



RESOS-v1.0.2 사용자 매뉴얼

(RESistance Open Source CFD package)

(주)넥스트폼

www.nextfoam.co.kr

Open Source CFD Consulting

NEXTfoam 기술연구소

153-790, 서울특별시 금천구 디지털로 9길 32 A동 1106호(갑을그레이트밸리)

April 2016

문의:

NEXTfoam Co.,Ltd.
153-790, 서울특별시 금천구 디지털로 9길 32
갑을그레이트밸리 A동 1106호
(070) 8796-3011

차 례

1	개요	3
2	설치 및 실행 방법	3
3	Launcher	4
4	주 화면(main window)	5
5	메뉴	6
5.1	File	7
5.2	Mesh	8
5.3	Report	9
5.4	Postprocessing	9
6	Tool bar	10
7	Simulation conditions	11
8	snappyHexMesh	12
8.1	Geometry/BlockMesh	13
8.2	Castellate/Snap	14
8.3	Boundary Layer	14
9	Mesh manipulation	15
9.1	Import Mesh	15
10	VOF setup	17
11	Boundary condition	17
11.1	속도(Velocity)	19
11.2	압력(Pressure)	20
11.3	난류(k, epsilon, omega)	21
12	Internal field	23
13	fvSolution	24
13.1	Solvers	25
13.2	PIMPLE	26
13.3	Relaxation factor	27
14	fvSchemes	27
14.1	ddtSchemes	27
14.2	interpolation	28
14.3	gradSchemes	28
14.4	snGradSchemes	28
14.5	laplacianSchemes	29
14.6	divergenceSchemes	29
15	Monitoring/Post	30
15.1	Monitoring	30

15.2 후 처리	33
16 Run condition	34

1 개요

RESOS-v1.0.2는 OpenFOAM을 기반으로 개발된 선박 저항 해석 프로그램으로 다음과 같은 기능을 제공한다.

- 격자 생성 - snappyHexMesh 이용
- 격자 파일 변환 (Fluent, CFX, ideasUnv, gmsh, Star-CCM+)
- 자유수면을 포함한 선박 저항 해석

python2.7, pygtk, vtk 등을 사용하여 OpenFOAM-2.3.x 버전을 기반으로 제작되었다.

pyFoam, swak4Foam, gnuplot 등을 사용하며 넥스트폼에서 제작한 솔버(interNFoam), 경계 조건(alphaWeighted), 유틸리티(changeBCs)를 사용한다.

2 설치 및 실행 방법

- 1) 압축을 풀면 install_file.RESOS-v1.0.2 폴더가 생성된다.
- 2) 터미널에서 install_file.RESOS-v1.0.2 폴더로 이동하여 install 파일을 실행한다.
- 3) 터미널에서 RESOS를 입력하거나 우분투 메뉴에서 RESOS 아이콘을 클릭하면 프로그램이 구동된다.

프로그램이 설치되는 경로는 \$FOAM_USER_APPBIN/ 이다. 설치 경로에 RESOS-GUI-v1.0.2 폴더가 만들어 진다.

RESOS-GUI-v1.0.2 폴더에는 resistance, common, pic 등 3개의 폴더와 실행 파일인 RESOS.py 파일이 생성된다.

프로그램이 정상적으로 구동되기 위해서는 다음의 프로그램들이 설치되어 있어야 한다.

- OpenFOAM-2.4.x 혹은 OpenFOAM-2.3.x
 - openfoam.org 사이트 참조
- pyFoam
 - <https://openfoamwiki.net/index.php/Contrib/PyFoam> 사이트 참조
- swak4Foam
 - <https://openfoamwiki.net/index.php/Contrib/swak4Foam> 사이트 참조

- python2.7
 - 대부분의 리눅스 배포판에서는 설치되어 있음.
 - 우분투에서는 synaptic package manager에서 설치할 수 있음
 - www.python.org 사이트 참조
- pygtk
 - 대부분의 리눅스 배포판에서는 설치되어 있음.
 - 우분투에서는 synaptic package manager에서 설치할 수 있음
 - www.pygtk.org 사이트 참조
- vtk
 - 우분투에서는 synaptic package manager에서 설치할 수 있음
 - www.vtk.org 사이트 참조
- vte
 - 우분투에서는 synaptic package manager에서 설치할 수 있음
 - <https://github.com/GNOME/vte> 사이트 참조
- gnuplot
 - 대부분의 리눅스 배포판에서는 설치되어 있음.
 - 우분투에서 설치할 때는 터미널에서 "sudo apt-get install gnuplot"을 실행
- rst2pdf
 - 우분투에서 설치할 때는 터미널에서 "sudo apt-get install rst2pdf"를 실행
- libccmio
 - starCCM+의 격자 파일을 변환하고자 할 때 필요하며 CD-Adapco가 라이선스를 갖고 있음
 - openfoamwiki.net/index.php/Ccm26ToFoam 사이트 참조

3 Launcher

프로그램이 구동되면 그림 3.1와 같은 창이 나타난다.

Launcher에서는 새로운 계산을 할 것인지 기존의 작업을 열 것인지 선택한다.

원하는 항목을 선택하고 'Start' 버튼을 누르면 작업 폴더를 선택하는 창이 나타난다. 'New'를 선택했으면 원하는 위치로 이동하여 폴더 이름을 입력하고, 'Open'을 선택했으면 기존 작업 폴더를 선택한다.

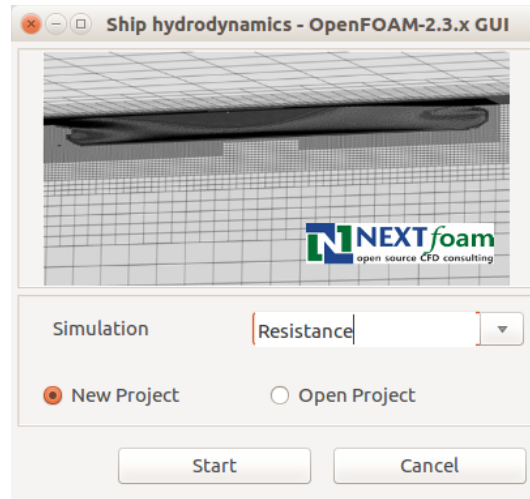


그림 3.1: Launcher

4 주 화면(main window)

launcher를 실행하면 그림 4.1와 같은 창이 나타난다.

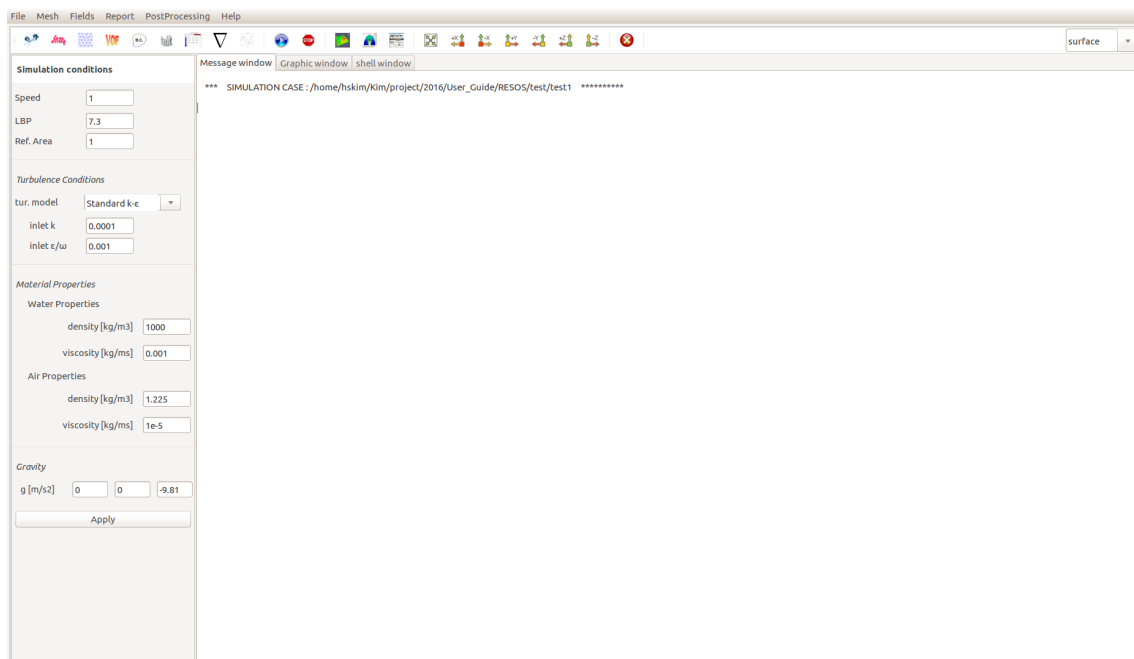


그림 4.1: 주 화면

주 화면은 다음의 여덟 영역으로 나눌 수 있다.

- menu
- tool bar : 'Run', 'Stop', 'Patch Scalar', 'Cutting plane', 'ParaFoam', 'Reset', 'viewdir.+x', 'viewdir.-x', 'viewdir.+y', 'viewdir.-y', 'viewdir.+z', 'viewdir.-z' 그리고 'Close' 아이콘이 있다.
- 작업 선택 상자 : 필요한 작업을 선택하면 세부 설정 창이 바뀌어 표시된다.
- 세부 설정 창(free panel)
- Message window : 현재의 작업 폴더를 보여주며 각 세부 설정이 완료되면 결과 메시지를 보여준다.
- Graphic window : 격자를 보여주는 영역
- Shell window : 현재의 작업 내용을 terminal window로 보여준다.
- 표현 선택 상자 : 격자를 보여주는 그래픽 창의 표현을 surface, surfaceEdge 그리고 wire-frame 설정을 선택하여 표현할 수 있다.

그래픽창의 마우스 컨트롤

그래픽 창은 격자 파일을 열 때, Mesh freepanel의 'Display Mesh'를 실행할 때, Boundary condition 설정 창에서 면을 'Display' 할 때, point 값 모니터링 시 위치를 'Display' 할 때 격자를 보여주는 영역이다.

마우스 컨트롤 방법은 다음과 같다.

Order	Control 방법
Rotation	Mouse left button
Translation	Mouse wheel
Zoom in/out	Mouse right button

표 4.1: 마우스 컨트롤 방법

5 메뉴

메뉴는 File, Mesh, Fields, Report, PostProcessing, Help 등의 여섯 가지로 구성되어 있다.

5.1 File

File 메뉴는 다음과 같은 7개의 항목으로 구성되어 있다.

New simulation

'New simulation'은 새로운 작업을 시작하기 위한 메뉴이다. Launcher에서와 마찬가지로 기능을 하며 새로운 폴더를 설정하기 위한 설정 창이 열린다. 새로운 폴더를 설정하면 메시지 창에 새로 설정한 폴더가 표시되고 현재 작업 폴더가 변경된다.

Open simulation

'Open simulation'은 기존의 작업을 열기 위한 메뉴이다. Launcher에서와 마찬가지로 기능을 하며 기존 작업 폴더를 선택하기 위한 폴더 선택 창이 열린다.

Save As

'Save As'는 현재의 작업을 다른 이름으로 저장하기 위한 메뉴이다. 'New simulation'과 마찬가지로 새로운 폴더를 설정하기 위한 설정 창이 열린다. 모든 설정과 격자, 저장된 데이터들을 다른 이름으로 복사한다.

Clone Case

'Clone Cases'는 저장된 데이터는 가져가지 않는다는 것을 제외하면 'Save As'와 같은 작동을 한다.

Clear Data

'Clear Data'는 현재 작업 폴더에서 저장되어 있는 모든 데이터를 삭제한다.

reconstructPar

'reconstructPar'는 병렬연산을 통해 저장된 데이터가 있을 때 이를 하나의 데이터로 합쳐준다. 명령을 실행하면 그림 5.1와 같은 창이 열리며 'SourceTime is latestTime', 'SourceTime is All' 그리고 'Select time' 옵션이 있다.

- 'SourceTime is latestTime'을 선택하면 마지막 시간에 저장된 데이터만 reconstruct 되고 나머지 데이터는 모두 삭제된다.
- 'SourceTime is All'은 모든 시간을 reconstruct 한다.
- 'Select time' 옵션을 선택하고 저장된 시간들을 선택하면 선택된 시간의 데이터들만 reconstruct되고 나머지 데이터는 모두 삭제된다.

Exit

프로그램을 종료한다.



그림 5.1: reconstructPar 설정 창

5.2 Mesh

Check Mesh, Scale Mesh 그리고 Translate Mesh 세 가지 하위 메뉴가 있다.

Check Mesh

현재 격자의 상태를 보여준다. checkMesh 유틸리티를 실행하여 그 결과를 shell window에서 보여준다.

Scale Mesh

읽어오거나 변환된 격자의 scale을 조정할 필요가 있을 때 사용하는 기능이다. 실행하면 그림 5.2의 창이 열린다.

x,y,z 방향의 scale factor를 입력하고 'Apply' 버튼을 누르면 transformPoints 유틸리티가 실행되어 scale이 조절된다.

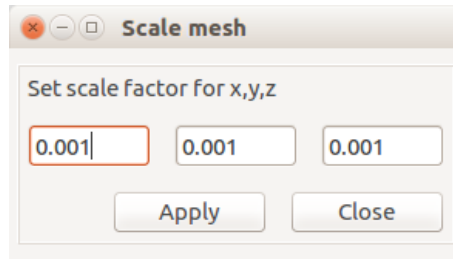


그림 5.2: Scale Mesh 설정 창

Translate Mesh

읽어오거나 변환된 격자의 위치를 이동시킬 필요가 있을 때 사용하는 기능이다. 실행하면 그림 5.3의 창이 열린다.

x,y,z 방향의 벡터를 입력하고 'Apply' 버튼을 누르면 transformPoints 유틸리티가 실행되어 격자가 이동된다.

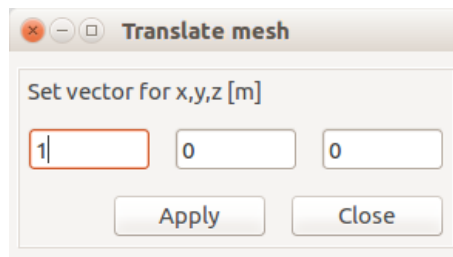


그림 5.3: Translate Mesh 설정 창

5.3 Report

pyFoamCaseReport.py 프로그램을 이용하여 현재 계산 case의 설정을 표시해 준다.

'caseReport'는 현재 작업 폴더에 caseReport 라는 이름의 텍스트 파일을 만들고 GUI 창에서 보여준다. 'createPdf'는 현재 작업 폴더에 caseReport.pdf 라는 이름의 파일을 만들고 evince 프로그램에서 파일을 보여준다.

5.4 Postprocessing


'paraFoam'과 'paraFoam -builtin' 두 가지 항목이 있다. 'paraFoam -builtin'은 paraview의 기본 옵션에 의해 paraview가 구동된다. 'paraFoam'을 실행했을 때 병렬연산에 의해 decompose 된 결과들을 확인할 수 없기 때문에 -builtin 옵션의 사용이 필요하다.


6 Tool bar


'Run / Stop', 'Patch Scalar / Cutting plane / ParaFoam', 'Camera Controls' 그리고 'Close' 네 개의 부분으로 구성된다.




그림 6.1: tool bar


 (Run)을 클릭하면 현재 지정한 설정들로 계산이 시작되고,

 (Stop)을 클릭하면 현재 계산 중인 문제의 controlDict 파일의 stopAt을 writeNow로 바꿔주어 데이터를 저장하고 계산을 종료한다.

 (Patch Scalar)를 클릭하면 계산 결과를 그래픽 창에 표현한다.


 (Cutting plane)은 사용자가 설정한 plane으로 유동장 영역을 잘라 결과를 표현한다.

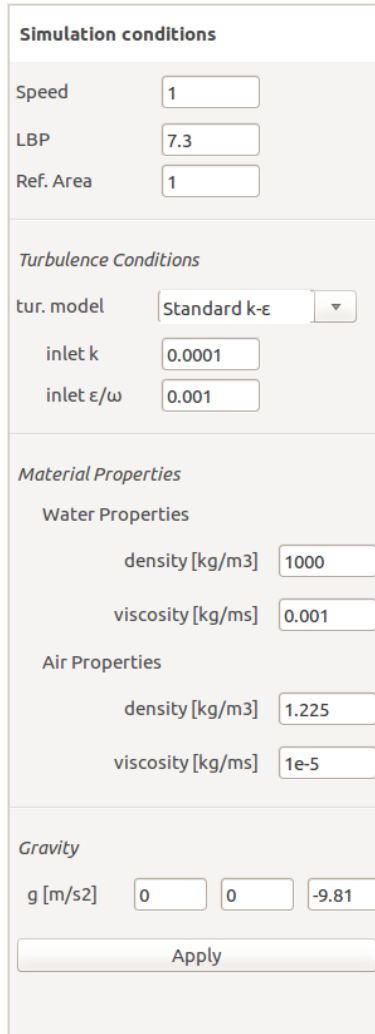
 (ParaFoam)을 클릭하면 paraFoam 시스템 명령을 수행한다. 메뉴의 paraFoam과 같은 동작이다.

 (Close)를 클릭하면 현재 GUI를 종료한다.

'Camera Controls' 부분은 그래픽 창에 디스플레이된 화면의 view point를 설정해 준다.

7 Simulation conditions

 (Sim. conditions)를 클릭하면 상세설정 창(free panel)이 그림 7.1와 같이 나타나고 다음과 같이 계산에 필요한 기본적인 설정을 입력한다.



Simulation conditions			
Speed	<input type="text" value="1"/>		
LBP	<input type="text" value="7.3"/>		
Ref. Area	<input type="text" value="1"/>		
Turbulence Conditions			
tur. model	Standard k-ε ▼		
inlet k	<input type="text" value="0.0001"/>		
inlet ε/ω	<input type="text" value="0.001"/>		
Material Properties			
Water Properties			
density [kg/m3]	<input type="text" value="1000"/>		
viscosity [kg/ms]	<input type="text" value="0.001"/>		
Air Properties			
density [kg/m3]	<input type="text" value="1.225"/>		
viscosity [kg/ms]	<input type="text" value="1e-5"/>		
Gravity			
g [m/s²]	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="-9.81"/>
<input type="button" value="Apply"/>			

그림 7.1: Simulation conditions freepanel

- 1) 선박의 속도, LBP, Reference Area를 입력한다.
- 2) 'Turbulence conditions' 영역에서 난류 모델을 선택하고 입구의 k와 epsilon(k-omega 계열 모델일 때는 omega) 값을 입력한다.

제공되는 난류 모델은 다음과 같다.


- standard k-epsilon model
- RNG k-epsilon model

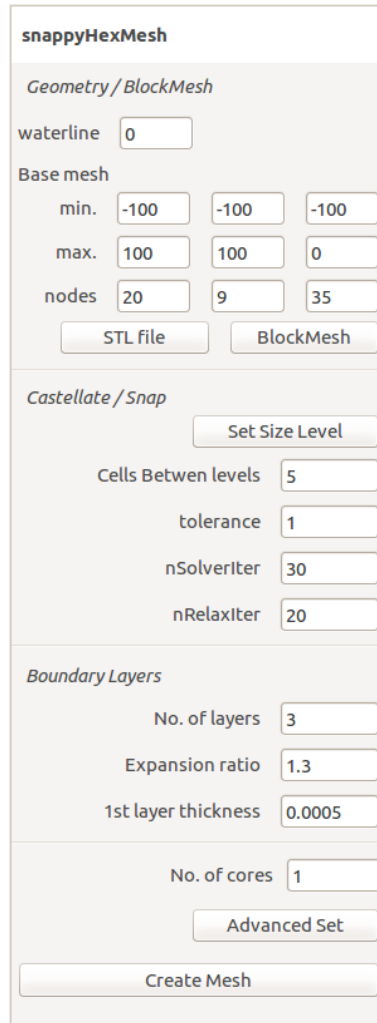
- realizable k-epsilon model
- k-omega model
- SST k-omega model

3) 물과 공기의 물성 값을 입력한다.

4) 중력을 벡터로 입력한다.

8 snappyHexMesh

 (snappyHexMesh)를 클릭하면 격자 생성을 위한 상세설정 창(free panel)이 그림 8.1와 같이 나타나며 'Geometry/BlockMesh', 'Castellate/Snap', 'Boundary Layer'의 세 부분으로 구성된다.



The image shows the 'snappyHexMesh' free panel interface, which is organized into several sections:

- snappyHexMesh** (Title bar)
- Geometry / BlockMesh** (Section header)
 - waterline: 0
 - Base mesh
 - min.: -100, -100, -100
 - max.: 100, 100, 0
 - nodes: 20, 9, 35
 - Buttons: STL file, BlockMesh
- Castellate / Snap** (Section header)
 - Buttons: Set Size Level
 - Cells Between levels: 5
 - tolerance: 1
 - nSolverIter: 30
 - nRelaxIter: 20
- Boundary Layers** (Section header)
 - No. of layers: 3
 - Expansion ratio: 1.3
 - 1st layer thickness: 0.0005
- Advanced Set** (Section header)
 - No. of cores: 1
 - Buttons: Advanced Set, Create Mesh

그림 8.1: snappyHexMesh freepanel

8.1 Geometry/BlockMesh

'waterline'을 입력하고 ('waterline'은 초기 수면의 z 좌표) 'STL file' 버튼을 눌러 선박의 stl 파일을 선택하면 'Base mesh'의 숫자들이 자동으로 입력된다. 동시에 'Boundary Layer'의 '1st layer thickness' 값도 자동으로 설정된다. 그래픽 창에는 선택한 stl 파일이 그림 8.2와 같이 나타난다.

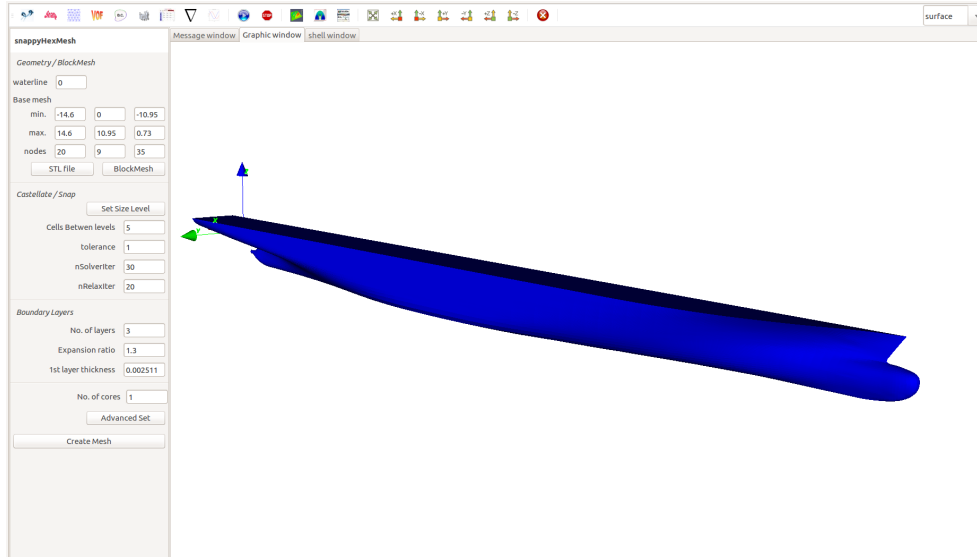


그림 8.2: STL 파일 표시

'BlockMesh' 버튼을 클릭하면 blockMesh 유틸리티가 실행되고 그래픽 창에 그림 8.3과 같이 결과를 보여준다.

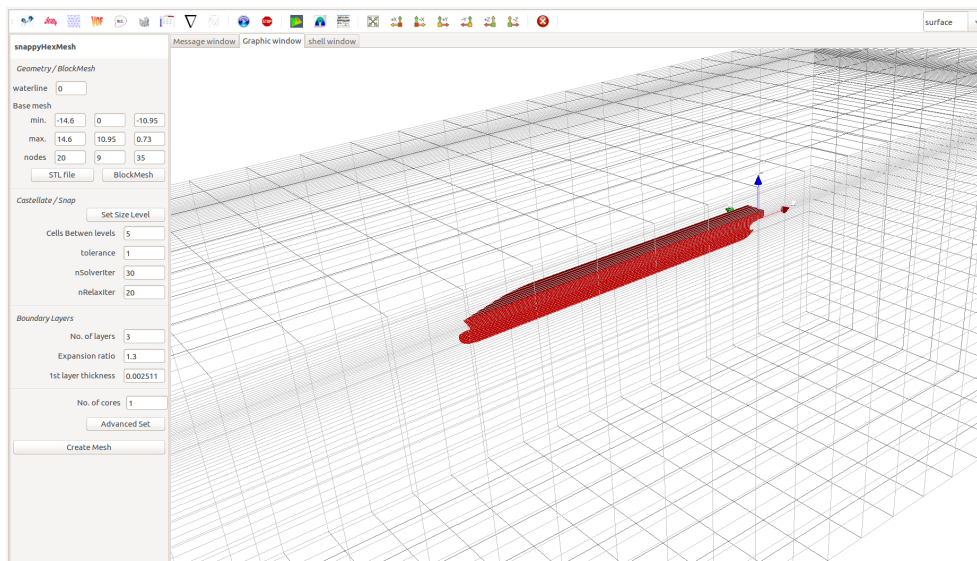


그림 8.3: blockMesh 결과 표시

8.2 Castellate/Snap

'Set Size Level' 버튼을 누르면 그림 8.4의 창이 열린다. surface와 feature line에서의 level을 입력하고 'Apply' 버튼을 누르면 격자 크기가 결정된다.

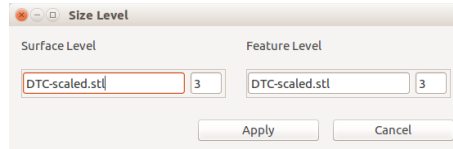


그림 8.4: size level 설정 창

'Cells Between levels', 'tolerance', 'nSolverIter', 'nRelaxIter'를 입력한다.

8.3 Boundary Layer

'No. of layers', 'Expansion ratio', '1st layer thickness'를 입력한다. 자동으로 나타나는 '1st layer thickness' 값은 $y+ 100$ 을 기준으로 계산된 값이다.

'No. of cores'에 사용할 CPU core의 개수를 입력하고 'Create Mesh' 버튼을 누르면 topoSet, refineMesh, snappyHexMesh 등의 유틸리티가 실행되고 격자가 생성된다.

'Advanced Set' 버튼을 누르면 그림 8.5의 창이 열리고 snappyHexMeshDict 파일에 사용될 각종 설정 값을 변경할 수 있다.

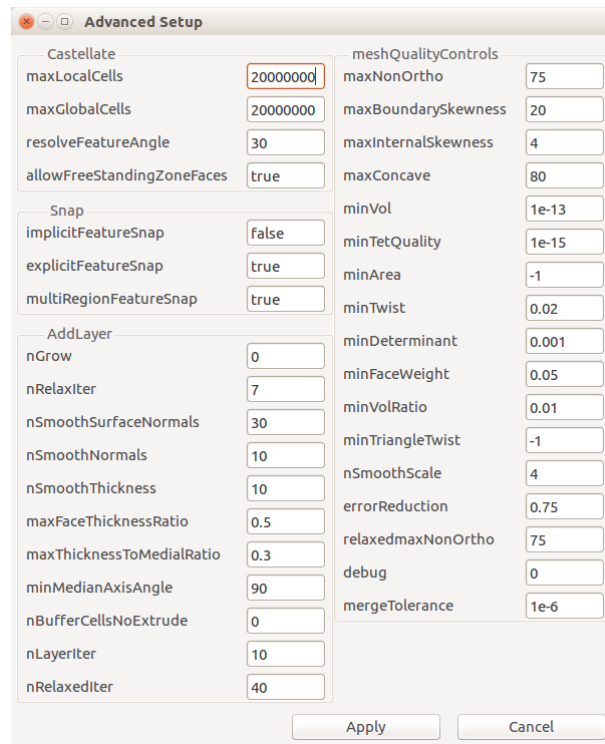

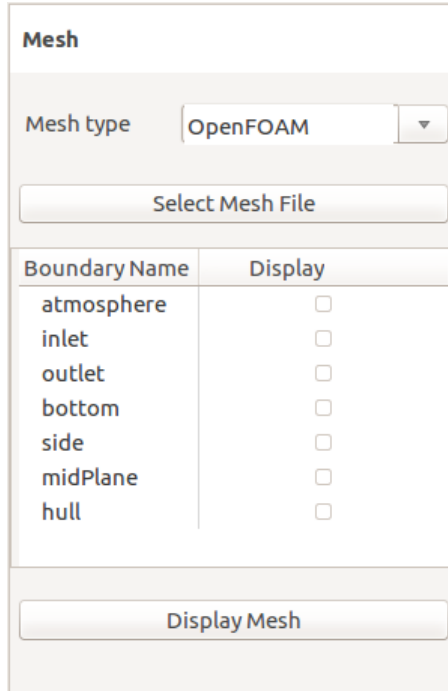


그림 8.5: Advanced Set 설정 창

9 Mesh manipulation

 (Mesh manipulation)을 클릭하면 상세설정 창(free panel)이 그림 9.1와 같이 나타난다.



The image shows a software panel titled 'Mesh'. It contains a 'Mesh type' dropdown menu set to 'OpenFOAM'. Below this is a 'Select Mesh File' button. A table lists boundary names with corresponding 'Display' checkboxes. At the bottom is a 'Display Mesh' button.

Boundary Name	Display
atmosphere	<input type="checkbox"/>
inlet	<input type="checkbox"/>
outlet	<input type="checkbox"/>
bottom	<input type="checkbox"/>
side	<input type="checkbox"/>
midPlane	<input type="checkbox"/>
hull	<input type="checkbox"/>

그림 9.1: Mesh freepanel

9.1 Import Mesh

'Import Mesh'는 오픈폼 격자를 읽어 오거나 외부 격자를 변환하기 위한 부분이다. 'OpenFOAM'과 'Convert Mesh' 두 개의 옵션이 있다.

'OpenFOAM'을 선택하면 기존 오픈폼 격자(polyMesh 폴더)를 현재의 작업 폴더로 가져 온다.

'Convert Mesh'를 선택하면 외부 격자를 변환한다. 외부 격자는 반드시 아스키 형식으로 저장된 파일이어야 한다. 격자 변환에 사용할 유틸리티를 선택할 수 있으며 유틸리티는 다음의 다섯 가지가 제공된다.

- fluentMeshToFoam
- fluent3DMeshToFoam
- ideasUnvToFoam
- gmshToFoam

- ccm26ToFoam

'Select Mesh' 버튼을 누르면 'OpenFOAM'이 선택된 상태에서는 폴더를 선택할 수 있는 창이 열리고 'Convert Mesh'가 선택된 상태에서는 파일을 선택할 수 있는 창이 열린다. polyMesh 폴더 혹은 격자 파일이 선택되면 복사 혹은 격자 변환 유틸리티가 실행된다.

fluentMeshToFoam의 경우 -writeZones, -writeSets 옵션을 사용한다. 이 옵션들을 사용하면 Fluent에서 설정한 cell zone 정보들과 baffle의 정보들을 오픈폼에서 cellZone이나 cellSet으로 가져온다. cell zone 정보들은 오픈폼에서 MRF, porous 등의 cellZone 조건을 설정할 때 반드시 필요하다. 계산 영역 내부에 존재하는 경계면(interior 혹은 wall)의 정보는 오픈폼의 경계면으로 가져오지 않으며 -writeSets 옵션을 사용할 때 faceSet 정보로 가져온다.

fluent3DMeshToFoam은 별도의 옵션이 없다. Fluent의 cas 파일을 변환하는 경우에 한해 wall과 shadow-wall의 정보를 모두 가져와 baffle을 경계면으로 인식한다. 그리고 이 유틸리티는 2차원 격자를 변환하지 못한다.

Display Mesh

Boundary의 'Display' 옵션을 선택하고 'Display Mesh'를 클릭하면 현재 격자의 경계면들이 표시되며 좌표 축은 (0 0 0)의 위치에 표시된다. 프로그램 창 오른쪽 상단의 표현 선택 상자에서 'surface', 'surfaceEdge' 그리고 'wireframe' 설정 중 하나를 선택한 후 'Display Mesh'를 클릭하면 해당하는 설정으로 격자를 표현한다.

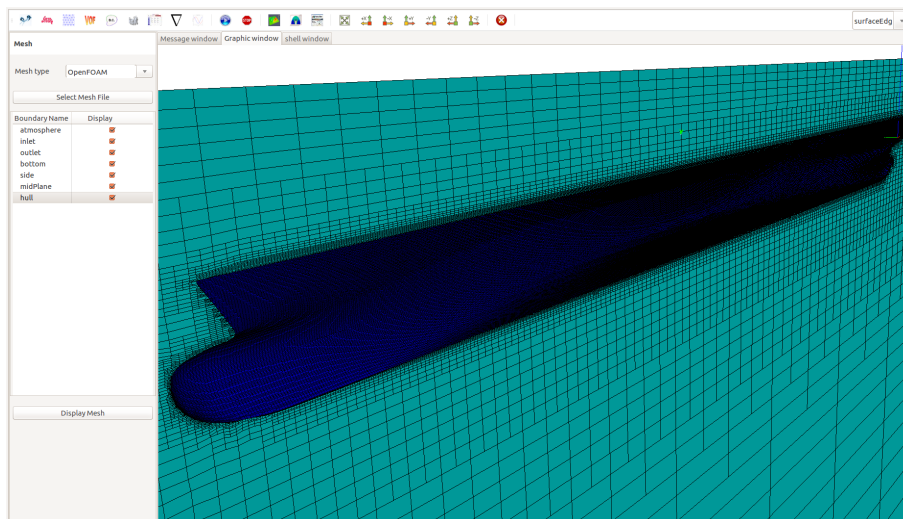

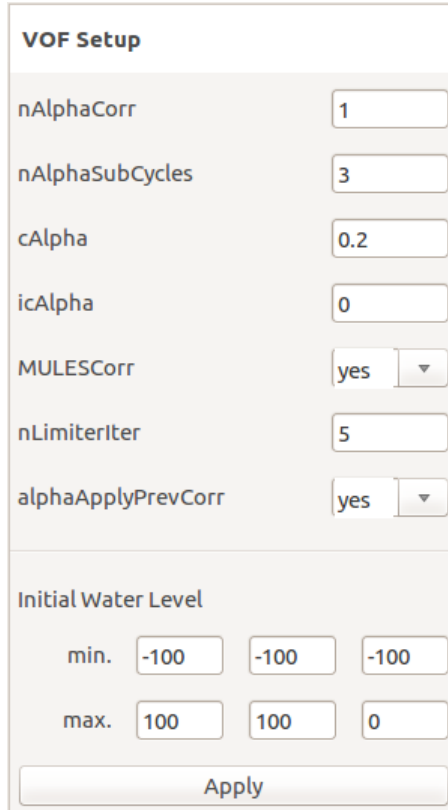


그림 9.2: Display Mesh 예

10 VOF setup

 (VOF Setup)을 클릭하면 상세설정 창(free panel)이 그림 10.1와 같이 나타난다.

fvSolution 파일의 VOF 모델과 관련된 설정 값들을 입력하는 부분과 setField 유틸리티를 이용하여 초기 수면을 설정하기 위한 부분으로 나누어져 있다.




The image shows the 'VOF Setup' free panel. It contains two main sections. The first section, 'VOF Setup', has the following parameters: nAlphaCorr (1), nAlphaSubCycles (3), cAlpha (0.2), icAlpha (0), MULESCorr (yes), nLimiterIter (5), and alphaApplyPrevCorr (yes). The second section, 'Initial Water Level', has three columns of input fields. The 'min.' row has values -100, -100, and -100. The 'max.' row has values 100, 100, and 0. An 'Apply' button is at the bottom.

VOF Setup			
nAlphaCorr	1		
nAlphaSubCycles	3		
cAlpha	0.2		
icAlpha	0		
MULESCorr	yes ▼		
nLimiterIter	5		
alphaApplyPrevCorr	yes ▼		
Initial Water Level			
min.	-100	-100	-100
max.	100	100	0
Apply			

그림 10.1: VOF setup freepanel

11 Boundary condition

 'Boundary condition' 버튼을 클릭하면 상세설정 창(free panel)이 그림 11.1와 같이 나타난다.

왼쪽에 현재 격자의 경계면들의 이름이 나타나고 그 오른쪽에 경계면의 형식을 선택할 수 있다. 경계면의 형식은 현재 격자에서 설정되어 있는 조건이 나타난다. 경계면 형식은 constant/polyMesh/boundary 파일에서 정의되는 type을 의미하는데 각 경계면의 'type'을 더블 클릭하면 wall, patch, symmetry 등을 선택할 수 있다.

Boundary Conditions	
patch name	type
atmosphere	symmetry
inlet	patch
outlet	patch
bottom	symmetry
side	symmetry
midPlane	symmetry
hull	wall

그림 11.1: Boundary condition freepanel

각 경계면에 해당하는 'patch name'을 더블 클릭하면 각 면에 대한 세부 설정을 할 수 있는 그림 11.2의 창이 나타난다.

The image shows a 'Boundary Condition - Inlet' dialog box. It contains the following fields and settings:

- Name:** inlet
- Velocity:**
 - Type: fixed-U
 - U [m/s]: 1, 0, 0
- Pressure:**
 - Type: fixedFluxPressure
- alpha:**
 - Type: zeroGradient
- k, Turb. kinetic energy:**
 - Type: fixedValue
 - k [m2/s2]: 0.0001
- epsilon:**
 - Type: fixedValue
 - epsilon [m2/s3]: 0.001
- Buttons:** Apply, Close

그림 11.2: 경계 조건 세부 설정 창

경계 조건 설정은 속도, 압력, alpha, 난류 부분으로 구성된다.

11.1 속도(Velocity)

경계 조건은 Type과 그에 따른 설정 값 입력으로 구분된다.

속도 경계 조건 type으로 설정할 수 있는 조건은 표 11.1와 같고 설정 창의 모양은 그림 11.3에 나타내었다.

type	항목	입력 값
no-slip	-	-
fixed-U	U	속도 벡터(U_x , U_y , U_z)
surfaceNormal-U	Velocity magnitude	속도 크기
pressureInletOutletVelocity	-	-
zeroGradient	-	-
movingWallVelocity	-	-

표 11.1: 속도 경계 조건 세부 설정

The figure displays six panels, each representing a different velocity boundary condition type. Each panel has a 'Velocity' title and a 'Type' dropdown menu. The panels are arranged in a 3x2 grid. The first row shows 'no-slip' and 'pressureInletOutlet'. The second row shows 'fixed-U' (with input fields for U [m/s] components: 1, 0, 0) and 'surfaceNormal-U' (with input for Velocity magnitude [m/s]: 1). The third row shows 'zeroGradient' and 'movingWallVelocity'.

그림 11.3: 속도 경계 조건 세부 설정 창

각 속도 조건에 대해 0 폴더 아래의 U 파일은 다음과 같이 생성된다.

U

```
// no-slip
type    fixedValue;
value   uniform (0 0 0);

// fixed-U
type    fixedValue;
value   uniform (10 0 0);

// surfaceNormal-U
```

```

type      surfaceNormalFixedValue;
refValue  uniform -10;      // (-) : into domain
value     uniform (0 0 0); //place holder

// volume-flowrate
type      flowRateInletVelocity;
volumetricFlowRate 10;
value     uniform (0 0 0); //place holder

// mass-flowrate
type      flowRateInletVelocity;
massFlowRate      10;
rho             rho;
rhoInlet 1.0;

// pressureInletOutletVelocity
type      pressureInletOutletVelocity;

// zeroGradient
type      zeroGradient;

// movingWallVelocity
type      movingWallVelocity; // for dynamicMesh

```

11.2 압력(Pressure)

압력 경계 조건 type으로 설정할 수 있는 조건은 표 11.2와 같고 설정 창의 모양은 그림 11.4에 나타내었다.

type	항목	입력 값
fixedValue	Static pressure	정압
zeroGradient	-	-
fixedFluxPressure	-	-
alphaWeighted	-	-

표 11.2: 압력 경계조건 세부 설정

그림 11.4: 압력 경계 조건 세부 설정 창

각 압력 조건에 대해 0 폴더 아래의 p_rgh 파일은 다음과 같이 생성된다.

p_rgh

```
// fixedValue
type    fixedValue;
value   uniform 0;

// zeroGradient
type     zeroGradient;

// fixedFluxPressure
type     fixedFluxPressure;

// alphaWeighted
type     alphaWeighted;
pRefValue 0;
phaseName alpha.water;
value     uniform 0;
```

11.3 난류(k, epsilon, omega)

난류 경계 조건은 k, epsilon, omega 등의 조건이며 난류 모델에 따라 필요한 Field의 설정 부분이 나타난다. fixedValue, zeroGradient, inletOutlet, wallFunction 조건을 기본으로 하며 k는 intensity 조건을 epsilon은 mixingLength 조건을 사용할 수 있다.

intensity 조건은 turbulentIntensityKineticEnergyInlet 조건을 사용하며 mixingLength 조건은 turbulentMixingLengthDissipationRateInlet 조건을 사용한다.

각 조건은 표 11.3와 같고 설정 창의 모양은 그림 11.5에 나타내었다.

type	항목	입력 값
fixedValue	k	온도
zeroGradient	-	-
inletOutlet	inlet k(epsilon...)	열유속
wallFunction	-	-
intensity	intensity	난류강도
mixingLength	Length scale	length scale

표 11.3: 난류 경계 조건 세부 설정

그림 11.5: 난류 경계 조건 세부 설정 창

각 난류 조건에 대해 0 폴더 아래의 k, epsilon, omega 등의 파일은 다음과 같이 생성된다.

k epsilon ...

```
// fixedValue
type    fixedValue;
value   uniform 1;

// zeroGradient
type    zeroGradient;

// inletOutlet
type    inletOutlet;
inletValue   uniform 1;
value        uniform 1; //place holder

// wallFunction for incompressible
type    kqRWallFunction; // epsilonWallFuction, omegaWallFunction
value   uniform 1; //place holder
```




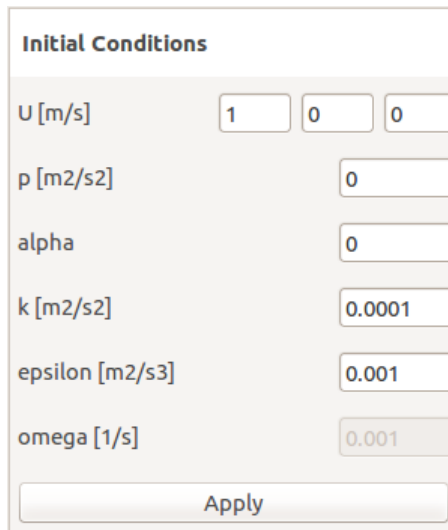
```
// wallFunction for compressible
type    compressible::kqRWallFunction;
value   uniform 1; //place holder

// intensity for k
type    turbulentIntensityKineticEnergyInlet;
intensity    0.05;
value    uniform 1; //place holder

// mixingLength for epsilon
type    compressible::turbulentMixingLengthDissipationRateInlet;
mixingLength    1;
value    uniform 1; //place holder
```

12 Internal field

 (Initial conditions)를 클릭하면 상세설정 창(free panel)이 그림 12.1와 같이 나타난다.



The 'Initial Conditions' panel contains the following fields and values:

Parameter	Value
U [m/s]	1 0 0
p [m2/s2]	0
alpha	0
k [m2/s2]	0.0001
epsilon [m2/s3]	0.001
omega [1/s]	0.001


An 'Apply' button is located at the bottom of the panel.

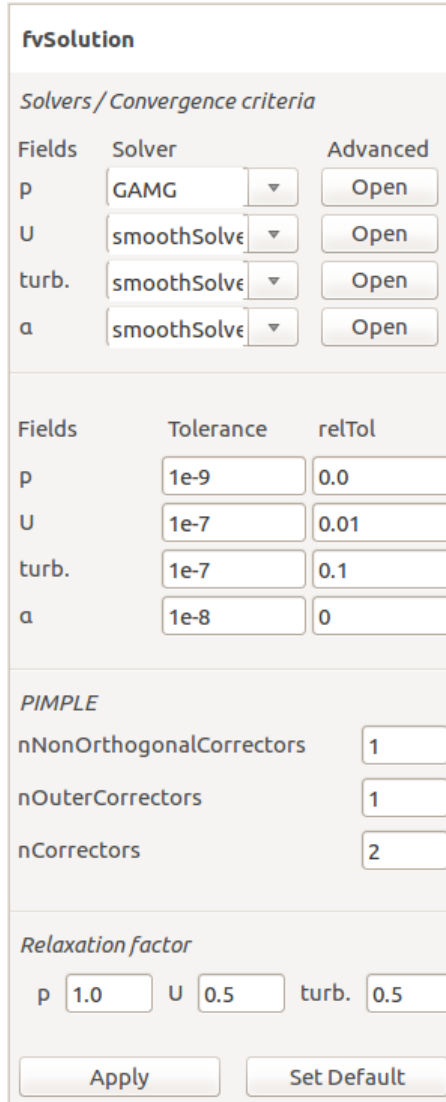
그림 12.1: Internal field freepanel

설정된 값은 Internal field 값으로 사용된다.

속도 벡터, 압력, alpha.water와 난류 모델에 따라 k, epsilon, omega 값을 입력할 수 있다.

13 fvSolution

 (Solution conditions)를 클릭하면 상세설정 창(free panel)이 그림 13.1와 같이 나타난다.



The image shows the 'fvSolution' free panel in a software interface. It is divided into several sections: 'Solvers / Convergence criteria', 'PIMPLE', and 'Relaxation factor'. Each section contains settings for different fields (p, U, turb., alpha).

Solvers / Convergence criteria		
Fields	Solver	Advanced
p	GAMG	Open
U	smoothSolver	Open
turb.	smoothSolver	Open
alpha	smoothSolver	Open

Fields	Tolerance	relTol
p	1e-9	0.0
U	1e-7	0.01
turb.	1e-7	0.1
alpha	1e-8	0

PIMPLE

nNonOrthogonalCorrectors	1
nOuterCorrectors	1
nCorrectors	2

Relaxation factor

p	1.0	U	0.5	turb.	0.5
---	-----	---	-----	-------	-----

At the bottom, there are two buttons: 'Apply' and 'Set Default'.

그림 13.1: fvSolution freepanel

fvSolution의 설정은 'Solvers / Convergence criteria', 'SIMPLE/PIMPLE', 'Relaxation factor' 세 가지로 구분된다.

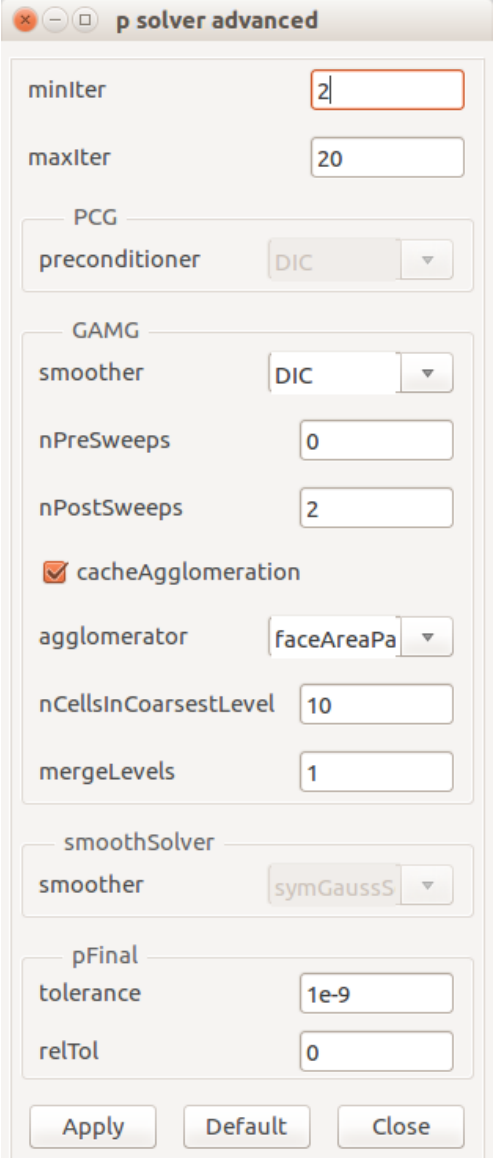
'Apply' 버튼을 누르면 system 폴더 아래에 fvSolution 파일이 생성된다. 계산 중에 설정을 수정하고 'Apply' 버튼을 누르면 현재 계산 중인 문제에도 바뀐 설정이 적용된다.

13.1 Solvers

'p', 'U', 'turb', 'alpha'에 대한 설정으로 나눌 수 있으며 각각은 'Solver', 'Advanced', 'tolerance', 'relTol'(relative tolerance)로 구성된다.

p의 solver는 'GAMG', 'PCG', 'smoothSolver' 중 하나를 선택할 수 있으며, U, turb. alpha의 solver는 'smoothSolver', 'PBiCG', 'GAMG' 중 하나를 선택할 수 있다.

각 필드에 Advanced-Open 버튼이 있는데 이를 누르면 그림 13.2과 같은 창이 열리고 선택한 솔버에 대한 세부 설정을 할 수 있다.



The image shows a dialog box titled "p solver advanced". It contains several sections for configuring solver parameters:

- miniter**: Input field with value 2.
- maxiter**: Input field with value 20.
- PCG** section:
 - preconditioner**: Dropdown menu with "DIC" selected.
- GAMG** section:
 - smoother**: Dropdown menu with "DIC" selected.
 - nPreSweeps**: Input field with value 0.
 - nPostSweeps**: Input field with value 2.
 - ☒ **cacheAgglomeration**
 - agglomerator**: Dropdown menu with "faceAreaPa" selected.
 - nCellsInCoarsestLevel**: Input field with value 10.
 - mergeLevels**: Input field with value 1.
- smoothSolver** section:
 - smoother**: Dropdown menu with "symGaussS" selected.
- pFinal** section:
 - tolerance**: Input field with value 1e-9.
 - relTol**: Input field with value 0.

At the bottom, there are three buttons: "Apply", "Default", and "Close".

그림 13.2: Advanced setup 창

minIter, maxIter는 한 time step에서 sub-iteration의 최소, 최대값을 나타낸다.

계산 초기에 과도한 sub-iteration 때문에 계산 시간이 오래 걸리는 경우 maxIter 값을 조절하여 계산 시간을 줄일 수 있다. maxIter가 0으로 설정되면 해당 필드에 대한 sub-iteration을 수행하지 않는다.

선택한 솔버에 대한 세부 설정 항목은 다음과 같다.

GAMG

- smoother : GaussSeidel, symGaussSeidel, DIC, DICGaussSeidel, FDIC, nonBlockingGaussSeidel
- nPreSweeps
- nPostSweeps
- cacheAgglomeration
- agglomerate
- nCellsInCoarsestLevel
- mergeLevels

PCG

- preconditioner : DIC, FDIC, GAMG , diagonal, none

smoothSolver

- smoother : GaussSeidel, symGaussSeidel, DILU, DILUGaussSeidel, nonBlockingGaussSeidel

PBiCG

- preconditioner : DILU, GAMG, diagonal, none

13.2 PIMPLE

설정 항목은 다음과 같다.

- nNonOrthogonalCorrectors
- nOuterCorrectors
- nCorrectors
- maxCo
- maxAlphaCo

13.3 Relaxation factor

p, U, turb.에 대한 relaxation factor를 입력한다. turb.에 입력한 값은 k, epsilon, omega, nuTilda 등에 사용된다.

14 fvSchemes

'fvSchemes' 버튼을 클릭하면 상세설정 창(free panel)이 그림 14.1와 같이 나타난다.

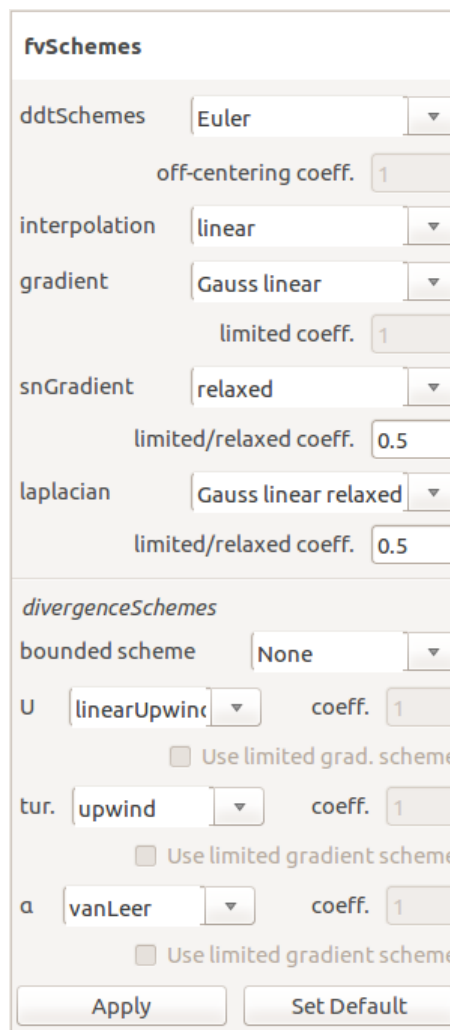
The image shows the 'fvSchemes' configuration panel in a software interface. It is divided into two main sections: 'ddtSchemes' and 'divergenceSchemes'. Under 'ddtSchemes', there are dropdown menus for 'ddtSchemes' (set to 'Euler'), 'interpolation' (set to 'linear'), 'gradient' (set to 'Gauss linear'), and 'snGradient' (set to 'relaxed'). Each dropdown has a corresponding 'coeff.' input field, all set to '1'. There are also 'limited/relaxed coeff.' fields for 'gradient' and 'laplacian', both set to '0.5'. The 'laplacian' dropdown is set to 'Gauss linear relaxed'. The 'divergenceSchemes' section has a 'bounded scheme' dropdown set to 'None'. Below this, there are three rows for 'U', 'tur.', and 'alpha'. Each row has a dropdown menu (set to 'linearUpwind', 'upwind', and 'vanLeer' respectively) and a 'coeff.' input field (all set to '1'). There are also checkboxes for 'Use limited grad. scheme' for each of these three variables, all of which are currently unchecked. At the bottom of the panel are two buttons: 'Apply' and 'Set Default'.

그림 14.1: fvSchemes freepanel

14.1 ddtSchemes

선택할 수 있는 항목은 아래의 다섯 가지이다.

- steadyState

- Euler
- backward
- localEuler rDeltaT
- crankNicolson

crankNicolson을 선택하면 off-centering coeff.를 설정할 수 있다.

14.2 interpolation

선택할 수 있는 항목은 아래의 세 가지이다.

- linear
- cubicCorrection
- midPoint

14.3 gradSchemes

선택할 수 있는 항목은 아래의 네 가지이다.

- Gauss linear
- leastSquares
- fourth
- cellLimited Gauss linear

cellLimited Gauss linear를 선택하면 limited coeff.를 설정할 수 있다.

14.4 snGradSchemes

선택할 수 있는 항목은 아래의 일곱 가지이다.

- corrected
- relaxed
- uncorrected
- limited
- limited corrected
- bounded
- fourth

relaxed, limited, limited corrected를 선택하면 limited/relaxed coeff.를 설정할 수 있다.

14.5 laplacianSchemes

선택할 수 있는 항목은 아래의 다섯 가지이다.

- Gauss linear corrected
- Gauss linear relaxed
- Gauss linear limited
- Gauss linear limited corrected
- Gauss linear uncorrected

Gauss linear relaxed, Gauss linear limited, Gauss linear limited corrected를 선택하면 limited/relaxed coeff.를 설정할 수 있다.

14.6 divergenceSchemes

bounded scheme을 사용하거나 아무 것도 사용하지 않을 수 있다.

U

U에 사용할 수 있는 scheme은 다음과 같다.

- upwind
- linearUpwindV
- limitedLinearV
- vanLeerV
- SFCDV
- GammaV
- limitedCubicV
- linear
- skewLinear
- cubicCorrected
- QUICK
- MUSCL

limitedLinearV, limitedCubicV를 사용할 때 limited coeff.를 설정할 수 있다.

linearUpwindV, vanLeerV, SFCDV, GammaV, linear, skewLinear, cubicCorrected, QUICK, MUSCL을 사용할 때 limited gradient scheme을 사용할 수 있다.

tur., alpha

k, epsilon, omega, nuTilda, alpha에 사용할 수 있는 scheme은 다음과 같다.

- upwind
- linearUpwind
- limitedLinear
- vanLeer
- SFCD
- Gamma
- limitedCubic
- linear
- skewLinear
- cubicCorrected
- QUICK
- MUSCL

limitedLinear, limitedCubic를 사용할 때 limited coeff.를 설정할 수 있다.

linearUpwind, vanLeer, SFCD, Gamma, linear, skewLinear, cubicCorrected, QUICK, MUSCL을 사용할 때 limited gradient scheme을 사용할 수 있다.

15 Monitoring/Post

'Monitoring / Post' 버튼을 클릭하면 상세설정 창(free panel)이 그림 15.1와 같이 나타난다.

계산 중 결과의 모니터링을 위한 설정과 계산 종료 후 결과를 확인하기 위한 두 부분으로 나누어져 있다.

15.1 Monitoring

'Point value', 'Surface average', 'Flowrate', 'Force' 네 가지 항목이 있으며 각각에 대한 조건을 설정할 수 있다. 계산 중이거나 기존의 계산 결과가 있다면 'Plot' 버튼을 누르면 그래프가 그려지고 'Close' 버튼을 누르면 그래프가 없어진다. 계산을 시작하기 전에 설정되어 있지 않으면 'Plot', 'Close' 버튼이 활성화되지 않는다.

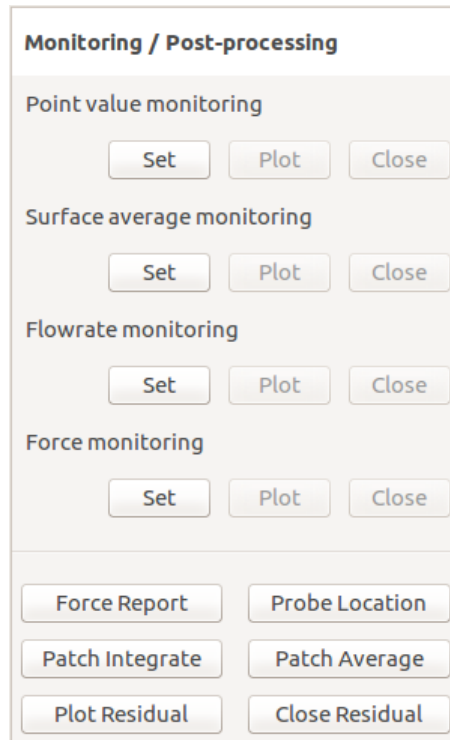


그림 15.1: Monitoring/Post freepanel

그림 15.2은 'Point value'-'Set' 버튼을 눌렀을 때 나타나는 창이다.

'Output Interval'을 입력하고 'Add Point' 버튼을 누르면 point가 추가된다. point의 이름과 좌표를 입력하고 원하는 벡터 혹은 스칼라들을 선택한다. U를 선택하면 U_x , U_y , U_z 를 그래프로 모니터링 할 수 있다.

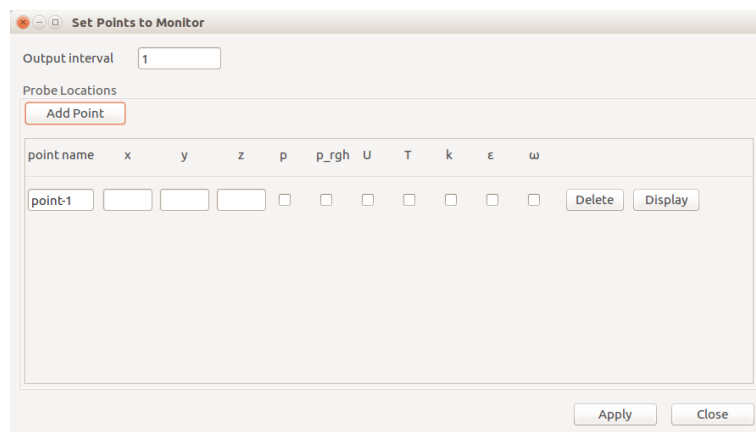


그림 15.2: Monitoring - point 설정 창

그림 15.3은 'Surface average', 'Flowrate', 'Force' 세 가지 항목 각각에 대한 설정 창이다. 설정 항목은 다음과 같다.

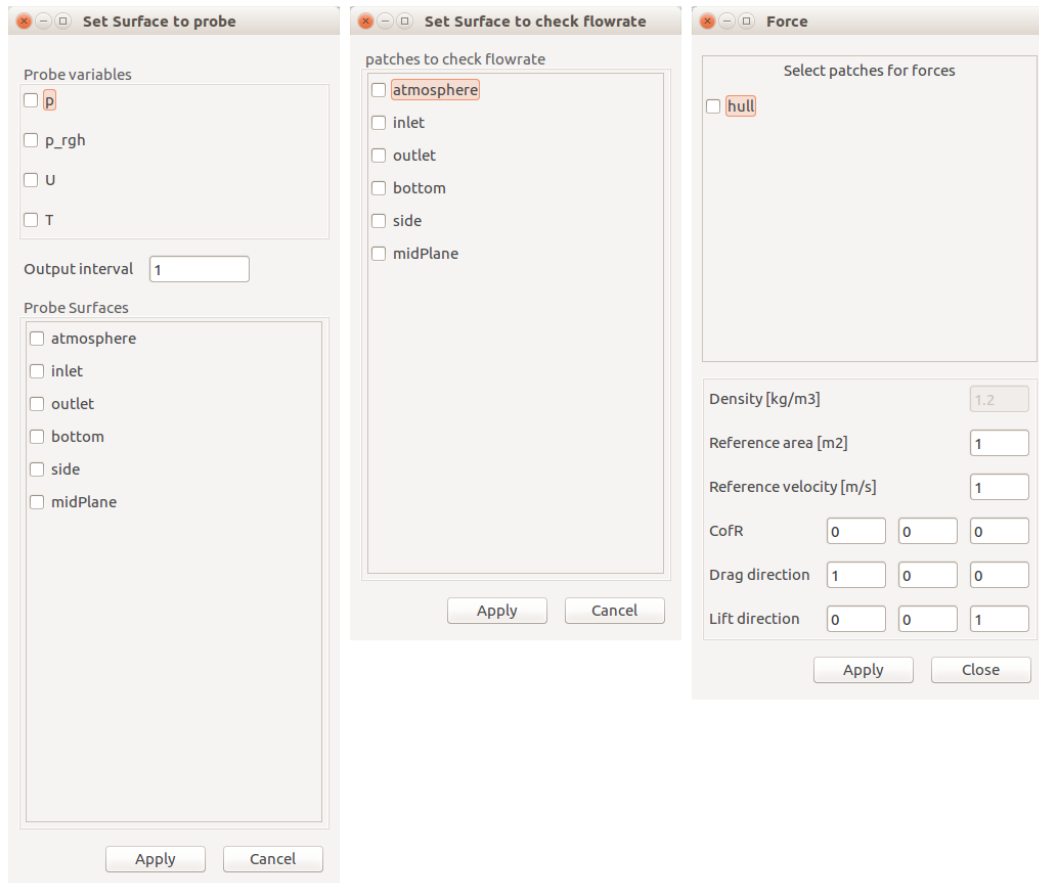


그림 15.3: Monitoring 세부 설정 창

- Surface average
 - variables(p, p_rgh, U, T)
 - Output interval
 - surface 선택
- Flowrate
 - surface 선택
- Force
 - surface 선택
 - Density
 - Reference area
 - Reference velocity
 - Center of Rotation
 - Drag direction
 - Lift direction

15.2 후 처리

계산 종료 후 결과를 확인할 수 있는 기능은 'Force Report', 'Probe Location', 'Patch Integrate', 'Patch Average', 'Plot/Close Residual' 등이 있다.

probeLocation

계산 결과가 있을 때 원하는 지점의 값을 확인할 수 있다. 그림 15.4의 창에서 변수를 선택하고, point의 개수와 그에 따른 좌표를 입력하고 'Apply' 버튼을 누르면 probeLocation 유틸리티를 이용하여 추출된 값이 오른쪽 창에 표시된다.

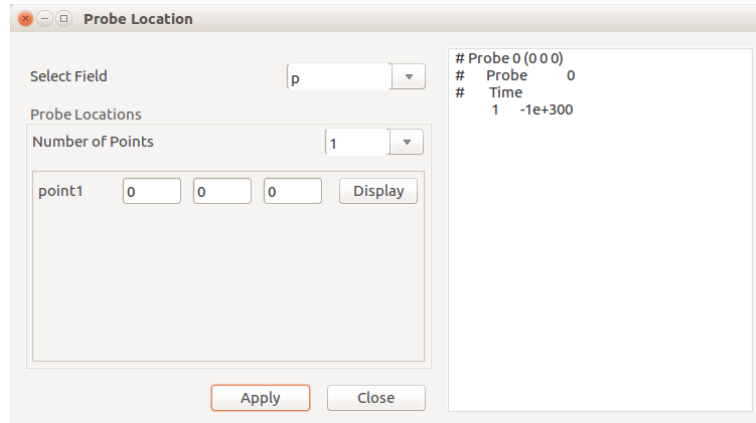


그림 15.4: Probe Location 창

patchIntegrate / patchAverage

그림 15.5는 'Patch Integrate'를 선택했을 때 나타나는 창이다. 기존의 계산 결과에서 선택한 면의 압력 혹은 속도의 적분 값을 계산해서 보여준다. 'Patch Average' 메뉴도 같은 방식으로 작동한다.

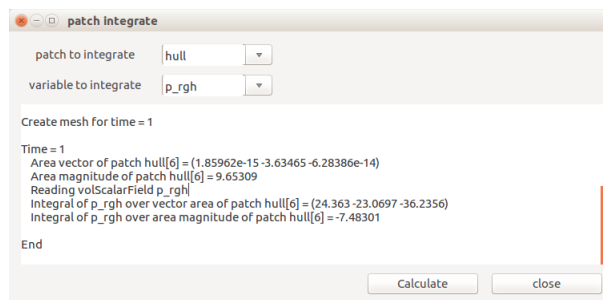


그림 15.5: Patch Integrate 창

Force Report

그림 15.6는 'Force Report'을 선택했을 때 나타나는 창이다. 기존의 계산 결과에서 force, force coefficient를 계산해서 보여준다.

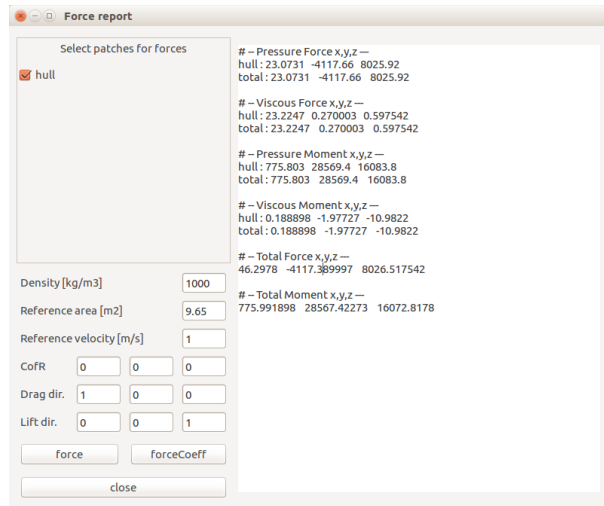


그림 15.6: Force Report 창

Plot / Close Residual

계산 종료 후 계산이 진행될 때 residual의 변화를 확인하고 싶을 때 'Plot Residual' 버튼을 누르면 residual 그래프가 그려진다. 'Close Residual' 버튼을 누르면 그래프가 없어진다.

16 Run condition

'Run condition' 버튼을 클릭하면 상세설정 창(free panel)이 그림 16.1와 같이 나타난다.

controlDict 파일과 솔버 실행 옵션을 설정하기 위한 부분이다.

설정 항목은 다음과 같다.

- End time : 계산을 종료할 시간
- Time step size : 시간 전진 간격. 정상상태 솔버일 때는 1로 설정
- write Interval : 자동 저장 간격
- purge write : 자동 저장할 시간 폴더의 최대 개수. 이 값을 넘어가면 오래된 시간 폴더부터 삭제됨
- write precision : 데이터 저장 시 유효자리 수
- write control : 자동 저장 방식
 - timeStep : iteration 수를 사용
 - runTime 계산 상의 시간을 사용

The image shows a 'Run Conditions' panel with the following settings:

- End time: 100
- Time step size: 0.01
- Write interval: 1
- Purge write: 10
- Write precision: 6
- Write control: runTime (dropdown)
- Write format: binary (dropdown)
- ☐ Data compression
- ☐ Adjust time step
 - maxCo.: 50
 - maxAlphaCo: 20
- ☒ Plot residual
- No. of cores: 6
- Parallel type: SMP (dropdown)
- Initialize button
- Start Run button

그림 16.1: Run condition freepanel

- adjustableRunTime : adjustTimeStep을 사용할 때 주어진 시간에 맞게 시간 간격이 변하고 데이터가 저장됨
- clockTime
- cpuTime
- write format : ascii / binary
- Data Compression : 데이터 저장 시 압축 여부
- Adjust time step : Courant 수를 사용하여 time step size를 자동으로 조절
 - Max Co
 - Max dt
- Plot Residual : 계산이 진행될 때 residual plot을 그릴지 여부
- No. of cores : 병렬연산 시 사용할 코어 개수
- Parallel type : 병렬연산 시 사용할 컴퓨터의 종류. Cluster를 선택하면 병렬연산 시 사용할 컴퓨터 설정 파일을 선택할 수 있다.

클러스터 컴퓨터에서 병렬연산 시 필요한 host file은 임의의 이름의 아스키 파일이면 되고 그 내용은 다음과 같다.

host file

```
<node name1> cpu=<number of cores> \\  
<node name2> cpu=<number of cores> \\  
<node name3> cpu=<number of cores> \\  
...
```

'Initialize' 버튼을 클릭하면 0, constant, system 폴더에 주어진 설정에 따라 계산에 필요한 파일들이 만들어진다.

'Start Run' 버튼을 누르면 계산이 시작된다.

<div>NEXTfoam 문서 관리 페이지</div>			담당 확인
1. 제출일 (YYYY. MM. DD) 2016. 04. 20	2. 문서 종류 내부기술보고서	3. 수행 기간 (From - To) 2016. 09 - 2016. 1	
4. 제목 및 부제목 RESOS-v1.0.2 사용자 매뉴얼 (RESistance Open Source CFD package)		5. 저자	
		6. 문서 번호 TM-2016-02	
7. 과제 발주처		9a. 과제 책임자	
		9b. 과제 번호	
8. 과제 발주처 담당자		9c. 계약 기간	
		9d. 계약 금액	
10. 참여 인원		11. 외주 작업	
12. 사용 코드 OpenFOAM-2.3.x			
13. 개발 코드		15. 자료 공개 및 배포 공개가능-배포가능 문의: NEXTfoam CTI (070) 8796-3025	
14. 파생 문서			
16. 주제어/키워드			
17. 초록			
18. 특기 사항			

