



Censored VS Non-Censored Weibull's Methods

As of 20th Oct. 2020



“ กำลังในอากาศ เป็นโล่อันแท้จริงอย่างเดียว
ที่จะป้องกันมิให้สงครามมาถึงท่ามกลางประเทศของเราได้
ทั้งเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการคมนาคมปกติ ”



จอมพล สมเด็จพระเจ้าบรมวงศ์เธอ
เจ้าฟ้าจักรพงษ์ภูวนาถ กรมหลวงพิษณุโลกประชานาถ
พระบิดากองทัพอากาศ



Topics

กรมช่างอากาศยาน
Directorate Of Aeronautical Engineering

1. Background
2. Solution
3. Summary

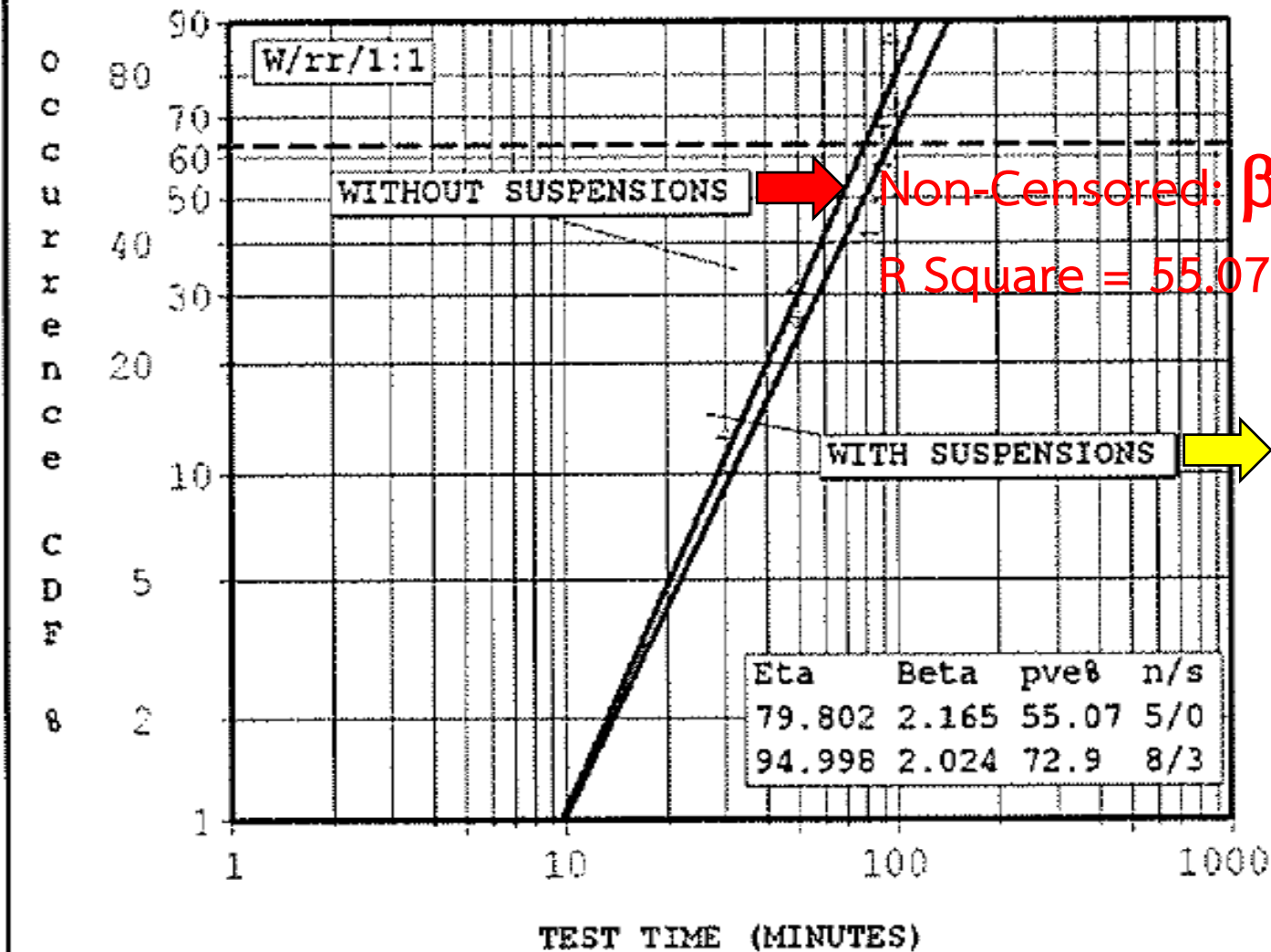


1. Background



- ◆ Non-Censored Data: หมายถึงข้อมูลการชำรุดที่มีจำนวน Population = n และได้เกิดการชำรุดขึ้น = f (failed) ครั้ง; โดยที่ $n = f$ (หรือพัสดุชำรุดทั้งหมด)
- ◆ Censored Data: หมายถึงข้อมูลการชำรุดที่มีจำนวน Population = n ในจำนวน Population n นั้น ได้เกิดการชำรุดขึ้น = f (failed) ครั้ง ในจำนวน Population n นั้น ยังไม่เกิดการชำรุด = s (suspended หรือ censored)
- ◆ ข้อได้เปรียบของการใช้ Weibull's Distribution: สามารถหาค่า Shape Parameter (β) และค่า Characteristic Life (α) ที่ถูกต้องใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด ไม่ว่าจะ เป็น Non-Censored หรือ Censored Data แม้ว่าจะมีข้อมูล Population (n) และการชำรุด f (failed) จำนวนที่น้อยมาก (Very Small Population)

8 RIVETS (5 Failed; 3 Suspended)



Non-Censored: $\beta = 2.165$; $\alpha = 79.802$ Minutes

R Square = 55.07 %; n/s = 5/0

Censored: $\beta = 2.024$; $\alpha = 94.998$ Minutes

R Square = 72.9 %; n/s = 8/3

DATA	$\beta > 1.0$ (Slope)	α (63 % Failed)
Censored	Lower Value	Higher Value
Non-Censored	Higher Value	Lower Value

Figure 2-5. Total Test Time (minutes)











2. Solution



Problem No.1

- ◆ Problem No.1: Rivet จำนวน 8 Ea ถูกนำมาตั้งเพื่อทดสอบว่าจะชำรุด ณ เวลา (นาที) ที่เท่าใด ซึ่งได้ผลการทดสอบเรียงตามลำดับเวลาที่ชำรุด (Flare Failure) ได้ดังแสดง:

RIVET FAILURE (MINUTES)	SERIAL NO.	F/S (FAILED / SUSPENDED)	RANK
10	7	 S (loose)	1
30	4	 F	2
45	6	 S (loose)	3
49	5	 F	4
82	8	 F	5
90	1	 F	6
96	2	 F	7
100	3	 S (loose)	8

Censored: $n/s = 8/3$

Non-Censored: $n/s = 5/0$

- ◆ ให้หาค่า Shape Parameter (β) และค่า Characteristic Life (α) ที่เป็น Censored และ Non-Censored Data เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ และสร้างกราฟใน Spreadsheet.



Problem No.1

◆ Solution for Problem No.1: กรณีที่ใช้วิธี Censored Data ให้ดำเนินการดังนี้:

1. ใช้ Excel Template เพื่อเรียงค่า Rank (เวลาที่ Failed จากน้อยไปมาก),
ค่า Reverse Rank (เวลาที่ Failed จากมากไปน้อย) และค่า Adjusted Rank (i)

2. สูตรในการคำนวณค่า Adjusted Rank (i)

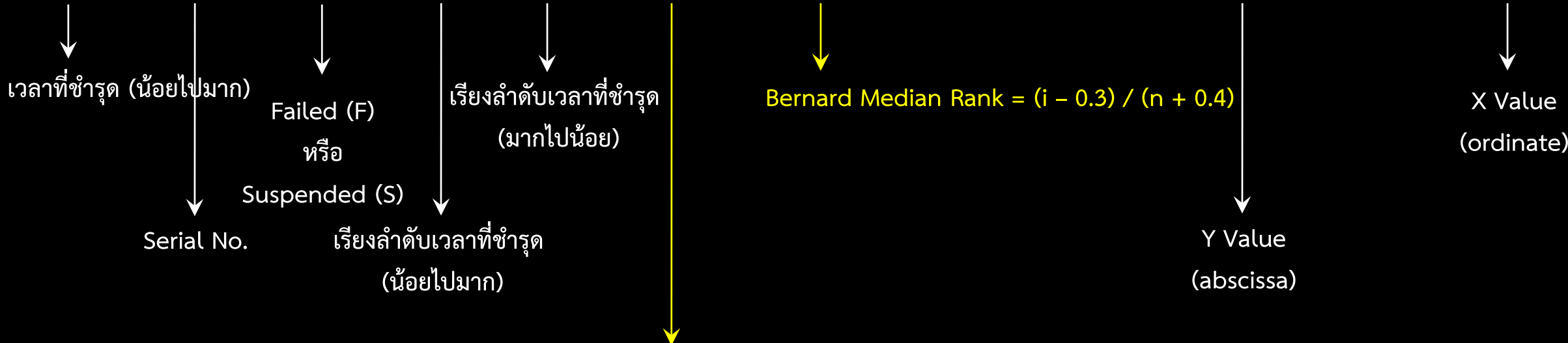
$$\text{Adjusted Rank (i)} = \frac{(\text{Reverse Rank} * \text{Previous Adjusted Rank}) + (n + 1)}{(\text{Reverse Rank} + 1)}$$

3. เมื่อได้ค่า Adjusted Rank แล้วจึงหาค่า Bernard Median Rank โดยใช้ Bernard

Approximation; สูตรในการคำนวณค่า Bernard Median Rank = $(i - 0.3) / (n + 0.4)$

4. ใช้ Excel Template คำนวณหาค่าแกน Y (abscissa) = $\ln(\ln(1/(1-\text{Median Rank})))$ และ
ค่าแกน X (ordinate) = $\ln(t)$ แล้วจึงสร้าง Weibull's Spreadsheet

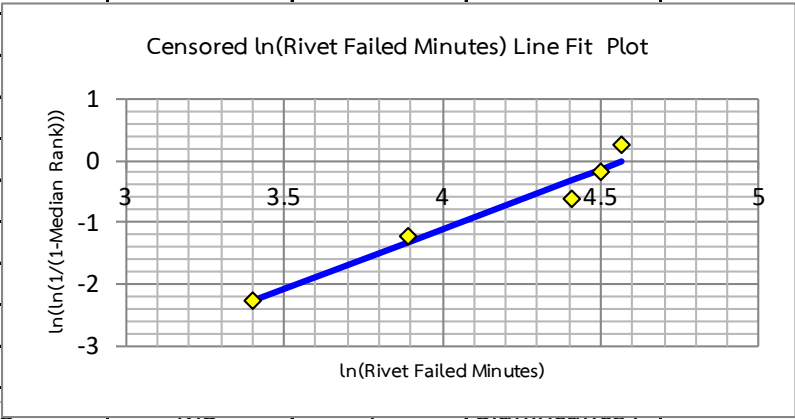
RIVET FAILURE (MINUTES)	SERIAL NO.	F/S (FAILED / SUSPENDED)	RANK	REVERSE RANK	ADJUSTED RANK (i)	MEDIAN RANK	1 / (1 - MEDIAN RANK)	ln(ln(1/(1-MEDIAN RANK)))	ln(RIVET FAILURE MINUTES)
10	7	S	1	8	SUSPENDED	SUSPENDED	SUSPENDED	SUSPENDED	SUSPENDED
30	4	F	→ 2	7	1.125	0.098214	1.108910891	-2.269359677	3.401197382
45	6	S	3	6	SUSPENDED	SUSPENDED	SUSPENDED	SUSPENDED	SUSPENDED
49	5	F	→ 4	5	2.4375	0.254464	1.341317365	-1.225359071	3.891820298
82	8	F	→ 5	4	3.75	0.410714	1.696969697	-0.637061542	4.406719247
90	1	F	→ 6	3	5.0625	0.566964	2.309278351	-0.178008782	4.49980967
96	2	F	→ 7	2	6.375	0.723214	3.612903226	0.25037862	4.564348191
100	3	S	8	1	SUSPENDED	SUSPENDED	SUSPENDED	SUSPENDED	SUSPENDED



$$\text{Adjusted Rank (i)} = \frac{\text{Reverse Rank} * \text{Previous Adjusted Rank} + (n + 1)}{\text{Reverse Rank} + 1}$$

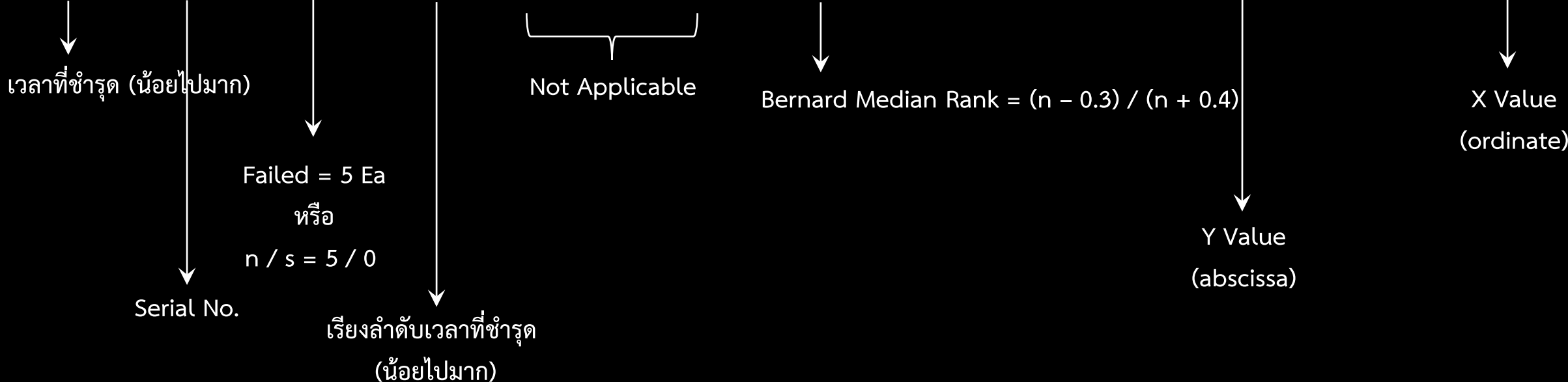
RIVET FAILURE (MINUTES)	SERIAL NO.	F/S (FAILED / SUSPENDED)	RANK	REVERSE RANK	ADJUSTED RANK (i)	MEDIAN RANK	1 / (1 - MEDIAN RANK)	ln(ln(1/(1-MEDIAN RANK)))	ln(RIVET FAILURE MINUTES)
30	4	F	→ 2	7	1.125	0.098214	1.108910891	-2.269359677	3.401197382
49	5	F	→ 4	5	2.4375	0.254464	1.341317365	-1.225359071	3.891820298
82	8	F	→ 5	4	3.75	0.410714	1.696969697	-0.637061542	4.406719247
90	1	F	→ 6	3	5.0625	0.566964	2.309278351	-0.178008782	4.49980967
96	2	F	→ 7	2	6.375	0.723214	3.612903226	0.25037862	4.564348191

SUMMARY OUTPUT									
<i>Regression Statistics</i>									
Multiple R	0.976293032								
R Square	0.953148084								
Adjusted R Square	0.937530778								
Standard Error	0.245397021								
Observations	5								
<i>ANOVA</i>									
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>	<i>Lower 95.0%</i>	<i>Upper 95.0%</i>
Regression	1	3.675300447	3.675300447	61.03153241	0.004366138				
Residual	3	0.180659094	0.060219698						
Total	4	3.855959541							
	<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	-8.824329234	1.031478491	-8.555029808	0.003356188	-12.10695415	-5.541704322	-12.10695415	-5.541704322	
X Variable 1	1.929418162	0.246972857	7.812268071	0.004366138	1.143440307	2.715396017	1.143440307	2.715396017	
Beta (or Shape Parameter) =	1.929418162								
Alpha (or Characteristic Life) =	96.8893988								

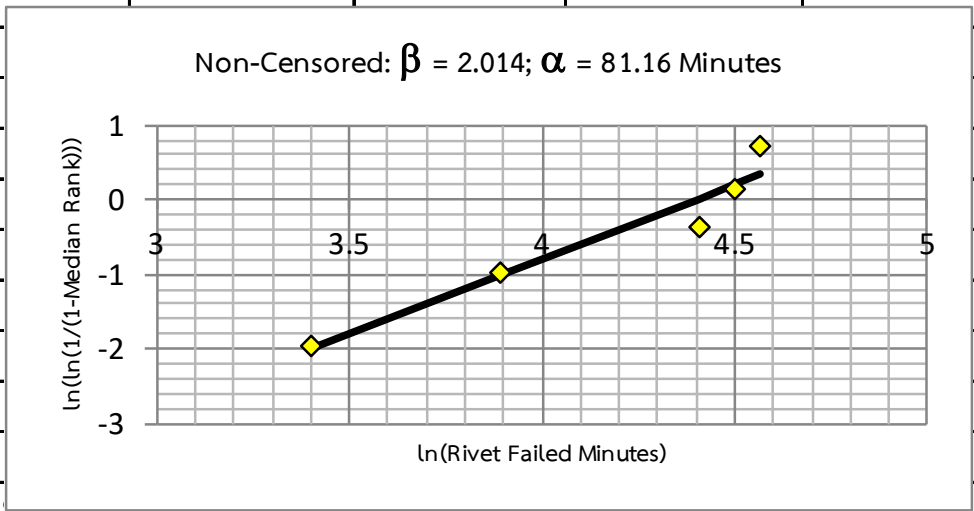


Censored: (n/s = 8/3)
 $\beta = 1.929$;
 $\alpha = 96.89$ Minutes
 $R^2 = 95.31\%$

RIVET FAILURE (MINUTES)	SERIAL NO.	F/S (FAILED / SUSPENDED)	RANK	REVERSE RANK	ADJUSTED RANK (i)	MEDIAN RANK	1 / (1 - MEDIAN RANK)	ln(ln(1/(1-MEDIAN RANK)))	ln(RIVET FAILURE MINUTES)
30	4	F	1	N/A	N/A	0.129630	1.14893617	-1.974458694	3.401197382
49	5	F	2	N/A	N/A	0.314815	1.459459459	-0.972686141	3.891820298
82	8	F	3	N/A	N/A	0.500000	2	-0.366512921	4.406719247
90	1	F	4	N/A	N/A	0.685185	3.176470588	0.144767396	4.49980967
96	2	F	5	N/A	N/A	0.870370	7.714285714	0.714455486	4.564348191



SUMMARY OUTPUT								
<i>Regression Statistics</i>								
Multiple R	0.964730385							
R Square	0.930704716							
Adjusted R Square	0.907606288							
Standard Error	0.31535707							
Observations	5							
ANOVA								
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>			
Regression	1	4.007141072	4.007141072	40.29298926	0.007909042			
Residual	3	0.298350245	0.099450082					
Total	4	4.305491317						
	<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	-8.857237764	1.325541905	-6.681974921	0.006836008	-13.0757037	-4.638771827	-13.0757037	-4.638771827
X Variable 1	2.014639082	0.317382159	6.347675894	0.007909042	1.004587402	3.024690763	1.004587402	3.024690763
Beta (or Shape Parameter) =	2.014639082							
Alpha (or Characteristic Life) =	81.16133515							

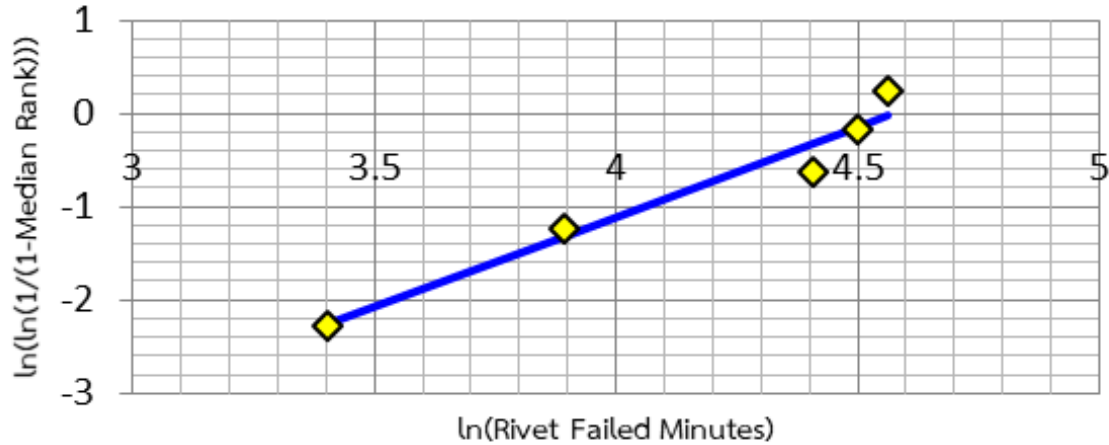


Non-Censored (n/s = 5/0)
 $\beta = 2.015;$
 $\alpha = 81.16$ Minutes
 $R^2 = 93.07 \%$

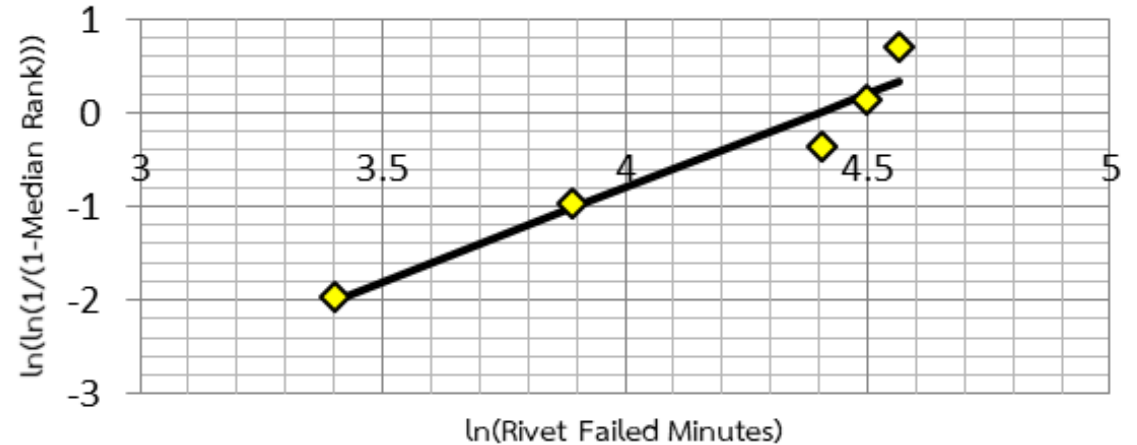


Problem No.1

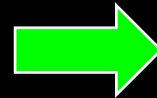
Censored: $\beta = 1.929$; $\alpha = 96.89$ Minutes



Non-Censored: $\beta = 2.014$; $\alpha = 81.16$ Minutes



DATA	$\beta > 1.0$ (Slope)	α (63 % Failed)
Censored	Lower Value	Higher Value
Non-Censored	Higher Value	Lower Value











DATA	$\beta > 1.0$ (Slope)	α (63 % Failed)
Censored	1.929	96.89 Minutes
Non-Censored	2.014	81.16 Minutes



Problem No.2

- ◆ Problem No.2: ชิ้นงาน (Specimen) จำนวน 8 Ea ถูกนำทดสอบว่าจะเกิดการชำรุด ณ เวลา (ชั่วโมง) ที่เท่าใด ซึ่งได้ผลการทดสอบเรียงตามลำดับเวลาที่ชำรุด (Specimen Failure) ได้ดังแสดง:

SPECIMEN FAILURE (HOURS)	SERIAL NO.	F/S (FAILED / SUSPENDED)	RANK
1.10	834	 F	1
6.00	832	 F	2
7.00	836	 S	3
8.00	838	 S	4
9.00	831	 F	5
14.60	833	 S	6
20.00	835	 F	7
65.00	837	 F	8

Censored: n/s = 8/3

Non-Censored: n/s = 5/0

- ◆ ให้หาค่า Shape Parameter (β) และค่า Characteristic Life (α) ที่เป็น Censored และ Non-Censored Data เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ และสร้างกราฟใน Spreadsheet.



Problem No.2

◆ Solution for Problem No.2: กรณีที่ใช้วิธี Censored Data ให้ดำเนินการดังนี้:

1. ใช้ Excel Template เพื่อเรียงค่า Rank (เวลาที่ Failed จากน้อยไปมาก),
ค่า Reverse Rank (เวลาที่ Failed จากมากไปน้อย) และค่า Adjusted Rank (i)

2. สูตรในการคำนวณค่า Adjusted Rank (i)

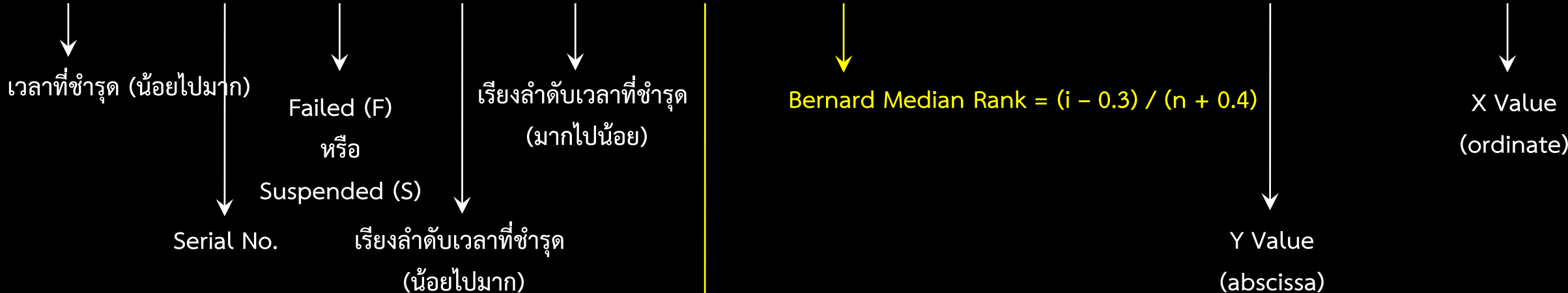
$$\text{Adjusted Rank (i)} = \frac{(\text{Reverse Rank} * \text{Previous Adjusted Rank}) + (n + 1)}{(\text{Reverse Rank} + 1)}$$

3. เมื่อได้ค่า Adjusted Rank แล้วจึงหาค่า Bernard Median Rank โดยใช้ Bernard

Approximation; สูตรในการคำนวณค่า $\text{Bernard Median Rank} = (i - 0.3) / (n + 0.4)$

4. ใช้ Excel Template คำนวณหาค่าแกน Y (abscissa) = $\ln(\ln(1/(1-\text{Median Rank})))$ และ
ค่าแกน X (ordinate) = $\ln(t)$ แล้วจึงสร้าง Weibull's Spreadsheet

SPECIMEN FAILURE (HOURS)	SERIAL NO.	F/S (FAILED / SUSPENDED)	RANK	REVERSE RANK	ADJUSTED RANK (i)	MEDIAN RANK	1 / (1 - MEDIAN RANK)	ln(ln(1/(1-MEDIAN RANK)))	ln(Specimen Failure Hrs.)
1.10	834	F	➔ 1	8	1.00	0.083333	1.090909091	-2.441716399	0.09531018
6.00	832	F	➔ 2	7	2.00	0.202381	1.253731343	-1.486670964	1.791759469
7.00	836	S	3	6	SUSPENDED	SUSPENDED	SUSPENDED	SUSPENDED	SUSPENDED
8.00	838	S	4	5	SUSPENDED	SUSPENDED	SUSPENDED	SUSPENDED	SUSPENDED
9.00	831	F	➔ 5	4	3.40	0.369048	1.58490566	-0.775388385	2.197224577
14.60	833	S	6	3	SUSPENDED	SUSPENDED	SUSPENDED	SUSPENDED	SUSPENDED
20.00	835	F	➔ 7	2	5.27	0.591270	2.446601942	-0.111266701	2.995732274
65.00	837	F	➔ 8	1	7.13	0.813492	5.361702128	0.518366015	4.17438727

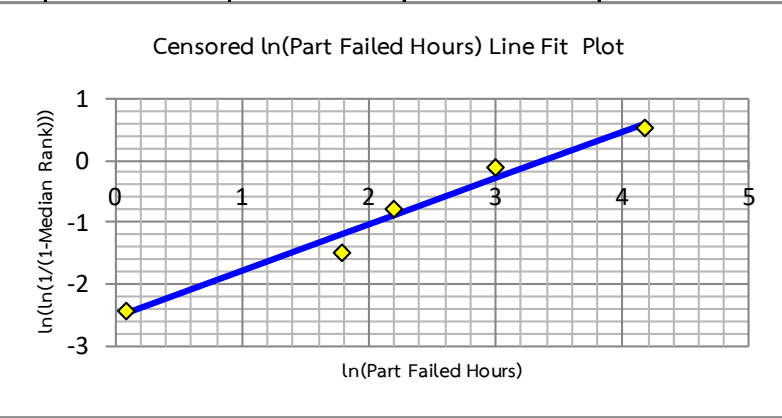


$$\text{Adjusted Rank (i)} = \frac{(\text{Reverse Rank} * \text{Previous Adjusted Rank}) + (n + 1)}{(\text{Reverse Rank} + 1)}$$

EXCEL TEMPLATE (CENSORED)

SPECIMEN FAILURE (HOURS)	SERIAL NO.	F/S (FAILED / SUSPENDED)	RANK	REVERSE RANK	ADJUSTED RANK (i)	MEDIAN RANK	1 / (1 - MEDIAN RANK)	ln(ln(1/(1-MEDIAN RANK)))	ln(Specimen Failure Hrs.)
1.10	834	F	➔ 1	8	1.00	0.083333	1.090909091	-2.441716399	0.09531018
6.00	832	F	➔ 2	7	2.00	0.202381	1.253731343	-1.486670964	1.791759469
9.00	831	F	➔ 5	4	3.40	0.369048	1.58490566	-0.775388385	2.197224577
20.00	835	F	➔ 7	2	5.27	0.591270	2.446601942	-0.111266701	2.995732274
65.00	837	F	➔ 8	1	7.13	0.813492	5.361702128	0.518366015	4.17438727

SUMMARY OUTPUT									
<i>Regression Statistics</i>									
Multiple R	0.987207587								
R Square	0.974578819								
Adjusted R Square	0.966105093								
Standard Error	0.213161377								
Observations	5								
<i>ANOVA</i>									
	<i>df</i>	<i>SS</i>							
Regression	1	5.225881286	5.225881286	115.0118283	0.001733514				
Residual	3	0.136313317	0.045437772						
Total	4	5.362194603							
	<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	-2.563682958	0.185321601	-13.83369745	0.000817609	-3.153459003	-1.973906914	-3.153459003	-1.973906914	
X Variable 1	0.757190782	0.070604774	10.72435678	0.001733514	0.532494881	0.981886682	0.532494881	0.981886682	
Beta (or Shape Parameter) =	0.757190782								
Alpha (or Characteristic Life) =	29.54108637								



Censored: (n/s = 8/3)
 $\beta = 0.7572$;
 $\alpha = 29.54$ Hours
R2 = 97.46 %

SPECIMEN FAILURE (HOURS)	SERIAL NO.	F/S (FAILED / SUSPENDED)	RANK	REVERSE RANK	ADJUSTED RANK (i)	MEDIAN RANK	$1 / (1 - \text{MEDIAN RANK})$	$\ln(\ln(1/(1-\text{MEDIAN RANK})))$	$\ln(\text{Specimen Failure Hrs.})$
1.10	834	F	1	N/A	N/A	0.129630	1.14893617	-1.974458694	0.09531018
6.00	832	F	2	N/A	N/A	0.314815	1.459459459	-0.972686141	1.791759469
9.00	831	F	3	N/A	N/A	0.500000	2	-0.366512921	2.197224577
20.00	835	F	4	N/A	N/A	0.685185	3.176470588	0.144767396	2.995732274
65.00	837	F	5	N/A	N/A	0.870370	7.714285714	0.714455486	4.17438727

↓
เวลาที่ชำรุด
(น้อยไปมาก)

↓
Serial No.

↓
Failed = 5 Ea
หรือ
n / s = 5 / 0

↓
เรียงลำดับเวลาที่ชำรุด
(น้อยไปมาก)

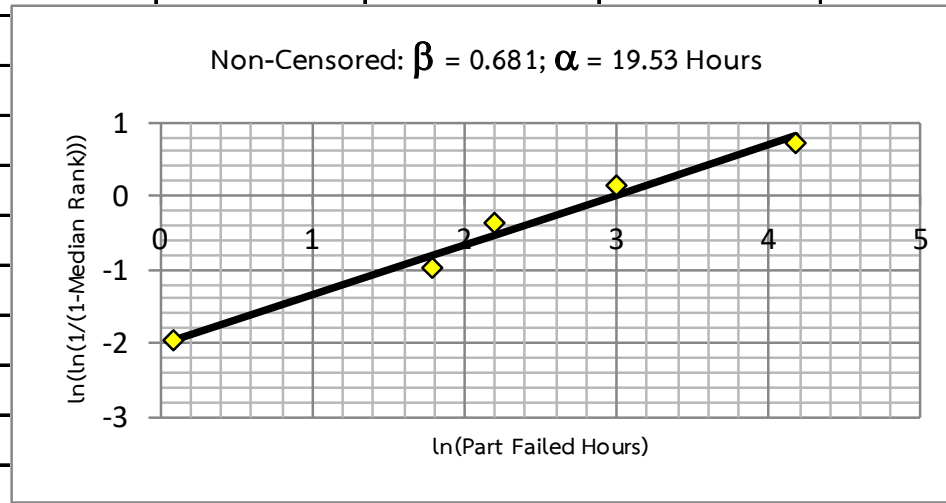
Not Applicable

Bernard Median Rank = $(n - 0.3) / (n + 0.4)$

↓
Y Value
(abscissa)

↓
X Value
(ordinate)

SUMMARY OUTPUT								
<i>Regression Statistics</i>								
Multiple R	0.990411872							
R Square	0.980915676							
Adjusted R Square	0.974554235							
Standard Error	0.165496616							
Observations	5							
ANOVA								
	<i>df</i>	<i>SS</i>						
Regression	1	4.223323928	4.223323928	154.197083	0.001125405			
Residual	3	0.08216739	0.02738913					
Total	4	4.305491317						
	<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	-2.02305226	0.143882059	-14.06049005	0.000779143	-2.480949187	-1.565155333	-2.480949187	-1.565155333
X Variable 1	0.680695288	0.054816924	12.41761181	0.001125405	0.50624337	0.855147207	0.50624337	0.855147207
Beta (or Shape Parameter) =	0.680695288							
Alpha (or Characteristic Life) =	19.53168454							

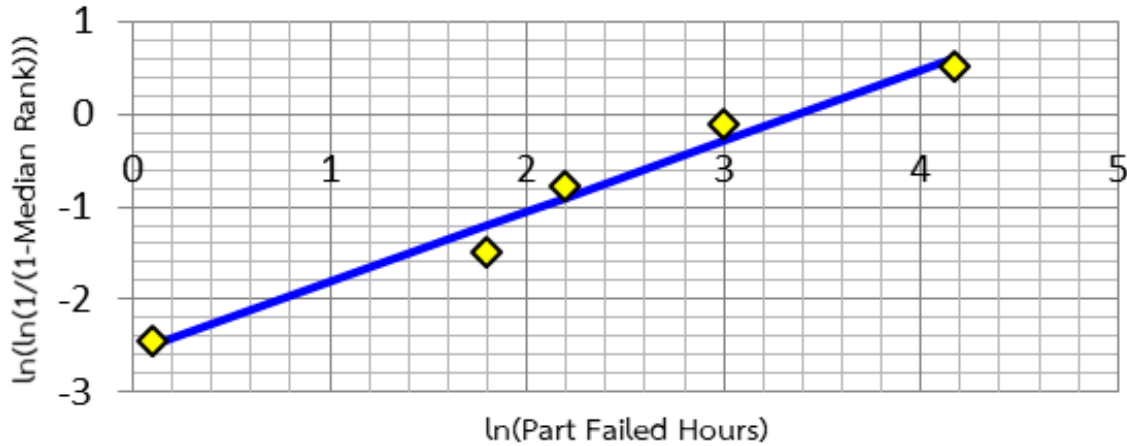


Non-Censored (n/s = 5/0)
 $\beta = 0.6807;$
 $\alpha = 19.53$ Hours
 $R^2 = 98 \%$

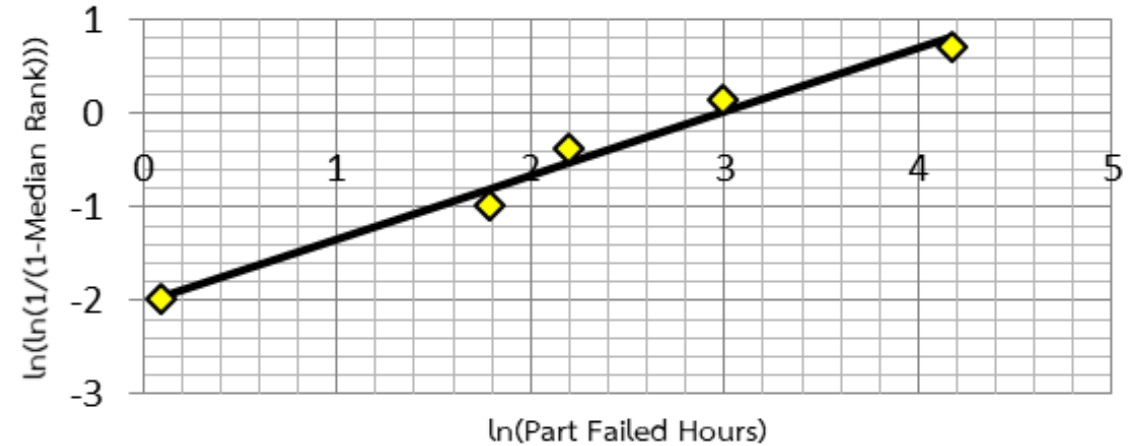


Problem No.2

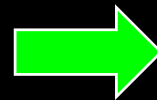
Censored: $\beta = 0.757$; $\alpha = 29.54$ Hours



Non-Censored: $\beta = 0.681$; $\alpha = 19.53$ Hours



DATA	$\beta < 1.0$ (Slope)	α (63 % Failed)
Censored	Higher Value	Higher Value
Non-Censored	Lower Value	Lower Value











DATA	$\beta < 1.0$ (Slope)	α (63 % Failed)
Censored	0.757	29.54 Hours
Non-Censored	0.681	19.53 Hours



Problem No.3

- ◆ Problem No.3: Main Gearbox (MGB) ของ 8 ฮ. จำนวน 8 Ea ได้เกิดการชำรุด จำนวน 3 Ea ณ เวลา (ชั่วโมง) ที่แสดงในตาราง ให้หาค่า Shape Parameter (β) และค่า Characteristic Life (α) ที่เป็น Censored และ Non-Censored Data เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ และสร้างกราฟใน Spreadsheet.

MGB FAILED (HOURS)	A/C NO.	MGB S/N	F / S (FAILED / SUSPENDED)	RANK
300.00	20307	M5423	 S	1
328.00	20304	M5402	 S	2
423.00	20308	M5370	 S	3
520.40	20303	M5338	 F	4
664.00	20305	M5411	 S	5
750.00	20302	M5346	 F	6
763.37	20306	M5412	 F	7
784.00	20301	M5342	 S	8

Censored: n/s = 8/5

Non-Censored: n/s = 3/0



Problem No.3

◆ Solution for Problem No.3: กรณีที่ใช้วิธี Censored Data ให้ดำเนินการดังนี้:

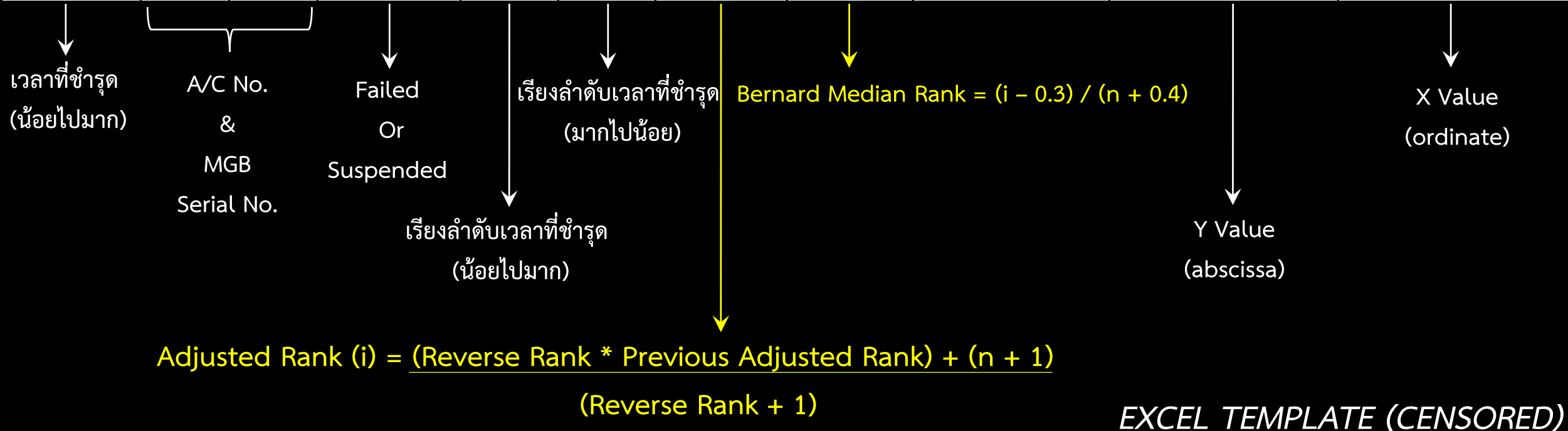
1. ใช้ Excel Template เพื่อเรียงค่า Rank (เวลาที่ Failed จากน้อยไปมาก), ค่า Reverse Rank (เวลาที่ Failed จากมากไปน้อย) และค่า Adjusted Rank (i)
2. สูตรในการคำนวณค่า Adjusted Rank (i)

$$\text{Adjusted Rank (i)} = \frac{(\text{Reverse Rank} * \text{Previous Adjusted Rank}) + (n + 1)}{(\text{Reverse Rank} + 1)}$$

3. เมื่อได้ค่า Adjusted Rank แล้วจึงหาค่า Bernard Median Rank โดยใช้ Bernard Approximation; สูตรในการคำนวณค่า Bernard Median Rank = $(i - 0.3) / (n + 0.4)$

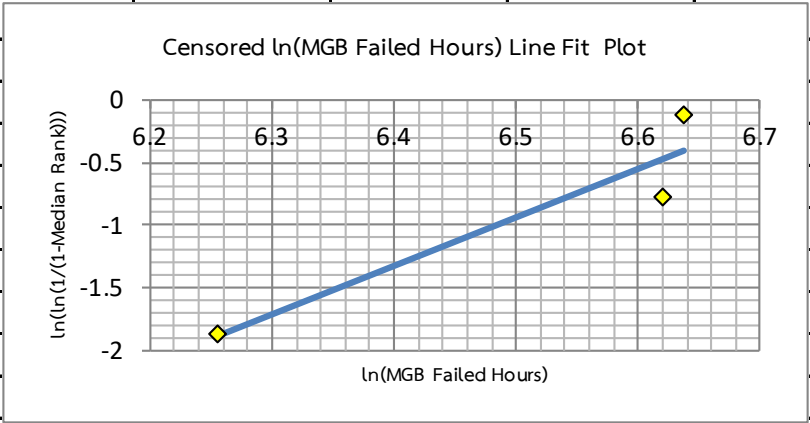
4. ใช้ Excel Template คำนวณหาค่าแกน Y (abscissa) = $\ln(\ln(1/(1-\text{Median Rank})))$ และค่าแกน X (ordinate) = $\ln(t)$ แล้วจึงสร้าง Weibull's Spreadsheet

MGB FAILED (HOURS)	A/C NO.	MGB S/N	F / S (FAILED / SUSPENDED)	RANK	REVERSE RANK	ADJUSTED RANK (i)	MEDIAN RANK	1 / (1 - MEDIAN RANK)	ln(ln(1/(1-MEDIAN RANK)))	ln(MGB FAILED HOURS)
300.00	20307	M5423	S	1	8	SUSPENDED	SUSPENDED	SUSPENDED	SUSPENDED	SUSPENDED
328.00	20304	M5402	S	2	7	SUSPENDED	SUSPENDED	SUSPENDED	SUSPENDED	SUSPENDED
423.00	20308	M5370	S	3	6	SUSPENDED	SUSPENDED	SUSPENDED	SUSPENDED	SUSPENDED
520.40	20303	M5338	F	→ 4	5	1.50	0.142857	1.17	-1.869824714	6.254597747
664.00	20305	M5411	S	5	4	SUSPENDED	SUSPENDED	SUSPENDED	SUSPENDED	SUSPENDED
750.00	20302	M5346	F	→ 6	3	3.38	0.366071	1.58	-0.785659491	6.620073207
763.37	20306	M5412	F	→ 7	2	5.25	0.589286	2.43	-0.11669397	6.637742842
784.00	20301	M5342	S	8	1	SUSPENDED	SUSPENDED	SUSPENDED	SUSPENDED	SUSPENDED



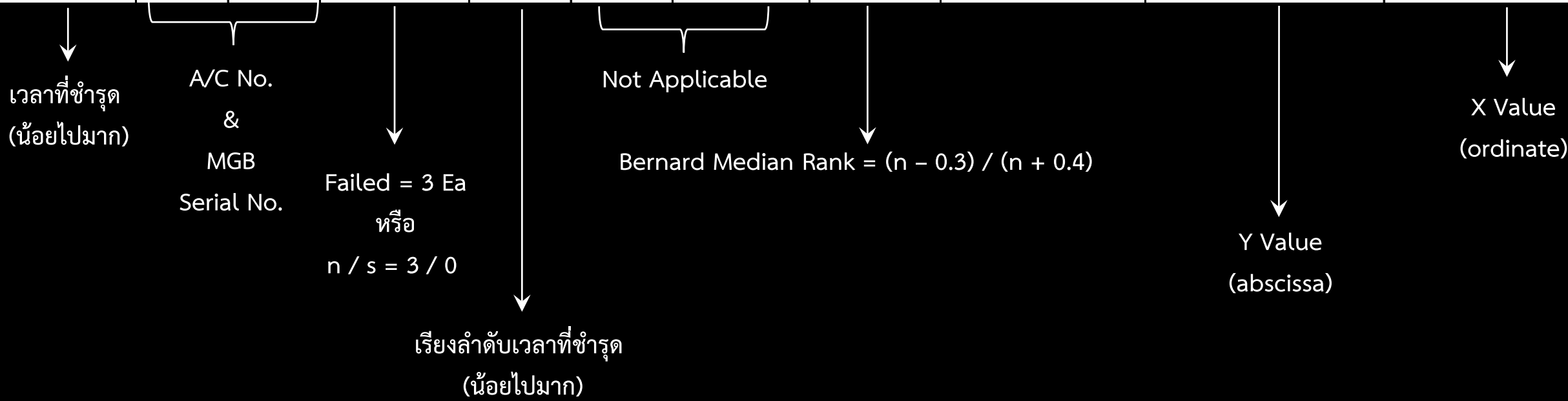
MGB FAILED (HOURS)	A/C NO.	MGB S/N	F / S (FAILED / SUSPENDED)	RANK	REVERSE RANK	ADJUSTED RANK (i)	MEDIAN RANK	1 / (1 - MEDIAN RANK)	$\ln(\ln(1/(1-\text{MEDIAN RANK})))$	$\ln(\text{MGB FAILED HOURS})$
520.40	20303	M5338	F	→ 4	5	1.50	0.142857	1.17	-1.869824714	6.254597747
750.00	20302	M5346	F	→ 6	3	3.38	0.366071	1.58	-0.785659491	6.620073207
763.37	20306	M5412	F	→ 7	2	5.25	0.589286	2.43	-0.11669397	6.637742842

SUMMARY OUTPUT				
<i>Regression Statistics</i>				
Multiple R	0.940449186			
R Square	0.884444671			
Adjusted R Square	0.768889341			
Standard Error	0.425320916			
Observations	3			
<i>ANOVA</i>				
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	
Regression	1	1.384567621	1.384567621	7.653863086
Residual	1	0.180897882	0.180897882	
Total	2	1.565465503		
	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>
Intercept	-25.94468083	9.047274632	-2.86767915	0.213604233
X Variable 1	3.846877434	1.390490432	2.7665616	0.220809683
Beta (or Shape Parameter) =	3.846877434			
Alpha (or Characteristic Life) =	849.2453928			

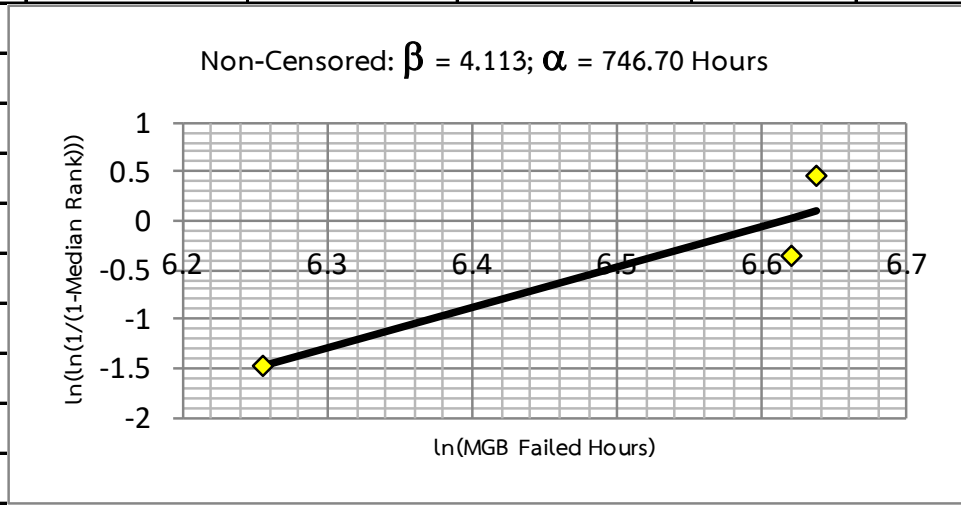


Censored: (n/s = 8/5)
 $\beta = 3.8469$;
 $\alpha = 849.25$ Hours
R2 = 88.44 %

MGB FAILED (HOURS)	A/C NO.	MGB S/N	F / S (FAILED / SUSPENDED)	RANK	REVERSE RANK	ADJUSTED RANK (i)	MEDIAN RANK	1 / (1 - MEDIAN RANK)	$\ln(\ln(1/(1-\text{MEDIAN RANK})))$	$\ln(\text{MGB FAILED HOURS})$
520.40	20303	M5338	F	1	N/A	N/A	0.205882	1.26	-1.467401781	6.254597747
750.00	20302	M5346	F	2	N/A	N/A	0.500000	2.00	-0.366512921	6.620073207
763.37	20306	M5412	F	3	N/A	N/A	0.794118	4.86	0.457709854	6.637742842



SUMMARY OUTPUT								
<i>Regression Statistics</i>								
Multiple R	0.92107805							
R Square	0.848384775							
Adjusted R Square	0.69676955							
Standard Error	0.531865938							
Observations	3							
ANOVA								
	<i>df</i>	<i>SS</i>						
Regression	1	1.582903383	1.582903383	5.595643678	0.254620024			
Residual	1	0.282881376	0.282881376					
Total	2	1.865784759						
	<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	-27.21147133	11.31366228	-2.405186814	0.250844265	-170.9651805	116.5422	-170.9651805	116.5422379
X Variable 1	4.113187122	1.738815255	2.365511293	0.254620024	-17.9805555	26.20693	-17.9805555	26.20692975
Beta (or Shape Parameter) =	4.113187122							
Alpha (or Characteristic Life) =	746.7017111							

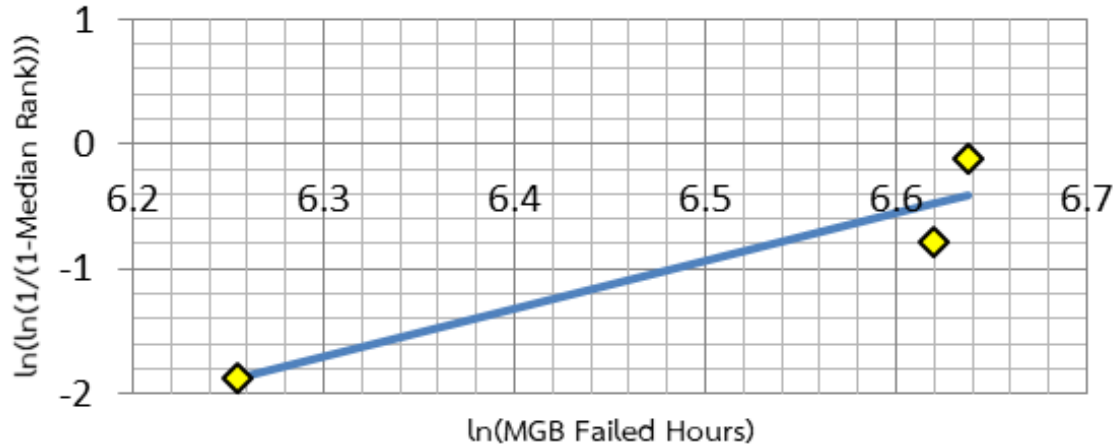


Non-Censored (n/s = 5/0)
 $\beta = 4.113$;
 $\alpha = 746.70$ Hours
R2 = 84.83 %

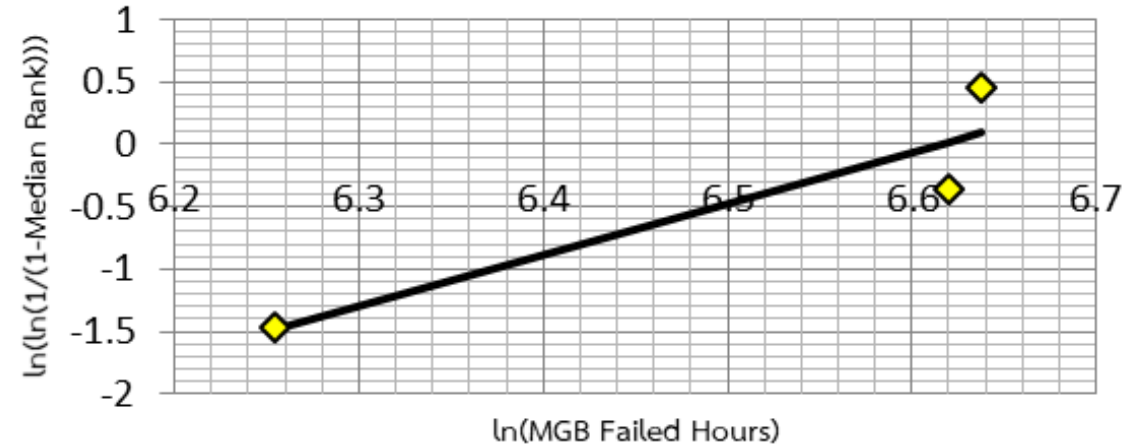


Problem No.3

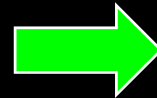
Censored: $\beta = 3.847$; $\alpha = 849.25$ Hours



Non-Censored: $\beta = 4.113$; $\alpha = 746.70$ Hours



DATA	$\beta > 1.0$ (Slope)	α (63 % Failed)
Censored	Lower Value	Higher Value
Non-Censored	Higher Value	Lower Value



DATA	$\beta > 1.0$ (Slope)	α (63 % Failed)
Censored	3.847	849.25 Hours
Non-Censored	4.113	746.70 Hours



3. Summary



- ◆ Reliability $R(t) = (e^{- (t/\alpha)})^\beta = e^{- (t/\alpha)^\beta}$
- ◆ Cumulative Distribution Function CDF $F(t) = 1 - e^{- (t/\alpha)^\beta}$
- ◆ $e = 2.718281828...$; the base for natural logarithms
- ◆ β = Shape Parameter or Slope
- ◆ α = Characteristic Life (63 % would fail)



- ◆ Cumulative Distribution Function CDF $F(t) = 1 - e^{-(t/\alpha)^\beta}$
- ◆ ถ้ากำหนดให้ $t = \alpha$; ดังนั้น CDF $F(t) = 1 - e^{-(1)^\beta} = 1 - 1/e$
 $= 1 - (1 / 2.718281828) = 0.632 = 63.2 \%$
- ◆ นั่นก็คือสำหรับ Weibull's Distribution แล้ว
ที่ค่า $t = \text{Characteristic Life } (\alpha)$; พัดดูจะชำรุด 63.2 % เสมอ
ไม่ว่าค่า Shape Parameter (β) จะเป็นค่าใดก็ตาม

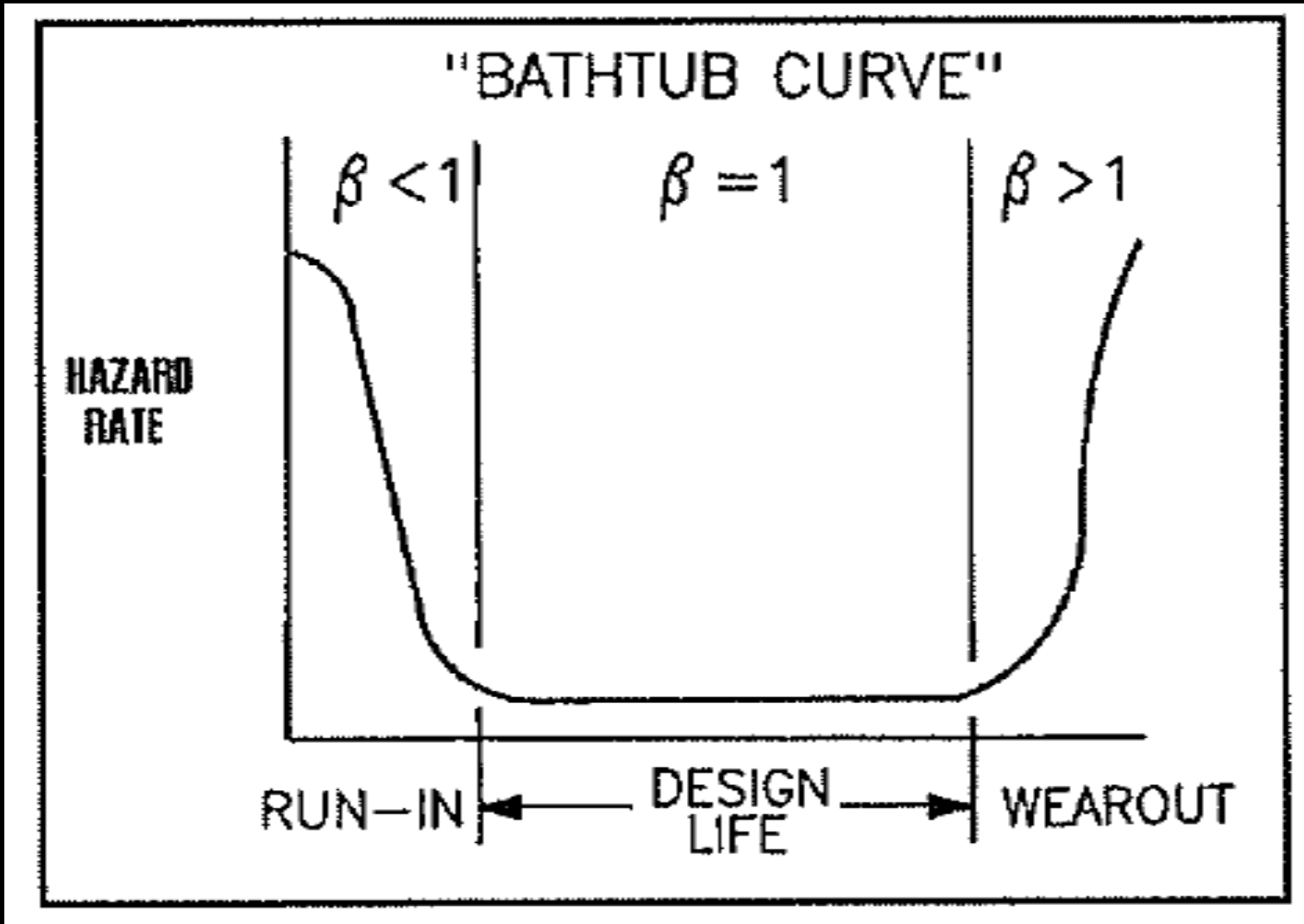


- ◆ Mean Time To Failure (MTTF) = $\alpha * \text{EXP}(\ln(1/\beta))$
 - ◆ When $\beta = 1$; MTTF = α ; MTTF = Average Life
 - ◆ When $\beta > 1$; MTTF < α ; MTTF = Average Life
 - ◆ When $\beta < 1$; MTTF > α ; MTTF = Average Life
 - ◆ When $\beta = 0.5$; MTTF = $2 * \alpha$; MTTF = Average Life
- ◆ Median or R(0.5) = $\alpha * (\text{LN}(2) \wedge (1/ \beta))$
- ◆ Population Distribution Function
PDF $f(t) = (\beta/\alpha) * (t/ \alpha)^{\beta - 1} * e^{- (t/\alpha)^{\beta}}$



Weibull's Essential Formulas

- ◆ B Life: B1 = The age at which 1 % of the units failed.
B0.1 = The age at which 0.1 % of the units failed.
B50 = The age at which 50 % of the units failed.
- ◆ Censored Data: Population n; failed = f; suspended = s
- ◆ Non-Censored Data: Population n; failed = n; s = 0
- ◆ Adjusted Rank (i) =
$$\frac{(\text{Reverse Rank} * \text{Previous Adjusted Rank}) + (n + 1)}{(\text{Reverse Rank} + 1)}$$
- ◆ Bernard Median Rank =
$$(i - 0.3) / (n + 0.4)$$



The Bath Tub Curve for a Good Component

β - Shape Parameters Interpretation

$\beta < 1.0$	Infant Mortality	Inadequate burn-in (run-in) time to stress test, production problems, misassemble, poor QC, overhaul problems, solid state electronic failed
$\beta = 1.0$	Random Failures	Maintenance Errors, Human Errors, Abusive Events, FOD, Lightning Strike, Failures due to nature,
$1.0 < \beta < 4.0$	Early Wear Out	Many mechanical failure modes. $\beta = 1.5$: Roller Bearing Failure $\beta = 2.0$: Ball Bearing Failure $\beta = 2.0 - 3.5$: Corrosion or Erosion $\beta = 2.5$: V - Belt Failure $\beta = 2.5 - 4.0$: LCF (Low Cycle Fatigue)
$\beta > 4.0$	Old Age (Rapid) Wear Out	$\beta > 5.0$: Stress Corrosion Material Properties, Brittle materials like ceramics, some form of erosion.



Censored VS Non-Censored Weibull's Methods

As of 20th Oct. 2020