



โครงการทดสอบประตูต้านทานแรงแระเบิด

อาคาร BLAST RESIDENCE จ.ชลบุรี

บริษัท ไทยออยล์ จำกัด (มหาชน)

TEST REPORT

DOOR TYPE D1



ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทดสอบประตูรับแรงระเบิด

Blast Resistance Testing of Steel Door

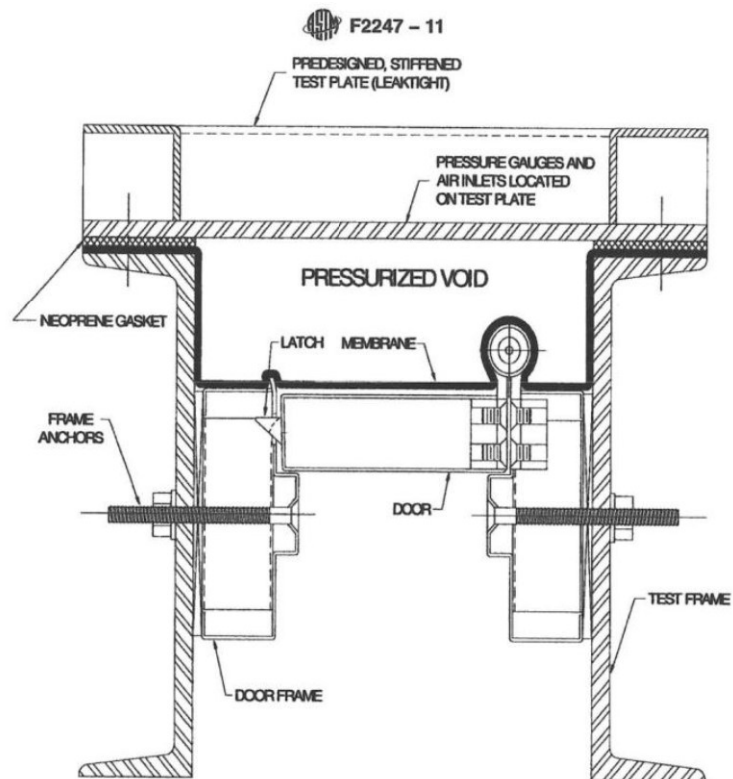
บริษัทเจ้าของชิ้นงาน	บริษัท Thai Oil จำกัด (มหาชน) อาคาร Blast Residence จ.ชลบุรี
วันที่ทำการทดสอบ	วันที่ 3 สิงหาคม 2566
ตัวอย่างทดสอบ	ประตูรับแรงระเบิด TYPE D1
สถานที่ทดสอบ	โรงงาน บริษัท ศุภริช จำกัด 33/15 หมู่ 10 ตำบล คลองข่อย อำเภอปากเกร็ด นนทบุรี 11120

อุปกรณ์การทดสอบ

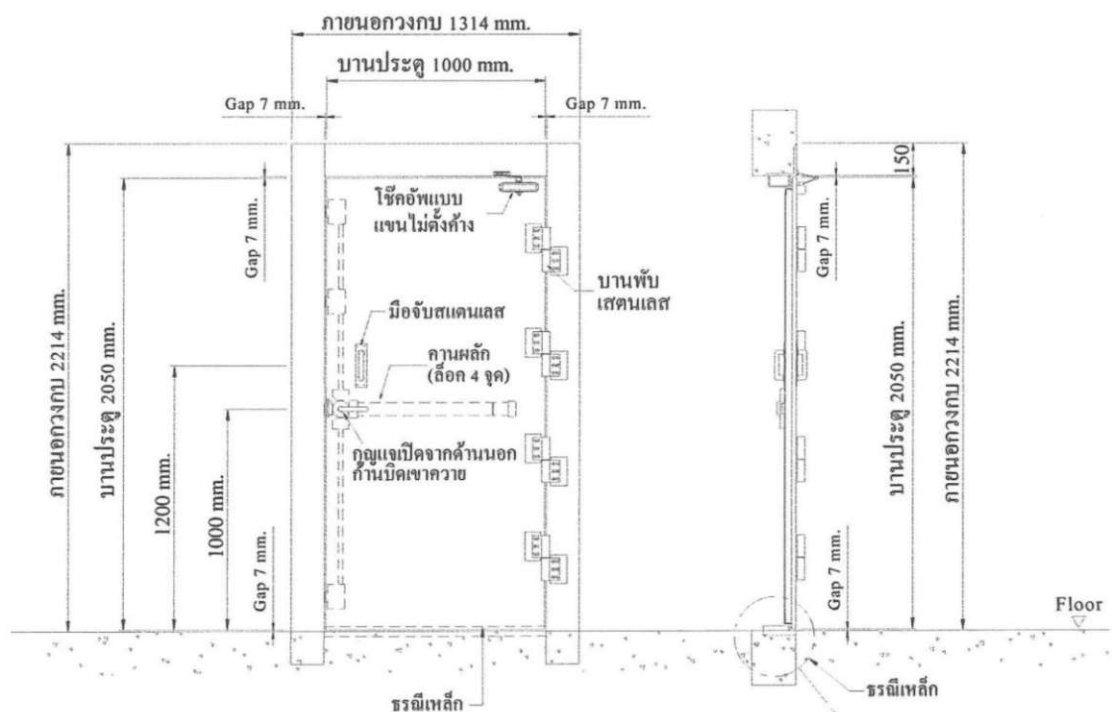
1. Displacement sensors สำหรับวัดค่าการแอ่นตัว (ความละเอียด ± 0.01 mm)	จำนวน 5 ชุด
2. Strain gage สำหรับวัดค่าหน่วยการยืดตัว (ความละเอียด $\pm 1 \times 10^{-6}$ strain)	จำนวน 2 ชุด
3. Pressure gauge สำหรับวัดค่าแรงดันลม (ความละเอียด 0.1 psi)	จำนวน 1 ชุด
4. Data logger 16 Channel สำหรับบันทึกข้อมูล (อัตราการบันทึก 200 ข้อมูล/วินาที)	จำนวน 1 เครื่อง

ขั้นตอนการทดสอบ

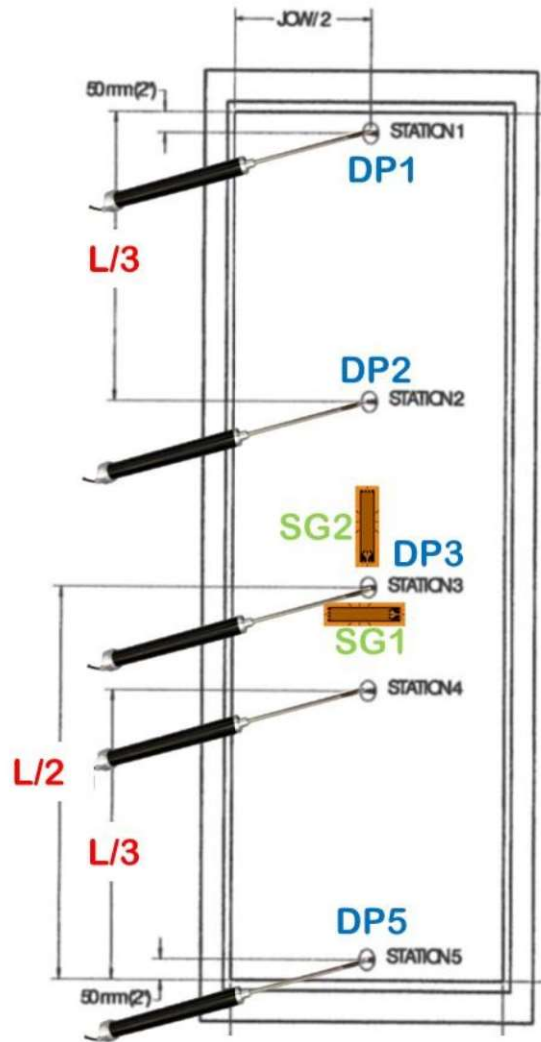
- 1) ติดตั้งประตูดัดสอบกับฐานรองรับและค้ำยัน จากนั้นติดตั้งแผ่นเยื่อ Membrane เพื่ออัดแรงดันอากาศเข้าไปให้มีแรงกระทำต่อบานประตูดัดกระจายทั่วทั้งบานประตูดัดอย่างสม่ำเสมอ โดยแรงดันอากาศจะถูกควบคุมด้วย Pressure gauge และติดตั้งเสา ค้ำยันสำหรับติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด เสร็จแล้วจึงทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด Strain gauges และ Displacement sensors
- 2) ทำการทดสอบตามมาตรฐานสหรัฐอเมริกา ASTM F2247-11 บนเงื่อนไขการทดสอบแบบ Procedure A โดยการทดสอบประตูดัดจะให้แรงดันกระทำแบบสถิตสูงสุดเท่ากับ 8.80 psi (ทดสอบที่แรงดัน 8.40 psi แต่ชดเชยความคลาดเคลื่อนของ Pressure gauge อุปกรณ์วัดค่าแรงดัน +0.4 psi) ทั้งนี้การให้แรงดันกระทำจะเพิ่มขึ้นจาก 0% ถึง 100% แบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ได้แก่ 50% และ 100% ก่อนที่จะลดแรงดันลงเหลือ 0% ในตอนท้าย
 - 2.1) ขั้นที่ 1 ให้แรงดันกระทำที่ 50% ของแรงดันสูงสุดเท่ากับ 4.40 psi (แล้วรักษาแรงดันไว้คงที่นานกว่า 3 นาที) โดยอ่านค่าแรงดันกระทำผ่าน Pressure gauge แล้ว บันทึกค่า Strain และ Displacement จากอุปกรณ์ตรวจวัด
 - 2.2) ขั้นที่ 2 ให้แรงดันกระทำที่ 100% ของแรงดันสูงสุดเท่ากับ 8.80 psi (แล้วรักษาแรงดันไว้คงที่นานกว่า 3 นาที) โดยอ่านค่าแรงดันกระทำผ่าน Pressure gauge แล้ว บันทึกค่า Strain และ Displacement จากอุปกรณ์ตรวจวัด
 - 2.3) ขั้นที่ 3 ลดแรงดันกระทำลงที่ 0% โดยอ่านค่าแรงดันกระทำผ่าน Pressure gauge เมื่อมีค่าเป็น 0.00 psi นาน 3 นาทีแล้ว บันทึกค่า Strain และ Displacement จากอุปกรณ์ตรวจวัด
- 3) ตรวจสอบความเสียหายของประตูหลังการทดสอบ บันทึกผล และนำผลการทดสอบสรุปทำรายงาน ตามเกณฑ์ของมาตรฐาน ASTM F2247-11 Section 11 โดยในการทดสอบนี้จะตรวจประเมินตาม ระดับ Category I



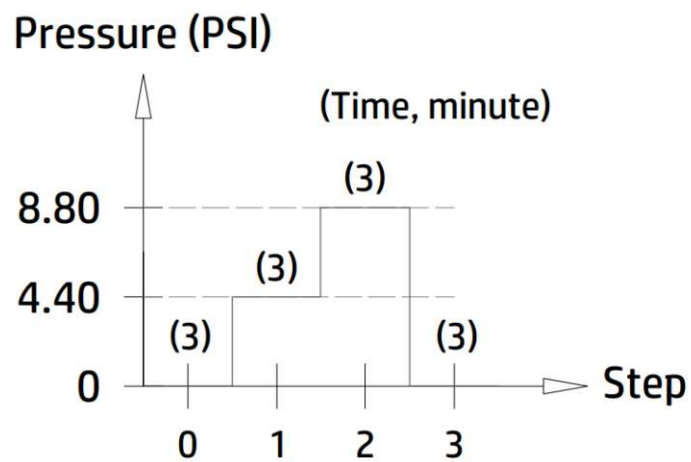
รูปที่ 1 การติดตั้งประตูทดสอบตามมาตรฐาน ASTM F2247-11



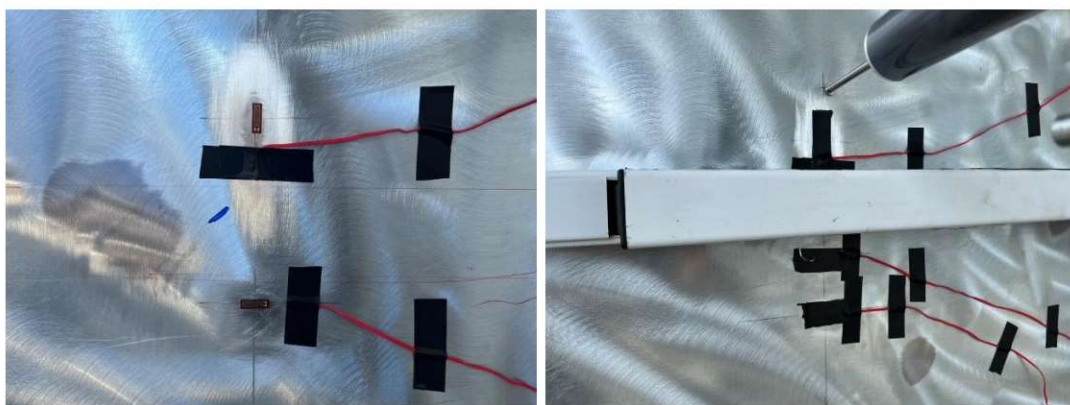
รูปที่ 2 แบบรายละเอียดชิ้นงานทดสอบ - ประตูรับแรงระเบิด TYPE D1



รูปที่ 3 แผนการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด Strain gauges และ Displacement sensors



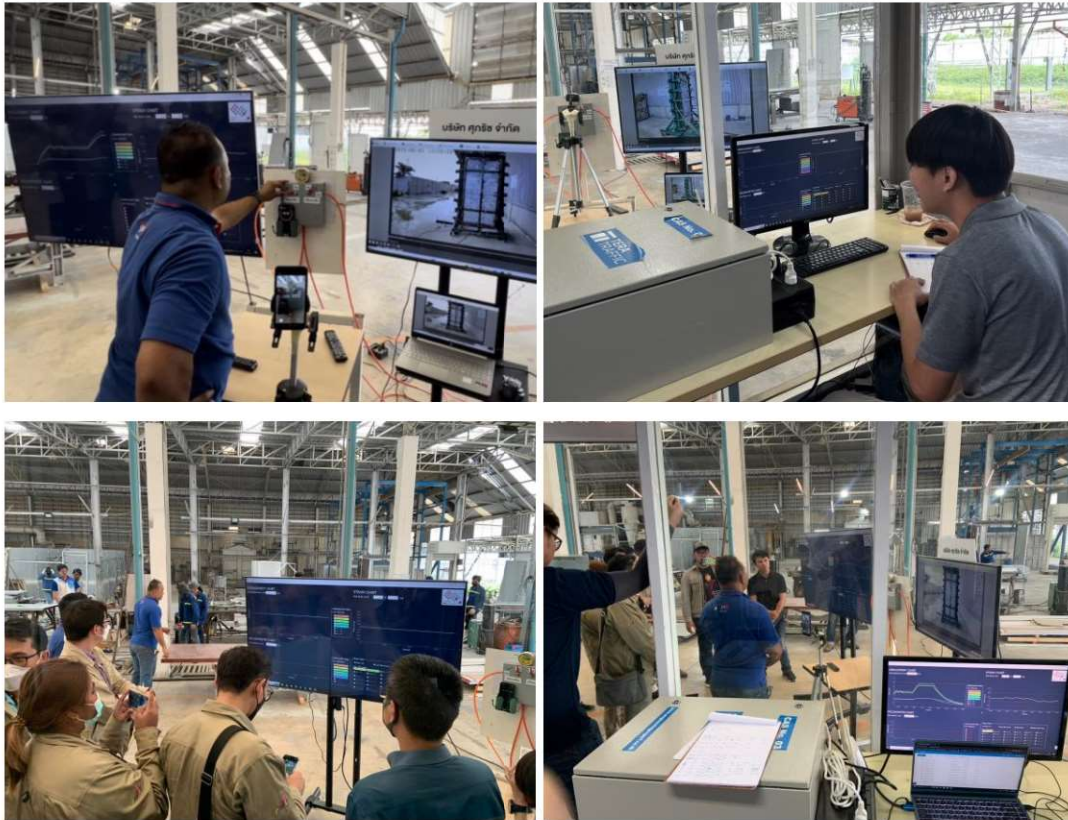
รูปที่ 4 ขั้นตอนการให้แรงดันกระทำต่อบานประตู่



รูปที่ 5 การติดตั้ง Strain gages



รูปที่ 6 การติดตั้ง Displacement sensors



รูปที่ 7 ภาพระหว่างการทดสอบและระบบการบันทึกข้อมูล Data logger



รูปที่ 8 การตรวจสอบประเมินระดับความเสียหายของบานประตูหลังการทดสอบ

ผลการทดสอบ

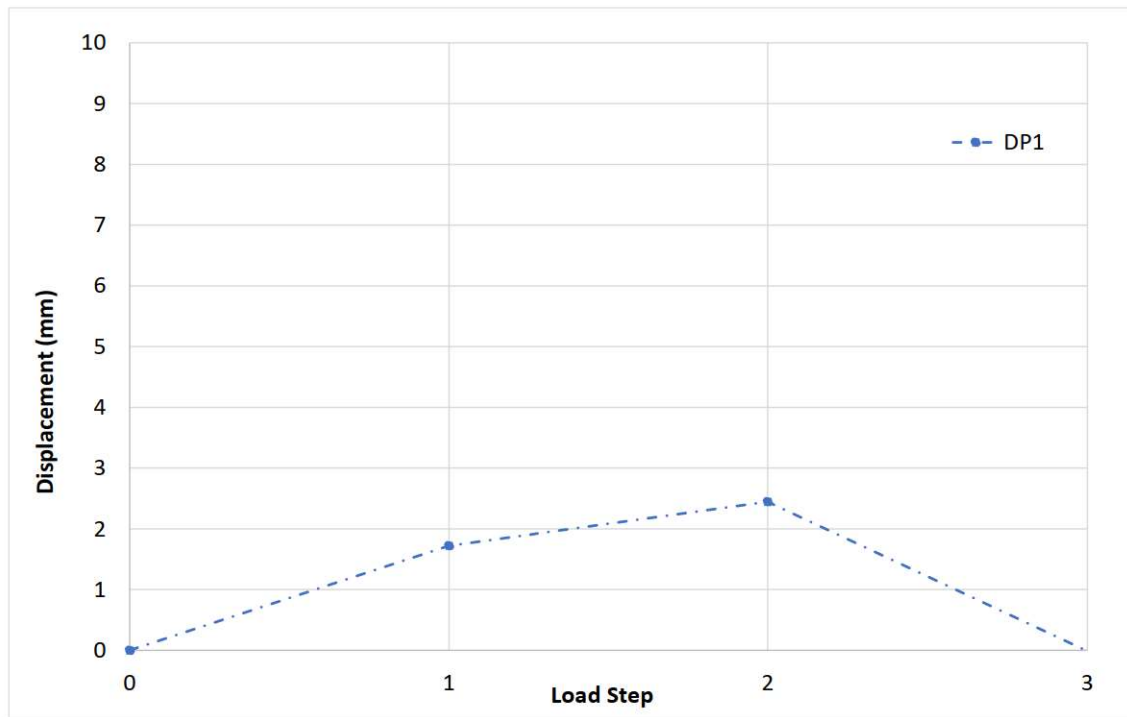
ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 1 ถึง 2 ซึ่งแสดงถึงค่าการแอ่นตัวและค่าหน่วยการยืดหดตัวที่ตรวจวัดได้ในขั้นตอนการให้แรงดันระดับต่างๆ ค่า ณ ตำแหน่งการตรวจวัดที่คาดว่าจะจะเป็นตำแหน่งวิกฤตของประตูดสอบตามมาตรฐาน ASTM F2247-11 (รูปที่ 3) โดยผลการตรวจวัดดังกล่าวแสดงในกราฟที่ 1 ถึง 9

ตารางที่ 1 ผลการตรวจวัดค่าการแอ่นตัว ณ ตำแหน่งต่างๆ ของบานประตูดสอบ

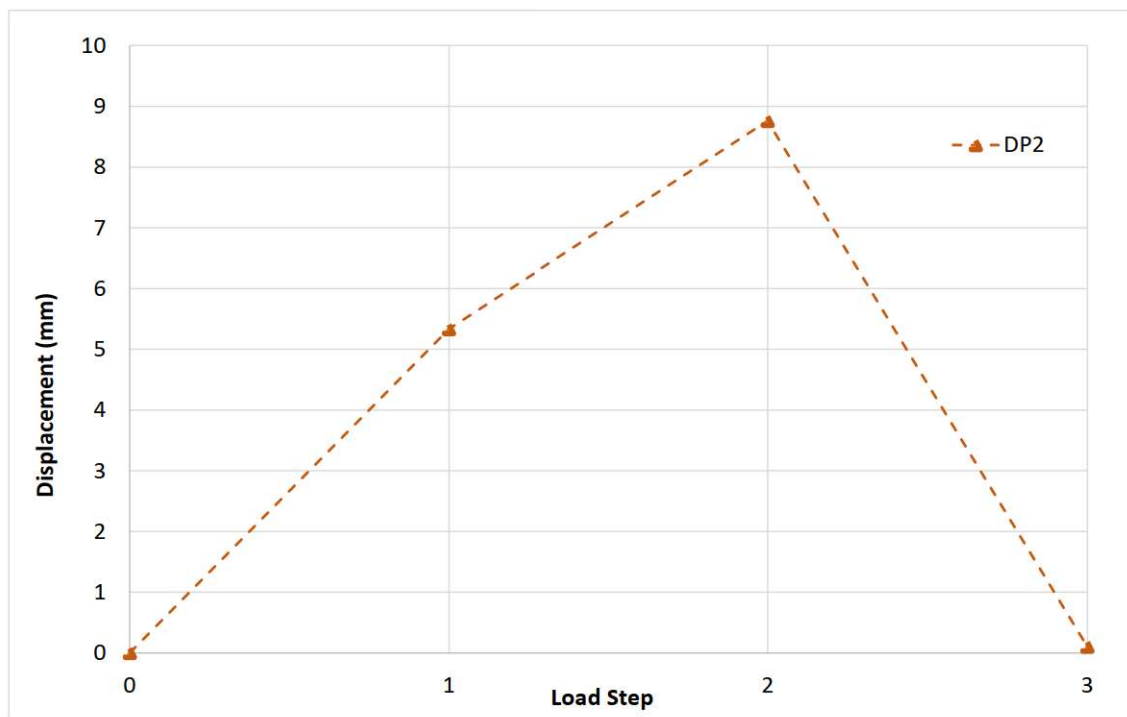
Load Step	Pressure (psi)	Displacement (mm)				
		DP1	DP2	DP3	DP4	DP5
Step 0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Step 1	4.40	1.72	5.33	5.89	5.47	1.83
Step 2	8.80	2.45	8.76	9.86	8.92	2.44
Step 3	0.00	0.00	0.10	0.62	0.12	0.16

ตารางที่ 2 ผลการตรวจวัดค่าหน่วยการยืดหดตัวของประตูดสอบ

Load Step	Pressure (psi)	Strain (microstrain)	
		SG1	SG2
Step 0	0.00	0.00	0.00
Step 1	4.40	92.61	-151.05
Step 2	8.80	103.98	-240.48
Step 3	0.00	2.84	2.23



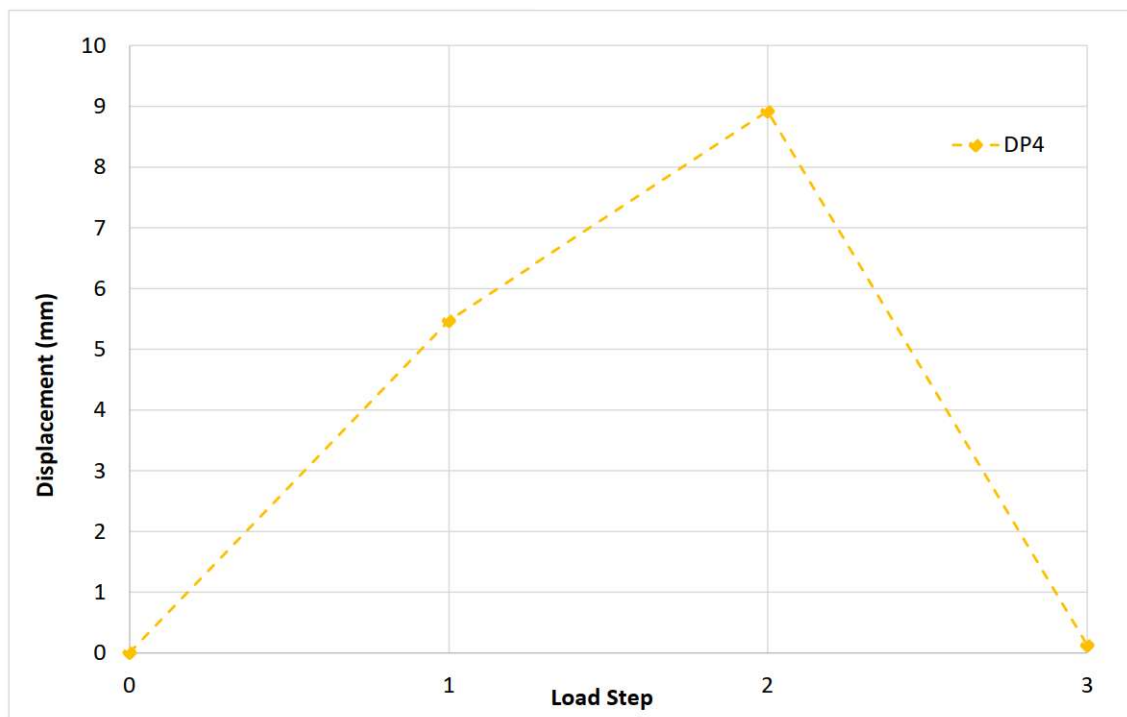
กราฟที่ 1 ค่าการแอ่นตัวของตำแหน่งวัด DT1 ที่ระดับแรงดันค่าต่างๆ



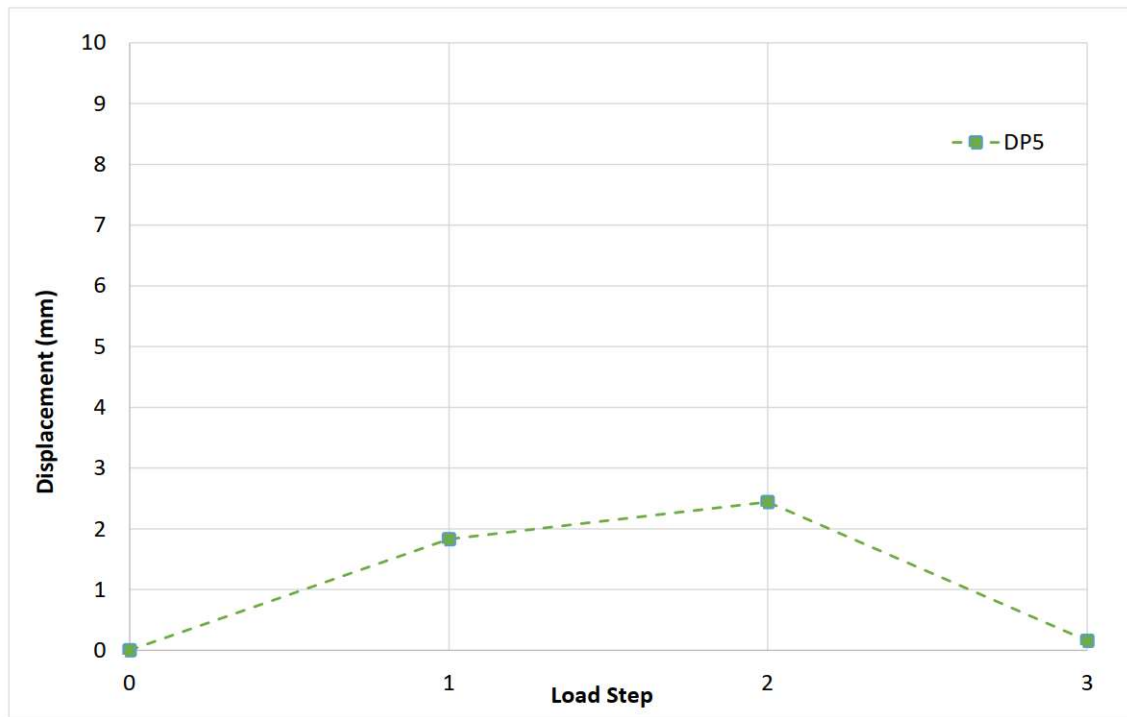
กราฟที่ 2 ค่าการแอ่นตัวของตำแหน่งวัด DT2 ที่ระดับแรงดันค่าต่างๆ



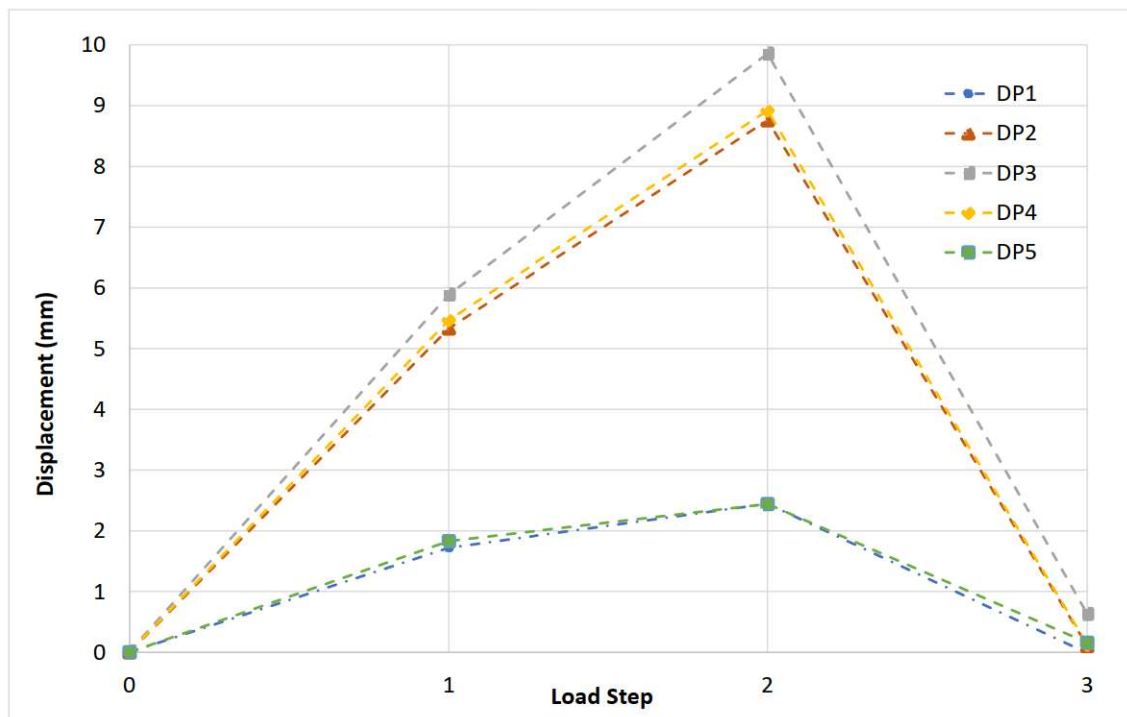
กราฟที่ 3 ค่าการแอ่นตัวของตำแหน่งวัด DT3 ที่ระดับแรงดันค่าต่างๆ



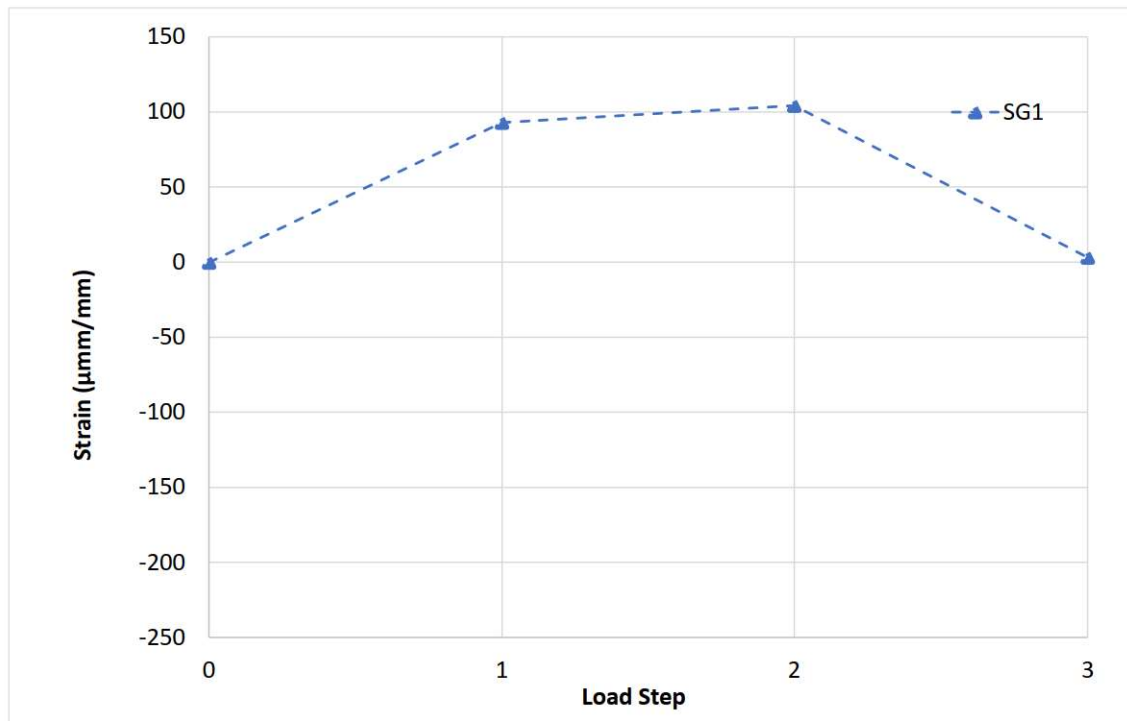
กราฟที่ 4 ค่าการแอ่นตัวของตำแหน่งวัด DT4 ที่ระดับแรงดันค่าต่างๆ



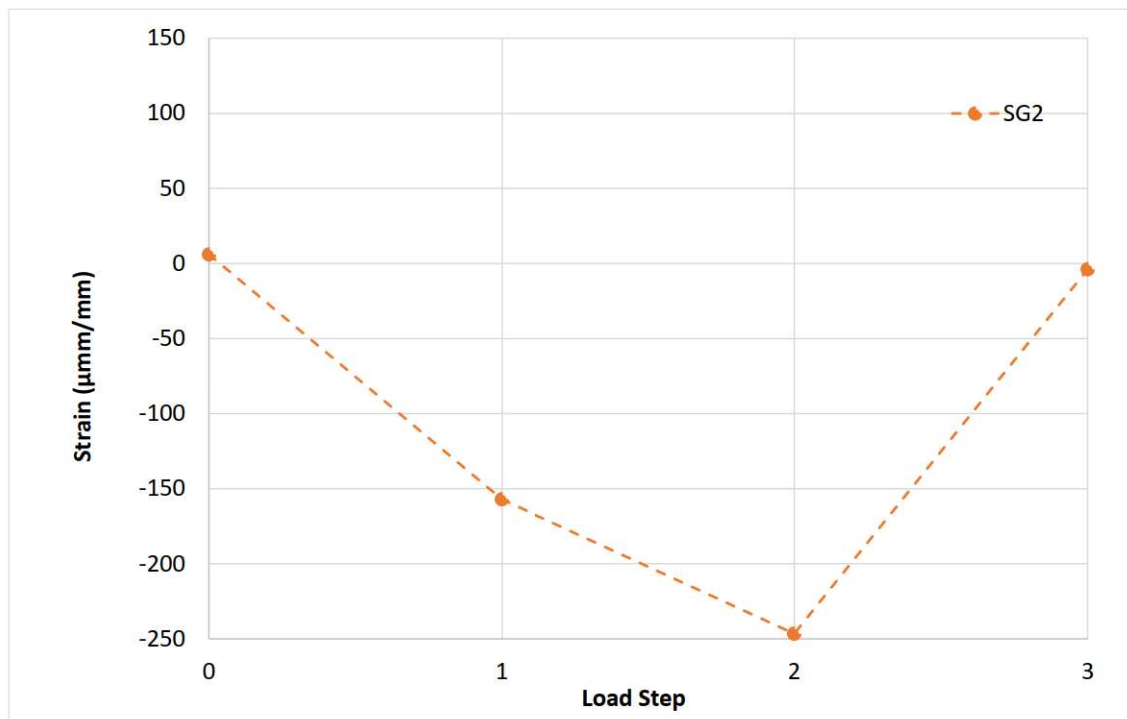
กราฟที่ 5 ค่าการแอ่นตัวของตำแหน่งวัด DT5 ที่ระดับแรงดันค่าต่างๆ



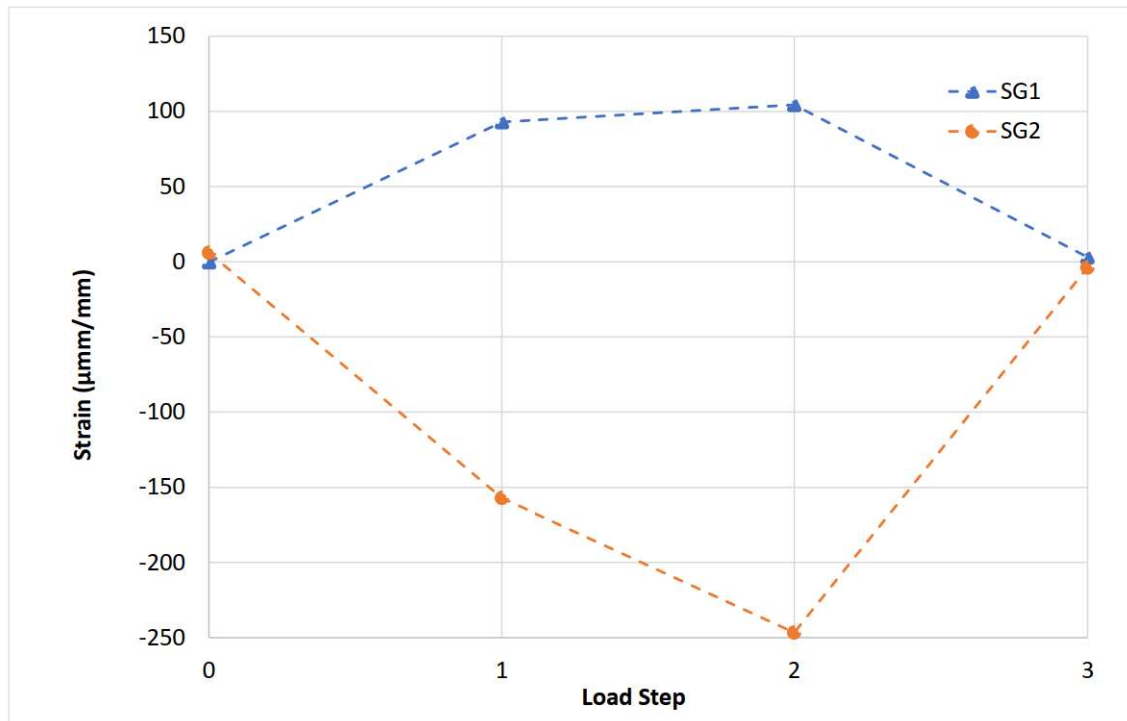
กราฟที่ 6 ค่าการแอ่นตัวของตำแหน่งวัด DT1 ถึง DT5 ที่ระดับแรงดันค่าต่างๆ



กราฟที่ 7 ค่าการยืดหดตัวของตำแหน่งวัด SG1 ที่ระดับแรงดันค่าต่างๆ



กราฟที่ 8 ค่าการยืดหดตัวของตำแหน่งวัด SG2 ที่ระดับแรงดันค่าต่างๆ



กราฟที่ 9 ค่าการยืดหดตัวของตำแหน่งวัด SG1 ถึง SG2 ที่ระดับแรงดันค่าต่างๆ

สรุปผลการทดสอบ

จากผลการทดสอบประตู่ ด้วยแรงดันเป้าหมายด้านข้างเทียบเท่าความดันจากแรงระเบิดสูงสุดเท่ากับ 8.40 psi (แต่การทดสอบใช้ค่า 8.80 psi เพื่อชดเชยความคลาดเคลื่อนของ Pressure gauge) ตามเกณฑ์ของมาตรฐาน ASTM F2247-11 Section 11 แล้วทำการตรวจวัดค่าการยืดหด และการแอ่นตัวในส่วนบานประตู่ ณ ตำแหน่งวิกฤติต่างๆ รวมถึงการตรวจสอบด้วยสายตาถึงความเสียหายที่ปรากฏ และทดสอบการใช้งาน ประตู่ภายหลังการทดสอบ สามารถสรุปผลสำหรับบานประตู่ที่ทำการทดสอบจะตรวจประเมินในประเด็นต่างๆ โดยตรวจสอบตามเกณฑ์ระดับ Category I ได้ผลการทดสอบดังนี้

- 1) เมื่อทดสอบประตู่แล้วเสร็จ ไม่มีแรงกระทำใดๆต่อบานประตู่ เป็นระยะเวลา 3 นาที ให้ตรวจสอบว่าค่าการแอ่นตัวจะต้องกลับมาเป็น 0 หรือมีค่าคงค้างได้ไม่เกิน 2 mm

จากผลการทดสอบพบว่า

ค่าการแอ่นตัวคงค้างของบานประตู่ที่ตำแหน่ง DT1 = 0.00 mm < 2 mm [ผ่าน Category I]

ค่าการแอ่นตัวคงค้างของบานประตู่ที่ตำแหน่ง DT2 = 0.10 mm < 2 mm [ผ่าน Category I]

ค่าการแอ่นตัวคงค้างของบานประตู่ที่ตำแหน่ง DT3 = 0.62 mm < 2 mm [ผ่าน Category I]

ค่าการแอ่นตัวคงค้างของบานประตู่ที่ตำแหน่ง DT4 = 0.12 mm < 2 mm [ผ่าน Category I]

ค่าการแอ่นตัวคงค้างของบานประตู่ที่ตำแหน่ง DT5 = 0.16 mm < 2 mm [ผ่าน Category I]

- 2) ตรวจสอบว่าประตู่สามารถใช้งาน เปิด-ปิด ได้ปกติ ภายหลังการทดสอบ

จากผลการทดสอบพบว่า

บานประตู่ไม่มีร่องรอยความเสียหายที่สามารถตรวจพบด้วยสายตา และการทดสอบเปิดปิดประตู่ ภายหลังการทดสอบพบว่าสามารถกระทำได้ตามปกติ [ผ่าน Category I]

- 3) ตรวจสอบค่า Strain ที่เกิดขึ้นว่าไม่เกินกว่าค่าที่วัสดุของประตู่จะทนไหว

เกณฑ์ค่า Strain สูงสุดของตัวบานประตู่ภายใต้แรงดันอากาศ 8.40 psi ต้องไม่เกินเกณฑ์ค่า Strain การยืดหยุ่นของวัสดุเหล็ก Elastic limit (ซึ่งมีค่าสูงกว่า 700 $\mu\epsilon$)

จากผลการทดสอบพบว่า

ค่า Strain สูงสุดของบานประตู่ที่ตำแหน่ง SG1 = 104 $\mu\epsilon$ < Elastic limit [ผ่าน Category I]

ค่าการ Strain สูงสุดของบานประตู่ที่ตำแหน่ง SG2 = -241 $\mu\epsilon$ < Elastic limit [ผ่าน Category I]

4) ตรวจสอบว่าประตูสามารถล็อกได้ปกติหรือไม่ภายหลังทำการทดสอบ

จากผลการทดสอบพบว่า

ภายหลังการทดสอบพบว่าบานประตูสามารถล็อกและปลดล็อกได้ตามปกติ [ผ่าน Category I]

5) ตรวจสอบว่าสลักและบานพับไม่ได้รับความเสียหายหรือการเสียรูปถาวรภายหลังทำการทดสอบ

จากผลการทดสอบพบว่า

บานประตูไม่มีร่องรอยความเสียหายที่สามารถตรวจพบด้วยสายตาทั้งบริเวณสลัก บานพับ และบานประตู ในทุกบานพับและสลัก [ผ่าน Category I]

จากผลการทดสอบประตู TYPE D1 ด้วยแรงดันด้านข้างเทียบเท่าแรงดันสูงสุดจากการระเบิดที่ 8.40 psi ตามมาตรฐาน ASTM F2247-11 แล้วตรวจสอบค่าการยืดหดของวัสดุตัวบานประตู การแอ่นตัวค้ำของบานประตู การตรวจสอบด้วยสายตาถึงความเสียหายที่ปรากฏ และทดสอบการใช้งานประตูภายหลังตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน

สามารถสรุปได้ว่าประตู TYPE D1 ผ่านเกณฑ์การทดสอบการต้านทานแรงดันระเบิดด้วยสมรรถภาพการใช้งานระดับ Category I ภายใต้แรงดันสูงสุด 8.40 psi ตามเกณฑ์ของมาตรฐาน ASTM F2247-11



(ศาสตราจารย์ ดร. ทศพล ปิ่นแก้ว)

ผู้ควบคุมการทดสอบ

ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

11 สิงหาคม 2566

APPENDIX

- **Peak Dynamic Pressure (P_m) and Time Duration (T)**

According to the common requirement for Blast Door design of DEP 34.17.10.30- Gen. Section 5.2 and the specification of the previous Thai Oil projects, the peak dynamic blast pressure (P_m) of 30 kPa [4.35 psi] with estimated load duration (T) between 50 ms and 150 ms has been specified. Therefore two dynamic blast loading cases consisting of the fast and slow blasting with triangular shapes will be considered in this equivalent blast load estimation according to ASTM F2247-11.

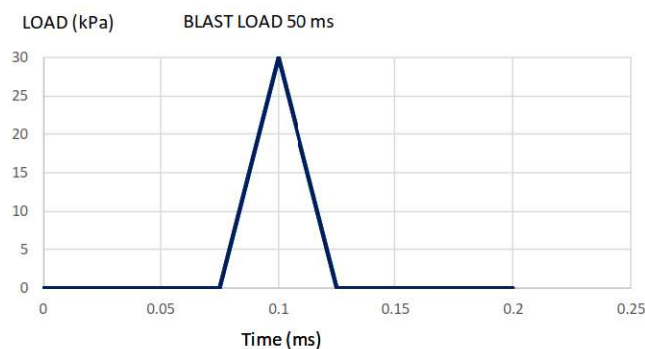


Figure A.1 Load duration of 50 ms – Fast blast loading

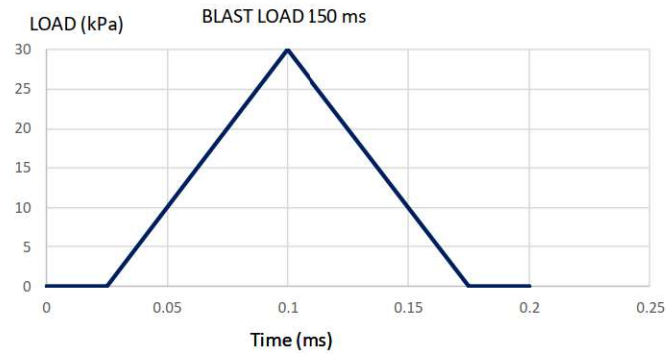


Figure A.2 Load duration of 150 ms – Slow blast loading

- **Equivalent Static Blast Load**

Based on ASTM F2247-11, the estimation of an equivalent static blast load is computed from the ratio of natural period of door vibration and peak pressure duration (T_r) as shown in Figure A.3.

Referring to design calculation of the door type D1, the natural period of the door vibration is 25.8 ms. Then the ratio of natural period of door vibration and peak pressure duration become

$$\text{Fast blast loading: } T_r = 50/25.8 = 1.94$$

$$\text{Slow blast loading: } T_r = 150/25.8 = 5.81$$

From Figure A.3, the maximum equivalent static blast load (P_s) can be conservatively computed from maximum dynamic load factor (DLF_{max}) when $T_r = 5.81$ as

$$\begin{aligned} P_s &= P_m \times DLF_{max} = 4.35 \times 1.93 \\ &= 8.40 \text{ psi } (> 8.0 \text{ psi}) \rightarrow \text{use } 8.40 \text{ psi} \end{aligned}$$

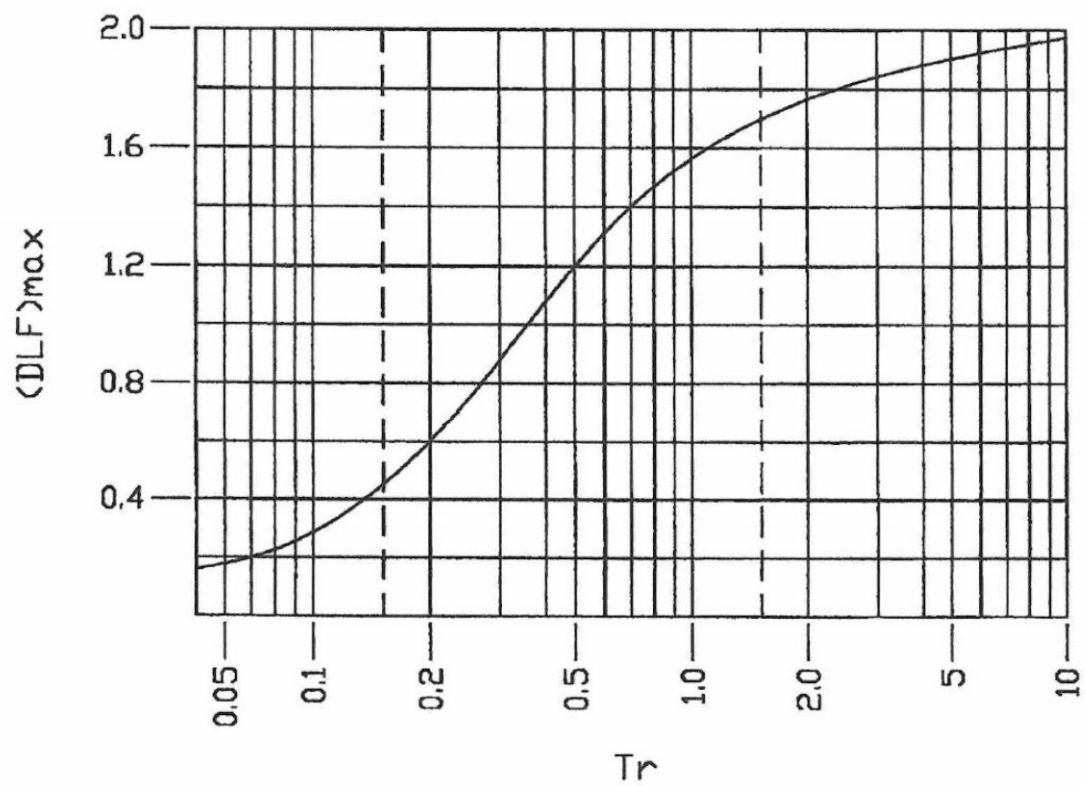


Figure A.3 DLFmax vs Tr (ASTM F2247-11)



รูปที่ 1 ตรวจสอบความเสียหายบริเวณบานพับหลังทำการทดสอบ



รูปที่ 2 ตรวจสอบความเสียหายบริเวณสลักหลังทำการทดสอบ



รูปที่ 3 ตรวจสอบการเปิด-ปิดประตูหลังทำการทดสอบ



รูปที่ 4 ตรวจสอบร่องรอยความเสียหายของประตูหลังทำการทดสอบ



Certificate of Calibration

Certificate Number : SPR23070264-1

Page : 1 of 3

Customer : SUPA RICH COMPANY LIMITED.

27 Ramintra Soi 48 , Ramintra Road , Ramintra , Khannayao , Bangkok
10230

Equipment Name : Digital Pressure Gauge

Manufacturer : MES

Model : NPT1/4

Serial Number : N/A

ID. Number : N/A

Environmental Conditions

Ambient Temperature : $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$

Relative Humidity : $50\% \pm 15\%$

Location of Calibration : In-Lab

Calibration Procedure : SP-CPM-04-05

Received Date : 17 Jul 2023

Calibration Date : 18 Jul 2023

Recommend Due Date : 18 Jul 2024

Date of Issue : 19 Jul 2023

Method of Calibration

This certifies that the above instrument was calibrated in compliance with the calibration system requirement of ISO/IEC 17025:2017 in accordance with reference procedure. Standards used to perform this calibration are certified by to NIST or equivalent, National metrology institute, Natural physical constants, consensus standards. The result reported herein apply only to the calibration of the item described above as received. Our decision rule is to contact the customer if the item pass and fail calibration when the results include the uncertainties and the customer must determine if the results meets their needs.

The calibration certificate shall not be reproduced except in full, without written approval of SP Metrology System (Thailand).

Calibrated by : Mr.Kijja Visitsilp

Calibration Officer

Approved by :


(Mr. Prayoon Topart)

Authorized Signatory



Calibration Report

Certificate Number : SPR23070264-1

Page : 2 of 3

Reference Standards

Equipment Name	Model	Serial No.	Certificate No.	Due. Date
Pressure calibrator	718 30G	2314118	23P720	03 Mar 2024

Traceability

This certification is traceable to the International System of Unit maintained at :
TPA - Technology Promotion Association (Thailand-Japan)



Result of Calibration

Certificate No. : SPR23070264-1

Page : 3 of 3

Range : 0 to 10 psi

Resolution : 0.1 psi

Measurement Function : Pressure Measurement

UUC* Accuracy : 1 %F.S.

Unit : psi

Direction	STD Reading	UUC Reading		Error	Uncertainty (±)
		As Found	As Left		
Increasing	0.000	0.0	N/A	0.0	0.058
	1.000	0.9		-0.1	0.058
	2.000	1.9		-0.1	0.058
	3.000	2.9		-0.1	0.058
	4.000	3.9		-0.1	0.058
	5.000	5.0		0.0	0.058
	6.000	5.8		-0.2	0.058
	7.000	6.7		-0.3	0.058
	8.000	7.7		-0.3	0.058
	9.000	8.7		-0.3	0.058
	10.000	9.7		-0.3	0.058
Decreasing	10.000	9.7	N/A	-0.3	0.058
	9.000	8.7		-0.3	0.058
	8.000	7.7		-0.3	0.058
	7.000	6.7		-0.3	0.058
	6.000	5.8		-0.2	0.058
	5.000	5.0		0.0	0.058
	4.000	3.9		-0.1	0.058
	3.000	2.9		-0.1	0.058
	2.000	1.9		-0.1	0.058
	1.000	0.9		-0.1	0.058
	0.000	0.0		0.0	0.058

Calibrated condition :

UUC* Unit Under Calibration Conversion factor : 1 psi = 6894.76 Pa

Mounting Position : Vertical

Reference level was center of the dial is above that of the standard and $\Delta h = 0$ m.

Note:

The result of calibration was found accurate as show on date and place of calibration only.
This Certificate is not certified for any commercial transaction.

Measurement Uncertainty

The reported uncertainty of measurement is the expanded uncertainty obtained by multiplying the standard uncertainty with the coverage factor $k = 2.00$, providing a level of confidence approximately 95 %

- End of Certificate -

SP-FM-04-15 Rev.0

Strain gage Specification

Uniaxial

Resistance: 120 Ω

Gage factor: Approx. 2.1

- Common steel
 - Stainless steel
 - Aluminum alloy
 - Magnesium alloy
- (Base color stands for different linear expansion.)

KFGS-30-120-C1



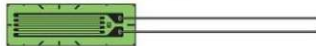
*The above picture is KFGS-30-120-C1-11.

KFGS-20-120-C1



*The above picture is KFGS-20-120-C1-16.

KFGS-10-120-C1



*The above picture is KFGS-10-120-C1-23.

KFGS-30-120-C1-11



KFGS-30-120-C1-16



KFGS-30-120-C1-23



KFGS-30-120-C1-27



30

3.3

37

5.2

KFGS-20-120-C1-11



KFGS-20-120-C1-16



KFGS-20-120-C1-23



KFGS-20-120-C1-27



20

5

28

8

KFGS-10-120-C1-11



KFGS-10-120-C1-16



KFGS-10-120-C1-23



KFGS-10-120-C1-27

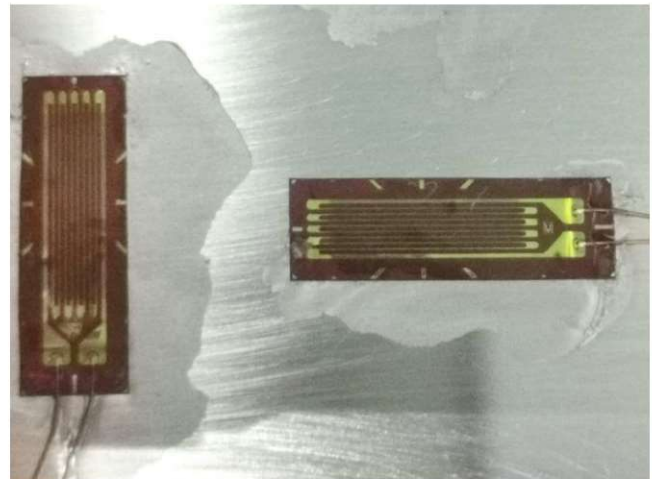


10

3

16

5.2



Displacement sensor Specification



Specifications

Performance

Rated Capacity	See table below.
Nonlinearity	Within $\pm 0.1\%$ RO
Hysteresis	Within $\pm 0.1\%$ RO
Repeatability	0.1% RO or less
Rated Output	5 mV/V $\pm 0.1\%$ $\pm 0.15\%$ (DTH-A-5)

Environmental Characteristics

Safe Temperature	-10 to 70°C (Non-condensing)
Compensated Temperature	0 to 60°C (Non-condensing)
Temperature Effect on Zero	Within $\pm 0.01\%$ RO/°C
Temperature Effect on Output	Within $\pm 0.01\%$ /°C

Electrical Characteristics

Safe Excitation	6 V AC or DC
Recommended Excitation	1 to 4 V AC or DC
Input Resistance	350 $\Omega \pm 1\%$
Output Resistance	350 $\Omega \pm 1\%$
Cable	4-conductor (0.065 mm ²) vinyl shielded cable, 4 mm diameter by 2 m long, terminated with a connector plug PRC03-12A10-7M (Shield wire is not connected to the case.)

Mechanical Properties

Frequency Response	DC to approx. 2 Hz
Measuring Force	See table below.
Weight	See table below.
Degree of Protection	IP50 (IEC 60529)

Others

Initial Unbalance	With the rod fully extended is approx. -6000 to -5000 $\times 10^{-6}$ strain.
--------------------------	---