

기술 특 집

I-DEAS용 Program file을 이용한 CRT용 Glass & Mold의 Modeling 및 Mesh data구현

임 용 찬 (한국전기초자 주식회사 제품개발팀, 054-468-1478, yclim@heg.co.kr)

초 록

CRT용 Glass 산업의 경우, 금형 및 유리의 온도는 매우 중요한 변수이다. 이 온도는 상온에서 출발한 금형이 반복되는 Heat Cycle을 거치면서 안정화 상태로 이르게 되는 과정을 거치면서 결정된다. 이때 안정화되는 금형의 온도분포에 의해 제품의 품질이 결정됨에 따라, 불량률이 발생할 경우, 안정화 시간 및 금형수정 Cost 증가 등 매우 큰 손실이 야기된다.

이에 본 연구는 CAE를 통하여 상기 Heat Cycle의 해석 과정 중에서, I-DEAS의 MACRO인 "Program file"을 이용하여 Modeling 및 Meshing을 수행하여 단시간 내 정확한 Preprocessing을 통해 유동 및 열 해석에 적용하는 자동화 프로그램을 개발하였다.

I. 서 론

Cathode Ray Tube(음극선관, 이하 CRT)의 외형을 이루는 부품은 Panel(전면유리)과 Funnel(후면유리)이 있다. Panel의 외면은 화면을 표시하는 역할을 하며, 내면에는 Shadow mask가 고정되며 형광물질이 코팅되어 있다. Funnel은 특이한 곡률을 가진 형상을 보이며 전자총이 삽입되는 부위로 이루어져 있다. Panel은 성형공정 이후 여러 단계에 걸친 강제냉각의 공정으로 이루어지며, 각 냉각 Stage별 다른 운영조건을 갖게 된다. 이러한 냉각공정의 운영조건을 적절히 조정한다면, 생산품질 향상에 많은 이점을 꾀할 수 있을 것이다.

Panel의 냉각공정에서 가장 많이 고려되어야 할 것은 Panel의 각 부위별 온도차를 작게 하면서 전체적인 온도를 낮춰야 하는 것이다. 온도차가 크게 되면 Panel의 불량률이 높아지게 되며 전체적인 온도를 낮춰야 생산속도를 높일 수 있다.

CRT용 전면유리(Panel)의 냉각공정은 11 or 13 or 15

stage로 이루어져 있으며 하부금형과 중간금형이 회전을 하며 성형된 Panel을 이동시킨다. 이때 각 stage별로 강제냉각이나 자연냉각을 실시하고, 중간금형은 6번째 stage에서 분리된다. 그 후 9번째 stage에서는 Panel이 분리되어 후공정으로 진행되며, 하부금형은 11번의 모든 stage를 거치게 된다.

Fig. 1의 Panel 성형공정에서의 상부금형과 성형이후 stage에서의 각 부품(Panel, 중간금형, 하부금형)의 온도이력을 관찰하고, 설계변경에 따른 온도변화를 알아내기 위해서는 각부품의 모델에 대한 경계조건의 변화와 설계를 자동적으로 변경할 수 있는 치수의 변수화가 필요하다.

이러한 자동 모델링 프로그램은 I-DEAS를 이용한 작업을 통해 이루어졌다. I-DEAS 내부에서 제공하는 자체 Program 파일을 통하여 기하학적 치수를 계산할 수 있는 방정식을 프로그래밍하고, 경계 조건이 부여되는 부분을 Grouping 처리될 수 있도록 하였다. 그리고 Mesh 생성 및

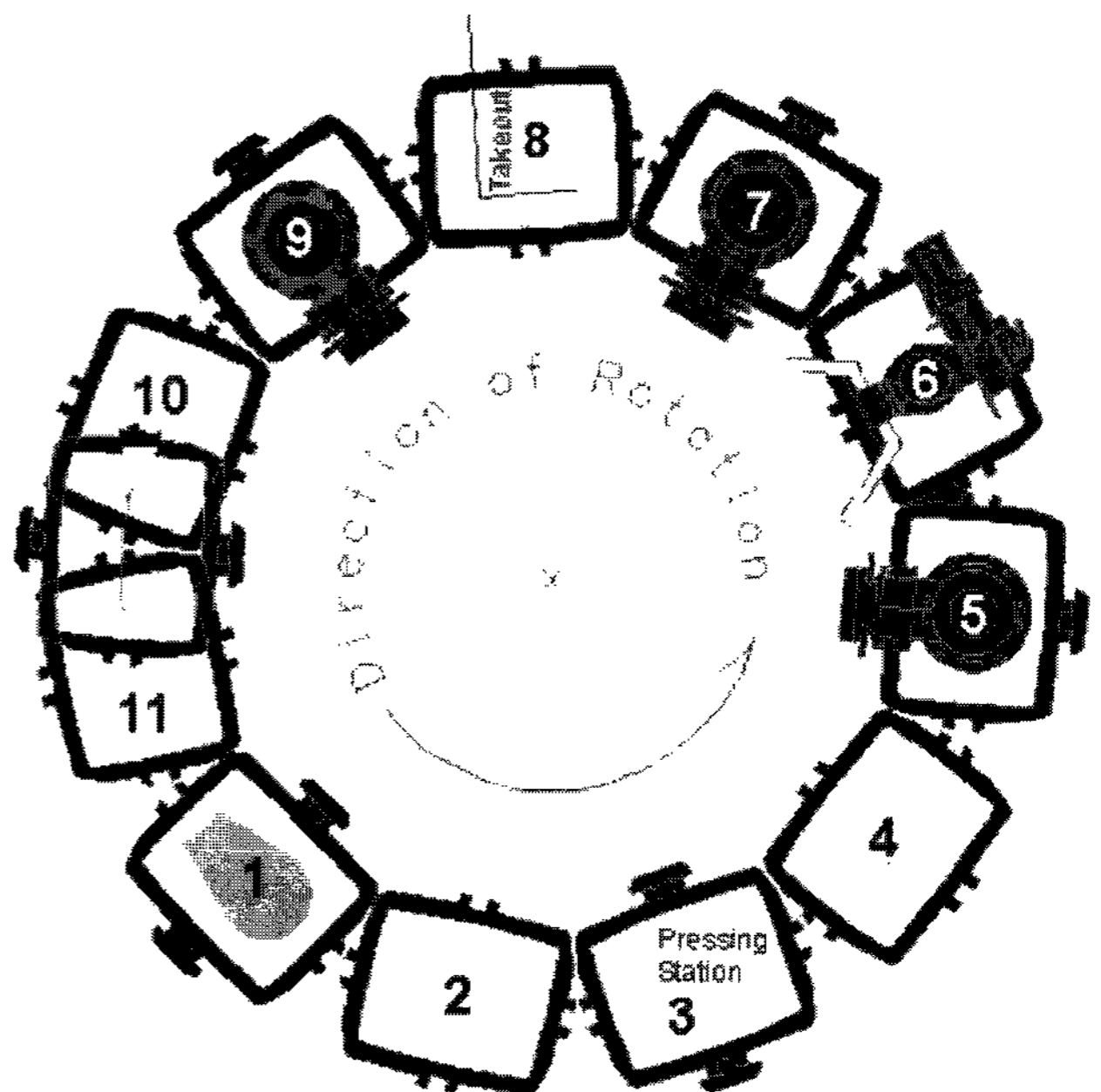


Fig. 1 Stages of Panel manufacturing

타 해석 프로그램으로의 Export하기까지의 모든 과정을 담았다. 물론 해석에 사용되는 모든 부품을 이러한 방식의 I-DEAS Program 파일작업을 통해 자동으로 치수 및 형상을 변화시켜가며 모델링을 수행하도록 하였다.

이렇게 I-DEAS로부터 생성된 모델은 유동해석을 위해 CFD code 파일로 보내고, 부품의 온도해석을 위해서 FED cod로 보내지게 된다. CFD code에서 해석된 대류경계조건은 바로 FEA code로 보내져서 부품의 온도해석을 할 때의 경계조건으로 사용된다.

II. I-DEAS에 의한 모델링

1. Panel 모델링

Fig. 2는 Panel의 1/4 모델을 보여주고 있다. 실제의 모델링 및 해석에서는 모두 이러한 1/4 모델을 사용하였다. Panel 모델링에서 중요한 사항은 Panel은 기하학적으로 장, 단, 대각축이 모두 다른 곡률을 가지고 있으며, 내면과 외면의 곡률 또한 다르다. 더욱이 Skirt부라 일컬어지는 부분도 일정한 각도로 길게 뻗어있어 모델링하기가 쉽지 않다. 이러한 모든 기하학적 수식을 변수를 포함한 방정식으로 구성하고, I-DEAS용 Log파일에서 프로그래밍하였다.

Panel의 경우, 내면과 외면 곡률은 통상적으로 4~5 종류의 Equation으로 이루어져 있다. 따라서, 내면과 외면을 이루는 형상을 모델링을 하기 위해서는 Equation에 맞는 입력 Data가 필요하게 된다. 이런 다양한 Data의 입력으로

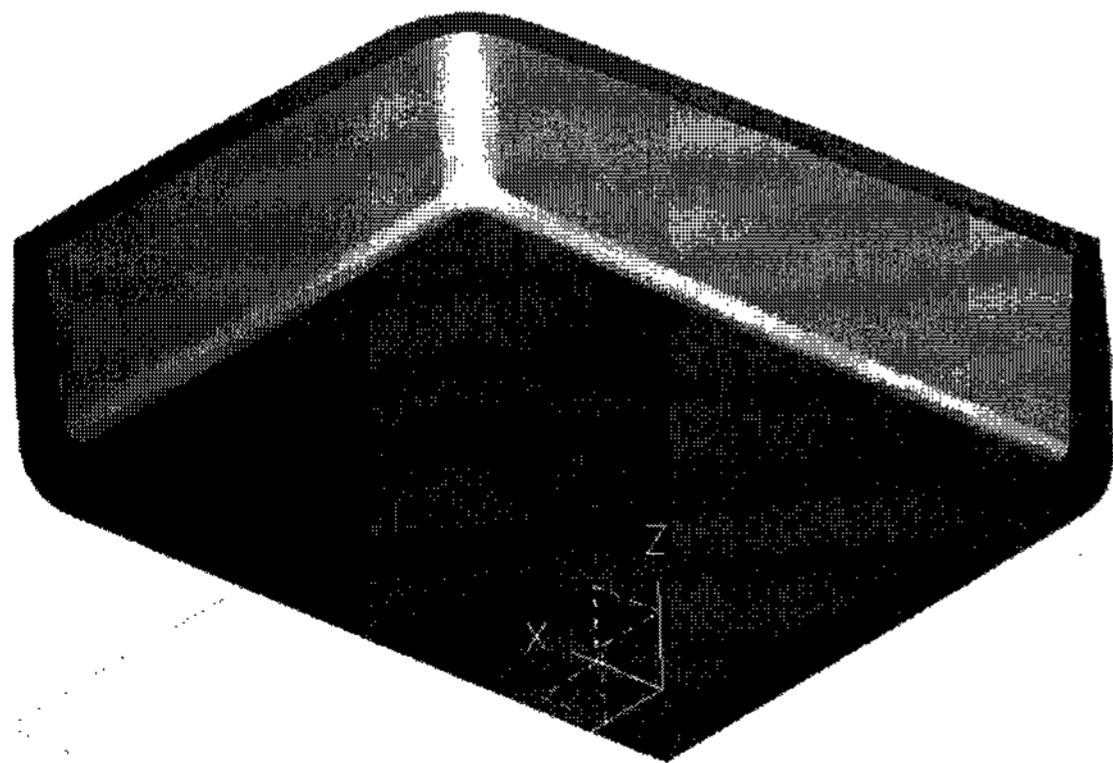


Fig. 2 Panel model

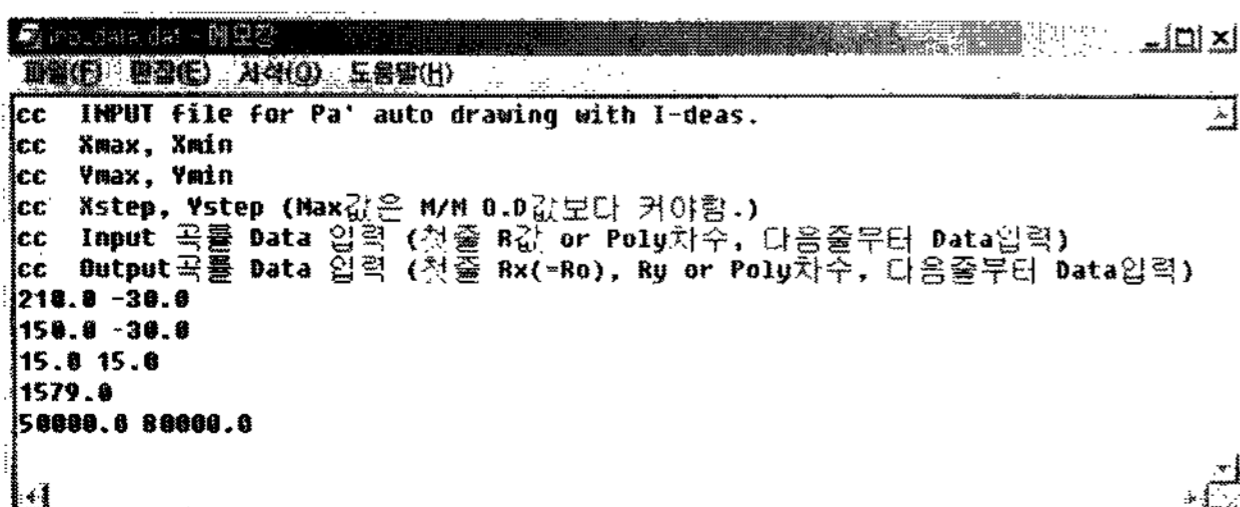


Fig. 3 Panel surface Input file of In-house program

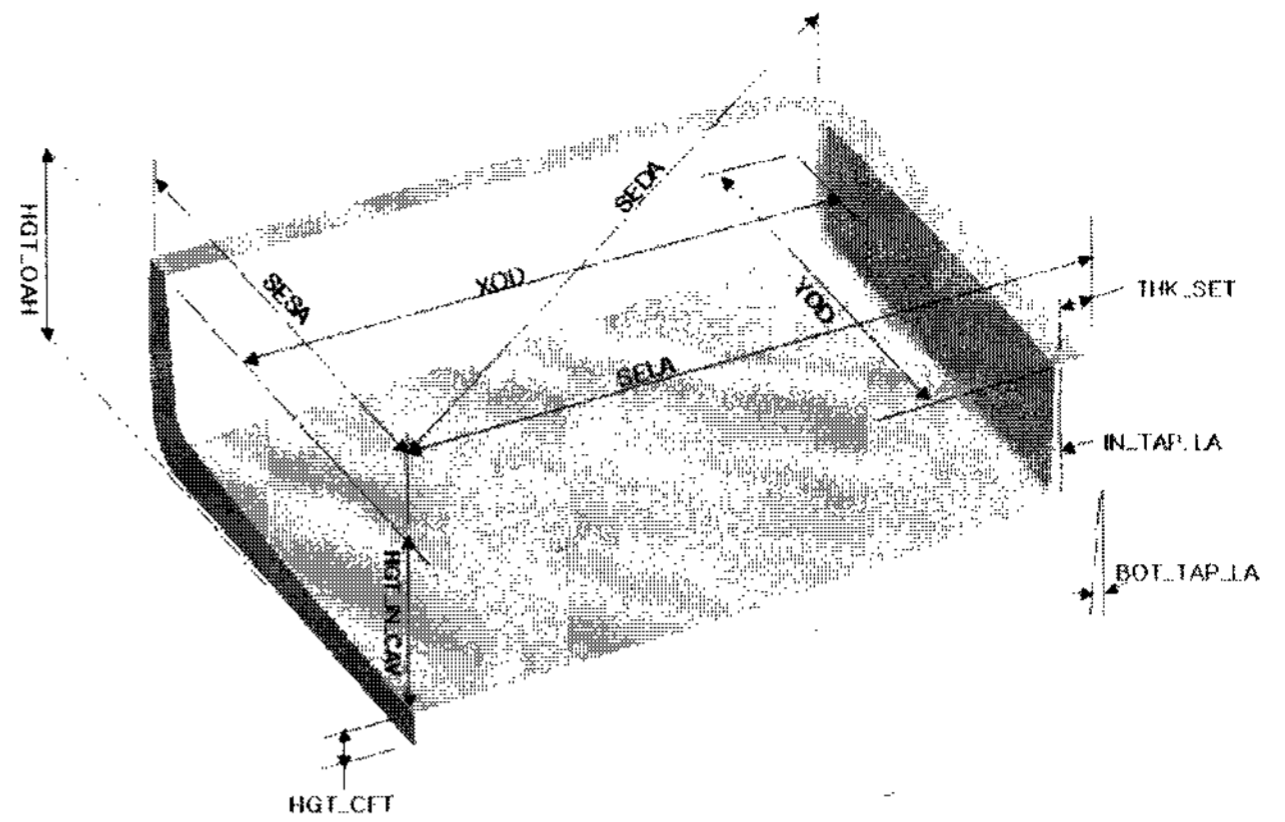


Fig. 4 Design Variables of Panel

인해 Program File을 통하여 구현하기에는 다소 어려움이 있었다. 이 문제를 해결하기 위하여 Fortran Program을 이용하여 Surface만을 구현하는 Program File을 생성하게 하였다. Fig 3는 Fortran에 Program에 활용되는 Input File의 예이다.

2. Wind head 모델링

Panel의 생산공정 중 Press 후 강제냉각 공정이 생산에 많은 영향을 준다. 이 공정에 사용되는 Wind head는 Panel의 내면 전체에 골고루 공기를 불어넣어 주기 위해서 대체적으로 사각형의 모양을 하고 있다. 하지만 Panel의 두께가 부분별로 모두 다르기 때문에 부분적으로 온도차가 많이 난다. 따라서 강제냉각 공정에서의 해석 목적은 Panel을 가장 적은 온도차를 가지며 식게끔 하는 것이다. 이때의 설계변수

```

C : ----- #9  CEN YAXIS +(R+), -(R-)
K : #SA_YI=SA(5)-SA_GAP_WH-WH_THK
K : #SR_UI=((YOD_WH-SA_YI)**2+XOD_WH**2)/(2*(YOD_WH-SA_YI))
K : #SA_YO=SA(5)-SA_GAP_WH
K : #SR_UO=SR_UI-WH_THK
K : #SR_CEN_Y=SR_UO+SA_YO
C :
C : MID POINT 50
C :
K : #SM_XI=50
K : #IF (SR_UI GT 0) THEN #SM_YI=SR_CEN_Y-SQRT(SR_UI**2-SM_XI**2)
K : #IF (SR_UI LT 0) THEN #SM_YI=SR_CEN_Y+SQRT(SR_UI**2-SM_XI**2)
K : #SM_XO=SM_XI*SR_UO/SR_UI
K : #SM_YO=(SM_YI-SR_CEN_Y)*SR_UO/SR_UI+SR_CEN_Y
C :
K : #SD_XO=XOD_WH*SR_UO/SR_UI
K : #SD_YO=(YOD_WH-SR_CEN_Y)*SR_UO/SR_UI+SR_CEN_Y
C :
K :
C : ----- #5  CEN XAXIS +(R+), -(R-)
K : #LA_XI=LA(5)-LA_GAP_WH-WH_THK
K : #LR_UI=((XOD_WH-LA_XI)**2+YOD_WH**2)/(2*(XOD_WH-LA_XI))
K : #LA_XO=LA(5)-LA_GAP_WH
K : #LR_UO=LR_UI-WH_THK
K : #LR_CEN_X=LR_UO+LA_XO
C :
C : MID POINT 50
C :
K : #LM_YI=50
K : #IF (LR_UI GT 0) THEN #LM_XI=LR_CEN_X-SQRT(LR_UI**2-LM_YI**2)
K : #IF (LR_UI LT 0) THEN #LM_XI=LR_CEN_X+SQRT(LR_UI**2-LM_YI**2)
K : #LM_XO=(LM_XI-LR_CEN_X)*LR_UO/LR_UI+LR_CEN_X
K : #LM_YO=LM_YI*LR_UO/LR_UI
C :
K : #LD_XO=(XOD_WH-LR_CEN_X)*LR_UO/LR_UI+LR_CEN_X
K : #LD_YO=YOD_WH*LR_UO/LR_UI
    
```

Fig. 5 Wind head data of I-DEAS program file

는 Wind head의 형상으로 볼 수 있고, I-DEAS에서 변수화 된 Log 파일을 이용하여 강제냉각에서 Panel의 온도분포 및 대류상수 값을 관찰해가며 Wind head의 형상을 바꿀 수 있다.

Fig. 5는 Wind head 모델을 생성하는 I-DEAS용 Program 파일이다. 각 치수에 관계된 기하학적 변수는 모두 설계변수로 설정할 수 있도록 변수화 하였다. 주로 Wind head의 장, 단, 대각 축별로 설계변수를 설정하였으며, 세 개의 축이 모두 기하학적으로 관련되어 동시에 변하게 된다.

3. Shell mold(중간금형), Bottom mold(하부금형) 모델링

중간금형의 모델링 역시 앞서 설명했던 모델과 비슷하다. 중간금형에서 설정된 설계변수를 변수화하여 I-DEAS용 Program 파일 형식으로 프로그래밍 하였다. 여기서 주된 설계변수들은 주로 치수에 관련된 변수들이며 Panel의 사이즈와 연관되는 부분은 Panel의 data로부터 받아오게 되어 Panel의 사이즈(관중)가 변해도 기타의 다른 부품들도 Panel의 크기와 형상에 맞는 치수로 모델링된다. Fig. 6, 7는 각각 중간금형에서 설정한 설계변수와 I-DEAS용 프로그램 파일을 보여주고 있다.

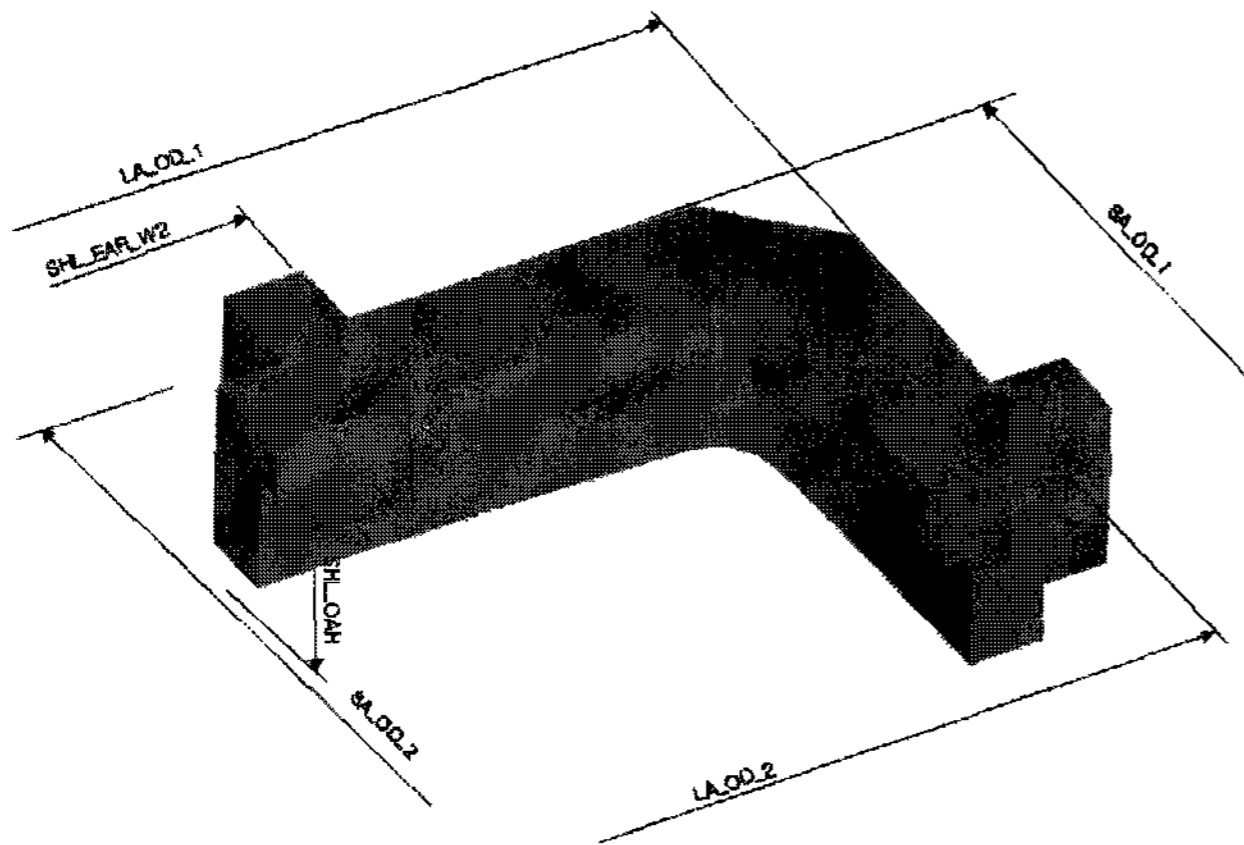


Fig. 6 Design Variables of Shell mold

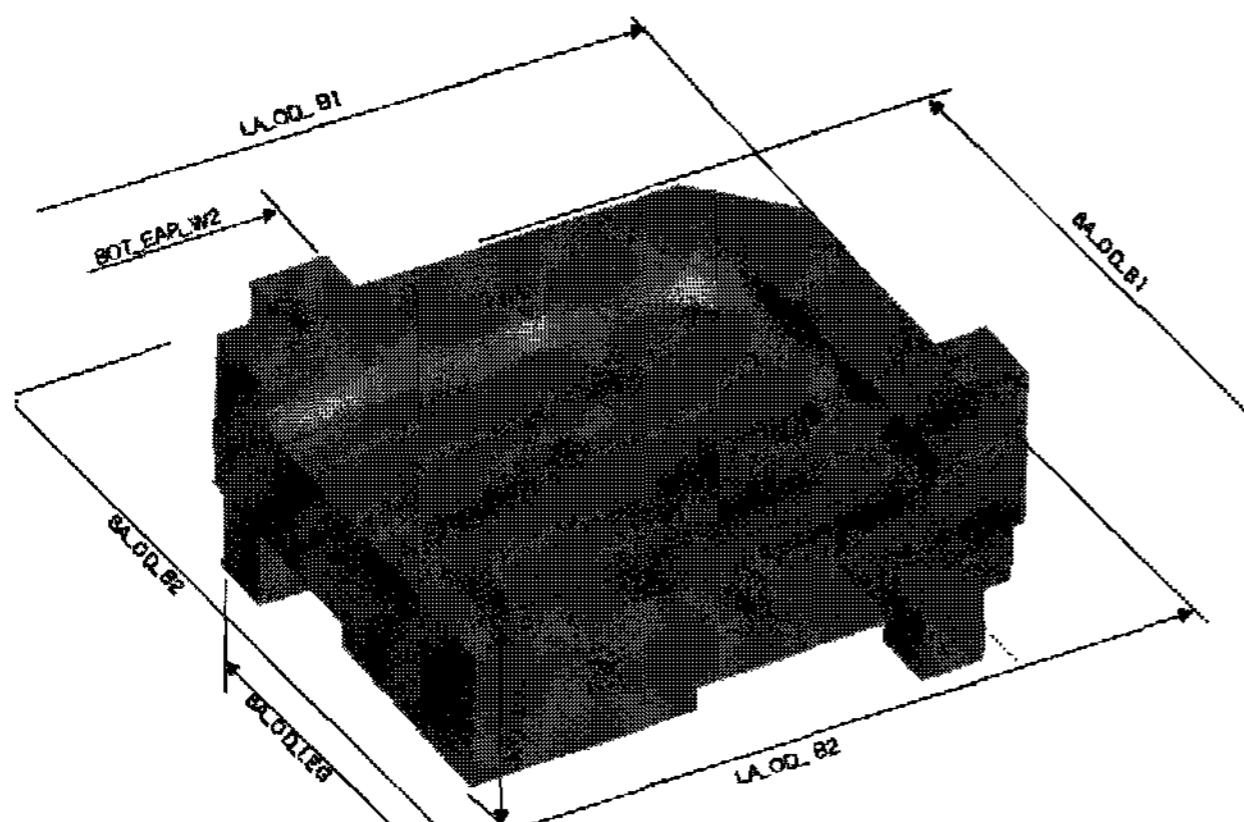


Fig. 7 Design Variables of Bottom mold

```

C : -----
K : NET_RR9_SHL=Z_LAST_WFC-1
K : NET_RR13_SHL=Z_LAST_WFC
C : -----
C :
K : $ /cr 1 po
K : OP
K : FX LA(5)
K : FV 0
K : SX LA_OD_2/2
K : SY 0
K : APPL
K : SX LA_OD_2/2
K : SY SHL_EAR_W1/2
K : APPL
K : SX LA_OD_2/2+SHL_EAR_D
K : SY SHL_EAR_W1/2
K : APPL
K : SX LA_OD_2/2+SHL_EAR_D
K : SY SHL_EAR_W2/2
K : APPL
K : SX LA_OD_1/2
K : SY SHL_EAR_W2/2
C :
K : OKAY
K : $ /cr 1 si
K : OP
K : FX LA_OD_1/2
K : FV SHL_EAR_W2/2
K : LH SA(5)
K : LA 90+LA_OD_A
K : OKAY
C :
K : $ /cr 1 po
K : OP
K : FX 0
K : FV SA(5)
K : SX 0
K : SY SA_OD_2/2
K : APPL
K : SX SHL_EAR_W1/2
K : SY SA_OD_2/2
K : APPL
K : SX SHL_EAR_W1/2
K : SY SA_OD_2/2+SHL_EAR_D
K : APPL
K : SX SHL_EAR_W2/2
K : SY SA_OD_2/2+SHL_EAR_D
K : APPL
K : SX SHL_EAR_W2/2
K : SY SA_OD_1/2
    
```

Fig. 8 Shell mold data of I-DEAS prg file

```

K : SX LA_OD_B2/2+BOT_EAR_D
K : SY BOT_EAR_W1/2
K : APPL
K : SX LA_OD_B2/2+BOT_EAR_D
K : SY BOT_EAR_W2/2
K : APPL
K : SX LA_OD_B1/2
K : SY BOT_EAR_W2/2
C :
K : OKAY
K : $ /cr 1 si
K : OP
K : FX LA_OD_B1/2
K : FV BOT_EAR_W2/2
K : LH SA(5)
K : LA 90+LA_OD_BA
K : OKAY
C :
K : $ /cr 1 po
K : OP
K : FX 0
K : FV 0
K : SX 0
K : SY SA_OD_B2/2
K : APPL
K : SX BOT_EAR_W1/2
K : SY SA_OD_B2/2
K : APPL
K : SX BOT_EAR_W1/2
K : SY SA_OD_B2/2+BOT_EAR_D
K : APPL
K : SX BOT_EAR_W2/2
K : SY SA_OD_B2/2+BOT_EAR_D
K : APPL
K : SX SHL_EAR_W2/2
K : SY SA_OD_B1/2
K : OKAY
C :
K : $ /cr 1 po
K : OP
K : FX BOT_EAR_W2/2
K : FV SA_OD_B1/2
K : LH (SA_OD_BD-BOT_EAR_W2/2)/COS(SA_OD_BA1)
K : LA -SA_OD_BA1
K : APPL
K : LA -45
K : LH 100
K : OKAY
    
```

Fig. 9 Bottom mold data of I-DEAS program f

하부금형 역시 동일한 방법으로 모델링 된다. 연결된 부품 (Panel, Shell mold)과 관계된 치수는 앞선 Data 파일에서 받아오고, 하부금형에 관계된 설계변수는 변수화하여 Program 파일형식으로 프로그래밍하였다.

4. Plunger(상부금형) 모델링

앞선 부품들과는 달리 상부금형은 Stage를 따라 돌지 않는다. Stage3에서 고온의 용융된 유리를 Panel의 형상으로 찍어내는 역할만 한다. Plunger 해석에서는 가장 중점적인 사항이 냉각수에 의한 냉각 즉 대류 조건이다. 이때의 설계 변수 들은 냉각수 Drill Hole, Heat barrier에 관한 부분이며, Drill Hole의 설계변수는 Hole의 길이, 직경, 위치이다. Heat barrier의 설계변수는 주로 치수에 관한 변수들로 길이, 폭, 각도 등이다. 상부금형은 Panel의 내면곡률, Panel size에 따라 외면 곡률과 치수가 결정되며, 모델이 완성되면 연속적인 Press에 대한 온도이력을 구할 수 있게 된다.

Fig 10은 Plunger의 설계 변수를 보여주고 있다. Plunger의 내부 공간은 물과 냉각의 효율을 적당하게 조절하는 통로로 이루어져 있다. 이때의 물의 냉각효과를 해석하기 위하여 Mesh Data를 만들게 된다.

Fig 11, 12는 기종에 따라서 달라지는 Hole 및 Heat

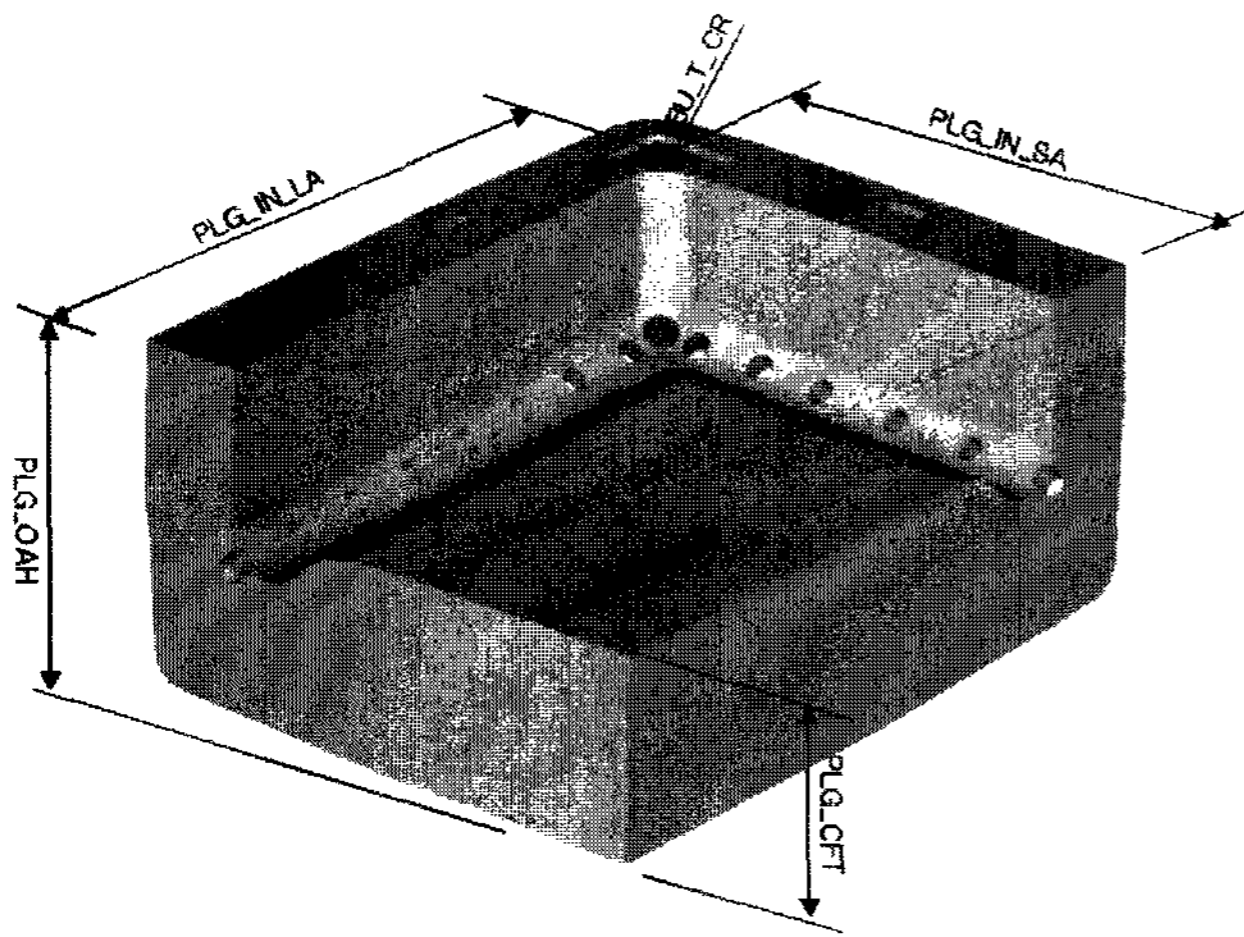


Fig. 10 Design Variable of Plunger

치수(1)	치수(2)	치수(3)	치수(4)	치수(5)	치수(6)	치수(7)	치수(8)
15.0							
0.0	101.5	90.0	45.0	18.0	6.0	45.0	3.0
20.0	101.5	90.0	45.0	18.0	6.0	45.0	3.0
40.0	101.5	90.0	45.0	18.0	6.0	45.0	3.0
60.0	101.5	90.0	45.0	18.0	6.0	45.0	3.0
79.0	101.5	90.0	45.0	18.0	6.0	45.0	3.0
90.0	101.5	90.0	45.0	18.0	6.0	45.0	3.0
114.0	101.5	70.0	45.0	18.0	6.0	45.0	3.0
130.0	101.5	50.0	45.0	22.0	6.0	45.0	3.0
139.5	101.5	45.0	45.0	31.0	8.0	45.0	3.0
139.5	94.0	30.0	45.0	22.0	6.0	45.0	3.0
139.5	79.0	10.0	45.0	18.0	6.0	45.0	3.0
139.5	63.0	0.0	45.0	18.0	6.0	45.0	3.0
139.5	42.0	0.0	45.0	18.0	6.0	45.0	3.0
139.5	21.0	0.0	45.0	18.0	6.0	45.0	3.0
139.5	0.0	0.0	45.0	18.0	6.0	45.0	3.0
x	y	ah	av	l	d	dh-av	dh_d

Fig. 11 Drill Hole data of I-DEAS prg file

치수(1)	치수(2)	치수(3)	치수(4)	치수(5)
1.0	1.0	1.0		
10.5	100.0	106.0	44.0	3.0
165.31	50.0	60.0	44.0	3.0
125.56	88.0	98.0	44.0	3.0

Heat barrier의 수
D LA(#5) SA(#9)
DR의 경우, PLG Band와 Offset, LA축과 H/B의 거리, SA축과 H/B의 거리, H/B 길이, H/B 폭
LA의 경우, Center에서 X방향(#5) 거리, LA축과 H/B 시작과 거리, LA축과 H/B 끝과 거리, H/B 길이, H/B 폭
SA의 경우, Center에서 Y방향(#1) 거리, SA축과 H/B 시작과 거리, SA축과 H/B 끝과 거리, H/B 길이, H/B 폭

Fig. 12 Heat barrier data of I-DEAS prg file

barrier의 개수를 정의하기 위한 Input file이다. Plunger의 Drill hole이나 Heat barrier의 경우, 기종에 따라서 개수가 틀려지게 되며, 이 부분의 Define을 정확하게 되지 않을 경우에 Meshing 과정에서 불필요한 부분을 세밀한 Mesh를 하게 되어 원하는 Mesh data를 얻지 못하게 된다.

III. Mesh 생성 및 해석

1. Mesh 처리

제품, 금형 및 부품까지 모델링을 완료 한 후 Mesh 과정을 거쳐야 한다. Mesh 과정에서는 모든 Part를 포함하는 Volume을 만든 후, Part를 이용하여 Partition을 하게 된다. 그리고, Partition된 Volume에는 각각의 Material property를 부여하게 된다. Mesh를 할 경우, 조밀하게 처리가 되면 해석시간이 많이 걸리게 되므로 형상에 따라 Mesh size를 조정할 수 있게 Program 파일을 제작하였다.

2. 유동해석을 위한 요소 및 경계조건 처리

I-DEAS에서 생성되는 모델은 두 가지의 해석을 거쳐야 한다. 첫째는 CFD code를 이용한 유동해석, 그리고 둘째로 FEA code를 이용한 열, 구조해석을 수행한다. 이러한 해석을 수행하기 위해서는 공통된 Mesh를 사용해야 하고 Warping과 Aspect ratio를 잘 조절해 줄 수 있는 우수한 자동 Mesh 기능을 가진 Pre-Processor를 사용해야 한다.

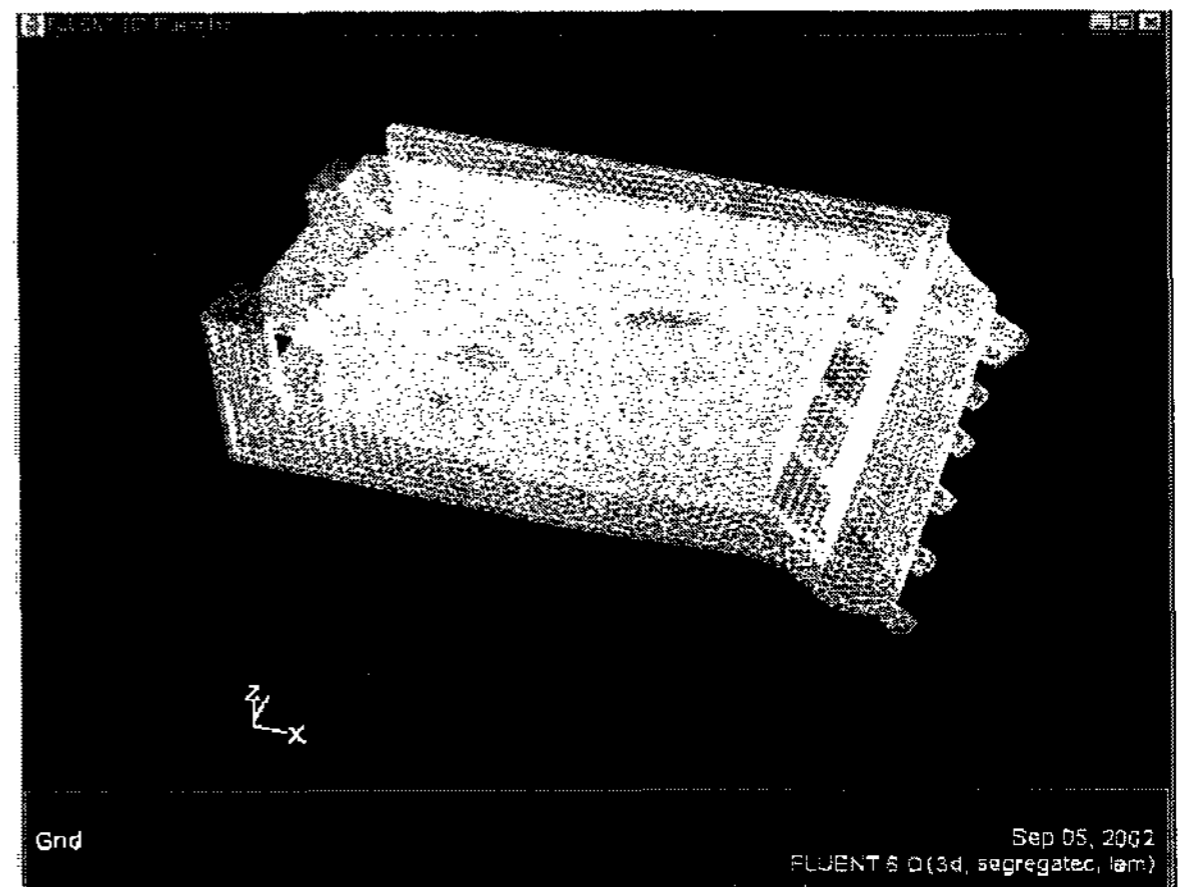


Fig. 13 Fluid part mesh of Cooling water

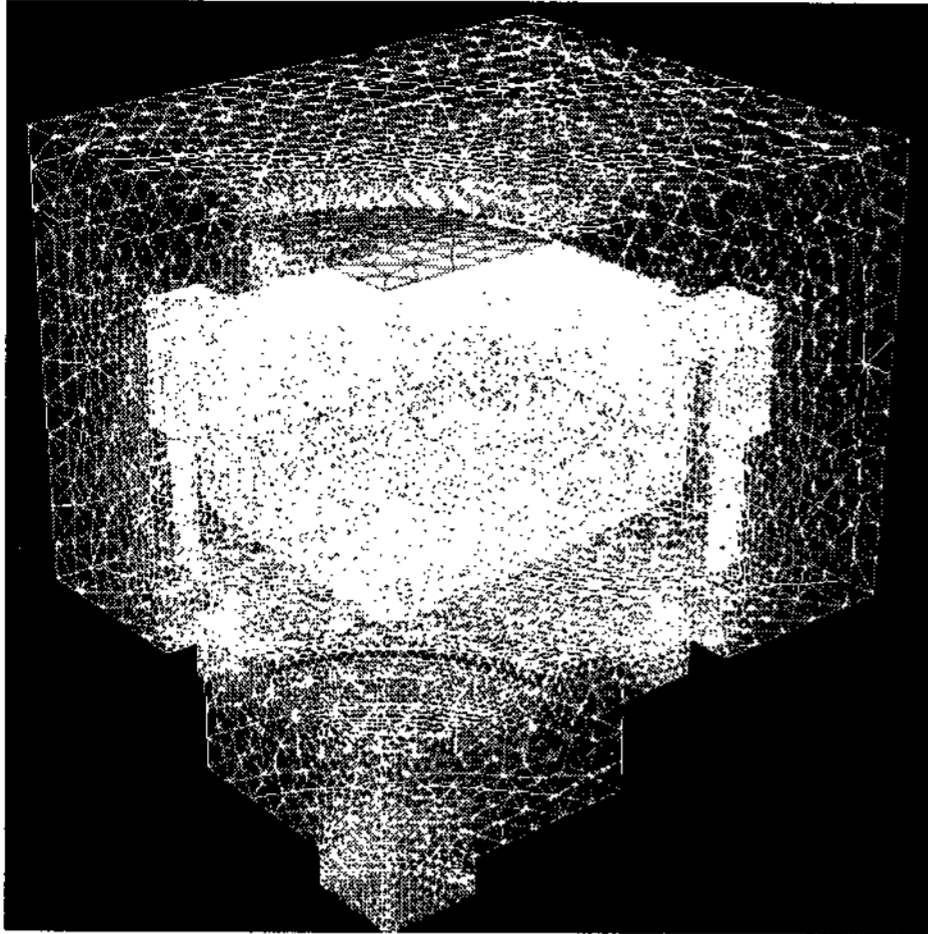


Fig. 14 Fluid part mesh of Cooling air

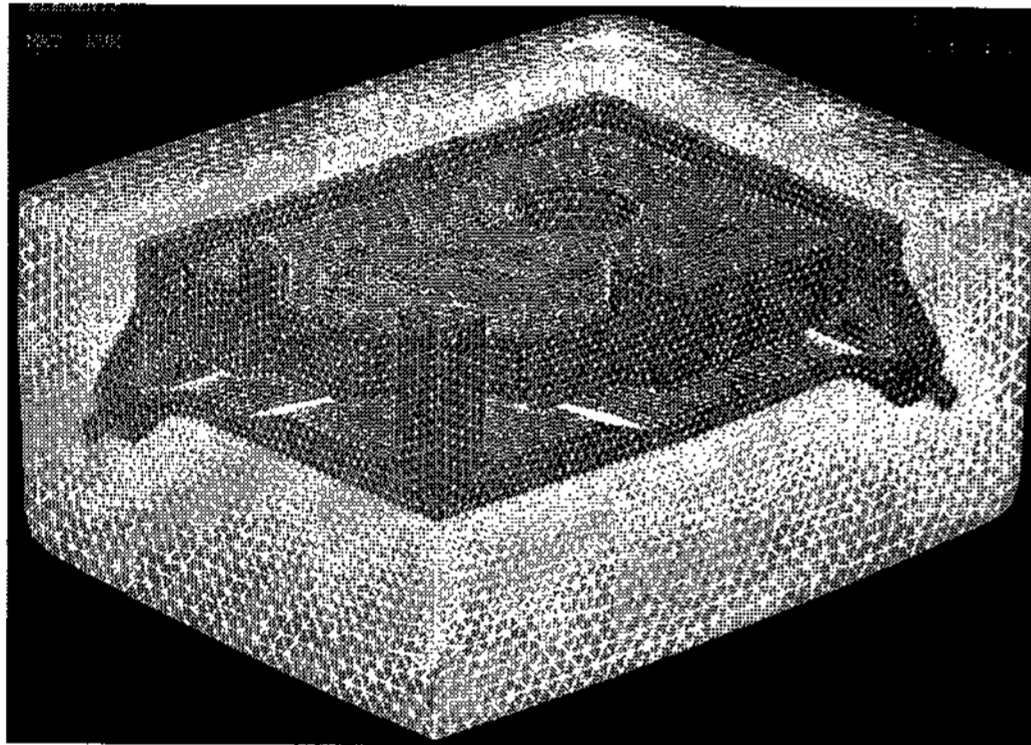


Fig. 15 Solid part mesh of Plunger & Heat barrier

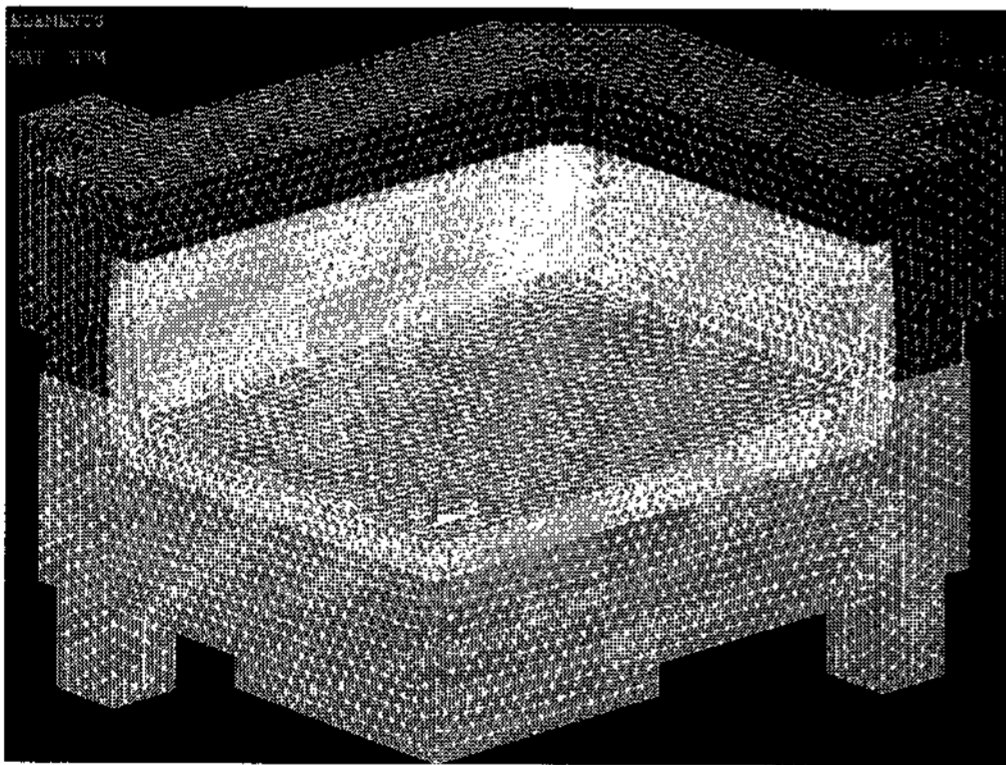


Fig. 16 Solid part mesh of Panel, Shell & Bottom mold

이러한 Meshing의 역할도 I-DEAS를 통해서 수행하였는데 유동해석을 위한 유체 부분과 유체를 제외한 고체 (Wind head, Glass, Plunger, Shell & Bottom mold) 부분을 동시에 Meshing하였다. 유체부분의 Mesh는 CFD code에서 읽어 들일 수 있는 파일형식으로 Export하고, 고체부분은 FEA 파일 형식으로 Export하였다. 이러한 Export의 기능은 모두 I-DEAS에서 무리없이 진행되었다.

경계조건의 처리 또한 CFD와 FEA code에 모두 적용될 수 있게 정의를 해야 한다.

Mesh data를 Export를 하게 되면 Model data는 빠지고 Mesh만 export 되기 때문에 경계면의 정의가 필요하게 된다. 이때의 각 부분을 I-DEAS에서 Meshing 과정에서 Grouping을 해두면 CFD, FEA에서 Zone, Component, Group으로 입력받게 된다. 기타 경계조건 부여는 CFD, FEA 모두 각 S/W의 Macro 기능을 이용하여 Batch로 작업이 될 수 있도록 하였다.

3. CFD 유동해석

Fig 13, 14는 CFD code에서 파일을 Import한 모양이다. 앞에서 설명된 바와 같이 요소와 경계조건을 처리한 후 CFD code에서 유동해석을 수행하였다. 이때의 결과는 대류 상수, 속도 압력이다.

4. FEA Thermal 해석

Fig 15, 16은 FEA code에서 파일을 Import한 모양이다. 상기처럼 CFD로 유동해석을 수행한 이후의 결과를 FEA 해석을 위한 경계조건으로 변경한 후 Solid 모델의 Thermal Transient 해석을 수행하였다. 이때의 결과는 시간이 경과함에 따른 각각의 금형의 위치별 온도이다.

IV. 결 론

I-DEAS의 Program file 기능을 이용하여 당사에서 생산하고 있는 제품, 금형의 모델링 및 CAE용 Mesh data를 얻을 수 있었으며, 다음과 같은 결과를 얻게 되었다.

1. Modeling Time

I-DEAS의 Program 파일을 이용하여 숙련자가 3~4일에 걸쳐 작업을 하였던 Modeling 및 Meshing 작업을 Modeling에 10분, Meshing에 30분으로 수행시간을 획기적으로 줄일 수 있었다.

2. Accuracy

앞에서도 언급한 것처럼, CRT용 유리 및 금형은 다양한 곡률 Equation으로 형성이 되며, PLG에서 Drill hole과 heat barrier는 아주 복잡한 계산을 통하여 3차원 형상 Data를 구할 수 있었는데, Program file 및 In-house program을 통하여 정확하게 구현할 수 있었다.

3. 범용성

상기 제품 및 금형을 독자적으로 Modeling 하기 위해서는 제품의 Design concept 및 금형 설계 부분이 필요하지

만, Program 파일로 계산을 수행할 수 있도록 하였기 때문에 10여분 교육으로 누구나 Modeling 및 Meshing data를 얻을 수 있었다.

4. 기 타

제품 및 금형의 Meshing 작업을 편리를 위하여 모두 Free mesh를 사용하였다. 향후에 연구를 통하여 CAE 해석에 정확도 및 해석 시간을 짧게 할 수 있는 Hexagonal mesh를 적용할 계획이다.

참 고 문 헌

- [1] Norman E. Dowling, 1999, *Mechanical Behavior of Materials-Engineering Methods for Deformation, Fracture and Fatigue, Second Edition, Prentice Hall International Inc.*
- [2] N. J. Kreidl, 1984, "Inorganic Glass-Forming Systems", *Glass : Science and Technology Volume. 1, pp. 105-299.*
- [3] I-DEAS User's Guide ver. 9.0
- [4] ANSYS Inc., 2001, *ANSYS User's Guide ver. 6.1*