

유한요소 해석과 역설계 기법을 활용한 ERW파이프 열영향부 기계적 물성 획득

이상민¹, 홍석무^{2*}

¹공주대학교 미래융합공학과, ²공주대학교 미래자동차공학과

Acquisition of the Mechanical Properties of the Heat Affected Zone of the ERW Pipe Using Finite Element Analysis and Reverse Engineering

Sangmin Lee¹, Seokmoo Hong^{2*}

¹Department of Future Convergence Engineering, Kongju National University

²Department of Future Automotive Engineering, Kongju National University

요약 ERW 파이프(ERW Pipe) 제조 시 프레스 성형 이후 용접을 하여 이음부를 접합한다. 이때 용접부 주변에 열이 가해지게 되고 이로 인해 열영향부(Heat Affected Zone, HAZ)가 생기게 된다. HAZ 부는 열로 인한 조직의 변화에 의해 모재보다 경도가 증가하고 연성이 감소하게 되는데, 이러한 HAZ 부의 특성에 의해 유한요소해석을 이용한 파이프 인장 및 굽힘 시험 예측이 어려운 문제가 있다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 파이프에서 모재 부분과 HAZ 부분을 나누어 물성을 적용하여 유한요소 해석을 진행해 HAZ 부 물성 획득 방법을 제시하였다. 먼저 파이프의 정확한 물성 측정을 위해 와이어 커팅을 이용하여 평면이 아닌 아치형 시편을 제작하였고, 이를 위한 지그를 제작하여 단축 인장 시험을 진행하였다. 이 때, 아치형 시편의 정확한 면적 변화를 측정하기 위해 디지털 이미지 상관기법(Digital Image Correlation, DIC)을 이용하여 변형률을 측정하였다. 이후 시험을 통해 획득한 모재의 물성을 사용해 유한요소 해석과 역설계 기법을 활용하여 HAZ 부의 물성을 예측하였다. 이를 검증하기 위해 파이프 원형의 단축 인장 시험을 위한 지그를 추가로 제작하여 시험을 진행했고, 앞서 예측한 HAZ 부의 물성을 사용하여 유한요소 해석을 진행하여 비교하였다. 하중-변위 곡선 비교 시 실험값과 해석을 통해 예측한 값이 근사하였고, 앞서 획득한 물성의 유효성을 검증하였다.

Abstract An ERW pipe is manufactured by welding surfaces together after a rolling process. A heat-affected zone (HAZ) is generated where heat is applied. The HAZ is harder and less ductile than the base material due to microstructural changes. The material inhomogeneity makes it difficult to numerically predict the material behavior in the tensile test of pipes. To solve this problem, a method of obtaining HAZ properties is presented by applying finite element analysis (FEA) and dividing the pipe into the base material and the HAZ part. An arch-shaped specimen was manufactured using wire cutting to accurately measure the properties of a pipe, and a jig was manufactured to conduct a short-axis tensile test. The strain was measured using digital image correlation (DIC) to measure the exact area change of the arched specimen. Based on the properties of the base material, FEA was performed to predict the material properties of the weld and the HAZ. For validation, another jig was manufactured for tensile tests with complete pipes. Comparison of the force-displacement curves from FEA and experimental data showed good agreement, and the validity of the obtained physical properties was verified.

Keywords : Digital Image Correlation, ERW Pipe, Finite Element Analysis, Heat Affected Zone, Reverse Engineering

본 연구는 2022년도 중소벤처기업부의 기술개발사업 지원에 의한 연구임 [S3042828]

*Corresponding Author : Seokmoo Hong(Kongju National Univ.)

email: smhong@kongju.ac.kr

Received January 17, 2023

Revised March 2, 2023

Accepted March 3, 2023

Published March 31, 2023

1. 서론

파이프는 제조 방법에 의해 크게 두 가지로 나뉘는데, 이음매가 있는 심 파이프(seamed pipe)와 이음매가 없는 심리스 파이프(seamless pipe) 두 가지가 있다. 이중 심 파이프는 Fig. 1과 같이 판재를 원형으로 밴딩(bending) 후 접합부를 전기 용접하여 제작하며, 전기저항용접 파이프(ERW pipe)라고도 부른다. 이때 용접 공정에서 용접 열원에 의해 모재(Base metal)에 열이 전달되어 열응력이 발생하고, 이러한 부분을 열영향부(heat affected zone, HAZ)라 한다. HAZ부는 열응력에 의해 조직이 변형되고 모재에 비해 경도가 증가하고 연성이 감소되는데[1-4], 이러한 특성 때문에 HAZ부의 기계적 물성을 예측하기 어려워 파이프를 이용하여 제품 설계를 위한 유한요소해석 (final element analysis, FEA) 진행 시 정확한 예측이 어렵다는 단점이 있다.

파이프 물성 측정 실험과 관련된 연구로는 Kim은 Steel 파이프에서 직접 시편을 추출하여 물성 측정을 진행하였고[5], Park 등은 파이프에 지그를 삽입 한 후 인장시험을 진행하여 물성을 측정했다[6].

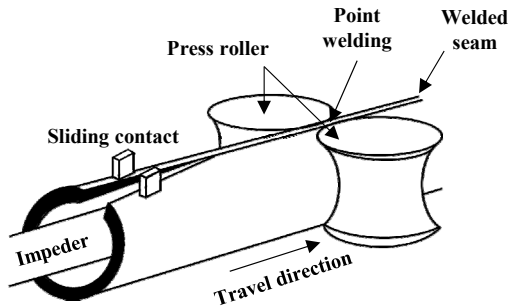


Fig. 1. Pipe manufacturing process

유한요소 해석에서 물성은 신뢰성과 정밀도에 큰 영향을 미치기 때문에 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 소성가공성이 우수하여 자동차의 프레임, 바퀴 등 제작 시 상용되는 자동차 구조용 열간 압연 강판인 SAPH-440으로 제작한 ERW 파이프 HAZ부의 정확한 기계적 물성을 측정하기 위해 평면이 아닌 파이프에서 직접 시편을 제작하였다. 그리고 지그를 제작하여 단축인장시험을 진행했고[5-7], 디지털 이미지 상관기법(digital image correlation, DIC)을 이용하여 변형률을 측정했다. 기존 연신계를 사용한 변형률 측정은 파단 지점을 명확하게 알 수 없고, 불규칙한 형상은 네킹 이후의 변형률을 측정하기 어렵다는 단점이 있지만, DIC 기

법은 표면에 불규칙한 패턴의 스프레이를 도포해, 처음과 나중 이미지의 면적 변화를 계산하여 변형률을 측정하기 때문에 이러한 단점을 해결할 수 있다[8,9]. 이를 통해 획득한 물성을 이용하여 상용 유한요소 해석 프로그램 LS-Dyna를 이용하여 실험에서 측정된 하중-변위 곡선과 해석 값을 비교하였다.

그리고 HAZ부 물성을 예측하기 위해 역설계 기법(reverse engineering)을 이용하여 유한요소 해석을 진행하였으며, 실험에서 측정된 하중-변위 곡선을 해석에서 구한 값과 비교하였다[10,11]. 이후 앞서 역설계 기법을 이용하여 획득한 물성을 검증하기 위해 추가 지그를 제작하여 HAZ부를 포함한 파이프 원형을 단축인장시험 진행 후 실험값과 해석 값의 하중-변위 곡선을 비교하였으며, 비교 시 그래프의 유사도를 확인하였고, 획득한 물성 및 실험과 해석 방법에 대한 유효성을 확인하였다.

2. 파이프 물성 실험

2.1 시편 제작 및 지그 설계

SAPH-440 소재로 제작한 ERW 파이프의 물성을 측정하기 위해 시편과 지그를 제작 하였다. 시편은 Fig. 2와 같이 KS B 0801 13B 규격에 따라 형상 및 치수를 정하였고, 모재만 있는 시편과 HAZ부가 중심에 있는 시편 두 가지를 제작하였다. 이때 시편은 판재가 아닌 파이프에서 추출하였는데, 파이프 제조공정에서의 밴딩에 의한 가공 경화가 발생했을 때의 물성을 정밀하게 측정하기 위해서 파이프에서 와이어 커팅을 이용하여 시편을 제작했다.

Table 1. Test information

Equipment	Zwick Z100 (100kN)
Test Speed	5.0 mm/min
DIC Sensor	GOM ARAMIS 6M (3Hz)

그리고 Fig. 3과 같이 시편을 고정시킬 지그를 만들어 Zwick Rolle Z100 시험기를 이용하여 단축인장시험을 진행했으며, Table 1과 같이 5.0 mm/min의 속도로 시험을 진행했고, DIC 카메라를 이용하여 초당 3 Hz로 촬영하였고, ARAMIS Software[12]를 이용하여 변형률을 계산하였다. 이후 진행한 시험방법을 검증하기 위해 자동차 부품에 사용되는 기계 구조용 강판 STKM-11A 소재를 동일한 실험을 진행하여 앞선 실험 결과와 비교했다.

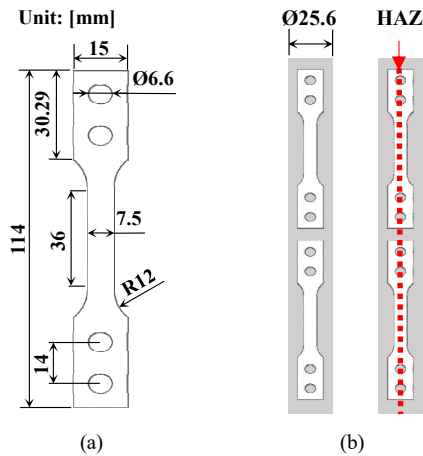


Fig. 2. Proceed with the specimen uniaxial tensile test
(a) Tensile test specimen drawing,
(b) Sample fabrication position in pipe

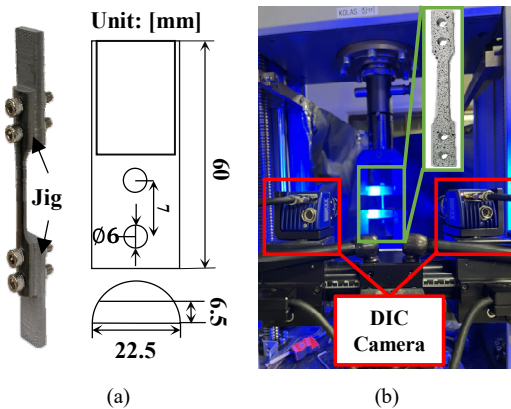


Fig. 3. Setup for uniaxial tensile test
(a) Shape of jig and specimen fixing,
(b) Uniaxial Tensile and DIC setup

2.2 단축인장시험 결과

Table 2는 모재 소재만 있는 시편과 HAZ부를 포함하는 시편의 인장시험 결과이며, HAZ부 유무에 따른 기계적 특성을 비교하였고, Fig. 4에는 각 소재별 최대 하중을 비교하여 그래프로 나타냈고, Fig. 5에는 하중-변위 곡선을 나타내어 비교했다.

Table 2. Results for parent & HAZ metal specimen

Material	Model	F_{max} [N]	El [%]
STKM-11A	base metal	6623.46	17.60
	HAZ	8521.45	9.62
SAPH-440	base metal	6569.83	30.60
	HAZ	7788.13	19.70

우선 최대 하중(F_{max})의 경우 STKM-11A는 22.27 %, SAPH-440은 11.79 % 높게 측정되었고, 연신율은 STKM-11A는 7.98 %, SAPH-440은 10.90 % 낮게 측정된 것을 보아 두 소재 모두 용접 열에 의해 경도가 증가하고, 연신율이 감소하는 동일한 경향을 확인할 수 있어 시편을 가공하여 물성을 확인하는 실험의 유효성을 검증하였다.

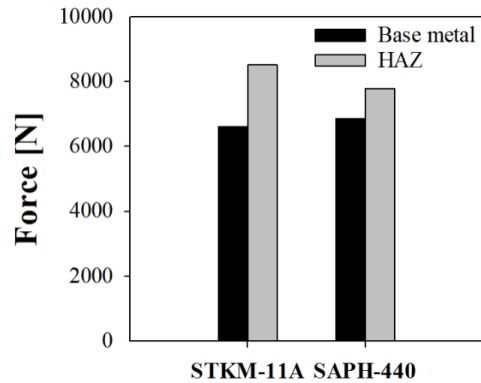


Fig. 4. Comparison of maximum force between parent and HAZ specimen of STKM-11A & SAPH-440

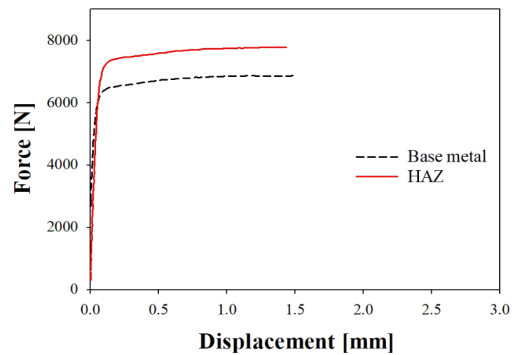


Fig. 5. Comparison of FD curves according to HAZ portion presence or absence SAPH-440

2.3 HAZ부 경도 측정

유한요소 해석에 HAZ부 물성을 적용하기 위해 HAZ부와 모재부의 경도 차이를 확인하기 위해 SAPH-440 파이프의 조직 분석 및 경도 측정을 진행하였다. Fig. 6과 같이 주사전자현미경(SEM)을 이용한 용접부 촬영 시, HAZ부와 모재부의 경계가 모호하여 정확한 HAZ부 면적 예측이 어려웠고, Fig. 7과 같이 로크웰 경도계를 이용한 경도 측정 시 Fig. 6에 나타낸 포인트 위치 별 (HAZ부와 모재부) 경도 경향을 확인할 수 있었다.

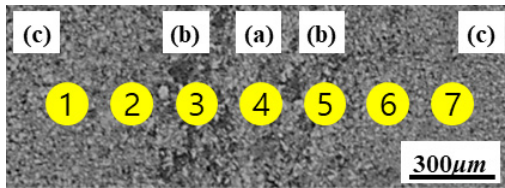


Fig. 6. SEM image result
(a) Weld (b) HAZ (c) Parent material

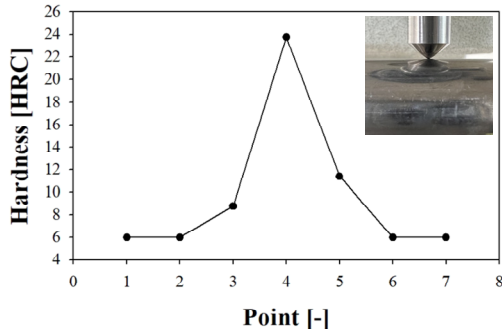


Fig. 7. FEA model
(a) Original model & HAZ model,
(b) Eq. stress of HAZ model

2.4 유한요소해석을 통한 물성 검증

앞서 인장시험을 통해 측정된 SAPH-440의 모재 물성을 검증하기 위해 LS-Dyna Explicit을 이용하여 유한요소 해석을 진행했다. 해석 모델은 Fig. 8 (a)와 같이 구성하였고, Mesh는 1.0 mm 크기로 Hex dominant 요소를 사용하여 생성했으며, 경계조건은 Table 3과 같이 시편 상단부를 고정하여 모델링 하였다.

이때 사용한 SAPH-440의 물성은 단축 인장시험 데이터를 이용하여 식 (1), (2)를 이용하여 계산하여 사용했고, 이때 σ_c 는 공칭응력, ϵ_c 는 공칭변형률을 의미하며, σ_t 와 ϵ_t 는 단면적의 변화를 고려한 진응력과 진변형률을 의미한다.

$$\sigma_t = \sigma_c(1 + \epsilon_c) \quad (1)$$

$$\epsilon_t = \ln(1 + \epsilon_c) \quad (2)$$

Table 3. Boundary condition

Software	LS-Dyna Explicit
Mesh size	1.0 mm
Element	Hex dominant

이때 A_0 는 초기 단면적을 뜻하며, L_0 은 초기 표점간의 거리, ΔL 은 변화된 거리를 뜻한다. 위 식을 통해 계산한 응력-변형률 곡선은 최대인장강도(UTS) 지점에서

네킹이 발생하여 단면적의 변화를 예측하기 어렵기 때문에 이 이후의 값은 식 (3)과 같이 Voce식을 사용하여 UTS 이후 값을 외삽 하여 해석에 사용하였고, Table 4에 주요 물성을 기입했다[13-15]. 이때 R_{sat} 과 C 는 가공경화 거동을 나타내는 파라미터이며, ϵ_p 는 소성변형률을 의미하며 Table 5와 같이 변수들을 구하여 적용했다.

$$\sigma_{voce} = \sigma_y - R_{sat}(\exp(C \cdot \epsilon_p)) \quad (3)$$

Table 4. Material properties of SAPH-440

	Base metal	HAZ
Elastic modulus [GPa]	215.0	225.0
Poisson's ratio [-]	0.3	
Density [g/cm ³]	7.8	
Yield strength [MPa]	390.0	610.0

Table 5. Parameters applied to the voce model

σ_y [MPa]	449.7
R_{sat} [-]	64.3
C [-]	85.9

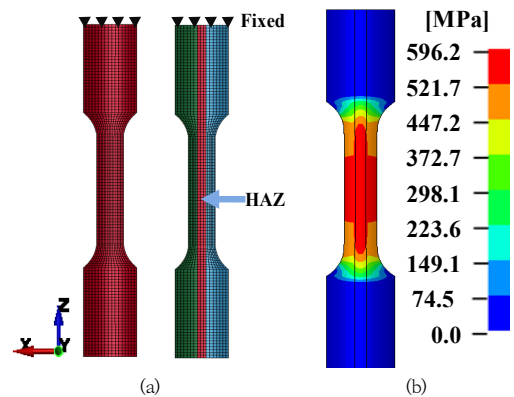


Fig. 8. FEA model
(a) Original model & HAZ model,
(b) Eq. stress of HAZ model

Fig. 9는 모재 시편 해석 결과와 실험에서 측정된 하중-변위 곡선 비교한 그래프이며, 두 곡선이 근사하게 도시된 것을 확인할 수 있었고, 앞서 단축 인장 시험과 DIC 기법을 이용하여 측정된 모재 소재의 물성의 유효성을 확인하였다.

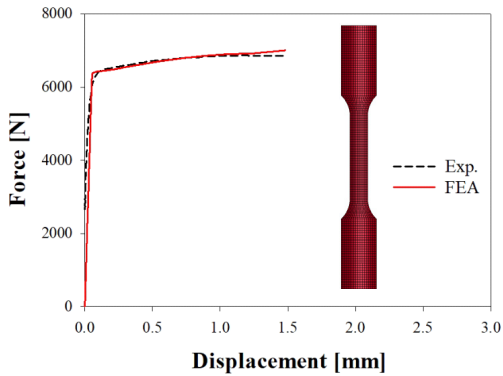


Fig. 9. Comparison of experimental and FEA of baser metal of SAPH-440 with FD curve

그리고 HAZ부 물성을 구하기 위해 Fig. 8 (a)와 같이 시편 중심에 2.5 mm의 폭으로 HAZ부를 구현하였으며, 모재 물성과 예측한 HAZ부의 물성을 이용하여 유한요소 해석을 진행했고 발생한 응력은 Fig. 8 (b)와 같다. HAZ부 물성 예측은 역설계 기법을 이용해, 탄성계수(E)와 항복응력(σ_y)을 변수로 지정하여 Fig. 10 과 같이 해석 결과가 실험값과 근사할 때까지 변수들의 수정을 반복하여 해석을 진행해 예측하였다.

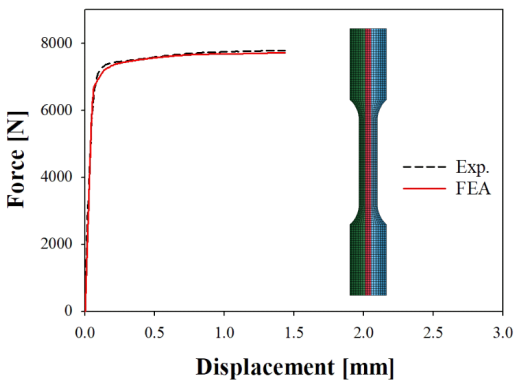


Fig. 10. Comparison of experimental and FEA of HAZ material of SAPH-440 with FD curve

3. 파이프 원형 실험 및 해석을 통한 HAZ부 물성 검증

3.1 파이프 원형 단축인장시험

앞서 예측한 HAZ부 물성을 검증하기 위해 파이프 원형을 단축인장시험 및 유한요소 해석을 진행하여 하중-

변위 곡선을 비교했다. 우선 인장시험을 진행하기 위해 KS B 0801 규격에 맞춰 직경 400 mm의 시편 제작을 제작했으며, Fig. 11 (a)와 같이 시편의 그립부가 손상되는 것을 방지하고 시편 중심부에서 파단이 발생하도록 Fig. 12 (a)와 같이 지그를 설계했다. 이때 KS B 0401 규격을 참고하여 지그에 공차를 주어 억지끼워맞춤 방법으로 시편 그립부에 가공 경화를 일으켜 Fig. 11 (b)와 같이 시험 시 발생하는 그립부의 변형 방지 및 파단이 발생하는 문제를 해결하였다[5].

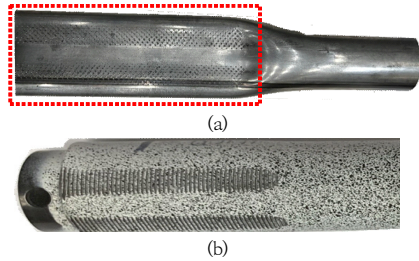


Fig. 11. Prevention of damage to the grip of the specimen
(a) Damage to grip area occurred
(b) After improving the test method

Table 6. Test information

σ_y [MPa]	449.7
R_{sat} [-]	64.3
C [-]	85.9

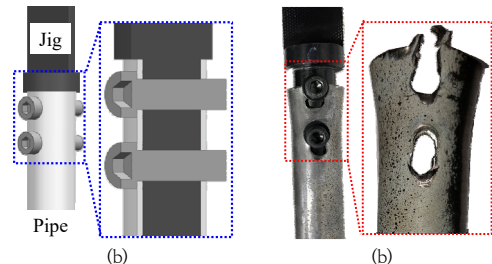
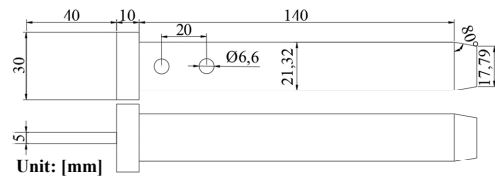


Fig. 12. Initial test settings and results
(a) Design of uniaxial tensile test jig for pipe
(b) Pipe and jig coupling geometry
(c) Damage to pipe specimen

시험 정보는 Table 6에 나타냈으며, 인장시험 진행과 동시에 DIC 기법을 이용하여 파이프의 변형률을 측정하였다. 지그 설계 시 Fig. 12 (b)와 같이 억지끼워맞춤과 더불어 인장시험 진행 도중 지그의 탈거 방식을 위해 볼트를 추가적으로 체결하였는데, 실제 시험 진행시에 Fig. 12 (c)와 같이 볼트 체결부에 집중 응력이 작용하여 시편이 손상되어 시험 진행이 어려운 문제가 발생하였다.

이러한 문제를 해결하기 위해 파이프를 직접 잡고록 지그 설계를 변경했고, Fig. 13 (a)와 같이 시험을 세팅하여 단축인장시험을 진행하였으며, Fig. 13 (b)와 같이 시편의 그립부 손상이 일어나지 않고, 중심부에서 파단이 발생한 것을 확인할 수 있으며, 이때 측정된 기계적 성질을 값을 Table 7에 나타냈다.

Table 7. Test information

Material	Fmax [N]	Elongation [%]
SAPH-440	66233.51	29.99

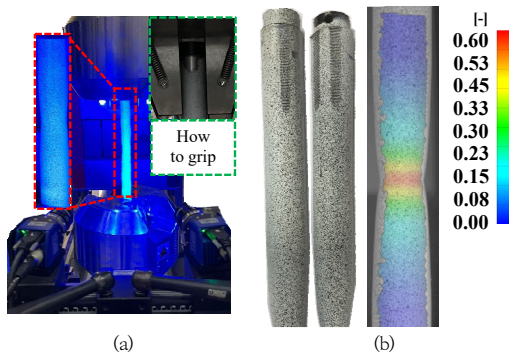


Fig. 13. Result of uniaxial tensile test of the pipe
(a) Setup of uniaxial tensile test
(b) Measurement results of uniaxial tensile test

3.2 파이프 원형 물성 검증 위한 유한요소 해석 진행

앞서 예측했던 HAZ 물성 검증을 위해 Fig. 14와 같이 2.5 mm의 HAZ 부를 포함한 파이프 원형을 모델링하여 유한요소 해석 진행 후 실험 데이터와 비교 진행하였다.

또한 HAZ 물성 적용에 따른 차이를 확인하기 위해 모재 물성만 있는 Parent only 모델을 추가로 해석하여 실험(EXP.)값과 두 가지 해석에서 계산된 하중-변위 곡선을 Fig. 15에 동시에 도시하였다. 비교 결과 HAZ 모델과 실험값의 최대하중이 약 0.25 % 차이로 근사하게 계산되어 예측한 물성을 검증할 수 있었으며, Original 모델에 비해 0.5 % 근사함을 확인하여 HAZ 모델이 보다

유효하다는 것을 확인하여 HAZ부 물성 예측에 대한 방법을 제시할 수 있었다.

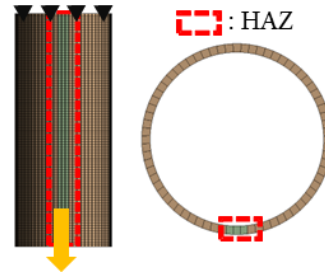


Fig. 14. Design of pipe FEA model including HAZ part

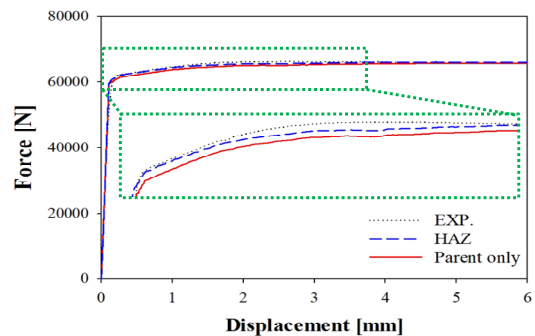


Fig. 15. Comparison of experimental and FEA of HAZ material of SAPH-440 with FD curve

4. 결론

본 연구에서는 ERW 파이프의 HAZ부의 물성을 획득하기 위해 시편 가공 후 단축인장시험 및 DIC 기법을 이용하여 측정된 데이터를 기반으로 유한요소해석을 진행하여 모재 물성 검증 및 HAZ부 물성을 예측했고, 이를 검증하기 위해 파이프 원형의 단축인장시험을 진행하여 아래와 같은 결론을 얻었다.

- (1) 소재 별 HAZ부 유무에 따른 기계적 성질 비교 시 최대하중은 평균 14.05 % 높았고, 연신율은 평균 7.31 % 낮아 열응력에 의한 HAZ부의 조직변화에 따른 경도 증가 및 연성의 감소를 확인하였다.
- (2) 파이프 원형 단축 인장 시험 시 억지끼워맞춤 방법에 따른 가공경화에 의해 그립부의 손상 방지 및 시편 중심에 파단을 확인하여 설계한 지그의 유효성을 확인하였다.
- (3) 예측한 HAZ부 물성을 적용한 유한요소 해석 결과, 실험과 최대 하중 차이가 약 0.25 %로 근사하

계 계산되어 앞서 예측한 HAZ부 물성의 유효성 검증 및 Parent only 모델에 비해 0.5 % 적은 오차를 확인해, HAZ부 물성 예측에 대한 연구방법을 제시하였다.

References

- [1] Y. Kim, "Prediction of Welding Deformation in Thin Plates and Pipes Using an Equivalent Thermal Strain Method", *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers - A*, Vol. 45, No. 6, pp. 455~463, 2021.
DOI: <https://doi.org/10.3795/KSME-A.2021.45.6.455>
- [2] M. Park, "A Study on HAZ Softening Characteristics of Fiber Laser Weldment for High-Strength Steel", *Journal of Welding and Joining*, Vol. 33, No. 6, pp. 27~35, 2015.
DOI: <http://dx.doi.org/10.5781/JWJ.2015.33.6.27>
- [3] J. Moon, "An Investigation on the Microstructure Evolution and Tensile Property in the Weld Heat-Affected Zone of Austenitic FeMnAlC Lightweight Steels", *Journal of Welding and Joining*, Vol. 35, No. 1, pp. 9~15, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.5781/JWJ.2017.35.1.9>
- [4] C. A. Huang, "A study of the heat-affected zone (HAZ) of an Inconel 718 sheet welded with electron-beam welding (EBW)", *Materials Science and Engineering: A*, Vol. 398, No. 1-2, pp. 275~281, 2005.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2005.03.029>
- [5] K. Kim, "Mechanical Properties Evaluation of Automotive Cross Member Parts for Hydro-formed HF440 Materials", *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers - A*, Vol. 44, No. 7, pp. 507~512, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.3795/KSME-A.2020.44.7.507>
- [6] J. Park, "Experimental Study on Tensile Test Method of Pipe with Jig", *Journal of The Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 21, No. 5, pp. 28~33, 2022.
DOI: <https://doi.org/10.14775/ksmpe.2022.21.05.028>
- [7] K. Eom, "Evaluation of Tensile Properties of Alloy 690 690TT Steam Generator Tube at Room Temperature and 343oC" *Trans. Kor. Soc. Mech. Eng. A*, Vol. 38, No. 6, pp. 655~662, 2014.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3795/KSME-A.2014.38.6.655>
- [8] Y. Choi, "Digital Image Correlation Technique and Estimation for Measuring Thermal Deformation of Electronic Package", *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers - A*, Vol. 45, No. 1, pp. 17~26, 2021.
DOI: <https://doi.org/10.3795/KSME-A.2021.45.1.017>
- [9] M. Kim, "Analytical determination of forming limit curve for zirlo and its experimental validation", *ournal of Manufacturing Processes*, Vol.23, pp.122~129, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.imapro.2016.06.006>
- [10] K. Yoo, "Inverse Analysis Method for Material Property Prediction Using Pile-up and Indentation Depth Formed after Indentation Test", *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers - A*, Vol. 46, No. 4, pp. 329~339, 2022.
DOI: <https://doi.org/10.3795/KSME-A.2022.46.4.329>
- [11] K. Yeom, "Finite Element Analysis of Large Deformation of Fiber Metal Laminates Under Bending for Stress-Strain Prediction", *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers - A*, Vol. 39, No. 10, pp. 963~970, 2015.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3795/KSME-A.2015.39.10.963>
- [12] ARAMIS. Manual Aramis Professional 2018: GOM-Gesellschaft für Optische Messtechnik mbH: Braunschweig, Germany, 2018
- [13] K. Lee, "Acquirement of True Stress-strain Curve Using True Fracture Strain Obtained by Tensile Test and FE Analysis", *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers - A*, Vol. 33, No. 10, pp. 1054~1064, 2009.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3795/KSME-A.2009.33.10.1054>
- [14] J.J. Christopher, "Tensile flow and work hardening behavior of 9Cr-1Mo ferritic steel in the frame work of Voce relationship", *Materials Science and Engineering: A*, Vol. 528, No. 21, pp. 6589~6595, 2011.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.msea.2011.05.026>
- [15] Y. Kim, "True Stress-True Strain Curve Fitting Methodology for Finite Element Analysis", *Transactions of Materials Processing*, Vol. 31, No. 4, pp. 194~199, 2022.
DOI: <https://doi.org/10.5228/KSTP.2022.31.4.194>

이 상 민(Sangmin Lee)

[준회원]



- 2021년 8월 : 국립공주대학교 기계자동차공학부
- 2021년 9월 ~ 현재 : 국립공주대학교 미래융합공학과 석사과정

<관심분야>

판재성형, 유한요소해석

홍 석 무(Seokmoo Hong)

[종신회원]



- 1999년 2월 : 서강대학교 기계공학
학과 (기계공학 학사)
- 2001년 2월 : 서강대학교 기계공학
학과 (기계공학 석사)
- 2007년 3월 : Technical University
of Munich, Germany, Department
of Mechanical Engineering
(기계공학박사)
- 2007년 4월 ~ 2015년 2월 : 삼성전자 GTC, 수석연구원
- 2015년 3월 ~ 현재 : 국립공주대학교 미래자동차공학과
교수

<관심분야>

금속 판재성형 및 단조, 유한요소해석, 최적 설계