



# ตำราวิชาการระบบอิเล็กทรอนิกส์

พ.ศ. ๒๕๖๗

โดย

กองอิเล็กทรอนิกส์ กรมสื่อสารอิเล็กทรอนิกส์ทหารอากาศ

กองทัพอากาศ

ดอนเมือง

กรุงเทพมหานคร

## คำนำ

ตำราวิชาการระบบอิเล็กทรอนิกส์เล่มนี้ เรียบเรียงขึ้นมา เพื่อใช้เป็นตำราในการสอบคัดเลือก นายทหารสัญญาบัตร เหล่าทหารสื่อสาร จำพวกทหารสื่อสารอิเล็กทรอนิกส์ โดยตำราจะประกอบด้วย เนื้อหาเกี่ยวกับ ระบบจำลองและอากาศยานไร้คนขับ สงครามอิเล็กทรอนิกส์ และบริษัทการภาพ ซึ่งกองอิเล็กทรอนิกส์ กรมสื่อสารอิเล็กทรอนิกส์ทหารอากาศเป็นผู้รับผิดชอบ

ผู้เขียนและผู้รวบรวมตำราเล่มนี้ ขอขอบคุณข้าราชการทุกท่านที่เสียสละเวลาช่วยจัดทำ เรียบเรียง และถ่ายทอดองค์ความรู้ต่างๆ หวังว่าผู้อ่านจะได้รับความรู้ เพื่อใช้เตรียมตัวสอบคัดเลือก หรือเป็นพื้นฐานในการปฏิบัติงาน ได้เป็นอย่างดี และหากมีข้อผิดพลาดบกพร่องประการใดในตำรา เล่มนี้ ผู้เขียนต้องขออภัยมา ณ โอกาสนี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ



# สารบัญ

|  | หน้า |
|--|------|
| คำนำ   | ก    |
| สารบัญ   | ข    |
| สารบัญตาราง  | ค    |
| สารบัญภาพ  | ง    |
| คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ                                | ช    |
| บทที่ ๑ ระบบจำลองและอากาศยานไร้คนขับ                     | ๑    |
| ๑. ระบบจำลอง (Simulator System)                          | ๑    |
| ๒. ระบบควบคุมการฝึกบินทางอากาศยุทธวิธี (ACMI)            | ๓    |
| ๓. ระบบเครื่องฝึกบินจำลอง (Flight Simulator System)      | ๙    |
| ๔. ระบบอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicles : UAV) | ๑๙   |
| บทที่ ๒ สงครามอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Warfare)        | ๓๑   |
| ๑. บทนำ  | ๓๑   |
| ๒. ความหมายของสงครามอิเล็กทรอนิกส์                       | ๓๒   |
| ๓. ความเป็นมาของสงครามอิเล็กทรอนิกส์                     | ๓๒   |
| ๔. ความสำคัญของสงครามอิเล็กทรอนิกส์ต่อกำลังทางอากาศ      | ๓๖   |
| ๕. มาตรการในการทำสงครามอิเล็กทรอนิกส์                    | ๓๗   |
| ๖. วิธีการดำเนินการสงครามอิเล็กทรอนิกส์ด้าน ESM          | ๓๙   |
| ๗. วิธีการดำเนินการสงครามอิเล็กทรอนิกส์ด้าน ECM          | ๔๐   |
| ๘. การลวง (Deception or Spoofing)                        | ๔๖   |
| ๙. วิธีการดำเนินการสงครามอิเล็กทรอนิกส์ด้าน ECCM         | ๕๑   |
| ๑๐. นโยบายการแพร่กระจายคลื่นทางอิเล็กทรอนิกส์            | ๕๒   |
| ๑๑. อาวุธที่เป็นอันตรายต่อกำลังทางอากาศ                  | ๕๔   |
| ๑๒. สงครามอิเล็กทรอนิกส์ตามแบบองค์การนาโต้ (NATO)        | ๖๑   |
| บทที่ ๓ บริภัณฑ์การภาพ (Pictorial Equipment)             | ๗๓   |
| ๑. ทฤษฎีการมองเห็น                                       | ๗๓   |
| ๒. กล้อง   | ๗๖   |
| ๓. เซ็นเซอร์รับภาพแบบดิจิทัล (Digital Image Sensors)     | ๙๐   |
| ๔. กล้องวงจรปิด  | ๑๑๑  |
| บรรณานุกรม   | ฎ    |

# สารบัญตาราง

ตารางที่ ๓-๑ แสดงความยาวคลื่น Electro-Optics

หน้า  
๑๐๒

## สารบัญภาพ

|   | หน้า |
|---|------|
| ภาพที่ ๑-๑ แสดง การแบ่งระดับของระบบจำลองการฝึก                                  | ๑    |
| ภาพที่ ๑-๒ แสดง ระบบ ACMI   | ๓    |
| ภาพที่ ๑-๓ แสดง ระบบ AACMI  | ๕    |
| ภาพที่ ๑-๔ แสดง AIS POD   | ๕    |
| ภาพที่ ๑-๕ แสดง SURFACE INSTRUMENTATION SUBSYSTEM                               | ๖    |
| ภาพที่ ๑-๖ แสดง DISPLAY AND DEFRIEFING SUBSYSTEM                                | ๖    |
| ภาพที่ ๑-๗ แสดง EDTU  | ๗    |
| ภาพที่ ๑-๘ แสดง Ground Station  | ๗    |
| ภาพที่ ๑-๙ แสดง แผนผังแสดงหลักการทำงานของระบบ ACMI                              | ๘    |
| ภาพที่ ๑-๑๐ แสดง ระบบเครื่องฝึกบินจำลอง F-16 FSS                                | ๙    |
| ภาพที่ ๑-๑๑ แสดง ระบบเครื่องฝึกบินจำลอง DA-42TH                                 | ๑๐   |
| ภาพที่ ๑-๑๒ แสดง ระบบเครื่องฝึกบินจำลอง GAT II CPT                              | ๑๐   |
| ภาพที่ ๑-๑๓ แสดง ระบบเครื่องฝึกบินจำลอง F-5 CPT                                 | ๑๑   |
| ภาพที่ ๑-๑๔ แสดง ระบบเครื่องฝึกบินจำลอง T-6C                                    | ๑๑   |
| ภาพที่ ๑-๑๕ แสดง ระบบเครื่องฝึกบินจำลอง L-39 EFS                                | ๑๒   |
| ภาพที่ ๑-๑๖ แสดง ระบบเครื่องฝึกบินจำลอง MT-39                                   | ๑๒   |
| ภาพที่ ๑-๑๗ แสดง ระบบเครื่องฝึกบินจำลอง T-50TH                                  | ๑๓   |
| ภาพที่ ๑-๑๘ แสดง ระบบเครื่องฝึกบินจำลอง DA-40TH                                 | ๑๓   |
| ภาพที่ ๑-๑๙ แสดง ระบบการฝึกบินจำลองด้วยแว่น 3 มิติ                              | ๑๔   |
| ภาพที่ ๑-๒๐ แสดง ระบบจำลองการซ่อมบำรุงอากาศยาน (Aircraft Maintenance Simulator) | ๑๔   |
| ภาพที่ ๑-๒๑ แสดง ระบบจำลองการฝึกควบคุมการจราจรทางอากาศ                          | ๑๕   |
| ภาพที่ ๑-๒๒ แสดง ระบบเครื่องฝึกบินจำลอง AT-6TH                                  | ๑๕   |
| ภาพที่ ๑-๒๓ แสดง แผนผังแสดงหลักการทำงานของเครื่องฝึกบินจำลอง                    | ๑๗   |
| ภาพที่ ๑-๒๔ แสดง ระบบอากาศยานไร้คนขับ (UAV)                                     | ๑๙   |
| ภาพที่ ๑-๒๕ แสดง องค์ประกอบของระบบอากาศยานไร้คนขับ (UAV)                        | ๒๔   |
| ภาพที่ ๑-๒๖ แสดง รูปแบบการทำงานของอากาศยานไร้คนขับ (UAV)                        | ๒๖   |

## สารบัญภาพ (ต่อ)

|   | หน้า |
|---|------|
| ภาพที่ ๒-๑ แสดง วงจรลูกโซ่การตอบโต้ การต่อต้านทางอิเล็กทรอนิกส์ | ๓๘   |
| ภาพที่ ๒-๒ แสดง ลักษณะของหน้าจอเรดาร์ที่ถูกรบกวนด้วยสัญญาณแฉม   | ๔๑   |
| ภาพที่ ๒-๓ แสดง Spot Jamming                                    | ๔๒   |
| ภาพที่ ๒-๔ แสดง Sweep Jamming                                   | ๔๓   |
| ภาพที่ ๒-๕ แสดง Barrage Jamming                                 | ๔๓   |
| ภาพที่ ๒-๖ แสดง Block Diagram Barrage Transmitter               | ๔๔   |
| ภาพที่ ๒-๗ แสดง Jamming Power เทียบกับ Bandwidth                | ๔๔   |
| ภาพที่ ๒-๘ แสดง Stand-In Jamming                                | ๔๕   |
| ภาพที่ ๒-๙ แสดง การลงระยะทางบน PPI Scope                        | ๔๖   |
| ภาพที่ ๒-๑๐ แสดง ลักษณะการลงแบบทิศทาง                           | ๔๗   |
| ภาพที่ ๒-๑๑ แสดง Stream Chaff Dispensing                        | ๔๙   |
| ภาพที่ ๒-๑๒ แสดง Random Chaff Dispensing                        | ๔๙   |
| ภาพที่ ๒-๑๓ แสดง Burst Chaff Dispensing                         | ๕๐   |
| ภาพที่ ๒-๑๔ แสดง Typical AAA Buffer Layout                      | ๕๖   |
| ภาพที่ ๒-๑๕ แสดง SAM Using Missile and Target Tracking          | ๕๙   |
| ภาพที่ ๒-๑๖ แสดง Track White Scan Radar                         | ๖๐   |
| ภาพที่ ๒-๑๗ แสดง มาตรการสงครามอิเล็กทรอนิกส์ (เดิม)             | ๖๒   |
| ภาพที่ ๒-๑๘ แสดง มาตรการสงครามอิเล็กทรอนิกส์ (นาโต้)            | ๖๒   |
| ภาพที่ ๒-๑๙ แสดง ตำแหน่งสายอากาศของระบบ RWR                     | ๖๔   |
| ภาพที่ ๒-๒๐ แสดง การส่งสัญญาณรบกวนการทำงานของเรดาร์ข้าศึก       | ๖๕   |
| ภาพที่ ๒-๒๑ แสดง AN/ALQ-131 Self Protection Jammer Pod          | ๖๕   |
| ภาพที่ ๒-๒๒ แสดง การปล่อย Chaff เพื่อป้องกันตนเอง               | ๖๖   |
| ภาพที่ ๒-๒๓ แสดง การปล่อย Flare เพื่อป้องกันตนเองของอากาศยาน    | ๖๗   |
| ภาพที่ ๒-๒๔ แสดง เป้าล่อแบบลาก กับ เป้าล่อแบบปล่อย              | ๖๗   |
| ภาพที่ ๒-๒๕ แสดง อาวุธต่อต้านเรดาร์ (Anti-radiation Weapons)    | ๖๘   |
| ภาพที่ ๒-๒๖ แสดง จรวดนำวิถีแบบ Passive                          | ๗๐   |
| ภาพที่ ๒-๒๗ แสดง จรวดนำวิถีแบบ Active                           | ๗๐   |
| ภาพที่ ๒-๒๘ แสดง จรวดนำวิถีแบบ Semi-Active                      | ๗๑   |

## สารบัญภาพ (ต่อ)

|  | หน้า |
|--|------|
| ภาพที่ ๒-๒๙ แสดง จรวดควบคุมโดยการสั่งการ   | ๗๒   |
| ภาพที่ ๓-๑ แสดง Electromagnetic Spectrum   | ๗๔   |
| ภาพที่ ๓-๒ แสดง วัตถุสะท้อนแสงสีแดงเข้าสู่ชั้นบรรยากาศ ทำให้เรามองเห็นวัตถุเป็นสีแดง                 | ๗๔   |
| ภาพที่ ๓-๓ แสดง วัตถุสะท้อนแสงสีแดงมากเข้าสู่ชั้นบรรยากาศ ทำให้เรามองเห็นวัตถุเป็นสีแดง              | ๗๔   |
| ภาพที่ ๓-๔ แสดง วัตถุสะท้อนแสงสีน้ำเงินสีแดงมากเข้าสู่ชั้นบรรยากาศ ทำให้เรามองเห็นวัตถุเป็นสีแดงม่วง | ๗๕   |
| ภาพที่ ๓-๕ แสดง กล้องบ็อกซ์ (Box Camera)   | ๗๗   |
| ภาพที่ ๓-๖ แสดง กล้องพับ (Folding Camera)  | ๗๗   |
| ภาพที่ ๓-๗ แสดง แบบเลนส์คู่ (Twin Lens Reflex)   | ๗๘   |
| ภาพที่ ๓-๘ แสดง แบบเลนส์เดี่ยว (Single Len Reflex)   | ๗๙   |
| ภาพที่ ๓-๙ แสดง กล้องเล็ก (Miniature Camera)   | ๗๙   |
| ภาพที่ ๓-๑๐ แสดง กล้องเล็กพิเศษ (Ultra-Miniature Camera)   | ๘๐   |
| ภาพที่ ๓-๑๑ แสดง กล้องหนังสือพิมพ์ (Press Camera)  | ๘๐   |
| ภาพที่ ๓-๑๒ แสดง กล้องใหญ่ (Studio Camera)   | ๘๑   |
| ภาพที่ ๓-๑๓ แสดง กล้องถ่ายรูปแบบสเตอริโอ (Stereo Camera)   | ๘๒   |
| ภาพที่ ๓-๑๔ แสดง กล้องถ่ายรูปโพลารอยด์ (Polaroid Camera)   | ๘๒   |
| ภาพที่ ๓-๑๕ แสดง กล้องถ่ายรูปทางอากาศ (Aerial Camera)  | ๘๓   |
| ภาพที่ ๓-๑๖ แสดง กล้องถ่ายรูปใต้น้ำ (Under Water Camera)   | ๘๓   |
| ภาพที่ ๓-๑๗ แสดง กล้องถ่ายรูปจากกล้องจุลทรรศน์ (Photo micrographic Camera)                           | ๘๔   |
| ภาพที่ ๓-๑๘ แสดง กล้องรีโพร (Repro-Camera)   | ๘๔   |
| ภาพที่ ๓-๑๙ แสดง กล้องถ่ายรูปความเร็วสูง (High Speed Camera)   | ๘๕   |
| ภาพที่ ๓-๒๐ แสดง กล้องถ่ายรูปสำหรับผลิตภาพขนาดเล็ก (Microphotography Camera)                         | ๘๕   |
| ภาพที่ ๓-๒๑ แสดง กล้องพาโนรามา (Panoramic Camera)  | ๘๖   |
| ภาพที่ ๓-๒๒ แสดง กล้องถ่ายรูปแบบจาน (Disk Camera)  | ๘๖   |
| ภาพที่ ๓-๒๓ แสดง กล้องดิจิตอล (Digital Camera)   | ๘๗   |
| ภาพที่ ๓-๒๔ แสดง การทำงานของกล้อง  | ๘๙   |
| ภาพที่ ๓-๒๕ แสดง การมองเห็นของมนุษย์   | ๙๐   |
| ภาพที่ ๓-๒๖ แสดงการเดินทางของแสงมายัง IMAGE SENSOR   | ๙๐   |

## สารบัญภาพ (ต่อ)

|  | หน้า |
|--|------|
| ภาพที่ ๓-๒๗ แสดงการเปรียบเทียบการรับแสงระหว่างกล้องฟิล์มกับกล้องดิจิตอล และสายตามนุษย์ | ๙๑   |
| ภาพที่ ๓-๒๘ แสดงรายละเอียดภายใน Photosite  | ๙๒   |
| ภาพที่ ๓-๒๙ แสดงการวางตัวในลักษณะเป็นตารางของ Photosites ในเซนเซอร์                    | ๙๒   |
| ภาพที่ ๓-๓๐ แสดงลักษณะการแปลงข้อมูลค่าความสว่างของแสงเป็นสัญญาณดิจิตอล                 | ๙๓   |
| ภาพที่ ๓-๓๑ แสดงลักษณะของการกรองสีด้วยฟิลเตอร์ที่อยู่บนโพโตไซด์                        | ๙๓   |
| ภาพที่ ๓-๓๒ แสดงลักษณะชั้นการวางตัวของฟิลเตอร์เพื่อแยกสีที่มา                          | ๙๔   |
| ภาพที่ ๓-๓๓ แสดง เซนเซอร์ในขนาดต่างๆ   | ๙๕   |
| ภาพที่ ๓-๓๔ แสดงการเปรียบเทียบขนาดของ PHOTOSITE ที่มีผลต่อคุณภาพของภาพที่มา            | ๙๕   |
| ภาพที่ ๓-๓๕ แสดงลักษณะของ SENSORแบบ CCD และ CMOS                                       | ๙๖   |
| ภาพที่ ๓-๓๖ แสดงลักษณะการทำงานของ CCD  | ๙๖   |
| ภาพที่ ๓-๓๗ แสดงลักษณะการทำงานของ CMOS   | ๙๗   |
| ภาพที่ ๓-๓๘ แสดงลักษณะการทำงานของเซนเซอร์แบบตัวกรองโมเสก                               | ๙๘   |
| ภาพที่ ๓-๓๙ แสดงลักษณะการทำงานของเซนเซอร์แบบ Foveon X3                                 | ๙๙   |
| ภาพที่ ๓-๔๐ แสดงลักษณะการทำงานของระบบแยกสีสามเซนเซอร์                                  | ๑๐๐  |
| ภาพที่ ๓-๔๑ แสดงการเปรียบเทียบ Color Depth   | ๑๐๑  |
| ภาพที่ ๓-๔๒ แสดงตารางพิกเซลของภาพดิจิตอล   | ๑๐๓  |
| ภาพที่ ๓-๔๓ แสดงตัวอย่างบิตที่ปรากฏบนจอภาพ   | ๑๐๔  |
| ภาพที่ ๓-๔๔ แสดงโหมดสีแบบ RGB  | ๑๐๖  |
| ภาพที่ ๓-๔๕ แสดงโหมดสีแบบ CMYK   | ๑๐๖  |
| ภาพที่ ๓-๔๖ แสดงปริมาณการผสมสีแบบ CMYK   | ๑๐๗  |
| ภาพที่ ๓-๔๗ แสดงโหมดสีแบบ HSB  | ๑๐๗  |
| ภาพที่ ๓-๔๘ แสดงโหมดสีแบบ LAB  | ๑๐๘  |
| ภาพที่ ๓-๔๙ แสดง Electro-Optic Spectrum  | ๑๐๘  |
| ภาพที่ ๓-๕๐ แสดง Basic EO Components   | ๑๑๐  |
| ภาพที่ ๓-๕๑ แสดง DVR   | ๑๑๓  |
| ภาพที่ ๓-๕๒ แสดง โปรแกรมการควบคุมกล้อง   | ๑๑๓  |
| ภาพที่ ๓-๕๓ แสดง มุมภาพคงที่   | ๑๑๔  |



## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ ๓-๕๔ แสดง กล้องปรับเปลี่ยนมุมมองได้

หน้า  
๑๑๕

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์และ/หรือคำย่อ

ความหมายและ/หรือคำเต็ม

### บทที่ ๑ ระบบจำลองและอากาศยานไร้คนขับ

|       |   |
|-------|---|
| AACMI | Autonomous Air Combat Maneuvering Instrumentation |
| ACMI  | Air Combat Maneuvering Instrumentation            |
| AI    | Artificial Intelligence                           |
| AIS   | Airborne Instrumentation Subsystem                |
| ATD   | Aviation Training Device                          |
| BITD  | Basic Instrument Training Device                  |
| CPT   | Cockpit Trainer                                   |
| CRT   | cathode ray tube                                  |
| CUBIC | Cubic Defense Applications, Inc.                  |
| DGS   | Debriefing Ground Station                         |
| DTC   | Data Transfer Cartridge                           |
| EASA  | European Aviation Safety Agency                   |
| EFS   | Engineering Flight Simulator                      |
| FAA   | Federal Aviation Administration                   |
| FFS   | Full Flight Simulator                             |
| FNPT  | Flight Navigation Procedures Trainer              |
| FSS   | Flight Simulator System                           |
| FSTD  | Flight Simulation Training Device                 |
| FTD   | Flight Training Device                            |
| HUD   | Head Up Display                                   |
| IAI   | Israel Aircraft Industry LTD                      |
| ICAO  | International Civil Aviation Organization         |
| IG    | Image Generator                                   |
|       | Instrumentation                                   |
|       | International Association                         |
| IO    | Input/Output                                      |
| IOS   | Instructor Operator Station                       |
| LCD   | liquid crystal display                            |
| LVC   | Live Virtual Constructive                         |

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

| สัญลักษณ์และ/หรือคำย่อ | ความหมายและ/หรือคำเต็ม                  |
|------------------------|---|
| MCC                    | Multi – crew Cooperation                |
| MT                     | Mission Trainer                         |
| NSP                    | National Simulator Program              |
| OFT                    | Operational Flight Trainer              |
| PC                     | Personal Computer                       |
| PCMCIA                 | Personal Computer Memory Card           |
| QAG                    | Qualification Approval Guide            |
| QAG                    | Qualification Approval Guide            |
| RTADS                  | Royal Thai Air Defense System           |
| RTMS                   | Real-Time Monitoring Subsystem          |
| RTTP                   | Real Time Tracking & Position           |
| SIS                    | Surface Instrumentation Subsystem       |
| TACTS                  | Tactical Aircrew Combat Training System |
| TDMA                   | Time Division Multiple Access           |
| TGS                    | Transportable Ground Subsystem          |
| TH                     | Thai                                    |
| UHF                    | Ultra High Frequency                    |
| VTR                    | Video Tape Recorder                     |
| UAV                    | Unmanned Aerial Vehicles                |
| UCAV                   | Unmanned Combat Air Vehicle             |
| GCS                    | Ground Control Station                  |
| SAR                    | Synthetic Aperture Radar                |
| HF                     | High Frequency                          |
| VHF                    | Very High Frequency                     |
| EP                     | External Pilot                          |
| IP                     | Internal Pilot                          |
| PO                     | Payload Operator                        |
| PCP                    | Payload Control Panel                   |
| MCS                    | Mission Control Station                 |
| CCD                    | Charged Coupled Device                  |
| FLIR                   | Forward Looking Infra-Red               |
| COMINT                 | Communications Intelligence             |

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

| สัญลักษณ์และ/หรือคำย่อ | ความหมายและ/หรือคำเต็ม  |
|------------------------|---|
| GPS                    | Global Positioning System   |
| RVP                    | Remote Piloted Vehicle  |
| LD                     | Laser designator  |
| ISTAR                  | Intelligence, Surveillance, Target Acquisition and Reconnaissance |
| IMU                    | Inertial measurement unit   |
| DSLR                   | Digital Single Lens Reflex  |

### บทที่ ๒ สงครามอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Warfare)

|        |                                      |
|--------|--------------------------------------|
| AAA    | Anti-Aircraft Artillery              |
| AAM    | Air to Air Missile                   |
| ARM    | Anti-Radiation Missile               |
| ARW    | Anti-Radiation Weapon                |
| ASM    | Air to Surface Missile               |
| COMINT | Communications Intelligence          |
| CMDS   | Countermeasures Dispenser System     |
| DEW    | Directed-Energy Weapons              |
| EA     | Electronic Attack                    |
| ECM    | Electronics Countermeasures          |
| ECCM   | Electronics Counter Countermeasures  |
| ELINT  | Electronic Intelligence              |
| EOB    | Electronic Order of Battle           |
| EP     | Electronic Protection                |
| ES     | Electronic Warfare Support           |
| ESM    | Electronic Support Measures          |
| EW     | Electronic Warfare                   |
| EWMS   | Electronic Warfare Management System |
| IR     | Infrared Radiation                   |
| IRCM   | Infrared Counter Measures            |
| NM     | Nautical Mile                        |
| MAWS   | Missile Approach Warning System      |

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

| สัญลักษณ์และ/หรือคำย่อ | ความหมายและ/หรือคำเต็ม     |
|------------------------|----------------------------|
| PFM                    | Pre-Flight Message         |
| PRF                    | Pulse Recurrence Frequency |
| RTS                    | Radar Threat Simulator     |
| RWR                    | Radar Warning Receiver     |
| SAM                    | Surface to Air Missile     |
| SIGINT                 | Signals Intelligence       |
| SPS                    | Self-Protection System     |
| SSM                    | Surface to Surface Missile |

### บทที่ ๓ บริเวณที่การภาพ (Pictorial Equipment)

-

# บทที่ ๑

## ระบบจำลองและอากาศยานไร้คนขับ

### ระบบจำลอง (Simulator System)

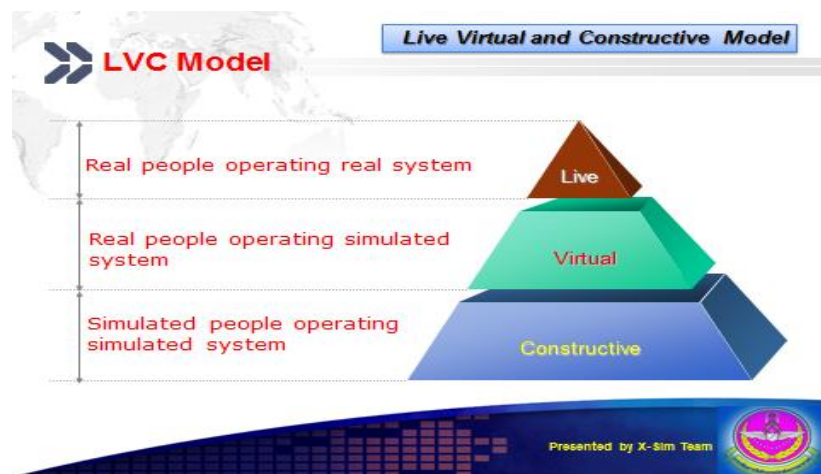
คือระบบที่แสดงถึง หรือจำลองถึง พฤติกรรมของระบบใดระบบหนึ่งในช่วงเวลานั้น ๆ ในสถานการณ์ปัจจุบัน ราคาเครื่องบินขับไล่สมรรถนะสูง รวมทั้งอะไหล่และเชื้อเพลิง ต่างก็มีราคาที่สูงมากตามสมรรถนะที่เพิ่มสูงขึ้น ในทางกลับกันสถานการณ์ทางเศรษฐกิจทั่วโลกกลับไม่เอื้ออำนวยให้ประเทศต่าง ๆ จัดงบประมาณทางทหารให้เพียงพอได้ แต่มีความจำเป็นให้นักบินรักษาสถานะภาพในการปฏิบัติการทางทหารอยู่ตลอดไป ดังนั้น การใช้ ระบบจำลอง ทำการฝึก (Training Simulator) จึงเป็นหนทางหนึ่งที่จะช่วยทำให้การฝึกเจ้าหน้าที่ เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะสามารถปฏิบัติภารกิจและใช้อาวุธที่มีอยู่ให้ได้ผลอย่างเต็มที่ เพื่อให้เกิดความคุ้นเคยก่อนการปฏิบัติการจริง

#### ๑. การแบ่งระดับของระบบจำลองการฝึก (Training Simulator Level)

ระบบจำลองการฝึก มีรูปแบบและวิธีการใช้งานที่หลากหลาย โดยทางสากล การแบ่งระดับของระบบจำลองการฝึก สามารถแบ่งได้เป็นระดับ ๓ ระดับ ได้แก่ระดับ Live ระดับ Virtual และระดับ Constructive หรือศัพท์ที่นิยมใช้ เรียกว่า “LVC Model” โดยมีรายละเอียด ดังนี้

##### ๑.๑ การฝึกภายใต้สภาพแวดล้อมจริง (Live)

คือการฝึกที่ใช้คนจริงเข้าทำการฝึกภายใต้สภาวะแวดล้อมจริง หรือ Real people, Real environment เช่น การยิงปืนด้วยกระสุนปลอมหรือแสงเลเซอร์ ในพื้นที่จริง โดยใช้กำลังพลจริงและใช้อาวุธจริงหรือเลียนแบบให้เหมือนจริงโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเสริมสร้างทักษะและประสบการณ์ของผู้ใช้ ระบบอื่น ๆ เช่น ระบบ ACMI เป็นต้น



ภาพที่ ๑-๑ แสดง การแบ่งระดับของระบบจำลองการฝึก

## ๑.๒ การฝึกในสภาวะแวดล้อมจำลอง (Virtual)

คือการฝึกที่ผู้เข้ารับการฝึกเป็นคนจริงเข้าทำการฝึกภายใต้สภาวะแวดล้อมจำลอง หรือ Real people, Simulated equipment or environment ซึ่งหมายถึงการที่ผู้เข้ารับการฝึกสามารถใช้ระบบต่าง ๆ ภายใต้สภาวะแวดล้อมเสมือนจริงที่สร้างขึ้น ภายในอาคารหรือห้องที่สร้างขึ้น โดยเฉพาะ โดยสามารถใช้งานระบบได้ตลอดเวลาที่ต้องการ เพราะไม่ขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อม เช่น ในพื้นที่จริง เช่น เครื่องฝึกบินจำลอง (Flight Simulator) เป็นต้น

## ๑.๓ การฝึกในระบบเสมือนจริงภายใต้สภาวะแวดล้อมจำลอง (Constructive)

คือการฝึกที่ผู้เข้ารับการฝึกเป็นผู้รับการฝึกเสมือนจริง ซึ่งไม่ใช่คนจริง ๆ ทำการฝึกภายใต้สภาวะแวดล้อมจำลอง หรือ Simulated people, Simulated environment หรือที่เรียกว่า War game เพื่อใช้ในการวางแผนการรบ เหมือนลักษณะการใช้โต๊ะทรายที่ใช้มาตั้งแต่ยุคโบราณ เพื่ออธิบายแผนและจำลองการรบ รวมทั้งใช้ติดตามภาพสถานการณ์ตามที่ได้รับรายงาน ซึ่งในปัจจุบันจะสามารถทำการฝึกร่วมกันผ่านทางระบบเครือข่าย สามารถฝึกได้ข้ามทวีป เช่น การฝึกการแก้ปัญหาที่บังคับการโดยใช้ระบบจำลองยุทธวิธีร่วมระดับยุทธบริเวณ (JTLS) เป็นต้น

## ๒. ประโยชน์ของระบบจำลองการฝึก

สามารถจำแนกประโยชน์โดยรวมได้ ๓ ประการ ประกอบด้วย

### ๒.๑ ด้านความปลอดภัย (Safety)

การใช้ระบบจำลองในการฝึก จะไม่ก่อให้เกิดอันตรายเช่นการฝึกโดยใช้อากาศยานจริง อาวุธจริง และกระสุนจริง รวมถึงในสภาพอากาศซึ่งมีความแปรปรวนและไม่สามารถควบคุมได้ ซึ่งเป็นผลโดยตรงต่อความปลอดภัย

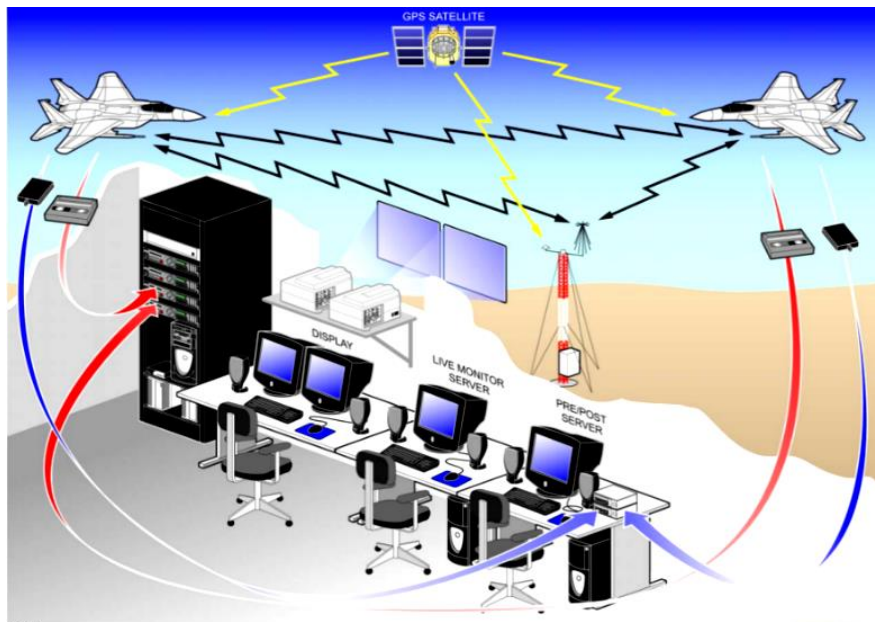
### ๒.๒ ด้านประสิทธิภาพในการพัฒนาทักษะของกำลังพล (Skills)

เทคโนโลยีระบบจำลองการฝึก ช่วยให้ผู้ฝึกมีโอกาสฝึกใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น การบังคับอากาศยาน การฝึกใช้อาวุธยุทธโธปกรณ์ได้หลายครั้ง เพื่อฝึกฝนให้เกิดทักษะและความเชี่ยวชาญได้ รวมทั้งสามารถเรียนรู้จากข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นได้อย่างชัดเจน และยังสามารถแสดงความสามารถในการจำลองสถานการณ์ในระดับต่าง ๆ ได้ ทั้งยังสามารถแสดงให้เห็นถึงทักษะและความสามารถของบุคลากรผู้เข้ารับการฝึกได้

### ๒.๓ ด้านความประหยัด (Save)

ในการฝึกจริงแต่ละครั้งต้องใช้งบประมาณจำนวนมาก มีความสิ้นเปลืองในการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง และระบบสนับสนุนต่าง ๆ รวมทั้งมีค่าเสื่อมสภาพของยุทธโธปกรณ์ ขณะที่การฝึกด้วยระบบจำลอง จะมีเพียงค่าใช้จ่ายสาธารณูปโภคพื้นฐาน ค่าความสึกหรอของเครื่อง ช่วย ฝึกตามอายุ และลักษณะการใช้งานเท่านั้น

## ระบบควบคุมการฝึกบินทางอากาศยุทธวิธี (ACMI)



ภาพที่ ๑-๒ แสดง ระบบ ACMI

### ๑. ความรู้ทั่วไปของระบบ ACMI

#### ๑.๑ ความเป็นมา

ความต้องการระบบ ACMI เกิดขึ้นจากสงครามทางอากาศในเวียดนามซึ่งเครื่องบินของสหรัฐอเมริกาที่มีทั้งสมรรถนะ และอาวุธยุทธโธปกรณ์ที่มีคุณภาพสูง แต่กลับพลาดการทำลายเป้าหมายบ่อยครั้งโดยที่นักบินไม่สามารถจำเหตุการณ์ได้ว่าตนเองทำการบินอย่างไร และหาหนทางที่จะแก้ไขได้ไม่ถูกต้อง การจัดหาอุปกรณ์ชนิดนี้จึงเกิดขึ้นใน พ.ศ.๒๕๑๓ โดยมีบริษัทเสนอโครงการพื้นที่การฝึก ACMI แก่กองทัพเรือสหรัฐอเมริกา และ พ.ศ. ปีต่อมา บริษัท CUBIC ได้รับเลือกให้ทำการจัดหาอุปกรณ์ดังกล่าวให้กับกองทัพเรือสหรัฐฯ ชื่อแรก เริ่มว่า TACTS หรือ TACTICAL AIRCREW COMBAT TRAINING SYSTEM ผลที่ได้จากการประเมินค่าของครูการบินระดับมืออาชีพ ทำให้เป็นที่ยอมรับว่านักบินที่ผ่านการฝึกด้วยระบบ ACMI เป็นนักบินที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในโลก

กองทัพอากาศตระหนักถึงค่าใช้จ่ายในการฝึกนักบินรบ ซึ่งต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูงมากในแต่ละเที่ยวบิน จึงได้แสวงหาอุปกรณ์ที่จะสามารถทำให้นักบินฝึกบินทางยุทธวิธีได้อย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพสูงสุด จนกระทั่งได้ตัดสินใจเลือกระบบ TACTS ประเทศไทยเป็นประเทศแรก ที่นำระบบควบคุมและแสดงผลการยุทธเข้ามาใช้งาน นอกจากนั้นยังมีการใช้งานอยู่ตามภูมิภาคต่าง ๆ ทั่วโลก ประเทศพันธมิตรรอบบ้าน ก็ได้เล็งเห็นถึงความสำคัญ และได้ขอเข้ามาเช่าใช้อุปกรณ์ในการฝึกบินอย่างต่อเนื่อง และสมำเสมอ จนกระทั่งประเทศต่าง ๆ บางประเทศได้เริ่มดำเนินการจัดหา และติดตั้งระบบของตนเองขึ้นมาใช้งานในเวลาต่อมา



## ๒. ระบบ ACMI ที่มีใช้ในกองทัพอากาศ

๒.๑ ระบบ AACMI ของบริษัท IAI มีชื่อเรียกเป็นภาษาอังกฤษว่า AUTONOMUS AIR COMBAT MANEUVERING INSTRUMENTATION จัดหาตามโครงการปรับปรุง บ.ข.๑๘ ข/ค ปัจจุบันติดตั้งที่ บน.๒๑ และเริ่มใช้งานเมื่อ ม.ค.๕๖

๒.๒ ระบบ ACMI ของบริษัท CUBIC DEFENSE APPLICATIONS, INC. ประเทศสหรัฐอเมริกา ปัจจุบันติดตั้งที่ บน.๑ และ บน.๔ เริ่มใช้งานเมื่อ มี.ค.๕๒

๒.๓ ระบบ ETTS ของบริษัท KOREA AEROWSPACE INDUSTRIES ประเทศเกาหลีใต้ ปัจจุบันติดตั้งที่ บน.๔ เริ่มใช้งานเมื่อ ส.ค.๖๔

## ๓. หลักการและส่วนประกอบทั่วไปของระบบ ACMI

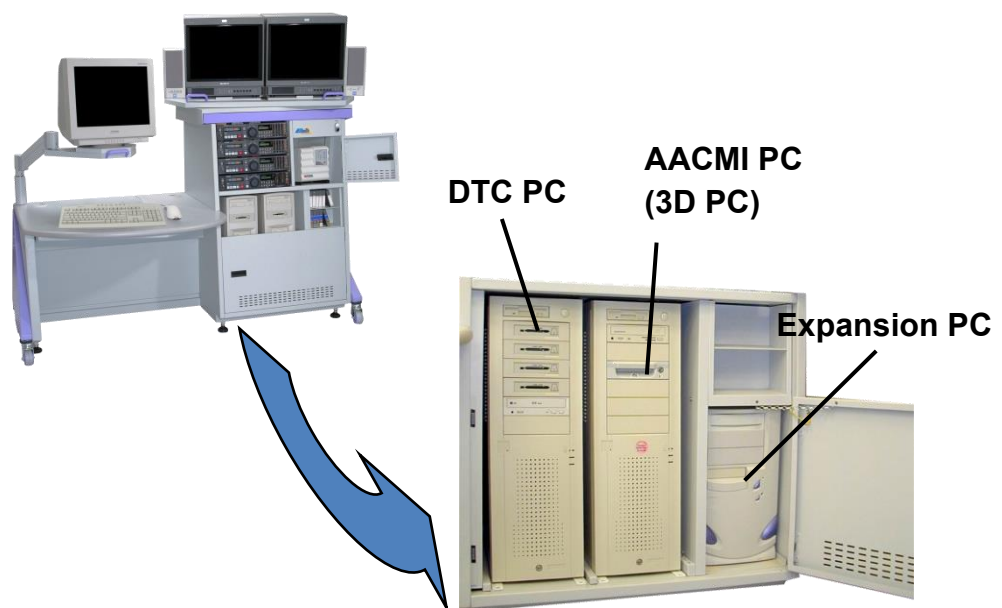
### ๓.๑ ระบบ AACMI

ประกอบด้วยคอมพิวเตอร์หลัก จำนวน ๓ ชุด คือ

๓.๑.๑ DTC PC ใช้สำหรับข้อมูลก่อนทำการบินและนำข้อมูลมาวิเคราะห์หลังการบิน บันทึกข้อมูลการบิน ด้วยอุปกรณ์ในห้องนักบินแบบ PCMCIA CARD

๓.๑.๒ 3D PC ทำหน้าที่นำข้อมูลจาก DTC PC มาแสดงผลที่จอภาพ

๓.๑.๓ Expansion PC ทำหน้าที่รวมสัญญาณภาพและสัญญาณเสียงจากอุปกรณ์ Video Tape Recorder (VTR) มาแสดงผลบนจอภาพ



ภาพที่ ๑-๓ แสดงระบบ AACMI

## ๓.๒ ระบบ ACMI

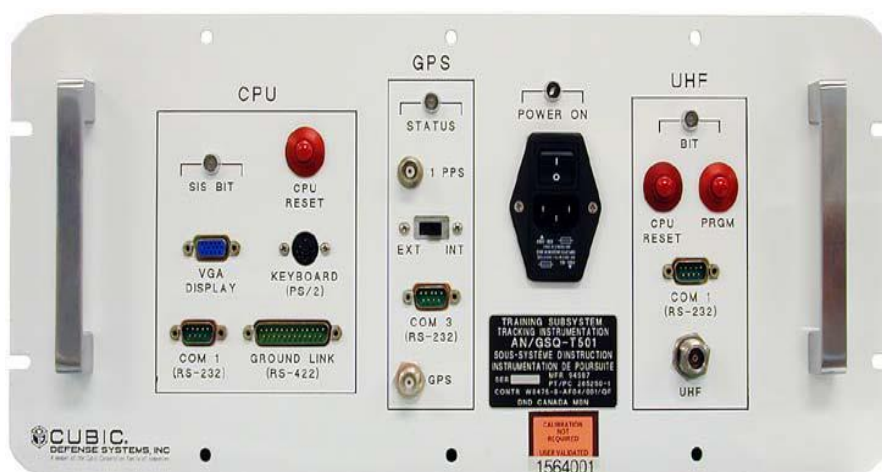
ของบริษัท CUBIC ประกอบด้วยระบบย่อยทั้งหมด ๔ ระบบ ดังนี้

๓.๒.๑ Airborne Instrumentation Subsystem (AIS) คืออุปกรณ์ที่ติดตั้งบนอากาศยาน เรียกอีกชื่อว่า AIS POD ทำหน้าที่เชื่อมต่อสัญญาณกับสถานีภาคพื้น และอากาศยานลำอื่นที่ติดตั้ง AIS POD มารวมทำบันทึกข้อมูลการบิน ของอากาศยานระหว่างทำการบิน ในรูปแบบ Time Division Multiple Access (TDMA)



ภาพที่ ๑-๔ แสดง AIS POD

๓.๒.๒ Surface Instrumentation Subsystem (SIS) ทำหน้าที่รับสัญญาณเชื่อมต่อจาก AIS POD ตั้งแต่ ๑ เครื่องขึ้นไป โดยระหว่าง AIS POD จะส่งสัญญาณผ่านระบบ UHF ในรูปแบบ TDMA มายังอุปกรณ์ติดตามการบิน Real-Time Monitoring Subsystem (RTMS) ที่สถานีภาคพื้น และนำมาแสดงผลแบบใกล้เคียงเวลาจริง



ภาพที่ ๑-๕ แสดง Surface Instrumentation Subsystem

๓.๒.๓ Transportable Ground Subsystem (TGS) ทำหน้าที่วิเคราะห์และประเมินผล หลังการฝึก ทำหน้าที่สำหรับการเตรียมข้อมูลก่อนและหลังการฝึกบิน มารวบรวมเพื่อใช้แสดงผลให้กับ ส่วนที่เกี่ยวข้องได้นำมาวิเคราะห์และปรับปรุงการฝึกบินให้ดียิ่งขึ้น



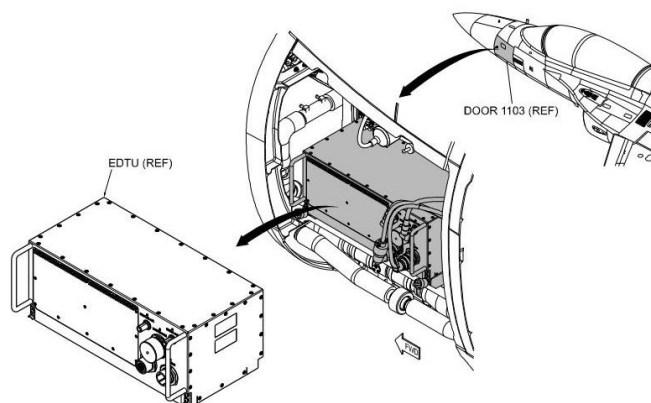
ภาพที่ ๑-๖ แสดง Display And Debriefing Subsystem

๓.๒.๔ Real-Time Monitoring Subsystem (RTMS) คือระบบติดตามและแสดงผลตาม เวลาที่เกิดขึ้นจริง เป็นอุปกรณ์ที่มีหน้าที่รับสัญญาณ Real-Time มาจาก SIS และนำสัญญาณที่ได้มา แสดงผลแบบ Real-Time เช่น ตำแหน่ง ทำทางการบิน และข้อมูลอื่น ๆ ของเครื่องบิน

### ๓.๓ ระบบ ETTS

ของบริษัท KOREA AEROWSPACE INDUSTRIES ประกอบด้วยระบบย่อยทั้งหมด ๒ ระบบ ดังนี้

๓.๒.๑ อุปกรณ์ภาคอากาศ คืออุปกรณ์ที่ติดตั้งบนอากาศยาน ประกอบด้วย EDTU, Upper ET Antenna, Lower ET Antenna และ Distribution Amplifier ทำหน้าที่เป็นเซนเซอร์ จำลองอาวุธ เป้าหมาย การให้คะแนน และสถานการณ์การฝึกยุทธวิธี



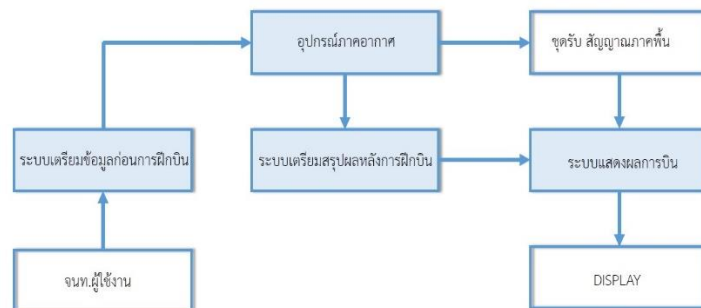
ภาพที่ ๑-๗ แสดง EDTU

๓.๒.๑ Ground Station ประกอบด้วยคอมพิวเตอร์ ๔ เครื่อง ดังนี้ ET Scenario จำนวน 1 ชุด ET Debrief จำนวน 3 ชุด และ VDB 3D จำนวน 1 ชุด ทำหน้าที่แสดงสถานการณ์จำลอง สร้างแผนที่ และวิเคราะห์ผลการฝึกบินยุทธวิธี



ภาพที่ ๑-๘ แสดง Ground Station

#### ๔. หลักการทำงานของระบบ ACMI



ภาพที่ ๑-๙ แสดง แผนผังแสดงหลักการทำงานของระบบ ACMI

##### ๔.๑ การทำงานของระบบ ACMI แบบ NON REAL-TIME

ระบบ ACMI แบบ NON REAL-TIME มีลักษณะการทำงาน โดยเริ่มต้นจากการที่จหนท.ผู้ใช้งานทำการเตรียมข้อมูลก่อนการฝึกบินด้วยการสร้างแผนการบินโดยการป้อนข้อมูล เช่น ข้อมูลนักบิน วันที่ฝึกบิน เวลาฝึกบิน อากาศในการฝึกบิน และเส้นทางการฝึกบิน เป็นต้น จากนั้น ข้อมูลจะถูกบันทึกลงแผ่นบันทึกข้อมูล จหนท.ผู้ใช้งาน จะนำแผ่นบันทึกข้อมูลดังกล่าว ไปติดตั้งกับ อุปกรณ์ภาคอากาศ เพื่อบันทึกข้อมูลการบินของอากาศยานขณะทำการฝึกบิน เมื่อนักบินทำการฝึกบินตามภารกิจเรียบร้อยแล้ว จหนท.ผู้ใช้งาน จะนำแผ่นบันทึกข้อมูลการบินจากอุปกรณ์ภาคอากาศ ไปถ่ายโอนข้อมูลการบินลงในระบบฐานข้อมูลการฝึกบิน และเตรียมข้อมูลสำหรับสรุปผลหลังการฝึกบิน สำหรับใช้ในการแสดงผลการบิน ในลักษณะการแสดงผลทางภาพและเสียง

## ๔.๒ การทำงานของระบบ ACMI แบบ REAL-TIME

ระบบ ACMI แบบ REAL-TIME มีลักษณะการทำงานคล้าย แบบ NON REAL-TIME เพียงแต่ในขณะที่อากาศยานทำการฝึกบิน อุปกรณ์ภาคอากาศจะบันทึกข้อมูลการบิน แล้วส่งสัญญาณข้อมูลการบินมายัง ภาคพื้น ชูตรีบ สัญญาณภาคพื้นจะทำหน้าที่ส่งข้อมูลการบิน ไปยังระบบแสดงผลการบิน ในการแสดงผลภาพและเสียง ทำให้ผู้สังเกตการณ์ที่ภาคพื้น สามารถรับทราบสถานการณ์ที่เกิดขึ้นในระหว่างการฝึกบินไปพร้อมกับ นักบินผู้ทำการฝึก

## ระบบเครื่องฝึกบินจำลอง (Flight Simulator System)

### ๑. ความรู้ทั่วไป

#### ๑.๑ ความเป็นมา

เครื่องฝึกบินจำลองเครื่องแรกประดิษฐ์ขึ้นโดยชาวอเมริกันสกุล LINK ในปี ค.ศ. ๑๙๒๗ และต่อมาได้จัดทำบริษัทเครื่องฝึกบินจำลองขึ้น แต่สำหรับกองทัพอากาศไทย ได้จัดหาเครื่องฝึกบินจำลอง C-11B ของบริษัท LINK มาใช้งานที่กองบิน ๑ (ดอนเมือง) เป็นครั้งแรก (คาดว่าจะเป็นเครื่องแรกของประเทศไทย) เมื่อ พ.ศ. ๒๕๐๑ เป็นเครื่องฝึกบินจำลองที่ทำงานด้วยระบบ Mechanics ต่าง ๆ จำนวนมาก ควบคุมการทำงานด้วย Analog computer บันทึกผลการบินด้วย Plotter บนแผ่น Graph ทรงกลมซึ่งขณะนั้นเลิกใช้งานแล้วคงเหลือเก็บในพิพิธภัณฑ์ กองทัพอากาศ และในเวลาต่อมา ทอ.ยังจัดซื้อเครื่องฝึกบินจำลอง P-3 และ F-86 อีกด้วย ส่วนในหน่วยงานอื่นๆ อย่างเช่นกองทัพเรือไทย ได้มีเครื่องฝึกบินจำลองแบบ F-27 ไว้ใช้งานเช่นกัน ส่วนกองทัพบกมีเครื่องฝึกบินจำลอง UH-1 จำนวน ๒ เครื่องที่ศูนย์การบินทหารบก และบริษัทการบินไทยจำกัดมหาชนมีเครื่องฝึกบินจำลองแบบ BOEING 747,737 และ AIRBUS อยู่ที่อาคารสำนักงานใหญ่ ลาดพร้าว กรุงเทพมหานคร อีกด้วย

### ๒. ระบบเครื่องฝึกบินจำลองที่มีใช้ใน ทอ.

ระบบเครื่องฝึกบินจำลองที่มีใช้ในปัจจุบัน (พ.ศ.๒๕๖๐) ประกอบด้วย

#### ๒.๑ ระบบเครื่องฝึกบินจำลอง F-16

FSS ติดตั้ง ณ บน.๑ และ บน.๔ เมื่อปี พ.ศ.๒๕๕๓ มีจำนวน ๔ ห้องนักบิน (Cockpit) บริษัทผู้ผลิต คือ ST Electronics (Training & Simulation System) Pte Ltd, Singapore สถานภาพปัจจุบัน คงเหลือใช้งาน เฉพาะที่ บน.๑ จำนวน ๒ Cockpit เท่านั้น



ภาพที่ ๑-๑๐ แสดง ระบบเครื่องฝึกบินจำลอง F-16 FSS

## ๒.๒ ระบบเครื่องฝึกบินจำลอง DA-42TH

ติดตั้ง ณ รร.การบิน เมื่อปี พ.ศ.๒๕๖๕ มีจำนวน ๒ Cockpit บริษัทผู้ผลิต คือ Diamond Aircraft Industries แคนาดา สถานภาพปัจจุบันมีใช้งาน จำนวน ๒ Cockpit



ภาพที่ ๑-๑๑ แสดง ระบบเครื่องฝึกบินจำลอง DA-42TH

## ๒.๓ ระบบเครื่องฝึกบินจำลอง GAT II CPT

ติดตั้ง ณ รร.การบิน เมื่อปี พ.ศ.๒๕๕๑ มีจำนวน ๓ Cockpit บริษัทผู้ผลิต คือ ETC สหรัฐอเมริกา สถานภาพปัจจุบัน ใช้งานได้ จำนวน ๓ Cockpit



ภาพที่ ๑-๑๒ แสดง ระบบเครื่องฝึกบินจำลอง GAT II CPT

## ๒.๔ ระบบเครื่องฝึกบินจำลอง F-5 CPT

ติดตั้ง ณ บน.๒๑ เมื่อปี พ.ศ.๒๕๔๖ มีจำนวน ๑ Cockpit บริษัทผู้ผลิต คือ Elbit System Ltd, Israel สถานภาพปัจจุบัน ใช้งานได้ จำนวน ๑ Cockpit



ภาพที่ ๑-๑๓ แสดง ระบบเครื่องฝึกบินจำลอง F-5 CPT

## ๒.๕ ระบบเครื่องฝึกบินจำลอง T-6C

ติดตั้งเมื่อปี พ.ศ.๒๕๓๗ ณ รร.การ มีจำนวน ๒ Cockpit บริษัทผู้ผลิต Textron Aviation Defense LLC, สหรัฐอเมริกา สถานภาพปัจจุบัน ใช้งานได้



ภาพที่ ๑-๑๔ แสดง ระบบเครื่องฝึกบินจำลอง T-6C

## ๒.๖ ระบบเครื่องฝึกบินจำลอง EFS

ติดตั้ง ณ รร.นนท.เมื่อปี พ.ศ.๒๕๔๗ มีจำนวน ๑ Cockpit บริษัทผู้ผลิต คือ ST Electronics (Training & Simulation System) Pte Ltd, Singapore สถานภาพปัจจุบัน ใช้งานได้





ภาพที่ ๑-๑๕ แสดง ระบบเครื่องฝึกบินจำลอง L-39 EFS

### ๒.๗ ระบบเครื่องฝึกบินจำลอง MT-39

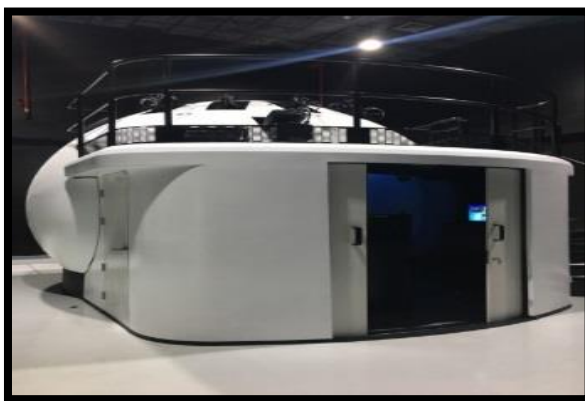
ติดตั้ง ณ บน.๗ เมื่อปี พ.ศ.๒๕๕๔ มีจำนวน ๑ Cockpit บริษัทผู้ผลิต คือ Saab AB, Sweden สถานภาพปัจจุบัน ใช้งานได้



ภาพที่ ๑-๑๖ แสดง ระบบเครื่องฝึกบินจำลอง MT-39

## ๒.๘ ระบบเครื่องฝึกบินจำลอง T-50TH

ติดตั้ง ณ บน.๔ เมื่อปี พ.ศ.๒๕๖๐ มีจำนวน ๑ Cockpit บริษัทผู้ผลิต KAI, Korea สถานภาพปัจจุบัน ใช้งานได้



ภาพที่ ๑-๑๗ แสดง ระบบเครื่องฝึกบินจำลอง T-50TH

## ๒.๙ ระบบเครื่องฝึกบินจำลอง DA-40TH

ติดตั้ง ณ บน.๖ ฝูง๖๐๔ เมื่อปี พ.ศ.๒๕๖๓ มีจำนวน ๑ Cockpit บริษัทผู้ผลิต คือ Diamond Aircraft Industries แคนาดา สถานภาพปัจจุบันมีใช้งาน จำนวน ๑ Cockpit



ภาพที่ ๑-๑๘ แสดง ระบบเครื่องฝึกบินจำลอง DA-40TH

### ๒.๑๐ ระบบการฝึกบินจำลองด้วยแว่น 3 มิติ

ติดตั้ง ณ รร.การบิน เมื่อปี พ.ศ.๒๕๖๗ มีจำนวน ๑๑ Cockpit บริษัทผู้ผลิต คือ Beyond Godlike สถานภาพปัจจุบันมีใช้งาน จำนวน ๑๑ Cockpit



ภาพที่ ๑-๑๙ แสดง ระบบการฝึกบินจำลองด้วยแว่น 3 มิติ

### ๒.๑๑ ระบบจำลองการซ่อมบำรุงอากาศยาน (Aircraft Maintenance Simulator)

ติดตั้ง ณ รร.ท่าอากาศยาน เมื่อปี พ.ศ.๒๕๖๓ มีจำนวน ๑ ระบบ บริษัทผู้ผลิต คือ RAYDANT INTERNATIONAL CO.,LTD. สถานภาพปัจจุบันมีใช้งาน จำนวน ๑ ระบบ



ภาพที่ ๑-๒๐ แสดง ระบบจำลองการซ่อมบำรุงอากาศยาน (Aircraft Maintenance Simulator)

## ๒.๑๒ ระบบจำลองการฝึกควบคุมการจราจรทางอากาศ

ติดตั้ง ณ กบค.คปอ. เมื่อปี พ.ศ.๒๕๖๒ มีจำนวน ๑ ระบบ บริษัทผู้ผลิต คือ บ.วิทย์การบินแห่งประเทศไทย จำกัด สถานภาพปัจจุบันมีใช้งาน จำนวน ๑ ระบบ



ภาพที่ ๑-๒๑ แสดง ระบบจำลองการฝึกควบคุมการจราจรทางอากาศ

## ๒.๑๓ ระบบเครื่องฝึกบินจำลอง AT-6TH

ติดตั้ง ณ บน.๔๑ เมื่อปี พ.ศ.๒๕๖๗ มีจำนวน ๑ ระบบ บริษัทผู้ผลิต คือ Textron Aviation Defense LLC, สหรัฐอเมริกา สถานภาพปัจจุบันมีใช้งาน จำนวน ๑ ระบบ



ภาพที่ ๑-๒๒ แสดง ระบบเครื่องฝึกบินจำลอง AT-6TH

### ๓. ส่วนประกอบทั่วไปและหลักการทำงาน

#### ๓.๑ ส่วนประกอบทั่วไป

ส่วนประกอบสำคัญของเครื่องฝึกบินจำลองโดยทั่วไป แบ่งได้ดังนี้

๓.๑.๑ ชุดอุปกรณ์ปฏิบัติการฝึกบิน หรือ Operational Flight Trainer (OFT) จะประกอบด้วย

- Cockpit หรือห้องนักบินจำลอง มีระบบ เครื่องวัด (Instruments system) ,ระบบควบคุมการบิน (Flight control system), เครื่องช่วยเดินอากาศ (Navigation system), เรดาร์ และระบบอาวุธ

- IO Interface System เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่อยู่ระหว่าง Cockpit และ Main computer ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณระหว่างสัญญาณ Analog กับสัญญาณ Digital

- Computer System ซึ่งจะทำหน้าที่ควบคุมและคำนวณค่า IO (Input/Output) ต่าง ๆ ที่ใช้ในการเคลื่อนไหว (Motion) และแสดงค่าที่อุปกรณ์ เครื่องวัดภายใน Cockpit

๓.๑.๒ ชุดควบคุมการฝึก หรือ Instructor Operator Station (IOS) จะประกอบด้วย

- ชุดควบคุมการฝึก ใช้ป้อนข้อมูลและเหตุการณ์ก่อนหรือในระหว่างการฝึกบิน

- ชุดแสดงผลการฝึก ใช้แสดงผลและเฝ้าดูการฝึก

- Computer System ใช้สำหรับชุดควบคุมและแสดงผลค่าต่าง ๆ

๓.๑.๓ ระบบภาพหรือ Visual System ได้แก่

- Image Generator (IG) คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างภาพพื้นที่การฝึก ประกอบด้วย Computer และวงจร Electronic ซึ่งมีคุณสมบัติที่น่าสนใจ เช่น ความคมชัดของภาพ (Resolution) มีหน่วยเป็น Pixel/Channel , ความละเอียดของภาพ มีหน่วยเป็น Polygon/Channel , ความถี่ของภาพ (Update rate) มีหน่วยเป็น Hertz (HZ), Transport delay time คือเวลาที่ใช้ในการค้นหา และสร้างภาพเมื่อได้รับข้อมูลการเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง บ.จากระบบ OFT มีหน่วยเป็น Mili-Second (ms), ลักษณะของเนื้อภาพ Graphics colour , Full colour ,Texture ,Photo-Texture, Weather effect การจำลองสภาพอากาศ ได้แก่ เมฆ หมอก ฝน หิมะ เป็นต้น, Moving model การจำลองสิ่งที่เคลื่อนที่ไปได้ในระบบภาพด้วยโปรแกรมปัญญาประดิษฐ์หรือที่เรียกว่า Artificial Intelligence (AI) หรือด้วยการบังคับของผู้ควบคุมการฝึกด้วยสถานการณ์ในการฝึก

- จอภาพ (DISPLAY) มีคุณลักษณะที่สำคัญ คือ ขนาดของการมองเห็น (Field of View) มีหน่วยเป็น องศา วัดจากจุดสายตาของนักบิน, ความคมชัด (Resolution) มีหน่วยเป็น Pixel/Channel และความสว่าง (Brightness) มีหน่วยเป็น Foot Lambert ลักษณะของจอภาพมีหลายรูปแบบ ดังนี้

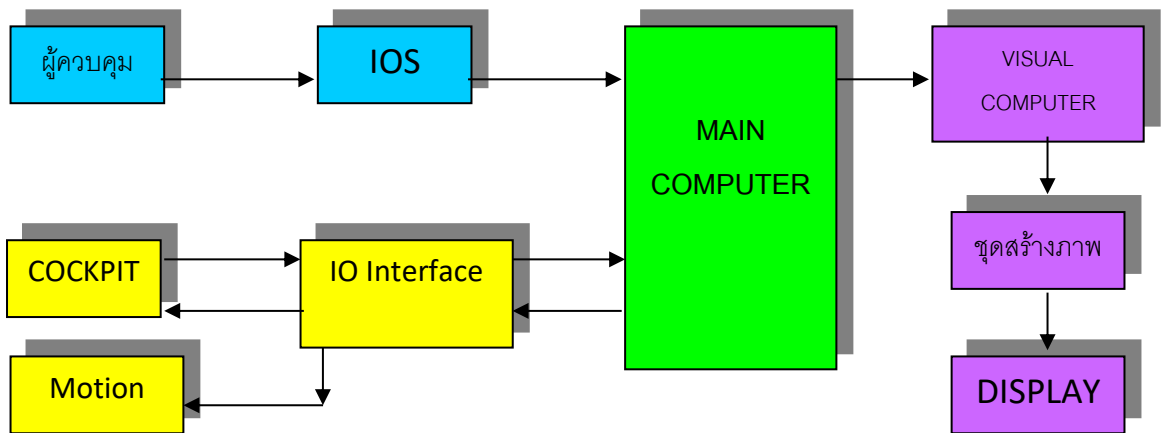
จอภาพที่แสดงผลโดยตรง ได้แก่ แบบ LCD แบบ CRT (เหมือนจอ TV) และจอภาพแบบ Collimated CRT ได้แก่ระบบจอภาพ TV ผ่านกระจกเงาโค้ง เข้าสู่สายตานักบินทำให้ภาพขยายใหญ่ และเกิดความรู้สึกในทางลึกของภาพให้ความสมจริงมากกว่าแบบ CRT

จอภาพแบบ Projector ประกอบด้วย R.G.B. Projector และจอร์รับภาพโดยตรงให้ภาพที่มีขนาดใหญ่โดยตรงที่จอร์รับภาพ และ จอภาพแบบ Collimated Projector โดยผ่านกระจกเงาเรียบ หรือ เป็นชิ้นส่วนของ Sphere ให้ภาพขนาดใหญ่และให้ความรู้สึกในทางลึกที่สมจริง

๓.๑.๔ ระบบเคลื่อนไหว Motion system ประกอบด้วย Motion Base ฐานของระบบเคลื่อนไหว Actuator เป็นแกนที่สามารถยึดหดได้ตามการคำสั่งควบคุม และ Motion Software Controller

๓.๑.๕ คอมพิวเตอร์หลักหรือ Main computer เป็นอุปกรณ์หลักที่ในการประมวลผลค่าอากาศพลศาสตร์ Aerodynamics ที่ได้รับจากค่า Input ต่าง ๆ แล้วส่งไปแสดงผลยังส่วนอื่น ๆ ต่อไป

### ๓.๒ หลักการทำงานทั่วไปของเครื่องฝึกบินจำลอง



ภาพที่ ๑-๒๓ แสดง แผนผังแสดงหลักการทำงานของเครื่องฝึกบินจำลอง

จากแผนผังฯ ขั้นตอนแรกผู้ควบคุม ซึ่งอาจจะเป็นครูฝึกหรือตัวนักบินเอง ทำการป้อนข้อมูลที่จำเป็นตามแผนการฝึก ลงใน IOS เช่น การฝึกบินขึ้นลงในสภาวะปกติ, การฝึกบินทางยุทธวิธีหรือการเลือกสภาพอากาศแบบต่าง ๆ เป็นต้น จากนั้น ข้อมูลทั้งหมดที่ป้อนเข้าไปนั้น จะถูกส่งเข้าไปประมวลผลที่ Main computer ซึ่งนักบินจะทำการฝึกบินภายใน Cockpit โดยเมื่อนักบินทำการโยกคันบังคับสัญญาณจากคันบังคับจะถูกส่งออกไปผ่าน IO Interface และจะถูกการประมวลผลใน Main computer เมื่อประมวลผลเรียบร้อยแล้ว Main computer จะส่งข้อมูลที่ได้ออกไปแสดงผลยัง Visual computer ซึ่งจะทำการค้นหาข้อมูลภาพ (Database) แล้วส่งข้อมูลให้กับชุดสร้างภาพทำการเปลี่ยนข้อมูล ให้เป็นสัญญาณ Video เพื่อแสดงผลที่เป็นภาพเคลื่อนไหวออกมาทาง Display ต่อไป ส่วนอีกหนึ่งสัญญาณ จาก Main Computer จะถูกส่งกลับมายัง IO Interface เพื่อส่งมาทำการเคลื่อนไหวอุปกรณ์เครื่องวัดต่าง ๆ ภายใน Cockpit เช่น เครื่องวัดความเร็วจะแสดงผลของความเร็วที่เพิ่มขึ้น และทำให้ Motion ขยับเคลื่อนไหวในแกนต่าง ๆ เพื่อแสดงความสมจริงในการเคลื่อนไหวของอากาศยาน เป็นต้น ซึ่งในการแสดงความสมจริงมากน้อยเพียงใดนั้น ปัจจุบันได้มีมาตรฐานต่าง ๆ ที่ในองค์กรเกี่ยวกับการบิน มีหลายมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับ เช่น

- มาตรฐาน Federal Aviation Administration : FAA เป็น องค์กรบริหารการบินแห่งชาติของสหรัฐอเมริกา สำหรับอากาศยานปีกตรึง และอากาศยานปีกหมุน ซึ่งใช้เป็นอากาศยานพาณิชย์ และอากาศยานลำเลียง ได้รับการกำหนดมาตรฐานจาก National Simulator Program (NSP) ซึ่งเป็นหน่วยงานย่อยของ FAA โดย NSP จะเป็นผู้ประเมินว่าเครื่องฝึกบินจำลองผ่านมาตรฐานหรือไม่ และเครื่องฝึกบินจำลองชนิดนั้นจัดอยู่ในระดับใด ตามมาตรฐาน FAA จะแบ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการฝึกบินออกเป็น ๒ ประเภท

๑. ด้าน Aviation Training นั้น จะใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า Aviation Training Device (ATD) ซึ่งจะประเมินตาม Qualification Approval Guide (QAG) ซึ่งกำหนดโดย NSP

๒. ด้านเครื่องฝึกบินจำลอง หรือ Flight Simulation Training Device (FSTD) ซึ่งใช้ในการฝึกจำลองการบิน โดยแบ่งได้อีก ๒ ประเภท ได้แก่ Flight Training Device (FTD) ตั้งแต่ Level ๔ ถึง Level ๗ และ Full Flight Simulator (FFS) ตั้งแต่ Level A ถึง Level D จะประเมินตาม Qualification Test Guide (QTG) ซึ่งกำหนดโดย NSP เช่นกัน

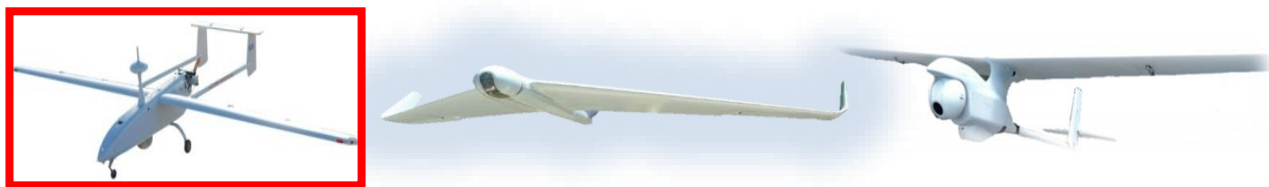
- มาตรฐาน European Aviation Safety Agency : EASA เป็น องค์กรความปลอดภัยด้านการบินแห่งสหภาพยุโรป ซึ่งในด้านเครื่องฝึกบินจำลอง สำหรับอากาศยานปีกตรึงและอากาศยานปีกหมุน ซึ่งใช้เป็นอากาศยานพาณิชย์ และอากาศยานลำเลียง ได้รับการกำหนดมาตรฐาน จาก NSP ซึ่งเป็นหน่วยงานย่อยของ International Civil Aviation Organization (ICAO) โดย NSP จะเป็นผู้ประเมินว่าเครื่องฝึกบินจำลองผ่านมาตรฐานหรือไม่ และเครื่องฝึกบินจำลองชนิดนั้น จัดอยู่ในระดับใด ตามมาตรฐาน EASA จะแบ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการฝึกบินออกเป็น ๒ ประเภท

๑. การฝึกด้าน Aviation Training นั้น จะแบ่งเป็น ๒ ประเภทย่อยคือ Basic Instrument Training Device (BITD) และ Flight Navigation Procedures Trainer (FNPT) ตั้งแต่ Level ๑, Level ๒ และ Multi –crew Cooperation (MCC) ซึ่งจะประเมินตาม Qualification Approval Guide (QAG) ซึ่งกำหนดโดย NSP

๒. การฝึกด้านเครื่องฝึกบินจำลอง หรือ Flight Simulation Training Devices (FSTD) ซึ่งใช้ในการฝึกจำลองการบิน โดยแบ่งได้อีก ๒ ประเภท ได้แก่ Flight Training Devices (FTD) ตั้งแต่ Level ๑, Level ๒, Level ๓ และ Full Flight Simulator (FSS) ตั้งแต่ Level A ถึง Level D จะประเมินตาม Qualification Test Guide (QTG) ซึ่งกำหนดโดย NSP เช่นกัน

- มาตรฐาน The International Civil Aviation Organization : ICAO องค์กรการบินพลเรือนระหว่างประเทศ เรียกเครื่องฝึกบินจำลองว่า Flight Simulation Training Devices (FSTD) โดยได้ทำการแบ่งระดับของเครื่องฝึกบินจำลองไว้ ๗ ระดับตาม ICAO Qualification Levels ตั้งแต่ FSTD Type I ถึง FSTD Type VII

## ระบบอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicles : UAV)



ภาพที่ ๑-๒๔ แสดง ระบบอากาศยานไร้คนขับ (UAV)

### ๑. ความรู้ทั่วไปของระบบอากาศยานไร้คนขับ (UAV)

#### ๑.๑ ความเป็นมา

อากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicles : UAV) คือ อากาศยานที่สามารถทำการบินในระยะไกลที่พ้นระยะสายตา (Beyond Visual Range) ซึ่งนักบินจะทำการควบคุมและบังคับการบินอยู่กับพื้น หรืออากาศยานที่สามารถบินเองได้โดยสามารถติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับ กล้องถ่ายภาพ อุปกรณ์สื่อสารและ Payload ชนิดอื่น ๆ เพื่อปฏิบัติการกิจ หรืออากาศยานที่ไม่มีคนประจำบนอากาศยาน จุดเด่นของอากาศยานไร้คนขับอยู่ที่การปราศจากความเสี่ยงในการสูญเสียนักบินประหยดงบประมาณในการผลิตระบบไม่ซับซ้อนขนาดเล็กตรวจจับได้ยากและมีความคล่องตัวสูงอีกทั้งระยะเวลาบินไม่ขึ้นอยู่กับความเมื่อยล้าของนักบินดังนั้นอากาศยานไร้คนขับจึงถูกพัฒนาให้มีความทันสมัยมากขึ้น และใช้ในภารกิจที่หลากหลายมากขึ้น ทั้งภารกิจทางพลเรือนและทางทหารที่ติดอาวุธหรือปราศจากอาวุธ

ในปี พ.ศ.๒๔๔๙ ถือเป็นจุดเริ่มต้นของอากาศยานไร้คนขับเมื่อนักถ่ายภาพทางอากาศชาวอเมริกาใช้กล้องถ่ายภาพผูกติดกับวาว (Captive Airship) เหนือเมือง San Francisco ขณะเกิดแผ่นดินไหว

ต่อมาในปี พ.ศ. ๒๔๕๘ Nikola Tesla วิศวกรเครื่องกลและไฟฟ้าเป็นผู้ริเริ่มแนวคิดเกี่ยวกับกองบินอากาศยานไร้คนขับ และในปี พ.ศ. ๒๔๕๙ Archibald Montgomery Low (A.M. Low) นักวิทยาศาสตร์และนักวิศวกรรมที่มีความเชี่ยวชาญด้านเครื่องบิน ได้สร้างอากาศยานไร้คนขับรุ่นแรกเป็นเป้าฝึกทางอากาศ (Aerial Target) หลังจากนั้นได้มีการคิดค้นและพัฒนาอากาศยานไร้คนขับอย่างแพร่หลาย ทั้งก่อเกิดเครื่องบินอัตโนมัติ ฮิวิตต์-สเปออร์รี่ (Hewitt-Sperry Automatic Airplane) ขึ้นมาอีกด้วย

ปี พ.ศ.๒๔๖๗ มีการดัดแปลงเครื่องบิน Fairey III F เป็นอากาศยานไร้คนขับบังคับด้วยวิทยุระยะไกล และใช้ชื่อว่า Fairey Queen ต่อมาได้ดัดแปลงเครื่องบิน Tiger Moth เป็นเครื่องบินล่อเป้าเพื่อการฝึกยิงของหน่วยบินต่อสู้อากาศยาน

ในปี พ.ศ. ๒๔๗๘ หลังสงครามโลกครั้งที่ ๑ เรจินัลด์ เดนนี่ (Reginald Denny) ได้พัฒนาระบบควบคุมอากาศยานไร้คนขับระยะไกลหรืออาร์พีวี (Remote Piloted Vehicle : RPV) และได้มีความพยายามคิดค้นพัฒนาและสร้างอากาศยานไร้คนขับอย่างต่อเนื่อง โดยอาศัยเทคโนโลยีที่เน้นการรักษาผลประโยชน์ของประเทศชาติ ส่งผลให้มีการพัฒนาเทคโนโลยีเป็นไปอย่างรวดเร็ว เช่น



ในช่วงสงครามโลกครั้งที่ ๒ มีการใช้อากาศยานไร้คนขับที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นเป้าฝึกให้กับพลปืนต่อต้านอากาศยานและภารกิจโจมตี

หลังจากสงครามโลกครั้งที่ ๒ มีการประยุกต์ใช้เครื่องยนต์ไอพ่น (Jet Engines) ในระบบเครื่องยนต์ของอากาศยานไร้คนขับ เช่น Ruan Firebee I ของ บริษัท Teledyne Ruan ที่สร้างขึ้นในปี พ.ศ. ๒๔๙๔ และ ปี พ.ศ. ๒๔๙๘ บริษัทอย่าง บีชคราฟท์ (Beechcraft) ได้มีการสร้างอากาศยานไร้คนขับโมเดล 1001 (Model 1001) ให้กับกองทัพเรือสหรัฐ แต่กระนั้นอากาศยานไร้คนขับยังไม่ต่างจากเครื่องบินควบคุมด้วยรีโมท จนกระทั่งถึงยุคสงครามเวียดนาม บริษัท Ryan Aeronautical จำกัด ได้ผลิต Lightning Bugs ซึ่งเป็นอากาศยานบังคับระยะไกลขึ้นเพื่อใช้ในการลาดตระเวนมากกว่า ๓,๐๐๐ เที่ยวบิน

ต่อมาในปี พ.ศ. ๒๕๐๗ กระทรวงกลาโหมประเทศต่าง ๆ ได้บรรจุอากาศยานไร้คนขับในหน่วยมากถึง ๑๑ แบบ เช่น Hunter Pioneer Predator ของกองทัพสหรัฐ Phoenix ของประเทศอังกฤษ Searcher ของประเทศอิสราเอล เป็นต้น

ในช่วงปี ๒๕๒๓ และ ๒๕๓๓ ด้วยความก้าวหน้าของเทคโนโลยีจึงเริ่มมีการพัฒนาอากาศยานให้มีขนาดเล็กลง กองทัพอากาศมีความสนใจเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะการใช้อากาศยานไร้คนขับเป็นอาวุธในการต่อสู้ ทั้งยังช่วยลดความเสี่ยงและการสูญเสียนักบินได้เป็นอย่างดี รุ่นแรกอากาศยานมุ่งเน้นใช้อากาศยานในการลาดตระเวน แต่ในช่วงหลังมีการติดอาวุธให้กับ อากาศยาน เช่น เอ็มคิว-1 พรีเดเตอร์ (MQ-1 Predator) ติดตั้งขีปนาวุธอากาศสู่พื้นเอจีเอ็ม-114 เอลไฟร์ อากาศยานไร้คนขับ AGM-114 Hellfire air-to-ground missiles) ติดอาวุธจะถูกเรียกว่าอากาศยานโจมตีไร้คนขับหรือ UCAV (Unmanned Combat Air Vehicle: UCAV)

ในอนาคตมีการผลิตและใช้งานอากาศยานไร้คนขับในช่วงการรบ การทิ้งระเบิด และการโจมตีภาคพื้นดิน ทั้งยังใช้ในการฝึกค้นหาและช่วยเหลือ งานในสถานการณ์ฉุกเฉิน

## ๒. ระบบอากาศยานไร้คนขับ (UAV) ที่มีใช้ในกองทัพอากาศ

### ๒.๑ อากาศยานไร้คนขับ (UAV) แบบ Aerostar BP (บร.ต.๑)

อากาศยานไร้คนขับ Aerostar BP (บร.ต.๑) เป็นอากาศยานไร้คนขับที่ผลิตโดยบริษัท Aeronautics รัฐอิสราเอล มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในหลายประเทศ ทอ.เริ่มโครงการจัดหา Aerostar B ในปี ๕๓ จากนั้นในปี ๕๘ ได้จัดหา Aerostar BP เพิ่มเติม รวมทั้งปรับปรุง Aerostar B เดิมให้เป็น Aerostar BP ปัจจุบันประจำการ ณฝูง ๔๐๔ บน.๔

อากาศยานไร้คนขับ Aerostar BP (บร.ต.๑) สามารถปฏิบัติการต่อเนื่องได้ไม่เกิน ๑๒ ชม. ครอบคลุมรัศมีปฏิบัติการไม่เกิน ๒๐๐ กม. ที่ความสูงไม่เกิน ๑๘,๐๐๐ ฟุต ความเร็วสูงสุด ๑๐๐ น็อต และความเร็วปฏิบัติการ ๖๐ น็อต ทั้งนี้ระบบอากาศยานไร้คนขับ Aerostar BP (บร.ต.๑) สามารถส่งข้อมูล Full Motion VDO ข้อมูล Synthetic Aperture Radar (SAR) และข้อมูล COMMINT ตลอดจนมีขีดความสามารถในการค้นหาเป้าหมาย (Targeting Acquisition) โดยใช้ Laser Designator (LD)

## ๒.๒ อากาศยานไร้คนขับ (UAV) แบบ Orbiter II

อากาศยานไร้คนขับ แบบ Orbiter II เป็นระบบอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก และมีน้ำหนักเบา มีความคล่องตัวสูง ผลิตโดยบริษัท Aeronautics รัฐอิสราเอล ทอ.เริ่มจัดหาในปี ๕๗ ในภารกิจด้านยุทธการของหน่วยปฏิบัติการพิเศษของ ทอ.

อากาศยานไร้คนขับ แบบ Orbiter II มีคุณลักษณะเฉพาะคือ มีขนาดเล็ก ความกว้างปีกไม่เกิน ๓ เมตร น้ำหนักเบา ปฏิบัติการโดยใช้ชุดอุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก และควบคุมการบินด้วยระบบการบินอัตโนมัติ (Auto Pilot) ปฏิบัติการได้ทั้งในเวลากลางวันและกลางคืน รวมทั้งมีเลเซอร์ชี้เป้าหมายสามารถบอกตำแหน่งพิกัดตนเองและเป้าหมายได้ในคราวเดียวกัน สามารถส่งข้อมูลภาพกลับมายังชุดควบคุมในระยะทางไม่ต่ำกว่า ๓๐ กม. สามารถปฏิบัติการกิจได้มากกว่า ๒ ชม. ที่ความสูงปฏิบัติการประมาณ ๒,๐๐๐ - ๓,๐๐๐ ฟุต

## ๒.๓ อากาศยานไร้คนขับ (UAV) แบบ TEagle Eyes II

อากาศยานไร้คนขับ แบบ TEagle Eyes II เป็นระบบอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก และมีน้ำหนักเบา มีความคล่องตัวสูง ถูกพัฒนาและสร้างโดย รร.นบก.ในปี ๕๖ เพื่อสนับสนุนภารกิจ ISTAR (Intelligence, Surveillance, Target Acquisition and Reconnaissance) ทั้งในภาวะปกติ และฉุกเฉินสามารถปฏิบัติการกิจได้ทั้งจากบนพื้น หรือบนยานพาหนะที่กำลังเคลื่อนที่

นอกจากนี้อากาศยานไร้คนขับ แบบ TEagle Eyes II สามารถปฏิบัติการกิจไม่เกิน ๒ ชม.ต่อเนื่องกันครอบคลุมรัศมีตรวจการณ์ไม่เกิน ๑๕ กม. ที่ความสูงไม่เกิน ๓,๐๐๐ ฟุต และความเร็วสูงสุด ๕๐ น็อต เพื่อนำข้อมูลมาประกอบการวางแผนปฏิบัติการณได้ในเวลาจริงโดยจะส่งข้อมูลข่าวสารแบบต่อเนื่องและรวดเร็วเพื่อช่วยกระบวนการกำหนดเป้าหมายที่แม่นยำ

## ๒.๔ อากาศยานไร้คนขับ (UAV) แบบ Dominator XP

อากาศยานไร้คนขับ แบบ Dominator XP จากบริษัท Aeronautics Defense System Ltd. อิสราเอล ในปี พ.ศ.๒๕๖๑ (2018) โดยผูกพันงบประมาณสี่ปีตั้งแต่ พ.ศ.๒๕๖๑-พ.ศ.๒๕๖๔ (2018-2021) ซึ่งมีพิธีบรรจุเข้าประจำการเมื่อวันที่ ๑ กันยายน พ.ศ.๒๕๖๖(2023) เป็นระบบอากาศยานไร้คนขับพิสัยกลางแบบ DominatorXP ซึ่งเป็นอากาศยานไร้คนขับแบบ Medium Altitude Long Endurance หรือ MALE แบบแรกของประเทศไทย ณ ฝูงบิน 302 กองบิน 3 อำเภอตาคลี จังหวัดนครสวรรค์ (หน่วยอยู่ในพื้นที่ของกองบิน 4) เพื่อรองรับภารกิจการรบ เช่น การบินลาดตระเวนตามแนวชายแดน และภารกิจที่ไม่ใช่การรบ เช่น การค้นหาผู้ประสบภัย หรือการเฝ้าระวังไฟฟ้า เป็นต้น โดย Dominator XP เป็นรุ่นไร้คนขับของเครื่องบินฝึก DA42 Twin Star ที่ผลิตโดยบริษัท Diamond Aircraft ออสเตรีย โดยเป็นเครื่องบินธุรกิจสองเครื่องยนต์ใบพัดสี่ที่นั่ง ที่บริษัท Aeronautics อิสราเอลดัดแปลงนำระบบควบคุมการบินระยะไกลและถังเชื้อเพลิงมาแทนที่ห้องนักบินและผู้โดยสาร

อากาศยานไร้คนขับ แบบ Dominator XP มีความยาวเครื่อง 8m ปีกกว้าง 13.42m น้ำหนักรวมอากาศยาน 1,200 kg ทำความเร็วได้ 190 knots มีเพดานบินสูง 30,000 feet และระยะเวลาปฏิบัติการนาน 28 ชั่วโมง นอกจากกองทัพอากาศไทยที่มีข้อมูลเปิดเผยยังได้รับจัดหาจากเม็กซิโกและตุรกีแล้ว

### **๒.๕ อากาศยานไร้คนขับ (UAV) แบบ Thunder 1**

อากาศยานไร้คนขับ แบบ Thunder 1 เป็นระบบอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็ก และพิสัยไกล ผลิตโดยบริษัท Yangda ประเทศจีน ทอ.เริ่มจัดหาในปี ๖๖ ในภารกิจด้านยุทธการของหน่วยปฏิบัติการพิเศษของ ทอ.

อากาศยานไร้คนขับ แบบ Thunder 1 มีคุณลักษณะเฉพาะคือ ขึ้นลงแนวดิ่ง (VTOL) สามารถบรรทุกสิ่งของ หรือ ติดตั้งกล้อง Flir กับถาดที่อยู่ใต้เครื่องได้ ปฏิบัติการโดยใช้อุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็กและควบคุมการบินด้วยระบบการบินอัตโนมัติ (Auto Pilot) ปฏิบัติการได้ทั้งในเวลากลางวันและกลางคืน รวมทั้งยังสามารถบอกตำแหน่งพิกัดตนเองและรอบข้างได้ในคราวเดียวกัน สามารถปฏิบัติการกิจได้มากกว่า ๒ ชม. ที่ความสูงปฏิบัติการประมาณ ๔,๕๐๐ เมตรจากระดับน้ำทะเล

### **๒.๖ อากาศยานไร้คนขับ (UAV) แบบ RTAF-U1**

อากาศยานไร้คนขับ แบบ RTAF-U1 เป็น UAV ที่กองทัพอากาศ ได้ร่วมมือกับภาคอุตสาหกรรมภายในประเทศในการสนับสนุน และร่วมมือกันผลิต โดยผลิตมา จำนวน 17 เครื่อง ซึ่งได้รับการออกแบบและผลิตตามมาตรฐาน ประจำฝูงบิน 206 วัฒนานคร จ.สระแก้ว (2564)

อากาศยานไร้คนขับ แบบ RTAF-U1 โดยสามารถปฏิบัติการกิจได้ต่อเนื่อง 8 ชั่วโมง ในรัศมีปฏิบัติการ 100 กิโลเมตรและสามารถวิ่งขึ้น และร่อนลงสนามบินด้วยระบบอัตโนมัติมีสมรรถนะ และขีดความสามารถในการปฏิบัติการทางทหาร และการปฏิบัติการทางทหาร นอกเหนือจากสงคราม

### ๓. ส่วนประกอบทั่วไปและหลักการทำงานของระบบอากาศยานไร้คนขับ (UAV)



ภาพที่ ๑-๒๕ แสดง องค์ประกอบของระบบอากาศยานไร้คนขับ (UAV)

#### ๓.๑ อากาศยานไร้คนขับ ๑ ระบบ ประกอบด้วย

๓.๑.๑ รูปแบบอากาศยาน (Platform) ประกอบด้วย โครงเครื่องบิน (Airframe) และระบบขับเคลื่อนหรือเครื่องยนต์ (Propulsion System) โดยโครงสร้างอาจมีรูปร่างต่างๆ กัน เช่น อากาศยานไร้คนขับรุ่น Pioneer เป็นรูปกล่องสี่เหลี่ยม หรือรุ่น Cypher เป็นรูปโดนัท ส่วนวัสดุที่ใช้ก็มีหลายแบบ เช่น โลหะ พลาสติกผสม คาร์บอน ไฟเบอร์ผสม และวัสดุคอตกลื่นคลื่นเรดาร์ เป็นต้น ส่วนระบบขับเคลื่อนหรือเครื่องยนต์มีหลายแบบ เช่น เครื่องยนต์ ๒ จังหวะ เครื่องยนต์ ๔ จังหวะ เครื่องยนต์ โรตารีมอเตอร์ไฟฟ้า เครื่องยนต์จรวด และ เครื่องยนต์เทอร์โบเจ็ท เป็นต้น

๓.๑.๒ ระบบควบคุมการบิน (Flight Control System) มีหน้าที่หลักในการประมวลผลข้อมูลจาก Sensor และอุปกรณ์ที่ติดตั้งบนอากาศยานต่างๆ แปลความหมายสัญญาณควบคุม และส่งข้อมูลเพื่อบังคับทิศทางของอากาศยานไร้คนขับ การเปลี่ยนแปลงท่าทางการบิน ได้แก่ มุมก้มเงย (Pitch), มุมเอียงปีก (Roll), Yaw, ความเร็ว, ความสูง, Throttle (คันเร่ง) และการจัดการภารกิจ

๓.๑.๓ ระบบควบคุมและสนับสนุนภาคพื้น (Ground Control Station) ระบบควบคุมและสนับสนุนภาคพื้นของอากาศยานไร้คนขับ ทำหน้าที่ตรวจสอบการทำงาน และตรวจข้อมูลต่างๆ ที่ส่งมาจากอากาศยานไร้คนขับ นอกจากนั้นยังสามารถสั่งการทำงานต่างๆ ตามที่ต้องการโดยส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายในการ รับ - ส่ง ข้อมูล

๓.๑.๔ ระบบอุปกรณ์ที่ติดตั้งสำหรับทำภารกิจ (Payload System) ใช้ทำหน้าที่สำรวจ ตรวจสอบ โดยติดตั้ง Payload ต่างๆ ขึ้นไป เช่น กล้องถ่ายภาพนิ่ง กล้องอินฟราเรด กล้องถ่ายภาพเคลื่อนไหว และเรดาร์

๓.๑.๕ ระบบติดต่อสื่อสารและระบบการเชื่อมต่อ (Communication System & Data Link System) เชื่อมต่อระหว่างอากาศยานกับระบบควบคุม และสนับสนุนภาคพื้นดินใช้หลายย่านความถี่ เช่น ย่านความถี่ HF, ย่านความถี่ VHF และย่านความถี่ไมโครเวฟเป็นต้น หากระบบขัดข้องจะส่งต่อไปยังข่ายอื่นๆ เช่น ดาวเทียม และส่งกลับมายังสถานีภาคพื้น

๓.๑.๖ อุปกรณ์สำหรับสนับสนุนการปฏิบัติงานกับอากาศยานไร้คนขับที่ภาคพื้น (Support Element) เช่น Arresting Gear System เป็นระบบที่ใช้สำหรับหน่วงความเร็วของอากาศยานโดยใช้ Cable, Starter เนื่องจากอากาศยานไร้คนขับไม่มี Starter ติดตั้ง จำเป็นต้องใช้ External Starter สำหรับการติดเครื่องยนต์ เป็นต้น

๓.๑.๗ ผู้ควบคุมใช้งาน (Human Interface) กำลังพลที่ปฏิบัติงานกับระบบอากาศยานไร้คนขับเป็นผู้ที่มีประสบการณ์สูง และได้รับการฝึกเป็นอย่างดี ประกอบด้วย

- นักบินภายนอก (External Pilot - EP) ทำหน้าที่ควบคุมอากาศยานไร้คนขับ จากแท่นควบคุมภายนอก ระหว่างการบินขึ้นและลงสนาม โดยใช้ Flight Control Box.

- นักบินภายใน (Internal Pilot - IP) รับผิดชอบการเตรียม MCS สำหรับการปฏิบัติการและ ทำการควบคุมการบินอากาศยานไร้คนขับภายในระบบควบคุมและสนับสนุนภาคพื้น (Ground Control Station)

- จนท.ซ่อมบำรุง (Technician) รับผิดชอบการซ่อมบำรุงอากาศยานไร้คนขับ และ MCS ในชั้นหน่วย (O level Maintenance)

- หน.จนท.ซ่อมบำรุง (Chief Technician) ทำหน้าที่ในการซ่อมบำรุงที่ต้องใช้ความชำนาญ และเป็นผู้ลงชื่ออนุญาตให้ อากาศยานไร้คนขับสามารถขึ้นบินได้

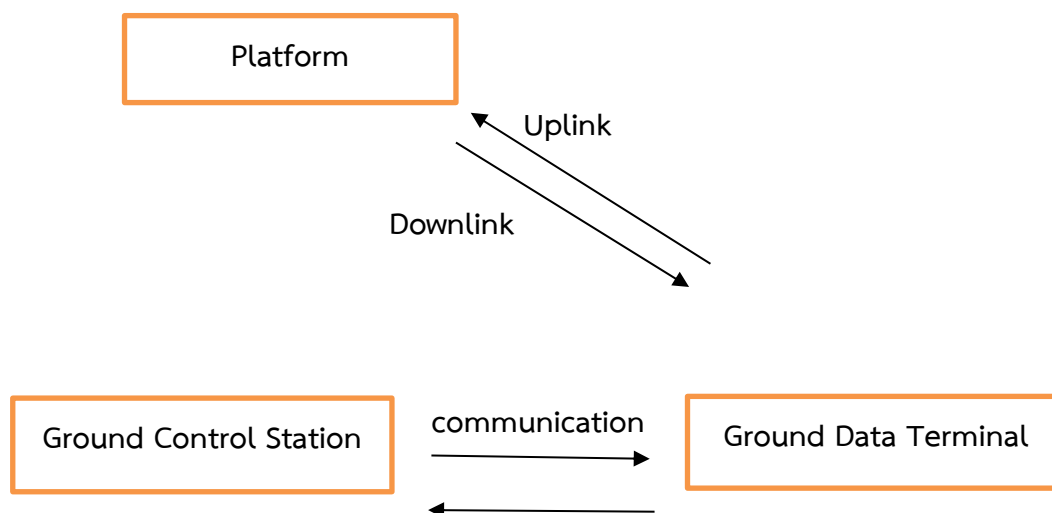
- จนท.ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ (Payload Operator - PO) ทำหน้าที่ควบคุม Payload โดยใช้ Stick และแผงควบคุม Payload (PCP) และวิเคราะห์เป้าหมายจากภาพวิดีโอ

- ผู้บังคับภารกิจ (Mission Commander) รับผิดชอบการทำงานของ จนท. เพื่อให้ภารกิจสำเร็จลุล่วงอย่างปลอดภัยและมีประสิทธิภาพทั้งในสวนของ จนท. และ อากาศยานไร้คนขับ, ประมวลผลข้อมูลและสัญญาณวิดีโอจากอากาศยานไร้คนขับ โดยใช้แผงควบคุมบังคับบัญชา

- ผู้จัดการสถานที่ (Site Manager) รับผิดชอบ จนท. ในสนามบิน จัดการและติดต่อ ประสานการปฏิบัติประจำวัน และดูแลรับผิดชอบทางวิ่งขึ้นและลงของอากาศยานไร้คนขับ

### ๓.๒ หลักการทำงานของระบบอากาศยานไร้คนขับ (UAV)

สรุปหลักการทำงานของระบบอากาศยานไร้คนขับ (UAV) ดังนี้



ภาพที่ ๑-๒๖ แสดงรูปแบบการทำงานของอากาศยานไร้คนขับ (UAV)

อากาศยานไร้คนขับควบคุมการทำงานโดยอุปกรณ์ควบคุมภาคพื้น ผ่านโปรแกรมควบคุม ให้ปฏิบัติภารกิจต่าง ๆ โดยส่งสัญญาณจากอุปกรณ์ควบคุมภาคพื้น ผ่านเสาส่งสัญญาณ (Ground Data Terminal : GDT) Uplink ขึ้นไปที่อากาศยานไร้คนขับ มี Airborne Antenna รับสัญญาณและส่งข้อมูลให้ Flight control System ในการประมวลผลข้อมูล ซึ่งทำงานร่วมกับ GPS และอุปกรณ์ตรวจจับอื่น ๆ ที่ติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับ เมื่อมีข้อมูลที่ต้องส่งจากอากาศยานไร้คนขับ มาที่ภาคพื้น Flight control System จะประมวลผลข้อมูลและส่งสัญญาณมาที่ Airborne Antenna และส่งสัญญาณ Downlink มาที่เสาส่งสัญญาณ (GDT) หลังจากนั้นสัญญาณถูกส่งไปแสดงผลบนหน้าจอแสดงผลของอุปกรณ์ควบคุมภาคพื้น

## บทที่ ๒

# สงครามอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Warfare)

### บทนำ

มนุษย์เป็นสัตว์สังคม ซึ่งต้องมีการอยู่ร่วมกัน มีการติดต่อ ไปมาหาสู่กัน มีการขัดแย้งกัน และชิงไหวชิงพริบกันในสังคมมนุษย์แต่ละกลุ่ม แต่ละประเทศในโลกต่างพยายามที่เสาะแสวงหาวิธีการต่างๆ เพื่อหาความได้เปรียบให้กับกลุ่มหรือประเทศของตนทุกด้าน ไม่ว่าจะเป็นความได้เปรียบทางการเมือง ทางเศรษฐกิจ ทางทหาร ทางสังคมจิตวิทยาและทางเทคโนโลยีเพื่อให้กลุ่มหรือประเทศของตนมีความก้าวหน้า มีความแข็งแกร่ง และยืนหยัดอยู่ได้อย่างมั่นคง ดังคำกล่าวที่ว่า “เล็กต้องแข็ง ถ้าไม่แกร่ง ตัวต้องโต เขาจึงเกรง” ดังนั้นประเทศเล็กๆทั้งหลายจึงต้องมีการรวมกลุ่มกัน เช่น กลุ่มประเทศอาเซียน กลุ่ม ANSUS (ออสเตรเลีย นิวซีแลนด์ และสหรัฐอเมริกา) คือกลุ่มร่วมมือทางทหาร ฯลฯ เพื่อแสวงหาวิธีการ หรือเข้าร่วมเพื่อเสริมพลังอำนาจของชาติให้เหนือกว่าประเทศอื่นเช่นกัน

ในปัจจุบันการขัดแย้งกันระหว่างประเทศ จะทำการแก้ปัญหาด้วยวิธีสันติ เป็นประการแรก หากปัญหาขัดแย้งยังไม่สามารถแก้ได้ด้วยวิธีสันติ นั้นหมายถึงการเกิดสงคราม การสงครามในปัจจุบันได้พัฒนาขีดความสามารถทางยุทธวิธี อาวุธยุทโธปกรณ์ ให้มีขีดความสามารถสูงขึ้นด้วย เช่น เครื่องบิน อากาศยานต่าง ๆ ให้มีความเร็วแม่นยำสูง และควบคุมด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ ทำให้มีประสิทธิภาพและอำนาจทำลายล้างสูง นอกจากนั้นผู้นำกลุ่มประเทศคอมมิวนิสต์ และผู้นำกลุ่มประเทศเสรี ยังได้ทุ่มเททรัพยากร เพื่อพัฒนาปรับปรุงวิธีการทางเทคนิคในการทำสงครามอิเล็กทรอนิกส์ให้มีประสิทธิภาพและอำนาจทำลายล้างจะทวีความรุนแรงยิ่งขึ้น ดังนั้นเพื่อความได้เปรียบในการสงคราม ในปัจจุบันศาสตร์ทางด้านสงครามอิเล็กทรอนิกส์จึงได้จัดเข้ามาเป็นการสงครามประเภทหนึ่งเหมือนกับการจัดประเภทของสงครามอื่นๆ เช่น การสงครามจิตวิทยา การสงครามรังสีวิทยา การสงครามชีววิทยา การสงครามปรมาณู การสงครามเคมี และการสงครามกองโจร ซึ่งทั้งหมดนี้จัดอยู่ในประเภทการสงครามนอกแบบ

นอกจากนี้ การสื่อสารเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดของการสงคราม และการสงครามก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่เสริมให้การสื่อสารได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ชัยชนะในการสงครามและเทคนิคในการรบขึ้นอยู่กับ การสื่อสาร การทำสงครามนั้น จะต้องมีการเตรียมการในเรื่องบริภัณฑ์สงครามอิเล็กทรอนิกส์เพื่อการข่าวกรอง การลวงความลับในเรื่องทำเนียบกำลังรบ ขีดความสามารถ ของอาวุธยุทโธปกรณ์ หรือเพื่อแสดงขีดความสามารถและเทคนิคในการรบของคู่สงคราม เพื่อให้ทำการตอบโต้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ หรือเพื่อแสดงขีดความสามารถ ความแข็งแกร่งของกองทัพ เพื่อป้องปรามให้ฝ่ายตรงข้ามต้องระมัดระวังในการปฏิบัติอย่างใดอย่างหนึ่ง

ในยามสงคราม การสื่อสารสามารถให้ข้อมูล และข่าวสารจากสนามรบมายังศูนย์บังคับการ ได้อย่างรวดเร็ว และมีรายละเอียดพอที่จะให้ผู้บังคับบัญชาตัดสินใจสั่งการ หรือประสานงานระหว่าง หน่วยกำลังรบเป็นไปอย่างถูกต้อง รวดเร็วและมีประสิทธิภาพ

สำหรับประเทศไทยนั้น ผู้นำของประเทศได้ตระหนักและให้ความสำคัญกับการสงคราม อิเล็กทรอนิกส์ และสนับสนุน ผลักดัน ให้มีการปรับปรุงพัฒนาอย่างจริงจัง เพื่อเป็นการเตรียมการไว้ให้ พร้อมในยามปกติและยามสงคราม

## ความหมายของสงครามอิเล็กทรอนิกส์

สงครามอิเล็กทรอนิกส์ หมายถึง การปฏิบัติการทางทหารเกี่ยวกับการใช้พลังงานคลื่น แม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Energy) ให้เป็นประโยชน์แก่ฝ่ายตนเองอย่างมีประสิทธิภาพ และ เกิดผลในการยุทธมากที่สุด โดยแสวงหาประโยชน์และลดประสิทธิภาพ ขัดขวาง รบกวน หรือลด การปฏิบัติไปยังฝ่ายตรงข้าม ที่กำลังใช้ประโยชน์จากการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ให้หมด ประสิทธิภาพ และดำรงประสิทธิภาพในการใช้พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของฝ่ายตน ให้ยังคงสามารถใช้ ประโยชน์ในการยุทธได้ตลอดเวลา และยังผลให้ฝ่ายตรงข้ามไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้เลย

## ความเป็นมาของสงครามอิเล็กทรอนิกส์

### ๑. สมัยสงครามโลกครั้งที่หนึ่ง

ความเป็นมาของสงครามอิเล็กทรอนิกส์พอสรุปได้ว่า สงครามอิเล็กทรอนิกส์นั้นได้เกิดขึ้นครั้งแรก และมีการปฏิบัติการครั้งแรกเมื่อสมัยสงครามโลกครั้งที่หนึ่ง โดยนำเอาสงครามอิเล็กทรอนิกส์มาใช้กับ กำลังทางบก และทางเรือ ส่วนการปฏิบัติทางอากาศนั้นไม่พบหลักฐานในการนำเอาสงคราม อิเล็กทรอนิกส์มาใช้งาน เนื่องจากในยุคนั้นความก้าวหน้าทางการบิน และการสื่อสารบนเครื่องบินยัง ล้าสมัย การติดต่อสื่อสารส่วนใหญ่มักใช้ที่คณะสัญญาเป็นหลัก

เมื่อปี พ.ศ. ๒๔๕๗ กองทัพอเยอรมัน ซึ่งมีจอมพลฟอนริน เดนเบอร์เกอร์ เป็นแม่ทัพได้ชัยชนะต่อ กองทัพรัสเซีย โดยมีนายพลเรน เบนแคมน์ และนายพล แซมโซนอฟ เป็นแม่ทัพ ซึ่งมีกำลังเหนือกว่ากำลัง ทางบก และทางเรือรวมกัน ทั้งนี้เนื่องจากเจ้าหน้าที่วิทยุเยอรมันสามารถดักจับข่าวการติดต่อ การเคลื่อนไหวกำลังและแผนปฏิบัติการของรัสเซียโดยตลอด ดังนั้นเยอรมันจึงได้ดำเนินการยุทธ และสามารถทำลายกองทัพรัสเซียได้สำเร็จ ต่อมาในปีเดียวกันนั้นเอง กองเรือของอังกฤษได้ดักจับข่าว การติดต่อทางวิทยุของกองเรือเยอรมัน ในทะเลเมดิเตอร์เรเนียนถึงการเคลื่อนไหวและการปฏิบัติต่างๆ แล้วใช้มาตรการต่อต้านทางอิเล็กทรอนิกส์เชิงรุก (Active Electronics Counter Measure) ในขณะเดียวกันทางฝ่ายเยอรมันก็ทำการก่อกวนทางอิเล็กทรอนิกส์ (Jamming) ต่ออังกฤษได้อย่าง มีประสิทธิภาพ



ส่วนการนำอุปกรณ์สงครามอิเล็กทรอนิกส์มาใช้บนอากาศยาน ได้ปรากฏมีหลักฐานในสมัยสงครามโลกครั้งที่สองในปี พ.ศ.๒๔๘๓ กองทัพอากาศได้ใช้เรือเหาะ (Airship) ชื่อ GRAFZEPPELIN ติดตั้งเครื่องมือปฏิบัติการข่าวกรองทางอิเล็กทรอนิกส์ (ELINT) โดยมีเจ้าหน้าที่ทำงานอยู่บนเรือเหาะจำนวน ๓๐ นาย ปรากฏว่าการปฏิบัติการได้ประสบผลสำเร็จดีมาก สามารถดักจับการติดต่อสื่อสารของฝรั่งเศส เชโกสโลวาเกีย รัสเซีย และอังกฤษ แต่พบว่ามิชอบพร้อมในบางส่วนที่ไม่สามารถปฏิบัติการกิจได้อย่างสมบูรณ์ จึงได้ทำการแก้ไขจนสามารถทำงานได้อย่างสมบูรณ์แบบในภายหลัง

สรุปได้ว่าในสงครามโลกครั้งที่หนึ่ง ได้มีการนำเอามาตรการสงครามอิเล็กทรอนิกส์มาใช้แล้วทั้งทางบกและทางเรือ ส่วนทางอากาศเพียงแต่มีการนำเอาอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์มาติดตั้งบนเรือเหาะ (Airship) ซึ่งเป็นช่วงก่อนสงครามโลกครั้งที่สองเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

## ๒. สมัยสงครามโลกครั้งที่สอง

ในสงครามโลกครั้งที่สอง มีการนำเอาการสงครามอิเล็กทรอนิกส์มาใช้ในการยุทธ ซึ่งแบ่งออกเป็น ๒ ยุทธบริเวณ คือ

### ๒.๑ ยุทธบริเวณภาคยุโรป

เป็นการยุทธระหว่างอังกฤษกับเยอรมัน ซึ่งในการยุทธครั้งนี้ นายกรัฐมนตรีวินสตัน เชอร์ชิลล์ ของอังกฤษได้ให้ความสำคัญกับการใช้สงครามอิเล็กทรอนิกส์ในการยุทธเป็นอย่างมาก ซึ่งถือว่าเป็นความล้มเหลวของกลยุทธ์ หรือเรียกว่า “สงครามริชาร์ด” โดยใช้เทคนิคของการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ให้เป็นประโยชน์ในการรบ

เมื่อปี พ.ศ.๒๔๘๓ เยอรมันได้ตั้งสถานีวิทยุไว้หลายจุดด้วยกันทางตอนเหนือของฝรั่งเศส โดยแต่ละสถานีส่งคลื่นออกเป็นลำคลื่น (ใช้สายอากาศแบบบังคับทิศทาง) ลำคลื่นแต่ละลำคลื่นที่ส่งออกไปจะพุ่งเข้าสู่กรุงลอนดอน (London) ประเทศอังกฤษ เพื่อใช้ในการนำเครื่องบินเข้าโจมตีอังกฤษ และกรรมวิธีเช่นนี้ได้ถูกตัดแปลงมาใช้เป็นเครื่องช่วยการเดินอากาศในปัจจุบัน ที่เรียกว่าระบบลอแรน “LOWRAN” ต่อมาอังกฤษได้พัฒนามาเป็นสถานี “BEACON” หรือเรียกว่า สถานีส่งทิศวิทยุเพื่อให้นำเครื่องบินเข้าหาสนามบิน ซึ่งถือได้ว่าเป็นมาตรการต่อต้านอีกรูปแบบหนึ่ง โดยอังกฤษก็ได้ทำการติดตั้งสถานีส่งทิศวิทยุเป็นรูปตาข่าย ให้สถานีแต่ละสถานีตั้งห่างกัน ๔-๑๐ ไมล์ และมีสถานีดักจับลำคลื่นของสถานีของเยอรมัน เมื่อสถานีรับดักจับลำคลื่นของฝ่ายเยอรมันได้ก็จะนำเอาสัญญาณที่รับได้นี้ ไปถ่ายทอดออกอากาศยังสถานีส่งต่างๆ ที่ติดตั้งไว้เป็นผลให้เครื่องบินของเยอรมันรับลำคลื่นผิดหรือรับไม่ได้เลย โดยสุดท้ายแล้วเป็นผลทำให้เครื่องบินของฝ่ายเยอรมันบินหลงทิศทาง

เมื่อเยอรมันถูกอังกฤษต่อต้านอย่างได้ผล จึงได้คิดระบบใหม่ขึ้นมา โดยทำการตั้งสถานีส่งขึ้นบนชายฝั่งของฝรั่งเศส ๒ สถานี สถานีหนึ่งส่งสัญญาณสั้น อีกสถานีหนึ่งส่งสัญญาณยาวและให้

ลำคลื่นส่งขนานกัน เมื่อเครื่องบินบินอยู่ระหว่างลำคลื่นขนาน ก็จะสามารถรับสัญญาณจากลำคลื่นทั้งสองได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งทำให้เครื่องบินสามารถบินเข้าโจมตีเป้าหมายได้อย่างถูกต้อง

จากกรรมวิธีนี้ทางอังกฤษก็ได้ทำการต่อต้านอีก โดยส่งคลื่นที่มีความถี่เดียวกันแต่มีกำลังส่งที่สูงกว่าเข้ารบกวนเครื่องรับบนเครื่องบินของฝ่ายเยอรมัน ซึ่งอังกฤษได้ตั้งสถานีกำลังส่งสูงหลายสถานี และส่งออกคลื่นที่มีกำลังแรงกว่าลำคลื่นข้างใดข้างหนึ่ง โดยมีผลทำให้สามารถเบียดลำคลื่น หรือบิดลำคลื่นให้เปลี่ยนทิศทางหรือหักเหไปจากแนวทางเดิม ก็จะทำให้เครื่องบินเยอรมันบินตามลำคลื่นนั้นไป และไม่สามารถนำเครื่องเข้าโจมตีเป้าหมายได้ หรือหาเป้าหมายไม่พบนั่นเอง

จะเห็นว่าอังกฤษและเยอรมัน ได้มีการนำวิธีการและมาตรการทางสงครามอิเล็กทรอนิกส์มาใช้ในการยุทธทุกรูปแบบ เพื่อหาความได้เปรียบในการยุทธเพื่อให้บรรลุเป้าหมายของฝ่ายตน รวมทั้งการส่งคลื่นรบกวนการติดต่อสื่อสาร และการทำงานของเรดาร์ตามชายฝั่งอีกด้วย

เมื่อปี พ.ศ. ๒๔๘๔ สหรัฐได้ให้ความสนใจในเรื่องการทำสงครามอิเล็กทรอนิกส์เป็นอย่างมาก สหรัฐจึงได้จัดคณะทำงานขึ้นมา เพื่อศึกษาเรื่องการทำสงครามอิเล็กทรอนิกส์อย่างจริงจัง โดยจัดส่งคณะทำงานไปรับการศึกษาและร่วมปฏิบัติงานกับอังกฤษ ทำให้สหรัฐได้เรียนรู้เทคนิคและวิธีการต่างๆ ในการทำสงครามอิเล็กทรอนิกส์ และได้เรียนรู้เรื่องการใช้เรดาร์ของเยอรมันหลายแบบ จึงทำให้มีการค้นคว้ามาตรการต่อต้าน เพื่อลดประสิทธิภาพการทำงานของเรดาร์ โดยกำหนดความต้องการและคุณสมบัติของเครื่องก่อกวนเรดาร์ ให้มีขีดความสามารถในการปรับความถี่ใช้งาน ให้มีย่านความถี่กว้างในการส่งเพื่อไม่ต้องการใช้เครื่องส่งหลายเครื่องในการทำการก่อกวน รวมทั้งออกแบบให้เครื่องมีกำลังส่งสูง มีน้ำหนักน้อย สะดวกต่อการเคลื่อนย้าย สามารถติดตั้งบนเครื่องบินได้ นอกจากนี้สหรัฐยังได้เร่งรัดจัดตั้งโรงเรียนการสงครามอิเล็กทรอนิกส์ และจัดให้นายทหารเข้ารับการอบรมถึง ๖๐๐ นาย

ในระหว่างสงครามโลกครั้งที่สองนี้ จากจำนวนนายทหารที่ผ่านเข้ารับการอบรมมา ๖๐๐ นาย ได้ถูกแบ่งให้เข้าทำงานในเรื่องการตรวจการณ์เกี่ยวกับการต่อต้านทางอิเล็กทรอนิกส์จำนวน ๒๐๐ นาย ส่วนที่เหลือให้ทำงานด้านปฏิบัติการการรบกวนเรดาร์ของเครื่องบินทิ้งระเบิดของฝ่ายข้าศึก

ในเดือนเมษายน พ.ศ. ๒๔๘๖ ผบ.ยุทธบริเวณใต้ใช้กำลังทางอากาศเข้าโจมตีซิซิลี ในการนี้พันธมิตรได้ใช้เครื่องก่อกวนเรดาร์ตามชายฝั่งซิซิลี และชาติเนี่ยทุกรูปแบบ ทำให้เรดาร์ของฝ่ายเยอรมันหมดประสิทธิภาพ ยังผลให้เครื่องบินทิ้งระเบิดสามารถเข้าปฏิบัติการได้โดยไม่เสียกำลังเลย ในปลายสงครามโลกครั้งที่สอง กองทัพอากาศที่ ๘ ของสหรัฐในยุโรปได้ส่งเครื่องบินที่ติดตั้งเครื่องดักจับ (Intercepted Receiver) ไปทำการค้นหาลำคลื่นเรดาร์ต่างๆ ที่เยอรมันใช้อยู่ เพื่อให้ได้ซึ่งการข่าวทางเทคนิค เพื่อเตรียมการก่อกวนเรดาร์ของฝ่ายเยอรมัน ซึ่งสุดท้ายกองทัพอากาศที่ ๘ ของสหรัฐ ก็สามารถได้ดำเนินการได้เป็นผลสำเร็จอย่างยิ่ง ในปลายปี ๒๔๘๗ นั่นเอง

ตลอดระยะเวลาระหว่างสงคราม กองทัพอากาศที่ ๘ ของสหรัฐได้ใช้เครื่องต่อต้านทางอิเล็กทรอนิกส์มากที่สุด รองลงมาคือกองทัพอากาศสหรัฐที่ ๑๕ ซึ่งมีฐานทัพตั้งอยู่ในประเทศอิตาลี ก็ใช้อย่างกว้างขวาง นอกจากนี้ในการยกพลขึ้นบกที่ฝรั่งเศส มาตรการต่อต้านเรดาร์ได้มีบทบาทอย่างมากในการยุทธครั้งนั้น คือได้ทำการก่อกวนเรดาร์ตรวจฝั่ง และเรดาร์ควบคุมการยิงของปืนฝ่ายเยอรมันเป็น

จำนวนร้อยละ และยังสามารถใช้การลงเรดาร์ในการยุทธครั้งนี้ด้วย โดยสหรัฐได้ใช้เรือเล็กเป็นจำนวนมาก ติดตั้งเครื่องส่งก่อกวน แล้วกระจายกันออกทำการก่อกวน ซึ่งแต่ละลำได้ส่งคลื่นให้มีทิศทางไปยังเมืองคาร์แลนส์ทางทิศเหนือของหาดนอร์ม็องดี ส่วนทางฝ่ายเยอรมันก็ได้เตรียมการป้องกันการรบกวนอย่างเต็มที่ การกระทำเช่นนี้เปิดโอกาสให้กองทัพฝ่ายสัมพันธมิตร สามารถบุกทะลวงหาดนอร์ม็องดีได้อย่างง่ายดาย โดยจะเห็นได้ว่ามาตรการทางสงครามอิเล็กทรอนิกส์ นั้นมีบทบาทที่สำคัญและก่อให้เกิดคุณค่าในการยุทธอย่างมหาศาล

## ๒.๒ ยุทธบริเวณภาคแปซิฟิก

การยุทธระหว่างญี่ปุ่นกับสหรัฐ สำหรับยุทธภูมิแปซิฟิกนี้จะแตกต่างกับยุทธภูมิยุโรป เนื่องจากในยุทธภูมินี้ทางญี่ปุ่นได้ยึดครองเกาะเล็กเกาะน้อยไว้ตลอดย่านภาคใต้ และไกลออกไปจนถึงภาคตะวันออกเฉียงใต้ เป็นแนวเริ่มตั้งแต่เกาะนิวกินี เกาะเวคและเกาะอลูเชียน ดังนั้นการต่อสู้เพื่อแย่งยึดเกาะคืนได้เปิดฉากการต่อสู้ขึ้น นับจำนวนครั้งไม่ถ้วนทุกแห่งที่ถูกญี่ปุ่นยึดครองอยู่ หน่วยกำลังที่ใช้ในภาคนี้ก็จะหน่วยกำลังของทหารเรือและเครื่องบินของทหารเรือซึ่งมีบทบาทสำคัญตลอดการยุทธ

การสงครามอิเล็กทรอนิกส์ที่ได้นำมาใช้ในยุทธภูมิด้านนี้คือ ทหารเรือได้จัดเครื่องบินทำการลาดตระเวนระยะไกลอย่างต่อเนื่อง เพื่อต้องการตรวจสอบหาสัญญาณเรดาร์ของข้าศึกและเพื่อป้องกันกองเรือให้ปฏิบัติงานได้อย่างปกติจากการต่อต้านทางอิเล็กทรอนิกส์นั้น ทางสหรัฐได้ทำการติดตั้งเครื่องมือสงครามอิเล็กทรอนิกส์ไว้บนเรือพิฆาต เรือบรรทุกเครื่องบิน และยานพาหนะบนพื้นดิน เพื่อทำการรบกวนเรดาร์ของญี่ปุ่น นอกจากนี้ทางสหรัฐได้จัดช่องการสื่อสารเป็นพิเศษเพื่อใช้รายงานในข่ายสนับสนุนการสงครามอิเล็กทรอนิกส์ เมื่อเจ้าหน้าที่ตรวจรับสัญญาณเรดาร์ญี่ปุ่นได้ จะรายงานผลในข่ายการสื่อสารที่ได้จัดให้เป็นพิเศษนี้

สำหรับกองทัพญี่ปุ่นก็ได้ทำการติดตั้งเรดาร์บนเครื่องบินแบบต่างๆ เพื่อทำการตรวจสอบเป้าหมายบนผิวน้ำ เพื่อจะนำทางให้กับเครื่องบินเข้าโจมตีกองเรือสหรัฐ แต่ทางสหรัฐก็สามารถทราบล่วงหน้าถึงแผนนี้ก่อนถึง ๓๐ นาที จากการรับสัญญาณที่ส่งออกมาจากเครื่องบินญี่ปุ่น จึงทำให้ทางสหรัฐได้มีเวลาเตรียมการและป้องกันได้ทันที (ทั้งนี้เนื่องจากว่าความเร็วของเครื่องบินยังมีความเร็วต่ำ) โดยจากผลของการรบในสงครามโลกครั้งที่สองนี้ จะเห็นได้ว่าในการรบของสงครามโลกครั้งที่สอง ได้นำเอามาตรการทางสงครามอิเล็กทรอนิกส์มาใช้กับกำลังทางอากาศแล้วอย่างกว้างขวาง

## ๓. สมัยหลังสงครามโลกครั้งที่สอง

ความได้เปรียบของการสงครามอิเล็กทรอนิกส์ของฝ่ายสัมพันธมิตร ถือได้ว่าเป็นบทบาทที่สำคัญอย่างยิ่งในการรบ โดยทำให้การรบได้ชัยชนะอย่างรวดเร็วขึ้น และลดการสูญเสียกำลังพลและยุทธโศภรณ์ เครื่องมือในการรบ อีกทั้งลดการสูญเสียทางเศรษฐกิจของชาติลงอย่างมหาศาล จากความสำคัญของการสงครามอิเล็กทรอนิกส์นี้ จึงได้มีการพัฒนาปรับปรุงขีดความสามารถและนำมาใช้ใน

การรบสมัยปัจจุบันทุกรูปแบบ และทุกครั้งที่มีการรบ ซึ่งจะยกตัวอย่างให้เห็นเด่นชัดตามลำดับเหตุการณ์ ดังนี้

### ๓.๑ การรบในเกาหลี

หลังจากสงครามโลกครั้งที่สองสงบลงแล้ว การสงครามอิเล็กทรอนิกส์ก็ไม่ได้มีการพัฒนาเพราะผู้นำประเทศมหาอำนาจต่างๆ เห็นว่าการแก้ปัญหาขัดแย้งต่างๆ ของโลกนั้น ควรจะแก้ปัญหากันด้วยวิธีอย่างสันติ แต่ทว่ากลับเกิดสงครามเกาหลีในเวลาต่อมา จึงได้มีการพัฒนาอุปกรณ์สงครามอิเล็กทรอนิกส์ขึ้นมาใช้ในการรบกับกำลังทางอากาศ โดยดัดแปลงเครื่องบินรุ่นเก่า อย่างเช่น ทีบี-๒๕ เจ มาติดตั้งอุปกรณ์ก่อความท้อใจอิเล็กทรอนิกส์ขึ้น เพื่อทำการก่อความระบอบควบคุมการยิงปืนใหญ่ ต่อสู้อากาศยาน ก่อความท้อใจการติดต่อสื่อสาร การส่งข่าวลวง และมีการใช้ Chaff เพื่อรบกวนเรดาร์ของฝ่ายคอมมิวนิสต์

### ๓.๒ การรบในเวียดนาม

การรบในครั้งนี้ทางสหรัฐได้ใช้กำลังทางอากาศเป็นหลักสำคัญในการรบกับเวียดนาม และเวียดกง ได้นำเอาอาวุธนำวิถีซึ่งควบคุมการยิงด้วยเรดาร์ และนำเอามาตรการการต่อต้านสงครามอิเล็กทรอนิกส์ทั้งเชิงรุกและเชิงรับเข้ามาใช้ คือทำการกวน ลวง ดักจับ และหลีกเลียงการถูกทิ้งระเบิด สำหรับเจ้าหน้าที่ของเวียดนามเหนือและเวียดกงนั้น ก็มีขีดความสามารถในการทำสงครามอิเล็กทรอนิกส์สูงมาก ซึ่งได้รับการฝึกมาอย่างดี โดยสามารถที่จะดักจับฟัง สอดแทรก แล้วทำการลวงข่ายการติดต่อสื่อสารของฝ่ายพันธมิตร ได้ด้วยการเลียนแบบการส่งคำสั่งของเครื่องบินเพื่อให้ไปทำการโจมตีเป้าหมายเดียวกันได้สำเร็จ ผลของการปฏิบัติก็คือ มีการโจมตีฝ่ายเดียวกันเองทางเครื่องบินของฝ่ายสหรัฐ ซึ่งต่อมาทำให้ทางสหรัฐรู้ว่ามีอาวุธลวงทางคำสั่ง (เพราะทางสหรัฐไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์สงครามอิเล็กทรอนิกส์)

ในปี พ.ศ.๒๕๐๘ เครื่องบินเอฟ-๔ หรือ (Phantom) ถูกอาวุธนำวิถีแบบ เอสเอ-๒ ของรัสเซียยิงตกในเวียดนามเหนือเป็นเครื่องแรก สหรัฐจึงได้ตระหนักว่าอากาศยานของตนเองขาดอุปกรณ์สำหรับการต่อต้านสงครามอิเล็กทรอนิกส์ ดังนั้นอุปกรณ์แจ้งเตือนจึงได้ถูกทำการพัฒนาและปรับปรุงขีดความสามารถในการทำสงครามอิเล็กทรอนิกส์ขึ้น จึงมีการติดตั้งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อย่างรีบด่วน โดยใช้เครื่องบิน เอบี-๖๖ ติดตั้งอุปกรณ์ก่อความ “JAMMING” และระบบเรดาร์นำเข้าและแจ้งเตือน RADAR HOMING WARNING SYSTEMS โดยตั้งชื่อโครงการนี้ว่า “ THE WILD WEASEL ” โดยมีความมุ่งหมายเพื่อต่อต้านระบบอาวุธนำวิถีจากพื้นสู่อากาศ และสถานีเรดาร์ของเวียดนามเหนือให้ได้

ในระยะแรกสหรัฐ ใช้อาวุธนำวิถีการบินเข้าโจมตีเป้าหมาย เพื่อหลบการถูกตรวจจับจบบเรดาร์ของฝ่ายข้าศึกด้วยการบินด้วยเพดานต่ำ เนื่องจากไม่ได้มีการติดตั้งอุปกรณ์สงครามอิเล็กทรอนิกส์ แต่ต้องประสบปัญหาเกี่ยวกับปืนต่อสู้อากาศยานอย่างหนัก จึงต้องเปลี่ยนยุทธวิธีใหม่ โดยหลังจากได้ทำการ

ติดตั้งอุปกรณ์สงครามอิเล็กทรอนิกส์แล้ว จากนั้นทำการบินเข้าโจมตีเป็นหมู่ อีกทั้งมีเครื่องบิน อีพี-๖๖ ที่ติดตั้งอุปกรณ์สงครามอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งทำหน้าที่ก่อความเรดาร์เข้าศึกให้ นอกจากนี้ยังมีการปล่อยตัว DETECTOR และ SENSOR เพื่อตรวจจับการเคลื่อนไหวของเวียดกง

จากการปฏิบัติการรบทางอากาศ สรุปได้ว่าเมื่อนำเอาสงครามอิเล็กทรอนิกส์มาใช้ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ สามารถประหยัดเงินไปได้มากกว่า ๕๐๐ ล้านดอลลาร์สหรัฐ จากการที่ไม่ต้องสูญเสียอากาศยานชีวิตนักบิน และลูกเรืออีกด้วย อีกประการหนึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการรบที่อากาศยานไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์สงครามอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องบินขับไล่จะถูกยิงตกหนึ่งเครื่องต่อการใช้อาวุธวิถีแบบ เอสจำนวน ๒ ลูก เมื่อติดตั้งแล้วจะใช้อาวุธนำวิถีแบบเอสมากกว่า ๓๐ ลูก จึงจะสามารถทำลายเครื่องบินได้หนึ่งเครื่อง

### ๓.๓ การรบในตะวันออกกลาง

เป็นสงครามระหว่างอาหรับกับอิสราเอล ซึ่งทั้งสองฝ่ายดำเนินการรบด้วยมาตรการสงครามอิเล็กทรอนิกส์อย่างกว้างขวาง อิสราเอลใช้ความเหนือกว่าของการใช้สงครามอิเล็กทรอนิกส์ในการปฏิบัติการซึ่งทำให้ได้เปรียบเสมอ แต่ในวันเปิดฉากการรบครั้งแรกอิสราเอลได้สูญเสียกำลังทางอากาศเป็นจำนวนมาก เนื่องจากอิสราเอลไม่ได้เตรียมการในเรื่องระบบป้องกันภัยทางอากาศ ส่วนฝ่ายอาหรับนั้นได้เตรียมการในเรื่องระบบป้องกันภัยทางอากาศ เนื่องจากฝ่ายอาหรับนั้นได้เตรียมการในเรื่องมาตรการต่อต้านอิเล็กทรอนิกส์อย่างเต็มที่ หลังจากนั้น ๒ - ๓ วัน อิสราเอลได้ทำการปรับปรุงการสงครามอิเล็กทรอนิกส์อย่างเร่งรีบ และสามารถต่อต้านอาวุธนำวิถีจากพื้นสู่อากาศ และปืนใหญ่ต่อสู้อากาศยานที่ควบคุมการยิงด้วยเรดาร์ได้สำเร็จ โดยอากาศยานของอิสราเอลติด ECM POD ทุกเครื่องจากจำนวนเที่ยวบินเท่ากันระหว่างอาหรับกับอิสราเอลใน ๑๒,๐๐๐ เที่ยวบิน อากาศยานของอิสราเอล จะถูก SAM'S ของอาหรับถูกยิงตก ๑๐๐ เครื่อง ส่วนอากาศยานของอาหรับจะถูกอิสราเอลยิงตกถึง ๔๐๐ เครื่อง เพราะอากาศยานของอาหรับไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์สงครามอิเล็กทรอนิกส์

### ๓.๔ การรบที่ฟอร์คแลนด์

ระหว่างอังกฤษกับอาเจนตินา การสงครามอิเล็กทรอนิกส์ได้มีบทบาทในการยุทธเป็นอย่างมาก และเอาชนะกันได้ในเวลาอันรวดเร็ว เนื่องจากเครื่องบินของอาเจนตินานั้นไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์สงครามอิเล็กทรอนิกส์ คือระบบ ECM POD ยุทธวิธีในการรบจึงต้องบินด้วยเพดานบินต่ำเพื่อหลีกเลี่ยงการตรวจจับเป้าหมายของเรดาร์หรือหลบหนีอาวุธนำวิถี SAM'S ซึ่งเรียกว่ายุทธวิธี “POP UP” เมื่อถึงเป้าหมายก็จะปล่อยอาวุธลงสู่เป้าหมาย แต่อาวุธชนิดที่นำมาใช้นี้จะทำงานในระดับความสูงสูง เมื่อนำมาใช้ในระดับความสูงต่ำ ระเบิดจึงทำงานไม่สมบูรณ์โดยส่วนใหญ่ ซึ่งสาเหตุนี้เกิดจากขบวนการระเบิดจะยังไม่ทำงานทำให้ระเบิดด้านและไม่สามารถทำลายเป้าหมายได้ ดังนั้นในการยุทธครั้งนี้ ทำให้อาเจนตินาต้องสูญเสียอากาศยานถึง ๓๘ เครื่อง ส่วนอากาศยานของอังกฤษนั้นได้ติดตั้งระบบ ECM การทำลาย

เป้าหมายจึงสำเร็จตามต้องการ ในทางกลับกันหากอากาศยานได้ทำการติดตั้งระบบ ECM อากาศยานของ อาเจตินาจะสามารถบินได้สูงขึ้นและการใช้อาวุธก็จะมีปัญหา ซึ่งอาจจะทำให้ผลของการรบเปลี่ยน โฉมไป

## ความสำคัญของสงครามอิเล็กทรอนิกส์ต่อกำลังทางอากาศ

เนื่องจากการทำสงครามในปัจจุบัน ได้มีการพัฒนายุทธวิธีการรบให้ก้าวหน้าไปอย่างกว้างขวาง และรวดเร็วมาก โดยได้นำเอาวิทยาการและเทคโนโลยีสมัยใหม่ด้านอิเล็กทรอนิกส์มาประยุกต์ใช้ในการรบ เพื่อชิงความได้เปรียบหรือเอาชนะซึ่งกันและกัน จึงทำให้อาวุธ เครื่องมือต่างๆ มีประสิทธิภาพและ คุณภาพในการทำลาย มีความรวดเร็วและมีความแม่นยำสูง ผลลัพธ์จากการรบก็ได้รับความสูญเสีย มหาศาลในด้านกำลังพล ทรัพย์สิน อุปกรณ์ เครื่องมือ อาวุธยุทธภัณฑ์ต่างๆ และสามารถแพ้ชนะกันอย่าง รวดเร็วไม่ยืดเยื้อ ดังนั้นความสำคัญของสงครามอิเล็กทรอนิกส์ต่อกำลังทางอากาศจึงได้มีบทบาทในการ รบเป็นอย่างมาก เพราะในปัจจุบันทุกประเทศในโลก ได้ให้ความสำคัญต่อการสงครามอิเล็กทรอนิกส์ และได้ ทุ่มเทงบประมาณ บุคคลากร เทคนิค เพื่อค้นคิด ปรับปรุงพัฒนากำลังพล เครื่องมือให้มีขีดความสามารถ สูงขึ้น มีเทคนิคเพิ่มขึ้น เพื่อให้คนมีความรู้ ความชำนาญ มีประสบการณ์สามารถปฏิบัติงานได้อย่างมี ประสิทธิภาพ

ดังนั้นกำลังทางอากาศจำเป็นต้องทำการติดตั้งอุปกรณ์สงครามอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อเพิ่ม ประสิทธิภาพหรือเพิ่มขีดความสามารถให้กับกำลังทางอากาศทั้งให้การคุ้มครองกำลังทางอากาศของฝ่ายเดียวกัน และป้องกันตนเองจากฝ่ายข้าศึก ซึ่งจะเห็นได้จากกำลังทางอากาศของทุกประเทศ ได้ทำการติดตั้ง อุปกรณ์สงครามอิเล็กทรอนิกส์ทั้งสิ้น ชัยชนะในการรบหากไม่มีอุปกรณ์สงครามอิเล็กทรอนิกส์ติดตั้งแล้ว นั้น หมายถึงความพ่ายแพ้ และความสูญเสียอย่างใหญ่หลวงของประเทศชาติ อุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้งบน อากาศยานในปัจจุบันคือพวก RWR (Radar Warning Receiver) ECM POD Chaff, Flare และระบบ COMMINT (Communication Intelligence) ELINT (Electronic Intelligence) และ Jammer ซึ่ง สามารถถูกแบ่งออกได้ตามประเภทของอากาศยานว่าเป็นอากาศยานรบหรืออากาศยานสำหรับ ลาดตระเวน โดยมีการติดตั้งอุปกรณ์สงครามอิเล็กทรอนิกส์ ดังนี้

### ๑. เครื่องบินรบจะติดตั้งอุปกรณ์สงครามอิเล็กทรอนิกส์ ได้แก่

- RWR
- ECM POD
- CHAFF
- FLARE

### ๒. เครื่องบินลาดตระเวนจะติดตั้งอุปกรณ์สงครามอิเล็กทรอนิกส์ ได้แก่

- COMMINT

- ELINT
- JAMMER

อุปกรณ์สงครามอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการติดตั้งเหล่านี้ มีเทคนิคและวิธีการใช้ในแต่ละชนิด สำหรับการยุทธทางอิเล็กทรอนิกส์แตกต่างกัน ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป

## มาตรการในการทำสงครามอิเล็กทรอนิกส์

เป็นระเบียบวิธีการหรือลักษณะสำหรับใช้ในการช่วงชิงความได้เปรียบในการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และเป็นปฏิกริยาโต้ตอบกันระหว่างระบบอิเล็กทรอนิกส์ ตั้งแต่สองระบบขึ้นไปเพื่อการข่าวกรอง การก่อกวน การขัดขวางในการใช้ประโยชน์จากพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าของฝ่ายตรงข้าม โดยที่ไม่เกิดการขัดขวางการใช้ประโยชน์จากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแก่ฝ่ายตน ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น ๓ ประเภท ดังนี้

### ๑. มาตรการสนับสนุนทางอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Support Measures or ESM)

เป็นมาตรการสงครามอิเล็กทรอนิกส์เชิงรับ ซึ่งเป็นการค้นหาหรือการดักจับข่าวกรองในทางสงครามอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Warfare Intelligence) เพื่อสืบทราบการเคลื่อนไหว และการปฏิบัติการของฝ่ายตรงข้าม หรือประเทศที่อาจเป็นปฏิปักษ์ เพื่อพิสูจน์ทราบแบบชนิด และรวบรวมการสื่อสาร รวมทั้งอาวุธยุทธภัณฑ์ของฝ่ายตรงข้าม โดยนำมารวบรวมเป็นข้อมูลทางเทคนิคไว้ใช้ในการทำสงครามอิเล็กทรอนิกส์ในอนาคต ไม่ว่าจะเป็นวิธีการก่อกวน การลวง หรือทำลายระบบอิเล็กทรอนิกส์ของฝ่ายตรงข้ามให้หมดสมรรถนะ แล้วจากนั้นจึงจะสามารถประเมินค่า ประสิทธิภาพของมาตรการ การต่อต้าน และมาตรการตอบโต้ การต่อต้านของกำลังฝ่ายตน และฝ่ายพันธมิตรได้ ซึ่งมาตรการสนับสนุนทางอิเล็กทรอนิกส์ ESM นี้จะต้องอาศัยข่าวกรองหรือแหล่งข่าวต่าง ๆ จาก SIGINT (Signal Intelligence) หรือก็คือข่าวกรองทางสัญญาณ ซึ่งประกอบด้วย

- ๑.๑ COMMINT (Communication Intelligence) หรือข่าวกรองทางด้านการสื่อสาร
- ๑.๒ ELINT (Electronic Intelligence) หรือข่าวกรองทางด้านอิเล็กทรอนิกส์

### ๒. มาตรการต่อต้านทางอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Countermeasures or ECM)

เป็นมาตรการการสงครามอิเล็กทรอนิกส์เชิงรุก ซึ่งมีวัตถุประสงค์ที่จะทำให้ฝ่ายตรงข้ามไม่สามารถใช้ประโยชน์ในการดักจับข่าวสารทางระบบอิเล็กทรอนิกส์ของตนได้ หรือใช้ได้อย่างขาดประสิทธิภาพ เช่น ขาดความแม่นยำ หรือขาดความถูกต้องแน่นอน รวมไปถึงป้องกันฝ่ายข้าศึก ไม่ให้ใช้

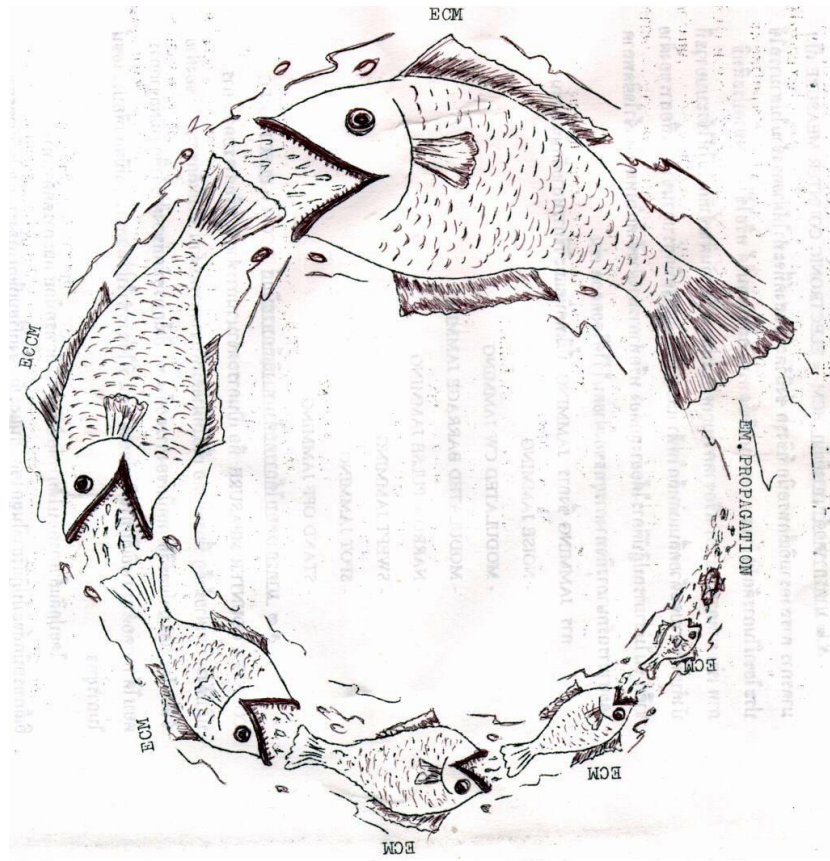
อาวุธที่บังคับหรือควบคุมด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และระบบอิเล็กทรอนิกส์รบกวนช่วยการสื่อสารของฝ่ายตน จนไม่สามารถปฏิบัติการสงครามอิเล็กทรอนิกส์ต่อไปได้อย่างถูกต้อง หรือทำการลงฝ่ายข้าศึกให้หลงผิด เข้าใจผิดพลาด โดยสามารถรักษาภารกิจทางการยุทธของฝ่ายตนไว้ได้โดยตลอด ได้แก่การใช้วิธีการแจมหรือการรบกวนด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Jamming) ซึ่งการแจมนี้มีเทคนิคและวิธีการหลายลักษณะ เช่น

- NOISE JAMMING
- MODULATED BARRAGE JAMMING
- NARROW PULSE JAMMING
- SWEPT JAMMING
- SPOT JAMMING
- STAND OFF JAMMING

### ๓. มาตรการตอบโต้การต่อต้านทางอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Counter Countermeasures or ECCM)

เป็นมาตรการเพื่อใช้สำหรับลดจำนวนการถูกทำลาย หรือการถูกรบกวนจากการปฏิบัติงานของฝ่ายข้าศึกที่กระทำต่อฝ่ายตน เพื่อให้ฝ่ายตนพ้นจากการต่อต้านทางอิเล็กทรอนิกส์ของฝ่ายข้าศึก โดยวิเคราะห์และวิจัยเทคนิคของการต่อต้านทางอิเล็กทรอนิกส์ของฝ่ายข้าศึก ว่ามีผลจากการตอบโต้ การต่อต้านทางอิเล็กทรอนิกส์ของฝ่ายตนที่ได้กระทำไปว่ามีผลหรือไม่ผลอย่างไร เพื่อให้เป็นประโยชน์ในการยุทธ โดยปกติแล้วการตอบโต้การต่อต้านทางอิเล็กทรอนิกส์จะมีปฏิกิริยาเป็นลูกโซ่ต่อกันและกัน ซึ่งเปรียบเทียบได้ดังภาพที่ ๒-๑ ฝ่ายใดมีมาตรการการตอบโต้ขั้นสุดท้าย (ECCM) ที่เหนือกว่าย่อมเป็นฝ่ายได้เปรียบในการยุทธ





ภาพที่ ๒-๑ แสดงวงจรลูกโซ่การตอบโต้ การต่อต้านทางอิเล็กทรอนิกส์

## วิธีการดำเนินการสงครามอิเล็กทรอนิกส์ด้าน ESM

วิธีการดำเนินการสงครามอิเล็กทรอนิกส์นั้น สามารถดำเนินการได้ ๓ มาตรการด้วยกันคือ ESM, ECM และ ECCM แต่การดำเนินการสงครามอิเล็กทรอนิกส์ด้านมาตรการสนับสนุนทางอิเล็กทรอนิกส์ หรือ ESM นั้นเป็นวิธีการดำเนินการในเรื่องการค้นหา ตรวจจับ หาความถี่ หาทิศ หาที่ตั้ง บันทึกรวบรวม วิจัย จัดหมวดหมู่ ตีความ ประเมินค่าของข่าว ซึ่งข้อมูลเหล่านี้เป็นการข่าวกรองทางด้านสงครามอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Warfare Intelligence)

ในการหาข่าวเกี่ยวกับการปฏิบัติและการเคลื่อนไหวต่างๆ ของฝ่ายตรงข้าม หรือของประเทศที่ คาดว่าจะเป็นศัตรูกับฝ่ายเรา เพื่อประโยชน์ในการทำสงครามอิเล็กทรอนิกส์ต่อกันและกัน จำเป็นต้อง อาศัยข้อมูลและรายละเอียดต่างๆ จากวิธีดำเนินการหาข่าวกรองดังต่อไปนี้

## ๑. การข่าวกรองทางการสื่อสาร หรือ COMMINT (Communication Intelligence)

คือการหาข่าวกรองในทางการติดต่อสื่อสารของฝ่ายตรงข้าม หรือฝ่ายที่คาดว่าจะเป็นผู้ก่อเหตุในรูปแบบของคำพูด โทรศัพท์ โทรพิมพ์ และโทรภาพ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ สำหรับข้อมูลในรูปของคำพูด หากเป็นภาษาต่างประเทศ จำเป็นอย่างยิ่งจะต้องมีผู้ชำนาญทางภาษาแต่ละภาษาทำการแปล หรือตีความก่อนที่จะนำไปใช้ประโยชน์

## ๒. การข่าวกรองทางอิเล็กทรอนิกส์ หรือ ELINT (Electronic Intelligence)

คือการหาข่าวกรองที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลสัญญาณต่างๆ จากการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของระบบอิเล็กทรอนิกส์ของฝ่ายตรงข้าม เช่น คลื่นจากรadarภาคพื้น คลื่นจากระบบควบคุมและระบบนำร่องของอาวุธนิวเคลียร์ และระบบอิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ เป็นต้น

จากกรรมวิธีการดำเนินการสงครามอิเล็กทรอนิกส์ทั้ง ๒ วิธีนี้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการข่าวกรองในการทำสงครามอิเล็กทรอนิกส์ให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นและเพื่อให้ฝ่ายอำนวยการสามารถพิจารณาประเมินสถานการณ์ ชัดความสามารถ ระบบสั่งการ การบังคับบัญชา และระบบอาวุธของฝ่ายตรงข้ามได้ โดยการเก็บเป็นข้อมูลให้ผู้บังคับบัญชาสามารถตัดสินใจได้ถูกต้อง การดำเนินการข่าวกรองทางอิเล็กทรอนิกส์นี้ จะต้องดำเนินการอย่างต่อเนื่องและจะต้องกระทำทั้งในหน่วยระดับเหนือและหน่วยยุทธวิธี เพื่อเป็นการเสริมหรือเป็นการเพิ่มเติมทางการข่าวกรองในการนำมาใช้ประโยชน์ในการประเมินสถานการณ์และการตัดสินใจที่จะทำการต่อต้านหรือตอบโต้การต่อต้าน หรือทำการรบกวน หรือทำการลวง หรือการทำลายให้ระบบการสื่อสารและระบบอาวุธอิเล็กทรอนิกส์ของฝ่ายตรงข้ามให้หมดสมรรถนะไป โดยให้เป็นประโยชน์แก่ฝ่ายเรามากที่สุด

## วิธีการดำเนินการสงครามอิเล็กทรอนิกส์ด้าน ECM

เป็นวิธีการดำเนินการทางเทคนิคในการใช้เครื่องมือทางอิเล็กทรอนิกส์ โดยทำการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อลดประสิทธิภาพ หรือทำให้เครื่องช่วยทางอิเล็กทรอนิกส์ของฝ่ายตรงข้ามเกิดความสับสน หรือป้องกันตนเองให้พ้นจากการถูกทำลายจากฝ่ายตรงข้ามโดยจากการใช้เครื่องมือทางอิเล็กทรอนิกส์และเทคนิคต่างๆของฝ่ายตรงข้าม ซึ่งทำได้โดยการติดตั้งระบบป้องกันตนเอง (Self-Protection) บนเครื่องบินของเรา ซึ่งต้องขึ้นปฏิบัติการเพื่อโจมตีฝ่ายตรงข้ามที่มีอาวุธ ซึ่งถูกควบคุมด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ การดำเนินการโดยใช้เทคนิคและเครื่องมือทางอิเล็กทรอนิกส์นี้ตามมาตรการ ECM สามารถกระทำได้หลายวิธี ดังนี้

### ๑ การรบกวนทางสัญญาณ (Jamming)

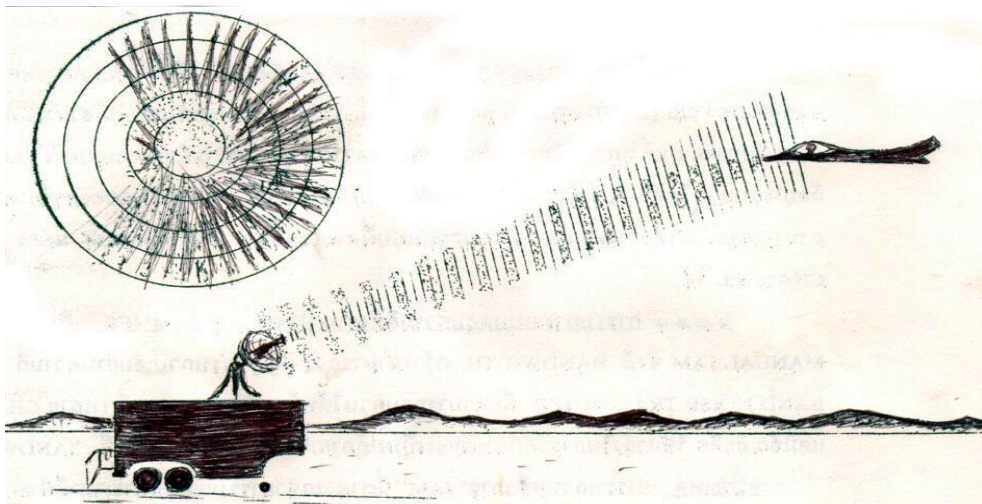
โดยทำการรบกวนต่อเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ของฝ่ายตรงข้ามทุกระบบ ให้ลดประสิทธิภาพ หรือหมดประสิทธิภาพลง หรือเกิดความสับสนในการสื่อสาร (การสื่อสาร คือการติดต่อสื่อสารระหว่างสองจุด) เมื่อเราต้องการทำ ECM ต่อข่ายการสื่อสาร เพื่อป้องกันไม่ให้ฝ่ายข้าศึกสามารถรับ-ส่งข่าวกันได้ด้วยการส่งสัญญาณเข้าไปทับ หรือกลบข่าวสารที่กำลังติดต่อกันอยู่นั้น เราเรียกการปฏิบัติการนี้ว่า การรบกวน หรือ “ JAM ” โดยมีหลักการดังนี้

๑. ใช้เครื่องส่งสัญญาณรบกวน โดยส่งสัญญาณรบกวนที่ความถี่เดียวกันกับของเครื่องรับ - ส่งของฝ่ายตรงข้าม
๒. การ MODULATION SIGNAL ให้ AUDIO NOISE หรือจะใช้สัญญาณ TONE ก็ได้
๓. การ MODULATION ใช้ได้ทั้งแบบ FM และ AM ซึ่งถ้าเป็นแบบ FM จะสามารถกระจายหรือแผ่พลังงานได้มากกว่าแบบ AM เพราะสามารถ JAM BANDWIDTH ได้กว้างกว่านั่นเอง
๔. การ JAM ที่เครื่องรับ
๕. การ JAM POWER ต้องมากพอ คือส่งออกคลื่นที่มีกำลังสูงกว่าของฝ่ายตรงข้าม ณ จุดที่กำลังตก ณ จุด ตำบลของเครื่องรับ ดังสมการด้านล่าง

$$\frac{P_{jam}}{P_{receiver}} > 1$$

โดยปกติการ JAM นั้นส่วนมากมีกำลังสูงประมาณ ๑๐๐ วัตต์ นอกจากนี้ยังอาศัยประโยชน์จาก Gain ของสายอากาศแบบเจาะจงทิศทาง (Directional Antenna) และการเข้าไปตั้งเครื่องส่งสัญญาณรบกวน (Jammer) ใกล้ๆ กับบริเวณที่มีเครื่องรับสัญญาณของฝ่ายข้าศึก เพื่อลดการสูญเสียของสัญญาณ JAM

๖. การรบกวน RADIO LINK โดยอาศัยการ JAM ที่ SIDE LOBE หรือ BACK LOBE ของ Radar Pattern ของสายอากาศ



ภาพที่ ๒-๒ แสดงลักษณะของหน้าจอรadar ที่ถูกรบกวนด้วยสัญญาณแจม

**ข้อควรระวัง** ถ้าเกิดมีการทำการ JAM อย่างพร่ำเพรื่อ จะทำให้เข้าศึกษารู้อุทวิธีของฝ่ายเรา และจะหามาตรการอื่นๆ มาแก้ทาง NOISE JAMMING คือการผสมคลื่นสัญญาณ Noise กับคลื่นพาห้ (RF Carrier) ซึ่ง กระทำได้ ๓ วิธี คือ

### ๑.๑ การรบกวนเป็นจุด (Spot Jamming)

วิธีนี้จะใช้รบกวนเฉพาะความถี่ใดความถี่หนึ่ง การรบกวนด้วยวิธีนี้จะต้องรู้ความถี่ที่แน่นอนของฝ่ายที่ต้องการจะแจม โดยการแจมจะเป็นแบบ MANUAL JAM ซึ่งทำการแจมได้ครั้งละ 1 ช่องความถี่ (Channel) เพราะมี BANDWIDTH แคบ และในกรณีที่ฝ่ายตรงข้ามตรวจพบว่าถูกแจม ฝ่ายตรงข้ามก็สามารถตอบโต้ได้โดยการใช้เทคนิคเปลี่ยนคลื่นความถี่ที่ใช้งานใหม่ (Frequency Hopping)

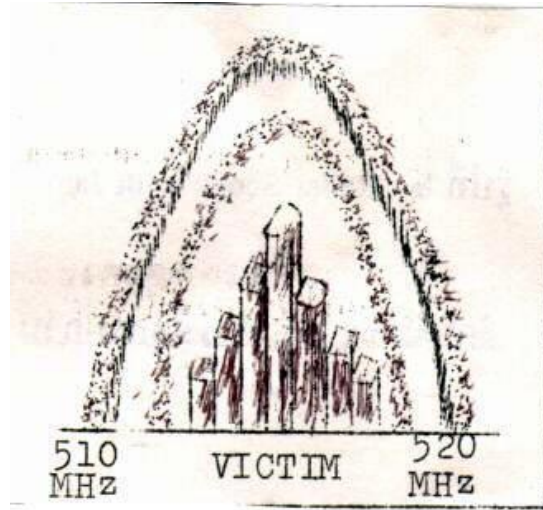
### ๑.๒ การรบกวนแบบกวาด (Sweep Jamming)

วิธีนี้ใช้รบกวนแบบกวาดตลอดย่านความถี่ (Bandwidth) ความจริงก็คือการรบกวนแบบจุดนั่นเอง แต่สามารถทำการรบกวนได้หลายความถี่ในเวลาเดียวกัน เป็น Automation Jamming เพราะมีชุดควบคุมการ JAM แต่มีข้อเสียคือ การส่งออกสัญญาณรบกวนจะไม่ต่อเนื่อง ถ้าจะให้ต่อเนื่องต้องเพิ่มอัตราความเร็วในการกวาดของสายอากาศ จึงจะสามารถรบกวนได้อย่างต่อเนื่อง การรบกวนแบบนี้สามารถตั้งเวลาที่จะหยุด JAM แต่ละ Channel ได้

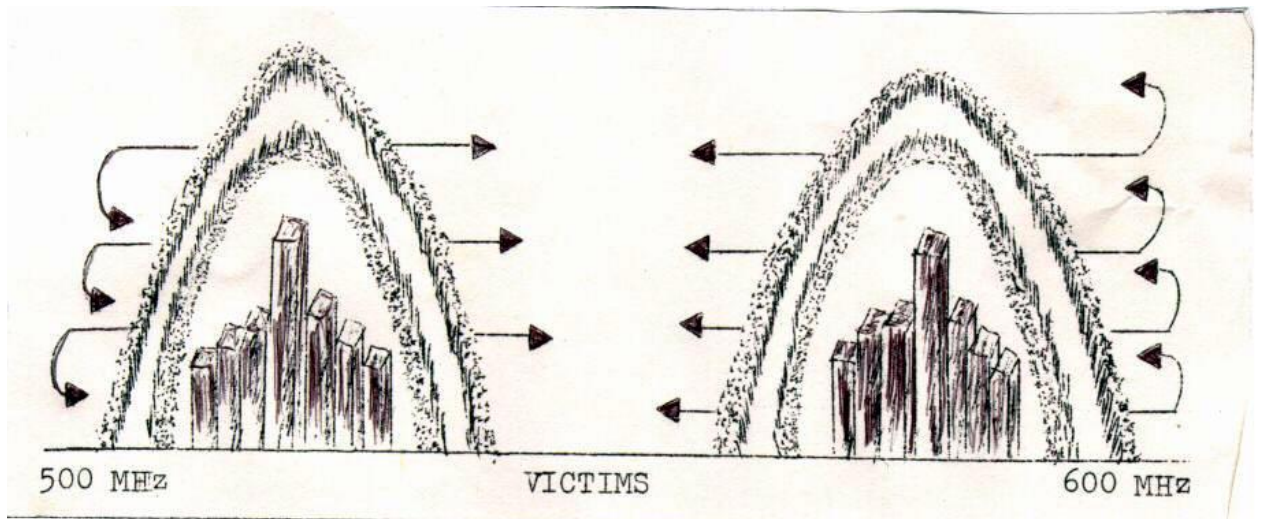
### ๑.๓ การรบกวนแบบคลุมความถี่ทั้งย่าน (Barrage Jamming)

เป็นการ JAM แบบ Manual Jamming ซึ่งมี Bandwidth กว้าง สามารถส่งสัญญาณรบกวนเต็มย่านความถี่ ซึ่งมีตัวส่งสัญญาณเป็น Wide Band Noise Transmitter คือ สามารถรบกวนได้พร้อมกันหลายความถี่ (Multi-Channel) แต่มีข้อเสียคือ ทำให้กำลังในการออกอากาศจะเป็นปฏิกิริยาส่วนกลับกับย่านความถี่ (Bandwidth)

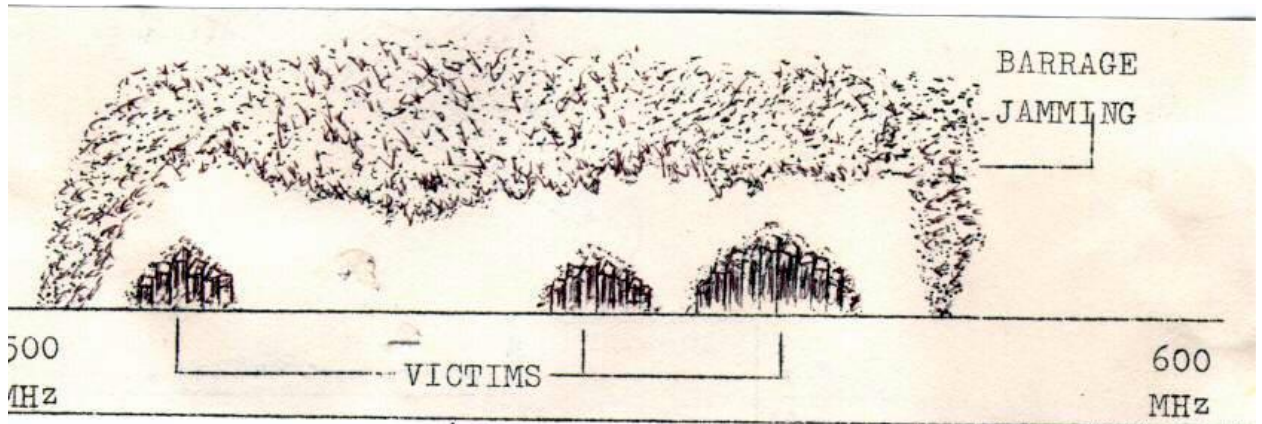
**หมายเหตุ** การรบกวนหรือการ JAM นี้สามารถทำการรบกวนเฉพาะเวลาที่ฝ่ายตรงข้ามทำการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเท่านั้นได้ เพื่อเป็นการประหยัด โดยใช้ชุดควบคุมการ JAM ทางอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเรียกว่า “Responsive Jamming”



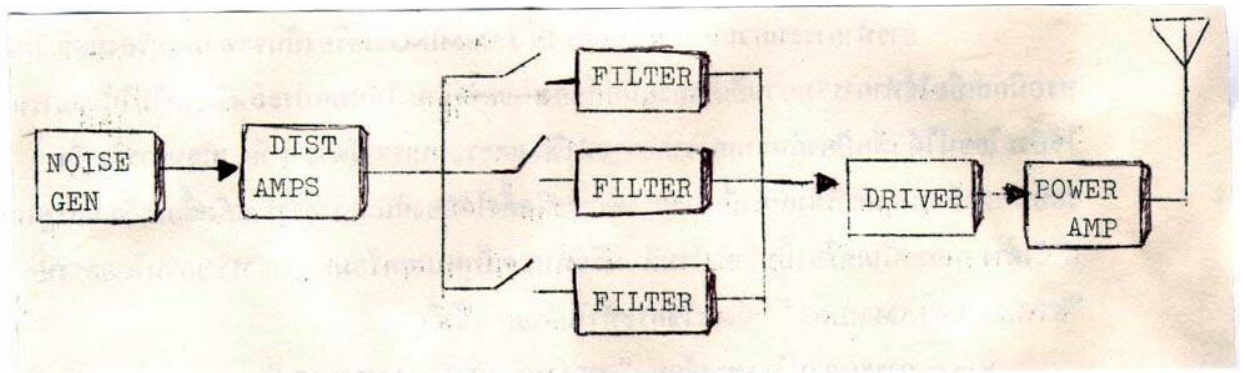
ภาพที่ ๒-๓ แสดง Spot Jamming



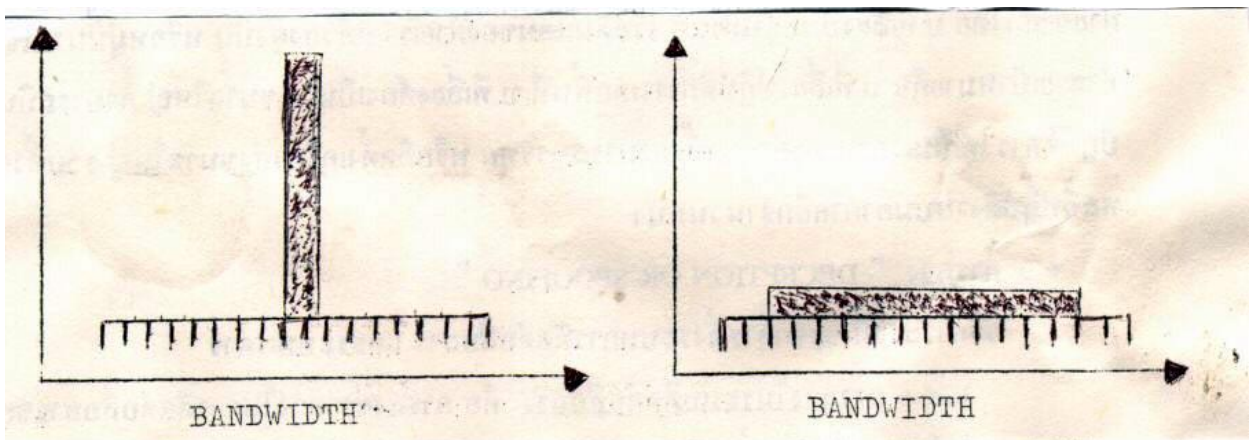
ภาพที่ ๒-๔ แสดง Sweep Jamming



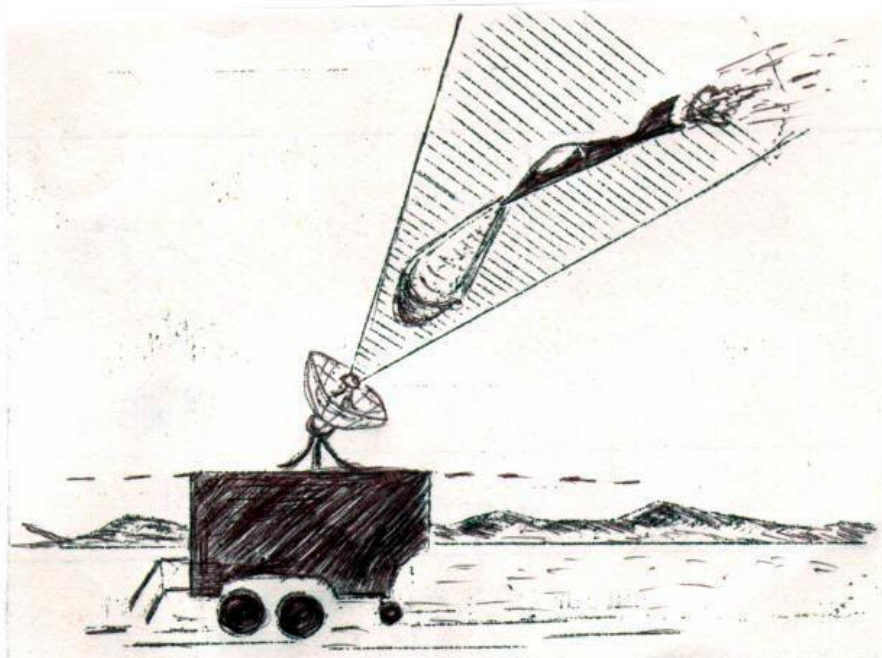
ภาพที่ ๒-๕ แสดง Barrage Jamming



ภาพที่ ๒-๖ แสดง Block Diagram Barrage Transmitter



ภาพที่ ๒-๗ แสดง Jamming Power เทียบกับ Bandwidth



ภาพที่ ๒-๘ แสดง Stand-In Jamming

## ๒. การรบกวนโดยตรง (Stand-In Jamming)

การรบกวนแบบ Stand-In Jamming เครื่องบินจะติดตั้งเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ เพื่อใช้รบกวนอุปกรณ์สงครามอิเล็กทรอนิกส์ของฝ่ายตรงข้ามให้หมดประสิทธิภาพ ไม่ให้สามารถใช้ประโยชน์ได้ เพื่อป้องกันตนเองจาก อาวุธนำวิถี และระบบเรดาร์ต่างๆ ที่ควบคุมการยิง ซึ่งระบบเรดาร์ควบคุมการยิงเหล่านี้ ฝ่ายตรงข้ามจะติดตั้งไว้ป้องกัน คลังอาวุธ คลังเชื้อเพลิง และฐานกำลังต่างๆ จากนั้นเครื่องบินก็เข้าโจมตี หรือทำลายเป้าหมาย พร้อมทั้งทำการรบกวนโดยตรง ซึ่ง Stand-In Jamming เป็นวิธีการที่ใช้ปฏิบัติในดินแดนฝ่ายข้าศึก

## ๓. การรบกวนโดยทางอ้อม (Stand-Off Jamming)

การรบกวนในรูปแบบนี้จะเป็นการรบกวนโดยทางอ้อม ซึ่งจะติดตั้งเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ บนอากาศยานที่ทำหน้าที่คุ้มกันหรือเครื่องบินพี่เลี้ยง โดยส่งสัญญาณรบกวนจากดินแดนของฝ่ายเราต่อระบบอุปกรณ์สงครามอิเล็กทรอนิกส์ของฝ่ายตรงข้าม แล้วให้หมู่บินปฏิบัติการได้เป็นเวลาหลายๆ ชั่วโมง ทั้งยังสามารถบรรทุก หรือติดตั้งเครื่องส่งขนาดใหญ่ รวมทั้งกำลังพลที่ปฏิบัติบนอากาศยานอีกจำนวนหนึ่งได้

## การลวง (Deception or Spoofing)

เทคนิคการลวงนี้จัดอยู่ในมาตรการต่อต้านทางอิเล็กทรอนิกส์ (ECM) ซึ่งจะกระทำต่อทั้งระบบการติดต่อสื่อสารและระบบเรดาร์

### ๑. การลวงในระบบติดต่อสื่อสาร

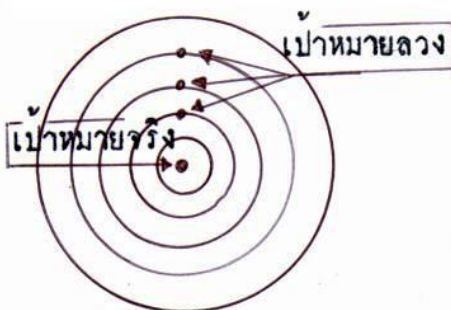
คือการส่งข่าวในการติดต่อสื่อสารของฝ่ายเราและคาดว่าข่าวสารที่ส่งไปนั้น ข้าศึกสามารถดักจับข่าวสารได้ เมื่อข้าศึกดักจับไปแล้ว ก็จะทำให้ข้าศึกหลงเข้าใจผิดในข่าวสารนั้น หรือถ้าฝ่ายเราทราบนามเรียกขาน และความถี่ใช้งานของสถานีหนึ่งสถานีใดของข้าศึก เราอาจทำการปลอมหรือสมอ้างว่าเป็นสถานีนั้น เข้าร่วมการติดต่อสื่อสารและลวงข่าวต่อฝ่ายข้าศึกได้ จึงทำให้แผนการปฏิบัติการต่างๆ ของฝ่ายข้าศึกผิดความหมาย หรือผิดเป้าหมาย หรือส่งออกไปเพื่อหลอกให้ข้าศึกเข้ามาในพื้นที่สังหารของฝ่ายเรา

### ๒. การลวงในระบบเรดาร์ต่อข้าศึก

การลวงในระบบนี้ จะทำการส่งคลื่นปลอมเข้าไปยังสถานีเรดาร์ของฝ่ายข้าศึกโดยหวังให้เกิดผลหรือปรากฏบนจอเรดาร์ของข้าศึก เพื่อให้เจ้าหน้าที่ผู้อ่านเข้าใจผิดทั้งระยะทางและทิศทางของเป้าหมาย

#### ๒.๑ การลวงระยะทาง (Range Deception)

การลวงระยะทางนี้ กระทำโดยใช้เครื่องรับดักจับสัญญาณเรดาร์ของข้าศึกและนำเอาสัญญาณที่ดักจับได้นี้ มาทำการขยายในเครื่องส่ง ก่อนที่จะส่งกลับไปโดยให้มี PULSE แทรกเข้าไประหว่าง PRF (PULSE – RECURRENCE FREQUENCY) ที่เท่ากับ PRF ของสัญญาณเรดาร์ที่ดักจับเข้ามา ก็จะทำให้เป้าหมายที่ไปปรากฏบนจอภาพของฝ่ายข้าศึกเป็นเป้าหมายลวง หรือ เป็นภาพลวงที่มีระยะทางแตกต่างจากเป้าหมายจริง (ทั้งนี้ฝ่ายเราควรต้องทราบ PRF ของเรดาร์ข้าศึกล่วงหน้าก่อนเพื่อการเตรียมการ)

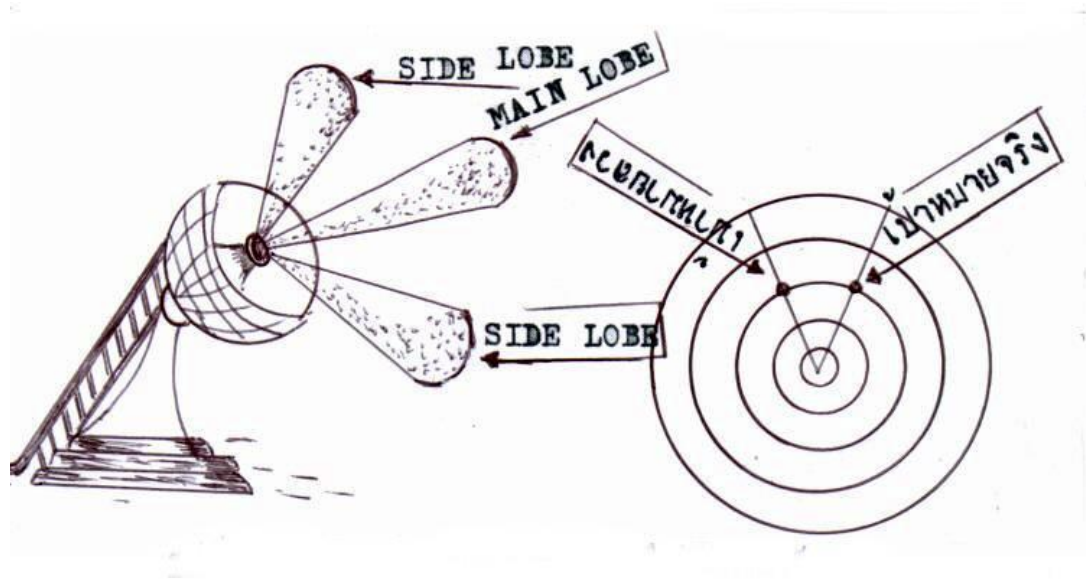


ภาพที่ ๒-๙ แสดง การลวงระยะทางบน PPI Scope



## ๒.๒ การลวงทางทิศทาง (Azimuth Deception or Side-Lobe Jamming)

การลวงทางทิศทางนี้ จะใช้เครื่องรับ ดักรับสัญญาณเข้ามา แล้วมาทำการขยายในเครื่องส่ง เพื่อส่งไปก่อกวน โดยให้มี PULSE เข้าไปทาง SIDE LOBE ตาม PATTERN ของสายอากาศ การทำการก่อกวนด้วยวิธีนี้ จะทำให้ภาพที่ปรากฏบนจอภาพเรดาร์ข้าศึก จะเห็นเป้าปลอมมีลักษณะอยู่คนละทิศกับเป้าจริง



ภาพที่ ๒-๑๐ แสดง ลักษณะการลวงแบบทิศทาง

### ๓. Chaff

มีลักษณะเป็นเส้นใยในลอนฉาบด้วยอะลูมิเนียม หรือในลอนฉาบด้วยตะกั่ว หรือไฟเบอร์กลาสเคลือบด้วยอะลูมิเนียม หรือเส้นใยแก้วเคลือบด้วยสารตัวนำไฟฟ้า นอกจากนี้ยังมีวัสดุอื่นๆ อีกซึ่งบรรจุอยู่ในหลอดแคปซูล ซึ่งใยแต่ละเส้นมีความยาวเท่ากับครึ่งหนึ่งของช่วงความยาวคลื่นของเรดาร์หลายขนาด เพื่อให้มีผลในการสะท้อนกลับของสัญญาณคลื่นเรดาร์มากที่สุด โดยทำการยิง หรือทิ้งออกมาจากเครื่องบินเพื่อทำการลวง หรือรบกวนเรดาร์ควบคุมการยิง ในเมื่อเรดาร์ควบคุมการยิงจับเป้า และติดตามเป้า (LOCK-ON) เครื่องบินไม่สามารถหลบหนี (BREAK-OUT) ได้ เรดาร์ก็จะนำอาวุธเข้าหาเป้าหมายที่และถูกต้องแม่นยำ ดังนั้นเมื่อเรดาร์จับ และติดตามเป้าหมายได้ ซึ่งนักบินบนอากาศยานนี้ถูกล็อกก็สามารถรับรู้ได้ทันทีจากเรดาร์แจ้งเตือนบนอากาศยาน (Radar Warning Receiver or RWR) จากนั้นนักบินจะเตรียมพร้อมเพื่อทำการตอบโต้โดยการยิง Chaff ออกไปเพื่อป้องกันตัว เวลาที่เหมาะสมในการยิง Chaff นั้นขึ้นอยู่กับชนิดของเรดาร์ที่ใช้ในการควบคุมการยิง เช่น SA-2, SA-3 จะทำการยิงต่อเมื่อมีสัญญาณ LAUNCH หากเป็น SA-6 หรือป้อนต่อสู้อากาศยานแล้วเรดาร์ควบคุมการยิงของเครื่องบิน จะต้องทำการยิง

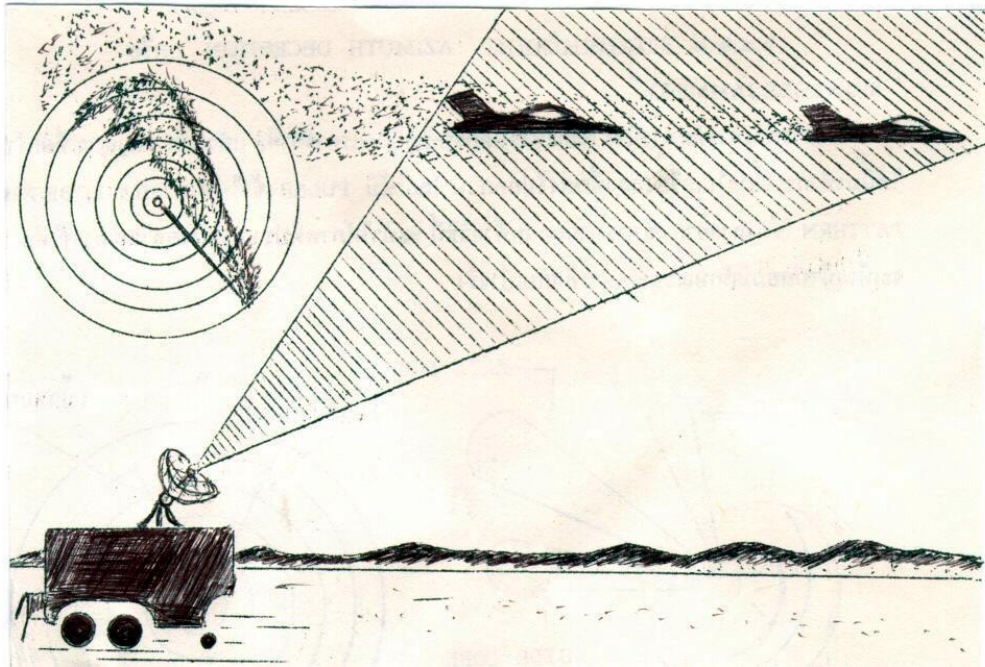
CHAFF ในขณะที่เรดาร์ LOCK-ON โดยเมื่อยิง CHAFF แล้ว นักบินจะต้องรีบบินหนีออกจากเส้นทางบิน เดิมทันที (HARD TURN MANNUEVER) เพื่อให้เรดาร์ BREAK LOCK มาที่ CHAFF แทน แต่การที่จะ BREAK LOCK เรดาร์ได้นั้น เป้าที่เกิดขึ้นจาก CHAFF จะต้องมีความใหญ่กว่าเครื่องบินมาก เมื่อเรดาร์ไม่สามารถติดตามเป้าหมายได้ ดังนั้นก็ไม่สามารถบังคับอาวุธเข้าหาเป้าได้นั่นเอง

#### ๔. Flare

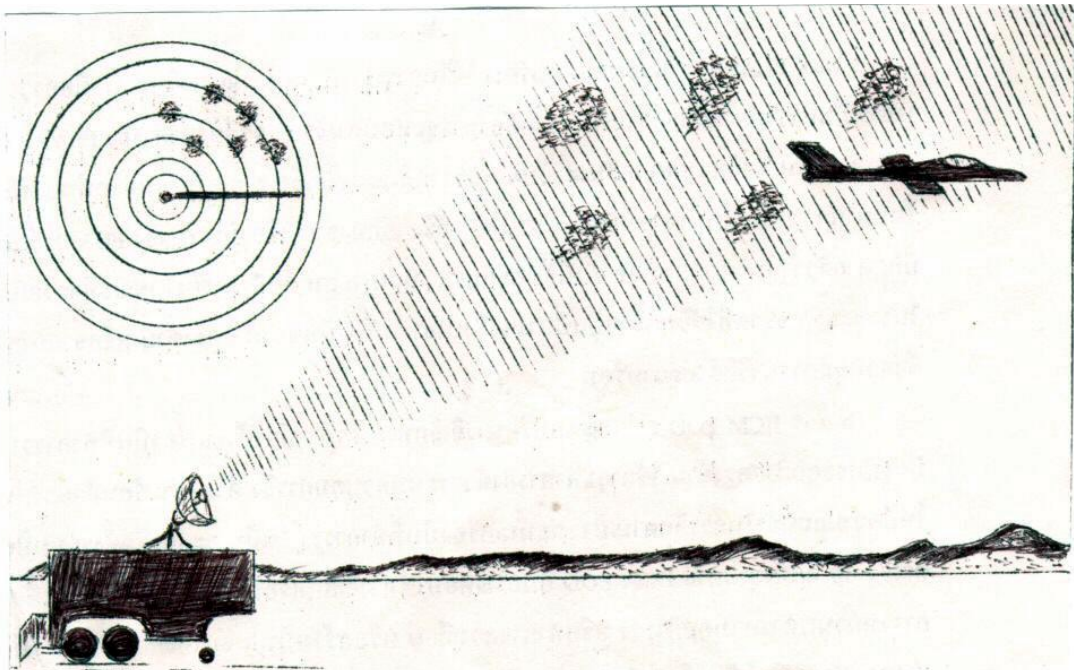
เป็นพลุไฟที่สามารถปลดปล่อยความร้อนออกมาจำนวนมากมหาศาลได้ ใช้ในการป้องกันตนเองของเครื่องบินเมื่ออาวุธที่ยิงเป้าหมาย เป็นอาวุธนำวิถีด้วยความร้อน เมื่อต้องการจะหลบหนีจรวด จะต้องทำการยิง FLARE เพื่อให้เกิดความร้อนซึ่งจะเป็นการแผ่รังสีอินฟราเรด (IR) ออกมา โดยมีความยาวคลื่นเท่ากับความยาวคลื่นของไอเสียจากเครื่องยนต์ไอพ่น แต่มีความร้อนมากกว่า เพื่อให้จรวดวิ่งเข้าหา FLARE ที่ยิงออกมาจากเครื่องบิน การยิง FLARE นี้ก็ไม่มีการตายตัวว่าจะยิงจำนวนกี่ลูก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเวลาที่เหมาะสม คือทำการยิงในขณะที่จรวดเริ่มนำวิถีในระยะแรก จรวดที่ใช้ยิงเครื่องบินนี้อาจจะยิงมาจากเครื่องบินของฝ่ายตรงข้าม หรือจากภาคพื้นดินซึ่งควบคุมการนำวิถีด้วยความร้อนก็ได้

#### ๕. ECM POD หรือ อุปกรณ์ตอบโต้ทางอิเล็กทรอนิกส์

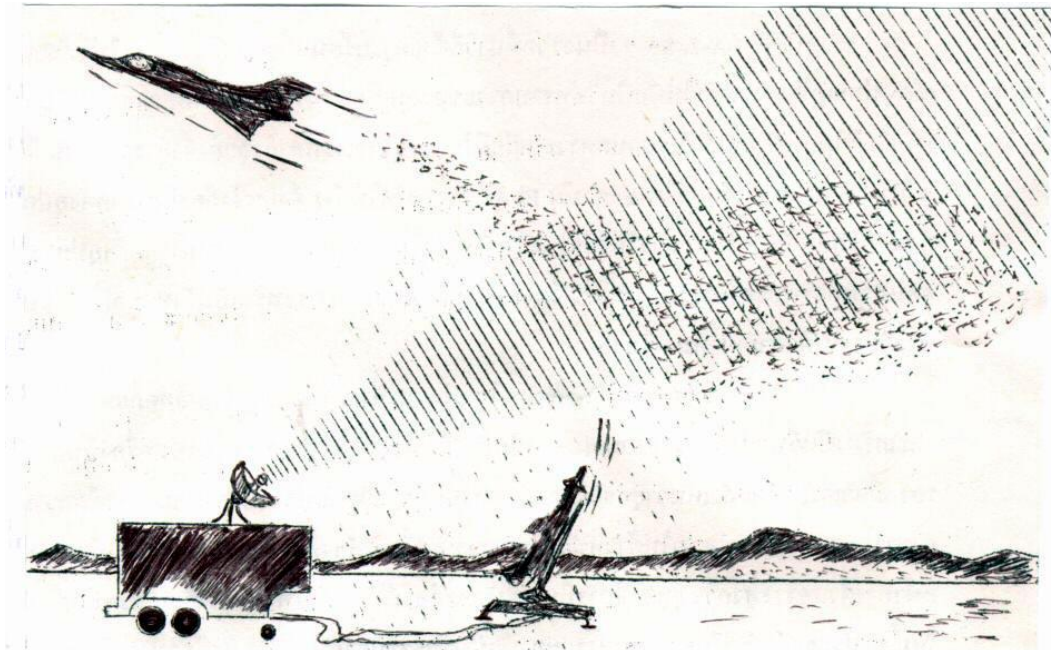
เนื่องด้วยเครื่องบินที่ทำการรบในปัจจุบัน จะถูกฝ่ายตรงข้ามใช้อาวุธที่สามารถนำวิถีด้วยระบบควบคุมการยิง ด้วยความร้อน หรือด้วยเรดาร์ จึงทำให้มีความแม่นยำในการติดตามเป้าหมาย ฉะนั้นเครื่องบินที่ทำการรบจำเป็นจะต้องติดตั้งระบบป้องกันตัวเอง คือ ติดตั้งอุปกรณ์ ECM POD หรือ อุปกรณ์ตอบโต้ทางอิเล็กทรอนิกส์ให้กับเครื่องบิน เพื่อใช้ทำการรบกวนเรดาร์ควบคุมการยิง หรือทำการลวงเลียนหรือสร้างเป้าปลอมให้เรดาร์เกิดความสับสน ไม่สามารถทำการควบคุมการยิงได้ถูกต้องแม่นยำ เพราะไม่ทราบว่าเป็นเป้าหมายไหนคือเป้าปลอมหรือเป้าจริงนั่นเอง



ภาพที่ ๒-๑๑ แสดง Stream Chaff Dispensing



ภาพที่ ๒-๑๒ แสดง Random Chaff Dispensing



ภาพที่ ๒-๑๓ แสดง Burst Chaff Dispensing

## ๖. IRCM (Infrared Countermeasures)

เป็นอุปกรณ์ต่อต้านระบบการนำวิถีจรวดด้วยความร้อน ได้แก่ SA-7, SA-9 เป็นต้น เมื่ออากาศยานถูกจรวดประเภทนี้ยิง ที่อากาศยานจะไม่มีสัญญาณเตือนปรากฏที่ RWR ทำให้นักบินไม่ทราบสถานะอันตรายของตนเอง จึงทำให้เกิดความสูญเสียโดยไม่คาดคิด หรือไม่มีโอกาสได้ต่อสู้ ถ้านักบินทราบสถานะ หรือมีโอกาสรู้ว่าขณะนี้กำลังถูกยิงด้วยจรวดนำวิถี ก็จะสามารถตอบโต้ป้องกันตัวได้โดยการยิง Flare ตอบโต้ได้บ้าง ดังนั้นจึงต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์กำเนิดรังสีอินฟราเรด เพื่อลวงไม่ให้จรวดวิ่งเข้าหาเครื่องบินได้ถูกต้อง โดยการติดตั้งอุปกรณ์นี้ไว้ตอนส่วนหางของเครื่องบิน รังสีนี้เกิดขึ้นจากหลอดไฟพิเศษจะกระพริบเป็นจังหวะทำให้ระบบการนำวิถี สับสนติดตามเป้าหมายไม่ได้

จากการใช้กำลังทางอากาศที่ผ่านมาในอดีต จะเห็นว่าความอยู่รอดปลอดภัยของนักบินและเครื่องบินขึ้นอยู่กับความสามารถของนักบินเป็นหลัก ชีตความสามารถของเครื่องบินเป็นลำดับรอง เมื่อวิเคราะห์ดูแล้วเห็นว่า ยุทธวิธีการบินของนักบินเปลี่ยนแปลงไปไม่มากนัก แต่ชีตความสามารถของอาวุธได้พัฒนาให้ก้าวหน้าตลอดเวลา ดังนั้นสุดท้ายแล้วจะต้องมีชีตจำกัดอยู่จุดหนึ่ง เมื่อความก้าวหน้าทางด้านอาวุธสูงกว่ายุทธวิธีการบิน ฉะนั้นจะต้องนำเอาเทคโนโลยีทางอิเล็กทรอนิกส์สมัยใหม่มาประยุกต์เสริมชีตความสามารถของนักบินในการป้องกันตนเอง ซึ่งมีความจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับเครื่องบินรบในปัจจุบัน

หมายเหตุ CHAFF, FLARE, ECM POD และ IRCM ทั้ง ๔ ประเภทนี้ เป็นระบบป้องกันตนเองของเครื่องบินขับไล่

## วิธีการดำเนินการสงครามอิเล็กทรอนิกส์ด้าน ECCM

ECCM นี้เป็นวิธีการอีกอย่างหนึ่ง ซึ่งเป็นเทคนิคในการต่อต้านการรบกวน ANTI-JAMMING ต่อต้านการลวง ANTI-DECEPTION ทั้งระบบสื่อสารและระบบเรดาร์ รวมถึงการรักษาความปลอดภัยทางการติดต่อสื่อสารของฝ่ายเรา เพื่อป้องกันการค้นหา ดักจับ และหาทิศทางที่ตั้งของฝ่ายเราจากฝ่ายตรงข้าม ซึ่งมีวิธีการดังต่อไปนี้

### ๑. การเปลี่ยนแปลงความถี่

ในสถานการณ์ปกติแล้ว การเปลี่ยนความถี่ใช้งานจะไม่ปฏิบัติเพราะทำให้ยากแก่การตรวจสอบ วิธีนี้เป็นหนทางแรก เมื่อถูกฝ่ายตรงข้าม JAM โดยทั้งนี้ต้องมีแผนและการพัฒนา พร้อมทั้งทำการฝึกซ้อมไว้อยู่เสมอ การปฏิบัติเช่นนี้เรียกว่า “CHATTER MARK”

### ๒. พุดสั้นๆ ให้ได้ใจความ

การพูดหรือการติดต่อสื่อสารจะต้องจัดช่วงเวลาในการส่งข่าวให้น้อยที่สุด ด้วยการปฏิบัติเช่นนี้ โอกาสที่ฝ่ายตรงข้ามจะจับได้ ก็จะมีน้อยด้วยเช่นกัน

### ๓. การใช้กำลังส่งในการออกอากาศให้เหมาะสม

คือทำการออกอากาศโดยใช้กำลังส่งให้น้อยที่สุดเท่าที่จำเป็น ซึ่งยังออกอากาศด้วยกำลังส่งที่สูงขึ้น จะยิ่งเป็นการช่วยเพิ่มระยะในการดักจับฟังข้อมูลให้กับฝ่ายตรงข้าม

### ๔. มีการพิสูจน์ฝ่าย

เช่น มีการกำหนดการใช้สัญญาณผ่าน เพื่อป้องกันการลวงข่าวของฝ่ายข้าศึก

### ๕. การแยกความถี่ให้ห่างกัน

โดยกำหนดความถี่ใช้งานของข่ายการติดต่อสื่อสารไว้หลายความถี่ เพราะถ้าฝ่ายตรงข้าม ทำการรบกวน JAM แบบเป็นจุด ก็จะกระทำได้เพียงความถี่เดียว ส่วนข่ายการติดต่อความถี่อื่น ก็ยังสามารถติดต่อกันได้ หากฝ่ายตรงข้ามจะทำการ JAM ในลักษณะคลุมความถี่ตลอดย่าน ก็ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง

### ๖. การห้ามใช้วิทยุ

เป็นมาตรการที่อาจกำหนดใช้เป็นจังหวะเป็นช่วงเวลาที่เป็นต่อสถานีส่งหรือข่ายวิทยุ โดยก่อนเริ่มการปฏิบัติจะต้องมีการวางแผนระหว่างคู่ข่าย วิธีนี้เป็นการปิดบังการหาทิศทางจากฝ่ายตรงข้ามได้ด้วย

## ๗. การเรียกขานและความถี่สำรอง

คือ มีการกำหนดนามเรียกขานซึ่งกันและกันและกำหนดความถี่สำรอง เพื่อสะดวกต่อการพิสูจน์ทราบ และเป็นการป้องกันการถูกลวงจากฝ่ายตรงข้ามได้

## ๘. การใช้รหัสตัวเลขและเครื่องเข้ารหัส

แม้ฝ่ายตรงข้ามสามารถรับข้อความที่ออกอากาศไปได้ แต่ก็ไม่สามารถที่จะถอดรหัสได้ ทำให้ไม่รู้เรื่องว่าข่าวสารที่ได้รับมานั้นคืออะไร ซึ่งเป็นวิธีการรักษาความปลอดภัยทางการสื่อสารอย่างดีที่สุด ในปัจจุบันใช้ในระบบการสื่อสารโทรคมนาคม และทางสายเป็นส่วนใหญ่

## ๙. การส่งข่าวแบบข้อมูล

หรือเรียกว่า “BURST TRANSMISSION” ซึ่งการใช้วิธีนี้ เป็นการส่งข่าวสารในอัตราการส่งที่สูงมาก เป็นล้าน BIT ต่อวินาที เป็นห้วงสั้นๆ

## ๑๐. การใช้ Frequency Hopping Radio

ซึ่งเป็นเทคนิคใหม่ล่าสุด ความถี่ที่ส่งเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาแบบ RANDOM เช่น 1,000 HOP/วินาที ในเวลาเดียวกันเครื่องรับก็เปลี่ยนความถี่ไปพร้อมๆ กัน จึงยากต่อการดักจับและการหาทิศ ถ้า HOP ที่ BAND กว้างๆ จะเป็นการป้องกันการ JAM ที่ดี กล่าวโดยสรุปแล้ว เป็นเครื่องมือของผู้บังคับบัญชาในการวางแผนทำ ECM ส่วนการ ECCM จะประมาณความสำเร็จในขั้นตอนหนึ่ง ต้องอาศัยผู้ปฏิบัติงานในด้านสื่อสารอีกส่วนหนึ่ง ทางด้านเทคโนโลยีอีกส่วนหนึ่ง

## นโยบายการแพร่กระจายคลื่นทางอิเล็กทรอนิกส์

นโยบายการแพร่กระจายคลื่นทางอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งจะยอมให้ใช้เครื่องอิเล็กทรอนิกส์ทางทหารทำการแพร่กระจายคลื่นได้อย่างอิสระมากน้อยเพียงใดนั้น จะต้องถูกควบคุมดำเนินการให้เป็นไปตามนโยบายการแพร่กระจายคลื่นทางอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งขึ้นอยู่กับประเมินค่าของผู้บังคับบัญชาหน่วยทางยุทธวิธี ได้พิจารณาถึงความจำเป็นและความต้องการทางยุทธการทางข่าวกรอง ซึ่งเข้าศึกอาจดักจับ และเป็นผลเสียต่อการยุทธของฝ่ายเรา

การเลือกนโยบายการแพร่กระจายคลื่นทางอิเล็กทรอนิกส์ในการยุทธ แต่ละครั้งมักไม่มีใครตรงไปตรงมา เนื่องจากความสับสน ในการใช้คลื่นกันอย่างกว้างขวางหลายรูปแบบ ทั้งนี้เพื่อทำการควบคุมสั่งการกับหน่วยรบอื่นๆ เช่น กองเรืออากาศยาน, หน่วยกำลัง ซึ่งเป็นข้อจำกัดที่จะลดประสิทธิภาพทางการรบของฝ่ายเรา และเป็นการอำนวยความสะดวกให้ข้าศึกประสบผลสำเร็จในการยุทธ ฉะนั้น

การเลือกนโยบายต้องอยู่ในความรับผิดชอบของผู้บังคับบัญชาแต่ผู้เดียว และไม่อาจมอบความรับผิดชอบนโยบายให้กับนายทหารฝ่ายอำนวยการอื่นได้

นโยบายในการเลือกการแพร่กระจายคลื่นทางอิเล็กทรอนิกส์ จะต้องเป็นนโยบายที่ทำให้การยุทธบรรลุดูมุ่งหมายได้ดีที่สุด โดยนำเอาปัจจัยต่างๆ มาพิจารณาในการวางแผนขั้นต้น ซึ่งอาจนำมารวมกันให้เหมาะสมกับแผนยุทธหลัก และต้องคำนึงถึงมาตรการอันเหมาะสมในการลดการข่าวกรอง ซึ่งหน่วยทหารฝ่ายตรงข้าม อาจได้รับการส่งคลื่นของฝ่ายเราในยามสงบ จะลดให้เหลือน้อยที่สุด หรือมิให้มีเลย

## ๑. ปัจจัยในการพิจารณามูลฐาน

การพิจารณาขั้นมูลฐานในทางปฏิบัติในนโยบายการแพร่กระจายคลื่นทางอิเล็กทรอนิกส์จะต้องพิจารณาจากเครื่องมือต่างๆ ที่ทำการแพร่กระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแต่ละแบบที่หน่วยทหารมีใช้ โดยการตกลงใจกันว่าจะให้มีการส่งคลื่น หรือห้ามส่งคลื่น หากที่ใดมีเครื่องมือสามารถส่งคลื่นได้มากกว่าหนึ่งความถี่ ควรพิจารณาเลือกเอาความถี่ที่ใช้งานเป็นเครื่องๆ โดยเฉพาะ หรือไม่ก็พิจารณาถึงปัจจัยขั้นต้นดังนี้

๑.๑ ความจำเป็นทางยุทธการที่จะใช้เครื่องมือหรือความถี่นั้น

๑.๒ การเสี่ยงอันตรายจากการดักรับข้อมูลของฝ่ายข้าศึก

๑.๓ คุณค่าของข่าวกรองซึ่งข้าศึกได้มาจากการดักรับฟัง

นอกจากนั้นควรจำกัดการส่งคลื่นของฝ่ายเรา เพื่อให้เครื่องมือดักรับของฝ่ายเรามีประสิทธิภาพในการปฏิบัติมากขึ้น

## ความจำเป็นทางยุทธการที่จะใช้เครื่องมือทางอิเล็กทรอนิกส์

**การสื่อสารทางวิทยุ** การสื่อสารทางวิทยุมีความจำเป็นในการวางกำลังและการควบคุมหน่วยทหาร ต้องใช้ช่วยในการสื่อสารทางวิทยุอย่างซับซ้อน ในการวางแผนจะต้องพิจารณาถึงระยะทางในการติดต่อ ลักษณะภูมิประเทศ คุณลักษณะของการแพร่กระจายคลื่นในแต่ละความถี่ว่าเป็นอย่างไร เหมาะสมกับพื้นที่และระยะทางหรือไม่ โดยคำนึงถึงประสิทธิภาพว่าเป็นอย่างไรด้วย

ในการที่จะลดข่าวการติดต่อสื่อสารทางวิทยุลงนั้น หากกระทำได้ควรดำเนินการดังวิธีการต่อไปนี้

๑. การจัดรูปขบวนในหน่วยให้จัดอยู่ใกล้ชิดกัน เพื่อให้สามารถใช้ระบบการสื่อสารทางทัศนยะ หรือระบบสัญญาณอินฟราเรดได้

๒. ใช้การติดต่อทางสาย

๓. ใช้เครื่องบิน เฮลิคอปเตอร์ อากาศยาน หรือพาหนะอื่นๆ ส่งข่าว

**การสื่อสารข่ายเรดาร์และเครื่องมือควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์** ข่ายนี้ เพื่อใช้ในการเตือนภัยในการล่วงล้ำเข้ามาของข้าศึก และเป็นเครื่องช่วยในการเดินอากาศ-เดินเรือ ซึ่งมีความสำคัญในการปฏิบัติของอากาศยาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเวลาทัศนวิสัยเลว หรือในเวลากลางคืน สำหรับเครื่องมือควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์นั้น ใช้สำหรับควบคุม บังคับทิศทางของอาวุธและอากาศยาน ดังนั้นถ้าต้องการเตือนภัย หรือจะใช้อาวุธ สำหรับอากาศยานบางประเภทแล้วก็จำเป็นต้องใช้เครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์เข้าช่วย โดยพิจารณาถึงความสมเหตุสมผล อย่างไรก็ตามก็ควรจะได้พิจารณาถึงหัวข้อต่อไปนี้

๑. การได้รับประโยชน์แท้จริง อย่างไร จากการใช้
๒. การรักษาดำแหน่งที่อยู่อย่างถูกต้อง และมีความสำคัญหรือไม่
๓. ผลที่ได้จากการใช้อากาศยานมีมากกว่าผลที่ได้จากการใช้ข่ายเรดาร์ และเครื่องมือควบคุมการยิง หรือไม่

๔. การใช้เรดาร์ สำหรับช่วยการเดินอากาศ/เดินเรือ มีความสำคัญหรือไม่

**การลดโอกาสมิให้ข้าศึกหาทิศทางของฝ่ายเรา** สามารถกระทำได้ ดังนี้

๑. ลดเวลาส่งคลื่น
๒. ลดทิศทางในการกวาด เพื่อกวาดไปทางทิศหนึ่งทิศใด ตามความจำเป็นที่ต้องการดักรับข่าวสารเท่านั้น
๓. ใช้ความถี่ใหม่ หรือความถี่ซึ่งมิได้ใช้ตามปกติ
๔. ถ้าสามารถทำได้ ให้ใช้ความถี่สูงกว่า 30 MHz
๕. ถ้าต้องการใช้ความถี่ต่ำกว่า 30 MHz ให้ใช้ความถี่สูงสุดเท่าที่มีอยู่
๖. ใช้เครื่องมือที่มีกำลังส่งต่ำที่สุด (ใช้เฉพาะกิจ)
๗. ส่งข่าวให้สั้นที่สุดเท่าที่จะทำได้
๘. ส่งเป็นห้วงๆ คือ กำหนดเวลาส่งไม่แน่นอน

## อาวุธที่เป็นอันตรายต่อกำลังทางอากาศ

กองทัพอากาศเป็นกำลังทางอากาศของประเทศที่ต้องรักษาน่านฟ้าของประเทศ โดยไม่ยอมให้กำลังทางอากาศของประเทศศัตรูล่วงล้ำน่านฟ้าได้ ฉะนั้นกำลังทางอากาศนั้น หมายถึง เครื่องบินซึ่งเป็นกำลังหลักที่ใช้ในการรบ และการรบในปัจจุบันก็เป็นที่ยอมรับกันดีแล้วว่าได้นำเอาวิทยาการสมัยใหม่ และเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ในการรบ จึงทำให้กำลังทางอากาศมีขีดความสามารถ มีอำนาจในการรบ การทำลายได้อย่างแม่นยำ มีรัศมีทำการไกล รวดเร็ว ผลจากการรบที่ได้รับคือความเสียหายอย่างมหาศาลต่อศัตรู ดังนั้นข้าศึกจึงต้องหามาตรการตอบโต้ป้องกัน เพื่อมิให้กำลังทางอากาศของฝ่ายเราเข้าไปโจมตีได้อย่างง่ายดาย



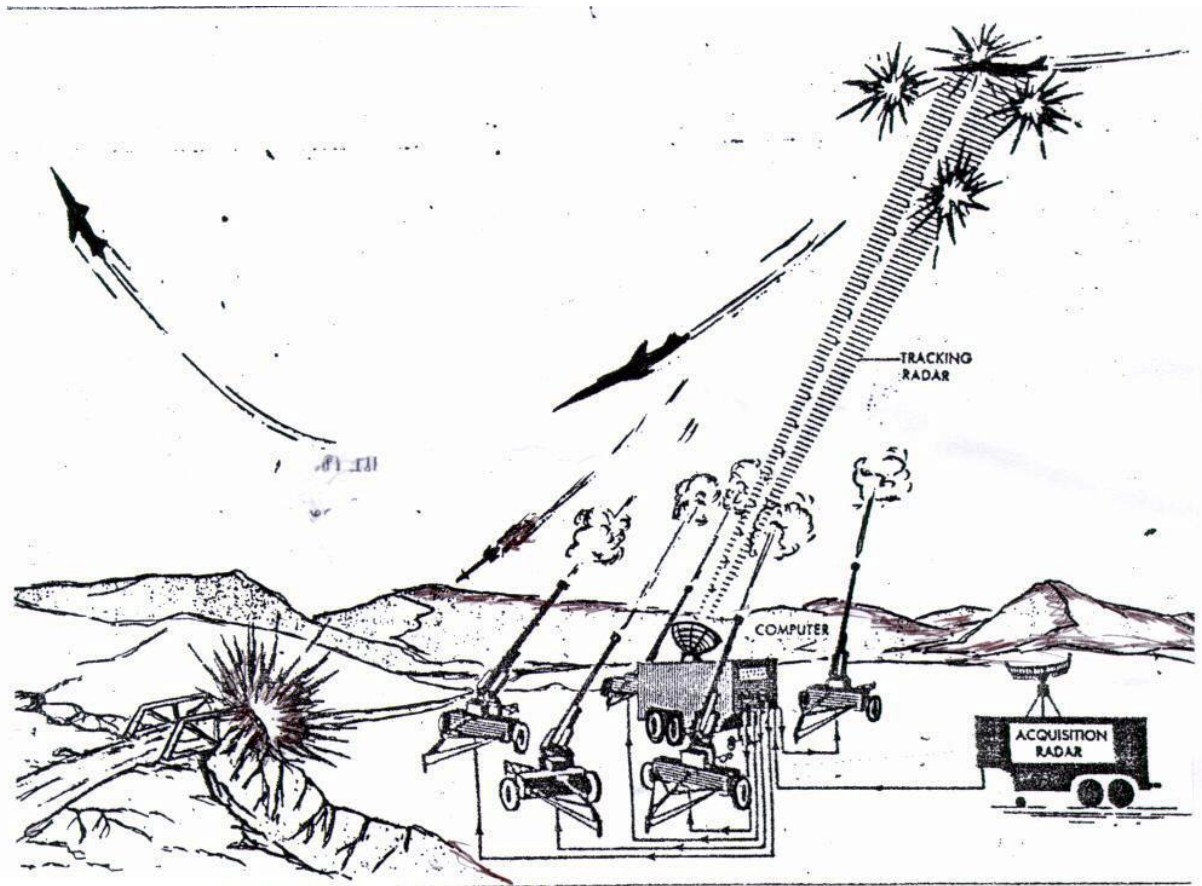
อาวุธที่เป็นอันตรายต่อกำลังทางอากาศนั้นมีหลายประเภท เช่น อาวุธที่ติดตั้งบนอากาศยานและอาวุธที่ส่งจากภาคพื้น ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะอาวุธที่เครื่องบินสามารถตอบโต้ได้ ซึ่งมีใช้ในกลุ่มประเทศอินโดจีน เวียดนามลาว กัมพูชา เช่น ปืนต่อสู้อากาศยานควบคุมการยิงด้วยเรดาร์ หรือเรียกว่า “AAA” อาวุธนำวิถีด้วยเรดาร์ และอาวุธนำวิถีด้วยความร้อนจำพวก “SAM”

## ๑. ปืนต่อสู้อากาศยานควบคุมการยิงด้วยเรดาร์ (Anti-Aircraft Artillery or AAA)

เป็นปืนต่อสู้อากาศยานซึ่งถูกควบคุมการยิงด้วยเรดาร์ รัสเซียได้ให้การสนับสนุนส่งปืนต่อสู้อากาศยานแบบ ZSU-23-4 ให้กับกลุ่มประเทศคอมมิวนิสต์ อินโดจีน ไร่ไช่งาน ปืนชนิดนี้ควบคุมการยิงด้วยเรดาร์แบบ GUN DISH แบบ SPOON REST หรือ FLAT FACE เป็น ACQUISITION เรดาร์ การทำงานและขีดจำกัดจะไม่กล่าวถึง จะกล่าวเฉพาะการตอบโต้ทางอิเล็กทรอนิกส์ต่อระบบเท่านั้น

การทำ ECM ต่อปืนต่อสู้อากาศยาน ก่อนที่เรดาร์ควบคุมการยิงจะจับเป้าได้ เรดาร์ ACQUISITION จะต้องจับเป้าได้ก่อน แล้วส่งข้อมูลเกี่ยวกับทิศทางและระยะทางของเป้าให้เรดาร์ควบคุมการยิง ดังนั้นในโอกาสแรกจะต้องทำการรบกวน ACQUISITION เรดาร์ก่อน เรดาร์แบบ SPOON REST สามารถทำการรบกวนได้ด้วย NOISE JAMMING เนื่องจากสายอากาศของเรดาร์มีลำคลื่นกว้าง การรบกวน ACQUISITION เรดาร์เป็นหน้าที่ของเครื่องบิน STAND-OFF JAMMING

การทำ ECM ต่อเรดาร์ควบคุมการยิง เนื่องจากผู้ควบคุมการยิง จะได้รับมอบเป้าหมายให้ทำการยิงเพียงเป้าเดียว ในช่วงเวลาหนึ่ง ขอบเขตของเป้าที่รับผิดชอบจะอยู่ในทิศทาง และระยะทางที่กำหนด การรบกวนจึงเป็นหน้าที่ของเครื่องบินขับไล่ จะต้องมียุทธวิธี ECM ติดตั้ง และสามารถทำการรบกวน เพื่อป้องกันตนเองได้ นักบินจะต้องทำการ BREAK LOCK ให้เร็วที่สุดก่อนที่จะบินเข้าไปในรัศมีการทำการของปืน เพราะเรดาร์ชนิดนี้มีระบบ HOME ON JAM จึงทำให้เพิ่มความยุ่งยากสับสนในการใช้ให้กับนักบิน หากจะใช้ CHAFF เพื่อป้องกันตนเองจะต้องใช้ BURST CHAFF จึงจะได้ผล



ภาพที่ ๒-๑๔ แสดง Typical AAA Buffer Layout

## ๒. อาวุธนำวิถีจากพื้นสู่อากาศ (Surface to Air Missile)

อาวุธประเภทนำวิถีจากพื้นสู่อากาศ รัสเซียได้ทำการผลิตหลายแบบด้วยกัน แต่ที่รัสเซียส่งมาสนับสนุนกลุ่มประเทศคอมมิวนิสต์ในอินโดจีน และถูกใช้งานอยู่ในปัจจุบัน ได้แก่ พวก SA-2, SA-3 และ SA-7 ซึ่งอาวุธนำวิถีควบคุมการทำงานด้วยเรดาร์ และความร้อน ได้แก่

### ๒.๑ SA-2

ได้ออกแบบไว้เพื่อใช้ยิงเครื่องบินที่มีความเร็วต่ำกว่าเสียง และบินอยู่ในระดับความสูงปานกลางขึ้นไป เช่นเครื่องบิน B-52 ใช้เรดาร์ FAN SONG เป็นเรดาร์ควบคุมการยิง และใช้เรดาร์ SPOON ROOT เป็นเรดาร์ตรวจหาเป้า เรดาร์แบบ FAN SONG มีหลายรุ่น โดยรุ่น A เล็กใช้ไปแล้วสำหรับรุ่น B คือ SA-2 (MOD-1) สำหรับรุ่น C และ E ใช้กับ SA-2 (MOD-2 และ MOD-3)

ระยะยิงไกลสุดของ SA-2 (MOD-1) ประมาณ 19 NM ระยะใกล้สุดต้องไม่ต่ำกว่า 5 NM ระยะสูงที่จรวดสามารถยิงได้ตั้งแต่ ๑,๕๐๐ ฟุต ถึง ๙๐,๐๐๐ ฟุต เรดาร์ รุ่น E สามารถตรวจพบเป้าได้ที่ระยะ 40 NM ถ้าเป้าหมายที่หน้าตัดเรดาร์ 1 ตารางเมตร

หากใช้เรดาร์รุ่น C นี้ใช้กับ SA-2 (MOD-2) ซึ่งมีระยะยิงหวังผลตั้งแต่ 5 NM ถึง 24 NM เรดาร์ SA-2 (MOD 3 และ MOD 4) สามารถยิงได้ไกลถึง 27 NM สำหรับ SA-2 MOD-4 ยังสามารถติดหัวรบนิวเคลียร์ได้อีกด้วย

ตามปกติแล้ว SA-2 หนึ่งฐานยิง ประกอบด้วยเรดาร์ควบคุมการยิงแบบ FAN SONG และเรดาร์ตรวจจับเป้าแบบ SPOON REST โดยทั้งระบบมีฐานยิงจรวด 6 ฐาน มีรถตู้ควบคุมการยิง และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า บริเวณฐานยิงของ SA-2 จะมีลักษณะเป็นวงกลม มีถนนโดยรอบ รัศมีประมาณ 75-100 เมตร มีเรดาร์ควบคุมการยิงอยู่ตรงจุดศูนย์กลาง สำหรับเรดาร์ตรวจจับเป้าจะอยู่ห่างออกไป มีระบบพิสูจน์ฝ่ายอยู่กับเรดาร์ตรวจจับเป้า ในสงครามเวียดนาม หนึ่งฐานยิงจะมีฐานยิงจรวดเพียง ๓ - ๔ ฐานเท่านั้น เรดาร์ตรวจจับเป้านี้จะตรวจจับได้ไกลประมาณ ๙๐-๑๖๐ NM

การติดต่อสื่อสารระหว่างตู้ควบคุมการยิงกับเรดาร์ตรวจจับเป้า มักจะใช้โทรศัพท์สายตรงเป็นหลักและใช้วิทยุ VHF/FM MERCURY เป็นขั้วสำรอง ซึ่งเรดาร์ FAN SONG มีสัญญาณควบคุมการทำงานของจรวด ที่เรียกว่า COMMAND GUIDANCE ซึ่งมีความถี่ 750-840 MHz ทำหน้าที่บังคับจรวดทางด้าน PITCH กับ YAW และจุดระเบิดตัวจรวด เนื่องจากขณะที่จรวดยิงออกไปนั้น RADAR CROSSSECTION ของจรวดเล็กมาก จึงต้องมี TRANSPONDER ส่งสัญญาณกลับลงมา เพื่อแสดงตำแหน่งของจรวด โดยสัญญาณนี้มีความถี่ 3140 MHz สำหรับรุ่น บี ส่วนรุ่น ซี และ อี ใช้ความถี่ 5,000 MHz อีกทั้งมีการพบว่าการ JAM สัญญาณ DOWN LINK นั้นใช้ได้ผลมาแล้วในสงครามเวียดนาม

การทำงานของ FAN SONG เรดาร์ควบคุมการยิงของ SA-2 ใช้ระบบ TRACK WHILESCAN สามารถติดตามเป้าได้ ๖ เป้า ในขณะที่นำวิถีจรวดได้ ๓ ลูก เรดาร์รุ่นใหม่สามารถจับเป้าหมายได้ถึง ๔๐ ไมล์ทะเล ซึ่งเรดาร์แบบนี้ได้ถูกทำการพัฒนามาหลายรุ่น รุ่นที่สำคัญ และใช้งานได้ผลคือ รุ่น บี และ อี ใช้ความถี่ย่าน E/F BAND

การทำงานของระบบ มีขั้นตอนการทำงาน ดังนี้

๑. SITE ALERT
๒. TARGET ACQUISITION
๓. TARGET TRACKING
๔. MISSILE TRACK AND LAUNCH

เนื่องจากเรดาร์ FAN SONG มีขีดความสามารถในการทำ ECCM สูง ดังนั้นในการทำ ECM ต่อ

ระบบ SA-2 จะต้องมีความชำนาญ โดยมีขั้นตอนดังนี้

๑. ACQUISITION RADAR ECM
๒. COMMUNICATION ECM

๓. DECEPTION JAMMING

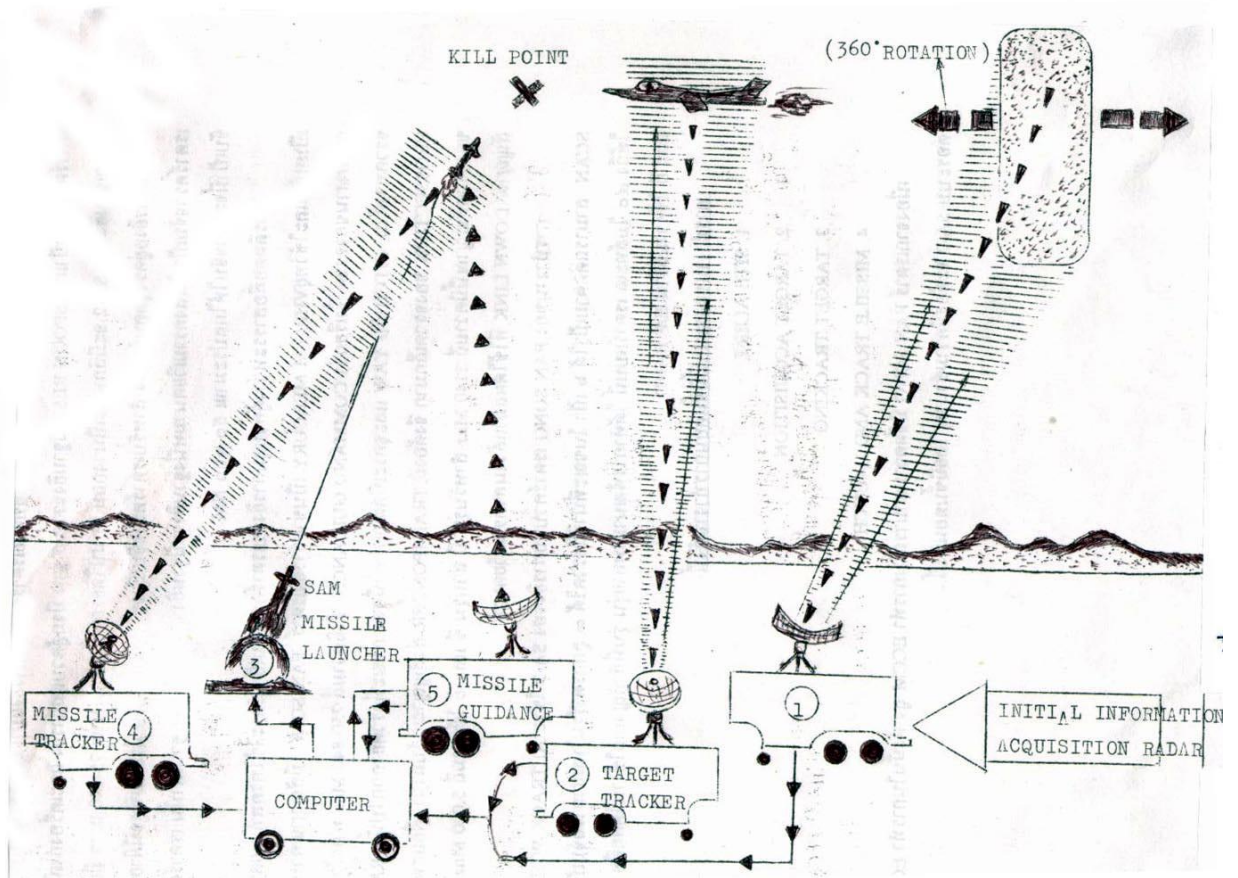
๔. MISSILE DOWN LINK ECM

## ๒.๒ SA-3

จรวดจากพื้นสู่อากาศแบบ SA-3 เป็นแบบเคลื่อนที่ได้ใช้สำหรับยิงเครื่องบินที่มีระดับเพดานบินสูงปานกลางลงมา และต้องเป็นเครื่องบินที่มีความเร็วต่ำกว่าเสียง ระบบของ SA-3 คาดกันว่าเป็นการดัดแปลงมาจาก SA-2 เพื่อให้สามารถใช้งานในระดับเพดานบินต่ำได้ ระยะยิงไกลสุดของจรวดประมาณ 12 NM และระยะใกล้สุด 3 NM เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาบินของจรวด หลังจากได้ทำการยิงไปแล้วประมาณ ๘ - ๒๔ วินาที ระยะสูงต่ำสุดไม่ทราบแน่ชัด แต่เชื่อว่าประมาณ ๓๐๐ ฟุต โดยตามปกติแล้ว หนึ่งฐานยิงของ SA-3 จะมีแท่นปล่อย ๔ แท่น ซึ่งติดตั้งบนรถตรงกลาง จะมีเรดาร์ควบคุมการยิง LOW BLOW, เครื่องกำเนิดไฟฟ้า, รถควบคุมการยิง และรถติดตั้งชุดคอมพิวเตอร์

การค้นหาเป้าหมายและการติดตามเป้าของ SA-7 ต่างกับ SA-2 ตรงที่เมื่อทำการยิงไปแล้ว ๒๔ วินาที จะระเบิดตัวเอง และใช้ระบบ FM/CW PULSE DROPLER กล่าวคือ แม้ว่าจรวด SA-3 ไม่ถูกเป้า แต่เมื่อเข้าใกล้เป้าหมายที่สุดก็จะระเบิดตัวเอง

เมื่อเครื่องบินบินเข้ามาใกล้ประมาณ 50 NM FLAT FACE หรือ SQUAT EYE ซึ่งเป็น ACQUISITION RADAR จะส่ง TRACK ของเป้าให้ระบบควบคุมการยิงของจรวด ระบบควบคุมการยิงของจรวดจะเริ่มค้นหาเป้า เมื่อเครื่องบินเข้ามาใกล้ประมาณ 50 NM ก็จะเปลี่ยนเป็น LORO MODE และ HI-PRF เพื่อให้ได้ INFORMATION ละเอียดขึ้น และเมื่อเครื่องบินเข้ามาถึงระยะยิงของจรวด จรวดก็จะถูกปล่อยทันที หลังจากนั้น PROCEDURE ทั้งหมดจะเหมือนกับ SA-2 ผิดกันที่ COMMAND GUIDANCE สามารถส่งขึ้นไปหาจรวดได้ตั้งแต่เริ่มยิง เนื่องจากสายอากาศในการรับ-ส่งสัญญาณควบคุมติดอยู่ที่ปลายปีก จึงไม่เป็นอุปสรรคในการควบคุมจรวด ดังนั้นการควบคุมการยิงของ SA-3 จะสามารถบังคับทิศทางได้ตั้งแต่เริ่มยิง



ภาพที่ ๒-๑๕ แสดง SAM Using Missile and Target Tracking

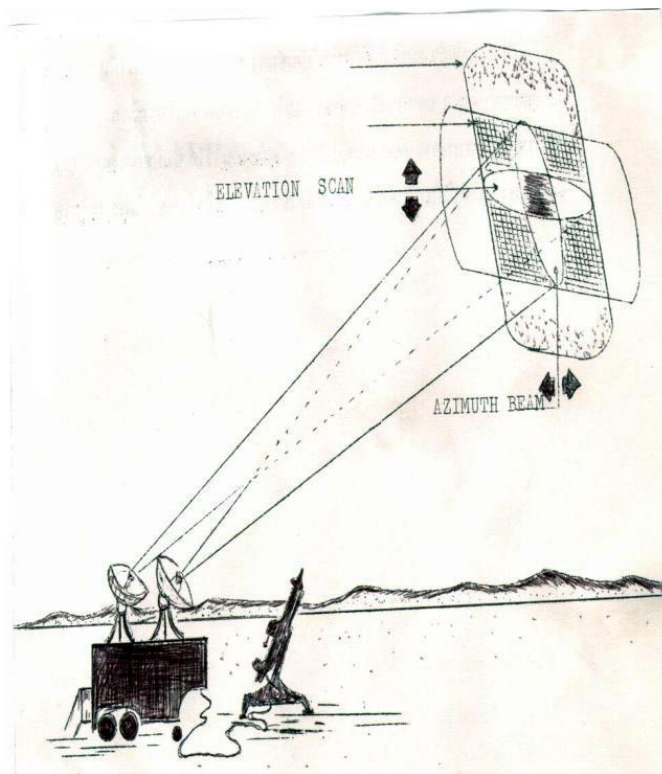
### ๒.๓ SA-7 A/B/ GRAIL

เป็นจรวดนำวิถีด้วยความร้อนระบบอินฟราเรด ไม่มีเรดาร์ควบคุมการยิง เป็นจรวดขนาดเล็ก สามารถนำติดตัวโดยการสะพายบ่าเหมือนอาวุธปืนประจำกายทั่วไป ระยะสูงที่จรวดยิงได้ทั่วไป ประมาณ ๕,๐๐๐ ฟุต (เคยมีรายงานว่า เครื่องบิน C-130 ของ ทอ.อม. เคยถูกยิงด้วย SA-7 ในขณะที่บินอยู่ในระยะสูง ๘,๕๐๐ ฟุต เหนือภูมิประเทศ) จรวด SA-7 ชนิดนี้ได้ออกแบบมา เพื่อใช้ยิงอากาศยานที่มีความเร็วต่ำ และมีการแพร่กระจายพลังงานความร้อนมาก (INFRARED ENERGY) ซึ่งเป็น ELECTRO - MAGNETIC RADIATION ชนิดหนึ่งที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง ๐.๗๕ ไมครอน ถึง ๑,๐๐๐ ไมครอน การแพร่กระจายคลื่นความร้อนของเครื่องบิน เกิดจากองค์ประกอบต่างๆ ดังนี้

๑. ความร้อนของดวงอาทิตย์ที่สะท้อนจากเครื่องบิน
๒. แสงสว่างต่างๆ ที่ออกมาจากเครื่องบิน
๓. แก๊สจากไอเสียของเครื่องยนต์

จากองค์ประกอบที่กล่าวมาจะเห็นว่า แก๊สไอเสียของเครื่องยนต์มีปริมาณมากที่สุด และมีทิศทางแพร่กระจายของคลื่นความร้อนการต่อต้านการติดตามของจรวด SA-7 ไม่ให้ยังถูกเครื่องบินสามารถกระทำได้ ๓ ประการ คือ

๑. ลดการแพร่กระจายรังสีความร้อนของเครื่องบิน (SUPPRESSION)
๒. สร้างเป้าลวงโดยใช้ FLARE
๓. ทำการรบกวนระบบนำวิถีด้วย AFP-51-3



ภาพที่ ๒-๑๖ แสดง Track White Scan Radar

การลดการแพร่กระจายรังสีความร้อน ไม่สามารถกระทำได้กับอากาศยานที่มีสมรรถนะสูง เพราะจะทำให้สมรรถนะลดลง การใช้ FLARE จะต้องทราบว่าจะโดนจรวดยิง หรือจะต้องติดตั้งอุปกรณ์สงครามอิเล็กทรอนิกส์เพื่อใช้สำหรับการแจ้งเตือนการยิงของจรวด แต่ระบบแจ้งเตือนนี้อยู่ในระหว่างการพัฒนา บางครั้งไม่สามารถตรวจพบการยิงของจรวด ดังนั้นจึงต้องหันมาพึ่งระบบ IRCM เพื่อไม่ให้จรวด SA-7 สามารถติดตามเป้าได้ เมื่อติดตั้งระบบ IRCM แล้วจะสามารถลดประสิทธิภาพของจรวดได้ ๓ ประการ คือ

๑. ทำให้จรวดติดตามเป้าหมายทิศทาง
๒. ทำให้จรวดต้องเพิ่มระยะเวลาเดินทางเข้าหาเป้าหมาย
๓. คนยังไม่สามารถที่จะหาตำแหน่งที่มีรังสีความร้อนมากที่สุด จึงไม่สามารถยิงจรวดโดยสรุปแล้ว จะเห็นได้ว่าอาวุธที่เป็นอันตรายต่อเครื่องบินของฝ่ายเรานั้น หากเราทราบหลักการทำงาน และคุณสมบัติต่างๆ ของมันแล้ว เราก็จะสามารถใช้ยุทธวิธีทางสงครามอิเล็กทรอนิกส์และการแก้ไขวิธีการปฏิบัติการทางอากาศของเรา หลบเลี่ยงหรือป้องกันไว้ได้ ซึ่งเป็นการลดการสูญเสียเครื่องบินของฝ่ายเรา และทำให้การดำเนินงานทางยุทธวิธีทางอากาศเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

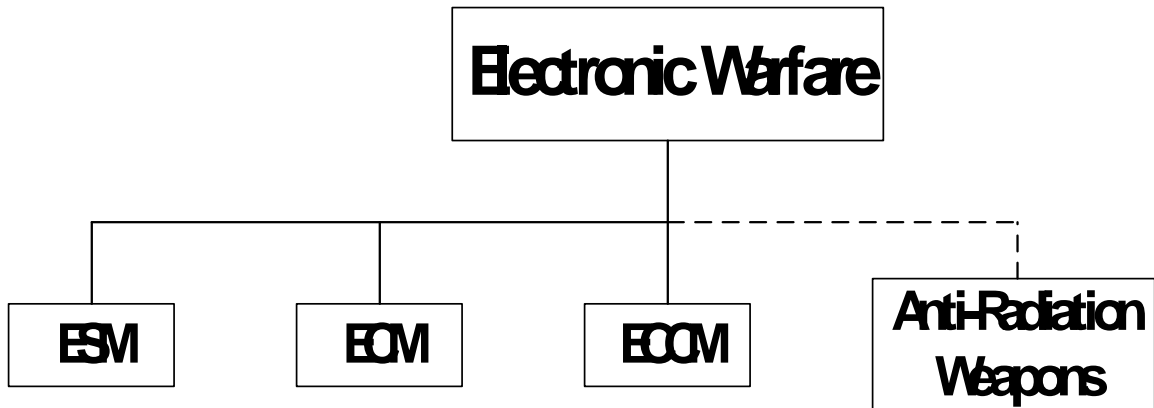
## สงครามอิเล็กทรอนิกส์ตามแบบองค์การนาโต้ (NATO)

ต้นกำเนิดของสงครามอิเล็กทรอนิกส์ ไม่มีใครทราบแน่ชัดว่าจริงๆ แล้วมีการใช้ครั้งแรกเมื่อไร แต่จากบันทึกในช่วงสงครามระหว่างรัสเซียกับญี่ปุ่น (๑๙๐๔-๑๙๐๕) วันที่ ๘ มีนาคม ค.ศ. ๑๙๐๔ กองเรือรบของญี่ปุ่น พยายามล้อมเรือรบของรัสเซียที่ท่าเรืออาร์เธอร์บนฝั่งทะเลด้านตะวันออกของรัสเซีย รัสเซียได้ส่งสัญญาณรบกวนทำให้การสื่อสารของญี่ปุ่นไม่สามารถทำได้ ญี่ปุ่นจึงต้องถอนกำลังไป ต่อมาศาสตร์นี้จึงเติบโตอย่างรวดเร็ว และมีผู้ให้นิยามต่างๆ มากมาย พอสรุปได้ดังนี้

“EW is defined as a military action involving the use of electromagnetic energy to determine, exploit, reduce, or prevent hostile use of the electromagnetic spectrum and action which retains friendly use of the electromagnetic spectrum” (Schleher, 1997:6)

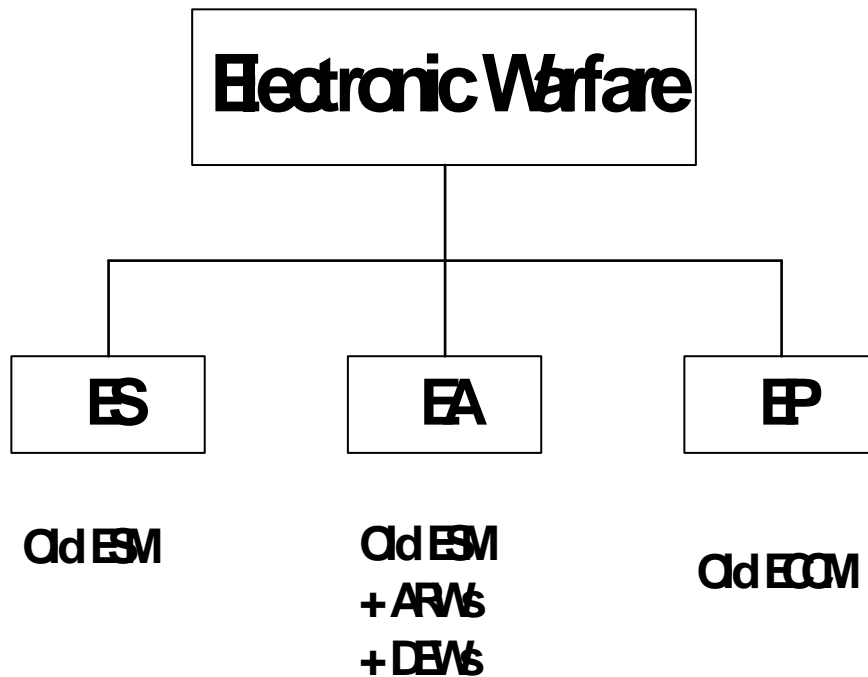
หรือแปลความหมายเป็นภาษาไทยได้ว่า “การปฏิบัติการทางทหารที่เกี่ยวกับการใช้พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อยุติ (determine) ใช้ประโยชน์ (exploit) ลด (reduce) หรือป้องกัน (prevent) การใช้ประโยชน์จากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของฝ่ายข้าศึก รวมถึงการดำรงไว้ซึ่งการใช้ประโยชน์จากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของฝ่ายเรา”

แต่เดิมมาตรการทางสงครามอิเล็กทรอนิกส์แบ่งออกเป็น ๓ มาตรการ ดังภาพที่ ๒-๑๗ คือ มาตรการสนับสนุนทางสงครามอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Support Measures: ESM), มาตรการต่อต้านทางสงครามอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Countermeasures: ECM) และมาตรการตอบโต้การต่อต้านทางสงครามอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Counter-Countermeasures: ECCM) ต่อมาได้มีการพัฒนาอาวุธต่อต้านเรดาร์ (Anti-radiation Weapon: ARW) และอาวุธพลังงาน (Directed-energy Weapons: DEW) ซึ่งไม่สามารถจัดให้อยู่ในมาตรการใดๆ ได้



ภาพที่ ๒-๑๗ แสดง มาตรการสงครามอิเล็กทรอนิกส์ (เดิม)

ต่อมา องค์การนาโต้ (NATO) จึงได้จัดโครงสร้างของสงครามอิเล็กทรอนิกส์ใหม่ เพื่อให้อาวุธต่อต้านเรดาร์และอาวุธพลังงานสามารถจัดอยู่ในมาตรการใดมาตรการหนึ่งของโครงสร้างใหม่ได้ มาตรการสงครามอิเล็กทรอนิกส์ของนาโต้ประกอบด้วยมาตรการ ๓ มาตรการ คือ มาตรการสนับสนุนทางอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Warfare Support: ES), มาตรการโจมตีทางอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Attack: EA) และมาตรการป้องกันทางอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Protection: EP) โดยอาวุธต่อต้านเรดาร์ (ARWs) และอาวุธพลังงาน (DEWs) จัดอยู่ในมาตรการโจมตีทางอิเล็กทรอนิกส์ (EA) ดังแสดงในภาพที่ ๒-๑๘



ภาพที่ ๒-๑๘ แสดง มาตรการสงครามอิเล็กทรอนิกส์ (นาโต้)



ก่อนที่จะกล่าวถึงสงครามอิเล็กทรอนิกส์ตามแบบนาโต้ไปมากกว่านี้ จะขอกล่าวถึงคำ ๒ คำ นี้ ก่อน คำ ๒ คำ ที่ว่านี้คือ “Active” และ “Passive”

**Active** คือ อุปกรณ์ที่มีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในขณะที่ทำงาน เพื่อหาข้อมูลของเป้า หรือเพื่อการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ อาทิ เรดาร์ (RADAR), ชุดรบกววนสัญญาณเรดาร์ (ECM Pod) และเป้าล่อ (Decoys) เป็นต้น

**Passive** คือ อุปกรณ์ที่ไม่มีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในขณะที่ทำงาน อาทิ ระบบแจ้งเตือนภัยเรดาร์ข้าศึก (Radar Warning Receiver: RWR), อุปกรณ์หาข่าวกรองทางการสื่อสาร (Communication Intelligence: COMINT) และอุปกรณ์หาข่าวกรองทางอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Intelligence: ELINT) เป็นต้น

## ๑. มาตรการทางสงครามอิเล็กทรอนิกส์ตามแบบนาโต้

มาตรการสงครามอิเล็กทรอนิกส์ตามแบบนาโต้ ประกอบด้วยมาตรการ ๓ มาตรการ คือ

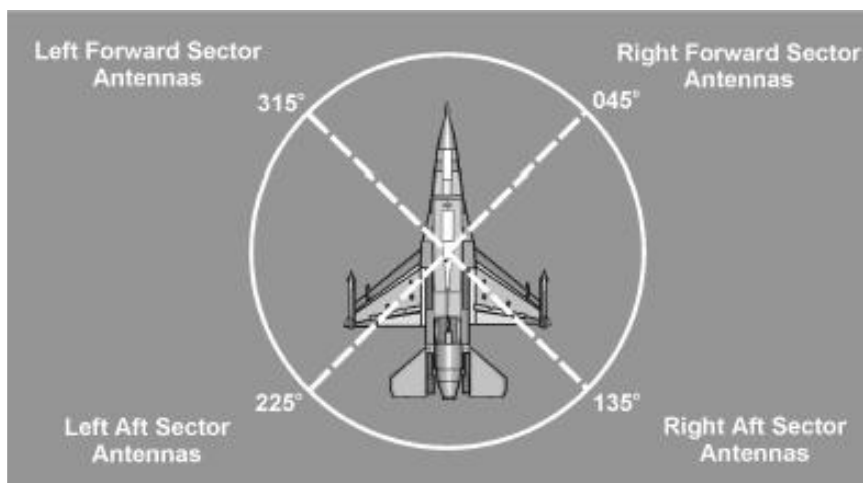
### ๑.๑ มาตรการสนับสนุนทางอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Warfare Support: ES)

“ESM is that division of EW involving actions taken to search for, intercept, locate, and immediate identify radiated electromagnetic energy for the purposes of immediate threat recognition and the tactical employment of forces” (Schleher, 1997:6)

มาตรการสนับสนุนทางอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Warfare Support: ES) หรือ ESM คือ การปฏิบัติการ เพื่อค้นหา (search for), ตักจับ (intercept), หาตำแหน่ง (locate) และระบุชนิดของพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทันที เพื่อให้ทราบถึงภัยคุกคามที่เกิดขึ้นและสามารถใช้ยุทธวิธีตอบโต้ที่เหมาะสมได้ทันที อุปกรณ์ของมาตรการนี้เป็นแบบ Passive กล่าวคือไม่มีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในขณะที่ทำงาน แต่จะตักจับสัญญาณเรดาร์หรือวิทยุ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการทำงาน ซึ่งอุปกรณ์ที่จัดอยู่ในมาตรการนี้ได้แก่

**๑.๑.๑ ระบบแจ้งเตือนภัยเรดาร์ข้าศึก** หรือที่รู้จักกันในนามของ RWR (Radar Warning Receiver) ใช้ปฏิบัติการกิจในขณะปัจจุบัน หรือที่เรียกว่า “Real Time” โดยติดตั้งกับอากาศยาน เรือรบ และกองกำลังภาคพื้น เพื่อใช้ป้องกันตนเองจากการตกเป็นเป้าของเรดาร์ข้าศึก

หลักการทำงานของระบบแจ้งเตือนภัยเรดาร์ข้าศึก คือ เมื่อมีสัญญาณเรดาร์มากระทบกับสายอากาศทั้ง ๔ มุม ของ RWR ดังภาพที่ ๒-๑๙ สัญญาณนั้นจะถูกรับโดยภาครับและวัดค่าพารามิเตอร์ของสัญญาณที่ได้รับได้ ขนาดของสัญญาณจะใช้ในการวิเคราะห์ทิศทางและระยะ ส่วนพารามิเตอร์ทั้งหมดจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลว่า เป็นเรดาร์อะไร และภัยคุกคามแค่ไหน



ภาพที่ ๒-๑๙ แสดง ตำแหน่งสายอากาศของระบบ RWR

## ๑.๒ มาตรการโจมตีทางอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Attack: EA)

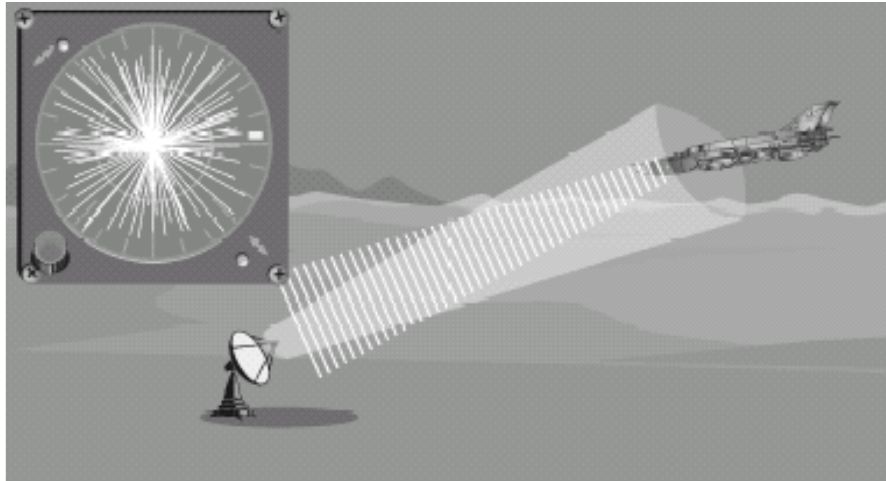
“ECM is defined as actions taken to prevent or reduce the enemy’s effective use of the electromagnetic spectrum. ECM includes jamming and deception” (Schleher, 1997:9)

“Electronic Attack (EA) – which includes the old ECM (jamming, chaff and flares) but also includes Anti-Radiation Weapons and Directed-Energy Weapons” (Adamy, 2000:4)

มาตรการโจมตีทางอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Attack: EA) คือ การปฏิบัติการ เพื่อการป้องกันหรือลดความสามารถในการใช้ประโยชน์จากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของฝ่ายตรงข้ามหรือข้าศึก และรวมถึงการใช้อาวุธต่อต้านเรดาร์ (ARW) และอาวุธพลังงาน (DEW) เพื่อทำลายอุปกรณ์หรือเรดาร์นั้น ซึ่งอุปกรณ์ที่จัดอยู่ในมาตรการนี้ ได้แก่

**๑.๒.๑ ชุดส่งสัญญาณรบกวนเรดาร์ (ECM Pod)** คืออุปกรณ์ที่ติดตั้งบนอากาศยาน เรือรบ เรือดำน้ำ และกองกำลังภาคพื้น ใช้ในการจำลองสัญญาณเรดาร์หรือสัญญาณวิทยุ เพื่อรบกวนการทำงานของเรดาร์ หรือการสื่อสารของข้าศึก ให้ทำงานผิดพลาด หรือไม่สามารถทำงานได้ ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง

ในภาพที่ ๒-๒๐ อากาศยานที่ติดตั้ง ECM Pod เมื่อได้ทราบว่าเป็นเป้าของเรดาร์ข้าศึก จึงได้ส่งสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีกำลังสูง ไปยังเรดาร์ ทำให้เครื่องรับของเรดาร์ข้าศึกไม่สามารถตรวจจับสัญญาณสะท้อนจากเป้า (echo) แต่ได้รับสัญญาณรบกวนแทน ทำให้จอเรดาร์ข้าศึก ปรากฏภาพสีขาวเต็มหน้าจอ



ภาพที่ ๒-๒๐ แสดง การส่งสัญญาณรบกวนการทำงานของเรดาร์ข้าศึก

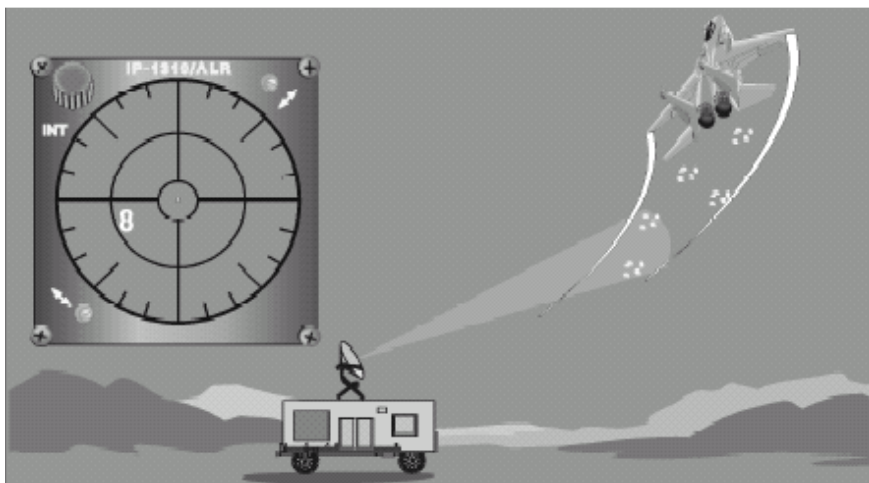
ชุดส่งสัญญาณรบกวนเรดาร์ของกองทัพอากาศไทยที่มีใช้อยู่คือ AN/ALQ-131 Self Protection Jammer Pod ดังภาพที่ ๒-๒๑ มีไว้เพื่อป้องกันตนเองของอากาศยาน เมื่อตกเป็นเป้าของเรดาร์ สามารถติดตั้งได้กับเครื่องบินรุ่นต่างๆ ได้แก่ F-16, F-111, A-10, F-4, F-15, F-5 and C-130



ภาพที่ ๒-๒๑ แสดง AN/ALQ-131 Self Protection Jammer Pod

๑.๒.๒ ชุดยิงเป้าล่อเรดาร์ (Chaff Dispenser) คือ อุปกรณ์ยิงเส้นโลหะ หรือใยแก้วที่เคลือบสารนำไฟฟ้าไว้ ที่ถูกตัดให้สะท้อนสัญญาณเรดาร์ในย่านความถี่ต่างๆ เพื่อสร้างเป้าลวงแก่เรดาร์เป้าหมาย ทำให้เรดาร์นั้นเกิดการสับสน และทำงานผิดพลาด เมื่อใยแก้วที่ถูกเคลือบด้วยสารนำไฟฟ้าถูกยิงออกมา ประกอบกับการเปลี่ยนท่าบินของอากาศยาน จะทำให้ใยแก้วนั้นกระจายออกเป็นกลุ่มขนาดใหญ่ เมื่อสัญญาณเรดาร์กระทบใยแก้ว ใยแก้วนำไฟฟ้าแต่ละอันจะทำหน้าที่เปรียบเสมือนสายอากาศหนึ่ง

ต้น สัญญาณเรดาร์ที่สะท้อนออกมาจากกลุ่มใยแก้ว จะมีความเข้มของสัญญาณมากกว่าที่สะท้อนออกมาจากอากาศยาน จึงทำให้เรดาร์เบนความสนใจไปยังกลุ่มใยแก้วหรือเป้าลวง แทนอากาศยาน ดังแสดงในภาพที่ ๒-๒๒

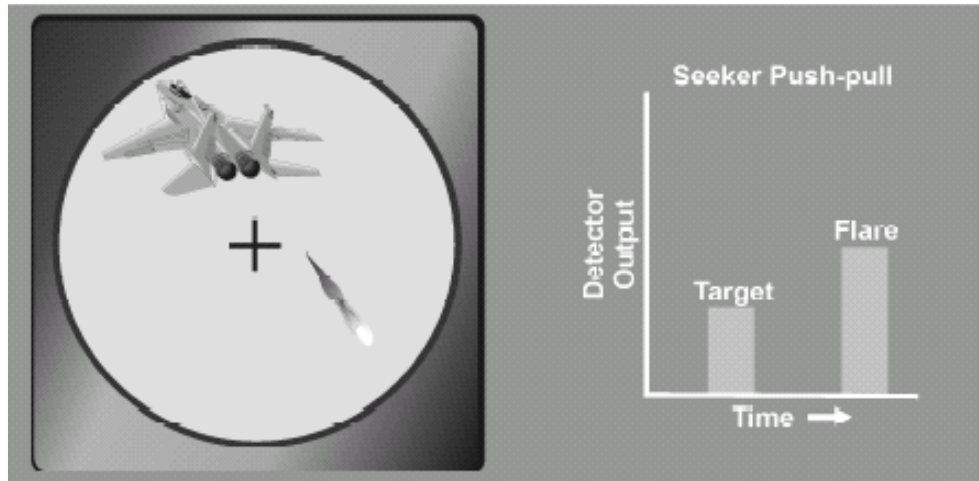


ภาพที่ ๒-๒๒ แสดง การปล่อย Chaff เพื่อป้องกันตนเอง

**๑.๒.๓ ชุดยิงเป้าล่อจรวด (Flare Dispenser)** คืออุปกรณ์ยิงพลุความร้อน เพื่อสร้างเป้าลวง แก่จรวดนำวิถีด้วยความร้อนของขี้สีก ให้เกิดการสับสน และทำงานผิดพลาด เมื่อพลุความร้อนถูกยิงออกมา จรวดที่นำวิถีด้วยความร้อนจะเกิดความสับสน เนื่องจากความร้อนที่จรวดมองเห็นมีมากกว่าหนึ่ง อีกทั้งพลุความร้อนมีความสว่างหรือความเข้มมากกว่า จึงทำให้จรวดคิดว่าพลุความร้อน คือเป้า และวิ่งเข้าหาพลุความร้อนแทนอากาศยาน

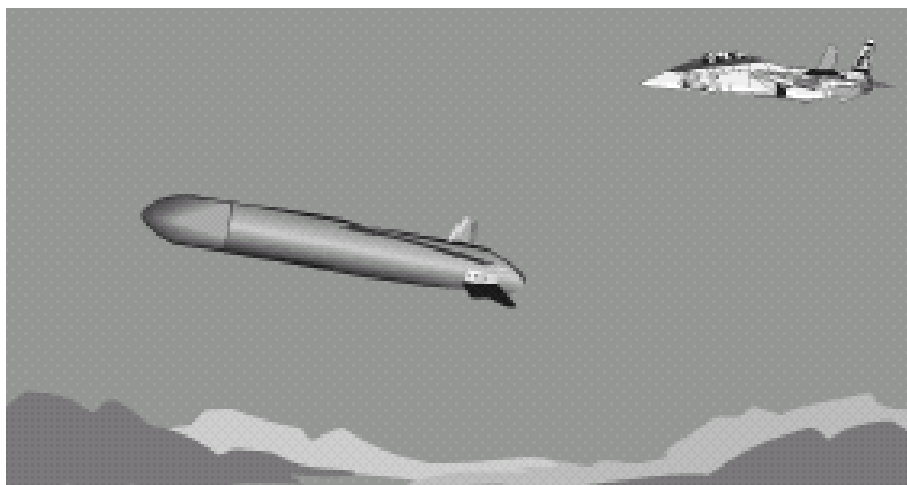
ในภาพที่ ๒-๒๒ เมื่อนักบินทราบว่ อากาศยานของตนตกเป็นเป้าของจรวดนำวิถีด้วยความร้อน นักบินจึงตัดสินใจยิง Flare และเปลี่ยนแปลงท่าบิน ระบบตรวจจับความร้อนของจรวดจะเห็นเป้า ๒ เป้า ซึ่งเป้าลวง (Flare) มีความสว่างมากกว่า และเมื่อผ่านไประยะหนึ่งเป้าลวงจะห่างจากเป้าจริงออกไป ดังนั้น จรวดจึงต้องเลือกเป้าเพียงเป้าเดียว คือ เป้าที่มีความสว่างมากกว่า เป็นผลให้อากาศยานหลุดพ้นจากการตกเป็นเป้าของจรวด และจรวดจะวิ่งตรงไปยังเป้าลวงหรือพลุความร้อน

ชุดยิงเป้าล่อจรวด (Flare Dispenser) และชุดยิงเป้าล่อเรดาร์ (Chaff Dispenser) ของ ทอ. ที่มีใช้คือ AN/ALE-40 Self Protection Jammer Pod มีไว้เพื่อนป้องกันตนเองของอากาศยาน เมื่อตกเป็นเป้าของเรดาร์ สามารถติดตั้งได้กับ F-16, F-111, A-10, F-4, F-15, F-5 and C-130



ภาพที่ ๒-๒๓ แสดง การปล่อย Flare เพื่อป้องกันตนเองของอากาศยาน

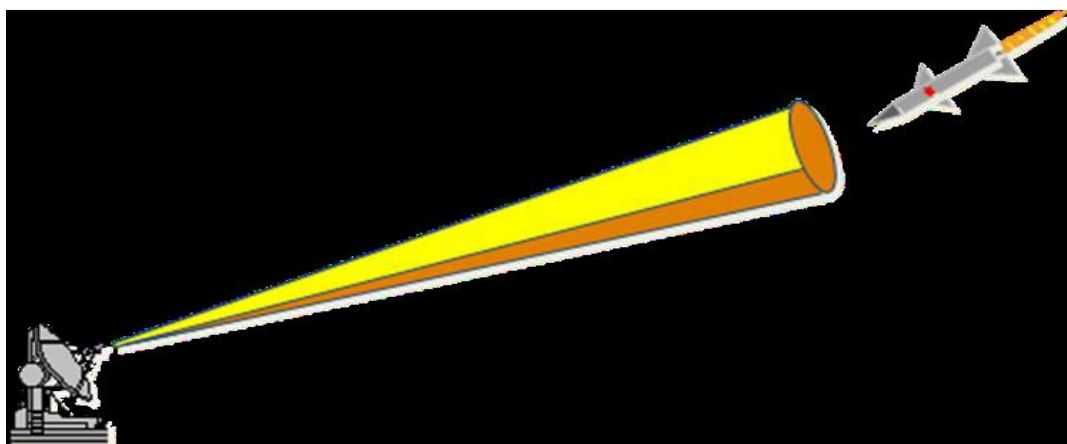
๑.๒.๔ เป้าล่อ (Decoys) คืออุปกรณ์สร้างเป้าลวง เพื่อสร้างความสับสนและทำให้เรดาร์ของข้าศึก และ/หรือ จรวดนำวิถีด้วยความร้อน เกิดการทำงานผิดพลาด หลักการทำงานของเป้าล่อคือจะจำลองสัญญาณเรดาร์ข้าศึก หรือ ท่อความร้อนของอากาศยาน ออกมา เพื่อให้เรดาร์เห็นเป้ามากกว่าหนึ่ง ซึ่งจะทำให้เรดาร์และ/หรือจรวดเกิดความสับสน และทำงานผิดพลาดในที่สุด เป้าล่อสามารถแบ่งออกได้ ๒ แบบ คือ เป้าล่อแบบลากหรือแบบที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้ (Towed Decoy) และเป้าล่อแบบปล่อยหรือแบบที่นำกลับมาใช้ใหม่ไม่ได้ (Expandable Decoy) ดังแสดงในภาพที่ ๒-๒๓ ตามลำดับ



ภาพที่ ๒-๒๔ แสดง เป้าล่อแบบลาก กับ เป้าล่อแบบปล่อย

**๑.๒.๕ อาวุธต่อต้านเรดาร์ (Anti-Radiation Weapons: ARW) หรือ จรวดต่อต้านเรดาร์ (Anti-Radiation Missile: ARM)** คืออาวุธหรือจรวดที่ออกแบบมาเพื่อยุติการทำงานของเรดาร์ข้าศึก ในช่วงระยะเวลาหนึ่งหรือตลอดกาล ซึ่งจรวดนี้จะอาศัยลำคลื่นสัญญาณของเรดาร์ในการนำทางจรวดเข้าสู่เป้าหรือเรดาร์

ในภาพที่ ๒-๒๔ จรวดถูกปล่อยให้เข้าไปในลำคลื่นสัญญาณเรดาร์ข้าศึก ซึ่งจรวดจะอาศัยลำคลื่นสัญญาณของเรดาร์ในการนำร่องไปยังสายอากาศของเรดาร์ข้าศึก และในที่สุดเรดาร์จะถูกทำลาย หรือหากข้าศึกทราบว่ามีและใช้จรวดต่อต้านเรดาร์ (ARM) ข้าศึกจะหยุดการทำงานของเรดาร์เพื่อป้องกันการตกเป้า หรือการถูกทำลายจากจรวดต่อต้านเรดาร์ (ARM) ทำให้เรดาร์หยุดทำงานในช่วงระยะเวลาหนึ่ง



ภาพที่ ๒-๒๕ แสดง อาวุธต่อต้านเรดาร์ (Anti-radiation Weapons)

**๑.๒.๖ อาวุธพลังงาน (Directed-energy Weapons: DEW)** คือ อุปกรณ์ที่สร้างพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากำลังสูง และยิงออกไป เพื่อทำลายอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของเป้าหมาย

### ๑.๓ มาตรการป้องกันทางอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Protection: EP)

“ECCM is defined as actions taken to ensure friendly use of the electromagnetic spectrum against EW. One characteristic is that ECCM is mostly concerned with techniques which are embodied in the design of electronics equipment (e.g., surveillance radar), while ECM usually requires a separate item of equipment which operates in its own right and not as an adjunct to another system”

(Schleher, 1997:17)

มาตรการป้องกันทางอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Protection: EP) หรือ ECCM คือ การปฏิบัติการ เพื่อดำรงความสามารถในการใช้ประโยชน์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของฝ่ายเรา สำหรับ มาตรการนี้ จะเป็นลักษณะของการออกแบบ และการเลือกใช้โหมดการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ตลอดจนระเบียบปฏิบัติในการใช้อุปกรณ์นั้นๆ ซึ่งได้แก่ การห้ามใช้วิทยุ, การใช้รหัสเรียกขาน, การใช้ เครื่องเข้ารหัส, การหยุดส่งเรดาร์ และการเปลี่ยนโหมดการทำงานของเรดาร์ เป็นต้น

## ๒. การข่าวกรองทางสัญญาณ

ข่าวกรองทางสัญญาณ (SIGINT: Signal Intelligence) คือ การหาข้อมูลของฝ่ายตรงข้าม โดยการดักจับคลื่นวิทยุของฝ่ายตรงข้าม ทั้งที่เป็นคลื่นสื่อสารและไม่ใช้คลื่นสื่อสาร ซึ่งจัดอยู่ในมาตรการ สนับสนุนทางอิเล็กทรอนิกส์ (ES) อันประกอบไปด้วย ข่าวกรองทางอิเล็กทรอนิกส์ (ELINT: Electronic Intelligence) และข่าวกรองทางสื่อสาร (COMINT: Communication Intelligence)

### ๒.๑ ข่าวกรองทางอิเล็กทรอนิกส์ (ELINT: Electronic Intelligence)

คือการหาข่าวกรอง โดยการดักจับสัญญาณเรดาร์ของฝ่ายตรงข้าม เพื่อหาว่าสัญญาณ เรดาร์ที่ตรวจพบนั้น เป็นสัญญาณของเรดาร์อะไร รวมทั้งหาแหล่งที่ตั้งของเรดาร์ เพื่อใช้ปรับปรุงแผน เป้าหมายทางอิเล็กทรอนิกส์ (EOB: Electronic Order of Battle) และจัดทำข้อมูลก่อนบิน (Pre-Flight Message: PFM) ให้กับระบบแจ้งเตือนภัยเรดาร์ข้าศึก (RWR) รวมถึงการจัดทำหรือปรับปรุงข้อมูลภัย คุกคามเรดาร์ข้าศึก (Threat Library)

### ๒.๒ ข่าวกรองทางการสื่อสาร (COMINT: Communication Intelligence)

คือการหาข่าวกรอง โดยการดักจับฟังการสื่อสารของกองกำลังฝ่ายตรงข้าม เพื่อข้อมูล ด้านข่าวกรอง หรือ หาว่ากองกำลังนั้นมีความตั้งใจอะไร มีการเคลื่อนไหวไปในทิศทางใด

## ๓. ขีปนาวุธ

คืออาวุธหรือจรวดที่บรรจุระเบิด (หัวรบ) ยิงออกสู่เป้าหมาย ซึ่งมีอยู่ ๓ แบบ คือ Conventional guided missiles, Cruise missiles และ Ballistic missiles และสามารถแบ่งตามฐาน ยิงและเป้าหมายของจรวด ได้ดังนี้

- Surface to Surface (SSM) Tactical & Strategic
- Surface to Air (SAM) Land & Sea launched
- Air to Air (AAM)
- Air to Surface (ASM) Tactical & Strategic
- Glide Bomb
- Torpedo

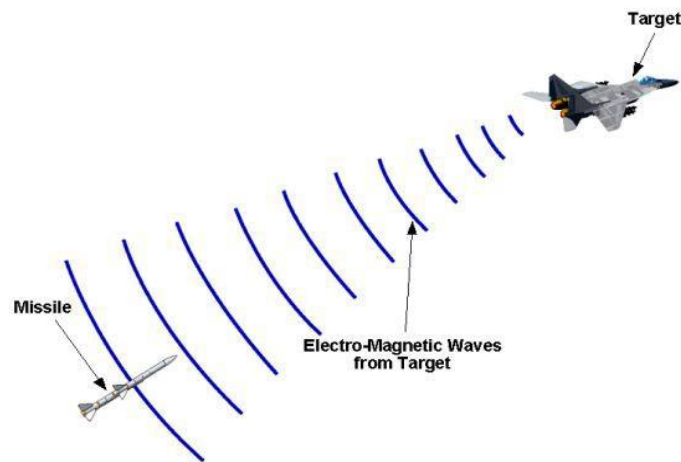
หรือถ้าแบ่งตามประเภทการควบคุมของจรวด สามารถแบ่งได้ ดังนี้

### ๓.๑ จรวดไร้การควบคุม (Ballistic Missile)

คือจรวดที่ไม่มีการควบคุมใดๆ เลย ในการบังคับทิศทาง แต่สามารถยิงเข้าเป้าได้ โดยการคำนวณแรงขับของจรวด มุมยิง และทิศทางของกระแสลม

### ๓.๒ จรวดนำวิถีแบบ Passive (Passive Guidance Missile)

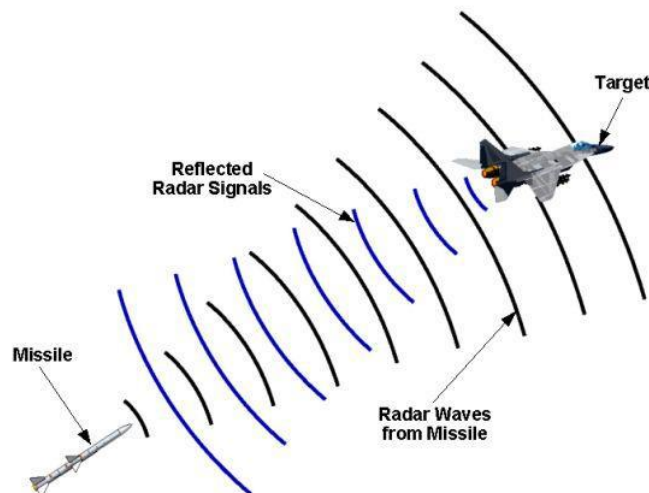
คือจรวดที่อาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของเป้าที่แผ่ออกมาในการนำทางจรวดเข้าสู่เป้า ดังภาพที่ ๒-๒๖



ภาพที่ ๒-๒๖ แสดง จรวดนำวิถีแบบ Passive

### ๓.๓ จรวดนำวิถีแบบ Active (Active Guidance Missile)

คือจรวดที่อาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สะท้อนออกจากเป้าหมายนำทางจรวดเข้าสู่เป้า โดยมีเครื่องส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าของจรวดในการฉายเป้า ดังภาพที่ ๒-๒๗

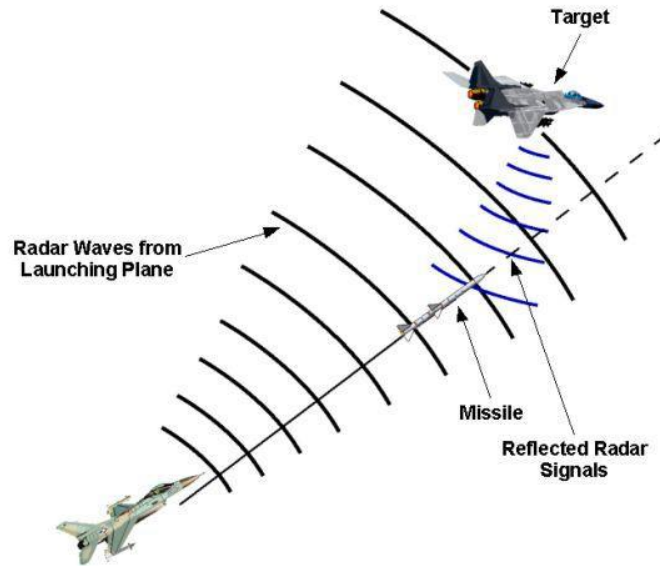


ภาพที่ ๒-๒๗ แสดง จรวดนำวิถีแบบ Active



### ๓.๔ จรวดนำวิถีแบบ Semi-Active (Semi-Active Guidance Missile)

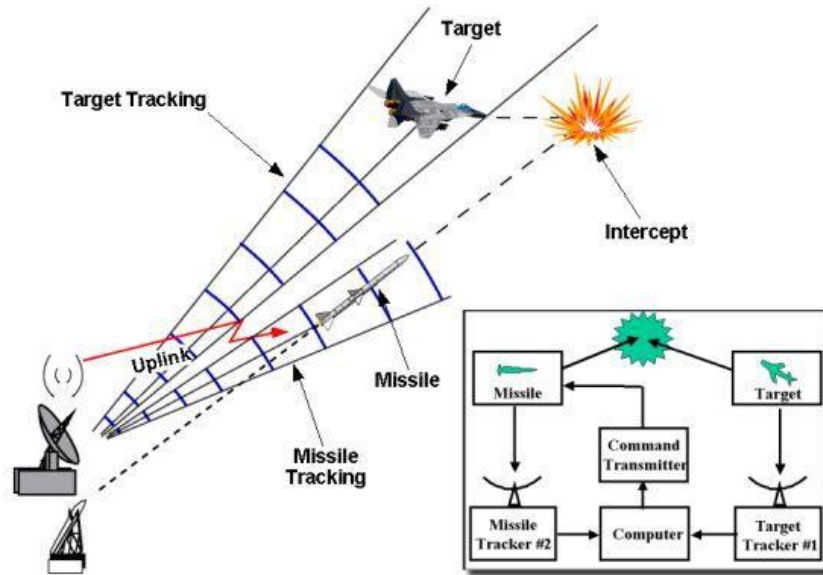
คือจรวดที่อาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สะท้อนออกจากเป้าหมายเข้าสู่เป้า โดยมีอากาศยานหรือเรดาร์ในการฉายเป้า ดังภาพที่ ๒-๒๘



ภาพที่ ๒-๒๘ แสดง จรวดนำวิถีแบบ Semi-Active

### ๓.๕ จรวดควบคุมโดยการสั่งการ (Command Guidance Missile)

คือจรวดที่ถูกควบคุมโดยเรดาร์ หรือ เจ้าหน้าที่ ให้บินไปยังเป้า หรือ อาจยกเลิกการยิงได้โดยใช้คำสั่งทำลายตนเอง ดังภาพที่ ๒-๒๙



ภาพที่ ๒-๒๙ แสดง จรวดควบคุมโดยการสั่งการ

## บทที่ ๓

### บริภัณฑ์การภาพ (Pictorial Equipment)

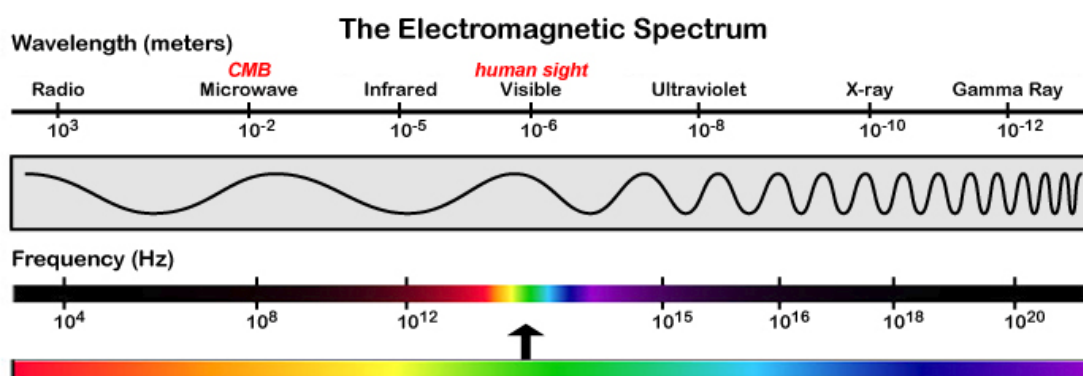
การถ่ายภาพมีประโยชน์และมีบทบาทเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของคนเราเพิ่มมากขึ้นทุกวัน โดยเฉพาะในยุคปัจจุบัน การถ่ายภาพไม่ได้เป็นเรื่องที่ยากอีกต่อไป เพราะผู้ผลิตกล้องได้พัฒนาให้กล้องถ่ายภาพมีขนาดเล็กลง ใช้งานง่ายขึ้น รวมทั้งมีอุปกรณ์ช่วยอำนวยความสะดวกอีกมากมาย โดยมนุษย์เราจะใช้การถ่ายภาพเป็นสื่อกลางในการถ่ายทอดเรื่องราวต่างๆ ออกมาในรูปแบบของภาพถ่ายเพื่อให้บุคคลอื่นๆ ได้เข้าใจในเหตุการณ์นั้น ๆ รวมทั้งยังใช้เพื่อการรักษาความปลอดภัย และความมั่นคงอีกด้วย

#### ทฤษฎีการมองเห็น

การมองเห็นสีของวัตถุเนื่องจากปัจจัย ๓ ประการ ได้แก่ แสงตกกระทบวัตถุ แสงจากวัตถุสะท้อนเข้าสู่เนยน์ตาหรือแสงทะลุผ่านวัตถุ และตัวสีที่อยู่ในวัตถุนั้น ซึ่งเกิดจากการดูดกลืนสีบางสีและขณะคายสีบางสีออกมากระทบเนยน์ตาเรา

#### ๑. แสง (Light)

เป็นจุดเริ่มต้นของการมองเห็น เพราะถ้าปราศจากแสง ก็จะไม่เห็นภาพใด ๆ ผลของแสงจะทำให้มนุษย์รับรู้สิ่งต่าง ๆ เช่น สี เส้น รูปร่าง รูปทรง น้ำหนัก พื้นผิว และที่สำคัญที่สุด ก็คือ แสงเป็นแหล่งกำเนิดของสี ที่นำไปสู่ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องมากมาย แสงและสี จะมีความสัมพันธ์กันตลอดเวลา การศึกษาเรื่องสี ต้องศึกษาเรื่องแสง โดยแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Wave) สามารถแบ่งเป็นแถบ (Electromagnetic Spectrum) ได้ตามภาพที่ ๓ - ๑ โดยแต่ละคลื่น จะมีความยาวคลื่นต่างกัน โดยคลื่นวิทยุมีความยาวที่สุด คือตั้งแต่ ๑ มิลลิเมตร จนถึง หลายกิโลเมตร และรังสีแกมมา มีความยาวน้อยที่สุด คือมีความยาวน้อยกว่า ๐.๑ นาโนเมตรตาของมนุษย์ สามารถรับรู้ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า อยู่ในช่วงแคบ ๆ คือ ช่วงระหว่าง ๓๘๐-๗๘๐ นาโนเมตร ซึ่งช่วงนี้เรียกว่า ช่วงคลื่นที่มองเห็นได้ (Visible Spectrum/Visible Light) หรือเรียกสั้น ๆ ว่า “แสงสีขาวหรือแสง” (Light) นั่นเอง แถบสเปกตรัมของแสงขาวประกอบด้วย แถบสีทั้งหมด ) คือ ม่วง คราม น้ำเงิน เขียว เหลือง ส้ม แดง แสงขาว หมายถึงแสงที่ฉายลงบนกระดาษสีขาว หรือวัตถุสีขาว แล้วยังคงเห็นวัตถุเป็นสีขาวดังเดิม แสงขาวประกอบด้วยสีทุกสีในสเปกตรัม ดังนั้นแสงขาวเมื่อผ่านอุปกรณ์ที่เหมาะสม เช่นปริซึม เกรตติง จะสามารถแยกได้เป็นแถบแสงสีม่วง น้ำเงิน เขียว เหลือง ส้ม และแดง เป็นแถบต่อเนื่องกันตามลำดับแหล่งกำเนิดแสงที่ให้แสงขาว เช่น แสงอาทิตย์ แสงจากหลอดไฟฟ้า เป็นต้น

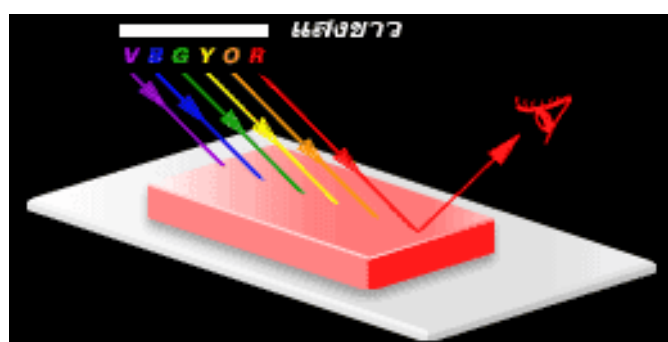


ภาพที่ ๓-๑ แสดง Electromagnetic Spectrum

ที่มา : <http://www.gcstudybuddy.com/using-word-documents/electromagnetic-spectrum>

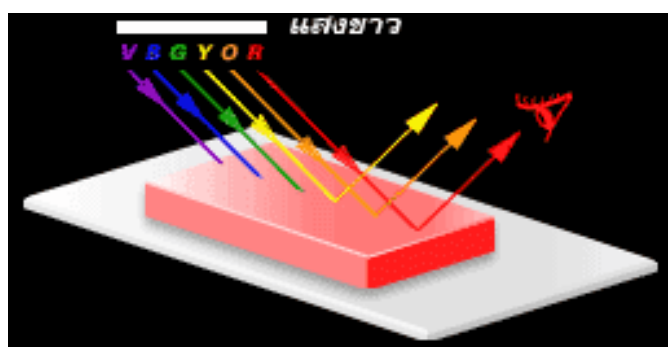
### ๑.๑ การมองเห็นสีของวัตถุทึบแสง

เมื่อมีแสงขาวมาตกกระทบ วัตถุทึบแสงสีต่างๆ แสงบางสีในแสงขาวจะถูก ตัวสีในวัตถุดูดกลืนไว้ แสงสีที่เหลือจะสะท้อน มาเข้าในตาเราทำให้เห็นสีของวัตถุ แสงที่สะท้อนออกมามีแสงเดียวหรือหลายสีแต่แสงที่ให้สีของวัตถุมีปริมาณมากที่สุด จะทำให้เราเห็นวัตถุเป็นสีนั้น หรือเห็นเป็นสีผสมของแสงหลายสีนั้น เช่นตัวอย่างการมองเห็นวัตถุสีต่างๆ



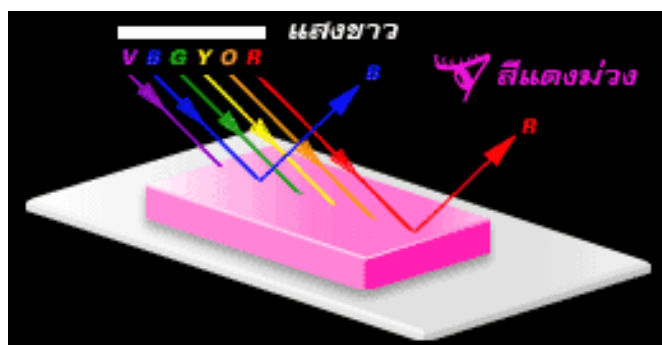
ภาพที่ ๓-๒ แสดง วัตถุสะท้อนแสงสีแดงเข้าสู่เนยน์ตา ทำให้เรามองเห็นวัตถุเป็นสีแดง

ที่มา : <http://physicsworld.nanacity.com/physicsworld/lesson/light8.htm>



ภาพที่ ๓-๓ แสดง วัตถุสะท้อนแสงสีแดงมากเข้าสู่เนยน์ตา ทำให้เรามองเห็นวัตถุเป็นสีแดง

ที่มา : <http://physicsworld.nanacity.com/physicsworld/lesson/light8.htm>



ภาพที่ ๓-๔ แสดง วัตถุสะท้อนแสงสีน้ำเงินสีแดงมากเข้าสู่เลนส์ตา ทำให้เรามองเห็นวัตถุเป็นสีแดงม่วง  
ที่มา : <http://physicsworld.nanacity.com/physicsworld/lesson/light8.htm>

## ๑.๒ การรับรู้ทางสายตา (Visual Perception)

การรับรู้ หมายถึง กระบวนการที่ร่างกายรับสัมผัสแล้วตีความของสิ่งนั้นโดยใช้ประสบการณ์เดิมช่วงในการตีความหมายของสิ่งนั้นๆออกมาเป็นสิ่งที่สามารถเข้าใจได้ การรับรู้สิ่งต่างๆ รอบตัวของมนุษย์มาจากการรับรู้ทางการมองเห็น (Visual perception) ประมาณ ๗๕% และจากการรับรู้ด้วยประสาทสัมผัสด้านอื่นๆ (Other perception) อีกประมาณ ๒๕% การรับรู้ทางการมองเห็นช่วยให้บุคคลรู้ว่าควรจะทำอะไร อย่างไรต่อสภาพแวดล้อมรอบตัว ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความสามารถด้านการเรียนรู้ และความสามารถด้านการวางแผนการเคลื่อนไหว ในส่วนของความสามารถด้านการรับรู้ทางสายตา (Visual perception) ไม่ได้มาจากความสามารถด้านการมองเห็นเพียงอย่างเดียว แต่มาจากการประมวลผลร่วมกันอย่างเป็นระบบกับการรับรู้ลึกในด้านอื่นๆ เช่น การรับสัมผัส การดมกลิ่น การได้ยินการรับรู้ทางสายตาจะสามารถเกิดขึ้นได้ต้องใช้ทั้งกระบวนการของการรับรู้ (Perception) และกระบวนการของความคิดความเข้าใจ (Cognition) เพื่อแปลความสามารถสิ่งที่มองเห็นร่วมกับประสบการณ์ที่เคยได้รับมาก่อน

## ๒. การเกิดภาพ (Image Formation)

ภาพ (image) เกิดจากการตัดกันหรือเสมือนตัดกันของรังสีของแสงสะท้อนมาจากกระจกหรือหักเหผ่านเลนส์

### ๒.๑ ลักษณะภาพที่เกิดขึ้น

๒.๑.๑ ภาพจริง (Real image) เกิดจากรังสีของแสงตัดกันจริง เกิดด้านหลังกระจกหรือเลนส์ ต้องมีฉากมารับจึงจะมองเห็นภาพ ลักษณะภาพหัวกลับกับวัตถุ มีทั้งขนาดใหญ่กว่าวัตถุ เท่ากับวัตถุ และเล็กกว่าวัตถุ ซึ่งขนาดภาพจะสัมพันธ์กับระยะวัตถุ เช่น ภาพที่ปรากฏบนจอภาพยนตร์ เป็นต้น

๒.๑.๒ ภาพเสมือน (Virtual image) เกิดจากรังสีของเสมือนตัดกันทำให้เกิดภาพด้านหน้ากระจกหรือเลนส์ มองเห็นภาพได้โดยไม่ต้องใช้ฉากรับภาพ ภาพมีลักษณะหัวตั้งเหมือนวัตถุ เช่น ภาพเกิดจากแว่นขยาย เป็นต้น

## ๒.๒ การเกิดภาพจากกระจกเงา

ภาพจากกระจกเงาเกิดจากการสะท้อนของแสงคือ เมื่อแสงจากวัตถุตกกระทบกระจกเงา แสงสะท้อนจากกระจกจะพบกัน ทำให้เกิดภาพของวัตถุขึ้น แบ่งออกได้ ๒ ลักษณะ ดังนี้

๒.๒.๑ ภาพจากกระจกเงาราบ เมื่อวางวัตถุไว้หน้ากระจกเงาราบ ภาพที่เกิดขึ้นในกระจกเงาราบจะเป็นภาพเสมือนหัวตั้งอยู่หลังกระจก มีระยะวัตถุเท่ากับระยะภาพ และขนาดของวัตถุเท่ากับขนาดของภาพ แต่มีลักษณะกลับด้านกันจากซ้ายเป็นขวาของวัตถุจริง

๒.๒.๒ ภาพจากกระจกเงาผิวโค้ง กระจกผิวโค้งซึ่งเป็นส่วนของวงกลมนั้นมี ๒ ชนิด คือ กระจกนูน และกระจกเว้า มีลักษณะการเกิดภาพ ๒ แบบ คือ

๒.๒.๒.๑ กระจกนูนเกิดภาพเสมือนหัวตั้ง ขนาดเล็กกว่าวัตถุ และภาพกลับข้างจากซ้ายเป็นขวา ถูกนำมาใช้ทำกระจกมองข้างและมองหลังของรถยนต์

๒.๒.๒.๒ เกิดภาพได้ทั้งภาพจริงและภาพเสมือน มีทั้งขนาดย่อและขยาย ขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างวัตถุกับกระจก ถูกนำมาประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์ให้หมอฟันใช้ส่องดูฟันในปากคนไข้

## ๒.๓ การเกิดภาพจากเลนส์

เลนส์ (lens) คือ วัตถุโปร่งใสผิวโค้งด้านหนึ่งหรือโค้งทั้งสองด้าน เมื่อแสงจากวัตถุหักเหผ่านเลนส์ก็จะทำให้เกิดภาพ จำแนกตามลักษณะได้ ๒ ชนิด

๒.๓.๑ เลนส์นูน มีลักษณะตรงขอบเลนส์บางกว่าตรงกลางเลนส์มีด้านโค้งนูนรับแสง มีหน้าที่รวมแสงให้ภาพได้ทั้งภาพจริงและภาพเสมือน ประโยชน์ใช้ทำแว่นตาสำหรับคนสายตายาว ใช้ทำแว่นขยาย เป็นส่วนประกอบของกล้อง เมื่อนำเลนส์นูนไปปรับแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นแสงขนานแบบหนึ่ง จะเกิดเป็นจุดสว่างด้านหลังเลนส์เรียกว่า “จุดรวมแสงหรือจุดโฟกัส” โดยระยะห่างจากจุดรวมแสงถึงเลนส์เรียกว่า “ความยาวโฟกัส” เมื่อวางวัตถุไว้ที่ระยะสั้นกว่าความยาวโฟกัสของเลนส์นูน จะเกิดภาพเสมือนขนาดขยาย ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการทำทัศนูปกรณ์ต่าง ๆ

๒.๓.๒ เลนส์เว้า มีลักษณะตรงกลางเลนส์บางตรงขอบของเลนส์นอกริเวณด้านโค้งเว้ารับแสง มีหน้าที่กระจายแสง ให้ภาพเสมือนเท่านั้น ประโยชน์ใช้ทำแว่นตาสำหรับคนสายตาสั้น เลนส์เว้าซึ่งเป็นเลนส์กระจายแสงเมื่อนำเลนส์เว้าไปปรับแสงขนาน จะพบว่าแสงขนานนั้นจะกระจายออกจากจุดจุดหนึ่ง โดยถ้าลากเส้นต่อแนวรังสีที่กระจายออกนั้นให้ยาวขึ้น แนวรังสีนี้จะตัดกันที่จุดดังกล่าวและเรียกจุดนี้ว่า “จุดโฟกัสของเลนส์เว้า”

### กล้อง

กล้องถ่ายภาพ หรือ กล้องถ่ายรูป เป็นอุปกรณ์บันทึกแสงที่สะท้อนจากวัตถุผ่านเลนส์ของกล้อง เป็นการจำลองภาพทางแสงให้บันทึกลงบนวัสดุไวแสง (ฟิล์มถ่ายภาพประเภทต่าง ๆ และ/หรือตัวรับภาพ (Image Sensor) บันทึกเป็นภาพแฝงบนวัสดุไวแสง ก่อนนำไปผ่านกระบวนการล้างให้เป็นภาพถ่ายถาวร

## ๑. ชนิดของกล้อง

กล้องถ่ายภาพ นับเป็นเครื่องมือสำคัญชิ้นหนึ่งที่มีวิวัฒนาการมาจาก "กล้อง ออบสคูรา" (Obscura) ที่มีลักษณะเป็นกล้องมืด (Dark room) และได้รับการพัฒนาเรื่อยๆ โดยผู้ที่มีความรู้ความชำนาญ ซึ่งกล้องปัจจุบันนี้สามารถแบ่งเป็นประเภทต่างๆ ได้ ดังนี้

### ๑.๑ กล้องบ็อกซ์ (Box Camera)

เป็นกล้องที่ไม่มีกลไกสลับซับซ้อน มีขนาดรูรับแสงคงที่ อาจเป็น ๘ หรือ ๑๑ อันได้อันหนึ่ง และมีความเร็วชัตเตอร์เดี่ยวปกติประมาณ ๑/๖๐ กล้องชนิดนี้ให้ระยะชัดตั้งแต่ ๖ ฟุตขึ้นไปจนถึงไกลที่สุด ขนาดของฟิล์มที่ใช้กับกล้องชนิดนี้อาจเป็นฟิล์มขนาด ๑๒๐, ๑๒๗ และ ๖๒๐ บางชนิดอาจใช้ฟิล์มขนาด ๑๒๖ ก็ได้ อย่างไรก็ตามกล้องชนิดนี้ถ่ายรูปได้ดีในสภาพที่มีแสงเพียงพอ



ภาพที่ ๓-๕ แสดง กล้องบ็อกซ์ (Box Camera)

ที่มา : <http://www.atom.rmutphysics.com/charud/oldnews/235/camera1/content2.html>

### ๑.๒ กล้องพับ (Folding Camera)

เป็นกล้องที่มีห้องมืดชนิดพับระหว่างตัวกล้องกับเลนส์ สามารถพับ เท็บ หรือยืดออกมาได้นอกจากนั้นกล้องชนิดนี้ยังเพิ่มขนาดของรูรับแสง และสามารถปรับเปลี่ยนความเร็วของชัตเตอร์ได้หลายระดับมากยิ่งขึ้น และอาจใช้กับไฟแฟลชอีกด้วย ฟิล์มที่ใช้อาจมีขนาดต่างๆ เช่น ๑๒๐, ๑๒๗ และ ๖๒๐ เป็นต้น



ภาพที่ ๓-๖ แสดง กล้องพับ (Folding Camera)

ที่มา : <http://www.atom.rmutphysics.com/charud/oldnews/235/camera1/content2.html>

### ๑.๓ กล้องรีเฟล็กซ์ (Reflex Camera)

กล้องชนิดนี้แบ่งออกเป็น ๒ แบบ คือ

๑.๓.๑ แบบเลนส์คู่ (Twin Lens Reflex) บางครั้งอาจเรียกว่ากล้อง TLR ซึ่งเคยได้รับความนิยมมากในสมัยก่อน กล้องชนิดนี้มีเลนส์ ๒ ตัว เลนส์ตัวบนทำหน้าที่สะท้อนภาพเข้าสู่ช่องมองภาพซึ่งมีกระจกเป็นตัวสะท้อน ทำให้ผู้ถ่ายรูมมองเห็นวัตถุที่จะถ่ายได้ ส่วนเลนส์ตัวล่างทำหน้าที่รับแสง เพื่อส่องผ่านไปยังฟิล์ม กล้องรีเฟล็กซ์เลนส์คู่นี้ได้รวมเอาข้อดีของกล้องใหญ่ (View Camera) และกล้องเรนจ์ไฟเตอร์ (Range finder) เข้าด้วยกัน โดยเฉพาะสามารถมองภาพจากข้างบนกล้องได้ โดยลดกล้องให้ต่ำลง แล้วมองภาพจากช่องมองได้สะดวกสบาย อย่างไรก็ตามกล้องชนิดนี้ก็มีข้อเสียเนื่องจากใช้เลนส์ ๒ ตัว ตั้งอยู่ในแนวตั้งซึ่งกันและกัน ดังนั้นภาพที่มองเห็นจากเลนส์ตัวบน อาจจะไม่เหมือนกันกับภาพที่ถ่าย ซึ่งเรียกว่าเกิดอาการผิดเพี้ยนจากการตัดส่วนของภาพ (Parallax) ยิ่งเป็นการถ่ายรูปใกล้ๆ บางส่วนของภาพจะถูกตัดออกไป แม้ว่าเวลามองที่ช่องมองภาพนั้นเป็นภาพสมบุรณ์ก็ตาม อีกประการหนึ่งภาพที่เห็นที่ช่องมองภาพจะกลับซ้ายเป็นขวาเสมอ นอกจากนี้ กล้องชนิดนี้ส่วนมากจะเปลี่ยนเลนส์ไม่ได้ จึงเป็นข้อเสียเปรียบเช่นกัน ฟิล์มที่ใช้อาจมีขนาด ๑๒๐, ๒๒๐ หรือ ๓๕ มม. ก็ได้



ภาพที่ ๓-๗ แสดง แบบเลนส์คู่ (Twin Lens Reflex)

ที่มา : <http://www.atom.rmutphysics.com/charud/oldnews/235/camera1/content2.html>

๑.๓.๒ แบบเลนส์เดี่ยว (Single Len Reflex) หรือเรียกว่า SLR ซึ่งเป็นที่ได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน เพราะสะดวกและง่ายต่อการประกอบภาพ นอกจากนั้น ยังมีอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ร่วมกันได้มากมาย กล้องชนิดนี้สามารถถอดเปลี่ยนเลนส์ได้ และไม่มีอาการผิดเพี้ยนจากการตัดส่วนของภาพ (Parallax) เลย เพราะใช้เลนส์ตัวเดียวทำหน้าที่ทั้งมองภาพ หาระยะชัด และบันทึกภาพ อย่างไรก็ตามกล้องชนิดนี้ก็มีข้อเสียเปรียบ คือ อาจจะชำรุดได้ง่ายเพราะการกระดกขึ้นลง ของกระจก 45 องศา อีกประการหนึ่ง เมื่อกดชัตเตอร์จะมีเสียงดังมาก อาจทำให้เกิดการรบกวนได้ โดยเฉพาะถ้านำไปถ่ายรูปสัตว์ อาจทำให้สัตว์ตื่นตระหนกตกใจได้ นอกจากนั้นเมื่อถ่ายรูปในที่ๆ มีแสงน้อย อาจทำให้การมองภาพที่ช่องมองไม่ชัดเจน เพราะมีการสะท้อนหลายครั้งที่กระจกและปริซึมภายในตัวกล้อง ทำให้ความเข้มของแสงลดลงไปได้ กล้องรีเฟล็กซ์เลนส์เดี่ยวส่วนมากใช้ระบบชัตเตอร์ม่านจึงทำให้ใช้ความเร็วของชัตเตอร์ได้สูงมาก การเปลี่ยนขนาดของรูรับแสงก็มีมาก ฟิล์มที่ใช้กับกล้องชนิดนี้มีเบอร์ ๑๓๕, ๑๒๖, ๑๒๐, ๒๒๐ และ ๑๑๐ ซึ่งสนองความต้องการของผู้ใช้ได้มาก





ภาพที่ ๓-๘ แสดง แบบเลนส์เดี่ยว (Single Len Reflex)

ที่มา : <http://www.atom.rmutphysics.com/charud/oldnews/235/camera1/content2.html>

#### ๑.๔ กล้องเล็ก (Miniature Camera)

กล้องเล็ก (Miniature Camera) หรือ กล้องวิวไฟเตอร์ (View finder) บางคนก็เรียกว่า เรนจ์ไฟเตอร์ (Range Finder) หรือเรียกว่า กล้อง ๓๕ มม. มาตรฐาน (๓๕ mm. Standard Camera) เพราะใช้กับฟิล์มขนาดมาตรฐาน คือ ๓๕ มม. กล้องชนิดนี้เหมาะที่สุดสำหรับนักถ่ายภาพสมัครเล่น เพราะออกแบบเพื่อให้สะดวกสบายในการจับถือ มีทั้งชนิดที่ต้องปรับแต่ง และไม่ปรับแต่ง ความชัด ความเร็วชัตเตอร์และขนาดของรูรับแสง กล้องชนิดนี้มีลักษณะกะทัดรัด ใช้ง่าย ราคาไม่แพงนัก อย่างไรก็ตามก็มีข้อเสียคือภาพถ่ายอาจเกิดอาการผิดเพี้ยนจากการตัดส่วนของภาพ (Parallax) ได้ถ้าถ่ายรูปใกล้กว่า ๓ ฟุต เนื่องจากหน้าต่างหาระยะชัดของภาพตั้งอยู่คนละแห่งกับเลนส์ คือจะอยู่เหนือเลนส์ถ่ายรูปเล็กน้อย ในปัจจุบันกล้องชนิดนี้ได้พัฒนาให้เปลี่ยนเลนส์ได้ และมีอุปกรณ์อื่นๆ ประกอบมากมายจึงทำให้มีผู้นิยมกล้องชนิดนี้อยู่พอสมควร



ภาพที่ ๓-๙ แสดง กล้องเล็ก (Miniature Camera)

ที่มา : <http://www.atom.rmutphysics.com/charud/oldnews/235/camera1/content2.html>

### ๑.๕ กล้องเล็กพิเศษ (Ultra-Miniature Camera)

กล้องเล็กพิเศษ (Ultra-Miniature Camera) หรือกล้องน้กสืบ เป็นกล้องที่มีน้ำหนักเบามาก กะทัดรัด มีขนาดเล็ก สามารถพกติดตัวไปได้สะดวกสบาย และสามารถแอบซ่อนเพื่อบันทึกภาพในกรณีที่ไม่ให้ผู้ถูกถ่ายรูปลังเกตได้ กล้องชนิดนี้ปรับหน้ากล้องโดยอัตโนมัติ มีไฟแฟลชพร้อมในตัวกล้อง ใช้ฟิล์ม ๑๖ มม. และกลักเบอร์ ๑๑๐



ภาพที่ ๓-๑๐ แสดง กล้องเล็กพิเศษ (Ultra-Miniature Camera)

ที่มา : <http://www.atom.rmutphysics.com/charud/oldnews/235/camera1/content2.html>

### ๑.๖ กล้องหนังสือพิมพ์ (Press Camera)

เป็นกล้องที่ออกแบบใช้กับงานด้านหนังสือพิมพ์ ตัวกล้องมีขนาดใหญ่ ส่วนประกอบของกล้องคล้ายคลึงกับกล้องพับ คือมีเบลโล (Bellow) สามารถปรับยืดหยุ่นได้ตามต้องการ ปกติกล้องชนิดนี้ใช้กับฟิล์ม ๑๒๐ หรือฟิล์มแผ่นขนาด ๒ ๑/๔ x ๓ ๑/๔ นิ้ว และ ๔ x ๕ เนื่องจากกล้องมีน้ำหนักมาก ดังนั้น นักข่าวหนังสือพิมพ์และนิตยสารในปัจจุบันจึงหันมาใช้กล้องแบบสะท้อนเลนส์เดี่ยวแทน



ภาพที่ ๓-๑๑ แสดง กล้องหนังสือพิมพ์ (Press Camera)

ที่มา : <http://www.atom.rmutphysics.com/charud/oldnews/235/camera1/content2.html>

### ๑.๗ กล้องใหญ่ (Studio Camera)

บางครั้งเรียกว่ากล้องวิว (View Camera) เป็นกล้องที่นิยมใช้ตามร้านถ่ายรูปเพื่อธุรกิจการค้า กล้องชนิดนี้มีขนาดใหญ่โตมีน้ำหนักมากจึงไม่เหมาะที่จะนำไปใช้งานภายนอกห้องถ่ายรูป และในการใช้กล้องจำเป็นต้องมีขาตั้ง (Tripod) รองรับตัวกล้อง ฟิล์มที่ใช้กับกล้องชนิดนี้เป็นฟิล์มแผ่นมีขนาดต่างๆ เช่น ๒x๓ นิ้ว ๕x๗ นิ้ว ๘x๑๐ นิ้ว และ ๑๑x๑๔ นิ้ว เมื่อถ่ายรูปเสร็จสามารถถอดฟิล์มออกได้ทันที ข้อดีของกล้องชนิดนี้คือ จะไม่เกิดอาการผิดเพี้ยนจากการตัดส่วนของภาพ (Parallax) และยังสามารถมองเห็นภาพที่ช่องมองได้อย่างดี เพราะที่มองมีขนาดใหญ่ ทำให้เห็นรายละเอียดของภาพที่จะบันทึกนั้นได้ดี เนื่องจากมีกระจกขยายอันเป็นส่วนประกอบในช่องมองภาพ นอกจากนี้ยังสามารถปรับมุมของภาพได้ตามต้องการ อย่างไรก็ตามกล้องชนิดนี้ก็มีข้อเสียเปรียบคือ ภาพที่เกิดขึ้นที่ช่องมองภาพนั้นจะมีลักษณะหัวกลับและกลับซ้ายขวา อีกทั้งภาพจะไม่ชัดจน ดังนั้นผู้ถ่ายรูปต้องใช้ผ้าสีดำคลุมข้างหลังกล้องบนช่องมองภาพ และคลุมศีรษะผู้ใช้ให้สามารถมองเห็นภาพได้ชัดเจนในขณะที่ปรับความคมชัด



ภาพที่ ๓-๑๒ แสดง กล้องใหญ่ (Studio Camera)

ที่มา : <http://www.atom.rmutphysics.com/charud/oldnews/235/camera1/content2.html>

## ๑.๘ กล้องถ่ายรูปที่สร้างขึ้น เพื่อวัตถุประสงค์พิเศษ

๑.๘.๑ กล้องถ่ายรูปแบบสเตอริโอ (Stereo Camera) หรือเรียกว่ากล้องถ่ายรูปสามมิติ (Three Dimension Camera) เป็นกล้องที่ออกแบบมาเพื่อถ่ายรูปสามมิติ ในตัวกล้องจะมีเลนส์ ๒ ตัว เมื่อถ่ายรูปจะได้ ๒ ภาพ ซึ่งภาพแรกเป็นภาพที่ตาข้างขวามองเห็น และภาพที่ ๒ เป็นภาพที่ตาข้างซ้ายมองเห็น ดังนั้นภาพทั้งสองจึงมีความแตกต่างกันเล็กน้อย ในเวลาที่ดูภาพลักษณะนี้ต้องใช้เครื่องดูภาพพิเศษ จึงจะทำให้เห็นภาพ ๓ มิติได้อย่างชัดเจน



ภาพที่ ๓-๑๓ แสดง กล้องถ่ายรูปแบบสเตอริโอ (Stereo Camera)

ที่มา : <http://www.atom.rmutphysics.com/charud/oldnews/235/camera1/content2.html>

๑.๘.๒ กล้องถ่ายรูปโพลารอยด์ (Polaroid Camera) เป็นกล้องถ่ายรูปที่เมื่อถ่ายเสร็จจะได้ภาพทันที เพราะมีกระบวนการล้างอัดอยู่ในตัวฟิล์ม สร้างภาพภายในเวลาเพียง ๒-๓ นาทีเท่านั้น ภาพที่จะเป็นภาพโพสิทีฟ (Positive) กล้องชนิดนี้เหมาะในการทำงานที่ต้องการความรวดเร็วรีบด่วน และเฟื่องงานบางอย่างเท่านั้น ข้อเสียก็คือฟิล์มที่ใช้กับกล้องชนิดนี้มีราคาค่อนข้างสูง และภาพที่ได้ไม่มีความคงทนเก็บไว้ได้ไม่นานเหมือนขบวนการถ่ายรูปทั่วไป



ภาพที่ ๓-๑๔ แสดง กล้องถ่ายรูปโพลารอยด์ (Polaroid Camera)

ที่มา : <http://www.atom.rmutphysics.com/charud/oldnews/235/camera1/content2.html>

๑.๘.๓ กล้องถ่ายรูปทางอากาศ (Aerial Camera) เป็นกล้องที่ออกแบบมาใช้งานเฉพาะการถ่ายรูปทางอากาศเท่านั้น มีน้ำหนักมาก ใช้ติดตั้งกับเครื่องบิน หรือยานอวกาศเพื่อการถ่ายรูปสำรวจหรือทำแผนที่ต่างๆ ส่วนประกอบของกล้องชนิดนี้ถูกออกแบบพิเศษมาเพื่อใช้งานเฉพาะ จึงไม่สามารถที่จะนำมาใช้ในงานอื่นๆ ได้



ภาพที่ ๓-๑๕ แสดง กล้องถ่ายรูปทางอากาศ (Aerial Camera)

ที่มา: <http://www.atom.rmutphysics.com/charud/oldnews/235/camera1/content2.html>

๑.๘.๔ กล้องถ่ายรูปใต้น้ำ (Under Water Camera) เป็นกล้องที่ออกแบบมาเพื่อใช้ถ่ายรูปใต้น้ำโดยเฉพาะ ตัวกล้องบรรจุอยู่ในกล่องที่แข็งแรงกันน้ำเข้า และทนต่อแรงดันของน้ำ การควบคุมเพื่อให้กล้องทำงานนั้นมีปุ่มควบคุมอยู่ภายนอกกล่องบรรจุ



ภาพที่ ๓-๑๖ แสดง กล้องถ่ายรูปใต้น้ำ (Under Water Camera)

ที่มา: <http://www.atom.rmutphysics.com/charud/oldnews/235/camera1/content2.html>

๑.๘.๕ กล้องถ่ายรูปจากกล้องจุลทรรศน์ (Photo micrographic Camera) เป็นกล้องที่ออกแบบพิเศษ สำหรับงานที่ต้องการถ่ายรูปขยายตั้งแต่ ๓๐:๑ ถึง ๑๐๐๐:๑ ตัวกล้องจะต่อเข้ากับกล้องจุลทรรศน์ สามารถถ่ายรูปได้ตามต้องการ



ภาพที่ ๓-๑๗ แสดง กล้องถ่ายรูปจากกล้องจุลทรรศน์ (Photo micrographic Camera)  
ที่มา: <http://www.atom.rmutphysics.com/charud/oldnews/235/camera1/content2.html>

๑.๘.๖ กล้องรีโพร (Repro-Camera) เป็นกล้องที่ออกแบบเพื่อใช้กับงานการพิมพ์เพื่อถ่ายรูปลายเส้น ภาพแยกสีและพวกฮาล์ฟโทนต่างๆ ซึ่งวัสดุต้นแบบอาจเป็นพวกภาพถ่ายหรือภาพวาดก็ได้หากแต่ต้องมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ



ภาพที่ ๓-๑๘ แสดง กล้องรีโพร (Repro-Camera)  
ที่มา: <http://www.atom.rmutphysics.com/charud/oldnews/235/camera1/content2.html>

๑.๘.๗ กล้องถ่ายภาพความเร็วสูง (High Speed Camera) เป็นกล้องที่ออกแบบมาเพื่อใช้กับงานถ่ายภาพนิ่ง ที่ต้องการถ่ายวัตถุที่เคลื่อนที่อย่างรวดเร็วมาก ซึ่งกล้องธรรมดาไม่สามารถถ่ายได้ กล้องชนิดนี้มีความไวของชัตเตอร์สูงมาก อาจใช้ถ่ายรูปลูกปืนหรือลูกธนูที่กำลังเข้าหาเป้าได้



ภาพที่ ๓-๑๙ แสดง กล้องถ่ายภาพความเร็วสูง (High Speed Camera)

ที่มา: <http://www.atom.mutphysics.com/charud/oldnews/235/camera1/content2.html>

๑.๘.๘ กล้องถ่ายภาพสำหรับผลิตภาพขนาดเล็ก (Microphotography Camera) เป็นกล้องถ่ายภาพที่ออกแบบมาเพื่อใช้ถ่ายภาพขนาดไม่เล็กกว่า  $1/10$  ของวัตถุต้นฉบับ ดังนั้นจึงเหมาะที่จะนำมาถ่ายภาพวาดวงจรอิเล็กทรอนิกส์และวงจรไฟฟ้าต่าง ๆ



ภาพที่ ๓-๒๐ แสดง กล้องถ่ายภาพสำหรับผลิตภาพขนาดเล็ก (Microphotography Camera)

ที่มา: <http://www.atom.mutphysics.com/charud/oldnews/235/camera1/content2.html>

๑.๘.๙ กล้องพานอรามา (Panoramic Camera) เป็นกล้องที่ออกแบบเพื่อถ่ายรูปที่มีมุมของวิวกว้างประมาณเกือบ ๑๔๐ องศา โดยที่สัดส่วนของภาพที่ได้ไม่ผิดเพี้ยนเหมือนการใช้เลนส์ตาปลา กล้องชนิดนี้นำมาใช้ถ่ายรูปหมู่ที่มีจำนวนคนมากๆ นั่งเรียงแถวกัน ซึ่งกล้องธรรมดาไม่สามารถบันทึกภาพให้มีสัดส่วนเหมือนจริงได้ การทำงานของกล้องชนิดนี้มีเลนส์ที่หมุนรอบแนวตั้ง โดยแสงจะผ่านเลนส์ แล้วหักเหผ่านช่องแคบที่หมุนตามเลนส์ไปตกลงบนฟิล์มที่มีลักษณะโค้งอยู่ด้านหลังของกล้อง ทำให้การบันทึกภาพออกมาดูเป็นภาพที่มีลักษณะยาวในแนวระดับ



ภาพที่ ๓-๒๑ แสดง กล้องพานอรามา (Panoramic Camera)

ที่มา:<http://www.atom.mutphysics.com/charud/oldnews/235/camera1/content2.html>

๑.๘.๑๐ กล้องถ่ายรูปแบบจาน (Disk Camera) เป็นกล้องถ่ายรูปที่บันทึกภาพลงบนแผ่นแม่เหล็กแทนการบันทึกลงบนฟิล์มถ่ายรูป เมื่อต้องการดูภาพก็สอดแผ่นแม่เหล็กลงในเครื่อง จะทำให้เห็นภาพบนจอโทรทัศน์ ซึ่งเป็นภาพนิ่งและสามารถพิมพ์เป็นแผ่นได้ นอกจากนี้กล้องชนิดนี้ยังนำไปใช้กับการส่งภาพถ่ายเหตุการณ์ จากจุดหนึ่งเข้ายังโรงพิมพ์เพื่อพิมพ์ภาพข่าวลงในหนังสือพิมพ์ โดยส่งภาพไปตามสายโทรศัพท์ได้ ในปัจจุบันนี้ผู้ผลิตได้คิดค้นและออกแบบให้กล้องถ่ายรูปมีลักษณะการใช้ง่าย สะดวกสบาย และใช้ได้อย่างรวดเร็ว โดยผู้ใช้อาจไม่ต้องมีความรู้ในด้านการถ่ายภาพมากมาย ก็สามารถใช้กล้องได้อย่างดีบันทึกภาพได้ตามต้องการและภาพมีคุณภาพ



ภาพที่ ๓-๒๒ แสดง กล้องถ่ายรูปแบบจาน (Disk Camera)

ที่มา:<http://www.atom.mutphysics.com/charud/oldnews/235/camera1/content2.html>



ดังนั้นกล้องจึงทำงานแบบอัตโนมัติในการปรับหน้ากล้องปรับระดับชัตเตอร์ตามสภาพของแสงที่ถ่าย กล้องอัตโนมัติบางชนิดสามารถบอกวัน เดือน ปี หรือแม้กระทั่งเวลาในการบันทึกภาพนั้นๆ ด้วย กล้องชนิดนี้เหมาะมากสำหรับการนำมาใช้ เพื่อเก็บข้อมูลทางสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์ นอกจากนี้จะบอกรายละเอียดต่างๆ ดังกล่าวแล้วยังใช้งานง่าย สะดวก รวดเร็ว ถ้าแสงไม่พอที่จะพอที่จะถ่ายรูปก็สามารถเปิดไฟแฟลชได้โดยอัตโนมัติอีกด้วย

### ๑.๙ กล้องดิจิทัล (Digital camera)

เมื่อเทคโนโลยีการถ่ายภาพได้พัฒนาอย่างไม่หยุดนิ่ง พร้อมกันนั้นเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ก็มีความก้าวหน้าเช่นกัน จึงได้มีผู้คิดค้นกล้องถ่ายภาพที่สามารถใช้งานร่วมกับคอมพิวเตอร์ ที่เรียกว่า กล้องดิจิทัล (Digital Camera) ที่ถ่ายภาพโดยไม่ต้องใช้ฟิล์ม ไม่ต้องผ่านกระบวนการล้างอัด ขยายภาพ การบันทึกภาพจะบันทึกในรูปแบบของหน่วยความจำแบบดิจิทัล หรือบันทึกลงในแผ่นดิสก์เก็ตหรือ ซีดีรอม บางรุ่นสามารถบันทึกภาพได้ละเอียดถึง 6 ล้าน Pixel ช่องมองภาพจะเป็นจอภาพแบบ LCD หรือจอคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก สามารถพิมพ์ภาพออกทางเครื่องพิมพ์ (Printer) สามารถผลิตได้ทั้งภาพสี ภาพขาว ดำ สไลด์สี บางรุ่นสามารถบันทึกวีดิทัศน์ (Video) ได้ในตัว และสามารถแสดงผลทางจอภาพ ของเครื่องคอมพิวเตอร์ ตกแต่งและสร้างสรรค์ภาพด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์กราฟิก เช่น Adobe PhotoShop สามารถเผยแพร่ภาพทางอินเทอร์เน็ต หรือส่งทาง Email ได้ ปัจจุบันกล้องชนิดนี้ได้รับความนิยมอย่างมาก บริษัทผลิตกล้องถ่ายภาพหลายบริษัทได้หันมาพัฒนาเทคโนโลยีกล้องดิจิทัลมากขึ้น



ภาพที่ ๓-๒๓ แสดง กล้องดิจิทัล (Digital Camera)

ที่มา: <http://www.atom.mutphysics.com/charud/oldnews/235/camera1/content2.html>

## ๒. ส่วนประกอบของกล้อง

ส่วนประกอบที่สำคัญของกล้องถ่ายรูปกล้องถ่ายรูปที่นิยมมากในปัจจุบัน แม้จะมีความสามารถ และคุณลักษณะแตกต่างกันบ้าง แต่ส่วนใหญ่จะมีส่วนประกอบ คล้ายคลึงกันคือ

**๒.๑ ตัวกล้อง (Body)** ทำหน้าที่เป็นห้องมืด ป้องกันแสงภายนอกเข้าไปถูกฟิล์มที่บรรจุอยู่ภายในและเป็นที่ยึดส่วนประกอบ ตลอดจนอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ช่วยในการถ่ายรูป

**๒.๒ เลนส์ (Lens)** ทำหน้าที่รับแสงสะท้อนจากวัตถุ ส่งไปยังฟิล์มที่บรรจุอยู่ในตัวกล้อง ฟิล์มจะบันทึกภาพเอาไว้ กล้องบางชนิดสามารถถอด เปลี่ยนเลนส์ได้ตามความต้องการ เช่น กล้องประเภท SLR (Single len Reflex) หรือเรียกว่ากล้องสะท้อนเลนส์เดี่ยว เลนส์จะผ่นึกอยู่ข้างหน้าตัวกล้อง ซึ่งมีขนาด ความยาวโฟกัสแตกต่างกัน เช่น ๕๐ มม. ๓๕ มม. ๑๐๕ มม. เป็นต้น

**๒.๓ ช่องมองภาพ (View Finder)** ปกติช่องมองภาพจะอยู่ด้านหลังของตัวกล้องเป็นจอมมองภาพ เพื่อช่วยในการประกอบ และจัดองค์ประกอบของภาพ ให้มีความสวยงามตามหลักของศิลปะการถ่ายรูป

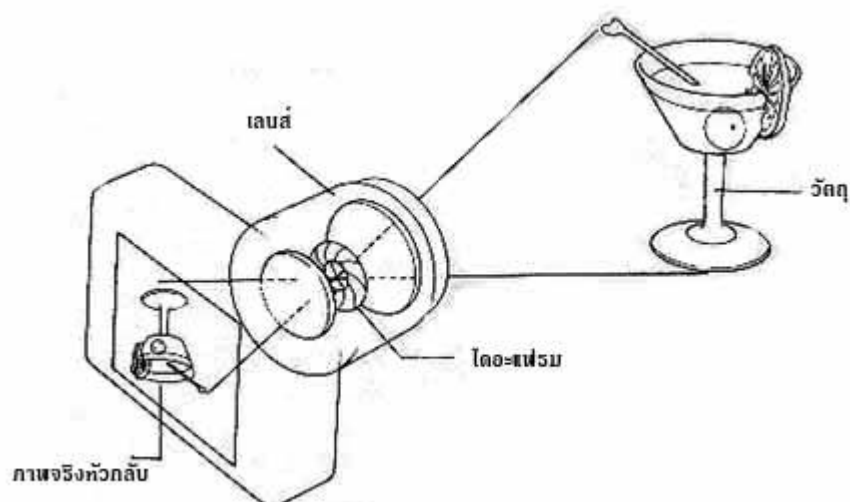
**๒.๔ ชัตเตอร์ (Shutter)** ทำหน้าที่ควบคุมเวลาฉายแสง (Exposure Time) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ความไวของชัตเตอร์ (Shutter Speed)

**๒.๕ แผ่นไดอะแฟรม (Diaphram)** ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณความเข้มของการส่องสว่างของแสงที่ตกลงบนแผ่นฟิล์ม มีลักษณะเป็นแผ่นโลหะบาง ๆ หลาย ๆ แผ่นซ้อนเหลื่อมกันอยู่

**๒.๖ รูรับแสง (Aperture)** เป็นรูเปิดของแผ่นไดอะแฟรมให้มีขนาดต่าง ๆ ตามต้องการ เช่น เมื่อต้องการให้แสงเข้ามาาก็เปิดรูรับแสงให้มีขนาดใหญ่ และทางตรงกันข้าม ถ้าต้องการปริมาณแสงเข้าไปถูกฟิล์มน้อยก็เปิดรูให้เล็กลง การเปิดขนาดของรูรับแสงแตกต่างกันนี้มีตัวเลขกำหนดเอาไว้ ซึ่งตัวเลขนี้จะเป็นวงแหวน ติดอยู่ที่ตัวเลนส์เรียกตัวเลขต่าง ๆ ว่าเอฟสตอป (F-Stop) หรือ เอฟนัมเบอร์ (F-Number) นอกจากส่วนประกอบที่สำคัญ ๆ ของกล้องถ่ายรูปดังกล่าวแล้ว ผู้ใช้ควรจะต้องศึกษาปุ่มปรับและควบคุมต่าง ๆ ที่อยู่บนกล้องถ่ายรูป

### ๓. หลักการทำงานของกล้องถ่ายภาพ

**๓.๑** หลักการทำงานของกล้องถ่ายภาพ คือ การที่แสงสะท้อนจากวัตถุเดินทางเป็นเส้นตรงผ่านช่องเล็กๆ ของกล้องสี่เหลี่ยม เกิดภาพของวัตถุนบนฉากรองรับด้านตรงกันข้ามเป็นภาพหัวกลับ อันเป็นหลักการของการสร้างกล้องรูเข็มในสมัยโบราณ ปัจจุบัน กล้องถ่ายภาพได้พัฒนามาโดยลำดับ เช่น มีการนำเอาเลนส์นูนไปติดตั้งที่ช่องรับแสงที่มีขนาดเล็ก เพื่อช่วยรวมแสงให้เข้าไปในตัวกล้องให้มากขึ้น ทางด้านตรงกันข้ามของเลนส์เป็นตำแหน่งที่ตั้งวัสดุไวแสงหรือฟิล์ม สามารถปรับตัวเลนส์เพื่อให้เกิดภาพที่ชัดเจนบนฟิล์มได้ มีการติดตั้งไดอะแฟรมปรับให้เกิดช่องรับแสงขนาดต่างๆ รวมทั้งมีส่วนที่เรียกว่าชัตเตอร์ ทำหน้าที่ควบคุมเวลาในการเปิด-ปิด ม่าน เพื่อให้ปริมาณแสงตกกระทบกับฟิล์มตามความเหมาะสม และยังมีช่องเล็งภาพเพื่อช่วยในการจัดองค์ประกอบของภาพถ่ายให้เกิดความสวยงาม



ภาพที่ ๓-๒๔ แสดง การทำงานของกล้อง

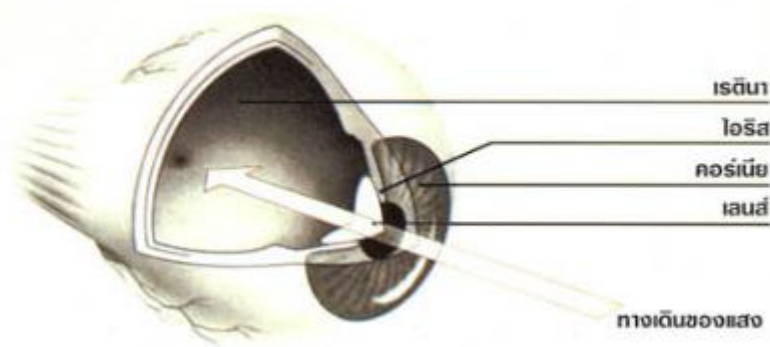
ที่มา : <http://physicsworld.nanacity.com/physicsworld/lesson/light8.htm>

### ๓.๒ ดวงตามนุษย์กับกล้องถ่ายภาพ

ส่วนประกอบและการทำงานของดวงตามนุษย์กับกล้องถ่ายภาพจะมีลักษณะคล้ายคลึงกัน โดยมีส่วนสำคัญแบ่งได้เป็น ๒ ส่วนคือ

๓.๒.๑ ส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดภาพ ทั้งดวงตาและกล้องถ่ายภาพจะมีส่วนที่เป็นเลนส์ ในดวงตาของมนุษย์ ก่อนที่แสงจะตกกระทบเลนส์ต้องผ่านชั้นของเยื่อที่เรียกว่าคอร์เนีย (Cornea) ทำหน้าที่ช่วยเลนส์ในการหักเหแสงให้ภาพตกลงบนจอตาพอดี เลนส์ของกล้องถ่ายภาพมีระบบกลไก เปิด-ปิด ให้แสงผ่านเข้าไปยังฉากหลังควบคุมเวลาด้วยชัตเตอร์ (Shutter) ส่วนดวงตาควบคุมด้วยหนังตา (Eyelid) ในส่วนหนึ่งของเลนส์ถ่ายภาพจะมีไดอะแฟรม (Diaphragm) สามารถปรับให้เกิดช่องรับแสง (Aperture) ขนาดต่างๆ เช่นเดียวกับดวงตาจะมีส่วนที่เรียกว่าม่านตา (Iris) ตรงกลางของม่านตาจะมีช่องกลมเรียกรูม่านตาหรือพิวพิล (Pupil) เป็นทางให้แสงผ่าน สามารถปรับให้มีขนาดต่างๆ กันโดยอัตโนมัติ เช่น ในที่ๆ มีแสงสว่างมากรูม่านตามจะปรับให้มีขนาดเล็ก ส่วนในที่ๆ มีแสงสลัวๆ รูม่านตาจะปรับให้มีขนาดกว้างขึ้น

๓.๒.๒ ส่วนที่ไวแสง ได้แก่ ส่วนที่เป็นฉากหลังในกล้องถ่ายภาพจะเป็นตำแหน่งที่ตั้งวัสดุไวแสง ได้แก่ ฟิล์มส่วนในดวงตา ได้แก่ จอตาเป็นฉากรับภาพ เรียกว่า เรตินา (Retina) ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานประสาท ประกอบด้วยเส้นประสาทไวต่อแสงและเชื่อมโยงไปยังส่วนที่ทำหน้าที่ในการรับรู้ความรู้สึกเกี่ยวกับการมองเห็น ทำให้ทราบถึงรูปร่าง ขนาด ลักษณะของพื้นผิว



ภาพที่ ๓-๒๕ แสดง การมองเห็นของมนุษย์

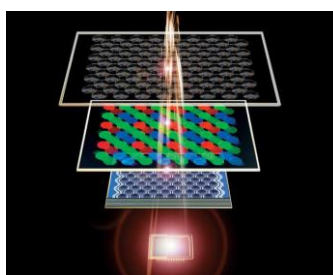
ที่มา : <http://physicsworld.nanacity.com/physicsworld/lesson/light8.htm>

## เซ็นเซอร์รับภาพแบบดิจิตอล (Digital Image Sensors)

ในสมัยก่อนยุคที่ยังใช้กล้องฟิล์มในการถ่ายภาพ คือการเปิดหน้าชัตเตอร์เพื่อให้แสงที่ผ่านจากเลนส์ตกกระทบลงไปที่แผ่นฟิล์มที่เคลือบสารไวแสงเอาไว้เพื่อให้ เกิดเป็นภาพขึ้นบนฟิล์ม ซึ่งฟิล์มแต่ละม้วนจะมีค่าความไวแสงคงที่ทุกภาพ แต่ปัจจุบันเมื่อเทคโนโลยีด้านการอิเล็กทรอนิกส์ และ เซมิคอนดักเตอร์ ได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดเป็นเซ็นเซอร์รับภาพขึ้น ซึ่งจุดนี้นับเป็นจุดเปลี่ยนแปลงครั้งสำคัญสำหรับวงการถ่ายภาพ เนื่องจากมีการนำตัว IMAGE SENSOR เข้ามาใส่ในกล้องถ่ายรูปแทนที่ฟิล์ม ทำให้เกิดเป็นกล้องดิจิตอลขึ้น

### ๑. ความหมายของเซ็นเซอร์รับภาพแบบดิจิตอล

DIGITAL IMAGE SENSOR เป็นชิปอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นจากเซลล์ไวแสงนับล้านชิ้นที่เรียกว่า Photosites หรือมักเรียกกันว่า พิกเซล (Pixel) ใน Photosites แต่ละตัวจะมีเลนส์รับภาพในตัวเองเพื่อทำหน้าที่บันทึกความเข้มของแสงสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน (RGB) ทาหน้าที่เปลี่ยนแสงที่ได้รับมาให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าและแปลงเป็นดิจิตอลอีกครั้งโดยเซ็นเซอร์นี้เป็นตัวบ่งบอกถึงความละเอียดของภาพที่จะได้ถ้าจำนวนพิกเซลมากก็ทำให้ภาพที่ได้มีความละเอียดมากขึ้นเมื่อนำไฟล์ภาพที่ได้ไปพิมพ์ภาพใหญ่ ก็จะได้ภาพที่มีความละเอียดมากขึ้นในทางตรงกันข้าม ถ้าความละเอียดของพิกเซลน้อย ก็ทำให้พิมพ์ภาพได้ในขนาดเล็กถ้าพิมพ์ภาพขนาดใหญ่ก็จะได้ภาพที่คมชัดน้อย



ภาพที่ ๓-๒๖ แสดงการเดินทางของแสงมายัง IMAGE SENSOR

ที่มา <http://www.bigcamera.co.th/triptrick/detail/59>

## ๒. หน้าที่ของDIGITAL IMAGE SENSOR

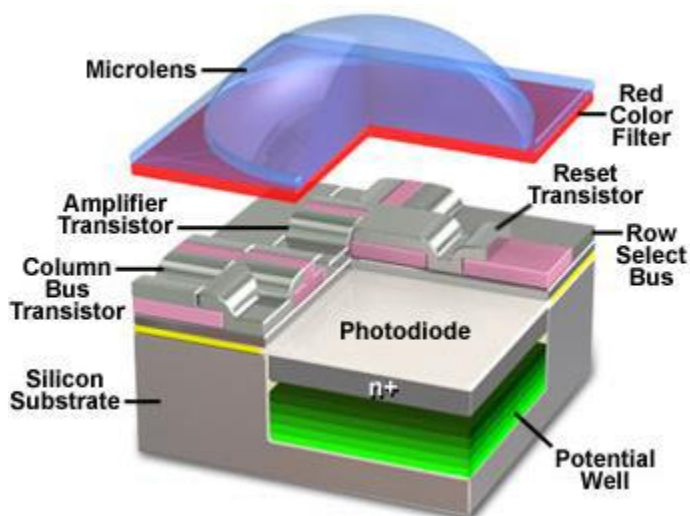
ในอดีตยุคที่ยังใช้กล้องฟิล์มในการถ่ายภาพการเปิดหน้าชัตเตอร์เพื่อให้แสงที่ผ่านจากเลนส์ตกกระทบลงไปที่แผ่นฟิล์มที่เคลือบสารไวแสงเอาไว้เพื่อให้เกิดเป็นภาพขึ้นบนฟิล์มซึ่งฟิล์มแต่ละม้วนจะมีค่าความไวแสง (International Organization for Standardization : ISO) ทุกภาพ แต่ปัจจุบันเมื่อเทคโนโลยีด้านการอิเล็กทรอนิกส์ และ เซมิคอนดักเตอร์ได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วทำให้เกิดเป็นเซ็นเซอร์รับภาพขึ้น (IMAGE SENSOR) ซึ่งจุดนี้นับเป็นจุดเปลี่ยนแปลงครั้งสำคัญสำหรับวงการถ่ายภาพเนื่องจากการนำตัว IMAGE SENSOR เข้ามาใส่ในกล้องถ่ายรูปแทนที่ฟิล์มทำให้เกิดเป็นกล้องดิจิตอลขึ้นDIGITAL IMAGE SENSORหรือ เซนเซอร์รับภาพ ก็เปรียบเสมือนแผ่นฟิล์มในยุคดิจิตอลนั่นเอง



ภาพที่ ๓-๒๗ แสดงการเปรียบเทียบการรับแสงระหว่างกล้องฟิล์มกับกล้องดิจิตอลและสายตามนุษย์  
ที่มา [http://dtv.mcot.net/mcot\\_one.php?dateone=1244772701](http://dtv.mcot.net/mcot_one.php?dateone=1244772701)

## ๓. Photosite

Digital image sensor มีลักษณะเป็นชิปอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งทามาจากซิลิกอนขนาดเล็กๆ หมายมาซึ่งภายในบรรจุไดโอดไวแสงที่เราเรียกว่า Photosite วางเรียงตัวกันเป็นตารางคล้ายตารางหมากรุกทำหน้าที่แทนฟิล์มถ่ายภาพซึ่ง Photosite เหล่านี้จะทำหน้าที่ในการรับรู้ถึงปริมาณแสงในส่วนต่างๆของภาพเพื่อส่งให้หน่วยประมวลผลเอาไปใช้ หลักการทำงานของ Photosite ใน image sensor ก็คือเมื่อมีปริมาณแสงตกมากระทบ Photosite มันจะสร้างสัญญาณกระแสไฟฟ้าออกมา โดยยิ่งแสงตกลงมามากกระแสที่สร้างขึ้นก็มากตามไปด้วย กระแสไฟฟ้าเหล่านี้จะถูกแปลงให้เป็นสัญญาณ Digital ผ่านทาง A/D Converter ซึ่งหน่วยประมวลผลก็สามารถเอาไปใช้สร้างออกมาเป็นภาพได้ต่อไปตรงนี้มีจุดที่น่าสนใจอยู่ 2 ประการคือ ยังมีจำนวน Photosite มากเท่าไร ความละเอียดของภาพที่ได้ก็จะมากขึ้นยิ่ง Photosite มีขนาดใหญ่เท่าไร ความแม่นยำในการวัดสภาพแสงก็มากขึ้น

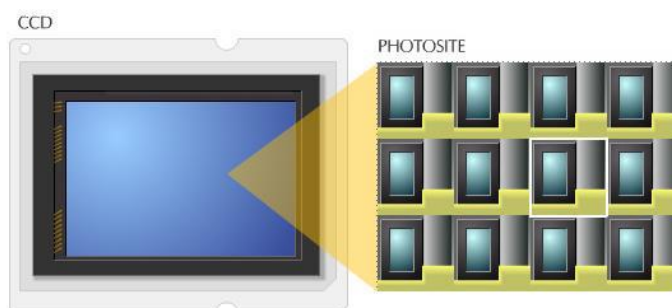


ภาพที่ ๓-๒๘ แสดงรายละเอียดภายใน Photosite  
ที่มา <http://trappedphotons.com/blog/?p=100>

จำนวน Photosite เหล่านี้ก็คือ MP (Megapixel) ที่เรามักกล่าวถึงนั่นเอง กล้องที่มีจำนวน Photosite มาก ก็ย่อมจะมีโอกาสในการตรวจสอบสภาพแสง ณ จุดต่างๆของภาพได้ละเอียดขึ้น แต่ก็ไม่ใช่ทั้งหมด เพราะขนาดของแต่ละ Photosite ก็มีผลด้วยเช่นกัน ยิ่ง Photosite มีขนาดใหญ่ ก็ย่อมมีพื้นที่รับแสงมากขึ้น การสร้างกระแสไฟฟ้าก็มากขึ้น ทำให้การคำนวณก็ละเอียดและแม่นยำขึ้นด้วย

#### ๔. กระบวนการสร้างภาพ

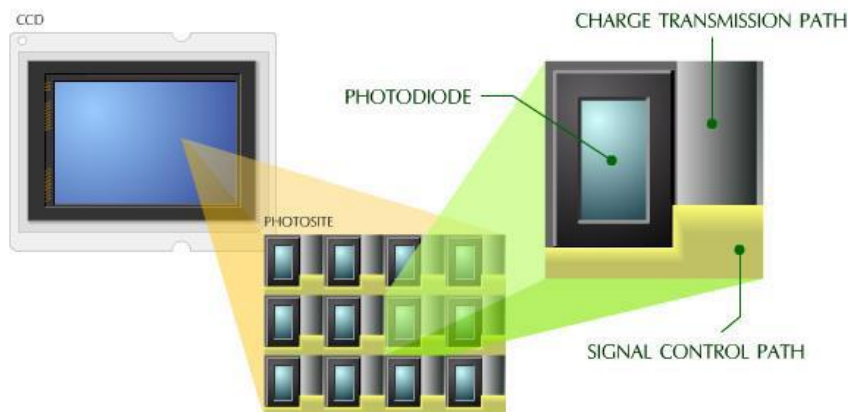
เมื่อแสงตกกระทบลงบน Photosite จะเกิดอิเล็กตรอนอิสระทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าอ่อนๆ ภายใน Image Sensor ยิ่งแสงมากกระแสไฟฟ้าก็จะมากขึ้นด้วย จากกระแสไฟฟ้าจะถูกแปลงค่าให้ออกมาเป็นตัวเลขโดย ANALOG TO DIGITAL CONVERTER ( A/D Converter ) กลายมาเป็นข้อมูลดิจิทัลจากข้อมูลดิจิทัลที่ได้มานี้สามารถเอาไปปรับแต่ง เปลี่ยนแปลงและแปรกลับมาเป็นภาพถ่ายในภายหลังได้



ภาพที่ ๓-๒๙ แสดงการวางตัวในลักษณะเป็นตารางของ Photosites ในเซนเซอร์  
ที่มา [http://dtv.mcot.net/mcot\\_one.php?dateone=1244772701](http://dtv.mcot.net/mcot_one.php?dateone=1244772701)

Image Sensor สามารถเปลี่ยนแสงให้เป็นภาพได้โดยการวัดจากปริมาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละ Photosite ส่วนขาวของภาพจะมีแสงมาก ส่วนของ Photosite ที่รับแสงบริเวณนั้นก็จะได้รับ

แสงมาก เกิดกระแสไฟฟ้ามากส่วนมืดของภาพจะมีแสงน้อย ส่วนของ Photosite ที่ได้รับแสงจากส่วนมืดก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าน้อยลงไปส่วนที่แสงปานกลางก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าในช่วงกลาง ๆ ตามลำดับ เมื่อกระแสไฟฟ้าถูกเปลี่ยนเป็นตัวเลขโดย A/D Converter จากตัวเลขนั้นจะสามารถเปลี่ยนเป็นภาพได้ ตัวเลขมากเท่ากับส่วนขาวตัวเลขน้อยเท่ากับส่วนดำ ตามสัดส่วนกันไป

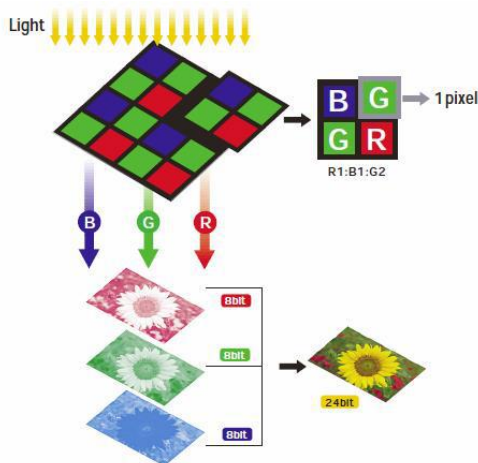


ภาพที่ ๓-๓๐ แสดงลักษณะการแปลงข้อมูลค่าความสว่างของแสงเป็นสัญญาณดิจิทัล

[http://dtv.mcot.net/mcot\\_one.php?dateone=1244772701](http://dtv.mcot.net/mcot_one.php?dateone=1244772701)

### ๕. กระบวนการสร้างสี

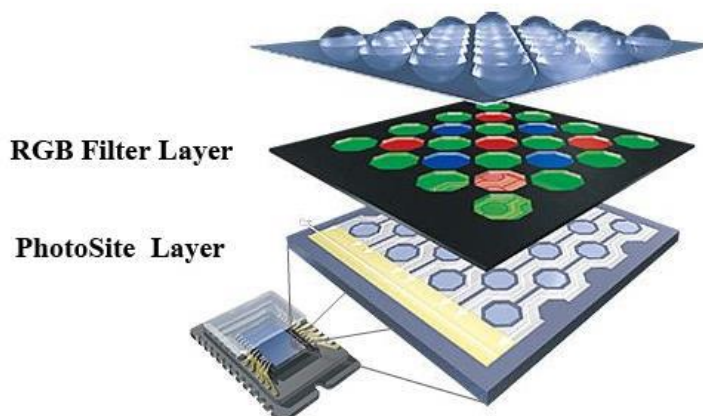
Photosites ใน Image Sensor เหล่านี้รับปริมาณแสงเข้ามาแล้วสามารถที่จะบอกได้ว่าค่าแสงไหนสว่างมาก ค่าแสงไหนสว่างน้อย แล้วทำไมภาพที่เราเห็นจึงเกิดมาเป็นสีเส้นได้อย่างไร? ในส่วนนี้สิ่งที่ต้องเพิ่มเติมเข้ามา ก็คือฟิลเตอร์ ซึ่งฟิลเตอร์นั้นจะมีทั้ง สีแดง เขียว และน้ำเงิน ถูกนำมาวางเป็นตัวกรองด้านหน้า image sensor อีกทีหนึ่ง โดยฟิลเตอร์นี้จะยอมให้แสงที่มีสีเหมือนตัวเองผ่านไปได้ แสงที่ไม่เหมือนก็จะถูกกั้นไว้ เมื่อรวมข้อมูลหลายๆจุดเข้าด้วยกันทำให้เกิดภาพออกมาเป็นสีเส้นได้อย่างที่เราเห็น



ภาพที่ ๓-๓๑ แสดงลักษณะของการกรองสีด้วยฟิลเตอร์ที่อยู่บนโพโตไซด์

ที่มา <http://av.jpn.support.panasonic.com/support/global/cs/dsc/knowhow29.html>

Image Sensor ซึ่งภายในประกอบด้วย Photosite ขนาดเล็กจำนวนมากจะรับรู้แต่ปริมาณแสงที่ตกลงบน Photosite เท่านั้น นั่นคือ Image Sensor มองภาพเป็นขาวดำ แต่ภาพที่เราต้องการเป็นภาพสีจึงต้องมีการใส่ฟิลเตอร์สีไปหน้า Photosite เพื่อแยกภาพออกเป็นขาวดำของแม่สีต่าง ๆ ฟิลเตอร์ที่ใช้หน้า Photosite จะมีหลายแบบ เช่น ฟิลเตอร์ RGB ซึ่งเป็นแม่สีในระบบแม่สีบวก หรือฟิลเตอร์ CMY เป็นแม่สีในระบบแม่สีลบ เกือบทั้งหมดใช้แบบ RGB หรืออาจจะใช้ฟิลเตอร์สีใสหน้าแหล่งกำเนิดแสงหรือหน้าเลนส์แล้วถ่ายภาพทีละสี



ภาพที่ ๓-๓๒ แสดงลักษณะชั้นการวางตัวของฟิลเตอร์เพื่อแยกสีที่เข้ามา

[http://dtv.mcot.net/mcot\\_one.php?dateone=1244772701](http://dtv.mcot.net/mcot_one.php?dateone=1244772701)

กล้องดิจิทัลส่วนใหญ่จะใช้ฟิลเตอร์หน้า CCD แบบ RGB เพื่อแยกสีของภาพโดยจะมีฟิลเตอร์สีเขียวมากกว่าสีน้ำเงินและแดงฟิลเตอร์จะให้แสงที่มีสีเหมือนตัวเองผ่านไปแต่กั้นแสงสีที่ไม่เหมือนตัวเองเอาไว้ Photosite สีแดง จะมองเห็นภาพสี ขาว เหลือง ม่วง แดง และส้ม มองไม่เห็นเขียว น้ำเงิน และฟ้า Photosite สีเขียว จะมองเห็นภาพสี ขาว เหลือง ส้ม เขียว และฟ้า มองไม่เห็นแดง น้ำเงิน และม่วง Photosite สีน้ำเงิน จะมองเห็นภาพสี ขาว ม่วง ฟ้า น้ำเงิน มองไม่เห็นเขียว เหลือง ส้ม และแดง Photosite แต่ละตำแหน่งจะให้ข้อมูลเพียงสีเดียวเท่านั้น หรือ 1 ตำแหน่งมี 1 ข้อมูล แต่ภาพสีที่สมบูรณ์จะต้องมีข้อมูล 3 สีใน 1 ตำแหน่งหรือกล่าวได้ว่า ภาพที่ได้จาก Image Sensor แบบ Color Matrix จะมีข้อมูลสีเพียง 1 ใน 3 เท่านั้น ขาดข้อมูลไป 2/3 ส่วนที่ขาดหายไปจึงต้องทำการจำลองข้อมูล หรือ Interpolated โดยการใช้ข้อมูลจาก Pixel ด้านข้างทั้ง 8 มาคำนวณ เช่น ตำแหน่งของสีเขียวตัวเองเป็นเขียวสว่าง ด้านข้างเป็นแดงสว่าง และน้ำเงินสว่างแสดงว่าตรงนั้นเป็นสีขาว หรือตำแหน่งของสีแดงตัวเองเป็นแดงสว่างด้านข้างเป็นเขียวสว่าง และน้ำเงินมืดแสดงว่าตัวเองเป็นสีเหลือง เป็นต้น การที่ Image Sensor แบบ RGB หรือ CMY ต้องทำการจำลองข้อมูลนี้เอง ทำให้คุณภาพของ Image Sensor ชนิดนี้มีคุณภาพสู้แบบอื่น ๆ ไม่ได้ แต่ให้ความสะดวกในการใช้งานจึงเป็นที่นิยมกับกล้องดิจิทัลในระดับมือสมัครเล่น แต่ปัจจุบันด้วยเทคโนโลยีการผลิตสมัยใหม่ ทำให้ปัญหานี้หมดไป



## ๖. ขนาดของเซ็นเซอร์

ในกล้องแต่ละประเภทจะเริ่มต้นใช้ขนาดเซ็นเซอร์ไม่เท่ากันเริ่มจากกล้องคอมแพคจะเลือกใช้เซ็นเซอร์ขนาดเล็กที่สุดประมาณ 1/2.5 นิ้วจนถึงใหญ่สุดอย่างที่เราพบดีว่าเป็นขนาดเท่ากับฟิล์มเนกาทีฟขนาด 35 มม. ที่เรียกกันว่า Fullframe (36x24 มม.) ขนาดของเซ็นเซอร์นั้นสัมพันธ์กับสัดส่วนของ Photosite ยิ่งเซ็นเซอร์เล็กก็จะเล็กตามส่งผลให้แสงที่ตกลงไปช่วยขยายสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ในแต่ละ Photosite มีน้อยโอกาสการเกิด Noise จะสูงขึ้นแต่ในปัจจุบันแต่ละแบรนด์มุ่งพัฒนาให้เซ็นเซอร์มีเทคโนโลยีการรับแสงหรือที่เรียกว่าการขยายภาพรับสัญญาณได้ดีกว่าเดิมเพื่อแก้ไขปัญหาต่างๆให้หมดไปส่งผลให้ราคาของกล้องย่อมเยา มีคุณภาพดีเกินราคาตัวทำให้กำแพงเรื่องขนาดเซ็นเซอร์เป็นเครื่องแบ่งประเภทของกล้องหรือคุณภาพของกล้องถูกทำลายลงไปการจะเลือกกล้องก็หันกลับมาดูที่คุณภาพแต่ละรุ่นเป็นหลักหรือเลือกจากความต้องการของนักถ่ายภาพอย่างแท้จริง



ภาพที่ ๓-๓๓ แสดง เซนเซอร์ในขนาดต่างๆ

ที่มา [http://dtv.mcot.net/mcot\\_one.php?dateone=1244772701](http://dtv.mcot.net/mcot_one.php?dateone=1244772701)



ภาพที่ ๓-๓๔ แสดงการเปรียบเทียบขนาดของ PHOTOSITE ที่มีผลต่อคุณภาพของภาพที่

[http://dtv.mcot.net/mcot\\_one.php?dateone=1244772701](http://dtv.mcot.net/mcot_one.php?dateone=1244772701)

จากภาพด้านบน จะเห็นว่าขนาดของ PHOTOSITE มีผลอย่างไรต่อคุณภาพของภาพที่ได้ ก็ต้องตอบว่าหาก PHOTOSITE มีขนาดใหญ่จะมีพื้นที่ในการรับแสง/เซล มากขึ้นทำให้สามารถ

สร้างกระแสไฟฟ้าซึ่งจะนำมาแปลงให้เป็นสัญญาณภาพได้มากขึ้นทำให้ภาพที่ได้จาก Photosite ขนาดใหญ่มีคุณภาพดีกว่าภาพที่ได้จากเซ็นเซอร์ที่มีขนาดของ Photosite ขนาดเล็กกว่าซึ่งจุดนี้ก็เป็นคำตอบว่าทำไมภาพที่ถ่ายจากกล้อง D-SLR จึงมีคุณภาพดีกว่าภาพที่ถ่ายจากกล้อง COMPACT เพราะกล้อง D-SLR จะมีขนาดของเซ็นเซอร์ใหญ่กว่าขนาดเซ็นเซอร์ที่ใช้ในกล้อง COMPACT นั่นเอง

### ๗. ประเภทของเซ็นเซอร์

ในกล้องดิจิตอลทุกตัวแน่นอนหัวใจสำคัญที่สุดอันหนึ่งที่จะทำให้กล้องตัวนั้นถ่ายทอดรูปออกมาได้สวยก็คงหนีไม่พ้น Sensor รับภาพซึ่งมีหน้าที่รับแสงที่เข้ามาแล้วเปลี่ยนค่าแสงนั้นๆเป็นสัญญาณดิจิตอลซึ่งในปัจจุบันก็ยังมี Sensor รับภาพอยู่ 2 แบบใหญ่ๆ ซึ่งก็คือ CCD (ซีซีดี) และ CMOS (ซีมอส)



รูป CCD

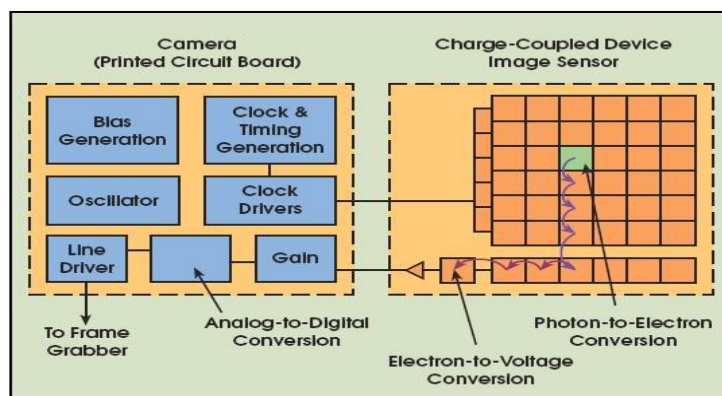


รูป CMOS

### ภาพที่ ๓-๓๕ แสดงลักษณะของ SENSOR แบบ CCD และ CMOS

ที่มา [http://dtv.mcot.net/mcot\\_one.php?dateone=1244772701](http://dtv.mcot.net/mcot_one.php?dateone=1244772701)

๗.๑ Charge - Couple Devices หรือ CCD ภายในมี Photosite ขนาดเล็กซึ่งไวต่อแสงทำหน้าที่เป็นตัวรับแสงเมื่อแสงตกลงมาจะเกิด อิเล็กตรอนที่ผิวหน้า อิเล็กตรอนจะถูกดึงไปที่ Read Out Register แล้วส่งไปยัง Amplifier เพื่อขยายสัญญาณ จากนั้นจะถูกส่งไปยัง A/D Converter เพื่อแปลงสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นข้อมูลดิจิตอลการอ่านสัญญาณไฟฟ้าของ CCD จะอ่านทีละแถว โดยเริ่มจากแถวที่ใกล้กับ Read Out Register ก่อนเมื่ออ่านค่าเสร็จจะมีการลบข้อมูลของแถวนั้นแล้วอ่านของแถวถัดต่อไปโดยอิเล็กตรอนจะกระโดดเข้ามาที่แถวเพื่อเข้าสู่ Read Out Register ปัจจุบันกล้องดิจิตอลส่วนใหญ่ในท้องตลาดจะใช้เซ็นเซอร์รับภาพชนิดนี้

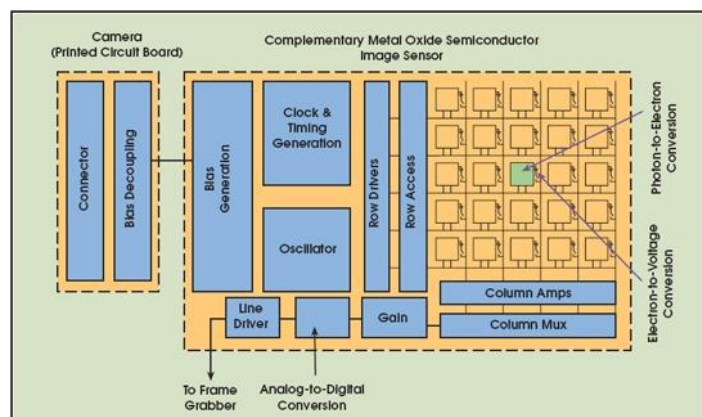


### ภาพที่ ๓-๓๖ แสดงลักษณะการทำงานของ CCD

ที่มา [http://dtv.mcot.net/mcot\\_one.php?dateone=1244772701](http://dtv.mcot.net/mcot_one.php?dateone=1244772701)

ข้อดีของระบบเซนเซอร์แบบ CCD ก็คือมันสามารถควบคุมสัญญาณรบกวน (ที่เราเรียกกันว่า Noise ในภาพลักษณะเป็นเม็ดเกรนหยาบๆ เห็นได้ชัดในเวลาที่เราถ่ายภาพภายใต้แสงน้อยๆ) ได้ดีกว่า เนื่องจากตัวมันทำหน้าที่แค่รับแสงแล้วส่งต่อไปให้หน่วยประมวลผลคำนวณแบบแยกส่วนกัน ทำให้ขนาด Photosite ที่อยู่บน CCD Sensor จะมีขนาดใหญ่กว่าและมีความไวแสงมากกว่า ภาพที่ได้ก็จะมีคุณภาพที่ดีกว่า ส่วนข้อเสียหลักๆของ CCD sensor ก็คือใช้พลังงานค่อนข้างเยอะกว่า (เมื่อเทียบกับ CMOS sensor) แล้วก็ต้นทุนในการผลิตค่อนข้างจะสูง (ต้องมีวงจรแยกสำหรับการประมวลผล A/D converter) ทำให้ปัจจุบัน หลายนๆค่ายที่ผลิตกล้องเริ่มหันไปพัฒนาระบบ CMOS กันมากขึ้น

๗.๒ Complementary Metal Oxide Semiconductor หรือ CMOS ดัดแปลงมาจาก WAFER หรือ FAB ที่ใช้ในการผลิตหน่วยความจำและ CPU ของเครื่องคอมพิวเตอร์ เช่น Pentium Core 2 Duo ซึ่งมีชิพเล็ก ๆ อยู่ภายในถึง 10 ล้านตัว กระบวนการผลิต CMOS Image Sensor ใช้กระบวนการเดียวกับการผลิต CMOS ของคอมพิวเตอร์ จึงสามารถผลิตในปริมาณมาก ต้นทุนต่ำกว่า CCD อย่างมาก การทำงานหลักๆก็เหมือนกับ CCD sensor จะต่างกันตรงที่แต่ละ pixel สามารถที่จะรับแสงและแปลงค่าออกมาเป็น digital ได้ในตัวมันเอง ไม่จำเป็นต้องใช้วงจรแยก ทำให้มีต้นทุนในการผลิตที่ถูกกว่าและยังประหยัดพลังงานอีกด้วย การที่ CMOS สามารถสร้างวงจรไฟฟ้าต่าง ๆ เอาไว้ภายในได้ทำให้ไม่ต้องแยกหน่วยประมวลผลออกไปต่างหากแบบ CCD ซึ่งต้องใช้ชิพแยกต่างหาก 3 ถึง 8 ชิป ส่งผลใช้กล้องที่ใช้ CMOS มีต้นทุนถูกกว่า มีขนาดเล็กประหยัดพลังงานมากกว่า นอกจากนี้ CMOS ยังสามารถสลับการถ่ายภาพระหว่างภาพนิ่งและวิดีโอได้อย่างรวดเร็วอีกด้วย แต่จุดอ่อน ของ CMOS คือ มีค่าความไวแสงต่ำ เพราะขนาดของ Photodetector ใน Photosite มีขนาดเล็ก เนื่องจากต้องแบ่งพื้นที่ให้กับวงจรไฟฟ้า CMOS จึงไม่เหมาะกับการถ่ายภาพในภาพแสงน้อย ๆ มีการแก้ไขโดยการใส่เลนส์ขนาดเล็กไว้หน้า Photosite เพื่อรวมแสงให้มาตกที่ Photodetector มากขึ้นในอดีต CMOS ไม่สามารถถ่ายภาพได้ถึง 20 ภาพ/วินาทีเหมือนกล้องวิดีโอแท้ ๆ CMOS แบ่งออกเป็น ๒ ชนิดคือ



ภาพที่ ๓-๓๗ แสดงลักษณะการทำงานของ CMOS

ที่มา [http://dtv.mcot.net/mcot\\_one.php?dateone=1244772701](http://dtv.mcot.net/mcot_one.php?dateone=1244772701)

๗.๒.๑ Passive Pixel Sensors เมื่อ Photosite ได้รับ แสง และ เกิด กระแสไฟฟ้า สัญญาณไฟฟ้าจะถูกส่งออกไปนอก CMOS ทาการขยายสัญญาณและแปลงเป็นค่า ดิจิตอล มีขนาดเล็กแต่ใหญ่เพียงพอที่จะประกอบกับสารไวแสงและวงจรอื่น ๆ ปัญหาคือภาพมี สัญญาณรบกวนสูง ต้องอาศัยการประมวลผลภายนอกเพื่อลดสัญญาณรบกวน

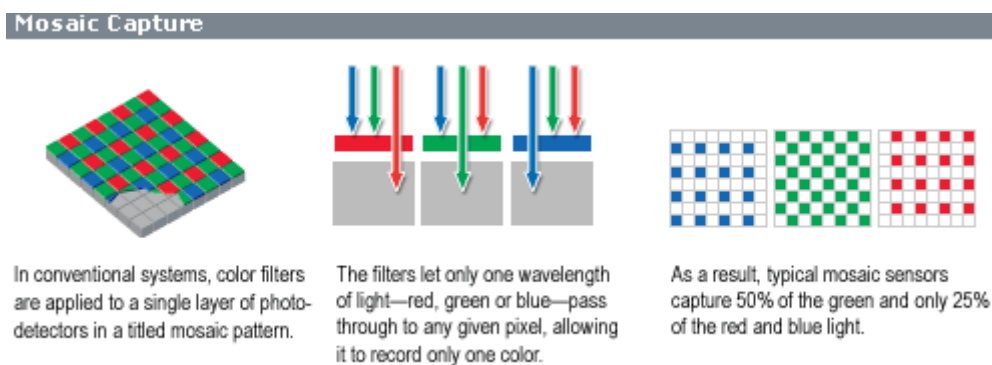
๗.๒.๒ Active Pixel Sensor จะมีวงจรภายใน CMOS เพื่อกำหนดระดับ สัญญาณรบกวนและลบสัญญาณรบกวน คุณภาพเทียบเท่า CCD และสามารถทำให้มีขนาดใหญ่ รายละเอียดสูงได้

## ๘. การแยกสี

เซนเซอร์ภาพโดยตัวมันเองแล้วมีลักษณะเป็น "ขาว-ดำ" เพื่อให้ตัวเซนเซอร์ส่งผ่านสี จึง ต้องใช้กรรมวิธีการแยกสี ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 3 ประเภท

### ๘.๑ เซนเซอร์พร้อมตัวกรองโมเสก

พิกเซลภาพของเซนเซอร์จะจัดเรียงบนระนาบเดียว และแต่ละพิกเซลจะถูกครอบ ด้วยตัวกรองของแต่ละสี โดยการจัดวางตำแหน่งตัวกรองมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี ตามความไวแสงและ การคัดลอกสี ยิ่งความเร็วมากขึ้น สีที่ได้จะยิ่งผิดเพี้ยน



ภาพที่ ๓-๓๘ แสดงลักษณะการทำงานของเซนเซอร์แบบตัวกรองโมเสก  
ที่มา [http://dtv.mcot.net/mcot\\_one.php?dateone=1244772701](http://dtv.mcot.net/mcot_one.php?dateone=1244772701)

๘.๑.๑ RGGB หรือ เซนเซอร์เบเยอร์ (Bayer sensor) มีต้นทุนต่ำและพบได้มากที่สุด เพราะเริ่มมีใช้แรกสุด จะใช้ตัวกรองสีที่ส่งผ่านแสงแดง, เขียว หรือน้ำเงินไปยังเซนเซอร์พิกเซลที่กำหนดไว้ ทำให้เกิดช่องตารางซ้อนที่ไวต่อสีแดง, เขียว และน้ำเงิน ส่วนสีที่ขาดไปจะถูกผสมโดยใช้อัลกอริทึมแบบ demosaic ทั้งนี้ เพื่อหลีกเลี่ยงข้อมูลสีที่ได้จากการผสมแล้ว เทคนิคประเภทสุ่มคู่ ตำแหน่งสีจะใช้กรรมวิธีแบบ piezo เพื่อขยับเซนเซอร์สีแบบชั้นพิกเซล เซนเซอร์เบเยอร์ยังมี ตัวเซนเซอร์แสงด้านหลัง ที่แสงลอดเข้าไปตกกระทบซิลิคอนที่ไวต่อแสงจากด้านตรงข้ามกับตำแหน่งตัวต้านทานประจุและสายไฟ เพื่อให้ส่วนต่อเชื่อมหลักด้านตัวอุปกรณ์ไม่ไปบังแสง และประสิทธิภาพดีขึ้น

๘.๑.๒ RGBW มีความไวต่อแสงและระดับยอมรับการรับแสง (exposure latitude) มากกว่า (โดยปกติจะไวแสงในระดับ 1.5-2 และ 1 สตอป) สำหรับเซนเซอร์ RGBW แบบพิเศษ ได้แก่ เซนเซอร์ RGBW ของบริษัทโกดัก

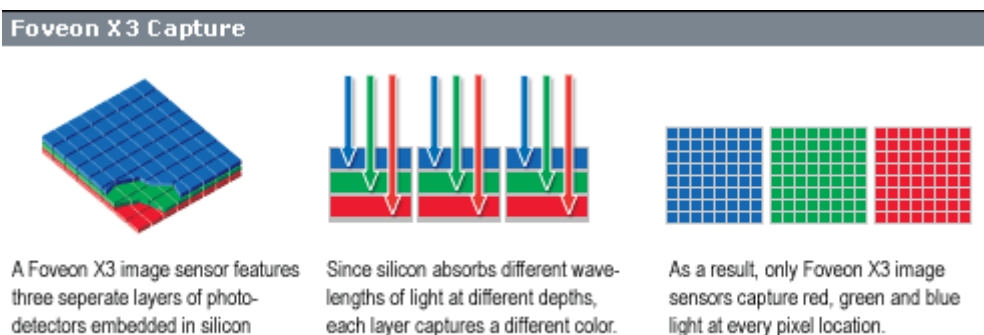
๘.๑.๓ RGEb (แดง - เขียว - เขียวมรกต - น้ำเงิน)

๘.๑.๔ CGMY (น้ำเงิน - เขียว - บานเย็น - เหลือง)

## ๘.๒ เซนเซอร์พร้อมพิกเซลครบสี

เทคโนโลยีที่เพื่อให้แต่ละพิกเซลแยกแยะสีครบทั้งสามสี แบบแรกเริ่มมีวางจำหน่ายโดยบริษัทซิกม่า และแบบที่สองเริ่มมีปรากฏเป็นต้นแบบในช่วงกลางปี ๒๐๐๘ มีดังนี้

๘.๒.๑ เซนเซอร์โฟเวออน (Foveon) X3 เซนเซอร์ตรวจจับภาพของโฟเวออนใช้เซนเซอร์พิกเซลที่เรียงเป็น 3 ชั้น แดง, เขียว, แดง ทำการแยกแสงโดยอาศัยคุณสมบัติดูดซับแสงที่ไม่ขึ้นกับความยาวคลื่นของซิลิคอน เพื่อให้ทุกๆ ตำแหน่งสามารถรับสัมผัสของสีทั้งสามได้ทั้งหมด เซนเซอร์รุ่นนี้พัฒนาโดย บริษัท FEVEON โดยหลักการทางานของเซนเซอร์แล้วจะเป็นแบบ CMOS Direct Image Sensor โดยในเซนเซอร์รับภาพจะสามารถจับค่าสี RGB ได้ทั้ง 3 สี ใน 1 Fotosite เรียกว่าสีใครสีมันใน 1 Pixel ทาง บริษัท FOVEON ได้ทำการเปิดตัว IMAGE SENSOR ตัวแรกที่มีขนาดเล็กให้สภาพของสีที่สมจริง 4.5 ล้านพิกเซล Direct Image Sensor ทำให้ Foveon X3 หวนกลับมาอีกครั้งซึ่งสามารถที่จะให้สีได้ใกล้เคียงกับกล้องฟิล์มที่ 3 เลเยอร์



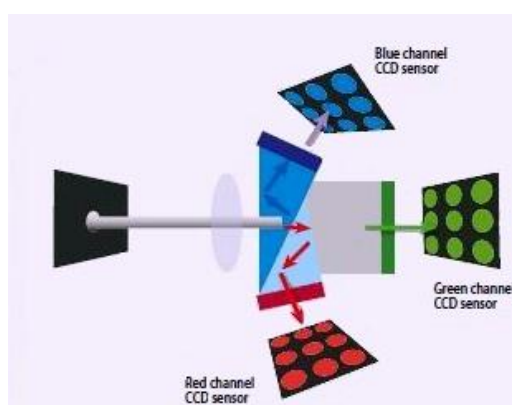
ภาพที่ ๓-๓๙ แสดงลักษณะการทำงานของเซนเซอร์แบบ Foveon X3

ที่มา [http://dtv.mcot.net/mcot\\_one.php?dateone=1244772701](http://dtv.mcot.net/mcot_one.php?dateone=1244772701)

๘.๒.๒ เซนเซอร์ RGB ของนิคอน นิคอน ได้จดสิทธิบัตรเซนเซอร์ไว้เมื่อวันที่ ๙ สิงหาคม ๒๐๐๗ โดยตัวเซนเซอร์แยกแยะสีจะประกอบไปด้วยหลอดโฟโต้ไดโอดและเลนส์ย่อย (microlens) สามเลนส์ในแต่ละพิกเซล เลนส์ย่อยดังกล่าวจะส่งผ่านแสงไปยังกระจกสองสีบานแรก ซึ่งส่วนที่เป็นสีน้ำเงินจะผ่านกระจกไปตกกระทบกับตัวตรวจจับสีน้ำเงินเข้ม ส่วนสีเขียวและแดงจะสะท้อนไปยังกระจกบานที่สอง ซึ่งจะสะท้อนสีเขียวไปยังตัวตรวจจับสีเขียว และส่งผ่านสีแดงกับส่วนที่เป็นอินฟราเรดไปยังกระจกบานที่สาม กระจกบานนี้จะสะท้อนส่วนสีแดงไปยังตัวตรวจจับสีแดงและส่วนดูดซับคลื่นอินฟราเรด แม้ว่าตัวต้นแบบของเซนเซอร์นี้จะมีมาตั้งแต่ปี ๒๐๐๘ แต่สิทธิบัตรดังกล่าวจะยังไม่สามารถนำมาผลิตใช้งานในอนาคตอันใกล้เนื่องจากความซับซ้อนของเทคโนโลยี หากเปรียบเทียบกับระบบแยกสีอื่นๆ ยกเว้นระบบสามเซนเซอร์แล้ว เทคโนโลยีนี้มีข้อได้เปรียบตรงที่

ประสิทธิภาพการใช้แสง คิดเป็น ๑.๕ เท่าเมื่อเทียบกับเซนเซอร์ RGBW และ ๓ เท่าเมื่อเทียบกับเซนเซอร์ที่มีตัวกรองเบเยอร์ หากเทียบกับเซนเซอร์โพวออน X3 เทคโนโลยีนี้มีข้อได้เปรียบในเรื่องสี และหากเทียบกับระบบสามเซนเซอร์แล้ว ระบบนี้ใช้ประโยชน์จากกระจกและไม่จำเป็นต้องมีการจัดเรียงตำแหน่งระบบเลนส์ที่แม่นยำแบบ 3CC

๘.๒.๓ ระบบแยกสีสามเซนเซอร์ ระบบแยกสีสามเซนเซอร์ หรือที่เรียกว่า 3CCD ใช้เซนเซอร์รูปภาพแบบกั้นทนะ (discrete image sensor) สามตัว โดยแยกสีด้วยปริซึมสองสี ซึ่งถือได้ว่าเป็นเซนเซอร์ที่มีคุณภาพดีที่สุดในขณะนี้ และมีราคาแพงกว่าเซนเซอร์เดี่ยว แสงจะลอดผ่านเข้ามาในตัวกล้อง และตกกระทบกับปริซึมคู่ ซึ่งทำหน้าที่แยกแสงออกเป็นแม่สีหลัก แดง เขียว และน้ำเงิน โดยแต่ละลำแสงจะส่องผ่านไปยังเซนเซอร์ (โดยมากแล้วจะใช้ CCD จึงเป็นที่มาของชื่อ 3CCD) ทั้งนี้ระบบการแยกสามสีนี้มักมีใช้ในกล้องถ่ายภาพวีดิทัศน์ระดับกลางขึ้นไป



ภาพที่ ๓-๔๐ แสดงลักษณะการทำงานของระบบแยกสีสามเซนเซอร์

[http://www.adept.net.au/news/newsletter/201203-mar/article\\_3ccd\\_colour.shtml](http://www.adept.net.au/news/newsletter/201203-mar/article_3ccd_colour.shtml)

## ๙. คุณสมบัติของ Image Sensor

### ๙.๑ ความลึกสีหรือ Color Depth

หมายถึง จำนวนเฉดสีที่ Image Sensor สามารถถ่ายทอดออกมาได้ ยิ่งความลึกสีมาก จำนวนเฉดสีของภาพก็จะมากขึ้น หมายถึง เราจะได้ภาพที่มีคุณภาพดีขึ้นด้วย ความลึกสีจะบอกเป็นจำนวน Bit/สี หรือ Bit/๓ สี เช่น CCD ให้ภาพความลึกสี ๑๒ bit/สี ก็เท่ากับ ๓๖ bit จำนวนเฉดสีที่ Image Sensor สามารถถ่ายทอดได้สามารถคำนวณได้โดยใช้สูตร

$$\text{จำนวนเฉดสี/สี} = ๒ \text{ ยกกำลัง Bit สี}$$

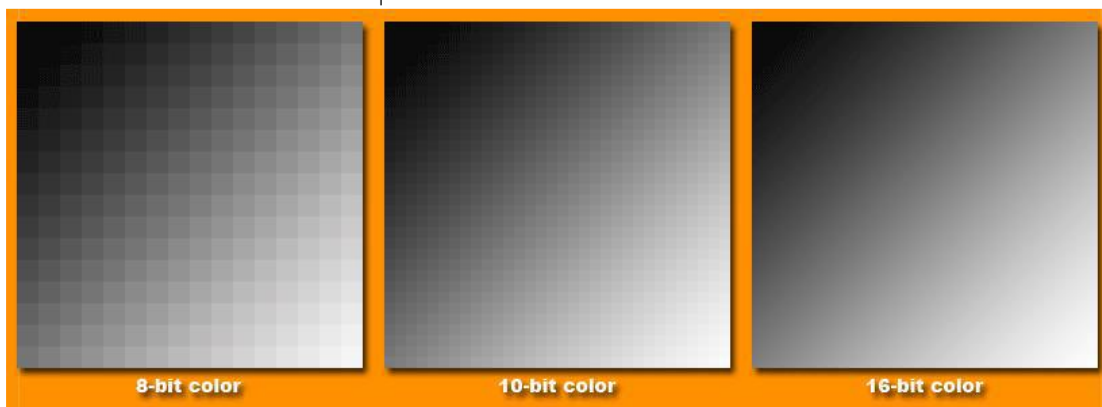
$$\text{จำนวนเฉดสีทั้งหมด} = \text{จำนวนเฉดสี/สี} \text{ ยกกำลัง } ๓$$

เช่น Image Sensor ให้ภาพ ๘ bit/สี จะมีเฉดสี  $2^8 = ๒๕๖$  สี จำนวนเฉดสีทั้งหมดเท่ากับ  $๒๕๖^3 = ๑๖,๗๗๗$  ล้านเฉดสี Image Sensor ของกล้องดิจิทัลในปัจจุบันจะให้ความลึกสีที่ ๘ bit/สี ถ้าเป็นกล้องที่คุณภาพดีจะอยู่ที่ ๑๐ หรือ ๑๒ bit/สี และถ้าเป็นกล้องระดับมืออาชีพจะอยู่ที่ ๑๒-๑๔ bit/สี ส่วนสแกนเนอร์คุณภาพสูงจะอยู่ที่ ๑๖ bit/สี

$$๑๒ \text{ bit/สี} = ๓๖ \text{ bit} = ๖๘,๗๑๙ \text{ ล้านเฉดสี}$$

$$๑๖ \text{ bit/สี} = ๔๘ \text{ bit} = ๒.๘ \text{ ล้านล้านเฉดสี}$$

จะเห็นว่าจำนวน Bit สียิ่งมากจะยิ่งได้ภาพที่มีเฉดสีดีขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งกล้องระดับมืออาชีพจะเน้นเรื่องจำนวน Bit สีอย่างมาก ยิ่ง Bit สีมาก การไล่ระดับโทนสีในส่วนสว่างและส่วนมืดซึ่งเป็นปัญหาของกล้องดิจิทัลก็จะลดลงเรื่อย ๆ



ภาพที่ ๓-๔๑ แสดงการเปรียบเทียบ Color Depth

ที่มา [https://library.creativecow.net/articles/kurkoski\\_tim/PP2\\_Color\\_Support.php](https://library.creativecow.net/articles/kurkoski_tim/PP2_Color_Support.php)

## ๙.๒ Image Size หรือขนาดภาพ

หมายถึงจำนวน Pixel ที่จะปรากฏบนภาพ ยิ่งจำนวน Pixel มากจะได้ภาพที่สามารถนำไปขยายใหญ่ได้มากขึ้นโดยไม่เกิดการแตกคล้ายกับฟิล์มเกรนหนายกกับเกรนละเอียด ขนาดภาพของ Image Sensor จะบอกเป็นจำนวน Effective Pixel เช่น กล้องมี Effective Pixel ขนาด ๖.๑๗ ล้านพิกเซล การดูว่าจำนวน Pixel เท่าไรจะเพียงพอต่อการใช้งานจะดูจากขนาดภาพที่ต้องการใช้งานเป็นหลัก เช่น ต้องการภาพไปใช้ส่ง E-Mail ซึ่งภาพจะมีขนาดประมาณ ๔.๘๗ แสนพิกเซล ใช้กล้องขนาด ๑ ล้านพิกเซลก็เพียงพอแต่ถ้าไปใช้งานขยายภาพขนาด ๘.๒๕x๑๑.๕ นิ้ว ควรมีความละเอียดประมาณ ๘.๕ ล้านพิกเซลจะได้ภาพคุณภาพสูงสุด เป็นต้น การใช้ Image Sensor ที่มีความละเอียดสูงเกินกว่าขนาดภาพที่ต้องการไม่เกิดประโยชน์ในการใช้งานใดๆนอกจากจะต้องจ่ายค่ากล้องที่มีราคาแพงขึ้น ใช้แบตเตอรี่มากขึ้นเปลืองการ์ดเก็บข้อมูลมากขึ้น จำนวน Pixel ของตามนุษย์ประมาณ ๑๒๐ ล้านพิกเซล ฟิล์ม ๓๕ มม.เกรนละเอียดมาก ๆ เช่น Fuji chromeProvia 100F ขนาด ๑๓๕ มม.จะมีจำนวน Pixel อยู่ประมาณ ๒๔ ล้านพิกเซล

## ๙.๓ Aspect Ratio

หมายถึง สัดส่วนภาพหรือสัดส่วนของภาพด้านกว้าง:ด้านยาวสัดส่วนตรงนี้มี ความสำคัญกับการนำภาพไปใช้งาน เช่นต้องการใช้อัดขยายภาพขนาด ๔x๖ นิ้ว เท่ากับภาพมีสัดส่วน ๑:๑.๕ แต่ใช้กล้องดิจิทัลที่มีสัดส่วนกว้างยาว ๑๒๐๐x๑๖๐๐ พิกเซล หรือ ๑:๑.๓๓ สัดส่วนกว้างยาวของภาพที่ต้องการและ Image Sensor ไม่เท่ากันเมื่อนำภาพไปขยายจะได้ภาพไม่เต็ม กระดาษ หรือเกิดการตัดส่วนภาพบนกระดาษไปกล้องดิจิทัลระดับมือสมัครเล่นจะมีสัดส่วนภาพอยู่ประมาณ ๑:๑.๓๓ เพื่อให้เข้ากับจอมอนิเตอร์หรือ TV ส่วนกล้องดิจิทัลระดับมืออาชีพจะมีสัดส่วนประมาณ ๑:๑.๕ ซึ่งเท่ากับฟิล์มขนาด ๓๕ มม.

## ๙.๔ ขนาดของ Image Sensor

Image Sensor ขนาดใหญ่มีแนวโน้มจะให้คุณภาพที่ดีกว่า Image Sensor ขนาดเล็ก (จำนวน pixel เท่ากัน) เพราะจะมีขนาดของ Photosite ใหญ่กว่า ทำให้ไวต่อแสง มี Bit สีมมากกว่า มีความคมชัดและรายละเอียดดีกว่า แต่ราคาจะแพงมากขึ้นตามขนาดของ Image Sensor ที่ใหญ่ขึ้น ตัวกล้องจะใหญ่ขึ้นตามด้วยจึงใช้เฉพาะกล้องระดับมืออาชีพเท่านั้นชนิดของ Image Sensor

## ๑๐. ภาพดิจิทัล (Digital Image)

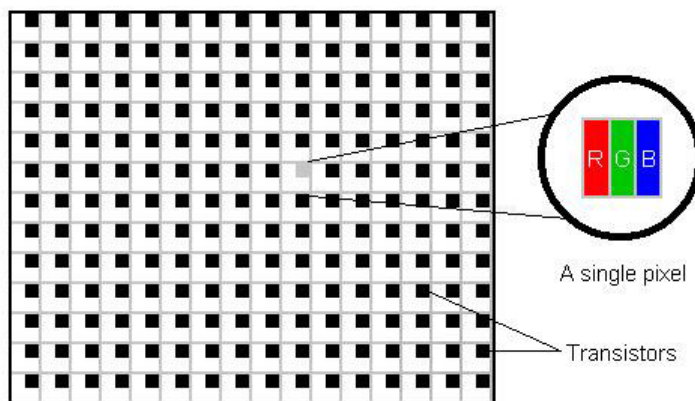
ในระบบของดิจิทัลสามารถเก็บบันทึกทุกสิ่งทุกอย่างได้ ไม่ว่าจะเป็นในเรื่องของตัวอักษร หรือภาพต่างๆ รวมถึงภาพวาด ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับขบวนการของคอมพิวเตอร์ในการจัดการในของภาพนั้น สิ่งที่จะใช้ในการบันทึกภาพก็คือ ฟิล์ม แต่ถ้าจะนำฟิล์มที่เป็นภาพมาใช้งาน เช่น งานออกแบบบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ ต้องจัดการแปลงฟิล์มนั้นให้อยู่ในรูปแบบของดิจิทัลเสียก่อน ซึ่งตัวฟิล์ม เรียกว่าอนาล็อก (Analog) ส่วนข้อมูลภาพที่ถูกแปลงแล้วเราเรียกว่าดิจิทัล (Digital) และดิจิทัลแตกต่างจากระบบของฟิล์ม ซึ่งรูปแบบของ Film เมื่อถูกแทนค่าด้วยคลื่นไฟฟ้าจะพบว่า เป็นคลื่นสัญญาณที่ต่อเนื่องกันไป (Continuous Values หรือ Analog Values) ส่วนรูปแบบ Digital จะเป็นสัญญาณที่ไม่ต่อเนื่อง หรือเรียกอีกอย่างว่าเป็นการเลียนแบบ Analog ก็ได้ ดังนั้น คลื่นของรูปแบบดิจิทัลจะเป็นคลื่นไฟฟ้าที่แยกจากกัน (Discrete Electronic Pulses) ซึ่งจะประกอบไปด้วยค่าตัวเลขที่ใช้แปลความหมาย ประกอบด้วย เลข 0 และ เลข 1 และถูกจัดเรียงกันไปอย่างเป็นระบบ

### ๑๐.๑ ความหมายของภาพดิจิทัล

ภาพดิจิทัล (Digital image) เป็นการจับภาพจากสิ่งแวดล้อม หรือทาสานาภาพจากเอกสารให้อยู่ในรูปแบบของอิเล็กทรอนิกส์ เช่น รูปถ่าย เอกสารที่เขียนด้วยมือ เอกสารพิมพ์ และพิมพ์เขียว เป็นต้น โดย Digital images จะอยู่ในรูปของแผ่นตารางโดยแต่ละช่องจะเป็นส่วนหนึ่งของภาพหรืออักษร เรียกแต่ละจุดหรือช่องนั้นว่า "pixel" แต่ละ pixel จะถูกกำหนดให้มีระดับของความเข้ม ( สีดำ สีขาว สีเทาหรือสีอื่นๆ) ซึ่งแสดงให้อยู่ในรูปของ รหัส Binary (๐ และ ๑) แต่ละ pixel ก็จะถูกแทนด้วย Binary digital ("bits") จะถูกเก็บเป็นลำดับใน computer และโดยทั่วไปจะถูกลดขนาดลงด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ (บีบอัดให้เล็กลง) แต่ละ bit จะถูกแปลและอ่านโดย computer ให้เป็นแบบ Analog ซึ่งเป็นรูปภาพ หรือ แผ่นพิมพ์ Resolution เป็นความสามารถในการปรับระยะการแสดงความละเอียดของภาพ digital ระยะห่างของความถี่ในการแสดงภาพ (ความถี่ในการทำ sampling) จะถูกระบุในรูปของ Resolution ซึ่งหมายถึง dot per inch (dpi) หรือ pixels per inch (ppi) เป็นค่าทั่วไปที่ใช้เรียกหรือบ่งบอกว่ามีภาพอยู่ทุกระดับ Resolution ที่เท่าไร แต่อยู่ในขอบเขตจำกัด การเพิ่ม ความถี่ในการ sampling ก็เป็นการเพิ่ม resolution ด้วยเช่นกัน Pixel Dimension เป็นการวัดขนาดทั้งในทางแนวนอนและแนวตั้งของภาพที่ปรากฏ เป็น Pixel ซึ่งบางครั้งอาจจะถูกกำหนดในรูปของความกว้างและความสูงโดยบอกเป็น dpi สำหรับกล้อง Digital ก็มี Pixel Dimension เหมือนกัน การระบุจำนวน pixel แนวตั้งและแนวนอนเสมือนเป็นการ



ระบุ resolution ด้วย (เช่น 2,048 x 3,072) การคำนวณ dpi ทำโดยการแบ่งขนาดของเอกสารเป็นส่วนให้มีขนาดเท่ากันตามแนว



ภาพที่ ๓-๔๒ แสดงตารางพิกเซลของภาพดิจิทัล

ที่มา [https://library.creativecow.net/articles/kurkoski\\_tim/PP2\\_Color\\_Support.php](https://library.creativecow.net/articles/kurkoski_tim/PP2_Color_Support.php)

## ๑๐.๒ ลักษณะของภาพดิจิทัล

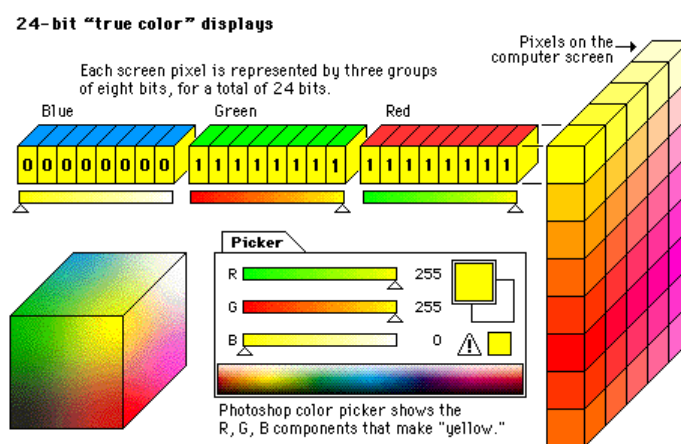
๑๐.๒.๑ ภาพบิตแมป (Bitmap) หรือ ภาพแรสเตอร์ (Raster) เป็นภาพแบบ Resolution Dependent ประกอบขึ้นด้วยจุดสีต่างๆ ที่มีจำนวนคงที่ตายตัวตามการสร้างภาพที่มี Resolution หรือความละเอียดของภาพต่างกันไป หากขยายภาพ Bitmap จะเห็นว่ามิลักษณะเป็นตารางเล็กๆ ซึ่งแต่ละบิตคือ ส่วนหนึ่งของข้อมูลคอมพิวเตอร์เนื่องจาก Bitmap มีค่า Pixel จำนวนคงที่จึงทำให้มีข้อจำกัดในเรื่องการขยายขนาดภาพ การเปลี่ยนขนาดภาพทำโดยเพิ่มหรือลด Pixel จากที่มีอยู่เดิม เมื่อขยายภาพให้ใหญ่ขึ้น ความละเอียดของภาพจึงลดลง และถ้าเพิ่มค่าความละเอียดมากขึ้นก็จะทำให้ไฟล์มีขนาดใหญ่และเปลืองเนื้อที่หน่วยความจำมากขึ้นตามไปด้วย ภาพที่ขยายโตขึ้นจะมองเห็นเป็นตารางสี่เหลี่ยมเรียงต่อกัน ทำให้ขาดความสวยงามภาพแบบ Bitmap จึงเหมาะสมสำหรับงานกราฟิกในแบบที่ต้องการให้แสงเงาในรายละเอียด เป็นไฟล์ที่เหมาะสมกับการทำงานกับภาพเหมือนจริงประเภทภาพถ่าย เพราะ Bitmap มี Channel พิเศษ เรียกว่า Alpha Channel ซึ่งเป็น 32 bit หรือ true color คือสีสมจริง เช่น ภาพที่นำมาใช้กับ Photoshop จะเป็นภาพเหมือนภาพถ่าย เพราะไฟล์ที่ได้จาก Photoshop เป็น Bitmap ในขณะที่ไฟล์ที่สร้างจาก Illustrator จะเหมือนการ์ตูนหรือภาพเขียน เพราะเป็นไฟล์แบบ Vector นอกจากนี้ยังเหมาะสมสำหรับภาพที่ต้องการระบายสี สร้างสี หรือกำหนดสีที่ต้องการความละเอียดและสวยงาม ไฟล์ภาพแบบ Bitmap ในระบบวินโดวส์คือ ไฟล์ที่มีนามสกุล .BMP, .PCX, .TIF, .GIF, .JPG, .MSP, .PCD เป็นต้น สำหรับโปรแกรมที่ใช้สร้างกราฟิกแบบนี้คือ โปรแกรม Paint ต่างๆ เช่น Paintbrush, Photoshop, Photostyler เป็นต้น

๑๐.๒.๒ ภาพแบบเวกเตอร์ (Vector) ในระบบวินโดวส์คือ ไฟล์ที่มีนามสกุล .EPD, .WMF, .CDR, .AI, .CGM, .DRW, .PLT เป็นต้น โดยมีโปรแกรมประเภทวาดรูป (Drawing Program) เช่น CorelDraw หรือ AutoCAD เป็นโปรแกรมสร้าง ขณะที่บนแมคอินทอชใช้ Illustrator และ Freehand ในกรณีที่โปรแกรมที่ใช้งานอยู่ไม่สามารถอ่านไฟล์แบบ Vector ต้นฉบับ

ได้ วิธีที่ดีที่สุดก็คือ บันทึกไฟล์เป็นนามสกุล .EPS (Encapsulated Postscript) ไฟล์ประเภทนี้สร้างขึ้นจาก Vector ซึ่งทำให้มีคุณสมบัติเป็นแบบ Vector นอกจากนี้เราสามารถบันทึกไฟล์ Bitmap ให้เป็นแบบ EPS ได้ เนื่องจากโปรแกรมกราฟิกทุกประเภทล้วนสนับสนุน ไฟล์แบบ EPS ทั้งสิ้น อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์แสดงผล ไม่ว่าจะเป็นเครื่องพิมพ์แบบ Dot Matrix หรือ Laser รวมทั้งจอภาพ จะแสดงผลแบบ Raster Devices หรือแสดงผลในรูปของ Bitmap โดยอาศัยการรวมกันของ Pixel ออกมาเป็นรูป แม้ว่าภาพกราฟิกที่สร้างจะเป็นแบบ Vector เมื่อจะพิมพ์หรือแสดงภาพบนหน้าจอจะมีการเปลี่ยนเป็นการแสดงผลแบบ Bitmap หรือเป็น Pixel

### ๑๐.๓ หน่วยข้อมูลของภาพดิจิทัล

๑๐.๓.๑ บิต (Bit) คือ หน่วยข้อมูลที่เล็กที่สุด ใช้ระบบคอมพิวเตอร์แบบดิจิทัล และทฤษฎีข้อมูล ข้อมูลหนึ่งบิต มีสถานะที่เป็นไปได้ ๒ สถานะ คือ ๐ (ปิด) ๑ (เปิด) ซึ่ง เคลาด์ อี แชนนอน (Claude E. Shannon) เริ่มใช้คำว่า บิต ในงานเขียนของเขาในปี พ.ศ. ๒๔๙๑ โดยย่อจากคำเต็มคือ Binary digit หรือ Binary unit แชนนอนได้กล่าวถึงที่มาของคำนี้ว่ามาจาก จอห์น ดับบลิว ทูคีย์ (John W. Tukey) ไบต์ (Byte) เป็นกลุ่มของบิต ซึ่งเดิมมีได้หลายขนาด แต่ปัจจุบัน มักเท่ากับ ๘ บิต ไบต์ขนาด ๘ บิต มีชื่อเรียกอีกชื่อว่า ออกเท็ต (Octet) สามารถเก็บค่าได้ ๒๕๖ ค่า (๒๘ ค่า, ๐ ถึง ๒๕๕) ส่วนปริมาณ ๔ บิต เรียกว่านิบเบิล (Nibble) สามารถแทนค่าได้ ๑๖ ค่า (๒๔ ค่า, ๐ ถึง ๑๕)



ภาพที่ ๓-๔๓ แสดงตัวอย่างบิตที่ปรากฏบนจอภาพ

ที่มา <https://doi.nrct.go.th>

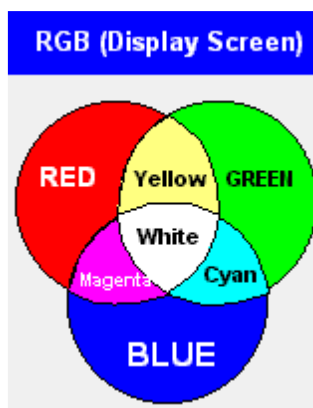
๑๐.๓.๒ พิกเซล (Pixel) เป็นการผสมผสานของคำว่า "Picture" และ "Element" คือหน่วย พื้นฐานของภาพ ภาพบิตแมปทุกๆ ภาพประกอบขึ้นด้วยพิกเซลแต่ละพิกเซล จะมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมที่เก็บข้อมูลของสี โดยถูกกำหนดตำแหน่งไว้บนเส้นกริดของแนวแกน x และ y ในลักษณะคล้ายแผนที่ (map) นั่นจึงเป็นที่มาของคำว่าบิตแมป (bitmap) เช่น พิกเซลของภาพ ๘ บิต จะเก็บข้อมูลของสี ๘ บิต ที่จอภาพจะใช้ในการแสดงผล ดังนั้นภาพภาพหนึ่งจึงประกอบด้วยพิกเซลเล็ก ๆ จำนวนมาก ซึ่งคุณสามารถมองเห็นได้เมื่อ ขยายภาพให้มีขนาดใหญ่ขึ้น จำนวนของพิกเซล ที่แสดงต่อหน่วยของความยาวในภาพจะถูกเรียกว่าความละเอียด ของภาพ โดย

ปกติจะวัดเป็นพิกเซลต่อนิ้ว (ppi : pixel per inch) ภาพที่มีความละเอียดสูงจะประกอบไปด้วยพิกเซลจำนวนมากที่มีขนาดเล็กกว่าภาพเดียวกันที่มีความละเอียดน้อยกว่า ตัวอย่าง เช่น ภาพขนาด ๑x๑ นิ้ว ที่ความละเอียด ๗๒ ppi จะประกอบด้วยพิกเซล ๕,๑๘๔ พิกเซล (ความกว้าง ๗๒ พิกเซล x ความยาว ๗๒ พิกเซล = ๕,๑๘๔) และภาพเดียวกันที่มีความละเอียด ๓๐๐ ppi จะประกอบด้วยพิกเซล ๙๐,๐๐๐ พิกเซลที่มีขนาดของพิกเซลเล็กกว่า (๓๐๐ x ๓๐๐ = ๙๐,๐๐๐) แน่นอนว่าภาพที่มีความละเอียดมากกว่าก็จะใช้พื้นที่ในการจัดเก็บมากกว่า ขนาดแสดงภาพมาตรฐานหน่วยของพิกเซล ได้แก่

|        |                            |
|--------|----------------------------|
| VGA    | 0.3 ล้านพิกเซล = 640x480   |
| SVGA   | 0.5 ล้านพิกเซล = 800x600   |
| XVGA   | 0.8 ล้านพิกเซล = 1024x768  |
| SXGA   | 1.3 ล้านพิกเซล = 1280x1024 |
| EXGA   | 1.4 ล้านพิกเซล = 1400x1050 |
| UXGA   | 1.9 ล้านพิกเซล = 1600x1200 |
| QXGA   | 3.1 ล้านพิกเซล = 2048x1536 |
| QSXGA  | 5.2 ล้านพิกเซล = 2560x2048 |
| WQSXGA | 6.6 ล้านพิกเซล = 3200x2048 |
| QUXGA  | 7.7 ล้านพิกเซล = 3200x2400 |
| WQUXGA | 9.2 ล้านพิกเซล = 3840x2400 |

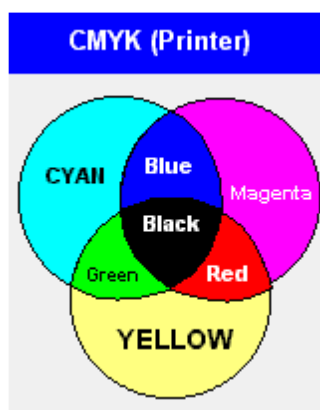
## ๑๐.๔ การแสดงผลโหมดสีในภาพดิจิทัล

๑๐.๔.๑ การแสดงผลแบบ RGB เป็นการแสดงผลบนจอภาพคอมพิวเตอร์ เครื่องฉายภาพโปรเจ็คเตอร์ และจอภาพโทรทัศน์ ประกอบด้วยสีสามสี คือ สีแดง, สีเขียว และสีน้ำเงิน ซึ่งการสร้างงานกราฟิกนั้น เราจะใช้โหมด RGB นี้เป็นหลัก โหมด RGB นี้สีจะเกิดขึ้นจากการผสมแสงสามสี ให้เกิดเป็นจุดสีระบบสี RGB เป็นระบบสีของแสง ซึ่งเกิดจากการหักเหของแสงผ่านแท่งแก้วปริซึม จะเกิดแถบสีที่เรียกว่า สเปกตรัม (Spectrum) ซึ่งแยกสีตามทิวตามองเห็นได้ ๗ สี คือ แดง แสด เหลือง เขียว น้ำเงิน คราม ม่วง ซึ่งเป็นพลังงานอยู่ในรูปของรังสี ที่มีช่วงคลื่นที่สายตาสามารถมองเห็นได้ แสงสีม่วงมีความถี่คลื่นสูงสุด คลื่นแสงที่มีความถี่สูงกว่าแสงสีม่วง เรียกว่า อัลตราไวโอเล็ต (Ultra Violet) และคลื่นแสงสีแดง มีความถี่คลื่นต่ำที่สุด คลื่นแสง ที่ต่ำกว่าแสงสีแดง เรียกว่า อินฟราเรด ( Infrared) คลื่นแสงที่มีความถี่สูงกว่าสีม่วงและต่ำ กว่าสีแดงนั้น สายตาของมนุษย์ไม่สามารถรับได้ เมื่อศึกษาดูแล้วแสงสีทั้งหมดเกิดจาก แสงสี ๓ สี คือ สีแดง (Red) สีน้ำเงิน (Blue) และสีเขียว (Green) ทั้งสามสีถือเป็นแม่สีของแสง เมื่อนามาฉายรวมกันจะทำให้เกิดสีใหม่ อีก ๓ สี คือ สีแดงมาเจนน้ำ สีฟ้าไซแอน และสีเหลืองและถ้าฉายแสงสีทั้งหมดรวมกันจะได้แสงสีขาวจากคุณสมบัติของแสงนี้เราได้นำมาใช้ประโยชน์ทั่วไป ในการฉายภาพยนตร์ การบันทึกภาพวิดีโอ ภาพโทรทัศน์ การสร้างภาพเพื่อการนำเสนอทางจอคอมพิวเตอร์ และการจัดแสงสีในการแสดง เป็นต้น



ภาพที่ ๓-๔๔ แสดงโหมดสีแบบ RGB  
ที่มา [https:// http://doi.nrct.go.th](https://doi.nrct.go.th)

๑๐.๔.๒ การแสดงผลแบบ CMYK โหมดสีนี้เป็นโหมดสีสำหรับงานพิมพ์ ประกอบด้วยสีสี่สี คือ สีเขียวปนน้ำเงิน, สีม่วงแดงเข้ม, สีเหลือง และสีดำ โหมดสีนี้จะใช้ในการเตรียมพิมพ์การพิมพ์สี่สี ระบบสี CMYK เป็นระบบสีชนิดที่เป็นวัตถุดิบ คือ สีแดง เหลือง น้ำเงิน แต่ไม่ใช่สีน้ำเงินที่เป็นแม่สีวัตถุธาตุ แม่สีในระบบ CMYK เกิดจากการผสมกันของแม่สีของแสงหรือระบบสี RGB คือ แสงสีน้ำเงิน + แสงสีเขียว = สีฟ้า (Cyan) แสงสีน้ำเงิน + แสงสีแดง = สีแดง (Magenta) แสงสีแดง + แสงสีเขียว = สีเหลือง (Yellow) สีฟ้า (Cyan) สีแดง (Magenta) สีเหลือง (Yellow) นี้ นำมาใช้ในระบบการพิมพ์ และ มีการเพิ่มเติม สีดำเข้าไป เพื่อให้มีน้ำหนักเข้มขึ้นอีก เมื่อรวมสีดำ (Black = K) เข้าไป จึงมีสี่สี



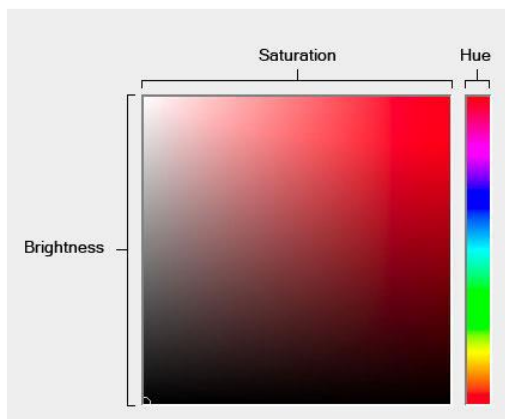
ภาพที่ ๓-๔๕ แสดงโหมดสีแบบ CMYK  
ที่มา [https:// http://doi.nrct.go.th](https://doi.nrct.go.th)

โดยทั่วไปจึงเรียกระบบการพิมพ์นี้ว่าระบบการพิมพ์สี่สี (CMYK) ระบบการพิมพ์สี่สี (CMYK) เป็นการพิมพ์ภาพในระบบที่ทันสมัยที่สุด และได้ภาพ ใกล้เคียงกับภาพถ่ายมากที่สุด โดยทำการพิมพ์ทีละสี จากสีเหลือง สีแดง สีน้ำเงิน และสีดำ ถ้าวางใช้แว่นขยายส่องดู ผลงานพิมพ์ชนิดนี้ จะพบว่า จะเกิดจากจุดสีเล็ก ๆ สีที่อยู่เต็มไปหมด การที่เรามองเห็นภาพมีสีต่าง ๆ นอกเหนือจากสี่สีนี้ เกิดจากการผสมของเม็ดสีเหล่านี้ใน ปริมาณต่าง ๆ คิดเป็น % ของปริมาณเม็ดสี ซึ่งกำหนดเป็น ๑๐-๒๐-๓๐-๔๐-๕๐-๖๐-๗๐-๘๐-๙๐ จนถึง ๑๐๐ %



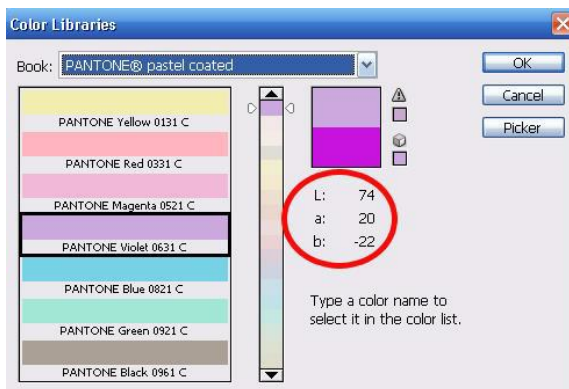
ภาพที่ ๓-๔๖ แสดงปริมาณการผสมสีแบบ CMYK  
ที่มา [https:// http://doi.nrct.go.th](https://doi.nrct.go.th)

๑๐.๔.๓ การแสดงผลแบบ HSB เป็นระบบสีแบบการมองเห็นของสายตามนุษย์ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ Hue คือ สีต่าง ๆ ที่สะท้อนออกมาจากวัตถุแล้วเข้าสู่สายตาของเรา ซึ่งมักจะเรียกสีตามชื่อสี เช่น สีเขียว สีเหลือง สีแดง เป็นต้น Saturation คือ ความสดของสี โดยค่าความสดของสีจะเริ่มที่ ๐ ถึง ๑๐๐ ถ้ากำหนด Saturation ที่ ๐ สีจะมีความสดน้อย แต่ถ้ากำหนดที่ ๑๐๐ สีจะมีความสดมาก Brightness คือ ระดับความสว่างของสี โดยค่าความสว่างของสีจะเริ่มที่ ๐ ถึง ๑๐๐ ถ้ากำหนดที่ ๐ ความสว่างจะน้อยซึ่งจะเป็นสีดำ แต่ถ้ากำหนดที่ ๑๐๐ สีจะมีความสว่างมากที่สุด



ภาพที่ ๓-๔๗ แสดงโหมดสีแบบ HSB  
ที่มา [https:// http://doi.nrct.go.th](https://doi.nrct.go.th)

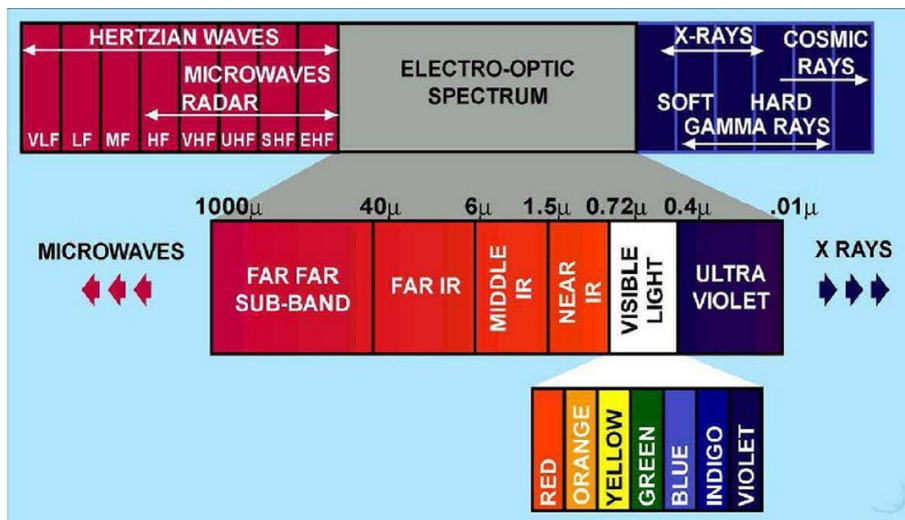
๑๐.๔.๔ การแสดงผลแบบ LAB เป็นระบบสีที่ไม่ขึ้นกับอุปกรณ์ใด ๆ (Device Independent) โดยแบ่งออกเป็นสามส่วน คือ "L" หรือ Luminance เป็นการกำหนดความสว่าง ซึ่งมีค่าตั้งแต่ ๐ ถึง ๑๐๐ ถ้ากำหนดที่ ๐ จะกลายเป็นสีดำ แต่ถ้ากำหนดที่ ๑๐๐ จะเป็นสีขาว "A" เป็นค่าของสีที่ไล่จากสีเขียวไปสีแดง "B" เป็นค่าของสีที่ไล่จากสีน้ำเงินไปเหลือง



ภาพที่ ๓-๔๘ แสดงโหมดสีแบบ LAB  
ที่มา [https:// http://doi.nrct.go.th](https://doi.nrct.go.th)

### ๑๑. Electro Optics/Infrared (EO/IR)

Electro-Optics เป็นความถี่ที่อยู่นอกเหนือคลื่นวิทยุ (Radio Frequency: RF) ซึ่งเรียกรวมว่า ย่านความถี่ Electro-Optics: EO ซึ่งเป็นทำงานของอุปกรณ์ เทคนิค และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการกระจาย และการรับการแพร่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในย่านอินฟราเรด (Infrared: IR), แสง (Visual Light), และอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet)



ภาพที่ ๓-๔๙ แสดง Electro-Optic Spectrum  
ที่มา <https://nniwat.wordpress.com/2010/07/21A-electro-optics-eo/>

#### ๑๑.๑ การใช้งานของ Electro Optics/Infrared (EO/IR)

การพัฒนา ระบบ (EO/IR) ในทางการทหารได้มีมาอย่างต่อเนื่องเพื่อการปฏิบัติการในสภาพอากาศที่เลวร้าย และมีทัศนวิสัยไม่ดีทั้งในเวลากลางวัน และกลางคืน ทั้งในการทำงานแบบ Passive เช่น ระบบนำวิถีด้วยอินฟราเรด (IR Homing), การสร้างภาพด้วยความร้อน (Thermal Imaging: TI), และการเพิ่มความเข้มของภาพ (Image Intensification: II) เป็นต้น รวมทั้งเป็นส่วนหนึ่งในระบบการตรวจจับ (Surveillance), การลาดตระเวน (Reconnaissance), การ

นำทาง (Navigation), การเลือกและติดตามเป้าหมาย (Target Acquisition and Tracking), การเล็งอาวุธ (Weapon Sights) การช่วยในการมอง (Personal Sights), การควบคุมการยิง และการนำวิถีอาวุธ (Fire Control and Weapon Guidance) สำหรับการทำงานแบบ Active เช่นระบบเลเซอร์ (LASER) ถูกพัฒนามาใช้ในอุปกรณ์การวัดระยะ (range finding), การชี้เป้า (target designation) และการนำวิถีจรวด (missile guidance) ซึ่งในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเพิ่มความเข้มและพลังงาน (High Energy LASER: HEL) เพื่อให้สามารถใช้เป็นอาวุธในการสกัดกั้นจรวด

### ๑๑.๒ คุณสมบัติของคลื่นความถี่ย่าน (EO/IR)

โดยทั่วไปแล้วคุณสมบัติของคลื่นในย่านความถี่นี้จะคล้ายกับคลื่นความถี่ในย่านเรดาร์ และย่านวิทยุ โดยต้องเป็นไปตามกฎการสะท้อน (Reflection), การหักเห (Refraction), การเบี่ยงเบน (Diffraction) และขั้วไฟฟ้า (Polarization) รวมทั้งยังมีความเร็วในการแพร่เป็นความเร็วแสงที่เท่ากัน ความแตกต่างที่สำคัญของคลื่นในย่าน Electro-Optic คือจะมีความยาวคลื่น (Wavelength:  $\lambda$ ) ที่สั้นกว่า หรือมีความถี่คลื่น (Frequency:  $f$ ) ที่สูงกว่าย่านความถี่ของ RADAR โดยความถี่ของคลื่นจะอยู่ในช่วงเมกะเฮิรต์ (MHz) ถึงช่วงกิกะเฮิรต์ (GHz) และความยาวคลื่นอยู่ในช่วงไมโครเมตร (micrometer) หรือ ไมครอน (micron:  $\mu$ ) ซึ่งเท่ากับ  $1 \times 10^{-6}$  เมตร

| คลื่น              | ความยาวคลื่น (micron: $\mu$ ) |
|--------------------|-------------------------------|
| อินฟราเรด (IR)     |                               |
| - Far Far IR       | 1000 – 40                     |
| - Far IR           | 40 – 6                        |
| - Middle IR        | 6 – 1.5                       |
| - Near IR          | 1.5 – 0.72                    |
| แสง (Visual Light) | 0.72 – 0.40                   |
| อุลตราไวโอเรต (UV) | 0.40 – 0.01                   |

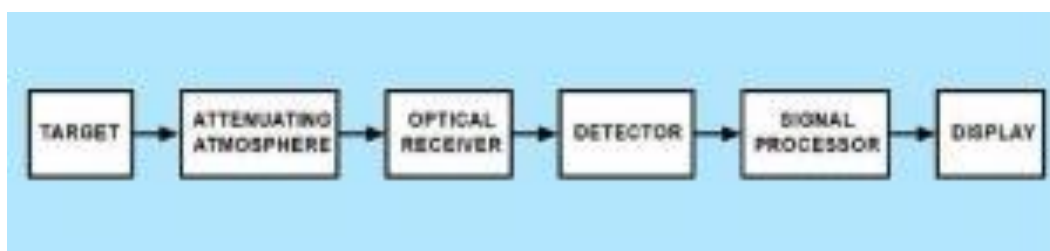
ตารางที่ ๓-๑ แสดงความยาวคลื่น Electro-Optics

ในเวลากลางวันดวงอาทิตย์จะเป็นแหล่งผลิตพลังงานที่มีปัจจัยสำคัญในย่านความถี่แสง ทำให้พลังงานที่สะท้อนออกมาจากวัตถุต่าง ๆ เกิดเป็นภาพในการมองเห็นของมนุษย์ แต่ในเวลากลางคืนการสะท้อนของพลังงานในย่านดังกล่าวมีปริมาณน้อยทำให้เกิดข้อจำกัดในการมองเห็นของมนุษย์ จึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานอื่น หรือคลื่นในย่านความถี่อื่น ได้แก่ Visual light, IR หรือ UV ในการทำให้เกิดภาพแทนแสงที่มาจากดวงอาทิตย์ สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ความถี่ย่าน Visual light ซึ่งรวมถึงย่าน near UV และ near IR ใช้ในการตรวจจับพลังงานจากแหล่งอื่นที่สะท้อน

ออกมาจากวัตถุ ได้แก่ ระบบโทรทัศน์ (television: TV), ระบบเพิ่มความเข้มของภาพ (Image Intensifiers: II) และการถ่ายภาพ (Photography) สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ความถี่ย่าน IR และUV เป็นการตรวจสอบพลังงานที่สร้างและแพร่กระจายออกมาตัววัตถุเอง เช่นระบบตรวจจับและติดตามแบบอินฟราเรด (Infrared Search and Track:IRST), ระบบตรวจการณ์อินฟราเรด (Forward Looking Infrared: FLIR), ระบบแจ้งเตือนการเข้าของจรวด (Missile Approach Warner: MAW) และระบบนำวิถีของจรวด

### ๑๑.๓ ส่วนประกอบเบื้องต้นของระบบ (EO/IR)

ระบบ EO/IR สามารถเปรียบเทียบการทำงานได้กับการมองเห็นของมนุษย์ ซึ่งต้องอาศัยการสะท้อนแสง หรือการเปล่งพลังงานคลื่นออกมาจากวัตถุเป้าหมาย (Target) พลังงานที่ออกมาจากวัตถุจะผ่านตัวกลาง เช่นบรรยากาศ (Atmosphere) แล้วตกลงที่เลนส์รับภาพ (Optical Receiver) เพื่อรวบรวมพลังงานไปให้ตัวตรวจจับ (Detector) และผลิตสัญญาณให้กับชุดประมวลผล (Signal Processing) ผลลัพธ์ที่ได้จะถูกนำไปใช้งานในอุปกรณ์ต่าง ๆ (Output Device) เช่นการแสดงผลภาพ (Display) หรือการนำวิถี (Guidance) เป็นต้น



ภาพที่ ๓-๕๐ แสดง Basic EO Components

ที่มา <https://nniwat.wordpress.com/2010/07/21A-electro-optics-eo/>

ชุดเลนส์ (Optics) ทำหน้าที่ในการรวบรวมพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แพร่ออกมาจากวัตถุเป้าหมาย และส่งต่อไปยังตัวตรวจจับในทิศทาง (Azimuth) และมุม (Elevation) ที่ถูกต้อง ตัวตรวจจับ (Detector) ทำหน้าที่ในการแปลงพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า โดยประสิทธิภาพของการแปลงสัญญาณขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสารที่นำมาใช้เป็นตัวตรวจจับ ความยาวคลื่น และปริมาณของพลังงานที่ได้รับ ชุดประมวลผล (Signal Processor) ทำหน้าที่ในการขยายสัญญาณที่ได้รับจากตัวตรวจจับ และแปลงความสัญญาณไฟฟ้าให้เป็นข้อมูล แล้วส่งให้ใช้งานในอุปกรณ์ปลายทาง (Output Device) เช่น ชุดควบคุม (Control Device) หรือการแสดงผล (Display) อุปกรณ์ปลายทาง (Output Device) เป็นอุปกรณ์ที่นำข้อมูลไปใช้โดยอัตโนมัติ ตามวัตถุประสงค์ของระบบที่ได้ออกแบบไว้ เช่น การควบคุมการนำวิถี หรือการแสดงผลภาพให้ผู้

### ๑๑.๔ ผลกระทบจากชั้นบรรยากาศ

ตามปกติแล้วการแพร่กระจายคลื่น Electro-Optic จะได้รับผลกระทบจากตัวกลาง เช่น สภาพอากาศ เช่นเดียวกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ได้แก่ การสูญเสียจากการแพร่



(Propagation Loss) การดูดซับ (Absorption) การกระจายตัว (Scattering) การสะท้อน (Reflection) การหักเห (Refraction) และการเบี่ยงเบน (Diffraction) การสูญเสียจากการแพร่ (Propagation Loss) เป็นการลดความเข้มของพลังงานคลื่นที่ต้องแพร่กระจายออกเป็นอัตราส่วนตรงกับรัศมีการแพร่ยกกำลังสอง ( $R^2$ ) การดูดซับ (Absorption) ในชั้นบรรยากาศมีอนุภาคเล็ก ๆ มากมาย เมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแพร่ผ่านอนุภาคเหล่านี้จะถูกซึบพลังงานของคลื่นในระหว่างการเดินทาง ซึ่งจะมีผลมากกับคลื่นความถี่ย่าน IR และ UV โดยอนุภาคที่มีผลกระทบมากได้แก่ โอโซน ( $O_3$ ), ออกซิเจน ( $O_2$ ), คาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) และไอน้ำ (Water Vapour) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการดูดซับแบบ (Resonance -Absorption) เนื่องจากความถี่ของคลื่น Electro-Optic บางช่วงใกล้เคียงกับความถี่ธรรมชาติของอนุภาคต่าง ๆ ในอากาศ จะทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานของคลื่นมากกว่าปกติ การกระจายตัว (Scattering) เมื่อคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าถูกส่งผ่านบรรยากาศ จะกระทบกับอนุภาคเล็ก ๆ ทำให้พลังงานส่วนหนึ่งของคลื่นเกิดการกระจายออกมา โดยปริมาณของการกระจายขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคกับความยาวคลื่น หากขนาดของอนุภาคใกล้เคียงกับความยาวคลื่น Electro-Optic จะให้เกิดการกระจายมากขึ้น โดยอนุภาคที่มีผลต่ออุปกรณ์ทางทหารมีดังนี้

### ๑๑.๕ ขีดความสามารถของ Sensors ในระบบตรวจการณ์อินฟราเรด (Forward Looking Infrared: FLIR)

Thermal Imager หรือ FLIR สามารถบันทึกภาพด้วยความแตกต่าง ระหว่างอุณหภูมิ Target และ Background ได้ โดยสามารถกำหนดให้บริเวณ ที่มีอุณหภูมิสูงกว่า แสดงภาพออกมาเป็นสีขาว หรือ ดำ ได้ตามต้องการ บันทึกภาพด้วยความร้อนได้ทั้งเวลากลางวันและกลางคืน ใช้ Detector ซึ่งรับคลื่นความร้อนในช่วง MWIR (Middle Wave IR) มีความยาวคลื่นประมาณ ๓ – ๕ ไมโครเมตร (ไมครอน) ซึ่งเป็นช่วงคลื่นความร้อนที่เหมาะสมกับการบันทึกภาพด้วยความร้อน สามารถเลือกมุมกรอบคลุมภาพได้ หลายระดับ (Field of view: FOV) และมีระบบปรับปรุงภาพให้ชัดเจนยิ่งขึ้น (Image Processing)

### กล้องวงจรปิด

กล้องวงจรปิด (อังกฤษ: Closed Circuit Television: CCTV) คือระบบการบันทึกภาพเคลื่อนไหวยกด้วยกล้องวงจรปิด ซึ่งเป็นระบบสำหรับการใช้เพื่อการรักษาความปลอดภัย หรือใช้เพื่อการสอดส่องดูแลเหตุการณ์หรือสถานการณ์ต่างๆ ที่นอกเหนือจากการรักษาความปลอดภัย

#### ๑. ความเป็นมาของกล้องวงจรปิด

กล้องวงจรปิดได้ติดตั้งระบบครั้งแรกโดย ซีเมนส์ เอจี (Siemens AG) เพื่อสังเกตการณ์สำหรับการเปิดตัวของ V2-rockets ที่ Peenemünde เยอรมนีใน ปี ๑๙๔๒ สำหรับ V2-rockets คือ ขีปนาวุธของเยอรมนีตอนสงครามโลกครั้งที่ ๒ วิศวกรเยอรมันชื่อ Walter Bruch เป็นผู้รับผิดชอบใน

การออกแบบและการติดตั้งระบบ และ ในเดือนกันยายน ปี ๑๙๖๘, Olean นิวยอร์ก คือแรกเมืองในประเทศสหรัฐอเมริกาเพื่อติดตั้งกล้องวงจรปิด ในถนนธุรกิจเพื่อป้องกันการก่อการร้าย ต่อมาภายหลังการใช้กล้องวงจรปิดได้กลายเป็นสิ่งจำเป็นใน ธนาคาร, สถานที่ราชการ, ที่สาธารณะ หรือแม้กระทั่งบริษัทห้างร้านต่างๆ

## ๒. องค์ประกอบที่สำคัญของระบบกล้องวงจรปิด

ระบบกล้องวงจรปิดมีส่วนประกอบพื้นฐาน ดังนี้

๒.๑ กล้องวงจรปิดและเลนส์ ([กล้องวงจรปิด], CCTV Camera and Lens)

๒.๒ สายเคเบิลสำหรับการส่งสัญญาณภาพและบีเอ็นซีคอนเนคเตอร์ (Signal Cable and BNC Connector) สามารถใช้ได้ทั้งสายนำสัญญาณแบบทั่วไป หรือสายใยแก้ว

๒.๓ เครื่องบันทึกภาพ (CCTV Recorder) เดิมใช้ระบบบันทึกภาพแบบม้วนวิดีโอ VHS บันทึกแบบอนาล็อก ซึ่งมีราคาถูก แต่ปัจจุบันเทคโนโลยีได้เปลี่ยนไปเป็นการบันทึกภาพแบบดิจิทัล บันทึกลงบนฮาร์ดดิสก์ ขนาดความจุที่แตกต่างกัน มีระบบควบคุมอัตโนมัติ เช่นสามารถบันทึกได้ ๓๐ วัน เมื่อถึงวันที่ ๓๑ ก็จะลบวันที่ ๑ โดยอัตโนมัติ เป็นต้น ซึ่งการทิ้งบันทึกภาพแบบดิจิทัลหรือการบันทึกแบบอนาล็อก สามารถบันทึกในคราวเดียวกันได้มากกว่า ๑ กล้อง เช่น ๒,๔,๖ ฯลฯ แต่ก็มีจุดอ่อนตรงที่หากแบ่งเป็นหลายช่องหลายกล้องบันทึกพร้อมกัน จะทำให้คุณภาพของภาพที่ได้ไม่ชัดเจน เมื่อนำภาพไปใช้ประโยชน์ไม่เต็มที่เพราะภาพจะไม่ชัด เครื่องบันทึกภาพสามารถแบ่งได้ ๒ แบบ ดังนี้

๒.๓.๑ เครื่องบันทึกภาพกล้องวงจรปิดระบบอนาล็อก (Videocassette Recorder: VCR) เครื่องบันทึกภาพระบบอนาล็อก เป็นเครื่องบันทึกรุ่นเก่าที่ได้รับความนิยมในอดีต ในการบันทึกภาพจากกล้องวงจรปิด ซึ่งเครื่องบันทึกภาพจะต้องใช้ม้วนวิดีโอเทปในการบันทึกภาพ ม้วนเทปอนาล็อกแบบมาตรฐานสามารถบันทึกภาพจากกล้องวงจรปิดได้นาน ๑๒ ชั่วโมง จนถึง ๙๖๐ ชั่วโมง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถของเครื่องบันทึกภาพด้วย ว่าสามารถบันทึกภาพได้นานเท่าใด ซึ่งเครื่องบันทึกภาพแต่ละรุ่น จะมีความสามารถในการบันทึกภาพจากกล้องวงจรปิด ได้ไม่เท่ากัน เครื่องบันทึกภาพในระบบอนาล็อกนี้จะมีราคาถูก และ ม้วนวิดีโอเทปที่นำมาบันทึกภาพก็มีราคาไม่แพง

๒.๓.๒ เครื่องบันทึกภาพกล้องวงจรปิดแบบดิจิทัล ( Digital Video Recorder หรือ DVR) ซึ่งแบ่งย่อยออกเป็น ๒ ประเภท คือ

๒.๓.๒.๑ Stand Alone DVR เป็นเครื่องบันทึกภาพสำเร็จรูป บันทึกภาพจากกล้องวงจรปิดแบบดิจิทัล ซึ่งเครื่องบันทึกภาพแบบนี้จะมี หน้าตาคล้ายๆกับเครื่องบันทึกวิดีโอเทปเพียงแต่เปลี่ยนจากการใช้ม้วนวิดีโอเทปในการบันทึก มาเป็นใช้ Harddisk ของคอมพิวเตอร์ มา บันทึกภาพแทน ซึ่งเครื่องบันทึกภาพกล้องวงจรปิดแบบ Stand Alone DVR นี้จะมีแบบบันทึกภาพได้ ๔ กล้อง ๘ กล้อง และ ๑๖ กล้อง



ภาพที่ ๓-๕๑ แสดง DVR

[http://www.visionstar-cctv.com/m\\_product/186-4ch-8ch-960H-DVR-A8608.html](http://www.visionstar-cctv.com/m_product/186-4ch-8ch-960H-DVR-A8608.html)

๒.๓.๒.๒ PC Based DVR เป็นเครื่องบันทึกภาพกล้องวงจรปิด แบบใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาควบคุมการทำงาน และ บันทึกภาพลงเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะมีทั้งแบบใช้เซส Server และใช้เซสคอมฯแบบธรรมดา ขึ้นอยู่กับรุ่นและราคา ของเครื่องบันทึกภาพ และระบบ PC Base DVR ยังสามารถใส่ Harddisk หน่วยความจำในการเก็บข้อมูลบันทึกภาพได้หลายตัว แล้วแต่รุ่น บางรุ่นใส่ HDD ได้ 6 ตัว บางรุ่นใส่ได้ 8 ตัว ระบบนี้จึงเหมาะกับการที่ลูกค้าต้องการเก็บข้อมูลในการ บันทึกภาพจากกล้องวงจรปิด เป็นเวลานานๆ เช่น ๑-๓ เดือน เป็นต้น ระบบบันทึก กล้องวงจรปิด แบบ PC Base DVR จะมีตั้งรุ่น ๘ กล้อง ๑๖ กล้อง ๒๔ กล้อง และ ๓๒ กล้อง

๒.๔ จอแสดงผล สำหรับแสดงภาพจากกล้องวงจรปิด

๒.๕ โปรแกรมควบคุมการทำงาน และการแสดงผล ทำให้ จนท.สามารถควบคุมกล้อง และกำหนดรูปแบบการแสดงผลได้



ภาพที่ ๓-๕๒ แสดง โปรแกรมการควบคุมกล้อง

<https://www.milestone-systems.com/articles/mmanagement-system>

### ๓. การแบ่งชนิดของกล้องวงจรปิด

การแบ่งกล้องวงจรปิดสามารถแบ่งได้ ๒ ประเภทดังนี้

#### ๓.๑ แบ่งตามรูปแบบการควบคุมกล้อง

๓.๑ กล้องวงจรปิดชนิดมุมกล้องคงที่ (Fixed Camera) คือ กล้องวงจรปิดที่ติดตั้งไปแล้วไม่สามารถจะขยับตัวกล้อง หรือ หมุนเปลี่ยนทิศทางการมองในการดูภาพจากกล้องวงจรปิดได้ ถ้าต้องการหมุนหรือเปลี่ยนทิศทาง ก็จะต้องถอดตัวกล้องแยกออกจากขากล้อง แล้วยึดติดกล้องวงจรปิดในตำแหน่งใหม่แทน



ภาพที่ ๓-๕๓ แสดง มุมภาพคงที่

<https://openclipart.org/detail/178106/cctv-fixed-camera>

๓.๒ กล้องวงจรปิดชนิด ปรับเปลี่ยนมุมมองได้ (Pan/Tilt/Zoom Camera) เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งาน ระบบกล้องวงจรปิด ในปัจจุบันทาง โรงงานผลิตกล้องวงจรปิดจึงได้ผลิตกล้องที่มี ความสามารถ ทำให้กล้องวงจรปิดหมุนปรับทิศ และ ซูมภาพได้ สามารถที่จะปรับให้หมุนซ้าย / ขวา ก้ม-เงย ซูม ได้ โดยผ่านทาง เครื่องควบคุม ( Key Board Control ) ซึ่งกล้องวงจรปิดชนิดนี้เรียกว่า กล้อง Speed Dome สามารถหมุนรอบตัวเองได้ ๓๖๐ องศา และ ซูมภาพได้ไกล ๑๐๐-๓๐๐ เมตร ( แล้วแต่รุ่นของกล้องวงจรปิด ) สามารถปรับมุมก้มเพื่อจะดูวัตถุ หรือคนที่อยู่บนพื้นดิน ซึ่งมีระดับต่ำกว่าตำแหน่งที่ติดตั้งกล้อง หรือมุมเงยเพื่อมองไปยังอาคารที่สูงกว่า ไม่ว่าจะ เป็นทิศทางตรงด้านหน้า หรือจะหมุนไป ยังทิศทางอื่นๆ ก็สามารถทำได้ การพิจารณาเลือกใช้ กล้องวงจรปิด Speed Dome ควรเลือกให้เหมาะสมกับงาน เพื่อเป็นประหยัดเงิน และอื่นๆ เช่น ติดตั้งภายในอาคารสำนักงาน สภาพแวดล้อมปกติ ก็ควรใช้ กล้องวงจรปิด Speed Dome แบบ Indoor ธรรมดาสำหรับที่ใช้ภายในอาคาร แต่ถ้าเป็นการใช้งานภายนอกอาคาร ก็มีความจำเป็นที่ต้องใช้ กล้องวงจรปิด Speed Dome แบบ Out door ที่มีคุณสมบัติพิเศษ ให้เหมาะสมกับสภาพของสถานที่นั้นๆ ซึ่งอาจจะมีราคาค่อนข้างสูงจนถึงสูงมาก :ซึ่งตัวกล้องวงจรปิดสามารถทนต่อแดดและฝนได้



ภาพที่ ๓-๕๔ แสดง กล้องปรับเปลี่ยนมุมมองได้

<https://ctssystem.eu/product/optical-zoom/>

## ๓.๒ แบ่งตามรูปแบบการใช้แสง

๓.๒.๑ กล้องมาตรฐาน เป็นกล้องที่ใช้ในแสงปกติ เช่นในเวลากลางวัน แต่จะให้ภาพไม่ชัดในเวลากลางคืน

๓.๒.๒ กล้องอินฟราเรด เป็นกล้องที่ใช้แสงจากหลอดอินฟราเรดส่องไปกระทบวัตถุ เพื่อให้กล้องจับภาพบริเวณนั้นๆได้ อินฟราเรดจะทำงานเมื่อสภาวะแสงบริเวณนั้นน้อยลงในระดับหนึ่ง โดยจะมี Censor ที่ด้านหน้าของกล้องตรวจวัดระดับแสง แล้วจะส่งสัญญาณให้หลอดอินฟราเรดทำงาน และเมื่อหลอดอินฟราเรดทำงานภาพจะเปลี่ยนเป็นขาว-ดำ ทันที

๓.๒.๓ กล้อง Day & Night กล้องวงจรปิดที่สามารถใช้งานได้ทั้งกลางวันและกลางคืน แต่ต้องการแสงเล็กน้อยเพื่อให้ กล้องวงจรปิด สามารถจับภาพได้ และเมื่อกล้องวงจรปิดได้รับแสงน้อยมากๆ (สภาวะที่ยังมีแสงอยู่เล็กน้อย) ก็จะเปลี่ยนภาพเป็นโหมด ขาว-ดำ

๓.๒.๔ กล้อง Star Light การทำงานคล้ายๆ กับกล้อง Day & Night แต่พิเศษกว่าตรงที่สามารถให้ภาพสีในเวลากลางคืน แม้จะมีแสงเพียงเล็กน้อยก็ตาม

## ๔. ประโยชน์ของกล้องวงจรปิด

๔.๑ รักษา ฝ้าระวัง ความปลอดภัยของ บุคคลและสถานที่ สำหรับฝ้าดูและเก็บหลักฐานการทำผิดกฎหมาย ซึ่งโจรผู้ร้ายมักจะหลีกเลี่ยงการทำผิดต่อหน้ากล้องวงจรปิด เพราะจะเป็นหลักฐานที่สำคัญในการจับกุม แต่บ่อยครั้งที่โจรสามารถหลบเลี่ยงมุมมองกล้องได้

๔.๒ ตรวจสอบการทำงาน ใช้ประโยชน์ในโรงงาน สำหรับผู้จัดการ ในการดูพฤติกรรมการทำงานของพนักงานในโรงงาน

๔.๓ ทำงานร่วมกับระบบอัตโนมัติ ใช้ประโยชน์เหมือนตาระยะไกลในการเฝ้ามองผ่านตัวเซ็นเซอร์เพื่อควบคุมระบบอัตโนมัติ

๔.๔ คำนวณตรวจสอบ เช่น การตรวจสอบคุณภาพ

๔.๕ ใช้เป็นหลักฐาน เพราะได้ทั้งภาพและเสียง ภาพวิดีโอที่บันทึกได้จึงมีความน่าเชื่อถือกว่าเทปเสียง แต่ส่วนใหญ่ภาพเคลื่อนไหวที่บันทึกไว้เป็นหลักฐานมักจะมีเฉพาะภาพเคลื่อนไหวอย่างเดียว มักจะไม่มีเสียงประกอบ

## บรรณานุกรม

### ภาษาไทย

เอกสารวิจัย. โรงเรียนเสนาธิการทหารอากาศ กรมยุทธศึกษาทหารอากาศ. ๒๕๖๐ นาวาอากาศโท วรพจน์ โชคนาคะวโร. แนวทางการใช้งานเครือข่ายเป็นศูนย์กลาง ตามยุทธศาสตร์ ทอ.๒๐ ปี (พ.ศ.๒๕๖๐-๒๕๗๙).

### ภาษาอังกฤษ

Cubic Defense Applications SAN DIEGO (USA). **System Maintenance Manual**

**For The Air Combat Maneuvering Instrumentation System: 2007**

Cubic Defense Applications SAN DIEGO (USA). **System Operations Manual**

**For The Air Combat Maneuvering Instrumentation System: 2007**

Cubic Defense Applications SAN DIEGO (USA). **Training Subsystem**

**Aircraft Instrumentation AN/ASQ-T503 (AIS) LOADING Procedures**

**Technical Data Nonnuclear Munitions: 2007**

Cubic Defense Applications SAN DIEGO (USA). **Operator and Maintenance Manual**

**For The Air Combat Maneuvering Instrumentation System: 2007**