



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมการบินและอวกาศ)

ปริญญา

วิศวกรรมการบินและอวกาศ

วิศวกรรมการบินและอวกาศ

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง แบบจำลองนิเวศวิทยาสำหรับการซ่อมบำรุงตามสภาพของอากาศยาน
AIRBUS A320 กรณีศึกษา: สายการบินไทยแอร์เอเชีย

Neuro-Fuzzy Model for Condition Based Maintenance of Airbus A320
A Case Study of Thai Air Asia Airline

นามผู้วิจัย นายเกรียงศักดิ์ จันทะแสง

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

(อาจารย์มนต์ชัย สุระรัตน์ชัย, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์ศานติ วิริยะวิทย์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

แบบจำลองนิวโรฟัซซีสำหรับการซ่อมบำรุงตามสภาพของอากาศยาน

AIRBUS A320 กรณีศึกษา: สายการบินไทยแอร์เอเชีย

Neuro-Fuzzy Model for Condition Based Maintenance of Airbus A320

A Case Study of Thai AirAsia Airline

โดย

นายเกรียงศักดิ์ จุ้นแสง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมการบินและอวกาศ)

พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เกรียงศักดิ์ จุ้นแสง 2553: แบบจำลองนิวโรฟซ์สำหรับการซ่อมบำรุงตามสภาพของ
อากาศยาน AIRBUS A320 กรณีศึกษา: สายการบินไทยแอร์เอเชีย วิทยาลัยวิศวกรรม
ศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมการบินและอวกาศ) สาขาวิศวกรรมการบินและอวกาศ
ภาควิชาวิศวกรรมการบินและอวกาศ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
อาจารย์มนต์ชัย สุระรัตน์ชัย, Ph.D. 82 หน้า

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำหลักการแบบจำลองนิวโรฟซ์สำหรับการซ่อมบำรุงตามสภาพ (CBM) มาประยุกต์ใช้กับการซ่อมบำรุงรักษาอากาศยาน AIRBUS A320 เนื่องจากแบบจำลองนิวโรฟซ์สำหรับการบำรุงรักษาตามสภาพ เป็นกระบวนการที่ช่วยตัดสินใจในการเลือกรูปแบบการบำรุงรักษาที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด โดยพิจารณาจากระดับความรุนแรงที่เกิดเนื่องจากระบบอากาศยานหรืออุปกรณ์ของอากาศยานไม่ทำงานตามหน้าที่ เพื่อลำดับความต้องการในการบำรุงรักษาและจัดแผนการบำรุงรักษาที่เหมาะสมสำหรับอากาศยาน เพื่อให้ระบบนั้นสามารถทำงานได้ตามปกติ

โดยงานวิจัยนี้ได้นำแบบจำลองนิวโรฟซ์สำหรับการซ่อมบำรุงตามสภาพ (CBM) มาประยุกต์ใช้กับการบำรุงรักษากับอากาศยานตัวอย่างคือ อากาศยานแบบ AIRBUS A320 ของสายการบิน ไทย แอร์เอเชีย โดยอาศัยข้อมูลเหตุการณ์การขัดข้องของระบบอากาศยาน ข้อมูลที่ได้จากการบันทึกข้อขัดข้องของอากาศยานแต่ละเที่ยวบิน ข้อมูลด้านการบำรุงรักษาและงบประมาณด้านการบำรุงรักษา ซึ่งผลที่ได้รับจากการนำแบบจำลองนิวโรฟซ์สำหรับการบำรุงรักษาแบบการซ่อมบำรุงตามสภาพ (CBM) มาประยุกต์ใช้ คือ สามารถตัดสินใจและวางแผนการบำรุงรักษาระบบอากาศยานที่เหมาะสม และมีการเปรียบเทียบระหว่างการบำรุงรักษาแบบที่ใช้อยู่เดิมกับการบำรุงรักษาแบบการซ่อมบำรุงตามสภาพ (CBM) โดยหลักการแบบจำลองนิวโรฟซ์ ซึ่งในอนาคตสามารถนำการบำรุงรักษาระบบอากาศยานแบบการซ่อมบำรุงตามสภาพโดยหลักการแบบจำลองนิวโรฟซ์ที่ได้นี้ไปปรับใช้กับอากาศยานอื่น เพื่อนำไปใช้ในการวางแผนการซ่อมบำรุงอากาศยานอย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

Kriengsak Junseng 2010: Neuro-Fuzzy Model for Condition Based Maintenance of Airbus A320: A Case Study of Thai AirAsia Airline. Master of Engineering (Aerospace Engineering), Major Field: Aerospace Engineering, Department of Aerospace Engineering. Thesis Advisor: Mr. Monchai Surarattanachai, Ph.D. 82 pages.

In this thesis, Neuro-Fuzzy Model for Condition Based Maintenance (CBM) is applied to the Airbus A320 aircraft maintenance program at Thai AirAsia Airline. The Neuro-Fuzzy model for CBM is a decision making method to select the most effective maintenance program. The maintenance activities and schedules are prioritized based on the severity of failure(s).

Derived requirements based on rules and regulations from aviation agencies, failure class, aircraft system (ATA chapter) and phase of failure are introduced as inputs to Neuro -Fuzzy model to developed this new aircraft maintenance program. Interruption records, equipment defects histories, outage and maintenance costs are used as comparable factors to the program, which currently used at Thai AirAsia Airline. The result shows that the cost of maintenance is significantly reduced by the use of the Neuro-Fuzzy model. In addition, the Neuro-Fuzzy model for CBM developed in this thesis could be further applied to other utilities of the maintenance department in other airlines as well.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร. มนต์ชัย สุระรัตนชัย อาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์หลัก ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ ช่วยเหลือ และแก้ไขปัญหาวิตถยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบพระคุณ ประธาน การสอบ อาจารย์ ประสาทพร วงศ์คำช้าง ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกที่กรุณาช่วยแนะนำ และแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาภาควิชาวิศวกรรมการบินทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและ มอบความรู้อันเป็นประโยชน์เพื่อไปใช้ในอนาคต ขอขอบคุณพี่ๆ น้องๆ ในโครงการที่ช่วยพัฒนา ความชำนาญด้านการบินที่สนับสนุนและให้คำแนะนำในการเขียนวิทยานิพนธ์ ฉบับนี้ จนสำเร็จ ขอขอบคุณพนักงานแผนกปฏิบัติการและบำรุงรักษา รวมไปถึงพนักงานที่เกี่ยวข้องของบริษัท ไทย แอร์ เอเชีย ที่มีส่วนสำคัญในด้านข้อมูลที่ใช้ ในวิทยานิพนธ์ ฉบับนี้ และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชา วิศวกรรมการบิน ทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่างๆ

ขอขอบคุณครอบครัวของข้าพเจ้า สำหรับการอบรม กำลังใจ และการสนับสนุนที่ดีมาโดยตลอด

เกรียงศักดิ์ จุ่นแสง

เมษายน 2553

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	39
อุปกรณ์	39
วิธีการ	39
ผลและวิจารณ์	63
ผล	63
วิจารณ์	75
สรุปและขอเสนอแนะ	79
สรุป	79
ข้อเสนอแนะ	80
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	81
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	82

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1	สรุปข้อดีและข้อเสียของวิธีการวิเคราะห์
2	ตัวอย่างข้อมูลชนิดอุปกรณ์และรูปแบบความเสียหาย
3	ตัวอย่างข้อมูลความสูญเสียและจำนวนผู้โดยสารที่ได้รับผลกระทบเมื่อเกิด เหตุการณ์ระบบ หรืออุปกรณ์อากาศยานขัดข้อง
4	การจัดระดับผลกระทบตาม CLASS
5	ตัวอย่างการจัดระดับผลกระทบตาม ATA Chapter
6	ตัวอย่างการจัดระดับผลกระทบตาม Phase
7	แสดงตัวอย่างข้อมูลรูปแบบความเสียหาย ซึ่งใช้การหาโดยวิธี Fuzzy Logic
8	ค่าน้ำหนักของ Failure Message
9	Rule Base
10	การทำ Inference ของ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก
11	การกำหนดระดับความรุนแรงของแต่ละรูปแบบความเสียหาย
12	ตัวอย่างข้อมูลสาเหตุความเสียหาย
13	ตัวอย่างข้อมูลรายละเอียดเพิ่มเติม
14	ตัวอย่างความถี่กิจกรรมการบำรุงรักษา
15	ตัวอย่างแบบประเมินเกี่ยวกับการลงทุนด้านการบำรุงรักษาแบบป้องกัน
16	ชนิดอุปกรณ์และรูปแบบความเสียหาย
17	การจัดระดับผลกระทบของแต่ละรูปแบบความเสียหาย
18	การจัดระดับน้ำหนักของแต่ละรูปแบบความเสียหาย
19	การกำหนดระดับความรุนแรงของแต่ละรูปแบบความเสียหาย
20	สาเหตุของแต่ละความเสียหายของอากาศยาน
21	การระบุกิจกรรมการบำรุงรักษาแบบป้องกันของแต่ละรูปแบบความเสียหาย
22	แบบประเมินเกี่ยวกับความถี่ของกิจกรรมการบำรุงรักษา
23	การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายและความคุ้มค่าของทุกกิจกรรมการบำรุงรักษา
24	การเปรียบเทียบงบประมาณการบำรุงรักษาแบบป้องกันของแต่ละแผนงาน
25	การเปรียบเทียบแผนงานบำรุงรักษาแบบใช้การบำรุงรักษาตามสภาพกับแผนงาน บำรุงรักษาเดิม
26	แผนงานบำรุงรักษาสุดท้าย

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	รูปแบบการบำรุงรักษาแบบปรับปรุง	4
2	รูปแบบการบำรุงรักษาแบบป้องกัน	5
3	รูปแบบการบำรุงรักษาแบบแก้ไข	7
4	กระบวนการของการบำรุงรักษาแบบใช้การบำรุงรักษาตามสภาพ	10
5	แผนผังการเลือกรูปแบบของการบำรุงรักษา	19
6	แสดง Model ของ Neuron ในสมองมนุษย์	21
7	Model ของ Neuron ในคอมพิวเตอร์	22
8	แสดงการแยกแยะระหว่างสี่เหลี่ยมและสามเหลี่ยม	23
9	แสดงโครงสร้างวงจร Neural Network	24
10	propagation neural network	25
11	การเรียนรู้แบบมีการสอน (Supervised Learning)	26
12	แสดงแสดงการเรียนรู้แบบไม่มีการสอน Unsupervised Learning	26
13	แสดงสถาปัตยกรรมของ Feedforward network	27
14	โครงสร้างของ Perceptrons	29
15	ความไม่แน่นอน	33
16	โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซี่	36
17	ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซี่	37
18	กระบวนการของการบำรุงรักษาแบบใช้การบำรุงรักษาตามสภาพ	40
19	โปรแกรมการจัดเก็บข้อขัดข้องอากาศยานจากข้อมูล PFR	41
20	ขั้นตอนในการกำหนดรูปแบบความเสียหายของระบบ	42
21	ระดับผลกระทบตาม CLASS	44
22	ช่วงการบิน PHASE	46
23	ระดับการเตือนโดยวิธี Neuro-Fuzzy	50
24	ค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิก	51
25	การปรับค่าของน้ำหนักของ Failure Message	55
26	ขั้นตอนในการกำหนดระดับความรุนแรงของแต่ละรูปแบบความเสียหาย	57
27	ตัวอย่างการเคราะห์โดยใช้แบบจำลองนิวโรฟัซซี่	76
28	กราฟเปรียบเทียบการบำรุงรักษาแบบแบบจำลองนิวโรฟัซซี่กับการบำรุงรักษาเดิม	77

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ABCU	=	Alternate Braking Control Unit
ACMM	=	Abbreviated Component Maintenance Manual
ACMS	=	Aircraft Condition Monitoring System
ACSC	=	Air Conditioning System Controller
ADF	=	Automatic Direction Finder
AEVC	=	Avionics Equipment Ventilation Computer
AFS	=	Automatic Flight System
AGC	=	Automatic Gain Control
AIM	=	Aircraft Integrated Maintenance
AIP	=	Attendant Indication Panel
ALTN	=	Alternate, Alternative
AMM	=	Aircraft Maintenance Manual
AMU	=	Audio Management Unit
APPU	=	Asymmetry Position Pick Off Unit
APU	=	Auxiliary Power Unit
ASIC	=	Application Specific Integrated Circuits
ASM	=	Aircraft Schematics Manual
ASP	=	Audio Selector Panel
ATA	=	Air Transport Association of America
ATE	=	Automatic Test Equipment
ATSU	=	Air Traffic Service Unit
AWM	=	Aircraft Wiring Manual
BCD	=	Binary Coded Decimal
BCL	=	Battery Charge Limiter
BFO	=	Beat Frequency Oscillator
BITE	=	Built-in Test Equipment
BMC	=	Bleed Monitoring Computer
BSCS	=	Braking and Steering Control System

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

BSCU	=	Braking/Steering Control Unit
CDU	=	Control and Display Unit
CFDIU	=	Centralized Fault Display Interface Unit
CFDS	=	Centralized Fault Display System
CFRP	=	Carbon Fiber Reinforced Plastic
CGCS	=	Center of Gravity Control System
CIDS	=	Cabin Intercommunication Data System
CLG	=	Centerline Landing Gear
CBM	=	Condition Base maintenance
CM	=	Corrective maintenance
CMC	=	Central Maintenance Computer
CMM	=	Component Maintenance Manual
CMS	=	Central Maintenance System
COND	=	Conditioned, Conditioning
CPC	=	Cabin Pressure Controller
CPMS	=	Cabin and Passenger Management System
CPMU	=	Cabin Passenger Management Unit
CPU	=	Central Processing Unit
CRC	=	Continuous Repetitive Chime
CSD	=	Constant Speed Drive
CUDU	=	Current Unbalance Detection Unit
CVR	=	Cockpit Voice Recorder
D/D	=	Engine Out Drift Down Point
D/O	=	Description and Operation
DAC	=	Digital to Analog Converter
DAR	=	Digital ACMS Recorder
DET	=	Detection, Detector
DEU	=	Decoder/Encoder Unit

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

DFDR	=	Digital Flight Data Recorder
DIR	=	Direction, Direct, Director
DISC	=	Disconnect, Disconnected
ECAM	=	Electronic Centralized Aircraft Monitoring
ECB	=	Electronic Control Box (APU)
ECM	=	Engine Condition Monitoring
ECMU	=	Electrical Contactor Management Unit
ECS	=	Environmental Control System
ECU	=	Electronic Control Unit
EEC	=	Electronic Engine Control
EFCS	=	Electrical Flight Control System
EFF	=	Effective, Effectivity
EFIS	=	Electronic Flight Instrument System
EGIU	=	Electrical Generation Interface Unit
EGT	=	Exhaust Gas Temperature
EIS	=	Electronic Instrument System
EIU	=	Engine Interface Unit
ELEC	=	Electric, Electrical, Electricity
ELEV	=	Elevation, Elevator
EMI	=	Electromagnetic Interference
EMM	=	Enhanced Maintaining and Manufacturing
EPC	=	External Power Contactor
EPGS	=	Electrical Power Generation System
EPR	=	Engine Pressure Ratio
EPSU	=	Emergency Power Supply Unit
ETA	=	Estimated Time of Arrival
ETE	=	Estimated Time en Route
EV	=	Effective Value

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

EWD	=	Engine/Warning Display
FAC	=	Flight Augmentation Computer
FADEC	=	Full Authority Digital Engine Control
FAP	=	Forward Attendant Panel
FCDC	=	Flight Control Data Concentrator
FCMS	=	Fuel Control Monitoring System
FCOM	=	Flight Crew Operating Manual
FCPC	=	Flight Control Primary Computer
FCSC	=	Flight Control Secondary Computer
FMS	=	Flight Management System
FMV	=	Fuel Metering Valve
FPPU	=	Feedback Position Pick-off Unit
FQI	=	Fuel Quantity Indicating/Indication/Indicator
FRU	=	Frequency Reference Unit
FWC	=	Flight Warning Computer
FWS	=	Flight Warning System
GAPCU	=	Ground Auxiliary Power Control Unit
GCR	=	Generator Control Relay
GCU	=	Generator Control Unit
GLC	=	Generator Line Contactor
GLR	=	Generator Line Relay
GMT	=	Greenwich Mean Time
GPCU	=	Ground Power Control Unit
GPS	=	Global Positioning System
GPWC	=	Ground Proximity Warning Computer
GPWS	=	Ground Proximity Warning System
GRP	=	Geographic Reference Point
GRU	=	Ground Refrigeration Unit

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

GSE	=	Ground Support Equipment
HCU	=	Hydraulic Control Unit
HG	=	High on ground
HLAC	=	High Level Alternating Current Voltage
HLDC	=	High Level Direct Current Voltage
HMU	=	Hydromechanical Unit
HPC	=	High Pressure Compressor
HPT	=	High Pressure Turbine
HPTACC	=	High Pressure Turbine Active Clearance Control
HSI	=	Horizontal Situation Indicator
HSMU	=	Hydraulic System Monitoring Unit
HUDD	=	Head Up Display Computer
IAE	=	International Aero Engines
IDENT	=	Identification, Identifier, Identify
IDG	=	Integrated Drive Generator
ILS	=	Instrument Landing System (LOC and G/S)
INHIB	=	Inhibition, Inhibit, Inhibited
INTRG	=	Interrogate, Interrogator
IPC	=	Illustrated Parts Catalog
IPPU	=	Instrumentation Position Pick-off Unit
IRS	=	Inertial Reference System
ISA	=	International Standard Atmosphere
ISO	=	International Standardization Organisation
IVS	=	Inertial Vertical Speed
JAR	=	Joint Airworthiness Requirements
LCD	=	Liquid Crystal Display
LCIT	=	Load Compressor Inlet Temperature
LED	=	Light Emitting Diode

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

LGCIU	=	Landing Gear Control and Interface Unit
LG	=	Low on ground
LLDC	=	Low Level Direct Current Voltage
LMS	=	Leakage Measurement System
LPT	=	Low Pressure Turbine
LPTACC	=	Low Pressure Turbine Active Clearance Control
LRU	=	Line Replaceable Unit
LSB	=	Least Significant Bit
LSI	=	Large Scale Integration
LVDT	=	Linear Variable Differential Transducer
MAC	=	Mean Aerodynamic Chord
MCDU	=	Multipurpose Control & Display Unit
MCT	=	Maximum Continuous Thrust
MCU	=	Modular Concept Unit
MDA	=	Minimum Descent Altitude
MDDU	=	Multipurpose Disk Drive Unit
MG	=	Medium on ground
MKR	=	Marker (radio) Beacon
MLA	=	Maneuver Load Alleviation
MLI	=	Magnetic Level Indicator
MLS	=	Microwave Landing System
MLW	=	Maximum Design Landing Weight
MMEL	=	Master Minimum Equipment List
MMO	=	Maximum Operating Mach
MMR	=	Multi Mode Receiver
MORA	=	Minimum Off Route Altitude
MPD	=	Maintenance Planning Document
MSA	=	Minimum Safe Altitude

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

MSB	=	Most Significant Bit
MSU	=	Mode Selector Unit (IRS)
MTBF	=	Mean Time Between Failure
MUX	=	Multiplex, Multiplexer
MZFW	=	Maximum Design Zero Fuel Weight
N/WS	=	Nose Wheel Steering
NAS	=	Navy and Army Standard
NBPT	=	No Break Power Transfer
NDB	=	Non-Directional Beacon
NMI	=	Non Maskable Interrupt
NVM	=	Non-Volatile Memory
OAT	=	Outside Air Temperature
OBRM	=	On Board Replaceable Module
OIT	=	Oil Inlet Temperature
OMS	=	Onboard Maintenance System
OOT	=	Oil Outlet Temperature
PATS	=	Passenger Air-to-Ground Telephone System
PCB	=	Printed Circuit Board
PCM	=	Pulse Code Modulation
PCU	=	Passenger Control Unit
PES	=	Passenger Entertainment (System)
PFD	=	Primary Flight Display
PHC	=	Probe Heat Computer
PIU	=	Passenger Information Unit
PM	=	Preventive Maintenance
PMA	=	Permanent Magnet Alternator
PMG	=	Permanent Magnet Generator
POR	=	Point of Regulation

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

PRAM	=	Prerecorded Announcement and Music
PROM	=	Programmable Read Only Memory
PSCU	=	Proximity Switch Control Unit
PSDU	=	Power Supply Decoupling Unit
PSI	=	Pound per Square Inch
PSS	=	Passenger Services System
PSU	=	Passenger Service Unit
PTC	=	Positive Temperature Coefficient
PVI	=	Paravisual Indicating
PVIS	=	Passenger Visual Information System
QAD	=	Quick-Attach-Detach
QAR	=	Quick Access Recorder
QAT	=	Quadruple ARINC Transmitter
QEC	=	Quick Engine Change
QFE	=	Field Elevation Atmospheric Pressure
QNE	=	Sea Level Standard Atmosphere Pressure
QNH	=	Sea Level Atmospheric Pressure
RAC	=	Rotor Active Clearance
RACC	=	Rotor Active Clearance Control
RAM	=	Random Access Memory
RCC	=	Remote Charge Converter
RCCB	=	Remote Control Circuit Breaker
RLA	=	Reverser Lever Angle
RLS	=	Remote Light Sensor
RMP	=	Radio Management Panel
RPCU	=	Residual Pressure Control Unit
RPM	=	Revolution per Minute
RVDT	=	Rotary Variable Differential Transducer

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

RVR	=	Runway Visual Range
SAT	=	Static Air Temperature
SDAC	=	System Data Acquisition Concentrator
SDCU	=	Smoke Detection Control Unit
SDN	=	System Description Note
SEB	=	Seat Electronic Box
SH	=	Safety and High
SFCC	=	Slat Flap Control Computer
SIC	=	System Isolation Contactor
SID	=	Standard Instrument Departure
SRU	=	Shop Replaceable Unit
SSEC	=	Static Source Error Correction
SSTU	=	Side Stick Transducer Unit
STAR	=	Standard Terminal Arrival Route
T2CAS	=	Traffic and Terrain Collision Avoidance System
TAT	=	Total Air Temperature
TCAS	=	Traffic Alert and Collision Avoidance System
TCC	=	Turbine Case Cooling
TDS	=	Technical Data Sheet
TEC	=	Turbine Exhaust Case
TFU	=	Technical Follow-Up
THS	=	Trimmable Horizontal Stabilizer
TIT	=	Turbine Inlet Temperature
TLA	=	Throttle Lever Angle
TLU	=	Travel Limitation Unit
TRA	=	Throttle Resolver Angle
VHF	=	Very High Frequency
VLE	=	Maximum Landing Gear Extended Speed

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

VLO	=	Maximum Landing Gear Operating Speed
VLS	=	Lower Selectable Speed
VMO	=	Maximum Operating Speed
VOR	=	VHF Omnidirectional Range
VRS	=	V2500 Repair Scheme
VSC	=	Vacuum System Controller
VSV	=	Variable Stator Vane
WBC	=	Weight & Balance Computer
WBS	=	Weight and Balance System
WHC	=	Window Heat Computer

แบบจำลองนิวโรฟัซซี่สำหรับการซ่อมบำรุงตามสภาพของอากาศยาน AIRBUS A320

กรณีศึกษา : สายการบิน ไทยแอร์เอเชีย

Neuro-Fuzzy Model for Condition Based Maintenance of Airbus A320

A Case Study of Thai AirAsia Airline

คำนำ

การซ่อมบำรุงอากาศยานนั้นเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง ที่จะทำให้อากาศยานสามารถทำการบิน โดยมีความสมควรเดินอากาศอยู่ตลอดเวลา ทั้งนี้การที่จะทำให้การซ่อมบำรุงอากาศยานเป็นไปตามแผนที่กำหนดนั้น เครื่องมือที่ใช้ในการวางแผนต้องมีความถูกต้องและความแม่นยำสูง อีกทั้งต้องมีประสิทธิภาพมากที่สุดเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด กล่าวคือให้อากาศยานมีความพร้อมใช้งาน (Availability) มากที่สุด โดยมีค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงน้อยที่สุด

การซ่อมบำรุงอากาศยานนั้นถือว่าเป็นงานที่ซับซ้อนยุ่งยากซึ่งเป็นการผสมผสานในหลายๆ ด้าน คือ ด้านเศรษฐกิจ ด้านกายภาพ ด้านกฎหมาย ด้านเทคนิค ด้านบริการ และนโยบายของสายการบิน โดยเฉพาะในปัจจุบันการบินได้เปิดเสรีมากขึ้น สายการบินจำเป็นต้องปรับปรุงการดำเนินการเพื่อรับการเปลี่ยนแปลงหลังการยกเลิกการผูกขาดทางการบิน และผลจากการแข่งขันกันอย่างดุเดือดของสายการบินต่างๆ โดยเฉพาะการลดราคาตั๋วโดยสารที่เป็นวิธีการที่สายการบินหลายๆ แห่งนำมาใช้เพื่อดึงดูดให้มีจำนวนผู้โดยสารมากขึ้น สิ่งเหล่านี้ได้สร้างแรงกดดันให้สายการบินต่างๆ ใส่ใจในการควบคุมค่าใช้จ่าย และทรัพยากรบุคคลมากขึ้น โดยเฉพาะในส่วนของการซ่อมบำรุงที่ถือว่าเป็นส่วนที่สายการบินนั้นจะสามารถควบคุมได้มากกว่าค่าใช้จ่ายในส่วนอื่นๆ กล่าวโดยสรุปการการซ่อมบำรุงที่ดีจะต้องให้มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์และเป้าหมายของสายการบิน ทั้งด้านการปฏิบัติการบิน ด้านคุณภาพ และที่สำคัญที่สุดคือการรักษาให้อากาศยานสามารถปฏิบัติการบินโดยมีความปลอดภัยตามเกณฑ์มาตรฐาน หรือที่เรียกกันว่าความต่อเนื่องในความสมควรเดินอากาศ (Continuing Airworthiness) โดยให้มีค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดเพื่อรักษาความสามารถในการแข่งขันในอุตสาหกรรมการบิน สิ่งที่กำลังกล่าวมานี้ทำให้ปัญหาในการซ่อมบำรุง

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเพิ่มขีดความสามารถและลดภาระงานในการตรวจสอบอากาศยานของแผนกวางแผน และแผนปฏิบัติการซ่อมบำรุง
2. พัฒนาระบบการบำรุงรักษาอากาศยาน โดยอาศัยหลักการของการบำรุงรักษาตามสภาพ (Condition-Based Maintenance : CBM)
3. เพื่อนำผลการวิจัยที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับระบบการซ่อมบำรุงของสายการบิน

การตรวจเอกสาร

การซ่อมบำรุงอากาศยาน

องค์การบริการการบินพลเรือนแห่งชาติสหรัฐอเมริกา(2552) นิยามความหมายของ “การซ่อมบำรุง” หรือ “การบำรุงรักษา” คือ การตรวจตราอย่างละเอียดแล้วซ่อมแซมปรับปรุงใหม่ การฟื้นฟู การรักษา การดูแลในแต่ละส่วน แม้ว่าการซ่อมบำรุงจะไม่สามารถทำให้อากาศยานมีความสมบูรณ์ทั้งหมด แต่อย่างน้อยที่สุดจะต้องอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดได้

เป้าหมายในการซ่อมบำรุง

การซ่อมบำรุงอากาศยานมีเพื่อให้อากาศยานสามารถปฏิบัติงานได้และมีความปลอดภัยในการใช้งาน ซึ่งเราเรียกว่า “Airworthy” หรือความสมควรเดินอากาศ ทั้งนี้ระบบและวิธีการซ่อมบำรุงอากาศยานสากลในปัจจุบันมีเป้าหมายหลักเพื่อ

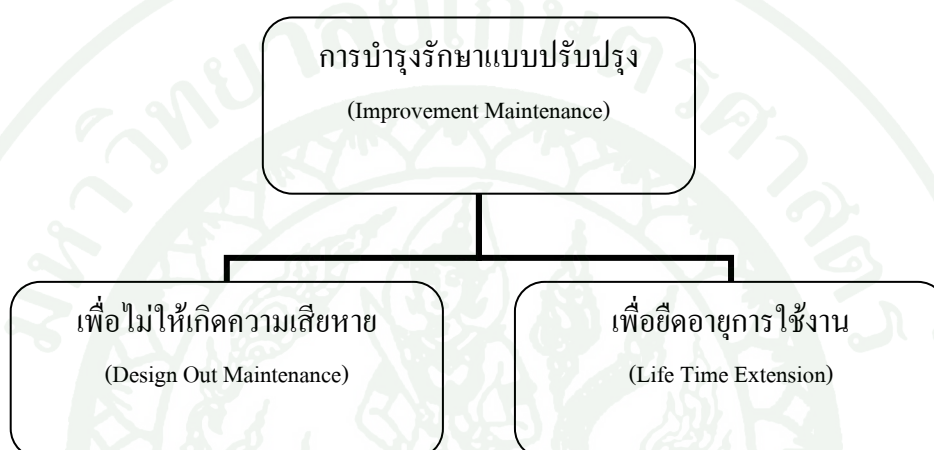
1. ทำให้แน่ใจว่ามีการใช้เครื่องมืออุปกรณ์อย่างคุ้มค่า
2. ซ่อมชิ้นใหม่โดยให้เกิดความเสื่อมน้อยที่สุดเท่าที่ทำได้
3. ใช้ข้อมูลที่เหมาะสมเพื่อบรรลุและได้ผลที่ดีที่สุดในการซ่อมบำรุง
4. ใช้ข้อมูลที่เหมาะสมเพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องบินให้ดีขึ้น
5. ได้รับผลสำเร็จในการลดค่าใช้จ่ายทั้งเรื่องการซ่อมและอื่นๆ

รูปแบบการบำรุงรักษาสามารถแบ่งตามกิจกรรมที่ดำเนินการเพื่อให้ระบบทำงานได้ตามกำหนด ดังนี้

1. การบำรุงรักษาแบบปรับปรุง (Improvement Maintenance – IM)
2. การบำรุงรักษาแบบป้องกัน (Preventive Maintenance – PM)
3. การบำรุงรักษาแบบแก้ไข (Corrective Maintenance – CM)

1. การบำรุงรักษาแบบปรับปรุง (Improvement Maintenance)

การบำรุงรักษาแบบปรับปรุง หมายถึง การทำกิจกรรมบำรุงรักษาโดยปรับปรุงหรือดัดแปลงให้อุปกรณ์และระบบของอากาศยานมีสภาพดีขึ้น หรือคุณภาพของอุปกรณ์และระบบอากาศยานดีขึ้น ซึ่งทำให้ระบบมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น มักเป็นการปรับปรุงครั้งเดียว วัตถุประสงค์ของการบำรุงรักษาแบบนี้ มี 2 แบบดังภาพที่ 1 คือ



ภาพที่ 1 รูปแบบการบำรุงรักษาแบบปรับปรุง

1.1 การปรับปรุงเพื่อไม่ให้เกิดความเสียหาย (Design Out; DO)

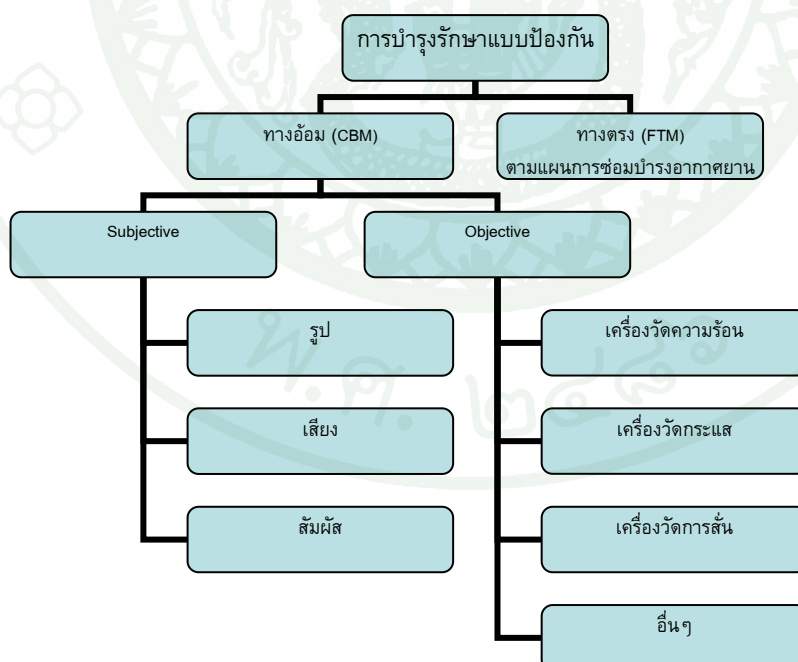
การปรับปรุงเพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายเป็นการออกแบบระบบเพื่อขจัดปัญหา ซึ่งเป็นการบำรุงรักษาแบบแรกที่ต้องพิจารณาว่าสามารถทำได้หรือไม่ และคู่กับการลงทุนหรือไม่เพราะจะทำให้ความต้องการของการบำรุงรักษาลดลงและสมรรถนะความพร้อมใช้งานและประสิทธิภาพของระบบจะสูงขึ้น เช่น การเปลี่ยนแปลงชนิดของวัสดุของ Temp Sensor ของเครื่องยนต์ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวทำให้ ไม่เกิดอากาศยานขัดข้องหรือเกิดน้อยลง

1.2 การปรับปรุงเพื่อยืดอายุการใช้งาน (Life Time Extension; LTE)

การปรับปรุงเพื่อยืดอายุการใช้งานเป็นการปรับปรุงเพื่อยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์หรือระบบให้มากที่สุดการปรับปรุงดังกล่าวเป็นการบำรุงรักษาอันดับสองรองจากการปรับปรุงเพื่อไม่ให้เกิดความเสียหาย ต้องพิจารณาว่าสามารถทำได้หรือไม่ถ้าหากไม่สามารถ ทำการบำรุงรักษาแบบปรับปรุงเพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายได้ (Design Out) การบำรุงรักษาแบบปรับปรุงเพื่อยืดอายุการใช้งานเป็นการช่วยลดจำนวนครั้งเสียหายของอุปกรณ์ให้น้อยลง การบำรุงรักษาแบบปรับปรุงเพื่อยืดอายุการใช้งานอากาศยานที่ใช้กันมากได้แก่ การใช้งานของอุปกรณ์อากาศยานไม่เต็มกำลัง เช่น การใช้ Ground Power Unit แทนการใช้ Auxiliary Power Unit (APU) ขณะอากาศยานทำการตรวจสอบเพื่อยืดอายุการใช้งานของ APU

2. การบำรุงรักษาแบบป้องกัน (Preventive Maintenance)

การบำรุงรักษาแบบป้องกัน หมายถึง การทำกิจกรรมบำรุงรักษาเพื่อป้องกัน หรือลดการเกิดความเสียหายของระบบ หรือก่อนที่ความเสียหายนั้นจะลุกลามต่อไป โดยในภาพที่ 2 แสดงประเภทของการบำรุงรักษาแบบป้องกันซึ่งแบ่งได้เป็น 2 แบบดังนี้



ภาพที่ 2 รูปแบบการบำรุงรักษาแบบป้องกัน

2.1 การบำรุงรักษาแบบป้องกันทางอ้อม (Indirect Preventive Maintenance)

การบำรุงรักษาแบบป้องกันทางอ้อมเป็นการบำรุงรักษาเพื่อค้นหาจุดขัดข้องที่เพิ่งจะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ในระบบก่อนที่จะทำให้ระบบเสียหายหรือกระทบต่ออากาศยาน ซึ่งจะใช้วิธีการตรวจวัดสภาพของอุปกรณ์ เพื่อให้ทราบถึงสภาพการทำงานของอุปกรณ์ในระบบ ซึ่งมักจะเรียกว่า “การบำรุงรักษาตามสภาพ (Condition Based Maintenance; CBM)” การบำรุงรักษาแบบป้องกันทางอ้อมนั้นจะไม่ส่งผลโดยตรงต่อสภาพของอุปกรณ์ แต่จะนำไปใช้ในการวางแผนการบำรุงรักษาแบบป้องกันต่อไป การบำรุงรักษาแบบป้องกันทางอ้อมแบ่งเป็น 2 รูปแบบคือ

ก) Objective คือการใช้เครื่องมือในการตรวจสอบความผิดปกติที่เกิดขึ้นในระบบ เช่น การใช้การตรวจโดยวิธี ใช้คอมพิวเตอร์ตรวจสอบ, Eddy current, Boroscope เป็นต้น

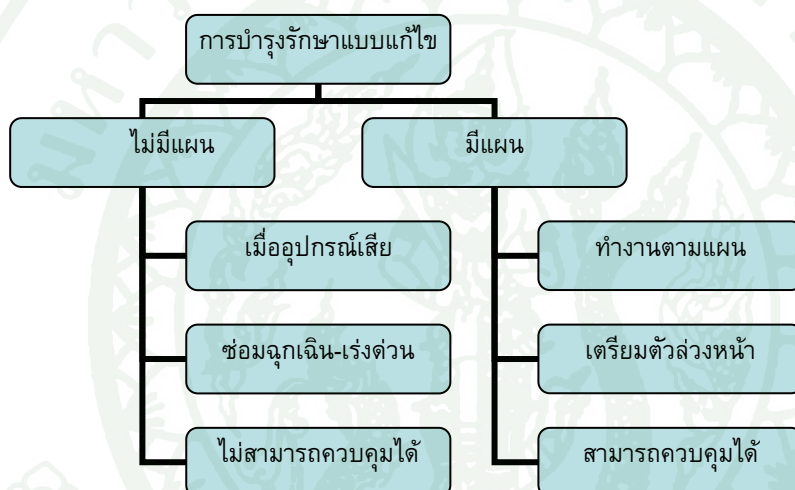
ข) Subjective คือ การใช้สัมผัส ได้แก่ รูป กลิ่น เสียง และการสัมผัส ในการตรวจสอบความผิดปกติที่เกิดขึ้น ซึ่งวิธีนี้ต้องอาศัยความชำนาญ และประสบการณ์ของผู้ที่ทำการ ตรวจสอบเช่น การใช้เครื่องมือเคาะเพื่อฟังเสียงในการตรวจสอบสภาพของชิ้นส่วนอากาศยาน

2.2 การบำรุงรักษาแบบป้องกันทางตรง (Direct Preventive Maintenance)

การบำรุงรักษาแบบป้องกันทางตรงเป็นการบำรุงรักษาเพื่อมิให้อุปกรณ์ในระบบเกิดความเสียหาย โดยจะส่งผลโดยตรงต่อตัวอุปกรณ์ที่ได้ทำการบำรุงรักษา เช่น การเปลี่ยนอะไหล่ของอุปกรณ์ในระบบตามกำหนดเวลาการทำความสะอาดและการอัดไฐระบบฐานล้อ เป็นต้น การบำรุงรักษาแบบป้องกันทางตรง มักจะใช้เวลาในการควบคุมการทำการกิจกรรม ซึ่งอาจเป็นรอบระยะเวลาตามปฏิทิน จำนวนชั่วโมงการใช้งาน หรือ จำนวนครั้งของการทำงาน เป็นต้นทั้งนี้มักจะเรียกการบำรุงรักษาทั้งหมดที่ถูกควบคุมด้วยเวลาหรือจำนวนครั้งที่แน่นอนว่า “การบำรุงรักษาตามกำหนดเวลา (Fixed Time Maintenance; FTM)” การบำรุงรักษาแบบป้องกันทางตรงทำให้อุปกรณ์อากาศยานดีขึ้น เพราะได้มีการเปลี่ยนแปลงอะไหล่หรืออุปกรณ์ย่อยเป็นระยะตามกำหนด การบำรุงรักษาแบบป้องกันทางตรงเหมาะสมสำหรับอุปกรณ์ที่ไม่สามารถตรวจได้ด้วยการตรวจสอบสภาพหรืออุปกรณ์ที่ใช้ตรวจสอบอาจมีราคาสูงมากจนทำให้ต้องหันมาใช้ในการบำรุงรักษาแบบป้องกันทางตรง

3. การบำรุงรักษาแบบแก้ไข (Corrective Maintenance)

การบำรุงรักษาแบบแก้ไข หมายถึง การทำกิจกรรมบำรุงรักษาเพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบอากาศยาน ซึ่งเมื่อก่อนอาจเรียกกันว่า การบำรุงรักษาแบบฉุกเฉิน (Emergency Maintenance) หรือการบำรุงรักษาเมื่อเสียหาย (Breakdown Maintenance) ซึ่งอาจไม่ถูกต้องนัก เพราะการบำรุงรักษาแบบแก้ไข ไม่จำเป็นต้องเป็นการบำรุงรักษาเมื่อเสียหายหรือการบำรุงรักษาแบบฉุกเฉินเท่านั้นเนื่องจากบางครั้งอาจจะเป็นการแก้ไขสิ่งบกพร่องที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์ ก่อนที่จะลุกลามมากไปจนเสียหายฉุกเฉิน การบำรุงรักษาแบบแก้ไขแบ่งเป็น 2 แบบ ดังภาพที่ 3 คือ



ภาพที่ 3 รูปแบบการบำรุงรักษาแบบแก้ไข

3.1 การบำรุงรักษาแบบแก้ไขแบบไม่มีแผน (Unplanned corrective maintenance)

การบำรุงรักษาแบบแก้ไขแบบไม่มีแผน คือ การบำรุงรักษาที่ไม่สามารถวางแผนล่วงหน้าได้ หรือเวลาที่ทราบล่วงหน้าเพื่อเตรียมการบำรุงรักษาน้อยมาก จนไม่สามารถวางแผนเกี่ยวกับการเตรียมจำนวนบุคลากร เอกสารอุปกรณ์และอะไหล่ได้ก่อนที่จะเริ่มการทำงาน ซึ่งการบำรุงรักษาแบบนี้จะทำให้เสียค่าใช้จ่ายสูงมาก และอาจต้องหยุดทำการบินอย่างฉุกเฉิน ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อผู้โดยสารจำนวนมาก และถือว่าการสูญเสียนี้เป็นค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาทางอ้อม

3.2 การบำรุงรักษาแบบแก้ไขแบบมีแผน (Planned corrective maintenance)

การบำรุงรักษาแบบแก้ไขแบบมีแผนเป็นการบำรุงรักษาที่ได้มีการวางแผนไว้ล่วงหน้า เมื่อทราบว่าระบบมีปัญหาและอาจเกิดการขัดข้องได้ ถ้าไม่ได้รับการแก้ไข เป็นผลจากการดำเนินการบำรุงรักษาแบบป้องกันทางอ้อม ทำให้ทราบว่าอุปกรณ์ และระบบส่วนใดกำลังจะเสียหาย ทำให้สามารถเตรียมเครื่องมือและอื่นๆที่ต้องใช้ในการซ่อม ทำให้ลดเวลาในการรอและเวลาในการซ่อมลง

การซ่อมบำรุงตามสภาพกับการลงทุนด้านการบำรุงรักษา

ในการทำการบำรุงรักษาอากาศยานให้มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดควรมีการวางแผนการบำรุงรักษาเพื่อช่วยให้สมรรถนะความพร้อมใช้งานของระบบสูงขึ้น ลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ตลอดจนลดภาระงานของแผนกบำรุงรักษาและเพิ่มคุณภาพการทำงานของระบบการวางแผนการบำรุงรักษาต้องพิจารณาถึงการลงทุนด้านการบำรุงรักษาหรืองบประมาณในการบำรุงรักษาเป็นสำคัญการเพิ่มงบประมาณด้านการบำรุงรักษาระบบอากาศยานจะช่วยให้ระบบอากาศยานมีความเชื่อถือได้เพิ่มขึ้นแต่ทั้งนี้ ต้องพิจารณาด้วยว่าค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการบำรุงรักษานั้นสามารถทำให้ความเชื่อถือได้ของระบบอากาศยานเพิ่มขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพหรือไม่โดยต้องคำนึงถึงสภาพของระบบ คือ เมื่อมีการลงทุนด้านการบำรุงรักษาที่มากขึ้น ความเชื่อถือได้ของระบบย่อมมีแนวโน้มที่ดีขึ้น แต่เมื่อถึงจุดอิ่มตัวหากมีการเพิ่มการลงทุนด้านการบำรุงรักษาเพิ่มขึ้น ความเชื่อถือได้ ของระบบจะมีค่าเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยหรือมีค่าคงที่ ดังนั้นหาระบบอยู่ในจุดอิ่มตัว การเพิ่มการลงทุนด้านการบำรุงรักษาอาจไม่มีผลต่อค่าความเชื่อถือได้ ของระบบอากาศยาน จึงอาจไม่ต้องการเพิ่มการลงทุนด้านการบำรุงรักษาระบบอากาศยาน

การบำรุงรักษาตามสภาพ

1. นิยามและวัตถุประสงค์

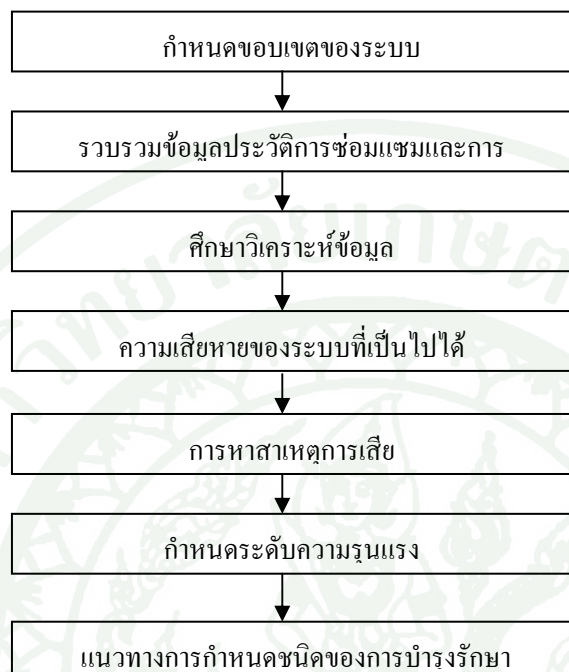
Condition Based Maintenance (CBM) หมายถึงการบำรุงรักษาตามสภาพ โดยต้องมีการตรวจติดตามสภาพของอากาศยาน (condition monitoring) เพื่อให้ทราบสภาพ การทำงานของอากาศยานอยู่เสมอ และทำให้เห็นแนวโน้ม ของปัญหาก่อนที่จะเริ่มเกิดขึ้นจริง (lead time to failure) เพื่อให้มีเวลาแก้ไขก่อนที่จะลุกลามไปจนเป็นความเสียหายรุนแรง การซ่อมหรือเปลี่ยนชิ้นส่วนต่าง ๆ ของอากาศยานจะ ขึ้นอยู่กับสภาพจริง ของชิ้นส่วนนั้นๆ อย่างไรก็ตาม การตรวจวัดสภาพก็จะทำตามกำหนดเวลา เพื่อให้ทราบสภาพของอากาศยานในขณะนั้นเป็นระยะๆ หรือติดตามอย่างต่อเนื่อง ชนิดของงานบำรุงรักษาซึ่งเป็นกระบวนการที่ช่วยตัดสินใจในการเลือกรูปแบบการบำรุงรักษาที่เหมาะสม โดยพิจารณาระดับของความรุนแรงที่จะเกิดเนื่องจากอุปกรณ์ไม่ทำงานตามหน้าที่ เพื่อให้อุปกรณ์นั้นยังคงสามารถทำงานได้ตามปกติที่ระดับความเชื่อถือได้สูงสุด หรืออาจ กล่าวได้ว่าเป็นกระบวนการเพื่อหาว่าจะต้องบำรุงรักษาอุปกรณ์อย่างไร เพื่อให้อุปกรณ์ ทางกายภาพนั้นยังคงทำงานได้สำเร็จตามหน้าที่ที่กำหนด ณ สภาพการทำงานปัจจุบัน ภายใต้งบประมาณบำรุงรักษาที่ต่ำสุด

กระบวนการและวัตถุประสงค์ของการบำรุงรักษาแบบการบำรุงรักษาตามสภาพ มีวัตถุประสงค์หลัก ดังนี้

1. เพิ่มความปลอดภัยของอุปกรณ์และระบบให้มากขึ้น
2. ใช้เงินลงทุนเพื่อการบำรุงรักษาอย่างมีประสิทธิภาพ
3. รู้จุดขัดข้องที่เริ่มจะเกิดขึ้นในอากาศยานก่อนที่จะลุกลามไปจนเป็นความเสียหายอย่างใหญ่หลวงและลดเวลาในการหยุดบินอย่างกะทันหันของอากาศยาน
4. ยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์อากาศยาน และยืดอายุการใช้งานของอะไหล่ให้ยาวนาน ขึ้นทำให้ใช้งานคุ้มค่า และลดจำนวนอะไหล่ที่ต้องเก็บสต็อกไว้

2. กระบวนการของการบำรุงรักษาแบบตามสภาพ

ขั้นตอนของกระบวนการของการบำรุงรักษาแบบตามสภาพแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 กระบวนการของการบำรุงรักษาแบบตามสภาพ

2.1 กำหนดขอบเขตของระบบ

ขอบเขตของการศึกษาถูกกำหนดขึ้น เพื่อให้ทราบขอบเขตที่ชัดเจนของระบบที่จะนำหลักการของการบำรุงรักษาตามสภาพไปประยุกต์ใช้ และช่วยให้สามารถจัดการทำงานอย่างเป็นระบบ ซึ่งอาจระบุเป็นอุปกรณ์ตัวใดตัวหนึ่ง หรือระบุเป็นชนิดของอุปกรณ์ หรือระบุเป็นระบบแบบมีหรือไม่มีระบบย่อย และสามารถจัดกลุ่มอุปกรณ์โดยอาศัยหน้าที่การทำงานเป็นสำคัญ อุปกรณ์ที่มีหน้าที่การทำงานคล้ายคลึงกันจะถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มเดียวกัน เช่นการจัดกลุ่มอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เหมือนกัน เช่นคอมพิวเตอรืควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์และอุปกรณ์ตรวจวัดความร้อนของเครื่องยนต์หรือในการจัดกลุ่มอุปกรณ์ที่มีความสัมพันธ์กัน เช่น ที่ชาร์ตแบตเตอรี่ แบตเตอรี่และ อุปกรณ์สำรองแบตเตอรี่ต่างๆ นอกจากนี้อุปกรณ์ป้องกันและอุปกรณ์ควบคุมจะถูกรวมเข้าไปในขอบเขตของอุปกรณ์หรือขอบเขตของระบบด้วย ในส่วนของอุปกรณ์อื่นๆที่ไม่มีความสัมพันธ์กับหน้าที่การทำงานหลักจะถูกแยกออกไป ไม่นำมาพิจารณาร่วมการกำหนดขอบเขตของระบบที่ทำการศึกษาแบบจำลองนิรโทษ์สำหรับการบำรุงรักษาตามสภาพมีความสำคัญเนื่องจากหาก

กำหนดรายละเอียดของขอบเขตหรือขอบเขตที่ไม่จำเป็นจะทำให้ขอบเขตในการศึกษาแบบจำลองนิวโรฟิซซ์สำหรับการบำรุงรักษาตามสภาพกว้างเกินไปจนทำให้เกิดการจัดการในส่วนที่ไม่จำเป็น และหากกำหนดรายละเอียดของขอบเขตกว้างเกินไปจะทำให้เกิดความยุ่งยากในการพิจารณา ระบบนอกจากนี้การระบุขอบเขตของอุปกรณ์หรือระบบที่มีการจัดการด้านการบำรุงรักษาที่คล้ายคลึงกันจะทำให้เกิดความสับสนในการวิเคราะห์ข้อมูล แต่หากขอบเขตของการศึกษาที่มีข้อมูลการบำรุงรักษาที่ไม่สอดคล้องกัน จะทำให้เกิดความซับซ้อนในการจัดการข้อมูลเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการการบำรุงรักษาตามสภาพ ดังนั้นในการกำหนดขอบเขตของอุปกรณ์หรือขอบเขตของระบบควรพิจารณาถึงข้อมูลการบำรุงรักษาของอุปกรณ์หรือระบบที่มีความสัมพันธ์กัน ขอบเขตของการศึกษา ควรอยู่ในระดับที่มีความเหมาะสมและสอดคล้องกับแผนงานการบำรุงรักษาแบบป้องกันเพื่อให้สามารถจัดหาข้อมูลในการป้องกันอุปกรณ์ได้อย่างคุ้มค่า แม่นยำ รวดเร็ว เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการศึกษาแบบจำลองนิวโรฟิซซ์สำหรับการบำรุงรักษาตามสภาพที่ดีที่สุด

2.2 รวบรวมข้อมูลประวัติการซ่อมแซมและการบำรุงรักษา

ในการรวบรวมข้อมูลการบำรุงรักษาของระบบ จะทำการรวบรวมข้อมูลต่างๆ เช่น ข้อมูลสมุดปูมเดินทาง ข้อมูลจากการบันทึกการบำรุงรักษา ข้อมูลคำอธิบาย การออกแบบหรือคู่มือทางเทคนิคของระบบ ข้อมูลรายละเอียดที่ใช้ในการกำหนดขอบเขต ยกตัวอย่างเช่น คู่มือการออกแบบ คู่มือทางเทคนิคของผู้จำหน่ายและคำอธิบายระบบ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะให้ความสำคัญที่หน้าที่การทำงานของอุปกรณ์และองค์ประกอบของอุปกรณ์ ซึ่งในอุปกรณ์ชนิดเดียวกันจะมีข้อมูลพื้นฐาน คล้ายคลึงกัน ทำให้เกิดประโยชน์ในการใช้ข้อมูล การทำงานและข้อมูลการบำรุงรักษาของอุปกรณ์ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์การบำรุงรักษาแบบจำลองนิวโรฟิซซ์สำหรับการบำรุงรักษาตามสภาพ นอกจากนี้ยังอาศัยข้อมูลประวัติการซ่อมแซมและการบำรุงรักษา ซึ่งสามารถรวบรวมจากแหล่งข้อมูล 3 ส่วนได้แก่ ใบสั่งงาน (Maintenance work order) รายงานความเสียหาย (Failure report) และการสัมภาษณ์ (Interview)

2.3 ศึกษาวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลการบำรุงรักษาแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบใหญ่ คือ

- 1) ข้อมูลเชิงปริมาณ (Quantitative Data) คือข้อมูลในลักษณะที่สามารถแสดงค่า หรือจำนวนที่ทำให้ทราบถึงระดับความมากน้อยได้ เช่น MTBF, MTTF, อัตราความเสียหาย เป็นต้น
- 2) ข้อมูลเชิงคุณภาพ (Qualitative Data) คือข้อมูลในลักษณะที่ไม่สามารถแสดงออกมาในรูปของจำนวนได้ เช่น ปัญหาที่เกิดกับอุปกรณ์ ลำดับการทำงาน การออกแบบอุปกรณ์ เทคนิคการบำรุงรักษา เป็นต้น

2.4 ความเสียหายของระบบที่เป็นไปได้

การวิเคราะห์ ที่สำคัญในการกำหนดรูปแบบความเสียหายสำหรับกระบวนการบำรุงรักษาแบบการบำรุงรักษาตามสภาพ คือ การจำแนกหน้าที่การทำงานและการระบุลักษณะความเสียหายของอุปกรณ์หรือระบบ (system functions and functional failures) ที่จะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์หรือระบบนั้น เพราะการบ่งบอกลักษณะความเสียหายจะเป็นจุดเริ่มต้นของการวิเคราะห์เพื่อจัดลำดับความสำคัญของอุปกรณ์ ทำให้สามารถกำหนดแผนการบำรุงรักษาที่เหมาะสมที่สุด

รูปแบบการจำแนกหน้าที่การทำงานและระบุลักษณะความเสียหายของอุปกรณ์ และระบบมีดังนี้

1) หน้าที่ (Functions) คือ การจำแนกว่าแต่ละระบบหรืออุปกรณ์มีหน้าที่ อะไร ตัวอย่างเช่น ECU มีหน้าที่ควบคุมการทำงานของเครื่องยนต์ LGCIU มีหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบฐานล้อของอากาศยาน ฯลฯ ซึ่ง รูปแบบข้อมูลของหน้าที่ที่ต้องศึกษามีดังนี้

- หน้าที่โดยรวมของระบบ (Overall System Functions)
- หน้าที่สำคัญของระบบ (Important System Functions)
- การระบุหน้าที่ (Identifying Functions)
- อุปกรณ์ที่มีหลายหน้าที่ (Equipment with Multiple Functions)

2) การล้มเหลวในการทำหน้าที่ของอุปกรณ์ (Function Failures) คือความผิดปกติในการทำหน้าที่ของอุปกรณ์ โดยการแสดงความล้มเหลวของหน้าที่ทำได้ 2 ลักษณะ คือ การระบุความล้มเหลวและการลำดับรูปแบบความล้มเหลวของการทำงาน เหตุการณ์ความล้มเหลวนั้นเกิดขึ้นได้ “อย่างไร” ส่วนการลำดับรูปแบบความล้มเหลวของการทำงาน (Sequencing the Identification of Functions and Functional Failure) คือ การจำแนกลักษณะความล้มเหลวหรืออาการของความล้มเหลวในการทำหน้าที่ ซึ่งสามารถลำดับได้ 3 รูปแบบ คือ

ก) ล้มเหลวในการทำหน้าที่ (Fail to function) คือการล้มเหลวของอุปกรณ์ในการปฏิบัติหน้าที่อย่างสมบูรณ์ของอุปกรณ์ เช่น การขาดของสายไฟทั้ง 2 ระบบ (System A and System B) ของ Engine Temp Sensor ทำให้ส่งค่าไม่ได้เลย

ข) ล้มเหลวในการทำหน้าที่บางส่วน (Fail to properly or accurately function) คือการล้มเหลวในการปฏิบัติหน้าที่บางส่วนของอุปกรณ์ เช่น การขาดของสายไฟไป 1 ระบบ (system A fail, system B normal) ทำให้ส่งพลังงานได้ไม่ครบ

ค) ทำงานโดยไม่มีคำสั่งหรือไม่ต้องการให้ทำแต่อุปกรณ์ทำงานโดยไม่ได้ตั้งใจ (Inadvertently functions or functions without demand) เช่น การทริปของเบรกเกอร์ทั้งที่อยู่ในสภาพปกติ

เมื่อกำหนดลักษณะความล้มเหลวของการทำงานของระบบหรืออุปกรณ์แล้ว ขั้นตอนต่อไป คือ การเลือกวิธีการวิเคราะห์ ในที่นี้เสนอการวิเคราะห์ 2 แบบ คือ FMEA และ Criticality Checklist ซึ่งในทั้งสองวิธีนั้น ต้องการข้อมูลเหมือนกัน ได้แก่ ขอบเขตการศึกษา ข้อมูลอุปกรณ์หรือระบบ ลักษณะการล้มเหลวในการทำหน้าที่ของอุปกรณ์ การวิเคราะห์หาความวิฤต สาเหตุของการเสีย และการเลือกวิธีการบำรุงรักษา ซึ่งในแต่ละวิธีมีข้อดีข้อเสียตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปข้อดีและข้อเสียของการวิเคราะห์แต่ละแบบ

วิธีการ	ข้อดี	ข้อเสีย
FMEA (Failure Modes and Effects Analysis)	สามารถทำความเข้าใจ และวิเคราะห์ในแต่ละรายการได้ง่าย เนื่องจากมีเอกสาร รายงานที่เก็บผลการเสียและอธิบายอย่างชัดเจน	บางครั้งมีเอกสารรายงานมากเกินไปที่ต้องศึกษา ทำให้ต้องใช้ เวลามากกว่าจะได้ประเด็นในการศึกษาครบถ้วนเพื่อการวิเคราะห์
Criticality Checklist	ใช้เวลาวิเคราะห์เร็วกว่า FMEA เนื่องจากมีรูปแบบที่ง่ายกว่า และสามารถกำหนดจำนวนและความซับซ้อนเพื่อการวิเคราะห์ได้ง่าย	การวิเคราะห์มีจำนวนมากเนื่องจากมีความหลากหลายของคำถามและคำตอบเอกสารและข้อมูลที่จะใช้ศึกษาลักษณะความเสียหายมีปริมาณมาก

2.4.1 รูปแบบความเสียหายของอุปกรณ์

เริ่มจากการเลือกอุปกรณ์ที่มีความสำคัญต่อระบบ และแบ่งประเภทรูปแบบความเสียหายของอุปกรณ์ (Equipment Failure Modes) โดยสามารถบอกได้ว่า ความเสียหายนั้นเกิดกับอุปกรณ์ได้อย่างไรบ้าง

2.4.2 การแบ่งระดับของผลกระทบ

การพิจารณาระดับความรุนแรงของรูปแบบความเสียหายของอุปกรณ์ จำเป็นต้องทราบถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับระบบนั้นว่าอยู่ในระดับใด ซึ่งวิธีการ FMEA จะแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ Local, System และ Remote เพื่อใช้ในการพิจารณากำหนดระดับความรุนแรงของความเสียหายที่เกิดขึ้นดังนี้

ก) Local Effect คือ ผลกระทบจากความเสียหายที่สังเกตได้เฉพาะที่อุปกรณ์ หรือสิ่งแวดล้อมที่อยู่ใกล้กับอุปกรณ์ หรืออุปกรณ์ที่อยู่ใกล้กับอุปกรณ์ที่เสีย

ข) System Effect คือ ผลกระทบอันเนื่องมาจากความเสียหายของอุปกรณ์ที่มี

ต่อระบบที่กำหนดขึ้นเพื่อศึกษาการบำรุงรักษาแบบจำลองนิวโรฟัซซี่สำหรับการบำรุงรักษาตามสภาพ โดยรวมทุกผลกระทบ ยกเว้น ส่วนที่เป็น Local Effect นอกจากนี้ต้องพิจารณาผลกระทบในด้านการบำรุงรักษาด้วย เช่น ค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมสูง เป็นต้น

ค) Remote Effect คือ ผลกระทบใดๆก็ตามที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับอุปกรณ์ที่อยู่นอกระบบหรือขอบเขตที่กำหนดขึ้นเพื่อศึกษาการบำรุงรักษาแบบจำลองนิวโรฟัซซี่สำหรับการบำรุงรักษาตามสภาพ

2.5 การหาสาเหตุการเสีย

ในการเชื่อมโยงระหว่างรูปแบบความเสียหายของอุปกรณ์ที่รุนแรงกับงานบำรุงรักษาแบบป้องกันที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพนั้นจำเป็นต้องมีความรู้หรือหลักฐานจากการวิเคราะห์ถึงสาเหตุของการเสีย ดังนั้นเพื่อการเลือกวิธีการบำรุงรักษาแบบป้องกันที่ถูกต้อง จึงต้องมีกระบวนการค้นหาสาเหตุการเสีย

2.5.1 การกำหนดสาเหตุการเสีย

การกำหนดสาเหตุการเสียเป็นสิ่งที่สำคัญมาก เนื่องจากต้องทราบสาเหตุของการเสียจึงจะสามารถกำหนดการป้องกันที่เหมาะสมได้ ซึ่งสาเหตุของการเสียแต่ละแบบนั้นจำเป็นต้องทราบว่าทำไมจึงเกิดการเสียเหล่านั้นขึ้น

2.5.2 การวิเคราะห์หาต้นตอของสาเหตุ (Root Cause of Equipment Failure)

การทำ Root Cause of Equipment Failure เป็นการวิเคราะห์หาต้นตอของสาเหตุแต่บางครั้งอาจจะต้องใช้รายละเอียดมากเกินความจำเป็น ดังนั้นการวิเคราะห์ ต้นตอของสาเหตุดังกล่าวอาจใช้เฉพาะกับกลุ่มความเสียหายที่รุนแรง

2.6 กำหนดระดับความรุนแรง

จากผลกระทบของความเสียหายที่เกิดขึ้น จะมุ่งพิจารณาไปยังผลกระทบที่อยู่ในระดับ System Effect และ Remote Effect ซึ่งเกี่ยวข้องในด้านความปลอดภัย และค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซม

ในบางครั้งการกำหนดระดับความรุนแรงของรูปแบบความเสียหาย ควรพิจารณาร่วมกันระหว่างผลกระทบของความเสียหายกับโอกาสที่เป็นไปได้ในการจะเกิดความเสียหายนั้นๆ ตัวอย่างเช่น ถ้าผลกระทบที่เกิดจากการเสียหายนั้นรุนแรงแต่โอกาสในการเกิดการเสียหายนั้นมีค่าน้อยมากตลอดอายุการใช้งาน ในกรณีนี้เราอาจจะพิจารณาว่ามีความรุนแรงน้อยกว่าเหตุการณ์เสียที่เกิดขึ้นบ่อยๆ สำหรับการพิจารณาระบบที่มีอุปกรณ์สำรอง (Redundant) และ อุปกรณ์ Backup อุปกรณ์นั้นๆ อาจจะถูกกำหนดให้เป็นอุปกรณ์ประเภทไม่วิกฤต เนื่องจากในส่วนที่มีการสำรองนั้นจะช่วยลดผลกระทบความเสียหายที่เกิดขึ้น แต่ทั้งนี้อุปกรณ์ เหล่านี้อาจถูกละเลยที่จะกำหนดตารางการบำรุงรักษาดังนั้นจึงต้องพิจารณาอย่างรอบคอบว่าจะจัดการบำรุงรักษาอย่างไรให้เหมาะสมสำหรับอุปกรณ์สำรองและอุปกรณ์ Backup โดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อความเชื่อถือได้ของระบบ

2.7 แนวทางการกำหนดชนิดของการบำรุงรักษา

การเลือกการบำรุงรักษาที่เหมาะสม เพื่อป้องกันแต่ละสาเหตุที่รุนแรง ควรเลือกงานที่สามารถทำได้และมีประสิทธิภาพ โดยปัจจัยต่างๆ ที่ต้องคำนึงในการเลือกกิจกรรมบำรุงรักษาดังนี้

2.7.1 การนำมาใช้งานได้และความคุ้มค่า (Applicable and Cost – Effective Task)

ในทางปฏิบัตินั้น แต่ละรูปแบบการเสียจะมีกิจกรรมที่สามารถนำมาใช้ได้มากมาย แต่เงื่อนไขที่ต้องพิจารณาเพิ่มคือ ความคุ้มค่าในการลงทุน โดยงานทางเทคนิคที่เหมาะสมต้องให้การคืนทุนที่เหมาะสมด้วย ซึ่งจะคำนึงในแง่ของทรัพยากรที่ลงทุนไปในการปรับปรุงความ เชื่อถือได้

2.7.2 การตรวจวัดสภาพ (Condition – Monitoring Task)

การตรวจวัดสภาพจะทำให้ได้ข้อมูลในการวิเคราะห์ว่าระบบต้องการการบำรุงรักษาในส่วนไหน การตรวจสอบระบบต้องกระทำอย่างสม่ำเสมอและทำการวัดก่อนที่จะเกิดการเสียเพื่อหลีกเลี่ยงการเสียของระบบ

2.7.3 การบำรุงรักษาตามเวลา (Time – Directed Task)

การบำรุงรักษาตามเวลาเป็นกิจกรรมการบำรุงรักษาตามที่บริษัทผู้ผลิตอากาศยานกำหนด หรือกิจกรรมการบำรุงรักษาที่ควรเลือกทำหลังจากที่พิจารณากรณีของการบำรุงรักษาตามสภาพ (Condition Based Maintenance; CBM) ในด้าน ความถูกต้องทางเทคนิคและความคุ้มค่า ในการลงทุนแล้ว ฉะนั้นเมื่อตัดสินใจเลือกที่จะทำการบำรุงรักษาตามกำหนดเวลา (Fixed Time Maintenance; FTM) ต้องมั่นใจว่าคุ้มค่าในการลงทุนและต้องวิเคราะห์ หากความถี่ในการทำการบำรุงรักษา โดยพิจารณาจาก ลักษณะการออกแบบอุปกรณ์สภาพแวดล้อมที่อุปกรณ์ใช้งาน และสถิติจำนวนครั้งการเสียของอุปกรณ์

2.7.4 การใช้งานจนกว่าจะเสีย (Run – to –Failure)

การใช้งานจนกว่าจะเสียหรือการบำรุงรักษาเมื่ออุปกรณ์ชำรุดเสียหาย (Operate To Breakdown; OTBD) จะทำในกรณีที่การเสียนั้นเป็นการเสียที่ยอมรับความเสียหายที่เกิดขึ้นได้ และคุ้มค่าในการลงทุน โดย 2 ประเด็นสำคัญที่ควรคำนึงถึงในการเลือกใช้งานการบำรุงรักษาแบบนี้ คือ

- ก) ผลกระทบที่ตามมาและความถี่ของการเสียของอุปกรณ์ ซึ่งในบางกรณี CBM และ FTM น่าจะให้ผลเป็นที่พอใจมากกว่าวิธี OTBD (Operate till Breakdown)
- ข) การเตรียมเครื่องมือและอะไหล่ที่จะใช้ในการซ่อมก่อนที่ระบบจะเสีย เพื่อให้ระยะเวลาในการซ่อมลดลง

2.7.5 การออกแบบใหม่ (Design Change)

กรณีที่การบำรุงรักษาแบบวางแผนล่วงหน้า และการบำรุงรักษาเชิงป้องกันทำไม่ได้ ยาก ไม่อาจทำได้จริงในทางปฏิบัติ หรือเห็นได้ชัดเจนว่าไม่คุ้มค่าในการลงทุนอาจจะเลือกใช้

Operate till Breakdown แต่ถ้าผลกระทบที่เกิดจากการเสียไม่สามารถยอมรับได้ก็จะพิจารณาใช้วิธีการออกแบบใหม่ โดยจุดที่ต้องพิจารณาในกรณีที่เลือกวิธีการออกแบบใหม่ คือ จะต้องพิจารณาถึงผลกระทบระยะสั้นและระยะยาว

2.7.6 การค้นหาการเสีย (Failure – Finding Tasks)

วิธีการนี้จะนำมาใช้ในกรณีที่ไม่สามารถทำการบำรุงรักษาแบบป้องกัน การออกแบบใหม่ และเมื่อเหตุเกิดขึ้นไม่สามารถหาหลักฐานของการเกิดการเสียได้ ซึ่งการค้นหาการเสียนั้นจะตรวจสอบระบบคล้ายๆ กับการตรวจวัดสภาพ แต่ต่างกันตรงที่การค้นหาการเสียจะดำเนินการเมื่อเกิดการเสียของอุปกรณ์ขึ้นแล้ว

2.7.7 พื้นฐานเกี่ยวกับการบำรุงรักษาสำหรับอุปกรณ์ที่ไม่มีผลกระทบต่อระบบ (Basic Maintenance for Non – Critical Equipment)

พิจารณาอุปกรณ์ สำรอง (Redundant) ซึ่งจะถูกจัดให้เป็นอุปกรณ์ที่ไม่มีผลกระทบต่อระบบ โดยจะต้องทำการบำรุงรักษาขั้นพื้นฐาน เพื่อป้องกันการขัดข้องและให้พร้อมใช้งานอยู่เสมอเพื่อไม่ให้มีผลกระทบต่อความปลอดภัย

2.7.8 แผ่นแบบรายงานด้านการบำรุงรักษา (Maintenance Templates)

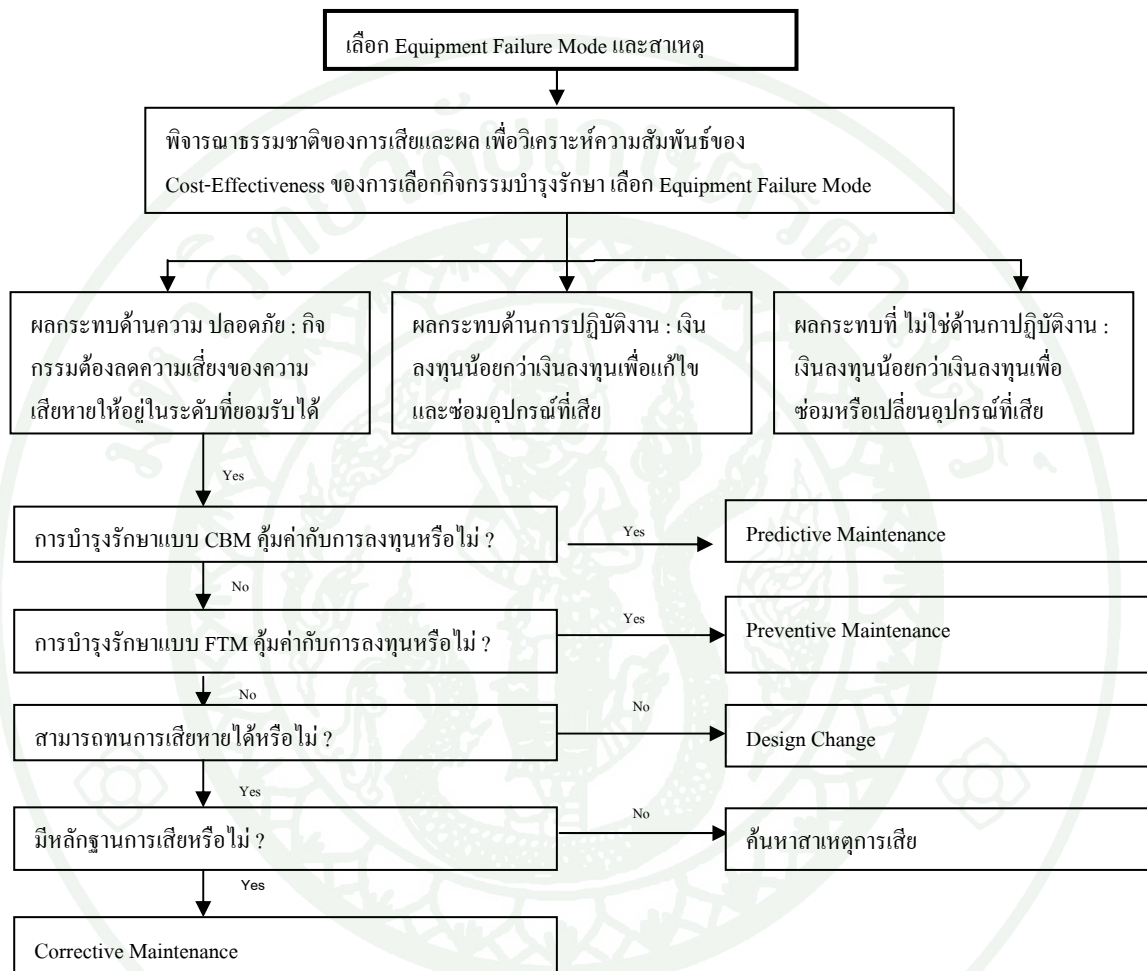
เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและการวิเคราะห์ ควรทำแผ่นแบบรายงานด้านการบำรุงรักษาไว้ซึ่งจะมีรายการของวิธีการบำรุงรักษาทั้งหมด เพื่อให้ได้วิธีการบำรุงรักษาที่เหมาะสมของแต่ละอุปกรณ์ ดังนั้นสำหรับอุปกรณ์ที่เหมือนกันจะสามารถใช้วิธีการบำรุงรักษาเดียวกันได้เลย

2.7.9 การนำการบำรุงรักษาแบบจำลองนิวโรฟซ์ซึ่งสำหรับการบำรุงรักษาตามสภาพมาใช้งานและตัดกิจกรรมที่ไม่จำเป็นออก (Incorporating CBM Tasks and Deleting Current Tasks)

การวิเคราะห์หาต้นตอของสาเหตุเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสำหรับการพัฒนาโปรแกรมการบำรุงรักษาใหม่ให้มีประสิทธิภาพที่เหมาะสม ดังนั้นเมื่อได้โปรแกรมการบำรุงรักษาจากการบำรุงรักษาแบบจำลองนิวโรฟซ์ซึ่งสำหรับการบำรุงรักษาตามสภาพ แล้วจึงนำมาเปรียบเทียบกับตารางการบำรุงรักษาเดิม เพื่อเพิ่มส่วนที่จำเป็นเข้าไปในตารางการบำรุงรักษาและตัดกิจกรรมการ

บำรุงรักษาบางส่วนที่ไม่จำเป็นออก แต่ก่อนที่จะทำการตัดกิจกรรมใดออกต้องพิจารณาให้รอบคอบ ในประเด็นที่ว่าเพราะเหตุใดการบำรุงรักษาแบบเดิมเพื่อป้องกันการเกิดการเสียหายที่รุนแรงซึ่งอาจ เกิดกับอุปกรณ์ภายหลัง ซึ่งแผนผังแนวทางการเลือกรูปแบบการบำรุงรักษาแสดงดัง

ภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แผนผังการเลือกรูปแบบของการบำรุงรักษา

ระดับของการซ่อมบำรุงอากาศยาน

การแบ่งระดับการซ่อมบำรุงอากาศยานสามารถทำได้หลายวิธี แต่หากจะแบ่งตามลักษณะของงานอาจแบ่งได้ 2 ระดับคือ

1. ระดับการซ่อมบริเวณปฏิบัติงาน (Line Maintenance) การซ่อมในระดับที่ปัญหาส่วนใหญ่จะเป็นการซ่อมเพื่อให้อากาศยานสามารถกลับไปปฏิบัติการให้เร็วที่สุด งานซ่อมบำรุงจะมีทั้งส่วนที่มาจากตารางการซ่อมบำรุง (Scheduled Maintenance) แต่งานส่วนใหญ่จะเป็นปัญหาที่พบระหว่างปฏิบัติการบิน ซึ่งไม่สามารถคาดการณ์ได้ล่วงหน้า (Unscheduled Maintenance)

2. ระดับการซ่อมในโรงเก็บอากาศยานหรือซ่อมใหญ่ (Hangar Maintenance) การซ่อมในโรงเก็บอากาศยานโดยมากแล้วจะเป็นการตรวจซ่อมใหญ่ (Major Check) ซึ่งงานซ่อมบำรุงโดยมากจะมาจากตารางการซ่อมบำรุง (Scheduled Maintenance) โดยอาจมีงานที่เป็นการแก้ปัญหาเทคนิคส่วนน้อย ประเภทของการซ่อมบำรุงอากาศยานแบ่งได้เป็น 2 ประเภท

1. Scheduled Maintenance เป็นการซ่อมบำรุงที่มีตารางแน่นอน มีการกำหนดเวลาในการซ่อมบำรุงที่แน่นอน เช่น 24 hour check, daily check, letter check (A-check, B-check, C-check) เป็นต้น
2. Unscheduled Maintenance เป็นการซ่อมบำรุงเมื่ออากาศยานมีปัญหาทางเทคนิค โดยอาจเกิดจากการตรวจของช่าง หรือจากการใช้งานอากาศยานของนักบิน หรือจากข้อขัดข้องของอากาศยานนั้นๆ ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ

2.1 Planable คือ การซ่อมที่ทำการวางแผนที่จะซ่อมได้ เช่นเมื่อเบรคล้อเครื่องบินใกล้หมด ช่างสามารถวางแผนได้ว่าจะทำการเปลี่ยนใหม่เมื่อไหร่

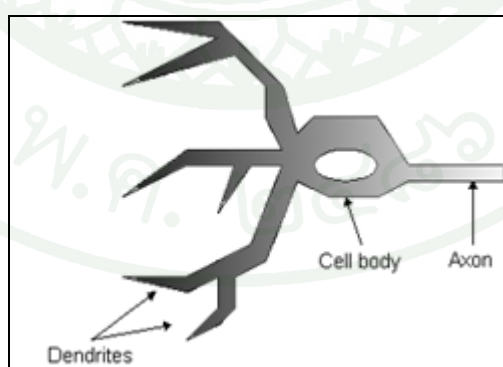
2.2 Unplanable คือ การซ่อมที่ไม่สามารถวางแผนที่จะซ่อมได้ ต้องทำการซ่อมทันที เช่นเมื่อล้อเครื่องบินมีปัญหาเช่น เกิดการชำรุดเกินค่าที่กำหนด ต้องทำการแก้ไขทันทีก่อนทำการบิน

Artificial Neural Network

โครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network) หรือที่มักจะเรียกสั้น ๆ ว่า ข่ายงานประสาท (neural network หรือ neural net) คือแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สำหรับประมวลผลสารสนเทศด้วยการคำนวณแบบคอนเนคชันนิสต์ (connectionist) เพื่อจำลองการทำงานของเครือข่ายประสาทในสมองมนุษย์ ด้วยวัตถุประสงค์ที่จะสร้างเครื่องมือซึ่งมีความสามารถในการเรียนรู้การจดจำแบบรูป (Pattern Recognition) และการอุปमानความรู้ (Knowledge deduction) เช่นเดียวกับความสามารถที่มีในสมองมนุษย์ แนวคิดเริ่มต้นของเทคนิคนี้ได้มาจากการศึกษาข่ายงานไฟฟ้าชีวภาพ (bioelectric network) ในสมอง ซึ่งประกอบด้วยเซลล์ประสาท หรือ “นิวรอน” (neurons) และ จุดประสานประสาท (synapses) แต่ละเซลล์ประสาทประกอบด้วยปลายในการรับกระแสประสาท เรียกว่า “เดนไดรต์” (Dendrite) ซึ่งเป็น input และปลายในการส่งกระแสประสาทเรียกว่า “แอกซอน” (Axon) ซึ่งเป็นเหมือน output ของเซลล์ เซลล์เหล่านี้ทำงานด้วยปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี เมื่อมีการกระตุ้นด้วยสิ่งเร้าภายนอกหรือกระตุ้นด้วยเซลล์ด้วยกัน กระแสประสาทจะวิ่งผ่านเดนไดรต์เข้าสู่นิวเคลียสซึ่งจะเป็นตัวตัดสินใจว่าต้องกระตุ้นเซลล์อื่น ๆ ต่อหรือไม่ ถ้ากระแสประสาทแรงพอ นิวเคลียสก็จะกระตุ้นเซลล์อื่น ๆ ต่อไปผ่านทางแอกซอนของมัน

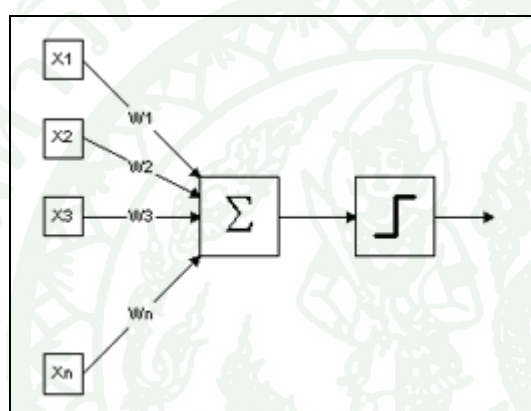
ตามโมเดลนี้ข่ายงานประสาทเกิดจากการเชื่อมต่อระหว่างเซลล์ประสาท จนเป็นเครือข่ายที่ทำงานร่วมกัน



ภาพที่ 6 แสดง Model ของ Neuron ในสมองมนุษย์

โครงสร้าง

นักวิจัยส่วนใหญ่ในปัจจุบันเห็นตรงกันว่าข่ายงานประสาทเทียมมีโครงสร้างแตกต่างจากข่ายงานในสมอง แต่ก็ยังเหมือนสมอง ในแง่ที่ว่าข่ายงานประสาทเทียม คือการรวมกลุ่มแบบขนานของหน่วยประมวลผลย่อย ๆ และการเชื่อมต่อนี้เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดสติปัญญาของข่ายงาน เมื่อพิจารณาขนาดแล้วสมองมีขนาดใหญ่กว่าข่ายงานประสาทเทียมอย่างมาก รวมทั้งเซลล์ประสาทยังมีความซับซ้อนกว่าหน่วยย่อยของข่ายงาน อย่างไรก็ตามสิ่งที่สำคัญของสมอง เช่น การเรียนรู้ยังคงสามารถถูกจำลองขึ้นอย่างง่ายด้วยโครงข่ายประสาทนี้



ภาพที่ 7 Model ของ Neuron ในคอมพิวเตอร์

สำหรับในคอมพิวเตอร์ Neurons ประกอบด้วย input และ output เหมือนกัน โดยจำลองให้ input แต่ละอันมี weight เป็นตัวกำหนดน้ำหนักของ input โดย neuron แต่ละหน่วยจะมีค่า threshold เป็นตัวกำหนดว่าน้ำหนักรวมของ input ต้องมากขนาดไหนจึงจะสามารถส่ง output ไปยัง neurons ตัวอื่นได้ เมื่อนำ neuron แต่ละหน่วยมาต่อกันให้ทำงานร่วมกันการทำงานนี้ในทางตรรกแล้วก็จะเหมือนกับปฏิกิริยาเคมีที่เกิดในสมอง เพียงแต่ในคอมพิวเตอร์ทุกอย่างเป็นตัวเลขเท่านั้นเอง

การทำงานของ Neural networks คือเมื่อมี input เข้ามายัง network ก็เอา input มาคูณกับ weight ของแต่ละขาผลที่ได้จาก input ทุก ๆ ขาของ neuron จะเอามารวมกันแล้วก็เอามาเทียบกับ threshold ที่กำหนดไว้ ถ้าผลรวมมีค่ามากกว่า threshold แล้ว neuron ก็จะส่ง output ออกไป output นี้ก็จะถูกส่งไปยัง input ของ neuron อื่น ๆ ที่เชื่อมกันใน network ถ้าค่าน้อยกว่า threshold ก็จะไม่เกิด output เขียนออกมาได้ดังนี้

if (sum(input * weight) > threshold) then output

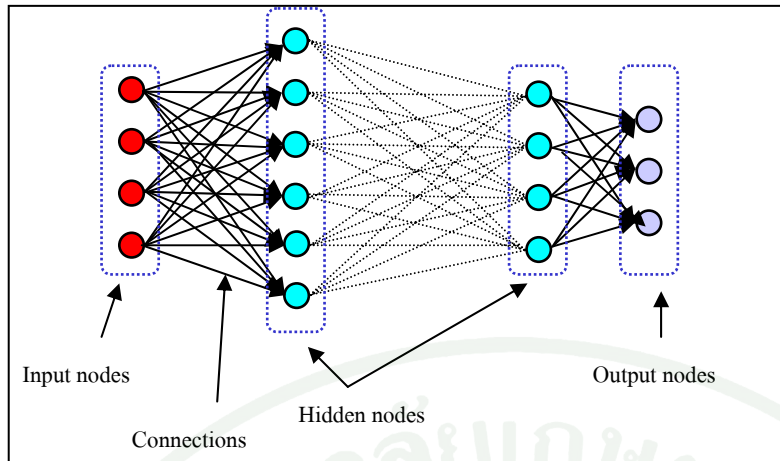
สิ่งสำคัญคือเราต้องทราบค่า weight และ threshold สำหรับสิ่งที่เราต้องการเพื่อให้คอมพิวเตอร์รู้จัก ซึ่งเป็นค่าที่ไม่แน่นอน แต่สามารถกำหนดให้คอมพิวเตอร์ปรับค่าเหล่านั้นได้โดยการสอนให้มันรู้จัก pattern ของสิ่งที่เราต้องการให้มันรู้จัก เรียกว่า "back propagation" ซึ่งเป็นกระบวนการย้อนกลับของการรู้จักในการฝึก feed-forward neural networks จะมีการใช้อัลกอริทึมแบบ back-propagation เพื่อใช้ในการปรับปรุงน้ำหนักคะแนนของเครือข่าย (network weight) หลังจากได้รูปแบบข้อมูลสำหรับฝึกให้แก่เครือข่ายในแต่ละครั้งแล้ว ค่าที่ได้รับ (output) จากเครือข่ายจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับผลที่คาดหวัง แล้วทำการคำนวณหาค่าความผิดพลาด ซึ่งค่าความผิดพลาดนี้จะถูกส่งกลับเข้าสู่เครือข่ายเพื่อใช้แก้ไขค่าน้ำหนักคะแนนต่อไป

อย่างเช่นจะรู้จักรูปสามเหลี่ยม กับรูปสี่เหลี่ยม เราอาจแบ่ง input เป็น 9 ตัวคือเป็นตาราง 3x3 ถ้าวาดรูปสี่เหลี่ยมหรือสามเหลี่ยมให้เต็มกรอบ 3x3 พอติ สี่เหลี่ยมจะมีส่วนของขอบอยู่ในช่อง 1,2,3,4,6,7,8,9 ก็สมมติให้น้ำหนักตรงช่องเหล่านี้มีค่ามาก ๆ ถ้ามีเส้นขีดผ่านก็เอามาคูณกับน้ำหนัก แล้วก็เอมารวมกัน ตั้งค่าให้พอเหมาะก็จะสามารถแยกแยะระหว่างสี่เหลี่ยมกับสามเหลี่ยมได้ ซึ่งนี่คือหลักการของ neural network

1	2	3
4	5	6
7	8	9

1	2	3
4	5	6
7	8	9

ภาพที่ 8 แสดงการแยกแยะระหว่างสี่เหลี่ยมและสามเหลี่ยม



ภาพที่ 9 แสดงโครงสร้างวงจร Neural Network

Output ของแต่ละ Node

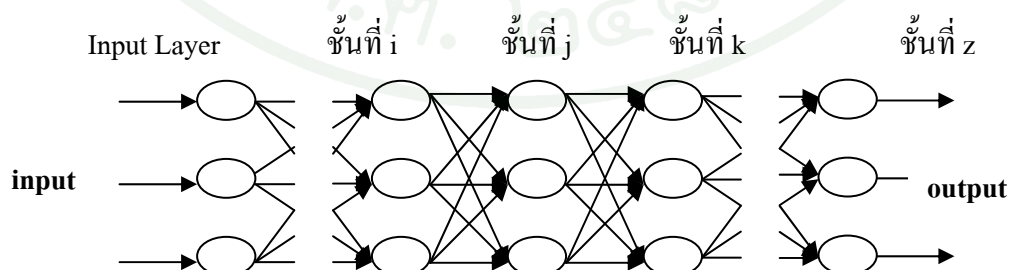
$$y_i = f(w_i^1 x_1 + w_i^2 x_2 + w_i^3 x_3 + \dots + w_i^m x_m)$$

$$= f\left(\sum_j w_i^j x_j\right)$$

เมื่อ X_i = input จากโหนดอื่นๆ
 W_{ij} = น้ำหนัก (weight) ของแต่ละแขน (connection)

Back propagation Algorithm

Back-propagation เป็นอัลกอริทึมที่ใช้ในการเรียนรู้ของเครือข่ายประสาทวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ใน multilayer perceptron เพื่อปรับค่าน้ำหนักในเส้นเชื่อมต่อระหว่างโหนดให้เหมาะสม โดยการปรับค่านี้จะขึ้นกับความแตกต่างของค่าเอาต์พุตที่คำนวณได้กับค่าเอาต์พุตที่ต้องการ พิจารณารูปต่อไปนี้ประกอบ



ภาพที่ 10 Back-propagation neural network

ขั้นตอนของ Back-propagation Algorithm มีดังนี้

1. กำหนดค่าอัตราเร็วในการเรียนรู้ (rate parameter : r)
2. สำหรับแต่ละตัวอย่างอินพุตให้ทำตามขั้นตอนต่อไปนี้จนกว่าได้ระดับ performance ที่ต้องการ

- คำนวณค่าเอาต์พุตโดยใช้ค่าน้ำหนักเริ่มต้นซึ่งอาจได้จากการสุ่ม
- คำนวณค่า β : แทนประโยชน์ที่จะได้รับสำหรับการเปลี่ยนค่าเอาต์พุตของแต่ละโหนด
- ในชั้นเอาต์พุต (output Layer)

$$\beta_z = d_z - o_z$$

เมื่อ d_z = ค่าเอาต์พุตที่ต้องการ
 o_z = ค่าเอาต์พุตที่คำนวณได้

- ในชั้นซ่อน (Hidden Layer)

$$\beta_j = w_{j-k} o_k (1 - o_k) \beta_k$$

เมื่อ w_{j-k} = น้ำหนักของเส้นเชื่อมระหว่างชั้นที่ j กับ k

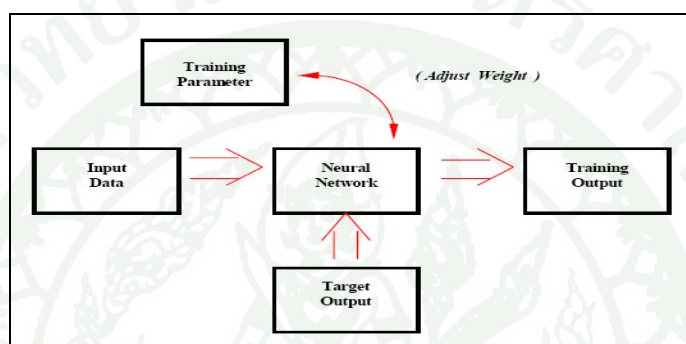
- คำนวณค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปสำหรับในท่อน้ำหนัก ด้วยสมการต่อไปนี้

$$\Delta w_{i-j} = r o_i o_j (1 - o_j) \beta_j$$

การเรียนรู้สำหรับ Neural Network

1. Supervised Learning การเรียนแบบมีการสอน

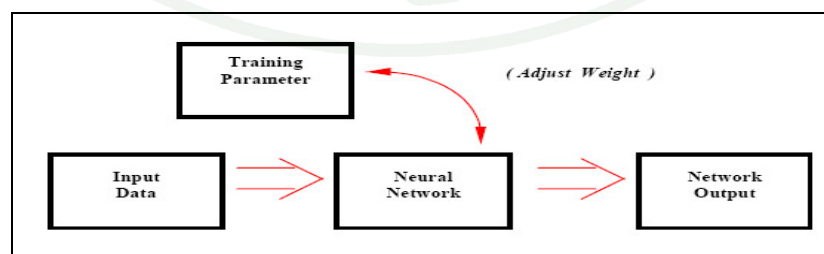
เป็นการเรียนแบบที่มีการตรวจคำตอบเพื่อให้วงจรข่ายปรับตัว ชุดข้อมูลที่ใช้สอนวงจรข่าย จะมีคำตอบไว้คอยตรวจดูว่าวงจรข่ายให้คำตอบที่ถูกหรือไม่ ถ้าตอบไม่ถูก วงจรข่ายก็จะปรับตัวเอง เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีขึ้น (เปรียบเทียบกับคน เหมือนกับการสอนนักเรียน โดยมีครูผู้สอนคอยแนะนำ)



ภาพที่ 11 แสดงการเรียนรู้แบบมีการสอน (Supervised Learning)

2. Unsupervised Learning การเรียนแบบไม่มีการสอน

เป็นการเรียนแบบไม่มีผู้แนะนำ ไม่มีการตรวจคำตอบว่าถูกหรือผิด วงจรข่ายจะจัดเรียงโครงสร้างด้วยตัวเองตามลักษณะของข้อมูล ผลลัพธ์ที่ได้ วงจรข่ายจะสามารถจัดหมวดหมู่ของข้อมูลได้ (เปรียบเทียบกับคน เช่น การที่เราสามารถแยกแยะพันธุ์พืช พันธุ์สัตว์ตามลักษณะรูปร่างของมันได้เองโดยไม่มีใครสอน)

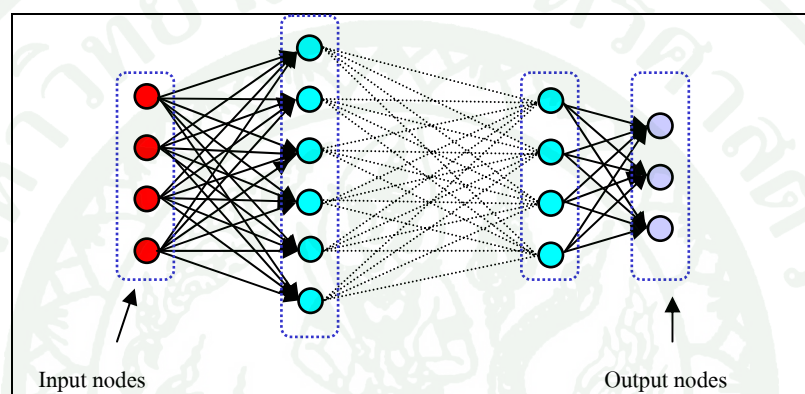


ภาพที่ 12 แสดงการเรียนรู้แบบไม่มีการสอน Unsupervised Learning

Network Architecture

1. Feedforward network

ข้อมูลที่ประมวลผลในวงจรข่ายจะถูกส่งไปในทิศทางเดียวจาก Input nodes ส่งต่อมาเรื่อยๆ จนถึง output nodes โดยไม่มีการย้อนกลับของข้อมูล หรือแม้แต่ Nodes ใน layer เดียวกันก็ไม่มีการเชื่อมต่อกัน



ภาพที่ 13 แสดงสถาปัตยกรรมของ Feedforward network

2. Feedback network

ข้อมูลที่ประมวลผลในวงจรข่าย จะมีการป้อนกลับเข้าไปยังวงจรข่ายหลายๆ ครั้ง จนกระทั่งได้คำตอบออกมา (บางที่เรียกว่า Recurrent network)

3. Network Layer

พื้นฐานสามัญที่สำคัญของ Artificial Neural Network ประกอบไปด้วย 3 ส่วน หรือ 3 layer ได้แก่ ชั้นของ input units ที่ถูกเชื่อมต่อกับชั้นของ hidden units ซึ่งเชื่อมต่อกับชั้นของ output units

- การทำงานของ input unit จะทำหน้าที่แทนส่วนของข้อมูลดิบ ที่จะถูกป้อนเข้าสู่เครือข่าย
- การทำงานของแต่ละ hidden units จะถูกกำหนด โดยการทำงานของ input units และค่านำหนักบนความสัมพันธ์ระหว่าง input units และ hidden units

- พฤติกรรมการทำงานของ output units จะขึ้นอยู่กับการทำงานของ hidden units และค่าน้ำหนักระหว่าง hidden units และ output units

ประเภทของเครือข่ายนี้เป็นที่น่าสนใจ เพราะเราสามารถกำหนดการแทนค่าให้แก่ input units ได้อย่างอิสระ ค่าน้ำหนักระหว่าง input units และ hidden units จะถูกกำหนดเมื่อ hidden unit กำลังทำงาน ฉะนั้นเวลาที่แก้ไข ค่าน้ำหนัก hidden units จะสามารถเลือกได้ว่าอะไรคือค่าที่เราแทนเข้ามา Architecture of Layer สามารถจำแนกสถาปัตยกรรมของชั้น (layer) ออกเป็น 2 ประเภทคือ Single-layer และ Multi-layer

- Single-layer perceptron เครือข่ายประสาทที่ประกอบด้วยชั้นเพียงชั้นเดียว จำนวน input nodes ขึ้นอยู่กับจำนวน components ของ input data และ Activation function ขึ้นอยู่กับลักษณะข้อมูลของ Output เช่น ถ้า output ที่ต้องการเป็น “ใช่” หรือ “ไม่ใช่” เราจะต้องใช้ Threshold function

$$f(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x \geq T \\ 0 & \text{if } x < T \end{cases} \quad T = \text{Threshold level}$$

หรือถ้า output เป็นค่าตัวเลขที่ต่อเนื่อง เราต้องใช้ continuous function เช่น Sigmoid function

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-ax}}$$

- Multi-layer perceptron เครือข่ายประสาทจะประกอบด้วยหลายชั้นโดยในแต่ละชั้นจะประกอบด้วยโหนด (nodes) หรือเปรียบได้กับตัวเซลล์ประสาท (neurons) ค่าน้ำหนักของเส้นที่เชื่อมต่อระหว่างโหนดของแต่ละชั้น (เมทริก W), ค่า bias vector (b) และค่า output vector (a) โดย m เป็นตัวเลขบอกลำดับชั้นกำกับไว้ด้านบน เมื่อ p เป็น input vector การคำนวณค่าเอาต์พุตสำหรับเครือข่ายประสาทที่มี M ชั้นจะเป็นดังสมการ

$$a^{m+1} = f^{m+1}(W^{m+1} a^m + b^{m+1})$$

เมื่อ $m = 0, 2, \dots, M-1$

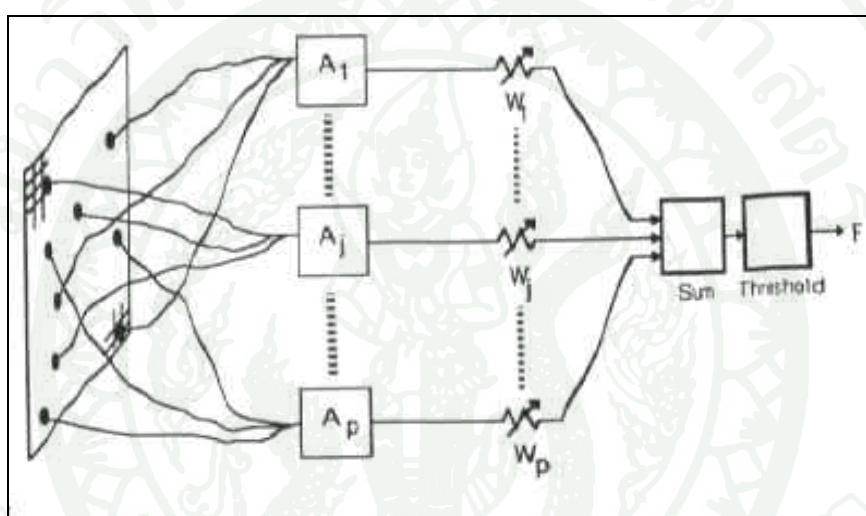
$$a^0 = p$$

$$a = a^m$$

และ f เป็น transfer function

4. Perceptrons

ในยุค 60s งานส่วนใหญ่ของข่ายงานได้รับการวิพากษ์วิจารณ์ในหัวข้อเรื่อง Perceptrons ซึ่งค้นพบโดย Frank Rosenblatt โดย perceptron ซึ่งกลายเป็น MCP model (neuron with weighted inputs) พร้อมกับส่วนต่อเติม จากรูปในส่วน A_1, A_2, A_j, A_p เรียกว่า association units การทำงานเพื่อคัดเลือกลักษณะที่แตกต่างออกมาจากรูปภาพที่รับเข้าไป โดย perceptrons สามารถคัดลอกความคิดพื้นฐานภายในของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม หลัก ๆ แล้วจะใช้ในรูปแบบ recognition และสามารถขยายให้มีความสามารถสูงกว่านี้



ภาพที่ 14 โครงสร้างของ Perceptrons

ในปี ค.ศ.1969 Minsky และ Papert ได้เขียนหนังสืออธิบายเกี่ยวกับขอบเขตของ Single-layer perceptrons ผลกระทบที่ได้รับจากหนังสือเล่มนั้นร้ายแรง เป็นเหตุให้นักวิจัยสาขา neural network สูญเสียผลประโยชน์ เนื่องจากหนังสือสามารถถ่ายทอดออกมาได้ดี และแสดงข้อมูลในเชิงคำนวณว่า Single-layer perceptrons ไม่สามารถที่จะสร้างรูปแบบการจดจำพื้นฐาน (basic pattern recognition operation) ได้ เช่น การกำหนดความคล้ายคลึงของรูปร่าง หรือกำหนดว่ารูปร่างใดสัมพันธ์กันหรือไม่ แต่สิ่งที่นักวิจัยไม่รู้จนกระทั่งยุค 80s คือ การได้รับการฝึกฝนที่ถูกต้อง ซึ่ง Multi-layer perceptrons สามารถดำเนินการแก้ไขสิ่งเหล่านี้ได้

การประยุกต์ใช้งาน Neural Network

แบบข่ายงานระบบประสาท (Neural Network) เนื่องจากความสามารถในการจำลองพฤติกรรมทางกายภาพของระบบที่มีความซับซ้อนจากข้อมูลที่ป้อนให้เรียนรู้ การประยุกต์ใช้

ข่ายงานระบบประสาทจึงเป็นทางเลือกใหม่ในการควบคุม ซึ่งมีผู้นำนามาประยุกต์ใช้งานหลายประเภท ได้แก่

1. งานการจัดจำรูปแบบที่มีความไม่แน่นอน เช่น ลายมือ ลายเส้น ตัวอักษร รูปหน้า
2. งานการประมาณค่าฟังก์ชันหรือการประมาณความสัมพันธ์ (มี inputs และ outputs แต่ไม่ทราบ ว่า inputs กับ outputs มีความสัมพันธ์กันอย่างไร)
3. งานที่สิ่งแวดล้อมเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ (วงจรขายนีวโรลสามารถปรับตัวเองได้)
4. งานจัดหมวดหมู่และแยกแยะสิ่งของ
5. งานทำนาย เช่น พยากรณ์อากาศ พยากรณ์หุ้น
6. การประยุกต์ใช้ข่ายงานระบบประสาทควบคุมกระบวนการทางเคมีโดยวิธีพยากรณ์แบบจำลอง (Model Predictive Control)

โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network)

โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) คือ การสร้างคอมพิวเตอร์ที่จำลองเอาวิธีการทำงานของสมองมนุษย์ หรือทำให้คอมพิวเตอร์รู้จักคิดและจดจำในแนวเดียวกับโครงข่ายประสาทของมนุษย์ เพื่อช่วยให้คอมพิวเตอร์ฟังภาษามนุษย์ได้เข้าใจ อ่านออก และรู้จำได้ ซึ่งอาจเรียกได้ว่าเป็น “สมองกล” โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม ประกอบด้วย input units ,output units โดยมีการกำหนดค่าน้ำหนักให้แก่เส้นทางการนำเข้าของ input แต่ละตัว ในการเรียนรู้ของเครือข่ายประสาท จะอาศัย Back-propagation Algorithm ในการเขียน การสร้างการเรียนรู้สำหรับ Neural Network เพื่อให้มีความคิดเสมือนมนุษย์ มีสองวิธี คือ Supervised Learning การเรียนรู้แบบมีการสอน เปรียบเทียบกับคน เหมือนกับการสอนนักเรียนโดยมีครูผู้สอนคอยแนะนำ และ Unsupervised Learning การเรียนรู้แบบไม่มีการสอน เปรียบเทียบกับคน เช่น การที่เราสามารถแยกแยะพันธุ์พืชพันธุ์สัตว์ตามลักษณะรูปร่างของมันได้เองโดยไม่มีใครสอน

สถาปัตยกรรมโครงข่าย แบ่งเป็น 4 แบบ คือ Feedforward network, Feedback network, Network Layer และ Perceptrons เนื่องจากความสามารถในการจำลองพฤติกรรมทางกายภาพของระบบที่มีความซับซ้อน จากข้อมูลที่ป้อนให้เพื่อการเรียนรู้ การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมมีผู้นามาประยุกต์ใช้งานหลายประเภท เช่น งานการจดจำรูปแบบที่มีความไม่แน่นอน งานการประมาณค่าฟังก์ชันหรือการประมาณความสัมพันธ์ งานที่สิ่งแวดล้อมเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอเนื่องจากวงจรขายนีวโรลสามารถปรับตัวเองได้ และนอกจากนี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ในงานต่าง ๆ อีกหลายงาน ตัวอย่างของงานที่นำโครงข่ายประสาทเทียมไปประยุกต์ใช้งานเช่น ในการวิเคราะห์ และออกแบบระบบที่ช่วยในการแนะนำผู้ปฏิบัติงานในการควบคุมระบบปรับอากาศของอาคาร เพื่อให้ประหยัดพลังงานมากที่สุดในขณะที่ยังรักษาสมรรถะของระบบไว้สูงสุด ซึ่งเป็นการวิจัยที่เลือกอาคารสำนักงานใหญ่ธนาคารไทยพาณิชย์ (SCB Phase1) ซึ่งตั้งอยู่ที่ ไกล่สีแยกรัชโยธิน บางเขน กรุงเทพฯ เป็นต้น

FUZZY LOGIC

ฟัซซีลอจิก (fuzzy logic) ศาสตร์ด้านการคำนวณที่เข้ามามีบทบาทมากขึ้นในวงการวิจัยด้านคอมพิวเตอร์ และได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ มากมาย เช่น ด้านการแพทย์ ด้านการทหาร ด้านธุรกิจ ด้านอุตสาหกรรม เป็นต้น มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่นักศึกษาด้านวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ วิทยาการคอมพิวเตอร์ และเทคโนโลยีสารสนเทศ ควรจะได้ศึกษาเพื่อทำความเข้าใจในศาสตร์ฟัซซีลอจิกและโครงข่ายประสาทเทียมให้ลึกซึ้งทั้งนี้เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆซึ่งนับวันจะยังมีความต้องการระบบคอมพิวเตอร์ที่มีความสามารถในการปรับเปลี่ยน ระบบได้โดยอัตโนมัติตามสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไป มีการตัดสินใจแบบชาญฉลาดยิ่งมนุษย์ได้มากขึ้น ซึ่งมนุษย์สามารถแก้ปัญหาต่างๆที่ไม่เคยพบได้โดยอาศัยความรู้เท่าที่ได้เรียนรู้มาประยุกต์ในการแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ระบบฟัซซี

เป็นระบบด้านคอมพิวเตอร์ที่ทำงานโดยอาศัยฟัซซีลอจิกที่คิดค้นโดย L. A. Zadeh ในปี ค.ศ. 1965 ซึ่งเป็นผลงานวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาเอก ฟัซซีลอจิกเป็นตรรกะที่อยู่บนพื้นฐานความเป็นจริงที่ว่า ทุกสิ่งบนโลกแห่งความเป็นจริงไม่ใช่มีเฉพาะสิ่งมีความแน่นอนเท่านั้น แต่มีหลายสิ่งหลายเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างไม่เที่ยงและไม่แน่นอน (uncertain) อาจเป็นสิ่งที่คลุมเครือ (fuzzy) ไม่ใช่ชัดเจน (exact) ยกตัวอย่างเช่น เซตของอายุคน อาจแบ่งเป็น วัยทารก วัยเด็ก วัยรุ่น วัยกลางคน และวัยชรา จะเห็นได้ว่าในแต่ละช่วงอายุคนไม่สามารถระบุได้แน่ชัดว่าวัยทารกกับวัยเด็กแยกจากกันแน่ชัดช่วงใด วัยทารกอาจถูกตีความว่าเป็นอายุระหว่าง 0 ถึง 1 ปี บางคนอาจตีความว่าวัยทารกอยู่ในช่วงอายุ 0 ถึง 2 ปี ในทำนองเดียวกัน วัยเด็กและวัยรุ่น ก็ไม่สามารถระบุได้ชัดเจนว่าช่วงต่อของอายุควรจะอยู่ในช่วงใด อาจตีความว่าวัยเด็กมีอายุอยู่ในช่วง 1 ถึง 12 ปี หรืออาจเป็น 2 ถึง 10 ปี เป็นต้น สิ่งเหล่านี้เป็นตัวอย่างของความไม่แน่นอน ซึ่งเป็นลักษณะทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นทั่วไป เซตของเหตุการณ์ที่ไม่แน่นอนเช่นนี้เรียกว่าฟัซซีเซต (fuzzy set)

จากแนวความคิดของ Zadeh เกี่ยวกับความไม่แน่นอนได้มีการขยายแนวคิดเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในด้านต่างๆ มากมายจนนับไม่ถ้วน ได้มีนักวิจัยได้คิดค้นทฤษฎีเสริมกับแนวคิดเดิมจนทำให้ฟัซซีเซตโดดเด่นในวงการคอมพิวเตอร์ ถึงแม้ว่าฟัซซีเซตจะนำเสนอจากคนอเมริกันแต่ประเทศอเมริกาก็ไม่ได้นำไปประยุกต์ใช้อย่างจริงจังในช่วงต้นๆ

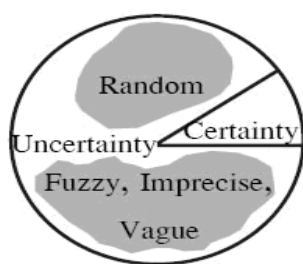
แต่ประเทศญี่ปุ่นเล็งเห็นคุณค่าของศาสตร์ด้านนี้ได้เป็นผู้บุกเบิกฟัซซีเซตทางการค้า โดยได้นำไปประยุกต์ใช้ในเครื่องใช้ไฟฟ้ามากมาย เช่น เครื่องปรับอากาศ เครื่องซักผ้า หม้อหุงข้าว และอื่นๆ อีกมากมาย

ในยุคปัจจุบันประเทศสหรัฐอเมริกาได้ให้ความสำคัญกับศาสตร์นี้มากขึ้น โดยได้มีการทุ่มงบประมาณให้กับการวิจัยมากขึ้น และฟัซซีลอจิกถูกนำไปประยุกต์ใช้งานต่าง ๆ มากมาย ตัวอย่างเช่น ในโครงการอวกาศ NASA และโครงการด้านการทหาร

แนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับฟัซซีลอจิก

ตรรกะแบบฟัซซี(fuzzy logic) เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจภายใต้ความไม่แน่นอนของข้อมูลโดยยอมให้มีความยืดหยุ่นได้ ใช้หลักเหตุผลที่คล้ายการเลียนแบบวิธีความคิดที่ซับซ้อนของมนุษย์ ฟัซซีลอจิกมีลักษณะที่พิเศษกว่าตรรกะแบบจริงเท็จ (Boolean logic) เป็นแนวคิดที่มีการต่อขยายในส่วนของความจริง(partial true) โดยค่าความจริงจะอยู่ในช่วงระหว่างจริง (completely true) กับเท็จ (completely false) ส่วนตรรกศาสตร์เดิมจะมีค่าเป็นจริงกับเท็จเท่านั้น

ความเป็นฟัซซี (fuzziness) มีชื่อเรียกว่า มัลติวาลานซ์ (multivalance) ซึ่งมีค่าที่ความเป็นสมาชิกมากกว่า 2 ค่า และแตกต่างกับไบวาลานซ์ (bivalence) ที่มีความเป็นสมาชิกเพียง 2 ค่า ฟัซซีเซต (Fuzzy set) เป็นเครื่องมือทางคณิตศาสตร์ที่สื่อถึง “ความไม่แน่นอน (uncertainty)” สามารถที่ ไม่ใช่ เพียง 2 กรณี ซึ่งหากกำหนดว่า คนที่อ้วนคือคนที่มีน้ำหนักมากกว่า 75 กิโลกรัม คอมพิวเตอร์จะให้ผลว่าคนที่น้ำหนัก 74.50 กิโลกรัม ไม่จัดเป็นคนที่อ้วน จะสร้างและกำหนดรูปแบบ (modeling) ของลักษณะความไม่แน่นอนที่เป็นความคลุมเครือ ความไม่ตายตัว รวมถึงความขาดข้อมูลบางส่วน โดยทฤษฎีของฟัซซีเซตจะใช้ลักษณะความหมายตัวแปร (linguistic) มากกว่า ปริมาณ (quantitative) ของตัวแปร เช่น การหาความหมายของ “คนที่อ้วน” เราไม่สามารถนิยามค่าความอ้วนที่ตรงกันและระบุเป็นหนึ่งเดียว (identical) สำหรับคนที่อ้วน นาย ก. จะให้ความหมายของ “คนอ้วน” หมายถึงคนที่มีน้ำหนักมากกว่า 70 กิโลกรัม นาย ข. ให้ความหมายว่าเป็นคนที่มีน้ำหนักมากกว่า 75 กิโลกรัม ซึ่งทั้งสองคนต่างแสดงความหมายของคำว่าคนที่อ้วนโดยเปรียบเทียบและในมุมมองของตัวเองตามน้ำหนักของตน ในการทำงานในมุมมองแบบฐานสอง (Binary sense) จะได้ผลเป็น ใช่ หรือ แต่จะเห็นว่าบุคคลนี้เป็นคนอ้วนน้ำหนักเกือบจะ 75 กิโลกรัม และถึงแม้ว่าบุคคลนี้จะมีน้ำหนัก 75 กิโลกรัม แต่หากพิจารณาจากกลุ่มคนที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 90 กิโลกรัม บุคคลนี้ก็จะไม่จัดอยู่ในกลุ่มคนที่อ้วน แสดงให้เห็นว่า ความอ้วนไม่ได้มีลักษณะความไม่แน่นอนแบบสุ่มจากการศึกษาปัญหาทั่ว ๆ ไปจะแสดงถึงรูปแบบลักษณะการกระจายของปัญหา แนวทางในการตัดสินใจของปัญหาทั้งหมดมีเพียงส่วนน้อยที่เป็นสิ่งที่แน่นอน (Certainty) ที่เหลือคือสิ่งที่ไม่แน่นอนซึ่งประกอบด้วยความไม่แน่นอนที่มีลักษณะแบบสุ่ม และความไม่แน่นอนที่มีลักษณะเป็นฟัซซี หรือคลุมเครือ ซึ่งมีมากกว่าร้อยละ 40 เพราะปัญหาส่วนมากเกี่ยวข้องกับการตัดสินใจของมนุษย์ซึ่งจะตัดสินใจตามพื้นฐานความคิดของตนเป็นหลัก



ความไม่แน่นอน (uncertainty)

ภาพที่ 15 ความไม่แน่นอน

ฟัซซีจะสร้างวิธีทางคณิตศาสตร์ที่แสดงถึงความคลุมเครือความไม่แน่นอนของระบบที่เกี่ยวข้องกับความคิดความรู้สึกของมนุษย์ เมื่อพิจารณาส่วนประกอบต่าง ๆ ในความไม่แน่นอนเพื่อกำหนดเงื่อนไขในการตัดสินใจ

(Decision making) โดยอาศัยเซตของความไม่เป็นสมาชิก (Set membership)

เซตแบบฉบับ

ในเซตแบบฉบับ (classical set) หรือเซตทวินัย (crisp set) เป็นเซตที่มีค่าความเป็นสมาชิกเป็น 0 หรือ 1 $\{0, 1\}$ เท่านั้น เซตในทฤษฎีเซตแบบฉบับจะมีขอบเขตแบบแข็ง (sharp boundary) ซึ่งเป็นขอบเขตที่ตัดขาดจากกันแบบทันทีทันใด เซตแบบฉบับมีการกำหนดค่าความเป็นสมาชิกตามแนวคิดเลขฐานสอง โดยที่ตัวแปรหนึ่ง ๆ จะมีค่าความเป็นสมาชิกเพียงสองค่า คือ 0 ไม่เป็นสมาชิก และ 1 เป็นสมาชิก ตัวอย่างเช่น เซตของกลุ่มแต่งงาน จะสามารถบอกได้อย่างแน่ชัดว่าเป็นกลุ่มผู้แต่งงานหรือไม่แต่งงาน

เซตย่อยสองเซต คือเซตของผู้ที่แต่งงานและเซตของผู้ที่ไม่แต่งงาน จะเห็นได้ว่าคนหนึ่งคนจะเป็นสมาชิกภาพได้เพียงเซตเดียวเท่านั้น แต่งงานหรือไม่แต่งงาน ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซตผู้ที่ไม่แต่งงาน จากภาพจะเห็นได้ว่า ผู้ที่แต่งงานแล้วจะมีค่าความเป็นสมาชิกในเซตของผู้ที่ไม่แต่งงานเป็น 0 ส่วนผู้ที่ไม่แต่งงานมีค่าความเป็นสมาชิกภาพของเซตผู้ที่ไม่แต่งงานเป็น 1 ค่าความเป็นสมาชิกของทั้งสองเซตจะตัดขาดจากกันอย่างทันทีทันใด รูปแบบคณิตศาสตร์ของเซตแบบฉบับมีรูปดังนี้

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases}$$

เมื่อ A เป็นเซตแบบฉบับหรือเซตแบบทวินัย x เป็นสมาชิกในเซต μ_A เป็นค่าความเป็นสมาชิกในเซต และ $\mu_A(x)$ เป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิกในเซต A

ระบบกฎแบบฟัซซี

ในระบบปัญญาประดิษฐ์ (artificial intelligence) หรือเครื่องจักรอัจฉริยะ (machine intelligence) มีวิธีการหลายวิธีในการที่จะแสดงองค์ความรู้ของมนุษย์ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ตรรกะ (logic) เฟรม (frames) โครงข่ายความหมาย (semantic nets) ภาววิทยา (ontology) และกฎ (rules) ซึ่งแบบหลังสุดเป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในระบบฟัซซี

รูปแบบกฎฟัซซี

ในระบบฟัซซีองค์ความรู้สามารถแสดงในรูปประโยค

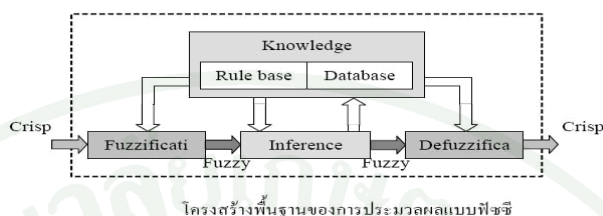
- ถ้า ข้อตั้ง (ข้อนำ) ดังนั้น ข้อยุติ (ข้อตาม)
- IF premise (antecedent), THEN conclusion (consequent)

ข้อความข้างต้นเป็นที่รู้จักกันในนาม “รูปแบบฐานกฎถ้า-ดังนั้น” (IF-THEN rule-based form) หรือ รูปแบบนิรนัย (deductive form) ในรูปแบบการแสดงอนุมาน หากเราทราบความจริง (ข้อตั้ง ข้อสมมุติฐาน หรือข้อนำ) แล้วเราสามารถอนุมาน หรือหาข้อสรุปความจริงอีกอย่างหนึ่งที่เรียกว่า ข้อยุติหรือข้อตาม การแสดงรูปแบบองค์ความรู้นี้ เรียกว่า องค์ความรู้ตื้น (shallow knowledge) ซึ่งค่อนข้างมีความเหมาะสมในบริบทของภาษา เนื่องจากการแสดงประสบการณ์ของมนุษย์และองค์ความรู้เชิงศึกษาสำนึก (heuristics) ในรูปแบบประโยคภาษามนุษย์ที่ใช้ในการสื่อสารทั่วไป แต่ไม่เป็นรูปแบบองค์ความรู้ที่ลึกล้ำ แบบที่เป็นการรู้เอง เป็นโครงสร้าง เป็นฟังก์ชัน หรือเป็นพฤติกรรมของวัตถุรอบ ๆ ตัวเรา อย่างที่เรียกว่า อุปนัย (inductive)

ระบบกฎฟัซซีเป็นสิ่งที่มิประโยชน์ในการจัดรูปแบบของระบบที่ซับซ้อนที่สามารถสังเกตได้โดยมนุษย์ เพราะระบบเหล่านี้สามารถแสดงด้วยตัวแปรภาษาในข้อนำและข้อตามของกฎได้ ตัวแปรภาษาสามารถนำเสนอแสดงเชิงธรรมชาติด้วยฟัซซีเซตและตัวเชื่อมตรรกะของเซตเหล่านั้น

โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซี ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 4 ส่วนดังนี้



ภาพที่ 16 โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซี

ส่วนที่แปลงการอินพุตทั่วไปเปลี่ยนเป็นการอินพุตแบบตัวแปรฟัซซี (Fuzzification) หรือในรูปแบบเซตฟัซซีหรือเรียกว่าเป็นตัวแปรภาษา (Linguistic Variable)

ฐานความรู้ (Knowledge base) เป็นส่วนที่จัดเก็บรวบรวมข้อมูลในการควบคุมประกอบ 2 ส่วนคือ ฐานกฎ (Rule base) และฐานข้อมูล (Database)

ฐานกฎ (Rule base) ส่วนของการกำหนดวิธีการควบคุม ซึ่งได้จากผู้เชี่ยวชาญในรูปแบบของชุดข้อมูลแบบกฎของภาษา (Linguistic rule)

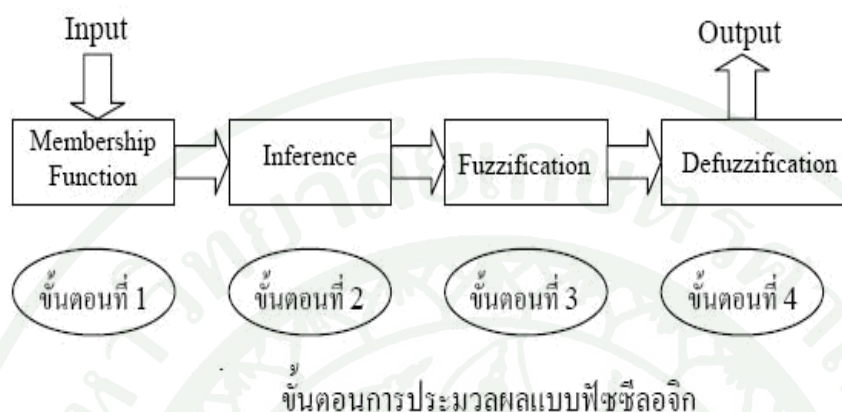
ฐานข้อมูล (Database) เป็นการเตรียมส่วนที่จำเป็นเพื่อที่จะใช้ในการกำหนดกฎการควบคุม และการจัดการข้อมูลของตรรกศาสตร์ฟัซซี

เครื่องอนุมานหรือการตีความ (Inference Engine) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ตรวจสอบข้อเท็จจริงและกฎ เพื่อใช้ในการตีความหาเหตุผล เหมือนกลไกสำหรับควบคุมการใช้ความรู้ในการแก้ไขปัญหา รวมทั้งการกำหนดวิธีการของการตีความเพื่อหาคำตอบ

ส่วนที่แปลงการเอาต์พุตให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม (Defuzzification) เป็นการทำการแปลงข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบฟัซซีให้เป็นค่าที่สรุปผลหรือค่าการควบคุมระบบ

ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิก

ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซีลอจิกมีรูปแบบการทำงานเป็น 4 ส่วน



ภาพที่ 17 ขั้นตอนการประมวลผลแบบฟัซซี

ขั้นตอนที่ 1 เป็นการแปลงการอินพุตแบบทวินัยเปลี่ยนเป็นการอินพุตแบบตัวแปรฟัซซี โดยจะสร้างฟังก์ชันความเป็นสมาชิก โดยไม่จำเป็นต้องมีลักษณะเดียวกัน ขึ้นกับคุณลักษณะของแต่ละการอินพุต (Input) และความสำคัญต่อการเอาต์พุต (Output) ที่น่าสนใจโดยฟังก์ชันจะมีลักษณะเป็นการกำหนดภาษาสามัญ เพื่อให้เป็นฟัซซีการอินพุต

ขั้นตอนที่ 2 เป็นการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างการอินพุตทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับเอาต์พุตที่อาศัยหลักการของการหาเหตุและผล อาจจะสร้างการเก็บข้อมูล การคาดการณ์จากการตัดสินใจของมนุษย์ หรือค่าจากการทดลอง โดยเขียนเป็นกฎการควบคุมระบบ ซึ่งจะมีลักษณะอยู่ในรูปแบบ ถ้า (If) และ (And) หรือ (Or) ซึ่งเป็นภาษาสามัญ นำกฎทั้งหมดมาประมวลผลรวมกัน เพื่อการหาตัดสินใจที่เหมาะสม

ขั้นตอนที่ 3 เป็นการหาฟัซซีเอาต์พุต โดยการนำกฎการควบคุมที่สร้างขึ้น ในขั้นตอนที่ 2 มาประมวลผลกับฟัซซีอินพุต โดยใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ เพื่อนำค่าที่ได้ประมวลผล

โครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี

ฟัซซีลอจิกและโครงข่ายประสาทเทียมต่างก็มีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน ฟัซซีลอจิกมีข้อดีในเรื่องการมีเหตุผลเชิงตรรกะ โครงสร้างของระบบฟัซซีสามารถเข้าใจได้เนื่องจากสามารถตีความได้ในรูป If-Then ซึ่งสอดคล้องกับตรรกะความคิดของมนุษย์ และนอกจากนั้นฟัซซีลอจิกยังช่วยในการตัดสินใจที่คลุมเครือที่ยอมให้การตัดสินใจเป็นแบบส่วน ไม่ใช่ผิดหรือถูกเพียงสองสถานะ แต่จะเป็นดีกรีของความถูกหรือผิด ซึ่งเป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติอยู่แล้ว

สำหรับข้อเสียของระบบฟัซซีก็คือ ไม่มีกระบวนการเรียนรู้ในการปรับแต่งโครงสร้างซึ่งกฎและตัวแปรต่าง ๆ ในตัวระบบเอง โครงสร้างของระบบจะถูกกำหนดโดยผู้เชี่ยวชาญในโดเมนที่กำลังพิจารณาร่วมกับนักเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เช่น ถ้าหากต้องการสร้างระบบเพื่อการวิเคราะห์โรคมะเร็ง แพทย์ผู้เชี่ยวชาญด้านโรคมะเร็งจะต้องเป็นผู้กำหนดกฎและตัวแปรต่าง ๆ ของระบบ และนอกจากนั้นแพทย์ผู้เชี่ยวชาญต้องตรวจสอบประเมินความถูกต้องของระบบ ซึ่งบ่อยครั้งในการสร้างระบบฟัซซีอาจไม่มีผู้เชี่ยวชาญในโดเมนดังกล่าว การสร้างระบบจึงอาจไม่สัมฤทธิ์ผล การที่ระบบฟัซซีไม่มีกระบวนการเรียนรู้ด้วยตนเองจึงถือเป็นข้อด้อย แต่อย่างไรก็ตามปัจจุบันนักวิจัยได้มีการใส่กระบวนการเรียนรู้เข้าไปในระบบฟัซซีโดยอาศัยทฤษฎีการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียมมีจุดเด่นด้านการเรียนรู้จากข้อมูล โครงข่ายประสาทเทียมมีการปรับแต่งความรู้ที่ซ่อนอยู่ภายในเครือข่ายที่มีการต่อเชื่อมโยงกันอย่างหนาแน่น มีการส่งผ่านข้อมูลที่จะประมวลผลจากอินพุตไปยังเอาต์พุตแบบขนาน การประมวลผลของโครงข่ายประสาทเทียมจึงเป็นไปอย่างรวดเร็ว แต่ถึงอย่างไรก็ตาม โครงข่ายประสาทเทียมก็มีจุดด้อยในด้านการตีความหาเหตุผล โครงข่ายประสาทเทียม ไม่สามารถให้เหตุผลได้ว่าเพราะเหตุใดจึงมีข้อสรุปออกมาดังที่ปรากฏที่เอาต์พุตของโครงข่าย จุดด้อยข้อนี้เป็นที่รู้จักกันดีในนาม “black box” หรือกล่องดำ จากข้อดีของฟัซซี ในด้านการให้เหตุผลเชิงมนุษย์และข้อดีโครงข่ายประสาทเทียมด้านการเรียนรู้จากข้อมูล เมื่อนำสองศาสตร์นี้มารวมกันจะกลายเป็นโครงข่ายประสาทเทียมแบบฟัซซี ซึ่งเป็นระบบที่กระบวนการเรียนรู้ในตัวเอง และโครงสร้างของระบบสามารถตีความหมายและให้เหตุผลได้ เช่นเดียวกับระบบฟัซซี

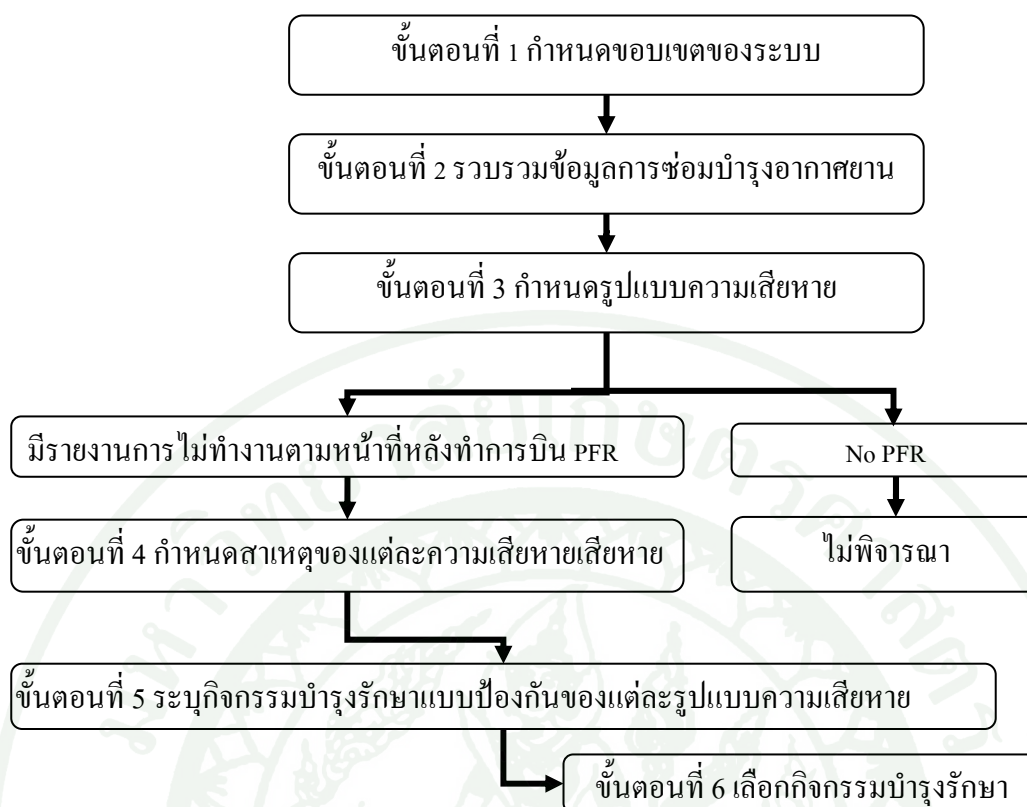
อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์
2. โปรแกรม Mysql Database, MS Access
3. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Visual basic

วิธีการ

การบำรุงรักษาแบบใช้การบำรุงรักษาตามสภาพโดยหลักการแบบจำลองนิเวศวิทยาซึ่งเป็นการตัดสินใจโดยพิจารณาถึงระดับความรุนแรงที่อาจเกิดเมื่อระบบอากาศยานหรืออุปกรณ์ของอากาศยานนั้นไม่ทำงานตามหน้าที่ เพื่อลำดับความต้องการในการบำรุงรักษา และจัดสรรรูปแบบการบำรุงรักษาที่เหมาะสมให้สัมพันธ์กับแต่ละเหตุการณ์ วิธีการบำรุงรักษาแบบการบำรุงรักษาตามสภาพ ในภาพที่ 18 เป็นการประยุกต์การบำรุงรักษาแบบการบำรุงรักษาตามสภาพ เพื่อให้เหมาะสมกับข้อมูลของบริษัท ไทยแอร์ เอเชีย โดยต้องทำการกำหนดขอบเขตของระบบ ศึกษาการทำงานและหน้าที่ของแต่ละอุปกรณ์ในระบบ พิจารณาลักษณะรูปแบบการเสียที่อาจเกิดขึ้นในแต่ละ อุปกรณ์ รวมทั้งผลของความเสียหายที่จะเกิดตามมาในแต่ละกรณี และทำการจัดลำดับความสำคัญ โดยศึกษาถึงความเสี่ยงที่เกิดขึ้นในแต่ละรูปแบบการเสียของอุปกรณ์ ซึ่งจะต้องทราบถึงความถี่ และความเสียหายที่ตามมา เพื่อนำมาการจัดลำดับความสำคัญของความเสียหายของอุปกรณ์ว่ารูปแบบความเสียหายแต่ละแบบมีความรุนแรงกระทบต่อระบบมากน้อยเพียงใด การบำรุงรักษาแบบใช้การบำรุงรักษาตามสภาพจะพิจารณารูปแบบความเสียหายที่ส่งผลกระทบต่อระบบ ก่อน โดยศึกษากิจกรรมบำรุงรักษาและรูปแบบการบำรุงรักษา เพื่อเลือกลำดับเพื่อวางแผนการบำรุงรักษาและหาความถี่ของการทำการบำรุงรักษาให้เหมาะสมเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้น ซึ่งผลที่ได้คืองานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน หลังจากนั้นจะนำกิจกรรมด้านการบำรุงรักษาที่ได้จากการบำรุงรักษาแบบการบำรุงรักษาตามสภาพ เปรียบเทียบกับกิจกรรมประจำด้านการบำรุงรักษาเดิม เพื่อลดหรือเพิ่มกิจกรรมบางส่วนทำให้ได้การบำรุงรักษาที่เหมาะสมที่สุด



ภาพที่ 18 กระบวนการของการบำรุงรักษาแบบใช้การบำรุงรักษาตามสภาพ

1. กำหนดขอบเขตของระบบ

การกำหนดขอบเขตของระบบที่จะนำหลักการของการบำรุงรักษาแบบการบำรุงรักษาตามสภาพไปประยุกต์ใช้ ขึ้นอยู่กับความต้องการในการวางแผนงานบำรุงรักษาและความละเอียดของข้อมูลด้านการบำรุงรักษา ว่าต้องการขอบเขตในการวางแผนงานการบำรุงรักษาแบบใช้การบำรุงรักษาตามสภาพเป็นอย่างไร ต้องการวางแผนงานบำรุงรักษาโดยรวมของอากาศยาน หรือต้องการวางแผนงานบำรุงรักษาเฉพาะระบบใดระบบหนึ่ง ซึ่งในการกำหนดขอบเขตนี้ ต้องพิจารณาถึงความละเอียดของข้อมูลด้านการบำรุงรักษาที่บริษัทไทยแอร์ เอเชีย ที่เคยเก็บบันทึกไว้ด้วย

ในวิทยานิพนธ์นี้ยกตัวอย่างการกำหนดขอบเขตของระบบของอากาศยานที่มีระบบคอมพิวเตอร์หรือระบบอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมและสามารถทำการบันทึกใน Post Flight Report ได้ เช่น ระบบเครื่องยนต์ ระบบการควบคุมการบิน ระบบความดัน เป็นต้น

2. รวบรวมข้อมูลการบำรุงรักษา

การรวบรวมข้อมูลการบำรุงรักษาเริ่มจากการรวบรวมข้อมูลการบำรุงรักษาต่างๆ ในขอบเขตที่ทำการศึกษาทั้งคู่มือทางด้านเทคนิคและข้อมูลการบำรุงรักษาของอากาศยานแบบ Airbus A320 ซึ่งอาศัยข้อมูลเหตุการณ์ระบบอากาศยานขัดข้องเป็นข้อมูลหลักซึ่งการบันทึกข้อมูลได้ทำการบันทึกในโปรแกรมการจัดเก็บการซ่อมบำรุงตามภาพที่ 19 ข้อมูลด้านการบำรุงรักษาที่สำคัญในการพิจารณาการบำรุงรักษาแบบการบำรุงรักษาตามสภาพ คือ ข้อมูลกิจกรรมในการบำรุงรักษาและ มูลค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาระบบ ซึ่งพิจารณาทุกรูปแบบการบำรุงรักษา (การบำรุงรักษาแบบ ป้องกัน การบำรุงรักษาแบบแก้ไข และการบำรุงรักษาแบบปรับปรุง) และทำการรวบรวมกิจกรรมและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเดิม เพื่อนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบหากมีการปรับเปลี่ยนกิจกรรมบำรุงรักษา

The screenshot displays the 'AIRCRAFT-FLIGHT-DETAIL' window in the TAA-MOC PFR-ENTRY system. It includes a dropdown for 'Select an aircraft' (HS-AB1), a date field set to '01-Jan-09', and a table of flight data with columns: GMT_Start, GMT_Stop, Flt No, City, and Pair. Below this is a 'Warning Message' table with columns: GMT, Phase, ATA, Msg, warn_type, TPU, and repeat. The 'Fault Message' table at the bottom has columns: GMT, phase, ATA, Msg, Source, Class, Iden1, Iden2, and Iden3.

GMT_Start	GMT_Stop	Flt No	City	Pair
09:50	10:40	AI03617	VDPP	VTBS

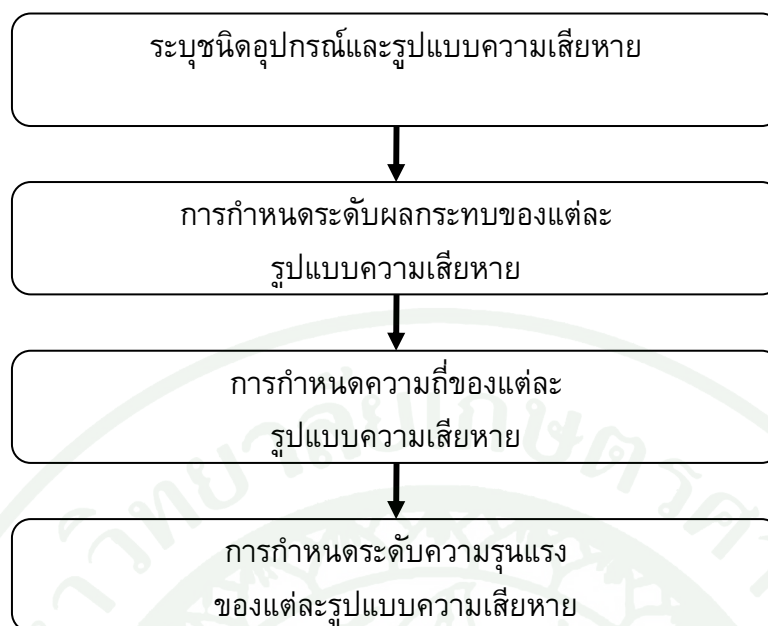
GMT	Phase	ATA	Msg	warn_type	TPU	repeat
10:09	06	21-26	VENT BLOWER FAULT	ewrn	No	
10:29	N/A	21-26	VENT EXTRACT FAULT	ewrn	No	

GMT	phase	ATA	Msg	Source	Class	Iden1	Iden2	Iden3
09:50	02	23-11-00	ICAO ADDRESS/HF2(3RE2)	HF 2				
09:50	02	23-11-00	ICAO ADDRESS/HF1(3RE1)	HF1				
09:50	02	38-31-41	TOILET ASSY LAV D	TOILET				

ภาพที่ 19 โปรแกรมการจัดเก็บข้อขัดข้องอากาศยานจากข้อมูล PFR

3. กำหนดรูปแบบความเสียหาย

ในการกำหนดรูปแบบความเสียหาย เริ่มจากการระบุชนิดอุปกรณ์ที่เกิดความเสียหายและรูปแบบความเสียหาย หลังจากนั้นทำการกำหนดระดับผลกระทบและความถี่ของแต่ละรูปแบบความเสียหาย เพื่อกำหนดระดับความรุนแรงของแต่ละรูปแบบความเสียหาย ซึ่งขั้นตอนในการกำหนดรูปแบบความเสียหายของระบบเป็นไปดังภาพที่ 20



ภาพที่ 20 ขั้นตอนในการกำหนดรูปแบบความเสียหายของระบบ

3.1 ระบบนิคอุปกรณ์และรูปแบบความเสียหาย

กำหนดชนิดอุปกรณ์และรูปแบบความเสียหายตามรายละเอียดข้อมูล Aircraft System Failure Detail โดยใช้ข้อมูลเหตุการณ์ระบบอากาศยานขัดข้อง เดือนมกราคม ถึง มิถุนายน ปี พ.ศ. 2552 ในตารางที่ 2 ซึ่งระบบนิคของอุปกรณ์และลักษณะการชำรุดของอุปกรณ์ ตัวอย่างข้อมูลชนิดอุปกรณ์และรูปแบบความเสียหายจากข้อมูลเหตุการณ์ระบบอากาศยานขัดข้อง ซึ่งในที่นี้ได้ทำการกำหนดรูปแบบความเสียหายที่เกิดขึ้นตามข้อมูลลักษณะการชำรุดของระบบและอุปกรณ์อากาศยาน

ตารางที่ 2 ตัวอย่างข้อมูลชนิดอุปกรณ์และรูปแบบความเสียหาย

DATE	AC_REG	ATA	Class	Message	Sorce
01-Jan-09	HS-AB8	80-11-20	3	SAV (SOL), J9, ECU ENG2A	EIU2FADEC
01-Jan-09	HS-AB8	73-21-40	2	T12 SNSR, J9, ECU ENG1A	EIU1FAD
01-Jan-09	HS-AB8	78-31-18	2	STOW SW, J5/J6, ECU ENG1A	EIU1FAD
01-Jan-09	HS-AB8	78-31-18	2	STOW SW, J5/J6, ECU ENG1B	EIU1FAD

3.2 การกำหนดระดับผลกระทบของแต่ละรูปแบบความเสียหาย (Failure Severity)

การพิจารณาระดับความรุนแรงของรูปแบบความเสียหายของอุปกรณ์ สามารถพิจารณาได้จากผลกระทบหรือความรุนแรงของความเสียหายที่เกิดขึ้นเมื่อเกิดความเสียหายรูปแบบนั้นๆ โดยจะคำนึงถึง

- ความสูญเสียเมื่อเกิดเหตุการณ์ระบบอากาศยานขัดข้อง
- จำนวนผู้โดยสารที่ได้รับผลกระทบเมื่อเกิดเหตุการณ์อากาศยานขัดข้อง
- มูลค่าความเสียหายของบริษัทเมื่อระบบหรืออุปกรณ์อากาศยานขัดข้อง

ข้อมูลปรากฏที่สูญเสียเมื่อเกิดเหตุการณ์ระบบอากาศยานขัดข้องและจำนวนผู้โดยสารที่ได้รับผลกระทบเมื่อเกิดเหตุการณ์ระบบอากาศยานขัดข้อง นำมาจากตาราง จากข้อมูลเหตุการณ์ระบบอากาศยานขัดข้อง ดังตาราง 3

ตารางที่ 3 ตัวอย่างข้อมูลความสูญเสียและจำนวนผู้โดยสารที่ได้รับผลกระทบเมื่อเกิดเหตุการณ์ระบบหรืออุปกรณ์อากาศยานขัดข้อง

DATE	AC_Reg	Message	Delay (Hrs)	Cost (USD)
01-Jan-09	HS-AB1	POWER SUPPLY INTERRUPT	0.5	1200
01-Jan-09	HS-AB1	ADIRU1+3(1FP1+3)BUS IR/ WXR1(1SQ1)	1	3000
01-Jan-09	HS-AB6	ADIRU1+3(1FP1+3)ADR BUS/ WXR1(1SQ1)	1	3000
01-Jan-09	HS-AB8	DIR1 (101RH)/ OBRM	0.1	100
01-Jan-09	HS-AB8	STOW SW, J5/J6, ECU ENG1B	0.2	200
01-Jan-09	HS-AB8	T12 SNSR, J9, ECU ENG1A	2	4200

จากข้อมูลของบริษัทสำหรับมูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ระบบหรืออุปกรณ์อากาศยานขัดข้อง ใช้ข้อมูลของผู้ที่ได้รับผลกระทบเมื่อเกิดเหตุการณ์ ระบบหรืออุปกรณ์อากาศยาน ขัดข้อง และข้อมูลมูลค่าความเสียหาย นำข้อมูลผลกระทบที่ ได้รับผลกระทบและมูลค่าความเสียหายเมื่อเกิด

เหตุการณ์ระบบหรืออุปกรณ์อากาศยานขัดข้อง มาจัดระดับผลกระทบออกเป็น ระดับสูง (High, H) ระดับกลาง (Medium, M) และระดับต่ำ (Low, L) โดยใช้หลักการ Fuzzy Logic ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ตัวอย่างการจัดระดับผลกระทบตาม CLASS

DATE	AC_REG	ATA	Class	Message	Effect Level
01-Jan-09	HS-AB1	24-00-00	1	POWER SUPPLY INTERRUPT ADIRU1+3(1FP1+3)ADR BUS/	High
01-Jan-09	HS-AB6	34-12-34	1	WXR1(1SQ1)	High
01-Jan-09	HS-AB8	23-73-00	1	DIR1 (101RH)/ OBRM	High
01-Jan-09	HS-AB8	78-31-18	2	STOW SW, J5/J6, ECU ENG1B	Medium
01-Jan-09	HS-AB8	80-11-20	3	SAV (SOL), J9, ECU ENG2A	Low
01-Jan-09	HS-AB8	80-11-20	3	SAV (SOL), J9, ECU ENG2A	Low
01-Jan-09	HS-AB8	73-21-40	2	T12 SNSR, J9, ECU ENG1A	Medium

จากการจัดระดับผลกระทบจากเหตุการณ์ สามารถพิจารณาให้รูปแบบความเสียหายที่มีผลกระทบ Class 1 เป็นรูปแบบความเสียหายที่สามารถเกิดขึ้นและมีผลกับความปลอดภัย โดยให้มีการจัดระดับความเสียหายที่มีผลกระทบเป็นระดับสูง (High; H) และกำหนดให้รูปแบบความเสียหายที่มีผลกระทบ Class 2 เป็นระดับกลาง (Medium; M) กำหนดให้รูปแบบความเสียหายที่มีผลกระทบ Class 3 เป็นระดับต่ำ (Low; L)

	CLASS 1 FAILURE	CLASS 2 FAILURE	CLASS 3 FAILURE
Operational consequence on the current flight	YES	NO	NO
Indicated to the pilots	YES Warnings/flags System pages	YES On the STATUS page	NO
Dispatch consequences	REFER TO MEL May be: "GO", "GO IF" or "NO GO"	FUNCTIONS LOST INDICATED IN MEL "GO" without condition	NO REFERENCE IN MEL
Maintenance information	Have to be reported by the pilots in the log book. Are indicated at the end of each flight leg. MEL entry is required.		Available on request. No fixed time for correction.

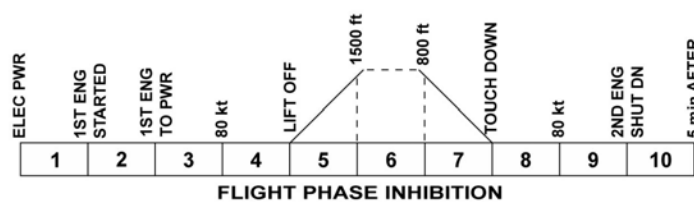
ภาพที่ 21 ระดับผลกระทบตาม CLASS

จากการจัดระดับผลกระทบจากเหตุการณ์ สามารถพิจารณาให้รูปแบบความเสียหายที่มีผลกระทบตาม ATA Chapter ซึ่งเป็นมาตรฐานกำหนดโดย ATA (Air Transport Association) ให้เครื่องบินพาณิชย์ใช้เป็นเอกสารเกี่ยวกับเครื่องบิน โดยแบ่งออกเป็น 100 Chapters และกำหนดตายตัวว่าบทที่เท่าไรว่าด้วยเรื่องอะไรและในบทย่อยๆออกไปก็กำหนดเช่นกันว่าด้วยเรื่องอะไร ไม่ว่าเครื่องบินนั้นๆ จะสร้างด้วยบริษัทอะไรในโลกเครื่องบินนั้นจะใหญ่หรือเล็กแค่ไหนก็จะกำหนดให้ใช้เหมือนกันหมด ถ้าเครื่องไหนไม่เกี่ยวข้องข้ามไปไม่ต้องมี เช่นบทที่ 60 ว่าด้วยเรื่องใบพัด ถ้าเครื่องนั้นไม่ใช่ใบพัด บทที่ 60 ก็ไม่ต้องมี ตัวอย่างเช่น chapter 24 ว่าด้วยเรื่อง Electrical Power ก็จะเป็น Chapter 24 รูปแบบความเสียหายของ ATA 27, 70-79 เป็นรูปแบบความเสียหายที่สามารถเกิดขึ้นและมีผลกับความปลอดภัยที่เกี่ยวข้องกับระบบพื้นบังคับและเครื่องยนต์ โดยให้มีการจัดระดับความเสียหายที่มีผลกระทบเป็นระดับสูง (High; H) และกำหนดให้รูปแบบความเสียหายที่มีผลกระทบตาม ATA Chapter ซึ่ง ATA 21, 24 เป็นระดับกลาง (Medium; M) กำหนดให้รูปแบบความเสียหายที่มีผลกระทบ ผลกระทบตาม ATA Chapter อื่นๆ เป็นระดับต่ำ (Low; L) ตัวอย่างการจัดระดับผลกระทบตาม ATA Chapter ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ตัวอย่างการจัดระดับผลกระทบตาม ATA Chapter

DATE	ac_reg	ATA	message	effect
01-Jan-09	HS-AB1	24-00-00	POWER SUPPLY INTERRUPT	Medium
01-Jan-09	HS-AB1	34-12-34	ADIRU1+3(1FP1+3)BUS IR/ WXR1(1SQ1)	Medium
01-Jan-09	HS-AB6	34-12-34	ADIRU1+3(1FP1+3)ADR BUS/ WXR1(1SQ1)	Medium
01-Jan-09	HS-AB8	23-73-00	DIR1 (101RH)/ OBRM	Low
01-Jan-09	HS-AB8	78-31-18	STOW SW, J5/J6, ECU ENG1B	High

จากการจัดระดับผลกระทบจากเหตุการณ์ สามารถพิจารณาให้รูปแบบความเสียหายที่มีผลกระทบ Phase 3, 4, 5, 7, 8 (Flight Phase) เป็นรูปแบบความเสียหายที่สามารถเกิดขึ้นและมีผลกับความปลอดภัย โดยให้มีการจัดระดับความเสียหายที่มีผลกระทบเป็นระดับสูง (High; H)



ภาพที่ 22 ช่วงการบิน PHASE

และกำหนดให้รูปแบบความเสียหายที่มีผลกระทบ Phase 6 (Flight Phase) เป็นระดับกลาง (Medium; M) กำหนดให้รูปแบบความเสียหายที่มีผลกระทบ Phase 1, 2, 9, 10 (Ground Phase) เป็นระดับต่ำ (Low; L) ซึ่งการจัดช่วงการบิน (Phase) สามารถแบ่งได้ตามรูปภาพที่ 22

ตารางที่ 6 ตัวอย่างการจัดระดับผลกระทบตาม Phase

AC_Reg	PH	Message	Effect
HS-AB5	02	DIR1 (101RH)/ OBRM	Low
HS-AB6	08	DIR1 (101RH)/ OBRM	High
HS-AB5	02	T12 SNSR, J10, ECU ENG2B	Low
HS-AB5	02	T12 SNSR, J10, ECU ENG2B	Low
HS-AB7	02	T12 SNSR, J10, ECU ENG1B	Low
HS-AB7	06	VHF3 (1RC3)	Medium
HS-AB7	02	VHF3 (1RC3)	Low
HS-AB7	05	T12 SNSR, J10, ECU ENG1B	High
HS-AB7	02	T12 SNSR, J10, ECU ENG1B	Low
HS-AB5	02	T12 SNSR, J10, ECU ENG2B	Low
HS-AB8	02	T12 SNSR, J9, ECU ENG1A	Low

3.3 การกำหนดความถี่ของแต่ละรูปแบบความเสียหาย (Failure Frequency)

ในการกำหนดระดับความรุนแรงของรูปแบบความเสียหาย ควรพิจารณาร่วมกันระหว่างผลกระทบของความเสียหายกับโอกาสที่เป็นไปได้ในการเกิดความเสียหายนั้นๆ ตัวอย่าง เช่น ถ้าผลกระทบที่เกิดจากการเสียหายนั้นรุนแรงแต่โอกาสในการเกิดการเสียหายนั้นมีค่าน้อยมาก ตลอดจนอายุการใช้งาน ในกรณีนี้พิจารณาว่ามีความรุนแรงน้อยกว่าเหตุการณ์เสียที่เกิดขึ้นบ่อยๆ ดังนั้นต้องมี การกำหนดความถี่ของแต่ละรูปแบบความเสียหาย เพื่อให้ทราบโอกาสที่เป็นไปได้ในการเกิดความเสียหาย

นั้นๆ ซึ่งจะแบ่งความถี่ออกเป็นระดับสูง ระดับกลางและระดับต่ำ โดยใช้ Neuro-Fuzzy ในภาพที่ 11 แสดงตัวอย่างข้อมูลรูปแบบความเสียหาย ซึ่งใช้การหาโดยวิธี Fuzzy Logic ตามตัวอย่างดังนี้

If Failure Class is High and Failure Phase is High and Failure Chapter is High Then
Failure Level is High

If Failure Class is High and Failure Phase is Medium and Failure Chapter is Low Then
Failure Level is Medium

If Failure Class is Low and Failure Phase is Low and Failure Chapter is Low Then Failure
Level is Low

ตารางที่ 7 แสดงตัวอย่างข้อมูลรูปแบบความเสียหาย ซึ่งใช้การหาโดยวิธี Fuzzy Logic

Failure Class	Failure Phase	Failure Chapter	Flt_Failure Level (PHase : 3,4,5,6,7,8)	Ground_Failure Level (Phase : 1,2,9,10)
High	High	High	High	-
High	High	Medium	High	-
High	High	Low	Medium	-
High	Medium	High	High	-
High	Medium	Medium	Medium	-
High	Medium	Low	Medium	-
High	Low	High	-	Medium
High	Low	Medium	-	Low
High	Low	Low	-	Low
Medium	High	High	High	-
Medium	High	Medium	Medium	-
Medium	High	Low	Medium	-
Medium	Medium	High	Medium	-
Medium	Medium	Medium	Medium	-
Medium	Medium	Low	Medium	-

ตารางที่ 7 (ต่อ)

Failure Class	Failure Phase	Failure Chapter	Flt_Failure Level (PHase : 3,4,5,6,7,8)	Ground_Failure Level (Phase : 1,2,9,10)
Medium	Low	Medium	-	Low
Medium	Low	Low	-	Low
Low	High	High	Low	-
Low	High	Medium	Low	-
Low	High	Low	Low	-
Low	Medium	High	Low	-
Low	Medium	Medium	Low	-
Low	Medium	Low	Low	-
Low	Low	High	-	Low
Low	Low	Medium	-	Low
Low	Low	Low	-	Low

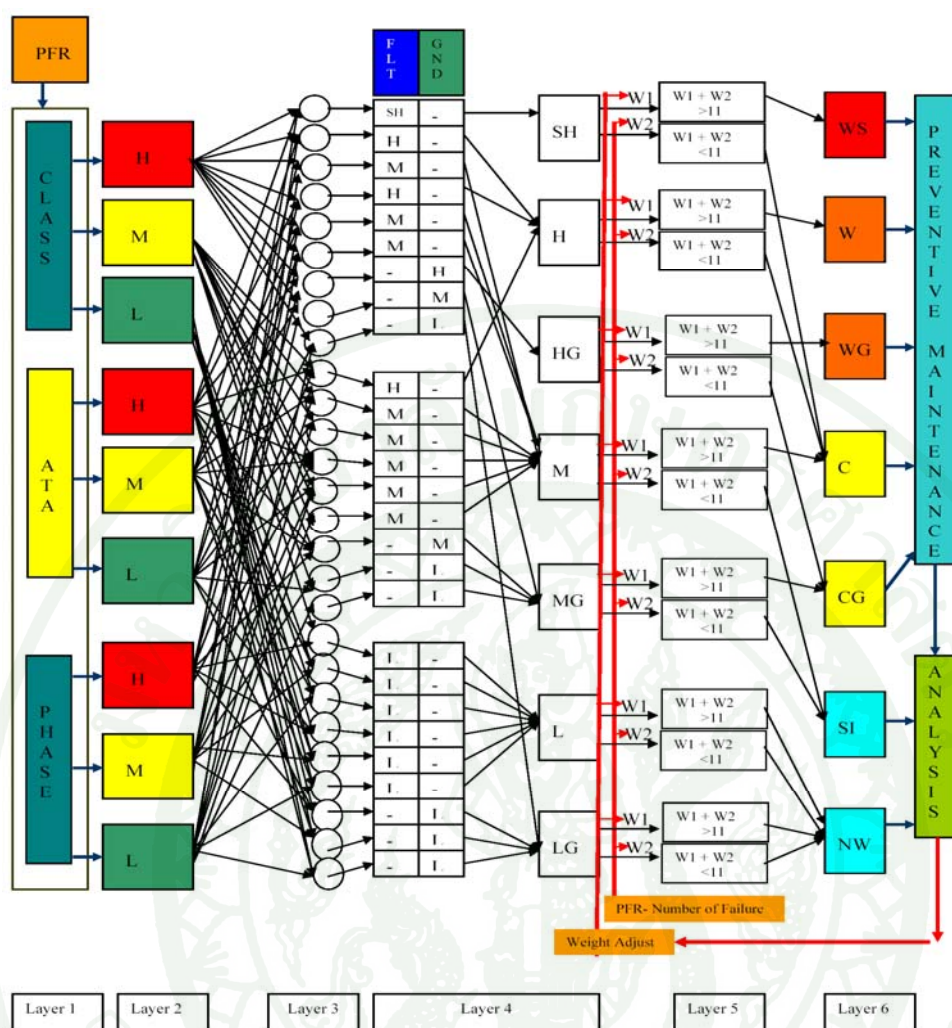
จากตารางที่ 7 เมื่อได้ผลกระทบจากวิธี Fuzzy logic ขึ้นต่อไปคือการนำค่าที่ได้มาทำการหาค่าความถี่การเกิดข้อขัดข้องสะสมในเวลา 3 วัน ซึ่งผลกระทบสุดท้ายขึ้นอยู่กับค่าของน้ำหนัก (W2) ของแต่ละ Failure Message ซึ่งค่าน้ำหนักขึ้นอยู่กับผลกระทบที่มีแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นหลังเกิด Failure Message เช่นถ้าเกิด Failure Message แล้วทำให้อากาศยานต้องหยุดทำการบินอย่างกระทันหันเพราะมีผลกระทบกับความปลอดภัยตามเอกสารคู่มือเทคนิค จะพิจารณาเป็นระดับสูง (High; H) ค่าน้ำหนักมีค่าเป็น 10 ถ้า Failure Message มีผลกระทบกับความปลอดภัยตามเอกสารคู่มือเทคนิค แต่ไม่ทำให้อากาศยานต้องหยุดทำการบินอย่างกระทันหัน จะพิจารณาเป็นระดับกลาง (Medium; M) ค่าน้ำหนักมีค่าเป็น 8 แต่ถ้า Failure Message มีผลกระทบกับความปลอดภัยน้อย จะพิจารณาให้มีผลกระทบระดับต่ำ (Low; L) ค่าน้ำหนักมีค่าเป็น 1 ตามตัวอย่างดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ตัวอย่างค่าน้ำหนักของ Failure Message

AC_Reg	Message	Weight
HS-AB5	DIR1 (101RH)/ OBRM	1
HS-AB5	T12 SNSR, J10, ECU ENG2B	10
HS-AB7	VHF3 (1RC3)	8

ดังนั้นรูปแบบหลังจากคำนวณหาระดับผลกระทบทั้งหมดแล้ว ขั้นสุดท้ายจะนำมาคำนวณหาระดับผลกระทบรวมของแต่ละรูปแบบความเสียหาย เมื่อเกิดเหตุการณ์อากาศยานขัดข้อง โดยถ้าความถี่การเกิดข้อขัดข้องสะสม(W1) ในเวลา 3 วัน และเกิดเหตุการณ์ที่มีผลกระทบเป็น High มากกว่า 1 ครั้ง ของ Failure Message ที่มีค่าน้ำหนักเป็น 10 ซึ่งจะทำให้ผลรวมของค่าน้ำหนัก (W1+W2) เป็น 11 และเป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นขณะทำการบินช่วงขณะทำการบินขึ้น (Phase 3, 4, 5, 7, 8) จะพิจารณาระดับการเตือนเป็นระดับสูงและเกี่ยวข้องกับความปลอดภัย(Safety and High)

ถ้าความถี่การเกิดข้อขัดข้องสะสมในเวลา 3 วัน มากกว่า 3 ครั้ง ของ Failure Message ที่มีค่าน้ำหนักเป็น 8 ซึ่งผลรวมของค่าน้ำหนักเป็น 11 และเป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นขณะทำการบินช่วงขณะทำการบินขึ้น (Phase 3, 4, 5, 7, 8) จะพิจารณาระดับการเตือนเป็นระดับสูงและเกี่ยวข้องกับความปลอดภัย(Safety and High) ถ้าความถี่การเกิดข้อขัดข้องสะสมในเวลา 3 วัน มากกว่า 10 ครั้ง ของ Failure Message ที่มีค่าน้ำหนักเป็น 1 ซึ่งผลรวมของค่าน้ำหนักเป็น 11 จะพิจารณาระดับการเตือนเป็นระดับสูง (High; H) ระดับผลกระทบรวมและระดับการเตือนสามารถหาโดยวิธี Neuro-Fuzzy ตามรูปที่ 23



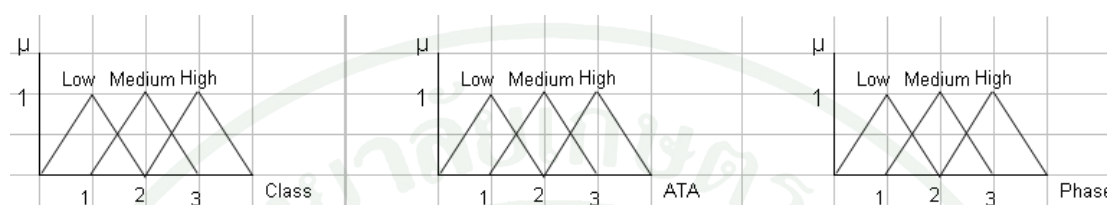
ภาพที่ 23 ระดับการเตือนโดยวิธี Neuro-Fuzzy

จากภาพที่ 23 จะพบว่าโครงสร้างของระบบนิวโรฟัซซี สามารถแบ่งออกได้เป็น 6 ชั้นด้วยกัน โดยแต่ละชั้นจะมีหน้าที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งสามารถแจกแจงรายละเอียดได้ดังนี้

ชั้นที่ 1 (Layer 1) ชั้นของข้อมูลอินพุต (Input Layer) โดยแต่ละโหนดในชั้นนี้จะทำหน้าที่รับสัญญาณ post flight report (Class, ATA and Phase) และนำส่งสัญญาณเข้าสู่ชั้นถัดไป

ชั้นที่ 2 (Layer 2) ชั้นของข้อมูลอินพุตของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function; μ) หรือ Fuzzification Layer ซึ่งแต่ละโหนดในชั้นนี้แสดงถึงฟัซซีเซต โดยแต่ละโหนดจะรับสัญญาณเข้าและตัดสินใจว่าควรอยู่ในระดับใดและแสดงในรูปแบบเป็นระดับสูง (High; H) เป็นระดับกลาง (Medium; M) และเป็นระดับต่ำ (Low; L) เช่น ATA 27 มีค่าเป็น 3 (High; H) จะได้ค่า

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก $\mu = 1$ Class 1 มีค่าเป็น 3 (High; H) ค่า $\mu = 1$ Phase 5 มีค่าเป็น 3 (High; H) ค่า $\mu = 1$ ในวิทยานิพนธ์นี้ใช้ฟังก์ชันแบบสามเหลี่ยม เป็นฟังก์ชันความเป็นสมาชิก ซึ่งค่าของ Class, ATA และ Phase จะมีค่าเพียง 3 ค่าเท่านั้นคือ 3(High; H) 2(Medium; M) และ 1(Low; L) ดังนั้นค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิก จะมีค่า $\mu = 1$ ทั้งหมด ดังรูปที่ 24



ภาพที่ 24 ค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

ชั้นที่ 3 (Layer 3) ชั้นกฎของฟัซซี (Fuzzy Rule Layer) แต่ละโหนดในชั้นนี้จะเป็นตัวแทนของกฎแต่ละกฎที่ทำการกำหนดไว้แล้ว โดยจะรับค่าสัญญาณจากชั้นที่ 2 โดยจากรูปที่ 23 จะเห็นว่าแต่ละโหนดเป็นตัวแทนของกฎแต่ละข้อ ซึ่งรับค่าจาก Class, ATA และ Phase และนำส่งสัญญาณจากภายนอกเพื่อเข้าสู่ชั้นถัดไป ซึ่งจะมี 27 กฎ โดยคำสั่ง If..Then เช่น If Failure Class is High and Failure Phase is High and Failure Chapter is High Then Failure Level is High ซึ่งผลของแต่ละกฎแสดงตามตารางที่ 9

ตารางที่ 9 Rule Base

Rule (b.)	Class	ATA	Phase	Consequence
Rule 1	High	High	High	High(3)
Rule 2	High	High	Medium	High(3)
Rule 3	High	High	Low	Medium(2)
Rule 4	High	Medium	High	High(3)
Rule 5	High	Medium	Medium	Medium(2)
Rule 6	High	Medium	Low	Medium(2)
Rule 7	High	Low	High	Medium(2)
Rule 8	High	Low	Medium	Low(1)

ตารางที่ 9 (ต่อ)

Rule (b _i)	Class	ATA	Phase	Consequence
Rule 9	High	Low	Low	Low(1)
Rule 10	Medium	High	High	High(3)
Rule 11	Medium	High	Medium	Medium(2)
Rule 12	Medium	High	Low	Medium(2)
Rule 13	Medium	Medium	High	Medium(2)
Rule 14	Medium	Medium	Medium	Medium(2)
Rule 15	Medium	Medium	Low	Medium(2)
Rule 16	Medium	Low	High	Low(1)
Rule 17	Medium	Low	Medium	Low(1)
Rule 18	Medium	Low	Low	Low(1)
Rule 19	Low	High	High	Low(1)
Rule 20	Low	High	Medium	Low(1)
Rule 21	Low	High	Low	Low(1)
Rule 22	Low	Medium	High	Low(1)
Rule 23	Low	Medium	Medium	Low(1)
Rule 24	Low	Medium	Low	Low(1)
Rule 25	Low	Low	High	Low(1)
Rule 26	Low	Low	Medium	Low(1)
Rule 27	Low	Low	Low	Low(1)

ชั้นที่ 4 (Layer 4) ชั้นของข้อมูลเอาต์พุตของ Layer 3 โหนดในชั้นนี้จะแสดงถึงผลลัพธ์ของกฎฟัซซี ซึ่งแต่ละโหนดในชั้นนี้จะรับค่าจากโหนดในชั้นที่ 3 จากนั้นจะได้ผลลัพธ์เป็นสัญญาณออกมาและนำส่งสัญญาณเพื่อเข้าสู่ชั้นถัดไป เช่น ถ้ามีสัญญาณจาก PFR เข้ามาโดย ATA มีค่าเป็น (High; H) Class 1 (High; H) และ Phase 5 (High; H) จะได้ค่า ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกดังนี้ $\mu_H(\text{Class})=1$, $\mu_M(\text{Class})=0$, $\mu_L(\text{Class})=0$, $\mu_H(\text{ATA})=1$, $\mu_M(\text{ATA})=0$, $\mu_L(\text{ATA})=0$, $\mu_H(\text{PHASE})=1$, $\mu_M(\text{PHASE})=0$, $\mu_L(\text{PHASE})=0$ แล้วทำการ Interference ตามตารางที่ 10

ตารางที่ 10 การทำ Interference ของ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

μ_i	Class	ATA	Phase	Out put (product method)
μ_1	μ_H	μ_H	μ_H	$1 \times 1 \times 1 = 1$
μ_2	μ_H	μ_H	μ_M	$1 \times 1 \times 0 = 0$
μ_3	μ_H	μ_H	μ_L	$1 \times 1 \times 0 = 0$
μ_4	μ_H	μ_M	μ_H	$1 \times 0 \times 1 = 0$
μ_5	μ_H	μ_M	μ_M	$1 \times 0 \times 0 = 0$
μ_6	μ_H	μ_M	μ_L	$1 \times 0 \times 0 = 0$
μ_7	μ_H	μ_L	μ_H	$1 \times 0 \times 1 = 0$
μ_8	μ_H	μ_L	μ_M	$1 \times 0 \times 0 = 0$
μ_9	μ_H	μ_L	μ_L	$1 \times 0 \times 0 = 0$
μ_{10}	μ_M	μ_H	μ_H	$0 \times 1 \times 1 = 0$
μ_{11}	μ_M	μ_H	μ_M	$0 \times 1 \times 0 = 0$
μ_{12}	μ_M	μ_H	μ_L	$0 \times 1 \times 0 = 0$
μ_{13}	μ_M	μ_M	μ_H	$0 \times 0 \times 1 = 0$
μ_{14}	μ_M	μ_M	μ_M	$0 \times 0 \times 0 = 0$
μ_{15}	μ_M	μ_M	μ_L	$0 \times 0 \times 0 = 0$
μ_{16}	μ_M	μ_L	μ_H	$0 \times 0 \times 1 = 0$
μ_{17}	μ_M	μ_L	μ_M	$0 \times 0 \times 0 = 0$
μ_{18}	μ_M	μ_L	μ_L	$0 \times 0 \times 0 = 0$
μ_{19}	μ_L	μ_H	μ_H	$0 \times 1 \times 1 = 0$
μ_{20}	μ_L	μ_H	μ_M	$0 \times 1 \times 0 = 0$
μ_{21}	μ_L	μ_H	μ_L	$0 \times 1 \times 0 = 0$
μ_{22}	μ_L	μ_M	μ_H	$0 \times 0 \times 1 = 0$
μ_{23}	μ_L	μ_M	μ_M	$0 \times 0 \times 0 = 0$
μ_{24}	μ_L	μ_M	μ_L	$0 \times 0 \times 0 = 0$
μ_{25}	μ_L	μ_L	μ_H	$0 \times 1 \times 1 = 0$
μ_{26}	μ_L	μ_L	μ_M	$0 \times 0 \times 0 = 0$
μ_{27}	μ_L	μ_L	μ_L	$0 \times 0 \times 0 = 0$

หลังจากนั้นทำการ Defuzzification ในขั้นนี้จากสมการ

$$\text{Output} = \frac{\sum b_i \mu_i}{\sum \mu_i} \dots\dots (1)$$

โดยค่า b_i คือค่ากฎของฟัซซีที่ได้จากตารางที่ 9 และ μ_i คือค่าที่ได้จากตารางที่ 10 หลังจากการคำนวณจะได้ค่า Output = 3 (High;H)

ขั้นที่ 5 (Layer 5) โหนดในขั้นนี้จะแสดงถึงค่าเอาต์พุตของการรวบรวมผลลัพธ์ที่ทำการส่งต่อมาจากขั้นที่ 4 และรับค่าน้ำหนัก(W1)ของแต่ละ Failure Message และรับค่าน้ำหนัก(W2)จำนวนการเกิดข้อขัดข้องแล้วนำค่าผลรวมของน้ำหนักมาเปรียบเทียบกับค่าขีดเปลี่ยน(Threshold) ซึ่งตั้งค่าไว้เป็น 11 และค่า Output ที่ได้จากการประมวลผลก็จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับผลรวมที่ได้ว่ามากหรือน้อยกว่าค่าขีดเปลี่ยน ตามสมการดังนี้

$$y = a(f) = a(\sum (w_i x_i) - \theta) \dots\dots\dots (2)$$

โดย y คือค่า out put θ คือ ค่าขีดเปลี่ยน(Threshold) w_i คือค่าน้ำหนักของแต่ละโหนด ซึ่งค่า x_i จะไม่นำมาคิดเพราะสัญญาณที่เข้ามาในแต่ละจุดจะมีค่าเท่ากัน และ $a(f)$ คือ ค่า activation function ซึ่งจะใช้ Hard Limiter(Threshold function) ตามสมการดังนี้

$$a(f) = \text{sgn}(f) = \begin{cases} 1 & \text{if } f > 0 \\ -1 & \text{if } f < 0 \end{cases} \dots\dots (3)$$

ซึ่งจากสมการที่ (3) จะได้ว่าค่าของ out put หรือค่า $a(f)$ จะมีค่าเป็น 1 หรือมีการเตือนตาม Input ที่รับเข้ามา แต่ถ้าค่า $a(f)$ มีค่าเป็น -1 หรือ ค่าผลรวมของน้ำหนักมีค่าน้อยกว่าค่าขีดเปลี่ยน ระดับการเตือนก็จะลดลงหนึ่งระดับ เช่น ถ้าสัญญาณที่เข้ามามีค่าเป็น High และเมื่อทำการประมวลผลแล้วค่า $a(f)$ มีค่าเป็น 1 ระดับการเตือนก็จะอยู่ในระดับสูงคือการ Warning(W) แต่ถ้าค่า $a(f)$ จะมีค่าเป็น -1 ระดับการเตือนก็จะลดลงหนึ่งระดับคือเปลี่ยนเป็น Caution(C) ส่วนค่าน้ำหนักของแต่ละ Failure Message ในขั้นนี้จะคำนวณหาค่าความผิดพลาด(E) ดังสมการดังนี้

$$E = d_i - y_i \dots\dots (4)$$

โดย d_i คือผลที่ต้องการตามความรุนแรง y_i คือผลที่เกิดขึ้นจริงของแต่ละ Failure Message แต่เนื่องจากการปรับค่าของค่าความผิดพลาดจะปรับโดยอัตโนมัติ เมื่อเกิดเหตุการณ์อากาศยานขัดข้องและความรุนแรงของเหตุการณ์อาจมากกว่าหรือน้อยกว่าค่าที่ตั้งไว้ตอนต้น ตัวอย่างเช่น ข้อขัดข้องที่เกิดจาก Failure Message T12 SNSR, J10, ECU ENG2B ซึ่งมีค่าน้ำหนัก เป็น 8 แต่ต่อมาพบว่าความรุนแรงที่เกิดจาก Failure Message นี้มีความรุนแรงทำให้อากาศยานต้องทำการบินอย่างกระทันหันค่าของน้ำหนักของ Failure Message T12 SNSR, J10, ECU ENG2B จะเปลี่ยนจาก 8 เป็น 10 โดยจากผลการบันทึกประวัติข้อขัดข้องของแผนการซ่อมบำรุง ดังแสดงในภาพที่ 25

ภาพที่ 25 การปรับค่าของน้ำหนักของ Failure Message

ชั้นที่ 6 (Layer 6) โหนดในชั้นนี้จะแสดงถึงค่าเอาต์พุตของระบบ โดยทำการรวบรวมผลลัพธ์ที่ทำการส่งต่อมาจากชั้นที่ 5 ซึ่งจะมี Output เป็นค่า Warning and Safety Alert (WS), Warning(W), Warning Ongoing(WG), Caution(C), Caution ongoing(CG), System Information(SI) และ No warning (NW) ซึ่งค่า NW หมายถึงระดับการเตือนจะไม่แสดงผลให้ผู้ใช้งานทราบ

4.4 การกำหนดระดับความรุนแรงของแต่ละรูปแบบความเสียหาย (Criticality)

การกำหนดระดับชั้น ด้วยกัน โดยแต่ละความรุนแรงของแต่ละรูปแบบความเสียหายสามารถนำระดับผลกระทบของแต่ละรูปแบบความเสียหายและความถี่ของแต่ละรูปแบบความเสียหายมาพิจารณาร่วมกัน เพื่อให้ทราบระดับความรุนแรงของแต่ละรูปแบบความเสียหายที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้จริง โดยพิจารณาจากเกณฑ์ในตารางที่ 11

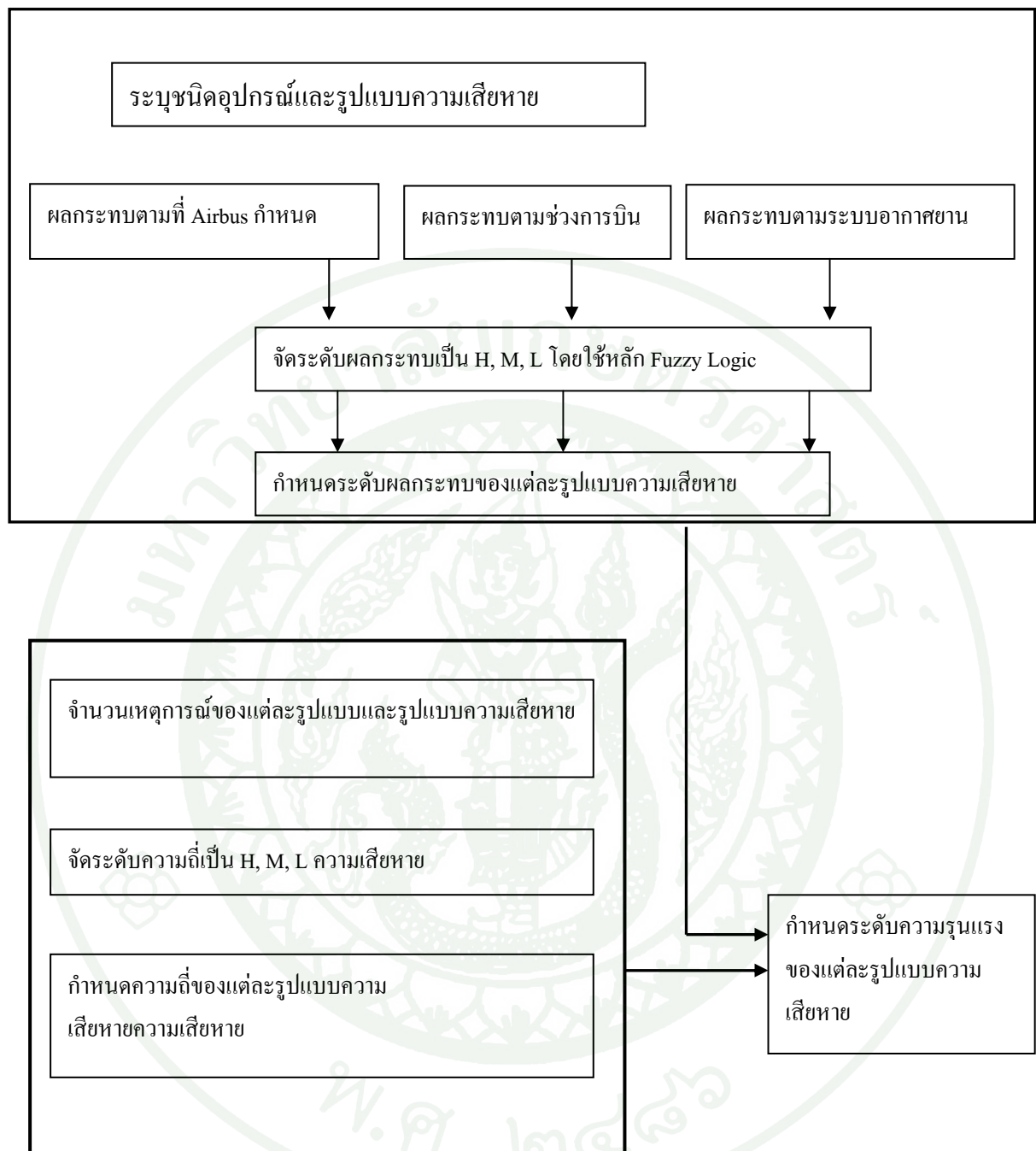
ตารางที่ 11 การกำหนดระดับความรุนแรงของแต่ละรูปแบบความเสียหาย

Failure Level	Failure Frequency	Warning Level
High	High	High
High	Medium	High
High	Low	Medium
Medium	High	High

ตารางที่ 11 (ต่อ)

Failure Level	Failure Frequency	Warning Level
Medium	Medium	Medium
Medium	Low	Low
Low	High	Low
Low	Medium	Low
Low	Low	Low

ในการพิจารณาการบำรุงรักษาแบบใช้การบำรุงรักษาตามสภาพให้ความสำคัญกับระดับความรุนแรงเมื่อเกิดความเสียหายแต่ละรูปแบบ โดยลำดับความสำคัญในการเลือกบำรุงรักษาแบบความเสียหายจากระดับความรุนแรง เมื่อพิจารณาแล้วพบว่ามีความเสียหายบางส่วนที่ไม่มี ความรุนแรง (Non-Critical; N/C) ขึ้นตอนในการกำหนดระดับความรุนแรงของแต่ละรูปแบบความเสียหายและข้อมูลที่ต้องใช้ในการกำหนดระดับความรุนแรงของแต่ละรูปแบบความเสียหายได้สรุปไว้ในภาพที่ 26



ภาพที่ 26 ขั้นตอนในการกำหนดระดับความรุนแรงของแต่ละรูปแบบความเสียหาย

4. กำหนดสาเหตุของแต่ละความเสียหาย

ข้อมูลสาเหตุความเสียหายนำมาจาก Failure Message และ Source Data จากตาราง Failure Message ซึ่งจะระบุแหล่งที่มาของสาเหตุเบื้องต้นที่ทำให้เกิดเหตุการณ์อากาศยานขัดข้อง ดังตัวอย่างในตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ตัวอย่างข้อมูลสาเหตุความเสียหาย (1 Jan 09 – 30 Jun 09)

ac_reg	PH	ATA	Failure Message	occur	source
HS-AB3	06	75-22-10	LPTC VLV, J12, ECU ENG2B	455	EIU2FAD
HS-AB3	06	75-22-10	LPTC VLV, J11, ECU ENG2A	359	EIU2FAD
HS-AB3	06	75-21-10	HPTC VLV, J12, ECU ENG1B	201	EIU1FAD
HS-AB3	06	75-21-10	HPTC VLV, J11, ECU ENG1A	187	EIU1FAD
HS-AB4	06	38-31-41	TOILET ASSY LAV D	147	TOILET
HS-AB3	06	75-21-10	HPTC VLV (POS), HMU ENG1B	126	EIU1FAD
HS-AB4	06	38-31-41	TOILET ASSY LAV E	113	TOILET
HS-AB5	06	38-31-41	TOILET ASSY LAV E	97	TOILET
HS-AB3	03	73-21-40	T12 SNSR, J10, ECU ENG2B	92	EIU2FAD
HS-AB3	04	73-21-40	T12 SNSR, J10, ECU ENG2B	92	EIU2FAD
HS-AB3	06	75-21-10	HPTC VLV (POS), HMU ENG1A	88	EIU1FAD
HS-AB3	06	38-31-41	TOILET ASSY LAV A	84	TOILET
HS-AB1	06	38-31-41	TOILET ASSY LAV D	74	TOILET
HS-AB7	08	78-31-16	TR PR SW, J5/J6, ECU ENG2A	73	EIU2FAD
HS-AB7	08	78-31-16	TR PR SW, J5/J6, ECU ENG2B	63	EIU2FAD
HS-AB8	08	78-31-18	STOW SW, J5/J6, ECU ENG1B	63	EIU1FAD
HS-AB3	06	75-22-10	LPTC VLV, J11 ECU ENG2A	58	EIU2FAD
HS-AB5	04	73-21-40	T12 SNSR, J10, ECU ENG2B	51	EIU2FAD
HS-AB8	08	78-31-18	STOW SW, J5/J6, ECU ENG1A	50	EIU1FAD
HS-AB3	06	38-31-41	TOILET ASSY LAV D	48	TOILET
HS-AB5	05	26-13-00	CHECK FDU APU LOOP B WARN CKT	43	FDU APU

นอกจากนี้ ยังมีข้อมูลรายละเอียดอื่นๆเพิ่มเติม จากตาราง Event Cause ซึ่งควรนำมาพิจารณา
รวมด้วย

ตารางที่ 13 ตัวอย่างข้อมูลรายละเอียดเพิ่มเติม

AC_Reg	ATA	Message	Actual Cause
HS-AB3	77-00	ENG 2 FADEC	T12 sensor fault
HS-AB4	21-26	VENT BLOWER FAULT	Connector Plug fault
HS-AB3	21-61	AIR PACK 2 REGUL FAULT	Pack temp sensor fault
HS-AB9	34-00	ADR 2	ADR fault
HS-AB1	23-12	COM VHF3 DATA FAULT	COM VHF3 fault
HS-AB9	27-00	F/CTL	SEC fault
HS-AB9	34-00	NAV ADR 2 FAULT	ADR fault
HS-AB9	27-00	F/CTL	SEC fault
HS-AB9	34-00	NAV ADR 2 FAULT	ADIRU fault
HS-AB8	34-00	ADR 2	ADIRU fault

5. ระบุกิจกรรมบำรุงรักษาแบบป้องกันของแต่ละรูปแบบความเสียหาย

ในการเลือกกิจกรรมบำรุงรักษาของแต่ละรูปแบบความเสียหาย ควรพิจารณาเฉพาะสาเหตุของความเสียหายที่สามารถทำการบำรุงรักษาแบบป้องกันได้ โดยอาศัยข้อมูลการบำรุงรักษาที่ได้จากการรวบรวมในขั้นตอนที่ 2 และการสอบถามพนักงานแผนกปฏิบัติการและบำรุงรักษา นำข้อมูลที่ได้มาพิจารณาเพื่อทำการเลือกกิจกรรมบำรุงรักษาแบบป้องกันที่สามารถป้องกันสาเหตุความเสียหายดังกล่าวได้และข้อมูลแบบประเมินเกี่ยวกับกิจกรรมบำรุงรักษาจากพนักงานแผนกปฏิบัติงานและบำรุงรักษาในตารางที่ 12 นำมาวิเคราะห์หาค่าใช้จ่ายด้านการบำรุงรักษาแบบป้องกันเมื่อทำกิจกรรมบำรุงรักษา เพื่อหาความคุ้มค่าในการเลือกกิจกรรมบำรุงรักษา เพื่อให้ได้ชนิดกิจกรรมและความถี่กิจกรรมที่เหมาะสมที่สุดและคุ้มค่าที่สุด โดยที่ขั้นตอนในการเลือกชนิดกิจกรรมบำรุงรักษาและความถี่ของกิจกรรมบำรุงรักษา

ตารางที่ 14 ตัวอย่างความถี่กิจกรรมการบำรุงรักษา

AC_REG	DATE	Message	Maintenance Action
HS-AB3	02-Jan-09	ENG 2 FADEC	Clean conector plug
HS-AB3	13-Jan-09	ENG 1 FADEC	Replace T12
HS-AB5	21-Jan-09	ENG 2 PROBES FAULT	Replace T12
HS-AB5	24-Jan-09	ENG 2 PROBES FAULT	Replace J10 Harness

การพิจารณาเลือกกิจกรรมบำรุงรักษา ต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายด้านการบำรุงรักษาเป็นสำคัญ โดยทำการพิจารณาค่าใช้จ่ายด้านการบำรุงรักษาแบบป้องกันเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายด้านการบำรุงรักษาแบบแก้ไข หากค่าใช้จ่ายด้านการบำรุงรักษาแบบป้องกันต่ำกว่าค่าใช้จ่ายด้านการบำรุงรักษาแบบแก้ไขจะพิจารณาด้านความถี่ของกิจกรรมบำรุงรักษาต่อไป แต่หากค่าใช้จ่ายด้านการบำรุงรักษาแบบป้องกันสูงกว่าค่าใช้จ่ายด้านการบำรุงรักษาแบบแก้ไขก็จะพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างค่าใช้จ่ายด้านการบำรุงรักษาแบบป้องกันกับมูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์อากาศยานขัดข้อง ซึ่งถ้าค่าใช้จ่ายด้านการบำรุงรักษาแบบป้องกันสูงกว่ามูลค่าความเสียหายจะไม่พิจารณากิจกรรมบำรุงรักษานั้นๆ ในการพิจารณาจำนวนเหตุการณ์ขัดข้องที่ลดลงต้องใช้ข้อมูลจากแบบประเมินเกี่ยวกับความถี่ของกิจกรรมบำรุงรักษามาใช้ในการวิเคราะห์ ว่าหากเพิ่มความถี่กิจกรรมบำรุงรักษาแล้ว จะมีผลทำให้จำนวนเหตุการณ์ อากาศยานขัดข้องลดลงมากน้อยเพียงใด และทำการคำนวณหาค่าใช้จ่ายกิจกรรมบำรุงรักษาแบบป้องกันที่เพิ่มขึ้น ค่าใช้จ่ายรวมในการทำกิจกรรมบำรุงรักษาแบบป้องกัน ความคุ้มค่า (Effective Value; EV) ของการทำกิจกรรมบำรุงรักษาแบบป้องกันซึ่งคิดต่อจำนวนเงินหนึ่งหมื่นบาท รวมไปถึงค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาแบบแก้ไขและมูลค่าความเสียหายที่ลดลง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ของกิจกรรมบำรุงรักษา โดยที่ความคุ้มค่าของการทำกิจกรรมบำรุงรักษาแบบป้องกันสามารถหาได้จากสมการที่ 4 คือ อัตราส่วนจำนวนเหตุการณ์ อากาศยานขัดข้องที่ลดลงหากเพิ่มความถี่กิจกรรมการบำรุงรักษาแบบป้องกัน ในการเลือกเพิ่มความถี่กิจกรรมบำรุงรักษา สามารถพิจารณาได้จากความคุ้มค่าที่คำนวณได้ โดยเลือกกิจกรรมบำรุงรักษาเรียงลำดับจากความคุ้มค่ามากไปน้อยตามลำดับการเลือกลดความถี่กิจกรรมบำรุงรักษาที่ทำมากเกินไปจนกลายเป็นเรื่องที่ยากและต้องพิจารณาอย่างถี่ถ้วน เนื่องจากอาจ ส่งผลต่อเหตุการณ์อากาศยานขัดข้องหรือความเชื่อถือได้ของระบบได้โดยกิจกรรมที่อาจเลือกลดความถี่ลงนั้นต้องไม่ใช่กิจกรรมที่ป้องกันการเกิดเหตุการณ์อากาศยานขัดข้อง

$$\text{ความคุ้มค่า} = \frac{\text{จำนวนเหตุการณ์อากาศยานขัดข้องที่ลดลง} \times 10^4}{\text{งบประมาณการบำรุงรักษาแบบป้องกันที่เพิ่มขึ้น}}$$

ในการเลือกเพิ่มความถี่กิจกรรมบำรุงรักษา สามารถพิจารณาได้ จากความคุ้มค่าที่คำนวณได้ โดยเลือกกิจกรรมบำรุงรักษาเรียงลำดับจากความคุ้มค่ามากไปน้อยตามลำดับการเลือกลดความถี่กิจกรรมบำรุงรักษาที่ทำมากเกินไปจนเป็นความเสี่ยงที่ยากและต้องพิจารณาอย่างถี่ถ้วนเนื่องจากอาจส่งผลต่อเหตุการณ์อากาศยานขัดข้องหรือความเชื่อถือได้ ของระบบได้โดยกิจกรรมที่อาจเลือกลดความถี่ลงนั้นต้องไม่ใช่กิจกรรมที่ป้องกันการเกิดเหตุการณ์อากาศยานขัดข้อง เนื่องจากรูปแบบที่รุนแรงหรือรูปแบบวิกฤต (Critical failure mode) หรือเป็นกิจกรรมที่ป้องกันการเกิด เหตุการณ์อากาศยานขัดข้องเนื่องจากรูปแบบที่ไม่วิกฤต (Non-critical failure mode) ในการพิจารณาว่าความถี่ของกิจกรรมที่ป้องกันการเกิดเหตุการณ์อากาศยานขัดข้องเนื่องจากรูปแบบที่ไม่วิกฤตสมควรลดความถี่ลงหรือไม่ สามารถพิจารณาได้จากความคุ้มค่า

6. เลือกกิจกรรมบำรุงรักษา

ในขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการการบำรุงรักษาแบบใช้การบำรุงรักษาตามสภาพนี้ แผนงานบำรุงรักษาใหม่ที่ได้จากกระบวนการการบำรุงรักษาแบบจำลองนิวโรฟิซซีสำหรับการบำรุงรักษาตามสภาพและแผนงานบำรุงรักษาเดิมถูกนำมาเปรียบเทียบ โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างความเชื่อถือได้กับงบประมาณด้านการบำรุงรักษาแบบป้องกันของแผนงานบำรุงรักษาเดิม โดยสามารถหาได้จากประวัติการบำรุงรักษาและงบประมาณค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาและการสอบถามพนักงานแผนกปฏิบัติการและบำรุงรักษา โดยปกติการบำรุงรักษาถูกกำหนดระยะเวลาการตรวจเช็คและระยะเวลาการบำรุงรักษาตามที่กรมการบินพลเรือนกำหนด แต่ก็ยังเกิดการขัดข้องของอากาศยาน ดังนั้นความถี่ของการบำรุงรักษาที่เพิ่มขึ้นจากการบำรุงรักษาแบบจำลองนิวโรฟิซซีสำหรับการบำรุงรักษาตามสภาพก็จะทำให้ข้อขัดข้องของอากาศยานลดน้อยลงตามตัวอย่าง จากตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ตัวอย่างแบบประเมินเกี่ยวกับการลงทุนด้านการบำรุงรักษาแบบป้องกัน

สาเหตุของเหตุการณ์	จำนวนเหตุการณ์ซ้ำซ้อนที่ลดลงเมื่อทำการลงทุนบำรุงรักษา
T12 Sensor Fault	90 %
LGCIU Fault	80%
Pack Fault	50%

ในการเปรียบเทียบกับแผนงานการบำรุงรักษาเดิม พิจารณาเลือกกิจกรรมบำรุงรักษาและความถี่กิจกรรมบำรุงรักษาจากผลที่ได้ในขั้นตอนที่ 5 เป็นแผนงานบำรุงรักษาใหม่ที่ได้จากการวางแผนการบำรุงรักษาแบบจำลองนิวโรฟuzzyสำหรับการบำรุงรักษาตามสภาพ บางกิจกรรมบำรุงรักษาของแผนงานเดิมอาจไม่เพียงพอ ทั้งนี้ในการเลือกแผนงานที่เหมาะสมควรคำนึงถึงงบประมาณการบำรุงรักษาที่ได้รับผลของการเลือกกิจกรรมบำรุงรักษาเปรียบเทียบระหว่างแผนงานที่ได้จากการบำรุงรักษาแบบจำลองนิวโรฟuzzyสำหรับการบำรุงรักษาตามสภาพกับแผนงานเดิม อาจเกิดการเพิ่มปรับปรุงหรือลดกิจกรรมบำรุงรักษาตามความเหมาะสม

ผลและวิจารณ์

ผล

1. กำหนดขอบเขตของระบบ

ระบบที่เลือกทำการศึกษาคือทุกอุปกรณ์ในระบบเอวโอนิกของอากาศยาน โดยอาศัยข้อมูลเหตุการณ์ อุปกรณ์และระบบอากาศยานเกิดข้อขัดข้อง ปี พ.ศ. 2552 โดยไม่พิจารณากรณีที่ เกิดเหตุการณ์ข้อขัดข้องที่ไม่สามารถบันทึกโดยระบบ CFDS ได้ เช่น การเกิดการแตกหักของระบบ โครงสร้างอากาศยานจะไม่นำมาพิจารณา

2. รวบรวมข้อมูลการบำรุงรักษา

รวบรวมข้อมูลการบำรุงรักษา โดยทำการรวบรวมกิจกรรมการบำรุงรักษาแบบป้องกันและการบำรุงรักษาแบบแก้ไข รวมไปถึงค่าใช้จ่ายในการทำกิจกรรมบำรุงรักษาต่างๆ โดยคิดจากค่าแรงรวมกับค่าอุปกรณ์ที่ใช้ในการบำรุงรักษา

3. กำหนดรูปแบบความเสียหาย

ผลของการกำหนดชนิดอุปกรณ์และรูปแบบความเสียหาย การจัดระดับผลกระทบของแต่ละรูปแบบความเสียหาย การจัดระดับความถี่ของแต่ละรูปแบบความเสียหายและการกำหนดระดับความรุนแรงของแต่ละรูปแบบความเสียหาย แสดงในตารางที่ 16 ถึง 19 ตามลำดับ

ตารางที่ 16 ชนิดอุปกรณ์และรูปแบบความเสียหาย

อากาศยาน	รูปแบบความเสียหาย	จำนวนเหตุการณ์
HS-AB8	SAV (SOL), J10, ECU ENG2B	761
HS-AB8	T12 SNSR, J9, ECU ENG1A	761
HS-AB7	T12 SNSR, J10, ECU ENG1B	756

ตารางที่ 16 (ต่อ)

อากาศยาน	รูปแบบความเสียหาย	จำนวนเหตุการณ์
HS-AB6	T12 SNSR, J10, ECU ENG2B	497
HS-AB3	LPTC VLV, J11, ECU ENG2A	496
HS-AB5	T12 SNSR, J10, ECU ENG2B	463
HS-AB2	ICAO ADDRESS/HF1(3RE1)	452
HS-AB2	ICAO ADDRESS/HF2(3RE2)	451
HS-AB7	TR PR SW, J5/J6, ECU ENG2A	442
HS-AB7	TR PR SW, J5/J6, ECU ENG2B	419
HS-AB6	LPTC VLV, J11, ECU	378
HS-AB6	LPTC VLV, J12, ECU	375
HS-AB6	LPTC VLV, J12, ECU ENG1B	355
HS-AB4	TOILET ASSY LAV E	353
HS-AB6	LPTC VLV, J11, ECU ENG1A	339
HS-AB4	TOILET ASSY LAV D	251
HS-AB3	HPTC VLV (POS), HMU ENG1B	224
HS-AB2	ICAO ADDRESS/HF2(3RE2)	219
HS-AB2	ICAO ADDRESS/HF1(3RE1)	213
HS-AB5	TOILET ASSY LAV D	213
HS-AB3	HPTC VLV (POS), HMU ENG1A	211
HS-AB1	ICAO ADDRESS/HF2(3RE2)	206
HS-AB8	DIR1 (101RH)/ OBRM	179
HS-AB3	TOILET ASSY LAV A	149
HS-AB4	LPTC VLV, J11, ECU ENG1A	142
HS-AB5	TOILET ASSY LAV E	131
HS-AB4	LPTC VLV, J11, ECU ENG1B	129
HS-AB3	ELAC2 MON OR WIRING FROM ACCLRM 4 12CE4	129
HS-AB8	STOW SW, J5/J6, ECU ENG1A	128
HS-AB1	TOILET ASSY LAV D	124

ตารางที่ 17 การจัดระดับผลกระทบของแต่ละรูปแบบความเสียหาย

Message	PH	PH_Level	Class_Level	ATA_level
115VU (CRANK/MODE AUTO/ ING SEL SW)	6	Medium	High	Medium
ABCU(95GG)	6	Medium	Low	High
ABCU(95GG)	9	Low	Low	High
ABCU(95GG)/BRK ALTN PEDAL XMTR(103GG)	4	High	Low	High
ABCU(95GG)/BRK ALTN PEDAL XMTR(103GG)	6	Medium	Low	High
ABCU(95GG)/BRK ALTN PEDAL XMTR(103GG)	9	Low	Low	High
ABCU(95GG)/BRK ALTN SERVOVALVE(97GG)	6	Medium	Low	High
ACP3(2RN3)/AMU(1RN)	6	Medium	Low	High
ACSC1(47HH)	6	Medium	Medium	Medium
ACSC1(47HH)	6	Medium	Medium	Low
ACSC2(57HH)	6	Medium	Medium	Medium
ACSC2(57HH)	9	Low	Medium	Low
ACSC2(57HH)/TEM CTL SYS2 CHAN A+B 28VDC SPL INT	6	Medium	Medium	High
ADIRS CONTROL PANEL (2FP)/ADIRU1(1FP1)	5	High	Low	High
ADIRS CONTROL PANEL (2FP)/ADIRU2(1FP2)	5	High	Low	High
R L/G DOOR CLOSED PROX SNSR 26GA TGT POS	7	High	Low	High
R L/G DOOR CLOSED PROX SNSR 26GA TGT POS	9	Low	Low	High

ตารางที่ 18 การจัดระดับน้ำหนักของแต่ละรูปแบบความเสียหาย

รูปแบบความเสียหาย	ระดับน้ำหนัก
TOILET ASSY LAV A	Low
TOILET ASSY LAV D	Low
TOILET ASSY LAV E	Low
TCAS BOT ANTENNA (7SG2)	Medium
TCAS TOP ANTENNA (7SG1)	Medium
TCAS(100SG)	Medium
TCAS(1SG)/ ATC1(1SH1)	Medium
TCAS(1SG)/ ATC2(1SH2)	Medium
T12 SNSR, J10, ECU ENG1B	High
AAP (126RH) <NAME>/ DEU B (300RHXX)	High
RECIRC FAN 1 OR SPLY (15HG)	High
T12 SNSR, J10, ECU	High
T12 SNSR, J9, ECU	High
T12 SNSR, J9, ECU ENG1A	High

ตารางที่ 19 การกำหนดระดับความรุนแรงของแต่ละรูปแบบความเสียหาย

Failure Message	ATA_level	ATA_Level	PH_Level	Wrn level
115VU (CRANK/MODE AUTO/ ING SEL SW)	Medium	High	Medium	Medium
ABCU(95GG)	High	Low	Medium	Medium
ABCU(95GG)	High	Low	Low	Low
ABCU(95GG)/BRK ALTN	High	Low	High	Medium
PEDAL XMTR(103GG)				
ABCU(95GG)/BRK ALTN	High	Low	Medium	Medium
PEDAL XMTR(103GG)				

ตารางที่ 19 (ต่อ)

Failure Message	ATA_level	ATA_Level	PH_Level	Wrn level
ACSC1(47HH)	Medium	Medium	Medium	Medium
ACSC1(47HH)	Low	Medium	Medium	Low
ACSC2(57HH)	Medium	Medium	Medium	Medium
ACSC2(57HH)	Low	Medium	Low	Low
ACSC2(57HH)/TEM CTL SYS2 CHAN A+B 28VDC SPL INT	High	Medium	Medium	Medium
ADIRS CONTROL PANEL (2FP)/ADIRU1(1FP1)	High	Low	High	Medium
ADIRS CONTROL PANEL (2FP)/ADIRU2(1FP2)	High	Low	High	Medium
R L/G DOOR CLOSED PROX SNSR 26GA TGT POS	High	Low	High	Medium
R L/G DOOR CLOSED PROX SNSR 26GA TGT POS	High	Low	Low	Low
R SPLR1 POS ERROR 31CE2	High	High	Low	Low
RMP1(1RG1)/RMP2(1RG2)	High	Low	Medium	Medium
RMP2(1RG2)/RMP1(1RG1)	High	Low	Medium	Medium
SAV (SOL), J10, ECU ENG2B	Medium	Low	High	Medium
SAV (SOL), J10, ECU ENG2B	Medium	Low	High	Medium
SAV (SOL), J10, ECU ENG2B	Medium	Low	Low	low
SAV (SOL), J10, ECU ENG2B	Medium	Low	Low	Low
SAV (SOL), J9, ECU ENG2A	Medium	Low	Low	Low

4. กำหนดสาเหตุของแต่ละความเสียหาย

ตารางที่ 20 แสดงสาเหตุ และจำนวนครั้งเหตุการณ์อุปกรณ์และระบบอากาศยาน
จัดซื้อของแต่ละรูปแบบความเสียหายของเหตุการณ์

ตารางที่ 20 สาเหตุของแต่ละความเสียหายของอากาศยาน

รูปแบบความเสียหาย	จำนวนเหตุการณ์	สาเหตุ
LPTC VLV, J12, ECU ENG2B	382	EIU2FAD
LPTC VLV, J11, ECU ENG2A	359	EIU2FAD
HPTC VLV, J12, ECU ENG1B	198	EIU1FAD
HPTC VLV, J11, ECU ENG1A	187	EIU1FAD
TOILET ASSY LAV D	139	TOILET
HPTC VLV (POS), HMU ENG1B	121	EIU1FAD
TOILET ASSY LAV E	109	TOILET
ELAC2 MON OR WIRING FROM ACCLRM 4 12CE4	105	EFCS 1
T12 SNSR, J10, ECU ENG2B	92	EIU2FAD
T12 SNSR, J10, ECU ENG2B	92	EIU2FAD
TOILET ASSY LAV E	90	TOILET
HPTC VLV (POS), HMU ENG1A	84	EIU1FAD
TOILET ASSY LAV A	83	TOILET
FLP RH PROX SNSR 1 38CV MISADJUSTMENT	80	SFCC 1
TR PR SW, J5/J6, ECU ENG2A	73	EIU2FAD
TR PR SW, J5/J6, ECU ENG2B	62	EIU2FAD
ELAC2 OR WIRING FROM Y HYD PRESS XMTR 3065GN	60	EFCS 1
STOW SW, J5/J6, ECU ENG1B	56	EIU1FAD
TOILET ASSY LAV D	55	TOILET
STOW SW, J5/J6, ECU ENG1A	47	EIU1FAD
TOILET ASSY LAV D	47	TOILET
T12 SNSR, J10, ECU ENG2B	47	EIU2FAD
CHECK FDU APU LOOP A WARN CKT	45	FDU APU

ตารางที่ 20 (ต่อ)

รูปแบบความเสียหาย	จำนวนเหตุการณ์	สาเหตุ
CHECK FDU APU LOOP A WARN CKT	43	FDU APU
ELAC2 COM OR WIRING FROM ACCLRM 4	40	EFCS 1
12CE4		
WXR1 (1SQ1)	39	RADAR 1
CHECK FDU APU LOOP A WARN CKT	39	FDU APU
CHECK FDU APU LOOP B WARN CKT	39	FDU APU
T12 SNSR, J10, ECU ENG2B	37	EIU2FAD
T12 SNSR, J10, ECU ENG2B	35	EIU2FAD
T12 SNSR, J10, ECU ENG2B	35	EIU2FAD
HPTC VLV (POS), HMU ENG2A	34	EIU2FAD
WXR1 (1SQ1)	33	RADAR 1
CHECK FDU APU LOOP B WARN CKT	33	FDU APU
T12 SNSR, J10, ECU ENG1B	31	EIU1FAD
ELAC2 MON OR WIRING FROM ACCLRM 4	29	EFCS 1
12CE4		
WXR1 (1SQ1)	28	RADAR 1
DIR1 (101RH)/ OBRM	27	CIDS 1
T12 SNSR, J9, ECU ENG1A	26	EIU1FAD
T12 SNSR, J9, ECU ENG1A	24	EIU1FAD
HPTC VLV (POS), HMU ENG2B	24	EIU2FAD
VHF1 ANTENNA (4RC1)/COAX	24	VHF 1
VHF1 (1RC1)	24	VHF 1
CHECK FDU APU LOOP B WARN CKT	23	FDU APU
CHECK FDU APU LOOP A WARN CKT	22	FDU APU
CHECK FDU APU LOOP A WARN CKT	22	FDU APU
TOILET ASSY LAV D	21	TOILET
SAV (SOL), J10, ECU ENG2B	21	EIU2FAD
LIQD LVL XMTR (40MG)	21	TOILET
CHECK FDU APU LOOP B WARN CKT	21	FDU APU
CHECK FDU APU LOOP A WARN CKT	20	FDU APU

ตารางที่ 20 (ต่อ)

รูปแบบความเสียหาย	จำนวนเหตุการณ์	สาเหตุ
T12 SNSR, J10, ECU ENG1B	19	EIU1FAD
T12 SNSR, J10, ECU ENG2B	19	EIU2FAD
FLP RH PROX SNSR 1 38CV MISADJUSTMENT	17	SFCC 1
T12 SNSR, J10, ECU ENG2B	17	EIU2FAD
HPTC VLV, J12, ECU ENG1B	16	EIU1FAD
P2 FLOW SENSOR(24HB2)	16	TEMPCTL
AFS: FCU	15	AFS
NO PHC3 DATA	15	CFDS
HPTC VLV (POS), HMU ENG1A	14	EIU1FAD
HPTC VLV, J11, ECU ENG1A	14	EIU1FAD
FCDC2	14	EFCS 1
DFDR (1TU)	14	FDIU
T12 SNSR, J9, ECU ENG2A	14	EIU2FAD
SAV (SOL), J9, ECU ENG2A	13	EIU2FAD
LPTC VLV, J11, ECU ENG1A	13	EIU1FAD
CHECK FDU APU LOOP A WARN CKT	12	FDU APU
VHF3 (1RC3)	12	VHF 3
CHECK FDU APU LOOP B WARN CKT	12	FDU APU
CHECK FDU APU LOOP B WARN CKT	12	FDU APU
LPTC VLV, J12, ECU	11	EIU2FAD
VHF3 (1RC3)	11	VHF 3
VHF3 (1RC3)	11	VHF 3
DIR1 (101RH)/ OBRM	11	CIDS 1
TOILET ASSY LAV E	10	TOILET
AFS: ADIRU2	10	AFS
ELAC2 COM OR WIRING FROM ACCLRM 3	10	EFCS 1
12CE3		
HPTC VLV, J12, ECU ENG1B	10	EIU1FAD
HPTC VLV, J11, ECU ENG1A	10	EIU1FAD
LIQD LVL XMTR (40MG)	10	TOILET

ตารางที่ 20 (ต่อ)

ELAC2 OR WIRING FROM Y HYD PRES	20	EFCS 2
ELAC2 MON OR WIRING FROM ACCLRM 3	9	EFCS 1
12CE3		
HPTC VLV (POS), HMU ENG1B	9	EIU1FAD
T12 SNSR, J10, ECU ENG2B	9	EIU2FAD
DIR1 (101RH)/ OBRM	9	CIDS 1
HPTC VLV (POS), HMU ENG1A	9	EIU1FAD
HPTC VLV (POS), HMU ENG1B	9	EIU1FAD
VHF3 (1RC3)	9	VHF 3
FCDC1	8	EFCS 2
ICAO ADDRESS/HF2(3RE2)	8	HF 2
VHF1 (1RC1)	8	VHF 1
T12 SNSR, J9, ECU ENG1A	7	EIU1FAD
LPTC VLV, J12, ECU ENG1B	7	EIU1FAD
ELAC1 MON OR WIRING FROM ACCLRM 2	7	EFCS 1
12CE2		
LGCIU 1 05GA1	7	LGCIU 1
T12 SNSR, J10, ECU ENG1B	7	EIU1FAD
LPTC VLV, J11, ECU	7	EIU2FAD
ICAO ADDRESS/HF1(3RE1)	7	HF 1
T12 SNSR, J10, ECU ENG1B	7	EIU1FAD
ABCU(95GG)/BRK ALTN PEDAL XMTR(103GG)	7	BSCU 1
HPTC VLV, J11, ECU ENG2A	7	EIU2FAD
TR PR SW, J5/J6, ECU ENG2B	7	EIU2FAD

5. ระบุกิจกรรมบำรุงรักษาแบบป้องกันของแต่ละรูปแบบความเสียหาย

ผลของการระบุกิจกรรมบำรุงรักษาแบบป้องกันของแต่ละความเสียหายแสดงในตารางที่ 21 โดยการระบุกิจกรรมบำรุงรักษาแบบป้องกันจะพิจารณาจากสาเหตุของแต่ละความเสียหาย

ตารางที่ 21 การระบุกิจกรรมบำรุงรักษาแบบป้องกันของแต่ละรูปแบบความเสียหาย

รูปแบบความเสียหาย	สาเหตุ	กิจกรรมบำรุงรักษาแบบป้องกัน
ELAC2 OR WIRING FROM Y	EFCS 2	Replace sensor
HYD PRESS XMTR 3065GN		
FCDC1	EFCS 2	Clean conector Plug
FCDC2	EFCS 1	Clean conector Plug
FLP RH PROX SNSR 1 38CV	SFCC 1	Replace sensor
MISADJUSTMENT		
HPTC VLV (POS), HMU ENG1A	EIU1FAD	Replace position sensor
LGCIU2	EFCS 1	Clean conector Plug
LIQD LVL XMTR (40MG)	TOILET	Clean conector Plug
LPTC VLV, J12, ECU ENG1B	EIU1FAD	Replace sensor
P2 FLOW SENSOR(24HB2)	TEMPCTL	Replace sensor
SAV (SOL), J10, ECU ENG2B	EIU2FAD	Replace sensor
SAV (SOL), J9, ECU ENG2A	EIU2FAD	Clean conector Plug
T12 SNSR, J10, ECU ENG1B	EIU1FAD	Clean conector Plug
TOILET ASSY LAV D	TOILET	Clean conector Plug
VHF1 ANTENNA (4RC1)/COAX	VHF 1	Clean conector Plug
VHF3 (1RC3)	VHF 3	Clean conector Plug
WXR1 (1SQ1)	RADAR 1	Clean conector Plug

จากข้อมูลกิจกรรมบำรุงรักษาแบบป้องกันของแต่ละรูปแบบความเสียหายที่ได้จากตารางที่ 21 กิจกรรมบำรุงรักษาที่สามารถป้องกันการเกิดเหตุการณ์ซ้ำซ้อน มี 2 กิจกรรมหลัก คือ การตรวจสอบระบบแล้วทำความสะอาด Conector Plug และการถอดเปลี่ยนอุปกรณ์ ในการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายและความคุ้มค่าของกิจกรรมบำรุงรักษาแบบป้องกัน ใช้ข้อมูลที่ได้จากการสอบถามพนักงานแผนกปฏิบัติการและบำรุงรักษาของอากาศยานในตารางที่ 22 ประกอบกับ

ข้อมูลค่าใช้จ่ายในการทำกิจกรรมบำรุงรักษาแบบป้องกันและข้อมูลเหตุการณ์ขัดข้อง เมื่อนำมาพิจารณาแล้วจะได้การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายการบำรุงรักษาแบบป้องกัน ค่าใช้จ่ายการบำรุงรักษาแบบแก้ไขและมูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ขัดข้องดังตารางที่ 22 และความคุ้มค่าของแต่ละกิจกรรมในตารางที่ 23

ตารางที่ 22 แบบประเมินเกี่ยวกับความถี่ของกิจกรรมบำรุงรักษา

กิจกรรมบำรุงรักษา	ความถี่ของการทำกิจกรรม	จำนวนเหตุการณ์ขัดข้องที่ลดลง
Replace sensor	ทุกครั้งที่ตรวจพบโดยแบบจำลองนิวโรฟัซซี่	90%
Clean conector Plug	ทุกครั้งที่ตรวจพบโดยแบบจำลองนิวโรฟัซซี่	50%

ตารางที่ 23 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายและความคุ้มค่าของทุกกิจกรรมบำรุงรักษา

กิจกรรมบำรุงรักษา	ความถี่ของการทำกิจกรรม	ลดการเกิดเหตุการณ์ขัดข้อง(ครั้ง)	ค่าใช้จ่ายการบำรุงรักษาแบบ ป้องกันที่เพิ่มขึ้น(บาท)	ความคุ้มค่า
Replace sensor	ทุกครั้งที่ตรวจพบโดยแบบจำลองนิวโรฟัซซี่	50	12000	25
Clean conector Plug	ทุกครั้งที่ตรวจพบโดยแบบจำลองนิวโรฟัซซี่	30	1800	166.6

จากข้อมูลเหตุการณ์ขัดข้องย้อนหลังพบว่า มีเหตุการณ์ข้อขัดข้องที่เกิดจำนวนน้อย และจากการหารูปแบบความเสียหายวิกฤตในขั้นตอนที่ 3 พบว่ารูปแบบความเสียหายที่ไม่วิกฤต ดังนั้นการพิจารณาการทำกิจกรรมบำรุงรักษาเพื่อลดงบประมาณการบำรุงรักษาแบบป้องกันลง เกิดเหตุการณ์อากาศยานขัดข้องเนื่องจาก Connector plug สกปรก และเมื่อคำนวณความคุ้มค่าของการลดการตรวจสอบระบบหรือความคุ้มค่าของกิจกรรมจะมีค่า 166.6 ในการตัดสินใจลดความถี่ กิจกรรมต้องทำการเปรียบเทียบกับความคุ้มค่าของกิจกรรม ซึ่งสามารถหาความคุ้มค่าของกิจกรรมได้

6. เลือกกิจกรรมบำรุงรักษา

งบประมาณการบำรุงรักษาแบบป้องกันของแผนงานบำรุงรักษาเดิมที่ได้ทำอยู่ปัจจุบันแสดงในแผนงานในตารางที่ 24 ส่วนแผนงานบำรุงรักษาที่ได้จากแผนงานโดยแบบจำลองนิวโรฟิชซ์จำนวนเหตุการณ์อากาศยานขัดข้องกับงบประมาณด้านการบำรุงรักษาแบบป้องกันแสดงให้เห็นถึงความคุ้มค่าของแต่ละแผนงานบำรุงรักษาตารางที่ 24 การเปรียบเทียบงบประมาณการบำรุงรักษาแบบป้องกัน โดยค่าใช้จ่ายที่ได้ นำมาจากการเก็บรวบรวมข้อมูลจากแผนกซ่อมบำรุงในระยะเวลาและจำนวนคนที่ทำงานบำรุงรักษา และจากแผนกจัดซื้อในเรื่องราคาของ Aircraft Spare Part

ตารางที่ 24 การเปรียบเทียบงบประมาณการบำรุงรักษาแบบป้องกันของแต่ละแผนงาน

วันที่	เหตุการณ์ข้อขัดข้อง	งบประมาณการบำรุงรักษาบำรุงรักษาแบบเดิม	งบประมาณการบำรุงรักษาแบบจำลองนิวโรฟิชซ์
25-Jan-09	ENG 2 PROBES FAULT	24000	6000
23-Apr-09	L/G LGCIU 2 FAULT	34000	8000
17-May-09	ENG 2 PROBES FAULT	34000	8000
02-Jun-09	L/G LGCIU 2 FAULT	20000	7000
16-Jun-09	ENG 2 PROBES FAULT	34000	8000

หากเทียบงบประมาณจะพบว่างบประมาณที่ได้จากการบำรุงรักษาตามสภาพโดยแบบจำลองนิวโรฟิชซ์จะน้อยกว่างบประมาณการบำรุงรักษาแบบเดิม และเกิดจำนวนเหตุการณ์อากาศยานขัดข้องน้อยลง หมายถึงความเชื่อถือได้ของระบบอากาศยานเพิ่มขึ้นเมื่อใช้งบประมาณ เท่าเดิม และจากแผนงานใหม่ที่ได้การบำรุงรักษาตามสภาพโดยแบบจำลองนิวโรฟิชซ์ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับแผนงานเดิม จะได้แผนงานสุดท้ายดังตารางที่ 25

ตารางที่ 25 การเปรียบเทียบแผนงานบำรุงรักษาแบบใช้การบำรุงรักษาตามสภาพกับแผนงานบำรุงรักษาเดิม

แผนงาน PM ที่เลือกใช้วิธี	แผนงาน PM เดิม	Final PM Task Action
CBM		
Replace Sensor ทุกครั้งที่ตรวจพบโดยแบบจำลองนิวโรฟิชซ์	ถอดเปลี่ยนเมื่อเสีย	Replace Sensor ทุกครั้งที่ตรวจพบโดยแบบจำลองนิวโรฟิชซ์
การตรวจสอบระบบและClean conentor Plug ทุกครั้งที่ตรวจพบโดยแบบจำลองนิวโรฟิชซ์	ทุก A Check หรือตามเวลาที่บริษัทผู้ผลิตกำหนด	การตรวจสอบระบบและClean conentor Plug ทุกครั้งที่ตรวจพบโดยแบบจำลองนิวโรฟิชซ์

วิจารณ์

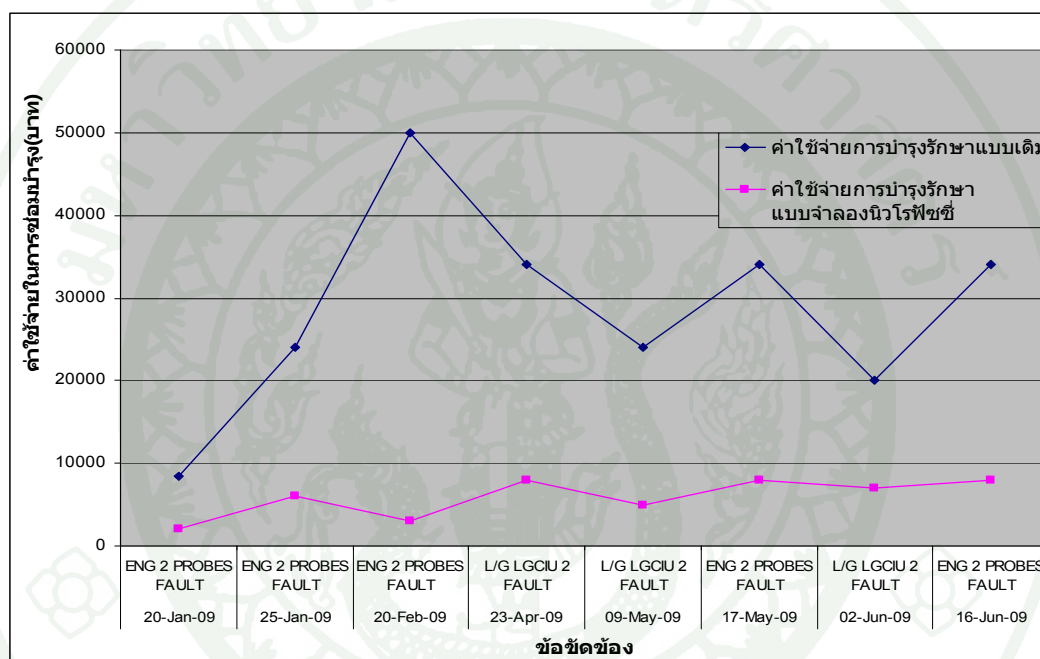
จากค่าความคุ้มค่าของกิจกรรมบำรุงรักษาต่างๆ สามารถนำมาเลือกกิจกรรมบำรุงรักษาได้โดยพิจารณาจากความคุ้มค่า ซึ่งการเพิ่มกิจกรรมบำรุงรักษานี้ นอกจากมีผลทำให้จำนวนเหตุการณ์อากาศยานขัดข้องลดลงแล้วยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาแบบแก้ไขและลดมูลค่าความเสียหายลง ประกอบกับประสิทธิภาพการบำรุงรักษาค่อนข้างสูง และมีเหตุการณ์อากาศยานขัดข้องค่อนข้างน้อย ดังนั้นแผนงานใหม่เมื่อพิจารณาโดยใช้หลักการบำรุงรักษาแบบจำลองนิวโรฟิชซ์สำหรับการบำรุงรักษาตามสภาพใช้งบประมาณการบำรุงรักษาเพิ่มขึ้นเล็กน้อย การเปรียบเทียบแผนงานบำรุงรักษาใหม่โดยแบบจำลองนิวโรฟิชซ์สำหรับการบำรุงรักษาตามสภาพ กับแผนงานบำรุงรักษาเดิม พบว่าแผนงานบำรุงรักษาใหม่สามารถลดจำนวนเหตุการณ์อากาศยานขัดข้องได้มากกว่าแผนงานบำรุงรักษาเดิมที่ไม่มีการวางแผนการบำรุงรักษาแบบใช้แบบจำลองนิวโรฟิชซ์สำหรับการบำรุงรักษาตามสภาพ เมื่อได้รับงบประมาณเพิ่มสามารถเพิ่มความถี่การตรวจสอบระบบอากาศยานและเพิ่มความถี่การบำรุงรักษา โดยพิจารณาเลือกกิจกรรมที่มีความคุ้มค่ามาก่อน ผลจากการวางแผนการบำรุงรักษาแบบจำลองนิวโรฟิชซ์สำหรับการบำรุงรักษาตามสภาพพบว่าควรพิจารณาเพิ่มความถี่กิจกรรมบำรุงรักษาเฉพาะส่วนที่มีความจำเป็นเท่านั้น คือส่วนที่มีโอกาสเกิดเหตุการณ์อากาศยานขัดข้องขึ้น เช่น ในการเพิ่มความถี่การทดสอบระบบ ควรพิจารณาเพิ่มความถี่การทดสอบระบบเฉพาะระบบที่มักเกิดเหตุการณ์อากาศยานขัดข้องอยู่ประจำและเกี่ยวข้องกับความปลอดภัย ซึ่งเมื่อเพิ่มความถี่การทดสอบระบบแล้วสามารถป้องกันการเกิดเหตุการณ์อากาศยานขัดข้องนั้นๆได้

การพิจารณาเพิ่มความถี่กิจกรรมบำรุงรักษาเฉพาะที่มีความจำเป็นนี้ เป็นการวางแผนการใช้งบประมาณด้านการบำรุงรักษาที่มีอยู่ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ในกรณีการลดความถี่กิจกรรมบำรุงรักษาไม่วิกฤต ซึ่งจากข้อมูลคือกิจกรรมการทำความสะอาด Sensor ของระบบห้องน้ำสามารถเลือกลดความถี่ได้ ซึ่งในกรณีพิจารณาสามารถพิจารณาข้อมูลที่มีความละเอียดใกล้เคียงกับสภาพจริง ดังนั้นผลที่ได้จึงมีความละเอียดและให้ประสิทธิภาพที่ดี ในการวางแผนการบำรุงรักษาแบบจำลองนิวโรฟuzzyสำหรับการบำรุงรักษาตามสภาพจึงควรใช้ข้อมูลที่มีความละเอียดเท่าที่สามารถหาได้ เพื่อให้ได้การวางแผนการบำรุงรักษาที่เหมาะสมกับสภาพการทำงานจริงที่สุด ในภาพที่ 28 ซึ่งเป็นกราฟระหว่างจำนวนเหตุการณ์อากาศยานขัดข้องกับงบประมาณด้านการบำรุงรักษาแบบป้องกัน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความคุ้มค่าของแต่ละแผนงานบำรุงรักษา จากการใช้แบบจำลองนิวโรฟuzzyสำหรับการซ่อมบำรุงตามสภาพของอากาศยาน AIRBUS A320 สามารถนำมาตัดสินใจเพื่อเลือกกิจกรรมบำรุงรักษาและความถี่ของกิจกรรมได้ โดยพิจารณาจากผลกระทบต่อความปลอดภัยและความคุ้มค่า โดยระบบนิวโรฟuzzy จะทำการวิเคราะห์และแสดงผลดังรูปภาพที่ 27 โดยจะแสดงระดับการเตือน เป็นค่า Warning and Safety Alert (WS) ซึ่งเป็นการเตือนว่าอาจจะเกิดระบบของอากาศยานขัดข้องและเกี่ยวกับความปลอดภัยซึ่งเกี่ยวข้องกับเรื่อง Engine and Flight Control, Warning (W) ซึ่งเป็นการเตือนว่าอาจจะเกิดระบบของอากาศยานขัดข้อง, Caution ซึ่งเป็นการเตือนว่าอาจจะเกิดระบบของอากาศยานขัดข้องแต่ระดับการเตือนยังต่ำกว่าการเตือนขั้น Warning

AC_REG	Phase	System type	message	occur	"Warning type"
HS-AB3	TO_LAN	SAFETY	T12 SNSR, J10, ECU ENG1B	1	WARNING & SAFETY ALERT
HS-AB3	TO_LAN	SAFETY	HPTC VLV (POS), HMU ENG1B	3	WARNING & SAFETY ALERT
HS-AB3	TO_LAN	SAFETY	LPTC VLV, J11, ECU ENG2A	3	WARNING & SAFETY ALERT
HS-AB3	TO_LAN	SAFETY	LPTC VLV, J12, ECU ENG2B	3	WARNING & SAFETY ALERT
HS-AB3	TO_LAN	SAFETY	T12 SNSR, J10, ECU ENG2B	7	WARNING & SAFETY ALERT
HS-AB5	TO_LAN	SAFETY	T12 SNSR, J10, ECU ENG2B	2	WARNING & SAFETY ALERT
HS-AB3	CRUISE	SAFETY	LPTC VLV, J12, ECU ENG2B	8	WARNING
HS-AB3	CRUISE	GENERAL	AFS: FCU	3	WARNING
HS-AB3	CRUISE	SAFETY	ELAC2 MON OR WIRING FROM ACCLRM 4 12CE4	4	WARNING
HS-AB3	CRUISE	SAFETY	HPTC VLV (POS), HMU ENG1A	4	WARNING
HS-AB3	CRUISE	SAFETY	HPTC VLV (POS), HMU ENG1B	5	WARNING
HS-AB3	CRUISE	SAFETY	HPTC VLV, J11, ECU ENG1A	5	WARNING
HS-AB3	CRUISE	SAFETY	HPTC VLV, J12, ECU ENG1B	6	WARNING
HS-AB3	CRUISE	SAFETY	T12 SNSR, J10, ECU ENG1B	1	WARNING
HS-AB3	CRUISE	SAFETY	LPTC VLV, J11, ECU ENG2A	10	WARNING
HS-AB4	TO_LAN	GENERAL	TOILET ASSY LAV E	2	CAUTION
HS-AB1	CRUISE	SAFETY	AFS: ELAC1	1	CAUTION
HS-AB3	CRUISE	CRITICAL	P1 OUT TEMP SENSOR(13HH)	1	CAUTION

รูปภาพที่ 27 ตัวอย่างการวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองนิวโรฟuzzy

การทำการกิจกรรมบำรุงรักษาที่ได้จากผลการวิเคราะห์นี้ นอกจากมีผลทำให้จำนวนเหตุการณ์อุปกรณ์อากาศยานขัดข้องลดลงแล้วยังช่วย ลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาแบบแก้ไขและลดมูลค่าความเสียหายของอากาศยานลง จากการวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองนิวโรฟิชซ์ สามารถป้องกันการเกิดเหตุการณ์ข้อขัดข้องได้ ในการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายและความคุ้มค่าของกิจกรรมบำรุงรักษาแบบป้องกันใช้ข้อมูลที่ได้จากการบำรุงรักษาของอากาศยาน ซึ่งค่าใช้จ่ายที่ได้ นำมาจากการเก็บรวบรวมข้อมูลจากแผนกซ่อมบำรุงในเรื่องเวลาและจำนวนคนที่ทำงานบำรุงรักษา และจากแผนกจัดซื้อในเรื่องราคาของ Aircraft Spare Part



ภาพที่ 28 กราฟเปรียบเทียบการบำรุงรักษาแบบแบบจำลองนิวโรฟิชซ์กับการบำรุงรักษาเดิม

ประกอบกับข้อมูลค่าใช้จ่ายในการทำการกิจกรรมบำรุงรักษาแบบป้องกันและข้อมูลเหตุการณ์ขัดข้อง เมื่อนำมาพิจารณาแล้วจะได้รับการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายการบำรุงรักษาแบบป้องกัน ค่าใช้จ่ายการบำรุงรักษาแบบแก้ไขและมูลค่าความเสียหายจากเหตุการณ์ขัดข้องดังภาพที่ 28

ในการพิจารณาแผนงานบำรุงรักษาสุดท้าย (Final PM Task Action) ได้ นำแผนงานบำรุงรักษาแบบป้องกันที่ได้จากวิธีการบำรุงรักษาแบบจำลองนิวโรฟิชซ์สำหรับการบำรุงรักษาตามสภาพมาเปรียบเทียบกับแผนงานบำรุงรักษาแบบป้องกันเดิม โดยมีการพิจารณาเพิ่มความถี่กิจกรรม

บำรุงรักษา ลดความถี่กิจกรรมบำรุงรักษา การคงกิจกรรมบำรุงรักษาเดิมและการพิจารณาเพิ่มกิจกรรมบำรุงรักษาใหม่ จากข้อมูลเหตุการณ์ อากาศยานขัดข้อง ซึ่งในแผนงานบำรุงรักษาเดิมไม่มี ป้องกันเหตุการณ์อากาศยานขัดข้องที่เกิดขึ้นจากการวางแผนงานบำรุงรักษาใหม่จึงได้มีการพิจารณาเพื่อลดเหตุการณ์อากาศยานขัดข้อง และจากข้อมูลเหตุการณ์อากาศยานขัดข้องพบว่า การเกิดเหตุการณ์อากาศยานขัดข้องจำนวนมากเกิดขึ้นเนื่องจากความเสียหายบริเวณอุปกรณ์ จึงควรเพิ่มกิจกรรมการตรวจสอบอุปกรณ์เพื่อลดเหตุการณ์อากาศยานขัดข้องในกรณีนี้ ซึ่งการตรวจสอบอุปกรณ์ต่อสายควรทำเป็น ประจำทุกครั้งที่ตรวจเจอดังตารางที่ 26

ตารางที่ 26 แผนงานบำรุงรักษาสุดท้าย

แผนงาน PM ที่เลือกใช้วิธี CBM	แผนงาน PM เดิม	Final PM Task Action
Replace Sensor ทุกครั้งที่ตรวจพบโดยแบบจำลองนิวโรฟิชชี	ถอดเปลี่ยนเมื่อเสีย	Replace Sensor for troubleshooting ทุกครั้งที่ตรวจพบโดยแบบจำลองนิวโรฟิชชี
การตรวจสอบระบบและClean conentor Plug ทุกครั้งที่ตรวจพบโดยแบบจำลองนิวโรฟิชชี	ทุก A Check หรือ ตามที่บริษัทผู้ผลิตกำหนด	การตรวจสอบระบบและClean conentor Plug ทุกครั้งที่ตรวจพบโดยแบบจำลองนิวโรฟิชชี

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ผลที่ได้จากการวางแผนการบำรุงรักษาโดยอาศัยหลักการของการบำรุงรักษาแบบจำลองนิวโรฟuzzyสำหรับการซ่อมบำรุงตามสภาพ โดยใช้ข้อมูลเหตุการณ์อากาศยานขัดข้อง ข้อมูลด้านการบำรุงรักษาและงบประมาณด้านการบำรุงรักษา ซึ่งแผนงานบำรุงรักษาที่ได้ช่วยลดจำนวนเหตุการณ์อากาศยานขัดข้องน้อยลงได้ภายใต้การใช้งบบำรุงรักษาอย่างคุ้มค่างานวิจัยนี้นำเสนอกระบวนการวางแผนการบำรุงรักษาโดยอาศัยหลักการของการบำรุงรักษาแบบจำลองนิวโรฟuzzyสำหรับการซ่อมบำรุงตามสภาพ ซึ่งประยุกต์ใช้กับการซ่อมบำรุงของฝ่ายวิศวกรรมของบริษัท ไทยแอร์เอเชีย โดยตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ ซึ่งจากการวางแผนการบำรุงรักษาโดยอาศัยหลักการของการบำรุงรักษาแบบจำลองนิวโรฟuzzyสำหรับการซ่อมบำรุงตามสภาพ มีการเปรียบเทียบแผนงานบำรุงรักษาแบบที่ใช้อยู่เดิมกับแผนการบำรุงรักษาแบบจำลองนิวโรฟuzzyสำหรับการซ่อมบำรุงตามสภาพ ซึ่งแผนงานที่ได้จากการบำรุงรักษาแบบจำลองนิวโรฟuzzyสำหรับการซ่อมบำรุงตามสภาพจะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาและลดมูลค่าความเสียหายของอากาศยานเนื่องจากเหตุการณ์อากาศยานขัดข้องได้ในอนาคตสามารถนำกระบวนการการบำรุงรักษาแบบจำลองนิวโรฟuzzyสำหรับการซ่อมบำรุงตามสภาพที่ได้นี้ ไปปรับใช้กับอากาศยานอื่นๆ เพื่อนำไปใช้ในการวางแผนการบำรุงรักษาอากาศยานอย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

ข้อเสนอแนะ

การวางแผนงานบำรุงรักษาโดยอาศัยหลักการของการบำรุงรักษาแบบจำลองนิวโรฟิชซ์สำหรับการบำรุงรักษาตามสภาพของวิทยานิพนธ์นี้ บางข้อมูลต้องอาศัยข้อมูลจากแบบสอบถามพนักงานแผนกปฏิบัติการบำรุงรักษาอากาศยาน เนื่องจากไม่สามารถทำการทดลองเปลี่ยนแปลงความถี่หรือกิจกรรมบำรุงรักษาระบบอากาศยานตัวอย่างได้ ซึ่งความถูกต้องของข้อมูลนี้จะขึ้นอยู่กับความรู้และประสบการณ์ทำงานของพนักงานเพื่อให้ได้ ประสิทธิภาพในการวางแผนงานบำรุงรักษาโดยอาศัยหลักการของการบำรุงรักษาแบบจำลองนิวโรฟิชซ์สำหรับการบำรุงรักษาตามสภาพควรมีการทดลองปฏิบัติ ตามแผนงานการบำรุงรักษาแบบใช้ การบำรุงรักษาตามสภาพที่ได้ และทำการเก็บรายละเอียดข้อมูลเหตุการณ์อากาศยานขัดข้องที่เกิดขึ้น ทั้งชนิดของอุปกรณ์และรูปแบบความเสียหายที่เกิดขึ้น สาเหตุของการเกิดเหตุการณ์อากาศยานขัดข้อง รวมไปถึงผลกระทบต่างๆจากเหตุการณ์อากาศยานขัดข้อง เช่น จำนวนผู้โดยสารที่ได้รับผลกระทบมูลค่าความเสียหายที่เกิดขึ้นเมื่อเกิดเหตุการณ์อากาศยานขัดข้องเป็นต้น เพื่อนำข้อมูลต่างๆ มาวิเคราะห์และปรับปรุงการวางแผนงานบำรุงรักษาโดยอาศัยหลักการของการบำรุงรักษาแบบจำลองนิวโรฟิชซ์สำหรับการบำรุงรักษาตามสภาพใหม่ ซึ่งควรทำการวางแผนงานบำรุงรักษาใหม่ทุกปี

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

ปรารธนา วณิชยธนาคม. 2551. การบำรุงรักษาแบบใช้ความเชื่อถือได้เป็นศูนย์กลางสำหรับระบบจำหน่ายไฟฟ้า ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกรณีศึกษาการไฟฟ้าอำเภอบางปะกง, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิเชียร สิงห์ใหม่. 2544. การปรับปรุงระบบการบำรุงรักษาเชิงป้องกันเครื่องจักรกรณีศึกษา โรงงานทูปขึ้นร้อน. ภาควิชาอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

สุพัฒน์ เชียรวิวัฒนา, วัฒนา เชียงกุล และเกรียงไกร ดำรงรัตน์. 2549. **สัมฤทธิ์ผลของงานบำรุงรักษา (Efficacy of Maintenance)**. บริษัท ซีเอคยูเคชั่น จำกัด มหาชน, กรุงเทพฯ.

นายวัฒนา วิเชียรรัตน์ 2550. การศึกษาหตุขัดข้องของอุปกรณ์เพื่อปรับปรุงระบบการบำรุงรักษาและทำให้ความน่าเชื่อถือของระบบสูงขึ้น: กรณีศึกษา ระบบเครื่องเพิ่มแรงดันไฟฟ้าชักรวมชาติบนแท่นผลิตก๊าซนอกชายฝั่ง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

Bertling, L., R. Eriksson and R.N. Allan. 2001. **Relation between preventive maintenance and reliability for a cost-effective distribution system**. IEEE Porto Power Tech Conference.

Bertling, L. 2002. **Reliability Centred Maintenance for Electric Power Distribution Systems**. Doctoral Dissertation, Sweden.

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายเกรียงศักดิ์ จุ้นแสง
วัน เดือน ปี ที่เกิด	21 กรกฎาคม 2518
สถานที่เกิด	พัทลุง
ประวัติการศึกษา	สาขาวิศวกรรมการบินและอวกาศ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	วิศวกร
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	สายการบินไทยแอร์เอเชีย
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-