อากาศยานปีกหมุน

ROTARY WING

จัดทำโดย

ร.อ.ชัยภรณ์ โคตรเวียง

ตำแหน่ง ครู ผวชอ.กกศ.รร.จอ.ยศ.ทอ.

แผนกวิชาช่างอากาศ กองการศึกษา โรงเรียนจ่าอากาศ

กรมยุทธศึกษาทหารอากาศ

อากาศยานปีกหมุน

ROTARY WING

จัดทำโดย

ร.อ.ชัยภรณ์ โคตรเวียง

ตำแหน่ง ครู ผวชอ.กกศ.รร.จอ.ยศ.ทอ.

แผนกวิชาช่างอากาศ กองการศึกษา โรงเรียนจ่าอากาศ

กรมยุทธศึกษาทหารอากาศ

โรงเรียนจ่าอากาศ

กรมยุทธศึกษาทหารอากาศ

SCAN ME

PROFESSIONAL SKILLS

https://drive.google.com/file/d/1hmbvwqAWn8z-yfmmL3Rsvsf3GO6zAQMJ/view?usp=sharing

แผนกวิชาช่างอากาศ

กองการศึกษาโรงเรียนจ่าอากาศ

กรมยุทธศึกษาทหารอากาศ

กิตติกรรมประกาศ

ตำราวิชาอากาศยานปีกหมุน (ROTARY WING) เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความสนับสนุนจากผู้บังคับบัญชาโรงเรียนจ่าอากาศทุกลำดับชั้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง น.ท.ดร.สกุลรัตน์ ศรียันต์ รอง หก.กกศ.รร.จอ.ยศ.ทอ. ที่ปรึกษาการจัดทำที่ได้ให้ความเมตตาในการให้คำแนะนำปรึกษาชี้แนะแนวทางอย่างใส่ใจมาโดยตลอด ตลอดจนผู้เกี่ยวข้องและเพื่อนร่วมงานที่ได้กรุณาให้ความช่วยเหลือทั้งความรู้คำแนะนำ และที่สำคัญคือนักเรียนจ่าอากาศเหล่าทหารช่างอากาศที่มีส่วนช่วยกระตุ้นความปราถนามุ่งมั่นของผู้เรียบเรียงให้ทำตำราในครั้งนี้ จึงขอขอบคุณทุกท่านอย่างยิ่งไว้ ณ ที่นี้

การจัดทำตำราเล่มนี้จะไม่สามารถสำเร็จได้ถ้าไม่มีผู้เรียบเรียงตำราเฮลิคอปเตอร์ที่มีความรู้ความสามารถอย่าง น.อ.บรรเทิงจิต โคตรเวียง ที่ได้เขียนตำราเฮลิคอปเตอร์ (HELICOPTER) ของ กวก.ชอ.ไว้ให้เยาชนคนรุ่นหลัง รวมถึงผู้ที่ปฏิบัติงานได้ศึกษาหาความรู้เพื่อนำไปใช้ในการปฏิบัติงานและนำมาสู่การปรับปรุงเพิ่มเติมเป็นตำราวิชาอากาศยานปีกหมุน (ROTARY WING) ให้เป็นตำราที่มีความทันสมัยโดยใช้เทคโนโลยีเสริมเพิ่มเติมศักยภาพของตำราให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

สิ่งสำคัญที่ทำให้ตำราเล่มนี้มีความพิเศษคือ การนำเทคโนโลยีที่มีความทันสมัย รูปภาพและคลิปวีดีโอสื่อการสอนต่างๆ ที่ได้อ้างอิงแหล่งที่มาไว้ในบรรณานุกรม ทำให้ผู้ศึกษาตำราเล่มนี้เข้าใจได้ง่ายมากยิ่งขึ้นและถือเป็นคุณูปาการณ์อย่างมหาศาลต่อวงการศึกษาไทย ผู้เรียบเรียงจึงขอยกคุณงามความดีในสิ่งนี้ให้แก่ผู่ที่มีส่วนในการสร้างสรรค์เทคโนโลยี รูปภาพ และคลิปวิดีโอต่างๆ ที่ได้นำมาประยุกต์ใช้ไว้เป็นส่วนประกอบของตำราเล่มนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณบิดา มารดาผู้ให้กำเนิด และที่สำคัญคือการได้รับการสนับสนุนส่งเสริมช่วยเหลือและให้กำลังใจจากครอบครัวคือ ภรรยาของผู้เรียบเรียง ส่งผลให้ตำราเล่มนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ร.อ.ชัยภรณ์ โคตรเวียง

พฤษภาคม 2564

คำนำ

ตำราเรียนวิชาอากาศยานปีกหมุน (ROTARY WING) เล่มนี้จัดทำขึ้นเพื่อพัฒนาหรือปฏิวัติรูปแบบการเขียนตำราให้มีศักยภาพในการพัฒนาผู้เรียนให้มากยิ่งขึ้นควบคู่ไปกับพัฒนาการของเทคโนโลยีที่ก้าวไปอย่างไม่หยุดยั้ง อีกทั้งในยุคโลกาภิวัฒน์การติดต่อสื่อสารและการเคลื่อนย้ายประชากรเป็นไปได้อย่างรวดเร็วทั่วถึงทุกมุมโลก สิ่งที่ตามมาในการเคลื่อนย้ายประชากรนอกจากมีประโยชน์มากมายในการติดต่อค้าขายแลกเปลี่ยนเรียนรู้วัฒนธรรมแล้ว สิ่งที่เป็นผลเสียในทางลบก็มีเช่นกัน ดังเช่นการเกิดขึ้นของโรคอุบัติใหม่ เช่น โรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา ๒๐๑๙ (COVID-19) ที่เกิดขึ้นและแพร่กระจายไปอย่างรวดเร็วส่งผลกระทบต่อคนทั่วโลก การใช้ชีวิตรูปแบบใหม่ (NEW NORMAL) จึงได้เกิดขึ้นเพื่อลดการระบาดของโรคอุบัติใหม่ ซึ่งการเรียนการสอนจำเป็นต้องมีการปรับตัวในรูปแบบใหม่เพื่อให้ดำเนินต่อไปได้และต้องพัฒนาให้ดียิ่งขึ้นเช่นกัน

ผู้เรียบเรียงตำราได้ศึกษาวิเคราะห์และค้นคว้าทั้งจากตำราเรียน งานวิจัยต่างๆ สื่อโซเชียล และหาข้อมูลจากผู้มีความรู้ในด้านต่างๆ รวมทั้งในการนำนโยบายและยุทธศาสตร์กองทัพอากาศมาประมวลเข้าด้วยกัน จึงได้นำเทคโนโลยีคิวอาร์โค้ด (QR CODE) ร่วมกับแบบทดสอบออนไลน์ (GOOGLE FORM) มาประยุกต์ใช้ในการเรียบเรียงตำราเล่มดังกล่าว เนื่องจากมีความเหมาะสมกับสังคมในยุคปัจจุบัน ใช้ร่วมกับเทคโนโลยีสมัยใหม่ เช่น สมาร์ทโฟน (SMART PHONE) ได้ ส่งผลให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้ได้ไม่จำกัดเวลาและสถานที่ อีกทั้งความรู้ที่อยู่ในคิวอาร์โค้ดสามารถเป็นได้ทั้งเอกสาร รูปภาพ และวิดีโอที่จะช่วยเสริมสร้างให้ผู้เรียนเข้าใจมากยิ่งขึ้น และที่สำคัญคือจะลดความน่าเบื่อในการอ่านหนังสือในรูปแบบเดิมที่มีแต่ตัวอักษรและภาพนิ่ง ซึ่งคิวอาร์โค้ดจะทำให้ตำรามีชีวิตชีวาสร้างความกระตือรือร้นในการศึกษาค้นคว้าเรียนรู้มากยิ่งขึ้น

ท้ายนี้ผู้เรียบเรียงตำราขอขอบคุณผู้บังคับบัญชาทุกท่าน ผู้เกี่ยวข้อง ผู้เรียบเรียงตำราที่นำมาอ้างอิงปรับปรุงเพิ่มเติม และผู้จัดทำสื่อโซเชียลมีเดียต่างๆ ที่ได้จัดทำเอกสาร รูปภาพ และสื่อการเรียนรู้ในรูปแบบคลิปวิดีโอต่างที่ผู้เรียบเรียงนำมารวมเป็นองค์ประกอบไว้ในตำราเล่มนี้ ซึ่งผู้เรียบเรียงไม่มีเจตนาทำเพื่อการค้าในทางธุรกิจแต่อย่างใด แต่ทำไปเพื่อมุ่งหวังพัฒนาการศึกษาให้ก้าวหน้าเพื่อพัฒนาศักยภาพมนุษย์ให้ช่วยกันพัฒนาสังคมต่อไปให้จรรโลงน่าอยู่ยิ่งขึ้นไป

ร.อ.ชัยภรณ์ โคตรเวียง

พฤษภาคม 2564

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ ..... ง

คำนำ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

แบบทดสอบก่อนเรียนวิชาอากาศยานปีกหมุน (PRE - TEST) 14

บทที่ 1 ประวัติและการวิวัฒนาการของอากาศยานปีกหมุน (HISTORY & DEVELOPMENT OF ROTARY WING) 15

แบบทดสอบก่อนเรียนบทที่ 1 15

กล่าวโดยทั่วไป 15

ภารกิจเฮลิคอปเตอร์ 19

ประวัติและการวิวัฒนาการของเฮลิคอปเตอร์ 21

แบบทดสอบหลังเรียนบทที่ 1 27

บทที่ 2 โครงสร้างและส่วนประกอบของเฮลิคอปเตอร์ (HEICOPTER STRUCTURES & COMPONENTS) 28

แบบทดสอบก่อนเรียนบทที่ 2 28

กล่าวโดยทั่วไป 28

กงลำตัว (AIRFRAME) 29

ลำตัว (FUSELAGE) 30

โครงสร้างลำตัว (FUSELAGE CONSTRUCTION) 30

โครงสร้างลำตัวแบบ TRUSS TYPES. 30

โครงสร้างลำตัวแบบ MONOCOQUE TYPE 31

โครงสร้างแบบ MONOCOQUE TYPE 32

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

โครงสร้างแบบ SEMI-MONOCOQUE 33

เปรียบเทียบโครงสร้างแบบ TRUSS, MONOCOQUE และ SEMI - MONOCOQUE..... 34

ชุดฐาน (LANDING GEAR OR SKIDS) 35

แหล่งผลิตกำลังหรือเครื่องยนต์ (POWERPLANT) 36

เครื่องยนต์ลูกสูบ (RECIPROCATING ENGINE)..... 37

เครื่องยนต์ก๊าซเทอร์ไบน์ (TURBINE ENGINE)..... 37

แบบฝึกหัดระหว่างเรียน โครงสร้าง 2.1..... 39

หีบเฟืองทดใหญ่ (TRANSMISSION) 40

โครงสร้าง (CONSTRUCTION CASE)..... 42

เฟือง (GEAR) ภายใน MAIN TRANSMISSION..... 43

หลักการทำงานหีบเฟืองทดใหญ่ (TRANSMISSION) 44

ครัทช์และฟรีวิลลิ่งยูนิท (CLUTCH & FREE WHEELING UNIT)..... 46

การจัดแบ่งระบบหรือชนิดของคลัช (CLUTCH)..... 47

ความมุ่งหมายของคลัช 47

HYDRO – MECHANICAL CLUTCH 48

CENTRIFUGAL CLUTCH 49

MERCURY CLUTCH..... 49

SPRAG CLUTCH 50

ตัวตรวจจับเศษโลหะ (CHIP DETECTORS)..... 51

แบบฝึกหัดระหว่างเรียน โครงสร้าง 2.2..... 53

ระบบใบพัดหลัก (MAIN ROTOR SYSTEM)..... 54

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ชนิดของดุมใบพัดใหญ่ (TYPE OF MAIN ROTOR HUB) 55

RIGID TYPE 55

SEMI-RIGID TYPE 57

FULLY ARTICULATED TYPE 60

ชนิดของโรเตอร์ (TYPE OF ROTOR) 62

แบบทดสอบหลังเรียนบทที่ 2 65

บทที่ 3 ระบบบังคับการบินของเฮลิคอปเตอร์ (HELICOPTER FLIGHT CONTROL SYSTEM) 66

แบบทดสอบก่อนเรียนบทที่ 3 66

กล่าวโดยทั่วไป 66

ระบบบังคับการบินของเฮลิคอปเตอร์ 67

COLLECTIVE PITCH CONTROL SYSTEM 67

CYCLIC CONTROL SYSTEM 70

PEDALS or RUDDER or ANTI – TORQUE CONTROL SYSTEM 73

แบบทดสอบหลังเรียนบทที่ 3 76

บทที่ 4 แรงที่กระทำกับเฮลิคอปเตอร์ขณะบินในอากาศ (FORCES ACTING ON HELICOPTER IN FLIGHT) 77

แบบทดสอบก่อนเรียนบทที่ 4 77

กล่าวโดยทั่วไป 77

แรงฉุด (THRUST) 78

แรงยก (LIFT) 79

องค์ประกอบของแรงยก 81

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

แรงต้าน (DRAG) 94

แรงต้านเหนี่ยวนำ (INDUCE DRAG) 96

แรงโน้มถ่วงหรือน้ำหนักอากาศยาน (GRAVITY OR WEIGHT) 97

แรงที่กระทำกับโรเตอร์ (FORCES ACTING ON ROTOR) 97

ROTATIONAL FORCE 97

CENTRIFUGAL FORCE 98

TORQUE 100

CORIOLIS FORCE 101

CARIOLES EFFECT 101

แบบทดสอบหลังเรียนบทที่ 4 102

บทที่ 5 แพนอากาศ (AIRFOIL) 103

แบบทดสอบก่อนเรียนบทที่ 5 103

กล่าวโดยทั่วไป 103

รูปร่างของแพนอากาศ (SHAPE OF AIRFOIL) 104

แพนอากาศแบบ CONVEX – FLAT หรือแบบ GENERAL PURPOSE 104

แพนอากาศแบบ CONVEX-CONVEX, DOUBLE CONVEX / HIGH SPEED / SYMMETRICAL AIRFOIL 105

เหตุผลที่สนับสนุนในการนำแพนอากาศแบบ NACA 0012 มาใช้กับเฮลิคอปเตอร์ 106

แพนอากาศแบบ CONVEX-CONCAVE / HIGH LIFT 107

แบบฝึกหัดเรื่องแพนอากาศ (AIRFOIL) 108

แบบทดสอบหลังเรียนบทที่ 5 109

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 6 การไม่สมดุลของแรงยก (DISSYMMETRY OF LIFT) 110

แบบทดสอบก่อนเรียนบทที่ 6 110

กล่าวโดยทั่วไป 110

การไม่สมดุลของแรงยก (DISSYMMETRY OF LIFT) 111

การล่วงหล่น (STALL) 121

แบบฝึกหัดเรื่อง การเกิดการไม่สมดุลย์ของแรงยก (DISSYMMETRY OF LIFT) 127

แบบทดสอบหลังเรียนบทที่ 6 129

บทที่ 7 การส่ายตัวทางระนาบของกลีบใบพัด (HUNTING) 130

แบบทดสอบก่อนเรียนบทที่ 7 130

กล่าวโดยทั่วไป 130

การส่ายตัวทางระนาบของกลีบใบพัด (HUNTING) 131

CORIOLIS FORCE 133

CORIOLIS EFFECT 135

แบบฝึกหัดเรื่อง การส่ายตัวทางระนาบของกลีบใบพัด (HUNTING) 138

แบบทดสอบหลังเรียนบทที่ 7 140

บทที่ 8 การบินลอยตัวอยู่กับที่ (HOVERING) 141

แบบทดสอบก่อนเรียนบทที่ 8 141

กล่าวโดยทั่วไป 141

การบินลอยตัวอยู่กับที่ (HOVERING) 142

HOVERING IN GROUND EFFECT (IGE) 143

HOVERING OUT OF GROUND EFFECT (OGE) 143

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

GROUND EFFECT 144

GROUND CUSHION 145

แบบทดสอบหลังเรียนบทที่ 8 147

บทที่ 9 การร่อนลงโดยกระแสอากาศหมุนใบพัด (AUTOROTATION) 148

แบบทดสอบก่อนเรียนบทที่ 9 148

กล่าวโดยทั่วไป 148

ขั้นตอนการร่อนลงโดยกระแสอากาศหมุนใบพัด (AUTOROTATION PROCEDURES) ... 149

การแบ่งพื้นที่การขับหมุนของใบพัด (AUTOROTATION ROTOR DISC REGIONS) 153

แบบทดสอบหลังเรียนบทที่ 9 156

บทที่ 10 ปรากฏการด้านการบินของเฮลิคอปเตอร์ (HELICOPTER FLIGHT PHENOMENON) . 157

แบบทดสอบก่อนเรียนบทที่ 10 157

กล่าวโดยทั่วไป 157

BLADE STALL 158

TRANSLATING TENDENCY or DRIF 160

POWER SETTLING 162

DYNAMICS ROLLOVER 164

MAST BUMPING 170

GROUND RESONANCE 172

แบบทดสอบหลังเรียนบทที่ 10 177

บทที่ 11 การสั่นของเฮลิคอปเตอร์ (HELICOPTER VIBRATION) 178

แบบทดสอบก่อนเรียนบทที่ 11 178

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

กล่าวโดยทั่วไป 178

การสั่นผิดปกติ (ABNORMAL VIBRATION) 179

EXTREME LOW FREQUENCY VIBRATION 180

LOW FREQUENCY VIBRATION 181

MEDIUM FREQUENCY VIBRATION 183

HIGH FREQUENCY VIBRATION 184

แบบทดสอบหลังเรียนบทที่ 11 185

บทที่ 12 การตรวจสอบแนวทางเดินกลีบใบพัดเฮลิคอปเตอร์ (HELICOPTER ROTOR BLADE TRACKING) 186

แบบทดสอบก่อนเรียนบทที่ 12 186

กล่าวโดยทั่วไป 186

การตรวจสอบแนวทางเดินกลีบใบพัดใหญ่ (MAIN ROTOR BLADE TRACKING) 187

การตรวจสอบแนวทางเดินกลีบใบพัดแบบ FLAG AND POLE 187

การตรวจสอบแนวทางเดินกลีบใบพัดหาง (TAIL ROTOR TRACKING) 192

วิธีตรวจสอบแบบ MARKING METHOD PROCEDURES 193

แบบทดสอบหลังเรียนบทที่ 12 196

แบบทดสอบหลังเรียนวิชาอากาศยานปีกหมุน (POST - TEST) 197

ตัวอย่างข้อสอบใบอนุญาตนายช่างภาคพื้นดิน (AIRCRAFT MAINTENANCE LICENCE TEST; ROTARY WING) 198

รายการอ้างอิง 200

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก 212

ตำราศึกษาเพิ่มเติม 213

ประวัติย่อของผู้เรียบเรียง 215

แบบทดสอบก่อนเรียนวิชาอากาศยานปีกหมุน (PRE - TEST)

เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดกับตัวผู้เรียนหรือผู้อ่านตำรา ผู้เรียบเรียงจึงได้จัดทำแบบทดสอบก่อนเรียนให้ผู้เรียนหรือผู้อ่านได้ทดสอบความรู้ของตนเองก่อน ซึ่งจะสามารถวัดผลความรู้พื้นฐานของผู้เรียน รวมถึงเป็นการบอกให้ทราบขอบเขตของเนื้อหาบทเรียนไปในตัว อันจะเป็นการทำให้ผู้เรียนหรือผู้อ่านมุ่งหวังได้ว่าเมื่อได้ศึกษาหรืออ่านตำราวิชาอากาศยานปีกหมุนเล่มนี้จบแล้วจะทำให้ได้ความรู้เรื่องใดบ้าง หรือเรียกว่าเป็นการวางเป้าหมายไว้ล่วงหน้านั่นเอง

ขอให้ผู้ศึกษาหรืออ่านตำราเล่มนี้ทำด้วยความสามารถของตนเองอย่างเต็มที่ ถ้าท่านตั้งใจอ่านอย่างเต็มที่แล้ว แม้จะรู้สึกว่าเป็นข้อสอบที่ยาก แต่เมื่อท่านเข้าไปอ่านในตำราแล้วจะทำให้เข้าใจได้เป็นอย่างยิ่ง

ให้ผู้เรียนสแกนเข้าไปทำแบบฝึกหัดก่อนเรียนใน QR CODE PRE -TEST ด้านล่าง เพื่อทำแบบทดสอบก่อนเรียน จำนวน 50 ข้อ

หรือเข้าตามลิงก์ด้านล่าง

https://forms.gle/2WKiUXacJBUJ3D1J8

บทที่ 1
ประวัติและการวิวัฒนาการของอากาศยานปีกหมุน
(HISTORY & DEVELOPMENT OF ROTARY WING)

แบบทดสอบก่อนเรียนบทที่ 1

ให้ผู้เรียนสแกนเข้าไปทำแบบทดสอบก่อนเรียนใน **QR CODE PRE - TEST บทที่ 1** ด้านล่าง

SCAN ME
HISTORY & DEVELOPMRNT
OF ROTARY WING
PRE-TEST

หรือเข้าตามลิงก์ด้านล่าง

https://forms.gle/JNSeHCn66jVhA8T39

กล่าวโดยทั่วไป

อากาศยานปีกหมุน (ROTARY WING) เป็นคำมาจากภาษากรีก (GREEK) 2 พยางค์ ได้แก่ “HELIX” ซึ่งมีความหมายตรงกับภาษาอังกฤษว่า “SPIRAL” แปลว่า การหมุนตัวหรือหมุน ROTATING อีกพยางค์หนึ่ง คือ PTEROS ซึ่งมีความหมายตรงกับภาษาอังกฤษว่า “WING” แปลว่า ปีก เมื่อนำมารวมกันจึงมีความหมายว่า ROTATING WING หรือ ROTARY WING ซึ่งแปลว่า ปีกหมุน ดังนั้นเฮลิคอปเตอร์จึงเป็นอากาศยานประเภทปีกหมุน ซึ่งสามารถบินขึ้น – ลง ในแนวดิ่ง (VERTICAL FLIGHT) ได้ และมีชื่อเรียกได้หลายชื่อดังต่อไปนี้ คือ ROTARY WING, HELO, CHOPPER ตำราบางเล่มเรียกเฮลิคอปเตอร์ WHIRLY BIRD เป็นต้น

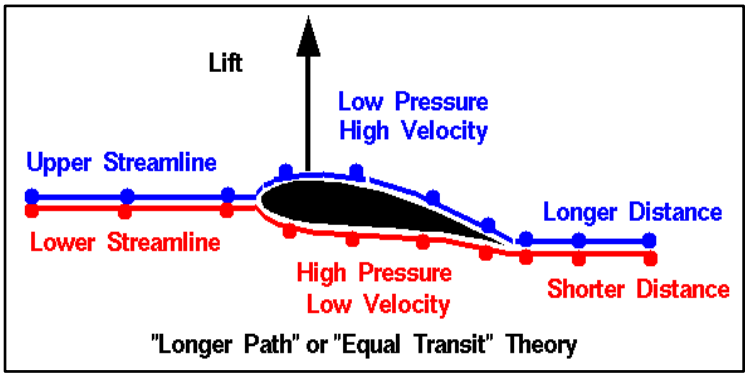
SCAN ME

HELICOPTER SCENES

BLACK HAWK

หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=O36FceRAUwE

เฮลิคอปเตอร์ลอยตัวและเคลื่อนที่ไปในอากาศได้อย่างไร เฮลิคอปเตอร์เป็นอากาศยานประเภทปีกหมุน (ROTARY WING) นั่นคือปีกซึ่งเป็นแพนอากาศ (AIRFOIL) จะติดตั้งอยู่กับชุดโรเตอร์ (ROTOR) เมื่อโรเตอร์ถูกขับหมุนจากหน่วยกำลัง (ENGINE) ผ่านระบบถ่ายทอดกำลัง (POWERTRAIN SYSTEM OR TRANSMISSION SYSTEM) ไปยังโรเตอร์หรือใบพัด (BLADES) ซึ่งเป็นแพนอากาศจะหมุนไปด้วยกับโรเตอร์ จึงทำให้อากาศไหลผ่าน และเกิดแรงยก (LIFT) ตามทฤษฎีของเบอร์นวลลี (BERNOULLI'S THEOREM) และนิวตันข้อสาม (NEWTON'S THIRD LAW)



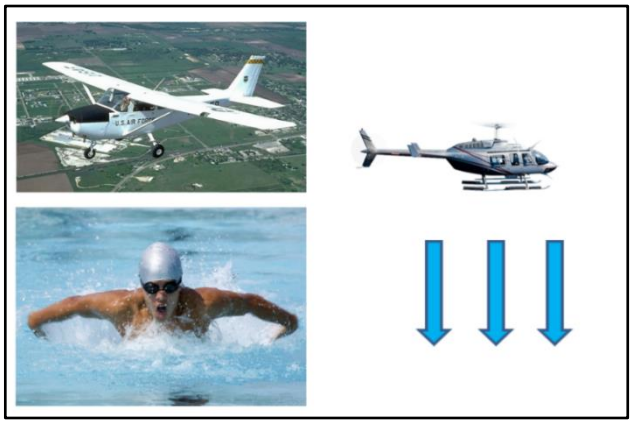
SCAN ME

BERNOULLI'S THEOREM

หมายเหตุ: จาก

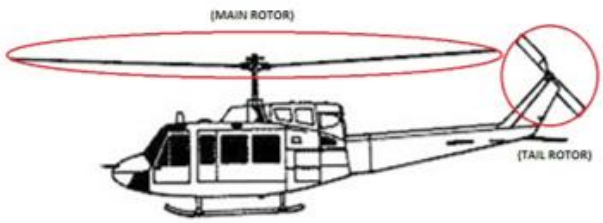
https://drive.google.com/file/d/1uqvtnR_kSM8nSfX7sAwd3b1h_pgVPvOd/view?usp=sharing

ซึ่งทำให้เฮลิคอปเตอร์สามารถบินลอยตัวขึ้นจากพื้นดินได้เรียกว่า VERTICAL FLIGHT ถ้าหากบังคับให้โรเตอร์เอียง (TILT) ไปทิศทางใดๆ จะทำให้มีแรงฉุด (THRUST) ให้เฮลิคอปเตอร์บินเคลื่อนที่ไปในทิศทางนั้นๆ ซึ่งเรียกว่า HORIZONTAL FLIGHT ดังนั้นโรเตอร์ของเฮลิคอปเตอร์ จึงเป็นตัวผลิตแรงยก (LIFT) และแรงฉุด (THRUST) ให้เฮลิคอปเตอร์ในขณะเดียวกัน



หมายเหตุ: จาก https://drive.google.com/file/d/12-hRSPtE-GaIfkxHYH_s_xr2fTza4JX3/view?usp=sharing

ในกรณีเฮลิคอปเตอร์ที่ติดตั้งโรเตอร์เดี่ยว (SINGLE ROTOR) คือติดตั้งโรเตอร์ใหญ่ (MAIN ROTOR) 1 ชุด และโรเตอร์หาง (TAIL ROTOR) โรเตอร์ใหญ่ (MAIN ROTOR) จะทำหน้าที่ผลิตแรงยก (LIFT) และแรงฉุด (THRUST) แต่โรเตอร์หาง (TAIL ROTOR) จะทำหน้าที่เป็นตัวต่อต้านแรงบิด (ANTI - TORQUE) ของโรเตอร์ใหญ่ (MAIN ROTOR) เพื่อจะเป็นการบังคับทิศทางการบิน (DIRECTIONAL FLIGHT) ให้กับเฮลิคอปเตอร์

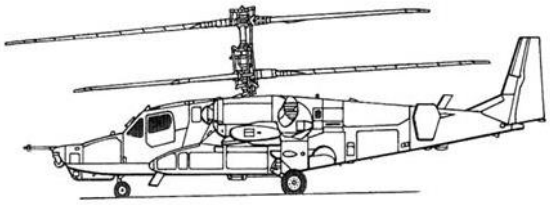


SINGLE ROTOR HELICOPTER

หมายเหตุ: จาก https://drive.google.com/file/d/1kDukXJw05teiGHVMaKocpiHDritX9Cfr/view?usp=sharing

ในกรณีเฮลิคอปเตอร์ติดตั้งโรเตอร์ใหญ่ 2 ชุด (TWO MAIN ROTOR) อาจจะติดตั้งเรียงกันทางซ้าย – ขวา เรียกว่า SIDE-BY-SIDE ROTOR หรือเรียงกันทางหน้า – หลัง เรียกว่า TANDEM ROTOR หรือเรียงกันในแนวดิ่ง บน – ล่าง เรียกว่า CO-AXIAL ROTOR โรเตอร์ทั้ง 2 ชุด จะหมุนสวนทางกัน เพื่อกำจัดแรงบิด (TORQUE) ซึ่งกันและกัน จึงไม่มีโรเตอร์หาง (TAIL ROTOR) เช่น เฮลิคอปเตอร์ SINGLE ROTOR แต่ขณะเลี้ยวหรือบังคับทิศทางการบิน (DIRECTIONAL FLIGHT) จะทำการเอียง (TILT) โรเตอร์ทั้งสอง เพื่อเป็นการทำงานประสานงานร่วมกันขณะทำการบิน

SIDE-BY-SIDE ROTOR

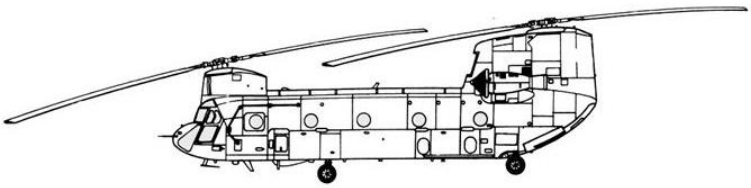


CO-AXIAL ROTOR

SCAN ME

TWO MAIN ROTOR

หมายเหตุ: จาก https://drive.google.com/file/d/1nt9Fp2Qiw7vUqxRlxs1aPk1zMmJnfng3/view?usp=sharing



TANDEM ROTOR

SCAN ME

CHINOOK

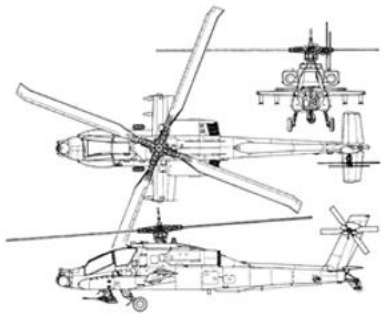
หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=VNXT8WLIrWc

ภารกิจเฮลิคอปเตอร์

เฮลิคอปเตอร์โดยทั่วๆ ไป จะสามารถทำภารกิจต่างๆ ได้ หลายอย่างทั้งทางกิจการทหารและพลเรือน ซึ่งมักจะเรียกว่าภารกิจเอนกประสงค์ (UTILITY) เช่น การขนส่ง (TRANSPORTATION) การค้นหาและช่วยเหลือผู้ประสบภัย (SEARCH AND RESCUE) การติดต่อสื่อสาร (LIAISON TYPE FLIGHT OPERATION) ลาดตระเวน (RECONNAISSANCE) โจมตี (ATTACK) ปฏิบัติทางจิตวิทยา (PHYCOLOGY: WARFARE) กิจการทางการเกษตร (AGRICULTURE MISSION)

เฮลิคอปเตอร์ที่มาจากสหรัฐอเมริกาจะมีตัวอักษรที่บ่งบอกถึงภาระกิจไว้ที่อักษรตัวแรกของเฮลิเตอร์แบบต่างๆ ดังตัวอย่าง เช่น

เฮลิคอปเตอร์แบบ AH-64 APACHE ตัวอักษรตัวแรก A หมายถึง GROUND ATTACK นั้นคือเฮลิคอปเตอร์ออกแบบมาในภาระกิจโจมตีภาคพื้นดิน

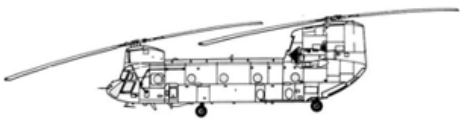


AH-64 APACHE

A - GROUND ATTACK

หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=jkH-VqFbcrc

เฮลิคอปเตอร์แบบ CH-47 CHINOOK ตัวอักษรตัวแรก C หมายถึง TRANSPORT, CARGO นั้นคือเฮลิคอปเตอร์ออกแบบมาในภาระกิจลำเลียงขนส่ง



CH-47 Chinook

C – TRANSPORT, CARGO

หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=gnEMXElcypY

เฮลิคอปเตอร์แบบ UH-1H HUE ตัวอักษรตัวแรก H หมายถึง UTILITY นั้นคือเฮลิคอปเตอร์ออกแบบมาในภาระกิจธุระการเอนกประสงค์

UH-1H HUE

U - UTILITY

SCAN ME

UH-1H

หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=ZfqkoA637d8

เพื่อทบทวนความเข้าใจให้มากยิ่งขึ้น ขอให้ผู้เรียนดูสรุปบทเรียนตาม QR CODE ด้านล่างก่อนที่ไปสู่บทเรียนต่อไป

SCAN ME

สรุป
ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับ
อากาศยานปีกหมุน

หมายเหตุ: จาก https://drive.google.com/file/d/1KvG5kMg8-Gn0yYGiaK0J0AgYYC9NwgBL/view?usp=sharing

ประวัติและการวิวัฒนาการของเฮลิคอปเตอร์

ในปี ค.ศ.1500 หรือศตวรรษที่ 15 ลีโอนาโดดาวินชี่ (LEONARDO DAVINCI) นักวิทยาศาสตร์ชาวอิตาลีเป็นผู้คิดค้นทฤษฎีการบินของเฮลิคอปเตอร์ได้สำเร็จ จนได้ชื่อว่าเป็นบิดาหรือผู้ให้กำเนิดเฮลิคอปเตอร์ (LEONARDO DAVINCI KNOW AS FATHER OF THE HELICOPTER EARLY AS THE FIFTEEN CENTURY)

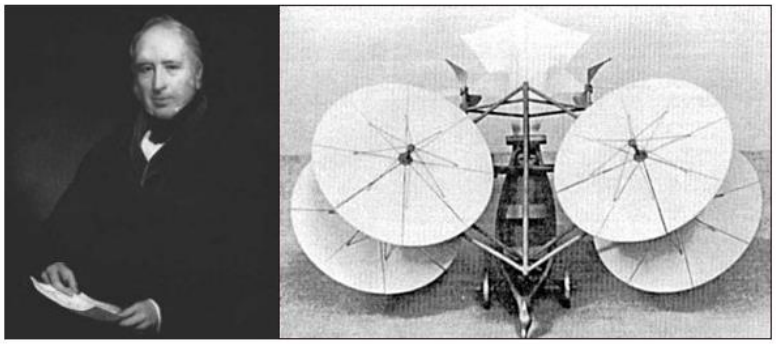
ลีโอนาโด ดาวินชี่
(LEONADO DAVINCE)

ออร์นิทอปเตอร์ (ORNITHOPTERS)

สกรูอากาศ (AIR SCREW)

หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=DQkw2NzCr5c

ในปี ค.ศ.1843 เซอร์ยอร์จเคลีย์ (SIR GEORGE CAYLEY) เป็นชาวอังกฤษ ได้สร้างแบบจำลองขึ้นมาแบบหนึ่งเรียกว่า AERIAL CARRIAGE มีลักษณะใบพัดสองข้างข้าละสองชุด เขาไม่ได้สร้างแบบจริงขึ้นมาเพราะพิจารณาแล้วว่าขณะนั้นมีเพียงเครื่องยนต์ไอน้ำซึ่งไม่มีกำลังไปขับหมุนใบพัดทำให้เกิดแรงยกได้



หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=k4gmt4U5NMw

ในปี ค.ศ.1907 พอล คอร์นิว (PAUL CORNU) ชาวฝรั่งเศสได้สร้างเฮลิคอปเตอร์ขนาดใหญ่ขึ้นมาและเขาเป็นบุคคลแรกที่ทำการบินทดสอบเฮลิคอปเตอร์ที่เขาสร้างขึ้นมาโดยมีบันทึกไว้ดังนี้

- บินลอยตัวสูงจากพื้นได้ 2 ฟุต
- เวลาบิน 20 วินาที

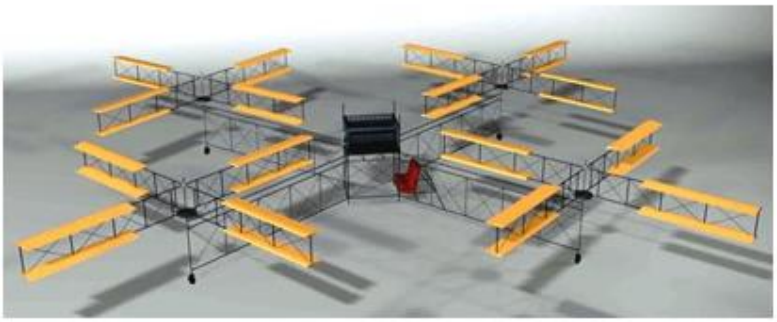
พอล คอร์นิว (PAUL CORNU)

SCAN ME

PAUL CORNU HELICOPTER

หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=PGoR8_xa-pg

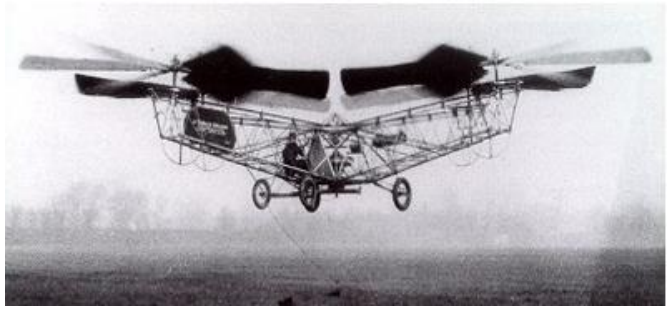
ในปี ค.ศ.1907 หลุยส์ เบรเกร์ (LOUIS BREQUET) ชาวฝรั่งเศสได้สร้างเฮลิคอปเตอร์ขนาดใหญ่มีชุดใบพัดใหญ่ 4 ชุด เขาเป็นนักบินที่บินทดสอบเฮลิคอปเตอร์ของเขาเองแต่ไปได้ไม่ไกลนักและสถิติไม่ได้บันทึกไว้



หมายเหตุ: จาก https://www.wikiwand.com/en/Louis_Charles_Breguet

ในปี ค.ศ.1920 - 1923 ดร.ยอร์จ ดีโบซาท (DR.GEORGE DEBOTHEZAT) ชาวอเมริกันได้สร้างเฮลิคอปเตอร์ขนาดใหญ่โดยติดตั้งชุดใบพัดใหญ่ 4 ชุดๆ ละ 6 กลีบใบพัด สามารถบินได้ตามบันทึกสถิติดังนี้

- บินได้นาน 1 นาที 30 วินาที
- ระยะทาง 300 ฟุต
- บรรทุกน้ำหนักได้ 1000 ปอนด์

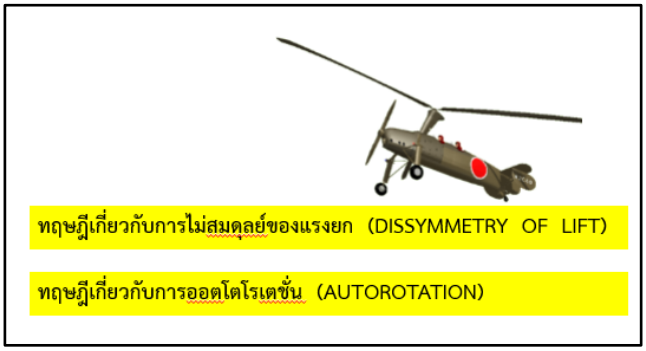


หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=v-dGvysalZM

ในปี ค.ศ.1923 จวน ดีลาเชียวาร์ (JUAN DELA CIERVA) ขาวเสปนได้สร้างออตโตไจโร (AUTO GYRO) ซึ่งมีลักษณะเป็นอากาศยานประเภทถึงเฮลิคอปเตอร์กึ่งเครื่องบินใบพัดธรรมดาแต่ไม่มีปีก แต่ใช้ชุดโรเตอร์ใหญ่ซึ่งติดตั้งกลับใบพัดเช่นเดียวกับเฮลิคอปเตอร์อยู่ตอนบนของลำตัวซึ่งทำหน้าที่ทำให้เกิดแรงยกแทนปีกอย่างเดียว ส่วนแรงฉุดซึ่งขับเคลื่อนไปข้างหน้าใช้ใบพัดเช่นเดียวกับเครื่องบินธรรมดา จวน ดีลาเชียวา ได้ทำการบินทดสอบ ออตโตไจโรของเขาด้วยตัวเอง จึงได้พบทฤษฎีสำคัญอยู่ของทฤษฎี ซึ่งเกี่ยวพันมาถึงเฮลิคอปเตอร์จนปัจจุบันนี้คือ

1. ทฤษฎีเกี่ยวกับการไม่สมดุลย์ของแรงยก (DISSYMMETRY OF LIFT)
2. ทฤษฎีเกี่ยวกับการออตโตโรเตชั่น (AUTOROTATION)

หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=gYzYsZbEc1s



หมายเหตุ: จาก https://drive.google.com/file/d/19K0vTYxu8P-aulAvroFOpHCnDCdJGObD/view?usp=sharing

ในปี ค.ศ.1920 - 1923 อีมิล และ เฮนรี่ เบอรี่เนอซ์ (EMIL & HENRY BURLINER) สองพี่น้องชาวอเมริกันได้ช่วยกันสร้างเฮลิคอปเตอร์ขึ้นมา 2 แบบ แบบแรกสร้างเฮลิคอปเตอร์ชนิดที่ติดตั้งชุดโรเตอร์ใหญ่ซ้อนกัน 2 ชุด และหมุนสวนกันเรียกว่า (CO-AXIAL ROTOR) สามารถบินลอยตัวสูงจากพื้นดินเพียง 4 ฟุต แบบที่สองได้สร้างเฮลิคอปเตอร์ชนิดที่ติดตั้งชุดโรเตอร์ใหญ่ข้างลำตัวข้างละ 1 ชุด และหมุนสวนกัน เรียกชุดโรเตอร์ชนิดนี้ว่า SIDE-BY-SIDE ROTOR สามารถบินลอยตัวได้ และบินได้ด้วยความเร็ว 40 ไมล์/ชั่วโมง

SCAN ME

EMIL & HENRY BURLINER

หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=i3uzfX7zHGE

ในปี ค.ศ.1937 ดร.เฮนริช โฟคคี(DR.HENNRICH FOCKE) ชาวเยอรมันได้สร้างเฮลิคอปเตอร์ขนาดใหญ่ขึ้นซึ่งเป็นเฮลิคอปเตอร์ที่ติดตั้งชุดโรเตอร์แบบ SIDE-BY-SIDE ROTOR (MODEL FW-61) และทำการบินทดสอบโดยนักบินหญิงตามบันทึกสถิติดังนี้

- บินได้ระยะทาง 143 ไมล์
- ระยะความสูง 11243 ฟุต
- ระยะเวลาบิน 1 ชั่วโมง 20 นาที
- ความเร็วในการบิน 76.151 ไมล์/ชั่วโมง

SCAN ME

FOCKE-WURF HELICOPTER

หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=59mxYc-xufk

ในปี ค.ศ.1909 - 1931 อีกอร์ ซิคอสสกีย์ (IGOR SIKORSKY) ชาวอเมริกันตามประวัติพ่อเป็นชาวรัสเซีย และเกิดที่เมืองเล็กๆ อยู่ในรัสเซีย ต่อมาพ่อย้ายมาทำธุรกิจอยู่ในอเมริกาเลยย้ายตามพ่อมาอยู่ที่อเมริกา และโตที่อเมริกาจนได้สัญชาติอเมริกา เนื่องจากมีนิสัยชอบเป็นผู้ประดิษฐ์สิ่งต่างๆ ตั้งแต่ยังเล็กเมื่อโตขึ้นจึงกลายเป็นวิศวกรผู้ยิ่งใหญ่คนหนึ่ง ในปี ค.ศ.1909 - 1931 ได้สร้างเฮลิคอปเตอร์ขนาดใหญ่ขึ้นติดตั้งโรเตอร์แบบโรเตอร์เดี่ยว โดยมีโรเตอร์ใหญ่หนึ่งชุดและโรเตอร์หาง 1 ชุด (MODEL S-1) และ VS – 300 ในช่วงปี 1942 เขาได้สร้างเฮลิคอปเตอร์ขึ้นอีกเครื่องหนึ่งคือ XR – 4 ซึ่งเขาเป็นคนบินทดสอบเองตามบันทึกสถิติดังนี้

- บินข้ามรัฐจาก คอนเนคติกัท ไปยัง โอไฮโอ ระยะทาง 761 ไมล์
- ใช้เวลาบิน 5 วัน
- ใช้ความเร็ว 60 ไมล์/ชั่วโมง
- ระยะสูง 1000 ฟุต
- เวลารวมทั้งหมด 16 ชม. 10 นาที

นับว่าเป็นสำเร็จที่ยิ่งใหญ่ของเขาซึ่งสามารถสร้างเฮลิคอปเตอร์ที่บินได้ไกลและสามารถใช้ในทางกิจการทางพลเรือนและทหารได้ จนต่อมาเขาได้สร้าง H-4 ขึ้นใช้ในเชิงพานิชและกิจการทางพลเรือนและทหารได้สำเร็จในปี 1947 และต่อจากนั้นก็ได้มีการวิวัฒนาการมาจนปัจจุบัน

SCAN ME

IGOR SIKORSKY

หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=ZrGqBDnDd8U

แบบทดสอบหลังเรียนบทที่ 1

ให้ผู้เรียนสแกนเข้าไปทำแบบทดสอบหลังเรียนใน **QR CODE POST - TEST บทที่ 1** ด้านล่าง

หรือเข้าตามลิงก์ด้านล่าง

https://forms.gle/YupdEMSBzZgyrSL46

หลังจากผู้เรียนได้ทำแบบทดสอบหลังเรียนแล้วให้ประเมินความเข้าใจของตนเองโดยการเปรียบเทียบผลการเรียนระหว่างก่อนเรียนกับหลังเรียน ถ้าผลคะแนนดีขึ้นแสดงว่าเข้าใจเป็นอย่างดี แต่ถ้าคะแนนไม่ดีไม่ได้หมายความว่าเราไม่มีความรู้ เพียงแต่ยังรู้ไม่ลึกซึ้งหรือไม่กระจ่างเท่านั้น ซึ่งสิ่งเหล่านี้สามารถชดเชยได้ด้วยความเพียรพยามและแรงบันดาลใจที่เราสร้างได้ด้วยตนเองเพื่อไปสู่เป้าหมายได้โดยเรียนรู้จากประสบการณ์และความล้มเหลว ดังคำกล่าวของ WINSTON CHURCHILL ที่ได้กล่าวไว้ว่า

“ความสำเร็จคือการก้าวเดินจากความล้มเหลวหนึ่งสู่อีกความล้มเหลวหนึ่ง โดยไม่สูญสิ้นซึ่งแรงศรัทธา”

บทที่ 2
โครงสร้างและส่วนประกอบของเฮลิคอปเตอร์
(HEICOPTER STRUCTURES & COMPONENTS)

แบบทดสอบก่อนเรียนบทที่ 2

ให้ผู้เรียนสแกนเข้าไปทำแบบทดสอบก่อนเรียนใน **QR CODE PRE - TEST บทที่ 2** ด้านล่าง

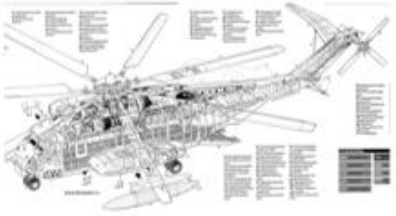
SCAN ME
STRUCTURE & COMPONENT
PRE-TEST

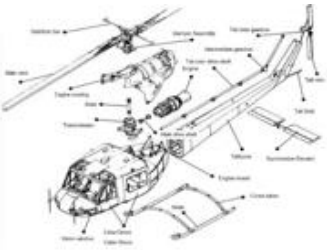
หรือเข้าตามลิงก์ด้านล่าง

https://forms.gle/Bm7o7iyAY1X3oTWA7

กล่าวโดยทั่วไป

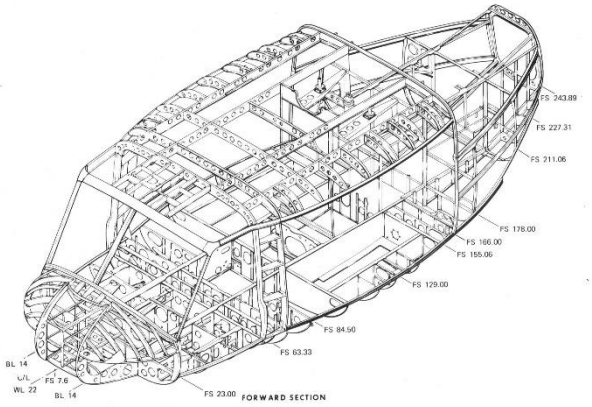
เฮลิคอปเตอร์แม้ออกแบบสร้างมามีรูปร่าง และขนาดที่แตกต่างกันออกไป แต่ส่วนมากจะมีอุปกรณ์หรือชิ้นส่วนหลักที่ทำหน้าที่เหมือนกัน ตัวอย่างเช่น มีใบพัดหลัก (MAIN ROTOR) ทำหน้าที่สร้างแรงยกและแรงฉุด มีใบพัดหาง (TAIL ROTOR) ทำหน้าที่แก้แรงบิดที่เกิดจากใบพัดหลักและบังคับทิศทาง มีชุดฐาน (LANDING GEAR) ทำหน้าที่รับน้ำหนักเมื่อจอดบนพื้นดิน มีเครื่องยนต์ (ENGINE) เป็นแหล่งผลิตแรงขับ เป็นต้น ส่วนอุปกรณ์เพิ่มเติมอื่นที่ติดตั้งมาขึ้นอยู่กับความต้องการใช้งานของผู้ใช้งาน หรือการแข่งขันด้านสมรรถนะเพื่อเพิ่มเพิ่มความได้เปรียบในทางการค้า หรือภารกิจที่ออกแบบมา ดังภาพตัวอย่างด้านล่าง

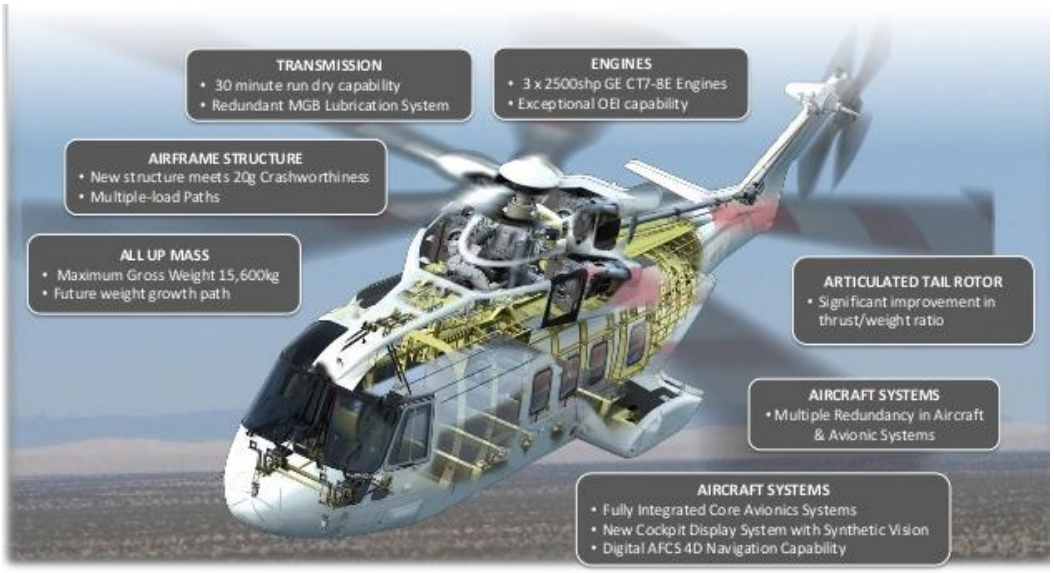




กงลำตัว (AIRFRAME)

กงลำตัว (AIRFRAME) เป็นโครงสร้างหลักของเฮลิคอปเตอร์ซึ่งออกแบบสร้างมาจากวัสดุที่แตกต่างอันออกไป เช่น เฮลิคอเตอร์ในอดีตอาจจะสร้างจากไม้ (WOOD) ต่อมาพัฒนาเป็นโลหะ (METAL) เช่น อลูมินัมอัลลอย (ALUMINUM ALLOY) และการพัฒนาทางด้านวิศกรรมปัจจุบันก็จะสร้างมาจากโลหะผสม (COMPOSITE MATERIALS) ซึ่งในอากาศยานหนึ่งเครื่องอาจจะต้องใช้วัสดุหลายอย่างสร้างขึ้นมาร่วมกัน





หมายเหตุ: จาก https://www.slideshare.net/webfinmeccanica/leonardo-aw101-nawsarh-the-superior-solutions

ลำตัว (FUSELAGE)

SCAN ME

FUSELAGE DESIGN

หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=H91BtpsSFVI

ลำตัวของเฮลิคอปเตอร์ก็ออกแบบมาเหมือนเครื่องบินโดยทั่วไป แต่ส่วนมากทั้งลำตัว (FUSELAGE) และชุดหาง (TAIL BOOM) ของเฮลิคอปเตอร์จะเป็นออกแบบมาเป็นโครงสร้างแบบ TRUSS-TYPE กับแบบ SEMI – MONOCOQUE TYPE

โครงสร้างลำตัว (FUSELAGE CONSTRUCTION)

โครงสร้างลำตัว (FUSELAGE CONSTRUCTION) ของเฮลิคอปเตอร์โดยทั่วไปจะแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1) TRUSS TYPE.

2) MONOCOQUE TYPES. แบ่งได้อีก 2 แบบ คือ

2.1. MONOCOQUE

2.2. SEMI - MONOCOQUE

โครงสร้างลำตัวแบบ TRUSS TYPES.

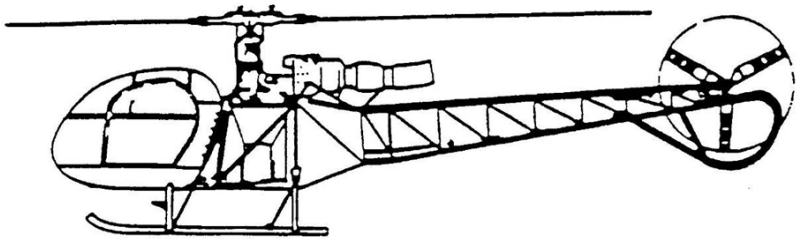
TRUSS CONSTRUCTION

หมายเหตุ: จาก https://aviamech.blogspot.com/2011/02/airframe-construction-helicopters.html

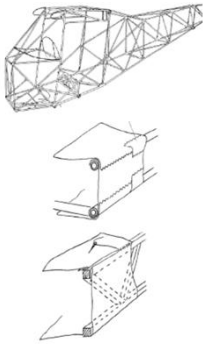
โครงสร้างแบบ TRUSS TYPE จะมีชิ้นส่วนที่ประกอบกันขึ้นจากการโยงยึดของชิ้นส่วนหลายๆชิ้นที่ถ่ายทอดแรงโดยการโยงยึดหรือค้ำยัน เพื่อป้องรับแรง (FORCES) หรือรับภาระกรรมต่างๆ (LOAD)

ดังนั้นโครงสร้างแบบนี้จึงมีการออกมาเพื่อรับแรงจากภายในชิ้นส่วนที่โยงยึดกัน จึงไม่มีความจำเป็นที่ต้องสร้างผิวบุลำตัว (SKIN) เพื่อมารับแรง ดังจะเห็นได้จากอากาศยานในสมัยโบราณจะใช้ผ้า (FABRIC) เป็นผิวบุลำตัวซึ่งไม่ต้องรับแรง (FORCES) หรือรับภาระกรรมต่างๆ (LOAD) แต่เพื่อให้อากาศไหลตามหลักอากาศพลศาสตร์

ส่วนมากเราจะเห็นโครงสร้างแบบ TRUSS TYPE ในเฮลิคอปเตอร์รุ่นแรกๆ หรือในปัจจุบันจะยังใช้ในเฮลิคอปเตอร์ที่มีขนาดเล็ก



TRUSS CONSTRUCTION



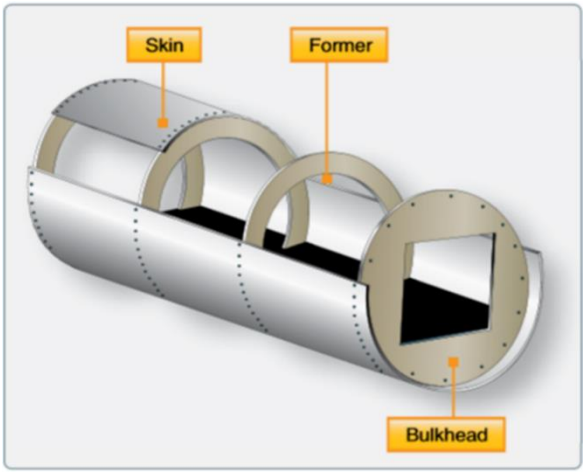
โครงสร้างลำตัวแบบ MONOCOQUE TYPE

โครงสร้างลำตัวแบบ MONOCOQUE TYPE หรือบางครั้งเรียกว่า SINGLE SHELL เป็นโครงสร้างที่ออกแบบมาให้พื้นผิวภายนอก (SKIN OR COVERING) เป็นตัวรับรับแรง (FORCES) หรือรับภาระกรรมต่างๆ (LOAD) เหมือนหอยที่มีเปลือกภายนอกเป็นตัวรับแรงนั้นเอง

2.1. โครงสร้างแบบ MONOCOQUE

2.2. โครงสร้างแบบ SEMI - MONOCOQUE

โครงสร้างแบบ MONOCOQUE TYPE



หมายเหตุ: จาก https://www.aircraftsystemstech.com/p/fixed-wing-aircraft-fuselage-fuselage.html

โครงสร้างแบบ MONOCOQUE TYPE จะมี 3 ส่วนประกอบหลัก คือ

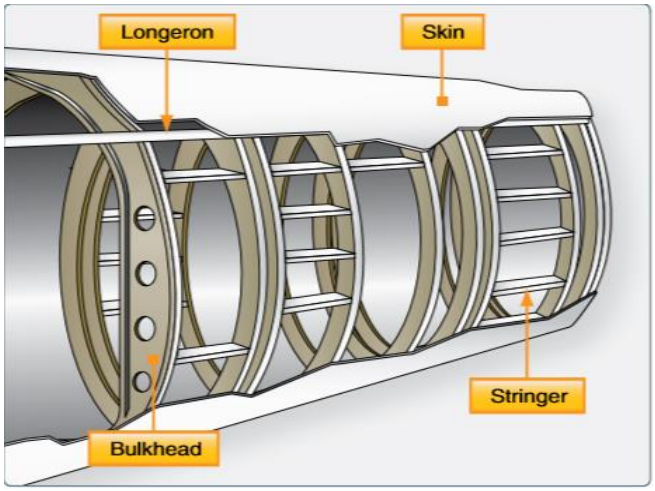
1. BULKHEAD เป้นโครงสร้างกงลำตัวซึ่งแข็งแรง ใหญ่และหนักขึ้นรูปประกอบจากชิ้นย่อย มักเป็นอยู่ตามรอยต่อของตำตัว ใช้รับแรงถ่ายทอดจากลำตัวอีกท่อนหนึ่ง

2. FORMER เป็นกงลำตัวขนาดเบา ขึ้นรูปติดต่อเป็นชิ้นเดียวกัน โดยมากใช้เป็นกงสำหรับแซมระหว่างกงใหญ่

3. SKIN เป็นผิวหรือแผ่นบุลำตัวภายนอก ทำหน้าที่รับแรง SHEAR STRESS ถ่ายทอดการเกิด TORSION และ BENDING ของโครงสร้างในลักษณะของ SHEAR FLOW

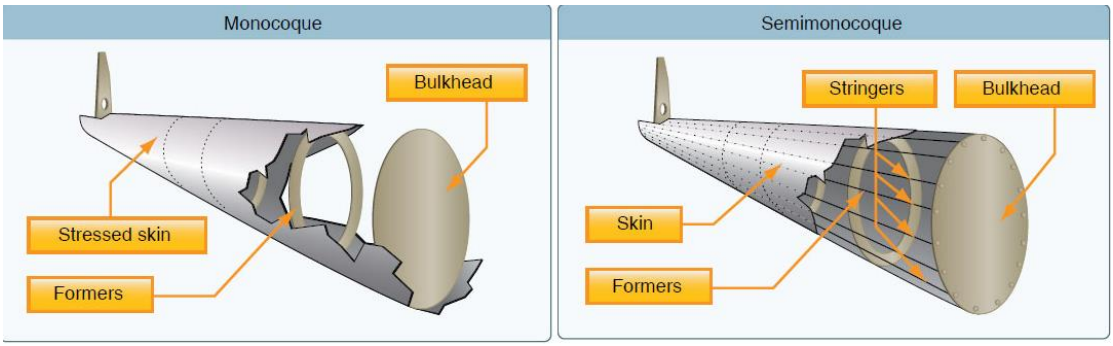
เนื่องจากโครงสร้างแบบ MONOCOQUE TYPE ไม่มีชิ้นส่วนอื่นที่ใช้ในการค้ำยันหรือโยงยึดอย่างอื่น จะใช้ผิวหรือแผ่นบุลำตัวภายนอก (SKIN) รับแรงเป็นหลัก ดังนั้นปัญหาใหญ่ของโครงสร้างแบบนี้คือ น้ำหนัก (WEIGHT) กับ ความแข็งแรง (STRENGTH) หมายถึง ถ้าต้องการให้โครงสร้างแข็งแรงก็ต้องทำให้ผิวหรือแผ่นบุลำตัวภายนอก (SKIN) มีความหนามากขึ้น สิ่งที่ตามมาคือน้ำหนัก (WEIGHT) เพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นสิ่งไม่พึงประสงค์ของการสร้างอากาศยาน

โครงสร้างแบบ SEMI-MONOCOQUE



หมายเหตุ: จาก https://www.aircraftsystemstech.com/p/fixed-wing-aircraft-fuselage-fuselage.html

เพื่อแก้ปัญหาเรื่องน้ำหนัก (WEIGHT) กับ ความแข็งแรง (STRENGTH) ของโครงสร้างแบบ MONOCOQUE TYPE จึงได้มีพัฒนามาเป็นโครงสร้างแบบ โครงสร้างแบบ SEMI – MONOCOQUE ดังภาพด้านล่าง



หมายเหตุ: จาก https://www.flightliteracy.com/types-of-aircraft-construction-part-one/

โครงสร้างแบบ SEMI – MONOCOQUE จะมีโครงสร้างเหมือนกับโครงสร้างแบบ MONOCOQUE คือจะมี BULKHEAD, FORMER, SKIN แต่จะมีส่วนประกอบเพิ่มขึ้นมาอีก 2 อย่าง ได้แก่ ระแนงย่อย (STRINGERS) กับ ระแนงใหญ่ (LONGERONS)

1. กงลำตัวหลัก (BULKHEAD) เป้นโครงสร้างกงลำตัวซึ่งแข็งแรง ใหญ่และหนักขึ้นรูปประกอบจากชิ้นย่อย มักเป็นอยู่ตามรอยต่อของตำตัว ใช้รับแรงถ่ายทอดจากลำตัวอีกท่อนหนึ่ง

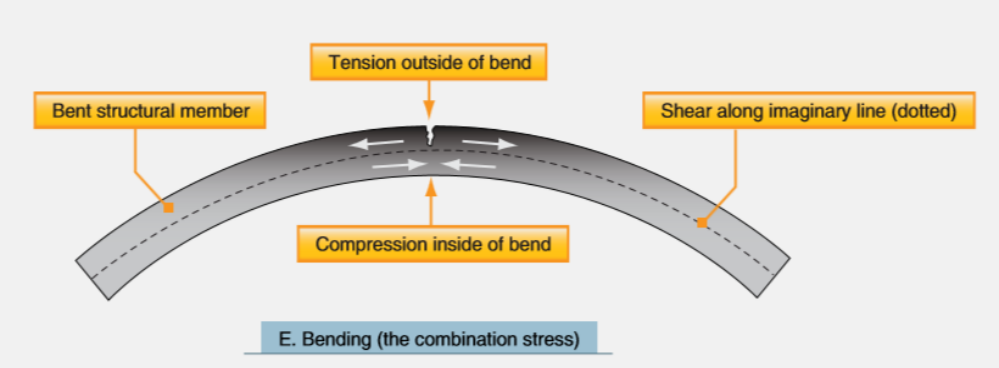
2. กงลำตัวย่อย (FORMER) เป็นกงลำตัวขนาดเบา ขึ้นรูปติดต่อเป็นชิ้นเดียวกัน โดยมากใช้เป็นกงสำหรับแซมระหว่างกงใหญ่

3. ผิวหรือแผ่นบุลำตัวภายนอก (SKIN) ทำหน้าที่รับแรง SHEAR STRESS ถ่ายทอดการเกิด TORSION และ BENDING ของโครงสร้างในลักษณะของ SHEAR FLOW

4. ระแนงใหญ่ (LONGERONS) เป็นระแนงยาวตามแนวลำตัวเพื่อรับภาระกรรมการดัดงอ (BENDING LOAD)

5. ระแนงย่อย (STRINGERS) จะแทรกอยู่ตามระแนงใหญ่ (LONGERONS) มีน้ำหนักเบาและสั้น แต่จะมีจำนวนมากกว่าระแนงใหญ่ (LONGERONS) เพื่อขึ้นให้เป็นรูปร่าง และเป็นที่ยึดสลักย้ำของผิวหรือแผ่นบุลำตัวภายนอก (SKIN)

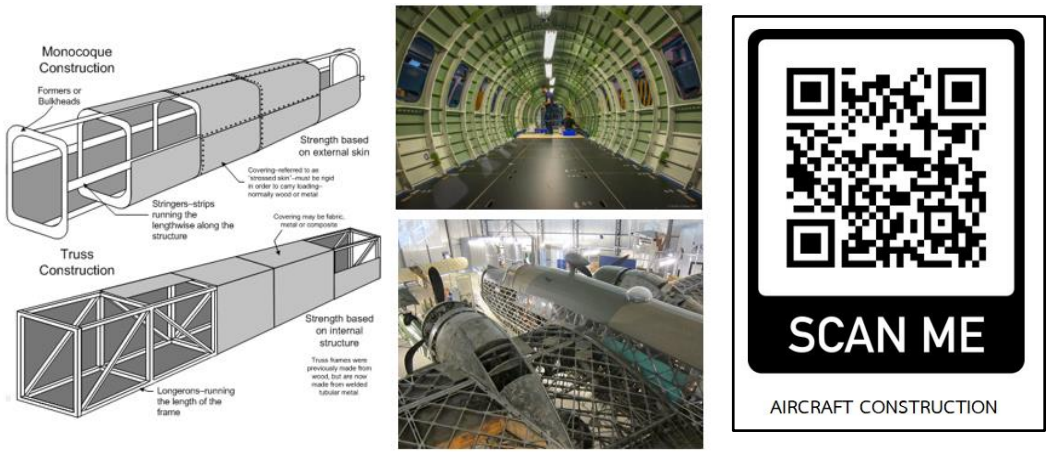
ทั้งระแนงย่อย (STRINGERS) และระแนงใหญ่ (LONGERONS) มีหน้าที่รับรับภาระกรรมการดัดงอ (BENDING LOAD)



หมายเหตุ: จาก https://www.aircraftsystemstech.com/p/major-structural-stresses.html

เปรียบเทียบโครงสร้างแบบ TRUSS, MONOCOQUE และ SEMI - MONOCOQUE

ถ้าเปรียบเทียบโครงสร้างของแต่ละแบบแล้วจะเห็นได้ว่า โครงสร้างแบบ TRUSS จะเป็นโครงสร้างที่ใช้ชิ้นส่วนมาก มีน้ำหนักมาก ทำให้พื้นที่ใช้งานในอากาศยานน้อยลง ส่วนแบบ MONOCOQUE แม้จะพัฒนาให้มีความได้เปรียบมากกว่าจะมีปัญหาเรื่องน้ำหนักกับความแข็งแรง และนำไปสู่การพัฒนาเป็นโครงสร้างแบบ SEMI – MONOCOQUE ที่ใช้งานเป็นส่วนมากกับเครื่องบินปีกตึง (FIXED WING) และอากาศยานปีกหมุน (ROTARY WING) ในยุคปัจจุบัน

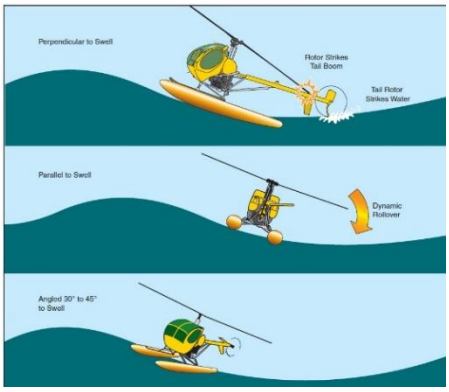


หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=H91BtpsSFVI

ชุดฐาน (LANDING GEAR OR SKIDS)

ชุดฐานของเฮลิคอปเตอร์มีหน้าที่รับน้ำหนักขณะที่จอดอยู่บนพื้นดินจะมีทั้งแบบ สกีร์ (SKIDS) แบบฐานล้อ (WHEELS) บางแบบอาจเป็นฐานล้อแบบพับเก็บได้ (RETRACTABLE) และบางชนิดอาจเป็นชุดฐานแบบทุ่นลอย (FLOAT)

ชุดฐานแบบทุ่นลอย (FLOAT) จะใช้ขณะที่ลงจอดบนพื้นน้ำ แต่จะมีข้อเสียคือการทรงตัวไม่คงที่ของเฮลิคอปเตอร์ขณะเกิดคลื่นซัดสาดจะทำให้เกิดการโยกตัวไปมาของเฮลิคอปเตอร์ ซึ่งจะนำไปสู่การสั่นอย่างรุนแรงเนื่องจากมุมการเคลื่อนที่ของใบพัดไม่ได้ดุลทำให้เกิดการโค่นของเฮลิคอปเตอร์ลงสู่พื้นน้ำได้ ดังนั้นชุดฐานแบบทุ่นลอยส่วนมากมักจะติดตั้งไว้ใช้ในกรณีที่ต้องลงจอดบนน้ำฉุกเฉิน เพื่อให้เฮลิคอปเตอร์ประลอยตัวทำให้ผู้โดยสายอพยพออกจากเฮลิคอปเตอร์ได้



หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=7g-rFwJwtiw

แหล่งผลิตกำลังหรือเครื่องยนต์ (POWERPLANT)

เครื่องยนต์ที่ใช้กับเฮลิคอปเตอร์ส่วนมากมีอยู่ 2 ชนิด ได้แก่ เครื่องยนต์ลูกสูบ (RECIPROCATING ENGINE) และเครื่องยนต์ก๊าซเทอร์ไบน์ (TURBINE ENGINE)

หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=uVjStAxMFEY&t=4s

เครื่องยนต์ลูกสูบ (RECIPROCATING ENGINE)

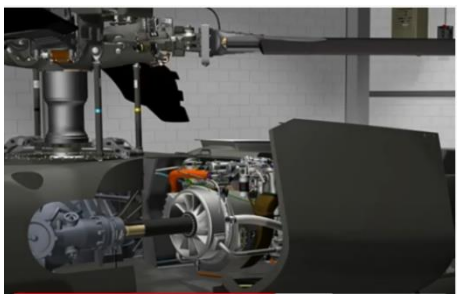
เครื่องยนต์ลูกสูบ (RECIPROCATING ENGINE) ปกติจะใช้กับเฮลิคอปเตอร์ขนาดเล็ก ส่วนมากเฮลิคอปเตอร์ขนาดเล็กที่ใช้ในการฝึกบินมักจะใช้เครื่องยนต์ลูกสูป เพราะใช้งานง่ายไม่ซับซ้อน และมีค่าใช้จ่ายไม่สูงมาก

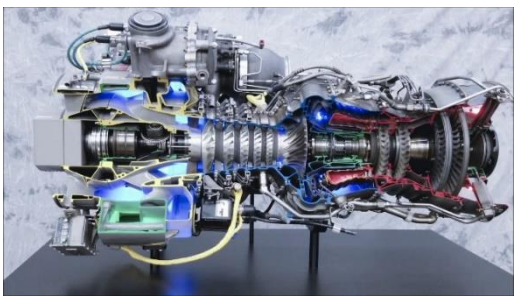
SCAN ME
HELICOPTER PISTON ENGINE

หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=7b-4tOVK2g8

เครื่องยนต์ก๊าซเทอร์ไบน์ (TURBINE ENGINE)

เครื่องยนต์ก๊าซเทอร์ไบน์ (TURBINE ENGINE) จะผลิตกำลังงานได้มาก และปัจจุบันนิยมใช้กับเฮลิคอปเตอร์อย่างกว้างขวาง เมื่อเทียบอัตราส่วนระหว่างขนาด (SIZE) กับกำลัง (POWER) แล้วเครื่องยนต์ก๊าซเทอร์ไบน์จะให้กำลังมากกว่า แต่มีข้อเสียคือค่าใช้จ่ายมีราคาแพง (EXPENSIVE)



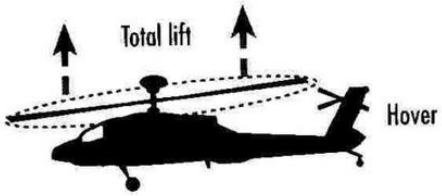


SCAN ME
TURBOSHAFT ENGINE

หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=j5IsrgZq9Mw

เครื่องยนต์ก๊าซเทอร์ไบน์ (TURBINE ENGINE) ที่ใช้กับเฮลิคอปเตอร์มีหลักการใช้งานแตกต่างไปจากเครื่องบินทั่วไป (AIRPLANE) ซึ่งโดยปกติจะใช้กระแสก๊าซร้อน (EXHAUST GAS) ที่ถูกขับออกมาทางท่อท้าย จะใช้ในการผลักให้เครื่องบินเครื่อนที่ไปข้างหน้า (FORWARD MOTION) แต่สำหรับเฮลิคอปเตอร์ไม่ใช้หลักการดังกล่าว

สำหรับเฮลิคอปเตอร์กระแสก๊าซร้อน (EXHAUST GAS) ของเครื่องยนต์ จะใช้ในการขับหมุนชุดเทอร์ไบน์ (TURBINE WHEELS) เพื่อส่งกำลังไปชุดหมุนชุดใบพัด (ROTOR) เพื่อสร้างแรงยก (LIFT) และแรงฉุด (THRUST) โดยผ่านชุดถ่ายทอดกำลัง (POWER TRAIN) อีกต่อหนึ่ง ซึ่งจะได้กล่าวในเรื่องต่อไป



หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=H747DL_q-I8

สำหรับเหตุผลในการออกแบบดังกล่าวเนื่องจากเฮลิคอปเตอร์ถูกออกแบบมาให้มีความยืดหยุ่นในการปฏิบัติภารกิจ (FLEXIBILITY) สามารถบินลอยตัวไปได้ทุกทิศทางโดยไม่จำเป็นต้องบินไปด้านหน้าเหมือนเครื่องบินโดยทั่วไป สามารถบินลอยตัวนิ่งๆ ในพื้นที่จำกัดได้ (RESTRICT AREA) หรือบินถอยหลังได้ (BACKWARD MOTION) ซึ่งถ้าเครื่องยนต์ช่วยผลักให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้าก็จำให้ข้อเด่นของของเฮลิคอปเตอร์เหล่านี้ด้อยประสิทธิภาพลงไป และอาจเป็นอันตรายต่อท่าทางการบินบางแบบหรือการลงจอดในพื้นที่จำกัดได้

SCAN ME

HOVERING RESTRICK AREA

หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=JzDtpQb4nqc

แบบฝึกหัดระหว่างเรียน โครงสร้าง 2.1

หลังจากที่ได้ศึกษาเรื่องโครงสร้างลำตัว (FUSELAGE CONSTRUCTION) ชุดฐาน (LANDING GEARS) และแหล่งกำเนิดพลังงาน (POWERPLANTS) หรือเครื่องยนต์ (ENGINE) มาแล้ว ก่อนที่จะไปศึกษาเรื่องต่อไป ให้ลองทดสอบความรู้ในเรื่องที่เรียนผ่านมาตาม QR CODE แบบฝึกหัด 2.1 ด้านล่าง ถ้าประเมินตนเองแล้วได้คะแนนเป็นที่น่าพอใจ แสดงว่าเข้าใจเป็นอย่างดี แต่ถ้าไม่พอใจในผลคะแนนสามารถย้อนกลับไปทบทวนดูใหม่แล้วทดสอบอีกครั้ง ดังคำสุภาษิตที่ว่า “ความพยายามอยู่ที่ไหน ความสำเร็จอยู่ที่นั่น”

SCAN ME

แบบฝึกหัดโครงสร้าง 2.1

หรือเข้าตามลิงก์ด้านล่าง

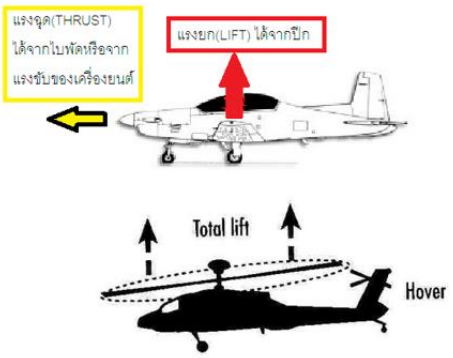
https://forms.gle/ptx17YQZ5w9DNpTY7

หีบเฟืองทดใหญ่ (TRANSMISSION)

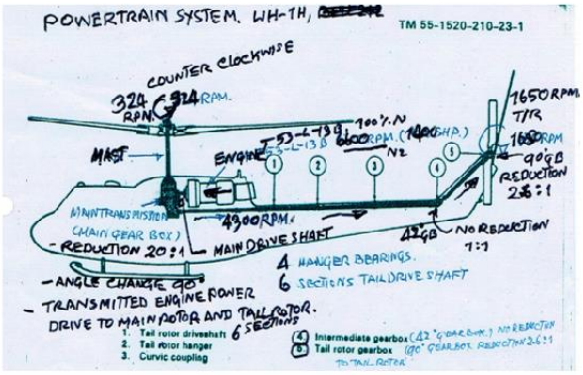
หีบเฟืองทดใหญ่ (MAIN GEAR BOX OR MAIN TRANSMISSION) ทำหน้าที่หลัก 2 ประการ ดังนี้

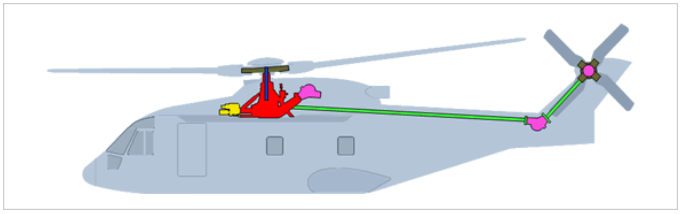
1. เปลี่ยนมุมการขับหมุนจากหน่วยกำลังหรือเครื่องยนต์ไปยังระบบโรเตอร์
2. ทดรอบการขับหมุนจากหน่วยกำลังหรือเครื่องยนต์ไปยังระบบโรเตอร์

เปลี่ยนมุมการขับหมุน



ทดรอบ

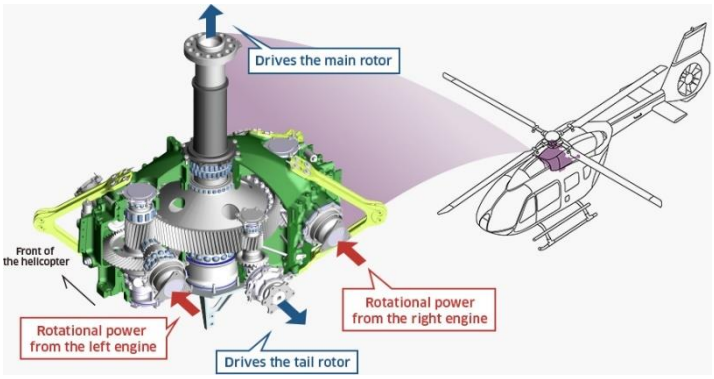




หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=n7U8bqc58n0

หีบเฟืองทดใหญ่ (MAIN GEAR BOX OR MAIN TRANSMISSION) จะถ่ายทอดการขับหมุนจากเครื่องยนต์ (ENGINE) ไปยังชุดใบพัดหลัก (MAIN ROTOR) ชุดใบพัดหาง (TAIL ROTOR) และบริภัณฑ์ต่างๆ (ACCESSORY) เช่น เครื่องกำเนิดไฟ (GENERATOR) สูบหล่อลื่อน (OIL PUMP) สูบไฮดรอลิกส์ (HYDRAULIC PUMP) เป็นต้น

หีบเฟืองทดใหญ่ (MAIN GEAR BOX OR MAIN TRANSMISSION) จะติดตั้งอุปกรณ์มีชื่อเรียกว่า CLUTCH และ FREEWHEELING UNIT ทำหน้าที่ในการตัดการเชื่อมต่อของเครื่องยนต์ (ENGINE) ออกไปโดยอัตโนมัติเมื่อเครื่องยนต์ขัดข้อง ซึ่งจะได้กล่าวในเรื่องต่อไป

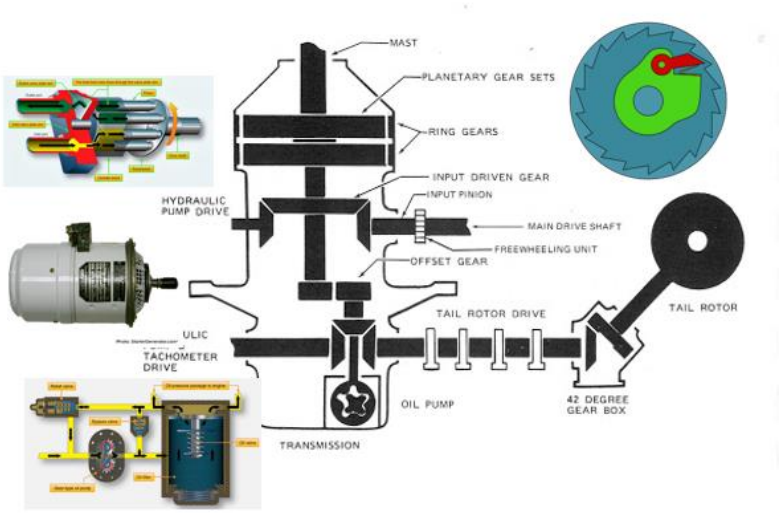


SCAN ME
Gearbox

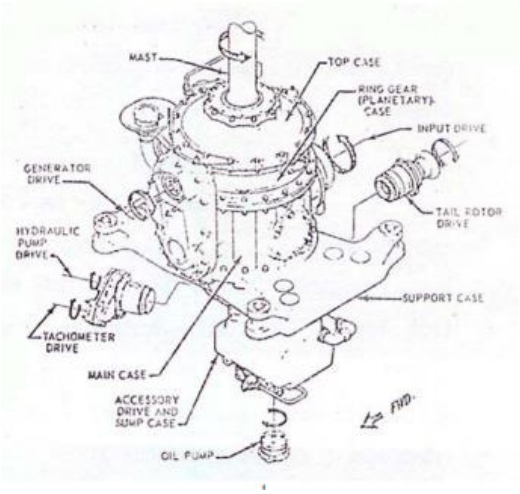
หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=PgPONBCTwzw

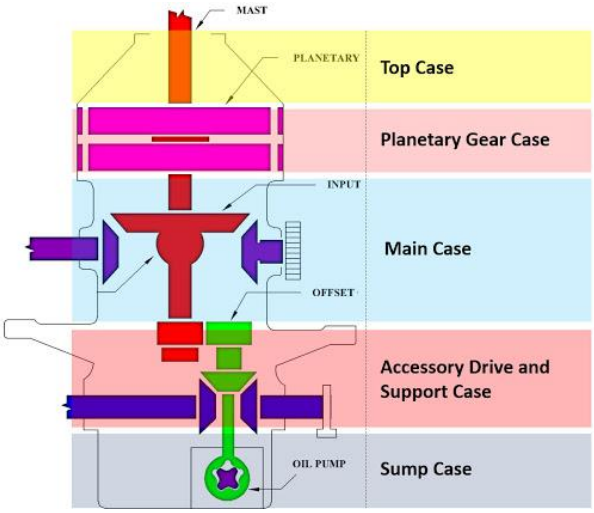
MAIN TRANSMISSION เป็นที่ติดตั้งและขับชุดบริภัณฑ์ต่างๆ (ACCESSORY) 5 ชุด คือ

1. ROTOR TACHOMETER GENERATOR
2. HYDRAULIC PUMP
3. TRANSMISSION OIL PUMP
4. TAIL ROTOR DRIVE SHAFT
5. MAIN D.C. GENERATOR



โครงสร้าง (CONSTRUCTION CASE)





หมายเหตุ: จาก http://havkar.com/en/blog/view/how-the-main-gearbox-mgb-of-a-helicopter-works/108

MAIN TRANSMISSION แบ่งออกเป็น 5 ส่วน คือ

1. SUMP CASE สร้างขึ้นจาก MAGNESIUM มีหน้าที่

    1.1 บรรจุน้ำมันหล่อลื่น

    1.2 ติดตั้งอุปกรณ์ 4 ชุด

        1. TAIL ROTOR DRIVE QUILL (REAR OF SUMP)
        2. OIL PUMP (BOTTOM)
        3. HYD. PUMP (RIGHT HAND)
        4. MAIN ROTOR TACHOMETER GENERATOR (RIGHT HAND)

2. SUPPORT CASE

    สร้างขึ้นจาก MAGNESIUM ด้านใต้ทั้ง 4 มุมของ TRANSMISSION SUPPORT CASE ISOLATIONS MOUNTS ยึดอยู่และด้านใต้ข้างหน้ามี LIFT-LINK ซึ่งทำด้วย FORGED SUPPORT CASE มี FILLER CAP อยู่ทางด้านขวามือเพื่อสำหรับบริการน้ำมันหล่อลื่น

3. MAIN CASE สร้างขึ้นจาก MAGNESIUM มีหน้าที่

    1. เป็นที่ติดตั้ง MAIN INPUT QUILL.
    2. เป็นที่ติดตั้ง D.C. GENERATOR.

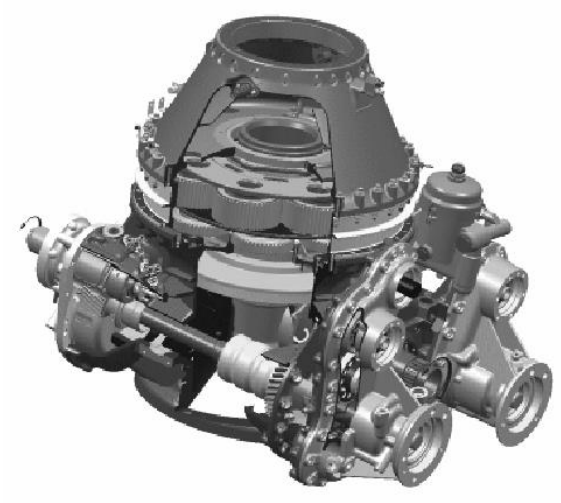
4. RING GEAR CASE สร้างขึ้นจาก MAGNESIUM มีไว้เพื่อบรรจุชุด STEEL- MACHINED RING GEAR และ PLANETARY GEAR.

5. TOP CASE สร้างขึ้นจาก MAGNESIUM มีหน้าที่

1. รองรับและติดตั้ง MAST ASSEMBLY.

2. ติดตั้ง ATMOSPHERIC VENT.

เฟือง (GEAR) ภายใน MAIN TRANSMISSION



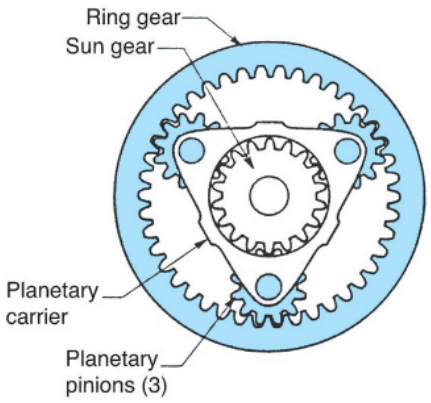
หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=VAFgqB7frE0

ภายใน MAIN TRANSMISSION ประกอบด้วยเฟือง (GEAR) ต่างๆ พอจะแบ่งออกได้เป็นชุดใหญ่ๆ คือ

1. SUN GEAR บางทีเรียกว่า SPUR GEAR เฟืองนี้มี 2 ชุด คือ UPPER SUN GEAR AND LOWER SUN GEAR เฟืองนี้จะประกอบอยู่ตรงกลางของเฟืองอื่นๆ มีหน้าที่ขับ PLANETARY GEAR

2. PLANETARY GEAR นี้จะมีชุด 2 ชุด คือ UPPER PLANETARY GEAR AND LOWER PLANETARY GEAR แต่ละชุดจะประกอบด้วยเฟือง (GEAR) ตัวเล็กๆ ชุดละ 8 ตัว PLANETARY GEAR จะรับแรงขับจาก SUN GEAR และจะหมุนไปรอบๆ RING GEAR อีกทีหนึ่ง

3. RING GEAR เฟืองนี้เป็นวงกลมโต ล้อมโดยรอบชุด PLANETARY GEAR และ SUN GEAR มีเฟืองอยู่ด้านใน RING GEAR นี้ประกอบติดอยู่กับ TRANSMISSION RING GEAR CASE มีหน้าที่ยอมให้ PLANETARY GEAR หมุนไปรอบๆ

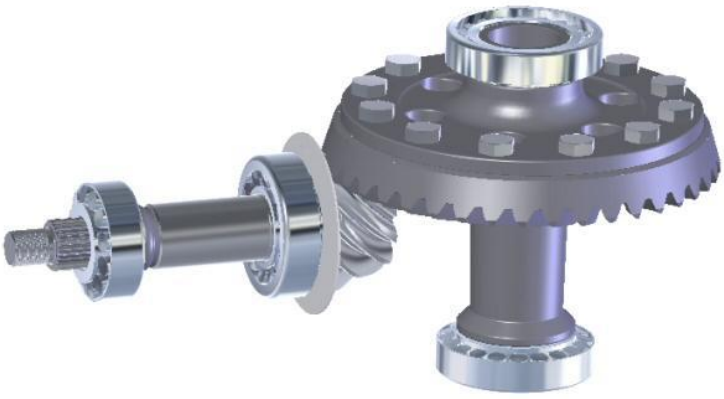


SCAN ME

PLANETARY GEAR

หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=ARd-Om2VyiE

4. SPIRAL BEVEL GEAR เฟืองแบบนี้มีทั้งตัวเล็กและตัวใหญ่ มีลักษณะเป็นมุมเทลาด (SPIRAL) ไปด้านหนึ่ง ส่วนมากเมื่อประกอบกับ MAIN TRANSMISSION แล้วจะหันด้านเรียวเข้าข้างใน ทั้งนี้เพื่อให้เหมาะในการเปลี่ยนมุมขับ



SCAN ME

TRANSMISSION BEVEL GEAR

หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=445s0IBUvLw

หลักการทำงานหีบเฟืองทดใหญ่ (TRANSMISSION)

การทำงานของ MAIN TRANSMISSION ประกอบด้วยการหมุนขับของ GEARS และชิ้นส่วนต่างๆ ซึ่งการหมุนขับนี้แบ่งออกได้เป็น 2 ทาง คือ

1. DRIVE DOWN
2. DRIVE UP

การหมุนขับของ MAIN TRANSMISSION นั้นได้รับการถ่ายทอดกำลังมาจากเครื่องยนต์ โดยถ่ายทอดผ่าน MAIN DRIVE SHAFT หรือ SHORT DRIVE SHAFT และถ่ายทอดไปยัง INPUT DRIVE QUILL และจาก INPUT DRIVE QUILL จะไปหมุนขับ GEARS และส่วนต่างๆ ดังนี้

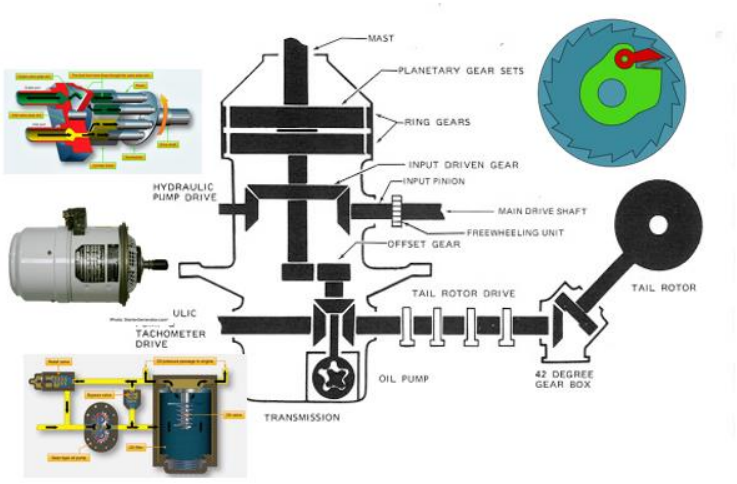
DRIVE DOWN

INPUT DRIVE QUILL จะไปหมุนขับ SPIRAL BEVEL QUILL หลังจากนั้น SPIRAL BEVEL QUILL GEAR จะไปหมุนขับ OFF – SET ACCESSORIES DRIVE GEAR แล้วส่งต่อการขับหมุนไปยัง SUMP INPUT QUILL และไปหมุนขับ 4 ACCESSORIES GEARS ใน SUMP ได้แก่

- TAIL ROTOR DRIVE QUILL
- OIL PUMP
- HYD. PUMP
- MAIN ROTOR TACHOMETER – GENERATOR

DRIVE UP

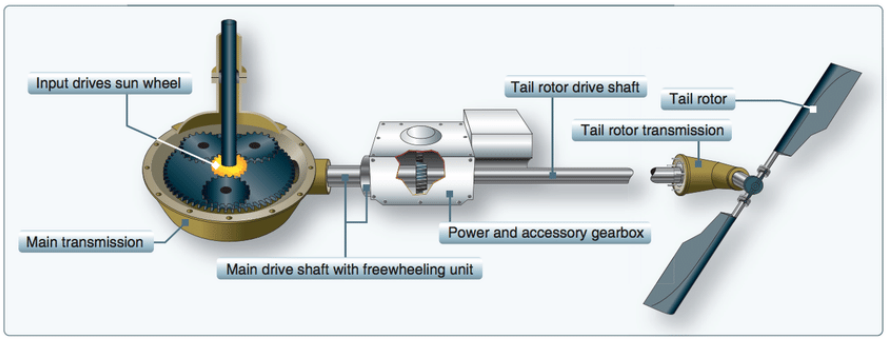
MAIN INPUT DRIVE QUILL จะไปหมุนขับ SPIRAL BEVEL QUILL และไปหมุนขับ NO. 2 MAIN DRIVE QUILL ซึ่งใช้ขับ MAIN D.C. GENERATOR และจะไปหมุนขับ LOWER SUN GEAR ส่งต่อการขับหมุนไปยัง LOWER PLANETARY GEAR เพื่อขับ UPPER SUN GEAR ทำหน้าที่หมุนขับ UPPER PLANETARY GEAR ส่งต่อไปหมุนขับ MAST DRIVING ADAPTER เพื่อหมุนขับ MAST ทำให้ชุดใบพัดใหญ่ (MAIN ROTOR) หมุนอีกต่อไป



หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=fELVG8PXvJE

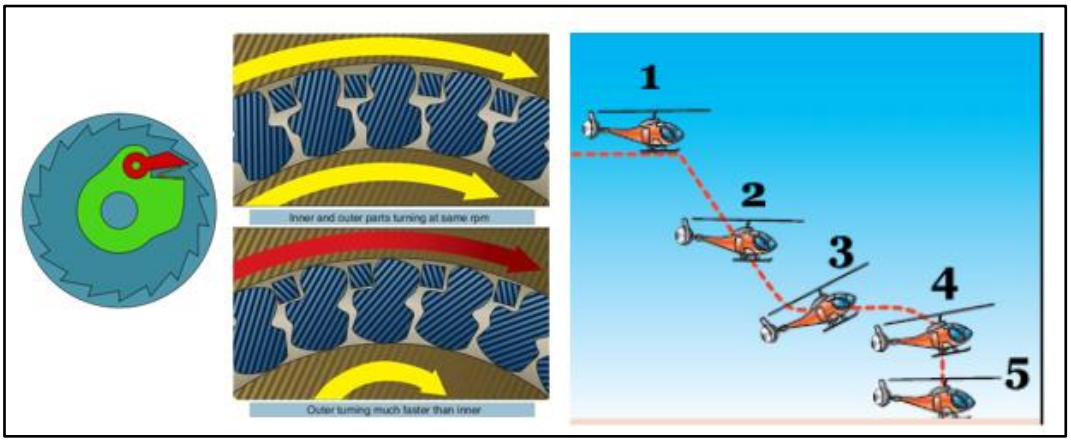
ครัทช์และฟรีวิลลิ่งยูนิท (CLUTCH & FREE WHEELING UNIT)

ครัทช์และฟรีวิลลิ่งยูนิท (CLUTCH & FREE WHEELING UNIT) เป็นอุปกรณ์ที่เชื่อมและตัดการขับหมุนระหว่างหน่วยกำลังหรือเครื่องยนต์ไปยังระบบถ่ายทอดกำลังและโรเตอร์



หมายเหตุ: จาก https://www.researchgate.net/figure/The-tail-rotor-driveshaft-is-connected-to-both-the-main-transmission-and-the-tail-rotor_fig2_333565060

- ขณะทำงานปกติ คลัทช์ (CLUTCH) จะเชื่อมการทำงานการขับหมุนจากหน่วยกำลังหรือเครื่องยนต์ผ่านระบบถ่ายทอดกำลังไปยังระบบโรเตอร์ให้เป็นไปอย่างนุ่มนวล
- ขณะเครื่องยนต์เกิดขัดข้อง หรือเสียขณะเฮลิคอปเตอร์บินอยู่ในอากาศ คลัทช์ (CLUTCH) จะทำหน้าที่เป็นฟรีวิลลิ่งยูนิท (FREE WHEELING UNIT) เพื่อตัดการทำงานของหน่วยกำลัง หรือเครื่องยนต์ (ENGINE) ออกจากระบบโรเตอร์สิ้นเชิงโดยอัตโนมัติ เพื่อให้เฮลิคอปเตอร์สามารถบินออตโตโรเตชั่น (AUTOROTATION) ลงสู่พื้นดินได้โดยปลอดภัย เช่นเดียวกับการทำงานของฟรีรถจักยาน ซึ่งน่าให้โรเตอร์สามารถหมุนได้โดยอิสระโดยกำลังการขับหมุนของกระแสลม (AERODYNAMICS FORCES) ซึ่งเรียกว่าการหมุนในลักษณะกังหันลม (WIND MILLING) ทำให้โรเตอร์เกิดแรงยกและทำให้เฮลิคอปเตอร์บินลงสู่พื้นดินด้วยความปลอดภัย



หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=PVMVQy2yKDE
https://www.youtube.com/watch?v=vLtOO7zqX2k

การจัดแบ่งระบบหรือชนิดของคลัช (CLUTCH)

ระบบคลัช (CLUTCH) ของเฮลิคอปเตอร์โดยทั่วไป จัดแบ่งออกเป็น 4 ชนิด คือ

1. HYDRO – MECHANICAL CLUTCH
2. CENTRIFUGAL CLUTCH
3. MERCURY CLUTCH
4. SPRAG CLUTCH OR FREE WHEELING CLUTCH

ความมุ่งหมายของคลัช

1. ทำหน้าที่ปลดเปลื้อง (RELIEVE) หรือเป็นตัวตัด (UNLOCK) ไม่ให้ STARTER ได้รับภาระจาก ROTOR ในระหว่างการทำ START เครื่องยนต์

2. เป็นตัวตัด (UNLOCK) ยอมให้ ROTOR หมุนโดยอิสระขณะทำการบินออตโตโรเตชั่น (AUTOROTATION)

3. ทำให้เกิดความนุ่มนวลในการเชื่อม (ENGAGE) การทำงานระหว่างเครื่องยนต์กับ TRANSMISSION หรือระหว่างเครื่องยนต์กับ ROTOR

HYDRO – MECHANICAL CLUTCH

คลัชชนิดนี้เป็นชนิดที่ทำงานโดยใช้กลไกประกอบของเหลว สำหรับของเหลวอาจเป็นน้ำมันหล่อลื่นหรือไฮดรอลิค

ส่วนประกอบที่สำคัญ (MAIN COMPONENTS)

1. FLUID COUPLING
2. MECHANICAL COUPLING

FLUID COUPLING ประกอบด้วย

1. ตัวขับ (DRIVING COUPLING)
2. ตัวตาม (DRIVEN COUPLING)

ตัวขับ (DRIVING COUPLING) SPLINE ของ PROPELLER SHAFT ของเครื่องยนต์ (ENGINE RPM.) ตัวตาม DRIVEN COUPLING ยึดติดกับ DRIVEN HOUSING ซึ่งต่อกับ MAIN DRIVE SHAFT ตัวตาม (DRIVEN COUPLING) นี้จะถูกขับโดยปฏิกิริยาของน้ำมันหล่อลื่นหรือไฮดรอลิค จากแผ่นปาด (VANES) ในตัวขับ (DRIVING COUPLING)

การทำงานของคลัช (OPERATION)

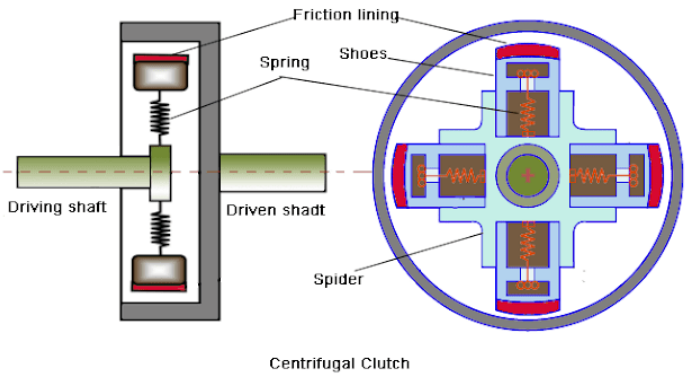
1. การเชื่อม (ENGAGEMENT)
2. เปิด SWITCH PUMP – ON
3. หมุน THROTTLE เร่งรอบเครื่องยนต์ตามความจำเป็นเพื่อนำ ROTOR ขึ้นมา
4. หมุน THROTTLE ลดรอบเครื่องยนต์ให้รอบเครื่องยนต์ต่ำกว่ารอบ

BLOCKER PLATE จะหมุนเข้าไปในร่องรูปตัว L หรือ IS LOT และจะตรงกับส่วนที่อยู่ในแนวดิ่งของร่อง (VERTICAL PART OF SLOT) แรงหนีศูนย์ (CENTRIFUGAL FORCE) จะพยายามให้ FLY WEIGHT กางออกและจะชนแรงสปริง (ACTUATOR SPRING) ACTUATOR SLEEVE เนื่องจาก FLY WEIGHT ชน ACTUATOR STOP (RETAINER) FINGERS MACHINED (DOGS) ที่ด้านล่างของ SLEEVE ASSAY ก็จะถูกกดลงใน HELICAL SLOTS ของ ROLLER RETAINER ROLLER RETAINER ก็จะหมุน ROLLER จะถูกเหวี่ยงออกมาเชื่อม (ENGAGED) อยู่ในตำแหน่งระหว่าง CAM และ DRIVEN และ HOUSING หมุน THROTTLE ให้รอบของเครื่องยนต์สัมพันธ์กับรอบของ ROTOR ROLLER โดยจะ LOCK อยู่ในระหว่าง CAM และ DRIVEN HOUSING ในรูปของ MECHANICAL COUPLING ชุด DRIVEN HOUSING ก็จะหมุนต่อไปและ MAIN DRIVE SHAFT ก็จะหมุนไปด้วยกันกับ MAIN GEAR BOX และ ROTOR ต่อไปเป็นการเชื่อม (ENGAGED) คลัชโดยสมบูรณ์

CENTRIFUGAL CLUTCH

คลัช (CLUTCH) แบบนี้ประกอบด้วยตัวขับ และตัวตามตัวขับนั้นต่อจาก SPLINE ของ ENGINE DRIVE SHAFT และจะหมุนไปพร้อมกับเครื่องยนต์กรวยขับนี้จะมี CLUTCH SHOES ประกอบอยู่โดยรอบ (บางทีมี SPRING ประกอบอยู่กับ CLUTCH SHOES เพื่อดึง CLUTCH SHOES แต่ละอันเข้าไปยังจุดศูนย์กลางของตัวขับ) เมื่อเครื่องยนต์หมุนที่รอบสูงเพียงพอก็จะเกิดแรงหนีศูนย์ (CENTRIFUGAL FORCE) ทำให้ CLUTCH SHOES ถูกเหวี่ยงออกไปจับกับตัวตามตัวตามนี้ยึดติดกับ MAIN DRIVE SHAFT หรือ TRANSMISSION ก็จะทำให้ตัวตามและ MAIN DRIVE SHAFT TRANSMISSION หมุนไปด้วยกันและถ่ายทอดกำลังไปหมุน ROTOR ครั้นเมื่อลดรอบของเครื่องยนต์ลงมา หรือเมื่อเกิดขัดข้องเครื่องยนต์ดับ แรงเหวี่ยงของ CLUTCH SHOES CLUTCH SHOES ก็จะหดเข้าไปจุดศูนย์กลางทำให้ไม่จับกับตัวตาม เป็นการตัดเครื่องยนต์ออกจากระบบถ่ายทอดกำลัง

ข้อสังเกต เมื่อต้องการจะเชื่อม CLUTCH แบบนี้อีก เพียงแต่เร่งรอบเครื่องยนต์ให้ได้รอบเพียงพอและสัมพันธ์กับรอบของ ROTOR กลไกแบบนี้ก็จะทำงานอีก



Centrifugal Clutch

หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=p_BbHxCpJiM

MERCURY CLUTCH

คลัช (CLUTCH) แบบนี้มีส่วนประกอบต่างๆ เหมือนกัน CENTRIFUGAL CLUTCH สิ่งที่แตกต่างกันก็คือ จะมีส่วนประกอบพิเศษออกไปคือที่ CLUTCH SHOES จะมีหลอดซึ่งทำด้วยวัสดุสังเคราะห์บรรจุด้วยปรอทอยู่ภายใน ความมุ่งหมายของการบรรจุปรอทเอาไว้เพื่อเพิ่มน้ำหนักให้กับ CLUTCH SHOES ทำให้เกิดการเหวี่ยงตัวออกจับกับตัวตามได้ดียิ่งขึ้น

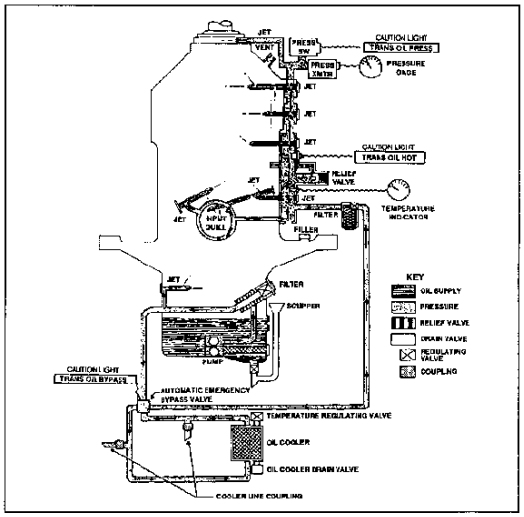
SPRAG CLUTCH

เป็นคลัช (CLUTCH) ที่นิยมใช้กับเฮลิคอปเตอร์ที่ติดตั้งเครื่องยนต์แกสเทอร์ไบน์หรือเครื่องยนต์เจ๊ตทุกแบบ เช่น เฮลิคอปเตอร์UH-1H , UH-IN BELL 212 , BELL 412 , S-58T เป็นต้น คลัชชนิดนี้จะทำหน้าที่เป็นทั้งคลัช (CLUTCH) และฟรีวิลลิ่งยูนิท (FREEWHEELING UNIT) อยู่ในตัวเรือนเดียวกัน บางทีจะเรียกว่า CLUTCH OR FREE WHEELING UNIT หรืออาจเรียกว่า INPUT QUILL ก็ได้ ในการทำงานนั้น ถ้าหากรอบเครื่องยนต์ลดลงต่ำกว่าอัตราของการทดรอบตัว CLUTCH หรือ FREE WHEELING UNIT จะตัดการทำงานระหว่างเครื่องยนต์กับระบบถ่ายทอดกำลังและโรเตอร์ออกจากกันทันทีโดยอัตโนมัติ เพื่อให้โรเตอร์หมุนได้โดยอิสระเพื่อทำให้เฮลิคอปเตอร์สามารถทำการบินออตโตโรเตชั่น (AUTOROTATION) โดยปลอดภัย ถ้ารอบเครื่องยนต์สูงขึ้นมากกว่ารอบของอัตราการทดรอบไปยังโรเตอร์ คลัช (CLUTCH) จะทำหน้าที่เชื่อมต่อการทำงานกับระบบถ่ายทอดกำลังและโรเตอร์อีกต่อไปด้วยความนุ่มนวลโดยอัตโนมัติ ดังนั้น CLUTCH OR FREE WHEELING UNIT จึงทำหน้าที่คล้ายกับฟรีของรถจักรยาน ถ้าเราใช้กำลังจากขาทั้งสองปั่นจักรยานให้ล้อหมุนและวิ่งไปบนถนนก็คล้ายกับ CLUTCH เชื่อมต่อการทำงานโดยให้กำลังเครื่องยนต์ไปขับหมุนระบบถ่ายทอดกำลังเพื่อไปขับหมุนระบบโรเตอร์ แต่ถ้าหากเราหยุดการปั่นโดยหยุดขาถีบทั้งสองข้าง แต่ล้อจักรยานก็ไม่หยุดการหมุนยังคงวิ่งไปตามถนนเช่นปกติ นั่นก็เปรียบเสมือนกับ CLUTCH ตัดการทำงานระหว่างเครื่องยนต์ออกจากระบบถ่ายทอดกำลัง และโรเตอร์จึงกลายเป็นลักษณะของ FREE WHEELING UNIT แต่โรเตอร์ยังคงสามารถหมุนต่อไปได้อย่างอิสระเช่นกับล้อรถจักรยานและเฮลิคอปเตอร์ สามารถทำการบินออตโตโรเตชั่นลงสู่พื้นดินได้โดยปลอดภัย ขณะเครื่องยนต์เกิดขัดข้องขณะบินในอากาศ คลัช (CLUTCH) ชนิดนี้จึงนิยมใช้มากในปัจจุบัน

หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=PVMVQy2yKDE

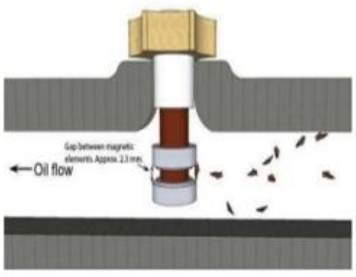
ตัวตรวจจับเศษโลหะ (CHIP DETECTORS)

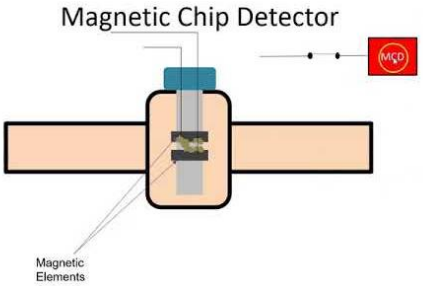
ตัวตรวจจับเศษโลหะ (CHIP DETECTORS) จะเป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ตามชุดเฟืองเกียร์ (GEARS) หรือหีบเฟืองทดรอบ (TRANSMISSION) ต่อผ่านสายไฟไปยังแผงเครื่องวัดที่ห้องนักบิน เพื่อเตือนให้นักบินรู้ว่ามีปัญหาหรือข้อขัดข้องเกิดขึ้นกับระบบเฟือง เพื่อให้พิจารณาตัดสินดำเนินการอย่างใดอย่างหนึ่งต่อไป



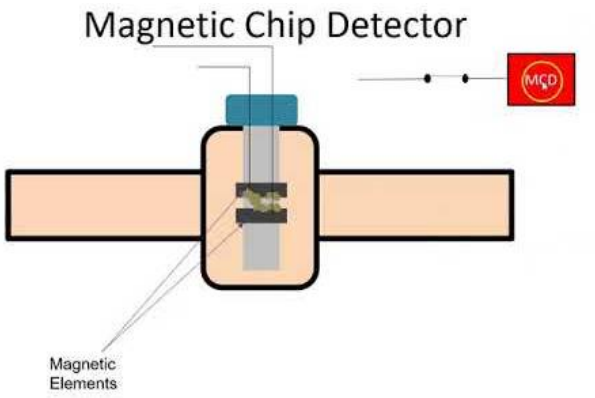
หมายเหตุ: จาก https://www.atsb.gov.au/media/665913/aair200600563_001.pdf

หลักการทำงานของตัวตรวจจับเศษโลหะ (CHIP DETECTORS) จะทำงานคล้ายสวิทย์เชื่อมวงจรไฟฟ้า ในสภาวะปกติขั้งทั้งสองจะไม่เชื่อมต่อถึงกันทางไฟฟ้า จะมีฉนวน (INSULATOR) กั้นและมีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็กที่สามารถดูดเศษโลหะได้ เมื่อโลหะหรือชิ้นส่วนที่หลุดมาจากชุดเฟืองมาติดสะสมมากขึ้นจะส่งผลให้เกิดการเชื่อต่อถึงกันส่งผลให้ไฟฟ้าไหลครบวงจรระหว่างขั้วทั้งสอง ทำให้ไฟเตือนที่ห้องนักบินติดสว่างขึ้น แสดงให้นักบินรู้ว่ามีข้อขัดข้องเกิดขึ้น





หมายเหตุ: จาก http://isambardkingdom.com/?attachment_id=537



SCAN ME

Magetic Chip Detectors

หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=Ua6VlnYMTgQ

ในเฮลิคอเตอร์รุ่นใหม่บางแบบจะมีตัวตรวจจับเศษโลหะ (CHIP DETECTORS) ที่สามารถหลอมละลายเศษโลหะทิ้งไปได้ เรียกว่า BURN OFF โดยระบบดังกล่างจะหลอมระบายเศษโลหะเล็กๆ น้อยๆ ที่ไม่ได้เกิดจากการชำรุดของเฟืองต่างๆ แต่อาจจะมาจากการปนเปื้อนระหว่างการบริการหล่อลื่น หรือเศษโลหะที่เกิดจากการเสียดสีเล็กน้อยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายลุกลามต่อไป เศษโลหะเหล่านี้จะถูกหลอมละลายไปเอง ซึ่งนักบินสามารถตั้งการทำงานแบบอัตโนมัติ (AUTOMATIC) หรือทำงานด้วยมือ (MANUAL) ได้

แต่ถ้าเศษโลหะมีมากเกินไปเพราะเกิดความเสียหายที่แท้จริง ระบบ BURN OFF จะไม่สามารถหลอมละลายได้หมด ทำให้เกิดการเชื่อมต่อถึงกันทางไฟฟ้าไปแสดงที่แผงเครื่องวัดให้นักบินทราบเช่นเดิม นักบินต้องหรือช่างต้องสันนิษฐานไว้ก่อนว่า เป็นการชำรุดเสียหายร้ายแรง ให้นำเฮลิคอปเตอร์ลงจอดฉุกเฉินทันที (LAND AS SOON AS POSIBLE) เพื่อทำการตรวจสอบหาข้อขัดข้องต่อไป

SCAN ME

HELICOPTER

EMERGENCY LANDING

หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=AoIJOFikFz4

แบบฝึกหัดระหว่างเรียน โครงสร้าง 2.2

หลังจากที่ได้ศึกษาเรื่องโครงสร้างลำตัว (FUSELAGE CONSTRUCTION) ชุดฐาน (LANDING GEARS) และแหล่งกำเนิดพลังงาน (POWERPLANTS) หรือเครื่องยนต์ (ENGINE) มาแล้ว ก่อนที่จะไปศึกษาเรื่องต่อไป ให้ลองทดสอบความรู้ในเรื่องที่เรียนผ่านมาตาม QR CODE แบบฝึกหัด 2.2 ด้านล่าง ถ้าประเมินตนเองแล้วได้คะแนนเป็นที่น่าพอใจ แสดงว่าเข้าใจเป็นอย่างดี แต่ถ้าไม่พอใจในผลคะแนนสามารถย้อนกลับไปทบทวนดูใหม่แล้วทดสอบอีกครั้ง ดังคำสุภาษิตที่ว่า “ความพยายามอยู่ที่ไหน ความสำเร็จอยู่ที่นั่น”

หรือเข้าตามลิงก์ด้านล่าง

https://forms.gle/MjKNwk7b9pTZumE58

ระบบใบพัดหลัก (MAIN ROTOR SYSTEM)

เฮลิคอปเตอร์ คือ อากาศยานประเภทหนักกว่าอากาศยานแบบมีโรเตอร์ที่สามารถลอยตัวและบินอยู่ในอากาศได้เนื่องมาจากอาศัยกำลังมาขับเคลื่อนโรเตอร์ตอนบนให้หมุนตัดผ่านอากาศจนเกิดแรงยกตัวเองได้ รวมถึงบังคับทิศทางโดยการเปลี่ยนมุมเอียงของโรเตอร์ จึงกล่าวได้ว่าระบบโรเตอร์มีความสำคัญอย่างยิ่งยวด และเป็นอุปกรณ์หลักซึ่งเฮลิคอปเตอร์จะขาดเสียไม่ได้เลย ดังนั้นช่างเฮลิคอปเตอร์จำเป็นจะต้องเรียนรู้และเข้าใจเกี่ยวกับระบบโรเตอร์พอสมควรเกี่ยวกับหน้าที่ชิ้นส่วนต่างๆ และการทำงานของระบบดังกล่าว

ระบบใบพัด (ROTOR SYSTEM) ของเฮลิคอปเตอร์หรืออากาศยานปีกหมุนจะเป็นส่วนที่หมุนเคลื่อนที่ตัดผ่านอากาศทำให้เกิดแรงยก (LIFT) และเมื่อเอียงชุดใบพัดไปทางใดจะเกิดแรงฉุด (THRUST) ให้เฮลิคอปเตอร์เคลื่อนที่ไปทิศทางนั้น ระบบใบพัด (ROTOR SYSTEM) ของเฮลิคอปเตอร์จะประกอบไปด้วนส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน คือ เพลาขับ (MAST), ดุมใบพัด (HUB) และใบพัด (BLADES)

หมายเหตุ: จาก https://it.wikipedia.org/wiki/Rotore_(aeronautica)

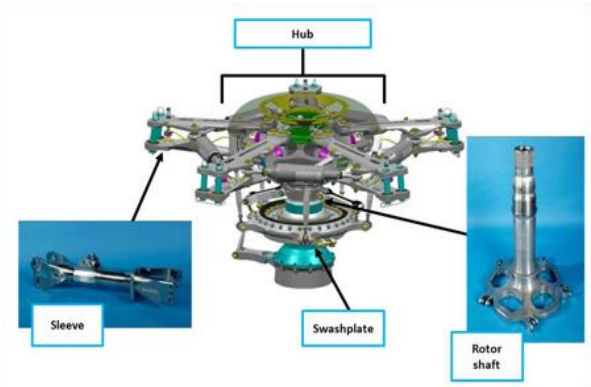
เพลาขับ (MAST) จะเป็นท่อโลหะกลมกลวง (CYLINDRICAL METAL SHAFT) ติดตั้งขึ้นมาจากหีบเฟืองใหญ่ (TRANSMISSION) ตรงส่วนบนสุดของเพลาขับ (MAST) จะติดตั้งชุดอุปกรณ์สำหรับติดตั้งใบพัด (BLADES) เรียนว่า ดุมใบพัด (HUB) ซึ่งมีด้วยกัน 3 แบบ คือ

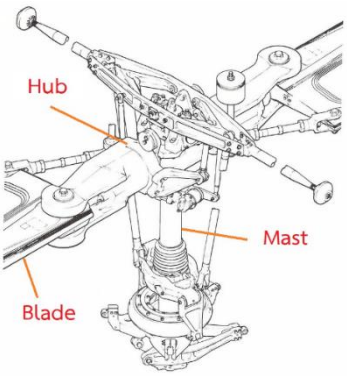
ชนิดของดุมใบพัดใหญ่ (TYPE OF MAIN ROTOR HUB)

๑. RIGID TYPE.

๒. SEMI-RIGID TYPE.

๓. FULLY ARTICULATED TYPE.

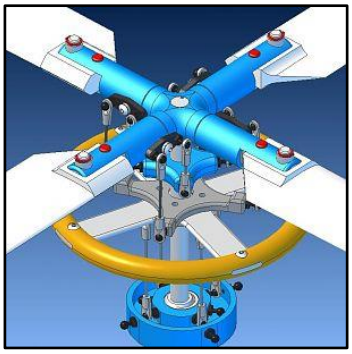




ดุมใบพัด (HUB) สำหรับติดตั้งใบพัด (BLADES) ของเฮลิคอปเตอร์ จำแนก (CLASSIFIES) เป็น 3 แบบ ดังนี้

RIGID TYPE

RIGID TYPE หมายถึง ดุมใบพัด (HUB) ที่ไม่ยอมให้กลีบใบพัด (ROTOR BLADE) เกิดการกระพือ (FLAPPING) ได้ ทั้งยังไม่ยอมให้กลีบใบพัดเกิดการส่ายตัวทางระนาบ (HUNTING) ได้ โรเตอร์แบบนี้ไม่นิยมนำมาใช้ในปัจจุบัน

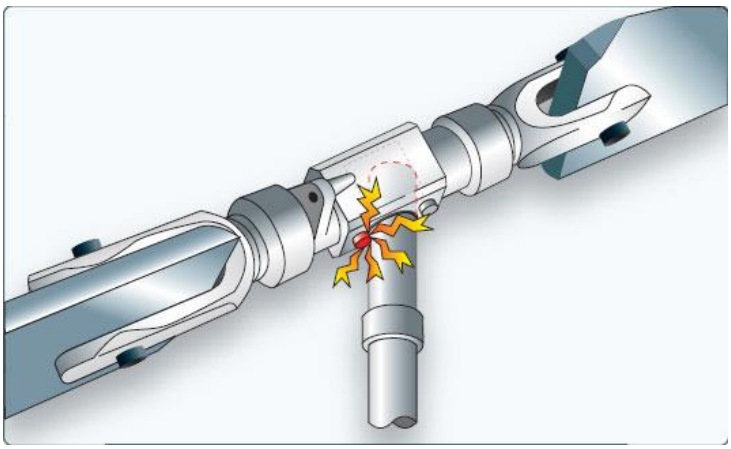


หมายเหตุ: จาก https://www.alibreforum.com/forum/index.php?media/albums/rigid-rotor-with-gyro-authority.61/

ดุมใบพัด (HUB) แบบ RIGID TYPE นี้จะไม่สลับสซับซ้อน เนื่องจากใบพัด (BLADES) จะติดตั้งเข้ากับดุมใบพัด (HUB) แล้วยึดติดอยู่กับที่ไม่สามารถเคลื่อนที่หน้า-หลัง (LEAD – LAG) และไม่สามารถกระพือขึ้น-ลง (FLAPPING) ได้ แต่การกระพือขึ้น-ลงนั้น (FLAPPING) จะเป็นไปตามการอ่อนตัวของใบพัดเอง (BLADE FLEXIBILITY) ถ้าอธิบายให้เห็นภาพพจน์ให้นึกถึงใพบัดพัดลมที่ติดเข้ากับแกนหมุน ซึ่งติดตั้งแล้วอยู่กับที่ไม่สามารถขยับไปไหนมาไหนได้ขณะที่พัดลมหมุน ชุดใพพัดแบบนี้จึงเป็นแบบที่สร้าง ซ่อมบำรุง และดูแลรักษาง่ายที่สุด (SIMPLEST)

หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=Pu48f7s5Ru8

ข้อดีของดุมใบพัด (HUB) แบบ RIGID TYPE คือ จะไม่เกิดการชนหรือกระแทกระหว่างเพลาขับ (MAST) และชุดดุมไปพัด (HUB) ที่เรียกว่า MAST BUMPING ซึ่งจะทำให้เกิดการชำรุดเสียหายรุนแรงทำให้เพลาขับขาดส่งผลให้เกิดการสูญเสียร้ายแรงได้



หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=MNo3VgSe86Y

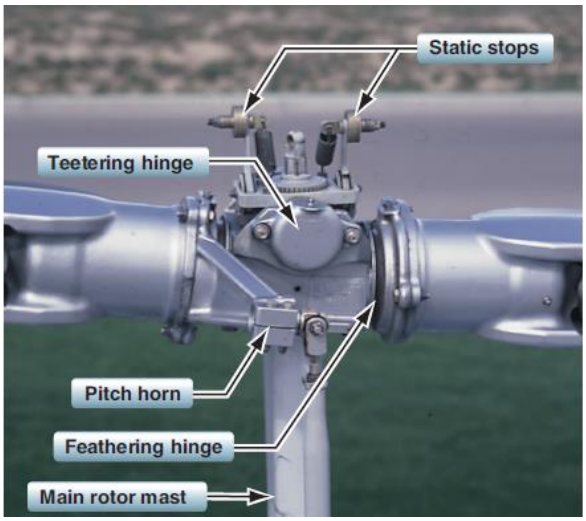
ส่วนข้อเสียของชุดดุมใบพัด (HUB) แบบ RIGID TYPE คือ เมื่อมีกระแสลมกระโชก (GUST) จะส่งผลให้การสั่นของใบพัดไปยังลำตัวเฮลิคอปเตอร์โดยตรง เนื่องจากไม่มีระบบอื่นดูดซับการสั่นไว้ (VIBRATIONS ABSORBER)

หมายเหตุ: จาก NAVAL AVIATION NEWS. (N.D.)

SEMI-RIGID TYPE

SEMI-RIGID TYPE หมายถึง ดุมใบพัด (HUB) ที่ยอมให้กลีบใบพัด (ROTOR BLADE) กระพือขึ้น – ลง (FLAPPING) ได้ แต่จะกระพือได้อย่างไม่เป็นอิสระ นั้นคือ ถ้ากลีบใบพัดใบหนึ่งกระพือขึ้นอีกใบหนึ่งจะต้องกระพือลงในลักษณะกระดานหก (SEE - SAW) กลีบใบพัดก็ไม่สามารถจะเกิดการส่ายตัวทางระนาบ (HUNTING) ได้ ดุมใบพัด (HUB) แบบ SEMI-RIGID TYPE แบบนี้จะสามารถติดตั้งกลีบใบพัดได้เพียง 2 ใบเท่านั้น ตัวอย่างที่ใช้ในกองทัพอากาศไทย เช่น เฮลิคอปเตอร์แบบที่ 6 (UH-1H)

ชุดดุมใบพัด (HUB) จะสามารเอียง (TILT) ไปมาได้อย่างอิสระบนเพลาขับ (MAST) ด้วยอุปกรณ์ที่เรียกว่า TEETERING HINGE ซึ่งจะทำให้ชุดใบพัดสามารถกระพือ (FLAPPING) ขึ้น-ลง ในลักษณะกระดานหก (SEE - SAW) ไปด้วยกันทั้งชุด (FLAP TOGETHER AS A UNIT)

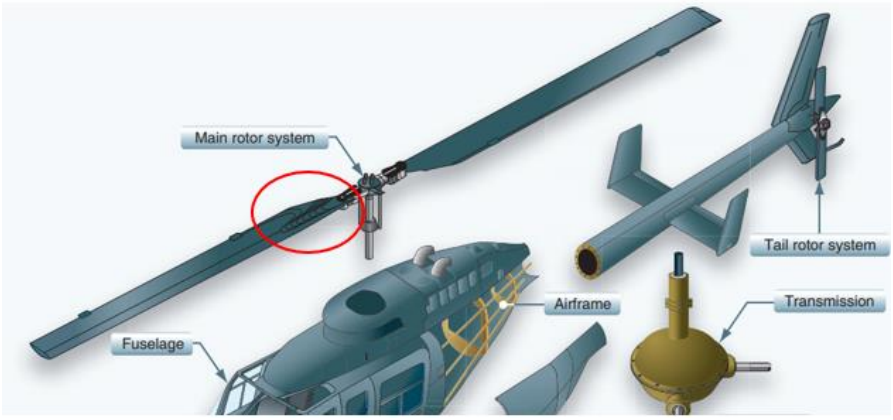


SCAN ME

SEMI RIGID FLAPPING

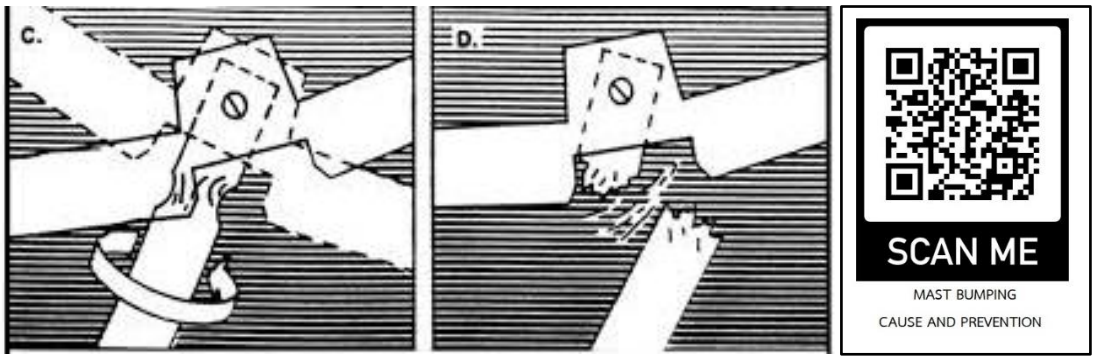
หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=Mx7vLB3KP1w

เนื่องจากชุดดุมใบพัด (HUB) แบบ SEMI-RIGID TYPE จะไม่มี VERTICAL DRAG HINGE ใบพัด (BLADE) จึงรับภาระกรรรมการดัดงอ (BENDING) โดยตรง ซึ่งจะทำให้ใบพัดเกิดการล้าตัว (FATIGUE) ดังนั้นวิศวกรจึงได้ออกแบบให้ตรงโคนใบพัดให้มีหลายชั้นเพิ่มหนาให้มีความแข็งแรงมากขึ้นเรียกว่า BLADE DOUBLER



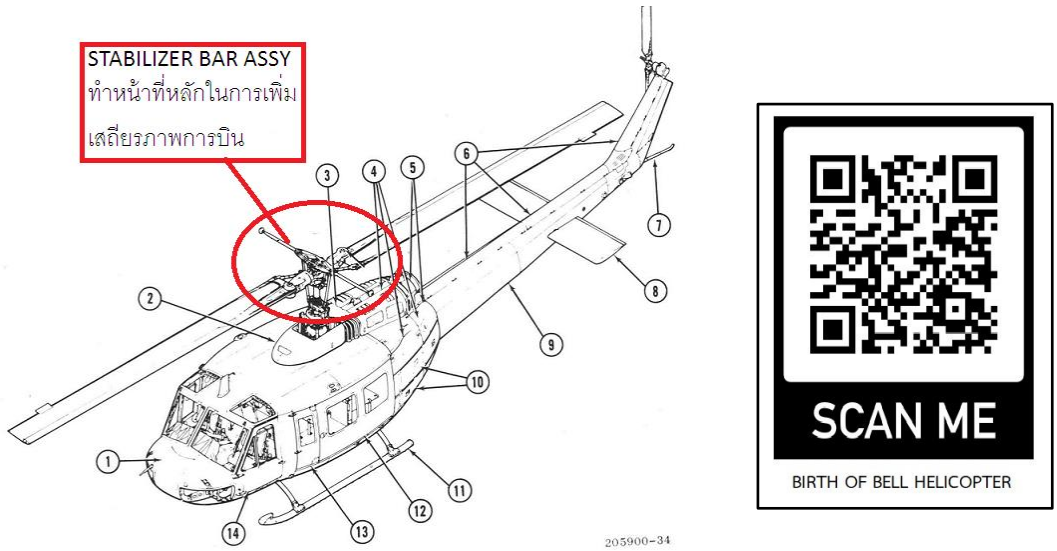
หมายเหตุ: จาก https://www.flight-mechanic.com/rotary-wing-aircraft-assembly-and-rigging/

ปัญหาสำคัญประการหนึ่งที่มักเกิดขึ้นกับชุดใบพัดแบบ SEMI-RIGID ROTOR ได้แก่การชนหรือกระแทกระหว่างเพลาขับ (MAST) และชุดดุมไปพัด (HUB) ที่เรียกว่า MAST BUMPING ซึ่งจะทำให้เกิดการชำรุดเสียหายรุนแรงทำให้เพลาขับขาดส่งผลให้เกิดการสูญเสียร้ายแรงได้



หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=_QkOpH2e6tM

ชุดดุมใบพัด (HUB) แบบ SEMI-RIGID TYPE จะติดตั้งอุปกรณ์ชนิดหนึ่งไว้บนโรเตอร์ใหญ่ (MAIN ROTOR) ตัวอย่างเช่น ของ เฮลิคอปเตอร์UH - 1H,และ BELL 212 เรียกว่า STABILIZER BAR ASSY ทำหน้าที่เพิ่มเสถียรภาพการบิน



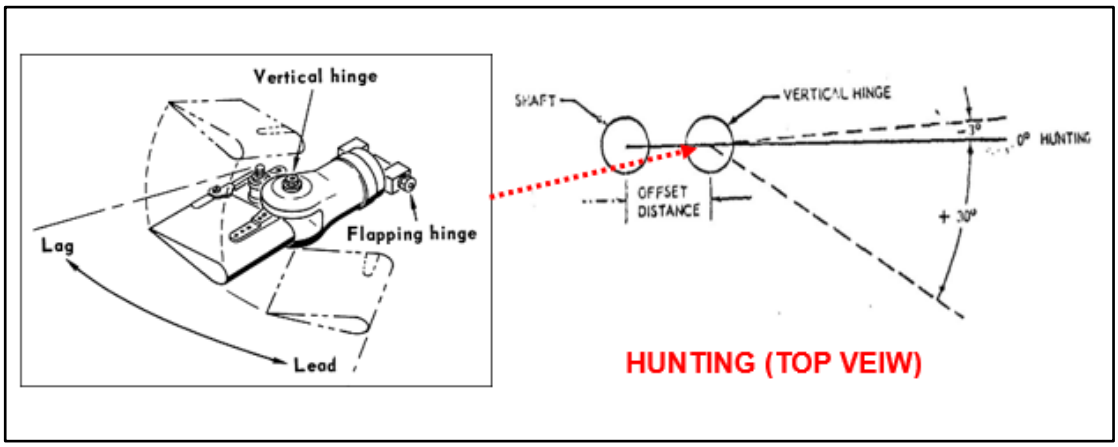
หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=uir9Engj4v4

FULLY ARTICULATED TYPE

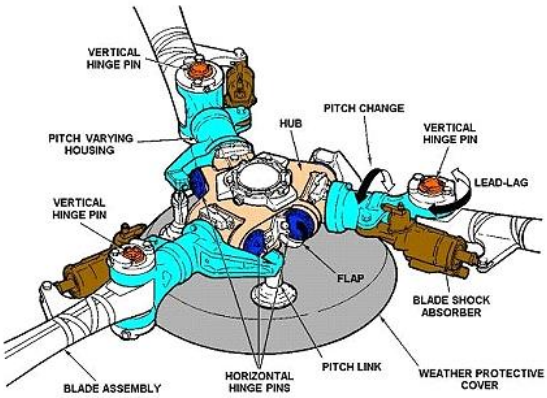
FULLY ARTICULATED TYPE หมายถึง ดุมใบพัด (HUB) ที่ยอมให้กลีบใบพัด (ROTOR BLADE) แต่ละใบจะสามารถกระพือและส่ายตัวได้อย่างเป็นอิสระ จะมีตั้งแต่ 3 ใบขึ้นไป

หมายเหตุ: จาก https://www.pinterest.com/pin/497014508860253019/

ดุมใบพัด (HUB) แบบนี้จะออกแบบให้ใบพัดแต่ละใบสามารถส่ายตัวทางระนาบ (HUNTING) โดยเคลื่อนตัวรอบ VERTICAL HINGE PIN ไปข้างหน้า (LEAD) และมาข้างหลัง (LAG) ได้อย่างเป็นอิสระต่อกัน เพื่อลดภาระกรรมการดัดงอของใบพัด (BLADE BENDING)



และจะมี HORIZONTAL HINGE PIN ใบพัดแต่ละใบสามารถกระพือ (FLAPPING) ได้ทั้งขึ้น (UP) และลง (DOWN) ได้อย่างอิสระ



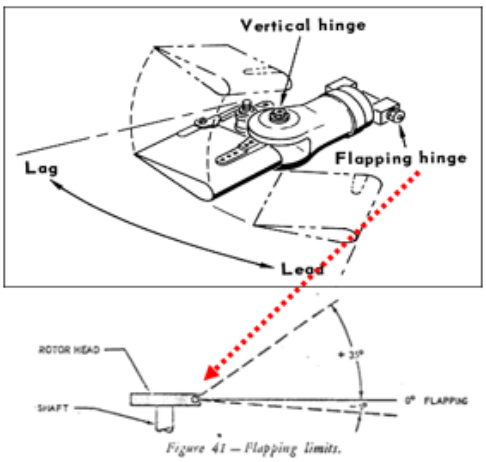
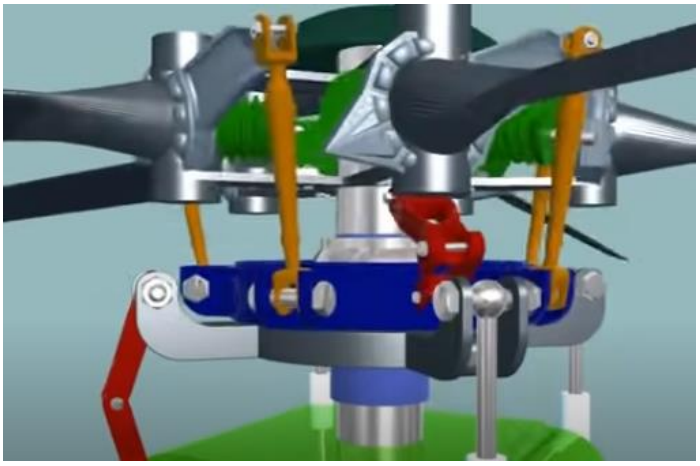


Figure 41 – Flapping limits.

หมายเหตุ: จาก http://www.chinook-helicopter.com/Fundamentals_of_Flight/Ground_Resonance/Ground_Resonance.html

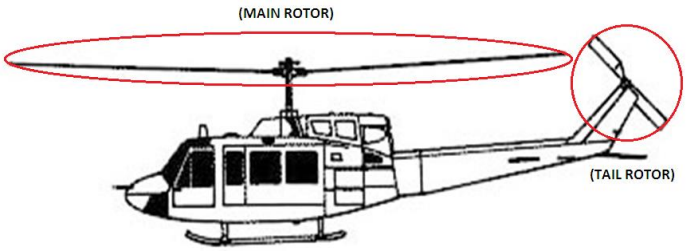


หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=83h6QK-oJ4M

ชนิดของโรเตอร์ (TYPE OF ROTOR)

การจัดแบ่งประเภทของโรเตอร์ตามลักษณะการติดตั้งเข้ากับเฮลิคอปเตอร์ 5 ประเภท ดังนี้

1. SINGLE ROTOR (โรเตอร์เดี่ยว) หมายถึง เฮลิคอปเตอร์ที่ติดตั้งโรเตอร์เดี่ยวนั้นต้องมีโรเตอร์ใหญ่ หรือโรเตอร์หลัก (MAIN ROTOR) 1 ชุด และโรเตอร์หาง (TAIL ROTOR) 1 ชุด โรเตอร์ใหญ่มีหน้าที่หลักในการจัดหาแรงยกและแรงฉุดให้กับเฮลิคอปเตอร์ ซึ่งเปรียบเสมือนกับชุดใบพัดและปีกของอากาศยานปีกตึง (FIXED WING AIRCRAFT) ทั่วๆ ไป ส่วนโรเตอร์หางจะทำหน้าที่เป็นตัวแก้แรงบิด (TORQUE) ที่เกิดจากโรเตอร์ใหญ่ และบังคับทิศทางการบิน



หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=ZfqkoA637d8

2. JETOR ROTOR OR ROCKET ROTOR เป็นโรเตอร์ที่ใช้ติดตั้งกับเฮลิคอปเตอร์ในสมัยเริ่มแรก และวิวัฒนาการนานมาแล้วโดยที่โรเตอร์ใหญ่ (MAIN ROTOR) จะติดตั้งเครื่องยนต์เจ็ตหรือ ROCKET ขนาดเล็กไว้บนโรเตอร์เพื่อเป็นตัวขับหมุนโรเตอร์ใหญ่ ส่วนด้านโรเตอร์หางนั้นไม่มี จะมีก็เป็นเพียงชุด VERTICAL FIN และ RUDDER คล้ายกับอากาศยานปีกตึง เนื่องจากโรเตอร์ประเภทนี้ยุ่งยากในการบังคับด้านหน่วยกำลังเครื่องยนต์จึงยกเลิกใช้และไม่นิยมใช้ในเวลาต่อมา

SCAN ME

WORLD FIRST RAM JET HELICOPTER

หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=qs7WlNrHRmA

3. CO – AXIAL ROTOR (โรเตอร์คู่ซ้อนกัน) หมายถึง ประเภทของโรเตอร์ที่ติดตั้งเข้ากับเฮลิคอปเตอร์ที่มีโรเตอร์ใหญ่ (MAIN ROTOR) 2 ชุด ติดตั้งเรียงซ้อนกันในแนวดิ่ง หรือโรเตอร์บนและโรเตอร์ล่างในแกนเพลาขับโรเตอร์ที่ซ้อนกัน และโรเตอร์ทั้ง 2 จะหมุนสวนทางกัน ดังนั้นแรงบิด (TORQUE) ที่เกิดขึ้นกับโรเตอร์ทั้ง 2 จะกำจัดซึ่งกันและกัน จึงไม่จำเป็นต้องมีโรเตอร์หาง (TAIL ROTOR)

SCAN ME

KA-50 BLACK SHARK

หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=qYWbV9YGdN8

4. TANDEM ROTOR (โรเตอร์คู่เรียงกันทางหน้า – หลัง) หมายถึง ประเภทของโรเตอร์ที่ติดตั้งเข้ากับเฮลิคอปเตอร์โดยมีโรเตอร์ใหญ่ (MAIN ROTOR) 2 ชุด โดยการติดตั้งเรียงกันทางด้านหน้าและหลังของเฮลิคอปเตอร์หรือจะเรียกว่าโรเตอร์หน้า และโรเตอร์หลัง แต่โรเตอร์ทั้งสองจะหมุนสวนทางกัน แรงบิดที่เกิดจากโรเตอร์ทั้ง 2 จะกำจัดซึ่งกันและกัน นิยมนำมาใช้กับเฮลิคอปเตอร์ขนาดใหญ่ในปัจจุบัน เช่น CHINOCK (CH-47)

หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=VNXT8WLIrWc

5. SIDE-BY-SIDE ROTOR (โรเตอร์คู่เรียงกันทางซ้าย – ขวา) หมายถึง โรเตอร์ใหญ่ (MAIN ROTOR) 2 ชุดติดตั้งเข้ากับเฮลิคอปเตอร์เรียงกันในทางข้างหรือทางระนาบทางซ้ายและขวาโรเตอร์ทั้งสองจะหมุนสวนทางกัน แรงบิด (TORQUE) ที่เกิดขึ้นจากโรเตอร์ทั้ง 2 จะกำจัดซึ่งกันและกัน จึงไม่จำเป็นต้องมีโรเตอร์หาง (TAIL ROTOR)

หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=vglHpvcK-Jk

แบบทดสอบหลังเรียนบทที่ 2

ให้ผู้เรียนสแกนเข้าไปทำแบบทดสอบหลังเรียนใน **QR CODE POST - TEST บทที่ 2** ด้านล่าง

หรือเข้าตามลิงก์ด้านล่าง

https://forms.gle/FaUDL4uhyFPaPr4X8

หลังจากผู้เรียนได้ทำแบบทดสอบหลังเรียนแล้วให้ประเมินความเข้าใจของตนเองโดยการเปรียบเทียบผลการเรียนระหว่างก่อนเรียนกับหลังเรียน ถ้าผลคะแนนดีขึ้นแสดงว่าเข้าใจเป็นอย่างดี แต่ถ้าคะแนนไม่ดีไม่ได้หมายความว่าเราไม่มีความรู้ เพียงแต่ยังรู้ไม่ลึกซึ้งหรือไม่กระจ่างเท่านั้น ซึ่งสิ่งเหล่านี้สามารถชดเชยได้ด้วยความเพียรพยามและแรงบันดาลใจที่เราสร้างได้ด้วยตนเองเพื่อไปสู่เป้าหมายได้ ดังคำกล่าวของ PELE ที่ได้กล่าวไว้ว่า

“ความสำเร็จไม่ได้มาจากความบังเอิญ แต่มาจาก ความเสียสละ ขยันหมั่นเพียร ศึกษาเรียนรู้อย่างหนัก และเหนือสิ่งอื่นใด มันมาจากความรักในสิ่งที่กำลังทำหรือเรียนรู้อยู่นั่นเอง”

บทที่ 3
ระบบบังคับการบินของเฮลิคอปเตอร์
(HELICOPTER FLIGHT CONTROL SYSTEM)

แบบทดสอบก่อนเรียนบทที่ 3

ให้ผู้เรียนสแกนเข้าไปทำแบบทดสอบก่อนเรียนใน **QR CODE PRE - TEST บทที่ 3** ด้านล่าง

หรือเข้าตามลิงก์ด้านล่าง

https://forms.gle/3Hi4yZDjpMMw7jCd6

กล่าวโดยทั่วไป

ระบบการบังคับการบินเป็นระบบหนึ่งที่สำคัญอย่างยิ่งของเฮลิคอปเตอร์ เพราะการที่จะบังคับให้เฮลิคอปเตอร์บินลอยตัวขึ้นจากพื้นดินสู่อากาศ และทำการบินไปในอากาศตามทิศทางต่างๆ นั้นได้จะต้องกระทำโดยนักบินที่ต้องบังคับการบินต่อระบบบังคับการบินของเฮลิคอปเตอร์

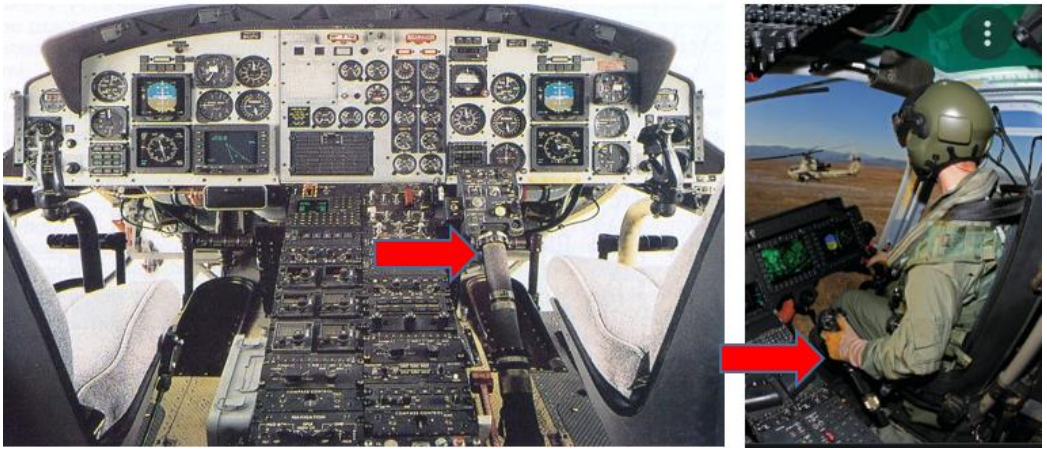
ระบบบังคับการบินของเฮลิคอปเตอร์

โดยทั่วๆ ไปของระบบบังคับการบินของเฮลิคอปเตอร์จะมีอยู่ 3 ระบบ ดังนี้

1. COLLECTIVE PITCH CONTROL SYSTEM
2. CYCLIC CONTROL SYSTEM
3. PEDALS or RUDDER OR ANTI – TORQUE CONTROL SYSTEM

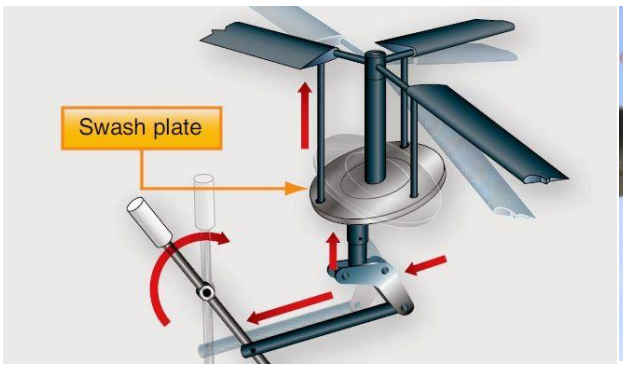
COLLECTIVE PITCH CONTROL SYSTEM

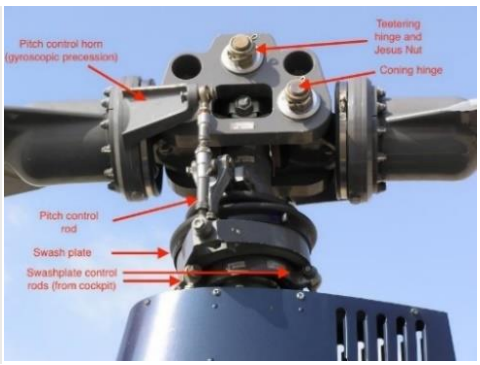
หน้าที่ของระบบ COLLECTIVE PITCH CONTROL SYSTEM นี้มีไว้เพื่อการบังคับให้เฮลิคอปเตอร์บินขึ้น-ลงในแนวดิ่ง (VERTICAL FLIGHT CONTROL)



หมายเหตุ: จาก https://www.pinterest.com.mx/pin/509680882800944303/

ส่วนประกอบของระบบโดยทั่วๆ ไป จะประกอบด้วยคันบังคับ COLLECTIVE PITCH CONTROL STICK สองคันสำหรับนักบินที่หนึ่งและที่สองและจะต่อเข้ากับคันส่งต่างๆ (CONTROL TUBES) และผ่านเข้าไปยังกระบอกสูบไฮดรอลิกส์ (POWER CYLINDER SERVO) ซึ่งต่อเข้ากับชุด SWASH PLATE หรือ STAR ASSAY ถ้าเป็นเฮลิคอปเตอร์ที่สร้างจากบริษัท BELL จะเรียกชุดอุปกรณ์ว่า SWASH PLATE ถ้าเป็นเฮลิคอปเตอร์ที่สร้างจากบริษัท SIKORSKY จะเรียกว่า STAR ASSAY

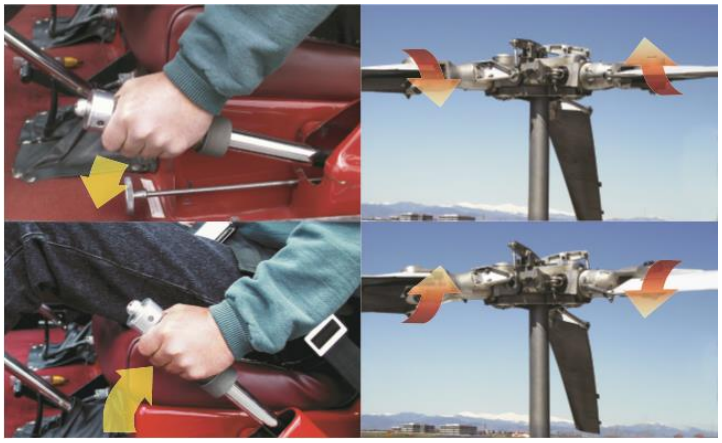




หมายเหตุ: จาก ENVIRONMENTALCONTROLEXPERT (2021)

SWASH PLATE หรือ STAR ASSAY ทำหน้าที่ถ่ายทอดการบังคับเพื่อเปลี่ยนแปลงมุมปะทะของกลีบใบพัดใหญ่ ซึ่งติดตั้งอยู่กับระบบโรเตอร์ใหญ่ให้เพิ่มขึ้นในกรณีที่ยกคันบังคับ COLLECTIVE PITCH CONTROL STICK ขึ้น และมุมปะทะจะลดลงเมื่อกดคันบังคับ COLLECTIVE PITCH CONTROL STICK ลงนั้นก็คือ การเพิ่มและลดแรงยกให้กับเฮลิคอปเตอร์

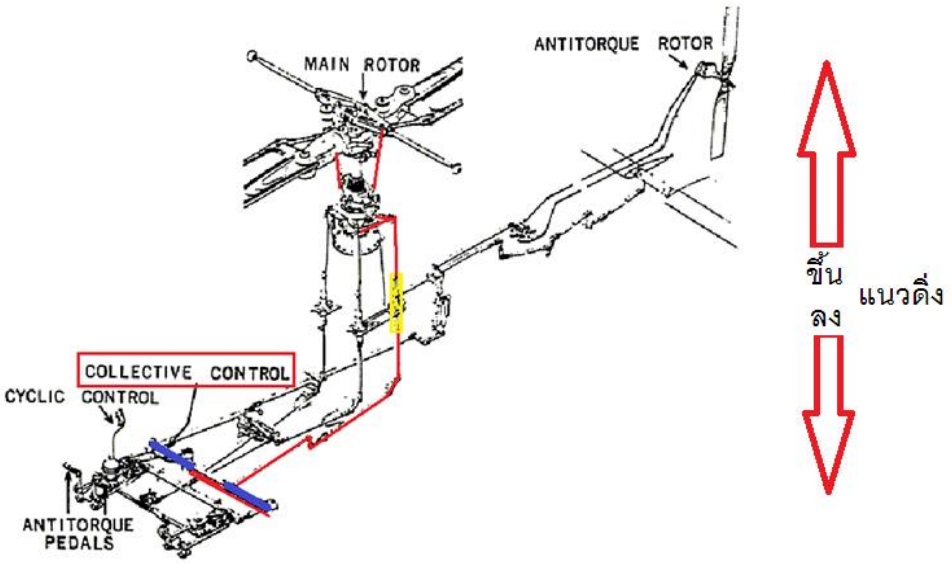
การทำงานของระบบเมื่อนักบินยกคับบังคับ COLLECTIVE PITCH CONTROL STICK ขึ้นหรือกดลง การบังคับจะถูกถ่ายทอดไปตามคันส่งและเข้าไปยังชุดกระบอกสูบไฮดรอลิกส์ (POWER CYLINDER SERVO) ซึ่งทำหน้าที่ช่วยผ่อนแรงในการบังคับส่งไปยังชุด SWASH PLATE หรือ STAR ASSAY เพื่อการถ่ายทอดการบังคับขึ้นไปยังระบบโรเตอร์ใหญ่เพื่อเปลี่ยนแปลงมุมปะทะของกลีบใบพัดใหญ่ของเฮลิคอปเตอร์ ถ้านักบินยกคันบังคับนี้ขึ้นจะทำให้มุมปะทะของกลีบใบพัดใหญ่เพิ่มขึ้นเท่าๆ กัน และเกิดขึ้นพร้อมกันไม่ว่าจะมีใบพัดใหญ่จำนวนกี่กลีบ



หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=PjCvZ4vM0zM

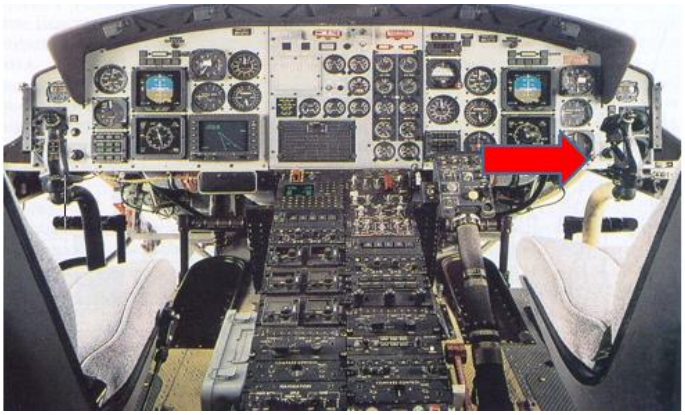
การเพิ่มมุมปะทะให้กับกลีบใบพัดใหญ่เป็นการเพิ่มแรงยกให้กับเฮลิคอปเตอร์ จึงทำให้เฮลิคอปเตอร์บินลอยตัวขึ้นจากพื้นดิน และในทางตรงกันข้าม ถ้านักบินกดคันบังคับ COLLECTIVE PITCH CONTROL STICK ลง มุมปะทะก็จะลดลงเท่าๆ กันและพร้อมกันขอทุกกลีบใบพัดใหญ่ ซึ่งจะเป็นผลทำให้แรงยกลดลง เฮลิคอปเตอร์ก็จะลอยตัวต่ำลงมาสู่พื้นดิน

คันบังคับ COLLECTIVE PITCH CONTROL STICK นี้จะมีระบบควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์ด้วย (THROTTLE) จะติดตั้งอยู่ตรงส่วนปลายสุดของคันบังคับ COLLECTIVE PITCH CONTROL STICK คันเร่งเพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์ (THROTTLE) นี้ส่วนใหญ่จะเป็นแบบ MOTORCYCLE หรือ TWIST GRIP เพราะการควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์จะกระทำโดยการหมุน ถ้าหมุนบิดทวนเข็มนาฬิกา เช่น รถมอเตอร์ไซด์จะเป็นการเร่งรอบเครื่องยนต์ให้สูงขึ้น ส่วนการบิดตามเข็มนาฬิกาจะเป็นการลดรอบการทำงานของเครื่องยนต์ลง ทั้งนี้เพราะขณะทำการบินเฮลิคอปเตอร์บางแบบที่ใช้เครื่องยนต์ลูกสูบ ถ้าหากยกคันบังคับ COLLECTIVE PITCH CONTROL STICK ขึ้นหมายถึงเพิ่มมุมปะทะให้กับกลีบใบพัดใหญ่เพิ่มขึ้นจะทำให้เครื่องยนต์ที่ทำงานได้รับภาระกรรม (LOAD) เพิ่มขึ้นดังนั้นรอบเครื่องยนต์จะลดลงดังนั้นนักบินจะต้องควบคุมรอบเครื่องยนต์ให้คงที่ โดยการเร่งคันบังคับเครื่องยนต์ (THROTTLE) ให้สูงขึ้นเพื่อจะชดเชยมิให้รอบเครื่องยนต์ลดลงขณะเริ่มทำการบินจากสนามซึ่งเหมาะกับนักบินที่จะบังคับรอบเครื่องยนต์ด้วยการหมุนคันเร่งแบบนี้ แต่ถ้าเป็นเฮลิคอปเตอร์ใช้เครื่องยนต์แก๊ซเทอร์ไบน์ จะมีการเร่งคันเร่งเครื่องยนต์ระบบ THROTTLE และยังมีการทำงานด้วยการควบคุมโดยลักษณะพิเศษมี สวิทช์โกบเวอร์เนอร์ (GOVERNOR) ควบคุมรอบเครื่องยนต์ด้วยระบบควบคุมไฟฟ้า ดังนั้นระบบนี้จึงง่ายต่อการบังคับและควบคุมรอบการทำงานของเครื่องยนต์ขณะทำการบิน แต่อย่างไรก็ตามระบบ THROTTLE ก็ยังคงทำงานร่วมอยู่ตลอดเวลาในการควบคุมรอบเครื่องยนต์ขณะทำการบิน ขณะทำการควบคุมรอบเครื่องยนต์ โดยการบิด THROTTLE ทวนหรือตามเข็มนาฬิกาจะส่งผลของการบังคับไปยังชุดคันเร่งนี้ FUEL CONTROL UNIT ของเครื่องยนต์ เพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์ด้วย นอกจากระบบควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์แล้วยังมีระบบการติดเครื่องยนต์ (STARTER SWITCH) ประกอบอยู่ส่วนล่างของ THROTTLE ด้วยและเฮลิคอปเตอร์บางแบบจะมีระบบติดเครื่องยนต์ติดตั้งไว้ที่คันบังคับ COLLECTIVE PITCH CONTROL STICK ด้วยเพื่อง่ายต่อการปฏิบัติงานของนักบินด้วย นอกจากที่กล่าวมาแล้วยังต้องมีระบบไฟฟ้าบางระบบเข้ามาติดตั้งสวิทช์ควบคุมการทำงานอยู่ด้วย เช่น ระบบไฟลงสนาม (LANDING LIGHT SWITCH) ระบบไฟค้นหา (SEARCH LIGHT SWITCH) เป็นต้น

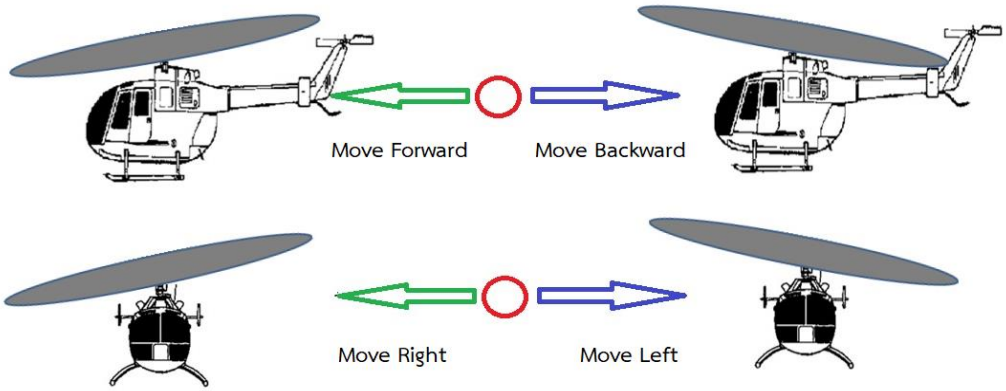


หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=kDqUnirx4Gc

CYCLIC CONTROL SYSTEM

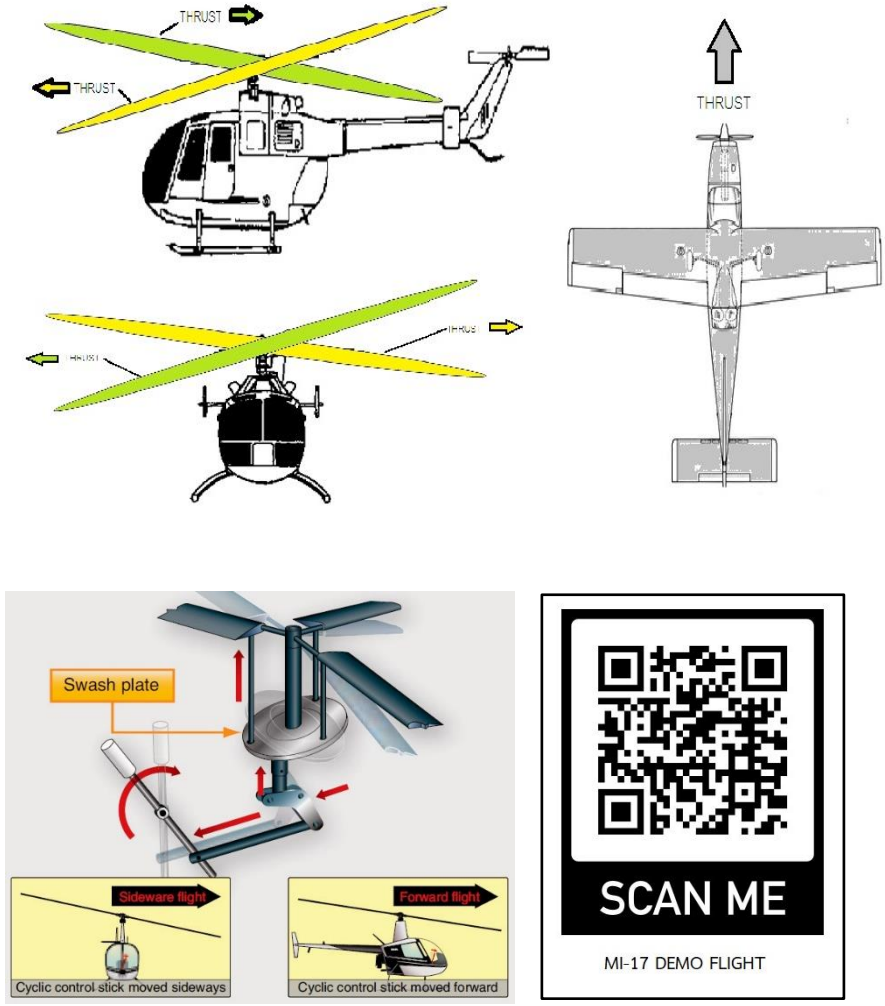


หน้าที่ของระบบ CYCLIC CONTROL SYSTEM นี้มีไว้เพื่อการบังคับให้เฮลิคอปเตอร์บินไปในทิศทางระนาบ HORIZONTAL CONTROL หรือ LATERAL FLIGHT CONTROL รวมทั้งการบินไต่และบินดำด้วย เพราะการทำงานของระบบนี้เป็นการทำงานเพื่อบังคับทิศทางของแรงฉุด (THRUST) ของเฮลิคอปเตอร์โดยการบังคับของนักบินโดยการเอียงแนวจานหมุนของใบพัดใหญ่ (ROTOR DISC) หรือ TIP PATH PLANE ในกรณีมองจากด้านข้างระนาบดังได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น ถ้านักบินทำการดันคันบังคับ CYCLIC CONTROL STICK ไปในทิศทางใดๆ (สามารถกระทำได้ 360 องศา) เพื่อทำให้แนวจานหมุนของกลีบใบพัดใหญ่ (ROTOR DISC) เอียงไปตามทิศทางของการบังคับนั้นก็หมายถึงแรงฉุดที่เกิดจากชุดโรเตอร์จะไปตามทิศทางนั้นๆ จึงทำให้เฮลิคอปเตอร์เคลื่อนที่ไปตามทิศทางที่ถูกบังคับโดยนักบิน เพราะเมื่อนักบินดันคันบังคับ CYCLIC CONTROL STICK ไปในทิศทางใด ผลของการบังคับจะถูกถ่านทอดไปตามคันส่งและผ่าน POWER CYLINDER SERVO ดังได้กล่าวมาแล้วว่าเพื่อผ่อนแรงในการบังคับไปเอียงชุด SWASH PLATE หรือ STAR ASSAY เพื่อทำให้ชุดโรเตอร์ใหญ่เอียงแนวจานหมุน (ROTOR DISC) ไปตามทิศทางที่นักบินดันคันบังคับ CYCLIC CONTROL STICK



จากภาพจะสังเกตได้ว่าเมื่อนักบินดัน CYCLIC CONTROL STICK ไปในทิศทางใดจะทำให้ ROTOR DISK เอียงไปทางใด จะฉุดให้เฮลิคอปเตอร์เคลื่อนที่ไปในทิศทางนั้นได้ทุกทิศทุกทาง 360 องศา โดยที่หัวของเฮลิคอปเตอร์ไม่ต้องหันไปในทิศทางที่เคลื่อนที่ไป จึงเป็นข้อได้เปรียบของเฮลิคอปเตอร์อย่างหนึ่งที่เหนือกว่าเครื่องบินทั่วไป (FIXED WING) ที่หัวของเครื่องบินต้องไปในทิศทางที่จะบินไปเสมอ ที่เป็นเช่นนั้นเพราะเครื่องบินจะใช้เครื่องยนต์ (ENGINE) หรือใบพัด (PROPELLER) ในการสร้างแรงฉุด (THRUST) และใช้ปีกสำหรับสร้างแรงยก (LIFT) ดังนั้นจึ้งต้องฉุดให้เครื่องบินเคลื่อนที่ไปข้างหน้า เพื่อให้อากาศไหลผ่านปีกจึงจะทำให้เครื่องบินลอยตัวขึ้นสู่อากาศได้ แต่สำหรับเฮลิคอปเตอร์ใบพัดหลัก (MAIN ROTOR) จะสร้างทั้งแรงยก (LIFT) และแรงฉุด (THRUST)

เมือเอียง ROTOR DISK ไปทางใดจึงทำให้เคลื่อนที่ไปทางนั้นได้โดยที่ไม่ต้องให้หัวเฮลิคอปเตอร์ไปในทิศทางนั้น



หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=Ycep_gylxlA

แต่การทำงานของระบบนี้จะเปลี่ยนแปลงมุมปะทะของกลีบใบพัดใหญ่ของชุดโรเตอร์ไม่เท่ากันและไม่เกิดขึ้นพร้อมกันในหนึ่งรอบการหมุน ซึ่งจะไปกล่าวไว้ในเรื่องการไม่สมดุลของแรงยก (DISSYMMETRY OF LIFT) อีกต่อไป

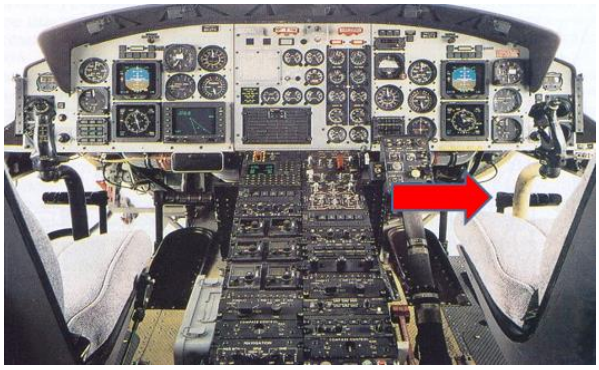
ระบบบังคับการบินของเฮลิคอปเตอร์บางรุ่นหรือบางแบบ อาจมีระบบร่วมในระบบของการบังคับการบินเพิ่มขึ้นอีกเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบังคับการบินให้ดีเพิ่มขึ้น ดังเช่นระบบบังคับการบินของเฮลิคอปเตอร์แบบ UH – IH, UH – IN, BELL 212 เป็นต้น ซึ่งเป็นเฮลิคอปเตอร์ซึ่งผลิตโดยบริษัท BELL สหรัฐอเมริกา มักจะมีระบบ SYNCHRONIZED ELEVATOR เข้ามาต่อร่วมกับระบบของ

CYCLIC CONTROL STICK เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบังคับการบินทางหลัง – หลัง (FWD. – AFT. CONTROL) ให้ดีขึ้นและเป็นการปรับระยะของ CG. (CENTER OF GRAVITY) ของเฮลิคอปเตอร์ให้อยู่ในช่วงตำแหน่งที่ถูกต้องขณะทำการบังคับการบินทางด้านหน้า – หลัง

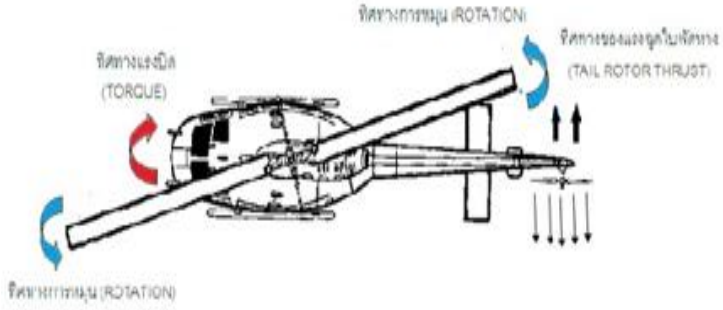
หมายเหตุ: จาก https://drive.google.com/file/d/11D4bJKzvUO81VeNtOgvpWohX4cnHHGO6/view?usp=sharing

หลักการทำงานของ SYNCHRONIZED ELEVATOR จะคล้ายกับการเกิดแรงยก (LIFT) ที่เกิดขึ้นบนปีกของเครื่องบินโดยทั่วไป แต่จะสังเกตเห็นว่าสร้างให้มีส่วนโค้ง (CAMBER) อยู่ด้านล่าง หมายถึงต้องการสร้างแรงยกลงด้านล่างหรือแรงกดที่ส่วนหางของเฮลิคอปเตอร์นั่นเอง เนื่องจากเมื่อนักบินดัน CYCLIC CONTROL STICK ไปด้านหน้าจะทำให้ ROTOR DISK เอียงไปด้านหน้าเพื่อฉุดให้เฮลิคอปเตอร์เคลื่อนที่ไปข้างหน้า ลำตัวของเฮลิคอปเตอร์ก็จะเอียงตามไปด้วย SYNCHRONIZED ELEVATOR ก็จะทำหน้าที่สร้างแรงกดที่หางเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบังคับการบินทางหลัง – หลัง ให้ดีขึ้นและระยะ CG. (CENTER OF GRAVITY) อยู่ในกำหนดที่ออกแบบมา

PEDALS or RUDDER or ANTI – TORQUE CONTROL SYSTEM



ระบบบังคับการบินระบบนี้เป็นระบบบังคับที่มีไว้เพื่อเป็นการบังคับทิศทางการบินของเฮลิคอปเตอร์ (DIRECTIONAL FLIGHT CONTROL) และทำหน้าที่ในการแก้แรงบิด (TORQUE) อันเกิดจากการหมุนของโรเตอร์ใหญ่ (MAIN ROTOR) ในขณะเฮลิคอปเตอร์ทำการบิน



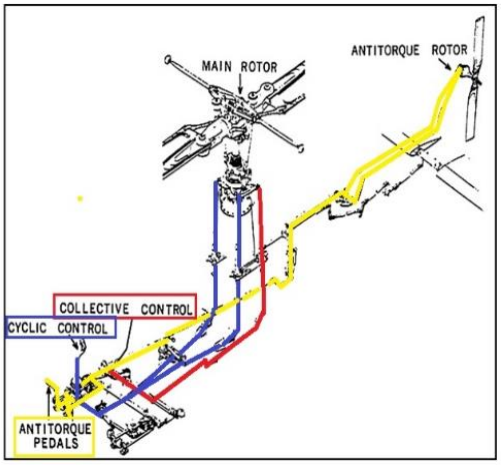
SCAN ME

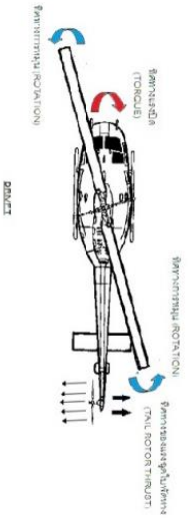
MAIN ROTOR TORQUE

หมายเหตุ: จาก https://drive.google.com/file/d/1v9ZP-WK6p3BGZjR3eA5-p8moUqBl6y96/view?usp=sharing

ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบส่วนใหญ่จะคล้ายกับระบบของ CYCLIC CONTROL STICK ซึ่งมี PEDALS CONTROL หรือ RUDDER CONTROL และมีส่วนประกอบที่เป็นคันส่ง (MECHANICAL LINK GAGE) ผ่านไปยังกระบอกสูบไฮดรอลิค (POWER CYLINDER SERVO) แล้วต่อด้วยคันส่งหรือเฮลิคอปเตอร์บางแบบจะต่อด้วยการบังคับด้วยลวดบังคับ (CONTROL CABLE) ไปยังชุดโรเตอร์หางเพื่อถ่ายทอดการบังคับไปเปลี่ยนแปลงมุมปะทะที่กลีบใบพัดหาง (TAIL ROTOR BLADES) เพื่อเป็นการเปลี่ยนแปลงแรงฉุดของโรเตอร์

การทำงานของระบบนี้เมื่อนักบินทำการบิน นักบินจะใช้เท้าทั้งสองของนักบินไปบังคับที่ PEDALS CONTROL ถ้านักบินทำการบังคับโดยการดัน PEDALS CONTROL ด้านใดด้านหนึ่งให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้า PEDAL อีกด้านหนึ่งจะเคลื่อนที่ถอยหลังนั่นหมายถึงเกิดการบังคับเกิดขึ้นเพื่อส่งการบังคับไปเปลี่ยนแปลงมุมปะทะให้กลีบใบพัดหาง เพื่อเป็นการเพิ่มหรือลดแรงฉุดของโรเตอร์หางนั่นเอง ถ้าโรเตอร์หางมีแรงฉุดมากกว่าแรงบิดที่เกิดจากการหมุนของโรเตอร์ใหญ่ เฮลิดอปเตอร์จะเลี้ยวไปตามทิศทางของแรงฉุดของโรเตอร์หาง แต่ถ้าแรงฉุดโรเตอร์หางลดลง เฮลิคอปเตอร์จะเลี้ยวไปตามทิศทางของแรงปิดที่เกิดจากการหมุนของโรเตอร์ใหญ่





หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=ohU6LssRgLY

เพื่อให้เข้าใจมากยิ่งขึ้นผู้เรียบเรียงได้สรุปบทเรียน เรื่องระบบบังคับการบินของเฮลิคอปเตอร์ที่ผู้เรียบเรียงบรรยายเอง และคลิปวีดีโอจากสื่ออิเลคอทรอนิกส์ที่สามารถเข้าไปดูและมีเรื่องที่เกี่ยวข้องสำหรับผู้สนใจศึกษาอีกมากมายตาม QR CODE ด้านล่าง

หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=PjCvZ4vM0zM

https://drive.google.com/file/d/1AUB_hjgHqSDBJVToFAy9pYCTN387N1EV/view?usp=sharing

แบบทดสอบหลังเรียนบทที่ 3

ให้ผู้เรียนสแกนเข้าไปทำแบบทดสอบหลังเรียนใน **QR CODE POST - TEST บทที่ 3** ด้านล่าง

หรือเข้าตามลิงก์ด้านล่าง

https://forms.gle/WFfA8EbZGqLdruap9

หลังจากผู้เรียนได้ทำแบบทดสอบหลังเรียนแล้วให้ประเมินความเข้าใจของตนเองโดยการเปรียบเทียบผลการเรียนระหว่างก่อนเรียนกับหลังเรียน ถ้าผลคะแนนดีขึ้นแสดงว่าเข้าใจเป็นอย่างดี แต่ถ้าคะแนนไม่ดีไม่ได้หมายความว่าเราไม่มีความรู้ เพียงแต่ยังรู้ไม่ลึกซึ้งหรือไม่กระจ่างเท่านั้น ซึ่งสิ่งเหล่านี้สามารถชดเชยได้ด้วยความเพียรพยามในการศึกาค้นคว้าเพิ่มเติมทั้งในตำราเรียนต่างๆ และสื่ออิเลคทรอนิกส์อีกมากมายเพื่อให้ได้คำตอบที่สร้างความกระจ่างให้แก่เราได้ ดังคำกล่าวของ MARK TWAIN ที่ได้กล่าวไว้ว่า

“การหาคำตอบเป็นหนทางที่ฉลาดกว่าการคาดเดา”

บทที่ 4
แรงที่กระทำกับเฮลิคอปเตอร์ขณะบินในอากาศ
(FORCES ACTING ON HELICOPTER IN FLIGHT)

แบบทดสอบก่อนเรียนบทที่ 4

ให้ผู้เรียนสแกนเข้าไปทำแบบทดสอบก่อนเรียนใน **QR CODE PRE - TEST บทที่ 4** ด้านล่าง

หรือเข้าตามลิงก์ด้านล่าง

https://forms.gle/SJFxMJ9BRBKJT1EA6

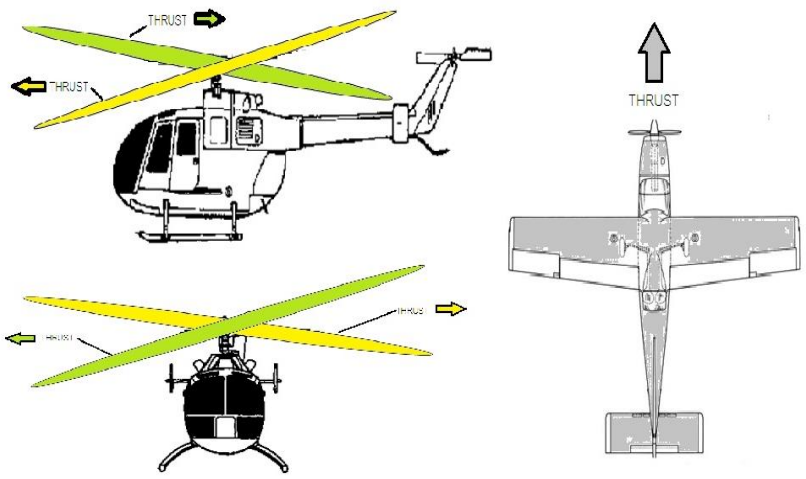
กล่าวโดยทั่วไป

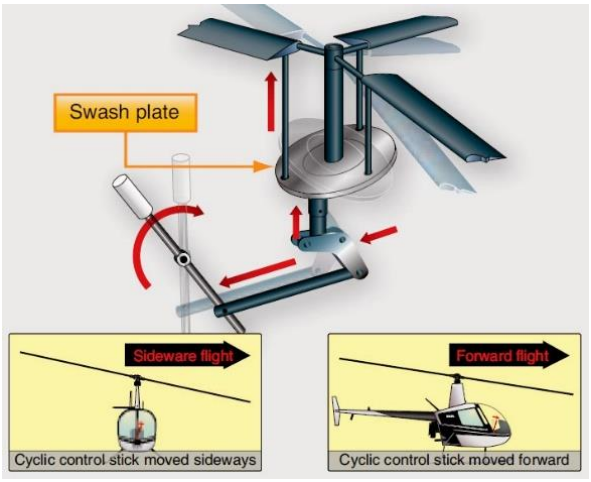
แรงขั้นมูลฐานทางอากาศพลศาสตร์ AERODYNAMICS FORCES ที่กระทำกับเฮลิคอปเตอร์ขณะบินในอากาศก็มีลักษณะเช่นเดียวกันกับแรงมูลฐานทางอากาศพลศาสตร์ที่กระทำต่อเครื่องบินปีกตรึง (FIXED WING AIRCRAFT) คือแรงฉุด (THRUST) แรงยก (LIFT) แรงต้าน (DRAG) และแรงโน้มถ่วงหรือน้ำหนักของอากาศยานกระทำต่อแรงดึงดูดของโลก (GRAVITY OR WEIGHT) นอกเหนือจากแรงทั้งสี่ที่กล่าวมาแล้วยังมีแรงอีกแรงหนึ่งที่มากระทำกับเฮลิคอปเตอร์นอกเหนือจาก

แรงทางอากาศพลศาสตร์ทั้งสี่แรงคือ แรงบิด (TORQUE) ซึ่งเกิดจากการหมุนของชุดโรเตอร์ใหญ่ (MAIN ROTOR) ของเอลิคอปเตอร์และแรงนี้จะมีทิศทางตรงกันข้ามกับการหมุนของชุดโรเตอร์ใหญ่ แล้วยังเกี่ยวข้องกับการบังคับการบินด้วยขณะเฮลิคอปเตอร์บินไปในอากาศ

แรงฉุด (THRUST)

แรงฉุด (THRUST) เป็นแรงที่ทำให้เฮลิคอปเตอร์เคลื่อนที่ไปได้ทุกทิศทาง (IN ANY DIRECTION) ซึ่งผิดไปจากเครื่องบินปีกตรึงเพราะเครื่องบินปีกตรึงจะมีทิศทางของแรงฉุดเฉพาะข้างหน้าของเครื่องบินเท่านั้น ส่วนเฮลิคอปเตอร์แรงฉุดสามารถบังคับให้มีทิศทางไปตามทิศทางต่างๆ โดยไม่ต้องหันหัวหรือด้านหน้าของเฮลิคอปเตอร์ไปในทิศทางที่จะเคลื่อนที่ไป ด้วยการบังคับที่ CYCLIC CONTROL STICK เพื่อไปอำนวยการทำงานให้แนวจานหมุนของชุดใบพัดใหญ่ (ROTOR DISK)เอียงไปได้ 360 องศา เมื่อทำการบังคับให้จานหมุนของโรเตอร์ ROTOR DISC OR TIP PATH PLANE เอียงไปทิศทางใดแรงฉุดก็จะฉุดเฮลิคอปเตอร์ให้เคลื่อนที่ไปทางนั้นๆ เพราะเหตุว่าแรงฉุดของเฮลิคอปเตอร์เกิดจากการหมุนหรือการทำงานของชุดกลีบใบพัด MAIN ROTOR ซึ่งต่างกับแรงฉุดของเครื่องบินปีกตรึง (FIXED WING) ที่หัวของเครื่องบินต้องไปในทิศทางที่จะบินไปเสมอ เนื่องจากเครื่องบินทั่วไปจะใช้เครื่องยนต์ (ENGINE) หรือใบพัด (PROPELLER) ในการสร้างแรงฉุด (THRUST) และใช้ปีกสำหรับสร้างแรงยก (LIFT) ดังนั้นจึงต้องฉุดให้เครื่องบินเคลื่อนที่ไปข้างหน้า เพื่อให้อากาศไหลผ่านปีกจึงจะทำให้เครื่องบินลอยตัวขึ้นสู่อากาศได้ แต่สำหรับเฮลิคอปเตอร์ใบพัดหลัก (MAIN ROTOR) จะสร้างทั้งแรงยก (LIFT) และแรงฉุด (THRUST) เมื่อเอียง ROTOR DISK ไปทางใดจึงทำให้เคลื่อนที่ไปทางนั้นได้โดยที่ไม่ต้องให้หัวเฮลิคอปเตอร์ไปในทิศทางนั้น

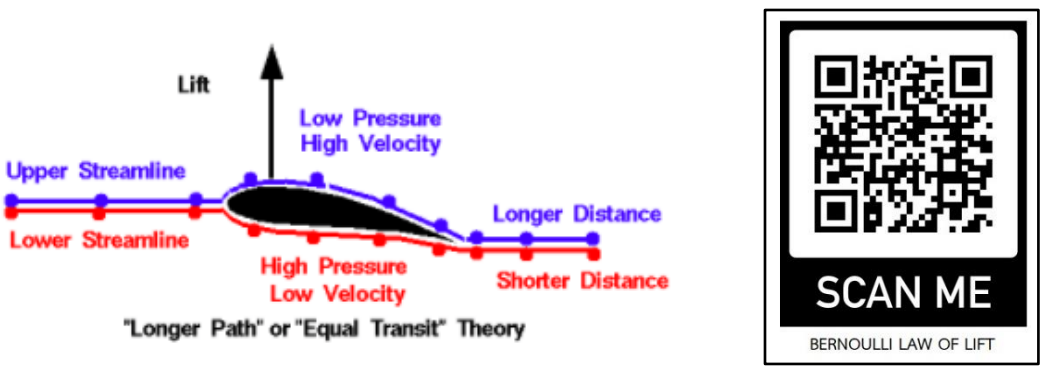




หมายเหตุ: จาก https://drive.google.com/file/d/1BrHcQ4JeJU1tTDsMB1sL1TBAiTAzw6Nb/view?usp=sharing

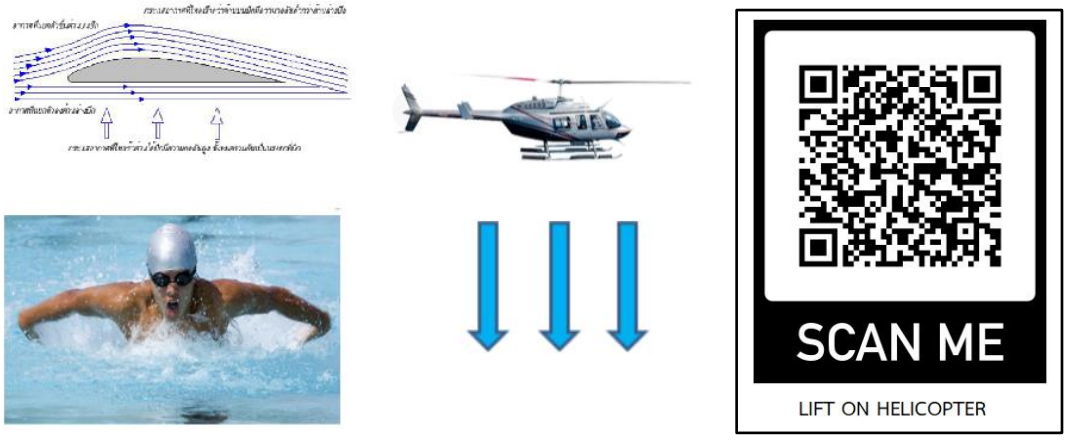
แรงยก (LIFT)

แรงยก (LIFT) เป็นแรงที่เกิดขึ้นบนแพนอากาศ (AIRFOIL) ของอากาศยานทุกประเภทซึ่งสามารถทำให้อากาศยานบินลอยตัวสูงขึ้นสู่อากาศได้ แรงนี้เกิดขึ้นจากเมื่ออากาศไหลผ่านผิวบนและผิวล่างของแพนอากาศจึงทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างความเร็วและความดันของอากาศที่ผิวทั้งสอง โดยปกติแล้วความเร็วของกระแสอากาศที่ไหลผ่านผิวบนจะมีความเร็วสูงกว่าผิวล่างของแพนอากาศ ดังนั้นจะทำให้ผิวบนมีความกดอากาศต่ำส่วนผิวล่างจะมีความกดดันอากาศสูงกว่าจึงเกิดเป็นผลต่างระหว่างความดันอากาศระหว่างผิวบนและล่างขึ้น เนื่องจากผิวบนมีความกดดันต่ำกว่าผิวลางจึงทำให้เกิดปฏิกิริยาอันหนึ่งเรียกว่าแรงยก (LIFT) ขึ้นไปด้านผิวบนของแพนอากาศ ตามกฎของเบอร์นวลลี่ (BERNOULLI'S LAW THEOREM)



หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=w78JT6azrZU

สำหรับเฮลิคอปเตอร์แล้วก็เป็นเช่นเดียวกันแต่ขณะกลีบใบพัดใหญ่หมุนผ่านอากาศด้วยความเร็วแต่ก็ยังทำให้เกิดการผลักดันมวลอากาศ (MASS) ลงสู่เบื้องล่างนั้น คือกลีบใบพัดใหญ่จะทำหน้าที่ผลักมวลอากาศจากด้านบนลงสู่ด้านล่างขณะชุดโรเตอร์ใหญ่หมุนจึงทำให้เกิด DOWNWASH ซึ่งเปรียบเทียบกับการเกิด REACTION อันหนึ่งขึ้นเบื้องบนซึ่งเรียกว่า แรงยก (LIFT) ซึ่งเป็นไปตามกฎนิวตันข้อสาม (NEWTON'S THIRD LAW) ถ้าจะเปรียบเทียบให้ง่าย เข้าและเห็นได้ชัดเจนผู้เรียบเรียงขอยกตัวอย่างเปรียบเทียบ เช่นเดียวกับคนที่ว่ายน้ำ ถ้าเราเอามือผลักมวลของน้ำลงเบื้องล่างตัวเราจะลอยขึ้นสู่ผิวน้ำเช่นกัน ดังนั้นการเกิดแรงยกขึ้นบนกลีบใบพัดใหญ่ของเฮลิคอปเตอร์จึงเป็นไปได้ทั้งกฎของเบอร์นวลลี่และกฎของนิวตันข้อสาม

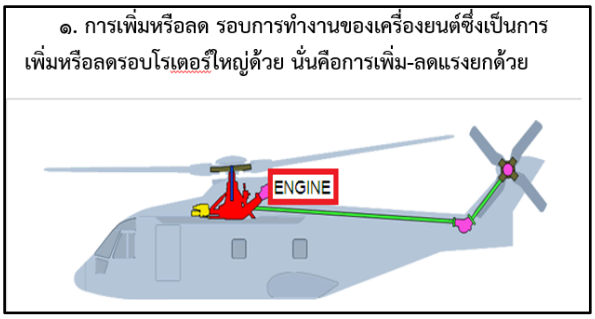


หมายเหตุ: จาก https://drive.google.com/file/d/12-hRSPtE-GalfkxHYH_s_xr2fTza4JX3/view?usp=sharing

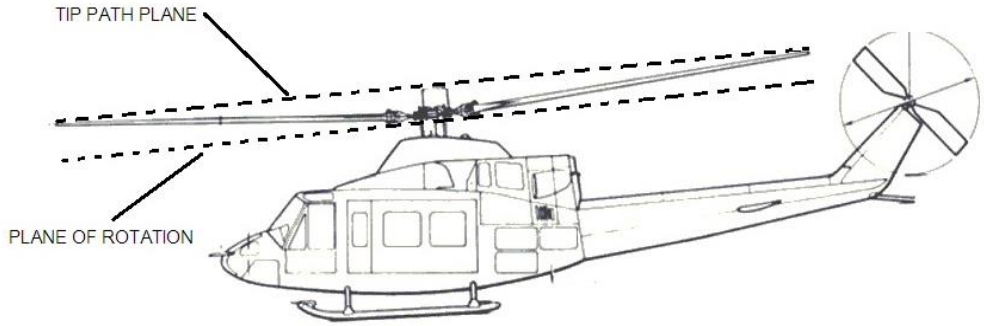
แตกต่างจากการเกิดแรงยกบนปีกหรือแพนอากาศของเครื่องบินปีกตรึง FIXED WING AIRCRAFT ซึ่งเป็นไปตามกฎของเบอร์นวลลี่อย่างเดียวที่เห็นได้อย่างชัดเจน ส่วนที่เป็นไปตามกฎของนิวตันนั้น เห็นได้ไม่ชัดเจน อย่างไรก็ตามผลของการไหลของกระแสอากาศจากผิวบนลงด้านล่างของชายหลังของปีกจะทำให้เกิด DOWNWASH ACTION เช่นกัน แรงยกที่เกิดบนกลีบใบพัดใหญ่ของเฮลิคอปเตอร์นั้นถ้าจะพิจารณาลักษณะการเกิดแรงยกเราแบ่งการเกิดแรงยกได้เป็นสองลักษณะ คือ แรงยกที่เกิดจากกฎของเบอร์นวลลี่เป็นแรงยกที่เรียกว่า INDUCED LIFT และแรงยกที่เกิดจากกฎของนิวตันข้อสามเป็นแรงยกที่เรียกว่า DYNAMIC LIFT

การควบคุมแรงยกของเฮลิคอปเตอร์ทำการบินนั้นนักบินสามารถจะกระทำได้สองลักษณะ คือการควบคุมที่กำลังของเครื่องยนต์ นั่นหมายถึงการเพิ่ม – ลด รอบการทำงานของเครื่องยนต์ซึ่งจะมีผลไปเพิ่ม – ลด รอบการหมุนของโรเตอร์ใหญ่ให้เพิ่ม – ลด ได้ นั่นก็มีผลต่อการเพิ่ม – ลด ของแรง

ยกด้วย นอกจากการควบคุมที่รอบเครื่องยนต์แล้ว นักบินก็ยังสามารถควบคุมการเพิ่ม – ลด มุมปะทะของกลีบใบพัดใหญ่ได้โดยการยกขึ้นและกดลง คันบังคับ COLLECTIVE CONTROL STICK เพื่อเป็นการเพิ่ม – ลดมุมปะทะซึ่งก็จะมีผลต่อการเพิ่ม – ลดของแรงยกด้วย



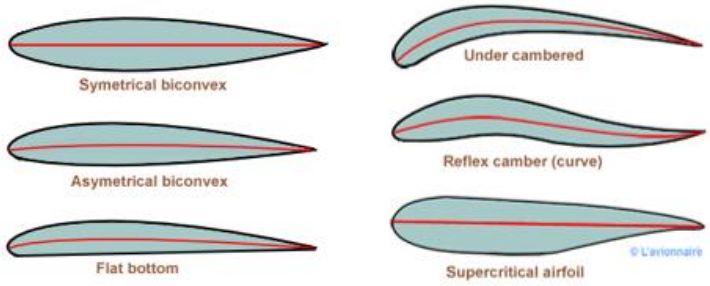
<u>หมายเหตุ</u> ขณะเฮลิคอปเตอร์ทำการบินไปในทิศทางใดๆ และโรเตอร์จะเอียงไปด้วยมุมกระพือเท่าไรก็ตามแต่แนวของแรงยกรวมจะต้องอยู่ในแนวตั้งฉากกับแนวการหมุนของโรเตอร์ (PLANE OF ROTATION) หรือแนวการเดินทางของปลายกลีบใบพัดของโรเตอร์ที่เรียกว่า TIP PATH PLANE.



องค์ประกอบของแรงยก

องค์ประกอบของแรงยก (FACTOR EFFECTING LIFT) องค์ประกอบของแรงยกของอากาศยานโดยทั่วๆ ไป ตลอดทั้งเฮลิคอปเตอร์แล้วจะมีองค์ประกอบสำคัญอยู่ 5 ประการดังนี้

1. รูปร่างของแพนอากาศหรือปีก (SHAPE OF AIRFOIL) ปกติแล้วรูปร่างของแพนอากาศหรือปีกผู้แผนแบบที่สร้างเครื่องบินหรือเฮลิคอปเตอร์จะต้องคำนึงถึงเรื่องว่าเครื่องบินหรือเฮลิคอปเตอร์ที่สร้างขึ้นมาจะให้มีภารกิจอะไร บรรทุกน้ำหนักเท่าไร เพื่อประสงค์อะไร ดังนั้นผู้แผนแบบจึงเลือกชนิดรูปร่างของแพนอากาศนั้นขึ้นมาประกอบเป็นปีกหรือแพนอากาศให้พอเหมาะกับอากาศยานนั้น



หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=rCpZpKZLz14

2. พื้นที่ของแพนอากาศหรือปีก (AREA OF AIRFOIL) ถ้าพื้นที่ของแพนอากาศหรือปีกเพิ่มขึ้นแรงยกเป็นลักษณะอัตราส่วนที่สัมพันธ์กัน แต่การเพิ่มพื้นที่ให้กับแพนอากาศหรือปีกนี้จะมีข้อจำกัด เพราะถ้าเพิ่มพื้นที่มากขึ้นแรงต้านจะเกิดมากขึ้นตามไปด้วย ทั้งยังจะต้องหากำลังเครื่องยนต์ที่เพิ่มกำลังขับมาขับหมุนด้วยสำหรับเฮลิคอปเตอร์นั้น การที่จะเพิ่มพื้นที่ให้แก่กลีบใบพัดหรือทำให้กลีบใบพัดโตขึ้นนั้นจึงมีข้อจำกัดทางด้านแรงต้านและกำลังเครื่องยนต์ที่จะมาขับหมุน จึงนิยมโดยการเพิ่มจำนวนกลีบใบพัดให้มากกลีบขึ้น

หมายเหตุ ความมุ่งหมายหลักในการเพิ่มจำนวนกลีบใบพัดใหญ่ที่ติดตั้งกับเฮลิคอปเตอร์ขนาดใหญ่ๆ เพื่อภารกิจในการบรรทุกน้ำหนักและการขนส่งได้มากๆ ก็เพื่อเป็นการเพิ่มแรงยกและแรงฉุดให้กับเฮลิคอปเตอร์แทนการที่จะเพิ่มพื้นที่ให้กับกลีบใบพัดให้มีขนาดใหญ่โตขึ้น การเพิ่มจำนวนกลีบใบพัดใหญ่ให้กับเฮลิคอปเตอร์ เพื่อเหตุผลที่จะเพิ่มแรงยก และแรงฉุดให้กับเฮลิคอปเตอร์ซึ่งเป็นไปตามสูตรของแรงเบื้องต้น

F = MA

F (FORCE) ซึ่งหมายถึงแรงที่เกิดบนกลีบใบพัดใหญ่นั่นก็คือแรงยก (LIFT) และแรงฉุด (THRUST)

M (MASS) หมายถึงมวลอากาศที่ถูกกลีบใบพัดใหญ่ผลักดันลงมาสู่เบื้องล่างแต่จะทำให้ตัวรอยลอยขึ้นด้านบน

A (ACCELERATION) หมายถึงอัตราเร่งของมวลอากาศที่ถูกผลักลงมา ถ้ามีอัตราเร่งเพิ่มขึ้นก็จะได้รับแรงยกและแรงฉุดขึ้นด้านบนเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ดังนั้นถ้าเพิ่มจำนวนกลีบใบพัดให้กับเฮลิคอปเตอร์เพิ่มขึ้นจึงเป็นการเพิ่มการผลักดันมวลอากาศลงสู่เบื้องล่างเพิ่มขึ้น และอัตราเร่งของมวลอากาศก็จะเพิ่มมากขึ้นขณะชุดใบพัดใหญ่หมุน

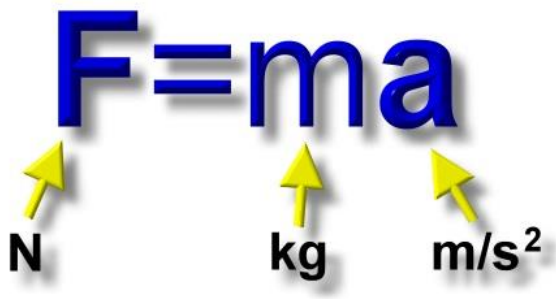
ดังนั้นขณะเฮลิคอปเตอร์ทำการบินซึ่งเป็นการเพิ่มแรงยกและแรงฉุดให้กับเฮลิคอปเตอร์จึงเป็นไปตามสูตร

F = MA

F (FORCE) = MASS X ACCELERATION

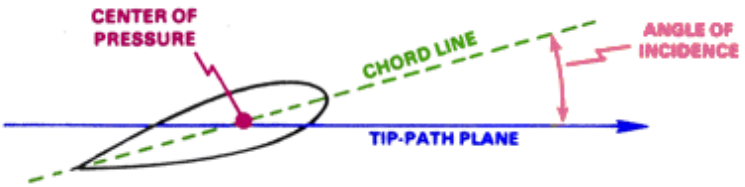
แรง = ปริมาณมวลอากาศ X อัตราเร่งของมวลอากาศ

ตามสูตรสามารถอธิบายได้ว่า ถ้าปริมาณมวลอากาศเพิ่มมากขึ้นและมีอัตราเร่งเพิ่มขึ้นจะทำให้ได้รับแรงเพิ่มขึ้นแรงในที่นี้หมายถึงแรงยก (LIFT FORCE) นั่นเอง



หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=F_XlATPLvac

3. มุมปะทะของแพนอากาศหรือปีก (ANGLE OF ATTACK) ถ้ามุมปะทะเพิ่มขึ้นจะทำให้แรงยกเพิ่มมากขึ้นในลักษณะอัตราส่วนสัมพันธ์กัน แต่การเพิ่มมุมปะทะให้สูงขึ้นจะมีขีดจำกัด ถ้าหากการเพิ่มมุมปะทะให้สูงจนถึงมุมปะทะวิกฤต (CRITICAL ANGLE OF ATTACK) จะทำให้เกิดการร่วงหล่น (STALL) หรือสูญเสียแรงยกบนปีกหรือแพนอากาศ ยกเว้นเครื่องบินที่มีความเร็วสูงเช่นเครื่องบินขับไล่, ทิ้งระเบิด เป็นต้น จะไม่มีปัญหากับมุมปะทะวิกฤตนี้ เนื่องจากชดเชยด้วยความเร็ว

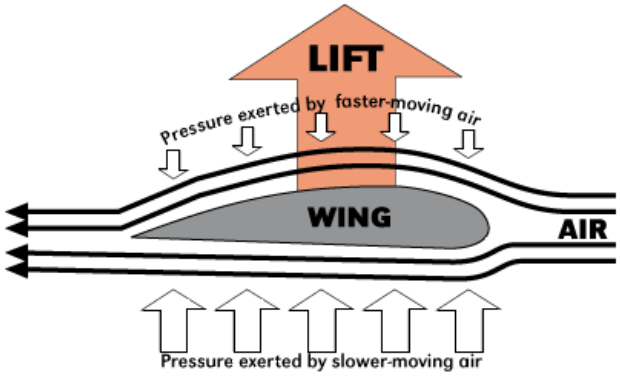


SCAN ME
CAMBER AIRFOIL

หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=Png0fnG0b_U

4. ความเร็วของปีกหรือแพนอากาศ (VELOCITY OF AIRFOIL OR SPEED) ความเร็วของปีกหรือแพนอากาศ ถ้าเป็นเครื่องบินปีกตรึงถือว่าเป็นความเร็วของเครื่องบินก็ได้ เพราะความเร็วสัมพัทธ์ที่เกิดบนปีกก็คือความเร็วที่เกิดจากกระแสอากาศที่วิ่งเข้าปะทะกับปีกซึ่งเท่ากับความเร็วของเครื่องบินที่บินไปข้างหน้า

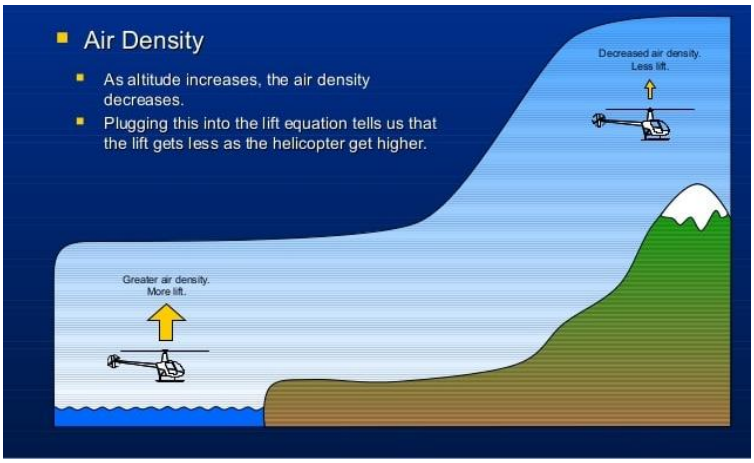
ส่วนเฮลิคอปเตอร์นั้นผิดแปลกไปจากของเครื่องบินปีกตรึง เพราะขณะที่กลับใบพัดใหญ่หมุนก็เกิดมีความเร็วที่กลีบใบพัดแล้วทั้งๆ ที่ลำตัวเฮลิคอปเตอร์ยังไม่เคลื่อนที่ไปข้างหน้า แต่ถ้าเฮลิคอปเตอร์เคลื่อนที่ไปข้างหน้าด้วยความเร็วแล้ว ความเร็วสัมพัทธ์ที่เกิดบนกลีบใบพัดใหญ่จะค่าเพิ่มขึ้นตามความเร็วของเฮลิคอปเตอร์ที่บินไปข้างหน้า เฉพาะกลีบใบพัดใหญ่ที่หมุนทวนทิศทางลมสัมพัทธ์ แต่กลีบใบพัดใหญ่ที่หมุนตามทิศทางลมสัมพัทธ์จะลดลงซึ่งจะไปอธิบายมาในเรื่องของการเกิดการไม่สมดุลของแรงยกบนกลีบใบพัดใหญ่ (DISSYMMETRY OF LIFT) ต่อไป



SCAN ME
LIFT AND VELOCITY

หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=zTH21XFlnLw

5. ความหนาแน่นของอากาศ (DENSITY ALTITUDE) ความหนาแน่นของอากาศจะเป็นผลโดยตรงต่อแรงยกมีลักษณะที่สัมพันธ์กันโดยตรง ถ้าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นจะทำให้แรงยกเพิ่มขึ้นด้วย แต่ที่ระยะสูง 18,000 ฟุต จะทำให้ความหนาแน่นอากาศลดลง 1/2 ของความหนาแน่นที่ระดับน้ำทะเล (SEA LEVEL) ทั้งนี้เพราะถ้าระยะความสูงเพิ่มขึ้นความหนาแน่นของอากาศจะลดลง ดังนั้นแรงยกจะลดลงด้วย ถ้าทำการบินที่ระยะสูงๆ แต่จะถูกชดเชยด้วยความเร็ว นอกจากระยะสูงที่เพิ่มขึ้น ทำให้ความหนาแน่นลดลงแล้วยังมีตัวแปรอีกคือ อุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นจะลดลง เพราะอณูของอากาศจะขยายตัวออกจึงทำให้ความหนาแน่นของอากาศลดลงและแรงยกจะลดลงด้วย



SCAN ME

DENSITY & LIFT GENERATION

หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=5sAAdyMaDL0

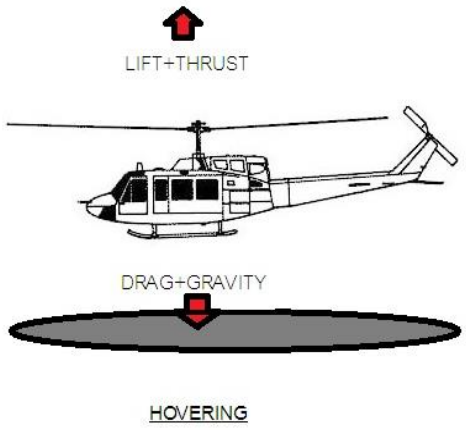
หมายเหตุ ในตำราบางเล่มกล่าวว่า องค์ประกอบที่ทำให้เกิดผลต่อแรงยกของเฮลิคอปเตอร์มี 6 ประการ (THERE ARE SIX FACTORS THAT EFFECTS LIFTING ABILITY OF HELICOPTER)

1. พื้นที่แนวกวาดของชุดใบพัดใหญ่ (ROTOR DISC AREA)
2. กำลังเครื่องยนต์ที่ไปใช้ขับหมุนชุดกลีบใบพัดใหญ่ (POWER SUPPLIED TO THE ROTOR)
3. มุมปะทะของกลีบใบพัดใหญ่ (PITCH OF THE ROTOR BLADES)
4. อัตราส่วนระหว่างพื้นที่กลีบใบพัดทั้งหารด้วยพื้นที่แนวกวาดของชุดใบพัดใหญ่ (SOLIDITY RATIO OF THE ROTOR หรือ RATIO OF THE TOTAL BLADE AREA TO THE DISC AREA)
5. ความหนาแน่นของอากาศ (DENSITY ALTITUDE)
6. ความราบเรียบของกลีบใบพัด (SMOOTHNESS OF THE BLADES)

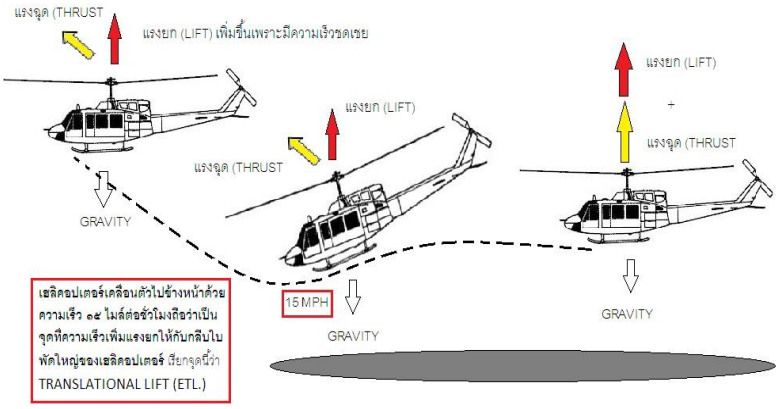
สำหรับองค์ประกอบทั้ง 6 ประการนี้จะอยู่ในองค์ประกอบใหญ่ๆ ที่สำคัญ 5 ประการดังได้กล่าวมาแล้ว

กรณีที่เฮลิคอปเตอร์บินลอยตัวอยู่กับที่ในอากาศ (HOVERING FLIGHT) แรงฉุด (THRUST) และแรงยก (LIFT) ที่เกิดขึ้นบนชุดโรเตอร์ใหญ่ของเฮลิคอปเตอร์จะอยู่ในแนวดิ่งเดียวกันโดยมีทิศทางชี้ขึ้นด้านบนและจะตั้งฉากกับ TIP PATH PLANE กรณีที่มองจากด้านข้าง ส่วนแรงโน้มถ่วง GRAVITY หรือน้ำหนักของเฮลิคอปเตอร์ WEIGHT จะอยู่ในแนวดิ่งเดียวกันและมีทิศทางชี้ลงสู่พื้นโลก ซึ่งอยู่ตรงข้ามระหว่างแรงฉุดและแรงยก

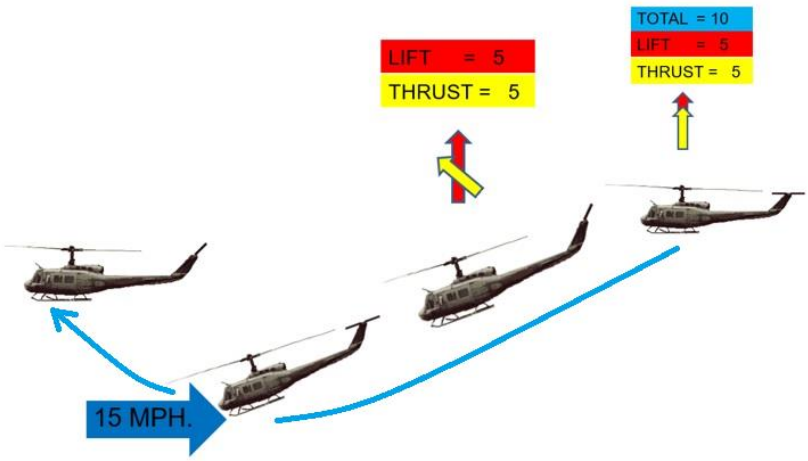
ดังนั้นการบินลอยตัวอยู่กับที่ในอากาศจึงทำให้เกิดการสมดุลระหว่างแรงทั้งสี่ BALANCE FORCES ซึ่งทำให้เฮลิคอปเตอร์มีระยะความสูงคงที่, ความเร็วเป็นศูนย์ แรงฉุด (THRUST) + แรงยก (LIFT) = แรงโน้มถ่วงหรือน้ำหนัก (GRAVITY) + แรงต้าน (DRAG)



แต่ถ้าหากนักบินต้องการให้เฮลิคอปเตอร์เคลื่อนที่ไปข้างหน้า นักบินจะต้องดันคันบังคับ CYCLIC CONTROL STICK ไปข้างหน้าเพื่อทำการเอียงแนวจานหมุนของกลีบใบพัดใหญ่ (ROTOR DISC) หรือ TIP PATH PLANE ไปข้างหน้าเพื่อให้เกิดแรงฉุดไปข้างหน้าแต่ถ้าการบังคับให้แนวจานหมุนหรือแนว TIP PATH PLANE เอียงไปมากเท่าไรแรงฉุดที่ฉุดให้เฮลิคอปเตอร์เคลื่อนที่ไปข้างหน้าก็จะมากขึ้นด้วย แต่แรงยกจะลดลงถ้าหากกำลังการขับหมุนของเครื่องยนต์และความเร็วคงที่



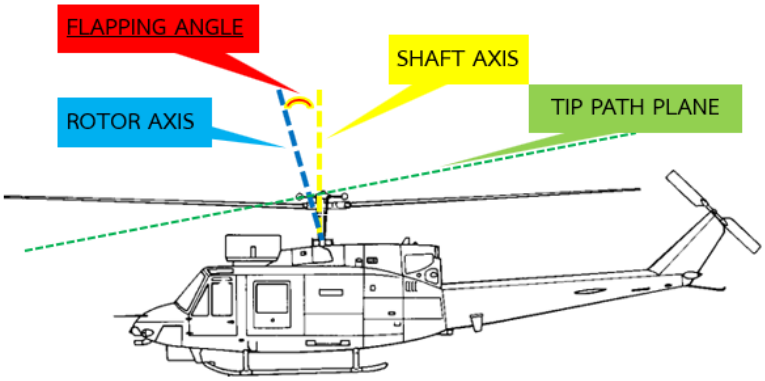
ดังนั้นในกรณีที่เฮลิคอปเตอร์เริ่มเคลื่อนที่ไปข้างหน้าภายหลังจากการบิน HOVERING FLIGHT เฮลิคอปเตอร์จะเสียระยะสูงลงเล็กน้อย เพราะแรงยะถูกแตกแรงออกมาเป็นแรงฉุดให้เฮลิคอปเตอร์ เคลื่อนที่ไปข้างหน้าและแรงยกลดลงด้วยในขณะเดียวกันถ้าเฮลิคอปเตอร์ทำการบิน HOVERING FLIGHT อยู่ในระยะของ GROUND EFFECT ขณะเฮลิคอปเตอร์เคลื่อนตัวออกไปนั้นได้เริ่มหลุดออกจากบริเวณที่เป็นพื้นที่ของ GROUND EFFECT ดังได้อธิบายมาแต่ตอนต้นแล้วจึงทำให้เฮลิคอปเตอร์เสียระยะสูงลงไปด้วยอีกเล็กน้อย จนเฮลิคอปเตอร์เคลื่อนตัวไปข้างหน้าด้วยความเร็ว 15 ไมล์/ชั่วโมง ซึ่งถือว่าเป็นจุดความเร็วที่เริ่มเพิ่ม แรงยกให้กลีบใบพัดใหญ่ของเฮลิคอปเตอร์ ซึ่งเรียกว่า TRANSLATION LIFT ดังนั้นแรงยกจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามลำดับที่ความเร็วเพิ่มขึ้น จึงทำให้เฮลิคอปเตอร์สามารถบินไต่ขึ้นสู่ระยะสูงได้ต่อไป



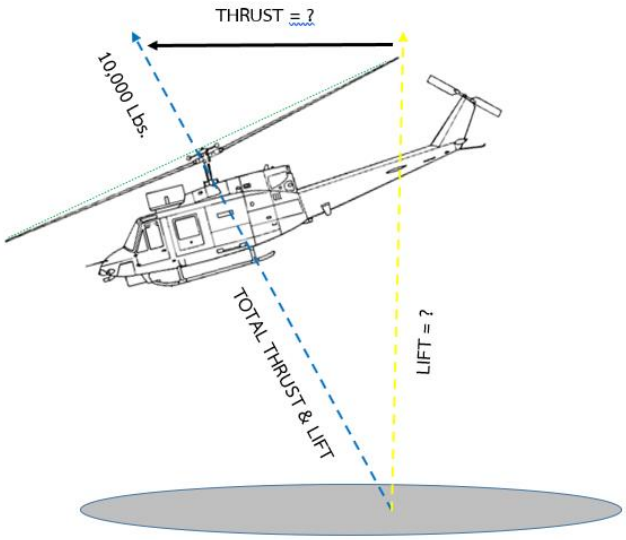
EFFECTIVE TRANSLATIONAL LIFT (ETL.)

หมายเหตุ: จาก https://drive.google.com/file/d/1DWfcZ47C880E-y7iOHIUKE8VzQAAoVu-/view?usp=sharing

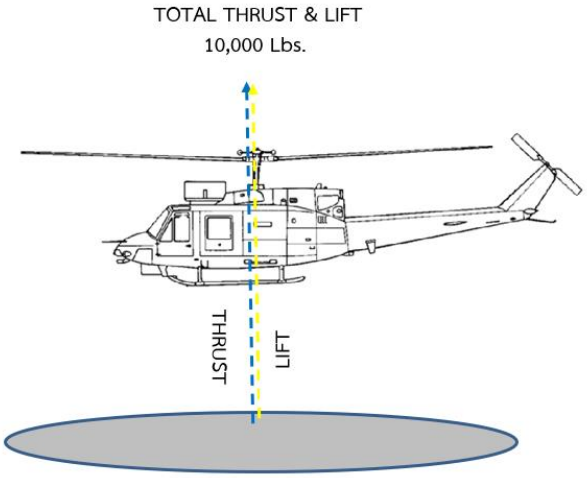
ในกรณีที่เฮลิคอปเตอร์บินลอยตัวอยู่กับที่และนักบินเริ่มบังคับให้เฮลิคอปเตอร์เคลื่อนที่ไปข้างหน้าด้วยแรงฉุดนั้นเราจะสามารถคำนวณหาแรงฉุดที่ทำให้เฮลิคอปเตอร์เคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้ หรือจะหาแรงยกขณะที่เฮลิคอปเตอร์เคลื่อนที่ไปข้างหน้านั้นได้โดยหลักการของ TRIGONOMETRIC SOLUTION OF ROTOR LIFT ได้โดยอาศัยค่าของมุมกระพือ (FLAPPING ANGLE) ที่เกิดขึ้นระหว่าง SHAFT AXIS กับ ROTOR AXIS เมื่อเกิดการเอียงของเส้นแนวทางเดินกลีบใบพัด (TIP PATH PLANE) เป็นตัวแปรในการคำนวณโดยใช้หลักของตรีโกณมิติ



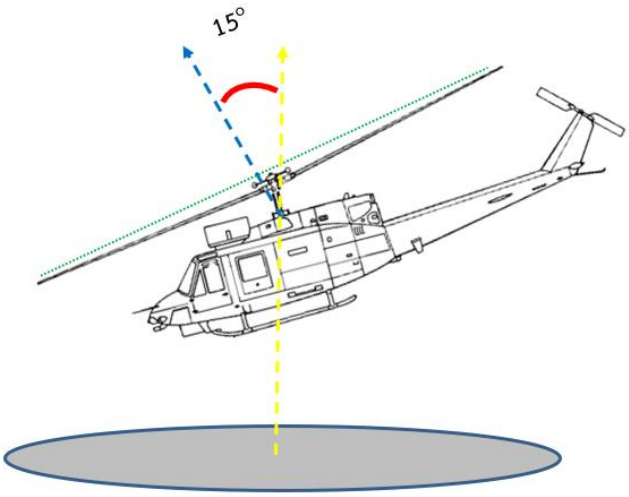
ตัวอย่าง เฮลิคอปเตอร์เครื่องหนึ่งบินลอยตัวอยู่กับที่ในอากาศ (HOVERING FLIGHT) ซึ่งมีน้ำหนักบรรทุก 10,000 ปอนด์ ถ้านักบินต้องการให้เฮลิคอปเตอร์บินไปข้างหน้านักบินจะต้องบังคับ CYCLIC CONTROL STICK ไปข้างหน้าและทำให้แนวของจานหมุนของโรเตอร์หรือ TIP PATH PLANE เอียงไปจากเดิม 15 องศา อยากทราบว่าขณะนั้นจะทำให้เฮลิคอปเตอร์เคลื่อนไปข้างหน้าด้วยแรงฉุด (THRUST) เท่าไร



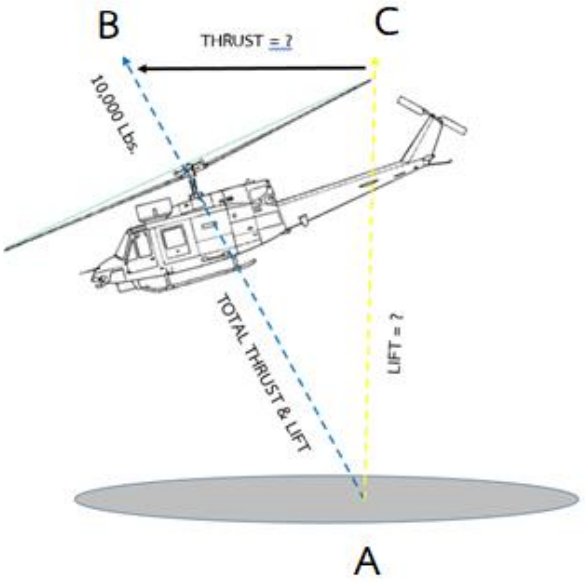
สมมติว่าเฮลิคอปเตอร์เครื่องหนึ่งทำการบินลอยตัวอยู่ที่ในอากาศ (HOVERING FLIGHT) มีน้ำหนักรวมทั้งหมด 10,000 ปอนด์ นั่นก็หมายความว่าแรงยกและแรงฉุดอยู่ในแนวดิ่งเดียวกันและตรงกันข้ามกับแรงต้านและแรงโน้มถ่วงซึ่งอยู่ในแนวดิ่งดึงลงสู่พื้นโลกจึงทำให้แรงทั้งสี่อยู่ในลักษณะสมดุลขณะเฮลิคอปเตอร์บินลอยตัวอยู่กับที่



ดังนั้นแรงฉุด (THRUST) และแรงยก (LIFT) จะมีค่าเท่ากับแรงต้าน (DRAG) และแรงโน้มถ่วงหรือน้ำหนัก (GRAVITY) ทั้งหมดของเฮลิคอปเตอร์ เมื่อนักบินบังคับให้เฮลิคอปเตอร์เคลื่อนที่ไปข้างหน้าโดยดันคันบังคับ CYCLIC CONTROL STICK ไปข้างหน้า ทำให้เส้นแนวทางเดินกลีบใบพัด (TIP PATH PLANE) เปลี่ยนแนวเอียงไปข้างจากตำแหน่งเดิม 15 องศา หมายถึงเกิดมุมแห่งการกระพือ (FLAPPING ANGLE) 15 องศา



จึงทำให้เกิดแรงฉุดไปข้างหน้าซึ่งเดิมอยู่ในแนวดิ่งจึงเป็นการแตกแรงระหว่างแรงยก (LIFT) และแรงฉุด (THRUST) ออกจากกัน ซึ่งสามารถคำนวณหาแรงยกและแรงฉุดขณะที่เฮลิคอปเตอร์เกิดการเอียง เส้นแนวทางเดินกลีบใบพัด (TIP PATH PLANE) ไปข้างหน้า 15 องศา ได้โดยอาศัยหลักการคำนวณโดยวิธีตรีโกณมิติ (TRIGONOMETRIC SOLUTION OF ROTOR LIFT) ดังต่อไปนี้

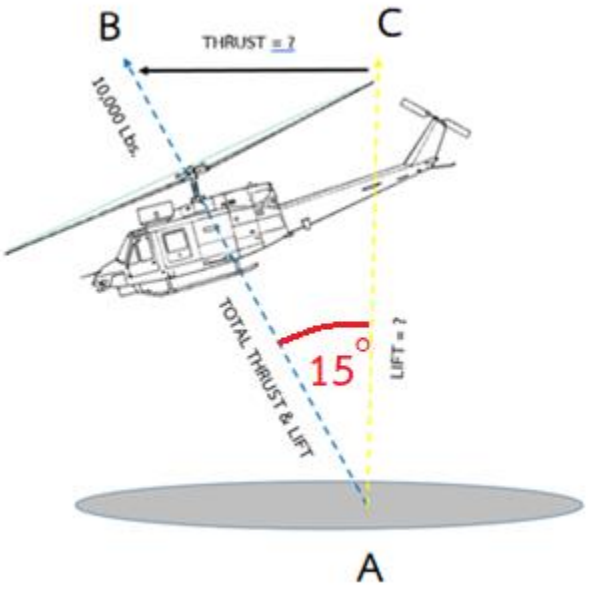


ตามภาพเมื่อเขียนเป็นเวคเตอร์ (VECTOR) แทนแรง ขณะเฮลิคอปเตอร์บินลอยตัวอยู่กับที่ (HOVERING) นั้น แนวเส้นของแรงรวมทั้งหมดอยู่ในแนวดิ่งคือ AC หรือ แรงยก (LIFT) กับแรงฉุด (THRUST) อยู่ในแนวเดียวกัน แต่เมื่อนักบินบังคับให้แนวจานหมุน (ROTOR DISK) เอียงไปจากเดิม 15 องศา ทำให้เกิดเส้นแรงใหม่ซึ่งตั้งฉากกับเส้นแนวทางเดินกลีบใบพัด (TIP PATH PLANE) เรียกว่า ROTOR AXIS คือเส้น AB เป็นเส้นของแรงรวมขณะทำการเอียง TIP PATH PLANE ไป 15 องศา ซึ่งมีค่าเท่ากับน้ำหนักรวมของเฮลิคอปเตอร์ขณะทำการบินลอยตัวอยู่นั้น หรือเส้นแรงรวมทั้งหมดของแรงยก (LIFT) และแรงฉุด (THRUST)

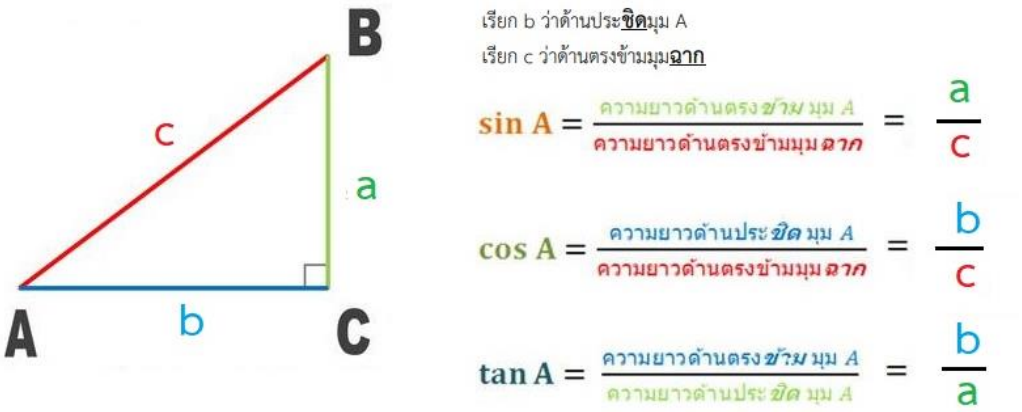
ส่วนเส้น BC ซึ่งเป็นเส้นแรงของแรงฉุด (THRUST) ที่ทำให้เฮลิคอปเตอร์เคลื่อนที่ไปข้างหน้า ดังนั้นเมื่อเขียน VECTOR แทนแรงขึ้นจึงเป็นรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก ABC โดยมีมุม BAC 15 องศา และมุม ACB 90 องศา

จะเห็นได้ว่าเส้น AB เป็นเส้นแรงร่วม (TOTAL LIFT & THRUST) ขณะแนวจานหมุน (ROTOR DISK) เอียง มีค่าเท่ากับ 10,000 ปอนด์

BC เป็นเส้นแสดงทิศทางของแรงฉุด (THRUST) ซึ่งมีทิศทางไปข้างหน้าและเป็นลักษณะตั้งฉากกับ AC และ AB เป็นเส้นแทนแรงของแรงยก (LIFT) ขณะเฮลิคอปเตอร์เริ่มเอียง TIP PATH PLANE ไปข้างหน้า 15 องศา ดังนั้นเราจึงสามารถคำนวณหาเส้นแรงต่างๆ ได้ดังนี้



ฟังก์ชั้นตรีโกณมิติ (trigonometry)



ฟังก์ชั้นตรีโกณมิติ (Trigonometry)

1. คำนวณหาแรงฉุด (THRUST) ที่ทำให้เฮลิคอปเตอร์เคลื่อนที่ไปข้างหน้า หรือ เส้น BC ดังนี้

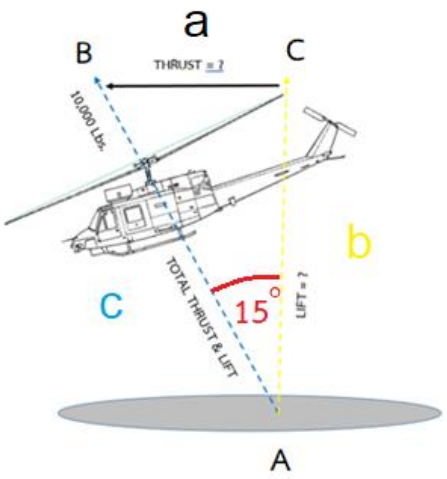
$$\text{Sin A} = \frac{a}{c}$$

$$\text{Sin } 15^\circ (0.259) = \frac{a}{10{,}000\ Lbs.}$$

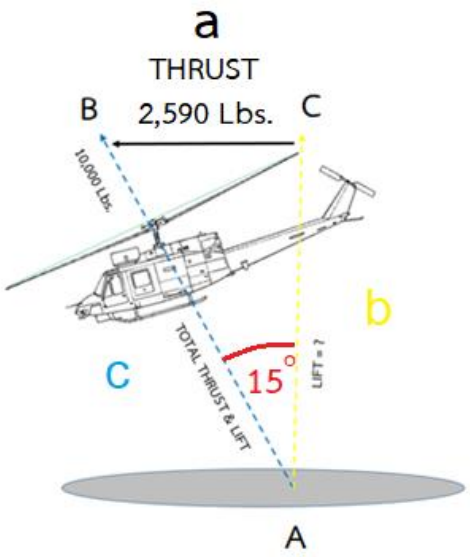
$$0.259 = \frac{a}{10{,}000\ Lbs.}$$

a = 0.259 x 10,000 Lbs.

a = 2,590 Lbs.



ดังนั้น แรงฉุด (THRUST) = 2,590 Lbs.

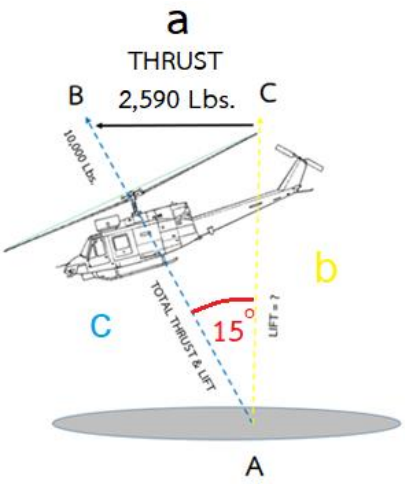


ตารางตรีโกณมิติ (Trigonometry Table)

มุมองศา	ระยะมุม	Sin	Cos	Tan	มุมองศา	ระยะมุม	Sin	Cos	Tan	มุมองศา	ระยะมุม	Sin	Cos	Tan
0	0.00000	0.00000	1.00000	0.00000	16	0.27925	0.27564	0.96125	0.28675	31	0.54105	0.51504	0.85717	0.60086
1	0.01745	0.01745	0.99985	0.01746	17	0.29671	0.29237	0.95630	0.30573	32	0.55851	0.52992	0.84805	0.62487
2	0.03491	0.03490	0.99939	0.03492	18	0.31416	0.30902	0.95106	0.32492	33	0.57596	0.54464	0.83867	0.64941
3	0.05236	0.05234	0.99863	0.05241	19	0.33161	0.32557	0.94552	0.34433	34	0.59341	0.55919	0.82904	0.67451
4	0.06981	0.06976	0.99756	0.06993	20	0.34907	0.34202	0.93969	0.36397	35	0.61087	0.57358	0.81915	0.70021
5	0.08727	0.08716	0.99619	0.08749	21	0.36652	0.35837	0.93358	0.38386	36	0.62832	0.58779	0.80902	0.72654
6	0.10472	0.10453	0.99452	0.10510	22	0.38397	0.37461	0.92718	0.40403	37	0.64577	0.60182	0.79864	0.75355
7	0.12217	0.12187	0.99255	0.12278	23	0.40143	0.39073	0.92050	0.42447	38	0.66323	0.61566	0.78801	0.78129
8	0.13963	0.13917	0.99027	0.14054	24	0.41888	0.40674	0.91355	0.44523	39	0.68068	0.62932	0.77715	0.80978
9	0.15708	0.15643	0.98769	0.15838	25	0.43633	0.42262	0.90631	0.46631	40	0.69813	0.64279	0.76604	0.83910
10	0.17453	0.17365	0.98481	0.17633	26	0.45379	0.43837	0.89879	0.48773	41	0.71558	0.65606	0.75471	0.86929
11	0.19199	0.19081	0.98163	0.19438	27	0.47124	0.45399	0.89101	0.50953	42	0.73304	0.66913	0.74314	0.90040
12	0.20944	0.20791	0.97815	0.21256	28	0.48869	0.46947	0.88295	0.53171	43	0.75049	0.68200	0.73135	0.93252
13	0.22689	0.22495	0.97437	0.23087	29	0.50615	0.48481	0.87462	0.55431	44	0.76794	0.69466	0.71934	0.96569
14	0.24435	0.24192	0.97030	0.24933	30	0.52360	0.50000	0.86603	0.57735	45	0.78540	0.70711	0.70711	1.00000
15	0.26180	0.25882	0.96593	0.26795										

2. คำนวณหาแรงยก (LIFT) ที่ทำให้เฮลิคอปเตอร์ลอยตัวอยู่ในแนวดิ่ง หรือ เส้น AC ดังนี้

$$\text{Cos A} = \frac{b}{c}$$



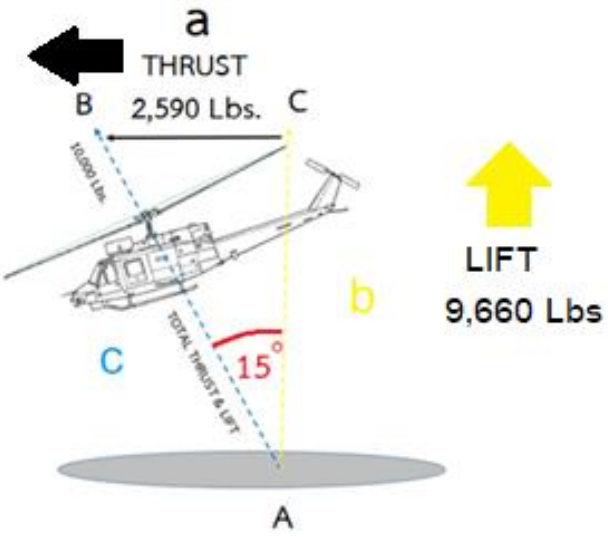
$$\text{Cos } 15^{\circ}\ (0.966) = \frac{b}{\mathbf{10{,}000\ Lbs.}}$$

$$0.966 = \frac{b}{\mathbf{10{,}000\ Lbs.}}$$

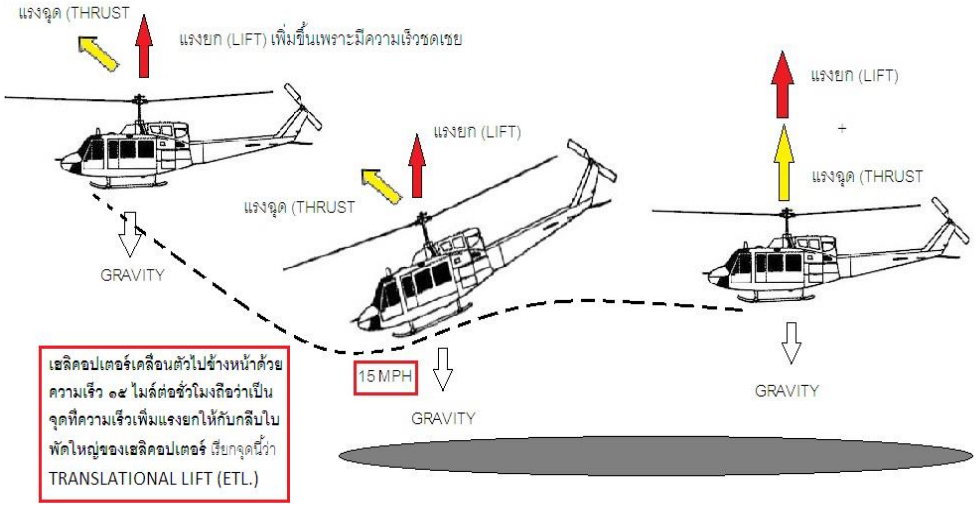
b = 0.966 x 10,000 Lbs.

b = 9,660 Lbs.

ดังนั้น แรงยก (LIFT) = 9,660 Lbs.



ดังนั้นเมื่อเฮลิคอปเตอร์เริ่มเคลื่อนที่ไปข้างหน้าจะเสียระยะสูงลงเล็กน้อย เพราะแรงส่วนหนึ่งใช้ในการสร้างแรงยก (LIFT) ให้เฮลิคอปเตอร์เคลื่อนตัวไปข้างหน้า ทำให้แรงยก (LIFT) ที่พยุงน้ำหนักของเฮลิคอปเตอร์ลดน้อยลงไป จนกระทั่งเฮลิคอปเตอร์บินไปได้ด้วยความเร็ว 15 ไมล์/ชั่วโมง ซึ่งถือว่าเป็นจุดความเร็วที่เริ่มเพิ่มแรงยก (LIFT) ให้กลีบใบพัดใหญ่ของเฮลิคอปเตอร์ ซึ่งเรียกว่า TRANSLATION LIFT ดังนั้นแรงยกจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามลำดับที่ความเร็วเพิ่มขึ้น จึงทำให้เฮลิคอปเตอร์สามารถบินไต่ขึ้นสู่ระยะสูงได้ต่อไป



แรงต้าน (DRAG)

แรงต้าน (DRAG) เป็นแรงซึ่งมีทิศทางตรงกันข้ามกับแรงฉุด (THRUST) และต่อต้านกับแรงฉุดเพื่อจะทำให้เฮลิคอปเตอร์หรืออากาศยานเคลื่อนที่ไปข้างหน้าช้าลง เพราะเกิดจากการเสียดทานและต่อต้านของกระแสอากาศที่ไหลผ่านอุปกรณ์ต่างๆ ของอากาศยานแรงต้านแบ่งออกตามลักษณะที่เกิดได้ 3 ชนิด ได้แก่

3.1 แรงต้านร่วมที่เกิดจากรูปร่างลักษณะของอากาศยาน (PROFILE DRAG)

3.2 แรงต้านซึ่งเกิดจากอุปกรณ์หรือสิ่งโยงยึดที่ยื่นออกมานอกลำตัวของอากาศยาน (PARASITE DRAG)

3.3 แรงต้านเหนี่ยวนำ (INDUCE DRAG)

3.1 แรงต้านร่วมที่เกิดจากรูปร่างลักษณะของอากาศยาน (PROFILE DRAG)

สามารถแบ่งออกได้ 2 ลักษณะ

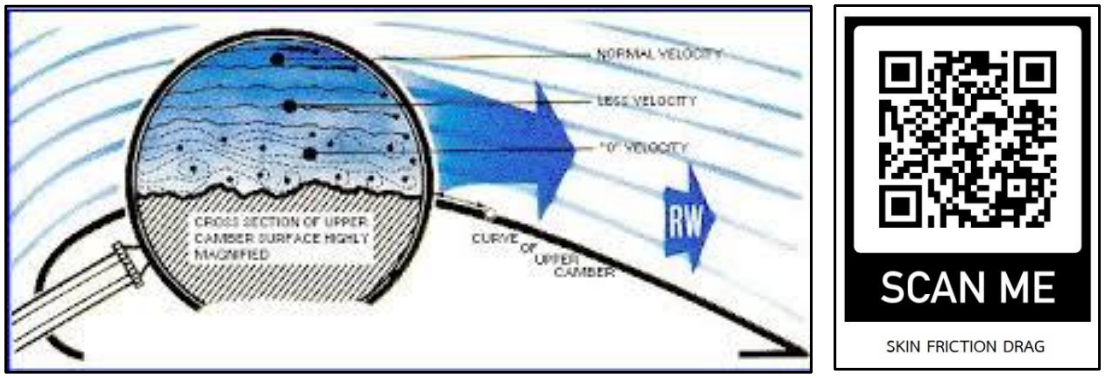
3.1.1 แรงต้านที่เกิดจากรูปร่างลักษณะ (FROM DRAG)

อากาศยานที่มีรูปร่างลักษณะมีพื้นที่หน้าตัดมากย่อมทำให้เกิดแรงต้านจากการไหลผ่านของกระแสอากาศมากขึ้นด้วย ดังนั้นเพื่อลดแรงต้านที่เกิดจากรูปร่างลักษณะที่มีพื้นที่หน้าตัดมาก วิศวกรผู้แผนแบบจะพยายามลดพื้นที่หน้าตัดลง คือแผนแบบให้อากาศยานมีรูปร่างที่มีลักษณะเพรียวลมหรือทำให้พื้นที่หน้าตัดลดลงเพื่อลดแรงต้านจากกระแสอากาศที่ไหลผ่านรูปร่างที่มีพื้นที่หน้าตัดมาก ดังนั้นจึงนิยมออกแบบอากาศยานให้มีด้านหน้าเล็กลงเพื่อลดแรงต้านลง ทั้งยังแผนแบบให้อุปกรณ์ต่างๆ ที่กระแสอากาศไหลผ่านให้มีรูปร่างลักษณะเพรียวลมหรือมีพื้นที่หน้าตัดเล็กลง

หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=GMmNKUlXXDs

3.1.2 แรงต้านที่เกิดจากแรงเสียดทานระหว่างพื้นผิวของอากาศยานและกระแสอากาศไหลผ่าน (SKIN FRICTION DRAG)

เป็นแรงต้านที่เกิดขึ้นจากการเสียดสีของกระแสอากาศที่ไหลผ่านผิวพื้นที่ต่างๆ ของอากาศยานหรือเฮลิคอปเตอร์ เช่นถ้าพื้นผิวไม่เรียบมีรอยบุบหรือแม้แต่หัวสลักย้ำหรือหัวสลักย้ำต่างๆ ที่โผล่ออกมาบนพื้นผิวของแผ่นบุลำตัวหรือส่วนต่างๆ ของอากาศยานจะมีผลต่อการเสียดทานนี้มาก ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องทำให้พื้นผิวของอากาศยานที่อากาศสามารถไหลผ่านได้มีรูปร่างลักษณะราบเรียบและสะอาดเพื่อกระแสอากาศไหลผ่านได้อย่างสบายมิให้เกิดการหนืดบนผิวนั้น แม้แต่สลักย้ำที่ใช้ยึดพื้นผิวบุของลำตัวและส่วนต่างๆ ที่อากาศไหลผ่านจะต้องใช้ให้ถูกต้องตามคู่มือเพื่อลดแรงเสียดทานอันเกิดจากการไหลผ่านของกระแสอากาศ



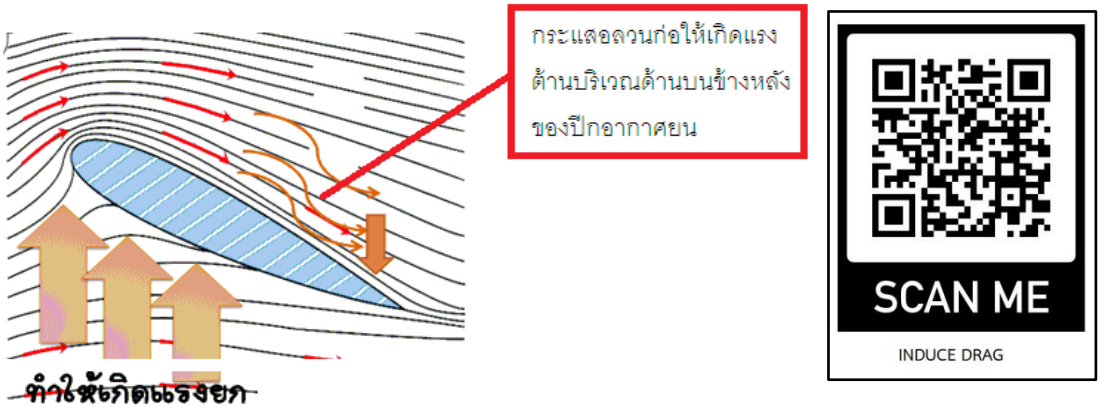
หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=NjX2jL-LrkI

3.2 แรงต้านซึ่งเกิดจากอุปกรณ์หรือสิ่งโยงยึดที่ยื่นออกมานอกลำตัวของอากาศยาน (PARASITE DRAG)

แรงต้านซึ่งเกิดจากอุปกรณ์หรือสิ่งโยงยึด เช่น แท่นปืนกลอากาศ, แท่นจรวด, เสาอากาศวิทยุ, ชุดฐาน ฯลฯ เพราะอุปกรณ์ต่างๆ ของอากาศยานซึ่งเป็นส่วนที่ยื่นออกมานอกลำตัวอากาศยานจะทำให้เกิดการต่อต้านและเสียดทานของการไหลของกระแสอากาศที่ไหลผ่านอากาศยานนั้น

แรงต้านเหนี่ยวนำ (INDUCE DRAG)

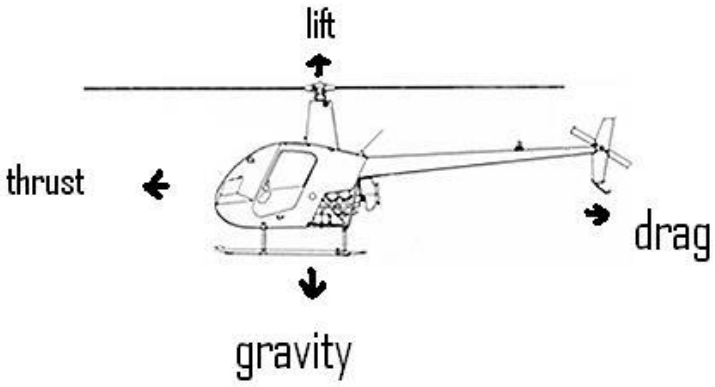
แรงต้านเหนี่ยวนำ (INDUCE DRAG) เป็นแรงต้านที่เกิดขึ้นเนื่องจากการเกิดแรงยก ส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นบนปีกหรือกลีบใบพัดของเฮลิคอปเตอร์ซึ่งเป็นตัวทำให้เกิดแรงยกและจะทำให้เกิดแรงต้านในขณะเดียวกันด้วย แรงโน้มถ่วงหรือน้ำหนักอากาศยาน (GRAVITY OR WEIGHT) เป็นแรงดึงดูดของโลกที่กระทำกับน้ำหนักอากาศยานและมีทิศทางดึงลงสู่พื้นโลกซึ่งมีทิศทางตรงข้ามกับแรงยกและแรงนี้จะเพิ่มขึ้นถ้านักบินด้วยท่ารุนแรง (MANEUVERING FLIGHT)



หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=e3yD3QEh96o

แรงโน้มถ่วงหรือน้ำหนักอากาศยาน (GRAVITY OR WEIGHT)

แรงโน้มถ่วงหรือน้ำหนักอากาศยานเป็นแรงซึ่งเกิดจากแรงดึงดูดของโลกที่กระทำต่อน้ำหนักรวมของอากาศยาน และมีทิศทางตรงกันข้ามกับแรงยก แรงนี้จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับน้ำหนักรวมของเฮลิคอปเตอร์และท่าทางของการบิน ถ้าน้ำหนักรวมของเฮลิคอปเตอร์เพิ่มขึ้นแรงโน้มถ่วงก็จะมีค่าเพิ่มขึ้น และถ้าหากใช้ท่าบินที่รุนแรง (MANEUVERING FLIGHT) จะทำให้ค่าของแรงโน้มหน่วงนี้เพิ่มมากยิ่งขึ้นด้วย



หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=U78NOo-oxOY

แรงที่กระทำกับโรเตอร์ (FORCES ACTING ON ROTOR)

ROTATIONAL FORCE

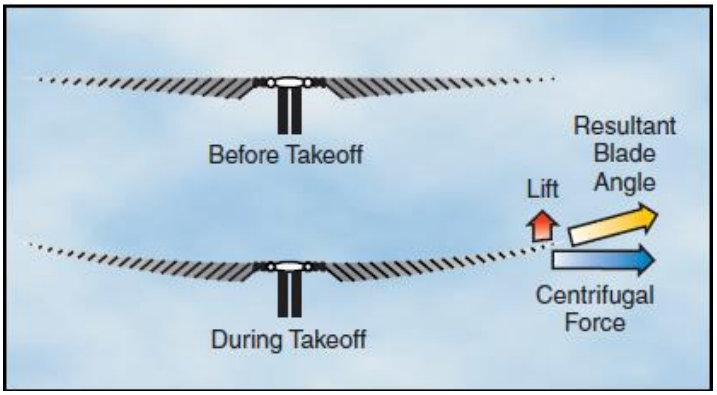
ROTATIONAL FORCE หมายถึงแรงการขับหมุนของโรเตอร์ ทำให้โรเตอร์หมุน แรงนี้ได้จากแรงการขับหมุนองหน่วยกำลังหรือเครื่องยนต์ (ENGINE) ผ่านระบบถ่ายทอดกำลัง (POWER TRAIN SYSTEM) เพื่อส่งกำลังไปขับหมุนระบบโรเตอร์ต่อไป แรงนี้จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับกำลังการขับหมุนของเครื่องยนต์ โดยปกติการหมุนของโรเตอร์จะวัดเป็นรอบต่อนาที (RPM.) การขับหมุนของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น (ENGINE R.P.M. INCREASE) ก็จะทำให้รอบการขับหมุนของโรเตอร์เพิ่มขึ้นด้วย (ROTOR R.P.M. INCREASE)

รอบการขับหมุนของเครื่องยนต์และโรเตอร์จะสูงมาก หรือน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับการแผนแบบการสร้างเฮลิคอปเตอร์ เพื่อให้เหมาะสมกับภารกิจและการบินของเฮลิคอปเตอร์แต่ละแบบ

หมายเหตุ: จาก WIKIPEDIA. (2021)

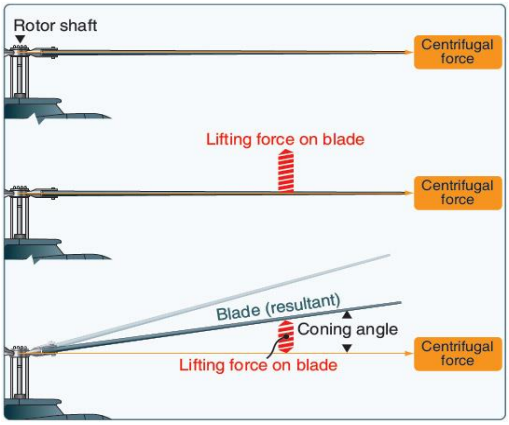
CENTRIFUGAL FORCE

CENTRIFUGAL FORCE หมายถึงแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางการหมุนของโรเตอร์ โรเตอร์จะประกอบด้วย ส่วนประกอบสำคัญคือ ขุดดุมใบพัดโรเตอร์ (ROTOR HEAD OR ROTOR HUB) และกลีบใบพัด (ROTOR BLADE) เมื่อโรเตอร์เกิดการหมุนด้วยแรง ROTATIONAL FORCE ก็จะทำให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางขึ้น แรงนี้จะมีทิศทางตั้งฉากหรือทำมุม 90 องศากับแกนเพลาขับโรเตอร์ (ROTOR SHAFT) ออกไปทุกทิศทางภายในรัศมีของโรเตอร์



หมายเหตุ: จาก FAA SAFETY TEAM. (N.D.).

แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางของโรเตอร์ ขณะทำการบินนั้นจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับการแผนแบบการสร้างเฮลิคอปเตอร์ เพื่อให้เหมาะสมกับภารกิจนั้นๆ แต่โดยการแผนแบบปกติจะมีค่าตั้งแต่ 50,000 ปอนด์ ถึง 100,000 ปอนด์ นับว่าเป็นแรงที่มีค่าสูงสุดที่กระทำกับโรเตอร์ขณะเฮลิคอปเตอร์ทำการบิน แรงนี้สามารถจะทำให้เกิดแรงยกกับโรเตอร์ได้ประมาณ 7 % ของแรงเหวี่ยงรวมของโรเตอร์และแรงนี้พยายามจะดึงให้กลีบใบพัดโรเตอร์ให้อยู่ในแนวตรง หรือแนวระดับเสมอ



SCAN ME

CENTIFUGAL FORCE

หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=Ajk352yc_Cs

แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางการหมุนของโรเตอร์นี้จะมีค่าเพิ่มขึ้น หรือลดลงขึ้นอยู่กับแรงการขับหมุนของโรเตอร์ (Rotational Force) ถ้าแรงการขับหมุนของโรเตอร์เพิ่มขึ้น หรือรอบการขับหมุนของโรเตอร์เพิ่มขึ้น (Rotor R.P.M. Increase) ก็จะทำให้แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Force) เพิ่มขึ้นด้วย

SCAN ME

MI-26

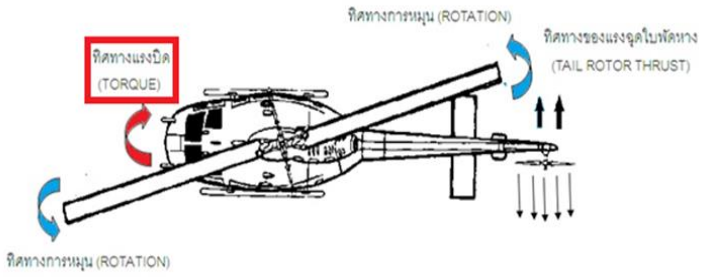
BLADES ROTATIONAL FORCE

หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=vuedrmFtli0

TORQUE

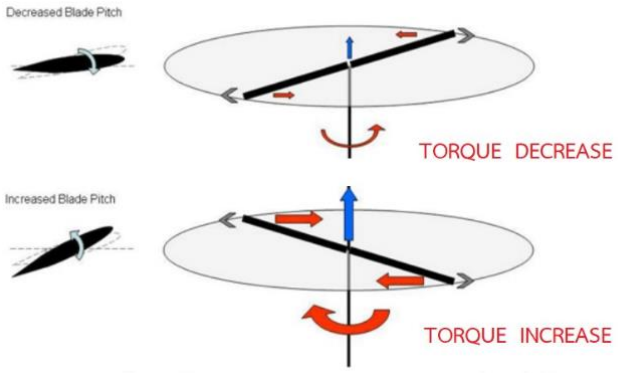
TORQUE หมายถึง แรงบิดซึ่งเป็นแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากการหมุนของโรเตอร์ และมีทิศทางตรงกันข้ามกับการหมุนของโรเตอร์ ซึ่งเป็นไปตามกฎนิวตันข้อ 3 (NEWTON'S 3RD LAW) แรงนี้จะทำให้ลำตัวของเฮลิคอปเตอร์เกิดการเคลื่อนที่ หรือหมุนไปตามทิศทางของแรงนี้ ดังนั้นเฮลิคอปเตอร์ที่ติดตั้งโรเตอร์แบบโรเตอร์เดี่ยว (SINGLE ROTOR) ซึ่งมีโรเตอร์ใหญ่ หรือโรเตอร์ประธาน (MAIN ROTOR) จึงมีโรเตอร์หาง (TAIL ROTOR) เพื่อที่จะให้โรเตอร์หางทำหน้าที่เป็นตัวแก้ หรือต่อต้านแรงบิด (TORQUE) ของโรเตอร์ใหญ่ และบังคับทิศทางการบินให้กับเฮลิคอปเตอร์ด้วย

แรงบิดจะมีค่าเพิ่มขึ้น หรือลดลงขึ้นอยู่กับการใช้กำลังการขับหมุนจากเครื่องยนต์ เพื่อให้รอบการหมุนของโรเตอร์เพิ่มขึ้น หรือลดลง ถ้ารอบการหมุนของโรเตอร์เพิ่มขึ้นแรงบิดจะเพิ่มขึ้น ถ้ารอบการหมุนของโรเตอร์ลดลงแรงบิดจะลดลงด้วย



หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=XQiz6a8x9rE

หมายเหตุ ในกรณีบังคับการบิน ถ้าเพิ่มมุมปะทะกลีบใบพัดโรเตอร์ใหญ่ (MAIN ROTOR BLADE PITCH ANGLE INCREASE) แรงบิดจะเพิ่มขึ้นด้วย (TORQUE INCREASE)



หมายเหตุ: จาก https://www.simhq.com/_air13/air_427a.html

CORIOLIS FORCE

CORIOLIS FORCE หมายถึง แรงที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอัตราเร่ง หรือความเร็วการหมุนของโรเตอร์มีทั้งการเพิ่มอัตราเร่ง (ACCELERATION) และการลดอัตราเร่ง (DECELERATION) เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งจุดศูนย์รวมมวลน้ำหนักของโรเตอร์ (MASS OR ROTOR) และการเปลี่ยนแปลงทางแองกูลาโมเมนท์ตัม (ANGULAR MOMENTUM) ของโรเตอร์ ซึ่งจะไปกล่าวไว้ในเรื่อง การส่ายตัวทางระนาบของกลีบใบพัด (HUNTING) ต่อไป

CARIOLES EFFECT

CARIOLES EFFECT หมายถึงการเกิดการส่ายตัวทางระนาบ (HUNTING) ของกลีบใบพัดใหญ่ เนื่องจากการเกิดการเพิ่มอัตราเร่ง (ACCELERATION) และลดอัตราเร่ง (REACCELERATION) ของการหมุนการหมุนของโรเตอร์ใหญ่ ซึ่งจะไปกล่าวไว้ในเรื่อง การส่ายตัวทางระนาบของกลีบใบพัด (HUNTING) ต่อไป

เพื่อให้ผู้อ่านเข้าใจบทเรียนมากยิ่งขึ้น ขอให้เข้าไปดูคลิปสื่อการสอนสรุปบทเรียนตาม QR CODE ด้านล่าง

หมายเหตุ: จาก
https://drive.google.com/file/d/1hGNi5aDrJJJf0jvI2bjINuEYKy0pjJMx/view?usp=sharing

แบบทดสอบหลังเรียนบทที่ 4

ให้ผู้เรียนสแกนเข้าไปทำแบบทดสอบหลังเรียนใน **QR CODE POST - TEST บทที่ 4** ด้านล่าง

หรือเข้าตามลิงก์ด้านล่าง

https://forms.gle/fQ9n5qBN2jDaAydL6

หลังจากผู้เรียนได้ทำแบบทดสอบหลังเรียนแล้วให้ประเมินความเข้าใจของตนเองโดยการเปรียบเทียบผลการเรียนระหว่างก่อนเรียนกับหลังเรียน ถ้าผลคะแนนดีขึ้นแสดงว่าเข้าใจเป็นอย่างดี แต่ถ้าคะแนนไม่ดีไม่ได้หมายความว่าเราไม่มีความรู้ เพียงแต่ยังรู้ไม่ลึกซึ้งหรือไม่กระจ่างเท่านั้น ซึ่งสิ่งเหล่านี้สามารถชดเชยได้ด้วยความเพียรพยามและแรงบันดาลใจที่เราสร้างได้ด้วยตนเองเพื่อไปสู่เป้าหมายได้ และขอให้เราพึงระลึกไว้เสมอว่า

“แม้จะมีแรงเสียดทานที่เป็นอุปสรรคมากมาย แต่แรงบันดาลใจสำคัญที่สุดที่นำพาเราไปสู่ความสำเร็จ”

บทที่ 5
แพนอากาศ
(AIRFOIL)

แบบทดสอบก่อนเรียนบทที่ 5

ให้ผู้เรียนสแกนเข้าไปทำแบบทดสอบก่อนเรียนใน **QR CODE PRE - TEST บทที่ 5** ด้านล่าง

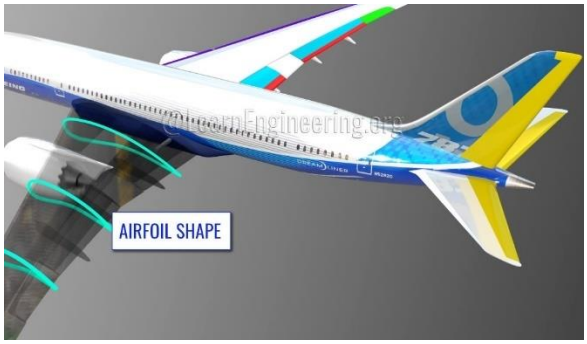
หรือเข้าตามลิงก์ด้านล่าง

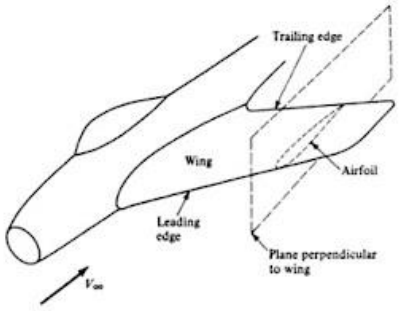
https://forms.gle/aRdZjGg4j6Nnx2Fj9

กล่าวโดยทั่วไป

AIRFOIL (แพนอากาศ) หมายถึง เทหวัตถุใดที่เคลื่อนที่ผ่านอากาศหรืออากาศเคลื่อนที่ผ่านจะทำให้เกิดปฏิกิริยาทางศักยภาพอันหนึ่งเรียกว่าแรงยก (LIFT)

AIRFOIL (แพนอากาศ) คือภาคตัดของปีก (WING) ถ้าผ่าให้เห็นภาคตัดทางขวางของปีกแล้วจะเห็นว่าปีกมีรูปต่างแตกต่างกันออกไปแล้วแต่วัตถุประสงค์ของการออกแบบ หรือเรียกกันว่ารูปร่างของแพนอากาศ (SHAPE OF AIRFOIL) และแต่ละแบบก็จะมีลักษณะการสร้างแรงยกแตกต่างกันออกไป





หมายเหตุ: จาก https://www.lesics.com/how-do-airplanes-fly.html

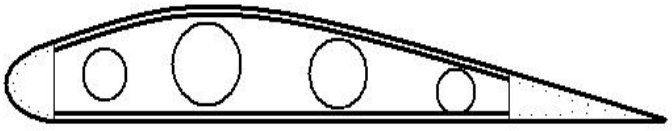
รูปร่างของแพนอากาศ (SHAPE OF AIRFOIL)

ส่วนมากรูปร่างของแพนอากาศ (SHAPE OF AIRFOIL) โดยทั่วๆ ไปจะมี 3 แบบ ได้แก่

1. แพนอากาศแบบ CONVEX – FLAT หรือแบบ GENERAL PURPOSE.
2. แพนอากาศแบบ CONVEX-CONVEX, DOUBLE CONVEX / HIGH SPEED / SYMMETRICAL AIRFOIL.
3. แพนอากาศแบบ CONVEX-CONCAVE / HIGH LIFT.

แพนอากาศแบบ CONVEX – FLAT หรือแบบ GENERAL PURPOSE

แพนอากาศแบนนี้จะมีลักษณะผิวด้านบนจะโค้ง (CAMBER) ส่วนผิวด้านล่างจะราบเรียบ การแผนแบบจะให้มีส่วนโค้งเริ่มจากชายหน้า (LEADING EDGE) ขึ้นไปยังส่วนบนประมาณ 30% ของชะยาแล้วค่อยๆ ลดการโค้งลงมายังชายหลัง (TAILING EDGE) ส่วนผิวด้านล่างจะราบเรียบเป็นเส้นตรงเริ่มจากชายหน้าจนถึงชายหลัง



GENERAL PURPOSE

แพนอากาศ (SHAPE OF AIRFOIL) แบบนี้จะใช้กับอากาศยานประเภทปีกตรึง (FIXED WING AIRCRAFT)

หมายเหตุ: จาก https://www.aviationconsumer.com/aircraftreviews/cessna-172-skyhawk/

แพนอากาศแบบ CONVEX-CONVEX, DOUBLE CONVEX / HIGH SPEED / SYMMETRICAL AIRFOIL

การแผนแบบแพนอากาศแบบนี้ให้มีส่วนโค้ง (CAMBER) ด้านผิวบนและผิวล่างเท่ากันโดยให้มีส่วนโค้งหนาสุดอยู่ที่ 30% ของความยาวชะยา และอยู่ห่างจากชายหน้า 30% แพนอากาศเป็นแบบมาตรฐานคือ NACA 0012 ซึ่งมีความหมายดังนี้

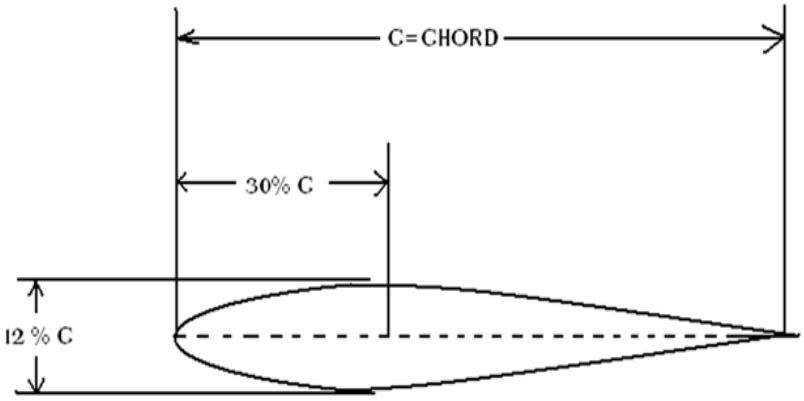
N.A.C.A. = NATIONAL ADVISORY COMMITTER FOR AERONAUTICS หมายถึงคณะกรรมการที่ปรึกษาด้านการบินแห่งชาติของสหรัฐอเมริกา ต่อมาในปี พ.ศ.2501 (ค.ศ. 1958) ได้เปลี่ยนชื่อเป็น

N.A.S.A. = (NATIONAL AERONAUTICAL AND SPACE ADMINISTRATION) องค์การบริหารการบินและอวกาศแห่งชาติ (NASA)

แต่ชื่อแพนอากาศยังคงเป็น NACA 4 DIGIT ที่ได้รับการจดลิขสิทธิ์ปี ค.ศ. 1932 ส่วนตัวเลข

00 หมายถึง รูปร่างของแพนอากาศเป็นแบบ DOUBLE CONVEX / CONVEX-CONVEX / SYMMETRICAL ซึ่งหมายถึงส่วนโค้ง (CAMBER) ด้านบนและด้านล่างเท่ากัน

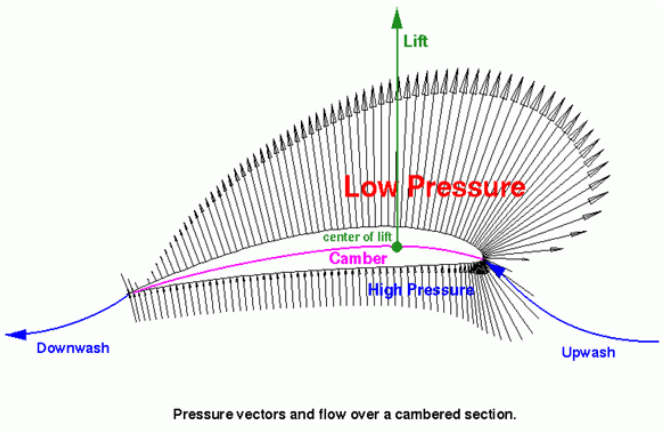
12 หมายถึง ความหนาสุดของแพนอากาศเป็น 12 % ของชะยา (CHORD) ณ จุดที่ห่างจากชายหน้า (LEADING EDGE) 30 % ของชะยา



NACA 0012 AIRFOIL

เหตุผลที่สนับสนุนในการนำแพนอากาศแบบ NACA 0012 มาใช้กับเฮลิคอปเตอร์

2.1 จุดศูนย์รวมแรงยก (CENTER OF PRESSURE) AERODYNAMIC CENTER เคลื่อนที่น้อยที่สุดเมื่อเปลี่ยนแปลงมุมปะทะความเร็วตลอดจนท่าบินต่างๆ จึงทำให้เฮลิคอปเตอร์ซึ่งเป็นอากาศยานปีกหมุนมีเสถียรภาพดี



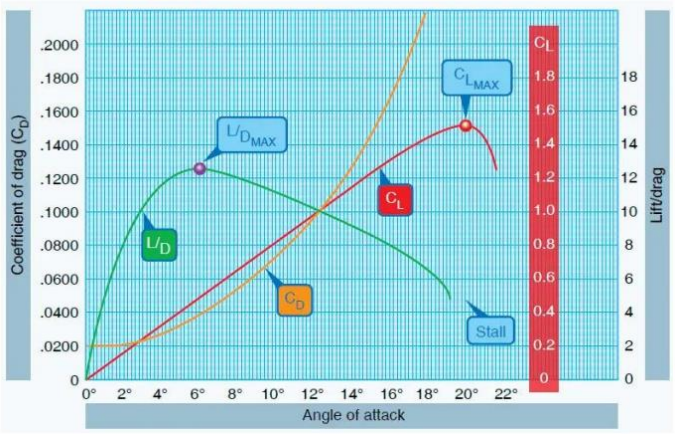
Pressure vectors and flow over a cambered section.

SCAN ME

Center Of Pressure

หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=8fk2J5LtdSg

2.2 แพนอากาศ NACA 0012 นี้ให้อัตราส่วนระหว่างแรงยก (LIFT) ต่อแรงต้าน (DRAG) ดีที่สุดตลอดตั้งแต่โคนกลีบของแพนอากาศจนถึงหลายกลีบ



หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=1l4VMo_EJmM

2.3 เนื่องจากแพนอากาศแบบ NACA 0012 มีรูปร่างส่วนโค้งบนและล่างเท่ากัน จึงสร้างได้ง่ายกว่าและราคาก็ถูกกว่า เมื่อเทียบกับแบบอื่นๆ ข้อนี้เป็นเพียงข้อสนับสนุนที่มีเหตุผลไม่สำคัญนัก

แพนอากาศแบบ CONVEX-CONCAVE / HIGH LIFT

แพนอากาศแบบนี้จะมีรูปร่างลักษณะผิวด้านบนมีส่วนโค้งเริ่มต้นตั้งแต่ขายหน้าแล้วมีส่วนโค้งสูงสุดประมาณ 30% ของชะยาซึ่งอยู่ค่อนไปด้านชายหน้า 30% ของชะยาเช่นกันแล้วค่อยลดส่วนโค้งลงมาจนถึงชายหลังส่วนผิวด้านล่างจะมีลักษณะเว้าเข้าหาส่วนโค้งด้านบนและจะค่อยลดการเว้าลงมายังชายหลัง แพนอากาศแบบนี้มีลักษณะพิเศษคล้ายกับปีกจึงทำให้ได้แรงยกสูง เนื่องจากผลทางอากาศพลศาสตร์ ส่วนใหญ่มักจะใช้กับอากาศ-ยานปีกตรึง (FIXED WING) ที่ต้องการให้วิ่งขึ้นและลงสนามในระยะสั้นๆ และมักนิยมใช้เป็นพื้นบังคับช่วยของอากาศยานปีกถึง เช่น FLAP SLAT เป็นต้น

CONVEX- CONCAVE / HIGH LIFT

หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=1l4VMo_EJmM

แบบฝึกหัดเรื่องแพนอากาศ (AIRFOIL)

หลังจากที่ได้ศึกษาเรื่องแพนอากาศ (AIRFOIL) มาแล้ว ก่อนที่จะทำข้อสอบหลังเรียน ให้ลองทดสอบความรู้ในเรื่องที่เรียนผ่านมาตาม QR CODE แบบฝึกหัดเรื่องแพนอากาศ (AIRFOIL) ด้านล่าง ถ้าประเมินตนเองแล้วได้คะแนนเป็นที่น่าพอใจ แสดงว่าเข้าใจเป็นอย่างดี แต่ถ้าไม่พอใจในผลคะแนน สามารถย้อนกลับไปทบทวนดูใหม่แล้วทดสอบอีกครั้ง ดังคำสุภาษิตที่ว่า “ความพยายามอยู่ที่ไหน ความสำเร็จอยู่ที่นั่น”

หรือเข้าตามลิงก์ด้านล่าง

https://forms.gle/egJqoHvxbtq8tTKi9

เพื่อให้ผู้อ่านเข้าใจมากยิ่งขึ้น ขอให้เข้าไปศึกษาคลิปการสอนสรุปบทเรียนเรื่องแพนอากาศ (AIRFOIL) ตาม QR CODE ด้านล่าง

หมายเหตุ: จาก

https://drive.google.com/file/d/1Z16j589GaUgOyuDIfnW9oapiyfvjWsFf/view?usp=sharing

แบบทดสอบหลังเรียนบทที่ 5

ให้ผู้เรียนสแกนเข้าไปทำแบบทดสอบหลังเรียนใน **QR CODE POST - TEST บทที่ 5** ด้านล่าง

SCAN ME
AIRFOIL
POST-TEST

หรือเข้าตามลิงก์ด้านล่าง

https://forms.gle/7etiQ5fSWQ5A7stp6

หลังจากผู้เรียนได้ทำแบบทดสอบหลังเรียนแล้วให้ประเมินความเข้าใจของตนเองโดยการเปรียบเทียบผลการเรียนระหว่างก่อนเรียนกับหลังเรียน ถ้าผลคะแนนดีขึ้นแสดงว่าเข้าใจเป็นอย่างดี แต่ถ้าคะแนนไม่ดีไม่ได้หมายความว่าเราไม่มีความรู้ เพียงแต่ยังรู้ไม่ลึกซึ้งหรือไม่กระจ่างเท่านั้น และความรู้ที่กระจ่างจะทำให้เราเป็นผู้ที่สามารเอาชนะอุปสรรคได้ ดังคำกล่าวที่ว่า

“นกไร้ขน คนไร้ความรู้ ขึ้นสู่ที่สูงไม่ได้”

บทที่ 6
การไม่สมดุลของแรงยก
(DISSYMMETRY OF LIFT)

แบบทดสอบก่อนเรียนบทที่ 6

ให้ผู้เรียนสแกนเข้าไปทำแบบทดสอบก่อนเรียนใน **QR CODE PRE - TEST บทที่ 6** ด้านล่าง

หรือเข้าตามลิงก์ด้านล่าง

https://forms.gle/p9LnY5DoJL6ganmh6

กล่าวโดยทั่วไป

เฮลิคอปเตอร์เป็นอากาศยานที่มีความยืดหยุ่นในการปฏิบัติภาระกิจมากกว่าอากาศยานประเภทอื่น สามารถขึ้นลงในแนวดิ่งได้ บินไปหน้า ถ้อยหลัง ซ้ายขวาได้โดยที่ไม่ต้องหันหัวไปในทิศทางที่จะบินไป สามารถบินลอยตัวนิ่งๆ อยู่กับที่ได้ ลงในพื้นที่คับแคบ เช่น บนยอดเขา บนตึกได้ ซึ่งอากาศยานประเภทปีกตึง (FIXED WING) ทำไม่ได้ แต่เฮลิคอปเตอร์ก็มีข้อจำกัดที่ด้อยกว่าอากาศยานประเภทปีกตึง (FIXED WING) นั่นคือ ความเร็วในการบิน

ดังนั้นในบทนี้จะอธิบายถึงหลักการ ทฤษฎีต่างๆ ที่เป็นสาเหตุทำให้เฮลิคอปเตอร์มีข้อจำกัดในเรื่องความเร็วในการบิน และเป็นเรื่องสำคัญที่ต้องเรียนรู้ให้เข้าใจ อันจะนำไปสู่การปฏิบัติงานอย่างปลอดภัย แก้ไขข้อขัดข้องที่เกิดขึ้นได้ รวมถึงเปิดแนวคิดการพัฒนาเฮลิคอปเตอร์ให้บินได้เร็วยิ่งขึ้นเทียบเท่าอากาศยานประเภทปีกตึง (FIXED WING) ต่อไป

การไม่สมดุลของแรงยก (DISSYMMETRY OF LIFT)

DISSYMMETRY OF LIFT คือการไม่สมดุลของแรงยกที่เกิดบนกลีบใบพัดของเฮลิคอปเตอร์ระหว่างกลีบใบพัดที่หมุนทวนทิศทางลมสัมพัทธ์กับกลีบใบพัดที่หมุนตามทิศทางลมสัมพัทธ์ จะเกิดขณะที่เฮลิคอปเตอร์เริ่มมีความเร็วในทางระนาบเท่านั้น ขณะทำการบินลอยตัวอยู่กับที่ (HOVERING) จะไม่เกิดอาการนี้

การไม่สมดุลของแรงยกนี้ได้ถูกค้นพบโดย JUAN DELA CIERVA ชาวสเปน ในปี ค.ศ. 1928 เขาก็ได้ทำการบินทดสอบออตโตไจโร (AUTO GYRO) ที่สร้างขึ้นด้วยตนเอง

หมายเหตุ: จาก http://www.gyroplanepassion.com/Juan_de_la_Cierva.html

ปรากฏการณ์ในการบินในครั้งนั้น ทำให้เขาได้ค้นพบทฤษฎีสำคัญอยู่ 2 ทฤษฎี ซึ่งเกี่ยวพันมาถึงเฮลิคอปเตอร์จนปัจจุบัน

1. ทฤษฎีเกี่ยวกับการไม่สมดุลย์ของแรงยก (DISSYMMETRY OF LIFT)
2. ทฤษฎีเกี่ยวกับการออตโตโรเตชั่น (AUTOROTATION)

สำหรับในบทนี้จะขอกล่าวเฉพาะเรื่องการไม่สมดุลย์ของแรงยก (DISSYMMETRY OF LIFT) ส่วนเรื่องการออตโตโรเตชั่น (AUTOROTATION) จะไปอธิบายรายละเอียดในบทต่อไป

ทฤษฎีเกี่ยวกับการไม่สมดุลย์ของแรงยก (DISSYMMETRY OF LIFT) นี้ค้นพบเมื่อขณะบินไปข้างหน้าออตโตไจโรมีการเอียงซ้ายอยู่ตลอดเวลา (ROTOR หมุนทวนเข็มนาฬิกา) เขาวิเคราะห์สาเหตุน่าจะมากจากแรงยกของกลีบโรเตอร์ซีกที่หมุนอยู่ทางด้านซ้ายมีแรงยกน้อยกว่าซีกที่หมุนอยู่ทางด้านขวา เนื่องจากออตโตไจโรที่เขาสร้างขึ้นนั้นติดตั้งชุดกลีบใบพัดหรือโรเตอร์ที่ไม่สามารถกระพือขึ้น – ลง (FLAPPING) ได้ เพราะใช้ชุดดุมใบพัดแบบ RIGID TYPE ดังนั้นเมื่อโรเตอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกา เมื่อบินไปข้างหน้าจึงทำให้เกิดความเร็วสัมพัทธ์ใหม่ขึ้นบนกลีบใบพัดด้านที่หมุนทวนลมสัมพัทธ์มีความเร็วมากกว่าด้านที่หมุนตามลมสัมพัทธ์ซึ่งอยู่ทางด้านซ้ายของเขาขณะบิน ดังนั้นเขาจึงคิดหาทางเพิ่มแรงยกด้านทางซ้ายขึ้นและพยายามลดหรือทำให้แรงยกทางด้านขวาคงที่ การเอียงจึงจะหายไปในที่สุดเขาก็มาคิดถึงองค์ประกอบแรงยกที่สำคัญก็มี

1 ความเร็ว

2 มุมะทะกลีบใบพัด

3 พื้นที่กลีบใบพัด

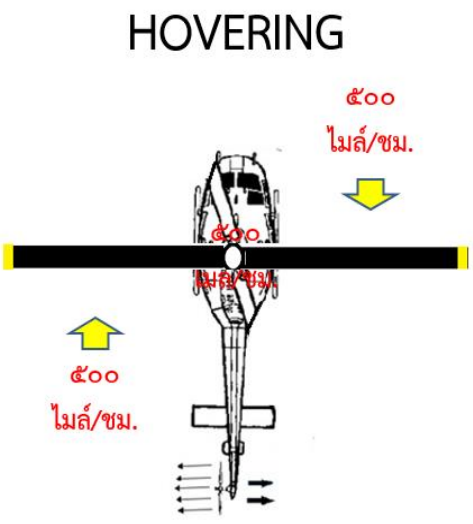
4 รูปร่างกลีบใบพัด

5 ความหนาแน่นอากาศ

องค์ประกอบข้อ 3, 4, และ 5 นั้นไม่สามารถบังคับได้ขณะทำการบินแต่กลับมาพิจารณาองค์ประกอบข้อ 1 และ 2 ใหม่ สำหรับข้อ 1 ก็ทำไม่ได้ แต่ข้อ 2 มุมะทะกลีบใบพัด ทำได้

สาเหตุหลักของการเกิดการไม่สมดุลของแรงยก (DISSYMMETRY OF LIFT) นั้นเนื่องมาจากความเร็วสัมพัทธ์ของกลีบใบพัดระหว่างด้านที่หมุนทวนลมสัมพัทธ์ (ADVANCING BLADE) และด้านที่หมุนตามลมสัมพัทธ์ (RETREATING BLADE) ซึ่งจะอธิบายตามลำดับ ดังนี้

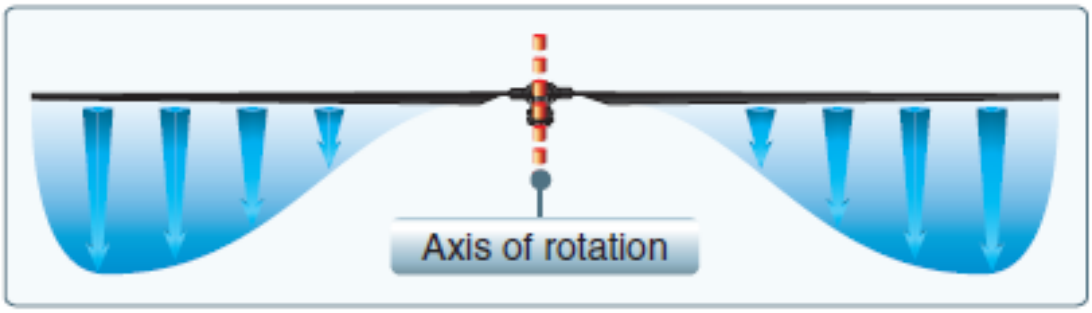
1. ขณะเฮลิคอปเตอร์บินลอยลัวอยู่กับที่ (HOVERING) ความเร็วลมสัมพัทธ์ (RELATIVE WIND) จะเท่ากับความเร็วการหมุนของใบพัด (ROTOR) ดังนั้นจะยังไม่มีการแบ่งซีกการหมุนของโรเตอร์



หมายเหตุ: จาก https://drive.google.com/file/d/14kmt2iJX24aIPiChdwu7Akk2XLnGg_Hx/view?usp=sharing

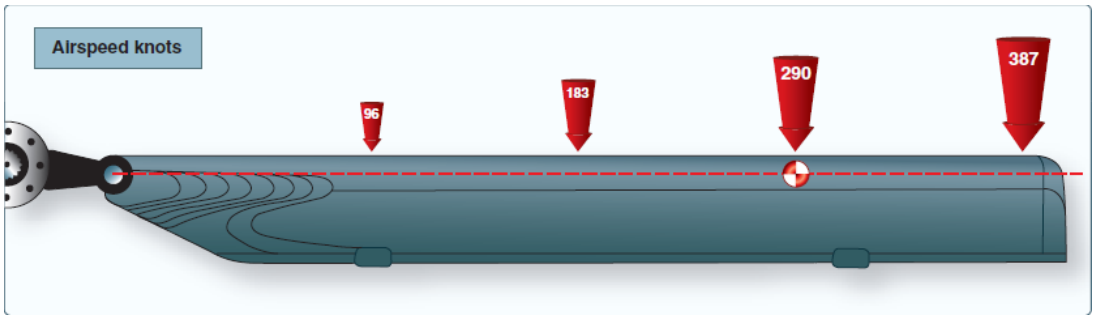
จากภาพด้านบนจะเห็นได้ว่าขณะที่เฮลิคอปเตอร์บินลอยลัวอยู่กับที่ (HOVERING) ความเร็วการหมุนของใบพัด (ROTOR RPM.) มีค่าเท่ากับ 500 ไมล์ต่อชั่วโมง ความเร็วลมสัมพัทธ์ (RELATIVE WIND) หรือความเร็วลมที่พัดเข้าใบพัดแต่ละใบจะมีค่าเท่ากับ 500 ไมล์ต่อชั่วโมง เช่นกัน สรุปคือความเร็วลมสัมพัทธ์ (RELATIVE WIND) ขณะบินลอยลัวอยู่กับที่ (HOVERING) จะมีค่าเท่ากับความเร็วการหมุนของใบพัด (ROTOR RPM.) ดังนั้นแรงยกที่เกิดขึ้นบนใบพัด (ROTOR) แต่ละใบจะมีค่าเท่ากัน จึงไม่มีปัญหาเรื่อง การไม่สมดุลของแรงยก (DISSYMMETRY OF LIFT จึงยังไม่มีการแบ่งซีกการหมุนของโรเตอร์

หมายเหตุ แรงยก (LIFT) ที่เกิดขึ้นบนกลีบใบพัดของเฮลิคอปเตอร์จะมีค่าไม่เท่ากันตรงปลายกลีบไปพัด (TIP OF ROTOR) จะมีแรงยกมาก (HIGH LIFT) ส่วนตรงโคนกลีบ (TIP OF ROTOR) จะมีแรงยกน้อย (LESS LIFT) ดังภาพด้านล่าง

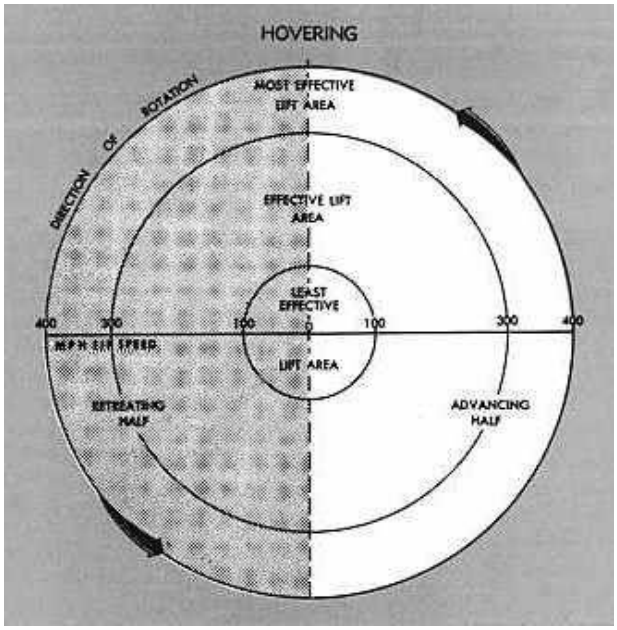


หมายเหตุ: จาก FAA-H-8083-30. (2012).

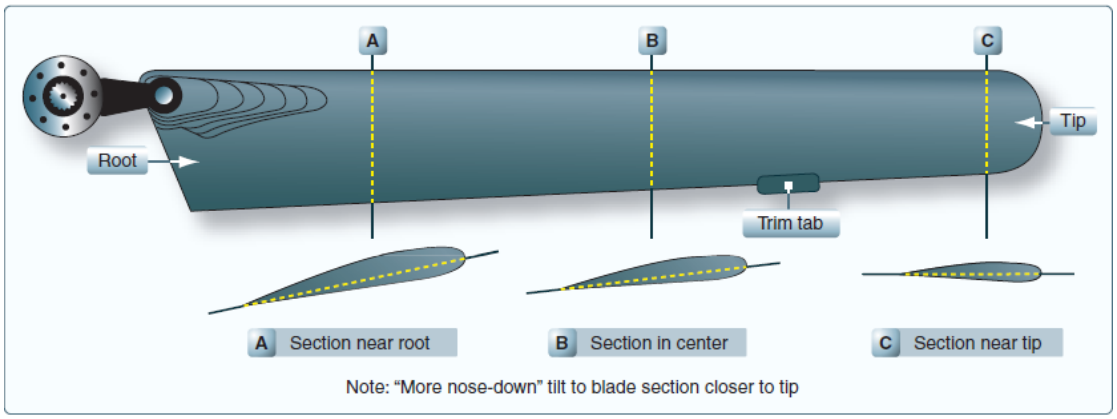
สาเหตุเพราะว่าส่วนที่อยู่ใกลจุดศูนย์กลางการหมุนตรงปลายกลีบไปพัด (TIP OF ROTOR) จะมีความเร็วรอบการหมุน (REVOLUTION) มาก ทำให้แรงยกมาก (HIGH LIFT) ส่วนตรงโคนกลีบ (TIP OF ROTOR) จะมีความเร็วรอบการหมุน (REVOLUTION) น้อย มีแรงยกน้อย (LESS LIFT) ดังภาพด้านล่าง



หมายเหตุ: จาก HELICOPTER FLYING HANDBOOK (FAA-H-8083-21A) (2-8)



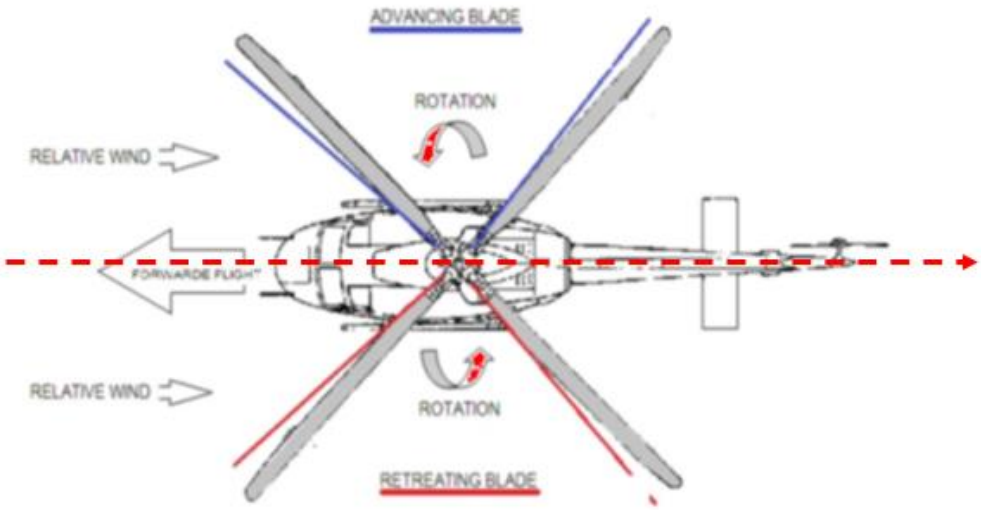
เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว วิษวกรจึงได้ออกแบบให้ใบพัด (ROTOR) มีมุมหมุนบิด (BLADE TWIST) โดยให้ตรงโคนกลีบ (ROOT) ซึ่งมีความเร็วการหมุนต่ำให้หมุนบิดเปิดมุมปะทะเพิ่มขึ้น (HIGHER PITCH ANGLES) ส่วนตรงปลายกลีบ (TIP) ให้มีมุมหมุนบิดลดมุมปะทะลง (LOWER PITCH ANGLES) ดังภาพด้านล่าง



หมายเหตุ: จาก HELICOPTER FLYING HANDBOOK (FAA-H-8083-21A) (2-9)

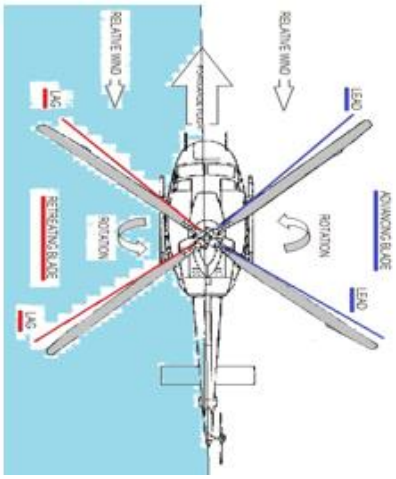
2. เมื่อเฮลิคอปเตอร์บินไปข้างหน้า ลมที่พัดเข้าหาจะทำให้ใบพัดมีความเร็วสัมพัทธ์แต่ละใบไม่เท่ากัน จึงแบ่งซีกการหมุนของใบพัดออกเป็น 2 ซีก คือ

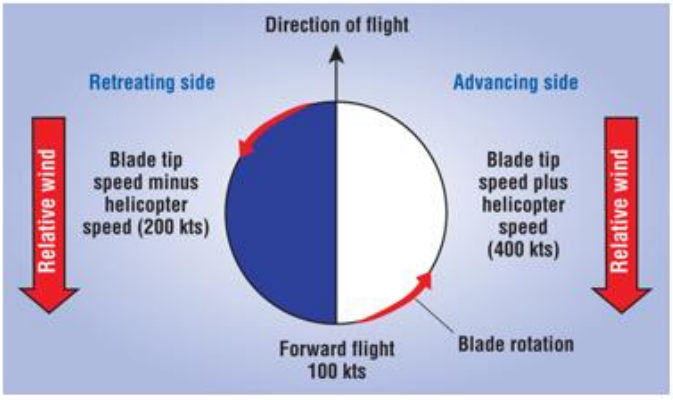
- กลีบใบพัดที่หมุนจากด้านหลังไปยังด้านหน้าของเฮลิคอปเตอร์เคลื่อนที่**ทวนทิศทางลมสัมพัทธ์** เรียกว่า ADVANCING BLADE
- กลีบใบพัดที่หมุนจากด้านหน้าไปยังด้านหลังของเฮลิคอปเตอร์**ตามทิศทางลมสัมพัทธ์** เรียกว่า RETREATING BLADE



หมายเหตุ: จาก
https://drive.google.com/file/d/120j_1VwyeJdbHf8n7edhdsPDGpPt7Xy7/view?usp=sharing

3. ในขณะที่เฮลิคอปเตอร์ทำการบินไปในทิศทางใดๆ เช่น ถ้าทำการบินไปข้างหน้า ความเร็วสัมพัทธ์ของกลีบใบพัดที่หมุนทวนทิศทางลมสัมพัทธ์ (ADVANCING BLADE) จะเพิ่มขึ้นตามความเร็วของการบิน(INDICATED AIRSPEED (IAS)) ที่เพิ่มขึ้น แต่ในทางตรงกันข้ามกลีบใบพัดที่หมุนตามทิศทางลมสัมพัทธ์ (RETREATING BLADE) จะมีความเร็วสัมพัทธ์ลดลงตามสัดส่วนของความเร็ว



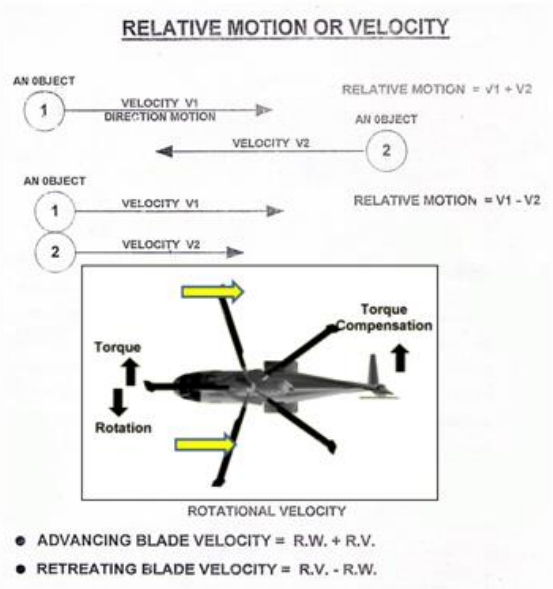


จากภาพด้านบนเฮลิคอปเตอร์มีความเร็วของการบิน (INDICATED AIRSPEED (IAS)) ไปข้างหน้าด้วยความเร็ว 100 KNOTS. ใบพัด (ROTOR) มีความเร็วรอบการหมุน 300 RPM. หรือเคลื่อนที่ผ่านอากาศด้วยความเร็ว 300 KNOTS. จะเห็นได้ว่าใบพัดที่หมุนทวนทิศทางลมสัมพัทธ์

(ADVANCING BLADE) จะมีความเร็ว 400 KNOTS. ส่วนด้านกลีบใบพัดที่หมุนตามทิศทางลมสัมพัทธ์ (RETREATING BLADE) จะมีความเร็ว 200 KNOTS.

ความเร็วของการบิน (INDICATED AIRSPEED (IAS)) ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดความเร็วสัมพัทธ์ของกลีบใบพัดที่หมุนทวนลมสัมพัทธ์มากกว่าด้านตามลมสัมพัทธ์ จึงเป็นผลทำให้เกิดแรงยกของกลีบใบพัดที่หมุนทวนลมสัมพัทธ์มากกว่าด้านหมุนตามลมสัมพัทธ์ ดังนั้นเขาจึงคิดสร้างชุดดุมของกลีบใบพัดใหม่ให้สามารถมีการกระพือขึ้น – ลง (FLAPPING) ได้ และก็ต้องร่วมกับระบบบังคับการบินด้วยว่าถ้ากลีบใบพัดที่เริ่มหมุนทวนทิศทางลมสัมพัทธ์ (ADVANCING BLADE) ก็ทำให้เกิดการกระพือต่ำลง (LOW FLAPPING) เพื่อลดมุมปะทะลง (DECREASE ANGLE OF ATTACK) ส่งผลให้แรงยกลดลง (DECREASE LIFT) และด้านกลีบใบพัดที่หมุนตามทิศทางลม (RETREATING BLADE) ก็ทำให้เกิดกระพือสูงขึ้น (HIGH FLAPPING) เพื่อเพิ่มมุมปะทะขึ้น (INCREASE ANGLE OF ATTACK) ส่งผลให้แรงยกเพิ่มขึ้น (INCREASE LIFT) ทำให้ปัญหาการสมดุลของแรงยกหมดไป

4. ความเร็วสัมพัทธ์ (RELATIVE MOTION OR VELOCITY) คือความเร็วที่เกิดขึ้นบนกลีบใบพัดขณะที่เฮลิคอปเตอร์บินไปข้างหน้า หรือไปในทิศทางใด ส่งผลให้ความเร็วที่เกิดขึ้นใหม่บนกลีบใพบัดด้านหมุนทวนทิศทางลมสัมพัทธ์ (ADVANCING BLADE) กับใบพัดด้านที่หมุนทวนทิศทางลมสัมพัทธ์ (ADVANCING BLADE) มีความแตกต่างกันไปตามความเร็วของการบิน (INDICATED AIRSPEED (IAS)) และรอบการหมุนของใบพัด (ROTOR RPM.)



หมายเหตุ: จาก https://drive.google.com/file/d/1Igu4ELlA8jCIpgp4XHayJQjjdxYGH9RY/view?usp=sharing

จากภาพด้านบนจะเห็นว่าตามกฎของความเร็วสัมพัทธ์ (RELATIVE MOTION OR VELOCITY) จะเป็นไป 2 กรณี คือ

1. วัตุเคลื่อนที่สวนทางหรือเข้าหากัน ให้นำความเร็ว (VELOCITY) การเคลื่อนที่ของวัตถุทั้งสองมารวมกัน ดังนั้น RELATIVE MOTION OR VELOCITY = V1 + V2

2. วัตุเคลื่อนที่ตามหรือไปในทิศทางเดียวกัน ให้นำความเร็ว (VELOCITY) การเคลื่อนที่ของวัตถุทั้งสองมาหักล้างหรือลบกัน ดังนั้น RELATIVE MOTION OR VELOCITY = V1 - V2

เมื่อนำกฎทั้ง 2 ข้อมาประยุกต์ใช้กับความเร็วสัมพัทธ์ของใบพัดเฮลิคอปเตอร์ขณะบินไปข้างหน้า สามารถสรุปปรากฏการที่เกิดขึ้นได้ดังนี้

4.1 ใบพัดด้านหมุนทวนทิศทางลมสัมพัทธ์ (ADVANCING BLADE) เมื่อความเร็วของการบิน (INDICATED AIRSPEED (IAS)) เพิ่มมากขึ้นเท่าไหร่ ความเร็วสัมพัทธ์ (RELATIVE MOTION OR VELOCITY) จะเพิ่มมากยิ่งขึ้น

- ถ้าความเร็วของการบิน (INDICATED AIRSPEED (IAS)) 100 รอบโรเตอร์ (ROTOR RPM) = 500, ความเร็วสัมพัทธ์ (RELATIVE MOTION OR VELOCITY) = 500+100 = 600

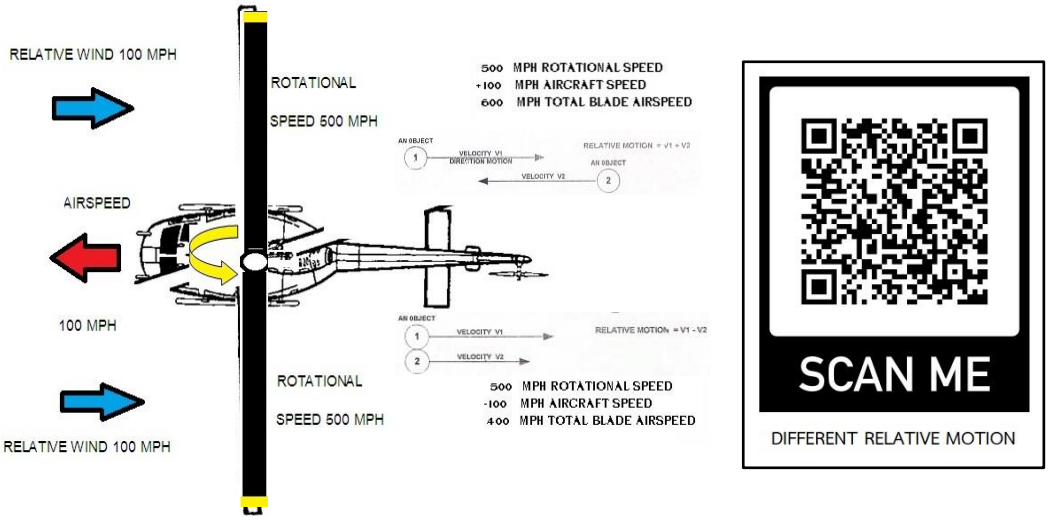
- ถ้าความเร็วของการบิน (INDICATED AIRSPEED (IAS)) 200 รอบโรเตอร์ (ROTOR RPM) = 500, ความเร็วสัมพัทธ์ (RELATIVE MOTION OR VELOCITY) = 500+200 = 700

4.2 ใบพัดที่หมุนตามทิศทางลมสัมพัทธ์ (RETREATING BLADE) เมื่อความเร็วของการบิน (INDICATED AIRSPEED (IAS)) เพิ่มมากขึ้นเท่าไหร่ ความเร็วสัมพัทธ์ (RELATIVE MOTION OR VELOCITY) จะน้อยลงไปเรื่อยๆ ยกตัวอย่างตามภาพด้านล่าง

- ถ้าความเร็วของการบิน (INDICATED AIRSPEED (IAS)) 100 รอบโรเตอร์ (ROTOR RPM) = 500, ความเร็วสัมพัทธ์ (RELATIVE MOTION OR VELOCITY) = 500-100 = 400

- ถ้าความเร็วของการบิน (INDICATED AIRSPEED (IAS)) 200 รอบโรเตอร์ (ROTOR RPM) = 500, ความเร็วสัมพัทธ์ (RELATIVE MOTION OR VELOCITY) = 500-200 = 300

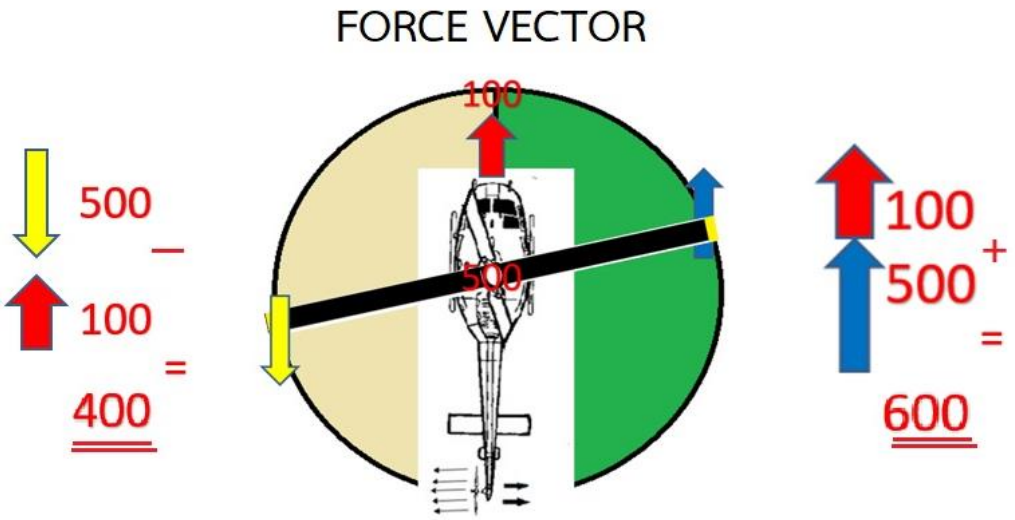
ดังนั้นจะเห็นได้ว่ายิ่งเพิ่มความเร็วของการบิน (INDICATED AIRSPEED (IAS)) เท่าไหร่ ความเร็วสัมพัทธ์ (RELATIVE MOTION OR VELOCITY) ระหว่างใบพัดด้านหมุนทวนทิศทางลมสัมพัทธ์ (ADVANCING BLADE) กับ ใบพัดที่หมุนตามทิศทางลมสัมพัทธ์ (RETREATING BLADE) จะยิ่งแตกต่างกันมากยิ่งขึ้น นำไปสู่การเกิดการไม่สมดุลย์ของแรงยก (DISSYMMETRY OF LIFT) เพราะความเร็ว (VELOCITY) เป็นองค์ประกอบสำคัญที่สุดของการเกิดแรงยก (LIFT) นั่นเอง



หมายเหตุ: จาก https://drive.google.com/file/d/1o6IKyu5rnRdLj2h5yfZJH0q-KpwfxBJE/view?usp=sharing

การคำนวนหาความเร็วสัมพัทธ์ (RELATIVE MOTION OR VELOCITY) ของกลีบใพบัดเฮลิคอปเตอร์ขณะบินไปข้างหน้าสามารถจะคำนวนได้ดด้วยทิศทางของแรง (FORCE VECTOR) ดังนี้

1. เมื่อแรงมีทิศทางเดียวกัน ให้นำแรงมารวมกัน จะได้ผลลัพธ์เป็นผลรวมของแรงทั้งสอง
2. เมื่อแรงมีทิศทางตรงกันข้าม ให้นำค่าของแรงมาหักล้างกัน ค่าของผลลัพธ์จะเท่ากันผลต่างของแรงทั้งสอง



พิจารณาจากภาพด้านบน

1. ใบพัดด้านหมุนทวนทิศทางลมสัมพัทธ์ (ADVANCING BLADE)

- ถ้าเฮลิคอปเตอร์บินไปข้างหน้า แสดงว่าทิศทางของแรง (FORCE VECTOR) มีทิศทางไปด้านหน้า

- กลีบใบพัด (ROTOR) หมุนไปข้างหน้า แสดงว่าทิศทางของแรง (FORCE VECTOR) มีทิศทางไปด้านหน้า

- ดังนั้นผลลัพธ์ของ**แรงที่มีทิศทางเดียวกัน ให้นำมารวมกัน**

- 500 + 100 = 600

2. ใบพัดที่หมุนตามทิศทางลมสัมพัทธ์ (RETREATING BLADE)

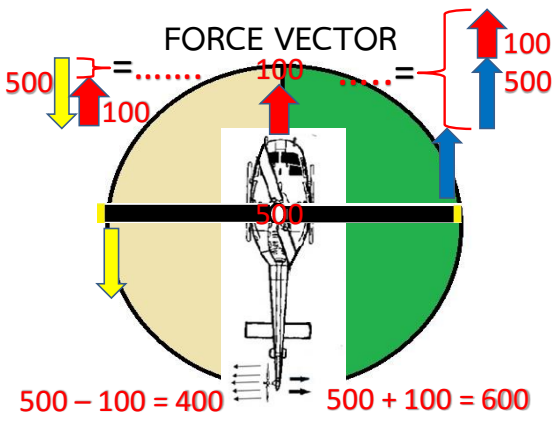
- ถ้าเฮลิคอปเตอร์บินไปข้างหน้า แสดงว่าทิศทางของแรง (FORCE VECTOR) มีทิศทางไปด้านหน้า

- กลีบใบพัด (ROTOR) หมุนมาข้างหลัง แสดงว่าทิศทางของแรง (FORCE VECTOR) มีทิศทางไปด้านหลัง

- ดังนั้นผลลัพธ์ของ**แรงที่มีทิศทางตรงกันข้าม ให้นำมาหักล้างกัน**

- 500 - 100 = 400

เมื่อพิจารณาดูจะเห็นได้ว่าจะใช้การคิดคำนวณแบบใด ผลลัพธ์ที่ได้จะเหมือนกัน คือยิ่งความเร็วการบินเพิ่มมากขึ้นเท่าไหร่ ความแตกต่างระหว่างความเร็วสัมพัทธ์ (RELATIVE MOTION OR VELOCITY) ของกลีบใพบัดเฮลิคอปเตอรทั้ง 2 ด้านยิ่งแตกต่างกันมากยิ่งขึ้นเท่านั้น นำไปสู่การเกิดการไม่สมดุลย์ของแรงยก (DISSYMMETRY OF LIFT)



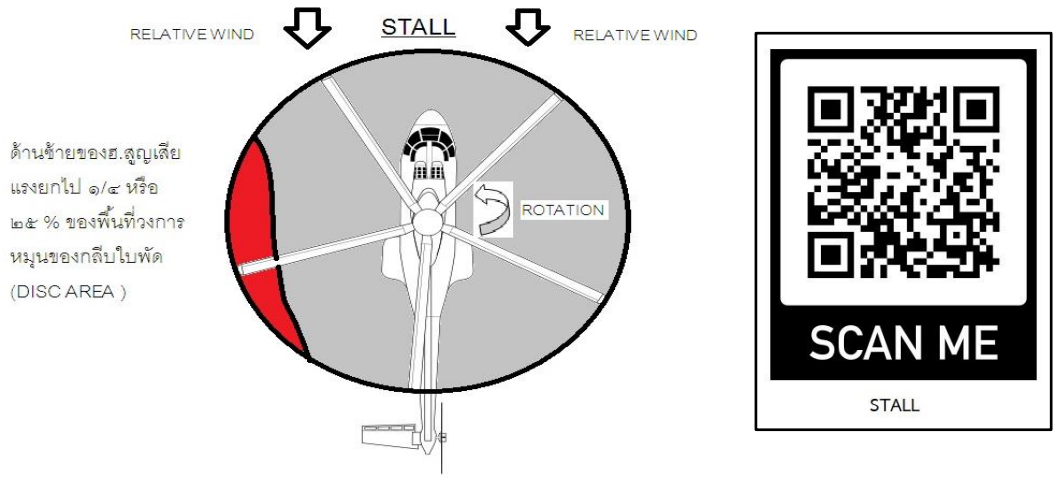
SCAN ME

FORCE VECTOR

หมายเหตุ: จาก https://drive.google.com/file/d/1XRqeKjCChtDXXrUkGpZEwe__drLoLp5R/view?usp=sharing

การล่วงหล่น (STALL)

การล่วงหล่น (STALL) เป็นอาการที่เกิดขึ้นต่อเนื่องเมื่อเกิดการไม่สมดุลย์ของแรงยก (DISSYMMETRY OF LIFT) ขึ้น หมายถึง การสูญเสียแรงยก (LIFT) บนใบพัดใหญ่ของเฮลิคอปเตอร์ด้านหมุนตามทิศทางลมสัมพัทธ์ (RETREATING BLADE) เพราะความแตกต่างระหว่างความเร็วสัมพัทธ์ (RELATIVE MOTION OR VELOCITY) ด้านกลีบใบพัดที่หมุนทวนทิศทางลมสัมพัทธ์ (ADVANCING BLADE) จะมีความเร็วสัมพัทธ์มากกว่ากลีบใบพัดด้านหมุนตามทิศทางลมสัมพัทธ์ (RETREATING BLADE) ยิ่งบินด้วยความเร็วสูงมากขึ้นเท่าไรความเร็วสัมพัทธ์ยิ่งแตกต่างมากขึ้น กลีบใบพัดด้านหมุนตามทิศทางลมสัมพัทธ์ (RETREATING BLADE) จะมีความเร็วลดน้อยลง มุมประทะจะสูงขึ้น จึงเป็นสาเหตุให้เกิดการ ล่วงหล่น (STALL) ขึ้นทางด้านใบพัดหมุนตามทิศทางลมสัมพัทธ์ (RETREATING BLADE) ของเฮลิคอปเตอร์และขยายไปยังพื้นที่ด้านหลังประมาณ 25 % หรือ 1/4 ของพื้นที่กลีบใบพัด



หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=Vt46lG1ChEg

องค์ประกอบที่จะทำให้เกิดการ STALL

1. มีน้ำหนักบรรทุกมาก (HIGHT GROSS WEIGHT)
2. บินด้วยมุมปะทะของกลีบใบพัดสูง (HIGHT ANGLE OF ATTACK)
3. บินด้วยความเร็วสูง (HIGHT AIRSPEED)

4. บินด้วยท่าบินรุนแรง (MANEUVERING) หรือเปลี่ยนท่าบินทันทีทันใดเช่น เลี้ยวทันทีทันใด (SHARP TURN) หรือยก COLLECTIVE ทันทีทันใด จึงทำให้เกิด LOAD FACTOR กับกลีบใบพัดอย่างมาก
5. บินที่ระสูงซึ่งมีอากาศเบาบาง และอากาศแปรปรวนและกระโชก (HIGHT ALTITUDE OR GUST)
6. บินด้วยรอบโรเตอร์ใหญ่ต่ำซึ่งทำให้เกิด LOAD FACTOR ขึ้นบนกลีบใบพัดใหญ่อย่างมาก

เฮลิคอปเตอร์จะแสดงอาการให้ทราบว่าเกิดการ STALL ขึ้นตามลำดับดับต่อไปนี้

1. เฮลิคอปเตอร์จะมีอาการสั่นผิดปกติ และจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงขั้นวิกฤต
2. หัวเฮลิคอปเตอร์จะเชิดขึ้น ถ้าถึงขั้นวิกฤต เพราะแรงยกทางด้านหลังลดลงเนื่องจากสูญเสียแรงยก
3. จะเสียการทรงตัวเอียงลงทางด้านซ้าย เพราะแรงยกทางด้านซ้ายของเฮลิคอปเตอร์สูญเสียไป 25% หรือ 1/4 ของพื้นที่วงการหมุนของกลีบใบพัด

การแก้อาการ STALL ของเฮลิคอปเตอร์

1. ลดความเร็วในการบินไปข้างหน้าอย่างนิ่มนวลเพื่อป้องกันมิให้หัวเฮลิคอปเตอร์เชิดขึ้นอย่างทันทีโดยดึง CYCLIC มาข้างหลังอย่างนิ่มนวล
2. ลดมุมปะทะกลีบใบพัดใหญ่ลงอย่างนุ่มนวล โดยกด COLLECTIVE ลง
3. รักษารอบโรเตอร์ (ROTOR RPM.) ให้อยู่ในเกณฑ์

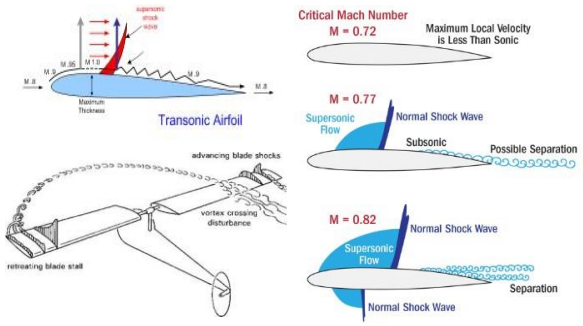
หมายเหตุ การกระทำทุกอย่างต้องกระทำอย่างนุ่มนวลเพื่อป้องกันการเปลี่ยนท่าทางการบินอย่างกะทันหัน (MANEUVERING FLIGHT) ซึ่งจะทำให้การล่วงหล่น (STALL) วิกฤตมากยิ่งขึ้น

นอกจากปัญหาการเกิดการไม่สมดุลย์ของแรงยก (DISSYMMETRY OF LIFT) แล้ว ความเร็วในการบินของเฮลิคอปเตอร์ยังมานำซึ่งปัญหาอีกหลายประการ ดังนี้

COMPRESSIBILITY EFFECT

COMPRESSIBILITY EFFECT หมายถึง การสูญเสียแรงยกหรือประสิทธิภาพทางแรงยกจะลดลงทันทีเมื่อเฮลิคอปเตอร์บินด้วยความเร็วสูงหรือการกระทำใดๆ ที่ทำให้รอบการหมุนของโรเตอร์สูงเกินเกณฑ์ (OVER SPEED) ซึ่งจะทำให้ปลายกลีบใบพัดด้านที่หมุนทวนทิศทางลมสัมพัทธ์ (ADVANCING BLADE) มีความเร็วสัมพัทธ์สูงความเร็วเสียงวิกฤติ (CRITICAL MACH NUMBER) หรือประมาณ 0.75 – 0.8 มัค (MUCH) จะทำให้แรงยกลดลงทันที เฮลิคอปเตอร์จะเสียการทรงตัวและการบังคับเช่นเดียวกับการเกิด BLADE STALL

COMPRESSIBILITY EFFECT



SCAN ME

COMPRESSIBILITY EFFECT

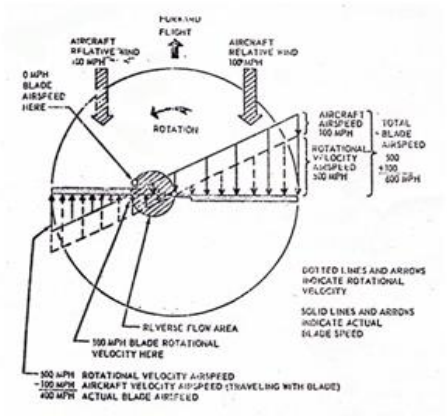
หมายเหตุ: จาก

https://drive.google.com/file/d/16MCughBkQ1wPy0YTgb0Ma5ULH36MKENc/view?usp=sharing

REVERSE FLOW AREA

REVERSE FLOW AREA หมายถึง บริเวณการไหลย้อนกลับของกระแสอากาศ (AIR FLOW) จากชายหลัง (TAILING) ไปยังชายหน้า (LEADING EDGE) ของกลีบใบพัด เนื่องจากความเร็วในการบินไปข้างหน้าเท่ากันหรือมากกว่าความเร็วสัมพัทธ์ของกลีบใบพัดบริเวณโคนกลีบใบพัดด้านที่หมุนตามสัมพัทธ์ (RETREATING BLADE)

REVERSE FLOW AREA



SCAN ME

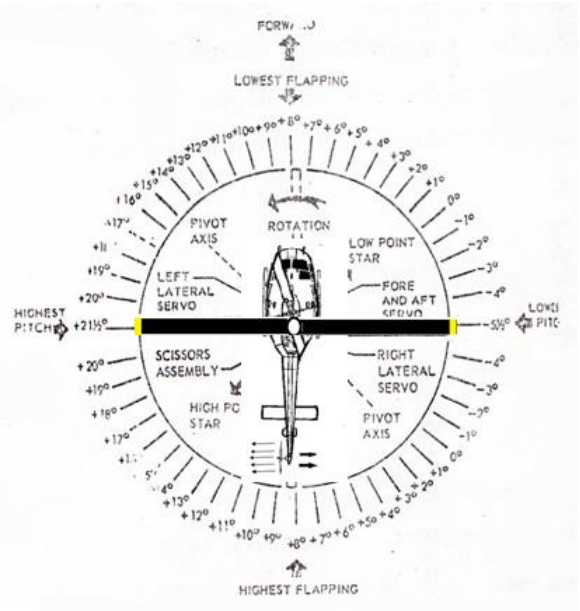
REVERS FLOW AREA

หมายเหตุ: จาก

https://drive.google.com/file/d/19iAsRVuRSjPHaUTWsR3lhxuCZfK43il3/view?usp=sharing

การกระพือ (FLAPPING)

เพื่อแก้การไม่สมดุลย์ของแรงยก (DISSYMMETRY OF LIFT) ที่เกิดขึ้นระหว่างกลีบใบพัดด้านที่หมุนทวนทิศทางลมสัมพัทธ์ (ADVANCING BLADE) กับกลีบใบพัดด้านที่หมุนตามสัมพัทธ์ (RETREATING BLADE) วิศกรได้ออกแบบให้ชุดใบพัดสามารถกระพือขึ้น-ลง (FLAPPING) ส่งผลให้ใบพัดเพิ่มหรือลดมุมปะทะไม่เท่ากันใน 1 รอบการหมุน เพื่อเพิ่มหรือลดแรงยก (LIFT) ให้สมดุลกัน



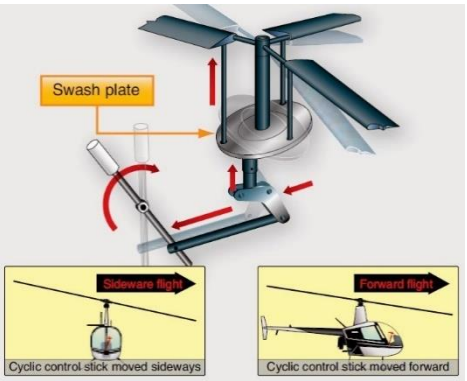
หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=Pu48f7s5Ru8

จากภาพด้านบนจะเห็นว่า ใน 1 รอบการหมุนมุมปะทะ (ANGLE OF ATTACK) จะเพิ่มหรือลดลงตลอดเวลา กลีบใบพัดด้านที่หมุนทวนทิศทางลมสัมพัทธ์ (ADVANCING BLADE) จะลดมุมปะทะต่ำสุด (LOWEST ANGLE OF ATTACK) เพื่อลดแรงยก (REDUCE LIFT) ส่วนกลีบใบพัดด้านที่หมุนตามสัมพัทธ์ (RETREATING BLADE) จะเพิ่มมุมปะทะสูงสุด (HIGHEST ANGLE OF ATTACK) เพื่อเพิ่มแรงยก (INCREASE LIFT) อันเป็นผลมาจากความแตกต่างระหว่างความเร็วสัมพัทธ์ (RELATIVE MOTION OR VELOCITY) ระหว่างกลีบใบพัดด้านที่หมุนทวนทิศทางลมสัมพัทธ์ (ADVANCING BLADE) กับกลีบใบพัดด้านที่หมุนตามสัมพัทธ์ (RETREATING BLADE) ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว

การกระพือ (FLAPPING) ของชุดกลีบไบพัดจะเกิดขึ้นเมือคันบังคับ CYCLIC ถูกดันในในทิศทางใดๆ ส่งผ่านระบบคันชักคันส่ง (PUSH – PULL ROD) ไปยัง SWASHPLATE ทำให้กิดการเอียงไปในทิศทางที่ดัน CYCLIC ไป ส่งผลให้ระบบกลไกปรับมุมปะทะ (PITCH CHANGE CONTROL) ของกลีบ

ใบพัด (BLADES) เพิ่มหรือลดมุมปะทะตามการเอียงของ SWASHPLATE ซึ่งจะหมุนเวียนไปตามวัฏจักรใน 1 รอบการหมุน

เมื่อดันคันบังคับ CYCLIC ถูกดันในในทิศทางใดๆ จะกระพือต่ำสุด (LOWEST FLAPPING) ไปในทิศทางที่บินไป และจะกระพือสูงสุด (HIGHEST FLAPPING) ด้านหลังหรือด้านตรงข้ามกับทิศทางการบิน ดังภาพด้านล่าง



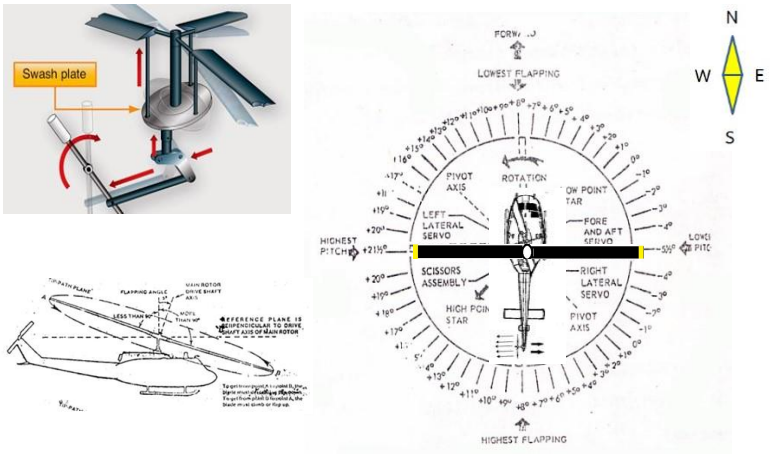
หมายเหตุ: จาก https://www.aircraftsystemstech.com/p/helicopter-flight-conditions.html?m=0

ขณะเฮลิคอปเตอร์บินด้วยความเร็วไปข้างหน้า (FORWARD FLIGHT) ขณะทำการบินลอยตัวในอากาศ (HOVERING FLIGHT) ถ้านักบินควบคุมรอบการหมุนของโรเตอร์คงที่และความเร็วที่ปลายกลีบใบพัดแต่ละใบทุกตำแหน่งในวงจานหมุนของโรเตอร์นั้นวัดได้ความเร็ว 500 ไมล์/ชั่วโมง มุมปะทะของกลีบใบพัดแต่ละใบสมมติว่าเป็น 18° เท่ากันหมดทุกๆ กลีบใบพัดในวงจานหมุน ถ้านักบินเริ่มทำการบินด้วยความเร็วไปข้างหน้านักบินจะต้องดันคันบังคับ CYCLIC ไปข้างหน้า มุมปะทะของกลีบใบพัดแต่ละใบจะเริ่มเปลี่ยนแปลงไปแต่ละใบไม่เท่ากันด้วยและความเร็วสัมพัทธ์ที่เกิดขึ้นบนกลีบใบพัดซีกที่หมุนทวนลมและตามลมจะไม่เท่ากันทั้งซีกกลีบใบพัดที่หมุนทวนลมและตามลมตลอดทั้งความเร็วสัมพัทธ์บนกลีบใบพัดและมุมปะทะด้วย

ถ้าสมมติว่าเฮลิคอปเตอร์บินด้วยความเร็ว 100 ไมล์/ชั่วโมง นั่นก็คือทิศทางลมสัมพัทธ์วิ่งเข้าหาเฮลิคอปเตอร์ทางด้านหน้าด้วยความเร็ว 100 ไมล์/ชั่วโมง เช่นเดียวกัน ดังนั้นความเร็วสัมพัทธ์ใหม่ที่เกิดขึ้นบนใบพัดด้านหมุนทวนลม (ADVANCING BLADE) จะเท่ากับ 600 ไมล์/ชั่วโมง (500 + 100) ส่วนด้านกลีบใบพัดที่หมุนตามทิศทางลมสัมพัทธ์ (RETREATING BLADE) ความเร็วสัมพัทธ์ใหม่จะเท่ากับ 400 ไมล์/ชั่วโมง (500 - 100)

เมื่อเปรียบเทียบแล้วจะเห็นว่าความเร็วซีกที่กลีบใบพัดหมุนทวนทิศทางลมสัมพัทธ์ (ADVANCING BLADE) มีค่ามากกว่าซีกที่กลีบใบพัดหมุนตามทิศทางลมสัมพัทธ์ (RETREATING BLADE) ซึ่งจะเป็นผลทำให้เกิดแรงยก (LIFT) ซีกที่หมุนทวนลมมากกว่าซีกที่หมุนตามลมเพราะความเร็วเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการเพิ่มแรงยก

ลักษณะการเกิดการไม่สมดุลของแรงยกดังกล่าวระหว่างซีกที่กลีบใบพัดหมุนทวนลมมีแรงยกมากกว่าซีกที่หมุนตามลมซึ่งเป็นลักษณะไม่พึงประสงค์ เพราะจะทำให้เฮลิคอปเตอร์เอียงลงทางด้านกลีบใบพัดที่หมุนตามอยู่ตลอดเวลา วิศวกรผู้แผนแบบจึงได้แก้อาการดังกล่าวโดยแผนแบบให้ชุดกลีบใบพัดสามารถกระพือขึ้น – ลงได้ (FLAPPING) เพื่อไปทำการชดเชยหรือกำจัดอาการดังกล่าวเสียโดยการให้กลีบใบพัดที่หมุนจากด้านหางถึงด้านหัวของเฮลิคอปเตอร์มีการกระพือต่ำลง (DOWNWARD FLAPPING) เพื่อเป็นการลดมุมปะทะ (DECREASE ANGLE OF ATTACK) ของกลีบใบพัดลงเพราะมีความเร็วสูงอยู่แล้ว ส่วนกลีบใบพัดที่หมุนจากด้านหัวไปถึงด้านหางของเฮลิคอปเตอร์ซึ่งหมุนตามทิศทางลมสัมพัทธ์ (RETREATING BLADE) จะเกิดการกระพือสูงขึ้นเพื่อเป็นการเพิ่มมุมปะทะ (INCREASE ANGLE OF ATTACK) ของกลีบใบพัดเพราะความเร็วต่ำ ทำให้สามารถชดเชยแรงยกให้เท่ากันทั้งสองซีก จึงทำให้เฮลิคอปเตอร์บินในระดับโดยไม่มีการเอียงไปทางใบพัดซีกหมุนตามทิศทางลมสัมพัทธ์ (RETREATING BLADE)



หมายเหตุ: จาก https://drive.google.com/file/d/1yQm89pAMA3_jN-NQ1gRjcaBJpVOUPbus/view?usp=sharing

แบบฝึกหัดเรื่อง การเกิดการไม่สมดุลย์ของแรงยก (DISSYMMETRY OF LIFT)

หลังจากที่ได้ศึกษาเรื่องการเกิดการไม่สมดุลย์ของแรงยก (DISSYMMETRY OF LIFT) มาแล้ว ก่อนที่จะไปทำแบบฝึกหัดท้ายบท ให้ลองทดสอบความรู้ในเรื่องที่เรียนผ่านมาตาม QR CODE แบบฝึกหัดเรื่องการเกิดการไม่สมดุลย์ของแรงยก (DISSYMMETRY OF LIFT) ด้านล่าง

หรือเข้าตามลิงก์ด้านล่าง

https://forms.gle/S6jAaBzGQHHo6WZ47

ถ้าประเมินตนเองแล้วได้คะแนนเป็นที่น่าพอใจ แสดงว่าเข้าใจเป็นอย่างดี แต่ถ้าไม่พอใจในผลคะแนนสามารถย้อนกลับไปทบทวนดูใหม่ หรือศึกษาสื่อการสอนผ่าน QR CODE ที่สรุปเนื้อหาทั้งมดแล้วทดสอบอีกครั้ง ดังคำสุภาษิตที่ว่า “ความพยายามอยู่ที่ไหน ความสำเร็จอยู่ที่นั่น” และเพื่อให้เข้าใจมากยิ่งขึ้นขอให้ผู้อ่านได้ เข้าไปศึกษาคลิปการสอนสรุปเนื้อหาเกี่ยวกับบทเรียนเรื่อง การไม่สมดุลย์ของแรงยก (DISSYMMETRY OF LIFT) ตาม QR CODE ด้านล่าง

หรือเข้าตามลิงก์ด้านล่าง

https://drive.google.com/file/d/1FTUMJXomDYXS7V_xUQS8bwsIYchHVzr-/view?usp=sharing

ซีกที่กลีบใบพัดหมุนทวนทิศทางลมสัมพัทธ์ (ADVANCING BLADE)

- ความเร็วสัมพัทธ์ที่เกิดบนกลีบใบพัดจะมากขึ้นถ้าความเร็วเฮลิคอปเตอร์เพิ่มขึ้น
- มุมปะทะของกลีบใบพัดจะลดลง
- การกระพือของกลีบใบพัดจะลดลง
- ถ้าเฮลิคอปเตอร์ที่ติดตั้งชุดกลีบใบพัดสามารถให้ส่ายตัวด้านข้างได้ (HUNTING) จะเกิดการ LEAD คือการโน้มตัวไปข้างหน้า

ซีกที่กลีบใบพัดหมุนตามทิศทางลมสัมพัทธ์ (RETREATING BLADE)

- ความเร็วสัมพัทธ์ที่เกิดบนกลีบใบพัดจะลดลงเมื่อความเร็วเฮลิคอปเตอร์เพิ่มมากขึ้น
- การกระพือของกลีบใบพัดจะกระพือสูงขึ้น
- มุมปะทะของกลีบพัดจะสูงขึ้น
- ถ้าเฮลิคอปเตอร์ที่ติดตั้งชุดกลีบใบพัดที่สามารถให้ส่ายตัวด้านข้างได้ (HUNTING) จะเกิดการ LAG คือการล้าตัวมาด้านหลัง
- ถ้าเฮลิคอปเตอร์บินเข้าด้วยความเร็ววิกฤตอาจเกิด การสูญเสียแรงยกกลับกลีบใบพัดอย่างรุนแรงได้ (BLADE STALL) ที่ซีกนี้

แบบทดสอบหลังเรียนบทที่ 6

ให้ผู้เรียนสแกนเข้าไปทำแบบทดสอบหลังเรียนใน **QR CODE POST - TEST บทที่ 6** ด้านล่าง

หรือเข้าตามลิงก์ด้านล่าง

https://forms.gle/7etiQ5fSWQ5A7stp6

หลังจากผู้เรียนได้ทำแบบทดสอบหลังเรียนแล้วให้ประเมินความเข้าใจของตนเองโดยการเปรียบเทียบผลการเรียนระหว่างก่อนเรียนกับหลังเรียน ถ้าผลคะแนนดีขึ้นแสดงว่าเข้าใจเป็นอย่างดี แต่ถ้าคะแนนไม่ดีไม่ได้หมายความว่าเราไม่มีความรู้ เพียงแต่ยังรู้ไม่ลึกซึ้งหรือไม่กระจ่างเท่านั้น และความรู้ที่กระจ่างจะทำให้เราเป็นผู้ที่สามารเอาชนะอุปสรรคได้

ในบทเรียนเรื่องการไม่สมดุลย์ของแรงยก (DISSYMMETRY OF LIFT) นี้เป็นเป็นเพียงความรู้พื้นฐานในการนำประยุกต์ใช้ประกอบในการปฏิบัติงาน แต่ความรู้ที่แท้จริงและสำคัญที่สุดคือประสบการณ์และการเรียนรู้ศึกษาเพิ่มเติมให้มากยิ่งขึ้น อันจะนำไปสู่การเป็นช่างเทคนิคประจำอากาศยานที่มีคุณภาพมากที่สุด ดังคำที่ ERALDO BANOVAC ได้กล่าวไว้ว่า

““การหาความรู้ คือความพยายามที่ก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีที่สุด””

บทที่ 7
การส่ายตัวทางระนาบของกลีบใบพัด
(HUNTING)

แบบทดสอบก่อนเรียนบทที่ 7

ให้ผู้เรียนสแกนเข้าไปทำแบบทดสอบก่อนเรียนใน **QR CODE PRE - TEST บทที่ 7** ด้านล่าง

หรือเข้าตามลิงก์ด้านล่าง

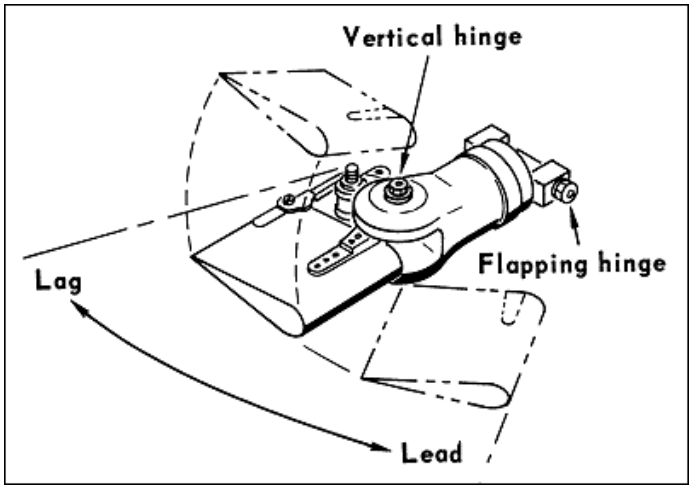
https://forms.gle/2BtYrYfb64VXdZCG8

กล่าวโดยทั่วไป

จากที่ได้ศึกษาปัญหาเรื่องการไม่สมดุลย์ของแรงยก (DISSYMMETRY OF LIFT) ของเฮลิคอปเตอร์ (HELICOPTER) ยังมีเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นต่อเนื่องขึ้นอีกคือการส่ายตัวหน้า-หลังของกลีบใบพัดเพื่อลดภาระกรรมการดัดงอ ซึ่งจะเป็นไปตามหลักและทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เป็นเรื่องที่ละเอียดอ่อนซึ่งถ้าผู้เรียนตั้งใจศึกษาเป็นอย่างดีก็จะสามารถเข้าใจได้ไม่ยาก และนำไปประยุกต์ใช้ให้เป็นประโยชน์ต่อการปฏิบัตงานต่อไป

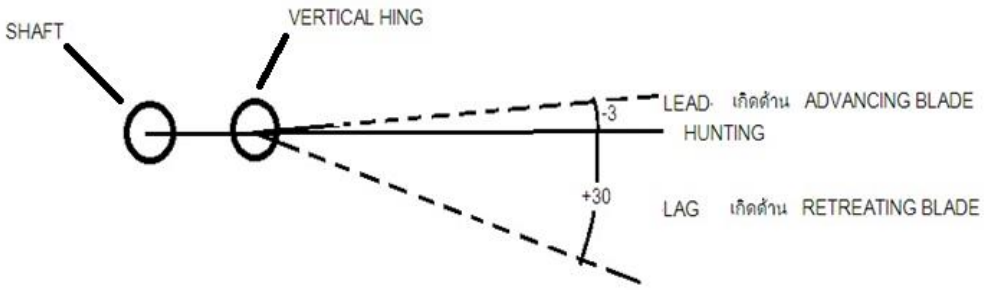
การส่ายตัวทางระนาบของกลีบใบพัด (HUNTING)

HUNTING คือการส่ายตัวทางด้านข้างของกลีบใบพัด การส่ายตัวไปข้างหน้าเรียกว่า LEAD ถ้าส่ายตัวไปด้านหลังเรียกว่า LAG



สำหรับเฮลิคอปเตอร์ที่ติดตั้งชุดดุมใบพัด (ROTOR HEAD/HUB) ชนิด FULLY ARTICULATED TYPE จะมี VERTICAL HINGE PIN เป็นตัวยอมให้กลีบใบพัดส่ายตัวไปหน้าและหลังได้เพื่อลดภาระกรรมการดัดงอ (BENDING MOMENT) อันอาจเกิดกับเพลาขับของชุด ROTOR HEAD/HUB ตลอดทั้งแกนใบพัด (SPAR OF ROTOR BLADE) ได้ขณะโรเตอร์เริ่มหมุนหรือหยุดหมุน หรือระหว่างการทำงานและมีแรงจากภายนอกมากระทำกับโรเตอร์ หรือแรงใดๆ มากระทำให้รอบของการหมุนของโรเตอร์เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม กลีบใบพัดจะเกิดการส่ายตัวทางระนาบได้

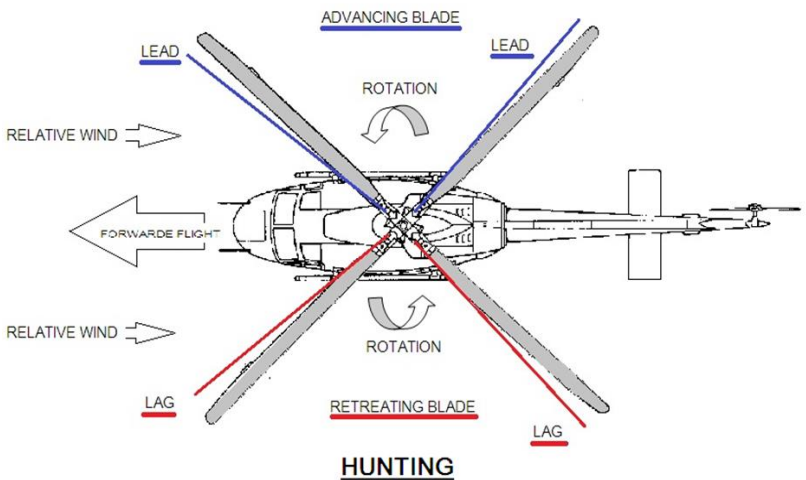
สำหรับ ROTOR แบบ FULLY ARTICULATED TYPE สามารถส่ายตัวจากแนวเดิมได้รวมกัน 33 องศา โดยสามารถส่ายตัวไปตามทิศทางการหมุนของโรเตอร์ (LEAD) ได้ 3 องศา และส่ายตัวทวนทิศทางการหมุน (LAG) ได้ 30 องศา



LEAD-LAG MOTION LIMITS

ความมุ่งหมายของการส่ายตัวทางระนาบ (HUNTING) นั้น เพื่อเป็นการลด BENDING MOMENT ของชุดโรเตอร์เพื่อป้องกันการเกิดการดัดงอ หรือชำรุดของอุปกรณ์ต่างๆ ของชุดโรเตอร์ขณะเพิ่มหรือลดความเร็ว ทั้งยังทำให้ชุดกลีบใบพัดสามารถจัดหรือปรับแนวระหว่างกลีบใบพัดเพื่อให้เกิดการสมดุลขณะโรเตอร์หมุนด้วยรอบที่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากแรง CORIOLIS FORCE ทำกับโรเตอร์ระหว่างการทำงาน แต่เฮลิคอปเตอร์ที่ใช้โรเตอร์แบบ SEMI - RIGID ไม่จำเป็นในเรื่องนี้ในท่าบินปกติ

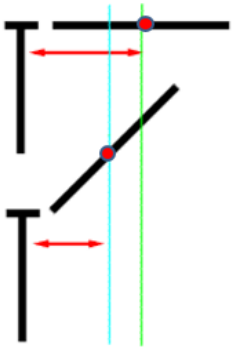
การส่ายตัวทางระนาบ (HUNTING) จะทำให้เกิดการส่ายตัวไปด้านหน้า (LEAD) ของกลีบใบพัดด้านหมุนทวนทิศทางลมสัมพัทธ์ (ADVANCING BLADE) และเกิดการส่ายตัวมาข้างหลัง (LAG) ที่ด้านหมุนตามทิศทางลมสัมพัทธ์ (RETREATING BLADE)



HUNTING

CORIOLIS FORCE

CORIOLIS FORCE หมายถึง แรงที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเร็วการหมุนของโรเตอร์ (ROTOR REVOLUTION) ทั้งการเพิ่มอัตราเร่ง(ACCELERATION) และลดอัตราเร่ง (DECELERATION) เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งมวลน้ำหนัก (MASS) และโมเมนท์ทางการหมุน (ANGULAR MOMENTUM) ของโรเตอร์ ซึ่งจะอธิบายได้ดังนี้



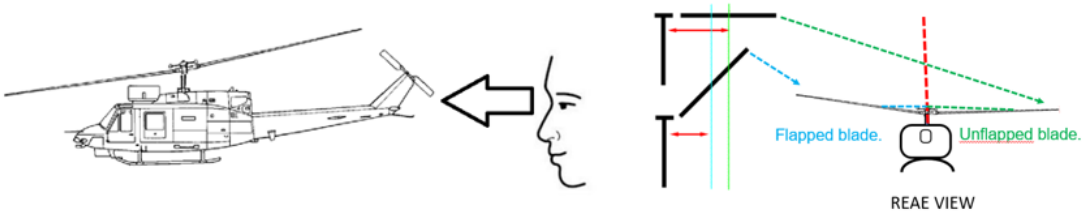
The green line represents the center of mass of the unflapped blade.

The blue line represents the center of mass of the flapped blade.

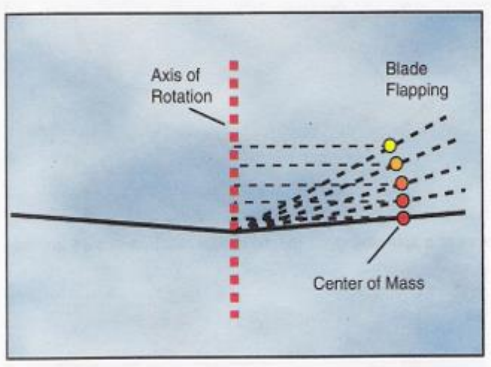
Notice that the center of mass has moved in when the blade has flapped.

จากภาพด้านบนจะเห็นได้ว่า เส้นสีเขียว (GREEN LINE) ของใบพัดที่ไม่เกิดการกระพือ (UNFLAPPED BLADE) หรือใบพัดด้านหมุนทวนทิศทางลมสัมพัทธ์ (ADVANCING BLADE) จะเป็นแนวตรง จุดศูนย์รวมมวลน้ำหนัก (CENTER OF MASS) จะอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลาง หรือเพลาขับ (MAST)

เส้นสีน้ำเงิน (BLUE LINE) ของใบพัดที่กระพือสูงขึ้น (FLAPPED BLADE) หรือใบพัดด้านหมุนตามทิศทางลมสัมพัทธ์ (RETREATING BLADE) จุดศูนย์รวมมวลน้ำหนัก (CENTER OF MASS) จะเข้าใกล้จุดศูนย์กลาง หรือเพลาขับ (MAST)



นำภาพทั้งสองจากด้านบนมาวิเคราะห์กลับภาพด้านล่าง



Conservation of angular momentum demands that as the radius of the center of mass decreases, the rotation rate must increase.

Thus the flapped blade must be spinning faster than the unflapped blade .

กฎการอนุรักษ์โมเมนตัมเชิงมุม (CONSERVATION OF ANGULAR MOMENTUM) กล่าวไว้ว่า

- เมื่อรัศมี (RADIAL) ของจุดศูนย์รวมมวลน้ำหนัก (CENTER OF MASS) เข้าใกล้จุดศูนย์กลางหรือมีระยะทางน้อยลง จะทำให้อัตราเร่งเพิ่มขึ้น (AS THE RADIUS OF THE CENTER OF MASS DECREASES, THE ROTATION RATE MUST INCREASE) ซึ่งตามภาพด้านบนคือ จุดสีเหลือง (YELLOW DOT) ซึ่งอยู่ตำแหน่งบนสุด

- เมื่อรัศมี (RADIAL) ของจุดศูนย์รวมมวลน้ำหนัก (CENTER OF MASS) ออกห่างจุดศูนย์กลางหรือมีระยะทางเพิ่มขึ้น จะทำให้อัตราเร่งลดลง (AS THE RADIUS OF THE CENTER OF MASS INCREASES, THE ROTATION RATE MUST DECREASE) ซึ่งตามภาพด้านบนคือ จุดสีแดง (RED DOT) ด้านล่างสุด

นำกฎการอนุรักษ์โมเมนตัมเชิงมุม (CONSERVATION OF ANGULAR MOMENTUM) เปรียบเทียบกับนักไอซ์สเก็ต (ICE SKATER)

SCAN ME

ICE SKATER

หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=0RVyhd3E9hY

จะเห็นได้ว่าเมื่อนักไอซ์สเก็ต (ICE SKATER) ยื่นแขนออกไปจะทำให้จุดศูนย์รวมน้ำนักออกห่างลำตัว จึงทำให้ความเร็วการหมุนตัวช้าลง (AS THE RADIUS OF THE CENTER OF MASS INCREASES, THE ROTATION RATE MUST DECREASE)

แต่เมื่อนักไอซ์สเก็ต (ICE SKATER) หดแขนเข้าจะทำให้จุดศูนย์รวมน้ำนักเข้าใกล้ลำตัว จึงทำให้ความเร็วการหมุนตัวเพิ่มขึ้น (AS THE RADIUS OF THE CENTER OF MASS INCREASES, THE ROTATION RATE MUST DECREASE) (AS THE RADIUS OF THE CENTER OF MASS DECREASES, THE ROTATION RATE MUST INCREASE) เป็นไปตามกฎการอนุรักษ์โมเมนตัมเชิงมุม (CONSERVATION OF ANGULAR MOMENTUM)

CORIOLIS EFFECT

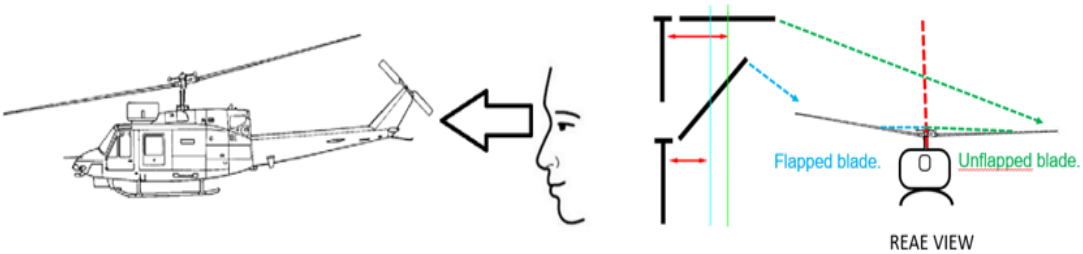
CORIOLIS EFFECT หมายถึง การทำให้เกิดการส่ายตัวหรือเคลื่อนที่ทางระนาบของกลีบใบพัด (HUNTING ACTION) เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอัตราเร่งทางการหมุนของโรเตอร์

เป็นผลที่เกิดต่อเนื่องจาก CORIOLIS FORCE หรือแรงที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งมวลน้ำหนัก (CENTER OF MASS) และโมเมนท์ทางการหมุน (ANGULAR MOMENTUM) ของโรเตอร์ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

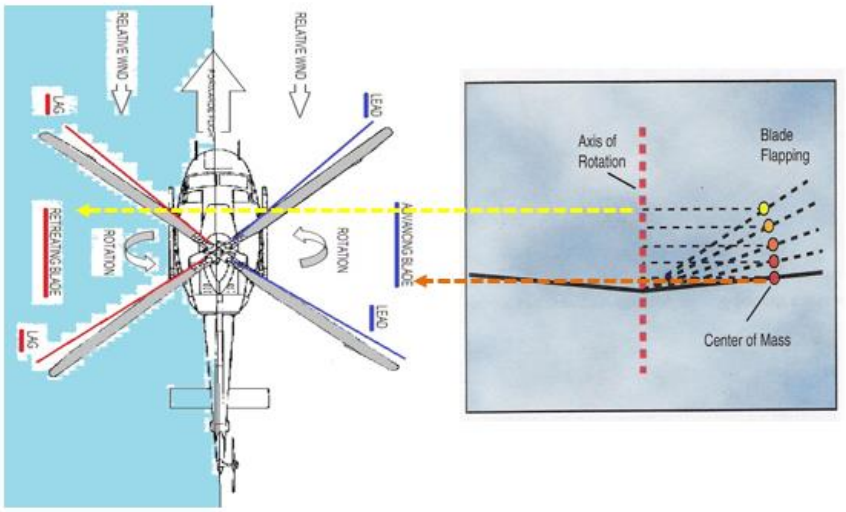
- ใบพัดด้านหมุนทวนทิศทางลมสัมพัทธ์ (ADVANCING BLADE) ใบพัดกระพือสูงขึ้น (FLAPPED BLADE)

- ใบพัดด้านหมุนตามทิศทางลมสัมพัทธ์ (RETREATING BLADE) ใบพัดไม่เกิดการกระพือ หรือกระพือต่ำลง (UNFLAPPED BLADE)

เมื่อมองจากด้านหลังของเฮลิคอปเตอร์จะเห็นเป็นลักษณะตามภาพด้านล่าง

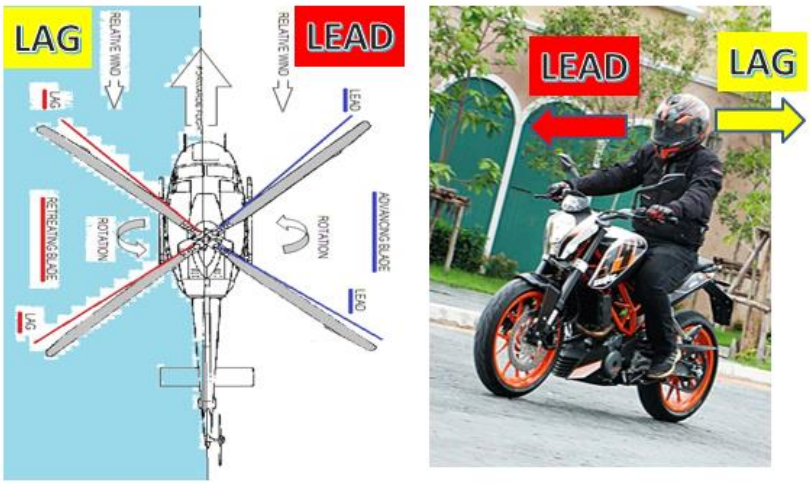


นำกฎการอนุรักษ์โมเมนตัมเชิงมุม (CONSERVATION OF ANGULAR MOMENTUM) มาประยุกต์ใช้กับการกระพือ (FLAPPING) ของใบพัดทั้งสองด้าน ตามภาพด้านล่าง



- ใบพัดด้านหมุนทวนทิศทางลมสัมพัทธ์ (ADVANCING BLADE) ใบพัดไม่เกิดการกระพือ หรือกระพือต่ำลง (UNFLAPPED BLADE) เทียบได้กับจุดสีแดง (RED DOT) ด้านล่างสุด ทำให้รัศมี (RADIAL) ของจุดศูนย์รวมมวลน้ำหนัก (CENTER OF MASS) ออกห่างจุดศูนย์กลาง หรือมีระยะทางมาก จะทำให้อัตราเร่งลดลง (ROTATION RATE DECREASE)

- ใบพัดด้านหมุนหมุนตามทิศทางลมสัมพัทธ์ (RETREATING BLADE) ใบพัดกระพือสูงขึ้น (FLAPPED BLADE) เทียบได้กับจุดสีเหลือง (YELLOW DOT) ด้านบนสุด ทำให้รัศมี (RADIAL) ของจุดศูนย์รวมมวลน้ำหนัก (CENTER OF MASS) เข้าใกล้จุดศูนย์กลาง หรือมีระยะทางน้อยลง จะทำให้อัตราเร่งเพิ่มขึ้น (ROTATION RATE INCREASE)



เมื่อพิจารณาจากภาพด้านบน ตามกฎการอนุรักษ์โมเมนตัมเชิงมุม (CONSERVATION OF ANGULAR MOMENTUM) สรุปได้ว่า

- ใบพัดด้านหมุนทวนทิศทางลมสัมพัทธ์ (ADVANCING BLADE) ใบพัดไม่เกิดการกระพือ หรือกระพือต่ำลง (UNFLAPPED BLADE) ทำให้รัศมี (RADIAL) ของจุดศูนย์รวมมวลน้ำหนัก (CENTER OF MASS) ออกห่างจุดศูนย์กลาง ทำให้อัตราเร่งลดลง (ROTATION RATE DECREASE) ทำใบพัดเกิดการส่ายหรือโน้มตัวไปทางด้านหน้า หรือเกิดการ LEAD ซึ่งถ้าจะเปรียบเทียบให้เห็นชัดเจน ถ้าคนขับรถจักรยานยนต์มาด้วยความเร็วแล้วลดความเร็วหรือหยุดรถ จะทำให้ลำตัวโน้มไปด้านหน้า

- ใบพัดด้านหมุนหมุนตามทิศทางลมสัมพัทธ์ (RETREATING BLADE) ใบพัดกระพือสูงขึ้น (FLAPPED BLADE) ทำให้รัศมี (RADIAL) ของจุดศูนย์รวมมวลน้ำหนัก (CENTER OF MASS) เข้าใกล้จุดศูนย์กลาง ทำให้อัตราเร่งเพิ่มขึ้น (ROTATION RATE INCREASE) ทำใบพัดเกิดการส่ายหรือโน้มตัวมาทางด้านหลัง หรือเกิดการ LAG ซึ่งถ้าจะเปรียบเทียบให้เห็นชัดเจน ถ้าคนขับเร่งความเร็วรถจักรยานยนต์ จะทำให้ลำตัวโน้มมาทางด้านหลัง

คนขับรถจักรยานยนต์เมื่อเร่งหรือยุดรถ ถ้าไม่มีการโน้มตัวไปหน้า-หลัง หรือนั่งทำตัวแข็งที่อก็จะส่งผลให้กระดูกสันหลังเกิดความล้าตัวทำให้เกิดการเมื่อยล้าหรือปวดหลังได้ ซึ่งการส่ายตัว (HUNTING) ทั้งการส่ายตัวไปด้านหน้า (LEAD) และส่ายตัวมาด้านหลัง (LAG) เพื่อลดภาระกรรมการดัดงอ (BENDING MOMENT) ของใบพัดไม่ให้เกิดการล้าตัวเช่นกัน

แบบฝึกหัดเรื่อง การส่ายตัวทางระนาบของกลีบใบพัด (HUNTING)

หลังจากที่ได้ศึกษาเรื่องการส่ายตัวทางระนาบของกลีบใบพัด (HUNTING) มาแล้ว ก่อนที่จะไปทำแบบฝึกหัดท้ายบท ให้ลองทดสอบความรู้ในเรื่องที่เรียนผ่านมาตาม QR CODE แบบฝึกหัดเรื่องการส่ายตัวทางระนาบของกลีบใบพัด (HUNTING) ด้านล่าง

หรือเข้าตามลิงก์ด้านล่าง

https://forms.gle/9Z8X7bMM7bmR6LaSA

ถ้าประเมินตนเองแล้วได้คะแนนเป็นที่น่าพอใจ แสดงว่าเข้าใจเป็นอย่างดี แต่ถ้าไม่พอใจในผลคะแนนสามารถย้อนกลับไปทบทวนดูใหม่ หรือศึกษาสื่อการสอนผ่าน QR CODE ที่สรุปเนื้อหาทั้งมดแล้วทดสอบอีกครั้ง ดังคำสุภาษิตที่ว่า “ความพยายามอยู่ที่ไหน ความสำเร็จอยู่ที่นั่น”

เพื่อให้เข้าใจมากยิ่งขึ้น ขอให้ผู้อ่านเข้าไปดูคลิปสื่อการสอนสรุปเนื้อหาเกี่ยวกับบทเรียน เรื่อง การส่ายตัวทางระนาบของกลีบใบพัด (HUNTING) ตาม QR CODE ด้านล่าง

หรือเข้าตามลิงก์ด้านล่าง

https://drive.google.com/file/d/10Rr7Ax5uGR-1n9T6oPxwFGTX-mrEzU_B/view?usp=sharing

สรุป การส่ายของกลีบไปพัดเฮลิคอปเตอร์ (HUNTING) ทั้งการส่ายตัวไปทางหน้า (LEAD) จะเกิดขึ้นกับใบพัดด้านหมุนทวนทิศทางลมสัมพัทธ์ (ADVANCING BLADE) และการส่ายตัวมาทางด้านหลัง (LAG) จะเกิดกับใบพัดด้านหมุนหมุนตามทิศทางลมสัมพัทธ์ (RETREATING BLADE) เป็นไปตามกฎการอนุรักษ์โมเมนตัมเชิงมุม (CONSERVATION OF ANGULAR MOMENTUM) ที่มีการเพิ่มและลดความเร็วเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงจุดศูนย์รวมมวลน้ำหนัก (CENTER OF MASS) เพื่อเป็นการลดภระกรรมการดัดงอ (BENDING MOMENT) ของใบพัดเฮลิคอปเตอร์

แบบทดสอบหลังเรียนบทที่ 7

ให้ผู้เรียนสแกนเข้าไปทำแบบทดสอบหลังเรียนใน **QR CODE POST - TEST บทที่ 7** ด้านล่าง

SCAN ME

HUNTING
POST-TEST

หรือเข้าตามลิงก์ด้านล่าง

https://forms.gle/4Dvsww5CsGgJcLkY8

หลังจากผู้เรียนได้ทำแบบทดสอบหลังเรียนแล้วให้ประเมินความเข้าใจของตนเองโดยการเปรียบเทียบผลการเรียนระหว่างก่อนเรียนกับหลังเรียน ถ้าผลคะแนนดีขึ้นแสดงว่าเข้าใจเป็นอย่างดี แต่ถ้าคะแนนไม่ดีไม่ได้หมายความว่าเราไม่มีความรู้ เพียงแต่ยังรู้ไม่ลึกซึ้งหรือไม่กระจ่างเท่านั้น และความรู้ที่กระจ่างจะทำให้เราเป็นผู้ที่สามารเอาชนะอุปสรรคได้

ในบทเรียนเรื่องการส่ายตัวทางระนาบของกลีบใบพัด (HUNTING) นี้เป็นเป็นเพียงความรู้พื้นฐานในการนำประยุกต์ใช้ประกอบในการปฏิบัติงาน แต่ความรู้ที่แท้จริงและสำคัญที่สุดคือ ความอดทนมุ่งมั่นที่จะก้าวผ่านอุปสรรคและความยากลำบากไปให้ได้ ดังคำที่ BRUCE LEE ได้กล่าวไว้ว่า

“นักรบผู้กำชัยชนะ ก็คือคนธรรมดา ๆ ที่มีความมุ่งมั่นแน่วแน่อย่างไม่ธรรมดา”

บทที่ 8
การบินลอยตัวอยู่กับที่
(HOVERING)

แบบทดสอบก่อนเรียนบทที่ 8

ให้ผู้เรียนสแกนเข้าไปทำแบบทดสอบก่อนเรียนใน **QR CODE PRE - TEST บทที่ 8** ด้านล่าง

หรือเข้าตามลิงก์ด้านล่าง

https://forms.gle/V8hU5iGe68yCZBqj9

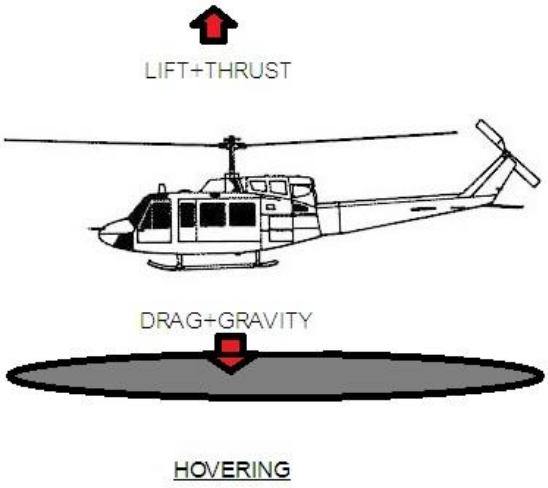
กล่าวโดยทั่วไป

อากาศยานปีกหมุนหรือเฮลิคอปเตอร์จะมีลักษณะการบินที่แตกต่างไปจากเครื่องบินชนิดอื่นโดยทั่วไป คือสามารถบินลอยตัวนิ่งๆ อยู่กับที่ ทำให้สามารถปฏิบัติภารกิจได้อย่างยืดหยุ่นหลากหลาย ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบกว่าเครื่องบินชนิดอื่น และในบทนี้จะได้กล่าวถึงลักษณะการบินลอยตัวอยู่กับที่ (HOVERING) มีการบินแบบใดบ้างและมีปัจจัยอะไรที่เกี่ยวข้องบ้าง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่ศึกษารวมถึงนำไปประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงานได้เป็นอย่างดี

การบินลอยตัวอยู่กับที่ (HOVERING)

HOVERING คือ การบินลอยตัวอยู่ในอากาศ ณ จุดๆหนึ่งของเฮลิคอปเตอร์โดยไม่เคลื่อนที่ไปทิศทางใดๆซึ่งมีลักษณะการบิน ดังนี้

- ระยะสูงคงที่
- ความเร็วเป็นศูนย์ (0)
- แรงยก (LIFT) รวมกับแรงฉุด (THRUST) อยู่ในแนวเดียวกัน ซึ่งจะเท่ากับแรงโน้มถ่วงของโลก
- (GRAVITY) รวมกับแรงต้าน (DRAG) และมีทิศทางอยู่ตรงข้ามกับแรงยก (LIFT) และแรงฉุด (THRUST)



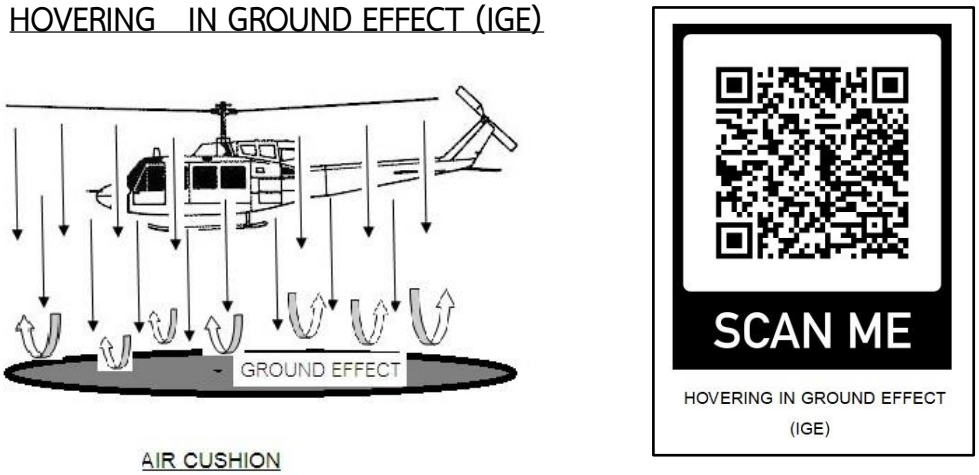
หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=4MdDZA-LKoQ

การบินลอยตัวอยู่กับที่ (HOVERING) จะแบ่งได้ 2 ประเภท ขึ้นอยู่กับความสูงของการบิน ได้แก่

1. HOVERING IN GROUND EFFECT (IGE)
2. HOVERING OUT OF GROUND EFFECT (OGE)

HOVERING IN GROUND EFFECT (IGE)

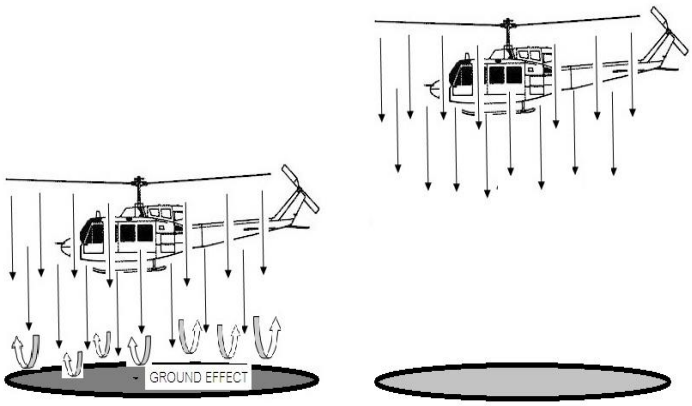
HOVERING IN GROUND EFFECT (IGE) หมายถึง การบินลอยตัวให้เฮลิคอปเตอร์อยู่สูงจากพื้นดินไม่มากนักพอที่จะสามารถให้มวลอากาศที่ถูกกลีบใบพัดผลักดันลงมาและกระทบพื้นดินแล้วมวลอากาศเหล่านั้นจะม้วนตัวขึ้นมารวมกันกับมวลอากาศที่ถูกกลีบใบพัดผลักดันลงมาอยู่เรื่อยๆ ตลอดเวลาจึงกลายเป็นมวลอากาศที่มีความหนาแน่นมากอยู่ภายใต้วงการหมุนของกลีบใบพัดและรอบๆเฮลิคอปเตอร์ มวลอากาศเหล่านี้ถูกอัดแน่นโดยแรงผลักของใบพัดจึงเรียกว่าเบาะอากาศ (AIR CUSHION) ซึ่งเพิ่มประสิทธิภาพแรงยกให้กับเฮลิคอปเตอร์เป็นอย่างมาก ซึ่งการบินลอยตัวต้องให้มีระยะความสูงเท่ากับครึ่งหนึ่งของเส้นผ่าศูนย์กลางของโรเตอร์หรือเท่ากับรัศมีโรเตอร์ (ยิ่งต่ำยิ่งดี)



หมายเหตุ: จาก https://drive.google.com/file/d/1iO6nxoelM2ogauawuK3eDXDhAhsZMuqg/view?usp=sharing

HOVERING OUT OF GROUND EFFECT (OGE)

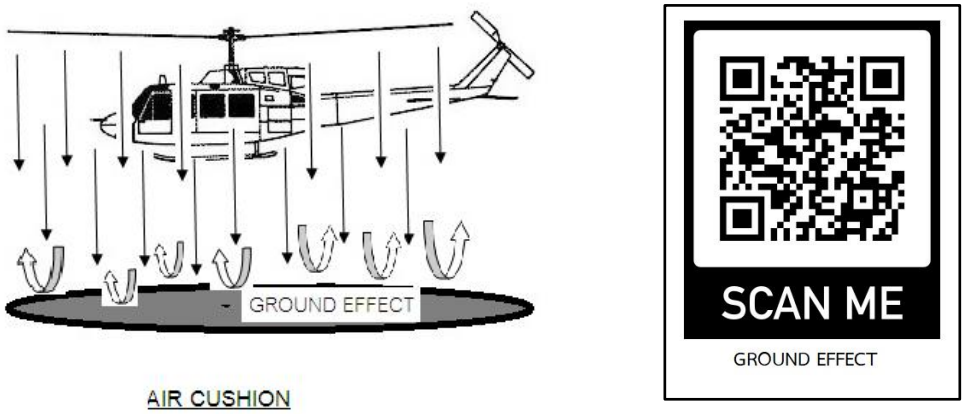
HOVERING OUT OF GROUND EFFECT (OGE) หมายถึง การบินลอยตัวที่ระยะสูงซึ่งเกินกว่า 1/2 หรือครึ่งหนึ่งของเส้นผ่าศูนย์กลางของโรเตอร์หรือรัศมีโรเตอร์ ขึ้นไปแต่ต้องไม่ให้อยู่ใกล้พื้นดินอันจะเกิดผลทางเบาะอากาศ (AIR CUSHION)



หมายเหตุ: จาก https://drive.google.com/file/d/1H5JQdyQr8p-w3E9jHRMYrQhtZoG2BGgb/view?usp=sharing

GROUND EFFECT

GROUND EFFECT คือการเพิ่มประสิทธิภาพแรงยกให้กับเฮลิคอเตอร์เมื่อบินลอยตัวใกล้พื้นดิน และจะให้ผลมากที่สุดที่บินลอยตัวในระยะสูงครึ่งหนึ่งของเส้นผ่าศูนย์กลางของโรเตอร์หรือเท่ากับรัศมีโรเตอร์ (ยิ่งต่ำยิ่งดี)



หมายเหตุ: จาก Flying Basics: How "Ground Effect" Affects Helicopters In DCS WORLD - YouTube

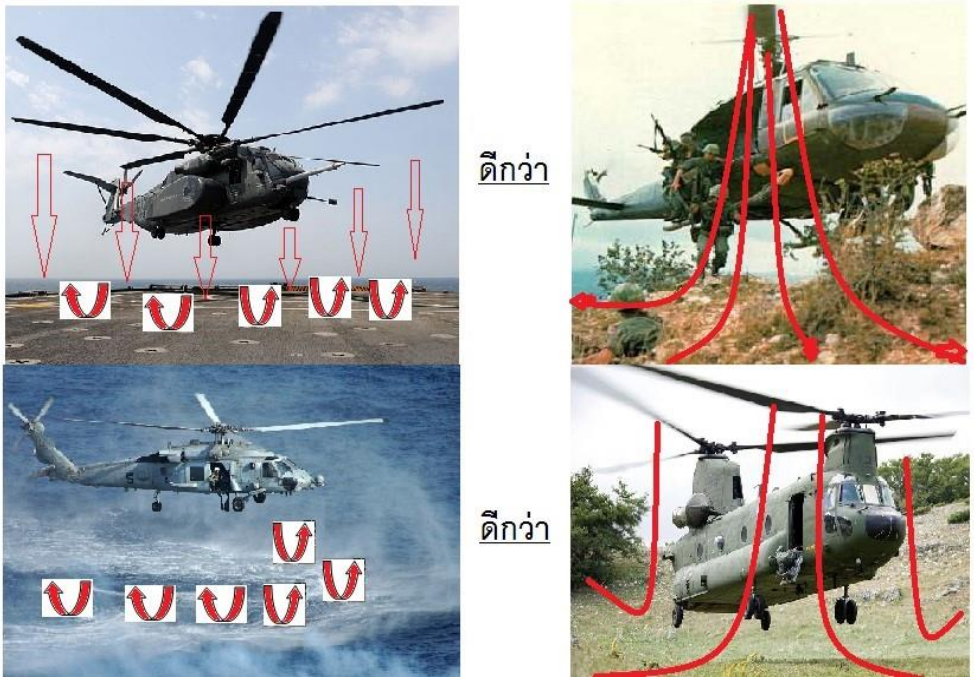
GROUND CUSHION

GROUND CUSHION คือ มวลกระแสอากาศที่รวมตัวอยู่ใกล้พื้นดินอยู่เรื่อยๆจากการถูกกลีบใบพัดผลักดันลงมาตลอดเวลาจึงกลายเป็นมวลอากาศที่มีความหนาแน่นมากอยู่ภายใต้วงการหมุนของกลีบใบพัดและรอบๆเฮลิคอปเตอร์ มวลอากาศเหล่านี้ถูกอัดแน่นโดยแรงผลักของใบพัดจึงเรียกว่าเบาะอากาศ (AIR CUSHION) หรือบางทีเรียกว่า GROUND CUSHION ซึ่งเพิ่มประสิทธิภาพแรงยกซึ่งเป็นผลมาจาก GROUND EFFECT นั่นเอง

หมายเหตุ

พื้นดินที่แน่นและราบเรียบย่อมให้ผลดีกว่าพื้นดินที่เป็นที่ขรุขระและดินโคลนเพราะมีการดูดกลืนอากาศได้น้อยกว่าและทำให้เกิดผลของมวลอากาศได้ดีกว่า

พื้นน้ำอาจให้ผลดีกว่าพื้นที่เต็มไปด้วยหญ้าและพุ่มไม้ เพราะพงหญ้าและพุ่มไม้จะเป็นตัวดูดกลืนอากาศดีกว่าน้ำจึงทำให้เกิดผลสะท้อนของมวลอากาศน้อยกว่า



เพื่อให้เข้าใจมากยิ่งขึ้น ขอให้ผู้อ่านได้เข้าไปดูคลิปสื่อการสอนสรุปเนื้อหาเกี่ยวกับบทเรียนเรื่อง การบินลอยตัวอยู่กับที่ (HOVERING) ตาม QR CODE ด้านล่าง

หรือเข้าตามลิงก์ด้านล่าง

https://drive.google.com/file/d/1JDni1Q32zDlD-6aHvAb0dU7dgs3CtpLI/view?usp=sharing

สรุป การบินลอยตัวอยู่กับที่ (HOVERING) คือการบินระยะสูงคงที่ ความเร็วเป็นศูนย์ (0) แรงยก (LIFT) รวมกับแรงฉุด (THRUST) อยู่ในแนวเดียวกัน ซึ่งจะเท่ากับแรงโน้มถ่วงของโลก (GRAVITY) รวมกับแรงต้าน (DRAG) และมีทิศทางอยู่ตรงข้ามกับแรงยก (LIFT) และแรงฉุด (THRUST) แบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ HOVERING IN GROUND EFFECT (IGE) และ HOVERING OUT OF GROUND EFFECT (OGE)

แบบทดสอบหลังเรียนบทที่ 8

ให้ผู้เรียนสแกนเข้าไปทำแบบทดสอบหลังเรียนใน **QR CODE POST - TEST บทที่ 8** ด้านล่าง

หรือเข้าตามลิงก์ด้านล่าง

https://forms.gle/gtB4rxcWQQmqmzaF7

หลังจากผู้เรียนได้ทำแบบทดสอบหลังเรียนแล้วให้ประเมินความเข้าใจของตนเองโดยการเปรียบเทียบผลการเรียนระหว่างก่อนเรียนกับหลังเรียน ถ้าผลคะแนนดีขึ้นแสดงว่าเข้าใจเป็นอย่างดี แต่ถ้าคะแนนไม่ดีไม่ได้หมายความว่าเราไม่มีความรู้ เพียงแต่ยังรู้ไม่ลึกซึ้งหรือไม่กระจ่างเท่านั้น และความรู้ที่กระจ่างจะทำให้เราเป็นผู้ที่สามารเอาชนะอุปสรรคได้ และไม่มีสิ่งใดจะดียิ่งไปกว่าความพยายาม ดังคำที่ JIM RYUN ได้กล่าวไว้ว่า

“แรงผลักดัน คือจุดเริ่มต้น และการทำจนเป็นนิสัย คือสิ่งที่ทำให้คุณไม่หยุดก้าวไปข้างหน้า”

บทที่ 9
การร่อนลงโดยกระแสอากาศหมุนใบพัด
(AUTOROTATION)

แบบทดสอบก่อนเรียนบทที่ 9

ให้ผู้เรียนสแกนเข้าไปทำแบบทดสอบก่อนเรียนใน **QR CODE PRE - TEST บทที่ 9** ด้านล่าง

SCAN ME
AUTOROTATION
PRE-TEST

หรือเข้าตามลิงก์ด้านล่าง

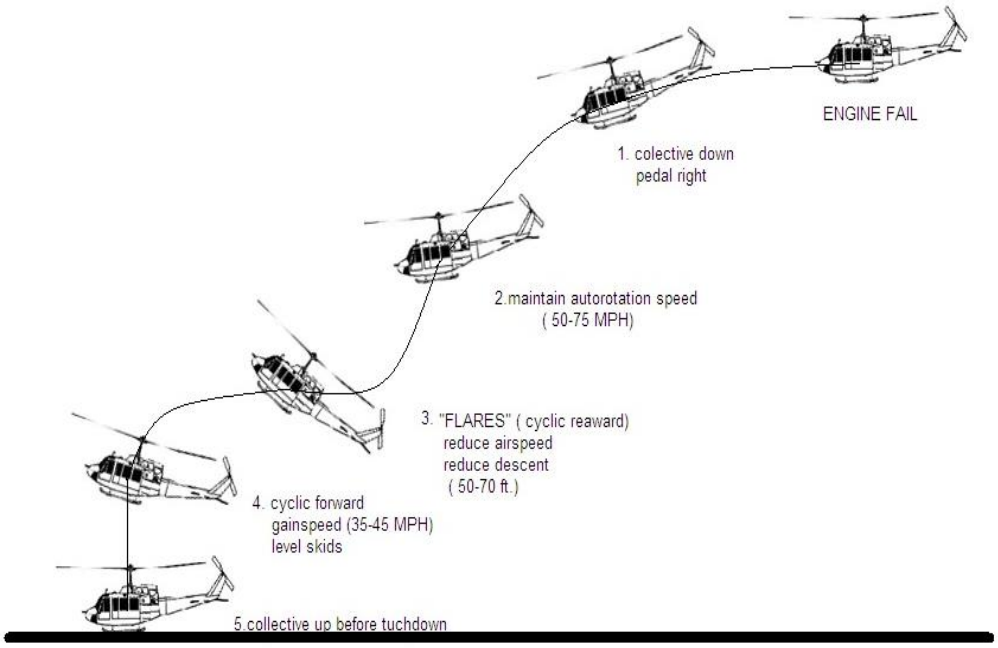
https://forms.gle/ihHqvXVWY9unBNb1A

กล่าวโดยทั่วไป

คุณลักษณะการบินของอากาศยานปีกหมุนหรือเฮลิคอปเตอร์ข้อหนึ่งมีความได้เปรียบมากกว่าเครื่องบินชนิดอื่นคือสามารถร่อนลงได้เมื่อเครื่องยนต์ขัดข้อง โดยอาศัยกำลังแรงลมมาขับหมุนใบพัด ให้ร่อนลงสู่พื้นได้โดยปลอดภัย ซึ่งหลักการนี้ค้นพบโดยจวน ดีลาเชียวาร์ (JUAN DELA CIERVA) ในปี ค.ศ.1923 และใช้มาจนถึงปัจจุบัน แต่การร่อนลงให้ปลอดภัยนั้น นักบินต้องทำตามให้ถูกต้องตามขั้นตอนตามคู่มือของเฮลิคอปเตอร์แต่ละแบบ ในบทนี้จะอธิบายหลักการพื้นฐานทั่วไปในขั้นตอนการร่อนลงโดยอาศัยกำลังลมหมุนใบพัด หรือ AUTOROTATION ส่วนรายละเอียดปลีกย่อยเพิ่มเติมขึ้นอยู่กับสมรรถนะของเฮลิคอปเตอร์ตามที่บริษัทได้ออกแบบมา

ขั้นตอนการร่อนลงโดยกระแสอากาศหมุนใบพัด (AUTOROTATION PROCEDURES)

AUTOROTATION คือ สภาพการบินอย่างหนึ่งของเฮลิคอปเตอร์ที่ทำให้กลีบใบพัดใหญ่ (MAIN ROTOR) มีแรงยกด้วยกระแสอากาศโดยปราศจากกำลังขับหมุนจากเครื่องยนต์และสามารถพยุงเฮลิคอปเตอร์ให้สามารถบินร่อนลงสู่สนามบินหรือพื้นดินได้โดยปลอดภัยขณะเครื่องยนต์เกิดขัดข้องในอากาศ ถือว่าเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับเฮลิคอปเตอร์



SCAN ME

AUTOROTATION

หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=vLtOO7zqX2k

เมื่อเกิดเครื่องยนต์ขัดข้องหรือดับลง (ENGINE FAIL) นักบินจะต้องปฏิบัติตามลำดับลักษณะขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ลดมุมปะทะของกลีบใบพัดใหญ่ (MAIN ROTOR) ลงตำแหน่งต่ำสุด โดยกดคันบังคับ COLLECTIVE CONTROL STRICK ลงตำแหน่งต่ำสุด ในขณะเดียวกันนั้นเองเฮลิคอปเตอร์ก็จะบินร่อนลง โดยด้านหัวของเฮลิคอปเตอร์จะหมุนไปทางซ้ายนิดหน่อยเพราะการเปลี่ยนแปลงลดมุมประทะลง ดังนั้นแรงบิดที่เกิดขึ้นบนกลีบใบพัด(MAIN ROTOR) จะลดลง ดังนั้นหัวของเฮลิคอปเตอร์จะหมุนไปทางซ้ายนิดหน่อย (ใบพัดหมุนทวนเข็ม) นักบินต้องใช้ PEDAL CONTROL หรือ RUDER ด้านขวาถีบไปข้างหน้าเพื่อทำให้หัวเฮลิคอปเตอร์มาอยู่ในตำแหน่งตรง

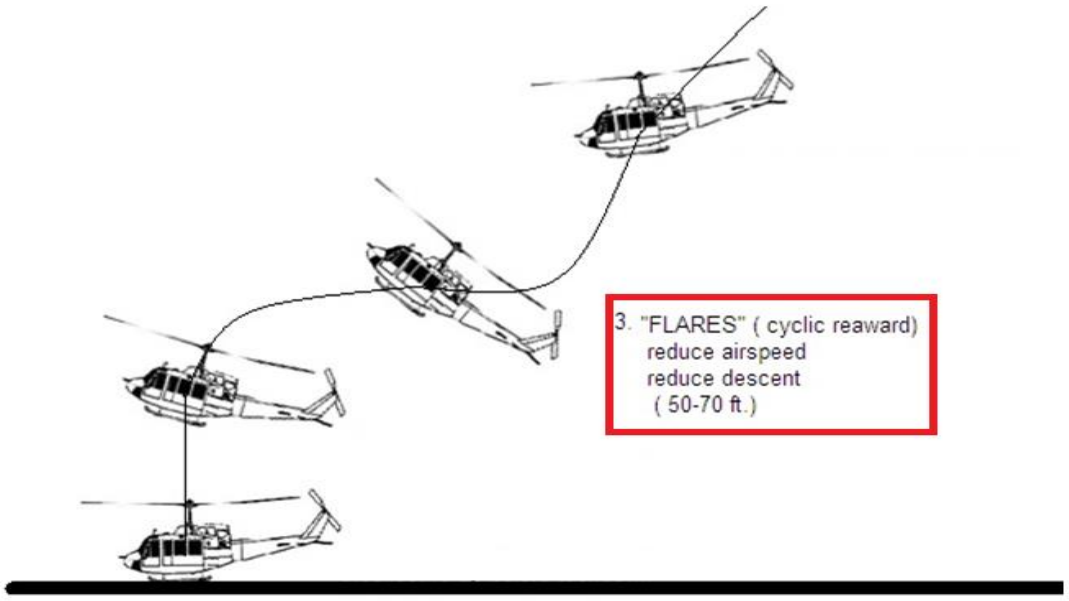
2. รักษาความเร็วในการร่อนลงและมุมร่อนในขณะที่เฮลิคอปเตอร์กำลังบินร่อนลงสู่พื้นดินเพื่อเป็นการรักษาอัตราการตกของเฮลิคอปเตอร์ด้วย นักบินจะต้องดันคันบังคับ CYCLIC CONTROL STRICK เพื่อให้ได้ความเร็วร่อนพอเหมาะ ปกติแล้วความเร็วในการร่อนจะอยู่ระหว่าง 50 – 75 ไมล์/ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับเฮลิคอปเตอร์แต่ละแบบซึ่งอาจจะมีน้ำหนักมากน้อยกว่ากัน

หมายเหตุ: จาก

https://robinsonheli.com/news/robinsons-cockpit-video-camera-now-available/

ทั้งนี้เพื่อให้กำลังกระแสอากาศที่ไหลจากด้านล่างขึ้นประทะกับกลีบใบพัดและสัมพันธ์กับรอบการหมุนของชุดใบพัดใหญ่ (MAIN ROTOR) ด้วย ขณะทำการ AUTOROTATION บางทีเรียกว่า AUTOROTATION RPM. ซึ่งเฮลิคอปเตอร์แต่ละแบบจะกำหนดและปรับไว้ไม่เท่ากัน

3. ทำการลดความเร็วในการร่อนและลดอัตราการตกของเฮลิคอปเตอร์ลงอีกขณะที่เฮลิคอปเตอร์ร่อนลงก่อนใกล้พื้นดินประมาณ 50-70 ฟุต นักบินจะดึงคันบังคับ CYCLIC CONTROL STRICK มาด้านหลังเล็กน้อยจึงทำให้เฮลิคอปเตอร์มีลักษณะหัวเชิดขึ้น หางต่ำลง เรียกอาการนี้ว่า “FLARES” เพื่อเป็นการลดความเร็วและลดอัตราการตกของเฮลิคอปเตอร์ลงและเฮลิคอปเตอร์ก็จะเสียระยะสูงลงอีกเล็กน้อยประมาณ 30 ฟุต เหนือพื้นดิน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสมรรถนะ น้ำหนัก และข้อกำหนดของเฮลิคอปเตอร์แต่ละแบบ



4. ดันคันบังคับ CYCLIC CONTROL STRICK ไปข้างหน้าเล็กน้อยเพื่อทำให้หัวเฮลิคอปเตอร์อยู่ในลักษณะขนานกับพื้นดินและให้ได้ความเร็วไปข้างหน้าเพื่อที่ลงสนามหรือพื้นดินประมาณ 35-45 ไมล์/ชั่วโมง บางแบบอยู่ประมาณ ประมาณ 15-30 ไมล์/ชั่วโมง เฮลิคอปเตอร์ก็จะลดระยะสูงลงตามลำดับจนเกือบแตะพื้นดิน

5. และสุดท้ายก่อนที่จะลงสู่พื้น จะต้องยกคันบังคับ COLLECTIVE CONTROL STRICK ขึ้นสูงสุดเพื่อเปิดมุมประทะกลีบใบพัดใหญ่(MAIN ROTOR) สูงสุด เพื่อลดลงกระแทกกับพื้นของเฮลิคอปเตอร์

หมายเหตุ: จาก https://drive.google.com/file/d/1_eoqNG3kW5d7_AWpmX3eRGCC9er4FNrH/view?usp=sharing

ขณะเฮลิคอปเตอร์ทำการบิน AUTOROTATION มุมปะทะของกลีบใบพัดจะต่ำสุดก็ตามแต่มุมประทะใหม่ที่เกิดขึ้นโดยการเปลี่ยนแนวทิศทางลมสัมพัทธ์ (RELATIVE WIND) ซึ่งไหลจากส่วนล่างขึ้นส่วนบนจึงทำให้มุมประทะใหม่ที่เกิดขึ้นเป็นมุมประทะสูงโดยทิศทางลมและกระแสลมก็จะทำให้รอบของกลีบใบพัดใหญ่ (MAIN ROTOR) เพิ่มขึ้นจากเดิม ดั้งนั้นจึงไม่ทำให้กลีบใบพัดใหญ่ (MAIN ROTOR) หยุดหมุนเนื่องจากกระแสลมที่พุ่งขึ้นเป็นตัวขับหมุนกลีบใบพัดใหญ่ (MAIN ROTOR) แทนเครื่องยนต์ ซึ่งเป็นลักษณะของกังหันลม “WINDMILLING” ส่วนแรงบิด(TORQUE) ที่เกิดจากกลีบใบพัดใหญ่ (MAIN ROTOR) จะลดลงเนื่องจากมุมประทะจริงของกลีบใบพัดลดลงและมีแรงเสียดทานจากระบบถ่ายทอดกำลังเพิ่มขึ้น

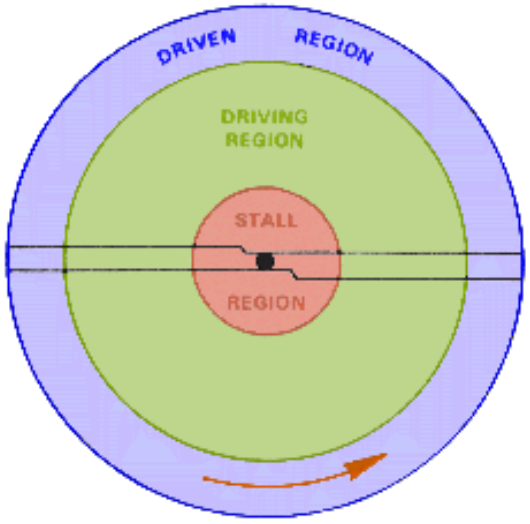
การแบ่งพื้นที่การขับหมุนของใบพัด (AUTOROTATION ROTOR DISC REGIONS)

ดังได้กล่าวมาแล้วว่าขณะเฮลิคอปเตอร์ทำการบินออตโตโรเตชั่น (AUTOROTATION) แรงการขับหมุนโรเตอร์ใหญ่นั้นได้จากกำลังกระแสอากาศของลมสัมพัทธ์ (RELATIVE WIND) ซึ่งเป็นแรงทางอากาศพลศาสตร์ (AERODYNAMICS FORCES) ที่มีทิศทางไหลพุ่งเข้าปะทะกับกลีบใบพัดโรเตอร์ใหญ่ขณะร่อนลง ดังนั้นโรเตอร์ใหญ่จึงหมุนด้วยกำลังขับจากกระแสอากาศมีลักษณะเป็นการหมุนอิสระในลักษณะของกังหันลม (WIND MILLING) แต่กำลังกระแสอากาศจะทำการขับให้เกิดแรงการหมุนขึ้นเป็นบริเวณ หรือพื้นที่ภายในวงการหมุนของโรเตอร์ (ROTOR DISC) เป็นพื้นที่หรือบริเวณได้ 3 บริเวณโดยการแบ่งออกตามความยาวของรัศมีคิดเป็นเปอร์เซ็นต์จากจุดศูนย์กลางการหมุนของโรเตอร์จนถึงปลายกลีบใบพัด ดังต่อไปนี้

1. STALL REGION ได้แก่พื้นที่หรือบริเวณการหมุนที่ห่างจากจุดศูนย์กลางการหมุนภายในซึ่งไม่เกินกว่า 25 % ของรัศมี หรือไม่เกิน 0.25 ของรัศมี นั่นคือบริเวณรอบๆ จุดศูนย์กลางการหมุนซึ่งไม่เกิน 25 % ของรัศมีนั่นเอง เนื่องจากบริเวณนี้เป็นบริเวณของโคนกลีบใบพัด ซึ่งที่มีมุมปะทะสูงอยู่แล้วแต่เป็นบริเวณใกล้จุดศูนย์กลางการหมุนซึ่งมีความเร็วสัมพัทธ์ต่ำจึงเกิดการสูญเสียแรงยกเป็นอย่างมากทั้งยังทำให้เกิดแรงต้านมากด้วย ดังนั้นบริเวณนี้จึงเกิดการหน่วงหรือต่อต้านการหมุนของโรเตอร์ (ANTI - ROTATION) ซึ่งทำให้เกิดการลดอัตราการเร่งในการหมุน (DECELERATION) ของโรเตอร์ใหญ่ขณะทำการบินออตโตโรเตชั่นลง จึงทำให้โรเตอร์บริเวณนี้ได้รับแรงการขับหมุนลดลงด้วย

2. AUTHORITATIVE REGION OR DRIVING REGION ได้แก่พื้นที่หรือบริเวณการหมุนที่ถัดจากพื้นที่รอบจุดศูนย์กลางการหมุน 25 % ของรัศมี หรือ 0.25 ของรัศมีออกไป จนถึงพื้นที่ 70 % หรือ 0.70 ของรัศมี เนื่องจากบริเวณนี้เป็นบริเวณที่ถัดจากบริเวณโคนกลีบใบพัดออกไป และมีมุม

ปะทะสูงปานกลางและลดลงมาทางปลายกลีบใบพัดแต่ยังไม่ถึงด้านปลายกลีบใบพัดซึ่งยังมีมุมปะทะเป็นมุมบวกอยู่ทั้งยังเป็นบริเวณที่มีความเร็วสัมพัทธ์สูง จึงทำให้เกิดแรงขับหมุนได้มากทั้งยังให้แรงยกมากด้วย ซึ่งถือว่าเป็นบริเวณที่ได้รับแรงขับทางอากาศพลศาสตร์มากกว่าบริเวณอื่นใดและได้รับแรงยกมากกว่าบริเวณอื่นใด จึงทำให้เกิดแรงขับหมุนที่เรียกว่า AUTHORITATIVE FORCES ได้มากและทำให้โรเตอร์ใหญ่หมุนด้วยอัตราเร่งที่เพิ่มขึ้น (ACCELERATION) จึงทำให้โรเตอร์ได้รับแรงการขับหมุนเพิ่มขึ้นที่บริเวณนี้



3. PROPELLER REGION OR DRIVEN REGION ได้แก่พื้นที่หรือบริเวณการหมุนที่ห่างจากจุดศูนย์กลางการหมุนออกไป 70 % หรือ 0.70 ของรัศมีจนถึงปลายกลีบใบพัด ซึ่งเป็นบริเวณที่กลีบใบพัดมีมุมปะทะต่ำจนถึงมุมบิดลม (NEGATIVE TWIST) เฮลิคอปเตอร์บางแบบที่ปลายกลีบใบพัดจะมีมุมบิดลม (NEGATIVE TWIST) จาก -6 องศา ถึง -8 องศา หรือถ้ากลีบใบพัดยิ่งยาวมากอาจมีมุม NEGATIVE TWIST -12 องศา ดังนั้นจึงทำให้พื้นที่บริเวณนี้ได้รับแรงยกและแรงการขับหมุนทางอากาศพลศาสตร์ลดลงเป็นลักษณะของการต่อต้านการขับหมุนของโรเตอร์ (ANTI - ROTATION) ซึ่งเป็นการลดอัตราเร่ง (DECELERATION) การขับหมุนของโรเตอร์ให้ช้าลง

เพื่อให้เข้าใจมากยิ่งขึ้น ขอให้ผู้อ่านเข้าไปดูคลิปสื่อการสอนสรุปเนื้อหาเกี่ยวกับบทเรียน เรื่อง การร่อนลงโดยกระแสอากาศหมุนใบพัด (AUTOROTATION) ตาม QR CODE ด้านล่าง

หรือเข้าตามลิงก์ด้านล่าง

https://drive.google.com/file/d/1wgcO25TSzRBxC3JHd3JBgI3JP1KH53V5/view?usp=sharing

สรุป การร่อนลงโดยกระแสอากาศหมุนใบพัด (AUTOROTATION) เป็นการบินร่อนลงเมื่อเครื่องยนต์ดับหรือขัดข้อง แรงการขับหมุนชุดใบพัด (MAIN ROTOR) ได้มาจากกระแสอากาศ และเพื่อความปลอดภัยนักบินต้องปฏิบัติตามขั้นตอนของเฮลิคอปเตอร์แต่ละแบบที่ได้กำหนดไว้ ส่วนพื้นที่การขับหมุนของใบพัด (AUTOROTATION ROTOR DISC REGIONS) ขณะร่อนลงจะแบ่งเป็น 3 พื้นที่ แต่ละพื้นที่ก็จะมีการสร้างแรงยกและการขับหมุนที่แตกต่างกันออกไป

แบบทดสอบหลังเรียนบทที่ 9

ให้ผู้เรียนสแกนเข้าไปทำแบบทดสอบหลังเรียนใน **QR CODE POST - TEST บทที่ 9** ด้านล่าง

หรือเข้าตามลิงก์ด้านล่าง

https://forms.gle/iAnHhcJQz8hLbR45A

หลังจากผู้เรียนได้ทำแบบทดสอบหลังเรียนแล้วให้ประเมินความเข้าใจของตนเองโดยการเปรียบเทียบผลการเรียนระหว่างก่อนเรียนกับหลังเรียน ถ้าผลคะแนนดีขึ้นแสดงว่าเข้าใจเป็นอย่างดี แต่ถ้าคะแนนไม่ดีไม่ได้หมายความว่าเราไม่มีความรู้ เพียงแต่ยังรู้ไม่ลึกซึ้งหรือไม่กระจ่างเท่านั้น และความรู้ที่กระจ่างจะทำให้เราเป็นผู้ที่สามารเอาชนะอุปสรรคทำให้ไปถึงเป้าหมายได้

ในบทเรียนเรื่องการร่อนลงโดยกระแสอากาศหมุนใบพัด (AUTOROTATION) นี้เป็นเป็นเพียงความรู้พื้นฐานในการนำประยุกต์ใช้ประกอบในการปฏิบัติงาน แต่ความรู้ที่แท้จริงย่อมหนีไม่พ้นประสบการณ์และการศึกษาค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติมอย่าต่อเนื่องจึงจะทำให้เราเป็นผู้มีความรอบรู้ที่แท้จริง ดังคำสุภาษิตจีน ได้กล่าวไว้ว่า

“การเรียนรู้เปรียบเหมือนการพายเรือทวนน้ำ การปล่อยใบพายราน้ำไม่อาจทำให้ก้าวหน้าได้”

บทที่ 10
ปรากฏการด้านการบินของเฮลิคอปเตอร์
(HELICOPTER FLIGHT PHENOMENON)

แบบทดสอบก่อนเรียนบทที่ 10

ให้ผู้เรียนสแกนเข้าไปทำแบบทดสอบก่อนเรียนใน **QR CODE PRE - TEST บทที่ 10** ด้านล่าง

หรือเข้าตามลิงก์ด้านล่าง

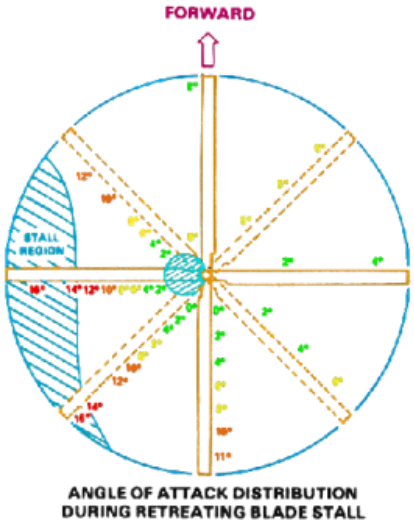
https://forms.gle/T5m9RTX8PkTn2ui2A

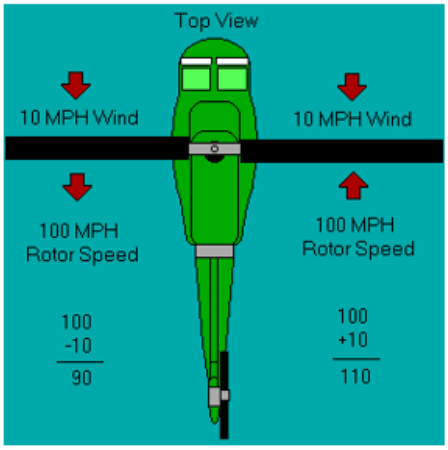
กล่าวโดยทั่วไป

ในบทเรียนนี้จะกล่าวถึงปรากฏการณ์ด้านการบินที่เกิดขึ้นกับเฮลิคอปเตอร์ (HELICOPTER FLIGHT PHENOMENON) เพื่อให้ผู้เรียนได้มีความรู้พื้นฐานประกอบในการพิจารณาแก้ไขหรือป้องกันเหตุการณ์ไม่ให้ลุกลามจนไม่สามารถแก้ไขได้จนนำไปสู่การเกิดความเสียหายใหญ่หลวงที่อาจจะเกิดขึ้นกับเฮลิคอปเตอร์ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อผู้เรียนและผู้ปฏิบัติงานเป็นอย่างยิ่งที่ต้องรู้ถึงอาการต่างๆ ของเฮลิคอปเตอร์ที่แสดงออกมา และสิ่งที่จะเกิดแล้วจะแก้ไขอย่างไร ซึ่งไม่ใช่เรื่องยากสำหรับผู้ที่ตั้งใจศึกษา แต่ก็ไม่ง่ายสำหรับผู้ที่ไม่สนใจใคร่รู้ จึงขอให้อ่านและวิเคราะห์ไปด้วยจะทำให้เข้าใจได้อย่างดี

BLADE STALL

BLADE STALL หมายถึง การสูญเสียแรงยกบนกลีบใบพัดของโรเตอร์ขณะที่ทำการบินด้วยความเร็วสูงและใช้มุมปะทะสูง ปกติจะเกิดบนส่วนปลายของกลีบใบพัดด้านที่หมุนตามทิศทางลมสัมพัทธ์ (RETREATING BLADE) ถ้าหากเกิด BLADE STALL เป็นบริเวณพื้นที่ 25 หรือ 1/4 ของพื้นที่การหมุนของโรเตอร์ (DISC AREA) ถือว่า STALL ถึงขั้นวิกฤติ เฮลิคอปเตอร์จะเสียการทรงตัวและการบังคับทันที (LOSS OF CONTROL)





จากภาพด้านบนจะเห็นว่า การล่วงหล่น (STALL) เกิดขึ้นจากการไม่สมดุลย์ของแรงยก (DISSYMMETRY OF LIFT) เนื่องจากความเร็วสัมพัทธ์ (RELATIVE MOTION OR VELOCITY) ระหว่างกลีบใบพัดด้านหมุนทวนทิศทางลมสัมพัทธ์ (ADVANCING BLADE) กับกลีบใบพัดด้านหมุนตามทิศทางลมสัมพัทธ์ (RETREATING BLADE) ยิ่งบินด้วยความเร็วสูงมากขึ้นเท่าไรความเร็วสัมพัทธ์ยิ่งแตกต่างมากขึ้น กลีบใบพัดด้านหมุนตามทิศทางลมสัมพัทธ์ (RETREATING BLADE) จะมีความเร็วลดน้อยลง มุมประทะจะสูงขึ้น จึงเป็นสาเหตุให้เกิดการ ล่วงหล่น (STALL) ขึ้นทางด้านใบพัดหมุนตามทิศทางลมสัมพัทธ์ (RETREATING BLADE) ของเฮลิคอปเตอร์และขยายไปยังพื้นที่ด้านหลังประมาณ 25 % หรือ 1/4 ของพื้นที่กลีบใบพัด ก็จะเกิดการล่วงหล่น (STALL) และพลิกตัวเอียงลงด้านซ้ายซึ่งถ้าแก้ไขให้ทันเวลา

เฮลิคอปเตอร์จะแสดงอาการให้ทราบว่าเกิดการ STALL ขึ้นตามลำดับดับต่อไปนี้

1. เฮลิคอปเตอร์จะมีอาการสั่นผิดปกติและจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงขั้นวิกฤต
2. หัวเฮลิคอปเตอร์จะเชิดขึ้น ถ้าถึงขั้นวิกฤต เพราะแรงยกทางด้านหลังลดลงเนื่องจากสูญเสียแรงยก
3. จะเสียการทรงตัวเอียงลงทางด้านซ้าย เพราะแรงยกทางด้านซ้ายจะสูญเสียไป 25% หรือ 1/4 ของพื้นที่วงการหมุนของกลีบใบพัด

หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=ofMUTHTUaYs

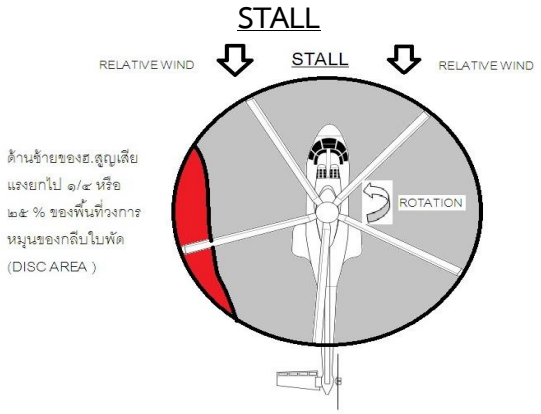
องค์ประกอบที่จะทำให้เกิดการ STALL

- น้ำหนักบรรทุกมาก (HIGHT GROSS WEIGHT)
- บินด้วยมุมปะทะของกลีบใบพัดสูง (HIGHT ANGLE OF ATTACK)
- บินด้วยความเร็วสูง (HIGHT AIRSPEED)
- บินด้วยท่าบินรุนแรง(MANEUVERING) หรือเปลี่ยนท่าบินทันทีทันใด เช่น เลี้ยวทันทีทันใด (SHARP TURN) หรือยก COLLECTIVE ทันทีทันใด จึงทำให้เกิด LOAD FACTOR กับกลีบใบพัดอย่างมาก
- บินที่ระสูงซึ่งมีอากาศเบาบาง และอากาศแปรปรวนและกระโชก (HIGHT ALTITUDE OR GUST)
- บินด้วยรอบโรเตอร์ใหญ่ต่ำซึ่งทำให้เกิด LOAD FACTOR ขึ้นบนกลีบใบพัดใหญ่อย่างมาก

การแก้อาการ STALL ของเฮลิคอปเตอร์ขณะบินอยู่ในอากาศ

1. ลดความเร็วในการบินไปข้างหน้าอย่างนิ่มนวลเพื่อป้องกันมิให้หัวเฮลิคอปเตอร์ชิดขึ้นอย่างทันที โดยดึง CYCLIC มาข้างหลังอย่างนิ่มนวล
2. ลดมุมปะทะกลีบใบพัดใหญ่ลงอย่างนุ่มนวล โดยกด COLLECTIVE ลง
3. รักษารอบโรเตอร์ให้อยู่ในเกณฑ์

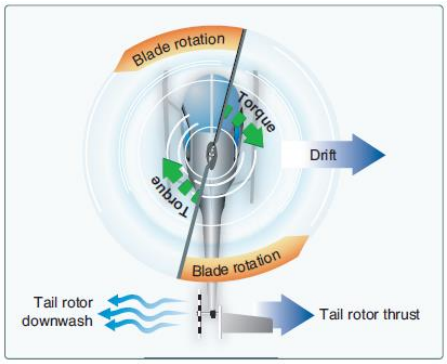
หมายเหตุ การกระทำทุกอย่างต้องกระทำอย่างนุ่มนวลเพื่อป้องกันการเปลี่ยนท่าทางการบินอย่างกะทันหัน (MANEUVERING FLIGHT)



หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=9d-4WQC7LF8

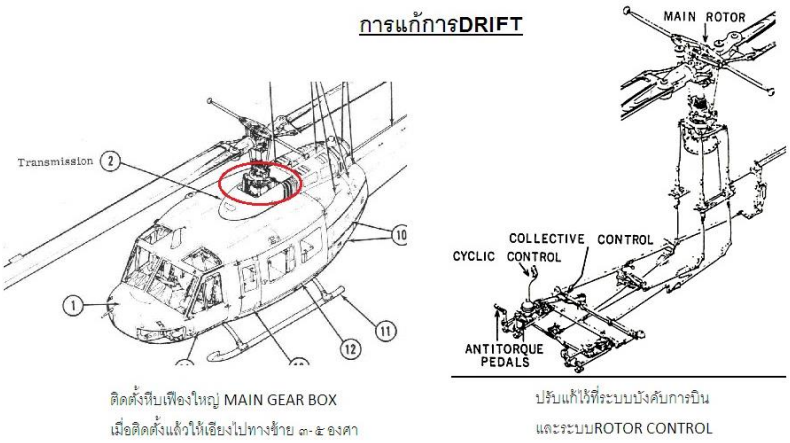
TRANSLATING TENDENCY OR DRIF

TRANSLATING TENDENCY OR DRIFT คือการเคลื่อนตัวทางข้างไปทางขวาของเฮลิคอปเตอร์ขณะเริ่มลอยตัวขึ้นจากพื้นดิน ซึ่งเป็นปรากฏการณ์อย่างหนึ่งของเฮลิคอปเตอร์ (FLIGHT PHENOMENA) เพราะเมื่อชุดโรเตอร์ที่หมุนทวนเข็มนาฬิกา หมุนไปจะเกิดแรงปฏิกิริยาขึ้นตามกฎนิวตันข้อ 3 คือแรงบิด (TORQUE) ซึ่งมีทิศทางสวนกับทิศทางการหมุนของชุดโรเตอร์ ดังนั้นวิศวกรจึงสร้างชุดใบพัดหาง TAIL ROTOR ให้มีแรงฉุด (THRUST) เพื่อเป็นตัวแก้แรงบิดหรือกำจัดแรงบิด (TORQUE)

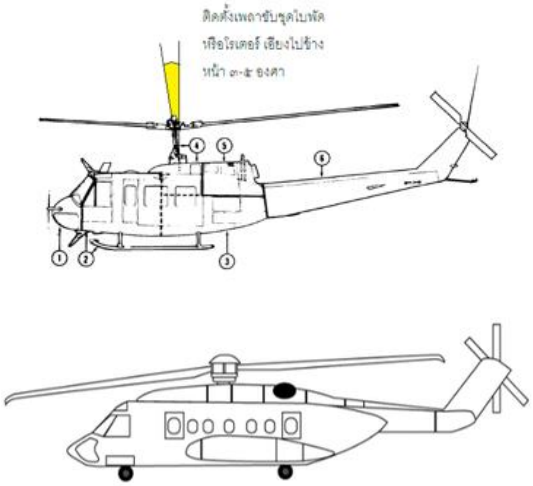


หมายเหตุ: จาก https://drive.google.com/file/d/1CGq3pNfpOHBxmBxdVXp2TTEpXOTx0ffy/view?usp=sharing

TRANSLATING TENDENCY OR DRIFT นี้เป็นสิ่งไม่พึงประสงค์ เพราะถ้าอยู่ใกล้สิ่งกรีดขวางอาจเป็นอันตรายได้ จึงคิดวิธีการติดตั้งหีบเฟืองใหญ่ MAIN GEAR BOX เมื่อติดตั้งแล้วให้เอียงไปทางซ้าย 3-5 องศาบ้าง เฮลิคอปเตอร์ขนาดใหญ่อาจเอียงซ้ายถึง 7 องศา เพื่อให้ระบบโรเตอร์เอียงไปทางซ้ายด้วย บางบริษัทจะให้เอียงเพียงเล็กน้อย(ถ้าแรงบิดไม่มากนัก) และทำการปรับแก้ไว้ที่ระบบบังคับการบินและระบบ ROTOR CONTROL



ปรากฏการอย่างหนึ่งจะเห็นว่าส่วนหางของเฮลิคอปเตอร์จะต่ำลงเล็กน้อยขณะเฮลิคอปเตอร์ขณะบินลอยตัวในอากาศเพราะเพลาขับชุดโรเตอร์หรือใบพัดใหญ่จะเอียงไปข้างหน้าประมาณ 3-4 องศาเพื่อให้เกิดแรงฉุดไปข้างหน้า แต่ขณะบินลอยตัวนักบินจะต้องดึง CYCLIC มาข้างหลังเล็กน้อยเพื่อมิให้เฮลิคอบเตอร์เคลื่อนตัวไปข้างหน้า ทำให้หางต่ำลงเล็กน้อย



หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=CQ8l-2kprQc

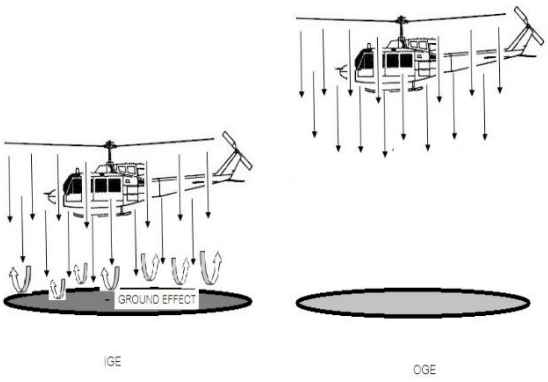
POWER SETTLING

POWER SETTLING หมายถึง ลักษณะการบินใดๆ ของเฮลิคอปเตอร์ที่ทำให้รอบการขับหมุนของโรเตอร์ (ROTOR RPM.) ลดลงเนื่องจากขาดกำลังการขับหมุนของเครื่องยนต์หรือหน่วยกำลังหรือกำลังการขับหมุนจากหน่วยกำลังลดลง ซึ่งเป็นผลทำให้แรงยกที่เกิดบนโรเตอร์ลดลง เฮลิคอปเตอร์จะเสียระยะสูงและการทรงตัวซึ่งจะเป็นผลทำให้ไม่สามารถควบคุมและบังคับเฮลิคอปเตอร์ให้ทำการบินอยู่ในท่าบินปกติได้ และเป็นอันตรายมากเมื่อบินที่ระยะสูงต่ำๆ

หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=y4sxEOdPYDQ&list=RDCMUCBEOfO2uJJA77fTqB_5zIBg&start_radio=1&rv=y4sxEOdPY

POWER SETTLING อาจเกิดขึ้นได้ถ้าทำการบินในลักษณะดังต่อไปนี้

1. ทำการบินลอยตัวอยู่กับที่ในอากาศ (HOVERING) ในความสูงนอกระยะ GROUND EFFECT หรือ OUT OF GROUND EFFECT (OGE) ที่ความสูงเกินกว่าเพดานบินของการบินลอยตัวอยู่ในอากาศของเฮลิคอปเตอร์ไว้ (AT ALTITUDE ABOVE THE HOVERING CEILING OF HELICOPTER)



2. ทำการบินลอยตัวอยู่กับที่ในอากาศ (HOVERING) ในความสูงนอกระยะ GROUND EFFECT หรือ OUT OF GROUND EFFECT ที่ระยะความสูงที่ไม่สามารถจะควบคุมการบินได้อย่างปกติ (HOVERING OUT OF GROUND EFFECT WITHOUT MAINTAINING PRECISE ALTITUDE CONTROL)

3. ทำการบินต่ำด้วยมุมชันที่เกินเกณฑ์ปกติด้วยความเร็วต่ำหรือความเร็วใกล้ความเร็วศูนย์หรือการบินหมุนตัวลงต่ำด้วยมุมชัน โดยใช้ความเร็วต่ำที่ใกล้ความเร็วศูนย์ (A STEEP POWER APPROACH IN WHICH SPEED DROP NEARLY TO ZERO OR SPIRALING DESCENT IN WHICH SPEED DROP TO ZERO)

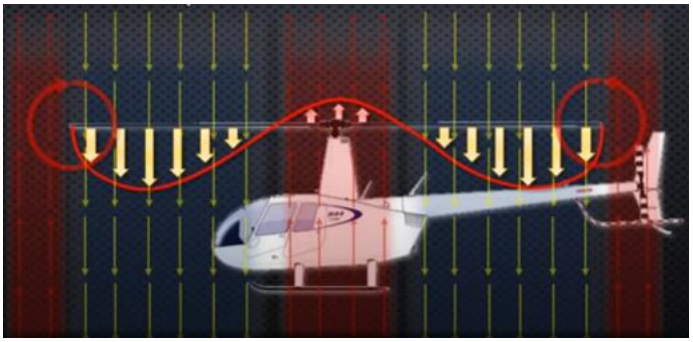
หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=od693muxelk

ข้อสังเกตที่จะเตือนให้ทราบถ้าเกิด POWER SETTLING

1. รอบเครื่องยนต์ลดลง (ENGINE RPM. DECREASE)
2. รอบโรเตอร์ลดลง (ROTOR RPM. DECREASE)
3. เกิดการสั่นผิดปกติและรุนแรงขึ้นตามลำดับ (ABNORMAL VIBRATION AND INCREASE TO CRITICAL)
4. เกิดการสั่นผิดปกติและรุนแรงขึ้นตามลำดับ (ABNORMAL VIBRATION AND INCREASE TO CRITICAL)
5. สูญเสียการบังคับการบิน (LOSS OF CONTROL)

การแก้ไข (RECOVERING POWER SETTLING)

1. เพิ่มความเร็วในการบินขึ้น (INCREASING FORWARD SPEED)
2. ลดมุมปะทะกลีบใบพัดลงเป็นมุมต่ำ (LOWERING COLLECTIVE PITCH TO MINIMUM PITCH)
3. เพิ่มรอบการหมุนของโรเตอร์ขึ้น (INCREASING ROTOR RPM.)
4. ควบคุมอัตราการตกให้อยู่ในเกณฑ์ปกติ (CONTROL AND STABILIZING RATE OF DESCENT TO NORMAL)



หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=Y87SIuCDtSc

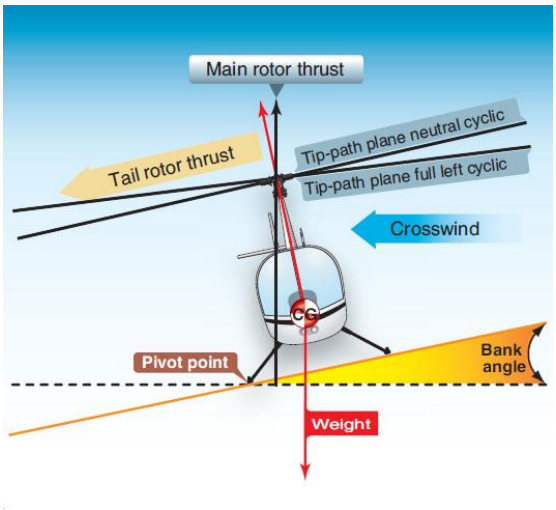
DYNAMICS ROLLOVER

DYNAMICS ROLLOVER หมายถึง การพลิกตัวเอียงลงด้านข้างทางใดทางหนึ่ง (LATERAL ROLL) ของเฮลิคอปเตอร์ขณะลงสนาม (LANDING) หรือวิ่งขึ้นลงจากสนาม (TAKE OFF) เนื่องจากการใช้การบังคับการบินที่ไม่ถูกต้องตามเทคนิคหรือวิธีการ (IMPROPER LANDING OR TAKE OF TECHNIQUE)

หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=84RScbcF1XI

DYNAMICS ROLLOVER เกิดได้จากหลายสาเหตุ ดังต่อไปนี้

1. เฮลิคอปเตอร์เกิดการเอียง หรือชุดฐานเกิดการสะดุดทำให้หมุนรอบชุดฐานด้านใดด้านหนึ่ง ทำให้เกินมุมเอียงวิกฤต (CRITICAL ROLLOVER ANGLE) ประมาณ 5 - 8 องศา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแบบของเฮลิคอปเตอร์ (HELICOPTER TYPE) ความแรงของลมขณะนั้น (WIND) และน้ำหนักบรรทุก (LOAD)



2. ถอดเชือกโยงยึดออกไม่เรียบร้อย (FAILURE TO REMOVE A TIE DOWN OR SKID-SECURING DEVICE.) ทำให้เกิดการเหนี่ยวรั้งให้เฮลิคอปเตอร์เอียงลงด้านใดด้านหนึ่งขณะกำลังบินขึ้นจากพื้น

หมายเหตุ: จาก https://www.aircraftsystemstech.com/2018/10/aircraft-tie-down-procedures.html

3. ชุดฐาน (SKID OR WHEEL) สะดุดสิ่งกีดขวางขณะบินเคลื่อนที่ไปทางข้าง เช่น สมอบก (ANCHOR) ที่ใช้โยงยึดเฮลิคอปเตอร์ ทำให้เกิดการพลิกหรือเอียงลงด้านใดด้านหนึ่ง

4. ชุดฐานจมหรือติด (STUCK) อยู่ในพื้นที่อ่อนนุ่ม เช่น โคลน (MUD) หิมะ (ICE) ยางมะตอย (ASPHALT) ทำให้เฮลิคอปเตอร์เสียการทรงตัวเมื่อบินลอยขึ้นจากพื้น

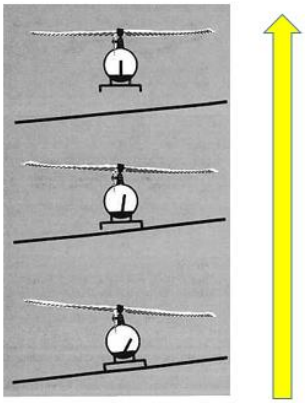
การป้องกัน และแก้ไข DYNAMICS ROLLOVER

1. เมื่อต้องบินขึ้นจากพื้นที่ลาดเอียง (SLOPE TAKE OFFS) ให้ปฏิบัติดังนี้

- ทำตามคู่มือการบิน (FOLLOW THE PROCEDURES)
- ค่อยยกตัวลอยขึ้นจากพื้น ไม่ให้เกิดการเอียงมาก (KEEP THE ROLL RATES SMALL)
- เอียง CYCLIC เล็กน้อย เพื่อให้ชุดฐานด้านที่อยู่ที่ต่ำค่อยๆ ยกขึ้นมาเสมอชุดฐานด้านที่อยู่สูง (SLOWLY RAISE THE DOWNSLOPE SKID OR WHEEL TO BRING THE HELICOPTER LEVEL)
- ทำการยกตัวให้ลอยพ้นจากพื้นและบินขึ้นตามปกติ (LIFT OFF)

SLOPE TAKEOFFS

1. Follow the procedures.
2. Keep the roll rates small
3. Slowly raise the downslope skid or wheel to bring the helicopter level.
4. Lift off.

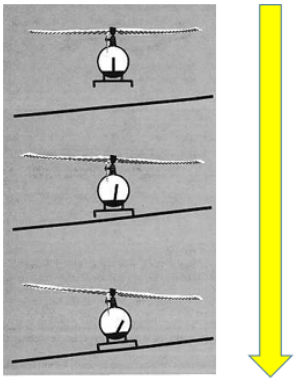


2. เมื่อต้องบินลงจอดบนพื้นที่ลาดเอียง (SLOPE LANDING) ให้ปฏิบัติดังนี้

- ทำตามคู่มือการบิน (FOLLOW THE PROCEDURES)
- ค่อยวางตัวโดยให้ฐานด้านที่อยู่พื้นที่สูง (UPSLOPE) สัมผัสพื้นก่อน (TOUCH DOWN ON THE UPSLOPE SKID OR WHEEL)
- หลังจากนั้นค่อยๆ วางฐานด้านอยู่พื้นที่ต่ำ (DOWN SLOPE) ให้วางลงพื้น โดยใช้คันบังคับทั้ง CYCLIC และ COLLECTIVE ควบคู่กัน (SLOWLY LOWER THE DOWNSLOPE SKID OR WHEEL USING COMBINED MOVEMENTS OF CYCLIC AND COLLECTIVE)
- กด COLLECTIVE ลง ให้เฮลิคอปเตอร์วางตัวลงสู่พื้นตามปกติ (LANDING)

SLOPE LANDINGS

1. Touch down on the upslope skid or wheel
2. Slowly lower the downslope skid or wheel using combined movements of cyclic and collective
3. Landing

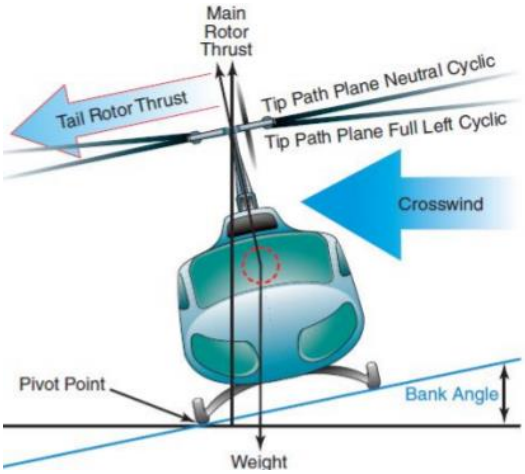


หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=3ftjNbzzrY8

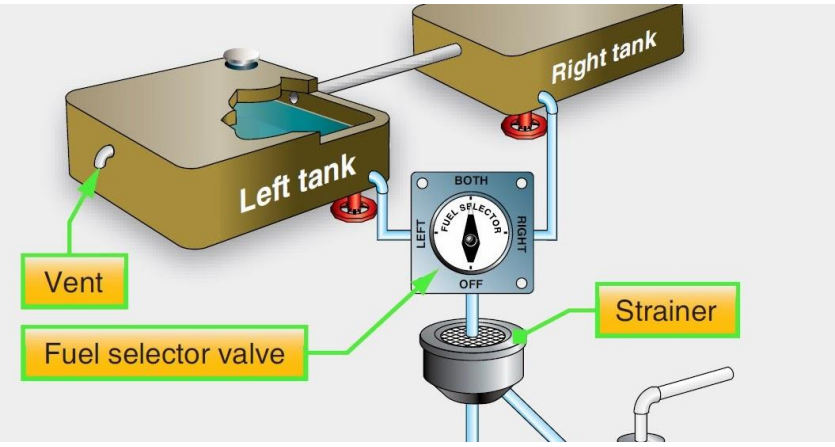
3. ใช้ความระมัดระวังเมื่อบินใกล้สิ่งกีดขวาง (OBSTACLES)

4. ถ้าจอดบนพื้นที่สร้างจากยางมะตอย (ASPHALT) ต้องทำการตรวจให้ดีก่อนขึ้นบิน เนื่องจากการลงจอดขณะที่อากาศเย็นพื้นจะยังมีความแข็ง เมื่ออากาศร้อนจะอ่อนนุ่มทำให้ชุดฐานติดกับพื้นได้

5. ขณะบินขึ้น-ลงจากพื้นที่ลาดเอียง ต้องสังเกตุลมที่เข้ามาจากาทางพื้นที่สูง (UPSLOPE) เพราะจะทำให้มีโอกาสเกิด DYNAMICS ROLLOVER มากยิ่งขึ้น



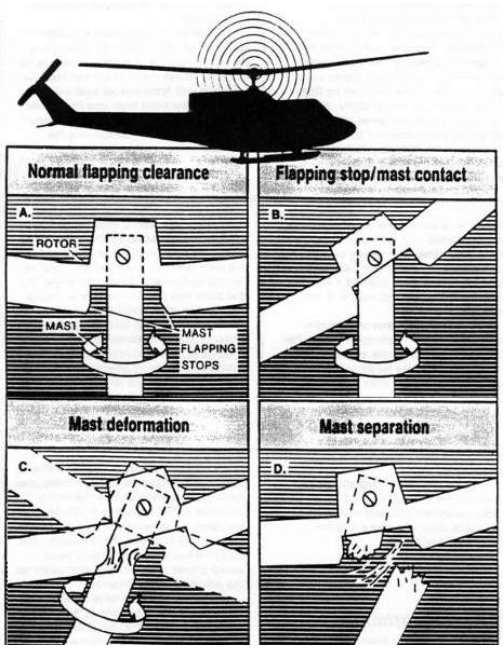
6. ตรวจสอบการทำงานของ INTERCONNECTING FUEL LINES ที่ทำหน้าที่ถ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง (FUEL) ระหว่างถังเชื้อเพลิงทั้งสองข้างให้อยู่ในสมดุล ว่าทำงานถูกต้อง เพราะถ้าทำงานพิดพลาดเมื่อเฮลิคอปเตอร์เกิดการเอียง น้ำมันเชื้อเพลิง (FUEL) จะไหลไปรวมกันอยู่ถังด้านพื้นที่ต่ำ (DOWN SLOPE) ทำให้สูญเสีย CG. ส่งผลให้เกิด DYNAMICS ROLLOVER มากยิ่งขึ้น



7. ปฏิบัติตามคู่มือการบินของเฮลคอปเตอร์อย่างเคร่งครัด

MAST BUMPING

MAST BUMPING หมายถึง การกระแทก หรือการชนกันระหว่างเพลาขับโรเตอร์ (MAST) และส่วนล่างสุดของชุดโรเตอร์ใหญ่ (STATIC STOP) ของเฮลิคอปเตอร์ที่ติดตั้งโรเตอร์แบบ SEMI-RIGID ROTOR



หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=e46ctL4UNiM

โรเตอร์แบบ SEMI-RIGID ROTOR จะเกิดการกระพือขึ้น – ลงทั้งกลีบใบพัดและชุดดุมใบพัดไปด้วยกันเป็นลักษณะกระดานหก (SEE - SAW) นั่นคือ ถ้ากลีบใบพัดด้านหนึ่งกระพือขึ้นหรือกระดกขึ้น (FLAPPING UP) อีกใบตรงกันข้ามจะกระพือลงหรือกระดกลง (FLAPPING DOWN) ทำให้ส่วนล่างสุดของแกนดุมใบพัด (MAIN ROTOR YOKE) ด้านที่กระพือลงหรือกระดกลงต่ำสุด เกิดการกระแทกกับเพลาโรเตอร์ (MAST) ได้ ถ้าหากนักบินไม่ทำการบินตามข้อกำหนดหรือบินด้วยท่าบินผลาดแผลงที่รุนแรง (MANEUVERS OR AEROBATIC FLIGHT) จะทำให้เกิดการกระพือของโรเตอร์ที่มีลักษณะรุนแรงด้วยซึ่งจะเป็นการส่งผลเกิด MAST BUMPING ได้

สาเหตุที่ทำให้เกิด MAST BUMPING (MAST BUMPING POSSIBILITIES OF OCCURRING)

1. กลไกและระบบต่างๆ ชำรุด (MECHANICAL FAILURE) ซึ่งมีดังต่อไปนี้

1.1 เครื่องยนต์ชำรุดหรือไม่มีกำลังขับหมุน (LOSS OF ENGINE) ไปยังระบบโรเตอร์ ทำให้โรเตอร์หมุนช้าลง และไม่สามารถจะบังคับให้เฮลิคอปเตอร์บินอยู่ในลักษณะปกติได้ ส่งผลต่อการเกิด MAST BUMPING ต่อไป

1.2 โรเตอร์หางชำรุด (TAIL ROTOR SEPARATION) ซึ่งเป็นผลทำให้โรเตอรหางหมดแรงฉุดที่จะต่อต้านแรงบิดของโรเตอร์ใหญ่ ทำให้การบังคับการบินได้อย่างไม่เป็นปกติและจะส่งผลต่อการเกิด MAST BUMPING ต่อไป

1.3 โรเตอร์สูญเสียการสมดุลมากเกินขีดจำกัด (EXCESSIVE ROTOR OUT OF BALANCE) เมื่อโรเตอร์สูญเสียการสมดุลมากเกินขีดจำกัดอันหนึ่งแล้วจะทำให้โรเตอร์หมุนด้วยการไม่สมดุลทางแรงต่างๆ และจะส่งผลต่อการเกิด MAST BUMPING ต่อไป

1.4 คันส่งควบคุมมุมปะทะของกลีบใบพัดชำรุดหรือหลุดออก (LOSS OF MAIN ROTOR PITCH LINK) เมื่อคันส่งควบคุมมุมปะทะของกลีบใบพัดชำรุดหรือหลุดออกไป ทำให้กลีบใบพัดจะหมุนอย่างไร้การควบคุม เสียสมดุลของการหมุน ส่งผลให้โรเตอร์เกิดการกระพือเกินขีดจำกัดและเกิด MAST BUMPING ได้อย่างง่ายและรวดเร็วยิ่งขึ้น

2. ทำการบินเกินข้อกำหนดหรือขีดจำกัดตามคู่มือ (EXCESSIVE OPERATING LIMITS) หรือทำการบินเกินขีดจำกัดความสามารถของอากาศยาน (FLIGHT ENVELOPES) ที่กำหนดให้ซึ่งมีลักษณะดังต่อไปนี้

2.1 การบินลงสู่สนามที่มีลักษณะลาดเอียงไม่ถูกต้องตามวิธีการ (IMPROPER SLOPE LANDING)

2.2 ทำการบินด้วยรอบโรเตอร์สูงเกินเกณฑ์ หรือต่ำเกินเกณฑ์ที่กำหนด (ROTOR START UP / COAST DOWN)

2.3 ทำการบินด้วยท่าบินที่รุนแรงละมีค่าแรง G ต่ำ (LOW “G” MANEUVERS)

เมื่อทำการบินเกินข้อกำหนดหรือขีดจำกัดด้วยลักษณะดังต่อไปนี้จะส่งผลต่อการเกิด MAST BUMPING ได้ง่ายยิ่งขึ้น

- ทำการบินเลี้ยวอย่างฉับพลันทันทีทันใด (UNNECESSARILY QUICK TURNS)
- ทำการเลี้ยวและเอียงด้วยมุมลึก (TORTUOUS ROLLS OR SHARP ROLL) ในลักษณะเลี้ยวและเอียงไปมาด้วยมุมลึก
- ทำการบินดำด้วยมุมลาดชันมากเกินไป (VERY STEEP DIVES)

- ทำการบินผาดแผลงหรือฉวัดเฉวียนด้วยท่าบินที่รุนแรงหรือหลบเหลี่ยงสิ่งกีดขวางอย่างรวดเร็วทันทีทันใด (RAPID EVASIVE MANEUVERS)
- ทำการบินด้วยท่าบินที่รุนแรงที่มีค่าแรง “G” ต่ำ ดังได้อธิบายมาแล้วในเบื้องต้น

หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=_QkOpH2e6tM

GROUND RESONANCE

GROUND RESONANCE เป็นการสั่นอย่างรุนแรงในลักษณะที่เรียกว่า SELF-EXCITED VIBRATION OR SEVERE VIBRATION ของเฮลิคอปเตอร์ เนื่องจากการเสียสภาพสมดุลของแรงต่างๆ (UNBALANCE FORCES) ของโรเตอร์ใหญ่ขณะอยู่บนพื้นสนามหรือลงสนามอย่างรุนแรง (ABNORMAL LANDING)

หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=SPHoumJvVtQ

การเกิด GROUND RESONANCE ในขณะที่ทำการทดลองอยู่ที่พื้นสนาม (GROUND RUN CHECK) ถ้าหากยางล้อและชุดรับแรงกระแทก (OLEO หรือ SHOCK STRUT) ที่ปะกอบอยู่ในชุดฐาน (LANDING GEAR ASSY) เติมลมไม่เท่ากันหรือการอ่อนตัวไม่เท่ากันในขณะที่โรเตอร์ใหญ่หมุนโรเตอร์จะส่งแรงการสั่นสะเทือนลงมายังชุดฐานล้อ ถ้าชุดฐานล้อแต่ละข้างแข็งหรืออ่อนไม่เท่ากันจะทำให้การดูดกลืน (ABSORB) แรงได้ไม่เท่ากันจะส่งผลสะท้อนกลับไปยังโรเตอร์ใหญ่ ซึ่งจะทำให้กลีบใบพัดของโรเตอร์ใหญ่เกิดการส่ายตัวทางระนาบทั้งการส่ายตัวตามทางหมุนและทวนทางหมุนของโรเตอร์ (LEAD LAG) อย่างผิดปกติ (ABNORMAL LEAD AND LAG) ทำให้มุมระหว่างกลีบใบพัดซึ่งทำมุมซึ่งกันและกันเท่ากันทุกใบเปลี่ยนแปลงไปและไม่เท่ากัน

หมายเหตุ: จาก https://www.flightliteracy.com/retreating-blade-stall-and-ground-resonance/

ยกตัวอย่างภาพด้านบน ถ้าเฮลิคอปเตอร์มีใบพัด 3 ใบ ปกติจะทำมุมซึ่งกันและกัน 120 องศาเท่ากัน ถ้ามุมเปลี่ยนแปลงไม่เท่ากันทำให้มุมระหว่างกลีบใบพัดเปลี่ยนไปเป็น 122, 122 และ 116 องศา ทำให้เกิดการหมุนอย่างไม่สมดุลทางแรงต่างๆ ที่เกิดขึ้นบนโรเตอร์ (UNBALANCE FORCES) ส่งผลทำให้โรเตอร์ใหญ่หมุนอยู่ในลักษณะเปะปะไม่คงที่ (ROTOR BLADE ROTATING OUT OF PATTERN) ผลที่ตามมาจะทำให้กลีบใบพัดเกิดการหมุนออกนอกแนวทางเดินแต่ละใบมากยิ่งขึ้น (ROTOR BLADES BADLY OUT OF TRACK) ทำให้จุดศูนย์รวมมวลน้ำหนักของโรเตอร์ (MASS OF ROTOR) และจุดศูนย์ถ่วงโรเตอร์ (CG. OF ROTOR) หมุนไปด้วยลักษณะเปะปะไม่คงที่

ซึ่งส่งผลทำให้ชุดโรเตอร์ยิ่งเสียการสมดุลมากยิ่งขึ้น (SEVERE UNBALANCE FORCES) ผลสุดท้ายทำให้เฮลิคอปเตอร์เกิดการสั่นอย่างรุนแรงมาก (SEVER VIBRATION) เฮลิคอปเตอร์จะเกิดอาการกระโดด (ROCKING) ทางซ้ายขวา หรือหน้า-หลัง สลับกันไปอย่างรุนแรง ซึ่งไม่สามารถจะบังคับได้ ถ้าปล่อยให้เกิดอาการถึงขั้นสุดท้ายแล้วไม่แก้ไขภายในเวลาอันเล็กน้อยเท่านั้น โครงสร้างของเฮลิคอปเตอร์โดยเฉพาะชุดฐานล้อไม่สามารถจะทนต่อแรงของการสั่นนี้ได้และหักพังลงในที่สุด

ในกรณีอุปกรณ์ต่างๆ บนโรเตอร์ใหญ่ เช่น DAMPER ชำรุดทำงานไม่ถูกต้องก็จะส่งผลให้เกิด ABNORMAL LEAD AND LAG ของกลีบใบพัดซึ่งเป็นสาเหตุที่จะทำให้เกิด GROUND RESONANCE ได้เช่นกัน

ในกรณีที่ทำการบินลงกระแทกสนามอย่างรุนแรงด้วยล้อหรือฐานข้างใดข้างหนึ่งอย่างรุนแรงก็จะส่งผลให้เกิด ABNORMAL LEAD AND LAG ของกลีบใบพัดใหญ่ได้และจะส่งผลต่อการเกิด GROUND RESONANCE ได้เช่นเดียวกันและอาจเกิดได้รวดเร็วยิ่งขึ้นด้วย

สรุปลักษณะและสาเหตุของการเกิด GROUND RESONANCE

1. ลงสนามด้วยล้อด้านใดด้านหนึ่งอย่างรุนแรง (HARD ONE WHEEL LANDING)

2. กลีบใบพัดของโรเตอร์ใหญ่เกิดการส่ายตัวทางระนาบอย่างผิดปกติ (ROTOR BLADES ABNORMAL LEAD OR LAG)

3. โรเตอร์ใหญ่เสียการสมดุลทางการหมุนและแรงต่างๆ ที่กระทำกับโรเตอร์ (UNBALANCE DYNAMIC FORCES ON ROTOR)

4. กลีบใบพัดของโรเตอร์ใหญ่หมุนด้วยลักษณะผิดปกติ (ROTOR BLADES ROTATING OUT OF PATTERN)

5. กลีบใบพัดแต่ละใบไม่เดินอยู่ในแนวทางเดียวกัน (ROTOR BLADES BADLY OUT OF TRACK)

6. จุดศูนย์รวมน้ำหนักของโรเตอร์และจุดศูนย์ถ่วงของโรเตอร์เคลื่อนที่ออกจากตำแหน่งเดิมที่หมุนอยู่ในลักษณะไม่สมดุล (MASS OF ROTOR AND CG. OF ROTOR MOVING UNSTEADILY AND ROTATING UNBALANCE)

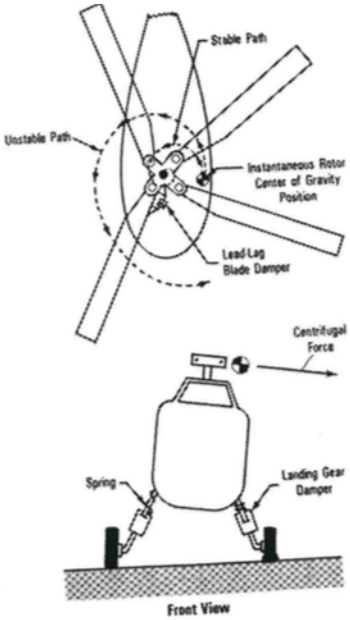
7. เกิดการสั่นปกติรุนแรงขึ้นตามลำดับ (SEVERE VIBRATION)

8. เฮลิคอปเตอร์เกิดการกระโดซ้าย-ขวา หรือหน้าหลังสลับกันไปมาแรงขึ้นตามลำดับ (HELICOPTER ROCKING SIDEWAYS LEFT AND RIGHT OR FORE AND AFT)

9. กลีบใบพัดของโรเตอร์ใหญ่กระดกขึ้น-ลง สลับกันอย่างรุนแรง (ROTOR BLADES WEAVING BACK AND FORTH)

10. การสั่นมีความรุนแรงขึ้นถึงขั้นวิกฤต (SEVERE AND CRITICAL VIBRATION)

11. โครงสร้างหลักของเฮลิคอปเตอร์โดยเฉพาะชุดฐาน – ล้อ (LANDING GEAR ASSY) แตกหักรวมทั้งโครงสร้างหลักอื่นๆ ด้วย ซึ่งเป็นอันตรายอย่างยิ่งจนถึงขึ้นเกิดอุบัติเหตุและเสียชีวิตสำหรับเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องเช่นนักบินและช่างผู้ปฏิบัติงานขณะนั้น



หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=Lz1WflrSPEg

การแก้ไข (CORRECTIVE ACTION) เมื่อเกิด GROUND RESONANCE

1. ถ้าหากเกิด GROUND RESONANCE ขณะอยู่ที่พื้นโดยยังไม่พร้อมที่จะทำการบินขึ้นจากสนาม หรือขณะที่รอบใบพัดต่ำ (ROTOR LOW RPM.) ให้ลดมุมปะทะของกลีบใบพัดโรเตอร์ใหญ่โดยการกดคันบังคับ COLLECTIVE PITCH CONTROL STICK ลงทันที พร้อมกับลดรอบเครื่องยนต์ (DECREASE ENGINE RPM.) ลงทันทีเช่นเดียวกัน

2. ถ้าเกิด GROUND RESONANCE ขณะลงสนามโดยที่รอบใบสูง (ROTOR HIGH RPM.) ยังสูงอยู่พร้อมที่จะทำการบินจามสนามได้ก็ให้ทำการบินขึ้นจากสนามใหม่ทันที หรือ ถ้ากรณีที่ลดรอบโรเตอร์ลงแล้วก็ให้ปฏิบัติตามข้อ 1

หมายเหตุ ขณะเฮลิคอปเตอร์เกิดการสั่นอย่างรุนแรงเนื่องจากการเกิด GROUND RESONANCE นั้นจะทำให้เกิดการไม่สมดุลทาง CG. ของกลีบใบพัดของโรเตอร์ใหญ่ เนื่องจากเกิดการส่ายตัวอย่างผิดปกติของกลีบใบพัด (ABNORMAL LEAD AND LAG) จึงทำให้มุมระหว่างกลีบใบพัดเสียไปจึงทำให้การสมดุลของ CG. กลีบใบพัดของโรเตอร์ใหญ่เสียการสมดุลไปซึ่งเป็นการเสียสมดุล

ทางเรขาคณิต (GEOMETRIC UNBALANCE) ซึ่งทำให้ CG. และ MASS ของโรเตอร์อยู่ในลักษณะเหวี่ยงไปมาไม่คงที่และส่งผลทำให้เกิดการสั่นอย่างรุนแรงเพิ่มมากยิ่งขึ้น ถ้าหากไม่ได้รับการแก้ไขในเวลาอันควร จะทำให้โครงสร้างชำรุดได้ภายในเวลาอันสั้น จึงถือว่าเป็นอันตรายอย่างยิ่งดังได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น

หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=6vICf8l-KV0

แบบทดสอบหลังเรียนบทที่ 10

ให้ผู้เรียนสแกนเข้าไปทำแบบทดสอบหลังเรียนใน **QR CODE POST - TEST บทที่ 10** ด้านล่าง

หรือเข้าตามลิงก์ด้านล่าง

https://forms.gle/v3kqxfdn6b5Zif4PA

หลังจากผู้เรียนได้ทำแบบทดสอบหลังเรียนแล้วให้ประเมินความเข้าใจของตนเองโดยการเปรียบเทียบผลการเรียนระหว่างก่อนเรียนกับหลังเรียน ถ้าผลคะแนนดีขึ้นแสดงว่าเข้าใจเป็นอย่างดี แต่ถ้าคะแนนไม่ดีไม่ได้หมายความว่าเราไม่มีความรู้ เพียงแต่ยังรู้ไม่ลึกซึ้งหรือไม่กระจ่างเท่านั้น และความรู้ที่กระจ่างจะทำให้เราเป็นผู้ที่สามารเอาชนะอุปสรรคทำให้ไปถึงเป้าหมายได้

ในบทเรียนเรื่องปรากฏการณ์ด้านการบินที่เกิดขึ้นกับเฮลิคอปเตอร์ (HELICOPTER FLIGHT PHENOMENON) นี้เป็นเป็นเพียงความรู้พื้นฐานในการนำประยุกต์ใช้ประกอบในการปฏิบัติงาน แต่ความรู้ที่แท้จริงย่อมหนีไม่พ้นประสบการณ์และการศึกษาค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติมอย่าต่อเนื่องจึงจะทำให้เราเป็นผู้มีความรอบรู้ที่แท้จริง ดังที่ ABHIJIT NASKAR ได้กล่าวไว้ว่า

“การศึกษาเปิดโอกาสให้มนุษย์ได้ใช้ศักยภาพทางกายและใจอย่างเต็มที่ ทั้งกับชีวิตส่วนตัวและชีวิตในสังคม”

บทที่ 11
การสั่นของเฮลิคอปเตอร์
(HELICOPTER VIBRATION)

แบบทดสอบก่อนเรียนบทที่ 11

ให้ผู้เรียนสแกนเข้าไปทำแบบทดสอบก่อนเรียนใน **QR CODE PRE - TEST บทที่ 11** ด้านล่าง

หรือเข้าตามลิงก์ด้านล่าง

https://forms.gle/gRGvTm6zpmepSX32A

กล่าวโดยทั่วไป

ในบทเรียนนี้จะกล่าวถึงการสั่นของเฮลิคอปเตอร์ (HELICOPTER VIBRATIONS) ซึ่งถือเป็นเรื่องสำคัญที่เกิดขึ้นกับเฮลิคอปเตอร์ เพื่อให้ผู้เรียนได้มีความรู้พื้นฐานประกอบในการพิจารณาแก้ไขหรือป้องกันให้เกิดความเสียหายลุกลามต่อไปยังส่วนประกอบอื่นของเฮลิคอปเตอร์ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อผู้เรียนและผู้ปฏิบัติงานเป็นอย่างยิ่งที่ต้องรู้ถึงการสั่นแบบต่างๆ ของเฮลิคอปเตอร์ที่แสดงออกมา และสิ่งที่จะเกิด แล้วจะแก้ไขอย่างไร ซึ่งไม่ใช่เรื่องยากสำหรับผู้ที่ตั้งใจศึกษา แต่ก็ไม่ง่ายสำหรับผู้ที่ไม่สนใจใคร่รู้ จึงขอให้อ่านและวิเคราะห์ไปด้วยจะทำให้เข้าใจได้อย่างดี

การสั่นที่เกิดขึ้นกับเฮลิคอปเตอร์ มี 2 ชนิด

1. การสั่นตามปกติ (NORMAL)

หมายถึงการสั่นเนื่องมาจากการทำงานของเครื่องยนต์, MAIN ROTOR, TAIL ROTOR, ระบบถ่ายทอดกำลัง, อุปกรณ์และชิ้นส่วนต่างๆ ในขณะทำงานเป็นไปด้วยความปกติ

2. การสั่นผิดปกติ (ABNORMAL)

หมายถึงการสั่นเนื่องมาจากการทำงานของเครื่องยนต์, MAIN ROTOR, TAIL ROTOR, ระบบถ่ายทอดกำลัง, อุปกรณ์และชิ้นส่วนต่างๆ ในขณะทำงานเป็นไปด้วยความผิดปกติ

เหตุผลที่ต้องควบคุมการสั่นของเฮลิคอปเตอร์ (MAIN REASONS TO CONTROL OF HELICOPTER VIBRATION)

- เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของลูกเรือที่ปฏิบัติงาน และให้เกิดความปลอดภัย (TO IMPROVE CREWS EFFICIENCY, AND SAFETY OPERATION.)
- เพื่อเพิ่มความสะดวกสบายกับผู้โดยสาร (TO IMPROVE COMFORT PASSENGER.)
- เพื่อให้ระบบอิเลคทรอนิกส์ และอุปกรณ์ถ่ายทอดทางกลต่างๆ ทำงานได้อย่างถูกต้องแน่นอน (TO IMPROVE THE RELIABILITY OF THE AVIONICS AND MECHANICAL EQUIPMENT'S.)
- เพื่อไม่ให้ส่วนประกอบต่างๆ ของโครงสร้างเกิดการล้าตัวแตกหักชำรุดเสียหายจากการสั่นมากเกินไป (TO IMPROVE THE FATIGUE LIFE OF AIRFRAME STRUCTURAL COMPONENTS.)

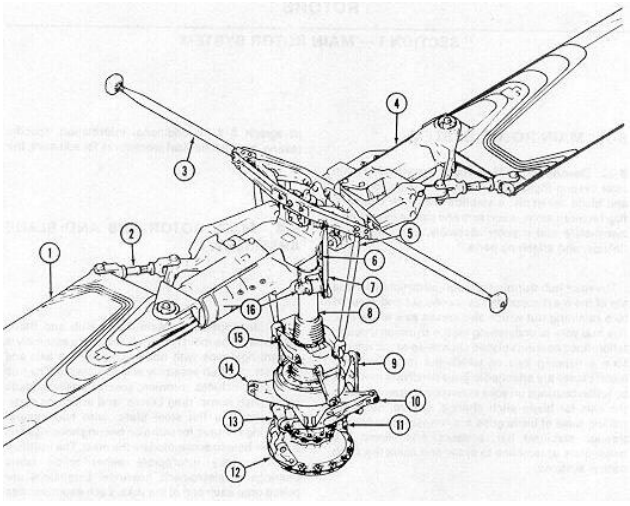
การสั่นผิดปกติ (ABNORMAL VIBRATION)

การสั่นผิดปกติ (ABNORMAL VIBRATION) ของเฮลิคอปเตอร์แบ่งได้ สามารถแบ่งย่อยได้ตามลักษณะของความถี่ (FREQUENCY) ดังนี้

1. EXTREME LOW FREQUENCY VIBRATION.
2. LOW FREQUENCY VIBRATION.
3. MEDIUM FREQUENCY VIBRATION.
4. HIGH FREQUENCY VIBRATION.

EXTREME LOW FREQUENCY VIBRATION

EXTREME LOW FREQUENCY VIBRATION เป็นการสั่นที่ความถี่ต่ำสุด การสั่นแบบนี้จะใช้ได้หรือไม่นั้น ถูกกำหนดขอบเขตไว้ด้วยการตรวจ PYLON ROCK, ซึ่ง PYLON ROCK เป็นการสั่นประจำตัวของ ROTOR, MAST, และ TRANSMISSION SYSTEM



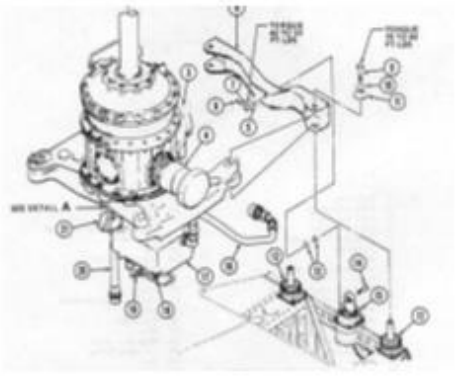
SCAN ME

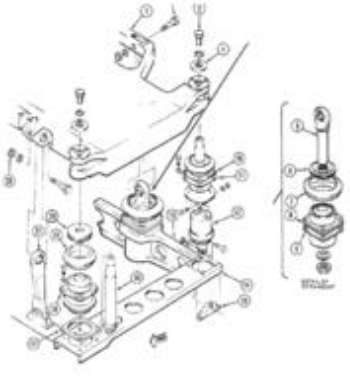
EXTREME LOW FREQUENCY VIBRATION

หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=p7XJxe_61EU

PYLON ROCK CHECK จะกระทำขณะบิน HOVERING โดยการเคลื่อน CYCLIC ไปหน้า-หลัง โดยเร็วประมาณ เคลื่อนที่ 1 ครั้ง / 1 วินาที จะเริ่มอาการ PYLON ROCK ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง แล้วจะหายไปหลังจากการเคลื่อน CYCLIC ได้สิ้นสุดลง

แต่ถ้าเกิดต่อเนื่องกันผิดปกติ แสดงว่าบางสิ่งไม่ถูกต้องหรือผิดปรกติ เช่น TRANSMISSION MOUNTS หรือ DAMPER เสื่อมคุณภาพหรือสึกหรอมากเกินไป หลวมคลอน แตก ฉีกขาด การประกอบไม่ถูกต้อง ผิดแบบ ซึ่งขาดคุณสมบัติที่จะต้านทานหรือหน่วงเหนี่ยว (DAMPENING และดูดกลืน (ABSORB) อาการของ PYLON ROCK ให้หายไปหรือน้อยลง





LOW FREQUENCY VIBRATION

LOW FREQUENCY VIBRATION เป็นการสั่นที่ความถี่ต่ำ ต้นเหตุการสั่นแบบนี้เนื่องมาจาก MAIN ROTOR ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 อย่างคือ

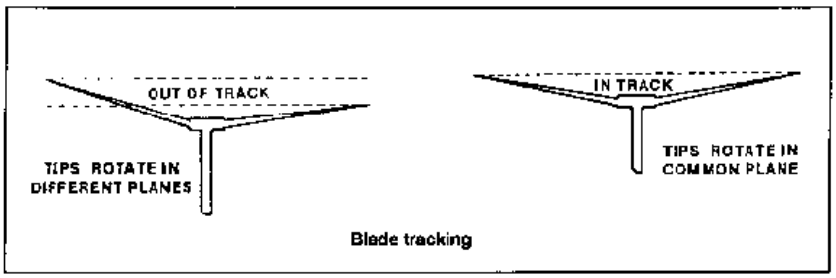
1. การสั่นแบบ 1 / REV. VIBRATION.
2. การสั่นแบบ 2 / REV. VIBRATION.

การสั่นแบบ 1 / REV. VIBRATION.

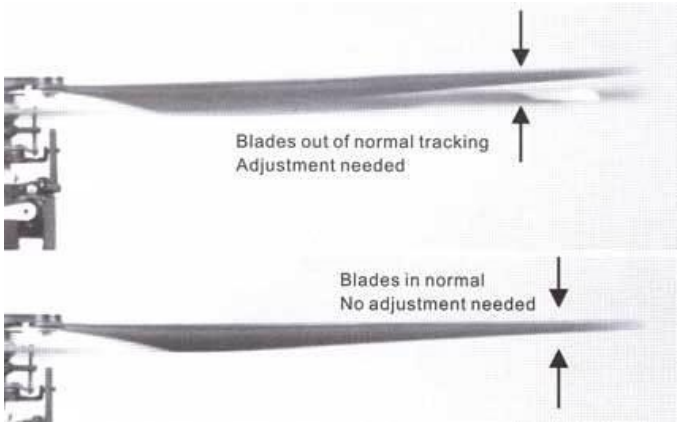
การสั่นแบบ 1 / REV. VIBRATION. คือการสั่นซึ่งจะมีความรู้สึก 1 ครั้ง / 1 รอบ ROTOR ซึ่งการสั่นแบบนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

1. 1 / REV. VERTICAL VIBRATION.
2. 1 / REV. LATERAL VIBRATION.

สาเหตุการสั่นเนื่องจากการผลิตแรงยกของกลีบใบพัด (BLADE) ใบหนึ่งมากกว่าอีกใบ ณ จุดที่กำหนดไว้เดียวกัน



การสั่นแบบนี้แก้ไขโดยยึดหลักการผิดเป็นครู คือทำไปแก้ไขไป ถ้าไม่ได้ก็แก้กันใหม่อีก การปรับนี้อาจมีผลออกมาไม่แน่นอนต้องทำการบินทดสอบวิเคราะห์เพื่อที่จะทำการแก้ไขอีกต่อไปจนกว่าจะได้



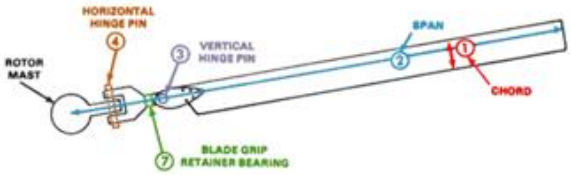
การสั่นแบบ 1 / REV. LATERAL VIBRATION.

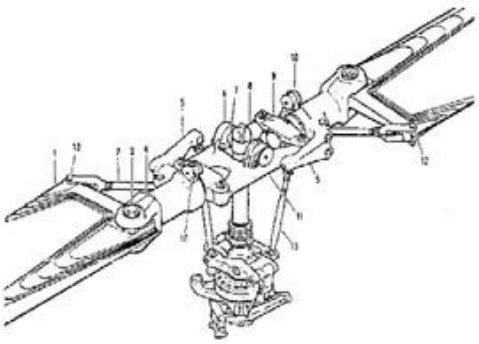
การสั้นแบบนี้จะรู้สึกได้เมื่อสังเกตุหรือนั่งในที่นั่งนักบิน ที่นั่งนักบินจะกระโดดขึ้น และลงสลับกัน (BOUNCE UP AND DOWN) โดยที่นั่งนักบินด้าน PILOT จะเคลื่อนที่ขึ้นและที่นั่งนักบินด้าน CO-PILOT เคลื่อนที่ลงสลับกัน

การสั่นแบบ 1 / REV. LATERAL VIBRATION เกิดจาก 2 สาเหตุ

1. SPANWISE UNBALANCE

SPANWISE UNBALANCE คือการไม่ได้ดุลย์ในทางยาวของ ROTOR เนื่องมาจาก BLADE และ HUB ข้างหนึ่งมีน้ำหนักมากกว่าอีกด้านหนึ่ง

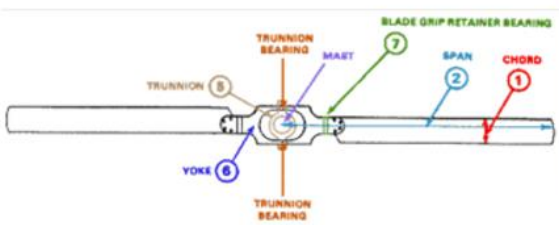




หมายเหตุ: จาก http://www.copters.com/aero/planforms.html

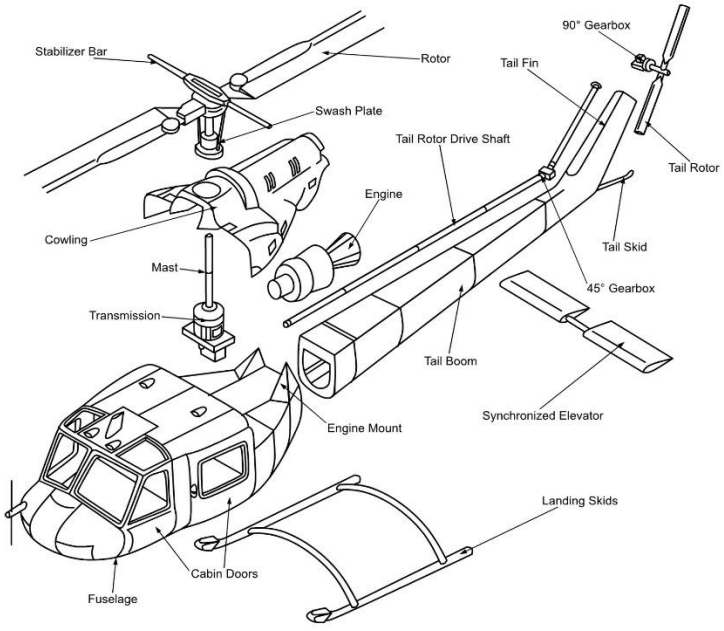
2. CHORDWISE UNBALANCE

CHORDWISE UNBALANCE คือการไม่ได้ดุลย์ในทางขวางของ BLADE เนื่องมาจากน้ำหนักทางด้านชายหลัง BLADE ใบหนึ่งมีมากกว่าอีกด้านหนึ่ง เนื่องจากการจัดแนว BLADE (BLADE ALIGNMENT) ตามแนวทางยาว (SPANWISE AXIS) ไม่ได้แนว นอกจากนี้สาเหตุยังเกิดขึ้นได้จากการไม่ได้ดุลของ HUB และ STABILIZER BAR อีกด้วย



MEDIUM FREQUENCY VIBRATION

การสั่นแบบ Medium FREQUENCY VIBRATION จะรู้สึกการสั่นที่ความถี่ 4 และ 6 ครั้งต่อ 1 รอบการหมุนของโรเตอร์ (4 / REV. AND 6 / REV.) สาเหตุเนื่องมาจาก ส่วนประกอบโครงสร้าง และชุดฐานหลวมคลอนหรือประกอบไม่ถูกต้อง เป็นต้น



HIGH FREQUENCY VIBRATION

HIGH FREQUENCY VIBRATION เกิดจากสิ่งหนึ่งสิ่งใดซึ่งหมุนหรือสั่นที่ความเร็วเท่ากับ TAIL ROTOR หรือมากกว่า โดยปกติแล้วสาเหตุเกิดจากระบบ TAIL ROTOR หรือ ANTI – TORQUE SYSTEM และเกิดจากแท่นเครื่องยนต์หลวมคลอน

การสั่นแบบ HIGH FREQUENCY VIBRATION จะมีจำนวนน้อยๆ เกิดขึ้นเสมอซึ่งจะรู้สึกได้ถ้าคอยสังเกตุ ฉะนั้นความชำนาญของช่างเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องศึกษาระดับการสั่นว่าเป็นเช่นใด บางครั้งนักบินอาจผิดพลาดได้ด้วยความรู้สึกที่จดจ่ออยู่กับการสั่นอย่างหนึ่งอย่างไดโดยเฉพาะ ทำให้ลงความเห็นว่าระดับการสั่นสูงกว่าปกติซึ่งความจริงไม่ได้เป็นเช่นนั้น แต่ความรู้สึกเหมือนจะเป็นอย่างนั้น เนื่องจากใจจดจ่ออยู่กับการสั่นมากเกินไป จึงจำเป็นสำหรับนักบินที่ต้องศึกษาระดับการสั่นผิดปกติให้ถ่องแท้ว่าเป็นเช่นได

เพื่อให้เข้าใจมากยิ่งขึ้น ขอให้ผู้อ่านเข้าไปดูคลิปสื่อการสอนสรุปบทเรียนเรื่อง การสั่นของเฮลิคอปเตอร์ (HELICOPTER VIBRATIONS) ตาม QR CODE ด้านล่าง

หรือเข้าตามลิงก์ด้านล่าง

https://drive.google.com/file/d/1dYbdNA-_ZkP0fA8Q79ehePlbTt9OmHry/view?usp=sharing

แบบทดสอบหลังเรียนบทที่ 11

ให้ผู้เรียนสแกนเข้าไปทำแบบทดสอบหลังเรียนใน **QR CODE POST - TEST บทที่ 11** ด้านล่าง

หรือเข้าตามลิงก์ด้านล่าง

https://forms.gle/8tKEAK6qyK4k8AoY7

หลังจากผู้เรียนได้ทำแบบทดสอบหลังเรียนแล้วให้ประเมินความเข้าใจของตนเองโดยการเปรียบเทียบผลการเรียนระหว่างก่อนเรียนกับหลังเรียน ถ้าผลคะแนนดีขึ้นแสดงว่าเข้าใจเป็นอย่างดี แต่ถ้าคะแนนไม่ดีไม่ได้หมายความว่าเราไม่มีความรู้ เพียงแต่ยังรู้ไม่ลึกซึ้งหรือไม่กระจ่างเท่านั้น และความรู้ที่กระจ่างจะทำให้เราเป็นผู้ที่สามารเอาชนะอุปสรรคทำให้ไปถึงเป้าหมายได้

ในบทเรียนเรื่องการสั่นของเฮลิคอปเตอร์ (HELICOPTER VIBRATIONS) นี้เป็นเป็นเพียงความรู้พื้นฐานในการนำประยุกต์ใช้ประกอบในการปฏิบัติงาน แต่ความรู้ที่แท้จริงย่อมหนีไม่พ้นประสบการณ์และการศึกษาค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติมอย่าต่อเนื่องจึงจะทำให้เราเป็นผู้มีความรอบรู้ที่แท้จริง ดังที่ ERALDO BANOVAC ได้กล่าวไว้ว่า

“การหาความรู้ คือความพยายามที่ก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีที่สุด”

บทที่ 12
การตรวจสอบแนวทางเดินกลีบใบพัดเฮลิคอปเตอร์
(HELICOPTER ROTOR BLADE TRACKING)

แบบทดสอบก่อนเรียนบทที่ 12

ให้ผู้เรียนสแกนเข้าไปทำแบบทดสอบก่อนเรียนใน **QR CODE PRE - TEST บทที่ 12** ด้านล่าง

SCAN ME
BLADE TRACKING
PRE-TEST

หรือเข้าตามลิงก์ด้านล่าง

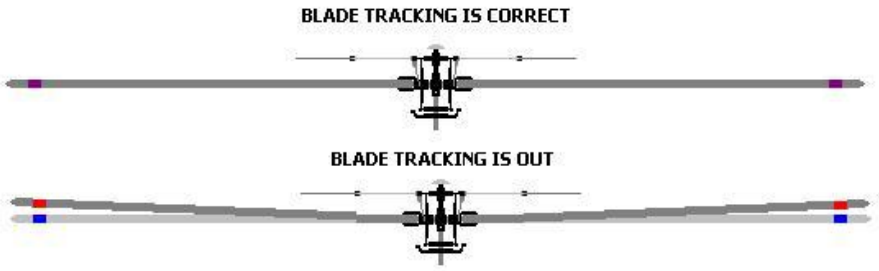
https://forms.gle/6cwuVdZs5qAjRXNy9

กล่าวโดยทั่วไป

ในบทเรียนนี้จะกล่าวถึงการตรวจสอบแนวทางเดินกลีบใบพัดเฮลิคอปเตอร์ (HELICOPTER ROTOR BLADE TRACKING) ซึ่งถือเป็นสาเหตุที่ทำให้เฮลิคอปเตอร์เกิดการสั่น (VIBRATION) ส่งผลต่อสมรรถนะการบินให้ด้อยลงไป ในบทเรียนนี้เป็นความรู้พื้นฐานเบื้องต้นที่ใช้วิธีการตรวจสอบแนวทางเดินกลีบใบพัดเฮลิคอปเตอร์แบบดั้งเดิม แต่ก็ยังมีการใช้ในการตรวจสอบแนวทางเดินกลีบใบพัดในปัจจุบันและใช้ได้กับเฮลิคอปเตอร์หลายหลายแบบ ส่วนการใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ในการตรวจสอบจะเป็นไปตามคู่มือของเครื่องมือชนิดนั้น จึงไม่ขอกล่าวไว้ในบทเรียนนี้

การตรวจสอบแนวทางเดินกลีบใบพัดใหญ่ (MAIN ROTOR BLADE TRACKING)

การตรวจสอบแนวทางเดินกลีบใบพัดใหญ่ (MAIN ROTOR BLADE TRACKING) เป็นกระบวนการตรวจสอบแนวทางเดินกลีบใบพัดที่ตำแหน่งปลายใบพัด (TIPS OF THE ROTOR BLADE) เพื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของใบพัดแต่ละใบว่าอยู่ในตำแหน่งเดียวกัน หรือหมุนอยู่ในแนวเดียวกัน (THE PROCESS OF DETERMINING THE POSITIONS OF THE TIPS OF THE ROTOR BLADE RELATIVE TO EACH OTHER) หรืออยู่ใกล้เคียงกันมากที่สุด (BLADES SHOULD ALL TRACK ONE ANOTHER AS CLOSELY AS POSSIBLE) เพื่อไม่ให้ใบพัดสร้างแรงยกแตกต่างกันนำมาซึ่งการสั่น (VIBRATION) ของเฮลิคอปเตอร์



หมายเหตุ: จาก https://aerorc.wordpress.com/tag/vibrations/

เมื่อตรวจสอบแล้วถ้ากลีบใบพัดมีแนวทางเดินที่แตกต่างกัน ต้องทำการปรับอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อให้กลีบใบพัดอยู่ในตำแหน่งเดียวกัน หรือหมุนอยู่ในแนวเดียวกันให้มากที่สุดตามที่คู่มือของแต่ละเครื่องกำหนด ซึ่งในบทเรียนนี้จะเป็นแนวทางพื้นฐานเบื้องต้นที่ใช้เป็นแนวทางปฏิบัติ ส่วนการปฏิบัติงานกับเฮลิคอปเตอร์ให้ยึดถือตามคู่มือของเฮลิคอปเตอร์แบบนั้นๆ เป็นแนวทางปฏิบัติ

การตรวจสอบแนวทางเดินกลีบใบพัดแบบ FLAG AND POLE

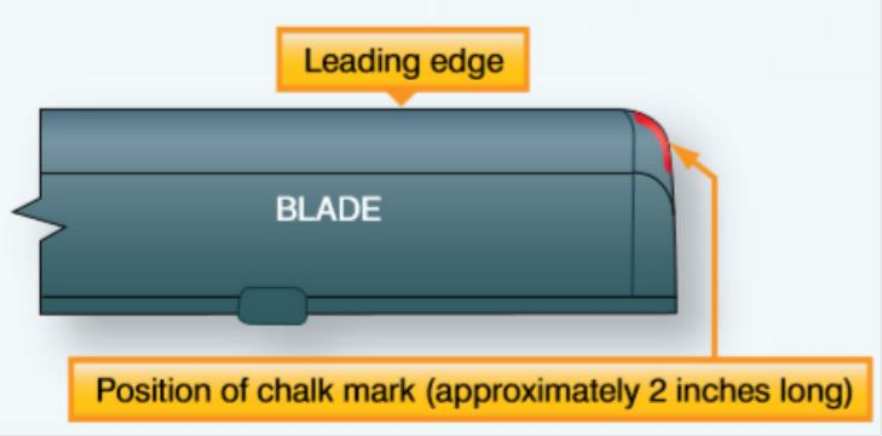
FLAG TRACKING

POLE TRACKING

วิธีการตรวจสอบแนวทางเดินกลีบใบพัดแบบ FLAG AND POLE สามารถใช้ได้กับเฮลิคอปเตอร์ทุกแบบ (USED ON ALL TYPES OF HELICOPTERS) ที่ไม่มีการติดตั้งเครื่องยนต์หรืออุปกรณ์ขับเคลื่อนที่ปลายใบพัด (NOT HAVE JET PROPULSION AT THE BLADE TIPS) ในบทเรียนนี้เป็นแนวทางปฏิบัติพื้นฐาน ส่วนการปฏิบัติงานกับเฮลิคอปเตอร์ให้ยึดตามคู่มือเฮลิคอปเตอร์แบบนั้น

วิธีการปฏิบัติ (TRACKING PROCEDURE)

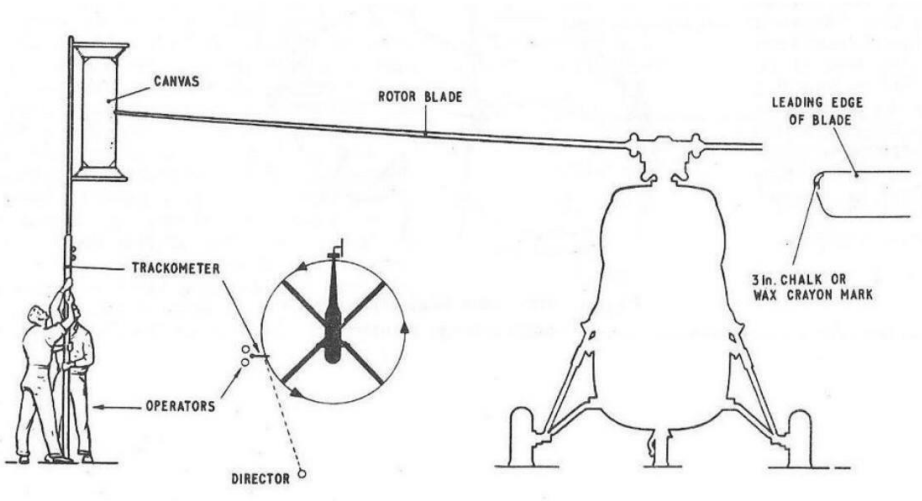
1. ให้ทำเครื่องหมาย (MARK) ที่ปลายกลีบใบพัด (BLADE TIP) แต่ละใบที่เรียกว่า TRACKING TIP หรือ TIP FITTING ด้วยดินสอไขให้ใบพัด (BADE) แต่ละมีสีที่แตกต่างกัน



2. ให้หันหัวเฮลิคอปเตอร์ทวนทิศทางลม (HEADWIND)

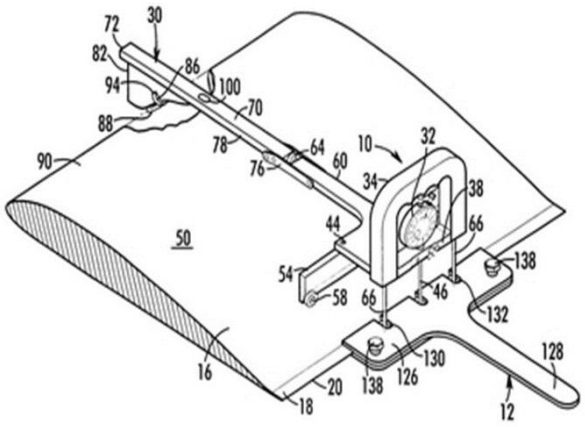
3. ตำแหน่งของคนถือธง (POSITION OF FLAG/POLE MAN) ด้านขวาของเฮลิอปเตอร์ที่ๆ นั่งนักบิน ประมาณตำแหน่ง 2 นาฬิกา

4. เตรียมธง (FLAG) หรือเสาตีแทร็ค (POLE) CHECK TRACK และปรับให้กลางธงได้ระดับกับปลาย BLADES



หมายเหตุ: จาก https://www.linkedin.com/pulse/tracking-balancing-helicopters-part-2-dimitris-vlacho

5. ตั้ง (SET) TRIM TABS ของ BLADE ทุกใบไว้ที่ 0 องศา (ศูนย์)



6. ติดเครื่องยนต์ และตั้งรอบเครื่องยนต์ตามที่คู่มือเฮลิคอปเตอร์แต่ละแบบกำหนด

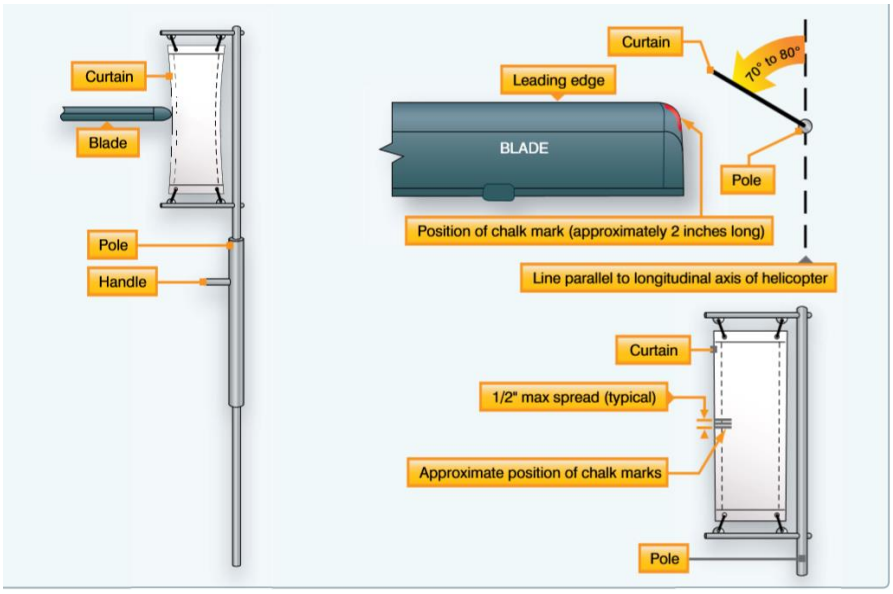
ข้อควรจำ การติดเครื่องยนต์ (RUN - UP) ของเฮลิคอปเตอร์จะกระทำได้เพียงแต่ละบุคคลที่ได้รับอนุญาตหรือมอบหมายเท่านั้น

7. ทำการตรวจสอบแนวทางเดิน TRACK แล้วพิจารณาความสัมพันธ์ของตำแหน่งใบพัดแต่ละใบ

หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=Vp_kEgrHXlo

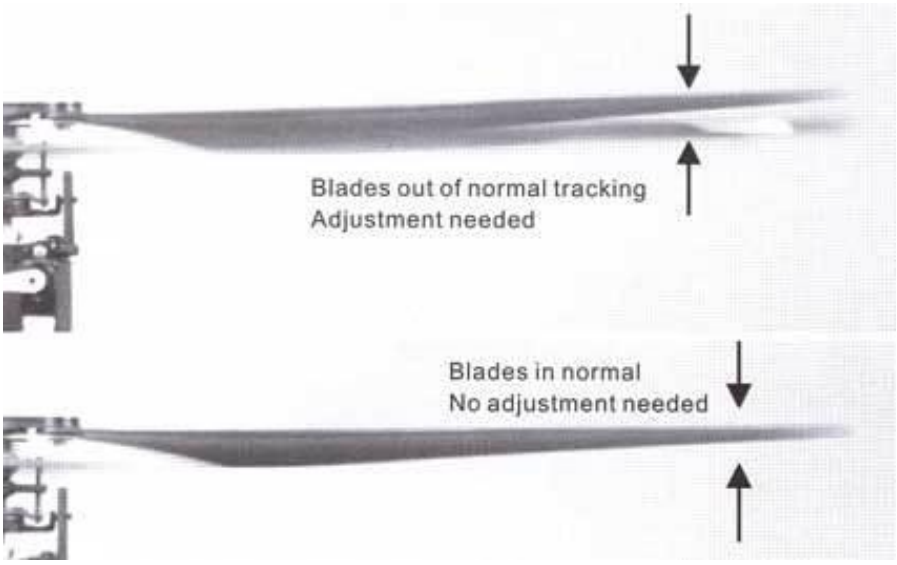
หมายเหตุ: จาก https://www.youtube.com/watch?v=IygAMsH-Dq0

7. พิจารณาแนวทางเดิน Track ของตำแหน่งใบพัดแต่ละใบ จากธง (Flag) หรือเสาตีแทร็ค(Pole)



หมายเหตุ: จาก https://www.aircraftsystemstech.com/2019/02/helicopter-stabilizer-systems.html

8. ทำการปรับอุปกรณ์ตามคู่มือเพื่อให้กลีบใบพัด (BLADE) ให้หมุนอยู่ในแนวเดียวกัน หรือตำแหน่งใกล้เคียงกันตามที่คู่มือกำหนด



การตรวจสอบแนวทางเดินกลีบใบพัดหาง (TAIL ROTOR TRACKING)

วิธีตรวจสอบแบบ MARKING METHOD PROCEDURES

MARKING METHOD PROCEDURES เป็นวิธีการตรวจสอบแนวทางเดินหรือตำแหน่งของกลีบใบพัดหาง (TAIL ROTOR) ซึ่งต้องตรวจสอบเมื่อเฮลิคอปเตอร์ได้ดำเนินการดังต่อไปนี้

- หลังจากเปลี่ยน หรือติดตั้งดุมใบพัดหาง (AFTER REPLACEMENT OR INSTALLATION OF TAIL ROTOR HUB)
- หลังจากเปลี่ยนใบพัด (BLADE) หรืออุปกรณ์ปรับมุมปะทะ (PITCH CONTROL LINK)
- มีการปรับแต่งระบบชุดหาง (TAIL ROTOR RIGGING)
- ต้องการตรวจสอบแนวทางเดินกลีบใบพัดตามเกณฑ์ (DETERMINE TAIL ROTOR BLADES TRACK)

1. ติดดินสอไข (PRUSSIAN BLUE OR SIMILAR TYPE OF COLORING) เข้ากับปลายท่อ โดยให้พ้นออกมาประมาณ 1/2 นิ้ว (ครึ่งนิ้ว) ควรเป็นท่อพลาสติก หรือวัสดุที่ไม่แข็งมากที่ก่อให้เกิดให้เกิดความเสียหายแก่ใบพัดหางได้ในกรณีการดำเนินการผิดพลาด

2. ใช้หล่อลื่น (OIL) ชโลมปลายดินสอไข (THINNED WITH OIL) เพื่อลดการเสียดทานเมื่อสัมผัสกับใบพัดหาง

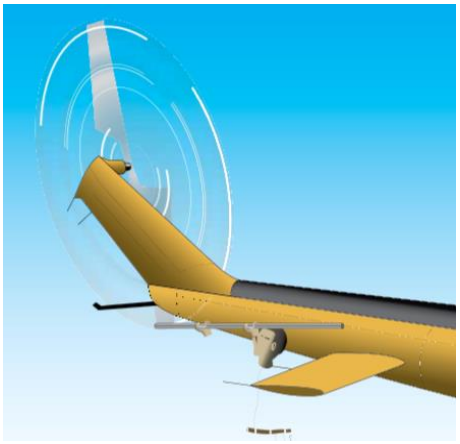
3. ติดเครื่องยนต์ และตั้งรอบเครื่องยนต์ตามที่คู่มือเฮลิคอปเตอร์แต่ละแบบกำหนด

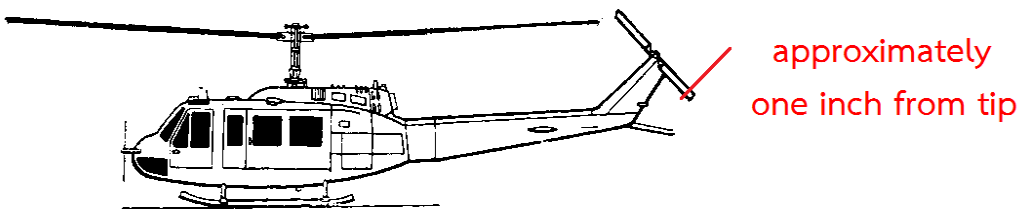
ข้อควรจำ การติดเครื่องยนต์ (RUN - UP) ของเฮลิคอปเตอร์จะกระทำได้เพียงแต่ละบุคคลที่ได้รับอนุญาตหรือมอบหมายให้เท่านั้น

4. จัดตำแหน่ง PEDALS ให้อยู่ตำแหน่งกลาง หรือเสมอกัน (NEUTRAL POSITION)

5. ผู้ตรวจสอบเข้าไปยืนด้านตรงข้ามกับชุดใบพัดหาง แล้วค่อยๆ ดันท่อให้ดินสอไขเข้าไปสัมผัสกับชุดใบพัดหาง โดยให้สัมผัสบริเวณห่างจากปลายกลีบไปพัดประมาณ 1 นิ้ว (1 INCH. FROM BLADE TIP) แล้วรีบนำออกมา

หมายเหตุ ขั้นตอนนี้มีอันตรายมาก ต้องใช้ความระมัดระวังอย่างสูง เพราะความผิดพลาดอาจนำมาซึ่งความเสียหายใหญ่หลวงได้





6. ดับเครื่องยนต์ เมื่อใบพัดหยุดหมุนทำการตรวจสอบจุดที่ดินสอไขสัมผัสที่ใบพัดหาง (MARK)

7. วิเคราะห์ผลแนวทางเดินกลับใบพัดหาง

- ถ้ามีสีดินสอไขติดที่ใบพัดทุกใบ แสดงว่า ใบพัดอยู่ในแนวเดียวกัน (IN TRACK)
- ถ้ามีสีดินสอไขติดใบใดใบหนึ่ง แสดงว่า ใบพัดไม่อยู่ในแนวเดียวกัน (OUT OF TRACK)

8. กรณีใบพัดไม่อยู่ในแนวเดียวกัน (OUT OF TRACK) ให้ทำการปรับ ดังนี้

8.1 เริ่มปรับจากใบพัดที่ไม่มีสีติด (UNMARK BLADE) ไปหาใบพัดที่ติด (MARK BLADE)

8.2 ปรับอุปกรณ์ปรับมุมปะทะ (PITCH CHANGE CONTROL) ใบพัดที่ไม่มีสีติด (UNMARK BLADE) ครั้งละ 1 รอบ

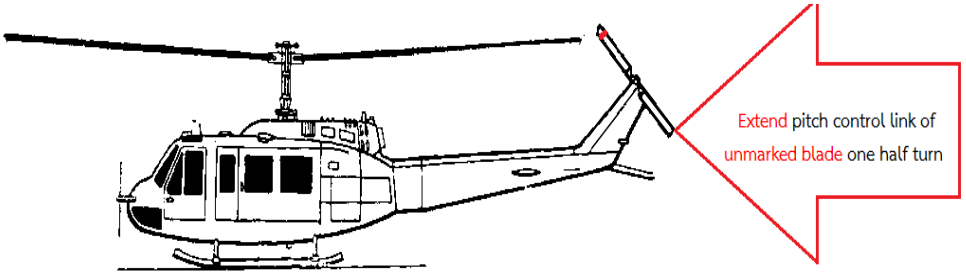
8.3 ติดเครื่องยนต์ และดำเนินการตามวิธีตรวจสอบ TRACK อีกครั้ง

8.4 ดับเครื่องยต์ ตรวจสอบ TRACK ที่ใบพัดหาง

- ถ้ามีสีดินสอไขติดที่ใบพัดทุกใบ แสดงว่า ใบพัดอยู่ในแนวเดียวกัน (IN TRACK)
- ถ้ามีสีดินสอไขติดใบใดใบหนึ่ง แสดงว่า ใบพัดไม่อยู่ในแนวเดียวกัน (OUT OF TRACK)

8.5 ทำการปรับใบพัดที่ไม่มีสีติด (UNMARK BLADE) ต่อไป เรื่อยๆ จะกระทั่งใบพัดที่ไม่มีสีติด (UNMARK BLADE) มีสีติด (MARK) ส่วนกรณีที่ใบพัดอีกใบที่เคยมีสีติด (MARK BLADE) ไม่มีสีติด (UNMARK) เรียกว่า “การกระโดดข้าม (CROSSOVER)” ให้ทำการปรับอุปกรณ์ปรับมุมปะทะ (PITCH CONTROL LINK) ใบพัดที่มีสีติด (MARK BLADE) กลับคืน 1/2 รอบ (ครึ่งรอบ)

กรณีนี้แม้ว่าสีจะไม่ติดใบพัดทุกใบถือว่าอยู่ในระยะหรือเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ทั้งนี้ให้ปฏิบัติตามคู่มือของเฮลิคอปเตอร์แต่ละแบบ



แบบทดสอบหลังเรียนบทที่ 12

ให้ผู้เรียนสแกนเข้าไปทำแบบทดสอบหลังเรียนใน **QR CODE POST - TEST บทที่ 12** ด้านล่าง

หรือเข้าตามลิงก์ด้านล่าง

https://forms.gle/HBmfsxvvKTS6hpHXA

หลังจากผู้เรียนได้ทำแบบทดสอบหลังเรียนแล้วให้ประเมินความเข้าใจของตนเองโดยการเปรียบเทียบผลการเรียนระหว่างก่อนเรียนกับหลังเรียน ถ้าผลคะแนนดีขึ้นแสดงว่าเข้าใจเป็นอย่างดี แต่ถ้าคะแนนไม่ดีไม่ได้หมายความว่าเราไม่มีความรู้ เพียงแต่ยังรู้ไม่ลึกซึ้งหรือไม่กระจ่างเท่านั้น และความรู้ที่กระจ่างจะทำให้เราเป็นผู้ที่สามารเอาชนะอุปสรรคทำให้ไปถึงเป้าหมายได้

ในบทเรียนเรื่องการตรวจสอบแนวทางเดินกลีบใบพัดเฮลิคอปเตอร์ (HELICOPTER ROTOR BLADE TRACKING) นี้เป็นเป็นเพียงความรู้พื้นฐานในการนำประยุกต์ใช้ประกอบในการปฏิบัติงาน แต่ความรู้ที่แท้จริงย่อมหนีไม่พ้นประสบการณ์และการศึกษาค้นคว้าหาความรู้เพิ่มเติมอย่าต่อเนื่องจึงจะทำให้เราเป็นผู้มีความรอบรู้ที่แท้จริง และปฏิบัติงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังที่ JIM RYUN ได้กล่าวไว้ว่า

“แรงผลักดัน คือจุดเริ่มต้น และการทำจนเป็นนิสัย คือสิ่งที่ทำให้คุณไม่หยุดก้าวไปข้างหน้า”

แบบทดสอบหลังเรียนวิชาอากาศยานปีกหมุน (POST - TEST)

เพื่อประเมินความรู้ความเข้าใจตัวผู้เรียนหรือผู้อ่านตำรา ผู้เรียบเรียงจึงได้จัดทำแบบทดสอบหลังเรียนให้ผู้เรียนหรือผู้อ่านได้ทดสอบความรู้ที่ได้ศึกษามา เพื่อประเมิณความเข้าใจหรือความพึงพอใจในการความรู้ความเข้าใจด้วยตนเอง อันจะเป็นการทำให้ผู้เรียนหรือผู้อ่านพิจาณาถึงแนวทางการพัฒนาปรับปรุงการเรียนรู้ให้ดียิ่งขึ้นหลังจากศึกษาหรืออ่านตำราวิชาอากาศยานปีกหมุนเล่มนี้จบแล้ว ทำให้การเรียนเป็นไปอย่ามีประสิทธิภาพตามเป้าหมายได้วางไว้

ขอให้ผู้ศึกษาหรืออ่านตำราเล่มนี้ทำด้วยความสามารถของตนเองอย่างเต็มที่ ถ้าท่านตั้งใจอ่านอย่างเต็มที่แล้ว แม้จะรู้สึกว่าเป็นข้อสอบที่ยาก แต่ไม่มีสิ่งใดยากยิ่งเหนือกว่าความพยายามที่จำกระทำให้สำเร็จด้วยใจที่มุ่งมั่นและศรัทธาในความสามารถของตนเอง และพัฒนาสู่ความสำเร็จอันหวังไว้ในภายภาคหน้าได้อย่างยั่งยืน

ให้ผู้เรียนสแกนเข้าไปทำแบบฝึกหัดก่อนเรียนใน QR CODE POST -TEST ด้านล่าง เพื่อทำแบบทดสอบหลังเรียน จำนวน 50 ข้อ

หรือเข้าตามลิงก์ด้านล่าง

https://forms.gle/PagNb4CPHk2tR3YL7

ตัวอย่างข้อสอบใบอนุญาตนายช่างภาคพื้นดิน
(AIRCRAFT MAINTENANCE LICENCE TEST; ROTARY WING)

การที่จะเป็นช่างซ่อมบำรุงอากาศยานที่มีคุณภาพนั้น นอกจากจะเป็นผู้ที่มีความรู้ความสามารถในสายงานวิชีพเฉพาะของตนเองแล้ว ช่างที่ดีต้องหมั่นศึกษาค้นคว้าหาความรู้ พัฒนาขีดความสามารถของตนเองให้เป็นผู้ที่มีความรู้ความสามารถให้เป็นไปตามที่มาตรฐานสากลกำหนด

ผู้เรียบเรียงจึงได้นำตัวอย่างแนวข้อสอบใบอนุญาตนายช่างภาคพื้นดิน (AIRCRAFT MAINTENANCE LICENCE) ของสำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย (THE CIVIL AVIATION AUTHORITY OF THAILAND) หรือ CAAT มาแทรกไว้ในท้ายบทเรียนนี้ เพื่อเป็นแนวทางให้ผู้สนใจใคร่รู้ได้ศึกษาทดสอบเป็นแนวทางการพัฒนาศักยภาพตนเองให้เป็นผู้ที่มีความรู้ความสามารถตามมาตรฐานสากล

ให้ผู้เรียนสแกนเข้าไปทำแบบฝึกหัดก่อนเรียนใน QR CODE AME LICENCE ด้านล่างเพื่อทำแบบทดสอบ

SCAN ME

HELICOPTER AME LICENCE

หรือเข้าตามลิงก์ด้านล่าง

https://forms.gle/P3zofcDNQxZpPE4S9

ท้ายสุดนี้ผู้เรียบเรียงขอน้อมนำความตอนหนึ่ง ในพระบรมราโชวาทในพิธีพระราชทานปริญญาบัตรแก่ผู้สำเร็จการศึกษาจากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วันพฤหัสบดีที่ 19 กรกฎาคม 2533 เพื่อให้ผู้เรียนได้นำไปเป็นแนวทางในการศึกษาเรียนรู้ พัฒนาตนเอง และดำรงอยู่ในสังคมได้อย่างยั่งยืน ดังความว่า

“...การศึกษาค้นคว้าที่สำคัญและจำเป็นอย่างแรก คือการศึกษาทางแนวลึก อันได้แก่การฝึกฝนค้นคว้าวิชาเฉพาะของแต่ละคน ให้เชี่ยวชาญชำนาญแตกฉานลึกซึ้ง และพัฒนาก้าวหน้าพร้อมกันนั้น ในฐานะนักปฏิบัติ ซึ่งจะต้องทำงานและแก้ปัญหาต่างๆ ร่วมกับผู้อื่นฝ่ายอื่นอยู่เป็นปรกติ ทุกคนจำเป็นต้องศึกษาทางแนวกว้างควบคู่กันไปด้วย การศึกษาตามแนวกว้างนี้ หมายถึง การศึกษาให้รู้ให้ทราบ ถึงวิทยาการสาขาอื่นๆ ตลอดจน ความรู้รอบตัวเกี่ยวกับสภาวะและวิวัฒนาการของบ้านเมืองและสังคมในทุกแง่มุม เพื่อช่วยให้มองเห็น ให้เข้าใจปัญหาต่างๆ อย่างชัดเจนถูกถ้วน และสามารถนำวิชาการด้านของตน ประสานเข้ากับวิชาด้านอื่นๆ ได้โดยสอดคล้องถูกต้อง และเหมาะสม ...”

รายการอ้างอิง

บรรเทิงจิต โคตรเวียง. (ม.ป.ป.). **เฮลิคอปเตอร์.** ตำราโรงเรียนเหล่าทหารช่างอากาศ กองวิทยาการ, กรมชางอากาศ.

วิกิพีเดีย สารานุกรมไทย. (1 มิ.ย.2552). Retrieved January 25, 2021, from https://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B9%84%E0%B8%9F%E0%B8%A5%E0%B9%8C:Equal_transit-time_NASA_wrong1.gif.

Aeronautic Guide (n.d.). Retrieved August 25, 2021, from https://www.aircraftsystemstech.com/p/helicopter-flight-conditions.html?m=0.

Aeronautic Guide (n.d.). Retrieved August 25, 2021, from https://www.aircraftsystemstech.com/2018/10/aircraft-tie-down-procedures.html.

Aeronautic Guide (n.d.). Retrieved August 25, 2021, from https://www.aircraftsystemstech.com/2019/02/helicopter-stabilizer-systems.html.

Aeronautics Guide. (ม.ป.ป.). Retrieved January 25, 2021, from https://www.aircraftsystemstech.com/p/fixed-wing-aircraft-fuselage-fuselage.html.

Aerorc (2010). Retrieved August 25, 2021, from https://aerorc.wordpress.com/tag/vibrations/.

Alibre. (2017). Retrieved January 25, 2021, from https://www.alibreforum.com/forum/index.php?media/albums/rigid-rotor-with-gyro-authority.61/.

Australian Transport Safety Bureau (1968). ATSB Transport Safety Investigation Report. Retrieved January 25, 2021, from http://isambardkingdom.com/?attachment_id=537

Copters (n.d.). Retrieved August 25, 2021, from http://www.copters.com/aero/planforms.html.

EPI inc. (2010). Retrieved January 25, 2021, from http://www.epi-eng.com/gearbox_products/mark-18_gearbox.htm.

FAA Safety Team. (n.d.). Retrieved August 25, 2021, from https://www.faasafety.gov/gslac/alc/course_content_popup.aspx?cID=104&sID=449.

FAA-H-8083-30. (2012). Retrieved January 25, 2021, from https://www.flightliteracy.com/types-of-aircraft-construction-part-one/.

FAA-H-8083-30. (2012). Retrieved January 25, 2021, from https://www.aircraftsystemstech.com/p/major-structural-stresses.html.

Flight Mechanic. (2021.). Retrieved March 25, 2021, from https://www.flight-mechanic.com/rotary-wing-aircraft-assembly-and-rigging/.

Flightliteracy (2021). Retrieved August 25, 2021, from https://www.flightliteracy.com/retreating-blade-stall-and-ground-resonance/.

Flightliteracy. (2021). Retrieved August 25, 2021, from https://www.flightliteracy.com/hovering-flight-2/.

Goldfieldupc. (2021). Retrieved March 25, 2021, from http://goldfieldupc.com/.

Ground Resonance. (2021). Retrieved January 25, 2021, from http://www.chinook-helicopter.com/Fundamentals_of_Flight/Ground_Resonance/Ground_Resonance.html.

Havkar. (2018). Retrieved January 25, 2021, from http://havkar.com/en/blog/view/how-the-main-gearbox-mgb-of-a-helicopter-works/108.

Helicopter Flying Handbook (FAA-H-8083-21A) (2-8-9), by United States Department of Transportation, 2012, Retrieved January 25, 2021, from www.faa.gov.

Isambardkingdom (2012). Retrieved January 25, 2021, from http://isambardkingdom.com/?attachment_id=537.

Japantimes. (2021). Retrieved June 5, 2021, from https://www.japantimes.co.jp/news/2021/06/03/national/okinawa-helicopter-landing/.

Kawasaki. (2019). Retrieved January 25, 2021, from https://global.kawasaki.com/en/stories/articles/vol80/.

Lavionnaire. (2010.). Retrieved March 25, 2021, from https://www.lavionnaire.fr/VocableWings.php.

Lesics. (2019). Retrieved August 25, 2021, from https://www.lesics.com/how-do-airplanes-fly.html.

Linares J. M. (2013). Retrieved January 25, 2021, from https://www.researchgate.net/figure/Helicopter-main-gearbox-global-view-of-gears_fig1_257890914.

Linkedin (n.d.). Retrieved August 25, 2021, from https://www.linkedin.com/pulse/tracking-balancing-helicopters-part-2-dimitris-vlacho.

Mecholic. (n.d.). Retrieved January 25, 2021, from https://www.mecholic.com/2016/01/centrifugal-clutch-working-applications-advantages.html.

MGR Online. (2 มี.ค. 2556). Retrieved January 25, 2021, from https://mgronline.com/indochina/detail/9560000026309.

Museum Renaissance. (ม.ป.ป.). Retrieved January 25, 2021, from https://sites.google.com/site/museumrenaissance/lexo-nar-do-da-win-chi-leonardo-da-vinci-.

Peltier J. (n.d). Retrieved January 25, 2021, from https://disciplesofflight.com/muscle-memory-mast-bumping-and-low-g/.

Pinterest. (n.d). Retrieved January 25, 2021, from https://www.pinterest.com/pin/497014508860253019/.

Pinterest. (n.d.). Retrieved January 25, 2021, from https://www.pinterest.com.mx/pin/509680882800944303/.

PNGITEM. (n.d). Retrieved August 25, 2021, from https://www.pngitem.com/middle/hxJhhoR_h225m-eurocopter-ec-725-png-transparent-png/.

Researchgate (2019). Retrieved August 25, 2021, from https://www.researchgate.net/figure/The-tail-rotor-driveshaft-is-connected-to-both-the-main-transmission-and-the-tail-rotor_fig2_333565060.

Robinson Helicopter company (2021). Retrieved August 25, 2021, from https://robinsonheli.com/news/robinsons-cockpit-video-camera-now-available/.

Simhq (2009). Retrieved August 25, 2021, from https://www.simhq.com/_air13/air_427a.html.

Skybrary. (2017). Retrieved March 25, 2021, from https://www.skybrary.aero/index.php/Friction_Drag.

Slideshare company. (2017, June 13). Retrieved January 25, 2021, from https://www.slideshare.net/webfinmeccanica/leonardo-aw101-nawsarh-the-superior-solutions.

Slidetodoc. (n.d.). Retrieved March 25, 2021, from https://slidetodoc.com/how-do-helicopters-fly-an-introduction-to-rotor/.

Thaitechnics (2007). Retrieved August 25, 2021, from https://www.thaitechnics.com/helicopter/heli_intro_t.html.

United States Department of Transportation (2012). Aviation Maintenance Technician Handbook—Airframe (Vol.1) (FAA-H-8083-31). Retrieved January 25, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=aYB2h_tUfYM

Wikipedia. (2020). Retrieved January 25, 2021, from https://en.wikipedia.org/wiki/Sprag_clutch.

Wikipedia. (2021). Retrieved August 25, 2021, from https://en.wikipedia.org/wiki/Sikorsky_CH-53E_Super_Stallion.

Wikipedia. (2021). Retrieved January 25, 2021, from https://it.wikipedia.org/wiki/Rotore_(aeronautica).

Wikiwan. (ม.ป.ป.). Retrieved January 25, 2021, from https://www.wikiwand.com/en/Louis_Charles_Breguet.

Yasantha Pathirana. (2011, February 1). Retrieved January 25, 2021, from https://aviamech.blogspot.com/2011/02/airframe-construction-helicopters.html.

YouTube. (2008) Ground Resonance [Video file]. Retrieved February 25, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=6vICf8l-KV0.

YouTube. (2008) Mast bumping - causes and prevention [Video file]. Retrieved February 25, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=_QkOpH2e6tM.

YouTube. (2009) Helicopter aerodynamics: Induced flow [Video file]. Retrieved February 15, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=0f3YDL273XM

YouTube. (2010) AS350 autorotation touchdown [Video file]. Retrieved February 25, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=vLtOO7zqX2k.

YouTube. (2010, December 11) The birth of the bell helicopter (Part 1) [Video file]. Retrieved February 15, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=uir9Engj4v4

YouTube. (2010, November 1) Igor Sikorsky ผู้ประดิษฐ์คิดค้นเฮลิคอปเตอร์ [Video file]. Retrieved from January 25, 2021, https://www.youtube.com/watch?v=ZrGqBDnDd8U.

YouTube. (2010, September 30) AS350 autorotation touchdown [Video file]. Retrieved February 15, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=vLtOO7zqX2k.

YouTube. (2010.) Kamov Ka-50 "Black Shark [Video file]. Retrieved February 15, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=qYWbV9YGdN8.

YouTube. (2011) Dissymmetry of Lift [Video file]. Retrieved February 25, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=Vt46lG1ChEg.

YouTube. (2011) Helicopter Blade Stall [Video file]. Retrieved February 25, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=p4VLhnTZpb8.

YouTube. (2011) Helicopter controls: Swashplate motion [Video file]. Retrieved February 15, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=UVf08JLUmjU.

YouTube. (2011) Helicopter crash footage [Video file]. Retrieved February 25, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=y4sxEOdPYDQ&list=RDCMUCBEOfO2uJJA77fTqB_5zIBg&start_radio=1&rv=y4sxEOdPY.

YouTube. (2011, December 22) Aviation Litigation: Helicopter crash, sprag clutch illustration: Demonstratives: Esi [Video file]. Retrieved February 15, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=3oRZseW0bY8.

YouTube. (2011, February 20) Helicopter gear transmission CATIA V5 [Video file]. Retrieved February 15, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=VAFgqB7frE0.

YouTube. (2012) 206 Rotor tracking [Video file]. Retrieved February 25, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=Vp_kEgrHXIo.

YouTube. (2012) Cambered airfoil in smoke tunnel [Video file]. Retrieved February 15, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=Png0fnG0b_U.

YouTube. (2012) Mil Mi-26 (World's largest helicopter) take off at Budaörs (EW-260TF) [Video file]. Retrieved February 15, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=vuedrmFtli0.

YouTube. (2012, December 21) EC225: Bevel gear vertical shaft process [Video file]. Retrieved February 15, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=oD4jKBOIBwc&t=94s.

YouTube. (2012, January 1) Sprag clutch [Video file]. Retrieved February 15, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=PVMVQy2yKDE.

YouTube. (2012, January 8) Black hawk down: Helicopter scenes, Haunting Theme Music, Soundtrack: Best helicopter Movie scenes [Video file]. Retrieved January 25, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=O36FceRAUwE.

YouTube. (2012.) S-61 Little Henry': World's first ram-jet helicopter [Video file]. Retrieved February 15, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=qs7WlNrHRmA.

YouTube. (2012.) V-22 Osprey Demonstration - Farnborough Airshow [Video file]. Retrieved February 15, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=vglHpvcK-Jk.

YouTube. (2013) “What Is an Airfoil” [Video file]. Retrieved February 15, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=jDiWcV1HOhg.

YouTube. (2013) Aerodynamics: Pressure profile around airfoil [Video file]. Retrieved February 15, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=rCpZpKZLz14

YouTube. (2013) Skin friction drag [Video file]. Retrieved February 15, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=NjX2jL-LrkI.

YouTube. (2013, December 10) Sir George Cayley (1773-1857), the father of flight [Video file]. Retrieved January 25, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=k4gmt4U5NMw.

YouTube. (2013, January 18) What kind of engine does a helicopter have: Helicopter piston powerplants [Video file]. Retrieved January 25, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=7b-4tOVK2g8.

YouTube. (2013, September 28) Blackhawk helicopter pulls rocky mountain climber to safety [Video file]. Retrieved January 25, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=JzDtpQb4nqc.

YouTube. (2014) Blackhawk test hovering [Video file]. Retrieved February 25, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=4MdDZA-LKoQ.

YouTube. (2014) The Physics behind figure skating spins [Video file]. Retrieved February 25, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=0RVyhd3E9hY.

YouTube. (2014) Translating Tendency: 25th UH 1H takeoffs and landings [Video file]. Retrieved February 25, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=CQ8l-2kprQc.

YouTube. (2014, August 6) Cyclic inputs control blade flapping [Video file]. Retrieved February 15, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=Mx7vLB3KP1w.

YouTube. (2014, December 14) Mast Bumping in slow motion [Video file]. Retrieved February 15, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=MNo3VgSe86Y.

YouTube. (2014, January 18) UH-1H Air show วันเด็ก 2014 @ Wing 41 [Video file]. Retrieved January 25, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=ZfqkoA637d8.

YouTube. (2014.) S-61 RAM Jet Helicopter [Video file]. Retrieved February 15, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=qar7yH5Wq1I.

YouTube. (2015) Identifying RC Helicopter low frequency vibrations [Video file]. Retrieved February 25, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=p7XJxe_61EU.

YouTube. (2015, July 24) Focke-Wulf FD-61 Helicopter [Video file]. Retrieved January 25, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=59mxYc-xufk.

YouTube. (2015, September 7) Helicopter water landing [Video file]. Retrieved January 25, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=7g-rFwJwtiw.

YouTube. (2016) Airfoil design [Video file]. Retrieved February 15, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=8fk2J5LtdSg.

YouTube. (2016) Airfoil design [Video file]. Retrieved February 25, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=8fk2J5LtdSg.

YouTube. (2016) Dynamic rollover [Video file]. Retrieved February 25, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=84RScbcF1XI.

YouTube. (2016) Helicopter controls [Video file]. Retrieved February 15, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=PjCvZ4vM0zM.

YouTube. (2016) How do Wings generate lift? [Video file]. Retrieved February 15, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=w78JT6azrZU.

YouTube. (2016) Mi17 Main Rotor track (slow motion) [Video file]. Retrieved February 25, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=IygAMsH-Dq0.

YouTube. (2016, December 3) How wings actually create lift [Video file]. Retrieved January 25, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=YDeQXPNpLeY.

YouTube. (2016, June 6) Aircraft Construction [Video file]. Retrieved January 25, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=H91BtpsSFVI.

YouTube. (2017) Density Altitude effect on lift generation [Video file]. Retrieved February 15, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=5sAAdyMaDL0 .

YouTube. (2017) Lift and velocity [Video file]. Retrieved February 15, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=zTH21XFlnLw.

YouTube. (2017, April 28) AH-64 Apache longbow-How does it work? [Video file]. Retrieved January 25, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=jkH-VqFbcrc.

YouTube. (2017, February 28) Understanding planetary gear set [Video file]. Retrieved February 15, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=ARd-Om2VyiE.

YouTube. (2017, September 30) Understanding Helicopter's Engine: Turboshaft [Video file]. Retrieved January 25, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=uVjStAxMFEY&t=4s.

YouTube. (2018) [X-Plane 11] Retreating blade stall compilation [Video file]. Retrieved February 25, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=ofMUTHTUaYs.

YouTube. (2018) Centripetal and centrifugal force [Video file]. Retrieved February 15, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=Ajk352yc_Cs.

YouTube. (2018, Aprill 24) Helicopter emergency landings [Video file]. Retrieved February 15, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=AoIJOFikFz4.

YouTube. (2018, February 20) Gearbox Kea King helicopter slow motion [Video file]. Retrieved February 15, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=PgPONBCTwzw.

YouTube. (2018, January 8) El origen del Autogiro - Juan De La Cierva [Video file]. Retrieved January 25, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=gYzYsZbEc1s.

YouTube. (2018, October 16) Skilled helicopter pilot chinook CH-46 [Video file]. Retrieved January 25, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=VNXT8WLlrWc.

YouTube. (2019) 702, Mil Mi-17 helicopter demo flight [Video file]. Retrieved February 15, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=Ycep_gylxIA.

YouTube. (2019) Aerodynamics of flight [Video file]. Retrieved February 25, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=1l4VMo_EJmM.

YouTube. (2019) Flying Basics: How "Ground Effect" affects helicopters in DCS world [Video file]. Retrieved February 25, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=ptCwT9uXWzE&t=2s.

YouTube. (2019) Helicopter flight controls: The collective [Video file]. Retrieved February 15, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=kDqUnirx4Gc.

YouTube. (2019) Helicopter flight controls: The cyclic [Video file]. Retrieved February 15, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=ZcqrPXgEWM0.

YouTube. (2019) Helicopter flight controls: The Pedals [Video file]. Retrieved February 15, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=ohU6LssRgLY.

YouTube. (2019) Vortex Ring State vuichard recovery technique settling with power [Video file]. Retrieved February 25, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=Y87SIuCDtSc.

YouTube. (2019, August 24) EC225: Helicopter transmission: Smart mechanicals [Video file]. Retrieved February 15, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=445s0IBUvLw.

YouTube. (2019, June 10) Berliner helicopter [Video file]. Retrieved January 25, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=i3uzfX7zHGE.

YouTube. (2019, June 18) Helicopter main rotor blade in flight slow motion [Video file]. Retrieved February 15, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=Pu48f7s5Ru8.

YouTube. (2019, November 17) 04 Bevel gears types and terminology [Video file]. Retrieved February 15, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=_zurJyO3mbM.

YouTube. (2020) ARMA 3: Retreating blade stall (advanced flight model) [Video file]. Retrieved February 25, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=9d-4WQC7LF8.

YouTube. (2020) Bell 412 settling with power [Video file]. Retrieved February 25, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=od693muxeIk.

YouTube. (2020) Formulae: Force & Motion: Physics: Fuse school [Video file]. Retrieved February 15, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=F_XlATPLvac.

YouTube. (2020) Helicopters self-destruction by oscillations and vibration: What is Ground resonance? [Video file]. Retrieved February 25, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=SPHoumJvVtQ.

YouTube. (2020) Induced drag: Pilot tutorial [Video file]. Retrieved February 15, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=e3yD3QEh96o.

YouTube. (2020) Mast bumping [Video file]. Retrieved February 25, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=e46ctL4UNiM.

YouTube. (2020) Slope landing helicopter student first lesson cabri g2 [Video file]. Retrieved February 25, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=3ftjNbzzrY8.

YouTube. (2020) The magic sauce that makes a helicopter work [Video file]. Retrieved February 15, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=z1mGeyYzanc.

YouTube. (2020) Weight, force, mass & gravity: Forces & Motion: Physics: FuseSchool [Video file]. Retrieved February 15, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=U78NOo-oxOY.

YouTube. (2020) Why helicopters get ground resonance [Video file]. Retrieved February 25, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=Lz1WflrSPEg.

YouTube. (2020, January 13) Paul Cornu Helicopter [Video file]. Retrieved January 25, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=PGoR8_xa-pg.

YouTube. (2020, January 15) สุดยอดนักคิดพลิกโลก #1 ดาวินชี่ กายวิภาคศาสตร์ [Video file]. Retrieved January 25, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=DQkw2NzCr5c.

YouTube. (2020, July 1) How does a Centrifugal clutch work: Skill-Lync [Video file]. Retrieved February 15, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=p_BbHxCpJiM.

YouTube. (2020, November 24) Turboshaft engine theory [Video file]. Retrieved January 25, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=j5IsrgZq9Mw.

YouTube. (2020, October 20) George de Bothezat's new helicopter (1923) [Video file]. Retrieved January 25, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=v-dGvysalZM.

YouTube. (2020, September 24) Magnetic chip detectors [Video file]. Retrieved February 15, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=Ua6VlnYMTgQ.

YouTube. (2021) Fully Articulated and Semi-Rigid rotor systems [Video file]. Retrieved February 25, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=MnzVepo7KaE.

YouTube. (2021) Torque effect on helicopters [Video file]. Retrieved February 25, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=XQiz6a8x9rE.

YouTube. (2021) Translating Tendency: Why helicopters drift in a hover [Video file]. Retrieved February 25, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=17_FzAuoeWw.

YouTube. (2021) Understanding aerodynamic drag [Video file]. Retrieved February 15, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=GMmNKUlXXDs.

YouTube. (2021, April 1) How to Model a helicopter in fusion 360: Tutorial 2 - Fuselage | Step-by-Step [Video file]. Retrieved January 25, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=H91BtpsSFVI.

YouTube. (2021, February 6) Loading massive payloads into US CH-47 Helicopter [Video file]. Retrieved January 25, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=gnEMXElcypY.

YouTube. (2021, January 13) Hook to a helicopter hovering over your head: U.S. Army [Video file]. Retrieved January 25, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=H747DL_q-I8.

YouTube. (2021, June 6) Helicopter transmission | Smart Mechanicals [Video file]. Retrieved June 15, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=n7U8bqc58n0.

YouTube. (n.d.) Collective pitch control lever [Video file]. Retrieved February 15, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=vqFfJ-ubaoM.

YouTube. (n.d.) Huey helicopter drivetrain display [Video file]. Retrieved June 15, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=fELVG8PXvJE.

YouTube. (n.d.) S-61 Sea King Rotor Head Animation [Video file]. Retrieved February 15, 2021, from https://www.youtube.com/watch?v=83h6QK-oJ4M.

ภาคผนวก

ตำราศึกษาเพิ่มเติม

ตำราเฮลิคอปเตอร์ กองวิทยาการ กรมช่างอากาศ

หรือเข้าตามลิงค์

https://drive.google.com/file/d/1yx3-BZez7XKBtpw1tKHrutmD7xRWAWmX/view?usp=sharing

FAA-H-8083-21 Rotorcraft Flying Handbook

หรือเข้าตามลิงค์

https://drive.google.com/file/d/1Tg7mxDFl4QOcS0bzcqZmCZVKMpY8Z19e/view?usp=sharing

ประวัติย่อของผู้เรียบเรียง

ชื่อ – สกุล	เรืออากาศเอกชัยภรณ์ โคตรเวียง
วัน เดือน ปีเกิด	วันพฤหัสบดีที่ 8 พฤษภาคม พ.ศ. 2518
สถานที่เกิด	บ้านเลขที่ 83 หมู่ 5 บ้านดอนแคน ต.ศรีโคตร อ.จตุรพักตรพิมาน จ.ร้อยเอ็ด
การศึกษา	
พ.ศ. 2550	รัฐศาสตรบัณฑิต แขนงวิชาทฤษฎีและเทคนิคทางรัฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
พ.ศ. 2560	คุรุศาสตรมหาบัณฑิต การบริหารการศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
ตำแหน่ง	ครูแผนกวิชาช่างอากาศ กองการศึกษา โรงเรียนจ่าอากาศ
สถานที่ทำงาน	โรงเรียนจ่าอากาศ กรมยุทธศึกษาทหารอากาศ เลขที่ 171/1 หมู่ที่ 10 แขวงสนามบิน เขตดอนเมือง จังหวัดกรุงเทพมหานคร