열응력 해석 방안
- HPDC AI 합금 주조 취출 예제(금형 & 주물(제품)) –
- HDF5 include json -

anyTX 개발 2025.12.19

History of Document

▶열탄소성 해석 예제

Date	Version	Description	Author	Remark
2025/9/1	1.0	TX v5.0 개발 방안 → AC v5 HPDC01 해석 방안	권응수, 문홍희	
2025/9/3	1.1	JSON format 정의 변경(Entity, Mesh), Event 정보 추가	권응수	Event 시간, 방향, 속도등
2025/12/19	2.0	HDF5 format 정의, 금형 응력 해석 내용 추가	권응수, 문홍희, 정찬도, 김종수	

Contents

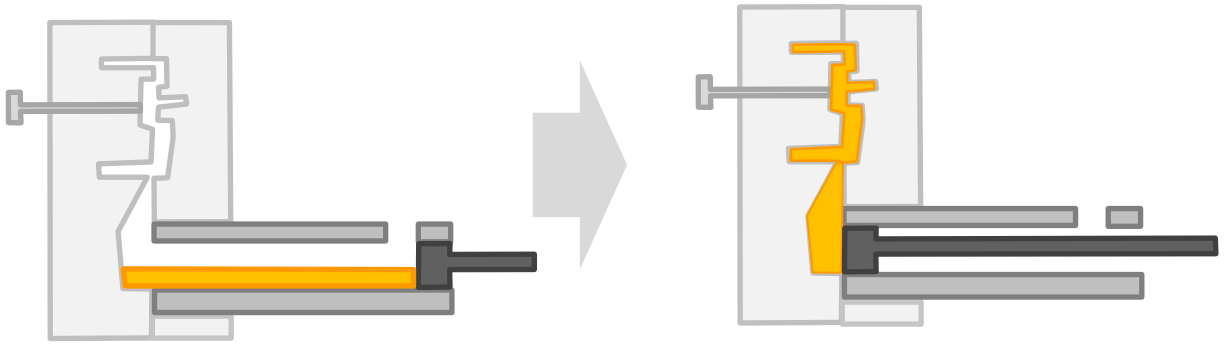
- 주물 응력 해석 및 방안(개념)
- 해석 예제
  - FVM 열전달 해석
  - FEM 열탄소성 해석
  - FEM 열탄소성 해석 Input file (HDF5 include json)

Schematic Diagram – 열탄소성 해석과 주조 해석

▶주조 해석 + 주형 열탄소성 해석 (Cycle시작 → 충전 → 응고)

금형 열탄소성 해석

- 금형 구속 조건을 고려
- 금형 온도 변화



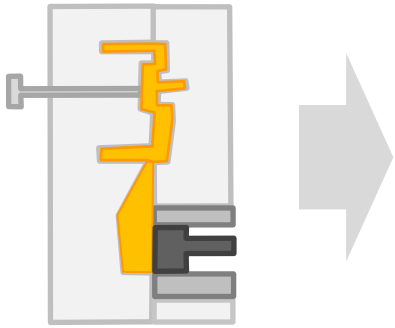
Sleeve Filling

Filling 100%

▶주조 해석 + 주형&주물 열탄소성 해석 (응고 100% → Trimming → 상온)

① 금형 내 주물 해석

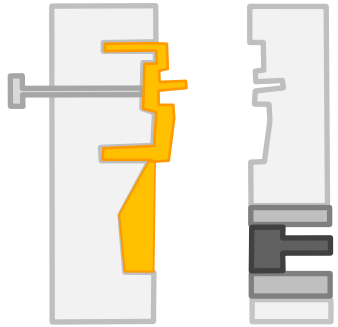
- 금형 구속 조건을 고려



Solidification

② Die Open 주물 해석

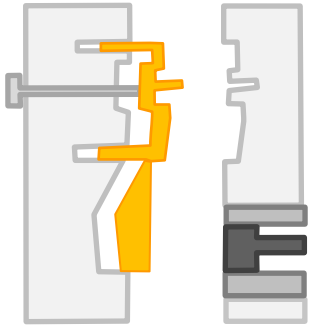
- 열: 일시에 Open 조건
- 응력: 구속 조건 변경



Die Open

③ Ejecting 주물 해석

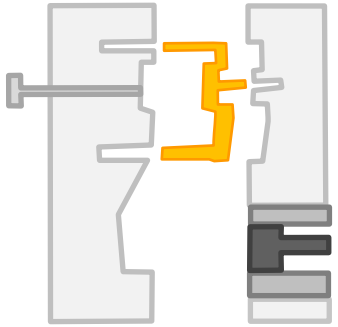
- 열: 일시에 Eject 조건
- 응력: 외력 + 구속 조건 변경



Ejecting

④ Trimming 주물 해석

- 열: 일시에 Trimming 조건
- 응력: 일시 Trimming



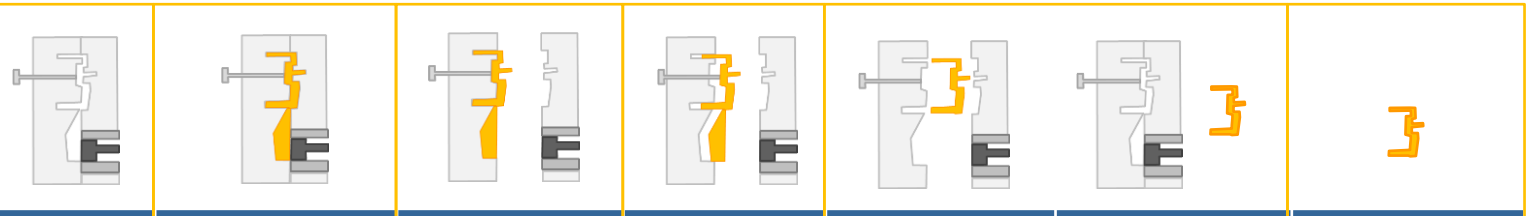
Trimming

주조 공정 응력 해석 방안 – 금형, 취출 and Trimming

▶취출 해석 방안 – Mold/Cast 탄소성 해석 및 Trimming 공정 해석 포함

① **Mold, Cast 분리계산(Uncoupled)**

② **Mold, Cast 동시계산(Coupled)**



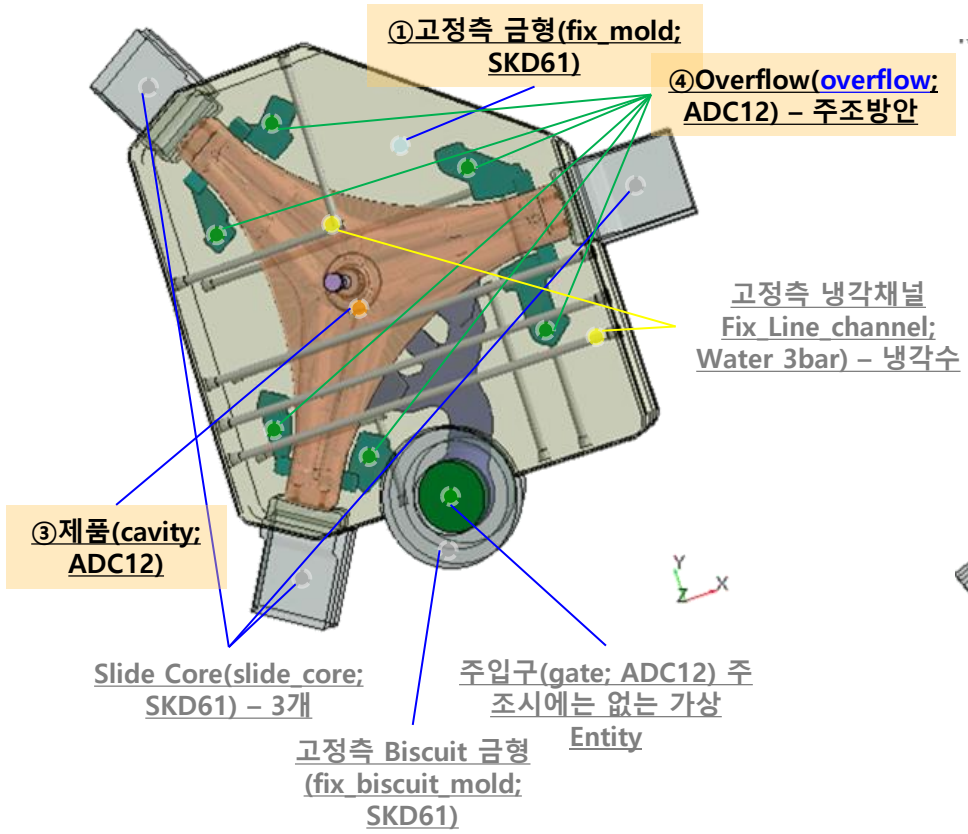
AnyCasting Cycle Event				MOLD / CAST	Filling	Solidification	Die Open	Eject	Spray / Trimming	Die Close	제품냉각
열해석(AC FD)			열경계조건, Event는 즉시 동작	MOLD	Mold/Cast Air/Mold	Mold/Cast	Mold/Cast Air/Mold	Air/Mold	Mold/Spray Air/Cast	Mold/Air	Mold/Air
				CAST	-	Mold/Cast	Mold/Cast Air/Cast	Air/Cast	주조방안/Air 제품/Air	Air/Cast	제품/Air(냉매)
열탄소성 FE 해석	경계	금형 구속, Cast Trimming	Cycle시작 ~ 응고100% ~ Trimming O ~ Cycle 종료 ~ (제품) 상온			금형 구속	금형 일부 구속	Trimming(Cast → 제품) 자유경계		제품 자유 경계 금형 구속	제품 자유경계
	Mold, Cast 동시 해석	① Mold, Cast 분리온도 Step	1 Step을 Mold-Cast 2회 해석		Mold	Mold, Cast(주조방안 → 제품)					Cavity(제품)
		② Mold, Cast 동시 온도 Step	1 Step을 1회에 해석								

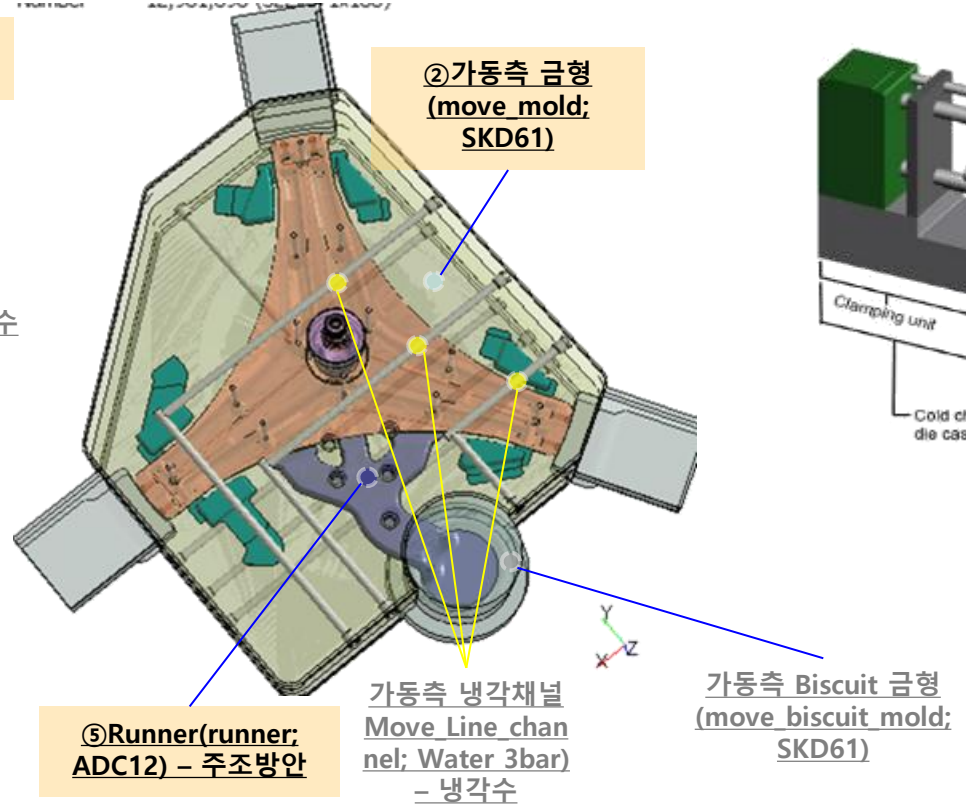
HPDC 제품 주조 해석 조건 - #62 Spider

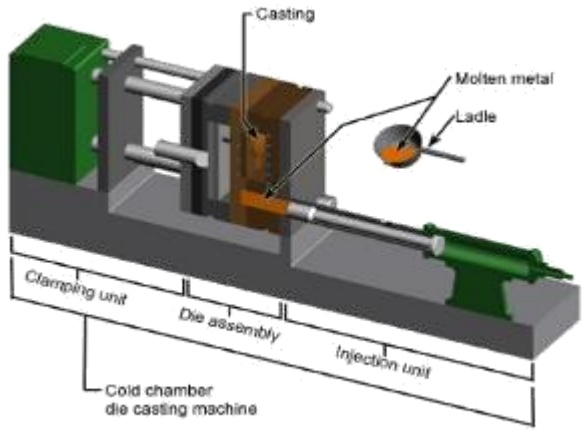
▶모델 & 해석 조건 – 금형 및 주물

- **해석 대상 :** 주물(제품/주조방안) 및 고/가동 금형
- **해석 시작(금형) :** 1사이클 동안 (Lead Time ~ Die Close)
- **해석 시작(제품) :** 주물 응고 100% 시점
- **Entity 경계 및 경계조건 –** *Contact 고려하지 않고 해석*

항목	값	비고
금형	SKD61	고정/가동
주물	ADC12	제품/주조방안
주입온도	670℃	
주물 TL/TS	580℃/515℃	응고완료 515℃
응력해석(주물)시작	응고 100%	평균온도 약 530℃
응력해석(주형) 시작	평균온도 약 200℃	



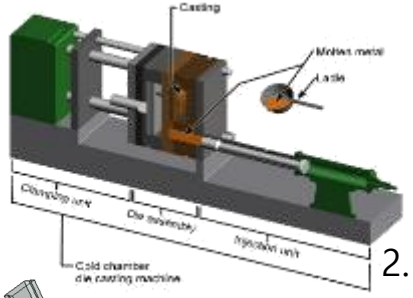




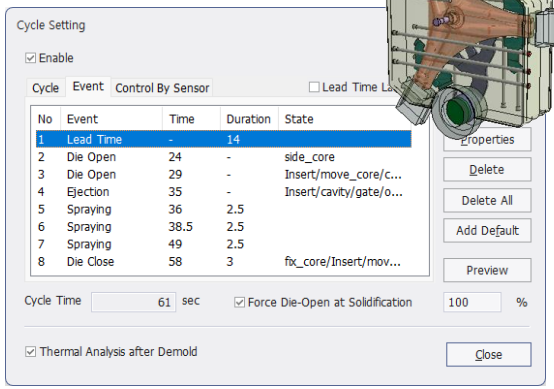
HPDC 주조기

반복 주조(Cyclic Casting)

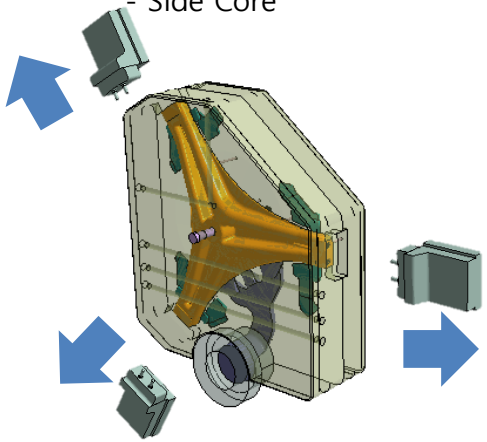
▶Cycle 해석 조건



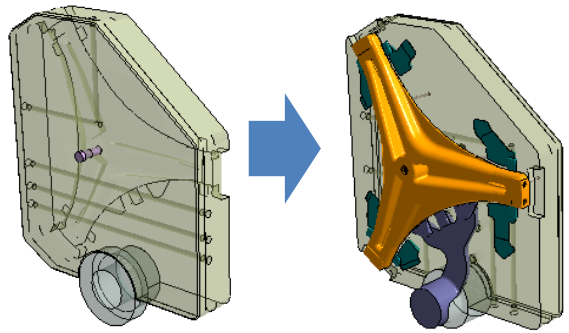
1. Lead Time : 0초
- Preparation Time : 10초
- Fluid Flow Time : 4초



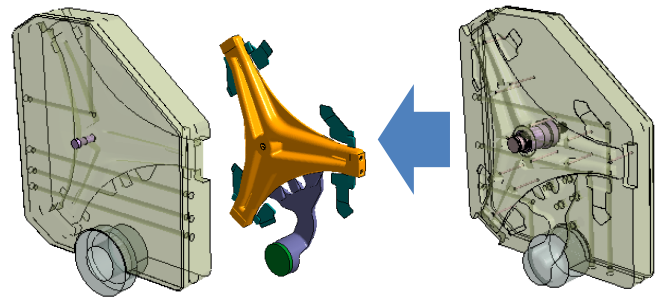
2. Die Open: 54.751초
- Side Core



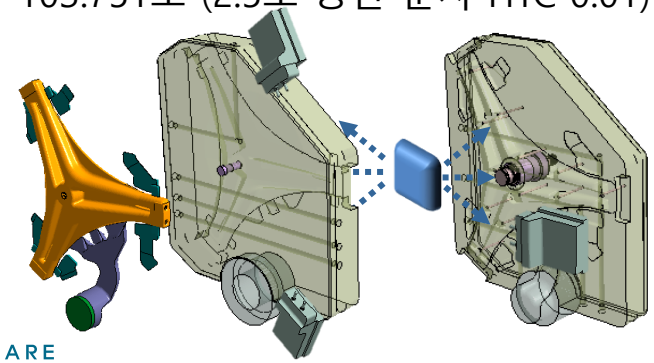
3. Die Open: 59.751초
- Moving Mold 등 나머지 Entity



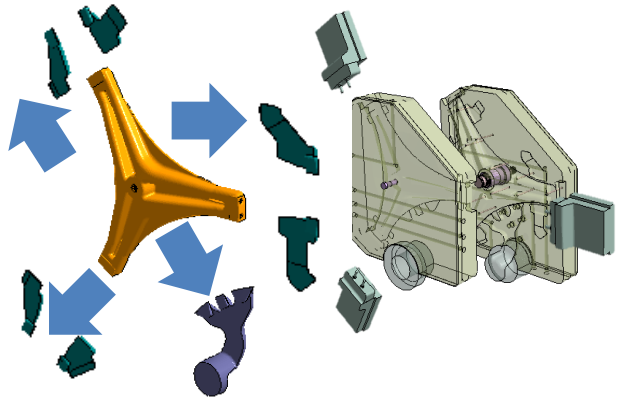
4. Ejection: 65.751초



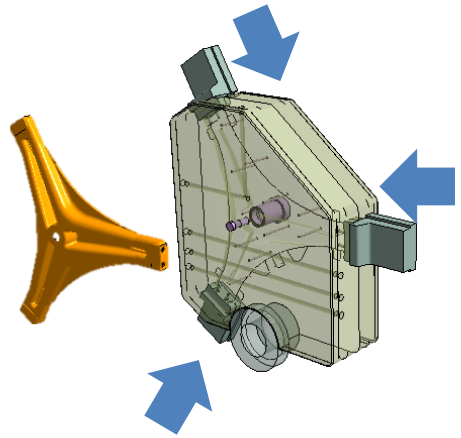
5. Spraying: 90.751초 (2.5초 동안 분사 HTC 0.01)
93.251초 (2.5초 동안 분사 HTC 0.02)
103.751초 (2.5초 동안 분사 HTC 0.01)



6. Trimming : 95.751초 (Ejection 후 30초)



7. Die Close: 99.751초 + 3초(Duration)

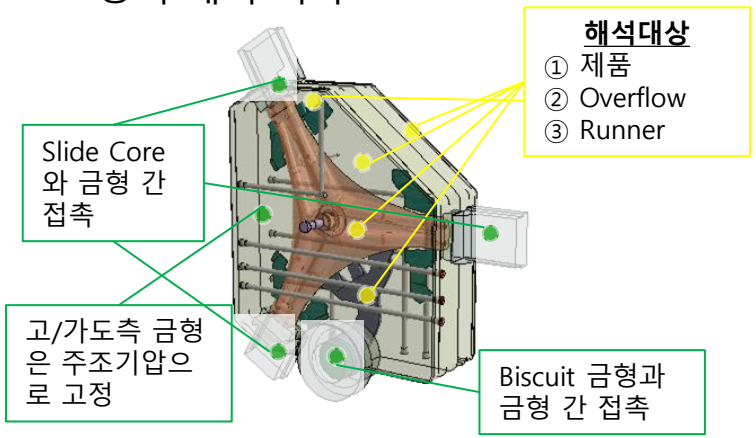


열탄소성 응력 해석 방안 - 제품

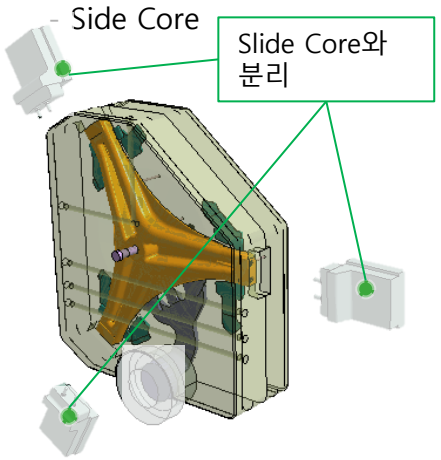
▶해석 대상 및 경계조건

※ 해석 대상이외의 냉각채널, 주입구(주물), Core(Slide, Fix, Move) 등은 열탄소성 응력 해석하지 않고 경계조건으로 처리

1. 주입 완료 후 응고 100%시점 (54.751초) 응력 해석 시작

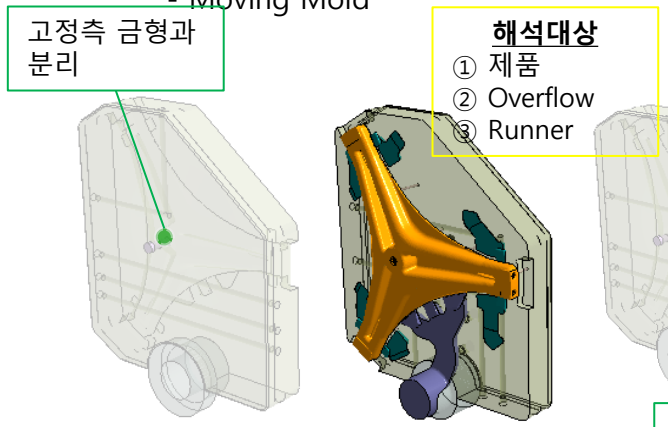


2. Die Open: 54.751초

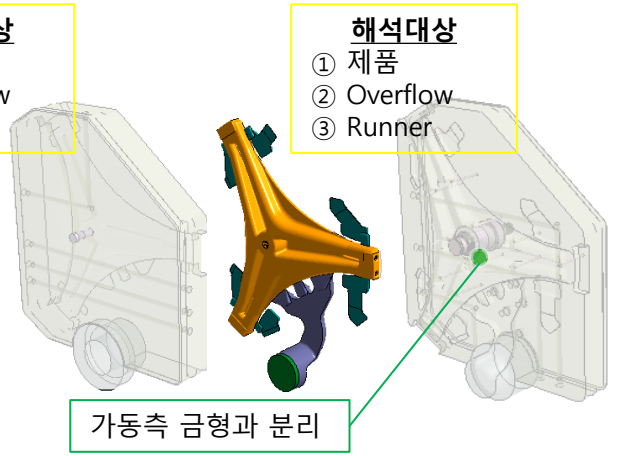


3. Die Open: 59.751초

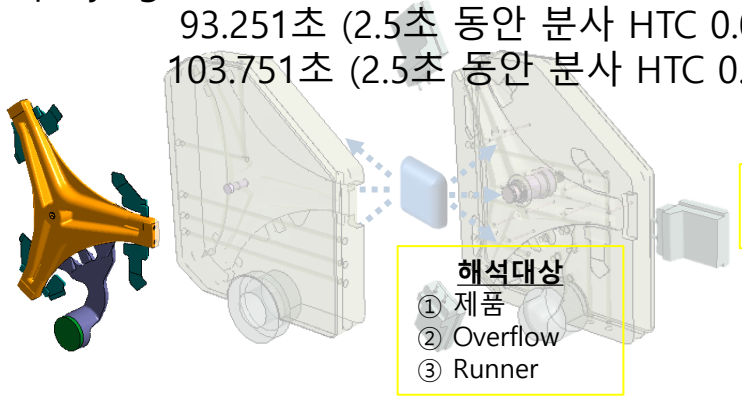
- Moving Mold



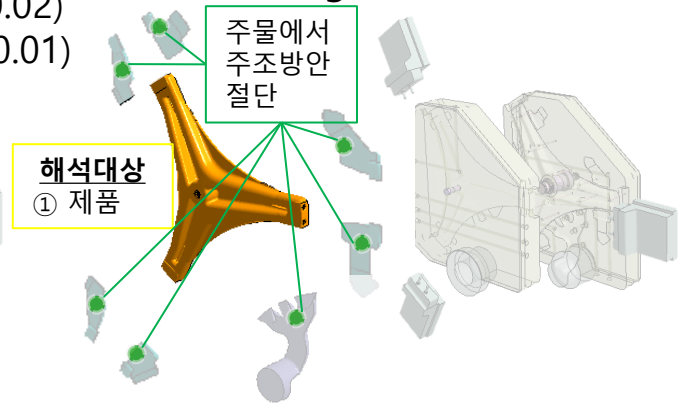
4. Ejection: 65.751초



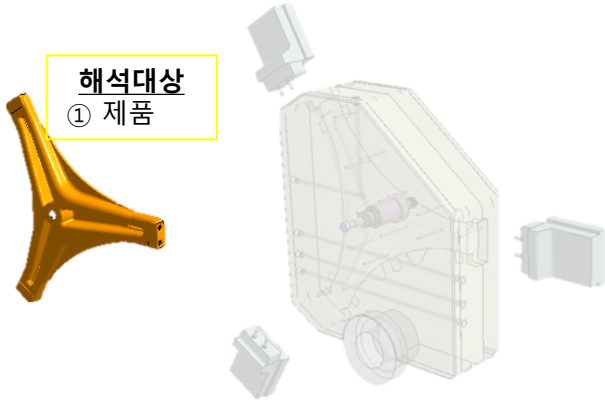
5. Spraying: 90.751초 (2.5초 동안 분사 HTC 0.01)
93.251초 (2.5초 동안 분사 HTC 0.02)
103.751초 (2.5초 동안 분사 HTC 0.01)



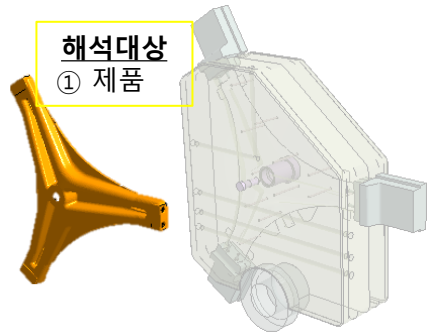
6. Trimming : 95.751초



7. Die Close: 99.751초 + 3초(Duration)



8. 주물 온도 상온

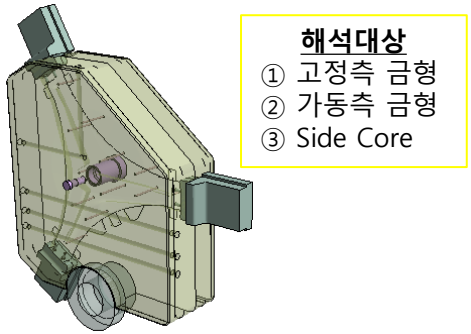


열탄소성 응력 해석 방안 - 금형

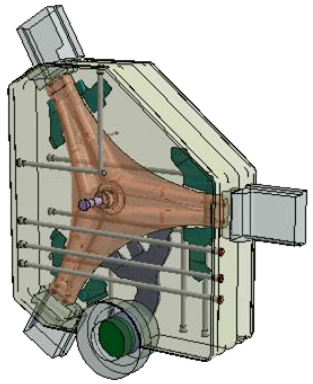
▶해석 대상 및 경계조건

※ 해석 대상이외의 냉각채널, 주물 등은 열탄소성 응력 해석하지 않고 경계조건으로 처리

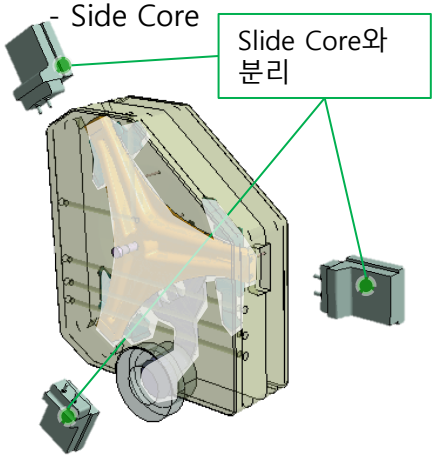
1. 용탕 주입 전 Lead Time : 0초



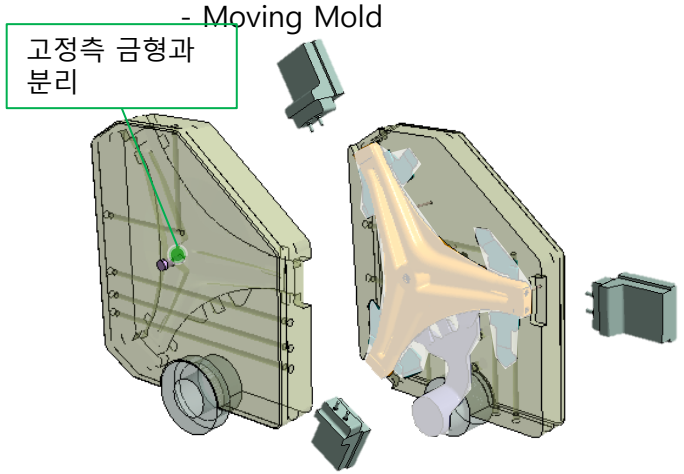
2. Filing 100% : 10.539초



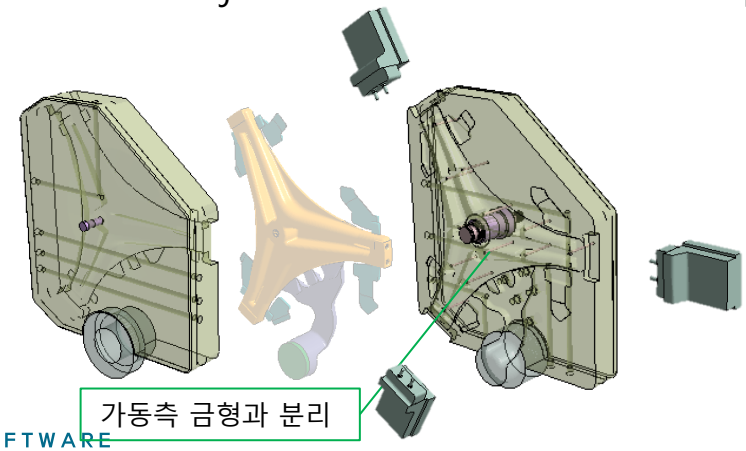
3. Die Open: 54.751초
- Side Core



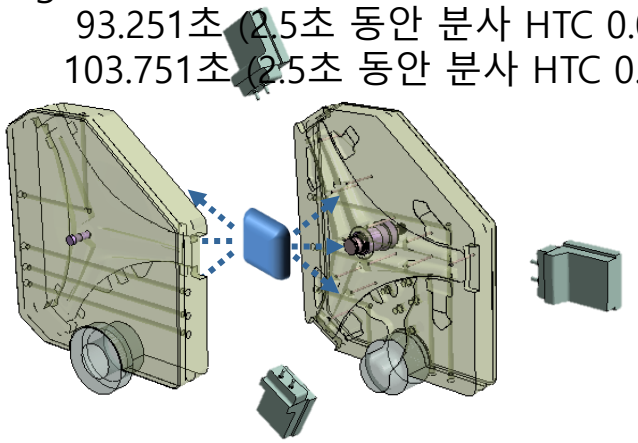
4. Die Open: 59.751초
- Moving Mold



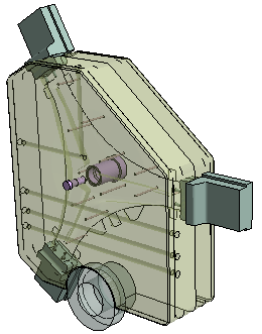
5. Ejection: 65.751초



6. Spraying: 90.751초 (2.5초 동안 분사 HTC 0.01)
93.251초 (2.5초 동안 분사 HTC 0.02)
103.751초 (2.5초 동안 분사 HTC 0.01)

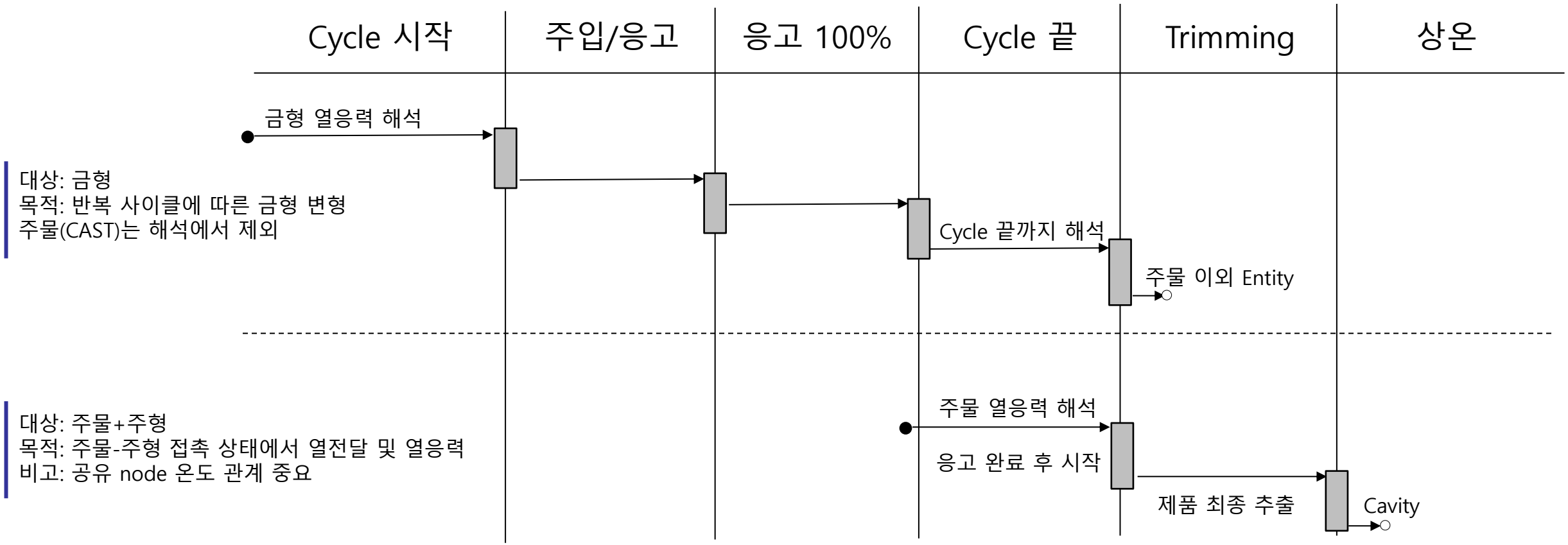


7. Die Close: 99.751초 + 3초(Duration)



해석 Entity 정의

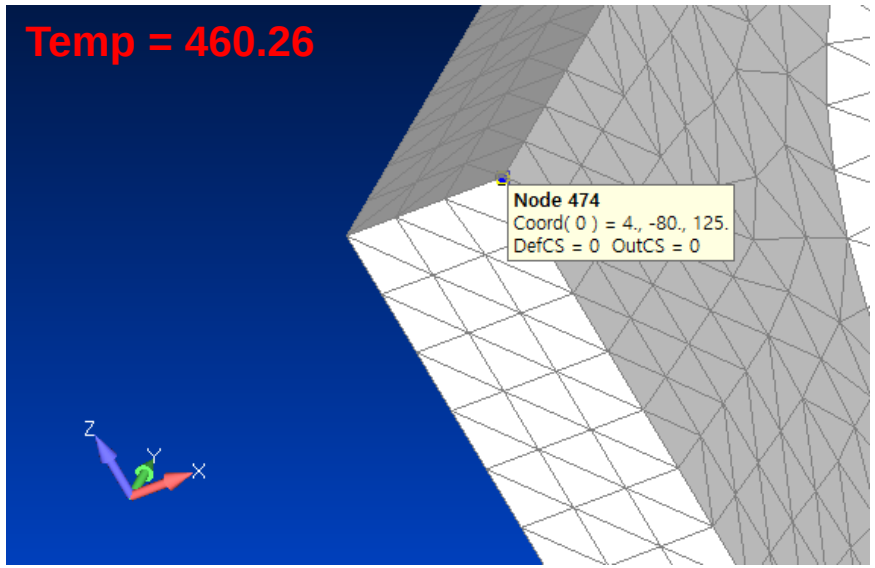
▶금형, 주물 열응력 해석 Entity



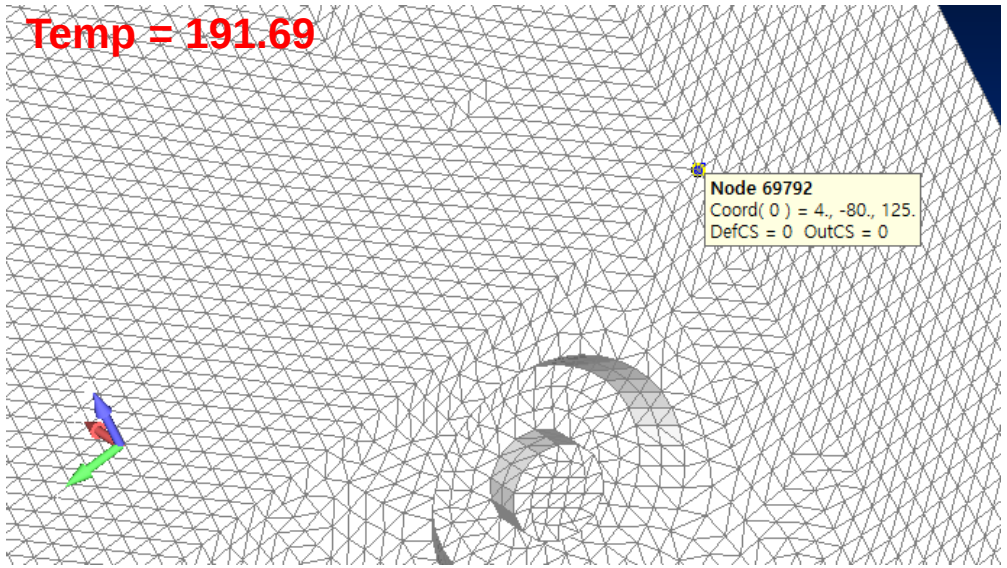
Femap 을 활용한 온도 데이터 비교

▶동일 좌표에서 주물(제품)과 금형의 온도값 비교

- 온도 mapping시에 주물 - 주형 공유 node의 온도는 주물측이 높고 주형 측이 낮아야 함
- Femap 으로 동일 위치인 (4, -80, 125) 에서 dat 파일 비교
- Cavity는 460.26, Fixed_Mold는 191.69로 온도값이 다른 것을 확인



Cavity

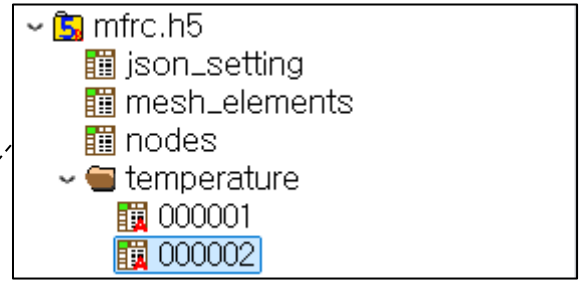


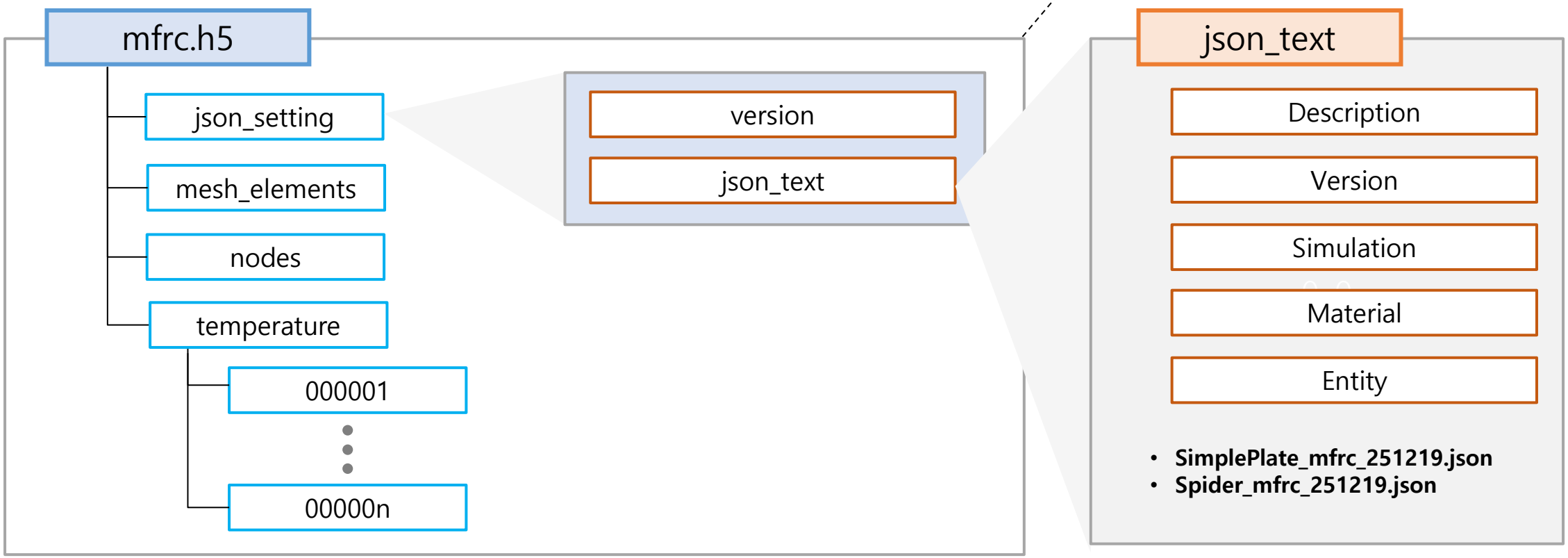
Fixed_Mold

열탄소성 해석 Input file – 전체 구조

▶파일 구조

- **json, mesh, node, temperature 4개의 데이터 분류로 구성**
  - **json_setting, mesh_elements, nodes는 각각 하나의 데이터셋(Compound)**
  - **temperature 는 시간대별 온도 분포 데이터셋들이 들어있는 폴더**





열탄소성 해석 Input file – json_setting

▶열탄소성 해석을 위한 json설정파일

• **json_text**

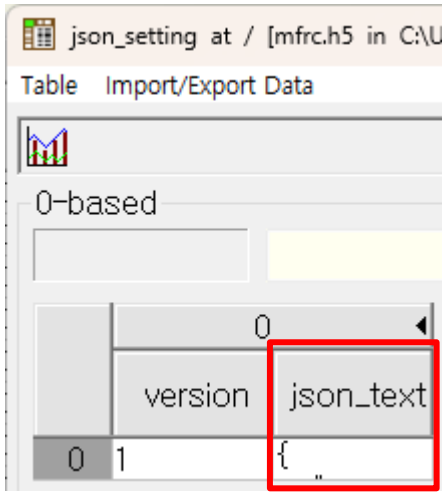
```
{
  "AnyCasting": {
    "Description": "AnyCasting Thermal Stress Input",
    "Version": "1.0",
①   "Simulation": {
      "Project": "ACv5_Tutorial_HPDC01",
      "EntitySetting": {
      },
      "Process ": [
      ]
    },
②  "Material": [
    ],
③  "Entity": [
    ],
```

① Simulation
- -. Cycle 정보
- -. Node 온도 / Entity 연결성

② Material
- -. Material 정보
- -. 온도 의존 열물성치, 열팽창 계수, 기계적 물성, Stress-Strain Curve

③ Entity
- -. Entity 정보(분리되는 Solid; 즉, 금형, 제품/주조방안)
- -. Solid로 분리된 Entity, Entity의 Material mapping

이름	자료형
version	32-bit integer
json_text	String *length = variable* *padding = H5T_STR_NULLTERM* *cset = H5T_CSET_UTF8*



※ 단위(Unit)
- *열물성치 등 Mesh 제외한 단위는 MKS, 온도는 ℃*
- *Mesh Node 정보 단위는 mm*

열탄소성 해석 Input file – json_setting 추가설명 [1/3]

▶json_setting – EntitySetting 구성

```
{
  "anycasting": {
    "Description": "AnyCasting Thermal Stress Input",
    "Version": "1.0",
    "Simulation": {
      "Project": "ProjectName",
    "EntitySetting": [
      {
        "Description": "Lead Time - Target: Mold",
          ...
      },
      {
        "Description": "Die Open - Target: All",
          ...
      },
      {
        "Description": "Eject - Target: All",
          ...
      },
      {
        "Description": "Trim - Target: Mold + Cavity",
          ...
      },
      {
        "Description": "Die Close - Target: Mold + Cavity",
          ...
      },
      {
        "Description": "Mold Calc. End - Target: Cavity",
          ...
      },
```

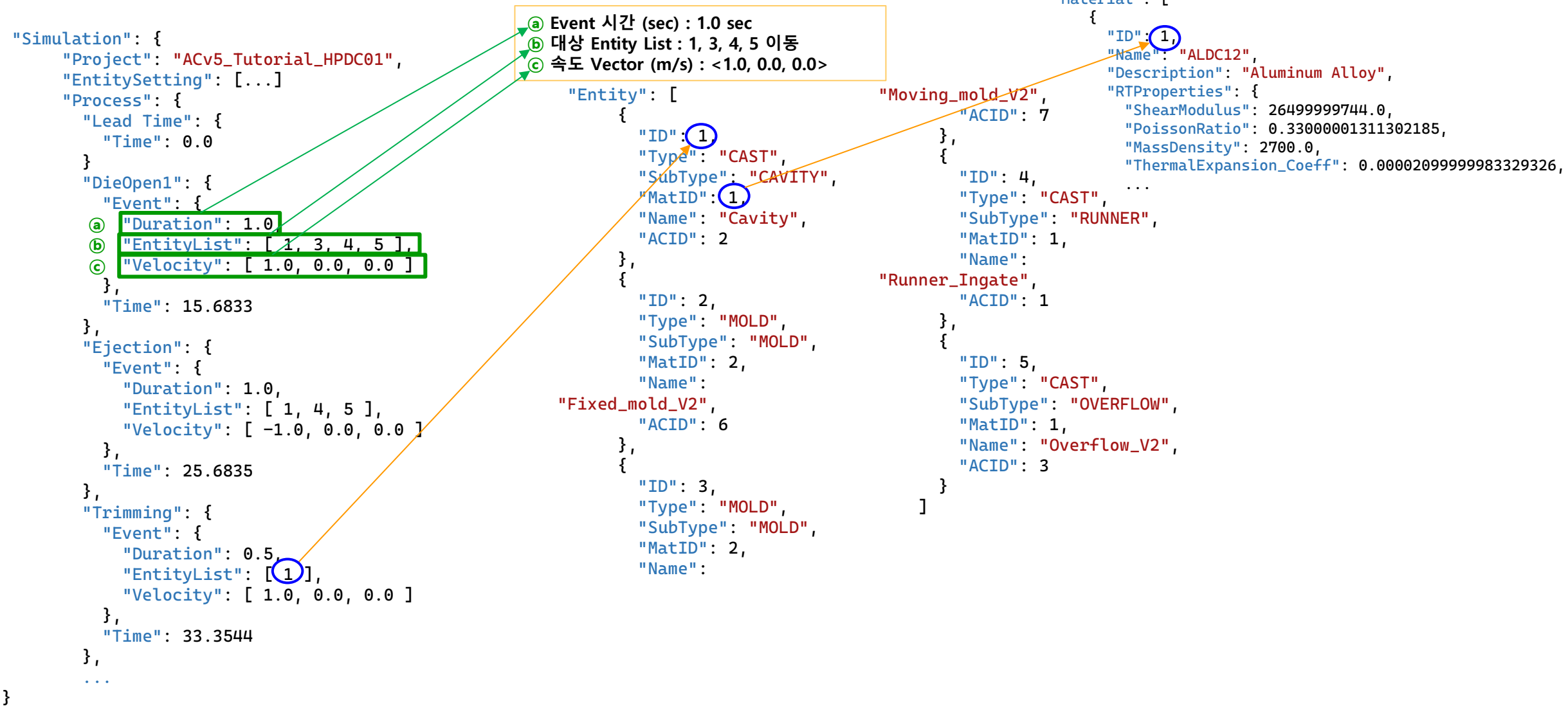
```
      {
    ⓐ "Description": "Lead Time - Target: Mold",
    ⓑ "EntityLink": [
        5
      ],
    ⓒ "EntityList": [
        1,
        2,
        3,
        4,
        5
      ],
    ⓓ "EntityTarget": [
        4,
        5
      ],
    ⓔ "Time": 0.0
      },
```

ⓐ 이벤트 대상에 대한 설명 : Lead Time는 mold대상
ⓑ 연결된 Entity 수 : 5개 연결
ⓒ Entity 리스트 : Entity 목록은 {1,2,3,4,5}
ⓓ Entity 타겟 : mold에 해당하는 {4,5} 가 target
ⓔ 시간 : 0.0 sec

ex.
EntityLink : [5], EntityList : [1,2,3,4,5] 일 때
{1,2,3,4,5} 로 나뉨
EntityLink : [3,1,1], EntityList : [1,2,3,4,5] 일 때
{1,2,3} {4} {5} 로 나뉨

열탄소성 해석 Input file – json_setting 추가설명 [2/3]

▶json_setting – Process와 Entity, Material 관계



열탄소성 해석 Input file – json_setting 추가설명 [3/3]

▶json_setting - Material

```
"Material": [
    {
      "ID": 1,
      "Name": "ALDC12",
      "Description": "Aluminum
Alloy",
      "RTProperties": {
        "ShearModulus":26499999744.0,
        "PoissonRatio":
0.33000001311302185,
        "MassDensity": 2700.0,
        "ThermalExpansion_Coeff":
0.00002099999983329326,
        "Temperature": 20.0
      }
      "YoungsModulus": [
        [20.0, 70999998464.0]
        [100.0, 68370001920.0],
          ...
      ],
      "ThermalExpansionCoeff": [
        [
          20.0,
          0.00002099999983329326
        ],
        ...
      ],
      "StressStrainCurve": {
        "20": [
          [0.0, 159.0],
          [0.10000000149011612,257.5]
        ],
       ...
```

- 20 ℃ 물성

① ②

- 온도의존 물성
- ① Temperature, ℃
- ② Value

```
      }
    },
  {
    "ID": 2,
    "Name": "STD61",
    "Description": "Cast Steel",
    "RTProperties": {
      "ShearModulus": 80999997440.0,
      "PoissonRatio": 0.30000001192092896,
      "MassDensity": 7730.0,
      "ThermalExpansion_Coeff": 0.000010400000064691994,
      "Temperature": 20.0
    },
    "YoungsModulus": [...]
     ...
```

열탄소성 해석 Input file – mesh_elements

▶메쉬 정보

- **mesh_elements**

① elem_type
-. Element type
-. 1 : tetramesh

② elem_prop_id
-. Element Property ID
-. 0 : Default

③ entity_id
-. Entity ID

④ node_ids
-. (Element ID, Node ID1, Node ID2, Node ID3, Node ID4) array // tetramesh 기준
-. 23977, 5159, 5160, 1333, 1304, 7566, 823, 824, 1607, 1608

데이터 1쌍

이름	자료형
elem_type	32-bit integer
elem_prop_id	32-bit integer
entity_id	32-bit integer
node_ids	variable-length of 32-bit integer

mesh_elements at / [mfrc.h5 in C:\Users\user\Downloads]

Table Import/Export Data

0-based

가변 데이터 HDFView 에서 ERROR 로 표기되나 정상임

	0			
	① elem_type	② elem_prop_id	③ entity_id	④ node_ids
0	1	0	1	*ERROR*
1	1	0	2	*ERROR*
2	1	0	3	*ERROR*
3	1	0	4	*ERROR*
4	1	0	5	*ERROR*
5	1	0	6	*ERROR*

열탄소성 해석 Input file – nodes

▶노드 정보

- **nodes**

① node_id
-. Node ID

② x
-. X coordinate

③ y
-. Y coordinate

④ z
-. Z coordinate

이름	자료형
node_id	32-bit integer
x	32-bit floating-point
y	32-bit floating-point
z	32-bit floating-point

nodes at / [mfrc.h5 in C:\Users\user\Downloads]

Table Import/Export Data

0-based

	0			
	① node_id	② x	③ y	④ z
0	1177	-19.2541	93.23789	8.365224
1	1178	-15.8845	91.08538	8.458243
2	1179	-12.4921	88.96549	8.531797
3	1180	-9.07688	86.87837	8.585174
4	1181	-5.64352	84.82693	8.61763
5	1192	93.38206	43.00928	3.151836

열탄소성 해석 Input file – temperature

▶온도 정보

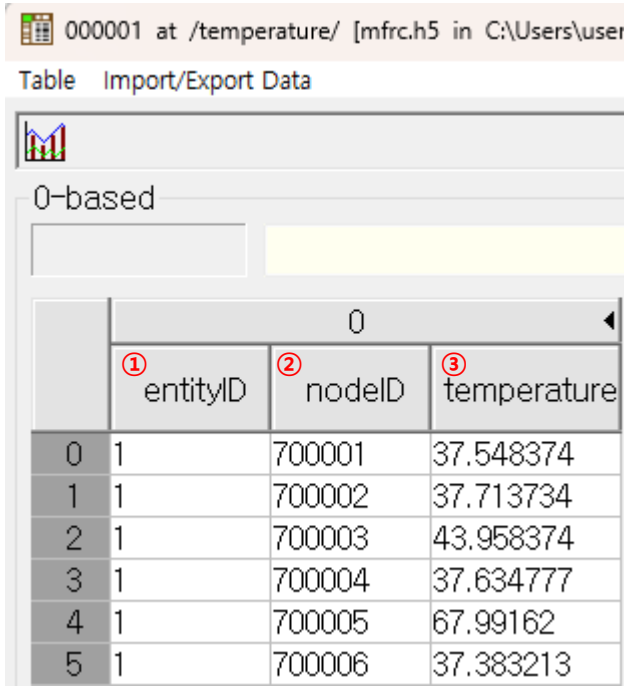
- 000001 ... // %06d
- temperature 폴더 안에 생성
- 특정 시간대(float)의 온도정보가 들어있음

① **entityID**
-. Entity ID

② **nodeID**
-. Node ID

③ **temperature**
-. Temperature value

이름	자료형
entityID	32-bit integer
nodeID	32-bit integer
temperature	32-bit integer



	0		
	① entityID	② nodeID	③ temperature
0	1	700001	37.548374
1	1	700002	37.713734
2	1	700003	43.958374
3	1	700004	37.634777
4	1	700005	67.99162
5	1	700006	37.383213