# 산업용 접이식 자동문의 동역학적 메카니즘 해석
# Dynamical Mechanism Analysis of the Industrial Folding Automatic Door

#*윤성호 [1]
#*Seong-Ho Yun (shyun@kumoh.ac.kr)[1]
[1]금오공과대학교 기계공학부

Key words : Folding Type Door, Industrial Automatic Door

## 1. 서론

현재 산업용 대형 접이식(folding type) 자동문은 자재 및 제품을 지게차나 트럭 같은 운반기기들이 자유롭게 출입할 수 있도록 철강, 자동차, 조선, 플랜트, 물류 창고, 항공기 격납고 등의 업계에서 광범위하게 사용되고 있다. 이 대형문은 중량이 커서 개폐작동시 동작의 안정성을 확보하기 위하여 많은 노력을 기울여 설계하여 왔다.

물류 이동 산업의 활성화로 대형 자동문의 수요는 날로 증가하고 있으나 그 기술 수준은 아직도 초보단계에 있어 기술개발이 미흡한 상태에 있다. 대형 자동문의 작동 방법은 구동모터의 회전동력이 상부 판넬에 전달되어 그 회전방향으로 개폐가 시작하고 하부 판넬은 안내궤도를 따라 상하측 방향으로 이동하도록 되어 있다. 그러나 지금까지 자동문의 메카니즘을 이해하고자 역학적으로 접근한 연구를 거의 발견할 수 없으며 본 논문에서는 자동문의 동역학적 해석에 초점을 두고자 한다. [1, 2]

## 2. 구동 메커니즘

### 2.1 기하학적 해석

그림 1 은 상부 및 하부 판넬로 이루어진 접이식 자동문이 열리는 과정을 단계별로 나타내고 있다. 판넬 한 개의 크기는 길이를 $\ell$, 폭을 $w$, 두께를 $b$ 라고 하자. 상하부 판넬이 가이드 레일과 이루는 각을 $\theta$ 라고 하면 문이 열릴 때 $\theta = 0 \rightarrow \pi/2$ 로 변화한다. 하부 판넬의 끝단으로부터 이동한 거리 $s$ 는 다음 식 (1)과 같다.

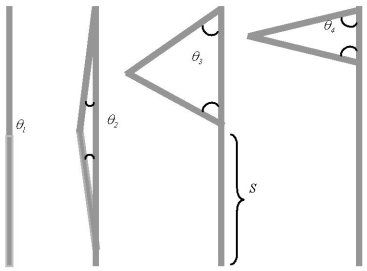


Fig. 1 Configurations of the opening process for a folding door

$$s = 2\ell(1-\cos\theta) \tag{1}$$

식 (1)을 시간 $t$ 에 대하여 연속적으로 미분을 하면 속도 $v$ 와 가속도 $a$ 는 식 (2a,b)로 주어진다.

$$v = 2\ell\dot{\theta}\sin\theta, \quad a = 2\ell\dot{\theta}^2\cos\theta \tag{2a,b}$$

여기서 $(\dot{\bullet})$ 는 시간 $t$ 에 관한 미분이다. 즉 $\theta = \omega t$ 이며 각속도 $\omega = \dot{\theta}$ 이다. 일례로서 만일 자동문이 열리는 각도가 $\theta = 0^o \sim 80^o$ 이고 $6$ 초 동안 작동한다면 상하부 판넬이 접히는 각속도 $\omega = 4\pi/54$ rad/sec 이다.

### 2.2 동역학적 해석

그림 2 는 임의의 시간에 개폐되는 순간을 측면에서 표현한 자유물체도이다. $OA$ 는 상부 판넬이고 $AB$ 는 하부 판넬을 나타낸다.

중력에 의한 위치에너지를 $V$ , 운동에너지를 $T$ 라고 표현 하면 다음과 같다.

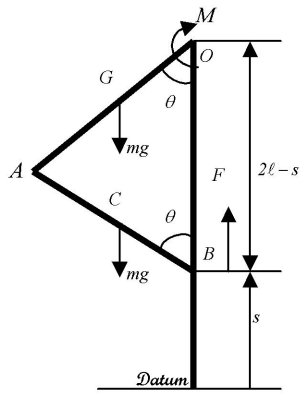


Fig. 2 A free body diagram of the opening process for a folding door

$$V = 2mg\ell(1-\cos\theta) \tag{3}$$

$$T = \frac{1}{2} I\dot{\theta}^2 \sin^2\theta \tag{4}$$

여기서 상하부 판넬 각각의 질량이 $m$ 이고, 전체 극관성 모멘트 $I$ 는 다음과 같이 표현되며, $I_C$ 와 $I_O$ 는 위치 $C$ 와 $O$ 에 관한 극관성 모멘트이다.

$$I = I_C + I_O + \frac{5}{2} m\ell^2 \tag{5}$$

자동문을 개폐시 상부 판넬의 지점 $O$ 에 회전모멘트 $M$ 을 가하여 하부 판넬을 들어올리는 경우의 가상일 $\delta W_M = M\delta\theta$ 와 하부 판넬의 지점 $B$ 에서 윗 방향으로 장력 $F$ 로 잡아 당길 때 가상일 $\delta W_F = Fs$ 를 고려하면 운동방정식은 다음과 같다.

$$I\ddot{\theta}\sin^2\theta = M + 2\ell(F-mg)\sin\theta - \frac{I}{2}\dot{\theta}^2 \sin 2\theta \tag{6}$$

## 3. 수치해석 및 결론

수치해석의 예로서 상하판 각각의 질량 $m = 500kg,$ 길이 $\ell = 4m$ , 두께 $b = 0.1m$ 이다. 상승시 변위, 속도와 가속도를 그림 3 에, 자동문에 직선력 $F$ 가 작용하여 열릴 때 변위의 거동을 그림 4 에 나타냈으며 이로부터 다음의 결론을 얻었다.

(1) 2 단 접이식 자동문 상승의 경우 기하학적 및 동역학적 해석을 수행하였다.
(2) 향후 다단 접이식 자동문의 동역학적 해석의 기반을 마련하였다.

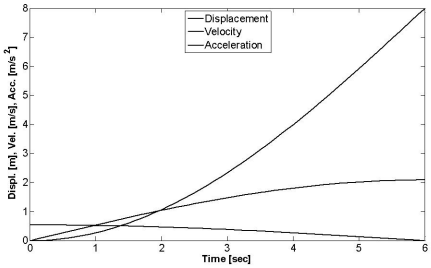


Fig. 3 A kinematic behavior of the opening process for a folding door

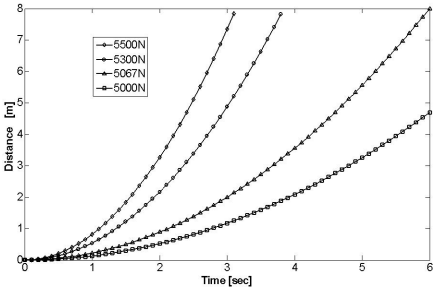


Fig. 4 A kinematic behavior of the opening process depending on the pulling force

## 참고문헌

1. Norton R. L., “Design of Machinery 3rd Edition,” McGraw-Hill, pp. 561-575, 2004.
2. Meriam J.L. and Kraige L.G., “Dynamics, 5th Edition,” Wiley, pp. 460-486, 2003.