

중공축의 가압부 면적에 따른 고정 효과에 관한 연구

장성민¹, 조완수^{2*}

¹조선이공대학교 기계과, ²한국폴리텍대학 청주캠퍼스 컴퓨터응용기계과

A study on the fixing effect according to the area of the pressing portion of the hollow shaft

Sung-Min Jang¹, Wan-Soo Cho^{2*}

¹Dept. of Mechanical Engineering, Chosun College of Science & Technology

²Dept. of Computer Applied Machinery, Cheongju Campus of Korea Polytechnics College

요약 소재를 고정하기 위한 가압력은 소재의 기계적 특성과 형상에 따라 적절히 선정되어야 한다. 그러나 CNC 선반 가공 등에서 공작물을 고정하는 적절한 가압력은 크게 고려되지 않고 있으며, 일반적으로 제조사의 기계 제작 시 설정된 압력 및 고정 조건으로 고정된다. 종종 임의로 압력을 조절하거나 가압부의 접촉 면적을 조절하기도 하지만 작업자의 경험에 근거하고 있을 뿐이다. 소재에 가해지는 가압력은 가압부 면적에 따라 그 효과가 달라진다. 본 논문에서는 접촉 폭과 길이의 변화에 따른 가압부 면적에 의한 소재의 변형과 응력에 미치는 영향을 고찰한 후 가압 효과를 분석하였다. 연구를 위해 중공 소재의 기계 구조용 강인 SM45C를 대상으로 구조 해석 방법을 채택하였다. 그 결과 가압부의 접촉 길이보다는 폭의 증가가 공작물의 고정에 더 효과적인 것으로 확인하였다.

Abstract The pressing force to fix a material must be appropriately selected according to the mechanical properties and shape of the material. However, the proper pressing force for fixing a workpiece in processes like CNC turning is not considered much, and the workpiece is generally fixed under the pressure and fixing conditions set by the manufacturer of the processing machine. Often, the pressing force is arbitrarily adjusted, or the contact area of the pressing part is adjusted, but this adjustment is based only on the experience of the machine operator and hence is not proper. Notably, the effect of the pressing force on the workpiece varies depending on the contact area of the pressing part. Hence, this research examined the deformation and stress of the workpiece according to the contact area of the pressing part expressed in terms of the contact width and length and analyzed the pressurization effect of the force based on the examination. In particular, the study was conducted using a structural analysis method on a hollow shaft made of SM45C, a mechanical structural steel. The study showed that an increase in the contact width rather than length of the pressing part was more effective in fixing the workpiece.

Keywords : Pressing Force, Mechanical Properties and Shape of the Material, Area of the Pressing Portion, Deformation and Stress, Contact Width and Length

*Corresponding Author : Wan-Soo Cho(Korea Polytechnics College)

email: wans@kopo.ac.kr

Received March 4, 2022

Accepted June 3, 2022

Revised April 13, 2018

Published June 30, 2022

1. 서론

제조업의 생산 시스템은 첨단 기술의 발전에 따라 지속적으로 변화하고 있으며 최근에는 생산 설비와 경영·관리적 측면에서, 패러다임이 lot기반의 스마트 팩토리(Smart factory)로 전환되고 있는 추세에 있다. 공작기계의 경우 작업성 개선과 생산성 향상을 목적으로 지능형 공작기계로의 변화를 위한 꾸준한 연구가 지속되고 있으며, 연구의 기반이 되는 실험 데이터의 확보는 매우 중요하다. Kim 등은 선삭 후 균질의 표면 거칠기 및 고능률을 위한 추축 최적화 방법을 제안하여 절삭 시간과 동력을 분석하여 검증하였다[1]. Son 등은 일반적인 절삭과 비교하여 다이아몬드 공구를 이용한 초정밀 진동절삭에서 한계 절삭깊이를 더 감소시킬 수 있음을 확인하였다[2]. Kim은 열·점소성 절삭 모델을 이용하여 초정밀 임계 절삭 깊이를 유한 요소해석 방법으로 연구하여 절삭속도의 증가는 임계 절삭 깊이를 증가시키고, 절삭깊이의 증가는 공구 선단 전면에 절삭 온도와 변형을 증가시킨다는 것을 확인하였다[3]. Ahn 등은 SM45C 소재에 대하여 절삭조건 변화에 따른 표면 거칠기 결과를 통계적 방법을 이용하여 수학적 모델로 나타내었다[4]. 공작기계에 의한 지능형 생산체제의 전환은 이와 같은 연구가 체계화되어 수집된 데이터를 기반으로 할 때 가능할 것이라 사료된다. 공작기계와 각종 정밀 기계류의 성능 개선의 요인은 공작기계 부품 요소의 품질 향상으로 조립 정밀도가 개선되었기 때문이라 할 수 있다. 또한 기밀이 요구되는 각종 유압 실린더, 고속 회전의 중공축, 고성능의 정밀 부품 등에서도 형상 정밀도는 매우 중요하다. 각종 기계류는 장기간 사용에 따른 강성 저하로 형상 공차에 불량이 발생하기도 한다. 그 이유는 사용 환경의 영향과 장비의 노후로 인한 진동 및 비틀림의 가중, 위험속도에서의 스핀들 구동 및 관성, 열에 의한 변형 등이 그 원인이다. 형상 정밀도의 불량은 부품의 품질 불량으로 인한 변형에서 초래된다고 할 수 있다. 그러므로 부품의 제조공정 단계에서 불량률의 개선은 매우 중요하다. Jang 등은 선반에서 중공축의 보링 후 진원도에 미치는 인자를 정량적으로 분석하여 축의 벽 두께와 고정압이 진원도 오차에 크게 영향을 미친다는 것을 확인하였다[5]. 그 결과 절삭깊이와 이송속도의 영향은 미미하였고 고정압과 중공축 벽 두께의 영향이 매우 크게 작용한다는 것을 실험적으로 확인하였다. 중공축과 같은 탄성체의 변형은 그 형상과 탄성계수 그리고 고정을 위한 가압력 등의 조건에 따라 각각 다르게 나타날 수 있다. 중

공축의 사용은 극관성 모멘트의 효율을 높일 수 있어 중실축보다 중량을 감소시키면서 비틀림 강도를 높이기 위한 방법으로 효과적이다. 이러한 중공축의 고정밀 직선운동을 위해서는 축의 진원도, 원통도, 표면 거칠기 등의 특성이 매우 중요하다. 정밀가공을 위해 중공축을 고정시킬 때 조의 고정압은 소재의 형상과 특성에 따라 적절히 가해져야 한다. 고정압의 크기에 따라 중공축의 변형에 미치는 영향이 크다는 것이 선행연구[5]에서 나타났기 때문이다. Lee 등은 모니터 지지대에 대한 구조 해석 연구를 통해 모니터의 기울기 각에 따른 최대 응력 지점과 지지 하중을 결정하여 모니터 파손 방지를 위한 연구를 수행하였다[6]. 이와 같이 구조 해석은 CAE의 대표 연구 분야이다. 본 논문은 일정한 벽 두께를 갖는 중공축에 고정 압력을 작용시키고 가압부 면적의 변화에 따라 소재의 변형과 응력에 미치는 영향을 구조 해석 방법으로 연구하여 적절한 고정 방법을 고찰하였다.

2. 해석 방법 및 조건

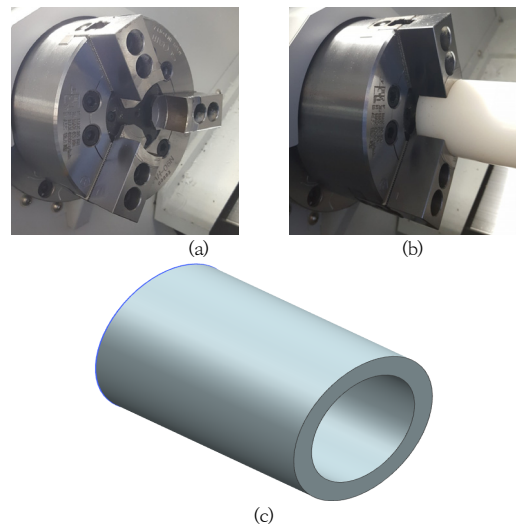


Fig. 1. Universal chuck and 3D model for structural analysis
(a)Universal chuck (b)Fixing a workpiece (c) 3D model

본 연구는 Fig. 1의 (a), (b)와 같이 CNC 선반의 연동축에 공작물을 고정할 때 (c)와 같이 외경 70 mm, 길이 100 mm, 두께 9 mm의 기계 구조용 강(SM45C)을 조의 곡률 반경을 고려한 완전 접촉의 외측 가압방식을 대상으로 한다. 가압력은 30bar를 적용하였는데, 선형정적 해석에서는 비례 관계가 성립하므로 특정 가압력으로 해

석한 결과를 이용하여 추가 구조 해석없이 가압력 변화에 따른 변형과 응력을 계산할 수 있다. 접촉면은 3개, 접촉면의 면적은 CNC 선반에 장착된 소프트 조의 접촉 폭(mm)과 길이(mm)를 참고하여 각각 20, 25, 30 mm로 구분, 접촉 폭과 길이에 따른 고정 효과를 연구하기 위해 구조 해석을 수행하였다. 연구에서 접촉 폭과 길이가 모두 다르게 적용되므로 메시 설정 방법을 동일하게 하지 않고 각각의 조건에 대하여 메시가 안정된 분할로 수렴할 때까지 계속해서 추가되는 SolidWorks의 Adaptive mesh 방식으로 최적 메시를 생성하였다. 이러한 방식은 산업체에서 많이 이용하고 있다.

3. 결과 및 고찰

3.1 해석 결과

Table 1은 본 연구의 구조 해석 수행을 위해 Adaptive mesh로 생성된 요소와 노드의 수 그리고 해석 결과 도출된 최대 변형과 최대 응력을 나타낸 것이다.

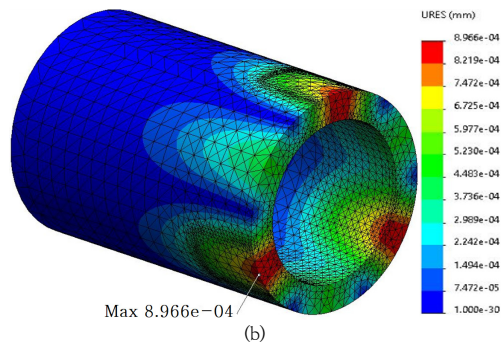
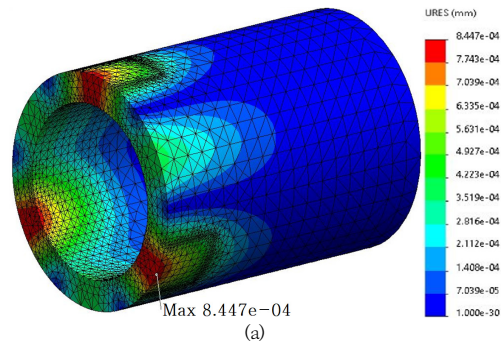
Table 1. Result of structural analysis at a fixed pressure of 30 bar

Width×length (mm ²)	Number of elements/nodes	Maximum Deformation (mm)	Maximum Stress (MPa)
20×20	74503/47834	8.447e-04	5.125e
20×25	74524/47881	8.966e-04	5.600e
20×30	75187/48308	9.273e-04	5.895e
25×20	70263/44847	9.722e-04	6.268e
25×25	70974/45263	1.032e-03	6.834e
25×30	68788/43792	1.066e-03	7.149e
30×20	48982/30694	1.062e-03	7.301e
30×25	48916/30755	1.125e-03	7.890e
30×30	71260/45481	1.162e-03	8.255e

3.2 변형 분포

Fig. 2는 중공의 SM45C 소재를 가압부의 접촉 폭과 길이에 변화를 주어 30 bar의 압력 조건으로 각각 고정 하였을 때 소재에서 발생하는 변형의 분포를 나타낸 것이다. 각 접촉 폭(mm)×접촉 길이(mm)에 따른 최대 변형의 결과로써, Fig. 2의 (a)는 20×20인 경우로 8.447e-04 mm, (b)20×25인 경우 8.966e-04 mm, (c)20×30인 경우 9.273e-04 mm, (d)25×20인 경우 9.722e-04 mm, (e)25×25인 경우 1.032e-03 mm,

(f)25×30인 경우 1.066e-03 mm, (g) 30×20인 경우 1.062e-03 mm, (h)30×25인 경우 1.125e-03 mm, (i)30×30인 경우 1.162e-03 mm로 나타났다. 변형은 가압부 소재 선단에 집중하여 발생하였고 최대 변형량은 소재의 외경 선단부에서 발생하였는데, 이것은 가압으로 인한 외력의 영향을 가장 크게 받고 있기 때문인 것으로 사료된다. Fig. 2와 같이 본 연구에 적용된 해석 조건은 접촉 폭과 길이가 모두 다르다. 접촉 폭은 (a)~(c) 구간에서 20mm, (d)~(f) 구간에서 25mm, (g)~(i) 구간에서 30mm이며 각 구간에서 접촉 길이를 증가시켜 해석한 것으로, 각 구간에서 최대 변형의 증가는 유사한 경향을 갖는다. 그 결과는 Fig. 3에 정리하였다. 그리고 동일 압력의 작용 하에서 가압부 면적의 증가는 소재의 변형량 증가에 영향을 미치는 것으로 나타났고 가압부 접촉 폭의 증가는 접촉 길이의 증가보다 소재의 변형량 증가에 더 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 구체적으로 접촉 폭×접촉 길이의 조건 20×25와 25×20을 살펴보면 소재와의 접촉 면적은 동일하나 접촉 폭이 25 mm로 더 큰 25×20의 경우에서 최대 변형량 발생을 더 크게 하였다. 이와 같은 결과는 Fig. 3에 나타내었듯이 20×30과 30×20 그리고 25×30과 30×25의 결과에서도 동일하다. 그러므로 소재를 고정하기 위한 가압부의 접촉 면적이 동일할 경우, 접촉 길이보다는 접촉 폭의 증가가 소재의 고정을 더 확실하게 할 수 있다.



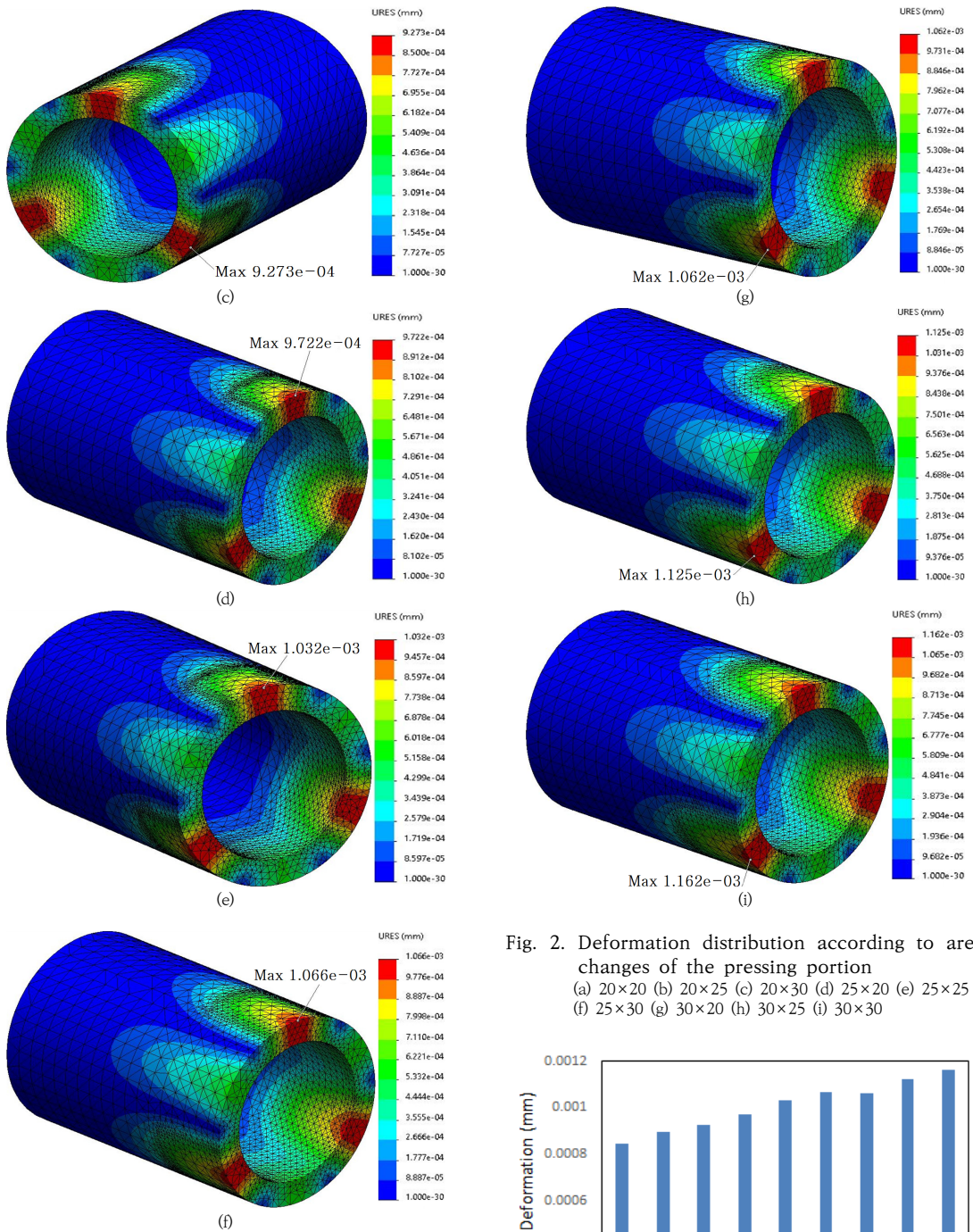


Fig. 2. Deformation distribution according to area changes of the pressing portion (a) 20×20 (b) 20×25 (c) 20×30 (d) 25×20 (e) 25×25 (f) 25×30 (g) 30×20 (h) 30×25 (i) 30×30

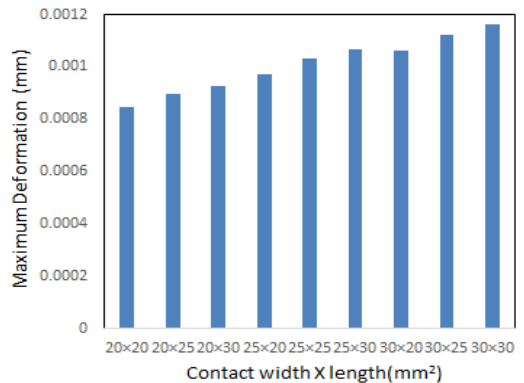
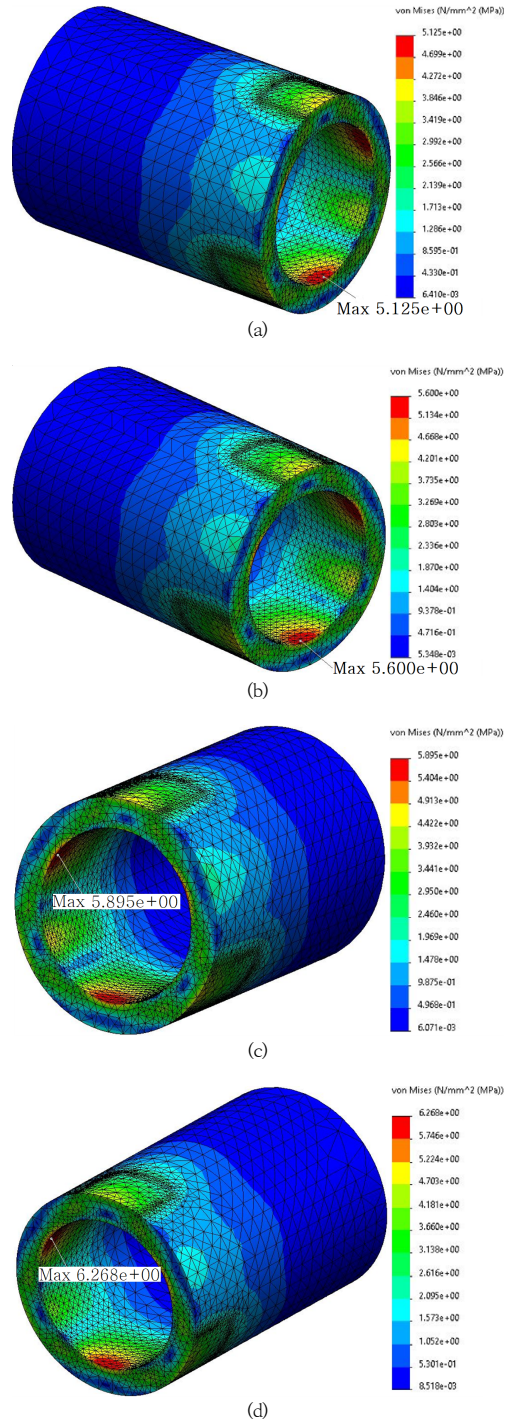


Fig. 3. Comparison of the maximum deformation

3.3 응력 분포

Fig. 4는 중공의 소재를 30 bar의 압력으로 고정하였을 때 가압부 접촉면 변화에 따라 소재에 발생하는 응력 분포의 결과를 나타낸 것이다. 이때 접촉 면적과 관계된 접촉 폭과 길이의 구분은 Fig. 2의 조건과 같다. 각 접촉 조건(접촉 폭×접촉 길이)에 따른 최대 응력 발생 결과로써, Fig. 4의 (a)20×20의 경우 5.125 MPa, (b)20×25의 경우 5.600 MPa, (c)20×30의 경우 5.895 MPa, (d)25×20의 경우 6.268 MPa, (e)25×25의 경우 6.834 MPa, (f)25×30의 경우 7.149 MPa, (g)30×20의 경우 7.301 MPa, (h)30×25의 경우 7.890 MPa, (i)30×30의 경우 8.255 MPa로 나타났다. 최대 응력 발생은 소재의 내경 선단부에서 발생하였는데, 이것은 가압력으로 인해 중공 소재의 증립축을 기준으로 바깥지름과 안지름까지의 거리에 비례하여 압축력과 인장력을 초래하였고, 이때 발생하는 인장력에 의해 가압부 사이의 최소 지름부인 내경 선단부에서 최대 응력이 발생한 것으로 사료된다. 접촉 폭이 동일한 (a)~(c) 구간과 (d)~(f) 그리고 (g)~(i)의 각 구간에서 최대 응력의 증가는 Fig. 3의 최대 변형량 증가와 유사한 경향을 나타내고 있다. 또한 접촉 면적(mm²)의 증가에 따라 소재에 발생하는 응력은 이에 비례하여 증가하였다. 그리고 (b)20×25와 (d)25×20의 경우를 보면, 가압부에 대하여 동일 접촉 면적을 가지나 접촉 폭이 25 mm로 더 큰 (d)의 조건에서 응력의 발생을 더 크게 하였다. 이것은 가압부에 대한 동일 면적을 갖는 (c)와 (g) 그리고 (f)와 (h)의 결과에서도 접촉 폭이 더 큰 조건에서 응력의 발생을 더 크게 한다. 이와 같은 결과는 Fig. 5에 비교하여 나타내었고 Fig. 2의 변형량 분포 결과와 유사한 경향을 갖는다. 단, Fig. 3과 Fig. 5의 그래프에서 접촉 폭×접촉 길이의 조건이 25×30에서 30×20으로 변화할 때 최대 변형과 최대 응력의 변화 추이에 다소 차이가 발생하였다. 이것은 본 연구에서 98% 이상의 높은 수렴 특성을 갖는 수학적 모델의 구조해석 중 오차 범위 내에서 발생된 결과로써 접촉 폭이 25mm에서 최대 폭인 30mm로 증가, 접촉 길이가 최대인 30mm에서 최소인 20mm로 감소되어, 접촉 폭과 길이의 변화로 인한 곡률의 접촉면 변화에 따른 복합적 영향에 의한 것으로 사료된다. 실험 결과에 관한 위와 같은 분석 결과, 선삭 공정에서 칩에 장착되어 공작물을 고정하는 조의 폭 증가는 길이의 증가보다 소재를 더욱 확실하게 고정시킬 수 있다. 또한 고정을 위한 소재의 접촉부 길이에 제한이 있을 때, 조의 폭을 증가시키는 것은 소재를 더욱 강력하게 고정시킬 수 있다는 것

을 의미하는 결과라 사료된다. 위 결과는 탄성한도 범위 내에서 소재를 고정하는 다른 공정에서도 적용될 수 있다.



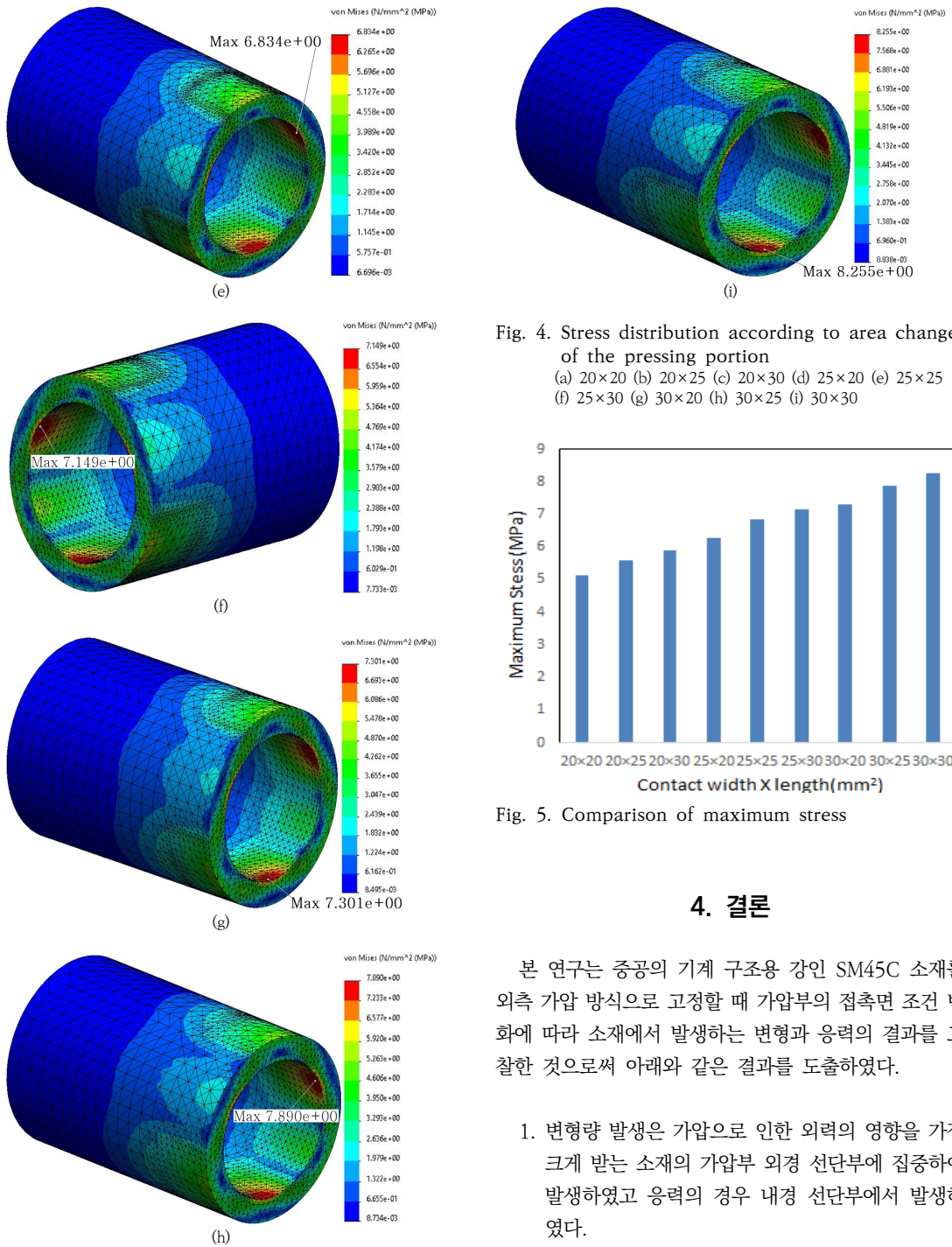


Fig. 4. Stress distribution according to area changes of the pressing portion
 (a) 20×20 (b) 20×25 (c) 20×30 (d) 25×20 (e) 25×25 (f) 25×30 (g) 30×20 (h) 30×25 (i) 30×30

Fig. 5. Comparison of maximum stress

4. 결론

본 연구는 증공의 기계 구조용 강인 SM45C 소재를 외측 가압 방식으로 고정할 때 가압부의 접촉면 조건 변화에 따라 소재에서 발생하는 변형과 응력의 결과를 고찰한 것으로써 아래와 같은 결과를 도출하였다.

1. 변형량 발생은 가압으로 인한 외력의 영향을 가장 크게 받는 소재의 가압부 외경 선단부에 집중하여 발생하였고 응력의 경우 내경 선단부에서 발생하였다.
2. 가압부 면적의 증가에 비례하여 소재의 변형량과 응력의 발생을 증가시켰으나, 동일 면적일 경우 접촉 폭의 증가가 변형량과 응력의 발생을 더 크게 한다.

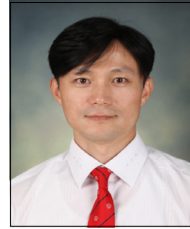
3. 선반가공 등 원형 공작물을 고정하는 경우, 가압부 접촉 폭의 증가는 소재를 더욱 확실하게 고정시킬 수 있다. 특히 소재의 고정을 위한 접촉부의 길이에 제한이 있을 때, 소재에 강력한 고정력을 가할 수 있으므로 유용한 방법이라 사료된다.

References

- [1] J. W. Cho, Y. G. Kang, S. I. Kim, "Spindle Speed Optimization for High-Efficiency Machining in Turning Process", *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, Vol. 26, No. 2, pp. 138-145, 2009.
- [2] S. M. Son, S. W. Her, J. H. Ahn, "Study on the minimizing of cutting depth in submicro machining", *Proceeding of the KSMTE Spring Conference*, pp. 376~381, 2003.
- [3] K. W. Kim, "Study on the Critical Depth of Cut in Ultra-precision Machining", *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, Vol. 19, No. 8, pp.126-133, 2002.
- [4] Y. H. Ahn, C. E. Park, I. S. Kim, Y. J. Jeong, J. S. Son, "The Effect of Various Cutting Conditions on the Surface Roughness of SM45C Materials," *Proceeding of the Korean Society for Precision Engineering Spring Conference*, pp. 482-486, 1997.
- [5] S. M. Jang, S. Y. Back, "A Roundness Evaluation of Al-6061 Turning by Orthogonal Table and Multiple Linear Regression", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 13, No. 1 pp. 45-50, 2012.
- [6] I. S. Lee, J. J. Kim, "Maximum External Load Determination of Monitor Support Part for Structural Failure Prevention" *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 23, No. 1 pp. 289-294, 2022.

장 성 민(Sung-Min Jang)

[중신회원]



- 2000년 2월 : 숭실대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2004년 8월 : 인하대학교 기계공학과 (공학박사)
- 2010년 3월 ~ 2011년 12월 : 유한대학교 기계과 조교수
- 2012년 1월 ~ 현재 : 조선이공대학교 기계과 부교수

<관심분야>

구조해석, 생산제조기술, 정밀가공

조 완 수(Wan-Soo Cho)

[정회원]



- 2013년 2월 : 충남대학교 기계·기계설계·메카트로닉스공학과 (공학석사)
- 2015년 2월 : 충남대학교 기계설계·메카트로닉스공학과 (공학박사 수료)
- 2015년 3월 ~ 2017년 2월 : 한국폴리텍대학 초빙교수
- 2019년 3월 ~ 현재 : 한국폴리텍대학 교수

<관심분야>

기계, 금형, 스마트팩토리