

〈응용논문〉

모듈러 디자인 개념을 도입한 PBV(Purpose Built Vehicle) 구조 연구

향 가 혼¹⁾ · 구 상^{*2)}

홍익대학교 디자인공예학과¹⁾ · 홍익대학교 산업디자인학과²⁾

A Study on the PBV(Purpose Built Vehicle) Structure with Modular Design Concept

Kexin Xiang¹⁾ · Sang Koo^{*2)}

¹⁾Department of Design and Craft, Hongik University, Seoul 04066, Korea

²⁾Department of Industrial Design, Hongik University, Seoul 04066, Korea

(Received 3 March 2023 / Revised 2 May 2023 / Accepted 12 May 2023)

Abstract : With the increase in urban population density, people's demand for mobility has also risen. The nature of mobility is gradually changing from transportation to mobility services due to convenience, speed, safety, predictability, and sustainability in relation to travel. This study aims to conduct a structural case analysis of PBV, one of the main means of transportation in future mobility service systems, and to explore the implications of a modular design. By using both literature surveys and case studies, design changes and their influencing factors were derived, and the structural design trends of PBV were predicted. In the future, PBV is predicted to continue to maintain an all-in-one structure that meets various uses and travel purposes by replacing internal component modules on scalable platforms.

Key words : Purpose built vehicle(목적 기반 모빌리티), Structure(구조), Modular design(모듈러 디자인), Case study(사례연구), Design factors(디자인 요인), Trend(추세)

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

현재 도시 인구의 수는 계속 증가하고 있으니 2025년 까지 도시 거주자가 46억 명에 이를 것으로 예상된다.¹⁾ 도시민들의 교통 패턴과 이동 수요는 크게 변화하고 모빌리티의 편안성, 편리성, 안전성 및 예측 가능성을 추구하고 있다. 이동 빈도가 증가하고 이동 인구 구성의 비율이 변화하며 이동 목적도 다양해지고 있다. 모빌리티의 핵심은 점차 하나의 이동 수단에서 모빌리티 서비스로 바뀌고 있다. 이런 추세에서 기존 차량은 늘어나는 이동 수요를 충족시키지 못하기 때문에 도시 교통 서비스에서 교통 수요를 완화하고 사용자의 목적을 최대한 충족시킬 수 있는 목적기반 모빌리티(Purpose-Built Vehicle, PBV)가 열풍이 불고 있다. 자동차 기업들은 PBV 시장에 뛰어들어 새로운 성장을 모색하고 있다. 또한 2015년 이후 사람들의 이동 빈도가 많이 증가함에 따라 라스트 마

일(Last mile)에 대한 수요가 급증하는 동시에 전자상거래의 중요성이 날로 커지고 있으며 물류 분야의 수요도 빠르게 증가하고 있다.²⁾ 라스트 마일 딜리버리(Last mile deliver)은 도시 교통 요구의 30 %를 차지할 것으로 예상되며 2050년에는 전 세계 도시 교통 수요가 두 배로 증가할 것으로 예상된다.³⁾

PBV는 오픈(Open)형 플랫폼을 기반한 이동 수단이다. 모듈러 디자인(Modular Design) 방법을 통해 자율주행 등 기술을 결합하여 다양한 용도로 전환할 수 있는 모빌리티 서비스 매개체다.⁴⁾ PBV의 핵심 특징인 모듈러 디자인이란 최소한의 복잡성으로 최대한 조합 가능성을 제공하는 디자인 방법이다. 오픈 플랫폼을 통한 핵심부품 표준화 및 모듈화로 제조 및 유통공정을 간소하여 마이크로 모빌리티 생태계의 확대를 유도할 수 있다.

본 연구의 목적은 미래 도시 모빌리티의 편의성을 높이고 모빌리티 시장의 발전을 촉진하기 위하여 모빌리

*Corresponding author, E-mail: koosang@hongik.ac.kr

[†]This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium provided the original work is properly cited.

티 서비스의 주체인 PBV에 대해 고찰하고 모듈러 디자인의 관점에서 근미래 PBV의 구조 디자인 추세를 탐구하고자 한다.

1.2 연구방법 및 범위

PBV의 디자인 변화 요인은 다양하고 서로 영향을 미친다. 사회적 진보로 이동 패턴이 변화시키고 기술의 발전에 따라 모빌리티의 형태가 달라진다. PBV의 디자인 트렌드 분석은 외관뿐만 아니라 구조 측면에서도 매우 중요하다. 본 연구는 PBV에 관한 선행연구를 통해 현황 및 발전을 파악했다. PBV 개념의 탄생 초기부터 현재까지 개념을 포함한 모든 PBV 사례를 분석하여 디자인 변화 요인을 도출했다. 변화 요인을 근거로 미래 시스템 모듈러 디자인에 대한 시사점을 도출했다.

이 연구는 점차 스마트화된 도시에서 미래 모빌리티 서비스를 제공하는 PBV의 모듈러 디자인 시사점을 탐구하는 것을 목표로 한다. 따라서 연구 방법과 범위는 다음과 같다.

첫째, 서론에서는 본 연구의 배경과 목적을 검토하고 연구 대상과 범위를 한정했다.

둘째, 이론적 배경에서는 논문에 관한 용어의 개념을 제시하고, PBV, 모듈러 디자인의 정의 및 특징을 설명하고, 선행 연구를 통해 PBV의 관한 연구 현황과 추세를 조사했다.

셋째, 분석 부분에서는 수집된 24건의 사례에 대한 분석을 진행하여 PBV의 구조적 디자인 변화와 영향 요인을 도출했다.

넷째, 디자인 추세 부분에서는 분석 결과를 근거로 근미래 PBV 구조적인 모듈러 디자인 시사점을 도출했다.

다섯째, 결론에서는 분석 결과를 요약하고 연구의 혁신 점과 한계점을 제시하고 사회적, 환경적, 경제적 중요성을 설명했다.

본 연구는 직접적인 조사와 사고를 통해 PBV에 대해 보다 더 심층적이고 투철한 이해를 확립했다. 연구 결과는 다른 연구자에게 체계적인 관점을 제공하고 가치 있는 참고 의견을 제공할 수 있도록 지원한다.

2. 이론적 배경

2.1 PBV의 정의

모빌리티는 서비스 방향으로 진화함에 따라 기존의 개인용거나 대중교통 등 이동수단은 점점 높아지는 수요를 충족시키지 못하기 때문에 업계는 승객의 요구를 최대한 만족할 수 있고 독특한 여행 경험을 제공할 수 있는 모빌리티 서비스용 PBV를 만들고 있다.

PBV의 개념이 객관적인 용어로 사용되기는 2020년

소비자 가전 전시회(Consumer Electronics Show, CES)에 현대자동차그룹은 제시한 미래 스마트 시티 콘셉트에서 대중교통과 최종 목적지를 연결하는 육상 이동수단을 지칭하는 것이다.⁵⁾ 현대자동차그룹은 미래 자율주행이 보편화하여 인간이 운전할 필요가 없다고 언급했다. 미래 이동의 목적과 수요는 다양해질 수 있으니 모빌리티를 단순한 이동 수단이 아닌 모빌리티 서비스를 제공하는 스마트 디바이스로 진화하고 있다.⁶⁾

2.2 PBV의 특징

자율주행은 PBV를 구성하는 핵심 요소 중의 하나다. 4차 산업 혁명에 따라 자율주행 등 인공지능 기술을 도입하면 운전엔 필요한 부품을 실내에 달지 않아 디자인의 자유도가 늘어나고 최적의 넓고 효율적인 공간을 만들 수 있다.

전기 구동 시스템을 이용하는 플랫폼을 핵심 구성 요소 안에도 포함된다. 전용 플랫폼은 최근 모빌리티 전동화 추세와 맞물려 글로벌 자동차 기업들이 연구개발에 몰두하고 있는 분야이다. 전용 플랫폼을 활용하면 공간 확보가 비교적 쉽고, 용도에 따라 차체의 구성을 다르게 할 수 있다는 장점이 있다. 운행에 필요한 동력 장치를 효율적으로 배치해 사용하기 때문이다.

전용 플랫폼은 최근 모빌리티 전동화 트렌드와 맞물려 글로벌 자동차 업체들이 연구개발에 몰두하고 있는 분야다. 운행에 필요한 동력장치를 효율적으로 배치해 사용하기 때문에 전용 플랫폼을 활용하면 상대적으로 공간 확보가 용이하고 용도에 따라 차체 구성이 달라진다.⁷⁾ 이런 배열 방법은 모듈화이다. 모듈화는 전용 플랫폼의 특징이다. 엔진, 변속기, 연료탱크, 드라이브샤프트를 위한 공간을 없애고 유연하게 구조를 바꿀 수 있다. 제조사는 하나의 플랫폼을 이용해 다양한 차종을 파생시켜 원가 경쟁력을 끌어올릴 수 있다.

PBV는 사용 목적에 초점을 두고 간결한 구조로 최대한 넓은 공간을 확보한 뒤, 이를 목적에 따라 활용하는 것이다.⁸⁾

2.3 모듈러 디자인의 정의

모듈(Module)은 공간의 크기 또는 길이를 표기 할 때 사용하는 단위로 건축분야, 컴퓨터 시스템 분야 등에서 하나의 단위요소를 정의하는 척도를 의미한다. 산업이 고도로 발달함에 따라 제품 라이프 사이클이 복잡해지므로 부품 규격의 통일이나 최적화를 통한 합리적인 제품 설계가 필요하다.⁹⁾

모듈러티(Modularity)란 설계단계에서 모듈별로 절차를 수행할 수 있는 설계 모듈러티(Modularity in design),

생산단계에서 서브어셈블리(Sub-assembly)를 서로 다른 공장에서 생산하여 조립할 수 있는 생산 모듈러티(Modularity in production), 사용단계에서 사용자가 용도에 따라 제품을 쉽게 변경할 수 있도록 하는 사용 모듈러티(Modularity in use)의 특성을 말한다.

모듈러 디자인(Modular Design)은 제품을 사용목적과 환경에 따라 다양한 기능화 형태로 변형할 수 있도록 부품단위에서부터 완제품 단계까지 모듈성(Modularity)를 적용한 디자인 개념이다. 이는 제품의 개발 및 제작 과정에서 사용자의 참여를 유도하여 고객 맞춤형(Customizing) 제품이 가능하게 하고, 기업의 관점에서 비용절감(Cost-reducing) 뿐만 아니라 관리효용성(Utility of management) 측면에서도 유리하여 지속가능성을 위한 핵심 이라고 할 수 있다.

모듈러 디자인은 다양한 모듈을 교체하여 장비의 기능을 전환하기 위해 군사 분야에서 최초로 활용되었다. 미국 F35 전투기는 모듈러 디자인을 통해 해군형, 육군형, 공군형 전투기가 모두 통용될 수 있도록 해 비용을 최소화했다.¹⁰⁾ 최근 몇 년 동안 자동차에서 모듈러 디자인의 활용이 점점 더 많아지고 있으며, 부품에서 플랫폼, 아키텍처에 이르기까지 모듈러 디자인을 진행할 수 있다. 이것은 변형 및 분리를 통해 자동차의 핵심 부품을 여러 모듈로 분해하고 새로운 공간으로 재결합하여 다양한 시나리오에 적용한다.

2.4 모듈러 디자인의 특징

미래 무인주행 모빌리티 기술의 특성에서, 모듈의 교체를 통해 차량 유지비를 절감할 수 있는 것이 모듈러 디자인의 큰 장점이다.¹¹⁾ 개별 부품단계에서의 조합을 통해 완제품을 만드는 방법 보다, 모듈러 그룹 단위의 조합을 통해 완제품을 만드는 방법이 복잡성(Complexity)을 낮추어 관리 다양성(Variety management)에 효율적이다.¹²⁾ 또한, PBV는 디지털 모빌리티 서비스의 일부가 될 것이기 때문에 이것의 개발 속도는 전통적인 차량의 개발 속도를 넘어 소비자의 전자제품 기호에 맞춘 개발 속도에 근접해야 한다. 부품의 작동 상태가 여전히 양호하더라도 고객의 잠재의식 속에서는 시대에 뒤떨어진 것으로 간주될 수 있기 때문이다. 모듈러 디자인을 활용하면, 개별 모듈만 교체하면 차량이 업그레이드될 수 있어 차량 업그레이드 비용을 크게 줄일 수 있다. 현재 주요 자동차 업체들은 모듈러 디자인 개념을 적용한 다양한 PBV를 잇따라 선보이고 있다. 고객 맞춤형 제품은 고객이 선택한 모듈 조합을 통해 사용자의 수요 변화와 트렌드를 정확하게 반영할 수 있다.

2.5 선행연구

오늘날의 도시 지역에서 교통 모델과 사람들의 이동 패턴 및 수요에 이미 변화가 생겼으며, 연구의 포괄성을 보장하기 위해, RISS, DBpia, Science Direct, MDPI 4가지 채널을 통해 2016년부터 현재까지 관련성이 높은 논문을 수집했으며 선행연구를 진행했다.

김성만¹³⁾은 초소형 전기차 언더바디의 모듈화를 통해 단위 모듈에서 위상최적화(Topology optimization)기법을 활용하여 여러 변종(Variants)의 조합이 가능하도록 하여 소비자의 다양한 니즈(Needs)를 충족시키는 디자인을 제안했다. Oliveira 등¹⁴⁾은 산업단지 제품의 운송 효율을 높일 수 있는 모듈식 자율주행 자동차 디자인을 선보였는데, 이는 비용이 낮고 운송 속도가 빠르며 무거운 물건

Table 1 Prior study

Year	Author	Title	Keyword
2017	Yoon Jeong Che et al. ⁹⁾	A study on application of modular design for micro mobility	Micro mobility, Modular design, Open platform, Horizontal divisional, Production system
2018	Kim Seong Man ¹³⁾	Modular design of micro-mobility underbody using topology optimization	Micro-mobility, Personal mobility, Underbody, Phase optimization, Modular design
2019	H.D.B.C.L. de Oliveira et al. ¹⁴⁾	Design of a modular solution for an autonomous vehicle for cargo transport and handling	Autonomous vehicles, Mechanical project, Structural design, Finite element method, Drive systems
2021	C. Hartmann et al. ¹⁵⁾	A modular car body for sustainable, cost-effective, and versatile vehicle development	Car body, Space frame, Modular design, Self-assembly, Local production
2022	F. L. Silva et al. ¹⁶⁾	Robust fuzzy stability control optimization by multi-objective for modular vehicle	Modular vehicle Fuzzy logic control Genetic algorithm Multi-objective optimization Electronic differential
2022	G. J. Hannoun, M. Menéndez ¹⁷⁾	Modular vehicle technology for emergency medical services	Emergency medical services Modular systems, Health care, Logistics, Optimization

을 실을 수 있는 콤팩트형 차량이다. Hartmann 등¹⁵⁾은 모든 규정에 부합하고, 자체 조립이 가능하며 오픈 소스로 사용할 수 있는 모듈식 차량의 디자인 개념을 제안하여 적용성을 광범위하게 넓히고 현지 생산의 효율성을 높이고자 했다. Silva 등¹⁶⁾은 연구에서 모듈러 디자인이 자동차 업계의 트렌드가 되었으며, 여러 모듈을 결합하여 여러 기능을 제공하는 자동차 플랫폼을 제공함으로써 경쟁력을 높일 수 있다고 주장했다. Hannoun과 Menéndez¹⁷⁾은 교통 시스템을 위해 최초로 개발한 모듈형 차량 기술을 활용해 응급의료 서비스 시스템 EMS에 스마트 시스템을 도입했다. 이를 통해 환자 이송을 위한 새로운 조작 방식을 갖춘 모듈식 차량 기술을 사용한 응급 의료 서비스 시스템을 제안했다.

연구자들의 견해를 통해 모빌리티 형식의 다양화는 모듈러 디자인을 통해 실현할 수 있을 것으로 보인다. 모듈러 디자인은 차량 플랫폼의 구조를 컴팩트하게 만들고, 내부 공간의 유연성을 높이며, 생산 주기를 줄일 수 있어 현재 자동차 업계에서 하나의 트렌드가 되었다.

3. PBV의 구조 분석

3.1 PBV의 사례연구












본장에서는 1982년부터 지금까지 각 브랜드가 시장에 출시된 콘셉트 제안 포함한 PBV 사례에 대해 구조분석을 진행했다.

3.2 구조 분석

24개의 사례를 시기별로 크게 초기, 중기, 최근 3가지 나누었다. 각 사례의 구조적 특성을 요약하고 시기별로 변화를 도출했다.

초기에는, PBV의 구조는 화물 적재 공간을 좌석 아래에 별도로 만들어 스페어 휠과 연료 탱크가 객실 바닥 아래에 있으며, 디자인의 영감은 객차에서 왔다. 전력 구동의 부상으로 플랫폼 모듈이 단순화되고 연료 탱크 및 기타 구성 요소가 배터리 팩으로 대체되었다. 배터리 팩은 플랫폼 중앙에 위치하며 배터리 팩을 집중적으로 보호하여 안전성을 높이며 플랫폼 형태도 평평해진다. 그러나 타이어는 전통적인 구조도 유지하고 있어 플랫폼 양

Table 2 Case studies

No.	Brand	Image	Structure	Characteristics
1	Italdesign-Capsula		Modular	Cargo load space on platform ¹⁸⁾
2	Volkswagen-MQB		Combined modular	Split into platform modules and allow flexible dimensions such as wheel base, overhang, width, etc. depending on the combination ¹⁹⁾
3	Fritsch Durisotti-SoOn		Modular	Variable Platform ²⁰⁾
4	Faraday Future		Combined modular	Platform adjustable as track length and number of batteries change, Battery is centrally located ²¹⁾
5	Polaris-GEM		Combined modular	e2: Minimum floor space, most flexible performance, e4: Four front seats, plenty of legroom, e6: Maximum comfort with up to six people on board ²²⁾
6	Volkswagen-Sedric		Combined modular	Mounted between flat battery pack axles, The motor is mounted on the horizontal plane of the wheel. Air conditioning and AI module located in front and rear suspension ²³⁾
7	MB-URBANETIC		Modular	Platform can be moved alone, Used to remove rooms and load passengers or more ²⁴⁾
8	Rinspeed-Snap		Modular	Fast aging expensive parts separated from durable auto parts and combined with platform, combined with remaining parts pods, Provision of a variety of services by temporarily combining platforms and bodies according to demand ²⁵⁾
9	Audi-Pop.Up Next		Modular	consists of three parts: an unmanned air capsule module, a platform module and a cabin, Rooms can be combined freely with air capsules or platform modules ²⁶⁾
10	TOYOTA-e-palette		Modular	Flat, open internal layout and free-configuration low-floor platforms, Large doors and electric slopes, easy and fast access for both ordinary passengers and the disabled ²⁷⁾
11	Renault-EZ-PRO		Combined modular	It consists of a leader pod operating space and a cargo space, and a self-storage box is available 24 hours a day inside the robot pod ²⁸⁾

12	Schaeffler-Mover		Modular	Fitted to the four wheels of the Intelligent Corner Module, integrated into all boot and suspension components compact units, Sensors required for some autonomous driving are incorporated into the vehicle body, Interior layout can be changed according to demand ²⁹⁾
13	AEV Robotics-MVS		Modular	The electric lightweight modular platform has batteries, wheels, hubs, Ability to combine pods with different capabilities for different needs ³⁰⁾
14	Rivian-RIT		Combined modular	The battery pack is located at the lowest point on the platform, supporting the structure of the vehicle ³¹⁾
15	Electric Brands-XBUS		Combined modular	The removable battery pack can be adjusted using a modular design. The battery pack is located on the rear or center of the platform. The roof is fitted with a solar cell module ³²⁾
16	Canoo-LV		Combined modular	Mounted on subform low-floor platforms such as batteries, motors and steering, brakes and wheels; Free choice of battery capacity and performance ³³⁾
17	Hyundai-PBV		Combined modular	Platform scalability, Equipped with solar panels in a flat roof, 16 ball type wheels fitted ³⁴⁾
18	Citroën-urban Collēctif		Combined modular	Mounted in various facility pods, Platform includes parts such as batteries, engines, sensors, etc ³⁵⁾
19	Arriva-vanl		Combined modular	Modular power train, modular battery pack system, Aluminum platform, lightweight composite plastic body channel, Mold-in panel ³⁶⁾
20	Hyundai-M. Vision X		Combined modular	with the vertical cockpit center console inside the body, Seat orientation rotatable ³⁷⁾
21	BrightDrop-Zevo 600		Combined modular	Ultium Architecture Located in the center of the pouch type lithium-ion battery platform ³⁸⁾
22	REE-P7-B		Combined modular	Key components, including steering, brakes, suspension, power train and control, are integrated into a single compact module located between the platform and the wheel ³⁹⁾
23	Hyundai-PBV		Combined modular	Including in-wheel motors and steering, suspension, brake systems and environmental awareness sensors; Personal Mobility: Space and freedom with rotational opening and closing ⁴⁰⁾
24	Kia-Niro Plus		Combined modular	Optimizing Indoor Space Based on SUVs ⁴¹⁾

끝이 높고 중간이 낮다. 이 단계는 동일한 플랫폼에 차체를 다른 유형으로 바꿔 설치할 수 있는 구조로 제작되었다.

중기에는, 앞의 사례 분석에서 PBV의 구조가 두 가지로 구분되었다. 하나는 포드를 필요할 때 마음대로 바꿀 수 있는 분리형 구조이고, 다른 하나는 포드와 플랫폼을 결합한 일체형 구조이다. 이 단계의 디자인 콘셉트는 점차 분리형 구조에서 일체형 구조로 진화되었고 개발의 중심은 포드에서 플랫폼으로 바뀌었다. 포드는 즉시 편리하게 교체할 수는 없지만, 플랫폼은 확장 및 조정이 가능하며, 소비자가 구매할 때 자신의 필요에 따라 맞춤형 차량을 제작할 수 있다. 사용용도, 배터리 용량, 최대 페이로드, 타이어 구동 등 다양한 측면에서 소비자의 선택권을 높였다. 이 시기에는 타이어가 업그레이드되고 스마트 스티어링 구동 모듈이 4개의 휠에 장착되며, 제동, 서스펜션, 파워트레인 및 컨트롤 등 핵심 부품들은 플랫폼과 휠 사이에 위치한 단일 컴팩트 모듈에 통합되었고 일부 자율 주행에 필요한 센서는 차체에 통합되었다. 사

를 포지셔닝 디자인은 차량 내 레이아웃의 유연성을 향상시킨다. 따라서 플랫폼은 낮은 플랫폼 스케이트보드 플랫폼으로 업그레이드된다.

최근에는, PBV는 콘셉트 단계에서 대량 생산 단계로 점차 진화되었으며, 주로 유인 및 화물 운송에 사용된다. 기술이 발전함에 따라 몰드인 패널로 구성된 차체 디자인 방안을 제안하였고, 교체가 필요한 패널을 짧은 시간에 생산할 수 있다. 생산 주기를 크게 줄이고 생산 공정을 단순화했으며, 하나의 마이크로 공장에서도 대부분의 작업을 완성할 수 있다. 이 시기의 PBV는 거의 모두 일체형 구조이다. 파워트레인, 배터리 팩 시스템, 조향 시스템은 모두 모듈화 디자인으로 플랫폼에 집적되었고, 센서 및 감지 인터랙션 시스템 등은 차체에 집적되어 전체적인 구조가 더욱 컴팩트하고 간결하다. 디자인의 중심은 차체에서 플랫폼으로 진화함에 따라 대부분의 브랜드와 공급업체가 서로 협력하여 동일한 플랫폼에서 다른 용도의 포드를 개발하여 제품 생산 주기를 크게 단축했다.

Table 3 Characteristics by period

Period	Characteristics	
	Body module	Platform module
Early	Made separately under the cargo space seat, Develop different types of bodies based on the same platform	Replace with fuel tank and other component battery packs, The battery pack is located in the center of the platform.
Middle	Evolve from a detached structure to an integral structure, Sensors required for autonomous driving are incorporated into the vehicle body, Four-wheel positioning design improves the flexibility of in-vehicle layout	Expandable and tunable platforms, The smart steering drive module is fitted to four wheels. Low Flat Skateboard Platform
Recently	Most integrated structures, Sensors and sensing interaction systems etc. are integrated into the vehicle body. Compact and concise construction	Modular battery pack system, steering system

4. PBV의 구조 디자인 추세 예측

4.1 디자인 변화 요인 도출

초기에는, 화물 적재 공간을 좌석 아래에 별도로 만들어 전력 구동의 부상으로 연료 탱크가 배터리 팩으로 대체되었다. 동일한 플랫폼에서 다른 유형의 차체를 교체할 수 있다.

중기에는, PBV의 구조는 분리형에서 일체형으로 점차 전환하였고 플랫폼은 확장 및 조정이 가능하여, 고객 맞춤형 차량을 제작할 수 있다. 제동, 서스펜션, 파워트레인 및 컨트롤 등 핵심 부품들은 플랫폼과 휠 사이에 위치한 단일 컴팩트 모듈에 통합되었고 일부 자율 주행에 필요한 센서는 차체에 통합되었다. 사륜 포지셔닝 디자인은 차량 내 레이아웃의 유연성을 향상시킨다.

최근에는, PBV는 콘셉트 단계에서 대량 생산 단계로 점차 진화되었다. 차체 패널을 짧은 시간 이내에 생산할 수 있다. PBV는 거의 모두 일체형 구조이다. 파워트레인, 배터리팩 시스템, 조향 시스템은 모두 모듈화 디자인으로 플랫폼에 집적되었고, 센서 및 감지 인터랙션 시스템 등은 차체에 집적되어 전체적인 구조가 더욱 콤팩트하고 간결하다.

Table 4 Changes by period

Analysis factors	Change		
	Early	Middle	Recently
Structure	Located under the cargo space seat, replaced by fuel tank battery pack, Body replaceable	Gradually evolve from modular to combine modular, Core components integrated into a single compact module located between the platform and the wheel and some sensors required for autonomous driving are integrated into the vehicle body	Combine modular structure, Integrated in powertrain, battery pack system, steering system platform, sensor and sensing interaction system are integrated in vehicle body

PBV 디자인 변화 영향 요인은 상호적이다. 사례가 콘셉트에서 대량 생산으로 진화하면서, 자율주행 기술은 차체 내부의 운전 공간을 없애고 공간 배치의 유연성을 향상시킨다. 차체는 앞뒤가 일치하며 전체적인 모양은 입방체와 비슷하다. 또 소음과 배출가스를 없애 지역·시간 제약 없이 운행할 수 있다. 전기 구동을 통해 플랫폼에는 내연기관, 연료탱크 등의 부품을 없애고 배터리 팩으로 대체해 형태가 평평해졌다. 모듈러 디자인은 플랫폼 레이아웃을 단순화하고 구조를 더욱 컴팩트하게 만든다. 스마트 스티어링 구동 모듈이 4개의 휠에 장착되며, 제동, 서스펜션, 파워트레인 및 컨트롤 등 핵심 부품들은 플랫폼과 휠 사이에 위치한 단일 컴팩트 모듈에 통합되어 사륜 포지셔닝으로 도로 면적에 대한 요구가 낮추었다, 일체형 구조는 차체가 별도로 생산할 필요가 없고 생산 시간과 추가 작업이 필요하지 않으며, 확장 가능한 플랫폼에서 모듈을 교체하여 다양한 이동 목적을 충족시킬 수 있다.

Table 5 Factors of structure change

Factors	Impact
Platform	Integrate structures with variable platform
Wheel	Lower demand for four-wheel positioning road areas, increased layout flexibility
Modularization	Shorten production cycles, save production costs
Combine modular	Body non-replaceable, open source, variable platform, compact layout
Self-driving	Maximize space utilization, match body front
Electric drive	Integrated into platforms such as powertrain, battery pack system, and steering system

24건의 사례에 대한 분석을 통해 플랫폼, 바퀴, 모듈화, 일체형, 자율주행, 전기 구동 등 5개의 디자인 변화를 미치는 요인을 도출했다.

4.2 디자인 추세 예측

사례 연구의 결과에 따르면 일체형 구조는 분리형 구조보다 발전 가능성이 높다는 것을 알 수 있다. 전용형 차체는 별도로 생산할 필요가 없고 차체를 교체하는 데 추가 시간과 추가 작업이 필요하지 않으며, 확장 가능한 플랫폼에서 내부 모듈만 교체하여 다양한 용도로 이동 목적을 충족시킬 수 있다. 향후 PBV의 부품도 모듈화될 것이며 차체 모듈에는 센서 모듈, 상호 작용 모듈, 로봇 모듈 등 기능적 서브 모듈들이 포함되고, 플랫폼 모듈에는 배터리 팩 모듈, 바퀴 모듈, 라인 컨트롤 모듈, 드라이브 모듈 등 서브 모듈들이 포함될 것이다. 더욱 단순화될 모듈러 디자인은 생산 주기를 크게 단축하고 생산 비용을 절감할 수 있다. 확장 가능한 플랫폼이 지속적으로 개발 및 개선됨에 따라 미래 차체는 접이식 구조로 플랫폼의 확장에 따라 크기를 변할 수 있을 것으로 보인다. 앞으로 알고리즘 시뮬레이션을 통해 플랫폼의 구조를 더욱 최적화하고 강도를 높일 것이며, 모듈 인터페이스가 표준화되어 오픈 소스 방식으로 다양한 회사가 쉽게 개발할 수 있게 될 것이다. 높은 응집력, 낮은 결함(High cohesion, low coupling)은 코드의 복잡성을 줄이고 재사용성, 확대가능성, 개발효율성을 높인다. 자동차 무게에 가장 영향을 미치는 요인은 차체 프레임이 거의 모두 강철로 만들어졌기 때문에 미래에 새롭게 개발될 합금 재료는 강도를 보장하면서 무게를 줄임으로써 에너지 소모를 크게 줄이고 동적 성능을 향상시킬 것이다. 첨단 3D 프린팅 기술이 발전함에 따라 이 기술은 실현될 것으로 보인다.

Table 6 Future PBV Structural Development Trends

Aspect	Trends
Structure	Combine modular, folding body Modular interface standardization Open source makes it easy to develop by various companies. Including functional sub-modules such as body sensor module, interaction module, robot module, etc. Includes sub-modules such as platform battery pack module, wheel module, line control module, drive module, etc.

5. 결론 및 제언

본 연구는 모듈러 디자인의 관점에서 근미래 PBV의 구조 디자인 시사점을 도출하는 시도를 했다. 분석을 통해 분리형 구조보다 일체형 구조의 발전 가능성이 높다는 것을 알 수 있다. 확장 가능한 플랫폼을 기반으로 차체 내부 모듈을 교체하여 다양한 이동 목적을 충족시킬 수 있다. 향후 PBV의 부품도 모듈화될 것이며 생산 주기를 크게 단축할 수 있다. 이론적으로 생산 비용도 절감할 수 있지만, 실제적으로 여러 가지 개관적인 원인으로 생산 비용이 증가할 수도 있어 보인다. 미래에는 기술의 보완에 따라 문제점을 해결 할 수 있을 것이다. 미래 차체는 접이식 구조로 플랫폼의 확장에 따라 크기를 변할 수 있을 것으로 보인다. 새롭게 개발될 합금 재료는 강도를 보장하면서 무게를 줄임으로써 에너지 소모를 크게 줄이고 동적 성능을 향상시킬 것이다. 모듈 인터페이스가 표준화되어 오픈 소스 방식으로 다양한 회사가 쉽게 개발할 수 있게 될 것이다.

본 연구의 혁신점은 미래의 예측에 불확실성이 있지만 문헌조사 및 사례연구를 결합하여 영향 요인 각 분야의 연구 이슈를 수집하고 시각화하여 향후 PBV의 디자인 발전 방향을 예측하는 것이다. 본 연구의 한계점은 사례 연구의 표본 수는 한정되어 있고 24건의 사례가 전체 PBV의 특성을 완전히 보여줄 수 없기 때문에 향후 연구에서는 더 많은 표본을 포함해야 하고 PBV 특성을 가진 잠재적인 사례도 조사해야 하여 더욱더 객관적인 결론을 도출할 수 있다. 그리고 향후 연구에서는 데이터 분석을 추가하여 결과의 객관성과 정확성을 높이고자 한다.

References

- 1) S. Šurdonja, T. Giuffrè and A. Deluka-Tibljaš, "Smart Mobility Solutions—necessary Precondition for a Well-functioning Smart City," Transportation Research Procedia, Vol.45, pp.604-611, 2020.
- 2) Arthur D Little, The Future of Mobility 3.0: Reinventing Mobility in the Era of Disruption and Creativity, China Communications Press, Beijing, p.1, 2020.
- 3) Netcarshow, Renault EZ-PRO Concept, https://www.netcarshow.com/renault/2018-ez-pro_concept/, 2018.
- 4) Accelerating the Development of Micro-Mobility, <https://www.korea.kr/news/pressReleaseView.do?newsId=156058067>, 2015.
- 5) S. Koo, "An Observation on Purpose Built Vehicle (PBV) Design Factors in a Mobility Service System," Transactions of KSAE, Vol.28, No.12, pp. 865-874, 2020.

- 6) Hyundai, All About PBV, Kia's Sustainable Future: PBV And Electrification, <https://tech.hyundaimotorgroup.com/kr/article/kias-sustainable-future-pbv-and-electrification/>, 2022.
- 7) Mobility Trend Part 2, <https://www.hyundai.co.kr/story/CONT0000000000002756>, 2022.
- 8) Hyundai Mobis e-CCPM: Preparing for the Era of Purpose-Based Mobility, <https://tech.hyundaimotorgroup.com/kr/article/hyundai-mobis-e-ccpm-preparing-for-the-era-of-purpose-based-mobility/>, 2022.
- 9) J. C. Yoon, J. H. Kwak and K. Lee, "A Study on Application of Modular Design for Micro Mobility," *Journal of Basic Design & Art*, Vol.18, No.2, pp.395-406, 2017.
- 10) M. K. Nam, "A Study on Element and Application Method of Modularity for Sustainable Design," *Journal of the Korean Society of Design Culture*, Vol.21, No.2, pp.239-250, 2016.
- 11) I. H. Choi, A Study of Mobile Capsule Hotel Design based on Autonomous Vehicle: Focus on 1 Person Business Trip, M. S. Thesis, Hongik University, Seoul, 2020.
- 12) J. H. Kim, Modular Design to Produce Customized Products, Haneon, Gyeongun-dong, Jongno-gu, Seoul, p.64, 2015.
- 13) S. M. Kim, Modular Design of Micro-Mobility Underbody Using Topology Optimization, M. S. Thesis, Hongik University, Seoul, p.78, 2018.
- 14) H. D. B. C. L. de Oliveira, R. D. S. G. Campilho and F. J. G. Silva, "Design of a Modular Solution for an Autonomous Vehicle for Cargo Transport and Handling," *Procedia Manufacturing*, Vol.38, pp.991-999, 2019.
- 15) C. Hartmann, M. Welm, S. Schreyer, C. Hartmann and W. Volk, "A Modular Car Body for Sustainable, Cost-Effective, and Versatile Vehicle Development," *Technologies*, Vol.9, No.1, p.13, 2021.
- 16) F. L. Silva, L. C. A. Silva, J. J. Eckert and M. A. M. Lourenço, "Robust Fuzzy Stability Control Optimization by Multi-objective for Modular Vehicle," *Mechanism and Machine Theory*, Vol.167, Paper No.104554, 2022.
- 17) G. J. Hannoun and M. Menéndez, "Modular Vehicle Technology for Emergency Medical Services," *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol.140, Paper No.103694, 2022.
- 18) Capsula-2, <https://www.italdesign.it/project/capsula-2/>, 2022.
- 19) Volkswagen-MQB, <https://www.volkswagen-newsroom.com>, 2022.
- 20) SoOn, <https://www.fritsch-durisotti.com>, 2022.
- 21) Faraday Future, <https://www.ff.com/us/our-approach/>, 2022.
- 22) Polaris-GEM, <http://www.polaris.com>, 2023.
- 23) Sedric, <https://factum-info.net>, 2023.
- 24) MB-URBANETIC, <https://group-media.mercedes-benz.com>, 2023.
- 25) Rinspeed-Snap, <https://www.rinspeed.com>, 2023.
- 26) Audi-Pop.Up Next, <https://www.italdesign.it/project/pop-up-next>, 2022.
- 27) e-palette, <https://mag.toyota.co.uk>, 2022.
- 28) EZ-PRO, <https://www.electrive.com>, 2022.
- 29) Mover, <https://www.renault.co.uk>, 2022.
- 30) MVS, <https://www.netcarshow.com>, 2022.
- 31) R1T, <https://rivian.com/r1t>, 2023.
- 32) XBUS, <https://electricbrands.de/myxbus/>, 2023.
- 33) Canoo, <https://www.canoo.com/platform>, 2023.
- 34) PBV, <https://www.hyundai.news>, 2023.
- 35) Urban Collēctif, <https://www.autoexpress.co.uk>, 2023.
- 36) Arriva-van, <https://arrival.com>, 2023.
- 37) M. Vision X, <http://ifworks.kr/project/m-vision-x/>, 2023.
- 38) Zevo 600, <https://www.fastcompany.com>, 2023.
- 39) P7-B, <https://ree.auto/press-release/>, 2023.
- 40) Mobis, <https://www.mobis.co.kr/kr/index.do>, 2023.
- 41) Niro Plus, <https://www.kia.com/kr>, 2023.