

삼각트랙이 장착된 외벽 등반로봇 플랫폼의 기구학 해석 Kinematic Analysis of the Platform of a Wall Climbing Robot equipped with Triangular Track Wheels

*조선미¹, 서근찬¹, 김태균¹, 김종원¹, #김화수²

*Sunme Cho¹, Kunchan Seo¹, Taegyun Kim¹, Jongwon Kim¹, # HS Kim(hskim94@kgu.ac.kr)²

¹서울대학교 기계항공공학부, ²경기대학교 기계시스템공학과

Key words : Wall climbing robot, Triangular track, Kinematic analysis, Overcoming obstacles

1. 서론

고층 빌딩에서의 외벽 청소나 도장 및 대형 탱크의 검사 등 사람이 직접 수행하는 위험한 고소작업을 대체하기 위하여 등반로봇이 개발되고 있다.[1] 실제 빌딩 외벽 및 탱크 내부에는 다양한 형상의 장애물이 존재하기 때문에 등반로봇이 주행할 때 장애물을 승월해야 한다. 그러나 장애물 승월 시 로봇 플랫폼의 운동에 따라 탑재유닛의 위치 및 자세가 변하므로 이에 대한 해석이 필요하다.

본 논문에서는 삼각트랙을 이용한 장애물 승월 메커니즘을 갖는 외벽 등반로봇 플랫폼이 일반화된 형상의 장애물을 넘어 이동할 때 탑재된 가반하중의 위치 및 자세를 결정하였다. 하지만 가반하중의 위치 및 자세는 가반하중의 기구구조에 따라 다르므로 본 논문에서는 한 예로서 1자유도를 갖는 청소유닛의 엔드 이펙터(end-effector)의 위치 및 자세를 결정하기 위하여 기구학 및 정역학 해석을 수행하였다. 2.1절에서는 외벽 등반로봇 플랫폼 및 청소유닛의 구조를, 2.2절에서는 청소유닛을 탑재한 등반로봇 플랫폼의 기구학 모델링을, 2.3절에서는 청소유닛 엔드 이펙터의 위치 및 자세를 결정하기 위한 기구학 및 정역학 해석을 제시하였다.

2. 본론

2.1 외벽 등반로봇 플랫폼 및 청소유닛의 구조

외벽 등반로봇 플랫폼과 이에 탑재된 청소유닛의 구조는 Fig. 1과 같다. 로봇 플랫폼이 로프 등강기의 로프 이송력을 이용하여 옥상에 고정된 로프를 타고 상하 이동함과 동시에 프로펠러의 추력에 의하여 삼각트랙을 벽면으로 밀어붙인다. 4개의 삼각트랙이 벽면에 밀착한 상태로 이동할 때

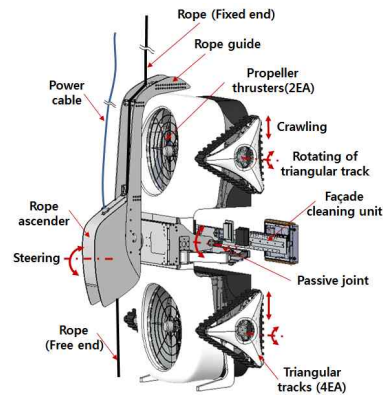


Fig. 1 Structure of the platform of a wall climbing robot equipped with a facade cleaning unit

트랙은 모터에 의하여 각 트랙의 중심축을 중심으로 하여 전체 회전하게 된다. 삼각트랙이 전체 회전함으로써 로봇 플랫폼은 보다 쉽게 장애물을 승월할 수 있게 된다. 로봇 플랫폼에 탑재된 청소유닛은 벽면에 대하여 상하 수직 이동하며, 청소유닛 하단부의 걸레가 좌우로 이동함으로써 외벽 청소 작업을 수행하게 된다.

2.2 기구학 모델링

청소유닛이 탑재되어 있는 외벽 등반로봇 플랫폼의 기구학 모델링은 Fig. 2와 같다. p_1, p_2 는 상하단부 삼각트랙 중심축의 위치를 나타내며, 이는 트랙과 벽면간의 접촉 환경에 따라서 결정된다. θ_1 은 로프 등강기 기준으로 로봇 플랫폼 하부 전체가 회전하는 조향축 회전각을, θ_2 는 수동 힌지 회전각을, θ_3 는 청소유닛의 상하수직운동에 대한 회전각을 나타낸다. 능동관절 θ_1 과 θ_3 는 모터 회전각에 의하여 결정이 되지만, 수동관절 θ_2 는 로봇 플랫폼의 피치 모멘트가 최소화되는 방향으로 정적평

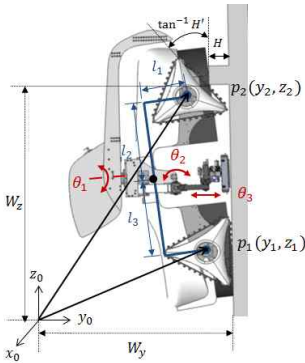


Fig. 2 Kinematic modeling of the platform of a wall climbing robot equipped with a facade cleaning unit

형을 이루도록 p_1, p_2 와 마찬가지로 트랙이 벽면과 접촉하고 있는 환경에 따라 결정된다.

2.3 기구학 및 정역학 해석에 따른 청소유닛 엔드 이펙터의 위치 및 자세 결정

외벽 등반로봇 플랫폼에 탑재된 청소유닛 엔드 이펙터의 위치 및 자세 결정은 로봇 플랫폼에 수동 힌지가 존재하기 때문에 기구학 해석만으로는 불가능하며, 여기에 수동관절 상단부의 정역학 해석이 더해져야 가능해진다. 높이가 H , 트랙과 장애물 접촉점에서의 기울기가 H' 인 장애물 승월 시 로봇 플랫폼이 중력 방향 대비 ϕ 만큼 기울어졌을 때, 청소유닛 탑재부의 자세 및 위치는 T_{00} 으로 정의할 수 있고, DH-Parameter를 사용하여 청소유닛 엔드 이펙터의 위치 및 자세를 T_{03} 로 정의할 수 있다. 따라서 로봇 플랫폼이 장애물을 승월하며 이동할 때 청소유닛 엔드 이펙터의 위치 및 자세는 T_{end} 이며, 다음과 같은 식을 얻을 수 있다. 단, $\sin\theta = s\theta, \cos\theta = c\theta, \tan\theta = t\theta$ 로 표기한다.

$$T_{end} = T_{03} = T_{00} \cdot T_{03}$$

$$= \begin{bmatrix} -s\theta_1 c\theta_2 & c\theta_1 & -s\theta_1 s\theta_2 & p_x \\ -c\phi s\theta_2 - s\phi c\theta_1 c\theta_2 & -s\phi s\theta_1 & c\phi c\theta_2 + s\phi s\theta_1 s\theta_2 & p_y \\ -s\phi s\theta_2 + c\phi c\theta_1 c\theta_2 & c\phi s\theta_1 & s\phi c\theta_2 - c\phi s\theta_1 s\theta_2 & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$;\phi = c^{-1} \left(\frac{z_2 - z_1}{l_2 + l_3} \right) = s^{-1} \left(\frac{y_2 - y_1}{l_2 + l_3} \right)$$

$$y_0 = y_1 - l_1 c\phi - l_3 s\phi$$

$$z_0 = z_1 + \sqrt{l_1^2 + l_3^2} \left\{ c^{-1} \left(\frac{l_1}{\sqrt{l_2^2 + l_3^2}} \right) + c^{-1} \left(\frac{z_2 - z_1}{\sqrt{l_2^2 + l_3^2}} \right) \right\}$$

로봇 플랫폼에 탑재된 청소유닛 엔드 이펙터의 위치를 나타내는 (p_x, p_y, p_z) 는 다음과 같다.

$$p_x = -\theta_3 s\theta_1 s\theta_2 - l_4 c\theta_1$$

$$p_y = \theta_3 c\theta_2 c\phi + \theta_3 s\theta_1 s\theta_2 s\phi - l_4 s\theta_1 s\phi + y_0$$

$$p_z = \theta_3 c\theta_2 s\phi - \theta_3 s\theta_1 s\theta_2 c\phi + l_4 s\theta_1 c\phi + z_0$$

상·하단부 삼각트랙 회전중심 축의 위치 p_1, p_2 는 다음과 같다.

$$y_1 = W_y - \left(\frac{h}{3} + r \right)$$

$$z_1 = W_z - (l_2 + l_3) c\phi - \sqrt{\left(\frac{h}{3} + r \right)^2 + a^2 - \left\{ \left(\frac{h}{3} + r \right) c(t^{-1}H') + a \cdot s(t^{-1}H') \right\}^2}$$

$$y_2 = W_y - H - a \cdot s(t^{-1}H') - \left(\frac{h}{3} + r \right) c(t^{-1}H')$$

$$z_2 = W_z - \sqrt{\left(\frac{h}{3} + r \right)^2 + a^2 - \left\{ \left(\frac{h}{3} + r \right) c(t^{-1}H') + a \cdot s(t^{-1}H') \right\}^2}$$

위 식에서 W_y, W_z 는 기준좌표계로부터 벽면까지의 거리, r 은 삼각트랙 내 폴리의 반경, h 는 삼각트랙의 높이, a 는 장애물과 트랙의 접촉점으로부터 삼각트랙 밑변의 중점까지의 거리를 의미한다.

수동관절 회전각 θ_2 는 로봇 플랫폼 수동힌지 상단부의 정역학 해석 과정을 통하여 로프 이송력, 수동힌지 상단 무게, 청소유닛과 로봇 플랫폼 사이의 반력 및 모멘트, 로봇 플랫폼이 중력 방향 대비 기울어진 각도와 중력과 로프 이송력이 이루는 각도에 의하여 결정된다.

3 결론

본 논문에서는 외벽 등반로봇 플랫폼과 이에 탑재된 청소유닛의 기구학 및 정역학 해석 결과에 따라 로봇 플랫폼이 로프 등반 시 벽면에 구속되어 장애물을 승월하면서 이동할 때 변화하는 청소유닛 엔드 이펙터의 위치 및 자세를 결정하였다.

후기

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2011-0027576)

참고문헌

1. 서근찬, 박준환, 조선미, 김태균, 김종원, “로프 등강기를 구비한 등반로봇의 설계”, 한국정밀공학회 학술발표대회 논문집, 37-38, 2011.