

Cu 원형 관의 2 축 압축 변형특성에 미치는 압축속도의 영향

The effect of compressive strain rate on biaxial compressive deformation characteristics of Cu circular pipe

성창원¹, *#원시태², 유종근³, 김기주⁴, 김원경⁵, Manabu Gotoh⁶, 백영남⁷

C. W. Sung¹, *#S. T. Won² (stwon370@snut.ac.kr), C. K. Yoo³, K. J. Kin⁴, W. K. Kim⁵, M. Gotoh⁶, Y. N. Baik⁷
¹경희대학교 기계공학과 대학원, ²서울산업대 금형설계학과, ³뉴테크, ⁴쌍용자동차 CAE 팀, ⁵한국철도기술연구원 시험인증센터, ⁶일본기후대학 기계시스템공학부, ⁷경희대학교 기계공학과

Key words : Strain rate, Biaxial, Compressive, Deformation, Cu, Circular Pipe

1. 서론

배관 및 기계구조물 부품의 용도로 많이 사용되고 있는 원형 관의 2 차 성형은 굽힘가공, 단축압축 또는 2 축 압축 가공이 고려되고 있다. 따라서 본 연구에서는 2 축 압축을 받는 원형 관의 변형특성을 검토하기 위하여 횡 2 축 압축 시험 금형을 제작하고, 1mm/min ~ 450mm/min 범위의 다양한 압축속도의 조건에서 Cu 원형 관의 단면 형상변화의 특성, 펀치하중과 변형거동특성 및 변형과정에 따른 인장과 압축 변형 량의 평가를 Deform-2D 에 의한 CAE 변형해석과 함께 마이크로 비커스 경도 값을 측정하여 비교 검토하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

원형 관의 2 축 압축 실험은 Fig. 1 과 같은 단동 가경식 2 축 압축시험 금형을 제작하여 사용하였다. 본 시험 금형은 가경 식으로 각도변화가 최대 70° 범위까지 시험이 가능하지만, 본 시험에서는 45° 로 동일한 압축 비로 실험을 실시하였고 이때 시험 편에 작용하는 2 축하중의 힘의 작용상태는 Fig. 2 와 같다.



Fig. 1 Biaxial compression experimental apparatus

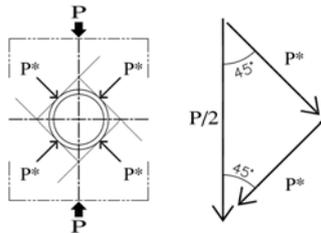


Fig. 2 Biaxial compression load state

2.2 실험재료 및 시험 편 형상

본 실험에서 사용한 Cu 원형 관의 화학성분 및 기계적 성질은 각각 Table 1 및 Table 2 와 같고, 시험 편 형상과 규격은 Fig. 3 과 같다.

Table 1 Chemical composition (%)

Material	Cu	Al	Ti	Mn	Zn	Pb
Cu	Over	0.023	0.052	0.0041	0.013	0.0031

Table 2 Mechanical properties.

Material	σ (MPa)	ϵ (%)	C (MPa)	n	H _{mv}
Cu	456	1.4	450	0.41	134.9

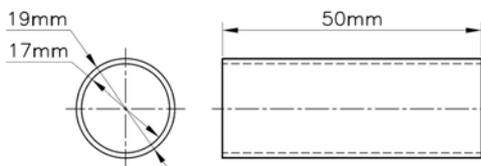


Fig. 3 Geometry of test specimen

2.3 실험조건 및 방법

본 실험은 Fig. 1 의 시험금형을 압축시험기에 장착한 후 시판용 EP-기어오일(점도 410 C.P.)의 윤활조건과 1mm/min ~ 450mm/min 범위의 압축속도 조건에서 실시하였다. 이때 변형된 시험편의 내측 면이 서로 접촉할 때까지 압축시험기에서 측정되는 최대 시험기 스트로크는 16mm 이었다. 한편 변형 전 및 변형단계에서의 시험 편 경도 값(H_{mv})은 마이크로 비커스 경도 계를 이용하여 Fig. 4 와 같이 각각 Cu 원형 관의 외측, 중립 축 및 내측의 측정위치에서 50g 의 시험하중으로 측정하였으며 변형과정에 대한 FEM 해석은 상용 프로그램인 Deform-2D 를 이용하였고 변형 량의 평가를 경도실험 결과와 비교 검토 하였다.

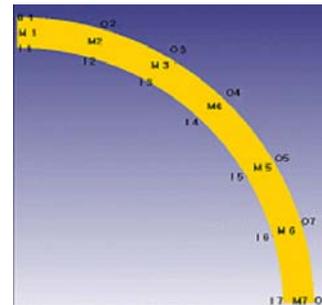


Fig. 4 Micro Vickers measure points

3. 실험결과 및 고찰

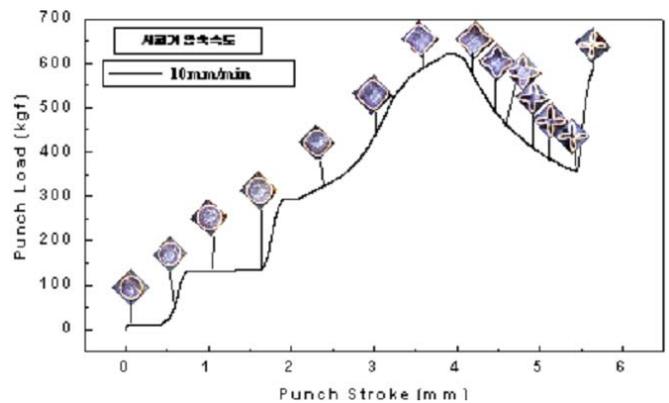


Fig. 5 The relation between punch load-stroke curve and Cu circular pipe deformed shapes

Fig. 5 는 원형 관의 2 축 압축 과정에서 펀치하중과 펀치 스트로크 (변형) 의 전형적인 거동특성을 나타낸 것이다. 이 결과 변형거동을 살펴보면 변형초기에는 2 축 압축 시험 장치의 다이 면이 원형 관에 점 접촉한 후 일정하중 (10kgf)의 1 차 변형 일정구간(0~0.4mm)이 나타나고, 이후 면 접촉이 시작되는 0.5~0.75mm 구간에서 급격한 1 차 하중증가 구간이 발생한다. 한편 다이와 시험편의 면 접촉이 본격적으로 시작되는 130kgf 하중의 위치에서 2 차 변형 일정구간(0.75~1.7mm)이 발생한다. 이 지점을 지나면 스트로크 1.75~2.15mm 구간에서 급격한 2 차 하중 증가구간이 발

생한다. 이때 2 차 하중의 증가 구간은 면 접촉이 상당히 진전된 상태임을 알 수 있다. 그리고 2 차 하중 증가구간을 지나면 하중일정구간은 없어지고 원형단면 형상이 본격적으로 사각단면 형상으로 변형되면서 지속적인 하중 상승 구간이 발생한다. 한편 하중 최대 점(625kgf)은 사각 단면 형상에서 내측으로 좌 굴이 약간 시작된 스트로크 4.2mm 위치에서 발생한다. 이후 원형 관의 내측으로 계속 변형되어 중심부에서 4 면이 접촉하기 직전인 스트로크 5.4mm 위치까지 하중감소가 나타난다. 이 지점을 지나면 다시 급격한 3 차 하중의 증가가 나타나는 변형특성을 볼 수 있다.

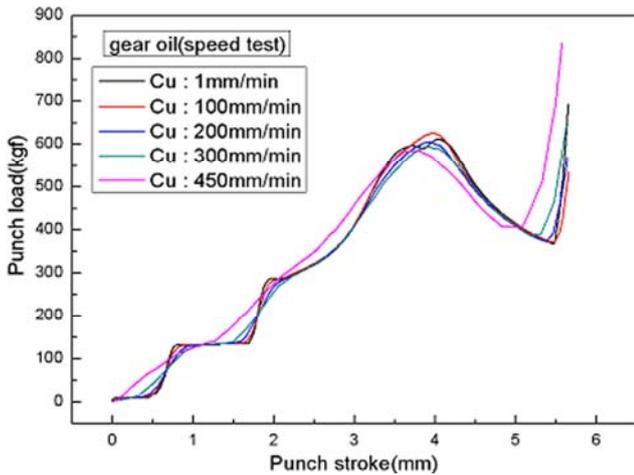


Fig. 6 The characteristic of punch load-stroke curve on various compressive strain rates

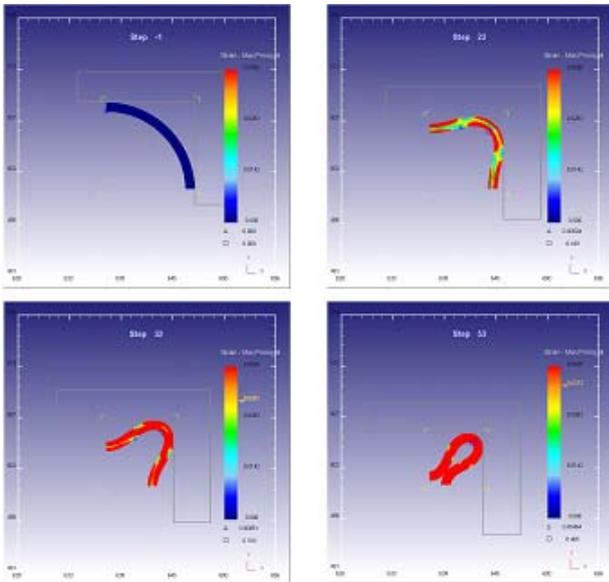


Fig. 7 The result of deformation analysis by Deform-2D

Fig. 6 는 5 종류의 압축속도 실험조건에서의 결과를 나타낸 것이다. 이 결과 압축속도 1~300mm/min 미만에서는 Fig. 4 에서 설명한 바와 같이 펀치 스트로크가 증가하면서 하중 일정 구간이 나타나지만 압축속도 300mm/min 이상에서는 하중 일정 구간이 나타나지 않고 변형초기 단계부터 지속적인 하중 상승현상이 발생하는 특징이 나타난다.

이 현상은 압축속도가 빠를수록 충격(운동) 에너지가 커지므로 이에 따른 변형 저항도 증가하여 하중은 속도에 비례하여 증가하는 것으로 생각된다. 또한 압축속도가 빠를수록 충격에너지가 커져 결국 4 점의 접촉점에서 충격 압축 량이 이에 비례해서 커지므로 펀치 스트로크 량이 작아져 시작점도 빨라지는 것으로 생각된다.

한편 Fig. 7 은 Deform-2D 에 의한 변형 해석결과를 나타낸 것으로 Fig. 4 의 각각의 변형단계에서 나타나는 단면형상변화와 일치함을 알 수 있고, 변형과정에서의 변형 량과

응력상태를 알 수 있었다.

한편 Fig. 8 은 변형전과 변형 시작단계에서 종료 시까지의 각 단계에서 Cu 원형 관의 외측, 중립 축, 내측의 위치에서 측정된 마이크로 비커스 경도 값을 나타낸 것이다. 이 결과 변형전의 평균경도 값(Hmv)인 134.9 에 대해 변형 최종단계의 외측 및 내측의 최대변형이 발생한 위치에서의 경도 값은 각각 144.3 및 145.5 의 값을 나타내고 있어 변형이 심하게 발생한 위치에서 경도 값이 크게 나타나는 것을 확인 할 수 있었다.

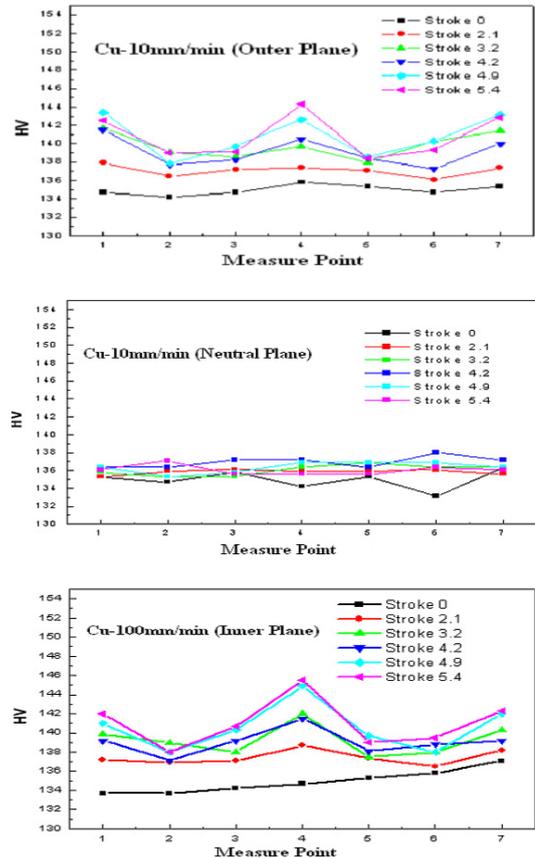


Fig. 8 The result of micro Vickers hardness value at deformed stage

4. 결론

본 연구는 횡 2 축 압축을 받는 Cu 원형 관의 단면 형상변화 특성, 압축속도의 크기에 따른 펀치하중과 변형거동특성 및 변형과정에 따른 경도 값의 변화를 실험적으로 검토하였고, Deform-2D 를 이용한 CAE 변형해석 결과와 비교한 결과 어느 정도 잘 일치하고 있음을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 遠藤順一, 室田忠雄, “塑性と加工,” vol. 23, no. 258, (1982-7), 708.
2. 後藤武夫, 清水和夫, “塑性と加工,” 4-26(1963), 131.
3. DeRuntz, Jr. J. A. and Hoge, Jr. P. G, J. Appl. Mech, Trans. ASME, (1963), 391.
4. 中村康範, 齊藤浩一, “塑性と加工,” 19-206(1978), 185.
5. Reid, S. R. and Reddy, T. Y., Int. J. Solids Structs., 14-3(1978), 213.
6. Reddy, T. Y. and Reid, S. R. Loc, cit., 16-6(1980), 545.
7. 後藤 学, 俞鍾根, 第 43 回塑性加工連合論文集, (1992.10), 561.
8. 後藤 学, 俞鍾根, 平成 5 年度塑性加工春季講演 論文集, (1993.5), 221.
9. 後藤 学, 俞鍾根, 金内祥大, 山下実, 平成 9 年度塑性加工春季講演論文集, (1997.5),281.