



DAE Mobile Training Team

RANDOM FAILURE
(Weibull's Distribution)

Workshop

As of 4th Nov. 2020



“ กำลังในอากาศ เป็นโล่อันแท้จริงอย่างเดียว
ที่จะป้องกันมิให้สงครามมาถึงท่ามกลางประเทศของเราได้
ทั้งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการคมนาคมปกติ ”



จอมพล สมเด็จพระเจ้าบรมวงศ์เธอ
เจ้าฟ้าจักรพงษ์ภูวนาถ กรมหลวงพิษณุโลกประชานาถ
พระบิดากองทัพอากาศ



DAE Plan in FY 2021

กรมช่างอากาศ
Directorate Of Aeronautical Engineering

WING	Oct-20				Nov-20				Dec-20				Jan-21				Feb-21				Mar-21				Apr-21				May-21				Jun-21				Jul-21				Aug-21				Sep-21			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
W1				MTT 1								ร1																MTT 2 & Test																				
W2					MTT 1										ร2													MTT 2 & Test																				
W4							MTT 1								สค													MTT 2 & Test																				
W5								MTT 1							วค													MTT 2 & Test																				
W6								MTT 1								ร1												MTT 2 & Test																				
W7								MTT 1											ร2																													
W21									MTT 1											สค																												
W23										MTT 1													วค																									
W41											MTT 1													ร1																								
W46												MTT 1															ร2																					
FTS KPS																MTT 1											สค																					
W56																												จก																				

LEGENDS

- MTT 1 (Random Failure)
- DAE Commander's Visit
- MTT 2 & Test



1. WEIBULL CONCEPT
2. Failure Patterns & Shape Parameter (β)
3. ความมุ่งหมาย (Objective)
4. แนวทางดำเนินการ (Solution) ตามแจ้งความวิทยาการ 67/55
5. วิธีการ (Weibull Demonstration)
6. ข้อสรุป (Summary)
7. WORKSHOP (Exercise)



1. Weibull Concept



Weibull Concept

- ◆ Waloddi Weibull identified the Weibull distribution in 1937 while seeking a formula for the failure rate of welds.
- ◆ It is now one of the most commonly used methods for **fitting equipment life data** and **used extensively in the aviation industry** to optimize maintenance intervention and **select maintenance strategy**.
- ◆ Weibull could represent all the zones of the bathtub curve.
- ◆ Accurate Weibull Analysis needs trustworthy parts failure data with clear failure modes. The Weibull Analysis is a valuable and relatively **easy to apply tool** that can be **utilized by reliability engineers** or analysts.



Weibull Concept

- ◆ Weibull analysis is the implied assumption that the future is the same as the past.
- ◆ As soon as design, maintenance or operating policies and practices change, the prior failure history becomes unrepresentative of the future.
- ◆ An analysis using the old data would produce poor decisions in that case.
- ◆ Weibull Analysis requires complete and accurate failure data over a period of stable practices, along with an analyst who has thorough understanding of the effects of past and current maintenance and operating policies and practices.



Weibull Concept

- ◆ Many organizations have kept records of failures manually or in computer systems, **but not used the data in any useful way.**
- ◆ Failure data is the best source of reliability information available.
- ◆ By transforming maintenance and parts history into useful data used to make failure forecasts, **it models the benefits of alternative strategies**, or analyses the reliability of current systems and their capacity to meet operating needs.
- ◆ **Ideally about 10 data points are required** for each failure mode to ensure a robust analysis. Too few points causes uncertainty & interpretation from the curves cannot be trusted.



Weibull 3 Types of Data

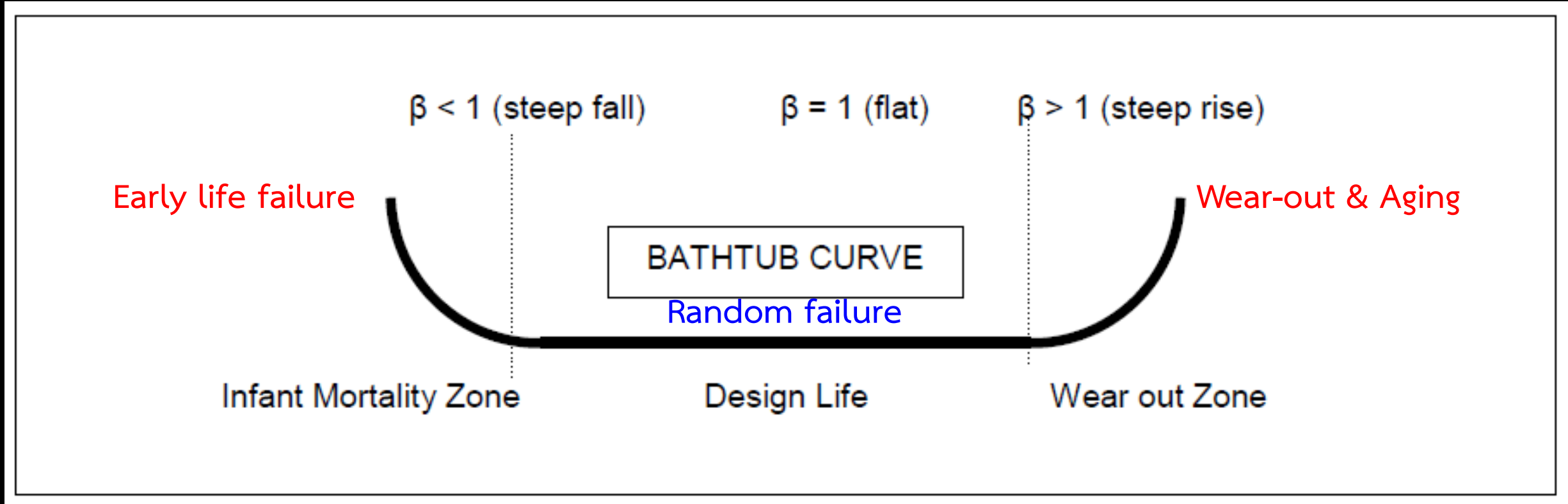
- 1. Complete data:** With Complete data, the practitioner is aware of the exact time-to-failure for a sample of the product. An example would be that the product failed at 15,000 cycles.
- 2. Right Censored data:** With Right Censored data, the practitioner successfully tests the product or component for a pre-determined or known period of time, number of cycles, etc. An example would be that the component operated successfully for 20,000 cycles. The product or component may have continued to perform within acceptable parameters for an unknown period.
- 3. Interval data and Left Censored data:** With these data types, the exact time-to-failure is unknown but it falls within a known time range. An interval is a defined length of time between two known points. Therefore, component failures between 10 and 50 hours of use represent interval data. If the component failures are between 0 and 50 hours, the data is considered left censored.



2. Failure Patterns & Shape Parameter (β)



Weibull Wear-out Life Curve



$\beta < 1$: Infant mortality;

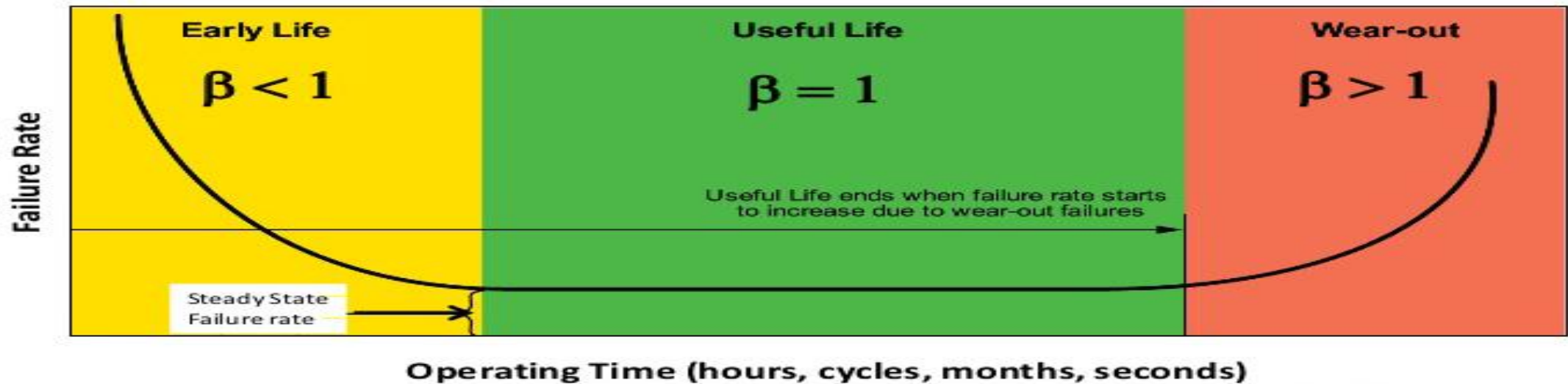
$\beta = 1$: Random failures;

$1 < \beta < 4$ = Early wear out;

$\beta > 4$ = Wear-out or end of life failures



The Weibull Distribution can describe each portion of the Bathtub curve



Typical failure modes:

- * Inadequate burn-in
- * Misassembly
- * Some quality problems

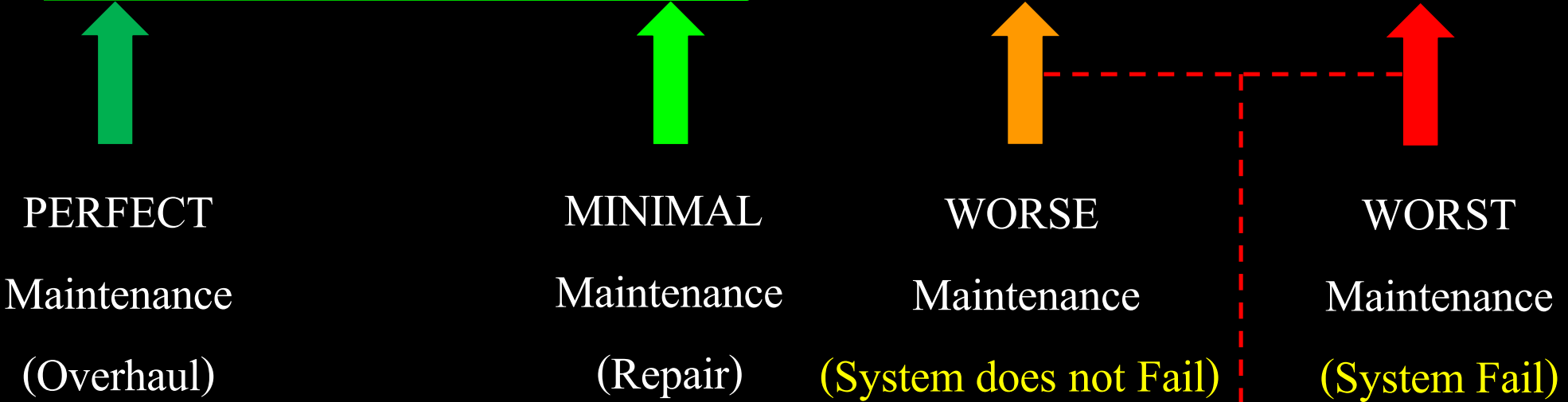
Typical failure modes

- * Independent of time
- * Maintenance errors
- * Electronics
- * Mixtures of problems

Typical failure modes:

- * LCF
- * TMF
- * HCF
- * Stress rupture
- * Corrosion

MAINTENANCE CLASSIFICATION



As-Good-As-New
TSO = 0
 $\beta = 1.00$

As-Bad-As-Old
TSO $\neq 0$
 $\beta > 1.00$

$\beta < 1.00$ (Infant Mortality)

- 1. Bad Maintenance
- 2. Hidden Faults
- 3. Human Errors
- 4. Faulty Parts

$\beta = 1$: Random failures

$1 < \beta < 4$ = Early wear out



$\beta < 1$: Infant mortality

กรมช่างอากาศยาน
Directorate Of Aeronautical Engineering

- ◆ $\beta < 1$ implies infant mortality.
- ◆ Electronic and mechanical components often have high failure rates initially.
- ◆ Some components are purposely ‘burnt in’ prior to use, while others require careful commissioning after installation.
- ◆ The presence of infant mortality indicates **poor training, lack of procedures and poor quality control.**



$\beta = 1$: Random failures

- ◆ $\beta = 1$ implies random failures.
- ◆ These failures are independent of time where an old part is “As good as a New part”.
- ◆ Maintenance overhauls are not appropriate for random failures.
- ◆ Condition monitoring (CM) and inspection are strategies used to detect the onset of failure, and reduce the consequences of failure.
- ◆ This zone is affected by random incidents and accidents.
- ◆ It reflects poor operating procedures, **poor risk management and poor materials selection at design.**



$1 < \beta < 4 = \text{Early wear out}$

- ◆ $1 < \beta < 4$ implies early wear out.
- ◆ You would not expect this type of failure within the design life.
- ◆ Failure mechanisms such as corrosion, erosion, low cycle fatigue (LCF) and bearing failures fall in this range.
- ◆ Maintenance often involves a periodic rework, modification, retrofit or life extension task.
- ◆ The shape can be altered by **better materials selection**, **by degradation management** and **by good control of operating practices**.



- ◆ $\beta > 4$ are wear-out or end of life failures.
- ◆ They should not appear in the design life.
- ◆ Age related failures include stress corrosion cracking, creep, high cycle fatigue (HCF), and erosion.
- ◆ Appropriate maintenance is often **renewal of the item with new** or **send the item to overhaul**.



3. ความมุ่งหมาย (Objective)



Weibull's Objective

กรมช่างอากาศยาน
Directorate Of Aeronautical Engineering

1. สามารถคำนวณอายุการใช้งานของชิ้นส่วนโครงสร้างอากาศยาน, เครื่องยนต์ และบริภัณฑ์ ได้โดยใช้ทฤษฎีความเชื่อถือได้ทางด้านวิศวกรรม (Reliability Engineering) ด้วยการใช้ Weibull Distribution Model สำหรับการชำรุดแบบสุ่ม (Random Failure)
2. ในกรณีที่พัสดุเกิดการชำรุดซ้ำ ๆ กันในห้วงเวลาที่ใกล้เคียงกัน และเกิดข้อสงสัยว่าอาจมีสาเหตุมาจากการชำรุดแบบก่อนกำหนด (Infant Mortality) ก็สามารถคำนวณหาค่า Characteristic Life ของพัสดุนั้นได้ ตลอดจนกำหนด Threshold และ Criteria ที่จะต้องตรวจสอบได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม
3. ยกระดับขีดความสามารถของเหล่าทหารช่างอากาศยาน ที่ทำได้ทั้งงานด้านซ่อมบำรุง และงานวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ทฤษฎีความเชื่อถือได้ทางด้านวิศวกรรม (Reliability Engineering) อย่างเป็นเลิศ

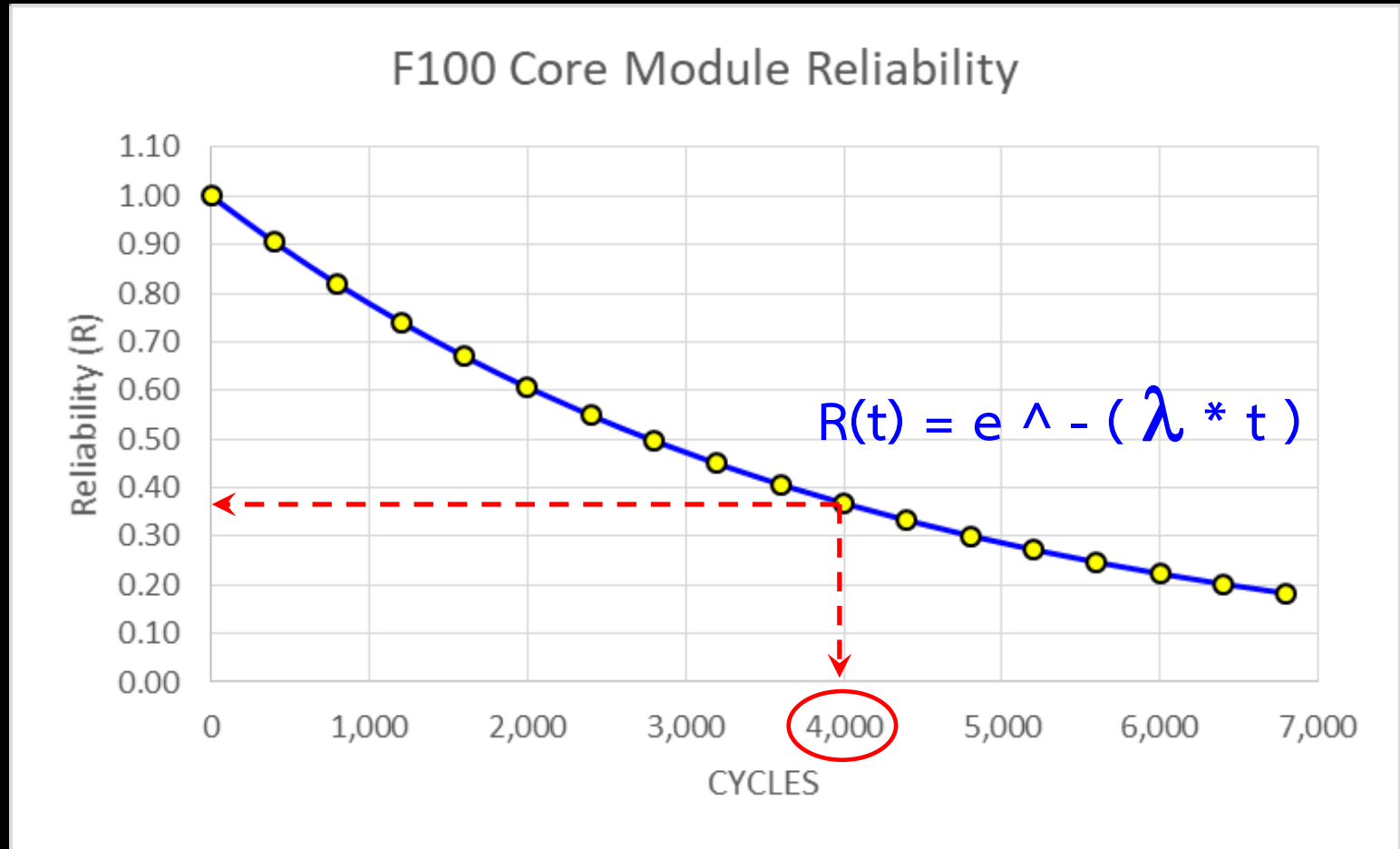


4. แนวทางดำเนินการ (Solution) ตามแจ้งความวิทຍการ 67/55



1. จากค่าอัตราการชำรุดของพัสดุ หรือ Failure Rate (λ) ที่ได้รับทราบแล้วว่าเป็นค่าคงที่ “อัตราส่วนของจำนวนพัสดุที่ชำรุดในหนึ่งชั่วโมง” โดยที่ค่า Failure Rate (λ) มีค่าคงที่ ($\lambda = \text{Constant}$)
2. ตัวอย่างของ $\lambda = \text{Constant}$ คือพัสดุประเภท TCI (Time Change Item)
3. F100-PW-220/E Core Module เป็นพัสดุ TCI ที่ต้องถอดเปลี่ยนทุก ๆ 4,000 Cycles นั่นคือ OEM กำหนดอายุใช้งานก่อนซ่อมใหญ่ที่ 4,000 Cycles
4. Core Module จึงมีค่า Constant Failure Rate (λ) = $1 / 4,000 = 0.00025$
5. เราเรียกว่าเป็นค่าของ “Design Reliability” ของ Core Module ซึ่งคำนวณได้จากสูตร Design Reliability $R(t) = e^{-\lambda * t}$

t (ccy)	TBO or MTBF	λ	$R(t) = e^{(-\lambda t)}$
0	4000	0.00025	1.00000
400	4000	0.00025	0.90484
800	4000	0.00025	0.81873
1200	4000	0.00025	0.74082
1600	4000	0.00025	0.67032
2000	4000	0.00025	0.60653
2400	4000	0.00025	0.54881
2800	4000	0.00025	0.49659
3200	4000	0.00025	0.44933
3600	4000	0.00025	0.40657
4000	→ 4000	→ 0.00025	→ 0.36788
4400	4000	0.00025	0.33287
4800	4000	0.00025	0.30119
5200	4000	0.00025	0.27253
5600	4000	0.00025	0.24660
6000	4000	0.00025	0.22313



- ◆ Core Module ของ ย.F100 เมื่อใช้งานถึง 4,000 Cycles (Reliability = 0.37) ต้องถอดลงเพื่อส่งซ่อมใหญ่
- ◆ Time Between Overhaul ของพัสดุ TCI ทุกชนิด เมื่อใช้งานครบอายุแล้วจะเหลือค่า Reliability = 0.37 เสมอ

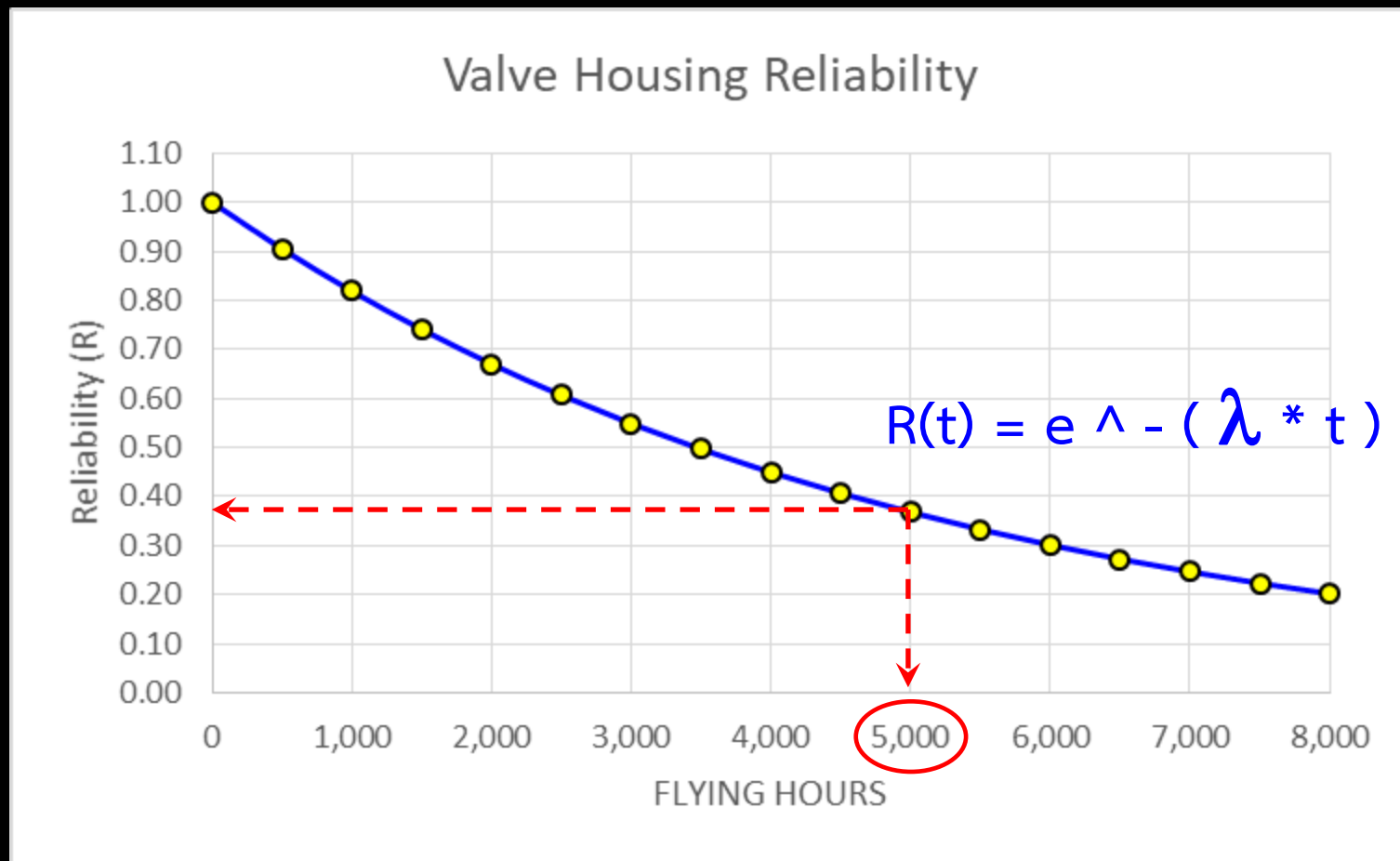


C-130H Valve Housing

กรมช่างอากาศยาน
Directorate Of Aeronautical Engineering

1. หรือตัวอย่างของ $\lambda = \text{Constant}$ คือ Valve Housing ของ บ.ล.8 (C-130H) เป็นพัสดุ TCI ที่ต้องถอดเปลี่ยนทุก ๆ 5,000 Flying Hours นั่นคือ OEM กำหนดอายุใช้งานก่อนซ่อมใหญ่ที่ 5,000 FH
2. Valve Housing จึงมีค่า Constant Failure Rate (λ) = $1 / 5,000 = 0.0002$
3. เราเรียกว่าเป็นค่าของ “Design Reliability” ของ Valve Housing ซึ่งคำนวณได้จากสูตร Design Reliability $R(t) = e^{-\lambda * t}$

t (ccy)	TBO or MTBF	λ	$R(t) = e^{(-\lambda t)}$
0	5000	0.0002	1.00000
500	5000	0.0002	0.90484
1000	5000	0.0002	0.81873
1500	5000	0.0002	0.74082
2000	5000	0.0002	0.67032
2500	5000	0.0002	0.60653
3000	5000	0.0002	0.54881
3500	5000	0.0002	0.49659
4000	5000	0.0002	0.44933
4500	5000	0.0002	0.40657
5000	→ 5000	0.0002	→ 0.36788
5500	5000	0.0002	0.33287
6000	5000	0.0002	0.30119
6500	5000	0.0002	0.27253
7000	5000	0.0002	0.24660



- ◆ Valve Housing ของ บ.C-130H เมื่อใช้งานถึง 5,000 FH (Reliability = 0.37) ต้องถอดลงเพื่อส่งซ่อมใหญ่
- ◆ Time Between Overhaul ของพัสดุ TCI ทุกชนิด เมื่อใช้งานครบอายุแล้วจะเหลือค่า Reliability = 0.37 เสมอ



RANDOM FAILURE

กรมช่างอากาศยาน
Directorate Of Aeronautical Engineering

- ◆ แต่ในความเป็นจริงแล้วทั้ง Core Module ของ ย.F100 และ Valve Housing ของ บ.C-130H อาจใช้งานได้ไม่ถึง 4,000 Cycles และ 5,000 FH ก็อาจเกิดการชำรุดขึ้นก่อนกำหนดได้ ซึ่งเราเรียกว่าเป็น “การชำรุดแบบสุ่ม” หรือ Random Failure
- ◆ ในการคำนวณหาอายุการใช้งานของพัสดุที่มีการชำรุดแบบสุ่ม หรือ Random Failure นั้น เรานำ Weibull Distribution Model มาใช้งาน
- ◆ Software ของ Weibull (Reliasoft: Life Data Analysis) มีใช้งานมากกว่า 1,000 บริษัทอุตสาหกรรมทั่วโลก (Aerospace, Automotive, Electric Power, Nuclear Power, Medical, Dental, Electronics, etc.)
- ◆ ต้องใช้เวลาฝึกอบรมการใช้ Weibull Software นาน 3 วัน แต่เราเรียน 1/2 วัน



5. วิธีการ (Weibull Demonstration)

ตัวอย่าง

PUMP HOUSING ของ C-130H/H-30



1. เก็บรวบรวมข้อมูล C-130H/H-30 Pump Housing ที่มีการชำรุดก่อนครบอายุ 5,000 FH จำนวน 31 EA (2015- 2020)
2. นำข้อมูลมาจัดทำตารางใน Microsoft Excel โดยเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก
3. จัดทำข้อมูลใน Column C, D, E และ F ในตาราง Excel (ใช้ Excel Template)
4. จากหน้าจอ Excel ที่ได้ในข้อ 3 ให้ Click “File”, “Options”, “Add Ins”, “Analysis ToolPak”, “Go”, “Analysis ToolPak”, “OK”.
5. จากหน้าจอ Excel ที่ได้ในข้อ 4 ให้ Click “Data”, “Data Analysis”, Regression”, OK,
6. Excel จะแสดงผลการคำนวณและกราฟใน New Worksheet
7. ในช่อง A19 และ A20 ให้ใส่ข้อความ Beta (or Shape Parameter) และ Alpha (or Characteristic Life) ตามลำดับ
8. ในช่อง B19 และ B20 ให้ใส่สูตร = B18 และ = EXP(-B17/B18) ตามลำดับ
9. แต่งกราฟที่ได้จาก Weibull ให้สวยงามตามความต้องการ
10. ในช่อง A5 และ B5 ใส่สีเขียว เป็นค่า R Square ที่แสดงถึงความถูกต้องที่ได้จากการคำนวณด้วย Weibull
11. จาก Weibull Excel Spreadsheet จะสามารถสร้างกราฟ
 - 11.1 Design VS Actual Reliability
 - 11.2 Reliability Calculator
 - 11.3 PDF (Population Density Function)
 - 11.4 CDF (Cumulative Distribution Function)



EXAMPLE

การเก็บรวบรวมข้อมูล ใช้ Excel Template

TCI UNSCHEDULED C-130H 2015-2020 601SQDN											
ID.	Part_Number	Description	Serial_Number	Position	RTAF Number	Install Date	Interval	Quantity	UNIT COUNT	TSO	Note
				ตำแหน่งที่ติดตั้ง	หมายเลข อ. (หมายเลข ทอ.)	วันที่ติดตั้ง	TBO (FH, MO, YR, etc.)	จำนวนของ TCI	หน่วยนับ	ระยะเวลาที่ใช้งานจนถึงวันที่ถอดออก (FH, MO, YR etc.)	บันทึกข้อขัดข้อง/สาเหตุของการถอดออก



กรมช่างอากาศยาน

Directorate Of Aeronautical Engineering

TCI UNSCHEDULED C-130H 2015-2020 601SQDN

ID.	Part_Number	Description	Serial_Numbe	Position	RTAF Numbe	Install Date	Interval	Quant	IT CO	TSO	Note
1	733872-2	PUMP HOUSING ASSY. #2	SE17636		5/31	14/2/2016	5000 FH	1	EA	4,780.30	
2	733872-2	PUMP HOUSING ASSY. #2	880424		5/31	25/9/2016	5000 FH	1	EA	4,546.50	
3	733872-2	PUMP HOUSING ASSY. #2	SE4785		5/31	23/12/2010	5000 FH	1	EA	4,740.80	eng not start valve and pump housing broken
4	733872-2	PUMP HOUSING ASSY. #2	PP10130147		11/35	2/2/2010	5000 FH	1	EA	4,244.80	8/12/2016
5	733872-2	PUMP HOUSING ASSY. #1	C22422		12/35	31-ม.ค.-12	5000 FH	1	EA	3,947.60	DEFECT FOUND LEAK TAI 15/3/2017
6	733872-2	PUMP HOUSING ASSY. #2	910913		11/35	8-ธ.ค.-16	5000 FH	1	EA	2,920.20	LEAK AT PDM 9 NOV 178/11/2017
7	733872-2	PUMP HOUSING ASSY. #1	22389		12/35	15-มี.ค.-17	5000 FH	1	EA	276.80	DEFECT FCF PDM 15 JUNE 17 TAI,NEW 25/12/2016
8	733872-2	PUMP HOUSING ASSY. #3	SE20728		8/33	3-ก.ค.-15	5000 FH	1	EA	1,194.30	DEFECT PDM ST-1 TAI AUG 1822/8/2018
9	733872-2	PUMP HOUSING ASSY. #3	900135		12/35	4-พ.ย.-13	5000 FH	1	EA	3,608.00	25/12/2017
10	733872-2	PUMP HOUSING ASSY. #2	830341		9/35	20-พ.ค.-17	5000 FH	1	EA	643.60	LOW PITCH STOP OPERATE INCORRECT 60126/3/2019
11	733872-2	PUMP HOUSING ASSY. #3	900129		12/35	25-ธ.ค.-17	5000 FH	1	EA	164.90	DEFECT PACKAGE#11 18 APR 19 TAI21/5/2019CANN FROM 106 PDM ST-2 TA
12	733872-5	PUMP HOUSING ASSY. #3	22769		6/31	16/12/2014	5000 FH	1	EA	594.60	4/11/2016
13	733872-6	PUMP HOUSING ASSY. #3	SE7360		5/31	10/4/2013	5000 FH	1	EA	1,738.80	
14	733872-6	PUMP HOUSING ASSY. #3	910913		5/31	25/9/2016	5000 FH	1	EA	2,635.40	
15	733872-6	PUMP HOUSING ASSY. #1	910913		6/31	16/7/2009	5000 FH	1	EA	2,595.90	
16	733872-6	PUMP HOUSING ASSY. #1	SE16329		6/31	25/9/2016	5000 FH	1	EA	881.60	
17	733872-6	PUMP HOUSING ASSY. #4	18926		5/31	23/12/2010	5000 FH	1	EA	4,228.20	
18	733872-6	PUMP HOUSING ASSY. #4	920728		5/31	25/9/2016	5000 FH	1	EA	1,784.80	
19	733872-6	PUMP HOUSING ASSY. #2	920728		6/31	22/3/2012	5000 FH	1	EA	1,745.30	
20	733872-6	PUMP HOUSING ASSY. #2	911225		6/31	25/9/2016	5000 FH	1	EA	119.20	
21	733872-6	PUMP HOUSING ASSY. #1	910741		5/31	21/3/2014	5000 FH	1	EA	787.80	
22	733872-6	PUMP HOUSING ASSY. #1	22769		5/31	25/9/2016	5000 FH	1	EA	574.70	
23	733872-6	PUMP HOUSING ASSY. #4	880424		6/31	10/9/2007	5000 FH	1	EA	4,507.00	
24	733872-6	PUMP HOUSING ASSY. #4	930929		6/31	25/9/2016	5000 FH	1	EA	1,413.30	
25	733872-6	PUMP HOUSING ASSY. #3	910741		4/26	20-มี.ย.-16	5000 FH	1	EA	1,018.20	MECHANICAL DAMAGE 6019/5/2017
26	733872-6	PUMP HOUSING ASSY. #4	910913		10/35	11-ส.ค.-17	5000 FH	1	EA	2,796.50	PROP OIL FWD PUMP 601SQDN 18/8/2017
27	733872-6	PUMP HOUSING ASSY. #4	920728		5/31	4-ส.ค.-16	5000 FH	1	EA	1,978.90	LEAK AT FWD PUMP 601SQDN 30/10/2017
28	733872-6	PUMP HOUSING ASSY. #3	911010		11/35	28-ธ.ค.-11	5000 FH	1	EA	3,080.30	LEAK PDM 9 NOV 178/11/2017
29	733872-6	PUMP HOUSING ASSY. #1	911012		10/35	22-พ.ย.-18	5000 FH	1	EA	1,401.10	CANN FROM A/C101 ENG#3 PDM ST1
30	733872-6	PUMP HOUSING ASSY. #1	22769		5/31	11-ม.ค.-17	5000 FH	1	EA	1,423.00	REMOVE IN PDM ST-2 JULY 62 TAI26/7/2019TSO=6.5
31	733872-6	PUMP HOUSING ASSY #1	921033		1/23	22-พ.ค.-19	5000 FH	1	EA	1,469.80	MECH GOV.TQ,RPM,F/F VIBRATION 601 31/1/2020

เป็นองค์กรที่มุ่งเน้นการพัฒนากระบวนการซ่อมสร้างอากาศยาน ให้มีความปลอดภัยและเป็นมาตรฐานสากล



2. นำข้อมูลมาจัดทำตารางใน Microsoft Excel โดยเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก

A	B
PUMP HOUSING FAILED HRS.	RANK
119.20	1
164.90	2
276.80	3
574.70	4
594.60	5
643.60	6
787.80	7
881.60	8
1,018.20	9
1,194.30	10
1,401.10	11
1,413.30	12
1,423.00	13
1,469.80	14
1,738.80	15
1,745.30	16
1,784.80	17
1,978.90	18
2,595.90	19
2,635.40	20
2,796.50	21
2,920.20	22
3,080.30	23
3,608.00	24
3,947.60	25
4,228.20	26
4,244.80	27
4,507.00	28
4,546.50	29
4,740.80	30
4,780.30	31



C-130H/H-30 Pump Housing Random Failure

3. จัดทำข้อมูลใน Column C, D, E และ F ในตาราง Excel (ใช้ Excel Template)

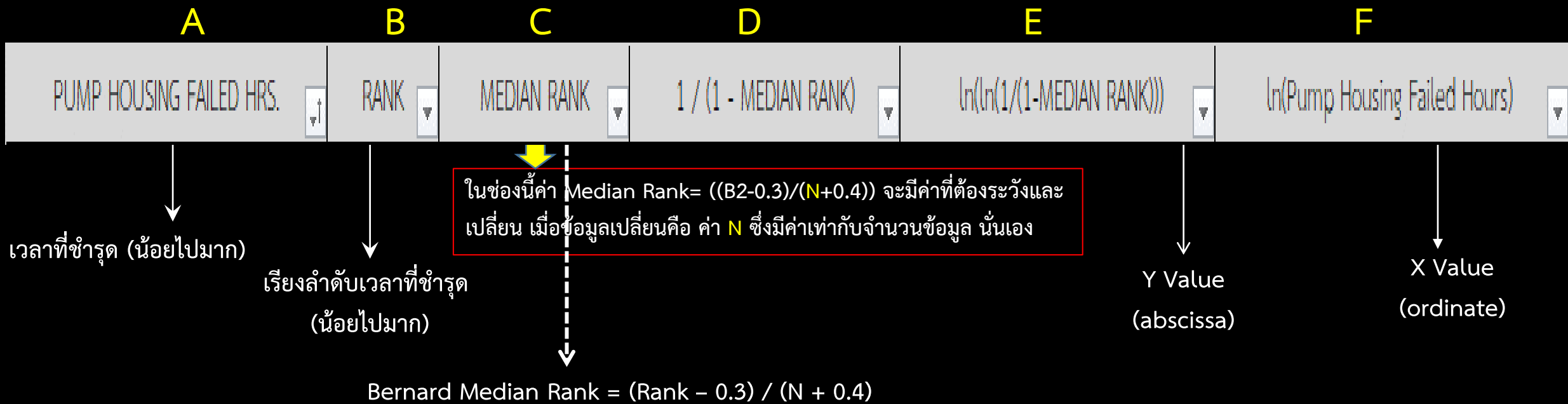
A	B	C	D	E	F
PUMP HOUSING FAILED HRS.	RANK	MEDIAN RANK	1 / (1 - MEDIAN RANK)	ln(ln(1/(1-MEDIAN RANK)))	ln(Pump Housing Failed Hours)
119.20	1	0.022293	1.022801303	-3.792231396	4.780802755
164.90	2	0.054140	1.057239057	-2.888478304	5.10533923
276.80	3	0.085987	1.094076655	-2.408937543	5.623295224
574.70	4	0.117834	1.133574007	-2.076442206	6.353848166
594.60	5	0.149682	1.176029963	-1.81926843	6.387888911
643.60	6	0.181529	1.221789883	-1.607854661	6.467077415
787.80	7	0.213376	1.271255061	-1.427096984	6.669244251
881.60	8	0.245223	1.324894515	-1.26821681	6.781738438
1,018.20	9	0.277070	1.383259912	-1.12564551	6.925791641
1,194.30	10	0.308917	1.447004608	-0.995616359	7.085315519
1,401.10	11	0.340764	1.516908213	-0.875450675	7.245012921
1,413.30	12	0.372611	1.593908629	-0.763163596	7.253682674
1,423.00	13	0.404459	1.679144385	-0.657231212	7.260522598
1,469.80	14	0.436306	1.774011299	-0.556445126	7.292881616
1,738.80	15	0.468153	1.880239521	-0.459817012	7.460950499
1,745.30	16	0.500000	2	-0.366512921	7.46468174
1,784.80	17	0.531847	2.136054422	-0.275805678	7.487061643
1,978.90	18	0.563694	2.291970803	-0.187038191	7.590296414
2,595.90	19	0.595541	2.472440945	-0.099592848	7.861688556
2,635.40	20	0.627389	2.683760684	-0.012863328	7.876790252
2,796.50	21	0.659236	2.934579439	0.073774629	7.936123914
2,920.20	22	0.691083	3.237113402	0.160997479	7.979407386
3,080.30	23	0.722930	3.609195402	0.249578931	8.032782274
3,608.00	24	0.754777	4.077922078	0.34045541	8.190908881
3,947.60	25	0.786624	4.686567164	0.434829954	8.280863078
4,228.20	26	0.818471	5.50877193	0.534351733	8.34953165
4,244.80	27	0.850318	6.680851064	0.641456641	8.353449983
4,507.00	28	0.882166	8.486486486	0.760092992	8.413387023
4,546.50	29	0.914013	11.62962963	0.89753845	8.422112985
4,740.80	30	0.945860	18.47058824	1.070274418	8.463961177
4,780.30	31	0.977707	44.85714286	1.335917183	8.472258585

C: Median Rank= ((B2-0.3)/(31+0.4)); D: 1/(1 - Median Rank) =1/(1-C2); E: ln(ln(1/(1-MEDIAN RANK))) = ln(ln(D2)); F: ln(Pump Housing Failed Hrs) = ln(A2)



EXAMPLE

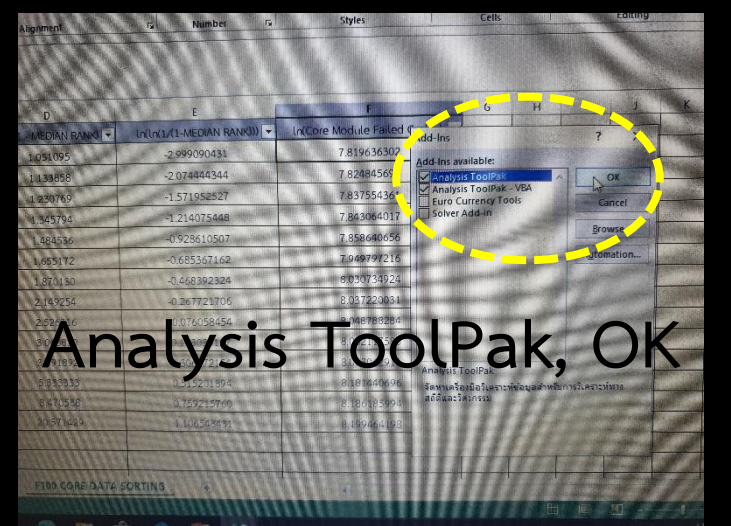
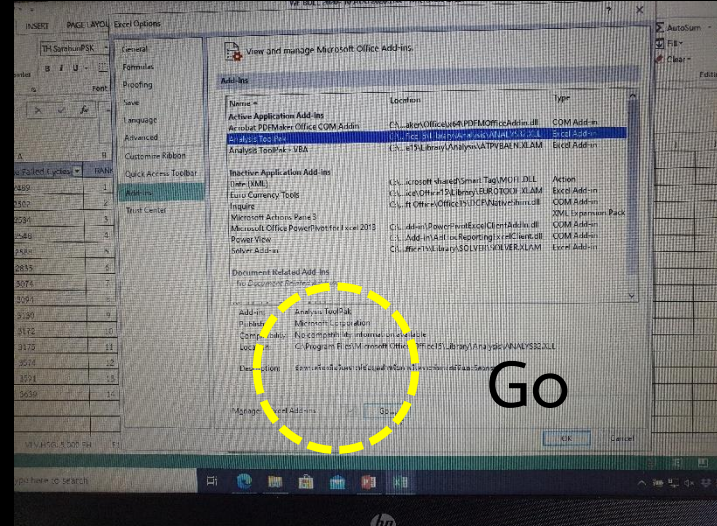
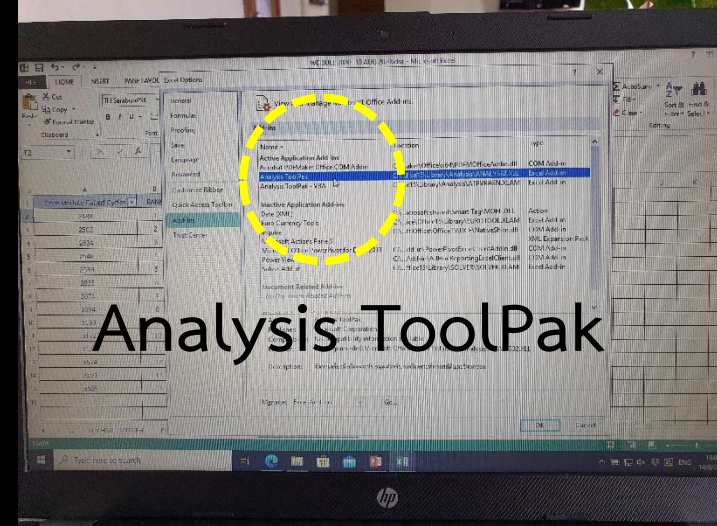
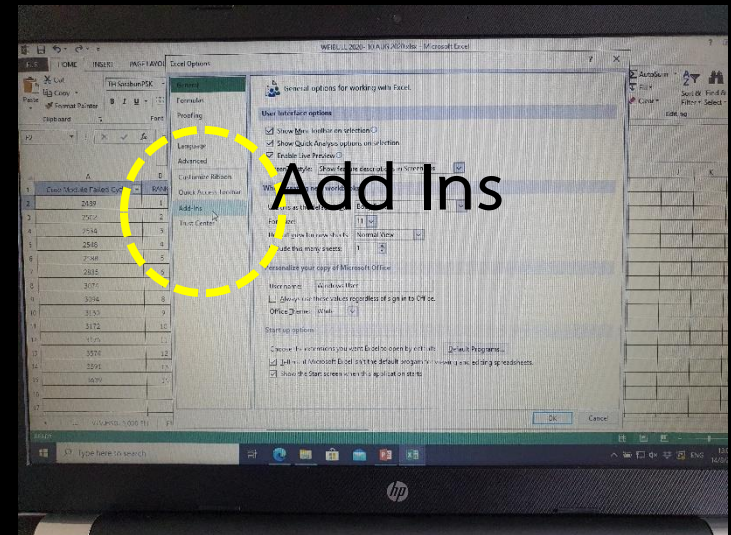
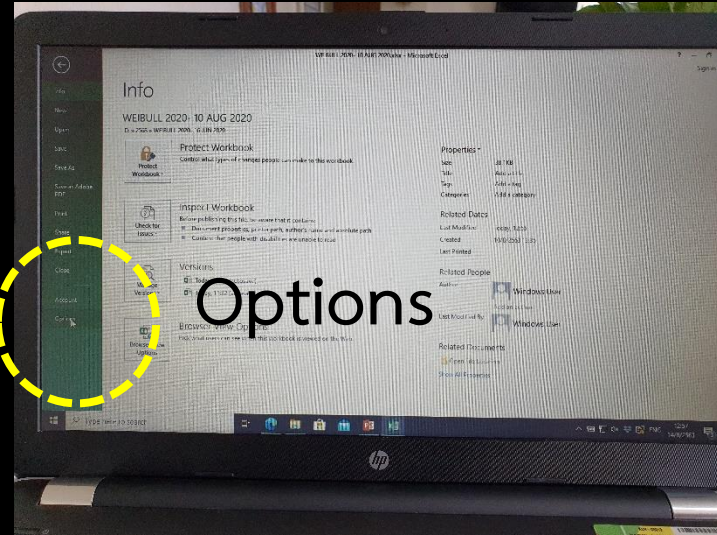
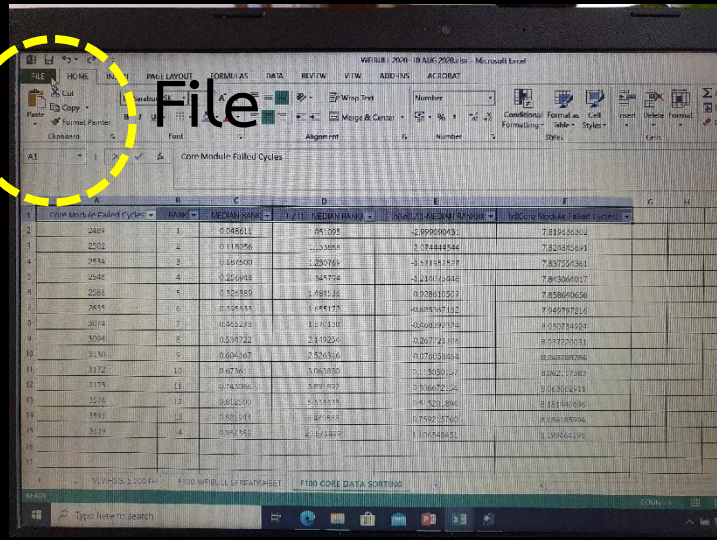
การจัดทำข้อมูลใน Column A, B, C, D, E และ F ในตาราง Excel (ใช้ Excel Template)



C: Median Rank = $((B2-0.3)/(N+0.4))$; D: $1/(1 - \text{Median Rank}) = 1/(1-C2)$; E: $\ln(\ln(1/(1-MEDIAN RANK))) = \ln(\ln(D2))$; F: $\ln(\text{Core Module Failed Cycles}) = \ln(A2)$

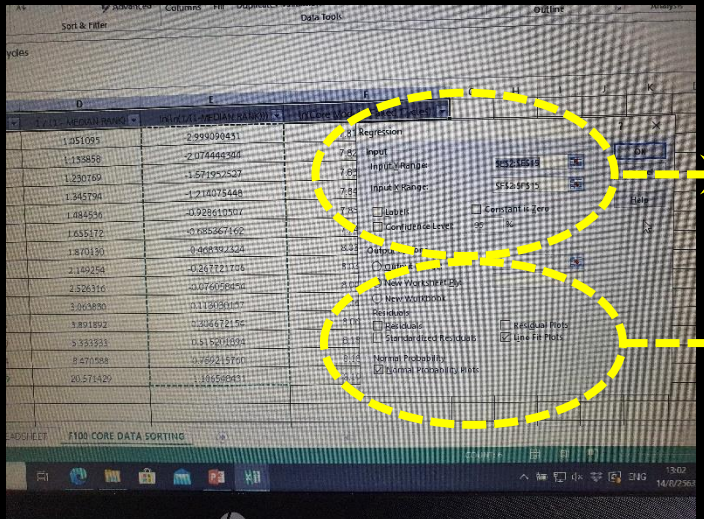
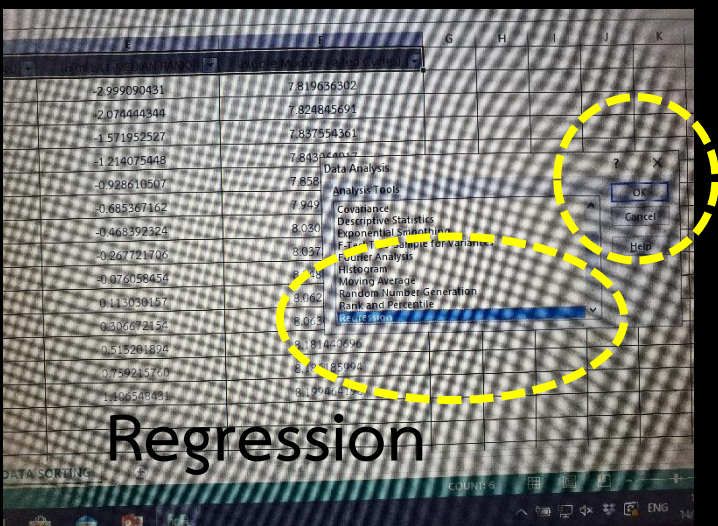
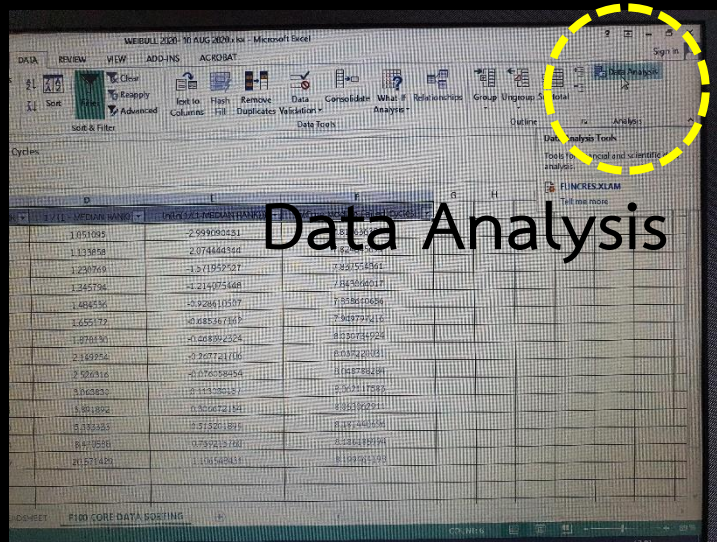
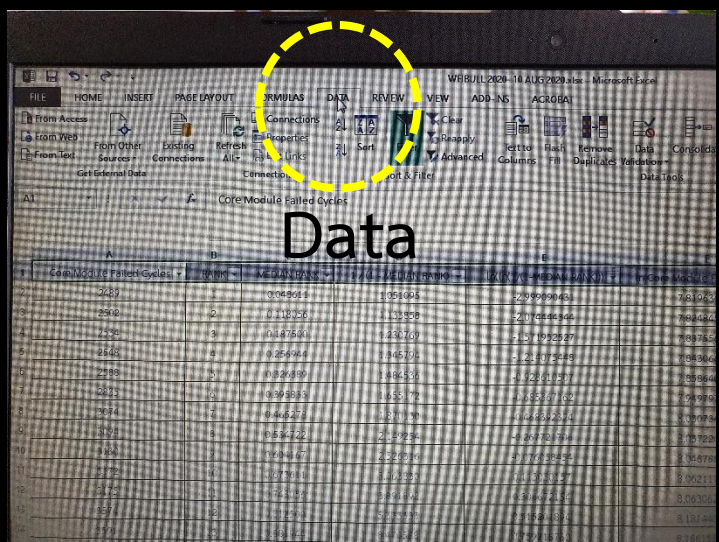


4. จากหน้าจอ Excel ที่ได้ในข้อ 3 ให้ Click “File”, “Options”, “Add Ins”, “Analysis ToolPak”, “Go”, “Analysis ToolPak”, “OK”.





5. จากหน้าจอ Excel ที่ได้ในข้อ 4 ให้ Click “Data”, “Data Analysis”, Regression”, OK,



Input Y Range: ลาก Column E

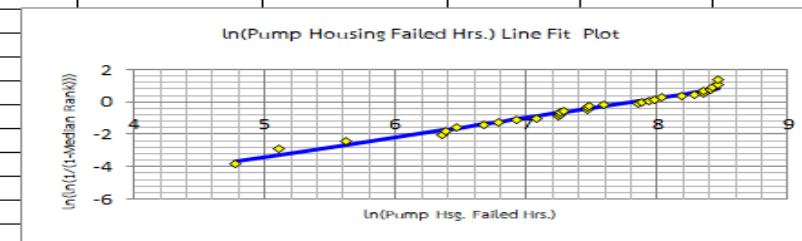
Input X Range: ลาก Column F

เลือก “New Worksheet Ply”
และเลือก “Line Fit Plots”

A

B

SUMMARY OUTPUT									
<i>Regression Statistics</i>									
Multiple R	0.989493892								
R Square	0.979098162								
Adjusted R Square	0.978377409								
Standard Error	0.176250682								
Observations	31								
<i>ANOVA</i>									
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>				
Regression	1	42.19892237	42.19892237	1358.437773	6.5157E-26				
Residual	29	0.900864782	0.031064303						
Total	30	43.09978715							
<i>Coefficients</i>									
Intercept	-9.483433725	0.244340074	-38.81243704	1.49764E-26	-9.983165286	-8.983702164	-9.983165286	-8.983702164	
X Variable 1	1.214831206	0.032950673	36.85699083	6.5157E-26	1.147419062	1.282243351	1.147419062	1.282243351	
Beta (or Shape Parameter) =	1.214831206								
Alpha (or Characteristic Life) =	2456.222177								
<i>RESIDUAL OUTPUT</i>									
<i>Observation</i>	<i>Predicted Y</i>	<i>Residuals</i>							
1	-3.675565348	-0.11666048							
2	-3.281308311	0.392830007							
3	-2.652079206	0.243141663							
4	-1.764580694	-0.311861512							
5	-1.723226935	-0.096041495							
6	-1.627026269	0.019171607							
7	-1.381427688	-0.045669296							
8	-1.244766238	-0.023450572							
9	-1.060765013	0.055870500							



Shape Parameter (β) = B18

Characteristic Life (α) = $\text{EXP}(-B17/B18) = B19$

6. Excel จะแสดงผลการคำนวณและกราฟใน New Worksheet

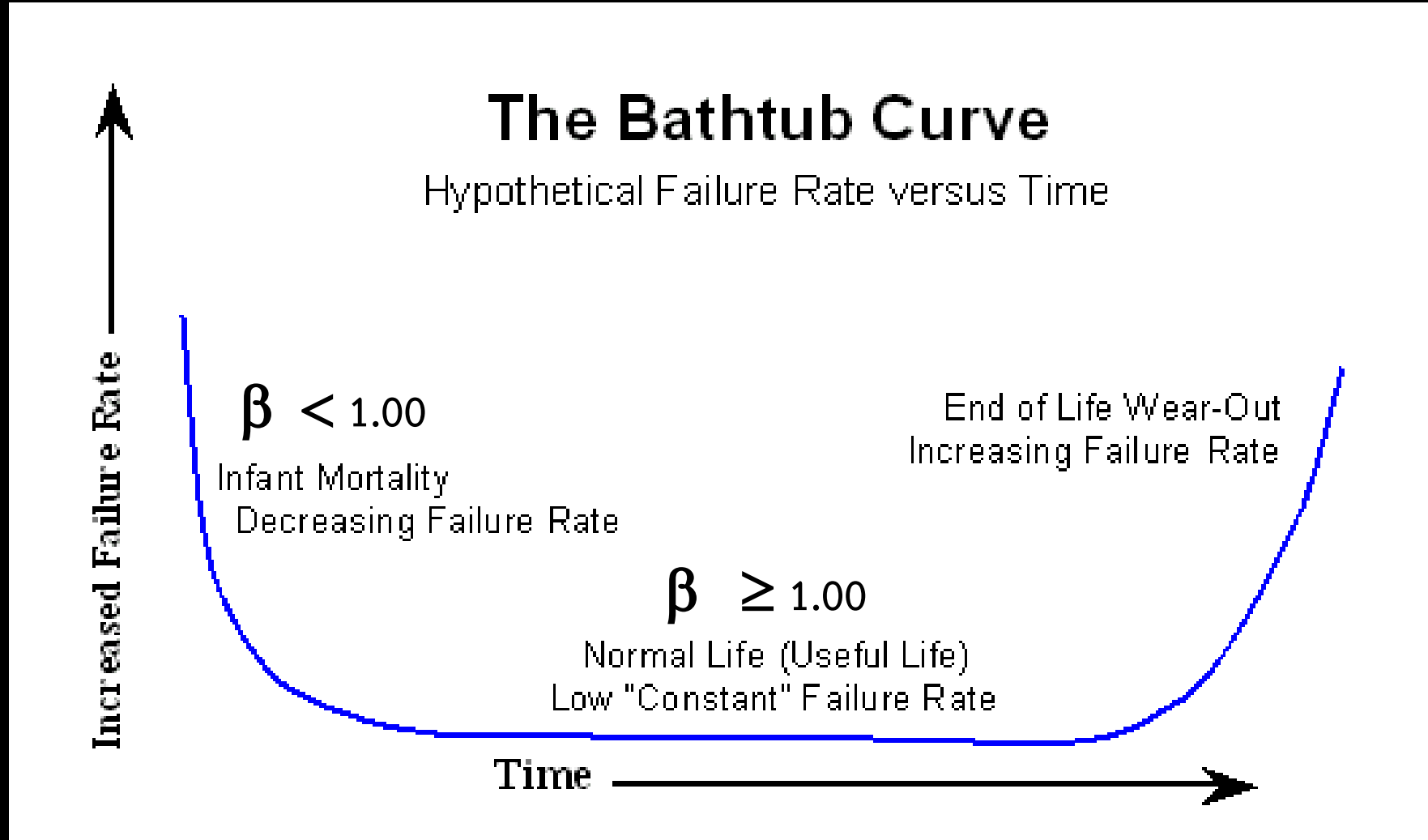
7. ในช่อง A19 และ A20 ให้ใส่ข้อความ Beta (or Shape Parameter) และ Alpha (or Characteristic Life) ตามลำดับ

8. ในช่อง B19 และ B20 ให้ใส่สูตร = B18 และ = $\text{EXP}(-B17/B18)$ ตามลำดับ

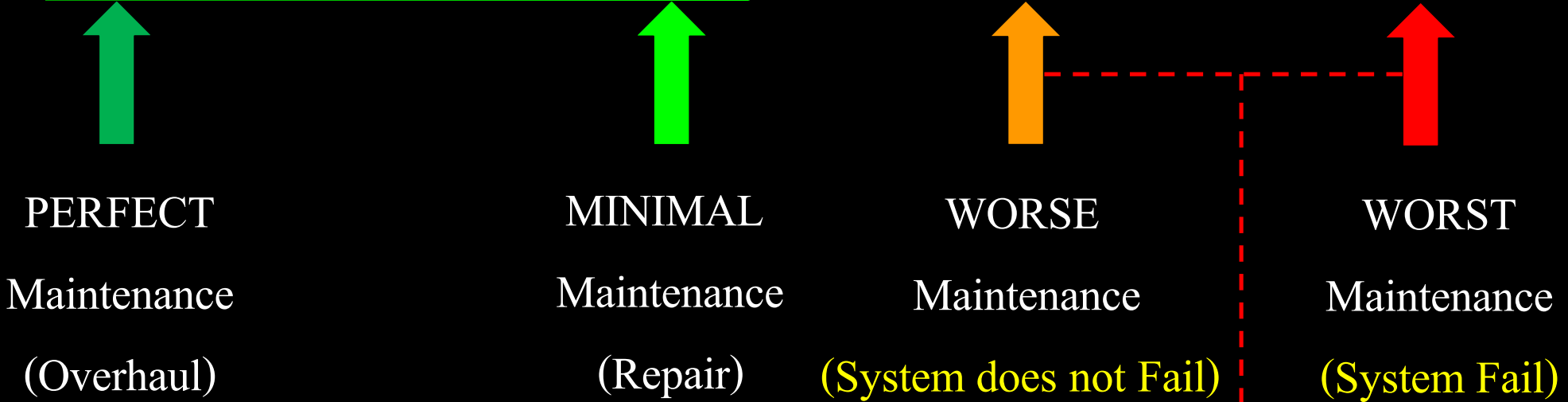
9. แต่งกราฟที่ได้จาก Weibull ให้สวยงามตามความต้องการ

10. ในช่อง A5 และ B5 ใส่สีเขียว เป็นค่า R Square ที่แสดงถึงความถูกต้องที่ได้จากการคำนวณด้วย Weibull

24	0.467137991	-0.12668258
25	0.576417156	-0.141587202
26	0.65983788	-0.125486147
27	0.664597994	-0.023141353
28	0.73741138	0.022681613
29	0.748011951	0.149526499
30	0.79885044	0.271423978
31	0.808930391	0.526986792



MAINTENANCE CLASSIFICATION



As-Good-As-New
TSO = 0
 $\beta = 1.00$

As-Bad-As-Old
TSO $\neq 0$
 $\beta > 1.00$

$\beta < 1.00$ (Infant Mortality)

- 1. Bad Maintenance
- 2. Hidden Faults
- 3. Human Errors
- 4. Faulty Parts

$\beta = 1$: Random failures

$1 < \beta < 4$ = Early wear out



ความหมายของ β และ α

กรมช่างอากาศยาน
Directorate Of Aeronautical Engineering

$\beta = \text{SHAPE PARAMETER}$

$\beta < 1.00$ แสดงว่าเป็นการชำรุดแบบก่อนกำหนด (Infant Mortality)

$\beta = 1.00$ แสดงว่ามีอัตราการชำรุดที่คงที่ (Constant Failure Rate หรือ $\lambda = 1 / \text{MTBF}$)

$\beta > 1.00$ แสดงว่าเป็นการชำรุดที่เกิดจากการเสื่อมสภาพจากการใช้งานตามปกติ

$\alpha = \text{CHARACTERISTIC LIFE}$

α คือตัวเลขที่บอกถึงอายุใช้งานที่พัสดุจะมีการชำรุด (Failed) = 63.2 % และจะยังมีสภาพใช้งานได้ (Serviceable) = 36.8 % หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง α ก็คือ “อายุใช้งานของพัสดุหลังจากผ่าน Burn-In Period ไปแล้ว จะชำรุดที่อายุเท่าใดนั่นเอง”



อายุ “Burn-In” คืออะไร ?

- ◆ ในช่วงแรกที่เราเริ่มต้นออกแบบ และสร้างอุปกรณ์ใด ๆ ก็ตาม อุปกรณ์นั้น ๆ อาจยังไม่มีคุณสมบัติ และมักจะชำรุดก่อนกำหนดเมื่อใช้งานไปได้ไม่นาน เราเรียกว่าเป็นอายุ “Burn-In Period” ซึ่งจะสังเกตได้ว่า **อุปกรณ์ที่ชำรุดเร็วก่อนกำหนดจะมีค่า β (Shape Parameter) < 1.00 เสมอ**
- ◆ เมื่อเราใช้งานอุปกรณ์นั้น ๆ จนสามารถผ่านระยะ “Burn-In” ไปแล้ว อุปกรณ์นั้น ๆ จะมีอายุใช้งานที่แบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะคือ
 1. **ชำรุดที่ Design Reliability** เช่น Pump Housing กำหนดให้ถอดเปลี่ยนที่อายุ 5,000 FH ซึ่งค่า β (Shape Parameter) = 1.00 พอดี หรือ ...
 2. **ชำรุดที่ Characteristic Life (α)** = 2,456.22 FH ประมาณ 63.2 % (β = 1.2183)



11. จาก Weibull Excel Spreadsheet จะสามารถสร้างกราฟที่สำคัญได้ดังนี้:

GRAPH 11.1

11.1 Design VS Actual Reliability

GRAPH 11.2

11.2 Reliability Calculator

GRAPH 11.3

11.3 PDF (Population Density Function)

GRAPH 11.4

11.4 CDF (Cumulative Distribution Function)

12. สรุปสาระสำคัญที่ได้จาก Weibull

12.1 ทราบค่า β = Shape Parameter; α = Characteristic Life

12.2 PDF $f(t)$: คือค่าความน่าจะเป็น (Probability) ที่จะเกิดการชำรุด ณ เวลาใด ๆ

12.3 คำนวณค่า Warranty Period ทางธุรกิจ = 95% Confidence; $R(t) = 0.95$

12.4 ทราบค่า Median (มัธยฐาน) = หมายถึง ชม.ใช้งานที่มี Reliability = 50 %

$R(t) = 0.50$ (Safe Zone)

SUMMARY OUTPUT									
<i>Regression Statistics</i>									
Multiple R	0.989493892								
R Square	0.979098162								
Adjusted R Square	0.978377409								
Standard Error	0.176250682								
Observations	31								
<i>ANOVA</i>									
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>				
Regression	1	42.19892237	42.19892237	1358.437773	6.5157E-26				
Residual	29	0.900864782	0.031064303						
Total	30	43.09978715							
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>	
Intercept	-9.483433725	0.244340074	-38.81243704	1.49764E-26	-9.983165286	-8.983702164	-9.983165286	-8.983702164	
X Variable 1	1.214831206	0.032960673	36.85699083	6.5157E-26	1.147419062	1.282243351	1.147419062	1.282243351	
Beta (or Shape Parameter) =	1.214831206								
Alpha (or Characteristic Life) =	2456.222177								

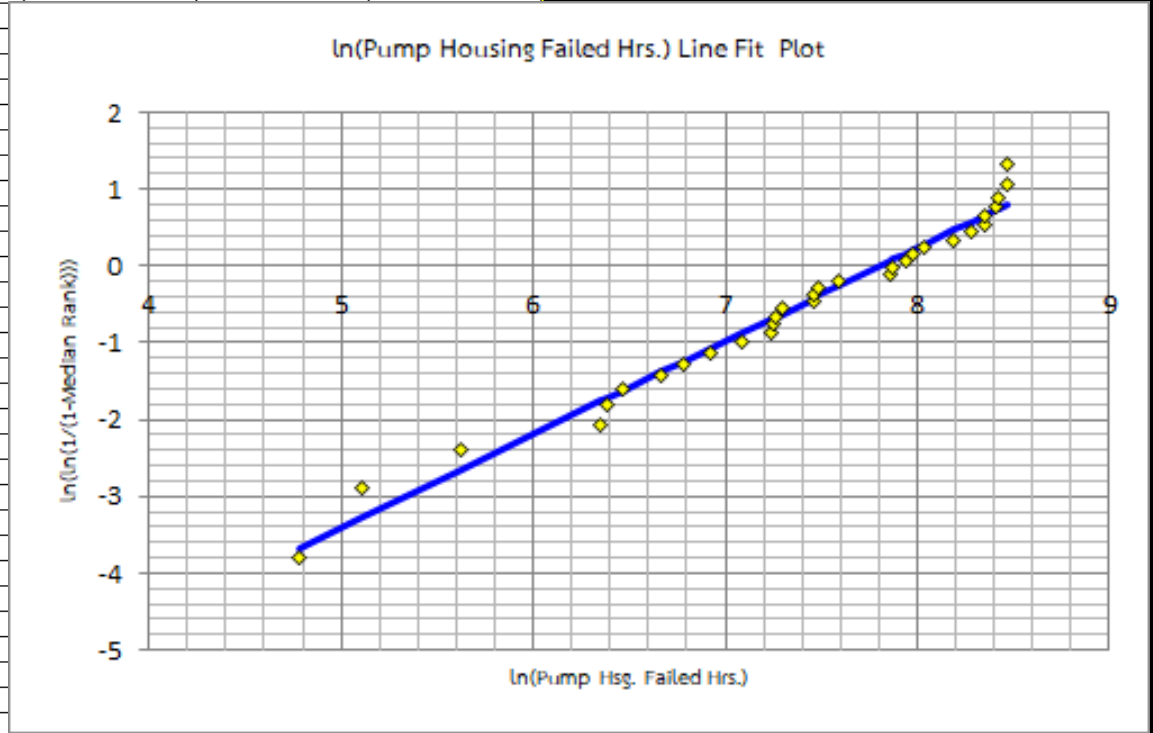
Shape Parameter (β) (> 1.0) = 1.21 (Normal Wear & Tear)
 Characteristic Life (α) = 2,456.22 FH

Weibull

Excel Spreadsheet

(C-130H/H-30 Pump Housing)

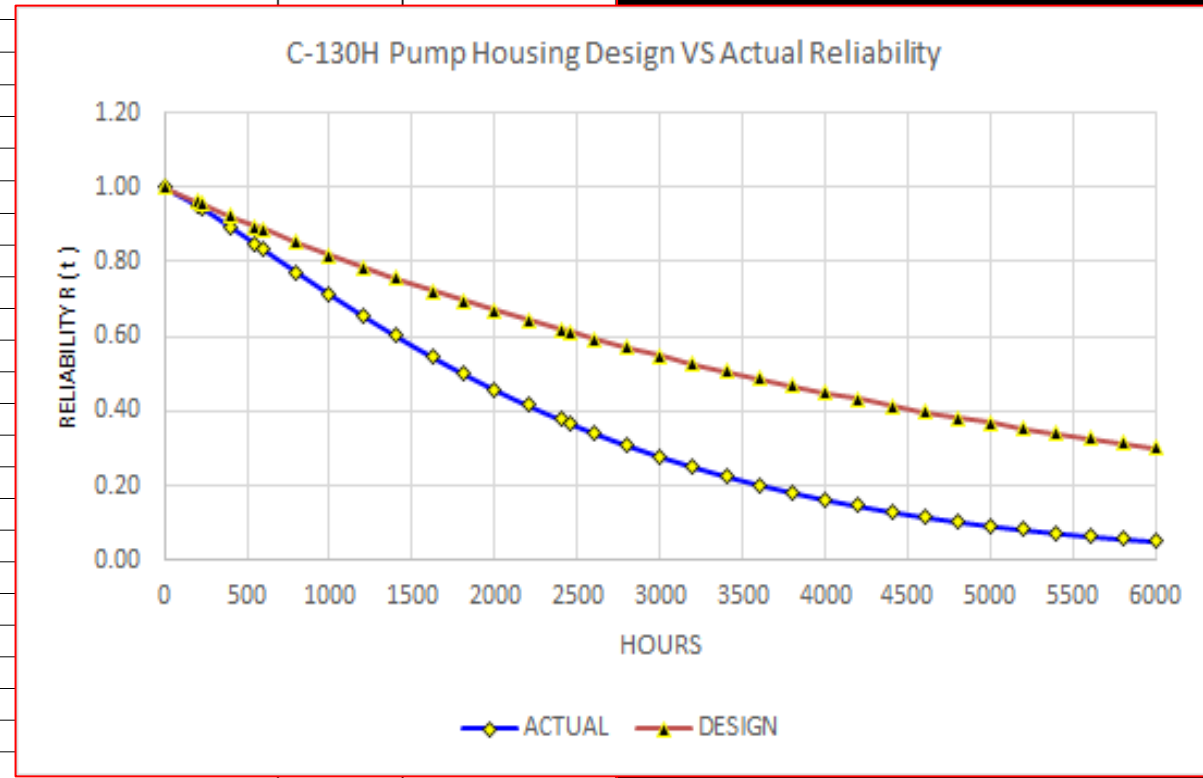
RESIDUAL OUTPUT		
<i>Observation</i>	<i>Predicted Y</i>	<i>Residuals</i>
1	-3.675565348	-0.116666048
2	-3.281308311	0.392830007
3	-2.652079206	0.243141663
4	-1.764580694	-0.311861512
5	-1.723226935	-0.096041495
6	-1.627026269	0.019171607
7	-1.381427688	-0.045669296
8	-1.244766238	-0.023450572
9	-1.069765912	-0.055879599
10	-0.875971328	-0.119645032
11	-0.681965939	-0.193484736
12	-0.671433653	-0.091729943
13	-0.6631243	0.005893088
14	-0.623813555	0.067368429
15	-0.419638231	-0.040178781
16	-0.415105404	0.048592483
17	-0.387917599	0.112111921
18	-0.262504778	0.075466587
19	0.067190866	-0.166783714
20	0.085536878	-0.098400205
21	0.157617262	-0.083842633
22	0.210199374	-0.049201895
23	0.275040853	-0.025461922
24	0.467137991	-0.12668258
25	0.576417156	-0.141587202
26	0.65983788	-0.125486147
27	0.664597994	-0.023141353
28	0.73741138	0.022681613
29	0.748011951	0.149526499
30	0.79885044	0.271423978
31	0.808930391	0.526986792





11.1 Design VS Actual Reliability

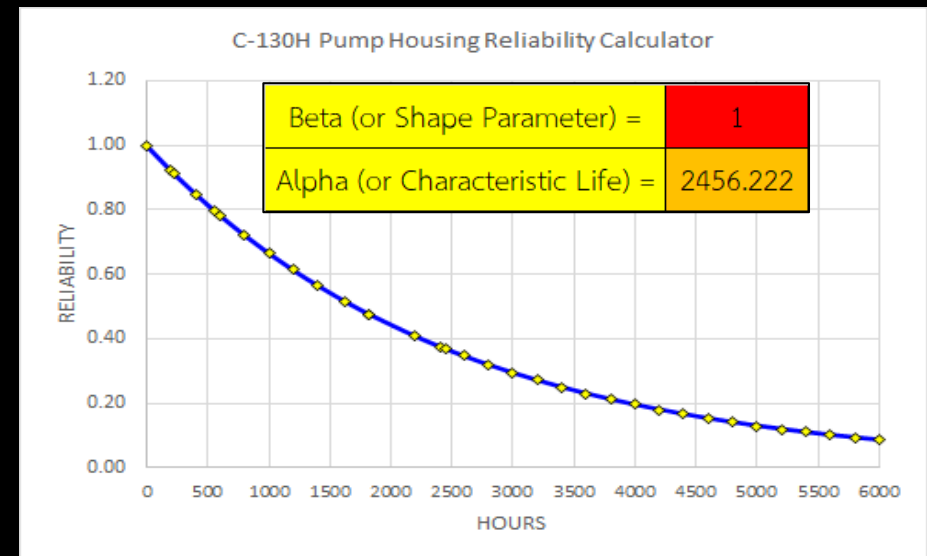
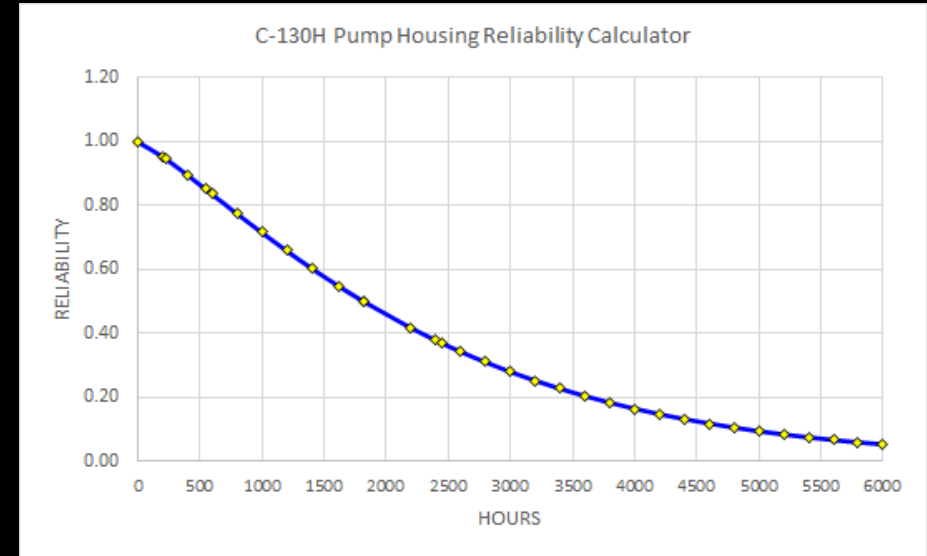
HOURS	ACTUAL RELIABILITY	DESIGN RELIABILITY		Beta (or Shape Parameter) =	1.214831	TBO
	ACTUAL $R = e^{-((t/\alpha)^\beta)}$	$R(t) = e^{-((\lambda * t)^\beta)}$		Alpha (or Characteristic Life) =	2456.222	Failure Rate (λ)
0	1.00000	1.00000				
200	0.95360	0.96079				
230	0.95	0.95504	WARRANTY			
400	0.89559	0.92312				
550	0.85014	0.89583				
600	0.83489	0.88692				
800	0.77418	0.85214				
1000	0.71487	0.81873				
1200	0.65779	0.78663				
1400	0.60342	0.75578				
1626	0.54561	0.72238				
1816.53	0.50000	0.69537	MEDIAN			
2000	0.45882	0.67032				
2200	0.41697	0.64404				
2400	0.37823	0.61878				
2456.22	0.36788	0.61186	ALPHA (α)			
2600	0.34248	0.59452				
2800	0.30959	0.57121				
3000	0.27943	0.54881				
3200	0.25183	0.52729				
3400	0.22664	0.50662				
3600	0.20370	0.48675				
3800	0.18284	0.46767				
4000	0.16392	0.44933				
4200	0.14678	0.43171				
4400	0.13129	0.41478				
4600	0.11730	0.39852				
4800	0.10469	0.38289				
5000	0.09334	0.36788				
5200	0.08314	0.35345				
5400	0.07398	0.33960				
5600	0.06577	0.32628				
5800	0.05842	0.31349				
6000	0.05185	0.30119				





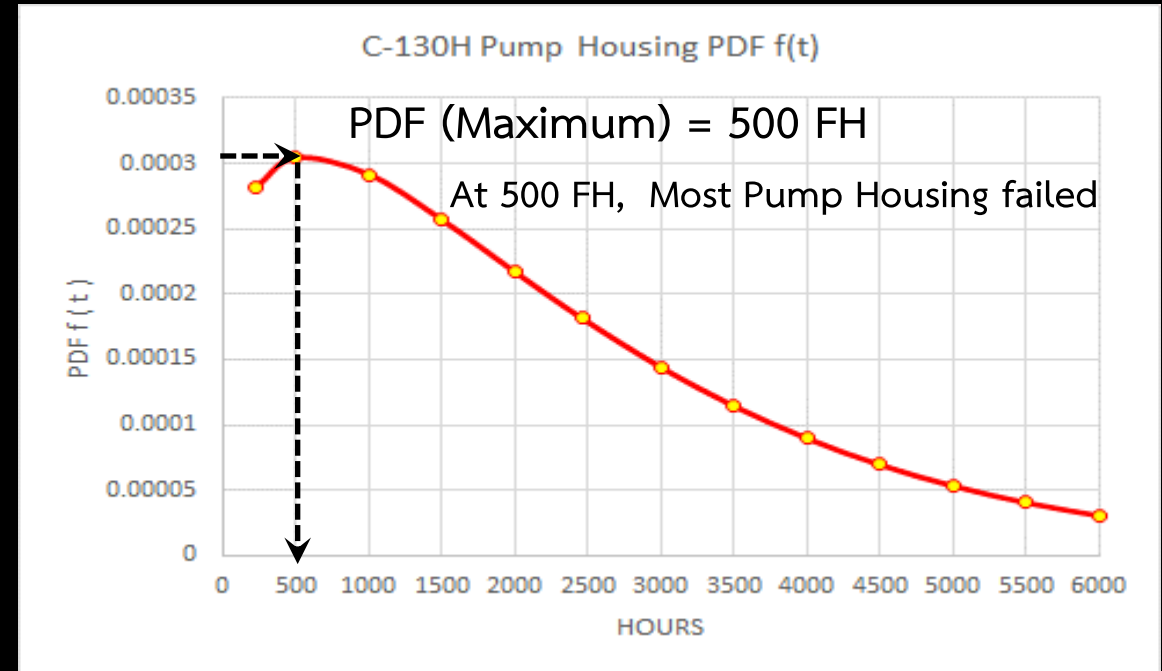
11.2 Reliability Calculator

Beta (or Shape Parameter) =	1.2148312	MEDIAN = $\alpha * (\text{LN}(2) \wedge (1/\beta))$	HOURS	FAILURE	RELIABILITY
Alpha (or Characteristic Life) =	2456.2222	1,816.53	0	0.00000	1.00000
			200	0.04640	0.95360
		WARRANTY	230	0.05	0.95
			400	0.10441	0.89559
			550	0.15	0.85014
			600	0.16511	0.83489
			800	0.22582	0.77418
			1000	0.28513	0.71487
			1200	0.34221	0.65779
			1400	0.39658	0.60342
			1626	0.45439	0.54561
			1816.53	0.50000	0.50000
		MEDIAN	1816.53	0.50000	0.50000
			2200	0.58303	0.41697
			2400	0.62177	0.37823
		ALPHA (α)	2456.22	0.63212	0.36788
			2600	0.65752	0.34248
			2800	0.69041	0.30959
			3000	0.72057	0.27943
			3200	0.74817	0.25183
			3400	0.77336	0.22664
			3600	0.79630	0.20370
			3800	0.81716	0.18284
			4000	0.83608	0.16392
			4200	0.85322	0.14678
			4400	0.86871	0.13129
			4600	0.88270	0.11730
			4800	0.89531	0.10469
			5000	0.90666	0.09334
			5200	0.91686	0.08314
			5400	0.92602	0.07398
			5600	0.93423	0.06577
			5800	0.94158	0.05842
			6000	0.94815	0.05185



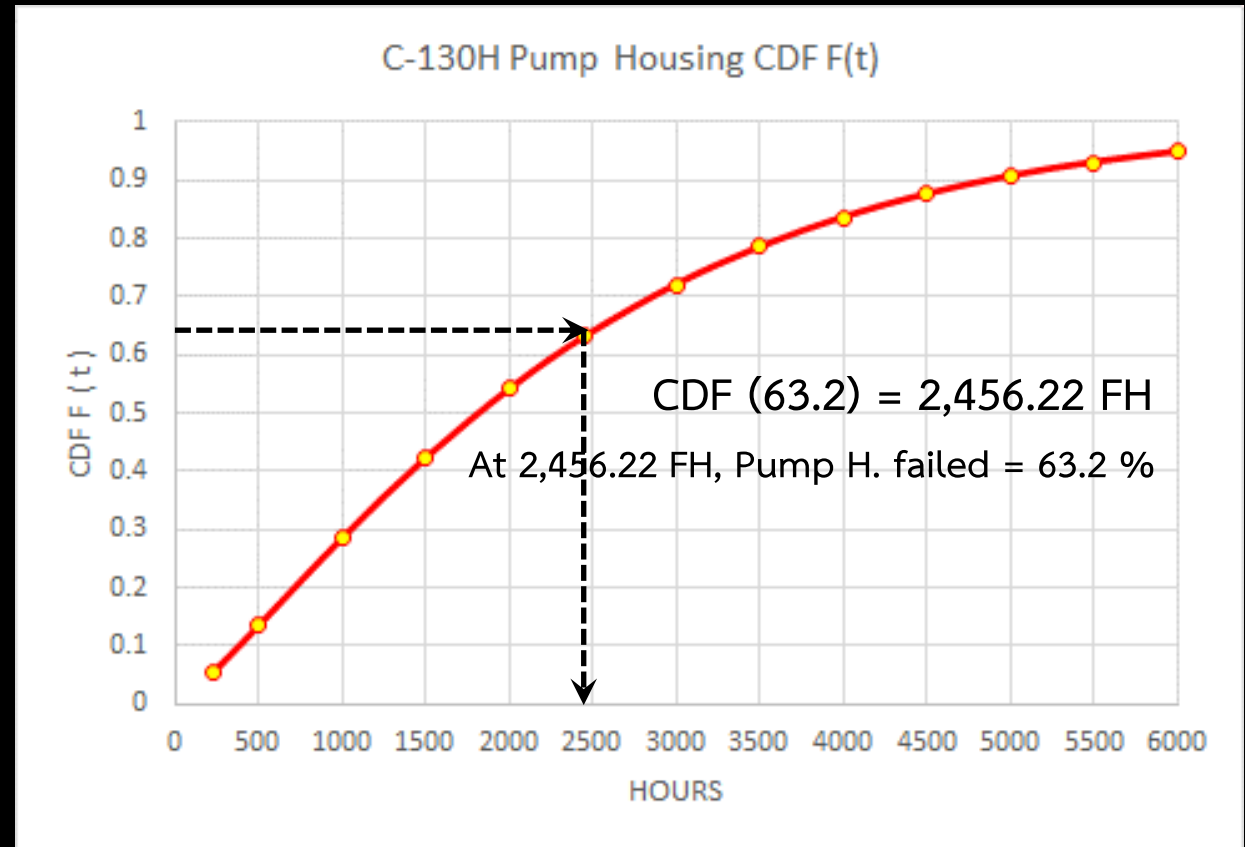


HOURS	PDF: POPULATION DENSITY FUNCTION: f (t)
	PDF: $f(t) = (\beta / t) * (t / \alpha)^\beta * ((e^{- (t / \alpha)^\beta})$
230	0.000281084
500	0.000304043
1000	0.000291497
1500	0.000256849
2000	0.00021713
2456.22	0.000181951
3000	0.000144271
3500	0.000114689
4000	9.00272E-05
4500	6.99116E-05
5000	5.37826E-05
5500	4.10304E-05
6000	3.10669E-05





HOURS	CDF: CUMULATIVE DISTRIBUTION FUNCTION: F (t)
	CDF: $F (t) = 1 - ((e ^ - (t / \alpha) ^ \beta))$
230	0.054743387
500	0.134638273
1000	0.285129478
1500	0.422648349
2000	0.541180156
2456.22	0.632120559
3000	0.720571205
3500	0.785102573
4000	0.836082211
4500	0.875888378
5000	0.906658483
5500	0.930233621
6000	0.948153315





C-130H TCI Early Removal (2015 - 2020)

ID	PART NAME	P/N	TBO	SHAPE PARAMETER (β)	CHARACTERISTIC LIFE (α)	DELTA (Δ)
1	FUEL CONTROL UNIT	440970-2	6,000 FH	0.33	1,055.60	-4,944
2	APU	381116-1-7	1250 APH	0.44	396.78	-853
3	INVERTER, 2500 VA.	MGE23-400A	6,300 FH	0.45	1,067.56	-5,232
4	VALVE RELIEF HYD. UTILITY	AN6279-12CD	108 MO	0.45	80.79	-27
5	PUMP, HYD. ENG. DRIVEN	66039-01	6,000 FH	0.47	2,006.74	-3,993
6	FUEL NOZZLE	6809618	500 FH	0.48	87.80	-412
7	VALVE, TD. CONTROL	330332-4	6,000 FH	0.49	1,141.16	-4,859
8	VALVE, STARTER CONTROL	38E73-4A	72 MO	0.49	20.47	-52
9	PUMP, AUX.HYD.	MPEV3-032-2	72 MO	0.50	64.54	-7
10	PUMP,SUCTION UTILITY	27100	144 MO	0.51	104.55	-39
11	OXYGEN BOTTLE	9000A2	60 MO	0.52	51.26	-9
12	VALVE, NLG.STEERING	373531-5	72 MO	0.57	35.19	-37
13	COORDINATOR ASSY.	6794215	6,000 FH	0.59	2,211.21	-3,789
14	VALVE, SOLENOID SHUTOFF HYD.	9A022-1	108 MO	0.60	38.32	-70
15	VALVE, FIREWALL SHUTOFF	AV16B1464C	72 MO	0.60	22.70	-49
16	CYL.NLG.STEERING RH.	695568-1	108 MO	0.60	43.99	-64
17	ACTUATOR, ELEVATOR TRIM			0.60	26.28	-46
18	ACTUATOR, AILERON TRIM			0.63	37.04	-35
19	BOOSTER ASSY., AILERON			0.64	106.48	-38
20	VALVE HOUSING ASSY			0.64	994.28	-4,006
21	VALVE, DUAL LEVEL CONTROL			0.65	28.61	-115
22	ACTUATOR, RUDDER TRIM			0.68	34.75	-37
23	VALVE BLEED AIR REGULATOR			0.68	20.31	-52
24	PUMP, MAIN TANK BOOST			0.71	43.52	-64
25	VALVE, OUT FLOW	102150-0-13/-14	144 MO	0.72	60.24	-84
26	BOOSTER ASSY.ELEVATOR	374461-5	144 MO	0.73	57.02	-87
27	ACCUMULATOR, HYD.	08-8422-0011	144 MO	0.73	72.85	-71
28	VALVE, FUEL SHUTOFF 1-INCH	AV16B1467D	144 MO	0.76	96.44	-48
29	VALVE, SHUTOFF & FLOW CONTROL	396308-2-1	144 MO	0.81	78.07	-66
30	SPHERE ASSY, FIRE EXTINGUISH	800530-1	60 MO	0.86	55.97	-4
31	VALVE, DUAL BRAKE CONTROL	23410-3	72 MO	0.86	39.56	-32
32	PUMP, FUEL ENG. DRIVEN	022489-054-03	3600 FH	0.93	963.18	-2,637
33	GEARBOX, FLAP DRIVE	C7088-1A	144 MO	1.08	88.06	-56
34	PROPELLER ASSY	54H60-117	5,000 FH	1.15	2,235.69	-2,764
35	PUMP HOUSING ASSY	733872-2	5,000 FH	1.21	2,456.22	-2,544
36	STRUT, NLG. OLEO	3303591-3	108 MO	1.24	81.48	-27
37	GENERATOR,AC. 40 KVA	28B58-9B	8,000 FH	1.28	4,120.44	-3,880
38	ENGINE, TURBOPROP	T56-A-15LFE	3,000 FH (HSI)	1.29	2,575.10	-425
39	CONTROL BOX, ANTI-SKID	42-109A	6,300 FH	1.45	1,484.71	-4,815
40	GEAR BOX, MANUAL EXTENSION	8348M1	72 MO	1.49	70.87	-1
41	OXYGEN REGULATOR	29270-10AB1	72 MO	1.65	43.79	-28
42	GEARBOX, WING FLAP	8445M1	9,450 FH	1.89	3,473.75	-5,976
43	STARTER, APU.	3605812-18-1	1,250 APH	1.91	505.53	-744
44	VALVE, BRAKE ANTI-SKID	39-075	72 MO	2.00	50.81	-21
45	VALVE, DUMP SHUTOFF	AV17B1038D	144 MO	2.01	106.50	-37
46	BALL SCREW ASSY., MLG.	8430M3	72 MO	2.84	57.11	-15
47	STRUT, MLG. OLEO RH AFT #4	3316498-1	108 MO	2.97	79.40	-29
48	GEARBOX, WING FLAP OUTBD	4344EA3	9,450 FH	12.78	3,397.64	-6,052

TCI 65 รายการ ใช้ WEIBULL ได้
48 รายการ เป็นอุปกรณ์ที่ BETA
น้อยกว่า 1 = 32 รายการ



6. ข้อสรุป (Summary)



- 4.1 Weibull เป็นการคำนวณหา **Characteristic Life (α)** ของโครงสร้าง อ., เครื่องยนต์ และบริภัณฑ์ ที่เกิดการชำรุดแบบสุ่ม (Random Failure) มีประโยชน์อย่างยิ่ง เพราะทำให้เราทราบถึงลักษณะของการชำรุด (**β Shape Parameter**) ว่าเป็น Infant Mortality หรือเป็น Normal Wear Out ทำให้ทราบค่า Burn-In Period และทราบอายุใช้งานหลัง Burn-In ว่าเป็นเท่าใด
- 4.2 กรณีที่พบว่าเป็น Infant Mortality จะได้**สืบหาสาเหตุที่เป็น Root Cause** เช่น คุณภาพของแหล่งซ่อม, คุณภาพของวัสดุที่ใช้ในการซ่อม เป็นต้น
- 4.3 ขั้นตอนในการดำเนินการไม่ยุ่งยากซับซ้อนอย่างที่คิด ที่สำคัญคือจะต้องทดลองฝึกปฏิบัติบ่อย ๆ จึงจะเกิดความชำนาญ และเป็นการยกระดับขีดความสามารถของหน่วยซ่อมในการคำนวณตามทฤษฎีความเชื่อถือได้ทางวิศวกรรม (Reliability Engineering)



References

1. “USAF Weibull Analysis Handbook”, AFWAL-TR-83-2079, 1983.
2. “The New Weibull Handbook”, Bob Abernethy, 5th Edition.
3. “A Statistical Distribution function of Wide Applicability”, Waloddi Weibull, J. Appl. Mech, 18:293-297, 1951.
4. www.lifetime-reliability.com
5. <https://quality-one.com/weibull/>



7. WORKSHOP (EXERCISE)

The workshop results must be shown in EXCEL FILES as following SLIDES

1. Total early removals
2. Total early removals used for regression
3. DATA SORTING BY FAILED FREQUENCY
4. DATA SORTING BY BETA β
5. DATA PREPARING FOR REGRESSION SPREADSHEET
6. REGRESSION SPREADSHEET (α & β)
7. Design VS Actual Reliability Graph
8. Reliability Calculator Graph
9. PDF (Population Density Function) Graph
10. CDF (Cumulative Distribution Function) Graph



WORKSHOP EXAMPLE

F-16A/B ADF (SQUADRON 102)



ID	FREQUENCY (EARLY REMOVAL)	PART NAME	P/N	TBO	SHAPE PARAMETER (β)	CHARACTERISTIC LIFE (α)	DELTA (Δ)
1	12	COLLING TURBINE OIL WICK AND RETAINER	752003-7	200 HRS.	0.9186	109.7018	-90.2982
2	7	WATER SEPERATER COALESCER	746451-5	400 HRS			
3	6	HYDRAULIC FILTER ELEMENT,PRESSURE	AC-529F-221	200 HRS.	3.4789	128.7028	-71.2972
4	4	START FUEL NOZZLE	27910-9	400 STARTS	7.0839	260.6995	-139.3005
5	4	HYDRAULIC FILTER ELEMENT,EAST DRAIN	AC-529F-1Y1	200 HRS.	5.7208	145.4909	-54.5091
6	3	SERVO AIR FILTER ELEMENT	AC900F-42571	800 HRS			
7	3	EPU OIL FILTER	581995-1	400 HRS			
8	2	EMERGENCY POWER UNIT	581750-11-1	4000 HRS.			
9	2	MLG TENSION STRUT	2006003-7	72 M			
10	2	ADG OIL FILTER	AC9780F-15Y6	400 HRS			
11	2	JET FUEL START ASSEMBLY	160901-11904	1750 STARTS			
12	1	HYDRAULIC PUMP SYSTEM B	66172-04	3000 HRS.			
13	1	MAIN GEN OIL FILTER ASSEMBLY	7585476	72 M			
14	1	JFS FUEL PUMP FILTER	49131-1	600 HRS.			

F-16A/B ADF TCI:
14 EARLY REMOVALS



กรมช่างอากาศ

Directorate Of Aeronautical Engineering

TCI UNSCHEDULED F16-A(ADF) 2015-2020 102SQDN													SHEET CODE
ID	Part_Number	Description	Serial_Num	Position	RTAF Num	Install Date	Interval	Quant	F CQ	TSO	Note		
1	581750-11-1	EMERGENCY POWER UNIT	UNKNOW		48/46	22-Jun-59	4000 HRS.	1	EA	3,384.50	EPU OIL ชุ่่น	A	
2	581750-11-1	EMERGENCY POWER UNIT	UNKNOW		48/46	20-Apr-59	4000 HRS.	1	EA	34.70	EPU OIL FERTILIZE AFTER L/D	B	
1	66172-04	HYDRAULIC PUMP SYSTEM B	UMKNOW		45/45	10-Jul-61	3000 HRS.	1	EA	1,884.40	WHEN FLC'S CHECK HYD.SYSTEM B DROP TO 2300 PSI AND HORIZONTAL RUDDER SERVO ILLUMINATE	C	
1	7585476	MAIN GEN OIL FILTER ASSEMBLY	N/A		42/45	28-Sep-58	72 M	1	EA	33.00	MAIN GENERATOR DROP OFFLINE / EPU FIRE	D	
1	49131-1	JFS FUEL PUMP FILTER	UNKNOW		46/46	21-Nov-55	600 HRS.	1	EA	434.00	JFS FILTER POP OUT	E	
1	2006003-7	MLG TENSION STURT LH	UNKNOW		38/45	1-Mar-55	72 M	1	EA	72.00	LH MLG LEAK	F	
2	2006003-7	MLG TENSION STURT LH	UNKNOW		42/45	20-Jul-59	72 M	1	EA	45.00	A/C เสียงซ้าย	G	
1	752003-7	ROLLING TURBINE OIL WICK AND RETAINER	N/A		39/45	2-Feb-59	200 HRS.	1	EA	185.80	EQUIP HOT CAUTIONS LIGHT ILLUMINATE IN FLIGHT	H	
2	752003-7	ROLLING TURBINE OIL WICK AND RETAINER	N/A		52/46	28-Mar-59	200 HRS.	1	EA	176.40	CABIN PRESS FAIL	H	
3	752003-7	ROLLING TURBINE OIL WICK AND RETAINER	N/A		40/45	28-Feb-60	200 HRS.	1	EA	134.30	ECS LOW AIR FLOW AND EQUIP HOT CAUTIONS LIGHT ILLUMINATE WHEN TURN ON RE	H	
4	752003-7	ROLLING TURBINE OIL WICK AND RETAINER	N/A		51/46	29-Jun-60	200 HRS.	1	EA	70.60	EQUIP HOT SHOW	H	
5	752003-7	ROLLING TURBINE OIL WICK AND RETAINER	N/A		49/46	8-Mar-60	200 HRS.	1	EA	101.80	WAS INOPERATIVE AFTER ENGINE START AND EQUIP HOT CAUTIONS LIGHT ILLUMINATE	H	
6	752003-7	ROLLING TURBINE OIL WICK AND RETAINER	N/A		48/46	15-Dec-59	200 HRS.	1	EA	201.90	IN ALT. ERROR 5000 FT. THEN NORMAL AT ALT 30000 FT. MSL SHOW 16	H	
7	752003-7	ROLLING TURBINE OIL WICK AND RETAINER	N/A		46/46	18-Jun-61	200 HRS.	1	EA	32.70	EQUIP HOT SHOW WHEN TAXI AND ECS LOW AIR FLOW	H	
8	752003-7	ROLLING TURBINE OIL WICK AND RETAINER	N/A		44/45	27-May-62	200 HRS.	1	EA	28.40	EQUIP HOT CAUTIONS LIGHT SHOW AND ECS NOT OPERATION	H	
9	752003-7	ROLLING TURBINE OIL WICK AND RETAINER	N/A		46/46	10-Jul-61	200 HRS.	1	EA	101.00	AFTER L/D ECS LOW AIR FLOW & EQUIP HOT CAUTIONS LIGHT ILLUMINATE	H	
10	752003-7	ROLLING TURBINE OIL WICK AND RETAINER	N/A		46/46	11-May-62	200 HRS.	1	EA	5.20	EQUIP HOT SHOW AFTER L/D	H	
11	752003-7	ROLLING TURBINE OIL WICK AND RETAINER	N/A		37/45	1-Feb-62	200 HRS.	1	EA	171.30	EQUIP HOT SHOW AFTER START	H	
12	752003-7	ROLLING TURBINE OIL WICK AND RETAINER	N/A		27/45	28-May-62	200 HRS.	1	EA	15.00	EQUIP HOT ILLUMINATE IN FLIGHT AND ECSHOT AIR FLOW IN AUTO COOL	H	
1	160001-1100A	JET FUEL START ASSEMBLY	UNKNOW		49/46	20-Apr-60	1750 STARTS	1	EA	1201	JFS FAIL TO START AT FIRST TIME	I	
2	160001-1100A	JET FUEL START ASSEMBLY	UNKNOW		40/45	10-Aug-61	1750 STARTS	1	EA	1146	JFS FAIL TO START AT FIRST TIME	I	
1	27910-9	START FUEL NOZZLE	UNKNOW		45/45	29-Mar-62	400 STARTS	1	EA	286.00	JFS START 2 FAIL 2 TIMES	J	
2	27910-9	START FUEL NOZZLE	UNKNOW		42/45	9-Apr-60	400 STARTS	1	EA	257.00	JFS START 2 FAIL 2 TIMES	J	
3	27910-9	START FUEL NOZZLE	UNKNOW		38/45	28-Apr-60	400 STARTS	1	EA	214.00	JFS START 2 FAIL 2 TIMES	J	
4	27910-9	START FUEL NOZZLE	UNKNOW		48/46	15-Mar-60	400 STARTS	1	EA	229.00	JFS START 2 FAIL 2 TIMES	J	
1	AC-529F-221	HYDRAULIC FILTER ELEMENT,PRESSURE	N/A		57/46	22-Jan-59	400 HRS.	1	EA	99.00	HYD FILTER SYSTEM A POP OUT AFTER L/D	K	
2	AC-529F-221	HYDRAULIC FILTER ELEMENT,PRESSURE	N/A		47/46	1-May-59	400 HRS.	1	EA	73.00	HYD FILTER SYSTEM A POP OUT AFTER L/D	K	
3	AC-529F-221	HYDRAULIC FILTER ELEMENT,PRESSURE	N/A		37/45	1-Feb-59	400 HRS.	1	EA	74.10	HYD LEAK ท่อทางเข้า PRESSURE FILTER	K	
4	AC-529F-221	HYDRAULIC FILTER ELEMENT,PRESSURE	N/A		39/45	10-Jun-62	400 HRS.	1	EA	45.00	HYD FILTER SYSTEM A POP OUT AFTER L/D	K	
5	AC-529F-221	HYDRAULIC FILTER ELEMENT,PRESSURE	N/A		45/45	25-Jul-61	200 HRS.	1	EA	157.00	HYD FILTER SYSTEM A POP OUT AFTER START	K	
6	AC-529F-221	HYDRAULIC FILTER ELEMENT,PRESSURE	N/A		42/45	11-Feb-61	200 HRS.	1	EA	115.00	HYD FILTER SYSTEM A POP OUT AFTER START	K	
1	AC-529F-6Y1	HYDRAULIC FILTER ELEMENT,CASE DRAIN	N/A		46/46	30-Nov-59	200 HRS.	1	EA	126.00	JFS FILTER POP OUT	L	
2	AC-529F-6Y1	HYDRAULIC FILTER ELEMENT,CASE DRAIN	N/A		47/46	18-Feb-60	200 HRS.	1	EA	150.00	CSD FILTER POP OUT	L	
3	AC-529F-6Y1	HYDRAULIC FILTER ELEMENT,CASE DRAIN	N/A		38/45	28-Jun-60	200 HRS.	1	EA	156.00	JFS FILTER POP OUT	L	
4	AC-529F-6Y1	HYDRAULIC FILTER ELEMENT,CASE DRAIN	N/A		39/45	23-Oct-61	200 HRS.	1	EA	104.00	JFS FILTER POP OUT	L	
1	AC900F-42571	SERVO AIR FILTER ELEMENT	N/A		40/45	29-Sep-60	800 HRS	1	EA	680.00	ECS FILTER POP OUT	M	
2	AC900F-42571	SERVO AIR FILTER ELEMENT	N/A		48/46	9-Jun-61	800 HRS	1	EA	584.00	ECS FILTER POP OUT	M	
3	AC900F-42571	SERVO AIR FILTER ELEMENT	N/A		44/45	22-Apr-62	800 HRS	1	EA	627.00	ECS FILTER POP OUT	M	
1	746451-5	WATER SEPERATER COALESCER	N/A		42/45	25-Dec-55	400 HRS	1	EA	300.00	ECS HAS A LOT OF WATER	N	
2	746451-5	WATER SEPERATER COALESCER	N/A		42/45	22-Jun-59	400 HRS	1	EA	9.00	EQUIP HOT CAUTION LIGHT SHOW SOMETIME	N	
3	746451-5	WATER SEPERATER COALESCER	N/A		37/45	17-Jun-58	400 HRS	1	EA	227.40	มีน้ำในระบบ ECS เยอะ	N	
4	746451-5	WATER SEPERATER COALESCER	N/A		42/45	7-Sep-59	400 HRS	1	EA	0.70	มีน้ำในระบบ ECS เยอะ	N	
5	746451-5	WATER SEPERATER COALESCER	N/A		40/45	1-Jun-58	400 HRS	1	EA	212.40	EQUIP HOT CAUTION LIGHT ILLUMINATE 1 TIME BEFORE L/D FOR 10 MINU	N	
6	746451-5	WATER SEPERATER COALESCER	N/A		40/45	28-Mar-60	400 HRS	1	EA	1.50	มีน้ำในระบบ ECS เยอะ และ มีเสียงดังมาก COCKPIT	N	
7	746451-5	WATER SEPERATER COALESCER	N/A		51/46	5-Mar-57	400 HRS	1	EA	209.20	ECS มีน้ำและไอน้ำ ออกค่อนข้างมาก	N	
1	581995-1	EPU OIL FILTER	N/A		48/46	16-Jun-59	400 HRS	1	EA	386.00	EPU OIL ชุ่่น	O	
2	581995-1	EPU OIL FILTER	N/A		45/45	10-Jun-60	400 HRS	1	EA	324.00	EPU OIL ชุ่่น	O	
1	AC9780F-15Y6	ADG OIL FILTER	N/A		45/45	30-Nov-58	400 HRS	1	EA	331.60	GAB OIL ADG LOOSING OVER LIMITS	P	
2	AC9780F-15Y6	ADG OIL FILTER	N/A		48/46	15-Dec-59	400 HRS	1	EA	254.80	DELTA P POP OUT	P	
3	AC9780F-15Y6	ADG OIL FILTER	N/A		44/45	5-Nov-60	400 HRS	1	EA	226.50	DELTA P POP OUT	P	

F-16A/B ADF TCI:
14 EARLY REMOVALS

เป็นองค์การที่มุ่งเน้นการพัฒนากระบวนการซ่อมสร้างอากาศยาน ให้มีความปลอดภัยและเป็นมาตรฐานสากล



TCI UNSCHEDULED F16-A(ADF) 2015-2020 102SQDN												SHEET CODE
ID.	Part Number	Description	Serial Number	Position	RTAF Number	Install Date	Interval	Quantity	T CO	TSO	Note	
1	752003-7	COLLING TURBINE OIL WICK AND RETAINER	N/A		39/45	2-ก.พ.-59	200 HRS.	1	EA	185.80	EQUIP HOT CAUTIONS LIGHT ILLUMINATE IN FLIGHT	H
2	752003-7	COLLING TURBINE OIL WICK AND RETAINER	N/A		52/46	28-มี.ค.-59	200 HRS.	1	EA	176.40	CABIN PRESS FAIL	H
3	752003-7	COLLING TURBINE OIL WICK AND RETAINER	N/A		40/45	28-ก.พ.-60	200 HRS.	1	EA	134.30	ECS LOW AIR FLOW AND EQUIP HOT CAUTIONS LIGHT ILLUMINATE WHEN TURN ON RDR.	H
4	752003-7	COLLING TURBINE OIL WICK AND RETAINER	N/A		51/46	29-มี.ย.-60	200 HRS.	1	EA	70.60	EQUIP HOT SHOW	H
5	752003-7	COLLING TURBINE OIL WICK AND RETAINER	N/A		49/46	8-มี.ค.-60	200 HRS.	1	EA	101.80	ECS WAS INOPERATIVE AFTER ENGINE START AND EQUIP HOT CAUTIONS LIGHT ILLUMINATE	H
6	752003-7	COLLING TURBINE OIL WICK AND RETAINER	N/A		48/46	15-ธ.ค.-59	200 HRS.	1	EA	201.90	CABIN ALT. ERROR 5000 FT. THEN NORMAL AT ALT 30000 FT. MSL SHOW 14000	H
7	752003-7	COLLING TURBINE OIL WICK AND RETAINER	N/A		46/46	18-มี.ย.-61	200 HRS.	1	EA	32.70	EQUIP HOT SHOW WHEN TAXI AND ECS LOW AIR FLOW	H
8	752003-7	COLLING TURBINE OIL WICK AND RETAINER	N/A		44/45	27-พ.ค.-62	200 HRS.	1	EA	28.40	EQUIP HOT CAUTIONS LIGHT SHOW AND ECS NOT OPERATION	H
9	752003-7	COLLING TURBINE OIL WICK AND RETAINER	N/A		46/46	2-ก.พ.-61	200 HRS.	1	EA	18.00	AFTER L/D ECS LOW AIR FLOW & EQUIP HOT CAUTIONS LIGHT ILLUMINATE	H
10	752003-7	COLLING TURBINE OIL WICK AND RETAINER	N/A		46/46	11-พ.ย.-62	200 HRS.	1	EA	5.20	EQUIP HOT SHOW AFTER L/D	H
11	752003-7	COLLING TURBINE OIL WICK AND RETAINER	N/A		37/45	11-ก.พ.-62	200 HRS.	1	EA	171.30	EQUIP HOT SHOW AFTER START	H
12	752003-7	COLLING TURBINE OIL WICK AND RETAINER	N/A		27/45	2-พ.ย.-62	200 HRS.	1	EA	5.90	EQUIP HOT ILLUMINATE IN FLIGHT AND ECSHOT AIR FLOW IN AUTO COOL	H
1	27910-9	START FUEL NOZZLE	UNKNOW		27/45	2-พ.ย.-62	200 HRS.	1	EA	246.00	JF START 2 FAIL 2 TIMES	J
2	27910-9	START FUEL NOZZLE	UNKNOW		2/4	9-เม.ย.-61	400 STARTS	1	EA	257.60	JF START 2 FAIL 2 TIMES	J
3	27910-9	START FUEL NOZZLE	UNKNOW		38/45	28-เม.ย.-60	400 STARTS	1	EA	214.00	JF START 2 FAIL 2 TIMES	J
4	27910-9	START FUEL NOZZLE	UNKNOW		48/46	15-มี.ค.-60	400 STARTS	1	EA	229.00	JF START 2 FAIL 2 TIMES	J
1	AC-529F-221	HYDRAULIC FILTER ELEMENT,PRESSURE	N/A		51/46	22-มี.ค.-59	200 HRS.	1	EA	98.00	HYD FILTER SYSTEM A POP OUT AFTER L/D	K
2	AC-529F-221	HYDRAULIC FILTER ELEMENT,PRESSURE	N/A		46/46	13-พ.ค.-59	200 HRS.	1	EA	74.00	HYD FILTER SYSTEM A POP OUT AFTER L/D	K
3	AC-529F-221	HYDRAULIC FILTER ELEMENT,PRESSURE	N/A		39/45	2-ก.พ.-59	200 HRS.	1	EA	154.10	HYD LEAK ที่ช่องทางเข้า PRESSURE FILTER	K
4	AC-529F-221	HYDRAULIC FILTER ELEMENT,PRESSURE	N/A		39/45	13-มี.ย.-62	200 HRS.	1	EA	95.00	HYD FILTER SYSTEM A POP OUT AFTER L/D	K
5	AC-529F-221	HYDRAULIC FILTER ELEMENT,PRESSURE	N/A		45/46	25-มี.ค.-61	200 HRS.	1	EA	177.00	HYD FILTER SYSTEM A POP OUT AFTER START	K
6	AC-529F-221	HYDRAULIC FILTER ELEMENT,PRESSURE	N/A		42/45	11-ก.พ.-61	200 HRS.	1	EA	115.00	HYD FILTER SYSTEM A POP OUT AFTER START	K
1	AC-529F-6Y1	HYDRAULIC FILTER ELEMENT,CASE DRAIN	N/A		46/46	30-พ.ย.-59	200 HRS.	1	EA	126.00	JFS FILTER POP OUT	L
2	AC-529F-6Y1	HYDRAULIC FILTER ELEMENT,CASE DRAIN	N/A		42/45	28-ก.ย.-58	200 HRS.	1	EA	152.00	ESD FILTER POP OUT	L
3	AC-529F-6Y1	HYDRAULIC FILTER ELEMENT,CASE DRAIN	N/A		38/45	28-มี.ย.-60	200 HRS.	1	EA	156.00	JFS FILTER POP OUT	L
4	AC-529F-6Y1	HYDRAULIC FILTER ELEMENT,CASE DRAIN	N/A		39/45	23-ต.ค.-61	200 HRS.	1	EA	104.00	JFS FILTER POP OUT	L
1	AC900F-42571	SERVO AIR FILTER ELEMENT	N/A		40/45	29-ก.ย.-60	800 HRS.	1	EA	680.00	ECS FILTER POP OUT	M
2	AC900F-42571	SERVO AIR FILTER ELEMENT	N/A		48/46	9-มี.ย.-61	800 HRS.	1	EA	584.00	ECS FILTER POP OUT	M
3	AC900F-42571	SERVO AIR FILTER ELEMENT	N/A		44/45	22-เม.ย.-62	800 HRS.	1	EA	627.00	ECS FILTER POP OUT	M
1	746451-5	WATER SEPERATER COALESCER	N/A		42/45	25-ธ.ค.-55	400 HRS.	1	EA	300.00	ECS HAS A LOT OF WATER	N
2	746451-5	WATER SEPERATER COALESCER	N/A		42/45	22-มี.ย.-59	400 HRS.	1	EA	9.00	EQUIP HOT CAUTION LIGHT SHOW SOMETIME	N
3	746451-5	WATER SEPERATER COALESCER	N/A		37/45	17-มี.ย.-58	400 HRS.	1	EA	227.40	มีน้ำในระบบ ECS เยอะ	N
4	746451-5	WATER SEPERATER COALESCER	N/A		42/45	7-ก.ย.-59	400 HRS.	1	EA	0.70	มีน้ำในระบบ ECS เยอะ	N
5	746451-5	WATER SEPERATER COALESCER	N/A		40/45	1-มี.ย.-58	400 HRS.	1	EA	212.40	EQUIP HOT CAUTION LIGHT ILLUMINATE 1 TIME BEFORE L/D FOR 10 MINUTE	N
6	746451-5	WATER SEPERATER COALESCER	N/A		40/45	28-มี.ค.-60	400 HRS.	1	EA	1.50	มีน้ำในระบบ ECS เยอะ และ มีเสียงดังจาก COCKPIT	N
7	746451-5	WATER SEPERATER COALESCER	N/A		51/46	5-มี.ค.-57	400 HRS.	1	EA	209.20	ECS มีน้ำและไอน้ำ ออกค่อนข้างมาก	N
1	AC9780F-15Y6	ADG OIL FILTER	N/A		45/45	30-พ.ย.-58	400 HRS.	1	EA	331.60	GAB OIL ADG LOOSING OVER LIMITS	P
2	AC9780F-15Y6	ADG OIL FILTER	N/A		48/46	15-ธ.ค.-59	400 HRS.	1	EA	254.80	DELTA P POP OUT	P
3	AC9780F-15Y6	ADG OIL FILTER	N/A		44/45	5-พ.ย.-60	400 HRS.	1	EA	226.50	DELTA P POP OUT	P

7 EARLY REMOVALS
USED FOR REGRESSION



SORTING BY FAILED FREQUENCY

ID	FREQUENCY (EARLY REMOVAL)	PART NAME	P/N	TBO	SHAPE PARAMETER (β)	CHARACTERISTIC LIFE (α)	DELTA (Δ)
1	12	COLLING TURBINE OIL WICK AND RETAINER	752003-7	200 HRS.	0.9186	109.7018	-90.2982
2	7	WATER SEPERATER COALESCER	746451-5	400 HRS			
3	6	HYDRAULIC FILTER ELEMENT,PRESSURE	AC-529F-221	200 HRS.			
4	4	START FUEL NOZZLE	27910-9	400 STARTS	7.6839	260.6995	-139.3005
5	4	HYDRAULIC FILTER ELEMENT,CASE DRAIN	AC-529F-6Y1	200 HRS.			
6	3	SERVO AIR FILTER ELEMENT	AC900F-42571	800 HRS			
7	3	EPU OIL FILTER	581995-1	400 HRS			
8	2	EMERGENCY POWER UNIT	581750-11-1	4000 HRS.			
9	2	MLG TENSION STURT LH	2006003-7	72 M			
10	2	ADG OIL FILTER	AC9780F-15Y6	400 HRS			
11	2	JET FUEL START ASSEMBLY	160001-1100A	1750 STARTS			
12	1	HYDRAULIC PUMP SYSTEM B	66172-04	3000 HRS.			
13	1	MAIN GEN OIL FILTER ASSEMBLY	7585476	72 M			
14	1	JFS FUEL PUMP FILTER	49131-1	600 HRS.			



4. SORTING BY BETA β

ID	PART NAME	P/N	TBO	SHAPE PARAMETER (β)	CHARACTERISTIC LIFE (α)	DELTA (Δ)
1	COLLING TURBINE OIL WICK AND RETAINER	752003-7	200 HRS.	0.9186	109.7018	-90.2982
2	HYDRAULIC FILTER ELEMENT,PRESSURE	AC-529F-221	200 HRS.	3.4789	128.7028	-71.2972
3	HYDRAULIC FILTER ELEMENT,CASE DRAIN	AC-529F-6Y1	200 HRS.	5.2208	145.4909	-54.5091
4	START FUEL NOZZLE	27910-9	400 STARTS	7.6839	260.6995	-139.3005
5	WATER SEPERATER COALESCER	746451-5	400 HRS			
6	SERVO AIR FILTER ELEMENT	AC900F-42571	800 HRS			
7	EPU OIL FILTER	581995-1	400 HRS			



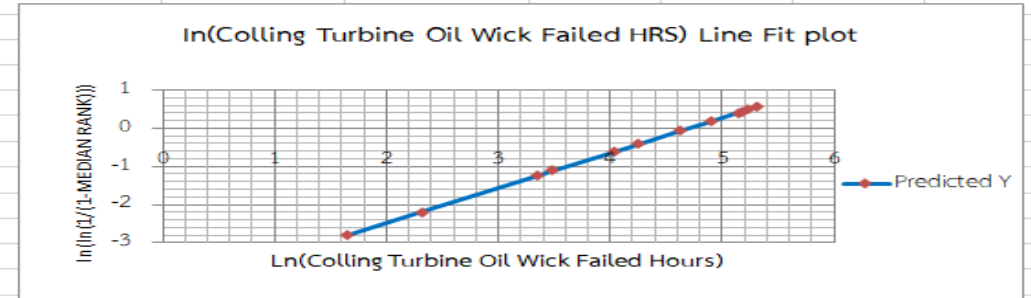
5. DATA PREPARING FOR REGRESSION SPREADSHEET

COLLING TURBINE OIL WICK AND RETAINER FAILED HOURS	RANK	MEDIAN RANK	1 / (1 - MEDIAN RANK)	$\ln(\ln(1/(1-\text{MEDIAN RANK})))$	$\ln(\text{Colling Turbine Oil Wick and Retainer Failed Hours})$
5.20	1	0.056452	1.05982906	-2.845458285	1.648658626
10.10	2	0.137097	1.158878505	-1.914247621	2.312535424
28.40	3	0.217742	1.278350515	-1.404170849	3.346389145
32.70	4	0.298387	1.425287356	-1.037403987	3.487375078
56.30	5	0.379032	1.61038961	-0.741337623	4.030694535
70.60	6	0.459677	1.850746269	-0.485175833	4.257030144
101.80	7	0.540323	2.175438596	-0.252018579	4.623010104
134.30	8	0.620968	2.638297872	-0.03032111	4.900076104
171.30	9	0.701613	3.351351351	0.190094315	5.143416405
176.40	10	0.782258	4.592592593	0.421630212	5.172754144
185.80	11	0.862903	7.294117647	0.686660297	5.224670826
201.90	12	0.943548	17.71428571	1.055834013	5.307772525



6. REGRESSION SPREADSHEET (β & α)

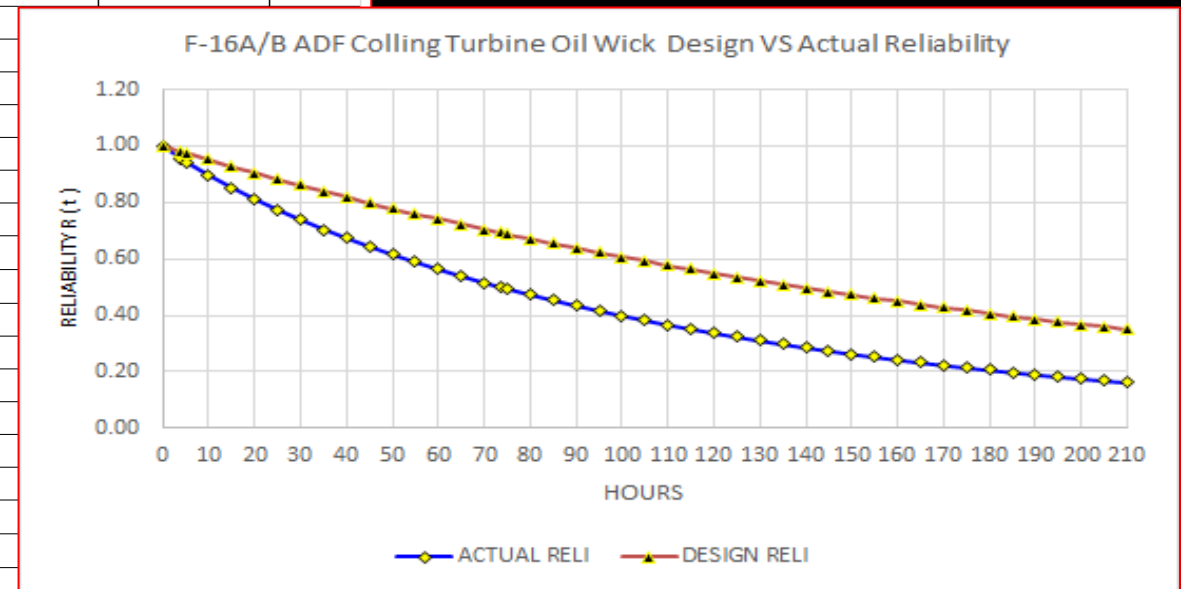
SUMMARY OUTPUT										
<i>Regression Statistics</i>										
Multiple R	0.980332668									
R Square	0.96105214									
Adjusted R Square	0.957157354									
Standard Error	0.234276285									
Observations	12									
<i>ANOVA</i>										
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>					
Regression	1	13.54315999	13.54315999	246.7535165	2.24227E-08					
Residual	10	0.548853779	0.054885378							
Total	11	14.09201377								
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>		
Intercept	-4.315571446	0.250321009	-17.24014881	9.1161E-09	-4.873321411	-3.75782148	-4.873321411	-3.75782148		
X Variable 1	0.918643394	0.058481066	15.70839	2.24227E-08	0.788339458	1.048947329	0.788339458	1.048947329		
Beta (or Shape Parameter) =	0.918643394									
Alpha (or Characteristic Life) =	109.701794									
<i>RESIDUAL OUTPUT</i>										
	<i>Observation</i>	<i>Predicted Y</i>	<i>Residuals</i>							
	1	-2.80104209	-0.044416194							
	2	-2.191176055	0.276928434							
	3	-1.241433164	-0.162737685							
	4	-1.111917368	0.074513381							
	5	-0.612800538	-0.128537085							
	6	-0.404878826	-0.080297007							
	7	-0.068673754	-0.183344825							
	8	0.185851096	-0.216172206							
	9	0.409394057	-0.219299742							
	10	0.436344977	-0.014714764							
	11	0.484037894	0.202622403							
	12	0.560378721	0.495455292							





HOURS	ACTUAL RELIABILITY	DESIGN RELIABILITY		Beta (or Shape Parameter) =	0.918643	TBO	200
	$R(t) = e^{-((t/\alpha)^\beta)}$	$R(t) = e^{-(\lambda * t)}$		Alpha (or Characteristic Life) =	109.7018	Failure Rate (λ)	0.005
0	1.00000	1.00000					
4	0.95339	0.98020	WARRANTY				
5	0.94309	0.97531					
10	0.89515	0.95123					
15	0.85150	0.92774					
20	0.81108	0.90484					
25	0.77335	0.88250					
30	0.73794	0.86071					
35	0.70460	0.83946					
40	0.67313	0.81873					
45	0.64336	0.79852					
50	0.61516	0.77880					
55	0.58841	0.75957					
60	0.56301	0.74082					
65	0.53887	0.72253					
70	0.51590	0.70469					
73.61	0.50000	0.69208	MEDIAN				
75	0.49403	0.68729					
80	0.47321	0.67032					
85	0.45336	0.65377					
90	0.43443	0.63763					
95	0.41637	0.62189					
100	0.39914	0.60653					
105	0.38268	0.59156					
109.7	0.36788	0.57782	ALPHA (α)				
115	0.35194	0.56270					
120	0.33759	0.54881					
125	0.32387	0.53526					
130	0.31075	0.52205					
135	0.29819	0.50916					

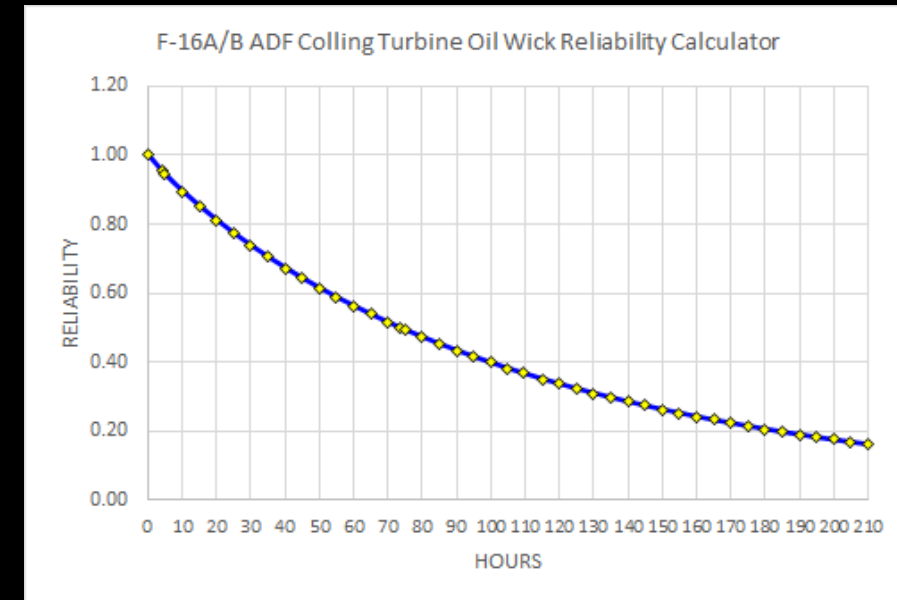
7. Design VS Actual Reliability Graph





Beta (or Shape Parameter) =	0.91864	MEDIAN = $\alpha * (\text{LN}(2) \wedge (1/\beta))$	HOURS	FAILURE	RELIABILITY
Alpha (or Characteristic Life) =	109.7018	73.61	0	0.00000	1.00000
		WARRANTY	4	0.04661	0.95339
			5	0.05691	0.94309
			10	0.10485	0.89515
			15	0.15	0.85150
			20	0.18892	0.81108
			25	0.22665	0.77335
			30	0.26206	0.73794
			35	0.29540	0.70460
			40	0.32687	0.67313
			45	0.35664	0.64336
			50	0.38484	0.61516
			55	0.41159	0.58841
			60	0.43699	0.56301
			65	0.46113	0.53887
			70	0.48410	0.51590
		MEDIAN	73.61	0.50000	0.50000
			75	0.50597	0.49403
			80	0.52679	0.47321
			85	0.54664	0.45336
			90	0.56557	0.43443
			95	0.58363	0.41637
			100	0.60086	0.39914
			105	0.61732	0.38268
		ALPHA (α)	109.70	0.63212	0.36788
			115	0.64806	0.35194
			120	0.66241	0.33759
			125	0.67613	0.32387
			130	0.68925	0.31075
			135	0.70181	0.29819
			140	0.71381	0.28619
			145	0.72531	0.27469
			150	0.73631	0.26369
			155	0.74684	0.25316
			160	0.75693	0.24307
			165	0.76659	0.23341

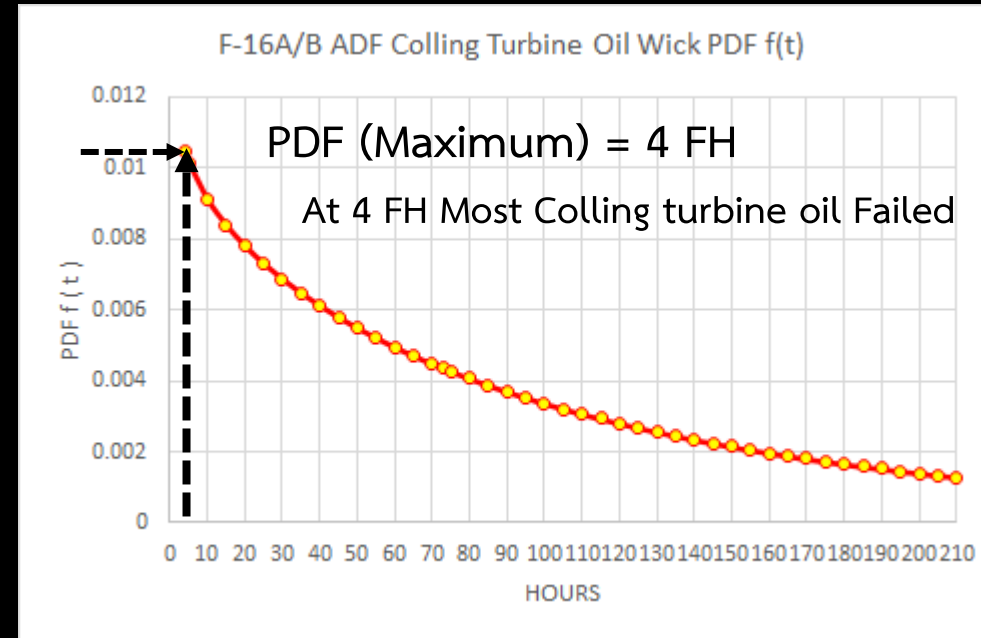
8. Reliability Calculator Graph





HOURS	PDF: POPULATION DENSITY FUNCTION: f (t)	Beta (or Shape Parameter) =	0.91864
	PDF: $f(t) = (\beta / t) * (t / \alpha)^\beta * ((e^{- (t / \alpha)^\beta})$	Alpha (or Characteristic Life) =	109.702
4	0.01045214		
5	0.01015323		
10	0.009108685		
15	0.008383357		
20	0.007800712		
25	0.007304001		
30	0.006866983		
35	0.006475033		
40	0.006118983		
45	0.005792611		
50	0.005491431		
55	0.005212065		
60	0.004951876		
65	0.00470875		
70	0.00448095		
73	0.004351012		
75	0.004267023		
80	0.004065734		
85.00	0.003876023		
90.00	0.003696962		
95.00	0.003527739		
100.00	0.003367633		
105.00	0.003216		
110.00	0.003072262		
115	0.002935897		
120	0.002806431		
125	0.002683431		
130	0.002566503		
135	0.002455283		
140	0.002349436		

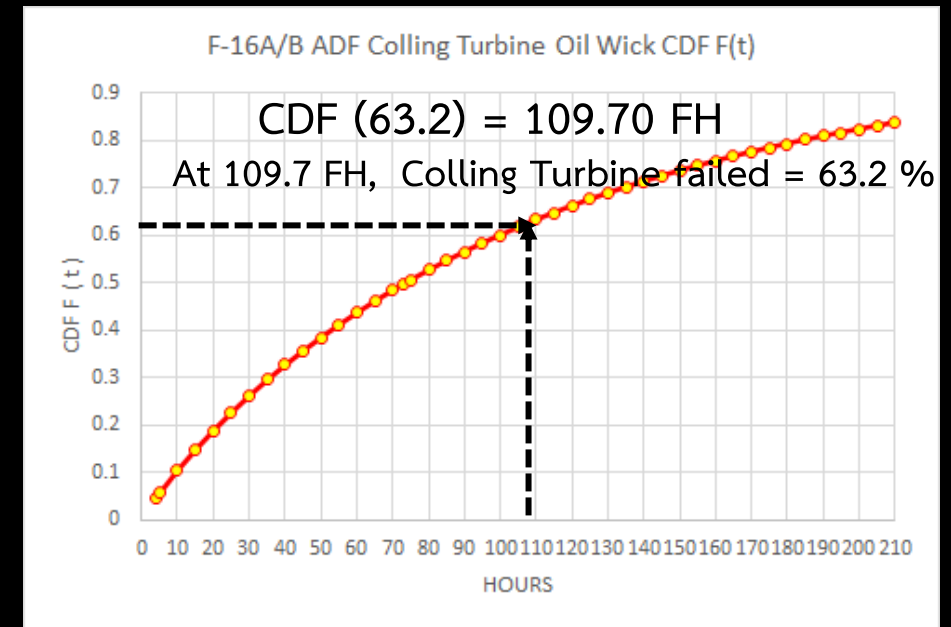
9. PDF (Population Density Function) GRAPH





HOURS	CDF: CUMULATIVE DISTRIBUTION FUNCTION: F (t) CDF: $F (t) = 1 - ((e ^ - (t / \alpha) ^ \beta))$	Beta (or Shape Parameter) = Alpha (or Characteristic Life) =	0.91864 109.702
4	0.046614981		
5	0.056913299		
10	0.104853739		
15	0.1485042		
20	0.188920395		
25	0.226653112		
30	0.262059311		
35	0.295397773		
40	0.326869317		
45	0.356636975		
50	0.384837356		
55	0.411587602		
60	0.436989939		
65	0.461134782		
70	0.484102968		
73	0.497349698		
75	0.50596739		
80	0.526794249		
85	0.546644021		
90	0.565572221		
95	0.58363003		
100	0.6008648		
105	0.617320476		
109.70	0.632115014		
110	0.633037953		
115	0.648055381		
120	0.662408419		
125	0.676130465		

10. CDF (Cumulative Distribution Function) GRAPH





DAE Mobile Training Team

RANDOM FAILURE
(Weibull's Distribution)

Workshop

As of 4th Nov. 2020