

การออกแบบและสร้างเครื่องทอกสอบความล้าของโครงสร้างปีกเครื่องบิน



นายสังคราม ทองนพคุณ

003984

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2524

THE DESIGN AND CONSTRUCTION OF A FATIGUE LIFE  
TESTING RIG FOR AIR CRAFT WING STRUCTURE

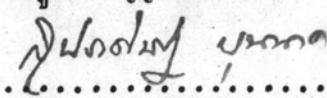
Mr. Songkram Thongnophkun.

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering  
Department of Mechanical Engineering  
Graduate School  
Chulalongkorn University

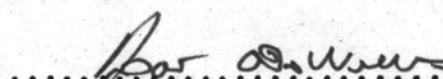
1981

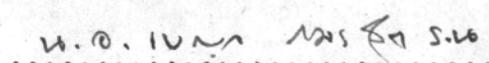
หัวขอวิทยานิพนธ์ การออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบความถ้า  
 ของโครงสร้างปีกเครื่องบิน  
 ไทย นายสังกparen ทองนพคุณ  
 ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล  
 อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. อิทธิพล ปานงาม

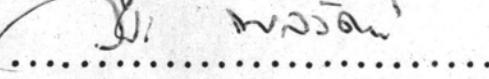
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์นับนี้เป็นส่วน  
 หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาด้านบัณฑิต

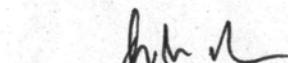
 ..... คำแนะนำบัณฑิตวิทยาลัย  
 (รองศาสตราจารย์ ดร. สุประคิษฐ์ บุณนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

 ..... ประธานกรรมการ  
 (รองศาสตราจารย์ ดร. ฤทธิชร ศิลปบริเรลง)

 ..... กรรมการ  
 (นราเวอก เบญจ ภนรสุค วน.)

 ..... กรรมการ  
 (ร้อยเอก ดร. วีระ พลวัฒน์)

 ..... กรรมการ  
 (รองศาสตราจารย์ ดร. อิทธิพล ปานงาม)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบความล้ำของ โครงสร้าง  
ปีกเครื่องบิน

ชื่อ

นายสังคุณ ทองนาคุณ

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร. อิทธิพล ปานันดาม

ภาควิชา

วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา

2524

บทคัดย่อ



ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ให้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบความล้ำภายในตัวอย่าง แรงกดของปีกเฉลี่ยคงเด tam โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนยึดโคนปีกให้แน่นอยู่กับตัวอย่าง และส่วนโยกปลายปีกขึ้นลง เพื่อให้ปีกได้รับความเห็นด้วยตัวอย่างเปลี่ยนแปลง เครื่องทดสอบหั้งสองส่วนนี้จะต่อสายฐานเครื่องวัด และมีอุปกรณ์เพิ่มเติมคือ คันบารอบ เพื่อนับรอบการโยกของปีกหรือรอบของความเห็นด้วยตัวอย่าง วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังให้ศึกษาถึง ทฤษฎีพื้นฐานของความเห็น และภาระต่าง ๆ บนปีกทางด้านอากาศพลศาสตร์ จากการศึกษาทางทฤษฎี จะทำให้ทราบค่าโมเมนต์ตัว, แรงดึงในแนวแกน, แรงเฉือน และระยะไก่ของปีกที่รับมีได้

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ให้เสนอวิธีการทำงานของอายุการใช้งานของปีกถ้าให้มีการทดสอบปีกคันแบบ ซึ่งการทำงานของอายุการใช้งานของปีกนี้ให้แบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือ ระยะที่เฉลี่ยคงเด tam ลดอยู่ตัวอยู่กับตัวอย่าง โดยวัดสูญญากาศที่ใช้ทำผิวปีกเป็นอุณหภูมิเดียบอยู่ 1100-H12 และระยะที่เฉลี่ยคงเด tam เคลื่อนที่กวยความเร็วสูงสุด โดยวัดสูญญากาศที่ใช้ทำผิวปีกเป็นอุณหภูมิเดียบ ผสม 2024-T4 ค่าอายุการใช้งานโดยประมาณที่หาได้ คือ 58 ชั่วโมง และ 1250 ชั่วโมง ความล้ำตัว ค่าอายุการใช้งานที่หาได้นี้เป็นค่าทางทฤษฎี

Thesis Title                    The Design and Construction of a Fatigue Life  
                                    Testing Rig for Air Craft Wing Structure.  
Name                            Mr. Songkram Thongnophun.  
Thesis Advisor                Associate Professor Ittiphol Pan-ngam, Ph.D.  
Department                    Mechanical Engineering  
Academic Year                1981

#### ABSTRACT

This thesis is to design and construct a fatigue life testing rig for helicopter blade subject to bending load. The rig has two main parts, namely the fixed end for holding the root of the blade and loading end with mechanism attached to apply variable bending load. The two parts are firmly fixed on a common base. The loading mechanism includes an adjustable plate for varying bending load, a counter registering the number of cycles to failure augmented with automatic switch which will terminate the loading operation once the specimen fail.

The thesis also studies the theoretical derivation of the stresses and strains associated with the actual load application on the blade. The local bending moment, axial force, shear force and deflection at various sections along the blade are also calculated to provide basis for fatigue life prediction. Test on rotor blade is not carried out since no specimen is yet available. The theoretical predictions of fatigue life are offered for two types of helicopter operations, namely the hovering operation employing blade fabricated from aluminum alloy 1100-H12 and maximum forward speed operation employing blade fabricated from aluminum alloy 2024-T4. The predicted lifes are 58 hours and 1,250 hours respectively.

กิติกรรมประกาศ



ผู้เขียนขอขอบพระคุณ รศ. ดร. อินธิพงษ์ ปานงาน อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้  
กรุณาสละเวลา ให้ความรู้และคำแนะนำ ตลอดจนให้กำลังใจเป็นอย่างดีแก่ผู้เขียน จน  
ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ช่วยแนะนำสิ่งที่เป็น<sup>๑</sup>  
ประโยชน์แก่ผู้เขียน และขอขอบพระคุณพราหมณพากฯ อาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนผู้เขียนนา  
แต่เดต

ขอขอบพระคุณ รศ. ดร. ฤทธิ์ ศิลปบรรจง, น.อ. เมฆา ภนรสุค<sup>๒</sup>  
และ ร.อ. ดร. วีระ พลวัฒน์ ที่ได้ให้คำแนะนำบางส่วนของการอันเป็นประโยชน์แก่ผู้  
เขียน

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ M-Lab. ศูนย์วิจัยและพัฒนาทางหารทุกท่านที่ให้เก็บ  
คำแนะนำและความส่องประกายเป็นอย่างดี ทำให้การสร้างเครื่องทดสอบความถูกต้องสำเร็จตาม  
เป้าหมาย

ขอขอบพระคุณ อุณสาวิชิต ศิริรังคามานะ, อุณไกศล วีระพันธุ์บุญ และอุณ  
รัตน์ กล้ารน ที่ช่วยผลักดันและสนับสนุนผู้เขียนตลอดมา

ท้ายนี้ ผู้เขียนขอขอบพระคุณอาจารย์แผนกวิชาศึกกรรมเครื่องกลทุกท่าน  
บัณฑิตวิทยาลัย และ茱ฬังกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ช่วยให้ผลงานนี้สำเร็จลงได้

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .....	๔
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	๕
กิจกรรมประจำ .....	๗
รายการตารางประจำ .....	๙
รายการภาพประจำ .....	๑๐
สัญญาดักษณ์ .....	๑๑
 บทที่	
1. บทนำ .....	๑
2. ทฤษฎี .....	๔
3. รายลับ เอียดของเยลิกอปเตอร์และปีก .....	๒๖
4. การหาคำไม้เมเน็ตต์และระยะโถงของปีกเยลิกอปเตอร์ .....	๓๐
5. การประมาณอายุการใช้งานของปีกเยลิกอปเตอร์ฯ ขึ้นให้แรงดัน และแรงดึงในแนวแกนรวมกัน .....	๕๕
6. เครื่องทดสอบความล้ำของปีกเยลิกอปเตอร์ฯ ภายใต้แรงดัน .....	๖๔
7. การทดสอบความล้ำของปีกเยลิกอปเตอร์ .....	๗๖
8. ขอสรุปและขอเสนอแนะ .....	๗๙
 เอกสารอ้างอิง .....	๘๔
ภาคผนวก .....	๘๖
ประวัติผู้เขียน .....	๑๗๐

## รายการตารางประกอบ

ตารางที่	หน้า
1. แสดงผลการทดสอบโดยวิธีของ "โพรบิท" สำหรับเหล็กกล้า .....	20
2. แสดงผลการทดสอบที่ได้จากการทดสอบความล้าแบบ "พร็อต" .....	24
3. แสดงค่าของแรงยกและแรงหนืดศูนย์กลางของปีกแต่ละปล้อง .....	47
4. แสดงค่าไมเมนต์คัค $M_i$ , แรงคงในแนวแกน $N_i$ , แรงเนื่อน $V_i$ , และระยะโงง $y_i$ .....	51
ก. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Standardized variable. กับเบอร์เซ็นต์การอยู่รอดของชิ้นงาน .....	87
ข. แสดงรายละเอียดของเครื่องทดสอบความล้า .....	91
ค-1. แสดงค่าของแรงยกที่ $\psi = 90^\circ$ กับ $\psi = 270^\circ$ และแรงหนึ- ศูนย์กลางของปีกแต่ละปล้อง .....	154
ค-2. แสดงค่าไมเมนต์คัค, แรงคงในแนวแกน, แรงเนื่อน และระยะโงง ของปีกแต่ละปล้องที่ $\psi = 90^\circ$ .....	161
ค-3. แสดงค่าไมเมนต์คัค, แรงคงในแนวแกน, แรงเนื่อน และระยะโงง ของปีกแต่ละปล้องที่ $\psi = 270^\circ$ .....	163

## รายการรูปประกอบ

รูปที่

หน้า

1.	แสดงทิศทางของความเร็วอากาศ, แรงยก และแรงปะทะ ที่กระทำต่อปีกเครื่องบิน .....	4
2.	แสดงทิศทางของความเร็วอากาศ, แรงยก และแรงปะทะ ที่กระทำต่อปีกเฉลิมป์เตอร์ .....	5
3.	แสดงทิศทางของความเร็วอากาศในขณะที่เฉลิมป์เตอร์กำลังบินอยู่ ...	6
4.	แสดงทิศทางความเร็วของอากาศในแนวสัมผัสกับรоторและดึงจากกับ <sup>ก</sup> การหมุนของปีก .....	7
5.	แสดงระบบ Fully Articulated Rotor. ....	8
6.	แสดงระบบแกน Rectangular co-ordinate. ....	9
7.	แสดงขอบเขตทั้งสามของการเลี้ยวหายเนื่องจากความล้าของวัสดุ ....	11
8.	แสดงการผลิตของหุญฉีดความเสียหายเนื่องจากความล้า .....	14
9.	แสดงการรวมขอบเขตของการเลี้ยวหายเนื่องจากความล้า .....	14
10.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างชีกจำกัดความล้าของแรงดึงและแรงบิด ....	16
11.	แสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนความต้านความล้ากับชีกจำกัดความล้า ระหว่างแรงดึงกับแรงบิด .....	17
12.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเก็บสลับกับจำนวนรอบที่ชิ้นทดสอบ เสียหาย สำหรับเหล็กกล้า AISI 1040 .....	19
13.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเก็บสลับกับจำนวนรอบที่หัวไนชิ้นทดสอบ เสียหาย สำหรับ P เบอร์เซ็นต์ของชิ้นทดสอบที่ไม่เสียหาย .....	20
14.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเบอร์เซ็นต์ของชิ้นทดสอบที่ไม่เสียหาย กับความเก็บที่ชิ้นทดสอบได้รับ .....	21
15.	แสดงผลการทดสอบของวิธีการแบบขั้นบันได .....	22

## รูปที่

## หน้า

16.	แสดงผลการทดสอบแบบเพิ่มความเค็มสลับสำหรับชิ้นทดสอบ 1 ชิ้น ...	23
17.	แสดงผลการทดสอบความวิธีของ "พร็อต" .....	24
18.	แสดงส่วนประกอบของปีกเฉลี่ยคือปีกที่ประกอบเสร็จแล้ว ...	26
19.	แสดงขนาดและรูปร่างของปีกเฉลี่ยคือปีก ...	27
20.	แสดงรูปหน้าตัดของปีกเฉลี่ยคือปีก ...	27
21.	แสดงขนาดของ Rib (NACA 0015) .....	28
22.	แสดงลักษณะของปีกเฉลี่ยคือปีก เป็นแบบคานยื่น และหน้าตัดของ ปีกเฉลี่ยคือปีก ...	30
23.	แสดงการเปลี่ยนแปลงความถูกของปีกแต่ละปีล่อง ...	31
24.	แสดงการแตกแรงที่กระทำกับปีกปีล่องที่ 1. ในอยู่ในแนวตั้งมากและ ขนาดกับความถูกของปีล่องที่ 2. ....	32
25.	แสดง Free body diagram ของปีกปีล่องที่ 1. ....	34
26.	แสดง Free body diagram ของปีกปีล่องที่ 2. ....	34
27.	แสดงระยะโถงของปีก ณ จุดปลายของแต่ละปีล่อง เทียบกับแนวเดิน ของปีก .....	45
28.	แสดงการหาโนเมนต์แห่งความเรื่อยของพื้นที่หน้าตัดใด ๆ .....	46
29.	แสดงการพลอตໄโคะแกรมความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นสูงสุด กับความเค้นเฉลี่ย .....	57
30.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน $\sigma_f/\sigma_u$ กับจำนวนรอบที่ ชิ้นทดสอบเดียวย .....	58
31.	แสดงการสร้าง S-N Curve ของอุณหภูมิเนื้ยนผอม .....	59
32.	แสดงส่วนที่กว้างที่สุดของหน้าตัดปีกเฉลี่ยคือปีกที่ใช้ในการทดสอบ ประกอบของขนาด .....	61

33. แสดงขนาดของแผนผังมิเนียมที่ใช้ในการคิดค้าค้าประกอบความเห็น หนาแนน .....	62
34. แสดงการทำงานของ Scotch yoke .....	64
35. แสดงเครื่องทดสอบความล้ำเมื่อมีกล่องเก็บเสียงกรอบอยู่ .....	66
36. แสดงเครื่องทดสอบความล้ำเมื่อเอากล่องเก็บเสียงออก .....	67
37. แสดงส่วนยึดโคนปีก .....	68
38. แสดงถ่านห้าของส่วนโยกปลายปีก .....	69
39. แสดงถ่านบนของส่วนโยกปลายปีก .....	69
40. แสดงงานเยื่องศูนย์ .....	70
41. แสดงถ่านหลังของเครื่องทดสอบความล้ำ .....	71
42. แสดงสวิตช์ตัดการทำงานของเครื่องทดสอบ .....	72
43. แสดงการปรับงานเยื่องศูนย์ .....	72
44. แสดงหนัตต์ของโครงสร้างปีกเฉลิมปะเทอร์ เมื่อแก้ไขแล้ว .....	80
45. แสดงรูปถักตามยาวของปีกเฉลิมปะเทอร์ เมื่อแก้ไขแล้ว .....	80
46. แสดงภาพถ่านห้าของเครื่องทดสอบความล้ำของปีกเฉลิมปะเทอร์ ภายใต้แรงบิด .....	82
ก-1. แสดงผลการทดสอบความล้าแบบถานหมุนสำหรับมิเนียมผสม 2014 - T4 .....	87
ก-2. แสดงผลการทดสอบความล้าแบบถานหมุนสำหรับมิเนียมผสม 2014 - T6 .....	88
ก-3. แสดงผลการทดสอบความล้าแบบถานหมุนสำหรับมิเนียมผสม 2024 - T4 .....	88
ก-4. กราฟแสดงผลเนื่องจากขนาด .....	89

ก-5.	แสดงค่าตัวประกอบความเก็บหนาแน่นทางทฤษฎีของแผ่นโลหะที่มี รูเจาะตรงกลางภายใต้แรงดัน ..... 89
ก-6.	แผนภูมิแสดงความไวของรอยเจาะที่อยู่ภายใต้แรงดันกลับไปกลับมา และแรงดึงดักสัมบันธกันในแนวแกน ..... 90
ก-7.	แสดงค่าสัมประสิทธิ์แรงยก $C_1$ ของหน้าตัดปีกแบบต่าง ๆ ..... 90
ก.	แสดงภาพ Drawing ของเครื่องทดสอบความล้ำของปีก เยลิคอปเตอร์ภายใต้แรงดัน ..... 94
ก-1.	แสดงการผลิตค่าคงแปรความสัมพันธ์ระหว่างความเก็บสูงสุด กับความเก็บเฉลี่ย ..... 167
ก-2.	กราฟแสดงการหาอุปกรณ์ใช้งานโดยประมาณของปีกเยลิคอปเตอร์ . 168

## สัญญาณ

R	รัศมีที่ปลายปีกเฉลิมปเปอร์จากแกนหมุนของโรเตอร์
r	รัศมีใด ๆ ของปีกเฉลิมปเปอร์จากแกนหมุนของโรเตอร์
L	ความยาวของปีกเฉลิมปเปอร์
A	พื้นที่หน้าตัด
P	ความหนาแน่นของอากาศ
V	ความเร็วจริงของเฉลิมปเปอร์
$\Omega$	ความเร็วเชิงมุมของโรเตอร์
i	มุมเอียงของโรเตอร์
v	ความเร็วเหนี่ยวน้ำของอากาศ
$\mu$	อัตราส่วนของความเร็วอากาศที่ปลายปีก = $V \cos i / \Omega R$
$\lambda$	อัตราส่วนของความเร็วอากาศที่ผ่านปีก = $(V \sin i + v) / \Omega R$
$\psi$	มุมบอกร่องทางของปีกเฉลิมปเปอร์
$\alpha$	มุมปะทะของความเร็วลัพท์ของอากาศ
$C_l$	สัมประสิทธิ์ของแรงยก
$C_d$	สัมประสิทธิ์ของแรงปะทะ
$\beta$	มุมยกของปีกเฉลิมปเปอร์
$\gamma$	มุมปะทะของปีกเฉลิมปเปอร์
$\delta$	มุมหน้าตัดปีก
w	น้ำหนักของปีกเฉลิมปเปอร์ 1 ปีก
n	จำนวนปล้องของปีกเฉลิมปเปอร์
$\Theta$	มุมเปลี่ยนแปลงความลาดของปีกและปล้อง เที่ยงกับปล้องดังไป
y	ระยะโถงของปีกเฉลิมปเปอร์
6	ความเค้นปากิ

$\gamma$	ความเ肯เนื่อง
F	แรง
V	แรงเนื่อน
N	แรงดึงในแนวแกน
M	โมเมนต์คัก
I	โมเมนต์แห่งความเนื้อย
$\delta_a$	ความเคนสลับ
$\delta_m$	ความเคนเฉลี่ย
$\delta_{max.}$	ความเคนสูงสุด
$\delta_{min.}$	ความเคนต่ำสุด
$\delta_{ta.}$	ความเคนกึ่งสลับ
$\delta_{pc.}$	ความเคนกึ่งสลับวิกฤต
$\delta_u.$	ความต้านแรงดึง
$\delta_y$	ความต้านแรงดึงคราก
$\delta_n$	ชีกจำกัดความล้าของชิ้นทดสอบแบบความหมุน
$\delta'_n$	ชีกจำกัดความล้าของปีกเยลิกوبเปเตอร์
$\delta_f$	ความต้านความล้า
E	โมดูลัสแห่งความยืดหยุ่น
$k_a$	ตัวประกอบของผิวนานา
$k_b$	ตัวประกอบของขนาด
$k_c$	ตัวประกอบความเชื่อถือ
$k_d$	ตัวประกอบความเคนหนาแน่น
$K_f$	ค่าตัวประกอบความเ肯หนาแน่นจริง
$K_t$	ค่าตัวประกอบความเ肯หนาแน่นตามทฤษฎี
q	ค่าความไวของรอยเจาะ

- $U_T$  ความเร็วสมมุติที่ไม่มีหน่วยของอุบัติในแนววิวัฒนาการที่มีการหมุนของปีก
- $U_P$  ความเร็วสมมุติที่ไม่มีหน่วยของอุบัติในแนวด้านหลังด้านการหมุนของปีก
- $U_S$  ความเร็วสมมุติที่ไม่มีหน่วยของอุบัติในแนวแยกของปีก
- c ความยาวของร่องหน้าทั้งปีก, ระยะจากแนวร่องไปถึงจุดที่คันการห้าม
- ความเค้น