

짐칸의 전후 수평유지를 위한 이동로봇의 기계장치 설계

김제현*, 고임현**, 김갑순***, #

*경상국립대학교 제어계측공학과, **삼원동관(주), ***경상국립대학교 제어로봇공학과

Design of a Mobile Robot Mechanical Device to Maintain Horizontality of the Front and Back Sides of a Luggage Compartment

Je-hyeon Kim*, Im-hyeon Go**, Gab-Soon Kim***, #

*Department of Control & Instrumentation Engineering, Gyeongsang National Univ.

**DSAMWON COPPER TUBE

***Department of Control & Robot Engineering(ERI), Gyeongsang National Univ.

(Received 28 November 2023; received in revised form 04 December 2023; accepted 08 December 2023)

ABSTRACT

In this study, we designed and manufactured a mechanical device for a mobile robot that can maintain a luggage compartment in the horizontal direction when the robot moves on an inclined path. The mobile robot has hinges attached to both sides of the front of the luggage compartment, and a linear actuator is attached to the center of the back of the luggage compartment. When the linear actuator is raised and lowered, the luggage compartment moves up and down by the hinge. As a result, the mobile robot can maintain forward and backward horizontality on an inclined path. An inclination characteristic test of the manufactured mobile robot luggage compartment revealed that operation up to an inclination angle of $\pm 5^\circ$ was possible. Thus, the luggage compartment of the front-to-back horizontal maintenance mobile robot manufactured in this study can maintain front-to-back horizontality when the robot moves on an inclined path.

Keywords : Mobile Robot(이동로봇), AGV: Automated Guided Vehicle(무인운반차), AMR: Autonomous Mobile Robot(자율이동로봇), Keep Level(수평유지), Structural Analysis(구조해석)

1. 서 론

물류창고, 공장 등에서의 물류이동은 사람이 들어서 이동시키는 방법, 컨베이어 벨트로 구성된

자동화 시스템 등을 이용하여 이동시키는 방법, 지게차 등을 이용하여 이동시키는 방법 등이 있다. 이 방법들은 사람이 직접 혹은 간접적으로 업무를 수행하기 때문에 많은 비용이 소요된다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서, 최근에는 무인운반차(AGV : Automated Guided Vehicle)와 자율이동로봇(AMR : Autonomous Mobile Robot)을

Corresponding Author : gskim@gnu.ac.kr

Tel: +82-55-772-1745, Fax: +82-55-772-1749

사용하고 있다. 물류이동을 위한 AGV, AMR 등에 관한 연구는 다음과 같이 진행되었다.

Ganesharajah^[1]은 AGV의 흐름 경로 설계, 차량 크기 조정, 작업 및 차량 일정 관리, 배차 및 충돌 없는 경로 지정에서 발생하는 문제를 연구하였고, 단일 루프와 복잡한 네트워크의 물리적 레이아웃에서 계산상 다루기 어려운 문제를 해결하였다. Mantel^[2]은 AGV의 설계와 트랙 레이아웃, AGV 수, 운송제어에 대해 연구하였다. Moshayedi^[3]은 차량 몸체, 컨트롤러, 모터, 드라이브, 네비게이션, 출돌방지센서, 통신장치 등으로 구성된 AGV를 설계하였다. Klosowski^[4]은 AGV의 퍼지논리와 유전 알고리즘을 적용한 하이브리드 제어시스템을 구성하였고, 작업 공간을 구역으로 분할하고 스테이션을 전환함으로써 운송의 복잡성 문제와 AGV 간의 충돌 가능성이 해결하였다. Long^[5]은 다양한 AGV 항법 기술의 원리를 비교하고, 장단점을 분석하였으며, 향후 AGV 유도 기술 개발 동향을 예측하여 관련 연구자들이 추가 연구를 할 수 있도록 하였다. Tang^[6]은 기하학적 A-스타 알고리즘을 기반으로 AGV의 한 경로 계획 방법을 연구하였고, 결과는 노드 수를 10%~40% 줄이고, 회전수는 25% 감소하였으며, 회전각은 33.3% 감소하였다. Alatisse^[7]은 AMR의 위치 파악, 추정, 네비게이션과 같은 문제를 해결하기 위해 개발된 장치, 센서 및 널리 사용되는 센서 융합 기술에 대해 연구하였다. Hachour^[8]은 AMR이 알 수 없는 목표에 대한 경로 계획환경에서 정적인 장애물을 탐색하고 순서대로 경로를 찾는 연구를 수행하였고, 성공적으로 이동하였다. Mohanty^[9]은 불확실하고 복잡한 환경에서 발견되는 정적, 동적 장애물. 여러 가지 효율적인 기술에 대한 AMR의 동작 계획을 연구하였다. Surmann^[10]은 AMR의 안정적인 3D 레이저 거리 측정기 및 3개의 정교한 소프트웨어 모듈로 3D 실내 환경의 측정 및 디지털화를 위한 자동 시스템을 구성하였다. 이것은 3D 스캔을 공통 좌표계에 등록하고 로봇을 다시 위치 지정하였고, 획득한 3D 데이터를 기반으로 복잡한 장애물을 피하였다. Volos^[11]은 혼돈의 무작위 비트 생성기를 구현하고 생성된 혼돈의 비트 시퀀스를 로봇의 운동 궤적으로 변환하는 마이크로컨트롤러를 기반

으로 AMR의 제어를 수행하였다. 이것은 장애물 회피와 로봇 작업 공간을 빠르게 스캐닝하였다. Básaca-Preciado^[12]은 AMR의 동적 삼각 측량을 통한 고정밀 위치 파악 방식을 사용하여 작동하는 로봇 네비게이션 시스템을 제안하였다. 이것은 3D 레이저 스캐닝 기술 비전 시스템과 모바일 로봇 네비게이션 시스템을 통합하는 것이고, 결과는 일 시적인 폐색 상태에서도 안전하고 높은 정확도를 가지고 있다. Velagic^[13]은 퍼지 논리, 유전 알고리즘과 같은 소프트 컴퓨팅 방법론이 AMR의 네비게이션 시스템에 대해 연구하였고, 시뮬레이션 결과는 모바일 로봇의 위치 추적 기능과 장애물 회피 동작의 우수성을 입증하였다.

지금까지 개발된 AGV와 AMR이 건물과 건물 사이의 기울어진 이동경로와 단일 건물 내에서 기울기가 있는 경로를 이동할 때에는 물건을 싣는 짐칸이 기울어지므로 싣어진 물건이 떨어지거나 이동로봇(AGV, AMR)이 물건과 함께 전복되는 사고가 발생할 수 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서는 이동로봇의 짐칸의 한쪽 뒤부분이 상하로 움직이며 전후 수평유지가 되도록 설계되어야 한다.

본 논문에서는 이동로봇이 경사진 경도를 이동할 때 짐을 싣는 짐칸의 전후 수평유지를 위한 이동로봇의 기계장치를 설계 및 제작한다. 이동로봇의 기계장치는 전후 수평이 유지되도록 고안되고, 솔리드웍스 소프트웨어를 이용하여 정적해석을 통해 설계되며, 설계된 결과를 토대로 제작된다. 그리고 제작된 전후 수평유지 이동로봇의 특성실험을 실시한다.

2. 전후 수평유지 이동로봇 설계 및 제작

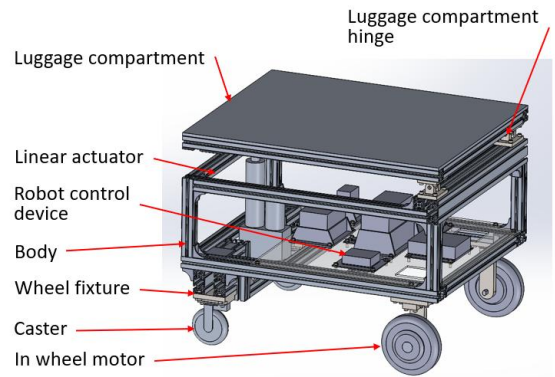
2.1 이동로봇의 구조 및 시뮬레이션

Fig. 1은 전후 수평유지 이동로봇의 구조를 나타내고 있고, (a)는 3차원 정면도, (b)는 3차원 배면도이며, 이것은 짐칸(luggage compartment), 짐칸 힌지(luggage compartment hinge), 직선 액츄에이터(linear actuator), 바퀴 고정구(wheel fixture), 바퀴모

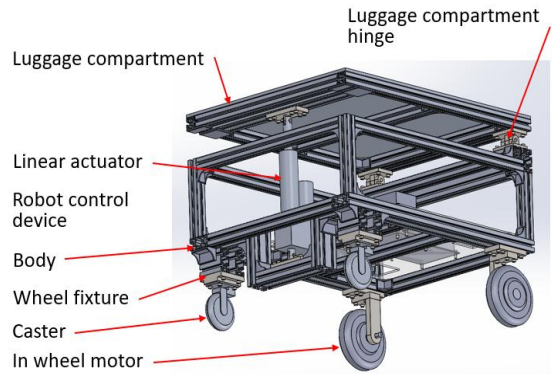
터(in wheel motor), 뒷바퀴(caster), 몸체(body), 로봇제어장치(robot control device) 등으로 구성된다. 짐칸은 이동시키기 위한 문체를 싣는 부분이고, 케이스로 만들어야 하나 기본 설계를 위해 평판으로 구성하였다. 짐칸힌지는 상부블록, 하부블록, 핀, 베어링 등으로 구성되어 있고, 짐칸의 앞쪽과 본체를 연결하며, 짐칸의 뒤쪽이 리니어액츄에이터의 동작에 의해 상하로 이동될 때 짐칸이 상하 방향으로 회전한다.

리니어액츄에이터(CAHB-21-A1E-150 368-BDJ0 AT)는 몸체의 하부와 짐칸의 뒤쪽에 핀으로 미소 회전될 수 있도록 고정되어 있고, 짐칸의 뒤쪽을 상하로 동작시키며, 이것의 사양은 하중이 1,500N, 스트로크(stroke) 150mm, 기본길이 368mm, 속도 43mm/s이다. 바퀴 고정구는 바퀴모터(앞바퀴) 고정구와 뒷바퀴 고정구로 나눌 수 있고, 각각 2개씩이며, 고정구의 상부는 로봇의 몸체와 부착되어 있고, 하부는 바퀴를 고정한다. 바퀴모터(MDH250)는 앞바퀴 2개로 사용되고, 모터의 사양은 최대토크 16Nm, 정격전압 24-48DCV, 선속도는 2m/s이고, 바퀴 크기는 직경 206mm이다. 바퀴모터는 바퀴 내부에 모터가 삽입되어 있어 특별한 장치를 부착하지 않아도 내부 모터의 회전에 따라 바퀴가 회전된다. 뒷바퀴는 2개가 사용되고, 360도 회전되며, 앞바퀴의 구동에 따라 하중을 지지하고 회전하게 된다. 몸체는 크기가 900mm×740mm×714mm이고, 이것은 모든 부품을 지지하고 알루미늄 프로파일(크기: 40mm×40mm)을 이용하여 제작되었다. 로봇제어장치는 모터바퀴, 액츄에이터 등을 제어하고, 이것은 추후 연구에서 설계 및 제작한다. 전후 수평유지 이동로봇은 제어장치의 명령에 따라 전진, 후진, 방향전환 등을 수행하고, 경사진 경로에서는 경사각 센서의 신호를 받아 짐칸을 수평이 되도록 제어한다.

Fig. 2는 전후 수평유지 이동로봇의 동작 시뮬레이션을 나타내고 있고, (a)는 짐칸을 올리는 모습, (b)는 짐칸을 내리는 모습을 나타내고 있다. 시뮬레이션 결과, 전후 수평유지 이동로봇은 이동로봇의 앞쪽을 힌지로 짐칸의 뒤쪽이 상하로 동작되어 짐칸을 전후 수평유지하는 것을 확인하였다.



(a) 3d front view

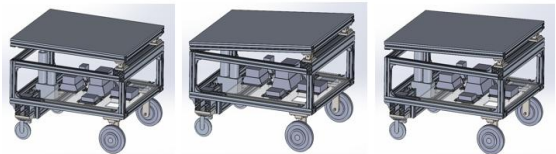


(b) 3D rear view

Fig. 1 Structure of front and rear horizontal maintenance mobile robot



(a) Raising the luggage compartment



(b) Putting the luggage compartment down

Fig. 2 Motion simulation of front and rear horizontal maintenance mobile robot

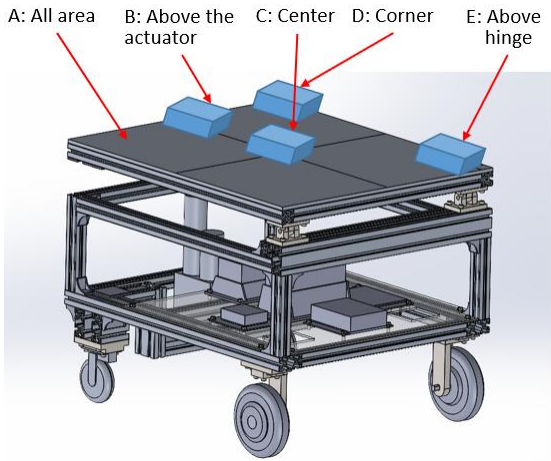


Fig. 3 Load points and main analysis parts applied for stress and displacement analysis of mobile robots

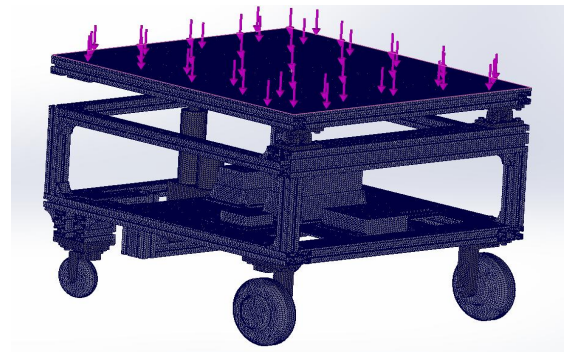
2.2 전후 수평유지 이동로봇의 설계

이동로봇의 기계장치를 안전하게 설계하기 위해 솔리드웍스 소프트웨어를 활용하여 해석하였다. Fig. 3은 이동로봇의 응력 및 변위해석을 위해 가해지는 하중점을 나타내고 있고, 가해진 총 하중은 1,500N이고 분포하중으로 가해졌으며, 이것은 짐칸 위의 전체면적(A), 짐칸한지 위의 면적(B: 40mm×40mm), 리니어 액츄에이터 위의 (C: 40mm×40mm), 짐칸 뒤쪽 구석 (D: 40mm×40mm), 짐칸 중앙 위의 (E: 40mm×40mm)에 각각 1,500N이 가해졌다.

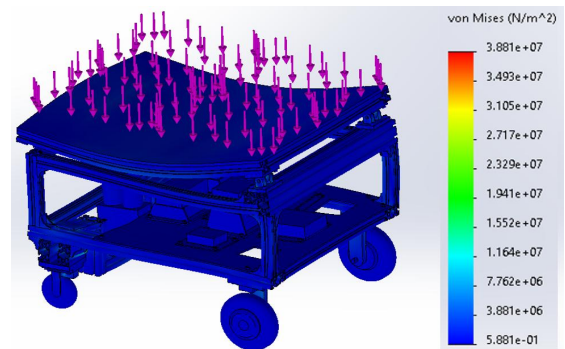
이동로봇의 기계장치의 재질은 짐칸이 Al6061, 짐칸한지가 SM45C, 리니어 액츄에이터가 SUS304, 바퀴 고정구가 SM45C, 바퀴모터가 AL6061, 뒷바퀴가 Al6061, 몸체가 Al6061이다. Al6061 재질의 항복강도는 110MPa이고, 이것은 그리퍼의 안전율을 계산하는데 사용된다. 그리퍼 설계를 위한 조건은 그리퍼 재질의 종탄성계수가 70GPa, 프와송의비가 0.3이다. SM45C 재질의 항복강도는 450MPa이며, 이것은 그리퍼의 안전율을 계산하는데 사용된다. 그리퍼 설계를 위한 조건은 그리퍼 재질의 종탄성계수가 205GPa, 프와송의비가 0.3이다.

Fig. 4는 1,500N을 짐칸 위의 전체면적(A)에 가

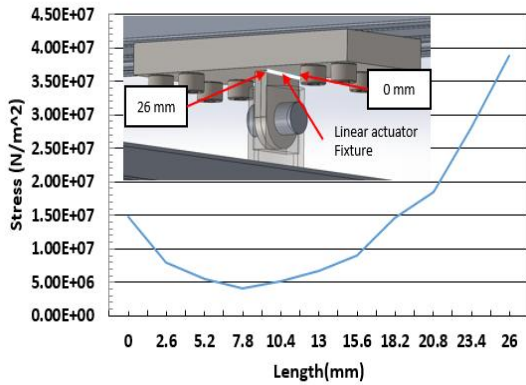
했을 때의 이동로봇 기계장치의 구조해석결과를 나타내고 있고, (a)는 메쉬(mesh)모습을 나타낸 것이며, 이것은 솔리드웍스가 자동으로 나눈 것이다. (b)는 응력(stress)해석 결과를 나타낸 것이고, (c)는 최대응력이 발생된 리니어 액츄에이터 고정구의 응력 그래프를 나타낸 것이며, 최대응력은 고정구의 가장 끝부분에서 발생한 38.8Mpa(MN/m²)이었다. 리니어 액츄에이터의 고정구의 안전율은 11.6이었고, 이와 같이 안전율이 크게 설계된 것은 고정구와 리니어 액츄에이터의 축을 안전하게 고정할 수 있도록 하였기 때문이다. 리니어 액츄에이터의 축의 직경이 27mm이고 고정하는 볼트의 직경이 12mm이다. (d)는 변위(deflection)해석한 결과를 나타낸 것이고, (e)는 최대변위가 발생한 짐칸의 변위 그래프를 각각 나타낸 것이며, 최대변위는 짐칸의 중앙부분에서 발생한 0.233mm이었고 이것은 하중을 짐칸의 전면에 분포하여 가했기 때문이다.



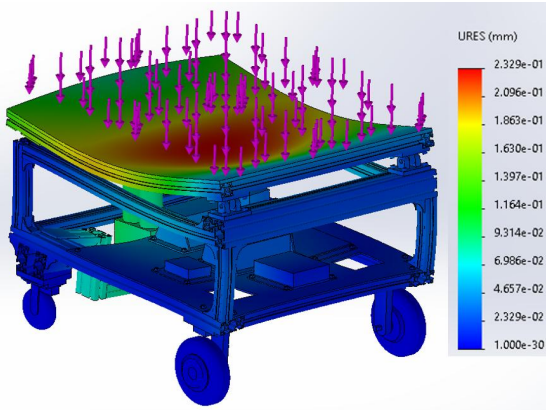
(a) Mesh



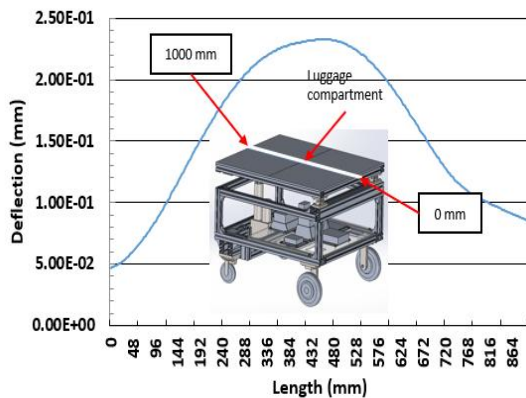
(b) Stress



(c) Graph of stress



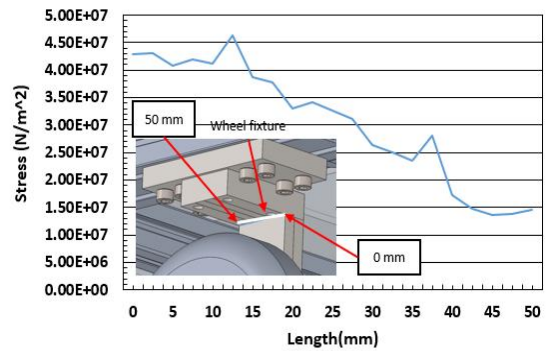
(d) Deflection



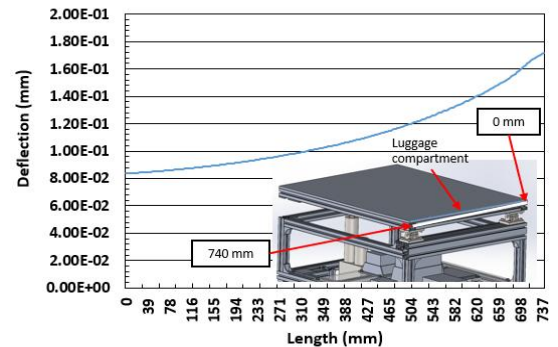
(e) Graph of deflection

Fig. 4 Structural analysis results of front to rear horizontal maintenance mobile robot machinery in case load position A

Fig. 5는 1,500N을 짐칸힌지 위의 면적(B)에 가했을 때의 이동로봇 기계장치의 구조해석결과를 나타내고 있고, (a)는 최대응력이 발생된 앞바퀴 고정구의 응력 그래프를 나타낸 것이며, 최대응력은 고정구의 12.5mm 부근에서 발생한 46.33 Mpa(MN/m²)이었고, 이 부근에서 가장 큰 응력이 발생한 것은 고정구 부근에 홈이 있기 때문이다. 앞바퀴 고정구의 안전율은 9.71이었고, 이와 같이 안전율이 크게 설계된 것은 고정구와 앞바퀴 축을 안전하게 고정할 수 있도록 하였기 때문이다. 앞바퀴 축의 직경이 16mm이고 길이가 43mm이다. (b)는 최대변위가 발생한 짐칸의 폭 변위 그래프를 각각 나타낸 것이고, 최대변위는 짐칸의 끝부분(하중을 가한 부분)에서 발생한 0.17mm이었고 이것은 하중을 짐칸의 힌지부분에 가했기 때문이다.



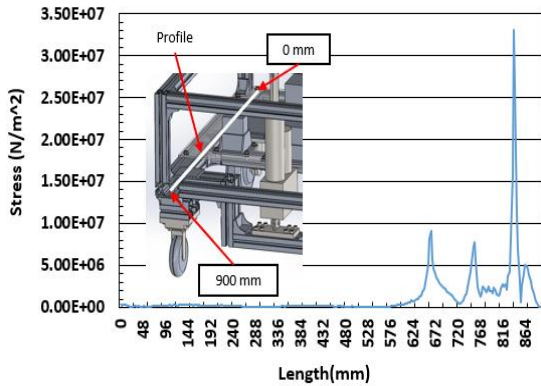
(a) Graph of stress



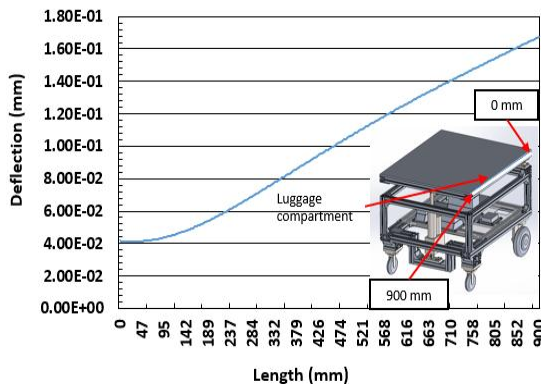
(b) Graph of deflection

Fig. 5 Structural analysis results of front to rear horizontal maintenance mobile robot machinery in case load position B

Fig. 6은 1,500N을 리니어 액츄에이터 위의 면적(C)에 가했을 때의 이동로봇 기계장치의 구조해석결과를 나타내고 있고, (a)는 최대응력이 발생된 몸체 파로파일의 응력 그래프를 나타낸 것이며, 최대응력은 파로파일의 840mm 부근에서 발생한 $33.00\text{Mpa}(\text{MN}/\text{m}^2)$ 이었다. 파로파일의 안전율은 3.33이었고, 이것은 3배 이상이므로 안전하게 설계되었다. (b)는 최대변위가 발생한 짐칸의 폭 변위 그래프를 각각 나타낸 것이며, 최대변위는 짐칸의 끝부분(리니어 액츄에이터 부분)에서 발생한 0.17mm이었고 이것은 하중을 리니어 액츄에이터 위에 가했기 때문이다.



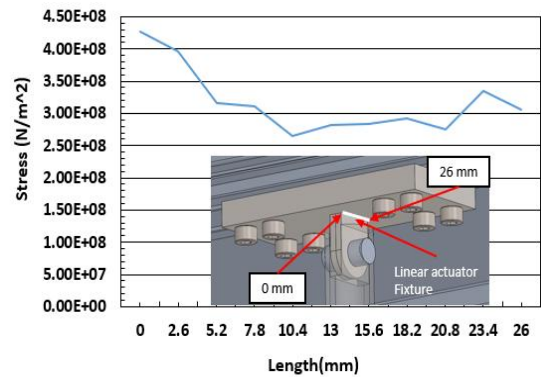
(a) Graph of stress



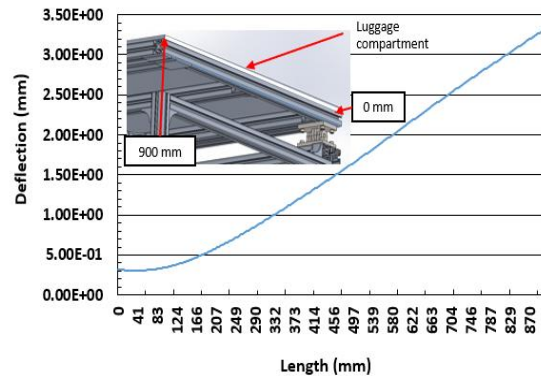
(b) Graph of deflection

Fig. 6 Structural analysis results of front to rear horizontal maintenance mobile robot machinery in case load position C

Fig. 7은 1,500N을 짐칸 뒤쪽 구석 위의 면적(D)에 가했을 때의 이동로봇 기계장치의 구조해석결과를 나타내고 있고, (a)는 최대응력이 발생된 리니어 액츄에이터 고정구의 응력 그래프를 나타낸 것이며, 최대응력은 고정구의 0mm 부근에서 발생한 $429.21\text{Mpa}(\text{MN}/\text{m}^2)$ 이었다. 고정구의 안전율은 1.05이었고, 이와 같이 안전율이 작은 것은 짐칸에 짐을 싣을 최악인 상태인 짐칸 뒤쪽 구석 ($40\text{mm} \times 40\text{mm}$)로 가정했기 때문이다. (b)는 최대변위가 발생한 짐칸의 길이 변위 그래프를 각각 나타낸 것이며, 최대변위는 짐칸의 끝부분(하중을 가한 부분)에서 발생한 -0.61mm이었고 반대쪽은 +3.35mm이었다.

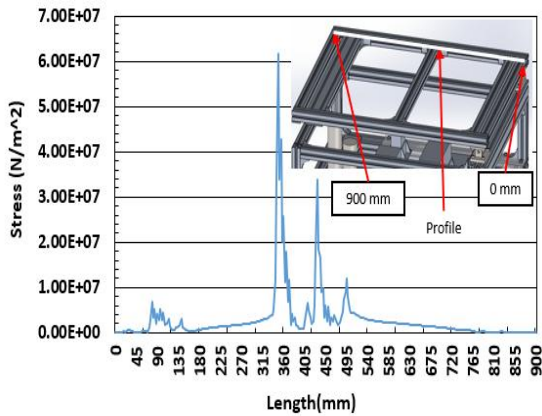


(a) Graph of stress

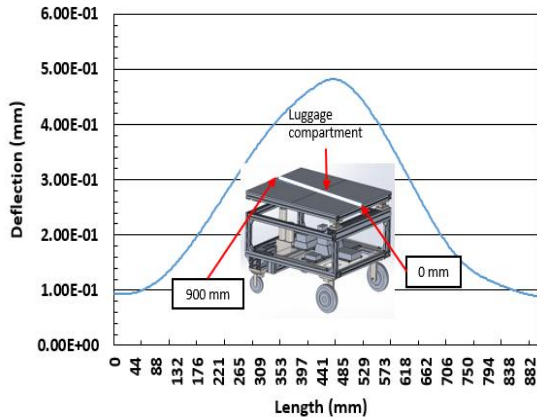


(b) Graph of deflection

Fig. 7 Structural analysis results of front to rear horizontal maintenance mobile robot machinery in case load position D



(a) Graph of stress



(b) Graph of deflection

Fig. 8 Structural analysis results of front to rear horizontal maintenance mobile robot machinery in case load position E

Fig. 8은 1,500N을 짐칸 중앙 위의 면적(B)에 가했을 때의 이동로봇 기계장치의 구조해석결과를 나타내고 있고, (a)는 최대응력이 발생된 몸체 중앙의 가로 프로파일의 응력 그래프를 나타낸 것이며, 최대응력은 고정구의 348mm 부근에서 발생한 61.61Mpa(MN/m²)이었다. 몸체 중앙의 가로 프로파일의 안전율은 1.78이었고, 이와 같이 안전율은 실제로 하중이 짐칸 중앙 위의 면적(40mm×40mm)에 적용되지 않으므로 안전한 것으로 판단된다. (b)는 최대변위가 발생한 짐칸의 길이 변위 그래프를 각각 나타낸 것이며, 최대변위는 465mm에서 발생한

0.48mm이었고 이것은 하중을 짐칸의 중앙부분에 가했기 때문이다.

2.3 전후 수평유지 이동로봇의 제작

Fig. 9는 제작된 전후 수평유지 이동로봇을 나타내고 있고, 이것은 짐칸, 짐칸힌지, 리니어 액추에이터, 바퀴 고정구, 바퀴모터, 뒷바퀴, 몸체, 로봇제어장치 등으로 구성되었다. 전체 크기는 900mm×740mm×714mm이고, 짐칸의 기울기는 최대 $\pm 5^\circ$ 이며, 최고 속도는 2m/s이다.

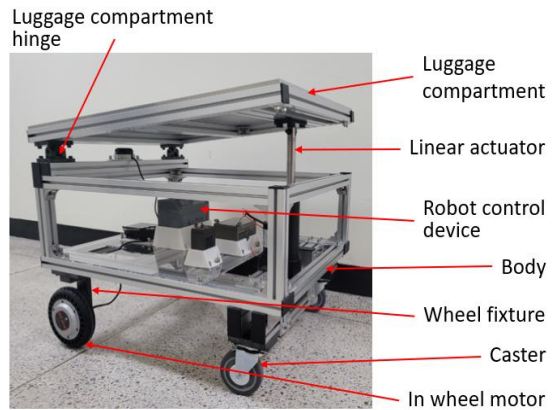


Fig. 9 Manufactured front to back horizontal maintenance mobile robot



(a) Raising the luggage compartment



(b) Putting the luggage compartment down



(c) Angle measurement of the baggage compartment
Fig. 10 Characteristic test results of the manufactured front and rear horizontal maintenance mobile robot

3. 전후 수평유지 이동로봇의 특성실험 및 고찰

Fig. 10은 제작된 전후 수평유지 이동로봇의 특성시험 결과를 나타내고 있고, (a)는 짐칸이 리니어 액츄에이터에 의해 짐칸 회전을 중심으로 올리는 모습을 나타내고 있고, (b)는 내리는 모습, (c)는 짐칸의 각도 측정모습을 나타내고 있다. 특성실험결과, $\pm 5^\circ$ 까지 전후로 올리고 내릴 수 있음을 확인하였다. 특성실험 결과, 이동로봇이 이동시 짐칸을 수평으로 유지할 수 있도록 제어할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결론

본 논문에서는 로봇 짐칸의 전후로 수평유지를 위한 전후 수평유지 이동로봇의 기계장치를 설계 및 제작하였다. 전후 수평유지 이동로봇의 기계장치를 설계한 결과, 안전율이 1.05 이상으로 안전하게 설계되었다. 설계결과를 토대로 전후 수평유지 이동로봇의 기계장치를 제작하였고, 제작된 로봇의 짐칸을 상하로 올리고 내리는 특성실험결과, 짐칸은 $\pm 5^\circ$ 까지 동작됨을 확인하였다. 따라서 설계 및 제작된 전후 수평유지 이동로봇의 기계장치는 이동시 기울어진 경로에서 전후로 수평을 유지

할 수 있을 것으로 판단된다.

추후 연구로는 본 논문에서 제작한 전후 수평유지 이동로봇의 제어장치를 개발하는 것이고, 이것을 이용하여 이동로봇의 특성실험을 실시하는 것이다.

후 기

“본 과제(결과물)는 교육부와 한국연구재단의 지원으로 지원을 받아 수행된 3단계 산학협력 선도대학 육성사업(LINC 3.0)의 연구결과입니다.”

REFERENCES

1. Ganesharajah, T., Hall, N. G., & Sriskandarajah, C., “Design and operational issues in AGV-served manufacturing systems,” *Annals of Operations Research*, Vol. 76, pp. 109-154, 1998.
2. Mantel, R. J., & Landeweerd, H. R., “Design and operational control of an AGV system,” *International Journal of Production Economics* Vol. 41, No. 1~3, pp. 257-266, 1995.
[https://doi.org/10.1016/0925-5273\(95\)00018-6](https://doi.org/10.1016/0925-5273(95)00018-6)
3. Moshayedi, A. J., Jinsong, L., & Liao, L., “AGV (automated guided vehicle) robot: Mission and obstacles in design and performance,” *Journal of Simulation & Analysis of Novel Technologies in Mechanical Engineering*, Vo. 12, No. 4, pp. 5-18, 2019.
4. Kłosowski, G., Gola, A., & Amila, T., “Computational Intelligence in Control of AGV Multimodal Systems,” *IFAC-PapersOnLine*, Vol. 51, No. 11, pp. 1421-1427, 2018.
<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.315>
5. Long, J., & Zhang, C. L., “The Summary of AGV Guidance Technology,” *Advanced Materials Research*, Vol. 591-593, pp. 1625-1628, 2012.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.591-593.1625>
6. Tang, G., Tang, C., Claramunt, C., Hu, X., & Zhou,

- P., "Geometric A-Star Algorithm: An Improved A-Star Algorithm for AGV Path Planning in a Port Environment," IEEE Access, Vol. 9, pp. 59196-59210, 2021.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3070054>
7. Alatise, M. B., & Hancke, G. P., "A Review on Challenges of Autonomous Mobile Robot and Sensor Fusion Methods," IEEE Access, Vol. 8, pp. 39830-39846, 2020.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2975643>
8. Hachour, O., "Path planning of Autonomous Mobile robot," INTERNATIONAL JOURNAL OF SYSTEMS APPLICATIONS, ENGINEERING & DEVELOPMENT, Vol. 2, No. 4, pp. 178-190, 2008.
9. Mohanty, P. K., & Parhi, D. R., "Controlling the Motion of an Autonomous Mobile Robot Using Various Techniques: a Review," Journal of Advance Mechanical Engineering, Vol. 1, pp. 24-30, 2013.
<https://doi.org/10.7726/jame.2013.1003>
10. Surmann, H., Nüchter, A., and Hertzberg, J., "An autonomous mobile robot with a 3D laser range finder for 3D exploration and digitalization of indoor environments," Robotics and Autonomous Systems, Vol. 45, No. 3-4, pp. 181-198, 2003.
<https://doi.org/10.1016/j.robot.2003.09.004>
11. Volos, C. K., Kyprianidis, I. M., and Stouboulos, I. N., "Experimental investigation on coverage performance of a chaotic autonomous mobile robot," Robotics and Autonomous Systems, Vol. 61, No. 12, pp. 1314-1322, 2013.
<https://doi.org/10.1016/j.robot.2013.08.004>
12. Básaca-Preciado, L. C., Sergiyenko, O. Y., Rodríguez-Quinonez, J. C., García, X., Tyrsa, V. V., Rivas-Lopez, M., Hernandez-Balbuena, D., Mercorelli, P., Podrygalo, M., Gurko, A., Tabakova, I., and Starostenko, O., "Optical 3D laser measurement system for navigation of autonomous mobile robot," Optics and Lasers in Engineering, Vol. 54, pp. 159-169, 2014.
<https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2013.08.005>
13. Velagic, J., Lacevic, B., and Perunicic, B., "A 3-level autonomous mobile robot navigation system designed by using reasoning/search approaches," Robotics and Autonomous Systems, Vol. 54, No. 12, pp. 989-1004, 2006.
<https://doi.org/10.1016/j.robot.2006.05.006>