

기구전산설계 최종 포트폴리오



로봇기계공학과

21721120	이재근	21721129	전철우
21721139	박성배	21721160	최병희
21812367	김기호		

[목 차]

1. 배경조사

- 1) 해양산업이 지니는 중요성
- 2) '해양생물 제거' 채택 배경
- 3) 해양생물 제거 방법 및 각 방법의 한계
- 4) 현재까지 개발된 제거 로봇 및 한계

2. 설계목표

- 1) 타겟로봇의 개요
- 2) 타겟 로봇이 지녀야 할 기능

3. 기초설계

- 1) 외형 설계 이유
- 2) 모션 설계 이유

4. 모션해석

- 1) 역기구학
- 2) 매트랩
- 3) 모션해석

5. 설계평가

6. 출처

7. Q&A

1. 배경조사

1) 해양산업이 지니는 중요성

선박 수송을 통한 국가적 무역의 규모는 여타 운송 수단과의 비교를 불허할 정도로 과거나 현대에나 세계 무역의 가장 큰 부분을 차지한다. 일 예로 우리나라의 대외무역 의존도는 63.51%이며, 그 중 수출입 화물의 99.7%가 선박을 통해 운송되고 있다.

해운순위	국가	무역의존도(%)
1	그리스	47.76
2	일본	28.08
3	중국	33.49
4	싱가포르	209.6
5	홍콩	293.26
6	독일	70.82
7	대한민국	63.51
8	노르웨이	46.79
9	버뮤다	22.60
10	미국	19.34

(출처: Clarksons(해운순위), KOSIS(국가통계포털))

특히 원자재를 수입하여 가공 후 다시 수출을 하는 제조업 기반의 산업 구조를 가지고 있는 우리나라의 입장에서, 원자재를 수입하는 과정은 사실상 제조 산업의 근간이 되기에 더더욱 중요할 수밖에 없다. 이러한 원자재들(원유와 철광석, 연료탄 등)은 100% 해상 수송되고 있으며 그만큼 해운업이 국가 경제에 이바지하는 부분은 상당한 수준이라 평할 수 있다. 그렇기에 해운업을 그와 관련된 시장, 환경과 함께 보호하는 것은 국가적 과업이라 칭해도 부족하지 않다. 우리들의 논의가 이런 해운업에서 시작하게 되는 이유는 물론 지구학적인 움직임을 도입할 수 있는 틈새시장이 존재한다는 것도 있지만, 근본적으로 우리의 논의가 가져올 이익이 마냥 해운업에만 그치지 않고 골고루 산업 전반에 선한 영향력을 끼칠 것이 자명하기 때문이다.

2) ‘해양생물 제거’ 채택 배경

해운은 해상운송의 약어이다. 하지만 단순히 선박을 통한 재화의 장소적 이전만을 그 정의로 한정하기엔 그로 인해 창출되는 경제적, 환경적 파급 효과가 매우 크다. 바다를 무대로 시행되는 산업이기에 궁극적으로 바다와 관련된 산업 전반에 큰 영향을 끼칠 수밖에 없으며 앞서 말했듯 세계 무역의 중추로서 기동하는 선박의 운송 규모는 여타 운송 수단들의 그것과 비교했을 시 궤를 달리할 정도로 그 무역업에서 차지하는 위상이 크다.

그렇기에 운송 수단에 대한 논의에서 항상 빠지지 않는 것이 ‘이산화탄소 배출량’이다. IMO(*the International Maritime Organization: 국제해사기구*)의 보고서에 따르면 선박에 의한 이산화탄소 배출량은 1046백만 톤으로 전 세계 이산화탄소 배출량의 3.3%에 해당하는 것으로 나타났으며, 이 중 국제 운항 선박에 의한 이산화탄소 배출량은 870만 톤으로 2.7%에 해당하는 것으로 나타났다.

그 중 우리가 주목한 부분은 선박에 착생하는 부착생물에 대한 논의이다. 선박의 선체 표면 중 해수에 노출된 부위(예를 들면 프로펠러, 앵커, 체인 및 주로 선체 외판)엔 해양생물이 착생하여 성장하게 될 가능성이 높다. 이런 해수에 노출된 선박에 해양생물이 부착하여 군체를 이루며 성장하는 현상을 ‘Hull Fouling’이라고 한다. 부착생물로 인해 이러한 ‘Hull Fouling’이 발생하게 되면 선박의 표면 거칠기가 증가하여 선박 표면의 마찰저항이 증가하게 되는데, 이것이 심해지면 선박을 추진시키는데 소요되는 마력이 급격히 증

가하여 속도 손실을 유발하게 되므로, 결과적으로 연료 소모량이 증가하게 된다. Hull Fouling로 인한 연료소모율은 최대 약 40%까지 증가할 수 있으며 온실가스 배출량도 함께 증가될 수 있다.

또한 기본적으로 연료소모율이 높을수록 연료비 또한 증대될 수밖에 없는데, 대형 선박을 기본으로 연간 연료비는 척당 30~40억 원, 초대형 선박은 최대 400억의 연료비를 사용한다. 평균적으로 10~20%가량의 연료손실이 있다고 가정했을 시 5억~10억 원 많게는 100억 원 가량의 비용손실이 발생할 수 있는 것이다.

그렇기에 결과적으로 이러한 착생생물 제거 방안에 대한 강구는 이산화탄소 배출량 감소에서 긍정적 영향을 끼칠 수 있으며, 무엇보다 환경문제와 항상 대립했던 경제적 부분에 있어서도 확실한 이익을 가져다 줄 수 있는 것이다.



: Hull Fouling에 의한 피해 [1]

앞서 설명했던 'Hull Fouling' 현상의 경우 선박에 부착생물이 착생하는 매우 단순한 매커니즘을 가지지만 그로 인해 파생되는 피해는 당장 해운업 그 자체에만 국한 되지 않는다. 특히 대양을 오고 가며 여러 국가의 항구에 정박하는 선박에 이러한 부착생물이 착생했을 경우엔, 유해 외래 해양생물이 이동하거나 유입되는 원인으로 지적되고 있으며, 지역과 국가마다 다른 해양 생태계의 고유종과 서식지를 위협하고 있다.

특히 해안에서 멀리 떨어지지 않는 곳에서 행해지는 '양식업'의 경우 이러한 외래생물의 침입에 의한 생태계 파괴에 의해 직접적인 경제 피해를 받는다. 일 예로 우리나라의 양식업은 해가 지날수록 그 사업이 증가하고 있다. 세계은행, FAO, IFPRI에서 공동 발간한 "2030 수산양식 전망 보고서"에 따르면 2030년에는 양식 수산물 공급량이 어업 수산물 공급량과 비슷한 수준으로 증가할거라고 전망했을 정도다. 하지만 그 규모가 증가하면 할수록 침입 교란 생물로 인한 피해 규모 또한 덩달아 불어나고 있는 실정이다. 교란 생물의 유입 경로는 주로 정박한 선박에 부착되었던 착생 생물에서 기인하는 것으로 보고 되고 있으니 해운업과 무관하다고도 할 수 없을 것이다.



유령멍게라 불리는 착생생물이며 현재 '해양생태계교란생물'로 지정된 유일한 종이다. 주로 해안 인공구조물이나 양식시설 표면에 고밀도로 번성해 높은 경쟁능력을 바탕으로 다른 생물들의 공간을 빼앗고, 유생과 먹이를 남김없이 섭취하여 주변 생태계와 양식 산업에 큰 피해를 입히고 있다. [2]

그렇기에 이러한 착생 생물들에 의한 악영향은 비단 해운업뿐만 아니라, 여타 바다에서 행해지는 산업 전반에 골고루 미칠 수 있는 것이다. 하지만 반대로 말한다면 이러한 착생 생물 제거에 대한 방법론의 모색은 바다 산업 전반에 긍정적인 영향을 가져올 수 있다는 얘기로도 귀결될 수 있을 것이다.

3) 해양생물 제거 방법 및 각 방법의 한계

① 방오도료

가장 보편적으로 부착생물 제거를 위해 사용하는 방법은 방오(anti-fouling)도료다. 사실 제거라고 명시되어 있지만 실질적으로 출항 전 수면 아래에 위치한 선체 표면에 도포됨으로서 부착생물이 착생하지 못하도록 예방하는 것에 가깝다. 초기에는 독성이 있는 구리 성분을 사용하다가, 1980년대 이후엔 독성이 강한 부착 방지제인 TBT(Tributyltin)라는 유기주석 화합물이 보편화 됐다. 하지만 이 TBT는 물에 녹으면 패류의 성장을 저해하거나 해양생물들의 내분비계에 침투해 암컷의 수컷화를 일으키는 등 해양생태계에 심각한 문제를 야기한다. 이로 인해 IMO(국제해사기구)에서는 2001년 '선박의 유해 방오 시스템 사용규제에 관한 국제협약'을 채택하여 유기주석 성분의 방오도료 사용을 금지하였다. 무엇보다 이 방오도료를 사용하더라도 부착생물이 선체에 달라붙는 것을 완전히 막을 수는 없다. 애초에 제거가 아닌 예방에 가까운 방식이기에 부착생물이 선체에 달라붙은 다음에는 다른 제거 방식을 모색할 수밖에 없다.



: 시판되고 있는 방오도료 제품과 실제로 제품을 선박에 도포 [3]

② 잠수사 인력 제거

사람이 직접 잠수하여 선박의 부착생물을 제거하는 방식이다. 브러쉬, 끌 등을 이용하여 작은 보트나 소형 선박 등에 주로 이용된다. 대형 선박 청소의 경우엔 좀 더 다양한 장비를 사용하지만 근본적으로 소형 선박의 경우와 크게 다르지 않다.

〈그림 2-3〉 부착생물의 수중제거 모습 및 주요 장비



① 다이버가 부착생물을 제거하는 모습



② 다이버가 부착생물을 제거하는 모습



③ 선체표면의 부착생물 제거 도구



④ 선체표면의 부착생물 제거 도구

출처 : 박수진, 선박부착생물에 대한 선제적 대응을 위한 정책방향 연구(한국해양수산개발원)

하지만 이런 일을 도맡아 하는 '산업잠수사'라는 직업은 극한의 근무 환경을 자랑하는 직업이다. 높은 수압과 낮은 수온, 흐린 시야와 잠수병의 위협 탓에 대표적인 위험직군으로 분류되는 직업이며 이로 인해 산업안전보건법령에 의거하여 산업잠수사의 작업 시간은 1일 6시간, 주 최대 34시간으로 정해져 있다. 하지만 그럼에도 2010년부터 2019년까지 산업 잠수사가 사망한 사건은 54건이나 되며 이는 총 잠수사의 수와 비교했을 때 매우 큰 수치다.

또한 산업 잠수사가 되기 위해선 '한국산업인력공단'이 시행하는 **잠수기능사나 잠수산업기사** 자격증이 반드시 필요하다. 연간 47~70명이 취득하고 있는 실정이며 현재까지도 잠수산업기사 취득자의 수는 900명 가량으로 매우 낮은 편에 속한다. 그렇지만 수요는 항상 공급보다 넘치고 있어서 잠수사의 몸값은 부르는 게 값일 정도로 폐이가 쎈 편이다. 그렇다 보니 이들을 고용하여 착생생물 제거를 의뢰하기엔 수지타산이 맞지 않으며 애당초 잠수사도 구하기가 쉽지 않기에 가장 유서 깊은 방식임에도 특수한 경우를 제외하곤 잘 쓰이지 않는 방법이다.

③ 입거(docking)를 통한 제거

규모가 큰 항만 혹은 대형 선박을 제조 및 수리하는 조선소가 있는 해안에 정박하였을 시 가능한 방법이다. 우선 입거(dry docking)자체는 배를 전차 등으로 견인하여 건조장 장소에 위치시킨 다음 해수를 바깥으로 배출시켜 해수 아래에 있었던 선체 아랫부분을 육안으로 확인 가능하게 해수면 위로 드러내는 일련의 과정을 뜻한다.

입거를 한 이후엔 깊은 수심에 의한 방해를 받지 않기에 인력을 통한 제거 방식이 비교적 수월해지며 실제로 입거 이후의 제거방식은 수많은 인력 동원을 통해 이루어진다. 물리적 장비를 주로 사용하며(브러쉬, 고압 세척, 끌), 세척 과정에서 발생하는 부착생물 및 방오도로 성분을 여과 시스템 및 오염물질 저장탱크 등을 이용해 해양 환경으로 유출되는 것을 방지한다.



: 해수를 바깥으로 내보내어 선체의 아랫부분을 확인할 수 있게 한다. [4]

하지만 이 입거를 통한 부착생물 제거는 자주 사용될 수 있는 방법이 아니다. 비교적 자주 입거 방식으로 부착생물을 제거하는 선박의 경우에도 1년에 한번 꼴이며, 대개는 2~3년에 1번 길게는 5년에 한 번 정도 입거 수리를 맡긴다. 또한 도킹을 위한 선박 받침대 설치, 선박 예인, 플로팅도크 잠수와 부양 등의 공정 또한 무시할 수 없을 만큼 긴 시간과 많은 비용을 요구한다. 하지만 입거를 통한 부착생물 제거 방식은 해양 오염에 민감한 대부분의 국가에서 권장하고 있는 방식인 만큼 수중 제거 방식에 비해 친환경적인 것은 확실하며, 지금까지 개발된 부착생물 제거 로봇의 한계점(다음 주제에서 설명)인 2차원의 경계를 넘어서는 구역(프로펠러, 냉각수 흡입구, 밸러스트(선박평형수) 흡입구 등)엔 도킹을 통한 수동제거 밖에는 마땅한 방법이 없기에, 현재로서는 최선의 방식으로 여겨지고 있다.

4) 현재까지 개발된 제거 로봇 및 한계

①선저 청소로봇

2014년에 삼성중공업에서 개발한 수중청소로봇이다. 로봇 하부에 부착된 브러시를 통해 수중에서 선체의 표면에 부착된 유기물(따개비 등과 같은 부착생물)들을 제거한다. 제거 과정에서 파생된 부산물들은 필터를 통해 자체적으로 흡수하여 기존에 방오도료와 따개비 부산물 등으로 야기되던 해양 오염에 대하여 무결한 장점을 가지고 있다. 하지만 선체 표면에 부착된 착생생물들의 제거는 우수할지 몰라도 선체 취약부분(예를 들어 프로펠러, 냉각수 배출흡입구, 선박평형수 배출/흡입구)에 대한 제거는 사실상 불가능하다. 선박 표면을 2차원 평면으로 생각했을 때 이 2차원 좌표 내에서의 이동은 자유롭지만 높낮이가 생기는 3차원 형상 부분에 있어서는 많은 제약이 생긴다.



: 선저 청소로봇 [5]

②타스 글로벌

타스글로벌의 수중 로봇은 '영구자석식 접지력 향상에 의한 수중작업용 무인 궤도이동 플랫폼 제작 기술'이라는 이름으로 산업통상자원부로부터 상용성과 산업 파급력을 인정하는 신기술인증을 획득했다. 이 로봇은 수중 또는 육상에 서 굴곡지고 요철이 있는 선박의 표면을 300Kg의 접지력과 부착력을 유지하면서 자유자재로 이동할 수 있다. 자동차 세차와 같이 수중 선박청소 서비스를 제공하며 선박의 크기와 관계없이 6시간 안에 깨끗이 청소한다. 수압, 해류에 제한을 받지 않기 때문에 지속적으로 수중에서 작업할 수 있으며 잠수사 대비 10배 빠른 작업이 가능하다. 하지만 2번의 로봇과 마찬가지로 2차원의 성질을 지닌 로봇으로 3차원 형상을 가진 선체 부분에 대해선 마땅한 제거방식이 존재치 않는다.



: 타스 글로벌 [6]

③CHIRO

SLM이 개발한 선체청소로봇으로 'Cleaning Hull with Intelligent Robot'의 약자인 CHIRO라고 불린다. 선박이 정박해있는 동안 작업을 완료할 수 있으며, 이 제품만의 특징이라면 청소 후 클라우드 기반의 선체 청소 이력과 관리 상태 등을 저장할 수 있는 것이다. 작업자가 테더 케이블을 이용해 원격으로 전원을 공급, 모니터링 제어가 가능하다. 하지만 마찬가지로 선체 표면을 2차원적으로 오고가며 유기물을 제거하는 방식이며 3차원 부분과 선박 취약부분에 있어서 마땅한 접근 방법이 존재하지 않는다.

결과적으로 대부분 현재까지 개발된 수중 청소로봇들의 경우 선체 표면에 착생한 부착생물 제거에 기능이 집중되었으며 2차원의 경계를 넘어서는 구역인 프로펠러, 냉각수 흡입구, 선박 평형수 배출입구에 착생한 부착생물 제거엔 도킹을 통한 수동제거 밖에는 마땅한 방법이 없는 실정인 건 달라지지 않았다.



: CHIRO [7]

2. 설계목표

1) 타겟로봇의 개요

위에 조사한 로봇들은 전부 2차원으로 움직이는 cart 및 ROV등과 같은 기계 장비를 사용하기 때문에 선체의 평평한 면에는 적합하지만 굴곡이 있는 프로펠러, 냉각수 흡입/배출구, 선박평형수 흡입구 등 3차원적 해석이 필요한 부분들의 부착생물 제거에는 부적합하다. 실제로 이러한 부분은 리도킹(입거) 과정에서 인력으로 제거되는 것이 대부분이다. 하지만 앞서 말했듯 리도킹 과정은 필요 공정 자체가 복잡하고 시간도 오래 걸리며 비용도 많이 든다.

타겟 로봇의 목적은 이러한 리도킹 공정 과정을 줄임으로서 경제성을 확보하고, 정기적인 입거 수리 외에도 선체 취약 부분의 부착생물을 기구학적 움직임을 통해 수중에서 제거하여 보다 안정적인 선박의 유지보수를 가능하게 하는 것이다. 그리고 앞서 설명했던 산업 잠수사의 수요와 공급의 불일치 문제도 타겟 로봇의 상용화가 이루어진다면 상당부분 균형이 맞춰질 수 있을 거라 예상된다. 거울철과 같은 산업잠수사에 게 비수기인 계절에서도 로봇운용을 통해 사시사철 부착생물 제거가 가능할 것이다.

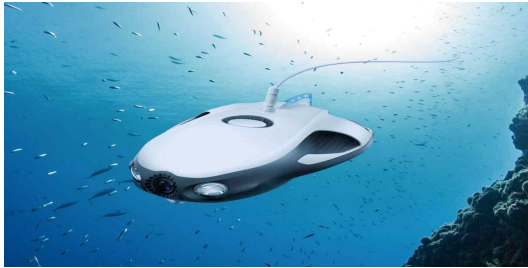
2) 타겟 로봇이 지녀야 할 기능

고로 타겟 로봇은 기존 로봇들이 접근하기 어려웠던 3차원 형상으로 이루어진 선박 부분에 착생한 부착생물들을 제거하는 데에 초점이 맞춰지게 된다. 또한 대개 이러한 지역은 도킹 작업에서 도수로 제거하거나 수중환경에서 잠수사들이 직접 제거하는 방법밖엔 존재치 않았기에 이러한 '산업잠수사'의 역할을 대체하는 것이 타겟로봇의 중점이 될 것이다. 이는 기존에 인간의 팔로 행했던 제거 과정을 모사 해야 한다는 결론을 도출할 수 있기에 잠수사의 팔을 모방하여 3차원적인 운용을 가능케 하기 위하여 가장 유사한 모션을 감당할 수 있는 '로봇팔'을 사용하기로 하였다. 이를 통해 여태 조사했던 로봇들에게서 발견되었던 문제점인 2차원 영역에서만 운용이 가능한 한계를 로봇팔을 통해 해결할 수 있게 된다.



: 프로펠러와 DPS(수평방향 이동)프로펠러 수납구 이러한 구역엔 기존의 로봇들의 접근이 불가 [8]

또한, 수중에서 활동하기 적합한 몸체를 가져야한다. 그러기 위해선 유선형의 선체가 필수적이다. 하지만 로봇팔을 부착할 경우 필연적으로 매끄러운 형상을 가진 선체를 완성하기가 어려워지는데 이를 해결하기 위하여 수중에서 이동 시엔 로봇팔을 선체 내부에 수납하는 형태의 설계가 필요해진다. 이를 통해 수중 환경에서 이동에 용이함은 물론 비교적 협소한 곳도 쉽게 돌파가 가능해진다.

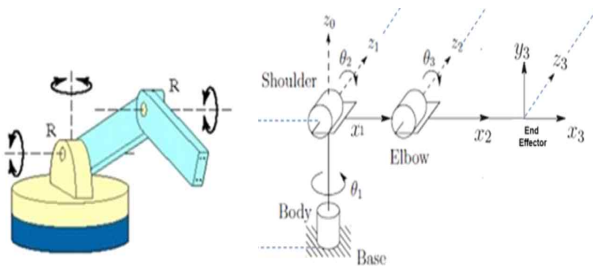


: 시중에서 사용되는 수중로봇들은 유선형 몸체를 지니고 있다. [9]

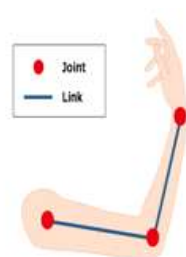
3. 기초설계

1) 외형 설계 이유

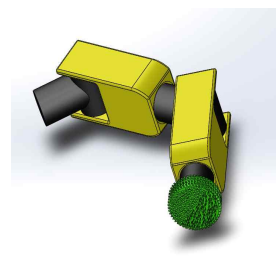
첫 번째 팔의 모방을 Elbow arm이라 불리는 RZRYR회전의 로봇 팔을 채택하여 인간의 팔과 가장 유사한 형태의 로봇팔로 인간과 유사한 3차원 모션이 가능 하도록 하였습니다. 또 가장 적은 자유도로 3차원적인 움직임을 자유자재로 구현할 수 있는 장점이 있다.



Elbow arm이라 불리는 RZRYR회전의 로봇 팔

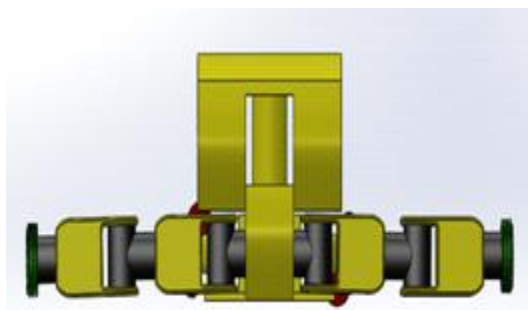


사람의 팔



구현한 로봇팔

두 번째로 로봇팔의 링크를 결정 하게 되었습니다. 실제와 최대한 비슷하게 설계하기위해 현재 선박에서 가장 넓은 가동범위를 필요한 모션을 생각하였고 생각해낸 곳이 선박의 프로펠러를 보호 하고 있는 보호대 였습니다. 모든 선박에 보호대가 있는 것은 아니지만 선박의 출력이 클수록 프로펠러가 커져 보호대의 직경도 넓어지는데 가장 힘을 많이 필요로 하는 쇄빙선의 출력이 가장 크다고 판단 하였고 선박 보호대의 평균 직경이 3 ~ 3.5M 로 미루어 보면 한 팔의 길이를 1.6m로 두고 몸체의 길이 0.3m이고 양팔을 펼쳤을 때 3.5m로 설계하였다.



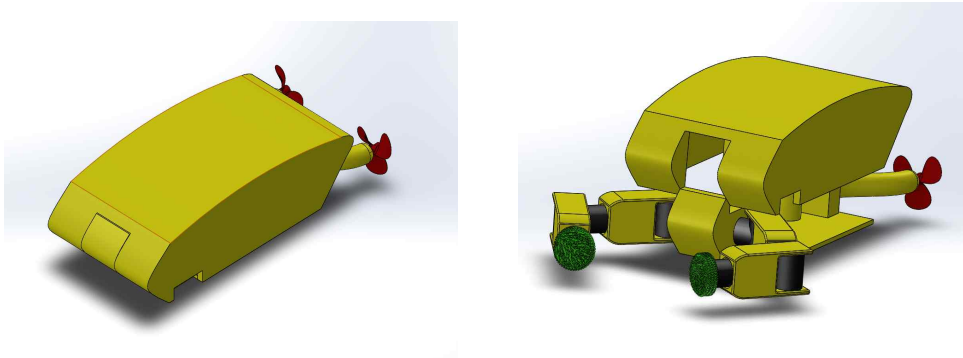
양팔을 펼쳤을 때의 모션 캡처 3.5m



쇄빙선의 보호대와 프로펠러3~3.5m[10]

세 번째 사람의 팔과 가능한 유사하게 설계하였으며 손목 부근엔 그라인더가 설치되어 이를 통해 따개비 류를 제거한다. 그라인더를 선택한 이유는 회전 모터를 통해 쉽게 구현이 가능하며 가장 효과적인 제거 도구였기 때문이다. 현재까지 존재하는 대부분의 부착생물 제거 로봇의 경우 2차원적 제거에 머물러 있기에 입체적인 3차원적 움직임이 필요한 부분의 제거를 구현하는 것이 이 타겟로봇이 해결해야 할 과제이다. 그렇기에 본 외형 설계에서 로봇팔을 선택한 이유는 3차원적 움직임을 구현하여 선박 취약부근의 부착생물 제거를 더 용이하게 하는 것이 목적이기 때문이다.

추가적으로 타겟로봇이 지녀야 할 기능에서 말하였듯이 수중환경에서 용이하게 이동하기 위하여 유선형으로 몸체가 설계되어야 했다. 아래 그림 최종적으로 설계를 마친 로봇의 모습이다.

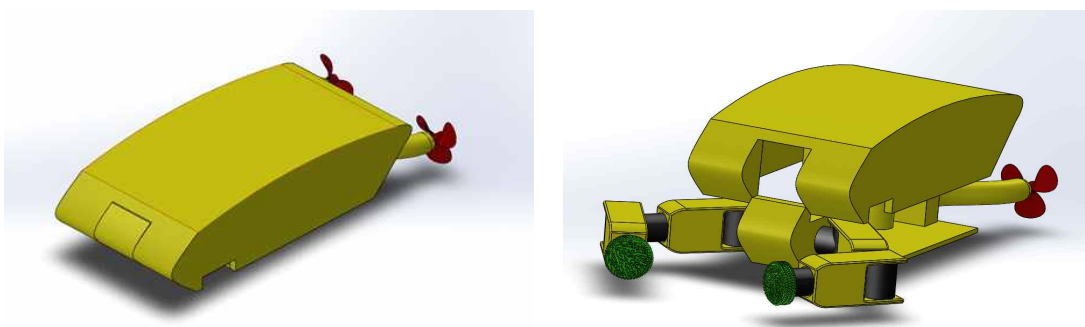


설계 완료된 로봇의 형태

2) 모션 설계 이유

구현한 모션은 총 7개로 각각 '준비자세' '로봇팔 수납' 이렇게 두 가지를 제외하고는 선박의 각 부위에 따라 각기 다른 모션을 통해 '제거'하는 양상을 모사하였다. 선박의 앞부분에 해당하는 구상 선수, 외판의 대부분을 차지하는 선박 표면, 원형 구멍의 형태를 가지는 DPS 프로펠러 수납구와 좀 더 큰 원형 구멍의 형태를 가지는 평형수 배출입구, 마지막으로 프로펠러, 이상 다섯 지점에서 로봇이 제거하는 모션을 설계하였으며, 대부분은 2차원 로봇의 한계였던 3차원인 제거에 초점을 맞추었다.

① 준비자세 (변신모션)



준비자세 (변신모션)

팔이 수납된 상태에서 제거를 위해 가동범위로 들어서는 모션으로 모든 제거 모션의 기틀이 되는 '준비자세'로의 팔의 이동이 주안점이 된다. 평상시에는 로봇팔을 수납하여 유선형 몸체로 이동을 하고 제거 작업시에는 로봇팔을 꺼내 작업하도록 하는 모션을 설계하였다.

② 선박 표면 제거 모션



: 해양생물 부착된 선박 표면 [11]

선박 표면에 붙은 따개비류를 제거하는 모션이다. 이는 이미 2차원 표면상의 움직임을 보이는 기존 로봇들의 전문분야이지만 타겟로봇이 불가능한 제거 방식 또한 아니기에 이 모션 또한 설계하였다. 그림과 같이 선박 표면이 대각선으로 내려가고 있는 것에 주목하여 모션을 설계하였다.

③ 작은 원형 구멍 제거 모션



: 선박 작은 원형 [12]

비교적 작은 원형 구멍을 가지고 있는 선박 표면 구조에 적용할 수 있는 모션이다. 그라인더를 회전시키면서 팔의 움직임을 통해 원을 그리도록 하여 제시된 원형 구멍의 반경에 맞는 움직임을 구사할 수 있도록 모션을 설계하였다.

각 사진에서 보여지는 원형 구멍 형태의 표면들은 선박의 수평이동에 관여하는 프로펠러를 보호하는 역할을 한다. 이 과정에서 저러한 철제 창살에도 따개비가 서식하게 되는데 이러한 작은 구멍 형태에도 로봇 팔을 통하여 제거할 수 있도록 세심한 모션설계가 필요할 것이다.

④ 큰 원형 구멍 제거 모션



: 선박 큰 원형 구멍 [13]

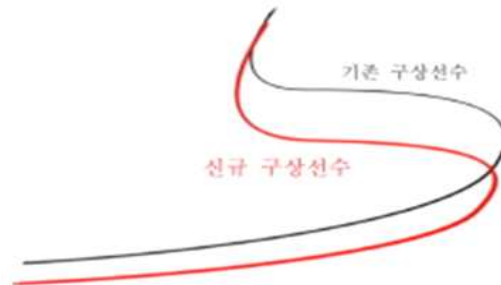
상단의 작은 원통 모션과 근본적으로 유사하나 작업 환경이 넓어지기에 로봇팔의 가동반경 또한 더 넓어져야 한다. 작은 원통과는 다르게 양팔을 사용하여야 하며 큰 반원을 그리는 형태로 로봇이 작동하도록 모션을 설계해야 한다. 일 예로 위 사진처럼 대형 선박의 추진용 회전 날개를 지탱하는 홈 형태의 구멍의 경우 그 크기가 상당하므로 양 로봇팔을 모두 사용하여 진행해야 한다.

특히 이 부분은 엔진에 직접적인 영향이 가는 부분이므로 따개비 등에 의해 마찰력이 증가하게 되면 엔진에 무리가 가서 긴급적으로 잠수사를 투입하여 응급조치를 하기도 하는 만큼 특히나 지속적인 관리가 필요한 부분이기에 이 모션의 중요성 또한 막중하다.

⑤ 선박 선수 제거 모션



선박 선수[14]



뱃머리는 배의 앞부분의 저항을 가장 많이 받는 지점을 가리키며 앞선 표면들과는 다르게 비교적 입체적인 형태를 가지고 있다. 물살을 가르는 부분이라 어찌보면 부착생물의 착생이 불가능해 보일지도 모르지만 해수가 닿는 지점이면 항상 번식하는 것이 부착생물이기에 이러한 부분에 대한 제거 과정 또한 필수적이다.

양 로봇팔을 동원하여 양 옆에서 끌어내리는 식의 모션 설계가 필요하며 옆에서 본 뱃머리 자체는 직선 형태이기에 비교적 단순한 제거 방식이 될 것으로 보인다.

또한 구상선수는 대형 선박의 앞부분에 위치한 돌기형태의 구조물이다. 뱃머리에서 이용한 모션에서 로봇팔 사이의 간격을 조금 넓힌다면 구상선수에 유효한 제거모션으로 기능할 수 있을 것이다.

⑥ 프로펠러 제거 모션



선박 프로펠러 [15]

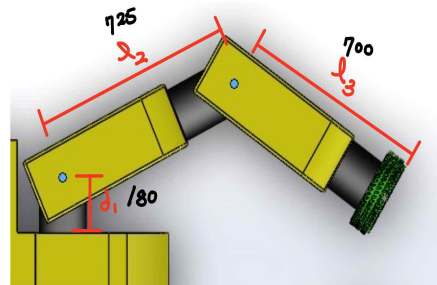
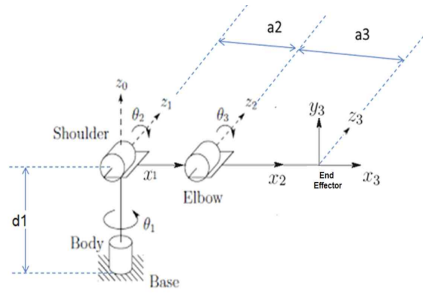
가장 까다로운 모션 설계가 예상되며 그 구조 자체가 단순한 평면 혹은 곡선으로는 정의할 수 없기에 역기구학을 통한 모션 해석을 진행해야만 한다.

곡선으로 들어갔다가 다시 곡선 형태로 되돌아오는 모션을 프로펠러의 외곽 형태를 따라 계속해서 반복되는 형식으로 모션을 설계하여야 하며 좌표값의 이동을 그 형태에 맞는 배열로 온전히 담아내는 것이 중요한 사안이 될 것이다.

결을 따라 그래인더를 이동시킨다고 가정한다면 매번 달라지는 곡선 형태에 따라 로봇팔을 앞으로 왔다 갔다 반복하는 형식의 모션이 필요하다.

4. 모션해석

1) 역기구학



j	θ	d	α	l
1	θ_1	180	$\frac{\pi}{2}$	0
2	θ_2	0	0	725
3	θ_3	0	0	700

설계한 로봇팔의 구조를 분석, 단순화하였을 때 다음과 같은 형태로 나타남을 인했습니다. 위 좌표계를 이용하여 DH-parameter를 구하였습니다. 도출한 DH-parameter를 통해 T_3^0 을 구하여 정기구학 해석하면 다음과 같습니다.

$$T_3^0 = \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline \cos 1 * \cos(2+3) & -\cos 1 * \sin(2+3) & \sin 1 & \cos 1 * (l_2 * \cos 2 + l_3 * \cos(2+3)) \\ \hline \sin 1 * \cos(2+3) & -\sin 1 * \sin(2+3) & -\cos 1 & \sin 1 * (l_2 * \cos 2 + l_3 * \cos(2+3)) \\ \hline \sin(2+3) & \cos(2+3) & 0 & d_1 + l_2 * \sin 2 + l_3 * (\sin(2+3)) \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \\ \hline \end{array}$$

해석한 정기구학을 통해 역기구학을 해석한 과정은 다음과 같습니다. 먼저 θ_1 값을 구해보면 다음과 같이 구할 수 있습니다.

$$P_x = \cos 1 * (l_2 * \cos 2 + l_3 * \cos(2+3))$$

$$P_y = \sin 1 * (l_2 * \cos 2 + l_3 * \cos(2+3))$$

$$P_z = l_2 * \sin 2 + l_3 * \sin(2+3)$$

$$\therefore \theta_1 = \arctan 2(P_y, P_x) \quad [\text{if, } l_2 * \cos 2 + l_3 * \cos(2+3) \neq 0]$$

다음으로 θ_2 와 θ_3 을 구하기 위하여 수식을 전개하여 각각의 값을 구하면, 다음과 같이 구할 수 있습니다. 이때, 로봇은 위를 향하고 있기 때문에 θ_2 와 θ_3 에서 계산하는 과정에서 부호를 결정할 수 있습니다.

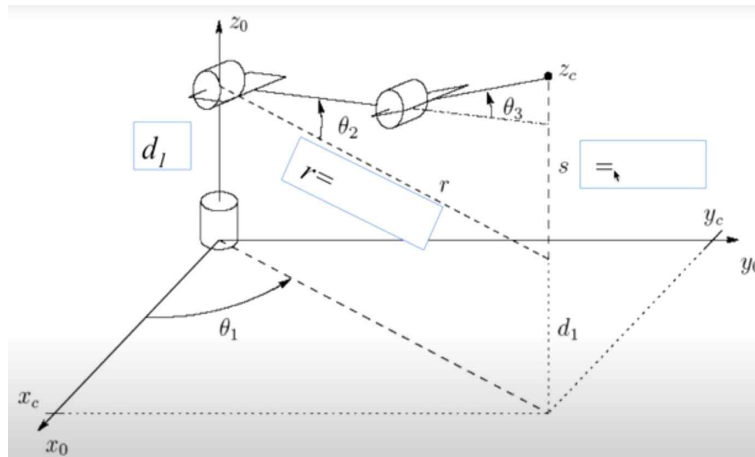
$$T_3^0 = T_1^0 * T_2^1 * T_3^2$$

$$(T_1^0)^{-1} T_3^0 = T_2^1 * T_3^2$$

$$T_3^1 = T_3^2$$

$$\left[\begin{array}{c|c} R'_3 & \begin{matrix} P_x \cdot C_1 + P_y \cdot S_1 \\ P_z - 180 \\ P_x \cdot S_1 - P_y \cdot C_1 \end{matrix} \\ \hline 0 & 1 \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c|c} R'_3 & \begin{matrix} l_2 C_2 + l_3 C(2+3) \\ l_2 S_2 + l_3 S(2+3) \\ 0 \end{matrix} \\ \hline 0 & 1 \end{array} \right]$$

$$\begin{aligned} \therefore r &= P_x \cos 1 + P_y \sin 1 = l_2 \cos 2 + l_3 \cos(2+3) \\ s &= P_z - 180 = l_2 \sin 2 + l_3 \sin(2+3) \end{aligned}$$



$$\cos 3 = \frac{(r^2 + s^2) - (l_2^2 + l_3^2)}{2 * l_2 * l_3} - D \quad \sin 3 = \pm \sqrt{1 - (D)^2}$$

$$\Rightarrow \theta_3 = \arctan2(\pm \sqrt{1 - (D)^2}, D)$$

$$\cos 2 = \frac{(P_x^2 + P_y^2) - (l_2^2 + l_3^2)}{2 * l_2 * l_3} \quad \sin 2 = \pm \sqrt{1 - (\cos 2)^2} \Rightarrow \theta_2 = \arctan2(S2, C2)$$

$$\Rightarrow \theta_2 = \arctan2(S2, C2) \mp \arctan2(l_3 * \sin 3, l_2 + l_3 * \cos 3)$$

2) 매트랩

①gen_plan 함수

선형 및 곡선 경로 데이터 점을 생성하는 함수입니다. 이동할 여러 점들이 포함된 배열을 입력으로 사용하여 배열 내의 점들을 linspace 함수 또는 원의 방정식을 사용한 코드를 통해 입력값으로 준 점들을 직선 또는 곡선으로 이어 줍니다. 저희 모션에서는 저희 로봇 기준 Y-Z 평면에서만 원을 그리기 때문에 Y-Z 평면에서의 원 방정식만 함수에 포함하였습니다. 반환값으로 $[x, y, z]$ 데이터 점 배열을 반환합니다.

②역기구학 함수

Rz-Ry-Ry형의 로봇팔의 역기구학을 MATLAB 코드로 구현한 함수입니다. gen_plan 함수로 생성된 $[x, y, z]$ 배열을 입력으로 사용합니다. 역기구학 공식에 필요한 $[x, y, z]$ 배열과 링크 2, 링크 3을 사용하여 $[th1, th2, th3]$ 을 구합니다. 그 후 rad2deg 함수를 통해 deg 각도로 변환해 줍니다. 그 후 반환값으로 각 모터에 들어갈 각도 배열인 $[th1, th2, th3]$ 을 반환합니다.

③제거 준비 자세

로봇이 팔을 사용하기 위해 몸체로부터 팔을 꺼내는 모션입니다. 위의 gen_plan 함수를 사용하여 이동할 여러 점들이 포함된 배열인 p를 입력하여 $[x, y, z]$ 데이터 점 배열을 생성합니다. 이때 로봇의 가동범위 한계로 인해 구동할 수 없는 모션은 조금의 수정을 통해 여러 곡선이 합쳐진 형태가 된 배열로 만들어 주었습니다. 그 배열은 gen_plan으로는 생성할 수 없어 배열을 따로 만들어서 삽입해 주었습니다. 이렇게 생성된 데이터 점을 역기구학 함수를 사용하여 각도 변위 데이터 점 [th1, th2, th3]으로 변환한 후 txt 파일로 저장, Solidworks 모션 해석을 진행하였습니다.

④해양 부착물 제거 - 작은 원통형

작은 원통을 청소할 수 있는 모션입니다. 팔을 구멍으로 넣어 원형으로 빙글빙글 돌리는 모션입니다. gen_plan 함수를 사용하여 이동할 여러 점들이 포함된 배열인 p를 입력하여 $[x, y, z]$ 데이터 점 배열을 생성합니다. 이렇게 생성된 데이터 점을 역기구학 함수를 사용하여 각도 변위 데이터 점 [th1, th2, th3]으로 변환한 후 txt 파일로 저장, Solidworks 모션 해석을 진행하였습니다.

⑤해양 부착물 제거 - 큰 원통형

직경 3m 이상의 큰 원통을 청소하는 모션입니다. 로봇이 직접 들어가서 청소한다고 가정하였습니다. gen_plan 함수를 사용하여 이동할 여러 점들이 포함된 배열인 p를 입력하여 $[x, y, z]$ 데이터 점 배열을 생성합니다. 이렇게 생성된 데이터 점을 역기구학 함수를 사용하여 각도 변위 데이터 점 [th1, th2, th3]으로 변환합니다. 이때 end point의 좌표 변화 없이 th1의 회전만 하는 과정이 있어 이는 역기구학으로 각도 변위를 구한 후 삽입해 주었습니다. 그 후 [th1, th2, th3] 배열을 txt 파일로 저장, Solidworks 모션 해석을 진행하였습니다.

⑥해양 부착물 제거 - 선박 선수

선박 선수를 청소하는 모션입니다. 선수가 삐기형처럼 생겼다고 가정하고 청소하는 모션을 계획하였습니다. gen_plan 함수를 사용하여 이동할 여러 점들이 포함된 배열인 p를 입력하여 $[x, y, z]$ 데이터 점 배열을 생성합니다. 이렇게 생성된 데이터 점을 역기구학 함수를 사용하여 각도 변위 데이터 점 [th1, th2, th3]으로 변환한 후 txt 파일로 저장, Solidworks 모션 해석을 진행하였습니다.

⑦해양 부착물 제거 - 선박 표면

선박 표면의 부착물을 제거하는 모션입니다. 기본 동작에서 시작하여 ㄴ자 형태로 표면을 청소합니다. gen_plan 함수를 사용하여 이동할 여러 점들이 포함된 배열인 p를 입력하여 $[x, y, z]$ 데이터 점 배열을 생성합니다. 이렇게 생성된 데이터 점을 역기구학 함수를 사용하여 각도 변위 데이터 점 [th1, th2, th3]으로 변환한 후 txt 파일로 저장, Solidworks 모션 해석을 진행하였습니다.

3) 모션해석

각 모션의 모션해석 결과는 첨부된 동영상을 통해 확인하실 수 있습니다.

5. 설계평가

기존에 존재했던 로봇들의 가장 명확한 한계점은 2차원 평면상의 움직임으로 그 기능이 제한된다는 점이였다. 첫 번째 목표였던 로봇팔의 운용의 경우, 3축 모터를 이용한 움직임을 통해 잠수사의 팔이 행할 수 있는 거의 대부분의 제거 방식이 유효하게 설계됐다. 그렇기에 로봇팔을 이용한 3차원적 움직임의 구현은 기존의 2차원 평면상의 움직임으로는 부착생물을 제거할 수 없었던 선체 취약 부분에 대한 접근을 가능케 했으며 보다 더욱 정밀한 제거 방식을 차용할 수 있도록 만들어주었다. 특히 수중에서 이러한 작업이 이뤄지는 경우엔 주로 잠수사를 통한 방법 밖에는 존재치 않았는데 설계 로봇이 이 산업 잠수사의 제거 작업 과정을 기구학적으로 모방하여 어느 정도 잠수사를 대신하는 것이 가능해졌기에 타겟 로봇이 가지는 차별성은 뛰어나다고 평할 수 있다.

특히 각 제거 모션 중에서 로봇팔의 이점을 가장 명확히 살린 모션으로는 작은 통, 큰 통과 같은 이전 로봇들과는 달리 '깊이'라는 개념이 생긴 3차원 구역에 부착된 착생생물들을 제거하는 모션으로 볼 수 있다. DPS 프로펠러 수납공간과 같이 비교적 작은 원통형에서 선박 추진용 덕트 프로펠러와 같이 부착 생물이 착생했을 시 선박 엔진에 직접적인 영향을 주는 부분과 기존의 로봇들이 접근할 수 없었던 표면의 구멍 부분과 같은 취약점에 있어 매우 유효한 모션이기 때문이다. 다만 큰 원통 제거 모션의 경우 한 가지 아쉬운 점이 유선형의 몸체를 구현하기 위한 상단 뚜껑 탓에 상단 영역의 가동범위가 상당히 제한돼 하단 반원이 가동 범위의 한계가 됨으로서 어느 정도의 한계점을 수반한다고 볼 수 있다.

유선형 몸체의 구현의 경우 상단 부분의 모습은 당초 계획한 형태와 맞아떨어지지만 하단 부분의 경우 단순한 평면으로 설계한 점이 조금 아쉽다. 하단 부분 또한 마저 유선형으로 제작했다면 더욱 완벽한 유선형의 몸체를 제작할 수 있었을 것이다. 하지만 이는 로봇팔의 가동범위 탓에 하단 부분에 공백이 생길 수밖에 없어 평평한 바닥으로 설계한 부분 또한 존재함으로 상충하는 목적들에 있어 타협점을 찾은 것으로 보는 게 더 적합한 시각으로 보인다.

6. 출처 및 참고문헌

조정호, 2021, "위험하고 힘든 대형선박 수중 청소 로봇이 한다", 연합뉴스

<https://www.yna.co.kr/view/AKR20210602144800051>

박상호, 2014, "삼성중공업, 수중 선체청소로봇 개발", EBN

<https://www.ebn.co.kr/news/view/713522>

장길수, 2016, "타스글로벌, 선박 청소·수리용 수중 로봇 개발", 로봇신문

<http://www.irobotnews.com/news/articleView.html?idxno=7329>

3자유도 로봇팔 역기구학 참고 자료

<https://ddangeun.tistory.com/27>

사진 1 Antifouling, "PROFESSIONAL | OFFSHORE"

<https://biofilmfree.com/professional-offshore/>

사진 2 이창호, 2019, "[알아두면 쓸모 있는 신비한 해양지식] 해양생태계교란생물 제1호, 유령멍게", 대전일보

http://www.daejeonilbo.com/news/newsitem.asp?pk_no=1367687

사진 3 Sea Line, "Antifouling paints" product

<http://www.sea-line.eu/en/farba-antyporostowa/>

사진 4 U.S. Navy, 2014, "The Art of Dry Docking", Youtube

<https://www.youtube.com/watch?v=1fiTzJ5ydaA>

사진 5 SHI, 2014, "삼성중공업, 수중 선체청소로봇 개발", 말랑말랑한 SHI이야기

<https://blog.samsungshi.com/489>

사진 6 타스글로벌 - "주요사업 - 수중 선박 청소를 위한 맞춤 로봇 청소 시스템"

<http://usmtas.kr/ko/>

사진 7 SLM, "Home - Function"

<http://www.slm-global.com/robot>

사진 8 이광철, 2014, "'통영함 비리' 방사청 前사업팀장 체포...구속영장 검토", 연합뉴스

<https://www.yna.co.kr/view/AKR20140930024000004>

사진 9 PowerVision, "PowerDolphin"

<https://www.powervision.me/en/product/powerdolphin>

사진 10 Puerto Rico Maritime Consulting Corp. - "Puerto Rico Maritime Consulting Corp.-Services"

<http://www.puertoricomarine.com/en/services/>

사진 11 이영완, 2009, "돌고래·상어 피부 모방해 '배에 붙는 해조류' 없앤다", 조선일보

https://biz.chosun.com/site/data/html_dir/2009/09/30/2009093001729.html

사진 12 성혜미, 2017, "세월호 수색작업 설계 착수...드론 띄워 선체 촬영(종합)", 연합뉴스

<https://www.yna.co.kr/view/AKR20170411190151003>

사진 13 주)대한마린산업, 2013, "선저검사 - bow thruster.선박추진기.프로펠러.바우스러스터 점검", 대한마린산업

<https://blog.daum.net/ezdiving/51>

사진 14 노병우, 2013, "현대상선 '브레이브호' 국내 최초 성형 작업", 프라임경제

http://m.newsprime.co.kr/section_view.html?no=260661

사진 15 SHIP TECHNOLOGY, 2016, "Wartsila to supply fixed pitch propellers for Greek Aframax tankers"

<https://www.ship-technology.com/news/newswartsila-to-supply-fixed-pitch-propellers-for-greek-afamax-tankers-4850980>

7. Q&A

Q. 해양생물을 청소 할 동안 해류의 움직임과 청소하는 것의 반발력 때문에 지속하여 떠있는 것이 힘들것 이라 예상이 되고 또한 청소의 영향을 줄 것 같습니다. 반발력은 어느정도 계산이 가능한데 일정하지 않은 해류의 움직임은 어떻게 대응할 것인지 궁금합니다.

: 대개 수중에서 이루어지는 부착생물 제거과정은 해류의 영향이 강한 대양에서 이뤄지는게 아닌 연안에서 이루어지고 있습니다. 그렇기에 해류의 영향이 질문자님께서 말씀해주신 만큼 위협적일 정도는 아닙니다. 고로 무시해도 될 정도라고 판단하였습니다. 또한 말씀하신 제거 과정내의 반발력은 작용 반작용과 같은 단순한 물리 법칙에 의해서도 계산이 가능하기 때문에 충분히 대응 가능한 범위에서 다뤄질 수 있습니다.

Q. 로봇팔을 다는 방식을 채택하셨는데 부착물을 제거하는 가장 효율적인 방식이 로봇팔을 사용하는 것(인간의 손을 따라하는 방식)인지 궁금합니다. 팔말고 다른 효율적인 방식이 있지 않을까 싶습니다.

: 현재에도 선박의 부착생물을 제거 하는데에 있어 잠수사가 작업을 하는 경우가 대다수 입니다. 또한 현재 개발된 로봇은 2차원적 제거에는 효율적이지만 평면이 아닌 부분은 제거가 쉽지 않습니다. 저희가 로봇 팔 방식을 채택한 이유는 이 부분에 대한 한계를 극복하는데 있어 더욱 효과적일 것입니다. 결과적으로 두 로봇을 함께 사용한다면 훨씬 효과적인 제거가 될 것이라 예상합니다.

Q. 선박의 크기에 따라 수중으로 들어가는 깊이가 다를 것으로 판단되는데 그 기준을 어떻게 판단할 수 있는지 궁금합니다. 카메라로 판단할 것인지 초음파 센서로 해양생물의 유무를 판단할 것인지에 대해 궁금합니다.

: 목표지점은 당연히 부착생물이 존재하는 곳이며 필요에 따라 배의 특정 구역(추진용 프로펠러, 닳 수납 구멍 등)을 목표로 잡을 수 있겠습니다. 전자의 경우엔 배의 일정 반경을 상정하여 그 궤도를 돌아가며 카메라 센서를 이용, 부착생물의 존재를 판단하여 즉각 조치를 취할 수 있을 것입니다. 또한 후자의 경우엔 선박의 목표 지점까지의 효율적인 궤도를 상정한 뒤 실제로 투입, 목표지점에 도착하고 난 뒤엔 카메라를 통해 전자와 같은 제거작업을 실행하면 될 것입니다.

Q. 현재 로봇의 외형은 선박에서 제거된 생물이나 바다에 떠다니는 쓰레기에의해 프로펠러가 파손될 가능성이 보입니다.

: 실제 잠수함의 경우도 프로펠러가 밖으로 도출되어 있는 것을 볼 수있습니다. 해양쓰레기가 상대적으로 적은 연안에서 움직임을 가동시 큰 문제 없어보입니다.

Q. 대형 선박의 경우 배가 잠겨있는 부분이 꽤나 깊은데, 섬세한 로봇이 수압을 견디고 작동할 수 있을까요?

Q. 팔을 꺼내고 다시 넣는 과정에서 로봇 속에 바닷물이 빠져나가지 않고 고이는 현상이 생길 거 같은데 이때 생길 수압으로 인한 저항을 고려하셨나요?

Q. 저 로봇이 수중 안에서 활동하는데 녹이나, 수압 영향으로 인해서 작동에 영향을 끼치는 문제는 어떻게 해결하셨나요?

Q. 수심이 깊어질수록 수압 또한 높아질텐데 그렇다면 로봇이 작동할 때 무리는 없는지 궁금합니다

: 수압의 경우 기구학적 관점이 아닌 응력, 재료역학적 관점의 접근이라고 생각합니다. 즉, 재료선정이나 파손에 관련된 해석은 이 프로젝트의 목적과 동떨어져 있다고 생각하였습니다. 본 프로젝트의 본질적인 목적에 집중하여 프로젝트를 진행하기 위해 유체 및 응력 관점의 해석은 모두 무시하는 것으로 가정하였습니다.

Q. 그라인더로 부착생물을 완전히 제거할 시 어쩔 수 없이 선박에도 피해가 갈것입니다. 선박 하부의 여러 부분에서 상처가 생긴다면 부착생물의 피해보다 더 큰 피해가 생기지 않을까요?

: 현재 잠수사들이 직접 물에 들어가 그라인더로 직접적인 제거를 진행하고 있습니다. 또는 입거과정을 거쳐 긁어내는 과정을 통해 제거 작업을 실시합니다. 이를 통해 현시점에서 가장 효율적인 제거방식이라 판단하였습니다.

Q. 프로펠러 직경이 3.5m라고 로봇팔 두 개의 합이 3.5m가 될 필요가 있나라는 생각이 듭니다. 오히려 수중이니까 원통형을 돌아가면서 제거를 하는게 더 효율적인것 같습니다. 광범위한 부분을 빠르게 작업을 하려면 팔이 긴 것이 장점이 될 수가 있겠지만 물속에서는 팔이 길면 길수록 팔을 제어하는 것에 있어서 큰 힘이 필요하다고 생각합니다.

: 로봇팔이 너무 짧아지게 되면, 로봇의 크기는 감소할 것으로 예상됩니다. 그러나 제거를 위해서는 어느 정도의 무게가 있어야 반력을 견딜 수 있다고 판단하였습니다. 그 결과 로봇팔의 길이는 어느 정도 있어야 한다고 생각하였습니다. 이 과정에서 가장 큰 모션을 기준으로 링크길이를 설정하였습니다. 문제를 접근하는 순서에 따라 설계가 달라질 수 있음을 알 수 있는 질문이라고 생각합니다.

Q. 제거 모션 시 그라인더가 대각선 아래로 내려간다면 그라인더와 배 표면이 닿는 표면적이 줄어들어서 효율이 떨어질 것 같은데 이에 대한 답변이나 다른 방법이 있으신가요?

: 로봇팔의 엔드 포인트에 손목과 같은 3축을 추가한다면 이를 해결할 수 있는 방법입니다. 그러나 추가적인 기구학적 해석을 필요로 하여 프로젝트를 진행하였습니다.

Q. 해양부착생물인지 아닌지 판단하는 방법에 대해서 궁금합니다.

: 현재 카메라를 이용한 해양부착생물 연구가 진행 중에 있습니다. 실제 저희 학과 조영근 교수님께서 진행하신 연구에도 이와 비슷한 논문을 확인할 수 있습니다. 현재 연구 중의 분야이고, 실제로 적용가능한 수준까지 연구가 진행된다면, 카메라를 이용해 부착생물을 판단하고자 합니다.

Q. 바다 속에 많은 쓰레기와 장애물 사이를 지나다니다 보면 모션에 제한이 있을 것 같은데 그런 것은 어떻게 해결하나요?

: 바다 속의 쓰레기 및 장애물은 센서 인식을 통해 회피합니다. 하지만 해저를 탐사하는 로봇이 아닌 항구 근처를 주 활동 범위로 삼는 로봇이기 때문에 쓰레기와 장애물의 양이 해저보다 비교적 적으므로 크게 신경쓰지 않아도 될 것입니다.

Q. 해양생물을 제거하기 위해선 로봇이 고정된 상태로 있어야되는데 로봇의 형태를 보아 힘들어 보입니다. 이 부분은 어떻게 해결하실건가요?

Q. 해양 부착생물을 제거하려다가 제거로봇에 해양부착생물이 붙게(영키거나 끼이게)된다면 어떻게 해결할지 궁금합니다. 또, 선박에서 제거작업을 진행할때 로봇이 잘 고정이 될 수 있을지 궁금합니다.

Q. 로봇팔이 달려있으면 물의 흐름에 저항을 받기 쉬울텐데, 배의 표면에서 떨어지지 않고 붙어있을 수 있어야 할 것입니다. 이에 대해 어떤 방법을 사용하실 것인지 궁금합니다. / 프로펠러가 수평방향에만 달려있으면 원하는 곳으로 이동하기 어려울 것 같은데, 이에 대해 어떻게 생각하시나요?

Q. 로봇의 팔부분의 움직임에 대해서는 잘 알겠습니다. 하지만 로봇 자체가 움직이는 것에 대한 모션은 로봇 후면에 달린 프로펠러가 끝이라면 이것을 어떻게 추가로 해결할 것인지 궁금합니다.

Q. 물 속에서 가만히 떠있는 상태로 글라인더로 생물을 제거한다고 하셨는데 모터는 뒤에 밖에 달려 있지 않습니다. 만약 모터를 가동하지 않는다면 로봇의 무게에 의해 가라앉지 않을까요? 어떻게 가만히 떠 있게 할 것인지 여쭙보고 싶습니다.

Q. 로봇팔이 부착생물을 잡고 뒷 모터를 이용해 위로가거나 뒤로 가서 제거하는게 더 좋아보이는데 로봇 팔만으로 제거하는게 가능한가요?

: 저희 발표에는 로봇의 모션보다는 로봇 팔의 모션을 중심으로 해석하였습니다. 그러므로 로봇의 이동에 관한 해석은 진행하지 않았습니다. 하지만 만약 로봇 자체의 이동에 관한 것이라면 현재 장착된 프로펠러만으로는 부족할 것이므로, 수직 이동을 위한 프로펠러와 방향 전환을 가능하게 할 수 있는 프로펠러를 추가해야 할 것으로 생각합니다.

Q. 해류에 저항하기 위해서 제거활동 이외의 에너지 소모가 커보이는데 에너지원이 뭔가요?

: 앞선 질문에서 말씀드렸듯이 부착생물 제거는 연안에서 이루어지기 때문에 해류로 인한 저항은 그렇게 강한 편은 아닙니다. 그렇기에 이에 소모되는 연료는 그다지 크지 않을 것이라고 판단하였습니다. 또한 에너지원의 경우 이 프로젝트의 주제 자체가 기구학적 '모션'설계에 있기 때문에 큰 염두를 두지 않아 확실하게 정해진 것은 없습니다만, 배경조사에서 보여드린 대부분의 로봇은 배터리를 통해 가동되었기에 상용화돼있는 로봇들의 선례를 따라 전기 배터리를 통해 구동하는 것이 가장 현실성있는 방안으로 사료됩니다.

Q. 부착생물을 없앨 때 생기는 반발력을 극복함과 동시에 해류에 의한 움직임도 극복하여야 원활한 작업이 가능할 것으로 보이는데 이를 어떻게 해결할 생각이신지 궁금합니다.

: 앞선 질문에서 말씀드렸듯이 부착생물 제거는 연안에서 이루어지기 때문에 해류로 인한 저항은 그렇게 강한 편은 아닙니다. 그렇기에 이에 소모되는 연료는 그다지 크지 않을 것으로 판단하였습니다. 아무래도 현실적으로 상정할 수 있는 가장 큰 반발력은 수압으로 판단됩니다만 제거 과정은 산업 잠수사를 통해서도 이루어지기도 하는 만큼 매우 큰 저항을 상정할 필요는 없을 것으로 판단됩니다.

Q. 인력 대체로봇이지만 꼭 인간의 모션으로 모방하신 이유가 있으신지 궁금합니다.

Q. 로봇에게 더 적합한 모션을 가진 로봇의 형태를 구현하는것이 맞는것이 아닌지 궁금합니다.

: 인력 대체를 위해서는 인간의 모션을 모방할 수 있어야 한다고 판단하였습니다. 로봇의 목적 자체가 인력을 대체함에 있기에 다른 형태의 모션보다는 인간의 모션을 모방하는 것이 가장 적합합니다. 그 결과 Elbow arm이라 불리는 RzRyRy형의 로봇팔은 인간의 모션을 바탕으로 설계된 형태로 결정하였습니다.

Q. 배의 걸면을 긁어내는 과정에서 힘을 많이 주면 배 표면이 손상되고 힘을 덜주면 해양 생물들이 덜 정리될 것 같은데 이런 경우엔 힘을 어떻게 주실 생각이신가요?

: 센서 인식을 통해 해양생물의 정리 여부를 판단 후, 부착된 해양생물의 양에 따라 어느 정도의 출력으로 그라인더를 작동시킬지 정합니다. 센서의 종류는 위에서 언급했던 연구 중인 컴퓨터 비전 분야의 카메라, 음파 반사를 통해 어느 정도 깊이까지 해양생물이 부착되어 있는지 알 수 있는 초음파 센서 등을 사용할 수 있습니다.