

저속 및 고속 주행에서 안정영역을 갖는 3 segment leg 설계 연구

Design study of 3 segment leg with stable region at low and high speed running

*#권오석¹, 신동환¹, 김영식¹, 안진웅¹

*#O. S. Kwon(mesign@dgist.ac.kr)¹, D. H. Shin¹, Y. Kim¹, J. An¹

¹대구경북과학기술원 공공원천기술연구센터

Key words : segment leg, self-stability, leg stiffness

1. 서론

기존의 연구[2][3]에서는 1 Segment Leg(SL)-일반적으로 spring mass model 이라고 하나 편의상 본 논문에서는 1SL 이라고 함-과 2SL 에 대한 running self-stable 영역에 대하여 연구하였다. 이상적으로는 running self-stable 영역에서 거동을 하게 되면 이동 에너지 비용[1]이 0 가 된다. 즉, 실제 주행에서는 에너지 손실분만을 보충하여 주면 된다는 것이다.

기존의 연구[2][3]의 연구결과는 1SL 은 상대적으로 고속주행에서 self-stable 영역을 가지고, 2SL 은 상대적으로 저속주행에서 self-stable 영역을 가짐을 밝혔다.

본 연구에서는 저속 및 고속 주행에서 self-stable 영역을 갖고자 하는데 목적을 두었고, leg 구조는 3SL 을 이용하였다. 본 논문에서는 1, 2SL 에 대한 기존의 연구결과[2][3]를 분석하고 이를 통해 저속 및 고속주행에서 self-stable 영역을 가질 수 있는 3SL 설계방향을 제시하고 이를 검증하고자 한다.

2. 저속 및 고속 주행에서 안정영역을 갖는 3SL 설계방향 제시 및 검증

본 논문에서 다루는 1,2,3SL 모델과 running 모델은 Fig. 1 과 같다.

기존의 연구[2][3]에서는 1SL 은 상대적으로 고속구간에서 안정한 touch down angle 범위가 넓으며, 안정한계최저속도가 높음을 밝혔다. 그리고 2SL 은 안정한계최저속도가 낮으며,

상대적으로 저속구간에서 안정한 touch down angle 범위가 넓음을 밝혔고, 또한 관절각도가 클수록 안정한계최저속도가 낮고, 상대적으로 저속구간에서 안정한 touch down angle 범위가 넓음을 밝혔다. 안정한 touch down angle 범위가 넓은 것은 안정성에 있어서 강인성을 가짐을 의미한다. 이와 같은 결과는 Table 1 의 해석결과로부터도 알 수 있다. 이와 같이 1SL 은 고속구간, 2SL 은 저속구간에서 안정한 touch down angle 범위가 넓은 이유는 Fig. 2 와 같은 강성(stiffness) 특성을 가지기 때문이다.

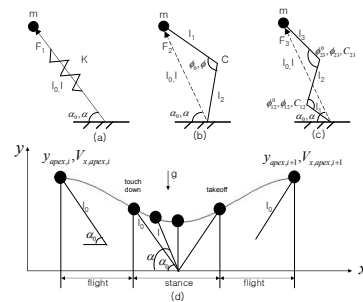


Fig. 1 (a) 1SL model m: point mass, K: linear stiffness, l_0 : initial leg length, l : compressed leg length, α_0 : touch down angle, α : varied leg angle, F : leg force (b) 2SL model l_1, l_2 : segment lengths, ϕ_0 : initial joint angle, ϕ : compressed joint angle, C : rotational stiffness (c) 3SL model l_1, l_2, l_3 : segment lengths, ϕ_{12}^0, ϕ_{23}^0 : initial joint angles, ϕ_{12}, ϕ_{23} : compressed joint angles, C_{12}, C_{23} : rotational stiffnesses (d) running model, g : gravitational acceleration

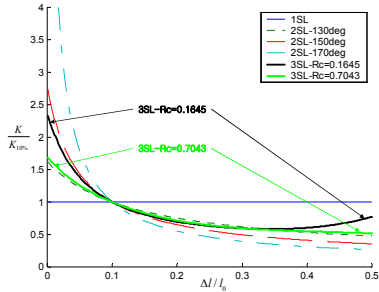


Fig. 2 1SL, 2SL($\phi_0 = 130^\circ, 150^\circ, 170^\circ$ and $l_1 = l_2$) and 3SL($R_c = 0.1645$ and $R_c = 0.7043$ where $R_c = C_{12}/C_{23}$ [5]) stiffness diagrams, x axis: normalized leg compression by initial leg length l_0 , y axis: normalized leg stiffness by reference stiffness $K_{10\%} = F_{10\%}/\Delta l_{10\%}$ where $\Delta l_{10\%} = 0.1l_0$ [2][3]

Table 1 1SL, 2SL($\phi_0 = 130^\circ, 150^\circ, 170^\circ$ and $l_1 = l_2$) and 3SL self-stable regions, analyzed by using $m = 80kg$, $l_0 = 1m$, $y_{apex,0} = l_0$ and $\tilde{K}_{10\%} (= K_{10\%} l_0 / mg) = 40$ [2][3], $V_{x,apex,0}$ (unit: m/s), α_0 (unit: degree)

(a) 1SL		(b) 2SL- $\phi_0 = 130^\circ$		(c) 2SL- $\phi_0 = 150^\circ$	
$V_{x,apex,0}$	α_0	$V_{x,apex,0}$	α_0	$V_{x,apex,0}$	α_0
20	26-54	17	36-46	13	41-48
15	46-60	16	32-51	10	38-65
10	58-65	15	30-54	8	54-70
5	72-73	10	48-65	5	70-76
3.5	75	5	71-74	3	79-80
		3	77.5	2.5	80.5

(d) 2SL- $\phi_0 = 170^\circ$		(e) 3SL- $R_c = 0.1645$		(f) 3SL- $R_c = 0.7043$	
$V_{x,apex,0}$	α_0	$V_{x,apex,0}$	α_0	$V_{x,apex,0}$	α_0
8	70-74	20	24-41	19	35-38
5	69-82	19	33-43	18	31-42
3	80-85	15	40-51	17	28-46
2	85	10	52-65	15	26-52
1.5	86.5	5	71-76	10	49-65
		3	79	5	71-74
		2.5	80.1	3	78

즉, 1SL 은 변형량이 큰 부분에서 상대적으로 큰 강성값을 가지고, 2SL 은 변형량이 작은 부분에서 큰 강성값을 가지며, 변형량이 10%이상에서는 작은 강성값을 가지기 때문에 위와 같은 결과를 얻게된다. 그리고 2SL 에서도 변형량이 10%이하에서 더 큰 강성값을 가지고, 10%이상에서 더 작은 강성값을 가지게 되면, 안정한계최저속도가 더 낮아지게 되고, 더 저속구간에서 안정영역이 넓어지게 된다. 따라서, 변형량이 작은 부분과 중간 부분에서는 2SL 의 강성특성을 가지고, 변형량이 큰 부분에서는 1SL 의 강성특성을

가지면, 저속 및 고속구간에서 안정영역을 가질 수 있을 것이다. 즉, Fig. 2 의 3SL 과 같은 강성특성을 가지도록 3SL 을 설계하면, 저속 및 고속주행에서 안정영역을 가질 수 있을 것이다. Fig. 2 의 3SL 강성특성을 갖는 3SL 설계는 생체모방설계[4]와 구조적 안정성[5][6]을 고려하여 하였다. 그리고, 3SL- $R_c=0.1645$ 가 3SL- $R_c=0.7043$ 보다 더 저속구간 및 고속구간에서 안정영역을 가질 것으로 예상되며, 그 결과는 Table 1 에서 확인할 수 있다.

3. 결론

본 논문에서는 저속 및 고속 주행에서 self-stable 영역을 가질 수 있는 3SL 설계방향을 제시하고 이를 검증하였다.

후기

본 연구는 교육과학기술부 일반사업 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. S. Collins, A. Ruina, R. Tedrake, and M. Wisse, "Efficient Bipedal Robots Based on Passive-Dynamic Walkers", *Science*, **307**, 1082-1085, 2005.
2. J. Rummel and A. Seyfarth, "Stable Running with Segmented Legs", *The International Journal of Robotics Research*, **27**, 919-934, 2008.
3. J. Rummel, F. Iida, J. A. Smith and A. Seyfarth, "Enlarging Regions of Stable Running with Segmented Legs", *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 367-372, 2008.
4. L. M. Day and B. C. Jayne, "Interspecific scaling of the morphology and posture of the limbs during the locomotion of cats (Felidae)", *The Journal of Experimental Biology*, **210**, 642-654, 2007.
5. A. Seyfarth, M. Günther and R. Blickhan, "Stable operation of an elastic three-segment leg", *Biological Cybernetics*, **84**, 365-382, 2001.
6. R. Blickhan, A. Seyfarth, H. Geyer, S. Grimmer, H. Wagner and M. Günther, "Intelligence by mechanics", *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, **365**, 199-220, 2007.