

협 피치 FPC 커넥터의 사출 성형 해석

윤선진¹ · 허영무² · 한무근¹ · 정민영¹ · 강우승[†]
(주)씨엔플러스¹ · 한국생산기술연구원² · 인하공업전문대학 금속재료과[†]

Injection Molding Analysis for Narrow-Pitched FPC Connectors

Seon-Jin Yoon¹ · Young-Moo Heo² · Mu-kun Han¹ · Min-young Jung¹ · Woo-Seung Kang[†]
CNPLUS Co., Ltd.¹
Mold&Dies Technology R&D Group, Korea Institute of Industrial Technology²
Department of Metallurgical and Materials Engineering, Inha Technical College[†]
(Accepted November 00, 2014)

Abstract : The narrow-pitched connectors are of interest for small-scale devices such as smart phones because of their caling. We conducted an injection molding analysis and a warp analysis for 0.3mm and 0.5mm pitch FPC connectors. We obtained a volumetric shrinkage of 4.344%, a clamping force of 0.2529 tonne, a maximum injection pressure of 76.3 MPa as optimized molding conditions for the 0.3mm pitch FPC connector. We found that, compared with the traditional injection molding technique, the injection molding for narrow-pitched connectors comes with distinct features like low clamping force, high injection molding pressure, and narrow gate size. Adding to the optimization analysis, the deflection of 0.5mm pitch FPC connector was analyzed as well. A maximum deflection of 0.053mm was calculated, which the actual deflection of 0.062mm was compared to. The results deduced a relative error of 17%. We conclude that the deflection analysis along with the optimization analysis can be used as an effective tool to predict the behavior of narrow-pitch connectors although the relative error may need to improve.

Key Words : Connector, Injection Mold, Narrow Pitch, Optimization, Deflection

1. 서 론

커넥터는 다수의 전자 부품을 연결하여 하나의 통합된 어셈블리를 구현하는 역할을 수행하기에 현재 산업 전반에 걸쳐 널리 사용되고 있다. 협 피치 (narrow pitch) 커넥터는 특히 한정된 공간에 많은 수의 부품을 탑재하는 스마트 기기 등에 매우 유용하게 사용될 수 있으며, 그 적용범위 또한 넓어지고 있다.

협 피치 커넥터는 0.5mm 이하의 피치를 유지하며, 내부에 터미널, 하우징, 액츄에이터 등을 포함하기에 그 구조가 매우 복잡하고, 터미널 간 분리 격벽의 두께가 0.25mm 정도로 매우 좁아 사출 설계시

높은 난이도를 요구한다. Fig. 1은 0.3mm 피치, 실장 PCB 면적은 2.5mmx14mm인 Bottom Contact 방식의 FPC(flexible printed circuit) 커넥터를 보여주고 있다. FPC의 삽입은 정면으로 들어가고, 동일 방향에서 액츄에이터를 닫는 Front Flip 방식으로 0.2A의 조건 하에 구동을 하는 모바일 기기나 스마트 기기용 커넥터이다.

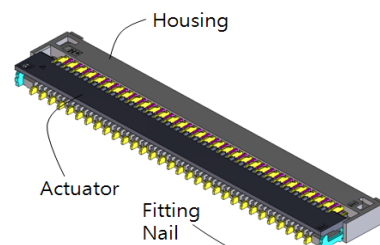


Fig. 1 FPC Connector with 0.3mm pitch

1. (주)씨엔플러스
† 교신저자 : 인하공업전문대학 금속재료과
E-mail : wkang651@inhac.ac.kr

협 피치 FPC 커넥터는 범용 커넥터용과 달리 크기가 작아서 설계 공차 확보가 어렵고 형상이 복잡하여 많은 연구가 진행되고 있다. Fig. 2는 협 피치 커넥터용 액츄에이터의 부품도이다. 액츄에이터의 두께는 0.35mm로 매우 얇은 박판형태인데다 그림에서 보여지는 바와 같이 다수의 터미널 격벽이 반복적으로 배열되고 있어 미 성형, 유동 정체, 웰드 라인이 발생하기 쉬운 구조이다.

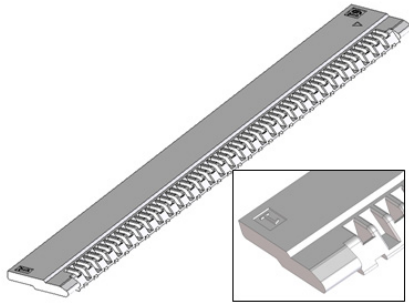


Fig. 2 Actuator for 0.3mm pitch Connector

Fig. 3은 상기의 액츄에이터를 사출하였을 때 발생하는 웰드라인을 사출 해석을 통하여 보여주고 있다. 고 점도의 수지가 반복적으로 터미널이 위치하는 핀 공간의 격벽을 따라 유동의 합류, 분기가 수시로 발생하여 웰드라인이 발생하고 있음을 알수 있다.

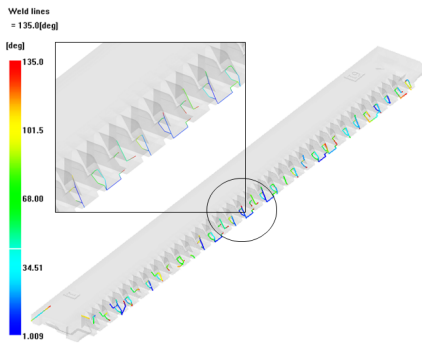


Fig. 3 Example of Connector Weld Lines

협 피치 커넥터의 사출 생산은 종래 사출 방식대비 클램핑 힘(clamping force)이 15 ton 이하로 낮게 유지하고, 게이트 사이즈 설계를 1mm이하로 유지하여, 빠른 충전과 냉각을 시키는 미세 사출 기술을 많이 사용한다. Table 1은 성형성을 고려한 커넥터

기술을 종래의 사출 기술과 비교한 표이다. 커넥터와 같은 박형 제품의 경우 전단율이 1000 sec-1 이상으로 매우 높게 유도되어 사출 도중 제품의 손상에 주의하여야 한다.

Table 1 Comparison between Traditional Injection Molding and Connector Injection Molding

	General Injection Mold	Connector Injection Mold
Clamping Force	> 15 ton	< 15 ton
Simulation	2D recommend	3D
Gate Size	> 1mm	< 1mm
Shear Rate	< 1000 sec-1	> 1000 sec-1
Temperature	Manufacturer Recommend	Varies from the recommendation
Cooling	Sec.~Min.	Instant
Quality Monitor	Size Measure Weight	Tolerance Functionality
Technology	Conventional Injection Molding	Modified Injection Molding (Goal of this study)

협 피치 커넥터 사출에 있어 또 다른 이슈중의 하나는 휨 변형이다. 사출 휨 변형의 원인은 매우 다양하나 사출시에 발생하는 성형품 두께의 불균일, 온도 구배, 분자 배향 등이 있으며, 휨 변형 현상은 후 공정인 리플로우 뒤에 더욱 심해진다. 이러한 사출물의 휨 변형을 최소화하기 위해서 배향성을 조절하는법, 두께를 균일하게 하는 법, 금형 캐비티의 각 부의 온도를 같아지도록 하는법 등 여러가지 다양한 방법이 시도 되어지고 있다.

본 연구에서는 협 피치 커넥터의 미세 사출을 함에 있어서 불량률의 사전에 예측 방지하기 위하여 클램핑 힘과 사출압, 체적 수축율을 중심으로 최적 사출 설계를 수행하였고 추가로 사출물을 휨 변형을 해석하여 실제 측정결과와 비교하여 사전 모사를 통한 불량률의 최소화를 연구하였다.

2. 실험

2.1 사출 성형 설계

Fig. 4는 사출 공정 최적화 해석을 위하여 게이트, 러너, 스프루가 포함된 0.3mm 피치 FPC 커넥터용 액츄에이터이다. 사용되어진 게이트는 에지(edge) 게이트를 사이드(side)에 위치 시키어 한쪽 방향으로부터 반대쪽 방향으로 점진적으로 충진이 이루어지게 하였다. 이러한 사이드 위치 게이트는 초 박형 제품에 대하여 유리섬유를 한 방향으로 배열시켜 웰드라인 등의 충격에 대한 파손을 막을 수 있다.

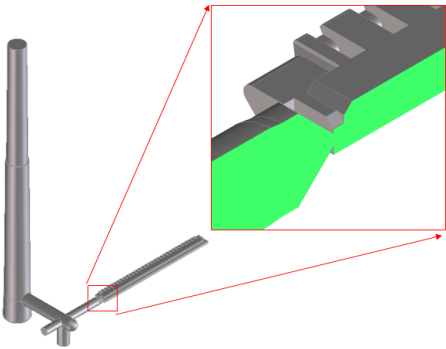


Fig. 4 Analysis Model for 0.3mm pitch FPC Connector Injection Molding

에지 게이트에 대한 대안으로 터널 게이트가 고려 될 수 있다. 터널 게이트의 도입에는 과도한 전단력에 의한 재료의 파손, 보압 효과를 저해한 게이트 고화, 공차 관리가 안 되어 제품의 살이 같이 떨어져 나가는 경우 등 매우 섬세한 금형 설계를 필요로 한다.

2.2 휨 변형 해석

Fig. 5는 휨 변형 해석을 하기 위하여 사용된 0.5mm 피치 FPC 커넥터 하우징을 보여주고 있다. 전체적으로 앞서 제시된 0.3mm 피치 FPC 커넥터와 매우 유사한 구조를 하고 있으며 FPC의 삽입 방향 또한 동일한 Bottom Contact 방식을 취하고 있다.

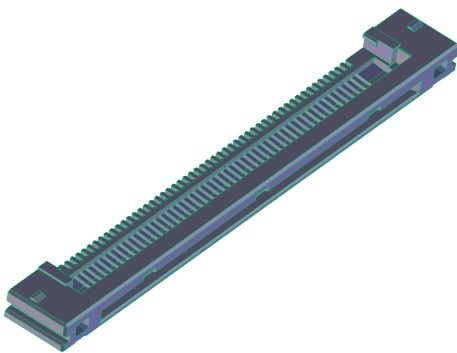


Fig. 5 0.5mm pitch FPC Connector

변형 해석은 앞서 실시 된 사출 성형 해석과 동일한 방법으로 실시하되 충전 보압 냉각이 순차적으로 완료된 후에 휨 변형 해석을 추가로 실시하였다.

협 피치 커넥터의 휨 해석 결과를 검증하기 위하여 사출 제조가 끝난 후에 제조된 제품을 실제 측정하였다. 커넥터의 휨 변형은 포물선, U자형, Arc형 등으로 매우 다양하게 나타나고 제품과 연결된 러너 역시 같이 변형을 하기에 샘플간 비교 평가를 위하여 하기와 같은 방법에 의하여 휨 변형 측정을 수행하였다.

커넥터의 휨 변형 측정을 위하여 게이트 이하 러너 부위를 제거한 후 사출물을 평판에 위치 시켰다. 커넥터 하우징의 경우 앞서 언급된 바와 같이 포물선, U자형, Arc형 등으로 매우 다양하게 나타나므로 샘플간 휨 정도를 정량적으로 수평 비교하기 위하여 모든 휨 변형은 평평한 면과 접촉하는 2개의 기준점으로부터 뒤집어 놓은 접시형으로 위로 볼록한 형태를 하고 있다고 가정을 하여, Fig. 6과 같이 볼록한 정도(h)를 휨 변형량으로 추산하여 이 중 5점에 대한 볼록한 정도를 정량적 평가 대상으로 하였다.

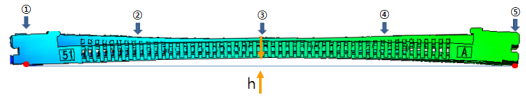


Fig. 6 Deflection Measurement Points for 0.5mm pitch FPC Connector

3. 해석결과 및 분석

3.1 사출 성형 설계

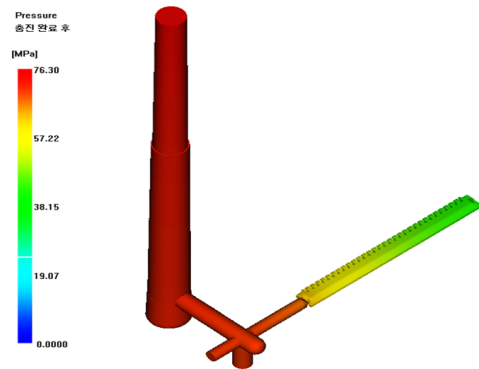


Fig. 7 Pressure Distribution of 0.3mm pitch FPC Connector after the Final Stage of Filling

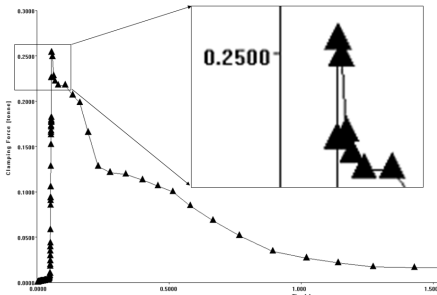


Fig. 8 Clamping Force of 0.3mm pitch FPC Connector during Injection Molding Process

Fig. 7~8은 0.3mm 피치 0.8H FPC 커넥터용 액츄에이터의 충전 해석 결과이다. 최대 사출압은 76.30MPa, 클램핑 추력은 0.2529ton으로 계산되었다. 통상적으로 1mm이하 높이를 가지는 박형 커넥터를 에지형 게이트를 이용하여 사출하는 경우 70~120MPa의 압력, 0.2~0.3 ton이 유도되며 계산된 해석 결과는 일반적인 사출압, 클램핑 힘 범위와 잘 부합되고 있다.

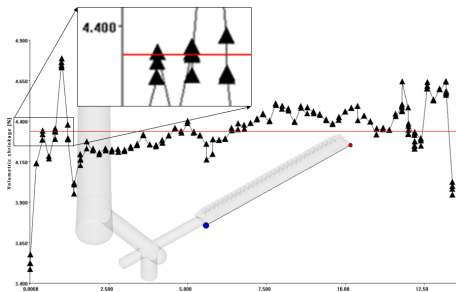


Fig. 9 Volumetric Shrinkage of 0.3mm pitch FPC Connector after the Completion of Cooling

Fig. 9은 0.3mm 피치 FPC 커넥터의 액츄에이터를 사출함에 있어서, 사출 완료이후에 체적 수축율을 구한 결과이다. 체적 수축율은 2.372~11.42%의 분포를 가지고 있으며, 평균 체적 수축율은 4.344%이다. 평균 체적 수축율 4.344% 체적 수축율은 액츄에이터의 체적 수축율을 끝 단에서부터 게이트 방향으로 그래프로 표현 했을 때와도 균일도면에서 잘 일치하며 선형적인 분포를 보여주고 있음을 알수 있다.

Table 1은 최적조건 산정을 위한 실험계획법에 의해 다중 사출 해석을 수행한 결과이다. 하기의 해석 결과에서 금형 온도와 노즐온도가 각각 90℃,

310℃이고 보압이 60.05MPa인 경우 제일 낮은 형체력(0.2529tonne)과 제일 낮은 체적 수축율(4.344%)을 나타내었다.

Table 1 Results of Injection Molding Analysis for 0.3mm pitch FPC Connector

DOE	금형온도 [°C]	노즐온도 [°C]	보압 [MPa]	최대사출압 [MPa]	형체력 [ton]	체적수축율 [%]
1	90	310	60.05	76.3	0.2529	4.344
2	90	300	67.59	84.53	0.2795	4.426
3	90	320	55.59	69.52	0.2321	6.986
4	80	310	59.37	74.25	0.2456	4.750
5	100	310	57.99	72.52	0.2405	5.499

3.2 휨 변형 해석

Fig. 10은 사출 해석을 통하여 예측한 휨 변형량과 실제 측정을 통한 휨 변형량을 비교한 결과이다. 리플로우 공정을 시행하기 전 측정에 의한 최대 휨 변형량은 약 0.062mm이며 시뮬레이션에 의한 예측 휨 변형량은 약 0.053mm으로 계산되었다. 시뮬레이션과 실제 측정량을 기준으로 한 절대 오차는 0.009mm이며 상대 오차는 17%이다. 상대 오차 17%는 실제 샘플과 해석을 비교하기에 다소 높은 오차로 판단되어 실 제품간 절대 비교를 위해서는 다소의 개선이 필요하지만 설계안 간의 상대적 비교에서는 유용하게 사용될 수 있음을 알 수 있다.

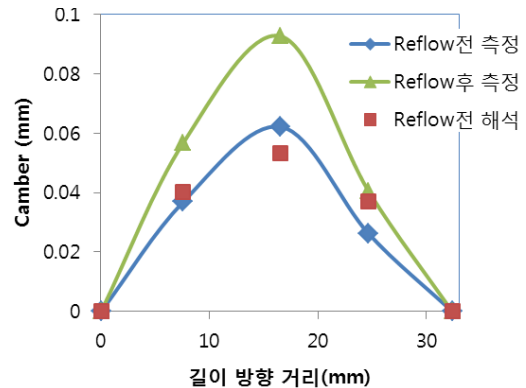


Fig. 10 Comparison between the measurement and the simulation to estimate the deflections

Fig. 10의 결과는 또한 리플로우 공정을 거친 후 휨 변형을 측정했을 때 휨 변형량이 더 심해진 것을

알 수 있다. 리플로우 공정을 거친 후의 휨 변형량의 추가는 잔류응력, 재료의 결정도 등 다양한 인자에 의해 발생되는 것으로 알려지고 있으며 이에 대한 실 제품-예측 결과에 대한 연구 결과를 향후 추가로 발표할 예정이다.

Fig. 11은 상기의 휨 변형 해석을 실제 제품의 설계에 있어 적용을 하기 위하여 검토한 3가지 게이트 위치 설계안에 대한 이미지이다. (a) 설계안의 경우 기존에 사용하고 있던 설계안으로서 Fig. 5의 커넥터를 평면에서 보았을 때 게이트가 왼쪽으로 위치하고 있으며 (b) 설계안의 경우 동일한 제품에 대하여 게이트가 오른쪽에 위치하고 있고 (c) 설계안의 경우 양 접점 형태로 듀얼 게이트로서 설치한 설계안이다.

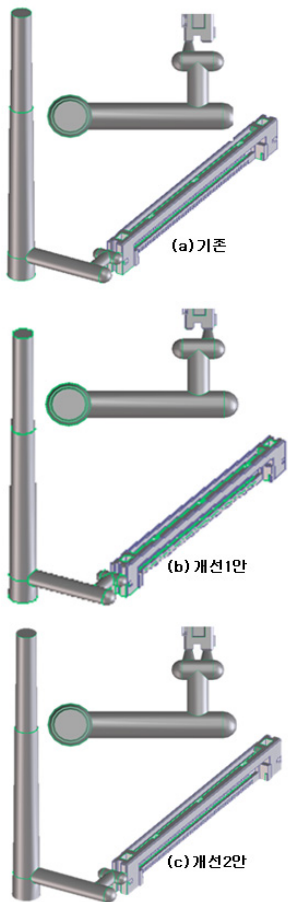


Fig. 11 Design Concepts for Gate Location Analysis

Fig. 12는 휨 변형 해석을 Fig. 11의 3가지 게이트 위치에 대하여 검토한 결과이다. 기존 게이트 위치 설계에서는 최대 휨 변형량이 약 0.053mm로 발생하였으며 개선 1안과 개선 2안의 경우 모두 약 0.04mm의 최대 휨 변형량이 유도되었다. 3가지 설계안에 대하여 휨 변형량은 중앙 최대점을 기준으로 미세한 비대칭의 형태를 띄고 있다. Fig. 13은 기존 설계안의 경우 충전 시 게이트의 좁은 단면을 통과한 수지가 터미널을 지지해주는 격벽부위를 중심으로 수지의 분기와 병합을 반복하면서 충진을 하면서 유효 유동길이의 증가를 가져오게 되어 사출압이 증가하게 된다.

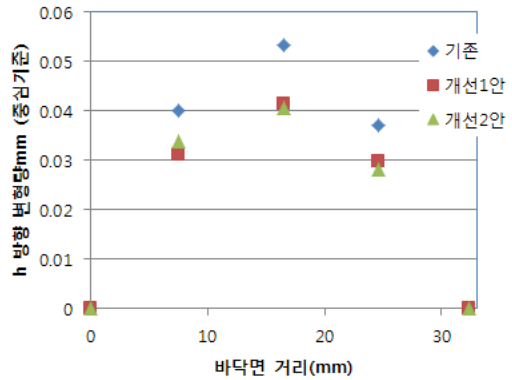


Fig. 12 Results of the Gate Location Analysis

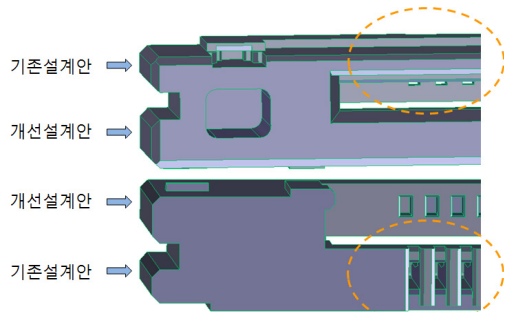


Fig. 13 Detailed Design Concepts for Gate Location Analysis

개선안의 경우 터미널의 경우 게이트를 통과한 수지가 액츄에이터가 실장되는 방향에서 유동의 흐름을 방해하는 터미널 격벽없이 일반 충전과 매우 유사한 형태로 충진을 하게 된다. 터미널 격벽의 존재는 제품의 한쪽 방향으로의 비대칭적으로 두께로 인한 수축량 자체의 증가와 더불어 두꺼운 두께로 인한 냉각 속도의 감소로 인하여 게이트를 통한 보압 단계에서 수지의 추가적인 충진이 발생하게 되

어

수축의 보강이 일어난다. 따라서 터미널 격벽의 설계는 단순히 사출압의 증가뿐만 아니라 살 두께의 변화로 인한 충전 보압단계에서 시간적으로 불균일한 온도 구배를 제품내에 형성하게 되어 두께방향의 변형이 유도된다.

4. 결론 및 토의

본 연구에서는 헵 피치 커넥터에 대하여 최적화 사출 해석과 휨 변형을 시행하였고, 실제 측정값과의 비교를 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 형체력과 체적 수축율을 중심으로 사출 해석은 최적화 사출 해석을 하는데 유효함을 확인하였다.
- 2) 휨 변형 해석은 금형 제작이 이루어지기 전에

설계 단계에서 실제 최종 제품의 휨 특성을 예측하는데 유효하게 사용될 수 있음을 확인되었다.

- 3) 휨 변형 해석과 실제품 측정치와의 상대오차는 17%로 계산되었다.

참고문헌

- 1) Hans Gastrow, Edmund Lindner, Peter Unger, "Injection Molds: 130 Proven Design," Third Edition, Hanser Gardner Publications, 2002.
- 2) John P. Beaumont, Robert Sherman, Robert F. Nagel, "Successful Injection Molding," First Edition, Hanser Gardner Publications, 2002.
- 3) John P. Beaumont, "Runner and Gating Design Handbook: Tools for Successful Injection Molding," Second Edition, Hanser Publications, 2007.