

## 머시닝 센터 가공 교육 중 바이스 압축력으로 인한 형상 변형량에 관한 연구

# Numerical Analysis for Machining Center Milling Education of Deformation by Vise Stress to Minimize

김진우<sup>1\*</sup>, 봉하윤<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국폴리텍대학 홍성캠퍼스 자동화시스템과, <sup>2</sup>큐빅테크

Jin-Woo Kim<sup>1\*</sup>, Ha-Yoon Bong<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Automation System, Korea Polytechnics, Hongseong 32244, Korea

<sup>2</sup>Cubictek Co., Ltd, Seoul 08389, Korea

### [ 요약 ]

ABS 소재는 가공이 쉽고 충격과 열에 대한 내성이 강해 가전제품뿐만 아니라 자동차용 내외장재 금속 대체용으로도 많이 사용되고 있다. 이러한 특성으로 ABS의 수요가 늘어감에 따라 ABS를 이용한 가공교육도 그 중요성이 커지고 있다. 그 교육의 일환으로 전국 기능대회 및 지방 기능대회 급형 가공 부분에서 ABS 소재가 쓰이고 있다. 이때 ABS 소재를 이용한 가공에 있어서 ABS 소재를 고정하는 바이스의 힘은 가공 후 최종 형상에 영향을 미치게 된다. 하지만 가공 교육 작업 주의사항이나 지시사항 등에 이에 관한 정확한 명시가 되어있지 않은 상황이다. 따라서 이번 연구에서는 ABS 소재를 이용한 가공 교육에 있어서 교육에 사용하는 기초 형상에 대한 바이스의 고정시키는 힘이 가공 후 최종 형상에 미치는 영향을 알아보고, ABS 소재의 가공 교육 시 적합한 바이스 주의사항을 제시하고자 한다.

### [ Abstract ]

ABS material is easy to process, impact resistance and heat resistance is strong. ABS material is often used as a substitute for the interior and exterior metal material for an automobile. As the demand of ABS increases, fabricating education using ABS has also been increasing its importance. As part of its education, ABS material is used in the mold fabricating part of the regional and national skills competition. At this time, the force of the vise for fixing the ABS material in the processing using the ABS material can affect the final shape after machining. However, it has not been an accurate description of the notes and instructions of working in education. Therefore, in this study, we study the impact the force of vise affect structural shape in the fabricating education using ABS material and during fabricating education of ABS material, trying to present the notes of the appropriate it.

**Key Words :** ABS, CFD, Deformation, Machining center, Vise

<http://dx.doi.org/10.14702/JPEE.2015.119>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**Received** 28 October 2015; **Revised** 10 November 2015

**Accepted** 23 November 2015

**\*Corresponding Author**

E-mail: wlydm98@naver.com

## I. 서론

국내 산업분야에서 제조업이 차지하는 비중은 매우 높으며 또한 지난 몇 십년 동안 대한민국의 경제 발전을 선도해 온 분야이다. 제조업 분야에서 지속적인 경쟁력을 확보하고 세계 시장을 선도하기 위해서는 고부가가치 상품을 제조업을 통해 신속하고 정확하게 생산하는 것이 매우 중요하다. 그 방안중의 하나로 CNC (Computer Numerical Control)를 연계한 머시닝 센터를 통한 가공은 제품을 신속하고 정확하게 대량으로 생산할 수 있다는 장점이 있어 그 수요가 증가하고 있다. 이로 인해 머시닝 센터를 이용한 가공에 대한 중요성이 증가하고 있으며 머시닝 센터를 이용한 가공 교육의 필요성 또한 매우 높아지고 있다. 현재 머시닝 센터를 통한 가공 교육은 다수의 교육기관을 통해 진행되고 있다. CNC를 이용한 가공 교육에서 가공 재료로서 ABS (Acrylonitrile-Butadiene-Styrene) 소재를 사용하고 있는데 ABS 소재는 충격과 열에 강한 특성으로 인해 전 산업분야에서 광범위하게 사용하고 있다[1]. ABS 소재를 이용한 제품의 가공 중에 ABS 소재에 영향을 미칠 수 있는 요인을 분석하고 교육 내용에 반영하고 한다. 이에 본 연구에서는 CFD (Computational Fluid Dynamics)를 이용하여 ABS 소재를 이용한 머시닝 센터 가공 중에 ABS 소재를 고정하기 위한 바이스의 압력으로 인한 영향을 살펴보고 ABS 소재를 이용한 가공 교육 중 바이스의 압력 설정 시 참고할 표준 수치를 제시한다.

## II. 본론

### A. 이론적 배경

이번 수치해석은 다음과 같은 식을 통해 진행된다 식(1)-(4)에 의해 수치적인 해를 구하게 된다. 여기서 얻고자 하는 해는 온도, 압력, 속도와 같은 성분이다.

#### 1) 연속 방정식 (The continuity equation)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j) = S_m \quad (1)$$

#### 2) 운동량 방정식 (The momentum equation)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_j} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \rho g_i + F_i \quad (2)$$

여기서,

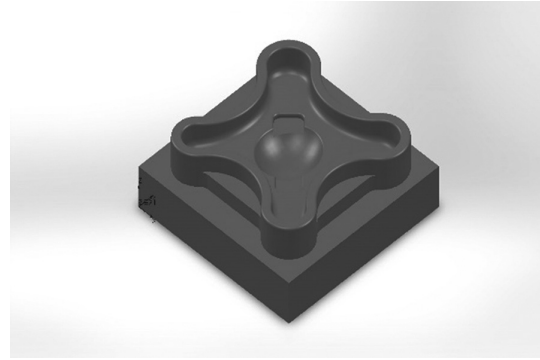


그림 1. 해석 모델의 3D 형상

Fig. 1. A 3D model of numerical analysis.

$$\tau_{ij} = \left[ \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] \quad (3)$$

### 3) 에너지 방정식 (The energy equation)

$$\frac{\partial(\rho h_0)}{\partial t} + \text{div}(\rho h_0 U) = \frac{\partial P}{\partial X} + \text{div}(k \nabla T)$$

$$h_0 = i(\text{internal energy}) + \frac{P}{\rho} + (u^2 + v^2 + w^2) \quad (4)$$

## B. 모델 형상 및 격자 생성

가공 교육 중 바이스의 압력이 ABS 소재에 미치는 영향을 확인하기 위하여 CFD를 이용한 수치해석을 진행한다. 바이스의 압력이 소재에 미치는 영향을 확인하기 위해 참고한 형상은 현재 금형 기능대회에서 사출 성형을 위한 금형 자료를 참고하였다. 금형 기능대회에서 사용되는 형상은 가로, 세로 및 두께의 비가 100 mm × 100 mm × 38t 인 ABS 소재의 형상으로 그 형상은 그림 1에 나타내었다. 그림 1에서 공작물을 고정하기 위한 바이스를 통해 ABS 소재에 힘이 작용하는 부분은 ABS 소재와 바이스가 직접적으로 접촉하는 면이므로 그 이외의 금형 가공을 위한 형상 몰드 및 다른 형상들은 수치해석 결과에 큰 영향을 미치지 않는 범위 내에서 단순화하였다. 이번 수치해석을 위한 격자는 힘을 받는 방향 및 변형 그리고 공작물의 형상을 고려하여 다면체격자를 사용하였다[2]. 수치해석을 진행하는 시간 및 비용을 고려하여 적절한 수의 격자를 생성하였다. 격자는 상용 수치해석 코드인 STAR-CCM+ Ver. 9.04를 사용하여 생성하였으며 그림 2는 수치해석을 진행하고자 하는 형상을 바탕으로 생성한 격자를 나타낸 결과이다. 격자 생성을 통해 생성된 격자의 수는 약 39만개이다.

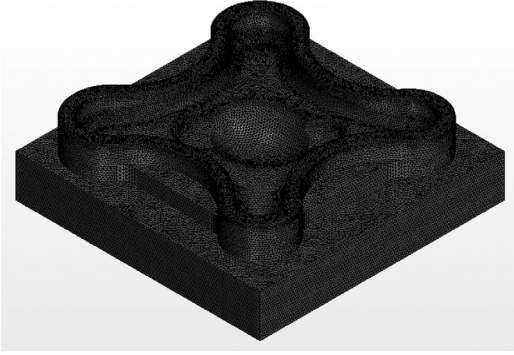


그림 2. 생성된 격자 형상  
Fig. 2. Generated mesh.

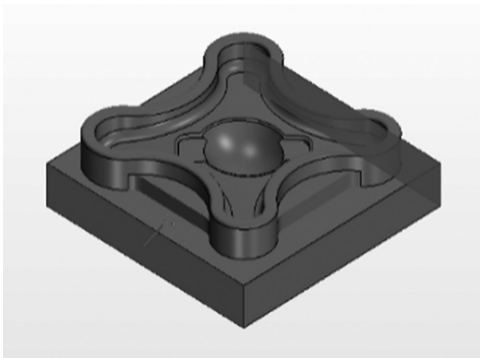


그림 3. 압축력 설정 영역  
Fig. 3. A zone of compressive force.

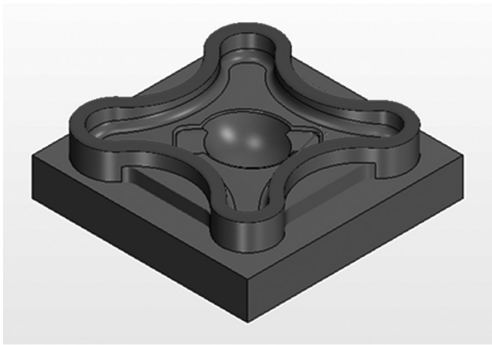


그림 4. 열원 설정 영역  
Fig. 4. A zone of heated area.

표 1. ABS 소재의 강도 물성치  
Table 1. Strength properties of ABS resin

Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS), Sheet	
극한응력	15.9 - 34.5 Mpa
파단응력	31.0 - 42.7 Mpa
탄성률	1.83 - 2.21 Gpa

### C. 재료의 물성치 및 경계 조건

수치해석을 진행하기 위해서는 수치 계산을 위한 ABS 소재의 물성치 설정과 경계 조건의 설정이 필요하다[3]. 이번 수치해석에서 사용한 ABS 소재의 물성치는 표 1과 표 2에 나타내었다[4]. 표 1은 수치해석에 사용한 ABS 소재의 강성과 관련된 물리적 물성치 자료이며 표 2는 ABS 소재의 화학적인 물성치 자료이다. 아래의 그림 3과 그림 4는 이번 해석에서 설정한 경계 조건이다. 그림 3에서 표시되어 있는 영역이 바이스에 고정되어 압축력을 받는 영역이며 그림 4에서 표시되어 있는 영역은 절삭 가공 중에 발생하는 열로 인해 영향을 받는 부분을 나타낸 그림이다. 절삭 가공 중에 발생하는 열은 ABS 소재 내에서 열응력을 발생시켜 가공 형상의 변형을 일으킬 수 있다. 바이스를 통해 압축력을 받는 영역과 ABS 소재 내에서 발생하는 열응력은 최종 가공 형상에 영향을 미치므로 이번 수치해석에서는 그 영향을 모두 고려하였다[5].

### D. 해석 결과

이번 수치해석은 상용 수치해석 코드인 STAR-CCM+ Ver. 9.04을 사용하여 진행하였다. 바이스에 고정되는 영역을 통해 가해지는 압축력이 증가함에 따라 ABS 소재에 미치는 영향을 확인하였다. 표 3에는 수치해석을 통하여 얻어진 SSE(Solid Stress Equivalent)의 결과이다. SSE는 ABS 소재

표 2. ABS 소재의 물성치  
Table 2. Properties of ABS resin

Properties	Value
Density	1050 (Kg/m3)
Poisson Coefficient	0.35
Specific Heat	1470.0 (J/Kg-K)
Thermal Conductivity	0.17 (W/m-k)
Thermal Expansion Coefficient	1.01E-4(/K)
Young's Modulus	2 (Gpa)

표 3. Solid Stress Equivalent 수치해석 결과  
Table 3. A numerical analysis result of Solid Stress Equivalent

압축력(Mpa)	최대(GPa)	최소(GPa)	평균(GPa)
10	1.189929 e+01	1.592609 e+00	7.311480 e+00
20	2.361458 e+01	1.779474 e+00	1.452955 e+01
30	3.545464 e+01	2.034556 e+01	2.172018 e+01
40	4.723486 e+01	2.347278 e+01	2.892428 e+01
50	5.101590 e+01	2.699157 e+01	3.613596 e+01

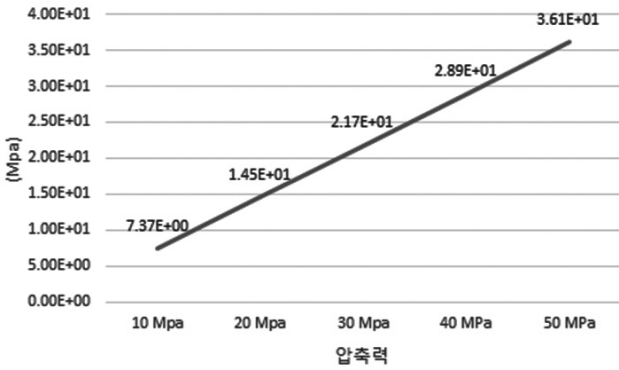


그림 5. Solid Stress Equivalent 수치 곡선  
 Fig. 5. A numerical curve of Solid Stress Equivalent.

의 가공 형상에 작용하는 총 Solid Stress 값을 나타낸 수치이다. SSE의 값이 높으면 ABS 소재에 작용하는 응력의 크기가 크다는 것을 의미하며 ABS 소재 내의 응력이 증가하면 가공 형상의 변형이 일어날 수 있다. 따라서 ABS 소재의 가공 형상에서 SSE 값이 높으면 최종 가공 형상에 큰 영향이 있었음을 판단할 수 있는 근거가 된다[6]. 수치해석의 결과를 살펴보면 ABS 소재의 가공 형상에 Solid Stress 수치의 최대 값은 ABS 소재 가공 형상의 바닥면에서 발생함을 확인할 수 있었고, 최소 값은 열원이 작용하는 면에서 발생함을 확인할 수 있었다.

그림 5의 결과는 압축력이 증가함에 따라 ABS 소재 가공 형상에 작용하는 평균 SSE 값을 그래프로 나타낸 결과이다. 압축력이 10 Mpa에서 50 MPa까지 증가함에 따라 SSE 값도 선형적으로 증가함을 확인할 수 있었다. 또한 표 1의 ABS 소재의 극한 강도 값과 표 3의 수치해석 결과를 비교해보면 바이스로 인해 발생하는 압축력이 20 Mpa 이상으로 작용한다면 ABS 소재의 극한 응력 값에 상응하는 힘이 가해져 형상에 있을 것으로 판단된다. 위의 수치해석 결과를 통해 가공 교육 중 지침을 통해 바이스로 인한 압축력이 20 Mpa 이상으로 가해지지 않도록 설정할 것을 권고하고자 한다.

### III. 결론

본 연구에서는 머시닝 센터 가공 교육 중 바이스의 압축력이 ABS 소재를 이용한 공작물에 미치는 영향을 수치해석을 통해 확인하였다. 실제 가공 교육 중에 사용되는 ABS 소재를 가공물로 선정하여 실제 머시닝센터 기계 가공 교육 중에 발생할 수 있는 바이스의 압력 한계 값을 수치해석을 통해 확인하였다. 또한 공작물의 변형을 방지하기 위한 바이스의 표준 압력을 제시하였다.

이번 연구를 통해 공학 교육에서의, 특히 가공 교육 분야에서 ABS 소재를 사용한 재료 가공 시, 바이스 압력 지시사항에 대한 가이드를 제시함으로써 형상 변형을 최소화하고 교육 안전 환경 구축에 도움이 될 뿐만 아니라 가공 교육의 표준 제시 및 문제 해결에 도움이 되고자 한다.

### 참고문헌

- [1] J. H. An, C. H. Kim, and B. H. Choi, "Variation of mechanical property and fracture mechanism of various acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS) copolymer blends," *The Korean Society of Mechanical Engineers*, pp. 223-224, February, 2012.
- [2] CD-adapco, *STAR-CCM+ UserGuide ver. 9.04*, London: CD-adapco, 2015.
- [3] S. V. Patankar, *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*, 1st ed. New York, NY: McGraw-Hill, 1980.
- [4] D. M. Kulich, S. K. Gaggar, V. Lowry, and R. Stepien, "Acrylonitrile-butadiene-styrene polymers," *Encyclopedia of Polymer Science and Technology*, 2001.
- [5] A. M. Donald, and E. J. Kramer, "Plastic deformation mechanism in poly (acrylonitrile-butadiene styrene) [ABS]," *Journal of material science*, vol. 17, no. 6, pp. 1765-1772, 1982.
- [6] S. C. Tjong, and Y. Z. Meng, "Effect of reactive compatibilizers on the mechanical properties of polycarbonate/poly (acrylonitrile-butadiene-styrene) blends," *European Polymer Journal*, vol. 36, no. 1, pp.123-129, January 2000.



**김진우 (Jin-Woo Kim)**

1991년 2월 : 광운대학교 전기공학사  
1991년 1월 ~ 2006년 7월 : 삼성전자 생산기술연구소 책임연구원  
2006년 8월 : 한국기술교육대학교 첨단기술교육센터장  
2012년 2월 : 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학 박사  
2014년 3월 ~ 현재 : 한국폴리텍대학 홍성캠퍼스 자동화시스템과 교수  
<관심분야> PLC, HMI, Motion, Fieldbus, HRD



**봉하윤 (Ha-Yoon Bong)**

2010년 2월 : 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부 졸업  
2010년 1월 : (주)큐빅테크 입사  
2011년 : 용산공고 자동차기계과 산학겸임교사  
2014년 : 춘천기계공고 디지털기계과 산학겸임교사  
2015년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학과 석사과정