# Point-of-Care용 Protein Chip 사출금형에 관한연구

# A Study of Injection Mold of Protein Chip for Point-of-Care

#이성희[1], *고영배[2], 박재현[3]

#S. H. Lee(birdlee@kitech.re.kr)[1], *Y. B. Ko[2], J. H. Park[3]

[1,2]한국생산기술연구원 정밀금형팀, [3](주)동성정밀

Key words : POC(Point-of-care), Protein Chip, Mold, Injection Molding

## 1. 서론

POC(Point-of-Care)용 protein chip은 극미량의 생체 시료 채취만으로 빠른 시간(1hr이내) 안에 정량적 물질분석이 가능한 바이오칩의 일종이다. 일반적으로 손 크기보다 작은 일정 부피 안에 미세크기의 정밀한 패턴을 가지고 있으며, 각각의 패턴은 선별, 검출, 분석 등 독특한 기능 작용을 담당하게 된다. 이러한 미세 기능성 패턴들은 현재 반도체공정을 응용한 방법들에 의해 만들어지고 있다. 하지만 고분자 플라스틱으로 제작되고 있는 POC용 protein chip의 대량생산을 위해서는 사출성형기술이 뒷받침되어야 하며, 특히 한 번에 여러 개를 성형할 수 있는 멀티캐비티(multi-cavity) 금형이 요구된다. 여기에 chip내에 존재하는 미세 패턴부를 설계된 형상대로 사출성형하기 위해서는 고도의 전사성 향상 사출성형기술[1] 및 균일충전성 확보기술이 요구된다.

현재 중국의 경우도 산학연중심으로 고정밀 사출성형관련 연구들이 활발히 진행되고 있으며, 고전사성관련 현장적용이 가능한 연구는 이미 일부 진행되었으며[2], 그 수준이 매우 높아진 상황이다. 그러므로 향후 시장이 급격히 성장될 것으로 예상되는 바이오 분야[3], 특히 protein chip관련 분야에 대처하기 위해서는 고전사성 성형이 가능한 멀티 캐비티 사출금형기술이 확보되어야 한다. 하지만 멀티 캐비티 금형기술확보에 앞서 모델자체의 사출특성을 파악하기 위해서는 먼저 단일 캐비티에 대한 사출성형특성에 대한 연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 현장진단용 단백질칩의 사출성형을 위한 기초 연구로써, 정밀한 사출성형을 위한 방법에 대해 언급하기로 한다. 이를 위해 기능성을 고려하여 설계된 단백질칩 모델에 대한 정밀 사출성형해석을 수행하고, 해석된 결과를 기초로 하여 정밀금형설계를 수행한 후 제작된 금형을 사용하여 사출성형실험을 수행하고자 한다.

## 2. 단백질칩 모델(Protein Chip Model)

현장진단용 단백질칩은 Fig. 1에서와 같이 극미량의 생체 시료 채취만으로 1시간 이내의 빠른 시간 내에 정량적 물질분석이 가능한 바이오칩의 일종이다. 일반적으로 손바닥 크기보다 작은 일정 부피 안에 미세크기의 정밀한 패턴을 가지고 있으며, 각각의 패턴은 선별, 검출, 분석 등 독특한 기능 작용을 담당하게 된다.

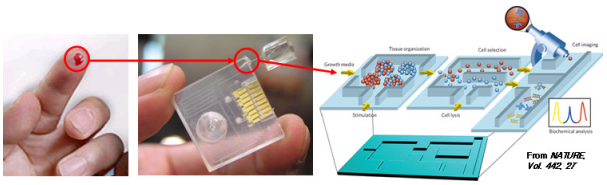


Fig. 1 Example of biochip and schematic diagram of its function (center: from university of Cincinnati, right: from NATURE)

본 연구에서는 이러한 현장진단용 단백질칩의 대량생산이 가능한 사출금형기술에 대해 연구하였으며, 사출성형대상의 삼차원 모델을 Fig. 2에 제시하였다. 또한 현재 선진국에서 상용화되어 사용되고 있는 모델을 같이 제시하였다. 그림에서 보듯이 전체적인 치수는 길이 약 100mm, 폭 35.7mm 평균두께 2.57mm의 부품이다. 모델의 부피는 5.49㎤이며, 기능적으로 가장 중요한 부분은 A부분과 B부분이며, 각각 미세 형상부가 존재하는 부분이어서 사출성형과정에서 가장 주의를 요하게 된다. A부분의 경우는 100㎛이하의 산형 미세패턴이 존재하며, B부분의 경우는 수십㎛이하의 원형각주 미세 패턴이 위치하게 되어 제품으로써의 기능을 수행하게 된다. 따라서 이러한 부분의 고전사 사출성형기술이 요구된다.

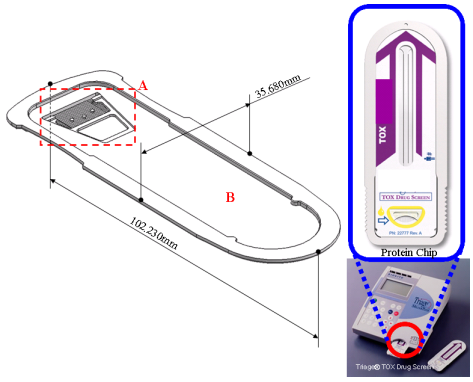


Fig. 2 Three dimensional model of presented protein chip & example of commercialized product from Biosite

## 3. 사출성형해석(Injection Molding Analysis)

앞 절에서 언급된 단백질칩의 사출금형설계, 제작 및 성형에 앞서 정밀 제작을 위한 사출성형해석을 수행하였다. 사출성형해석을 위해 Fig. 2에 제시된 모델을 사용하여 정밀사출성형해석을 위한 유한요소생성을 수행하였으며, 그 결과를 그림 Fig. 3에 제시하였다.

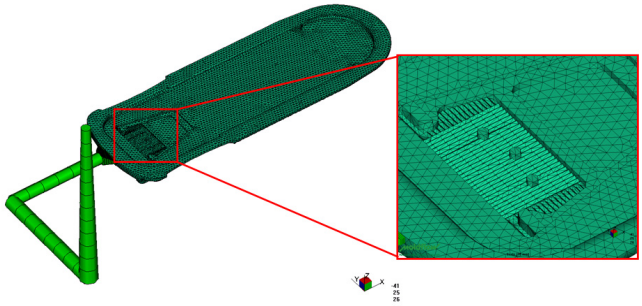

Fig. 3 Result of finite element modeling for protein chip

단백질칩의 사출성형해석을 위해서는 전용해석프로그램인 MoldflowTM V6.1을 사용하였다. 유동패턴, 형체력 및 사출압력 등의 특성을 살펴보기 위해 full 3D 메쉬를 사용하여 해석을 수행하였다. 이때 사용된 단백질칩 모델만의 유한요소개수는 561.320이다. 그림에서 보듯이 스프루, 런너 및 게이트는 1D 요소로 모델링을 하였다. 사출성형해석에 사용된 고분자 수지는 Sumitomo Chemical Company, Sumipex MG5, PMMA이다. 본 수지의 MFR는 5이다. 제시된 모델은 일반적인 사출성형부품에 비해서는 전체적으로 복잡하지 않은 형상을 가지고 있으나, Fig. 2의

A와 B부의 형상이 미세형상으로 구성되어 유한요소생성시 주의를 요구하게 된다. 즉, 전체 형상의 최대 치수가 약 100mm이고, 그림의 미세 형상부가 수십㎛임을 고려할 때 유한요소 생성시 요소의 크기가 매우 중요하게 된다. 결과적으로 유한 요소의 크기를 크게 할 경우 중요한 미세 패턴 형상부가 무시될 수 있으며, 반대로 유한요소의 크기를 작게 할 경우는 총 유한요소수가 증가하게 되어 해석시간이 매우 오래 걸리게 되어 비효율적인 작업이 될 수 있게 된다. Fig. 3의 모델을 사용하여 일차 사출유동해석을 수행한 결과 단위 캐비티당 형체력은 약13톤 정도가 발생되었으며 이때 사출압은 약 80MPa이 발생되었다. 따라서 사출압력의 최적화를 위해 일정금형온도 및 수지온도에 대한 충전시간의 변화에 따른 사출압력의 변화를 살펴보았으며, 그 결과를 Fig. 4에 제시하였다. 결과에서 보듯이 주어진 모델의 경의 충전시간이 0.5~1초 사이에서 최소의 사출압력의 발생됨을 볼 수 있다. 전체적으로는 수지의 온도를 높이는 것이 금형온도를 높이는 것 보다는 사출압을 낮추는데 본 모델에 대해서는 큰 영향이 있음을 확인할 수 있다. 하지만 높은 수지온도는 결과적으로 금형의 온도를 상승시켜 사이클 타임을 증가시키므로 이를 고려하여 성형조건을 설정하여야 한다.

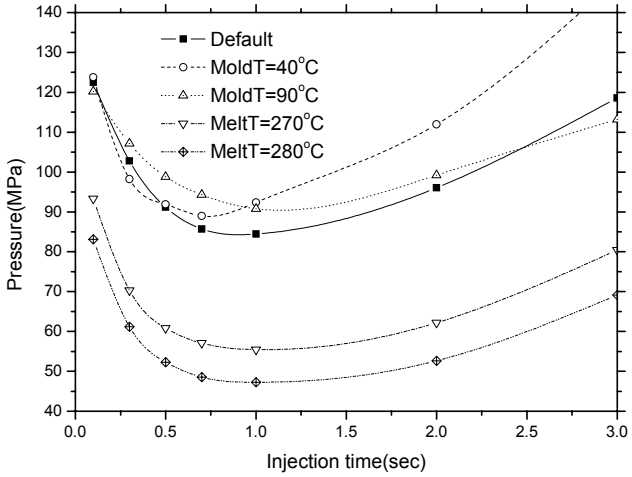


Fig. 4 Injection pressure variation vs. injection time for various injection molding conditions

## 4. 사출금형설계, 제작 및 사출성형

앞 절에서의 정밀사출성형해석 결과를 기초로 하여 현장진단용 단백질칩의 사출금형을 설계, 제작하였으며 설계된 금형구조를 Fig. 5에 제시하였다.

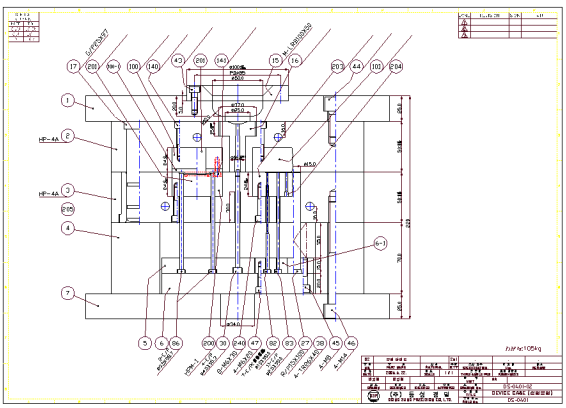

Fig. 5 Two dimensional drawing of injection mold for the presented protein chip model

설계된 사출금형은 제품의 특성을 고려하여 2단금형구조로 하였고, 금형의 핵심코어부분은 별도로 제작을 하여 조립하는 형태로 하였다. 비록 제시된 현장진단용 단백질칩 모델의 대량생산을 위해서는 멀티 캐비티 사출금형구조로 설계를 수행해야 하나, 본 연구는 제시된 모델에 대한 기초 연구인 관계로 2캐비티로 금형을 설계한 후 한쪽을 단절시킨 후 사출성형을 수행할 수 있는 구조로 금형을 설계 제작하였다. 일반적으로 멀티 캐비티 금형을 설계 제작하는 경우 단일 캐비티에서는 볼 수 없었던 불균일 충전(imbalance filling)이 발생될 수 있으므로 이에 대한 주의가 필요하다. 또한 이러한 불균일 충전을 해결할 수 있는 사출성형기술도 요구된다. 한편 본 연구에서 설계 제작된 사출금형을 이용하여 사출성형을 수행하였으며, 수행된 결과를 Fig. 6에 제시하였다. 사출금형내에서의 충전과정을 살펴보기 위해 계량량을 조절하면서 충전된 결과를 제시하였다. 사출성형과정에서 초기 조건 설정시는 과다한 사출압력이 발생되었으나, 앞의 성형해석결과를 적용함으로써 충전압력을 최소화 할 수 있었으며, 결과적으로 형체력 또한 낮출 수 있었다.

Fig. 6 Result of short shot and injection molding for the presented protein chip model

## 5. 결론

본 연구에서는 현장진단용 단백질칩의 제작을 위한 기초 연구로써 사출성형해석, 금형설계 및 제작 그리고 사출성형실험을 수행하였다. 사출성형해석을 통해 단백질칩의 조립 및 기능을 고려한 스프루, 러너 및 게이트 설계를 수행하였고, 사출압 및 형체력을 최소화 할 수 있는 최적화 사출성형을 수행하였다. 또한 해석결과를 기초로 한 설계결과를 바탕으로 하여 사출금형 설계 및 제작을 수행하였으며, 제작된 금형을 사용하여 사출성형실험을 수행한 결과 정밀한 고분자 플라스틱 현장진단용 단백질칩 사출성형이 가능하였다.

## 후기

본 연구는 한국생산기술연구원 2007년도 생산기술연구사업에 의해 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참고문헌

1. Ito, H., Satoh, I., Saito, T and Yakemoto, K, "A Melt-Transcription Process to Fabricate Thermoplastic Products with Homogeneous Surface Micro Structures Applied to Display Partsand Micro-Fluidic Devices," Polymer Processing Society 22nd Annual Meeting, SP6.17, 2006.
2. Shia-Chung Chen, Jen-An Chang, Jin-Chuan Cin, Chun-Feng Yeh, 2007, “Dynamic Mold Surface Temperature Control for Assisting Injection Molding of Light-Guide Plate and Improving Optical Performance,“ ANTEC, pp. 1636~1640, 2007.
3. Bio Chip의 산업동향, 전자부품연구원, 2003.