

환경종합설계 최종보고서



PIG ME UP조

2016890002 강다희

2016890056 이지혜

2016890058 장윤빈

관세척용 올챙이형 다기능 피그에 관한 연구

A Study on the Tadpole-type Pig for Cleaning the Water Supply Pipe



목차

I. 서론

1. 개발 과제의 개요
 - 1.1 개발 과제 요약
 - 1.2 개발 과제의 배경 및 효과
 - 1.3 개발과제의 목표와 내용
2. 관련 기술의 현황
 - 2.1 State of art
 - 2.2 특허조사
 - 2.3 특허전략
 - 2.4 기술 로드맵
3. 관련 시장에 대한 분석
 - 3.1 경쟁제품 조사 비교
 - 3.2 마케팅 전략
4. 개발과제의 기대효과
 - 4.1 기술적 기대효과
 - 4.2 경제적 및 사회적 파급 효과
5. 구성원 및 추진체계

II. 설계

1. 설계사양
 - 1.1 제품 요구사항 목록
 - 1.2 QFD
2. 개념설계안
 - 2.1 피그 헤드 부분
 - 2.2 피그 바디 부분
 - 2.3 약품 주입 유닛
 - 2.4 개념설계 요약
3. 이론적 계산 및 시뮬레이션
 - 3.1 헤드 유닛
 - 3.2 약품 주입 유닛
 - 3.3 유닛 결합 및 고정 장치
4. 조립도
5. 부품도
6. 자재소요서

III. 결과 및 평가

1. 완료작품 소개
 - 1.1 프로토타입 사진
 - 1.2 포스터
2. 개발사업비 내역서
3. 완료 작품의 평가
4. 향후평가

IV. 참고자료

I. 서론

1. 개발 과제의 개요

1.1 개발 과제 요약

세관공법 중 피그세척에 사용되는 피그의 형태 개발 및 노후화된 수도관은 적수 등의 사고를 일으킬 가능성이 있으므로 노후관의 교체나 갱생은 필수적이다. 본 과제는 노후화된 수도관의 갱생을 위해 피그세척방법을 선정하였다. 기존 피그에서 문제점으로 제기되는 곡관부 주행력을 개선하고, 약품주입기능을 추가하며 브러시 등의 유닛을 탈부착할 수 있는 피그를 개발하여 보다 효율적이고 경제적으로 노후 상수도관의 사고를 예방하고 그 기능을 복원하며 더 나아가 상수도관의 정기적 세척에 사용하여 최종적으로 소비자에게 더 높은 양질의 물을 공급하는 것을 목적으로 한다.

1.2 개발 과제의 배경 및 효과

1.2.1 개발 동기

최근, 노후 상수도관으로 인한 사고가 잇달아 발생하였다. 먼저 5월 30일경, 인천시 영종지역 등 공촌정수장 수계 내에서 적수 문제가 발생하였다. 해당 수질 사고는 수계 전환 과정에서 밸브를 급하게 개방하며 관내 유속이 2배 이상 증가하여 관내 침전물이 떠올라 발생한 것으로 밝혀졌다. 6월 20일경에는 서울시 영등포구 문래동 지역에서 적수발생 민원이 6건 접수되었으며, 그 중 3곳에서 기준보다 높은 탁도가 검출되었다. 해당 수질 사고의 원인은 노후 상수도관으로 밝혀졌으며, 이는 영등포구청역~도림교 사이의 관으로 73년 부설하여 47년이 경과한 관이었다.

위의 수돗물 적수사태에서 미루어 볼 수 있듯, 상수도관의 노후화는 수돗물 품질의 신뢰성 저하 및 사고 발생 시 대규모 단수를 유발하기 때문에 사회적, 경제적으로 큰 영향을 미친다. 노후화된 상수도관으로 인한 사고를 방지하고, 그 기능을 복원하는 모든 행위를 개량이라고 한다. 개량 중에서도 갱생은 기존의 상수도관을 세관 및 보강과정을 통해 그 기능을 복원하는 방법이다. 본 설계는 세관공법 중 피그세척에 사용되는 피그의 개선을 통해 보다 효율적이고 경제적으로 노후 상수도관의 사고를 예방하고 그 기능을 복원하는 것을 목표로 한다.

1.2.2 개발 필요성

1) 노후화관

노후 상수도관이란 관의 내용연수가 지나 내외부가 부식하여 관 파손 사고와 빈번한 누수,

적수 등의 문제를 일으키는 상수도관과 내용연수가 지나지 않은 관 중에서도 비내식성 관의 내부 스케일로 적수를 일으키는 상수도관을 말한다.(서울특별시 상수도 사업본부, 2000)

노후화관은 노후와 원인에 따라 교체대상과 개량대상으로 분류하여 대책을 시행하게 된다. 적수가 발생하는 노후화관은 대부분이 교체되고, 그 외 노후화가 적게 되어 적수 발생 가능성만 존재하는 노후화관은 개량대상으로 여겨진다.

상수도 노후관의 대표적인 원인물질은 녹과 스케일로서 이를 제거하여 수질을 개선하고, 통수능을 확보하여 상수도관의 사용 수명을 연장할 필요가 있다.

2) 기존 상수도 세척 방법

1. 플러싱(Flushing) 방법

소화전 또는 이토밸브를 개방하여 유속을 빠르게 증가시켜 관내 퇴적물 및 슬라임 등을 외부로 배출시키는 방법으로 재래식, 단방향, 연속 퇴수 등의 방법으로 구분되며, 상수도에서는 재래식과 단방향 플러싱이 주로 사용된다. 최소 유속 발생이 필수이므로 대형 관에는 사용하지 못하며, 사용하더라도 소화전을 100m 이내로 많이 설치해야 하므로 비경제적이다.

(1) 재래식 플러싱(conventional flushing)

잔류염소, 색도, 탁도 등 수질 기준을 만족할 때까지 소화전, 퇴수밸브를 개방하여 관 내부의 물질을 제거하는 공법으로, 밸브 조작구간을 분리하지 않으므로 플러싱 유속을 최대로 발생시키지 못한다. 단방향 플러싱에 비해 많은 계획을 필요로 하지 않으며 특정 지점의 잔류염소 회복 및 수질기준을 만족하지 못한 수체의 배출에 적합하지만 오염물질이 타 관로를 통해 이동할 수 있다는 단점이 있다. 또한 플러싱 실시 도중이나 직후의 단수 및 소음으로 인해 민원이 발생할 수 있으며 수질개선효과의 기간이 짧다.

(2) 단방향 플러싱(unidirectional flushing)

주위 밸브를 적절히 조정하고 특정 관로 구간을 분리하여 한 방향으로 물이 흐르도록 하여 관 내부의 물질을 제거하는 공법으로, 처음에 물이 한 방향으로 이동하기 때문에 속도가 높아 제거효과가 높다. 재래식보다 소요수량이 40%가량 적으며 적정 유속인 1.5m/s보다 유속이 낮을 경우, 효과가 감소한다. 생물막의 완전제거와 대구경 적용이 어려우며 시행에 앞서 인력, 경로, 장비 등을 모두 고려하여 신중하게 계획을 수립하여야 한다.

(3) 연속퇴수 (continuous blowoff)

관말이나 정체지역이 많은 곳에서 배수관 중 일부 수돗물을 저유속으로 배출하여 관 내부 물질을 제거하는 공법으로, 관말 퇴수밸브를 이용하여 유속 0.3m/s 이하로 수리적 제한을 둔다. 잔류염소의 회복 및 체류시간의 단축이 가능하지만 소화전과 연계하지 않으면 축적고형물의 제거에 필요한 유속을 생성할 수 없어 수질문제의 원인을 해결하지 못하고 많은 물을 소비할 수 있다.

2. 공기 주입(Air Scouring) 공법

상수도관 내부의 흐르는 수돗물에 압축공기를 일정 간격으로 주입하여 water slug를 생성시켜 내부에 약하게 부착된 침적물 또는 생물막 등을 제거하여 외부로 배출하는 세척공법으로 직경이 80~200mm인 상수도관에 적용하고, 최대 적용가능 구간은 1km이다.

압축공기와 물의 관내 비율이 1:1이기 때문에 세척수량이 저감되며 플러싱보다 많은 고형물 제거할 수 있지만 관 파손 가능성이 적다. 하지만 세척구간 길이가 대상 관로의 관경, 공기압

축기 용량, 관로 상하향 구배에 절대적인 영향을 받는다. 또한 일시적인 적수발생 또는 철 농도의 증가와 같은 수질 악화 가능성이 있고, 점착성 침전물(물때 등) 제거 효과가 피그세척보다 낮은 것으로 보고되었다. 누수를 찾는데 어려움이 있으며 심하게 부식된 배관은 적용하기 어렵다.

공기 주입공법의 변법으로 고압질소 세척법이 있다. 공기 중 약 78%를 차지하는 질소를 용기에 고압(120kgf/cm²) 충전한 후 장비를 이용해 고압의 질소 기체를 배관 내부로 안정적·지속적으로 투입, 배관 내부에 쌓인 이물질 제거하는 방법으로 순수 질소만으로 세척하기 때문에 인체에 무해하고 배관의 재질, 환경, 거리에 영향을 받지 않는다. 한 번 시공에 1~1.5km 거리의 배관을 비굴착(질소투입 입구부와 출구부만 가로 3m, 세로 2m 정도 굴착) 세척이 이뤄져 세척 시간이 짧다.

3. 고압 제트 공법 (hydro jet)

고압(10000psi~22000psi)의 물을 노즐을 통해 분사하여 관벽을 닦는 기술이다. 고속워터머신, 유지보수 홀 호스 가이드, 파편 트랩, 트럭으로 구성되어 있다. 세정 효율이 높고 비용이 낮으며 기계화가 용이하고 조작성이 편리하며 안전한 기술이다. 하지만 작업거리가 매우 짧은 편이며 초기비용이 높다는 단점이 있다.

4. 아이스피그(Ice Pig) 공법

수돗물을 결빙하여 슬러시 형태로 제조하고, 이를 관로 내부로 압송 및 펌핑하여 배관 내부의 침전물 및 슬라임 또는 생물막 등을 제거하는 관로 세척공법이다. 피그 역할을 하는 얼음 슬러시는 휘어진 파이프나 지름의 크기가 다른 파이프, 이음부 부분을 막힘없이 빠르게 통과해 이물질을 제거한다. 주로 소구경의 상수도관에 적용하며 1회 작업으로 관 용량의 약 1.25~1.5배의 물이 필요하다.

5. 피그세척 공법

관 내부에 피그를 삽입하여 피그가 압력에 의해 앞으로 진행함에 따라 관 내부의 생물막과 슬러지, 스케일 등을 제거하는 세척공법이다. 용도에 따라 다양한 형태의 피그를 사용한다. 소구경의 관부터 3200mm에 이르는 대구경까지 적용할 수 있어 관의 관경 범위가 넓다. 곡관부에서 피그가 걸려 관이 막힐 수 있으며, 피그에 따라 별도 주입설비(런처)가 필요한 경우도 있다.

(1) 폼 피그 (Foam pig)

발포 우레탄 소재의 피그이다. 배관 내부의 물기나 작은 부스러기 및 먼지를 제거할 수 있다. 피그 작업 전 배관 내 통과 여부를 측정할 때 사용한다.

(2) 폴리 우레탄 피그

폼 피그에 폴리 우레탄 코팅을 적용한 피그이며, 형태는 탄환 모양이다. 강하고 두터운 재질의 배관의 생물막과 슬러지 및 녹 제거에 사용한다.

(3) 스왑 피그 (Swab pig)

경도가 낮고, 밀착력이 뛰어난 스펀지형태이다. 슬라임, 생물막제거에 사용한다. 플러싱과 공기주입보다 생물막 제거가 효과적이지만, 노후화가 심하거나 부식으로 인한 스케일의 생성이 과다한 경우엔 적용이 불가능하다. 관 지름보다 25% 큰 스왑을 사용하며 유속이 0.8~1.5m/s

일 때 효과적이다.

(4) 스틸 맨드렐 피그 (Steel mandrel pig)

금속제의 심봉에 컵 혹은 디스크형의 폴리우레탄을 부착하고 목적에 따라 와이어 브러쉬, 자석 등을 덧붙인 피그이다. 관 내부의 생물막과 슬라임, 스케일 등을 제거에 사용한다. 단단한 스케일을 제거할 수 있으며 플라싱 공법보다 더 우수한 효과를 가진다. 그리고 플라싱보다 물 소비량이 적다. 피그의 소재가 단단하여 관에 손상을 줄 염려가 있어 공법 이후 라이닝이 수행되어야 한다.

나열한 상수도 세척 방법 중 높은 세척 효과를 갖는 방법을 선정하여 그 효과를 더 높이고자 하였다. 세척 공법으로 피그세척 공법을 선정하였으며, 그 중 스틸 맨드렐 피그(Steel mandrel pig)를 사용한 피그세척 공법을 대상으로 하여 피그의 기능을 더욱 향상시키고자 한다.

1.2.3 문제점 개선방향 및 성공 시 효과

상수도관의 적수 발생 원인으로 꼽히는 강관 내부 부식물질을 제거함으로써 적수 발생을 예방할 수 있으며, 상수도관 갱생을 통해 노후화된 관의 기능을 개선하고, 개량공사보다 경제적인 시공비로 보다 오래 사용할 수 있다. 또한 기존 피그의 사용에서 우려되는 문제점인 곡관부의 막힘 문제를 해결하여 곡관, T자관 등에서 원활한 사용을 기대할 수 있다. 더불어 피그의 다기능화를 통해 피그가 수행하는 역할을 관 내 생물막 및 스케일 제거에 한정짓지 않고 그 역할을 확장할 수 있다.

1.3 개발과제의 목표와 내용

다음과 같은 사항을 통하여 기존 피그의 성능을 개선하는 것을 목표로 한다.

첫째, 각 관로의 특성을 고려할 수 있는 형태로 제작한다. 관로별 특성에 적합한 유닛을 몸체에 장착하여 해당 피그를 광범위한 관로에 사용할 수 있도록 설계한다.

둘째, 기존 피그 형태보다 곡관부에서의 진행을 향상시킨다. 헤드부의 모양을 변형하여 곡관부의 관벽에 접촉 시 진행방향이 변경되도록 제작한다. 이 때 스케일 층 사이로의 침투에 원형보다 저항을 적게 받는 형태로 선정한다. 또한 피그 몸체가 곡선형태로 굽어지게 하여 곡면에서 피그가 부드럽게 지나갈 수 있도록 한다.

셋째, 피그를 통한 물리적 세척과 더불어 약품주입을 동시에 수행할 수 있게 제작한다. 피스톤 형식을 적용하여 피그 후단에서 약품을 관 내벽에 도포할 수 있도록 한다.

2. 관련 기술의 현황

2.1 State of art

국내에서는 ‘고경도 스케일 제거를 위한 배관용 피그’(1999년 라위출 출원)에서 피그 몸체에 금속판을 박아 스케일을 제거에 용이하도록 하였다. ‘배관 내부의 스케일을 제거하는 폴리 피그’(2004년 윤경탁 출원)에서 나선형 피그 몸체로 회전력을 부여하여 스케일 제거 효율을 높였다. ‘피그를 이용한 배관 내면의 세정방법 및 그 장치’(2008년 강영철 출원)에서 와이어를 통해 폐색된 피그를 회수하는 과정을 개발하였다. ‘배관 세척용 피그’(2014년 삼성중공업 주식회사 출원)에서 추진체 축의 블레이드에 브러시를 장착한 형태를 개발하였다. ‘관로세척장치’(2016년 권오진 출원)에서 세척수단을 선택할 수 있는 피그를 개발하였다. 배관 세척용 피그 및 피깅 시스템’(2017년 삼성중공업 출원)에서 스케일이 유입홀로 유입되고 세척수만 배출홀로 배출되는 시스템을 개발하였다. ‘배관 클리닝용 피그’(2019년 주식회사 탑스 출원)의 개발로 배관의 내주면과 밀착력을 높여 세척 효과를 향상시켰다.

해외에서는 ‘Cleaning pig’(미국, 2012년 Patrik Rosen Hubert Linder Frank Fielers 출원)에서 피그 몸체에 흡입구가 있고 칼라와 바퀴로 구성된 피그를 개발하였다. ‘Pipeline pigs’(미국, 2013년 John Phipps 출원)에서 위치 확인용 피그인 인텔리전트 피그와 파이프 청소용 피그를 연결하고, 펌핑 유닛 기계를 통하여 유체흐름과 압력을 컨트롤해 곡관부에서의 적용성을 높였다. ‘Pipeline cleaning pig with self-energizing diagonally oriented scrapers’(미국, 2014년 Rick D. Pruett William J. Rankin 출원)에서 스크레이퍼와 피그를 결합시켜 대각으로 향한 스크레이퍼가 자체적으로 작동하는 형태를 개발했다. ‘Chemical pigging apparatus for pipelines’(미국, 2014년 Ahmd Abdallah Al-Jassem Qanaei 출원)에서 피스톤 누름을 통해 디스펜싱 팁으로 화학 물질이 배출되는 피그를 개발하였다.

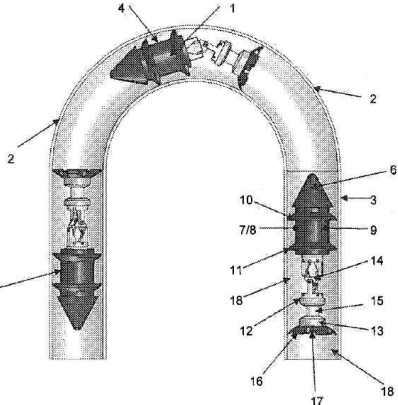
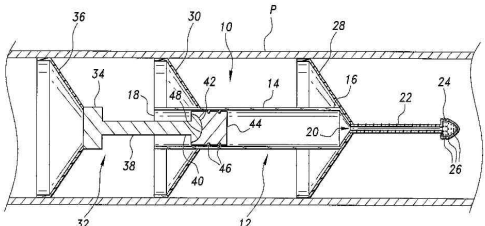
2.2 특허조사

- 국내 특허

특허명	피그	관 세척 및 살균용 폴리 피그 (소멸)
특허 등록번호	1008813760000 (2009.01.23)	100799838 (2008.01.24.)
출원인	주식회사 아세아프로텍	주식회사 아산테크
주요 특징	<ul style="list-style-type: none"> - 곱힘 응력 최소화로 곡관을 유연하게 통과하고 압송수의 수압이 극대화 - 디스크 사이에 신축 재질의 관절부 - 중앙을 관통하는 통공이 존재 - 외경보다 큰 길이를 갖는 브러시가 전후방에 모두 존재 	<ul style="list-style-type: none"> - 고속 회전날개가 부착된 원뿔형의 선단부, 지지대, 위치추적장치, 저장탱크 내장 후단부로 구성 - 고압 유체 공급시 날개가 고속 회전 - 후단부에 약품을 저장, 노즐로 분사하는 탱크 구성
도면		

특허명	관로세척장치	배관 세척 및 살균장치
특허 등록번호	1016424550000 (2016.07.19)	(소멸) 1005745830000 (2006.04.21.)
출원인	권오진	김장훈
주요 특징	<ul style="list-style-type: none"> - 고압 호스로 유입된 유체가 회전형 노즐 전, 후단부 스크류로 배출되는 과정에서 고효율의 에너지로 인한 회전, 분사력으로 스케일 제거 - 회전체 외면에 브러쉬 부착 - 회전 노즐 추진과정에서 이물질 배출 - 세척수단은 솔, 세척포, 다공 스폰지 가운데 선택되는 것을 특징으로 함 	<ul style="list-style-type: none"> - 각 몸체가 유연성을 갖도록 연결 - 제 1몸체에는 UV살균등이 내설 - 제 2몸체에는 진동부재가 내설 - 제 3몸체에는 전원부가 내설 - 몸체의 외주면에는 연질 우레탄의 가압체가 관 내 잔류 유해균 UV살균 - 진동장치로 잔류분 회수, 스케일 제거
도면		

- 국외 특허

특허명	[미국] Pipeline pigs (파이프라인 피그)	[미국] Chemical pigging apparatus for pipelines (파이프 라인을 위한 화학적 피깅 장치)
특허 등록번호	08491722 (2013.07.23)	08719989 (2014.05.13)
출원인	John Phipps	Ahmd Abdallah Al-Jassem Qanaei
주요 특징	- 인텔리전트 피그에 세척용 피그 연결 - 펌핑 유닛으로 유체흐름과 압력을 컨트롤하여 원활한 주행	- 파이프 라인과 피스톤 누름을 통해 분배관과 디스펜싱 팁을 통하여 화학 물질을 배출
도면		

2.3 특허전략

- 곡관부 유연성

: 기존 특허에서는 신축 재질 관절부의 추가(1008813760000), 체인 형태(1005745830000), 펌핑 유닛(08491722) 등으로 주행의 유연성을 꾀하였다. 따라서 기존 특허와는 다른 방식으로 곡관의 통과 유연성 증대를 도모한다. 이 때 피그 몸체를 샤워기 호스와 같이 구부러짐에 용이한 형태의 금속 재질로 설계 하여 곡관부의 주행에서 원활하도록 한다.

- 약품 주입

: 기존 특허에서는 약품을 주입하는 방법으로 노즐을 사용하여 내부 탱크의 약품을 분사하는 방법(100799838), 피스톤형식(08719989) 등의 방법이 있었다. 본 연구에서는 피스톤 형식을 적용하므로 특허번호 '08719989번'과 유사하지만 전단부에 디스펜싱 팁을 갖지 않고 노즐로 약품을 디스크와 디스크 사이 밀폐공간에 분사한다.

- 탈착형

: 기존 특허(1016424550000)의 세척수단의 종류와는 달리 본 연구에서는 스타드 및 브러시와 같은 단단한 스케일 제거가 가능한 세척수단을 대상으로 함으로 기존 특허를 회피한다.

2.4 기술 로드맵

Time Span		2020	2021	2022	2023	2024	최종목표
연도별 목표		핵심 기술 개발		기술 적용 평가	수도관 특성별 시험 및 평가	사용 매뉴얼 구축	노후 수도관 규모에 따른 관 세척 장치 기술의 상용화
피그 장치의 핵심 기술	관 세척 기술	피그 모형 개발	피그 유닛 개발				관 세척 효율을 증가시키는 향상된 피그 개발
	최적화/서비스	곡관부에서의 피그 최적화	실제 노후 수도관 내 피그 적합성 시험 및 평가		특성별 시험 및 평가		실제 관 내에서도 적용 가능한 피그 개발
	성능 평가	기술의 성능평가 기준 개발			특성별 사용 매뉴얼 구축		관 특성에 따른 피그 세척 방법 표준화
기술/시장 Needs		노후 수도관 세척 효율 향상을 위한 피그 성능 개발 필요성		피그 조작을 위한 장치 개발 필요성		관 특성에 따른 다양한 피그 제조를 위한 기술 개발 필요성	

3. 관련 시장에 대한 분석

3.1 경쟁제품 조사 비교

배관 세척 기업의 배관 클리닝 피그를 대상으로 하여 다음과 같이 경쟁제품을 조사하였다.

제품명	APRO-GP-EBF	APRO-GP-SRF
기업명	(주) 아세아프로텍	(주) 아세아프로텍
특징	<ul style="list-style-type: none"> - 배관 클리닝에 사용 - 스프링 장착 브러쉬 - 스틸, 스테인리스, 프로스트란 와이어 - 표준 니트릴, 네오프렌, 폴리 재질 컵 - 브러시, 폴리블레이드 교체 가능 - 이음부, 곡관부 주행 용이 	<ul style="list-style-type: none"> - 배관 클리닝에 사용 - 스플릿 링 브러쉬 - 스틸, 스테인리스, 프로스트란 와이어 - 표준 니트릴, 네오프렌, 폴리 재질 컵 - 양방향 주행 가능 - 이음부, 곡관부 주행 용이
제품 사진		

제품명	KOS-SRB	모델GSB
기업명	(주) Koins	(주) 제우이앤씨
특징	<ul style="list-style-type: none"> - 카본 스틸 바디 - 폴리우레탄 컵, 링형 브러시 장착 - 배관의 클리닝에 사용 	<ul style="list-style-type: none"> - 표준형 폴리우레탄 컵 - 스프링 로드로 된 강철브러쉬 - 스테인리스, 프로스트란 브러쉬 가능
제품 사진		

각 경쟁제품에서 본 연구의 개발 특징 유무를 표로 나타내면 다음과 같다.

	APRO-GP-EBF	APRO-GP-SRF	KOS-SRB	모델GSB
곡관부, 이음부 대응	O	O	X	O
다기능성(약품 주입 등)	X	X	X	X
브러쉬 탈착, 교체 가능	O	X	X	O

3.2 마케팅 전략

강점(strength)	약점(weakness)
<ul style="list-style-type: none"> - 상수도관 통수능 회복을 통한 수명 연장 - 세척기술 중 높은 세척효율을 가짐 - 대상 관로의 관경 적용범위가 넓음 - 관 특성을 반영해 유닛을 선택할 수 있음 - 한 회의 주행으로 많은 역할 수행 가능 	<ul style="list-style-type: none"> - 라이닝 작업 수반 필요 - 유닛 장착이 번거로움
기회(opportunity)	위협(threat)
<ul style="list-style-type: none"> - 상수도관 세척 의무화 추진 - 적수 사태로 시민들의 관심 증대 - 국민의 생활수준 향상으로 양질의 상수도 서비스 제공 요구 - 노후상수도 시설 현황 지표 우수하여 적용 대상 관로가 명확함 - 글로벌 물시장 지속 성장 전망 	<ul style="list-style-type: none"> - 타 관세척 기술의 화제성 (썬니팡의 고압질소세척) - 국민의 수돗물에 대한 불신 증대

	강점(strength)	약점(weakness)
기회 (opportunity)	<p>- SO전략</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 상수도관 세척 의무화와 적수 사태로 인한 대중들의 관심을 배경으로 세척기술 중 높은 세척효율을 가진다는 점을 제시하여 연구 기술에 대한 주목도를 높인다. 2. 관 특성에 따라 유닛을 선택하여 적용할 수 있으므로 성장하는 글로벌 물시장에 맞춤형 유연한 설계가 가능하다. 3. 명확한 적용 대상 관로에 최적화된 세척 기술이라는 점을 강조한다. 	<p>- WO전략</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 라이닝 작업을 수행함으로써 부식으로 인한 적수 사태를 방지할 수 있다고 안내한다. 2. 적용 대상 관로가 명확하므로 각 관로의 특성을 반영하여 피그를 운용할 수 있으므로 번거로움을 감수할 가치가 있다.
위협 (threat)	<p>- ST전략</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 화제되는 기술은 관경 1000mm까지의 관로까지밖에 적용하지 못하므로 연구 대상보다 적용의 범위가 적다는 점을 강조한다. 2. 높은 세척효율을 가지므로 세척 전 후 결과를 국민들에게 알려 수돗물에 대한 불신을 감소시킨다. 	<p>- WT전략</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 라이닝 작업이 수반되어야하므로 부식을 방지하는 과정에서 노후 상수도의 관 부식으로 인한 수돗물에 대한 불신을 해소할 수 있다.

4. 개발과제의 기대효과

4.1 기술적 기대효과

- 별도의약품 주입 공정 없이 약품 주입을 함께 수행하여 전체 시스템의 소요 시간과 비용을 절감할 수 있다.
- 피그의 역학적인 거동의 변화로 피그의 관 폐색율의 감소가 기대된다.
- 규격의 표준화를 통해 여러 종류의 디스크를 피그의 몸체에 호환하여 사용할 수 있다.

4.2 경제적 및 사회적 파급 효과

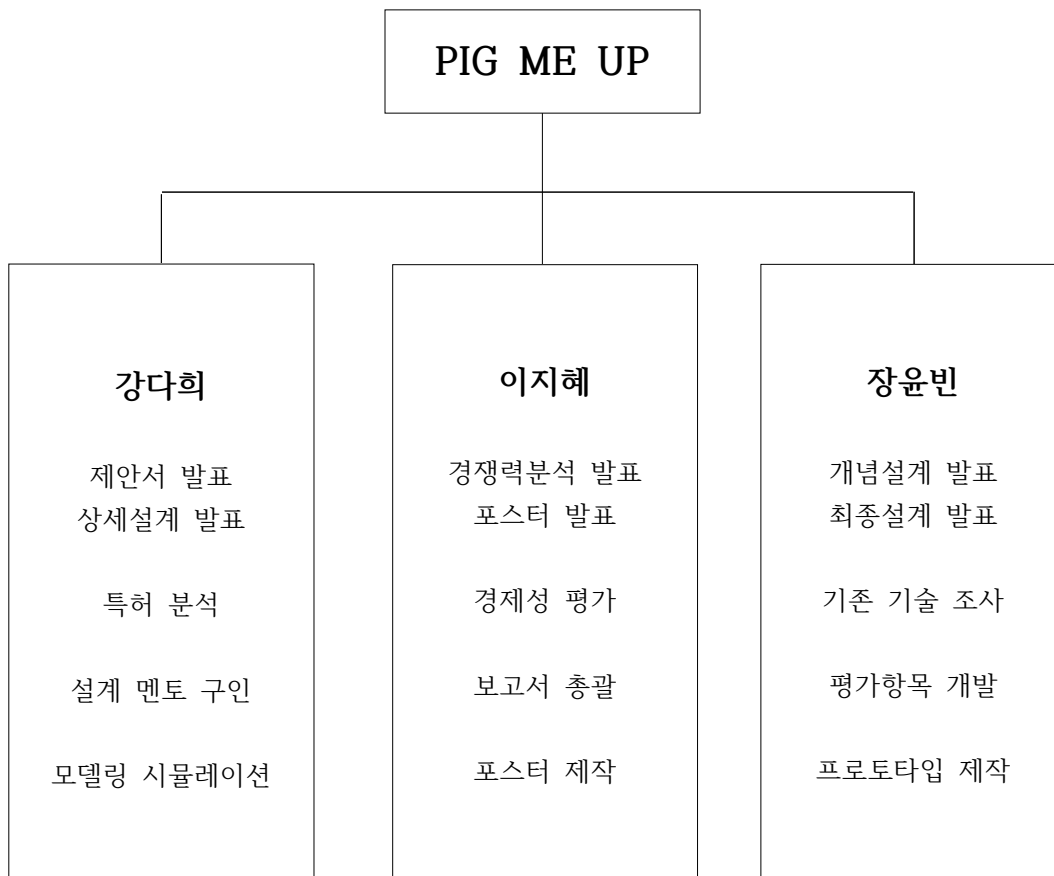
- 국민들의 수도물에 대한 인식 개선
- 관 교체에 비해 경제적
- 노후 상수도관에 대한 인식의 변화
- 노후 상수도관 사고 예방
- 기존 런처를 활용한 비용 및 기술력 절감

5. 구성원 및 추진체계

강다희 : 제안서 발표, 상세 설계 발표, 특허분석, 설계 멘토 구인, 모델링 시뮬레이션

이지혜 : 경쟁력분석 발표, 경제성 평가, 보고서 총괄, 포스터 제작

장윤빈 : 개념설계 발표, 최종설계 발표, 기존 기술 조사, 평가항목 개발, 프로토타입 제작



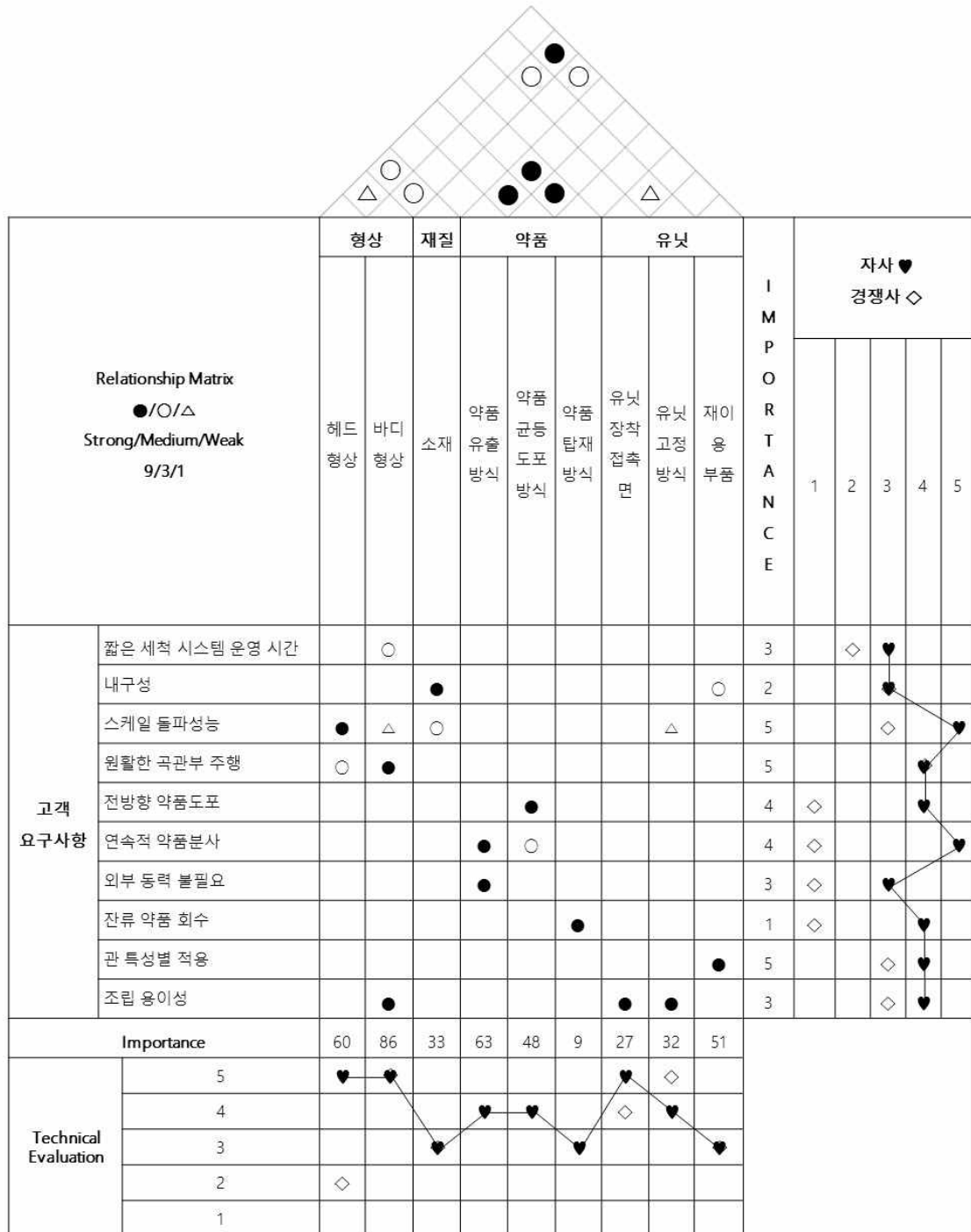
II. 설계

1. 설계사양

1.1 제품 요구사항 목록

No.	요 구 사 항	D or W	중요도
1	헤드부 개선을 통한 항력계수 감소	D	중
2	곡관부 거동 원활	D	상
3	피그 주행시 발생 잔여물 없음	W	하
4	약품의 균등 유출 가능	D	상
5	남은 약품의 회수 가능	W	하
6	피그 부품 중 재이용 가능한 부품 존재	D	상
7	디스크의 기능 저하 없음	D	중
8	각 유닛 탈착 용이	D	상

1.2 QFD



2. 개념설계안

2.1 피그 헤드 부분

피그의 헤드 부분에 있어서 기존의 형태보다 거동에 저항을 덜 받는 형태로 헤드 부분을 개선하고자 하였다. 헤드 부분 형태를 결정하는 근거로서 항력을 지표로 삼았다.

항력은 유체 안의 물체가 움직일 때 물체의 진행방향과 반대방향으로 작용하는 힘이다. 피그가 관 내에서 받는 항력에는 압력저항(형상저항)과 마찰저항이 있다. 압력저항은 유체 속의 물체가 유체로부터 받는 저항 중 물체 전후의 압력차에 기인한 저항으로 물체의 형상에 따라 다르게 나타난다. 마찰저항은 물체와 접촉하는 접촉면에서 나타나는 항력이다. 항력은 다음과 같은 방정식으로 나타낼 수 있다.

$$F_d = \frac{1}{2} \rho u^2 C_d A$$

F_d : 항력

ρ : 유체의 질량밀도

u : 유체에 대한 물체의 상대속도

C_d : 항력계수

A : 투영면적

피그 헤드의 형태가 바뀔 때 기존 식에서 변경되는 부분은 항력계수이다.

이 때 항력계수는 다음과 같이 표현된다.

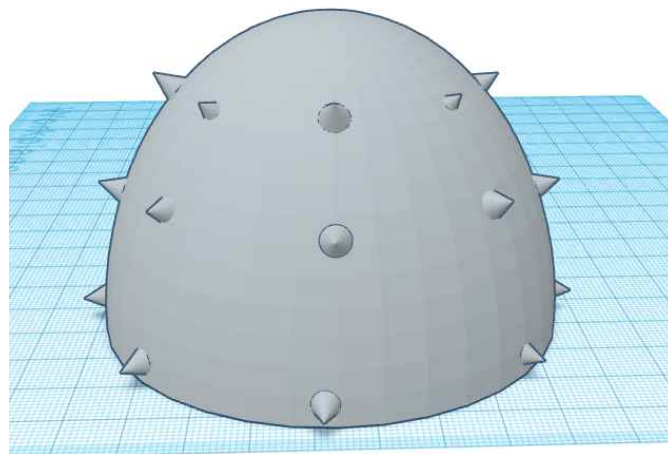
$$\begin{aligned} C_d &= \frac{2F_d}{\rho v^2 A} \\ &= C_p + C_f \quad (C_p: \text{압력저항계수}, C_f: \text{마찰저항계수}) \\ &= \frac{1}{\rho v^2 A} \int_S dA (p - p_o) (\hat{n} \cdot \hat{i}) + \frac{1}{\rho v^2 A} \int_S dA (\hat{t} \cdot \hat{i}) T_w \end{aligned}$$

피그에 가해지는 총 항력을 감소시키기 위해서는 기존 형태보다 항력계수가 작은 형태를 선정해야 한다. 각 형태에 따른 항력계수는 다음과 같다.

Shape	Drag Coefficient
Sphere	0.47
Half-sphere	0.42
Cone	0.50
Cube	1.05
Angled Cube	0.80
Angled Cube	0.80
Long Cylinder	0.82
Short Cylinder	1.15
Streamlined Body	0.04
Streamlined Half-body	0.09

현재 사용되는 피그 중 스틸 맨드렐 피그의 형태는 Short Cylinder 형태에 가깝다. 이의 항력계수는 1.15이다. 항력계수는 유선형에 가까울수록 감소한다. Half-sphere와 Cone, Cube 형태를 비교하면, Half-sphere < Cone < Cube 순으로 항력계수가 커진다. 또한 Long Cylinder와 Short Cylinder의 항력계수에서 알 수 있듯이 비슷한 범주 내에서는 길이가 짧은 형태보다 길이가 긴 형태가 더 작은 항력계수를 갖는다. 따라서 기존 판형 모양보다 항력계수를 감소시키는 것을 목적으로 하였다. 또한 헤드부가 스케일에 처음 접촉했을 때 스케일을 잘 돌파하고 나갈 수 있도록 하였다. 이를 달성하기 위해 헤드부에 요철을 형성하여 기존보다 스케일 층의 통과성을 높이고자 하였다. 결과적으로 고안한 형태는 다음과 같다.

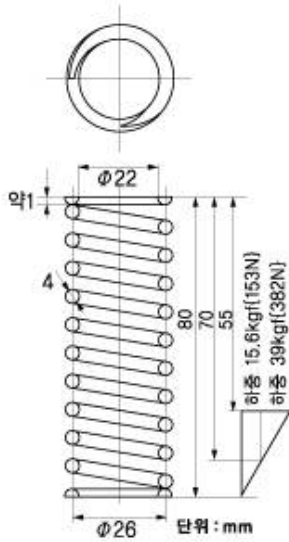
1. 헤드부의 전체적인 형태를 돔형으로 변경
2. 헤드부 표면에 요철 형성



2.2 피그 바디 부분

2.2.1 바디 형상

기존에 사용되던 Steel Mandrel 피그는 압축 스프링을 사용하여 곡관부에서의 거동을 개선한 방식이다. 압축 스프링의 사용 규격은 다음과 같다.



재료		PW3
재료의 지름(mm)		4
코일의 평균지름(mm)		26
코일의 안지름(mm)		22 ± 0.4
유효 감김수		9.5
총 감김수		11.5
감김 방향		오른쪽
자유 높이(mm)		80
부착시	하중(kgf){N}	15.6 ± 10% (153 ± 10%)
	높이(mm)	70
최대 하중시	하중(kgf){N}	39 (382)
	높이(mm)	55
스프링 상수(kgf/mm){N/mm}		1.56 (15.3)
표면처리		솔피닝
기타요구사항		-

-압축 스프링 허용응력 식

D_1 : 코일의 내경= 22mm

D_2 : 코일의 외경= 30mm

d : 코일의 선경= 4mm

$$\text{코일 평균 반경: } D = \frac{D_1 + D_2}{2} = \frac{22 + 30}{2} = 26\text{mm}$$

$$\text{스프링 지수: } C = \frac{D}{d} = \frac{26}{4} = 6.5$$

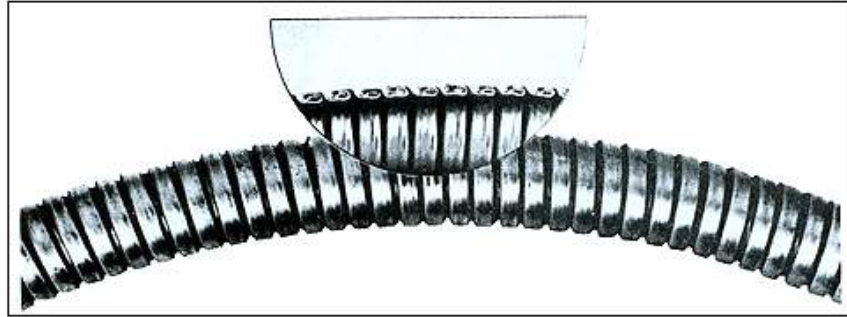
$$\text{응력 수정계수: } K_1 = \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0.615}{C} = \frac{4 \times 6.5 - 1}{4 \times 6.5 - 4} + \frac{0.615}{6.5} = 1.230979021 \approx 1.23$$

하중: $P = 15.6\text{kgf}$

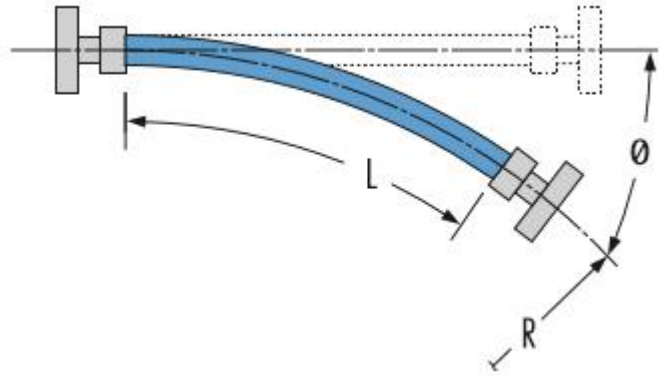
$$\text{허용응력: } \tau = K_1 \frac{8 \times D \times P}{\pi \times d^3} = 1.23 \times \frac{8 \times 26 \times 15.6}{\pi \times 4^3} = 19.8501 \approx 19.85\text{kg/mm}^2$$

그러나 유닛을 탈착할 경우 스프링 방식은 유닛과의 접촉면이 명확하지 않아 유닛 안쪽의 접촉면 설계가 불가능하다. 따라서 스프링 방식은 개발 대상 피그에 적합하지 않으므로 곡관부의 거동을 원활하게 하면서 유닛 탈착 시 접촉면의 설계가 가능한 새로운 바디 형상이 요구되었다. 그러므로 유연성이 있으며 접촉면이 명확한 Interlock hose를 본 피그에 적용하였다.

Interlock hose란 금속 강대를 교차시켜 나선형으로 제조하는 것으로 내부 관 벽이 매끄러운 호스이다. 스테인리스 스틸 아연판을 재료로 사용하며 공기 등 가벼운 재료의 운송, 각종 기계의 엔진 배기용, 전선 피복용으로 사용한다.



-Interlock hose Live length 식



L= Live length (mm)

R= 곡률 반경 (mm)

θ = 굽힘 각도 (°)

$$L = \frac{\pi R \theta}{180}$$

$$L = \frac{\pi \times 640.0 \times \theta}{180} = 11.17 \times \theta$$

$\theta = 30^\circ$ 일 때 (가정)

$$L = 11.17 \times 30 = 335.1 \text{ mm}$$

INTERLOCK® (ROUNDED)							
Nominal I.D.		Nominal O.D.		Minimum Inside Bend Diameter		Weight Per	
in	mm	in	mm	in	mm	lb/ft	kg/m
3/4	19.1	0.90	22.9	4.7	120.0	0.27	0.40
1	25.4	1.19	30.2	5.5	140.0	0.67	1.00
1 1/4	31.8	1.44	36.6	7.3	185.0	0.74	1.10
1 1/2	38.1	1.69	42.9	7.5	190.0	0.60	0.90
2	50.8	2.19	55.6	11.8	300.0	1.21	1.80
2 1/2	63.5	2.69	68.3	13.0	330.0	1.55	2.30
3 1/8	79.4	3.31	84.2	15.4	390.0	1.95	2.90
3 1/4	82.6	4.19	106.4	18.5	470.0	2.35	3.50
5	127.0	5.17	131.3	21.9	555.0	2.82	4.20
6	152.4	6.18	157.0	25.2	640.0	2.96	4.40
8	203.2	8.35	212.0	38.0	965.0	7.06	10.50
10	254.0	10.31	261.9	44.9	1140.0	6.85	10.20
12	304.8	12.31	312.7	53.1	1350.0	8.27	12.30

Interlock hose의 Live length는 30° 각도를 가정하였을 때 335.1mm로 각도에 따라 length가 길게 나타난다. 따라서 Interlock hose의 유연성이 뛰어난을 알 수 있고 이에 따라 곡관부의 주행이 원활할 것으로 예측할 수 있다.

또한, 이는 hose 형태이므로 spring 형태와 달리 유닛 접착면이 넓어 유닛의 탈착이 용이하다. 위의 2가지 이유로 Interlock hose를 채택한다.

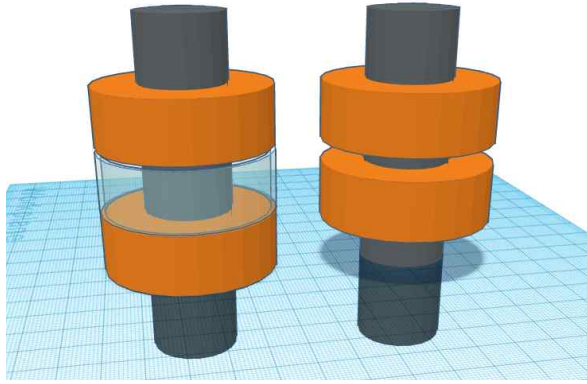
2.3 약품 주입 유닛

2.3.1 약품 주입 유닛 고안

약품 주입 유닛의 형식에 있어서 다음과 같이 1안, 2안, 3안의 아이디어를 구상하여 개발 방향을 선정하였다.

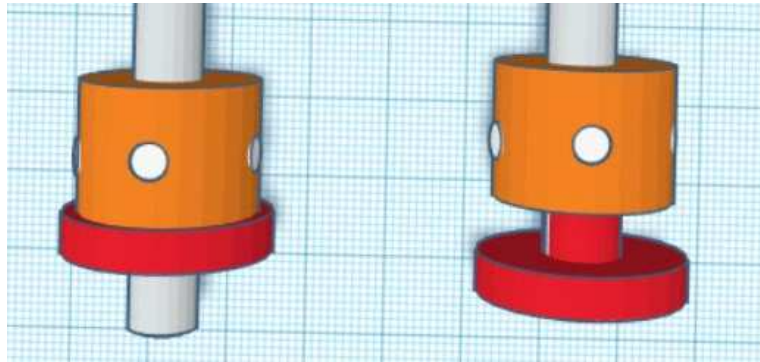
1안) 겔(Gel)타입 내벽을 가진 피스톤 형식

: 전단과 후단은 디스크로 되어 있고 두 디스크 사이에 공간을 두어 벽면을 겔 코팅막 형식으로 구성한다. 후단의 디스크에 피스톤의 원리를 적용하여 물로 인한 압력을 이용한다. 압력으로 인해 디스크가 밀려나면서 겔 코팅막을 터트려 내부에 탑재한 부식방지제 및 소독제를 관내로 유출시킬 수 있다.



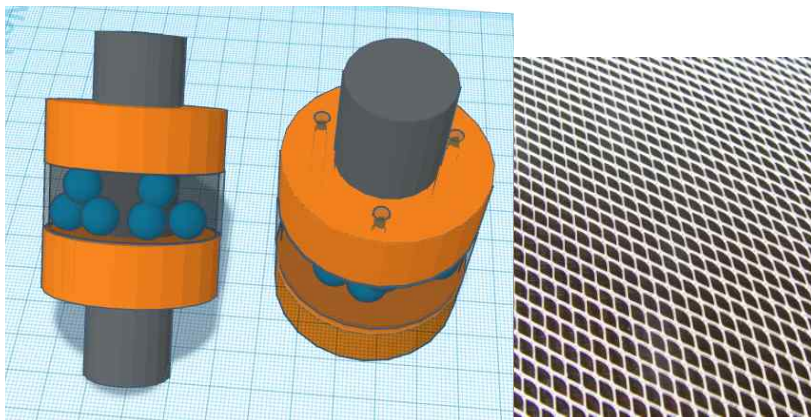
2안) 분사구를 통한 스프레이 형식

: 전단과 후단은 디스크로 되어 있고 사이에는 소독제 저장부가 위치한다. 저장부는 압력이 가해지면 분사구를 통해 소독제를 분사한다. 분사구는 벽면을 따라 5개 이상 분포하여 있다. 후단의 디스크에 가해지는 수압으로 디스크가 버튼형식으로 눌리고 분사구를 통해 스프레이 형태로 소독제가 관 내로 분사된다.



3안) 미세 격자벽 벽면 형식

: 전단과 후단은 디스크로 되어 있고 두 디스크 사이에 공간을 두어 벽면을 조밀한 격자 벽 형태로 구성한다. 후단의 디스크에 공간으로 물이 유입될 수 있는 통로를 구비한다. 공간 내부에는 구슬 형태의 고체 염 상태인 부식방지제를 탑재한다. 유입되는 물로 인해 염이 녹고 이는 미세 격자벽을 통하여 관 내로 유출된다.



<- 격자 벽 구조 참고

2.3.2 약품 주입 유닛 평가

번호	특성	1안 겔 내벽	2안 분사구	3안 미세 격자 벽
1	균등한 유출이 가능한가	X	O	X
2	잔여물이 발생하지 않는가	발생	X	고상 소독제 잔류 가능
3	사용가능한 소독제의 성상	액체	액체	고체
4	남은 소독제 회수가 가능한가	X	O	X
5	재이용이 가능한가	X	O	O
6	디스크에 영향이 없는가	X	O	O

겔 내벽을 사용하는 1안은 겔이 터지면서 균등하게 소독제가 유출되지 못하고 한 번에 유출될 수 있다는 위험이 존재하며, 터진 후 겔이 잔여물로 남게될 수 있다. 또한 겔이 터지면 소독제가 남더라도 피그 회수 시 세척수에 섞이게 되므로 재이용을 하지 못한다. 겔 내벽은 한 번 터지면 재사용하지 못하는 일회용이며 겔이 디스크의 브러쉬에 달라붙어 세척기능을 저하시킬 수 있다.

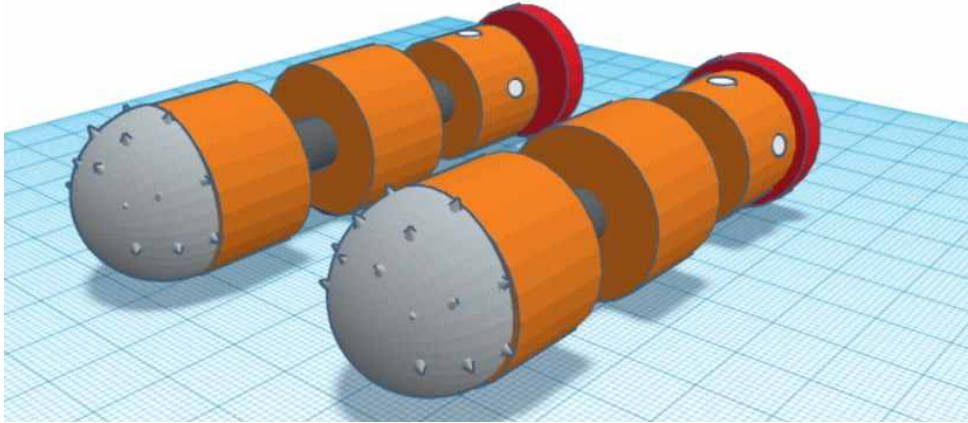
분사구를 통한 2안은 스프레이형식을 통해 균등한 유출이 가능하며 잔여물이 발생하지 않는다. 또한 저장부에 소독제가 남을 경우 회수가 가능하다. 유닛이 손상되지 않기 때문에 재이용이 가능하며 디스크에 영향을 미치지 않는다.

미세 격자 벽을 통한 3안은 소독제가 균등히 용해되지 않아 전반부와 후반부의 유출량이 균등하지 않을 위험이 있다. 또한 소독제는 액상이 아닌 고상만 사용하여야 하며 녹지 않은 소독제가 잔류할 수 있다. 소독제가 남더라도 이미 물에 노출된 형태이기 때문에 회수가 용이하지 않다. 유닛이 손상되지 않기 때문에 재이용이 가능하며 디스크에 영향을 미치지 않는다.

- 결과 : 1순위 - 2안 (분사구 형식)
 2순위 - 3안 (미세 격자 벽 형식)
 3순위 - 1안 (겔 내벽 형식)

위와 같은 각 유닛의 특성에 의거하여 스프레이 분사구 형식의 2안을 최종적인 개발 방향으로 선정하였다.

2.4 개념설계 요약



개념설계 결과, 해당 설계에서 제안하는 피그의 형상은 다음과 같다.

기존 피그의 판형 모양보다 항력계수가 낮은 형상인 돔형헤드를 선택하였으며 스케일 돌파능의 향상을 위해 표면 요철을 추가하였다. 바디는 유연성이 있으며 접촉면이 명확해 유닛을 탈착하기에 비교적 적합한 interlock hose를 사용하였다. 관 내에 소독제 및 부식방지제 투입을 위한 약품 주입 유닛은 균등한 유출 및 재이용, 잔여 소독제의 회수 등을 고려하여 분사구(스프레이) 형태로 제작하고자 한다.

3. 이론적 계산 및 시뮬레이션

3.1 헤드 유닛

3.1.1 형태 실험 개요

$$F_d = \frac{1}{2} \rho u^2 C_d A$$

F_d : 항력

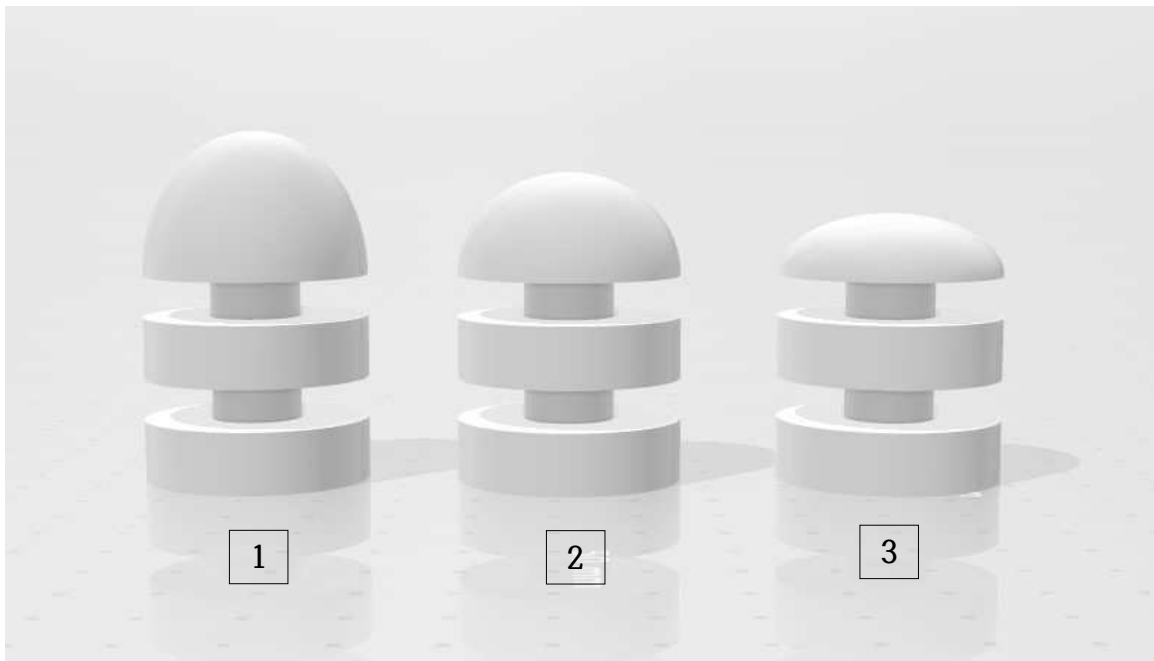
ρ : 유체의 질량밀도

u : 유체에 대한 물체의 상대속도

C_d : 항력계수

A : 투영면적

피그의 관내 주행력 향상을 위해 기존 형태보다 항력을 덜 받는 형태로 제작하기 위해 돔형 헤드를 선택하였다. 돔형헤드는 기존 피그 헤드인 판형보다 항력계수가 작아 피그에 가해지는 항력을 감소시킬 수 있다고 예상하였다. 그러나 돔의 형태에 따른 항력의 변화는 해당 식으로 확인할 수 없다. 이에 다음 사진과 같이 헤드의 높이가 다른 돔 형태의 피그 모형을 제작하여 실험을 통하여 헤드의 형태에 따른 피그의 거동을 확인하였다.



번호	명칭	피그 직경	헤드 높이	피그 무게
1	긴 돔형	30mm	21mm	22.92g
2	반구형	30mm	15mm	20.19g
3	짧은 돔형	30mm	9mm	17.47g

실험 방법 : 1. 피그를 내경이 32mm이고 길이가 3m인 관에 넣는다.

2. 출발선에 피그를 위치시키고 동일한 유량으로 물을 관 내에 유입시킨다.

3. 피그의 1m 통과시점, 2m 통과시점, 주행 완료시점의 시간을 측정한다.

4. 각 피그에 대하여 12회씩 반복한다.



3.1.2 실험 결과 및 헤드 형태 결정

3.1.1에 제시된 실험 방법에 따라 측정한 각 피그의 주행 완료시간은 다음과 같다. 아래 값은 각 피그에 대해 12회의 측정횟수에서 최솟값과 최댓값을 제외한 10회의 측정값을 나타낸 것이다.

	긴 돔형 완료시간 (sec)	반구형 완료시간 (sec)	짧은 돔형 완료시간 (sec)
1	17.22	18.46	16.02
2	18.47	18.78	15.93
3	17.03	17.66	15.99
4	17.05	18.68	16.67
5	17.99	18.49	16.03
6	17.27	18.14	15.72
7	18.31	18.48	16.72
8	17.77	17.81	15.98
9	18.61	18.42	16.33
10	18.97	18.71	16.42

실험 결과 모든 실험 값이 동일한 결과를 갖지는 않았다. 이는 측정을 사람의 눈으로 하였기 때문에 항상 같은 값을 갖지 않은 것으로 생각하였다. 그리고 수도꼭지에서 물이 항상 균일한 세기로 분출되는 것이 아니라 근소한 차이가 발생하고, 관 내에서 미처 배출되지 못하고 잔류

해있던 소량의 물이 영향을 미친 것으로 사료된다.

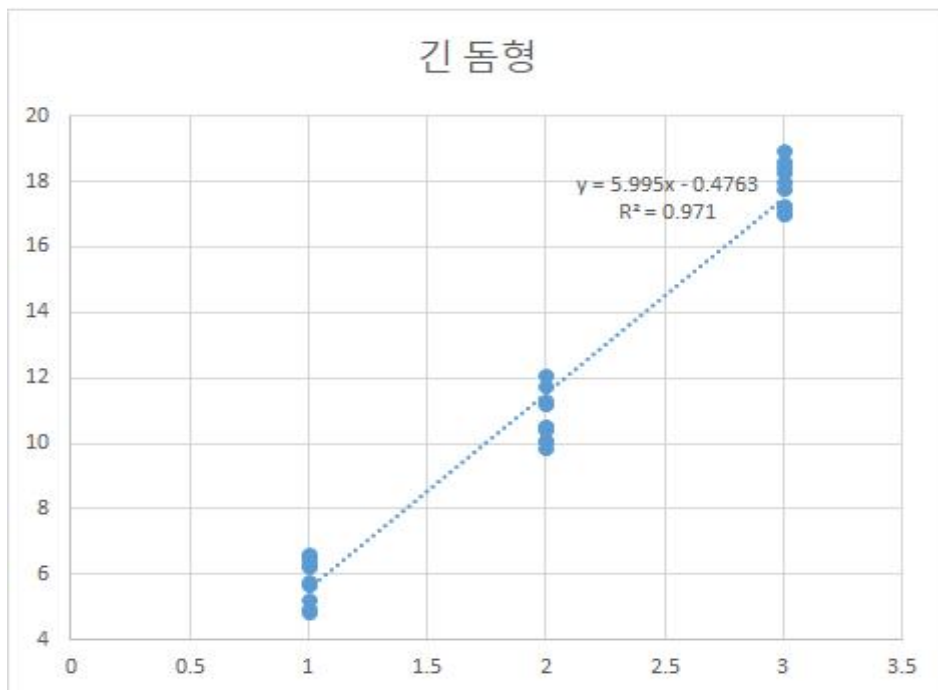
그러나 각 헤드의 형상에 따른 경향성은 확인할 수 있으므로 유효한 실험이라고 할 수 있다. 각 헤드 형태에 따른 평균 주행 완료 소요시간은 다음과 같다.

	긴 돔형	반구형	짧은 돔형
평균 주행 시간 (sec)	17.869	18.363	16.181

주행에 소요되는 시간은 반구형 > 긴 돔형 > 짧은 돔형 순으로 많이 소요되었다. 긴 돔형이 예상보다 유리하지 않았던 까닭은 유체에서의 항력은 가장 적게 받으나 세 형태 중 가장 피그의 무게가 무겁기 때문이다. 반구형은 긴 돔형보다 항력을 많이 받고 무게도 크게 가볍지 않아 가장 불리한 결과를 보인 것으로 생각된다. 반면 짧은 돔형은 세 형태 중 가장 가벼운 무게를 가져 항력을 다소 많이 받더라도 전체적으로는 가장 유리한 형상으로 나타났다. 위 실험에 사용한 피그의 재질은 ABS로, 실제 피그의 재질인 스테인리스 스틸보다 가벼운 재질이다. 따라서 실제 피그의 경우에는 주행 시간에서 각 형상 별 차이가 더 극명할 것으로 예상하였다.

실험에서 측정된 1m 통과시점, 2m통과시점, 주행 완료시점을 통하여 아래와 같이 각 형태 별 회귀직선을 나타내었다. 가로축은 관로의 길이(m)이며, 세로축은 세척 소요시간(sec)이다.

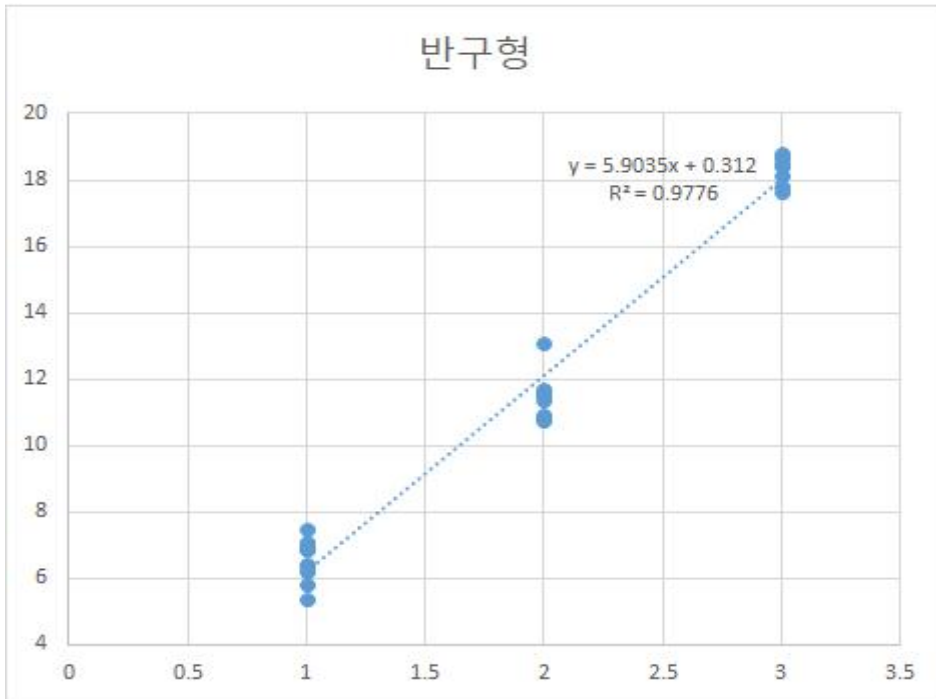
1. 긴 돔형



회귀식 : $y = 5.995x - 0.4763$

R-square값 : 0.971

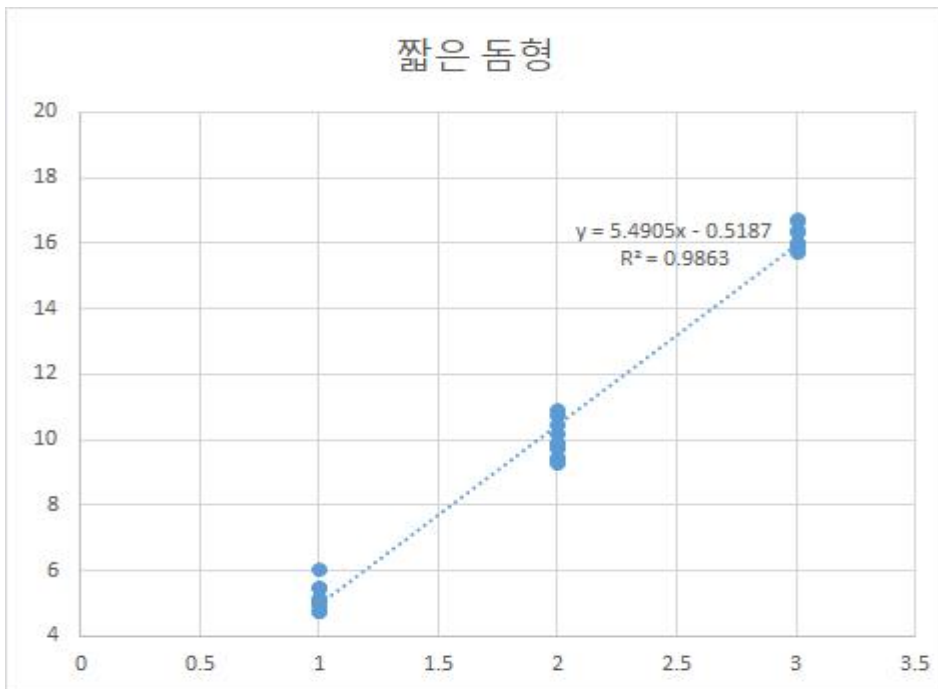
2. 반구형



회귀식 : $y = 5.9035x + 0.312$

R-square값 : 0.9776

3. 짧은 돔형



회귀식 : $y = 5.4905x - 0.5187$

R-square값 : 0.9863

위에서 구한 회귀식을 이용하여 길이가 100m일 경우 각 헤드 형상별로 소요되는 세척 시간을 계산하였다.

	긴 돔형	반구형	짧은 돔형
회귀직선	$y = 5.995x - 0.4763$	$y = 5.9035x + 0.312$	$y = 5.4905x - 0.5187$
100m 소요시간	599.02sec	590.66sec	548.53sec

회귀식의 일차항의 계수가 클수록 세척 소요시간이 크게 증가함을 의미한다. 일차항의 계수는 긴 돔형과 반구형이 각각 5.995와 5.9035로 비슷한 수치를 가졌고 짧은 돔형은 5.4905로 가장 작게 나타났다. 이는 관로의 세척 길이가 길어질 경우 짧은 돔형이 긴 돔형이나 반구형보다 세척 소요시간에서 유리한 것을 의미한다. 세척 소요시간이 감소하면 세척에 사용되는 세척 수량 또한 감소하므로 불필요한 수자원의 낭비를 막을 수 있다. 또한, 짧은 돔형은 긴 돔형이나 반구형보다 필요한 재료의 양이 적으므로 더욱 경제적이다. 이러한 이유에 근거하여 짧은 돔형을 피그의 헤드 형태로 선정하였다.

3.1.3. 피그 표면

피그의 표면은 두 타입으로 나뉘어 관의 상태에 맞는 표면의 헤드 유닛을 선택하여 장착할 수 있다. 관 내 스케일보다는 생물막이 주된 제거대상인 경우에는 요철이 있지 않고 매끄러운 표면의 헤드를 사용한다. 관 내 부식이 진행되어 스케일 층이 존재하는 경우에는 표면에 요철이 형성되어 있는 헤드를 사용한다. 헤드 표면의 요철이 피그 진행방향에 존재하는 스케일의 제거를 돕는다. 요철로 인해 발생하는 관 내벽의 손상은 후에 진행되는 라이닝 단계에서 도로 도포되므로 고려 대상이 되지 않는다.



3.2 약품 주입 유닛

3.2.1 주입 약품

약품 주입 유닛에 탑재할 약품은 부식억제제(인산염)와 소독제(액화염소)를 사용한다. 세척 대상 관의 상태에 따라 사용할 약품을 선택하여 탑재할 수 있다. 부식이 상당수 진행된 관은 부식방지제를 사용하여 관의 부식을 늦추고, 부식으로 인한 스케일보다는 슬라임 제거를 목적으로 하는 관의 경우 소독제를 탑재하여 미생물 등을 제거한다. 약품 주입 유닛을 통해 약품을 주입하고 피그의 주행이 끝난 후 관의 제수밸브 등을 통해 약품이 섞인 세척수를 관 내에 체류시켜 약품의 효과를 얻는다.

1) 부식억제제

부식이 상당수 진행되어 표면이 드러난 노후상수도관을 대상으로 부식억제제를 피그에 탑재하여 분사한다. 부식억제제로는 인산염을 사용하며 부식억제제의 인산 이온과 상수관의 금속 이온이 접촉하여 불용성 금속염을 형성한다. 이 때 형성된 금속염은 관 벽을 보호하는 피막 역할을 한다, 이를 통해 금속이온 및 부식성 입자들의 용출을 저하시켜 부식에 의한 적수 발생을 줄이는 효과를 볼 수 있다.

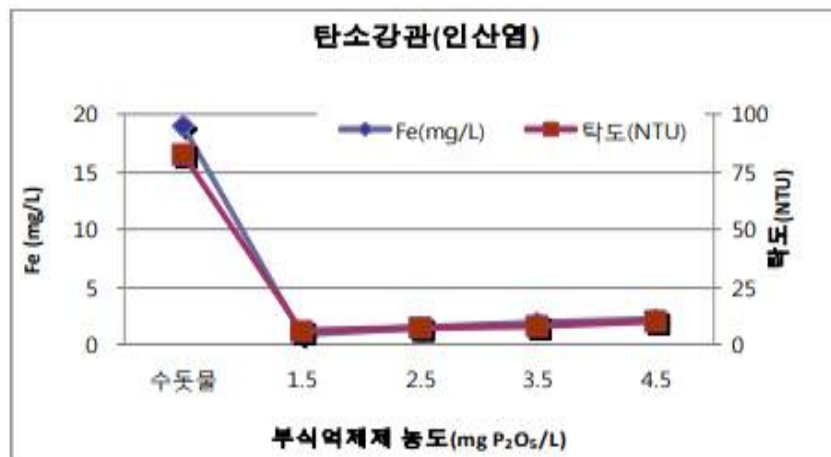
환경부의 '수처리제의 기준과 규격 및 표시기준'에 따르면 인산염을 부식억제제의 사용 기준은 주입농도가 5mg/L이하여야 한다. 또한 인산염 액상 부식억제제를 사용할 경우 그 함량기준은 11%이상, 표시항(%)±1 이내이다.

국립환경과학원의 '수돗물의 녹물 저감을 위한 부식억제 적용성 연구(2009)'에 따르면 인산염 농도에 따른 중금속의 용출 정도는 다음과 같다,

탄소강관: 주입농도 0mg/L에서의 Fe의 각 항목별 용출 농도는 18.96mg/L

주입농도(1.5~4.5 mg/L)에 따른 Fe의 용출 농도는 0.58~5.46mg/L

탄소강관에 대한 인산염의 주입농도별 Fe의 용출 농도는 아래 그래프와 같다.



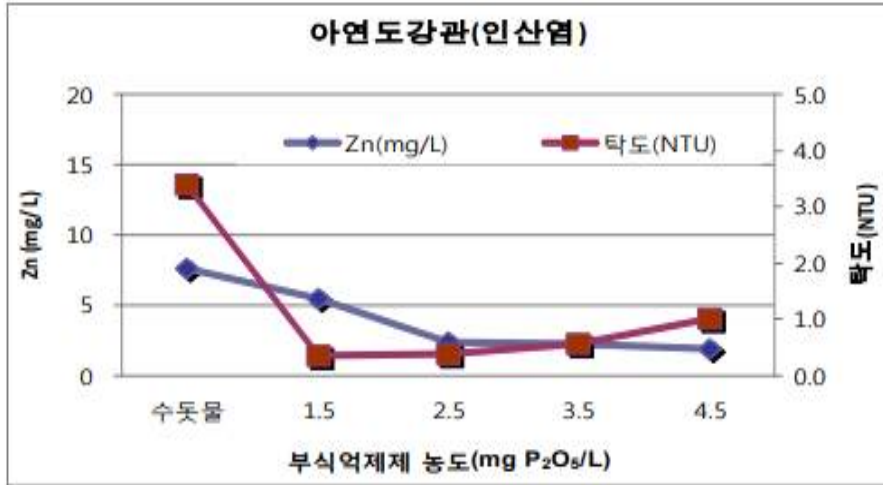
아연도강관: 주입농도 0mg/L에서의 Fe의 용출 농도는 0.023mg/L

Zn 용출 농도는 5.519mg/L

주입농도(1.5~4.5mg/L)에 따른 Fe의 용출 농도는 0.010~0.026mg/L

Zn의 용출 농도는 1.949~7.633mg/L

아연도강관에 대한 인산염의 주입농도별 Zn의 용출 농도는 아래 그래프와 같다.



위의 결과들을 종합하여 부식억제제의 주입 농도는 2.5mg/L로 한다.

- 100mm관에서의 부식억제제 주입량 계산

Stock solution : 11% Stock solution 사용

주입 농도 : 2.5mg/L

내부 물의 양: $V = 0.1 \times 0.1 \div 4 \times \pi \times 100 = 0.7854m^3$

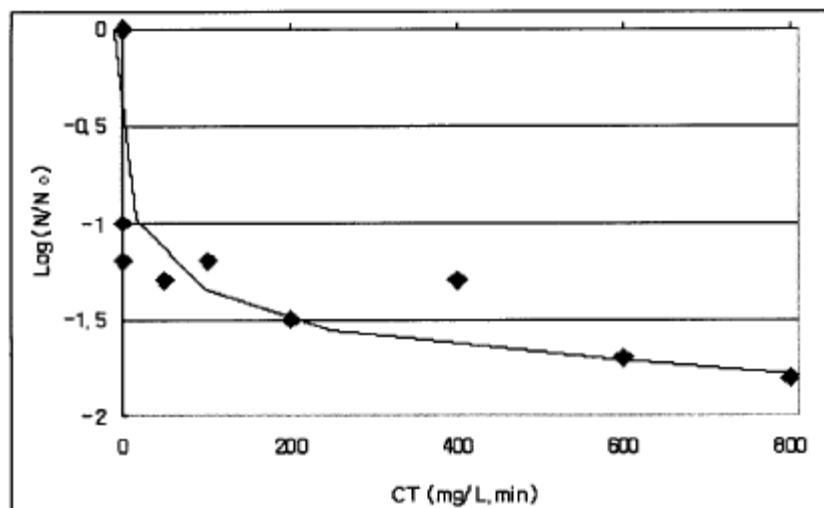
부식억제제 요구량 : $0.7854m^3 \times \frac{2.5mg/l}{110000mg/l} \times \frac{10^3l}{1m^3} \approx 0.01785L$

2) 염소주입

부식으로 관 표면이 노출되지 않은 관의 경우 소독제를 주입하여 세균 등의 미생물과 잔여 생물막을 제거한다. 이 때 사용하는 약품은 차아염소산 나트륨(NaOCl)으로 한다. 등록특허 10-0832687 '상수관로 복합 세척 방법'의 염소소독 적용 실험에 따르면 염소 소독을 위해

0.1-50mg/L·min 범위의 CT 값 고려시 $\log \frac{N}{N_0} = -1$ 인 경우만 불활성화되므로

10mg/L·min을 염소 주입의 CT조건으로 삼았다.



- 100mm관에서의 소독제 주입량 계산

$$CT = 10mg/L \cdot \text{min}$$

Stock solution : 5% Stock solution 사용

주입 농도 : 2mg/L

접촉시간 : 5min

$$\text{내부 물의 양: } V = 0.1 \times 0.1 \div 4 \times \pi \times 100 = 0.7854m^3$$

$$\text{소독제 요구량 : } 0.7854m^3 \times \frac{2mg/l}{50000mg/l} \times \frac{10^3l}{1m^3} \approx 0.0314l$$

3.2.2 약품 저장부 설계

1) 필요 용량

피그 속도 : 0.6-1.5m/s

- 직경 100mm 관에서 길이가 100m일 때

$$\text{내부 물의 양: } V = 0.1 \times 0.1 \div 4 \times \pi \times 100 = 0.7854m^3$$

약품 요구량 : 0.0314L

(‘부식억제제 요구량 < 소독제 요구량’이므로 소독제 요구량이 기준이 된다)

가압제와 약품의 비 : 1:1

필요 용량 : 0.0314L × 2 = 0.0628L

여유분을 고려한 저장 탱크 용량 : 0.08L

2) 세부 사양

관 직경 : 약품 주입 유닛 직경 : 인터락 호스 직경 = 10:7:2 으로 한다.

- 직경 100mm일 때

인터락 호스의 직경 : 20mm

약품 분사부 직경 : 70mm

약품 저장부 직경 : 75mm

약품 저장 탱크 직경 : 60mm

$$\text{저장 탱크 단면적의 계산 : } \frac{0.06^2\pi}{4} - \frac{0.02^2\pi}{4} = 0.002513m^2 = 25.13cm^2$$

약품 저장 탱크 용량 : 0.08L = 80cm³

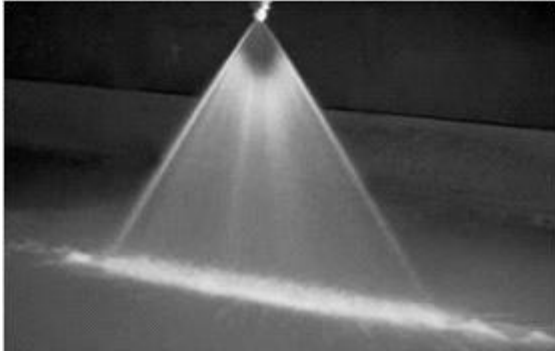
$$\text{저장 탱크 요구 길이 : } \frac{80cm^3}{25.13cm^2} \approx 32mm$$

3.2.3 약품 분사부 설계

1) 분사 방법

분사 방법은 스프레이 형식으로 분사한다. 내부 약품저장부에 약품과 가압제가 혼합되어 들어있고, 용기를 흔들면 용기 속의 액체 가압제가 쉽게 기화되어 기체가 되기 때문에 내부 압력이 높아진다. 용기 윗부분을 누르면 노즐이 용기 출구와 연결되면서 외부와의 기압 차로 인해 용기 내부의 액체가 분사된다. 이 때 스프레이의 패턴은 부채꼴 분사 패턴으로 선정하였

다. 부채꼴 분사 패턴은 움직이는 대상물의 전체 표면에 균일한 도포가 필요할 경우 적합하며 일반적으로 사용되는 패턴 중 하나이다. 이는 V형태의 노즐 내부 가공에 의해 나타나는 패턴으로, 노즐 내부 가공 형상의 커트 깊이에 따라 스프레이의 각도와 토출 유량을 원하는 대로 설계할 수 있다. 스프레이의 각도는 15~120°로 다양하다.

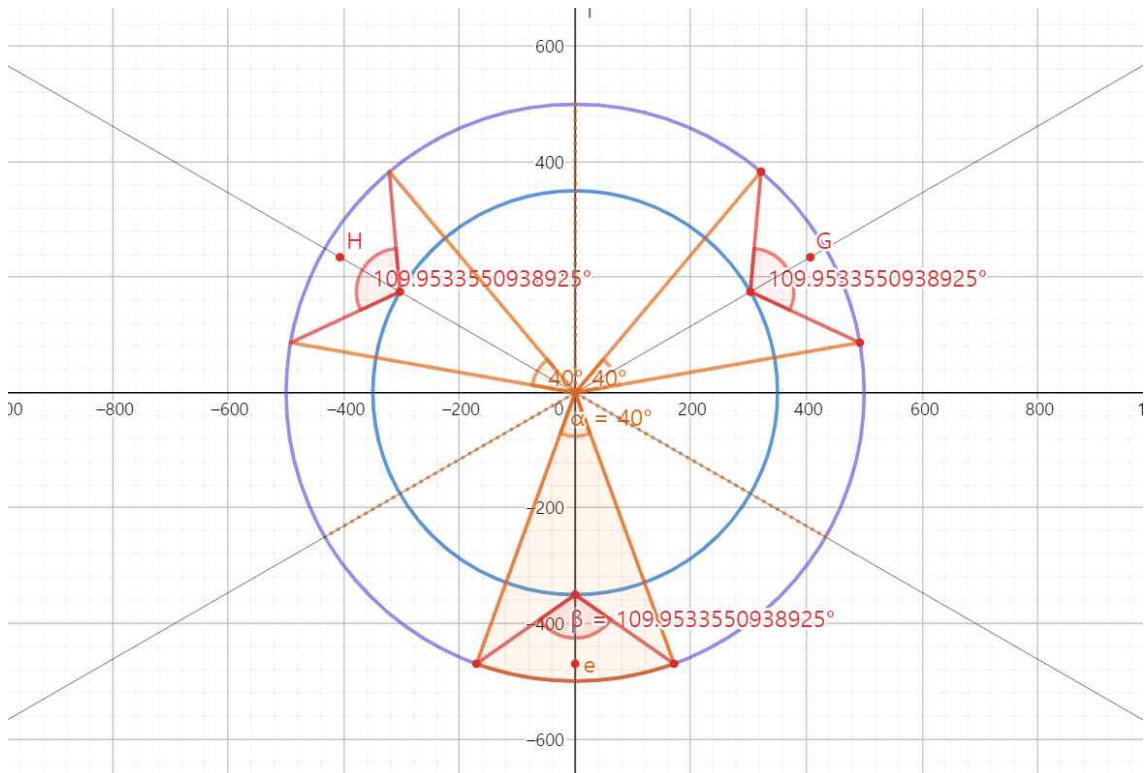


2) 세부 사양

분사 패턴 : 부채꼴 분사 패턴

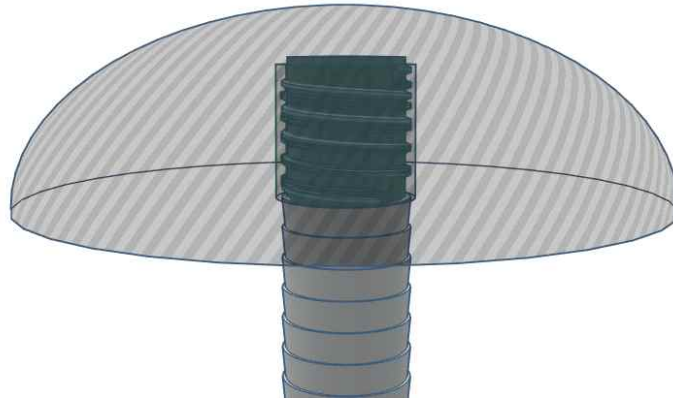
분사 각도 : 약 110°로 한다.

분사구 개수 : 아래 그림과 같이 110°로 분사할 경우 360°를 약품으로 커버하는 데 필요한 분사구의 개수는 9개이다.



3.3 유닛 결합 및 고정 장치

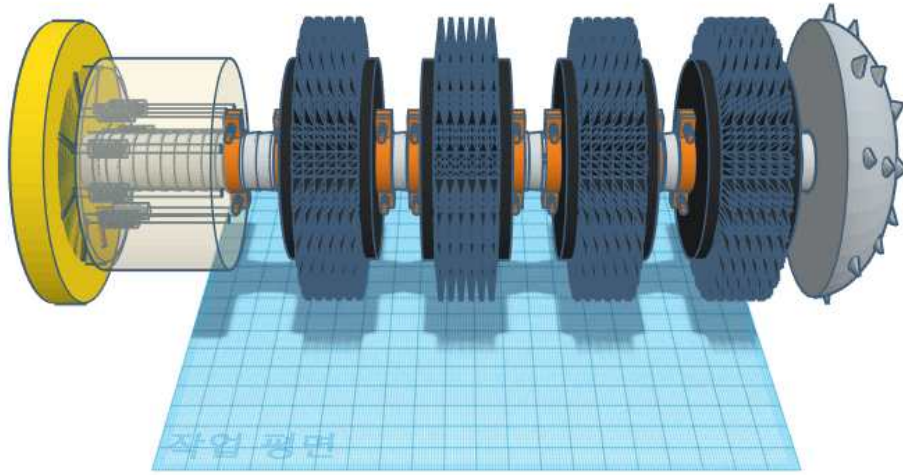
피그의 헤드 유닛과 바디의 결합은 나사 형식으로 이루어진다. 피그 바디의 말단은 나선 형태를 포함하고 있고 헤드의 홈과 맞물려 두 부분이 결합된다.



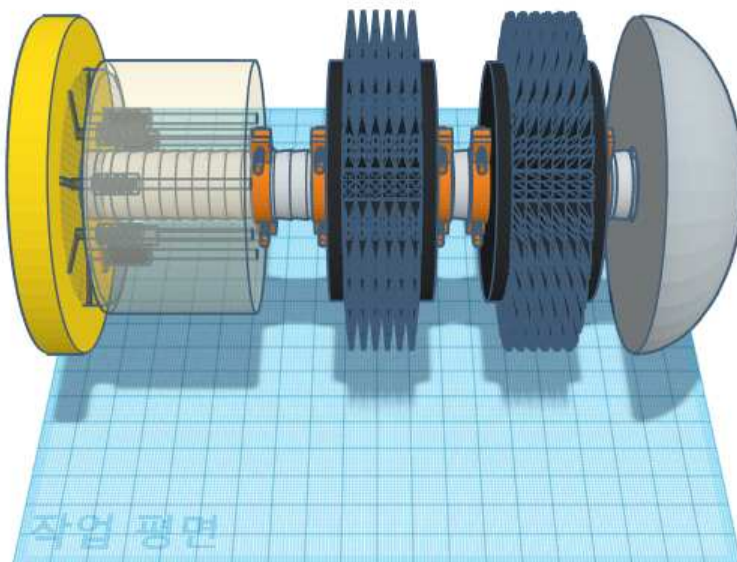
피그의 바디에 장착하는 유닛의 고정 장치로는 클램프를 사용한다. 클램프는 볼트를 이용하여 재료나 부품을 고정하는 쇠붙이이다. 모양에 따라 C클램프, G클램프, F클램프 등이 있다. 아래의 사진은 C클램프의 일종인 진공클램프로, 원통형에 부품을 고정할 때 사용된다. 피그의 유닛이 고정될 바디가 원통상인 것을 고려하여 C클램프를 장착한 유닛 앞뒤에 배치한다. 또한 유닛 고정 시 클램프가 풀림으로써 유닛이 상하로 움직이면 안 되므로 고정력을 높이기 위해 클램프 바디 접촉면에 고무가 코팅된 것을 사용한다.



4. 조립도



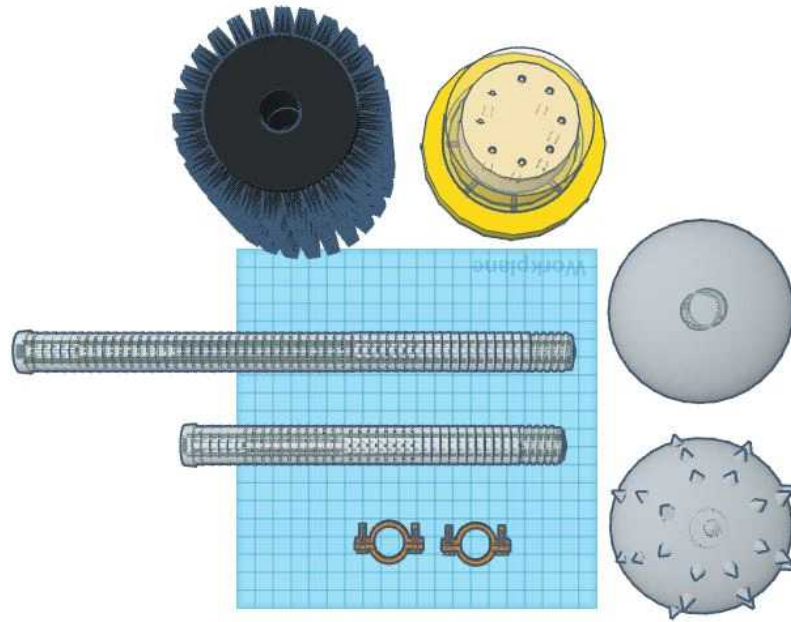
스케일 제거가 목적인 관 : 요철 헤드, 긴 바디, 다량의 브러시 장착, 부식억제제 탑재



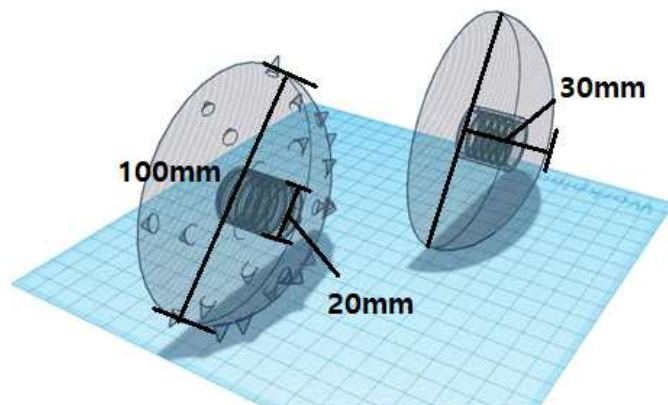
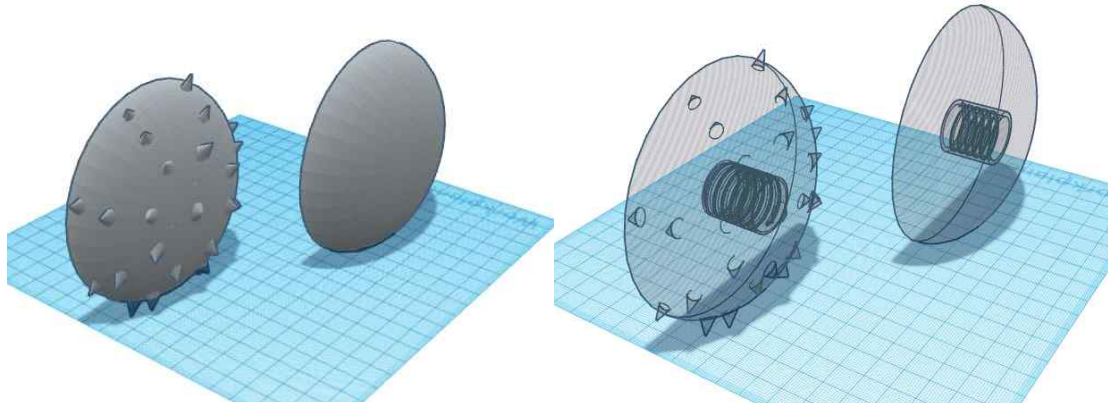
생물막, 슬러지 제거가 목적인 관 : 일반 헤드, 짧은 바디, 브러시 2개 장착, 소독제 탑재

5. 부품도

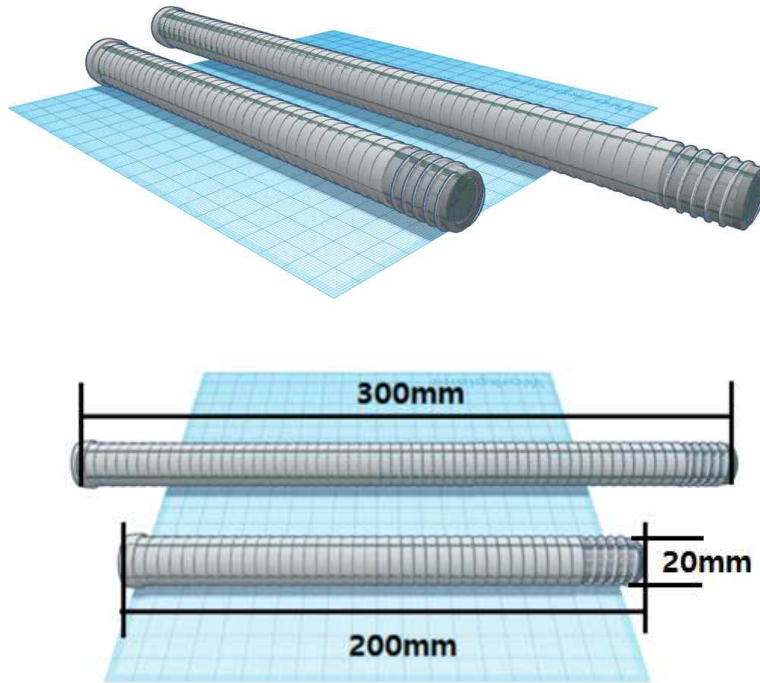
전체 부품 구성도



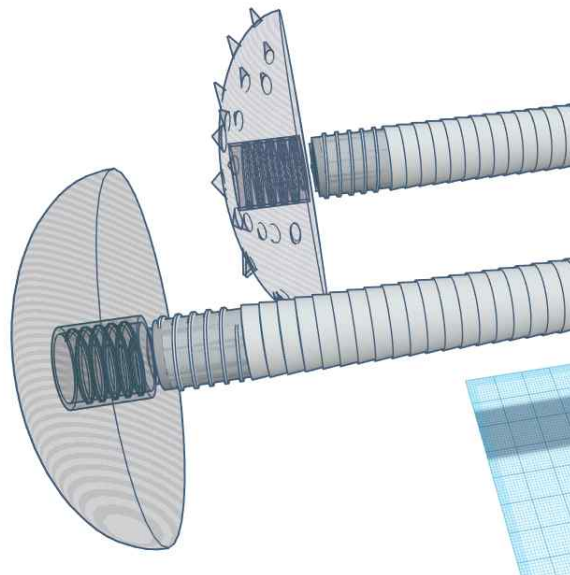
1) 헤드 유닛



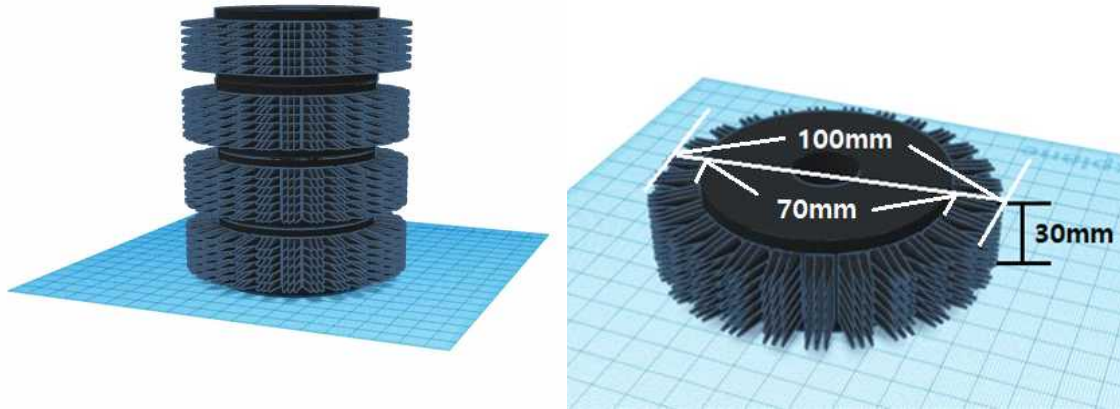
2) 바디



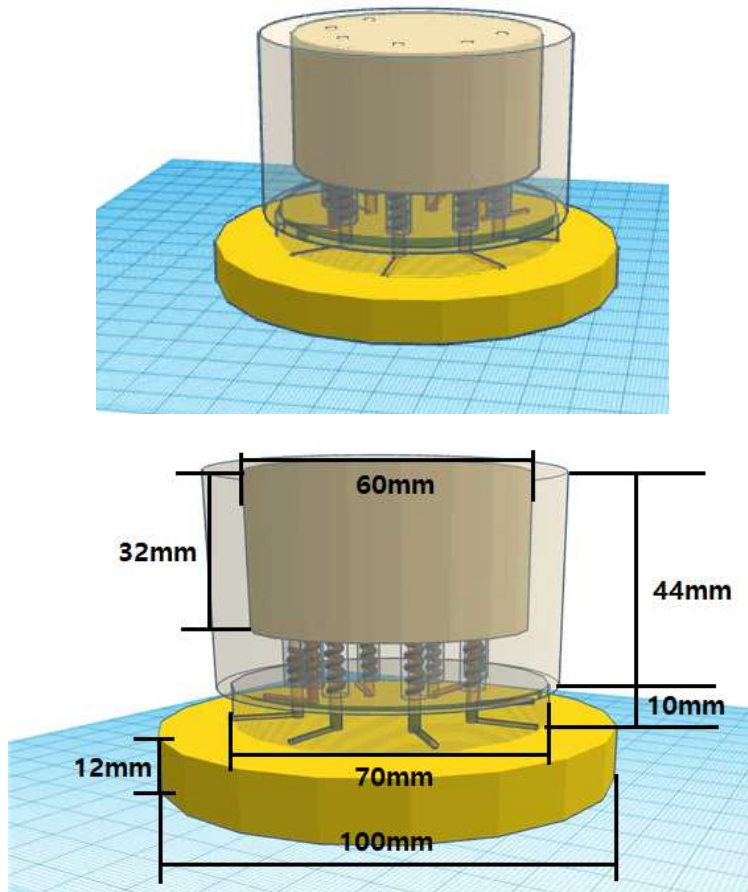
3) 헤드 유닛과 바디의 연결부



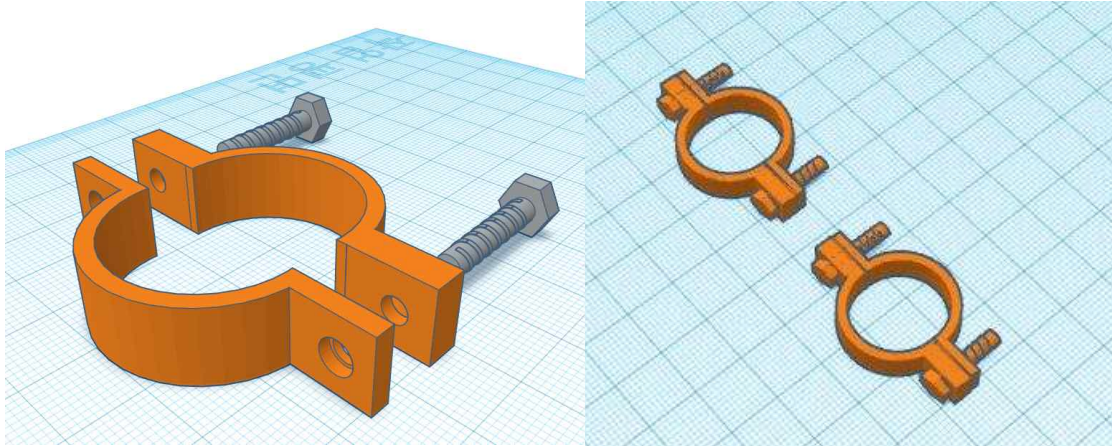
4) 브러시



5) 약품 주입 유닛



6) 클램프



6. 자재소요서

주요 재료 가격

- STS 1mm³당 가격 (철강금속신문 - 11월 STS가격표 참고)

STS316 : 1.680원

STS304 : 1.188원

- PP : 100g 당 144.79원 (국가지표체계)

1) 헤드 유닛

스테인리스 스틸 중 STS304 사용

반구의 겹넓이와 밑면의 넓이 합으로 넉넉하게 계산했을 경우

$$(50^2 \times 4\pi \times \frac{1}{2} + 50^2\pi) \times 2 = 23562 \times 2 = 47124\text{mm}^3$$

$$47124\text{mm}^3 \times \frac{1.188\text{원}}{1\text{mm}^3} = 55983\text{원}$$

2) 바디

Interlock hose 1m당 3000원

긴 바디 : 900원

짧은 바디 : 600원

3) 브러시

브러시부 : 실리콘 재질 브러시 1200원 이하

카본 재질 브러시 8000원

브러시 링 : 폴리프로필렌(pp) 사용

100g 당 144.79원 (국가지표체계), 비중 0.92

$$((35^2\pi - 10^2\pi) \times 2 + (70\pi + 20\pi) \times 30)mm^2 \times 3mm = 46652.65mm^3$$

$$46652.65mm^3 \times \frac{0.92mg}{mm^3} = 42920.4mg \approx 43g$$

$$43g \times \frac{1.45\text{원}}{1g} = 62.35\text{원}$$

따라서 실리콘 브러쉬 1개당 약 1262원, 카본 브러쉬 1개당 약 8062원

4) 약품 주입 유닛

저장부, 노즐, 내부 관 : 내식에 특화된 스테인리스강인 STS316 사용

$$\text{노즐} : 55 \times 4\pi \times 1 \times 9 = 6220mm^3$$

$$6220mm^3 \times \frac{1.68\text{원}}{1mm^3} = 10449\text{원}$$

$$\text{저장탱크 외면} : (30^2\pi \times 2 + 60\pi \times 32 - 10^2\pi \times 2)mm^2 \times 2mm = 22116.8mm^3$$

$$22116.8mm^3 \times \frac{1.68\text{원}}{1mm^3} = 37156\text{원}$$

$$\text{관접축부} : 20\pi \times 44 \times 2 = 5529.2mm^3$$

$$5529.2mm^3 \times \frac{1.68\text{원}}{1mm^3} = 9289\text{원}$$

스프링 : 스테인리스 스틸 압력스프링 개당 300원 이하

$$300\text{원} \times 9 = 2700\text{원}$$

약품 유닛 외부 : 내식성이 우수한 스테인리스강 STS304 사용

$$\left(\frac{75^2\pi}{4} \times 2 + 75\pi \times 44 - 10^2\pi \times 2\right)mm^2 \times 2mm = 37149.3mm^3$$

$$37149.3mm^3 \times \frac{1.188\text{원}}{1mm^3} = 44133\text{원}$$

약품 유닛 후단부 : 내식성이 우수한 스테인리스강 STS304 사용

$$(70\pi \times 7 + 100\pi \times 12 + 50^2\pi)mm^2 \times 2mm = 26326.5mm^3$$

$$26326.5mm^3 \times \frac{1.188\text{원}}{1mm^3} = 31275\text{원}$$

계 : 135000원

5) 클램프

브러쉬 유닛 1개당 2개, 약품 유닛 1개당 1개 사용.

개당 900원

6) 피그 전체 계산

스케일 제거 목적 : 55983+900+(8062*4)+135000+(900*9)=232228원

생물막 제거 목적 : 55983+600+(1200*2)+135000+(900*5)=198778원

Ⅲ. 결과 및 평가

1. 완료작품 소개

1.1 프로토타입 사진





관세척용 올챙이형 다기능 피그에 관한 연구

A Study on the Tadpole-type Pig for Cleaning the Water Supply Pipe

서울시립대학교 환경융합설계 01분반
 PIG ME UP 강다희 이지혜 장윤빈
 한국환경공단 김남정 멘토님

[Introduction]

1. 연구 배경

- 최근 인천, 서울 등에서 노후 상수도관으로 인한 적수 발생 사고가 잇달아 발생함.
- 상수도관의 노후화는 수도물 품질의 신뢰성 저하 및 발생 시 대규모 단수를 유발하므로 사회적, 경제적으로 문제가 됨.
- 노후화관 중 적수 발생 이전의 관은 개방대상으로 분류되어 세관 및 보강과정을 통해 관의 기능을 복원하는 것에 초점이 맞추어짐.
- 피그 세척이란 관 내부에 피그를 삽입하여 피그가 압력에 의해 앞으로 진행함에 따라 관 내부의 생물막, 슬러지, 스케일 등을 제거하는 세척공법임.

2. 연구 목적

- 본 설계는 세관공법 중 피그 세척에 이용되는 Steel Mandrel Pig의 개선을 통해 보다 효율적으로 피그 세척을 수행하여 상수도관을 원인으로 하는 수질 사고를 예방하는 것을 목표로 함. 개선사항은 다음과 같음.
- 각 관로의 특성을 고려하여 기능별 유닛 탈착이 가능할 것.
- 곡관부에서의 원활한 주행이 가능할 것.
- 피그를 통한 물리적 세척 뿐 아니라 화학적 약품주입이 가능할 것.

[Design]

1. QFD

QFD를 통해 고객의 요구사항과 제품요구사항의 관계를 분석한 결과는 다음과 같음.

- 피그의 헤드 형상을 통해 스케일 등 파생물을 확보할 것.
- 원활한 곡관부 주행과 유닛의 조립 용이성을 고려하여 바디 형상 및 소재를 선택할 것.
- 연속적 약품 도포 및 유출, 잔류약품의 회수가 가능할 것.
- 각각의 유닛은 관의 특성에 따른 Customizing이 가능할 것.

2. 피그의 헤드

• 헤드의 곡률

피그의 관내 주행력 향상을 위해 기존의 관형보다 항력을 덜 받는 돌 형태로 헤드를 제작. 헤드의 곡률은 아크릴관을 이용하여 각각 곡률이 다른 지름30mm의 피그 모형이 3m의 관을 통과하는 시간을 측정함으로써 결정함. 실험 결과 반구형-긴 돌형-짧은 돌형 순으로 주행시간이 짧았으며 이를 통해 형태에 따른 항력감소보다 헤드부의 무게가 주행에 더 큰 영향을 미친다는 결론으로 짧은 돌형의 피그의 헤드를 설계에 적용함.

• 헤드부 요철

헤드부의 표면은 두 라임으로 나누어 제작. 관의 상태에 맞는 헤드를 사용하여 Customizing할 수 있도록 함. 관 내 스케일 제거가 관세척인 경우에는 요철이 있는 헤드부를 사용. 관 내 생물막이 관내 곡관인 경우에는 매끈한 헤드부를 사용하도록 함.

3. 피그의 바디

- 전체 형태: 전체 길이가 길수록 낮은 항력 계수를 가지므로 긴 형태를 선택하였음.
- Interlock hose: 기존 Steel Mandrel Pig에서 사용된 압축스프링은 곡관부의 거동을 개선한 좋은 예이나, 이는 유닛 탈착에 적합하지 않다고 판단하여 곡관부 거동 원활 및 유닛 탈착 시 접촉면의 설계가 가능한 Interlock hose를 선택하였음. Interlock hose의 Live Length를 개선하여 원활한 곡관부 주행능을 확인하였음. 계산식은 다음과 같음.

$$L = \frac{\pi R \theta}{180} = \frac{\pi \times 640.0 \times \theta}{180} = 11.17 \times \theta = 335.1\text{mm}$$

L=Live Length(mm), R=곡률 반경(mm), θ=굽힘 각도(°)
 *Minimum inside bend diameter 640mm, 굽힘 각도 30° 가정

4. 약품 분사 유닛

약품의 균등한 유출, 잔여물의 발생, 남은 약품의 회수 가능성, 유닛 재이용 등을 고려하여 분사구형태의 약품 유닛을 설계함.

• 주입 약품

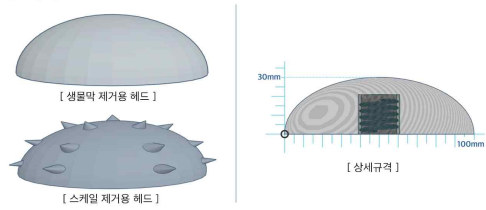
- 1) 부식억제제(인산염): 부식이 상당히 진행되어 표면이 드러난 노후상수도관 대상 2.5mg/L를 주입농도로 하여 100mm관의 100m주행 시 0.01785L 소모.
 - 2) 소독제(차아염소산나트륨): 부식으로 관 표면이 노출되지 않은 상수도관 대상 10mg/L*min을 CT값으로, 2mg/L를 주입농도로 하여 5min동안 접촉하여 100mm관의 100m 주행 시 0.0314L 소모.
- 약품 저장부의 용량: 100mm관을 100m 주행 시 0.08L의 저장탱크가 필요함.
 - 약품 분사부: 스프레이 형식으로 분사하고 스프레이 노즐은 부채꼴을 사용함. 이때 분사각도는 110°로 피그 하나당 9개의 분사구를 필요로 함.

5. 유닛 결합 및 고정 장치

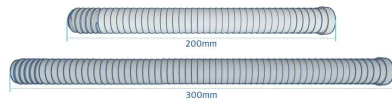
- 피그 바디의 일단에 나사산을 도입, 헤드의 출과 맞물려 헤드와 바디를 결합함.
- 바디가 원동형임을 고려하여 브러시 등 각 유닛의 고정장치를 C클램프를 사용, 유닛의 탈취에 배치함.

[Part Drawing]

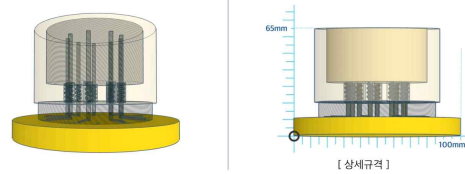
1. 피그의 헤드



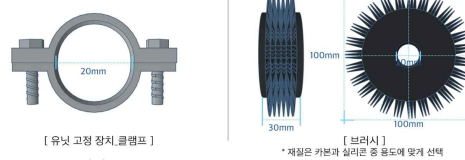
2. 피그의 바디 - 직경 20mm



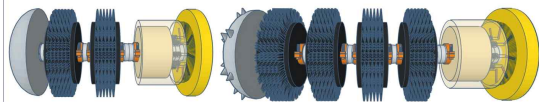
3. 약품 분사 유닛



5. 유닛 고정 장치 및 브러시



7. Customizing 예시



[Expected Effect]

1. 기술적 기대효과

- 기존의 피그와는 달리 약품 주입을 함께 수행하여 전체 시스템의 소요시간 및 비용을 절감할 수 있음.
- 피그의 역학적인 거동 변화를 통해 관 세척율을 감소시킬 수 있음.
- 관의 특성에 따라 적절한 유닛을 선택하고 피그의 몸체에 탈부착하여 사용할 수 있음.

2. 경제적, 사회적 기대효과

- 노후 관로 교체에 비해 경제적인.
- 노후 상수도관으로 인한 사고를 예방할 수 있음.
- 노후 상수도관에 대한 인식 변화를 통해 국민들의 수도물에 대한 인식을 개선할 수 있음.

2. 개발사업비 내역서

항 목 (품명, 규격)		수 량	단 가	금 액 (원)
직 접 개 발 비	실리콘호스(내경 20mm*2m)	1	11,000	11,000
	실리콘호스(내경 30mm*1m)	1	21,000	21,000
	실리콘호스(내경 50mm*1m)	1	30,000	30,000
	레듀사(30/20)	1	440	440
	레듀사(50/30)	1	830	830
	레듀사(100/50)	1	3,540	3,540
	아크릴관(외경35mm*1m)	4	8,900	35,600
	아크릴관(외경55mm*1m)	4	10,800	43,200
	석고, 사포, 테이프	.	.	9700
	물통, 주걱	.	.	4200
	연질아크릴	1	2,520	2,520
	PC파이프/F	2	2,970	5,940
	아스팔트/A	1	1,800	1,800
	잔디매트(초록)	1	3,600	3,600
	스폰지 대	5	900	4500
	꽃철사	1	900	900
	벨크로 한 쌍	1	1,800	1,800
	자유자재철사	1	1,400	1,400
	UHU/ 금속전용본드	1	5,400	5,400
	가위	3	2,400	7,200
	PVC골판지	1	3,600	3,600
	칼라모루	1	900	900
	칼라파우더	7	2,250	15,750

라인테이프	1	3,420	3,420
안전 장갑	3	3,150	9,450
커터칼	2	2,400	4,800
글루건 심	1	1,350	1,350
핀셋	1	1,800	1,800
폼양면테이프	1	3,690	3,690
네임펜	1	640	640
본드	1	3,000	3,000
잔디매트(갈색)	4	3,600	14,400
PC파이프/F	2	1,710	3,420
양면테이프	1	4,800	4,800
3D프린팅 비용	.	.	114,000
합 계			: 379,590 원

3. 완료 작품의 평가

평가항목	평가방법 및 기준	개발 목표치	비중 (%)	평가결과
1. 곡관부 주행 원활	바디 형태의 휨성 직접 확인 : 90도에서 폐색 없음	폐색X	15	폐색X
2. 유리한 헤드 형상	주행 실험 기반 계산 : 100m기준 10분 이내, 다른 형상과 비교하여 30초 이상 단축할 것	10분이내, 30초 단축	10	8분8초, 50초 단축
3. 향상된 돌파능	돌파 실험 : 기존 피그보다 적은 돌파시간	10초 단축	5	평가 불가
4. 약품 균일 도포	적합한 분사각 : 관 벽 모두 도포	100%	15	100%
5. 약품 회수 가능	약품 회수가 가능할 것	0	5	0
6. 적합한 유닛 크기	헤드유닛과 약품유닛의 합이 피그 전체 길이의 1/3을 초과하지 않을 것	80%	5	100%
7. 적합한 고정 장치	유닛과 바디의 결합이 견고할 것	0	10	0
8. 탈착 용이성	탈착이 용이할 것	0	10	0
9. 유닛 재이용	유닛 중 재이용 가능한 유닛이 존재	2개 이상	10	스케일:2개 생물막:3개
10. 커스터마이징	유닛 종류 : 관 상태에 따른 커스터마이징이 가능하도록 유닛이 다양할 것	0	15	0
평가 결과	95/100점			

평가 결과, 10개의 평가항목 중 9개의 항목을 만족하였다.

3항에 대해서는 아크릴 관에 석고를 부착해 돌파 시간을 측정하고자 하였으나 두 관에 석고를 균등히 부착하기 불가능하였으며, 3D프린터로 제작한 실험 모형의 재질이 실제 피그의 재질보다 강도가 약하여 돌파 실험을 진행하기 부적합하였다. 따라서 평가 불가로 표기하였다.

비중을 적용한 총 평가 점수는 100점 만점 기준으로 95점을 달성하였다.

4. 향후평가

환경부가 11월28일 제95회 현안점검조정회에서 확정된 ‘수돗물 안전관리 종합대책’에 따라 2022년까지 전국 노후관을 정밀 조사하고 전국 수도관을 정비할 예정이라고 하였다. 즉, 환경당국도 수도관의 수명 연장의 필요성을 인식하고 있으므로 환경당국의 종합대책이 본 연구의 목적과 일맥상통하였다. 또한, 수도시설의 잔존수명을 예측하는 생애주기 관리기법을 도입할 예정이라고 밝혔다. 잔존수명을 예측함으로써 교체 대상인 관과 세척 대상인 관이 명확해져 관 세척을 실시하는 과정에 있어 긍정적인 영향을 미칠 것으로 기대된다. 따라서 이러한 행보들로 인하여 관 세척 분야의 부상이 예상된다.

더불어 환경부에서 관 세척 의무화를 논의 중에 있다. 관 세척이 의무화될 경우 관 세척 방법 등을 확정하여야 한다. 이 과정에서 피그세척 대상으로 선정된 상수도관에서 사용할 피그 선정 시 기존 피그에서 성능을 개선한 본 개발 피그의 우수성을 드러낼 기회가 많을 것으로 기대된다.

더불어 개발 피그의 약품 주입 유닛은 관 세척용 피그 뿐 아니라 관 탐사용 피그인 인텔리전스 피그에도 도입할 수 있다. 이 때 인텔리전스 피그의 GPS를 통해 약품 주입 지점을 직접 설정하면 더욱 효율적인 관 갱생 도모가 가능하므로 본 연구의 피그는 관 세척과 관 탐사의 가교역할을 하는 가치가 있다.

개발한 피그는 다기능화를 통해 관 세척과 함께 약품의 주입이 동시에 이루어진다. 따라서 탑재할 약품의 연구를 통하여 탑재 약품의 폭을 넓힘으로서 기능의 확장 가능성이 무궁무진하므로 탑재 약품에 대한 연구가 수행되어야 할 필요성이 있다.

IV. 참고자료

- 등록특허공보 제2001505100000 (1999.04.07) "고경도스케일제거를위한배관용피그"
- 등록특허공보 제1016424550000 (2016.07.19) "관로세척장치"
- 등록특허공보 제1007998380000 (2008.01.24.) "관 세척 및 살균용 폴리 피그"
- 등록특허공보 제2003463020000 (2004.03.17) "배관 내부의 스케일을 제거하는 폴리 피그"
- 등록특허공보 제1005745830000 (2006.04.21) "배관 세척 및 살균장치"
- 등록특허공보 제1014353850000 (2014.08.22) "배관 세척용 피그"
- 등록특허공보 제1018157070000 (2017.12.29) "배관 세척용 피그 및 피깅 시스템"
- 등록특허공보 제1019754010000 (2019.04.29) "배관 클리닝용 피그"
- 등록특허공보 제1008813760000 (2009.01.23) "피그"
- 등록특허공보 제1008472270000 (2008.07.11) "피그를 이용한 배관 내면의 세정방법 및 장치"
- 등록특허공보 제08281444호 (2012.10.09) "Cleaning pig"
- 등록특허공보 제08719989호 (2014.05.13) "Chemical pigging apparatus for pipelines"
- 등록특허공보 제08650695호 (2014.02.18) "Pipeline cleaning pig with self-energizing diagonally oriented scrapers"
- 등록특허공보 제09498804호 (2016.11.22) "Pipeline pigs"
- <http://www.asiaprotech.com/mainset.htm?id=pro01&xcode=02&mcode=07>, 아세아프로텍.
- <http://www.jewoo.net/default/sub2/sub34.php>, 제우이앤씨.
- http://koins21.co.kr/coding1/sub2/sub8_4.asp, Koins.
- Fluid dynamic drag, Hoerner Fluid Dynamics, 2007, Sighard F. Hoerner,
- United Flexible, Flexible Metallic Hose, Braid and Assemblies(2017), John P.Devine.
- <http://www.jinilspring.com/pro.htm>, 진일부품.
- <http://m.dhflexible.com/INTERLOCK-HOSE>, 대흥금속.
- 국립환경과학원. 수돗물의 녹물 저감을 위한 부식억제 적용성 연구, 2009
- 수자원기술 주식회사; 주식회사 아세아프로텍. 상수관로 복합세척방법. 등록특허 10-0832687. 008
- 환경부. 수처리제의 기준과 규격 및 표시기준, 2017
- 철강금속신문, STS가격표, 2019.11
- 김경민, 22년까지 전국 수돗물 노후관 정비 "국민이 안심하고 마실 수 있게", 파이낸셜뉴스, 2019.11.28

A Study on the Tadpole-type Pig for Cleaning the Water Supply Pipe

관세척용 올챙이형 다기능 피그에 관한 연구

2019학년도 2학기 환경종합설계

PIG ME UP

환경공학부 강다희 이지혜 장윤빈

한국환경공단 김남정 멘토님



Contents

01. Introduction

개발 동기 및 목표, 기대효과

02. Design

QFD, 피그의 특징, 각 유닛별 특성

03. Application

100mm관의 100m 주행을 가정

04. Drawing

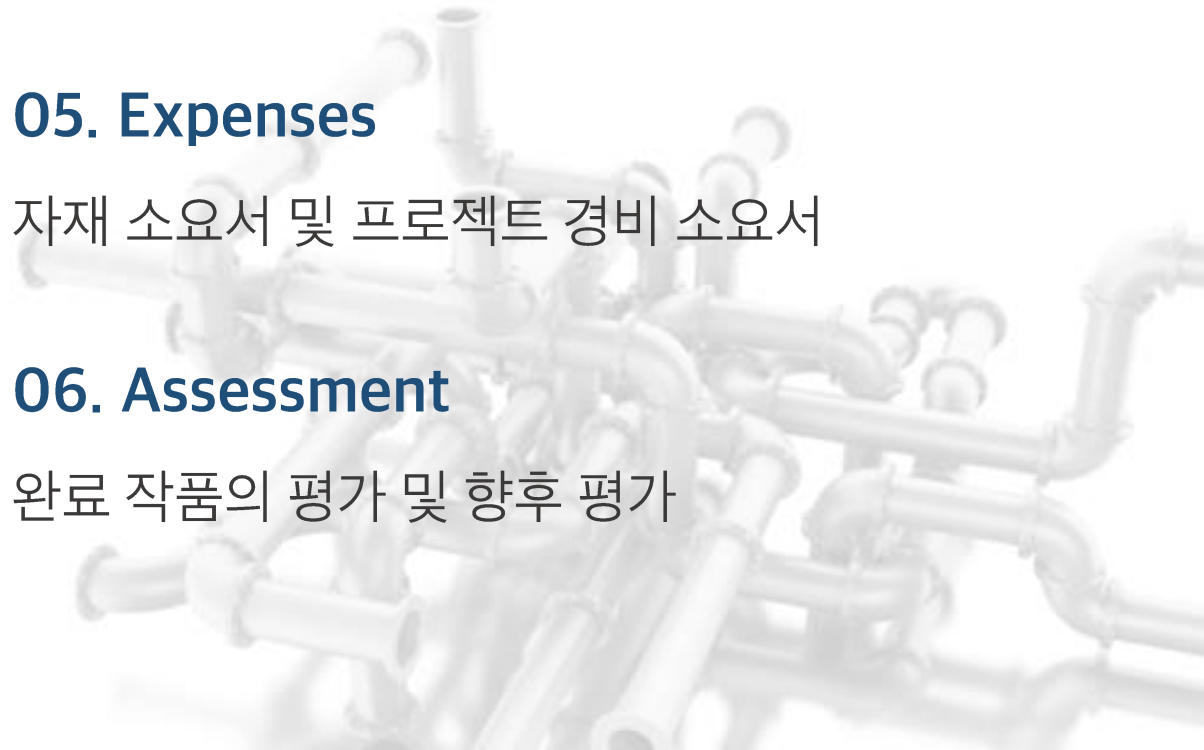
부품도 및 조립도

05. Expenses

자재 소요서 및 프로젝트 경비 소요서

06. Assessment

완료 작품의 평가 및 향후 평가



01. Introduction


1) 개발 배경 및 목표

인천 수돗물 피해보상, 최종 4만1천건 접수

장호영 기자 | 승인 2019.09.01 20:31 | 댓글 0

8월 30일 최종 마감 결과, 총 93억 원 신청 집단 손해 배상 청구 소송엔 3000여 명 참여

[인천투데이 장호영 기자] 인천 수돗물 적수(붉은 물) 사태로 피해를 본 서구강화영종 주민들이 인천시에 총 4만1290건의 피해보상 접수를 했다. 시에 피해보상을 신청하지 않고 주민단체들과 집단 소송에 참여한 주민은 8월 31일 기준 3000여 명에 달하는 것으로 확인됐다.



인천지역 주민들이 울렸던 수돗물 적수 피해 사례 사진(인천투데이 자료사진)

머니투데이

'붉은 상수도'는 힘들다... '붉은 수돗물'에 앓는 전국

기사입력 2019.06.26. 오전 6:11 | 기사원문 | 스크랩 | 본문듣기 | 설정

40 | 32

요약본 | 가 | |

[머니투데이 이재은 기자] [인천 영등포광주시·안산·평택 등 전국 곳곳에서 '붉은 수돗물' 민원 제기돼... "노후 수도관 교체하고 물때 등 관리 강화해야"]



최근, 인천 서울 안성 등 전국에서 상수도 관 내 침전물로 인한 적수 사태가 발생함. 이러한 사고는 발생 시 사회적, 경제적으로 큰 영향을 미침.

01. Introduction

1) 개발 배경 및 목표

[상수도관 현황]

	길이	비율
상수도관 총 길이	209,034km	
설치된 지 21년 이상 지난 노후 상수관	67,676km	32.4%
내구연한이 30년이 넘는 노후 상수관	29,265km	14%

자료 출처: 2017년 상수도 통계 (환경부)

노후 상수도관이란 파손, 누수, 적수 등의 문제를 일으키는 상수도관을 말함.

노후화관에 대한 기초자료를 토대로 관 세척 및 교체 등 시설 개선이 필요함.

> 상수도 노후화의 대표 원인물질은 녹과 스케일로, 이를 제거하여 사고를 예방하고 통수능을 확보하여야 함.

01. Introduction

1) 개발 배경 및 목표

[대표적인 관세 기술]

이름	설명
Flushing	유속을 빠르게 증가시켜 관 내 퇴적물을 외부로 배출
Air Scouring	압축공기를 일정 간격으로 주입하여 water slug 생성
Hydro jet	고압의 물을 노즐로 분사
Ice Pig	수돗물을 결빙하여 관로 내부로 압송 및 펌핑
Pigging	피그를 삽입, 압력에 의해 앞으로 진행하며 내부 물질 제거

노후 상수도관은 크게 교체와 갱생으로 나누어져 관리됨.

갱생은 세관과 보강과정으로 이루어져 있음.

세관 중 **Pigging**에 초점을 맞춰 설계를 진행하였음.

01. Introduction

1) 개발 배경 및 목표

[관세척용 올챙이형 다기능 피그에 관한 연구]



노후화된 수도관의 갱생을 위한 방법으로 피그세척법을 선정,
Steel Mandrel 피그의 모양과 유닛을 설계함으로써
보다 효율적인 관세용 피그 개발을 목적으로 함.

01. Introduction

1) 개발 배경 및 목표



[곡관부 주행성]



[관로별 특성 반영]



[약품의 도포]



헤드, 바디의 유연성

유닛 장착형

분사형 약품 주입부

01. Introduction

2) 기대 효과

✓ 기술적 기대효과




- 피그의 역학적 거동 변화를 통해 관 폐색율을 감소
- 관 특성별로 유닛을 커스터마이징하여 사용
- 약품주입을 함께 수행하여 전체 시스템의 소요시간과 비용을 절감
- 피그의 역할 확장

✓ 경제적, 사회적 기대효과

- 국민들의 수돗물에 대한 인식 개선
- 노후 관로 교체에 비해 경제적
- 상수도관 내 침전물로 인한 사고 예방

02. Design

1) 관련 시장 및 QFD 분석

				
	APRO-GP-EBF	APRO-GP-SRF	KOS-SRB	모델GSB
곡관부, 이음부 대응	O	O	X	O
다기능성(약품 주입 등)	X	X	X	X
브러쉬 탈착, 교체 가능	O	X	X	O

02. Design

1) 관련 시장 및 QFD 분석

✓ **QFD** quality function deployment

QFD를 통해 고객의 요구사항과 제품의 요구사항의 관계를 분석한 결과는 다음과 같음.

- 피그의 헤드 형상을 통해 관 주행과 스케일 돌파가 모두 원활할 것.
- 원활한 곡관부 주행과 유닛의 조립 용이성을 고려하여 바디 형상 및 소재를 선택할 것.
- 연속적 약품 도포 및 유출, 잔류약품의 회수가 가능할 것.
- 각각의 유닛은 관의 특성에 따른 Customizing이 가능할 것.

02. Design

2) 피그의 헤드

“항력”

유체 안의 물체가 움직일 때
물체의 진행방향과
반대방향으로 작용하는 힘

$$F_d = \frac{1}{2} \rho u^2 C_d A$$

F_d : 항력

ρ : 유체의 질량밀도

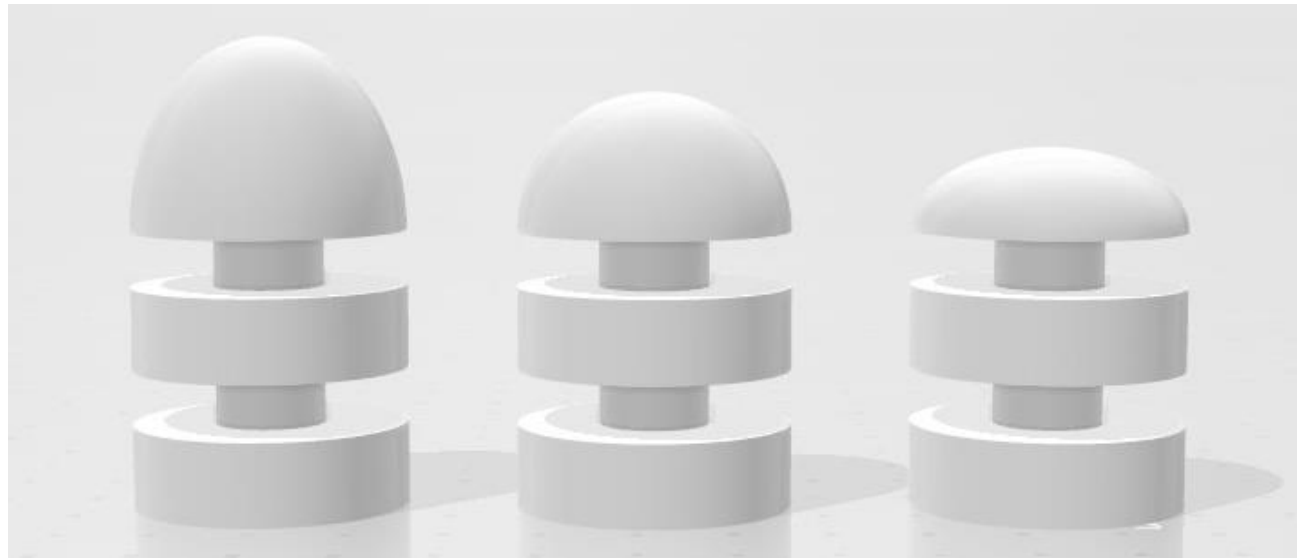
u : 유체에 대한 물체의 상대속도

C_d : 항력계수 = 항력감소의 포인트

A : 투영면적

02. Design

2) 피그의 헤드 _ 헤드의 적정 곡률 선정 과정



- 기존 Pig의 판형 헤드보다 작은 항력계수를 갖도록 돔형 헤드를 선택
- 돔의 곡률에 따른 항력차이는 식으로 확인할 수 없음
- > 곡률이 다른 피그 모형을 제작하여 실험을 통해 피그의 거동을 확인

02. Design

2) 피그의 헤드 _ 헤드의 적정 곡률 선정 과정



✓ 실험 방법

1. 피그를 내경이 32mm이고 길이가 3m인 관에 투입.
2. 출발선에 피그를 위치시키고 동일한 유량으로 물을 관 내에 유입.
3. 피그의 1m 통과시점, 2m 통과시점, 주행 완료시점의 시간을 측정.
4. 각 피그에 대하여 12회씩 반복.

02. Design

2) 피그의 헤드 _ 헤드의 적정 곡률 선정 과정

[실험 결과]

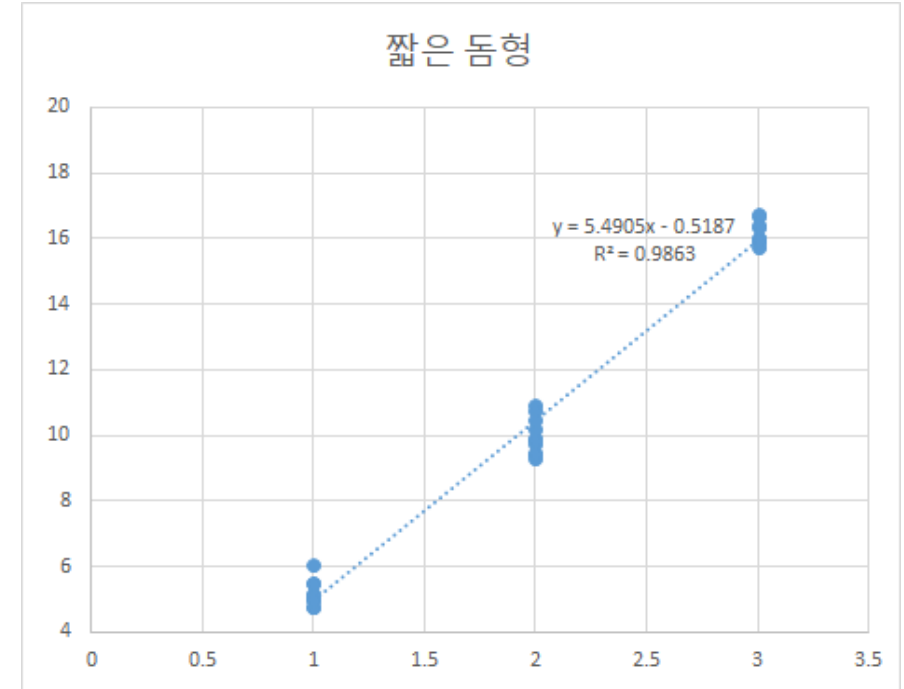
	긴 돔형	반구형	짧은 돔형
헤드부 높이 (mm)	21	15	9
무게 (g)	22.98	20.19	17.47
평균 주행 시간 (sec)	17.869	18.363	16.181

- 실험 결과를 통해 헤드의 곡률 형상에 따른 주행능력의 경향성 확인
 - 주행시간은 반구형 > 긴 돔형 > 짧은 돔형 순으로 많이 소요
- > 실제 주행에 영향을 준 요인은 형태에 따른 항력감소 < 헤드부의 무게

02. Design

2) 피그의 헤드 _ 헤드의 적정 곡률 선정 과정

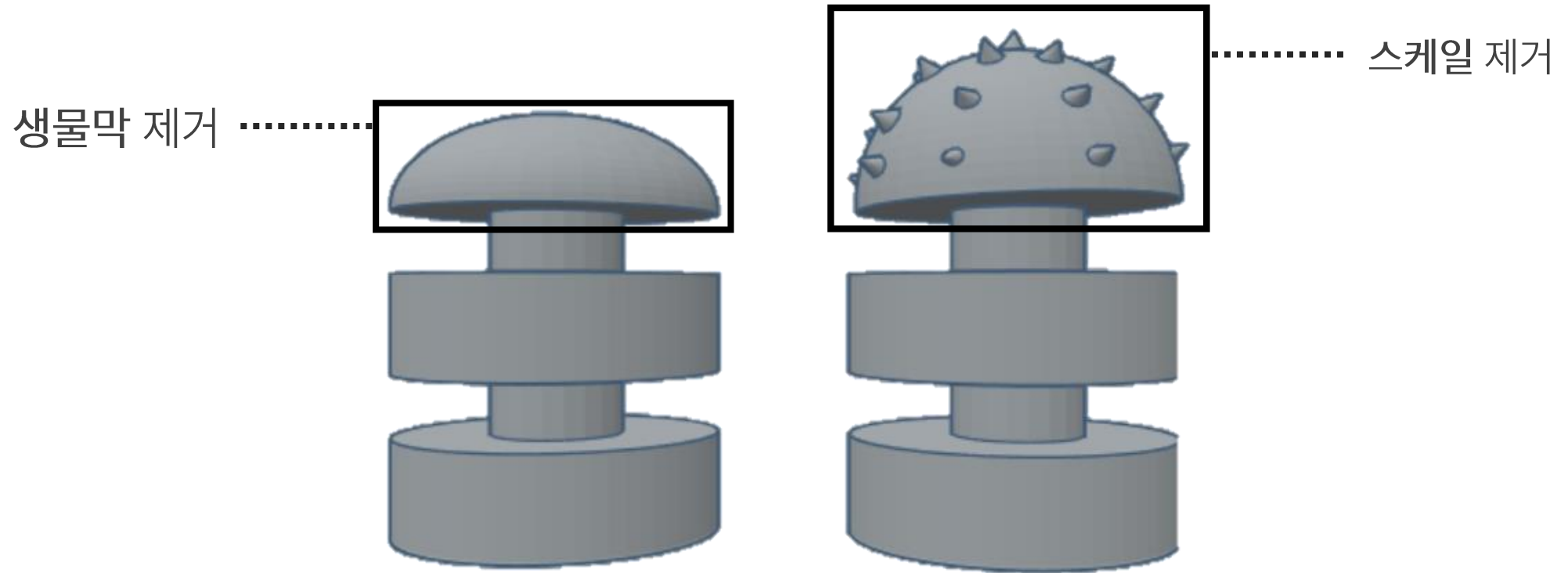
	긴 돔형	반구형	짧은 돔형
평균 주행 시간 (sec)	17.869	18.363	16.181
회귀 직선	$y = 5.995x - 0.4763$	$y = 5.9035x + 0.312$	$y = 5.4905x - 0.5187$
100m 주행 시간 (sec)	599.02	590.66	548.53



- 실험결과를 통해 도출한 주행시간에 대한 회귀식의 일차항 계수가 클수록 주행시간이 크게 증가.
- 실험에 사용된 피그는 ABS, 실제 피그는 STS이므로 주행 시 차이가 더욱 극명해질 것으로 예상
> 가벼운 무게 뿐 아니라 짧은 주행시간을 갖는 짧은 돔형을 선택.

02. Design

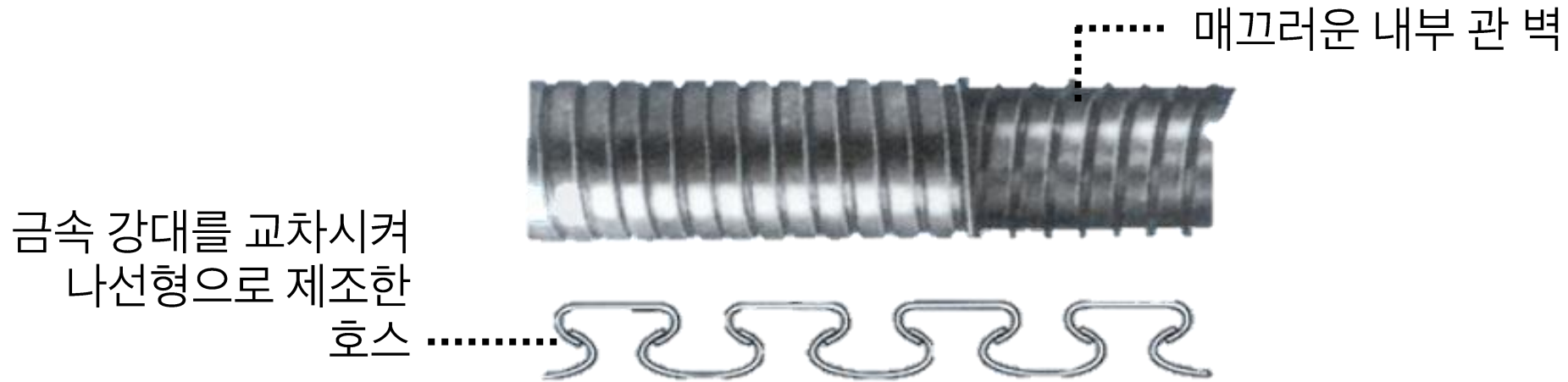
2) 피그의 헤드 _ 헤드의 표면 요철 유무



> 관의 상태와 특성에 맞는 헤드를 선택하여 장착할 수 있도록 함.

02. Design

3) 피그의 바디

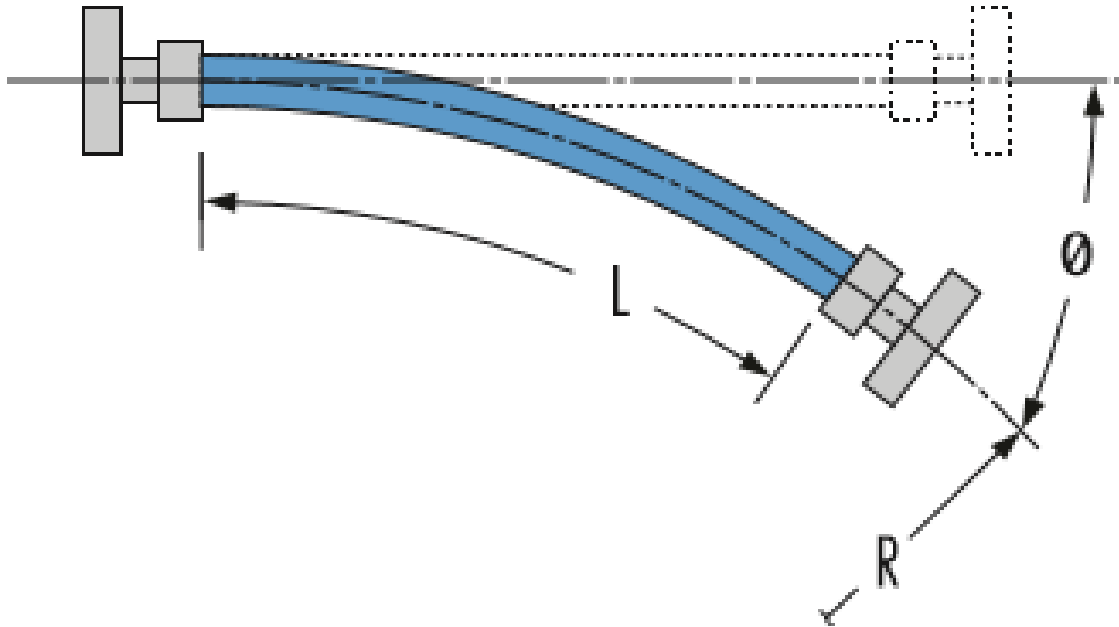


“Interlock Hose”

곡관부 거동 원활, 유닛 접촉면 설계 가능

02. Design

3) 피그의 바디



$$L = \frac{\pi R \theta}{180}$$

$L = \text{Live Length (mm)}$
 $R = \text{Bend Diameter (mm)}$
 $\theta = \text{Degree (}^\circ\text{)}$

02. Design

3) 피그의 바디

INTERLOCK® (ROUNDED)							
Nominal I.D.		Nominal O.D.		Minimum Inside Bend Diameter		Weight Per	
in	mm	in	mm	in	mm	lb/ft	kg/m
¾	19.1	0.90	22.9	4.7	120.0	0.27	0.40
1	25.4	1.19	30.2	5.5	140.0	0.67	1.00
1¼	31.8	1.44	36.6	7.3	185.0	0.74	1.10
1½	38.1	1.69	42.9	7.5	190.0	0.60	0.90
2	50.8	2.19	55.6	11.8	300.0	1.21	1.80
2½	63.5	2.69	68.3	13.0	330.0	1.55	2.30
3⅛	79.4	3.31	84.2	15.4	390.0	1.95	2.90
3¼	82.6	4.19	106.4	18.5	470.0	2.35	3.50
5	127.0	5.17	131.3	21.9	555.0	2.82	4.20
6	152.4	6.18	157.0	25.2	640.0	2.96	4.40
8	203.2	8.35	212.0	38.0	965.0	7.06	10.50
10	254.0	10.31	261.9	44.9	1140.0	6.85	10.20
12	304.8	12.31	312.7	53.1	1350.0	8.27	12.30

$$L = \frac{\pi R \theta}{180} = \frac{\pi * 640.0 * \theta}{180}$$

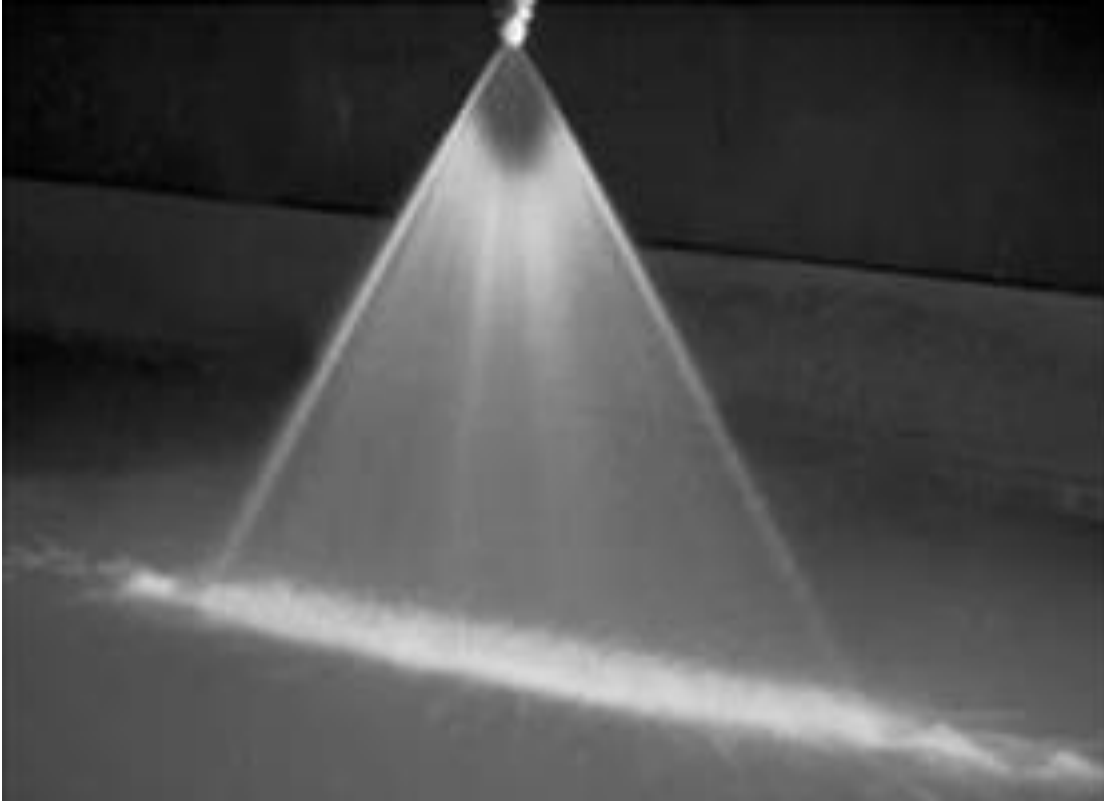
$\theta = 30(^{\circ})$ 으로 가정

$$L = 11.17 * 30 = 335.1mm$$

> Interlock hose의 곡관부 주행능력 확인

02. Design

4) 약품 분사 유닛 _ 약품 분사부



- 분사 형식: 스프레이
- 스프레이 노즐 형식: 부채꼴
- 부채꼴 분사패턴
움직이는 대상물의 전체 표면에 균일한 도포에 적합



$360^\circ/40^\circ=9$
∴ 총 9개의 분사구가 필요함

110도의 분사각도

분사각도가 110도일 때 내각은 40도

1000mm 관

02. Design

4) 약품 분사 유닛 _ 약품 선정

✓ 부식 억제제

- 부식이 상당히 진행된 관에 사용
- 인산염
- 인산 이온과 관 내 금속 이온이 접촉하여 불용성 금속염을 형성, 침전물 용출 저하

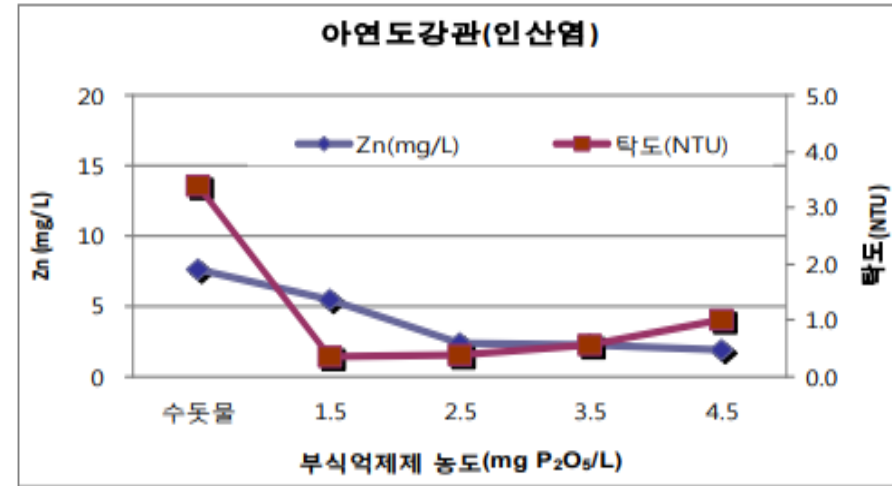
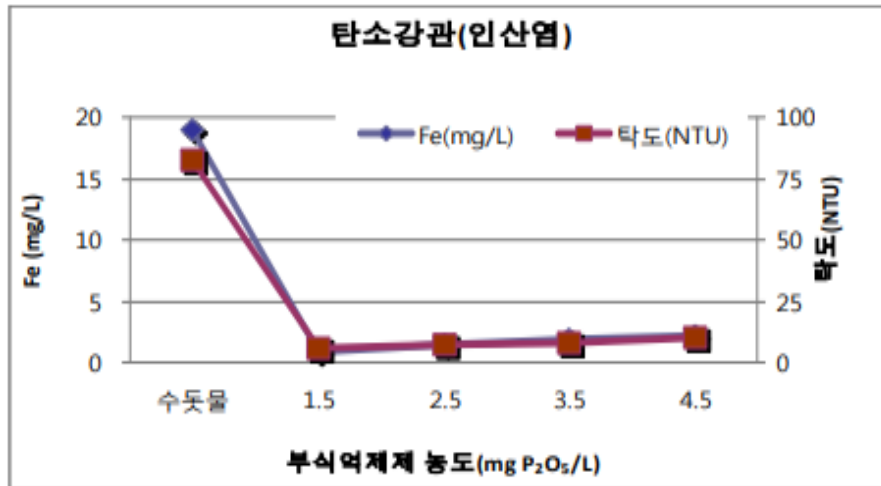
> 부식으로 인한 적수 발생 예방

02. Design

4) 약품 분사 유닛 _ 약품 선정

✓ 부식 억제제

- 환경부의 '수처리제의 기준과 규격 및 표시기준' > 주입농도 5mg/L 이하
- 국립환경과학원의 '수돗물의 녹물 저감을 위한 부식억제 적용성 연구'에 따른 중금속 용출 정도



> 부식억제제 주입농도는 2.5mg/L로 선정

02. Design

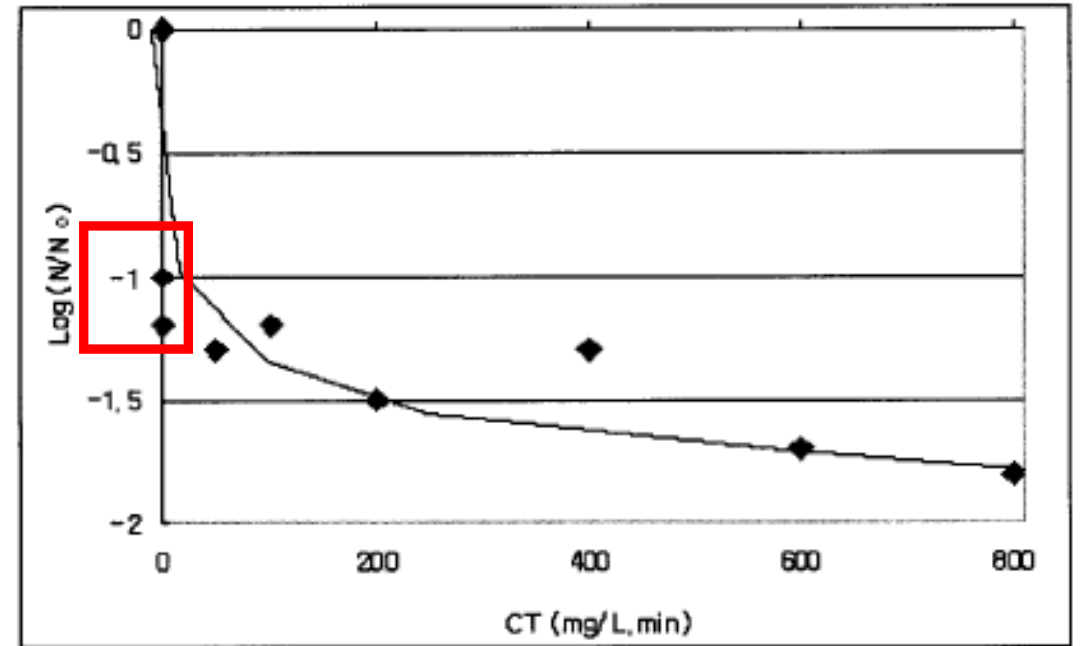
4) 약품 분사 유닛 _ 약품 선정

✓ 소독제

- 생물막 및 슬러지의 제거에 사용
- 차아염소산나트륨
- > 세균 등의 미생물과 잔여 생물막 제거

- 등록특허 '상수관로 복합 세척 방법'

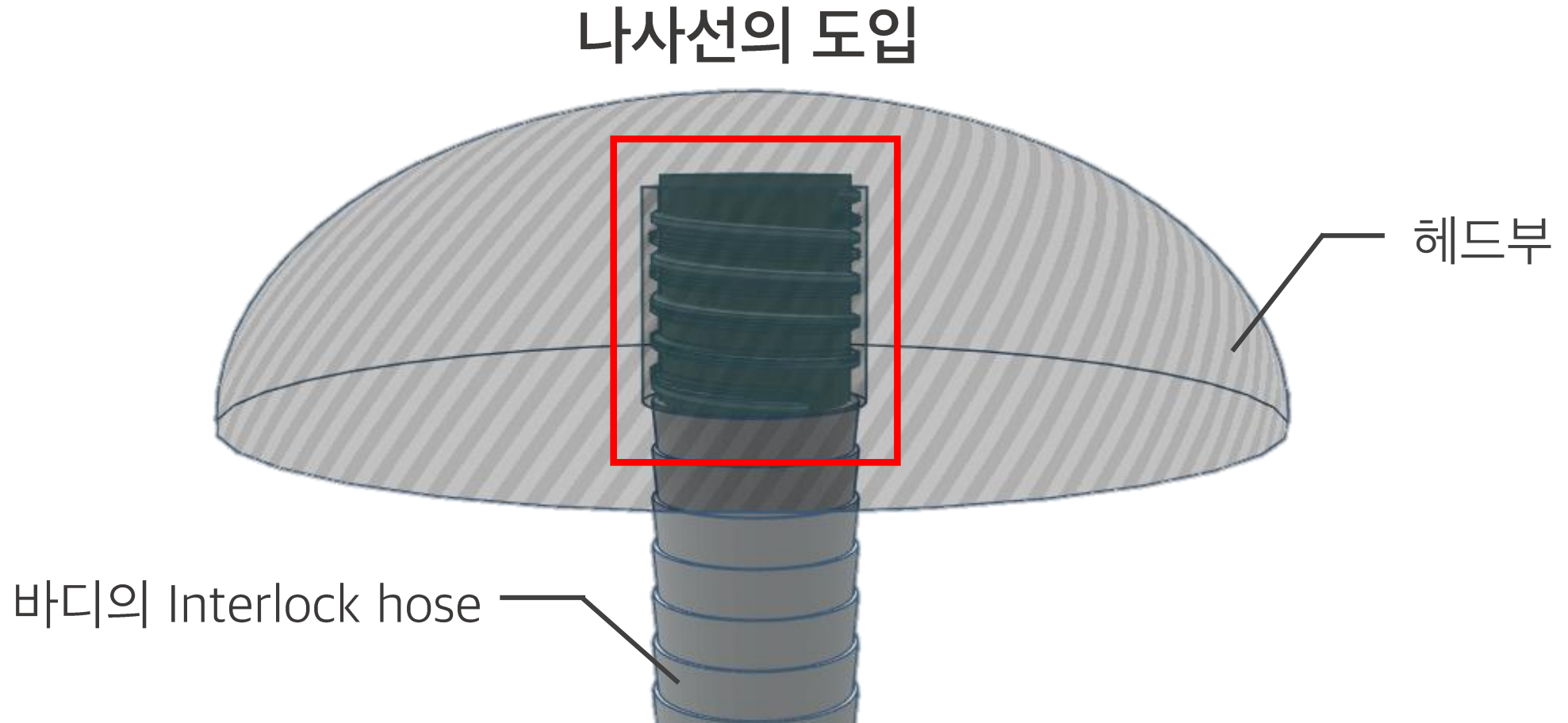
> CT값 고려 시 $\log(N-N_0)=-1$ 인 경우에만 불활성화



> 소독제의 CT값은 $10\text{mg/L}\cdot\text{min}$ 으로 선정

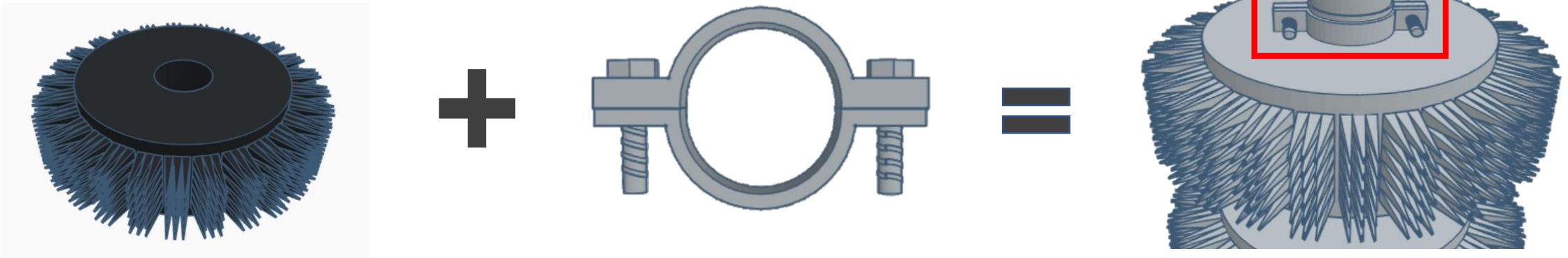
02. Design

5) 유닛 결합 및 고정 장치 _ 헤드와 바디의 결합



02. Design

5) 유닛 결합 및 고정 장치 _ 각 기능 유닛과 바디의 결합



> 각 기능 유닛은 C형 클램프를 이용하여 앞뒤로 결합

03. Application

1) 가정 사항

- 피그는 관의 특성에 따라 직경 및 길이를 고려하여 제작할 수 있음.
- 해당 설계에서는 직경이 100mm인 관을 100m 주행할 때를 가정하여 실제 수치를 계산함.

03. Application

2) 약품 필요 용량 및 저장 용량 계산 _ 약품의 용량

✓ 부식 억제제

- 환경부에 따르면 고체 인산염의 주입농도기준은 5mg/L, 액상인산염은 11%이상, 표시항(%) 주 1 이내.
- 2.5mg/L의 주입농도

- Stock solution: 11%

- 관 내 물의 양: $V=0.1*0.1/4*\pi*100=0.7854m^3$

> 부식방지제 요구량: $0.7854m^3 * 2.5mg/L / 110000mg/L * 1000L / 1 m^3 = 0.01785L$

03. Application

2) 약품 필요 용량 및 저장 용량 계산 _ 약품의 용량

✓ 소독제

- 등록특허 10-8232687에 따르면 염소소독을 위해 0.1-50mg/L*min 범위의 CT값 고려가 필요.
- CT값은 10mg/L*min

- Stock solution: 5%

- 주입농도 및 접촉시간 : 2mg/L, 5분

- 관 내 물의 양: $V=0.1*0.1/4*\pi*100=0.7854\text{m}^3$

> 소독제 요구량: $0.7854\text{m}^3 * 2\text{mg/L} / 50000\text{mg/L} * 1000\text{L} / 1 \text{ m}^3 = 0.0314\text{L}$

03. Application

2) 약품 필요 용량 및 저장 용량 계산 _ 저장 용량

- 피그 주행 속도: 0.6 - 1.5m/s
- 직경 100mm, 길이 100m인 관의 내부 부피: $V=0.1*0.1/4*\pi*100=0.7854m^3$
- 약품 요구량: 0.0314L
- 가압제와 약품의 비: 1:1
- 약품 저장부의 필요 용량: $0.0314L*2= 0.0628L$

> 여유부를 고려한 약품 저장부의 용량 = 0.08L

03. Application

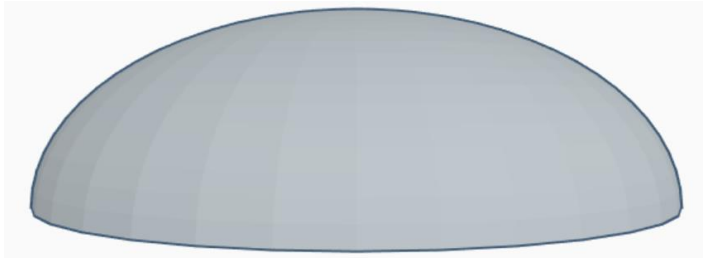
3) 각 유닛의 수치

유닛	직경 (mm)	길이 (mm)	높이 (mm)
헤드	100	-	30
바디	20	20/30	-
약품 저장부	70	-	65
브러시	100	-	30
클램프	20	-	-

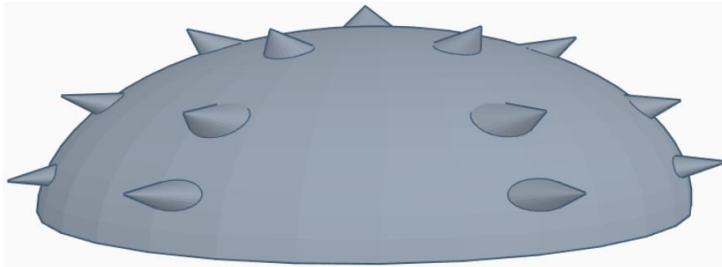
> 각 유닛의 수치는 부품도에 자세히 나타나 있음.

04. Drawing

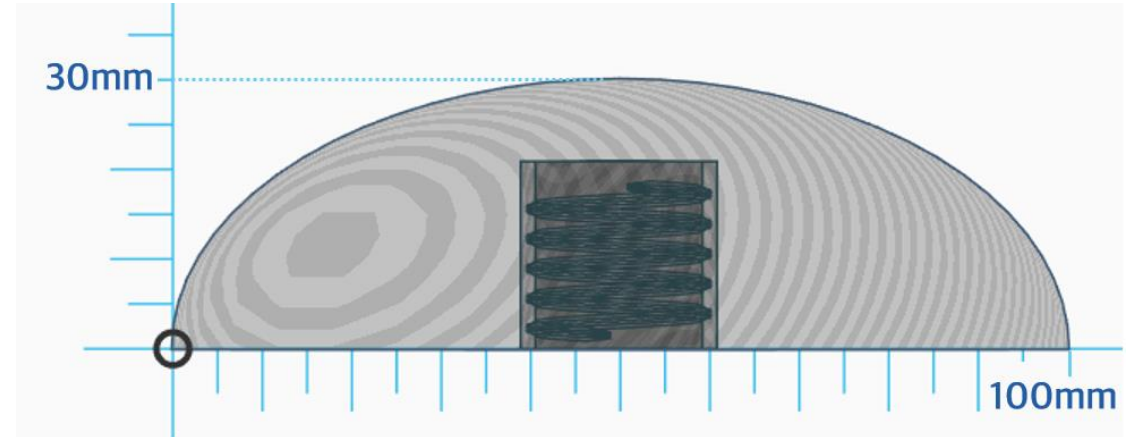
1) 부품도 _ 헤드



[생물막 제거용 헤드]



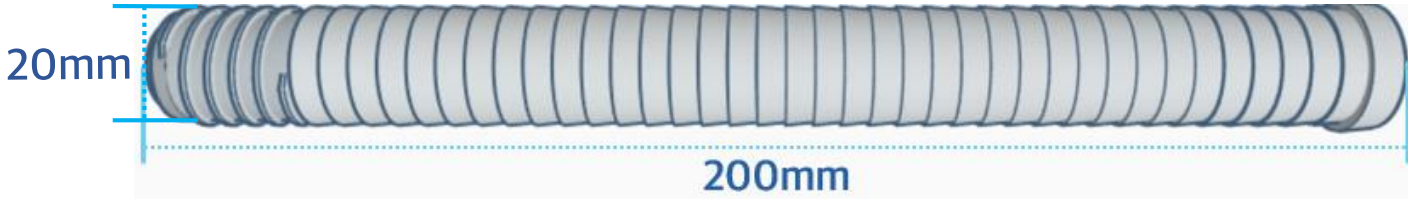
[스케일 제거용 헤드]



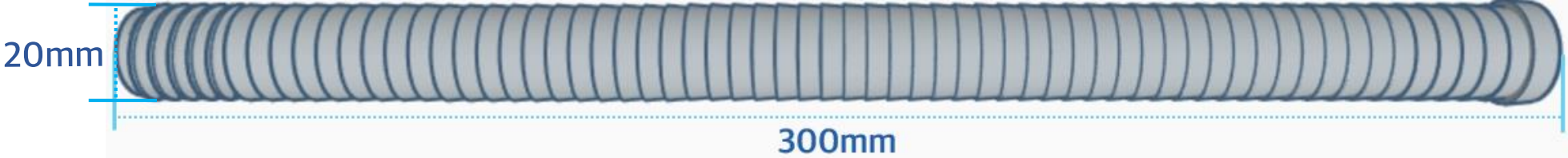
[상세 수치]

04. Drawing

1) 부품도 _ 바디



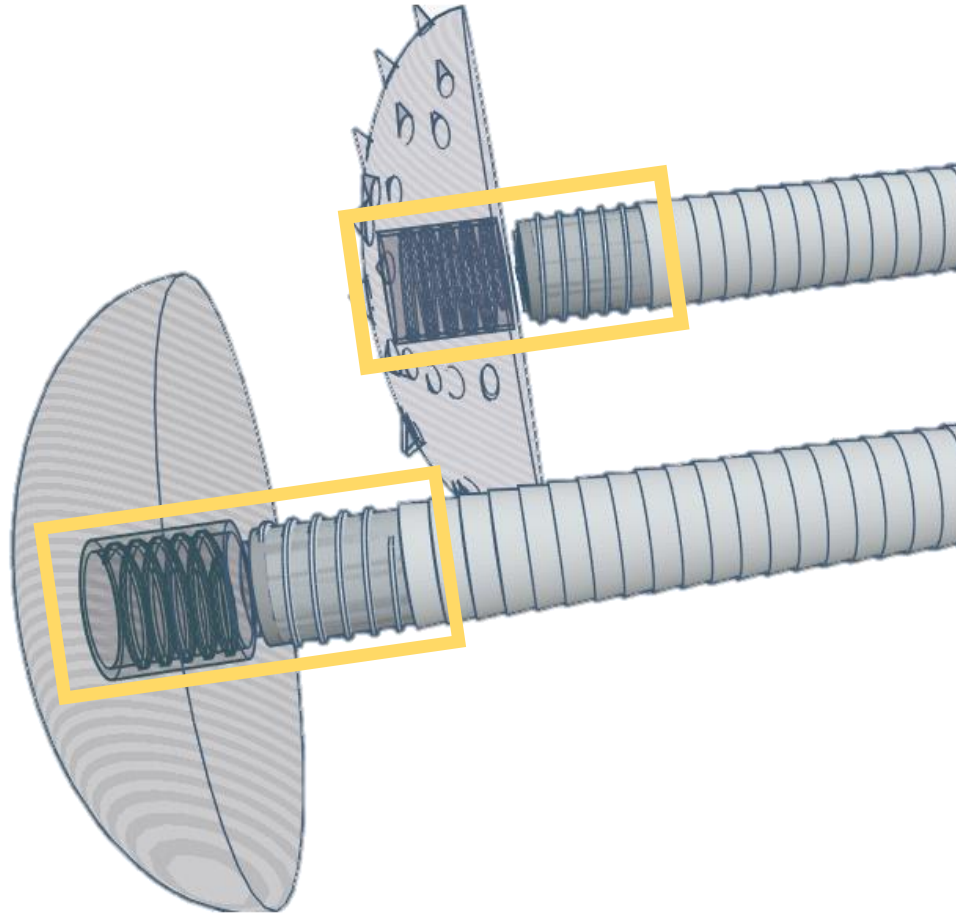
[생물막 제거용 짧은 바디]



[스케일 제거용 긴 바디]

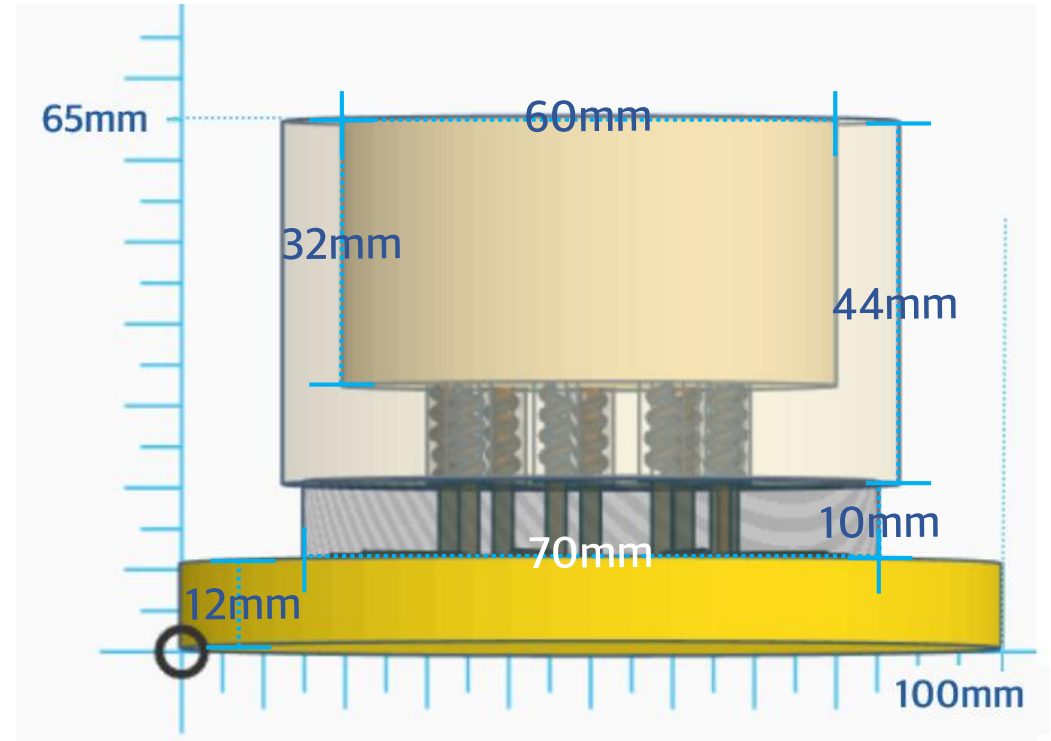
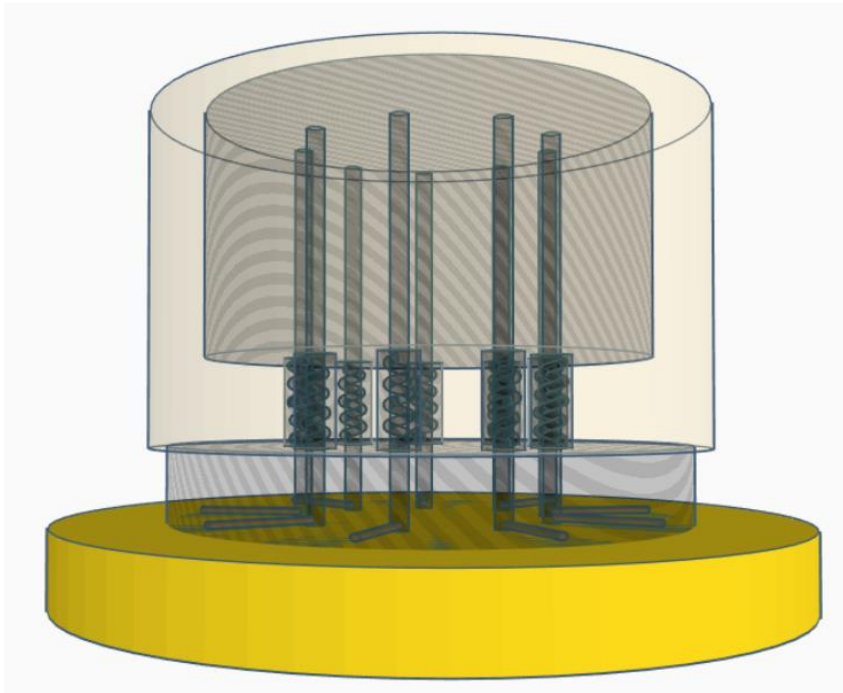
04. Drawing

1) 부품도 _ 헤드와 바디의 결합



04. Drawing

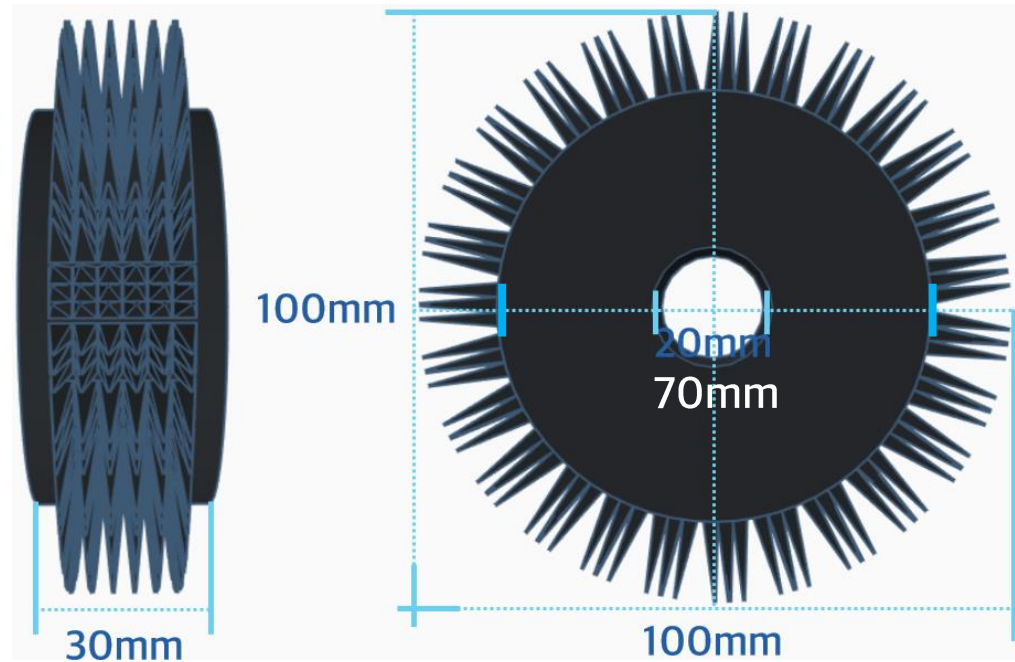
1) 부품도 _ 약품 저장부



[상세 수치]

04. Drawing

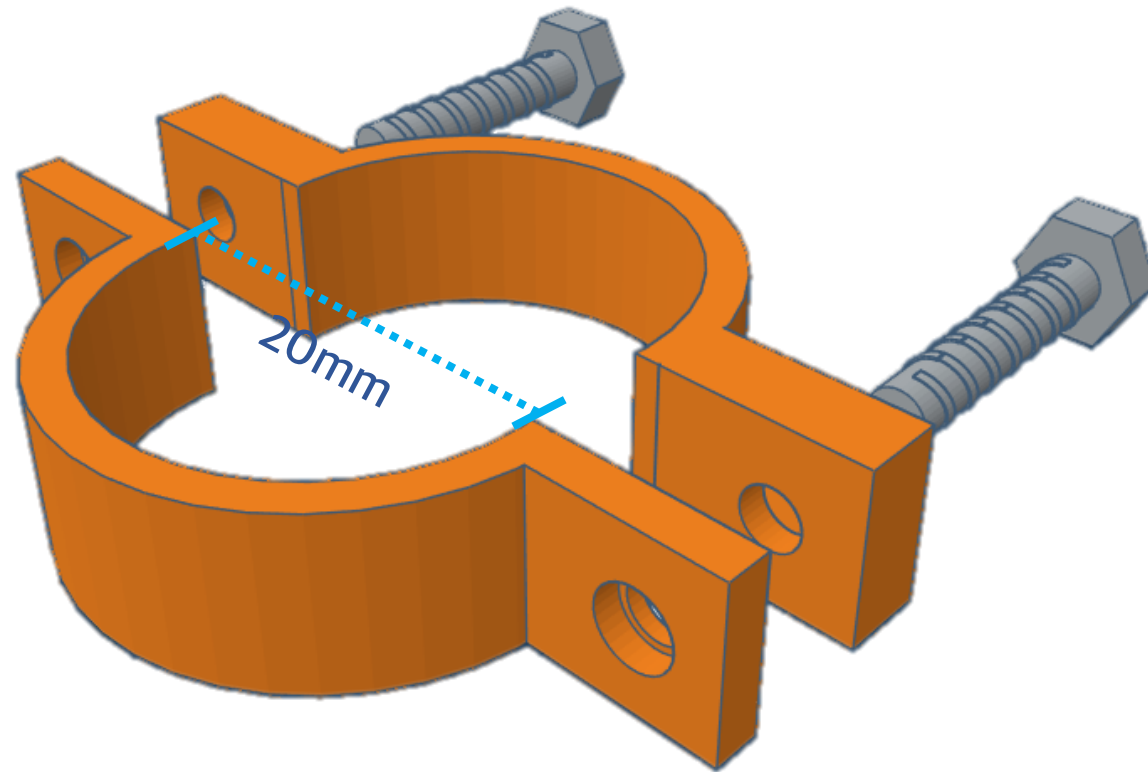
1) 부품도 _ 브러시



- 관 내 상태에 따라 브러시의 개수 및 재질 선택 가능
- 생물막 제거가 목적인 피그 > 실리콘 브러시
- 스케일 제거가 목적인 피그 > 카본 브러시

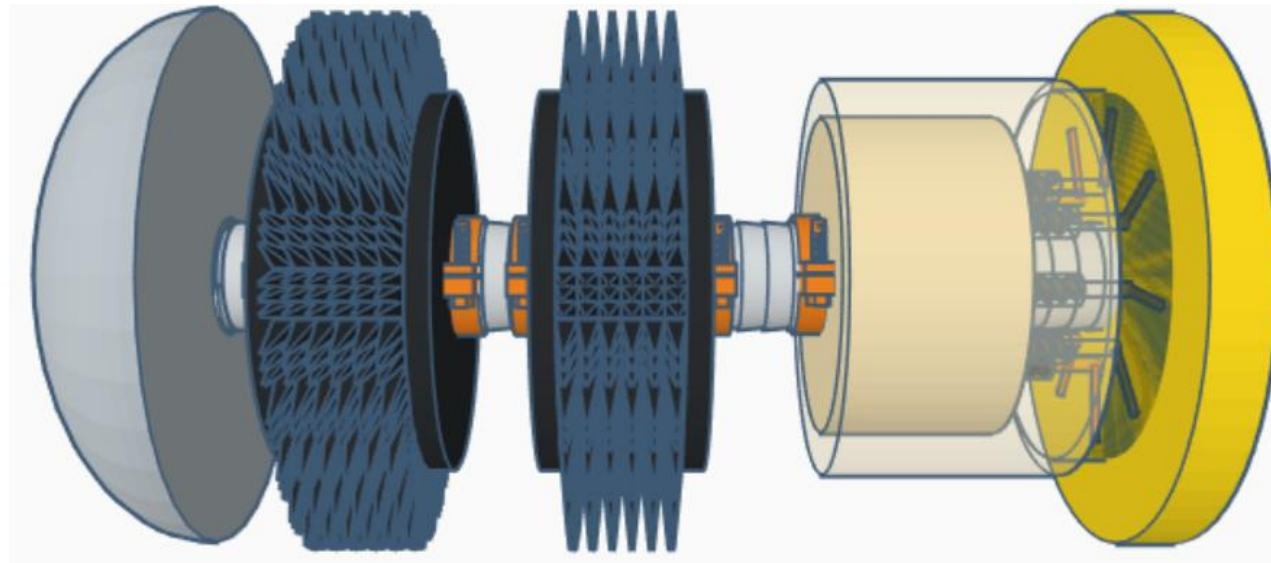
04. Drawing

1) 부품도 _ 클램프



04. Drawing

2) Customizing 예시

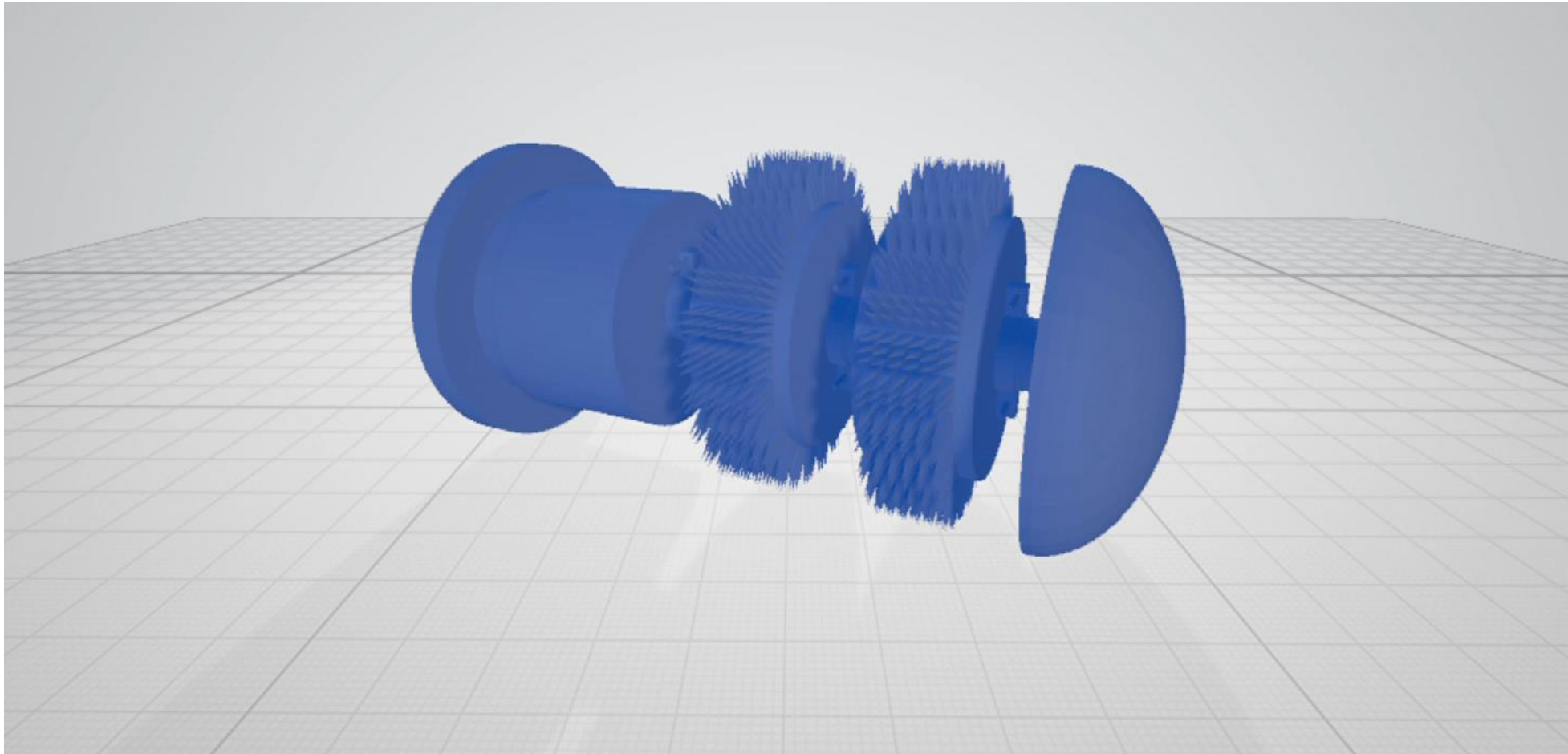


[생물막 및 슬러지 제거가 목적인 피그]

일반 헤드, 짧은 바디, 브러시 2개 장착, 염소 탑재

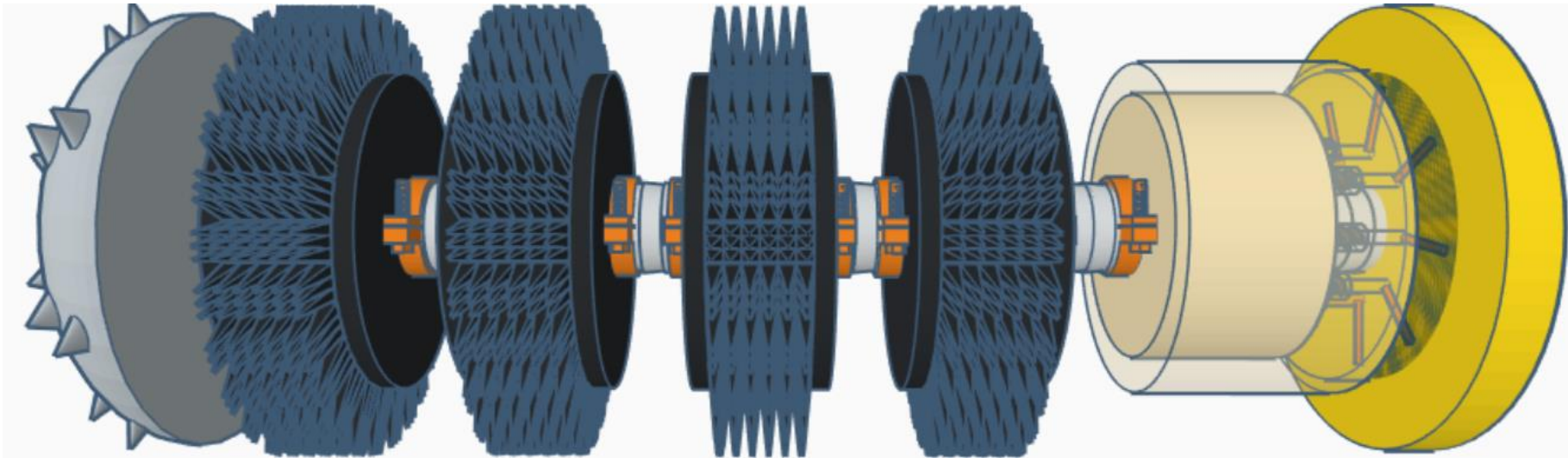
04. Drawing

2) Customizing 예시



04. Drawing

2) Customizing 예시

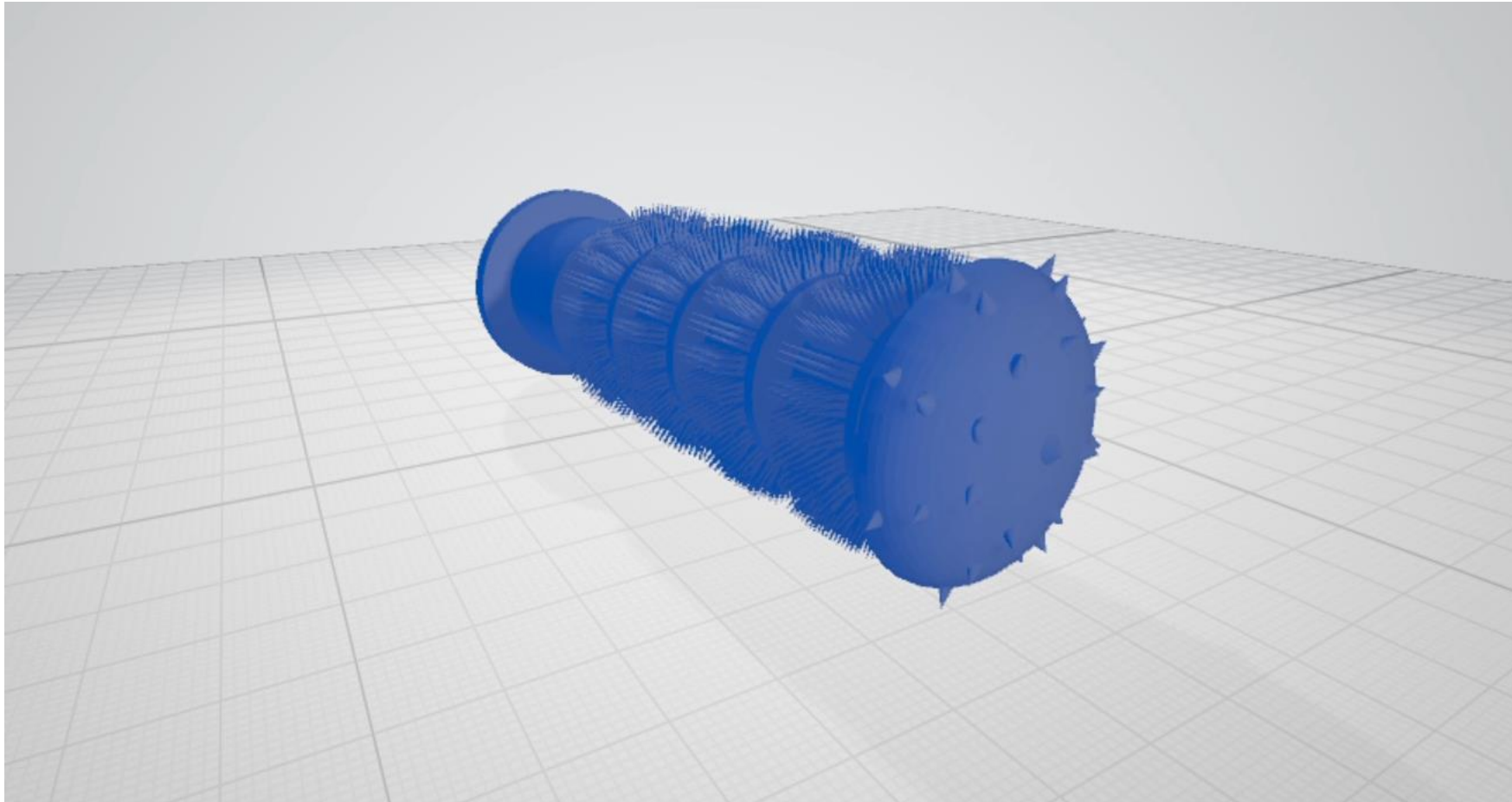


[스케일 제거가 목적인 피그]

요철 헤드, 긴 바디, 다량의 브러시 장착, 부식억제제 탑재

04. Drawing

2) Customizing 예시



05. Expenses

1) 자재 소요서

“ 피그의 가격 = 헤드 + 바디 + 브러시 + 약품 주입부 + 클램프 ”

- 피그 주재료인 STS 1 mm³ 당 가격
STS316: 1,680원, STS304: 11,88원
- 부수적 재료인 PP는 100g 당 144.79원

05. Expenses

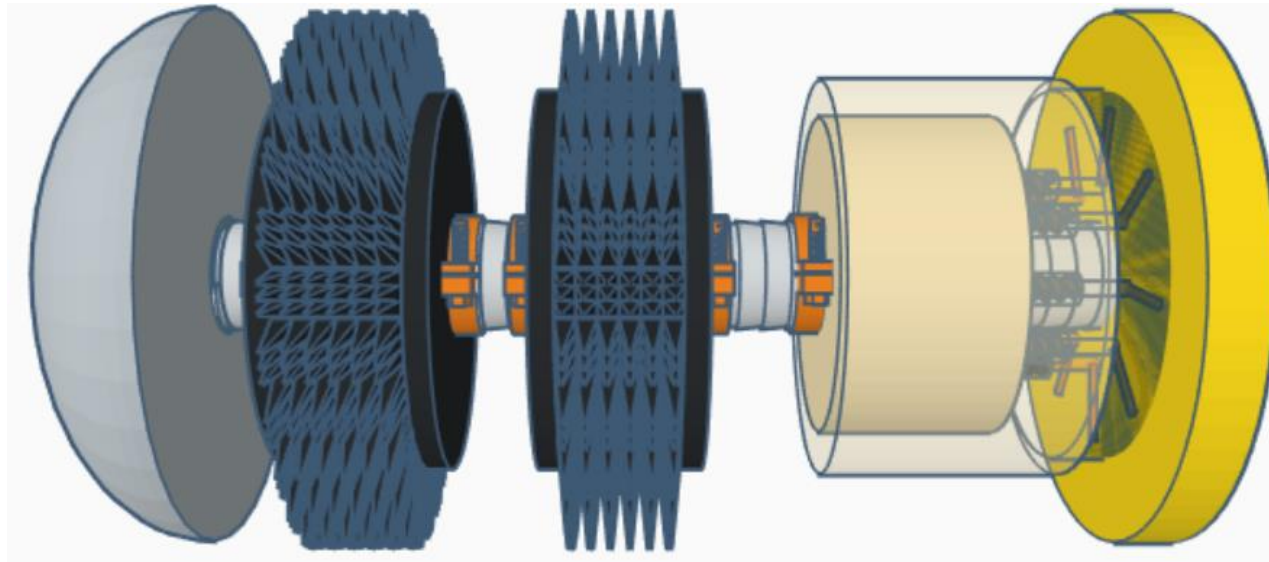
1) 자재 소요서

유닛		재료	단가	부피/개수	금액
헤드		STS304	1.188원/1mm ³	47,124mm ³	55,983원
바디		인터락호스	3,000원/1m	20cm/30cm	600원/900원
브러시	실리콘 브러시	실리콘	-	-	1,200원
	카본 브러시	카본	-	-	8,000원
	브러시링	pp	144.79원/100g	43g	62.35원
약품주입부	노즐	STS316	1.680원/1mm ³	6,220mm ³	10,449원
	약품 저장부 외면			22,116.8mm ³	37,156원
	관 접촉부			5,529.2mm ³	9,289원
	스프링	스틸압력스프링	300원/1개	-	-
	약품 유닛 외부	STS304	1.188원/1mm ³	37,149.3mm ³	44,133원
	유닛 후단부			26,326.5mm ³	31,275원
클램프		-	900원/개	-	-

05. Expenses

1) 자재 소요서

[생물막 및 슬러지 제거가 목적인 피그]

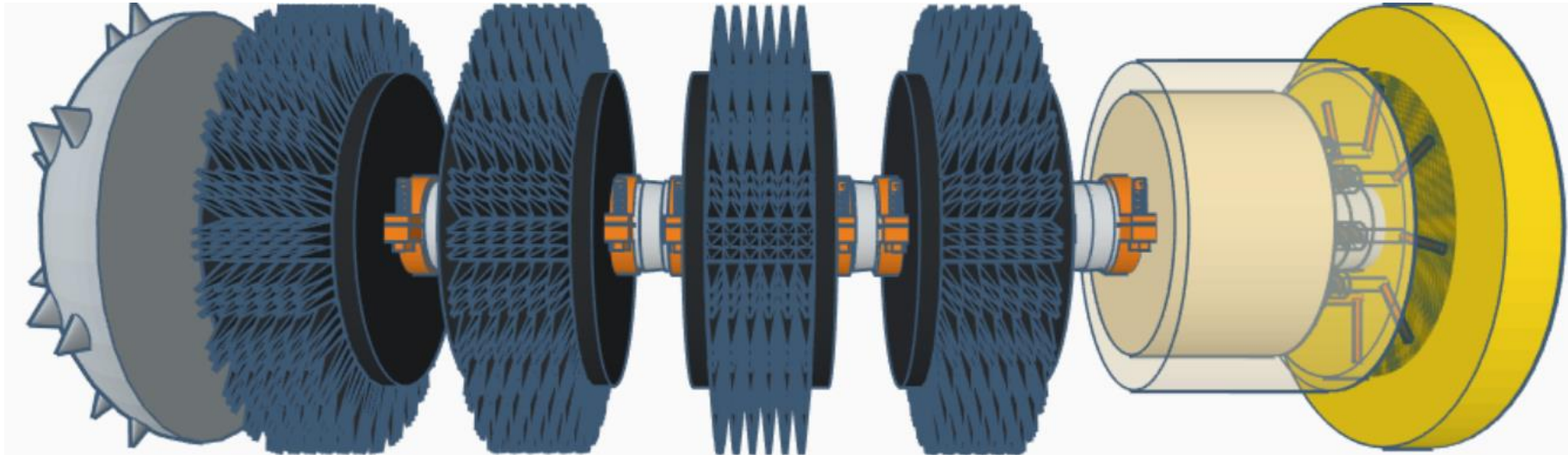


- 헤드 1개, 바디 20cm, 실리콘 브러시 2개, 약품주입부 1개, 클램프 5개
> $55,983+600+(1,200*2)+135,000+(900*5)=198,778$ 원

05. Expenses

1) 자재 소요서

[스케일 제거가 목적인 피그]



- 헤드 1개, 바디 30cm, 카본 브러시 4개, 약품주입부 1개, 클램프 9개
> $55,983 + 900 + (8,062 \times 4) + 135,000 + (900 \times 9) = 232,228$ 원

05. Expenses

2) 프로젝트 경비 소요서

항 목	금 액 (원)
실리콘 호스	64,500
레듀사	7,810
아크릴 관	81,800
테이프 등 실험 물품 구매	11,900
연질 아크릴 등 모형 물품 구매	103,560
아크릴 상자	58,100
3D 프린트 모형제작	114,000
합 계 : 441,670 원	

06. Assessment

1) 완료 작품의 평가

평가항목	평가방법 및 기준	개발 목표치	비중 (%)	평가결과
1. 곡관부 주행 원활	바디 형태의 휨성 직접 확인 : 90도에서 폐색 없음	폐색X	15	폐색X
2. 유리한 헤드 형상	주행 실험 기반 계산 : 100m기준 10분 이내, 다른 형상과 비교하여 30초 이상 단축할 것	10분 이내, 30초 단축	10	8분8초, 50초 단축
3. 향상된 돌파능	돌파 실험 : 기존 피그보다 적은 돌파시간	10초 단축	5	평가 불가

4. 약품 균일 도포	적합한 분사각 : 관 벽 모두 도포	100%	15	100%
5. 약품 회수 가능	약품 회수가 가능할 것	0	5	0
6. 적합한 유닛 크기	헤드유닛과 약품유닛의 합이 피그 전체 길이의 1/3을 초과하지 않을 것	80%	5	100%
7. 적합한 고정 장치	유닛과 바디의 결합이 견고할 것	0	10	0
8. 탈착 용이성	탈착이 용이할 것	0	10	0
9. 유닛 재이용	유닛 중 재이용 가능한 유닛이 존재	2개 이상	10	스케일:2개 생물막:3개
10. 커스터마이징	유닛 종류 : 관 상태에 따른 커스터마이징이 가능하도록 유닛이 다양할 것	0	15	0
평가 결과	95/100점			

06. Assessment

2) 향후 평가

- 수돗물 안전관리 종합대책
 - 생애주기 관리기법
 - 관 세척의 의무화
- > 관세척의 중요성 대두

- 약품주입기능을 인텔리전트 피그에 도입
 - 주입 약품의 다양화
- > 피그 주입 약품 연구의 필요성 존재

06. Assessment

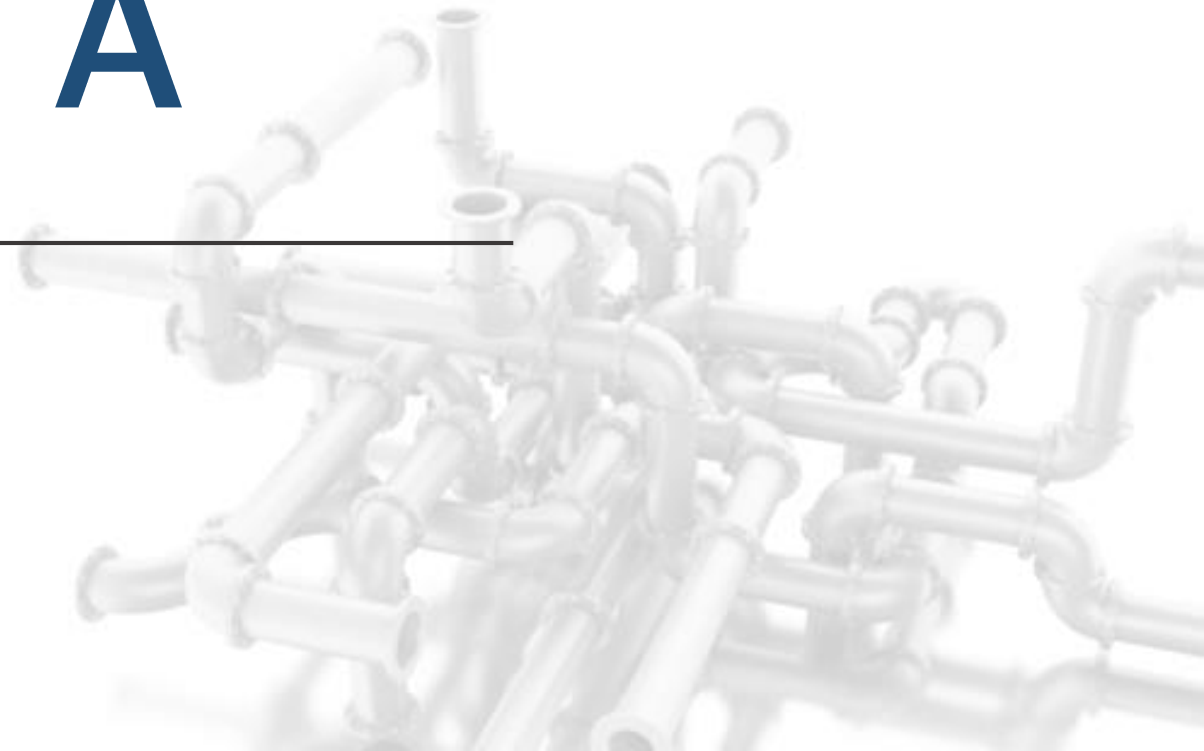
3) 구체화 및 상용화 계획

Time Span		2020	2021	2022	2023	2024	최종목표
연도별 목표		핵심 기술 개발		기술 적용 평가	수도관 특성별 시험 및 평가	사용 매뉴얼 구축	노후 수도관 규모에 따른 관 세척 장치 기술의 상용화
피그 장치의 핵심 기술	관 세척 기술	피그 모형 개발	피그 유닛 개발				관 세척 효율을 증가시키는 향상된 피그 개발
	최적화/서비스	곡관부에서의 피그 최적화	실제 노후 수도관 내 피그 적합성 시험 및 평가		특성별 시험 및 평가		실제 관 내에서도 적용 가능한 피그 개발
	성능 평가	기술의 성능평가 기준 개발			특성별 사용 매뉴얼 구축		관 특성에 따른 피그 세척 방법 표준화
기술/시장 Needs		노후 수도관 세척 효율 향상을 위한 피그 성능 개발 필요성		피그 조작을 위한 장치 개발 필요성		관 특성에 따른 다양한 피그 제조를 위한 기술 개발 필요성	

References

1. 등록특허공보 제2001505100000 (1999.04.07) "고경도스케일제거를위한배관용피그"
2. 등록특허공보 제1016424550000 (2016.07.19) "관로세척장치"
3. 등록특허공보 제1007998380000 (2008.01.24.) "관 세척 및 살균용 폴리 피그"
4. 등록특허공보 제2003463020000 (2004.03.17) "배관 내부의 스케일을 제거하는 폴리 피그"
5. 등록특허공보 제1005745830000 (2006.04.21) "배관 세척 및 살균장치"
6. 등록특허공보 제1014353850000 (2014.08.22) "배관 세척용 피그"
7. 등록특허공보 제1018157070000 (2017.12.29) "배관 세척용 피그 및 피깅 시스템"
8. 등록특허공보 제1019754010000 (2019.04.29) "배관 클리닝용 피그"
9. 등록특허공보 제1008813760000 (2009.01.23) "피그"
10. 등록특허공보 제1008472270000 (2008.07.11) "피그를 이용한 배관 내면의 세정방법 및 그 장치"
11. 등록특허공보 제08281444호 (2012.10.09) "Cleaning pig"
12. 등록특허공보 제08719989호 (2014.05.13) "Chemical pigging apparatus for pipelines"
13. 등록특허공보 제08650695호 (2014.02.18) "Pipeline cleaning pig with self-energizing diagonally oriented scrapers"
14. 등록특허공보 제09498804호 (2016.11.22) "Pipeline pigs"
15. <http://www.asiaprotech.com/mainset.htm?id=pro01&xcod=02&mcod=07>, 아세아프로텍.
16. <http://www.jewoo.net/default/sub2/sub34.php>, 제우이앤씨.
17. http://koins21.co.kr/coding1/sub2/sub8_4.asp, Koins.
18. Fluid dynamic drag, Hoerner Fluid Dynamics, 2007, Sighard F. Hoerner,
19. United Flexible, Flexible Metallic Hose, Braid and Assemblies(2017), John P.Devine.
20. <http://www.jinilspring.com/pro.htm>, 진일부품.
21. <http://m.dhflexible.com/INTERLOCK-HOSE>, 대흥금속.
22. 국립환경과학원. 수돗물의 녹물 저감을 위한 부식억제 적용성 연구, 2009
23. 수자원기술 주식회사; 주식회사 아세아프로텍. 상수관로 복합세척방법. 등록특허 10-0832687. 008
24. 환경부. 수처리제의 기준과 규격 및 표시기준, 2017
25. 철강금속신문, STS가격표, 2019.11
26. 김경민, 22년까지 전국 수돗물 노후관 정비 "국민이 안심하고 마실 수 있게", 파이낸셜뉴스, 2019.11.28
27. 이재은, '높은 상수도' 는 힘들다'...붉은 수돗물'에 앓는 전국, 머니투데이, 2019.06.26
28. 장호영, 인천 수돗물 피해보상, 최종 4만1천건 접수, 인천투데이, 2019.09.01
29. 환경부, 2017년 상수도 통계, 2017

Q & A



Thank you

