

산업용 접이식 자동문 안내레일에 작용하는 충격하중 완화를 위한 동역학적 해석

윤성호*, 박종천#

Dynamic Analysis of Impact Force Alleviation of Industrial Folding-type Automatic Door on Guide Rail

Seong-Ho Yun*, Jong-Cheon Park#

(Received 10 February 2011; received in revised form 30 June 2011; accepted 8 August 2011)

ABSTRACT

This paper described an analysis of dynamic mechanism for the industrial two-step folding automatic door using commercial software packages. Two modeling types of operating on the guide rail, the sliding one and the rolling, were adopted to investigate effects of impact force when the door ascends the guide rail. The magnitude of impact force was found very peaklike large over an initial duration of the door's moving up. The amount of damping coefficient for alleviating this shock was controlled to such a moderate degree that the operating conditions can be obtained for the purpose of design. Moreover the behavior of both dynamic stress and deformation were observed for acquirement of structural reliabilities of the combined guide rail and rolling mechanism. This research will be a very useful tool in the near future for the dynamic analysis of the multi-step folding automatic door.

Key Words : Industrial Automatic Door(산업용 자동문), Two-step Folding Type(2단 접이식), Sliding Type(미끄럼 방식), Rolling Type(구름방식), Impact Force Alleviation(충격력 완화), Dynamic Analysis(동역학 해석)

1. 서 론

현재 철강, 자동차, 해양 및 조선, 물류 창고 등에 산업용으로 광범위하게 사용되는 초대형 자동문의 방식은 주로 2단 접이식(two-step folding type)이다. 이 방식은 Fig. 1과 2에서 보는 바와 같이 상부 판넬과

하부 판넬이 회전 결합기구로 연결되어 상부 판넬의 윗단이 고정되고 하부 판넬의 아랫단이 안내 레일을 승강하는 방식이다. 그러나 지금까지 이에 대한 설계기술은 아직도 초보적 단계에 머물러 있다. 대표적인 설계 문제점 중의 하나는 자동문이 상승시 안내 레일에 돌발적인 충격력을 주어 구조물이 변형되어 내구성에 치명적인 영향을 주는 일이다. 그럼에도 불구하고 자동문의 수요는 지속적으로 증가하고 있어서 자동문 설계에 대한 체계적인 기술 정립이 요구되고 있다.

* 금오공과대학교 기계공학부

교신저자 : 금오공과대학교 기계공학부

E-mail : cadpark@kumoh.ac.kr

대형 자동문의 작동 방식은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 하나는 구동모터의 회전동력을 상부 판넬에 전달하여 그 회전방향으로 개폐를 하는 방법과 다른 방법은 하부 판넬에 장력을 주어 상방향으로 전달하면 상부 판넬이 안내 레일을 따라 개폐하는 방식이다. 현재까지 자동문의 개폐 메카니즘을 이해하고자 역학적으로 접근한 연구는 거의 발견할 수 없었다.

본 논문에서는 대형 자동문의 개발 과정에서 승강시 자동문의 자중에 의하여 안내 레일에 가해지는 급격한 충격력을 분석하고 이를 완화시키기 위한 설계 방법을 모색하며 동적인 내구성을 확보하고자 상용 프로그램을 사용하여 동역학적인 해석을 다루고자 한다^[1,2].

2. 해석모델

2.1 모델링

Fig. 1은 상부 및 하부 판넬로 이루어진 접이식 자동문이 열리는 과정을 단계별로 나타내고 있다. 판넬 한 개의 크기는 길이를 ℓ , 상하부 판넬이 이루는 각을 θ 라고 하면 문이 열릴 때 $\theta = \pi \rightarrow 0$ 로 변화한다. 하부 판넬이 끝단으로부터 이동한 거리 s 는 다음 식 (1)과 같다.

$$s = 2\ell(1 - \sin \frac{\theta}{2}) \quad (1)$$

자동문을 구동하여 두 개로 나누어진 상하판넬이

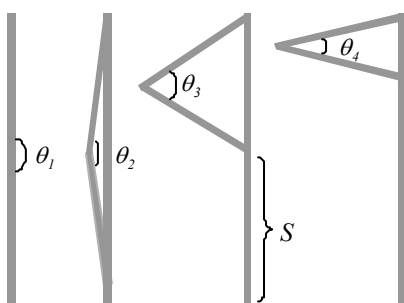


Fig. 1 Configurations of the opening process for a folding door

6초 동안에 완전히 열리도록 하며 Fig. 2의 모델은 150°를 접혀 열린 자동문 구조를 보여주고 있다. 해석 과정에서 자동문의 개폐 방식을 입력하는 방법은 크게 두 가지로 나눌 수 있다.

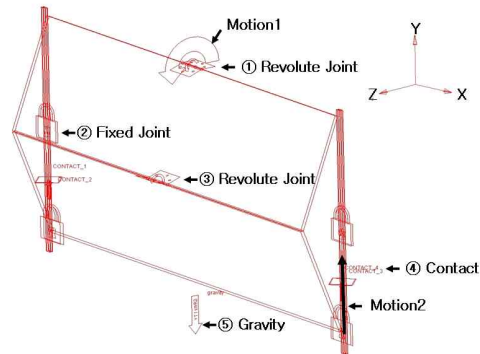


Fig. 2 Configurations of the dynamical model for a folding door

첫 번째는 모션1(motion 1)에 의한 방식으로 1방향 회전 관절(revolute joint)에 모멘트를 가하여 구동하는 방식이 있고, 두 번째는 모션2(motion 2)를 한 점에 직선력을 적용하여 문을 Y축 방향으로 끌어 올리는 방식이다. 따라서 상부 판넬의 윗부분에 모션1(motion 1)로 모멘트를 주거나 가이드 레일에 모션2(motion 2)로 직선력을 부여함으로써 각 구성품에 설정된 조인트와 조건에 의하여 문이 열리게 된다.

자동문에 회전운동을 부여하기 위하여 상부 판넬의 윗부분과 상부 판넬과 하부 판넬이 만나는 중앙 부위에 회전결합(①,③)으로 모델링하였다. 자동문의 운동을 안내하는 가이드 레일을 고정하기 위하여 고정결합(②)을 사용하였다. 자동문이 승강하는 구동장치가 가이드 레일에서 마찰 상태를 나타내고 감쇠를 조절할 수 있는 기능을 부여하는 접촉기능(④)을 사용하였고 자동문의 자체 중량이 아래로 향하도록 중력(⑤)을 설정하였다.

본 논문에서 적용한 구동 방식은 각각 Fig. 3의 미끄럼방식(sliding type)과 Fig. 4의 구름방식(rolling type)으로 나뉘게 된다. 미끄럼방식은 문이 구동하면서 안내레일을 따라 움직일 수 있도록 부착한 축(shaft)과 구(sphere)가 고정된 형태(⑦)로 되어 있

으며, 문과 구가 연결(⑥)된 파트(part)가 안내궤도를 따라 미끄럼운동을 하는 방식이다. 반면에 구

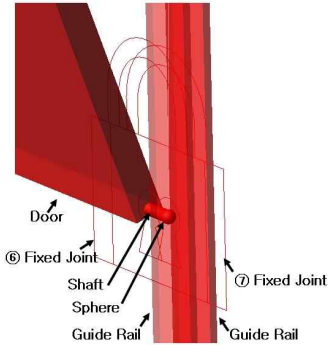


Fig. 3 Configurations of the sliding type on the guide rail

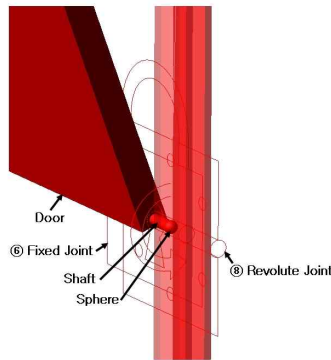


Fig. 4 Configurations of the rolling type on the guide rail

름방식은 그 파트가 궤도를 따라 구름운동(⑧)을 하면서 정지점까지 구동되는 방식이다. Table 1은 두 가지 구동방식의 해석모델을 보여주는데 미끄럼방식은 가이드 레일과 미끄럼 판과의 간극이 경험적 설계범위에 해당하는 최대 10mm와 최소 1mm일 때의 두 경우를 모델링 하였다.

3. 모사실험

Fig. 1에서 접이각도 $\theta = \omega t$ 이며 접이속도(folding velocity) $\omega = \dot{\theta} \text{ rad/s}$ 이다. 여기서 $\dot{\theta}$ 는 시간 t 에 관한 미분이다. 만일 자동문이 열리는 각도가 $\theta = 180^\circ \sim \alpha^\circ$ 이고 n 초 동안 작동한다면 상하부 판넬이 절첩되어 상승하게 되므로 접이 회전속도(folding rotational velocity)는 다음과 같다.

$$\omega = (180 - \alpha)\pi / 180n \quad (2)$$

일례로서 Fig. 5는 상하부 각 판넬의 길이가 $\ell = 4m$ 이고 질량 $m = 500kg$ 인 자동문이 6초 동안 완전히 상승할 때에 이동거리와 속도를 나타내고 있다^[3,4]. Fig. 2의 동역학 모델의 유효성을 확보하고자 식 (1)의 이동변위와 이 식을 미분하여 얻은 속도가 해석 모델에서도 정확히 일치함을 상용 프로그램인 아담스(Adams)에서 확인하였다^[1]. 이를 구현할 수 있는 알맞은 구동조건을 찾는 것이 설계 목표중의 하나가 될 수 있음을 암시한다. Fig. 6에서 미끄럼방식1에서 간극이 10mm이며 자동문이 상승할 때 초기 약 0.2초에서 최대 충격력 40kN 가량이 발생함을 알 수 있으며, 이를 확대한 그래프를 Fig. 7에 나타냈다. 이는 상승초기에 하부판넬이 가이드 레일과 간극사이에서 수직방향으로 미는 힘에 대한 반력으로 접촉 후에는 반력의 변화가 돌발적이지 않음을 관찰할 수 있다. Fig. 8은 미끄럼방식2에서 간극이 1mm이며 초기 약 0.05초일 때 최대 충격력 3.5kN 가량이 발생한다. 미끄럼방식1과 비교하여 간극이 작아 구동부가 레일에 접촉할 때까지 가속도가 미미할 정도로 작아서 충격력이 현저히 감소함을 알 수 있다.

Table 1 Modelling types

| Type | Configuration | Model |
|-------------------------|---------------|-------|
| Sliding 1 (Gap 10mm) | | |
| Sliding 2 (Gap 1mm) | | |
| Rolling | | |

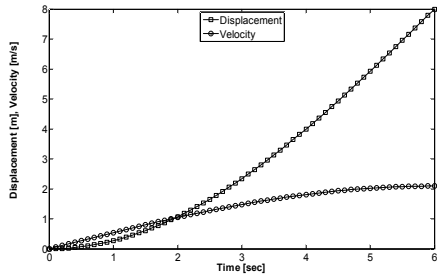


Fig. 5 A kinematic behavior of the opening process for a folding door

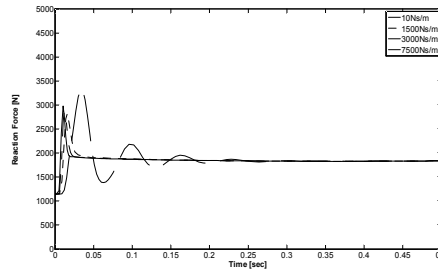


Fig. 9 Impact force of the sliding type 2 zoomed in the impact zone

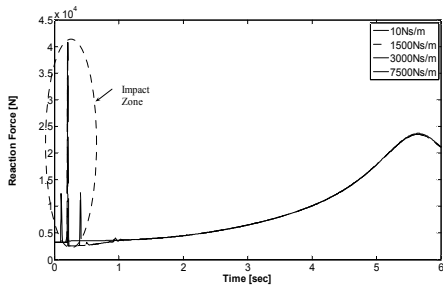


Fig. 6 Impact force of the sliding type 1 on the guide rail by introducing damping tool

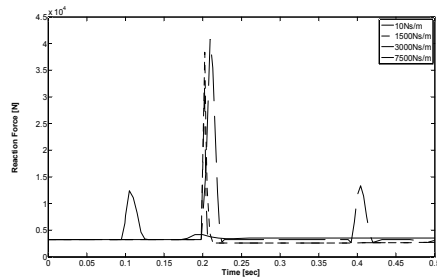


Fig. 7 Impact force of the sliding type 1 zoomed in the impact zone

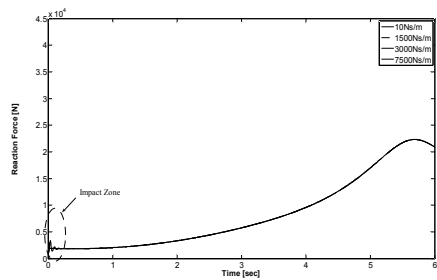


Fig. 8 Impact force of the sliding type 2 on the guide rail by introducing damping tool

Fig. 9는 충격하는 시점에서 힘의 이력을 확대한 것으로 충돌 후에는 충격력이 일정시간 동안 감소하면서 진동하는 모습을 보여주고 있다. Fig. 10과 11은 구름방식을 적용한 결과이며 초기 약 0.05초일 때 최대 충격력 $3.7kN$ 가량이 발생한다. 그러나 Fig. 9의 미끄럼방식2와 비교하면 충격력이 감소하면서 진동으로 작용하는 구간이 비교적 짧음을 알 수 있다.

위에서 살펴본 바와 같이 미끄럼방식이나 구름방식에 상관없이 상승 초기에 갑작스런 충격력이 발생하여 자동문의 내구성에 악영향을 미치게 된다. 향후 주행롤러 감쇠장치를 설계하고자 Fig. 2의 동역학 모델에서 접촉(contact)기능을 사용하여 감쇠계수를 측정하였다. Fig. 12에서 관찰할 수 있듯이 미끄럼방식1의 경우에는 감쇠계수가 커질수록 큰 충격력으로부터 급격히 감소하지만, 미끄럼방식2나 구름방식의 경우 감쇠계수와는 거의 무관할 정도로 $3.5kN$ 의 미약한 반력을 발생하고 있음을 알 수 있다. 감쇠계수 $7kNm/sec$ 를 적용했을 때 발생하는 반력을 아담스(Adams) 패키지에서 측정하였다. 이를 아바쿠스(Abaqus) 패키지에 재입력하여 승강시의 동응력(dynamic stress)과 동변형(dynamic deformation)을 살펴보았다.

Fig. 13과 15는 자동문이 저점 L 에서 고점 U 방향으로 올라갈 때 미끄럼방식1에 대하여 안내 레일에 가해지는 충격력에 의한 동응력과 동변형을 보여주고 있다. Fig. 14와 16은 모든 세 가지 방식에 대한 동응력과 동변형의 정량화된 그래프를 보여주고 있으며 동응력은 구조용 강이나 알루미늄의 항복강도에 훨씬 못 미치고 있으며, 변형량은 $0.05mm$ 이하이므로 구조적으로 안정함을 알 수 있었다.

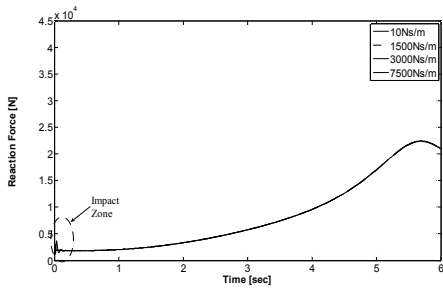


Fig. 10 Impact force of the rolling type on the guide rail by introducing damping tool

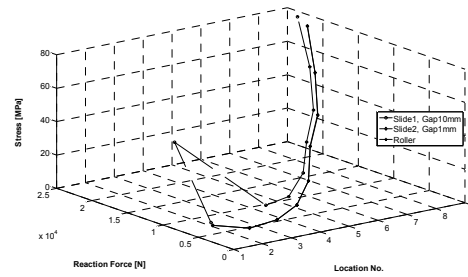


Fig. 14 The stress for three cases when the door ascending the guide rail

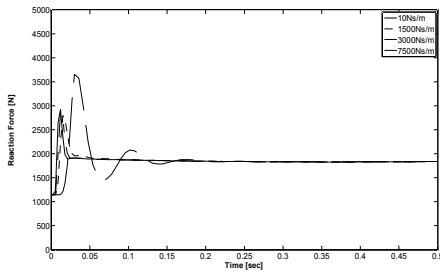


Fig. 11 Impact force of the rolling type zoomed in the impact zone

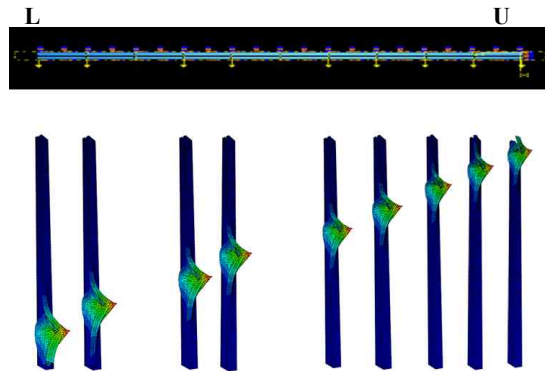


Fig. 15 The state of deformation when the door ascending the guide rail from L to U

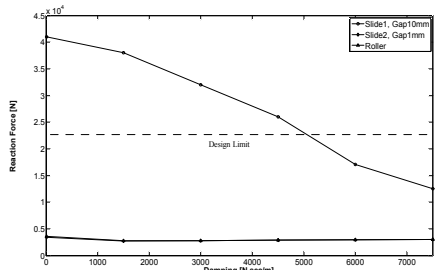


Fig. 12 The behavior of impact force depending on damping coefficient

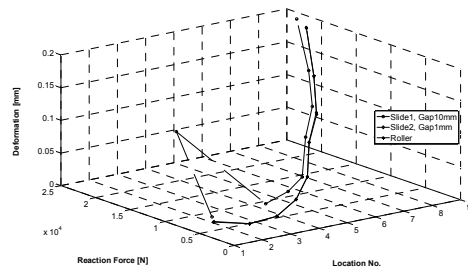


Fig. 16 The deformation for three cases when the door ascending the guide rail

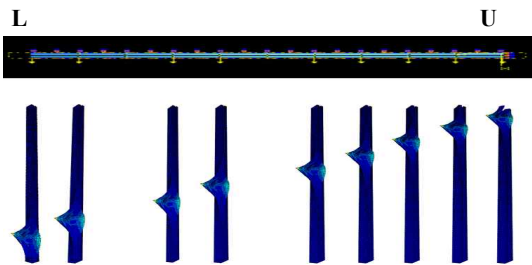


Fig. 13 The state of stress when the door ascending the guide rail from L to U

5. 결 론

본 연구에서는 산업용 자동문의 개발 과정에서 자동문 승강시 충격력이 발생하는 메커니즘을 분석하기 위하여 동역학적 해석을 수행하였고 과도한 충격력을 완화하여 내구적으로 안정한지를 검토하였으며

다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 초대형 산업용 접이식 자동문의 구동 메커니즘 분석과 충격하중 완화를 위한 동역학적 모델을 완성하였다.
- (2) 안내 레일상에서 동역학적 모델을 슬라이딩 모델과 롤링 모델로 나누어 해석하였으며 과도한 충격력을 제어하기 위한 감쇠량 거동을 관찰한 결과 주행롤러 감쇠기 설계의 기초자료를 확보하였다.
- (3) 구름 모델과 유격이 거의 없는 미끄럼 모델에 대하여 동적인 구조해석을 수행한 결과 변형과 응력은 설계상의 안전 영역에서 관찰되었다.
- (4) 연구의 결과를 바탕으로 다단 접이식(multiple folding type) 자동문의 해석도 신뢰도가 높게 적용할 수 있으리라 예상한다.

후 기

본 연구는 2010년도 금오공과대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구된 논문임.

참고문헌

1. Adams Package, MSC.Software Corp., 2009.
2. Abaqus 6.10.1 Package, Dassult Systeme, 2009.
3. Norton R. L., "Design of Machinery 3rd Edition", McGraw-Hill, pp. 561-575, 2004.
4. Meriam J.L. and Kraige L.G., "Dynamics, 5th Edition", Wiley, pp. 460-486, 2003.