

# Zebra-tailed Lizard 주행에 대한 기구학적 해석 Kinematic analysis on the running phase of Zebra-tailed Lizard

\*김종원<sup>1</sup>, #김정률<sup>1</sup>, 한용희<sup>1</sup> 김종원<sup>1</sup>

\*J.W.Kim<sup>1</sup>, #J.R.Kim(jrkim@rodel.snu.ac.kr)<sup>1</sup>, Y.H.Han<sup>1</sup>, Jongwon Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>서울대학교 기계항공공학부 건설설계 연구실

Key words : Kinematic analysis, kinematic model of Zebra-tailed lizard, running motion, trajectories of tiptoe

## 1. 서론

Zebra-tailed Lizard는 4족 보행 동물 중에서 그 크기에 비해 주행 속도가 매우 뛰어나다.(24.70 bodies/sec) [1] 그 원인은 지면을 박차는 주기가 매우 짧고 (0.092sec/cycle) 이라 동시에 강한 추력을 이용하여 도약하기 때문이라고 생각된다.

본 연구에서는 Zebra-tailed Lizard의 기구학 모델을 통해 지면에서의 Zebra-tailed Lizard의 다리를 기구학 적으로 분석하여 빠른 주行的 원인을 밝혀 보고자 한다.

## 2. 기구학 해석

기존 연구를 바탕으로[2] Zebra-tailed Lizard의 기구학 모델은 Fig.1과 같다. 기구학 모델의 앞다리는 6-DOF SRU-joint 이며, 뒷다리는 8-DOF SRURR-joint로 이루어져 있다. 좌우대칭이며, 총 35 자유도를 가지고 있다.

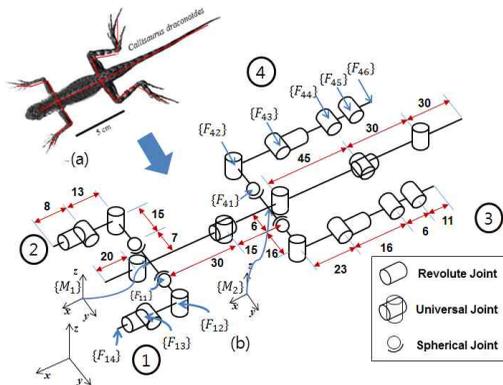


Fig.1 (a) Zebra-tailed Lizard[1], (b) Kinematic model of Zebra-tailed Lizard

위의 기구학 모델을 바탕으로 앞다리와 뒷다리의 발끝은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T_{M_i F_{i4}} = T_{O_i M_i} T_{M_i F_{i3}} T_{F_{i3} F_{i2}} T_{F_{i2} F_{i1}} T_{F_{i1} F_{i4}} \quad (i = 1, 2) - (1)$$

$$T_{M_j F_{j6}} = T_{O_j M_j} T_{M_j F_{j5}} T_{F_{j5} F_{j4}} T_{F_{j4} F_{j3}} T_{F_{j3} F_{j2}} T_{F_{j2} F_{j1}} T_{F_{j1} F_{j6}} \quad (j = 1, 2) - (2)$$

Zebra-tailed Lizard가 언제 다리를 뺀고 어느 부분이 역동적으로 움직여 빠른 주행이 가능한지 알아보기 위해서 기구학 모델에 대입해야할 각도를 구해야한다. Fig.2는 실제 Zebra-tailed Lizard의 주행 모습을 기구학 모델에 사용한 링크간의 관계에 근거하여 한주기를 23개로 나누어서(0.004초 간격) 모션 캡처하고 각 링크간의 각도를 구하였다. 그렇게 구한 각을 기구학 모델에 대입하여 나온 모습을 보여 준다.

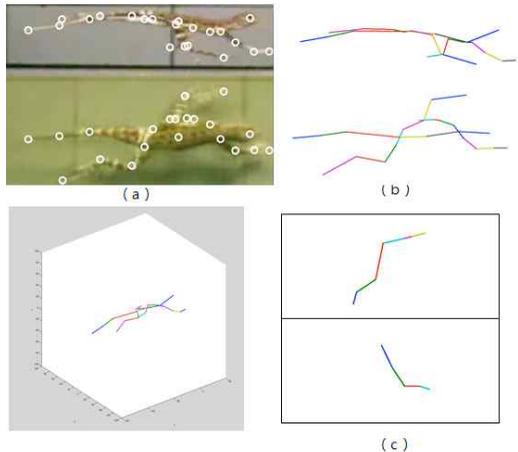


Fig. 2 (a) Auto cad를 이용한 모션 캡처[3] (b) 모션 캡처 (c) 각도를 이용하여 구한 기구학 모델의 Top view (상단 : 왼쪽 뒷다리, 하단 : 오른쪽 앞다리)

### 3. 실험 및 결과

측정한 각도를 바탕으로 식(1)과 (2)에 각각 대입하여 계산을 수행하여 한 주기에 해당하는 발끝의 궤적을 구한 결과는 Fig.3와 같다.

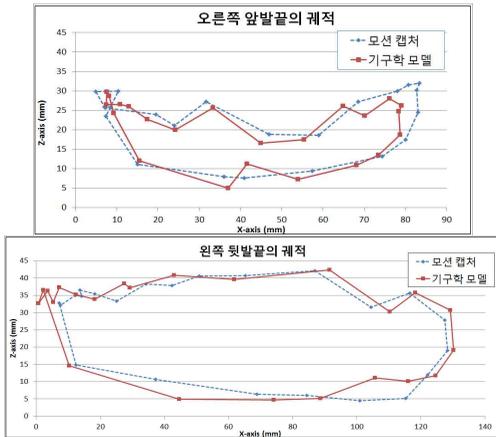


Fig.3 기구학 모델을 통한 발끝 궤적(xz평면)

오른쪽 앞발 끝의 오차의 최대값은 12.74% 이며, 왼쪽 뒷발 끝의 오차의 최대값은 10.995%으로 비교적 정확하다.(각 노드별 거리/각 발이 뺨을 수 있는 최대거리)

각	U-joint( $F_{11}$ )			R-joint( $F_{12}$ )	U-joint( $F_{13}$ )	
	Z( $\alpha$ )	Y( $\beta$ )	X( $\gamma$ )	Z( $\alpha$ )	Y( $\beta$ )	X( $\gamma$ )
도약 직전	58.143	-92.965	-37.844	41.711	50.372	46.614
도약 직후	89.667	111.539	-19.978	4.432	63.522	15.237
차이(°)	31.524	204.504	17.866	-31.3775	13.150	-31.377

(a)오른쪽 앞발

각	U-joint( $F_{11}$ )			R-joint( $F_{12}$ )	U-joint( $F_{13}$ )	
	Z( $\alpha$ )	Y( $\beta$ )	X( $\gamma$ )	Z( $\alpha$ )	Y( $\beta$ )	X( $\gamma$ )
도약 직전	-11.119	25.713	-16.654	83.677	54.247	83.190
도약 직후	37.711	-2.156	-11.780	56.733	32.660	36.825
차이(°)	48.83	-27.869	4.874	-26.943	-21.588	-46.305

(b)왼쪽 뒷발

Table.1 기구학 해석을 통한 도약전후 각 발의 각도

또한 앞발의 경우  $F_{11}$ 의 Y축 방향의 회전각도가 매우 크다.(Table.1) 이 방향은 앞발의 어깨부분의 링크방향 회전으로 직전과 직후의 시간차가 0.008 초임을 감안한다면 매우 빠르게 회전함을 알 수 있다. 그리고 뒷발의 경우에는 어깨의 Z축 방향 회전과 발목의 회전이 결합되어서 도약을 하는

것을 확인 할 수 있다.

### 4. 결론

본 연구는 35자유도를 가지는 Zebra-tailed Lizard의 기구학 모델을 제시하였다. 또한 모션캡처를 이용하여 각 링크간의 각도를 구하고, 이렇게 구한 각을 모델에 대입하여 앞뒤 발끝의 궤적을 구해서 실제 모습과 비교를 통해 연구를 검증하였다.

또한 기구학 모델을 통해서 검증한 각 링크간의 각도 정보를 이용하여 도마뱀이 도약 시에 사용하는 조인트 및 링크에 대해서 논의하였다.

### 5. Future work

본 연구는 전체적인 기구학 모델을 제시하였지만, 앞다리와 뒷다리만 검증을 수행 하였다.

그래서 꼬리와 허리 부분, 그리고 지면의 제한 조건은 추가하여 더욱더 확실하게 기구학 모델을 검증할 계획이다.

더 나아가서 검증된 기구학 모델을 바탕으로 동역학 해석을 수행하여 Zebra-tailed Lizard의 주행을 더욱더 자세하게 분석할 것이다.

### 후기

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2012.0000348)

### 참고문헌

1. Duncan J. Irschick, "Comparative three-dimensional kinematics of the hindlimb for high-speed bipedal and quadrupedal locomotion of lizards," The Journal of Experimental Biology, 202, 1047-1065, 1999
2. Wochul Nam, TaeWon Seo, Byungwook Kim, Dongsu Jeon, Kyu-Jin Cho, and Jongwon Kim, "Kinematic analysis and experimental verification on the locomotion of gecko," Journal of Bionic Engineering, vol. 6, no. 3, pp. 246-254, 2009.
3. [http://www.artsci.uc.edu/collegedpts/biology/fac\\_staff/jayne/videos.aspx](http://www.artsci.uc.edu/collegedpts/biology/fac_staff/jayne/videos.aspx)
4. Donghoon Son, Dongsu Jeon, Woo Chul Nam, Doyoung Chang, TaeWon Seo, Jongwon Kim, "Gait planning based on kinematics for a quadruped gecko model with redundancy," Robotics and Autonomous Systems, vol. 58, no. 5, pp. 648-656, 2010.05.