

배관용 관 이음쇠 내외경 동시 교정틀의 신뢰성 평가

김창욱*, 박진철*, 송정일*,#

*창원대학교 기계공학과

Study of Structural Reliability of Pipe-Fitting Collet Tool

Chang-Uk Kim*, Jin-Chul Park*, Jung-Il Song*,#

*School of Mechanical Engineering, Changwon National UNIV.

(Received 24 June 2015; received in revised form 16 July 2015; accepted 20 July 2015)

ABSTRACT

In the present study, the structural safety of the bolt portion and collet tool structure of the pipe-fitting tool is analyzed by using the finite element technique. Two forces as piston forces with the magnitude of 187.5 Tons are applied to the inner and outer portions of the collet tool, respectively. A structural load of 750 Tons is applied to the bolt portion. In the analysis results, it is found that the structure becomes safe under the current loading conditions. The reliability rating of the pipe is calculated in this study. The material properties of the actual material are evaluated by using mechanical testing. Therefore, the material properties are used to carry out static structural and optimization analysis.

Key Words : Pipe Fitting(파이프 피팅), Collet Tool(콜렛 툴), Structural Analysis(구조해석)

1. 서 론

국내의 파이프 피팅 시장은 송유관, 건축업계의 환경과 구조적 안전성을 위해 H빔 건축자재를 대신하여 파이프 형태의 빔 사용 증가로 파이프의 수요가 증가하고 있다. 또한 국내외 강관 관련 산업 시장은 2009년 이후로 미국의 유정관과 송유관의 꾸준한 수요 증가와 중국 강관업체들의 부각 등으로 파이프 피팅 시장이 지속적으로 성장하였으며, 이에 대한 각종 규정들이 제정되어 지고 있다.^[1-3]

종래에 주로 사용하고 있는 파이프 피팅 동시 교정틀은 내경이나 외경만을 교정하는 틀이 주류를 이루었으며, 다양한 크기나 두께를 가진 파이프 피팅을 교정하기 위해서는 각각의 파이프 크기에 맞는 금형 및 확관 틀인 Mandrel을 구비하여 교정을 하고 있는 실정이다.^[4-5] 관이음쇠 동시 내·외경 동시 교정틀은 대용량 배관용 관 이음쇠의 교정을 위해 배관 선단의 진원도를 내·외경을 동시에 교정하는 장치로 대용량 배관 연결 시 작업시간 단축과 작업률에 기여할 수 있다.

본 연구에서는 배관용 관 이음쇠 동시 교정틀의 구조 및 신뢰성 평가를 위해 기계적 물성평가, 구조해석 및 최적화 설계를 수행하였다.

Corresponding Author : jisong@changwon.ac.kr
Tel: +82-55-213-3605, Fax: +82-55-275-0101

2. 연구 방법

2.1 기계적 물성평가

배관용 관 이음쇠 내·외경 동시 교정틀은 Fig. 1과 같은 주요 핵심 부품으로 구성되어지며, 시제품 제작 전에 원소재에 대한 기계적 물성평가를 통한 소재의 건전성을 확인을 위해 기계적 물성평가를 수행하였다.

기계적 물성 시험 소재는 슬라이드 프레임, 내·외부 슬라이드 블록, 내·외부 가이드 블록에 사용 되는 SCM440 소재, 교정부에 사용되는 SKD11 소재와 하우징 고정부에 사용되는 S45C소재를 사용하였다. 기계적 물성평가는 교정틀 작동시 받은 각 소재에 인장 압축에 대한 물성을 얻기 위하여 인장, 피로 시험을 수행하였다.

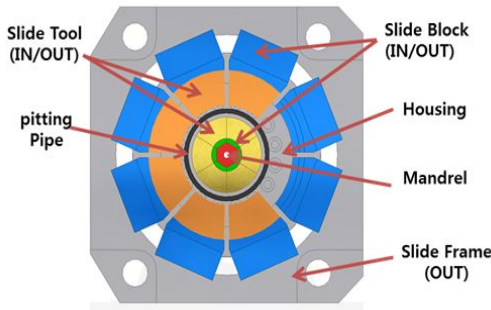


Fig. 1 Model of pipe fitting tool

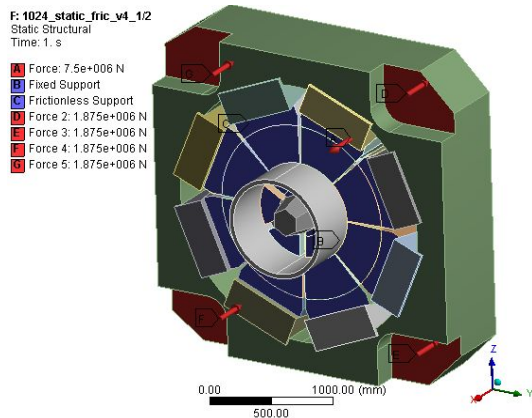


Fig. 2 Boundary condition

Table 1 Material property

	SCM440	SKD11	S45C
Young's Modulus[GPa]	205	210	205
Ultimate Strength [MPa]	1020	768	625

2.2 정적 구조 및 피로해석

Fig. 2와 같이 Solid Edge에서 3-D모델링한 구조물의 지오메트리 파일은 ANSYS Workbench 14.5 환경에서 불러들여서 경계조건을 설정하였다.

경계조건은 자동으로 설정되지만 실제 환경과 유사한 구조해석을 위하여 맨드릴이 작동하는 교정부 내·외부 슬라이드 블록, 틀에는 무마찰조건 (Frictionless Support)을 설정하고, 하우징에는 고정 (Fixed Support)조건과 각각의 파트별 경계면에는 마찰(Frictional)조건으로 마찰계수를 0.15으로 경계조건을 설정하고, 하중조건은 내부 맨드릴과 외부 슬라이드 프레임에 각 750Ton, 18.5Ton의 하중으로 설정하여 구조해석을 수행하였다.^[6-7]

피로해석은 구조해석과 동일한 조건으로 기본설정을 적용하였으며, 피로해석조건으로 Fig. 3와 같이 Goonman mean stress theory와 실험에서 구한 S-N선도(Fig. 6)를 적용하여 수행하였다.

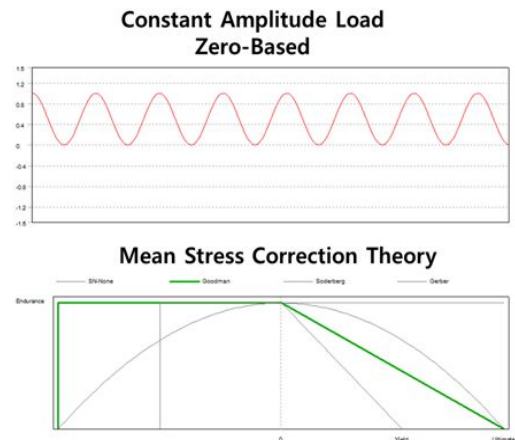


Fig. 3 Conditions of fatigue testing

2.3 최적화 설계

관 이음쇠 내외경 동시 교정틀의 내부 슬라이드 블럭 경량화를 위한 최적화 설계에서 최적화 기법은 해석 시간의 단축과 역설계를 통한 기존의 형태의 변형 없이 경량화를 위하여 Sizing Optimization 방법을 사용하였다. Fig. 4와 같이 최적화 조건은 P1,2,3로 설정하여 Priority parameter는 전체 중량을 최우선으로 그 다음 최대응력을 목표로 수행하였다

3. 연구 결과

3.1 기계적 물성평가

인장 시험 결과는 Fig. 5와 같이 인장 강도는 S45C, SKD11, SCM440 순으로 높게 나타났다. 탄성 계수는 시험 결과 SCM440은 이론값보다 2GPa 높게 나타났으며, S45C, SKD11은 이론값과 일치하였다.

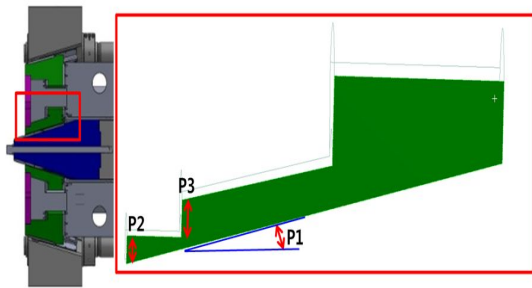


Fig. 4 Input parameters for optimization

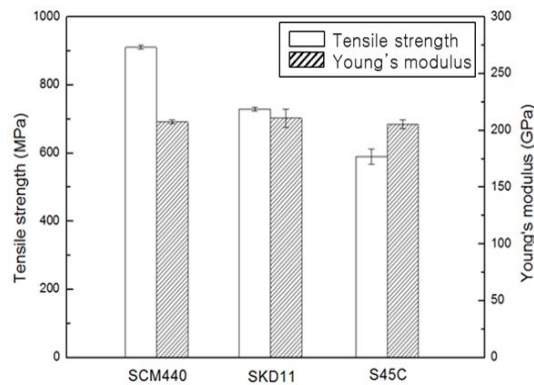


Fig. 5 Tension test results

인장강도의 경우 시험 결과가 이론값 보다 낮은 결과 값을 나타내는 것을 볼 수 있었으며, Table 2에 정리하여 나타내었다. SCM440, SKD11, S45C는 각 10%, 6%, 6%씩 낮은 인장 강도 결과를 얻었다.

피로시험 결과 Fig. 6의 S-N선도를 얻을 수 있었으며, 결과를 유한요소해석에 반영하여 수행하였다.

피로시험 결과 Fig. 6의 S-N선도를 얻을 수 있었으며, 450MPa 이하에서 10⁶이상의 수명을 가지는 것을 확인하였다.

3.2 정적 구조 및 피로해석 결과

구조 해석 결과 배관용 관 이음쇠 동시 교정틀의 Fig. 5는 관 이음쇠 내외경 동시 교정틀의 정적 구조해석 결과이다. 최대 응력은 61.2MPa로 맨드릴부와 접촉하는 내부 슬라이드 블럭에서 나타났다.

최대 응력이 내부 슬라이드 블럭에 나타난 이유는 내부 슬라이드 블럭이 맨드릴과 직접 마찰을 하는 면으로 슬라이드 틀이 작동하며 인장강도의 경우 시험 결과가 이론값 보다 낮은 결과를 얻었다.

Table 2 Material property of test

	SCM440	SKD11	S45C
Young's modulus[GPa]	207	210	205
Ultimate strength [MPa]	910	723	590

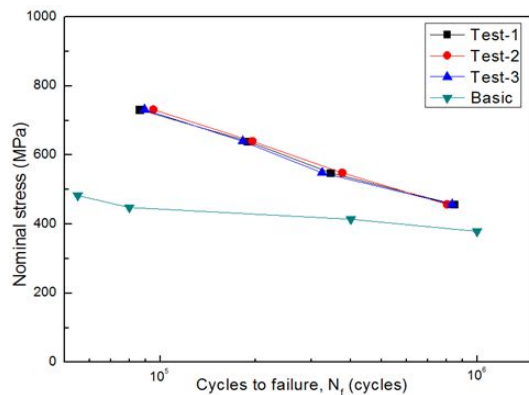


Fig. 6 Fatigue test results

Table 2에 정리하여 나타내었다. SCM440, SKD11, S45C는 각 10%, 6%, 6%씩 낮은 인장 강도 결과를 얻었다.

피로시험 결과 Fig. 6의 S-N선도를 얻을 수 있었으며 인장, 피로시험 결과를 유한요소해석에 반영하여 수행하였다.

3.2 정적 구조 및 피로해석 결과

구조 해석 결과 배관용 관 이음쇠 동시 교정틀의 Fig. 7는 관 이음쇠 내·외경 동시 교정틀의 정적 구조해석 결과이다. 최대 응력은 61.2MPa로 맨드릴부와 접촉하는 내부 슬라이드 블럭에서 나타났다.

최대 응력이 내부 슬라이드 블럭에 나타난 이유는 내부 슬라이드 블럭이 맨드릴과 직접 마찰을 하는 면으로서 이 부분을 통해 슬라이드 틀이 작동하며 마모와 열 발생 하며, 경량화 목표인 내부 맨드릴의 최초 중량은 112.3kg으로 나타났다. 정적해석 결과 최대 응력이 충분히 낮은 결과로 정하중 작동 시에는 안전하다고 판단된다.

Fig. 8은 피로시험 결과로 450MPa 이하에서 피로 수명 10^6 이상을 가지는 것으로 구조해석 결과 발는 응력보다 높은 값으로 안전하다고 판단된다.

3.3 최적화 설계

Table 3은 CCD 기법을 이용하여 추출한 대표 표본 15개를 나타낸다. Fig. 6는 각 출력 변수에 따른 Response Surface를 나타낸 3차원 그래프이다. 3차원 그래프의 아랫면은 입력 변수 P1, P2로 변수의 변화에 따라 최대 하중, 최대 변형, 중량이 어떻게 변하는 지를 파악할 수 있다.

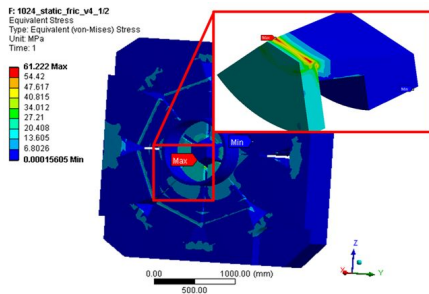


Fig. 7 Result of statics analysys

Fig. 6의 Response Surface에 따르면 입력 변수 P1이 281°에서 증가할 때 약 282.5° 지점까지는 전체 중량이 감소함을 알 수 있다. 또한 입력 변수 P2도 마찬가지로 34mm에서 증가할 때 약 36mm 지점까지는 전체 중량이 증가함을 알 수 있다. 이는 두 입력 변수의 상대적 영향에 의한 것으로 판단된다.

Fig. 10는 Local sensitivity로서 입력 변수에 대한 출력 변수의 전역 민감도(Global Sensitivity)를 보여 준다. 각 입력 변수들에 따라 출력 변수들의 경향을 쉽게 파악 할 수 있으므로 최적화 설계를 보다 수월히 진행할 수 있게 도와준다.

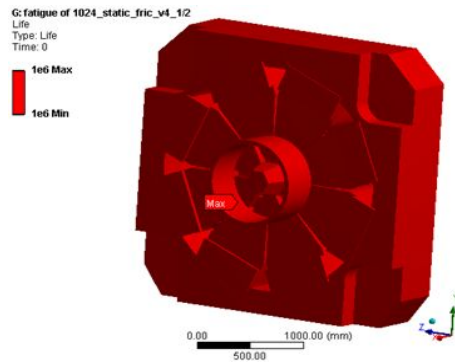


Fig. 8 Result of fatigue analysys

Table 3 Extract are presentative sample using CCD technique

No	P1	P2	P3
1	282.00	35.50	69.50
2	281.00	35.50	69.50
3	283.00	35.50	69.50
4	282.00	34.00	69.50
5	282.00	37.00	69.50
6	282.00	35.50	68.00
7	282.00	35.50	71.00
8	281.19	34.28	68.28
9	282.81	34.28	68.28
10	281.19	36.72	68.28
11	282.81	36.72	68.28
12	281.19	34.28	70.72
13	282.81	34.28	70.72
14	281.19	36.72	70.72
15	282.81	36.72	70.72

입력 변수에 대한 출력 변수의 전역 민감도는 출력 변수가 최대 하중일 경우 $P2 > P3 > P1$ 순으로 밴드 홀의 높이에 따라 가장 민감하게 반응함을 알 수 있다.

따라서, 내부 슬라이드 블록의 높이가 전체 중량에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다. 반면 입력 변수 P1과 P3 즉 내부 슬라이드 블록의 경사면의 영향은 그 효과가 미미하며 오히려 상황에 따라 전체 중량이 증가하기도 하는 결과가 나타났다. 출력 변수가 최대 응력일 경우의 입력 변수에 따른 민감도는 $P1 > P2 > P3$ 순으로 내부 슬라이드 블록의 경사면은 각도가 가장 민감한 것으로 나타났다. 이를 통해 내부 슬라이드 블록이 이루는 각에 따라 관 이음쇠 내·외경 동시 교정틀의 교정성능이 민감하게 반응하는 것을 알 수 있다.

반면 내부 슬라이드 블록 지지면은 높이의 변수인 P3는 역관계로 그 변화에 따라 오히려 교정 성능을 떨어 트릴수도 있을 것으로 판단된다. Table 4는 최적화 최종 결과를 나타낸 표이다. 임의의 여러 실험점 중에서 가장 효율적인 출력 변수를 도출해 주는 3가지의 결과를 나타내고 있다.

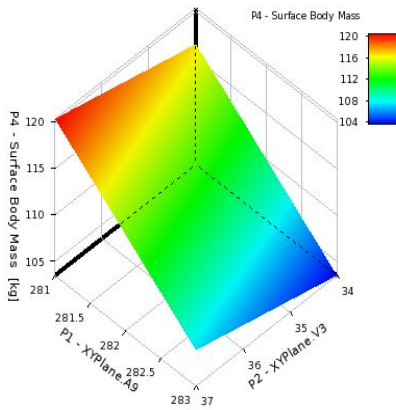


Fig. 9 Response chart

Table 4 Results of optimization

	P1	P2	P3	Mass (kg)	Stress (MPa)
Existing	282	35	70	112.34	61.2
Case A	282	34	69.5	110.02	61.61
Case B	282.81	36.72	70.72	109.59	60.9
Case C	281.19	34.28	68.28	114.3	60.1

모든 최적화 케이스에서 기존 대비 약 2kg의 전체 중량 경량화에 성공하였다. 최대 응력은 기존의 61.2MPa 보다 높은 61.61MPa과, 작은 60.9MPa, 60.1MPa로 나타났다. 최대 응력이 발생한 지점은 내부 슬라이드 블록의 경사면에서 최적화 전과 같은 위치에 발생하였다.

4. 결론

본 연구에서는 대용량 배관의 관 이음쇠를 교정하는 배관용 관 이음쇠 내·외경 동시 교정틀 개발을 위해 주요 핵심부품에 대한 기계적 물성평가, 정적구조해석을 수행하였다.

구조해석 결과를 바탕으로 내부 슬라이드 블록을 최적설계 하였다. 이를 통해 배관용 관 이음쇠 내·외경 동시 교정틀의 설계 및 구조 안전성을 확보하였다, 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 관 이음쇠 내·외경 동시 교정틀의 정적 구조해석 결과, 최대 응력은 61.2MPa로 내부 슬라이드 블록에서 나타났다. 경량화의 목표인 최초 중량은 112.3kg으로 나타났으며, 최대 응력이 내부 슬라이드 블록 경사면에서 나타난 것은 내부 슬라이드 블록 경사면이 맨드릴과 직접적으로 마찰하기 때문인 것으로 판단되었다.

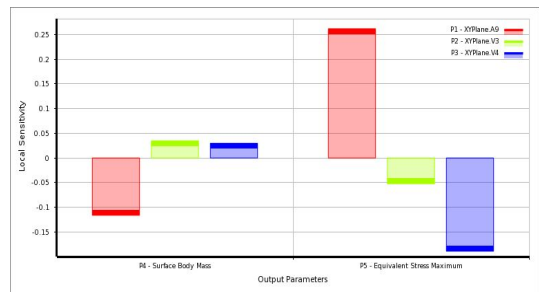


Fig. 10 Local sensitivity

(2) 피로해석 해석 결과, 배관용 관 이음쇠 내·외경 동시 교정틀은 10^6 이상의 수명을 가지는 것을 확인할 수 있었으며, 정적 구조 해석 최대 응력 발생 부 내부 슬라이드 블록의 인장강도 기준 안전계수 10.2로 구조적으로 안전성을 확인할 수 있었다.

(3) 최적화 설계는 정적 구조해석의 결과를 토대로 기존의 관 이음쇠 내·외경 동시 교정틀의 내부 슬라이드 블록을 최적화 설계하였다. 가장 효율적이라고 판단되는 3개의 케이스에서 기존 대비 약 2kg의 경량화에 성공하였다. 그 결과는 각각 110.02kg, 109.59kg, 그리고 114.3kg으로 나타났다.

최대 응력은 기존의 61.2 MPa 보다 높은 61.61MPa과, 작은 60.9MPa, 60.1MPa로 나타났다. 최대 응력이 발생한 지점은 내부 슬라이드 블록 경사면으로 최적화 전과 같은 위치에 발생하였다. 전체 중량에 가장 큰 영향을 주는 입력 변수는 내부 슬라이드 블록의 높이로, 최대 응력에 가장 큰 영향을 주는 입력 변수는 내부 슬라이드 블록이 이루는 각으로 나타났다.

본 연구를 통해 대용량 배관의 관 이음쇠 교정에 사용되는 관 이음쇠 내·외경 동시 교정틀에 대한 정적 구조해석 및 최적 설계 형상을 제시하였으며, 이를 통해, 관 이음쇠 내·외경 동시 교정틀에 대한 안전성을 확보 할 수 있었다.

후 기

“본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2014년도 산학연협력 기술개발사업(산학연협력 기술개발사업(연구마을), 과제번호: C0221948)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다. 본 연구의 저자 중 일부는 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2011 - 0030058).”

REFERENCES

1. Paul W. Parfomak, Robert Pirog, Linda Luther,

Adam Vann, “Keystone XL Pipeline Project,” Congressional Research Service, Vol. 7-5700, 2013.

2. Ohashi, T. and Hayashi, K., "Lateral Extrusion of A6063 Aluminum Alloy Pipes," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 138, pp. 560-563, 2003.
3. Yuan, S.J., Xu, Z., Wang, Z.R. and Hai, W., "The Integrally Hydro-forming Process of Pipe Elbows," International Journal of Pressure Vessels and Piping, Vol. 75, pp. 7-9, 1998.
4. Kim, T. G., Park, Y. C., Park, K. Y., "Determination of Forming Conditions of Fitting Pipes using Press Forming Processes," J. of KSMPE, Vol. 11, No. 1, pp. 101-106, 2012.
5. Cho, J. U., Han, m. s., "Durability Evaluation by Strength due to Load Direction of Press in Common Use," J. of KSMPE, Vol. 12, No. 6, pp. 52-59, 2013.
6. Akkus, N., Manabe, K., Kawahara, M. and Nishimura H., "A Finite-element Model for the Superplastic Bulging Deformation of Ti-alloy pipe," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 68, pp. 215-220, 1997.
7. Park, Rebelo, N. and Kobayashi, S., "A new approach to preform design in metal forming with the finite element method," Int. Mach. Tool Des. Res, Vol. 23, No. 1, pp. 71-79, 1983.