

공정 모니터링을 이용한 자동차 커넥터 공정조건 분석 : 보압공정을 중심으로

박형필* · 차백순* · 이상용* · 김옥래* · 이동진** · 최영섭** · 이병옥***

*한국생산기술연구원 정밀금형팀 · **KUM · ***아주대학교 기계공학과

1. 서론

자동차산업과 가전제품, OA기기를 비롯하여 현대 모든 산업이 플라스틱을 생각하지 않고는 생산할 수 없을 만큼 많은 비중을 차지하고 있으며, 품질 균일성 및 생산성 향상을 위한 다양한 성형기술이 소개되고 있다. 사출성형 기술은 성형 가공 설비, 금형, 성형재료 기술이 복합적으로 작용하여 성형 제품을 만들어내는 기술로써, 최근 통합 분석이 가능한 공정모니터링 기술이 소개되고 있다. 이 기술은 캐비티 압력센서 및 온도센서를 활용하는 기술로 미국, 독일 등 선진국들에서는 활발히 사용되고 있다.

국내에서도 높은 기술수준이 요구되는 고부가가치 자동차 커넥터 제품에 캐비티 압력센서 및 온도센서의 활용 기술이 도입되고 있다. 특히 자동차용 커넥터의 생산관리 및 생산성 향상, 금형개발 및 제작 기술 향상, 사출성형 생산기술 향상 등에 공정모니터링 기술이 적용되고 있다.

본 연구에서는 자동차용 커넥터 금형의 캐비티 압력 및 온도 센서 위치를 사출성형 CAE 해석으로 도출하였으며, 도출된 결과를 반영하여 공정모니터링을 위한 금형을 제작하였다. 공정모니터링을 이용하여 스크류 위치 제어와 온도 센서에 의한 보압절환이 품질 균일성에 미치는 영향에 알아보았으며, 보압 시간 변화에 따른 압력 및 온도 변화를 분석하여 최적의 보압시간을 도출 하였다. 또한 중량 및 치수 측정을 통하여 공정 조건의 변화가 제품 품질에 미치는 영향을 분석하여 성형 조건 도출 방안을 제시하도록 하였다.

2. CAE 해석을 이용한 자동차용 커넥터의 센서의 위치 선정

2.1 압력 센서 위치

일반적으로 압력 센서는 크게 스프루 끝단, 러너, 게이트와 가까운 위치 등에 설치한다. 이는 성형품 내부의 압력 이력을 관찰하기 위함이며, 다수 개를 설치하기도 한다. 압력 센서를 이용한 모니터링 시스템의 장점은 게이트 근처에 설치하여 고화시간을 정확히 예측할 수 있으며, 특히 압력 강하와 같이 성형품의 품질에 영향을 미치는 성형이력을 확인할 수 있기 때문에 널리 사용되고 있다.

본 실험에서는 게이트 근처에 압력센서를 설치하였다. Fig. 1(a)와 같이 압력 센서의 설치 위치가 게이트와 떨어진 이유는 금형 구조가 복잡하여 구조적인 제약을 받기 때문이다.

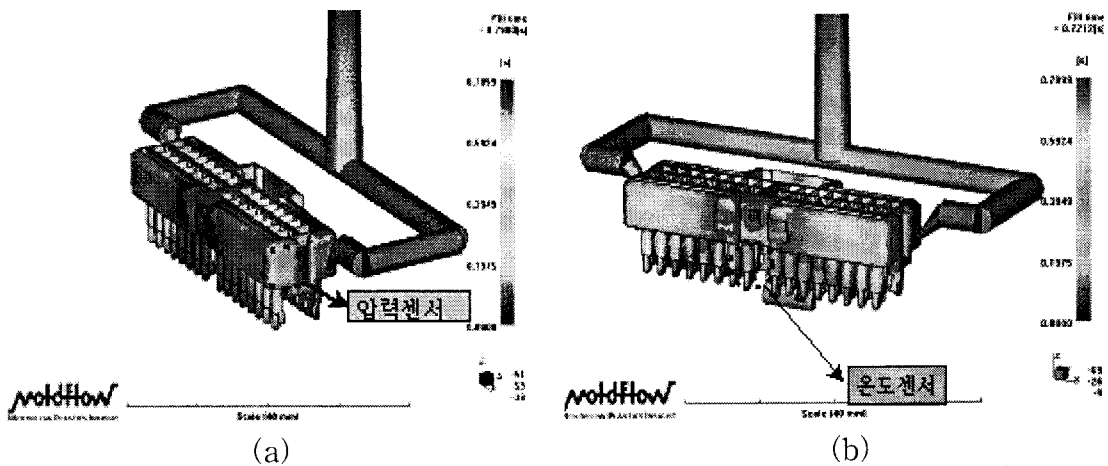


Fig. 1 자동차용 커넥터의 압력 및 온도센서 위치

2.2 온도 센서 위치

온도 센서는 주로 자동 보압절환과 금형의 표면온도 모니터링에 사용되었다. 일반적으로 온도센서는 주요 관심 부위에 설치하여 성형 중의 온도 변화, 온도 편차, 냉각이력 등을 확인할 경우에 사용되고 있다. 특히 센서의 응답속도가 4~10ms로 우수하기 때문에 충전 말단부에 설치하여 수지 도달시점의 감지신호를 이용한 자동 보압절환에 사용되고 있다. 온도 센서를 이용한 자동 보압절환은 CAE 해석을 이용한 충전 말단부 예측이 필요하며, 이 때 가장 중요한 고려 사항은 실제 사출 성형기의 응답성 고려이다. 사출성형은 사출속도 제어를 통하여 93~98% 충전된 후 압력제어로 절환되는데, 이때의 응답특성이 중요하게 된다. 그 이유는 온도센서에서 감지된 신호가 성형기의 보압절환을 일으키도록 신호를 보내주어도, 성형기의 유압특성 등의 원인으로 바로 속도제어에서 압력제어로 절환되지 못하고, 뒤늦게 절환되어 과보압을 유발시키기 때문이다. 따라서 성형기의 응답 특성과악은 반드시 이뤄져야하며, 이를 고려한 온도센서의 설치위치 결정 또한 원활한 자동 보압기능 구현을 위해서는 중요 사항이다. Fig. 1(b)에 CAE 해석을 통하여 얻어진 충전 패턴 및 해석 결과를 이용하여 선정된 온도센서의 위치를 보여주고 있다.

3. 자동차용 커넥터 금형 제작 및 사출성형 실험

3.1 금형 제작 및 실험 시스템

자동차용 커넥터는 다수의 피치를 가지고 있기 때문에 금형 구조는 편코어로 구성되어 있다. 따라서 고정밀도의 금형 제작 기술이 필요하며, 몇 번의 수정을 거쳐야만 최종 금형을 완성할 수 있다. 본 금형에서도 1차 시험사출에서 이젝터 핀의 파손, 성형 불량 등의 문제가 발생하였다. 따라서 금형 구조개선 및 금형 코어의 강도를 개선하였으며, 마이크로 블라스팅을 통한 표면처리로 성형과 취출성을 향상하도록 하였다. 압력 및 온도 센서가 설치된 자동차 커넥터 금형을 Fig. 2에 나타내고 있으며, LS 전선의 50톤 전동식 사출기로 공정모니터링 실험을 진행하였다. 실험에 사용된 재료는 결정성 재료인 PBT를 사용하였으며, Fig. 3에는 실험의 개념도를 나타내고 있다.

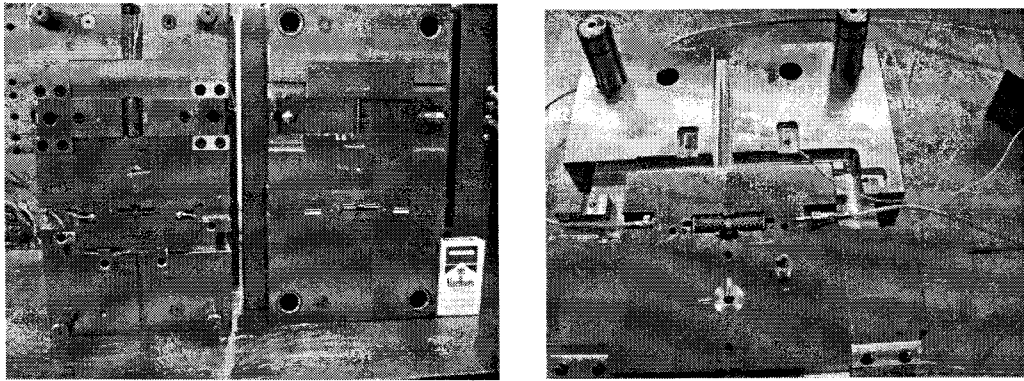


Fig. 2 자동차용 커넥터용 금형과 압력 및 온도 센서 장착

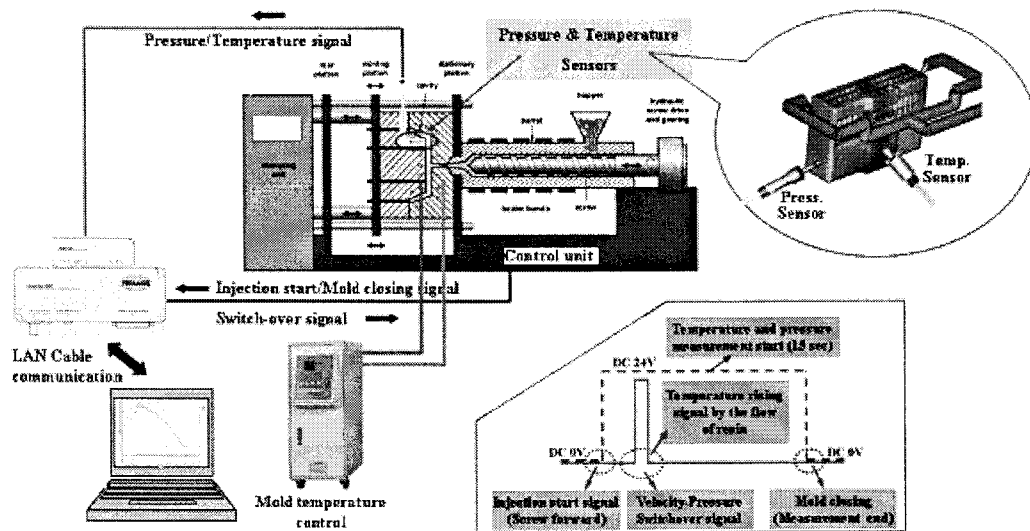


Fig. 3 자동차용 커넥터의 공정 모니터링 시스템 개념도

3.2 보압절환 방식에 따른 재현성 평가

Fig. 4는 스크류 위치 제어를 이용한 보압절환 사용 시의 5 Shot에 대한 온도/압력 데이터를 나타내고 있다. 보압절환에 의한 압력 상승 지점이 균일하지 못함을 확인할 수 있다. 이것은 보압절환 방식이 스크류의 위치에 따른 제어방식으로 이루어지기 때문에 발생한 현상으로 수지의 계량, 석백, 캐비티 내부의 가스로 인한 사출압증가 등의 문제로 항상 동일한 보압절환이 어렵기 때문이다. 또한 성형중의 금형온도 변화로 인하여 수지의 점도를 변화시켜 발생되기도 한다. 이러한 문제로 성형품의 품질 균일성 및 공정관리에 어려움이 발생하게 되는 것이다. 특히 점선 표시구간의 경우 온도 센서의 설치 위치가 성형품 충전의 98% 정도 위치에 있음에도 불구하고 온도 센서를 통한 수지 도달 감지 후에 보압절환이 발생하여 압력이 증가되는 시점까지의 시간차이가 0.1초 이상의 시간이 소요되는 점은 성형중의 적정 사출압 및 원활하지 못한 보압절환의 문제로 보여진다.

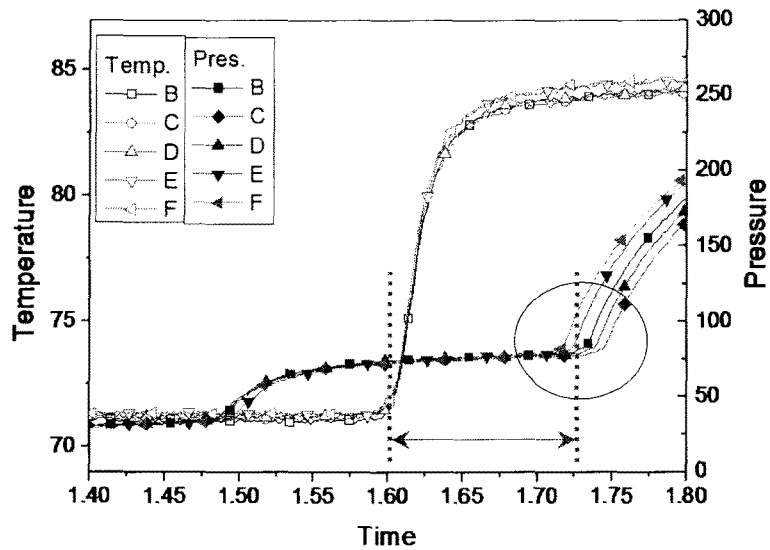


Fig. 4 스크류 위치 제어를 이용한 보압절환에서의 압력/온도데이터

Fig. 5는 온도센서를 이용한 자동 보압절환 기능 사용 후의 5 Shot의 온도/압력 데이터이다. 자동 보압절환 사용 후에 온도센서의 수지도달 이후에서 압력 상승 까지의 시간차이가 확연히 줄어들음을 확인할 수 있었다. 이것은 보압절환 뒤에 성형품의 완전 충전까지의 시간을 줄여주어 스크류 위치 제어 방식보다 성형품의 온도 차이를 줄여주어 좀 더 균일한 냉각을 유도 할 수 있어 불량 요인을 줄여 줄 것으로 판단된다. 또한 온도 센서의 신호를 이용한 보압절환의 이용으로 Closed-Loop-Control-System이 가능하여 압력 상승 시점이 일정함을 확인할 수 있었다. 이를 통하여 성형품의 균일성을 유도할 것으로 판단되었다.

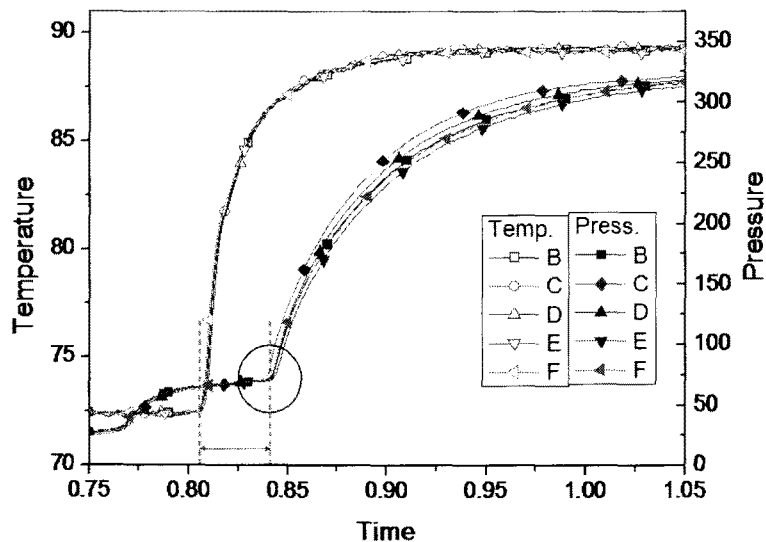


Fig. 5 자동 보압절환에서의 압력/온도데이터

3.3 압력 곡선을 이용한 적정 보압시간 탐색

일반적으로 사출성형에 있어서 보압시간은 성형품 중량을 측정하여, 중량이 변화되지 않는 시점까지 계속 올리며 설정한다. 보압시간이 짧을 경우는 성형품의 체적 수축량을 충분히 보상하지 못하기 때문에 싱크마크 및 치수안정성이 떨

어지는 문제가 있으며, 보압시간이 긴 경우는 게이트가 고화 된 이후에도 불필요한 보압이 작용하여 성형사이클 증가, delivery system의 불필요한 중량 증가, 금형 및 성형기에 무리를 초래 할 수 있다. 그러나 모니터링 시스템을 활용할 경우 금형 내 발생하는 압력 데이터를 이용하기 때문에 중량측정을 통한 보압시간 설정정보보다 빠르고 정확하게 보압시간을 찾을 수 있는 장점을 가지고 있다.

Fig. 6에는 보압시간 변화에 따른 압력/온도 데이터를 나타내고 있다. 보압시간은 1.0sec, 1.6sec, 2.0sec로 변경시키며 진행하였다.

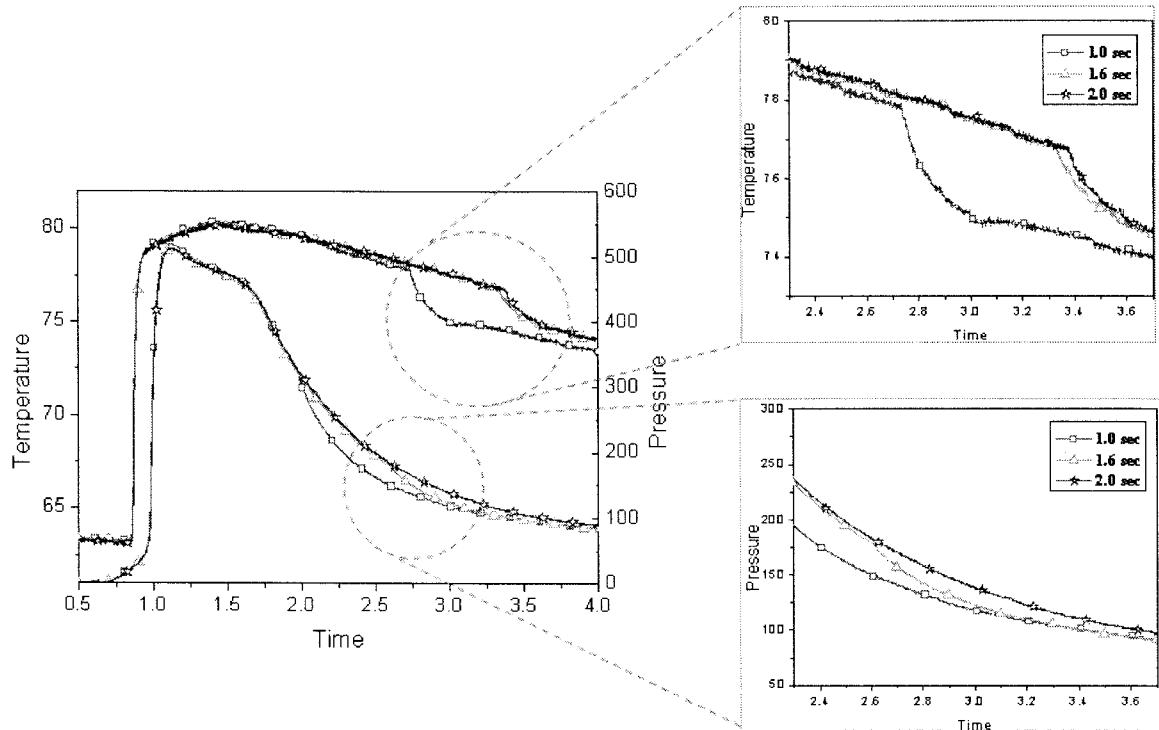


Fig. 6 보압시간 변화에 따른 압력 및 온도 변화

실험 결과 보압시간이 2.0sec의 경우가 최적의 보압시간으로 판단되었다. 압력의 경우는 보압시간이 증가함에 따라서 압력 곡선의 변화가 나타났다. 1.0sec, 1.6sec에서 압력의 기울기 변화가 공통적으로 나타났으며, 2.0sec에서는 자연스러운 압력 하강을 확인 할 수 있었다. 이는 캐비티에 설치된 압력센서가 게이트 고화가 이뤄지기 전에 보압이 종료되어 압력의 변화를 겪게되고 점차 보압시간을 늘려 갔을 때는 압력 데이터의 변화가 나타나지 않음을 확인할 수 있어 결과적으로 압력 곡선을 통하여 보압시간 2.0sec가 가장 적합한 보압시간임을 알 수 있었다.

온도의 경우 보압 종료 후에 자연냉각 과정에서 급격히 하강되는 현상을 보였다. 이러한 현상은 실험에 사용된 재료가 결정성이기 때문으로 보여진다. 일반적으로 PvT선도를 살펴보면 비결정성 수지의 경우 Tg(유리전이온도)만 존재하며, 결정성 재료의 경우는 Tm(용융온도)과 Tg(유리전이온도)가 같이 존재한다. 특히 결정성 재료는 Tm(용융온도)에서 Tg(유리전이온도) 사이에서 결정화가 발생되며, 이 때 체적이 급격히 변하고 발열을 일으킨다. 따라서 실험 데이터의 온도 변화가 발생한 것으로 판단된다. 이러한 결과는 CAE 해석 결과에서도 확인할 수 있었다. Fig. 7에는 CAE 해석을 통하여 얻어진 온도 데이터를 나타내었다.

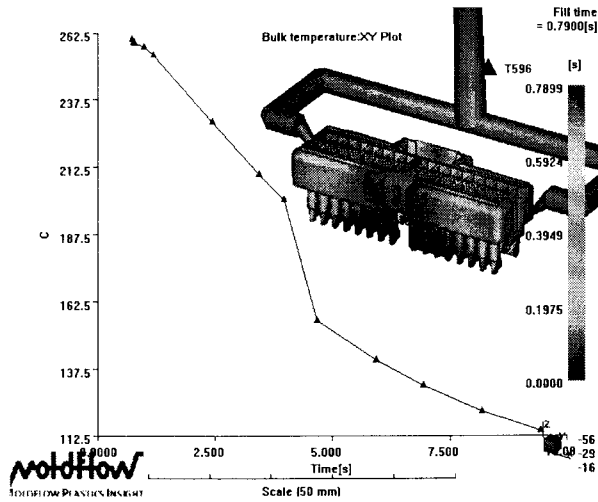


Fig. 7 CAE 해석의 온도 변화 결과

4. 중량 및 치수 측정

본 실험의 중량 및 치수의 측정결과를 Fig. 8에 나타내고 있다. 자동 보압절환기능의 구현으로 성형품의 중량 및 치수가 증가함을 나타냈다. 이러한 결과는 온도센서를 이용한 보압절환을 통하여 충전 말단부까지 원활한 보압전달이 이루어져 나타난 결과로 보인다. 또한 중량 및 치수의 산포도 약간 줄어들음을 확인하였다. 또한 보압의 재설정을 통해 얻어진 성형품의 중량은 더욱 증가함을 알 수 있었으며, 성형품 치수는 약간 증가함을 확인 할 수 있었다. 이는 보압의 재설정이 성형품의 두께방향 수축량의 보상에 큰 영향을 미치지 때문으로 보인다. 성형품 산포를 살펴보면 중량의 경우 산포에 큰 변화는 없음을 알 수 있었으며, 치수의 경우는 자동 보압절환기능의 사용을 통하여 치수 산포가 줄어들음을 확인할 수 있었다.

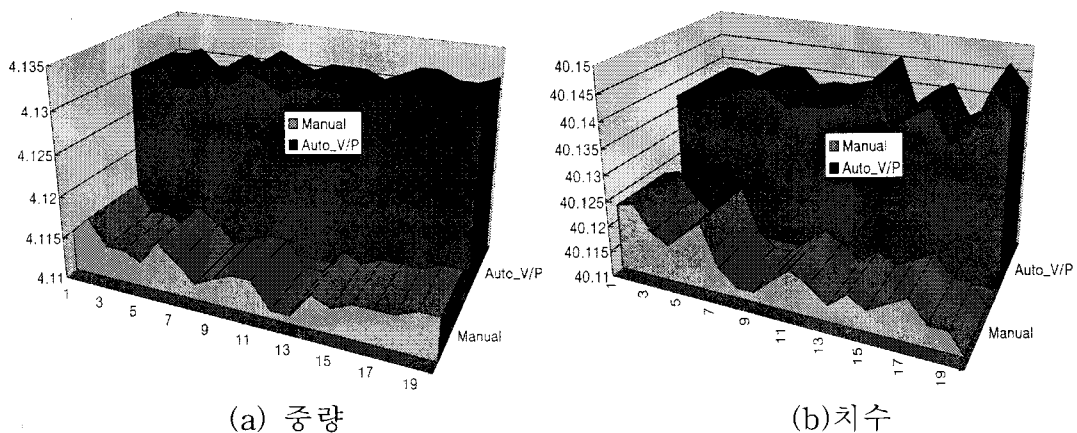


Fig. 8 보압절환 방식에 따른 중량 및 치수 분포

따라서 자동 보압절환기능이 사출성형에 있어서 효과적으로 적용될 수 있음을 확인할 수 있었으며, 특히 중/대형 성형품에 적용할 경우 더욱 활용도가 높을 것으로 사료된다.

5. 결과

본 연구에서는 고품질, 고기능의 자동차 커넥터 생산에 필요한 사출성형 공정 모니터링을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 사출성형 CAE를 통하여 제품 설계 및 금형설계에 사출성형 CAE를 적용하였으며, 특히 해석결과는 공정모니터링에 필요한 센서장착 위치 도출에 효과적으로 이용되었다.
2. 보압절환 방식에 따른 실험을 통하여 자동 보압절환이 성형품의 품질 균일성 확보에 효과적임을 알 수 있었으며, 중량 및 치수 측정을 통하여 확인할 수 있었다.
3. 압력데이터를 이용하여 적정 보압시간을 도출할 수 있었으며, 온도 데이터를 통하여 성형품의 온도 변화 이력을 확인할 수 있었다.

후 기

본 연구는 중소기업청의 지역산업 기술개발사업의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] J. Kang and et. al., Injection molding process optimization using the process monitoring system, Proceedings of SPE ANTEC 2007, pp. 2509-2513(2007)
- [2] H. P. Park and et. al., The Analysis of process conditions and application of process monitoring system to minimize shrinkage of injection molded parts, Theories and applications of rheology, Vol. 10, pp. 25-28(2006)
- [3] D. Kazmer, P. Knepper, S. Johnston, "A review of in-mold pressure and temperature instrumentation", Proceedings of SPE ANTEC 2005, pp. 3300-3304(2005)