

수영장 청소 로봇 개발 및 청소성능지표

Development of a Pool Cleaning Robot and its Cleaning Performance Evaluation

김진혁¹, 김진현[†]

Jinhyuk Kim¹, Jinhyun Kim[†]

Abstract In this paper, developing of a pool cleaning robot is addressed. First, we analyze commercial pool cleaning robot mechanisms, and the merits and demerits of wireless version of a pool cleaning robot is introduced. And then the water-jet moving mechanism for a pool cleaning robot is proposed to improve energy efficiency and mechanical design advantage, which is one of the strong candidates for wireless pool cleaning robots. Next, the method of cleaning performance evaluation of pool cleaning robots is firstly defined with five key factors, and it was verified by experimental results. If the cleaning performance can be quantitatively defined, we can design optimally a pool cleaning robot, which results in the cost down.

Keywords: Pool cleaning robots, Cleaning performance evaluation, Water-jet mechanism

1. 서론

최근 여가시간의 증가로 인하여 스포츠 산업이 발달하고 있으며 그 중에서도 수영장의 수 및 이용자는 급증하는 추세이다. 2008년 통계청 조사에 따르면 국내 수영장 관련시설은 약 5,200여 곳이 있으며, 2010년 문화관광부 공공 수영장 시설의 변화자료에 따르면 수영장 관련 등록업체의 경우 매년 평균 9.65%씩 증가하고 있다. 해마다 증가하는 수영장 운용에 있어 해외에서는 청결유지 및 인건비 감소를 위해 수영장 청소 로봇을 개발 및 상용화하여 사용하고 있으며 국내에서도 수영장 청소 로봇을 통한 수질 관리가 보편화되고 있다^[1].

일반 가정용 청소기는 바닥의 먼지를 흡입하여 필터에서 걸러준 뒤에 정화된 공기만 밖으로 배출하는 방식으로 청소를 진행하며 이와 유사하게, 수영장 청소

로봇 역시 바닥의 이물질을 제거하기 위해 펌프를 통해 수영장 바닥에서 이물질이 섞여있는 물을 흡입하여 필터에 걸러 정화된 물만 밖으로 내보내는 방식으로 청소를 수행한다.

Fig. 1은 상용화되어 있는 수영장 청소 로봇의 몇 가지 예를 보여주고 있으며, Table 1은 Fig. 1의 수영장 청소 로봇 사양을 비교하여 정리한 표이다.

현재 상용화 되어있는 수영장 청소 로봇들은 대부분 케이블을 이용해 전원을 공급받는 방식으로 작동되며, 무선 방식의 청소 로봇이 출시된 바가 있지만 작동 시간이 짧고, 흡입력이 약해 이용에 제약이 있기 때문에 편리성은 높지만 아직까지는 개선의 여지가 많다. 일반적으로 유선 구동 방식 수영장 청소 로봇의



Fig. 1. Commercial pool cleaning robots

Received : Jul. 1. 2012; Reviewed : Aug. 8. 2012; Accepted : Sep. 12. 2012
 ※ This study was partially supported by Seoul National University of Science and Technology.

[†] Corresponding author: Mechanical Engineering, Seoul National University of science and Technology, Gongneung-2-dong, Nowon-Gu, Seoul, Korea (jinhyun@seoultech.ac.kr)

¹ Mechanical Engineering, Seoul National University of science and Technology (kjindol@gmail.com)

Table 1. Specifications of commercial pool cleaning robots

Name	Nitro wall scrubber	Navigator II	Pro x battery
Suction rate	316ℓ/m	1,200ℓ/m	267ℓ/m
Type of Filter	2μm	50μm	50μm
Cable Length	18m	40m	Wireless
Weight	4.5kg	68kg	27.5kg
Cleaning Cycle	3 Hour	2 Hour	1 Hour

경우 케이블 엉킴 방지 및 정리를 위해 청소 로봇의 운용 전후 준비 과정과 정리 시간이 많이 소요되며, 케이블 길이에 따른 청소 구역 제약 때문에 청소가 미흡한 구간이 발생하기도 한다.

Mariner 3s 사의 수영장 청소 로봇은 각종 센서를 활용하여 정해진 시간 내에 청소를 효율적으로 수행하기 위해 수영장의 모양에 따라 적합한 주행 알고리즘을 적용하여 청소를 하고 있으며, 대부분 Fig. 2와 같이 3가지 알고리즘이 사용되고 있다.

첫 번째는 지그재그(zig-zag) 방식으로 간단하지만 선회가 필요 없어 작업시간을 줄일 수 있고, 두 번째는 순차 이동 방식으로 겹치는 구간 없이 청소를 할 수 있다. 세 번째는 자율주행 랜덤 구동 방식으로 별다른 알고리즘이 없이 주행만 하는 방식이다. 지그재그 방식 및 순차 이동 방식이 적용된 청소 로봇은 자율주행 랜덤 구동 방식에 비해 동일한 시간 대비 청소 효율이 좋다고 알려져 있다^[2]. 그러나 지그재그 방식 또는 순차 이동 방식을 활용하기 위해서는 기구적으로 청소 로봇의 직진 성이 보장되어야 하고 자기 위치 인식(Localization) 센서 및 알고리즘 등이 탑재되어야 하기 때문에 비용 증가의 문제가 발생하게 된다. 따라서 저가의 수영장 청소 로봇의 경우 대부분 랜덤 구동 방식을 적용하여 비효율적이긴 하지만 장시간 청소를 수행하는 방식으로 운용되고 있다.

한편 유선형 청소 로봇의 경우 운용 시간의 제약이

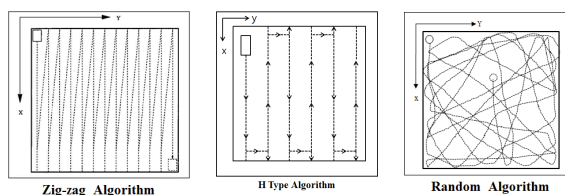


Fig. 2. Algorithms of Mariner 3S pool cleaning robots

적기 때문에 비용만 해결된다면 어떠한 주행 알고리즘도 활용이 가능하지만, 무선형 청소 로봇의 경우 배터리의 제약으로 한정된 운용시간 내에 청소를 진행할 수 있어야 하기 때문에 청소 알고리즘에 대해서도 충분한 고려가 이루어져야 한다.

청소 알고리즘과 더불어 청소 효율에 대한 고려도 무선형 청소 로봇의 경우 매우 중요한 설계 요소이다. 고효율 무선 방식의 수영장 청소로봇 개발을 위해 토출 에너지를 활용한 고효율의 워터젯 분사 방식 이동 메커니즘 연구가 진행된 바 있다^[3]. 동일한 청소 성능을 보이면서도 낮은 사양의 펌프, 빠른 청소 시간 등을 구현할 수 있다면 유선 방식에 비해 사용 편리성이 매우 높기 때문에 무선형 청소 로봇 생산 및 보급이 활발해 질것으로 생각된다. 이를 위해 먼저 청소 효율을 높이기 위한 최적의 설계 조건 도출이 필요하다. 제한된 운용 시간에 청소의 효율을 높이기 위해 최적의 청소 조건을 정의하여 메커니즘에 반영한다면, 충분히 기존 유선 방식과 유사한 청소 성능을 보여줄 수 있을 것으로 판단된다. 이를 위해 청소 효율 및 성능을 정량적으로 나타내기 위한 평가항목 기준이 필요한데, 수영장 청소 로봇의 경우 아직까지 이에 대한 기준이 마련되어 있지 않으며, 기초적인 청소 성능을 검증하기 위한 실험적 검증 방법 및 실험 환경 구축, 이론적 배경 정도가 소개된 바 있다^[4].

본 논문에서는 케이블에 의한 제약이 없는 새로운 방식의 무선 수영장 청소 로봇 메커니즘을 제안한다. 에너지를 절약하고 청소 효율을 높일 수 있는 이동 알고리즘 구현을 위해 워터젯 방식의 이동 메커니즘을 적용하여 청소를 위해 사용되는 펌프의 토출 유량을 활용한 이동 방법을 구현하였다. 워터젯 메커니즘을 통해 이동에 소요되는 추가적인 에너지를 절약할 수 있으며, 추가적으로 이동을 위한 복잡한 구동 메커니즘을 제거할 수 있다.

또한 국내에 아직 표준화 되어있지 않은 수영장 청소성능 지표를 위한 방법과 이를 통한 최적의 설계 조건을 찾는 것을 제안하고, 제안된 방법으로 청소성능 평가를 위해 실험 장치를 설계 및 제작하여 청소 로봇을 객관적으로 평가하였다.

2. 수영장 청소 로봇 이동 메커니즘

2.1 수영장 청소 로봇의 일반적인 구조

Fig. 3은 Mariner 3S사에서 제공하는 Compact600 제품의 개념도이다^[5]. 시판되는 일반적인 수영장 청소 로봇의 구조는 Fig. 3과 같이 펌프에서 물을 흡입하여 필터로 걸러진 물을 토출하고, 구동부를 위해 개별적으로 모터를 설치하여 제어하는 방식으로 되어 있다^[6]. 대부분의 유선형 청소 로봇이 위와 비슷한 방식을 가지고 있으며, 에너지를 효율적으로 활용하기보다는 청소 성능을 강조하였다.

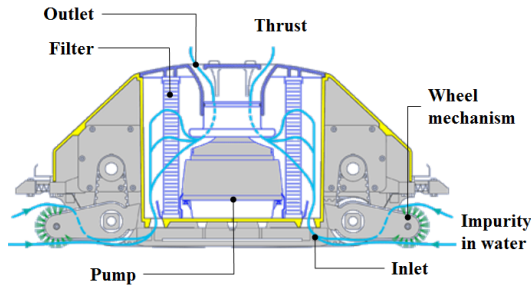


Fig. 3. Fluid mechanics of mariner 3S-compact600

2.2 워터젯 방식의 수중 이동 메커니즘

본 논문에서는 일반적인 수영장 청소 로봇에서 청소 후 버려지는 토출 유체의 에너지를 로봇을 구동하기 위한 동력으로 활용하는 워터젯 방식의 수중 이동 메커니즘들을 제안하고, 이를 활용하여 로봇을 제작하였다. 청소를 위해 사용되는 에너지를 재활용하여 적은 에너지와 간단한 메커니즘을 통해 이동 효율을 높일 수 있으며, 이동을 위한 추가적인 모터 및 복잡한 이동 메커니즘을 제거할 수 있기 때문에 비용적인 측면에서도 장점을 가지고 있다^[3]. 본 논문에서는 총 3가지 다른 형태의 메커니즘을 제안하였으며, 모두 워터젯 방식을 기반으로 하고 있으나, 구동 방식에서 조금씩 다른 특징들을 가지고 있다.

2.2.1 2DOF-1Jet Turret type [Type 1]

Fig. 4는 서보 모터(Servo Motor)로 토출부 각도에 변화를 주어 토출력으로 이동하는 2자유도 1축 메커니즘으로 제작된 로봇과 개념도를 보여주고 있다. Fig. 4에서 단면 A_1 과 A_2 사이에서 관내 유체의 유동 손실은 수직 분력 식(1)과 수평 분력 식(2)의 합으로 식(3)과

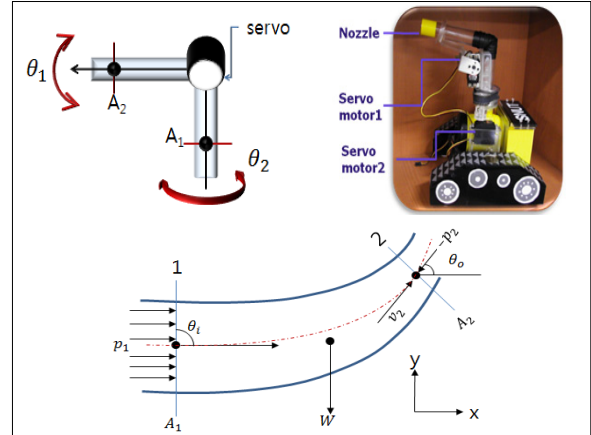


Fig. 4. Schematic diagram of 2DOF-1jet moving mechanism

같이 나타낼 수 있다. 곡관에서의 유동은 속도와 힘을 수평방향 (x 방향) 성분과 수직방향(y 방향, 중력방향)으로 나누어 표현할 수 있다^[7].

$$f_x = p_1 A_1 \cos \theta_i - p_2 A_2 \cos \theta_o + \rho Q (v_1 \cos \theta_i - v_2 \cos \theta_o) \quad (1)$$

$$f_y = p_1 A_1 \sin \theta_i - p_2 A_2 \sin \theta_o + \rho Q (v_1 \sin \theta_i - v_2 \sin \theta_o) - W \quad (2)$$

$$f = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \quad (3)$$

위 식에서 단면 1, 2에서의 단면적을 A_1 , A_2 , 밀도를 ρ , 압력은 p_1 , p_2 로, 유량을 Q , 평균유속을 v_1 , v_2 로 나타내었고, θ_i , θ_o 는 입구와 출구방향에서 유체가 진행하는 속도와 압력이 수평방향과 이루는 각도를 나타낸 것이며, W 는 유체의 중력을 나타낸다.

본 메커니즘을 갖는 로봇은 θ_i 의 각도를 변화시킴에 따라 속도를 제어할 수 있으며, θ_o 를 회전시킴에 따라 선회를 할 수 있도록 설계하였다. 그러나 제자리 회전(Standstill Turning)은 불가능하고 선회 반경이 필요하다라는 단점이 있다.

2.2.2 1DOF-2Jet Differential type [Type 2]

Fig. 5에 나타낸 방식은 1자유도를 갖는 2개의 토출 노즐로 구동되는 로봇으로 두 개의 토출부의 분사 각도를 활용하여 제자리 선회, 직선 이동, 방향 전환이

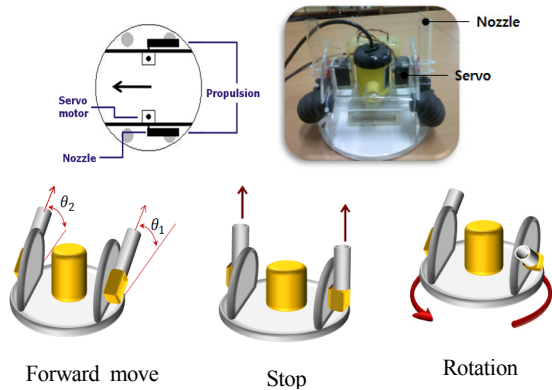


Fig. 5. Schematic diagram of 1DOF-2jet moving mechanism

가능한 차륜 구동형 이동 로봇과 동일한 메커니즘으로 구동된다. 두 개의 토출부를 갖는 로봇은 펌프에서 좌우의 노즐로 분배되는 유량이 일정하지 않아 어느 한 쪽이 더 많아지면 직진성이 보장되지 않으며 선회 시 정확한 진행 방향으로 제어를 하기 힘들다는 단점이 있다. 두 개의 같은 크기의 소형 펌프를 사용한다면 이러한 문제를 어느 정도 해결이 가능할 것으로 판단된다.

2.2.3 2DOF-1Jet Synchro-drive type [Type 3]

Fig. 6은 동기식 구동(Synchro-drive) 방식의 이동 로봇과 유사한 운동방식으로 동일한 축에 겹쳐진 2자유도 (DOF) 의 노즐을 조합하여 제어를 하는 방식으로 두 개의 터렛부를 회전시켜 토출 방향을 맞추어 구동하도록 되어 있다. 이 메커니즘은 제어가 간편하고 주행방향을 선회 없이 설정할 수 있어 어떤 방식의 주행 알고리즘도 적용이 가능하다는 장점이 있다. 그러나 메커니즘이 복잡해지는 단점이 있다.

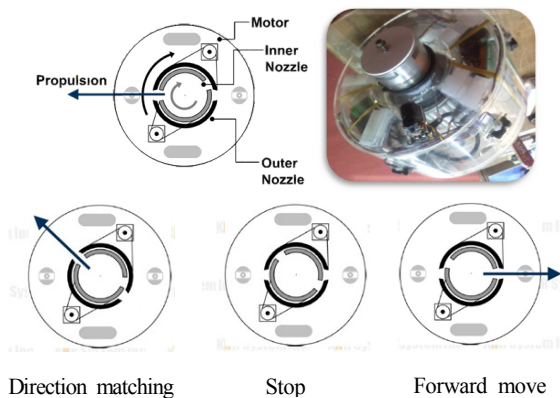


Fig. 6. Schematic diagram of 2DOF-1jet moving mechanism

2.3 워터젯 방식의 수중 이동 메커니즘 비교

Table 2에는 앞 절에서 제안한 3가지 워터젯 방식 구동 로봇의 장단점을 기술했다. Table 2에서 보는 바와 같이 워터젯 방식의 토출부 형태에 따라 장점과 단점이 바뀔 수 있으며 이는 로봇의 용도 및 원하는 주행 알고리즘 방식에 따라 설계 사양에 적용을 해야 한다.

Table 2. Pros and cons of pool cleaning robot mechanisms

	Type 1	Type 2	Type 3
Pros	Simple mechanism	Possible of standstill turning	Possible of standstill turning and high linearity
Cons	Large turning radius	Low linearity during movement	Complex mechanism

3. 수영장 청소 성능 지표

현재까지 시판되고 있는 수영장 청소 로봇의 경우 청소 효율보다는 청소 성능에 초점을 맞추어 제작되어 왔다. 따라서 사양은 필요 성능 이상으로 제작되었을 것으로 판단되며, 청소 시간 역시 필요 이상으로 길어졌을 가능성이 높다. 만약 청소 효율을 고려한 적절한 청소 성능을 검증할 수 있는 방법이 있다면 보다 효율적이고 경제적인 청소 로봇 제작이 가능할 것으로 판단된다.

3.1 수영장 청소 성능 지표 항목 정의

수영장 청소 성능을 정의하고 설계 변수로 활용할 수 있는 요소들에 대하여 최적의 조건을 찾기 위해 일반 가정용 로봇 청소기의 표준화 실험 자료를 참고하였다^[8].

Table 3은 표준화 되어있는 일반적인 가정용 청소 로봇의 성능 평가 항목표이다. 이동 성능은 직진 주행이 가능한지 여부와 한정된 시간에 일정 면적을 이동한 이동 경로로 평가를 하였고, 청소 성능은 한정된

Table 3. Performance evaluation of cleaning robots

Evaluation factor	Related elements
Movement performance	Traveling straight, movement route
Cleaning performance	Sampling rate according to fixed suction area and limited time
Obstacle avoidance	Obstacle recognition and avoidance
Noise level	Measure the noise level during the cleaning

시간 동안 동일한 시료를 도포하여 흡입된 시료의 무게를 측정하여 평가를 진행하였다. 안정성 평가로는 장애물 인식 후 회피 제어 성능을 평가하였고 수중 환경과 달리 공기 중에서는 소음이 발생하기 때문에 소음도도 평가 항목에 반영되어 있는 것을 볼 수 있다. 그 외에 한국 산업 규격(KS)에서 일반 가정용 청소 로봇에 대하여 평가할 수 있도록 검증 방법을 제시하고 있으며, 흡입 용량, 제품 성능, 카펫 먼지 제거 성능, 자율 이동 성능 등의 평가 항목을 포함하고 있다⁹⁾.

수영장 청소 로봇의 경우 운용 환경이 일반 청소 로봇과 다르기 때문에 위 내용을 참고하여 환경에 적합한 성능 지표를 정의할 필요가 있다.

수영장 청소 성능은 바닥 면에 위치한 이물질을 물과 함께 흡입할 수 있느냐 여부로 판단한 수 있다. 이를 분석하면, 수영장 청소 로봇의 청소 성능을 검증하기 위한 성능은 다음과 같이 정의할 수 있다.

정의1. 수영장 청소 성능

수영장 청소 성능은 대상 지점에 일정 기준 이상의 압력이 단위 시간 이상으로 지속적으로 작용하는 것으로 정의한다.

정의2. 수영장 청소 가능 영역

수영장 청소 성능을 만족하는 영역의 크기로 정의한다.

이 때 기준 이상의 압력이란 대상 이물질의 조건에 따라 달라질 수 있으며, 펌프 용량, 이동 속도, 흡입구의 면적, 흡입구의 높이, 필터 메시 크기가 청소 성능에 영향을 끼친다¹⁴⁾. 이를 정리하면 Table 4와 같이 나타낼 수 있다.

펌프 용량은 전체 성능에 영향을 미치며 청소 가능 영역을 결정하는 요소이다. 흡입구의 면적과 높이는 기준 이상의 압력이 작용하는 청소 가능 영역의 크기에 영향을 주며, 필터 메시 크기가 작아짐에 따라 펌프

흡입력이 감소된다. 이동 속도는 한 지점에서 단위 시간 이상 압력이 지속되는지의 여부를 결정하며, 청소 가능 영역을 작아지게 만드는 효과가 있다.

Fig. 7은 실제 수영장 청소로봇의 내부구조에서 청소 성능에 영향을 끼치는 요소를 간단히 표현한 개략도이다. 실제 청소 로봇은 개략도와 유사하게 펌프의 토출력으로 흡입구에서 이물질이 섞인 물을 흡입하여 필터에서 이물질을 모으고 정화된 물만 밖으로 배출한다. 이를 유체역학적으로 표현하면 베르누이 방정식(Bernoulli's equation)으로 설명할 수 있다. 토출부 Z_2 에서의 유량이 많아질수록 흡입구 Z_1 에서 흡입력은 증가하므로 둘은 서로 상관관계에 있다. 또한 속도는 단위시간당 단면적에 통과된 유량으로 표현할 수 있으므로 흡입구, 토출부에서의 면적 A_s , A_J 는 베르누이 방정식에서 속도 인자에 영향을 미쳐 흡입구에서 유체의 속도 V_s 와 토출부에서 유체의 속도 V_J 에 서로 상관 관계에 있다고 할 수 있다.

따라서 Fig. 7과 같이 표현된 청소 성능 검증을 위한 기본 인자를 정의하기 위해 식(4)와 같이 베르누이 방정식을 참고하여 각 인자와 청소 성능과의 상관 관계를 살펴보았다. 식(4)의 베르누이 방정식은 손실수두 h_l 이 적용된 실용적인 베르누이 방정식 (5)으로 변환될 수 있다. (5)의 식에서 H 는 총 수두를 의미하며, p_J 는 토출압력, p_s 는 흡입압력, V_J 는 토출부의 유속, V_s 는 흡입부의 유속, H_a 는 실 양정을 의미하며 필터와 시스템 내부 마찰 등으로 인한 손실수두는 h_l 로 가정하였다.

$$H = \left(\frac{p_J}{\gamma} + \frac{V_J^2}{2g} + Z_1 \right) - \left(\frac{p_s}{\gamma} + \frac{V_s^2}{2g} + Z_2 \right) \quad (4)$$

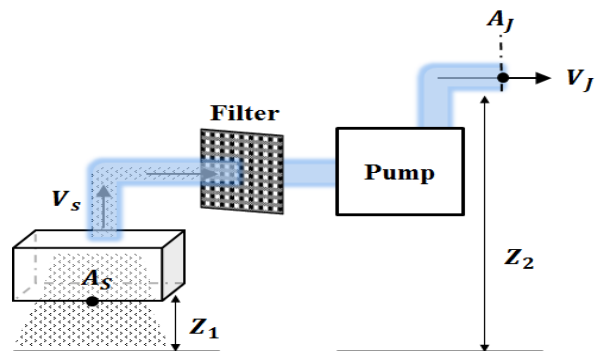


Fig. 7. Schematic diagram of cleaning performance

Table 4. Performance evaluation of pool cleaning robots

Change Factors	Related Elements
Pump capacity	Possible cleaning area, running time
Filter mesh size	Possible cleaning area, particles size
Inlet height	Possible cleaning area, vehicle running stability
Inlet area	Possible cleaning area
Movement speed	Possible cleaning area, running time

$$H = \frac{(p_J - p_s)}{\gamma} + \frac{(V_J^2 - V_s^2)}{2g} + H_a + h_l \quad (5)$$

베르누이 방정식으로부터 로봇의 흡입부에서 유속은 시스템 내부의 손실 수두와 펌프 및 높이에 영향을 받는다는 것을 볼 수 있다. 펌프 용량은 청소 로봇의 모든 인자에 영향을 주며 필터의 성능은 감쇠 요소를 의미한다. 필터의 메시 크기가 작아지면 흡입 압력이 낮아지게 되고 이로 인해 토출력의 감소로 로봇의 이동 속도가 감소하게 된다. 수영장 바닥으로부터 흡입부까지 높이 조건은 흡입되는 압력은 같으나 흡입 면적이 변하여 이물질의 흡입량이 변하는 것과 관련이 있다. 로봇의 이동 속도는 제한된 배터리를 소모하여 청소를 완료해야 하는 무선형 방식에서 중요한 요소 중 하나로 전체 청소 시간, 흡입 면적의 변화에 영향을 준다.

청소 성능은 이외에도 청소가 진행됨에 따라 필터에 이물질이 쌓이게 되면 성능이 감소가 되기도 하는데, 이를 극복하기 위해서 사이클론 방식의 펌프와 필터를 사용하여 청소 성능 감소를 최소화한 제품도 시판되고 있다. 또한 청소 효율을 높이기 위해 대부분의 청소 로봇에서는 브러시를 이용하여 청소 영역의 이물질을 순간적으로 부유시켜 낮은 흡입 압력으로도 청소가 잘 될 수 있도록 하는 메커니즘을 적용하고 있다.

4. 수영장 청소 로봇 성능 평가

4.1 청소 성능 검증을 위한 평가 방법

3장에서 정의된 수영장 청소 성능 기준을 바탕으로 실험적으로 청소 성능을 검증하기 위해서 5가지의 요소 중 펌프 용량과 흡입구 면적의 크기는 고정하고, 필터 메시 크기, 흡입구 높이, 이동 속도에 따른 청소 성능 검증을 수행하였다.

펌프 용량이 바뀌면 전체 성능에 영향을 미치기 때문에 한 가지 종류의 펌프로 고정하여 실험하였고, 필터는 거름 정도가 낮은 25 μ m와 정도가 높은 250 μ m의 필터를 사용하였을 때 토출력의 저하를 비교하여 손실 수두를 측정하는 방식으로 청소 성능을 검증하였다. 흡입구의 면적은 모양 및 크기에 따라 변화가 심하기 때문에 본 논문에서는 대부분의 수영장 청소 로봇에서 사용되고 있는 직사각형 형태의 모양과 크기로 고정하

였다. 이동 속도는 청소 시간을 단축시킬 수 있는 인자로 3단계로 구분하여 실험하였고, 바닥으로부터의 흡입구 높이는 가장 높은 흡입물을 보이는 10mm구간부터 흡입 성능이 현저하게 저하되는 15mm구간까지 3단계로 구분하여 실험하였다.

실험 수행 조건은 Table 5와 같이 정리하였다.

이물질 제거 성능을 객관적으로 평가하기 위해 균일한 입자 크기를 갖는 모래를 골고루 뿌려놓고 이를 흡입한 정도를 측정하여 성능을 검증하였다. 실제 수영장에서 청소하는 이물질과 비슷한 크기(0.2mm)의 수족관용 모래를 선택하였고, 식(6)과 같이 흡입된 모래의 무게를 측정하여 청소 성능을 수치화할 수 있도록 하였다. 또한 동일한 환경이 항상 유지될 수 있도록 청소 상황을 모사할 수 있는 실험 장치를 구성하여 반복적인 실험을 수행하였다.

$$\text{청소효율(\%)} = \frac{\text{흡입된시료량}(g)}{\text{청소면적에살포된시료량}(g)} \times 100 \quad (6)$$

따라서 제시된 3가지 조건에 대해서 Table 6과 같이 청소 성능 검증을 위한 평가 기준을 마련하였다. 청소성능을 나타내는 인자로 는 청소 로봇이 일정한 구간에서 흡입구 높이와 속도를 변경했을 때 얼마나 많은 양의 시료를 흡입했는지를 측정하였고, 손실 수두에 영향을 미치는 인자로 여러 종류의 필터를 교체하여 필터의 메시 크기에 따른 흡입 손실로 나타내었다.

본 논문에서 제안된 워터젯 방식으로 구동하는 로봇에서는 토출력도 중요한 설계변수로 작용한다. 토출력의 손실 수두 측정을 위해서 필터의 종류를 다르게 장착하여 유체를 흡입하였을 시에 생기는 토출력의 변화를 Fig. 8의 1 지지대 (Supporting rod)에 Table 5의 스트레인 게이지(Strain-gauge)를 부착하여 검출하는 방식으로 실험하였다.

Table 5. Experimental conditions

Factors	Values
Pump capacity (ℓ/min)	105
Inlet area (cm ²)	5 (5X1)
Moving speed (m/s)	0.11, 0.08, 0.06
Filter mesh size (μm)	25, 250
Inlet height (mm)	10, 13, 15
Strain-gauge (AP-23-S30S-350-EC)	Resistance 350Ω ± 0.4

[Table 6] Performance evaluation lists of pool cleaning robots

Assessment factor	Subsection	Evaluation basis	Necessity
Cleaning performance	Sample rate at fixed area	Sample rate according to inlet height	Choices of the optimum suction conditions and pump size
		Sample rate according to moving speed	
Loss of head	Decrement rate of suction	Filter mesh size	Performance evaluation lists of pool cleaning robots Optimal design for loss of head

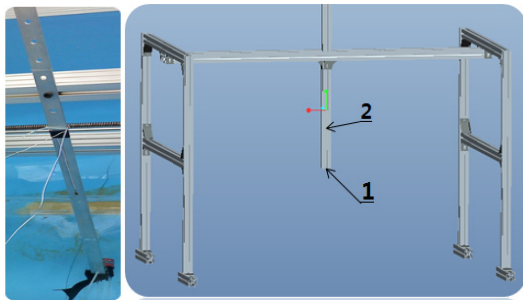


Fig. 8. Test-bed for thrust forces, 1) Supporting rod for thruster, 2) strain-gauge

4.2 이물질 제거 성능 검증을 위한 실험 환경

평가 플랫폼은 일반 수영장과 유사한 환경으로 구성하기 위해 실내에 Fig. 9와 같이 3mX3mX1m 크기에 8톤 정도의 물을 수용할 수 있는 규격의 간이 수영장을 설치하였다. 또한 청소 로봇의 구조를 모사하여 흡입부에서 흡입된 유체가 필터를 거쳐 펌프를 지나 토출부로 나가도록 실험 환경을 구성하였다.

실험 구조물(Test Frame)은 로봇이 바닥에서 이물질을 흡입하는 방식과 유사한 조건이 되도록 Fig. 10



Fig. 9. Experimental setup

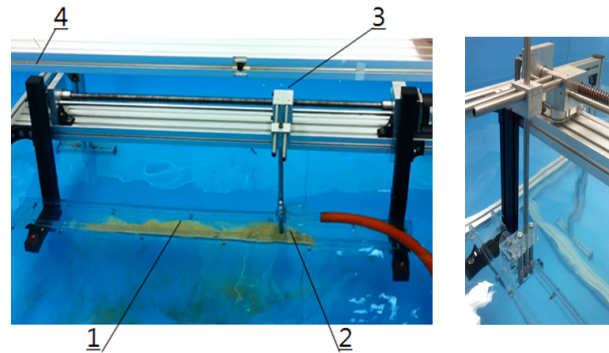


Fig. 10. Design of test-bed frame, 1) path of pool cleaning robot, 2) suction & filtering mechanism, 3) moving mechanism, and 4) test-bed frame

과 같은 간단한 프레임 구조로 제작하였다. 볼스크류와 같은 구조로 나사산이 있는 샤프트(shaft)에 일정한 속력으로 회전을 가하게 되면 샤프트(shaft)에 고정되어 있는 Fig. 10의 3 블록이 이동하며 높이와 속도 조건의 변화에 따른 흡입 성능을 실험하는 구조이다. 평가 플랫폼에는 이물질 제거 성능의 검증을 위해 Fig. 10의 1 부분에 정해진 이동 구간에 임의로 시료(모래)를 뿌려놓았다. 시료의 흡입 양을 직접 눈으로 파악할 수 있도록 Fig. 10의 1번 부분 이동 구간을 투명한 아크릴 판으로 제작하였다.

4.3 수영장 청소 로봇 성능 평가 결과

흡입 성능은 필터 메시 크기에 따라 향상되거나 저하될 수 있으며 Table 7의 실험에서는 현실적인 결과를 얻기 위해 수영장 청소 로봇에서 보편적으로 사용하는 25 μ m의 정도를 가진 카트리리지 형 필터를 사용하였다.

앞 절에서 정의한 성능 검증 인자들을 로봇에 적용한 결과는 다음과 같다.

Table 7의 높이에 따른 이물질 흡입 성능 실험에서는 바닥에서부터 흡입부까지 높이가 10mm로 실험하였을 경우 속도에 상관없이 500g의 시료를 모두 흡입하는 것을 확인할 수 있었다. 0.11m/s 보다 빠른 속도로 이동 시킬 경우 흡입력이 떨어질 수 있을 것으로 예상

Table 7. Experimental results

	0.11m/s	0.08m/s	0.06m/s
10 mm	100%	100%	100%
13 mm	24%	26%	33.8%
15 mm	1.8%	6.8%	9.6%

되나 현재 구축된 환경에서의 속도를 더 높이는 것이 불가능하여 추가적인 실험을 수행할 수 없었다. 흡입부와 바닥의 간격을 13mm로 높였을 경우엔 50% 이상 현저히 흡입 성능이 떨어지는 것을 볼 수 있었으며 15mm높이에서는 거의 청소가 되지 않는다는 것을 확인할 수 있었다. 각 흡입구 높이 조건을 고정시키고 이동 속도를 변경하며 실험하였을 경우엔 속도를 낮춤에 따라 흡입성능이 향상되는 것을 확인할 수 있었다.

필터에 따른 손실 수두를 측정하기 위한 토출력 실험은 필터가 없을 때의 감쇠율 0 상태에서 센서 값을 측정하였고 이를 기준으로 250 μ m 망사형 필터와 25 μ m 카트리리지 필터를 장착했을 경우 토출력의 감쇠를 확인하였다.

Table 8의 실험 값에서 필터가 없을 때의 토출력 값을 기준으로 250 μ m의 망사형 필터를 장착했을 경우 66.25%의 토출력 감쇠가 일어났고 카트리리지 필터의 경우 76.25%의 토출력 감쇠가 일어나는 것을 확인할 수 있었다. 필터 메시 크기가 작을수록 이물질의 거름 정도가 높아 청소 품질은 향상되지만 토출력이 감소하고 펌프에 부하가 증가하게 되며, 흡입구의 높이 조건이 변경되었을 경우 바닥면의 청소 가능 영역이 달라지는 것을 시료 흡입 결과를 통해 알 수 있다.

로봇의 이동 속도가 빠를 경우에도 청소 가능 영역에 영향을 주기 때문에 청소 성능을 좌우하는 인자로 작용하게 된다.

Table 8. Thrust force reduction according to filters

	None	Mesh filter (250 μ m)	Cartridge filter (25 μ m)
Suction reduction	0%	66.25%	76.25%

5. 결론

본 논문에서는 상용화되어 있는 수영장 청소 로봇에 대해 고찰하고, 사용 편리성이 높은 무선형 수영장 청소 로봇 개발을 위한 워터젯 방식 수중 이동 메커니즘을 제안하였다. 3가지 형태의 워터젯 방식 이동 메커니즘을 이용해 수영장 청소 로봇 플랫폼을 제작하였고, 향후 수영장 청소 로봇 개발 목적에 따라 적용이 용이하도록 장단점을 분석하였다.

또한 수영장 청소 로봇의 청소 성능 지표를 위한

조건에 대해서 베르누이 방정식을 바탕으로 관련 조건을 도출하였고, 이를 바탕으로 수영장 청소 성능에 대한 성능검증 기법에 대해 처음으로 제안하고 검증 실험을 수행하였다.

평가 항목 테스트 결과 수중 환경에서 다양한 변수로 인하여 완벽한 결과를 얻지는 못하였지만, 본 논문에서 제안된 수중 청소 성능 검증 방법을 사용하여 상용화를 목표로 수영장 청소 로봇을 개발하여 개발 시간과 비용을 단축할 수 있는 방안을 제시하였다는데 의의가 있다.

참고문헌

- [1] Ministry of Cluture, Sports and Tourism, "Korea Registered Athletic Facilities Status" pp. 17-60, April, 2010.
- [2] G. Zunino and M. Simoncelli, "Autonomous pool cleaning," Kluwer Academic Publishers, Autonomous Robots, Vol. 9, pp. 261-270, Jan 1999.
- [3] Jinhyun Kim, Seung-Jun Kang, Seong-Hwan Jeon, Yong-Jin Cha, and Gang-Hwi Choi, "Moving Mechanism of Autonomous Underwater Cleaning Robots," In Proc. of 3rd Korea Intelligent Robotics Conference, June, 2008.
- [4] Kyung-min Kwak, Jin-Hyuk Kim, and Jinhyun Kim, "Development of Autonomous Pool Cleaning Robot and Evaluation Method," In Proc. of 5th Korea Intelligent Robotics Conference, July, 2010.
- [5] <http://www.mariner-3s.com>
- [6] Yuan Fu-cai, Sun Hai-liang, Hu Shi-Jian, and Wang Li-Zhu, "Design of Cleaning Robot for Swimming Pools," In Proc. of IEEE Conference on Management Science and Industrial Engineering, pp.1175-1178, Jan., 2011.
- [7] Myung-Ho Lee, Hyung-Kwon Choi, Jae-Young Seong, Whan-Suk Choi, "Fluid Mechanics," Seoul-Bosunggak, 2004.
- [8] SungSoo Rhim, Jae-Chang Ryu, Kwang-Ho Park, and Soon-Geul Lee, "Performance Evaluation Criteria for Autonomous Cleaning Robots," Proc. of IEEE Conference on Computational Intelligence in Robotics and Automation, pp. 167 -

172, June, 2007.

- [9] Korean Industrial Standards, "Methods of Measuring the Performance of Household Cleaning Robots" KS B 6934, December, 2011.



김진혁

2010 서울과학기술대 기계공학
학과(공학사)
2010~현재 서울과학기술대
학교 기계공학과 석사과정
관심분야: 로봇 메커니즘, 수
중로봇공학



김진현

1998 포항공과대학교 기계공
학과(공학사)
2000 포항공과대학교 기계공
학과(공학석사)
2005 포항공과대학교 기계공
학과(공학박사)

2005~2007 한국생산기술연구원 로봇기술본부 선
임연구원

2007~현재 서울과학기술대학교 기계공학과 조교수
관심분야: Redundant Manipulator, Underwater robots,
Hovering robots, Neuro Robotics