Technical Report of

Advanced Indentation System 2100

Prepared by

3rd Floor, Research Institute of Advanced Materials
Seoul National University
Seoul 151-742, Korea

TEL: 82-2-884-8025 / FAX: 82-2-875-8018

www.frontics.com

Technical Report of Advanced Indentation System 2100

본 자료는 (주)프론틱스의 Advanced Indentation System2100을 압입 기술과 제품 사항을 간략히 기술한 자료입니다.

1. 장비의 특징 및 우수성

AIS2100은 비파괴적인 방법으로 재료의 인장 물성을 측정하는 압입형 인장 물성 측정 장비입니다. 실험실 및 현장에서 모두 사용 가능하도록 설계되었으며, 기존의 인장 시험기보다 작은 크기로 휴대가 가능하며 동시에 측정의 정밀성도 보장합니다. 특히 시험대상의 크기가 작고 형상이 복잡하여 인장시편의 제작이 곤란하거나, 혹은 해당 재료 내의 인장물성이 불균일하게 분포되어 있어 기존의 일축인장시험이 불가능할 경우 아주 효과적으로 인장물성을 평가할 수 있는 시험 장비입니다. 또한 최신 압입시험기법의 SW화가 이루어져, 2~3분 정도의 짧은 압입시험 후 즉시 압입하중-변위곡선의 분석을 통한 최종적인 재료의 항복강도, 인장강도, 가공경화지수, 탄성계수 등의 물성이 수 초 내에 자동으로 평가되어 시험자에게 제공됩니다.

장비의 특징 및 우수성을 조금 더 자세히 설명하면 아래와 같습니다.

(1) 높은 신뢰성 확보를 위한 H/W 의 정밀성

► H/W의 resolution

- 고하중 Loadcell을 사용하면서도 resolution이 높아 다양한 하중 범위에서 실험 가능
- Linear Scale을 이용하여 0.1um의 미세한 움직임까지 조절 가능
- 고하중 및 정밀 시험을 위한 방진 설계

항 목	Spec.
최대하중	300 kgf
Load 분해능	5.6 gf
Depth 분해능	0.1 um
최대 이송거리	40 mm
하중인가 속도	0.05~30 mm/min

► Maximum portability

AIS2100은 다양한 환경에서 사용상의 편의성을 높이기 위해 기기의 소형화 및 간편화를 강조하였습니다. 기존의 인장물성 장비보다 가볍고, 그 크기도 작아 직접 이동이 가능하며, 전원공급이 어려운 곳에서도 무선 module과 Notebook을 이용하여 시험이 가능합니다.

AIS2100	
Wireless module or 1 cable Remote control function Laptop PC (w/SW) 기기에서 제어 및 동작상태 확인 가능 Portable battery available (10 hr)	

상기 사진은 AIS3000 의 모습임 (시스템의 연결 방법은 동일)

※ H/W specification of AIS2100

Model		AIS2100
크기 (중량)		180x180x430 mm (14 kg)
최대하중		300 kgf
분해능 (Load / Depth)		5.6 gf / 0.1 um
최대 이송거리		40 mm
하중 인가 속도		0.05~30 mm/min
통신 방법		RS-422/ 무선 모듈(optional)
데이터 처리 속도		최대 100/sec (조절가능)
전원	Adapter	AC 110~220V (free voltage)
	Battery	Portable battery (10hrs in a charge)
분석 장비	Standard	Laptop PC (w/SW)
	Special	Rugged Computer (Optional)
압입자		구형 압입자 (WC) (Dia. 0.5 / 1.0 mm)
		Vickers, Rockwell C Indenter
부착도구 (옵션)		X-Y axis stage
		Plate / clamping jig

* 분해능의 경우, Loadcell과 Linear Scale의 변경을 통하여 변경 가능

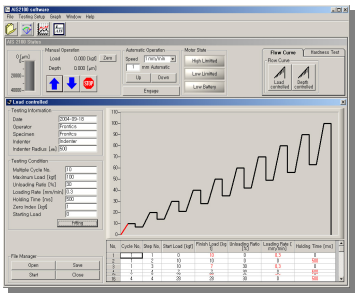
(2) 사용자 편의성을 강조한 software

► Characterization of software

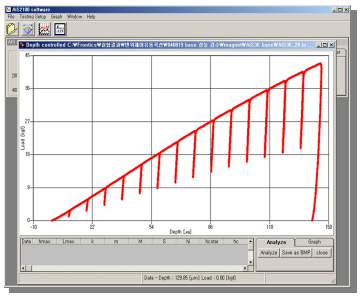
- 최신 구형 압입 이론에 기초한 AIS2100 S/W의 신뢰도 높은 물성 평가 기술
- 별도의 레퍼런스 데이터가 필요 없이 압입시험 만으로 인장 물성 평가
- 시험조건 설정의 편의성
  : GUI를 이용한 시험 조건 설정의 편의성 및 연속적인 실험을 위한 조건 저장
- 결과분석의 신속성
  : 시험 실시 후, 즉시 분석 가능 (시편의 setting부터 시험시간 포함 5분 이내 완료).
  결과의 화면 출력 및 그래프 저장, 결과 txt 파일 생성을 통하여 자료 정리
  및 결과 비교 분석이 용이. (software 자체 개발을 통하여 필요부분 수정 가능)

► Testing method in software

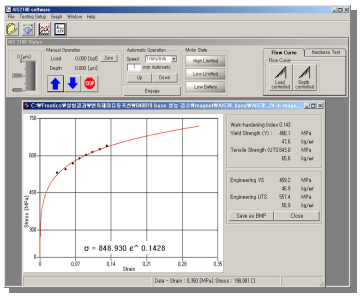
a. 시험 조건 설정: GUI 를 통한 간편한 실험조건 설정 및 저장
b. 시험 수행: 실시간 시험 진행 사항 확인 (real time L-h graph 로 표현)
c. 간편한 분석: reference 없이 직접 분석
d. 결과 표현 : 인장 곡선 및 결과값 화면 표시. 그래프 저장이 가능하며 시험 결과는 txt 파일로 자동 저장. 기존의 일축인장시험에서 얻게 되는 탄성계수, 항복강도, 인장강도, 가공경화지수, 응력계수 등을 모두 제공하며, 특히 공칭응력-공칭변형률 및 진응력-진변형률의 값을 모두 제공함.



< 시험조건 설정 >



< 시험 >



< 결과 화면 표현 >

2. 시험편 고정 장치의 특징, 사양, 구체적인 작동법

AIS2100에 구성되어 있는Lab-type의 jig는 크게 2가지로 구분됩니다. 기본적인 Lab 실험에서 사용하는 MPS(Micro-Positioning System)와 특정 형상을 잡아주는 vise, swivel mount로 되어 있습니다. 또한 Field-type의 부착도구는 형상별, 크기별 다양하게 부착 및 실험을 가능하게 하는 jig들이 개발되어 있습니다.

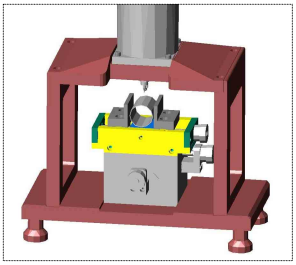
Lab-Type Jig

(1) Micro-Positioning System

- MPS block에 시편을 올려 놓고 사용하기에 시편의 가공상 혹은 외곽 형상에 의해 발생된 문제로 발생된 실험 오류를 최소한으로 줄이기 위한 기구
- ±0.003mm의 정밀 공차를 가지고 제작하여, 본체 부착 후, 흔들림 없이 실험이 가능하도록 가공
- 최대 하중 300kgf에도 frame 변형 없이 실험이 가능하도록 구조 설계
- 수동 조작을 통하여 x, y축으로 이동이 가능
  : 표시 눈금 : 0.05mm (미세 변경 가능)

(2) Application of MPS vice & swivel mount

a. Small size pipe or column type specimen



일반 : Fig. 5은 Φ17 ~ Φ54 크기의 환봉 형태의 시편을 장착한 후 사용 가능

응용: Φ17 ~ Φ54 크기의 환봉 형상의 뼈조직을 Fig. 2의 swivel mount와 함께 장착 하여 시편의 표면 기울기를 압입자의 각도와 수직이 되도록 조절 할 수 있다.

Fig. 1 환봉 시편을 체결한 MPS vise

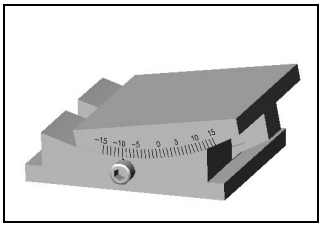
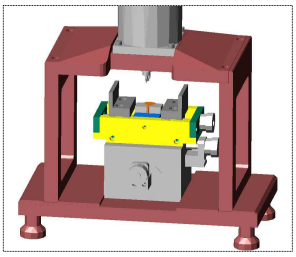


Fig. 2. Swivel Mount

b. Rectangular type specimen

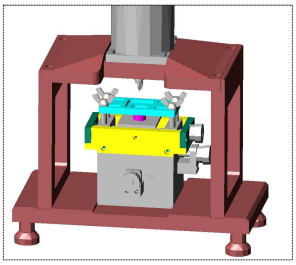


일반: 사각 시편 중 크기가 최대 80x 55x 100mm 이하인 시편을 장착 한 후 사용 가능. (Fig.3)

응용: 큰 구조가 아닌 작은 형태의 뼈시료를 고정하여 실험하기기에 적합.

Fig. 3. Rectangle specimen을 체결한 MPS vise

c. Thin specimen or 하단부의 tilting이 심한 시편

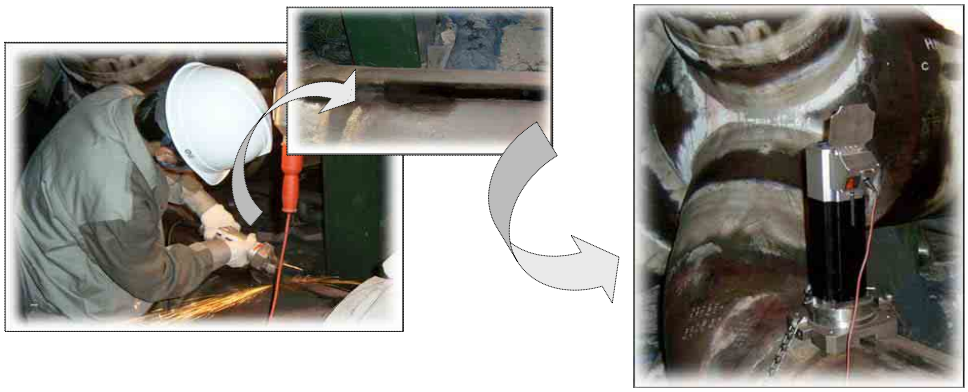


일반 : 얇은 박판 시편이나 hot mounting이 불가능하며 하단부의 tilting이 심해 그대로 장착하기에 어려운 시편의 시험 시 적용 가능. (Fig.4)

응용 : 1,2항이 조건 보다 형상이나 크기가 불안정하여 실험하기 곤란한 경우 적용.

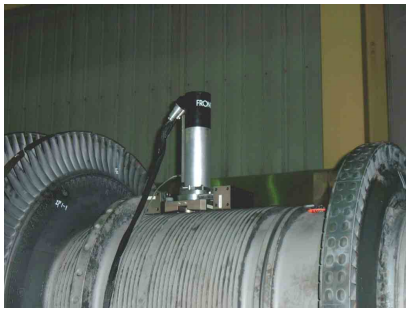
Fig. 4. Hot mounting sample을 체결한 MPS vise

Field-Type Jig

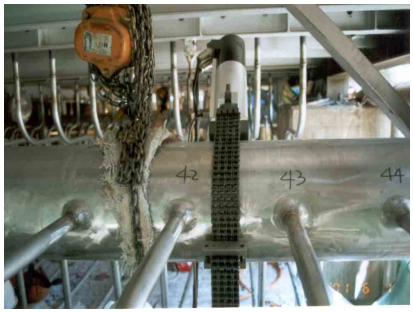


☑ Power plant facilities under in-service

Magnetic



Magnetic



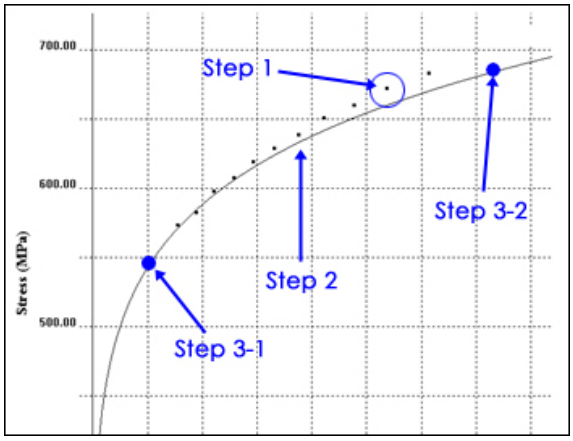
Chain

U-block

3. Load-depth curve로부터 탄성계수, 항복강도, 인장강도를 추출하는 방법

AIS2100 은 구형압입이론에 기초한 인장물성 분석 SW 를 장착하였습니다. 장비에 채택된 구형 압입 이론은 이미 국내에서는 KS 표준으로 되어 있으며, 국외에서는 ASTM, ISO 를 통하여 기술 표준화 작업을 진행하고 있습니다. 또한 본 구형압입이론은 이미 한국, 일본, 미국 등에서 특허등록이 완료되어 보호 받고 있습니다.
특히 결과의 정확도 증대 및 신소재로의 적용을 보다 신뢰성 있게 하기 위하여 지속적으로 분석 S/W 의 업그레이드를 하고 있습니다.

► Algorithm 구성



Step 0 Determination of contact area

$a \rightarrow a_c$

Step 1 Derivation of stress-strain points

$$\sigma = \frac{L}{\pi a^2}\frac{1}{\psi}, \quad \varepsilon = \frac{\alpha}{\sqrt{1-(a/R)^2}}\frac{a}{R} = \alpha \tan\gamma$$

Step 2 Determination of flow curve

$\sigma = K\varepsilon^n$ for Hollomon-type materials

$\sigma = K_1\varepsilon^{n_1} + \exp(K_2 + n_2\varepsilon)$ for Ludwigson-type materials

Step 3 Determination of yield strength (3-1) and tensile strength (3-2)

$\sigma_y = K(\varepsilon_y + b)^n$ yield strength

$\sigma_{UTS} = Kn^n$ tensile strength

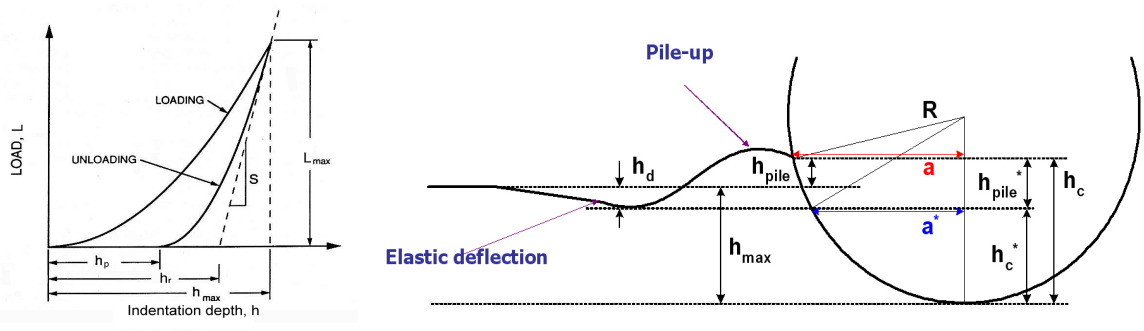
<Basic Concept>

구형압입자로 재료에 힘을 가하면 압입자가 재료 내부로 침투하는 깊이가 증가함에 따라, 압입하중이 증가하게 됩니다. 특히 압입깊이의 증가는 구형압입자의 기하학적 특징에 따라 재료가 느끼는 변형률의 증가로 해석될 수 있습니다. 따라서 압입하중-변위의 증가는 재료의 응력-변형률 증가로 이어져, 이를 통해 인장시험에서 얻게되는 인장곡선 및 인장물성을 평가하게 됩니다. 특히 모든 압입시험(flat punch, sharp tip 포함) 중에서 오직 구형압입 만이 압입에 따른 재료의 변형률 증가를 가능하게 하는 압입자 형상입니다. 즉 구형압입시험 만이 재료의 인장물성을 정확히 평가할 수 있는 압입시험기술입니다.

<Details>

Step 0 Calibration of contact area

: Change of contact depth by elastic deflection and plastic pile-up/sink-in at maximum indentation load



(0-1) elastic deflection

$$h_c^* = h_{\max} - h_d = h_{\max} - 0.75\frac{L_{\max}}{S}$$

(0-2) plastic pile-up

$$\frac{h_{pile}^*}{h_c^*} = f(n, \frac{a_{\max}}{R})$$

$$h_c = h_c^* + h_{pile}^* = h_{\max} - h_d + h_{pile}^* \text{ and } A_c = f(h_c).$$

Step 1 Determination of stress-strain points

(1-1) Definitions of stress and strain

$$\sigma = \frac{L}{\pi a^2}\frac{1}{\psi}, \quad \varepsilon = \frac{\alpha}{\sqrt{1-(a/R)^2}}\frac{a}{R} = \alpha\tan\gamma$$

(1-2) Selection of constants (α, ψ)

(α=0.14 and ψ=3.0) → default

Step 2 Flow curve determination

(2-1) Determination of fitting type

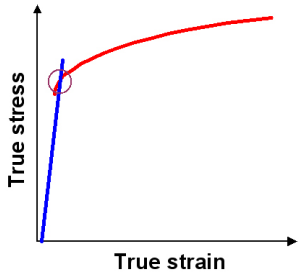
$\sigma = K\varepsilon^n$ for Hollomon-type materials

$\sigma = K_1\varepsilon^{n_1} + \exp(K_2 + n_2\varepsilon)$ for Ludwigson-type materials

Step 3 Strength determination

(3-1) Yield strength

: using Intercept point of elastic line and plastic flow curve



$K\varepsilon_y^n = E(\varepsilon_y - 0.002)$ ➔ ε_y determination

$\sigma_y = K(\varepsilon_y + b)^n$

(3-1-1) Elastic modulus

: Using initial slope of unloading curve reflecting elastic recovery of material

: Unloading curve can be expressed in a power law relation as

$L = k(h - h_f)^m$, where m and K = fitting constants.

$$S = \left(\frac{dL}{dh}\right)_{h=h_{\max}} = km(h_{\max} - h_f)^{m-1} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} E_r \sqrt{A_c},$$

where

$$\frac{1}{E_r} = \frac{1-\nu^2}{E} + \frac{1-\nu_i^2}{E_i}$$

and subscript, i means indenter.

(3-2) Tensile strength

: Using the fact that tensile strain is same as work-hardening exponent

$\sigma_{UTS} = Kn^n$