

성형 공정을 수정한 SCM435H 볼트의 초기 2단계까지의 공정 해석

안교철^{1*}, 최취경²

¹가천대학교 건축설비공학과, ²가천대학교 건축공학과

Process Analysis for the First Two Steps of the SCM453H Bolt with a Modified Molding Process

Kyo-Chul Ahn^{1*} and Chui-Kyung Choi²

¹Dept. of Building Equipment & System Engineering, Gachon University

²Dept. of Architectural Engineering, Gachon University

요 약 본 연구에서는 볼트의 원활한 성형이 이루어지도록 볼트의 성형 공정 중 2단계에서 시행하던 압출공정을 4 단계로 옮기고 2단계와 3단계에서는 볼트 머리부 성형만 이루어지도록 공정을 조정하여 해석하였다. 그 결과 약간의 수정으로 원활한 성형이 이루어 졌으며 접촉압력은 수정 전보다 1단계에서는 감소하고 2단계에서는 증가하였으며, 최대유효응력, 유효변형률, 성형력은 수정전보다 1, 2단계에서 모두 증가함을 알 수 있었다.

Abstract For a easier bolt molding, an extrusion process, the 2nd step of the molding process, was moved to step 4, and the bolt head section was exclusively molded in steps 2 and 3. As a result, the molding process was made easier thanks to the minor modification, and the contact pressure decreased in step 1 and increased in step 2 over its earlier intensity. Also, the maximum effective stress, effective strain, and molding force were all increased in both steps 1 and 2.

Key Words : Effective stress, Flow line, Molding force, Pressure contact

1. 서 론

볼트의 성형공정은 1단계에서는 소재의 머리부 예비 성형과 몸통부의 압출 공정을 하고, 2단계에서는 머리부의 2차 성형을, 3단계에서는 6각 머리부의 성형을 하고 4단계에서는 머리부의 4차 성형과 몸통부의 압출 공정을 실시하여 최종 제품을 생산하게 된다[1]. 볼트의 품질은 제작과정에서의 재료의 기계적 성질, 소성 공정, 열처리 방법 등에서 크게 영향을 받는다[2]. 또한 볼트의 내부응력 분포는 볼트 이음부의 거동과 구조적 특성을 유효요소법을 이용하여 해석하며[3], 볼트의 체결에서 토오크계수의 변동은 체결력에 상당한 영향을 미치고 있

기 때문에 제조 및 시공관리에서 엄격하게 다루어져야 한다[4].

본 연구에서는 원활한 성형이 이루어지도록 4단계인 Bolt 성형 공정 중 1단계에서 시행하던 몸통부의 압출 공정 일부를 4단계로 옮기고 2단계와 3단계에서는 머리부 성형만 이루어지도록 공정을 조정하여 해석하려고 한다.

2. 본 론

2.1 2단계까지의 공정을 수정한 해석

Fig. 1은 수정한 4단계 공정 중 초기 2단계까지의 금

본 연구는 2013년 가천대학교 교내연구비 지원에 의해 수행된 연구임.

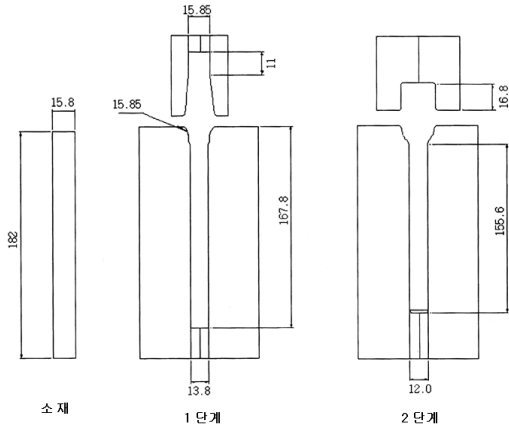
*Corresponding Author : Kyo-chul Ahn(Gachon Univ.)

Tel: +82-11-770-3724 email: kcahn@gachon.ac.kr

Received September 3, 2013 Revised (1st October 1, 2013, 2nd October 14, 2013, 3rd October 23, 2013, 4th October 30, 2013)

Accepted November 7, 2013

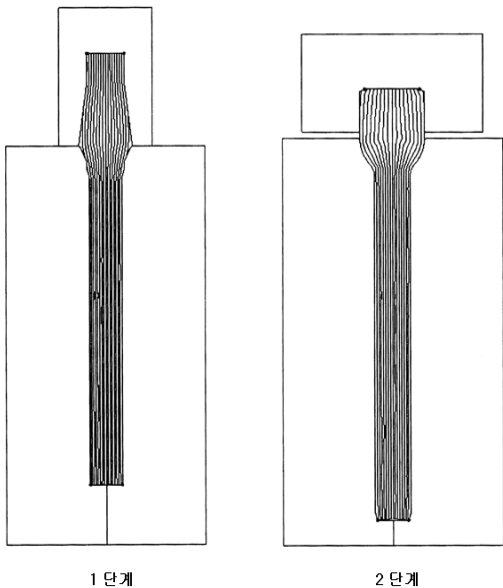
형 형상을 나타낸 것인데, 수정전보다 1단계에서는 몸통부의 길이와 직경을 크게 하였으며, 2단계에서는 몸통부의 길이와 직경을 작게 하고 머리부의 길이와 직경을 크게 하였다[1]. 1단계 공정에서는 머리부의 압출 공정이 이루어졌고, 2단계에서는 머리부 성형만이 이루어졌다. 또한 2단계까지의 소재 총 길이는 초기 공정보다 상당히 줄어들었음을 알 수 있다.



[Fig. 1] Shape of Dies at first and second steps

2.1.1 수정된 2단계까지의 단류선 해석

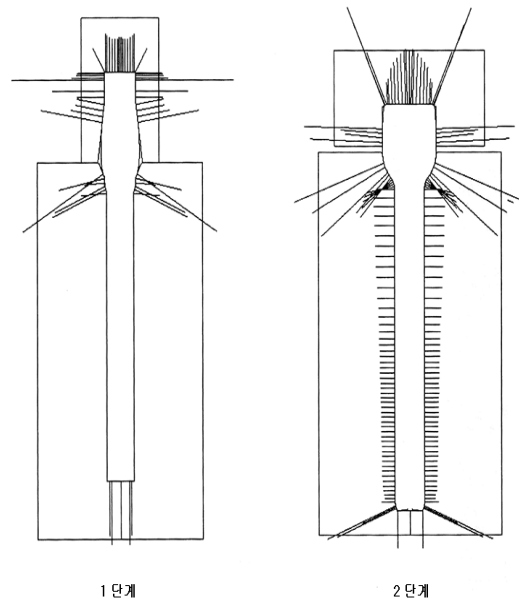
수정된 금형에 의한 소재 유동 해석 결과 단류선은 Fig. 2와 같은데 1단계와 2단계에서 단류선이 모두 연속적으로 유연하게 생성됨을 볼 수 있다.



[Fig. 2] Analysis result of flow line at first and second steps

2.1.2 수정된 2단계까지의 접촉압력

금형 구조해석에서 가장 큰 영향을 주는 인자는 소재 유동해석의 접촉압력이고 접촉압력은 금형의 유효응력 및 방향별 응력을 발생시키는데, Fig. 3은 수정된 2단계까지의 해석 결과, 금형과 소재 사이에 작용하는 접촉압력의 분포를 나타낸 것이며, Table 1은 각 단계에서의 최대 접촉압력을 표시한 것인데 수정 전에 비하여 1단계에서는 감소하였고, 2단계에서의 접촉압력이 다소 증가함을 알 수 있다. 이는 다이에서 단면 감소부, 소재와 다이의 접촉이 끝나는 부분에서 노치 현상으로 인한 응력 집중현상으로 판단된다[Table에서 수정전은Before, 수정후는 After로 표시하였는데 수정전의 Data는 참고문헌 [1]의 자료이다].



[Fig. 3] Pressure contact at first and second steps

[Table 1] Maximum pressure contact at first and second steps(kg/mm²)

Steps	First		Second	
	Before	After	Before	After
Pressure contact	260.2	204	297.3	340

2.1.3 수정된 2단계의 유효응력(σ) 해석

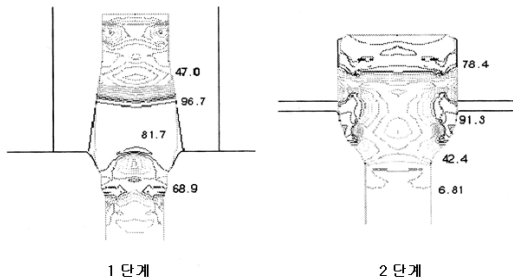
본 연구에서의 성형공정은 유한요소 단조해석 패키지 중 하나인 AFDEX-2D를 이용하여 해석하였는데 AFDEX-2D는 2차원 문제 또는 축대칭 문제의 해석만 가능하기 때문에, 4단 공정 중 축 대칭이 성립되지 않는 3, 4단계 공정을 시뮬레이션하기 위하여는 축 대칭이 성

립하도록 다이 형상을 조정하여 해석하였다[5].

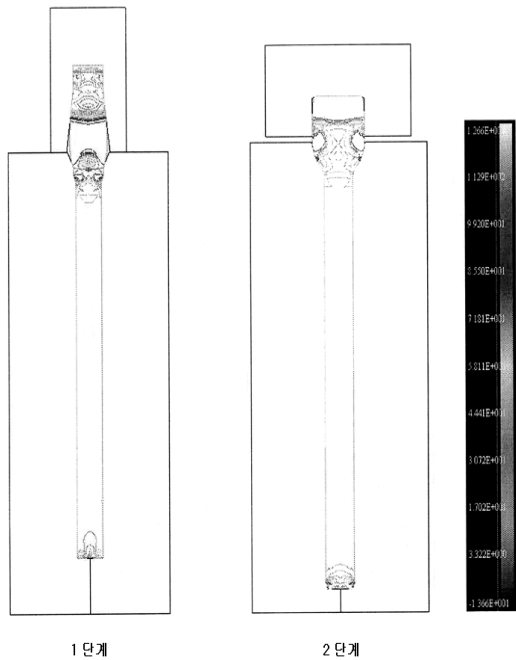
이러한 축 대칭으로의 근사화 해석은 정확한 3차원 문제의 해석과는 다소 거리가 있지만 2차원 해석 기능만 있는 패키지로도 근사적으로 실제 공정을 예측 할 수 있다.

금형해석에서는 항복응력 이상의 유효응력이 발생하는가를 판단하고 편차에서 소재와 다이의 접촉이 끝나는 부분의 응력집중을 감소시키도록 하여야 한다.

Fig. 4는 볼트 머리부의 유효응력이고, Fig. 5는 수정된 2단계까지의 유효응력을 나타내며 Table 2는 단계별 최대 유효응력을 나타낸 것인데, 수정 전에 비하여 약간 증가함을 알 수 있다. 이는 수정후 Stress-Strain 곡선 상에서 항복점(Yield point)이 증가했음을 알 수 있다.



[Fig. 4] Distribution of effective stress on first and second steps at bolt head



[Fig. 5] Analysis of effective stress at first and second steps

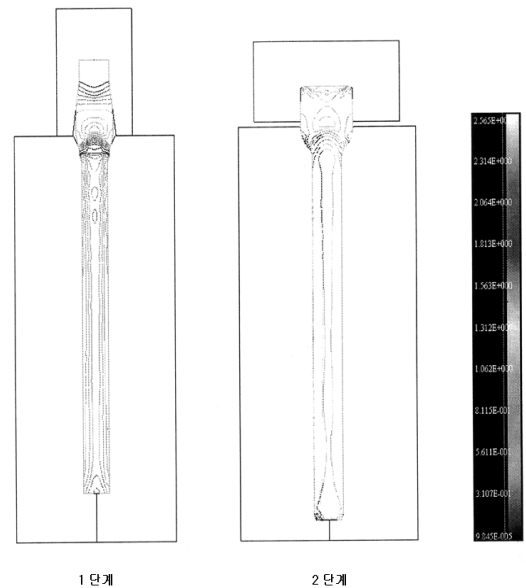
[Table 2] The maximum value of effective stress

Steps	First		Second	
	Before	After	Before	After
Effective stress (kg/mm ²)	85.6	97.9	118.9	126.9

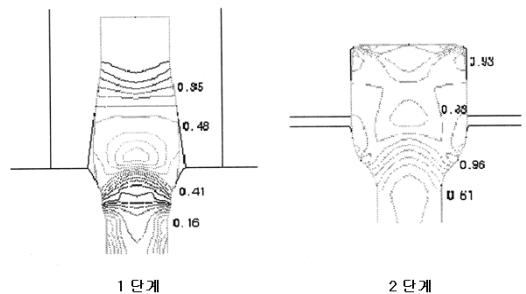
2.1.4 수정 2단계까지의 유효변형률(ϵ) 해석

Fig. 6은 수정된 2단계까지의 해석된 유효변형률의 분포를, Fig. 7은 볼트 머리부의 유효변형률 분포이며 Table 3은 단계별 최대 유효변형률인데 수정전에 비하여 크게 증가하였으며 머리부의 유효변형률이 2.7이 넘음을 알 수 있다.

이는 Stress-Strain 곡선 상에서 파괴점(Failure point)이 증가했음을 나타낸다.



[Fig. 6] Analysis of effective strain at first and second steps



[Fig. 7] Distribution of effective strain on first and second steps at bolt head

[Table 3] The maximum value of effective strain at first and second steps

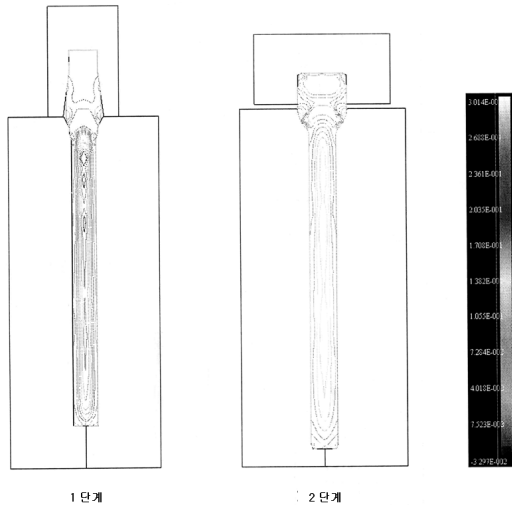
Steps	First		Second	
	Before	After	Before	After
Effective strain	0.64	0.85	1.207	2.737

2.1.5 수정 2단계의 손상도(Damage) 해석

소재가 소성 유동 중에 축적되는 재료의 손상도를 AFDEX에서는 다음과 같은 McClintock에 의한 식(1)에 의해서 평가한다[5].

$$\int_0^{\epsilon_f} \frac{\sigma_1}{\sigma} d\epsilon \quad (1)$$

Fig. 8은 수정 2단계 해석 결과 단계별 손상도의 분포를 나타낸 것이며 Table 4는 단계별 최대손상도 인데 2 단계에서의 손상도가 1단계 보다 크게 나타났다.



[Fig. 8] Distribution of damage at first and second steps

[Table 4] The maximum value of damage at steps

Steps	First	Second
Damage	0.21	0.297

2.2 단계별 유동속도

Table 5는 주요 스텝에서의 속도계수이다. 이 속도계수를 성형기의 램 속도로 곱하면 유동속도가 된다. 유동량이 많은 머리부 2단계 1128스텝에서 속도계수가 1.39 인데 이는 유동속도가 램 속도의 1.39배임을 나타낸다.

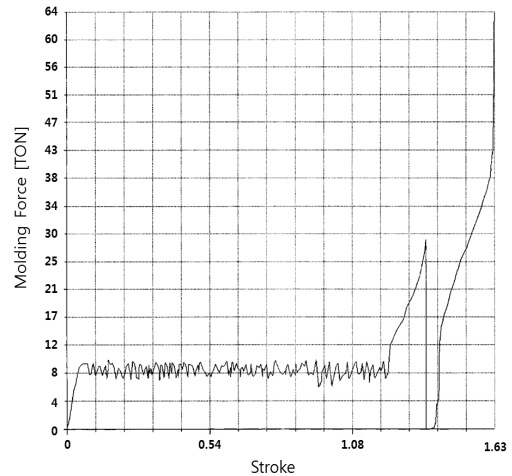
이는 1단계에서 시행한 머리부의 압출공정보다 2단계에서 시행한 머리부의 성형공정이 유동속도가 빠름을 나타낸다.

[Table 5] Maximum drift velocity at first and second steps

First			Second		
Steps	Drift Velocity	Position	Steps	Drift Velocity	Position
256	1.25	Decrease part	952	1.01	Head
449	0.98	Head	1106	1	Head
461	0.97	Head	1128	1.39	Head

2.3 수정 2단계까지의 성형력

Fig. 9는 수정 2단계까지의 성형하중과 스트로그를 나타낸 것이며 Table 6은 각 단계에서의 최대 성형하중을 나타내는데 수정전보다 크게 증가하였다. 이는 머리부와 몸통부의 공정을 수정해서 1단계에서 하던 머리부의 예비성형을 2단계로 옮긴 결과라고 본다.



[Fig. 9] Analysis of molding force at first and second steps

[Table 6] Maximum molding force(Ton)

Steps	First		Second	
	Before	After	Before	After
Molding force	21.6	25	41.1	51

3. 결론

볼트의 성형 공정 중 1단계에서 시행하던 압출 공정을 4단계로 옮기고 2단계와 3단계에서는 머리부 성형만 이루어지도록 공정을 조정하여 해석한 본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 기존의 1단계와 2단계 공정에 약간의 수정으로 원활한 성형이 이루어 질 수 있었다.(단류선, 유효응력, 유효변형율, 손상도, 성형력 등)
- 2) 금형구조 해석에서 가장 큰 영향을 주는 인자는 소재의 유동해석 중 접촉압력이다. 유동해석에서 얻은 접촉압력은 2단계에서 340kg/mm^2 이었다.
- 3) 최대유효응력은 2단계에서 126.9kg/mm^2 이며 이 부위는 소재와 펀치의 접촉이 끝나는 부분이다.
- 4) 접촉압력은 수정전보다 1단계에서는 감소 하고 2단계에서는 증가하였다.
- 5) 최대유효응력, 유효변형율, 성형력은 수정전보다 1, 2단계 모두에서 증가하였다.
- 6) 소재 유동 시에 발생하는 접촉압력은 보강링을 끼워주면 금형의 원주방향 인장응력을 감소시키므로 상당히 감소할 것으로 본다.

References

- [1] K. C. Ahn & C. K. Choi. "Plan on the Analysis and Improvement of the Molding process of SCM435 bolt by use of the Finite Element Method", *Journal of the Korea Academia -Industrial cooperation Society*, Vol. 13, No. 11, pp. 4950-4955, 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2012.13.11.4950>
- [2] S. Y. Son, K. H. Shin, D. H. Choi, I. S. Cho, K. C. Ahn, "Study on the Clamping Force, Torque Factor and their Quality Control in a Torque Shear Bolt Sets", *Journal of the Korean Society of Steel Construction*, Vol. 6, No. 3, pp. 117-125, 1994.
- [3] J. S. Shim, C. H. Kim, D. J. Kim, "3D Finite Element Analysis of High Tension Bolted Joints", *Journal of the Korean Society of Steel Construction*, Vol. 16, No. 3, pp. 407-414, 2004.
- [4] H. J. Lee, H. S. Nah, K. S. Kim, J. H. Kim, J. M. Kim, "Experimental Study on the Torque Coefficient and Clamping Force of High Strength Bolts Subjected to Environmental Parameters", *Journal of the Korean Society of Steel Construction*, Vol. 20, No. 1, pp. 43-53, 2008.
- [5] AFDEX User's Manual 1, 2, 3, *CUBICTEX*, 1998

안 교 철(Kyo-Chul Ahn)

[정회원]



- 1983년 8월 : 단국대학교 대학원 기계공학과 (공학석사)
- 1996년 8월 : 아주대학교 대학원 기계공학과 (공학박사)
- 1988년 3월 ~ 현재 : 가천대학교 건축설비공학과 교수

<관심분야>
기계재료, 요소설계, 위생설비

최 취 경(Chui-Kyung Choi)

[정회원]



- 1984년 2월 : 고려대학교 대학원 건축공학과 (공학석사)
- 2004년 8월 : 동국대학교 대학원 건축공학과 (공학박사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 가천대학교 건축공학과 교수

<관심분야>
강구조, 구조시스템, 건축재료