

# 비대칭형 플라스틱 팬 제품 개발

연 규 현\*, 김 형 국#

## Development of Asymmetric Plastic Fan Product

Kyu-Hyun Yon\*, Hyung-Kook Kim#

(Received 25 March 2009; received in revised form 27 May 2009; accepted 03 June 2009)

### ABSTRACT

The analysis of injection molding process by CAE is widely used in development of plastic products. That comes from the fact that CAE analysis can reduce trial and error based on optimized design. On this study, by use of MOLDFLOW, the causes of product defects were found and solved by trade-off study. CAE analysis includes Flow-Cool-Warping Analyses and finally a new mold-die design with better product quality was suggested. On injection molding of round-shaped plastic fan, new mold-die system with 4-tunnel gates located on the edge of a fan disc shows better quality rather than pin-point gate located on the center of a disc. That was effective in terms of flow mark removal and flatness improvement of the product.

**Key Words** : CAE Analysis(CAE 해석), Mold-Die Design(금형설계), Injection Molding(사출성형)  
Asymmetric Plastic Fan(비대칭형 플라스틱 팬)

## 1. 서 론

품질 좋은 플라스틱 제품을 성형하기 위해서는 제품설계, 금형설계 및 가공, 사출성형 부문들이 서로 유기적으로 연결되어 기능적으로 작용하여야 한다. 이 과정에서 사출성형 해석은 최적화 설계를 토대로 시행착오를 방지하여 개발기간을 단축하고, 신뢰성 있는 품질을 유지하는 것이 가능하도록 하는 가장 효과적이며 효율적인 방법으로 알려져 있다.<sup>[1,2]</sup>

이런 절차를 거치면 종래의 방법에서 빈번하게 발

생되는 설계변경, 금형수정, 시험사출 반복 등으로 인한 시간낭비와 비용지출을 방지할 수 있다.

본 연구는 기존에 제작한 플라스틱 회전 팬의 중심부에 외장 부품을 설치할 수 있는 두 개의 포켓 공간을 새로이 만들면서 발생하는 문제점에서 출발하였다. 기존 제품에 비대칭형 포켓을 새로이 추가하면 제품 표면에 유동 마크(flow mark)가 생성되고 수축/변형이 증대되는 결과를 초래하였다. 이에 새로운 금형을 제작하기 전에 사출성형해석 전용 프로그램인 몰드플로우를 이용하여 사출성형 해석을 수행하고, 문제의 원인을 분석, 이를 해결할 수 있는 금형설계안을 제시하였다. 이 과정에서 유동/보압/냉각 해석을 통해 유동밸런스를 검토하고, 효과적인 냉각 시스템을 선정하였으며, 최종적으로는 제품의 평면도를 개선하기 위해 변형해석을 수행하였다.

\* 영진전문대학 컴퓨터응용기계계열

# 교신저자 : 영진전문대학 컴퓨터응용기계계열

E-mail : ihhome@daum.net

## 2. 제품형상과 금형설계

### 2.1 제품형상 및 특성

제품형상은 원형 디스크의 중심부에 축 관통을 위한 홀이 있고, 한쪽 단면에는 12개의 날개(vane)가 있으며, 반대쪽 단면에는 외장부품을 설치할 수 있는 포켓 공간이 관통 홀을 중심으로 대칭적으로 배치되어 있는 형상이다. 날개의 모양과 배치 그리고 포켓 공간의 배치는 비축대칭 형상이며 특히 포켓 공간의 살 두께가 얇다는 특징을 가지고 있다. 이러한 제품에 요구되는 사항은 각종 성형불량이 발생하면 안 되고, 다른 부품과의 조립을 고려하여 제품 바닥면 평면도를 일정 수준까지 만족시켜야 한다.

Fig. 1에서 제품의 도면을 보여준다.

### 2.2 금형설계

기존 제품 제작용 금형은 3단 금형으로서 핀 포인트 게이트를 사용하였다. 하지만 복잡한 3단 금형보다는 단순한 구조와 유지가 용이한 2단 금형으로 설계 변경하는 것이 바람직하여 이에 적합하도록 러너 시스템을 재설계 하였다.

본 해석과 사출에 사용된 수지는 한국엔지니어링 플라스틱사에서 제조한 폴리아미드(나이론66)로서 유리섬유 강화재가 30% 함유된 결정성 수지이다.

## 3. 사출성형 해석

### 3.1 해석절차 및 방법

우선 해석에 요구되는 격자작업(mesh)을 포함한 전처리 작업을 완료하고, 이어서 성형조건 설정, 각종 해석(유동, 냉각, 수축/변형) 수행 및 결과분석 작업을 수행하였다. 이와 같은 해석결과를 바탕으로 금형을 제작하여 실제 시사출하고 제품을 측정함으로써 해석의 유효성을 확인하는 과정을 진행하였다. 여기서 각각의 게이트와 러너의 설계에 따라 제품의 유동패턴에 차이가 발생하고, 냉각 시스템과 각종 성형조건 등의 수많은 변수에 따라 제품 형상의 치수, 정밀도 및 생산성에 많은 영향을 미친다.<sup>[3]</sup>

본 연구에서는 금형설계와 관련된 변수들을 입력

변수로 선정하고, 최적의 금형설계를 얻기 위하여 성형불량 제거, 낮은 사출압력, 제품 바닥면의 평면도 개선을 구체적인 목표로 선정하였다.

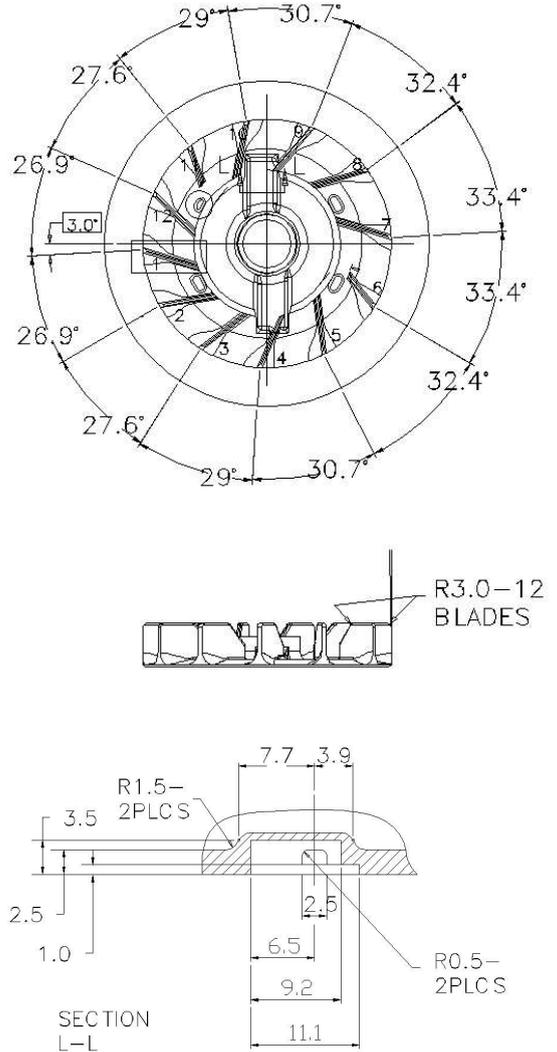


Fig. 1 Product drawing

### 3.2 해석 조건

실험계획법은 일련의 시험 사출을 통계적으로 진

행, 빠르게 성형구간을 찾아준다. 그러나 사출성형은 온도와 압력 뿐 만 아니라 속도, 변위 등 기타의 많은 변수가 관계하기 때문에 실제의 실험이 항상 만족스럽게 이루어지는 것은 아니다.<sup>[1]</sup> 오히려 유사한 제품의 금형설계와 사출조건 도출 경험으로부터 효과적인 금형설계 및 성형조건 인자들에 가중치를 주어 우선적으로 채택, 해석조건을 설정하는 것이 시간 및 비용 면에서 더 유리할 수 있다.

일반적으로 금형설계 인자들 중에서 게이트의 위치와 숫자가 유동 균일화에 가장 크게 기여를 하고 또한 유사형상의 제품 성형 시, 이들 요소가 변형에 미치는 효과가 지대했다는 사실을 바탕으로 게이트의 종류와 크기를 결정하는 해석조건을 우선 수립하였다. 이어서 냉각과 관련하여 금형온도 및 냉각시스템 종류에 따른 해석조건을 반영하여 제품변형에 미치는 영향을 분석하였다.

본 연구에서는 총 4개의 게이트 종류, 4종의 게이트 크기, 3종의 금형온도, 2종의 냉각 시스템에 대해서 성형해석 하였으며, 그 상세해석 조건은 Table 1에서 보여준다. Study #1은 기존 제품의 금형설계를 그대로 재현 하였고, study #1 ~ #3까지는 3단 금형설계이다. 반면에 study #3 ~ #12는 제품의 중심부가 아닌 원주부에 게이트를 두었으며, study #4 ~ #12까지는 모두 2단 금형설계이다. Fig. 2에서 해석에 적용한 게이트 모양을 study 종류별로 보여준다.

### 3.3 해석 결과

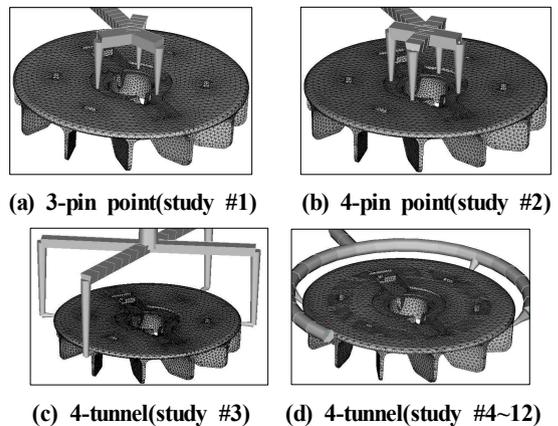
#### 3.3.1 유동 및 보압해석

먼저 기존 제품의 중심부에 두 개의 포켓을 새로이 추가하는 설계변경으로 인해 제품 내부에 유동 마크(flow mark)가 생성된 것에 대해서 그 원인을 규명하고자 해석을 수행하였다.(study #1)

유동해석 결과, 추가된 포켓 공간 주변부에서 급격한 살두께 변화와 얇은 살두께로 인해 유동지체(flow hesitation)가 발생하고 곧 이어 빠른 냉각으로 인해 고화되어 이 부분에 유동마크가 생성된 것으로 추정된다.

**Table 1 Analysis conditions for injection molding**

| Study # | Gate Type   | Gate Location | Gate Dia. (mm) | Mold Temp. (°C) | Cooling     |
|---------|-------------|---------------|----------------|-----------------|-------------|
| 1       | 3-pin point | center        | φ 1.5          | 80              | no cooling  |
| 2       | 4-pin point | center        | φ 1.5          | 80              | no cooling  |
| 3       | 4-tunnel    | circumference | φ 1.5          | 80              | no cooling  |
| 4       | 4-tunnel    | circumference | φ 1.5          | 80              | serial(15s) |
| 5       | 4-tunnel    | circumference | φ 1.5          | 80              | baffle(15s) |
| 6       | 4-tunnel    | circumference | φ 1.5          | 80              | serial(20s) |
| 7       | 4-tunnel    | circumference | φ 1.5          | 80              | serial(25s) |
| 8       | 4-tunnel    | circumference | φ 1.5          | 50              | serial(20s) |
| 9       | 4-tunnel    | circumference | φ 1.5          | 35              | serial(20s) |
| 10      | 4-tunnel    | circumference | φ 1.0          | 35              | serial(20s) |
| 11      | 4-tunnel    | circumference | φ 0.8          | 35              | serial(20s) |
| 12      | 4-tunnel    | circumference | φ 0.6          | 35              | serial(20s) |



**Fig. 2 Mesh generations of four gate designs**

즉 유동마크는 잘못된 냉각 시스템 설계에 기인하지 않고, 제품형상 자체로 인한 유동불량에 기인한 것이었다. 따라서 이를 회피할 수 있도록 게이트 수를 늘리거나 게이트 위치를 바꾸어 유동지체를 없애

야 한다. 그 이유는 균형 잡힌 충전패턴이 압력편중을 방지할 수 있고, 유동의 균형은 게이트의 위치와 숫자에 영향 받기 때문이다.<sup>[4]</sup> 만약 게이트 주변에서의 유동정체 현상을 해결하지 않는다면 미성형의 우려와 함께 압력과 형체력이 급격하게 상승할 것이다.

Fig. 3에서 문제가 된 기존 제품의 실제 유동마크 두 곳을 점선 안에서 보여준다. 유동해석 결과, Fig. 3과 같은 유동마크가 동일한 위치에 유사한 모양으로 발생한 것을 확인하였다. 이 과정을 통하여 전처리 작업인 격자작업과 공정조건 및 계산에 사용된 소프트웨어의 초기 검증을 했다고 판단된다.

보압해석을 통해서 최적의 보압 크기와 보압 시간 선정을 할 수 있다. 게이트의 완전 고화시간이 7.5초로 분석되기에 보압 완료시간을 이 수치로 선정하였다. 또한 러너와 제품의 최종 고화시간이 21.4초로 분석되었는데, 이의 영향성을 보기 위해 15초, 20초, 25초를 냉각시간으로 선정하였다.



Fig. 3 Flow mark pattern in the two pockets

### 3.3.2 냉각해석

본 연구의 냉각해석을 위해 두 가지의 냉각 시스템을 적용하였다. 그 한 가지는 제품의 위와 아래를 각기 흐르는 직렬식(serial)이고, 다른 한 가지는 이러한 직렬식에 제품 중심부 홀 내부에 배플(baffle)을 추가한 방식이다. 냉각해석 결과, 설치된 배플이 냉각효율 면에서는 약간 효과적이었지만 궁극적으로 제품의 수축/변형에 미치는 영향은 매우 미미하였다. 또한 냉각시간의 장단 여부가 제품의 수축/변형에 미치는 영향도 적었다.

Fig. 4에서 배플이 없는 경우(study #4)와 배플이 있는 경우(study #5)의 제품 변형량(deflection)을 비교하여 보여준다. 이를 통하여 재료에 함유된 강화제(유리섬유 30%)의 배향성과 제품형상으로 인한 부위

별 수축율 차이 등 두 가지 요인이 냉각 불균형으로 인한 요인보다 제품 수축/변형에 있어서 더 크게 작용함을 알 수 있다.

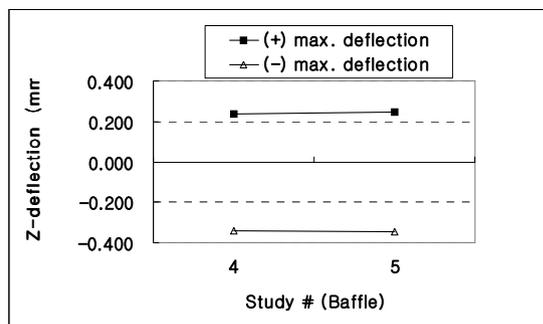


Fig. 4 Z-deflection warpage depending on baffle

### 3.3.3 수축과 변형해석

제품의 변형을 최소화 하려면 수축을 편차를 줄이고, 배향을 억제하며 냉각속도를 일정하게 유지하는 것이 필요하다. 이를 위해서는 제품의 기하학적 대칭성을 유지하고, 살 두께를 균일하게 분포시키는 것이 근본적으로 필요하다. 하지만 본 연구에서는 설계된 살 두께를 변경할 수 없는 경우여서, 금형설계와 성형조건을 상쇄연구(trade-off study)하여 최소 변형을 야기하는 최적화 설계와 조건을 찾으려 하였다.

Fig. 5와 6에서 게이트 종류별로 최대 사출압과 Z-축 변형량(deflection)을 보여준다. 기존 게이트인 3핀 포인트 게이트는(study #1)는 새로 시도된 4핀 포인트 게이트(#2)나 터널 게이트(#3, #6) 보다 사출압력이 클 뿐만 아니라 과도한 수축/변형을 보여주었다. 이에 2단 금형의 터널 게이트 설계가 더 바람직한 것으로 판단된다.

Fig. 7과 8에서 게이트 크기별로 최대 사출압과 Z-축 변형량을 보여준다. 4-터널 게이트에 대해서 게이트 크기가 작아질수록 변형량이 줄어들지만 이에 비례하여 사출압력이 급격히 증대되는 것을 알 수 있다. 특히 게이트 지름 0.6mm의 경우(#12), 지름 1.0mm (#10) 보다 Z-축 변형량에선 거의 개선되지 않지만 사출압력은 18%나 증가하였다. 이로써 게이트 직경은 0.8mm 이상의 것이 바람직하다.

Fig. 9에서 금형 온도별로 Z-축 변형량을 보여준

다. 금형온도를 80°C(#6), 50°C(#8), 35°C(#9)로 변경시키며 해석한 결과, 최종 수축/변형량에 거의 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

Fig. 10에서 게이트 종류별로 XYZ-축 총 변형량을 보여준다. 이상과 같은 해석결과를 종합해 보면 4터널 게이트의 지름을 0.8mm로 선정(#11)하면 기존 금형설계보다 사출압력은 33% 증대되지만 XYZ-축 변형량은 58% 감소하여 가장 바람직한 설계안으로 판단된다.

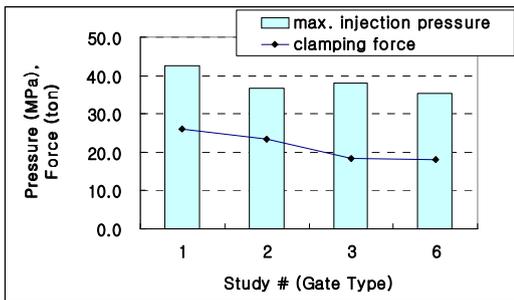


Fig. 5 Max. clamp force depending on gate type

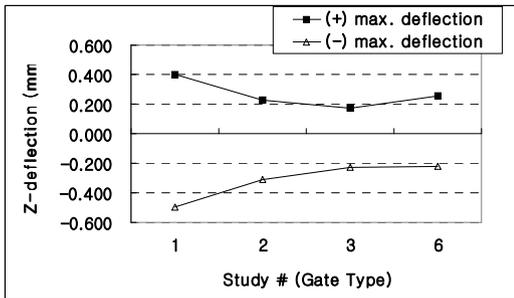


Fig. 6 Z-deflection warpage depending on gate type

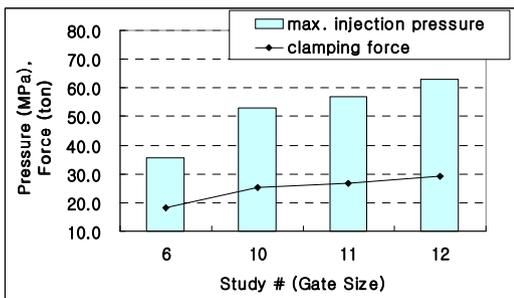


Fig. 7 Max. clamp force depending on gate size

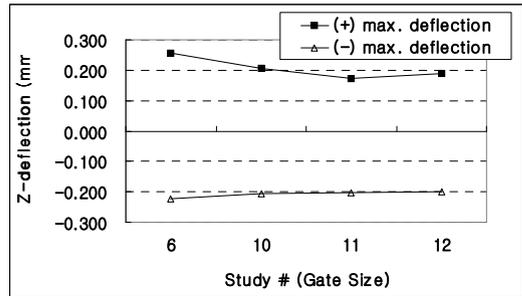


Fig. 8 Z-deflection warpage depending on gate size

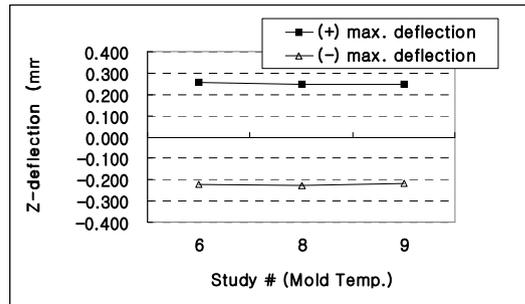


Fig. 9 Z-deflection warpage depending on mold temp.

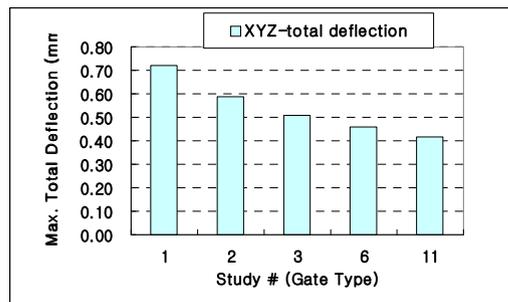


Fig. 10 XYZ-deflection warpage

#### 4. 시사출 결과 및 고찰

사출성형 해석 결과를 바탕으로 추천된 금형설계 (study #11)를 반영하여 금형을 제작, 고속사출기로 시사출하였다. 시사출한 제품을 먼저 육안으로 관찰하여 성형불량 여부를 확인하고, 제품의 바닥 평면도를 측정하여 기존 제품의 평면도와 비교하였다.

Fig. 11에서 보듯이 두 개의 포켓공간에 있었던 유

동마크가 사라졌음을 확인하였다. 이로써 기존 제품에서 급격한 살 두께 변화와 얇은 살 두께가 분포한 중심부에 게이트가 설치되었기 때문에 포켓 부위에 뚜렷한 유동 마크가 발생하였다는 사실을 확인하였다. 이러한 성형불량을 해결하고, 제품의 과도한 변형을 방지하기 위해 중심부가 아닌 원주부에 네 개의 터널 게이트로 수지를 주입하였더니, 성형불량 제거와 결과적으로 제품 변형도 감소하였다. 사출성형 해석 결과, 개선된 게이트의 위치, 숫자, 종류가 기존 제품보다 균형 잡힌 충전패턴을 유도하였다고 판단된다.



Fig. 11 Flow mark pattern in the two pockets (after improvement)

낮은 사출압력을 유도하기 위해 게이트 지름 크기 별로 사출성형 해석한 결과, 게이트 지름이 0.6mm인 경우가 지름 1.0mm 보다 제품 바닥면 평면도가 개선되지 않아도 사출압력은 18% 증가한 것으로 나타났다. 이로써 게이트 직경은 0.8mm 이상의 것이 바람직한데, 시사출에서 채택한 지름 0.8mm의 게이트가 사출압력을 상대적으로 낮추면서 기존제품 대비 변형을 줄일 수 있는데 효과적이었다고 판단된다.

Fig. 12에서 기존 제품 대비하여 새로 제작된 금형으로부터 취출된 제품의 변형량 측정치를 비교하여 보여준다.

기존 제품의 Z-방향 최대 변형량은 0.87mm이었는데, 신규 제품은 0.55mm로서 변형량이 37% 개선되었다. 제품의 중심부는 원주부보다 상대적으로 더 작은 변형을 보여주었는데, 이는 디스크 제품의 일반적인 수축 특성이라고 생각된다.

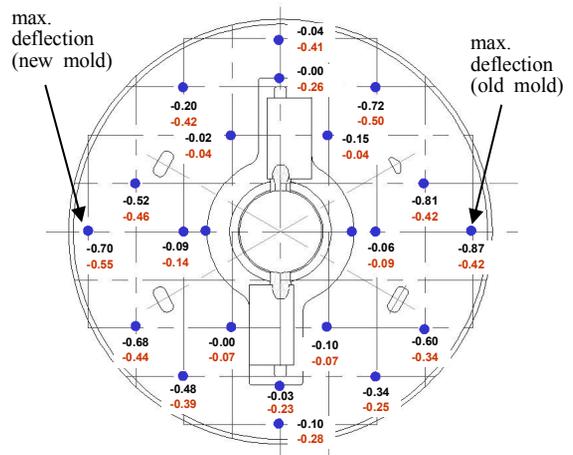


Fig. 12 Final product measurement result (upper : old mold-die, lower : new mold-die)

금형의 냉각방식과 금형 온도가 최종 성형품의 변형에 미치는 효과는 매우 미미했다. 오히려 재료에 함유된 강화제(유리섬유 30%)의 배향성과 제품형상으로 인한 부위별 수축을 차이 등 두 가지 요인이 냉각 불균형으로 인한 요인보다 제품 수축/변형에 있어서 더 크게 작용함을 알 수 있었다.

## 5. 결 론

일반적으로 원형 디스크 형태의 플라스틱 제품을 사출할 때는 게이트를 디스크 중심부(center)에 설치한다. 하지만 중심부 주변에 급격한 살두께 변화가 있거나 살두께 자체가 얇다면, 이 방식은 수지의 유동지체로 인해 미성형이나 유동마크를 발생시킬 수 있으며, 결과적으로 과도한 제품변형도 유발할 수 있다.

본 연구에서는 이러한 형상특성을 갖고, 비대칭형 날개 배치와 모양을 갖는 제품의 사출성형 불량을 제거하고 바닥면의 평면도를 개선하기 위해서 게이트를 디스크 원주부 테두리(circumference)에 설치하는 방식을 새롭게 시도하였다. 이 과정에서 전용 프로그램인 몰드플로우를 이용하여 사출성형 해석을 수행하고, 문제의 원인을 분석, 이를 해결할 수 있는 새로운 금형 설계안을 제안하여 시사출하였다.

그 결과, 문제가 되었던 과도한 유동 마크가 제거 되었으며, 제품 바닥면의 평면도가 37% 개선된 제품을 생성할 수 있었다. 이로써 게이트의 종류, 위치, 크기를 포함한 러너 시스템의 변경과 최적의 사출조건 선정이 제품 품질향상에 효과적이었다고 판단된다.

## 후 기

본 연구는 영진전문대학 지역혁신센터 산학공동 연구과제로 수행된 논문입니다.

## 참고문헌

1. 신남호, 오희성, 강승규 공저, “CAE를 응용한 사출성형 최적화”, 대광서림, 2007
2. 권창오, 양창환, 이정훈, 김기환, 송동주, “CAE를 이용한 플라스틱 사출금형 제품 개발”, 한국소성가공학회 2002년도 금형가공 심포지엄, pp 61-67, 2002
3. 연규현 저, 사출금형 설계, 형설출판사, 2007
4. 김준민, 류민영, “사출성형에서 러너 크기의 최적화를 위한 CAE 적용”, 한국소성가공학회지 제15권 제5호, 2006