

혈당 측정을 위한 채혈기구 메인 샤프트의 사출성형 시뮬레이션 및 시 사출에 관한 연구

백승엽[†]

인덕대학교 기계설계공학과[†]

A study on the blood collecting device of main shaft injection molding for measuring blood glucose by CAE analysis

Seung Yub Baek[†]

Department of Mechanical Design Engineering Induk University[†]

(Received June 22, 2018 / Revised July 24, 2018 / Accepted August 01, 2018)

Abstract: In diabetics, daily blood glucose testing is generally required at home, and thus, performing blood collection several times a day using a blood line is essential. Blood collection in the home and in the hospital is a source of pain and is the second most common cause of infection. In blood collecting device generally consists of four major parts: inner-case, outer case, main shaft and trigger, and the most import part among those for necessary functionality is the main shaft. Filling time and injection pressure, filling balance, strain-rate analysis of change based on availability of the product. The Moldflow of FEM simulation is used for the analysis of injection molding process. In this study, aims to create a technique for injection molding and manufacturing of a main shaft of a high-performance blood-collecting apparatus capable of automatically extracting a lancet to relieve pain through depth control of the lancet.

Key Words: Blood collection, Blood glucose test, Infection, Injection molding, Main shaft

1. 서 론

현재 국내에서 당뇨와 관련된 질병으로 고통 받고 있거나, 잠재적으로 당뇨병을 가지고 있는 일반인 전체 인구는 약 10 %를 넘어 500만명 이상으로 추정되고 있다. 당뇨병은 대표적인 선진국 만성 성인질환으로 질환자가 지속적으로 증가하고 있는 국민 건강관리를 위해 매우 중요한 사회적 질환이다^{1,2)}. 전 세계 당뇨인구는 약 2억 만명으로 추산되고 있고, 당뇨병자에 관련되는 제품들의 총 세계시장의 규모는 연간 약 6,000억원 정도의 거대한 규모이다. 당뇨 측정기의 부속기구인 채혈기에 대한 사업규모도 계속 증가하는 추세이며^{3,4)}, 격계 질환으로 인한 영양신청이 또한 급격히 증가하고 있다²⁾.

만성 당뇨병 환자는 혈당검사(Blood Glucose

Test), 식이요법 및 영양관리, 운동요법 등 스스로 자가 관리하는 것이 건강관리를 위하여 매우 중요하며 특히 혈당검사는 자신의 혈당 수준 유지를 위하여 매일 2차례 이상 반드시 행해야 하는 중요한 관리 항목이며, 일반적으로 아침 공복 시, 아침, 점심, 저녁 식후, 취침전의 5차례의 혈당을 측정하는 것이 권장되고 있다^{5,7)}. 하루 5차례의 혈당 측정을 위해서는 5차례의 채혈 또한 필요하다는 것을 의미하고 무 채혈 혈당검사 방식이 개발되고 있다고는 하지만 아직 상용화 단계는 아니며 현재는 모든 혈당검사에서 채혈기(Lancing device)를 사용한 채혈방식이 사용되고 있으며 위와 같이 자가 혈당검사에 꼭 필요한 장비는 혈당측정기(Blood Glucose Meter)와 혈당을 측정하기 위한 모세혈, 그리고 모세혈을 채혈할 수 있는 채혈기 등이 필요하며 혈당측정기와 채혈기는 당뇨병을 가진 모든 사람에게 항상 몸에 지니고 다녀야할 필수 품목이다⁸⁻¹⁰⁾. 채혈기의 시장은 크게 두 가지로 나누어 볼 수가 있다.

[†] 교신저자: 인덕대학교 기계설계과
E-mail: sybaek@induk.ac.kr

첫째는 가격이 비싸고 품질이 월등히 좋은 선진국 채혈기이며 둘째는 가격이 낮으면서 품질 수준 또한 낮은 나라의 채혈기 제품이다. 국내에서 개발되어 생산이 되었던 제품들은 가격에서는 기술이 진보하지 않은 나라의 채혈기에 밀리고, 품질에서는 선진국형 채혈기에 밀리면서 점점 도태되어왔다. 이런 상황에서 선진국형 채혈기의 품질 수준에 근사하면서 가격이 낮은 제품을 연구 개발하는 업체 또한 점점 줄어들고 있는 것이 현실이다. 또한 국내에서도 채혈기에 대한 특허는 많이 있으나, 이 특허가 사업화가 되어 생산되고 판매되는 것이 활성화된 제품은 거의 없는 상황이다. 세계시장에서는 로슈, 베이어, 비디 등 국외 혈당측정기의 대부분 시장을 점유하고 있는 기업들이 채혈기 시장 또한 좋은 품질 수준으로 장악하고 있다. 또한, 특허 점유율 또한 높은 부분을 차지하고 있기 때문에 후발주자들에게 상당히 어려운 점이 있고, 높은 품질을 유지하기 위해서 많은 사출물이 들어가고 조립 또한 복잡하기 때문에 가격이 높은 것이 현실이다. 이러한 문제점을 극복하기 위해서는 최대한 사출 부속품의 수는 줄이면서 재질에 대한 연구가 반드시 필요한 부분이며, 새로운 아이디어를 발굴하고 낮은 가격으로 비슷한 품질의 채혈기를 연구 개발하는 것이 관건이다. 따라서 본 연구에서는 하루에도 수차례의 채혈을 해야 하는 당뇨환자뿐만 아니라 채혈을 해야 하는 사용자들에게 고통을 줄이기 위해서 스프링 인장계수 및 기구물의 좌우 유동성을 고려한 기구설계와 개발을 통해서 통증을 최소화할 수 있는 채혈기구를 설계 및 개발을 하고 또한 채혈 후 2차 감염(Infecion)을 예방할 수 있는 채혈침을 자동 추출할 수 있는 고기능성 채혈기구를 개발하는 것이 목표이다.

2. 채혈기 Main Shaft CAE 해석

2.1. 3차원 성형해석모델

사출성형해석을 위해 채혈기의 Main Shaft를 가지고 게이트, 런너, 스프루를 설계하고 이를 이용하여 유한요소 모델링으로 변환하여 해석을 수행하였다. 사출성형 공정해석에 사용된 소프트웨어는 상용 해석 프로그램인 Autodesk Mold flow Insight 2012를 사용하였다.

사출성형 해석을 위해서는 Fig. 1.과 같은 모델에

대한 유한요소 모델링이 요구된다. 본 연구에서는 설정한 유한요소 타입은 3D type의 Meshing을 설정하였고, 요소(elements)의 수는 466,909개로 분할하였다. 또한 Main Shaft 성형해석의 유동 및 변형 특성을 분석하기 위해 냉각라인에 대한 모델링 및 유한요소 모델링을 수행하였다.

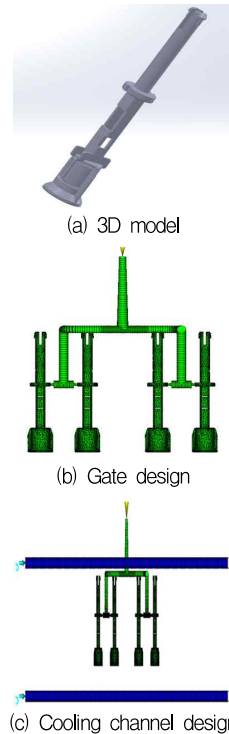


Fig. 1 3D Modeling based on spindle shape analysis and scale model main shaft

2.2 사출해석조건 및 적용 수치 분석

Main Shaft 성형해석을 위해 유동, 냉각 및 변형 해석을 동시에 수행하였다. 성형해석에서 사용된 수치는 POM수치를 사용하였고, 공정 조건은 Table 1과 같다. Fig. 2는 본 성형해석에서 사용한 수치의 점도 특성을 나타낸다.

Table 1 Process analysis conditions

conditions	Main Shaft
Material	POM, LG Chemical
Melt Temp.	240 °C
Injection+Packing+Colling time	35.00 sec

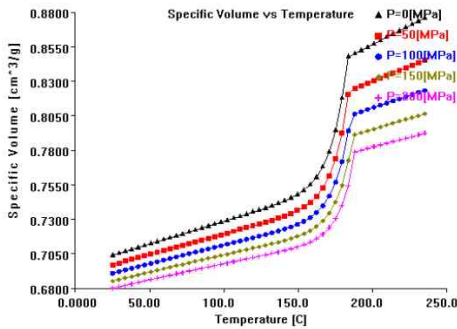


Fig. 2 POM resin and PVT diameter

2.3 Main Shaft Gate에 따른 유한요소모델

사출성형 해석을 위해서는 Fig. 3과 같은 모델을 (Gate Start: 1 mm, Gate End: 1.81 mm) / (Gate Start : 2 mm, Gate End : 3.62 mm)의 각각에 대한 유한요소 모델링을 진행하였다. Main Shaft는 채혈침이 설계되어 발사가 되는 부분으로서 사출공정이 매우 정밀하게 그리고 결함이 없이 제작이 이루어져야 한다. 이에 따라 게이트 위치변화가 아닌 수지가 공급되는 게이트의 직경변화에 따른 충전 밸런스, 성형품의 온도변화, 변형량 등을 분석하였다.

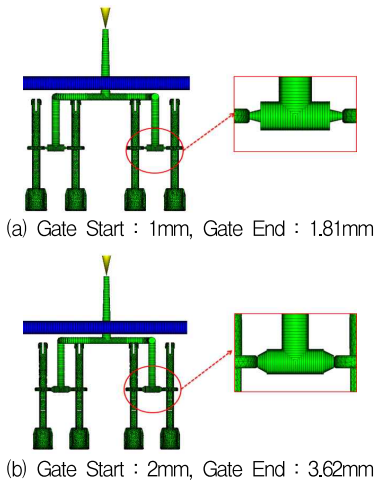


Fig. 3 Finite element model according to main shaft gate

3. 채혈기 Main Shaft CAE 해석결과

3.1. 충전 시간 변화

사출성형에서 게이트가 성형품에 변형을 주는 요

인이기도 하고 치수 또는 형상뿐만 아니라 게이트의 직경이 적절하지 못하면 수지의 흐름을 억제시켜 성형품에 결함이 발생할 수 있다. 게이트의 직경을 Fig. 4와 같이 최초 Gate Start: 1mm, Gate End : 1.81 mm Fill Time은 0.585s, Gate Start: 2 mm, Gate End : 3.62 mm, Fill Time은 0.5839 s로 0.0011 s의 충전시간을 줄일 수 있었다. 이러한 이유는 게이트 직경이 비교적 넓어짐에 따라 게이트로부터 유입되는 수지의 유동효율의 증가로 인해 전반적인 형체력의 감소와 사출시간 감소 경향이 나타난 것으로 판단된다.

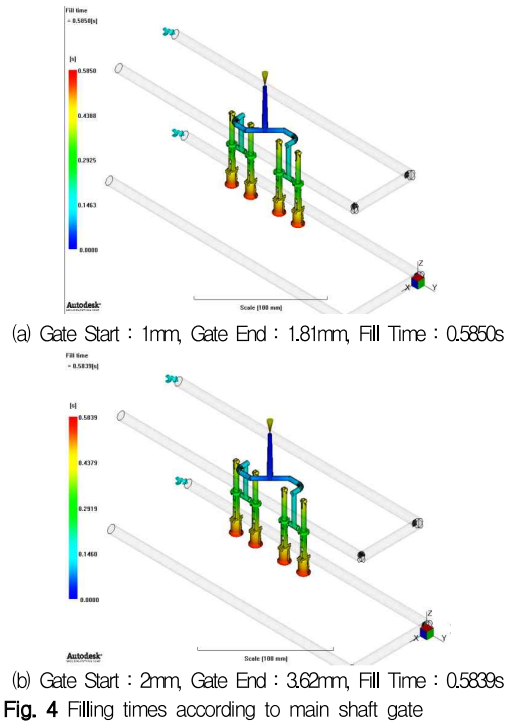


Fig. 4 Filling times according to main shaft gate

3.2. Injection Pressure 및 충전 밸런스 변화

Injection Pressure(사출 압력)의 결과를 Fig. 5에서 보이고 있다. 기존 게이트 직경에서 약 33.41 MPa, Gate Start: 2 mm, Gate End: 3.62 mm에서 게이트 직경 변경 결과 약 32.25 MPa까지 약 1.16 MPa 감소되었다. Gate Start: 1 mm, Gate End: 1.81 mm의 경우 100% 까지 완충되는 충전시간은 0.585초이며, Gate Start : 2 mm, Gate End : 3.62 mm에서 0.5839초로 나타났다. 충전 밸런스는 수지 유입부위를 중심으로 게이트 직경 Gate Start: 1 mm, Gate End: 1.81 mm에서는

0.2194초로 4-Cavity 모두 동일한 시간대에 동일한 위치로 수지가 유입됨을 확인되었다.

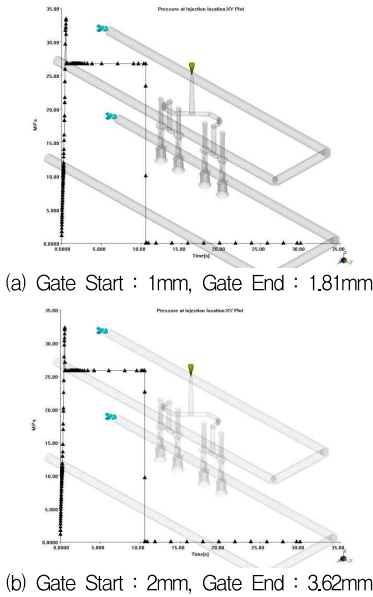


Fig. 5 Injection pressure according to main shaft gate

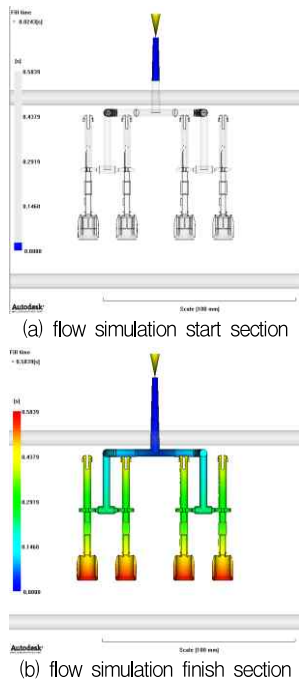


Fig. 6 Main Shaft Gate Start : 1mm, Gate End : 1.81mm (according to filling balance)

Gate Start: 2 mm, Gate End: 3.62 mm에서는 0.2190 초로 4-Cavity 모두 동일한 시간대와 동일한 위치로 수지가 유입되었으며, 게이트 직경이 변화함에 따라 최초 충전이 이루어지는 시기 0.001초 차이가 발생하였고, 점차적으로 차이가 발생하여 완충까지 0.0011초가 걸렸다. 따라서 Fig. 6과 Fig. 7를 비교했을 때 데이터의 경향성은 동일하게 보여 지고 있으나 사출 성형에 직접적인 영향은 보이지 않는 것으로 확인되었다.

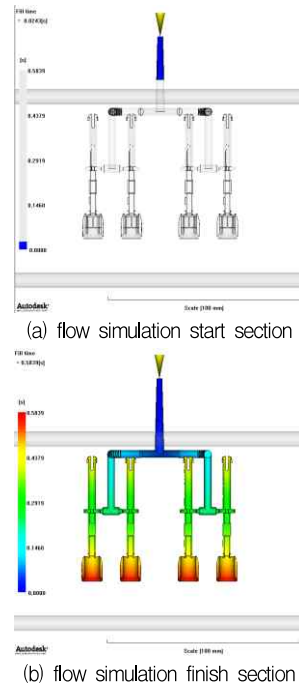


Fig. 7 Main Shaft Gate Start : 2mm, Gate End : 3.62mm(according to filling balance)

본 시뮬레이션의 상기 데이터는 게이트의 직경이 클수록 완충되는 시간을 줄일 수 있는 결과를 보였다. 이러한 결과는 게이트의 직경이 클수록 수지가 유입되는 속도가 빨라지고 유입량이 많아짐으로 유동정체 현상이 감소한 것으로 판단된다. 일반적으로 성형과정 중 수지는 유로가 좁은 게이트 부를 통과하면서 유동속도가 증가하게 되고 유동속도가 증가할수록 마찰에 의한 전단 열이 증가하므로 충전 초기에는 설정된 수지용융온도(240 °C)보다 더 높은 온도의 수지가 Cavity(케비티) 내로 유입된다. 충전 과정에서는 수지 유동이 정체되는 일부 영역을 제외하고는 전

반적으로 성형품의 온도가 높으나, 보압 과정에서는 수지 유동에 의한 전단 열 발생이 없고 열 손실만 발생되므로 온도가 급격히 낮아지게 된다.

3.3. 시뮬레이션 변형량 분석

Main Shaft의 전체적인 변형량을 살펴보면 게이트 직경 (Gate Start: 1 mm, Gate End: 1.81 mm) 조건과 (0.3500 mm, Gate Start: 2 mm, Gate End: 3.62 mm) 조건의 경우 약 0.3508 mm의 변형이 발생하는 것을 예측 할 수 있었다. 이러한 극심한 사출 성형품의 변형은 게이트의 직경 및 게이트 위치에 따라 불량요인을 초래 시킬 수 있다. (Gate Start: 1 mm, Gate End: 1.81 mm)조건은 수지가 유입되면서 전체적인 수지의 유동방향이 일정한데 비해서 Gate Start : 2 mm, Gate End : 3.62 mm인 경우 게이트로 유입되어진 수지의 유입량이 게이트 직경이 커짐으로 인해 원활한 수지 공급으로 제품형상의 수축률 편차가 줄어든 것으로 판단된다.

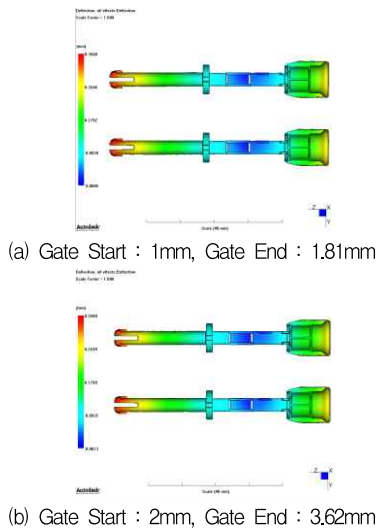
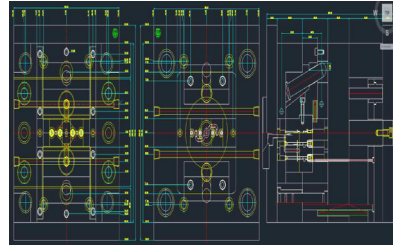


Fig. 10 Strain-rate analysis of main shaft

4. 채혈기 Main Shaft 금형설계 및 제작

Fig. 11은 채혈기의 Main Shaft CAE 해석결과를 바탕으로 제작 하고 있는 모습을 보여주고 있다. (a)는 시 금형을 설계하기 위한 금형설계의 모습이며, (b)는 시 사출을 제작하기 위한 장비의 모습을 보이고 있다. (c)의 경우 성형 불량률의 문제가 없이 시 사

출된 제품의 모습을 보이고 있다. 앞서 시뮬레이션의 분석된 내용을 바탕으로 시 사출 제품의 결과를 확보 할 수 있었다.



(a) Mold Design



(b) Mold process



(c) Injection molded parts

Fig. 11 Design and fabrication of main shaft

5. 결론 및 토의

본 논문에서는 채혈침을 자동추출 할 수 있는 고기능성 채혈기구의 메인 샤프트를 개발하고, 채혈시 통증을 최소화 할 수 있는 무 통증 및 채혈침에서 올 수 있는 감염을 배제한 채혈기를 개발함으로써 개발 제품에 시뮬레이션 선행 연구를 통해 시 사출 제품을 확보하였다.

사출 시뮬레이션에서 설계 제품의 게이트 조건에 따라서 성형을 진행 하였고, 그에 따라서 비교 분석을 수행하였다. 변경 전과 변경 후와의 오차는 2배 정도 발생됨을 확인 할 수 있었으며, 본 데이터를 바탕으로 시 금형 제작을 통해 성형 불량률의 요인이

없이 완충되는 제품을 개발 할 수 있었다.

개발품의 공정설계 및 설계 수정등 양산화 작업을 통해 제품 품질 및 생산 단가를 줄이고 생산성 향상 등을 통해 효율적으로 생산 수량 및 생산 계획 수립, 이를 통한 전용 생산라인을 구축하여 측정용 지그 및 전용 측정기 등을 제작하여 생산시설 확보 및 제품 품질 확보하여 국내외 시장진입이 가능할 것이라 본다.

참고문헌

- 1) Giacomini. A. J, Hade. A. J, Johnson. L. M, Mix. A. W, Chen. T. C, Liao. H.C., and Tseng. S.C., "Core Deflection in Injection Molding", Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, Vol. 116, pp. 908-914, 2011.
- 2) Li. X, Zhao. G, Guan. Y., and Li. H., "Research on Thermal Stress, Deformation, and Fatigue Life Time of the Rapid Heating Cycle Injection Mold", International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 45, pp. 261~275, 2009.
- 3) U.S Department of Labor, Bureau of Labor Statistics, 1997. 3.
- 4) Ann, C. W., "Recent Treatment of Diabetes", Annual Fall Conferences of The Korean Academy of Clinical Geriatrics, pp. 253-257, Oct., 2010.
- 5) Kirk JK, Stegner J., "Self-monitoring of blood glucose: practical aspects", Journal of diabetes science and technology, Vol. 4, pp 435-439, 2010.
- 6) Jin H., "On the Survey of Using Lancet for Self-monitoring of Blood Sugar", pp. 211-214, 2007.
- 7) cPark MS, Park KS, Jun MH, Im Kim T, Kim KA, Lee TS, Cha EJ., "Analysis of pain and blood volume in capillary blood sampling on finger and arm", pp. 2520~2522, 2006.
- 8) Hong, S. C., Chang, S. J., Kang, S. H., "Development of the Electric Lancing Device and the Lancet to Prevent the Secondary Contamination by Needle Injury", Journal of academia-industrial technology, Vol.12, No.12, pp. 5464-5468, 2011.
- 9) Kim, H. S., Ham, W. K., Jeong, Y. H., Lee, T. S., Cha, E. J., "Automated Mass Production System of Sterile Lancet for Capillary Blood Sampling", Chungbuk Medical Journal, Vol.10, No.2, pp. 91-97, 2000.
- 10) Kim H. S., Kim, K. A., Chun, M. H., Kim, T. I., Jung, Y. H., Lee, T. S., Cha, E. J., "Single use Automatic Lancet to Minimize Pain During Skin Puncture", J. of Biomedical Engineering Research, Vol.23, No.4, pp. 323-327, 2002.