

승용차의 개폐력 보조 문

Power-Assisted Door for a Passenger Vehicle

이 병 수*, 박 민 규, 성 금 길
(Byoungsoo Lee, Min-Kyu Park, and Kum-Gil Sung)

Abstract: SD (Smart Door) is a human friendly power-assisted door system initially targeted for passenger car doors. The Smart Door offers comfort and safety to passengers or/and drivers by supplying additional power. Amount of power supplied by the Smart Door system is depend on the environment where the automotive is situated. It realizes comfort, for example, when the force applied by the passenger to the door is expected to be abnormal, the SD system tries to compensate passenger's effort by supplying additional force. In this study, to enhance the ease of opening and closing the doors of the passenger vehicle, a Smart Door with a power assist mechanism consisting of a motor was developed and analysed. A power assist mechanism mounted within the vehicle's door is designed and modeled for simulation purpose. The required force necessary to control the designed mechanism during the vehicle's roll, pitch and the opening angle of the door has been considered. To this end, we propose a power-assisting control strategy called "gravity cancellation". The system is analysed by numerical simulation with the gravity cancellation control algorithm.

Keywords: smart door, power-assist, passenger vehicle door, safety, gravity cancellation

I. 서론

차량용 지능형 부품 중 문을 위한 장치에는 최근의 자동 슬라이딩 도어(auto sliding door) 및 전동식 파워도어 시스템 등이 있다[1-3]. 그러나 이러한 장치만으로는 자동차의 주차 각도에 따른 문 개폐력의 변화를 보상할 수 없다. 자동차 문은 구조, 형상, 개폐력 등에 따라 편의성 및 안전성 등에 영향을 미치는 중요한 장치이며, 또한 승객에 의한 사용빈도가 높은 장치이다. 따라서 승객은 자신의 의도에 의하여 문이 작동되지 않을 경우 불편함을 느끼며 어떤 경우에는 부상의 위험도 발생한다. 기존의 자동차 문 내부에는 차체와 문 사이에 도어 체커(door checker) 또는 가이드라는 부품을 장착하여 문 개폐시 문이 한꺼번에 열리는 것을 방지하도록 배려하고 있다. 그러나 좁은 공간이나, 내리막 경사 및 옆으로 경사진 곳 등에 주차할 경우 문의 자중에 의하여 승객이 원하는 적당한 위치에서 문이 고정되지 않는다. 이런 경우 문이 옆 차, 주변의 보행자, 혹은 벽 등에 부딪치기 쉽고, 문을 잡고 불편한 자세로 승하차를 해야 하는 단점이 있다. 또한 경사면에 주차한 경우에는 문을 밀거나 당기면서 승하차를 해야 한다[4-6].

이런 단점을 해결하기 위해 차량의 롤(roll) 및 피치(pitch) 각도의 변화에 따라 자동차 문의 개폐력을 변화 시킬 수 있는 개폐력 보조(power-assist) 스마트 문(smart door) 시스템을 제안한다. 이는 직류 모터 등의 능동 부품을 사용하여 승객이 자동차 문 개폐시 힘을 보완할 수 있는 개폐력 보조 장치이다. 이를 적용하면 차량의 롤 및 피치 각도

에 관계없이 보다 적은 힘으로 편리하고 안전하게 자동차 문을 개폐할 수 있다. 이러한 장치는 편의성이 중요시 되고, 문이 비교적 무거운 중형 및 대형 승용차에 적합한 시스템이다. 이러한 개폐력 보조 스마트도어 시스템의 실용화를 위해서는 개폐력 보조 메커니즘, 개폐력 제어 알고리즘, 승객의 의도 파악 메커니즘, 전용 모터 등 능동 부품 개발과 여러 부분에서 심도 있는 연구가 이루어져야 한다. 이 중에서 개폐력 보조 장치 개발을 위한 메커니즘은 사용자의 의도를 파악하여 승하차시 필요한 문 개폐력을 능동적으로 제어할 수 있도록 구성해야 한다.

본 연구에서는 승용차용 문의 개폐시 편의성과 안전성을 증대시키기 위한 문 개폐력 보조 시스템을 제안하며, 이를 장착한 스마트 도어의 제어 시스템 모델을 완성하고 시뮬레이션 해석 및 제어 알고리즘 시험을 수행하였다. 제어 방법으로 중력 상쇄 알고리즘을 제안한다. 이를 위하여 승용차 문 내부에 장착이 가능한 파워어시스트 장치를 개발하고, 이를 장착한 자동차 문에 대하여 동적 해석 모델을 작성한다. 시뮬레이션 해석을 통하여 문 개폐의 편의성 및 안전성 향상에 대한 중력 상쇄 제어 알고리즘의 유용성을 입증한다.

II. 승용차 문 모델

운전석 측의 문의 개폐력을 보상하기 위해서 기존의 도어 체커(문의 위아래 경첩 사이에 위치하고 있으며 차량 새시에서 문의 안쪽으로 관통하는 막대형태의 보조 장치로서 문의 최대 허용 개폐각 이상에서는 스톱퍼로 작용하고, 막대에 노치가 있어 일정한 각도 간격으로 문이 열려서 정지하도록 도와주는 장치)를 떼어내고 그 자리에 선형운동을 발생하는 액츄에이터를 장착한다. 이 액츄에이터는 차량이 기울어졌을 때 중력에 대응하여 승객의 편의를 증대하거나, 바람 등의 외란에 대응하여 승객의 안전을 보장하

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2010. 3. 15., 수정: 2010. 4. 15., 채택확정: 2010. 4. 30.

이병수: 계명대학교 기계자동차공학부(blee@kmu.ac.kr)

박민규, 성금길: 영남대학교 기계자동차학부

(mk_park@ync.ac.kr/kgsung@ync.ac.kr)

※ 본 연구는 지식경제부한국산업기술평가원 지정 계명대학교 전차화자동차부품기술혁신센터의 지원에 의한 것임.

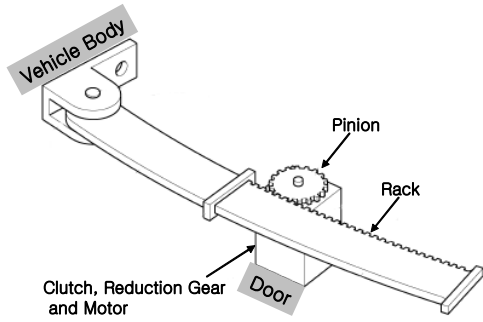


그림 1. 가이드 바와 액츄에이터.
Fig. 1. Guide bar and actuator.

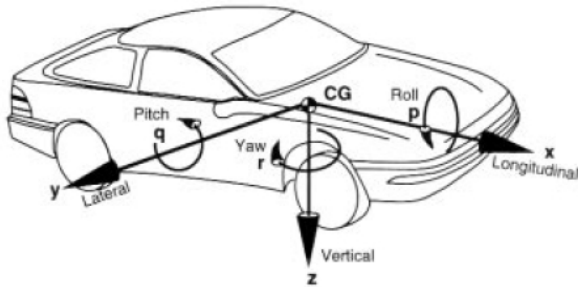


그림 2. SAE가 규정하는 좌표계와 회전각.
Fig. 2. SAE convention of coordinates and rotation angles (courtesy of SAE).

는 목적으로 개폐력을 보상한다(그림 1 참조). 운전석 측의 문의 동역학 모델을 구성하기 위해 그림 2와 같은 SAE의 좌표와 각도 규약을 따른다.

운전석 측 문에 대한 시스템의 구조도는 그림 3과 같다. 롤, 피치 운동을 하는 차량에 부착된 좌표계로 운동을 표현하고 z축은 문의 힌지 축에 정렬(collinear)하며 SAE 규약에 따라 아래 방향을 향한다. 문은 바깥쪽으로 열리는 방향을 양의 방향으로 정하며 이 각은 SAE 규약의 yaw 운동의 부호와 일치한다. 운동방정식을 유도하기 위하여 지역 좌표(local body-fixed coordinate)를 차량에 부착시키며 중력을 이 지역좌표계로 변환한다. 이렇게 정의한 좌표와 회전각에 의한 좌표변환 행렬은

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} \cos \phi_y & \sin \phi_y \sin \phi_x & -\sin \phi_y \cos \phi_x \\ 0 & \cos \phi_x & \sin \phi_x \\ \sin \phi_y & -\cos \phi_y \sin \phi_x & \cos \phi_y \cos \phi_x \end{bmatrix} \quad (1)$$

이며 회전하기 이전의 중력 벡터는

$$\mathbf{g} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ g \end{bmatrix} \quad (2)$$

이므로 문에 부착된 지역좌표계로 표현된 중력벡터는 다음과 같다.

$$\mathbf{g}_{rot} = \mathbf{T}\mathbf{g} = g \begin{bmatrix} -\cos \phi_x \sin \phi_y \\ \sin \phi_x \\ \cos \phi_x \cos \phi_y \end{bmatrix} \quad (3)$$

여기서 ϕ_x 는 롤각, ϕ_y 는 피치각이다.

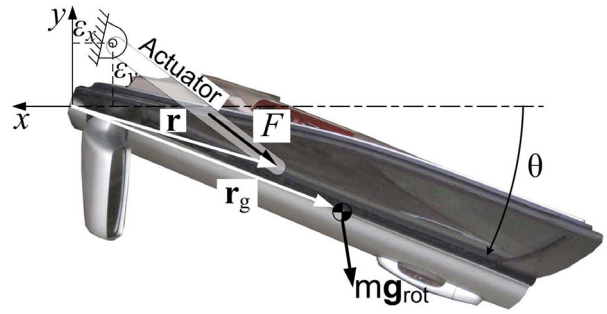


그림 3. 문 부착 지역 좌표계로 표현한 무게와 벡터.
Fig. 3. Weight and vectors described in door fixed coordinate.

중력에 기인한 토크는 다음과 같이 계산한다(그림 3 참조). 토크는 힌지로부터의 작용점까지의 위치벡터 \mathbf{r}_g 와 작용점에 작용하는 무게 벡터 $m\mathbf{g}_{rot}$ 의 벡터곱(vector product)이다. 개폐각이 θ 일 경우 힌지에서 무게 중심까지의 위치 벡터는

$$\mathbf{r}_g = r_g \begin{bmatrix} -\cos \theta \\ -\sin \theta \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

이므로 (3)과 (4)를 이용하여 벡터곱(vector product)하여 모멘트 벡터를 다음과 같이 구한다. 필요한 토크는 z 성분이다.

$$T_g = (\mathbf{r}_g \times m\mathbf{g}_{rot})_z = -r_g mg (\cos \theta \sin \phi_x + \sin \theta \cos \phi_x \sin \phi_y) \quad (5)$$

또한 액츄에이터 작용력 F에 의한 발생 토크의 z성분은 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$T_f = \frac{r(\epsilon_x \sin \theta + \epsilon_y \cos \theta)}{\sqrt{(r \cos \theta - \epsilon_x)^2 + (r \sin \theta + \epsilon_y)^2}} F \quad (6)$$

이는 액츄에이터 발생력 F와 문의 개폐각과 롤, 피치각 변수와 설계 파라미터인 액츄에이터 설치 좌표(ϵ_x, ϵ_y)에 의해 결정되는 지레 함수 $l(*)$ 의 곱이다. 즉,

$$T_f = l(\theta; \epsilon_x, \epsilon_y) F \quad (7)$$

$$l(\theta; \epsilon_x, \epsilon_y) = \frac{r(\epsilon_x \sin \theta + \epsilon_y \cos \theta)}{\sqrt{(r \cos \theta - \epsilon_x)^2 + (r \sin \theta + \epsilon_y)^2}} \quad (8)$$

운전자가 문을 개폐하기 위해 문에 P의 힘을 팔길이 d로 가하고, 액츄에이터 작용력은 F, 문 경첩에는 마찰 토크 T_{fric} 가 존재할 때 운전석 측 문의 운동방정식은

$$J \frac{d\omega}{dt} + c\omega + T_{fric} = lF + T_g + dP \quad (9)$$

이다.

III. 중력 상쇄 알고리즘과 액츄에이터

1. 중력 상쇄 제어 알고리즘

차량이 경사로에서 정지 상태에 있을 때 문을 고정(정상 상태로 유지)하는데 필요한 액츄에이터가 생성해야 하는 힘

을 계산해보았다. 차량이 평지에 정차했을 때 문을 고정하는데 필요한 힘은 영이다. 그러므로 차량의 기울어짐에 의한 모멘트를 적절히 상쇄하는 제어기와 액츄에이터가 작동한다면 운전자와 승객은 평지에서 문을 여닫을 때 일상적으로 가하는 힘과 유사한 힘으로 경사로 상에서의 차량 문도 여닫을 수 있을 것이다. 이 힘은 액츄에이터 설치 위치 (ϵ_x, ϵ_y) 와는 관계없이 문의 개폐각 θ , 롤각 ϕ_x , 피치각 ϕ_y 에 의해 (5), (7), (8), (9)을 이용하여 계산할 수 있다. 즉, (9)에서 $\dot{\omega} = \omega = 0$ 로 치환하고, 운전자의 간섭이 없으므로 $P=0$ 이며, 문의 경첩에서 발생하는 마찰 토크가 없다고 가정하여 F 에 대해서 정리하면 다음식과 같다.

$$F_{req} = \frac{r_g m g (\cos\theta \sin\phi_x + \sin\theta \cos\phi_x \sin\phi_y)}{r(\epsilon_x \sin\theta + \epsilon_y \cos\theta)} \quad (10)$$

(10)의 F_{req} 를 $\phi_x = 5^\circ$, $\phi_y = -5^\circ$ 일 때 문 개폐각에 따라 그래프로 그렸다 (표 1의 파라미터 사용. 그림 4 참조). 문이 완전히 닫혀있을 때 즉 $\theta = 0^\circ$ 일 때 중력에 의한 토크는 문이 닫히는 방향으로 작용하여 문을 열기가 힘들어지며, 문을 개폐각을 유지하기 위한 힘은 양의 값을 갖아야한다. 개폐각이 약 45도를 넘으면 무게에 의한 토크는 문이 열리는 방향으로 작용하기 시작하며 문을 고정하기위한 힘을 음의 값, 즉 닫는 방향으로 작용시켜야한다. 이 롤과 피치각은 운전석 측에서 보았을 때 내리막이며 오른쪽으로 기울어진 지면에 정차한 차에서 문을 여닫는 직관적인 경험과 일치한다.

표 1. 시스템 파라미터.

Table 1. System parameters.

parameter	value
m	28kg
b	1.1m
r_g	0.6m
c	0
ϵ_x	50mm
ϵ_y	65mm

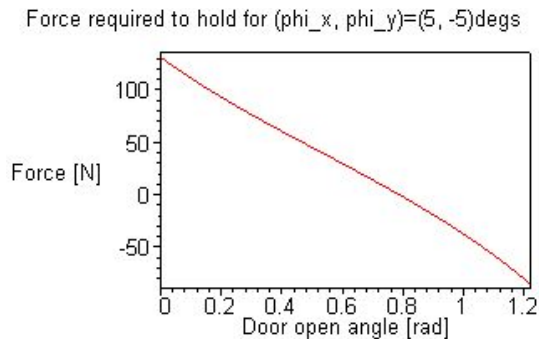


그림 4. 차량 기울기 $\phi_x = 5^\circ$, $\phi_y = -5^\circ$ 일 때의 여러 문 개폐각에 따른 문 평형상태 유지력.

Fig. 4. Force required to hold the door for various door open angle for $\phi_x = 5^\circ$, $\phi_y = -5^\circ$.

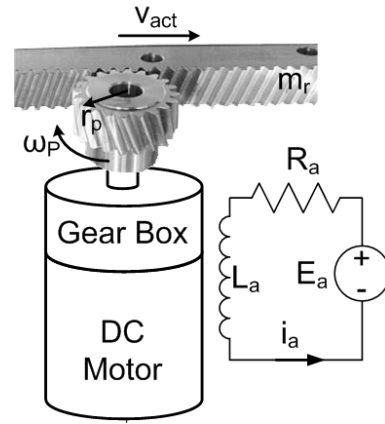


그림 5. 액츄에이터 도식.

Fig. 5. Actuator schematic.

2. 액츄에이터 용량과 응답 주파수대역

주파수 대역은 제어 입력에 대해서 액츄에이터가 얼마나 충실하게 힘 F 를 발생시키는가 하는 척도이다. 개루프 액츄에이터 주파수 대역 또는 E_a 에 대한 F 의 관계는 주파수에 따라 변동하며 다음과 같은 전달함수로 표현할 수 있다:

$$G(j\omega) = \frac{F(j\omega)}{E_a(j\omega)} \quad (11)$$

액츄에이터의 주파수 대역을 다루면서 액츄에이터는 최대 힘을 발휘하지 않으며 속도 포화가 발생하지 않는다는 조건을 전제하였다.

액츄에이터로 채용한 모터는 시중에서 쉽게 구할 수 있는 12V 직류 모터이며 다양한 감속비의 감속기를 모터 축 부위에 부착할 수 있다. 모터의 파라미터는 전형적인 12V 직류 브러시 모터의 값을 사용하였고 그 값은 표 2에 제시하였다. 그림 5에 표현된 액츄에이터의 운동방정식을 유도하여 다음과 같이 얻는다.

$$\begin{bmatrix} \frac{d\omega_m}{dt} \\ \frac{di_a}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{K_b}{L_a} & -\frac{R_a}{L_a} \\ 0 & \frac{nK_i}{J_e} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_m \\ i_a \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{L_a} \end{bmatrix} E_a \quad (12)$$

$$F = \begin{bmatrix} 0 & \frac{nK_i}{r_p} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_m \\ i_a \end{bmatrix} \quad (13)$$

여기서 $J_e = m_r r_p^2$ 으로 계산되는 랙과 선형 링크기구의 모

표 2. 액츄에이터 파라미터.

Table 2. Actuator parameters.

parameter	value
L_a	1mH
R_a	0.5Ω
K_i	0.036 Nm/A
K_b	0.036 V/rad/s
r_p	0.01m
m_r	200g

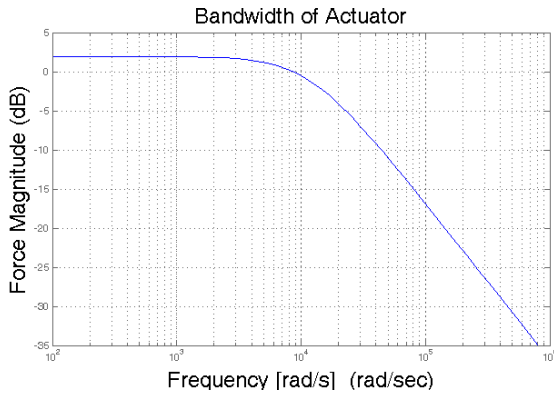


그림 6. 직류전동기 액츄에이터의 대역폭.

Fig. 6. Bandwidth of the DC motor actuator.

터 축에 대한 등가질량관성모멘트, n 은 감속비이며, $\omega_p = \omega_m/n$ 는 기어박스 중단 축의 각속도이다. 피니언 기어, 감속기의 기어, 모터 회전자(armature)의 질량관성모멘트는 랙과 선형 링크 기구의 등가관성모멘트보다 훨씬 작으므로 무시하였다.

(11)~(13) 그리고 표 2의 파라미터를 이용하여 (11)의 전달함수에 대한 보디 선도(Bode diagram)를 작성하였다(그림 6 참조). 감속비 $n=4$ 일 경우 -3dB 지점인 $8,000 \text{ rad/s} = 1,273\text{Hz}$ 까지 주파수가 뻗어있으므로 대역폭은 이보다 더 큰 감속기를 사용하더라도 충분하다고 사료된다. 승용차의 문은 고작해야 수 Hz대의 동작에 국한되기 때문이다.

액츄에이터가 낼 수 있는 힘을 고려해보자. 감속비가 $n=4$ 일 때 액츄에이터가 발생할 수 있는 힘의 정격치는 정격전류인 10A에서 144N이며 최대허용 전류치인 20A에서 최대치 288N이다. 하지만 최대허용 전류는 일시적으로 가능하며 그런 상황이 계속되리라는 것이 예상된다면 모터를 더 큰 것으로 선정하는 것이 좋겠다. 또한 감속비를 더 큰 것으로 선정할 수 있다. 하지만 선정할 수 있는 감속비의 최대값은 기계적 임피던스(mechanical impedance)와 사용자의 감성적 이유로 제한된다. 본 논문에서는 기계적 임피던스 및 이와 관련된 감성적 설계 인자는 다루지 않는다.

IV. 중력상쇄 알고리즘 시뮬레이션

문과 경첩, 액츄에이터를 Simscape의 SimMechanics로 모델링하였다. 그림 7에서 보인 것과 같이 차체는 그라운드,

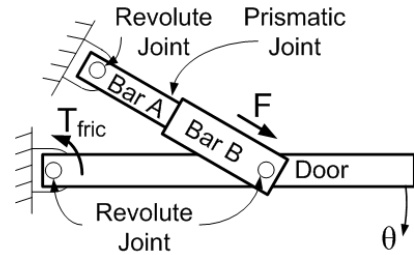


그림 7. 개폐력 보조 문의 도식.

Fig. 7. Schematic of power-assisted door.

문은 질량과 관성모멘트를 갖는 링크 그리고 경첩은 회전 조인트로 구성하였다. 액츄에이터는 두 개의 막대를 직선운동 자유도를 갖는 프리즘 조인트로, 그리고 두 막대의 한쪽은 문의 작용점에 회전조인트로 연결하고, 나머지 다른 쪽은 회전조인트로 정해진 위치의 액츄에이터 설치 위치에 연결하였다. 이 기구 모델의 기하학적 특성은 그림 3, 7에서 제시한 설정을 따른다.

SimMechanics에서는 두 가지 방법으로 중력벡터를 설정할 수 있다. 첫 번째 방식은 전역좌표계(global coordinate)의 성분을 상수로 제시하는 방법이고, 두 번째 방식은 중력 벡터를 직교좌표의 성분으로 외부에서 입력하여 설정하는 방법이다. 이 연구에서는 여러 도로 기술기에 대한 연구를 수행할 목적으로 외부 입력으로 설정하는 방식을 택하였다. 그림 8은 (3)의 회전 중력 벡터를 계산하여 출력하는 simulink 블록이며, 이를 외부 입력 중력 벡터로 사용하였다.

실제 문에는 안전장치가 설치되어서 문이 개폐 허용범위까지 열리면 스톱퍼가 작동하여 더 이상 문이 열리는 것을 방지한다. 모델의 현실성을 높이기 위해 문의 개폐각을 제한하는 정지기구(hard-stop) 컴퓨터 모델이 포함되어야한다. 기본적으로 이런 정지기구 모델은 일방향성(unilateral)이다. 널리 쓰이는 간단한 정지기구 모델은 다음과 같다.

$$T_{HS} = k_{HS}\psi + |\psi|c_{HS}\dot{\psi} \tag{14}$$

여기서 ψ 는 최대 개폐력 한도를 넘어서 문이 열린 각도이다. 이 각도를 정확히 표현하면 다음과 같다.

$$\psi = \begin{cases} 0 & \text{for } \theta \leq \theta_{lim} \\ \theta - \theta_{lim} & \text{for } \theta > \theta_{lim} \end{cases} \tag{15}$$

여기서 θ_{lim} 은 문의 개방 가능 최대 허용 각도이다. 해석에

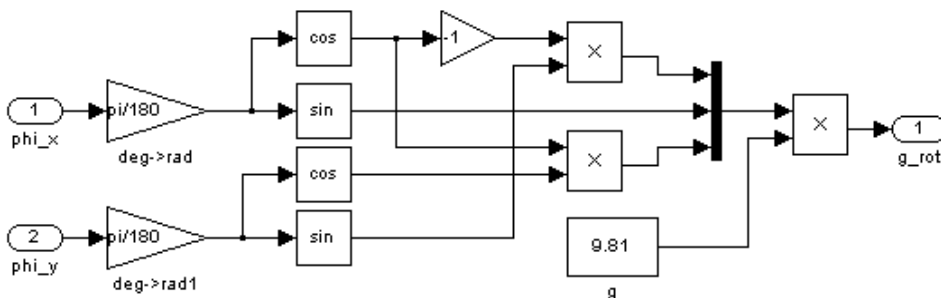


그림 8. 롤과 피치 기울어짐에 의한 회전 중력 벡터의 계산 블록.

Fig. 8. Rotated gravity vector calculation blocks due to roll and pitch motion of vehicle.

표 3. 정지 기구 모델 파라미터.

Table 3. Hard-stop model parameters.

parameter	value
k_{HS}	$1 \times 10^4 \text{ Nm/rad}$
c_{HS}	$5 \times 10^4 \text{ Nm/rad/s}$

사용한 (14)의 정지기구 모델 파라미터는 표 3과 같다.

SimMechanics는 하나의 조인트에 오직 하나의 액츄에이터 블록 또는 운동지정 블록만 연결되도록 설계되었으므로 마찰 모델을 별개의 블록으로 지정하지 않고 정지기구 블록 내에 포함하였다. 마찰 모델로는 컴퓨터 시뮬레이션에 적합하도록 수치해석 시 안정적인고 강인한 reset integrator 모델을 사용하였다[7]. 건마찰을 포함하는 정지기구 모델을 그림 9에 표시하였다. 그림 9의 정지기구 Simulink 모델은 문이 열림 한도까지 완전히 열릴 때, 그리고 완전히 닫힐 때 활성화된다.

(10)에서 제안한 중력상쇄 제어 알고리즘인 그림 10의 simulink 블록과 SimMechanics를 이용하여 그림 11과 같이 문 개폐력 보조 시스템의 시뮬레이션 해석 모델을 구성하고 실현하였다. 이 블록들은 문의 질량과 질량관성모멘트,

힌지, 선형 액츄에이터, 액츄에이터 작용점, 기울어짐에 의한 중력 벡터의 회전, 정지기구, 건마찰, 중력상쇄 제어 알고리즘, 그리고 직류모터의 동역학을 실현한 것이다. 중력상쇄 제어기 블록의 출력에는 수동 스위치가 연결되어 중력 상쇄 알고리즘을 활성화하거나 비활성화하여 시험 조건을 선택할 수 있게 하였다[8].

개발한 개폐력 보조 문 시스템 모델로 세 가지의 시뮬레이션 해석을 수행하였다. 첫 번째는 정상시의 문 개방 상황으로, 차량은 수평면에 주차되어 있으며, 중력상쇄 제어기가 비활성화 되었고, 문에 초기 각속도 조건을 부여하였다. 이는 개폐력 보조가 없는 일반적인 차량에서 운전자가 평지에 주차된 문을 열고 문 밖으로 나오는 상황에 해당한다. 시뮬레이션 초기에 문은 초기 각속도를 갖고 열리지만 힌지 부분의 건마찰에 의해 점차로 각속도는 감소하여 문이 다 열리는 시점에 각속도는 영이 된다(그림 12 참조).

두 번째와 세 번째 시뮬레이션 조건은 차량이 오른쪽으로 5도 기울어진 경사면에 주차했을 때 운전자가 문에 초기속도를 가하여 문을 여는 경우에 해당한다(그림 13 참조). 이 조건에서 운전자가 문을 열 경우 중력에 의해 문이 무거움을 느낄 것이며, 중력에 의해 문이 닫히는 방향으로

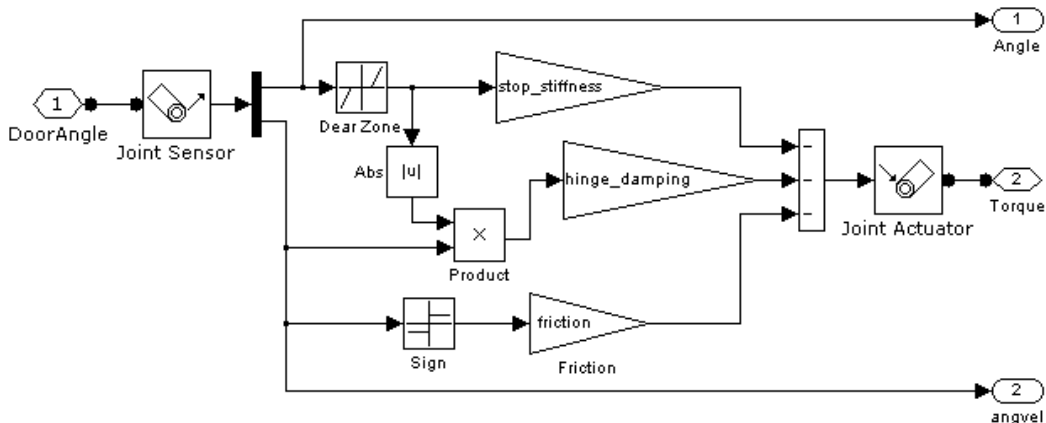


그림 9. 건마찰을 포함하는 문의 정지 기구 모델.
Fig. 9. Door hard-stop model containing Coulomb friction.

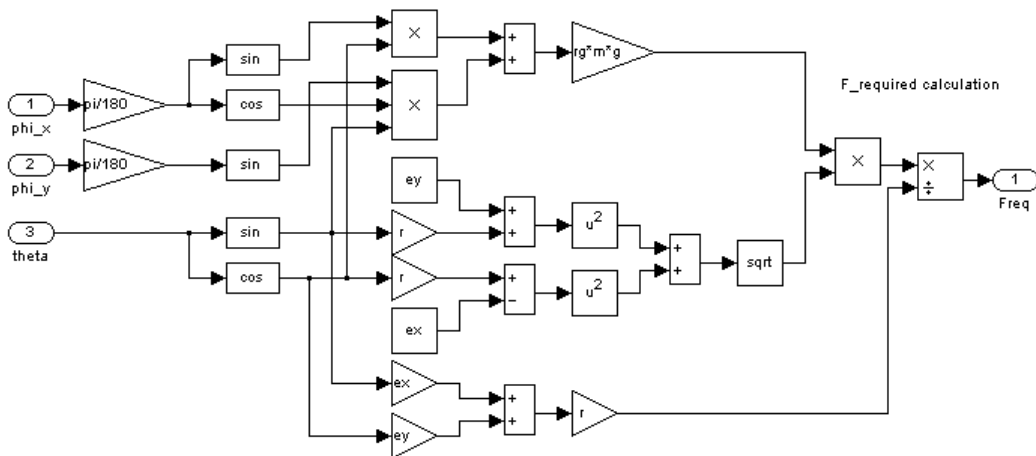


그림 10. 기초적인 개폐력 보조 기능으로서의 중력 상쇄 알고리즘.
Fig. 10. The gravity cancellation rule as a basic power-assist control.

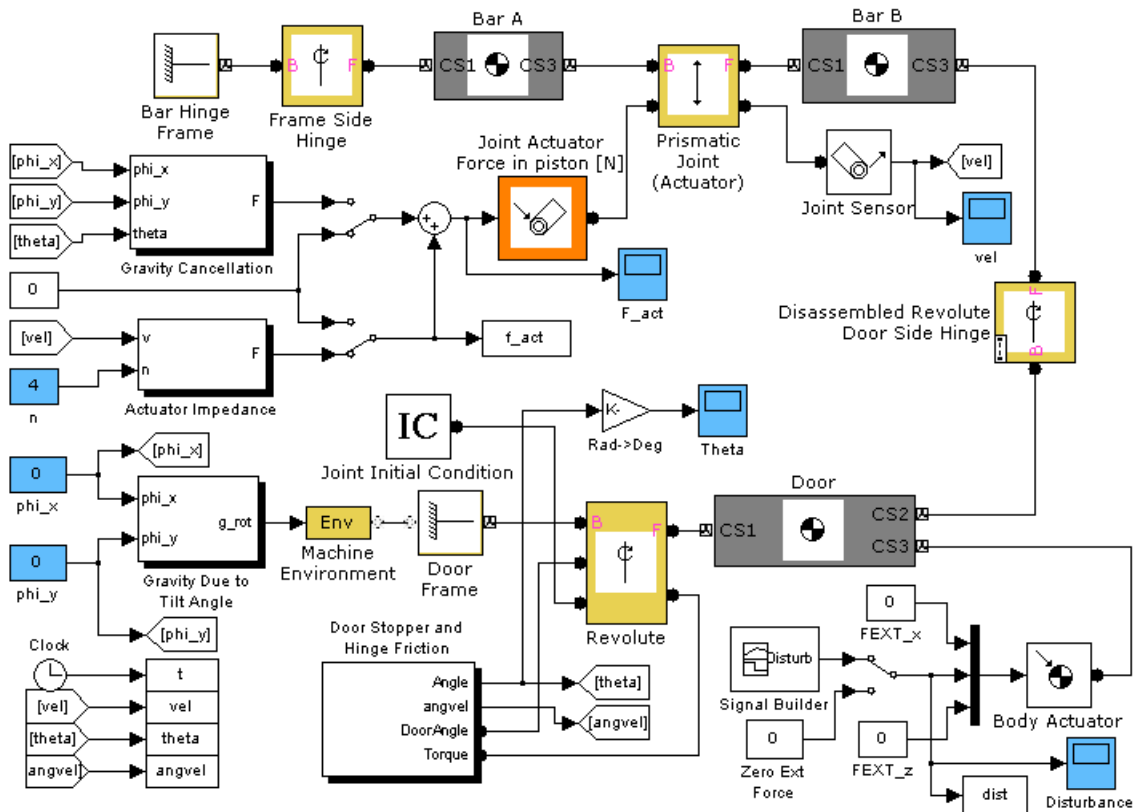


그림 11. 중력 상쇄 제어기와 문 개폐력 보조문 시뮬레이션 블록.

Fig. 11. Power-assisted door model with gravity cancellation using Simulink and SimMechanics.

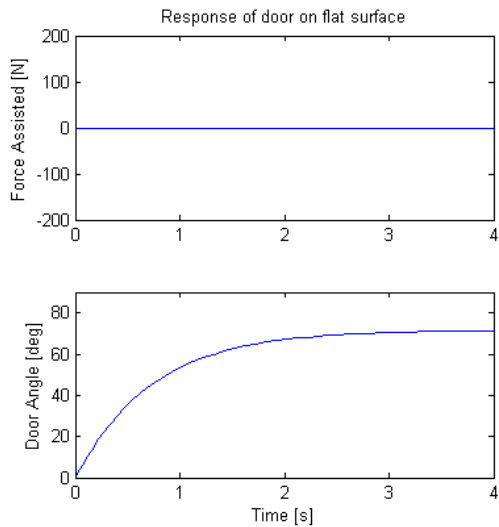


그림 12. 평평한 주차면에서 문 개폐 보조력이 없고 초기 속도가 주어진 경우의 응답.

Fig. 12. On flat surface, no power assistance with initial door angular velocity.

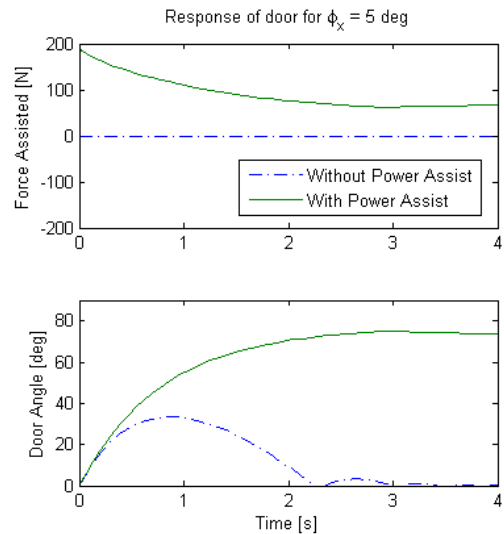


그림 13. 오른쪽으로 5도 기울어진 경우 초기 속도가 주어지고 보조 개폐력이 있는 경우와 없는 경우 비교.

Fig. 13. Tilted right by 5°, initial door open speed specified with or without gravity cancellation.

모멘트가 발생한다. 만일 중력 상쇄 제어 알고리즘이 작용한다면 비록 차량이 기울어져 있음에도 불구하고 운전자는 마치 평지에서처럼 문을 열 수 있을 것이다. 시뮬레이션 조건 2는 중력상쇄가 없는 경우이며 그림 13의 아래 그래프에서 점선의 그래프가 나타내듯이 중력에 의해 문이 닫히

는 방향으로 모멘트가 작용하여 문은 초기속도가 주어졌지만 곧 닫히고만다. 그림 13의 아래 그래프에서 실선은 중력 상쇄 제어기가 작동하는 경우로 문은 그림 12의 응답과 유사한 응답을 보인다. 그림 13의 위 그래프는 중력상쇄 제어가 발생한 액츄에이터 힘 이력곡선이다.

V. 결론 및 토의

1. 경사진 노면에 주차된 차량의 운전자와 승객의 편의성 및 안전을 보장하기 위한 문 개폐력 보조 시스템을 제안하였다.
2. 운전석 측 문의 운동방정식을 유도하였다. 운동방정식은 문의 질량과 질량관성모멘트, 힌지, 직류 모터로 구성된 선형 액추에이터, 액추에이터 작용점, 기울어짐에 의한 중력 벡터의 회전, 최대 열림각 이후의 문 정지기구 모델, 힌지 부위의 건마찰, 중력상쇄 제어 알고리즘을 포함한다.
3. 직류모터로 구성된 액추에이터 후보의 제어입력에 대한 액추에이터 발생력의 전달함수를 정의하고 주파수 대역을 구하였다. 해석 결과 주파수 대역은 충분하였다.
4. 기울어진 노면에 주차된 문을 개폐할 경우 문을 고정하는데 필요한 힘을 구하고 그로부터 중력상쇄 제어 알고리즘을 이끌어내었다.
5. 운동방정식과 제어 알고리즘을 SimMechanics와 Simulink를 환경 내에서 구현하여 시뮬레이션 해석을 수행하고 제안한 중력상쇄 알고리즘의 유효성을 밝혔다.

참고문헌

- [1] M. Grujicic, G. Arakere, V. Sellappan, J. C. Ziegert, F. Y. Kocer, and D. Schmueser, "Multi-disciplinary design optimization of a composite car door for structural performance, NVH, Crashworthiness, Durability and Manufacturability," *Multidiscipline Modeling in Mat. And Str.*, May 2009.
- [2] D. H. Yoon, J. H. Lee, and J. H. Yoo, "Development and optimization of automobile parts for door opening angle control system," *Proc. of the KSAE Annual Spring Conference*, pp. 1235-1240, 2002.
- [3] R. Nayak and K. Im, "Optimization of the side swing door closing effort," *SAE International, Technical Paper* no. 2003-01-0871, 2003.
- [4] I. Takeda, T. Sakai, T. Yamada, S. Onozawa, H. Kuzuya, and T. Matsui, "Concurrent development environment combining mechanical and control systems for PBD and PSD," *SAE International, Technical Paper* no. 2004-01-0765, 2004.
- [5] P. G. de Santos, J. Estremera, E. Garcia, and M.

Armada, "Power assist devices for installing plaster panels in construction," *Automation in Construction*, no. 17, pp. 459-466, 2008.

- [6] J. H. Kim, H. S. Lee, J. H. Lee, S. W. Kim, H. K. Park, and S. H. Lee, "Ergonomic Design and Biomechanics Simulation for Car Door System," *Korean Society for Precision Engineering 2007 Spring Conference*, pp. 583-584, 2007.
- [7] D. A. Haessig Jr. and B. Friedland, "On the modeling and simulation of friction," *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, vol. 113, pp. 354-362, 1991.
- [8] SimMechanics 2 User's Guide, The MathWorks Inc., 2008.



이 병 수

1980년 한양대학교 정밀기계공학과 졸업. 1987년 Washington State University 기계공학 석사. 1991년 동 대학원 기계공학 박사. 1991년~현재 계명대학교 기계자동차공학과 교수. 관심분야는 동역학 모델링, 비선형 동역학, 제어기

설계, 제어기 실현.



박 민 규

1996년 영남대학교 기계공학부 졸업. 1998년 부산대학교 기계공학과 석사. 2002년 부산대학교 지능기계공학과 박사. 2002년~2005년 현대중공업 기술개발본부 선임연구원. 2005년~현재 영남이공대학 기계자동차학부 교수. 관심분야는 로봇제어 및 차량안전시스템.

분야는 로봇제어 및 차량안전시스템.



성 금 길

1998년 인하대학교 기계공학과 졸업. 2008년 동 대학원 박사. 2008년~현재 영남이공대학 기계자동차학부 교수. 관심분야는 지능재료를 이용한 시스템 제어.