

-도심지 내 바람길 CFD 해석 및

SPH 솔버 기반 인파시뮬레이션 연동-

 넥스트폼

- 본 연구에서는, 기능 확장이 용이한 오픈소스 CFD 해석 프로그램인 OpenFOAM 기반의 GUI인 “BARAM”을 사용하여 도심지 내 바람길을 해석하였다.
- 그리고 CFD 해석 결과를 바탕으로 도심지 내 인파 이동에 대한 시뮬레이션을 SPH 기반의 인파시뮬레이션을 활용하여 진행하였다.
- 바람길 해석 시뮬레이션
 - 대상지의 지형, 건축물 등의 지표면 인근 바람저항 요소들의 형상 모델링 자동화
 - 수치지형도(SPH)를 활용하여 해석 대상지의 지형/건축물 자동 생성
 - 추가 구조물은 간단한 형상 생성 Tool을 이용하여 생성
 - 기상 데이터를 활용하여 시뮬레이션 해석 시 실제 기상 정보를 반영
 - 대기경계층(atmBoundaryLayer) 경계조건 → 풍속이 시간에 따라 변화 기능
- 인파 시뮬레이션
 - SPH 기반 솔버
 - 사람을 입자로 표현하여 군중의 움직임을 모사. 군중 밀도가 낮을 때 전통적인 에이전트 기반의 규칙에 따라 행동하지만, 군중이 혼잡해질수록 SPH 힘이 작용하여 더욱 유체와 같은 행동을 나타낸다.
 - 이는 사회적 힘 모델 (social force model)과 SPH 모델을 혼합하여 구현된다 (Toll, 2021).

해석 시나리오



- 해석 지형: 서울시 여의도 한강공원 인근
- 기상 조건 (방재기상관측, 한강지점)
 - 풍속: 측정지점 해발도 10m에서 풍속 14.4m/s
 - 2018년 10월 6일 최대 순간 풍속 ('서울세계불꽃축제' 당일)
 - 풍향: 16 방위
- 바람길 해석 시나리오
 - 풍향 별 16개 케이스, 풍속은 14.4m/s 고정
 - "Baram"을 이용하여 해석, 정상상태 해석 솔버 사용
- 인파이동 해석 시나리오
 - 여의도 한강공원에서 개최하는 "서울세계불꽃축제"에서의 인파이동에 대하여 시뮬레이션을 진행
 - 행사 종료 후 약 2만여명의 인파의 이동을 시뮬레이션 진행

지점 상세보기

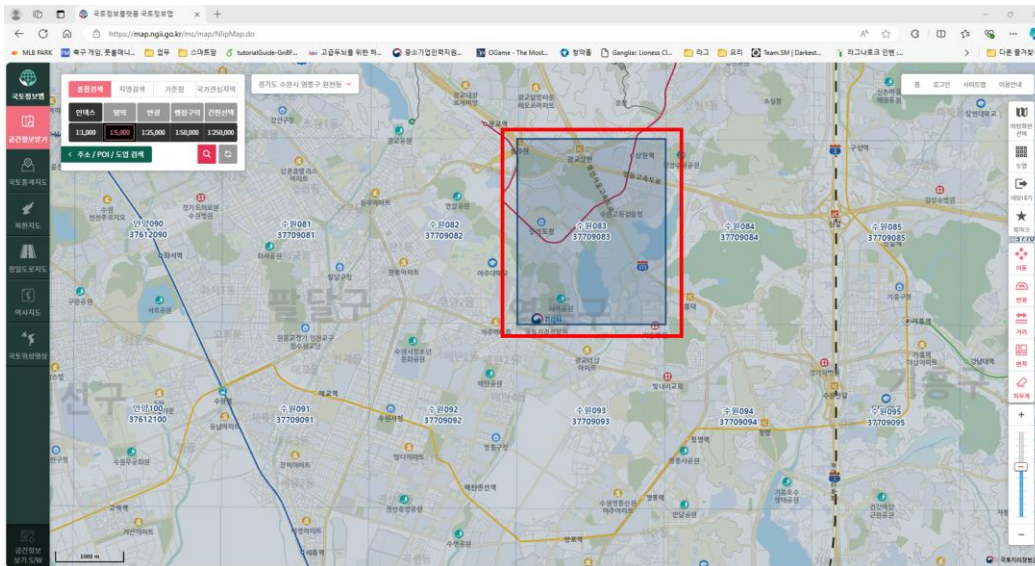
선택지점 : 한강

• 지점정보

지점유형	지상		
관리기관	기상청	운영기관	기상청 수도권기상청 관측과
강비명			
구주소	서울특별시 영등포구 여의동로 280 여의도 세모유람선	새주소	서울특별시 영등포구 여의동로 280 여의도 세모유람선
표준지점번호	418	기관지점번호	418
지점명(한글)	한강	지점명(영문)	
관측개시일	1994-12-10	관측주기(분)	1
좌표(WGS84)	위도 : 37.52489 경도 : 126.93904		
GPS측정화표계		GPS측정지점	동쪽 1 m에 측정 할 수 없어 서쪽 1 m에서 측정함
GPS측정일시	2005-07-06	해발고도(m)	10.66
설치목적	방재용		
운영방법	자동		

도심지 내 바람길 해석

1. 국가정보공간포털을 이용하여 수치지형도 파일 다운로드



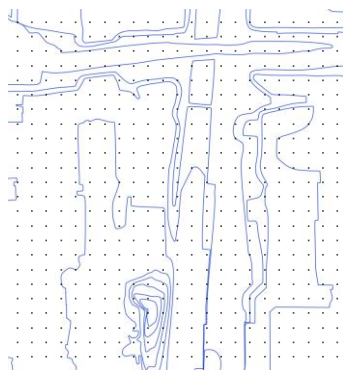
1. *_B0010000.dat : 건물 정보 데이터
2. *_B0010000.shp : 건물 1층 단면 데이터
3. *_B0010000.prj : 좌표계 정보

1. *_F0010000.dat : 등고선 정보 데이터
2. *_F0010000.shp : 등고선 선 데이터
3. *_F0010000.prj : 좌표계 정보

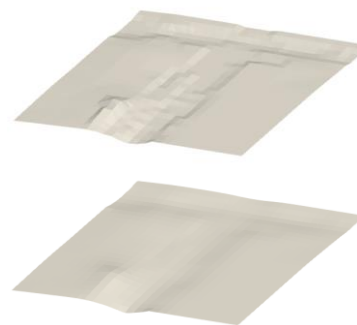
이름	수정날 날짜	유형	크기
(B010)수치지도_37608087_2024_0000...	2024-09-09 오후 7:39	파일 폴더	
(B010)수치지도_37608088_2024_0000...	2024-09-09 오후 7:39	파일 폴더	
(B010)수치지도_37608097_2024_0000...	2024-09-09 오후 7:39	파일 폴더	
(B010)수치지도_37608098_2024_0000...	2024-09-09 오후 7:39	파일 폴더	
(B010)수치지도_37608087_2024_0000...	2024-09-09 오후 7:38	Microsoft Edge H...	2KB
(B010)수치지도_37608088_2024_0000...	2024-09-09 오후 7:38	Microsoft Edge H...	2KB
(B010)수치지도_37608097_2024_0000...	2024-09-09 오후 7:38	Microsoft Edge H...	2KB
(B010)수치지도_37608098_2024_0000...	2024-09-09 오후 7:38	Microsoft Edge H...	2KB
building.stl	2024-09-11 오후 2:53	STL 파일	21,891KB
terrain.stl	2024-09-11 오후 2:53	STL 파일	42,670KB
(B010)수치지도_37608087_2024_0000...	2024-09-09 오후 7:38	압축(ZIP) 폴더	2,193KB
(B010)수치지도_37608088_2024_0000...	2024-09-09 오후 7:38	압축(ZIP) 폴더	2,607KB
(B010)수치지도_37608097_2024_0000...	2024-09-09 오후 7:38	압축(ZIP) 폴더	5,547KB
(B010)수치지도_37608098_2024_0000...	2024-09-09 오후 7:38	압축(ZIP) 폴더	4,338KB
N3A_A0010000.cpg	2024-09-09 오후 7:39	CPG 파일	1KB
N3A_A0010000.dbf	2024-09-09 오후 7:39	OpenOffice.org 1...	476KB
N3A_A0010000.prj	2024-09-09 오후 7:39	PRJ 파일	1KB
N3A_A0010000.shp	2024-09-09 오후 7:39	DWG TrueView S...	438KB
N3A_A0010000.shx	2024-09-09 오후 7:39	DWG TrueView C...	16KB
N3A_A0033320.cpg	2024-09-09 오후 7:39	CPG 파일	1KB
N3A_A0033320.dbf	2024-09-09 오후 7:39	OpenOffice.org 1...	315KB
N3A_A0033320.prj	2024-09-09 오후 7:39	PRJ 파일	1KB
N3A_A0033320.shp	2024-09-09 오후 7:39	DWG TrueView S...	214KB
N3A_A0033320.shx	2024-09-09 오후 7:39	DWG TrueView C...	5KB
N3A_A0053326.cpg	2024-09-09 오후 7:39	CPG 파일	1KB
N3A_A0053326.dbf	2024-09-09 오후 7:39	OpenOffice.org 1...	19KB
N3A_A0053326.prj	2024-09-09 오후 7:39	PRJ 파일	1KB
N3A_A0053326.shp	2024-09-09 오후 7:39	DWG TrueView S...	17KB
N3A_A0053326.shx	2024-09-09 오후 7:39	DWG TrueView C...	1KB
N3A_A0063321.cpg	2024-09-09 오후 7:39	CPG 파일	1KB
N3A_A0063321.dbf	2024-09-09 오후 7:39	OpenOffice.org 1...	2KB

• 225개의 파일

- 주요 사용 프로그램(패키지) : ParaView, Python(osgeo, numPy, Scipy)
 - Osgeo 패키지를 이용하여, 해석 영역을 포함하는 수치지형도의 F0010000.shp 파일을 읽어들이м
 - 등고선을 이루는 점들의 좌표와 그 높이 정보를 추출
 - 가로, 세로로 일정한 간격을 가지는 grid point를 생성, 선형보간을 통해 grid 점들의 고도를 계산
 - Paraview에서 Grid point끼리 delauny 삼각분할을 통해 지형 표면을 생성
 - Paraview에서 지형 표면을 부드럽게 처리해주는 필터(smooth)를 사용



Qgis로 보는 등고선과, Grid point 예시

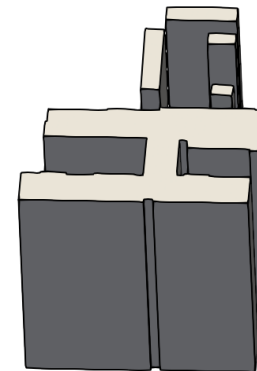


ParaView를 통해 생성/가공한 지표면

- 주요 사용 프로그램(패키지) : Python(osgeo, PythonOCC)
 - Osgeo 패키지를 이용하여, 해석 영역을 포함하는 수치지형도의 B0010000.shp 파일을 읽어들이м
 - 건물을 이루는 점들의 좌표와 그 건물의 층수 정보를 추출
 - 건물 평면의 무게중심에서, 이전에 생성한 지형의 고도를 계산하여 층수*3을 더하여 최고 고도 계산 (건물 면적이나, 층수를 기준으로 생성에서 제외할 수 있음)
 - 해발고도 0m 에서부터 최고 고도까지 돌출(extrusion)기능으로 solid 생성

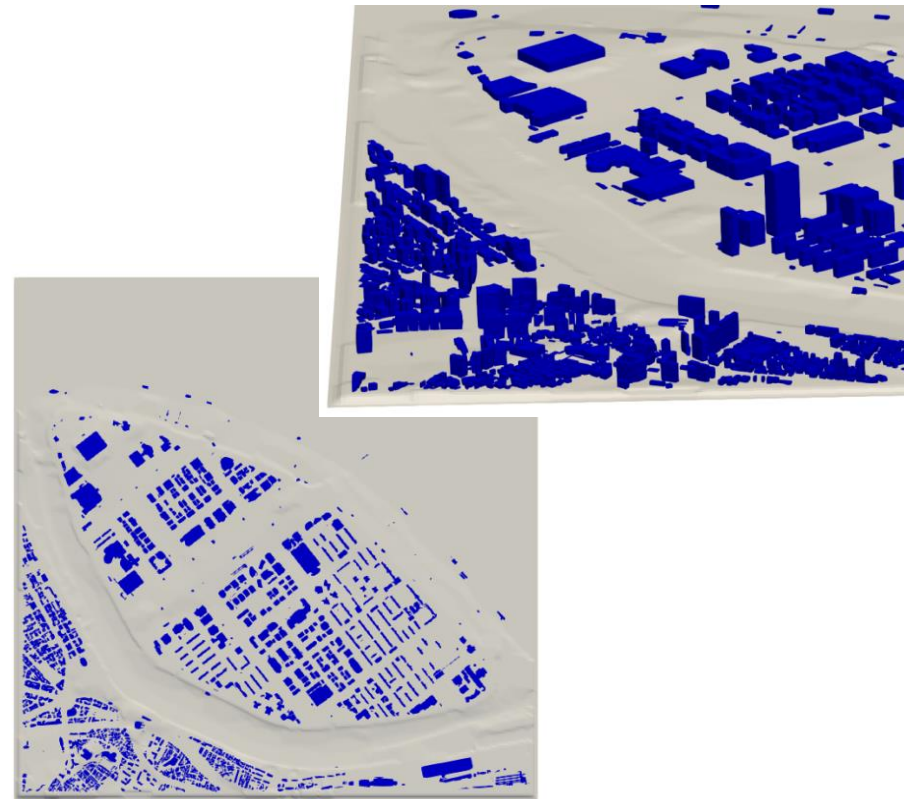
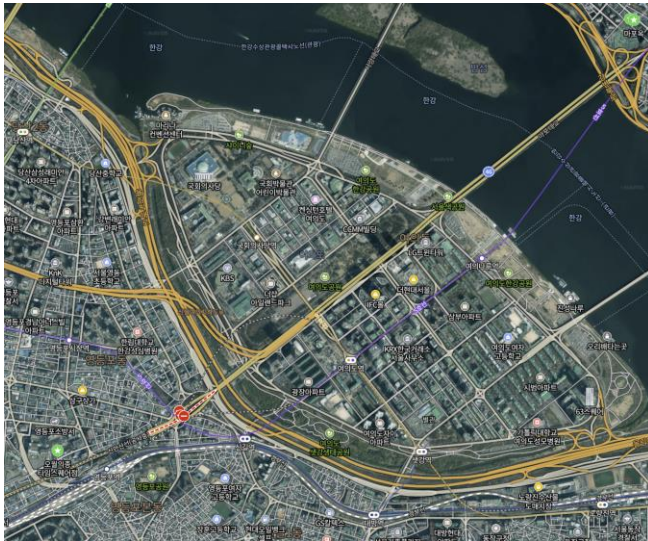


Qgis로 보는 건물 평면과 데이터 예시



PythonOCC를 통해 생성한 건물 solid

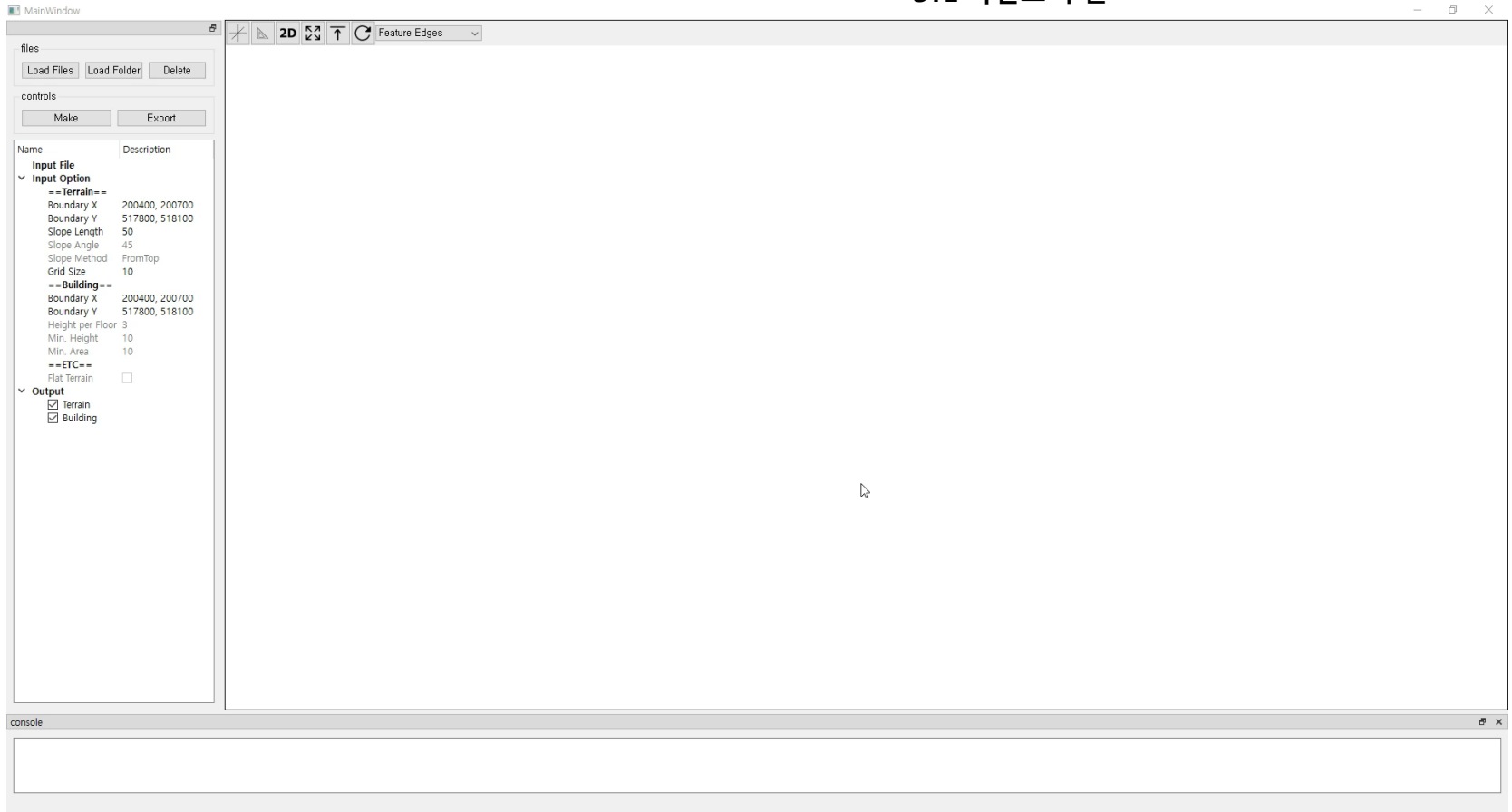
1. 국가정보공간포털을 이용하여 수치지형도 파일 다운로드
2. 지형 및 건물 생성 모듈 실행 -> STL 형식의 표면 격자 자동 생성



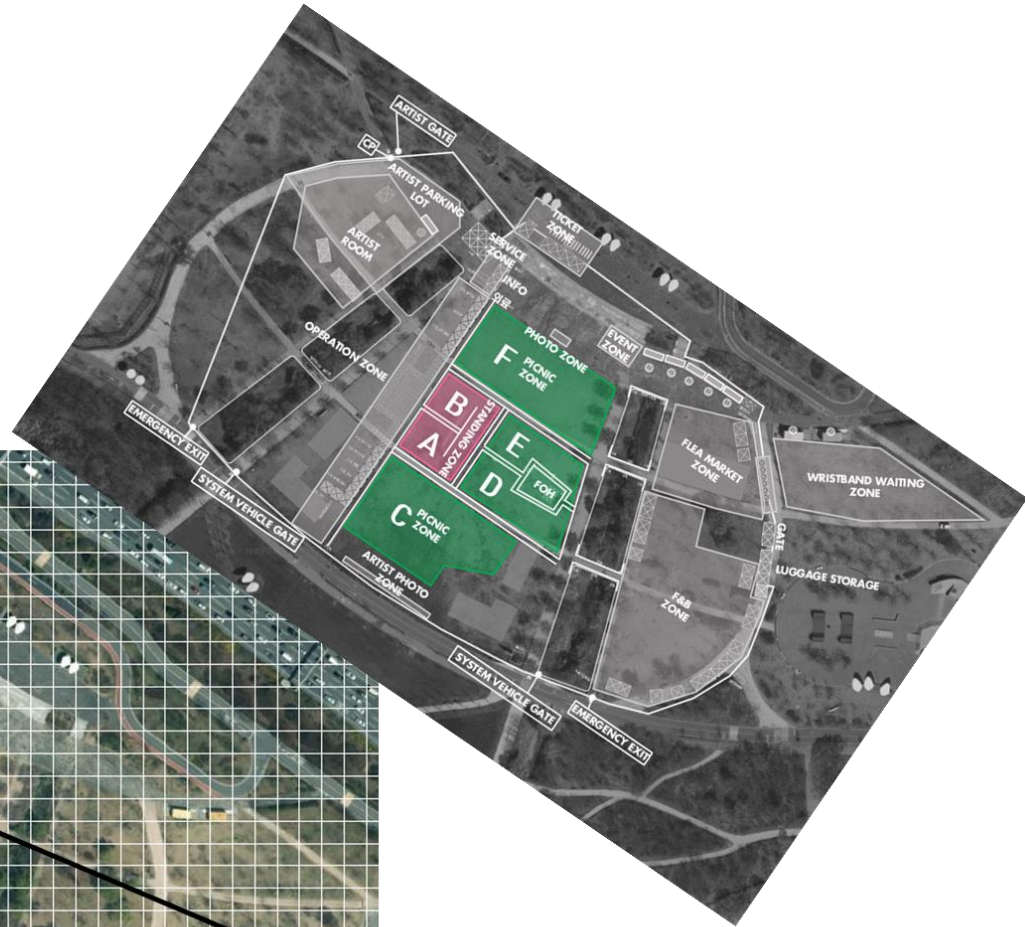
수치 지형도 출처 -국가정보공간포털 <http://data.nsd.go.kr/dataset/20190710ds00004>

- GUI 형태

- 다운받은 수치지형도를 압축해제, 해당 폴더 선택
- 생성 범위 지정
- 'Make' 버튼 클릭으로 표면 격자 생성
 - ✓ 여의도 근처 지형 및 건물 생성 약 2분
 - ✓ STL 파일로 추출



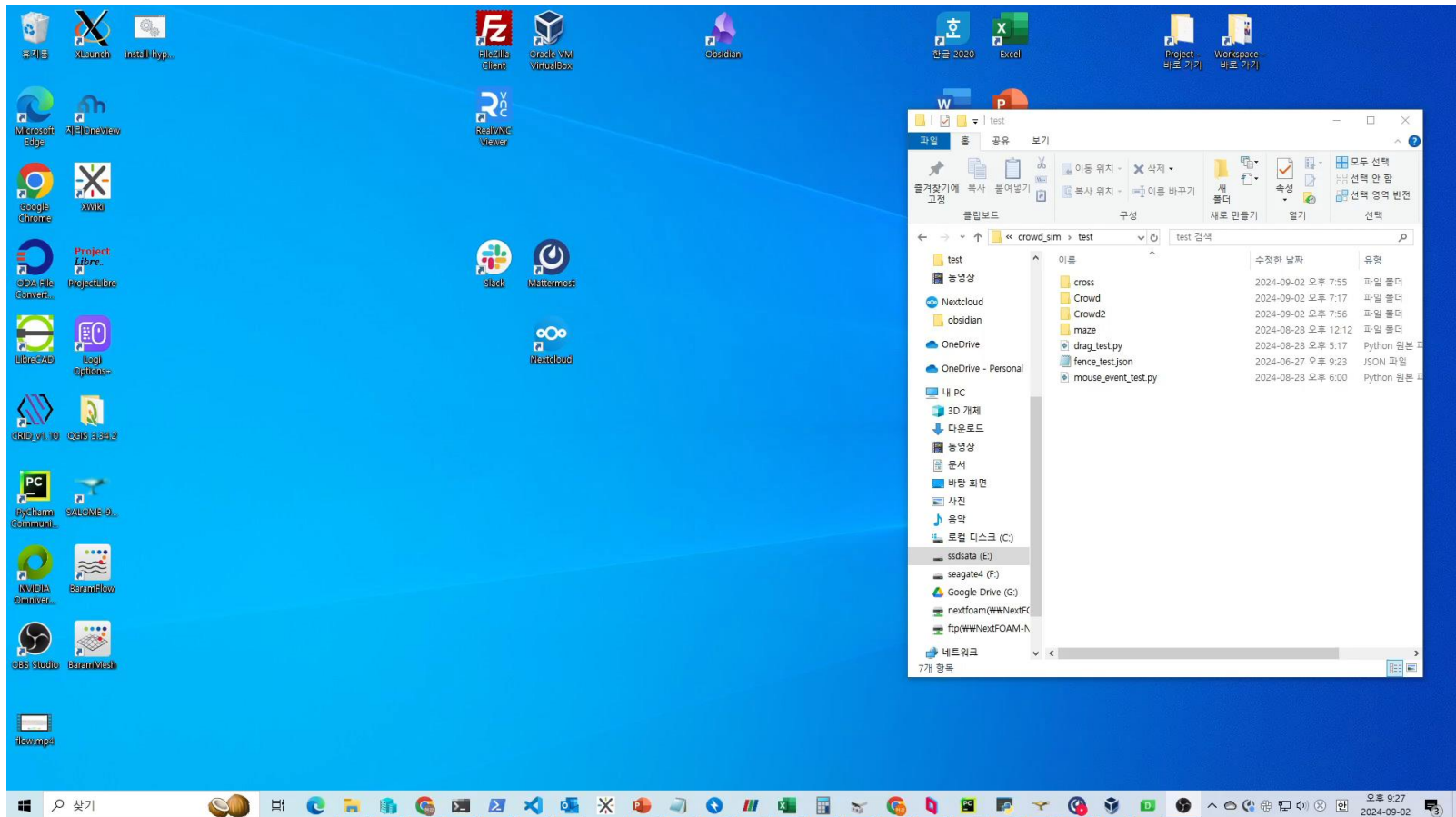
10m Grid



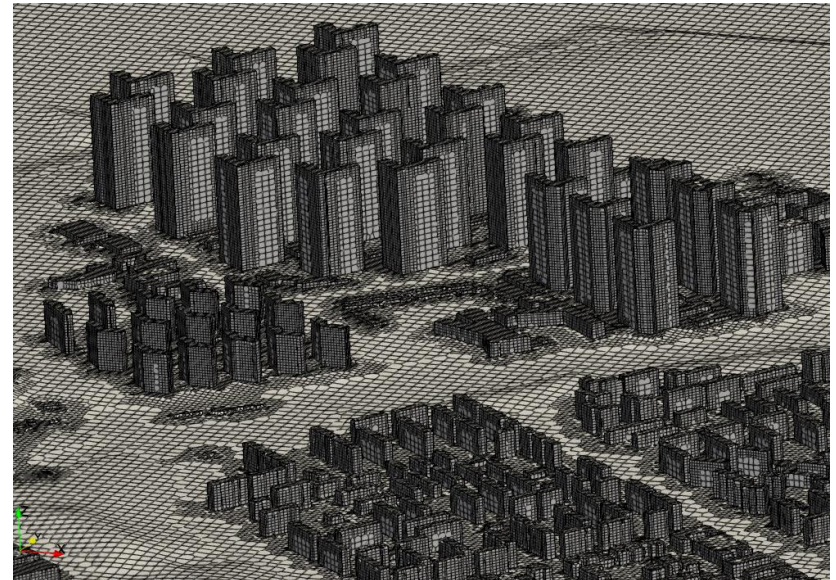
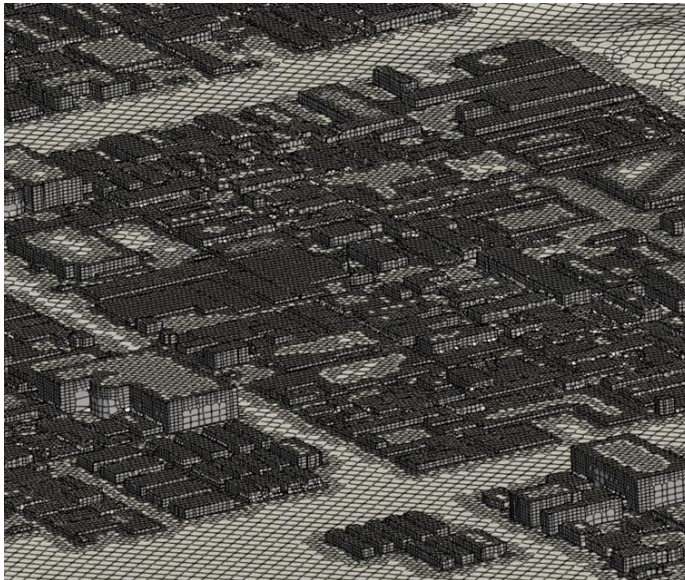
EPSG:4737(GRS80)
동경 126.87766, 북위 37.56618
EPSG:5179(UTM-K)
X=945040, Y=1952050

- GUI 형태

- 위성 지도 등을 입력
- STL 파일로 추출
- 입력된 파일 위에 마우스 클릭을 통하여 좌표 선택



- snappyHexMesh
 - STL 형상 파일을 이용해 형상 표면에 맞춰 3차원 격자를 재생성하는 OpenFOAM 유틸리티
 - 건물, 지형 및 레이어 추가 (건물 3개 층, 지형 5개 층)
 - 약 1,500만개 격자



- **Pasquill class ATM boundary inlet**

- 지표 열복사와 대기 온도차에 의한 대기 안정도 Pasquill class
- 입구 경계조건으로 입구 속도 U와 난류값 k, epsilon이 고려됨
- FLACS Technical Report 를 참고해 새로운 OpenFOAM library를 빌드

- **출구조건**

- totalPressure 출구압력 설정

- **지형, 건물**

- No slip 조건 설정

```
dimensions      [0 1 -1 0 0 0 0];
internalField    uniform (-14.4 0 0);
boundaryField
{
    inlet
    {
        type      pasquillAtmBoundaryLayerInletVelocity;
        kappa      0.40;
        Cmu        0.09;
        flowDir     (-1 0 0);
        zDir        (0 0 1);
        Uref        14.4;
        Zref        10.0;
        z0          0.33;
        d           0.0;
        Ls          1.0;
        Zs          0.0;
        value       $internalField;
    }
}
```

- **Steady 계산 솔버**

- buoyantSimpleNFoam: RANS 또는 LES 난류모델을 사용하고, MRF 기능을 사용할 수 있는 정상상태 난류유동 해석 프로그램

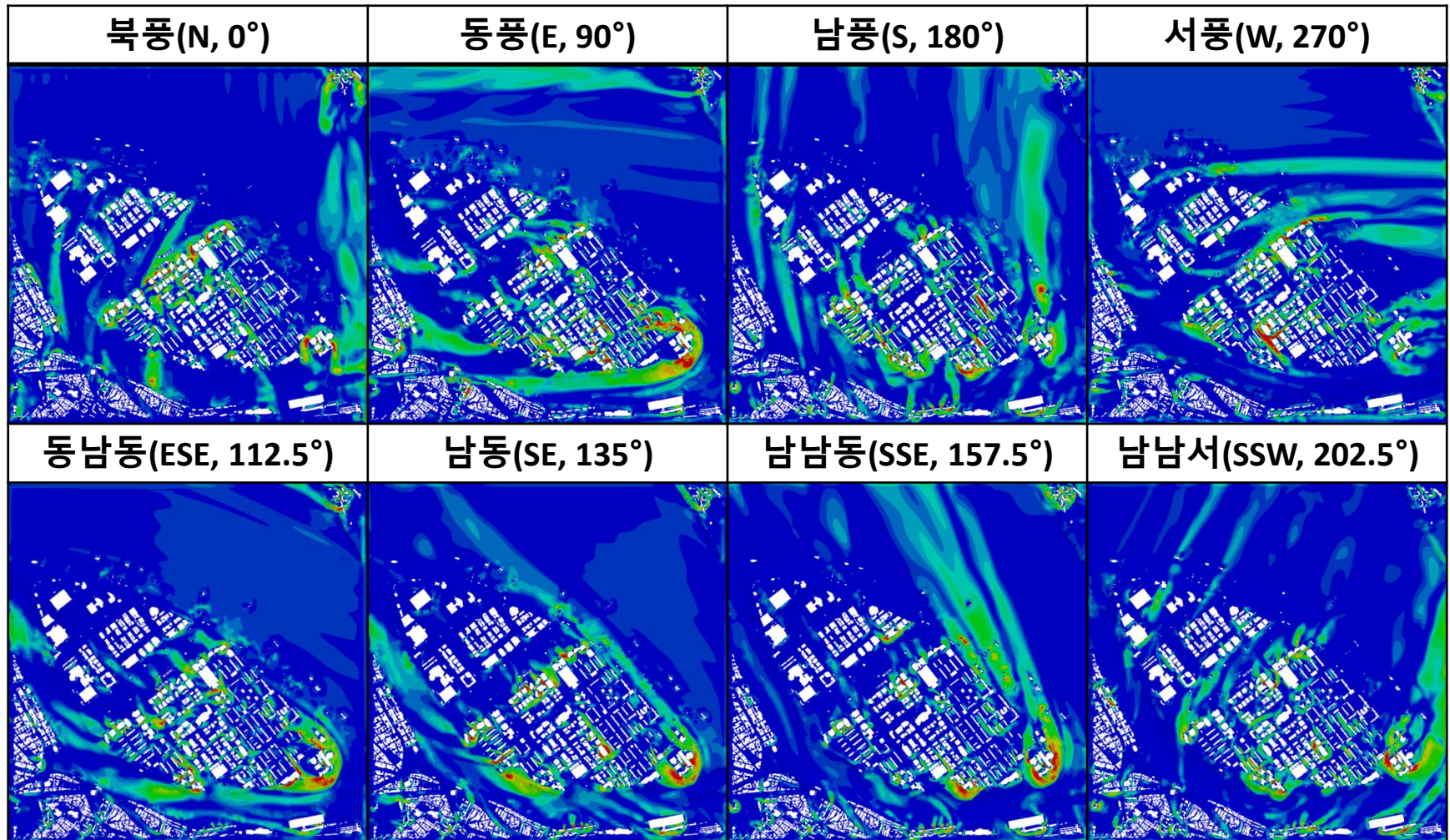
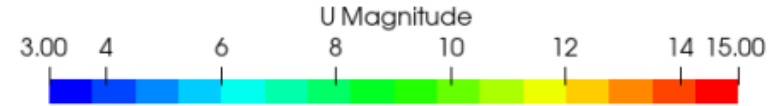
- **Turbulenc Model**

- Realizable k-Epsilon two layer model

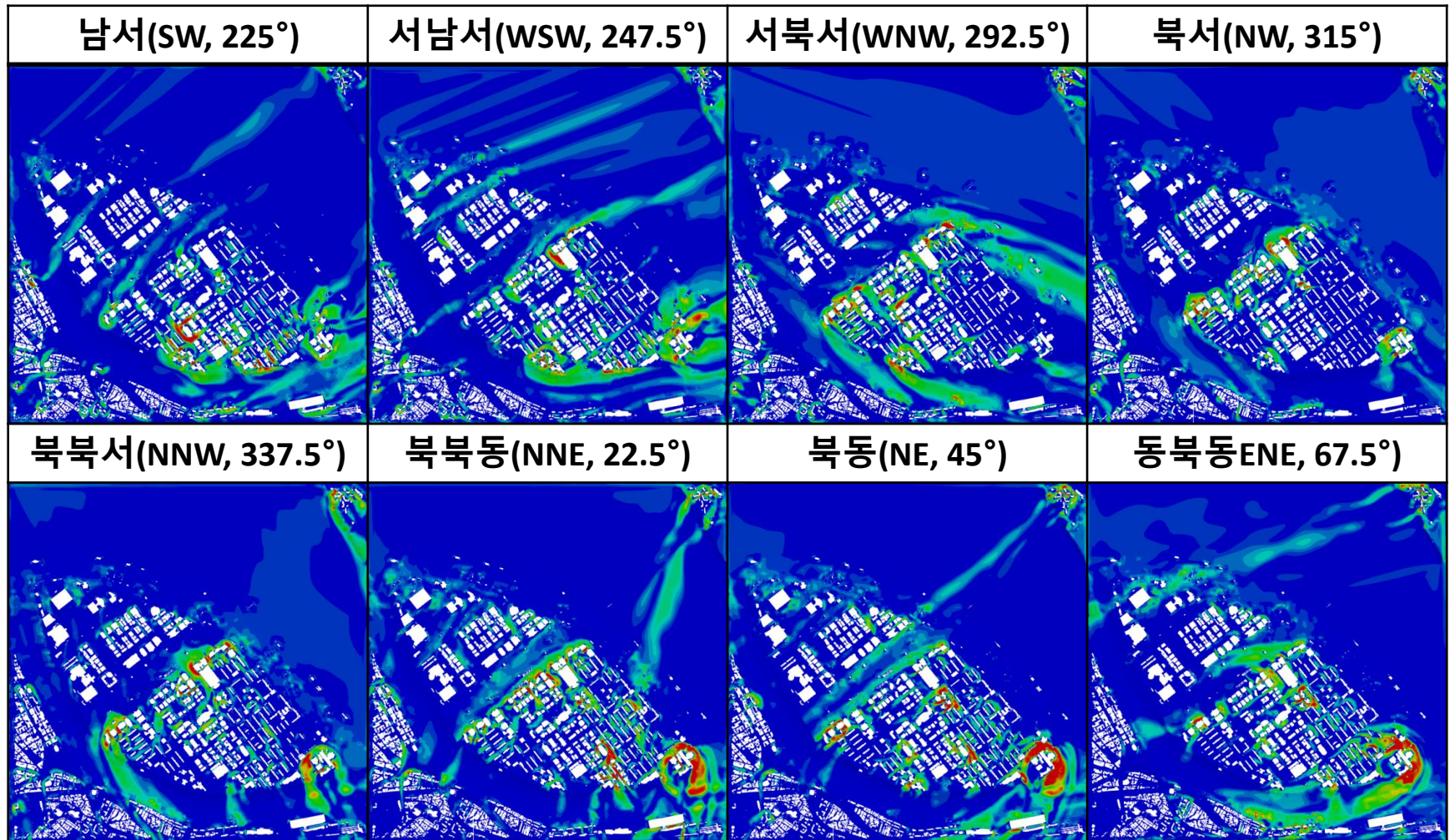
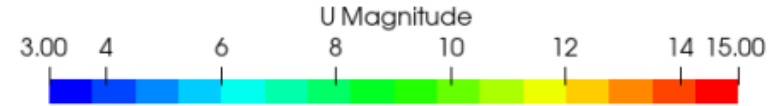
$$\frac{\partial}{\partial x_i}(ku_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + \nu_t S^2 - \varepsilon$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + C_1 S \varepsilon - C_2 \frac{\varepsilon^2}{k + \sqrt{\nu \varepsilon}}$$

- 여의도 바람길 해석 결과

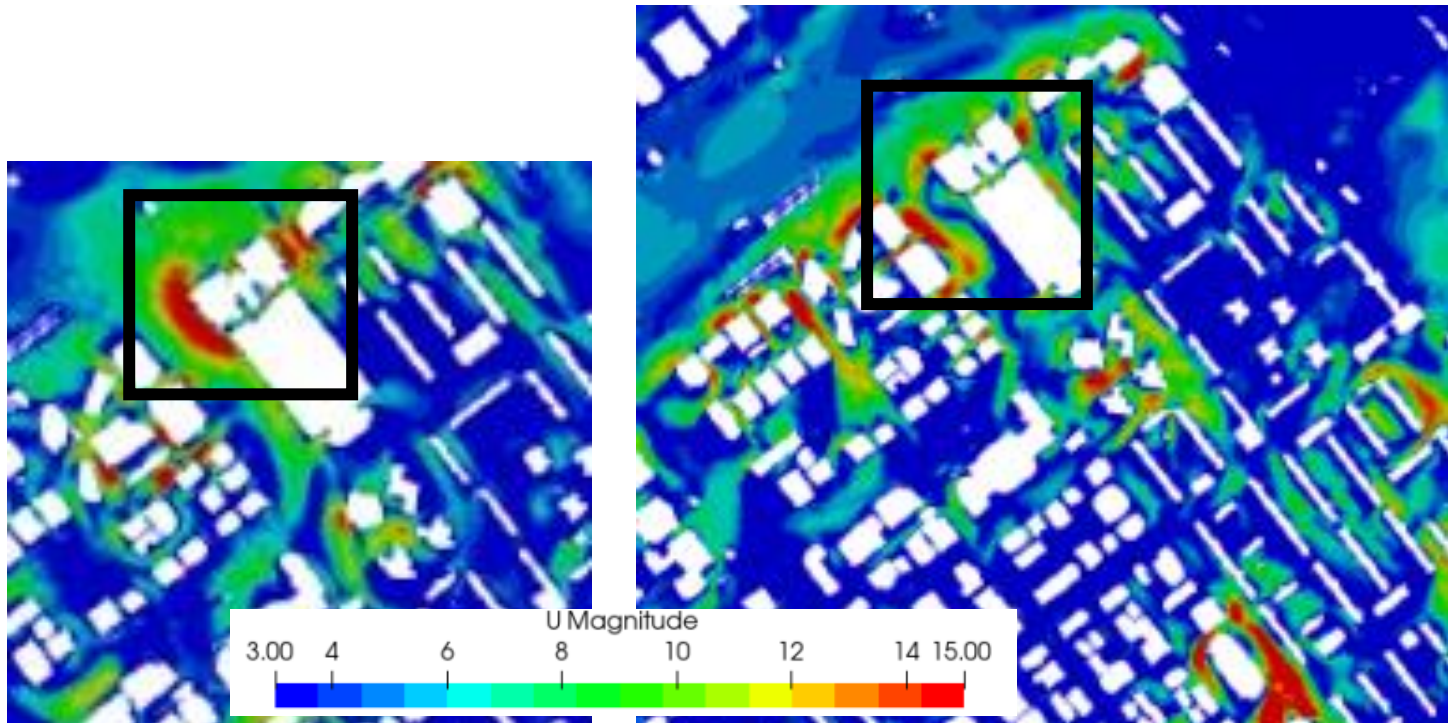


- 여의도 바람길 해석 결과



• 여의도 바람길 해석 결과 (북북서(좌) / 북북동(우))

- 하단의 그림에 표시한 검은색 박스 구역은 사람이 보행하기 불편한 정도의 바람세기가 나타날 확률이 높은 영역이라 판단됨
- 해당 영역을 '인파이동시물레이션'에 이동 불가 지역으로 구성할 수 있도록 설정



도심지 내 인파이동 시뮬레이션

여의도 한강공원에서 개최하는 “서울세계불꽃축제” 에서 인파이동 시나리오

행사 종료 후 약 2만여명의 인파의 이동을 시뮬레이션 진행

- Case A – 여의도 한강공원에 약 2만여명의 인파 배치, 지하철을 목적지로 이동하는 시나리오
- Case B – 여의도 바람길 해석 결과를 반영하여 사람의 이동이 어려운 정도의 풍속 지점을 이동불가 지역으로 설정한 후 이동 시나리오



인파 위치

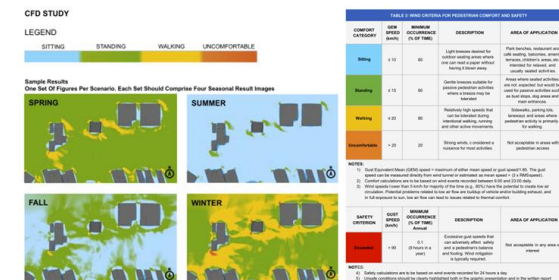
Beaufort Wind Scale

One of the first scales to estimate wind speeds and the effects was created by Britain's Admiral Sir Francis Beaufort (1774-1857). He developed the scale in 1805 to help sailors estimate the winds via visual observations. The scale starts with 0 and goes to a force of 12. The Beaufort scale is still used today to estimate wind strengths.

Force	Speed (mph)	(knots)	Description	Specifications for use at sea	Specifications for use on land
0	0-1	0-1	Calm	Sea like a mirror. Calm, smoke rises vertically.	
1	1-3	1-3	Light Air	Ripples with the appearance of scales are formed, but without foam crests.	
2	4-7	4-6	Light Breeze	Direction of wind shown by smoke drift, but not by wind vanes. Small wavelets, still short, but more pronounced. Crests have a glassy appearance and do not break.	
3	8-12	7-10	Gentle Breeze	Wind felt on face; leaves rustle; ordinary vane moved by wind. Large wavelets. Crests begin to break. Foam of glassy appearance. Perhaps scattered white horses.	
4	13-18	11-16	Moderate Breeze	Leaves and small twigs in constant motion; wind extends light flag. Small waves, becoming larger, fairly frequent white horses.	
5	19-24	17-21	Fresh Breeze	Raises dust and loose paper; small branches are moved. Moderate waves, taking a more pronounced long form; many white horses are formed.	
6	25-31	22-27	Strong Breeze	Small trees in leaf begin to sway; crested wavelets form on inland waters. Large waves begin to form; the white foam crests are more extensive everywhere.	
7	32-38	28-33	Near Gale	Large branches in motion; whistling heard in telegraph wires; umbrellas used with difficulty. Sea heaps up and white foam from breaking waves begins to be blown in streaks along the direction of the wind. Whole trees in motion; inconvenience felt when walking against the wind.	
8	39-46	34-40	Gale	Moderately high waves of greater length; edges of crests begin to break into spindrift. The foam is blown in well-marked streaks along the direction of the wind. Breaks twigs off trees; generally impedes progress.	
9	47-54	41-47	Severe Gale	High waves. Dense streaks of foam along the direction of the wind. Crests of waves begin to topple, tumble and roll over. Spray may affect visibility.	
10	55-63	48-55	Storm	Slight structural damage occurs (chimney-pots and slates removed). Very high waves with long overhanging crests. The resulting foam, in great patches, is blown in dense white streaks along the direction of the wind. On the whole the surface of the sea takes on a white appearance. The tumbling of the sea becomes heavy and shock-like. Visibility affected.	
11	64-72	56-63	Violent Storm	Seldom experienced inland; trees uprooted; considerable structural damage occurs. Exceptionally high waves (small and medium-size ships might be for a time lost to view behind the waves). The sea is completely covered with long white patches of foam lying along the direction of the wind. Everywhere the edges of the wave crests are blown into froth. Visibility affected.	
12	73-83	64-71	Hurricane	Very rarely experienced, accompanied by wide-spread damage. The air is filled with foam and spray. Sea completely white with driving spray; visibility very seriously affected. see Saffir-Simpson Hurricane Scale	

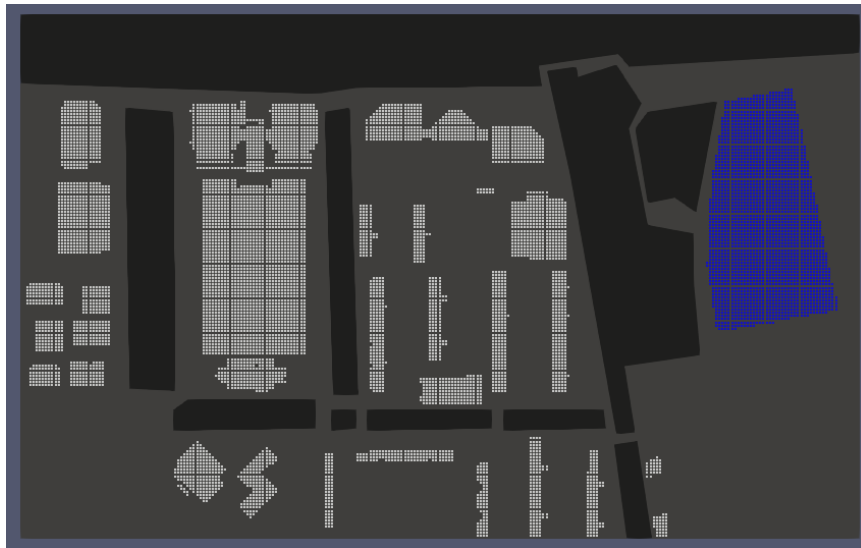
보퍼트 풍력 계급

<https://www.weather.gov/mfl/beaufort>



캐나다 토론토 시 규정집

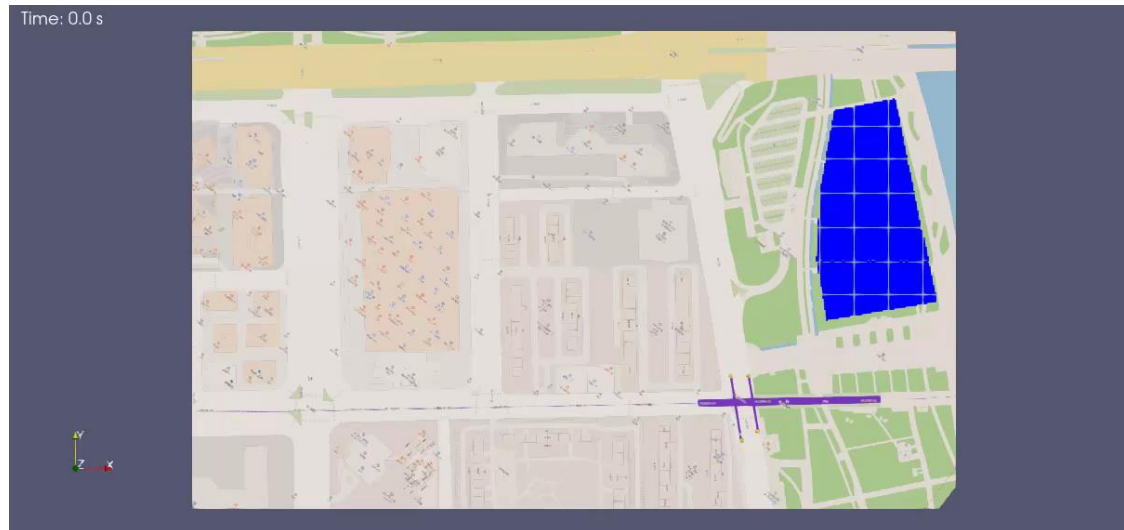
- 건물 생성 모듈 실행 -> 인파이동 시뮬레이션 격자 생성
- 오른쪽 위, 아래 길이 10 m의 붉은 선 위치에서, 해석 시작한지 10초 뒤부터, 5초 간격으로, 0.5m당 1명, 총 22명(1명 더 많음)이 절반은 왼쪽 위로 절반은 왼쪽 아래로 출구를 향해 이동
- 초기에 배치된 인원(오른쪽 박스)은 잔디밭에 3m 간격으로 균일하게 채워져있고



- 인파 이동 시뮬레이션 결과
- Case A



- Case B



- 인파 이동 시뮬레이션 결과



• 결론

- “서울세계불꽃축제”가 개최되는 여의도를 대상으로 건물 주위 바람에 대한 CFD 해석을 진행하였고, 가상의 시나리오를 채택하여 인파 이동에 대한 시뮬레이션을 진행하였다.
- 바람길에 대한 해석의 결과 사람의 보행을 불편하게 할 수 있을만한 바람이 나타날 확률이 높을 구역에 대하여 인파 보행 불가 지역으로 설정하였다.
- CFD 해석 결과를 바탕으로 인파 이동 시뮬레이션을 진행하였다.
- 보행 불가 지역을 회피하여 경로를 다시 찾는 것은 확인하였으나, 현재의 인파 이동 해석 솔버에 인파 밀집도를 확인할 수 없어 경로를 다시 찾는 과정에서 인파 이동의 위험을 판단하기는 어렵다. 다만, 이동불가 지역을 회피하는 인파의 이동의 경로를 예측할 수 있을 것으로 판단된다.

• 향후 계획

- 풍환경에서 고려해야 하는 요소들, 방풍벽, 방풍림 등 구현
- 인파 이동 해석 솔버 고도화
 - 인파의 시뮬레이션 시 위험사항 정보 표출(밀집도)
- CONTAM / FDS 등의 또다른 시뮬레이션 툴과의 연계
- 일본 건축물 해석 가이드라인을 바탕으로 검증 작업 진행 예정

- OpenFOAM Guide - <https://www.openfoam.com/documentation/overview>
- FLACS Guide - <https://www.gexcon.com/support/flacs-cfd/technical-manuals/>
- 도시협곡에서의 바람유동과 오염물질 이송에 관한 수치적 연구 - 서울대학교 대학원, 건설환경공학부, 공학박사 학위 논문, Nguyen Thanh Chuyen
- 3-D dispersion model for simulation of accidental toxic gas releases in a metropolitan area - Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Volume 69, March 2021, 104337, Mimi Min, Junyong Park, Chankyu Kang, Seungho Jung a
- CFD해석기법을 활용한 풍환경 평가 가이드라인, 2021년 - 국토교통부
- 역사 내 복잡한 건축물의 사전 분석을 위한 SPH 군중 시뮬레이션 활용, 2024년 – 대한건축학회, 2024년 추계학술대회, 김현식(주식회사 넥스트폼), 최원준, 신규식(주식회사 이에이트)
- 캐나다 토론토 시 규정집, PEDESTRIAN LEVEL WIND STUDY TERMS OF REFERENCE GUIDE

OpenFOAM 사용의 간편화

• OpenFOAM을 이용한 해석 간편화



• 간편화/자동화 → 해석 과정 **정형화**

• 전처리 과정의 정형화

• 형상 생성

- 형상을 간단한 parameter로 정형화
- 자주 사용하는 형상을 미리 DB화 → DB에 입력되어 있는 형상을 선택하여 사용(축소/확대 등)
- Fan단독성능해석, 미사일외부공력해석 등

• 격자 생성

- 특화 분야를 위한 해석 격자 생성 기준 마련 → 적정 격자 해상도 테스트 결과 분석을 통해

• 후처리 과정의 정형화

• 해석 결과 후처리 기준 마련

- 특정 위치에서의 속도/압력 값 추출
- 3D contour 그림 및 동영상 추출

• 동일 격자를 사용하여 입력 조건만 다른 해석

- 동일한 결과 그림을 자동으로 추출하여 비교 분석

전처리

- Shp 파일 → 3D 형상, STL 파일
- STL 파일 + base mesh → 볼륨격자



해석

- 특정 해석에 특화된 케이스 셋팅
- 주요 해석 조건 입력 (유입속도, 압력 등)



후처리

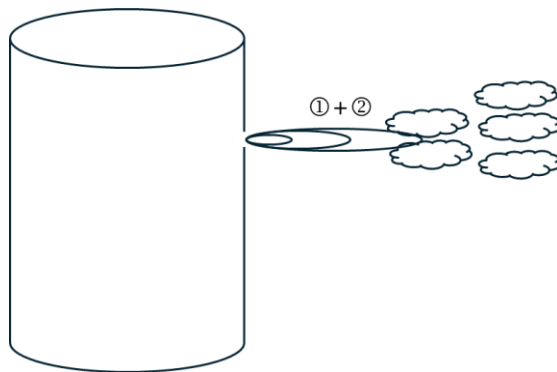
- Countour, 그래프, 동영상 등
- 정형화된 보고서 양식 → ppt, excel 등

- [illegible]

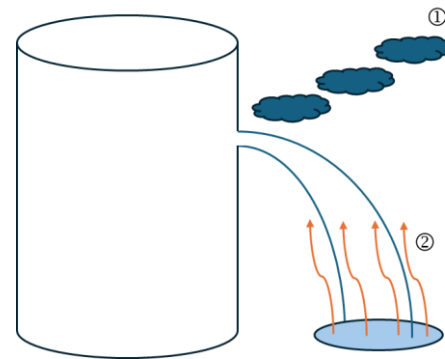
기타 사례

- 해석 지형: 경부고속도로 동탄 터널 인근 (4km X 4km)
- 기상 조건
 - 대기 안정도: Pasquill class D
 - 풍속: 측정지점 해발도 10m에서 풍속 2.41m
 - 풍향: 270° (→, 서풍)
 - 대기 온도: 25°C
- 화학물질 누출 시나리오
 - 누출 지점: 경부고속도로 동탄 터널 인근
 - 누출 방향: 남쪽 방향
 - 누출 물질: 암모니아 (NH₃)
 - 총 누출량: 10.83 ton

- Case1
 - 시나리오: 10분 전량누출, 기상 누출
- Case2
 - 시나리오: 10분 전량누출, 2상(기상+액상) 누출
- Case3
 - 시나리오: 누출률 고정, 기상 누출
- Case4
 - 시나리오: 누출률 고정, 2상(기상+액상) 누출

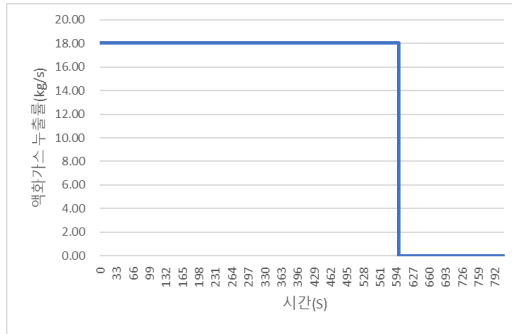


기상 누출



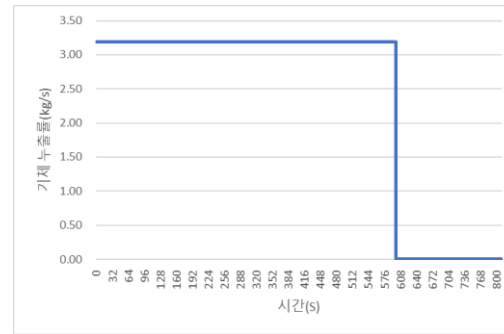
2상(기상+액상) 누출

• 시간당 누출량



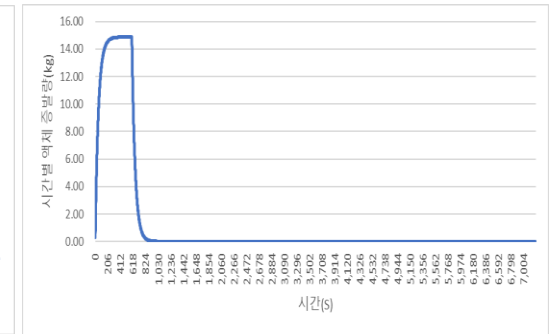
Jet파 누출

Case1

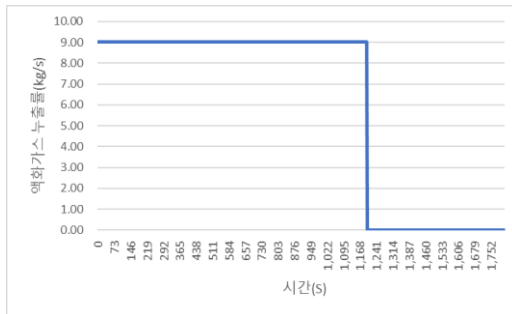


Jet파 누출

Case2

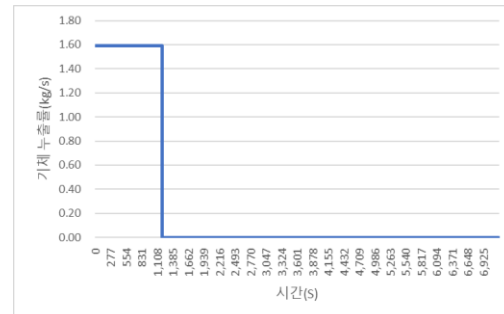


Pool 누출



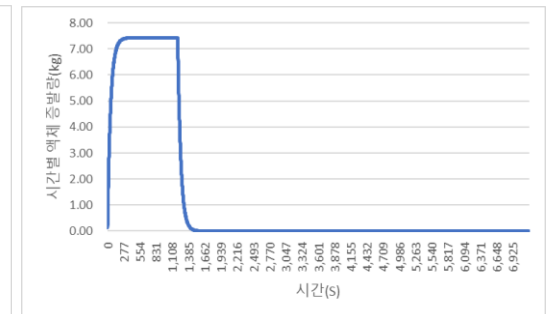
Jet파 누출

Case3



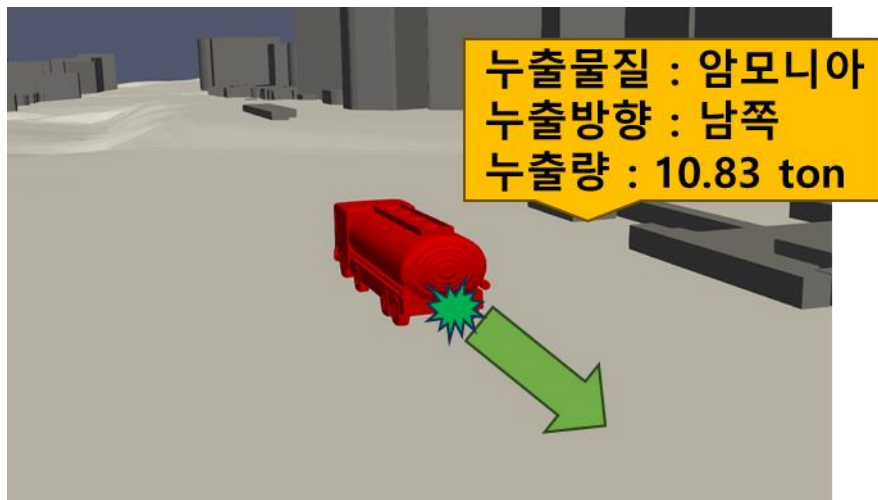
Jet파 누출

Case4



Pool 누출

- 암모니아 농도 검출
 - 총 6 곳에서 농도 검출
 - 누출 지점 기준 동쪽으로 100m, 200m, 500m, 1000m, 1500m, 2000m
 - ERPG-1(25ppm), ERPG-2(150ppm), ERPG-3(1500ppm)



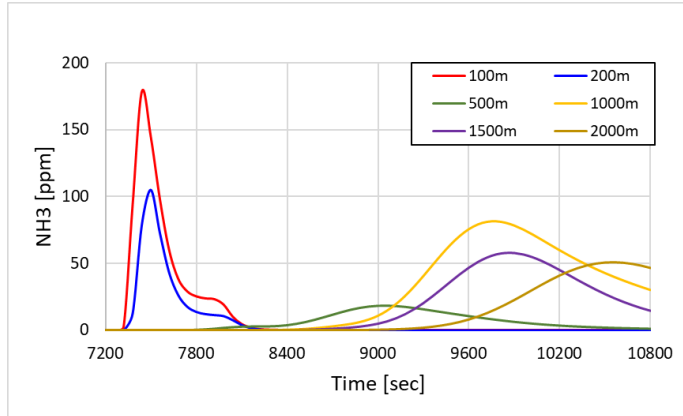
Time-ppm Graph

• Case1 - 10분 전량누출, 기상 누출

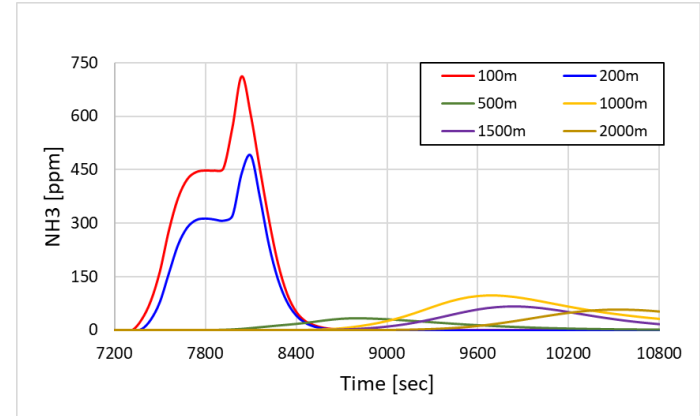
• Case2 - 10분 전량누출, 2상(기상+액상) 누출

• Case3 - 누출률 고정, 기상 누출

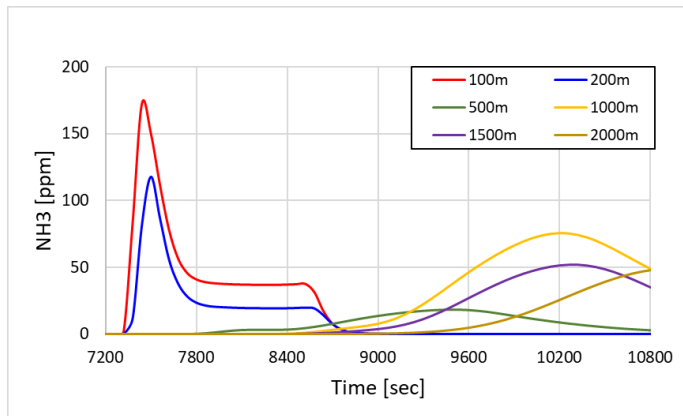
• Case4 - 누출률 고정, 2상(기상+액상) 누출



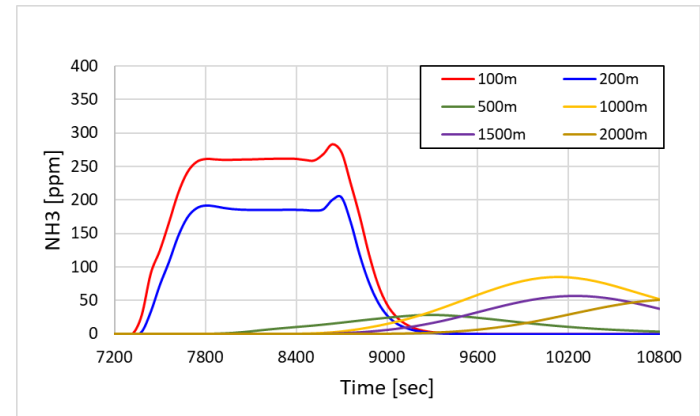
Case1



Case2

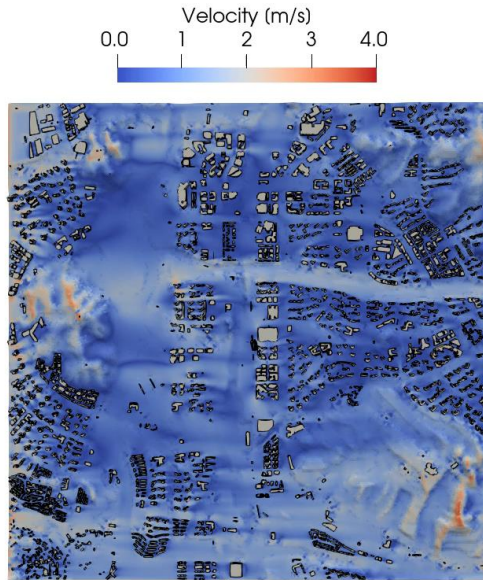


Case3

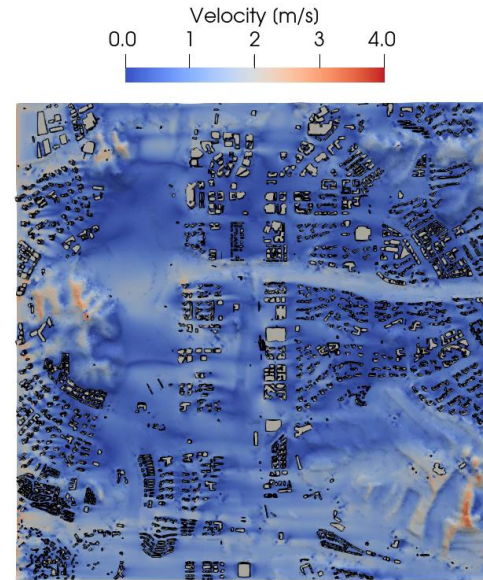


Case4

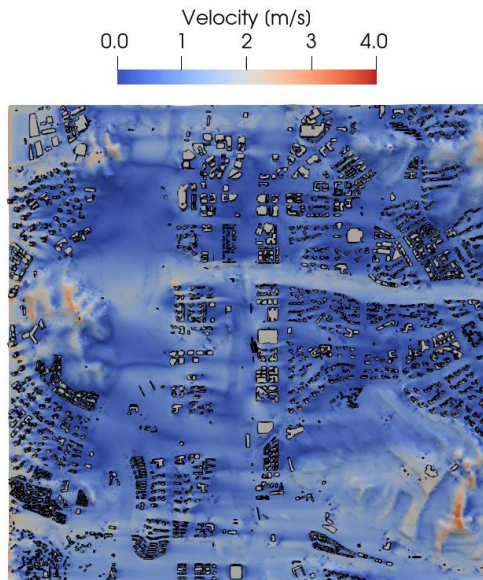
Top view(ERPG1)



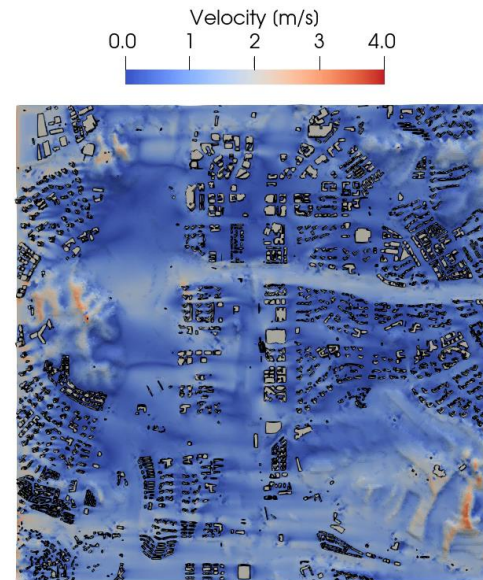
Case1



Case2

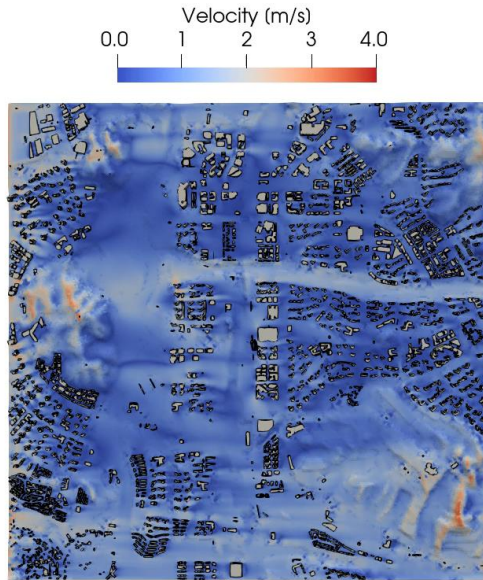


Case3

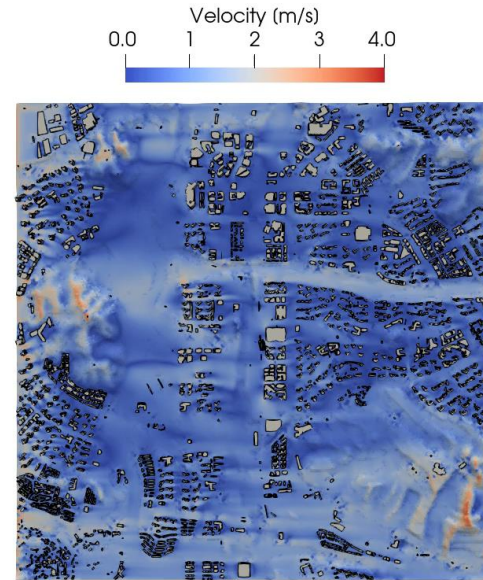


Case4

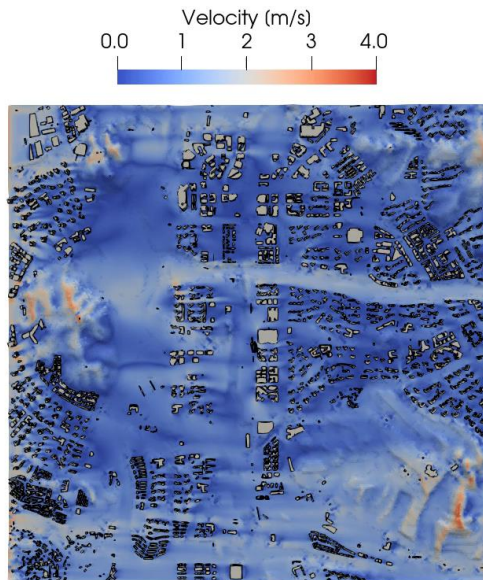
Top view(ERPG2)



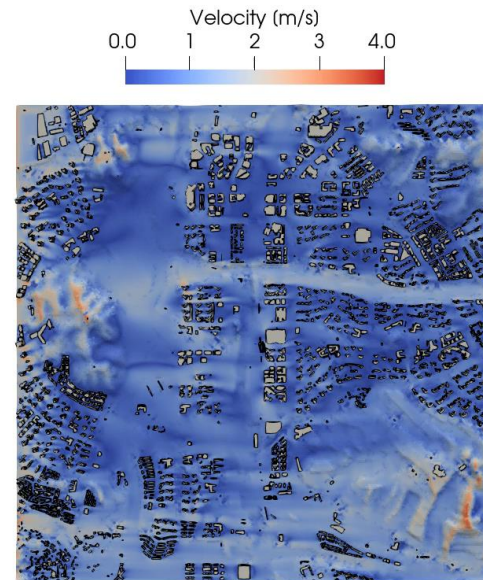
Case1



Case2

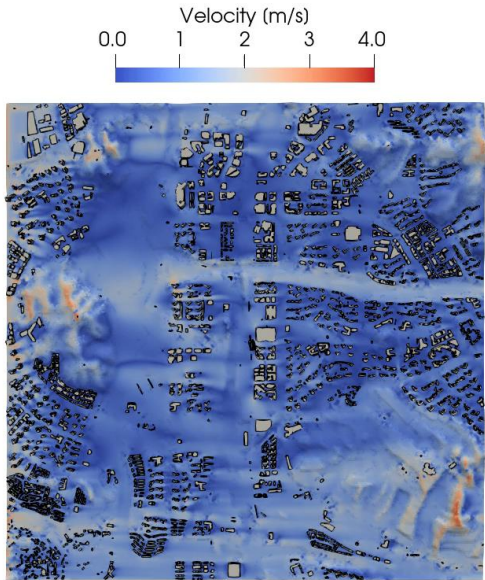


Case3

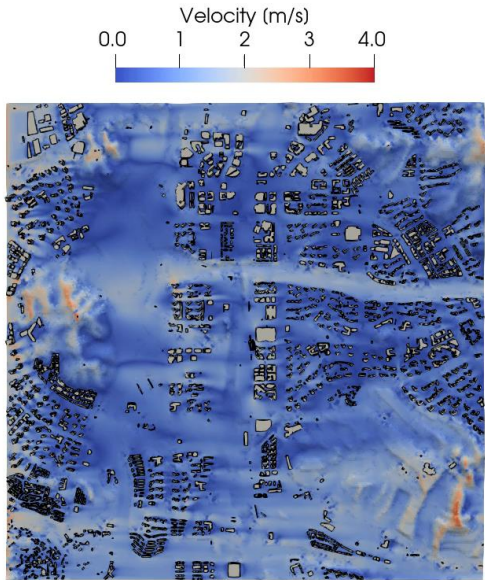


Case4

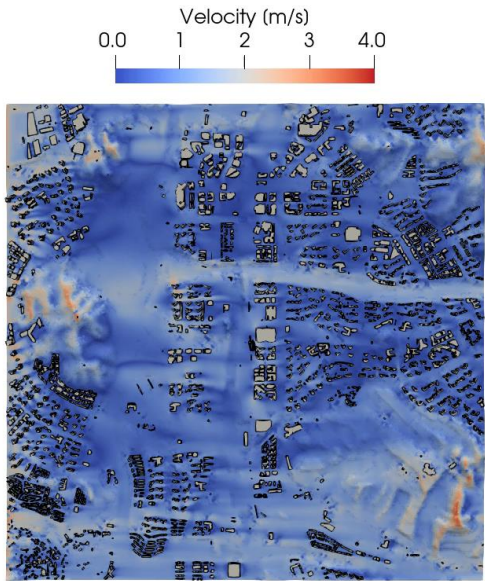
Top view(ERPG3)



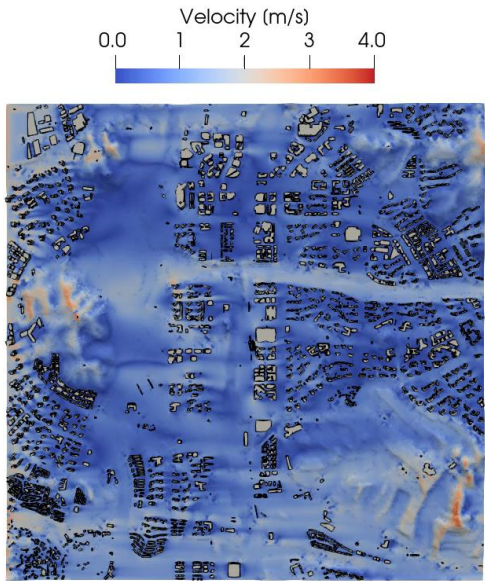
Case1



Case2



Case3

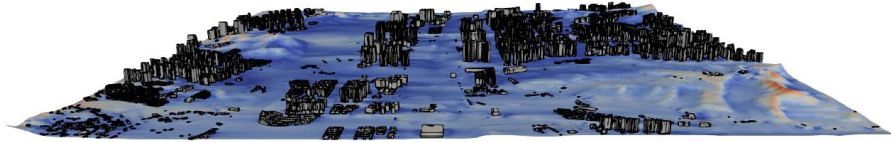


Case4

Side view(ERPG1)

Velocity (m/s)
0.0 1 2 3 4.0

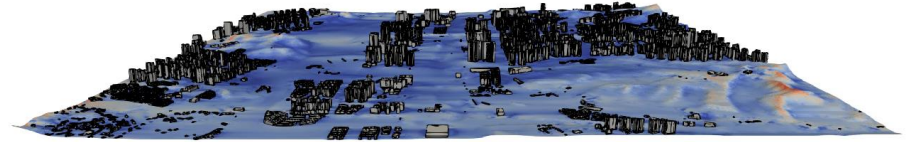
Time: 7200



Case1

Velocity (m/s)
0.0 1 2 3 4.0

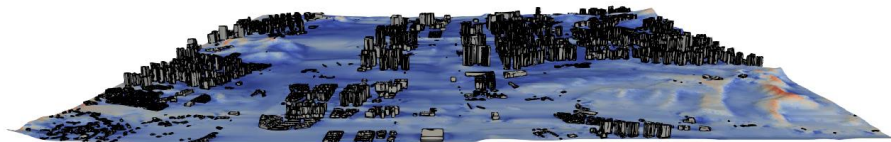
Time: 7200



Case2

Velocity (m/s)
0.0 1 2 3 4.0

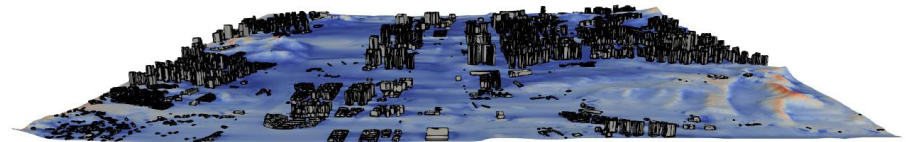
Time: 7200



Case3

Velocity (m/s)
0.0 1 2 3 4.0

Time: 7200

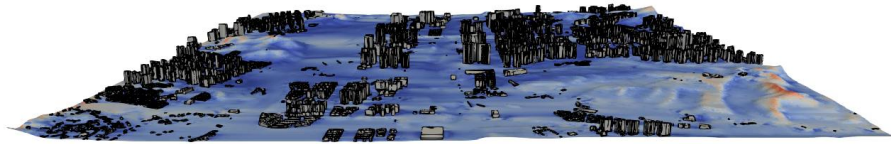


Case4

Side view(ERPG2)

Velocity (m/s)
0.0 1 2 3 4.0

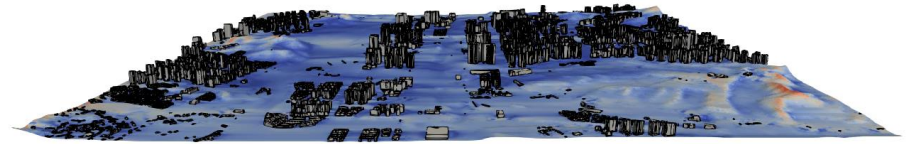
Time: 7200



Case1

Velocity (m/s)
0.0 1 2 3 4.0

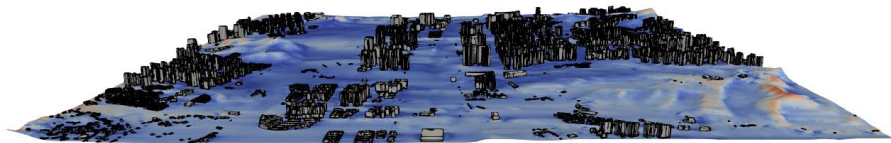
Time: 7200



Case2

Velocity (m/s)
0.0 1 2 3 4.0

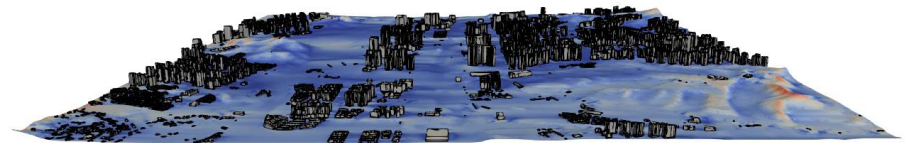
Time: 7200



Case3

Velocity (m/s)
0.0 1 2 3 4.0

Time: 7200

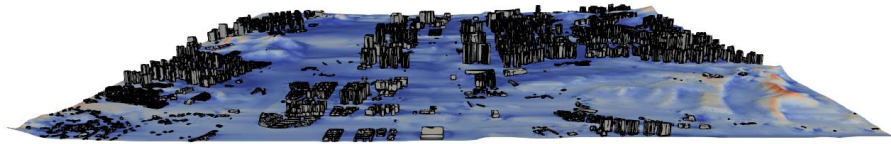


Case4

Side view(ERPG3)



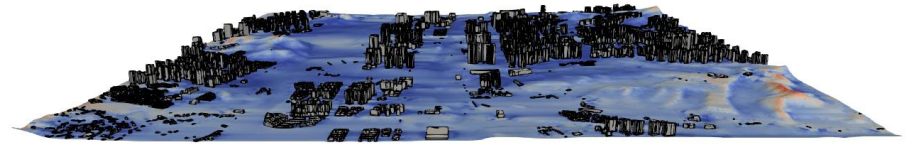
Time: 7200



Case1



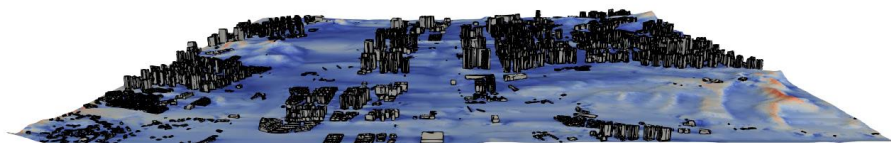
Time: 7200



Case2



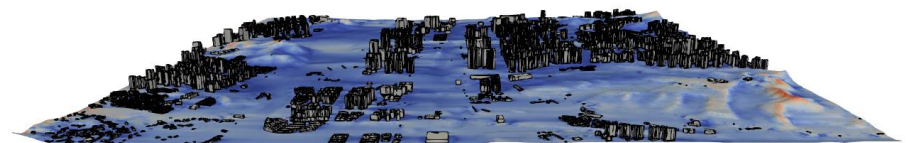
Time: 7200



Case3

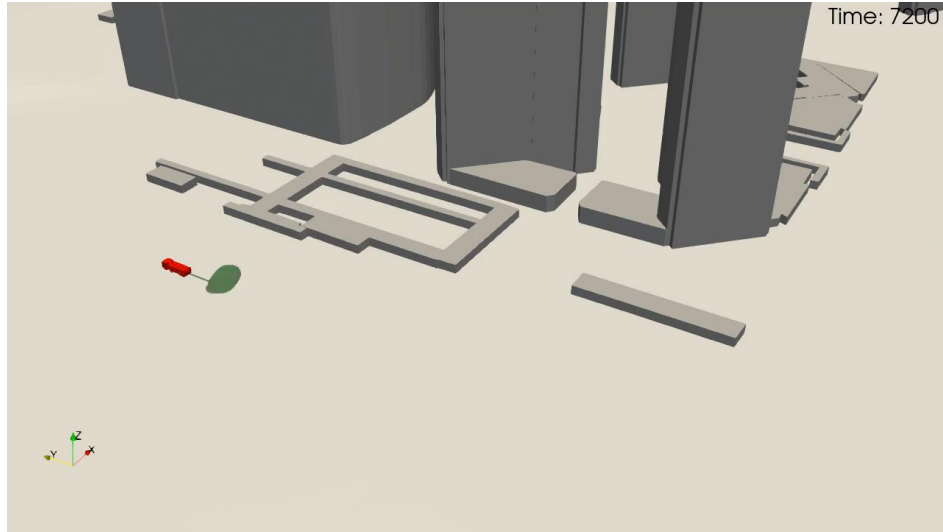


Time: 7200

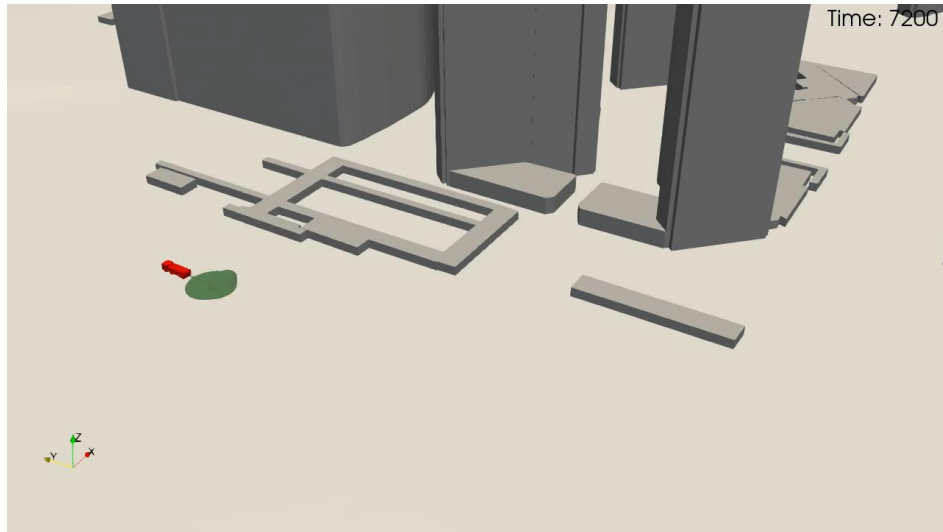


Case4

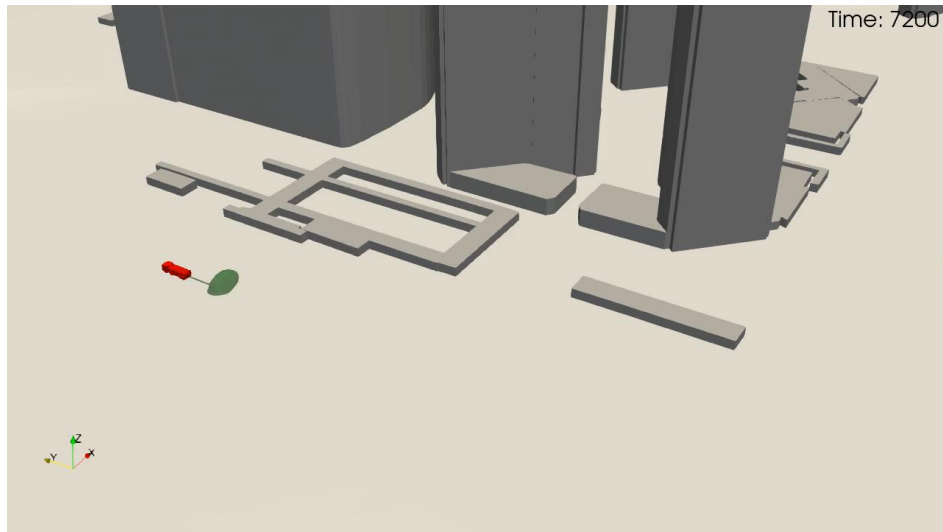
Close-up view(ERPG1)



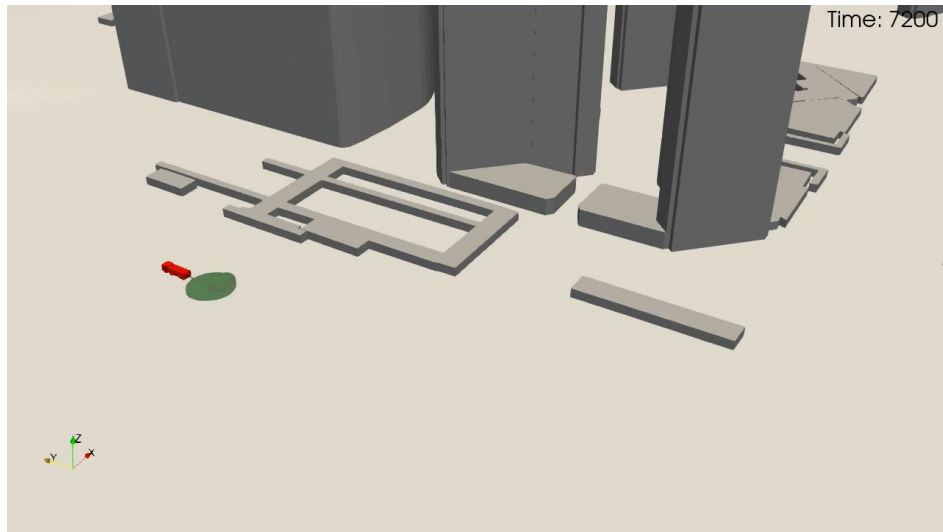
Case1



Case2



Case3



Case4



감사합니다.