벽면 부착력 및 주행 견인력 수식 모델링을 통한 벽면 부착용 이동 플랫폼 설계

Design of the Wall-Climbing Mobile Platform by Modeling of Attachable and Traction Force

***권순도 [1], 김상준 [1], 김성엽 [1], 김수호 [2]**

*S. D. Kwon[1], S. J. Kim[1], S. Y. Kim[1], S. H. Kim[2]

[1] 대우조선해양 산업기술연구소, [2] 대우조선해양 미래연구소

Key words : wall-climbing, mobile platform, robot, attachable force, traction force

1. 서론

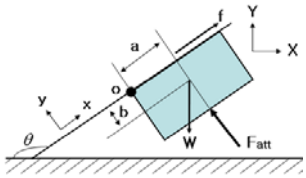
산업의 발달과 더불어 고층 빌딩 등과 같이 구조물이 점차 고층화 및 대형화가 되고 있으며 조선 산업에 있어서도 세계조선시장을 이끌 주력 발주 선박은 주로 8,000~15,000TEU 급의 대형 컨테이너선과 200,000m^3 급 이상의 LNGC, 대형 해양 구조물이다. 이로 인해 대형 선박의 화물 탱크 내부 및 선체 외부 작업 등의 고소 작업량 또한 꾸준히 늘어나고 있다. 고소 작업은 주로 고소차나 곤도라를 이용한 방식으로 수행되고 있으며 이러한 고소 작업은 3D 작업으로 작업자의 수급 문제 및 안전사고, 생산성 저하, 품질의 불균일 등의 문제를 내포하고 있다. 따라서 고소 작업을 자동화하기 위해서는 고소 작업용 이동 플랫폼의 개발이 필요하며 국내외에서 다양한 부착 방식을 가지는 이동 플랫폼들이 개발되고 있다[(1)(2)(3)(4)].

본 연구에서는 벽면 부착용 이동 플랫폼이 벽면 경사각 0°~180°의 모든 벽면 조건에서 안정된 부착과 자세를 유지하기 위해 필요한 최소 부착력을 벽면 모델링을 통하여 유도하고 이를 바탕으로 이동 플랫폼이 안정된 부착 상태에서 주행을 하기 위한 최소 견인력을 도출하고자 한다. 이러한 결과를 바탕으로 벽면 부착용 이동 플랫폼을 설계 및 제작한다.

2. 이동 플랫폼의 최소 벽면 부착력

이동 플랫폼이 수평면에서 동작하는 경우에는 중력이 이동 플랫폼의 안정된 부착에 긍정적인 영향을 주는 반면, 경사면에서 동작하는 경우에는 중력이 이동 플랫폼의 안정된 부착에 부정적으로 작용한다. 이에 경사면에서 주행해야 하는 이동 플랫폼의 경우 중력의 영향을 극복하고 벽면에 부착되어 안정된 자세를 유지하기 위해서 일정 크기 이상의 벽면 부착력이 요구된다. 즉, 경사진 벽면에 부착되어 이동 플랫폼이 고소 작업을 수행하기 위해서는 우선 작업면에 안정된 부착이 이루어져야 한다.

Fig. 1 은 경사진 벽면에서 이동 플랫폼의 안정된 부착을 위해 필요한 최소 벽면 부착력에 대한 수식 모델링을 위한 FBD 이다.



F_{att} : 부착력
W : 이동 플랫폼의 자중
Θ : 지면과 벽면과의 경사각
a : 회전 중심(o)과 부착력 중심과의 거리
b : 회전 중심(o)과 이동 플랫폼의 자중에 의한 x 방향 분력과의 거리

Fig. 1 Free Body Diagram for Derivation of the Minimum Attachable Force ($0° \leqq \theta \leqq 180°$)

이동 플랫폼의 안정된 부착 및 자세를 유지하기 위해서는 자중에 의한 미끄럼이 없어야 하며, 플랫폼 본체의 회전 모멘트에 대한 안정성을 확보해야 하며, 또한 중력에 대한 수직 방향 안정성을 확보해야 한다. 이러한 조건들을 각각 수식으로 정리하면 식 (1)~(3)과 같이 표현된다.

$$F_{att} \geq W \times \left(\frac{\sin\theta - \mu\cos\theta}{\mu} \right) \quad (1)$$

$$F_{att} \geq W \times \left(\left(\frac{b}{a} \right) \sin\theta - \cos\theta \right) \quad (2)$$

$$F_{att} \geq W \times \left(\frac{\mu\sin\theta\cos\theta - 1}{\cos\theta - \mu\sin\theta} \right) \quad (3)$$

식 (1)~(3) 중에서 F_{att} 의 최대값이 이동 플랫폼에 필요한 최소 벽면 부착력($F_{att,\min}$)이 되며, 이는 벽면 부착용 이동 플랫폼의 부착 메커니즘 및 용량 선정의 기준이 된다.

3. 이동 플랫폼의 최소 견인력

Fig. 2 는 앞에서 정의된 최소 벽면 부착력($F_{att,\min}$)으로 경사진 벽면에 안정되게 부착된 이동 플랫폼을 이동시키기 위해 필요한 최소 견인력에 대한 수식 모델링을 위한 FBD 이다.

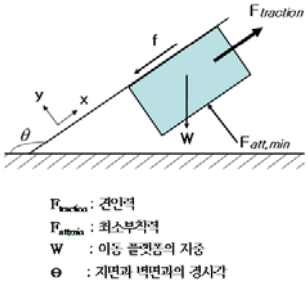


Fig. 2 Free Body Diagram for Derivation of the Minimum Traction Force (0° ≦ θ ≦ 180°)

이동 플랫폼의 자중이 작용하는 방향과 반대 방향인 플랫폼 상승 시에 가장 큰 견인력이 필요하며 이 힘은 식 (4)와 같이 표현된다.

$$F_{traction} \geq \mu F_{att,\min} + W(\sin\theta + \mu\cos\theta) \quad (4)$$

식(4)는 벽면 부착용 이동 플랫폼의 주행을 위한 액츄에이터 용량 선정의 기준이 된다.

4. 결론

고소 작업을 위한 벽면 부착용 이동 플랫폼이 벽면 경사 0°~180°의 모든 벽면 조건에서 안정된 부착 및 자세를 유지하기 위해 필요한 최소 부착력을 벽면 모델링을 통해 유도하였으며, 더불어 이동 플랫폼이 안정된 부착 상태에서 벽면을 따라 주행하기 위한 최소 견인력을 도출하였다. 이는 이동 플랫폼의 부착 및 주행 메커니즘 선정과 각각의 액츄에이터 용량 선정에 있어서 그 설계 기준이 된다. 고소 이동 플랫폼의 최소 부착력은 벽면 경사각과 이동 플랫폼의 형상비 및 벽면 마찰계수에 영향을 받으며, 최소 견인력은 벽면 마찰계수와 벽면 경사각에 영향을 받으므로 이러한 요소들이 미치는 영향이 최소화되는 방향으로 벽면 부착용 이동 플랫폼의 설계가 이루어져야 하겠다.

Fig. 3 은 실제 설계 제작된 벽면 부착용 이동 플랫폼과 이동 플랫폼을 LNGC 의 슬로핑 데크 청소 작업에 적용한 모습이다.

Fig. 3 The Wall-Climbing Mobile Platform and Application for Sweep on Sloping Deck of LNGC

후기

본 연구는 경상남도 중점기술개발사업 ”고소 작업용 이동 플랫폼 및 제어시스템 개발” 과제(과제번호 : 10017525)의 지원으로 수행되었음.

참고문헌

1. D. H. Kang, H. S. Kim, T. Y. Son, H. R. Choi, Design of quadruped walking and climbing robot, Proceedings of the 2003 IEEE, pp.619-624
2. S. Hirose, H. Tsutsumitake. Disk Rover : A wall-climbing robot using permanent magnet disks, Proceeding of 1992 IEEE, pp.2074-2079
3. A.NISHI, Development of wall-climbing robots, Computer Elect. Engineering Vol. 22, pp.123-149, 1996..
4. L. Briones, P. Bustamate, M. A. Serna. Wall-climbing robot for inspection in nuclear power plant, 1994 IEEE, pp.1409-1414