

CMF-centered design strategy and technology development for autonomous logistics service robots

Sungil Song[†]

Dept. of Convergence Design, Hanseo University, Seosan 31962, Korea

(Received February 11, 2026)

(Revised February 20, 2026)

(Accepted March 9, 2026)

Abstract This study reconceptualizes CMF (Color, Material, Finish) as a design instrument for autonomous logistics service robots and proposes an integrative design-service strategy suitable for field deployment, developed via a participatory, service-design process based on the Double Diamond framework [4]. Through surveys, in-depth interviews, field observations, and workshops, we identified user requirements and environmental constraints and derived design principles centered on the visual, tactile, and storytelling-related functions of CMF. We designed and prototyped a set of modular robot concepts from a CMF perspective—robot-arm-integrated, cart-type, lift/roller-type, air-purification/disinfection, and fully integrated units—and evaluated them with preliminary users and domain experts to assess qualitative and quantitative effects. Results indicate that a design-driven application of CMF enhances initial user acceptance, improves the intuitiveness of state awareness, reduces user learning time by an average of 40~45 %, and increases users' perceived psychological collaboration with the robot. The paper concludes by presenting CMF design guidelines that account for coordination with logistics environments, principles for modular design, and practical considerations for implementation and operation.

Key words CMF (Color, Material, Finish), Design strategy, Autonomous logistics service robot, Service design, User experience (UX), Modular platform

자율주행 물류 서비스 로봇의 CMF 중심 디자인 전략 및 기술 개발

송성일[†]

한서대학교 디자인공학융합학과, 서산, 31962

(2026년 2월 11일 접수)

(2026년 2월 20일 심사완료)

(2026년 3월 9일 게재확정)

요약 본 연구는 자율주행 물류 서비스 로봇의 디자인적 수단으로서 CMF(Color, Material, Finish; 이하 CMF)를 재정의하고, 서비스 디자인(더블 다이아몬드) 기반의 참여적 프로세스를 통해 현장 적용 가능한 디자인·서비스 통합 전략을 제안한다[4]. 설문·심층인터뷰·현장관찰·워크숍을 통해 사용자 요구와 환경 제약을 도출하고, CMF의 시각·촉각·스토리텔링 기반 기능을 중심으로 디자인 원칙을 수립하였다. 더불어 모듈형 로봇(로봇암 통합형, 카트형, 리프트·롤러형, 공기청정·방역형, 통합형) 컨셉을 CMF 관점에서 설계·프로토타이핑하고 예비사용자·전문가 평가를 통해 정성·정량적 효과를 검증하였다. 결과는 디자인 중심 CMF 적용이 초기 수용성 향상, 상태 인지의 직관성 강화, 학습시간 단축(평균 40~45 % 감소), 사용자와의 심리적 협력감 증대 등을 가져옴을 보여준다. 본 논문은 물류 환경과의 공조를 포함한 CMF 설계 가이드라인, 모듈화 설계 원칙, 구현·운영 시 고려사항을 제안한다.

1. 서론

자율주행 기술의 발전은 물류·유통 현장의 노동력 구조와 운영 효율성에 근본적 변화를 촉발하고 있다. 그

러나 실무 적용 과정에서는 주행·내비게이션 성능만으로는 충분하지 않으며, 작업자·고객의 인지적 신뢰, 현장 환경과의 상호적합성, 유지관리성 등 사회·조직적 요인이 도입 성패를 좌우한다. 특히 물류·마트 환경과 같이 다수의 비전문가와 빈번한 접촉이 발생하는 맥락에서는 로봇의 시각적·촉각적 신호가 작업자의 위험인식, 작업 흐름 분배, 서비스 수용성에 직접적인 영향을 미

[†]Corresponding author
E-mail: alabama9@naver.com

친다. 이러한 측면에서 CMF(Color, Material, Finish)는 단순한 외형 장식이 아니라 안전·위생·작업연속성·브랜드 경험을 통합적으로 전달하는 설계 언어로 기능한다 [1,2] 본 연구는 CMF를 자율주행 물류 서비스 로봇 설계의 핵심 전략 요소로 재정의하고, 서비스 디자인(더블 다이아몬드) 기반의 참여적 방법론을 통해 현장 적용 가능한 CMF 설계원칙과 모듈형 플랫폼 구현안을 제시하는 것을 목표로 한다[4]. 구체적으로, 다중 현장 관찰(7개 현장, 총 84시간), 심층인터뷰, 워크숍, 예비사용자·전문가 평가를 통해 도출된 사용성·안전성 요구를 CMF 설계 규약으로 체계화하고, 이를 기반으로 5개 모듈형 프로토타입의 CMF 적용안 및 정성·정량 평가 결과를 제시한다. 본 연구는 디자인·공학·운영 관점의 교차 검증을 통해 CMF 적용이 학습시간 단축, 상태인지 정확도 향상, 사용자의 심리적 협력성 증대 등 실무적 성과와 직결됨을 실증적으로 규명하고자 한다. 연구의 기여는 다음과 같다. 첫째, 서비스 맥락에서 CMF의 기능적·감성적 역할을 통합적으로 규정하여 로봇·환경 상호작용 설계 프레임에 제안한다[1,2]. 둘째, 현장 적용성을 확보한 모듈화된 CMF 가이드라인(색채 비율, 소재·마감 사양, 도킹·식별 규약 등)을 제시하여 제조·운영 단계의 표준화를 지원한다[2]. 셋째, 예비실험을 통해 도출된 정량적 근거(학습시간·정확도 향상)의 통계적 검증 절차와 측정 프로토콜을 구체화하여 후속 연구 및 산업 적용의 재현성을 확보한다. 본 논문은 디자인적 관점이 자율주행 물류 시스템의 실무적 수용성과 운영 효율성에 미치는 영향을 다룬 응용연구로서 학술적·기술적 시사점을 제공한다.

2. 연구 방법

2.1. 더블 다이아몬드 기반 연구 프로세스

Figure 1과 Fig. 2의 더블 다이아몬드(Discover-Define-Develop-Deliver)를 기반으로, 발견 단계에서 설문및 심층인터뷰, 참여관찰(7개 현장 총 84시간)을 수행하였다. 정의 단계에서 KJ법·AEIOU 분석으로 요구사항을 정리하였고, 개발 단계에서 CMF 중심의 27개 컨셉을 도출 및 수렴하여 5개 모듈 컨셉을 선정하였다. 전달 단계에서는 프로토타입을 제작하여 워크숍과 예비사용자·전문가 평가(15명)를 통해 검증했다.

2.2. 데이터 수집 및 분석

정성자료(인터뷰·관찰·워크숍 전사)는 주제별 코딩과 KJ법으로 분석하여 디자인 인사이트를 추출하였다. 정량 자료(설문·사용성 테스트)는 리커트 척도 및 시간 측정(학습시간·인지시간)으로 수집하여 통계적 비교를 수행하였다.

- 심층인터뷰 진행 (E마트 AI 혁신팀 과장 우0재, 카카오모빌리티 인텔리전스 개발자 홍0기), 일반 인터뷰 진행 (일반 소비자, 마트이용자, 물류 창고 근무자 등) 심층 인터뷰 결과를 요약하면 로봇 시장 확대에 따른 자동화 시스템과 아울러, 트래킹 기능, 원격 모니터링, 로봇암 적용, 바코드 인식 및 코스결정, CCTV, 방역 등과 같은 아이디어와 함께 친숙함과 신뢰성, 위생문제, 상호작용 등 외형에서 보여주는 CMF 디자인을 디자인 개

Design Thinking ‘Double Diamond’ Process Model

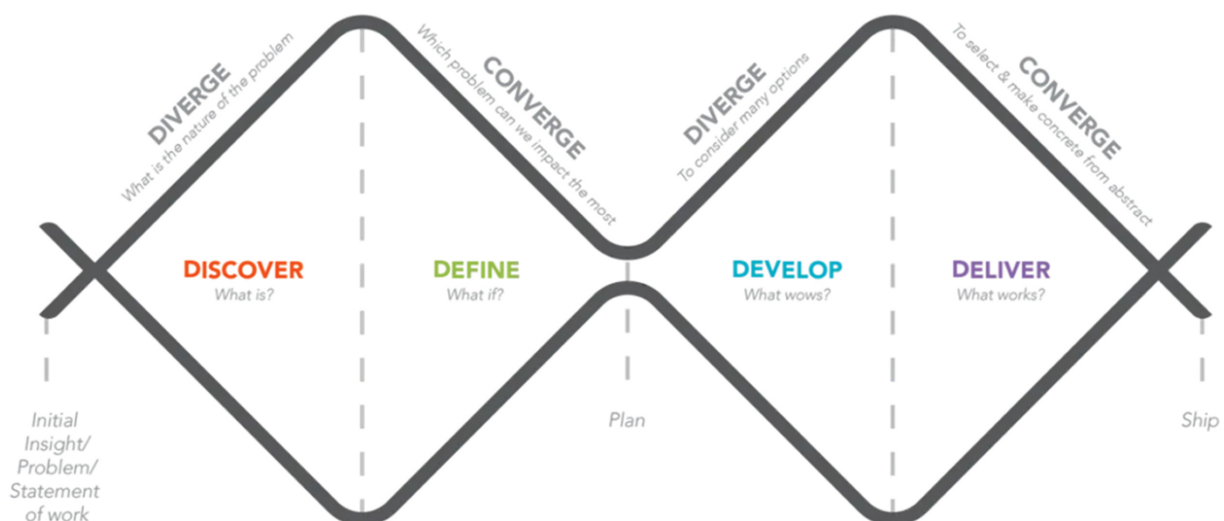


Fig. 1. Double Diamond of UK design council.



Fig. 4. First-stage derived model (Cart-type).



Fig. 5. In-depth interview with a CMF expert.

올러 Fig. 5의 CMF 분야의 전문가 그룹과의 반구조화된 심층 인터뷰를 실시하여, 물류 서비스 로봇의 제품적 역할과 현장 적용성을 고려한 CMF 전략을 도출 분석함으로써 디자인 의사결정의 전문적 근거를 확립하였다[2,4].

2.4. CMF의 디자인적 역할과 설계 원칙

2.4.1. 색채(Color) 전략

색채는 물류 서비스 로봇의 시각적 신호성과 브랜드 연계를 동시에 수행하는 핵심 요소로 정의된다. 본 연구에서는 색채를 베이스(Base)·하이라이트(Highlight)·상태 표시(Status)의 3층 구조로 규범화할 것을 제안한다. 베이스 색상은 로봇 표면의 약 70~80%를 점유하여 주변

마트 환경(바닥·진열대·조명)과 시각적 조화를 이루도록 중립 톤으로 설정한다. 하이라이트 색상(10~15%)은 브랜드 식별성과 친근성 형성에 사용되되, 지나친 의인화나 과도한 채도는 신뢰성 저하를 초래하므로 중채도 범위를 권장한다. 상태표시용 색채(10~15%)는 기능적 신호로서 엄격한 의미망을 가져야 한다. 예컨대 즉각적 행동 유도를 위해 주황(경고), 청록(정상/가동), 파랑(UI/정보), 노랑(유지보수·주의) 등의 계층을 도입하고, 명도 대비 기준(최소 대비비 70% 권고)을 통해 조명 변화 및 주변 색상과의 간섭에서도 일관된 인지성을 보장해야 한다. 또한 색상 규약은 모바일 UI·현장 표시와 일관되게 매핑되어야 하며, 표준 규범(유사 ANSI/ISO 지침)을 참고하여 안전 신호와의 충돌을 방지해야 한다[1,2].

Table 1
Material properties of SoftTouch

Tensile Strength and Elongation	○ The tensile strength of polyurethane or silicone materials is generally in the range of 5~15 MPa, and elongation has excellent elastic recovery properties at about 200~600 %
Chemical Resistance Grade	○ Chemical resistance in laundering environments (ISO 1419 standard) - Alcohol disinfectants (70% ethanol, isopropyl alcohol), ionic disinfectants (sodium chloride solution 500~1,000 ppm), alkaline detergents (pH 11~13): after 24 hours immersion, hardness change within ±5 points (Shore A)
Antimicrobial Coating Compatibility	○ When applying antimicrobial treatment using silver (Ag) nanoparticles or ion-exchange methods, adhesion to the substrate shall be maintained at grade 4B or higher in the tailored wet adhesion test (ISO 13732-1) or the ASTM D3359 cross-hatch test.

2.4.2. 소재(Material) 전략

소재 선택은 감성적 접촉 경험과 물리적 내구성, 유지관리성을 균형있게 만족시켜야 한다. 접촉 빈도가 높은 손잡이·터치패널 등 인터페이스에는 Table 1과 같이 SoftTouch 계열의 연질 소재를 적용하여 따뜻하고 부드러운 촉감을 제공함으로써 친밀감과 신뢰감을 증진시키는 것이 바람직하다. 반면 충돌·경계 표시부 및 외골격에는 복합플라스틱·코팅된 금속 등 강성·내스크래치성이 우수한 소재를 사용하여 구조적 견고함과 안전 인지를 강화해야 한다. 소재 선정 시에는 세척성(고온·소독제 내성),

항균 처리 가능성, 내마모성, 재활용성 등의 성능 지표를 명시하고, 장기 운영 중 재처리(재코팅·항균 재도포) 주기 및 방법을 설계 문서에 포함시켜야 한다. 또한 지역별·서비스별 운영 특성(예: 습한 환경, 잦은 충격, 고청결 요구)에 따라 모듈화된 소재 사양을 적용할 수 있도록 소재 라이브러리와 호환 표준을 마련해야 한다[6,10].

2.4.3. 마감(Finish) 전략

Table 2 및 Table 3과 같이 마감은 로봇의 시간 경과에 따른 외관 변화와 사용자 청결 인지에 직접적인 영향

Table 2
Semi-gloss finish specifications

60° Gloss Value	○ In logistics environments: 20~40 GU (Gloss Units). This range minimizes visibility degradation from fingerprints, soil, and glare/reflection (ISO 2813)
Abrasion Data	○ Taber abrasion test (ASTM D4060, 1,000 cycles, 1 kg load): mass loss within 50~100 mg
Chemical Durability	○ The semi-gloss coating top layer is polyurethane- or epoxy-based - Water resistance: after 24-hour immersion, gloss change within ±3 GU - Alcohol resistance: after 1-hour exposure to 70 % ethanol solution, gloss change within ±2 GU - Acid/alkali resistance: after 30-minute exposure to solutions in the pH 2~12 range, color change ΔE ≤ 2 (CIE LAB)

Table 3
Chemical composition and duration of effect of antimicrobial coatings

Antimicrobial technology	Active ingredient	Mode of action	Duration	Efficacy (log reduction)	Notes
Ag nanoparticles	Silver (Ag) nanoparticles	Ion release and cell membrane damage	12~18 months	99.9 % (3 Log)	Meets ISO 22196
Cu ion-exchange	Copper (Cu) nanowire	Oxidative reactions and DNA damage	8~12 months	99.99 % (4 Log)	Cost-effective
Inorganic photocatalyst	TiO ₂ (titanium dioxide) + UV	Photocatalytic reaction	≥ 24 months	99.99 %+ (4+ Log)	Excellent durability

* For logistics service robots, antimicrobial coatings based on silver (Ag) nanoparticles or copper (Cu) ion-exchange technologies are recommended.

** For disinfection and air-purification robots, concurrent application of titanium dioxide (TiO₂) photocatalytic coatings is recommended.



Fig. 6. Keyword, directional derivation through scenarios.

을 미친다. 유통·마트 환경에서는 지문·오염·스크래치의 가시성이 낮은 세미매트(semi- matte) 또는 세미글로스 계열의 마감을 권장한다. 과도한 광택은 조명 반사로 인

한 시인성 저하 및 오염 가시성 증가를 초래하므로 피해야 한다. 마감 표면에는 촉각적 식별을 위한 구조적 패턴을 전략적으로 적용한다(예: 비상정지 버튼의 동심원,



Fig. 7. Five product design proposals incorporating CMF applications.

Table 4
Design concept and CMF design application plan for 5 types of products

	<p>ARM-L1: Precision collaborative</p> <p>A service robot or robotic arm intended solely for simple item pick-up. Because its motions present multiple hazard factors, operation should be confined to clearly defined/zoned areas. Designed to convey approachability to general consumers, it is suitable for use in logistics storage and in food-preparation zones where hygiene must be controlled. Capable of basic inventory tidying and automated end-of-day clean-up/restocking. CMF: Base_light gray (matte, neutral background). Highlight_pastel blue to communicate precision and trust. Joints_silicone overmold (SoftTouch, Shore A 20~40)</p>
	<p>CART-L2: Consumer-interactive cart</p> <p>A customer-accessible module available during business hours. Offers easy operation via smartphone integration and provides location and item guidance through navigation features. In emergencies, lighting functions guide evacuation routes. CMF: Base_cream tone to evoke approachability. Highlight_warm accents. User contact points_SoftTouch; LED status ring with standard green/yellow/red signaling.</p>
	<p>LR-L3: Heavy-load handling — lift and roller type</p> <p>Moves between warehouse and store to minimize unnecessary travel; configurable shelving variants to meet diverse demand. Autonomous route designation using barcode reader. Simple design for operation in narrow spaces. Large wheels to traverse cables and other obstacles. CMF: Base_dark gray to emphasize resistance to soiling and durability. Highlight_deep yellow as a safety warning. Contact areas_enhanced texture to provide tactile boundary cues.</p>
	<p>AIR-L4: Disinfection & air-purification type</p> <p>Intended for after-hours use in supermarkets and warehouses: autonomously navigates to perform spatial disinfection, removes residual chemicals via air-purification functions, and provides sterilization using UV LEDs to address various virus-related issues. CMF: Highlight_mint tones to convey cleanliness. Finish_semi-gloss for cleanability. Filter access_hygiene color coding and clear iconography.</p>
	<p>ALL-L5: Modular integrated platform</p> <p>Minimizes unnecessary travel by moving between warehouse and store. Configurable shelving variants to meet diverse demands. Autonomous route designation using a barcode reader. Simple design for operation in narrow spaces. Large wheels to traverse cables and other obstacles. CMF: Establish a module-identification color/texture handbook (maximum 6-color palette) and docking standards (alignment markings, color coding, LED docking indicators)</p>

조작부의 선형 패턴). 이러한 촉각 패턴은 소음·조명에 의존하지 않는 비시각적 피드백 수단으로서 접근성과 작업 효율을 높인다. 어 마감층의 코팅 사양은 내화학성·내마모성·항균성 검증 결과를 기반으로 선정하며, 마감 패턴은 표준 규격의 킥 릴리즈 결합을 적용하여 현장 교체·보수성을 확보해야 한다[7-9].

2.5. 모듈형 로봇 컨셉 적용 사례

Figure 6의 데이터 수집 및 분석, 1차 디자인개발 및 프로토타입 평가 및 CMF 전략 심층 인터뷰에 따른 아래의 6가지 기능과 추가 기능을 조합하여 Fig. 7과 같은 다양한 모듈형 물류 서비스 로봇을 개발 하였다[2,3].

Table 4는 로봇팔이 적용된 물류 서비스 로봇, 카트 디자인 로봇, 리프트&롤러 물류 서비스 로봇, 공기청정 &방역 로봇, 바코드를 통한 자율주행 로봇으로 5종으로 서비스 기술 및 디자인을 개발하였으며, 각 모델에 대한 CMF 적용(안)을 제시하였다.

2.6. 사용자 참여 평가 및 결과

Figure 9의 최종 프로토타입을 통해 Fig. 8의 내용으로 워크숍 및 현장검증, 결과물 사용성 및 만족도 검증에서 디자인 중심 CMF 컨셉을 평가하였다. 관찰과 심층피드백을 통해 색채 레이어 구조, 촉감 계층화, 마감 선택이 사용자 경험에 미치는 효과를 도출하였다[5,9].

정량적 결과로 CMF 기반 디자인 적용 그룹은 편의성 및 업무효율성 부분의 기능 학습시간 평균 40~45 % 단축, 상태 해석 정확도 평균 10~12 % 상승을 보였다[9]. 상호작용에 따른 사용자 신뢰도·친근감(5점 척도)은 평균 4.18 범위로 양호하였다.

정성적 결과로 작업자들은 로봇을 ‘협력자’로 인식하는 경향이 증가하였고, 특히 SoftTouch 접촉부가 신뢰형성에 기여했다. 일부 응답자는 과도한 인간화(감성화)가 기능 기대치를 높여 오히려 혼란을 유발할 수 있음을 지적하였다.

[표본 수 및 대조군 설정]

Sample	Pilot evaluation (3 store managers / 7 robot operators with experience / 5 CMF design experts)
Experimental group	Robot prototype applying CMF design principles — SoftTouch handle, semi-gloss finish
Control group	Existing-design robot (no CMF applied), achromatic/solid colors, standard plastic handle, matte finish

[통계적 유의성 검증]

- 측정지표 정의
 - 종속변수 : 기능 학습 소요 시간
 - 독립변수 : CMF 디자인 적용 여부(적용/미적용)
- t-test 계산공식

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\frac{s_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}}{\sqrt{0.72^2 + 0.92^2}}} = \frac{12.3 - 21.5}{1.17} = -7.86$$
- 결과해석
 - 자유도(df) : $n_1 + n_2 - 2 = 20 + 20 - 2 = 38$
 - 임계값(Critical value at $\alpha = 0.05$, $df = 38$): $t_{0.05} = 1.687$
 - 계산된 t 값: -7.86 (절대값)
 - p-value: $p < 0.001$ (매우 유의미)
 - 결론 : CMF 적용군이 통계적으로 유의미하게 학습시간이 짧다[5,9].



Investigation method

User Experience-Based Design and CMF Design Feasibility Assessment

Survey subjects

Related experts

- Team Leader Kim OO/ OO Design Promotion Institute
- Chief Resercher Na OO/ OOOO Design
- Back OO, CEO/ OKorea
- Lee OO, OO Foundation
- Han OO, Design Consulrant, OO TechnoPark

Survey scale

Total 15 people

Fieldwork period

2025.11.



Fig. 8. User participation assessment.



Fig. 9. Final working prototype with CMF design.

2.7. 디자인 원칙 및 CMF 가이드라인

연구 결과를 종합하여 물류·매장 환경에서 다기능 모듈식 로봇의 위생성·내구성·가시성·조작성 확보를 위한

CMF 구현 지침을 Table 5와 Table 6과 같이 제시하며, 그 적용범위는 자율주행 방역·공기정화 모듈, 소비자 인터랙션 카트, 중량 리프트·롤러부, 모듈 도킹 인터페이스, 이동 채시(휠 서스펜션) 등에 적용하고자 한다.

2.7.1. 디자인 원칙(핵심요구와 연계)

Table 5
Design principles

Design principle	Cleanliness & trustworthiness	Convey a hygienic feel using mint-tone highlights
	Modularity & identifiability	Up to a 6-color palette for immediate identification by module and function
	Maintainability	Clearly mark filter and consumable access points with colors and icons; ensure semi-permanent washability
	Durability & cleanability	Use a semi-gloss finish that is durable and washable
	Safety & visibility	Make docking and alignment areas intuitive using color, markings, and LEDs
	Collaboration & usability	Provide tactile and visual signals for safe human-robot co-working
	Spatial suitability	Minimize width for narrow aisles, use a simple silhouette and large wheels to overcome obstacles

2.7.2. CMF 디자인 가이드라인

Table 6
CMF design guidelines

CMF Guideline	Color	Base 70-80%, highlight 10-15%, status indication 10-15%; functional color coating (warnings, normal, blue, UI_blue, maintenance_orange); luminance contrast $\geq 70\%$
	Touch	Contact areas: SoftTouch; risk areas: coarse texture; standard texture depth (e.g., non-slip 0.2 mm concentric pattern)
	Materials & Finish	Washable, chemical- and UV-resistant polymer or stainless steel; semi-gloss surface; designate areas for antimicrobial coating
	Docking & Identification	Docking color markings; LED indicators (status-specific colors); maintain physical alignment tolerance (allowable error ± 10 mm)
	UI / Hygiene Marking	Filters & consumables: mint color; icon labeling; attach washing instructions label; color-code replacement cycles
	Tests & Production	Chemical resistance, abrasion, UV, LED aging; verify hygiene and standardize modules to simplify maintenance
	Application Recommendations	Disinfection = Mint + Stainless; consumer cart = Accent UI + Light Gray; medium lift = Dark Gray + Safety Orange; unified platform = Dock Blue for docking standard

3. 결 론

본 연구는 CMF 디자인을 자율주행 물류 서비스 로봇 설계의 핵심 전략요소로 재정의하고, 서비스 디자인(더블 다이아몬드) 기반의 참여적 절차를 통하여 현장 적용 가능한 CMF 가이드라인과 모듈형 플랫폼 설계원칙을 도출하였다[3,4].

첫째, CMF의 구조적 적용(베이스 70~80% / 하이라이트 10~15% / 상태표시 10~15%)과 기능적 색채 규약(예: 경고 = 주황, 정상 = 청록, 유지보수 = 노랑 등)은 복잡한 물류 환경에서 상태인지의 직관성을 유의미하게 향상시켰다. 둘째, 접촉부에 대한 연질 SoftTouch 적용, 외골격의 고강도 폴리머 및 세미글로스 마감 조합은 사용자 신뢰와 위생 인식을 동시에 개선하였고, 특정 항균·내화학성 사양은 현장 유지관리 비용 절감 가능성을 시사하였다. 셋째, 예비평가 결과 CMF 적용 프로토타입은 학습시간을 평균 40~45% 단축하고 상태 해석 정확도를 평균 10~12% 향상시키는 것으로 나타났으며(통계적 검정: 독립표본 t-test, $p < 0.001$)[5,9], 이는 디자인 개입이 운영효율성에 실질적 영향을 미침을 시사한다. 연구의 실무적 시사점의 경우 운영주체는 CMF 가이드라인을 제품설계 초기단계에 통합하여 시범운영을 추진할 것을 권장한다. 구체적으로, 모듈식 소재 라이브러리 구축, 도킹·식별 표준화(컬러 핸드북·LED 인디케이터 규약), 항균·마감의 제도포 주기 명시 등을 포함한 운영매뉴얼이 필요하다. 또한 제조 단계에서는 제시된 물성(Shore 경도, 광택 GU, Taber 마모 기준 등)과 국제표준(ISO/ASTM) 기반의 검증 절차를 의무화하여 장기 신뢰성을 확보해야 한다.

본 연구의 한계와 향후 연구 방향은 다음과 같다. 첫째, 표본 규모 및 현장 다양성의 한계로 인해 결과의 일반화에는 제약이 있다. 향후 연구는 다지역·다문화 환경에서의 대규모 필드실험(무작위 배정 및 블라인드 평가 포함)을 통해 문화별 색채 해석 차이와 운영 조건 변동의 영향을 정량화할 필요가 있다. 둘째, 현재 연구는 물리적 CMF 중심이며, 향후에는 AR 기반 디지털 CMF(프로젝션·광학 신호) 및 AI 기반 적응형 CMF(사용자 선호·환경변화에 따른 실시간 최적화)의 통합을 검토해야 한다. 셋째, 장기 노후화·유지관리 비용의 실제 경제성 분석(총소유비용, TCO)과 안전 규제(ANSI/ISO) 충족에 관한

규범적 연구가 병행되어야 한다. 결론적으로, 본 연구는 CMF 설계가 자율주행 물류 로봇의 현장 수용성과 운영 효율성 개선에 실질적 기여를 할 수 있음을 경험적·이론적으로 입증하였으며, 산업 적용을 위한 구체적 설계·검증 프레임워크를 제공한다. 후속 연구는 제시된 가이드라인의 확장성과 장기적 유효성 검증을 통해 표준화 및 상용화로의 전환을 추구해야 할 것이다.

감사의 글

이 논문은 2022년도 한서대학교 교내 연구지원과제에 의하여 연구되었음.

References

- [1] D.A. Norman, "Emotional Design: Why We Love (or Hate) Everyday Things", Basic Books, New York (2004) p.1.
- [2] L. Becerra, "CMF Design: The Fundamental Principles of Colour, Material and Finish Design", Frame Publishers, Amsterdam (2016) p.1.
- [3] P. Hekkert and M. van Dijk, "Vision in Design: A Guidebook for Innovation", BIS Publishers, Amsterdam (2011) p.1.
- [4] M. Stickdorn and J. Schneider, "This Is Service Design Thinking", Wiley, Hoboken (2012) p.1.
- [5] N.C. Park, "A study on context-oriented persona modeling method in UX design", J. Korean Des. Cult. 23 (2017) 145.
- [6] K.T. Kim, H.S. Kim and S.M. Kang, "A study on the design for the road bike frame made by carbon fiber materials", J. Korean Cryst. Growth Crystal Technol. 27 (2017) 178.
- [7] Fortune Business Insights, "Conformal Coatings Market Size, Share & Future Outlook 2034", Market Research Report, New York (2026) p.1.
- [8] Grand View Research, Inc., "Medical Device Hydrophilic Coatings Market Report 2033", Industry Analysis Report, San Francisco (2026) p.1.
- [9] H. Ding, Y. Shen and X. Liu, "Review of Cr-N coatings mechanical properties by physical vapor deposition", Finish. Coat. J. 12 (2025) 45.
- [10] Made-in-China Insights, "Chemical Fibers: The Hidden Power Behind Tomorrow's Global Manufacturing", Industry Outlook Report, Hangzhou (2026) p.1.