

수치해석을 이용한 냉장고용 유리선반 성형용 인서트 금형의 개선

한성렬*.#

*공주대학교 금형설계공학과

Improvement of Insert Molding for Refrigerator Glass Shelves Using Numerical Analysis

Seong-Ryeol Han*.#

*Department of Metal Mold Design Engineering, Kongju National University
(Received 30 August 2016; received in revised form 8 September 2016; accepted 26 September 2016)

ABSTRACT

Refrigerator glass shelves are manufactured by Insert Injection Molding. The current process of injection of glass into the mold induces movement of the core, on urethane springs. Defects in the product can result from too low a force being transmitted from the springs. To solve this problem, the force on the moving core and the injection molding pressure were subjected to numerical analysis. Based on this, the number of urethane springs as well as their hardness was changed to improve the situation. The number of springs was changed from 6 to 4. The diameter of the springs was increased from Ø75 to Ø100, and the hardness was increased from 70 (shore A) to 90 (shore A). These improvements caused the force on the molding core to increase by approximately 65,442 N. The proportion of defects decreased by 66%.

Key Words : Glass Shelf(유리 선반), Insert Injection Molding(인서트 사출성형), Urethane Spring(우레탄 스프링), Moving Core(이동 코어), Numerical Analysis(수치해석)

1. 서 론

냉장고는 일상생활에서 필수적인 가전제품이다. 과거의 냉장고는 기능에만 충실하여 디자인의 측면은 큰 비중을 두지 않았다. 그러나 최근 냉장고는 그 기능뿐만 아니라 미적으로 아름다움 디자인을 통하여 소비자들의 구매 욕구를 자극하고 있다. 이러한 추세와 더불어 내장재의 디자인에 많은 노력을 기울이고 있다. 이런 노력의 일환으로

냉장고 내부를 넓고, 밝게 보이기 위하여 냉장고용 선반의 제작 시 투명 강화유리를 이용하여 인서트 사출성형방법으로 제작하고 있다^[1].

현재 냉장고에 사용되는 선반은 강화유리 판을 금형 내부에 인서트 시킨 후 유리판의 테두리를 사출성형하여 생산하고 있다. 이 과정에서 인서트 되는 유리판과 금형 사이의 정밀한 위치 제어가 필요하다. 그렇지 못하면 성형과정에서 인서트 된 유리판이 깨지고 금형이 손상되는 문제점이 있다. 따라서 유리판과 접촉하는 금형의 코어에 대한 정밀한 제어가 반드시 필요하다.

일반적으로 인서트 성형에서 가장 문제가 되는

Corresponding Author : srhan@kongju.ac.kr

Tel: +82-41-521-9269, Fax: +82-41-521-9291

것은 인서트 되는 부품과 금형사이의 부정확한 위치로 인한 성형불량과 인서트 되는 부품의 재료와 성형되는 플라스틱 재료 사이의 열적, 물리적 성질의 차이에서 발생하는 성형 불량이다^[2]. 특히, 본 연구에서는 유리판과 금형의 접촉위치 불량에서 발생하는 문제가 주를 이룬다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 유리판과 금형 코어의 접촉과 상호 간에 작용하는 힘의 분석이 반드시 필요하다.

본 연구에서는 세 가지 주요한 연구를 수행하였다. 첫 번째는 유리판과 금형의 접촉 시 발생하는 문제점의 파악을 위하여 성형 단계별 동작을 분석하였다. 두 번째는 유리판을 최초 금형 내부위치시킬 때 위치를 제어하는 흡착패드의 흡착력의 적절성을 계산하였다. 그리고 세 번째는 금형이 닫힐 때에 유리판과 금형의 이동코어가 접하는 면에서 발생하는 유리판의 응력을 확인하였다. 위의 세 가지 연구를 종합하여 현재 유리판과 금형 사이의 상태를 확인하였고, 그 결과를 바탕으로 금형을 개선 한 후 금형 개선 전후의 성형 불량률 변화를 통하여 금형 개선의 유효성을 확인하였다.

2. 본론

2.1 성형 단계별 동작 분석

연구에 사용된 냉장고 유리선반을 성형하는 금형의 크기는 650(L)×650(W)×400(H)이며, 상하측 설치판과 형판으로만 구성되어 있다.

Fig. 1은 유리선반 성형과정을 단계별로 나타낸 것이다. (a) 단계는 사출성형과 냉각이 완료된 후 금형이 열리기 직전의 상태이다. 이와 동시에 다음 성형을 위하여 인서트 될 유리판이 로봇에 의하여 대기 중인 상태이다. 대기 상태 이전에 로봇의 정확한 유리판의 흡착을 위하여 유리판은 위치 고정용 지그에 놓여 지기 때문에 로봇의 흡착위치 불량 문제는 발생하지 않는다. (b) 단계는 금형이 열리고 로봇이 다음 성형을 위하여 유리판을 금형 내의 ③우레탄 흡착패드에 부착하고, 성형이 완료된 유리 선반을 흡착하여 취출하는 과정이다. 이때 금형이 열림과 동시에 금형 내부의 ②이동코어가 전방으로 밀려 나온다. 이동 코어의 전방 이동

은 코어 후면의 ①우레탄 스프링에 의하여 발생한다. 또한 금형이 열리면 금형 내부의 유리판의 흡착을 위한 ③우레탄 흡착패드에 흡착력이 공급되어 유리판을 흡착하게 된다. 우레탄 흡착패드의 전진은 뒤쪽 ④스프링에 의해서 작동된다. (c) 단계는 금형이 닫히는 과정이다. 이때 우레탄 흡착패드에는 계속해서 흡착력이 공급된다. 흡착력이 금형이 닫힐 때까지 공급되면서 금형내의 유리판 위치가 확보된다. 스프링에 의해서 작동하는 우레탄 흡착패드와 유리판 뒤쪽의 반대쪽 에도 흡착패드가 있어서 유리판의 위치 고정을 돕는다. (d) 단계는 금형이 완전히 닫힌 상태이다. 금형이 닫히게 되면 이동코어가 유리판에 접촉되면서 후퇴되어 유리판을 눌러 금형 내부에서 위치를 고정시킨다. 그리고 흡착패드의 흡입력은 제거되고 스프링에 의해서 유리를 누르는 힘만 존재하게 된다. 즉, 이 단계에서는 우레탄 스프링의 반발력과 우레탄 흡착패드의 누르는 힘이 유리판에 작용한다. (e) 단계에서는 유리판 테두리를 사출성형하는 단계이다. 사출성형 시 유리판에 작용하는 사출압력에 의해서 유리판에 하중이 작용하게 된다. 각 단계에서 발생하는 외력을 종합하면 다음과 같다. 우레탄 흡착패드의 유리판에 대한 흡입력과 누름력, 금형 닫힘 시 이동코어가 유리판을 누르는 힘으로 나눌 수 있다.

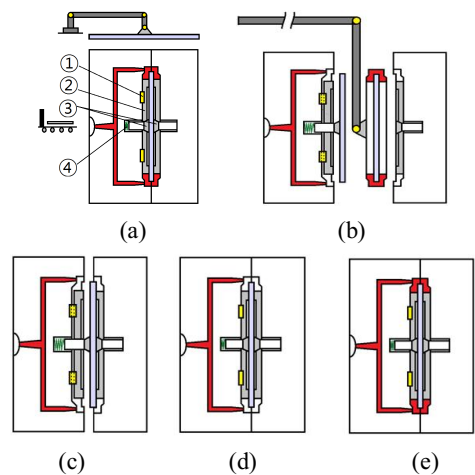


Fig. 1 Injection molding process of refrigerator glass shelf

이들 힘들이 적절하지 못하면 금형내부에서 유리판의 위치 결정에 문제가 생기고, 경우에 따라서 유리판의 파손과 성형불량 등의 문제가 발생한다.

2.2 우레탄 흡착패드

유리판의 흡착과 누름 역할을 하는 우레탄 흡착 패드는 국내 판매중인 A사의 직경 100mm이다. 가동측 금형과 고정측 금형에 각각 두 개로 구성 되어 있다. 현재 금형에서 우레탄 흡착패드를 유리판에 흡착시킬 때에 필요한 흡착력을 계산하였다. 사용되는 유리판의 크기는 410.0×382.5×2(mm)이며, 무게는 약 1.17kg이다. 유리판을 흡착하는 흡입력은 금형이 닫힐 때 까지만 작용한다. 그리고 가동측 금형의 패드에는 흡입력이 작용하지 않고, 위치 제어를 위한 목적으로만 작용한다.

흡착패드의 흡입력은 패드 한 개당 약 3.0kg이 작용된다. 즉, 패드의 총 흡입력은 6kg이다. 이는 현재 유리판 무게에 약 5배의 흡입력에 해당한다. 따라서 흡입력 부족에 의한 유리판의 위치 이상 문제는 없는 것으로 판단하였다. Fig. 2는 흡입패드와 유리판 사이의 흡입관계를 나타낸 것이다.

2.3 이동코어와 유리판

2.1절의 (d) 단계에서는 금형의 닫힘이 완료된다. 그래서 금형 내부의 ②이동코어가 삽입된 유리판과 접촉하면서 유리판의 위치를 고정하는 역할을 한다. 또한, 흡착패드가 유리판을 미는 힘이 동시에 작용하게 된다. 이 때 이동코어가 유리판과 접촉하여 유리판의 금형 내에서 위치를 고정케 하는 힘은 이동코어 후면에 직경 Ø75, 두께 15mm, 경도 70A의 6개 우레탄 스프링의 반발력에 의해서 발생한다. 금형이 닫을 때 이동코어는 약 2mm 정도 뒤로 후퇴하게 되고, 이동코어 후면에 접촉해 있던 우레탄 스프링도 압축되면서 동시에 이동코

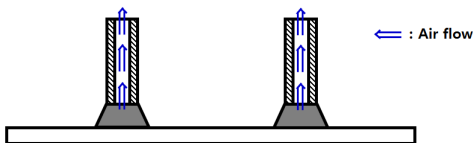


Fig. 2 Suction pad for glass

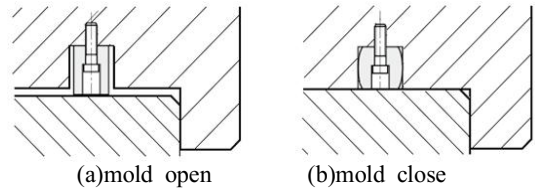


Fig. 3 Moving core and urethane spring

Table 1 Mechanical properties for glass

Property	Unit	Value
Young's modulus	GPa	70
Poisson's ratio	-	0.23
Tensile strength	MPa	100
Compressive strength	MPa	800
Density	kg/mm ³	2,535

Table 2 Properties of urethane for the urethane spring

Property	Unit	Value
Hardness	Shore A	70
Young's modulus	MPa	16
Poisson ratio	-	0.4
Tensile strength	MPa	30
Density	kg/mm ³	1.2e-006

어를 밀어내는 힘이 발생한다. Fig. 3은 이동 코어의 작동을 설명한 것이다.

이동 코어가 우레탄 스프링의 압축에 대한 반발력으로 유리판을 금형 내에서 밀어 고정하는 힘을 수치적으로 알아보기 위해서 구조해석을 실시하였다. 구조해석에 사용된 프로그램은 Midas사의 NFX를 사용하였다^[3]. 구조해석을 위한 모델의 요소는 종류는 사면체 구조를 사용하였다. 요소의 개수는 25,045개이다. Table 1은 유리의 기계적 특성을 나타낸 것이며, Table 2는 경도 70A 우레탄 스프링의 기계적 특성을 나타낸 것이다.

우선, 6개의 우레탄 스프링을 2mm 누르기 위해서 필요한 힘을 구하였다. 이동코어를 누르는 해석에서 이동코어는 변형이 발생하지 않는 강체이며, 이동코어와 우레탄 스프링 사이에는 미끄럼이 없다고 가정하였다.

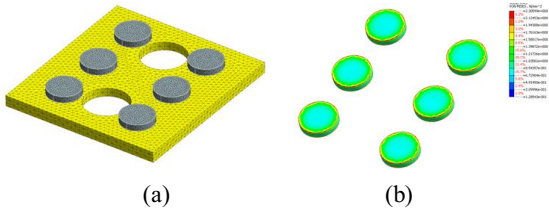


Fig. 4 Urethane spring analysis model(a) and stress distribution result(b)

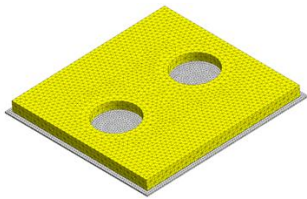
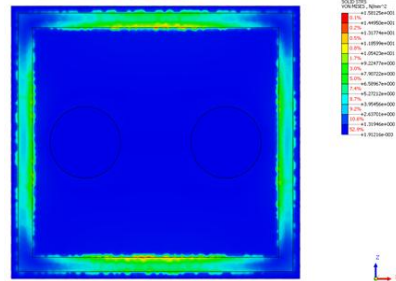


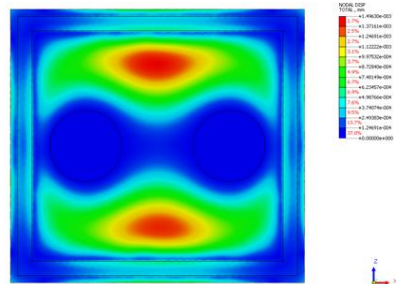
Fig. 5 Structure analysis model of the glass plate by pressing of the moving plate

Fig. 4는 이동코어가 우레탄 스프링을 2mm를 누를 때 발생하는 힘을 해석하기 위한 모델과 우레탄 스프링에 발생하는 응력을 나타낸 것이다. 해석 결과에서 이동코어를 누르는 힘은 약 49,898N이었다. 이 힘은 6개의 우레탄 스프링이 이동 코어를 누르는 힘과도 같다.

우레탄 스프링에 의한 반발력을 기준으로 금형이 완전히 닫힌 후 이동코어가 유리판을 누르는 상태에 대하여 구조해석을 실시하였다. 구조해석을 통하여 이동코어에 의한 유리판의 응력과 변형을 확인하기 위해서 이다. Fig. 4는 이동코어가 유리판을 누르는 상태의 구조해석을 위한 모델을 나타낸 것이다. 이동코어의 요소는 앞선 해석과 동일하며 유리판의 요소는 사면체이며, 요소의 개수는 44,547개이다. 이동코어와 유리판 사이에는 미끄럼이 없다고 경계조건을 설정하였다. 그리고 앞서 구한 반발력을 기준으로 이동코어가 유리판에 작용하는 압력은 약 0.396MPa이다. 동일한 형태의 이동코어가 유리판의 앞뒤 면에서 유리판과 접촉한다. 뒷면의 이동코어는 우레탄 스프링이 없이



(a)



(b)

Fig. 6 Stress (a) and displacement (b) on the glass plate by pushing of the moving core

단순 접촉된다. 따라서 이동코어와 접촉하는 유리판의 후면 부는 미끄럼 없이 완전고정 구속으로 설정하였다. Fig. 5는 이동코어가 유리판을 누르는 상태를 구조해석하기 위한 모델을 나타낸 것이다.

Fig. 6은 이동코어로 눌렀을 때의 유리판에 발생한 응력과 변형을 나타낸 것이다. 구조해석 결과에서 이동코어가 유리판을 눌러 유리판을 금형 내부에서 위치고정 시킬 때 유리판에 발생하는 최대응력은 15.81MPa, 최대변형은 1.49e-003mm로 해석되었다. 발생하는 최대 응력은 유리판의 압축강도와 비교하여 현저히 낮은 수준이었다. 따라서 현재 금형의 이동코어가 유리판을 밀어 유리판을 고정시킬 때의 하중은 유리판에 손상을 입히지 못함을 알 수 있었고, 이러한 결과로부터 금형에 적용된 우레탄 스프링을 현재보다 더욱 강성이 큰 사양으로 변경을 결정할 수 있었다.

2.4 사출압력과 유리판

이동코어의 작동으로 인한 유리판의 누름과 더불어 사출성형 시 순간적인 고압의 사출압력에 의한 유리판의 손상여부를 확인하기 위하여 구조해석 시뮬레이션이 필요하였다. 이를 위하여 정확한 사출압력이 필요하였고, 사출압력은 유리판의 인서트 사출성형 해석을 통하여 구하였다.

유리판을 금형 내에 인서트하여 유리판의 테두리를 성형 할 때 사출성형기에 입력되는 사출압력은 70MPa이다. 그러나 금형내부의 유동 채널을 지나면서 압력 강하가 발생한다. 그러므로 유리판에 순간적으로 가해지는 정확한 사출압력을 구하기 위해서 사출성형 해석을 수행하였다. 사출성형 해석은 Autodesk사의 Moldflow를 사용하였다^[4].

사출성형 해석을 위하여 Fig. 7과 같이 유동해석 모델링을 구성하였다. 유리선반 성형용 금형은 2개의 게이트(gate)가 있는 핫 런너(hot runner) 금형이다^[5]. 3D 유동해석을 수행하였으며, 사용되는 요소는 사면체이다. 요소의 개수는 127,731개이다. 사용되는 수지는 LG화학의 폴리프로필렌(polypropylene) M540이다^[6]. Table 3은 사출성형 해석 조건을 나타낸 것이다.

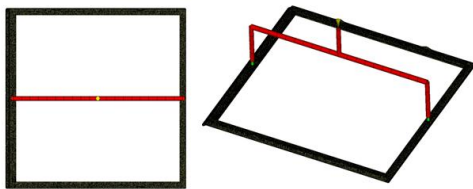


Fig. 7 Injection molding analysis model of refrigerator glass shelf

Table 3 Injection molding condition

Property	Unit	Value
Fill time	sec	3.73
Holding time	sec	8
Mold temperature	℃	40
Melt temperature	℃	230
Cooling time	sec	20

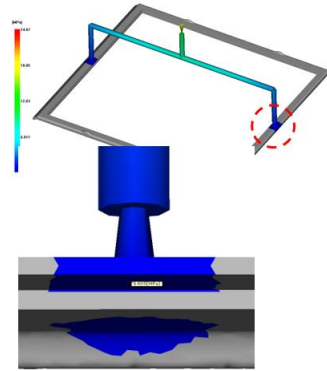


Fig. 8 Injection molding pressure at 0.17sec

사출성형 해석 결과로부터 금형의 게이트를 통과한 플라스틱 유동선단이 유리판에 닿는 순간의 사출압력을 측정하였다. Fig. 8은 사출시작 직후 0.17초 때의 캐비티 내부의 압력분포를 나타낸 것이다. 유리판에 가해지는 사출압력이 약 0.43MPa로 측정되었고, 사출압력이 가해지는 유리판의 면적은 대략 234mm² 이었다. 사출압력이 가해지는 면적을 234mm²로 설정한 이유는 다음과 같다. 용융수지가 게이트를 통과하여 캐비티에 들어 온 직후 유리판을 수직으로 충격하게 되는데 사출시간 0.17초 이후에는 유리판을 충격하는 용융수지가 유리판의 후면으로 타고 들어간다. 즉, 사출시간 0.17초 이후에는 유리판 후면으로 용융수지가 충전되어 사출압력이 작용하는 벡터와 반대방향으로 유리판을 떠받치는 효과가 있으므로 유리판의 변형을 보상하게 된다. 이러한 이유로 유리판과 접촉되는 면적을 234mm²으로 설정하였다.

2.5 이동코어 누름과 사출압력에 의한 유리판의 변형

유리판에 가해지는 외력을 종합하여 구조해석을 실시한 후 현재 유리판의 인서트 성형 시 유리판에 발생하는 응력과 변형을 확인하였다. 구조해석 모델에서 유리판의 기계적 물성, 요소의 종류와 경계조건은 앞서 사용한 조건을 동일하게 사용하

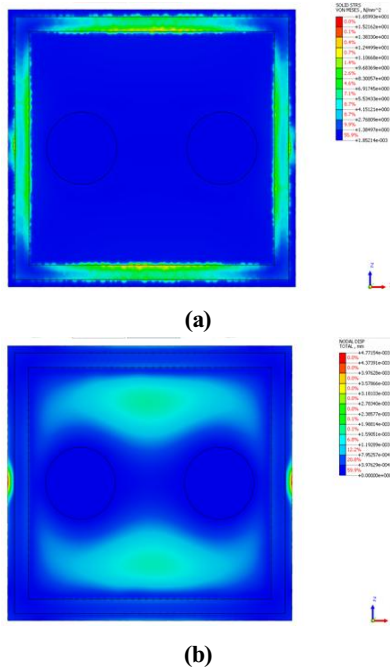


Fig. 9 Stress (a) and displacement (b) on the glass plate by pushing of the moving core and injection molding pressure

였다. Fig. 9는 이동코어의 누름력과 사출압력을 동시에 적용하였을 경우의 유리판에 발생하는 응력과 변형을 나타낸 것이다. 최대응력은 16.5MPa, 최대변위는 4.77e-003mm이었다. 이동코어의 누름에 의하여 발생하는 응력에 약 0.69MPa 증가함을 알 수 있었다. 이러한 결과로부터 누름력과 사출압력에 의한 응력은 유리판의 기계적 강도 이하이므로 유리판의 파손은 없다고 판단하였다.

이상의 각 공정에서 유리판에 발생하는 응력을 분석하여 현재 보다 더욱 탄성력이 큰 우레탄 스프링 사양으로 교체를 결정하였다.

2.6 금형의 개선

각 공정에서 발생하는 유리판의 응력상태를 확인하였으며, 현재 금형에서 보다 더욱 확실한 유리판의 위치 고정을 위하여 금형 내부의 우레탄 스프링

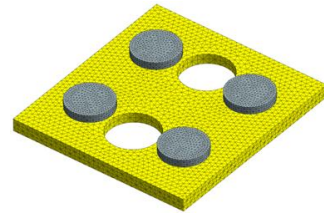


Fig. 10 Structure analysis model to measure the reaction force of the improved urethane spring

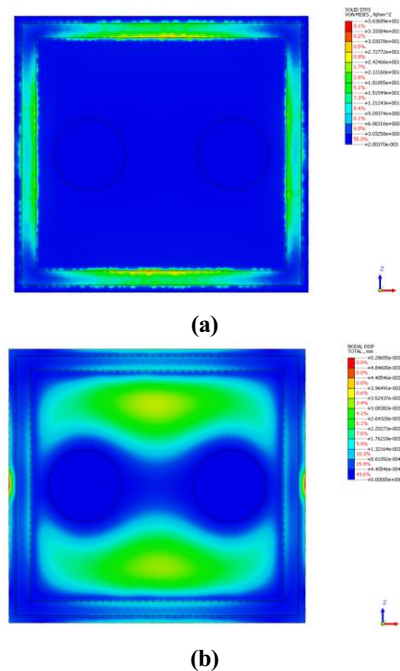


Fig. 11 Stress (a) and displacement (b) on the glass plate by pushing of the moving core and injection molding pressure after improvement of urethane springs

프링을 현재 적용한 사양보다 반발력이 더 큰 사양으로의 교체를 결정하였다.

기존 6개의 우레탄 스프링의 개수를 4개로 수정하고, 직경을 Ø100로 증가시켰다. 그리고 우레탄 스프링의 경도는 90(shore A)으로 변경하였다. 그리고 변경한 우레탄 스프링의 탄성계수는

66.8MPa이다. 4개의 우레탄 스프링의 반발력은 앞서 구한 6개의 우레탄 스프링에 의한 반발력을 구하는 방법과 동일하게 구하였으며, 그때의 반발력은 약 115,340N 이었다. Fig. 10은 개선된 우레탄 스프링을 적용하였을 경우에 이동 코어가 유리판에 가하는 응력과 변형을 시뮬레이션하기 위한 모델을 나타낸 것이다.

Fig. 11은 개선된 우레탄 스프링의 반발력으로 이동코어가 유리판을 누를 때 유리판에 발생하는 응력을 나타낸 것이다. 최대 응력은 36.3MPa이었다. 이 값은 우레탄 스프링을 개선하기 전에 유리판에 발생한 응력에 비하여 약 2.2배 높다. 그러나 이 값은 유리판이 갖는 압축강도에 비하여 매우 낮은 수준으로 유리판을 파손하지는 못한다고 판단된다. 최대 변형은 유리판에 약 5.28e-003mm의 변형이 발생하는 것을 알았다.

2.7 금형 개선 효과

우레탄 스프링을 보강하여 개선한 금형과 개선 이전의 금형에서 유리판이 깨짐과 유리판의 인서트 불량 등의 빈도를 비교하였다. 모든 작업내용은 개선 이전과 개선 후에 동일하였다.

성형 불량율은 1,000회당 발생하는 불량을 비교하였다. 개선 전에는 사출 1,000회당 약 15개의 유리판 깨짐과 유리판 인서트 성형 불량 등이 발생하였으나, 금형을 개선한 후에는 사출 1,000회당 약 5개 내외의 불량이 발생하는 결과를 보였다. 즉, 불량률이 약 66% 감소하였다. 그러나 유리판의 깨짐과 인서트 성형 불량뿐만 아니라 실제 작업 시 불량 제거를 위한 청소 시간 및 작업

능률의 저하가 상당히 개선되기 때문에 금형 개선으로 인한 효과는 상당하다고 할 수 있다.

Fig. 12는 개선된 금형의 2차원 도면과 개선된 금형에서 생산된 냉장고 유리선반을 나타낸 것이다.

3. 결론

냉장고용 유리선반은 인서트 사출성형으로 만들어진다. 유리선반의 사출성형 시 금형 내부에서 유리판이 정확하게 위치하지 못하면 금형과의 접촉으로 파손되거나 성형 불량이 발생된다. 따라서 본 연구에서는 냉장고용 유리선반의 성형과정을 단계별로 분석하고, 각 단계에서 유리판에 발생하는 응력을 구조해석과 사출성형해석을 통하여 확인하였다. 구조해석 및 사출성형해석 결과를 바탕으로 현재 금형 내부에 있는 우레탄 스프링을 현재 보다 더욱 확실하게 위치 고정시킬 수 있는 우레탄 스프링 사양으로 개선하였다. 개선된 금형을 통하여 유리선반을 성형하면서 개선 전의 금형에 비하여 불량율이 66% 감소하였다.

REFERENCES

1. Kazmer, D. O., Injection Mold Design Engineering, Hanser, pp. 437-439, 2016.
2. Campo, E. A., The Complete Part Design Handbook for Injection Molding of Thermoplastics, Hanser, pp. 239-256, 2006.
3. Kim, K. M., "The Prospect of CAE Application Using Midas NFX on Construction Machinery Field," Journal of Drive and Control, Vol. 9, No. 1, pp. 44-51, 2012.
4. Choi, K. K., Hong, S. M. and Han, S. R., "Effect of Flow Pattern of Coolant for Injection Mold on the Deformation of Injection Molding," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 14, No. 4, pp. 92-99, 2015.
5. Han, S. R., Kand, C. M., Han, K. T., and Jeong, Y. D., "A Study on the Filling Imbalances

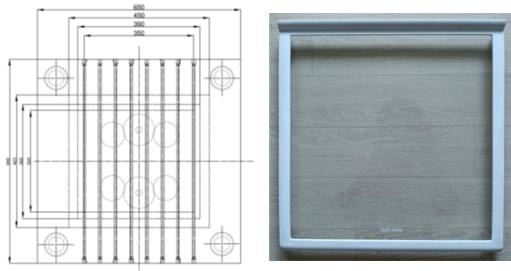


Fig. 12 Improved mold and refrigerator glass shelf

- between Multi-Cavity in Hot-Runner Mold,”
Journal of the Korean Society for Precision
Engineering, Vol. 22, No. 9, pp. 173-178, 2005.
6. Choi, Y. S., Han, D. Y. and Jeong. Y. D.,
“Shrinkage Behaviors of Polypropylene according
to Product Form in Injection Molding,” Journal
of the Korean Society of Manufacturing Process
Engineers, Vol. 3, No. 3, pp. 46-51, 2004.