



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

터보 차저 구조품의 결함 최소화를
위한 CAE 해석 설계



2017년 6월

부경대학교 산업대학원

기계공학과

곽희영

공학석사 학위논문

터보 차저 구조품의 결함 최소화를 위한 CAE 해석 설계



지도교수 강 대 민

이 論文을 工學碩士 學位論文으로 提出함.

2017년 6월

부 경 대 학 교 산 업 대 학 원

기계공학과

곽 희 영

이 논문을 곽희영의 공학석사 학위논문으로 인준함



주심 공학박사 김 태 완



위원 공학박사 박 영 환



위원 공학박사 강 대 민



목 차

List of tables	iii
List of figures	iv
제 1 장 서론	1
1.1 연구의 배경 및 동향	1
1.2 연구의 목적	3
제 2 장 이론적 배경	5
2.1 셀 구조법	5
2.2 유한요소해석	8
제 3 장 유한요소해석 방법	11
3.1 모델링 구성	11
3.2 구조해석조건	14
제 4 장 해석 결과 및 고찰	17
4.1 1차 해석결과 및 고찰	17
4.1.1 충전 양상 결과	17
4.1.2 응고 양상 결과	21
4.2 2차 해석결과 및 고찰	25
4.2.1 충전 양상 결과	26
4.2.2 응고 양상 결과	29
4.3 냉금 적용에 따른 응고 양상 결과 및 고찰	32

제 5 장 해석결과를 적용한 주조품 제작 및 측정	34
5.1 주조품 제작조건 및 결함 확인	34
5.2 3차원 치수 측정 평가	39
제 6 장 결 론	45
References	46
Abstract	48



List of tables

Table 3.1	Flow chart of AnyCasting™ analysis	14
Table 3.2	Casting analysis conditions	15
Table 3.3	Pouring conditions	16
Table 5.1	Shell-molding process conditions	35
Table 5.2	Chemical composition of cast alloy	35



List of figures

Fig. 2.1	Shell-molding process of production and shell mold sample	6
Fig. 3.1	Casting modeling - case 1	12
Fig. 3.2	Casting injection process	16
Fig. 4.1	Filling sequence of case 1	18
Fig. 4.2	Local filling aspect of case 1	19
Fig. 4.3	Local air pressure of case 1	20
Fig. 4.4	Solidification sequence of case 1	21
Fig. 4.5	Local solidification aspect of case 1	22
Fig. 4.6	Retained melt modulus - case 1	23
Fig. 4.7	Product modeling before and after machining	24
Fig. 4.8	Casting modeling - case 2	25
Fig. 4.9	Filling sequence of case 2	26
Fig. 4.10	Local filling aspect of case 2	27
Fig. 4.11	Local air pressure of case 2	28
Fig. 4.12	Solidification sequence of case 2	29
Fig. 4.13	Local solidification aspect of case 2	30
Fig. 4.14	Retained melt modulus - case 2	31
Fig. 4.15	Thickness types of chill modeling	32
Fig. 4.16	Retained melt modulus of chill	33
Fig. 5.1	Shell-molding casting process	35
Fig. 5.2	Casting turbo charger housing - case 1	36
Fig. 5.3	Shrinkage and gas cavity of turbo charger housing - case 1	37
Fig. 5.4	Densener part and final turbo charger housing	38

Fig. 5.5	Equipment of 3D scan	40
Fig. 5.6	Measuring 3D scan of turbo charger housing	40
Fig. 5.7	Comparison measurements of data	41
Fig. 5.8	Mesuring point result of case 1	42
Fig. 5.9	Mesuring point result of case 2	43
Fig. 5.10	Mesuring data of turbo charger housing	44



제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경 및 동향

현재 온실 가스 과다배출에 따른 지구 온난화 현상이 기상 재난으로 이어질 수 있다는 세계적인 공감대가 형성되어 각 나라들은 온실 가스 배출량에 대한 규제를 점차 강화하고 있다. 이러한 추세에 따라 자동차 산업은 최근 강화되고 있는 자동차 가스 배출 규제에 대응하기 위하여 기존의 가솔린 및 디젤엔진 차량부터 연료 전지차에 이르기까지 다양한 파워트레인 분야에서 온실 가스 배출을 줄이기 위한 노력과 개발을 진행하고 있다. 그리고 세계 각국은 자동차 가스 배출량에 대해 지속적으로 규제를 강화하고 있으며 특히 유럽은 2020년까지 EU 내 CO₂ 배출량을 95g/km으로 감축하고 자동차 연비를 26.5km/1로 규제할 것으로 발표하였으며, 국내에서는 2014년 9월부터 EURO 6라는 강화된 배기가스 배출규제를 적용하기 시작하였다. 또한 미국은 2025년까지 연비 규제를 23.2km/1로 규제할 것을 밝혔다.^[1-5]

이러한 자동차 산업의 국제적인 추세 및 친환경적인 규제에 만족하기 위하여 자동차의 엔진 기술 중 하나인 공기과급 시스템 분야에서 에너지 효율을 높이기 위한 연구가 진행되고 있다. 공기과급 시스템은 자동차에 흡입되는 공기를 압축하여 엔진에 보다 많은 양의 공기를 공급하게 하는 장치 시스템이다. 이는 연료 효율의 높이기 위해 개발되어지고 있으며, 엔진의 다운사이징과 함께 연구가 이루어지고 있다.

엔진 다운사이징은 기존 엔진의 성능을 유지하면서 배기량과 엔진을 작게 만드는 기술을 말하며, 배기량을 낮출수록 회전의 마찰저항이나 펌프 손실 등을 줄일 수 있어 연비가 개선되는 효과를 낸다. 통상적으로 기존 배기량보다 약30%으로 감소하면 연비가 15%, 50%로 감소하면 25%의 연비가 개선되는 것으로 알려져 있다. 하지만 엔진 다운사이징은 출력의 감소로 이어지고 성능이 낮아지는 문제가 발생하기 때문에 이 문제에 해결하기 위한 기술로 차량의 터보차저(Turbo charger) 방식이 개발되어지고 있다.

공기과급 시스템의 터보차저 방식은 공기의 과급을 위한 핵심부품으로, 엔진에서 연료 연소 후 버려지는 배기 에너지를 이용하여 터빈 회전력으로 변화시키고, 공기를 추가적으로 흡입하는 작용을 하여 완전연소를 도와주는 장치이다. 또한 압축기를 통해 혼합가스의 충전 효율을 높여 출력 및 연료비를 향상시키는 역할을 하고, 고온고압의 배기가스를 재활용하여 엔진 투입 공기를 압축시키고 폭발력을 증가시켜 출력이 35-45% 증가하는 효과를 보여준다. 이러한 터보차저는 파워트레인 부분에서 환경오염 물질의 배출 저감 기술의 하나로 개발되고 있다.^[6-10]

구동 방식에 따라 터보차저와 슈퍼차저로 구분된다. 이 중 배기가스를 활용해 출력 손실이 없고 엔진효율이 높은 터보차저가 주로 사용되고 있으며 슈퍼차저의 사용이 줄어들고 있다. 그리고 현재 거의 모든 디젤엔진에 터보차저가 적용되고 있으며 최근 엔진 다운사이징 트렌드에 따라 가솔린 엔진에 점차적으로 적용되는 추세이다.^[11-12]

그리고 글로벌 시장에서는 가솔린 엔진계의 연비 향상을 위해 직분사 및 터보차저를 활용한 엔진 다운사이징 기술이 지속적으로 활발하게 개발되어 2012년 전체 30%비중(가솔린 3%, 디젤 97%)에서 2022년까지 70%까지 확대 전망을 예상하고 있다.^[13]

1.2 연구의 목적

초기 주조금형 설계 방식은 경험에 의존하여 설계하고 금형을 제작한 후 시제품 생산하고 분석하고 문제가 발생하면 수정 및 보완하는 방식으로 진행되어 왔다. 그러나 주조 공정은 재질 및 성형조건을 고려해야하고 여러 인자들 간 상호적인 작용이 복합적으로 일어나면서 제품 품질 및 생산성에 많은 영향을 미치게 된다. 따라서 경험적 방법으로 최적의 공정 및 금형 조건을 도출하기 위해서는 많은 시행착오가 발생하게 되고, 이러한 과정은 많은 시간과 부가적인 비용을 발생하게 한다. 그리하여 앞에서 언급된 문제점을 효율적으로 해결하기 위한 방안으로 CAE(Computer Aided Engineering)기술 발전이 진행되고 있으며, 중요인자 간의 상호 복합적인 작용을 고려하여 더 정확한 실험 분석을 할 수 있게 되었다. 그리고 주조분야는 금형 내에 용탕의 충전 및 응고되는 과정에서 발생하는 유동 및 수축 현상을 유한요소해석 시뮬레이션을 통해 예측하여 금형 설계 단계에서 활발히 이용되어지고 있다.

자동차 분야의 터보 차저 하우징(Turbo charger housing) 제품은 높은 온도의 배기가스로 인한 내열적 재질 특성을 확보해야 할 뿐만 아니라 내부는 복잡한 중공 형상의 특징을 가지고 있다. 이러한 제품을 제작하기 위해서는 여러 개의 코어를 사용하게 되고 이는 제품 내부의 복잡한 형상으로 제작되기 때문에 주조 시 용탕의 흐름이 저해하여 미성형 및 수축 불량 등을 발생시킨다. 따라서 일반적인 주조 방법으로는 제작이 까다롭기 때문에 정밀주조방법 중에 하나인 쉘 주조법을 이용하여 제작하게 된다.

셸 주조법은 적은 비용으로 좋은 표면정도와 공차를 가진 다양한 제품을 생산할 수 있는 장점이 있다. 제작과정은 판에 고정된 금속금형을 가열하여 실리콘 같은 이형제로 코팅한다. 이 금형에 열경화성수지 결합제를 섞은 미세 주물사 상자에 덮은 후, 금형 위로 주물사 혼합물이 균일층을 이루도록 하여 완전히 경화시키고 경화된 셸 사형에서 모형을 꺼낸 뒤, 셸 사형을 서로 접합하거나 체결하여 조립한다. 셸 주형의 특징으로는 주형의 벽은 비교적 매끈하고, 용탕의 유동저항이 작으며 예리한 모서리 및 얇은 면을 갖는 주물을 만들 수 있다. 셸 주조방식은 하우징, 엔진 실린더헤드, 커넥로드 같은 고정밀도 소형기계부품을 생산에 이용되고 있으며, 높은 정밀도가 요구되는 중자를 생산하는 데도 이용된다.

본 연구에서는 가솔린 자동차에 사용되는 터보 차저 하우징을 대상으로 하였으며 제품 주형의 설계는 2 캐비티(Cavity)의 금형 설계를 반영하였다. 대상 제품의 셸 주조법으로 제작 시 예상되는 수축 및 기포결함의 원인을 알기 위해 주조성형해석 프로그램(AnyCasting™)을 이용하여 충전 및 응고양상 분석을 통해 불량 원인을 예측하였고, 여러 개의 중자를 적용된 금형구조에서의 용탕 흐름을 원활히 할 수 있는 주조 개선방안 도출을 통해 터보 차저 하우징 제품의 결함을 최소화하고자 한다. 또한 주조품을 제작하여 형상 결함여부를 판단하고 치수측정 비교를 통한 평가를 진행하였다.

제 2 장 이론적 배경

2.1 쉘 주조법의 개요

일반적인 주조는 금속 재료를 가열하여 용해한 액체를 주형에 부어 제작하는 방법을 말하며 자동차의 엔진, 펌프의 몸체 및 각종 기계의 부품에서부터 비행기와 선체에 이르기까지 다양한 제품을 제작하는 방식이다. 주형은 재료에 따라 사형(Sand mold)과 금속주형으로 나누어지며 이 외에 특수주형이 있다. 그 중에서 특수주조법은 주형 내의 용탕에 압력을 가하거나 정밀주형에서의 정도가 높은 제품을 얻는 주조법을 말하며 주형의 제작 방법에 따라 쉘 주조법, 인베스트먼트 주조법, CO₂법 등이 있다.

특수주조법의 하나인 쉘 주조법은 금속금형을 250-350℃로 가열하여 그 위에 박리제(규소수지)를 바른 후 SiO₂와 열경화성 합성수지를 배합한 주형재를 금형에 입혀 주형을 제작하는 방법을 말한다. 이 주조법의 발명자는 독일인 J. Croning이며 코닝법 또는 C-Process라고도 한다.

쉘 주형의 제작은 Fig 2.1 와 같은 순서로 만들어진다. Fig 2.1 (a)는 가열 및 접합제를 표면에 바른 금속금형을 주형재가 담긴 덤프박스에 덮고 Fig 2.1 (b)처럼 박스를 반전하여 금형표면에 주형재가 접합하게 한다. 그리고 Fig 2.1 (c)는 다시 덤프박스를 반전시키고, 금형표면과 반응하지 않은 주형재는 분리되어지며 Fig 2.1 (d)와 같은 쉘 주형이 제작되어 진다. 이렇게 성형되어진 쉘 주형을 코닝법을 통해 250-350℃까지 1분정도 가열로에 가열시키고 코닝과정 후 Fig 2.1 (e)와 같이 쉘 주형을 모형에서 분리시킨 뒤 조립하여 주형을 완성시킨다. Fig 2.1 (f)는 최종적으로 제작되어진 터보 차저 하우징의 쉘 주형을 보여주고 있다.

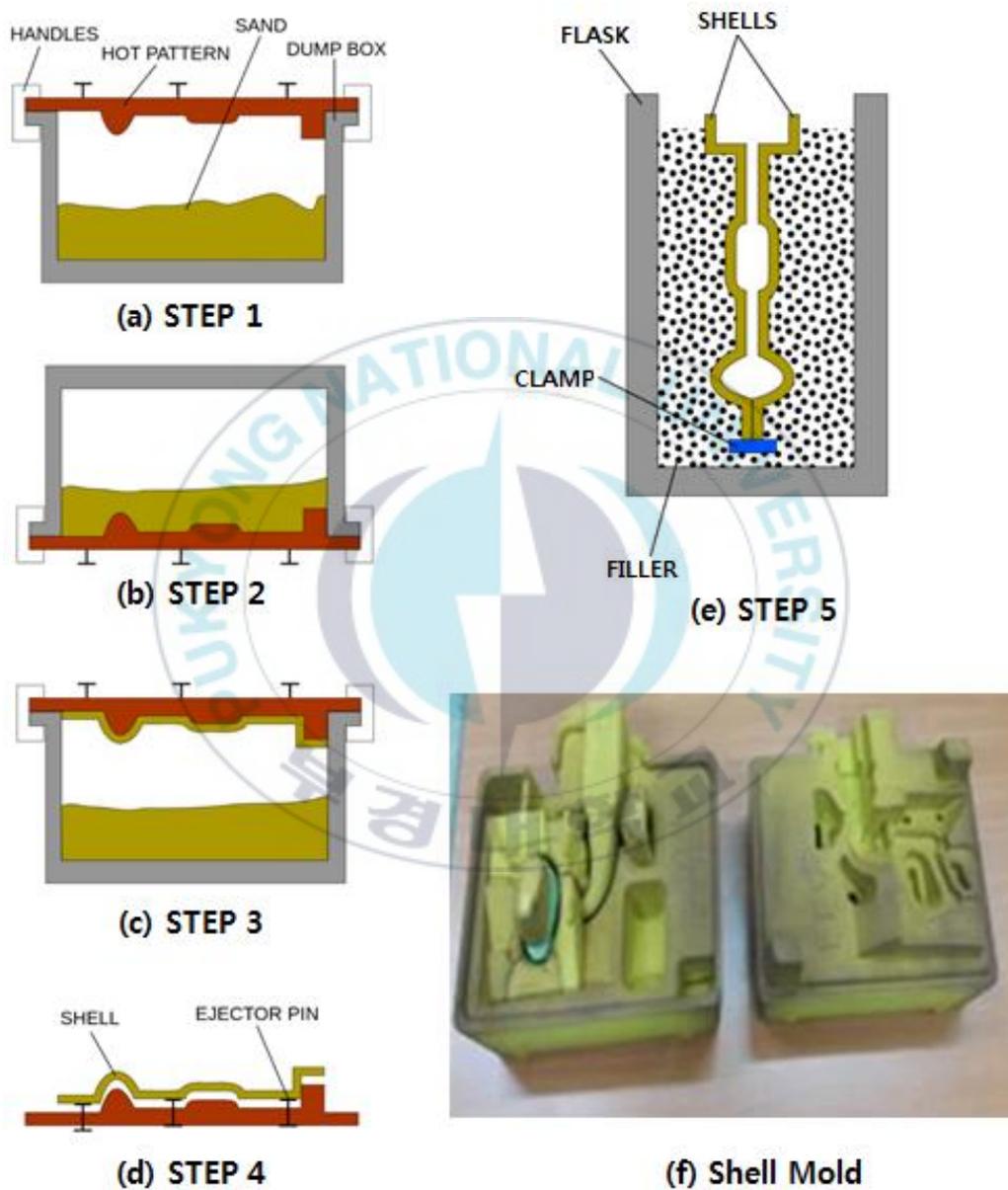


Fig. 2.1 Shell-molding process of production and shell mold sample

주형의 재료는 주로 규사가 사용되며 0.05-0.26mm 크기의 입자가 주로 사용되어진다. 주형의 점결제는 사용되는 열경화성 수지는 페놀수지가 사용되며 수분 및 미반응의 페놀 등을 제거한 것이다.

셀 주조법의 특징으로는 숙련되지 않은 작업자도 제작이 가능하며 주조품을 대량생산을 할 수 있다. 그리고 주조품의 정밀도가 높으며 철과 비철 등 모든 금속의 주조에 이용될 수 있다. 하지만 금속금형이 필요하기 때문에 소량 주조에는 비경제적이며 수지가 고가이므로 제작비가 높은 편이다.^[14]



2.2 유한요소해석

플라스틱 사출 및 정밀주조의 제품 등의 설계 및 생산을 계획하면서 시행착오를 줄이고 제품의 문제점을 최소화하기 위한 많은 노력을 하고 있으며, CAE유한요소해석법은 제품 및 금형 설계단계에서 생산성과 성형성을 높이는 방안으로 활용되고 발전해가고 있다. 그 중 주조성형해석 프로그램은 MAGMA, AnyCasting, Z-Cast, Flow-3D, Procast 등이 있으며 현재 국내 주조 및 생산 기업, 연구소, 대학 등에서 사용하고 있다. 주조성형해석 프로그램은 일반적으로 생산하고자 하는 주조품과 주조금형의 설계안에 대하여 용탕의 유동, 응고, 변형, 응력 등을 확인하고 이를 통한 제품의 문제점을 미리 인지하여 주조방안 최적화 설계 및 품질 개선 등에 활용되고 있다. 이러한 유한요소해석의 활용으로 개발 단계에서 미리 결함을 예측하여 불량발생을 방지 할 수 있게 되었으며, 성형해석 결과에 대한 고객의 사전요구가 점차 늘어나고 있다.^[15-17]

주조 용탕의 거동은 자유면을 갖는 비압축성 유체로서 주형 내에 충전할 때까지 주형의 온도, 공기, 용탕 속에 혼입된 물질 등에 영향을 받는다. 이러한 원인에 의해 나타나는 결함을 주조성형해석 프로그램을 통해 미리 예측함으로써 결함을 최소화할 수 있는 제품을 만들 수 있다. 특히 정밀 주조, 금형 주조와 같이 형상이 복잡하고 두께가 일정하지 않는 경우에 성형해석 프로그램이 필수적으로 사용된다.^[18]

용탕의 주입 후 주형 형상을 통해 들어가는 캐비티 내의 용탕의 유동을 유한요소해석으로 진행하기 위해서는 용탕내부의 속도뿐만 아니라, 용탕과 대기가 접하는 자유표면 영역에서의 속도 역시 계산해야 한다. 그러나 주형 내로 충전되는 과정에서 변하는 용탕의 자유표면을 추적하여 자유표면의 위치와 형상을 인식하는 문제와 바로 그 표면에서의 속도 및 열전달을 계산하는 과정은 지극히 어려운 문제이다^[19].

충전 및 응고해석에서는 자유표면을 지닌 3차원 비압축성 유동을 해석하고자 하였으며, 금형 충전 과정에서의 비압축성 유동에 대한 지배 방정식은 자유표면의 위치와 형상을 추적하기 위하여 모든 비선형을 포함시킨 Navier-Stokes 방정식과 연속 방정식, 에너지 보존 방정식 그리고 열전달 방정식 등이 사용된다.

연속방정식은 유체가 시간에 따른 유입량과 유출되는 양이 같다는 조건인 질량보존 방정식을 비압축성 유체에 적용할 경우 유도되는 방정식이며 관계식은 (2.1)과 같다.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2.1)$$

Navier-Stokes 방정식 (2.2), (2.3), (2.4)은 점성 유체에 대한 운동방정식이며 점성이 없는 유체부터 경계층의 난류에 대한 형상에 응용되어진다.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial uu}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} + \frac{\partial uw}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \nabla^2 u + g_x \quad (2.2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial uv}{\partial x} + \frac{\partial vv}{\partial y} + \frac{\partial vw}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \nabla^2 v + g_y \quad (2.3)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial uw}{\partial x} + \frac{\partial vw}{\partial y} + \frac{\partial ww}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \nabla^2 w + g_z \quad (2.4)$$

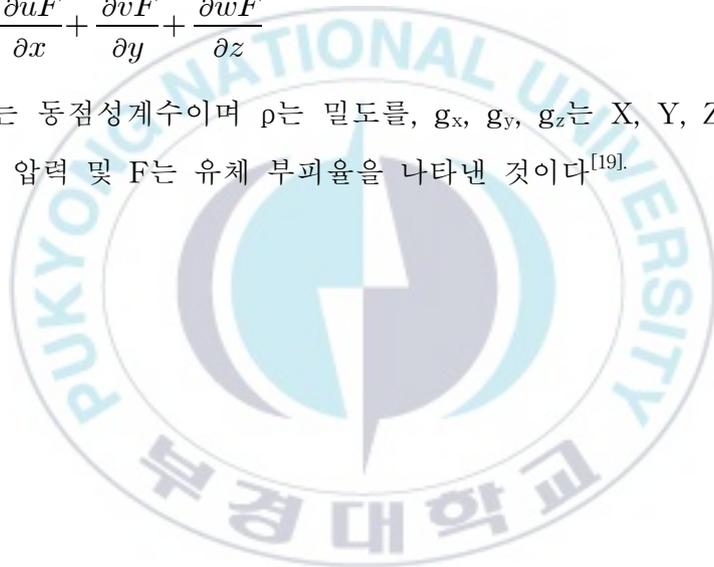
에너지 방정식 (2.5)은 유체의 에너지가 보존된다는 말이며 위치에너지, 운동에너지 및 압력 에너지 등 역학적 에너지의 합은 일정하게 유지됨을 나타낸다.

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K \frac{\partial T}{\partial t} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad (2.5)$$

V.O.F(Volume of Fluid) 방정식은 식(2.6)과 같으며

$$\frac{\partial F}{\partial t} = \frac{\partial uF}{\partial x} + \frac{\partial vF}{\partial y} + \frac{\partial wF}{\partial z} \quad (2.6)$$

여기서 v 는 동점성계수이며 ρ 는 밀도를, g_x, g_y, g_z 는 X, Y, Z 방향의 중력 가속도, P는 압력 및 F는 유체 부피율을 나타낸 것이다^[19].



제 3 장 유한요소해석 방법

3.1 모델링 구성

터보 차저 하우징 주조금형 설계안에 대해 주조성형해석 프로그램인 애니캐스팅(AnyCasting™ Ver.6.3)을 통하여 주조 공정 중 제품의 용탕의 충전 및 응고양상, 기포, 수축공 위치 등을 예측하고자 하였다. 전체적인 주조금형 설계는 용탕이 주입되는 게이트와 런너(Runner), 제품을 형성하는 캐비티 및 용탕 내의 가스와 산화물을 배출하고 부족한 용탕을 채워주는 압탕(Riser)으로 구성된다.

다양한 코어가 사용되고 형상이 복잡한 터보 차저 하우징 주조방안은 용탕의 충전거동 및 원활한 유동을 고려하여 용탕 와류 등에 의한 가스 결함을 제어하고 수축공 결함 등을 제어할 수 있어야 한다. 또한 일반적으로 응고 시에 수축을 동반하게 되는데 적절한 게이트 방안에서 완전히 주형 내에 용탕으로 가득 채워도 응고 후 수축 발생 가능성이 높다. 이러한 수축을 방지하기 위해서 응고 수축시 부족한 용탕을 보충하는 수단인 압탕이 필요하다.

그리고 응고 시 응고수축에 의한 수축불량 및 국부적인 온도 차이에 대한 제어 용도로 냉금(Chill)을 사용한다. 직접적으로 주형 또는 코어에 부착하는 방식으로 사용되며, 냉금 효과로는 열확산도를 높여 빠른 열방출 속도를 가져 오게 한다. 이는 단부효과(End effect)를 증가시키거나 또한 인위적인 단부효과를 일으키게 한다. 일반적으로 주조품의 최종응고부에 적용되고 국부적인 급냉 효과를 일으켜 전체적인 냉각속도를 일정하게 제어함으로써 수축으로 인한 결함을 최소화시켜준다.

터보 차저 하우징의 1차 주조설계는 Fig. 3.1 와 같이 하나의 주형에 2 캐비티의 제품을 제작할 수 있는 형태로 런너, 코어 및 압탕을 배치하였다. 설계되어진 모델링을 바탕으로 주조해석을 진행하였으며 충전양상 및 응고양상을 확인하고 기공 및 수축공 발생을 검토하여 주조방안을 개선하고자 하였다.

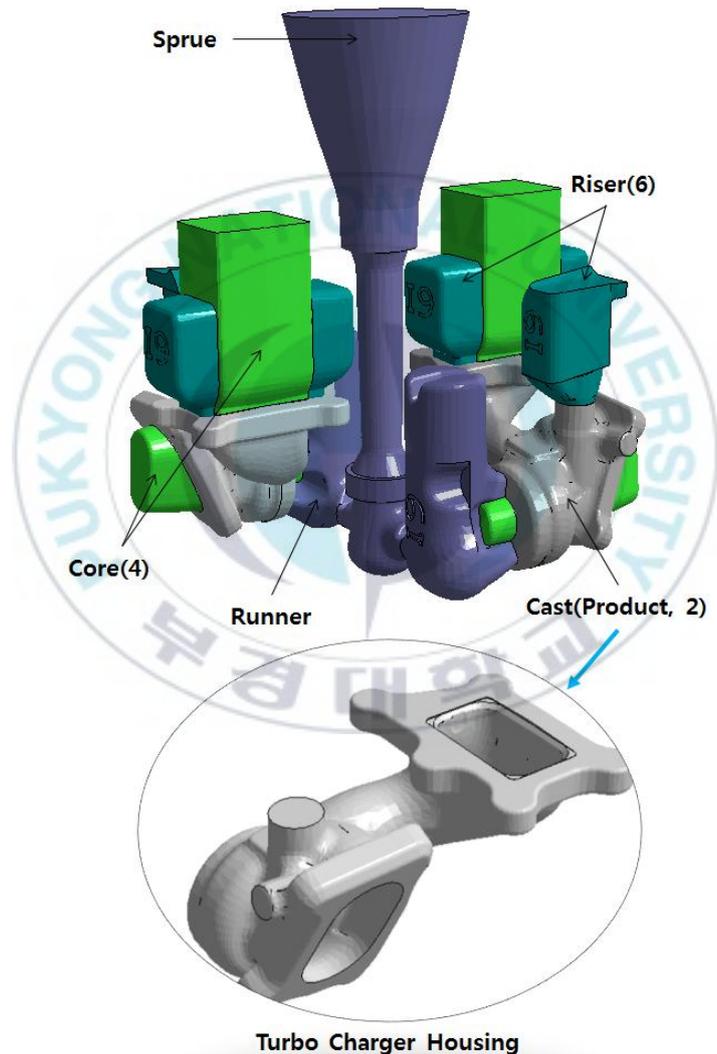


Fig. 3.1 Casting modeling - case 1

1차 주조설계를 진행함에 있어 고려된 사항중에 하나는 중력주조 시 용탕이 차오르면서 주조품의 최상부에 예상되는 산화물, 가스가 발생되어 고립되는 현상과 이러한 현상으로 나타나는 기공 결함이다. 이를 제어하기 하기 위하여 일반적으로 주조품의 최상부에 압탕을 설계한다. 여기서 압탕의 기능은 용탕 주입과정에서 발생하는 산화물과 가스를 배출하는 효과를 가지고, 또한 응고 과정에서 수축이 일어날 때 용탕을 보충해주는 역할을 한다. 이는 다이캐스팅 주조법의 오버플로우 및 에어벤트의 기능과 유사하다. 1차 주조모델링은 Fig. 3.1 와 같이 주조품의 최상부에 설치하였으며 코어와 겹치지 않고 많은 범위에 적용되도록 설계되었다.

이를 바탕으로 1차적으로 진행한 충전 및 응고 해석 결과를 분석하고 1차 주조품을 제작하였다. 그리고 기공 및 수축공 결함 위치를 개선하기 위해 2차 주조설계로 제품 위치를 변경하였으며, 수축결함을 제어하기 위하여 냉금 두께 조건을 설정하여 결함 가능성을 최소화하고자 했다.

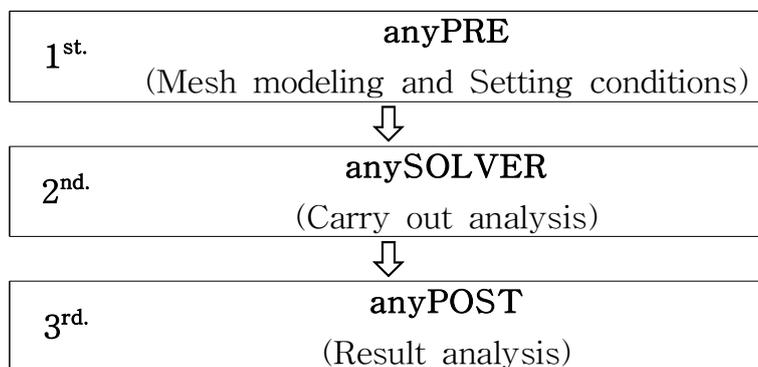
1차 주조설계 모델링의 메쉬는 약 670만개로 나누었고 주조 후 주조물의 전체 부피는 $2,377,578\text{mm}^2$ 이며 제품은 $683,000\text{mm}^2$ 으로 나타났으며, 제작 후 재료의 회수율은 약 71.3%로 예상되었다.

3.2 주조해석조건

프로그램 애니캐스팅은 다양한 주조 공정의 충전 및 응고 경향을 확인하고 이 정보를 바탕으로 생산 공정 디자인 개발에서의 문제점을 찾고자 활용하는 유한요소해석 시뮬레이션 프로그램이다. 이를 통해 비용 절감, 생산성 향상을 도모하고자 이용되고 있으며 본 연구에서 터보 차저 하우징 주조 개선을 위한 해석을 진행하였다.

애니캐스팅의 시스템 구성은 Table 3.1 과 같이 크게 3단계로 나누어진다. 첫 번째로 anyPRE 단계는 모델링 데이터를 입력하여 격자를 생성하고 해석 진행을 위한 조건을 설정하는 기능이 있다. 또한 작업 공정 및 재질, 경계조건, 주입 조건 등의 설정이 가능하다. 전처리 및 조건설정이 이루어진 후 anySOLVER 단계로 불러들여 주조 공정의 열, 응고 및 유동해석을 진행한다. 마지막으로 anyPOST 단계는 해석에 대한 결과를 그래픽으로 분석이 가능하게 보여주는 기능을 제공한다. 이 기능에서는 충전 및 응고시간, 온도, 압력, 속도 등의 결과 그래프를 확인할 수 있다. 각 인자에 대한 파라메타를 이용하면 다양한 결함에 대해 예측할 수 있다.

Table 3.1 Flow chart of AnyCasting™ analysis



이러한 해석 프로그램을 활용한 주조성형해석 조건 설정은 실제 제품에 적용되는 주강합금(X4CrNi2521) 물성치를 사용하였으며 물성정보는 Table 3.2에 나타내었다.

Table 3.2 Casting analysis conditions

Property	Unit	Value		
		X4CrNi2521 (Cast/Runner/Riser)	Green sand (Mold)	Shell sand (Core)
Density	ρ (g/cm ³)	Variable	Variable	Variable
Specific Heat	c_p (cal/g/°C)	Variable	Variable	Variable
Therm. Conductivity	k(cal/s/cm/°C)	Variable	Variable	Variable
Liquidus Temp.	T_L (°C)	1,380	-	-
Solidus Temp.	T_S (°C)	1,120	-	-
Latent Heat	L (cal/g)	49.5749	-	-
Dynamic Viscosity	μ (g/cm·s)	0.03053	-	-
Critical Solid Fraction	f_s^{cr} .	0.7	-	-
Air Temperature	T_{air} (°C)	25		
Heat Transfer Coefficient				
	X4CrNi2521 (Cast/Runner/Riser)	Green sand (Mold)	Shell sand (Core)	Air
X4CrNi2521 (Cast/Runner/Riser)	-	0.1	0.1	0.001
Green sand (Mold)	0.1	-	0.6	0.001
Shell sand (Core)	0.1	0.6	-	0.001
Air	0.001	0.001	0.001	-

또한 Table 3.3 은 제품 주형에 용탕 주입 시의 온도와 주입속도, 주입구 직경 및 주입시간을 나타낸다. 그리고 Fig. 3.2 는 주형에 주입 방향을 보여주며 본 연구에서 사용된 셀 구조법은 일반적인 중력주조방식으로 제작한다.

Table 3.3 Pouring conditions

Melt	X40CrNi2521
Mold	Green Sand
During Temp. [°C]	1,620
During Velocity [cm/s]	77
Pouring patch [mm]	36
Filling time	3.55s

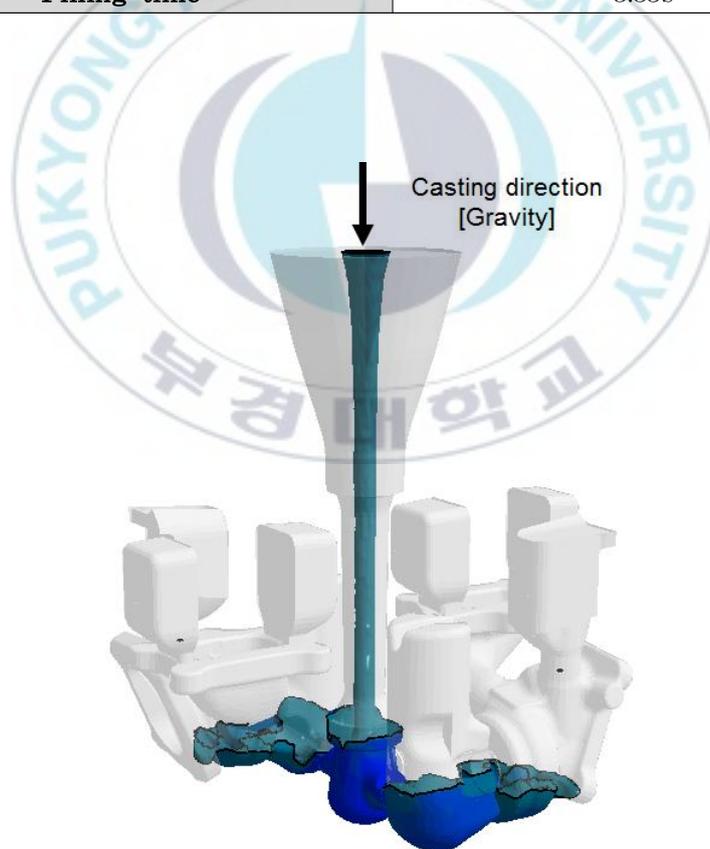


Fig. 3.2 Casting injection process

제 4 장 결과 및 고찰

4.1 1차 해석결과 및 고찰

터보 차저 하우징의 1차 구조설계는 하나의 주형에 2 캐비티의 제품을 제작할 수 있는 형태로, 제품의 플랜지부가 윗면(Z축방향)으로 향하고 산화물과 수축이 잘 일어나는 끝단부에 압탕과 오버플로우를 배치하였다. 설계되어진 모델링을 바탕으로 구조해석을 진행하였으며 충전양상 및 응고양상을 확인하고 기공 및 수축공 발생을 검토하여 구조방안을 개선하고자 한다.

4.1.1 충전 양상 결과

구조 시뮬레이션 결과 전체 충전 양상은 Fig. 4.1 (a), (b), (c), (d), (e)에 15%, 35%, 55%, 75%, 100%에서 용탕의 충전상태에 따라 나타내었다. 전체적으로 양호한 충전 상태를 보여주고 있으며 상부인 오버플로우와 압탕에서부터 냉각이 진행됨을 확인할 수 있다.

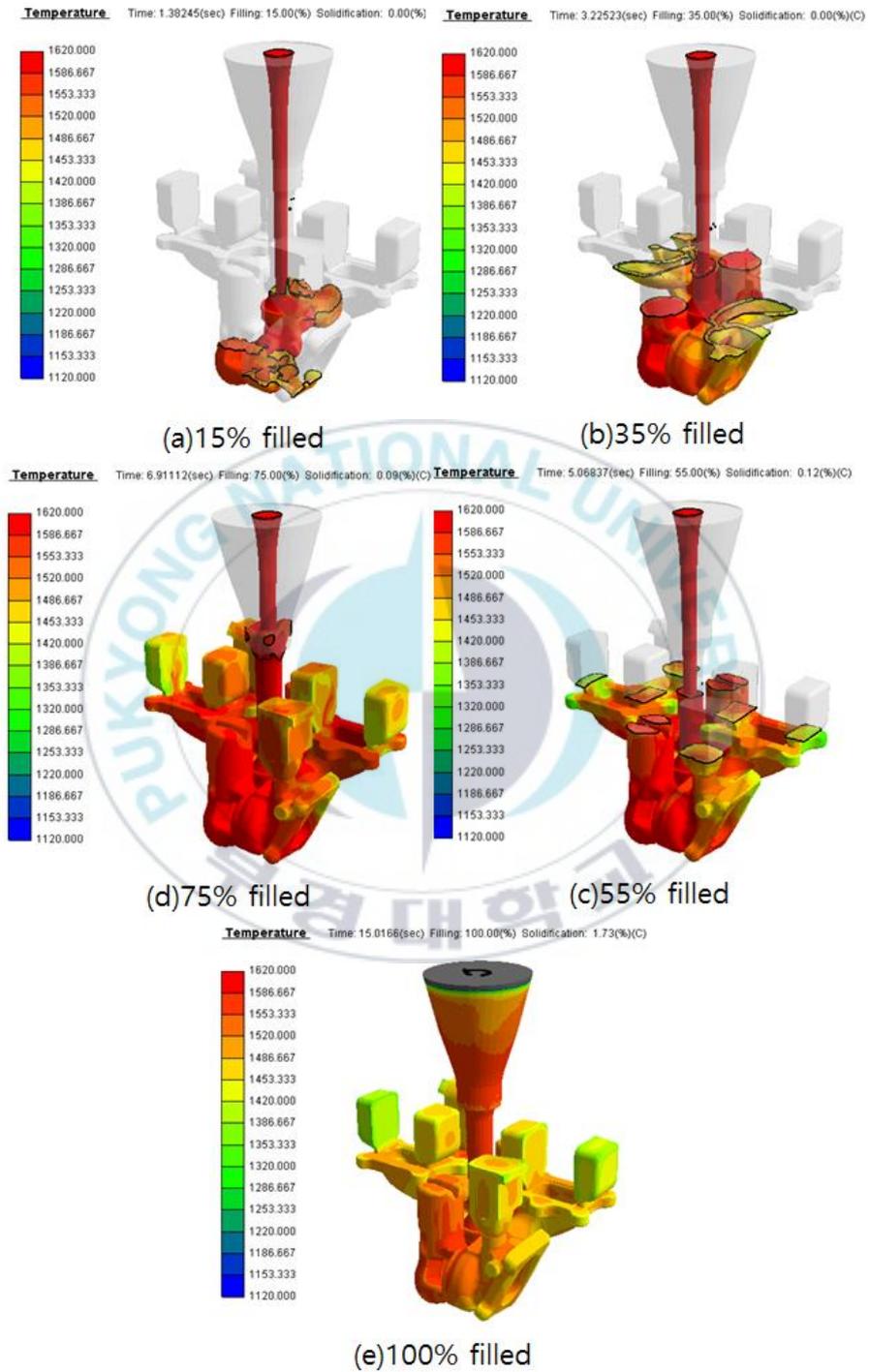


Fig. 4.1 Filling sequence of case 1

하지만 제품의 국부충전양상을 확인하였을 때 Fig 4.2 (a)에 표시한 부분과 같이 충전과정에서 발생한 산화물의 고립예상구간을 확인할 수 있으며 Fig. 4.2 (b)의 Air Entrapment 결과에서는 가스가 발생하여 고립되어지는 부분을 예상할 수 있다. 이러한 결과는 압탕이 설계된 위치를 제외한 범위에서 나타났으며 압탕의 효과를 보지 못한 구간으로 판단된다.

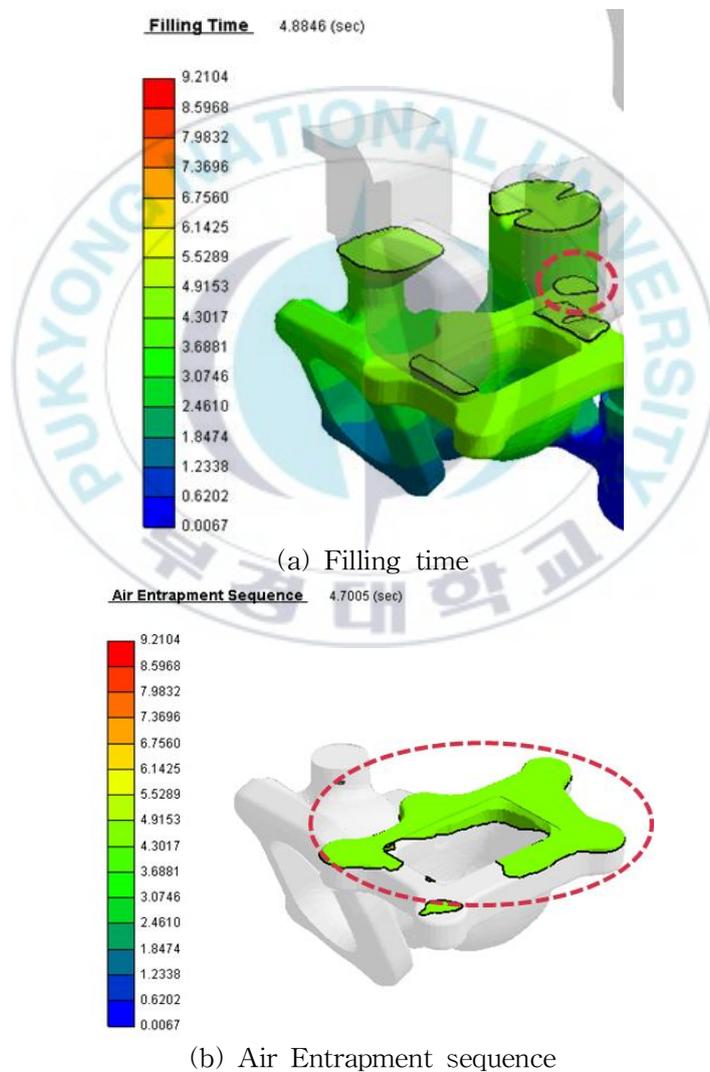


Fig. 4.2 Local filling aspect of case 1

또한 Fig 4.3 의 Air Pressure 결과에서는 Fig. (b) Air Entrapment 결과에서 확인한 가스 고립이 예상되어지는 부위와 유사하게 높은 Air Pressure를 확인할 수 있으며, 이는 제품상에서 기공 발생이 예상되어 진다.

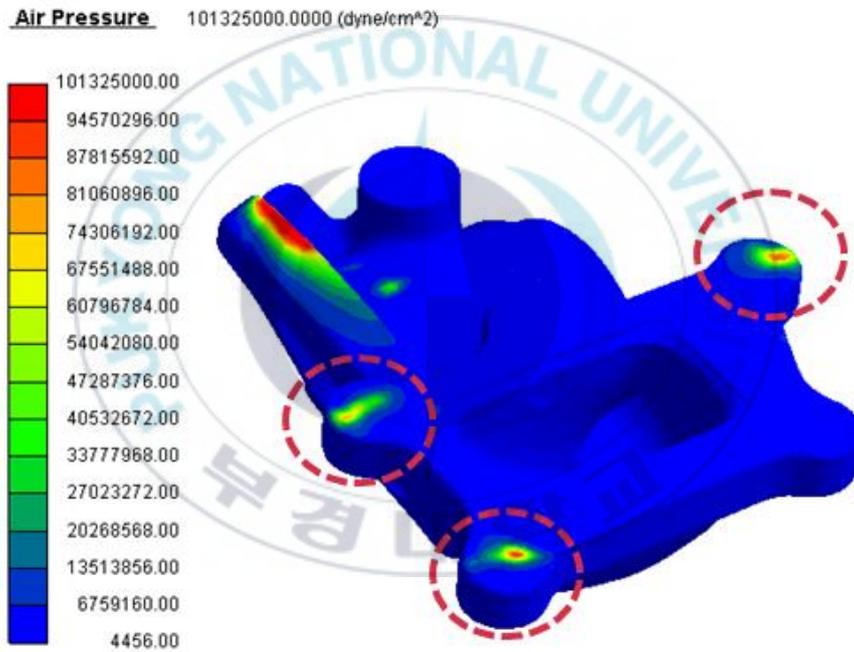


Fig. 4.3 Local air pressure of case 1

4.1.2 응고 양상 결과

전체 응고 양상은 Fig. 4.4 (a), (b), (c), (d), (e)와 같이 35%, 45%, 65%, 75%, 95%에서 응고 시간에 따라 나타내었다. 부피가 적은 외각 부위부터 응고가 시작되어 부피가 큰 런너부 근처에 응고가 느린 상태를 보여주고 있다.

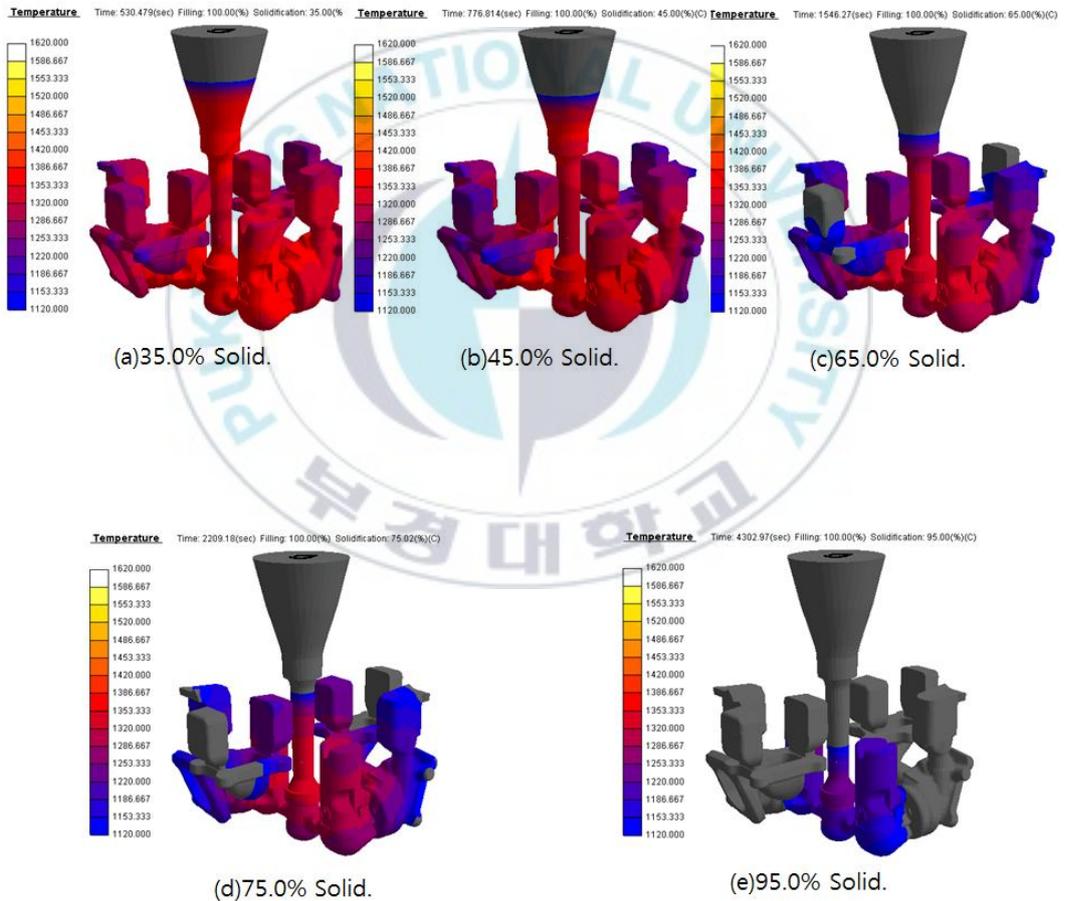


Fig. 4.4 Solidification sequence of case 1

제품의 국부적인 응고 양상의 경우 Fig. 4.5 (a)에서 표시된 부분의 과열 현상이 일어나 수축공 발생이 예상되어지고, Fig. 4.5 (b)는 최종 응고 부위를 나타내며 해당부분은 추가적인 용탕의 보급이 일어나지 않아 수축공 발생 가능성이 예상되어진다.

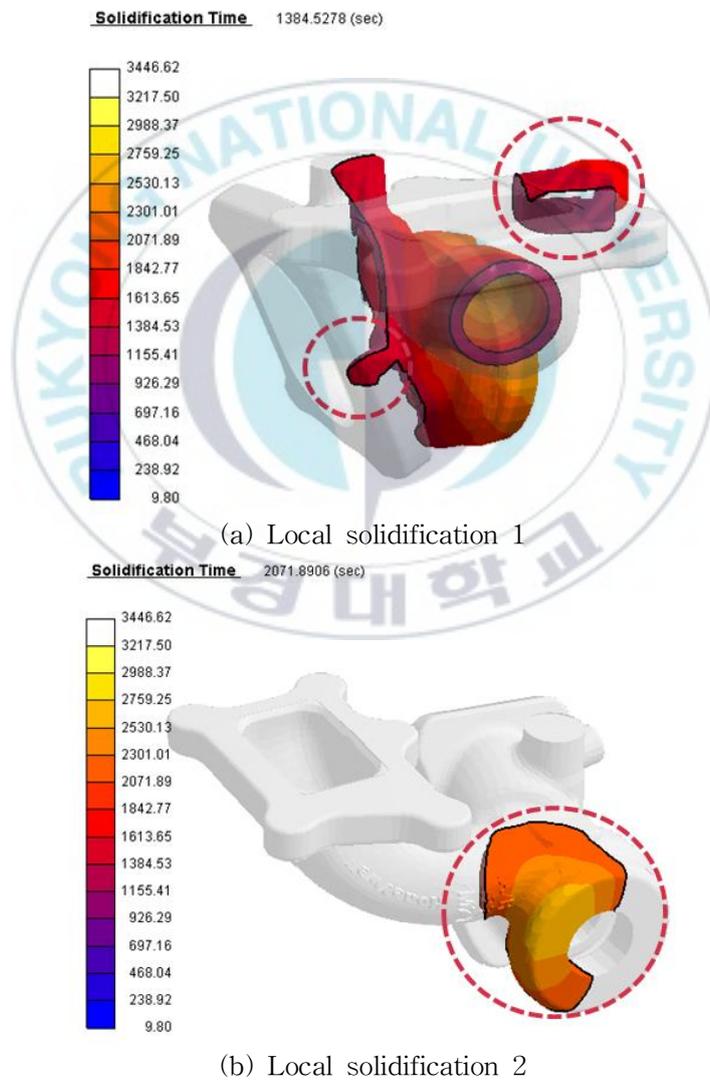


Fig. 4.5 Local solidification aspect of case 1

최종적으로 Fig. 4.6 와 같이 수축공 발생 예상 부위를 확인한 결과 Fig. 4.6 (a), (b)에서의 국부적인 응고 양상 결과와 유사한 위치에 나타나며 해당 부위는 수축공으로 인한 불량이 예상되어 진다.

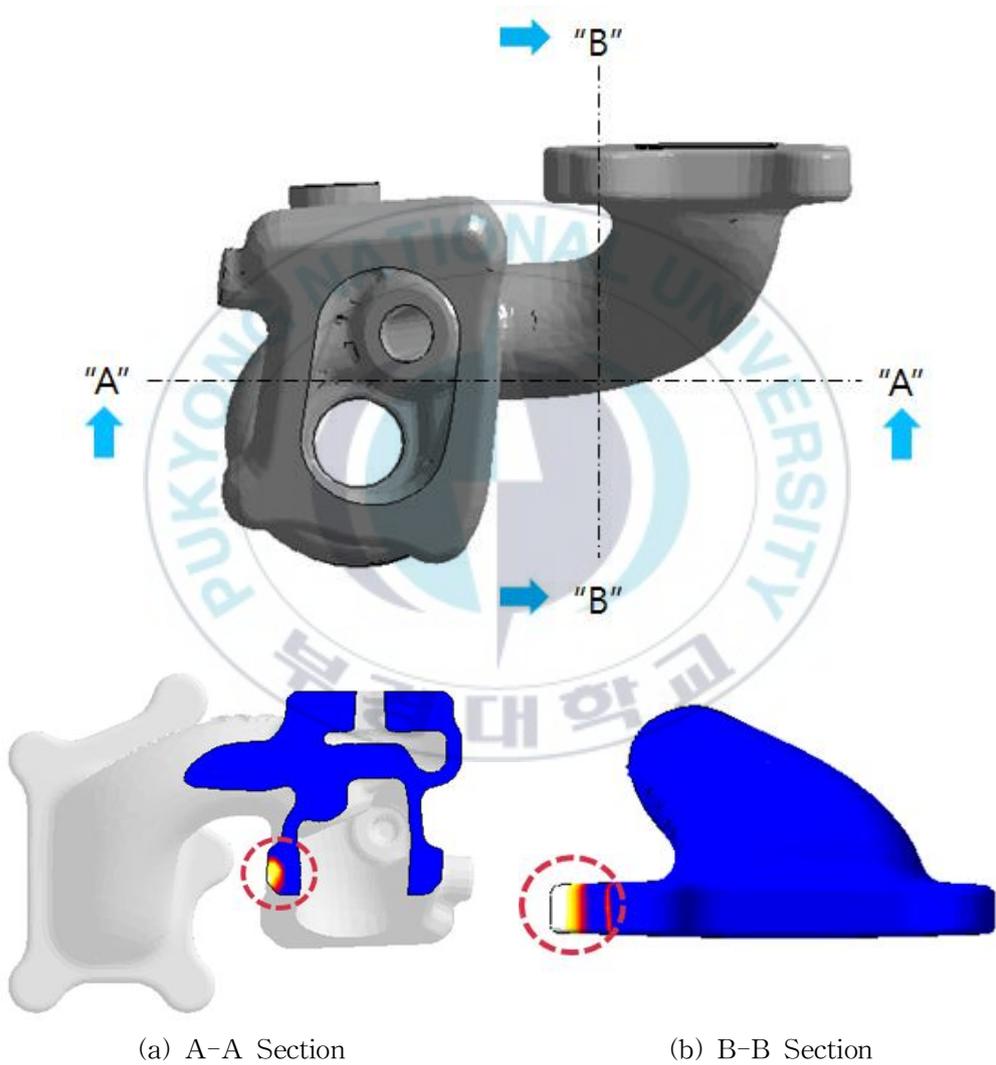


Fig. 4.6 Retained melt modulus - case 1

터보 차저 하우징의 1차 구조설계방안에 대한 시뮬레이션 결과에서 전체적으로 충전 및 응고 양상은 양호하였다. 그리고 충전해석결과에서 기공 범위가 적고 구조품의 최상부 표면부로 예상되어 결함 발생이 낮다고 판단되어졌다. 하지만 1차 구조품을 제작하여 결함 여부를 판단한 결과, 기공 발생위치는 1차 해석 결과 위치와 유사하나 구조품 표면이 아닌 내부에서 확인할 수 있었다.

1차 구조품에서 나타난 기공 발생 부위는 터보 차저 하우징의 플랜지부에 해당된다. 이는 Fig. 4.7 에서 볼 수 있듯이 제품 제작 후 가공작업이 진행되고 체결이 되는 부분이기 때문에 기공 및 수축공 불량 발생되지 않도록 고려해야 할 위치이다.

이러한 1차 해석결과 및 제작된 구조품의 결함 발생에 따라 제품의 플랜지부에 기공 및 수축공 불량이 예상되기 때문에 불량 위치를 이동시키거나 최소화하기 위한 방안으로 제품의 위치를 수정 설계하여 개선하고자 하였다.

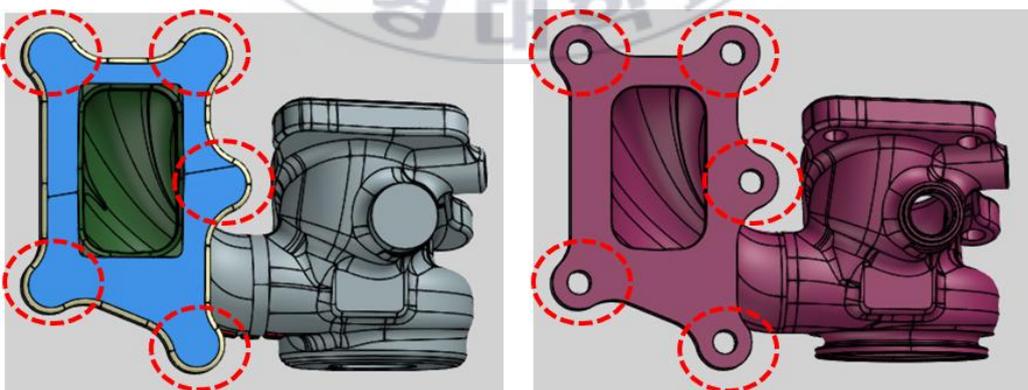


Fig. 4.7 Product modeling before and after machining

4.2 2차 해석결과 및 고찰

1차 해석결과와 실제 주조품에서 확인한 기공 및 수축 결함위치를 개선하기 위하여 Fig. 4.8 와 같이 제품 방향을 90° 회전시킨 2차 주조설계를 진행하였으며, 회전에 따른 플랜지부는 옆면(X축방향)으로 변경하였다. 이는 1차에서 발생한 기공 발생 위치를 주조품의 기능에 영향을 미치지 않는 끝단부로 이동시키기 위한 설계이며, 이러한 설계 변경으로 기공 결함을 이동시키고 최소화하고자 했다. 2차 주조설계의 압탕은 주조품의 최상부에 배치하고 주조해석조건은 1차 해석과 동일한 조건으로 진행되었다.

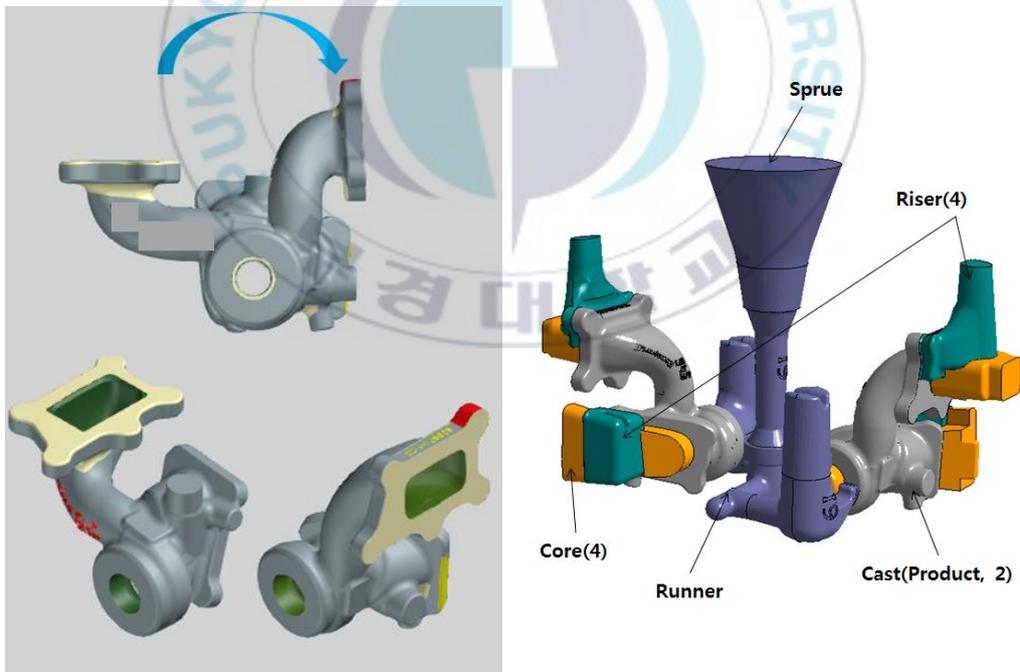


Fig. 4.8 Casting modeling - case 2

4.2.1 충전 양상 결과

2차 주조 시뮬레이션 결과 전체 충전 양상은 Fig. 4.9 (a), (b), (c), (d), (e)의 15% 부터 100% 상태까지 차례대로 용탕의 충전과정을 나타내었다. 전체적으로 양호한 충전 진행 상태를 보여준다.

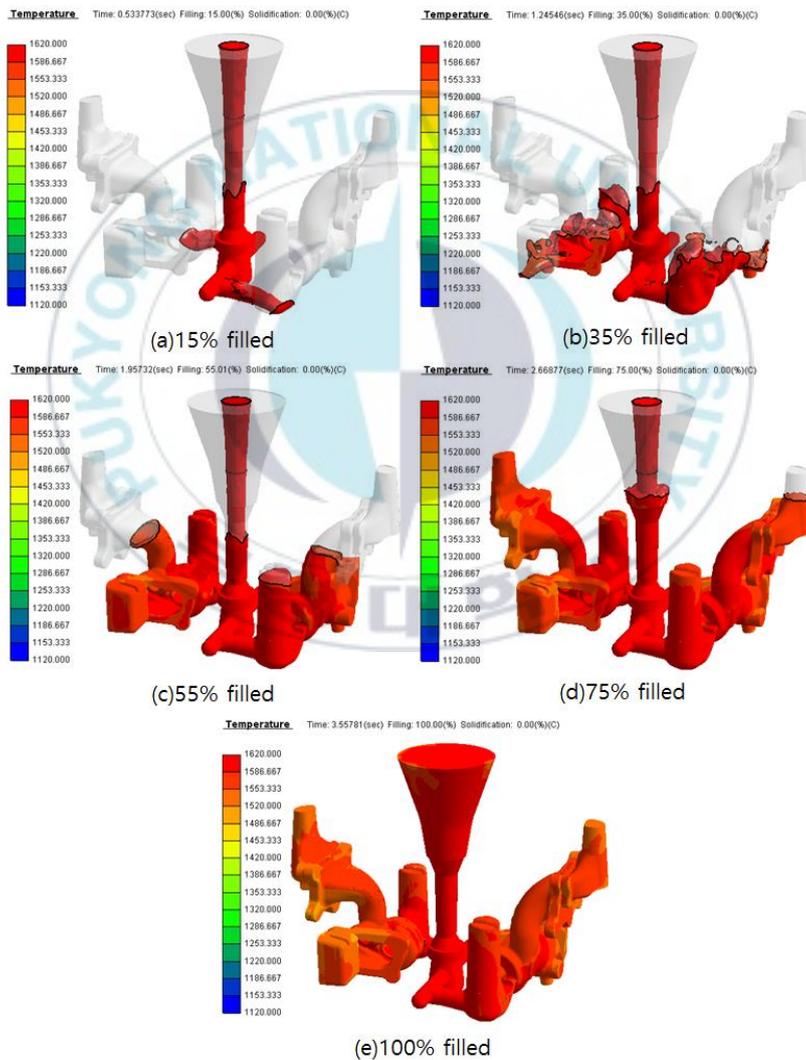


Fig. 4.9 Filling sequence of case 2

제품의 국부충전양상은 Fig. 4.10 (a)에 표시한 부분에서 산화물이 고립예상 구간을 확인할 수 있으며 Fig. 4.10 (b)의 Air Entrapment 결과에서는 가스가 발생하여 고립되어지는 부분을 예상할 수 있다.

이러한 산화물과 가스 고립이 예상되어지는 부분과 유사한 위치에 높은 Air Pressure를 Fig. 4.11 와 같이 확인할 수 있다. 그리고 1차 해석결과인 Fig. 4.3.과 비교하였을 때 기공 및 크랙 발생 예상위치는 플랜지부의 가공 면에서 끝단부로 이동하였고 개선하고자 했던 가공위치에서 벗어남을 확인할 수 있었다. 그리고 1차 해석결과보다 불량 예상 범위가 줄어들었음을 확인할 수 있다.

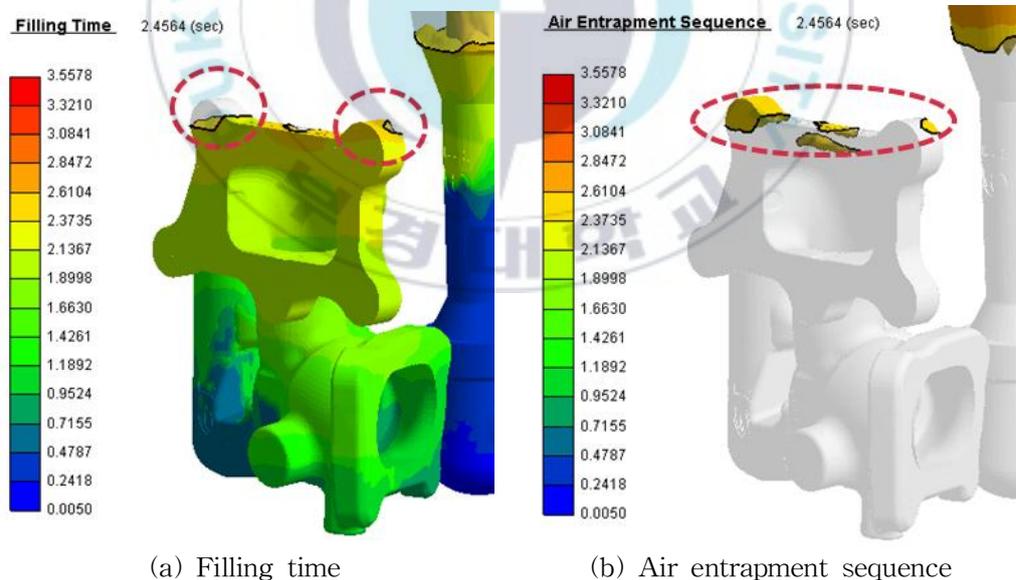


Fig. 4.10 Local filling aspect of case 2

Air Pressure 101325000.0000 (dyne/cm²)

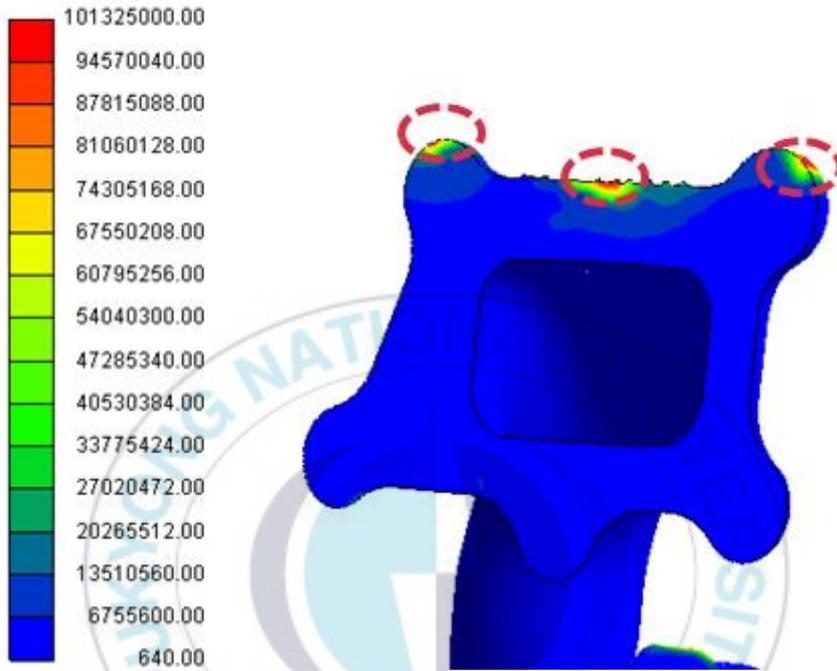


Fig. 4.11 Local air pressure of case 2

4.2.2 응고 양상 결과

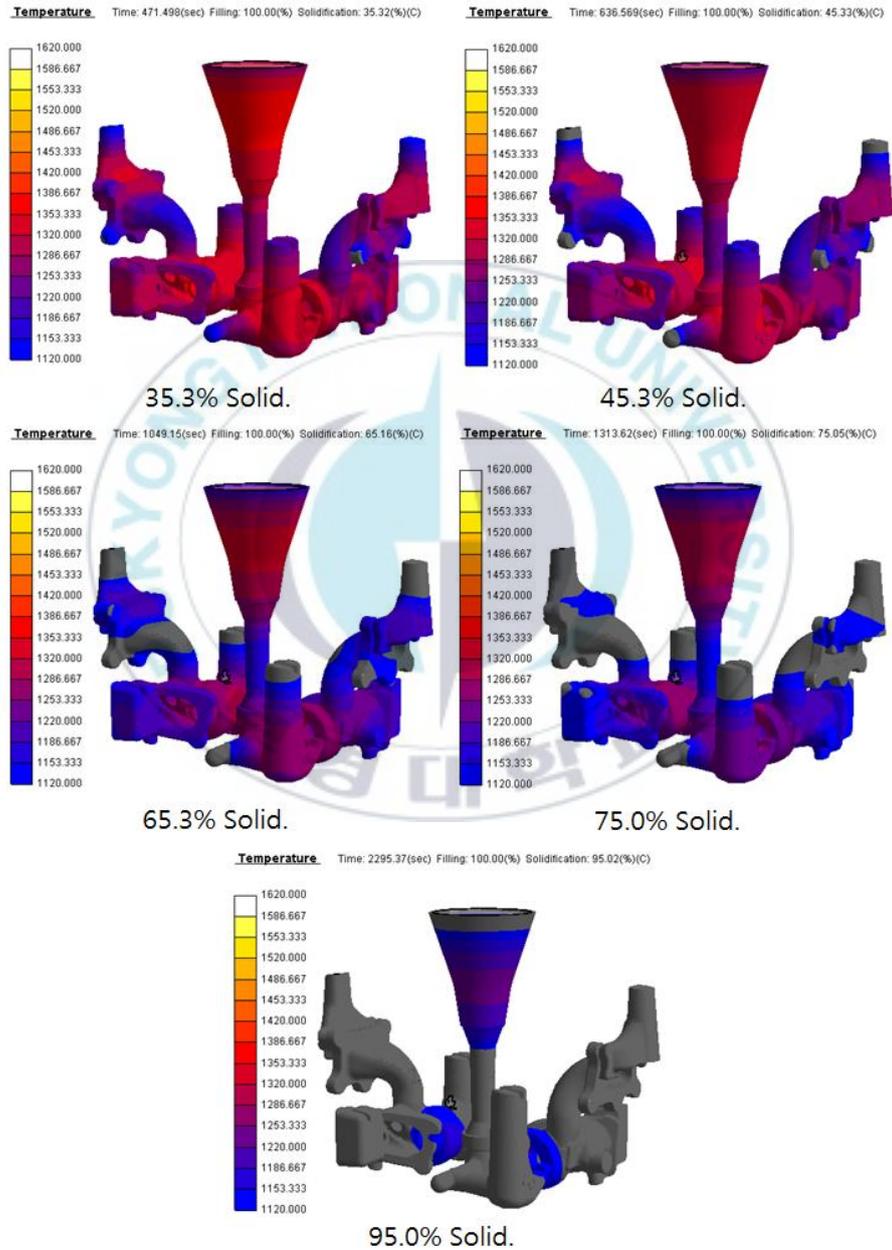


Fig. 4.12 Solidification sequence of case 2

2차 응고 해석 결과는 Fig. 4.12 (a), (b), (c), (d), (e)와 같이 35%부터 95% 까지 응고 시간에 따라 나타내었다. 부피가 적은 외각 부위인 오버플로우와 제품 플랜지부터 응고가 시작되어 부피가 큰 런너부 주위 응고 속도가 느린 상태를 보여주고 있다.

국부적인 응고 양상의 경우 Fig. 4.13 (a)에서 확인된 과열 현상으로 수축공 발생이 예상되어진다. Fig. 4.13 (b)는 최종 응고부를 나타내며 해당부분은 용탕의 보급이 일어나지 않는 부분으로 수축공 발생 가능성이 예상되어진다.

또한 Fig. 4.14 와 같이 수축공 발생 예상 부위를 확인한 결과 최종 응고부위와 유사한 위치에 나타남을 확인할 수 있으며 해당 부위는 1차 응고 양상과 다른 결과를 확인 할 수 있었다.

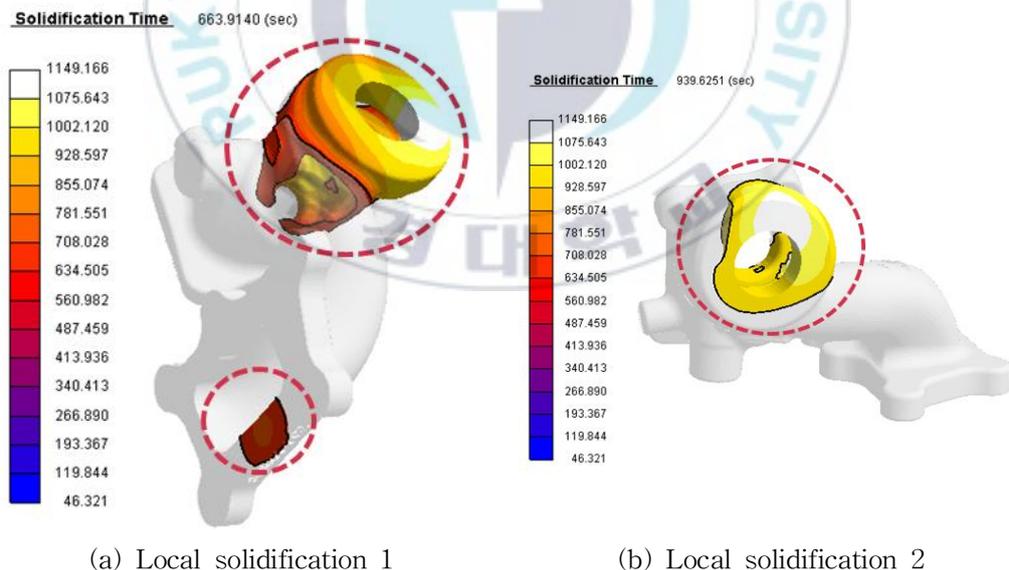


Fig. 4.13 Local solidification aspect of case 2



(a) A-A Section

(b) B-B Section

Fig. 4.14 Retained melt modulus - case 2

4.3 냉금 적용에 따른 응고 양상 결과 및 고찰

터보 차저 하우징의 1차 해석결과를 바탕으로 2차 주조시뮬레이션을 통해 충전 및 응고 양상 결과를 확인한 결과, 기공 및 크랙 예상 부위 위치를 변경하여 개선하였다. 하지만 최종응고부에 대한 수축공 예상 부위는 개선하지 못하였다. 이는 국부적인 두께 및 냉각 속도의 차이로 발생한 원인에 대하여 개선이 필요하였으며 이에 대한 방안으로 수축공이 예상되는 최종 응고부위에 냉금 적용을 통해 국부적으로 열방출 효과로 냉각속도를 촉진하고자 하였다.

냉금의 적용 조건은 Fig 4.15 (a), (b), (c)와 같이 최종 응고부위에 두께를 5, 10, 15mm 로 설계하였으며 냉금 재질조건은 일반 주철인 FC200으로 적용하여 수축공 해석을 진행하였다.

Fig. 4.16 (a), (b), (c)는 냉금 5mm, 10mm, 15mm 의 수축공 예상발생 부분에 대한 해석결과이며 냉금 두께에 따라 수축공 예상 범위의 차이를 확인할 수 있었다. 이는 냉금의 두께가 클수록 수축 결함의 범위가 줄어들었으며 15mm의 경우 수축으로 인한 결함은 확인되지 않았다. 그리고 15mm이상 두께를 적용할 경우 결함이 나타나지 않을 것으로 판단되어진다.

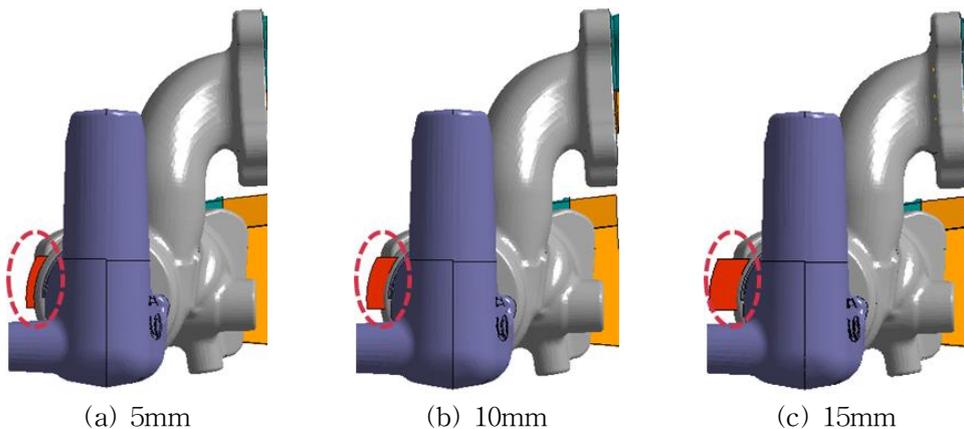
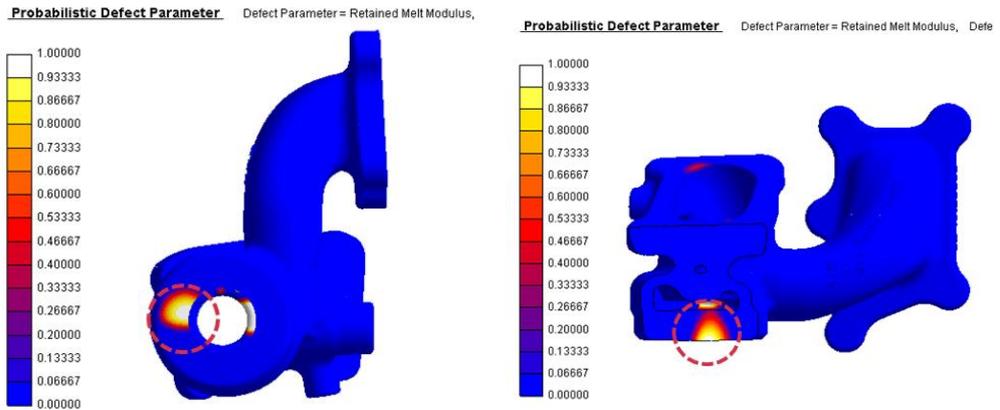
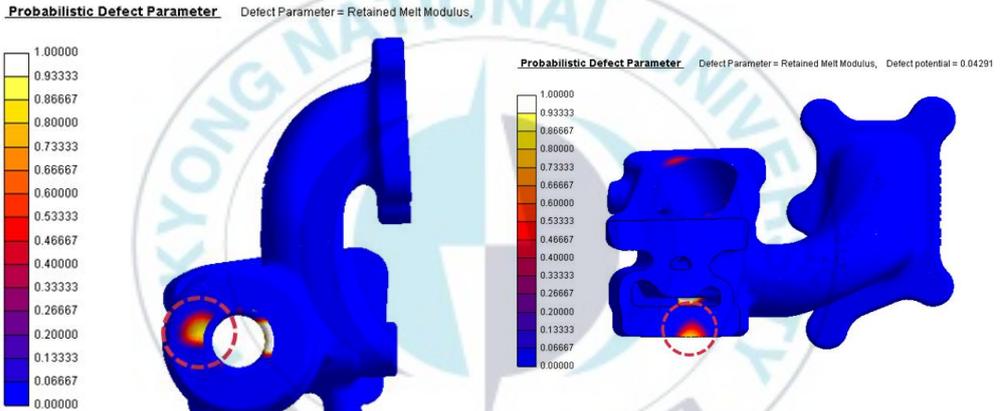


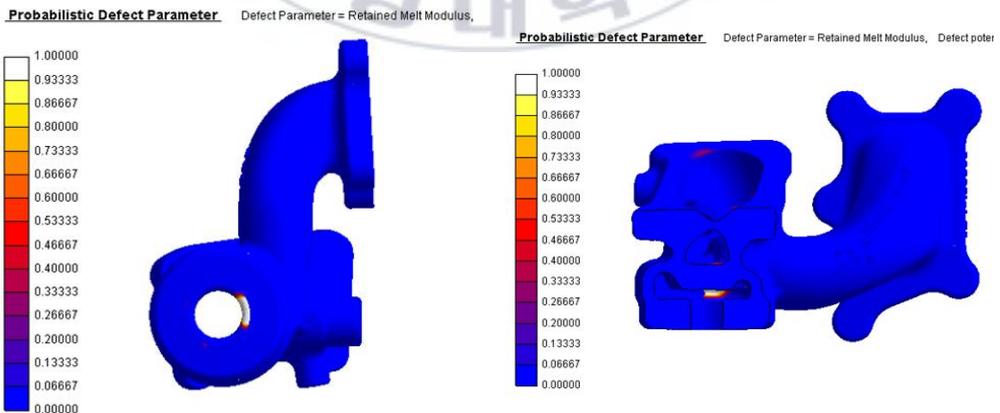
Fig. 4.15 Thickness types of chill modeling



(a) 5mm



(b) 10mm



(c) 15mm

Fig. 4.16 Retained melt modulus of denser

제 5 장 해석결과를 적용한 주조품 제작 및 측정

5.1 주조품 제작조건 및 결합 확인

터보 차저 하우징의 주조는 쉘 주조법으로 제작되며 6개의 제조공정구역으로 나뉜다. 공정순서는 1. 주형공정(Mold Zone), 2. 예열공정(Pre Heating Zone), 3. 용해공정(Melting Zone), 4. 주입공정(Pouring Zone), 5. 냉각공정(Cooling Zone), 6. 후처리공정(Fettling Zone) 으로 이루어져 제품이 제작되어진다. 주형공정에서는 주형의 증자 제작 및 조립을 하고 예열공정에서 조립된 주형을 삽입하여 50-65℃로 예열을 진행한다. 용해 및 주입 공정에서는 예열된 주형에 용탕을 주입 후 냉각공정에서 공냉 방식으로 냉각시켜 후처리공정에서 주조된 제품과 주형의 탈사 작업, 제품의 절단 및 선별과정을 거친다. 이러한 과정을 통하여 터보 차저 하우징을 완성하게 된다. Fig. 5.1는 제품의 제작과정을 보여준다.

실험에서 제작 시 작업 조건은 Table 5.1 와 같이 용탕의 주입 전 온도는 평균 1,600℃이며 주입시간은 3.5초, 주입방식은 중력주조, 제품 냉각시간은 90분으로 진행된다.

본 연구에 적용한 터보 차저 하우징 재질 성분은 주강합금계열(X40CrNi2521)을 사용하였으며 주요 성분은 Table 5.2 와 같은 구성을 가진다.

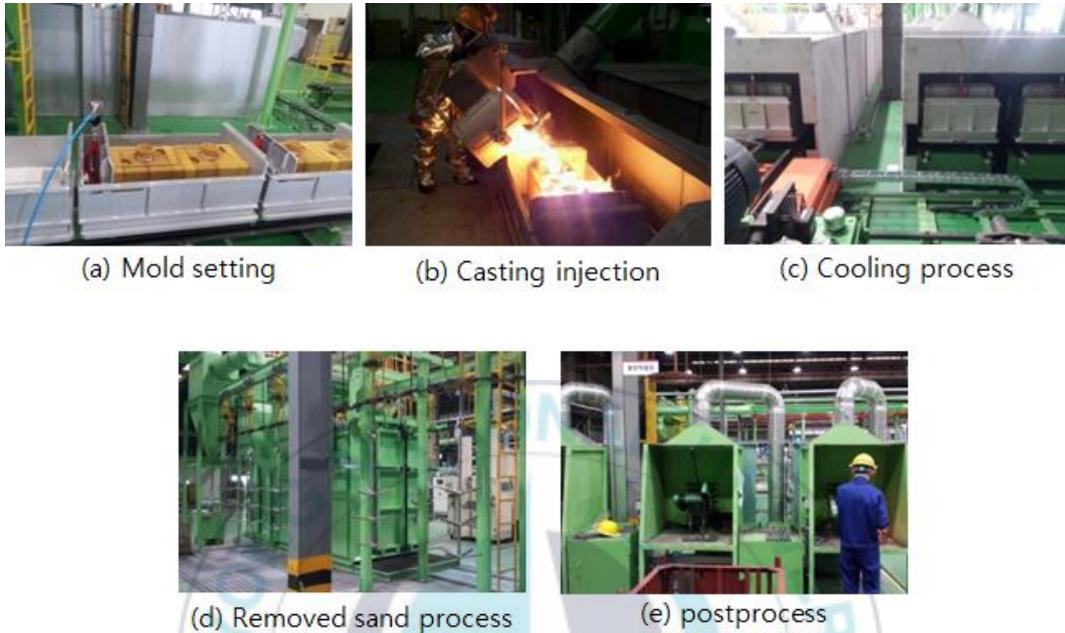


Fig. 5.1 Shell-molding casting process

Table 5.1 Shell-molding process conditions

Cavity	Mold Temperature	Melt Temperature	Injection Time	Injection process	Cooling Time
2	50–65°C	1600°C	3.5sec	Gravity Casting	90min

Table 5.2 Chemical composition of cast alloy

Component of Alloy (X40CrNi2521)								
C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Mg	Ni
0.4	2.0	1.0	0.045	0.03	25.0	–	–	20.0

아래 Fig. 5.2 는 1차 설계안에 대한 주조품 제작 결과이다.

제작한 터보 차저 하우징 주조품의 외부 및 내부 검사한 결과 주조성형해석에서 예상한 위치에서 유사한 기공 및 수축공을 확인할 수 있었다. 주요 기공 및 수축공의 발생위치는 Fig 5.3 과 같이 제품의 플랜지와 볼루트(Volute)부에서 확인할 수 있었다.



Fig. 5.2 Casting turbo charger housing - case 1



(a) Flange part



(b) Volute part

Fig. 5.3 Shrinkage and gas cavity of turbo charger housing - case 1

2차 해석결과를 반영한 위치 변경과 냉금을 적용한 조건으로 주조품을 제작하였다. 주입조건은 1차 시제품 제작과 동일하며 시제품 확인 결과 Fig. 5.4와 같이 플랜지부의 수축공 발생이 감소하였고, 또한 과열부의 냉각을 보완하기 위해 냉금을 사용한 불루트부 역시 수축공 불량이 낮아졌음을 확인할 수 있었다. 이에 대하여 제품의 충전과정에서의 기공 및 응고과정에서 발생하는 수축현상은 제품 위치 변경과 냉금 적용에 따라 개선되었음을 확인할 수 있다.

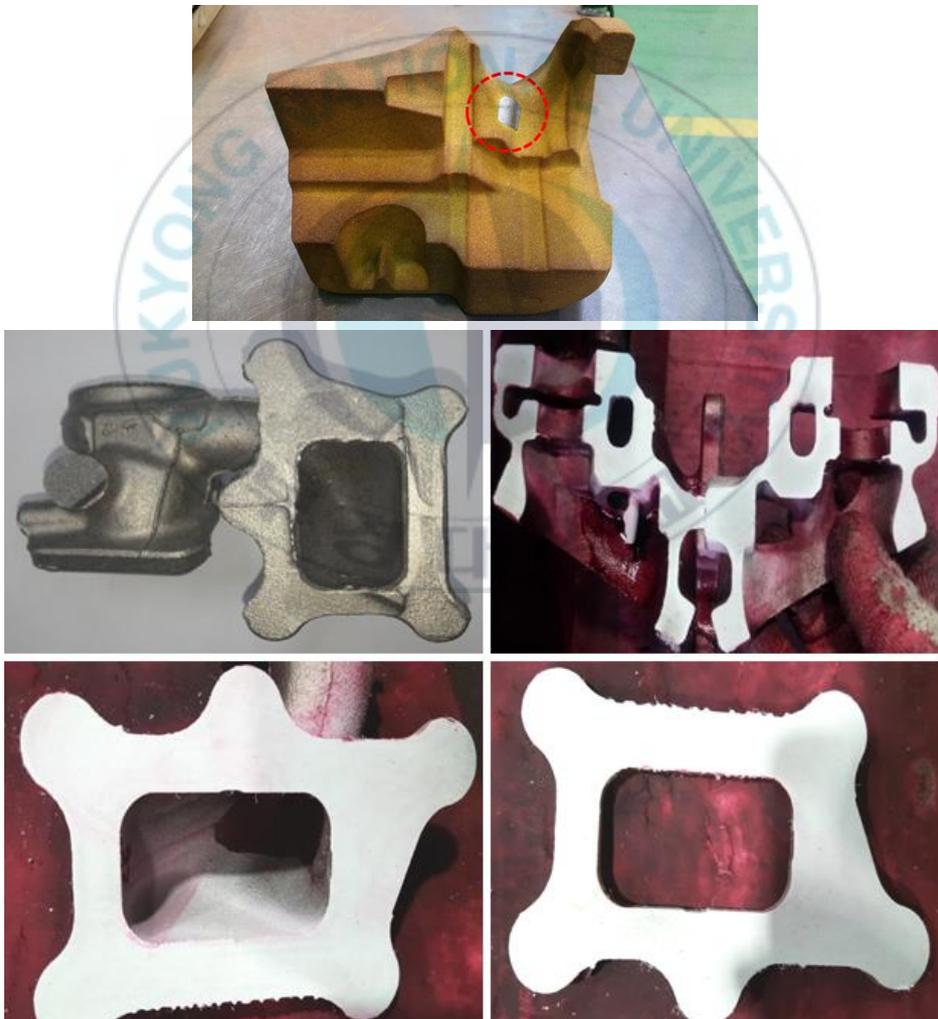


Fig. 5.4 Densener part and final turbo charger housing

5.2 3차원 치수 측정 평가

일반적으로 형상 및 치수 측정은 설계 단계에서 요구하는 값과 제작되어진 제품의 형상을 비교하여 요구하는 거리 및 기하공차 등을 측정하고 원하는 제품으로 제작되었는지 검증하는 과정이다. 측정하는 방법에는 접촉식 3차원 측정기, X-ray, CT촬영 등 여러 가지 방법으로 측정이 가능하며 기술의 발전에 따라 보다 다양하고 신속 정확한 측정의 요구로 광학식 3D 측정기술도 발전하게 되었다.

본 논문에서 사용된 Fig. 5.5 의 측정 장비는 변형특성분석장비(ATOSIII SCAN, GOM社)라고 한다. 측정방식은 Fig 5.6 와 같이 비접촉 광학식 3D Scan 방식으로 제품을 여러 각도 및 방향에서 제품 전체를 스캔하고 초기 설계의 3D 모델링과 측정한 스캔데이터(Scan data)를 비교하여 제품에서 요구하는 중요 치수 및 형상차이를 비교 측정할 수 있는 장비이다. 장비의 측정오차는 $\pm 0.005\text{mm}$ 수준으로 측정이 가능하며, 제작된 시제품에 대한 설계 공차에 대하여 측정 시 높은 정밀도로 측정 결과를 확인할 수 있다.

측정 기준은 제품 위치 및 냉금 크기 변경에 따라 제작되어진 터보 차저 하우징을 대상으로 모델링과 측정 스캔 데이터를 동일한 프리-얼라이먼트(Pre-alignment)조건으로 측정 비교하였고 측정포인트도 동일한 위치의 결과 값을 도출하고자 하였다.

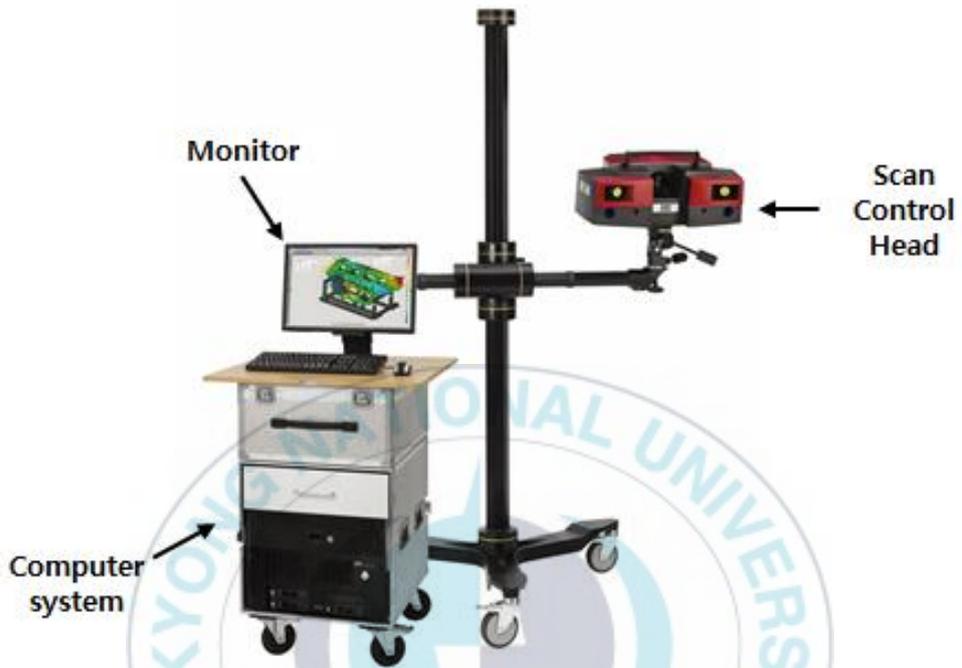


Fig. 5.5 Equipment of 3D scan



Fig. 5.6 Measuring 3D scan of turbo charger housing

측정과정은 Fig 5.7 와 같이 제품의 3D 모델링의 데이터를 기준으로 주조품의 스캔 데이터와 비교측정 과정을 거치게 되면 외관의 측정 결과는 여러 가지 색상으로 표현된다. 측정결과로 모델링보다 외관 두께가 두껍다면 붉은색으로 표시되고 얇으면 푸른색으로 표시되며 외관 형상이 비슷한 경우 녹색으로 표현된다. 외관의 색상 표시는 $\pm 2\text{mm}$ 로 설정하고 각 공차는 설계 값을 확인하여 반영하였다.

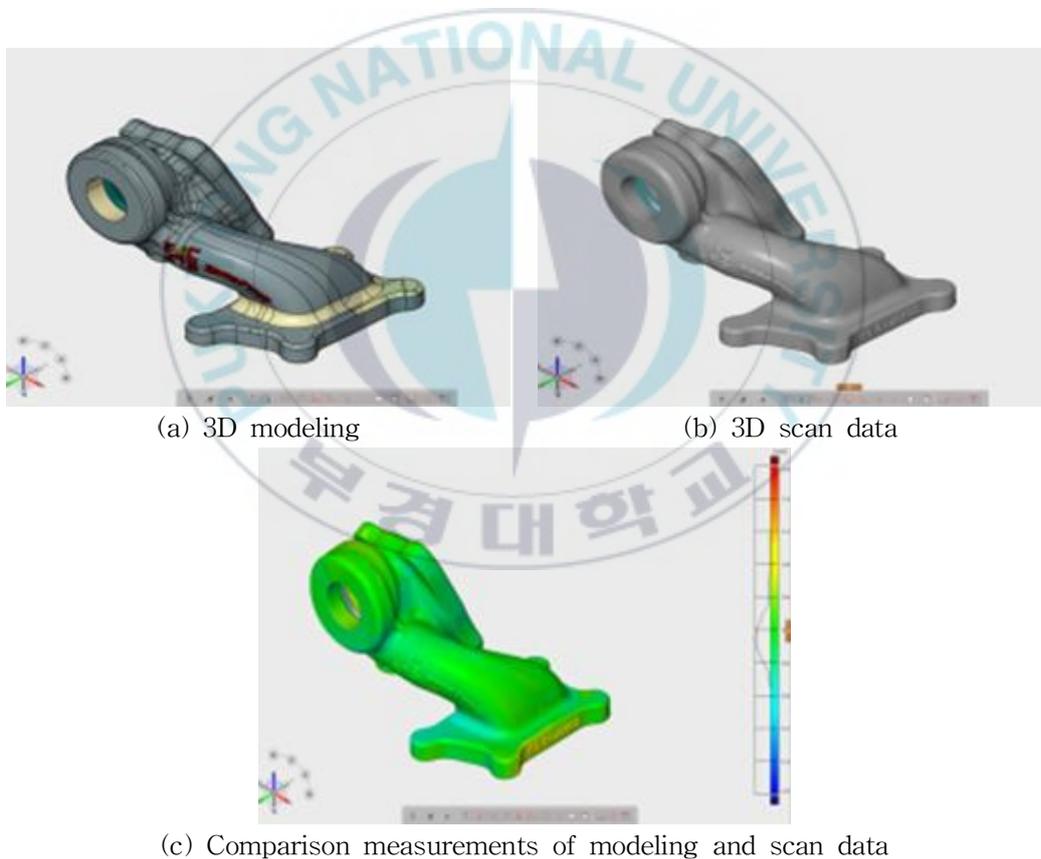


Fig. 5.7 Comparison measurements of data

제작된 1차 주조품과 2차 주조품에 대하여 주요 치수 및 형상 차이를 확인하였고 제품에서 요구하는 외관 치수를 측정에 대하여 결함여부를 판단하고자 하였으며 각각 3개의 샘플을 측정하였다.

측정 결과 기준은 중요 치수인 경우 $\pm 0.8\text{mm}$ 이내 조건을 만족시켜야 한다. 30개의 포인트 값을 확인하였고 3D 모델링 대비 주조품 형상에 대한 비교 결과를 도출하였다. 주조품의 주요 측정 포인트는 체결되는 부분의 직경값과 하우징의 센터간의 거리, 두께 등이 있다.

1차 주조품인 경우 Fig. 5.8 와 같은 편차가 발생하였다. 특히 샘플 1의 경우 11, 19번, 샘플 2는 26번, 샘플 3은 14번 포인트에서 공차에 벗어나는 치수를 확인하였으며, 주조품 형상에서 확인한 수축공 및 기공 등에 대한 결함의 원인으로 예상할 수 있었다.

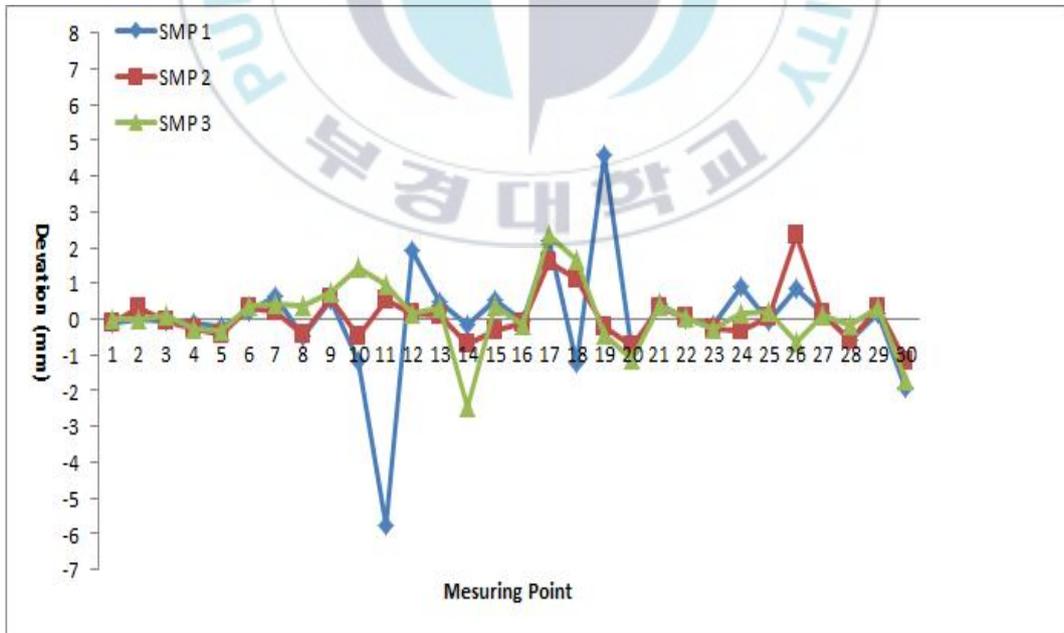


Fig. 5.8 Mesuring point result of case 1

2차 해석결과를 반영한 위치 변경 및 냉금을 적용한 주조품에 대하여 측정을 진행하였다. 외관상으로 기포 및 수축결함은 발견되지 않았으며 측정결과는 Fig. 5.9 와 같이 14, 17, 18 포인트에서 공차를 벗어나는 결과값을 나타내었다. 이 결과 값에 대하여 결함으로 판단여부를 확인하였으나 가공전의 치수와 실제 결합되어지는 부품간의 문제가 발생되지 않는 부분으로 검토되었다. 그리고 치수의 편차는 대부분 일정하고 비슷한 수준에서의 결과를 확인할 수 있었으며 1차 설계안의 주조품보다 균일한 제품의 치수 및 형상을 확인하였다.

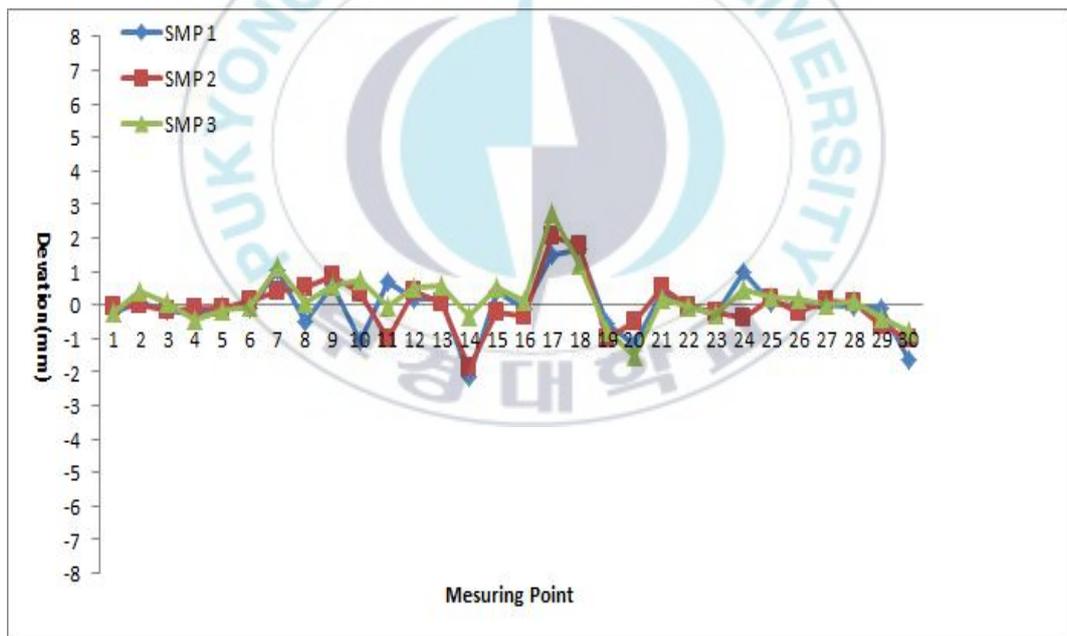


Fig 5.9 Mesuring point result of case 2

3D Scan Inspection 측정결과는 대표적으로 Fig 5.10 와 같이 표현되며 각 결과값은 모델링 치수 대비 측정데이터값과 치수 편차의 정보를 확인할 수 있다.

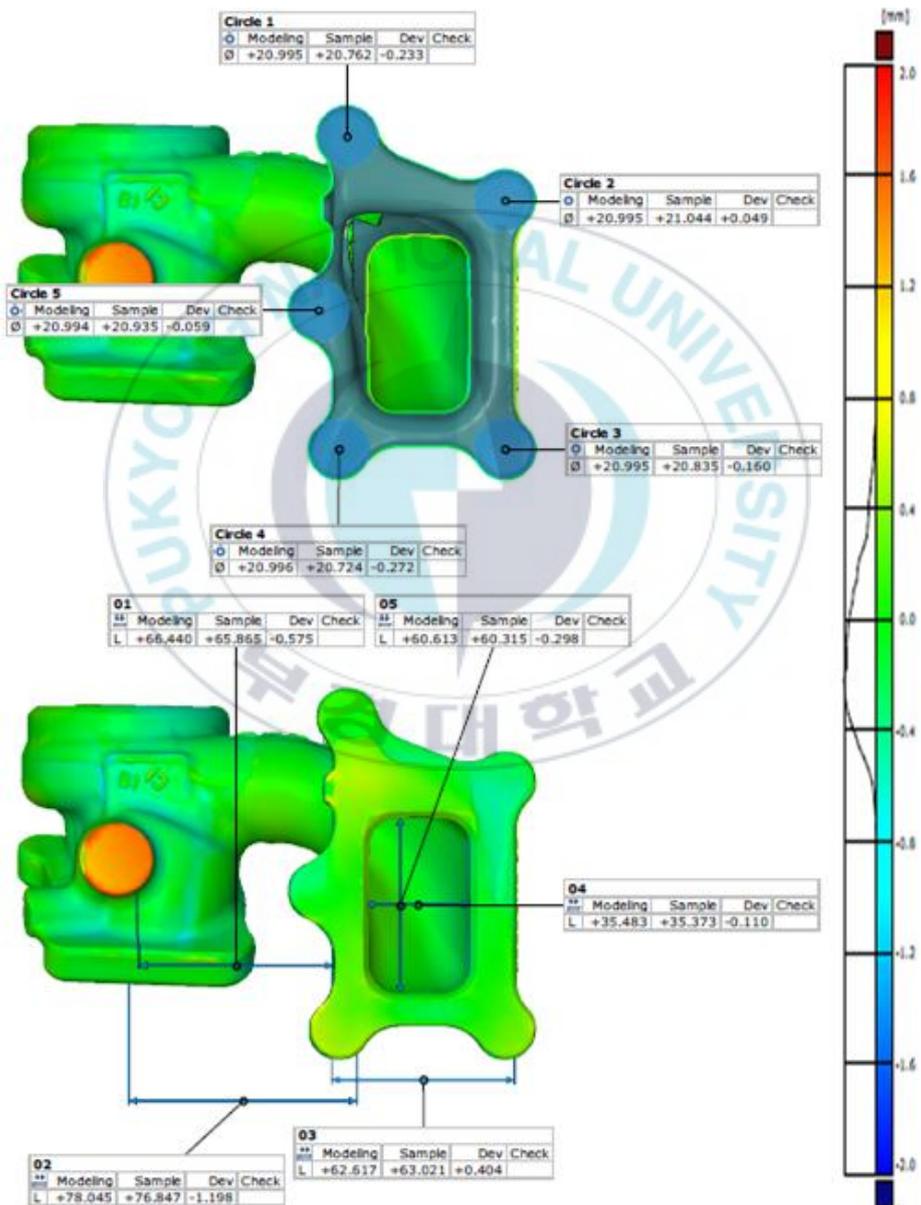


Fig. 5.10 Measuring data of turbo charger housing

제 6 장 결 론

가솔린 자동차에 사용되어지는 터보 차저 하우징의 주강합금 재질에 대한 주조 설계를 위하여 주조성형해석 프로그램인 애니캐스팅(AnyCasting™)을 이용하였으며, 제품 위치와 냉금 적용의 조건을 변경하고 용탕의 충전 및 응고해석 결과를 분석하여 기공 및 수축 결함 발생여부를 최소화하였다. 또한 주조성형 해석결과를 바탕으로 실제 제작한 주조품의 결함여부 확인 및 형상 측정을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 주조성형해석 프로그램을 이용하여 1차 해석조건으로 터보 차저 하우징의 충전 및 응고 양상을 확인하고 기공 결함을 개선하기 위하여 제품의 위치를 바꾸어 설계를 변경하였고, 수정된 모델링으로 2차 해석을 진행한 결과 기공 발생위치를 이동시키고 수축 결함은 최소화되었다.
- 2) 또한 응고양상 결과에 확인된 국부적인 수축불량을 개선하기 위하여 수축이 예상되는 최종 응고부에 냉금을 적용하여 해석한 결과, 결함범위가 감소하였으며, 냉금 두께 15mm 적용 시 수축공이 발생하지 않았다.
- 3) 터보 차저 하우징의 충전 및 응고해석결과에 따른 기공 및 수축결함 예상위치는 실제 제작한 주조품의 결함 위치와 비슷한 경향으로 나타났다.
- 4) 1차 및 2차 해석결과를 반영하여 제작되어진 주조품을 3차원 측정장비로 설계 치수값을 비교 측정한 결과, 기공 및 수축 결함이 낮은 2차 주조품에서 1차 주조품보다 치수 편차가 낮게 나타났다.

Reference

- [1] Jinha Lee. After-treatment System Technologies for Light-Duty Vehicles. Journal of the Korean Society of Automotive Engineers 35(9), 2013.9, 22-26 (5 pages)
- [2] Steve Arnold, Craig Balis, Deis Jeckel, Syvie Larcher, Philippe Uhi, S.M.Shahed, "Advances in turbocharging technology and its impact on meeting proposed california GHG emission regulations", SAE technical paper No. 2005-01-1852, 2005
- [3] 김길현. 자동차 진화의 비밀을 알고 싶다. 골든벨. 87-89(2013)
- [4] M.H.SunU, H.J.Lim, G.H.lee, J.M.Lee, 자동차공학, Intervision.
- [5] Noebert A.Schorn, "the radial turbine for small turbocharger applications: Evolution and analytical methods for twin-entry turbine turbochargers", SAE technical paper No. 2014-01-1647, 2014
- [6] M. D. Eom, M. S. Kim and D. S. Baik, "A Study on Performance, Characteristics in Diesel Engine When Applied Ball Bearing Type Turbocharger," Transactions of KSAE, Vol.18, No.4, 74-78, 2010.
- [7] Y. H. Kang and D. H. Choi, "Simulation-based Optimum Allocation of a Resonator for Reducing the Blow Noise of a Turbocharger in a Diesel Engine," Transactions of KSAE, Vol.18, No.2, 129-134, 2010.
- [8] D. J. Park, C. H. Kim and Y. B. Lee, "A Study on the Characteristics of the Oil-free Turbocharger for Diesel Engine Vehicles," Transactions of KSAE, Vol.16, No.4, 47-55, 2008.

- [9] C. H. Hyun, K. H. Jung, C. S. Jung, B. M. Doo and Y. G. Koo, "Comparison of WGT and VGT Turbocharger for EGR System of Heavy-duty Diesel Engine for Meeting EURO-V," KSAE Spring Conference Proceedings, 269-274, 2008.
- [10] J. Y. Huh, J. E. Chung, Y. W. Jin, W. Kang and J. W. Chung, "Coordinated Control of EGR and VGT in the Diesel Engine," Transactions of KSAE, Vol.16, No.4, 159-164, 2008.
- [11] N. H. Cho, H. C. Park and M. R. Kim, "Effect of Boosted Intake Pressure on Stratified Combustion of a Gasoline Direct Injection Engine," Transactions of KSAE, Vol.11, No.2, 48-55, 2003.
- [12] J. D. Ryu, Y. W. Yoon and C. S. Lee, "The Study of Engine Output and Emission Characteristics according to Air Fuel Ratio for a Supercharged LPLi Engine," Transactions of KSAE, Vol.10, No.4, 77-84, 2002.
- [13] 모세준. 연비 개선을 위한 엔진기술 트렌드 전망. 월간 미래산업 [2013-11]
- [14] 지무성, 최신 특수구조, 구민사, 389-394(2003)
- [15] A. Krimpenis, P.G. Benardos, G.C. Vosniakos, A. Koukouvitaki, Int. J. Adv. Manuf. Technol, Vol27, 509 - 517 (2006)
- [16] R.E. Khayat, Eng. Anal. Bound. Elem, Vol.22, 83-102 (1998)
- [17] B.C. Park, J. Kor. Foundrymen's Soc, Vol.24, 238-248 (2004)
- [18] D.H. Lee and P.K. Seo, C.G. Kang, J. Mat. Pro. Tech, Vol.147, 45-50 (2004)
- [19] C. Dørum, H.I. Laukli, O.S. Hoppersta, Int J Comput Mater Sci Eng, vol.46, 100-111 (2009) 151-155 (2004)

Design of Turbo charger casting part for defect minimization using the CAE analysis

Gwak, Hee-Young

*Department of Mechanical Engineering,
Graduate School of Pukyong National University*

ABSTRACT

Under the ongoing global warming, regulations for gas emissions in the automobile industry are increasingly tightened. In order to deal with such automotive industry regulations, researches are being carried out to increase fuel and energy efficiency. One of those measures for improving fuel efficiency, turbo charger of the air supercharging system is being developed. Among the components of the turbocharger system, turbo charger housing has a high thermal resistance and a complicated hollow shape. For manufacturing this complex product shapes, shell casting method is used, which is one of the precision casting methods. While shell casting can contribute to mass production, the production cost of it is high because of the metal mold.

CAE analysis is applied in the design stage to reduce the trial and error in the casting process and minimize product defect. This process can help identify the problems at the design stage and predict the defects by checking the flow, solidification, deformation and stress of the casting molten metal. The results of

the CAE analysis is applied to product design optimization and quality improvement.

In this study, the turbocharger housings used in gasoline automobiles were examined and the results of filling and solidification were confirmed and studied by casting molding analysis program. After processing the analysis applying the first design, the test results were confirmed and the castings were fabricated by reflecting these results. Secondary casting design and analysis with the modifications of the product location were carried out. This is for comparing the results of the first analysis with the defects of the first casting and for minimizing the occurrence of the porosity defects. In addition, the shrinkage failure was improved by applying the chill to the expected localized contraction range and there was no pore and shrinkage defect in the secondary casting after reflecting the analysis results.

As a result of this study, there was similar tendency between the test results using the casting simulations and the defects porosity of the fabricated castings. After comparing the dimensions of primary and secondary casting using 3D measurement equipment, it was confirmed that the dimensional deviation of secondary castings with low porosity and shrinkage defects was low.

감사의 글

이 논문의 마지막인 글을 작성하기까지 많은 도움을 주신 분들에 대해 진심으로 감사드립니다. 먼저, 논문 지도를 위해 세심하게 챙겨주신 강대민 교수님께 머리 숙여 감사드리며 항상 건강하시길 바랍니다. 그리고 최종적인 검토와 지도를 해주신 김태완 교수님과 박영환 교수님 진심으로 감사드립니다.

아울러 본 논문의 주제와 진행을 위하여 관심과 도움을 주신 (주)캐스텍코리아 김충민 과장님과 한국생산기술연구원 박진영 박사님, 천주용 연구원, 강호정 연구원님께 감사의 마음을 전합니다.

또한 대학원 과정을 무사히 마칠 수 있게 해주시게 배려해주신 부산테크노파크 미래수송기기센터 김호진 센터장님께 감사드리고, 바쁜 업무에도 불구하고 지속적인 관심과 도움을 주신 조기환 팀장님 감사의 마음 잊지 않겠습니다. 그리고 주위에서 응원해준 김정모 연구원을 비롯하여 미래수송기기센터 팀원 분들께 그동안 배려와 지원에 감사드립니다.

무엇보다도 대학원 과정 중에 행복한 만남으로 시작하여 인생을 같이하게 된 사랑하는 아내 김민화에게 가장 감사하며 마지막까지 잘 마칠 수 있게 배려해줘서 고맙습니다. 그리고 사랑하는 아들 도윤이가 태어나서 더욱 더 마무리가 잘 되었다고 생각합니다.. 물론 저를 있게 해주시고 물심양면으로 지원해주신 아버지, 어머니 그리고 항상 믿어주시는 장인어른, 장모님께서 감사드리며 항상 건강하시길 바랍니다.

부족한 논문이었지만 많은 경험과 도움이 되어 저에게 소중한 자산이 되었습니다. 다시 모든 분들께 감사의 말씀 올립니다.

2017년 6월
곽희영 드림