

인쇄형상 생성 및 Leveling 해석 자동화 프로세스 개발

융합기술팀

유강국, 유지형, 이현웅



삼성전기

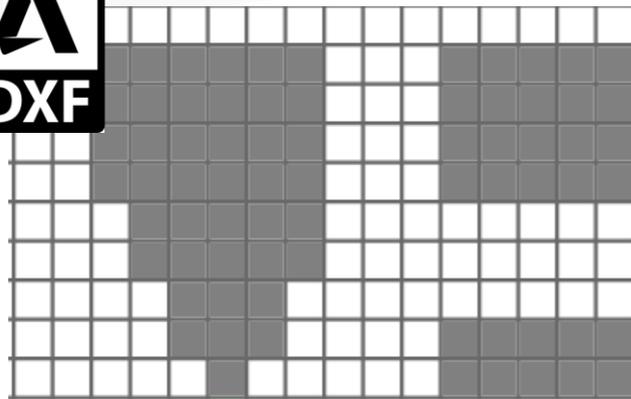
목차

- 개요
- 형상 모델링 자동화
- 격자 생성 자동화
- Leveling 해석 자동화
- Leveling 해석 예시

형상 모델링 자동화

○ 개요

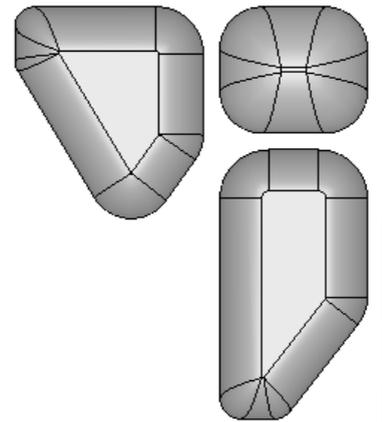
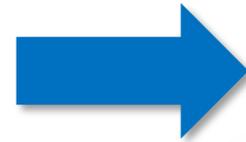
- DXF 파일 형식의 2D 도면 사용
- OpenCASCADE 라이브러리를 사용하여 step 파일 형식의 CAD 생성
- 3D 형상 생성 시 2D / 3D Fillet 적용



인쇄 형상 2D 도면



형상 생성 모듈



CAD

형상 모델링 자동화

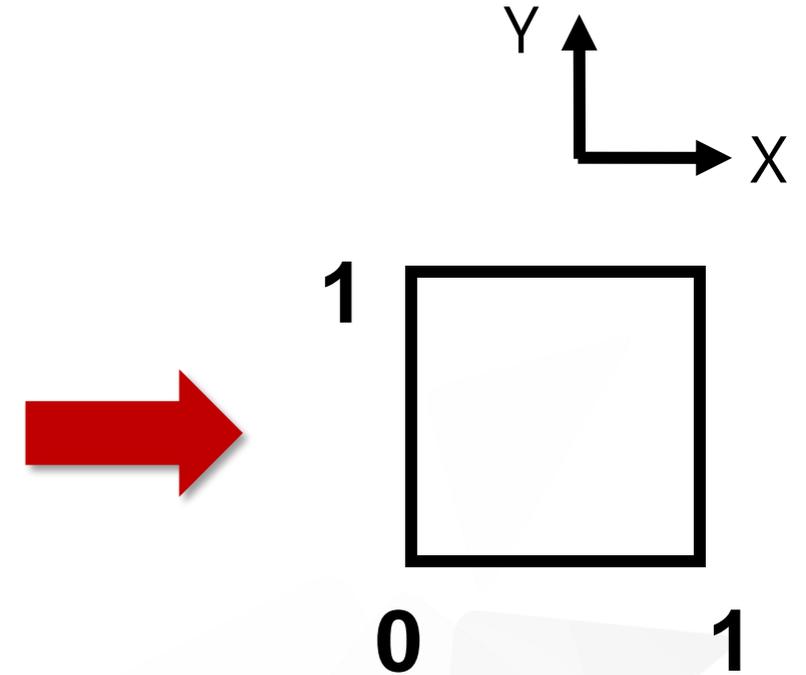
○ 인쇄형상 DXF 파일

- (X, Y) 점열 정보 사용

- ✓ 10 : X 좌표
- ✓ 20 : Y 좌표

- 도면에 사각형 정보만 저장되어 있음

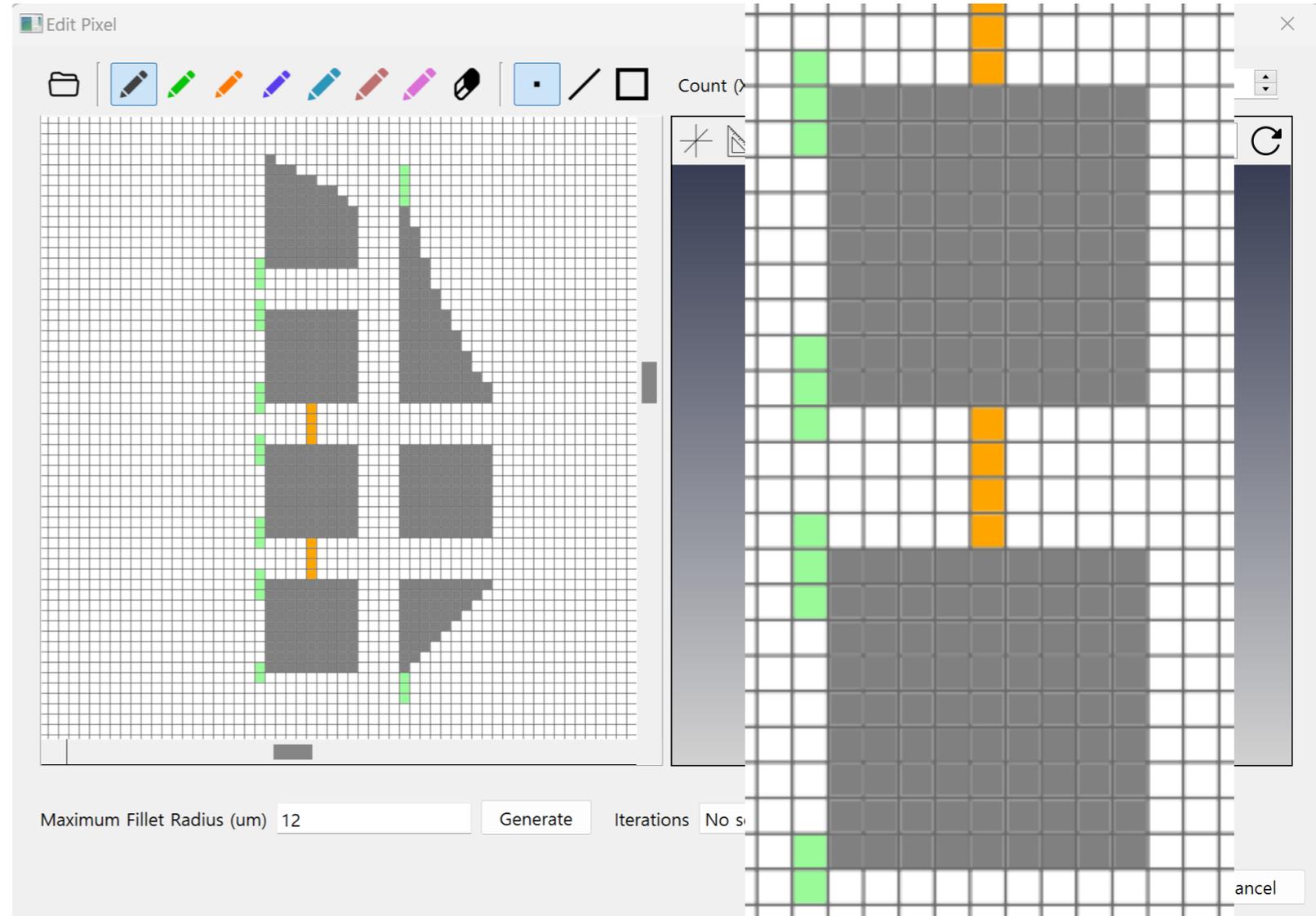
```
LWPOLYLINE
5
X 10
0.0000000000000000
Y 20
0.0000000000000000
10
1.0000000000000000
20
0.0000000000000000
10
1.0000000000000000
20
1.0000000000000000
10
0.0000000000000000
20
1.0000000000000000
10
0.0000000000000000
20
0.0000000000000000
```



형상 모델링 자동화

○ Pixel Editor GUI

- 2D 도면 Import 및 도면 정보 가시화
- Pixel 수정 기능 (추가 / 삭제)
- Pixel Type 설정 기능
 - ✓ 회색 : 기본 형상 type
 - ✓ 초록 : Fillet Radius 보정 type
 - ✓ 주황 : 형상 높이 조절 type
- Fillet Radius, Depth 등의 형상 파라미터 설정
- 생성된 CAD 형상 가시화



형상 모델링 자동화

Edit Pixel

Fill Inside

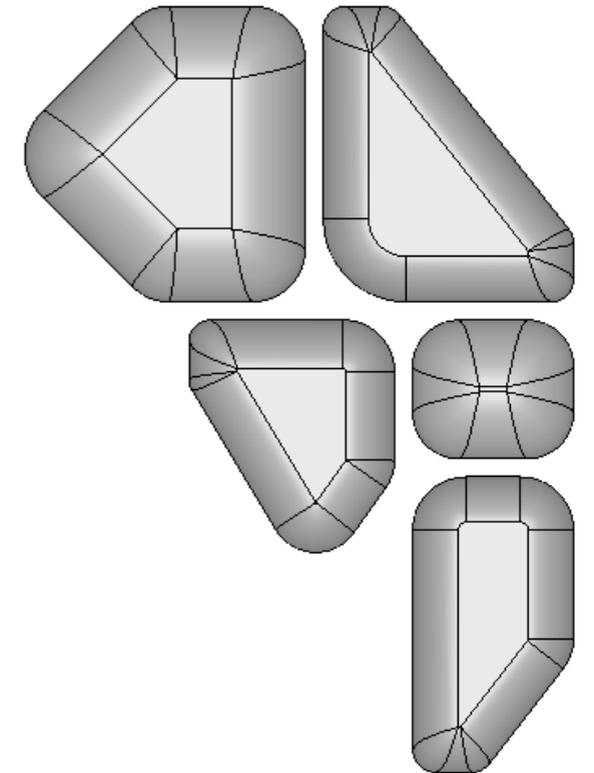
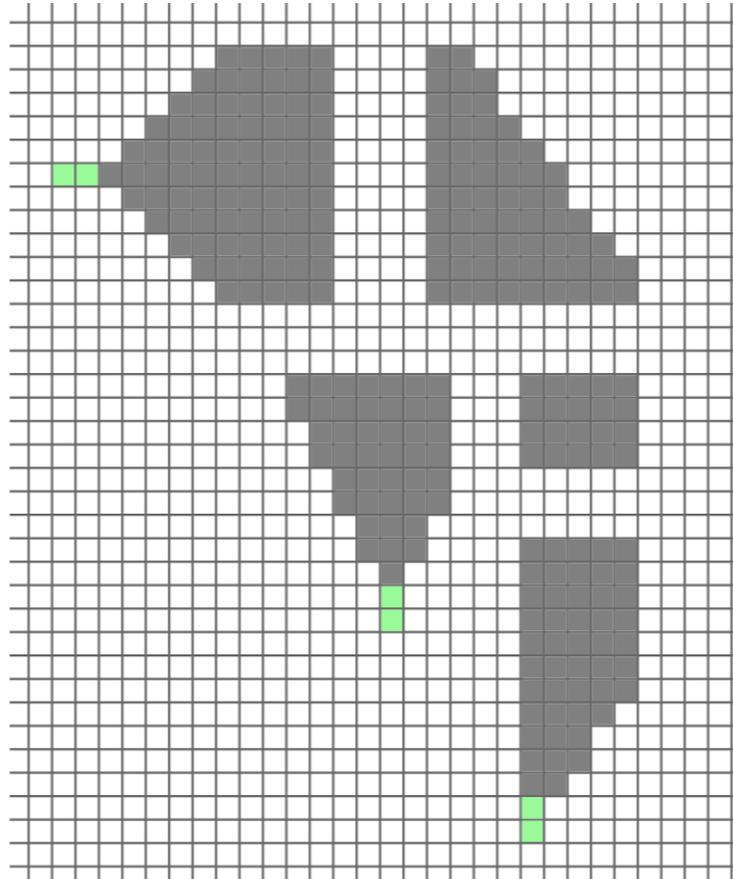
Maximum Fillet Radius (um) 8.0 Generate

OK Cancel

형상 모델링 자동화

○ 형상 생성 과정

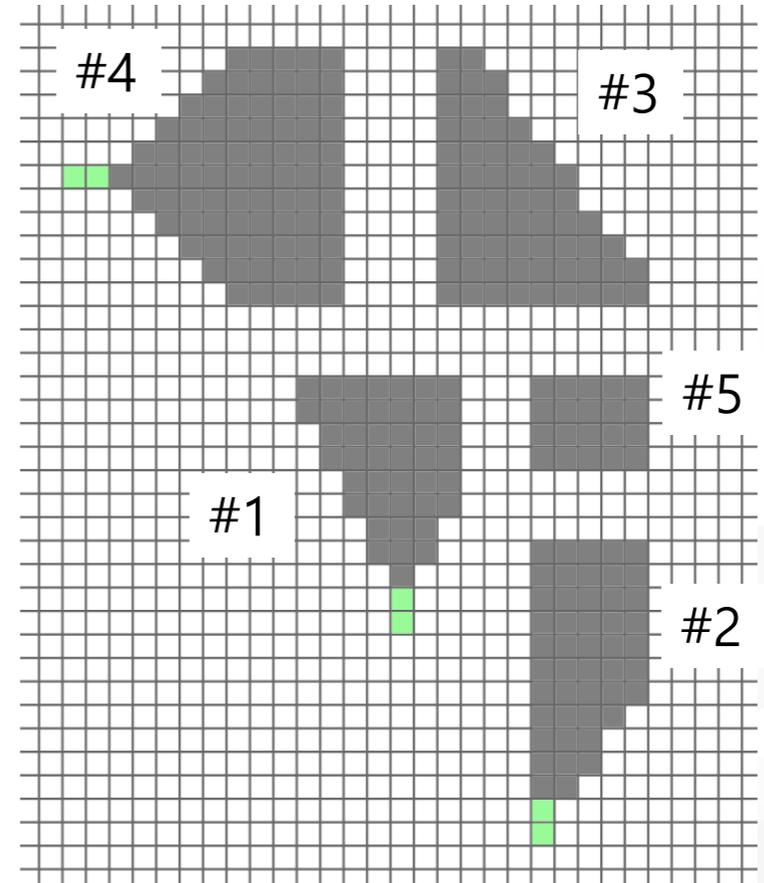
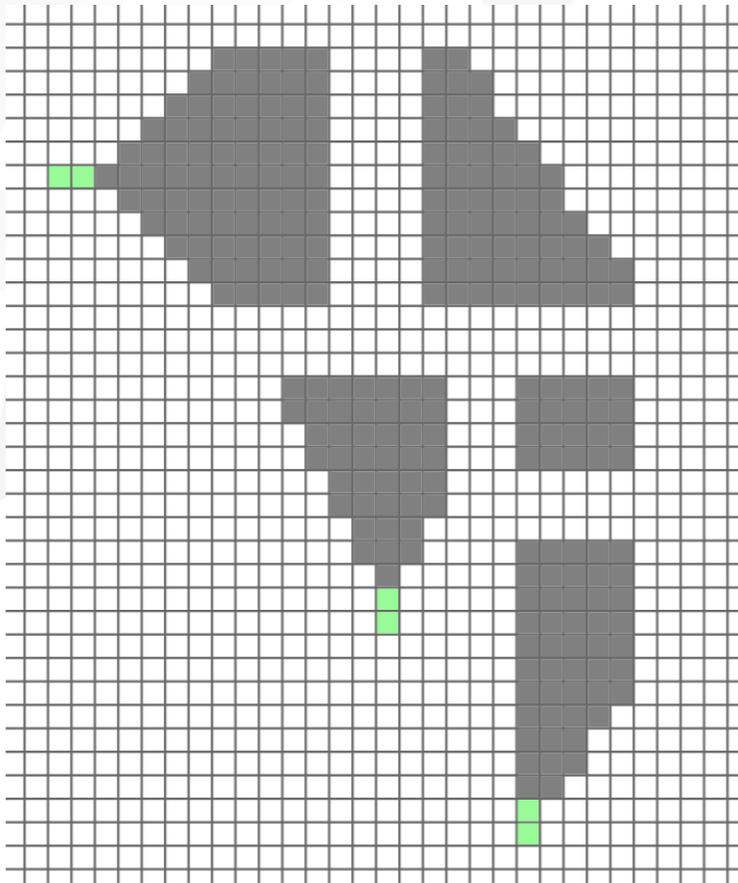
- Pixel Data 처리
 1. Pixel Grouping
 2. Boundary 탐색
 3. Boundary 수정
 4. Boundary Offset
- Face 생성 (2D Fillet 적용)
- Solid 생성 (3D Fillet 적용)



형상 모델링 자동화 - Pixel Grouping

○ Grouping 알고리즘 개발

- 도면의 Pixel 정보로부터 인접한 Pixel을 그룹화

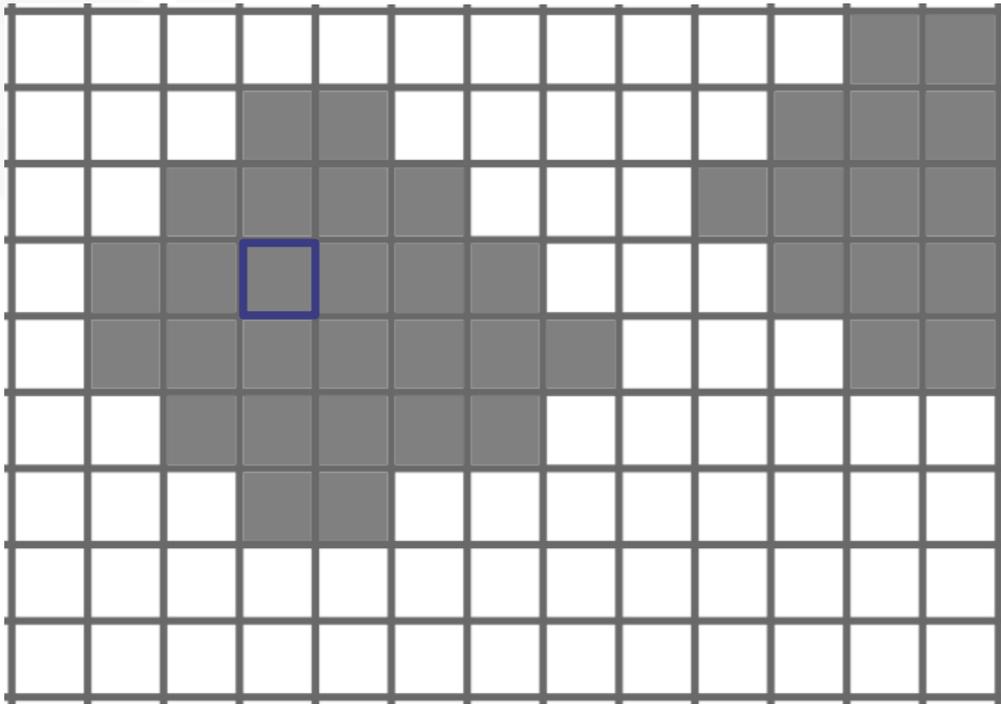


형상 모델링 자동화 - Pixel Grouping

○ Grouping 알고리즘 개발

- 각 pixel의 위치 데이터를 저장하는 2d map 데이터 구조 사용
 - ✓ 효율적으로 그룹화 과정 수행

타겟 pixel



탐색영역

											0	1	
			2	3							4	5	6
			7	8	9	10				11	12	13	14
			15	16	17	18	19	20			21	22	23
			24	25	26	27	28	29	30			31	32
				33	34	35	36	37					
					38	39							

형상 모델링 자동화 - Boundary 탐색

2D Square 격자 데이터 구조 정의

- Boundary 탐색 알고리즘의 편의성을 위해 **Winged-Edge** 격자 데이터 구조 사용
- Vertex : (X, Y) Coordinate, Connected Edge ID
- Edge : Connected Vertex ID, Connected Face ID, Connected Edge ID
- Face : Connected Edge ID

Face List

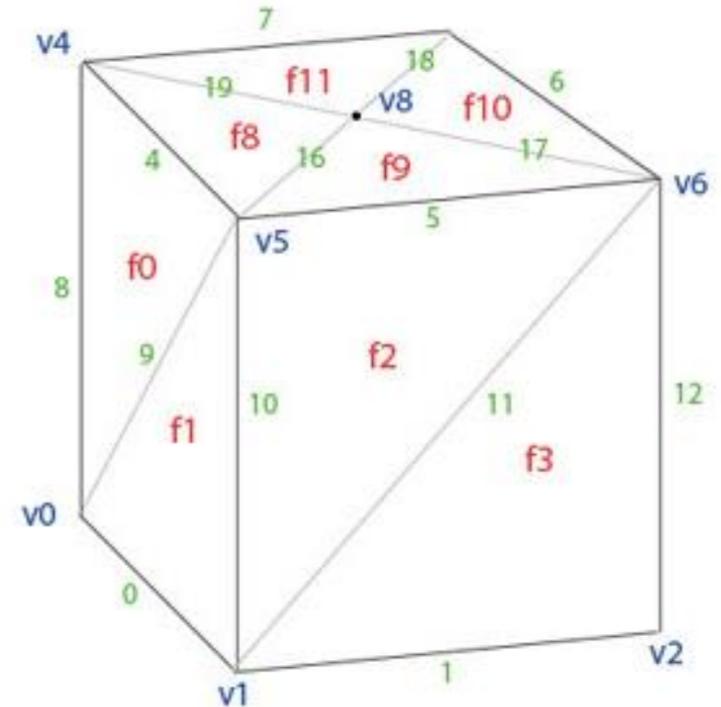
f0	4 8 9
f1	0 10 9
f2	5 10 11
f3	1 12 11
f4	6 12 13
f5	2 14 13
f6	7 14 15
f7	3 8 15
f8	4 16 19
f9	5 17 16
f10	6 18 17
f11	7 19 18
f12	0 23 20
f13	1 20 21
f14	2 21 22
f15	3 22 23

Edge List

e0	v0 v1	f1 f12	9 23 10 20
e1	v1 v2	f3 f13	11 20 12 21
e2	v2 v3	f5 f14	13 21 14 22
e3	v3 v0	f7 f15	15 22 8 23
e4	v4 v5	f0 f8	19 8 16 9
e5	v5 v6	f2 f9	16 10 17 11
e6	v6 v7	f4 f10	17 12 18 13
e7	v7 v4	f6 f11	18 14 19 15
e8	v0 v4	f7 f0	3 9 7 4
e9	v0 v5	f0 f1	8 0 4 10
e10	v1 v5	f1 f2	0 11 9 5
e11	v1 v6	f2 f3	10 1 5 12
e12	v2 v6	f3 f4	1 13 11 6
e13	v2 v7	f4 f5	12 2 6 14
e14	v3 v7	f5 f6	2 15 13 7
e15	v3 v4	f6 f7	14 3 7 15

Vertex List

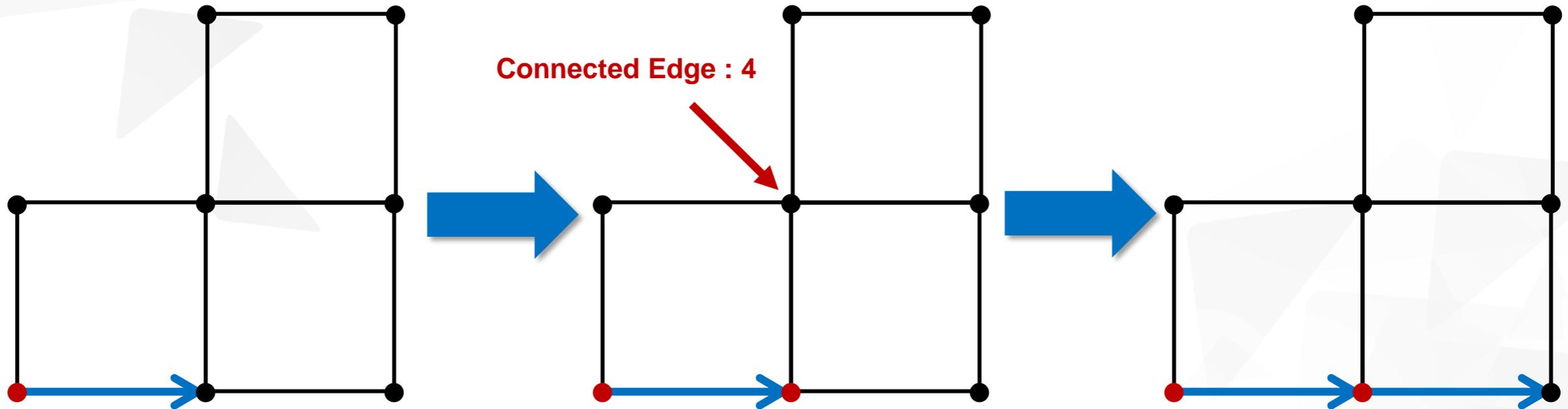
v0	0,0,0	8 9 0 23 3
v1	1,0,0	10 11 1 20 0
v2	1,1,0	12 13 2 21 1
v3	0,1,0	14 15 3 22 2
v4	0,0,1	8 15 7 19 4
v5	1,0,1	10 9 4 16 5
v6	1,1,1	12 11 5 17 6
v7	0,1,1	14 13 6 18 7
v8	.5,.5,0	16 17 18 19
v9	.5,.5,1	20 21 22 23



형상 모델링 자동화 - Boundary 탐색

외각 Boundary 탐색 알고리즘 개발

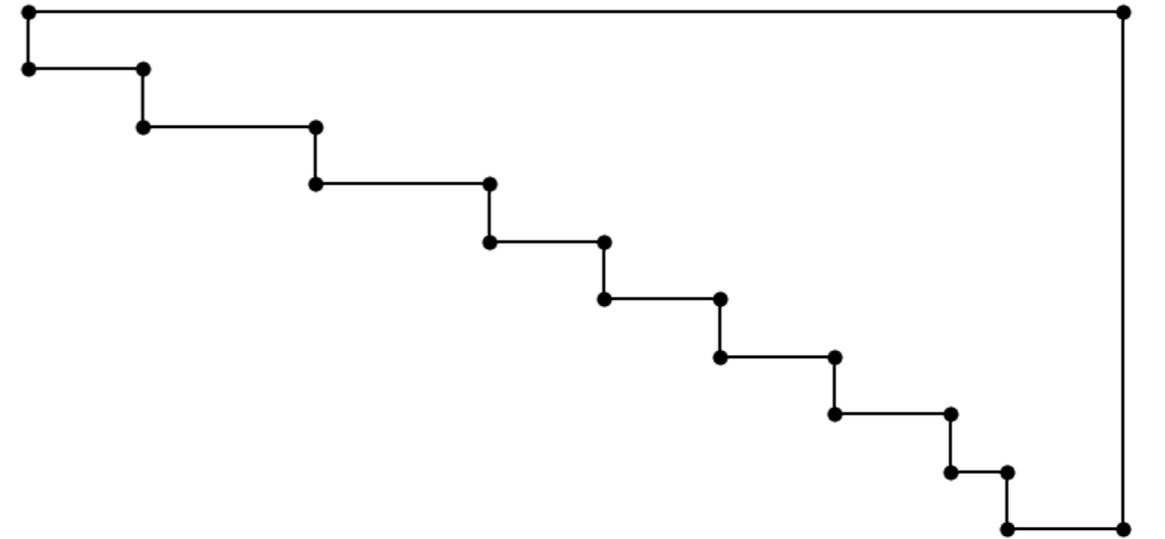
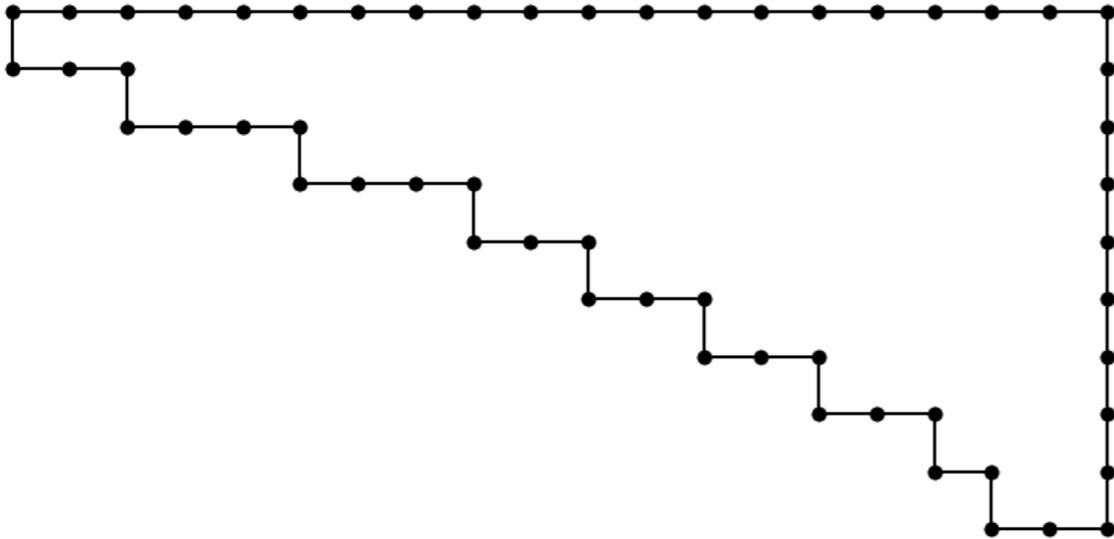
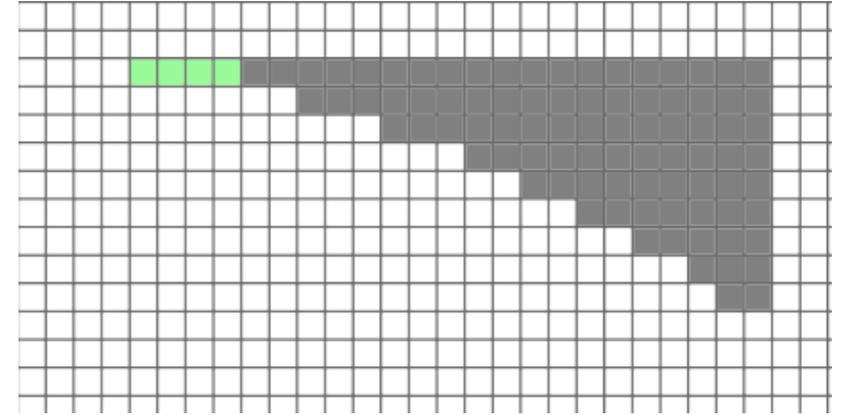
- Boundary Point 탐색
 1. Connected Edge의 개수가 2인 Vertex에서 시작
 2. Vertex와 연결된 Edge를 통해 다음 Vertex로 이동
 3. Edge와 연결된 다른 Edge 중 Connected Face의 개수가 1인 Edge를 선택
 4. 첫 Vertex에 도달할 때까지 2 - 3 과정 반복



형상 모델링 자동화 - Boundary 탐색

외각 Boundary 탐색 알고리즘 개발

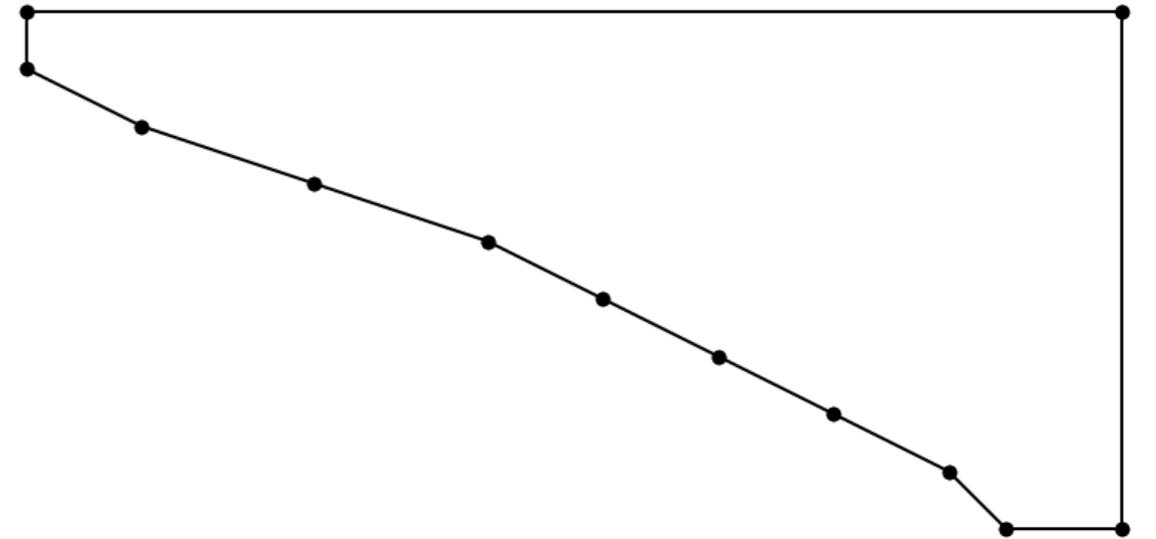
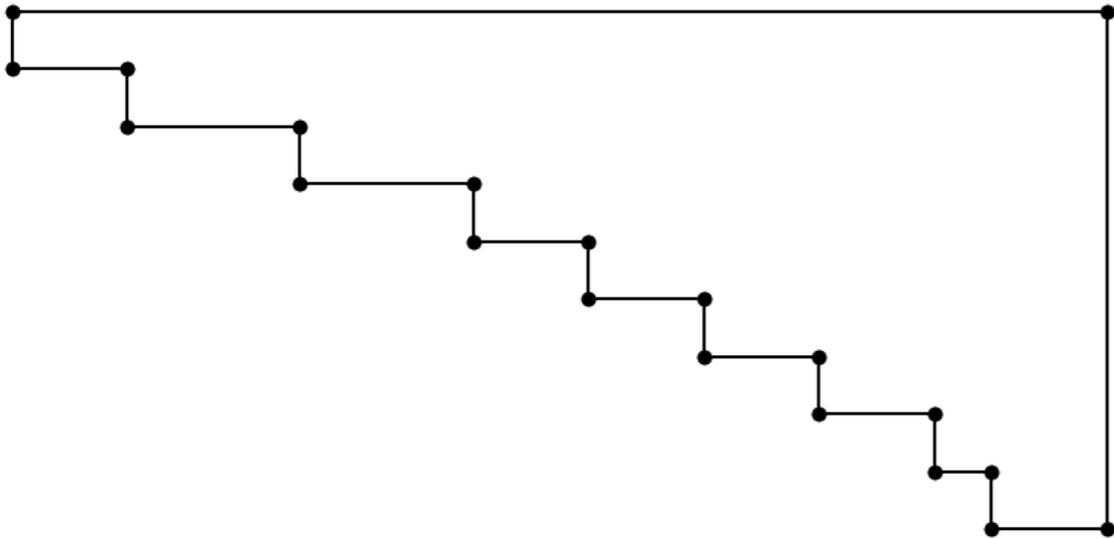
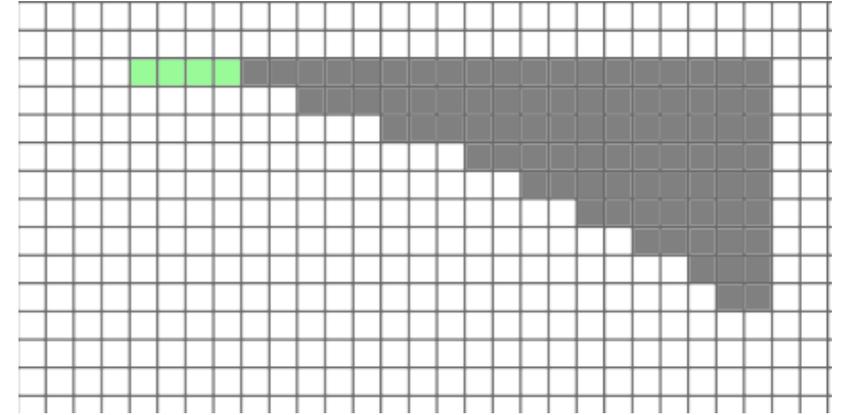
- Inner Vertex 제거
 - ✓ Edge의 Vector 방향이 같은 경우 Inner Vertex 삭제



형상 모델링 자동화 - Boundary 탐색

외각 Boundary 탐색 알고리즘 개발

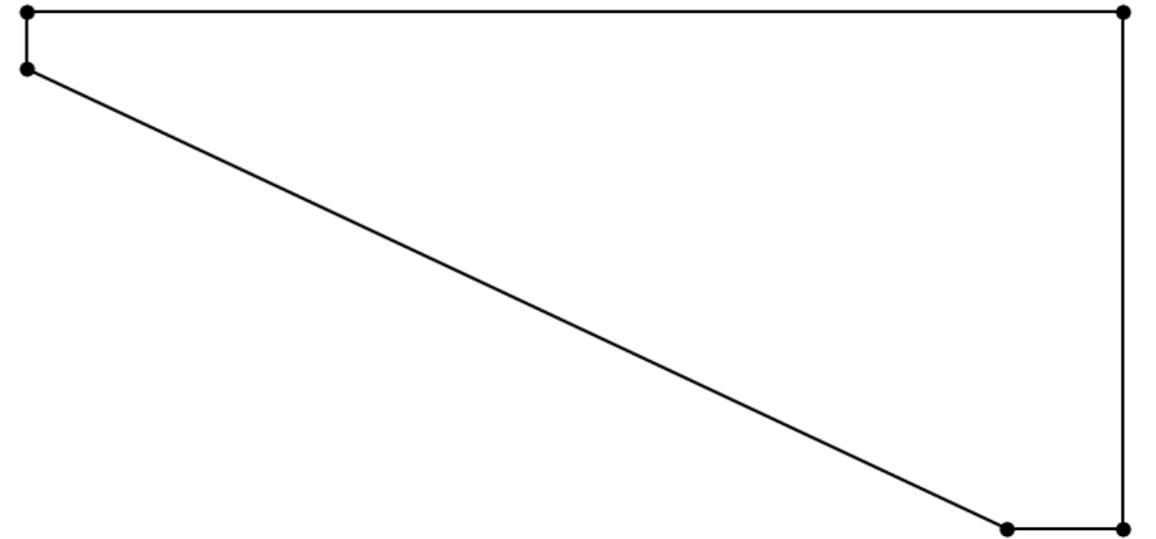
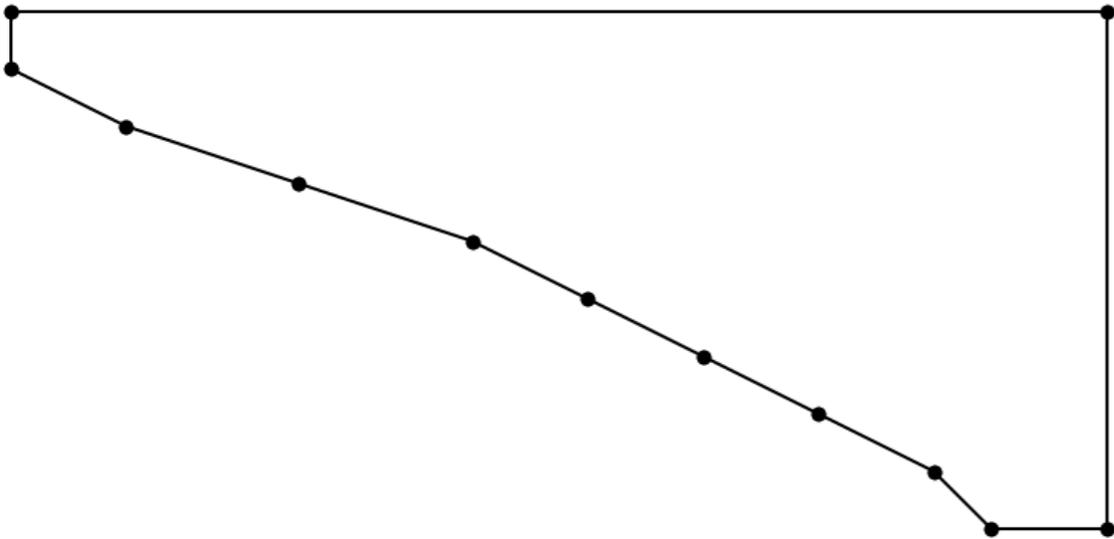
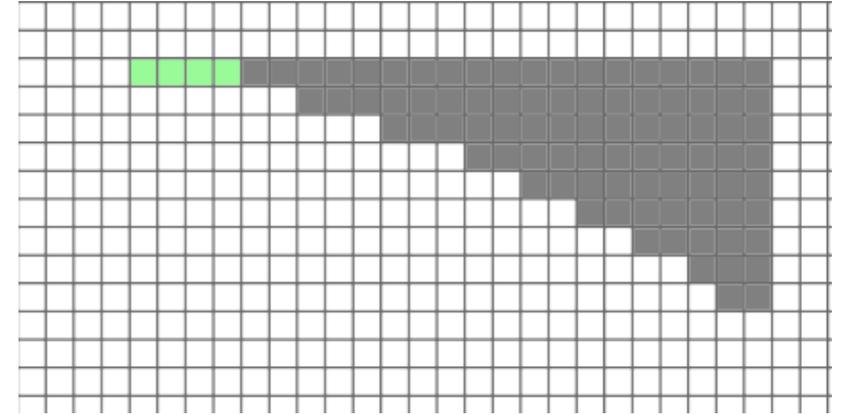
- Stair Vertex 제거
 - ✓ 현재 Vertex의 이전 / 이후 Vertex를 가지고 판단



형상 모델링 자동화 - Boundary 수정

외각 Boundary 수정 알고리즘 개발

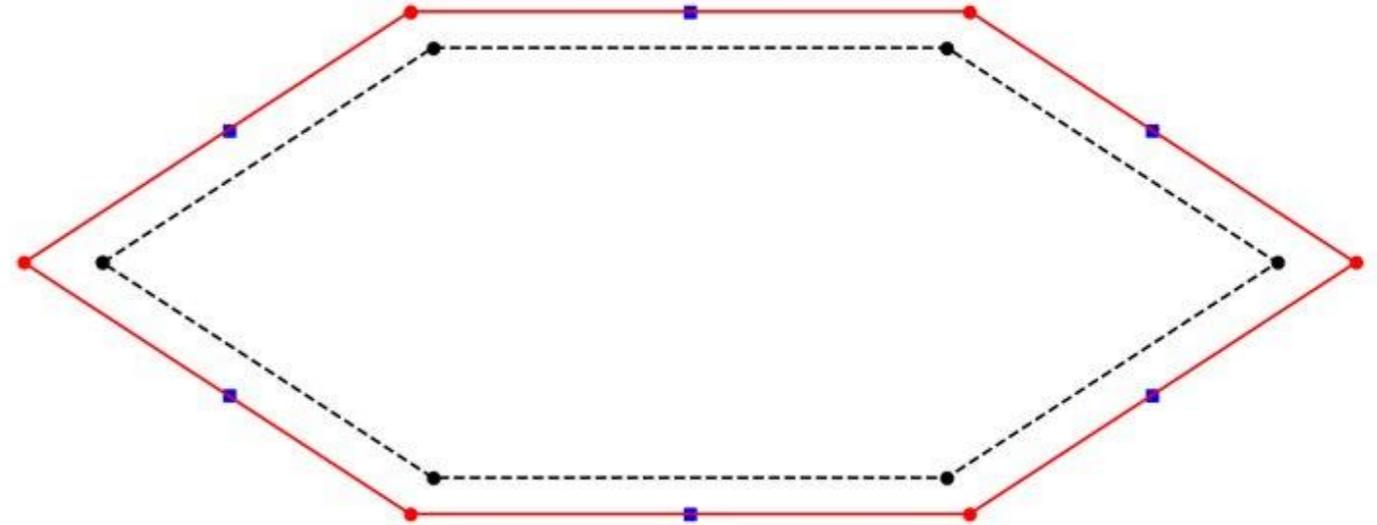
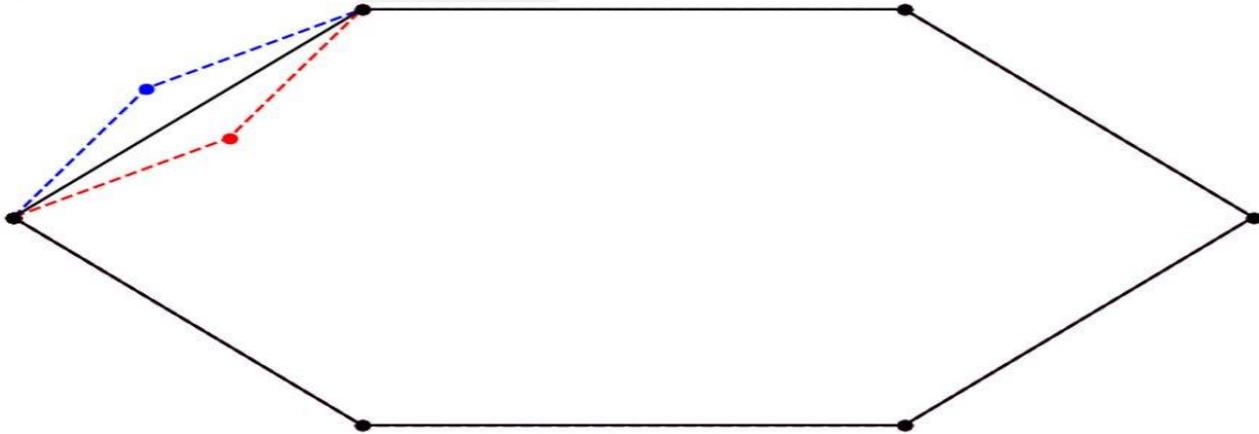
- 기울기 수정
 - ✓ 수평/수직이 아닌 연속된 Edge를 하나로 합침 (삼각형 형상 대응)



형상 모델링 자동화 - Boundary Offset

Boundary Offset 알고리즘 개발

- 각 Edge의 중심에서 수직한 방향으로 이동한 뒤 면적을 계산
- 면적이 큰 방향으로 offset 적용

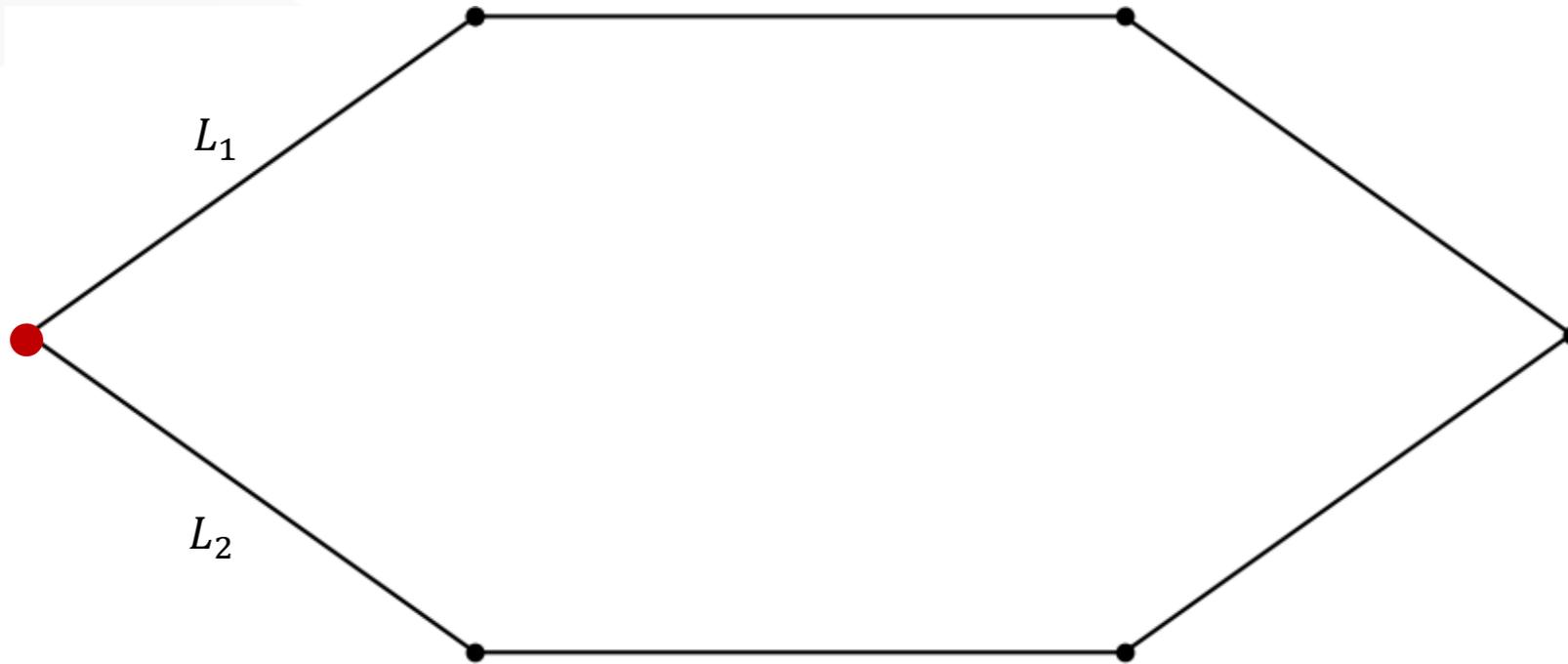


형상 모델링 자동화 - Face 생성

2D Fillet 적용 알고리즘 개발

- $R = \max(R_{Table}, 0.5 \times L_1, 0.5 \times L_2)$
 - ✓ R_{Table} : 보정 Table로부터 계산된 R 값
- Face가 생성되지 않는 경우 R 값을 0.5만큼 작게 설정하여 재생성

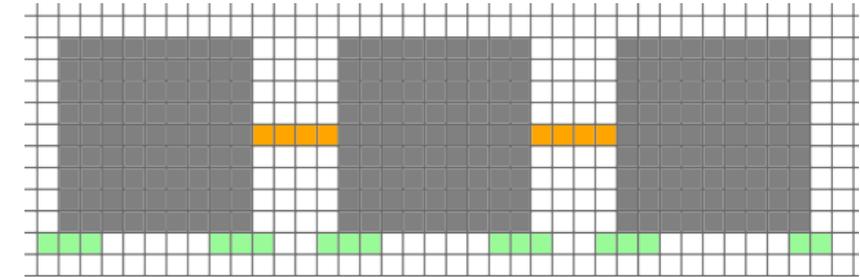
각도	기본 값	Fillet 보정
0	4	0.2
40	5	0.5
90	5	1
91	8	1
110	10	2
130	15	5



형상 모델링 자동화 - Solid 생성

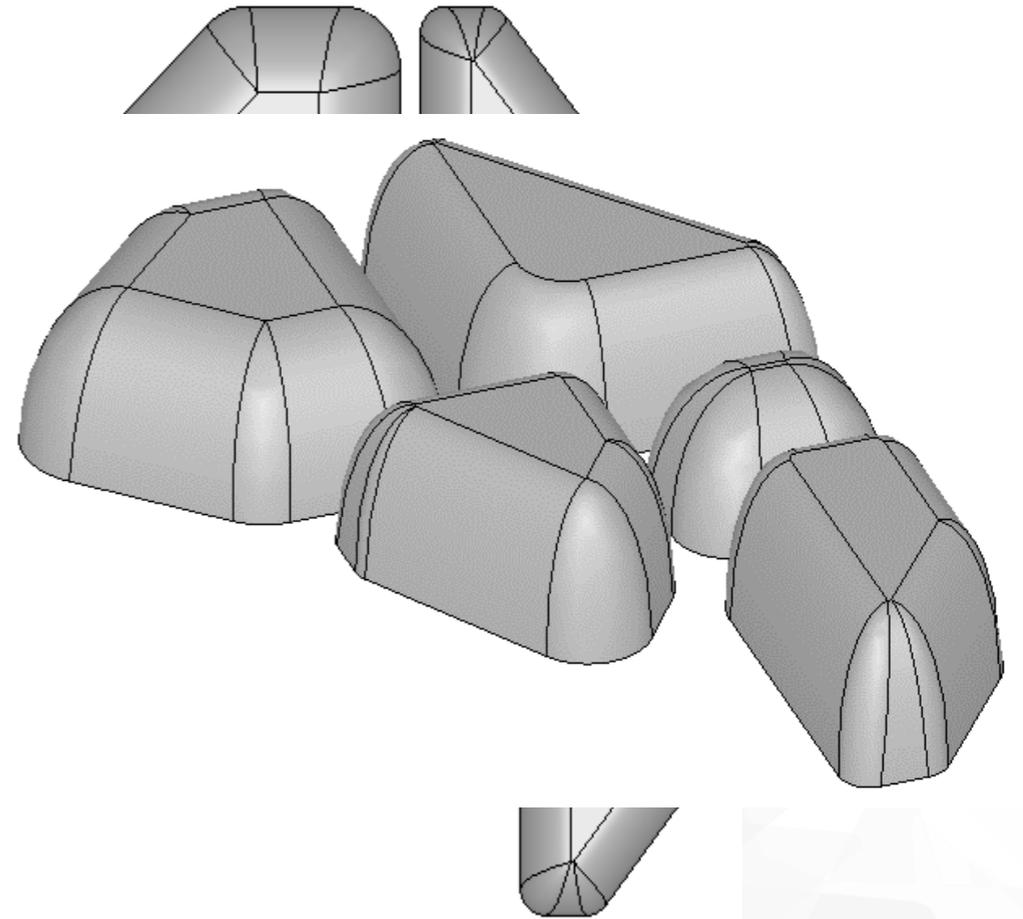
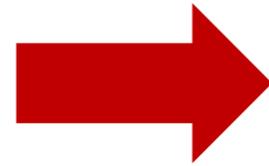
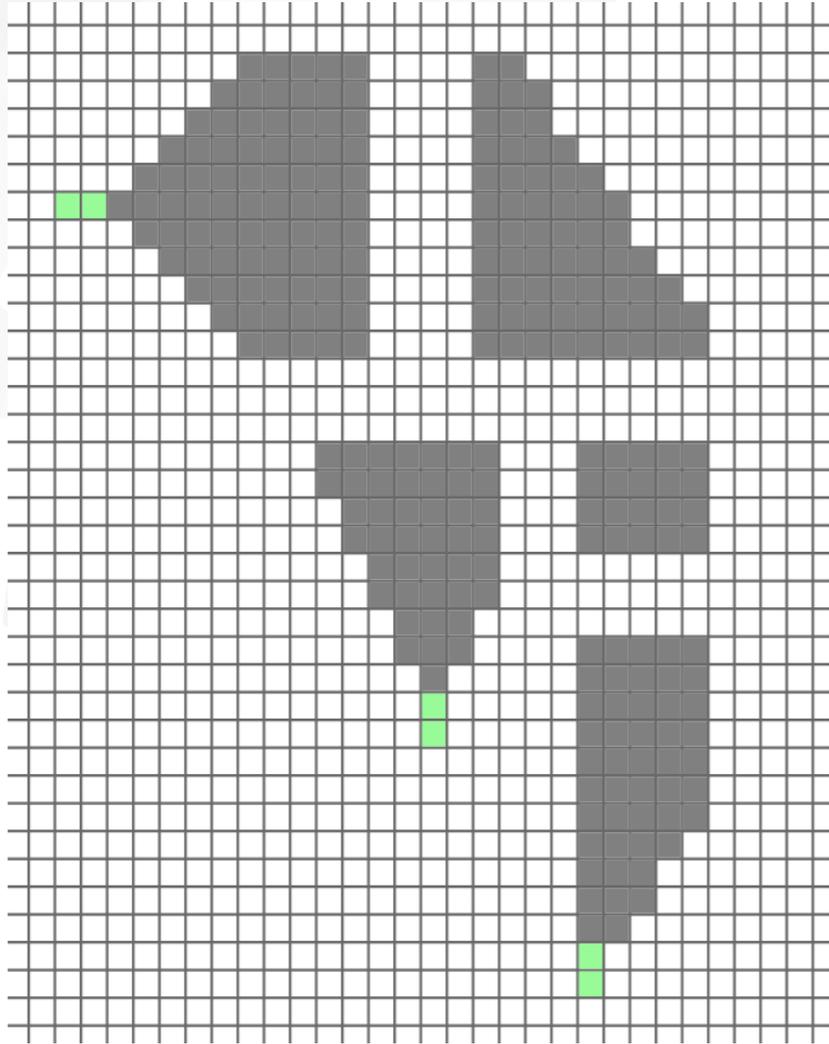
3D Fillet 적용 알고리즘 개발

- 각 Face에 대해 base 형상의 면적 대비 비율로 높이 설정
 - ✓ 형상 높이 조절 type에 대해서는 개별 적용
- Solid가 생성되지 않거나 꼬인 형상이 생성되는 경우 R값을 0.5만큼 작게 설정하여 재생
- 기둥 영역 형상은 제거 후 Z방향으로 scale 적용



형상 모델링 자동화

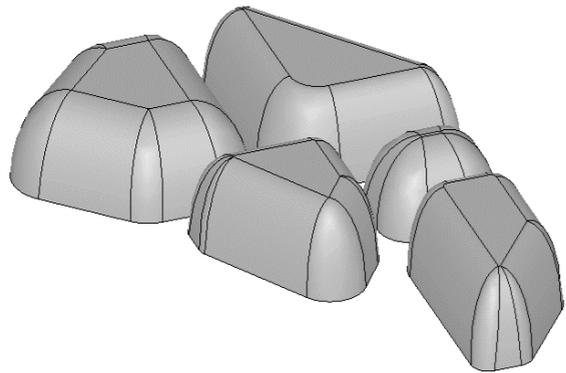
형상 생성 예시



격자 생성 자동화

개요

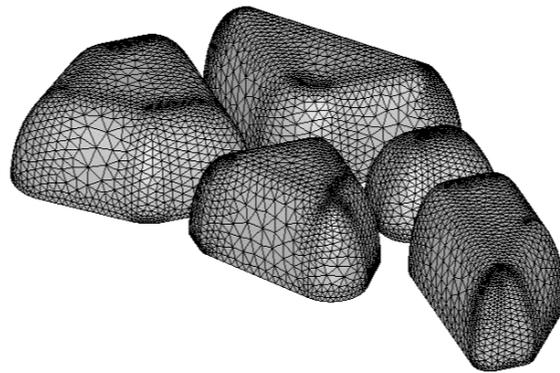
- SALOME macro를 사용하여 표면 격자 생성
- OpenFOAM 유틸리티인 blockMesh를 사용하여 공간 격자 생성
- setAlphaFields 유틸리티를 개발하여 초기 인쇄형상 source 생성



CAD (step file)



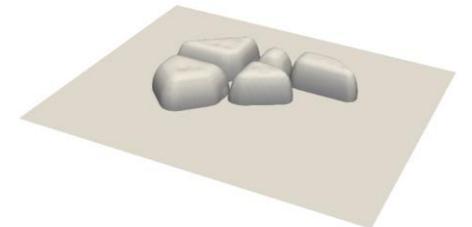
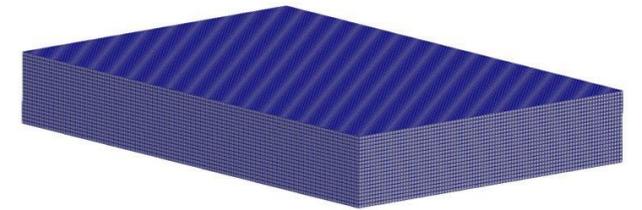
SALOME



표면 격자 생성 모듈



OpenFOAM®

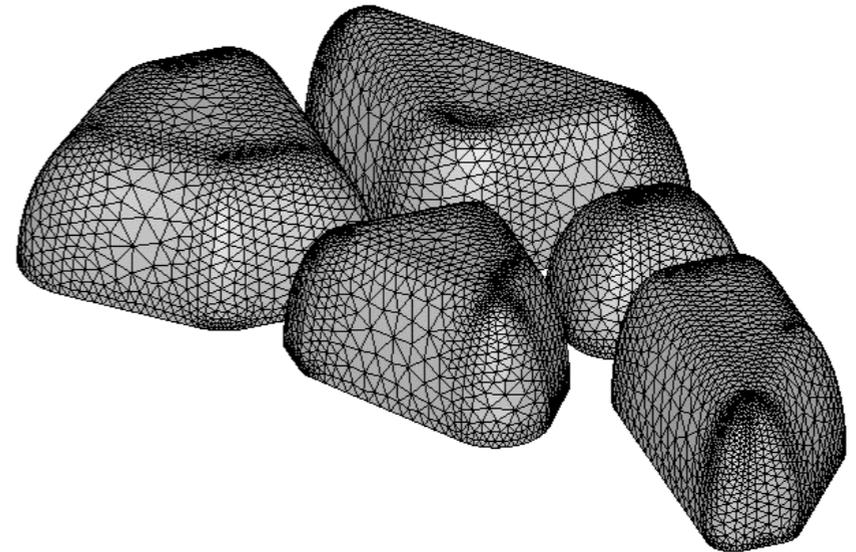
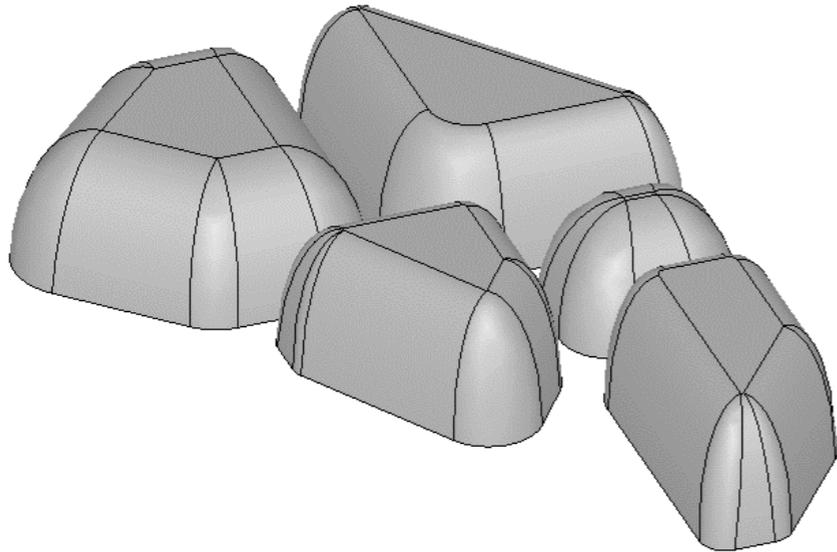


공간 격자 생성 모듈

격자 생성 자동화

표면 격자 생성

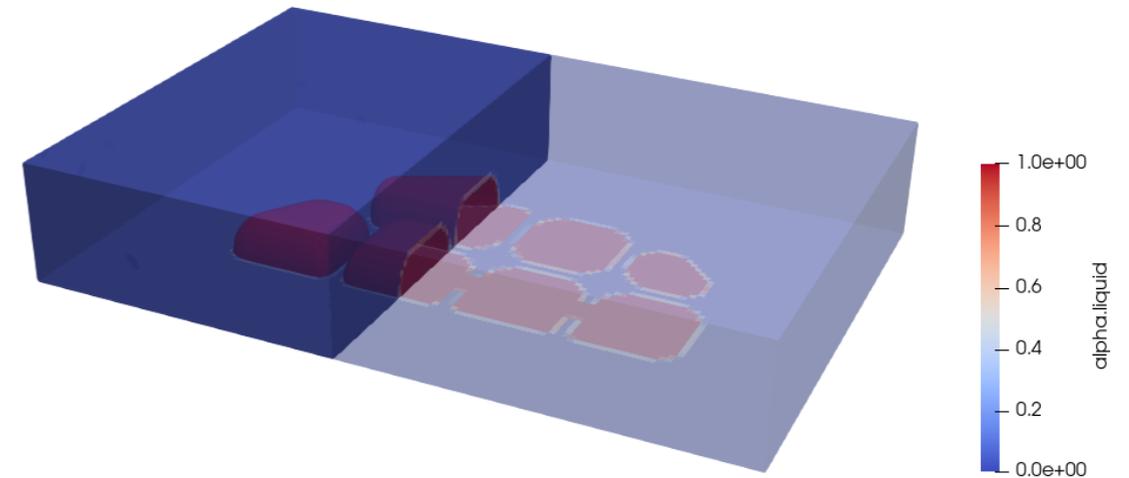
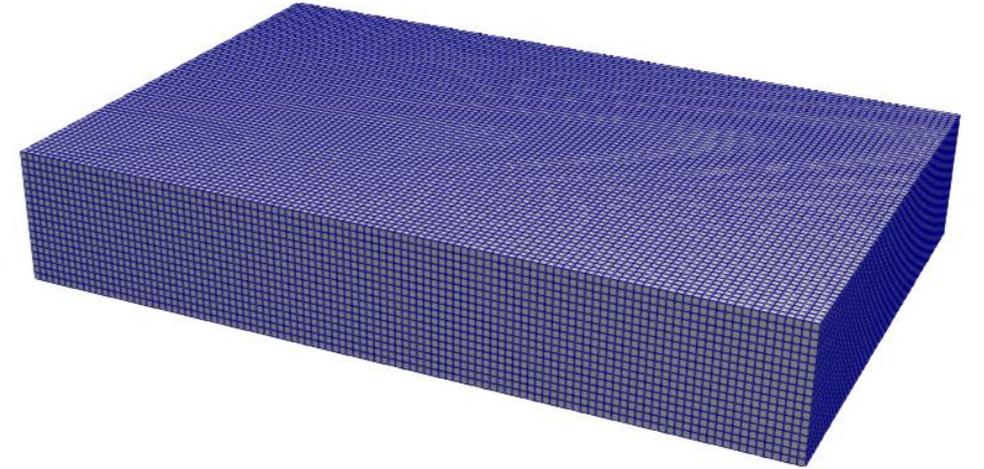
- 표면 격자 자동 생성을 위해 격자 파라미터를 다음과 같이 정의
 - ✓ Minimum Size : $0.01 \times L_{max}$
 - ✓ Maximum Size : $0.25 \times L_{max}$
 - ✓ Growth Rate : 1.3
 - ✓ L_{max} : 각 형상의 최대 Edge 길이 값



격자 생성 자동화

공간 격자 생성

- blockMesh 유틸리티를 사용하여 전체 해석 공간에 대한 육면체 격자 생성
 - ✓ 자동화를 위해 표면 격자 생성 단계에서 bounding box 계산
 - ✓ Bounding Box 기준으로 전체 해석 공간 정의
- **setAlphaFields** 유틸리티를 개발하여 인쇄 형상에 대한 초기 source 설정
 - ✓ alphaInitializerFoam 유틸리티 기반으로 개발
 - ✓ 격자 내 인쇄 형상에 대한 Volume Fraction 초기화

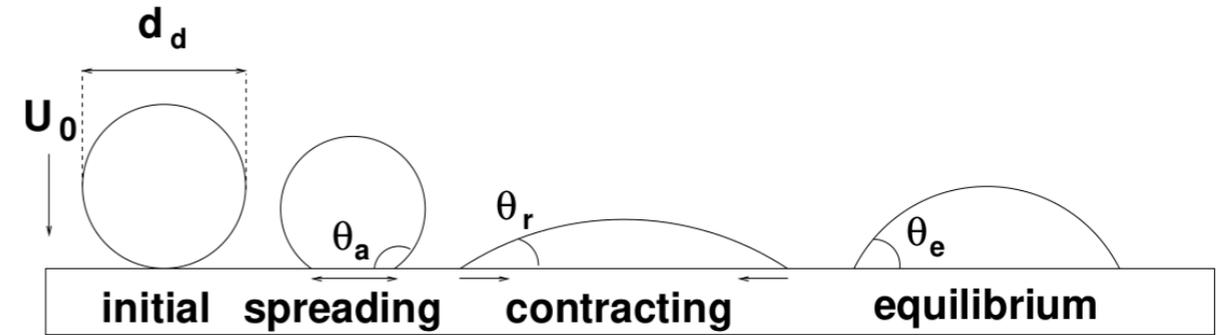


<https://github.com/daidezhi/alphaInitializerFoam>

Leveling 해석

Leveling 해석

- Solver : interFoam
 - Two phase flow, Volume of Fraction
- 동적 접촉각 경계 조건 사용
 - 표면 장력에 의한 액적의 접촉각 형성과 액적의 거동변화가 동적 접촉각 특성 속도에 의한 접촉각 변화로 묘사
- 동적 접촉각 모델

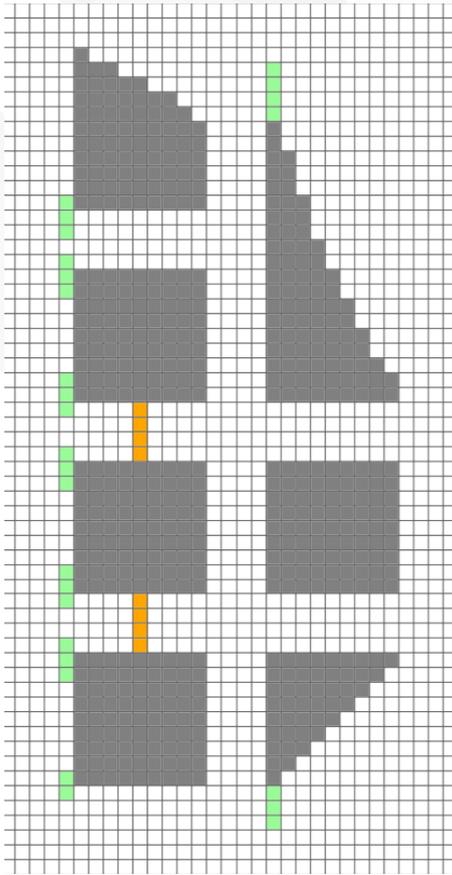


$$\theta = \theta_e + (\theta_a - \theta_r) \tanh\left(\frac{U_w}{U_\theta}\right)$$

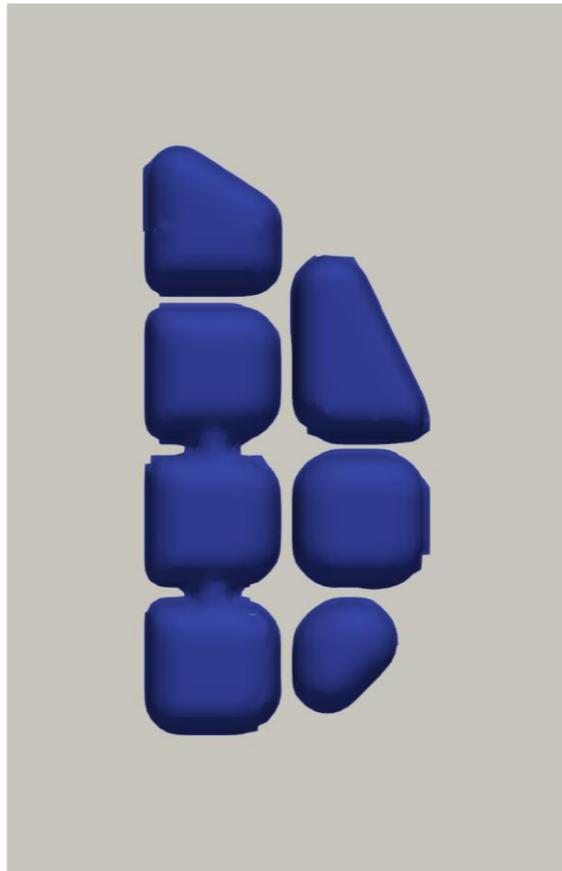
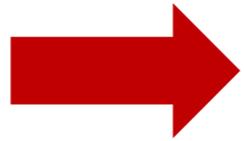
U_θ : 동적 접촉각의 특성 속도

Leveling 해석 예시

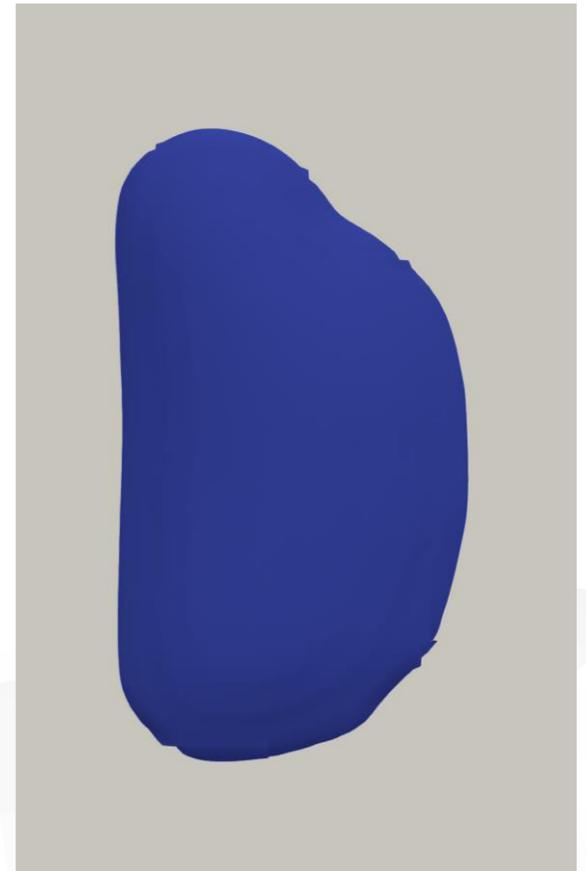
Leveling 해석 결과



2D 도면

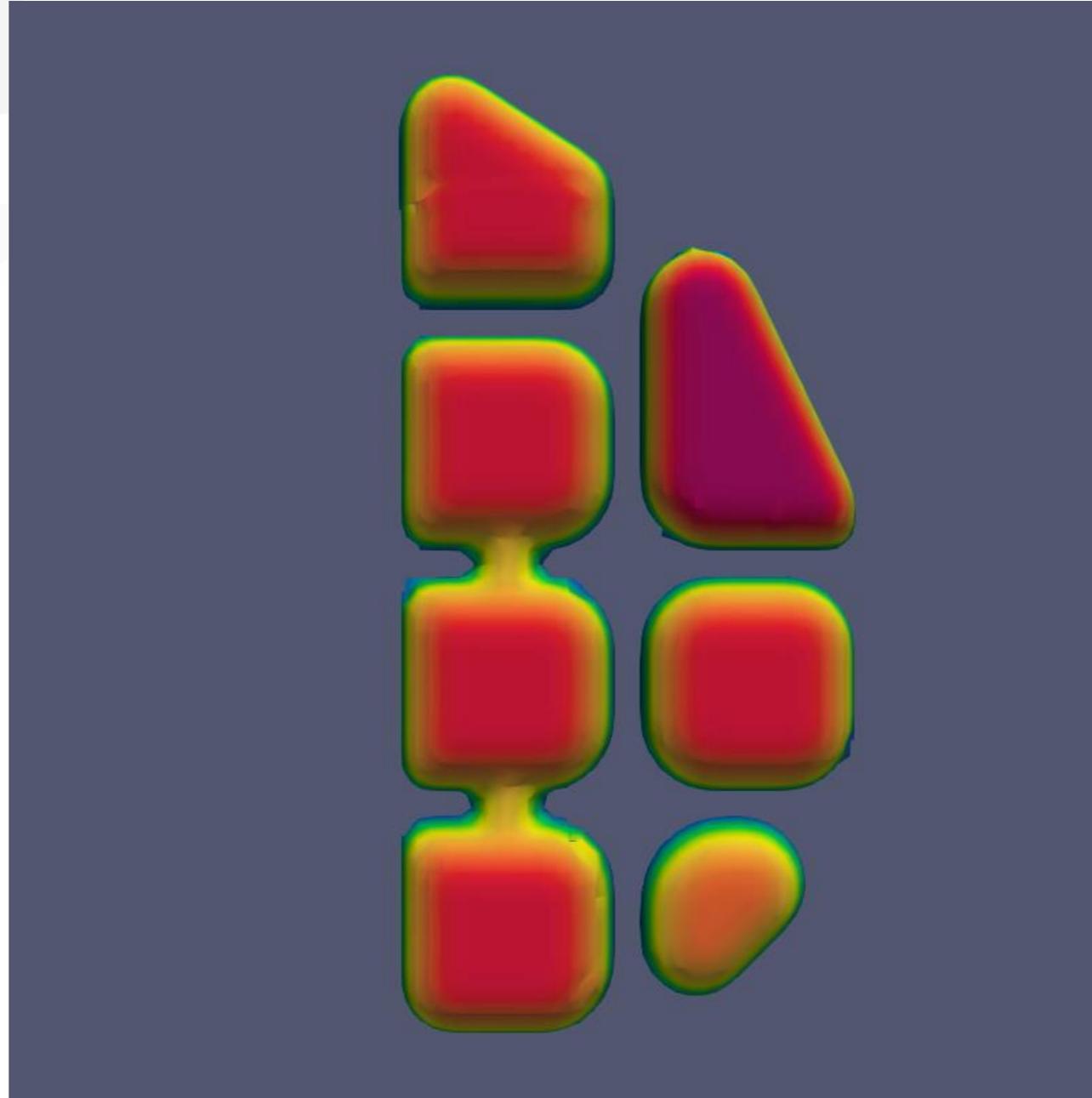


초기 인쇄형상



Leveling 결과

Leveling 해석 예시



감사합니다.