

User Presentation (III) 13:20~13:40

오픈폼을 이용한 수직 다단 원심 펌프의 CFD 시뮬레이션



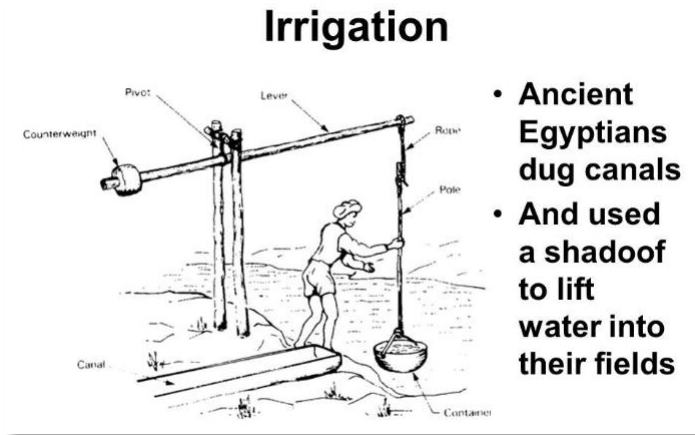
2022년 09월 23일

지능로보틱스연구센터

이명성 책임연구원

펌프 역사

◆ 낮은 곳의 물을 높은 곳으로 퍼 올리거나 먼 곳으로 보내는 도구로 사용



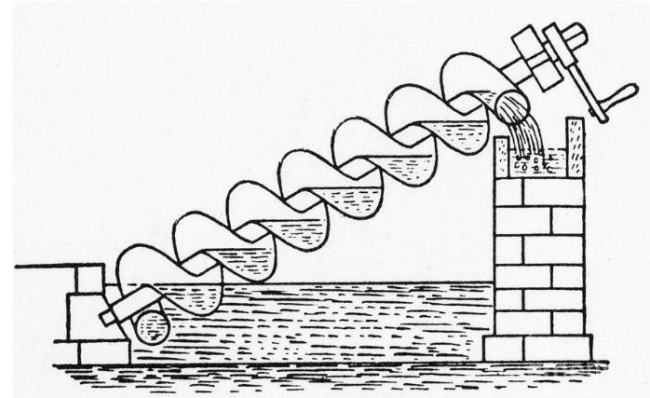
고대 이집트 방아두레박 (BC2000)

: 지렛대 원리로 나일강의 물의 퍼 올려 농사에 사용



수동펌프 (여기까지는 인력 이용)

: 마중물 넣고 작두질하며 지하 우물을 퍼 올림



고대 그리스 아르키메데스 나선양수기 (BC250)

: 스크류 형상이 회전하여 논경지에 물을 댐



전동기
(모터)

< 출처 >

1. <https://brunch.co.kr/@jwsvddk/62>
2. <https://m.blog.naver.com/namgoocha/221582026805>
3. <https://ko.sailingflo.com/news/production>
4. <https://constructionor.com/wp-content/uploads/2020/04/types-of-pumps.png>

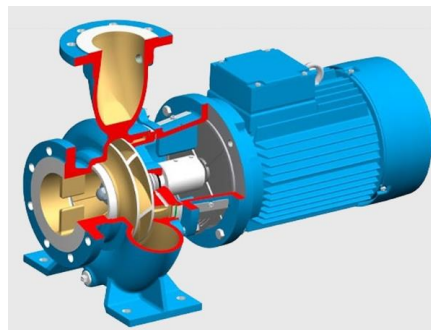
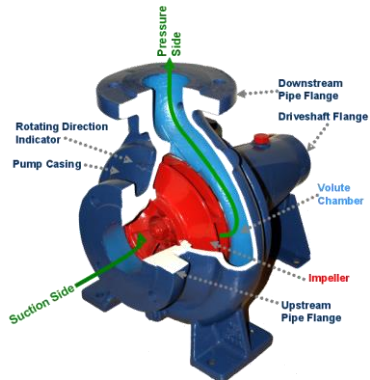
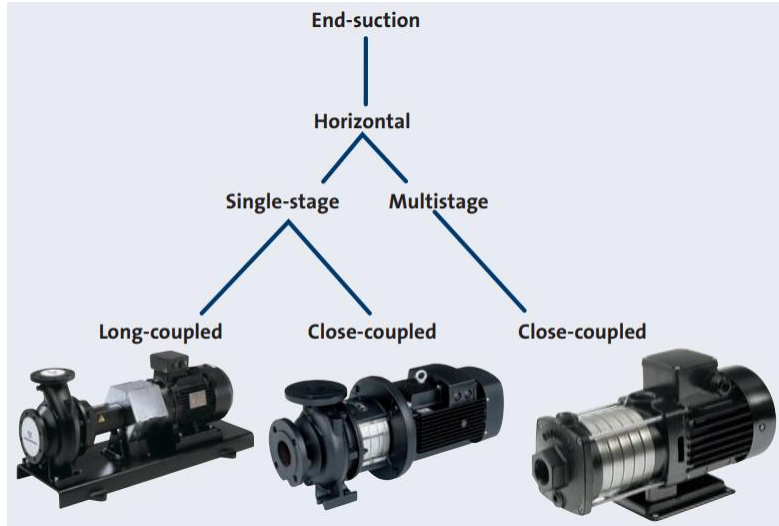
다양한 펌프 (증기기관, **전동기** 이용하며 사람이 편해짐)

- : 16세기부터 증기기관을 동력으로 근대 양수 설비 개발
- : 1689년 프랑스 Denis Papin 직선 블레이드 **원심펌프** 발명
- : 1851년 영국 John Appold 곡선 블레이드 **원심펌프** 발명

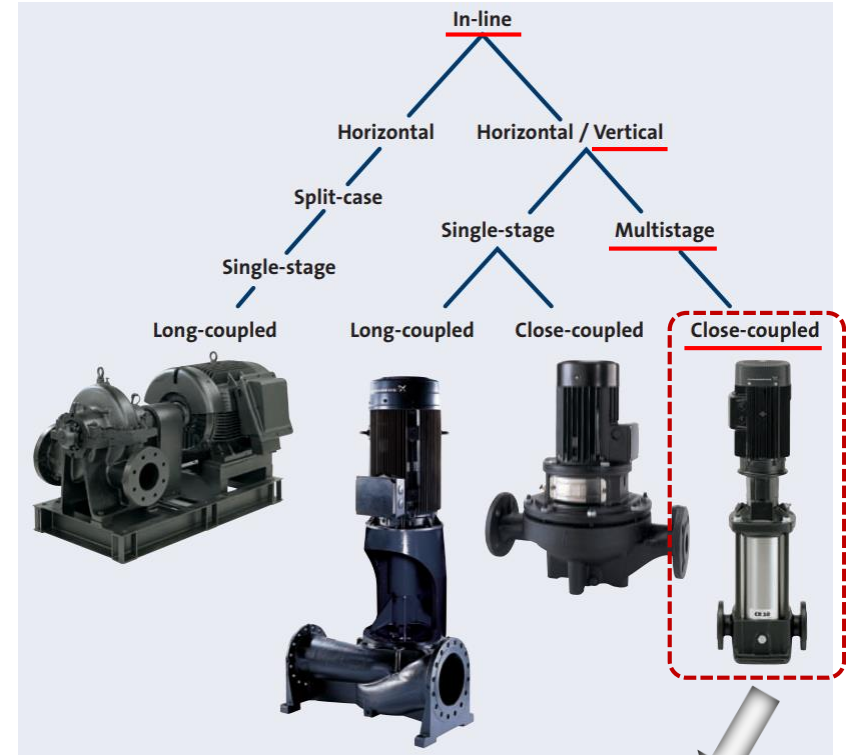
원심 펌프 종류

◆ 편흡입에서 인라인 방식으로 가며 수직으로 설치하여 더 작은 공간에 펌프 설치

▪ End-suction type



▪ In-line type



개발 대상 펌프 종류
(수직 다단 원심 펌프)

< 출처 >

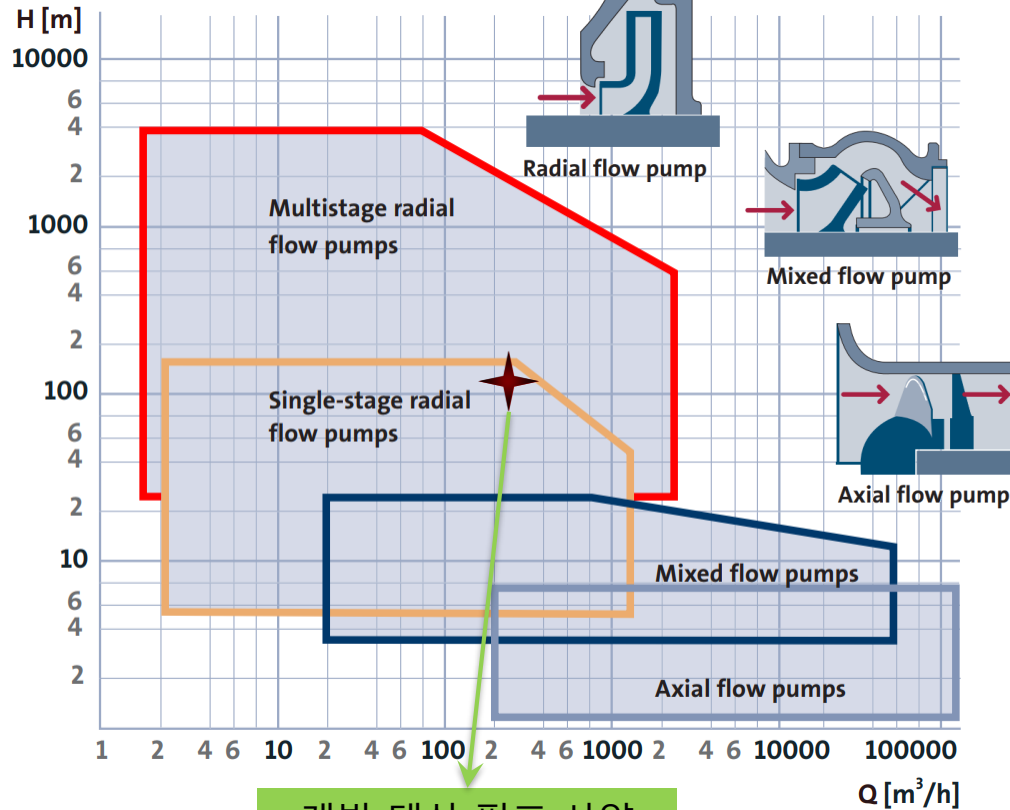
1. [PUMP HANDBOOK, GRUNDFOS](#)

원심 펌프 성능

◆ 임펠러 형상에 따라 펌프 특성 달라짐

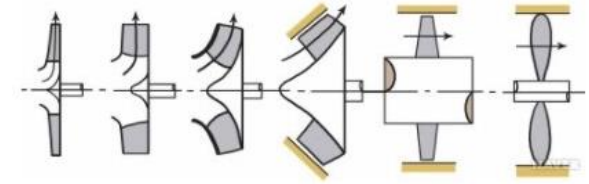
- 반경류 : 양정 증가, 유량 감소 (→ 비속도 小)
- 축류 : 양정 감소, 유량 증가 (→ 비속도 大)

압력 (양정)



개발 대상 펌프 사양

유량



반경류형

사류형

축류형

수직 다단 원심 펌프

Fig. 1.1.20: Vertical multistage in-line pump with return channel casing

Return channel

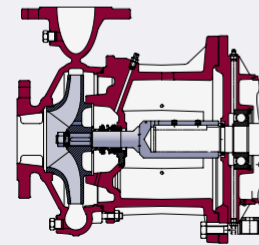


Fig. 1.1.21: Horizontal single-stage end-suction close-coupled pump

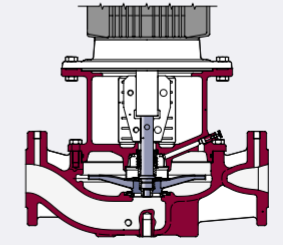


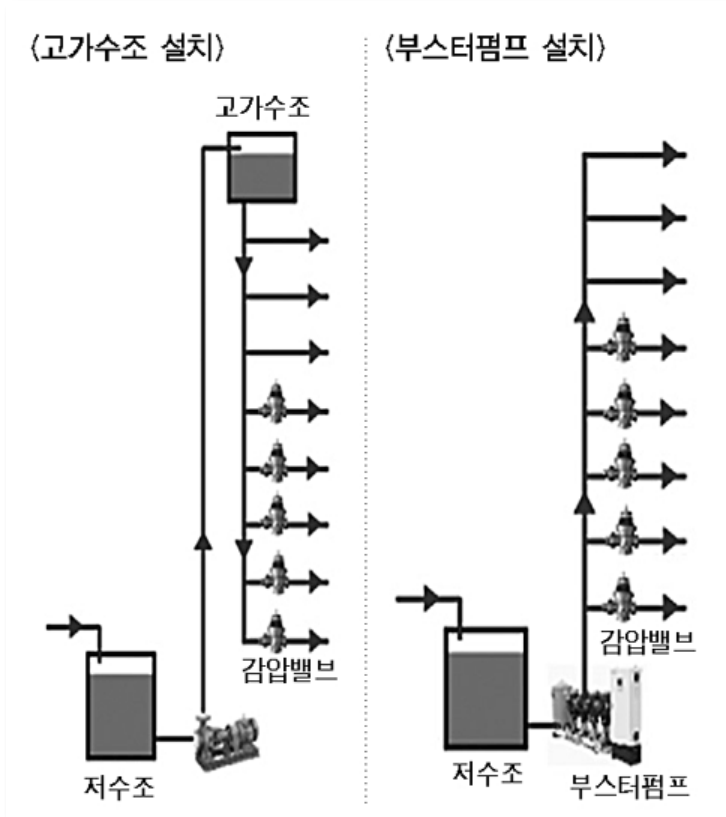
Fig. 1.1.22: Vertical single-stage in-line close-coupled pump

< 출처 >

1. [PUMP HANDBOOK, GRUNDFOS](#)

건물 급수 펌프

- ◆ 수직다단펌프는 공동주택 급수용으로 활용이 증가되고 있음
 - 기존 고가수조 방식으로 낙차 활용 (15~20년 전 준공한 건물들)
 - 최근 가압(부스터)펌프 활용하여 수조 없음 (인버터로 회전수, 운전방식 제어)



< 출처 >

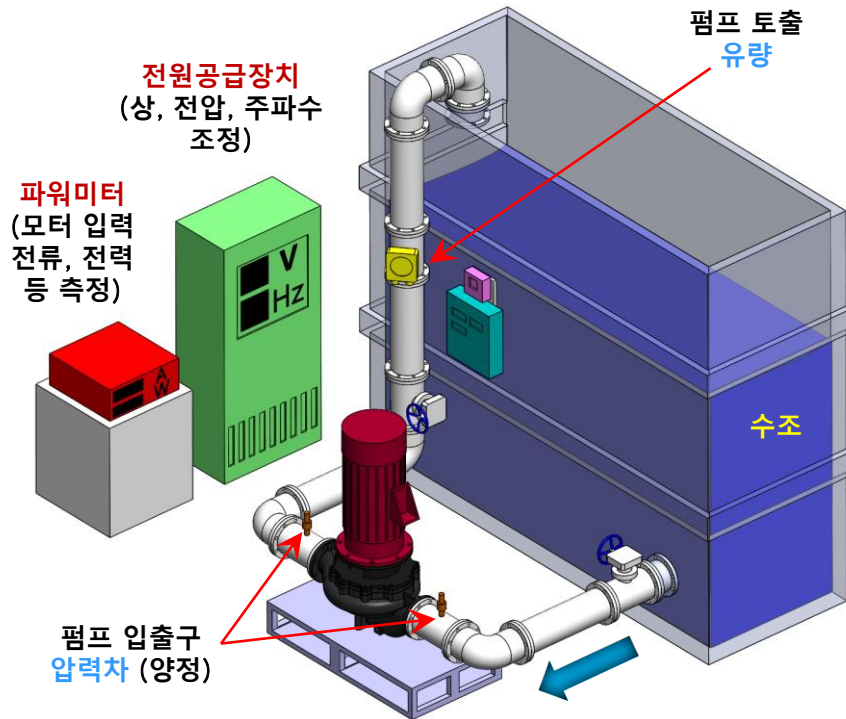
1. <http://www.aptn.co.kr/news/articleView.html?idxno=36751>
2. <https://www.hapt.co.kr/news/articleView.html?idxno=31554>

건물급수용 수직다단펌프 시스템 예시

펌프 성능 실험

◆ 펌프 성능 계수 : 회전수 → 동력 → 양정, 유량 → 효율 (= 수동력/축동력)

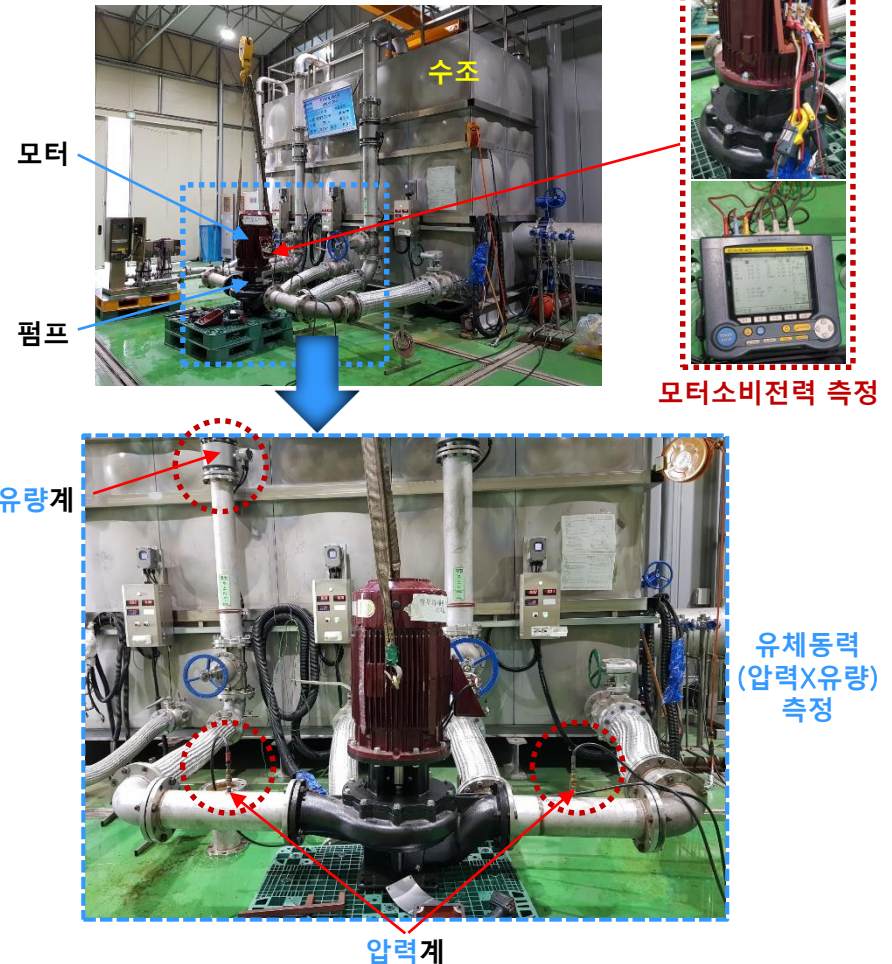
실험장치 개념도



$$\text{종합효율} = \frac{\text{유체동력 (압력} \times \text{유량)}}{\text{모터입력전력}}$$

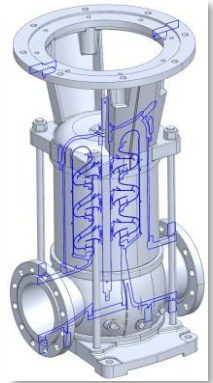
$$\text{펌프효율} = \frac{\text{유체동력 (압력} \times \text{유량)}}{\text{축동력 (모터입력} \times \text{모터효율)}}$$

실험장치 사진

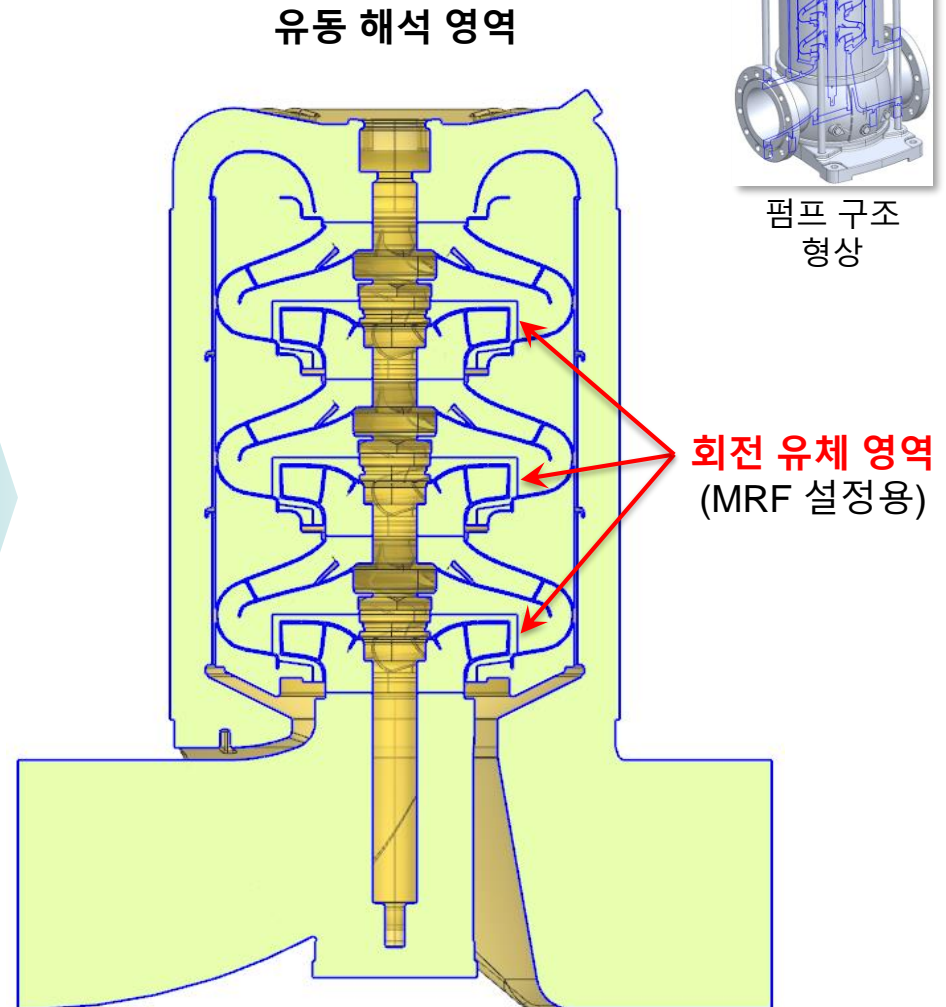
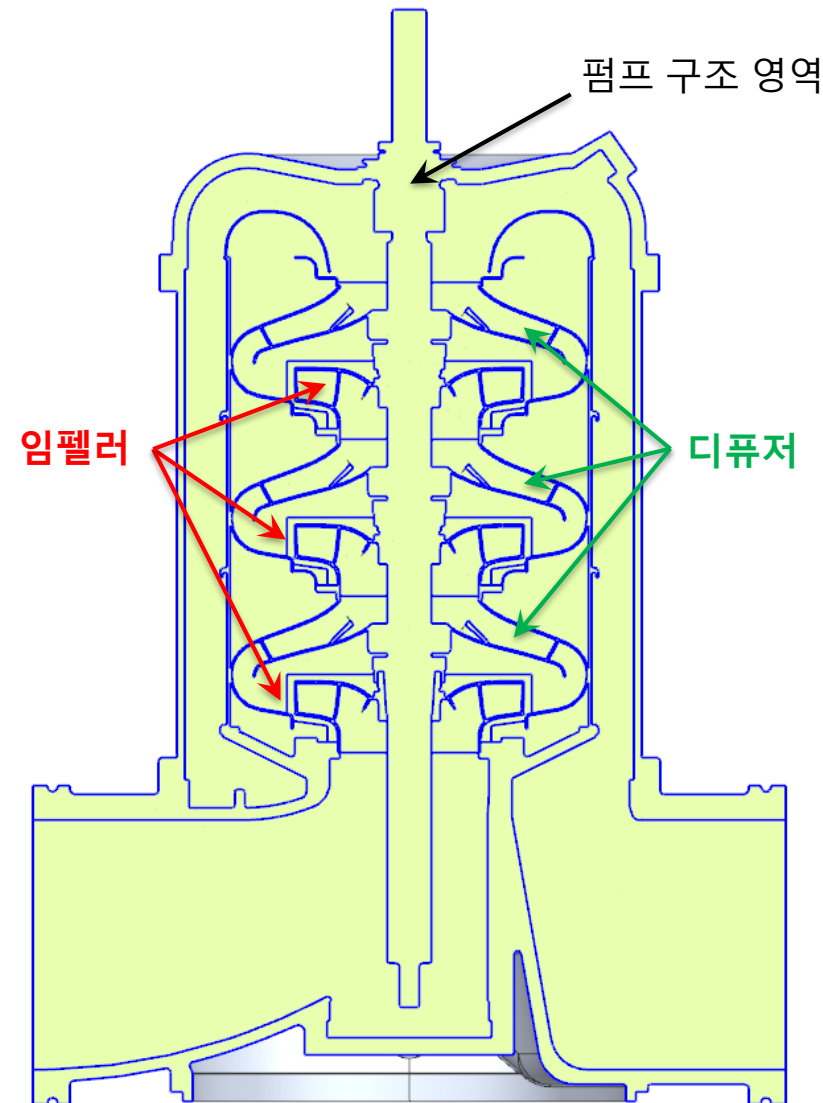


펌프 내부 유동 해석 영역 생성

◆ 해석 대상이 아닌 펌프 구조 부분은 계산 영역에서 제외



펌프 구조
형상

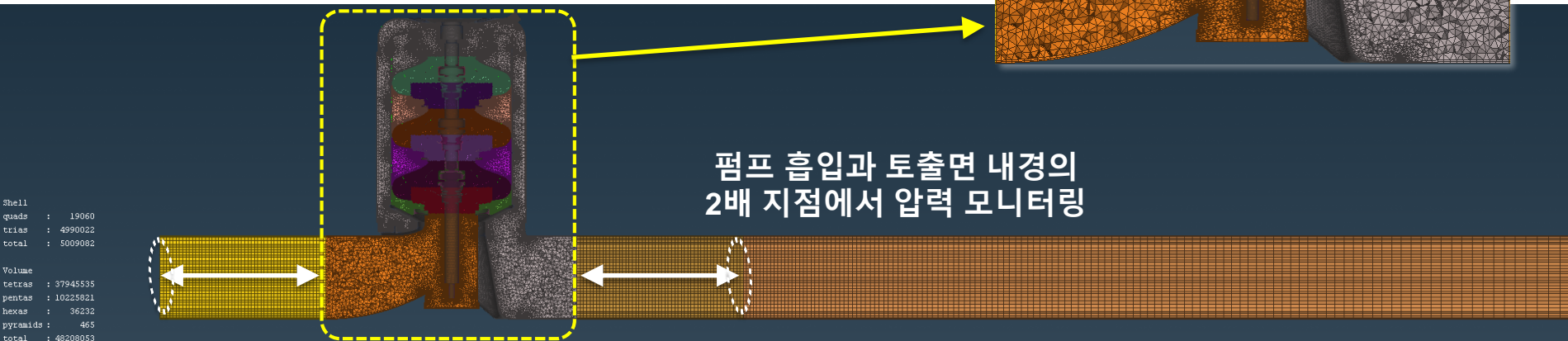
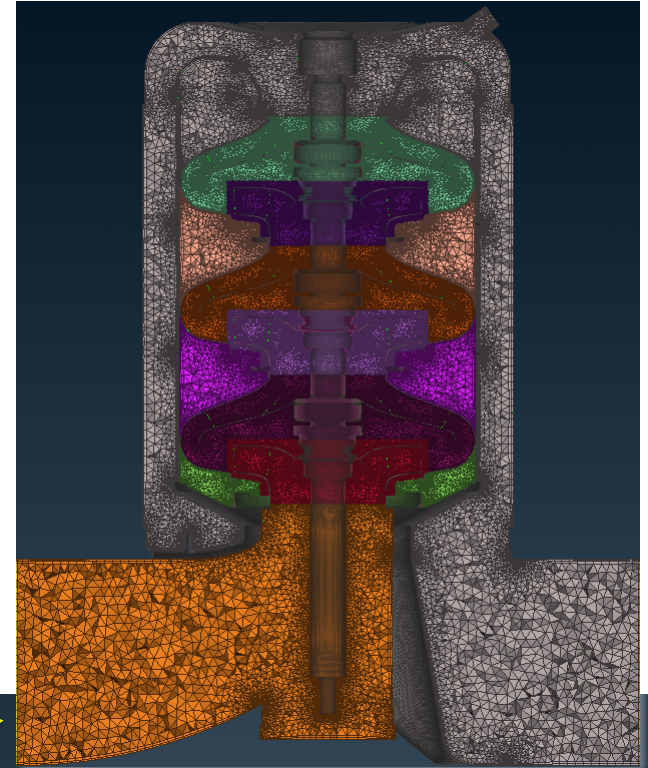


유동 해석 격자 생성

- ◆ 내부 유동 해석 영역에 Tetra 위주 격자 생성
 - 전체 48,208,053 개

	Name	TYPE	Num.Elem
84	top_cap_fluid_suction	internal	62976
85	fluid_discharge	fluid	8083288
86	fluid_extrude	fluid	163322
87	fluid_leak1	fluid	1116051
88	fluid_leak2	fluid	1556179
89	fluid_leak3	fluid	1556131
90	fluid_pipe1	fluid	68646
91	fluid_pipe2	fluid	65586
92	fluid_rotating1	fluid	4816215
93	fluid_rotating2	fluid	4791112
94	fluid_rotating3	fluid	4791623
95	fluid_stationary1	fluid	6778994
96	fluid_stationary2	fluid	6785822
97	fluid_stationary3	fluid	6831056
98	fluid_suction	fluid	804028

임펠러와 디퓨저 영역에
전체 격자의 72%

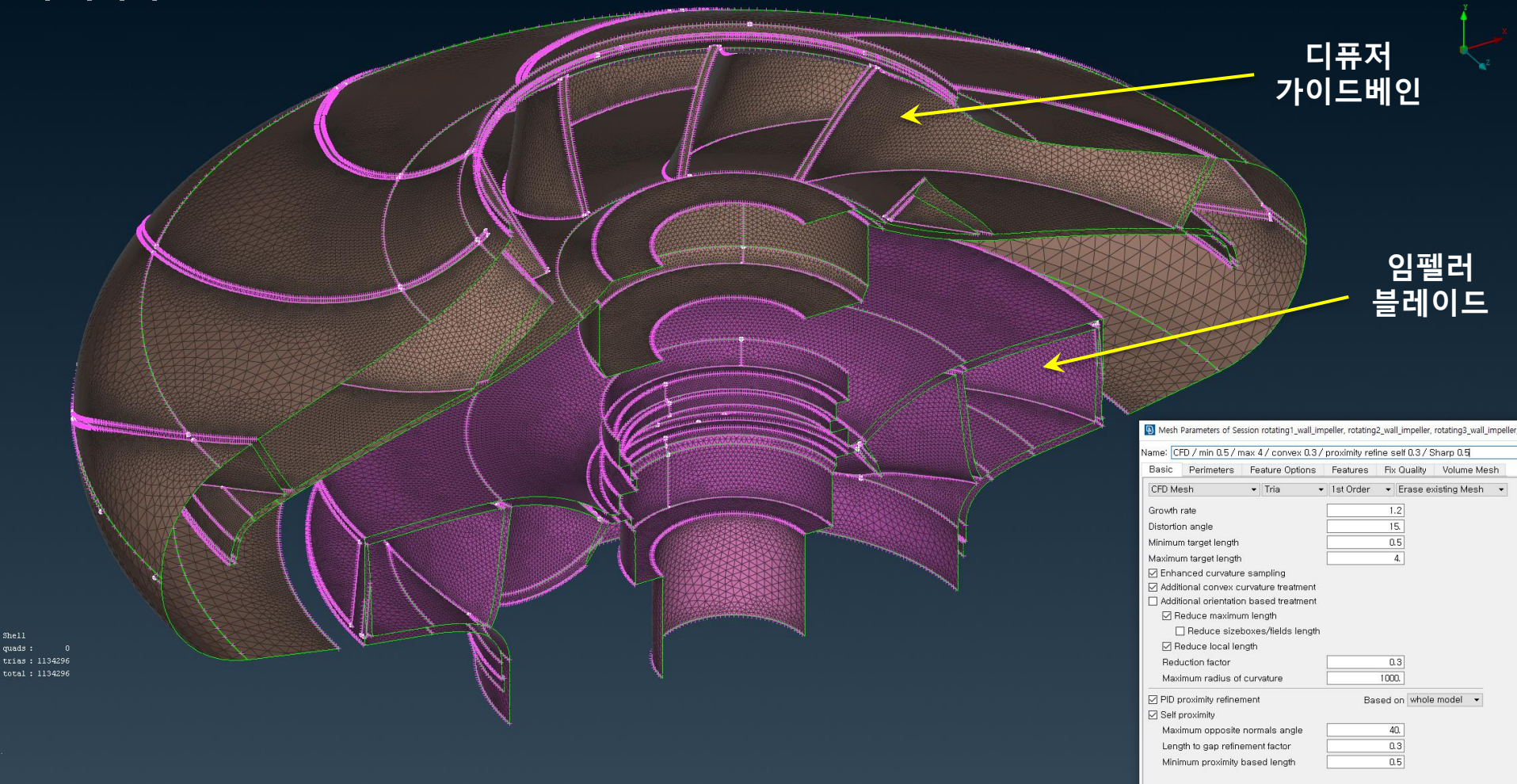


Shell
quads : 19060
trias : 4990022
total : 5009082

Volume
tetras : 37945535
pentas : 10225821
hexas : 36232
pyramids : 465
total : 48208053

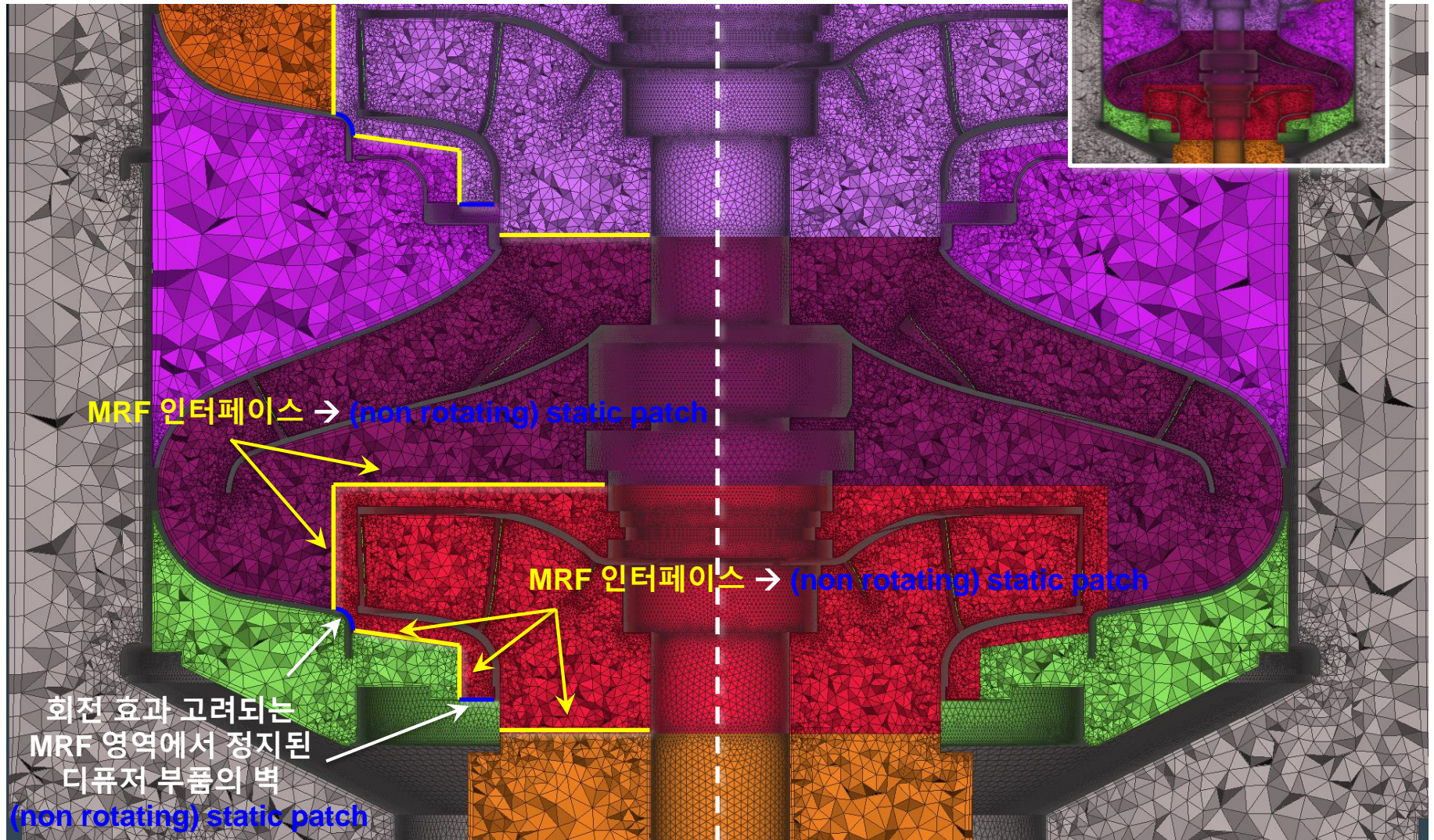
주요 형상 표면 격자 (임펠러, 디퓨저)

- ◆ 임펠러 블레이드, 디퓨저 베인 두께 1.5 mm
 - 최소 0.5 mm ~ 최대 4.0 mm 설정 (가장 작은 형상에 3개 이상의 격자 분포)



주요 형상 체적 격자 (임펠러, 디퓨저)

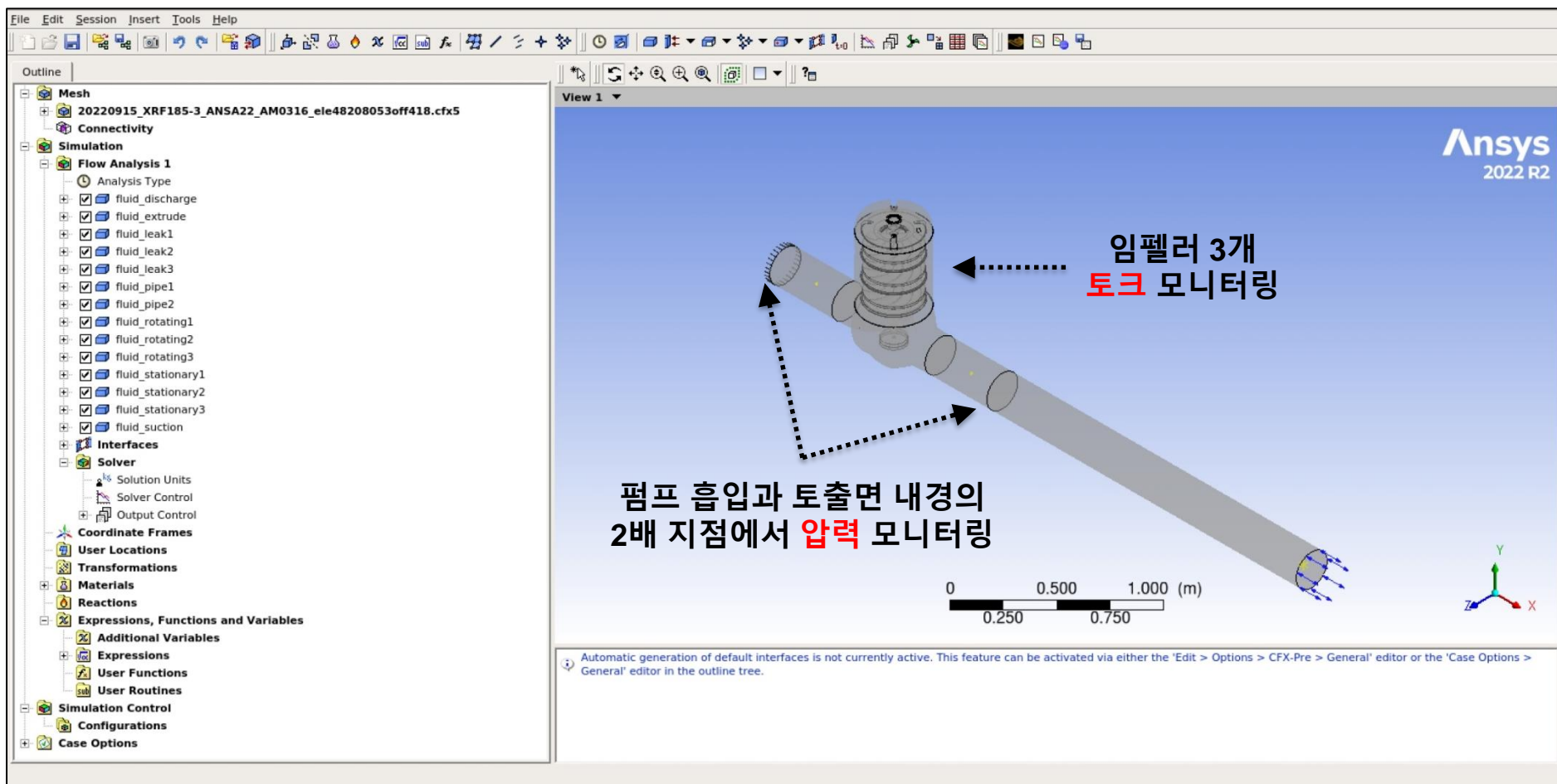
◆ 임펠러~디퓨저 유로가 3번 반복됨 (MRF 인터페이스)



정상상태 유동해석 설정 (상용 S/W)

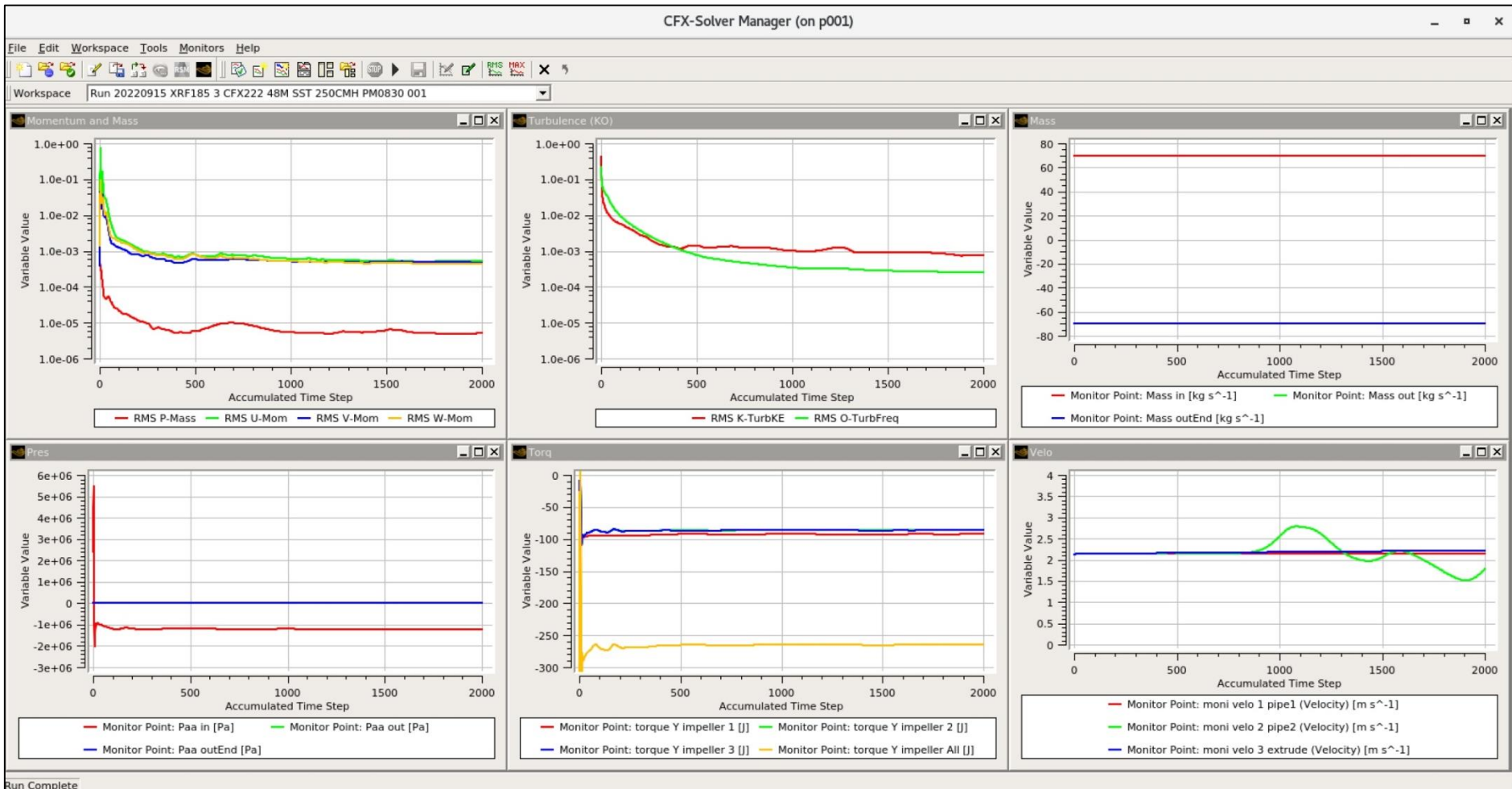
- ◆ 난류모델 : SST
- ◆ 경계조건 : 입구면 질량유량, 출구면 상대압력
- ◆ 회전조건 : Frozen rotor (3,600 rev/min +Y축)

ANSYS CFX 2022 R2

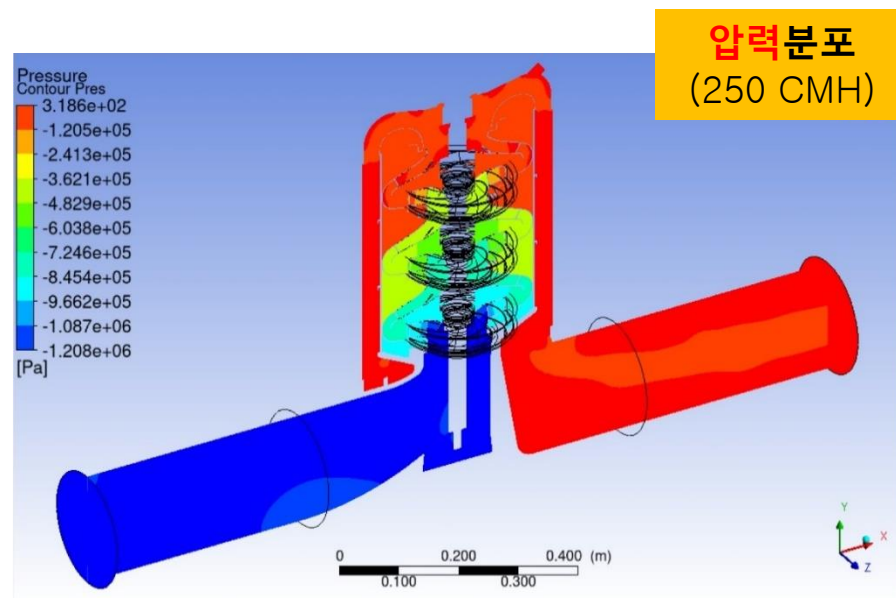
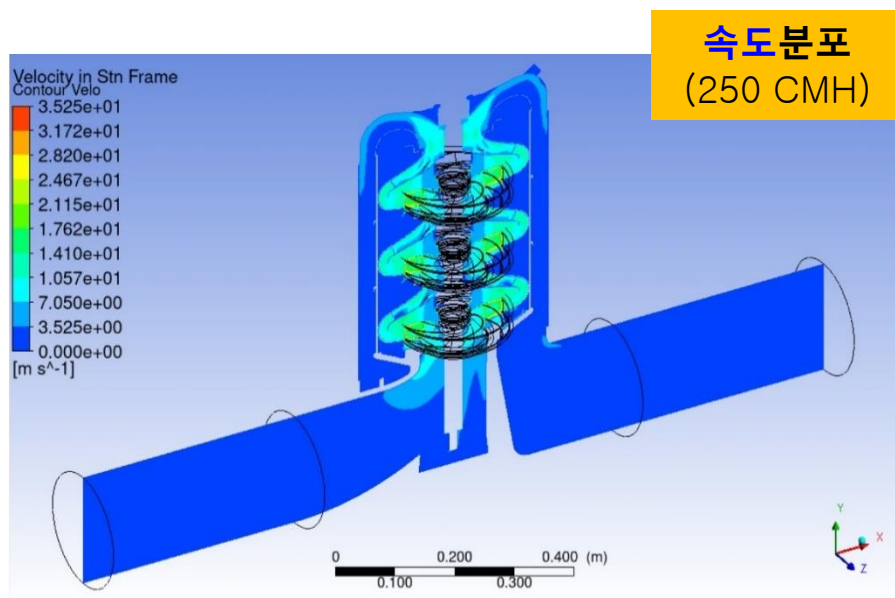


정상상태 유동해석 모니터링 (상용 S/W)

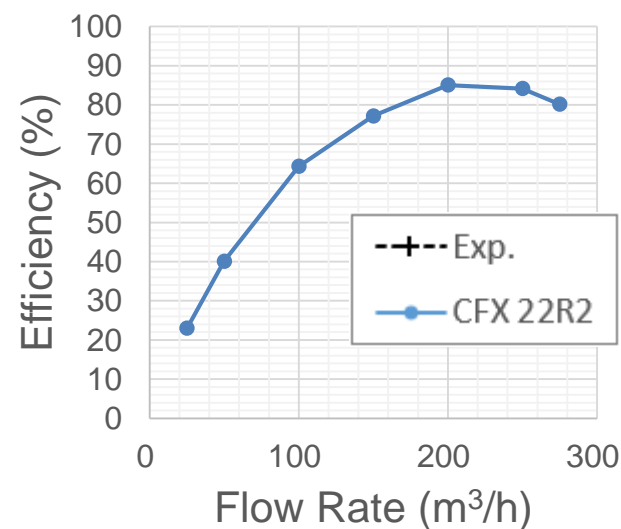
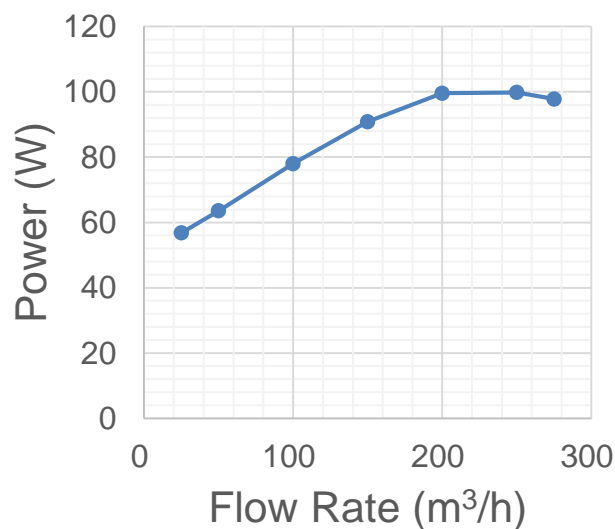
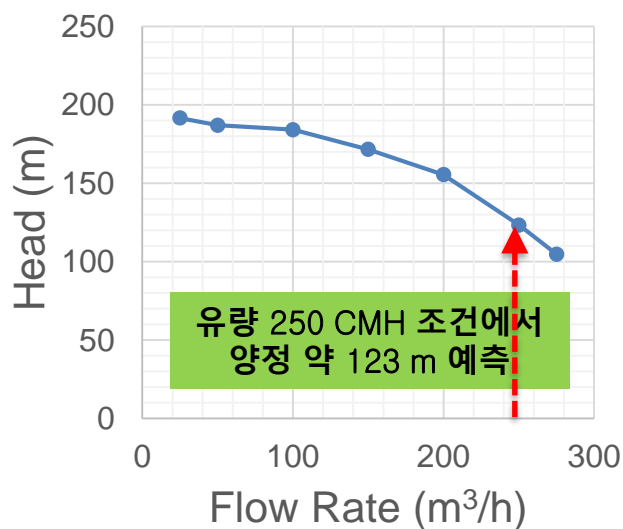
- ◆ 계산시간 : 1,000 스텝당 3~4시간 소요 (100 코어 병렬해석 w/ 제온 골드 6230)
- ◆ 펌프 흡입~토출 기준면에서 **압력 상승**, 임펠러 3개에 작용하는 **토크** 모니터링



정상상태 펌프성능 예측결과 (상용 S/W)



(실험값은 회사 보안상 그래프에서 제거함)



공개 S/W 설치 (OpenFOAM 6, Baram 6.4)

◆ 넥스트폼 홈페이지에서 오픈폼6(Solver), 바람6.4(GUI) 설치



로그인 | 회원가입 | English

CFD컨설팅

PRODUCTS

EDUCATION

NEXTfoam

NEXTFOAM
CFD Engineering Consulting



NEXTFOAM ▾

OpenFOAM ▾

설치

OpenFOAM 이란?

설치

OpenFOAM 예제

OpenFOAM은 넥스트폼에서 제공하는 설치 파일을 이용해 손쉽게 설치가 가능하다. 아래 설치 파일을 이용하여 OpenFOAM을 설치하기 위해서는 CentOS 또는 Ubuntu 환경이 필요하다.

아래는 각 버전 별 OpenFOAM 설치파일이다.

- OpenFOAM6 (클릭)
- OpenFOAM9 (클릭)
- OpenFOAM v2112 (클릭)

< 출처 >

1. 넥스트폼 홈페이지 (<https://www.nextfoam.co.kr/foam-Install.php>)

공개 S/W 설치 (OpenFOAM 6, Baram 6.4)

◆ 넥스트폼 홈페이지에서 오픈폼6(Solver), **바람6.4(GUI)** 설치



로그인 | 회원가입 | English

CFD컨설팅

PRODUCTS

EDUCATION

NEXTfoam



Introduction

Release history

Tutorials

Q & A

해석사례

BARAM은 OpenFOAM® 기반의 압축성, 비압축성 유동 및 열전달 해석을 위한 CFD 프로그램 패키지로, 넥스트폼이 GNU GPL 라이선스를 적용하여 공개한 오픈소스 프로그램입니다. 또한 standard solver의 성능을 개선한 넥스트폼 전용 solver와 넥스트폼이 개발한 압축성 solver를 제공합니다.

OpenFOAM®은 오픈소스라는 커다란 장점을 가지고 있지만 Linux OS와 command-line interface를 기반으로 작동하기 때문에 사용상의 불편한 점이 있습니다. 또한 text script를 이용한 격자 생성, 경계 조건 및 해석 조건 설정은 기존의 상용 CFD solver를 이용했던 사용자들에겐 번거로운 작업입니다. BARAM은 OpenFOAM®이 가지는 이러한 점을 개선하기 위해 개발되었습니다.

BARAM은 Graphical User Interface (GUI)를 포함하는 OpenFOAM®전용 프로그램 패키지입니다. OpenFOAM®에서 제공하는 pre/post-processing에 관련된 utility들을 포함하고 있고, 자체 post-processor 및 ParaView를 이용한 후처리 작업이 가능합니다. BARAM은 다양한 해석 모듈들을 지원하기 위한 확장성을 고려하여 개발하였기 때문에 OpenFOAM® solver와 utility들의 추가가 용이하며, 고객이 원하는 전용 패키지 프로그램 제작이 가능합니다.

Download BARAM-v6.4.6(Linux)

Download BARAM-v6.4.6(Window)

윈도우에서 BARAM 을 다운로드 하는 경우 설치가이드(클릭)를 확인해주시길 바랍니다.

BARAM설치가이드

< 출처 >

1. 넥스트폼 홈페이지 (<https://www.nextfoam.co.kr/pd-Baram.php>)

OpenFOAM 해석용 격자 생성

◆ 일부 상용 전처리 S/W 에서 오픈폼 격자 생성 지원

The screenshot displays the ANSYS V22.1.3 software interface. The 'Output' menu is open, and 'OPENFOAM' is highlighted. The background shows a 3D model of a mechanical part with a mesh. The left panel lists various components, and the right panel shows mesh generation options.

Name	TYPE	Num.Elem	USE_IN
1 discharge_interface_pipe2	wall	1286	✓
2 discharge_interface_stationary3	wall	9464	✓
3 discharge_wall_casing	wall	715304	✓
4 discharge_wall_diffuser	wall	96362	✓
5 discharge_wall_seal	wall	8780	✓
6 discharge_wall_shaft	wall	5230	✓
7 extrude_interface_pipe2	wall	1286	✓
8 extrude_outlet	wall	1286	✓
9 extrude_wall	wall	10160	✓
10 leak1_interface_rotating1a	wall	9852	✓
11 leak1_interface_rotating1b	wall	15289	✓
12 leak1_wall_casing	wall	83857	✓
13 leak1_wall_diffuser	wall	60540	✓
14 leak2_interface_rotating2a	wall	9610	✓
15 leak2_interface_rotating2b	wall	15561	✓
16 leak2_wall_casing	wall	64530	✓
17 leak2_wall_diffuser	wall	148531	✓
18 leak3_interface_rotating3a	wall	9720	✓
19 leak3_interface_rotating3b	wall	15609	✓
20 leak3_wall_casing	wall	64446	✓
21 leak3_wall_diffuser	wall	148063	✓
22 pipe1_inlet	wall	1346	✓
23 pipe1_interface_suction	wall	1346	✓
24 pipe1_wall	wall	3876	✓
25 pipe2_interface_discharge	wall	1286	✓
26 pipe2_interface_extrude	wall	1286	✓
27 pipe2_wall	wall	4080	✓
28 rotating1_interface_leak1a	wall	10316	✓
29 rotating1_interface_leak1b	wall	15695	✓
30 rotating1_interface_stationary1a	wall	22819	✓
31 rotating1_interface_stationary1b	wall	21993	✓
32 rotating1_interface_suction	wall	9018	✓
33 rotating1_wall_impeller	wall	464536	✓
34 rotating1_wall_shaft	wall	4238	✓
35 rotating1_wallcr_diffuser	wall	22335	✓
36 rotating2_interface_leak2a	wall	10150	✓
37 rotating2_interface_leak2b	wall	15623	✓
38 rotating2_interface_stationary1	wall	8870	✓
39 rotating2_interface_stationary2a	wall	22879	✓
40 rotating2_interface_stationary2b	wall	21993	✓
41 rotating2_wall_impeller	wall	462640	✓
42 rotating2_wall_shaft	wall	4288	✓

Mesh Generation Options:

- AdvFront
- Free
- STL
- CFD
- 4 Sided
- Circular
- Remesh
- Erase
- Batch

Shell Mesh Options:

- Improve
- Fill
- Intersect
- Zone Cut
- Features
- Reduce

Elements Options:

- New
- Swap
- Split Quads
- Stitch
- Extrude
- Split
- Patch
- To Surface
- Vol Shell
- Release
- Freeze/Un
- Delete

Octree Options:

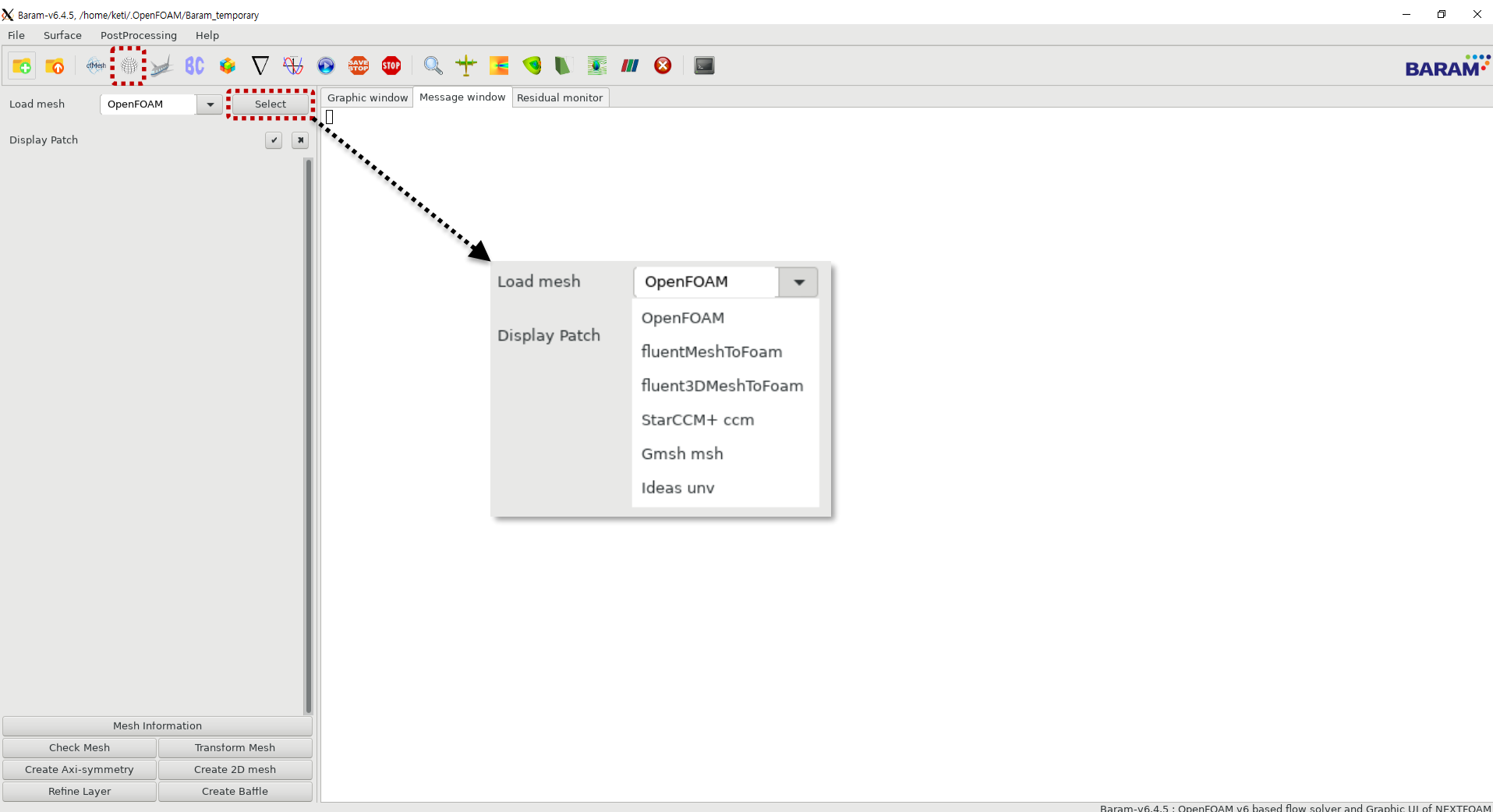
- Wrap
- HexXtreme
- Size field

Volumes Options:

- Define
- Set PID
- Map
- Mesh Volu
- Layers
- Extrude
- Improve
- Conv2Poly
- Replace C
- Remesh
- Erase
- Delete

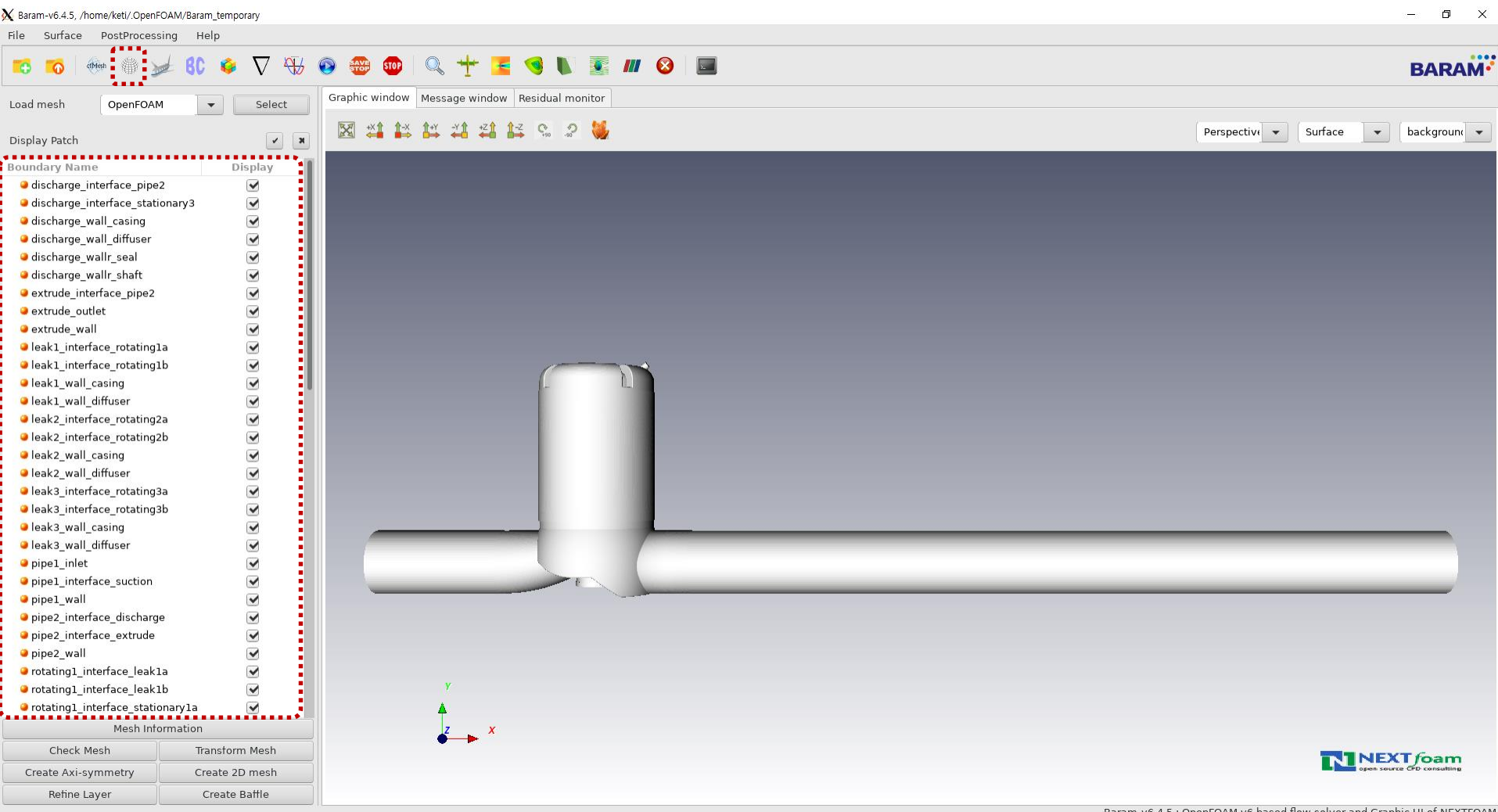
Baram 에서 격자 불러오기

◆ OpenFOAM, Fluent, Star-CCM+ 등 포맷 불러오기 가능



Baram 에서 격자 불러오기

◆ OpenFOAM 격자 파일 불러온 결과



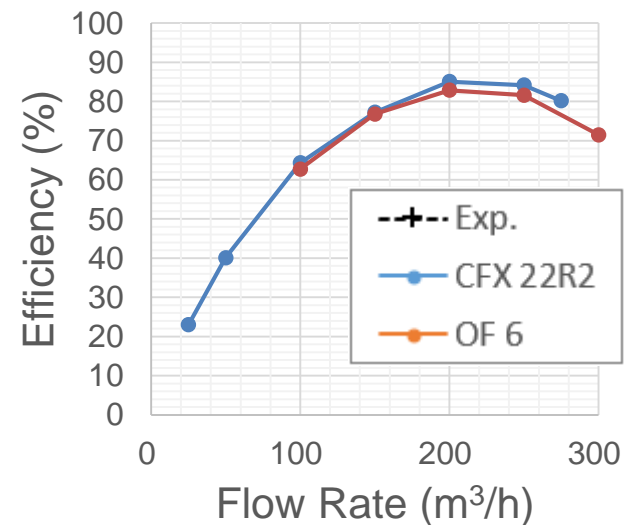
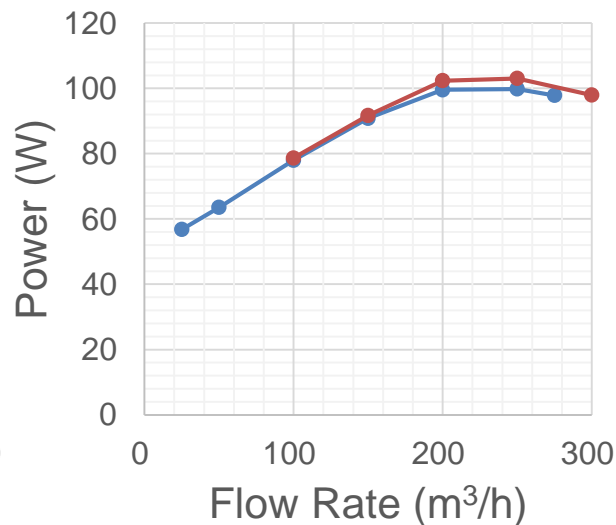
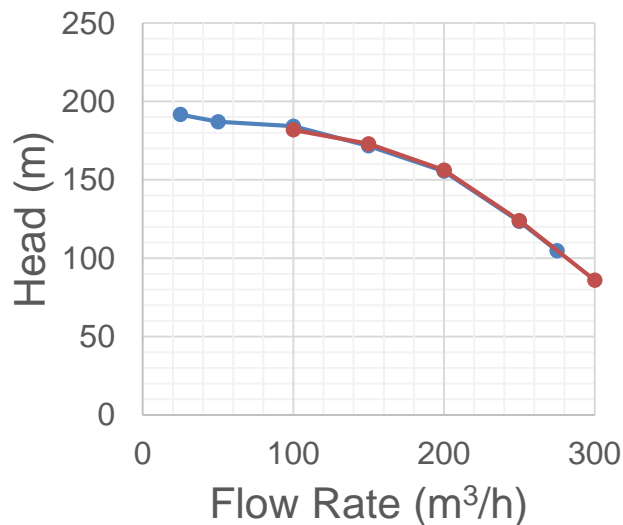
OpenFOAM 펌프 해석 설정 및 결과

- ◆ 난류모델 : SST
- ◆ 경계조건 : 입구면 법선속도, 출구면 상대압력
- ◆ 회전조건 : Frozen rotor (3,600 rev/min +Y축)

비교 대상인 상용 S/W
(CFX 22R2)와 가능한
유사한 설정

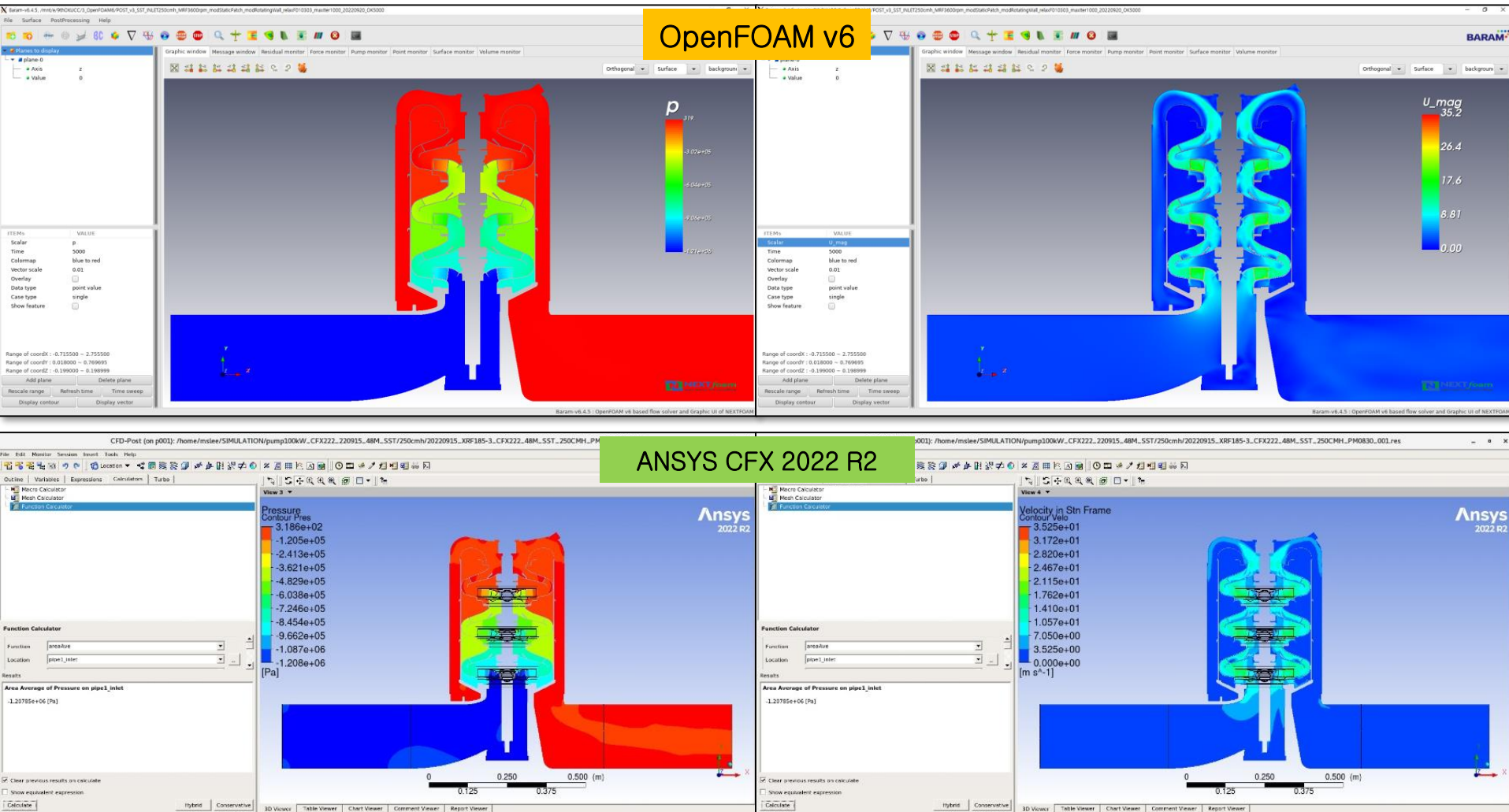
- ◆ 계산시간 : 1,000 스텝당 약 1시간 소요 (200 코어 병렬해석 w/ 제온 골드 6230)
- ◆ 설계점의 경우 약 5,000 스텝 수준에서 수렴하지만, 유량이 감소하는 운전점으로 갈수록 하향완화계수 조정이 필요하고 10,000 스텝 이상에서 수렴됨

- ◆ OpenFOAM v6 해석 결과, 실험값 및 상용 S/W (ANSYS CFX 2022 R2)의 해석값과 유사하게 펌프 성능을 예측함 (실험값은 회사 보안상 그래프에서 제거함)



상용 S/W 와 공개 S/W 의 펌프 해석 결과 비교

- ◆ CFX 22R2 와 OF 6 의 정상상태 해석 결과 유사한 압력 및 속도 분포를 보여줌
- ◆ 5천만개 수준 격자에서도 섹션플랏 등 간단한 후처리 기능이 Baram v6에서 잘 됨



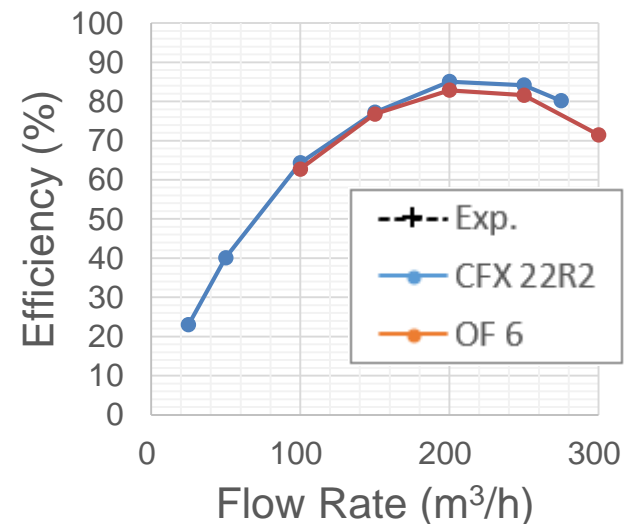
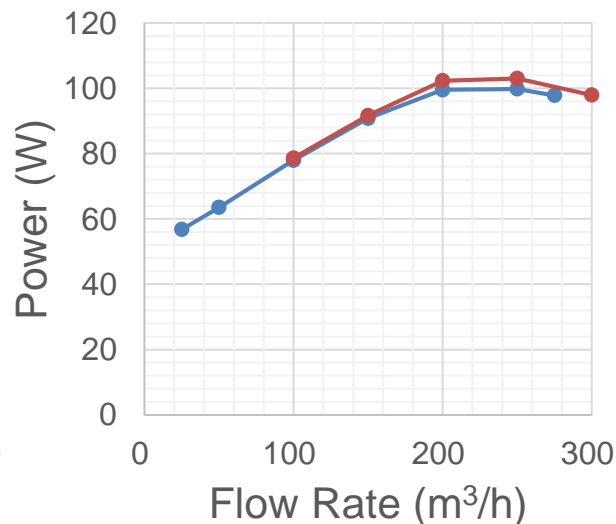
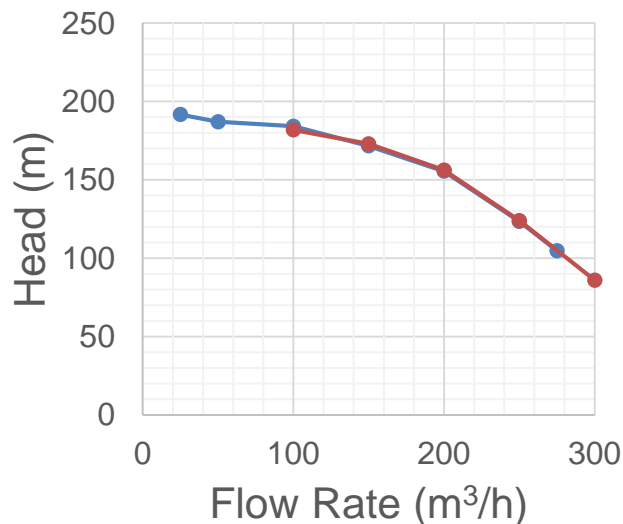
개발 업무에서 활용성 비교 (상용 vs 공개 S/W)

◆ 상용 S/W (ANSYS CFD)

- 다양한 물리현상에 대한 **상대적으로 강건한 해석 능력** 장점
- 현실적인 업무를 위해 솔버와 병렬해석 라이선스 모두 필요 → **2억원 이상**

◆ 공개 S/W (OpenFOAM)

- 다양한 물리현상에 대해 함께 풀기 어려움 → 계속 개선중임
- 특정 물리현상에 **전문화된 솔버 이용이 적절함** (비압축성 유동해석 양호)
- 솔버 및 GUI **커스터마이징, 문서화, 기술지원 등에 적절한 자문비가 필요**
- S/W 사용자화 및 기술지원으로 제품 개발에 필요한 해석 노하우 확보되면, 직접 H/W(리눅스 클러스터) 구축 혹은 클라우드 HPC 이용해 업무 활용 가능

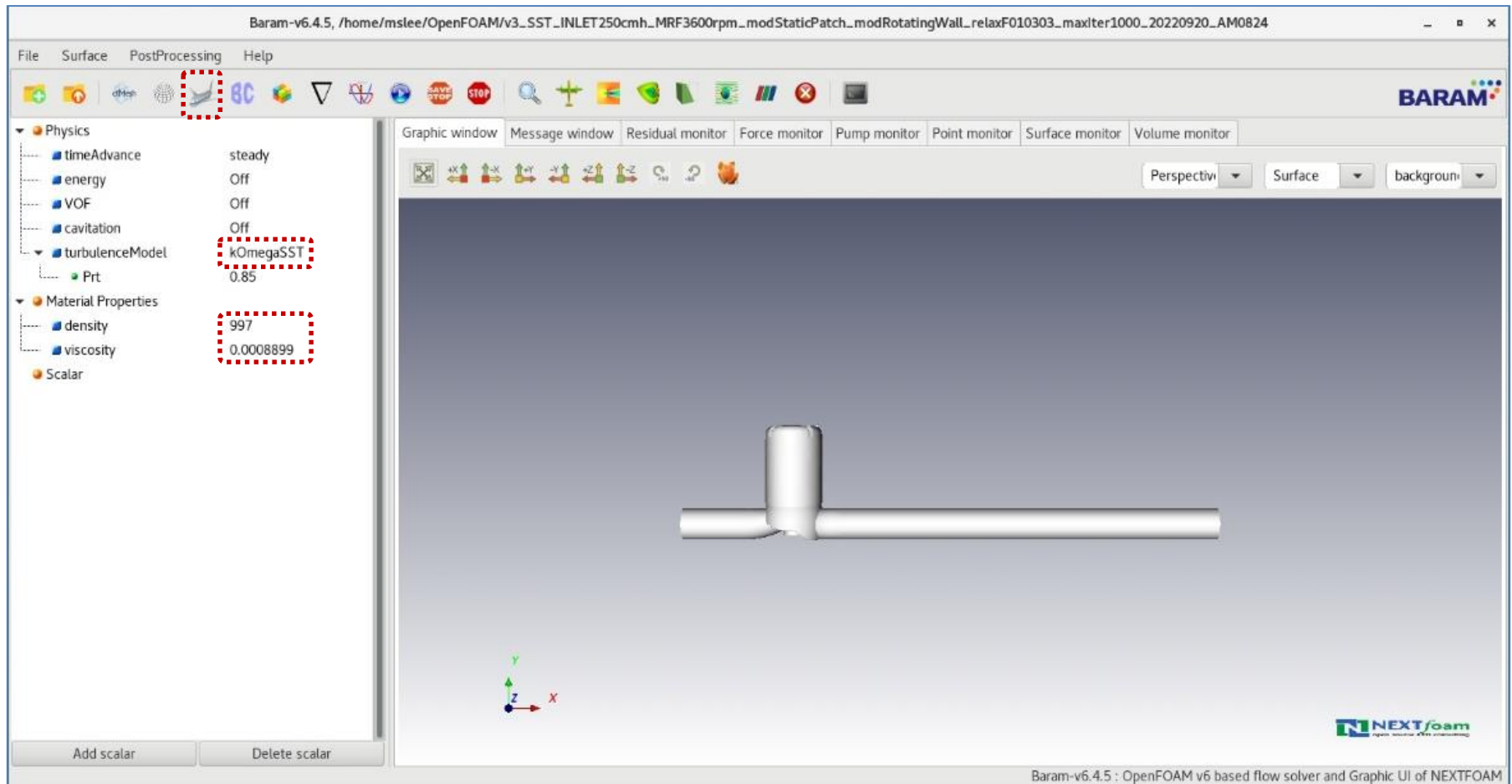


감사합니다

부록

Flow Conditions

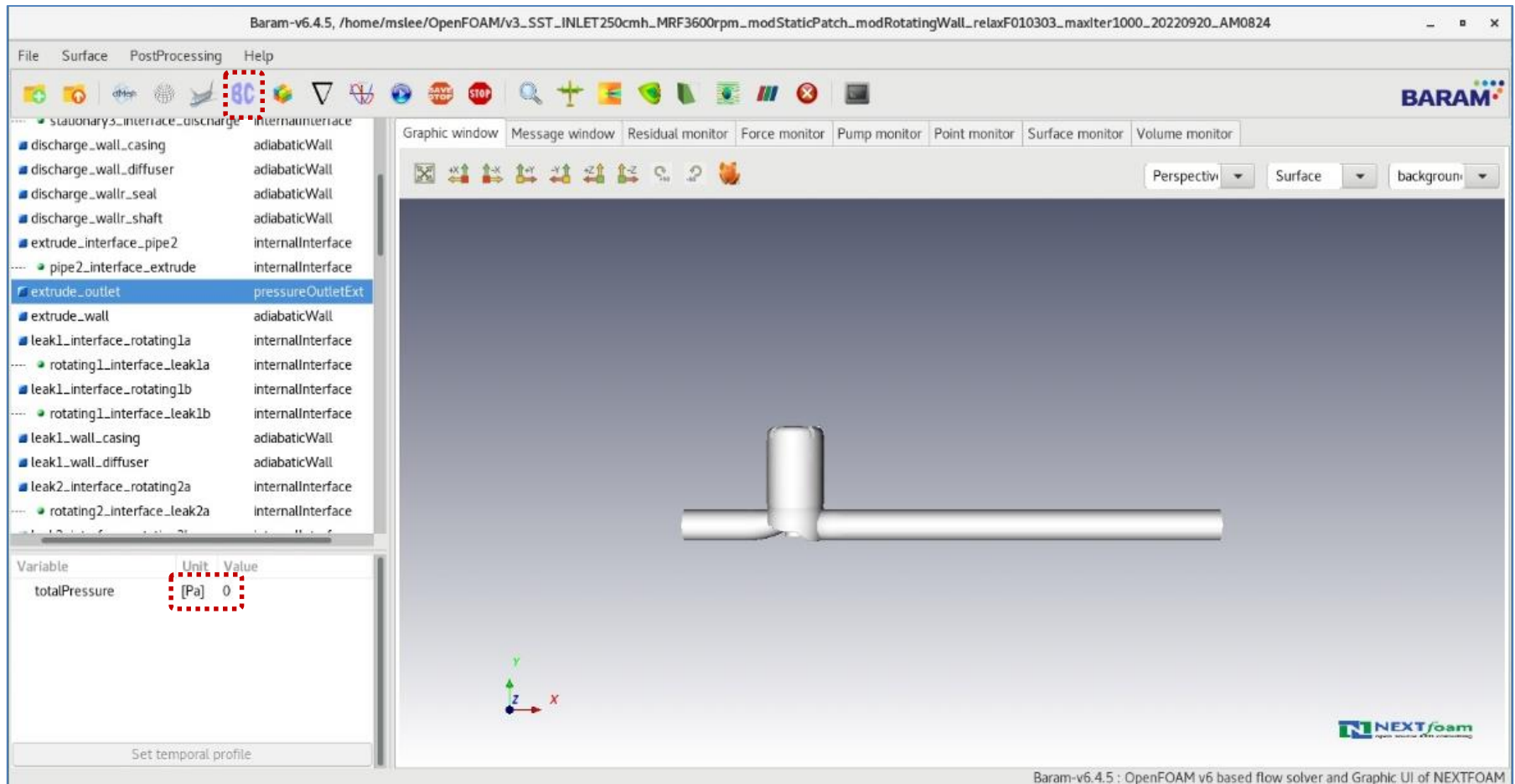
- ◆ 먼저 격자를 만들거나 불러와야 이후 세팅을 할 수 있음
 - 난류 모델, 밀도, 점도 설정
 - SST 난류모델보다 k-Eps 모델이 수렴이 잘 되므로 먼저 시도하기



Boundary Conditions

◆ 출구 경계면

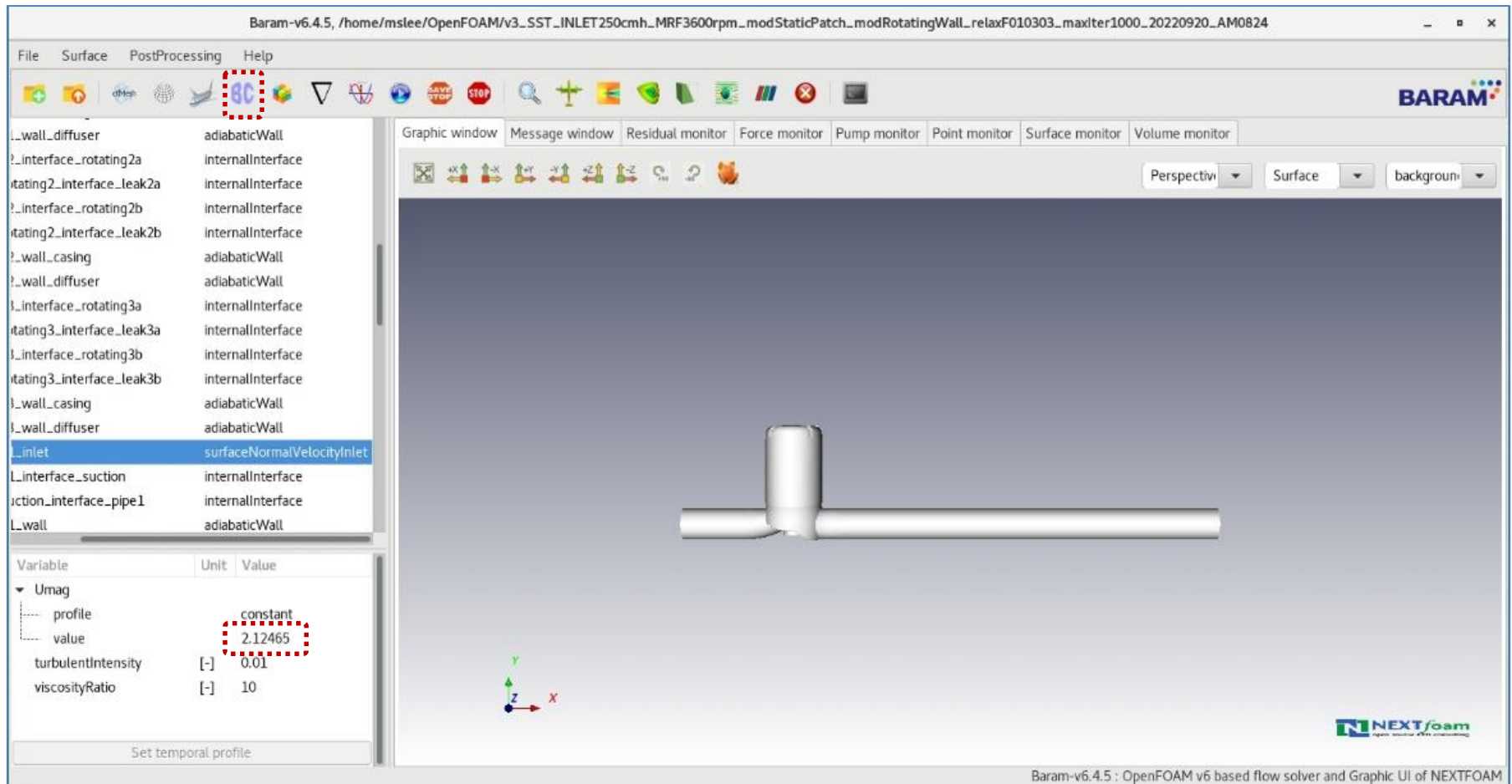
➤ 전압 = 0 Pa



Boundary Conditions

◆ 입구 경계면

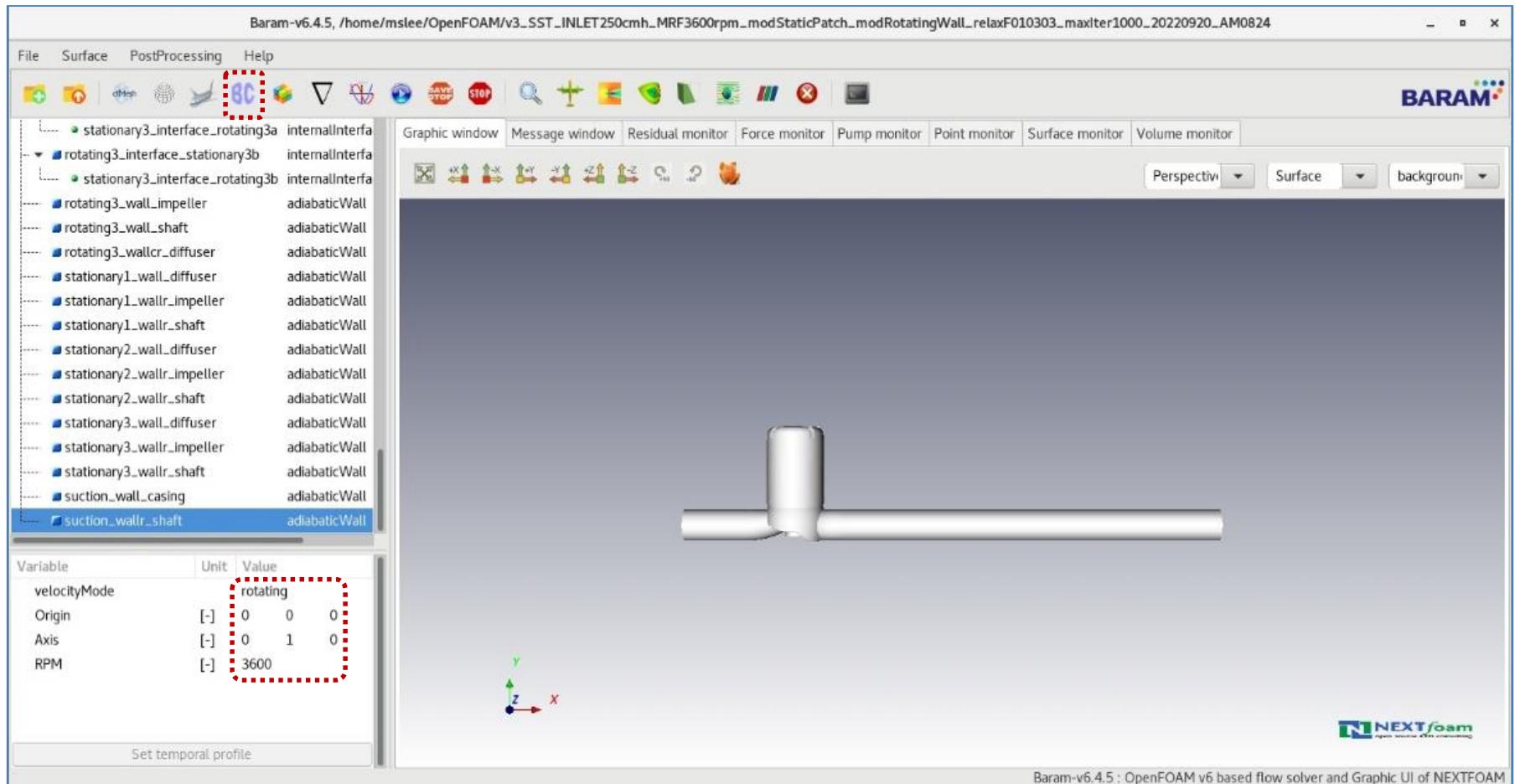
➤ **법선속도** : 유량에 맞게 [m/s] 단위로 (= 체적유량 / 입구면적)



Baram-v6.4.5 : OpenFOAM v6 based flow solver and Graphic UI of NEXTFOAM

Boundary Conditions

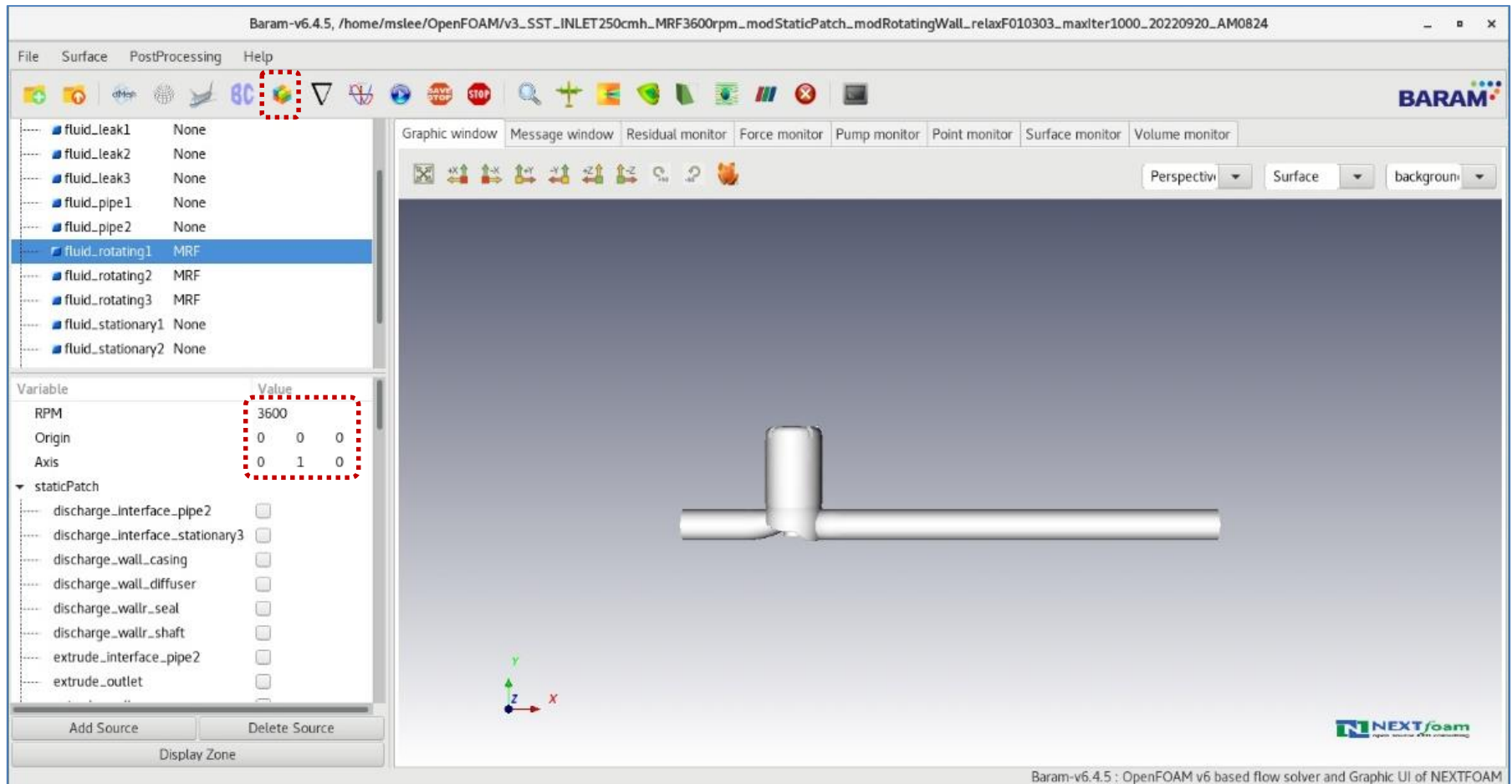
- ◆ 회전하는 벽 (MRF 셀존 아닌 영역에 있는 회전하는 벽 : 샤프트 등)
 - **회전조건**으로 변경(noslip → rotating) : 회전 중심, 회전 축, 회전 속도 입력



Cell Zone Conditions

◆ 임펠러 회전을 고려하기 위한 셀존 설정

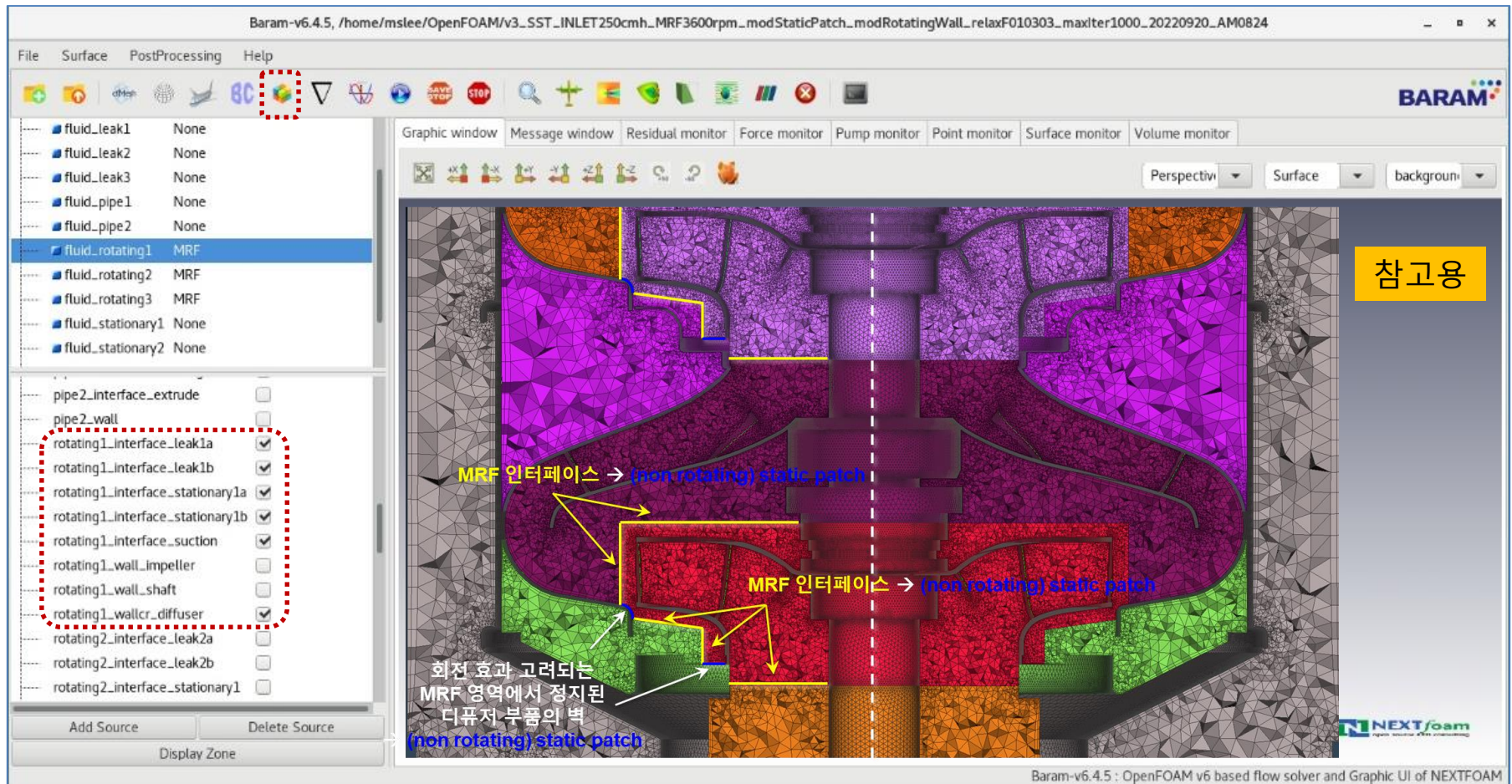
➤ 회전속도, 회전중심, 회전축



Baram-v6.4.5 : OpenFOAM v6 based flow solver and Graphic UI of NEXTFOAM

Cell Zone Conditions

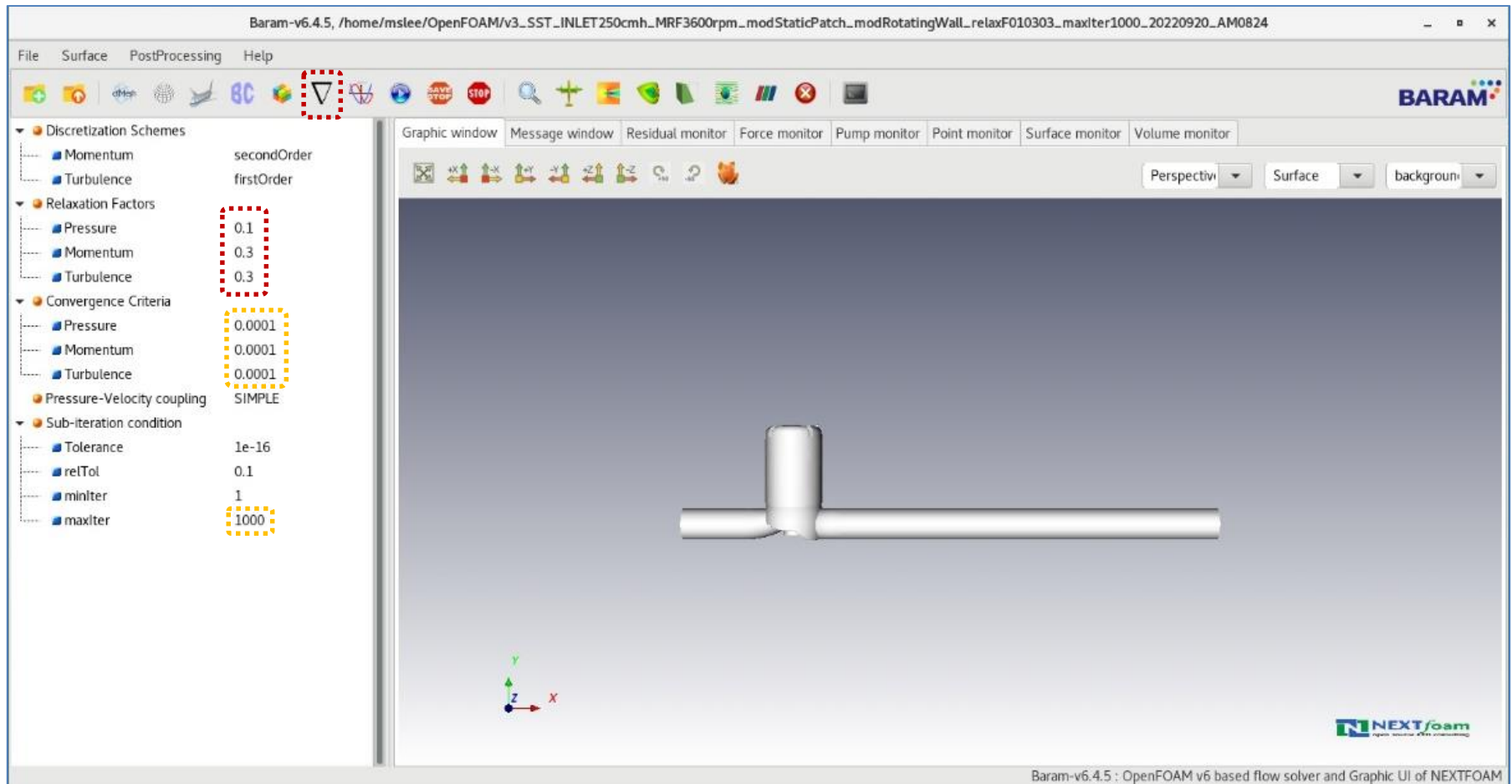
- ◆ MRF 셀존 내부에 회전하지 않는 벽 (Non-rotating Static patch)
 - MRF 인터페이스, 디퓨저 벽



Numerical Conditions

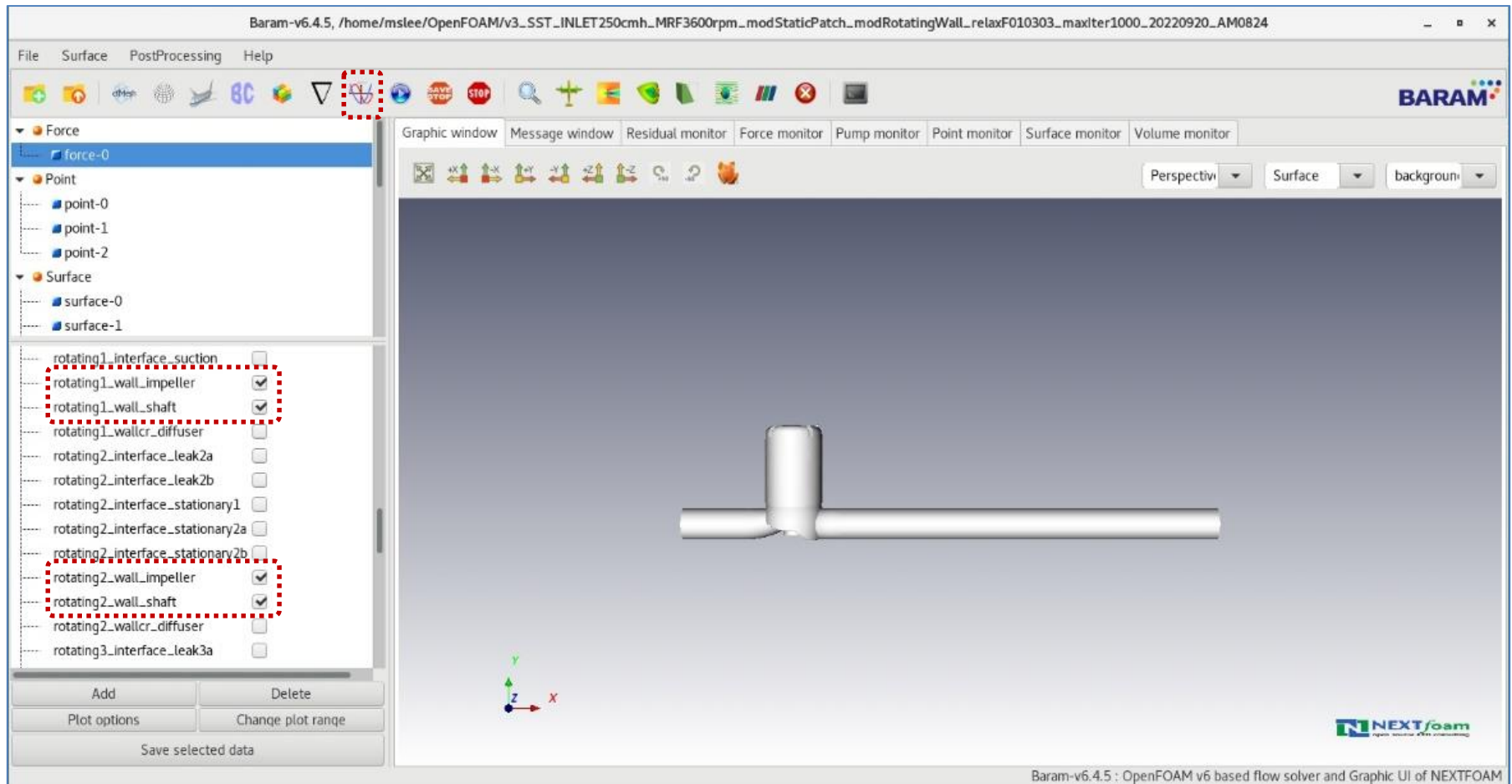
◆ 이산화, 하향완화계수, 수렴판정 설정

- 형상의 복잡성에 따라 **하향완화계수 적절하게 작게 조정하여** 수렴시킴



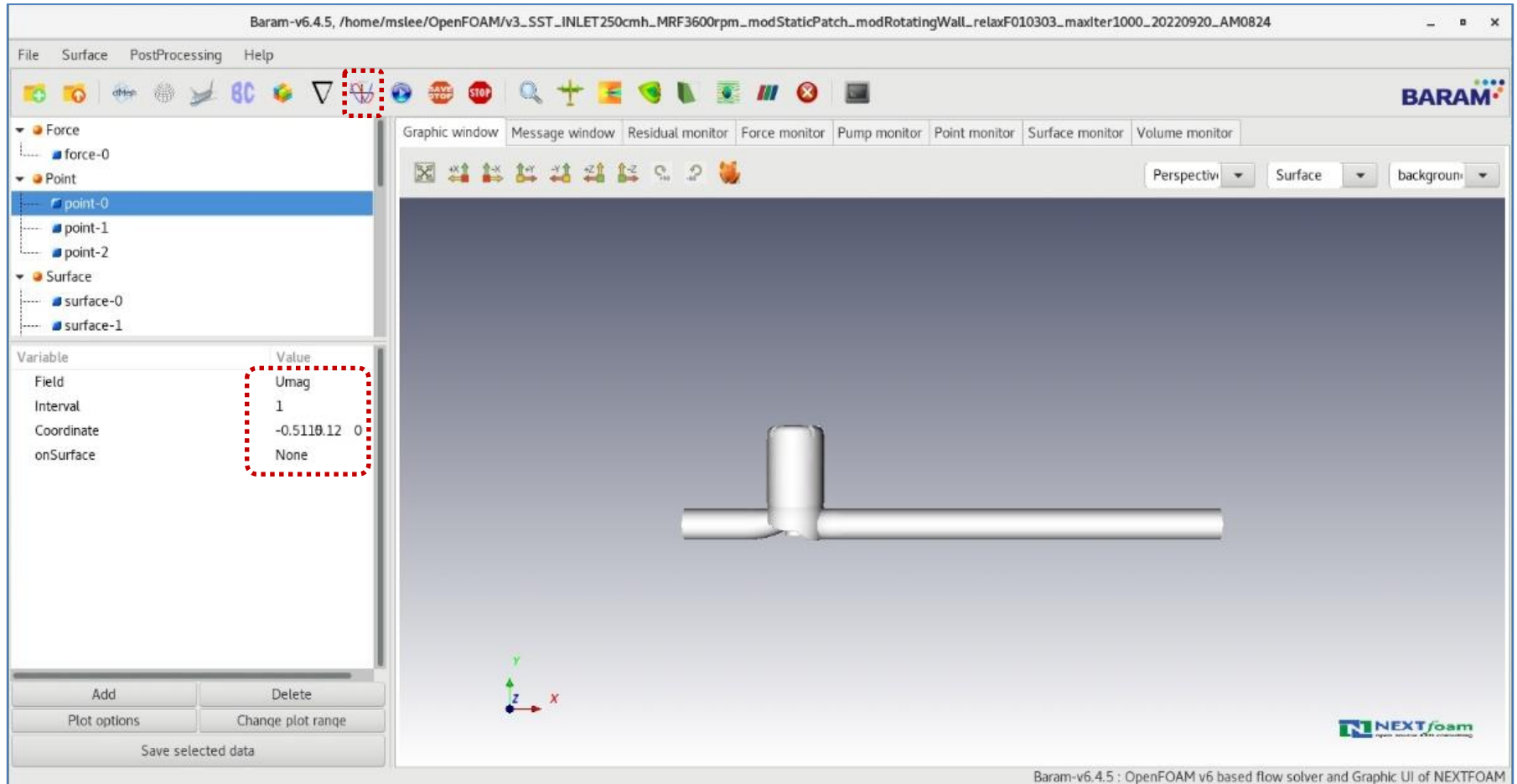
Monitoring

- ◆ 임펠러에 작용하는 힘 (수직응력, 전단응력)
 - Force : 임펠러 축방향 힘 혹은 반경방향 힘 모니터링
 - Moment : **임펠러 토크** 모니터링 → 축동력(토크X각속도) 계산용



Monitoring

- ◆ 특정지점 속도, 압력 등
 - 입구 경계조건 값(속도)이 잘 적용됐는지 확인 가능

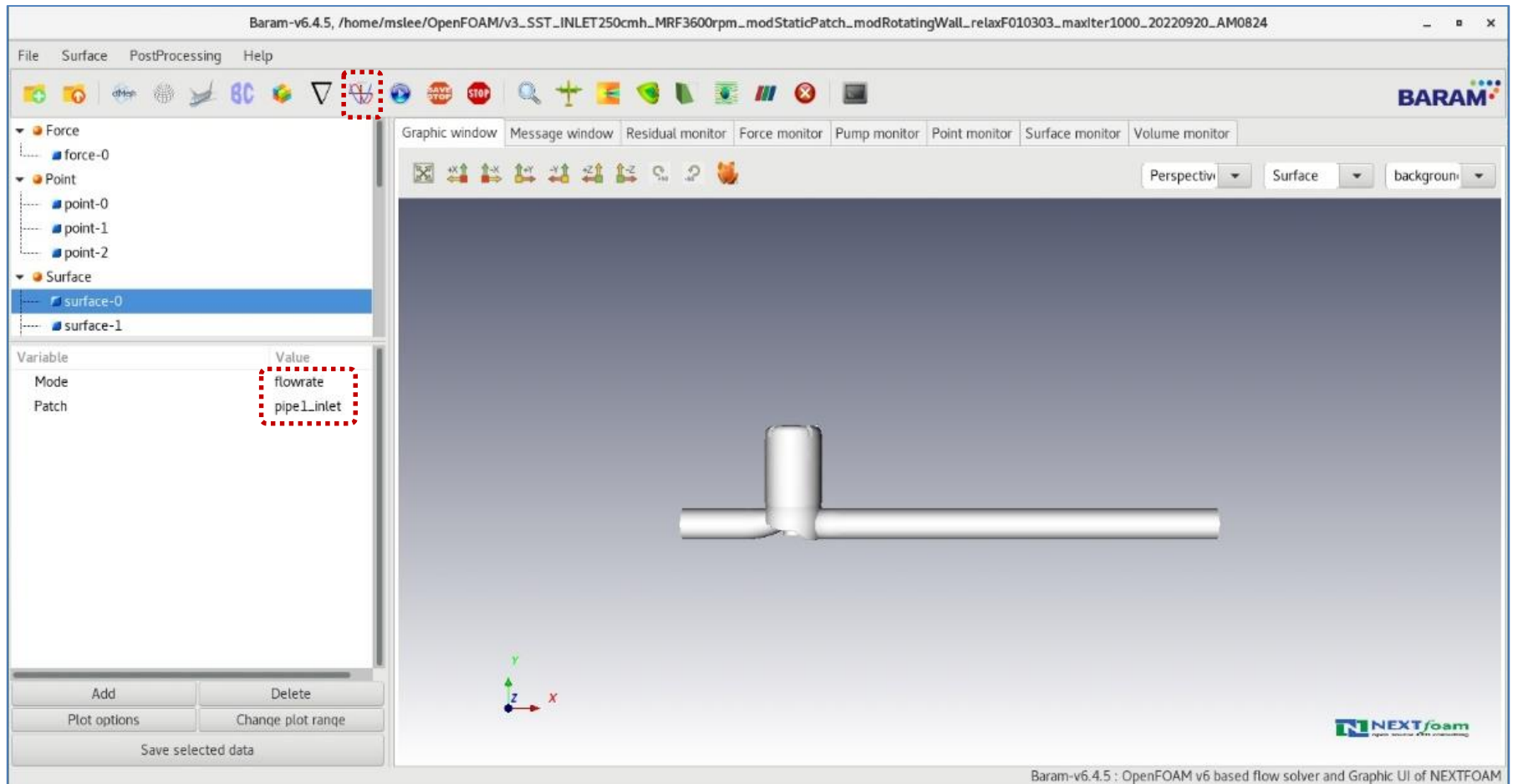


Baram-v6.4.5 : OpenFOAM v6 based flow solver and Graphic UI of NEXTFOAM

Monitoring

◆ 특정면 유량

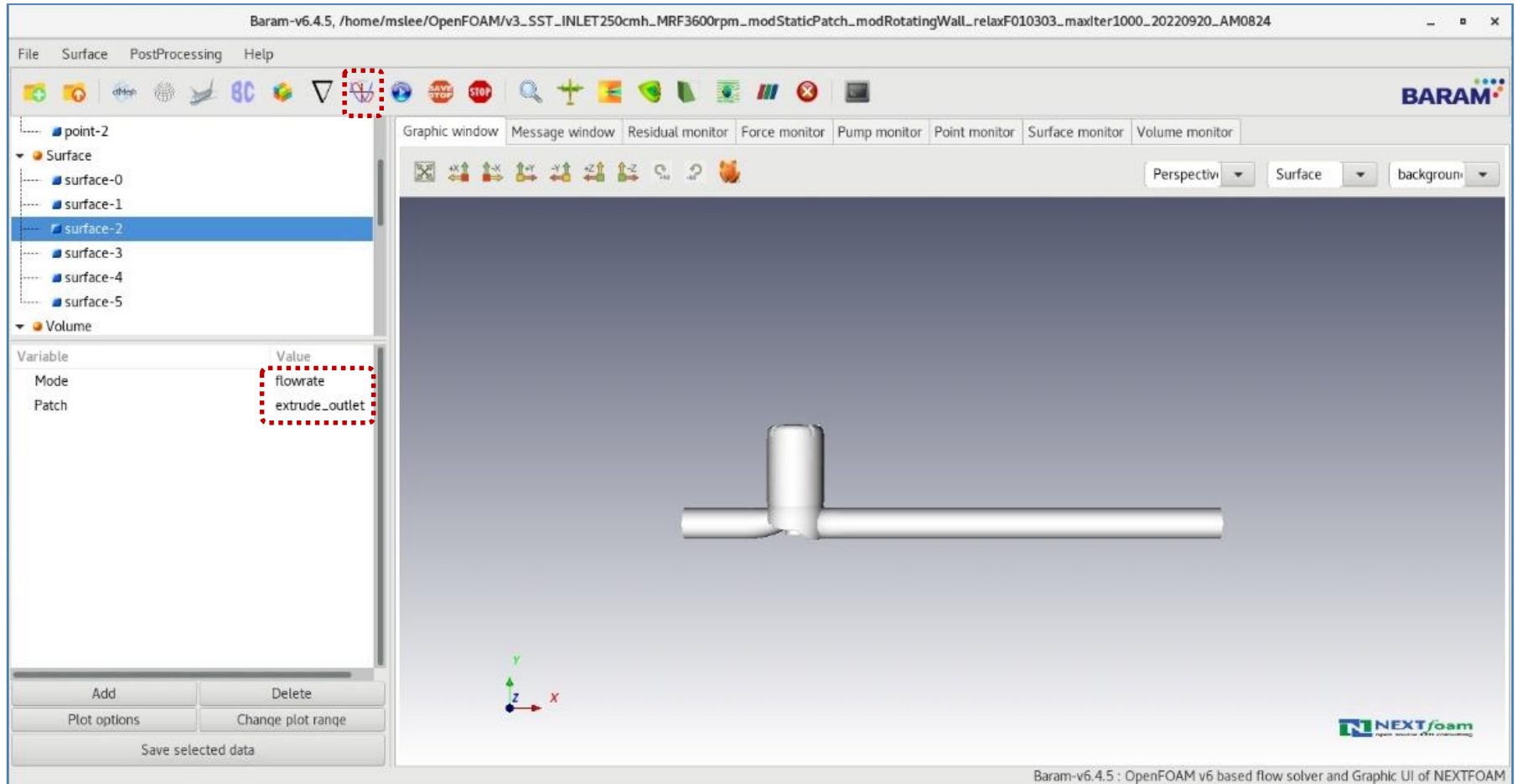
➤ 입구면과 출구면의 유량 모니터링하여 **질량보존** 모니터링



Monitoring

◆ 특정면 유량

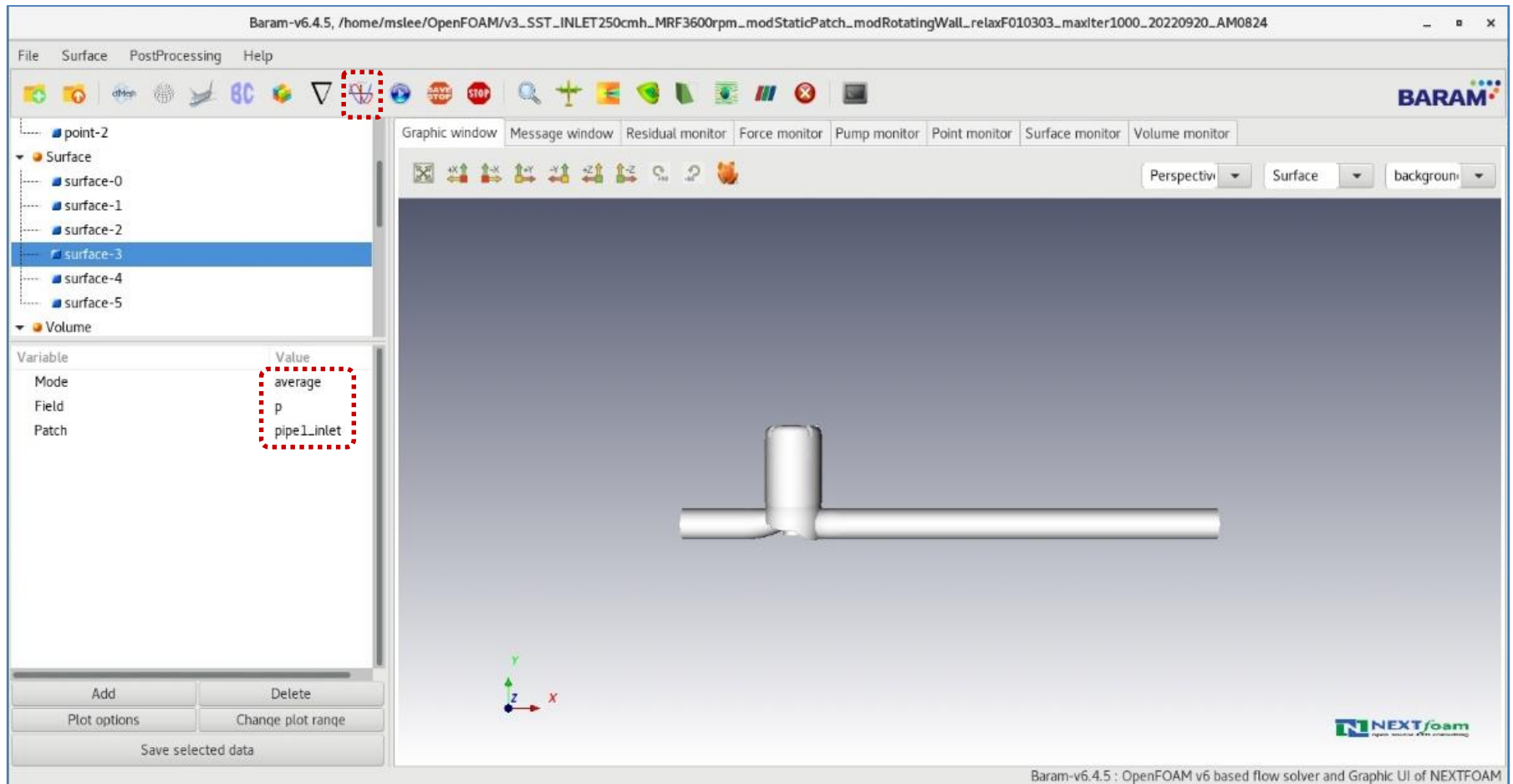
- 입구면과 출구면의 유량 모니터링하여 질량보존 모니터링



Monitoring

◆ 특정면 압력

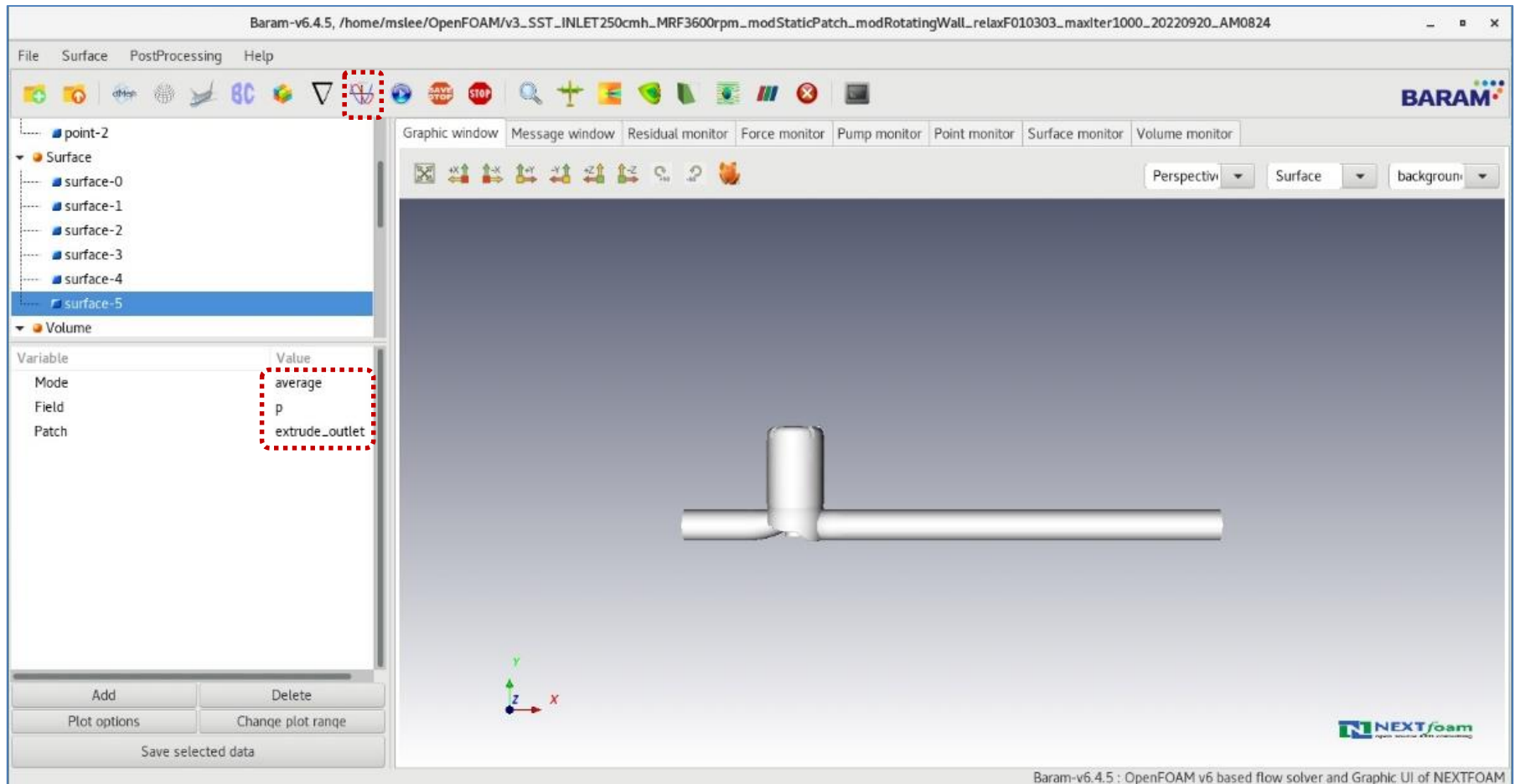
- 입구면과 출구면의 평균 압력 모니터링하여 펌프 압력상승(양정) 모니터링



Monitoring

◆ 특정면 압력

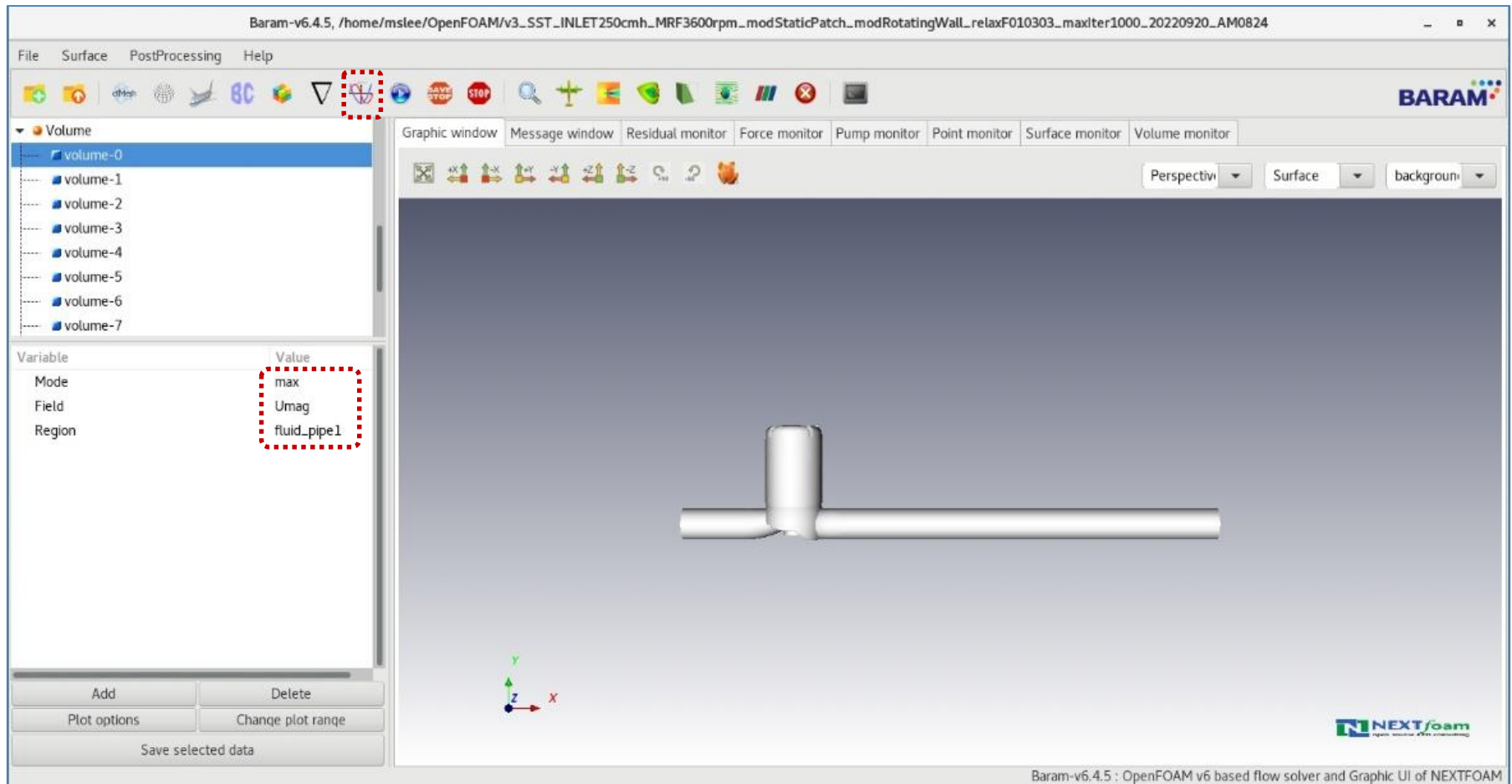
- 입구면과 출구면의 평균 압력 모니터링하여 펌프 압력상승(양정) 모니터링



Monitoring

◆ 셀존 최대속도

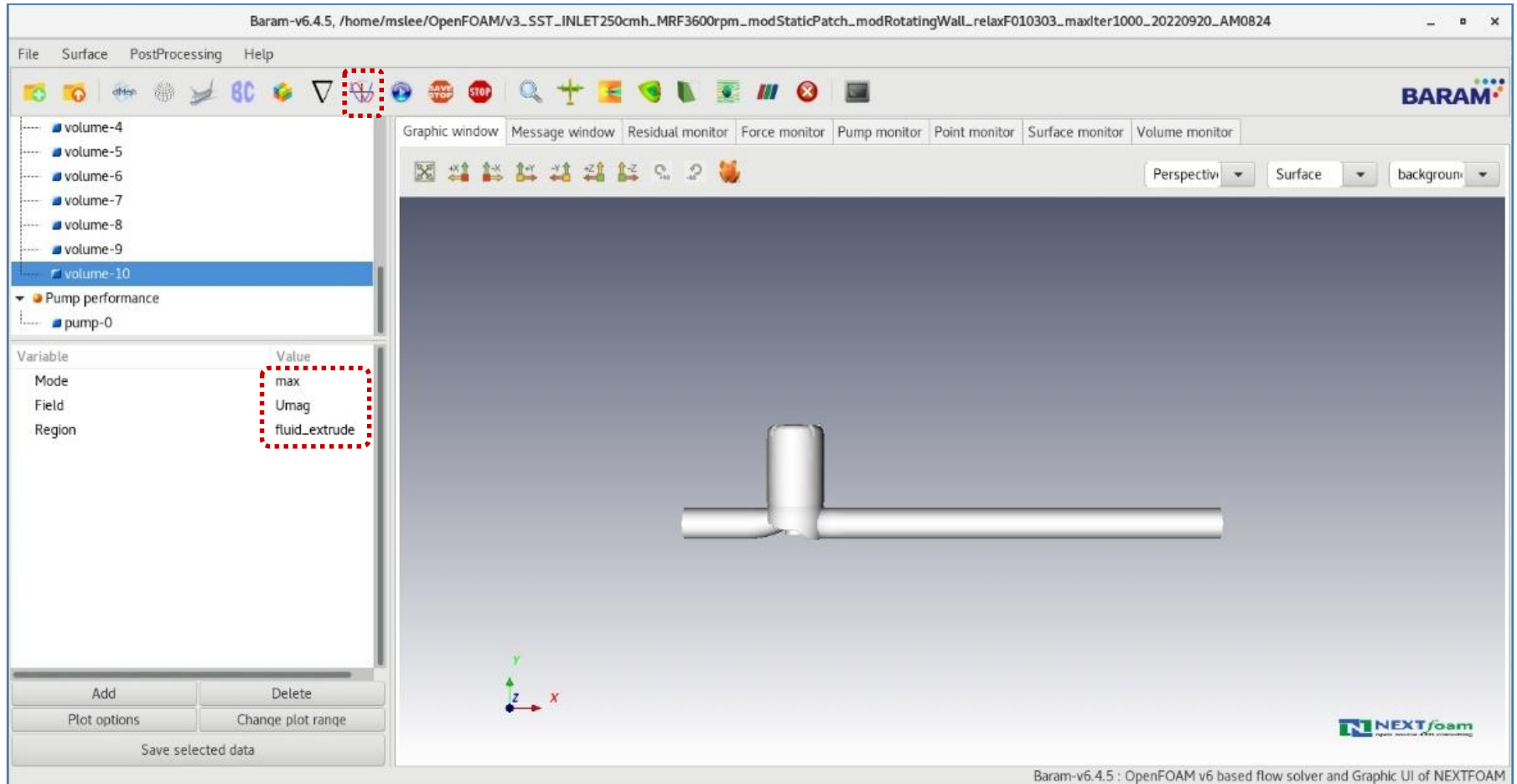
- 셀존 별로 최대속도 크기 모니터링 → 계산 수렴성 모니터링
- 최대속도 값이 예상한대로 나오는지? (펌프 해석 경우, 임펠러 팁 원주속도)



Monitoring

◆ 셀존 최대속도

- 셀존 별로 최대속도 크기 모니터링 → 계산 수렴성 모니터링
- 최대속도 값이 예상한대로 나오는지? (펌프 해석 경우, 임펠러 팁 원주속도)



Monitoring

- ◆ 펌프 해석 전용 모니터링 (사용자화를 위한 **자문 결과물**)
 - 임펠러 **회전속도**[rad/s], 입구 **체적유량**[m³/s] 입력
 - 펌프 압력 상승 기준면 설정 (펌프 **흡입 & 토출면**)

Baram-v6.4.5, /home/mslee/OpenFOAM/v3_SST_INLET250cmh_MRF3600rpm_modStaticPatch_modRotatingWall_relaxF010303_maxiter1000_20220920_AM0824

File Surface PostProcessing Help

Graphic window Message window Residual monitor Force monitor Pump monitor Point monitor Surface monitor Volume monitor

Perspectiv Surface background

Variable Value

Reference Density [kg/m³]	997
Impeller Speed [m/s]	376.9911184
Volume Flow Rate [m³/s]	0.06944444
Gravity [m/s²]	9.8
Shaft Center	0 0 0
Shaft Axis	0 1 0
Inlet Boundary	pipe1_inlet
Outlet Boundary	pipe2_interface

Impellers

- discharge_interface_pipe2 ☐
- discharge_interface_stationary3 ☐
- discharge_wall_casing ☐

Add Delete

Plot options Change plot range

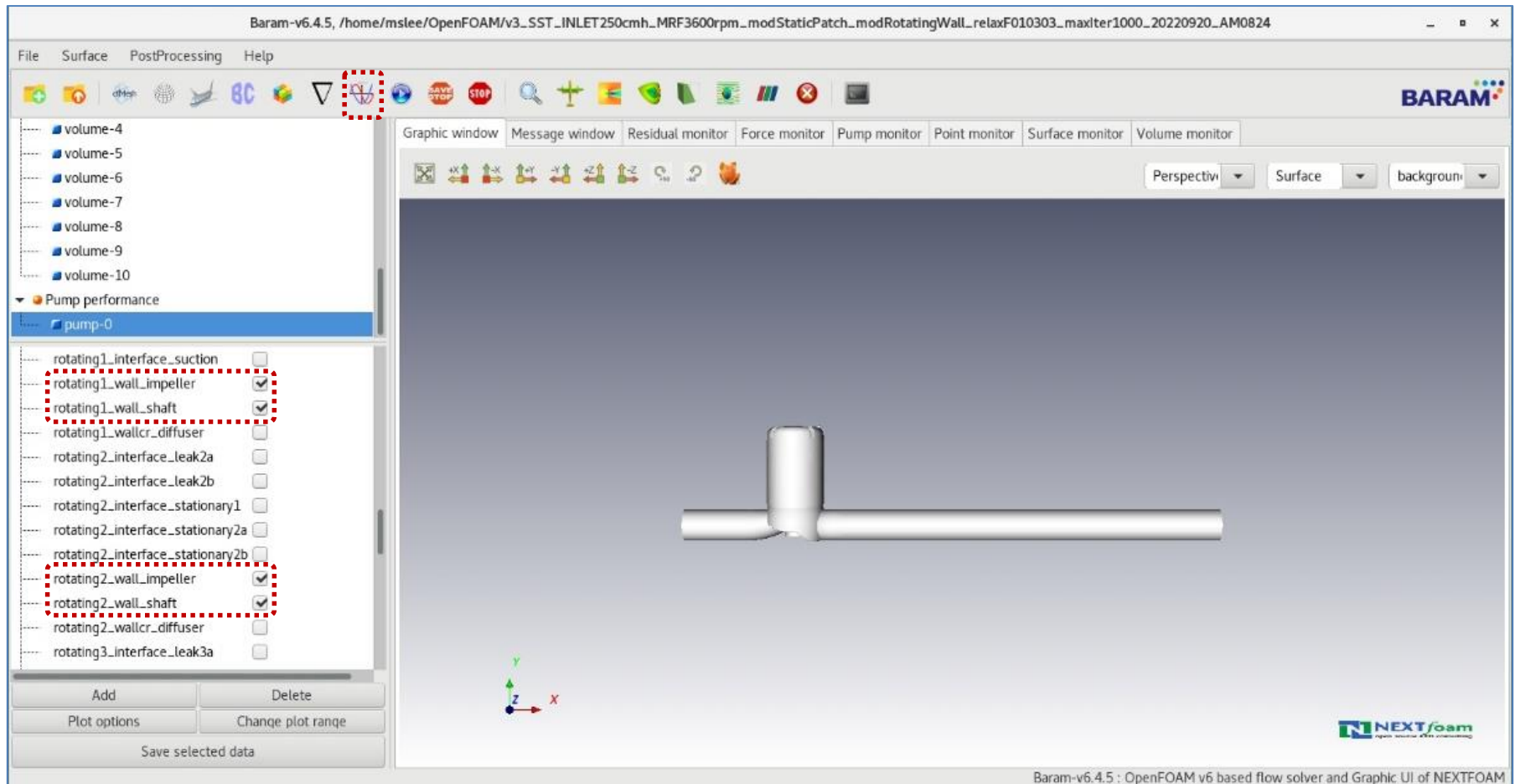
Save selected data

NEXTfoam

Baram-v6.4.5 : OpenFOAM v6 based flow solver and Graphic UI of NEXTFOAM

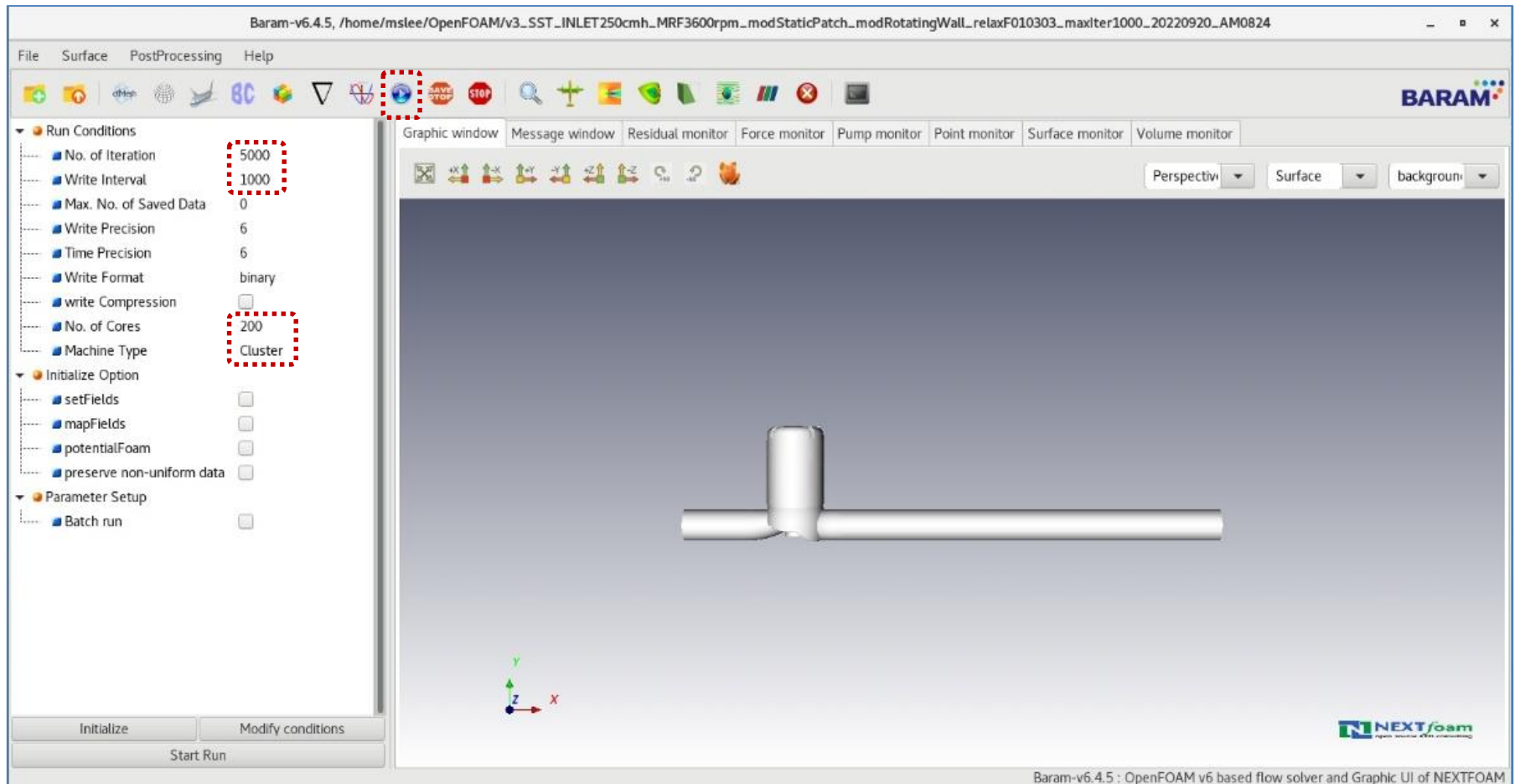
Monitoring

- ◆ 펌프 해석 전용 모니터링 (사용자화를 위한 **자문 결과물**)
 - 임펠러 토크 모니터링하는 MRF 셀존 내 **회전하는 벽**(블레이드 등) 체크



Run Conditions

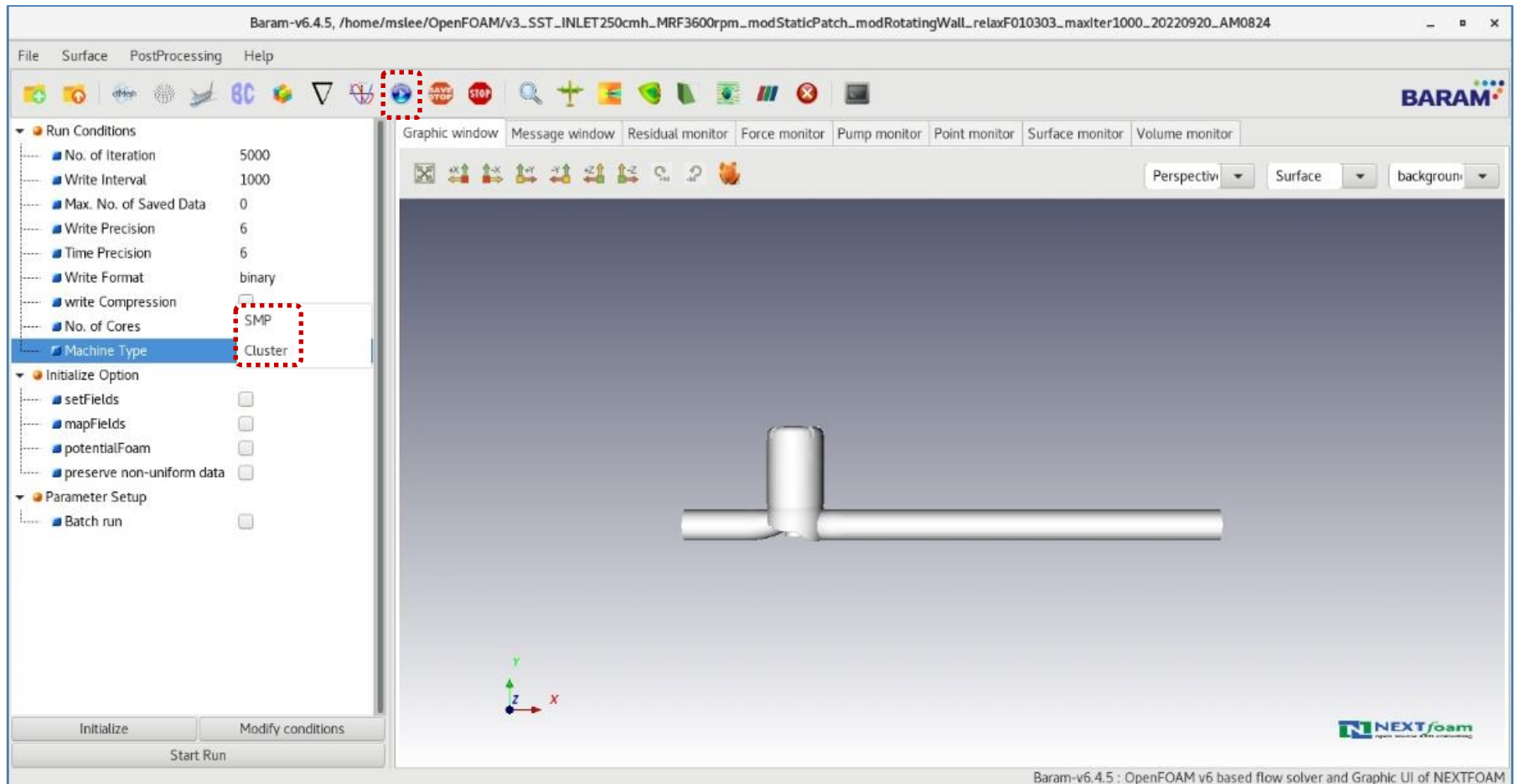
◆ 최대 스텝, 저장 주기, 병렬해석 조건 설정



Run Conditions

◆ 병렬해석 방식 설정

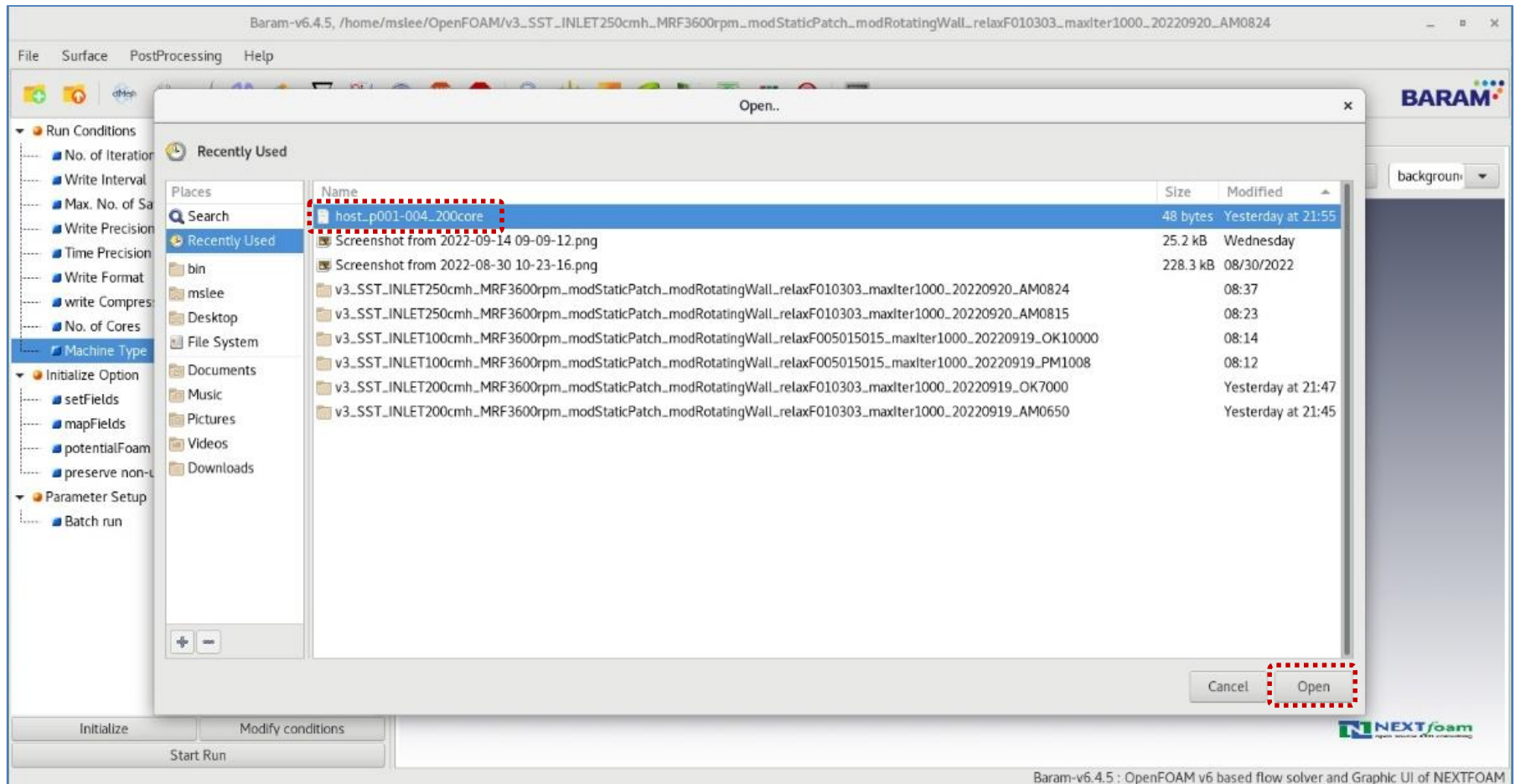
- SMP : 하나의 컴퓨터를 이용하여 병렬해석
- Cluster : 컴퓨터 여러대를 한꺼번에 사용하여 병렬해석



Baram-v6.4.5 : OpenFOAM v6 based flow solver and Graphic UI of NEXTFOAM

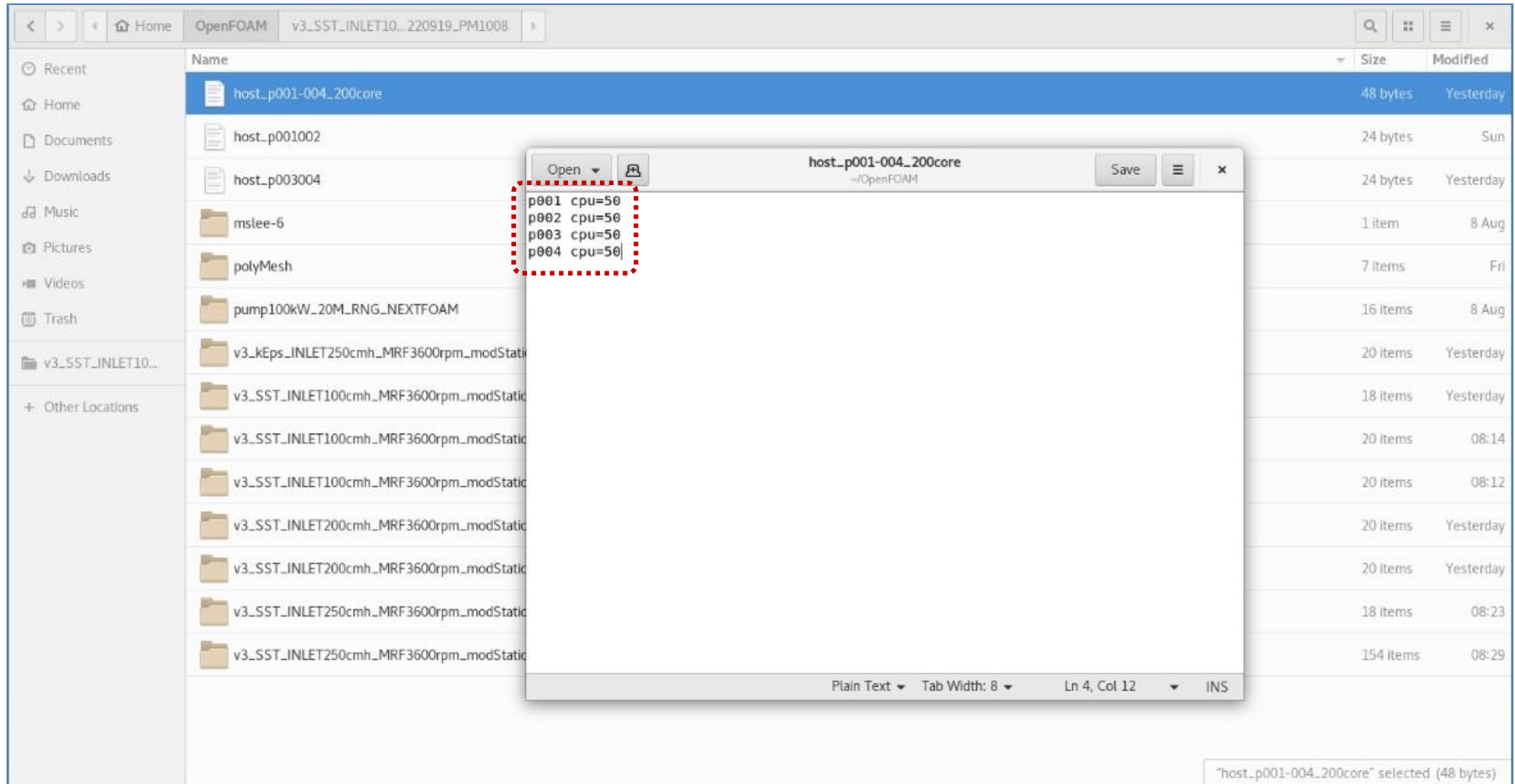
Run Conditions

- ◆ Cluster 방식 병렬해석인 경우 host 파일 필요
 - Cluster 선택하면 대화상자 열려서 host 파일 선택해야 함



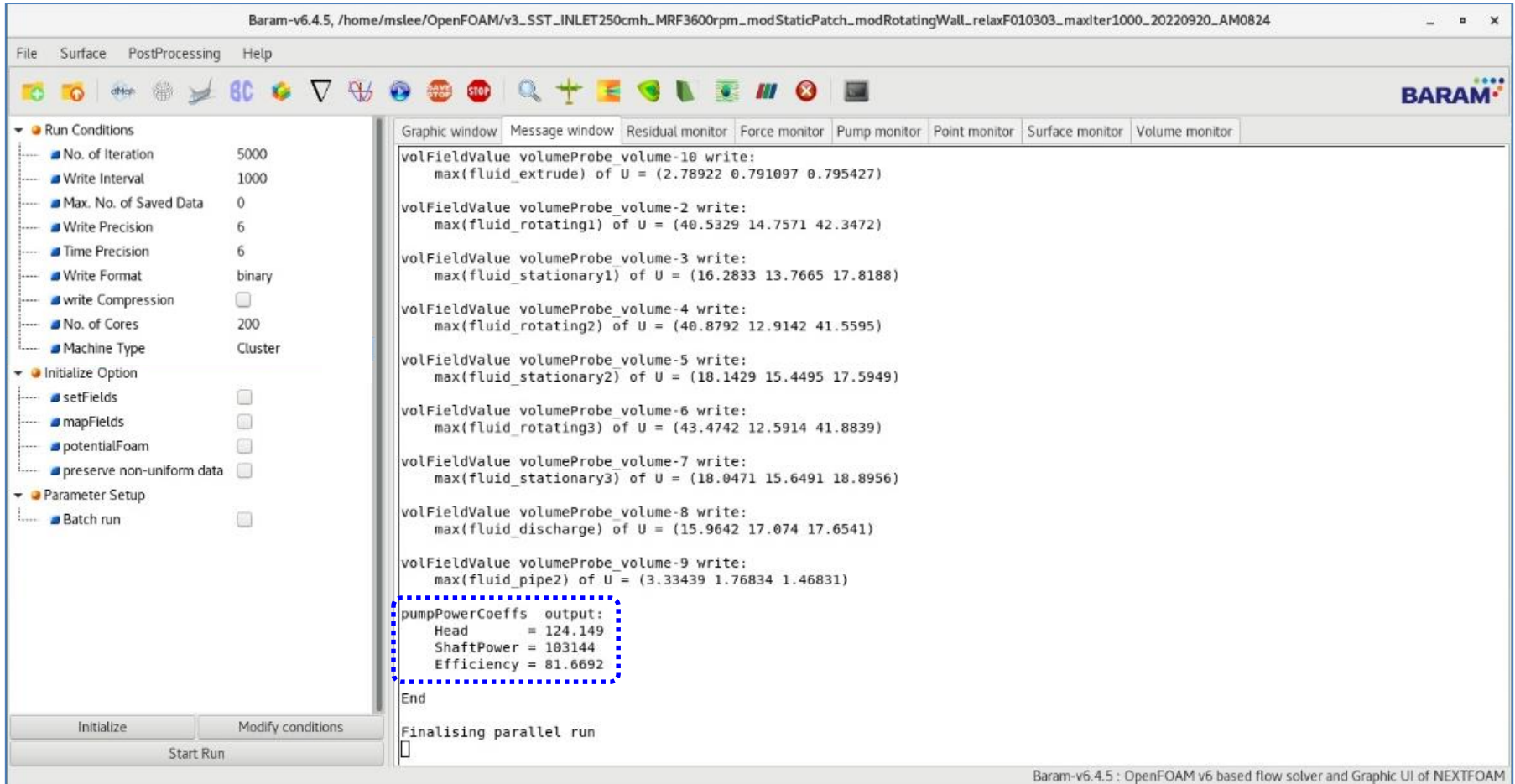
Run Conditions

- ◆ Cluster 방식 병렬해석인 경우 host 파일 내용
 - 컴퓨터별로 이름과 시피유 개수를 한줄씩 작성



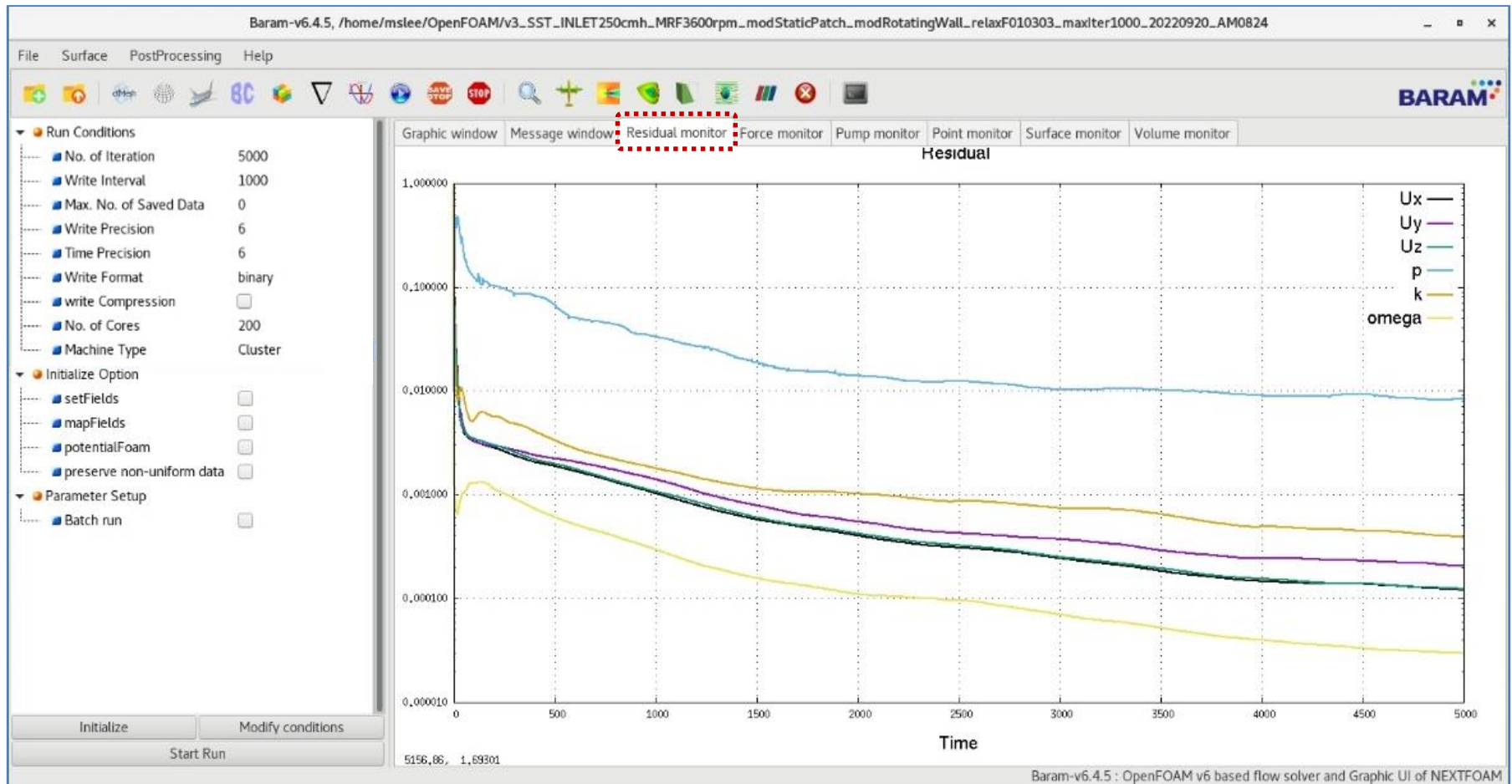
해석 종료 화면

- ◆ 설정한 최대 스텝수 등 수렴조건으로 계산 종료됨
 - 매 스텝마다 모니터링에서 설정한 값들 출력
 - 사용자화 결과, 펌프 성능 계수도 아래와 같이 매 스텝별로 출력



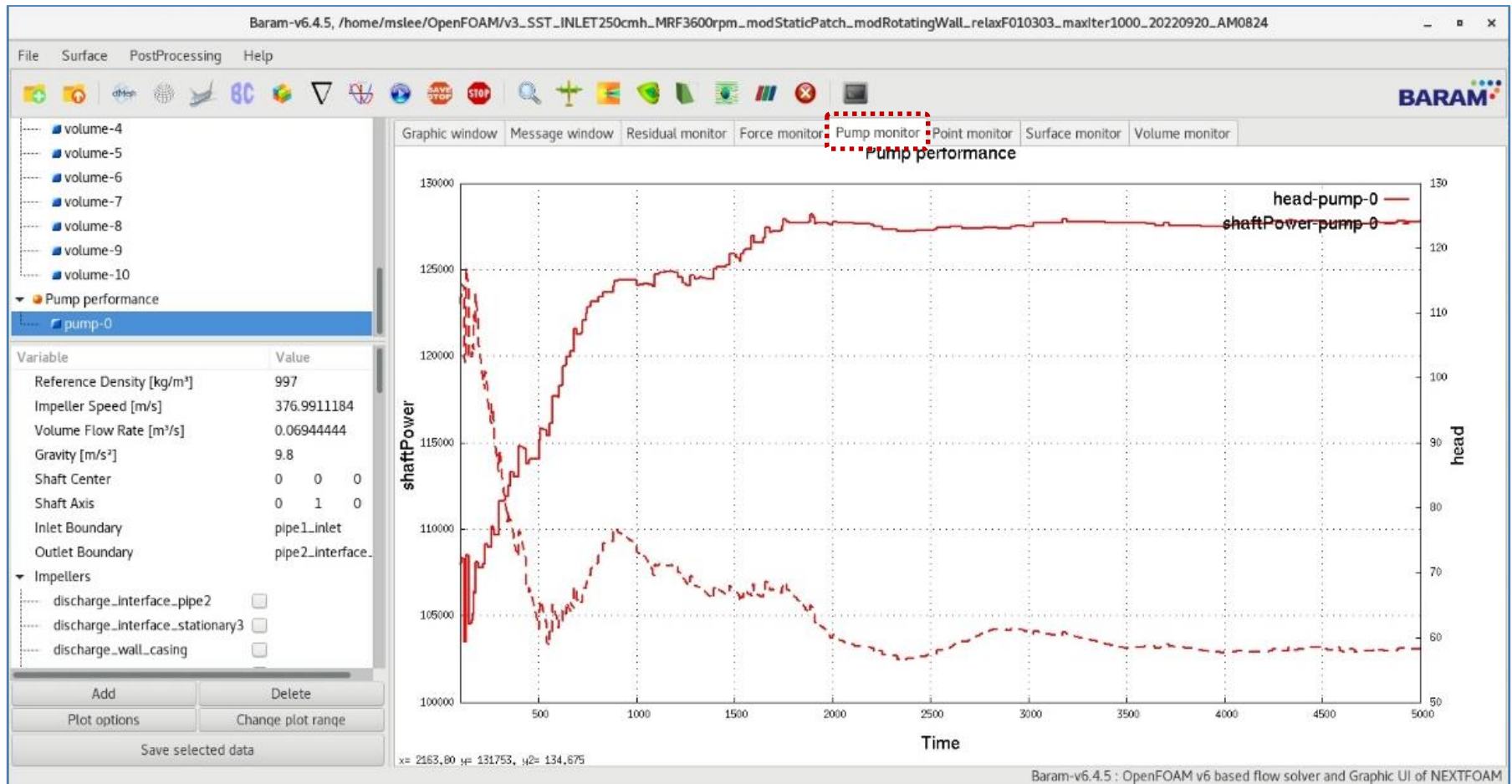
Residual Monitor

- ◆ 운동량, 질량보존, 난류 방정식 잔차 모니터링
 - 계산 수렴성을 보면서 최대스텝, 완화계수 등 세팅 변경 가능



Pump Performance Coefficient Monitor

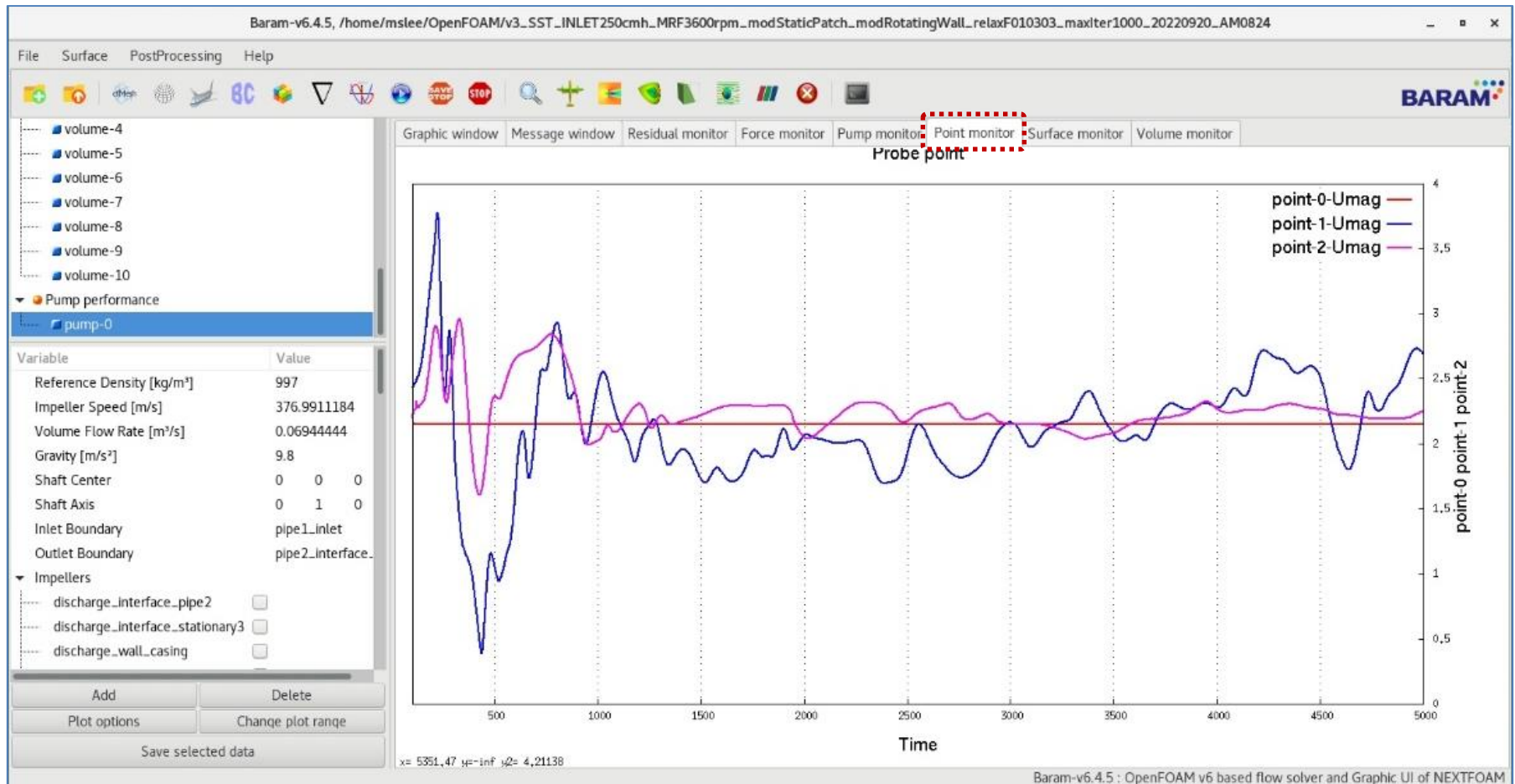
- ◆ 펌프 성능 계수 모니터링 (사용자화를 위한 **자문 결과물**)
 - 양정, 축동력, 효율 등 보면서 계산 수렴성 판단 가능



Point Monitor

◆ 특정 지점 속도 모니터링

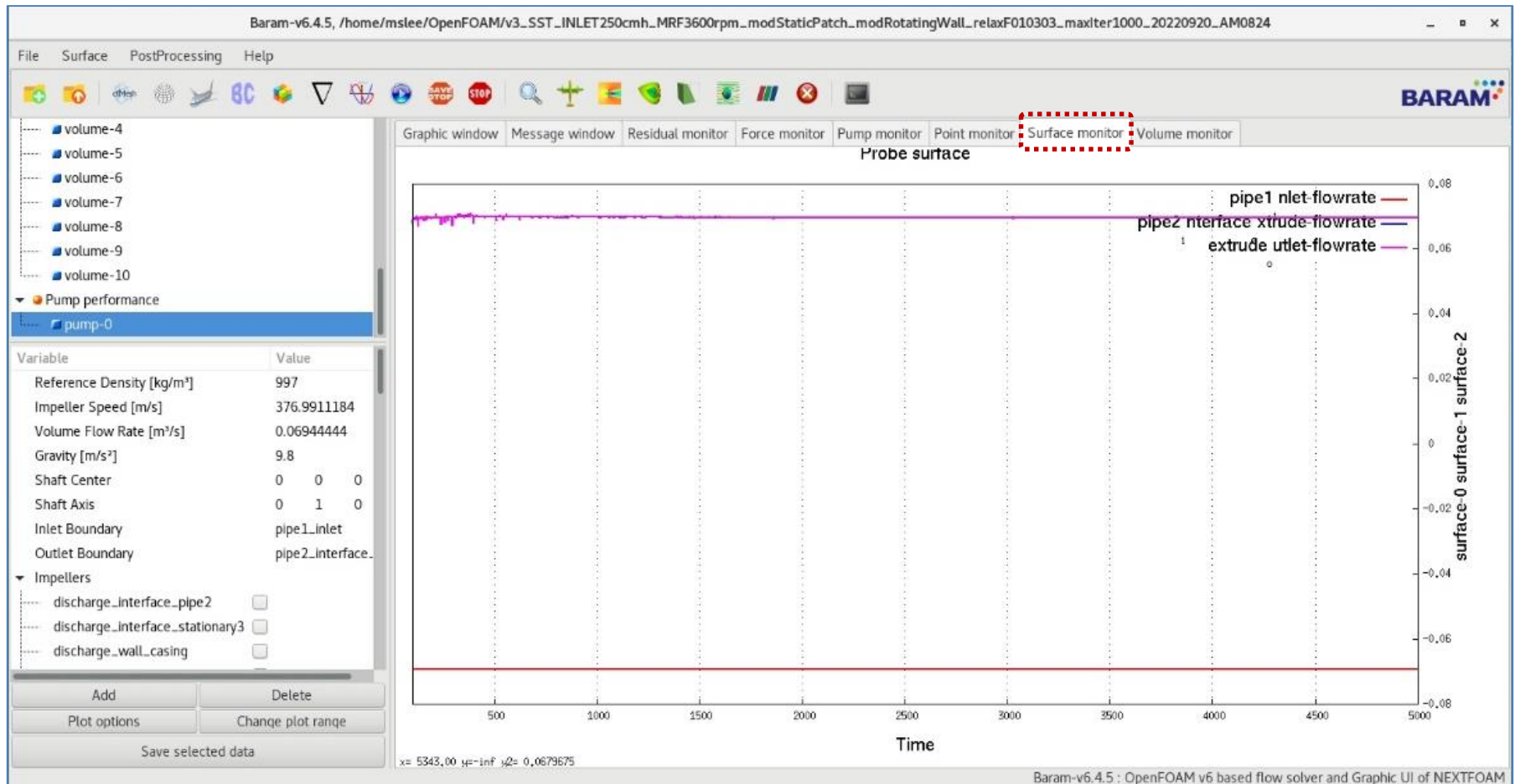
- 배관 내부 속도 모니터링하여 입구 경계조건 설정(속도)이 정상인지 확인



Surface Monitor

◆ 특정면 유량 모니터링

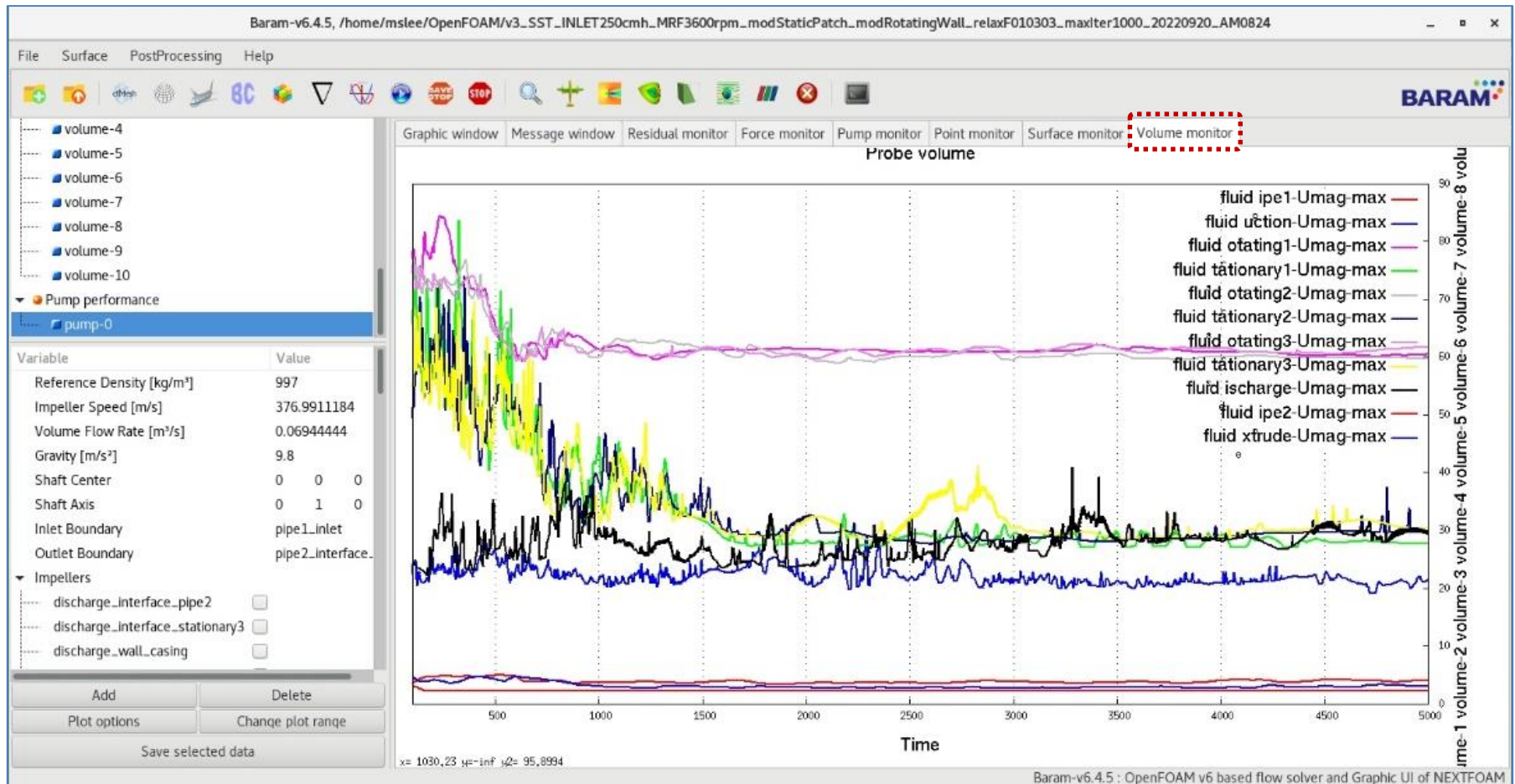
- 입출구 유량이 같게 나와서 질량보존 잘 되는지 확인



Volume Monitor

◆ 셀존별 최대속도 모니터링

- 계산이 발산되면서 속도가 비정상적으로 커질 수 있음
- 펌프 회전수에 따른 임펠러 원주속도 정도로 최대속도가 나오는지 확인



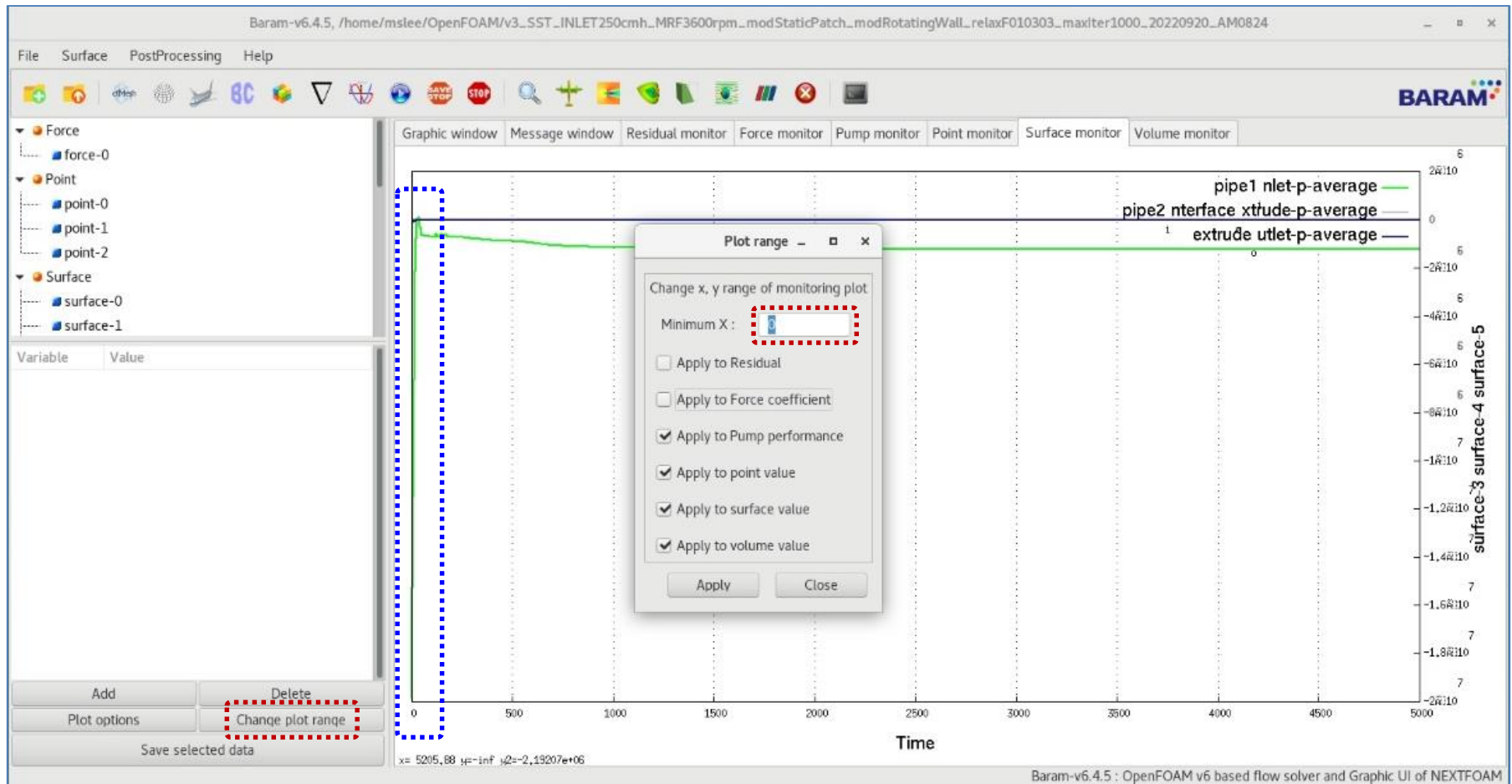
- ▶ 면에 유량 뿐 아니라 압력등도 모니터링 가능
- ▶ 플랏 옵션을 변경하여 모니터링 값 변경 가능



Change Plot Range

◆ 그래프 가독성 관련

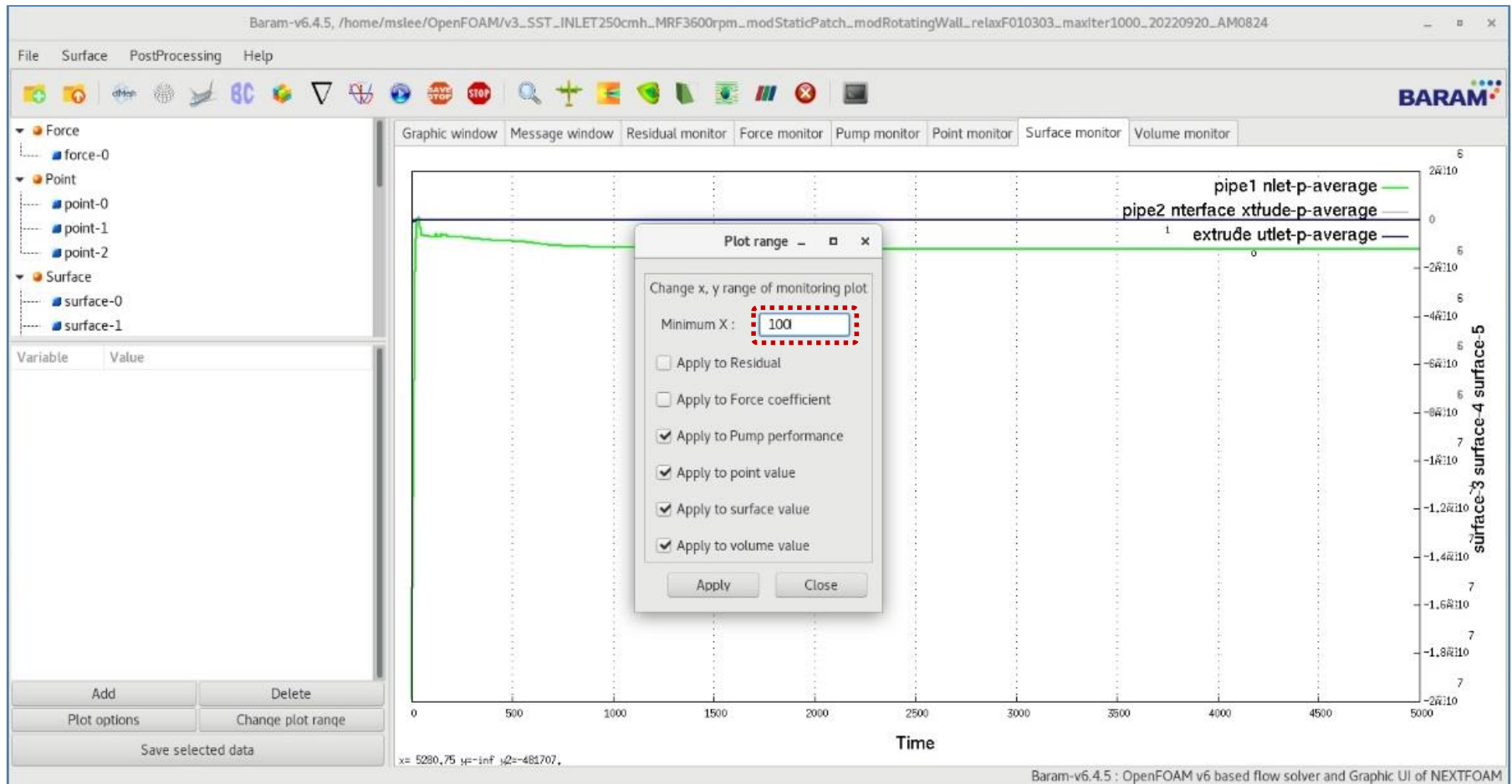
- 계산 초기에 물리적으로 비정상적인 값들이 나옴



Plot range : Minimum X 조정

◆ 그래프 가독성 관련

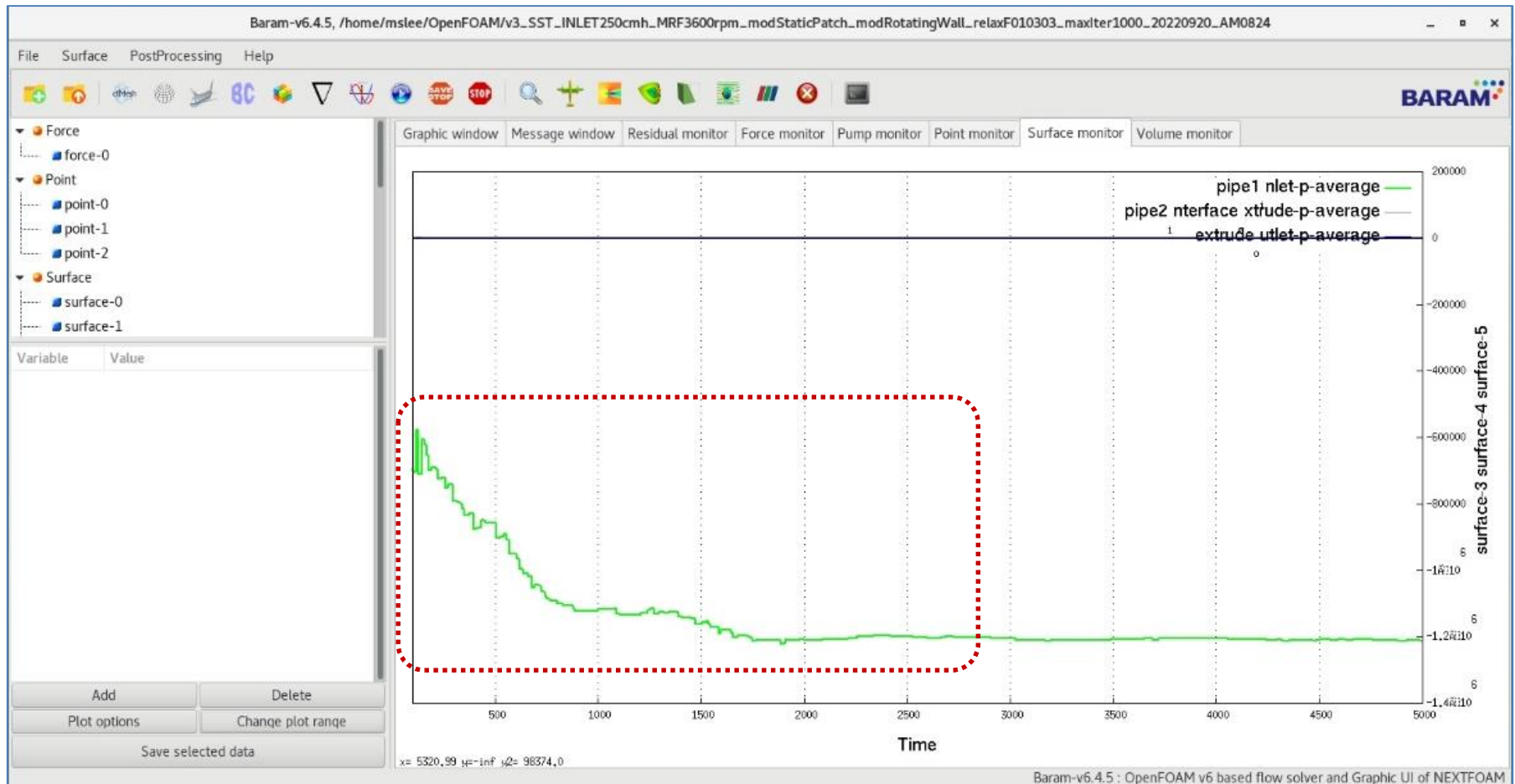
- X축 범위를 조정하여 그래프 보기 좋게 수정 가능



그래프 변화 추이 더 잘 보이게

◆ 그래프 가독성 관련

- 계산 초기 비물리적인 값들에 해당하는 X축 범위를 조정하여 **그래프 가독성 향상**



임펠러 작용하는 수직/전단 응력 출력

- ◆ 펌프 모니터링 사용자화 없어도 펌프 성능계수 계산 가능
 - 펌프 양정은 특정면 평균압력으로 계산하고, 임펠러 토크는 모멘트 모니터링으로 계산 (양정X유량=수동력, 토크X각속도=축동력, 수동력/축동력=효율)

Baram-v6.4.5, /home/mslee/OpenFOAM/v3_SST_INLET250cmh_MRF3600rpm_modStaticPatch_modRotatingWall_relaxF010303_maxIter1000_20220920_AM0824

File Surface PostProcessing Help

Graphic window Message window Residual monitor Force monitor Pump monitor Point monitor Surface monitor Volume monitor

Time = 5000

DILUPBiCGStab: Solving for Ux, Initial residual = 0.000121323, Final residual = 3.25662e-06, No Iterations 1
DILUPBiCGStab: Solving for Uy, Initial residual = 0.000206131, Final residual = 5.48605e-06, No Iterations 1
DILUPBiCGStab: Solving for Uz, Initial residual = 0.000123065, Final residual = 3.38069e-06, No Iterations 1
GAMGPCG: Solving for pOverRho, Initial residual = 0.00843938, Final residual = 0.000323277, No Iterations 1
time step continuity errors : sum local = 0.0078702, global = 5.20077e-05, cumulative = -0.0489222
DILUPBiCGStab: Solving for omega, Initial residual = 2.9564e-05, Final residual = 7.99097e-07, No Iterations 1
DILUPBiCGStab: Solving for k, Initial residual = 0.000389463, Final residual = 9.38868e-06, No Iterations 1
bounding k, min: -1.97568e-06 max: 12.9759 average: 0.562936
ExecutionTime = 19029.4 s ClockTime = 19055 s

forces forces force-0 write:
sum of forces:
pressure : (-5.79503 -10227.4 10.5252)
viscous : (-0.800324 7.98465 0.372854)
porous : (0 0 0)
sum of moments:
pressure : (4.42496 -252.782 1.33789)
viscous : (0.0733241 -20.8145 0.244217)
porous : (0 0 0)

forceCoeffs forceCoeffs_force-0 write:
Cm = -0.54884
Cd = -0.0132304
Cl = 0.0218618
Cl(f) = -0.537909
Cl(r) = 0.559771

volFieldValue volumeProbe_volume-0 write:
max(fluid_pipe1) of U = (2.26936 0.100912 0.0619838)

volFieldValue volumeProbe_volume-1 write:
max(fluid_suction) of U = (13.3386 11.1875 12.6048)

volFieldValue volumeProbe_volume-10 write:

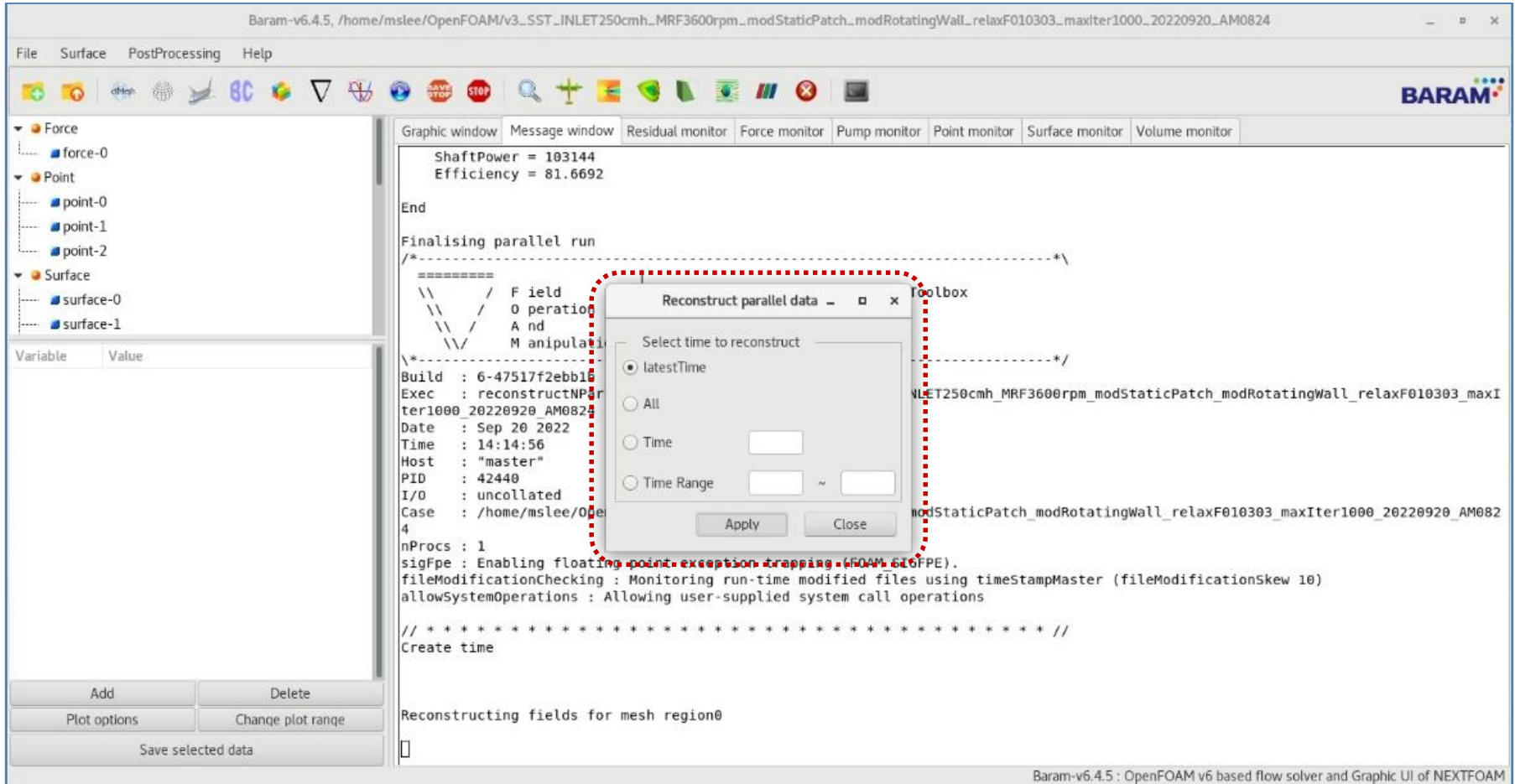
회전축인 +Y축 기준의
임펠러 벽면에 작용하는
모멘트 (각속도 곱하면
축동력)

Add Delete
Plot options Change plot range
Save selected data

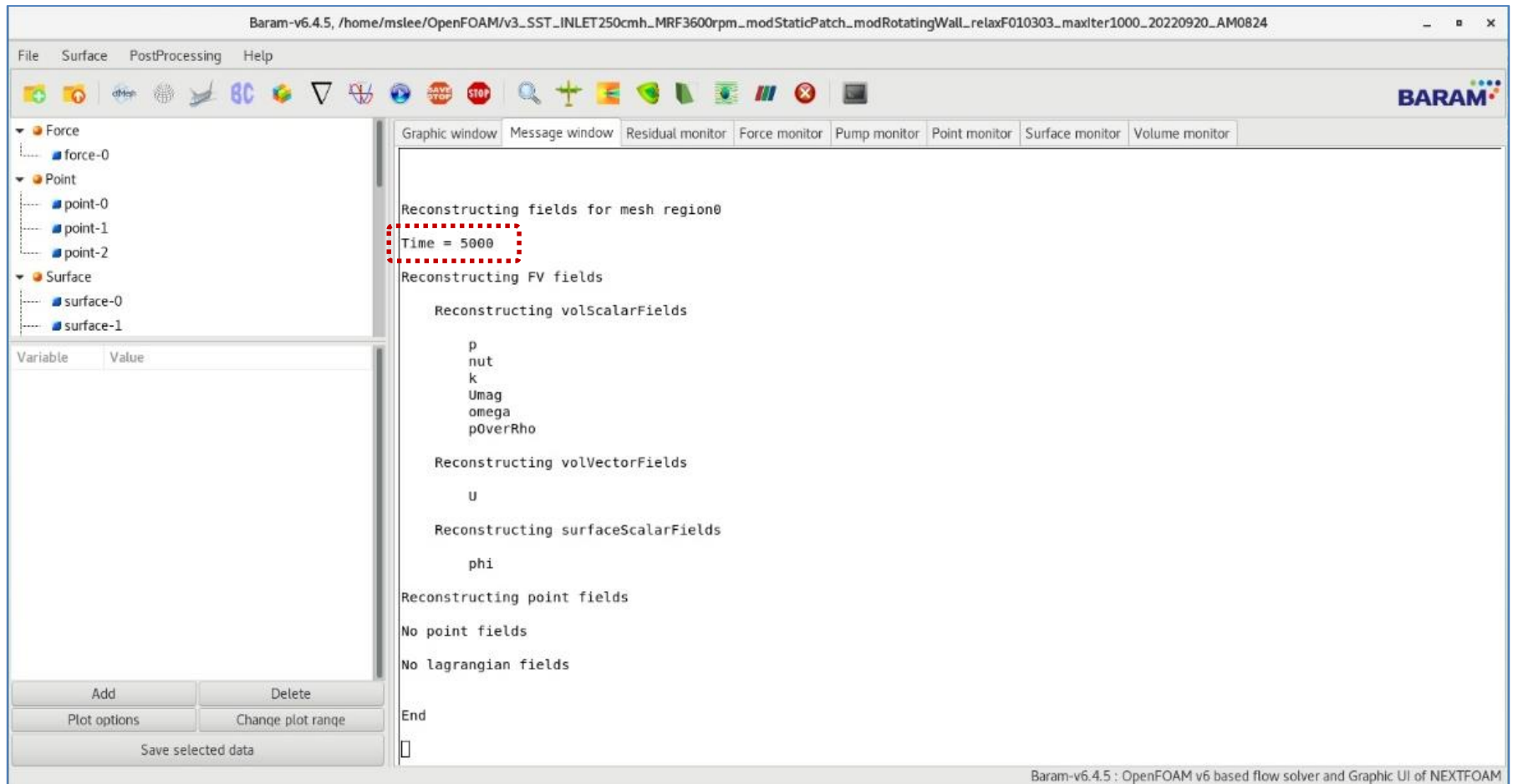
Baram-v6.4.5: OpenFOAM v6 based flow solver and Graphic UI of NEXTFOAM

병렬해석 결과 합치기

- ◆ 병렬해석이 종료되면 도메인별로 나뉘어져 저장된 디렉토리 합칠 수 있음
 - 물론, 디렉토리 합치지 않아도 파라뷰에서 결과처리 가능하지만, 최종 스텝 결과만 필요하다면, 마지막 스텝만 남기고 디렉토리 정리하는 것을 추천



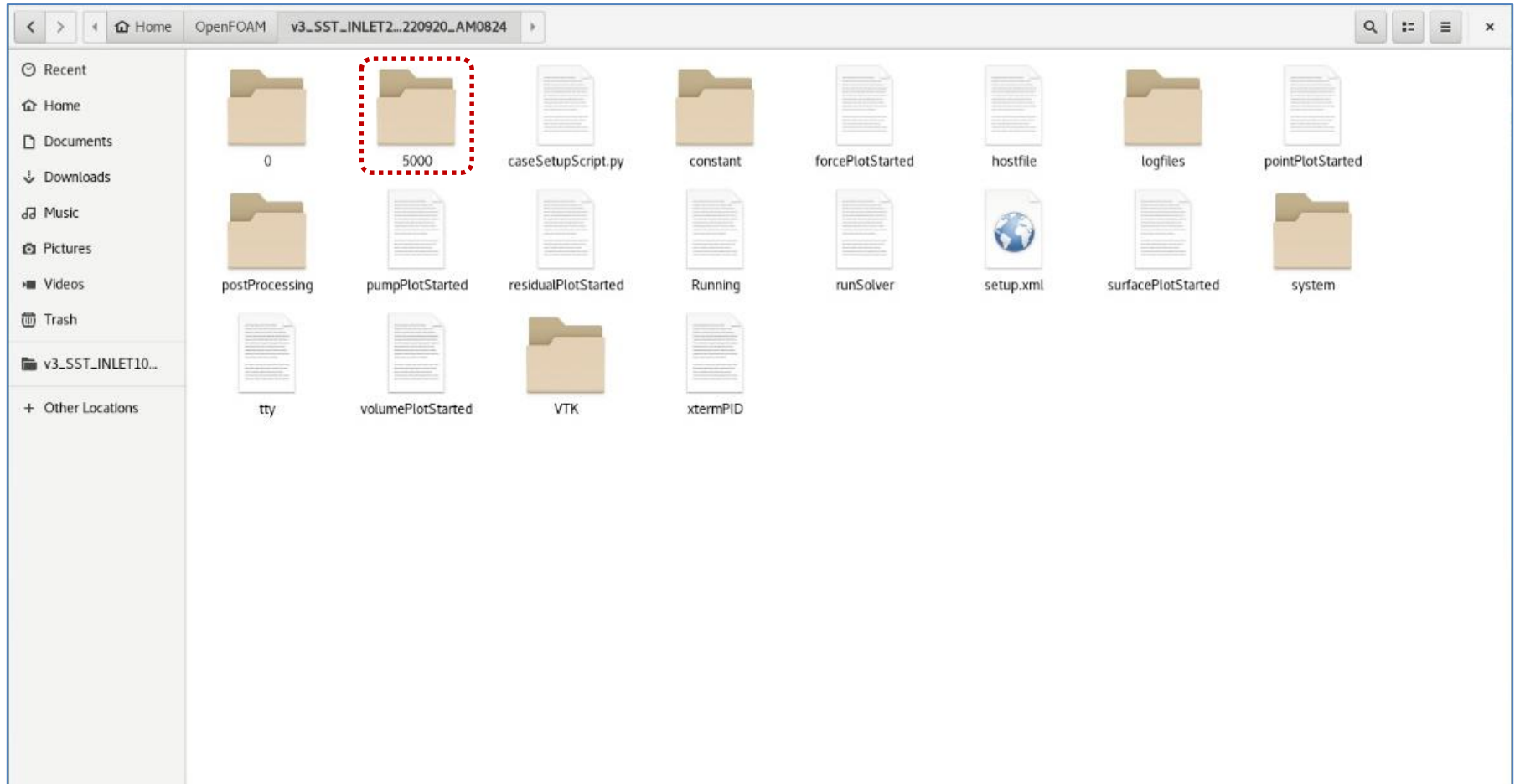
◆ 마지막 스텝(5,000 스텝) 합친 명령어 실행한 GUI 결과



정리된 폴더

◆ 마지막 스텝(5,000 스텝) 합친 디렉토리 내부

- 정리하지 않으면 다른 스텝 결과들까지 모두 있어 디스크 사용량 ↑



끝