

수중유영로봇 Crabster의 최적 유영 구현

Optimal Swimming Motion for Underwater Robot, Crabster

김 대 현¹, 이 지 흥[†]

Daehyun Kim¹, Jihong Lee[†]

Abstract Recently, development of underwater robot has actively been in progress in the world as ROV(Remotely Operator Vehicle) and AUV(Autonomous Unmanned Vehicle) style. But KIOST(Korea Institute of Ocean Science and Technology), beginning in 2010, launched the R&D project to develop the robot, dubbed CRABSTER(Crab + (Lob)ster) in a bid to enhance the safety and efficiency of resource exploration. CRABSTER has been designed to be able to walk and swim with its own legs without screws. Among many research subjects regarding CRABSTER, optimal swimming patterns are handled in this paper. In previous studies, drag forces during one period with different values for angle of each joint were derived. However kinematics of real-robot and fluid-dynamics are not considered. We conducted simulations with an optimization algorithm for swimming by considering simplified fluid dynamics in this paper. Drag-coefficients applied to the simulation were approximated values calculated by CFD(Computational Fluid Dynamics : Tecplot 360, ANSYS). In addition, optimized swimming patterns were applied to a real robot. The experiments with the real robot were conducted in circumstances in the water. As a result, when the experiments were carried out in the water, a regular pattern of drag force output came out depending on the movement of the robot. We confirmed the fact that the drag forces from the simulation and the experiment has a high similarity.

Keywords: Underwater Robot, Optimal swimming pattern, CFD(Computational Fluid Dynamics), Biomimetics

1. 서론

첨단 과학 기술이 빠르게 발전하는 현대시대에 생체 모방공학은 이제 특별한 것이 아니게 되었다. 현대의 기술로 한계 점에 다다랐을 때 자연의 물질 및 생물들의 분비물 등에서 착안하여 의료분야 및 군사 분야에도 적용하는 사례들이 늘어나고 있다¹⁾. 특히 생체 모방 로봇들은 에너지효율 등의 이유로 육, 해, 공 모든 분야에서 활발하게 연구가 진행 되고 있다.

현재 육상 로봇보다 개발이 활발하지는 않지만 최근 각국의 해저 탐사에 관심이 높아지면서 수중 로봇에 대한 연구도 증가하는 추세이다. ROV(Remotely Operated

Vehicle), AUV(Autonomous Underwater Vehicle) 같은 수중로봇들이 가장 활발히 연구 되고 있으며 이미 상용화가 되기도 하였다²⁾. 1994년 MIT에서는 실제 참치의 지느러미와 비슷하게 설계한 인공 참치 지느러미를 사용하여 추진력을 실험 한 결과 프로펠러보다 인공 참치 지느러미의 효율이 높다는 연구 결과를 발표하였고, 국내에서도 여러 세대 동안 진화하여 현재의 형태를 가진 물고기의 모양과 수영 방법에 관심을 갖고 연구를 진행 하고 있다^{3,4)}. 또 수상 곤충의 특성을 이용한 로봇에 대한 연구⁵⁾와 수중 곤충의 모델링 및 유영 최적화 시뮬레이션⁶⁾ 등의 연구가 진행이 되었다. 하지만 해저 자원의 중요성이 부각되는 시점에서 수중로봇의 경우 ROV와 AUV를 제외 하고는 해저자원 탐사 및 채취 등이 가능한 수준의 로봇이 개발되지 않는 상태이다.

해양연구원에서는 자원 탐사의 안전성과 효율성을 증가 시키고자 2010년부터 Fig. 1과 같이 계와 가재를

Received : Aug. 23. 2012; Reviewed : Oct. 4. 2012; Accepted : Nov. 7. 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".

¹ Mechatronics Engineering, Chung-Nam National University, (kdhenjoy@cnu.ac.kr)

[†] Corresponding author : Mechatronics Engineering, Chung-Nam National University, jihong@cnu.ac.kr



Fig. 1. CRABSTER being developed

닭은 Crabster(Crab +(Lob)ster)라는 이름의 해저 로봇 연구에 착수 하였다. 이 로봇은 조류와 악 시계를 극복 할 수 있으며 프로펠러가 없어 부유물을 적게 발생하는 장점이 있다. 본 논문에서는 여러 가지 연구 방향 중에 최적의 유영 패턴을 시뮬레이션으로 구현하고, 최적의 유영이라 판단된 유영 패턴을 실험용 로봇에 적용하여 실제 로봇에 적용 가능한지 검증 할 것이다.

2. Crabster용 로봇 제작

2.1 Biomimetic 구조 설계

2.1.1 수중생물의 유영 패턴 분석

첫 번째로 개구리의 유영 패턴은 Fig. 2와 같다. (a)는 개구리의 정지 동작이고 (b)는 개구리가 전진할 때 발을 젖는 동작이다. 여기에서 3번 Link(발바닥)의 면적을 더 크게 함으로써 추진력을 극대화 시킨다. (c) 동작은 최대한 뻗은 후에 다시 원상태로 돌아오는 동작으로써 3번의 Link의 면적은 다시 최소로 작아졌다.

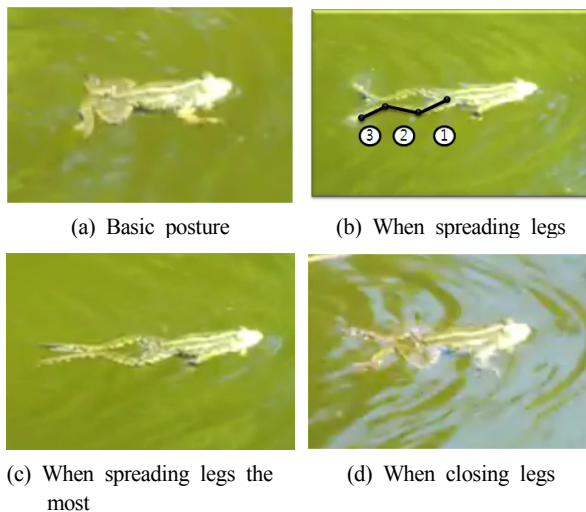


Fig. 2. Swimming pattern of frog

또 연속 동작으로 보면 다리를 뻗을 때 3번 Link는 사람이 평영을 할 때에 팔을 뻗었다가 뒤로 젖는 동작과 유사하며 오므릴 때는 팔을 저은 다음 다시 앞으로 뻗는 동작과 유사함을 볼 수 있다.

두 번째로는 붉은귀거북(Fig. 3)의 유영 방법이다. 개구리는 뒷다리만으로 유영을 하는 반면 붉은귀거북은 네 다리 모두 사용하여 유영을 한다. Fig. 3의 (a)는 붉은귀거북의 다리 관절을 나타내었다. 2번 관절은 실제로 발바닥과 발가락 2개의 Link로 되어있다. 하지만 유영을 할 때에 같이 움직이기 때문에 하나의 Link로 표현 하였다. (b)는 네 개의 다리 움직임을 나타낸다. 앞 방향으로 움직일 때 3번의 화살표 방향과 같이 도마뱀 또는 강아지가 걷는 것과 비슷한 동작으로 유영을 하였다. (c)와 (d)는 각각 앞다리, 뒷다리의 유영 패턴을 관찰 한 것으로써 1번은 발바닥의 각도 움직임이고, 2번 다리의 움직임 방향, 3번은 다리가 움직이는 순서 이다.

마지막으로 물방개는 현재 개발 중인 로봇과 더 유사한 구조를 가지고 있다. 첫째로 다리의 개수가 같다. 둘째로 각 다리의 관절 개수가 비슷하다. 물론 물방개의 3번 Link는 관절 개수가 상당히 많다. 하지만 3번 다리는 모든 관절이 같은 방향이기 때문에 하나로 단순화 할 수 있다. Fig. 4의 물방개는 유영을 할 때에 앞다리와 가운데 다리는 거의 사용하지 않고 뒷다리만으로 유영을 하며 방향 까지도 뒷다리만으로 바꾼다. 또 개구리, 거북이와 같이 발바닥을 펼칠 수는 없지만 발바닥에 나 있는 솜털을 이용해서 면적을 넓혀 다리

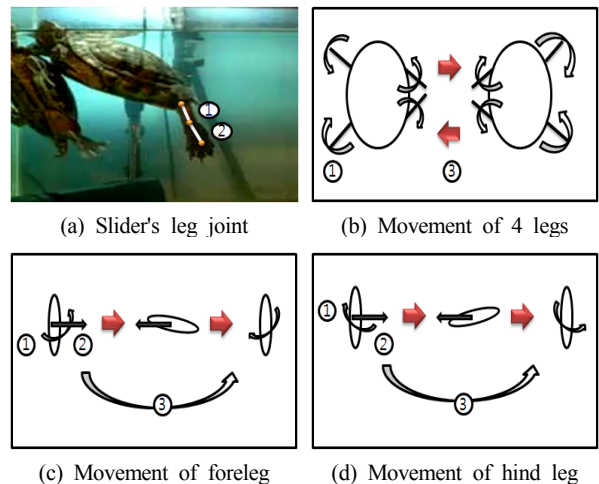


Fig. 3. Swimming pattern of red-eared slider



(a) Leg joint of diving beetle (b) When spreading the legs
Fig. 4. Swimming pattern of a diving beetle

를 뺏음으로써 추진력을 극대화 시킨다.

위의 세 가지 생물의 유연 패턴을 분석한 결과 공통점은 1번, 2번 링크의 Roll 방향에 대한 회전은 거의 없음을 볼 수 있다. 또 추진 시에 모든 링크를 최대한 뺏음으로써 운동 방향에 대한 유체에 작용하는 링크의 단면적이 최대가 되도록 하였다. 또 오므릴 때에는 1, 2번 링크를 구부린 채 움직였으며, 3번 링크의 단면적 또한 감소시킴으로써 물의 저항을 최소화 시켰다.

2.1.2 생물체 다리의 기구학적 설계

앞의 2.1.1절에서 분석한 수중 생물의 다리구조를 적용하여 3축 로봇 다리의 기구학을 설계하였다. 설계된 로봇은 수중 생물들과 같이 3축으로 설계되었고 Roll 관절이 포함되었다. 그러나 3번 관절에 Roll 관절이 있는 생물체와 달리 2번 관절에 Roll 관절을 설계하였다. 그 이유는 해양과학기술연구원의 로봇다리 2번 관절이 Roll 관절로 설계 되었고, 생물체의 유연 패턴을 적용하기에 문제가 되지 않는다고 판단하였기 때문이다.

모델링 된 다리는 Fig. 5와 같다. 3번째 Link는 Roll이 가능한 관절로써, 각도에 따라 면적을 조절 할 수 있다. D-H 파라미터는 Table 1과 같다.

본 논문에서는 Table 1에서 Link1의 길이를 나타내

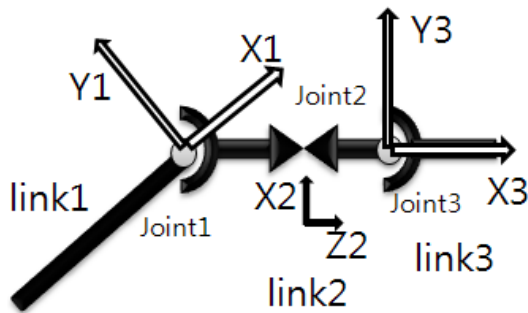


Fig. 5. Kinematics design of considering biomimetic structure

Table 1. D-H parameter

	θ_i	α_i	d_i	a_i
1	θ_1	90	L1	0
2	θ_2	0	0	L2
3	θ_3	0	0	L3

는 $a_1 = 287\text{mm}$, Link3의 길이 $d_1 = 210\text{mm}$ 로 설계하였고, Link2는 짧기 때문에 3번 관절과 같은 지점의 좌표계를 사용하였다.

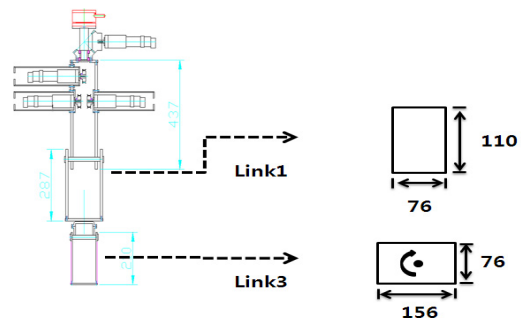


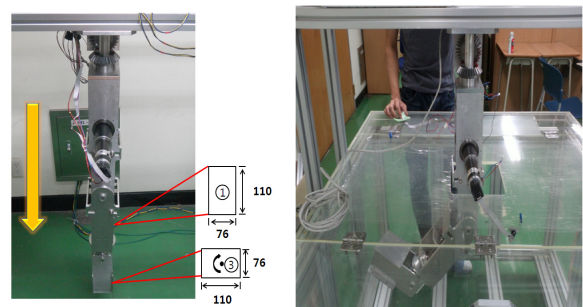
Fig. 6. Robot sketch and Cross section of links

2.2 로봇 제작

Fig. 6에서 설계된 로봇은 몇 가지 중요한 관점에서 설계 되었다.

1. 방수를 위한 구조
2. 수밀 효과를 방지하기 위한 수조 설계

결과적으로 제작된 로봇은 Fig.7과 같다. 모터를 수면 위에 설치함으로써 방수처리를 위한 설계 시간 및 비용을 줄였다. 또 Fig.7의 (b)에서 보듯이 1번 관절에서 약 10센티 떨어진 부분에 수조의 덮개를 장착함으



(a) Robot leg manufactured (b) Robot leg and water tank
Fig. 7. Robot drawing and Link section

로써 물이 넘치는 것을 방지 하였고 물이 출렁이는 것을 방지함으로써 수면 효과를 줄이도록 제작 되었다. 그러나 실제 실험한 결과 수면효과에 대한 부분을 모델링 할 수 없었기 때문에 증명은 하지 못하였다.

3. 유체역학이 고려된 유영 패턴 최적화 시뮬레이션

이번 장에서는 수중로봇의 운동에 중요한 요소 중 하나인 항력 계수를 전산유체 프로그램으로 구하여 유영 패턴 최적화 시뮬레이션에 적용한 결과를 보였다.

3.1 제작된 로봇의 항력 계수 추정 시뮬레이션

Link1, Link3의 단면적은 Fig. 7의 (a)와 같다.

Link1은 X-Y 평면 운동을 할 수 있으며 Link3은 Roll-관절형태로써 각도를 바꿀 때 마다 단면적이 바뀌게 된다. Roll-관절의 각도에 따른 유체의 항력 계수를 Fig. 8과 같이 시뮬레이션을 통하여 구하였다. Fig. 8의 시뮬레이션은 30도 마다 각각의 유체 계수를 추정 한 것을 나타낸다. 현재는 물체의 움직임에 따라 유체의 항력계수 등이 실시간으로 측정이 되는 프로그램이 개발이 되어 있지 않아 일반적으로 특정 각도 또는 모션에서의 유동 해석이 이루어지고 있기 때문에 본 연구에서도 Fig. 8과 같은 방법을 사용 하였다.

Fig. 8에서 각각의 각도에서 첫 번째 그림은 유체의 흐름을 나타낸 것이고 두 번째 그림은 추정된 유체

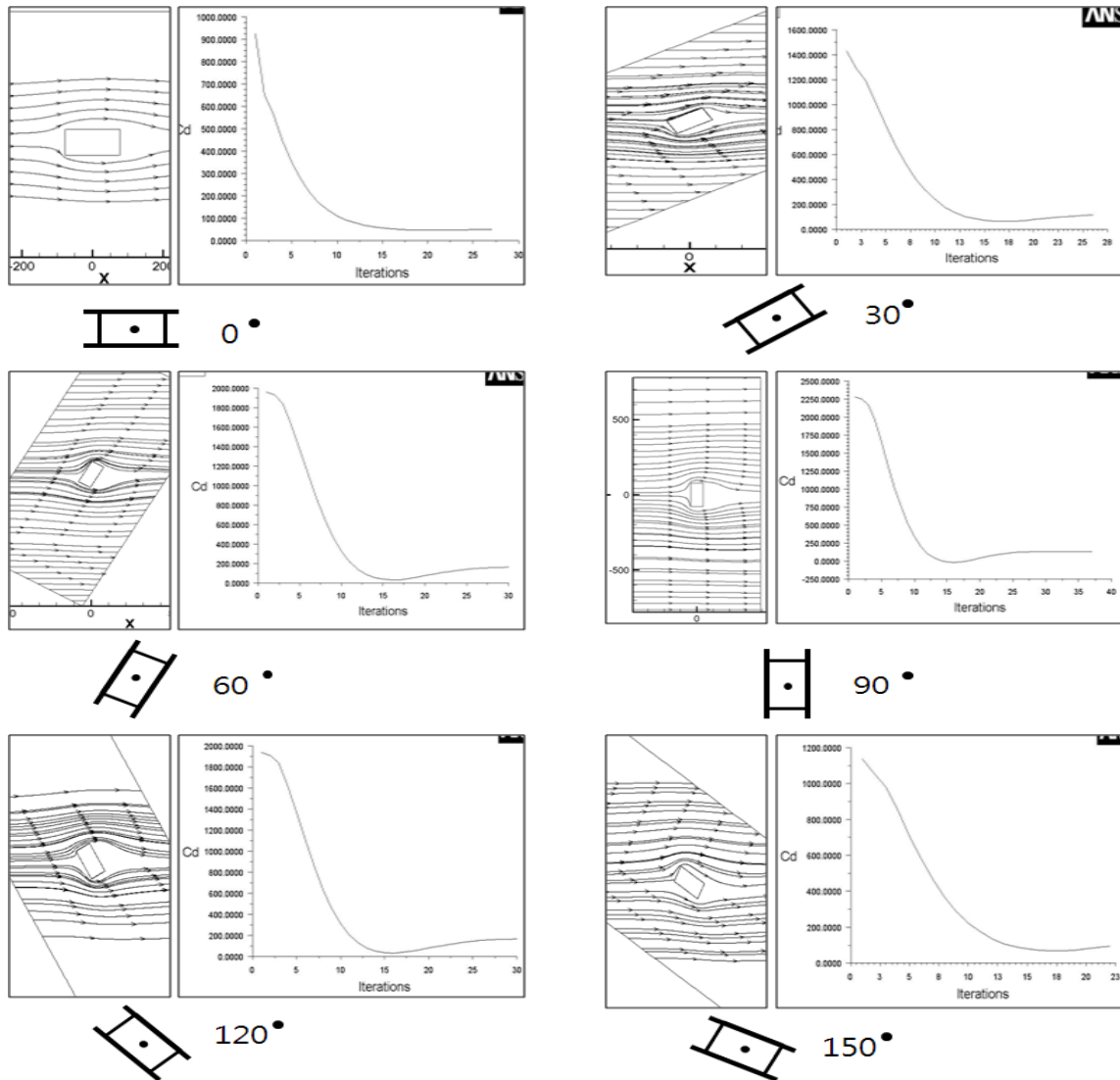


Fig. 8. Simulation for estimating drag coefficient using CFD(Computational Fluid Dynamics)

항력 계수를 나타낸다.

Fig. 8과 같이 몇 가지 경우의 유체항력 계수를 시뮬레이션을 통하여 추정한 결과 Table 2와 같이 나타났다. 직관적으로 볼 때에는 90°일 때에 항력 계수가 가장 클 것이라고 생각이 되었으나 Table 2의 경우를 살펴보면 60°, 120°부분에서 유체 저항이 더 심한 것을 볼 수 있었다. 그 이유는 Fig. 9와 같다. 로봇의 다리 단면이 사각형이기 때문에 유체에 대한 로봇다리의 단면적이 90°일 때보다 60°와 120°일 때가 단면적이 넓어지기 때문이다.

여기에서 추정된 값을 최적화 알고리즘에 적용하여 추진 방향으로 최대의 힘이 나오도록 계수를 추정 하였다.

Table 2와 같이 구해진 값들은 모든 각도에 따른 항력 계수 값을 표현 하진 않는다. 그렇기 때문에 식 (1) 과 같이 다항식 풀이를 이용하여 함수로 근사화를

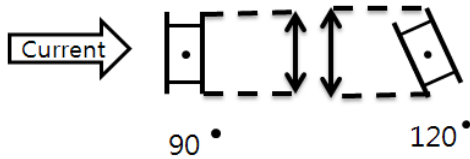


Fig. 9. Cross-sectional area comparison of a robot leg in cases of 90° and 120° influenced by fluid flow

Table 2. Estimation of drag coefficient

	Drag coefficients	Currunt(m/s)
0°	0.5001	1
30°	1.1707	1
60°	1.6355	1
90°	1.3108	1
120°	1.6925	1
150°	1.1607	1

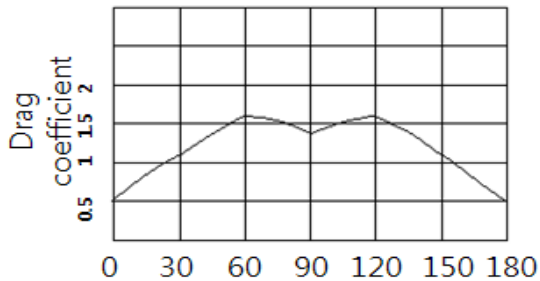


Fig. 10. Drag coefficient graph approximated using Equation.1

시켰다. σ_j 는 유체의 흐름에 로봇 다리가 향하는 각도 이다. 이것을 식 (2)의 $C_{Dj}(\sigma_j)d_{pj}$ 에 적용하면 항력 (df_{Dj})을 구할 수 있다. 이를 그래프로 나타내면 Fig. 10과 같다.

$$C_{Dj}(\sigma_j) = A\sigma_j^6 + B\sigma_j^5 + C\sigma_j^4 + D\sigma_j^3 + E\sigma_j^2 + F\sigma_j + G \quad (1)$$

$$df_{Dj} = -\frac{1}{2}\rho C_{Dj}(\sigma_j)d_{pj} \|\vec{v}^{n_j}\| \vec{v}^{n_j} dl \quad (2)$$

3.2 추정된 항력 계수를 적용한 유연 패턴 최적화 시뮬레이션

시뮬레이션을 위한 Dynamics는 식 (3)과 같다. 수중로봇의 Dynamics는 일반적인 관절 로봇에서 유체 항력 요소가 추가 되어 있다.

$$M(\theta)\ddot{\theta} + C(\theta, \dot{\theta}) + D(\theta, \dot{\theta}) + G(\theta) = \tau \quad (3)$$

여기에서 $M(\theta)$ 는 로봇 다리의 $n \times n$ 관성행렬이고, $C(\theta, \dot{\theta})$ 는 원심력과 코리올리스 항의 $n \times 1$ 벡터이다. $G(\theta)$ 는 $n \times 1$ 중력 벡터이다. $D(\theta, \dot{\theta})$ 는 유체 항력에 관한 식이다. 일반적으로 유체 항력은 Drag와 Lift 두 가지 힘의 합으로 이루어져 있다. Drag Term 은 식 (4)와 같이 나타내고, Lift Term 은 식 (5)와 같이 나타낸다. 그에 따라 $D(\theta, \dot{\theta})$ 는 식 (6)과 같이 나타낼 수 있고 참고문헌에 자세한 유도식이^[6] 나와 있다.

$$\tau_{Di} = \sum_{j=1}^n \tau_{Dij}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

$$\tau_{Li} = \sum_{j=1}^n \tau_{Lij}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

$$D(\theta, \dot{\theta}) = -[\tau_{T1}, \dots, \tau_{Tn}]^T, \quad \tau_{Ti} = \tau_{Di} + \tau_{Li} \quad (6)$$

$$M = \begin{bmatrix} M_{11} & 0 & 0 \\ 0 & M_{22} & M_{23} \\ 0 & M_{32} & M_{33} \end{bmatrix}, \quad (7)$$

위의 식 (3)을 Drag force의 항으로 나타내면 식 (8)이 되고 이 식을 최적화 알고리즘인 GA 알고리즘의 목적 함수로 사용하였다. 최적화 과정은 Table 3과 같이 경계조건을 정해주었고 각 관절의 각도 값을 식

Table 3. Constraints

Joint	Angle(Degree)			Velocity(rad/s)			Accel(rad/s ²)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Max	90	30	90	+1.05	+1.05	+1.05	+1.05	+1.57	+1.57
Min	-90	-60	-90	-1.05	-1.05	-1.05	-1.05	-1.57	-1.57

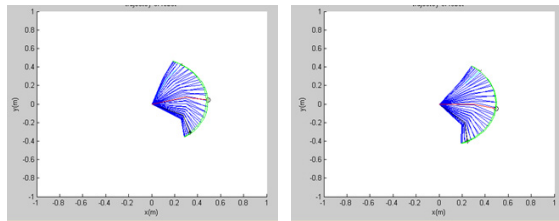
(8)의 수식에 의해 한 주기 동안의 항력을 출력하도록 하였다. 그 중에서 가장 작은 값이 최적의 값으로 출력되며 그때의 각 관절 운동을 확인하면 Fig. 11과 같은 유영 패턴이 나온다^[6].

$$f = \int_0^T e_d^T \cdot JM^{-1} D dt \quad (8)$$

e_d^T 는 단위 방향 벡터이고, J 은 자코비안 매트릭스, M^{-1} 관성행렬의 역행렬, D 는 유체항력 관련항이다. 이 식의 해는 토크로 출력이 되며 단위는 Nm 이다. 위의 목적함수에서 $e_d^T = [1 \ 0 \ 0]$ 으로 설정하여 X축의 양의 방향으로 최소의 힘이 나오도록 설정 하였다. 시뮬레이션의 초기 경계 조건은 Table 3과 같이 주었다.

시뮬레이션은 3번 Link가 90°로 고정 되어 항력 계수가 변하지 않을 때와 Fig. 10과 같이 각도에 따라 항력 계수가 변할 때 두 가지 방법으로 최적 유영 패턴을 구하고 그때의 항력을 비교 하였다.

결론적으로 (a)의 값이 약 34% 크게 나왔다. 즉 단면적을 변화 시켜 유영을 할 때 더욱 효율적임을 알 수 있었다.



(a) Swimming pattern when drag coefficient varies (-78.579N) (b) Swimming pattern when drag coefficient does not vary (-58.228N)

Fig. 11. Result of swimming pattern optimization simulation

4. 실제 로봇에 유영 패턴을 적용하여 실험

이번 장에서는 시뮬레이션으로 구한 최적 유영 패턴의 각 관절 경로를 실제 로봇에 적용하여 항력을 구

하는 실험을 하였다. 먼저 부력을 측정하는 실험을 하여 실제 로봇에 작용하는 부력 요소를 제거 하고자 하였다. 또 각 관절의 속도에 따라 항력을 측정 하였다.

4.1 부력 측정 실험

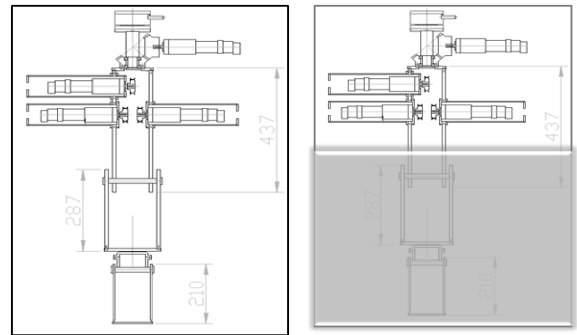
식 (8)에서 G 항은 부력이 고려된 항이다. 공중에서 G 항은 식 (9)와 같지만 수중에서의 G 는 식 (10)과 같이 나타난다.

$$M(\vec{q})\ddot{q} + C(\vec{q}, \dot{q}) + D(\vec{q}, \dot{q}) + G(\vec{q}) = t \quad (8)$$

$$g = \sum_{j=i}^n -m_j g U_{ji}^j \bar{r}_j \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (9)$$

$$g = \sum_{j=i}^n -(m_j + \rho \nabla_i) g + \rho \nabla_i U_{ji}^j \bar{r}_j, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

수식적으로 부력 값은 10^{-3} N정도로 아주 작은 값으로 계산 되었다. 실험적으로도 값이 비슷한지 알아보기 위해 Fig. 12와 같이 실험을 진행 하였다. (a)는 공중에서의 센서 측정 Fig 이고, (b)는 수중에서의 센서 측정이다. 그 결과 센서 값이 거의 변하지 않는 것을 확인하였다. 즉 현재 우리가 만들어서 사용하는 로봇에는 부력을 고려할 필요가 없다고 판단하였다.



(a) Sensor measuring in air (b) Sensor measuring in water

Fig. 12. Buoyancy measuring

4.2 유영 패턴을 적용한 항력 측정 실험 결과

이 장에서는 Fig. 11의 패턴을 로봇에 적용하여 실험을 한 결과를 기술 하였다. 실험 내용은 수중에서 로봇 다리를 움직일 때 힘 센서로 출력되는 데이터를 분석하였다.

Fig. 13 사진의 좌측은 수중에서 실험하기 위한 실



Fig. 13. The test applying the swimming pattern in the water

힘 장치이다.

Fig. 14는 수중에서 실험을 했을 때 힘 센서 데이터로 출력되는 F_x 결과 값이다. T_y 와 F_x 를 제외 하고 다른 값들은 거의 0의 값을 출력 한다. 여기에서는 로봇이 움직이는 방향으로 항력이 작용한다. 로봇이 Y축을 중심으로 움직이기 때문에 Fig. 14와 같이 F_x 가 작용한다. T_y 는 로봇이 Y축을 중심으로 움직이기 때문에 Y축에 토크가 발생하여 Fig. 16과 같은 그래프가 출력 된다.

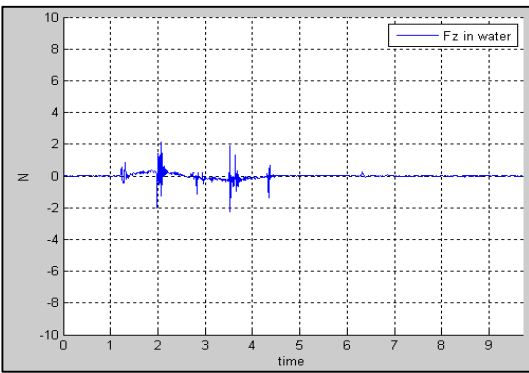


Fig. 14. Test applying swimming pattern in the water (F_x data)

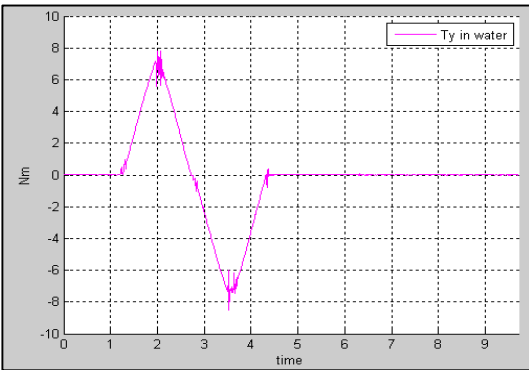


Fig. 15. Test applying swimming pattern in the water(T_y data)

Fig. 16은 Fig. 14의 F_x 데이터와 시뮬레이션으로 얻은 F_x 방향에 대한 항력 데이터를 비교한 그림이다. 화살표로 표시 한 것과 같이 점선으로 표시된 한 주기 동안의 시뮬레이션의 항력데이터와 실험 데이터는 로봇의 움직임에 따라 일정한 패턴을 보임을 확인 할 수 있었다. 그러나 수치적으로는 시뮬레이션과 같이 정확한 값을 얻지 못하였다. 이는 로봇의 정확한 계수 및 Dynamics가 시뮬레이션에 반영되지 않았기 때문으로 생각이 된다. 추후 이런 부분이 더 연구가 되면 시뮬레이션과 수치적으로도 비교가 가능 할 것으로 생각 된다.

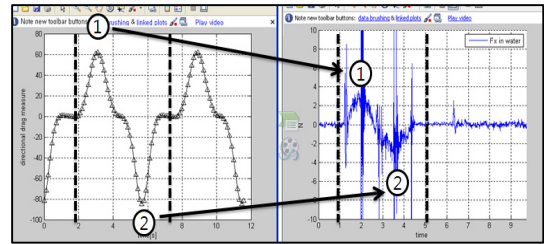


Fig. 16. Comparison between the drag from simulation and the test

5. 결론

본 연구에서는 시뮬레이션으로 수행된 로봇의 수영 패턴을 실제 로봇에 적용하여 항력을 측정 하였다. 또한 시뮬레이션에서 출력된 항력과 실험에서 출력된 항력을 비교 분석하여 앞으로 실제 제작될 로봇에 적용하기 위한 연구를 진행하였다. 그 결과 항력 데이터가 시뮬레이션에서 출력된 데이터와 실험으로 획득한 데이터가 일정한 패턴을 갖는 것을 확인 하였다.

추후 연구 방향은 로봇을 두 개의 다리로 제작하고 시뮬레이션 또한 두 개의 다리로 확장을 시킬 것이다. 또 그에 대한 해석 방법도 연구해야 할 것이다. 그 이유는 두 개의 다리를 이용하여 수영을 할 때 각각의 다리에서 발생하는 추진력 뿐 아니라 두 개의 다리에서 모아지는 부분에서 펌핑 효과가 발생하여 더욱 큰 추진력이 발생하기 때문이다.

참고문헌

[1] Seng-ki Kim, “Nothing new under the Sun - Biomimetics”, Health world, v46, no.8, pp.46-49,

1999

- [2] Yeo Taegyung, Seob Hong, Bong-hwan Jeon
“Current trend of the study on underwater multi robot”, ICROS, v.16, no.1, pp.23-34, 2010
- [3] Hyung-seok Kim, Vo Tuong Quan, Byung-ryong Lee, Ho-young Yoo, “The study on dynamic analysis of 3-free fish robot and optimization of swimming parameter”, Korean Society of Mechanical Engineer papers Book A, Vol 33, No 10, pp.1029-1037, 2009
- [4] Chang-hyun Chung, Sang-hyo Lee, Kyung-sik Kim, Yoo-sung Cha, Young-seon Ryu, “optimization of input parameter using DOE for dynamic analysis of Biomimetics fish robot Ichthus”, Journal of Institute of Control, Robotics and Systems Vol 16, No 8, pp.799-803, 2010
- [5] Duck-gyu Lee, Ho-young Kim, “Study on the Floating and Sinking of Insects Living on Water”, Korean Society of Mechanical Engineer papers Book B, Vol 30, No 10, pp.982-986, 2006
- [6] Bong-hwan Jeon, “Modeling and Drag-Optimized Joint Motion Planning of Underwater Robotic Arms”, Ph.D.diss Dept of Mechatronics, Chung-Nam National Univ, 2006
- [7] Dae-Hyun Kim, Ji-hong Lee, Seok-yong Kim, Jong-hwa Lee, Bong-hwan Jeon, “The study on optimal swimming pattern of underwater robot”, ICS'11, April, pp.171-172, 2011



김 대 현

2009 충남대학교 메카트로닉스공학과 (공학사)

2010~현재 충남대학교 메카트로닉스공학과 석사과정

관심분야: 수중로봇 설계 및 제어, 자율이동로봇, 경로 계획

E-mail : kdhenjoy@cnu.ac.kr



이 지 흥

1983 서울대학교 전자공학과 (공학사)

1985 한국과학기술원 전기 및 전자공학(석사)

1991 한국과학기술원 전기 및 전자공학(박사)

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

E-mail : jihong@cnu.ac.kr