

다관절 유영로봇에 적용하기 위한 물방개의 유영패턴 분석

Swimming pattern analysis of a Diving beetle for Aquatic Locomotion Applying to Articulated Underwater Robots

김희중¹, 이지홍[†]

Kim Hee-Joong¹, Lee JI-HONG[†]

Abstract In these days, researches about underwater robots have been actively in progress for the purposes of ocean detection and resource exploration. Unlike general underwater robots such as ROV(Remotely Operated Vehicle) and AUV(Autonomous Underwater Vehicle) which have propellers, an articulated underwater robot which is called Crabster has been being developed in KORDI(Korea Ocean Research & Development Institute) with many cooperation organizations since 2010. The robot is expected to be able to walk and swim under the sea with its legs. Among many researching fields of this project, we are focusing on a swimming section. In order to find effective swimming locomotion for the robot, we approached this subject in terms of Biomimetics. As a model of optimized swimming organism in nature, diving beetles were chosen. In the paper, swimming motions of diving beetles were analyzed in viewpoint of robotics for applying them into the swimming motion of the robot. After modeling the kinematics of diving beetle through robotics engineering technique, we obtained swimming patterns of the one of living diving beetles, and then compared them with calculated optimal swimming patterns of a robot leg. As the first trial to compare the locomotion data of legs of the diving beetle with a robot leg, we have sorted two representative swimming patterns such as forwarding and turning. Experimental environment has been set up to get the motion data of diving beetles. The experimental equipment consists of a transparent aquarium and a high speed camera. Various swimming motions of diving beetles were recorded with the camera. After classifying swimming patterns of the diving beetle, we can get angular data of each joint on hind legs by image processing software, Image J. The data were applied to an optimized algorithm for swimming of a robot leg which was designed by robotics engineering technique. Through this procedure, simulated results which show trajectories of a robot leg were compared with trajectories of a leg of a diving beetle in desired directions. As a result, we confirmed considerable similarity in the result of trajectory and joint angles comparison.

Keywords: Biomimetics, swimming robots, diving beetle, locomotion, kinematics

1. 서론

머지않아 화석에너지의 고갈이 예상됨에 따라 해양

에 있는 에너지 자원의 탐사에 많은 관심이 집중되고 있다. 그러나 해양이라는 제약이 따르기 때문에 수심이 깊어짐에 따라 자원탐사 활동에 많은 어려움을 겪고 있다. 또한 같은 이유로 선박이 사고에 의해 침몰했을 때에도 이를 탐사하는 데에는 많은 어려움이 따른다. 이러한 이유들로 인해 ROV(Remotely Operated Vehicle)나 AUV(Autonomous Underwater Vehicle)같은 수중로봇들이 활발히 개발되고 있다.

그러나 이 로봇들은 모두 프로펠러를 이용하여 추

Received : Sep. 5. 2012; Reviewed : Sep. 27. 2012; Accepted : Nov. 1. 2012

※ The authors thank Korea Ocean Research & Development Institute for giving us an opportunity to cooperate with them for the project "Plan and control an optimized path for an articulated swimming robot".

[†] Corresponding author: Mechatronics Engineering, Chungnam National University, (Jihong@cnu.ac.kr)

¹ Mechatronics Engineering, Chungnam National University, (mankhj@naver.com)

진하는 로봇으로 비교적 협소한 공간에서의 회전반경에 제약을 받고 장애물 회피 부분에 있어서 동적 움직임에 취약하며 정밀탐사에 어려움이 있어 효율적으로 탐사하기에는 보완되어야 할 점들이 있다.

국도해양부 주관 한국해양연구원은 최대 6000m 심해에서 정밀탐사와 해저작업을 수행할 수 있는 다관절 복합이동해저로봇 Crabster를 2010년부터 개발하기 시작했으며 프로펠러나 캐터필러에 의해서 이동하는 기존의 로봇들의 방식과는 달리 다리관절로 동적 특성에 강인하며 해저보행과 수중유영을 하면서 정밀탐사와 작업을 할 수 있는 첨단기능을 보유한 심해용 로봇을 목표로 연구가 진행 되고 있다. Fig. 1은 현재 개발중인 Crabster의 CR200 모델이다.^[1]

우리는 이 로봇의 유영파트에 초점을 두고, 자연 속에서 수 천년 동안 환경에 맞게 진화해온 생물체의 방식을 모방하는 생체모방기술을 바탕으로 연구를 진행하고 있다. 실제로 생체모방기술을 통해 유영하는 물고기 모방 로봇은 1995년 미국의 공과대학인 MIT에서 참치의 유영하는 모습을 기초로 한 로보투나(Robotuna)를, 2003년 영국의 에식스(Essex)대학의 가속, 회전, 멈춤 기능을 가진 자율유영 물고기 로봇을 제작하였다^[2,3]. 우리나라도 정부출연연구기관인 생산기술연구원에서 수중로봇인 익투스^[4] 개발하였으며 꾸준히 생체모방기술을 통한 연구는 다양한 분야에서 활발히 이루어지고 있다. 이런 생체모방형 로봇은 생물학이 로봇공학만으로 찾기 힘든 최적화된 로봇운동의 해법을 제시할 수 있다는 근거를 제시하고, 더 나아가 응용기술에 대한 순수과학의 가능성을 보여주고 있다.

본 논문에서는 생체모방기술의 모델로 다리관절을 가진 생물체중 유영에 최적화 되어있는 물방개에 초점을 맞추고 물방개의 다리를 기구학적으로 모델링

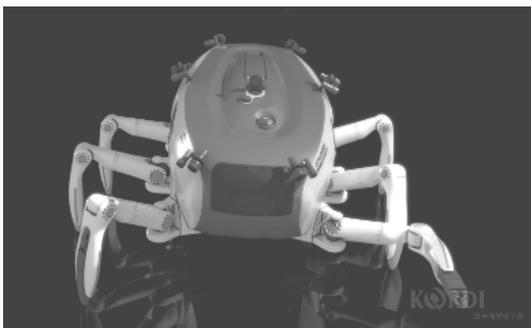


Fig. 1. Crabster CR200

하고 초고속 카메라와 이미지 처리 프로그램을 통해 물방개의 유영을 분류해내고, 이를 유영최적화 시뮬레이션과 비교 분석하여 실제 다관절 로봇에 적용가능성이 있는 유영패턴의 적용가능성을 제시한다.

2. 로봇공학적 관점에서의 물방개 유영분석

2.1 생체모방 유영모델

우리는 다리관절을 가지고 유영하는 로봇의 유영패턴을 분석하기 위해 자연계에서 다리관절을 가지고 있는 생명체 중에 유영에 최적화 되어있는 물방개를 선정하였다. Fig. 2는 여러 물방개의 종류 중 *Cybister lateralimarginalis*라는 종으로 다른 물방개들보다 몸통과 다리의 관절이 큰 특성을 지니고 있기 때문에 유영 모습을 보다 더 잘 관찰할 수 있다고 판단되어 유영모델로 선정하게 되었다.



Fig. 2. Picture of *Cybister lateralimarginalis*. It is a species of diving beetles and swims on the brim of shallow water using its strong pinchers. In addition, it can survive in water and on land

2.2 모션데이터 획득을 위한 실험환경조성

Fig. 3은 물방개의 모션 데이터를 획득하기 위한 실험환경으로 사방의 시야가 모두 확보된 투명 유리수조(A)와 물방개(B), 모션을 촬영하기 위한 초고속카메라(C), 모션데이터를 획득하기 위한 랩탑 컴퓨터(D), 조명(E)은 카메라의 초당 프레임 수가 올라감에 따라 어두워진 영상화면을 보정해주는 역할로 설치되었고 물방개 서식을 위한 수조(F)는 45cm×15cm×15cm의 크기로 20 ± 2 °C의 수온을 유지 하고 있다.

초고속 카메라는 REDRAKE사에서 제작한 MotionScope M1모델로 TV ZOOM lens 2/3" 11.5-69mm F1.4의 사양을 가지고 초당 1000프레임까지 촬영 가능하다. 이 카메라는 물방개의 다리 모션을 촬영하기 위해 수조의 밑바닥을 바라볼 수 있도록 설치하였고, IEEE



Fig. 3. A (transparent aquarium), B(diving beetles), C(a high speed camera), D(a laptop computer), E(a lamp), F(a residential aquarium). An Experimental environment has been set up to get the motion data of diving beetles (B) while they are swimming in a transparent aquarium (A). The recorded data by the high speed camera (C) is imported to a laptop computer (D). A lamp (E) was positioned on the ground to make video images clear

1392 CardBus Adapter으로 영상자료가 Fig. 4에서 볼 수 있듯이 MotionScope M1.0.3프로그램^[5]을 통해 랩탑 컴퓨터로 전송되었다. 본 논문에서는 초당 125프레임으로 영상을 촬영하였으며 좀 더 선명한 영상을 획득

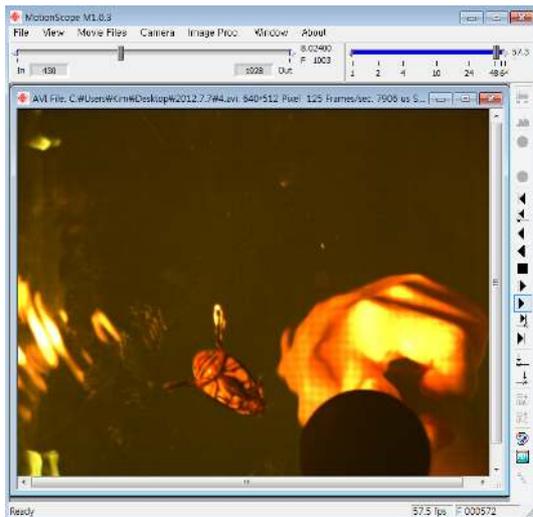


Fig. 4. Video images recorded by a high speed camera were transferred through MotionScope M1.0.3 software^[10]

하기 위해 조명이 촬영 구간을 비추도록 실험 환경을 갖추었다.

그 결과 물방개의 다양한 유영동작들이 촬영 되었고, 그 중에서 우리는 직진 유영과 회전유영에 초점을 맞추고 유영동작을 분석하였다.

2.3 물방개 다리의 기구학적 모델링

Fig. 5에서 촬영된 영상을 이미지 처리 프로그램인 Image J^[6]로 물방개의 다리 관절 사이의 각도값 θ_1 , θ_2 를 추출해 내었고, 이를 통해 Fig. 6는 물방개의 다리를 2개의 조인트 운동을 가지는 다리로 기구학적 모델링을 하였다.

Table 1은 물방개의 기구학적 다리 모델의 D-H과 라미터를 보여준다. 다리의 각 조인트의 변환행렬은 식 (1)과 같이 표현할 수 있다. 이를 이용하여 각 조인트의 변환행렬을 이용하여 최종 변환행렬은 식(2)와 같이 나타낼 수 있다. Fig. 7에서는 식 (1)과 식(2)를 이용하여 물방개의 다리 끝점 좌표계 P_x 와 P_y 를 나타내고 이를 이용하여 물방개가 시간에 따른 다리 끝 좌표들의 값들을 얻어낼 수 있다. 이 좌표계들을 연결하여 물방개가 유영할 때 다리의 궤적을 얻어낼 수 있다.

Table1. D-H(Denavit-Hartenberg) parameters

Link i	θ_i	a_i	d_i	α_i
1	θ_1	0	0	L_1
2	θ_2	0	0	L_2

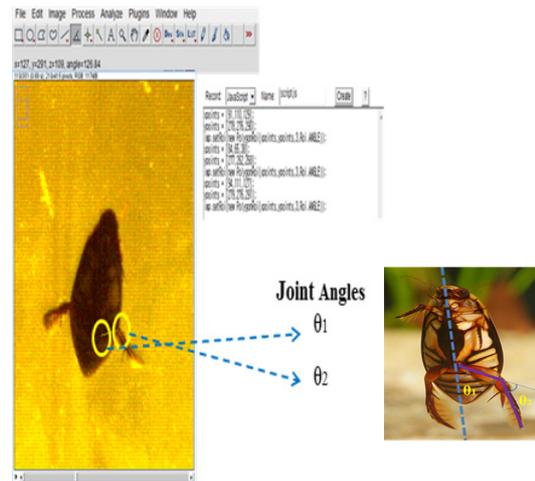


Fig. 5. Recorded video images are dealt with image processing software, Image J, so as to get angular values θ_1 θ_2 on the leg of diving beetles.

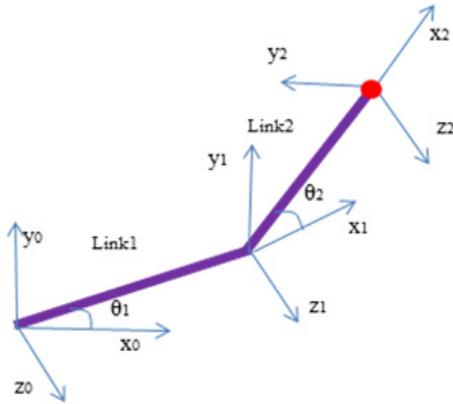


Fig. 6. Forward kinematics of the leg with two links

$$A_0^1 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1) & -\sin(\theta_1) & 0 & L_1 \times \cos(\theta_1) \\ \sin(\theta_1) & \cos(\theta_1) & 0 & L_1 \times \sin(\theta_1) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$A_1^2 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_2) & -\sin(\theta_2) & 0 & L_2 \times \cos(\theta_2) \\ \sin(\theta_2) & \cos(\theta_2) & 0 & L_2 \times \sin(\theta_2) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_0^2 = A_0^1 A_1^2 = \begin{bmatrix} R_0^2 & P_0^2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$R_0^2 = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1 + \theta_2) & -\sin(\theta_1 + \theta_2) & 0 \\ \sin(\theta_1 + \theta_2) & \cos(\theta_1 + \theta_2) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$P_0^2 = \begin{bmatrix} L_1 \times \cos(\theta_1) + L_2 \times \cos(\theta_1 + \theta_2) \\ L_1 \times \sin(\theta_1) + L_2 \times \sin(\theta_1 + \theta_2) \\ 0 \end{bmatrix}$$

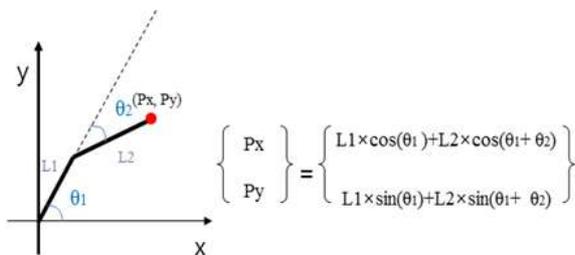


Fig. 7. Coordinates of end point of the leg

3. 실험결과

3.1 물방개 유연패턴과 유연최적화 알고리즘의 비교방 법제시

실제 다리 관절을 이용하여 유연하는 로봇에 물방개의 특정 방향에서의 각기 다른 유연패턴을 적용시키기 위해 본 논문에서는 다관절 복합이동 해저로봇의 다리가 기구학적으로 모델링 되어있고, 다리관절의 동역학 및 유체항력이 고려된 유연최적화 알고리즘과 물방개의 유연 패턴을 비교 분석한다^{1,7,9)}. 실험을 통해 물방개는 유연할 때 주로 뒷다리를 이용하여 유연하는 것을 바탕으로 2개의 다리관절을 가지는 2차원적 환경에서 비교분석을 하였다.

물방개의 다리를 기구학적으로 모델링하고 물방개의 모션데이터를 이용하여 얻어진 유연 패턴을 GA(유전자 알고리즘)가 적용된 로봇다리의 유연최적화 알고리즘의 시뮬레이션 결과와 비교하여 물방개의 유연패턴이 실제 다관절 로봇다리에 적용 가능한지 확인하였다. 유연최적화 알고리즘은 로봇다리가 특정방향으로의 한 주기에 발생하는 항력들의 합이 표현되는 비선형 최적화 알고리즘이기에 GA 알고리즘에 의해 값을 산출한다. GA알고리즘은 기본적으로 초기집단을 생성한 후 각각의 개체들이 교배가 되고 그 과정에서 교차가 일어나는데 이러한 과정에서 지역해에 빠지는 경우에는 돌연변이를 통하여 그 문제점을 극복하는 것이 가장 큰 특징이다. 유연최적화 알고리즘을 통해 나온 시뮬레이션 결과에는 로봇다리의 궤적과 더불어 그에 따른 각 다리 관절 사이의 각도변화 및 각 다리 관절의 속도와 가속도, 그 유연 궤적에 따른 유체항력이 계산되어 산출된다. 우리는 그 중에서 로봇다리 궤적과 다리관절 사이의 각도변화 비교에 초점을 맞추어 유연패턴 적용가능성을 확인하였다.

시뮬레이션 환경으로는 MATLAB(ver.7.6.0, Mathworks, Inc., Natick, MA, USA)으로 물방개의 다리궤적과 다리관절의 각도변화를 유연 최적화 알고리즘을 적용시켜 기구학적으로 모델링 된 로봇다리의 다리궤적과 각 다리관절의 각도변화에 비교 분석하였다.

3.2 물방개의 특정방향으로 유연 시 동작특성

물방개의 두 개의 뒷다리의 모션을 직진과 회전방향에서 각각의 상황에 따른 다리관절 사이의 각도 값을 추출하여 이를 기구학적으로 모델링하여 각각의 다

리 끝점 좌표값을 연결하여 시간에 따른 다리의 궤적을 확인하였다.

Fig. 8은 물방개의 전진유영으로 양쪽 뒷다리의 모션이 같음을 확인하였고, Fig. 9는 오른쪽으로 회전시의 뒷다리의 모션으로 다리 궤적의 모습이 확연히 다를 수 있다. Fig. 8에서 볼 수 있듯이 물방개는 유영 시에 다리 움직임(A)으로 인한 유영과 더불어 두 다리가 겹쳐질 때 물을 쥐어짜는 동작(B)을 하여 추진력을 더욱 더 발생시키는 것을 확인하였다. Fig. 9에서는 회전동작으로 물방개가 회전할 때 회전하고자 하는 방향의 반대쪽 다리(A)의 궤적이 다른 한쪽 다리

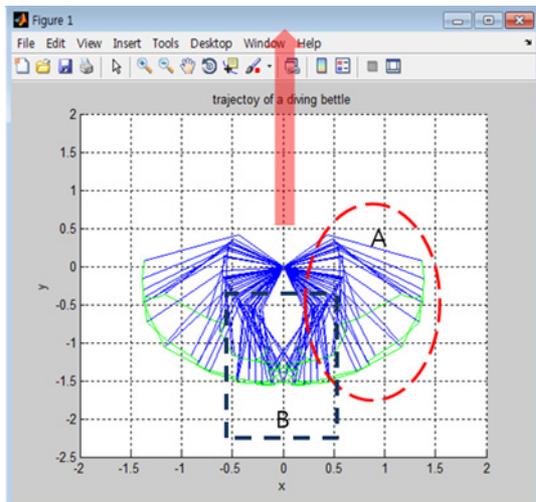


Fig. 8. Trajectory of forward swimming by the diving beetle

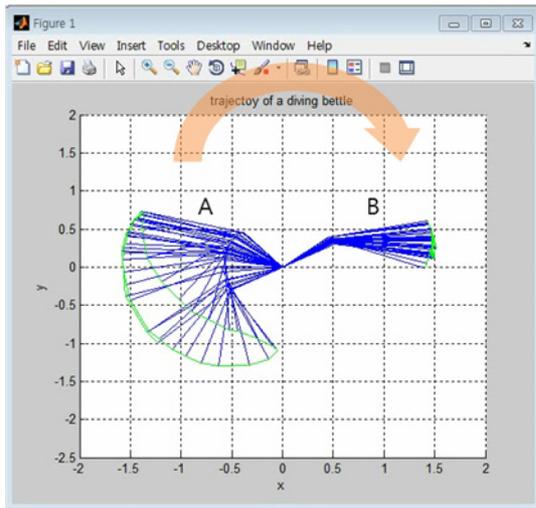


Fig. 9. Trajectory of two hind legs (A), (B) of the diving beetle for turning movement by the diving beetle

(B)의 궤적에 비해 궤적이 크고 움직임이 활발한 것을 확인할 수 있다.

3.2.1 물방개의 유영과 유연최적화 알고리즘을 통한 로봇다리 궤적과 다리관절 사이의 각도변화 비교

유영하는 물방개의 다리와 유연 최적화 알고리즘이 적용된 로봇다리를 비교 분석하기 위해 물방개의 다리 관절 각도의 최대, 최소값과 다리관절의 비율을 같게 적용시켜 시뮬레이션 결과를 비교하였다. Fig. 10은 전진 유영의 경우에 궤적을 비교한 것으로 A는 물방개의 다리, B는 로봇의 다리의 궤적을 나타낸다. A와 B의 궤적은 비슷한 양상을 띄지만 완벽하게 일치하지 않는 이유는 유연최적화 알고리즘에 의한 로봇다리는 한쪽 다리에만 초점이 맞춰진 채 만들어져 있고, 물방개 다리의 속도와 가속도의 값이 정확하게 알고리즘자체에 고려되지 않았기 때문이다.

Fig. 11은 시간에 따른 다리관절 사이의 각도 값들의 변화로 A는 물방개의 다리 관절 θ_1 과 θ_2 의 변화를 나타내고, B는 로봇다리의 다리 관절 θ_1 과 θ_2 의

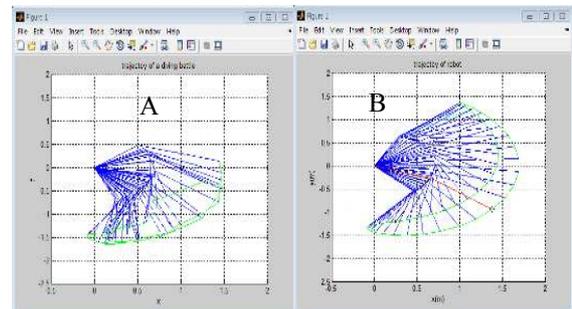


Fig. 10. A Case of forwarding swimming. Comparison of trajectory between the leg of a diving beetle (A) and the robot leg (B)

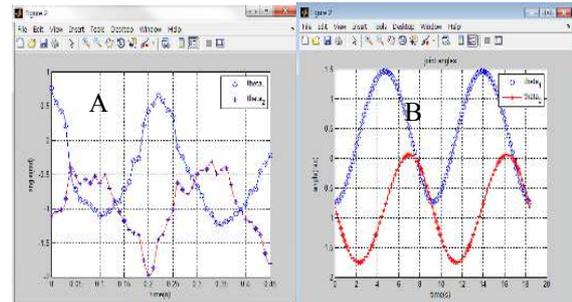


Fig. 11. A Case of forwarding swimming. Comparison of joint angles between the leg of the diving beetle (A) and the robot leg (B)

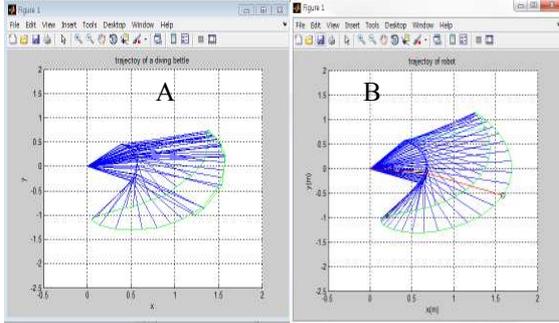


Fig. 12. A Case of turning swimming of a left leg. Comparison of trajectory between the leg of a diving beetle (A) and the robot leg (B)

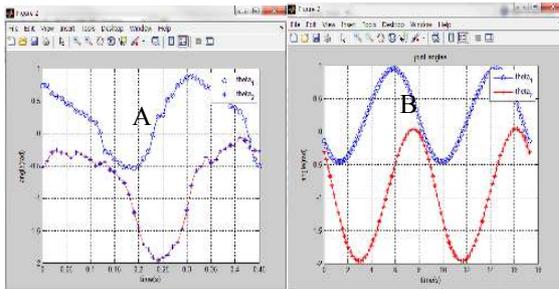


Fig. 13. A Case of turning swimming of a left leg. Comparison of joint angles between the leg of the diving beetle (A) and the robot leg (B)

변화를 나타낸다. 다리 관절의 각도 값들의 변화에서는 상당한 유사성을 띄는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 12와 Fig. 13의 A는 물방개가 오른쪽으로 회전 유영을 할 때 왼쪽다리의 궤적과 각도변화를 나타내고 B는 유영최적화 알고리즘이 적용된 로봇다리의 궤적과 다리관절 사이의 각도 값의 변화를 보여준다. Fig. 14와 Fig. 15에서는 물방개가 오른쪽으로 회전 유영을 할 때 물방개 오른쪽다리 다리궤적과 다리관절

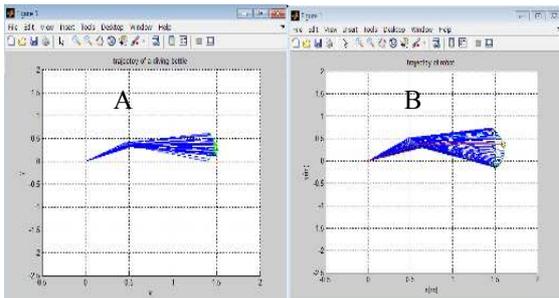


Fig. 14. A Case of turning swimming of a right leg. Comparison of trajectory between the leg of a diving beetle (A) and the robot leg (B)

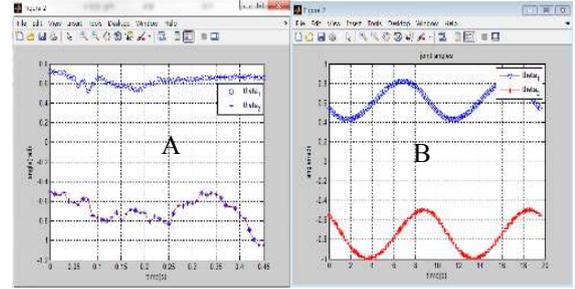


Fig. 15. A Case of turning swimming a right leg. Comparison of joint angles between the leg of the diving beetle (A) and the robot leg (B)

사이의 각도 값들의 변화(A)와 로봇다리의 다리궤적과 관절 사이의 각도 값들의 변화(B)를 나타낸다.

Table 2는 전진유영 시 물방개와 로봇다리의 궤적에서 각 다리관절의 끝 좌표의 최대값과 최소값을 나타낸 수치이고 Table 3과 Table 4는 회전유영 시 물방개의 왼쪽다리와 오른쪽다리 궤적에서의 각 물방개와 로봇다리의 다리관절의 비율을 동일하게 설정한 다리관절 끝 좌표의 최대값과 최소값을 나타낸다. 이는 물방개와 로봇다리의 각 다리관절 사이의 상대각이 반영된 결과값으로 아래 Table의 결과에서 볼 수 있듯이 물방개의 다리궤적과 유영최적화 알고리즘에 의해 시뮬레이션된 로봇다리의 궤적이 상당히 유사함을 확인할 수 있다.

Table 2. Comparison of trajectory between the leg of a diving beetle and the robot leg by end-coordinates of the links

Forwarding Swimming	End-coordinate of the link	Min	Max
Diving beetle	Link1	(0.2032,-0.5645)	(0.4344,0.04138)
	Link2	(-0.139,-1.402)	(1.373,0.06839)
Robot	Link1	(0.4283,-0.5537)	(0.2646,0.6481)
	Link2	(-1.1315,-1.39)	(0.998,1.376)

Table 3. Comparison of trajectory between the left leg of a diving beetle and the robot leg by end-coordinates of the links

Turning swimming	End-coordinate of the link	Min	Max
Diving beetle	Link1	(0.5249,-0.2907)	(0.3833,0.4616)
	Link2	(0.0467,-1.091)	(1.392,0.7327)
Robot	Link1	(0.6293,0.3066)	(0.413,0.5652)
	Link2	(0.1248,-1.055)	(1.253,1.137)

Table 4. Comparison of trajectory between the right leg of a diving beetle and the robot leg by end-coordinates of the links

Turning Swimming	End-coordinate of the link	Min	Max
Diving Beetle	Link1	(0.5157,0.3067)	(0.4514,0.3952)
	Link2	(1.4,-0.0115)	(1.429,0.6057)
Robot	Link1	(0.6141,0.3336)	(0.4253,0.5124)
	Link2	(1.508,-0.135)	(1.425,0.6884)

위의 결과들을 통해 특정방향으로의 물방개의 다리 궤적과 다리관절의 각도 값들의 변화에서 상당한 유사점을 보이는 것을 확인하였다. 특히 다리관절의 각도 변화에서 다리궤적의 모양에 따라 각기 다른 사인과 모양으로 위상이 변화하는 점을 착안하여 이를 이용하여 다관절 로봇의 유영에 있어서 방향뿐만 아니라 속도에 대한 제어를 수행할 경우 제어 요소를 단순화하여 로봇을 효율적으로 제어할 수 있을 것으로 기대가 된다. 또한 다리의 궤적부분은 궤적의 크기에 변화를 줌으로써 로봇의 유영속도를 변화 할 수 있을 것으로 기대되고 더불어 다리관절을 가지는 다른 유영생명체를 생체 모방기술 측면에서 분석하여 로봇의 다양한 유영방식을 얻어낼 수 있을 것으로 예상된다.

4. 결론

본 논문은 수 천 년간 자연계에서 경험을 토대로 진화해온 생명체의 방식을 현대의 기술에 적용시켜 효과적으로 작업을 수행할 수 있도록 함에 그 목적이 두는 생체모방 기술 관점에서 다리관절을 이용하여 유영에 최적화 되어있는 생명체인 물방개의 유영패턴을 분류하고 분석함으로써 실제 다리관절을 가지는 유영로봇에 적용할 수 있는 가능성을 확인하였다.

물방개를 로봇공학적인 방식으로 접근하여 기구학적으로 모델링하고, 이를 유영 최적화 알고리즘을 적용한 로봇다리의 시뮬레이션 결과값과 비교 분석하였다. 우리는 각기 다른 방향으로의 유영할 때의 물방개의 다리 모션데이터를 바탕으로 물방개의 다리 궤적과 다리관절의 각도 값들의 변화를 로봇다리의 시뮬레이션과 비교 분석하였고, 그 결과 다리 궤적과 다리관절의 각도 값의 변화에서 상당한 유사성을 발견할 수 있었다. 물방개 다리관절 사이의 각도 값들의 최대, 최소값의 범위에 적용시켜 로봇다리의 궤적과 비교분석 한

결과 다소 차이를 보이는 부분에서는, 유영최적화 알고리즘을 이용한 로봇다리의 시뮬레이션에서는 두 다리를 이용하여 움직이는 물방개의 한쪽 다리의 결과값과 비교한 결과로 물방개가 유영할 때 물을 쥐어짜서 앞으로 나가는 추가적인 추진력은 고려되지 않았기 때문에 간주 된다. 추후 연구로 물방개가 유영할 때 발생하는 추가적인 추진력과 더불어 물방개와 로봇다리의 다리관절 사이의 각도 값들의 변화가 사인과 모양으로 특정동작에 따라 비슷한 양상을 가지고 위상의 차이를 보이는 결과를 이용한 다양한 유영 동작을 만들어 내는 연구 또한 진행되어야 할 것이다. 또한 물방개의 유영패턴의 효율성을 보다 명확한 근거로 로봇에 적용시키기 위해 물방개자체의 구조와 질량 등의 물리적 특성을 파악하여 실제 제작될 로봇의 물리적 특성에 고려되어야 할 것이다.

효율적으로 로봇을 제어하기 위해서는 적은 제어요소로 보다 더 나은 작업 효율을 높이는 것이 중요하다. 우리는 추후 연구를 통해 생체모방기술 관점에서 좀더 다양한 유영 패턴을 걸러내고 이를 실험적으로 입증하여 특정방향으로 유영할 때의 다리궤적의 크기와 다리관절 각도 값들의 위상변화로 인한 유영패턴과의 상관관계를 토대로 작은 제어요소로 다양한 유영동작과 더불어 유영속도 또한 효율적으로 제어 할 수 있는 방법을 제시할 수 있을 것으로 예상된다.

참고문헌

- [1] Daehyun Kim, Jihong Lee, Seok-young Kim, Jong Hwa Lee, Bong-Hwan Jeon, Optimal Swimming pattern Research for underwater Robot, Department of Mechatronics Engineering Chung-Nam National university and Maritime & Ocean Engineering Research institute in Korea, 2011
- [2] Huosheng Hu, Biologically Inspired Design of Autonomous Robotic Fish at Essex, Department of Computer Science, University of Essex, Colchester CO4 3SQ, United Kingdom, 2006
- [3] Barrett, D., "MIT Ocean Engineering Testing Tank Biomimetics Project : RoboTuna", Citing Internet source URL <http://web.mit.edu/towtank/www/tuna/robotuna.html>, 2000

- [4] Chang-Hyun Chung, Sang-Hyo Lee, Kyoung-Sik Kim, You-Sung Cha, and Young-Sun Ryuh, Optimization of Input Parameters by Using DOE for Dynamic Analysis of Bio-inspired Robotic Fish 'Ichthus', University of Science & Technology, Korea Institute of Industrial Technology, 2010
- [5] MotionScope M1.0.3, Software of transferring video images, Citing Internet sources URL <http://redrake.com/>
- [6] Image J, Image processing software, Citing Internet sources URL <http://rsbweb.nih.gov/ij/>
- [7] Bong-Hwan Jeon, Modeling and Drag-Optimized Joint Motion Planning of Underwater Robotic Arms, ph. D dissertation, Chung-Nam National University in Korea, 1996
- [8] Daehyun Kim, Jihong Lee, Jong Hwa Lee, Bong-Hwan Jeon, Underwater robot leg design based on analysis for the swimming pattern of underwater diology, Department of Mechatronics Engineering Chung-Nam National university and Martime&Ocean Engineering Research institute in Korea, 2011
- [9] Daehyun Kim, Jihong Lee, Bong-Hwan Jeon, Optimazation simulation considering swimming pattern analysis of underwater biology and fluid drag coefficients, Department of Mechatronics Engineering Chung-Nam National university and Martime&Ocean Engineering Research institute in Korea, 2012



김 희 중

2004~현재 충남대학교 메카트
로닉스 공학과 학사 과정
관심분야: 로봇틱스, 다관절
로봇, 경로계획



이 지 흥

1983 서울대학교 전자공학과
(공학사)
1985 한국과학기술원 전기
및 전자공학과(석사)
1991 한국과학기술원 전기
및 전자공학과(박사)

1994~현재 충남대학교 메카트로닉스 정교수
관심분야: 로봇틱스, 위치추정, 경로계획