친환경 자동차 냉각수 순환 펌프 임펠러 최적화 및 성능 분석

학과 : 기계설계공학과

이름 : 이민재, 한영환

팀명 : ECO

목 차
CONTENT

01
개 요
연 구 배 경
연 구 개 요
해 석 절 차

02
모 델 링
해 석 모 델

03
해 석
선 형 해 석
최 적 설 계
유 동 해 석

04
최적화 및 결론

1. 개 요

1. 개요

1.1 연구 배경

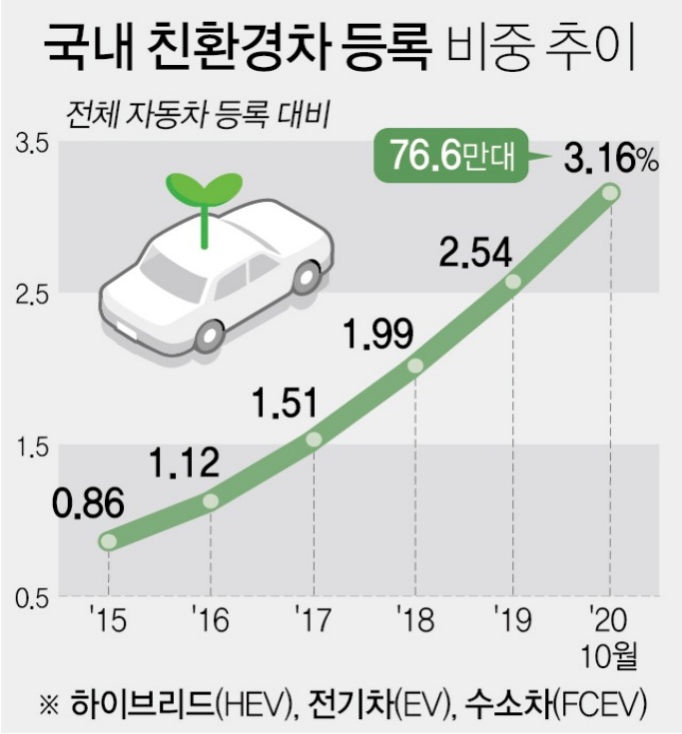
1.1.1 친환경 자동차

전 세계적으로 이산화탄소 규제는 해를 거듭할수록, 규제가 강화되고 있으며 그에 따라 내연기관 자동차에 대한 규제도 심해지고 있다. 이러한 이산화탄소 규제에 대응하고자 우리나라를 포함한 많은 나라에서 친환경 자동차의 개발이 가속화되고 있다.

여기서 말하는 친환경 자동차란 하이브리드(HEV), 전기차(EV), 수소차(FCEV), 플러그 인 하이브리드(PHEV)를 일컫는 말로, 에너지 소비 효율이 우수하고 무공해 또는 저공해 기준을 충족하는 자동차를 말한다. 즉 기존 내연기관차보다 대기오염물질이나 이산화탄소 배출이 적고 연비가 우수한 자동차이다.

기존의 내연기관 자동차와는 다르게 친환경 자동차에는 배터리가 포함되기 때문에 무엇보다 배터리의 열 관리 기술이 매우 중요시된다.

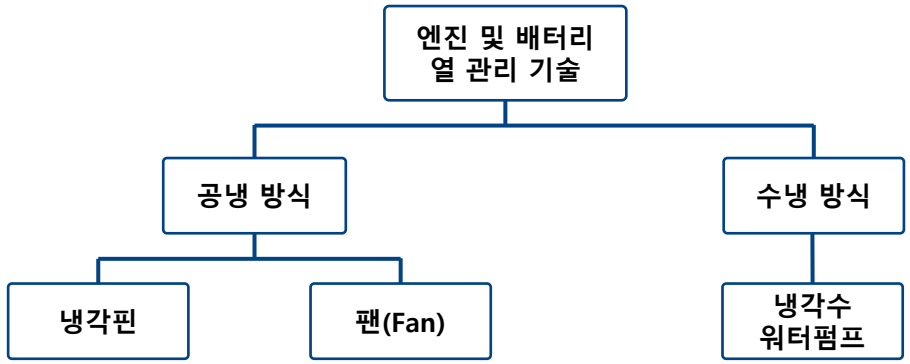
국내 전체 자동차 수 대비 친환경 자동차 등록 비중



1. 개요

1.1 연구 배경

1.1.2 전동식 워터 펌프(EWP)



엔진 및 배터리의 열 관리 기술로는 공냉 방식과 수냉 방식이 존재한다. 공냉 방식에는 냉각핀을 사용해 표면적을 늘려 열을 식히는 방법과 직접 팬을 가동시켜 열을 식히는 방식이 존재한다.

반면 수냉 방식은 냉각수를 펌프로 이송 시켜 빠르게 열을 식히게 되는데, 배터리를 사용하는 친환경 자동차의 경우 공냉 방식은 한계가 있기 때문에 수냉 방식인 전동식 워터펌프를 자주 사용한다.

전동식 워터 펌프 (Electric Water Pump)

1. 개요

1.1 연구 배경

1.1.3 엔진을 대체하는 배터리 및 연료전지

친환경 자동차는 하이브리드(HEV), 플러그 인 하이브리드(PHEV)를 제외하고 모든 차량이 엔진을 탑재하지 않는 것이 특징이다. 그렇기 때문에 엔진 대신 배터리 및 연료 전지가 탑재되어 기존의 엔진의 출력을 대체해야만 한다.

이 때문에 친환경 자동차에 가해지는 하중을 더 줄여서 배터리 및 연료 전지의 부담을 줄여주는 "소형화 및 경량화" 사업은 중요한 사항 중 하나이며, 무게를 줄일 수 없다면 형상 및 재질을 변경하여 같은 크기이지만 더 높은 출력과 성능을 보이게 하는 "최적화" 과정을 통하여 자동차의 효율을 향상시킬 수 있다.

따라서 **본 연구에서는 친환경 자동차의 냉각수 순환 펌프의 최적화를 통해 차량용 워터 펌프의 성능을 분석**하고 **최적의 모델을 선정하여 친환경 자동차의 냉각 성능 향상**을 하고자 한다.

소형화된 12V급 워터 펌프

1. 개요

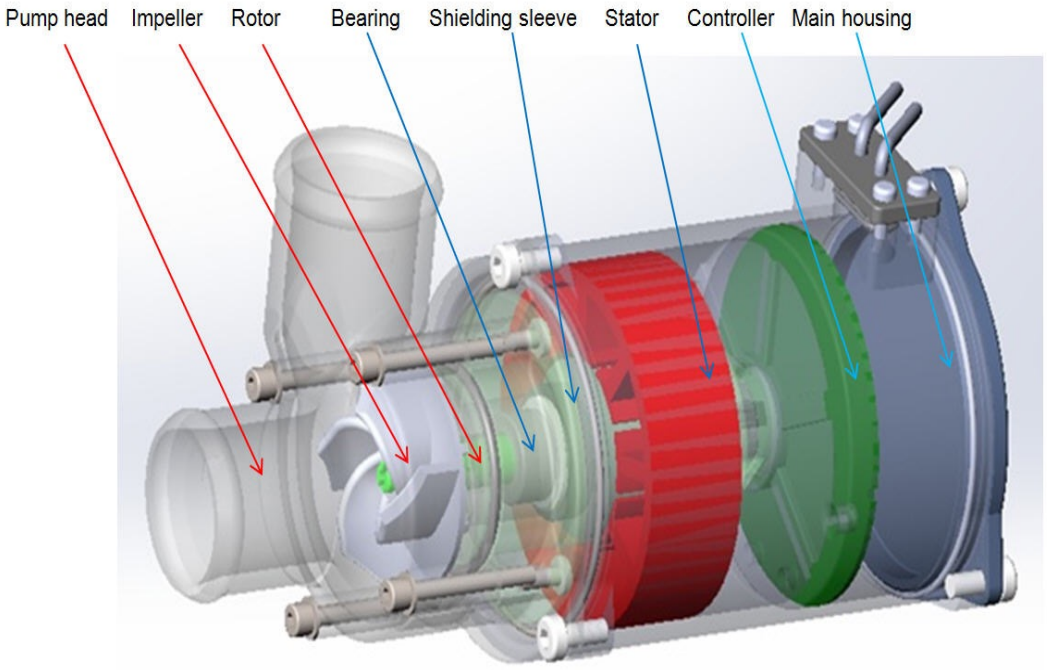
1.2 연구 개요

1.2.1 전동식 워터 펌프의 구조

전동식 워터 펌프는 3개의 큰 Part로 구조를 분류할 수 있는데, 첫 번째로 케이스를 담당하는 Main Housing이 있다. 그 다음으로 회전부를 담당하는 Rotar 및 Impeller, 마지막으로 물의 출입구 역할인 Pump Head가 존재한다.

이 중 Impeller는 펌프의 유동 특성 및 펌프의 성능에 가장 많은 기여를 하고 있으며, 설계 변수 또한 가장 많아 전동식 워터 펌프에서 핵심 부품이라고 할 수 있다. 이에 따라 임펠러 최적화 연구를 위하여 **워터 펌프의 임펠러 설계 순서 및 각종 설계 변수(parameter)에 대한 정확한 기준을 정립**하고자 하였으며 각종 조사를 실시하였다.

전동식 워터 펌프 (Electric Water Pump)의 구조



1. 개요

1.2 연구 개요

1.2.2 전동식 워터 펌프 임펠러 설계 순서

설계 시작

↓

임펠러 형상을 고려하여 목적 함수 및 설계 변수 결정

↓

설계 변수의 상한 및 하한 값을 결정하는 설계 영역 산정

↓

선정된 설계 영역에서 Curve Fitting을 통하여 설계 변수 조합

↓

선정된 설계 영역에서 수치 해석

↓

수치 해석 결과를 통하여 선정된 설계 영역에서 최적 Point 탐색

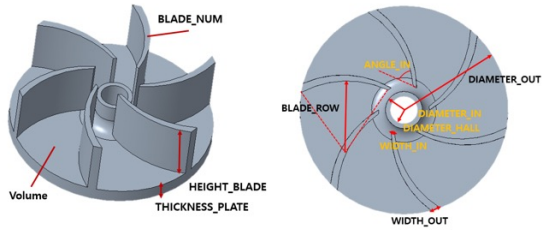
↓

최적 설계

임펠러 형상

전동식 워터 펌프 임펠러 최적 설계의 첫 단계는 임펠러 형상을 고려하여 임펠러 설계에 필요한 목적 함수 및 설계 변수를 결정하는 단계이다. 임펠러 형상은Coolant Pump Impeller의 다양한 형상을 참조하여 결정하였다.

설계 영역



Single Arc Method 를 이용하여 곡률, 입구각, 출구각 그리고 블레이드 두께의 설계 변수를 파악하고, 설계 변수의 상한 및 하한 값을 설정하였다.

1. 개요

1.2 연구 개요

1.2.2 전동식 워터 펌프 임펠러 설계 순서

설계 시작

↓

임펠러 형상을 고려하여 목적 함수 및 설계 변수 결정

↓

설계 변수의 상한 및 하한 값을 결정하는 설계 영역 산정

↓

선정된 설계 영역에서 Curve Fitting을 통하여 설계 변수 조합

↓

선정된 설계 영역에서 수치 해석

↓

수치 해석 결과를 통하여 선정된 설계 영역에서 최적 Point 탐색

↓

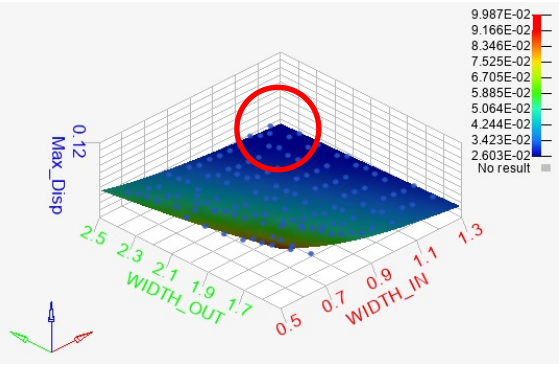
최적 설계

Curve Fitting

	ANGLE_IN	WIDTH_IN	WIDTH_OUT	BLADE_ROW
1	45.000000	0.5000000	1.5000000	17.000000
2	51.000000	0.8200000	2.3000000	21.800230
3	57.000000	1.1400000	2.1000000	18.600461
4	63.000000	0.6600000	1.9000000	23.401844
5	46.200000	1.2040000	1.8600000	24.360277
6	52.200000	0.7240000	1.6600000	21.161659
≈				
125	51.048000	1.2001600	2.4344000	21.134273
126	57.048000	0.7201600	2.2344000	17.934503

선정된 설계 영역을 HyperStudy를 이용하여 설계 변수를 조합하고, 선정된 설계 영역에서 수치 해석을 진행한다.

최적 Point 탐색



수치 해석 결과를 통해 선정된 설계 영역에서 각 설계 변수들의 영향도, 최적 설계 변수 등을 분석하여 변위가 최소가 되는 최적 Point를 탐색한다.

1. 개요

1.2 연구 개요

1.2.3 전동식 워터 펌프 임펠러 작동 조건 및 설계 목표

연구를 진행하고자 하는 전동식 워터 펌프의 작동 조건은 아래와 같은 논문을 참고하여 고려하였다.

- 봉선우, 이헌균, 허형석, 강대준, 진상곤. "자동차용 워터펌프의 효율 상승을 위한 성능 해석" 한국자동차공학회 춘계학술대회. (2017) Page 180-185.
- 조석현, 신동성. "전산 유체역학을 이용한 워터펌프 축력 저감" 한국자동차공학회 논문집. (2012) 20(3), Page 83-87.
- 김성철, 송형근. "전동 워터펌프의 열유동 특성 해석에 관한 연구" 한국자동차공학회 논문집. (2012) 20(5), Page 95-101.

작동 조건

임펠러 지름 : 45mm

임펠러 회전속도 : 3500rpm

작동 조건과 워터 펌프에 대한 다양한 최적화 논문을 참고하여 본 연구의 설계 목표를 정하였다.

- 이성현, 이동렬. "원심펌프 임펠러 입구각도 변화에 따른 유동해석." 한국전산유체공학회지. (2016) 21(1) Page 58-63.
- ㈜이노빌. "승용 차량용 48V 전동식 워터펌프 모듈개발." 자동차부품연구원. (2016) Page 1-30.
- 윤정의. "최적화 설계 기술을 활용한 원심펌프 임펠러 개발." 대한기계학회 논문집 B권. (2018) 42(8) Page 567-572.

설계 목표

1. 설계 변수 범위 내에서 변위를 최소화 하는 임펠러 설계

2. 냉각 성능 향상을 위해서 질량 유속이 최대가 되는 임펠러 설계

1. 개요

1.3 해석 절차

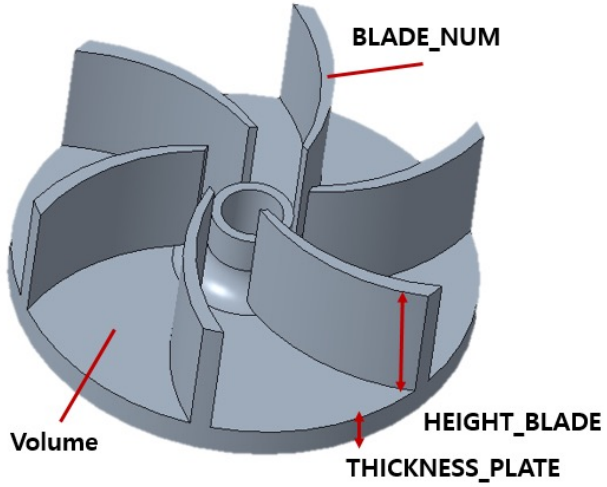
1.3.1 전동식 워터 펌프 임펠러 해석 순서

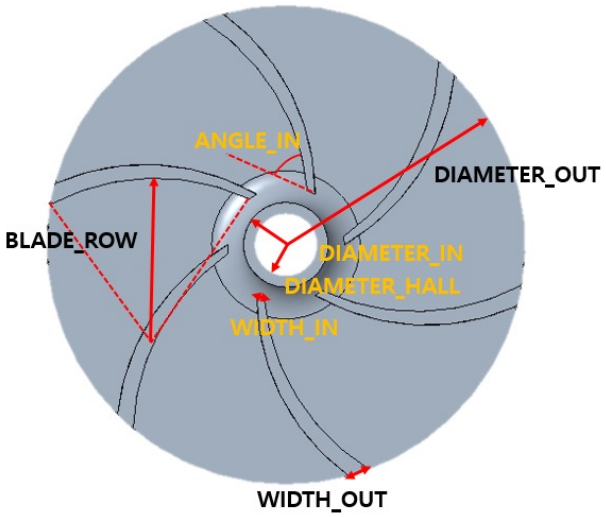
2. 모 델 링

2. 모델링

2.1 해석 모델

2.1.1 임펠러 모델 파라미터





CREO 임펠러 모델링

단위 (mm)

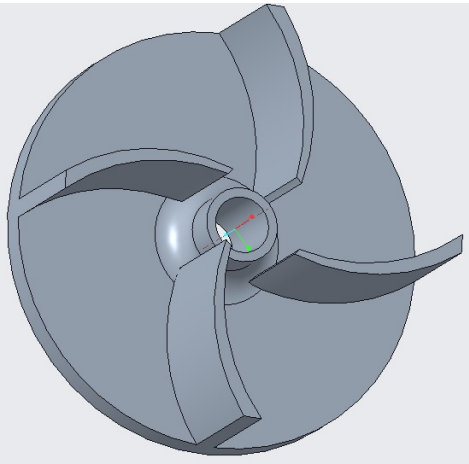
이름	유형	값	지정	액세스	소스	설명
BLADE_NUM	정수	6	☐	전체	사용자 정의	날개 수
WIDTH_OUT	실수	2.000000	☐	전체	사용자 정의	날개 바깥 너비
WIDTH_IN	실수	0.800000	☐	전체	사용자 정의	날개 안쪽 너비
VOLUME	실수	6461.6933	☐	잠김	관계식	부피
THICKNESS_PLATE	실수	3.000000	☐	전체	사용자 정의	아래판 두께
MASS	실수	0.018157	☐	잠김	관계식	질량
HEIGHT_BLADE	실수	13.000000	☐	전체	사용자 정의	블레이드 높이
DIAMETER_OUT	실수	45.000000	☐	전체	사용자 정의	임펠러 지름
DIAMETER_IN	실수	11.000000	☐	전체	사용자 정의	날개 시작 지름
DIAMETER_HALL	실수	8.000000	☐	전체	사용자 정의	임펠러 중간 기둥
BLADE_ROW	실수	21.000000	☐	전체	사용자 정의	날개 곡률
ANGLE_IN	실수	60.000000	☐	전체	사용자 정의	날개 안쪽 각도

CREO 임펠러 파라미터 데이터

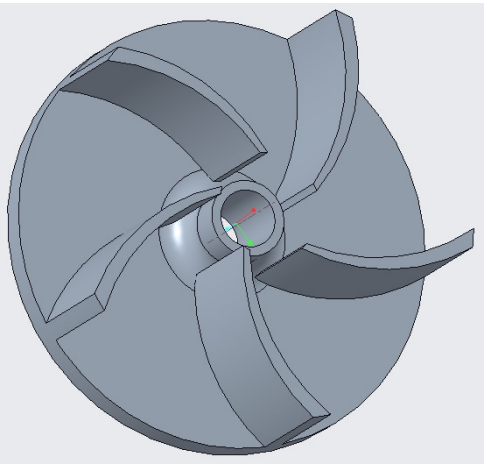
2. 모델링

2.1 해석 모델

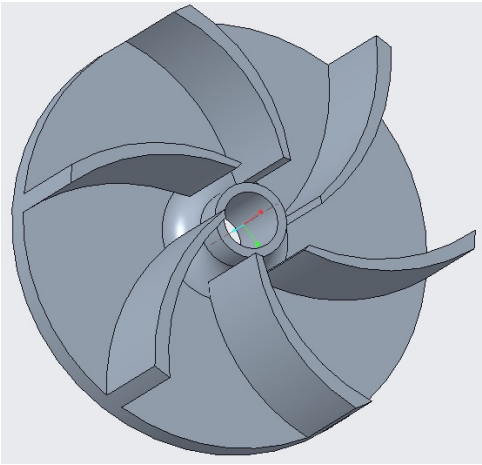
2.1.2 임펠러 모델 디자인



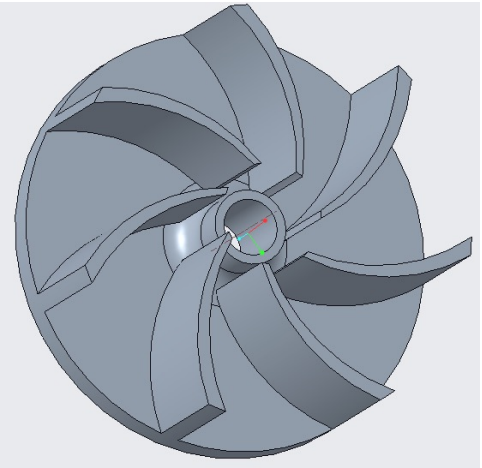
IMPELLER BLADE 4개



IMPELLER BLADE 5개



IMPELLER BLADE 6개



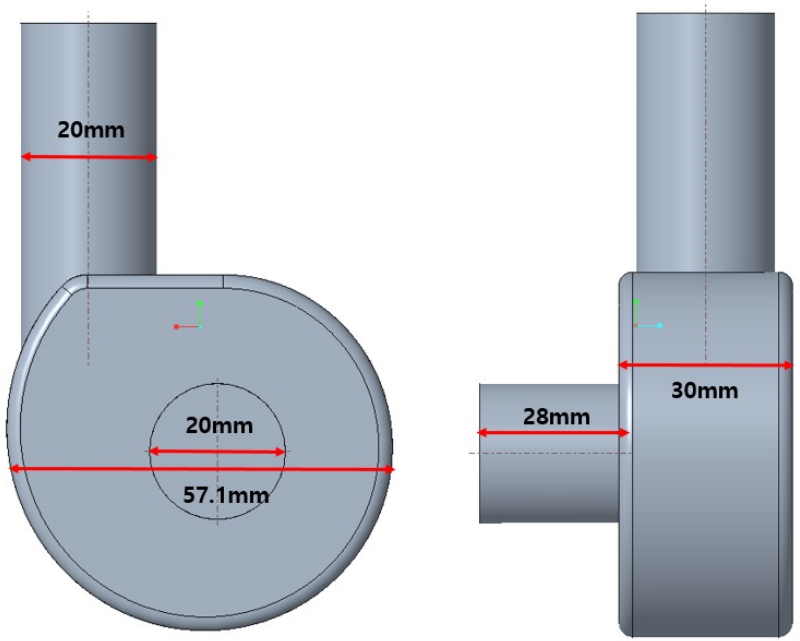
IMPELLER BLADE 7개

- 축 회전 형상 패턴 디자인 개수 설정에는 매개변수가 적용되지 않는 문제점이 있다.
- 임펠러 날개 개수 별로 해석 하기 위해 4가지 종류의 임펠러를 모델링하고, 각 모델별 해석을 진행한다.

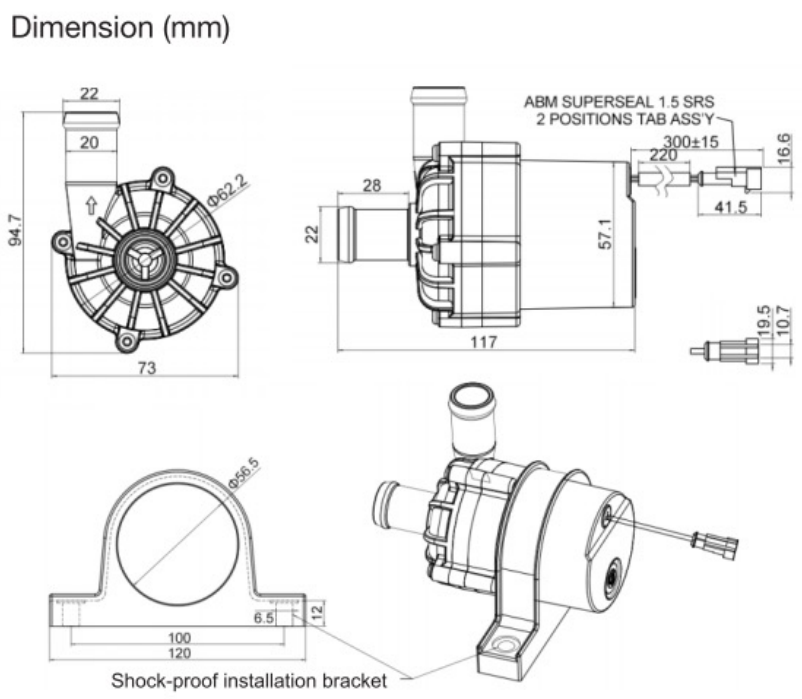
2. 모델링

2.1 해석 모델

2.1.3 케이싱 모델 디자인



CREO casing modeling



CREO casing modeling

- 전동식 워터 펌프의 케이싱 모델은 시중에 판매되는 전기자동차 냉각수순환용 워터 펌프의 도면을 참고하여 제작한다.

출처 : http://www.allpump.co.kr/product/product.php?ptype=view&prdcode=2105060008&page=1&catcode=16000000

3. 해　석

3. 해석

3.1 선형 해석

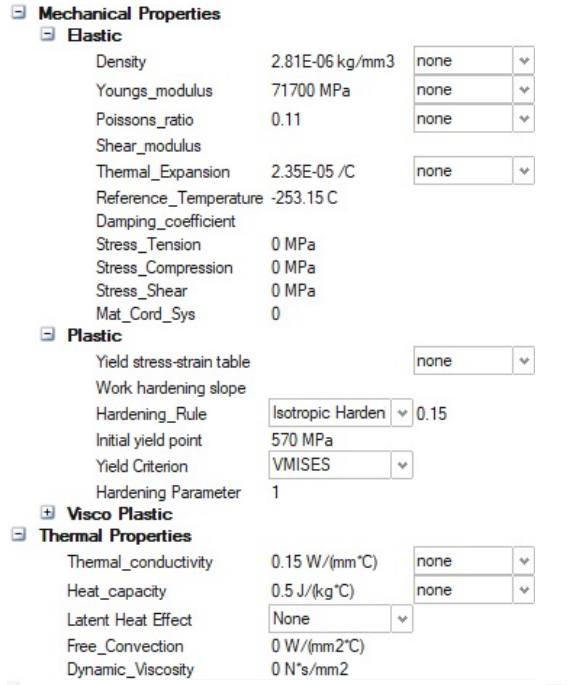
3.1.1 임펠러 재료 선정

단조제의 알루미늄합금 (Al7075-T6) 적용

- Al-Zn-Mg계 합금
- Al alloy중 최고 강도를 갖는다.
- 주조품 Impeller와 비교하여 내부 결함이 없고, 내부 밀도가 균일하다.
- 내식성이 좋다.

Al 합금	항복강도	탄성계수	포아송비	밀도
7075-T6	570 MPa	71.7 GPa	0.11	2.81E-06 kg/mm^3

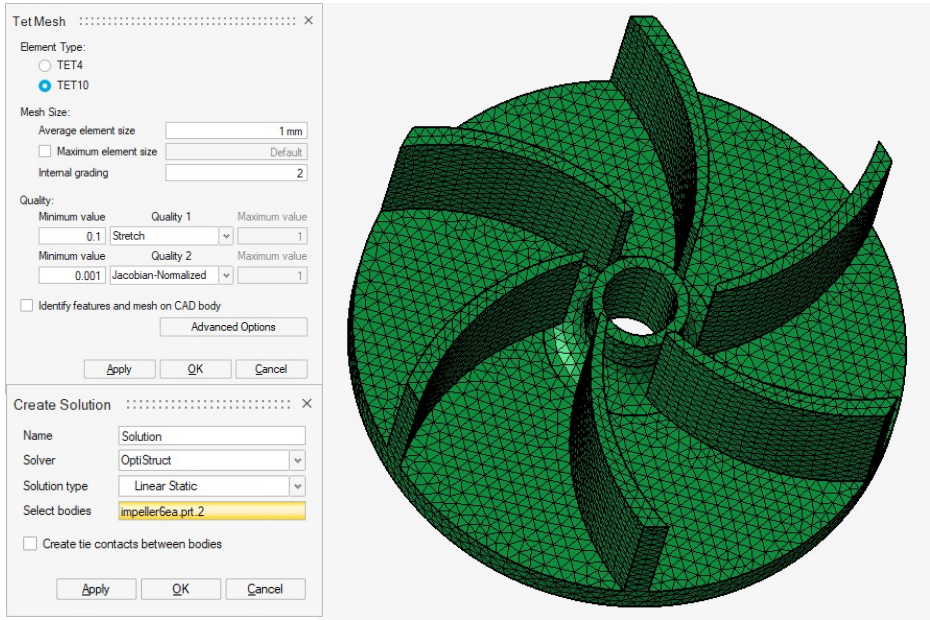
Al 7075-T6 물성치



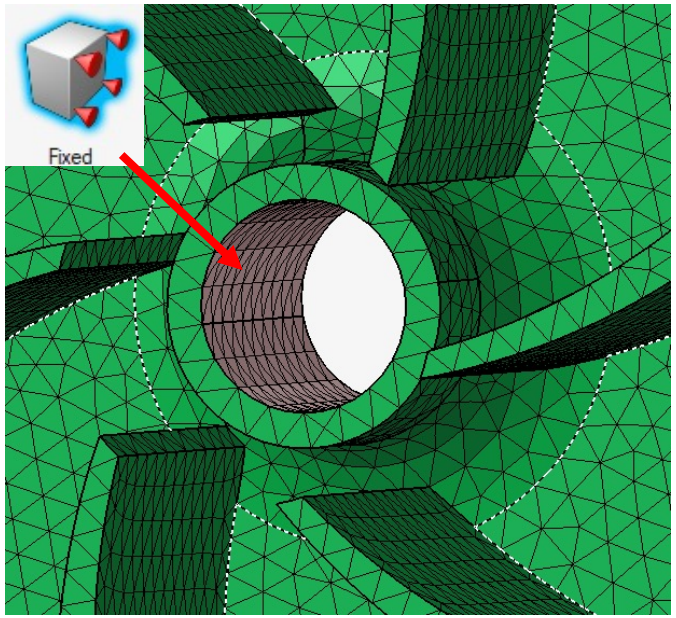
3. 해석

3.1 선형 해석

3.1.2 임펠러 Mesh 및 Boundary Conditions



- Linear Static 해석으로 진행한다.
- TET10, 1mm element size로 mesh를 구성한다.

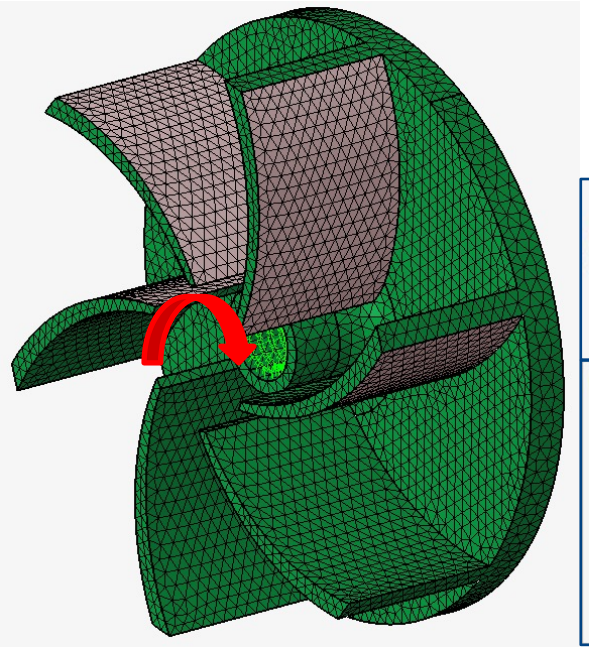


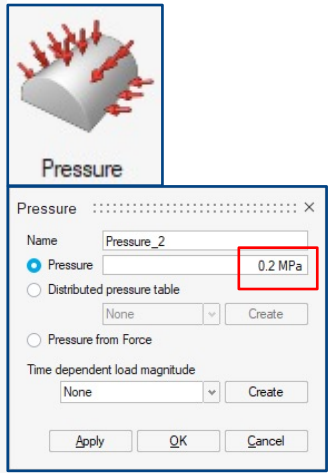
- 축으로 연결되는 부분을 Fixed 경계조건으로 설정한다.

3. 해석

3.1 선형 해석

3.1.2 임펠러 Mesh 및 Boundary Conditions





- **각속도**

$$\omega : 3500[rpm] = \frac{3500\,rev}{60\,sec} \cdot 2\pi\,rad = 366.52\,[\frac{rad}{sec}]$$

- **블레이드 최대 속도**

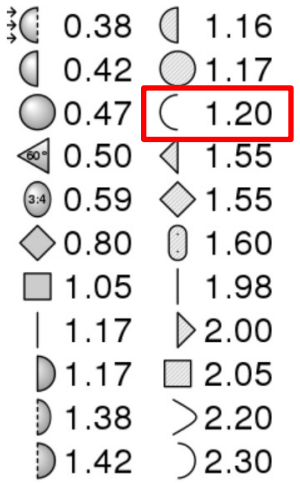
$$v = \omega \cdot r = 366.52\left[\frac{rad}{sec}\right] \cdot 0.0225[m] = 8.24\,[\frac{m}{sec}]$$

- **항력으로 부터 발생하는 압력**

$$\frac{F_D}{A} = 0.5C_D \cdot \rho \cdot v^2 = 0.5 \cdot 1.2 \cdot 997 \cdot 8.24^2 = 40.616kPa$$

모델별 변위차를 명확하게 보기 위해 계수 5를 곱한 압력값을 사용

$$Pressure = 40.616kPa \cdot 5 = 203.08kPa \approx \boxed{0.2Mpa}$$



∵ **Water 밀도 ρ : $997kg/m^3$**

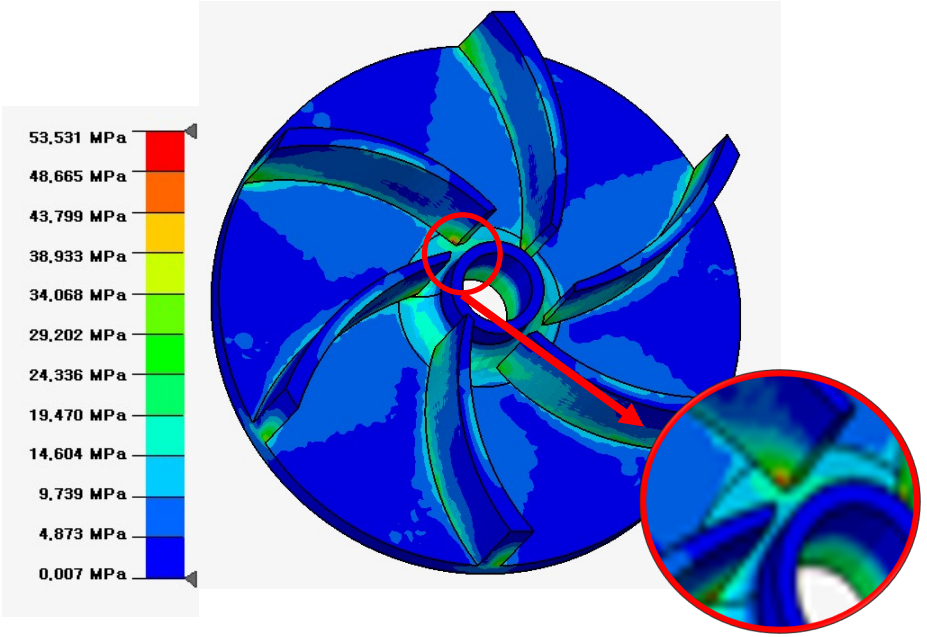
∵ **항력 계수 C_D : 1.2**

- 냉각수 순환 워터 펌프 내의 유체는 냉각수 물성치 대신 Water 물성치 사용한다.
- 임펠러가 회전할 때 냉각수와 닿는 부분은 압력이 가해진다.
- 임펠러 블레이드 면에 Slip으로 발생하는 마찰력 및 전단 응력은 고려하지 않는다.

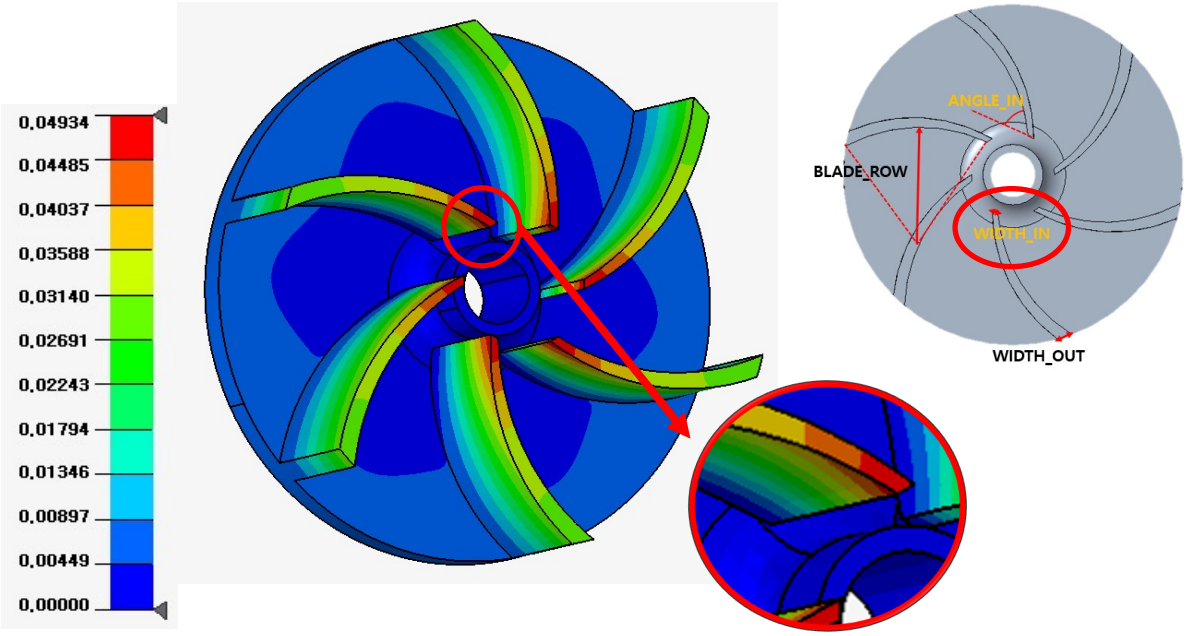
3. 해석

3.1 선형 해석

3.1.3 임펠러 응력 및 변위 해석 결과



- 블레이드 안쪽 면에 가장 큰 응력 (53.53MPa) 발생한다.
- 밑판과 연결되는 블레이드 아랫부분 위주로 응력 발생한다.
- Von Mises Stress Max value를 Response 값으로 설정한다.

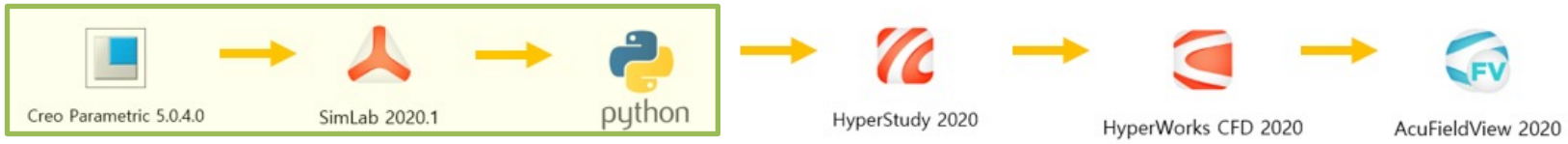


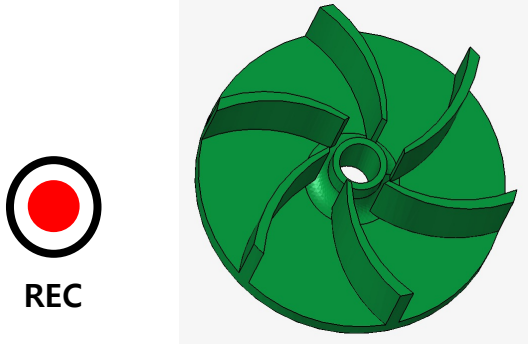
- 블레이드 바깥쪽과 상대적으로 얇은 **WIDTH_IN** 부분의 변형이 크다.
- Displacement MaxValue를 Response값으로 설정한다.

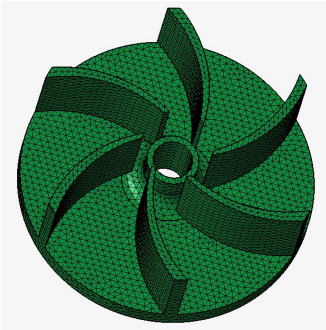
3. 해석

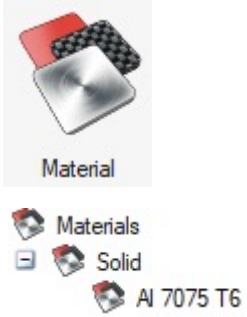
3.2 최적 설계

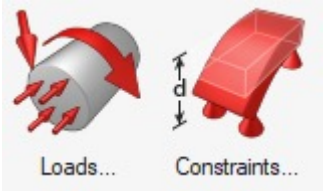
3.2.1 임펠러 파라미터 최적 설계

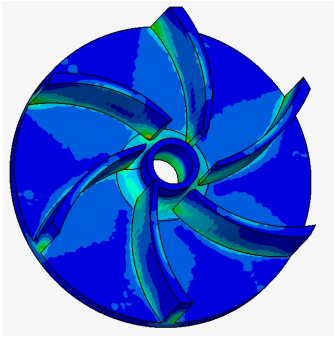












python

impeller_6ea_py.py

REC

START → STEP 01 Geometry Import → STEP 02 Mesh Generate → STEP 03 Assign Material → STEP 04 Boundary Conditions → STEP 05 Response Definition → End

- 각 매개변수를 변경하여 동일한 프로세스를 반복적으로 해석하기 위한 Python 스크립트 파일을 제작한다.
- Hyperstudy 2020 을 이용하여 수백 개의 임펠러 모델링 해석을 진행하고, 매개변수별 특징을 분석 한다.
- 블레이드 개수가 4~7개인 임펠러 모델들 또한 앞의 과정을 반복한다.

친환경 자동차 냉각수 순환 펌프 임펠러 최적화 및 성능 분석

3. 해석

3.2 최적 설계

3.2.2 임펠러 파라미터 선정

Creo Parametric 5.0.4.0 → SimLab 2020.1 → python → HyperStudy 2020 → HyperWorks CFD 2020 → AcuFieldView 2020

번호	연도	제목	최적화 방법
1	2021	Digital-twin-driven geometric optimization of centrifugal impeller with free-form blades for five-axis flank milling	자오면에서 cutting width 와 임펠러 직경 파라미터에 따른 CFD 임펠러 설계
2	2021	Design and Analysis of Impeller using Corrosion Resistant Materials	Brass 와 ABS 재질에 따른 임펠러 최적화
3	2021	Influence of Impeller Gap Drainage Width on the Performance of Low Specific Speed Centrifugal Pump	블레이드 사이 틈간격 차이에 따른 CFD 임펠러 최적화
4	2021	Hydraulic performance prediction and optimization of an engine cooling water pump using computational fluid dynamic analysis	블레이드 입구 각, 블레이드 개수, 임펠러 높이, 임펠러 직경, 블레이드 두께의 위치 각도 파라미터를 이용한 임펠러 최적화
5	2020	DESIGN AND STATIC DYNAMIC ANALYSIS OF CENTRIFUGAL IMPELLER WITH CONVENTIONAL AND COMPOSITE MATERIAL USING VARIOUS MATERIALS	GFRP,CFRP,AL-6061,INCONEL,STAINLESS STEEL 재질에 따른 임펠러 최적화
6	2020	Numerical_Analysis_of_Flow_Phenomena_in_a_Centrifugal_Pump_Impeller_of_Low_Specific_Speed	블레이드 입구 각, 출구 각에 따른 CFD 임펠러 최적화
7	2019	반응표면법과 CFD를 이용한 사류펌프 임펠러의 최적화 설계	임펠러 중앙 지름, 임펠러 지름, 블레이드 두께 에 따른 CFD 임펠러 최적화
8	2019	쿨런트 펌프 임펠러 형상 최적화를 통한 성능개선에 관한 연구	블레이드 입구각, 출구각, 블레이드 곡률, 블레이드 끝모서리 반지름을 파라미터로 CFD 임펠러 최적화 설계
9	2019	Effect of impeller blades number on the performance of a centrifugal pump	블레이드 개수 파라미터 CFD 임펠러 최적화
10	2019	3D 블레이드 타입의 워터펌프 설계 변수별 성능 특성에 관한 연구	블레이드 날개,임펠러 직경, 블레이드 바깥 각도, 바깥높이 파라미터에 따른 임펠러 최적화
11	2019	The influence of blade outlet angle on the performance of centrifugal pumpwith high specific speed	블레이드 출구 각 파라미터 변경에 따른 CFD 임펠러 최적화
12	2019	Multiparameter optimization for the nonlinear performance improvement of centrifugal pumps using a multilayer neural network	블레이드 각도 변경, Mesh 방법에 따른 임펠러 최적화
13	2018	최적화 설계 기술을 활용한 원심펌프 임펠러 개발	블레이드 입구각, 출구각 , 출구 두께 파라미터 효율에 대한 영향도 측정 및 CFD 임펠러 최적화
14	2018	Multi-parameter optimization of machining impeller surface based on the on-machine measuring technique	블레이드 높이와 지름 ratio 파라미터에 따른 실험 최적화

번호	연도	제목	최적화 방법
15	2017	Numerical calculation and optimization designs in engine cooling water pump	입출구 직경과, 블레이드 개수 파라미터를 이용한 CFD 임펠러 최적화
16	2017	Volks Wagen 1.8 Engine용 ALDC합금의 Water Pump개발	Ansys를 이용한 임펠러에 가해지는 압력 및 온도 최적화
17	2016	승용 차량용 48V 전동식 워터펌프 모듈개발	블레이드 개수 파라미터 CFD 임펠러 최적화
18	2016	원심펌프 임펠러 입구각도 변화에 따른 유동해석	블레이드 입구 날개 각도에 따른 임펠러 최적화
19	2015	무공해자동차용고효율열방출및공급기술	블레이드 입구각,출구각, 날개수, 임펠러 직경 파라미터를 이용한 실험 최적화
20	2015	다목적 최적화 기법을 이용한 고출력 원심압축기 형상 최적설계	임펠러 최적화를 위한 각 파라미터의 민감도를 계산
21	2015	High-efficiency design optimization of a centrifugal pump†	CFD 해석 방법에 따른 차이 임펠러최적화
22	2014	원심압축기 임펠러의 형상 설계 최적화에 관한 수치적 연구	블레이드 각도와 자오면 형상을 함수화 하여 임펠러 최적화
23	2013	Performance prediction of centrifugal pumps sith variations of blade number	블레이드 날개 수와, 블레이드 사이 틈간격 차이에 따른 임펠러 최적화
24	2012	Analysis on Effects of the Blade Wrap Angle and Outlet Angle on the Performance of the Low-specific Speed Centrifugal Pump	블레이드 입구각, 출구각, 펌프 입출구 비율에 따라 CFD를 이용한 임펠러 최적화
25	2009	DOE와 CFD를 사용한 원심펌프 임펠러 최적설계	자오면에서 설계 파라미터를 이용한 임펠러 설계
26	2008	실험계획법을 사용한 원심 펌프 임페럴 최적설계	자오면에서 설계 파라미터를 이용한 임펠러 설계
27	2007	자동차용 워터펌프의 경량화 및 효율개선을 통한 양산화 설계 기술지원	블레이드 높이와 직경 파라미터를 이용한 실험 최적화
28	2006	횡형편흡입원심펌프의설계및 CFD 에의한성능해석에관한연구	출구 지름과 입구 지름 파라미터를 이용한 임펠러 최적화
29	2006	낮은비속도를갖는터보펌프의임펠러형상 최적화에관한연구	블레이드 높이, 블레이드 입구각, 출구각, 임펠러 출구 두께, 블레이드 곡률, 블레이드 개수에 따른 임펠러 최적화
30	2006	Optimizing impeller geometry for performance enhancement of a centrifugal pump using the Taguchi quality concept	블레이드 두께, 임펠러 중심 홀 지름, 날개 개수, Outlet 각도 파마리머테 따른CFD 임펠러 최적화

번호(년도)	입구각	출구각	입구두께	출구두께	개수	곡률	재질	임펠러 직경	임펠러 두께	펌프 입구	펌프 출구
1(2021)								1			
2(2021)							1				
3(2021)											
4(2021)	1		1	1	1				1		
5(2020)							1				
6(2020)	1	1									
7(2019)			1	1				1			
8(2019)	1	1				1					
9(2019)					1						
10(2019)		1			1			1			
11(2019)		1									
12(2019)	1	1									
13(2018)	1	1		1							
14(2018)						1					
15(2017)											
16(2017)					1					1	1
17(2016)					1						
18(2016)	1										
19(2015)	1	1			1			1			
20(2015)											
21(2015)											
22(2014)	1	1									
23(2013)					1						
24(2012)	1	1								1	1
25(2009)											
26(2008)											
27(2007)											
28(2006)										1	1
29(2006)	1	1		1	1	1					
30(2006)	1	1	1	1	1						
선정 파라미터	+		+	+	+	+					
총합	11	11	3	5	9	3	2	4	1	3	3
순위	1	1	5	3	2	5	6	4	7	5	5

- 기존 연구에서는 특정 파라미터 수치에 국한된 모델을 사용하였기 때문에, 다소 적은 케이스로 해석을 진행하였다.

친환경 자동차 냉각수 순환 펌프 임펠러 최적화 및 성능 분석

3. 해석

3.2 최적 설계

3.2.2 임펠러 파라미터 선정

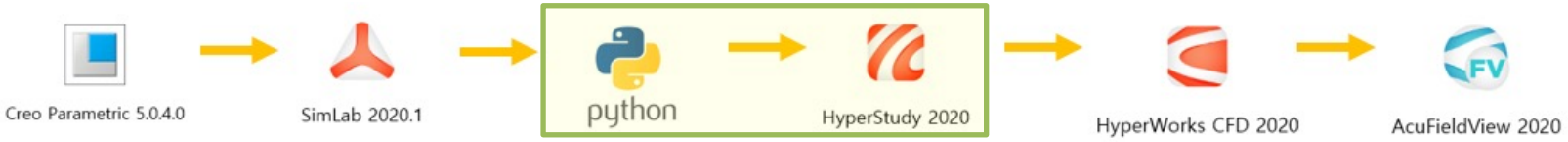
Creo Parametric 5.0.4.0 → SimLab 2020.1 → python → HyperStudy 2020 → HyperWorks CFD 2020 → AcuFieldView 2020

번호	연도	제목	최적화 방법
1	2021	Digital-twin-driven geometric optimization of centrifugal impeller with free-form blades for five-axis flank milling	자오면에서 cutting width 와 임펠러 직경 파라미터에 따른 CFD 임펠러 설계
2	2021	Design and Analysis of Impeller using Corrosion Resistant Materials	Brass 와 ABS 재질에 따른 임펠러 최적화
3	2021	Influence of Impeller Gap Drainage Width on the Performance of Low Specific Speed Centrifugal Pump	블레이드 사이 틈간격 차이에 따른 CFD 임펠러 최적화
4	2021	Hydraulic performance prediction and optimization of an engine cooling water pump using computational fluid dynamic analysis	블레이드 입구 각, 블레이드 개수, 임펠러 높이, 임펠러 직경, 블레이드 두께의 [illegible] 파라미터를 이용한
5	2020	DESIGN AND STATIC DYNAMIC ANALYSIS OF CENTRIFUGAL IMPELLER WITH CONVENTIONAL AND COMPOSITE MATERIAL USING VARIOUS MATERIALS	GFRP,CFRP,AL-6061,INCONEL,ST[illegible] 재질에 따른 임펠[illegible]
6	2020	Numerical_Analysis_of_Flow_Phenomena_in_a_Centrifugal_Pump_Impeller_of_Low_Specific_Speed	블레이드 입구 각, [illegible] CFD 임펠러 최적화
7	2019	반응표면법과 CFD를 이용한 사류펌프 임펠러의 최적화 설계	임펠러 중앙 지름, 블레이드 두께 에 임펠러 최적화
8	2019	쿨런트 펌프 임펠러 형상 최적화를 통한 성능개선에 관한 연구	블레이드 입구각, 블레이드 곡률, 블 반지름을 파라미터 최적화 설계
9	2019	Effect of impeller blades number on the performance of a centrifugal pump	블레이드 개수 파라 임펠러 최적화
10	2019	3D 블레이드 타입의 워터펌프 설계 변수별 성능 특성에 관한 연구	블레이드 날개,임펠러 직경, 블레이드 바깥 각도, 바깥높이 파라미터에 따른 임펠러 최적화
11	2019	The influence of blade outlet angle on the performance of centrifugal pumpwith high specific speed	블레이드 출구 각 파라미터 변경에 따른 CFD 임펠러 최적화
12	2019	Multiparameter optimization for the nonlinear performance improvement of centrifugal pumps using a multilayer neural network	블레이드 각도 변경, Mesh 방법에 따른 임펠러 최적화
13	2018	최적화 설계 기술을 활용한 원심펌프 임펠러 개발	블레이드 입구각, 출구각 , 출구 두께 파라미터 효율에 대한 영향도 측정 및 CFD 임펠러 최적화
14	2018	Multi-parameter optimization of machining impeller surface based on the on-machine measuring technique	블레이드 높이와 지름 ratio 파라미터에 따른 실험 최적화

번호	연도	제목	최적화 방법
15	2017	Numerical calculation and optimization designs in engine cooling water pump	임펠러 직경과, 블레이드 개수 파라미터를 이용한 CFD 임펠러 최적화
16	2017	Volks Wagen 1.8 Engine ALDC합금의 Water Pump개발	Ansys를 이용한 임펠러에 가해지는 압력 및 온도 최적화
17	2016	승용차량용 48V 전동식 워터펌프 모듈개발	블레이드 개수 파라미터 CFD 임펠러 최적화
18	2016	원심펌프 임펠러 입구각도 변화에 따른 유동해석	블레이드 입구 날개 각도에 따른 임펠러 최적화
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

3. 해석

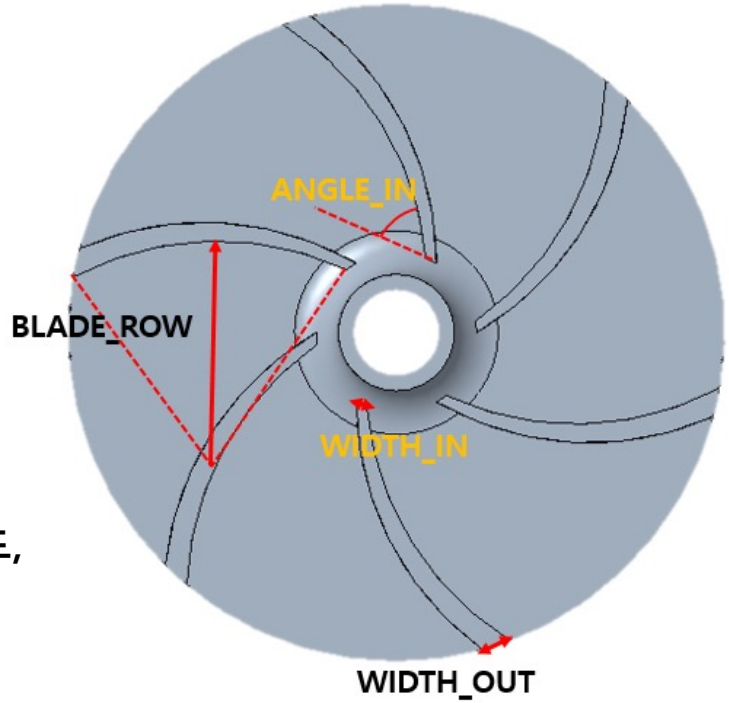
3.2 최적 설계



3.2.2 임펠러 파라미터 선정

HyperStudy 2020 > Setup

	Active	Label	Varname	Lower Bound	Nominal	Upper Bound
3	☑	ANGLE_IN	var_3	45.000000	60.000000	75.000000
5	☑	WIDTH_IN	var_5	0.5000000	0.8000000	1.3000000
6	☑	WIDTH_OUT	var_6	1.5000000	2.0000000	2.5000000
7	☑	BLADE_ROW	var_7	17.000000	21.000000	25.000000



- **임펠러 형상의 주요 설계 변수로 선정한 블레이드 개수, 블레이드 두께, 블레이드 각도, 블레이드 곡률을 파라미터로 설정한다.**

블레이드 각도 (deg) 45 < **60** < 75

블레이드 두께 (mm) IN : 0.5 < **0.8** < 1.3

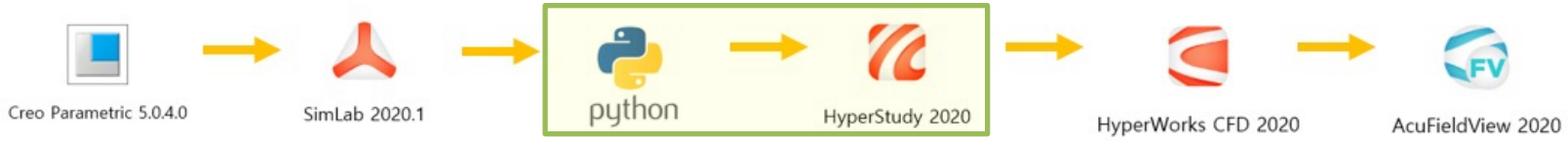
OUT : 1.5 < **2.0** < 2.5

블레이드 곡률 (mm) 17 < **21** < 25

3. 해석

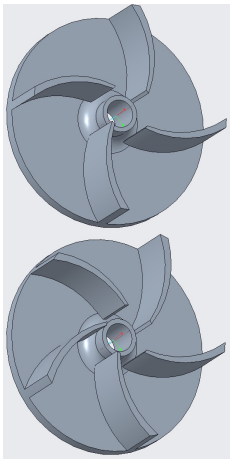
3.2 최적 설계

3.2.3 HyperStudy [DOE]



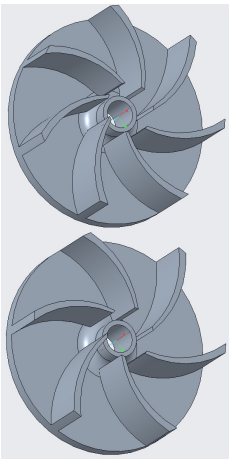
HyperStudy 2020

	Mode	Label
1		Modified Extensible Lattice Sequence



	Value
Number of Runs	*128*
Sequence Offset	*0*

	Value
Number of Runs	*128*
Sequence Offset	*0*



	Value
Number of Runs	*128*
Sequence Offset	*0*

	Value
Number of Runs	*128*
Sequence Offset	*0*

- 모델 별 128개씩 해석 시행 → 총 512가지 해석
- 각 해석 모델의 질량을 알기 위해 Resonse 값에 Volume 과 Mass를 추가
- 512개 해석의 Response 값인 Max Stress, Max Displacement , Volume, Mass 값 도출

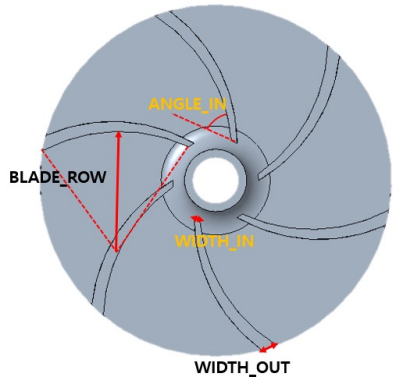
3. 해석

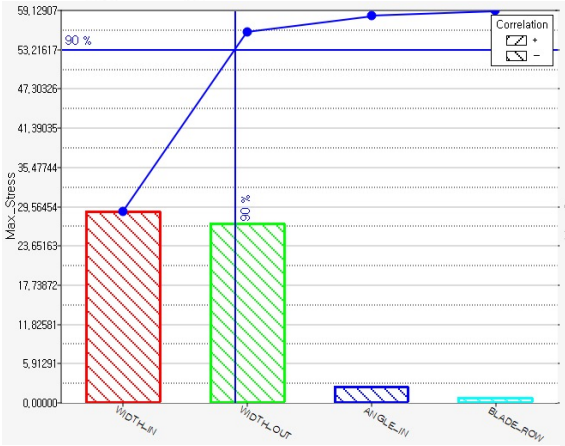
3.2 최적 설계

3.2.3 HyperStudy [DOE]

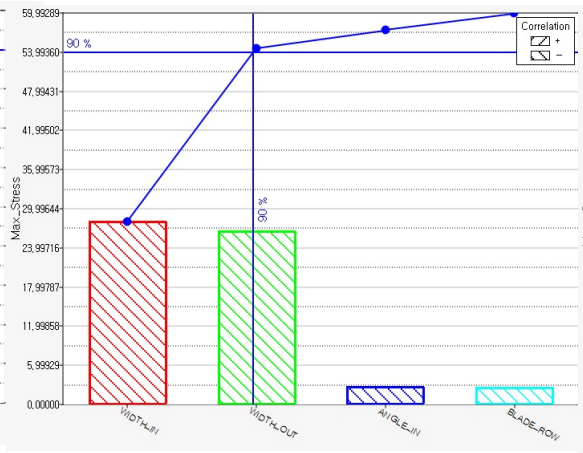
> DOE > Pareto Plot (각 매개변수가 Response 값에 어느정도 영향을 미치는지 알 수 있다.)

HyperStudy 2020

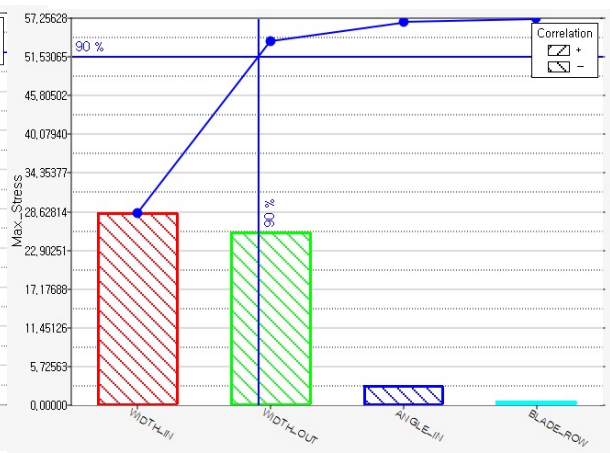




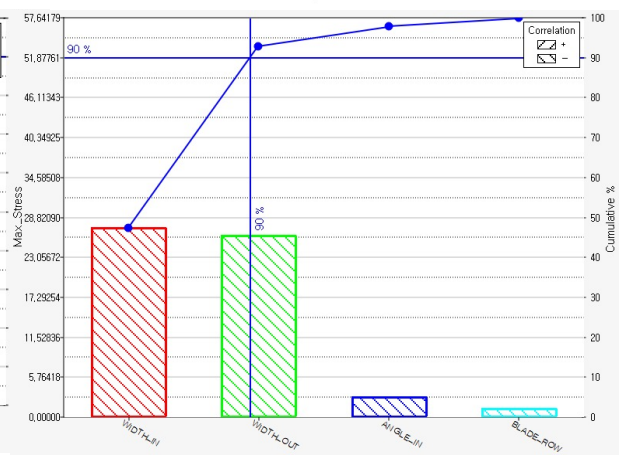
IMPELLER BLADE 4개



IMPELLER BLADE 5개



IMPELLER BLADE 6개



IMPELLER BLADE 7개

- **Max Stress** 에 영향을 미치는 순서는 다음과 같다.

WIDTH_IN > WIDTH_OUT > ANGLE_IN > BLADE_ROW

- **Max Stress** 는 **WIDTH_IN** 과 **WIDTH_OUT**에 90% 이상 영향을 받는다.
- **ANGLE_IN**과 **BLADE_ROW**는 **WIDTH** 변수에 비해 상대적으로 매우 작은 영향도를 보인다.

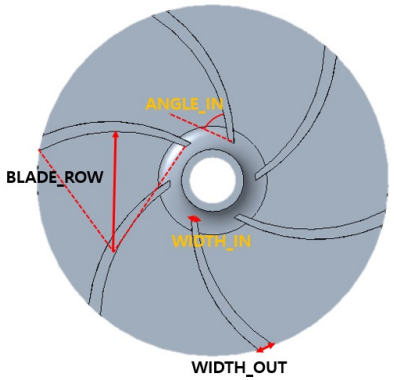
3. 해석

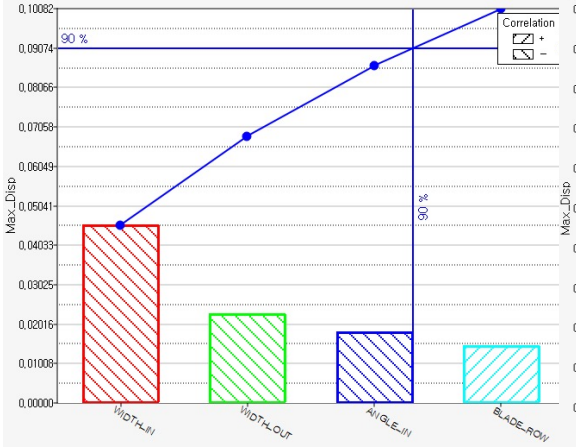
3.2 최적 설계

3.2.3 HyperStudy [DOE]

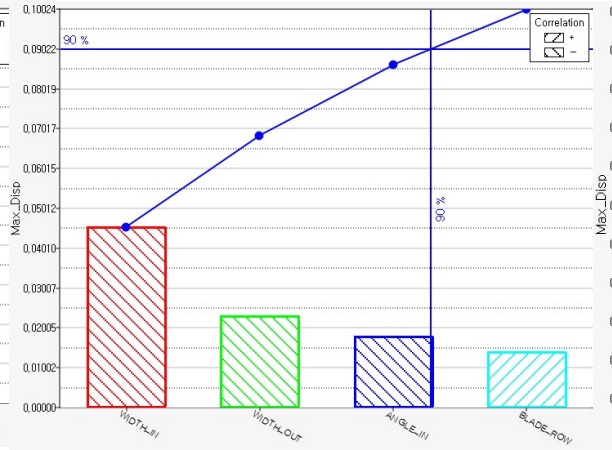
> DOE > Pareto Plot (각 매개변수가 Response 값에 어느정도 영향을 미치는지 알 수 있다.)

HyperStudy 2020

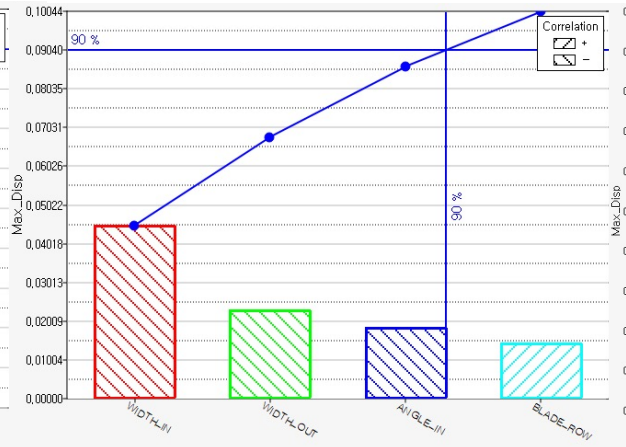




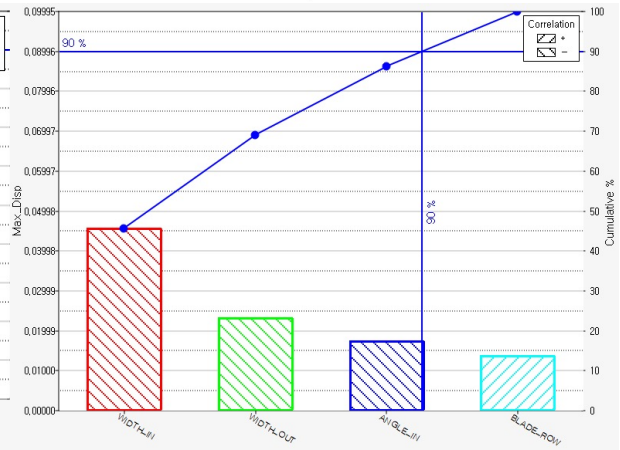
IMPELLER BLADE 4개



IMPELLER BLADE 5개



IMPELLER BLADE 6개



IMPELLER BLADE 7개

WIDTH_IN > WIDTH_OUT > ANGLE_IN > BLADE_ROW

- **Max Displacement** 에 영향을 미치는 순서는 다음과 같다.
- **Max Displacement** 는 **WIDTH_IN, WIDTH_OUT, ANGLE_IN**에 90% 이상 영향을 받는다.

3. 해석

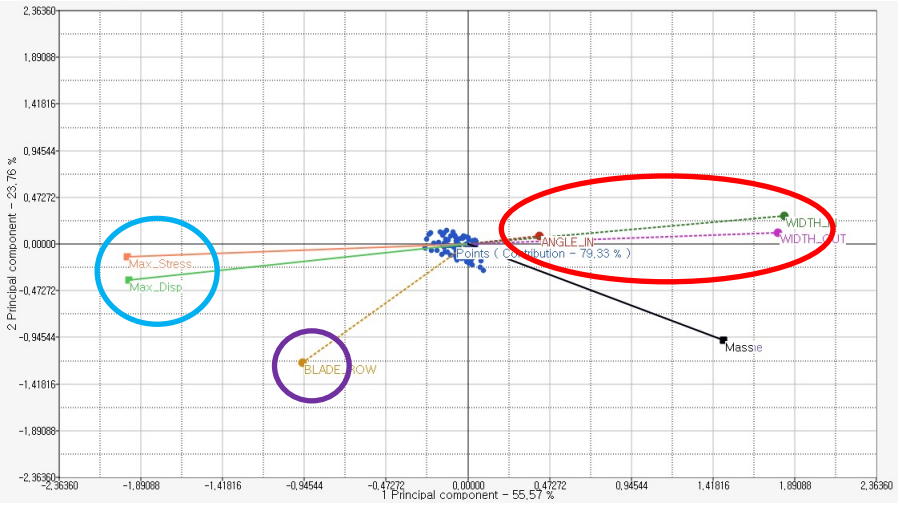
3.2 최적 설계

Creo Parametric 5.0.4.0 → SimLab 2020.1 → python → HyperStudy 2020 → HyperWorks CFD 2020 → AcuFieldView 2020

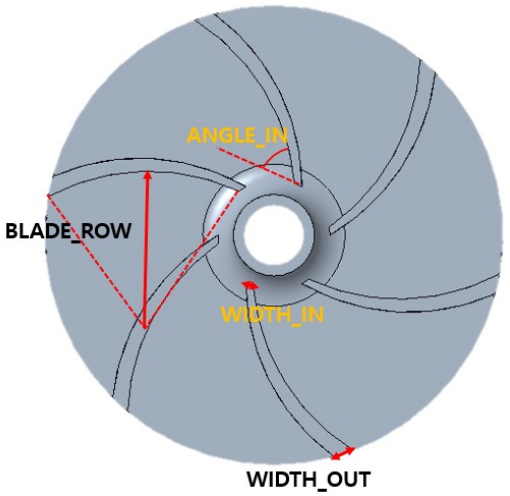
3.2.4 HyperStudy [Fit]

> Fit > Ordination / Correlation (각 매개변수와 Responses 값의 상관관계를 파악할 수 있다.)

HyperStudy 2020



	1	2	3	4	5	6
ANGLE_IN (1)	1.00	0.16	0.12	-0.07	0.01	-0.31
WIDTH_IN (2)	0.16	1.00	0.56	-0.53	-0.81	-0.90
WIDTH_OUT (3)	0.12	0.56	1.00	-0.54	-0.79	-0.72
BLADE_ROW (4)	-0.07	-0.53	-0.54	1.00	0.50	0.62
Max_Stress (5)	0.01	-0.81	-0.79	0.50	1.00	0.88
Max_Disp (6)	-0.31	-0.90	-0.72	0.62	0.88	1.00



- 날개 수에 관계 없이 각 변수와 Responses 값의 관계는 동일한 경향을 나타낸다.
- **ANGLE_IN, WIDTH_IN, WIDTH_OUT**은 **Responses** 값과 반비례 관계이다.
- **BLADE_ROW**는 **Responses** 값과 정비례 관계이다.

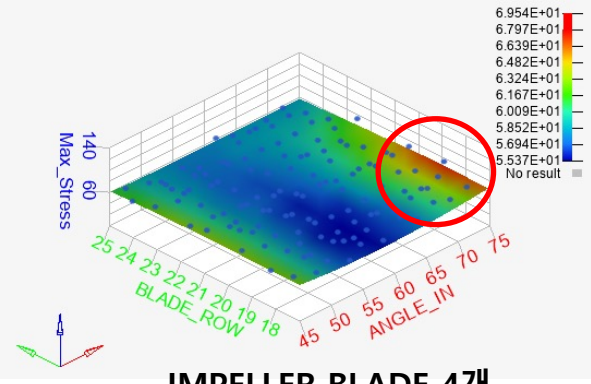
3. 해석

3.2 최적 설계

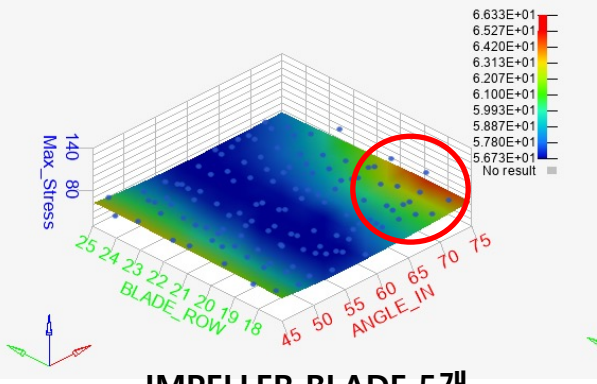
Creo Parametric 5.0.4.0 → SimLab 2020.1 → python → HyperStudy 2020 → HyperWorks CFD 2020 → AcuFieldView 2020

3.2.4 HyperStudy [Fit]

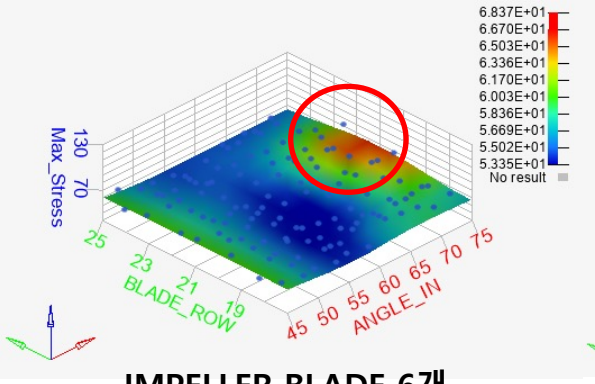
HyperStudy 2020 > Fit > Trade-off (데이터를 근사화 하여 2D-3D 형태로 보여줌으로써 시각화 할 수 있다.)



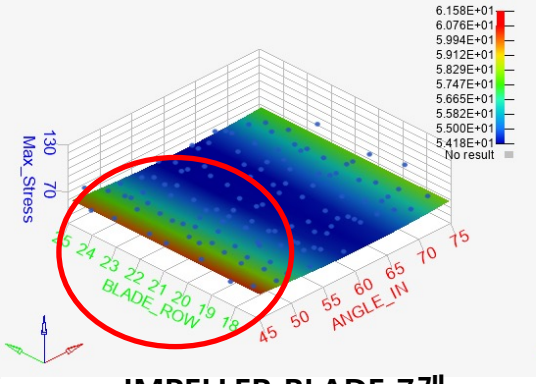
IMPELLER BLADE 4개



IMPELLER BLADE 5개



IMPELLER BLADE 6개

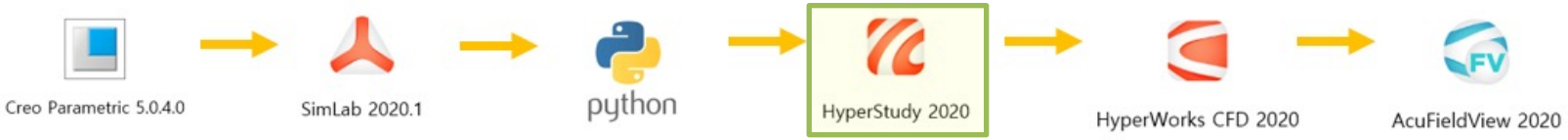


IMPELLER BLADE 7개

- 블레이드 4개, 5개의 경우 **ANGLE_IN** 값이 최대이고 ,**BLADE ROW** 값이 낮을 때 **Max_Stress** 값을 갖는다.
- 블레이드 6개의 경우 **ANGLE_IN**값이 최대일 때 **Max_Stress**값이 가장 높지만, 블레이드 7개의 경우 **ANGLE_IN**이 가장 낮을 때 가장 높은 **Max_Stress** 값을 나타낸다.
- 블레이드 6개의 경우 **ANGLE_IN**이 최대이고 **BLADE_ROW**가 21mm일 때 **Max_Stress** 값이 가장 높고, 블레이드 7개의 경우 **ANGLE_IN**이 최소이고 모든 **BLADE_ROW** 에서 **Max_Stress** 값이 가장 높다.

3. 해석

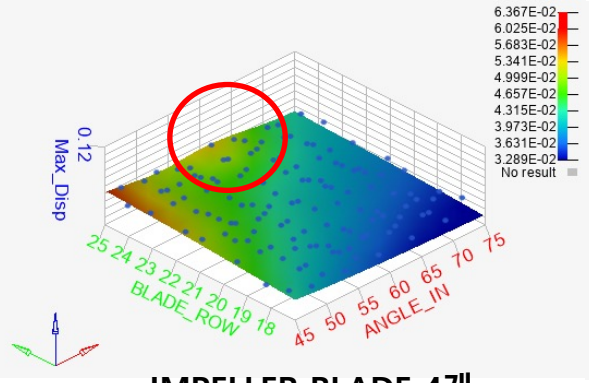
3.2 최적 설계



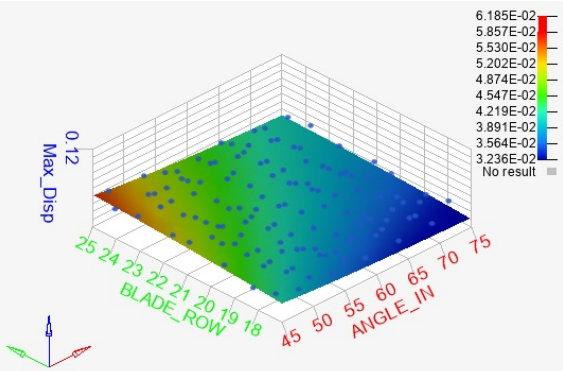
3.2.4 HyperStudy [Fit]

> Fit > Trade-off (데이터를 근사화 하여 2D-3D 형태로 보여줌으로써 시각화 할 수 있다.)

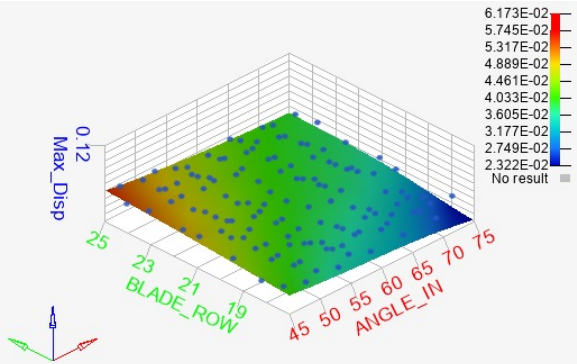
HyperStudy 2020



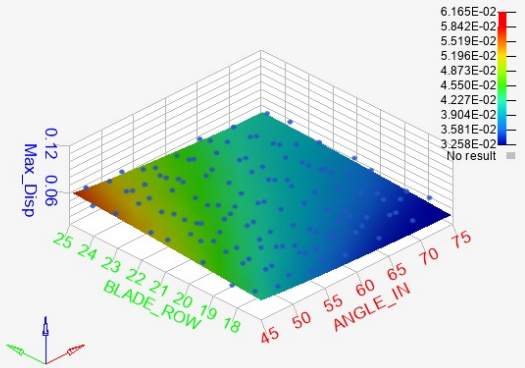
IMPELLER BLADE 4개



IMPELLER BLADE 5개



IMPELLER BLADE 6개



IMPELLER BLADE 7개

- **BLADE_ROW**가 증가하고 **ANGLE_IN** 값이 감소할 때 **Max_Displacement** 값이 증가한다.
- 블레이드가 4개 일 때 **ANGLE_IN**이 60deg에서 **Max_Displacement** 값이 약간 증가하는 경향을 보인다.

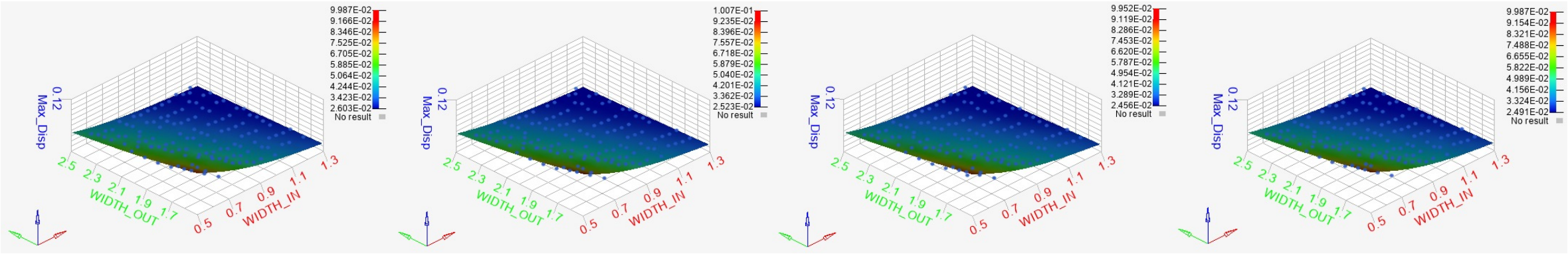
3. 해석

3.2 최적 설계

Creo Parametric 5.0.4.0 → SimLab 2020.1 → python → HyperStudy 2020 → HyperWorks CFD 2020 → AcuFieldView 2020

3.2.4 HyperStudy [Fit]

HyperStudy 2020 > Fit > Trade-off (데이터를 근사화 하여 2D-3D 형태로 보여줌으로써 시각화 할 수 있음)



IMPELLER BLADE 4개 | IMPELLER BLADE 5개 | IMPELLER BLADE 6개 | IMPELLER BLADE 7개

- 모든 모델에서 **WIDTH_IN & OUT** 변수가 감소함에 따라 **Max_Displacement** 값이 증가한다.
- **WIDTH_IN & OUT** 변수가 모두 최대 값일 때 블레이드 개수와 관계 없이 모두 **Max_Displacement** 값이 약 0.025mm이다.
- **WIDTH_IN & OUT** 변수가 모두 최소 값일 때 **Max_Displacement** 값이 약 0.1mm이다.
- 앞서 Ordination과 Correlation으로부터 확인한 경향성과, 동일한 방향으로 **Max_Displacement** 값이 나타난다.

3. 해석

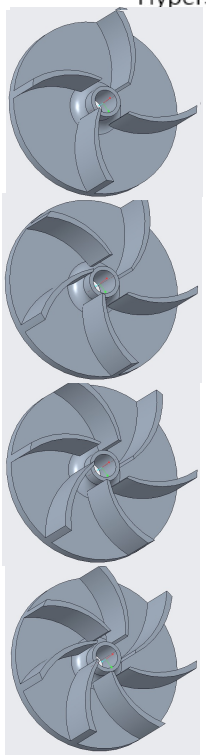
3.2 최적 설계

3.2.4 HyperStudy [Fit]

Creo Parametric 5.0.4.0 → SimLab 2020.1 → python → HyperStudy 2020 → HyperWorks CFD 2020 → AcuFieldView 2020

> Fit

HyperStudy 2020



	ANGLE_IN	WIDTH_IN	WIDTH_OUT	BLADE_ROW	Max_Stress	Max_Disp	Mass
74	74.280000	1.1976000	2.4840001	18.991670	47.964814	0.0233408	0.0179332
69	73.080000	1.2936000	2.1240000	19.629088	53.176393	0.0251449	0.0177606
98	68.520000	1.1784000	2.3560000	18.860498	49.745239	0.0256495	0.0177348

	ANGLE_IN	WIDTH_IN	WIDTH_OUT	BLADE_ROW	Max_Stress	Max_Disp	Mass
73	74.280000	1.1976000	2.4840001	18.991670	45.944242	0.0227498	0.0189975
68	73.080000	1.2936000	2.1240000	19.629088	51.979138	0.0246128	0.0187817
96	68.520000	1.1784000	2.3560000	18.860498	49.313168	0.0250855	0.0187494

	ANGLE_IN	WIDTH_IN	WIDTH_OUT	BLADE_ROW	Max_Stress	Max_Disp	Mass
74	74.280000	1.1976000	2.4840001	18.991670	46.214581	0.0225468	0.0200617
69	73.080000	1.2936000	2.1240000	19.629088	48.953008	0.0244675	0.0198028
98	68.520000	1.1784000	2.3560000	18.860498	49.522251	0.0248536	0.0197640

	ANGLE_IN	WIDTH_IN	WIDTH_OUT	BLADE_ROW	Max_Stress	Max_Disp	Mass
73	74.280000	1.1976000	2.4840001	18.991670	52.553649	0.0225817	0.0211259
68	73.080000	1.2936000	2.1240000	19.629088	61.043687	0.0246919	0.0208238
95	68.520000	1.1784000	2.3560000	18.860498	47.783318	0.0249198	0.0207787

- 최소 **Max_Displacement** 값은 모두 다르지만, 최소 값을 갖는 경우의 설계 변수 치수는 모두 동일하다.

모든 모델에서 Max_Disp 값이 최소일 때 변수의 값

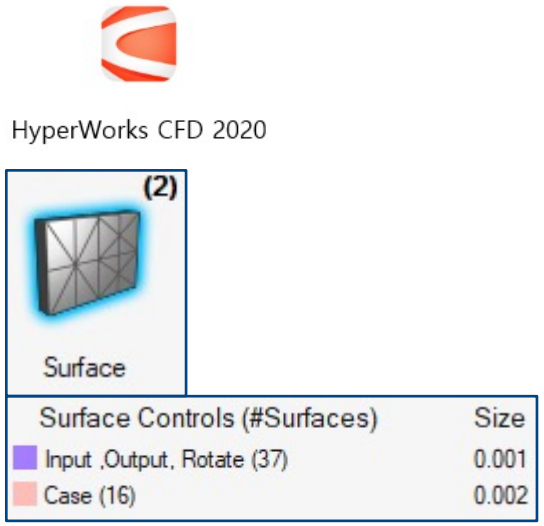
ANGLE_IN	74.280000
WIDTH_IN	1.2000000
WIDTH_OUT	2.4800000
BLADE_ROW	19.000000

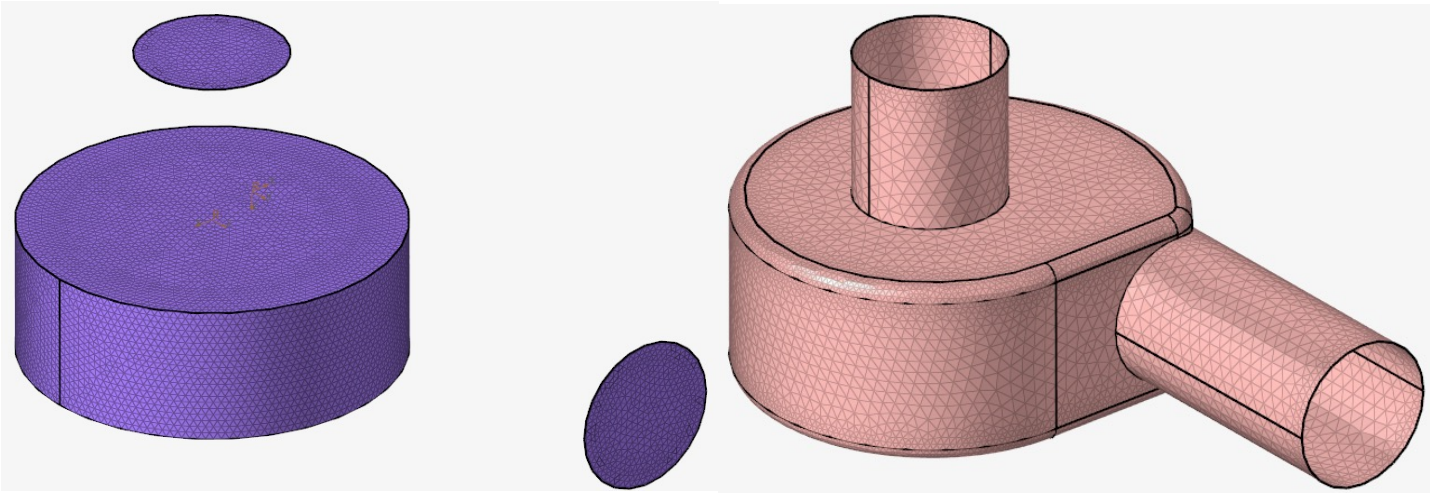
이후 진행할 CFD해석은 최적 설계로 정한 4가지 임펠러 모델로 토출구 유량을 비교 함으로써 최적의 워터펌프 모델을 선정한다.

3. 해석

3.3 유동 해석

3.3.1 HyperWorks CFD [Mesh]



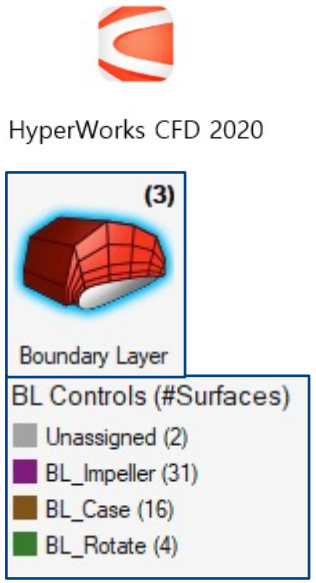


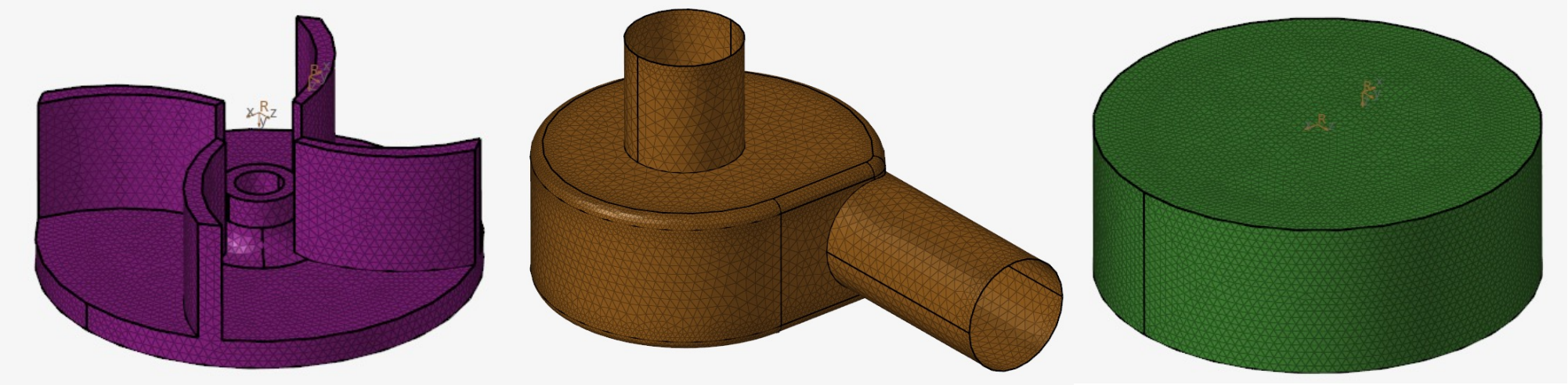
- Input, Output, Rotate 주변의 유동을 보다 더 정확하게 확인하기 위해서 Mesh Size 를 0.001mm로 설정한다.
- Case Surface는 Mesh Size를 0.002mm로 설정한다.
- Rotate는 회전 동력을 주기 위한 파트 모델이다.

3. 해석

3.3 유동 해석

3.3.1 HyperWorks CFD [Mesh]



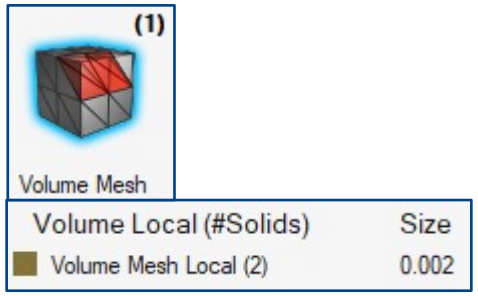


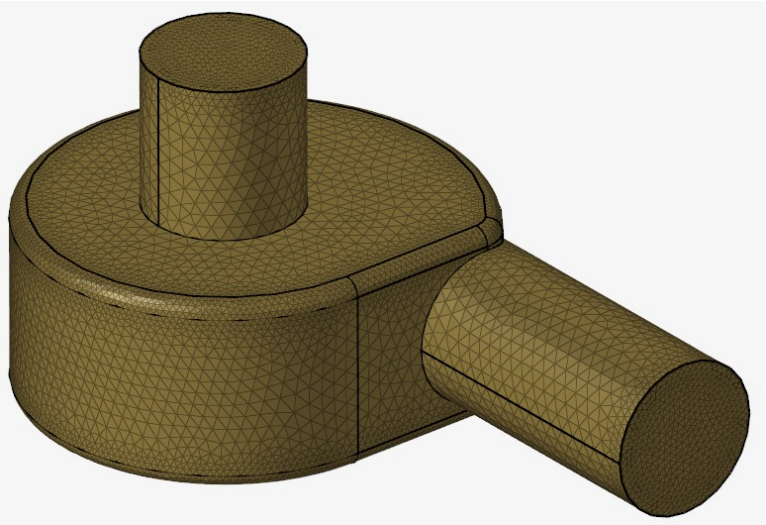
- Inlet과 Outlet을 제외한 Impeller, Case, Rotate 파트에 Boundary Layer 설정한다.
- 회전 영역과 유체 사이를 선형 보간을 하기 위해 Boundary Layer 생성한다.

3. 해석

3.3 유동 해석

3.3.1 HyperWorks CFD [Mesh]





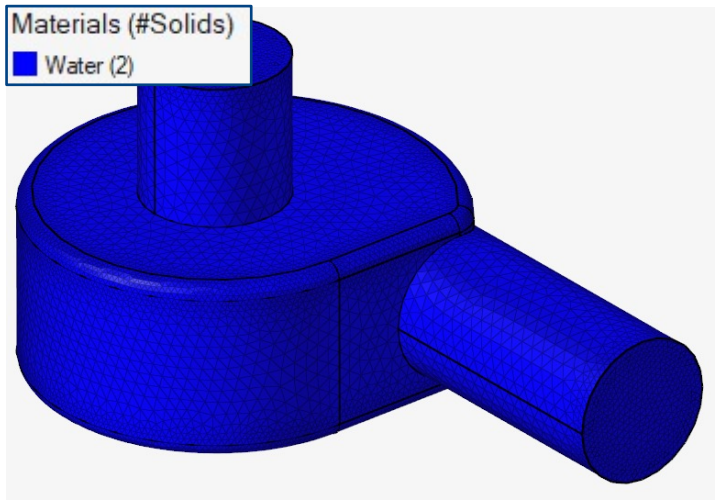
Entity	Count
Nodes	109800
2d Elements	48054
3d Elements	470844

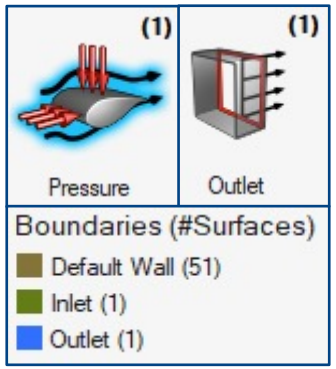
- Volume Mesh Size 는 0.002mm로 설정한다.
- 총 Node 개수는 109,800개, 3D Elements 개수는 470,844개 이다.

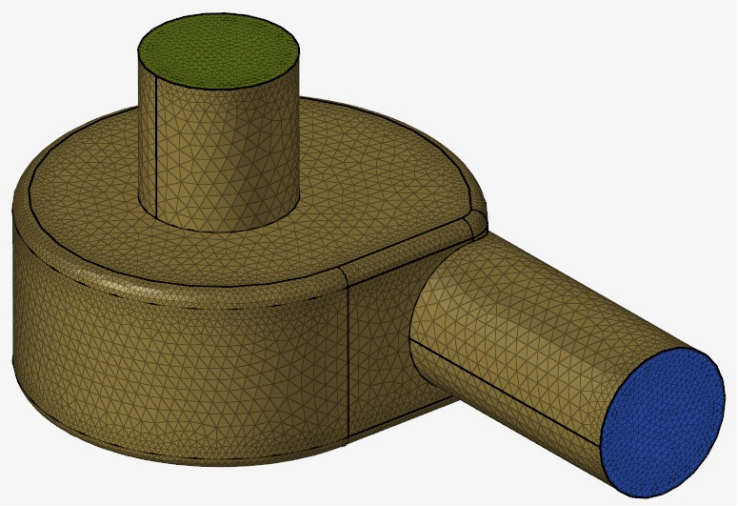
3. 해석

3.3 유동 해석

3.3.2 HyperWorks CFD [Boundary Conditions]





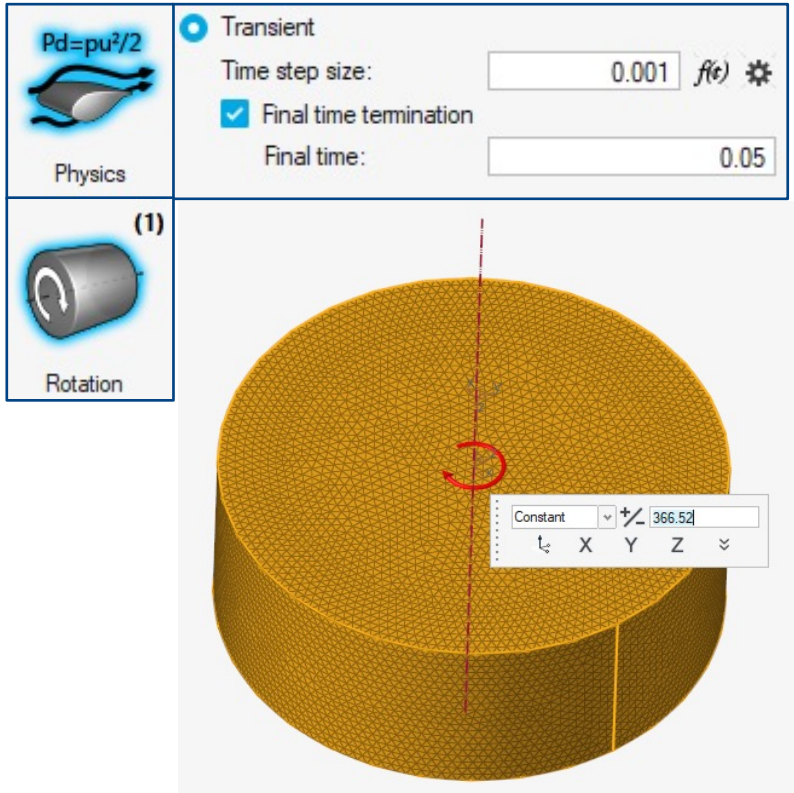


- 작동 유체는 냉각수를 대체하기 위해 20℃ Water로 설정한다.
- 냉각수가 유입되는 Inlet과 토출구 Outlet을 설정한다.

3. 해석

3.3 유동 해석

3.3.2 HyperWorks CFD [Boundary Conditions]



➢ **Transient analysis**

Time step size	0.001
Final time	0.05
Time step	50

➢ **Rotation**

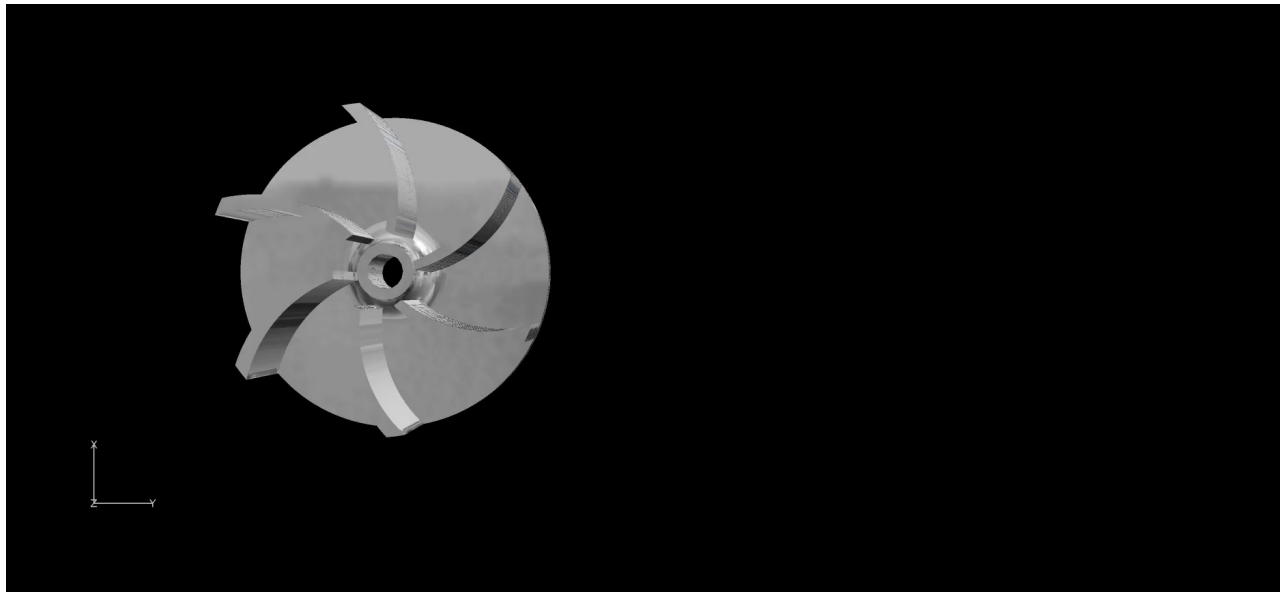
$$1[rpm] = 1\left[\frac{revolution}{min}\right]\left[\frac{1min}{60sec}\right]\left[\frac{2\pi\ rad}{1\ revolution}\right] = \frac{2\pi}{60}\left[\frac{rad}{sec}\right]$$

$$3500[rpm] = \frac{3500\ rev}{60\ sec}\cdot 2\pi\ rad = 366.52\ \left[\frac{rad}{sec}\right]$$

3. 해석

3.3 유동 해석

3.3.3 AcuFieldView [Fluid flow]



(Video)

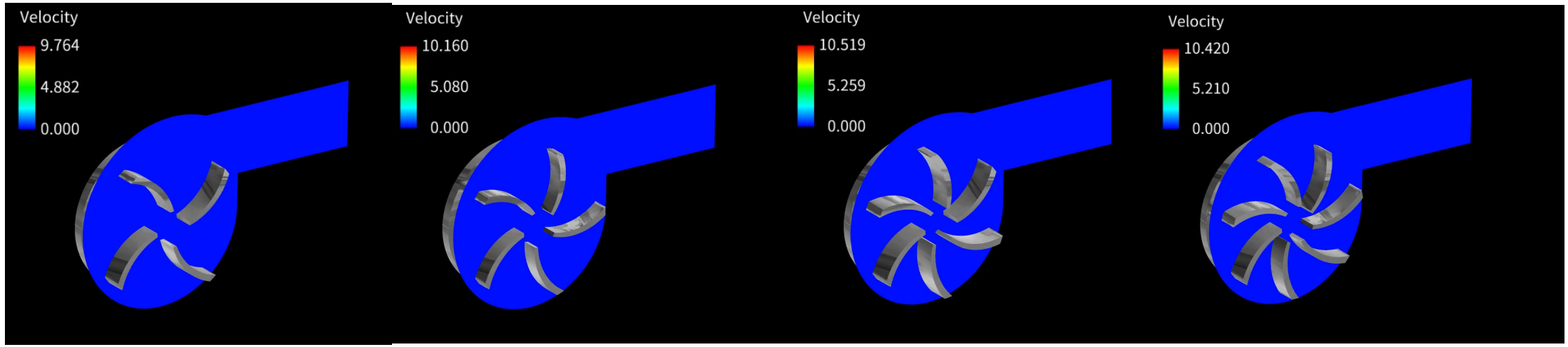
- 임펠러가 회전하면서 Inlet(임펠러 중심)의 압력이 낮아지고, 냉각수가 흡입된다. 임펠러 블레이드가 원심력으로 냉각수를 바깥으로 밀어내고 Outlet으로 냉각수를 토출 하는 현상을 확인하였다.

3. 해석

3.3 유동 해석

3.3.3 AcuFieldView [Velocity contour]

(Video)



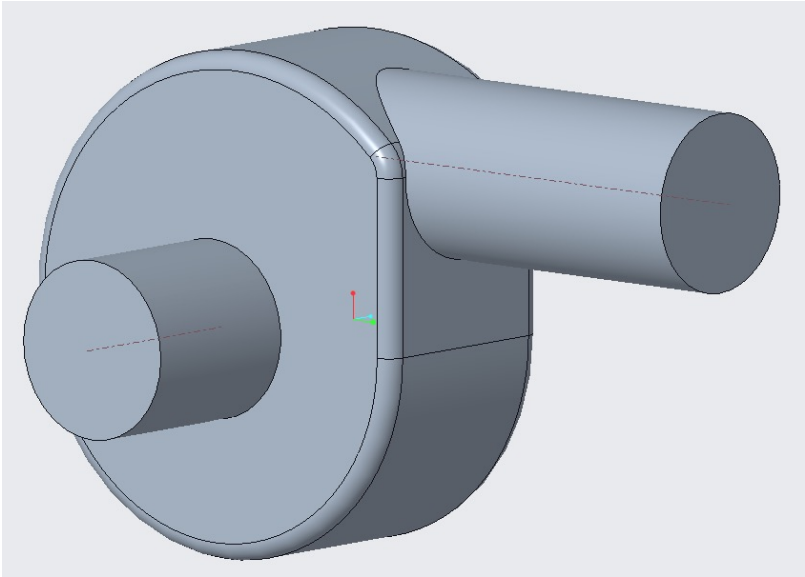
- Outlet으로 나갈 때 상단의 속도가 가장 빠르고, 하단에 속도가 낮아지며 작동 유체가 정체되는 현상이 관찰된다.
- 케이스 Outlet 부분에 라운드를 주어 작동 유체가 정체되는 현상을 완화하고자 하였다.

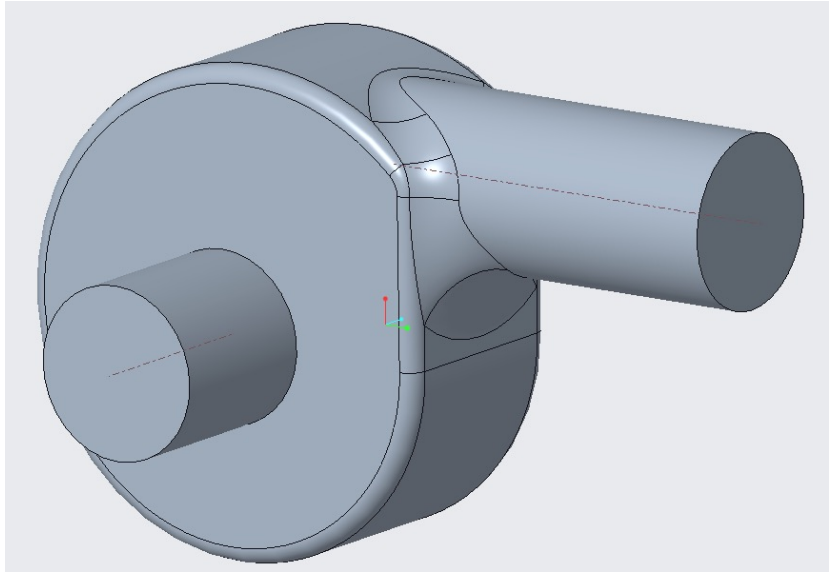
3. 해석

3.3 유동 해석

Creo Parametric 5.0.4.0 → SimLab 2020.1 → python → HyperStudy 2020 → HyperWorks CFD 2020 → AcuFieldView 2020

3.3.3 AcuFieldView [Velocity contour]



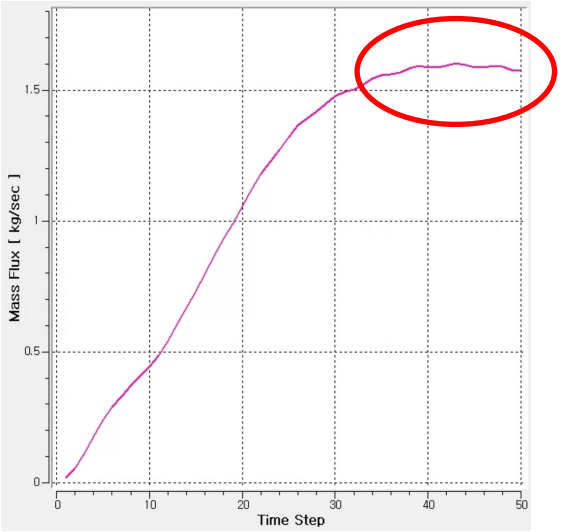


- Outlet으로 나갈 때 상단의 속도가 가장 빠르고, 하단에 속도가 낮아지며 작동 유체가 정체되는 현상이 관찰된다.
- 케이스 Outlet 부분에 라운드를 주어 작동 유체가 정체되는 현상을 완화하고자 하였다.

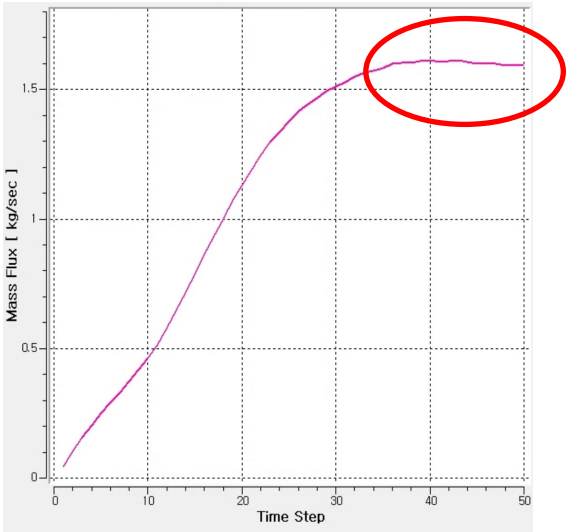
3. 해석

3.3 유동 해석

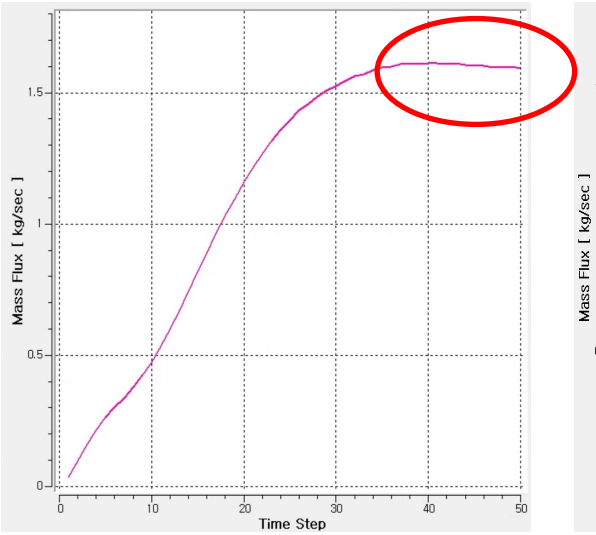
3.3.4 AcuProbe [Mass Flux]



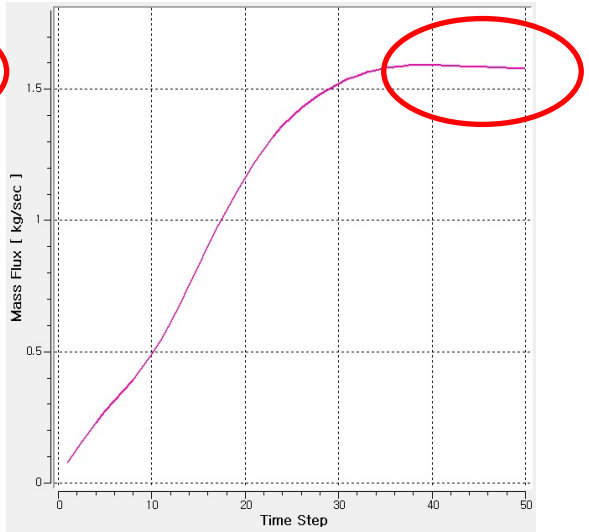
IMPELLER BLADE 4개



IMPELLER BLADE 5개



IMPELLER BLADE 6개



IMPELLER BLADE 7개

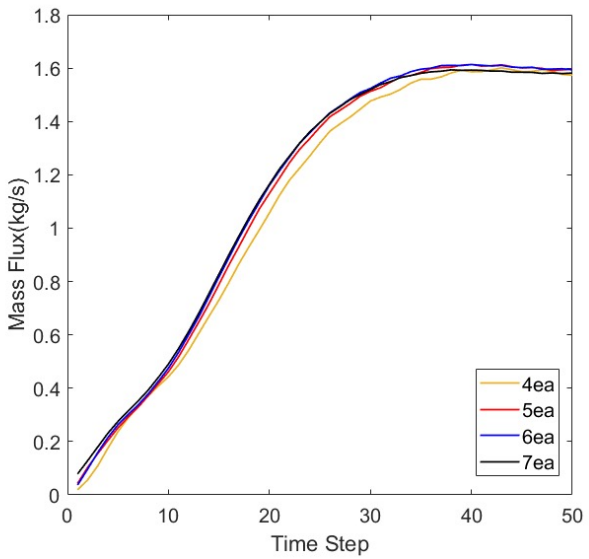
- Outlet에서 Time step 마다 질량 유속(Mass Flux)을 나타내는 그래프이다. (AcuProve 2020)
- 전 모델의 Mass Flux가 Time Step 40 이후로 일정한 값에 수렴하며, 일정한 유동을 보인다.

3. 해석

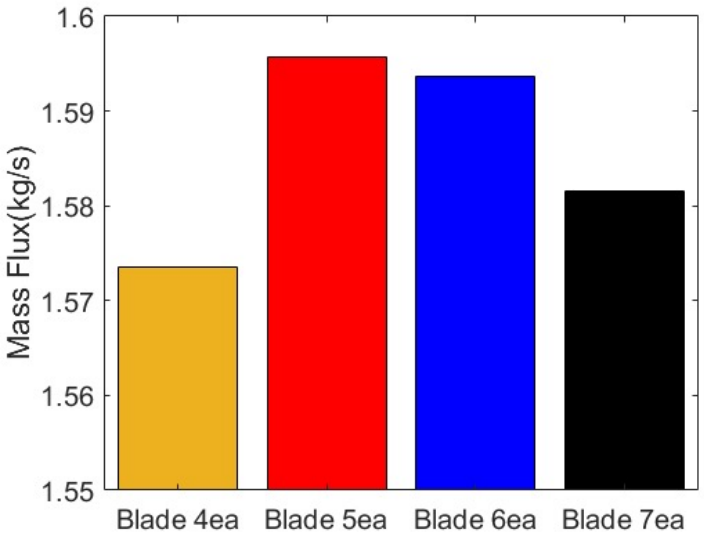
3.3 유동 해석

Creo Parametric 5.0.4.0 → SimLab 2020.1 → python → HyperStudy 2020 → HyperWorks CFD 2020 → AcuFieldView 2020

3.3.4 AcuProbe [Mass Flux]



Mass Flux 그래프



최종 Mass Flux 그래프

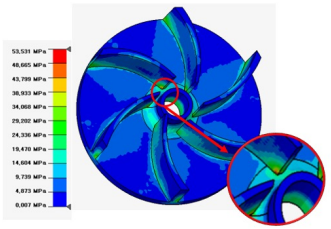
- Blade 4ea 는 상대적으로 전 구간에서 낮은 질량 유속을 보인다.
- 50 Time Step 에서 Blade 4ea가 가장 낮은 Mass Flux를 보였고 Blade 5ea와 Blade 6ea는 약 0.021kg/s 차이를 보인다.
- 블레이드 개수가 5개>6개>7개>4개 순서로 질량 유속이 크다.
- **-> 질량 유속이 클수록 더 많은 냉각수를 토출구로 배출할 수 있으며, 이에 따라 냉각 성능도 향상된다.**

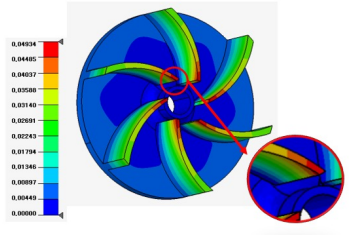
4. 결　론

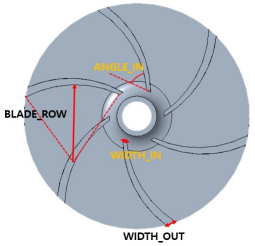
4. 결론

4.1 임펠러 최적 설계

4.1.1 최적 설계 및 해석 결과 분석





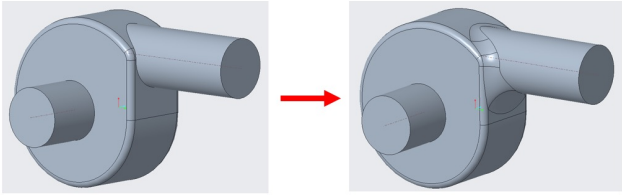


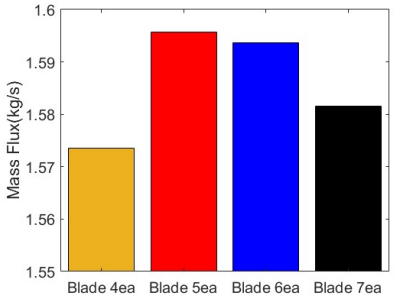
ANGLE_IN : 74.28deg

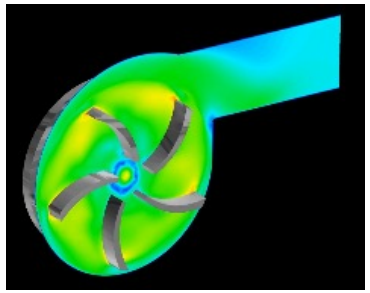
WIDTH_IN : 1.2mm

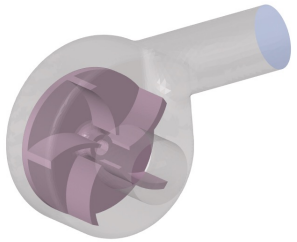
WIDTH_OUT : 2.48mm

BLADE_ROW : 19mm









START → Creo Parametric 5.0.4.0 → SimLab 2020.1 → python → HyperStudy 2020 → HyperWorks CFD 2020 → AcuFieldView 2020 → End

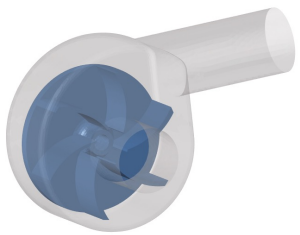
- Simlab을 이용해 변위 및 응력 데이터와 python 파일을 얻고, HyperStudy에서 변위를 최소화하는 변수값을 얻어 최적 설계를 진행하였다.
- 변위를 최소화하는 최적 설계 모델에서 블레이드 개수에 따라 달라지는 토출구의 냉각수 질량 유량을 확인하였다.
- 유동과정에서 케이스 하단부에 작동 유체가 정체되는 현상을 확인하고, 이를 고려하여 케이싱을 재설계 하였다.
- 최종적으로 임펠러의 블레이드 설계 변수, 개수, 케이싱 형상을 고려한 최적 설계된 냉각수 순환 펌프를 설계하였다.

4. 결론

4.1 임펠러 최적 설계

4.1.1 최적 설계 및 해석 결과 분석

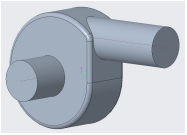
- 최대 변위는 52.49% 감소하였다.
- 부피(질량)은 5.62% 감소하였다.
- 임펠러만 최적설계시 냉각수 Mass Flux 가 0.65% 감소하지만, 질량 및 변위의 감소량이 크므로 감안 가능한 감소량이라고 판단하였다.
- 케이스와 임펠러 모두 최적설계시 3.2% 만큼 Mass Flux가 증가하였다.

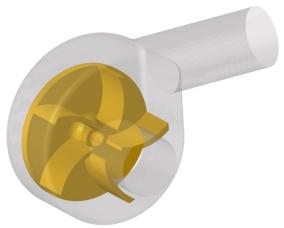


Base model

기준 파라미터 + 기본 케이스

ANGLE_IN : 60deg
WIDTH_IN : 0.8mm
WIDTH_OUT : 2.0 mm
BLADE_ROW : 21mm

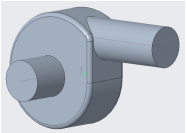


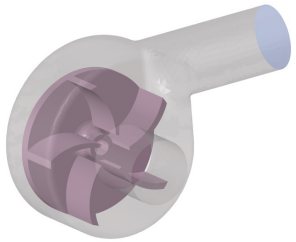


Blade 5ea model

최적 파라미터 + 기본 케이스

ANGLE_IN : 74.28deg
WIDTH_IN : 1.2mm
WIDTH_OUT : 2.48mm
BLADE_ROW : 19mm

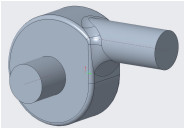


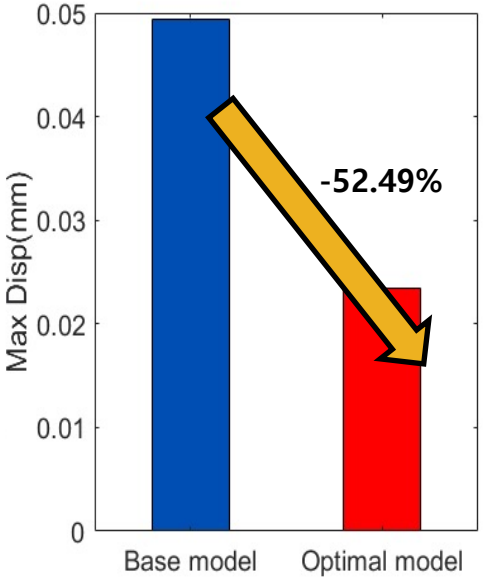


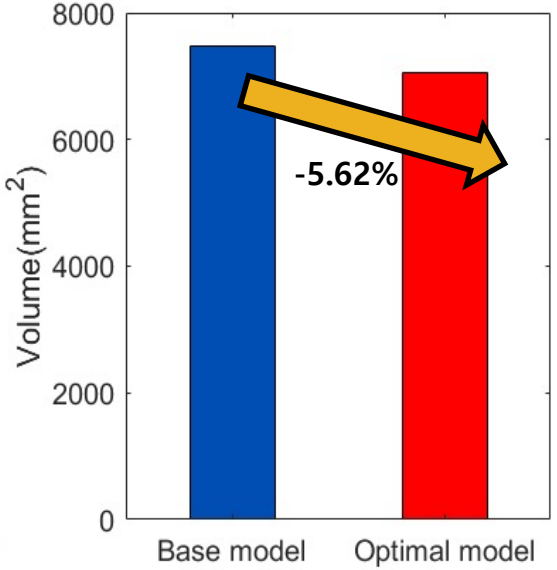
Optimal model

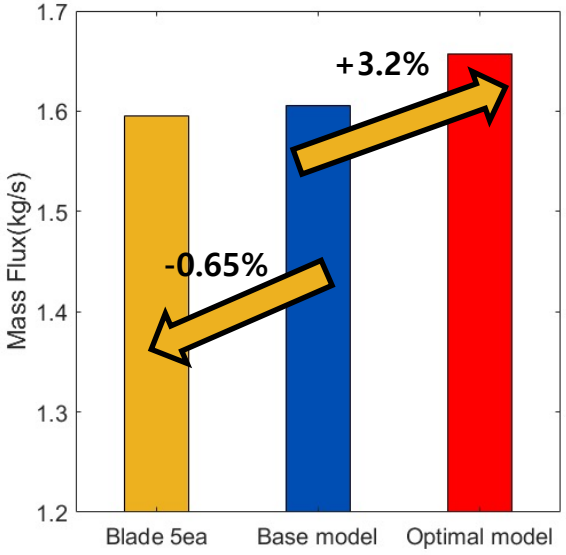
최적 파라미터 + 변경 케이스

ANGLE_IN : 74.28deg
WIDTH_IN : 1.2mm
WIDTH_OUT : 2.48mm
BLADE_ROW : 19mm









감사합니다.

Reference

번호	연도	제목	최적화 방법
1	2021	Digital-twin-driven geometric optimization of centrifugal impeller with free-form blades for five-axis flank milling	자오면에서 cutting width 와 임펠러 직경 파라미터에 따른 CFD 임펠러 설계
2	2021	Design and Analysis of Impeller using Corrosion Resistant Materials	Brass 와 ABS 재질에 따른 임펠러 최적화
3	2021	Influence of Impeller Gap Drainage Width on the Performance of Low Specific Speed Centrifugal Pump	블레이드 사이 틈간격 차이에 따른 CFD 임펠러 최적화
4	2021	Hydraulic performance prediction and optimization of an engine cooling water pump using computational fluid dynamic analysis	블레이드 입구 각, 블레이드 개수, 임펠러 높이, 임펠러 직경, 블레이드 두께의 위치 각도 파라미터를 이용한 임펠러 최적화
5	2020	DESIGN AND STATIC DYNAMIC ANALYSIS OF CENTRIFUGAL IMPELLER WITH CONVENTIONAL AND COMPOSITE MATERIAL USING VARIOUS MATERIALS	GFRP,CFRP,AL-6061,INCONEL,STAINLESS STEEL 재질에 따른 임펠러 최적화
6	2020	Numerical_Analysis_of_Flow_Phenomena_in_a_Centrifugal_Pump_Impeller_of_Low_Specific_Speed	블레이드 입구 각, 출구 각에 따른 CFD 임펠러 최적화
7	2019	반응표면법과 CFD를 이용한 사류펌프 임펠러의 최적화 설계	임펠러 중앙 지름, 임펠러 지름, 블레이드 두께 에 따른 CFD 임펠러 최적화
8	2019	쿨런트 펌프 임펠러 형상 최적화를 통한 성능개선에 관한 연구	블레이드 입구각, 출구각, 블레이드 곡률, 블레이드 끝모서리 반지름을 파라미터로 CFD 임펠러 최적화 설계
9	2019	Effect of impeller blades number on the performance of a centrifugal pump	블레이드 개수 파라미터 CFD 임펠러 최적화
10	2019	3D 블레이드 타입의 워터펌프 설계 변수별 성능 특성에 관한 연구	블레이드 날개,임펠러 직경, 블레이드 바깥 각도, 바깥높이 파라미터에 따른 임펠러 최적화
11	2019	The influence of blade outlet angle on the performance of centrifugal pumpwith high specific speed	블레이드 출구 각 파라미터 변경에 따른 CFD 임펠러 최적화
12	2019	Multiparameter optimization for the nonlinear performance improvement of centrifugal pumps using a multilayer neural network	블레이드 각도 변경, Mesh 방법에 따른 임펠러 최적화
13	2018	최적화 설계 기술을 활용한 원심펌프 임펠러 개발	블레이드 입구각, 출구각 , 출구 두께 파라미터 효율에 대한 영향도 측정 및 CFD 임펠러 최적화
14	2018	Multi-parameter optimization of machining impeller surface based on the on-machine measuring technique	블레이드 높이와 지름 ratio 파라미터에 따른 실험 최적화

번호	연도	제목	최적화 방법
15	2017	Numerical calculation and optimization designs in engine cooling water pump	입출구 직경과, 블레이드 개수 파라미터를 이용한 CFD 임펠러 최적화
16	2017	Volks Wagen 1.8 Engine용 ALDC합금의 Water Pump개발	Ansys를 이용한 임펠러에 가해지는 압력 및 온도 최적화
17	2016	승용 차량용 48V 전동식 워터펌프 모듈개발	블레이드 개수 파라미터 CFD 임펠러 최적화
18	2016	원심펌프 임펠러 입구각도 변화에 따른 유동해석	블레이드 입구 날개 각도에 따른 임펠러 최적화
19	2015	무공해자동차용고효율열방출및공급기술	블레이드 입구각,출구각, 날개수, 임펠러 직경 파라미터를 이용한 실험 최적화
20	2015	다목적 최적화 기법을 이용한 고출력 원심압축기 형상 최적설계	임펠러 최적화를 위한 각 파라미터의 민감도를 계산
21	2015	High-efficiency design optimization of a centrifugal pump†	CFD 해석 방법에 따른 차이 임펠러최적화
22	2014	원심압축기 임펠러의 형상 설계 최적화에 관한 수치적 연구	블레이드 각도와 자오면 형상을 함수화 하여 임펠러 최적화
23	2013	Performance prediction of centrifugal pumps sith variations of blade number	블레이드 날개 수와, 블레이드 사이 틈간격 차이에 따른 임펠러 최적화
24	2012	Analysis on Effects of the Blade Wrap Angle and Outlet Angle on the Performance of the Low-specific Speed Centrifugal Pump	블레이드 입구각, 출구각, 펌프 입출구 비율에 따라 CFD를 이용한 임펠러 최적화
25	2009	DOE와 CFD를 사용한 원심펌프 임펠러 최적설계	자오면에서 설계 파라미터를 이용한 임펠러 설계
26	2008	실험계획법을 사용한 원심 펌프 임페럴 최적설계	자오면에서 설계 파라미터를 이용한 임펠러 설계
27	2007	자동차용 워터펌프의 경량화 및 효율개선을 통한 양산화 설계 기술지원	블레이드 높이와 직경 파라미터를 이용한 실험 최적화
28	2006	횡형편흡입원심펌프의설계및 CFD 에의한성능해석에관한연구	출구 지름과 입구 지름 파라미터를 이용한 임펠러 최적화
29	2006	낮은비속도를갖는터보펌프의임펠러형상 최적화에관한연구	블레이드 높이, 블레이드 입구각, 출구각, 임펠러 출구 두께, 블레이드 곡률, 블레이드 개수에 따른 임펠러 최적화
30	2006	Optimizing impeller geometry for performance enhancement of a centrifugal pump using the Taguchi quality concept	블레이드 두께, 임펠러 중심 홀 지름, 날개 개수, Outlet 각도 파마리머테 따른CFD 임펠러 최적화

Reference

번호(년도)	입구각	출구각	입구두께	출구두께	개수	곡률	재질	임펠러 직경	임펠러 두께	펌프 입구	펌프 출구
1(2021)								1			
2(2021)							1				
3(2021)											
4(2021)	1		1	1	1				1		
5(2020)							1				
6(2020)	1	1									
7(2019)			1	1				1			
8(2019)	1	1				1					
9(2019)					1						
10(2019)		1			1			1			
11(2019)		1									
12(2019)	1	1									
13(2018)	1	1		1							
14(2018)						1					
15(2017)											
16(2017)					1					1	1
17(2016)					1						
18(2016)	1										
19(2015)	1	1			1			1			
20(2015)											
21(2015)											
22(2014)	1	1									
23(2013)					1						
24(2012)	1	1								1	1
25(2009)											
26(2008)											
27(2007)											
28(2006)										1	1
29(2006)	1	1		1	1	1					
30(2006)	1	1	1	1	1						
선정 파라미터	+		+	+	+	+					
총합	11	11	3	5	9	3	2	4	1	3	3
순위	1	1	5	3	2	5	6	4	7	5	5