

다재 사출성형 전문가 시스템 개발

조용회* · 강신일**

Development of an Expert System for Multi-component Injection Molding

Yong-Hoe Cho(Yonsei Univ.) and Shinill Kang(Yonsei Univ.)

Abstract

An expert system is developed for rational and efficient design of multi-component injection molding which is a fairly new manufacturing technique to produce plastic parts by injecting two or more materials sequentially using multiple injection units in a single machine into a single rotary mold. The knowledge base used in the present design system is primarily composed of two parts: knowledge from domain expert and knowledge from CAE analysis. The present expert system has four main modules: general design guidelines for injection molding, specific guidelines for multi-component injection molding, redesign guidelines from the result of the CAE analysis, and finally troubleshooting for multi-component injection molding. To show the validity of the present design methodology, two shop floor design problems were tested; design and fabrication of timing belt cover and power window's assist knob by using multi-component injection molding.

Key Words : Multi-Component Injection Molding(다재사출성형), Expert System(전문가 시스템), Design for Manufacture and Assembly(DFMA)

1. 서 론

전통적으로, 제조기술자들은 제품설계의 초기 과정에 참여하지 못하였고, 단지 설계자로부터 도면을 넘겨받음으로써 제품제조상에서 발생하는 여러 많은 문제들을 해결해야 했다. 이를 해결하지 못하는 경우에는 제품의 설계를 변경해야 하였고, 이로 인해 상당한 시간과 비용이 소요되었다. 이와 같은 문제점을 해결하는 하나의 방법으로는 설계단계에서부터 제품의 용이하고 효과적인 생산과 조립을 고려하여 설계(Design for Manufacture and Assembly, DFMA)하는 것으로, 이로부터 제품의 품질과 생산성의 향상, 그리고 저렴한 제조비용 등의 효과를 기대할 수 있

다. 그러나 현실적으로 제품 설계자와 기술자가 모여 공동작업을 하는 것이 용이하지 않아 그 필요성을 인식하면서도 잘 이루어지지 않고 있다. 따라서 제품의 설계를 제조 기술자의 관점에서 평가하고 제안할 수 있는 지능형 설계 시스템이 있다면 제품의 품질 및 생산성 향상에 커다란 기여를 할 것으로 예상된다^(1,2).

다재사출성형은 복수의 사출부와 금형의 반전 장치를 가진 사출성형기를 사용하여 동일 금형내에 여러 재료를 순차적으로 사출하여 다재질의 성형품을 조립된 상태로 제조하는 성형방법이다. 여러 다른 사출성형품과 같이 다재 사출성형품도 제품설계자 및 생산자에 의한 시행착오법(Trial and Error Method)으로 설계가 이루어지고 있어서 엄청난 경제적, 시간적 손실이 발생되어 왔다. 이를 해결하고자 유한 요소법에 의한 사출성형공정의 이론적인 해석을 이용하였으나, 이는 단지 주어진 설계에 대한 정보 제공에 국한되었다. 만

* 연세대학교 대학원 기계설계학과

** 연세대학교 기계·전자공학부

일 설계가 잘못되었을 시에는 엔지니어가 직접 다시 개입되어 재설계를 수행한 후 재차 반복해서 설계의 해석을 시도해야 하는 비효율적인 과정이 발생하게 된다.

전문가 시스템은 특정 문제영역 전문가의 지식과 경험을 종합하여 지식기반(Knowledge base)을 형성한 후 추론(Inference)을 통하여 어려운 문제에 대하여 적절한 의사결정과 대안을 제공하는 시스템이다⁽³⁾. 이러한 전문가 시스템은 예측, 진단, 설계, 계획, 감시, 제어 등과 같은 거의 대부분의 설계 및 생산 부문에 적용될 수 있다.^(4,5,6)

본 연구에서는 다재 사출성형품 및 금형의 합리적이고 효율적인 설계를 위한 전문가 시스템이 개발된다. 본 설계 시스템의 지식기반은 영역 전문가의 지식과 CAE 해석을 통한 해석적 지식의 두 부분으로 이루어진다. 다재사출성형과 관련된 현장사례를 통해 본 설계시스템의 타당성을 검증한다. 첫 번째 예는 본 설계시스템을 통한 소형 승용차 타이밍벨트커버 제품설계, 금형설계, 시사출의 예이고, 두 번째 예에서는 본 전문가 시스템에서 제안된 파워윈도우 어시스트 노브의 금형설계 및 공정조건을 기존의 것들과 비교한다.

2. 다재사출성형법

다재 사출성형기는 구조적으로 다색사출 성형기와 유사하여 두 개 혹은 그 이상의 사출부가 어떤 축에 대하여 평행 혹은 원형으로 배열되어 있으며 일반적인 사출성형기를 수정한 분리된 축의 회전하는 스크류 구동 시스템이 있는 복잡한 사출성형기이다. 두 개의 사출부와 회전 금형을 갖춘 사출기를 이용한 다재사출 성형공정을 Fig. 1에서 도식적으로 나타내었다. 1공정에서는 재료 A가 제1차측 캐비티에 사출되고, 이와 동시에 재료 B가 재료 A로 성형된 제품이 캐비티의 일부분을 형성하고 있는 제2차측 캐비티에 사출된다. 2공정에서는 일정한 시간이 지난 후에 금형이 열리면서 제2차측 캐비티에서 완제품이 취출된다. 이때, 제1차측 캐비티에 있는 성형품은 형면상에 그대로 남아 있게 된다. 3공정에서는 금형의 부착된 기구에 의해 회전형이 180° 회전하여 제1차측 캐비티의 성형품이 제2차측 캐비티의 일부분을 형성하게 된다. 그리고 4공정에서 금형이 닫힌 후 1공정으로 되돌아가게 되어 반복되는 공정을 수행하게 된다⁽⁷⁾.

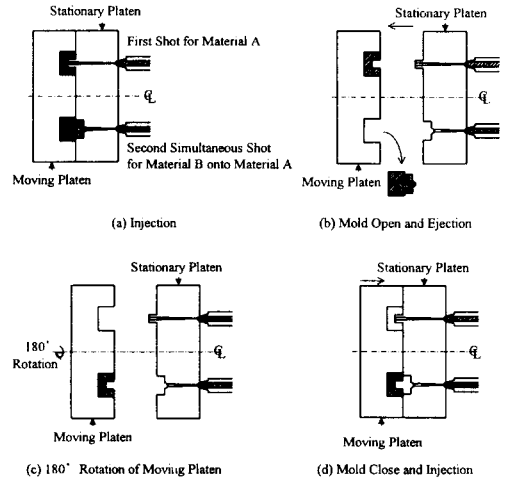


Fig. 1 A schematic showing sequential stages in two-component injection molding process.

3. 다재사출 성형품 및 금형 설계를 위한 전문가 시스템의 개발

본 연구에서는 전문가 시스템 형성도구(Expert system building tool)를 이용하여 특정분야의 지식을 체계화시켜 지식기반을 구축하는데, 이는 (1) 필요한 지식을 추출하는 과정, (2) 형성도구에서 요구되는 형식으로 지식을 표현하는 과정, 그리고 (3) 표현된 지식을 추론이 용이한 구조로 구성시키는 과정 등으로 진행된다⁽⁸⁾. 전문가 시스템 형성도구는 시스템 구축을 위한 개발환경 뿐만 아니라 추론기관을 제공한다. 본 연구에서는 전문가 시스템 형성도구로 CLIPS(C Language Integrated Production System)를 사용한다.

본 시스템의 지식기반은 영역전문가의 지식과 CAE 해석을 통한 해석적 지식으로 구성된다. 지식은 전방추론 방식과 함께 규칙에 의해 표현된다. 여기서 규칙은 'IF' 부분과 'THEN' 부분으로 구성된다. 'IF' 부분은 사실들을 상술하는 형식의 연속이고, 'THEN' 부분은 규칙이 적용될 수 있을 때 수행될 동작들의 집합이다.⁽⁹⁾ 본 전문가 시스템은 사출 성형품 및 금형 설계에 대한 일반적인 설계지침, 다재사출 성형품 및 금형 설계에 대한 특정한 설계지침, CAE 해석결과 분석 및 설계대안 제시, 그리고 성형불량에 대한 대책 등 4개의 메인 모듈로 이루어져 있다. Fig. 2는 본

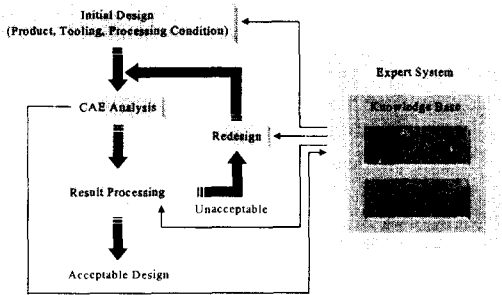


Fig. 2 A scheme for DFMA with the present expert system.

전문가 시스템으로 제품의 생산 및 조립을 고려한 설계(DFMA)가 수행되는 과정을 도식적으로 보여준다.

4. 전문가 시스템의 적용 및 검증

다재사출성형과 관련된 현장사례를 통해 본 전문가 시스템의 타당성을 검증하였다. 첫 번째 경우에는 플라스틱 조립제품인 승용차용 타이밍벨트커버의 실제 설계 및 성형을 예시하였다. 두 번째 경우는 설계 검증 문제로, 전문가 시스템에서 제안된 파워윈도우 어시스트 노브의 금형설계 및 성형조건을 기존의 것들과 비교하였다.

4.1 타이밍벨트커버

타이밍벨트의 회전시 발생하는 소음과 불순물의 유입을 방지하기 위해 본체부와 실링부로 구성된 커버를 타이밍벨트 위에 설치한다. 일반적으로 커버의 본체부는 폴리프로필렌(Polypropylene)으로, 실링부는 고무(Rubber)를 사용하였다. 기존의 타이밍벨트커버 경우, 커버부와 실링부를 각기 독립적으로 사출성형한 후 조립하여 생산하여 왔다. 결합체를 사용한 수동 조립 작업은 생산시간 및 비용의 증가뿐만 아니라 높은 제품 불량률, 치수 정밀도의 감소 등을 초래한다. 이러한 문제점을 개선하고자 본 연구에서는 필연적으로 타이밍벨트커버의 생산방식으로 다재사출성형법을 채택하였다. 자세한 설계과정은 다음과 같다.

4.1.1 제품설계 및 모델링

일반사출성형으로 생산하여 왔던 기존의 제품 설계를 다재사출 성형공정으로 생산하기에 적합하도록 수정해야 했다. 우선 본체부와 실링부의

접착성을 향상시키기 위해 실(Seal)의 재료를 본 전문가 시스템에서 제안한 열가소성 엘라스토머(Thermoplastic-Elastomer, TPE)로 바꾸었다. 또한 본체부가 실링부를 성형하기 위한 캐비티의 한 부분이 되므로 TPE가 본체부의 벽 위의 홈을 따라 흐를 수 있도록 본체부의 형상을 수정하였다. 설계수정이 완료된 후, Surface 모델링을 수행하는데, 이는 예비금형 제작시 CNC 가공 데이터로 사용되었을 뿐 만 아니라, 사출성형 시뮬레이션을 위해 유한요소모델을 생성하는 데에도 사용되었다.

4.1.2 성형조건 확립 및 예비금형 설계

다재사출성형에 대한 유동해석을 수행하여 공정조건과 금형의 유동기구를 결정하였다. 본 전문가 시스템에서 제안한 대로 1차측 캐비티에서는 핀 포인트 게이트를, 2차측 캐비티에서는 사이드 게이트를 사용하였는데, 이는 1차측 캐비티의 게이트가 사출 후 자동적으로 절단되어야 하기 때문이다. 캐비티를 채우는 데 필요한 수지가 정확한 양으로 사출되고 스프루와 러너의 수지를 항상 용융된 상태로 유지되도록 러너 플레이트에 내장되어 있는 Hot Manifold Block을 사용한 핫러너 시스템이 제안되었다. 러너의 치수는 Hot Manifold 제작사의 규격에 의해 제한된다. 한 금형 내에 서로 다른 모양을 갖는 여러 개의 캐비티가 존재하므로 러너 밸런싱이 필요하다. Fig. 3은 본 전문가 시스템을 사용한 CAE 해석으로부터 결정된 유동기구를 보여준다. 그리고, 일정한 범위 내로 압력이 강해지고, 충전거동이 균형 잡히고, 전단응력이 허용치 내로 유지되며, 용융 수지의 정체현상이 방지되는 충전시간, 수지의 용융온도, 금형온도 등과 같은 성형조건을 도출하였다.

4.1.3 예비금형 제작 및 시사출

예비금형은 타이밍벨트커버의 3부분을 1회 사출로 생산할 수 있는 다수 캐비티 금형이었다. 실링부의 2차 사출이 가능하도록 고정형판에는 코어를, 가동형판에는 캐비티를 설치하였다. 캐비티와 코어의 재질은 KP4M이었고, 대부분의 캐비티와 코어는 CNC 가공되었으며 가느다란 홈과 같은 부분은 방전 가공(EDM)을 사용하여 제작하였다. 본체부에서는 게이트가 제품의 안쪽 면에 위치해야 하므로 다이렉트 게이트 방식을, 실링부에서는 위치에 따라 사이드 게이트와 다이렉트 게이트 방식을 사용하였다. 시사출에 사용한 다

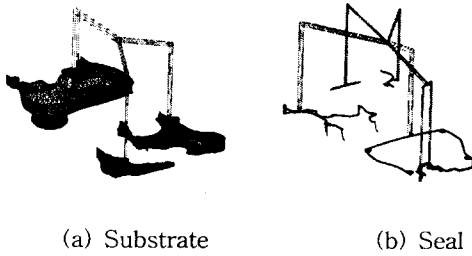


Fig. 3 Delivery system provided from the CAE analysis with the present expert system.

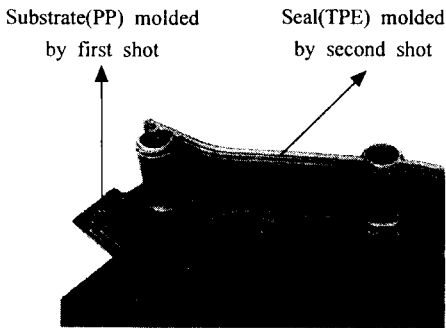
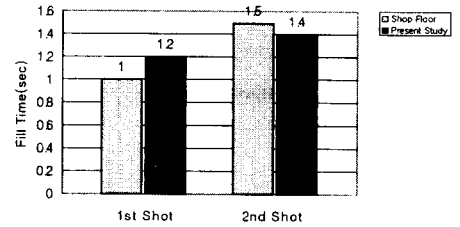


Fig. 4 A section of the timing belt cover fabricated from tool trial.

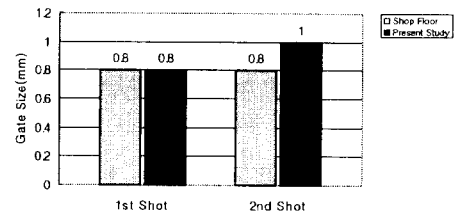
재 사출성형기는 Battenfeld사의 BA-T-SO 4000R2로 최대 형체력은 400 ton이며 2개의 사출부와 가동형판을 회전시키는데 사용하는 유압모터가 있다. CAE 해석을 참고로 하여 시사출하였다. Fig. 4는 시사출로 성형된 타이밍벨트커버의 한 부분이다.

4.2 파워윈도우 어시스트 노브

파워윈도우 어시스트 노브는 자동차 운전석 옆에 위치하여 운전자가 자동차 윈도우의 모터를 구동시킬 때 사용하는 버튼이다. 램프의 빛으로부터 윈도우 모터의 작동여부를 운전자가 판단할 수 있도록 투명한 아크릴(PMMA)로 성형된 1차 성형품 주위에 ABS수지를 2차로 사출성형하여 생산한다. 이 노브는 외관이 상당히 중요하나 제품의 구조상 웰드라인을 피할 수 없다. 여기서는 본 전문가 시스템을 사용하여 웰드라인이 최소화되는 금형의 유동기구와 성형조건을 도출하였고, 이를 실제 노브를 생산하는 데 사용한 유동기구 및 성형조건과 비교하였다.



(a) Fill Time(sec)



(b) Gate Size(mm)

Fig. 5 Comparison of fill times and gate sizes from shop floor example and present study.

4.2.1 유동기구 및 성형조건 확립

1차 및 2차 사출에 사용되는 두 수지 -PMMA와 ABS- 간에는 접착성이 좋으므로 제품설계 단계에서는 이를 고려할 필요가 없다. 웰드라인을 최적화하는 유동기구와 성형조건을 결정하기 위해 유동해석을 수행하였다. 1차 및 2차 성형품의 게이트는 모두 본 전문가 시스템에서 제안한 편 포인트 게이트로 설정하였다. 본 제품의 경우는 한 금형 내에 같은 모양과 크기를 갖는 2개의 캐비티가 존재한다. 원형단면을 갖는 러너를 스프루와 모든 캐비티간의 거리가 같도록 S형으로 배열하여 러너 밸런싱이 자동적으로 이루어지도록 하였다. 웰드라인은 1차 사출로 성형된 노브의 경우 외관에 나타나지 않는 위치에 있으나 2차 사출로 성형된 노브는 제품의 형상으로 인하여 외관에 나타나게 되므로 가능한 한 잘 보이지 않는 곳에 발생하도록 게이트위치와 성형조건을 설정하였다.

4.2.2 기존의 유동기구 및 성형조건과의 비교

해석에서의 충전시간은 1차 사출의 경우, 실제 충전시간보다 0.2초 늦게, 2차 사출의 경우에는 0.1초 빠르게 설정되었다(Fig. 5(a)). 해석에서 제

안된 금형온도와 수지의 용융온도는 실제 사용된 것과 일치하였다. 실제 성형에서 사용된, 그리고 본 설계 시스템에서 제안된 게이트는 각각 서브마린 게이트와 핀 포인트 게이트로, 모두 자동절단 게이트이다. 1차 사출의 경우, 해석에서 제안된 게이트의 크기는 실제 게이트 크기와 일치하였으나, 2차 사출의 경우에는, 해석에서의 제안한 게이트의 크기가 실제 게이트의 크기보다 0.2mm 크게 제안되었다(Fig. 5 (b)). 실제 게이트의 위치와 해석에서 도출된 게이트 위치는 1차 사출의 경우 0.5mm, 2차 사출의 경우에는 3.8mm 정도 차이가 있었으나, 본 연구에서 예측된 웰드라인의 크기 및 위치가 실제 제품 내에서 발생된 웰드라인과는 차이가 없다.

5. 결론

본 연구에서는 다재사출 성형품 및 금형의 합리적이고 효율적인 설계를 위해 제품 및 금형 설계를 제조 기술자의 관점에서 평가하고 제안할 수 있는 전문가 시스템을 개발하였다. 지식기반은 주로 영역 전문가의 지식과 CAE 해석을 통한 해석적 지식으로 이루어져 있다. 사출 성형품 및 금형 설계에 대한 일반적인 설계지침, 다재사출 성형품 및 금형 설계에 대한 특정한 설계지침, CAE 해석결과 분석 및 설계대안 제시, 그리고 성형불량에 대한 대책 등 4개의 메인 모듈이 구축되었다. 다재사출성형과 관련된 현장사례를 통해 본 설계 시스템의 타당성을 검증하였다. 첫 번째 경우에는 다재사출성형을 이용한 타이밍 벨트커버의 실제 설계 및 성형을 예시하였다. 기존의 제품설계를 다재사출 성형공정으로 생산하기에 적합하도록 수정하였다. 본 전문가 시스템이 제안한 것을 기초로 하여 예비금형이 설계, 제작되었고, 시사출을 수행하였다. 그리고, 검증을 위해 파워윈도우 어시스트 노브의 다재사출성형에서 본 전문가 시스템을 사용하여 웰드라인을 최소화하는 금형의 유동기구와 성형조건을 결정하였고, 그 결과를 실제 작업현장에서 사용되는 설계와 비교하였다. 비록 본 연구에서는 소수의 사례를 고려하였으나, 본 설계 방안을 다재사출 성형품 및 금형 설계에 적용하는 것은 실용적으로 중요한 의미를 갖는다. 더 많은 경험적 지식의 첨가를 통한 지식기반의 강화 및 현장의 문제를 통한 시스템의 검증이 향후 연구과제이다.

후기

본 전문가 시스템의 지식기반 구축에 도움을 주신 Huron Plastics Group의 Mr. C. Wilson, Mr. D. S. Cook, 광성기업주식회사의 송재준 과장님, 세진전자의 채춘병 주임님, 그리고 한국생산기술연구원의 박균명 팀장님께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) G. Boothroyd, "Product Design for Manufacture and Assembly", Computer -Aided Design, vol.26, pp 505 - 520 (1994)
- (2) N. Singh, "System Approach to Computer-Integrated Design and Manufacturing", John Wiley & Sons, Inc. (1996)
- (3) C. Townsend and D. Feucht, "Design and Programming Personal Expert Systems", Tab, pp 30 - 45, (1986)
- (4) M. G. Abu-Hamd and A. S. El-Gizawy, "Computer-Aided Monitoring System for Flexible Assembly Operations", Computers in Industry, 34, pp 1 - 10 (1997)
- (5) D. Barschdorff, L. Monostori, G. W. Wöstenkher, C. Egresits and B. Kádár, "Approaches to Coupling Connectionist and Expert Systems in Intelligent Manufacturing", Computers in Industry, 33, pp 5 -15 (1997)
- (6) C. Nedeß and U. Jacob, "A Case-Based Reasoning Approach towards Learning from Experience Connecting Design and Shop Floor", Computers in Industry, 33, pp 127 - 137 (1997)
- (7) V. E. Butera, "New Developments In Multi-Material Machine Design", ANTEC'95, pp 581 - 585 (1995)
- (8) P. Lucas and L. V. D. Gaag, "Principles of Expert Systems", Addison Wesley (1991)
- (9) B. G. Buchanan and E. H. Shortliffe, "Rule-Based Expert Systems", Addison Wesley (1984)