[논문] 한국소성가공학회지, 제 14 권 제 3 호, 2005
Transactions of Materials Processing, Vol.14, No.3, 2005

Intake Manifold 제품 변형 제어 연구

허영무 # · 이성희 [1] · 신광호 [1] · 윤길상 [1] · 정우철 [1] · 정태성 [2]

The Warpage Reduction for Intake Manifold Product

Y. M. Heo, S. H. Lee, K. H. Shin, G. S. Yoon , W. C. Jung, T. S. Jung

(Received November, 30, 2004)

Abstract

The purpose of this research is the warpage reduction for intake-manifold which is made to the injection molding. Intake-manifold is assembling to ultra sonic welding after forming. Therefore deformation is influence on the performance and manufacture to intake-manifold product. Location and number of gates, filling time, mold temperature, packing time, packing pressure and cooling time are factors that affect the deformation of injection molding product. Therefore, the injection molding characteristics of intake-manifold and the estimated deformation are detected by CAE analysis and compare measuring data in this study.

Key Words : Intake-Manifold, Injection Molding, Warpage, Filling Time, Mold Temperature, Cooling Time, Packing Pressure

1. 서 론

금형은 복잡한 형상의 부품을 고정밀도로 반복 정밀도를 얻으면서 대량 생산할 수 있으며 가격 경쟁력이 우수하다는 장점을 가지고 있다[1]. 이 같은 이유로 스로틀 바디(Throttle body)와 실린더 헤드(Cylinder head)등 두 부분으로 구성되어는 매니폴드(Intake Manifold)를 기존에는 주조기법을 이용하여 알루미늄으로 제작하거나, 저온 용융 합금 로스트코어 방법을 응용한 플라스틱제품으로 제작하였으나, 현재는 정밀 사출성형을 통한 플라스틱 제품을 초음파 용접을 이용하여 생산하고 있다. 제품의 특성상 유리섬유를 포함하고 있는 수지를 사용하여 성형 하기 때문에 배향성에 의한 변형 및 냉각, 수축차에 의한 변형, 뒤틀림이 발생 할수 있다. 이러한 변형은 접합면의 밀착을 어렵게 하여 초음파 용접을 불가능하게 한다. 따라서 사출제품의 치수 안정성은 제품 생산 및 성능에 큰 영향을 끼친다[2~3].

본 연구에서는 CAE 기술을 활용하여 사출성형을 통해 제작된 매니폴드의 성형특성을 파악하고, 변형을 예측 하였다. 그 결과 절대적으로 변형이 큰 하단부 제품에 대하여 성형성 및 치수안정성에 큰 영향을 미치는 인자들인 게이트의 수, 금형온도, 충진시간, 보압의 크기, 보압시간 그리고 냉각시간 등의 변화를 통해 대상 모델의 변형 정도를 평가하였으며, 최적화된 결과를 이용하여 시제품을 성형한 후 변형의 정도를 고찰하였다[4~5].

2. 수지 및 성형조건

2.1 수지

1. 한국생산기술연구원 정밀금형팀
2. 재영 솔루텍
교신저자 : 한국생산기술연구원 정밀금형팀
E-mail : ymheo@kitech.re.kr

본 연구에서 사용된 수지는 Rhodia 사 Technyl C218 V35로써 결정성 PA6이다. 일반적으로 나일론으로 알려져 있으며, 플라스틱명은 폴리아미드이다. 수지의 성형온도 범위에서 전단률 변화에 따른 점도 특성 변화를 Fig. 1에서 보여 주고 있으며, 그림에서 보듯이 낮은 전단률에서는 점도 특성의 변화가 없다가 전단률이 약 100 1/s 를 지나게 되면 급격히 점도가 줄어드는 Shear thinning 현상을 볼 수 있다. 또한 압력, 온도, 부피와의 관계를 나타내는 PVT 선도는 Fig. 2에 제시하였다.

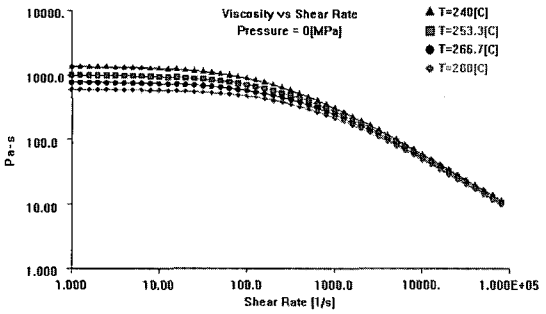

Fig. 1 Viscosity vs. shear rate for PA6

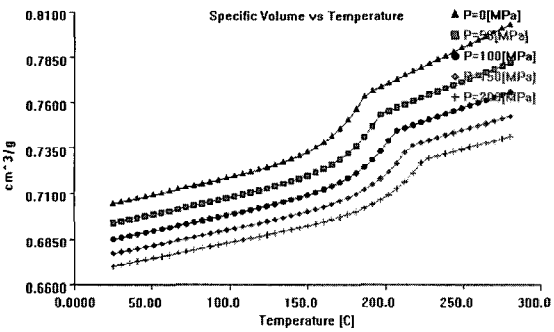

Fig. 2 Specific volume vs. temperature for PA6

2.2 성형조건

매니폴드의 사출성형을 위한 일반적인 성형조건 범위는 Table 1에 제시 하였으며, 표에서 보듯이 제품을 성형하기 위해서는 수지 온도를 260℃ 정도로 용융시키고 금형표면 온도는 80℃이다. 또한 성형 후 제품이 취출 되기 위해서는 최소한 제품의 온도는 일반적으로 제품의 변형을 억제하기 위해서는 금형 온도를 낮게 설정하는 것이 유리하나, 너무 낮게 설정하게 되면 제품의 성형성에 문제가 발생 될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 제품의 사출성형 후 변형 측면을 고려하여 금형 온도를 60℃ 선정 하였다.

Table 1 Processing Parameters for injection molding and analysis

Processing Parameters		value
Mold Temperature(MoT)		80℃
Melt Temperature(MeT)		260℃
Recommended MoT	Min	60℃
	Max	100℃
Recommended MeT	Min	240℃
	Max	280℃
Absolute Max. MeT		300℃
Eject Temperature		170℃
Max. Shear Stress		0.5 Mpa
Max. Shear Rate		60,000 1/s

3. 기존제품의 성형해석 및 결과

3.1 유한요소 생성

매니폴드의 3차원 모델에 대한 사출성형 해석을 위한 유한요소 해석 모델을 생성하였으며, 그 결과를 Fig. 3에 제시하였다. 또한 생성된 유한요소의 모델별 노드와 요소정보를 Table 2에 제시하였으며, 표에서 보듯이 매니폴드 하측이 가장 큰 부피를 차지하며, 상측, 중간측 순으로 부피가 크다.

3.2 유동해석 결과

본 연구에서는 매니폴드 상측, 중간측 및 하측에 대한 사출해석을 수행하였으며, Fig. 4에 각각의 모델에 대한 시간대별 충진패턴 결과를 제시하였다. Fig. 4(a)의 상측 매니폴드의 경우 세 개의 게이트 중 가운데 게이트와 연결된 런너가 상대적으로 양측보다 짧아 두 번째 충진 그림에서 보듯이 먼저 제품에 충진이 진행됨을 볼 수 있다. 또한 네 번째 그림에서 보듯이 상측의 양쪽 코너가 이미 충진이 완료되어 이후 충진과정에서는 과보압 상태로 존재함을 예측할 수 있으며, 이러한 과보압 상태는 제품의 변형에 직접적인 영향을 미치게 된다. 특히 본 제품은 충진 방향으로 리브가 형성되어 있고 이에 수직한 방향으로는 구조적

Table 2 Mesh result and its geometrical property

	Manifold		
	TOP	CENTER	BOTTOM
Nodes	28,806	27.385	32,312
Elements	57,636	54,858	64,732
Volume(㎤)	779.94	462.08	1088.18
Area(㎠)	1103.12	323.91	1018.19

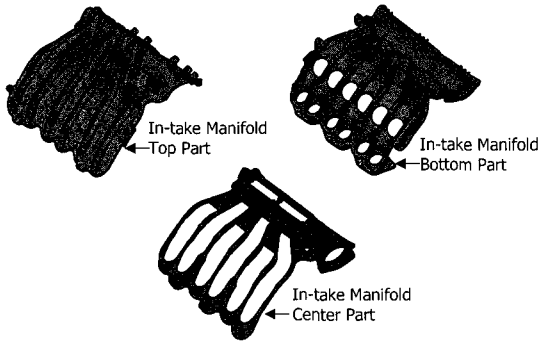

Fig. 3 Result of meshing for injection molding analysis

보강이 없으므로 상대적으로 휨이 폭 방향으로 발생될 것으로 판단된다. 그리고 최종 충진과정에서는 그림의 하측 왼편이 먼저 충진되므로 오른쪽 게이트나 런너의 크기를 조절하여 균일 충진이 발생되도록 할 필요가 있다.

Fig. 4(b)의 중간 매니폴드의 경우는 게이트를 중심으로 상하측이 균일하게 충진되므로 성형 후 변형 측면에서도 상측보다는 변형이 작지만 결과에서 보듯이 4 개의 게이트 중 양쪽 두 곳을 지나는 수지는 중앙에 비해 늦게 제품에 도달하게 된다.

마지막으로 Fig. 4(c)의 하측 매니폴드의 경우는 중간측과 비슷한 Delivery 시스템을 보이고 있으나, 중간측 매니폴드에 비해 게이트를 중심으로 하측의 부피가 많으므로 상측이 먼저 충진된 후 하측이 충진되는 결과를 초래할 것이며, 해석결과에서 보듯이 상측이 과압상태에 있음을 알 수 있다. 하지만 이러한 경우는 게이트 시스템의 변경이 상측이나, 중간측 매니폴드에 비해 까다롭기 때문에 보압과 냉각조건을 최적화할 필요가 있다.

3.3 온도분포

각각의 모델에 대한 충진 선단의 온도분포 결과를 Fig. 5에 제시하였다. 결과에서 보듯이 전체적으로 주입된 용융수지 온도를 유지함을 볼 수 있으며, 만약 온도가 일정온도 이상 상승되면 수지의 물성이 변하게 되고, 급격히 저하되면 미충진(short shot)이 발생할 가능성이 있다. 본 제품의 경우에는 측면에서의 얇은 부분에 급격한 온도 저하 발생을 볼 수 있으나, 전체적으로 양호한 결과를 보인다. 하지만 Fig. 5의 A, B, C 와 같이 국

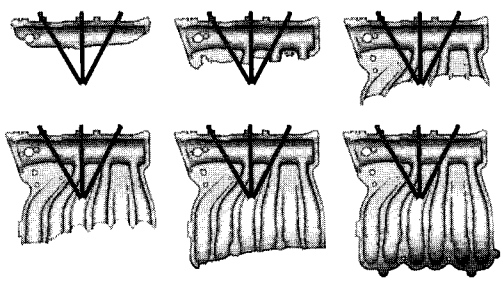

Fig. 4(a) Result of filling pattern for top part of in-take manifold

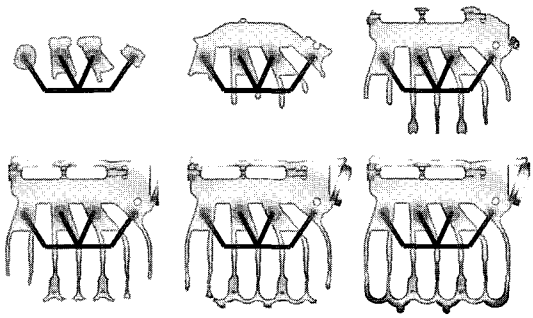

Fig. 4(b) Result of filling pattern for center part of in-take manifold

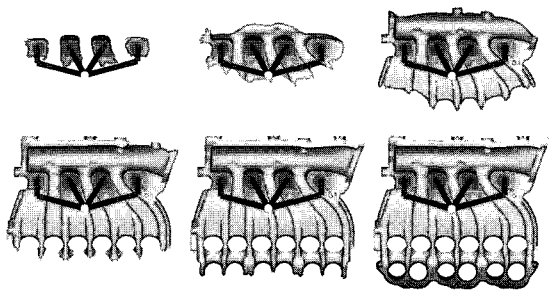

Fig. 4(c) Result of filling pattern for bottom part of in-take manifold

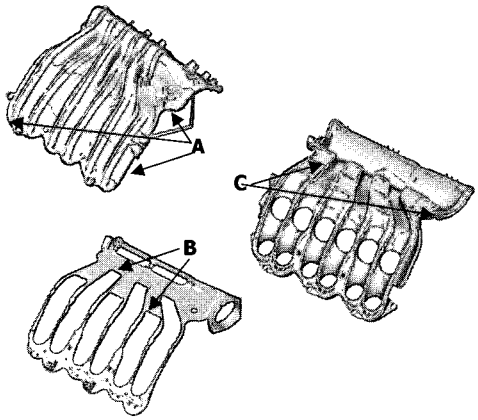

Fig. 5 Result of temperature at flow front for top, center, bottom part of in-take manifold

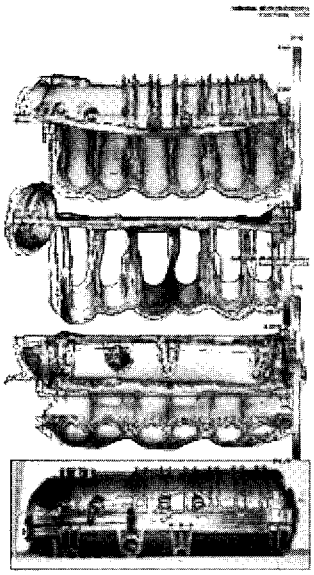

Fig. 6 Comparison of warpage for prototype

부적으로 얇은 부분에서는 급격한 용융수지의 고화 현상을 볼 수 있으므로, 성형시 주의를 해야함을 알 수 있다.

3.4 변형해석 결과

상측의 경우는 앞에서 예상하였듯이 폭 방향에 대해 아래로 볼록한 변형 결과를 보이고 있다. 이러한 결과에는 두 가지 원인이 있을 수 있으며, 하나하나는 유동방향에 따른 방향성에 의함 휨 발생이고, 다른 하나는 두께 방향의 온도차에 의한 변형 발생이다. 하지만 결과를 고려하여 볼 때 전자의 영향성이 더욱 크다. 그 이유는 사용수지는 결정성수지이며, 보강섬유가 30%이상 함유되어 있어 유동방향에 수직한 방향으로 강성이 상대적으로 약하기 때문이다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 제품의 설계 변경이 가능하다면 폭 방향으로 상측에 리브를 추가함으로써 폭방향 강성을 증가시켜 휨을 억제하거나, 게이트 위치를 변경하여 폭 방향으로 보강섬유들이 배양하도록 해야 한다.

한편 중간측 매니폴드의 경우는 상측에 비해서는 양호한 결과를 보이나 절대적으로 큰 변형 결과를 보이므로 게이트 또는 런너를 조절하여 휨을 줄일 필요가 있다. 마지막으로 하측 매니폴드의 경우는 상측과 비슷한 결과를 보이고 있으며, 조립을 생각 할 때 변형이 상쇄되는 쪽 보다는 증폭되는 형태로 변형이 발생되어 있으므로 앞에서 언급하였듯이 성형조건 최적화를 통해 변형을 최소화해야 한다. 실제 시사출 성형품과 해석결과의 비교 결과를 Fig. 6에 도시하였으며, 그림에서 보듯이 상호 유사한 결과를 보이고 있음을 알 수 있다.

4. 하단부의 변형제어

4.1 Flow Balance 를 통한 변형제어

본 연구에서 사용된 수지는 보강유리섬유가30%가 함유되어 있는 수지이므로, 게이트 수 및 위치에 변화에 따라 변형이 매우 크게 변한다. 게이트의 수 변화에 따른 변형 결과만을 분석하였으며 그 결과는 Fig. 7과 같다. 결과를 보면 게이트의 수가 증가함에 따라 변형은 감소한다. 또한 이러한 게이트 수의 증가는 상대적으로 유동측면에서 용융된 수지의 유동거리를 짧게 하므로, 결과적으로 요구되는 사출압력을 낮추게 된다.

4.2 민감도 해석을 통한 변형제어

4.2.1 충진시간

일반적으로 금형에서의 최대압력은 충진과정에서 발생되며, 특히 수지 주입구에서 발생된다. 이러한 높은 압력은 제품이 취출될 때 결과적으로 높은 압력차의 이력을 겪게 되므로 변형을 유발 시킬 수 있다. 따라서 일차적으로 게이트, 런너 등이 결정되면 사출시간을 제일 먼저 최적화 시킬 필요가 있다

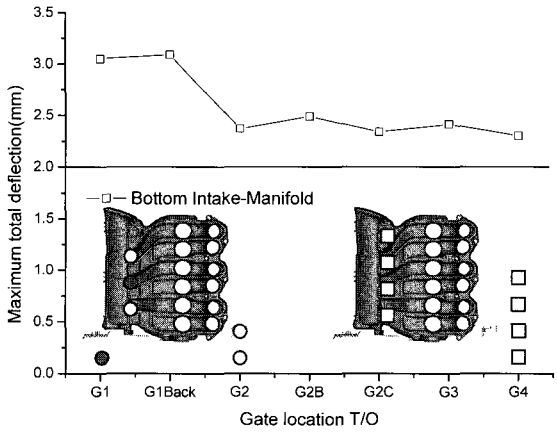

Fig. 7 Effects of gate position and number on warpage for bottom intake manifold

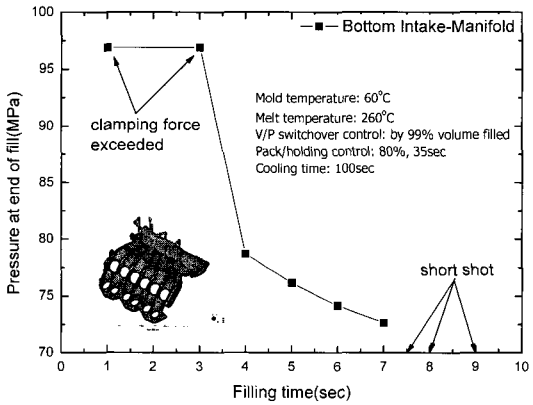

Fig. 8 Pressure at end of fill vs. filing time for bottom intake manifold

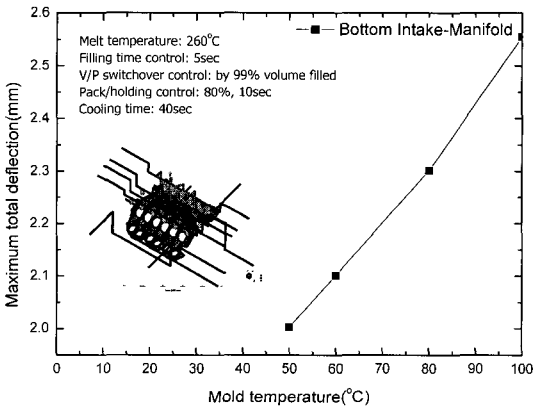

Fig. 9 Effects of mold temperature on maximum warpage for bottom intake manifold

해석 결과는 Fig. 8에 도시 하였으며, 해석에 사용된 고정된 성형조건은 금형온도와 용융수지의 온도이며 Fig.8에 함께 도시 하였다. 충진 시간이 짧은 경우는 해석결과상에서 과도한 수지 주입에 따른 형체력 초과 결과를 보이며, 사출시간이 7초 이후는 모델상 미충진이 형성됨을 알 수 있다. 이는 수지의 속도가 열전달 속도보다 늦어서 국부적으로 완전 고화층 형성에 의한 결과이다.

4.2.2 금형온도

앞 절의 결과를 토대로 게이트의 수와 충진시간을 적용하여 해석을 수행 하였으며, 그 결과는 Fig.9 와 같다. 결과에서 보듯이 고분자 수지가 가지고 있는 PVT 특성으로 인하여 금형 온도가 증가하면 모델의 최대 변형량은 같이 증가함을 볼 수 있다.

4.2.3 보압

보압은 충진이 거의 완결된 상태에서 고분자 수지의 냉각에 의한 수축을 보상하기 위해 필요한 성형공정이다. 이러한 보압은 적절한 값이 선정되어야 하는데 일반적으로 사출성형 충진과정에서 발생되는 최대값의 80%정도가 사용되고 있다. 보압에 크기에 따른 변형의 결과는 Fig.10 에 나타내었다.

4.2.4 보압시간

앞 절에서 설정된 보압의 크기를 기준으로 보압시간이 변형에 미치는 영향을 해석을 통하여 확인 하였다. 보압 시간은 게이트가 고화된 이후에 가해지는 것은 의미가 없으므로 게이트 부근의 고화시간을 고려하여 최대값을 결정하였으며, 그 결과는 Fig. 11 이다. 결과에서 보듯이 보압시간의 증가에 따라 전체적인 최대 변형량이 감소함을 볼 수 있고, 특히 20 초 까지는 급격히 감소하다가 이후는 완만하게 값이 감소함을 확인 할 수 있다. 이는 충진 이후 고분자 수지가 냉각과정을 거치면서 발생되는 불균일 수축에 저항하는 시간이 길어진 결과로 볼 수 있다.

4.2.5 냉각시간

성형조건이 변형에 미치는 마지막 경우로 냉각시간의 변화에 따른 모델의 최대 변형 결과를 도출 하였다. 해석된 결과를 Fig. 12 에 제시하였으며, 결과에서 보듯이 냉각시간의 증가에 따라서 모델

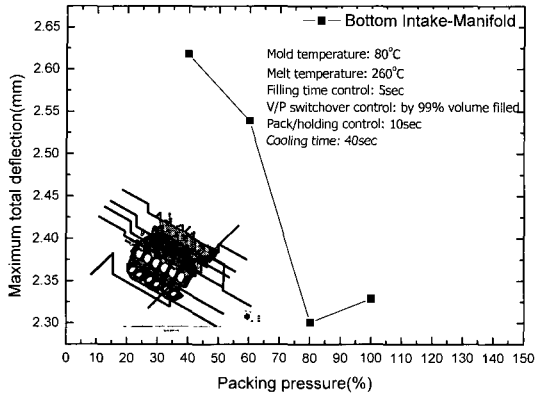

Fig.10 Effects of packing pressure on maximum warpage for bottom intake manifold

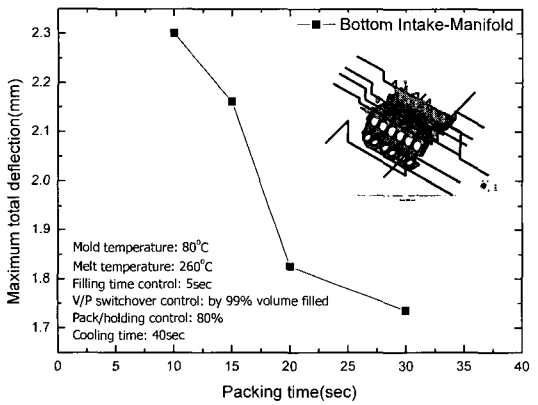

Fig.11 Effects of packing time on maximum warpage for bottom intake manifold

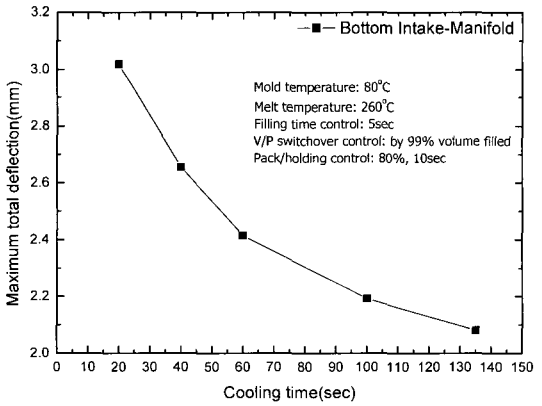

Fig.12 Effects of cooling on maximum warpage for bottom intake manifold

의 최대 변형량이 크게 감소됨을 알 수 있다. 이러한 결과를 살펴 볼 때 냉각 시간을 충분히 가지게 되면 변형이 줄어들겠지만 냉각시간은 생산성과 직결되는 중요한 문제이므로 성형성을 만족하는 범위 안에서 가능한 짧게 하는 것이 좋다.

4.3 변형제어를 위한 성형조건 결정

해석결과를 바탕으로 하여 매니폴드 하단부의 변형을 제어하기 위한 조건들을 결정하였다. 조건들은 Table 3 과 같다. 위의 조건을 바탕으로 하여 성형해석을 수행하였으며 그 결과는 Fig.13.과 같다. 결과에서 보듯이 변형결과가 3.817mm 에서 약 1.8865mm 로 제어 되었음을 볼 수 있다.

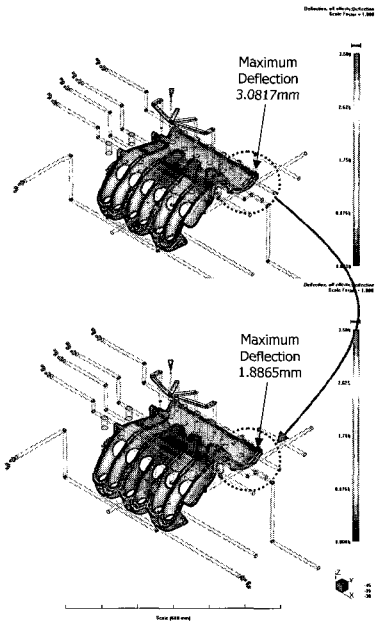

Fig.13 Comparison of warpage between initial result and optimized result

Table 3 Optimized injection molding parameters

Parameters	Value
No. of gate	4
Fill Time	5sec
Mold Temperature	60℃
Packing Pressure	80%
Packing Time	40sec
Cooling Time	100sec

5. 해석결과 비교 및 시제품 측정

5.1 해석결과 비교

기존의 해석결과와 위의 결과를 적용시킨 후의 해석결과를 Fig.14 에 도시 하였다. 그림에서 X 축은 그림상에 제시된 모델에서 보듯이 선택되어진 동일 노드의 순차적 나열이며, Y 축은 동일 위치에서의 CAD 데이터를 기준으로 한 상대적인 변형결과를 의미한다. 한편 기준점은 모델의 배면에 존재하는 평면의 한점을 선택하였으며, 모들 결과에 대해 동일한 기준을 적용하였다. 그림에서 Previous 는 기존의 결과를 Present 는 제어후의 결과를 나타낸다. 결과 그림에서 보듯이 기준 평면과 점에 대해 기존의 변형결과 대비 각 위치에 대해 약 50%정도의 매우 향상된 변형제어 결과를 얻을 수 있다.

5.2 시사출 제품의 측정

기존의 제품과 제어 후 성형된 제품을 삼차원 측정기를 사용하여 측정하였으며, 측정은 제품의 특징 형상중 평면을 이룰 수 있는 부분에 원점을 정의하였고, 초음파 하단부 후면에 있는 초음파 융착부위를 측정하였다. 측정결과는 Fig.16에 나타내었다. Previous는 기존의 사출성형 제품이며 Present는 CAE해석을 통하여 얻어진 변형 제어결과를 적용한 제품의 측정결과를 나타낸다. 우선 XY평면에 프로젝션된 결과를 보면 기존제품 대비 수축량이 적게 발생되었음을 알 수 있고, Z 방향의 변위 결과에서도 양호한 처짐 결과를 나타낸다.

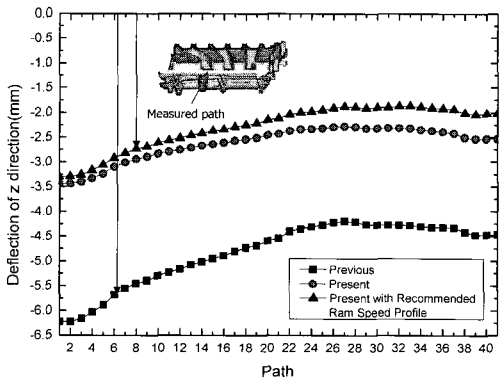

Fig.14 Warpage comparison between previous and present for injection molding analysis

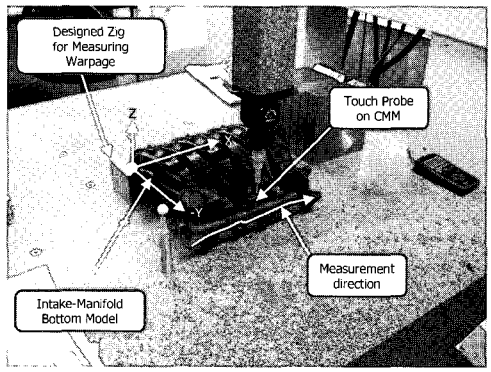

Fig.15 Measurement of warpage for injection molded part

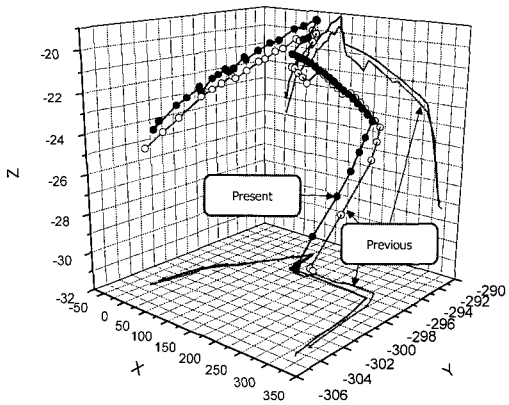

Fig.16 Warpage comparison between previous and present for injection molding part

6. 결 론

본 연구는 매니폴드의 변형제어 기술개발을 위하여, 게이트 및 성형조건의 영향성을 살펴 보았다. 즉 CAE 기술을 활용하여 제품의 성형성 및 치수 안정성에 미치는 인자들의 변화를 통해 대상 모델의 변형 정도를 평가 하였으며, 최적화된 결과를 사용하여 시제품을 성형한 후 변형의 정도를 측정하여 비교 하였다. 본 연구결과는 사출품의 변형 제어를 위한 기초 참고자료로 사용될 수 있으며, 결론은 다음과 같다.

(1) 게이트 수 및 위치 변형을 통해 성형성 및 치수 안정성을 얻을 수 있는 결과를 도출하였다.

(2) 제품의 변형측면에서는 금형온도는 낮게, 보압의 크기는 최대 사출압의 80%, 보압시간은 가능한 길게 그리고 냉각의 시간 또한 길게 할수록 변형이 줄어든다.

(3) 최적화된 조건을 적용하여 변형해석을 수행한 결과 기존 제품 대비 50%정도의 변형제어 결과를 도출하였으며, 시사출 결과에서도 변형이 제어된 측정결과를 얻었다.

참 고 문 헌

[1] 허영무, 강정진, 신광호, 이영훈, 2003, 금형산업의 현재와 미래, 한국소성가공학회지, 제 12 권, 5 호, pp. 421~432.

[2] Shin-ichi Matsuoka, 1995, Ultrasonic welding and characteristics of glass-fiber reinforced plastic, Journal of Materials Processing Technology, Volume 55, pp. 427~431.

[3] Jiromaru Tsujino, Takako Uchida, Katsuhisa Yamano Noriyuki Iwamoto and Tetsugi Ueokai, 1998, Welding characteristics of ultrasonic plastic welding using two-vibration-system of 90 kHz and 27 or 20 kHz and complex vibration systems, Ultrasonics, Volume 36, pp. 67~74.

[4] 임용택, 한경희, 1997, 압축성을 고려한 사출성형 충진에 관한 연구, 대한기계학회논문집, 제 21 권, 5 호, pp. 735~745.

[5] 김종헌, 이종수, 차성운, 2003, 공리적 개념을 적용한 사출성형 시스템의 최적설계, 대한기계학회논문집, 제 27 권, 제 6 호, pp. 1020~1027.