

# 접이식 문이 상승시 안내 레일에서의 동적 거동 파악 Identification for Dynamical Behavior of Folding-type Door Ascending Along Guide Rail

윤성호

\*#Seong-Ho Yun(shyun@kumoh.ac.kr)  
금오공과대학교 기계공학과

Key words : Folding-type door, Guide rail

## 1. 서론

일반적으로 산업용 접이식 개폐장치는 철강, 자동차, 조선, 플랜트, 물류 창고, 항공기 격납고 등의 업계에서 광범위하게 사용되고 있다. 근래에는 물류 이동 산업의 활성화로 대형 자동문의 수요는 날로 증가하고 있다. 하지만 이러한 문은 중량이 커서 개폐 작동시 동작이 불안정하기 때문에 이에 대한 대책을 강구하기 위하여 많은 노력을 기울여 왔다. 접이식의 경우 두 개의 상부 및 하부 판넬이 짝을 이루어 안내 레일을 따라 승강하면서 개폐운동을 한다.

이러한 접이식 문을 사용하면 구조가 비교적 간단하기는 하지만 작동시 구동 모터의 용량도 커진다. 이 때 안내 레일에 가해지는 충격력도 커지게 되어 내구성에 문제를 야기하기도 한다.<sup>1</sup> 지금도 이러한 방식의 자동문 산업계뿐만 아니라 상업용으로 널리 사용되고 있지만 이에 대한 체계적인 메카니즘 분석과 설계가 미흡한 실정이다.<sup>2</sup> 이를 위하여 본 논문에서는 접이식 자동문의 기하적인 거동과 동역학적인 거동을 상용 패키지로 관찰한 결과를 비교하고자 한다.

## 2. 동역학적 정식화

그림 1은 자동문이 승강시 임의의 시간에서 측면에서 표현한 자유물체도이다. 판넬 한 개의 길이를  $\ell$ , 폭을  $w$ , 두께를  $b$ 라고 하자. 상하부 판넬이 가이드 레일과 이루는 접이각(folding angle)을  $\theta$ 라고 한다. 지면과 맞닿는 하단  $B_1$ 에서 직선력  $F$ 에 의하여 자동문이 열리도록 할 때 지면에서 시작하여  $i$ 번째의 상부 판넬은  $O_i A_i$ , 하부 판넬은  $O_i B_i$ 로 나타낸다.<sup>3</sup>

$G_i$ 와  $C_i$ 는  $n$ 개의 상하부 판넬에서  $i(=n/2)$ 번째 판넬의 무게 중심을 각각 나타낸다. 우선 문이 열릴 때 지면 하단의 상하부 판넬부터 순차적으로 접힌다고 가정한다. 따라서 그림 1은  $i$ 번째의 상하부 판넬이 접히기 시작할 때는 첫 번째부터  $(i-1)$ 번째까지의 상하부 판넬이 완전히 접힌 후에  $i$ 번째 상하부 판넬이 접히는 모습을 보여주고 있다. 가이드 레일에서의 상승거리  $s$ 와 속도  $v$ 는 다음과 같다.

$$s = 2\{i(\ell - b) - \cos\theta\} \tag{1.a}$$

$$v = 2\ell\dot{\theta}\sin\theta \tag{1.b}$$

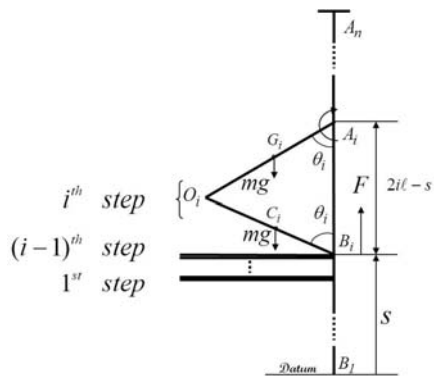


Fig. 1 A free body diagram of the opening process for a folding-type door

$i$ 번째의 상하부 판넬에서 회전과 병진을 병행하는 접이운동에 의한 운동에너지  $T_i$ 이다. 첫 번째부터  $(i-1)$ 번째까지의 상하부 판넬은 안내 레일에서 직선운동에 의한 운동에너지가 발생한다.  $(i-1)$ 번째 상하부 판넬의 운동에너지는  $T_{G_{i-1}}$ 와

$T_{C_{i-1}}$ 이며 전체 운동에너지  $T$ 는 다음과 같다.

$$T = T_{O_i A_i} + T_{O_i B_i} + \sum_{i=1}^{n/2-1} (T_{G_i} + T_{C_i}) \quad (2)$$

접이각속도  $\omega$ 가 일정하고 안내 레일을 수직운동하는  $A_i B_i$ 구간에서 속도  $v_{B_i} = v$ 라고 하면 전체 운동에너지는 다음과 같이 표현된다.

$$T = \frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{4\ell^2} (I_A + I_C) + \frac{m}{8} (16i - 11) \right\} v^2 \quad (3)$$

여기서 질량 관성모멘트는 하부 판넬의 질량중심  $C_i$ 에 대하여  $I_{C_i}$ 와 상부 판넬의 지점  $A_i$ 에 대하여  $I_{A_i}$ 이다. 각 판넬에서  $I_{C_i} = I_C$ ,  $I_{A_i} = I_A$ 로써 일정하다고 가정한다.

하부 판넬의 밑면을 기준으로 운동에너지를 산출하는 방법과 같이  $n$ 단의 전체 위치에너지  $V$ 를 추론할 수 있으며 다음과 같이 표현된다.

$$V = V_{O_i A_i} + V_{O_i B_i} + \sum_{i=1}^{n/2-1} (V_{G_i} + V_{C_i}) \quad (4)$$

접이각  $\theta_i = \theta$ 라고 일정하다고 하면 이에 따른 전체 위치에너지  $V$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$V = 2mgl \{ (i-1)^2 + (2i-1)(1-\cos\theta) \} \quad (5)$$

식 (1.b)를 식 (3)에 대입하면 다음의 식 (6)이 유도되며 관성 모멘트  $I_\omega$ 는 식 (7)과 같이 정의된다.

$$T = \frac{1}{2} I_\omega \dot{\theta}^2 \sin^2 \theta \quad (6)$$

$$I_\omega = \left\{ (I_A + I_C) + \frac{m\ell^2}{2} (16i - 11) \right\} \quad (7)$$

하부 판넬의 지점  $B_i$ 에서 윗 방향으로 장력  $F$ 로 잡아 당기는 경우 라그랑지 식을 이용하여 다음과 같은 운동방정식을 도출할 수 있다.

$$I_\omega \ddot{\theta} \sin \theta + I_\omega \dot{\theta}^2 \cos \theta = 2\ell \{ F - (2i-1)mg \} \quad (8)$$

### 3. 수치해석 및 결과

수치해석의 예로서  $n = 4$ , 즉  $i = 2$ 단의 경우를 해석하였다. 각 판넬의 질량  $m = 50kg$ , 높이  $\ell = 1m$ , 두께  $b = 0.05m$ 이고 1단 및 2단의 작동 시간을 각각 5초로 설정하였다. 이 때 두께를 무시한 경우의 기하학적인 이동 거리를 유도한 운동방정식으로부터 얻은 결과치와 상용 패키지인 아담스의 결과치를 그림2에서 비교하였다.<sup>4</sup>

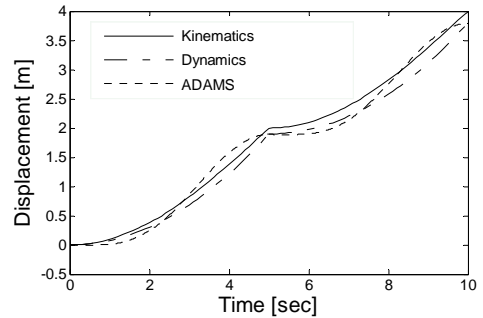


Fig. 2 Comparisons of kinematical, dynamical and Adams results for the moving distance

본 논문은 접이식 자동문이 가이드 레일을 상승할 때 메카니즘을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 시스템 방정식은 특정한 단계의 접이운동을 접이각의 함수로 표현하였다.
- (2) 두께를 고려한 접이식 문의 거동에서 동역학적인 해석치와 상용 패키지로 부터 도출한 결과치가 미세한 차이를 보이고 있다.
- (3) 향후 안내 레일에서의 이격과 마찰을 고려한 해석 통하여 더욱 정확도가 향상된 해석을 할 수 있으리라 기대된다.

### 참고문헌

1. 윤성호, 박종천, "산업용 접이식 자동문 안내레일에 작용하는 충격하중 완화를 위한 동역학적 해석," 한국기계공학회지, **10**, 16-21, 2011.
2. 윤성호, "2단 접이식 산업용 자동문의 동역학적 메카니즘 해석," 한국 정밀공학회지, **28**, 821-826, 2011.
3. Yun S. H., "A Dynamical Analysis of Folder Type of Industrial Automatic Door," 2012 3rd International Conference on Mechanical, Industrial, and Manufacturing Technologies, M039, 2012.
4. Adams Package, MSC.Software Corp., 2010.