



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](#)

2009년 2월

석사학위논문

심입/박벽 구조를 가진 제품 제작용 사출
성형 공정에서의 금형 설계 조건과 공정
조건이 제품 특성에 미치는 영향

조선대학교 대학원

기계공학과

김 대 원

심입/박벽 구조를 가진 제품 제작용
사출 성형 공정에서의 금형 설계
조건과 공정조건이 제품 특성에
미치는 영향

Influence of mould designs and process
parameters on part characteristics for the case
of injection molding of deep and thin walled
parts

2009 년 2 월 25 일

조 선 대 학 교 대 학 원

기계공학과

김 대 원

심입/박벽 구조를 가진 제품 제작용
사출 성형 공정에서의 금형 설계
조건과 공정조건이 제품 특성에
미치는 영향

지도교수 안 동 규

이 논문을 공학석사학위신청 논문으로 제출함.

2008 년 10 월

조 선 대 학 교 대 학 원

기계공학과

김 대 원

김대원의 석사학위 논문을 인준함.

위원장 조선대학교 교수 조 규 재

위 원 조선대학교 교수 윤 성 운

위 원 조선대학교 교수 안 동 규



2008 년 11 월

조선대학교 대학원

목 차

LIST OF TABLES	I
LIST OF FIGURES	II
ABSTRACT	
제 1 장 서 론	1
1.1 연구배경	1
1.2 연구목적	7
제 2 장 심입/박벽구조 제품 설계	8
2.1 심입/박벽구조 제품 3차원 설계	8
2.2 심입/박벽구조 제품 해석 모델링	9
2.3 심입/박벽구조 제품 금형 설계안	11
2.3.1 심입/박벽구조 제품 금형의 초기 해석 설계안	11
2.3.2 심입/박벽구조 제품 금형의 2차 해석 설계안	13

제 3 장	심입/박벽구조 제품 사출 성형 해석결과	14
3.1	각 설계안에 대한 사출 성형 해석 결과 고찰	14
3.1.1	초기 설계안 사출 성형 해석 결과	14
3.1.2	2차 설계안 사출 성형 해석 결과	23
3.2	공정조건에 따른 해석 결과 고찰	27
3.2.1	최종설계안에 대한 인서트 변형 특성	27
제 4 장	심입/박벽구조 제품 금형 제작 및 시사출	34
4.1	심입/박벽구조 제품 금형 설계 및 제작	34
4.2	심입/박벽구조 제품 시 사출 및 품질평가	40
4.2.1	심입/박벽구조 제품의 시 사출	40
4.2.2	심입/박벽구조 제품의 두께 측정 및 변형	43
제 5 장	결론 및 향후과제	53
REFERENCES		55

감사의 글

LIST OF TABLES

Table 1	Mesh generation characteristics	10
Table 2	Properties of injection material	10
Table 3	Conditions of preliminary injection molding analysis	13
Table 4	Results of injection molding analysis for preliminary design of runner system	22
Table 5	Results of injection molding analysis for different design of runner system	25
Table 6	Number of nodes and elements for Injection molding analysis with the effect of core deformation	27
Table 7	Conditions of injection molding analysis with core deformation effects	28
Table 8	Maximum displacement of each core	28
Table 9	Control factors and their levels for design of experiment	30
Table 10	Combination of control factors according to $L_9(3^4)$ orthogonal array	30
Table 11	Results of injection molding analysis with the effects of the core deformation	31
Table 12	Optimum injection molding conditions	33
Table 13	Maximum displacement for each channel at the optimum condition	33
Table 14	Contribution ratio of each control factor for the insert deformation	33
Table 15	Specification of injection molding apparatus	41
Table 16	Injection moulding conditions	41

LIST OF FIGURES

Fig. 1 Variation of injection pressure according to cycle time	1
Fig. 2 Formation of weldline	3
Fig. 3 Concept of steam mold process	4
Fig. 4 Concept of MmSH process	5
Fig. 5 Schematic diagram of high frequency heating mould	5
Fig. 6 Design of the battery case with deep and thin walled structures	8
Fig. 7 Procedure of the mesh generation	9
Fig. 8 PVT curves of polypropylene	11
Fig. 9 Result of gate location analysis	11
Fig. 10 Preliminary design types of runner system	12
Fig. 11 Design of runner system for injection molding analysis	13
Fig. 12 Filling characteristics of the battery case for preliminary design types	16
Fig. 13 Injection pressure–cycle time relationships for different preliminary design of runner system	16
Fig. 14 Variation of clamping force according to injection time for different preliminary designs of runner system	17
Fig. 15 Weldline formation for different preliminary designs of runner system	18
Fig. 16 Variation of airtrap formation according to different preliminary designs of runner system	19
Fig. 17 Variation of warp and shrinkage characteristics according to	

different preliminary designs of runner system	21
Fig. 18 Filling characteristics for different design of runner system	23
Fig. 19 Variation of injection pressure according to injection time for different designs of runner system	23
Fig. 20 Variation of clamping force according to injection time for different designs of runner system	24
Fig. 21 Weldline formation for different design of runner system	24
Fig. 22 Final design of the injection mould	26
Fig. 23 Procedure of the mesh generation for the insert core	27
Fig. 24 Boundary Conditions and analysis model for core shift analysis	28
Fig. 25 Deformation of each channel of core	29
Fig. 26 S/N ratios for each process parameter	32
Fig. 27 Design of injection mould for the battery case	35
Fig. 28 Design of slide core	35
Fig. 29 Manufactured mould for the battery case	38
Fig. 30 Injection moulding apparatus	40
Fig. 31 Filling procedure of the battery case during injection molding ..	41
Fig. 32 Injection molding part	42
Fig. 33 Measurement location of the product thickness	43
Fig. 34 Variation of wall thickness distributions according to injection pressure	46
Fig. 35 Variation of wall deformation characteristics according to the injection pressure	50
Fig. 36 Comparison of the results of the analysis and those of the experiments	51

Fig. 37 Volumetric shrinkages at the optimum injection condition 52

Fig. 38 Comparison of the results of injection molding analyses and those
of experiments from the viewpoint of deflection 52

ABSTRACT

Influence of mould design and process parameter on characteristics of parts for the case of injection molding of deep and thin walled parts

Kim, Dea-Won

Advisor : Prof. Ahn, Dong-Gyu, Ph. D.

Dept. of Mechanical Engineering

Graduate School of Chosun University

Recently, the injection molding process of thin-wall parts with a deep penetration has been considered as an important manufacturing technology in automobile industries due to the reduction of the overall weight and the fuel consumption. In order to fabricate thin-wall parts with a deep penetration, high injection pressures and clamping forces are needed. Moreover, multiple runners and gates are used to fill whole cavities of the mould. The multiple gates cause weld lines in injection parts. The high injection pressure give rise to a core deformation phenomenon. The core deformation results in non-homogeneous thickness distribution of the injection parts.

The objective of this research work is to investigate the influence of

the design of the mould and process parameters of injection molding process on part characteristics in the injection molding of deep and thin walled parts to obtain a proper mould design and an optimum injection molding condition. Target mould and product were chosen as light-weight battery case and its mould. In case of the light-weight battery case, the ratio of the channel thickness to the channel depth was larger than 1 to 100. In order to investigate the effects of mould design and process parameters on molding and part characteristics quantitatively, three-dimensional injection molding analysis was performed using MOLDFLOW MPI V6.1. In terms of the mould design, the effects of runner system design and the mould temperature on filling characteristics, the weldline formation, the injection pressure-injection time curve, average shrinkages, and the post deformation characteristics were examined. Through the results of the examination, a proper mould design and mould temperature were deducted. In order to investigate the influence of process parameters and the core deformation on the product quality, the core shift analysis was carried out. Design of experiments (DOE) was utilized to estimate an optimum injection molding condition reflected core deformation effects. In the core shift analysis, process parameters were selected as the injection time, the injection pressure and the packing time. In the DOE, $L_9(3^4)$ orthogonal array was used. The signal-to-noise (S/N) ratio was estimated using smaller-the-better characteristics to minimize the core deformation. From the results of the DOE, optimum injection molding conditions were 6.0 seconds of injection time, 30 MPa of injection pressure and 5 seconds of packing time. In addition, it was shown that a dominant influence parameter is the injection pressure.

The injection mould to fabricate the light-weight battery case was

manufactured using the proposed mould design by injection molding analysis. In order to examine the accuracy of the proposed mould design and the optimum injection molding condition, injection molding experiments were performed using the fabricated mould set. In the injection molding experiment, the variation of the product quality according to the injection pressure was investigated. The results of the injection molding experiments showed that the best product quality is obtained when the injection pressure is 31.87 MPa. In addition, it was found that the maximum post deformation regions of the product is almost the same as those of analysis with the core deformation model. Through the comparison of the results of the experiments and those of the analyses, it was confirmed that the injection molding analyses with the core deformation model can properly estimate the optimum injection molding condition and the post deformation of the product.

제 1 장 서 론

1.1 연구배경

현재 플라스틱 제품은 일상생활에 쓰이는 생활용품에서 자동차/전자부품/비행기, 등 다양하게 거의 모든 산업계의 부품 제작에 활용 되고 있다.

플라스틱 성형가공 방법 중에는 자동 압축성형, 중공성형, 원심성형, 냉침 성형공정, 사출 성형 등 여러가지 성형방법이 있다. 다양한 성형 방법 중에 산업적으로 가장 많이 사용하고 있는 성형방법으로는 사출 성형을 들 수 있다.

사출 성형 공정은 생산하고자 하는 제품의 형상을 가진 금형 내에 용융된 플라스틱 수지를 고온/고압/고속으로 주입시킨 후, 금형 내부에서 냉각시킴으로 다양한 플라스틱 제품을 생산하는 공정이다. 사출 성형 공정은 충전/보압/냉각/취출의 4가지 공정으로 Fig. 1 과 같이 이루어져 있다.

사출성형공정의 특징은 다양한 형상을 가지는 제품을 생산을 할 수 있다. 그리고 자동화가 쉬우며, 성형품에 다른재료를 혼합하여 성형을 할 수 있다. 또한 플라스틱의 기계적 강도를 높이기 위해서 용융된 플라스틱 수지에 보강재를 첨가하여 성형이 가능하다.

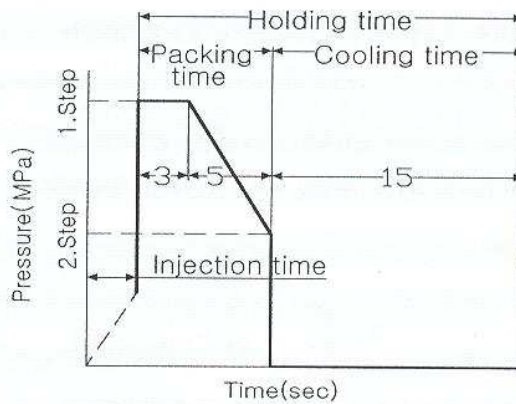


Fig. 1 Variation of Injection pressure according to cycle time

사출 성형 제품의 품질을 결정짓는 요인으로는 게이트 및 런너의 위치/크기/형상 및 냉각수로의 구성과 같은 사출성형 금형 설계 조건과 플라스틱 수지 온도, 사출시간, 사출압력, 금형온도, 냉각시간 등 성형 공정 조건의 변화에 따라 제품의 품질이 결정되며 성형된 플라스틱 제품의 제작성 및 생산성에 많은 영향을 미친다. 이러한 사출 성형 금형 설계 및 사출 공정 조건들의 영향성을 실험적으로 분석하여 최적의 제품 제작 조건을 도출하기 위해서는 많은 시간과 비용이 요구된다.

플라스틱 제품의 개발 과정은 제품의 설계, 금형설계, 금형가공 및 시 사출 등의 과정을 거쳐서 개발된다. 사출 성형 금형의 경우 제품의 형상, 재료 및 공정에 따라 금형 설계가 계속적으로 바뀌는 주문적응형 특성이 매우 강하다. 그래서 금형 개발 초기 단계에서는 CAE (Computer Aided Engineering)를 통한 금형의 최적 사출조건 도출이 매우 필요하다.

이에 대한 대안으로서 BEM(Boundary Element Method)사출 성형 해석 프로그램을 사용함으로써 사출성형금형을 제작 후 시험평가를 수행하지 않고, 사출 성형 금형 설계 및 성형공정 조건을 신속하게 도출 할 수 있다. 그리고 금형이 제작되기 전에 제품 충전 및 보압, 냉각, 제품 수축, 변형 및 구조적 특징을 평가하여 제품에 발생하는 문제를 예상하고 최적화된 설계와 제품 사출 성형 공정 조건을 도출 할 수 있어 균일한 제품을 생산 할 수 있다.^{1~9)}

최근에 얇고 가벼우면서 휴대성을 요구하는 제품들이 생산되어지고 있다. 이러한 요구를 만족시키기 위해 제품의 두께를 줄이고 있다. 이러한 심입/박벽 제품은 일반적으로 제품의 두께가 1mm 이하거나 유동길 이와 두께의 비율이 100:1 이상인 제품으로 정의된다.¹⁰⁾ 심입/박벽 제품 사출성형에 해당되는 제품으로는 CD, 전자 부품 커넥터, LCD 모니터, 노트북 등으로 볼 수 있다. 심입/박벽 제품 사출 성형 시 제품의 외관에 결함이 없고 매끄러운 표면을 중요시하는 제품들으로써 성형품의 품질관리에 많은 노력을 하고 있다.

플라스틱 성형은 고온의 용융된 플라스틱 수지 내부에서 상대적으로 온도가 낮은 차가운 금형 표면으로 열전달이 발생된다. 금형내의 제품형상 표면에서는 용융된 플라스틱 수지가 급속하게 온도가 저하되어 수지의 응고가 진행된다. 이 때 응고된 플라스틱 층 두께는 일반적으로 편측(片側) 0.25mm 정도 알려져 있다.

일반적인 제품에는 플라스틱 수지 응고층은 두께에 아무런 영향을 받지 않는다. 그러나 두께가 얇은 제품의 경우 응고층의 상대적인 비율이 증가하게 되고, 결과적으로 플라스틱 수지의 유동성이 떨어짐에 따라 제품의 불량 발생 가능성이 높아진다.

두께가 얇은 제품 외관에 영향을 미치는 결함으로는 일반적으로 웰드라인(Weldline), 수축마크(Sink mark), 플로우마크(Flow mark), 미성형 (Short shot), 플래쉬(Flash), 등이 있다.¹¹⁾

특히 웰드라인(Weldline)은 Fig. 2 와 같이 서로 다른 두 개 이상의 방향을 갖는 유동이 서로 만나면서 생기는 V자 모양의 선 모양을 말한다. 웰드라인은 서로 다른 유동이 만나는 각도가 약 138° 이하까지 생성된다. 그리고 금형 캐비티(Cavity)내의 구멍이 있는 형상, 복잡한 형상, 2개 이상의 다점 게이트 변화가 심한 부분에서 주로 나타나며 수지가 합류하는 부분에서 온도와 속도 및 압력강하, 유동 불량 등에 의해 영향을 받는다.

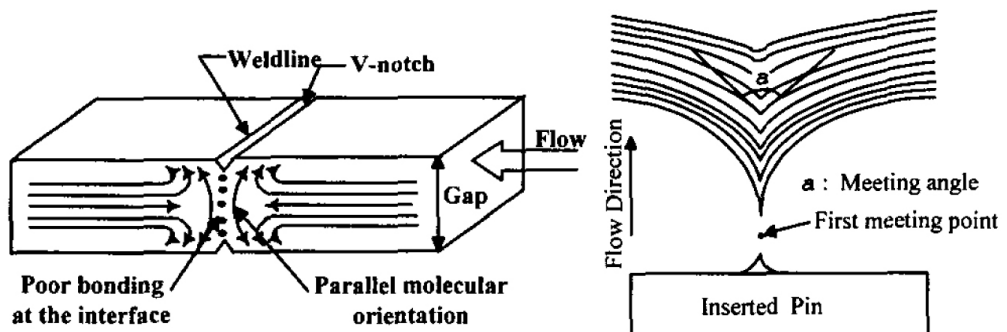


Fig. 2 Formation of weldline

사출성형품의 웰드라인은 제품의 외관, 기계적 및 구조적 특성에 많은 영향을 미치게 된다. 사출성형 금형의 러너 시스템과 게이트 타입 변화와 금형온도 제어를 통하여 웰드라인을 감소시킬 수가 있다.^{12~17)}

R. Spina¹⁸⁾ 는 자동차 부품 사출 성형시 웰드라인 제거를 위하여 Hot runner system 설계에 관한 연구를 수행하였다. 이 연구에서 Hot runner system 를 각

게이트 별로 개폐시기를 제어하여 웰드라인을 제거 하였다.

Yoon¹⁹⁾은 이동식 코어를 적용한 웰드라인 제거에 관한 실험적 연구를 수행하였다. 이 연구에서는 사출 성형품의 홀(hall) 부분에 수지의 유동이 방해하지 않도록 하기 위해 유동이 지난 후에 코어가 삽입되어 홀을 만드는 방법으로 웰드라인을 제거 하였다.

박벽 제품의 유동성을 높이기 위해서 금형온도를 높이는 공정이 있다. 금형 온도를 제어하는 공정에는 여러 가지 방법이 있으나 대표적으로 Steam 을 이용한 공정과, 고주파 유도 가열을 이용한 공정, 그리고 순간 가열법을 이용한 MmSH 공정 들이 있다.

첫 번째는 Steam mold은 고온/고압의 수증기를 이용하여 급속가열한 상태에서 사출 성형이 이루어진다. 그리고 보압과정에는 저온의 냉각수로 냉각하여 생산 사이클을 단축시키는 공정이다. Fig. 3 과 같은 구조로 제품의 형상의 내부를 추가적으로 수로를 가공하여 이 수로를 통해 효율적으로 금형온도를 제어 해주는 공정이다.

두 번째 MmSH (Mold movement Surface Heat) 공정은 15초대에 수지 용융 온도인 200 ℃ ~ 350 ℃ 까지 최소유효면으로 분리된 코어의 표면을 기체화염/전열로 가열한다. 그리고 사출성형이 이루어진 후에는 30초대에 15 ℃ 로 냉각 시키는 공정이다.^{20~23} 특히 금형가열은 Fig. 4 와 같이 금형이 개폐되는 휴지시간에 이루어지기 때문에 추가적인 가열시간이 소요되지 않고 효율적으로 생산 할 수 있다.

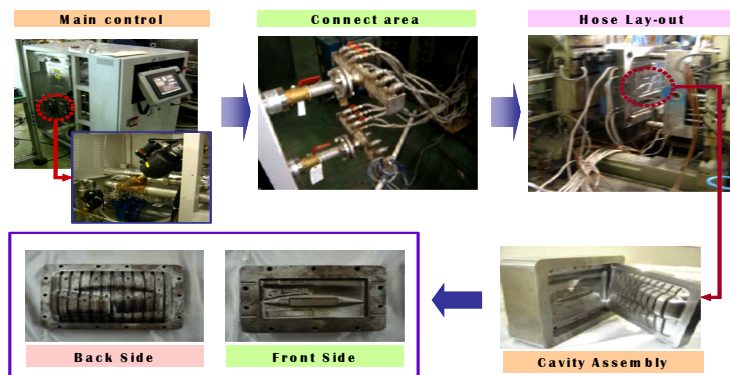


Fig. 3 Concept of steam mold process

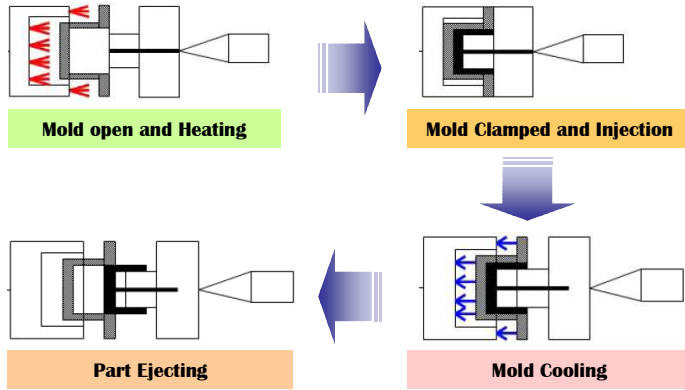


Fig. 4 Concept of MmSH process

고주파 유도 기술을 이용한 금형 공정은 Fig. 5 처럼 고주파 유도 기술을 이용하여 피가열체의 표면만을 급속으로 가열하여 금형온도를 높인 후 사출 성형하는 공정이다.

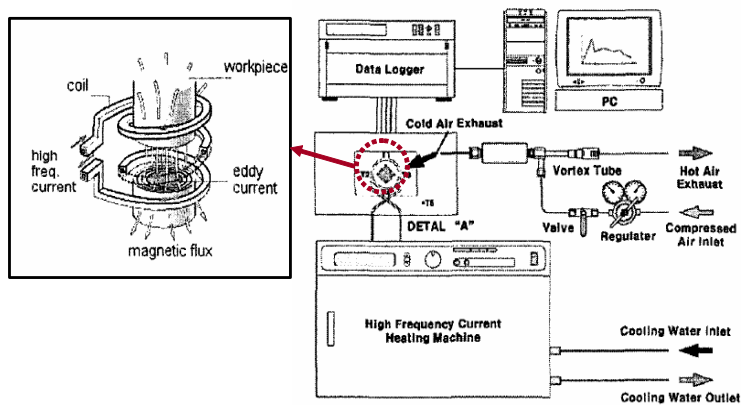


Fig. 5 Schematic diagram of high frequency heating mould

대표적으로 금형온도를 높이는 3가지 공정의 특징은 두께가 얇은 제품의 고풍택 표면을 얻을 수 있으며, 용융된 수지의 응고시간을 지연 시켜줌으로써 표면에 생기는 결함 생성을 방지 할 수 있는 장점을 가지고 있다. 하지만 장비구축에 있어서

고가의 장비가 필요하며, 얇고 평판 제품에는 유용하게 쓰이지만 케이스와 같은 제품의 깊이가 매우 깊은 경우에는 이러한 공정을 적용하기가 어렵다.

또한, 심입/박벽 구조를 가진 제품에는 금형의 인서트 변형에 대한 결함이 발생하게 된다. 인서트 금형 변형으로 인하여 사출 성형품의 치수 및 형상에 많이 영향을 미치게 된다. 특히 심입/박벽 형태의 제품 형상에서는 사출 성형 시 고압으로 용융된 수지를 주입시키기 때문에 인서트의 변형이 불가피하게 생기게 된다. 이러한 인서트의 변형을 최소화하고자 하는 방법 중에는 인서트 변형이 최소화 되는 사출 성형 공정조건을 도출 하여 인서트 변형이 제품의 치수에 최대한 영향을 미치지 않게 하는 방법이 있다.

인서트 코어 변형에 관한 연구으로는 Ken²⁴⁾이 RTM(Resin Transfer Molding)과 SRIM(Structure Reaction Injection Molding) 형태의 압축성형공정 시 코어의 파손과 변형에 관한 실험적 분석에 대해 연구를 수행한바 있다. Lee²⁵⁾는 Core shift 를 고려한 일체형 박육 Inner pack case 성형을 위한 사출 금형 제작 및 성형에 관한 연구를 수행한 바 있다. Ahn²⁶⁾은 MPI 6.1 을 이용한 심입/박벽 구조를 가진 제품 제작용 금형의 Core shift 현상을 고려한 런너 시스템 설계안에 대한 연구를 수행한 바 있다.

심입/박벽 구조 제품을 가진 인서트 변형에 대해 국내외적으로 연구가 미비한 실정이다.

1.2 연구목적

본 연구에서는 심입/박벽 구조를 가진 제품을 설계하였다. 그리고 런너 시스템 설계안 별로 BEM(Boundary Element Method) 사출 성형 해석결과를 통해서 심입/박벽 구조를 가진 제품 제작용 사출 성형 공정에서의 금형 설계 조건과 공정조건이 제품 특성에 미치는 영향에 대해서 분석/고찰을 하고자 한다.

각 설계안에 대하여 사출 성형 충전 특성, 사출 압력 특성, 웰드라인 생성경로 등을 비교분석하여 심입박벽 구조를 가진 제품 제작용 사출성형 공정에서의 금형 설계안을 도출하고자 한다.

본 연구 논문은 심입/박벽 구조를 가진 제품 제작용 금형을 설계하기 위해 금형 설계 조건인 런너시스템을 설계하여 사출 성형 해석을 수행하였다. 각 설계안에 대하여 사출 성형 충전특성, 사출 압력특성, 웰드라인 생성경로를 비교/분석하였다. 이러한 해석결과를 통해서 심입/박벽 구조를 가진 제품 제작용 사출 성형 공정에서의 최종 금형 설계안을 도출하고자 한다. 그리고 최종적으로 도출한 금형 설계안을 이용하여 충전과 보압과정에서 발생하는 인서트 변형에 대하여 사출 성형 해석을 수행하였다. 인서트의 변형을 제어할 수 있는 공정 변수로 사출 압력, 사출 시간, 보압시간, 등이 있는데 각 공정 변수를 조절함으로써 인서트 변형을 제어 할 수 있다. 이들 각 변수들은 최적의 사출 성형 공정 조건을 도출하기 위하여 상호 연계되어 있는 변수들에 대한 독립적 영향성을 분석하여 실험계획법을 도입하였다.

본 연구에서는 인서트 변형을 고려하여 심입/박벽 구조를 가진 제품 제작용 금형의 인서트 변형을 최소화 되는 사출 성형 공정조건을 도출하기 위해 세부 성형공정조건을 설계하였다. 그리하여 $L_9(3^4)$ 의 직교배열표를 작성하고 반복적인 성형해석을 통하여 인서트 최대 변형량을 산출하였다. 그리고 인서트 최대 변형량을 이용하여 결과값이 작을 수록 좋은 값을 가지는 망소특성(Smaller the Better) S/N 비 공식을 통해서 최적 사출 공정 조건을 도출하고자 한다. 마지막으로 시 사출을 통해서 웰드라인 생성경로를 고찰하고, 제품의 변형 특성 및 내부 벽 두께를 측정하여 해석결과와 비교/분석 하고자 한다.

제 2 장 심입/박벽구조 제품 설계

2.1 심입/박벽구조 제품 3차원 설계

본 논문에서는 Fig. 6 과 같은 심입 박벽 구조를 가진 배터리 케이스를 3차원 모델링 프로그램인 UG NX4 & I-DEAS 12 를 이용하여, 솔리드 모델링을 생성하였다. 심입 박벽 구조를 가지는 배터리 케이스의 특징은 사면과 밀면에 보온성을 유지하기 위해 단열재와 히터를 부착할 수 있는 공간을 확보한 구조로 되어 있는 기능성을 가지는 내부 케이스이다. 심입 박벽 형태의 배터리 제품의 크기는 164.4 mm × 251.4 mm × 184 mm 이다. 그리고 폭 35 mm 길이 132.14 mm 깊이 166 mm 크기를 가지는 6개의 셀이 일렬로 되어 있고, 커버와 조립되는 윗면은 열려져 있는 케이스 형태를 가진다. 기본 외형은 전자배터리의 형태를 취하였으며, 내부 케이스의 무게를 가볍게 하기 위해서 기본 살 두께는 1.8 mm ~ 2.3 mm 으로 하였다.

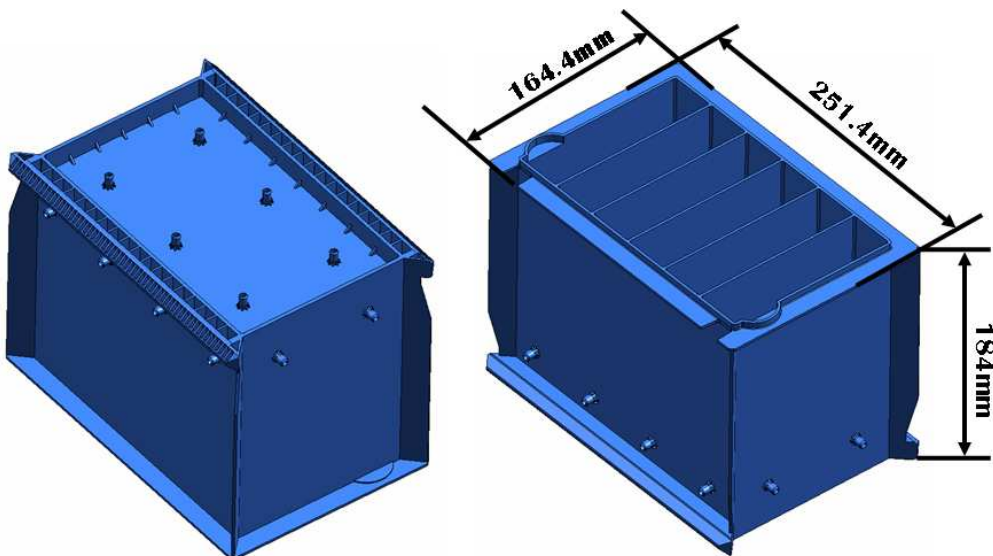


Fig. 6 Design of the battery case with deep and thin walled structures

2.2 심입/박벽구조 제품 해석 모델링

본 연구에서는 심입 박벽 구조를 가진 배터리 케이스의 사출 성형 특성을 알아보기 위해 해석격자를 생성하였다. Fig. 7 과 같이 심입 박벽 형태의 배터리 케이스를 3차원 모델링한 데이터를 .stp 파일로 변환하고, 원활한 격자 생성을 위하여 해석결과에 영향을 미치지 않는 필렛(Fillet) 이나 리브(Rib) 부분을 제거하였다. 그리하여 Shell mesh 형태의 BEM(Boundary Element Method) 해석격자를 사출 성형 해석 프로그램인 MPI 6.1 를 이용하여 생성하였다. 사출 성형 해석을 위한 해석 격자 생성 조건으로는 해석격자의 에지 길이(Edge length) 는 8 mm, 현의 간격(Chord Height) 0.1 mm, IGES 병합공차는 0.1 mm 이며, 해석격자 생성 후 생성된 해석 격자의 자유에지(Free Edge) 수정, 형상비(Aspect Ratio) 를 10 이하로 수정하였으며, 격자 매치률(Mesh Match ratio) 를 수정하여 최종적인 사출 성형 해석을 위한 해석 격자를 생성 하였다. 생성된 격자의 개수는 Table 1 과 같다.

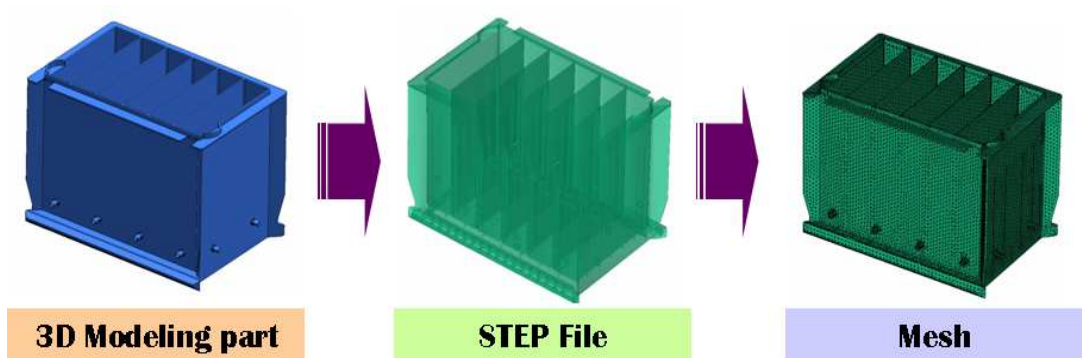


Fig. 7 Procedure of the mesh generation

Table 1 Mesh generation characteristics

Surface triangles	61,098
Nodes	32,959
Match percentage	94.7 %
Reciprocal percentage	93.4 %
Mesh volume	742.68 cm ³

삼입 박벽 구조를 가진 배터리 케이스에 쓰이는 재료는 폴리프로필렌 (Polypropylene) 이며, 이 수지의 특징은 결정성 열가소성 플라스틱이며, 내화학 성과 저온 충격 강도가 우수하며, 가볍고 우수한 성형성 외에도 다른 플라스틱에 비해 가격이 저렴하여 자동차, 외장제, 가정용기, 및 의료용품 등 여러 가지 제품에 광범위하게 사용되고 있으며, Table 2 에 나타난 것과 같이 Mold Flow 플라스틱 데이터 베이스에 저장된 물성치로 사용하였으며, Fig. 8 는 폴리프로필렌의 PVT 선도이다.

Table 2 Properties of injection material

Melt Temperature	240 °C
Melt Density	0.73 g/cm ³
Solid Density	0.89 g/cm ³
Elastic modulus	1340 MPa
Shear modulus	482 MPa
Poissons ratio	0.392

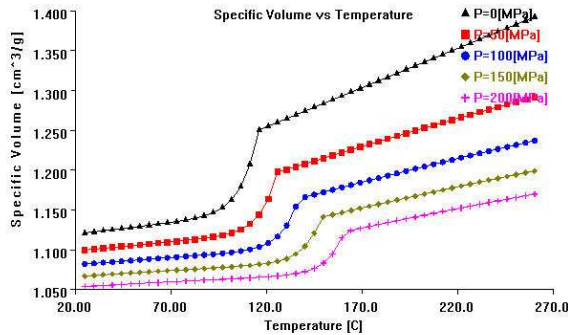


Fig. 8 PVT curves of polypropylene

2.3 심입/박벽구조 제품 금형 설계안

2.3.1 심입/박벽구조 제품 금형의 초기 해석 설계안

심입 박벽 구조를 가진 배터리 케이스의 게이트 위치를 선정하기 위해 Fig. 9 처럼 사출 성형 해석 프로그램을 이용하여 최적 게이트 위치 해석을 실시하였다. 해석된 결과는 심입 박벽 구조를 가진 배터리 케이스 내부 구조체 안쪽이 가장 좋은 위치였으나, 내부 구조체에 게이트를 설계 할 수 없기 때문에 심입 박벽 구조를 가진 배터리의 바닥면에 게이트 위치를 선정하였다. 초기 게이트 위치 설계안으로 5 가지 형태로 Fig. 10 과 같이 초기 설계안을 도출 하였다.

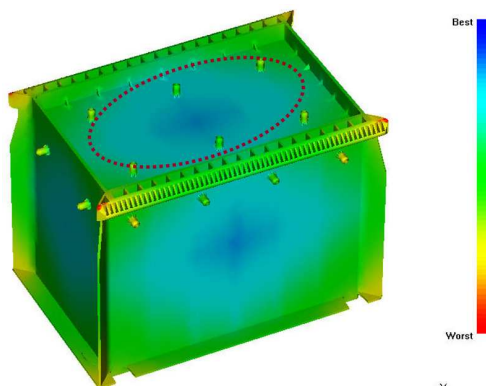


Fig. 9 Result of gate location analysis

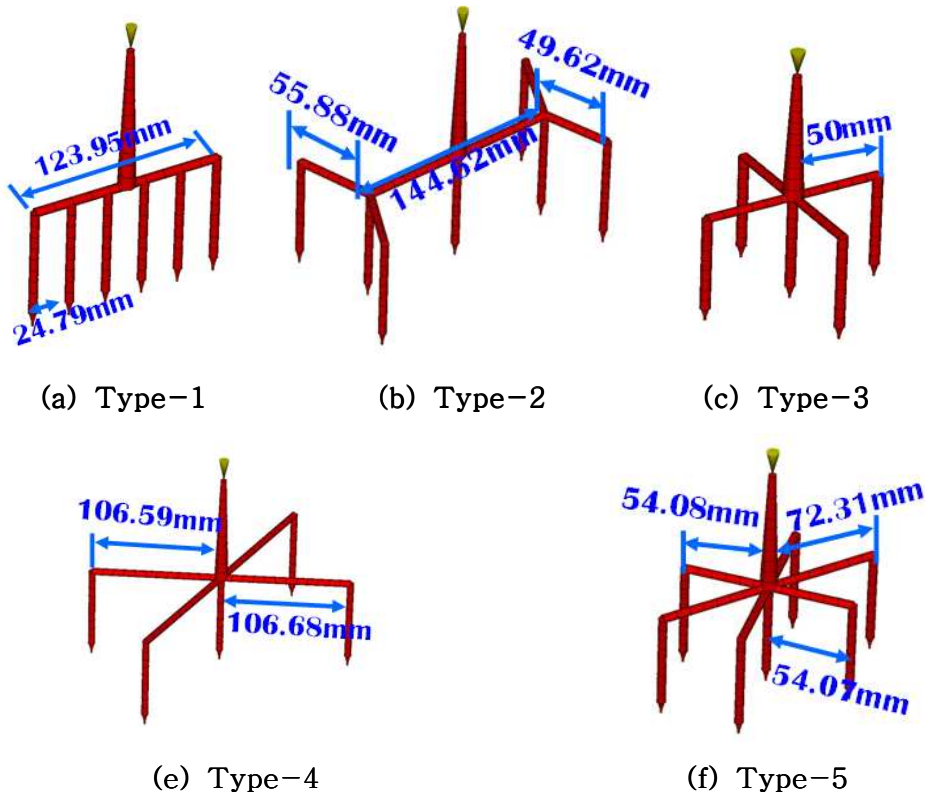


Fig. 10 Preliminary design types of runner system

심입 박벽 구조를 가진 배터리 금형 설계안의 런너 시스템은 Hot Nozzle Runner System 으로 설계하였다. Hot nozzle runner system 의 특징은 제품과 게이트가 쉽게 분리되어 후가공이 필요 없다. 그리고 다점 게이트 제작이 용이하며 런너에 의한 수지의 손실이 없는 큰 장점을 가지고 있다. 스프루(Sprue) 는 경사진 원형 단면이며 시작점 지름은 5 mm, 끝점의 지름은 12 mm 이며, 길이는 100 mm 이다 런너(Runner) 의 지름은 6 mm 이고, 게이트(Gate) 는 지름 1.5 mm, 길이 2 mm 으로 5 가지 설계안 모두 동일하게 설계 하였다. 사출 성형 해석 조건은 Table 3 과 같다.

Table 3 Conditions of preliminary injection molding analysis

Filling control	Packing Time	Melt Temp.	Cooling Time
Automatic	10 sec	240 ℃	20 sec

2.3.2 심입 박벽 구조 제품 금형의 2차 해석 설계안

초기 사출 성형 해석결과를 바탕으로 Type 1 과 같이 게이트 위치를 일직선 형태를 가지는 2차 설계안은 Fig. 11 과 같은 3가지 형태로 게이트, 런너, 스프루의 크기는 초기 설계안과 동일하게 설계하여 사출 성형 해석을 수행하였다.

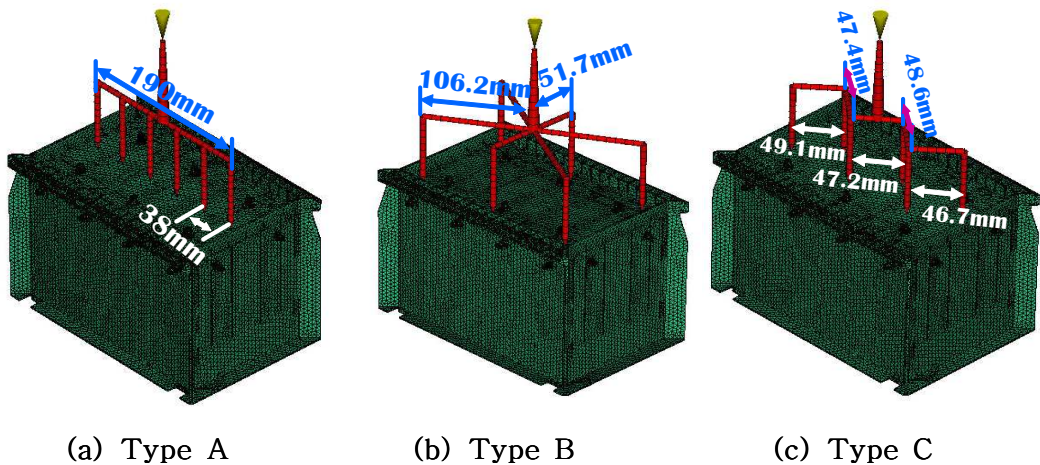


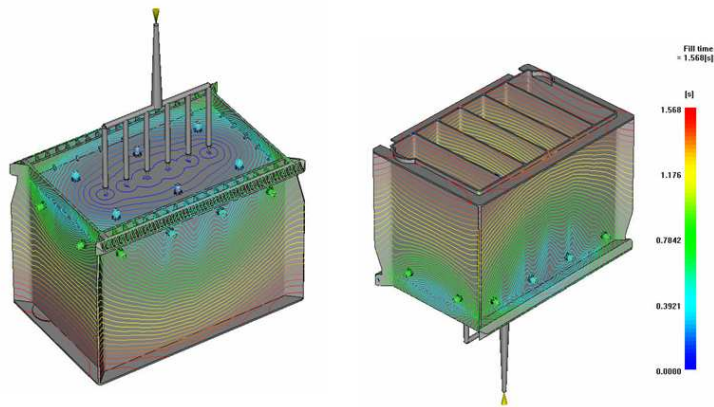
Fig. 11 Designs of runner system for injection molding analysis

제 3 장 심입/박벽구조 제품 사출 성형 해석 결과

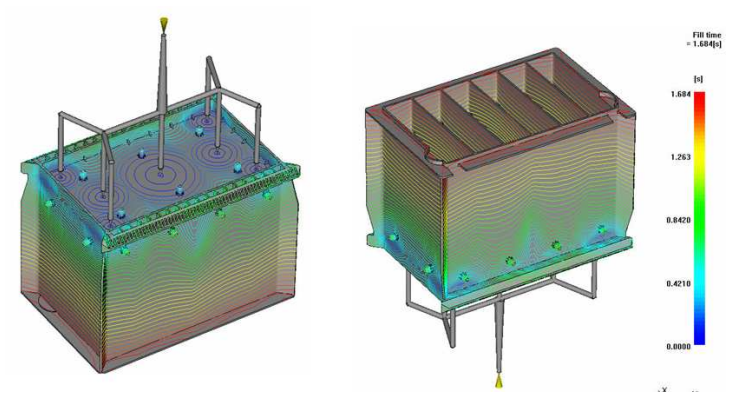
3.1 각 설계안에 대한 사출 성형 해석 결과 고찰

3.1.1 초기 설계안 사출 성형 해석 결과

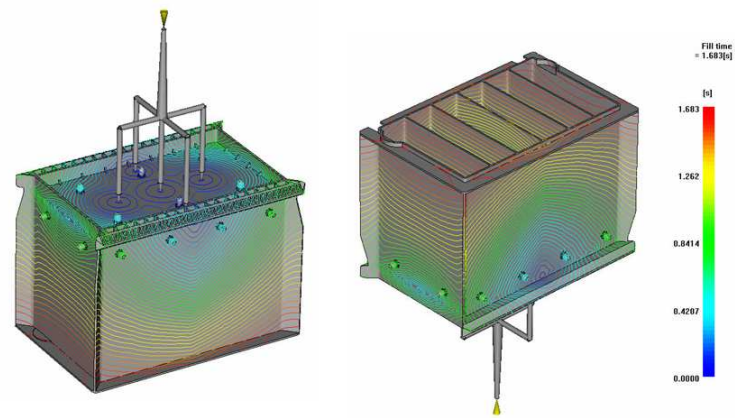
초기 설계 해석 결과를 나타내는 심입 박벽 구조를 가진 배터리의 충전 시간에 따른 충전 패턴에 대한 해석 결과는 Fig. 12 과 같다. 충전 패턴은 등고선이 일정 간격을 유지하면서 충전이 이루어지는 것이 이상적인 충전 형태이다. Type-1, Type-3, Type-5 설계안은 게이트 부에서 용융된 수지가 빠르게 유동 하다가 제품의 양쪽 가장자리에 위치한 복잡한 리브 구조와 모서리 부분에서 유동속도가 감소하다가 원활하게 충전이 이루어진다. Type-2, Type-4 설계안은 배터리 케이스 바닥면의 꼭지점 부근에 게이트가 위치하고 있기 때문에 모서리 부분의 유동속도가 빠르게 나타났다. 하지만 게이트와 게이트 사이에서는 유동속도가 약간 감소하는 것을 알 수 있었다. 충전 시간은 Type 1, Type 4, Type 5 는 1.56 sec, Type 2, Type 3 은 1.68 sec 에 성형이 완전하게 이루어짐을 알 수 있었다.



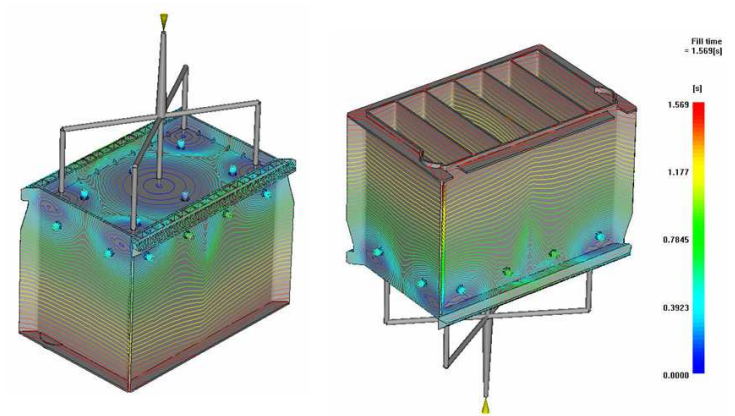
(a) Type 1



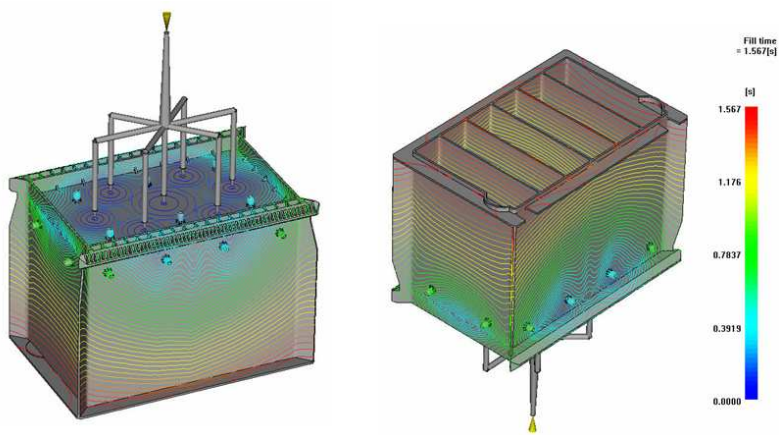
(b) Type 2



(c) Type 3



(d) Type 4



(e) Type 5

Fig. 12 Filling characteristics of the battery case for preliminary design types

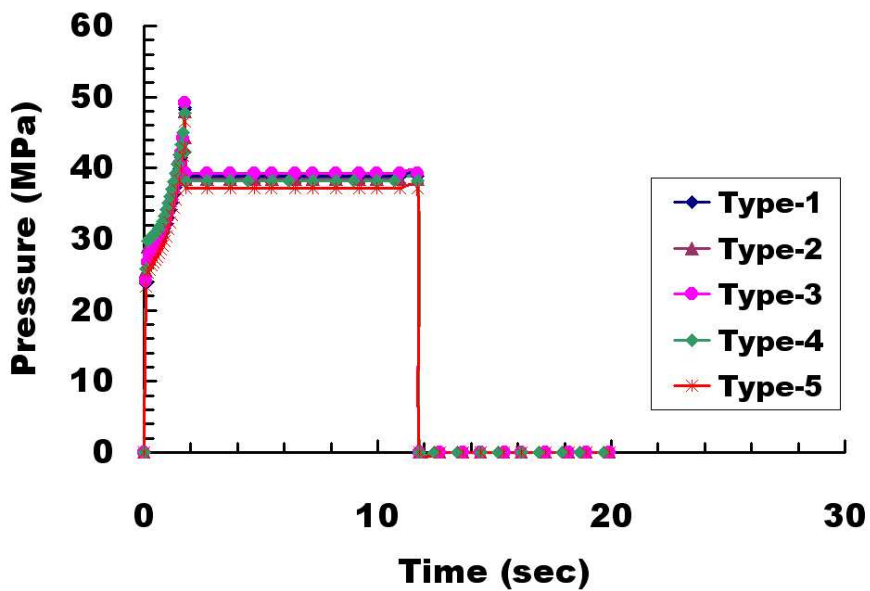


Fig. 13 Injection pressure – cycle time relationships for different preliminary design of runner system

각 설계안에 따른 사출 압력 선도는 Fig. 13 과 같이 나타났다. 충전이 완료되는 시점에서 5 가지 Type 모두 최대 사출 압력이 나타났고, 가장 크게 사출압력이 나타난 것은 Type-3 이며, 최대 사출압력은 49.14 MPa, 보압은 39.31 MPa 정도 되는 것을 알 수 있었다. 런너의 개수가 증가함에 따라 사출 압력이 증가하는 경향으로 나타났다. Type-3 은 런너의 개수가 적으며, 바닥면 중앙에 집중 되어 있기 때문에 사출압력이 높게 나타나는 것으로 사료된다. 이와 반대로 Type-5 는 런너의 개수가 많으며, 바닥면에서 넓게 분포되어 있기 때문에 사출압력이 가장 낮게 나타나는 것으로 사료된다. 보압이 끝나고 냉각 단계에서는 5가지 타입 모두 사출압력이 급격히 떨어지는 것을 알 수 있었다.

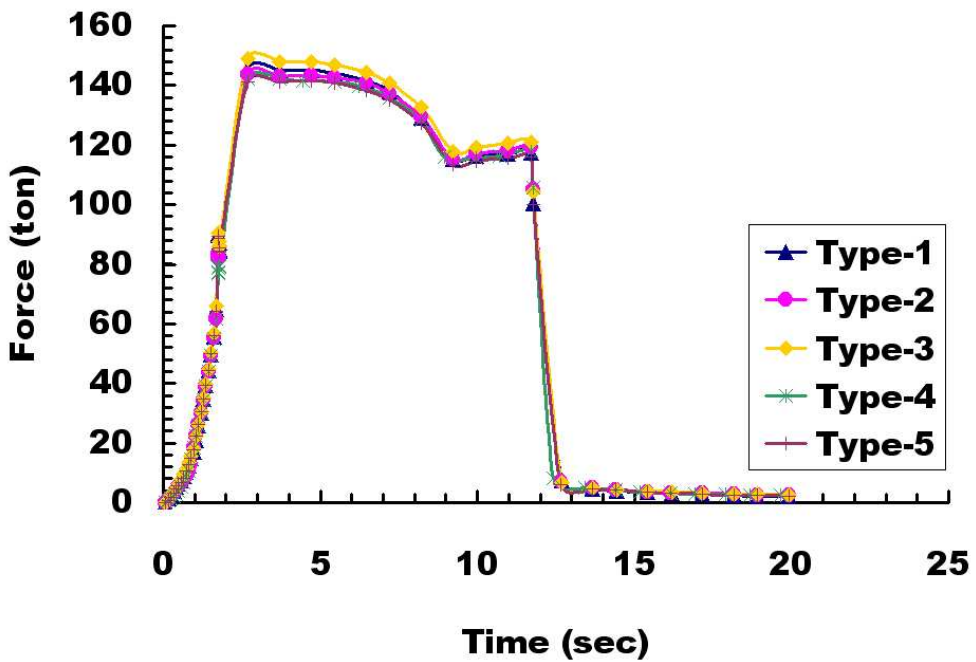


Fig. 14 Variation of clamping force according to injection time for different preliminary designs of runner system

각 설계안에 따른 형체력 선도는 Fig. 14 와 같이 나타났다. 충전이 완료되고 보압이 들어가는 시점에서 5가지 설계안 모두 높게 나타났다. 설계안 중에 Type 3

이 148.08 ton 가장 높게 나타났다. 형체력은 사출압력과 제품의 축상 투영 면적에 대해 비례하므로 사출 압력이 가장 높게 나타났기 때문에 Type-3 의 형체력이 가장 높게 나타나는 것으로 사료된다.

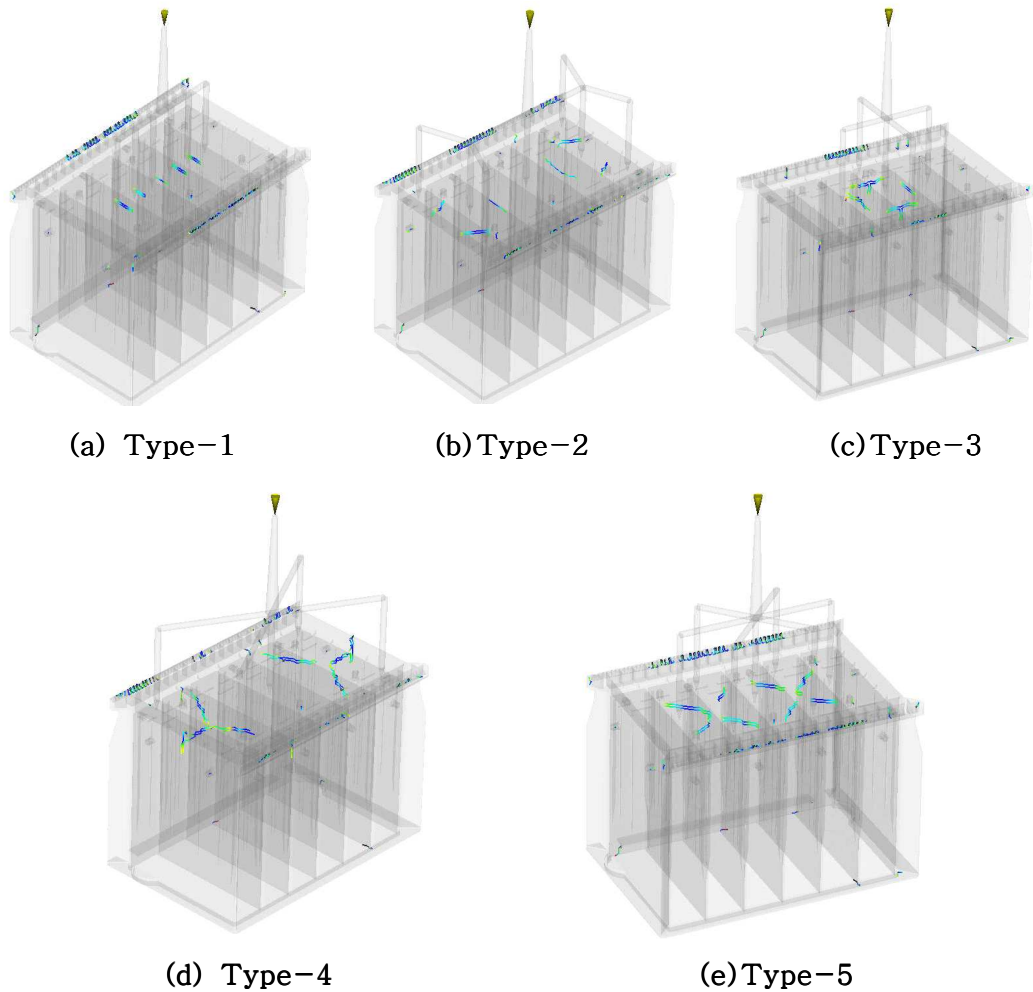


Fig. 15 Weldline formation for different preliminary designs of runner system

각 런너시스템 설계안 별 웰드라인이 생성되는 경로를 Fig. 15 와 같이 나타냈다. 전반적으로 5가지 설계안 모두 게이트와 게이트 사이에서 가장 크게 발생하고

리브부, 보스부 및 제품의 끝 선단에서 웰드라인이 생성 되는 것을 알 수 있었다. 게이트와 게이트 사이의 거리가 짧게 설계된 Type-1 이 웰드라인의 길이가 가장 짧게 나타났다. 게이트 사이의 거리가 가장 길게 설계된 Type-4 웰드라인의 길이가 가장 길게 나타나는 것을 알 수 있었다.

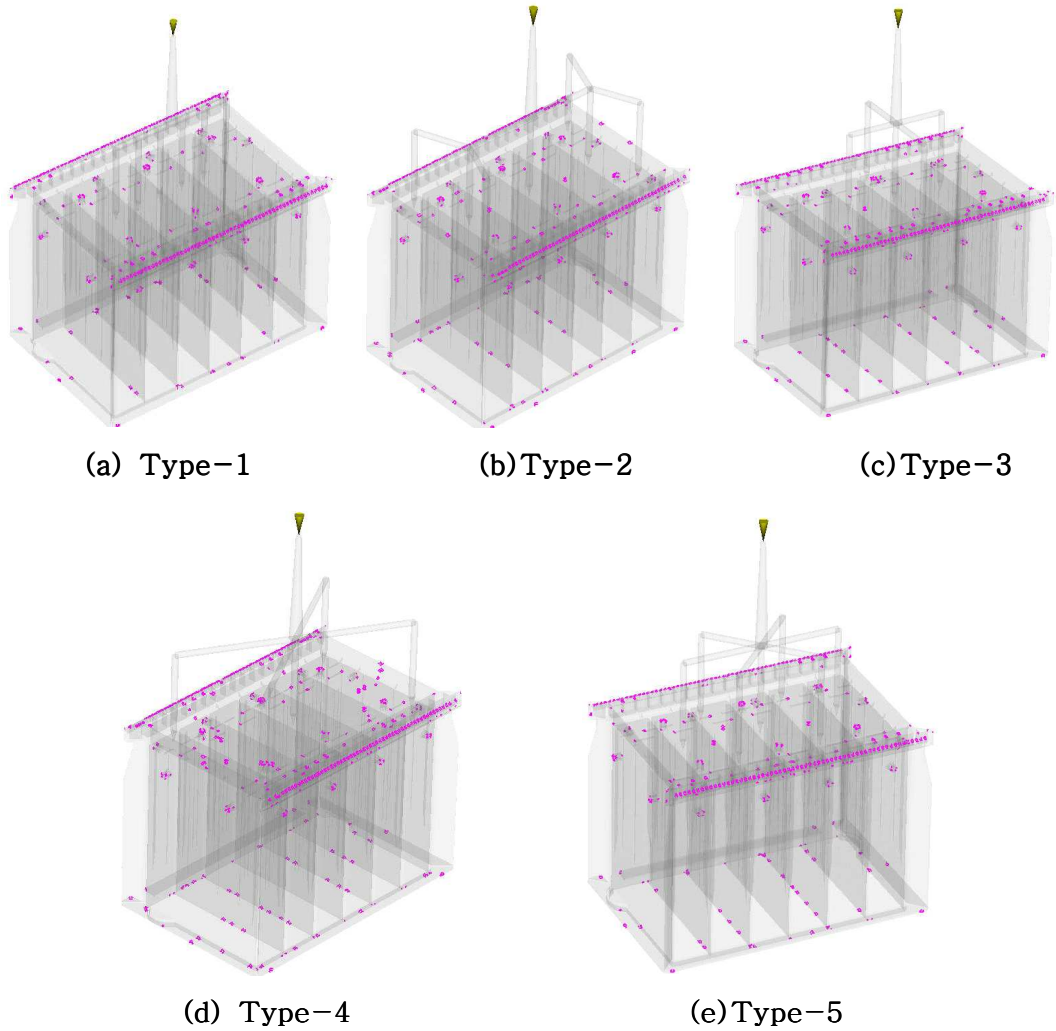
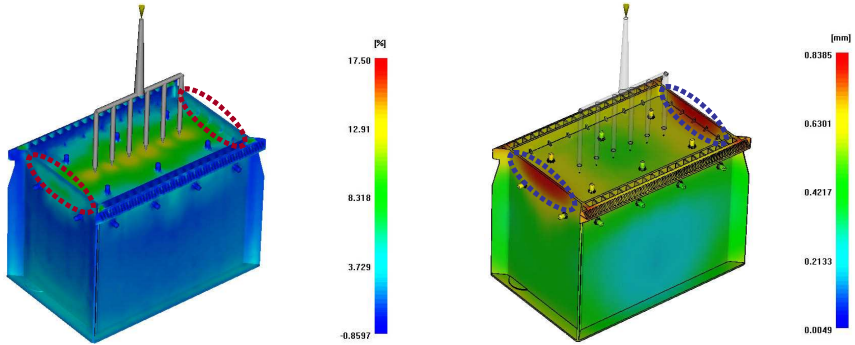
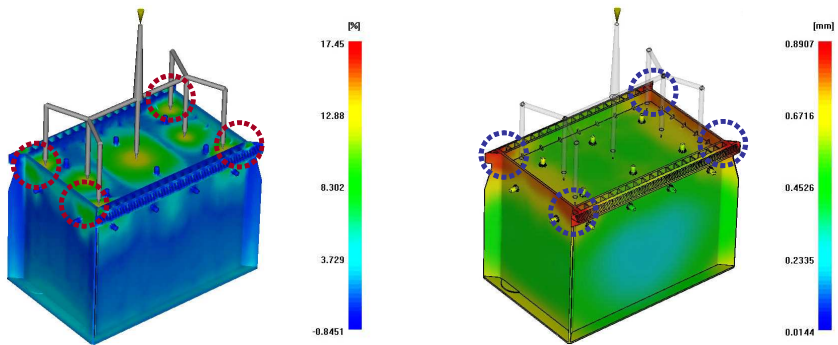


Fig. 16 Variation of airtrap formation according to different preliminary designs of runner system

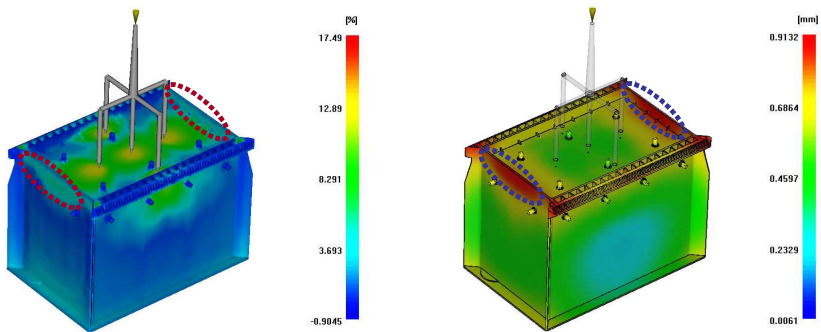
Fig. 16 는 각 설계안에 대한 기공(Airtrap) 발생이 예상되는 곳을 나타낸다. 전반적으로 5 가지 설계안 모두 보강재 부분과 보스 부분, 제품의 선단 끝부분에 런너 시스템의 설계안과 무관하게 거의 동일하게 생성 되는 것을 알 수 있다.



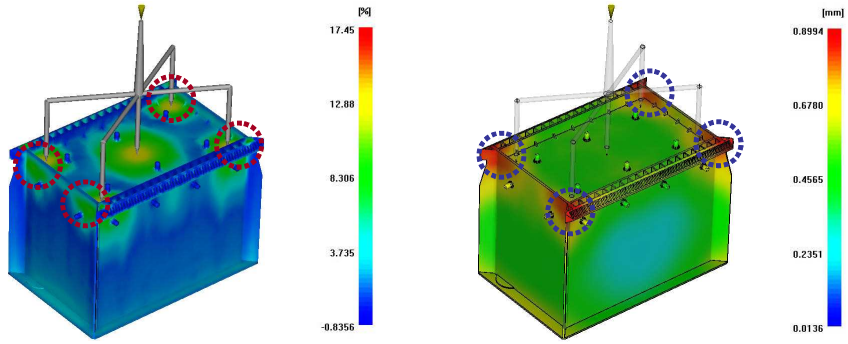
(a) Type-1



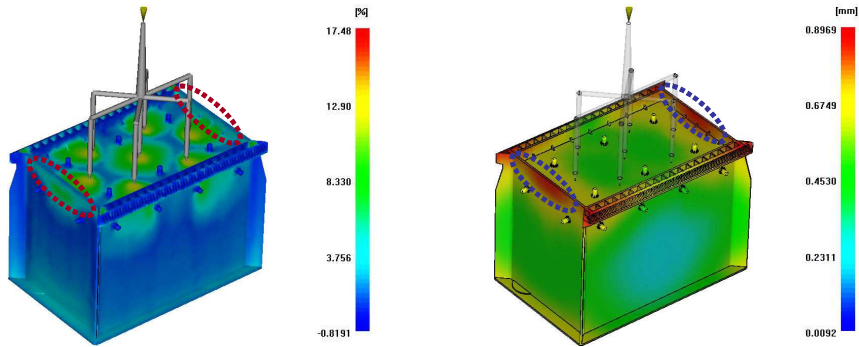
(b) Type-2



(c) Type-3



(d) Type-4



(e) Type-5

Fig. 17 Variation of wrap and shrinkage characteristics according to different preliminary designs of runner system

각 설계안에 대한 수축과 변형은 Fig. 17 과 같이 나타내고 있다. 각 설계안에 대해서 수축이 발생으로 인해 제품의 변형도 동일한 부분에 일어나는 것을 알 수 있었다. 제품의 고화가 늦게 되는 게이트의 주변에서 수축/변형이 일어나는 것을 알 수 있었다. Table 4 는 각 설계안에 대한 충전 시간, 최대사출압력, 보압력, 최대 형체력 등을 나타낸다.

Table 4 Results of injection molding analysis for preliminary design of runner system

Type	1	2	3	4	5
Fill time (sec)	1.57	1.68	1.68	1.57	1.57
Max Injection pressure (MPa)	47.98	48.57	49.70	49.09	47.66
Packing pressure (MPa)	38.39	38.85	39.76	39.27	38.13
Max. Clamp force (ton)	146.76	146.39	151.14	148.27	146.51
Avg. Shrinkage (%)	2.84	2.52	2.52	2.52	2.55
Max. Deformation displacement (mm)	0.8485	0.8907	0.9132	0.8994	0.8969

전체 5가지 설계안 중에서 Type 5 가 충전 시간, 최대 사출 압력, 보압 크기, 형체력이 각각 1.57 sec, 47.66 MPa, 38.13 MPa, 146.51 ton 으로 나타났다. 평균 수축률은 Type 2, Type 3, Type 4 에 비해 높게 나타났지만 근소한 차이로 2.55 % 약간 높게 나타났다. 그러나 Type 5 는 제품의 최대 변형량이 설계안 Type 1 에 비해 상대적으로 높으며 Weld-line 이 가장 길게 나타났기 때문에 최적 게이트 위치로 선정할 수 없었다. 그리하여 웰드라인의 길이가 가장 적게 나타나는 Type 1 로 최적 게이트 위치로 선정 하였다.

Type 1 은 충전 시간, 최대 사출 압력, 형체력이 다른 설계안들에 비해 상대적으로 최소로 나타났다. 그러나 평균 수축률에서 Type 1 이 가장 높게 나타났지만, 제품에 크게 영향 미치지 않는 양호한 수준으로 사료되어 일직선 배열 형태인 Type 1 을 초기 설계안으로 도출 하였다.

3.1.2 2차 설계안 사출 성형 해석 결과

초기 해석 결과를 바탕으로 2차 설계안을 설계 한 후 해석결과로 Fig. 18 은 배터리 금형의 충전 시간에 따른 충전 패턴에 대한 해석 결과를 나타낸 것이다. Type A 와 Type C 설계안은 초기 설계안 해석 수행한 결과와 비슷한 경향을 나타냈으며, Type B 은 각각의 게이트와 게이트 사이에서 유동이 서로 만나는 지점에서 유동속도가 감소되는 것을 알 수 있었다.

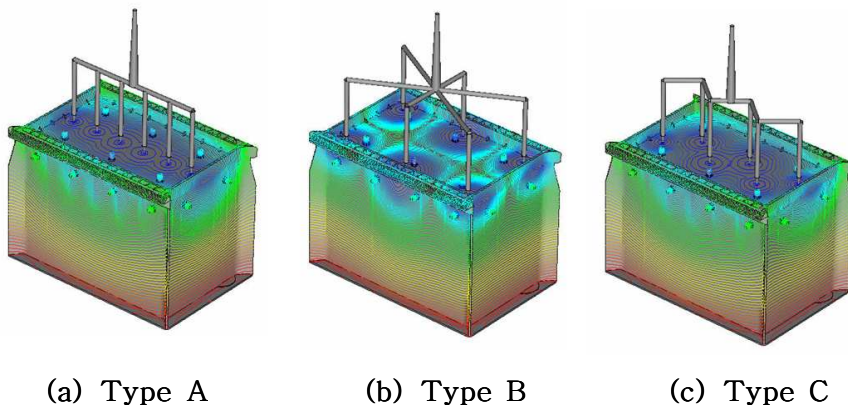


Fig. 18 Filling characteristics for different designs of runner system

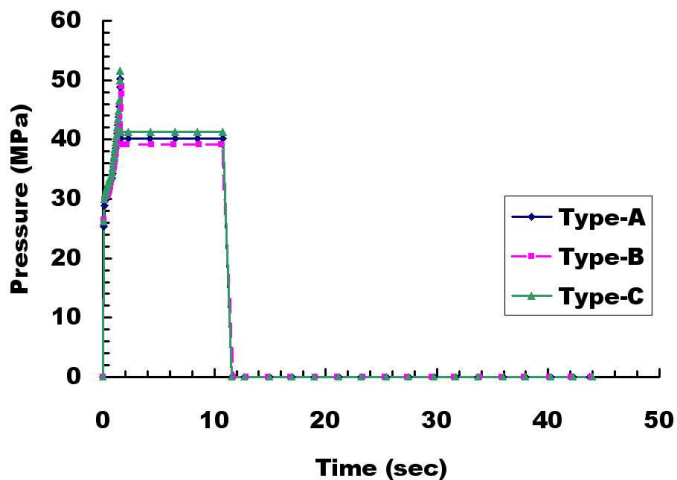


Fig. 19 Variation of injection pressure according to injection time for different designs of runner system

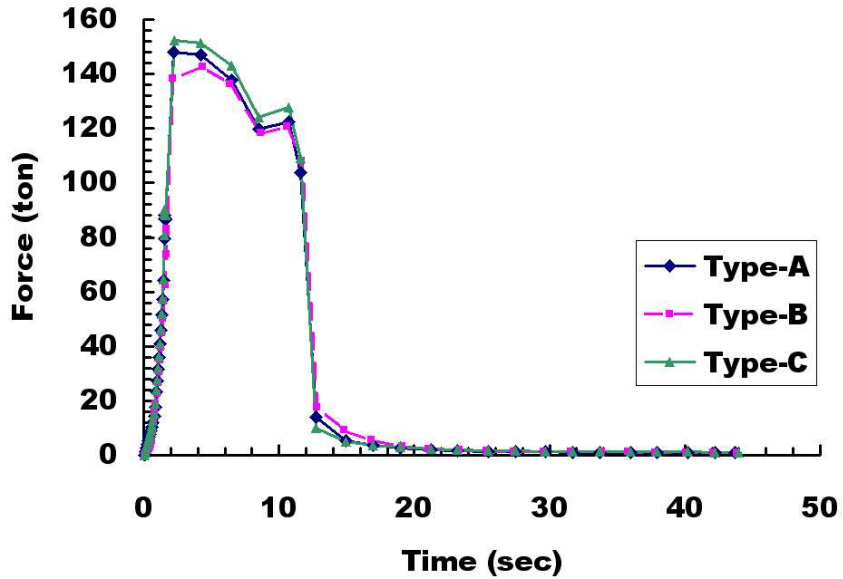


Fig. 20 Variation of clamping force according to injection time for different designs of runner system

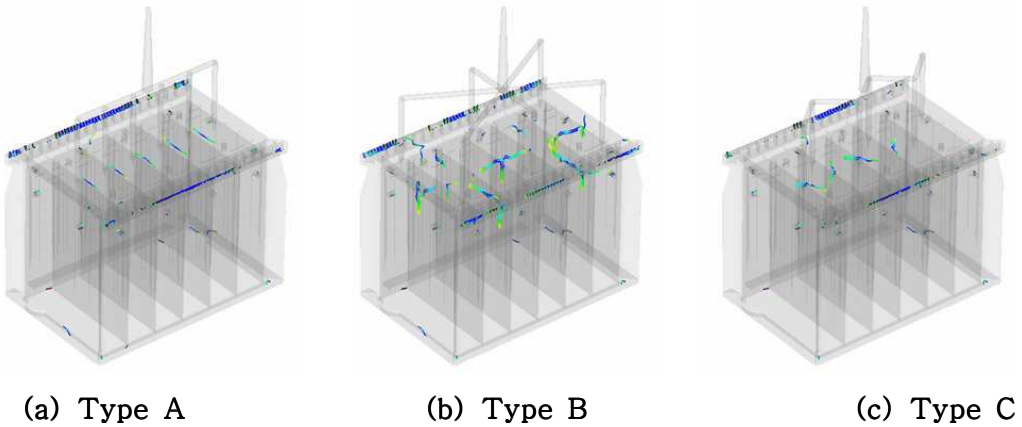


Fig. 21 Weldline formations for different design of runner system

Fig. 19 와 Fig. 20 은 각 시간에 따른 사출 압력 선도와 형체력 선도를 나타내고 있다. 각 설계안 별로 최대 사출압력과 형체력이 근접한 차이가 나타남을 알

수 있었다. 2차 설계안에 대한 웰드라인 생성 경로는 Fig. 21 과 같다. 웰드라인 생성이 비교적 길이가 가장 짧게 나타나는 설계안은 Type A 이며, Type C 는 내부바닥면에도 웰드라인 생성 가능성을 보였다. Type B 는 게이트와 게이트 사이의 웰드라인 이 길며, 내부 구조체 까지 영향을 미치는 것으로 나타나는 것을 알 수 있었다. 2차 게이트 설계안에 대한 충전 시간, 최대 사출 압력, 보압, 최대 형체력 및 평균 수축률의 해석 결과는 Table 5 와 같다.

Table 5 Result of injection molding analysis for different design of runner system

Type	Filled time (sec)	Max. Injection pressure (MPa)	Packing pressure (MPa)	Max. Clamp force (ton)	Avg. Shrinkage (%)
A	1.59	50.2	40.16	147.95	1.88
B	1.70	48.9	39.19	142.55	1.84
C	1.59	51.58	41.26	152.31	1.82

2차 설계안 해석 결과 중에서 충전 시간은 Type A 와 Type C 가 가장 빠르게 나타났으며, 최대 사출 압력과 형체력은 Type B 가 가장 낮게 나타나는 것을 알 수 있었다. 평균 수축률은 Type C 가 1.82 % 로 가장 낮게 나타났지만 3가지 설계안 모두 유사한 결과로 양호한 수준임을 알 수 있었다.

최종적으로 2차 사출 성형 해석결과를 바탕으로 도출한 최적 게이트 설계안은 충전 시간, 최대 사출압력과 형체력이 최소화 되며, Weld-Line 생성 경로가 가장 짧게 나타난 Type A 을 최적 게이트 위치로 Fig. 22 와 같이 도출하였다.

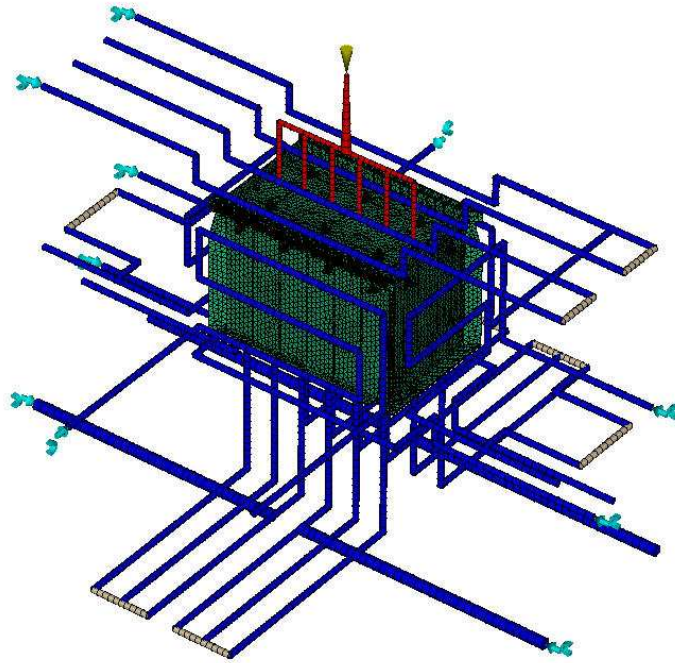


Fig. 22 Final design of the injection mould

3.2 공정 조건에 따른 해석 결과 고찰

3.2.1 최종설계안에 대한 인서트 변형 특성

인서트 변형을 해석하기 위해서는 Fig. 23 과 같은 인서트를 Unigraphics NX4 을 이용하여 설계한 후 이 설계 데이터를 .x_t 파일로 변환하고, Moldflow MPI 6.1 를 이용하여 인서트 변형 해석에 필요한 해석격자를 생성하였다. 사출 성형 해석을 위한 해석격자 생성 조건은 에지 길이 7 mm, 현 간격 0.1 mm 으로 해석격자 생성 후, 자유 에지 수정, 격자 형상비 수정을 통해서 사출 성형 해석을 위한 최종적인 해석격자를 생성하였다.

인서트를 Fig. 24 와 같이 경계조건을 부여하였는데 인서트의 밑면부터 상단으로 35.76 mm 까지 몰드베이스에 고정되어 있는 부분에 해당하기 때문에 그 부분에 고정조건을 부여 하여, 최종적으로 인서트 변형해석을 수행 할 수 있도록 하였다. Table 6 은 인서트의 해석격자수 및 절점수를 나타내고 있다.²⁷⁾

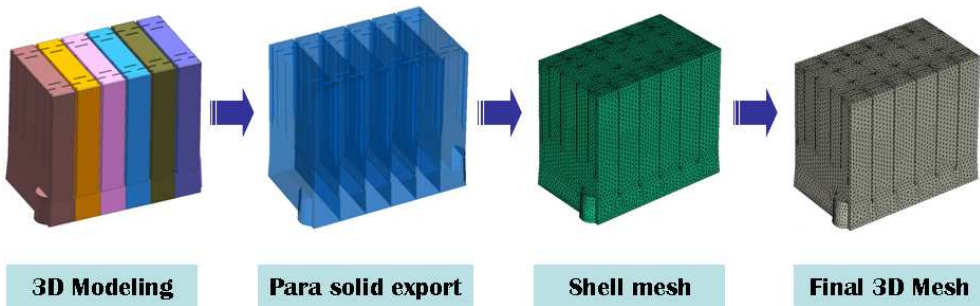


Fig. 23 Procedure of the mesh generation for the insert core

Table 6 Number of nodes and elements for injection molding analysis with the effects of core deformation

# of Nodes (EA)	70,866
# of Elements (EA)	376,674

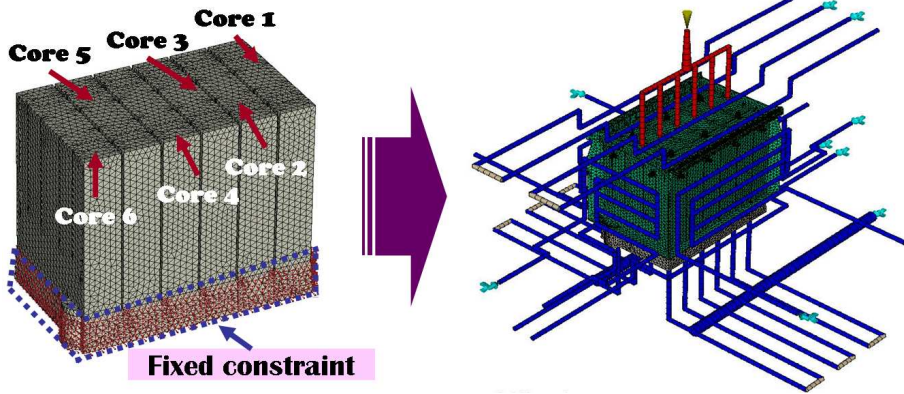


Fig. 24 Boundary conditions and analysis model for core shift analysis

사출 성형 해석에 사용된 초기 사출 조건은 Table 7 과 같다

Table 7 Conditions of injection molding analysis with core deformation effects

Filling control	Packing time	Mold temp.	Melt temp.
Automatic	10 sec	40 ℃	230 ℃

인서트 변형 해석 결과는 Fig. 25 과 같이 나타났으며, 인서트 1번과 2번을 제외한 나머지는 모두 다른 방향으로 변형하였다. 그리고 사출 압력이 가장 높을 때 인서트 1번, 5번, 6번이 가장 변형이 심하게 나타나는 것을 알 수 있었다. 인서트의 최대 변형량은 Table 8 과 같이 나타남을 알 수 있었다.

Table 8 Maximum displacement of each core

No. of core	1	2	3	4	5	6
Displacement (mm)	0.237	0.102	0.063	0.131	0.238	0.201

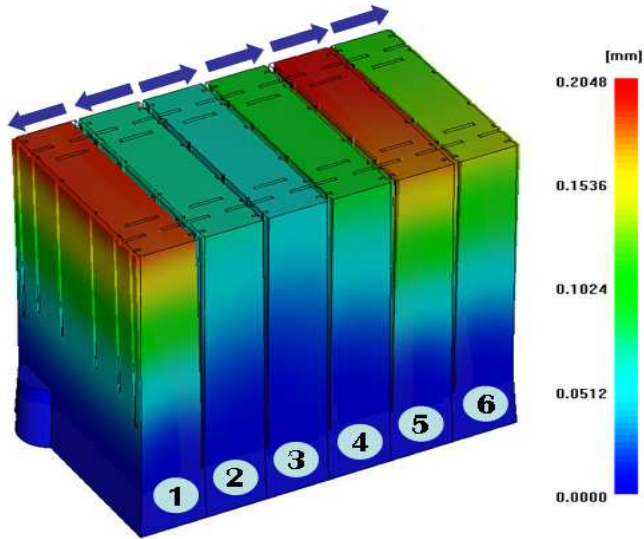


Fig. 25 Deformation of each channel of core

심입/박벽 구조를 가진 배터리 케이스용 금형의 인서트 변형을 최소화시키기 위한 사출 성형 공정 조건을 도출하기 위해 실험계획법을 활용하였다. 실험계획법을 사용하기 위해서는 제품의 품질을 판단하기 위한 기준이 필요로 하게 되는데 본 논문에서는 이러한 판단기준을 인서트의 변형량을 선정하였다. 제어인자는 사출 시간, 사출압력 및 보압시간을 선정하였으며 각 인자에 대한 수준은 Table 9 와 같이 결정하였다. 해석조건은 Table 10 과 같이 직교 배열로 나타내었으며, 인서트의 변형량은 망소특성에 해당되므로 식(1) 을 적용하여 S/N 비를 구하였다.^{28~34)}

$$SN_i = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y^{2_{ij}} \right] \quad (1)$$

Table 9 Control factors and their levels for design of experiment

Control factors		Level		
		1	2	3
A	Injection Time (sec)	6.0	6.6	7.2
B	Injection Pressure (MPa)	40.0	35.0	30.0
C	Packing Time (sec)	2.0	3.5	5.0

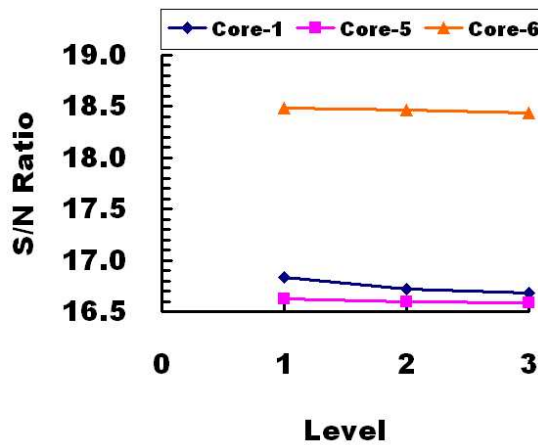
Table 10 Combination of control factors according to $L_9(3^4)$ orthogonal array

Exp. no.	Conditions			
	e	A (sec)	B (MPa)	C (sec)
1	1	6.0	40.0	2.0
2	1	6.6	35.0	3.5
3	1	7.2	30.0	5.0
4	2	6.0	35.0	5.0
5	2	6.6	30.0	2.0
6	2	7.2	40.0	3.5
7	3	6.0	30.0	3.5
8	3	6.6	40.0	5.0
9	3	7.2	35.0	2.0

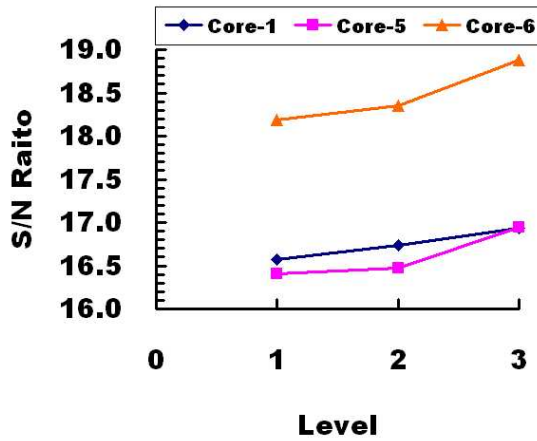
Table 10 의 조건에 따라 해석된 결과는 Table 11 과 같이 나타났다. 초기 해석결과와 동일한 방향으로 변형이 발생하였으며 0.1 mm 이상 인서트의 변형이 일어나는 것은 1번, 5번, 6번으로 나타남을 알 수 있었다.

Table 11 Results of injection molding analysis with the effects of core deformation

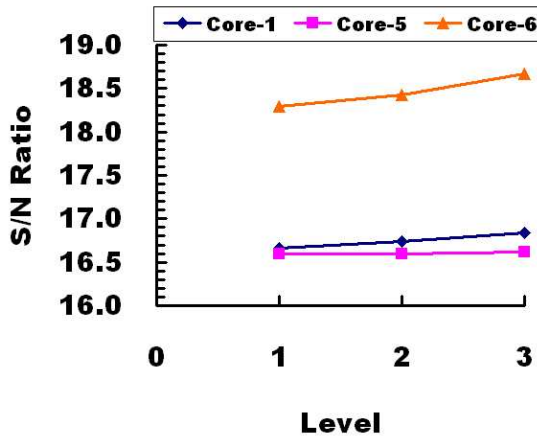
Exp. no.	Max. Displacement of core (mm)					
	Core-1	Core-2	Core-3	Core-4	Core-5	Core-6
1	0.1495	0.0621	0.0381	0.0871	0.1519	0.1241
2	0.1473	0.0606	0.0390	0.0860	0.1513	0.1266
3	0.1430	0.0582	0.0391	0.0788	0.1475	0.1206
4	0.1412	0.0621	0.0381	0.0871	0.1385	0.1123
5	0.1430	0.0606	0.0390	0.0860	0.1487	0.1210
6	0.1485	0.0582	0.0391	0.0788	0.1493	0.1323
7	0.1410	0.0621	0.0381	0.0871	0.1420	0.1168
8	0.1473	0.0606	0.0390	0.0860	0.1505	0.1233
9	0.1480	0.0582	0.0391	0.0788	0.1520	0.1345



(a) Effects of injection time



(b) Effects of injection pressure



(c) Effects of packing time

Fig. 26 S/N ratios for each process parameter

Table 11 에서 0.1 mm 이상 인서트 변형이 일어난 1번, 5번, 6번의 결과를 가지고 S/N 비를 계산한 결과 Fig. 26 과 같이 사출시간은 1수준, 사출 압력과 보압 시간은 3수준에서 S/N 비가 가장 높게 나타나는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과로 부터 최종적인 사출 성형 공정 조건을 Table 12 와 같이 도출 할 수 있었다.

Table 12 Optimum injection molding conditions

Injection Time	Injection Pressure	Packing Time
6.0 sec	30 MPa	5sec

Table 12 조건에 대하여 사출 성형해석을 수행한 결과는 Table 13 과 같이 나타났다. 그런데 최적 조건의 결과값은 직교배열표의 No. 7 조건과 동일하게 나타남을 알 수 있었다. 그러나 배터리 케이스의 평균수축률이 No. 7 의 조건에서는 12.16 % 로 나타났고, 최적 조건에서는 11.65 % 로 No. 7 의 성형 조건보다 평균 수축률이 낮게 나타남에 따라 최적 사출성형 조건으로 도출 하였다

Table 13 Maximum displacement for each channel at the optimum condition

No. of core	1	2	3	4	5	6
Displacement (mm)	0.141	0.062	0.038	0.087	0.142	0.117

각 제어인자에 대한 인서트 변형 기여율을 계산한 결과 Table 14 과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 사출 압력이 압도적으로 인서트의 변형에 많은 영향을 주고 있다는 것을 알 수 있었다. 그에 반면에 사출시간과 보압시간은 거의 영향이 미치지 않음을 알 수 있었다.

Table 14 Contribution ratio of each control factor for the insert deformation

Insert No.	Contribution ratio (%)		
	Injection Time	Injection Pressure	Packing Time
1	11.02	76.51	0.05
5	2.44	93.47	2.77
6	0.19	95.34	3.21

4장 심입 박벽 구조 제품 금형 제작 및 시사찰

4.1 심입 박벽 구조 제품 금형 설계 및 제작

본 연구에 심입/박벽 구조를 가진 제품의 유동성을 높이기 위해서 Weldless 금형 형태로 설계 하였다. 웰드리스 (Weldless) 금형의 방식은 스팀 (Steam) 방식, E-Mold 방식, MmSH 방식 등이 있다. 이러한 방식들은 사출제품의 형상이 평면형이며 제품의 외관 형상에 발생하는 웰드라인(Weld-line), 플로우마크 (Flow-mark), 등의 결함발생을 제거하기 위해 쓰인다. 이러한 방식에 적용 가능한 것은 그 형상이 평면에 가까운 두께가 얇은 판넬 제품에는 쉽게 적용이 가능하나 높이가 높은 심입/박벽 구조를 가지는 케이스와 같은 제품에는 원리와 구조상 적용이 어렵고 고가의 신규 설비투자가 필요하게 된다.^{35~36)}

본 연구에 사용되는 웰드리스 금형은 기존의 방식과 다른 방법으로 Fig. 27 과 같이 일반적인 가공법으로 제작이 가능하도록 설계하였다. 제품의 사면의 단열재 조립공간의 언더컷 (Under-cut)을 고려한 위한 4개의 슬라이드 코어 (Slide-core) 를 적용하였다. Fig. 28 과 같이 그 내부에 금형온도를 가열 할 수 있는 히터 (Heater) 를 장착하였다. 히터 매립 면과 코어의 가열되는 내측 면과의 거리는 12 mm 정도 간격을 주어서 금형을 가열 시 공기압 실린더에 의해 가열면으로 전진하여 금형을 가열 할 수 있게 하였다. 그리고 금형의 냉각 시 히터가 후퇴하여 코어의 냉각이 빠르게 이루어질 수 있도록 구조설계 하였다.

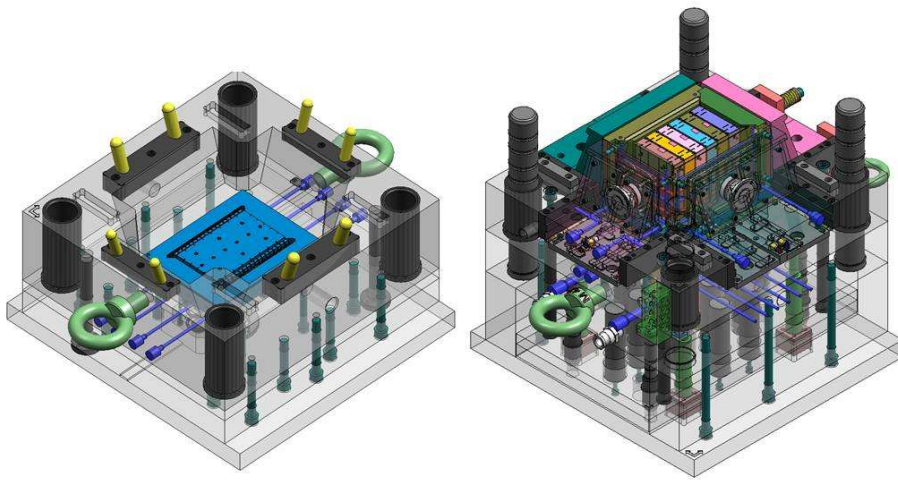


Fig. 27 Design of injection mould for the battery case

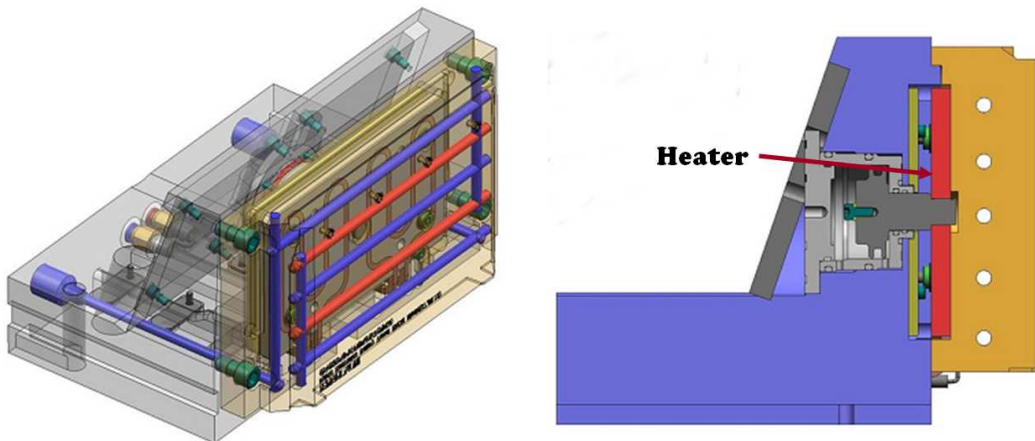
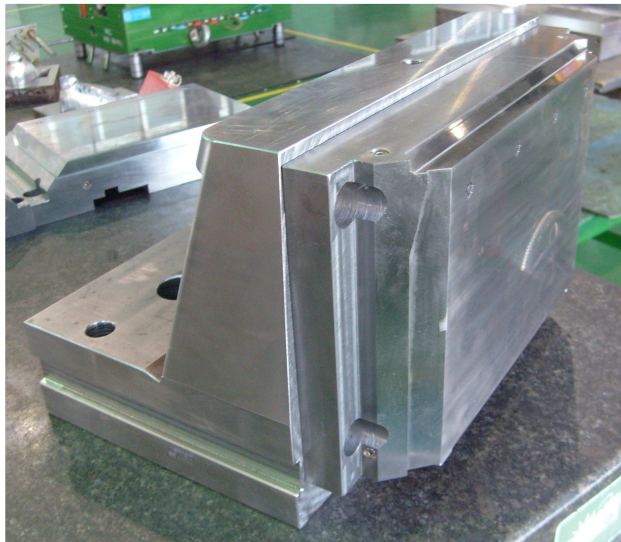


Fig. 28 Design of slide core



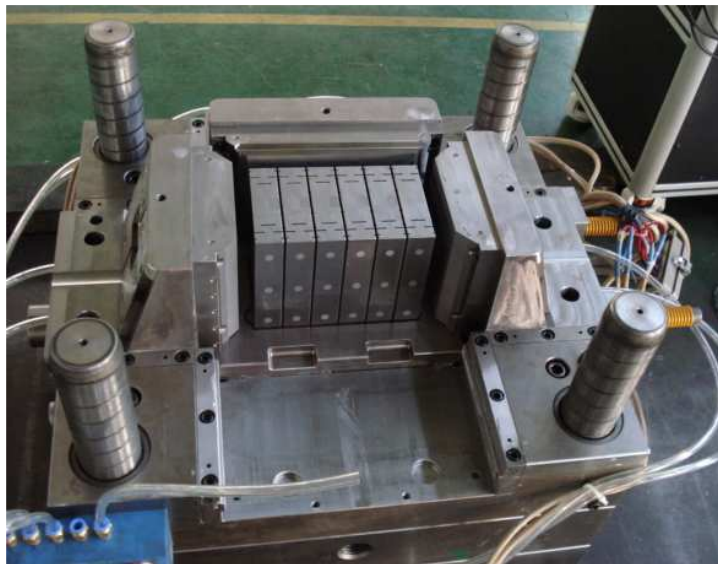
(a) Heater



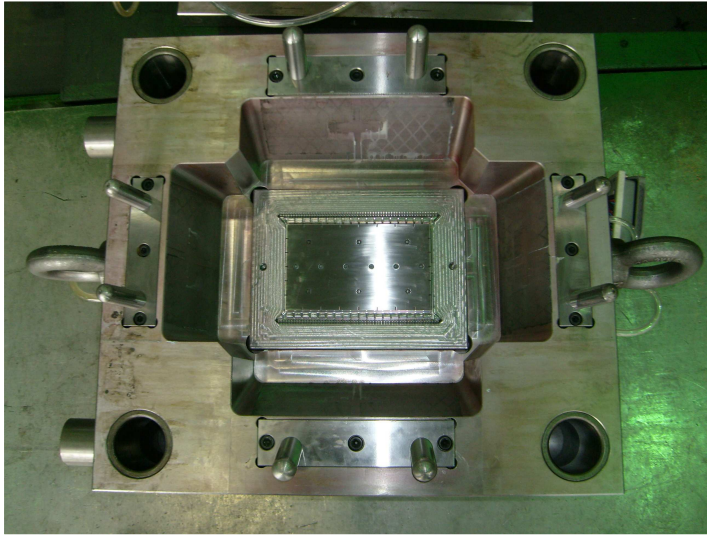
(b) Slide Core



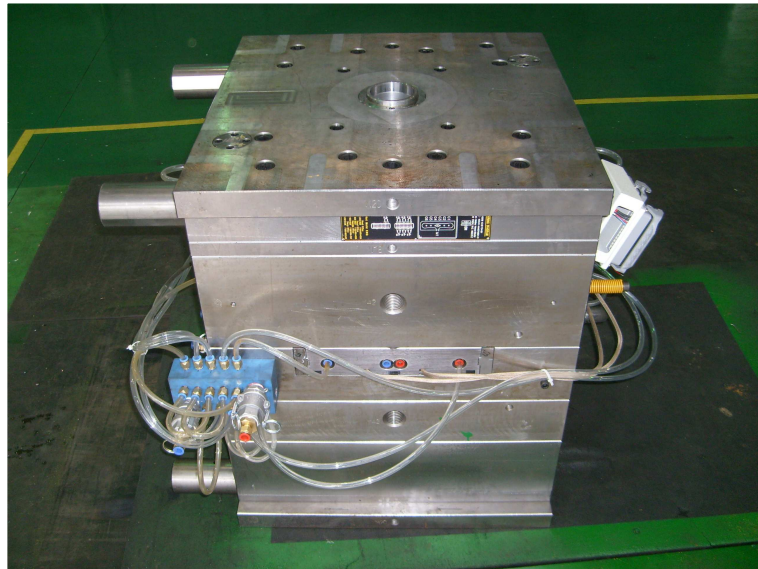
(c) Assembly of heater and slide core



(d) Assembly of core and mould base



(e) Assembly of cavity unit



(f) Finally fabricated mould set

Fig. 29 Manufactured mould for the battery case

심입/박벽 구조를 가진 배터리 케이스의 금형을 제작하기 위해 고속가공 NC 장비와 와이어 커팅 (Wire Cutting) 장비 및 기타 범용의 공작기계를 이용하여 전반적인 외형 형상과 형합부를 가공하였다. 건 드릴 (Gun Drill) 장비를 활용하여 냉각구조를 가공하였다. 제품의 표면의 조도를 감안하여 제품내부에 해당하는 금형의 표면은 경면사상 작업을 실시하였으며 제품의 외관에 해당하는 슬라이드 표면은 부식처리를 실시하였다. 최종적으로 금형을 조립하고 냉각 및 히터배선 연결 작업을 끝으로 시 사출 할 수 있도록 금형조립을 Fig. 29 와 같이 마무리 하였다. 금형의 가공시간은 고속 NC 가공 240 시간, 와이어 커팅 120 시간, 제품부 금형 표면처리 96 시간, 사상조립 240 시간을 소요하였다.

히터의 1개당 용량은 2 kW 이며 슬라이드 코어의 장변에는 2개, 단변에는 1개씩 장착되어 전체 용량은 12 kW 로 본 금형의 온도를 높이는데 충분한 용량으로 사료된다.

4.2 심입/박벽구조 제품 시 사출 및 품질평가

4.2.1 심입/박벽구조 제품의 시 사출

본 연구 대상 금형의 크기는 750 mm × 700 mm × 870 mm 이다. 금형의 크기와 형개 거리 및 안전성을 고려하여 시 사출 작업을 하기위해 사용한 사출 성형기는 Fig. 30 과 같이 우진 세렉스 社 의 Selex NE 600 을 사용하였다. 사출 성형기의 최대 형체력은 600 ton 이며, 사출 성형기의 제원은 Table 15 과 같으며, 칠러냉각기(Chiller cooler)를 사용하였다. 그리고 히터제어기(Heater controller)를 이용하여 금형온도를 제어 하였다. 실제 사출성형 시 사출 압력의 제어는 사출기 유압시스템의 압력을 제어를 통해서 사출압력을 제어되어 사출된다. 사출 성형 해석을 통해서 도출한 사출 성형 공정 조건을 토대로 인서트 변형을 고려한 사출 성형의 실제 사출 조건으로는 Table 16 과 같다. Fig. 31 는 심입/박벽 구조를 가진 배터리 케이스 제품이 충전되는 과정을 보여주고 있다.

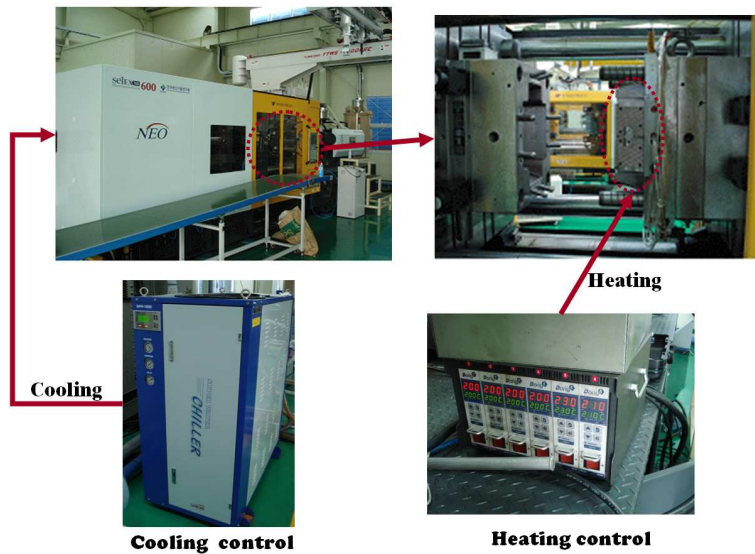


Fig. 30 Injection molding apparatus

Table 15 Specification of injection molding apparatus

Screw diameter (mm)	80
Flow rate (cm ³ /sec)	662
Injection stroke (mm)	440
Clamping force (ton)	600
Plate size H×V (mm × mm)	1020 × 1020
Ejector stroke (mm)	950

Table 16 Injection molding conditions

Injection pressure (MPa)	31.87
Injection time (sec)	6.0
Packing time (sec)	5.0
Cooling time (sec)	60

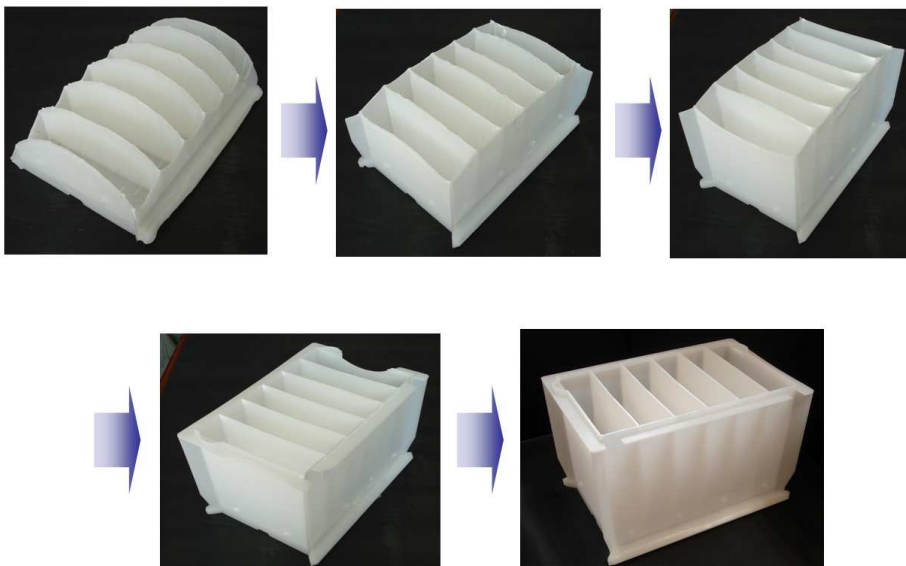


Fig. 31 Filling procedure of the battery case during injection molding

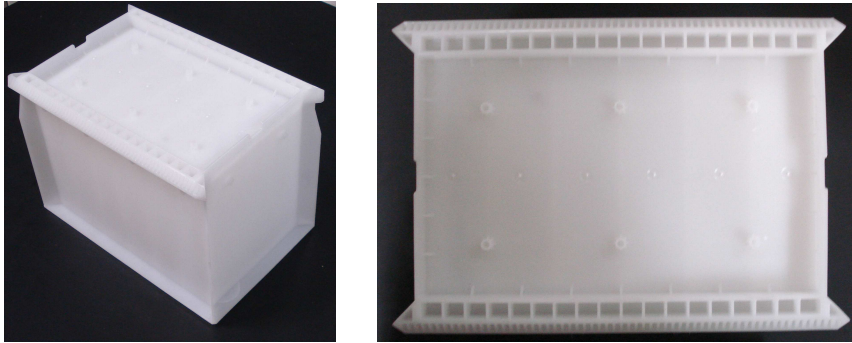


Fig. 32 Injection molding part

배터리 케이스 시 사출시 Fig. 32 와 같이 제품에 웰드라인이 생성이 되지 않음을 알 수 있었다. 게이트와 게이트 사이의 유동거리가 용융된 수지의 온도가 유지되기 때문에 서로 다른 유동이 경계층을 형성하지 않고 만나기 때문에 웰드라인이 생성이 되지 않는 것으로 사료된다.

4.2.2 심입/박벽구조 제품의 두께 측정 및 변형

인서트의 변형을 고려하여 시 사출을 실시하였다. 사출기의 사출 압력을 31.87 MPa 에서 9.81 MPa 까지 압력강하를 하여 시 사출을 실시한 후 내부 구조체의 두께를 측정하였다. 측정위치는 Fig. 33 과 같이 A 에서 F 위치를 선정하여 측정하였다. 두께 측정 결과는 Fig. 34 와 같이 제품의 두께가 가장 불균일한 부분은 A 위치에서 C 위치까지 나타났다. A 위치에서 F 위치까지 내려감에 따라 균일한 제품의 두께를 나타냈다. 또한, 내부 구조체의 위치가 46.92 mm, 194.21 mm 에 위치한 부분에서 가장 불균일한 두께를 나타냄을 알 수 있었다.

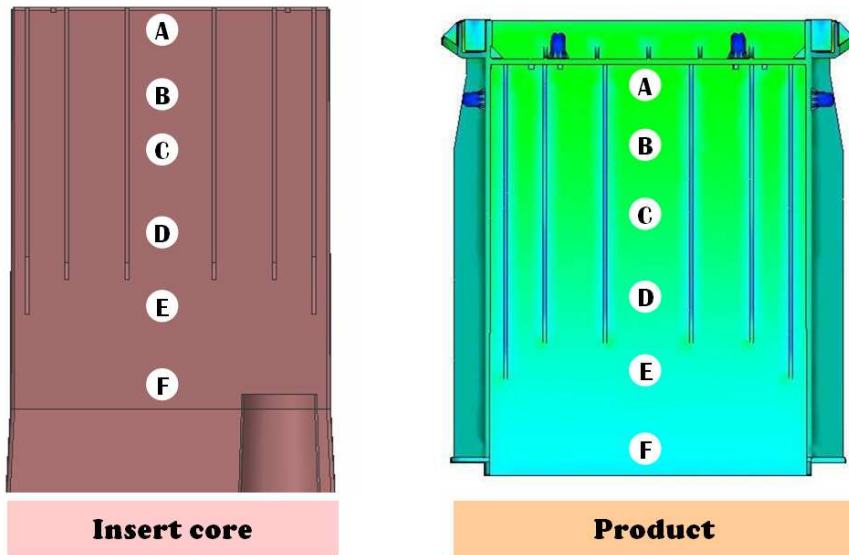
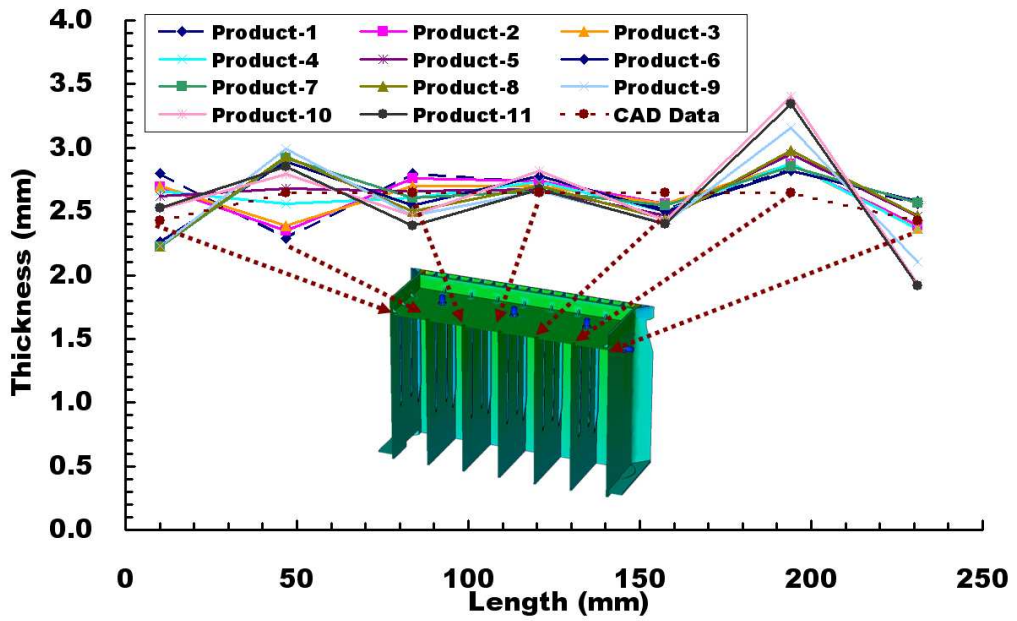
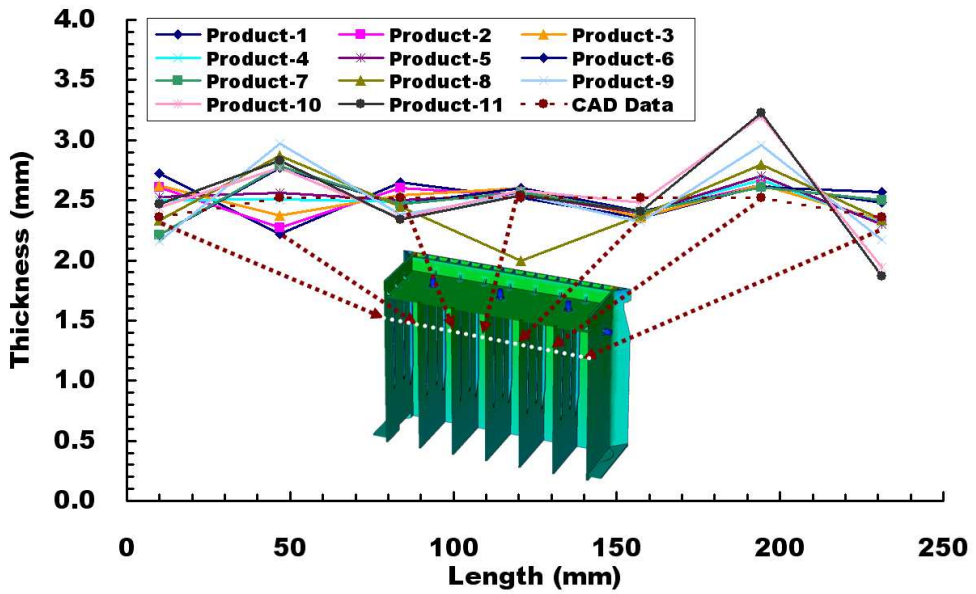


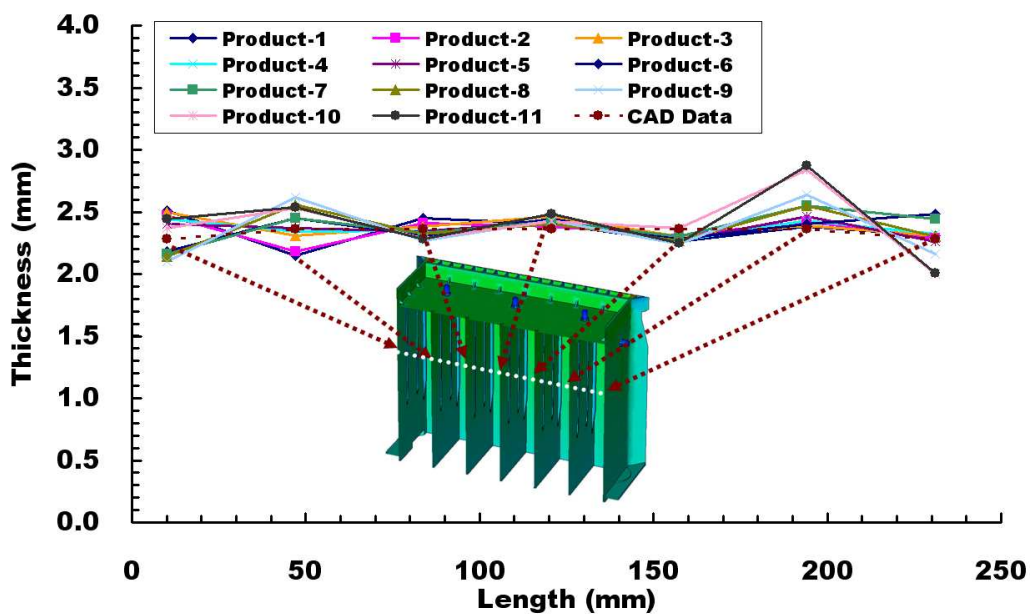
Fig. 33 Measurement location of the product thickness



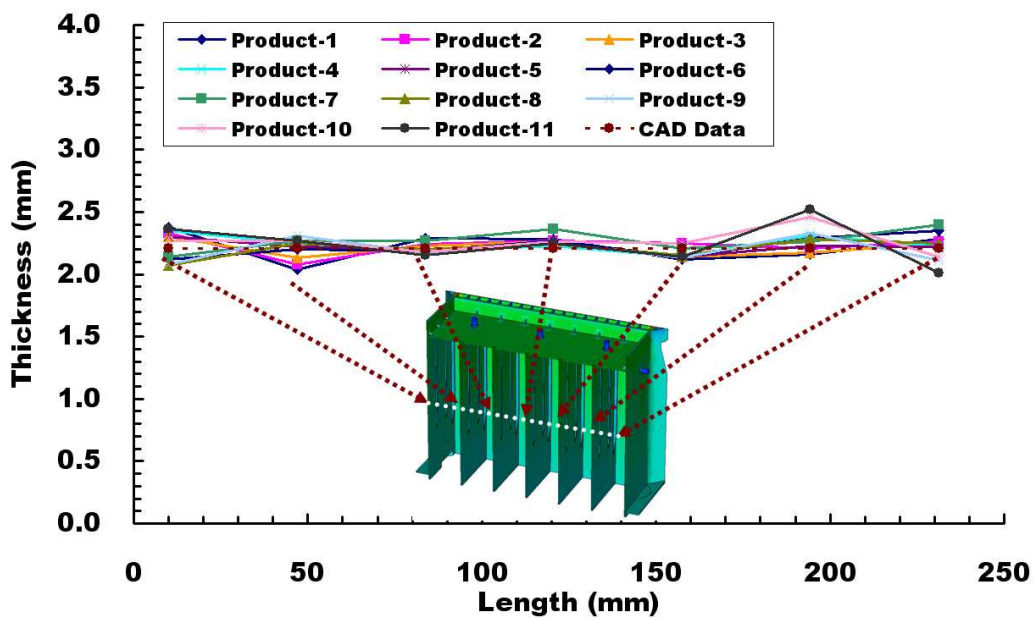
(a) Thickness of A position



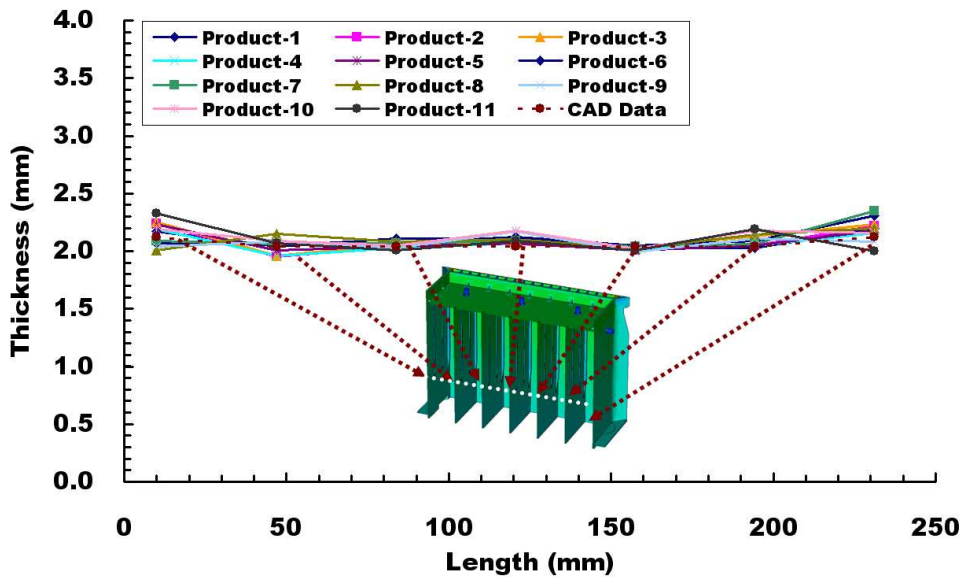
(c) Thickness of B position



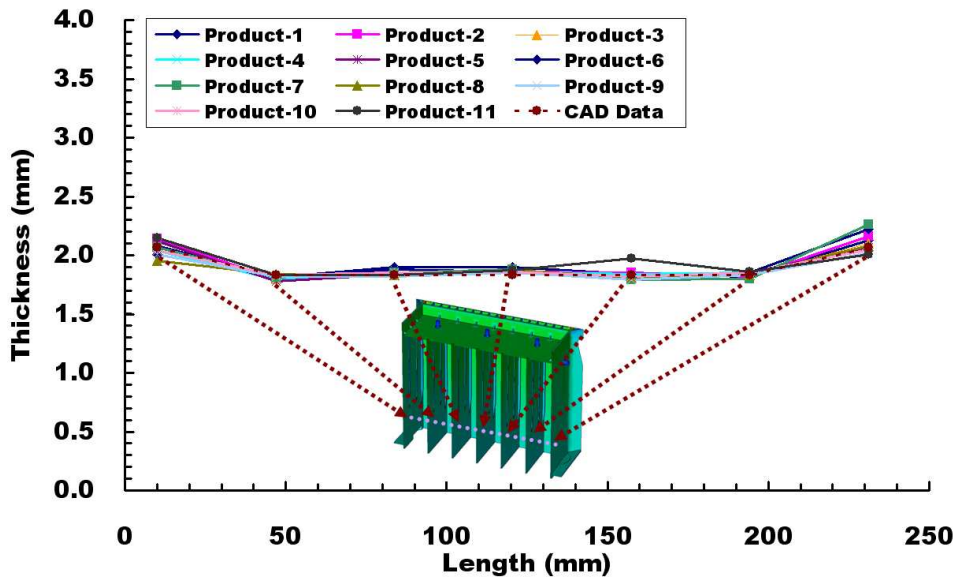
(e) Thickness of C position



(g) Thickness of D position



(i) Thickness of E position



(k) Thickness of F position

Fig. 34 Variation of wall thickness distributions according to the injection pressure

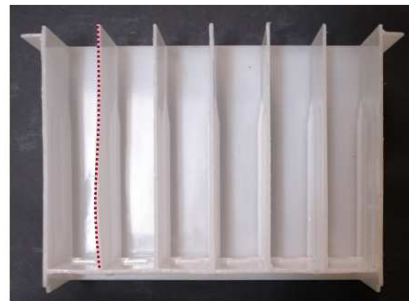
제품의 변형은 Fig. 35 과 같이 나타났다. 제품의 변형이 거의 일어나지 않는 사출압력이 31.87 MPa 일 때 가장 양호한 제품을 얻을 수 있었다. 사출 압력이 낮아질수록 제품의 변형이 심하게 나타는 것을 알 수 있었다. 사출 압력이 제품에 충분하지 못하면 열에 의한 수축/팽창이 일어나서 변형이 심하게 되는 것으로 사료 된다. 그리고 사출압력이 9.81 MPa 일 때 미성형이 발생됨을 알 수 있었다.



Product - 1



Product - 2



(a) Injection pressure = 31.87 MPa

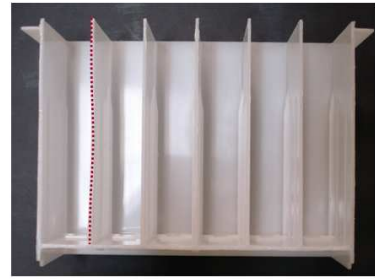
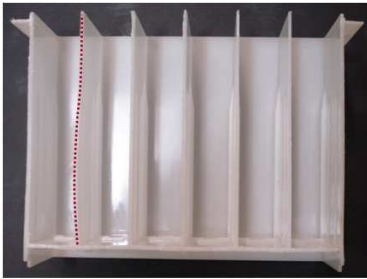
(b) Injection pressure = 29.62 MPa



Product - 3



Product - 4

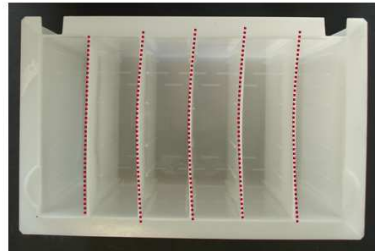


(c) Injection pressure = 26.97 MPa

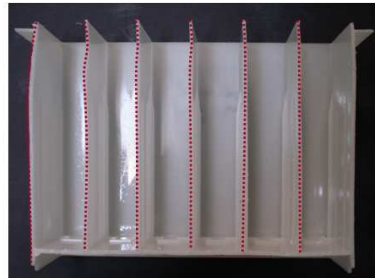
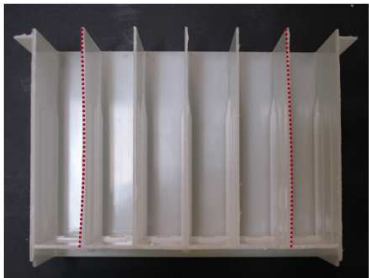
(d) Injection pressure = 24.52 MPa



Product - 5

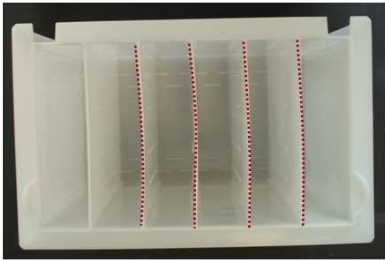


Product - 6



(e) Injection pressure = 22.06 MPa

(f) Injection pressure = 19.61 MPa



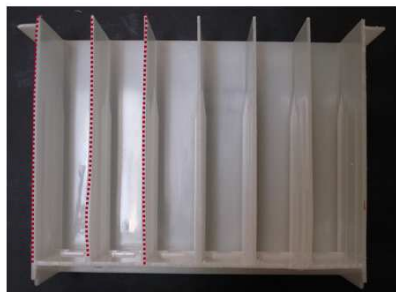
Product - 7



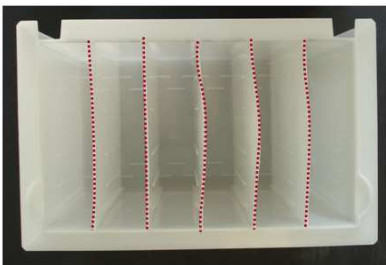
Product - 8



(g) Injection pressure = 17.16 MPa



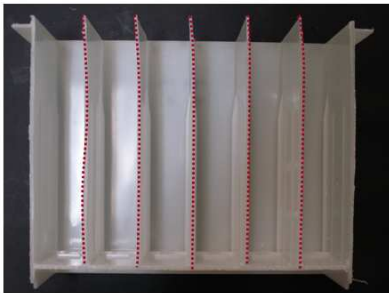
(h) Injection pressure = 14.71 MPa



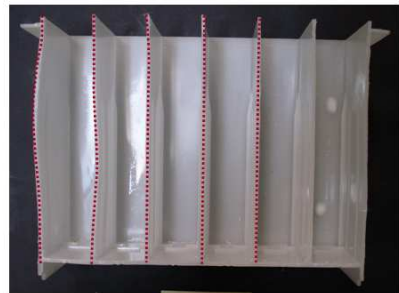
Product - 9



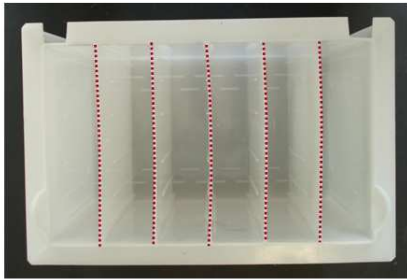
Product - 10



(i) Injection pressure = 12.26 MPa



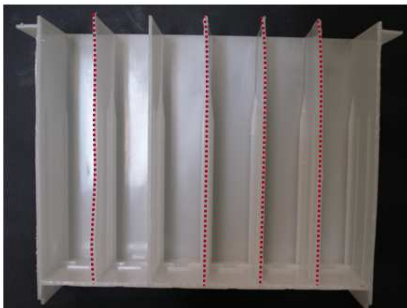
(j) Injection pressure = 11.28 MPa



Product - 11



Product - 12



(k) Injection pressure = 10.79 MPa (l) Injection pressure = 9.81 MPa
Fig. 35 Variation of wall deformation characteristics according to the injection pressure

인서트의 변형을 고려하여 도출한 성형 해석 결과와 시 사출 제품과 두께를 비교하였다. 비교한 결과는 Fig. 36 와 같이 나타났다. 사출 성형 해석 결과는 CAD 데이터와 거의 일치하는 것으로 나타났다. 하지만 제품은 46.92 mm, 157.39 mm 부분의 내부 구조체의 두께가 다소 많은 차이가 나는 것을 알 수 있었다.

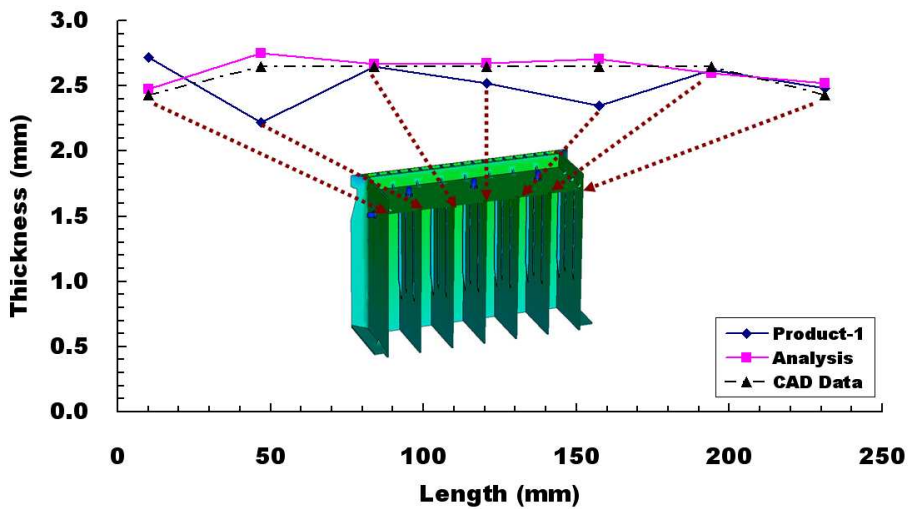


Fig. 36 Comparison of the results of the analysis and those of the experiments

제품의 변형은 전체적으로 형상이 균일하게 Fig. 37 과 같이 체적 수축률이 균일하게 이루어짐을 알 수 있었다. 균일한 수축이 일어남에 따라 Fig. 38 과 같이 인서트 변형을 고려한 제품의 변형은 양쪽 측면 부분에 나타났으며 실제 제품에도 양쪽 측면 부분에 변형이 일어남을 알 수 있었다. 양쪽 날개 측면을 측정된 결과는 실제 제품은 0.25 mm, 0.32 mm 으로 나타났으며 해석 모델은 양쪽 모두 0.17 mm 로 나타났다.

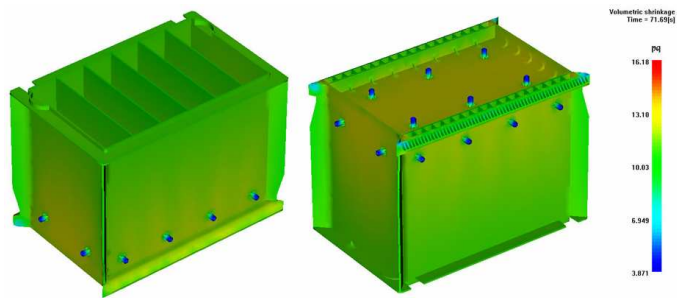


Fig. 37 Volumetric shrinkages at the optimum injection condition

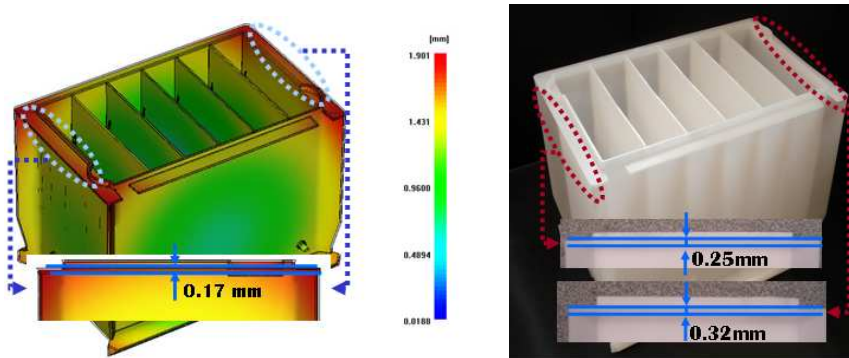


Fig. 38 Comparison of the results of injection molding analyses and those of experiments from the viewpoint of deflection

제 5 장 결론 및 향후과제

본 연구에서는 심입/박벽 구조를 가진 제품 제작용 사출 성형 공정에서의 금형 설계 조건과 공정조건이 제품 특성에 미치는 영향에 대해 다음과 같은 결론을 얻을 수 가 있었다.

첫 번째는 사출 성형 해석 시 심입/박벽 구조를 가진 제품의 런너 시스템에 따라 웰드라인 생성되는 경로가 달라지는 것을 알 수 있었다. 그리고 런너 시스템이 일직선 형태의 직렬 배열 일 때 가장 웰드라인의 생성경로가 짧게 나타났지만 시 사출시 웰드라인은 생성이 되지 않음을 알 수 있었다.

두 번째는 본 연구를 통해서 심입/박벽 구조를 가진 제품의 인서트 변형은 사출 압력이 가장 높을 때 변형이 가장 크게 일어나는 것을 알 수 있었다.

세 번째는 실험계획법을 통해서 심입/박벽 구조를 가진 배터리 케이스 제작용 인서트의 변형을 감소시킬 수 있는 최적 사출 성형공정 조건을 도출 하였다. 그리고 분산 분석표를 이용하여 인서트 변형에 미치는 사출 성형 공정조건 중에 사출 압력 가장 크게 미치는 것을 알 수 있었다.

네 번째는 실제 제품 사출을 통하여 내부 구조체의 두께를 측정함으로써 실제 인서트 변형이 미소하게 일어나는 것을 알 수 있었다. 그러나 사출성형 시 사출압력이 충분하지 못할 경우에는 수축/팽창을 통해서 제품이 임의적으로 변형이 심하게 일어남을 알 수 있었다.

이상 연구에서는 심입/박벽 구조를 가진 제품 설계조건과 공정조건이 제품에 미치는 영향에 대해 알아보기 위해 사출 성형 해석 및 실제 제품 사출을 수행하였다.

본 연구에서 수행된 결과를 산업적으로 활용될 수 있도록 심입/박벽 구조를 가진 제품의 사출 성형 시 인서트의 재질에 따른 인서트 변형 특성, 심입/박벽 구조를 가진 제품의 잔류응력에 대한 변형 특성 그리고 심입/박벽 구조를 가진 제품의 기계적인 특성을 높이기 위해 보강제를 첨가하여 사출 성형 시 수축/변형에 관한 추가적인 연구가 필요하다.

REFERENCES

- 1) Min. B.H. and Kim, B.G., "An Analysis of Injection molding Process for the Manufacturing of DC Motor Case," Proceeding of 2000 Spring Annual meeting 812 - 815, 2000.
- 2) Kim, H. S., Son, J. S. and Im, Y. T., "Gate Location Design in Injection Molding of an Automobile Junction Box with Integral Hinges," Journal of material Processing Technology, Vol. 140, 110-115, 2003.
- 3) Amit Kunar, P. S. Ghoshdastidar, M.K. Muju., "Computer simulation of transport processes during injection mold-filling and optimization of the molding conditions," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 120, 438-449, 2002.
- 4) 윤상문, "유전알고리즘을 이용한 사출 성형 금형의 냉각 시스템 최적 설계," 서울대학교 박사 학위논문, pp. 24-40, 2001.
- 5) 금형 기술 연구회, "프레스 사출 금형 일반 총정리" ,일진사, pp. 125-128 1997.
- 6) Irvin I. Ru bin, Injection molding, Theory and Practice, John Willey & Sons, USA, pp. 3-11 1972.
- 7) D. G. Baird, D. I. Collias, Polymer Processing, John Willey & Sons, USA, pp. 277-282, 1998.
- 8) Park, K., Park, J. H. and Choi, S, R., "Numerical Analysis for Injection Molding of Precision Electronics Parts Using Three Dimensional Solid Elements," Transactions of materials Processing, Vol.11 No.5 pp. 414-422, 2002
- 9) 정영득, 구본홍, "사출성형해석에 의한 제품 및 금형 설계," 인터비전, 2006.
- 10) Kwon, O. K., Jeong, H. T., Yun, J. H., Park, K., "A Study on Rapid Mold Heating System using High-Frequency Induction Heating" Transactions of the Korea Society of Mechanical Engineers A., Vol.31

No. 5 pp. 594-600, 2007

- 11) 이성출, “플라스틱 사출 성형 조건 Control법” 기전연구사, pp.135-145, 2006.
- 12) 유중학, 변성광, “최신 사출금형설계” 동명사, pp. 277-291. 2002.
- 13) 일본 플라스틱 가공기술협회, “사출금형기본과 응용” ,기전연구사, pp. 353-355, 1995
- 14) J. P. Beaumout, R. Nagel and R. Sherman., "Successful Injection Molding" Hanser, pp. 189-197, 2002.
- 15) Robert A. Malloy, "Plastic part Design for injection Molding", Hanser pp. 47~62
- 16) Shin, N. H., Oh, H. S. and Kang, S. K., "The Optimization of Injection Molding Process by CAE," Deakwang publishing co., pp 207-266. 2007.
- 17) Kim, D. H. and Kim, T. W., "A study on the plastic parts with Nano pattern using injection molding process", Journal of the Korean Academic Industrial Society., Vol. 4, No. 3, pp.168-171, 2003.
- 18) R. Spina, "Injection Moulding of Automotive Components : Comparision between Hot Runner System for a Case Study," Journal of Materials Processing Technology, 155-156, 1497-1504, 2004.
- 19) Yoon, K. H. and Cho, K. H., "An Experimental study on the removal of weldline by moving core method," Transactions of the Korea Society of Mechanical Engineers A, Vol. 24, No. 7, pp.1787-1794, 2000.
- 20) Song, T. W., Park, S. Y., Lee, J. K., Ryoo, K. K., Lee, Y. B., and Lee, M. Y., "Effects of pH Variation on the Properties of Electroless Nickel Plating on ABS Made by MmSH", Journal of Materials Processing Technology., Vol. 5, No. 5. pp. 433-437, 2004.
- 21) Kim, D. H., Yoo, H., J., and Kim, T., W., " Effects of the mold surface heating methods for the DVD stamper with nano pattern on the

- transcription of the injection molded parts using COC and PMMA plastics", Journal of the Korean Academic Industrial Society ., Vol. 5, No. 3, pp. 218–222, 2004.
- 22) Kim, D. H. and Kim, T. W., "Effects of mold temperature on the part dimension and surface quality of the injection molded cavity filter" ,Journal of the Korean Academic Industrial Society, Vol. 4, No. 3, pp. 164–167, 2003.
- 23) Park, K., Hwang, O. K., Kwon, O. K., and Yun, J. H., " Finite Element Analysis of Injection Heating Process for Development of Rapid Mold Heating System",Trans. of Materials Processing, Vol. 16, No. 2, pp.113–119, 2007.
- 24) Ken Kendall, "Experimental Analysis of Core Crushing and Core Movement in RTM and SRIM Foam Cored Composite Parts", Journal of Reinforced Plastics and Composites, Vol. 17, No. 11, pp. 964–987, 1998.
- 25) S. H. Lee and S. W. Kim, "A Study of injection molding and Mold-Making for United Thin-walled Inner-Pack Case", Proceeding of the Korea Society for Precision Engineering Autumn conference pp. 37–38, 2006.
- 26) D. G. Ahn, S. H. Park and D. W. Kim, "Design of the runner system for injection mould with deep and thin walled parts using MPI 6.1", Proceeding of the Korea Society for Precision Engineering Autumn conference pp. 101–102, 2008.
- 27) Matt Jaworski, "Simulation of core shift and injection molding machine clamp over-tonnage using Moldflow Plastics insight", Moldflow Pty. Ltd. pp. 2–12.
- 28) Oh, J. Y. and Huh, Y. J., "A Study on Optimization of Injection-molded System Using CAE and Design of Experiment", Journal of the Korean

- Academic Industrial Society, Vol. 7, No. 3, pp. 271–277, 2006.
- 29) Kwon, Y. S., Choi, Y. S., Kim, B. G., Min, B. H. and Jeong, Y. D., "Optimization of Injection Molding of Bobbin Part based on CAE", Journal of the Korea Society For Power System Engineering , Vol. 6, No. 2, pp. 70–71, 2002.
- 30) Kwon, Y. S., Kwak, J. S., and Jeong, Y. D., " Effect Analysis and Optimization of Injection Molding Process On Shrinkage of Plastic Gear", Proceedings of the Korea Society of Manufacturing Process Engineers Autumn Conference, pp. 206–261, 2006.
- 31) Park, K. and Ahn, J. H., "Design of experiment considering two-way interactions and its application to injection molding processes with numerical analysis", Journal of material Processing Technology, Vol. 146 pp. 221–227, 2004.
- 32) B. Ozcelik and T. Erzurumlu, " Comparison of the warpage optimization in the plastic injection molding using ANOVA, neural network model and genetic algorithm", Journal of Material Processing Technology, Vol. 171, pp. 437–445, 2006.
- 33) Ming-Chih Huang and Ching-Chih Tai, " The effective factors in the warpage problem of an injection-molded part with a thin shell feature", Journal of Material Processing Technology, Vol. 110, pp. 1–9, 2001.
- 34) Hasan Oktem, Tuncay Erzurumlu and Ibrahim Uzman, "Application of Taguchi optimization technique in determining plastic injection molding process parameters for a thin-shell part", Material and Design, Vol. 28, pp. 1271–1278, 2007.
- 35) http://www.hub-m.com/center/center_file2/%EC%98%A4%EA%B4%80%EC%8B%9D_0530%20.pdf
- 36) <http://www.e-mold.co.kr/>

감사의 글

먼저는 항상 저를 지켜주시고 사랑이 많으신 하나님께 무한한 감사를 드립니다.

실험실에 처음 들어 왔을 때의 어색함이 이제는 생활의 일부분이 되어 4년이라는 시간이 흘렀습니다. 그 4년이라는 시간동안 힘들고 어려운 일도 있었으며 많은 경험과 배움의 시간들이었습니다. 조금씩 변해가고 무언가 달라진 나를 발견 하였을 때 내 자신 스스로가 대견하였습니다. 헛된 시간을 보내지 않고 학문에 매진할 수 있도록 따끔한 충고와 따뜻한 격려를 해주신 지인들께 감사의 마음을 전합니다.

대학원 생활하는 동안 아낌없는 가르침과 공학자의 길을 제시해주시고 이 논문이 작성되기까지 세심하고 적극적인 논문지도를 해주신 안동규 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 또한 논문이 나오기까지 교정 및 심사를 하시느라 고생하신 조규재 교수님, 윤성운 교수님 그리고 항상 따뜻한 조언과 격려를 해주신 한길영 교수님께 깊은 감사드립니다.

전산설계 실험실의 기틀을 잡으시고 항상 적극적인 자세와 세심함으로 따끔한 충고와 따뜻한 격려를 해주셨던 전산설계 실험실의 초석인 상훈이형과 민수형, 실험실 생활에 있어서 많은 것을 보고 배우며 사출성형 해석에 있어서 많은 조언과 논문의 아이টেম을 주셨던 진석이형, 부족한 후배들을 너그럽게 배려해주시고 슬기롭게 실험실을 이끌어 갔던 경제형, 항상 많은 조언과 세심함으로 후배를 아껴주셨던 경원이형에게 깊이 감사의 말씀을 드립니다.

실험실 생활을 하면서 동거동락하고 힘든일, 기쁜일 모두 함께 했던 실험실 동기인 광운이형과 현우 그리고 지금은 같은 자리에 없지만 들쭉했던 형철이에게 감사드립니다. 실험실 일을 자기 일처럼 열심히 하는 승화, 모든 일에 열심히 하고 적극적으로 하는 경흠이, 항상 2% 부족해 보이지만 자기가 하는 일에 열정을 쏟아내는 동한, 그리고 아직은 부족하지만 앞으로 많은 것을 배워나가며 적극적인 순철이와 세훈이에게 진심으로 감사의 말씀을 전합니다.

대학원 생활에 익숙하진 못했던 시간부터 졸업을 하기까지 저에게 격려와 조언을 아끼지 않으셨던 호준이형, 승철이형 그리고 기계공학과 일원으로써 함께해온 고마운 대학원 동기 민관웅, 김태호, 서호진, 오정교, 주홍이형, 현철이형, 이하 기계공학과 원우회 선·후배님들에게 감사드립니다. 그동안 함께 했던 귀중한 시간들 소중히 간직 하겠습니다.

이 논문이 완성이 되기까지 여러 학술대회 참가 및 발표 그리고 실험을 할 수 있게 해주신 천복금형 관계자 분들에게 진심으로 감사드립니다. 정말 저의 연구에서 바쁘신 와중에 물신양면으로 도와주신 천복금형의 윤열의 과장님, 금형에 대해서 많은 것을 가르쳐 주셨던 상오정밀의 박상오 사장님, 우여곡절 끝에 실험을 할 수 있게 도와주신 한국생산기술원 Try-out 센터의 박형운 선임과 우진세렉스의 박재관 대리님 및 관계자 분들, 무엇보다 사출성형해석의 많은 정보와 지식을 주신 Moldflow 관계자 분들에게 진심으로 깊은 감사의 말씀을 드립니다.

실험실 생활을 하면서 자주 연락을 못했지만 항상 반갑게 나를 맞이해준 고등학교 동창들과 대학교 동창들 그리고 나에게 든든한 버팀목이 되어 주셨던 소망교회 식구들과 응원단 여러분들에게 진심으로 감사드립니다.

마지막으로 저를 이 자리에 까지 오기까지 항상 정직과 성실함을 가르쳐 주신 사랑하는 아버지, 어머니께 감사드립니다. 자주 다투는 일이 많지만, 그래도 보이지 않게 저에게 힘이 되어주는 큰누나와 매형, 지금은 자주 연락하지 않지만 언제나 가족을 위해 걱정하고 기도하고 있는 작은누나, 가끔은 싸우기도 하고 나의 투정을 잘 받아주는 형에게 감사의 말씀을 드립니다.

2008년 12월
김 대 원

