요구한다. 반면, 건축물의 개별성과 다양성에 대한 수용이 가능하며, 비록 계획안의 형태이지만, 플로팅 건축의 영역을 확장하여 플로팅 도시와 같이 보다 큰 규모의 영역에 적용될 수 있는 가능성을 내포하고 있다.

### 후 기

본 논문은 2010년 국토해양부 기술연구개발의 지역기술혁신사업(과제번호: 10지역기술혁신B01)의 일환으로 수행된 연구임을 밝히며 이에 감사를 드립니다.

### 참 고 문 헌

- [1] 송영학, 이원학, 임석호(2011), "박스 유닛공법을 이용한 남극 내륙기지의 가설 캠프 설계, 제작에 관한 연구", 대한건축학회논문집(계획계), 제27권, 제10호, pp. 85-93.
- [2] 임석호(2004), "한국형 공업화 주택의 오픈 시스템을 위한 모듈정합 설계기준설정 연구", 대한건축학회논문집(계획계), 제20권, 제12호, pp. 61-70.
- [3] 임석호(2006), "부품 및 유닛 DB를 이용한 유닛 모듈라 주택의 설계자동화 연구", 한국주거학회논문집, 제17권, 제3호, pp. 41-49.
- [4] Anne Loes Nillesen and Jeroen Singelenberg(2011), Amphibious Housing in the Netherlands, NAi Uitgevers.
- [5] Bart van Bueren(2011), "Water Architect", Presentation file.
- [6] Deborah Schneiderman(2012), Inside Prefab, Princeton Architectural Press.
- [7] Delta Sync(2011), Company Profile, An introduction to DeltaSync 2011.
- [8] Gerald Staib, et al.(2008), Components and Systems, Birkhäuser.



- [9] Jill Herbers(2004), Prefab Modern, Harper Design.
- [10] Rutger de Graaf(2010), "Floating urbanization, As a strategy to reduce, vulnerability", Presentation file.
- [11] Ryan E. Smith(2010), Prefab Architecture, John Wiley & Sons, Inc.
- [12] Sheri Koones(2005), Modular Mansions, Gibbs Smith.
- [13] ABC Arkenbouw Homepage,  
<http://www.arkenbouw.nl/>
- [14] Aqua Project Group Homepage,  
<http://www.floating-solutions.net/leistungen.html>
- [15] IBA Dock Hhomepage, <http://www.iba-hamburg.de/>
- [16] IJburg Housing Homepage,  
<http://waterbuurtwest.nl/>
- [17] Royal Haskoning Homepage,  
<http://www.royalhaskoning.com/>

---

원고접수일 : 2012년 10월 31일  
심사완료일 : 2012년 11월 26일  
원고채택일 : 2012년 11월 27일