

파워어시스트 시스템을 이용한 인간감응형 차량 스마트도어 제어 Control of Vehicle Smart Door Using Human Friendly Power-Assist System

*#박민규¹, 성금길¹, 이병수²

*M. K. Park(mk_park@ync.ac.kr)¹, K. G. Sung¹, B. Lee²

¹영남이공대학 기계과, ²계명대학교 기계자동차공학부

Key words : Smart Door, Power-Assist, Passenger Vehicle, Human Friendly

1. 서론

차량용 지능형 부품 중 도어를 위한 장치에는 최근 자동 슬라이딩 도어(auto sliding door) 및 전동식 파워도어 시스템 등이 있다. 그러나 이러한 장치만으로는 자동차의 주차각도에 따른 도어 개폐력의 변화를 보상할 수 없는 문제점이 있다[1][2]. 자동차 도어는 구조, 형상, 개폐력 등에 따라 사용자가 느끼는 편의성 및 안전성 등에 영향을 미치는 매우 중요한 장치이며, 또한 승객에 의한 사용빈도가 매우 높은 장치이다. 따라서 승객은 자신의 의도에 의하여 도어가 동작되지 않을 경우 매우 불편함을 느끼게 된다. 기존의 자동차 도어 내부에는 차체와 도어 사이에 도어체커(door checker)라는 부품을 장착하여 도어 개폐 시 차량의 주차 각도에 따라 도어가 한꺼번에 열리는 것을 방지하도록 배려하고 있다. 그러나 좁은 공간이나, 내리막 경사 및 옆으로 경사진 곳 등에 주차할 경우 도어의 자중에 의하여 승객이 원하는 적당한 위치에서 도어가 고정되지 않는 문제점이 있다. 이러한 문제점은 옆 차 혹은 벽 등에 도어를 부딪히기 쉽고, 도어를 잡고 불편한 자세로 승하차를 해야 하는 단점이 있다. 또한, 오르막 경사 등에서는 도어를 밀면서 승하차를 해야 하는 단점이 있다.

본 연구에서는 차량의 롤(roll) 및 피치(pitch) 각도의 변화에 따라 자동차 도어(door)의 개폐력 변화시킬 수 있는 새로운 파워어시스트(power-assist) 스마트도어(smart door) 시스템을 제안한다. 이는 모터(motor) 및 클러치(clutch) 등을 활용하여 승객이 자동차 도어 개폐 시 힘을 보조할 수 있는 파워어시스트 장치이며, 이를 적용하면 차량의 롤 및 피치 각도에 관계없이 보다 적은 힘으로 편리하게 자동차 도어를 개폐할 수 있는 특징이 있다. 이러한 장치는 편의성이 매우 중요시 되고, 도어가 비교적 고하중인 중형 및 대형 승용차에 적합한 시스템이다. 이러한 파워어시스트 스마트도어 시스템의 실용화를 위해서는 파워어시스트 메커니즘, 개폐력 제어, 승객의 의도파악 메커니즘, 전용 모터 및 클러치의 개발 등 여러 부분에서 심도 있는 연구가 이루어져야 한다. 이 중에서 파워어시스트 장치 개발을 위한 메커니즘은 사용자의 의도를 파악하여 승하차 시 도어에 필요한 개폐력을 능동적으로 제어할 수 있도록 구성해야 한다.

본 연구에서는 승용차용 도어의 개폐 시 편의성을 보다 증대시키기 위하여 모터와 클러치 등으로 구성된 파워어시스트 장치를 개발하고, 이를 장착한 인간감응형 스마트도어의 제어를 수행하고자 한다. 이를 위하여 승용차 도어 내부에 장착이 가능한 파워어시스트 장치를 제안하고, 이를 장착한 자동차 도어에 대하여 모델링을 수행한다. 이를 근거로 하여 중형 승용차에 적합한 도어 개폐력을 갖는 파워어시스트 장치를 설계하고, 설계된 파워어시스트 장치를 이용하여 인간감응형 스마트도어를 장착한 중형 승용차의 제어를 수행한다. 이를 통하여 도어 개폐의 편의성 향상을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 입증한다.

2. 스마트도어의 모델링

차량의 주차 시 차체의 롤 및 피치 각도에 따라 자동차 도어의 개폐력을 변화시킬 수 있는 새로운 파워어시스트 스마트도어는 그림 1 과 같이 랙, 피니언, 클러치, 감속기 및 모터를 적용한 장치이며, 이를 적용하면 승하차 시 보다 적은 힘으로 편리하게 자동차 도어를 개폐할 수 있다. 따라서 실제 파워어시스트 장치의 제어 시에는 최대 요구 제어력 보다 낮은 범위의 제어력을 사용할 예정이다. 이는 본 파워어시스트 장치의 목적이 자동차 도어를 자동으로 여닫는 것이 아니라, 차량이 경사진 곳에 주차했을 경우에도 승객이 도어에 작은 힘만을 가하는 것에 의하여 도어가 원활히 움직이도록 하는데 목적이 있기 때문이다.

파워어시스트 장치를 적용한 스마트도어의 지배방정식을 도출하기 위하여 차량의 차체 및 도어는 강체로 가정하였으며, 차체의 모델은 그림 2 에 도시한 바와 같이 도어의 열림각도(θ)에 따라 자유도를 설정하였다. 그림 3 은 도어의 열림각도를 고려한 모델을 나타내며, 파워어시스트 장

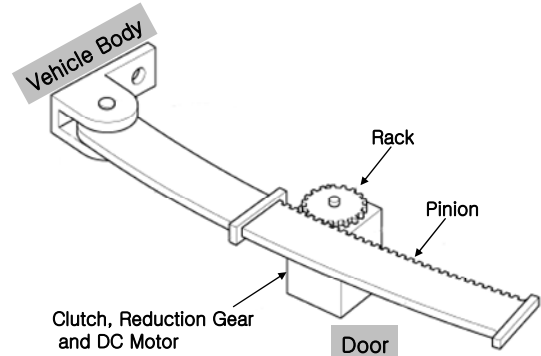


Fig. 1 The configuration of the proposed Power-assist device

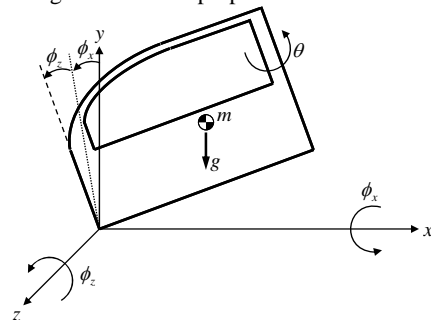


Fig. 2 Coordinate for dynamic model

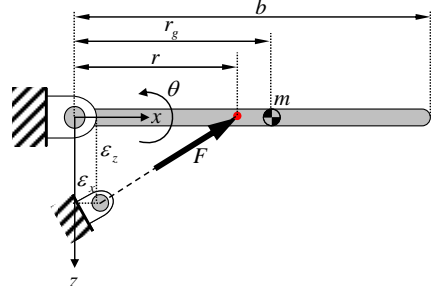


Fig. 3 Free body diagram for dynamic model

치에서 발생하는 힘(F)을 고려하였다. 이를 통하여 다음의 상태방정식을 구할 수 있다.

$$J_y \ddot{\theta} + c \dot{\theta} = T_{fy} + T_{gy} = \frac{rF(\varepsilon_x \sin \theta + \varepsilon_z \cos \theta)}{\sqrt{(r \cos \theta - \varepsilon_x)^2 + (r \sin \theta - \varepsilon_z)^2}} + r_g mg (\sin \theta \sin \phi_z \cos \phi_x + \cos \theta \sin \phi_x) \quad (1)$$

여기서, J_y , T_{fy} , T_{gy} , ϕ_x 및 ϕ_z 는 각각 도어의 y 축방향 질량관성모멘트, 제어토크, 자중에 의한 토크, 롤각도 및 피치각도를 나타내며, c 는 도어 힌지부의 댐핑계수이다.

3. 스마트도어의 제어 성능해석

인간감응형 힘제어방식은 지령토크에 대한 힘제어방법과는 차별화되어야 한다. 즉 지령토크를 충실히 추종하는 힘제어방식이 아닌 인간이 발생한 토크량(τ_{ref})을 증폭 시키는 형태의 피드포워드 타입의 보상기로 설계하는 것이 바람직하다. 따라서 다음식과 같이 1 차지연요소와 비례게인을 갖는 형태로 인간감응제어기를 설계하였다.

$$\tau = \alpha \frac{1}{1+ts} \tau_{ref} \quad (2)$$

여기서, α 는 파워어시스트 계수이며, t 는 시간상수이다.

또한 식(1)과 같이 도어자체의 중력 및 비선형성을 포함한 항으로부터 발생하는 토크와 외부로부터 예기치 못한 외란 등을 보상하기 위해 외란토크 보상기를 추가함으로써 간단하면서도 외부환경 변화에 강인한 힘제어를 구현하였다. 설계된 제어기의 블록선도를 그림 4에 도시하였으며, 차량의 각도를 롤(ϕ_x) 15° 및 피치(ϕ_z) 10°로 설정 후 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 제어 결과를 그림 5에 나타내었다. 결과에서 확인할 수 있는 바와 같이 도어의 열림각을 0~80°로 제어 시 최대 약 120N의 작은 힘으로도 도어를 충분히 개폐할 수 있다.

그림 6 및 7은 각각 파워어시스트 장치 제어를 위하여 구성된 제어보드 및 제작된 파워어시스트 장치를 실제 중형차량에 장착한 사진이며, 이를 통하여 스마트도어 시스템의 제어연구를 실험적으로 진행 중에 있다.

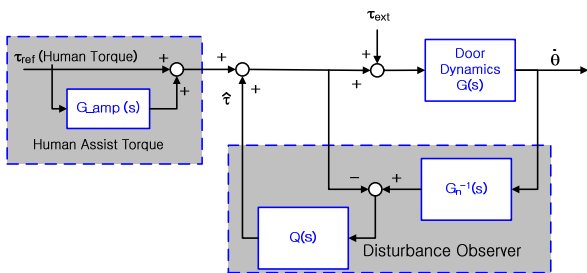


Fig. 4 The block-diagram of controller applied to human friendly power-assisted smart door system

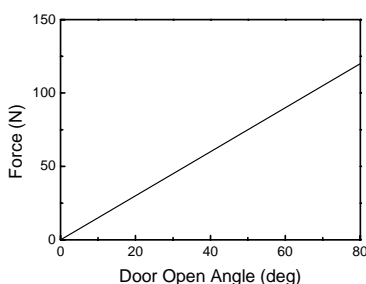


Fig. 5 The control responses of the smart door system

4. 결론

본 연구에서는 승용차용 도어의 개폐 시 편의성을 보다 증대시키기 위하여 모터와 클러치 등으로 구성된 파워어시스트 장치를 개발하고, 이를 장착한 인간감응형 스마트도어의 제어를 수행하였다. 이를 위하여 승용차 도어 내부에 장착이 가능한 파워어시스트 장치를 제안하였으며, 이를 장착한 자동차 도어에 대하여 모델링을 수행하였다. 이를 근거로 하여 중형 승용차에 적합한 도어 개폐력을 갖는 파워어시스트 장치를 설계하였으며, 설계된 파워어시스트 장치를 이용하여 인간감응형 스마트도어를 장착한 중형 승용차의 제어를 수행하였다. 이를 통하여 도어 개폐의 편의성 향상을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 입증하였으며, 향후 실제차량에 파워어시스트 장치를 적용한 스마트도어를 설치하여 편의성의 향상을 실험적으로 증명할 예정이다.

후기

이 연구는 “대구지역 지능형 자동차 부품산업 육성을 위한 연계협력사업” 지원에 의하여 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 윤덕현, 이종홍, 유정훈, “차량 도어 열림각 제어 장치의 개발 및 부품의 최적화,” 한국자동차공학회 2002년도 춘계학술대회는문집, 1235-1240, 2002
2. Grujicic M., Arakere G., Sellappan V., Ziegert J. C., Kocer F. Y., and Schmueser D., “Multi-Disciplinary Design Optimization of a Composite Car Door for Structural Performance, NVH, Crashworthiness, Durability and Manufacturability,” Multidiscipline Modeling in Mat. And Str, 5, 1-28, 2009.
3. Naoki H. and Yoichi H., “Backward Tumbling Control for Power Assisted Wheel-chair Based on Phase Plane Analysis,” Medicine and Biology, 2003.9, Mexico.

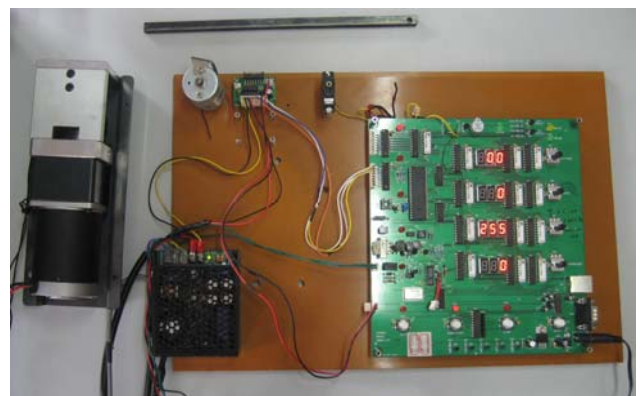


Fig. 6 The photograph of the manufactured control system



Fig. 7 The photograph of the manufactured smart door system