

사출성형해석을 이용한 수직머시닝센터 ATC 툴 포트의 사출 게이트 위치에 따른 성형성 평가

이여울*, 박철우*, 김진록*, 최현진*[#]

^{*}(재)대구기계부품연구원

Evaluation of Formability Dependent on the Location of Injection Gate of Vertical Machining Center ATC Tool Port Using Injection Molding Analysis

Yu-Wool Lee^{*}, Chul-Woo Park^{*}, Jin-Rok Kim^{*}, Hyun-Jin Choi^{*[#]}

^{*}Daegu Mechatronics & Material Institute

(Received 08 November 2021; received in revised form 13 November 2021; accepted 24 November 2021)

ABSTRACT

Injection molding is a manufacturing method of melting the polymer resin and injecting it into a mold to molding it into the desired form. Due to the short molding time and outstanding formability, complex products can be shaped with high precision and it is the most widely used polymer molding method. However, there may be areas that are not filled depending on the location of the injection gate where polymer resin is injected. Formability is determined by deformation and surface precision due to the impact of residual stress after molding. Hence, choosing the location of the injection gate is very important and molding analysis of injection molding is essential to reduce the cost of the mold. This study evaluated the injection formability based on the location of the injection gate of the vertical machining center ATC tool port using injection molding analysis and the results were compared and analyzed. Injection molding analysis was conducted on filling, packing, and deformation according to the location of the gate of the ATC tool port. From each injection gate location, filling time, pressure, and maximum deformation were compared. At gate 2, conditions of molding time and the location of the gate were far superior in production and quality. Gate 2 produced the smallest deformation of 0.779mm with the best quality.

Keywords: Automatic Tool Changer(자동공구교환장치), Injection Molding Analysis(사출성형해석), Finite Element Analysis(유한요소해석), Vertical Machining Center(수직머시닝센터)

1. 서 론

최근 제품의 생산방식이 소비자의 다양한 요구에 따라 다품종 소량생산 형태로 변화되면서 제품의

기능 또한 높은 수준을 요구한다. 따라서 제품을 가공하는 공작기계의 고속, 고정밀화, 유연화가 요구되고 있다¹⁾. CNC 공작기계의 가공 생산 효율을 극대화시키기 위해 가장 효율적인 방법은 비절삭 시간을 단축시키는 것이다. 비절삭 시간의 약 70%는 공구를 교환하는데 소모되며, 일반적인 산업에서는 자동공구교환장치(Automatic Tool Changer,

[#] Corresponding Author : knut21c@dmi.re.kr

Tel: +82-53-608-2031, Fax: +82-53-608-2079

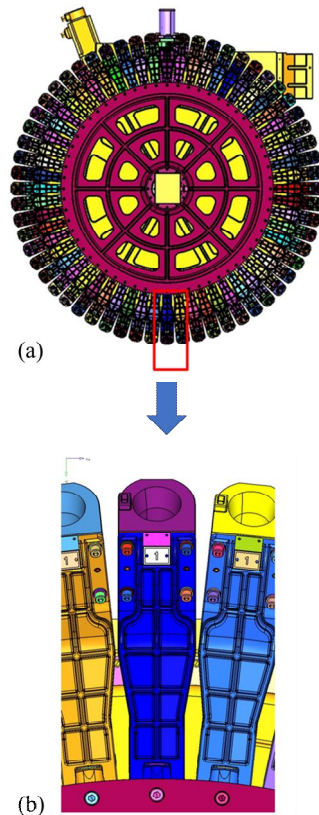
ATC)가 적용되고 있다. 또한 자동공구교환장치는 스핀들의 방향에 따라 드럼과 체인타입으로 나뉜다^[1-5]. 자동공구교환장치는 NC 지령신호를 통하여 공구를 자동으로 교환해주는 장치로써 흔히 ATC로 줄여 부르며, 일반적으로 틀이 장착되는 홀더, 틀 교환을 위한 회전을 하는 매거진, 이를 회전시키는 캠기어와 구동모터 및 감속기로 구성되어 있다^[1-3]. 본 연구에서는 수직머시닝센터의 자동공구교환장치를 구성하는 틀 포트의 사출 게이트 위치에 따른 사출성형해석을 수행하여 최적의 사출 게이트 위치를 도출하고자 한다.

사출성형은 고분자의 합성수지를 금형에 주입하여 원하는 형상으로 성형하는 방법이며, 우수한 성형성과 짧은 성형시간으로 높은 정밀도의 형상 구현이 가능하다. 따라서 플라스틱의 제품산업에 널리 사용되고 있다. 그러나 사출성형은 금형의 정밀도에 의하여 성형성이 결정되고, 높은 정밀도를 구현하기 위해 형상 수정이 빈번하게 일어난다. 또한 사출 게이트 위치에 따라 합성수지의 미충진이 발생할 수 있으며, 성형 후 잔류응력에 의해 변형이 발생하여 성형성에 악영향을 미치게 되므로 사출 게이트 위치선정이 중요하며 동시에 금형의 형상 수정을 줄이고 비용을 절감하기 위해서는 사출성형 전 성형성 예측은 필수적이다^[6]. 따라서 사출성형해석을 통해 사출시간, 성형 후 변형량의 성형성을 비교하여 최적의 사출 게이트 위치를 분석하였다.

2. ATC 틀 포트의 모델링 및 해석조건

2.1 ATC 틀 포트 모델링

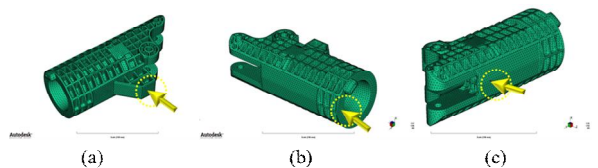
ATC의 3차원 모델은 Fig. 1과 같으며, 틀 포트는 Fig. 1과 같이 모델링하여 게이트의 위치별로 경계조건을 지정하고 배치하였다. 틀 포트의 제조공정인 사출공정에서의 문제점을 분석하기 위하여 유한요소를 생성하여 충전시점, 보압시점 그리고 변형해석을 수행하였다. 유한요소해석의 요소 생성은 틀 포트와 브라켓으로 나누어 생성하였으며 유한요소의 총 element 수는 1,124,079개의 유한요소로 구성하였다.



(a) Automatic tool changer, (b) Tool Pot
Fig. 1 3D modeling of ATC Tool Pot

2.2 ATC 틀 포트의 해석조건

해석에 사용된 ATC 틀 포트의 소재는 Rhodia Engineering Plastic의 PA66+GF30으로 선정하였다. 해석은 사출성형공정 모사를 위하여 상용 S/W인 Autodesk Mold Flow Insight(AMI)를 사용하여 사출성형 CAE 해석을 수행하였다. 사출 게이트의 위치는 Fig. 2와 같다.



(a) Gate 1, (b) Gate 2, (c) Gate 3
Fig. 2 Modeling of ATC tool pot' gate location

Table 1 Injection analysis boundary conditions

Specification	Condition
Mold surface temp [°C]	30
Melt temp [°C]	290
Cooling time [sec]	20
Filling control	Automatic
Velocity/Pressure	Automatic

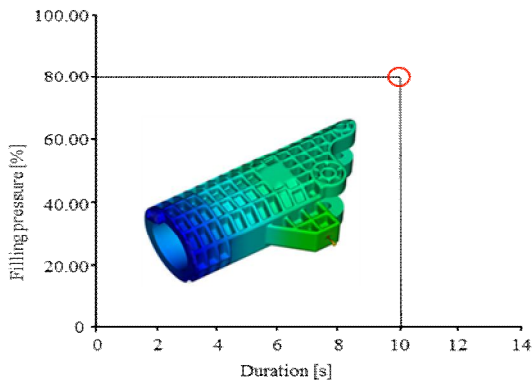


Fig. 3 Pressure condition profile of injection analysis

사출해석 조건은 Table 1과 같이 선정하였으며, 보압 조건은 Fig. 3과 같이 최대 사출 압력의 80%로 10초간 유지되도록 조건을 부여하였다. 보압 전환 시점은 자동으로 정의하여 설정하였으며, 모든 사출 게이트의 위치에 동일한 조건을 설정하여 사출성형 해석을 수행하였다. 사출성형 해석은 툴 포트의 게이트 위치에 각 충전, 보압 그리고 변형 해석을 수행하고 평가하였다. 또한 각 조건에서의 변형량과 충전시간은 사출 시 유리점유의 배향 등을 고려하여 최적의 게이트 위치를 분석하였다.

3. 사출해석 결과

3.1 충전 해석 결과

Fig. 4에서는 충전시간에 따른 게이트 1의 충전 패턴을 나타내었다. 성형시간은 3.57sec로 미성형이 발생하는 영역이 없이 성형이 이루어졌다. 충전 밸런스는 1 캐비티의 경우 게이트의 위치를 조정하면 충전 밸런스에는 문제가 없을 것으로 판단

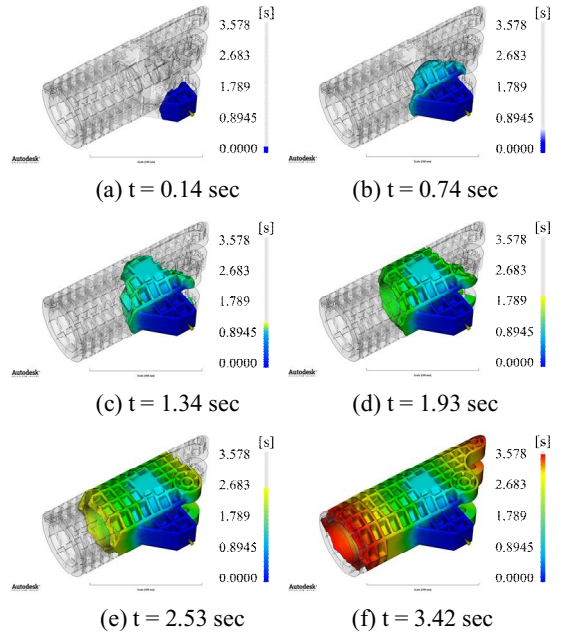


Fig. 4 Injection analysis of filling pattern according to the injection time of gate 1

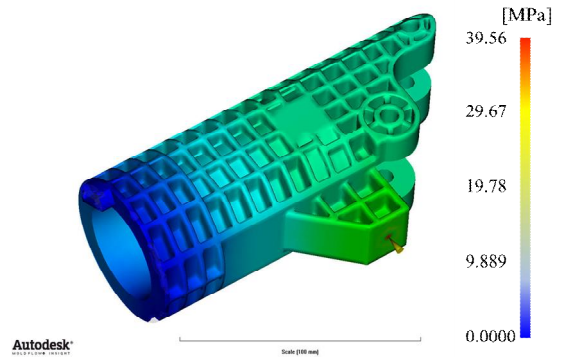


Fig. 5 Pressure distribution at the time of switching of holding pressure of gate 1

된다^[7-9]. 충진을 위한 최대 압력은 Fig. 5와 같이 충전 후 보압전환 시점에서 39.56MPa이 발생하였다.

Fig. 6에서는 충전시간에 따른 게이트 2의 충전 패턴을 나타내었다. 성형시간은 3.07sec로 미성형이 발생하는 영역이 없이 성형이 이루어졌다. 충전 후 보압전환 시점의 최고 발생한 압력은 37.13MPa이며 Fig. 7에 나타내었다.

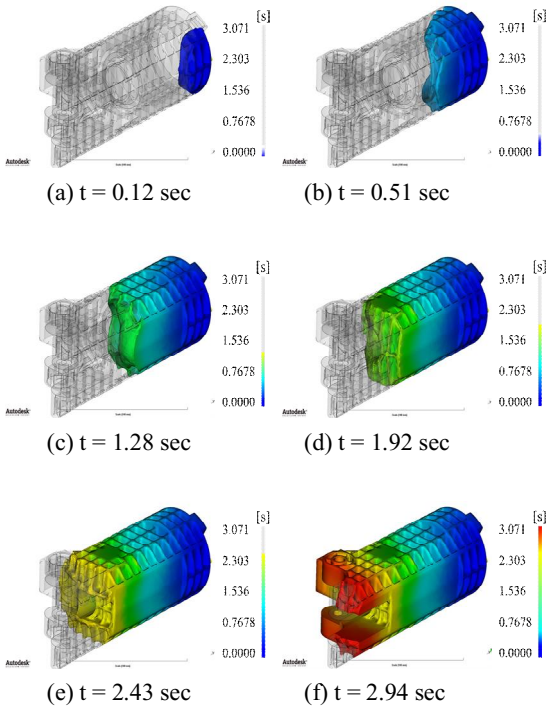


Fig. 6 Injection analysis of filling pattern according to the injection time of gate 2

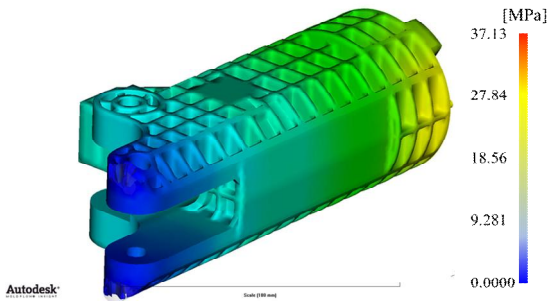


Fig. 7 Pressure distribution at the time of switching of holding pressure of gate 2

게이트 3의 충전패턴은 이전 결과와 마찬가지로 미성형이 발생하는 영역 없이 성형이 이루어졌으며 Fig. 7에 나타내었다. 충전 후 보압전환 시점의 최고 발생압력은 Fig. 8과 같이 20.24MPa이 발생하였으며, 게이트 위치에 대한 성형해석은 모든 게이트의 위치에서 미충진 영역이 발생되지 않았으나, 사출시간의 경우 3.54, 3.07, 3.47 초로 게이

트 위치 조건별로 조금씩 상이하였다. 에어트랩의 경우 모든 게이트 위치 조건에서 동일하게 제품 격벽의 중간에서 국부적으로 발생하는 것으로 나타났으며 에어 자연 배출에 대한 코어 및 금형의 피팅라인에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

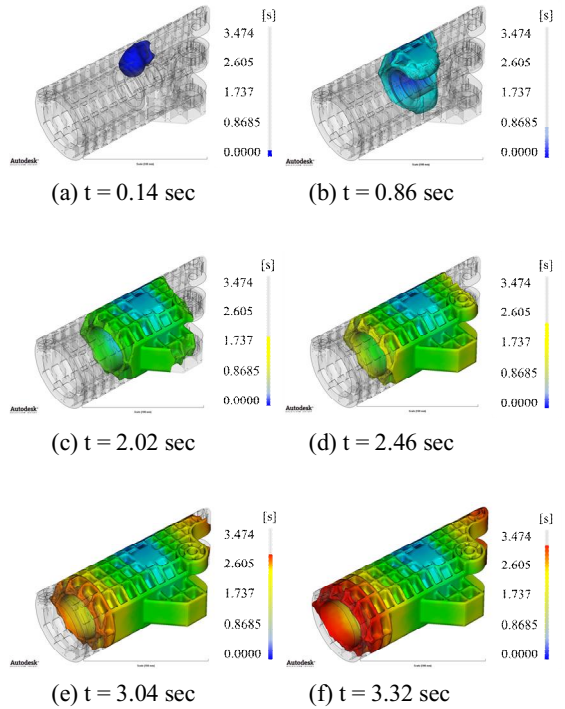


Fig. 8 Injection analysis of filling pattern according to the injection time of gate 3

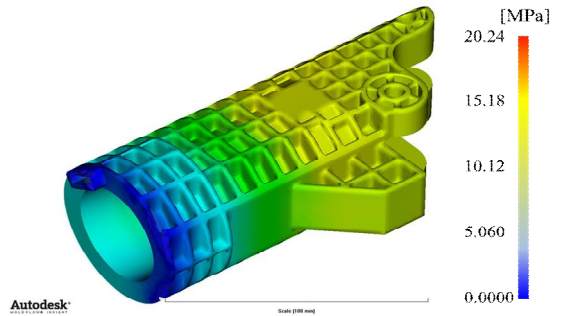
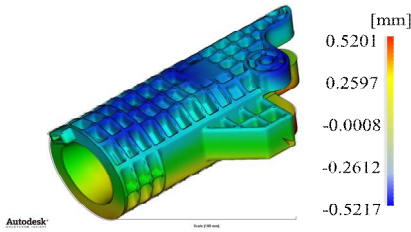


Fig. 9 Pressure distribution at the time of switching of holding pressure of gate 3

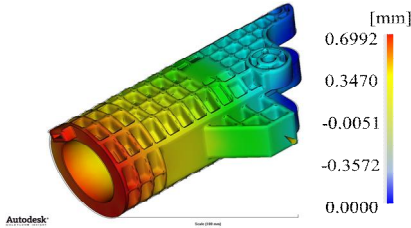
3.2 변형해석 결과

변형해석은 불균일한 냉각으로 인한 열변형과 제품의 평판 방향으로의 불균일 수축, 그리고 재료의 배향방향과 그 직각 방향의 불균일한 배양에 대한 영향을 고려하였다^[10-12].

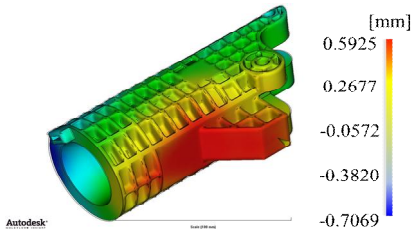
게이트 1의 변형해석 결과로는 약 0.8562mm 발생하였으며, 발생 위치는 게이트에서 가장 먼 구간에서 발생하였다. Fig. 10 (a)는 X방향의 변형량으로 최대 변형은 -0.521~0.520mm로 전체 변형에서 차지하는 부분이 크게 나타나지 않고 X방향의 좌우 편차 없이 균일하게 나타났다. Y방향의 최대 변형량은 -0.709~0.699mm로 게이트를 중심으로 Y방향의 수축이 발생하였으며, 게이트에서 먼 위치에 크게 발생하였다. Z방향의 변형은 -0.706~0.592mm로 Fig. 10의 (c)와 같이 변형이 발생하였다.



(a) X Deflection: all effect



(b) Y Deflection: all effect

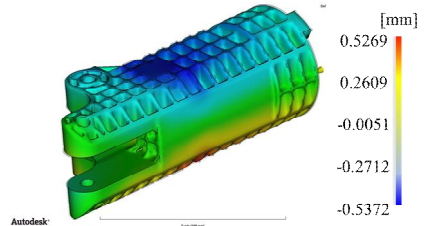


(c) Z Deflection: all effect

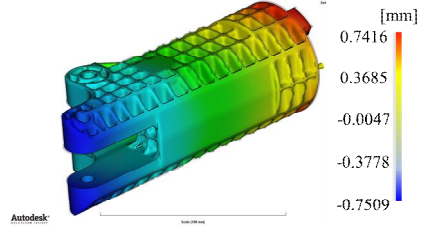
Fig. 10 Deformation analysis result of gate 1

게이트 2의 변형해석 결과는 Fig. 11에 나타내었다. X방향의 최대 변형량은 -0.537~0.526mm로 전체 변형에서 차지하는 부분은 Fig. 10과 같이 크게 나타나지 않았으며 균일하게 나타났다. Y방향의 최대 변형량은 -0.750~0.741mm로 게이트 및 형상에 의하여 수축이 Y방향으로 발생하였으며, Y축 방향 제품의 중심을 기준으로 균일하게 수축한 것을 확인할 수 있다. Z방향의 변형량은 -0.644~0.547mm로 Fig. 11의 (c)에 나타내었다. 전체적인 변형량은 0.779mm 발생하였으며 발생 위치는 게이트에서 가장 먼 구간에서 발생하였다^[11].

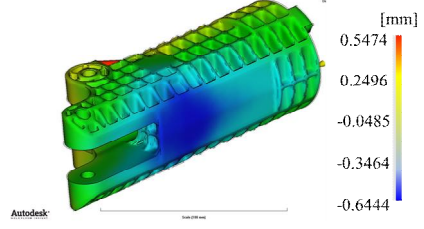
게이트 3의 변형해석 결과는 Fig. 12에 나타내었다. X방향의 최대 변형량은 -0.537~0.526mm로 전체 변형에서 차지하는 부분은 Fig. 10과 같이 크게 나타나지 않았으며 균일하게 나타났다. Y방향의 최대 변형량은 -0.750~0.741mm로 게이트 및



(a) X Deflection: all effect



(b) Y Deflection: all effect



(c) Z Deflection: all effect

Fig. 11 Deformation analysis result of gate 2

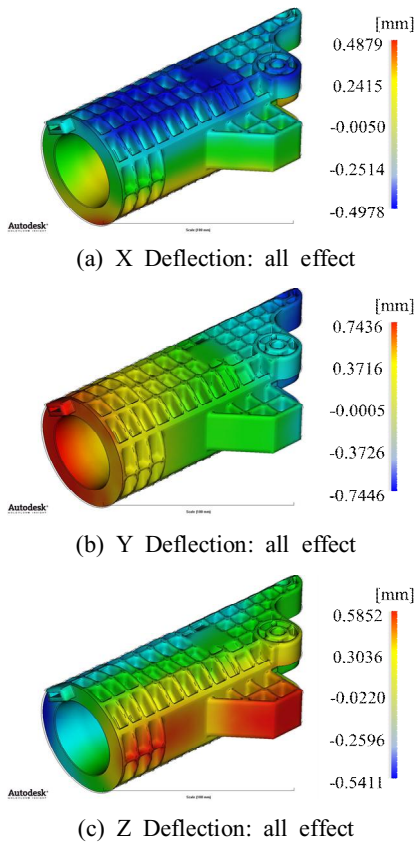


Fig. 12 Deformation analysis result of gate 3

Table 2 Injection analysis results

No.	Injectin time [Sec]	Injection pressure [Mpa]	Total deformation [mm]
Gate 1	3.57	39.56	0.856
Gate 2	3.07	37.13	0.779
Gate 3	3.49	20.24	0.863

게이트의 형상에 의하여 수축이 Y방향으로 발생하였으며, Y축 방향 제품의 중심을 기준으로 균일하게 수축한 것을 확인할 수 있다. Z방향의 변형량은 -0.644~0.547mm로 Fig. 11의 (c)에 나타내었다. 게이트 3의 변형량은 약 0.86mm 발생하였고, 변형이 발생한 위치는 게이트의 틀 삽입부 원주 부분에서 발생하였다. 게이트 1~3까지 약간의 차

이만 있을 뿐 모든 게이트에서 동일한 양상을 보였다. 각 게이트에 대한 해석결과는 Table 2와 같이 사출시간, 사출압력, 최대 변형량의 결과를 해석을 통해 얻었다. 사출 변형해석은 1차적으로 유동해석을 통하여 계산된 잔류응력을 이용하여 구조해석을 진행하였고 제품이 취출될 때 예상되는 제품의 변형모양과 크기를 분석하였다^[11-12]. 발생 부위는 게이트와 가장 먼 구간에서 발생하는 것으로 평가되었으며, 게이트 3의 경우 최대 변형량이 0.863mm로 나타났으며, 발생 구간은 모든 게이트의 틀 삽입부 원주 구간에서 발생하였다. 사출조건이 변형을 최소화 할 수 있는지를 검토하기 위해 충전시간에 따른 변형량 영향을 비교하였다. Table 2의 각 게이트별 충전시간 대비 총 변형량 측면에서 게이트 2의 충전시간 3.07sec의 빠른 충전시간이 변형을 최소화하는데 유리하다는 것을 확인하였다^[12].

4. 결론

본 연구에서는 사출성형으로 제작되는 수직머시닝센터용 자동공구교환장치의 틀 포트를 사출게이트 위치에 따른 성형성을 평가하기 위하여 사출해석을 수행하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 사출 게이트의 모든 위치에서 미충진된 영역은 발생하지 않았으나, 제품의 격벽에서 에어트랩이 국부적으로 발생하여 금형 피팅라인에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다.
2. 사출변형해석을 통해 총 변형량을 비교한 결과 게이트 2에서 가장 작은 변형량을 가졌으며, 사출공정에서 가장 중요한 사출시간과 비교 시 빠른 충전시간이 변형을 최소화 하는데 유리할 것으로 판단된다.
3. 사출압 및 형체력은 최종 금형 설계에서 캐비티 확정 및 사출기의 선정에서 문제가 되므로 제품의 특성 및 품질 문제의 관점에서는 게이트 2의 위치가 가장 우수하였다. 또한 4 캐비티로 확장 시 제품의 특성 및 캐비티의 배치에 용이함을 확인하였다.

후 기

본 논문은 산업통상자원부와 한국산업기술평가관리원에서 지원하는 우수제조기술연구센터 기술개발사업(과제번호 20001305)의 일환으로 수행된 연구 결과입니다. 이에 감사드립니다.

REFERENCES

1. Choi, H. J., Lee, H. G., "A study on the Design of Drum Type Automatic Tool Changer," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 19, No. 7, pp. 52-59, 2020.
2. Choi, H. J., Park, C. W., Choi, S. D., "Analyses on Deformation Patterns Depending on the Injection Process for Rear Lamp Reflectors of Automotive," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 9, No. 4, pp. 32-37, 2010.
3. Choi, H. J., Jang, E. S., Lee, H. G., Cha, U. S., and Jeon, S. H., "Tool Changer Structure Analysis of Drum Type Automatic Tool Changer", Proceedings of the KSMPE Spring Conference, pp. 7, 2019.
4. Choi, H. J., Cho, H. D., and Lee, Y. C., "A Study on the Design of Drum Type Automatic Tool Changer in Horizontal Machining Center", Proceedings of the KSMPE Autumn Conference, pp. 139, 2018.
5. Choi, H. J., Kwon, S. W., "ATC Dynamic Analysis of Horizontal 2-Head Machining Center", Proceedings of the KSMPE Autumn Conference, pp. 73, 2017.
6. Park, J. C., Kim, K. M., "Determination of Gate Position Considering Robustness in Injection Mold Design," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers., Vol. 16, No. 5, pp. 113-118, 2017.
7. Zhai, M. et al., "Automated Selection of Gate Location for Plastic Injection Molding Processing," Polymer-Plastics Technology and Engineering, Vol. 44, pp. 229-242, 2005.
8. Yamanoi, M. et al., "Application of Birefringence CAE in Mould Design of Optic Lens Injection Molding Process," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 11, No. 3, pp. 1-6, 2012.
9. Lee, B. H. and Kim, B. H., "Optimization of Part Wall Thicknesses to Reduce Warpage of Injection-Molded Parts Based on The Modified Complex Method," Polymer-plastics technology and engineering, Vol. 34, No. 5, pp. 793-811, 1995.
10. Han, B. J., Jung, Y. C., Kim, S. R., Kim, R. W., Kang, M. C., "Forming Characteristics with cavity Pressure and Temperature Signal Inside Mold in High-Pressure Resin Transfer Molding Process of Carbon Fiber Reinforced Composite Material," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers., Vol. 16, No. 6, pp.81-86, 2017.
11. Kim, K. Y., Kwak, S. H., Park, J. S., Cho, J. H., Lee, C. H., Kang, M. C., "Formability Evaluation of the Vacuum Resin Transfer Molding of a CFRP Composite Automobile Seat Cross Part," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers., Vol. 16, No. 3, pp.24-29, 2017.
12. Kim, H. K., "A study on Injection Molding Analysis of a Plastic Rack Gear," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers., Vol. 19, No. 8, pp.50-55, 2020.