

A High Speed Tensile Behavior of Bolting Material for Decommissioning Waste Package

2021 한국원자력학회 추계학술대회
2021. 10. 21.
김종범

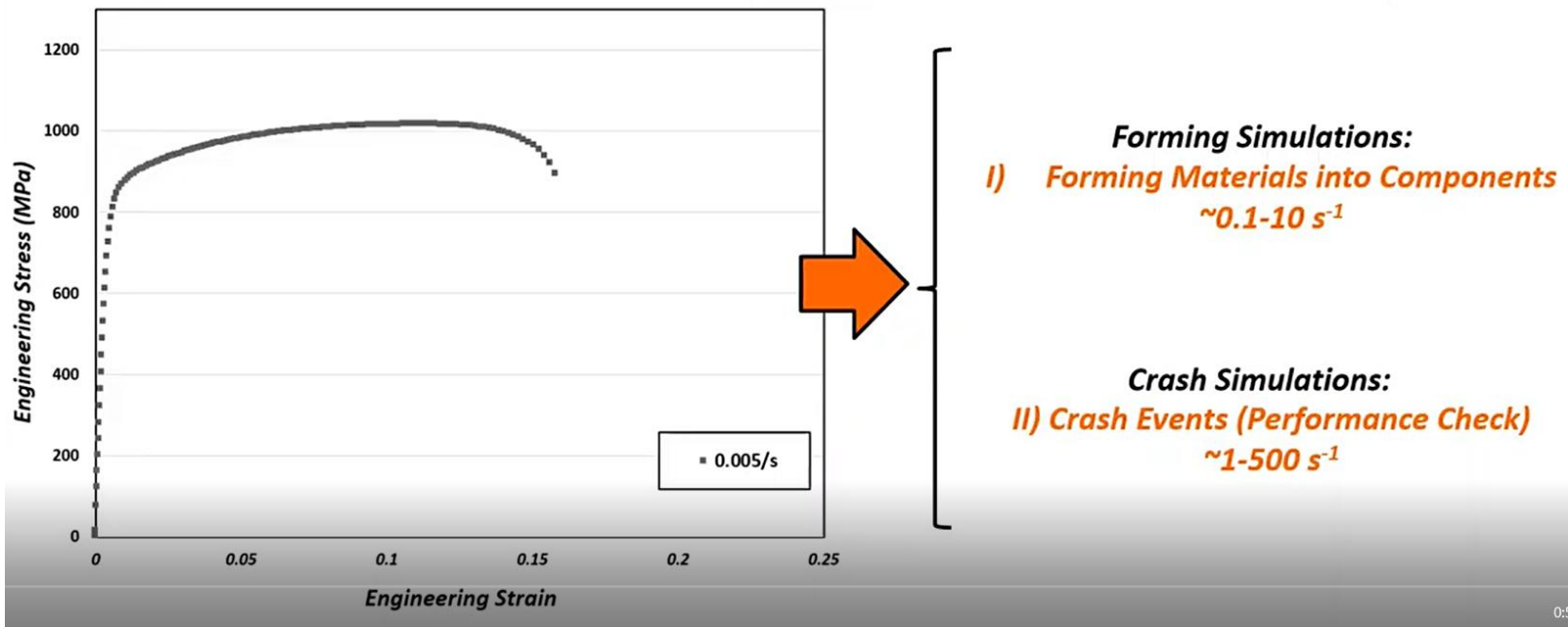
김종범, 김낙현, 김성균, 박창규, 이주찬
한국원자력연구원

Introduction (1/2)

■ 고속인장시험의 필요성

- ◆ 충격하중을 받는 재료의 거동이 정하중을 받는 재료의 거동과 현저히 다름
- ◆ 일반적 정적인장시험(0.001~0.1/s)과 고속인장시험(1~1000/s)의 재료거동 차이 특성분석 필요함
- ◆ 일반구조물/재료성형/충돌 등의 요구되는 현상 해석에 적절한 물성자료 사용이 필요

➤ **Critical Issue: Forming & Crash Events involve deforming the material at speeds higher than quasi-static!!**



Quasi-static → Intermediate → High speed
0.001 ~ 0.1/s 1 ~ 10 /s 100 ~ 1000/s

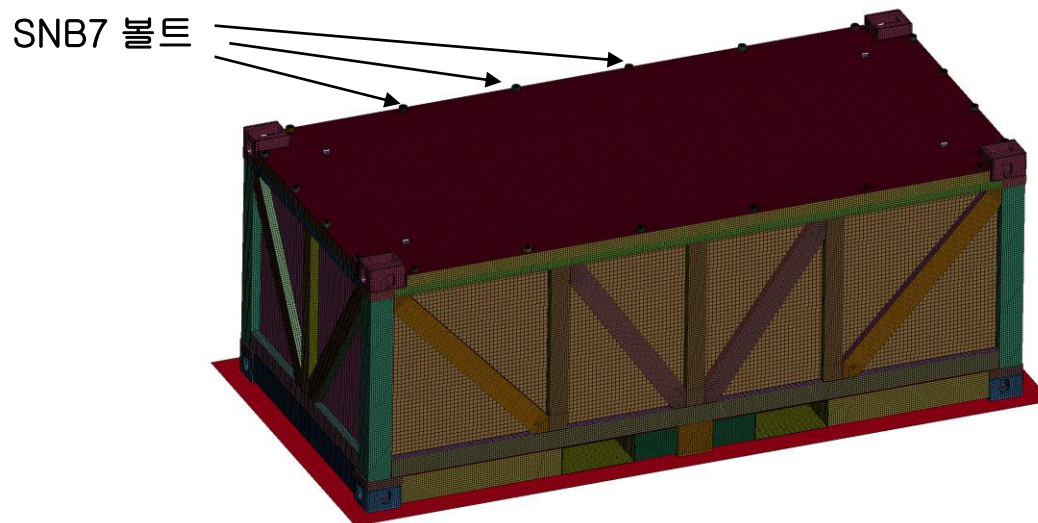
Introduction (2/2)

Test Objectives

- ◆ 해체폐기물 용기의 낙하충격시 재료거동은 정하중을 받을 때와 차이가 있음
- ◆ 따라서 적절한 해석을 위해서는 고속인장시험을 수행한 물성치(인장곡선) 필요
- ◆ 해체폐기물 용기 충격해석을 위한 볼트재질(SNB7)의 고속인장물성 생산

Chemical composition of the SNB7 steel (wt.%) – KSD3755

	C	Si	Mn	S	P	Cr	Mo
SNB7	0.38-0.48	0.2-0.35	0.75-1.0	0.04	0.04	0.8-1.1	0.15-0.25

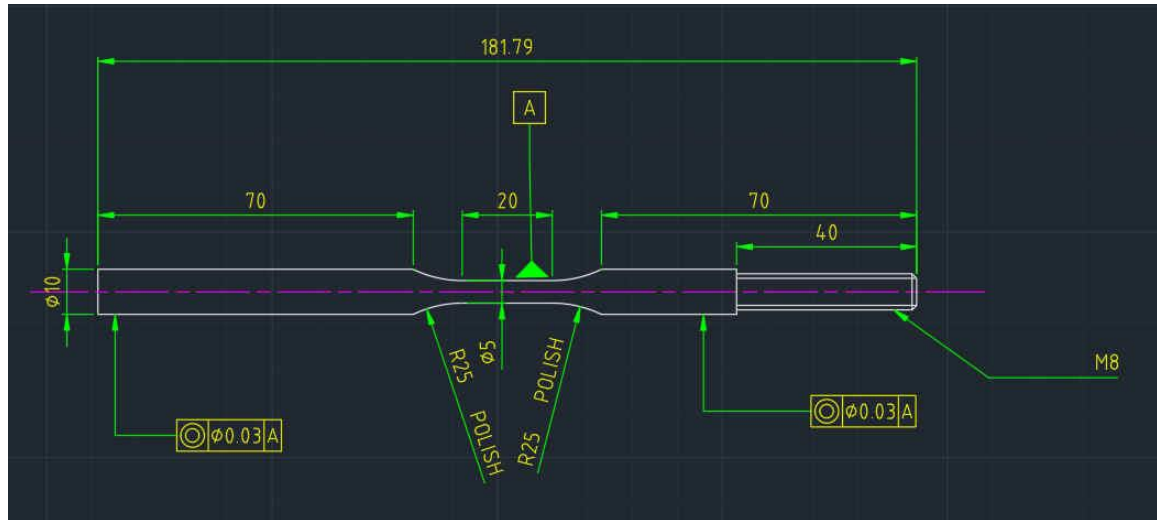


해체폐기물 운반용기

Test facility, Measurement, and Test procedure (1/2)

High Speed Tensile Tests

- ◆ Instron VHS 65/80-25 Servo-hydraulic High Speed Tensile Test Machine
- ◆ Test Specimen and Procedure : 고속인장시험용 봉상시험편 (길이 181.79mm)
 - ISO/DIS 226203-2 준수
- ◆ Loadings : 변형률 속도 하중 (각 하중별로 시험편 3개씩 시험 수행)
 - 5가지 변형률 속도 적용 : 0.1/s, 1/s, 5/s, 10/s, 100/s



고속인장시험 시험편

Test facility, Measurement, and Test procedure (2/2)

■ High Speed Tensile Tests

- ◆ Instron VHS 65/80-25 Servo-hydraulic High Speed Tensile Test Machine
 - 최대인장속도 25m/s, 500/s, 최대하중 80kN
- ◆ Data Acquisition : Dual 고속카메라 시스템 + Correlated Solution(사)의 VID-3D with Digital Image Correlation(DIC) 소프트웨어 사용 (변형률속도 1/s 이상에서는 일반적 strain gage나 extensometer는 사용이 어려움)

INSTRON
VHS 65/80-25
유압식 고속인장시험기

Dual 고속카메라,
VID-3D with DIC
(Digital Image Correlation)
- correlated Solution사



고속인장시험기

Test Results (1/4)

■ 고속인장시험 결과

- ◆ 0.1/s, 1/s, 5/s, 10/s, 100/s의 5가지 인장속도에서 각각 시편 3개의 고속인장시험 수행
- ◆ 시험후 파단된 인장시편 관찰
 - 전체적으로 시편 평활부에서 파단되었고, 파단 위치는 적절한 것으로 판단됨
 - 15개 시편의 파단시 단면적은 파단전의 50% 정도임 (단면감소율)
- ◆ 정적인장시험 (0.002/s) 결과와 비교 (단면감소율 56%)

Strain rate [/s]	Yield Stress (0.2% offset) (MPa)	UTS (MPa)	UTS Elongation (%)	Rupture Elongation (%)
0.002 (static)	881.2	970.2	7.5	21.2
0.1	960.6	1053.6	1.9	11.5
1	960.2	1073.1	2.4	14.1
5	977.5	1085.9	2.8	12.7
10	978.7	1087.2	2.6	14.9
100	980.5	1173.2	3.0	17.9

인장시험 물성치 비교



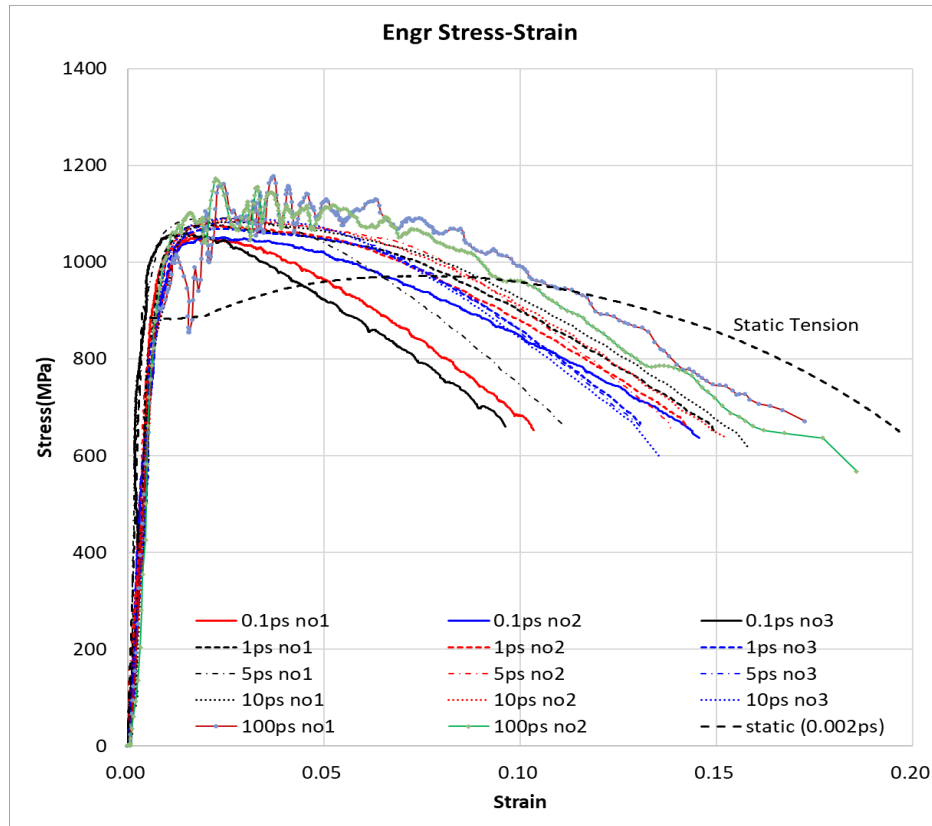
고속인장시험 후 파단 시편

Test Results (2/4)

■ 고속인장시험 결과

◆ SNB7 (고온용합금볼트재, KS-D-3755)의 인장곡선

- Engineering Stress-Strain 비교 (고속인장시험 및 정적인장시험)
- 고속인장시험 결과는 정적인장시험 보다 항복강도와 인장강도가 커짐
- 변형률속도가 증가할수록 항복강도와 인장강도가 증가함
- 연신률은 정적인장시험이 가장 높음. 고속인장시험은 변형률속도가 증가할수록 증가함



Engr. Stress-Strain Curves

Test Results (3/4)

■ 고속인장시험 결과

- ◆ SNB7 (고온용합금볼트재, KSD3755)의 True Stress-Strain 비교 (고속인장시험 및 정적인장시험)

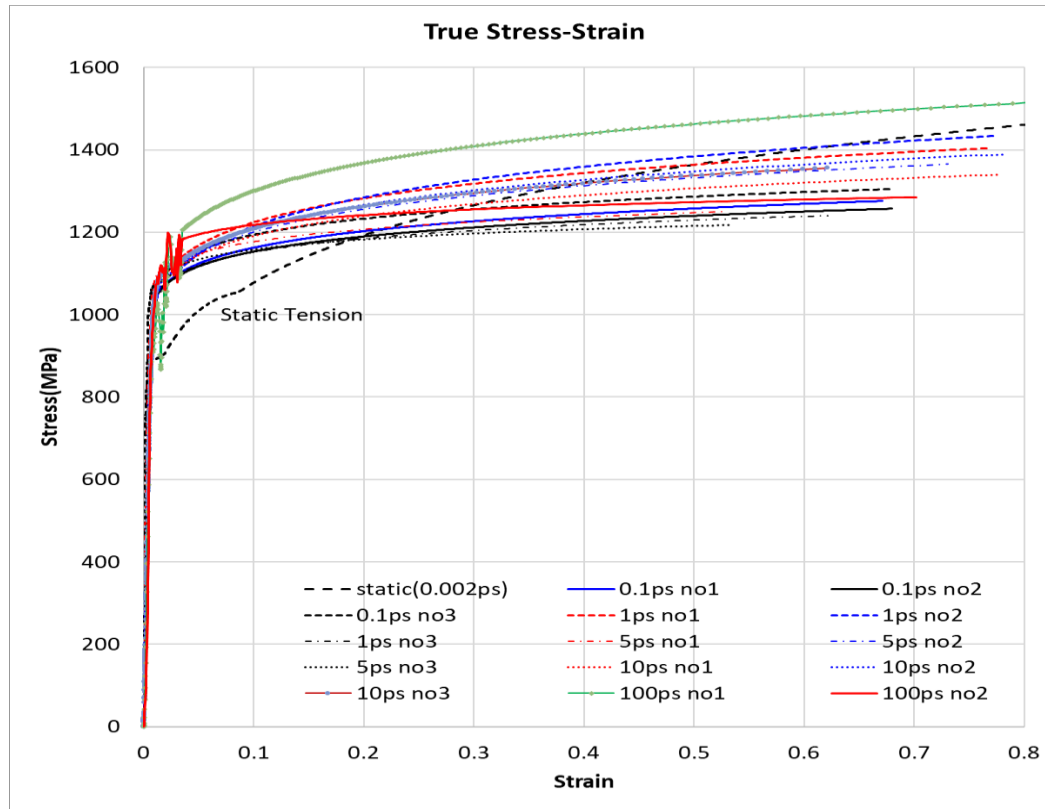
- 인장강도(UTS)까지 진응력/변형률은 다음 공식으로 계산

$$\sigma_{true} = \sigma_{engr}(1 + \epsilon_{engr}) \quad \epsilon_{true} = \ln(1 + \epsilon_{engr})$$

- 파단시 진응력/변형률은 파단시 단면적을 측정하여 다음과 같이 계산

$$\text{True Stress} = \text{파단하중}/A_{\text{final}}, \quad \text{True Strain} = \ln(A_{\text{initial}}/A_{\text{final}})$$

- UTS와 파단값 사이는 급수추세 연속데이터 채우기로 추정함

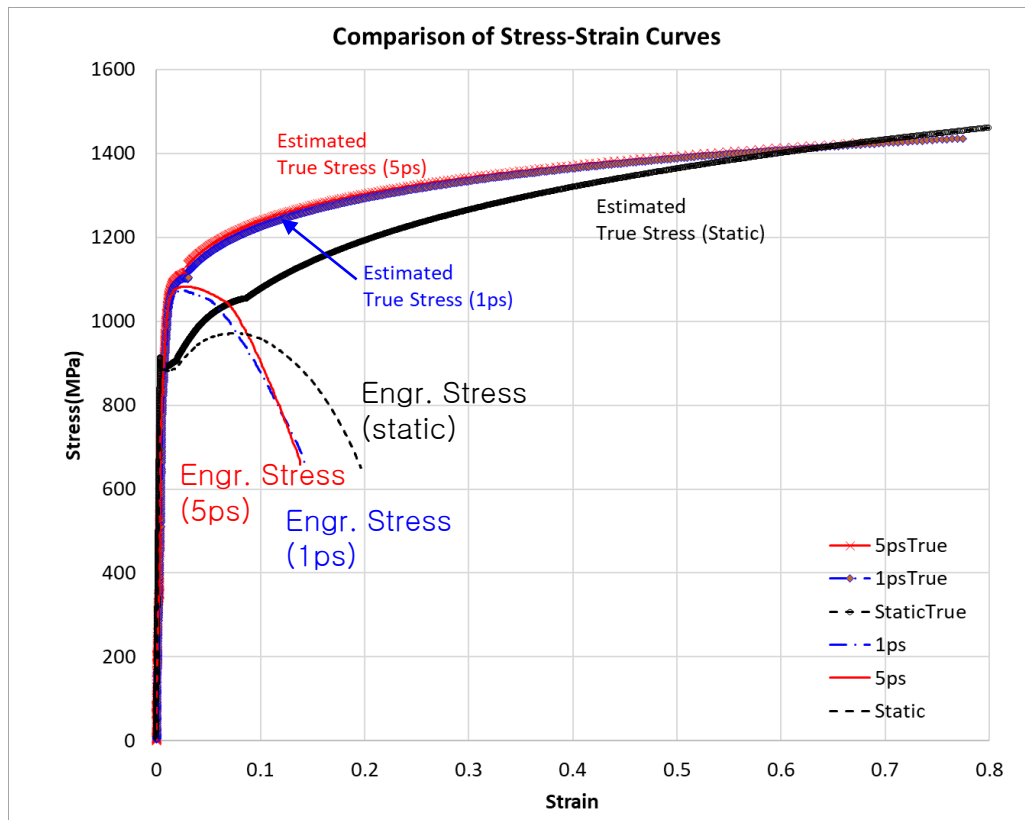


True Stress-Strain Curves

Test Results (4/4)

■ 고속인장시험 결과

- ◆ 용기 낙하 근접조건인 1/s ~ 5/s 의 Engr. Stress-strain 곡선과 True Stress-strain 곡선 비교
 - 진응력 : 항복강도와 인장강도는 약 10% 증가함
 - 진응력 : 파단응력은 117%(1/s), 118%(5/s), 124%(static) 증가함



Comparison of Stress-Strain Curves

Summary

- ❑ 충격하중을 받는 재료의 거동은 정하중을 받는 재료의 거동과 현저히 다르므로 낙하 충격 해석시에는 고속인장시험 데이터의 사용이 요구됨
- ❑ 해체폐기물 용기의 낙하충격해석을 위해 볼트재질(SNB7) 강의 고속인장시험 수행
- ❑ 고속인장시험에서는 기존의 strain gage나 extensometer를 사용하기 어렵고, 고속카메라와 DIC 소프트웨어를 이용하여 변형률을 측정함
- ❑ 고속인장시험 결과를 정적인장시험 결과와 비교함 (항복강도, 인장강도 증가함)
- ❑ 고속인장시험 파단시 단면감소율은 전체적으로 50% 수준임
- ❑ 고속인장시험에서 변형률속도가 0.1/s에서 100/s로 증가함에 따라 항복강도와 인장강도가 증가함
- ❑ 용기의 낙하조건에 근접한 1/s~5/s 범위에서 진응력의 항복강도와 인장강도는 공칭응력(Engr. Stress)의 항복강도와 인장강도보다 약 10% 증가함
- ❑ 같은 조건에서 파단 진응력은 공칭응력보다 117%(1/s), 118%(5/s), 124%(static) 크고, 재료의 파단까지 모사할 경우 반드시 진응력-진변형률 곡선을 적용할 필요가 있음