

ภาคผนวก ก
ตารางคุณสมบัติของท่อเอชดีพีอี
ตารางคุณสมบัติของสารทำเย็น R113 และ R123
มาตรฐาน ASTM D2240-91



TECHNICAL INFORMATION

การทนต่อสารเคมีของท่อพีอี

General guide to chemical resistance of HDPE pipe

เคมีภัณฑ์ Chemicals	ความเข้มข้น Concentration %	20° ซ (68° ฟ) 20° C (68° F)			60° ซ (140° ฟ) 60° C (140° F)		
		Good resistance ทนได้ดี	Moderate resistance ทนปานกลาง	Poor resistance ทนไม่ดี	Good resistance ทนได้ดี	Moderate resistance ทนปานกลาง	Poor resistance ทนไม่ดี
Acetaldehyde อะซิตาลดีไฮด์	100	x				x	
Acetate, amyl อะซิเตท, อะไมล	100	x				x	
Acetate, butyl อะซิเตท, บิวทิล	100	x				x	
Acetate, ethyl อะซิเตท, เอทิล	100		x				x
Acetone อะซีโตน	100	x			x		
Acid							
Acetic Acid กรดน้ำส้ม	10	x			x		
Glacial acetic Acid กรดกลacialอะซิติก	96	x				x ²⁰	
Aromatic Acid กรดอะโรมาติก		x			x		
Benzoic Acid กรดเบนโซอิก	sat	x			x		
Boric Acid กรดบอริก	sat	x			x		
Butyric Acid กรดบิวทิริก	100	x				x	
Carbonic Acid กรดคาร์บอนิก	100	x			x		
Chromic Acid กรดโครมิก	20	x				x	
Chromic Acid กรดโครมิก	80	x					x ²⁰
Citric Acid กรดซิตริก	sat	x			x		
Dichloroacetic Acid กรดไดคลอโรอะซิติก	50	x			x		
Dichloroacetic Acid กรดไดคลอโรอะซิติก	100	x				x ²⁰	
Fatty Acid, higher than C ₁₂ กรดไขมัน, คาร์บอนมากกว่า 12	100	x			x	x	
Formic Acid กรดฟอร์มิก	100	x			x		
Glycolic Acid กรดไกลอลิก	50	x			x		
Hydrobromic Acid กรดไฮโดรโบรมิก	50	x			x		
Hydrochloric Acid กรดไฮโดรคลอริก	10	x			x		
Hydrofluoric Acid กรดไฮโดรฟลูออริก	60	x				x	
Lactic Acid กรดแลกติก	100	x			x		
Maleic Acid กรดมาลิก	sat	x			x		
Monochloroacetic Acid กรดโมโนคลอโรอะซิติก	100	x			x		
Nitric Acid กรดไนตริก 25%	25	x			x		
Nitric Acid กรดไนตริก 50%	50		x				x ²⁰
Nitric Acid กรดไนตริก 75%	75			x			x ²⁰
Oleic Acid กรดโอเลอิก	100	x				x	
Oxalic Acid กรดออกซาลิก	sat	x			x		
Perchloric Acid กรดเพอร์คลอริก	20	x			x		
Perchloric Acid กรดเพอร์คลอริก	50	x				x	
Perchloric Acid กรดเพอร์คลอริก	70	x					x ²⁰
Phosphoric Acid กรดฟอสฟอริก	50	x			x		
Phosphoric Acid กรดฟอสฟอริก	95	x				x ²⁰	
Phthalic Acid กรดฟทาอิก	50	x			x		
Propionic Acid กรดโพรพิโอนิก	50	x			x		
Propionic Acid กรดโพรพิโอนิก	100	x				x	
Prussic Acid กรดพริกติก	10	x			x		
Silicic Acid กรดซิลิกิก	100	x			x		

Chemicals	Concentration %	20° C (68° F)			60° C (140° F)		
		Good resistance	Moderate resistance	Poor resistance	Good resistance	Moderate resistance	Poor resistance
Chlorobenzene คลอโรเบนซีน	100		x				x
Chloroform คลอโรฟอร์ม	100			x			x
Copper salts คอปเปอร์ซอลต์	sat	x			x		
Cresol ครีโซล	90	x			x ¹⁰		
Cyclohexane ไสโซเฮกเซน	100	x			x		
Cyclohexanol ไสโซเฮกเซนแอลกอฮอล์	100	x			x		
Cyclohexanone ไสโซเฮกเซนโอน	100	x				x	
Decalin ดีคาลิน ไสโซเดกัน	100	x				x	
Detergents ดีเทอร์เจนต์	100	x			x		
Dibutyl phthalat ไดบูทิลฟทาเลต	100	x				x	
Dichlorethane ไดคลอโรเอทาน	100		x			x	
Dichlorethylene ไดคลอโรเอทิลีน	100			x			x
p-dichlorobenzene พาราดิคลอโรเบนซีน	100		x				x
Diethyl ether ไดเอทิลอีเธอร์	100	x	to x			x	
Diethyl phthalate ไดเอทิลฟทาเลต	100	x				x	
Dioxane ไดออกเซน	100	x			x		
Ether อีเธอร์	100		x			x	
Ethyl acetate เอทิลอะซิเตต	100		x				x
Ethylene glycol เอทิลีนไกลคอล	100	x			x		
Fluorine ฟลูออรีน	100			x			x
Formaldehyde ฟอร์มาลดีไฮด์	40	x			x		
Fruit juice น้ำผลไม้		x			x		
Gelatin เจลาติน	100	x			x		
Glycerin กลีเซอริน	100	x			x		
Glycerin chlorohydrin กลีเซอรินคลอโรไฮเดรต	100	x			x		
Glycol ไกลคอล	100	x			x		
Hydrogen chloride gas (dry and wet, ไสโซเจนคลอไรด์ (แห้งและเปียก))	10	x			x		
Hydrogen peroxide ไสโซเจนเปอร์ออกไซด์	30	x			x		
Hydrogen Peroxide ไสโซเจนเปอร์ออกไซด์	70	x					x
Hydrogen sulphide ไสโซเจนซัลไฟด์	100	x			x		
Iodine tincture ไอโอดีนทินคเจอร์		x				x ¹⁰	
Isocetane ไอโซเซทาน	100	x				x	
Ketones คีโตน		x			x		
Marmelade มาร์เมลาด		x			x		
Mercury ปรอท	100	x			x		
Metallic sulphates โลหะซัลเฟต	sat	x			x		
Methylethylketone เมทิลเอทิลคีโตน	100	x				x	
Methylglycol เมทิลไกลคอล	100	x			x		
Milk นม		x			x		
Molasses มอลาสส์		x			x		
Morpholine มอร์โฟลีน	100	x			x		
Naphia (heavy fraction) นพทา (ส่วนที่หนัก)	100	x				x	
Naphtalene นพทาเลน	100	x				x	
Natural gas แก๊สธรรมชาติ	100	x			x		
Nickel salts นิกเกิลซอลต์	sat	x			x		
Nitrous gas นิตรัสแก๊ส		x			x		
Oils							
Essential Oils น้ำมันหอมระเหย	100					x	
Mineral Oils น้ำมันแร่	100	x			x	x	
Paraffin Oils น้ำมันพาราฟิน	100	x			x		
Silicone Oils น้ำมันซิลิโคน	100	x			x		
vegetable and animal Oils น้ำมันพืชและสัตว์	100	x			x	x	
Oleum โอเลอัม	10			x			x

Chemicals	Concentration %	20° C (68° F)			60° C (140° F)		
		Good resistance	Moderate resistance	Poor resistance	Good resistance	Moderate resistance	Poor resistance
Stearic Acid สเตียริกแอซิด	100	x				x	
Succinic Acid สุกซินิกแอซิด	50	x			x		
Sulpho-chromic Acid สัลโฟโครมิกแอซิด				x			x
Sulphuric Acid ซัลฟูริกแอซิด	50	x			x		
Sulphuric Acid ซัลฟูริกแอซิด	98	x					x ¹⁰
Sulphurous Acid ซัลฟูรัสแอซิด	30	x			x		
Tartaric Acid ทาร์ทาริกแอซิด	sat	x			x		
Trichloroacetic Acid ไตรคลอโรอะซิติกแอซิด	50	x			x		
Trichloroacetic Acid ไตรคลอโรอะซิติกแอซิด	100	x				x to	x
Acrylonitrile อะครีโลไนไทรล์	100	x			x		
Alcohol							
Allyl Alcohol อัลลิลแอลกอฮอล์	96	x			x		
Benzyl Alcohol เบนซิลแอลกอฮอล์	100	x			x to	x	
Ethyl Alcohol เอทิลแอลกอฮอล์	96	x			x		
Furfuryl Alcohol ฟิวรีลแอลกอฮอล์	100	x				x ¹⁰	
Isopropyl Alcohol ไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์	100	x			x		
Methoxybutyl Alcohol เมทอกซีบิวทิลแอลกอฮอล์	100	x				x	
Methyl Alcohol เมทิลแอลกอฮอล์	100	x			x		
Aliphatic esters อะลิฟาติกเอสเตอร์		x			x to	x	
Alum อะลูมิเนียม (คลอไรด์)	1c	x			x		
Ammonia แอมโมเนีย	1c	x			x		
Acetic Anhydride อะซิติกแอนไฮไดรด์	100	x				x ¹⁰	
Aniline อะนิลีน	100	x				x	
Antimony trichloride แอนติโมนีไตรคลอไรด์	90	x			x		
Aqua regia ปรอทน้ำไนไตรต์				x			x
Benzaldehyde เบนซัลดีไฮด์	100	x				x	
Benzene เบนซีน	100		x			x	
Borax โบรนซ์	sat	x			x		
Brine บรัน	1c	x			x		
Bromine บ्रोมีน	100			x			x
Butane (gas) บิวเทน (แก๊ส)	100	x			x		
Calcium hypochlorite แคลเซียมไฮโปคลอไรต์	1c	x			x		
Camphor คัมฟอร์	100	x				x	
Carbon disulphide คาร์บอนไดซัลไฟด์	100		x			x	
Carbon tetrachloride คาร์บอนเตตระคลอไรด์	100			x			x
Caustic potash (clear) โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์	40	x			x		
Caustic soda (clear) โซเดียมไฮดรอกไซด์	50	x			x		
Chloride, aluminum แอลูมิเนียมคลอไรด์	sat	x			x		
Chloride, ammonium แอมโมเนียมคลอไรด์	sat	x			x		
Chloride, antimony แอนติโมนีคลอไรด์	sat	x			x		
Chloride, calcium แคลเซียมคลอไรด์	sat	x			x		
Chloride, ferric เฟอริกคลอไรด์	sat	x			x		
Chloride, ferrous เฟอรัสคลอไรด์	sat	x			x		
Chloride, magnesium แมกนีเซียมคลอไรด์	sat	x			x		
Chloride, mercury ปรอทคลอไรด์	sat	x			x		
Chloride, methyl เมทิลคลอไรด์	100			x			x
Chloride, potassium โพแทสเซียมคลอไรด์	sat	x			x		
Chloride, sodium โซเดียมคลอไรด์	sat	x			x		
Chloride, sulphuryl ซัลฟูริลคลอไรด์	100			x			
Chloride, thionyl ไธโอนิลคลอไรด์	100			x			
Chloride, zinc สังกะสีคลอไรด์	sat	x			x		
Chlorine (gas) คลอรีน (แก๊ส)	100		x			x	
Chlorine (liquid) คลอรีนเหลว	100			x			x

Chemicals	Concentration %	20° C (68° F)			60° C (140° F)		
		Good resistance	Moderate resistance	Poor resistance	Good resistance	Moderate resistance	Poor resistance
Oxygen ออกซิเจน	100	x				x	
Ozone โอโซน	100	x	x				x
Petrol (auto) น้ำมัน (รถยนต์)	100	x			x to	x	
Petrol (raw) น้ำมัน (ดิบ)	100	x				x	
Petroleum ether อีเทอร์ปิโตรเลียม	100	x				x	
Phenols ฟีนอล	lc	x			x ^D		
Phosphates ฟอสเฟต	sat	x			x		
Phosphoric oxychloride ฟอสฟอริกออกซิคลอไรด์	100	x				x ^D	
Phosphorous pentoxide ฟอสฟอรัสเพนทอกไซด์	100	x			x		
Phosphorous trichloride ฟอสฟอรัสไทรคลอไรด์	100	x				x	
Photographic developers น้ำยาดำรูปถ่าย		x			x		
Polyglycols โพลีไกลคอล	100	x			x		
Potassium dichromate โพแทสเซียมไดโครเมต	sat	x			x		
Potassium permanganate โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต	sat	x			x ^D		
Pyridine ไพริดีน	100	x				x	
Sea water น้ำทะเล		x			x		
Silver nitrate ซิลเวอร์ไนเตรต	sat	x			x		
Sodium benzoate โซเดียมเบนโซเอต	sat	x			x		
Sodium bicarbonate โซเดียมไบคาร์บอเนต	sat	x			x		
Sodium borate โซเดียมโบรเอต	1	x			x		
Sodium carbonate (lyes) โซเดียมคาร์บอเนต	sat	x			x		
Sodium chlorite โซเดียมคลอไรต์	50	x				x	
Sodium chlorite (Washing bleach) โซเดียมคลอไรต์ (น้ำยาล้างผ้า)		x				< to	x
Sodium hypochlorite โซเดียมไฮโปคลอไรต์	125 g/l active	x			x		
Sodium nitrate โซเดียมไนเตรต	sat	x			x		
Sodium nitrite โซเดียมไนไตรต์	lc	x			x		
Sodium sulfide โซเดียมซัลไฟด์	lc	x			x		
Sodium sulphate โซเดียมซัลเฟต	sat	x			x		
Sugar syrup น้ำเชื่อม	lc	x			x		
Sulphur กำมะถัน	100	x			x		
Sulphur dioxide ซัลเฟอร์ไดออกไซด์	lc	x			x		
Sulphur trioxide ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์	100			x			x
Tetrahydrofuran เททราไฮโดรฟูแรน	100		x				x
Tetralin เททราลิน	100	x					
Thiophene ไธโอเฟน	100		x			x	
Toluene โทลูอีน	100		x				x
Trichloroethylene ไทรคลอโรเอทิลีน	100			x			x
Turpentine น้ำมันสน	100	x				x	
Urea ยูเรีย	sat	x			x		
Vaseline วาสลีน			x			x	
Yeast ยีสต์	a	x			x		
Xylene ไซลีน	100		x				x

lc = aqueous solution in all concentrations สารละลายทุกๆ ความเข้มข้น

D = discolouration สีเปลี่ยน

sat = saturated aqueous solutions at 20°c สารละลายในน้ำอิ่มตัวที่ 20 องศาเซลเซียส

a = aqueous solutions สารละลาย



ท่อพีอี ชนิดความหนาแน่นสูง สำหรับงานประปา และงานวางท่อทั่วไป

High density polyethylene pipes (HDPE) for potable water and general applications
SPECIFICATION Materials extrusion compound conforming to ASTM D 1248

Designing Stress is 5.0 N/mm²

HDPE-BS HEAVY

ขนาด Nominal bore		เส้นผ่าศูนย์กลางวงนอก Outside diameter		ความหนา Thickness	แรงดันขณะใช้งาน Working Pressure	
นิ้ว INCH	มม. MM.	ต่ำสุด Min. มม. MM.	สูงสุด Max. มม. MM.	มม. MM.	ปอนด์/ตร.นิ้ว PSI	บาร์ BAR
1/2	15	21.2	21.5	3.3	265.8	18.3
3/4	20	26.6	26.9	3.3	204.5	14.1
1	25	33.4	33.7	4.0	197.3	13.6
1 1/4	32	42.1	42.5	4.2	160.2	11.0
1 1/2	40	48.1	48.5	4.5	149.0	10.3
2	50	60.1	60.6	5.2	136.8	9.4
2 1/2	65	75.8	76.4	5.5	111.5	7.7
3	80	88.6	89.3	6.0	104.9	7.2
4	100	113.9	114.7	6.5	87.5	6.0

หมายเหตุ 1. เส้นผ่านศูนย์กลางวงนอกท่อ พี อี BS-HEAVY อ้างอิงจากมาตรฐาน BS 3284 : 1967 ขนาดตั้งแต่ 1/2 - 2 นิ้ว สามารถทำเกลียวได้และแรงดันใช้งานดังกล่าวควรลดลงประมาณ 30%

Remarks HDPE BS HEAVY BASED on outside diameter of BS 3284 : 1967 size from 1/2 - 2 inch could be threaded and pressure rating shall be by approx 30%

Designing Stress is 6.3 N/mm²

ASTM D 2447

			SCHEDULE 40			SCHEDULE 80		
ขนาด Nominal bore		วงนอก OD	ความหนา Thickness	แรงดันขณะใช้งาน Working Pressure		ความหนา Thickness	แรงดันขณะใช้งาน Working Pressure	
นิ้ว INCH	มม. MM.	มม. MM.	มม. MM.	PSI	BAR	มม. MM.	PSI	BAR
1/2	15	21.3	2.8	276.5	19.1	3.8	396.1	27.4
3/4	20	26.7	2.9	222.6	15.3	4.0	321.9	22.2
1	25	33.4	3.4	207.1	14.3	4.6	291.8	20.1
1 1/4	32	42.2	3.6	170.4	11.7	4.9	240.0	16.5
1 1/2	40	48.3	3.7	151.6	10.4	5.1	215.7	14.9
2	50	60.3	4.0	129.8	8.9	5.6	187.0	12.9
2 1/2	65	76.0	5.2	140.5	9.7	7.1	188.3	13.0
3	80	88.9	5.5	120.5	8.3	7.7	173.2	11.9
4	100	114.3	6.1	103.0	7.1	8.6	148.6	10.2
5	125	141.3	6.6	89.5	6.2	9.6	133.2	9.2
6	150	168.3	7.1	80.5	5.5	11.0	127.8	8.8
8	200	219.1	8.2	71.0	4.9	12.7	112.4	7.7
10	250	273.1	9.3	64.4	4.4	15.9	112.9	7.8
12	300	323.9	10.4	60.6	4.2	17.9	106.9	7.4



TECHNICAL INFORMATION

Physical properties of Polyethylene

Raw Material Properties	Typical Value	Unit	Test Method
Density			
Base resin	948	kg/m ³	ISO 1872 Annex B
Compound	958	kg/m ³	ISO 1872 Annex B
Melt flow index			
2.16 Kg	0.10	g/10 min	ISO 1133 Cond 4
5 Kg	0.50	g/10 min	ISO 1133 Cond 18
Carbon Black Content	≥ 2.00	%	ASTM D 1603
MECHANICAL PROPERTIES			
Tensile strength at yield	22.00	N/mm ²	ISO/DIS 6259
Ultimate elongation	>600	%	ISO/DIS 6259
ESCR, F ₅₀	>600	h	ASTM D 1693 Cond A
Hardness	62.00	Shore D	ISO 868
Charpy Impact Strength	No Failure	kJ/m ²	ISO 179
Creep modulus			
E ₀	900	MPa	SS 3519
E ₅₀	200	MPa	SS 3519
THERMAL PROPERTIES			
Brittleness temperature	<-70	°C	ASTM D 746
Linear thermal expansion	1.90	mm/m. °C	ASTM D 696
(Average Value over temperature range 20-90 °C)			
Thermal conductivity (20 °C)	0.42	W/m. K	DIN 52612 (20 °C)
Specific heat, C _p	2.00	kJ/kg. K	DSC at 20 °C
Specific heat, C _p	2.70	kJ/kg. K	DSC at 200 °C
Crystalline melting range	125-130	°C	DSC
Thermal stability			
Induction temp	254	°C	ASTM D 3350
Induction time	15.00	min	Isothermal in Oxygen at 210 °C
Vicat softening temperature	122	°C	ISO 306 A-50
ELECTRICAL PROPERTIES			
Volume resistivity	>10 ¹⁶	Ω.cm	DIN 53482 VDE 0303, part 3
Surface resistance	>10 ¹³	Ω	DIN 53482 VDE 0303, part 3
Dielectric strength	700	kV/cm	DIN 53481 VDE 0303, part 2
Dielectric constant ε _r at 2 × 10 ⁶ Hz	2.50	-	DIN 53483; VDE 0303, part 4 (immersion method)
Dielectric loss factor tan δ at 50 Hz	6 × 10 ⁻⁴	-	DIN 53483 VDE 0303, part 4
	10 ³ Hz	-	
	10 ⁴ Hz	-	
	10 ⁵ Hz	-	
Tracking resistance	KA 3c KC>600	stage	DIN 53480 VDE 0303, part 1
Arc resistance	L 4	stage	DIN 53484 VDE 0303, part 5

c = critical point

Refrigerant Properties

17.23

Refrigerant 123 (1,1-dichloro-2,2,2-trifluoroethane) Properties of Saturated Liquid and Saturated Vapor

Temp. °C	Pressure, MPa	Density,	Volume,	Enthalpy,		Entropy,		Specific Heat c_p ,			Velocity of Sound,		Viscosity,		Thermal Cond.,		Surface Tension, mN/m	Temp. °C
		kg/m ³ Liquid	m ³ /kg Vapor	kJ/kg Liquid	kJ/kg Vapor	kJ/(kg·K) Liquid	kJ/(kg·K) Vapor	kJ/(kg·K) Liquid	kJ/(kg·K) Vapor	kJ/(kg·K) Vapor	m/s Liquid	m/s Vapor	μPa·s Liquid	μPa·s Vapor	mW/(m·K) Liquid	mW/(m·K) Vapor		
-40.00	0.00378	1613.2	3.3365	167.23	356.30	0.8704	1.6814	—	0.594	1.106	—	118.	1048.8	—	—	—	23.49	-40.00
-30.00	0.00698	1591.5	1.8798	175.47	362.04	0.9050	1.6723	—	0.611	1.105	—	120.	884.0	—	—	—	22.20	-30.00
-20.00	0.01221	1569.5	1.1145	183.38	367.87	0.9369	1.6657	—	0.629	1.105	—	122.	755.0	—	89.7	—	20.93	-20.00
-10.00	0.02041	1546.9	0.69040	191.48	373.77	0.9683	1.6610	—	0.648	1.104	—	124.	652.4	—	86.8	—	19.68	-10.00
0.00	0.03273	1523.8	0.44453	200.00	379.75	1.0000	1.6581	0.875	0.667	1.104	786.	125.	569.6	—	33.9	—	18.43	0.00
2.00	0.03581	1519.1	0.40879	201.76	380.95	1.0064	1.6577	0.885	0.670	1.105	778.	126.	555.0	—	33.3	—	18.19	2.00
4.00	0.03912	1514.3	0.37644	203.54	382.16	1.0129	1.6573	0.895	0.674	1.105	770.	126.	541.0	—	32.7	—	17.94	4.00
6.00	0.04267	1509.6	0.34709	205.34	383.37	1.0193	1.6571	0.905	0.678	1.105	762.	126.	527.5	—	32.1	—	17.70	6.00
8.00	0.04648	1504.8	0.32045	207.16	384.58	1.0258	1.6568	0.915	0.682	1.105	755.	127.	514.5	—	31.6	—	17.45	8.00
10.00	0.05057	1500.0	0.29622	209.00	385.79	1.0323	1.6567	0.924	0.686	1.105	747.	127.	502.0	—	31.0	—	17.21	10.00
12.00	0.05494	1495.2	0.27416	210.86	387.00	1.0389	1.6566	0.934	0.689	1.105	740.	127.	489.9	—	30.4	—	16.96	12.00
14.00	0.05961	1490.3	0.25405	212.74	388.22	1.0454	1.6565	0.943	0.693	1.106	733.	127.	478.3	—	29.8	—	16.72	14.00
16.00	0.06459	1485.5	0.23569	214.64	389.43	1.0520	1.6565	0.952	0.697	1.106	726.	128.	467.1	—	29.2	—	16.48	16.00
18.00	0.06990	1480.5	0.21890	216.55	390.65	1.0586	1.6565	0.961	0.701	1.106	719.	128.	456.3	—	28.7	—	16.24	18.00
20.00	0.07555	1475.6	0.20354	218.49	391.87	1.0652	1.6566	0.970	0.704	1.107	712.	128.	445.8	—	28.1	9.81	16.00	20.00
22.00	0.08157	1470.6	0.18946	220.44	393.09	1.0718	1.6568	0.978	0.708	1.107	705.	128.	435.7	—	27.5	9.95	15.76	22.00
24.00	0.08796	1465.7	0.17654	222.40	394.31	1.0784	1.6569	0.986	0.712	1.107	698.	128.	426.0	—	26.9	10.08	15.52	24.00
26.00	0.09473	1460.6	0.16467	224.39	395.54	1.0850	1.6572	0.994	0.716	1.108	692.	129.	416.5	—	26.3	10.22	15.28	26.00
27.84b	0.10133	1456.0	0.15460	226.22	396.66	1.0912	1.6574	1.001	0.719	1.108	685.	129.	408.1	—	25.8	10.35	15.06	27.84
28.00	0.10192	1455.6	0.15376	226.38	396.76	1.0917	1.6574	1.002	0.719	1.108	685.	129.	407.4	—	25.8	10.36	15.04	28.00
30.00	0.10952	1450.5	0.14371	228.40	397.98	1.0983	1.6577	1.009	0.723	1.109	678.	129.	398.5	—	25.2	10.49	14.80	30.00
32.00	0.11757	1445.4	0.13445	230.42	399.21	1.1050	1.6581	1.016	0.727	1.109	671.	129.	389.9	—	24.6	10.63	14.57	32.00
34.00	0.12607	1440.2	0.12590	232.46	400.43	1.1116	1.6585	1.023	0.731	1.110	664.	129.	381.6	—	24.0	10.77	14.33	34.00
36.00	0.13504	1435.1	0.11800	234.52	401.65	1.1183	1.6589	1.029	0.734	1.111	658.	129.	373.6	—	23.4	10.90	14.10	36.00
38.00	0.14451	1429.9	0.11070	236.59	402.88	1.1249	1.6594	1.035	0.738	1.111	651.	129.	365.7	—	22.9	11.04	13.86	38.00
40.00	0.15448	1424.6	0.10394	238.67	404.10	1.1316	1.6598	1.041	0.742	1.112	644.	129.	358.1	—	22.3	11.18	13.63	40.00
42.00	0.16498	1419.4	0.09763	240.76	405.32	1.1382	1.6604	1.047	0.745	1.113	637.	130.	350.7	—	21.7	11.32	13.39	42.00
44.00	0.17603	1414.0	0.09186	242.86	406.54	1.1448	1.6609	1.052	0.749	1.114	630.	130.	343.5	—	21.1	11.45	13.16	44.00
46.00	0.18764	1408.7	0.08647	244.97	407.76	1.1514	1.6615	1.058	0.753	1.115	623.	130.	336.5	—	20.5	11.59	12.93	46.00
48.00	0.19983	1403.3	0.08145	247.10	408.97	1.1580	1.6621	1.063	0.757	1.116	616.	130.	329.7	—	19.9	11.73	12.70	48.00
50.00	0.21261	1397.9	0.07678	249.23	410.19	1.1646	1.6627	1.067	0.760	1.117	609.	130.	323.0	11.72	19.4	11.86	12.47	50.00
52.00	0.22602	1392.4	0.07244	251.37	411.40	1.1712	1.6634	1.072	0.764	1.118	602.	130.	316.6	11.79	18.8	12.00	12.24	52.00
54.00	0.24007	1386.9	0.06839	253.53	412.61	1.1778	1.6641	1.076	0.768	1.119	595.	130.	310.2	11.86	18.2	12.14	12.01	54.00
56.00	0.25478	1381.4	0.06461	255.69	413.82	1.1843	1.6648	1.081	0.772	1.120	588.	130.	304.1	11.92	17.6	12.27	11.78	56.00
58.00	0.27016	1375.8	0.06108	257.85	415.02	1.1909	1.6655	1.084	0.775	1.122	581.	130.	298.0	11.99	17.0	12.41	11.55	58.00
60.00	0.28624	1370.2	0.05778	260.03	416.22	1.1974	1.6662	1.088	0.779	1.123	574.	130.	292.1	12.06	16.5	12.55	11.32	60.00
62.00	0.30304	1364.5	0.05469	262.21	417.41	1.2039	1.6670	1.092	0.783	1.125	566.	130.	286.4	12.12	15.9	12.68	11.10	62.00
64.00	0.32057	1358.8	0.05180	264.41	418.61	1.2104	1.6677	1.095	0.787	1.126	559.	129.	280.7	12.19	15.3	12.82	10.87	64.00
66.00	0.33887	1353.1	0.04910	266.60	419.79	1.2168	1.6685	1.099	0.791	1.128	552.	129.	275.2	12.26	14.7	12.96	10.65	66.00
68.00	0.35794	1347.3	0.04656	268.81	420.97	1.2233	1.6693	1.102	0.795	1.130	544.	129.	269.8	12.32	14.1	13.10	10.42	68.00
70.00	0.37782	1341.4	0.04418	271.02	422.15	1.2297	1.6701	1.105	0.798	1.132	537.	129.	264.5	12.39	13.6	13.23	10.20	70.00
72.00	0.39851	1335.5	0.04194	273.24	423.32	1.2361	1.6709	1.108	0.802	1.134	530.	129.	259.3	12.46	13.0	13.37	9.98	72.00
74.00	0.42005	1329.6	0.03983	275.46	424.49	1.2425	1.6717	1.111	0.807	1.136	522.	129.	254.2	12.52	12.4	13.51	9.76	74.00
76.00	0.44246	1323.6	0.03786	277.69	425.64	1.2488	1.6726	1.114	0.811	1.139	515.	129.	249.2	12.59	11.8	13.64	9.54	76.00
78.00	0.46575	1317.5	0.03599	279.92	426.80	1.2551	1.6734	1.117	0.815	1.141	507.	128.	244.3	12.66	11.2	13.78	9.32	78.00
80.00	0.48995	1311.4	0.03424	282.16	427.94	1.2614	1.6742	1.119	0.819	1.144	500.	128.	239.5	12.72	10.7	13.92	9.10	80.00
82.00	0.51508	1305.2	0.03259	284.40	429.08	1.2677	1.6751	1.122	0.823	1.146	492.	128.	—	12.79	10.1	14.05	8.88	82.00
84.00	0.54116	1299.0	0.03103	286.65	430.20	1.2740	1.6759	1.125	0.828	1.149	485.	128.	—	12.85	9.5	14.19	8.67	84.00
86.00	0.56822	1292.7	0.02955	288.91	431.32	1.2802	1.6768	1.127	0.832	1.153	477.	127.	—	12.92	8.9	14.33	8.45	86.00
88.00	0.59628	1286.4	0.02816	291.17	432.43	1.2864	1.6776	1.130	0.837	1.156	469.	127.	—	12.99	8.3	14.46	8.24	88.00
90.00	0.62537	1280.0	0.02685	293.43	433.54	1.2926	1.6784	1.133	0.842	1.159	462.	127.	—	13.05	7.7	14.60	8.02	90.00
92.00	0.65																	



Designation: D 2240 - 91

Standard Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness¹

This standard is issued under the fixed designation D 2240; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method describes seven types of durometers A, B, C, D, DO, O and OO, and the procedure for determining indentation hardness of substances classified as rubber, cellular materials, elastomeric materials, thermoplastic elastomers and some hard plastics.

1.2 This test method is not applicable to the testing of fabrics.

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as standard. The values given in parentheses are for information only.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety problems, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

D 618 Practice for Conditioning Plastics and Electrical Insulating Materials for Testing²

D 785 Test Method for Rockwell Hardness of Plastics and Electrical Insulating Materials²

D 1349 Practice for Rubber—Standard Temperatures For Testing³

D 4483 Practice for Determining Precision for Test Method Standards in the Rubber and Carbon Black Industries⁴

3. Summary of Test Method

3.1 This test method permits hardness measurements based on either initial indentation or indentation after a specified period of time, or both.

NOTE 1—Durometers with maximum reading pointers used to determine initial hardness values may yield lower hardness when the maximum pointer is used.

4. Significance and Use

4.1 This test method is based on the penetration of a specific type of indenter when forced into the material under specified conditions. The indentation hardness is inversely related to the penetration and is dependent on the elastic modulus and viscoelastic behavior of the material. The shape

of the indenter and the applied force influence the results obtained so there may be no simple relationship between the results obtained with one type of durometer and those obtained with another type of durometer or other instruments for measuring hardness. This test method is an empirical test intended primarily for control purposes. No simple relationship is known to exist between indentation hardness determined by this test method and any fundamental property of the material tested. For specification purposes it is recommended that Test Method D 785 be used for hard material.

NOTE 2—Durometer scale comparison chart only. This is not and cannot be used as a conversion reference.

Type A	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Type B	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Type C	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Type D	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Type DO	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Type O	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Type OO	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

5. Apparatus

5.1 Hardness measuring apparatus or durometer consisting of the following components:

5.1.1 *Presser Foot*, with a hole having a diameter as specified in Fig. 1(a), 1(b), or 1(c) with its center 6 mm (0.25 in.) from any edge of the foot.

5.1.2 *Indenter*, formed from hardened steel rod and shaped in accordance with Fig. 1(a), 1(b), or 1(c) with full extension adjustable between 2.46 to 2.54 mm (0.97 to 0.100 in.).

5.1.3 *Indenter Extension Indicating Device* (analog or electronic), having a scale reading from 0 to 100 with equal divisions throughout the range. The scale reading is an inverse function of the indenter extension. The device shall have a pointer that moves on the scale at a rate of one hardness point for each 0.025 mm (0.001 in.) of indenter movement.

NOTE 3—Type A Shore Durometers serial numbers 1 through 16 300 and 16 351 through 16 900 and Type A-2 Shore Durometers numbers 1 through 8077 do not meet the requirement of 2.46 to 2.54 mm (0.097 to 0.100 in.) extension of the indenter at zero reading. These durometers will give readings which are low by amounts ranging from 3 units at 30 hardness to 1 unit at 90 hardness.

5.1.4 *Timing Device* (optional), capable of being set to a desired elapsed time, signalling the operator or holding the hardness reading when the desired elapsed time has been reached. The timer should be automatically activated when the presser foot is in firm contact with the specimen being tested.

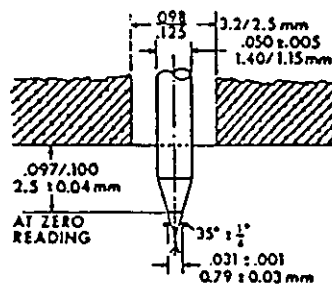
5.1.5 *Calibrated Spring*, for applying force to the indenter in accordance with Fig. 1.

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-11 on Rubber and is the direct responsibility of Subcommittee D11.10 on Physical Tests. Current edition approved May 15, 1991. Published February 1992. Originally published as D 2240 - 64 T. Last previous edition D 2240 - 86.

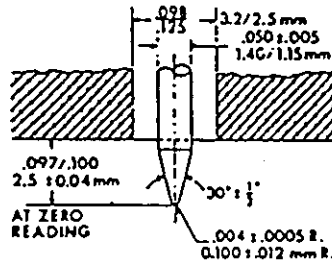
² Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.01.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 09.01.

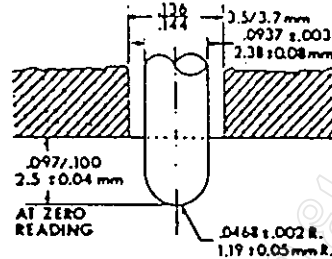
⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 09.02.



(a) Indenter for Type A and C Durometers



(b) Indenter for Type B and D Durometers



(c) Indenter for Type DO, O, and OO Durometers

NOTE—Spring Force Combinations:

$$\text{Force, } N = 0.550 + 0.075 H_A$$

where H_A = hardness reading on Type A, B and O durometers

$$\text{Force, } N = 0.4445 H_C$$

where H_C = hardness reading on Type C, D and DO durometers.

$$\text{Force, } N = 0.203 + 0.00908 H_{OO}$$

where H_{OO} = hardness reading on Type OO durometers.

FIG. 1 Durometer, Indenter and Spring Force Combinations

6. Test Specimen

6.1 The test specimen shall be at least 6 mm (0.25 in.) in thickness unless it is known that results equivalent to the 6 mm values are obtained with a thinner specimen (see Note 4). A specimen may be composed of plied pieces to obtain the necessary thickness, but determinations made on such specimens may not agree with those made on solid specimens because the surface faces between plies may not be in complete contact. The lateral dimensions of the specimen shall be sufficient to permit measurements at least 12 mm (0.5 in.) from any edge unless it is known that identical results are obtained when measurements are made at lesser distance from an edge. The surfaces of the specimen shall be flat and parallel over a sufficient area to permit the presser foot to contact the specimen over an area having a radius of

at least 6 mm (0.25 in.) from the indenter point. A suitable hardness determination cannot be made on a rounded, uneven, or rough surface.

NOTE 4—The minimum requirement for the thickness of the specimen is dependent on the extent of penetration of the indenter into the specimen; that is, thinner specimens may be used for materials having hardness values at the upper end of the scale. The minimum distance from the edge at which measurements may be made likewise decreases as the hardness increases. For materials having hardness values above 50 Type D durometer, the thickness of the specimen should be at least 3 mm (0.12 in.) and measurements should not be made closer than 6 mm (0.25 in.) to any edge.

7. Calibration

7.1 The durometer spring shall be calibrated by supporting the durometer in a vertical position and applying a measurable force to the indenter tip (see Fig. 2). The device used to apply the force may be a dead weight or electronic load cell device capable of measuring applied force at 50 % of the calibration tolerance. Care should be taken to ensure that the force is applied vertically to the indenter tip, as side loads will cause errors in calibration. Spring calibration shall be verified on all durometer at scale readings of 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 and 90. The measured force ($9.8 \times$ mass in kilograms) shall be equivalent to the force calculated by the equation in Fig. 1. The measured force for Type A, B and O durometers shall be within ± 0.08 N. For Type C, D and DO durometers it shall be within ± 0.44 N, and for Type OO durometers it shall be within ± 0.025 N.

NOTE 5—Instruments specifically designed for the calibration of durometers may be used.³

7.2 Indenter extension and shape must be in accordance with 5.1.2. With the durometer placed firmly on a flat surface the indicator should read a number equal to the indenter extension measured in inches $\times 1000$, within ± 0.5 durometer points.

NOTE 6—When performing the procedure in 7.2 on Type B and D durometers care should be used not to damage the indenter tip.

7.3 Test blocks (rubber or spring type) provided for checking durometer operation are not to be relied upon as calibration standards. The calibration procedures outlined in 7.1 and 7.2 are the only valid calibration methods.

8. Conditioning

8.1 Tests shall be made at $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ($73.4 \pm 3.6^\circ\text{F}$). For materials whose hardness depends on relative humidity, the specimen shall be conditioned in accordance with Procedure A of Practice D 618 and tested under the same conditions.

NOTE 7—No conclusive evaluation has been made on durometers at temperatures other than $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ($73.4 \pm 3.6^\circ\text{F}$). Conditioning at temperatures other than the above may show changes in calibration. Durometer use at temperatures other than the above should be decided locally (see Practice D 1349).

9. Procedure

9.1 Place the specimen on a hard, horizontal surface.

³ Zwick and Co., Control Equipment 7501 with serial numbers higher than WA 20301 or the Shore Durometricator, available from Shore Instrument Manufacturing Co., 80 Commercial St., Freeport, NY 11520, have been found satisfactory for this purpose.

Hold the durometer in a vertical position with the point of the indenter at least 12 mm (0.5 in.) from any edge of the specimen, unless it is known that identical results are obtained when measurements are made with the indenter at a lesser distance. Apply the presser foot to the specimen as rapidly as possible, without shock, keeping the foot parallel to the surface of the specimen. Apply just sufficient pressure to obtain firm contact between presser foot and specimen.

NOTE 8—Better repeatability may be obtained by using a mass centered on the axis of the indenter. Recommended masses are 1 kg for Type A, B and O durometers, 5 kg for Type C, D and DO durometers, and 400 g for Type OO durometers. Durometer stands using the masses above as a constant load and a controlled descent speed, without shock, produce maximum repeatability.

9.2 For any material covered in 1.1, after the presser foot is in firm contact with the specimen, the scale reading is to be taken within 1 s or after any period of time agreed upon between supplier and user unless the durometer has a maximum indicator, in which case the maximum reading is taken. The hardness reading may progressively decrease with time delay.

9.3 Make five measurements of hardness at different positions on the specimen at least 6 mm (0.25 in.) apart and determine the arithmetic mean.

NOTE 9—The type of durometer should be selected with the knowledge that readings below 10 or above 90 are not considered reliable by the manufacturer. It is suggested that readings in these ranges not be recorded.

10. Report

10.1 Report the following information:

- 10.1.1 Hardness value obtained,
- 10.1.2 Complete identification of the material tested,
- 10.1.3 Vulcanization date,
- 10.1.4 Description of specimen, including thickness and number of pieces plied, if less than 6 mm (0.25 in.),
- 10.1.5 Temperature of test if other than 23°C,
- 10.1.6 Relative humidity when hardness of material is dependent on humidity,
- 10.1.7 Type and serial number of durometer,
- 10.1.8 Indentation hardness time interval at which reading was taken, and
- 10.1.9 Date of test.

NOTE 10—Readings may be reported in the form: A/45/15 where A is the type of durometer, 45 the reading, and 15 the time in seconds that the pressure foot is in firm contact with the specimen. Similarly, D/60/1 indicates a reading of 60 on the Type D durometer obtained either within 1 s or from a maximum indicator.

11. Precision and Bias^a

11.1 These precision and bias statements have been prepared in accordance with Practice D 4483. Refer to this Practice for terminology and other testing and statistical concepts.

11.2 The Type 1 precision for both Type A and D methods was determined from an interlaboratory program with three materials of varying hardness, with six participating laboratories. Tests were conducted on two separate

TABLE 1 Type 1 Precision—Type A Durometer Method

Material	Average Level	Within Laboratories			Between Laboratories		
		Sr ^a	r ^b	(r) ^c	SR ^d	R ^e	(R) ^f
1	51.4	0.646	1.83	3.56	11.56	4.41	8.59
2	65.3	0.878	2.48	3.81	22.14	6.06	9.27
3	68.0	0.433	1.23	1.80	22.28	6.45	9.49
Pooled	61.6	0.677	1.92	3.11	22.02	5.72	9.28

^a Sr = repeatability standard deviation, measurement units.

^b r = repeatability = 2.83 × Sr, measurement units.

^c (r) = repeatability, relative, (that is, in percent).

^d SR = reproducibility standard deviation, measurement units.

^e R = reproducibility = 2.83 × SR, measurement units.

^f (R) = reproducibility, relative, (that is, in percent).

TABLE 2 Type 1 Precision—Type D Durometer Method

Material	Average Level	Within Laboratories			Between Laboratories		
		Sr ^a	r ^b	(r) ^c	SR ^d	R ^e	(R) ^f
1	42.6	0.316	0.894	2.10	2.82	7.98	18.7
2	54.5	0.791	2.24	4.11	3.54	10.0	18.4
3	62.3	1.01	2.86	3.47	3.54	10.0	12.2
Pooled	59.8	0.762	2.16	3.61	3.32	9.40	15.7

^a Sr = repeatability standard deviation, measurement units.

^b r = repeatability = 2.83 × Sr, measurement units.

^c (r) = repeatability, relative, (that is, in percent).

^d SR = reproducibility standard deviation, measurement units.

^e R = reproducibility = 2.83 × SR, measurement units.

^f (R) = reproducibility, relative, (that is, in percent).

days in each laboratory for both A and D testing programs. All materials were supplied from a single source.

11.3 A test result for hardness (both A and D) was the median of five individual hardness readings on each day in each laboratory.

11.4 Table 1 shows the precision results for Type A method. Table 2 gives the precision results for Type D method.

11.5 The precision results in this precision and bias section give an estimate of the precision of this test method with the materials (rubbers) used in the particular interlaboratory program as described above. The precision parameters should not be used for acceptance or rejection testing, or both, of any group of materials without documentation that they are applicable to those particular materials and the specific testing protocols that include this test method.

11.6 *Precision*—The precision of this test method may be expressed in the format of the following statements which use as appropriate value *r*, *R*, (*r*) or (*R*), that is, that value to be used in decisions about test results (obtained with the test method). The appropriate value is that value of *r* or *R* associated with a mean level in Tables 1 and 2 closest to the mean level under consideration (at any given time, for any given material) in routine testing operations.

11.6.1 *Repeatability*—The repeatability, *r*, of this test method has been established as the appropriate value tabulated in Tables 1 and 2. Two single test results, obtained under normal test method procedures, that differ by more than this tabulated *r* (for any given level) must be considered as derived from different or nonidentical sample populations.

11.6.2 *Reproducibility*—The reproducibility, *R*, of this test method has been established as the appropriate value tabulated in Tables 1 and 2. Two single test results obtained

^a Supporting data are available from ASTM Headquarters. Request RR:D11-1029.

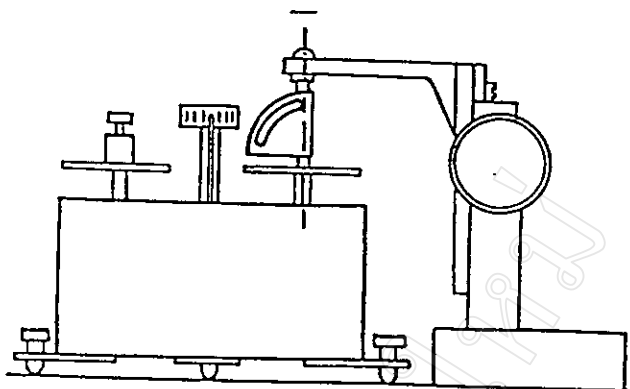


FIG. 2 Apparatus for Calibration of Durometer Spring

in two different laboratories, under normal test method procedures, that differ by more than the tabulated R (for any given level) must be considered to have come from different or nonidentical sample populations.

11.6.3 Repeatability and reproducibility expressed as a percentage of the mean level, (r) and (R) , have equivalent application statements as above for r and R . For the (r) and (R) statements, the difference in the two single test results is

expressed as a percentage of the arithmetic mean of the two test results.

11.7 *Bias*—In test method terminology, bias is the difference between an average test value and the reference (or true) test property value. Reference values do not exist for this test method since the value (of the test property) is exclusively defined by this test method. Bias, therefore, cannot be determined.

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103.

ภาคผนวก ข
ตารางผลการทดลอง

ตาราง ข-1 แสดงเปอร์เซ็นต์การเกิดการคืบของสารทำเย็น R113 ในแนวรัศมี ที่เวลา 3000 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 40, 60 และ 80 °C

% Creep	40 °C	STD	60 °C	STD	80 °C	STD
Heat Flux High	0.680	0.68	0.984	0.69	1.256	0.09
Heat Flux Low	0.773	0.05	1.237	0.10	1.514	0.04

ตาราง ข-2 แสดงเปอร์เซ็นต์การเกิดการคืบของสารทำเย็น R123 ในแนวรัศมี ที่เวลา 3000 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 40, 60 และ 80 °C

% Creep	40 °C	STD	60 °C	STD	80 °C	STD
Heat Flux High	0.602	0.56	0.861	0.07	1.110	0.05
Heat Flux Low	0.738	0.06	1.069	0.07	1.323	0.17

ตาราง ข-3 แสดงเปอร์เซ็นต์การเกิดการคืบของสารทำเย็น R113 ในแนวความยาว ที่เวลา 3000 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 40, 60 และ 80 °C

% Creep	40 °C	STD	60 °C	STD	80 °C	STD
Heat Flux High	0.598	0.05	0.851	0.07	1.019	0.04
Heat Flux Low	0.717	0.10	1.028	0.14	1.193	0.18

ตาราง ข-4 แสดงเปอร์เซ็นต์การเกิดการคืบของสารทำเย็น R123 ในแนวความยาว ที่เวลา 3000 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 40, 60 และ 80 °C

% Creep	40 °C	STD	60 °C	STD	80 °C	STD
Heat Flux High	0.556	0.06	0.807	0.05	0.953	0.09
Heat Flux Low	0.662	0.03	0.939	0.06	1.091	0.09

ตาราง ข-5 แสดงความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์การเกิดการคืบ สารทำเย็น R113 และ R123 ($\text{Creep}_{\text{R113}} - \text{Creep}_{\text{R123}} = \Delta C_m$) ในแนวรัศมี ที่อุณหภูมิ 40, 60 และ 80 °C ที่ผ่านการทดสอบเป็นเวลา 3000 ชั่วโมง

Heat Flux	40 °C		60 °C		80 °C	
	ΔC_m	STD	ΔC_m	STD	ΔC_m	STD
High	13.93	4.16	14.218	4.41	11.25	3.76
Low	9.64	6.75	13.88	2.65	14.16	3.49

ตาราง ข-6 แสดงความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์การเกิดการคืบ สารทำเย็น R113 และ R123 ($\text{Creep}_{\text{R113}} - \text{Creep}_{\text{R123}} = \Delta C_m$) ในแนวความยาว ที่อุณหภูมิ 40, 60 และ 80 °C ที่ผ่านการทดสอบเป็นเวลา 3000 ชั่วโมง

Heat Flux	40 °C		60 °C		80 °C	
	ΔC_m	STD	ΔC_m	STD	ΔC_m	STD
High	14.16	10.46	8.75	5.38	9.26	4.83
Low	10.34	6.86	8.88	4.25	7.67	3.62

ตาราง ข-7 แสดงความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์การเกิดการคืบที่ค่าฟลักส์ความร้อนที่ส่วนควมแน่นต่ำ และที่ค่าฟลักส์ความร้อนที่ส่วนควมแน่นสูง ($\text{Creep}_{\text{Low}} - \text{Creep}_{\text{High}} = \Delta C_H$) ของสารทำงาน R113 ในแนวรัศมี และในแนวความยาว ที่อุณหภูมิ 40, 60 และ 80 °C ที่ผ่านการทดสอบเป็นเวลา 3000 ชั่วโมง

สารทำงาน R113	40 °C		60 °C		80 °C	
	ΔC_H	STD	ΔC_H	STD	ΔC_H	STD
D	18.87	10.01	22.63	5.34	21.27	5.12
L	22.02	9.10	18.52	5.71	14.66	4.67

ตาราง ข-8 แสดงความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์การเกิดการคืบที่ค่าฟลักส์ความร้อนที่ส่วน
ควมแน่นต่ำ และที่ค่าฟลักส์ความร้อนที่ส่วนควมแน่นสูง ($\text{Creep}_{\text{Low}} - \text{Creep}_{\text{High}} = \Delta C_H$) ของสาร
ทำงาน R123 ในแนวรัศมี และในแนวความยาว ที่อุณหภูมิ 40, 60 และ 80 °C ที่ผ่านการทดสอบเป็น
เวลา 3000 ชั่วโมง

สารทำงาน R123	40 °C		60 °C		80 °C	
	ΔC_H	STD	ΔC_H	STD	ΔC_H	STD
D	22.80	8.06	22.85	7.03	18.60	5.37
L	25.16	11.36	18.39	6.51	16.07	6.15

ตาราง ข-9 แสดงความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์การเกิดการคืบที่ด้านรัศมีและที่ด้านความ
ยาว ($\text{Creep}_R - \text{Creep}_L = \Delta C_G$) ของท่อทดสอบที่ใช้สารทำงาน R113 ที่ ค่าฟลักส์ความร้อนสูง และ
ค่าฟลักส์ความร้อนต่ำ ที่อุณหภูมิ 40, 60 และ 80 °C ที่ผ่านการทดสอบเป็นเวลา 3000 ชั่วโมง

Heat flux	40 °C		60 °C		80 °C	
	ΔC_G	STD	ΔC_G	STD	ΔC_G	STD
High	9.86	10.22	10.31	6.56	12.39	6.78
Low	6.70	4.42	14.81	6.51	19.26	5.60

ตาราง ข-10 แสดงความแตกต่างของเปอร์เซ็นต์การเกิดการคืบที่ด้านรัศมีและที่ด้านความ
ยาว ($\text{Creep}_R - \text{Creep}_L = \Delta C_G$) ของท่อทดสอบที่ใช้สารทำงาน R123 ที่ ค่าฟลักส์ความร้อนสูง และ
ค่าฟลักส์ความร้อนต่ำ ที่อุณหภูมิ 40, 60 และ 80 °C ที่ผ่านการทดสอบเป็นเวลา 3000 ชั่วโมง

Heat flux	40 °C		60 °C		80 °C	
	ΔC_G	STD	ΔC_G	STD	ΔC_G	STD
High	10.84	7.40	4.70	6.01	10.51	6.21
Low	7.46	4.80	9.93	6.54	13.08	7.15

ตาราง ข-11 แสดงตัวเลื่อนค่า (a_T) ด้านรัศมี สำหรับสร้างสมการที่ (4.8) ถึง (4.15) ที่อุณหภูมิ 40, 60 และ 80 °C โดยยึดอุณหภูมิ 60 °C เป็นข้อมูลอ้างอิงเพื่อหาสมการของการเกิดการคืบทั่วไป

ชนิดสารของทำงาน	อุณหภูมิ 40 °C	อุณหภูมิ 60 °C	อุณหภูมิ 80 °C
R 113 Heat Flux High	0.138	1	6.5
R 113 Heat Flux Low	0.066	1	5.29
R 123 Heat Flux High	0.222	1	29.16
R 123 Heat Flux Low	0.074	1	12.5

ตาราง ข-12 แสดงตัวเลื่อนค่า (a_T) ด้านความยาว สำหรับสร้างสมการที่ (4.8) ถึง (4.15) ที่อุณหภูมิ 40, 60 และ 80 °C โดยยึดอุณหภูมิ 60 °C เป็นข้อมูลอ้างอิงเพื่อหาสมการของการเกิดการคืบทั่วไป

ชนิดสารของทำงาน	อุณหภูมิ 40 °C	อุณหภูมิ 60 °C	อุณหภูมิ 80 °C
R 113 Heat Flux High	0.125	1	12
R 113 Heat Flux Low	0.065	1	5.29
R 123 Heat Flux High	0.19	1	22
R 123 Heat Flux Low	0.017	1	22.33

ตาราง ข-13 แสดงตัวเลื่อนค่า (a_T) ด้านรัศมี สำหรับสร้างสมการที่ (4.16) ถึง (4.23) ที่อุณหภูมิ 40, 60 และ 80 °C โดยยึดอุณหภูมิ 40 °C เป็นข้อมูลอ้างอิงเพื่อหาสมการของการเกิดการคืบทั่วไป

ชนิดสารของทำงาน	อุณหภูมิ 40 °C	อุณหภูมิ 60 °C	อุณหภูมิ 80 °C
R 113 Heat Flux High	1	8.33	50
R 113 Heat Flux Low	1	35	310
R 123 Heat Flux High	1	4	95
R 123 Heat Flux Low	1	15	100

ตาราง ข-14 แสดงตัวเลื่อนค่า (a_r) ด้านความยาว สำหรับสร้างสมการที่ (4.16) ถึง (4.23) ที่อุณหภูมิ 40, 60 และ 80 °C โดยยึดอุณหภูมิ 40 °C เป็นข้อมูลอ้างอิงเพื่อหาสมการของการเกิดการคืบทั่วไป

ชนิดสารของทำงาน	อุณหภูมิ 40 °C	อุณหภูมิ 60 °C	อุณหภูมิ 80 °C
R 113 Heat Flux High	1	8.33	125
R 113 Heat Flux Low	1	15.625	230
R 123 Heat Flux High	1	5	70
R 123 Heat Flux Low	1	15	150

ตาราง ข-15 ค่าความแข็งที่ผิวนอกของท่อทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D2240-9

ท่อผิวนอก	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	STD	AVERAGE
Standard	60	60	65	60	56	56	60	65	60	60	3.011091	60.2
R113 80 °C	55	56	60	55	58	60	58	56	54	56	2.097618	56.8
R123 80 °C	60	60	56	58	56	58	56	57	57	60	1.686548	57.8

ตาราง ข-16 ค่าความแข็งที่ผิวในของท่อทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D2240-9

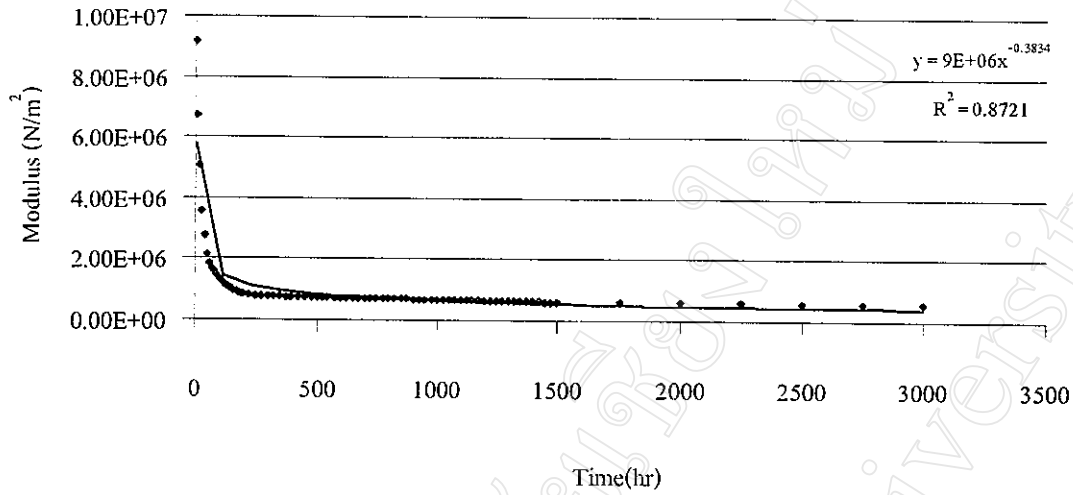
ท่อผิวใน	1			2			3			4			5			6		
Standard	56	50	54	56	54	52	53	55	52	53	55	56	54	52	52	55	50	56
เฉลี่ย	53.33			54			53.33			54.66			52.66			53.66		
R113 80 °C	44	46	46	42	45	43	44	45	46	48	46	46	48	45	46	45	47	45
เฉลี่ย	45.33			43.33			45			46.66			46.333			45.66		
R123 80 °C	46	48	46	49	56	46	47	48	47	53	50	49	48	50	46	45	50	47
เฉลี่ย	46.66			50.33			47.33			50.66			48			47.33		

ตาราง ข-17 (ต่อ) ค่าความแข็งที่ผิวในของท่อทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D2240-9

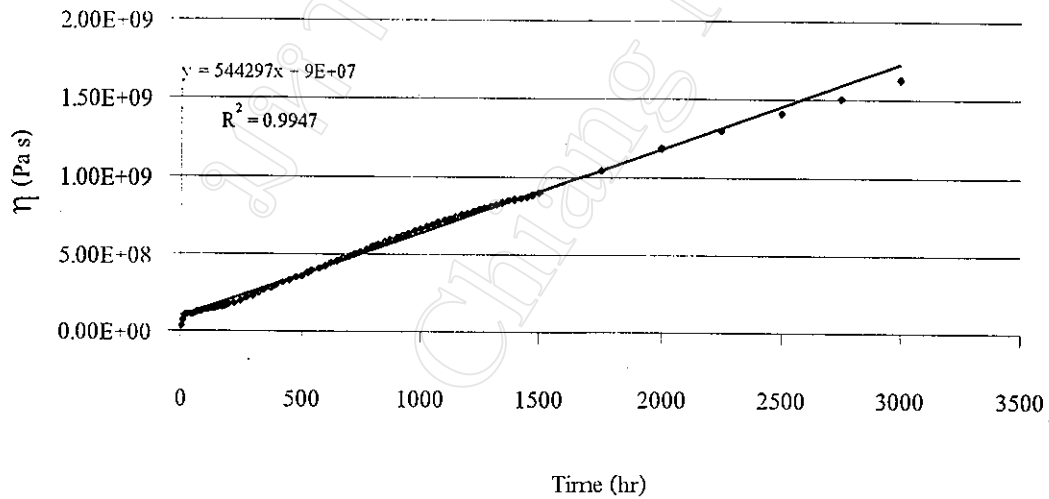
ท่อผิวใน	7			8			9			10			STD	AVERAGE
Standard เฉลี่ย	52	55	53	55	57	55	53	56	52	53	56	55	0.83	53.8
	53.33			55.66			53.66			54.66				
R113 80 °C เฉลี่ย	43	46	45	46	41	42	45	46	46	46	45	45	1.17	45.1
	44.66			43			45.66			45.33				
R123 80 °C เฉลี่ย	50	45	58	47	48	47	47	50	45	48	46	46	1.70	48.26
	51			47.33			47.33			46.66				

ภาคผนวก ค

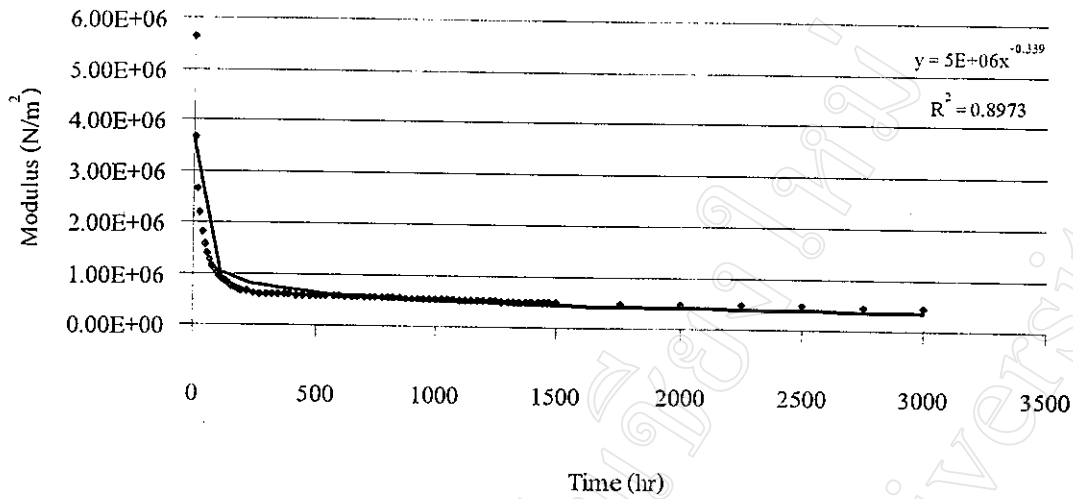
กราฟแสดงความสัมพันธ์กับเวลา ของค่าโมดูลัส และความหนืด
ของสารทำเย็น R113 และ R123 ที่สภาวะการทำงานต่างๆ



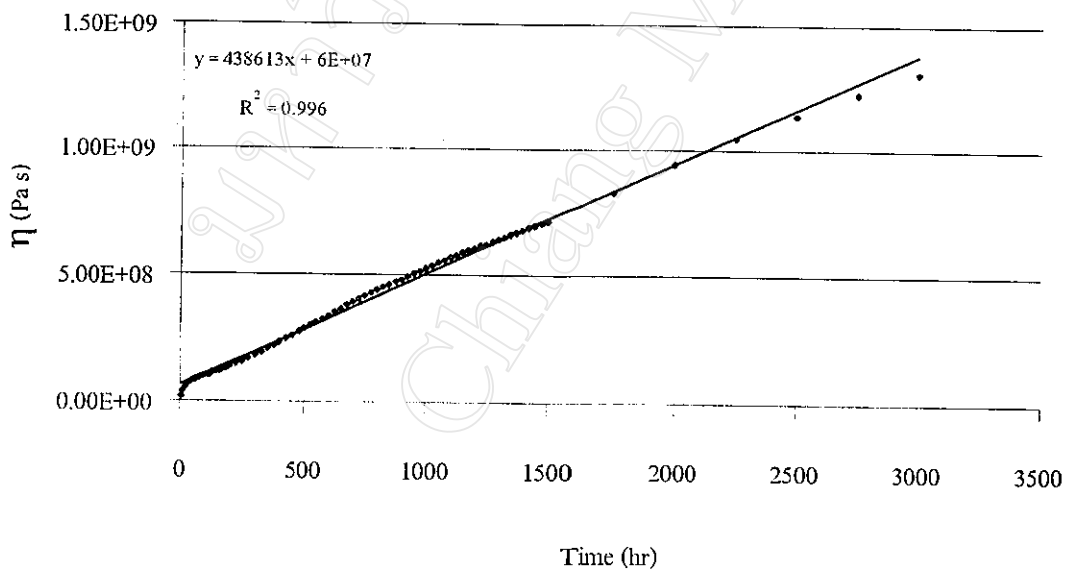
รูป ก-1 แสดงความสัมพันธ์กับเวลาของค่า โมดูลัส
ด้านรัศมี ของท่อทดสอบที่ใช้สารทำงาน R113 ฟลักซ์ความร้อนที่ส่วนควบแน่นสูง



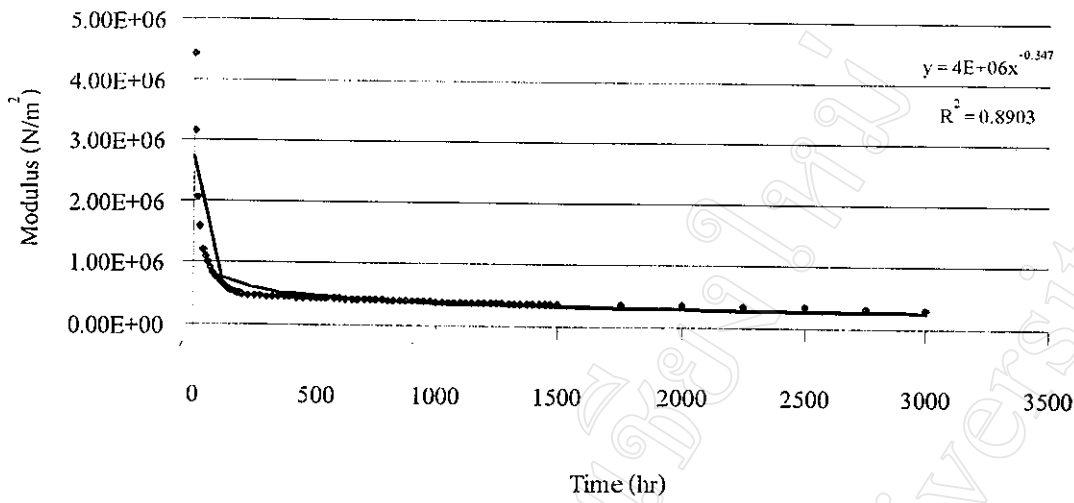
รูป ก-2 แสดงความสัมพันธ์กับเวลาของค่า ความหนืด
ด้านรัศมี ของท่อทดสอบที่ใช้สารทำงาน R113 ฟลักซ์ความร้อนที่ส่วนควบแน่นสูง



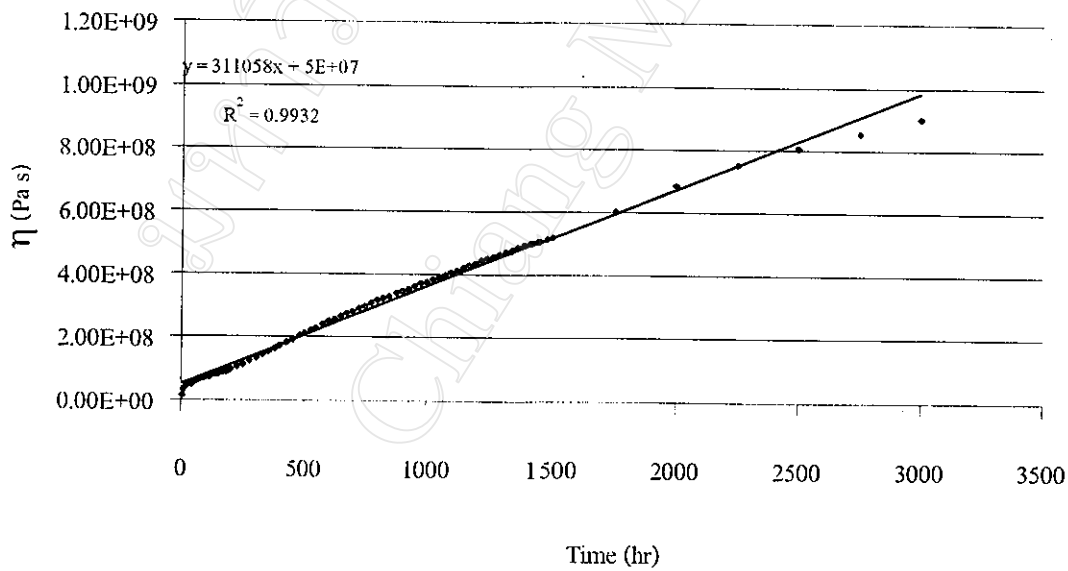
รูป ก-3 แสดงความสัมพันธ์กับเวลาของค่า โมดูลัส
ด้านรัศมี ของท่อทดสอบที่ใช้สารทำงาน R113 ฟลักซ์ความร้อนที่ส่วนควบแน่นต่ำ



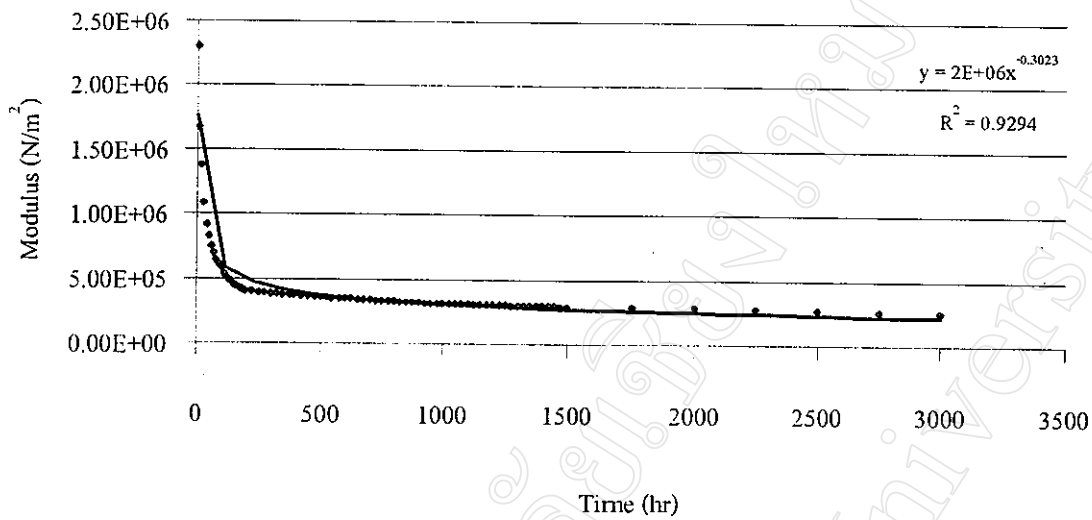
รูป ก-4 แสดงความสัมพันธ์กับเวลาของค่า ความหนืด
ด้านรัศมี ของท่อทดสอบที่ใช้สารทำงาน R113 ฟลักซ์ความร้อนที่ส่วนควบแน่นต่ำ



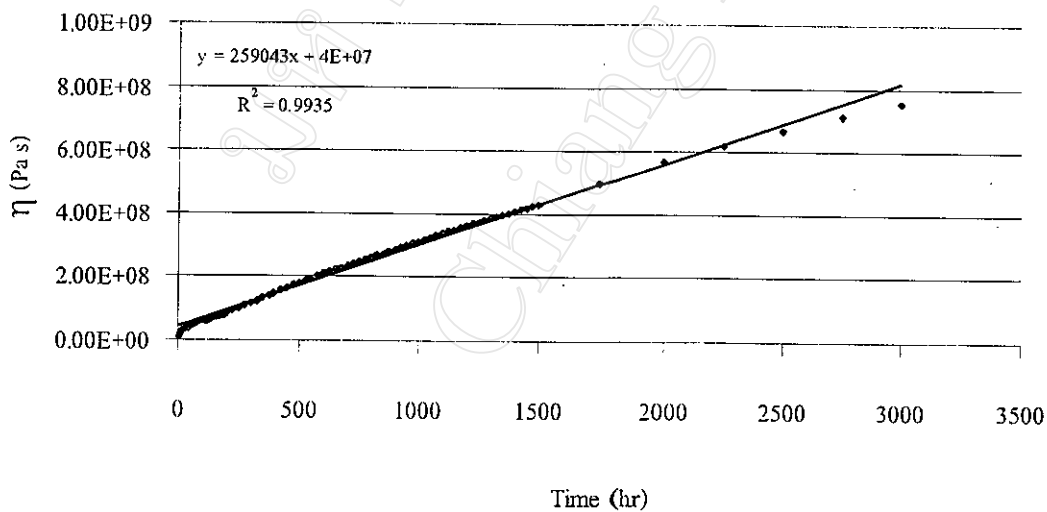
รูป ก-5 แสดงความสัมพันธ์กับเวลาของค่า โมดูลัส
ด้านความยาว ของท่อทดสอบที่ใช้สารทำงาน R113 ฟลักซ์ความร้อนที่ส่วนควบแน่นสูง



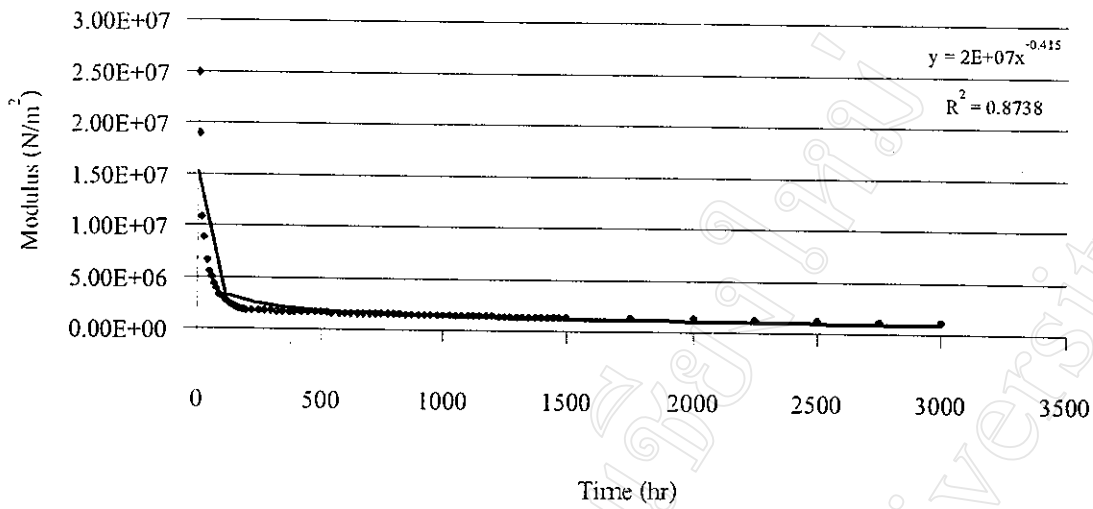
รูป ก-6 แสดงความสัมพันธ์กับเวลาของค่า ความหนืด
ด้านความยาว ของท่อทดสอบที่ใช้สารทำงาน R113 ฟลักซ์ความร้อนที่ส่วนควบแน่นสูง



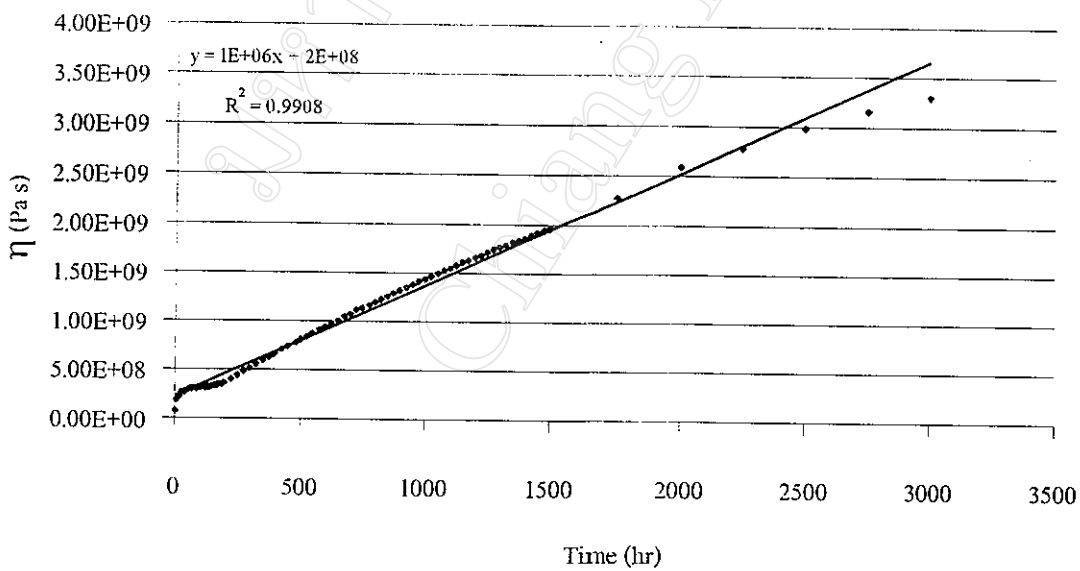
รูป ก-7 แสดงความสัมพันธ์กับเวลาของค่า โมดูลัส
ด้านความยาว ของท่อทดสอบที่ใช้สารทำงาน R113 ฟลักซ์ความร้อนที่ส่วนควบแน่นต่ำ



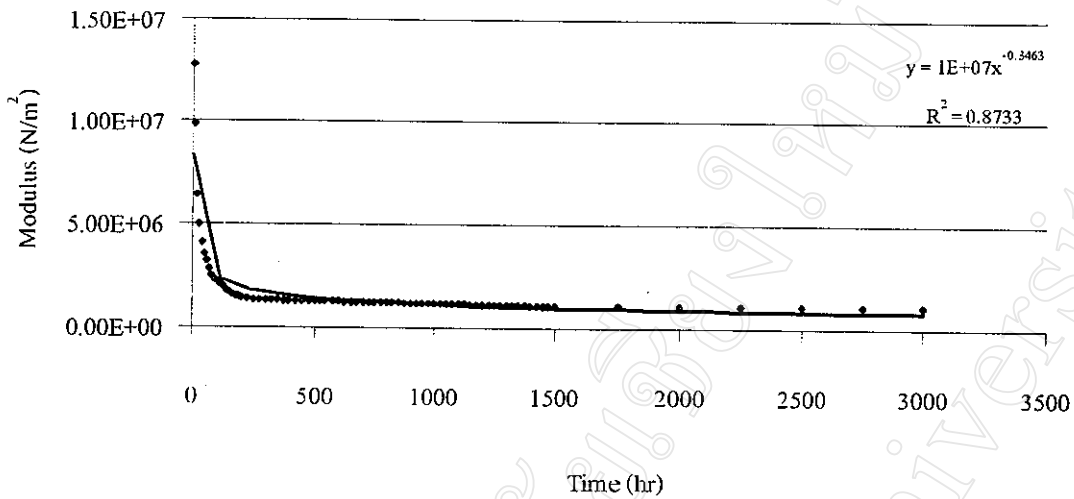
รูป ก-8 แสดงความสัมพันธ์กับเวลาของค่า ความหนืด
ด้านความยาว ของท่อทดสอบที่ใช้สารทำงาน R113 ฟลักซ์ความร้อนที่ส่วนควบแน่นต่ำ



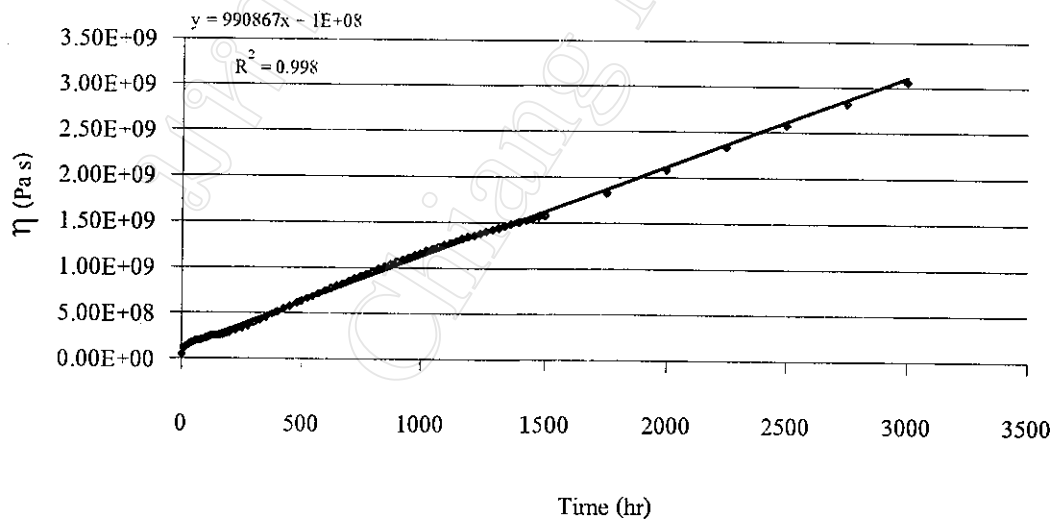
รูป ก-9 แสดงความสัมพันธ์กับเวลาของค่า โมดูลัส
 ด้านรัศมี ของท่อทดสอบที่ใช้สารทำงาน R123 ฟลักซ์ความร้อนที่ส่วนควบแน่นสูง



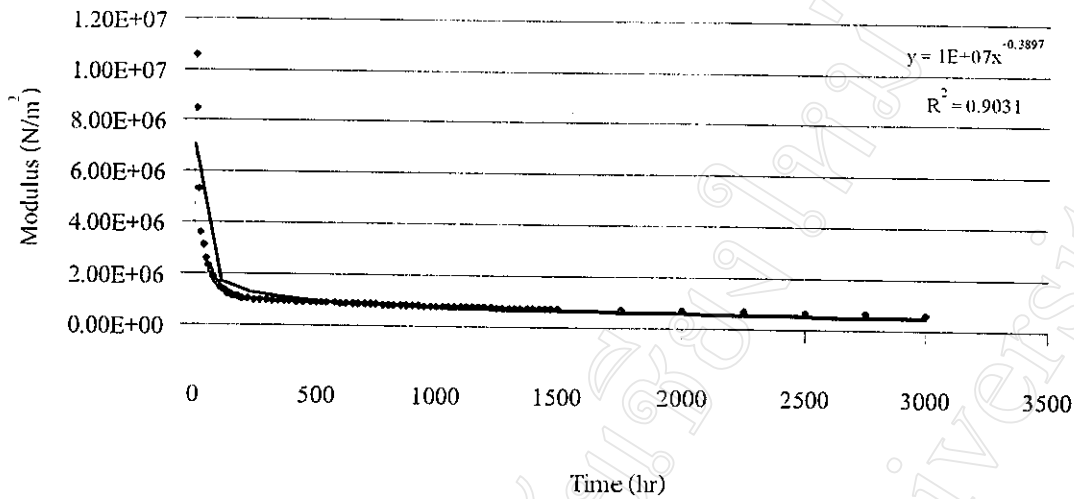
รูป ก-10 แสดงความสัมพันธ์กับเวลาของค่า ความหนืด
 ด้านรัศมี ของท่อทดสอบที่ใช้สารทำงาน R123 ฟลักซ์ความร้อนที่ส่วนควบแน่นสูง



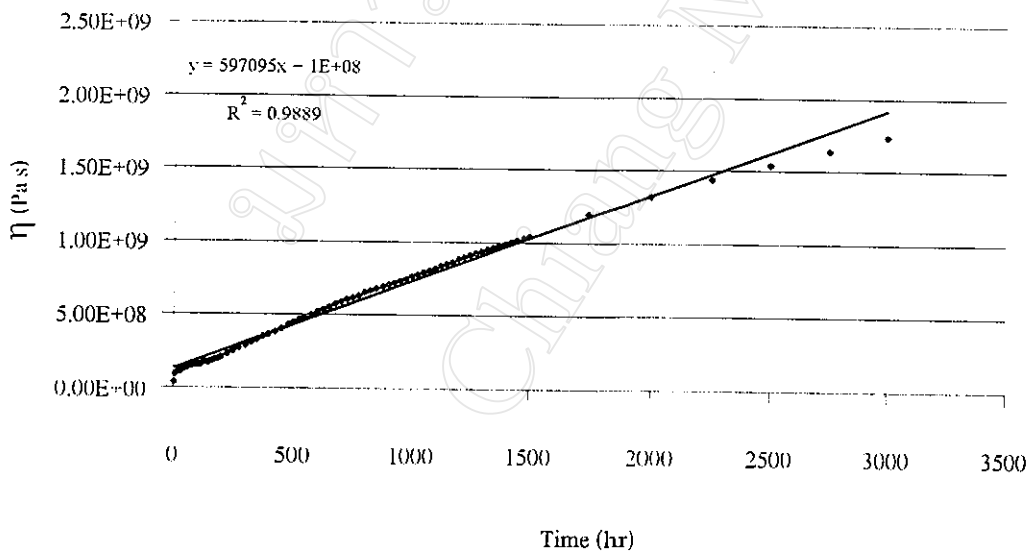
รูป ก-11 แสดงความสัมพันธ์กับเวลาของค่า โมดูลัส
ด้านรัศมี ของท่อทดสอบที่ใช้สารทำงาน R123 ฟลักซ์ความร้อนที่ส่วนควบแน่นต่ำ



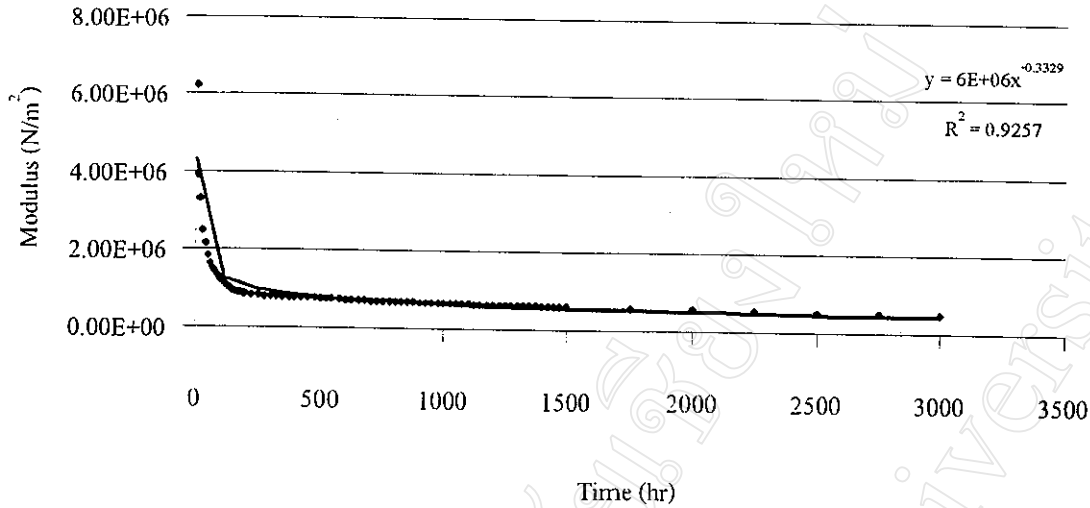
รูป ก-12 แสดงความสัมพันธ์กับเวลาของค่า ความหนืด
ด้านรัศมี ของท่อทดสอบที่ใช้สารทำงาน R113 ฟลักซ์ความร้อนที่ส่วนควบแน่นต่ำ



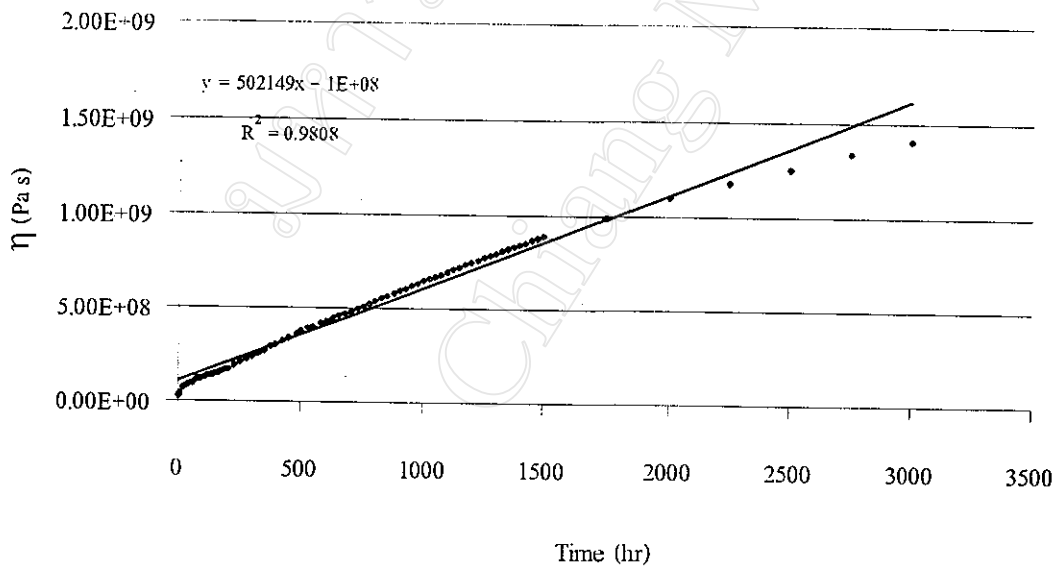
รูป ก-13 แสดงความสัมพันธ์กับเวลาของค่า โมดูลัส
ด้านความยาว ของท่อทดสอบที่ใช้สารทำงาน R123 ฟลักซ์ความร้อนที่ส่วนควบแน่นสูง



รูป ก-14 แสดงความสัมพันธ์กับเวลาของค่า ความหนืด
ด้านความยาว ของท่อทดสอบที่ใช้สารทำงาน R123 ฟลักซ์ความร้อนที่ส่วนควบแน่นสูง



รูป ก-15 แสดงความสัมพันธ์กับเวลาของค่า โมดูลัส
ด้านความยาว ของท่อทดสอบที่ใช้สารทำงาน R123 ฟลักซ์ความร้อนที่ส่วนควบแน่นต่ำ



รูป ก-16 แสดงความสัมพันธ์กับเวลาของค่า ความหนืด
ด้านความยาว ของท่อทดสอบที่ใช้สารทำงาน R123 ฟลักซ์ความร้อนที่ส่วนควบแน่นต่ำ

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ

นายโยธิน อนุชิตานุกุล

วัน เดือน ปี สถานที่เกิด

5 มีนาคม 2520 จังหวัดเชียงใหม่

ประวัติการศึกษา

ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชา ช่างยนต์
สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคพายัพ ปีการศึกษา 2540

ระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขา วิศวกรรม
เครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทเวศร์
ปีการศึกษา 2542