

## 목적 기반 로봇의 모듈러 디자인 적용 방안 연구

### A Study on Application of Modular Design for PBR(Purpose Built Robot)

유은선, 홍익대학교 국제디자인전문대학원 스마트디자인엔지니어링과 / 박기철(공동저자), 홍익대학교 / 나건(교신저자), 홍익대학교

Yoo, Eun Sun\_Hongik University / Park, Ki Cheol\_Hongik University /

Nah, Ken\_Hongik University(Corresponding author)

#### 차례

- 1. 서론
  - 1.1. 연구 배경 및 목적
  - 1.2. 연구 범위 및 방법
- 2. 모듈러 로봇 개발 동향
  - 2.1. 모듈러 디자인이란
  - 2.2. 모듈러 로봇 시장 전망
  - 2.3. 모듈러 로봇 사례 분석
  - 2.4. 모듈러 로봇 한계점과 시사점
- 3. 목적 기반 로봇 디자인 요소 도출
  - 3.1. 목적 기반 로봇 정의
  - 3.2. 모듈러 시스템 적용 사례
  - 3.3. 목적 기반 로봇 디자인 요소 도출
- 4. 목적 기반 로봇의 모듈러 디자인 적용 방안
  - 4.1. 1개 플랫폼 디자인 적용 방안
  - 4.2. 2개 플랫폼 디자인 적용 방안
  - 4.3. 4개 플랫폼 디자인 적용 방안
- 5. 목적 기반 로봇의 기대효과 및 한계
- 6. 결론 및 제언

#### References

## 목적 기반 로봇의 모듈러 디자인 적용 방안 연구

### A Study on Application of Modular Design for PBR(Purpose Built Robot)

유은선, 홍익대학교 국제디자인전문대학원 스마트디자인엔지니어링과 / 박기철(공동저자), 홍익대학교 / 나건(교신저자), 홍익대학교

Yoo, Eun Sun\_Hongik University / Park, Ki Cheol\_Hongik University /

Nah, Ken\_Hongik University(Corresponding author)

#### 요약

이 연구의 목적은 '목적 기반 로봇', PBR(Purpose Built Robot)이라는 개념을 제안하고 디자인 가이드라인을 정립하는 것을 목적으로 한다. 연구 방법으로는 상용화되고 있는 모듈러 로봇들의 사례들을 조사하고 분석하여 한계점을 도출하였다. 또한 모듈러 로봇의 한계점을 극복할 수 있는 요소들을 가지고 있는 로봇 외 모듈러 시스템 디자인 제품들의 특징을 분석하여 '목적 기반 로봇'의 디자인 기본 구성 요소를 도출하였다. 범용적인 사용성을 설명하기 위해 예시를 통한 디자인 가이드라인을 제시하고 있다. 마지막으로 '목적 기반 로봇' 개념 수립과 디자인 적용 방안 연구의 기대효과와 한계에 대하여 고찰하고 후속 연구가 필요한 항목을 정리하였다. '목적 기반 로봇', PBR(Purpose Built Robot)의 이점은 다음과 같다. 1) PBR은 단순 작업 도구로서의 로봇의 한계를 넘어, 서비스 및 이해 관계자들을 중심으로 다양한 로봇의 디자인, 설계 및 제작 함으로써 다품종소량생산을 가능하게 한다. 2) 확장형 플랫폼과 표준화된 부품 모듈들은 구성의 단순함과 효율성을 통해 다양한 목적을 지닌 로봇을 만들 수 있으며, 로봇이 필요한 작업과 환경에 대응할 수 있는 유연성을 제공한다. 3) PBR은 손쉬운 내외장 부품 공유와 재사용으로 환경오염을 감소시키고 로봇의 높은 단가를 낮출 수 있다. 4) 이를 통한 핵심 부품의 표준화 및 모듈화로 로봇의 제작과 유통 프로세스를 간소화시켜 '목적 기반 로봇' 생태계 저변의 확장에 도움을 준다. 모든 산업에서는 현재 '지속가능성' 확보를 위해 노력하고 있다. 이를 실현하기 위해서는 또 한 번의 제조 혁신이 필요하다. 모듈화는 효율성 제고와 비용 절감 해결책을 제공하며 다양한 소비자의 사용 목적에 대응하기 위해 목적 기반 로봇 시장의 활성화는 필수이다. 본 연구에서 제안하는 '목적 기반 로봇'의 개념과 디자인 방향성은 성장하는 로봇 시장에서 경쟁력을 확보한 제품 개발에 이바지할 것으로 기대된다.

#### 중심어

목적 기반 로봇

로봇 개념 제안

로봇 디자인 가이드라인

로봇 생태계 지속가능성

#### ABSTRACT

The purpose of this research is to propose the concept of 'Purpose Built Robot' and establish design guidelines. The research methodology involves investigating and analyzing examples of modular robots to identify their limitations. Additionally, characteristics of other modular system design products that possess elements to overcome the limitations of modular robots are analyzed to derive the basic design components. Design guidelines through examples are provided to explain the versatility of use. Finally, the expected effects and limitations of establishing the concept of PBR and studying the application of design are discussed, and areas requiring further research are identified. The advantages of PBR are as follows: 1) PBR goes beyond the limitations of robots as simple tools and enables diverse designs, designs, and manufacturing of robots centered around services and stakeholders, allowing for small-batch production of multiple varieties. 2) Expandable platforms and standardized service modules enable the creation of robots with various purposes, providing flexibility for robots to adapt to required tasks and environments through simplicity and efficiency in configuration. 3) PBR reduces environmental pollution and lowers the high unit cost of robots through easy sharing and reuse of internal and external components. 4) Standardization and modularization of key components simplify the production and distribution processes of robots, contributing to the expansion of the ecosystem of PBR. In all industries, efforts are being made to secure 'sustainability'. Achieving this requires another round of manufacturing innovation. Modularization provides solutions for efficiency improvement and cost reduction, making the activation of the Purpose Built Robot market essential to meet the diverse usage purposes of consumers. The concept and modular design of PBR proposed in this study are expected to contribute to the development of competitive products in the growing robot market.

#### Keywords

purpose built robot

robot concept proposal

robot design guidelines

sustainability of robot

ecosystem

이 연구는 2024년도 산업통상  
자원부 및 한국산업기술기술평  
가원(KEIT)연구비 지원에 의한  
연구임(202302010001)

## 1. 서론

### 1.1. 연구 배경 및 목적

인구구조의 변화, 비대면 문화의 확산에 따른 인력 부족, 경제성장률과 생산성 저하라는 문제의 해결책으로 로봇의 수요가 증가하고 있다. 특히 한국은 현재 합계출산율 0.78명(2022년)으로 국제 기준에서 최하위에 자리 잡고 있으며, 저출산과 초고령화로의 전환에 따른 생산성 저하와 낮은 잠재성장률이라는 문제를 안고 있다. 이에 따라 노동 인력 보조 및 사회적 약자를 위한 로봇의 필요성과 수요가 급증하고 있으며, 이를 해결하기 위해서는 효율적이고 환경오염을 줄이며 로봇 제조 단가 절감을 할 수 있는 새로운 로봇 디자인과 제조 개념이 필요하다.

기존 로봇 제조사의 전략이 양질의 하드웨어를 제조, 판매하는 것이 목표였다면, 최근에는 유지 관리, SW 지원 등 통합 서비스를 제공할 수 있는 서비스 역량에 주목하기 시작했다. 또한 핵심 기술이나 부품 보유 기업이 로봇의 생산을 주도하였던 ‘수직 통합형’ 구조에서 다양한 기업이 시장에서 조달할 수 있는 기술 및 부품을 조합해 로봇을 생산할 수 있는 ‘수평 분업형’ 구조로의 전환이 가속화되고 있다. 이러한 변화와 함께 단순한 로봇 기기 자체가 아닌 로봇과 관련 서비스를 구독 또는 사용량에 따라 결제하는 ‘서비스로서의 로봇(RaaS)’에 대한 수요 또한 증가하고 있다. 이렇게 생산 관점에서의 로봇 시장은 수직 통합형에서 수평 분업형으로, 사용 관점의 로봇 시장은 공급자 우위에서 수요자 중심으로 변화하면서 다품종소량생산이 가능한 로봇 디자인 개념이 요구된다.

본 연구에서는 로봇 제조의 비용 절감을 위한 해결책으로 ‘목적 기반 로봇’ PBR (Purpose Built Robot)의 필요성을 이해하고, 그 개념과 디자인 적용 방안의 예시를 제안한다. PBR은 저자가 본 연구를 통해 제안하는 고유의 개념이다. PBR 개념과 함께 로봇의 기본 구성 요소들을 보다 세분화, 표준화하여 목적과 용도에 따라 변형이 손쉽게 가능한 구조와 디자인 적용 가이드라인을 제안한다.

### 1.2 연구 범위 및 방법

본 연구에서는 ‘목적 기반 로봇’의 개념을 제안하고 디자인 적용 방안을 연구하기 위해 로봇의 유형을 실내 자율 주행 로봇으로 설정하였다. ‘목적 기반 로봇’의 사용성은 적용되는 모듈에 의해 무한한 사용성을 창출할 수 있으나 본 연구에서는 1개의 플랫폼 모듈, 2개의 플랫폼 모듈, 4개의 플랫폼 모듈 각각의 대표적인 사용성을 선정하여 디자인 적용 방안 연구를 진행하였다. 본 연구는 다음과 같은 방법으로 진행되었다. 첫째, 모듈화 개념, 모듈러 로봇 국내 현황과 시장 전망을 문헌 조사를 바탕으로 살펴보았다. 둘째, 상용화되고 있는 모듈러 로봇들의 사례들을 조사하고 분석하여 한계점을 도출하였다. 셋째, 모듈러 로봇의 한계점을 극복할 수 있는 요소들을 가지고 있는 로봇 외 모듈러 시스템 디자인 제품들의 특징을 분석하여 ‘목적 기반 로봇’의 디자인 기본 구성 요소를 도출하였다. 넷째, ‘목적 기반 로봇’의 개념을 정의하고 기본 구조를 연구하여 예시를 통한 디자인 적용 방안을 제시하였다. 마지막으로 ‘목적 기반 로봇’ 개념 수립과 디자인 적용 방안 연구의 기대효과와 한계에 대하여 고찰하고 후속 연구가 필요한 항목을 정리하였다.

## 2. 모듈러 로봇 개발 동향

### 2.1. 모듈러 디자인이란

모듈(Module)은 계수를 뜻하는 희랍어 단어인 ‘모듈러스(Modulus)’로부터 유래되었다. (Jang, J., 2020, p3) 모듈러 디자인은 복잡한 시스템을 더 작고 자체 포함된 단위 또는 모듈로 나누어 설계하는 접근 방식이다. 각 모듈은 특정한 기능을 수행하며 명확한 인터페이스를 갖추고 독립적으로 작동할 수 있다. 모듈러 디자인의 핵심 아이디어는 크고 복잡한 시스템을 더 작고 이해하기 쉬운 부분으로 나누어 구축, 유지관리 및 업그레이드를 더 쉽게 만드는 것이다.

현대적이고 산업적인 의미의 모듈은 건축 분야에서 처음으로 본격적으로 사용하기 시작했다. 독일 바우하우스는 ‘빌딩블록’(Building Block)이라는 개념을 제시하여 건축 공정을 모듈화하

는 혁신적인 방법을 도입했다(Walter, G., 1995, p58). 1980년대 중반부터 모듈러 디자인은 건축 분야 외에도 메카트로닉스, 전자 제품, 가구, 가전, IT제품, 패션, 그래픽 디자인 등으로 확장되었다(Kim, H., 2015, p29).

모듈러 디자인은 산업적, 디자인적 효율성뿐만 아니라 소비자의 니즈와 취향을 반영하고 충족시키는 유연한 제품 구성을 가능케 하여 고객 관계 관리 및 경영 성과 향상에도 기여하고 있다. 이러한 발전과 함께 모듈러 디자인은 전체 산업, 공업 및 연구 분야에서 시스템 통합 수단으로 주목받고 있다. 이로써 모듈은 물리적, 기계적인 시스템의 관리, 통제뿐만 아니라 비물리적 프로세스나 시스템의 관리, 조율, 코디네이션에도 활용되어 구조적 통합, 기능적 통합에 모두 활용될 수 있다(Jang, J., 2020, p28).

## 2.2. 모듈러 로봇 시장 전망

모듈러 로봇(Modular Robot) 시장은 2018년 47억 달러(약 5조 7528억원)에서 2023년 107억 6000만달러(약13조 1702억원) 규모로 성장할 것으로 전망되고 있다. ‘로보틱스 비즈니스 리뷰(RBR)’는 시장 조사 업체인 ‘퓨처 마켓 인사이트(Future Market Insights)’의 자료를 인용, 모듈러 로봇 시장이 매년 평균 18%씩 성장한다고 내다보았다. 모듈러 로봇 시스템은 독립적이고 자율적이며 프로그램할 수 있는 여러 모듈로 구성되어 있으며, 주변 환경에 따라 형태를 변경할 수 있는 특징을 가지고 있다. 이 모듈성은 로봇에 융통성을 제공하고 멀티 작업을 수행할 수 있도록 도와준다.

한국은 서비스로봇 산업 활성화를 위해 로봇을 레고 블록처럼 구성하는 부분을 표준화하는 로봇 모듈화 분야의 국제표준 개발을 주도하고 있다. 산업통상자원부 국가기술표준원은 ‘서비스로봇 국제 표준화 회의’에서 강원대 박홍성 교수가 제안한 ‘서비스로봇 모듈화 일반 요구사항’에 대한 국제표준안이 표준 승인(FDI) 절차를 성공적으로 마쳤다고 밝혔다. 이 국제표준은 로봇 시스템의 구성 요소 중에서 기능적으로 독립성을 가지며 부분적인 개발, 교체, 재활용이 가능한 ‘로봇 모듈’을 정의하는 것으로, 제조사 간 호환성, 로봇 개발의 경제성에 직결되는 중요한 지표이다. 서비스로봇 모듈화 표준이 국제적으로 채택되면 모듈 형태로 호환성이 확보된 로봇 부품을 생산하고 유통할 수 있어, 한국의 중소기업이 로봇 시장에 쉽게 진입하고 다양한 서비스로봇을 개발하는 데 도움이 될 것으로 기대된다.

## 2.3. 모듈러 로봇 사례 분석

### 2.3.1. Fetch Robotics

미국 산호세(San Jose)에 본사를 두고 있는 페치 로보틱스(Fetch Robotics)는 물류 전문 로봇 스타트업이다. 페치 로보틱스의 자율이동로봇(AMR)은 풀필먼트 센터와 배송센터에서 픽킹 서비스를 제공한다. 자율이동로봇 플랫폼으로는 소형 플랫폼인 Freight100이 있고, 중대형으로 Frieght500, Freight1500이 있다. Freight100은 자율적인 작동을 위해 충전용 독(Dock)을 사용하며, 필요할 때마다 로봇의 재충전이 가능하다. 이 로봇은 인간 작업자를 도와 배송, 픽업 포장등 반복적으로 하는 업무를 수행할 수 있다. Freight100 플랫폼 상부에 카트 또는 서랍형 상자들을 결합하여 물류를 이동하거나, RollerTop을 적용하여 컨베이어에어 상자를 싣고 내릴 수 있다. HIMShelf는 통합 터치스크린이 장착되어 있어 맞춤형 로봇 작업을 위한 사용 설정을 쉽게 구성할 수 있다. <Figure 1>과 <Figure 2>에서 살펴볼 수 있듯이 페치 로보틱스의 서비스는 공통된 플랫폼에 물류 서비스 중심의 상부 구조를 채택하고 있으며 구동부, 서비스부로 이원화된 레이아웃을 사용하고 있다.



<Figure 1> Fetch Robotics Freight100 Platform Variation Models (<https://fetchrobotics.com/freight-robots>)



<Figure 2> Fetch Robotics Freight1500, Freight500 Platform Variation Models (<https://fetchrobotics.com/freight-robots>)

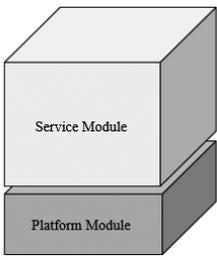
### 2.3.2. Cobot

코봇(Cobot)은 한국 부산에 본사를 두고 있는 자율주행 로봇 스타트업이다. 코봇의 니어피 (NEAR-P)는 모듈화 설계 기법으로 고객의 요구에 맞게 설계를 변경할 수 있는 범용성을 가지고 있다. 코봇의 민중후대표는 이러한 기법 덕분에 제작 기간이 기존보다 50% 이상 단축되었을 뿐 아니라 오픈소스 기반의 다양한 센서 융합 제어시스템을 도입해 고객이 원하는 다양한 서비스를 제공할 수 있다고 말했다. 코봇은 소형 플랫폼 NEAR-P-I(490W X 560D X 320H mm), 중형 플랫폼 NEAR-P-O(860W X 1,450D X 360H mm) 두 개의 플랫폼 서비스를 제공하고 있으며, 그중 NEAR-P-I 플랫폼으로 범용적인 서비스를 구현하고 있다. NEAR-I는 복합적인 여러 공간에서 사용자에게 정보를 제공하고, NEAR-A는 영상을 통해 제품과 서비스를 소개할 수 있는 로봇이다. NEAR-H는 병원에서 물품 배송을 하고, NEAR-W는 창고에서 화물의 운송 및 분류를 지원하는 로봇이다.



<Figure 3> Cobot NEAR-P-I Variation Models (<https://cobotlab.co.kr/>)

<Figure 3>에서 살펴볼 수 있듯이 코봇(COBOT) 또한 페치 로보틱스(Fetch Robotics)와 마찬가지로 공통된 플랫폼에 다양한 기능의 서비스 상부 구조를 채택하고 있으며 구동부, 서비스 부로 이원화된 레이아웃을 사용하고 있다.



〈Figure 4〉 Platform Sharing Robot Layout

## 2.4. 모듈러 로봇 한계점과 시사점

페치 로보틱스와 코봇은 현재 시장에서 통용되고 있는 일체형 로봇들보다 ‘모듈러 로봇’의 가치를 실현하고자 하는 상용화된 로봇들의 대표적인 예시라고 할 수 있겠다. 하지만 페치 로보틱스와 코봇은 <Figure 4>와 같이 플랫폼 모듈과 서비스 모듈 이원화를 통해 ‘모듈러 로봇’보다는 ‘플랫폼 공유’의 가치를 추구하고 있다. 단순한 ‘플랫폼 공유’는 본문 2.1.에서 정의하고 있는 모듈러 디자인 핵심 아이디어에 부합하지 않는다.

두 사례 모두 추가적인 서비스 창출을 위해서는 새로운 플랫폼과 상부 모듈 개발이 필요하다. 이 과정에서 표준화된 부품과 모듈의 부재로 소비자가 요구하는 사용성에 부합하는 모델 개발과 서비스 대응에 한계가 있다. 이는 유지관리 및 업그레이드가 어려우며 추가적인 비용과 시간 소요로 이어진다.

궁극적인 모듈러 로봇의 가치에 부합하기 위해서는 모듈러 디자인의 핵심 아이디어인 ‘크고 복잡한 시스템을 더 작고 이해하기 쉬운 부분으로 나누어 구축, 유지관리 및 업그레이드를 더 쉽게 만드는 것’을 충족시켜야 한다. 이를 위해서는 로봇 구성 요소들의 더욱 세부적인 모듈화와 표준화가 요구된다.

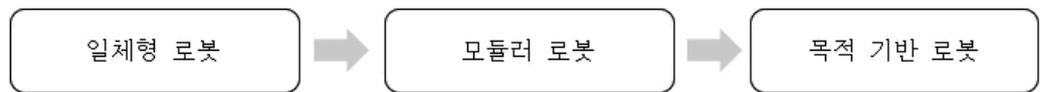
## 3. 목적 기반 로봇 디자인 요소 도출

### 3.1. 목적 기반 로봇 정의

‘목적 기반 로봇’ PBR(Purpose Built Robot)은 미래 로봇 시장의 효율적인 제조 방식과 다양한 사용성을 달성하기 위해 저자가 본 연구를 통해 제안하는 고유의 개념이다. 현재 상용화되고 있는 로봇들은 대부분 ‘일체형 로봇’으로, 한 가지의 특수한 목적만을 수행한다. 통상 ‘모듈러 로봇’으로 정의할 수 있는 플랫폼 공유형 로봇들은 일체형 로봇의 비효율적인 사용성을 극복하고 더욱 다양한 기능을 수행할 수 있도록 플랫폼과 서비스부를 이원화하여 모듈화를 추구하고 있으나, 앞선 사례조사를 통해 사용성 확장에 한계가 있음을 확인할 수 있었다.

‘목적 기반 로봇’은 모듈러 로봇의 한계를 극복하고 더 다양한 목적을 수행할 수 있는 로봇으로, 로봇의 기본 구성 요소들을 보다 세분화, 표준화하여 목적과 용도에 따라 손쉽게 변형이 가능한 조립 방식과 구조를 채택한 로봇으로 정의할 수 있다.

이는 전동화에 기반한 구조적 단순화를 기반으로 용도에 맞게 고객 맞춤형 로봇으로 생산할 수 있어 소비자의 수요에 적극적으로 대응할 수 있으며, 기존 일체형 로봇과 플랫폼 공유형 로봇에 비해 높은 범용성을 가진다.

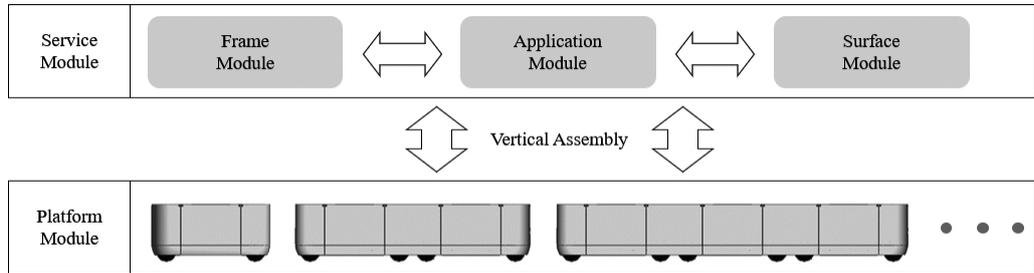


〈Figure 5〉 The Process of Increasing the Versatility of Robots

목적 기반 로봇에서 모듈 체계는 중요한 역할을 한다. 부품 모듈 간에 조합, 분할, 배치, 확장, 공유가 용이 하도록 아키텍처 정합성(Architecture Consistency)을 유지하는 것이 모듈 체계의 핵심이며, 모듈들 간의 기능적 호환성을 확보해야 한다. (Lee, K., 2023.)

목적 기반 로봇의 조건을 충족하려면 제품의 사용 목적과 환경에 맞게 부품 단위에서부터 완제품 단계에 이르기까지 모듈성(Modularity)이 적용되어 있어야 한다. 이를 위해서는 플랫폼의 확장 변형이 가능해야 하며, 규격화된 서비스 프레임 모듈과 외관 패널 모듈을 갖추어야 한다. 프레임 모듈과 외관 패널 모듈은 교체 및 커스터마이징이 가능해야 한다. 또한, 추가 어플리케이션을 적용할 수 있는 통합적인 체결 구조가 필요하다. 체결된 모듈들은 조립성(Assembly)와 분해성(Disassembly)이 용이하여 변종 모델(Variation Model)을 개발할 수 있어야 한다. 목적 기반 로봇의 어셈블리구조는 두 가지 주요 모듈로 이루어진다. 첫 번째는 플랫폼 모듈이며, 이 안에는 구동계와 제어가 포함된다. 플랫폼 모듈은 수평적 조립(Horizontal Assembly)

이 가능한 구조로 되어 있다. 두 번째는 서비스 모듈이다. 이 모듈은 세 가지 하위 모듈로 나뉜다. Frame Module은 구조를 형성하고, Surface Module은 외관을 형성한다. Application Module은 로봇의 특정 기능을 수행한다. 이 3가지 서비스 모듈들은 서로 수평적으로 연결된다. 플랫폼 모듈과 서비스 모듈은 수직적 조립(Vertical Assembly)이 되는 구조를 가진다. 플랫폼 모듈과 서비스 모듈의 조합으로 최종 로봇이 완성되고 이러한 조합으로 다양한 기능의 모델이 파생될 수 있다.



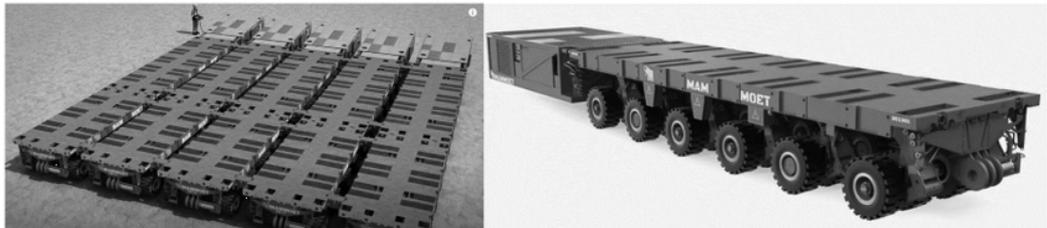
〈Figure 6〉 Composition of Purpose Built Robot

### 3.2. 모듈러 시스템 적용 사례

#### 3.2.1. Mammoet

네덜란드의 Mammoet이라는 중장비 회사는 Self-Propelled Modular Transporter(SPMT)라는 유압식 트레일러를 개발하여 대형 화물을 운반하는 데 사용하고 있다. SPMT는 모듈식으로 사용성에 맞게 확장되어 사용되고 있다.

SPMT는 규격화된 플랫폼 모듈들이 결합하며 플랫폼 자체의 제원을 다양화할 수 있는 특징을 가지고 있다. 이는 현재 로봇 시장에서 적용되고 있지 않은 콘셉트로 여러 개의 로봇 플랫폼을 제작하는 대신 1개의 플랫폼 모듈을 제작하여 사용성에 따라 조합을 함으로써 자원과 시간 절약하며 새로운 서비스를 창출할 수 있다.



〈Figure 7〉 Mammoet SPM (<https://www.mammoet.com>)

#### 3.2.2. USM

스위스에 본사를 두고 있는 USM은 1885년에 설립된 회사로 모듈형 가구 제조 업체이다. USM Haller라는 대표 제품 라인은 각종 모듈을 조합하여 다양한 형태의 가구를 만들 수 있는 모듈형 디자인을 제공한다. 기본 철제 뼈대는 USM Ball이라고 불리는 구 형태의 부품과 긴 철제 튜브로 구성되어 있다. 추가로 USM Ball과 튜브를 연결할 수 있도록 설계된 Connector라는 부품이 있다. 뼈대가 완성되면 개인의 취향에 맞는 평면 패널들을 붙여 사용할 수 있다.

USM의 뼈대와 외관 패널이 결합하는 방식은 모듈화 로봇의 기본 구조를 연구하는 데 있어 큰 의미가 있다. 규격화, 표준화된 골조와 외관 패널은 용도에 맞추어 서로 체결되며 그 형태를 완성한다.



〈Figure 8〉 USM (<https://us.usm.com>)

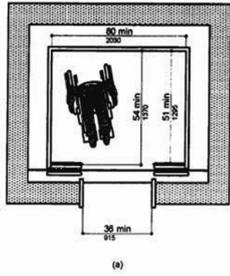
### 3.3. 목적 기반 로봇 디자인 요소 도출

#### 3.3.1. 플랫폼 모듈 (Platform Module)

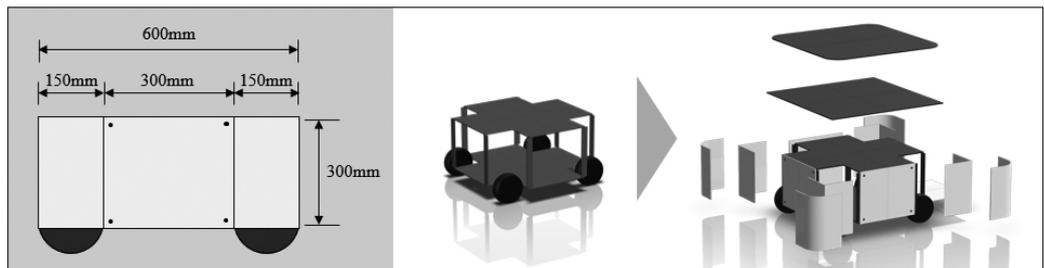
기본 플랫폼 모듈 제원은 원활한 실내 층간 이동을 위하여 주거용 엘리베이터 문의 개폐 정도를 기준으로 도출하였다. 엘리베이터 문의 개폐 정도는 주거 공간 설계 기준으로 폭이 915mm ~ 1,055mm이다. 사무용 건물 또는 상업용 건물의 엘리베이터 문의 폭은 주거용보다 넓기에 주거용 엘리베이터 단면을 기준으로 하였다.

관련 연구 결과에 따르면 약 900mm 폭의 가장 좁은 주거형 엘리베이터 탑승 시 로봇과 주변 상황의 안전을 위해 로봇 양옆으로 최소 150mm 정도 유격이 필요하다. 또한 효율적인 모듈화를 위한 앞면 옆면 대칭으로 만들기 위해 본 연구에서는 기본 플랫폼 제원을 600mm X 600mm 로 설정하였다.

<Figure 10> 우측 이미지에서 볼 수 있듯이 수리와 유지보수가 잦은 휠 커버와 플랫폼 본체 커버를 따로 분리하여 간단한 수리를 위하여 전체 외관 커버를 제거해야 하는 번거로움을 해결하였다. 휠 커버는 로봇의 서비스 성격에 맞추어 직각 또는 곡률을 가진 커버를 선택하여 조립할 수 있다.



<Figure 9> Specifications for a Residential Elevator ([https://www.floridabuilding.org/fbc/workgroups/Accessibility\\_Code\\_Workgroup/Documentation/Access\\_Figures/flcomplete\\_2007\\_1.htm](https://www.floridabuilding.org/fbc/workgroups/Accessibility_Code_Workgroup/Documentation/Access_Figures/flcomplete_2007_1.htm))

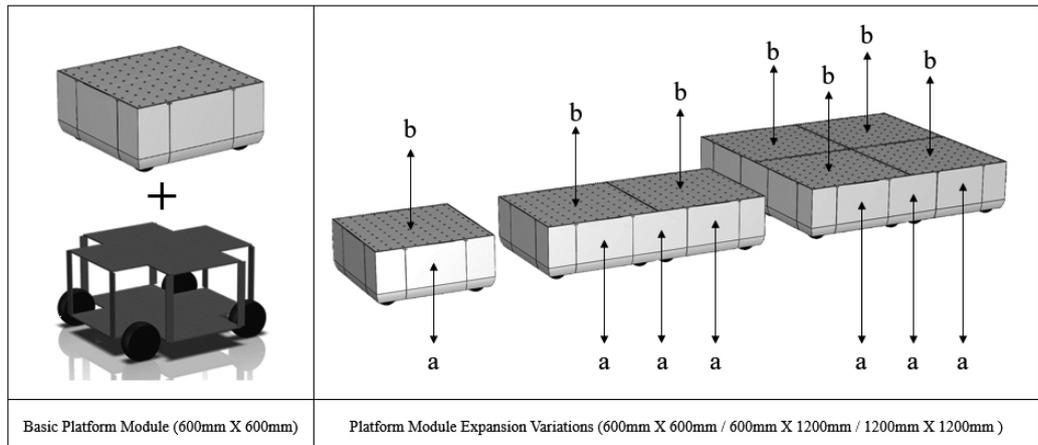


<Figure 10> Platform Module Specifications & PBR Platform Module Framework and Modular Skins

앞서 살펴본 모듈러 제품 디자인 사례연구에서 알 수 있듯이 모듈러 플랫폼은 규격화된 부품을 반복적으로 연결함으로써 목적과 용도에 맞게 변형할 수 있다. 이러한 디자인 요소를 '목적 기반 로봇'의 플랫폼에 적용하여 1개의 기본 플랫폼 모듈 제작으로 다수의 크기의 플랫폼을 제조할 수 있도록 설계하였다.

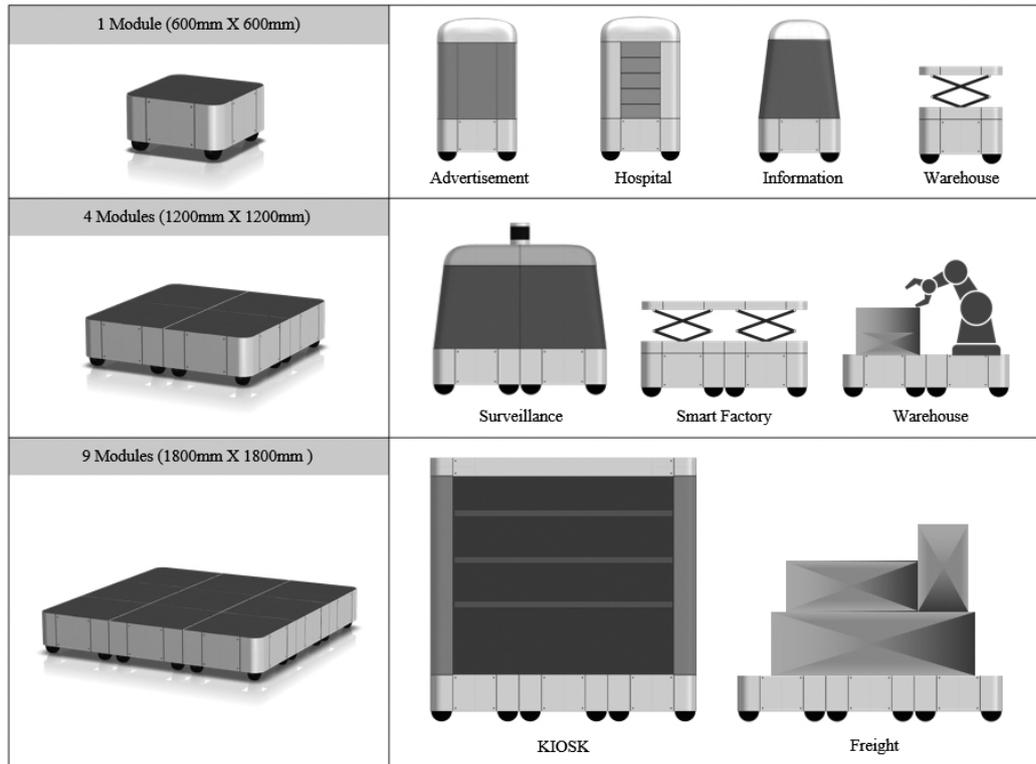
플랫폼 내부의 뼈대는 모듈형 외관 패널의 탈부착이 용의 하도록 직각 구조로 설계하였으며 같은 규격의 외관 패널의 반복적인 사용을 위해 뼈대의 간격을 최적화하였다. <Figure 11> 우측 이미지에서 볼 수 있는 'a'와 'b'는 각각 같은 크기이다. 이는 패널의 파손에 의한 유지보수를 더욱 쉽게 할 수 있으며 외관 모듈의 반복 사용으로 인한 생산 가격 인하를 도모할 수 있다.

나라	크기 mm (폭x깊이)
북아메리카	1016 X 1219
유럽 아시아	1000 X 1200
호주	1165 X 1165
북아메리카, 유럽, 아시아	1067 X 1067
아시아	1100 X 1100
유럽	800 X 1200



<Figure 11> Basic Platform Module & Platform Module Expansion Variations

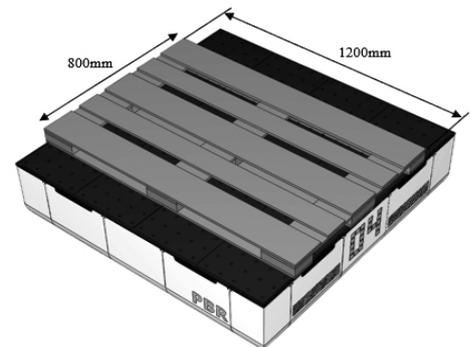
<Figure 12> ISO Standard Plastic Pallet (<https://www.packingfromhina.com/ko/pallet-standards.html>)



<Figure 13> Examples of Possible Services with PBR Platform Variations

<Figure 13>는 기본 플랫폼 1개, 4개, 9개 결합 시 제공할 수 있는 서비스들의 예시이다. 1개의 플랫폼으로는 외관 패널 모듈의 커스터마이징을 통해 이동식 광고 서비스를 하고 트레이 모듈을 삽입하여 병원에서 약과 소형 물품을 배송하는 로봇으로도 활용될 수 있다. 그 외 상점에서 고객들에게 정보를 전달하고 MFC(Micro Fulfillment Center)에서 소형 물류를 나눌 수 있다.

플랫폼 모듈 4개 결합 시 1,200mm X 1,200mm 은 물류 창고에서 AMR(Autonomous Mobile Robot) 형식의 서비스에 적합한 제원이다. <Figure 12>은 각 국가별 ISO Standard Plastic Pallet의 크기이다. 1,200mm



<Figure 14> 800mm X 1200mm ISO Standard Plastic Pallet on 4 Platform Module PBR

X 1,200mm PBR에 모두 실을 수 있는 제원들이다. 또한 <Figure 13>에서 볼 수 있듯이 로

봇 팔을 상판에 결합하여 물류 창고에서 물품 분류 작업을 수행할 수 있다. 또한 대형 실내 공간의 방범 서비스로봇의 역할도 해당 제원으로 제공할 수 있다.

플랫폼 9개 결합 시 제원은 1,800mm X 1,800mm가 된다. 이는 ‘공간’ 서비스를 제공할 수 있는 제원으로써 이동식 키오스크 또는 간이 휴식 공간으로써 활용될 수 있다.

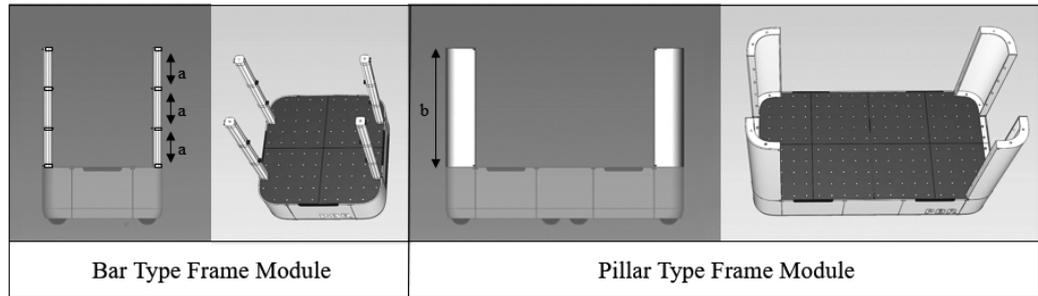
그 외 플랫폼 2개의 조합, 3개의 조합 등 기본 플랫폼 조합 개수의 변형으로 사용자 요구하는 서비스를 제공할 수 있다.

### 3.3.2. 프레임 모듈 (Frame Module)

플랫폼 상단의 서비스 가치를 창출하기 위한 프레임 기본 구조로는 다음과 같은 구조들이 있다. 첫 번째로 Bar Type의 프레임이다. <Figure 15> 좌측 이미지는 Bar Type 프레임을 적용한 이미지로 사용성에 따라 ‘a’와 같은 짧은 모듈들을 결합하여 연장, 플랫폼과 체결하여 뼈대 구조로 사용할 수 있다.

두 번째로 <Figure 15> 우측 이미지와 같은 Pillar Type 프레임이 되겠다. Pillar Type은 그 자체로 로봇의 외관 면이 되는 디자인으로 프레임과 외장 패널의 두 가지 기능을 동시에 수행할 수 있다.

본 연구에서는 Bar Type, Pillar Type 2가지 프레임을 중심으로 사용성 연구를 진행하였으나 다른 형식의 서비스 프레임 모듈 역시 적용할 수 있다.

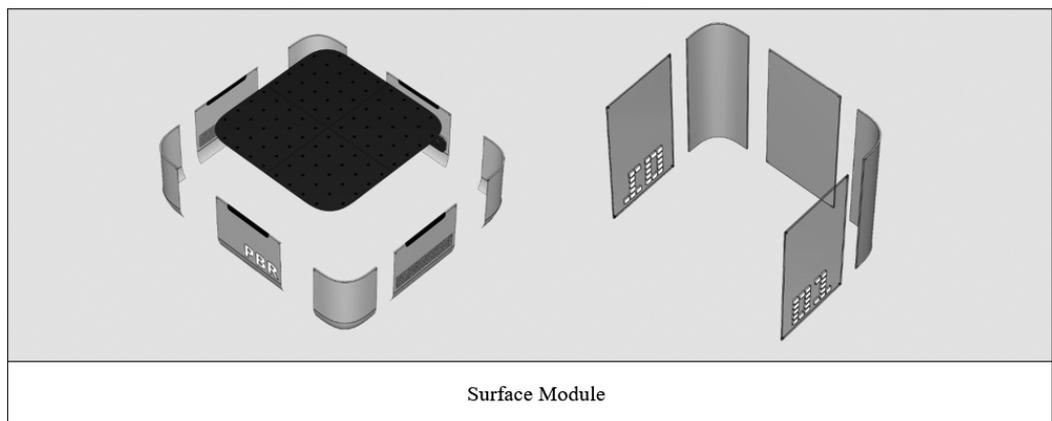


<Figure 15> Bar Type Frame Module & Pillar Type Frame Module

### 3.3.3. 외관 모듈 (Surface Module)

프레임에 체결되어 로봇의 외관을 형성하는 패널들을 외관 모듈이라고 한다. 본 연구에서 목적 기반 로봇에 적용되는 외관 모듈들은 제작과 유지보수가 가장 용이한 평면 또는 일정한 곡률을 가진 곡면을 사용하였다.

각종 전장부품을 탑재하는 플랫폼 모듈이나 구조적 강건함을 확보해야 하는 프레임 모듈과는 달리 외관 모듈은 로봇의 내용물을 안전하게 보관 혹은 이동하는 단순한 기능을 수행한다. 따라서 외관 모듈은 표준화된 사이즈와 단순한 구조, 그리고 얇은 두께를 가지고 있다. 이를 통해 PBR은 제조 단가를 낮추고 무게를 줄일 수 있을 뿐만 아니라 작은 몸체 대비 큰 부피의 내용물도 담을 수 있어 물품의 보관을 위한 로봇의 기본 기능에 충실할 수 있다. 목적에 따라서는 외관 모듈에 투명 소재를 적용하여 도어(Door)의 개폐 없이도 로봇의 내용물을 외부에서 직관적으로 확인할 수 있다.



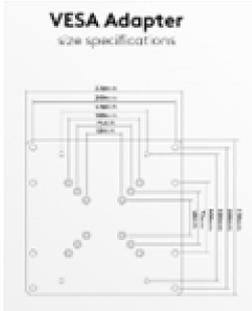
<Figure 16> Surface Module

### 3.3.4. 기능 모듈 (Application Module)

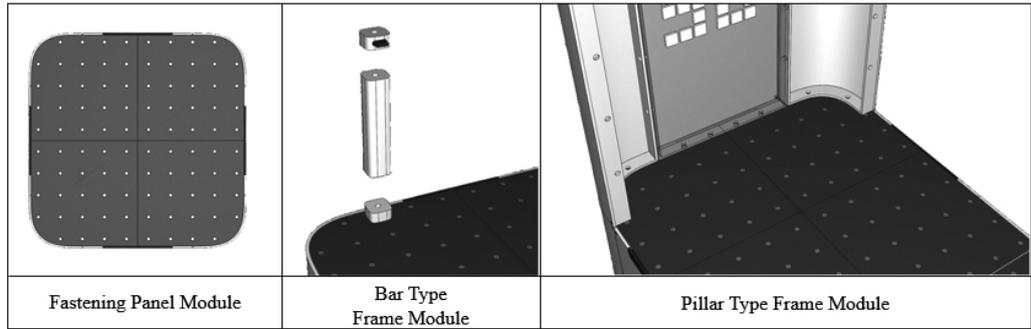
기능 모듈은 로봇이 단순한 이동을 넘어 보다 세부적인 목적을 수행하는 경우 사용할 수 있는 모듈을 통칭한다.

이를 위해서는 로봇과 기능 모듈을 연결하는 표준화 된 체결 방식이 선행되어야 한다.

다양한 사이즈의 디스플레이를 거치하기 위해 일반적으로 사용되는 베사(VESA) 마운트 <Figure 17>는 표준화 방식을 적용한 좋은 예시이다. 본 연구에서는 플랫폼 모듈의 크기 및 프레임 모듈의 간격을 고려하여 홀(Hole)당 간격은 60mm, 각 홀의 크기는 10mm로 설정하였다.



<Figure 17> Vesa Adapter(<https://www.wentronic.com/en/adapter-for-tv-wall-mount-with-vesa-for-mat-63267>)

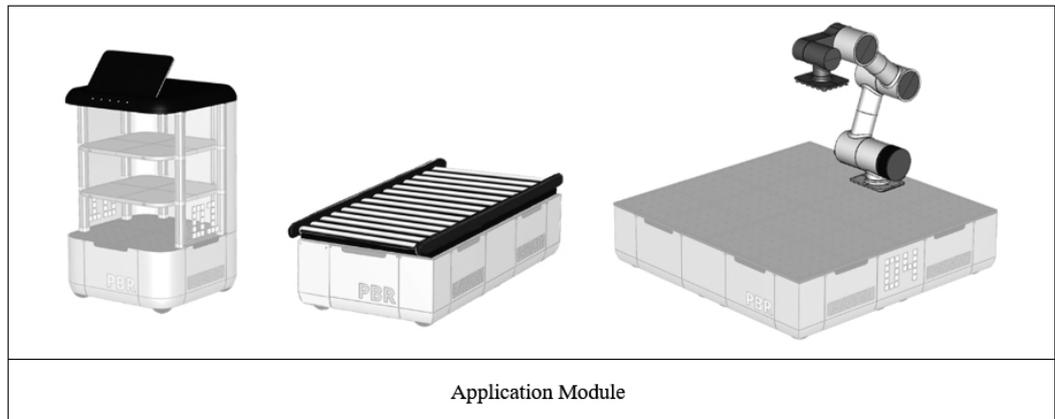


<Figure 18> Fastening Panel Module & How Each Type Gets Integrated

<Figure 18>에서 볼 수 있듯이 플랫폼 모듈 윗면에는 요구되는 기능의 부품들을 체결할 수 있도록 일정한 간격의 볼트 홀들이 있다. 그 홀들을 이용하여 서비스 프레임 모듈들과 어플리케이션 모듈들이 플랫폼에 체결된다. 프레임 모듈들과 외관 패널들도 같은 크기의 볼트들로 서로 연결될 수 있다. 이 체결구조는 PBR 모듈들 간 통일하여 부품의 호환성을 극대화 한다.

<Figure 19>은 이러한 표준화 방식을 통해 다양한 기능을 수행하는 PBR의 예시를 보여준다. HRI를 위한 디스플레이를 탑재하여 사용자 경험을 강화하고, 스마트 팩토리 물류를 위한 컨베이어 시스템과 로봇 팔을 장착하여 기능의 확장이 가능하다.

제조사가 기능 모듈 탑재를 위한 마운트 규격 가이드를 제공하고 애프터마켓에서 규격에 맞는 기능 부품을 제공하는 이러한 형태는 단일 로봇의 제작 및 유통 방식의 한계를 극복하고 로봇 전체 시장을 확장하여 혁신적인 로봇 생태계를 조성할 수 있다.



<Figure 19> Application Module

#### 4. 목적 기반 로봇 디자인 적용 방안

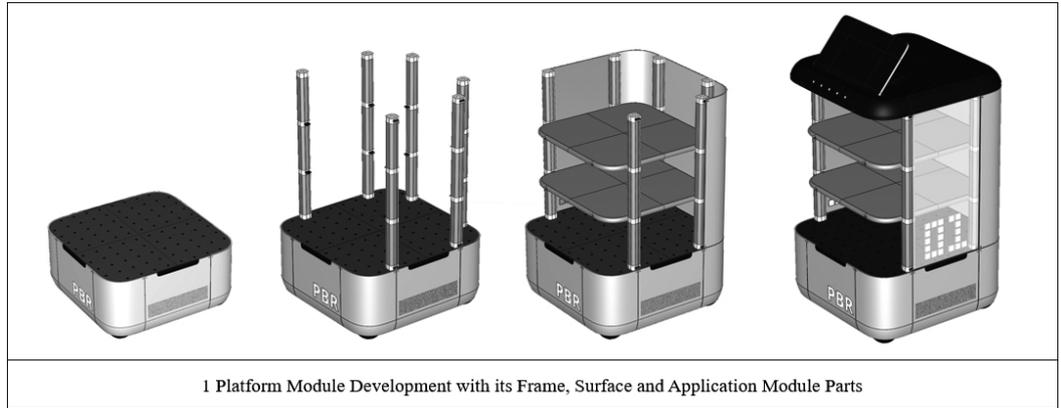
앞서 살펴본 목적 기반 로봇의 플랫폼 모듈을 1개, 2개, 4개로 각각 결합하여 각 조합에 따른 대표적인 디자인 적용 사례를 제안하였다.

##### 4.1. 1개 플랫폼 디자인 적용 방안

1개 기본 플랫폼으로는 병원, 도서관, 사무실 등의 공간에서 물품 배송 서비스를 하는 PBR을 발전시켜 보았다. W:600mm X L:600mm X H:1,200mm 제원으로 Bar Type 프레임으로 골조를 세우고 그 위에 외관 패널들을 부착하였다. 양옆의 외관 패널은 반투명 소재를 사용하여 내용물의 여부를 시각적으로 확인할 수 있게 하였다. 내부에 트레이를 장착하여 효율적인 물품 배송을 위한 공간을 분배하였고, 앞쪽은 외장 패널들을 체결하지 않음으로써 물품들을 손쉽게 넣고 뺄 수 있는 공간을 확보하였다.

가장 상단에는 디스플레이가 탑재되어 있어 소리 또는 메시지, 그림 등으로 물품 수령과 관련된 정보를 전달할 수 있다. 디스플레이의 높이는 약 1,000mm~1,200mm에 위치하는데, 이 수치

는 아이들의 눈높이인 동시에 어른들이 편안하게 내려다볼 수 있는 높이이다. 디스플레이가 장착된 기능 모듈은 외부 환경을 감지하고 로봇의 경로와 장애물을 파악하는 보조 센싱의 역할을 한다. 자율주행 로봇은 기본적으로 구동부에도 센서들을 탑재하고 있으나, 센싱 높이의 한계가 있어 로봇의 가장 높은 곳에 보조 센서들이 필요하다. 기능 모듈에는 이를 도와주는 카메라 또는 라이다(LiDAR) 탑재가 가능하다.

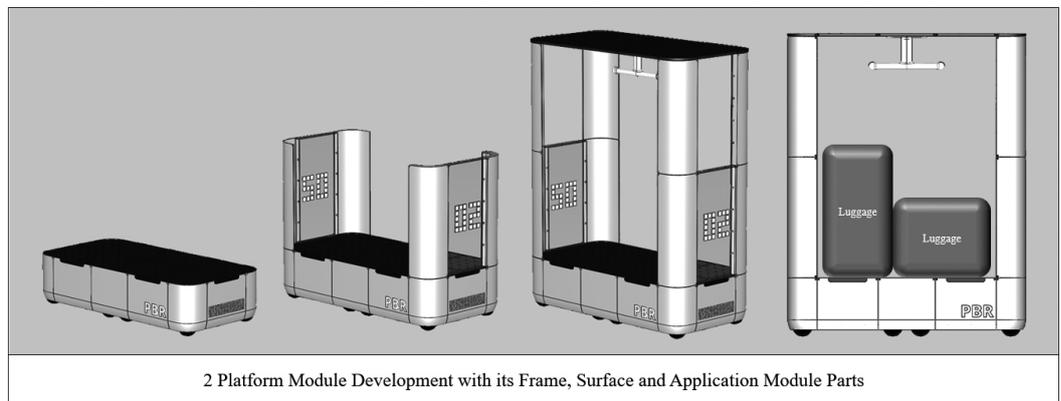


〈Figure 20〉 Fastening Panel Module & How Each Type Gets Integrated

#### 4.2. 23개 플랫폼 디자인 적용 방안

2개의 플랫폼을 결합하여 공항 또는 호텔에서 짐을 이동 및 보관할 수 있는 서비스를 제공하는 PBR을 발전시켰다. W:600mm X L:1,200mm X H:1,500mm 제원에 프레임 모듈은 Pillar Type을 적용하여 불필요한 공간을 최소화하였다. 가로세로 폭이 다르므로 이동 시에는 좁은 폭 방향 사용, 짐을 올리고 내릴 때는 넓은 방향을 사용할 수 있다.

모서리에는 둥근 타입의 외관 패널을 사용하여 사람들에게 위화감을 주지 않는 디자인을 적용하였고, 반투명 외관 패널을 적용하여 짐의 상하차 여부를 더 쉽게 확인 할 수 있게 하였다. 가장 상단에 놓여있는 패널에는 표준 규격의 홀들이 일정한 간격으로 배치되어 있어 가방을 걸 수 있는 부품을 손쉽게 장착할 수 있으며, 필요시 다른 부품들도 위, 아랫면에 체결할 수 있게 하였다.



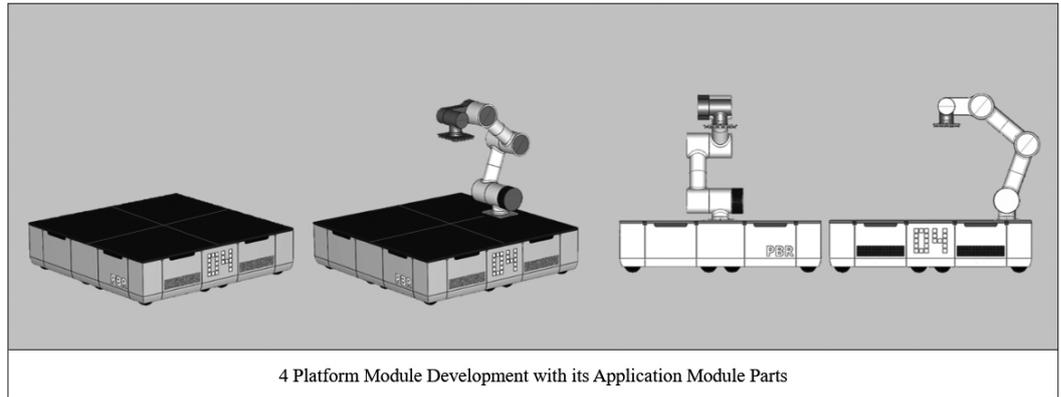
〈Figure 21〉 Fastening Panel Module & How Each Type Gets Integrated

#### 4.3. 4개 플랫폼 디자인 적용 방안

4개의 플랫폼을 결합하여 창고에서 제품 상자를 적재 또는 하역할 수 있거나 스마트 팩토리에 서 규격화된 짐을 실어 나를 수 있는 PBR을 발전시켰다.

W:1,200mm X L:1,200mm X H:1,000mm(로봇 팔 포함)의 제원으로 AMR에 다관절 산업용 로봇 팔을 얹은 형태를 하고 있다. 사람들과 상호작용을 요구하는 앞의 PBR 예시들과는 달리 물류를 주로 다루는 창고와 공장에서의 사용성을 고려하여 각진 모서리로 마감하였다. 플랫폼

상단에 표준 규격 홀을 이용해 로봇 팔 외의 다른 Application Module을 장착할 수 있다. 로봇 팔을 제외하면 그 자체로 AMR로 사용될 수 있기에 로봇 팔이 적용된 플랫폼과 동시에 사용하면 플랫폼의 높이가 통일되어 좀 더 효율적인 물류 이동이 가능하다.



<Figure 22> Fastening Panel Module & How Each Type Gets Integrated

### 5. 목적 기반 로봇 기대효과 및 한계

‘목적 기반 로봇’, PBR(Purpose Built Robot)이라는 새로운 학술적인 용어 수립은 학문과 연구 발전에 유의미한 가치를 가질 것으로 생각한다. 첫 번째, 정확한 의미 전달이 가능하다. 새로운 개념이나 기술은 기존의 용어로 표현하기에는 그 한계가 있으므로 정확한 의미 전달이 가능한 새로운 용어를 통해 개발자와 시장 등 범용적인 관점에서 이해를 도울 수 있다. 두 번째로 PBR 관련 지식의 구조화와 체계화를 시킬 수 있다. 개념 정립은 지식의 체계를 더욱 강화할 수 있으며, 이를 통하여 향후 연구자들이 해당 지식을 더욱 체계적으로 이해하고 활용할 수 있도록 돕는다. 세 번째로 학문적인 협력을 촉진 시킬 수 있다. 해당 용어와 관련하여 학문적인 토론과

<Table 1> The Positive Effects of Establishing PBR Terminology

The Positive Effects of Establishing PBR (Purpose Built Robot) Terminology
Accurate Conveyance of Meaning
Structuring and Systematizing Knowledge
Promoting Scholarly Discussions and Collaborations
Strengthening Global Communication

지식 공유를 촉진 시키고, 용어가 확립되면 이를 바탕으로 연구자들 간의 토론이 활발하게 이루어지며, 새로운 시각과 관점을 공유하고 학문적인 협력을 도모할 수 있다. 네 번째로 글로벌 커뮤니케이션을 강화할 수 있다. 특정 분야에서 개발된 새로운 기술이나 개념을 다른 국가나 지역의 연구자들과 공유할 때, 공통된 용어가 필요하다. 이를 통해 다양한 문화와 언어에서도 연구 결과를 정확하게 이해하고 활용할 수 있다.

목적 기반 로봇은 각 기능을 하는 구성 요소들의 조합과 해체를 디자인 단계에서부터 고려해야 한다. 구조가 곧 외관이 되기에 부품의 성능과 스펙을 조화롭게 디자인에 반영해야 하므로 스타일 측면의 취향만을 고려하는 디자인 방법에 비해 최종 디자인 도출까지 많은 어려움이 따른다. 개념화 단계(Conception)에서 검증 단계(Verification) 단계에 이르기까지 지속적인 조정과 개선을 반복하면서 최적의 스펙을 완성해 나가야 한다. 또한 목적 기반 로봇 시스템 개발은 그 자체가 비즈니스이기에 저변을 확대하기 위해서는 앞으로 분업화된 전문업체들의 적극적인 참여가 요구된다.

### 6. 결론 및 제언

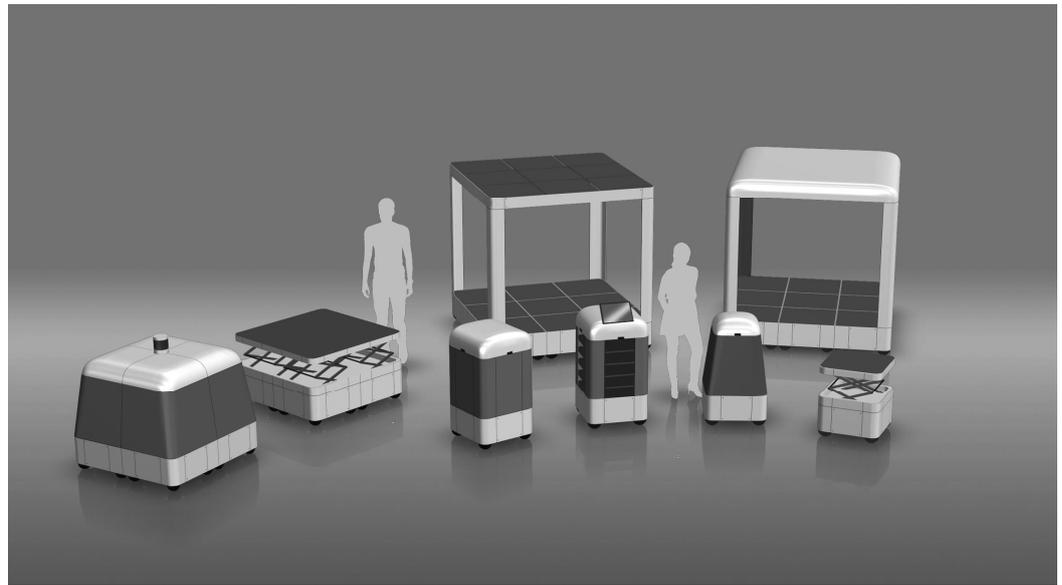
본 연구는 ‘목적 기반 로봇 개념’ PBR(Purpose Built Robot)을 제안하며 동시에 로봇의 기본 구성 요소들을 기존의 모듈러 로봇보다 세분화, 표준화하여 목적과 용도에 따라 변형이 손쉽게 가능한 구조와 디자인 가이드라인을 제안하였다.

이를 통해 한가지의 목적을 위해 제조되던 과거의 로봇과는 달리 소형, 중형, 대형에 이르는

다양한 유형의 로봇 제품 조합이 가능할 것이다. 산업과 일상생활 속에서 로봇의 역할이 확장되고 있는 만큼 미래에는 더 많은 새로운 종류의 로봇들이 등장할 것으로 예상된다. 목적 기반 로봇은 디자인 단계부터 조합과 해체를 고려하여 구상하기 때문에 조립 과정의 문제를 최소화하고 부품 수와 조립 공정을 간소화할 수 있다. 또한 개별 부품 레벨에서의 조합을 통해 완제품을 만드는 방법 보다, 모듈러 그룹 단위의 조합을 통해 완제품을 만드는 방법이 복잡성 (Complexity)을 낮추어 다양성 관리 (Variety Management)에 효율적이라고 할 수 있다 (Yoon, J., C. & Kwak, J., H., 2017).

‘목적 기반 로봇’의 모듈화 초기 단계에는 시스템 개발과 안정화를 위한 긴 시간이 요구될 수도 있다. 하지만 시간이 지날수록 제품의 업그레이드와 재고관리, 유지보수에 드는 비용을 점차 낮출 수 있다. 단위 부품의 표준화, 모듈화, 재활용 등은 다품종 소량 생산을 실천하며 생산 프로세스의 혁신을 가져올 것이다. 이를 통해 1) 민첩하고 유연한 제조와 2) 고객맞춤 생산 3) 자원을 효율적으로 사용 4) 지속 가능한 생산 방식이라는 가치를 실현할 수 있다.

저자는 본 연구에 이어 후속 연구에서 목적 기반 로봇 디자인 프로토타입 모델 개발을 할 예정이다. 프로토타입으로 실질적인 사용성을 검증하고 심층 인터뷰를 통해 소비자 평가를 진행하여 그 결과를 디자인에 반영하여 발전시킬 계획이다. 또한 각 모듈러 부품에 대한 제원, 표준 체결 구조에 대한 고찰을 통하여 연구에 깊이를 더할 것이다.



〈Figure 23〉 Examples of Possible Services with PBR Platform Variations

모든 산업에서는 현재 ‘지속가능성’ 확보를 위해 노력하고 있다. 이를 실현하기 위해서는 또한 번 제조 혁신이 필요하다. 모듈화는 효율성 제고와 비용 절감 해결책을 제공하며 다양한 소비자의 사용 목적에 대응하기 위해 목적 기반 로봇 시장의 활성화는 필수이다. 본 연구에서 제안한 ‘목적 기반 로봇’의 개념과 모듈러 디자인은 성장하는 로봇 시장에서 경쟁력을 확보한 제품 개발에 이바지할 것으로 기대된다.

## References

- Cha, D. W., Lee, S. A. (2022). *Post Mobility*
- Chang, J. H., (2020). Research on the value and sustainability of modular design : Focusing on Cases of Spatial Design. *Journal of Basic Design & Art*, 22, 526-528
- Cobot. <https://cobotlab.co.kr> (accessed 2023, October 10)
- Colin. O. (2021, September 29 ) *Citroën Skate concept: autonomous skateboard platform has*

- changeable pods*. CAR.  
<https://www.carmagazine.co.uk/car-news/first-official-pictures/citroen/skate> (accessed 2023, October 15)
- Fetch Robots. <https://fetchrobotics.com/freight-robots> (accessed 2023, October 10)
- Global Insight (2022). *Current status of the global robot industry and Korea*.
- Hana Financial Management Research Institute (2023). *A New way to meet robots – RaaS*, 7–9
- Kim, M. H. (2023). *Future, Mobility*, 33
- Kindicator. (2023, February 22). *Total Birth Rate*  
<https://www.index.go.kr/unify/idx-info.do?idxCd=5061> (accessed 2023, October 20)
- KIRIA (2022). *Robotics 4.0 and Japan's response strategy*
- KIRIA (2022). *Autonomous mobile robot (AMR) market status and major company analysis*
- Lee, C. H (2022, January 05). [CES 2022] "Breaking the stereotype of mobility" Hyundai Motor Company unveils a large number of new robots. asiae.  
<https://cm.asiae.co.kr/article/2022010508144309606> (accessed 2023, October 25)
- Lee, K. (2023). A Study on the Design of a Multi-purpose Four-wheel Electric Cargo Bike. *Journal of Basic Design & Art*, 24, 379–380
- Mammoet. Mammoet.com <https://www.mammoet.com> (accessed 2023, October 20)
- Ministry of Trade, Industry and Energy (2020). *Korea takes the lead in developing international standards for robotics industry core technology and robot modularization*, 1–2
- Modular robot market to grow to \$10.7 billion by 2023*. (2020, March 31). irobotnews.  
<https://www.irobotnews.com/news/articleView.html?idxno=20168> (accessed 2023, November 25)
- Nam, M. K. (2016). A Study on Element and Application Method of Modularity for Sustainable Design. *Journal of the Korean Society of Design Culture*, 22
- Park, G. I (2020, January 07). *Hyundai Motor Company unveils its future mobility vision at 'CES 2020'*. irobotnews.  
<https://www.irobotnews.com/news/articleView.html?idxno=19253> (accessed 2023, October 20)
- PBV, a Means of transportation that integrates seamlessly into daily life* (2021, April 22).  
 Hyundaimotorgroup. <https://www.hyundai.co.kr/story/CONT0000000000002756> (accessed 2023, October 20)
- PnD*. Hyundairobotics. <https://robotics.hyundai.com/en/projects/research/view.do?seq=35>  
 ((accessed 2023, October 22)
- Ryu, J. Y (2022, February 16). *Series Ventures invests in modular self-driving robot developer 'Cobot'*. Daum. <https://v.daum.net/v/20220216145018638> (accessed 2023, November 20)
- USM, us.usm.com <https://us.usm.com> (accessed 2023, October 16)
- Walter, G., (1995) *International architecture*, Science Technology Books
- Yoon, J. C., (2017). A Study on Application of Modular Design for Micro Mobility. *Journal of Basic Design & Art*, 18(2), 401