

2축 교반기

Double Planetary Mixer

1. Abstract

단축 교반기의 경우 이동참조프레임 방식이나 슬라이딩메쉬 방식을 사용하면 해석이 가능합니다. 하지만 회전영역이 교차되는 2축 교반기의 경우는 기존 방식으로는 해석이 불가능합니다. 이러한 경우에는 중첩요소망 기능을 활용하면 해석이 가능합니다. 본 테크노트에서는 중첩요소망을 이용하여 2축교반기를 해석하는 방법에 대해 상세히 소개해 드립니다.

2. Technology 배경

회전하는 물체 주변의 유동을 해석해야 하는 경우는 흔히 발견됩니다. 예를 들어, 그림 1 (a)와 같은 임펠러 회전에 의한 유체 움직임을 해석하는 경우가 대표적입니다. 또한, 그림 1 (b)와 같이 설치된 교반기에 의해 탱크 내부의 유체 혼합물이 섞이는 현상에 대한 해석을 하는 경우도 이에 해당됩니다. 이를 해석하기 위해 우선 회전하는 물체에 근접한 영역과 회전하는 물체와 멀리 떨어져있는 영역을 분리하여 요소망을 설계한 후에, 접촉면 설정을 통한 슬라이딩 메쉬(sliding mesh) 기법을 이용할 수도 있고, 더 효율적인 해석을 위해 회전하는 물체에 근접한 영역을 이동 참조 프레임(MRF; moving reference frame)으로 설정할 수도 있습니다.



그림 1 (a)송풍기와 (b)교반기

하지만 단순한 원심 회전이 아니라 복잡한 운동을 하는 물체 주변의 유동을 해석하려고 하는 경우나, 두 물체 이상이 다른 상대운동을 하는 경우에 대해 해석하려고 하는 경우, 단순한 슬라이딩 메쉬 혹은 이동 참조 프레임 기법으로는 원하는 해석을 수행할 수 없는 경우가 발생합니다. 이러한 경우, 배경 요소망에 물체 주변 요소망을 중첩시키는 중첩 요소망 해석 기법을 이용하여 해석을 수행할 수 있습니다. **그림 2 (a)**는 회전하는 두 막대 교반기에 의한 유동 해석의 단순화된 모델 그림이며, **그림 2 (b)**는 해석을 수행하기 위해 중첩 요소망 해석 기법을 적용하기 위한 요소망 설계 예시 그림입니다.

이러한 중첩 요소망 해석 기법을 이용하면 보다 다양한 물체의 움직임에 대한 유동 해석이 가능해집니다. 시간에 따라 움직이는 중첩 요소망은 배경 요소망과 자동으로 정보를 교환하고, 또한 중첩 요소망이 2 개 이상인 경우에는 중첩 요소망 사이에서도 정보 교환이 일어납니다. 결과적으로, 배경 요소망 영역이 유효 계산 영역으로 고려한 중첩 요소망 해석이 수행됩니다.

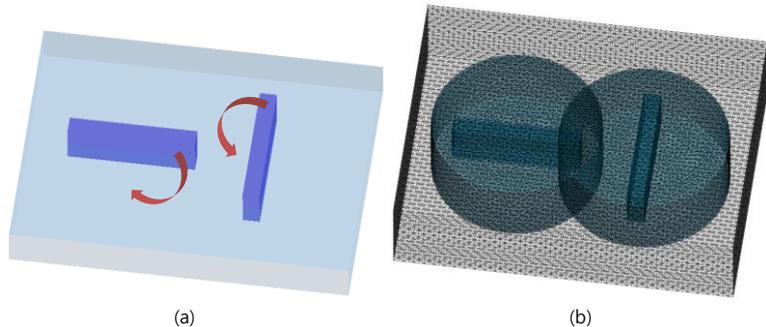


그림 2 (a)두 교반기의 운동 간략도와 (b)중첩 요소망 해석 기법을 이용한 요소망 구성

TIP

본 이론은 midas NFX 이론 매뉴얼에 근간한 내용이며, 관련한 자세한 내용은 설치폴더에 저장된 이론 매뉴얼에서 확인할 수 있습니다.

3. Technology 이론

3-1. 중첩 요소망 해석의 기본 개념

유동해석이 실제로 일어나는 영역을 배경 요소망으로, 움직이는 물체 주변의 요소망을 중첩 요소망으로 설계하여 해석을 수행하도록 할 수 있습니다. 이 경우 정보 교환이 발생하는 영역은 자동으로 중첩 요소망의 최외곽 절점들로 이루어지며, 값을 참조할 절점을 배경 요소망의 전 영역에 대하여 검색하게 됩니다. 여러 개의 중첩 요소망이 포함된 해석을 수행하는 경우 내부적으로 중첩 요소망에 등위(grade)를 부여하며, 낮은 등위의 중첩 요소망은 높은 등위의 중첩 요소망에 대해 배경 요소망으로서의 역할을 할 수 있습니다, 그림 3은 이러한 배경 요소망과 2개의 중첩 요소망에 대한 관계를 도식화하여 나타낸 그림입니다. 그림 3(a)는 배경 요소망과 서로 중첩되는 두 개의 중첩 요소망에 대한 예시 그림이고, 그림 3(b)는 총 세 개의 요소망에 대한 등위 관계를 나타낸 그림입니다.

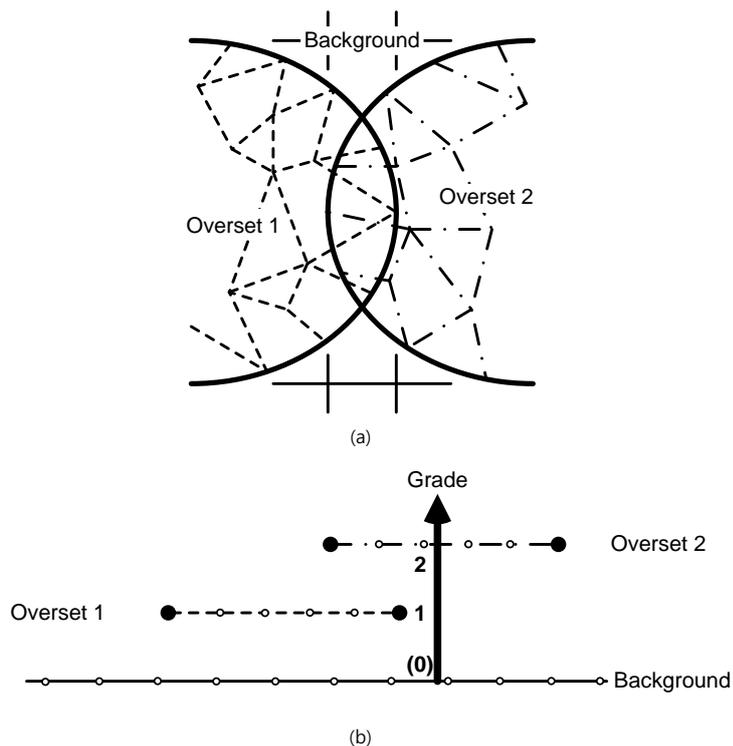


그림 3 중첩 요소망의 중첩(a)과 중첩 요소망의 등위(b)

3-1. 보간식의 적용

중첩 요소망 해석의 경우, 배경 요소망과 중첩 요소망 간에 서로에 대한 보간식이 적용되어 정보 교환이 이루어지는 것이 일반적인 방법입니다. 보간식은 두 가지의 형태로 적용됩니다. 높은 등위의 절점에 대해서는 낮은 등위의 요소망으로부터 미지수를 보간하고, 반대로 낮은 등위의 절점에 대해서는 높은 등위의 요소망으로부터 미지수를 보간합니다. 요소망 간의 보간식은 구속 방정식(constraint equation)의 형태로 해당 절점에 적용됩니다.

- 보간 절점의 검색

낮은 등위의 요소망으로부터 구속되는 점(그림 4 의 A)은 기본적으로 중첩 요소망의 최외곽 절점입니다. 단, 자신보다 높은 등위의 요소망이 존재하는 경우 구속 방정식이 부여되지 않습니다(A'). 또한, 중첩 요소망이 배경 요소망을 벗어난 이탈 요소망(escaped mesh)의 경우 벗어나지 않은 요소들 중에서 최외곽 절점을 재판단합니다(A*). 높은 등위의 요소망으로부터 구속되는 점(B)은 높은 등위의 요소망으로부터 벗어나 있는 절점과 구조적으로 연결되어 있는 점 중에서 높은 등위의 요소망 내부에 존재하는 절점이 됩니다.

절점 간에 구속 방정식으로 정보 교환을 하는 관계가 그림 4 에 나타나 있습니다. 요소망의 준위 개념을 나타낸 그림 3(b)에서 이탈 요소망(Overset 3)을 추가하여 이탈 요소망에 대한 보간 방법을 나타내었습니다. 결과적으로, 실제 유의미한 값으로 계산이 되는 영역을 그림 5 에 음영으로 표시하였습니다.

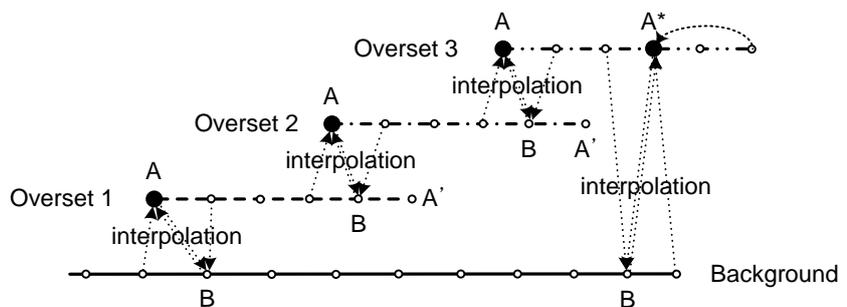


그림 4 중첩 요소망의 보간식 적용

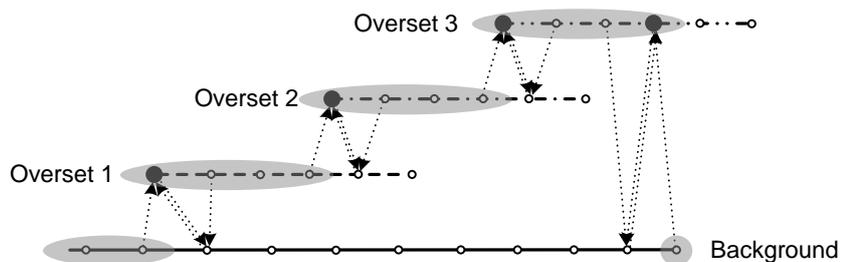


그림 5 유효 계산 영역

주어진 위치를 포함하는 요소를 효과적으로 검색하기 위해 midas NFX CFD 에서는 AABB(axis aligned bounding box)-tree 데이터 구조를 사용합니다.

- 중첩 요소망의 최외곽 요소

중첩 요소망의 최외곽 요소에서 다음 표 1 의 경계 조건으로 설정된 요소들은 제외됩니다. 또한, 어떠한 절점이든 해당 요소로 이루어진 폐쇄면(closed surface)의 내부로 판단되는 절점은 계산 대상에서 제외됩니다.

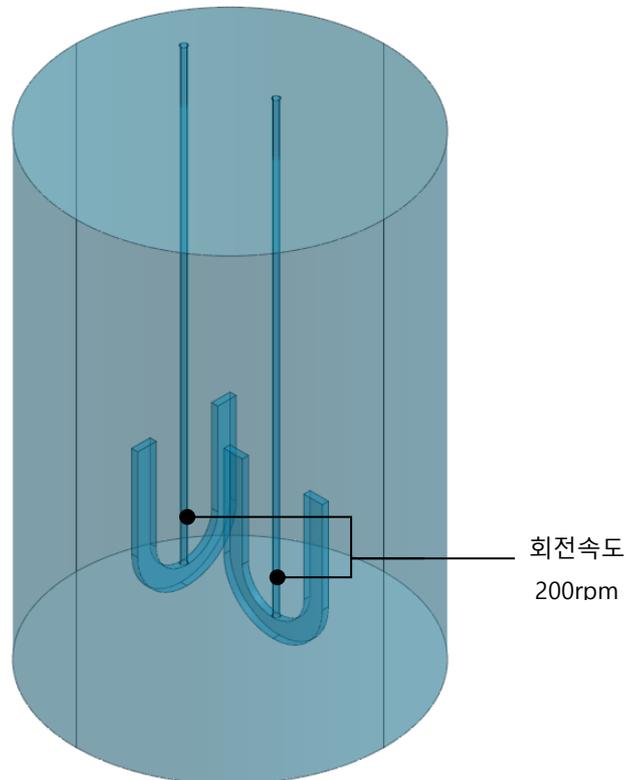
표 1 중첩 요소망의 최외곽 요소 제외 대상

	경계 조건
중첩 요소망의 최외곽 요소 제외 대상	입구단, 출구단, 벽면, 열유속, 대류, 복사, 공동복사, 복사벽면

4. Technology 사용법

4-1. 예제 설명

예제는 2축 교반기 모델이며 형상은 다음과 같습니다.



해석목적은 다음과 같습니다.

- 교반기 내부 유동특성 파악
- 임펠러 혼합성능 검토

해석조건은 다음과 같습니다.

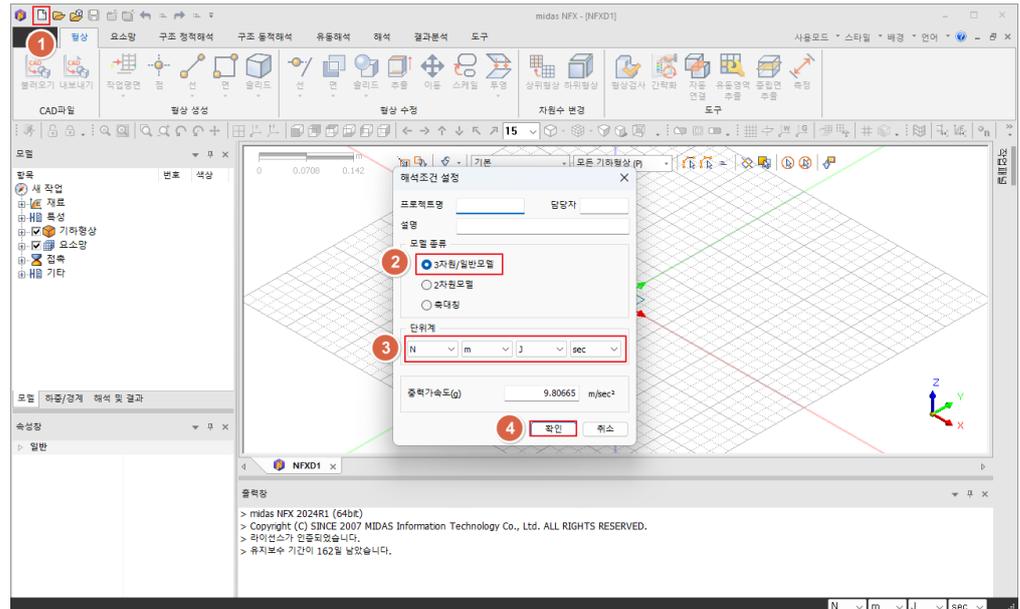
- 작동유체 : 25°C 물
- 밀도 : 998.2kg/m³
- 점성 : 0.001003kg/m·s
- 자전속도 : 200 rpm
- 공전속도 : 100 rpm

본 예제는 정기교육을 이수하신 분을 기준으로 작성되었습니다.

4-2. 예제 따라하기

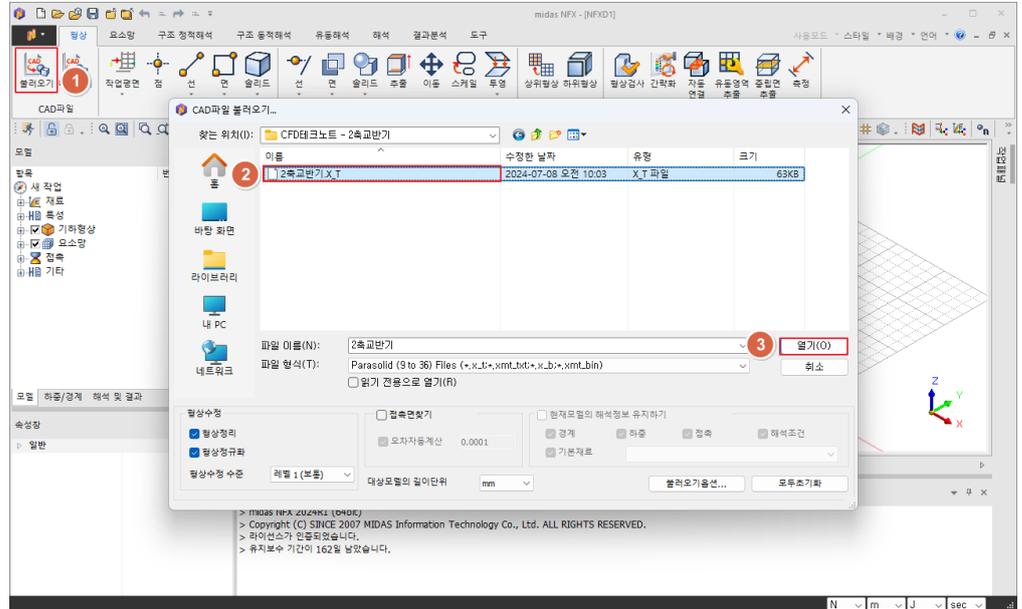
4-2-1. 해석조건 설정

- 1) "새로 만들기"를 클릭합니다.
- 2) "3 차원/일반모델"을 클릭합니다.
- 3) "단위계"를 N-m-J-sec 로 설정합니다.
- 4) "확인"버튼을 클릭합니다.



4-2-2. 기하형상 불러오기

- 1) "형상" 탭 > "불러오기"를 클릭합니다.
- 2) 배포된 "2 축교반기.X_T" 파일을 선택합니다.
- 3) "열기"를 클릭합니다.

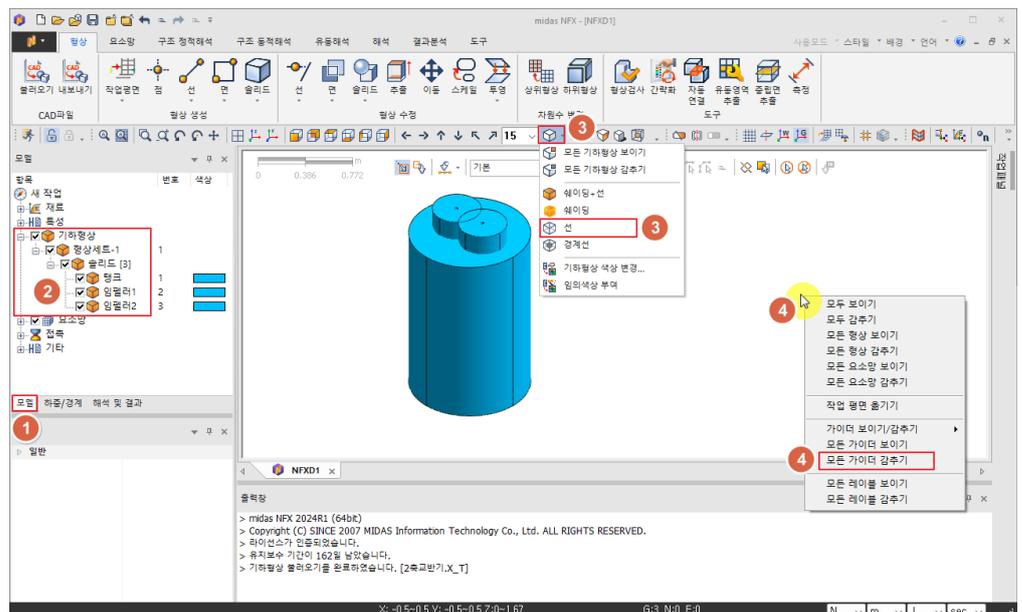


- 1) "모델" 탭으로 이동합니다.
- 2) "기하형상" 트리를 열어 솔리드 형상이 3 개인지 확인합니다.
- 3) "보기모드(기하형상)"을 클릭 후 "선"을 선택합니다.
- 4) 작업화면에서 마우스 오른쪽 버튼을 클릭 후 "모든 가이드 감추기"를 선택합니다.

마우스 조작을 통해 형상을 관찰합니다.

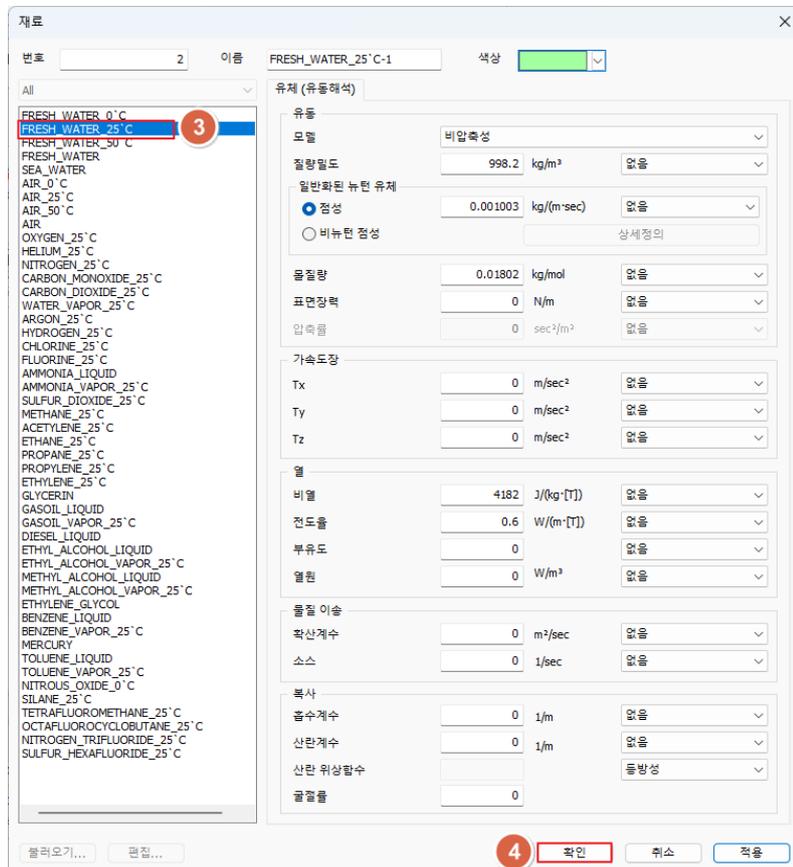
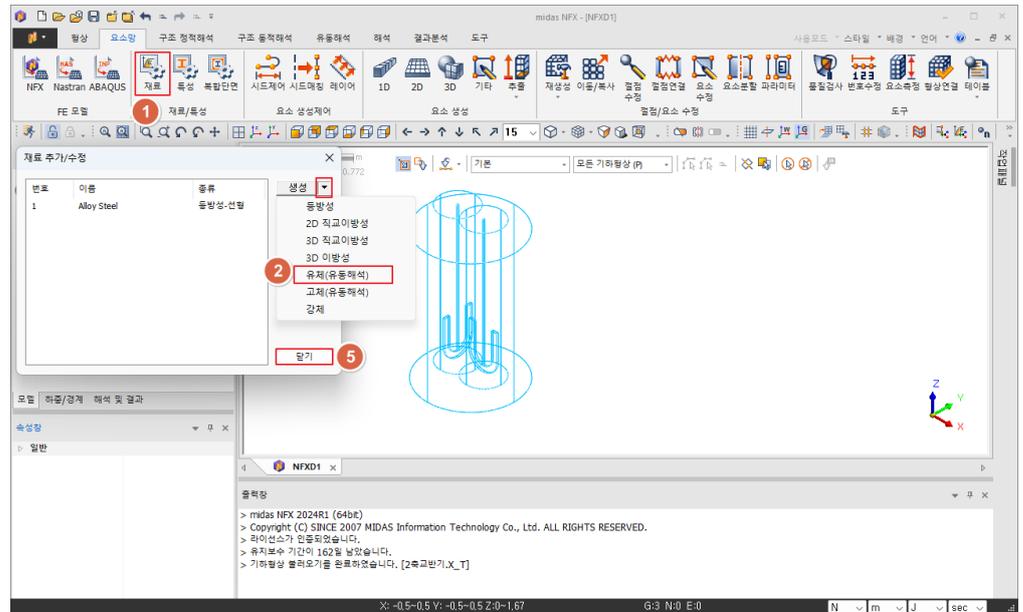


중점요소망 해석은 배경요소망을 기준으로 계산하기 때문에 배경요소망 영역에서 벗어나는 중점요소망 영역은 계산에서 제외 됩니다. 본 문제의 경우 탱크에서 벗어난 임펠러 영역은 계산에서 제외되고 탱크내부 영역만 계산됩니다.

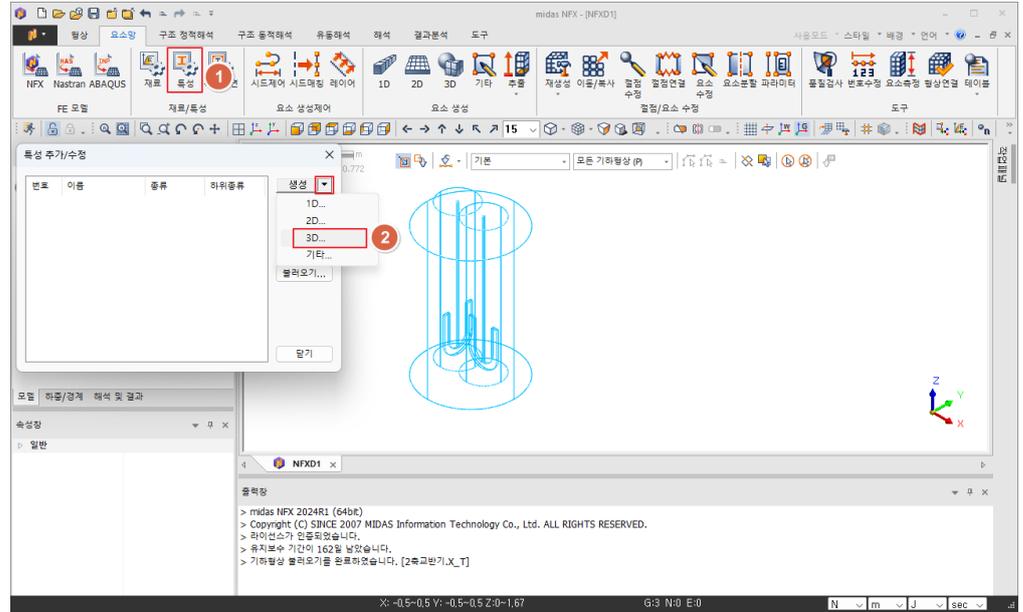


4-2-3. 재료 특성 정의

- 1) "요소망" 탭 > "재료"를 클릭합니다.
- 2) ▼ 버튼 클릭 후 "유체(유동해석)"을 선택합니다.
- 3) "FRESH_WATER_25°C"를 선택합니다.
- 4) "확인"을 클릭합니다.
- 5) "닫기"를 클릭합니다.



- 1) "요소망" 탭 > "특성"을 클릭합니다.
- 2) ▼ 버튼 클릭 후 "3D.."을 선택합니다.
- 3) "3D 유동해석" 탭을 선택합니다.
- 4) "이름"을 "배경"으로 입력합니다.
- 5) 재료를 "FRESH_WATER_25'C"로 선택합니다.
- 6) "적용"을 클릭합니다.

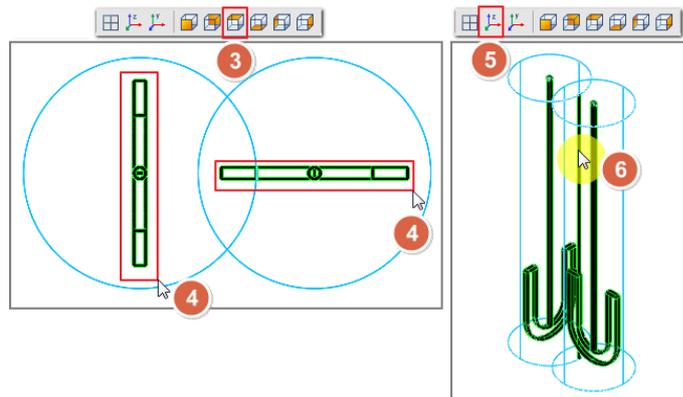
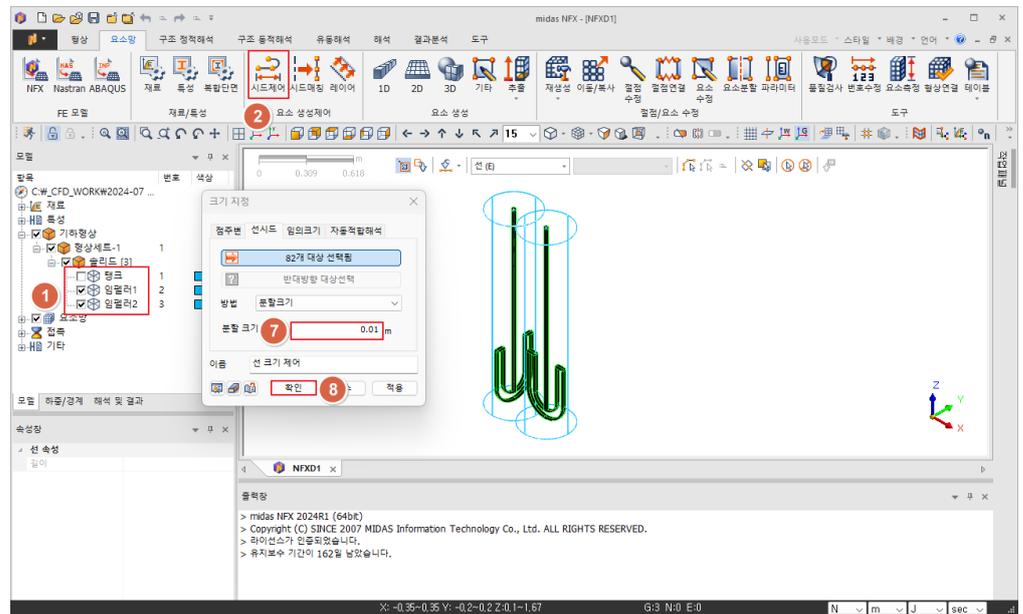


- 1) "이름"을 "중첩 1"로 입력합니다.
- 2) "중첩요소망"을 활성화합니다.
- 3) "적용"을 클릭합니다.
- 4) "이름"을 "중첩 2"로 입력합니다.
- 5) "중첩요소망"을 활성화합니다.
- 6) "확인"을 클릭합니다.
- 7) "닫기"를 클릭합니다.



4-2-4. 요소망 생성

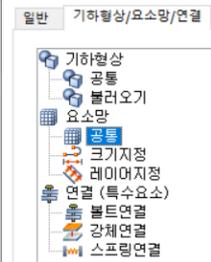
- 1) "모델" 창 > "탱크"만 비활성화합니다.
- 2) "요소망" 탭 > "시드제어"를 클릭합니다.
- 3) "윗면" 보기를 클릭합니다.
- 4) 임펠러와 축 부분을 드래그하여 선택합니다.
- 5) "등각보기 1"을 클릭합니다.
- 6) 두 임펠러의 축 사이에 표시되는 가운데 선만 클릭하여 선택을 취소합니다(82 개 대상이 선택되었는지 확인).
- 7) "분할 크기"를 0.01 로 입력합니다.
- 8) "확인"을 클릭합니다.



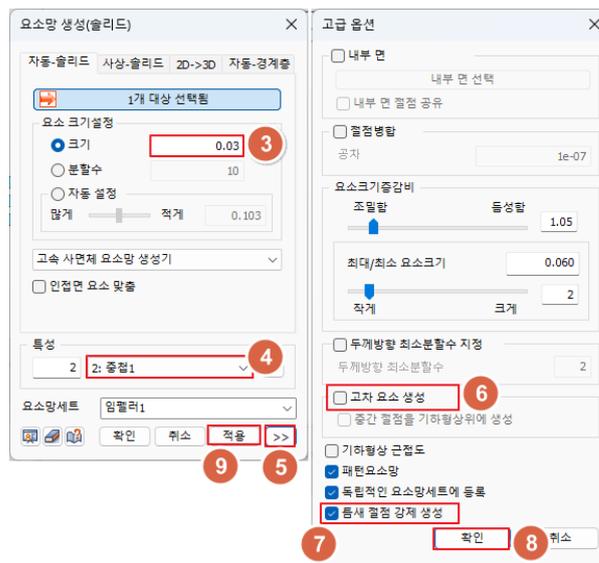
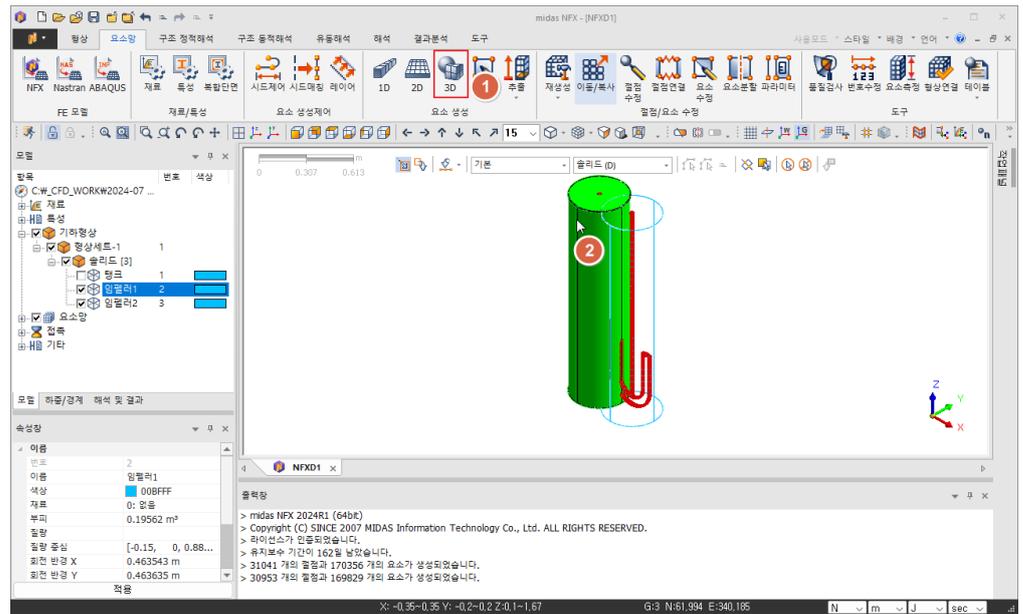


자주 사용하는 요소망 옵션이 있다면 "도구" 탭 > 옵션 > 기하형상/요소망/연결 > 요소망 > 공통 에서 설정할 수 있습니다. 설정이 완료되면 요소망생성 창을 열 때마다 선택한 옵션으로 자동 세팅됩니다.

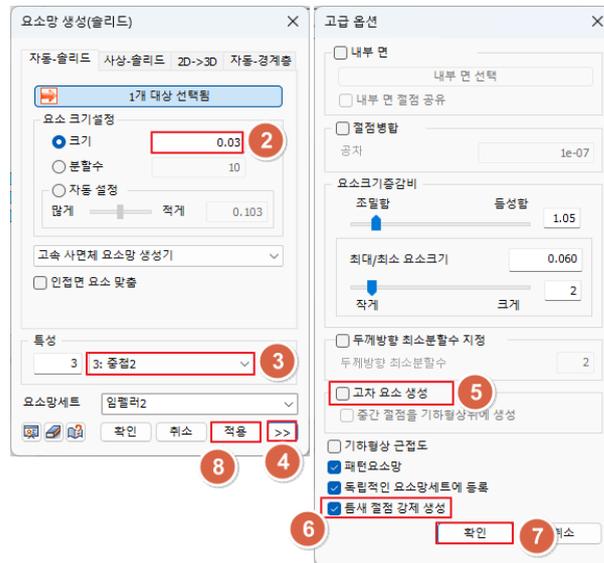
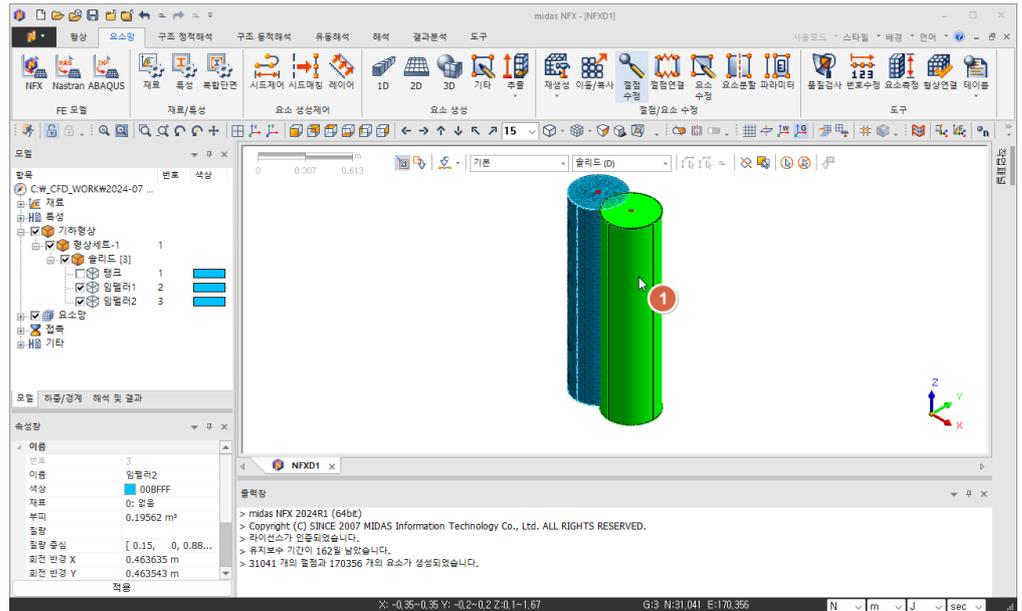
옵션



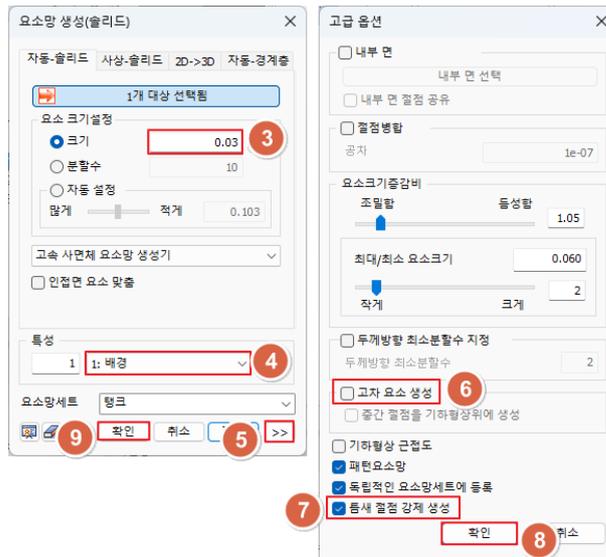
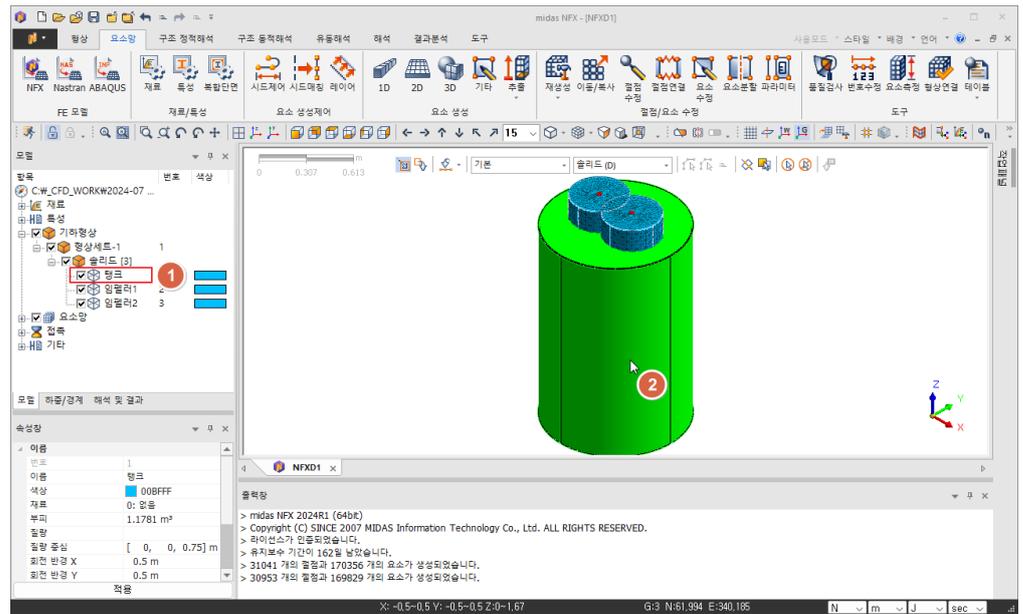
- 1) "요소망" 탭 > "3D"를 클릭합니다.
- 2) 작업화면에서 좌측의 솔리드(임펠러 1)을 선택합니다.
- 3) "크기"를 0.03m 로 입력합니다.
- 4) "특성"을 "중첩 1"로 선택합니다.
- 5) ">>"를 클릭합니다.
- 6) "고차 요소 생성"를 비활성화합니다.
- 7) "틈새 절점 강제 생성"을 활성화합니다.
- 8) "확인"을 클릭합니다.
- 9) "확인"을 클릭합니다.



- 1) 작업화면에서 우측의 솔리드(임펠러 2)를 선택합니다.
- 2) "크기"를 0.03m 로 입력합니다.
- 3) "특성"을 "중첩 2"로 선택합니다.
- 4) ">>"를 클릭합니다.
- 5) "고차 요소 생성"을 비활성화합니다.
- 6) "틈새 절점 강제 생성"을 활성화합니다.
- 7) "확인"을 클릭합니다.
- 8) "적용"을 클릭합니다.



- 1) "모델" 창 > 기하형상 트리에서 "탱크"를 활성화합니다.
- 2) "탱크"를 선택합니다.
- 3) "크기"를 0.03 으로 입력합니다.
- 4) "특성"으로 "배경"을 선택합니다.
- 5) ">>"를 클릭합니다.
- 6) "고차 요소 생성"을 비활성화합니다.
- 7) "틈새 절점 강제 생성"을 활성화합니다.
- 8) "확인"을 클릭합니다.
- 9) "확인"을 클릭합니다.



4-2-5. 경계 조건 입력

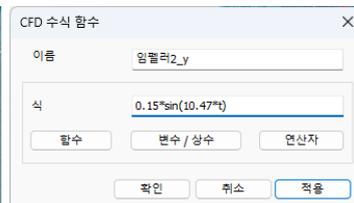
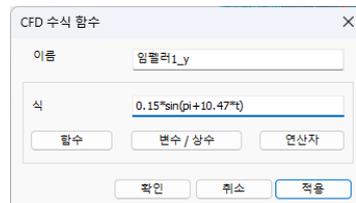
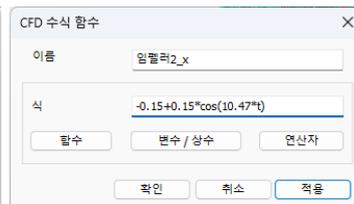
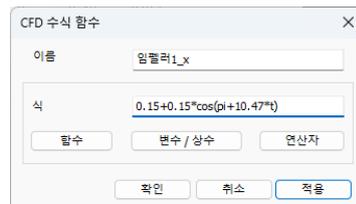
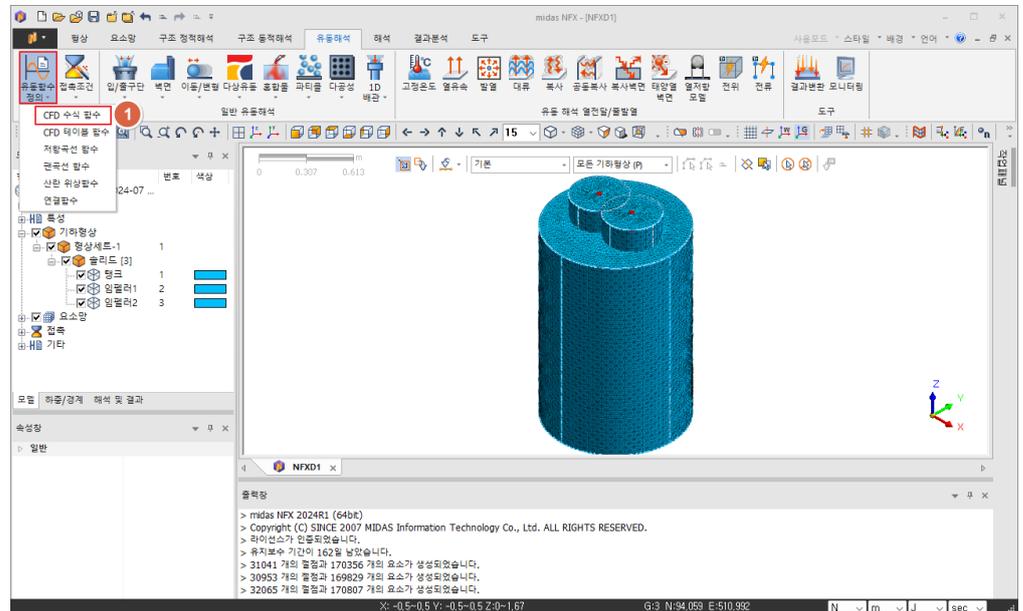
1
임펠러 회전조건을 주기 위한 함수를 생성합니다.

2
벽면이동조건은 Deg로 표현되기 때문에 rpm을 Deg/sec로 환산하여 함수를 생성합니다. t(sec)는 시뮬레이션 내 시간을 의미합니다.

3
공전에 의한 자전축 위치를 이동시키는 함수입니다. cos과 sin함수는 radian으로 입력되어야 합니다.

- 1) "유동해석" 탭 > "유동함수 정의"를 클릭한 후 "CFD 수식 함수"를 선택합니다.¹
 - 2) 이름을 "200 rpm"으로 입력합니다.
 - 3) 식에 "1200*t"를 입력합니다.²
 - 4) "적용"을 클릭합니다.
- ※ 2~4)과정을 반복하여 다음 표와 같이 4 개의 CFD 수식 함수를 추가합니다.

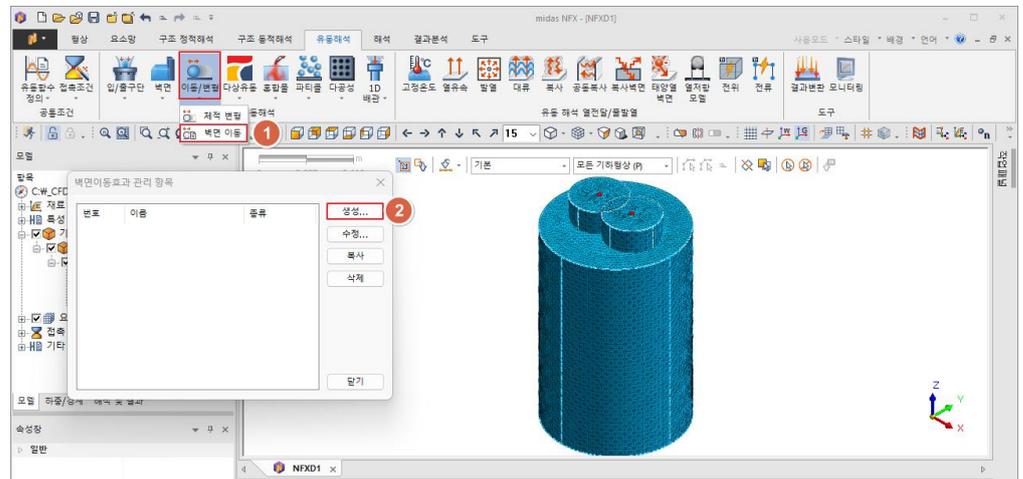
이름	식 ³
임펠러 1_x	$0.15+0.15*\cos(\pi+10.47*t)$
임펠러 1_y	$0.15*\sin(\pi+10.47*t)$
임펠러 2_x	$-0.15+0.15*\cos(10.47*t)$
임펠러 2_y	$0.15*\sin(10.47*t)$



TIP

강제 변위를 주는 것이기 때문에 질량 계산, 질량 중심, 회전 반지름벡터는 입력할 필요가 없습니다. 6자유도 문제의 경우에만 고려해주면 됩니다.

- 1) "유동해석" 탭 > "이동/변형" 클릭 후 "벽면 이동"을 선택합니다.
- 2) "생성"을 클릭합니다.
- 3) "이름"에 "임펠러 1"을 입력합니다.
- 4) "요소망 변형" 탭을 선택하고 "요소망 변형"을 활성화합니다.
- 5) "회전중심"을 활성화하고 "-0.15, 0, 0"을 입력합니다.
- 6) "Tx"를 활성화하고, "..." 버튼을 클릭합니다.
- 7) "강제운동"을 활성화한 다음, "[수식]임펠러 1_x"를 선택하고 "확인"을 클릭합니다.
- 8) "Ty"를 체크하고 "..." 버튼을 클릭합니다.
- 9) "강제운동"을 활성화한 다음, "[수식]임펠러 1_y"를 선택하고 "확인"을 클릭합니다.
- 10) "Rz"를 활성화하고 "..." 버튼을 클릭합니다.
- 11) "강제운동"을 활성화한 다음, "[수식]200 rpm"을 선택하고 "확인"을 클릭합니다.
- 12) "적용"을 클릭합니다.



Boundary Condition and Addition/Modification

번호 1 이름 임펠러1 3

변경 이동 효과 요소량 변형 4

요소량 변형

질량 계산
 자동 계산
 고정 1 kg

질량 중심 0, 0, 0 m 5

회전 중심 -0.15, 0, 0 m 6

회전 반지름벡터 1, 1, 1 m 8

Tx 강제운동 ... 10

Ty 강제운동 ...

Tz - ...

Rx - ...

Ry - ...

Rz 강제운동 ...

확인 취소 적용 12

Boundary Condition and Parameter

자유운동

병진 상수
 스프링 상수 0 N/m 없음
 감쇠 0 N-sec/m 없음

회전 범위 제한
 최대
 최소

강제운동 0.15+0.15*cos 7 [수식] 임펠러1_x 7

변형 0 m 없음

확인 닫기 7

Boundary Condition and Parameter

자유운동

병진 상수
 스프링 상수 0 N/m 없음
 감쇠 0 N-sec/m 없음

회전 범위 제한
 최대
 최소

강제운동 0.15*sin(pi+U) m 9 [수식] 임펠러1_x 9

변형 0 m 없음

확인 닫기 9

Boundary Condition and Parameter

자유운동

회전 상수
 스프링 상수 0 N-m/[deg] 없음
 감쇠 0 N-m-sec/[deg] 없음

회전 범위 제한
 최대 0 [deg] 없음
 최소 0 [deg] 없음

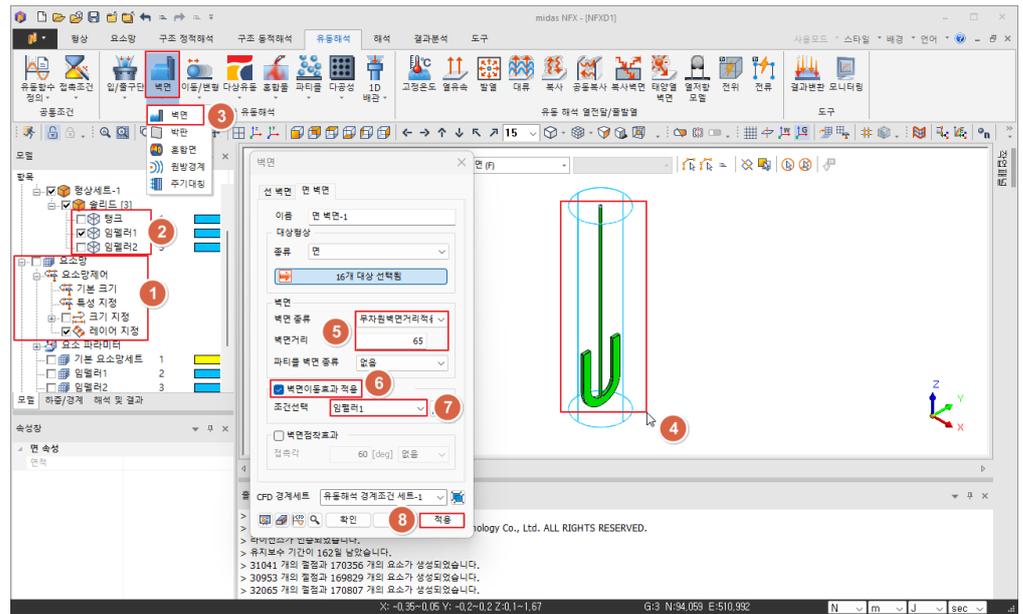
강제운동 1200* π [deg] 11 [수식] 200 rpm 11

확인 닫기 11

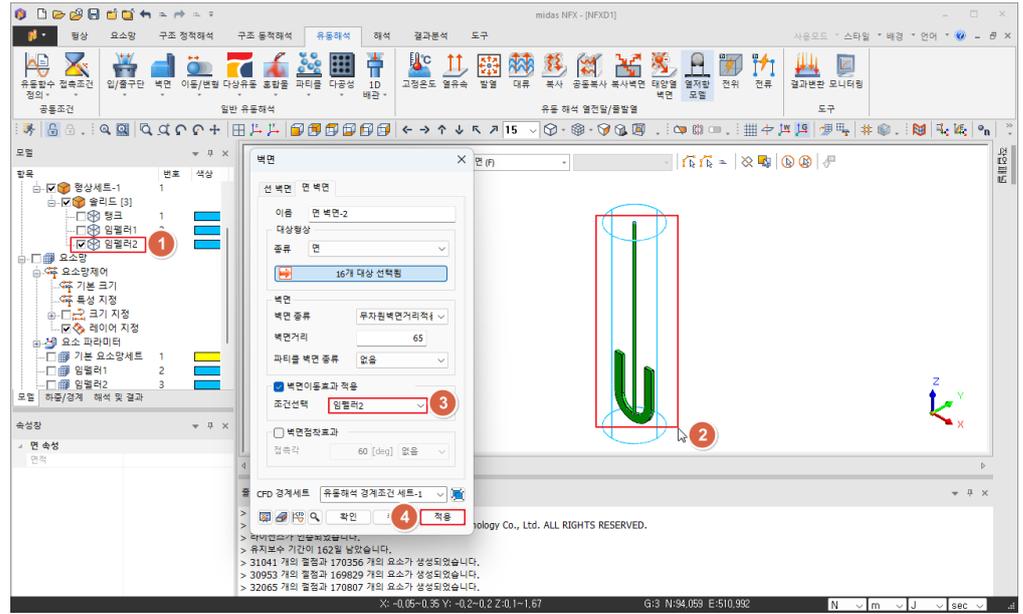
- 1) "이름"에 "임펠러 2"을 입력합니다.
- 2) "회전 중심"에 "-0.15, 0, 0"을 입력합니다.
- 3) "Tx"의 "..." 버튼을 클릭합니다.
- 4) "[수식]임펠러 2_x"를 선택하고 "확인"을 클릭합니다.
- 5) "Ty"의 "..." 버튼을 클릭합니다.
- 6) "[수식]임펠러 1_y"를 선택하고 "확인"을 클릭합니다.
- 7) "Rz"의 "..." 버튼을 클릭합니다.
- 8) "확인"을 클릭합니다.
- 9) "확인"을 클릭합니다.
- 10) "닫기"를 클릭합니다.



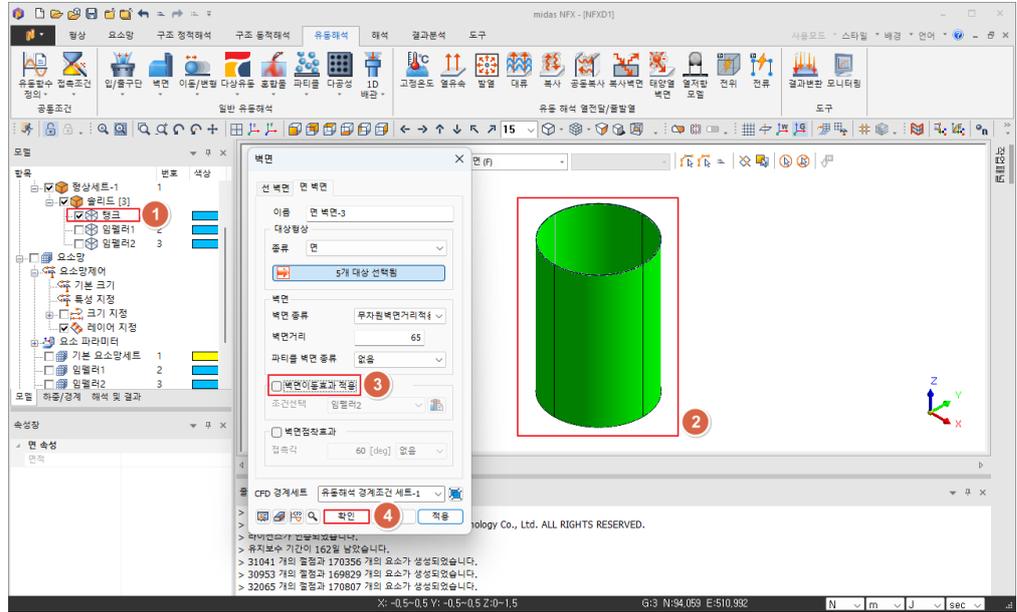
- 1) "모델" 창 > "요소망" 트리를 확장하여 "요소망"과 "크기 지정"을 비활성화합니다.
- 2) "모델" 창 > "기하형상"에서 "임펠러 1"만 활성화합니다.
- 3) "유동해석" 탭 > "벽면"을 클릭한 후 "벽면"을 선택합니다.
- 4) 작업화면에서 드래그하여 "임펠러 1"의 표면(16 개의 면)을 선택합니다.
- 5) 벽면 종류로 "무차원벽면거리"를 선택하고, 벽면거리 값으로 65 를 입력합니다.
- 6) "벽면이동효과 적용"을 활성화합니다.
- 7) 벽면이동효과의 조건선택으로 "임펠러 1"을 선택합니다.
- 8) "적용"을 클릭합니다.



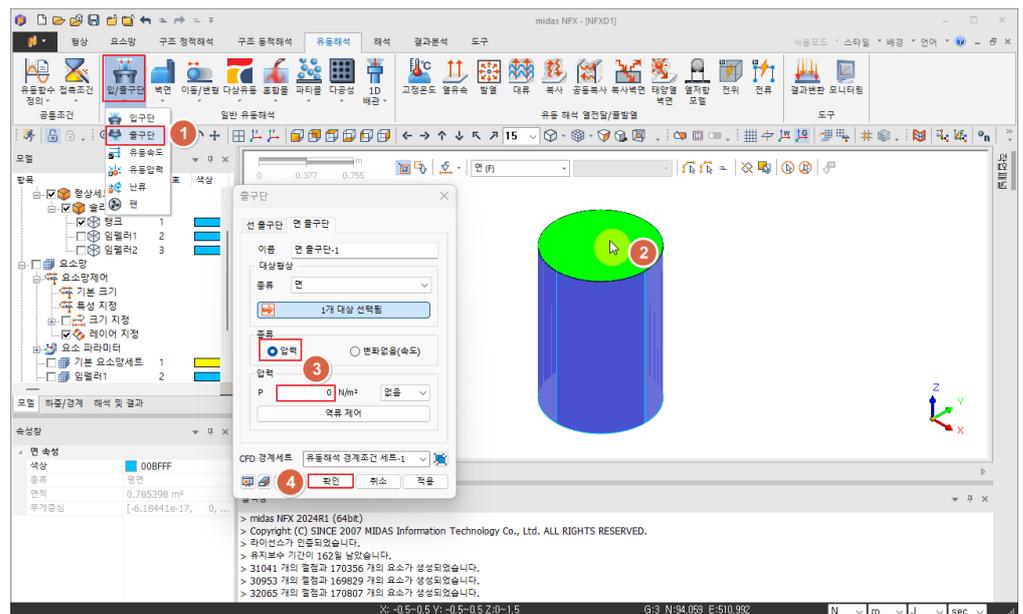
- 1) "모델" 창 > "기하형상"에서 "임펠러 1"만 활성화합니다.
- 2) 작업화면에서 드래그하여 임펠러 2 의 표면(16 개의 면)을 선택합니다.
- 3) 벽면이동효과의 조건선택으로 "임펠러 1"을 선택합니다.
- 4) "적용"을 클릭합니다.



- 1) "모델" 창 > "기하형상"에서 "탱크"만 활성화합니다.
- 2) 윗면을 제외한 면을 모두 선택합니다.
- 3) "벽면이동효과 적용"을 비활성화합니다.
- 4) "확인"을 클릭합니다.



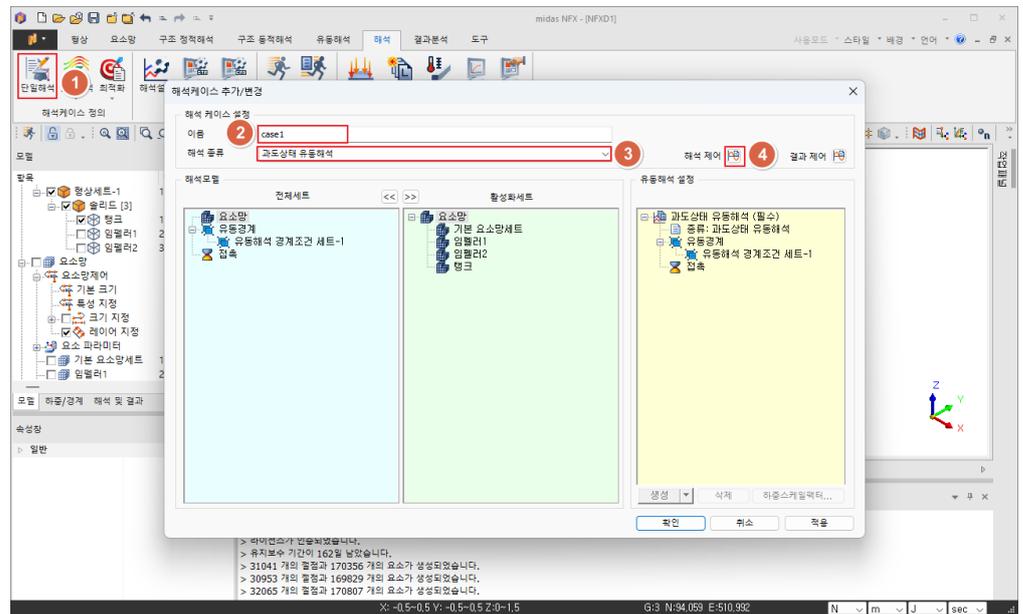
- 1) "유동해석" 탭 > "입/출구단"을 클릭한 후 "출구단"을 선택합니다.
- 2) "탱크" 윗면을 선택합니다.
- 3) 종류를 "압력"으로 선택하고, 값으로 0을 입력합니다.
- 4) "확인"을 클릭합니다.



4-2-6. 해석 케이스 정의

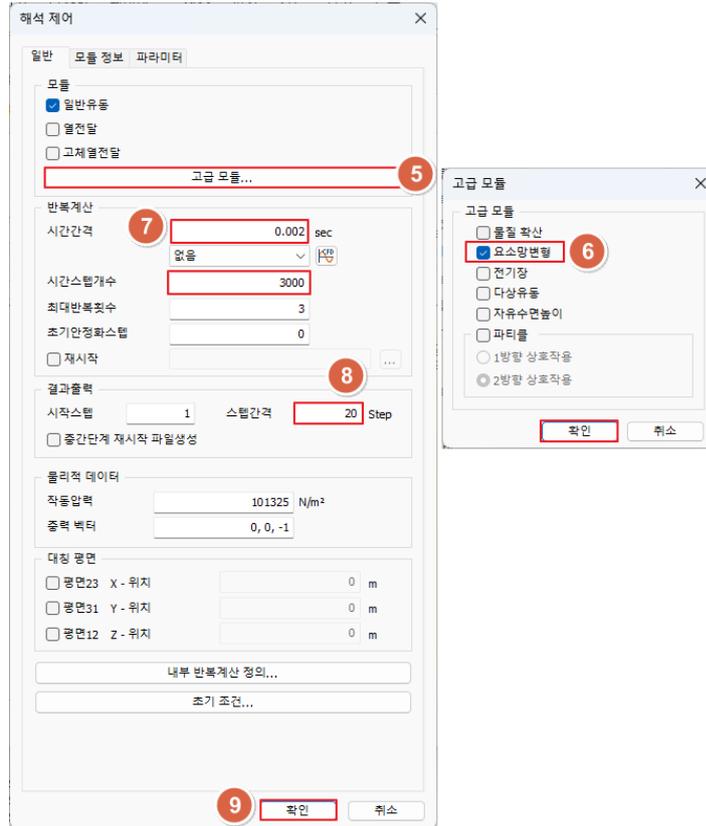
- 1) "해석" 탭 > "단일해석"을 클릭합니다.
- 2) 이름에 "case1"을 입력합니다.
- 3) 해석 종류를 "과도상태 유동해석"으로 선택합니다.
- 4) "해석 제어"를 클릭합니다.
- 5) "고급 모뎀..."을 클릭합니다.
- 6) "요소망변형"을 활성화하고 "확인"을 클릭합니다.
- 7) "시간간격"을 "0.002", "시간스텝개수"를 "3000"으로 입력합니다.⁴
- 8) "결과출력"의 "스텝간격"에 20을 입력합니다.
- 9) "확인"을 클릭합니다.

⁴
시간간격은 날개 표면의 요소망 크기를 임펠러의 접선속도로 나눈 값보다 작은 값으로 설정합니다.



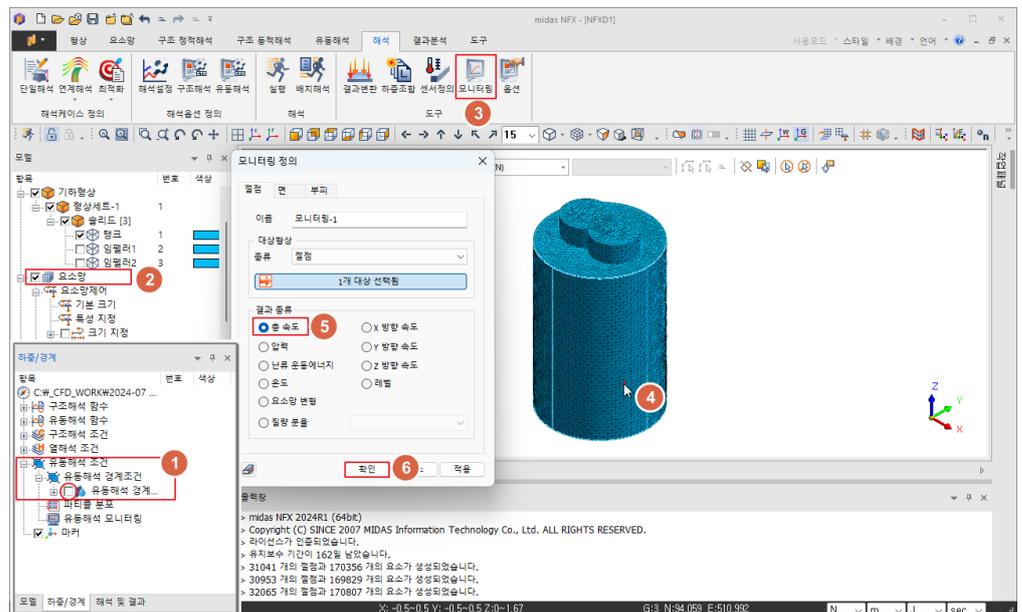
TIP

모니터링 위치는 값의 확인이 필요한 부분으로 선택합니다. 모니터링을 지정하면 *.grf 파일에 매 step마다 저장됩니다.

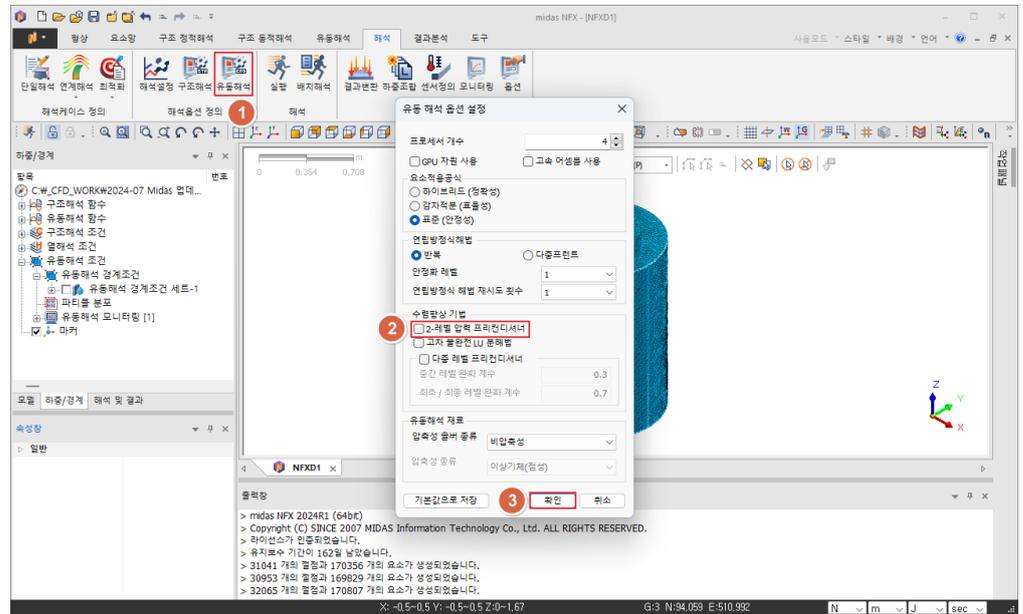


4-2-7. 계산 실행

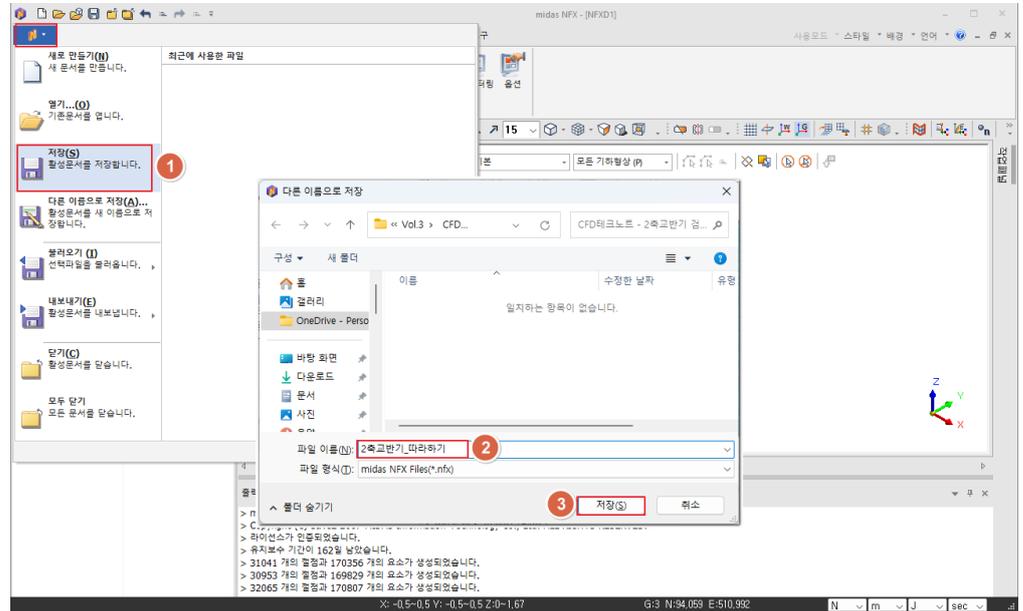
- 1) "하중/경계" 창 > "유동해석 조건" 트리를 확장하여 "유동해석 경계조건 세트-1"을 비활성화합니다.
- 2) "모델" 창 > "요소망"을 활성화합니다.
- 3) "해석" 탭 > "모니터링"을 클릭합니다.
- 4) 탱크의 벽면에 해당하는 적당한 위치의 절점을 선택합니다.
- 5) 결과 종류는 "총 속도"를 선택합니다.
- 6) "확인"을 클릭합니다.



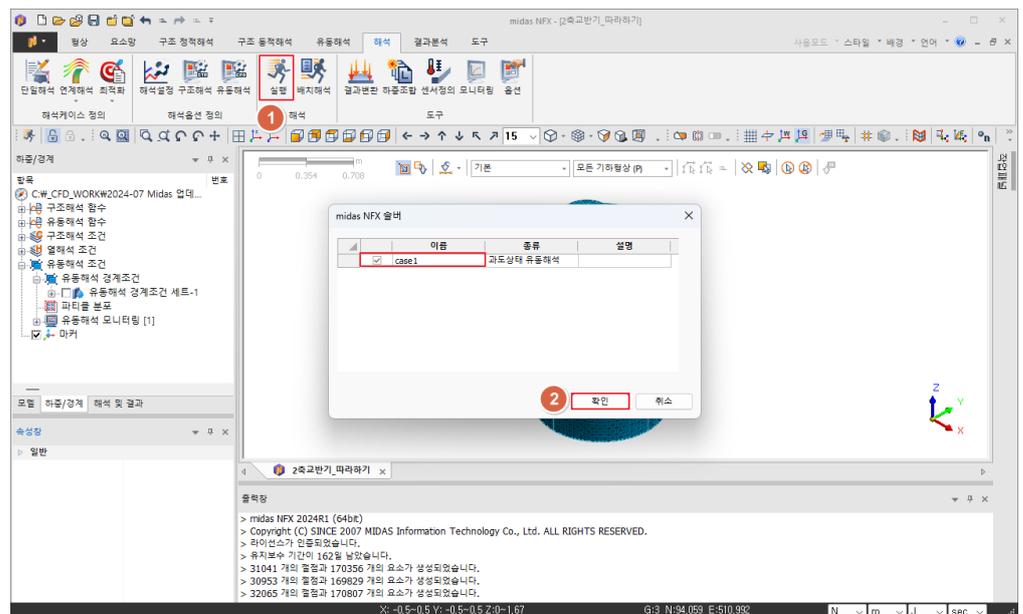
- 1) "해석" 탭 > 해석옵션 정의 - "유동해석"을 클릭합니다.
- 2) '2-레벨 압력 프리컨디셔너'를 비활성화합니다.
- 3) "확인"을 클릭합니다.



- 1) "파일"을 클릭 후 "저장"(또는 다른 이름으로 저장)을 선택합니다.
- 2) 파일 이름으로 "2 축교반기_따라하기"를 입력합니다.
- 3) "저장"을 클릭합니다.



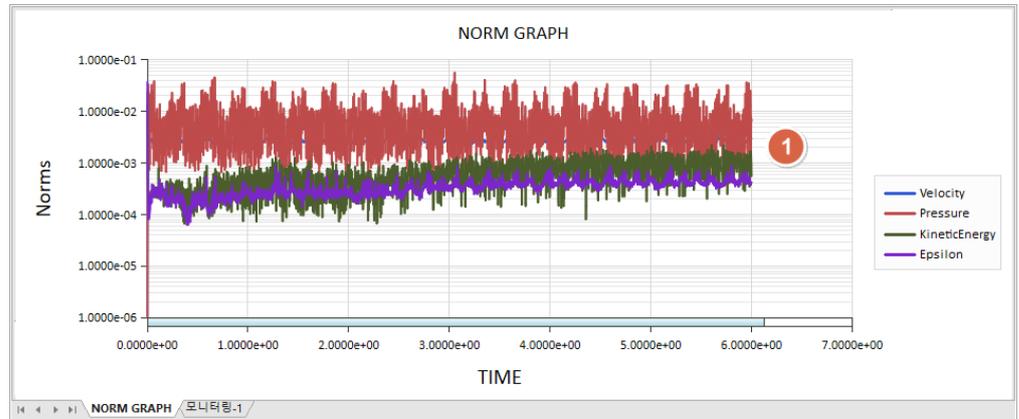
- 1) "해석" 탭 > "실행"을 클릭합니다.
- 2) "CASE1"이 활성화 되어있는지 확인한 후 "확인"을 클릭합니다.



- 1) "NORM GRAPH"와 출력창으로 Norm 값이 떨어지는지 확인합니다.
- 2) 모니터링 값이 정상상태에 도달했는지 확인합니다.

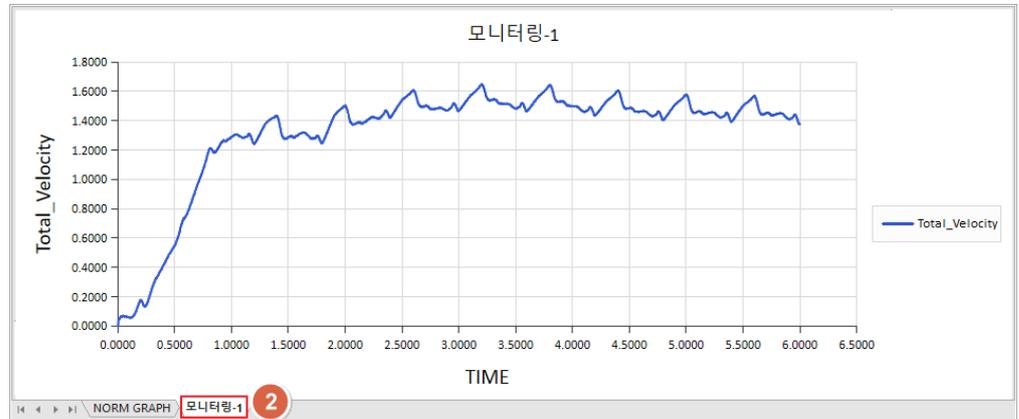
TIP

중첩요소를 이용한 2축교반기 해석의 경우 임펠러의 상호작용으로 유동현상이 계속 변화하기 때문에 Norm값이 0.001까지 떨어지지 않을 수 있습니다. Norm 값이 전반적으로 낮아지는지 관찰합니다.



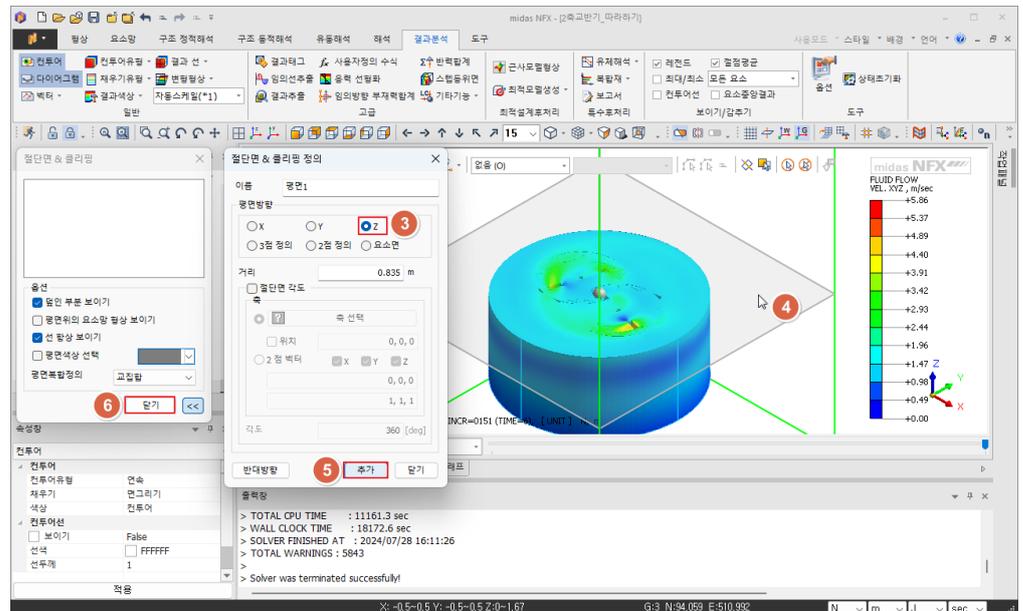
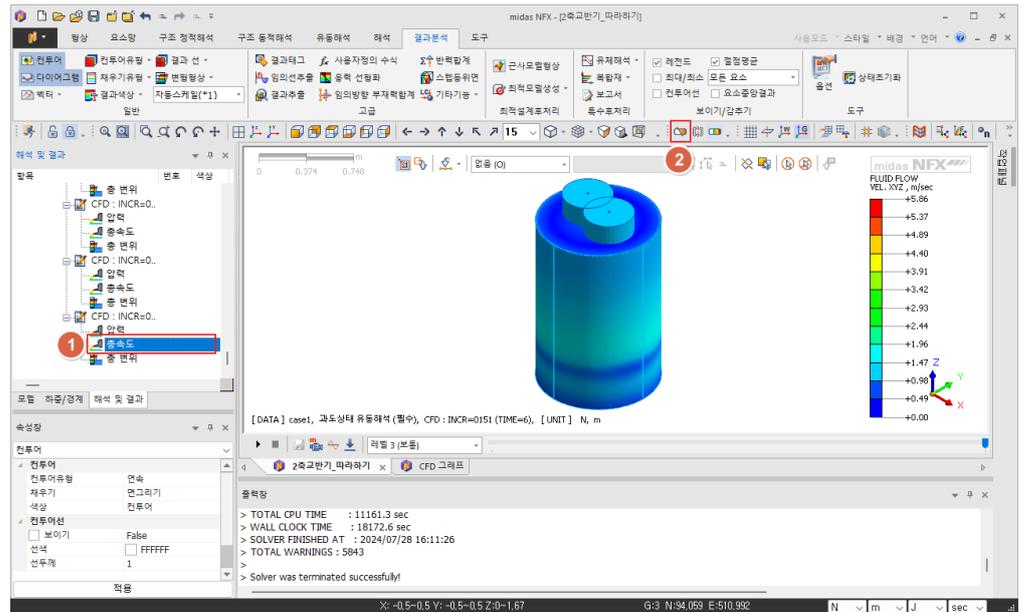
TIP

모니터링 위치에 따라 정상상태에 도달하는 시간이 달라집니다. 따라서 해석목적에 맞는 곳에 모니터링을 하고 그 값이 일정해 질 때 까지 반복계산을 수행해야 합니다.



4-2-8. 결과 검토

- 1) "해석 및 결과" 창 > "결과" 트리에서 최종스텝의 "총속도"를 더블클릭합니다.
- 2) "절단모델 보이기"를 클릭합니다.
- 3) 평면방향을 "Z"로 선택합니다.
- 4) 작업화면에서 회색으로 표시되는 평면을 드래그하여 원하는 위치로 이동시킵니다.
- 5) "추가"를 클릭합니다.
- 6) "닫기"를 클릭합니다.



- 1) "결과분석" 탭 > "결과 선"을 클릭한 후 "특징 선"을 선택합니다.
- 2) "변형형상"을 "변형후 형상"으로 선택합니다.
- 3) "스케일"을 "실제스케일"로 변경합니다.
- 4) "멀티-스텝 애니메이션 녹화"를 활성화합니다.
- 5) "재생"을 클릭합니다.
- 6) "저장"을 클릭합니다.
- 7) 파일 이름을 "단면속도"로 입력합니다.
- 8) "저장"을 클릭합니다(작업 디렉토리에 동영상 파일이 생성됩니다).

