บทที่ 6
การออกแบบรายละเอียดทางข้ามในพื้นที่ศึกษานำร่อง

6. การออกแบบรายละเอียดทางข้ามในพื้นที่ศึกษานำร่อง

ในการสำรวจพื้นที่ภาคสนามของพื้นที่ศึกษานำร่องของทางข้ามถนน 4 แห่ง เพื่อปรับปรุงให้เป็นทางข้ามถนนอัจฉริยะ (Smart Crosswalk) พบว่ามีรายละเอียดแบบทางข้ามที่ต้องทำการพัฒนาและปรับปรุงเพื่อติดตั้งอุปกรณ์เทคโนโลยีอัจฉริยะ ดังนั้นทางที่ปรึกษาได้เสนอแนวคิดการออกแบบและปรับปรุงทางข้ามถนนอัจริยะ โดยการออกแบบดังกล่าว มีการพิจารณาการออกแบบด้วยหลักทางวิศวกรรม เช่น ความเร็วยวดยาน ความสามารถในการมองเห็นของผู้ขับขี่และคนข้ามถนน ความจำเป็นในการบังคับให้รถหยุดเพื่อให้สามารถข้ามถนนได้โดยปลอดภัย การกำหนดพื้นที่และเทคนิคต่าง ๆ ในการควบคุมพฤติกรรมผู้ขับขี่ยวดยานและผู้ข้ามถนนตลอดจนบังคับใช้กฎหมาย (Enforcement) ทำให้คนเดินข้ามถนนสามารถข้ามถนนได้โดยปลอดภัยในทุกประเภทของคนเดินข้าม โดยแนวทางในออกแบบรายละเอียดของทางข้าม แบ่งออกเป็น 4 ส่วนหลัก ได้แก่

- แนวคิดการออกแบบปรับปรุงทางข้ามในพื้นที่ศึกษานำร่อง
- แนวคิดการติดตั้งอุปกรณ์และเทคโนโลยีทางข้ามถนนอัจฉริยะ
- การออกแบบการทำงานของทางข้ามถนนอัจฉริยะ
- การออกแบบรายละเอียดของทางข้ามในพื้นที่ศึกษานำร่อง

โดยมีรายละเอียดของกิจกรรมหลักและกิจกรรมย่อยสามารถแสดงได้ดังนี้

6.1. แนวคิดการออกแบบปรับปรุงทางข้ามในพื้นที่ศึกษานำร่อง

จากการสำรวจข้อมูลภาคสนามพื้นที่ศึกษานำร่องของทางข้ามถนน 4 แห่ง เพื่อปรับปรุงให้เป็นทางข้ามถนนอัจฉริยะ (Smart Crosswalk) พบว่า ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่สองข้างทางของทางข้าม ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์ และสิ่งอำนวยความสะดวกบริเวณทางข้ามถนน ต้องได้รับการปรับปรุงให้มีความเหมาะสมกับการติดตั้งอุปกรณ์และระบบเทคโนโลยีการทำงานของทางข้ามถนนอัจฉริยะ โดยการปรับปรุงแต่ละทางข้ามของพื้นที่ศึกษานำร่องจะพิจารณาตามความพร้อมของพื้นที่ทางข้าม และคุณลักษณะการจราจรของยวดยานและคนเดินข้ามในพื้นที่ทางข้ามนั้น ส่วนของอุปกรณ์เทคโนโลยีทางข้ามถนนอัจฉริยะ จะพิจารณาติดตั้งตามรูปแบบของทางข้ามพื้นที่ศึกษานำร่อง เพื่อให้ความเหมาะสมตามหลักทางวิศวกรรมและประสิทธิภาพสูงสุดของการทำงานของระบบ ทำให้คนข้ามสามารถข้ามถนนได้โดยปลอดภัย โดยมีรายละเอียดแนวคิดในการออกแบบทางข้ามนำร่องทั้ง 4 แห่ง ดังนี้

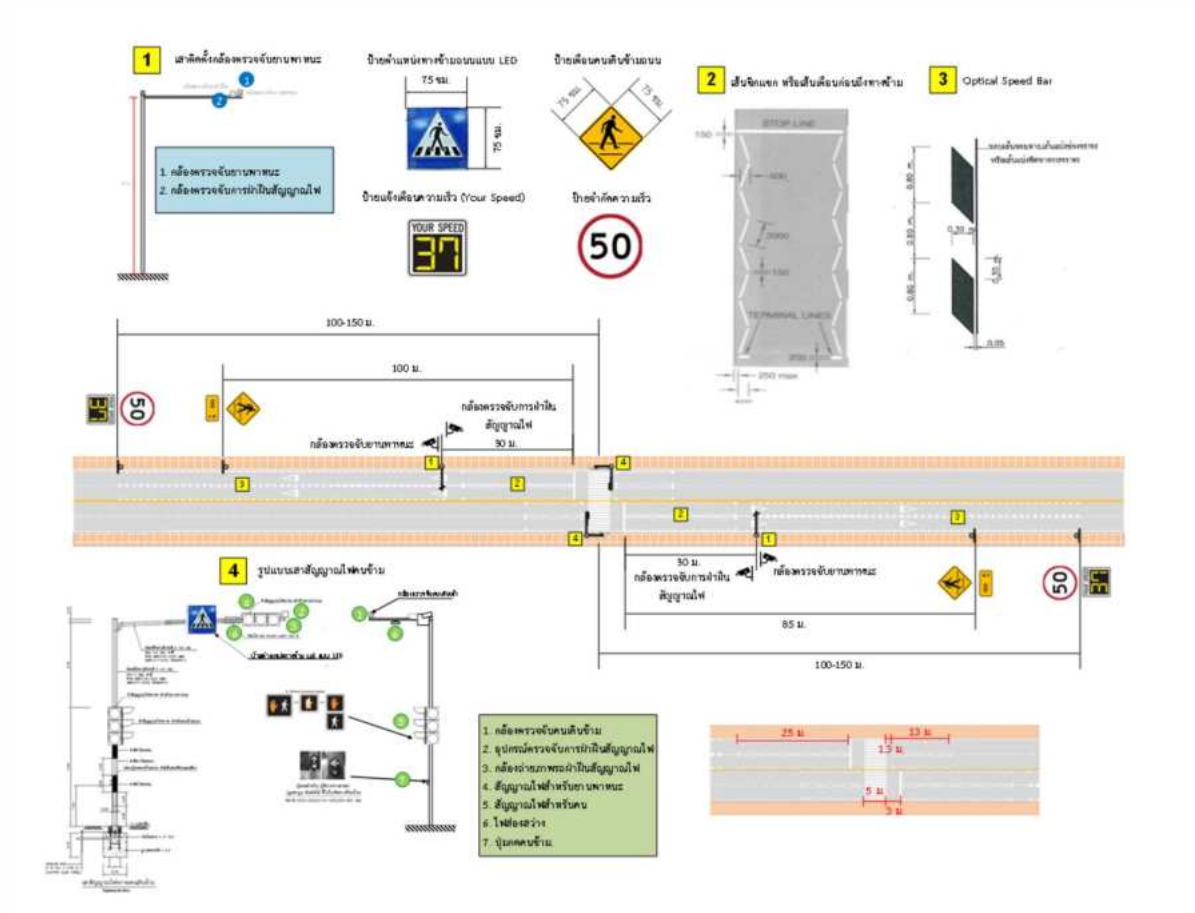
6.1.1. ทางข้ามถนนบนทางหลวงหมายเลข 306 ตอน 101 กม.4+970

ทางข้ามถนนบนช่วงถนนทางหลวงหมายเลข 306 (ถนนประชาราษฎร์) ตอน 101 กม. 4+970 เป็นทางข้ามที่มีรูปแบบ 4 ช่องจราจรแบบไม่มีเกาะกลาง พื้นที่สองข้างทางเป็นทางเดินเท้าทั้งสองฝั่ง แต่มีความกว้างของพื้นที่ทางเดินเท้าที่ไม่กว้างมากนัก รวมไปถึงไม่มีป้ายจราจรและเครื่องหมายจราจรบนพื้นทางบริเวณทางข้ามนี้ ดังแสดงใน **รูปที่ 6.1-1** และ **รูปที่ 6.1-2**

รูปที่ 6.1-1 ทางข้ามบนทางหลวงหมายเลข 306 ตอน 101 กม. 4+970

รูปที่ 6.1-2 ตำแหน่งทางข้ามบนทางหลวงหมายเลข 306 ตอน 101 กม. 4+970

จากการศึกษาพื้นที่สองข้างทางและอุปกรณ์เทคโนโลยีต่าง ๆ บริเวณทางข้าม มีความจำเป็นต้องปรับปรุงลักษณะทางกายภาพของทางข้าม โดยการปรับปรุงขอบทางเท้าบริเวณทางข้ามให้เป็นทางเดินลาด (Curb Ramp) ส่วนของอุปกรณ์เทคโนโลยีกล้องและเซ็นเซอร์ จะทำการติดตั้งกล้องตรวจจับคนข้าม กล้องตรวจจับการฝ่าฝืน และกล้องตรวจจับยวดยาน การปรับปรุงในหมวดอื่น ๆ จะพิจารณาติดตั้งเพิ่มอุปกรณ์ เช่น ป้ายตำแหน่งทางข้ามถนนแบบ LED บนเสาแขวนสูง ป้ายจำกัดความเร็วและป้ายแจ้งเตือนความเร็ว (Your Speed Sign) สัญญาณไฟจราจรสำหรับคนข้ามและยวดยาน ไฟฟ้าส่องสว่างบริเวณทางข้าม และเครื่องหมายจราจรเตือนก่อนถึงทางข้าม เป็นต้น โดยมีรายละเอียดของลักษณะทางกายภาพและอุปกรณ์เทคโนโลยีทางข้ามถนนอัจฉริยะแสดง ดัง**รูปที่ 6.1-3** รวมทั้งการจัดทำแบบจำลองทางข้ามดังแสดงใน**รูปที่ 6.1-4**



รูปที่ 6.1-3 Conceptual Design ทางข้ามบนทางหลวงหมายเลข 306 ตอน 101 กม. 4+970

รูปที่ 6.1-4 แบบจำลองทางข้ามบนทางหลวงหมายเลข 306 ตอน 101 กม. 4+970

6.1.2. ทางข้ามถนนบนทางหลวงหมายเลข 3242 ตอน 100 กม.11+625

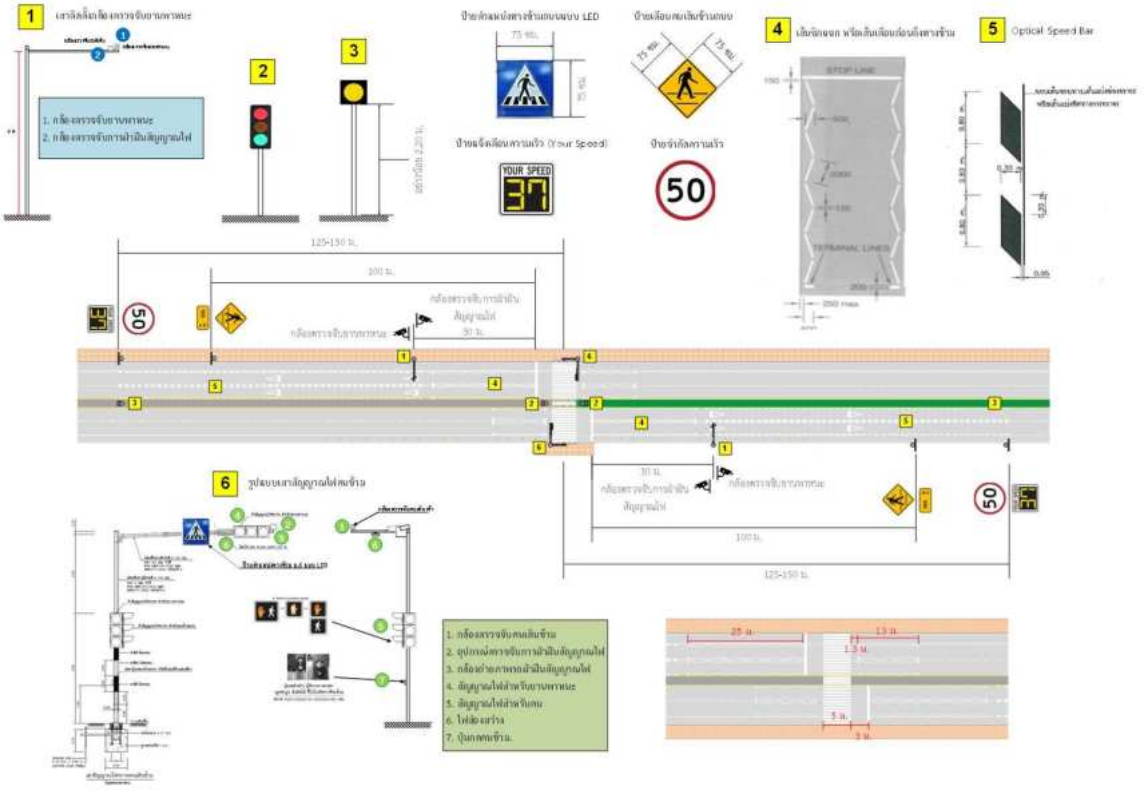
ทางข้ามถนนบนทางหลวงหมายเลข 3242 (ถนนเอกชัย) ตอน 100 กม. 11+625 เป็นทางข้ามที่มีรูปแบบ 4 ช่องจราจรแบบมีเกาะกลาง พื้นที่สองข้างทางเป็นทางเดินเท้าหนึ่งฝั่งและไหล่ทางผิวทางแอสฟัลท์อีกหนึ่งฝั่ง เกาะกลางเป็นแบบยกขอบทาง มีป้ายจราจรเตือนคนเดินข้ามถนนติดตั้งอยู่บริเวณทางข้าม และไม่มีเครื่องหมายจราจรบนพื้นทางบริเวณทางข้ามนี้ ดังแสดงใน**รูปที่ 6.1-5** และ **รูปที่ 6.1-6**

รูปที่ 6.1-5 ทางข้ามบนทางหลวงหมายเลข 3242 ตอน 100 กม. 11+625

รูปที่ 6.1-6 ตำแหน่งทางข้ามบนทางหลวงหมายเลข 3242 ตอน 100 กม. 11+625

จากการศึกษาพื้นที่สองข้างทางและอุปกรณ์เทคโนโลยีต่าง ๆ บริเวณทางข้าม มีความจำเป็นต้องย้ายตำแหน่งของทางข้ามเนื่องจากมีการจอดยวดยานบนไหล่ทางและมีแม่ค้าขายของบนทางเท้าและไหล่ทาง ซึ่งถ้าหากทำการปรับปรุงทางข้ามและทางเท้าในตำแหน่งเดิม จะทำให้รถไม่สามารถจอดริมทางได้ และยากต่อการจัดระเบียบทางเท้าและไหล่ทาง ซึ่งเมื่อทำการสำรวจบริเวณใกล้เคียงของทางข้ามในตำแหน่งเดิม พบว่า บริเวณถัดจากตลาดไปในทิศขาออกเมืองสมุทรสาครใกล้กับโรงเรียนวัดโพธิ์แจ้ มีความเหมาะสมในการจัดทำทางข้ามรูปแบบอัจฉริยะเนื่องจากพื้นที่ทางเท้ามีความกว้างเพียงพอและการจัดระเบียบทางเท้าและไหล่ทางสามารถทำได้ง่ายกว่า จึงสมควรย้ายตำแหน่งทาง

ข้ามมาอยู่ในตำแหน่งนี้แทน และปรับปรุงลักษณะทางกายภาพในส่วนของการขยายพื้นที่ทางเท้าสำหรับรอข้ามถนนทั้งสองฝั่ง สร้างแนวทางเดินเท้าฝั่งขาเข้าเมืองสมุทรสาคร ปรับปรุงขอบทางเท้าบริเวณทางข้ามให้เป็นทางเดินลาด (Curb Ramp) และปรับปรุงเกาะกลางให้มีทางเดินลาด (Curb Ramp) ในหมวดเทคโนโลยีกล้องและเซ็นเซอร์จะทำการติดตั้ง กล้องตรวจจับคนข้าม กล้องตรวจจับการฝ่าฝืนทั้งด้านหน้าและด้านหลัง และกล้องตรวจจับยวดยาน การปรับปรุงในหมวดอื่น ๆ จะพิจารณาติดตั้งเพิ่มอุปกรณ์ เช่น โคมสัญญาณไฟยวดยานบริเวณเกาะกลาง ป้ายตำแหน่งทางข้ามถนนแบบ LED บนเสาแขวนสูง ป้ายเตือนคนเดินข้ามถนน ป้ายจำกัดความเร็วและป้ายแจ้งเตือนความเร็ว (Your Speed Sign) สัญญาณไฟจราจรสำหรับคนข้ามและยวดยาน ไฟฟ้าส่องสว่างบริเวณทางข้าม และเครื่องหมายจราจรเตือนก่อนถึงทางข้าม เป็นต้น โดยมีรายละเอียดของลักษณะทางกายภาพและอุปกรณ์เทคโนโลยีทางข้ามถนนอัจฉริยะดัง**รูปที่ 6.1-7** รวมทั้งการจัดทำแบบจำลองทางข้ามดังแสดงใน**รูปที่ 6.1-8**



รูปที่ 6.1-7 Conceptual Design ทางข้ามบนทางหลวงหมายเลข 3242 ตอน 100 กม. 11+625

รูปที่ 6.1-8 แบบจำลองทางข้ามบนทางหลวงหมายเลข 3242 ตอน 100 กม. 11+625

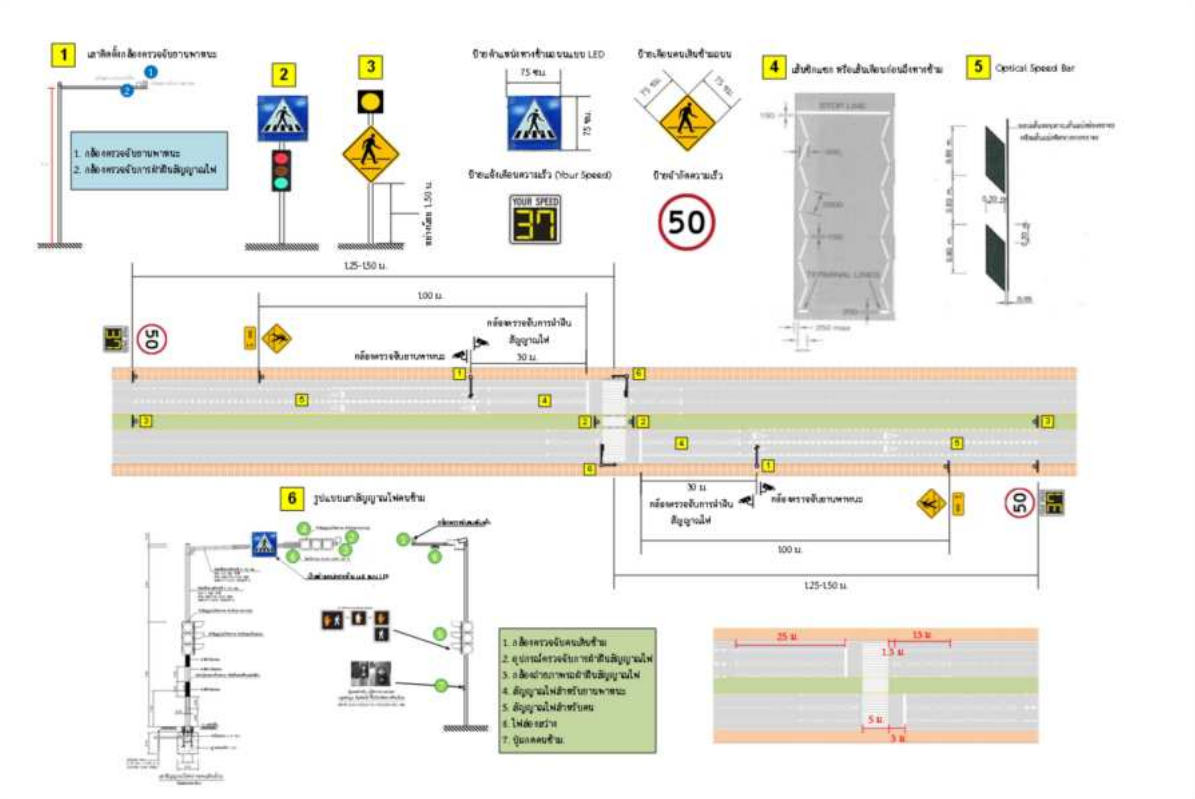
6.1.3. ทางข้ามถนนบนทางหลวงหมายเลข 407 ตอน 102 กม.22+180

ทางข้ามถนนบนทางหลวงหมายเลข 407 (ถนนกาญจนวนิช) ตอน 102 กม. 22+180 เป็นทางข้ามที่มีรูปแบบ 4 ช่องจราจรแบบมีเกาะกลาง พื้นที่สองข้างทางเป็นทางเดินเท้าทั้งสองฝั่ง ไม่มีทางเดินลาดบริเวณเกาะกลาง มีป้ายจราจรเตือนคนเดินข้ามถนน และป้ายเตือนคนข้ามถนนแบบมีไฟกระพริบติดตั้งอยู่บริเวณเกาะกลาง และไม่มีเครื่องหมายจราจรบนพื้นทางบริเวณทางข้ามนี้ ดังแสดงใน**รูปที่ 6.1-9** และ **รูปที่ 6.1-10**

รูปที่ 6.1-9 ทางข้ามบนทางหลวงหมายเลข 407 ตอน 102 กม. 22+180

รูปที่ 6.1-10 ตำแหน่งทางข้ามบนทางหลวงหมายเลข 407 ตอน 102 กม. 22+180

จากการศึกษาพื้นที่สองข้างทางและอุปกรณ์เทคโนโลยีต่าง ๆ บริเวณทางข้าม มีความจำเป็นต้องปรับปรุงลักษณะทางกายภาพในส่วนของการขยายพื้นที่ทางเท้าสำหรับรอข้ามถนนทั้งสองฝั่ง ปรับปรุงขอบทางเท้าบริเวณทางข้ามให้เป็นทางเดินลาด (Curb Ramp) และปรับปรุงเกาะกลางให้มีทางเดินลาด (Curb Ramp) ในหมวดเทคโนโลยีกล้องและเซ็นเซอร์จะทำการติดตั้ง กล้องตรวจจับคนข้าม กล้องตรวจจับการฝ่าฝืนทั้งด้านหน้าและด้านหลัง และกล้องตรวจจับยวดยาน การปรับปรุงในหมวดอื่น ๆ จะพิจาณาติดตั้งเพิ่มอุปกรณ์ เช่น ป้ายตำแหน่งทางข้ามถนนแบบ LED บนเกาะกลาง ป้ายตำแหน่งทางข้ามถนนแบบ LED บนเสาแขวนสูง ป้ายจำกัดความเร็วและป้ายแจ้งเตือนความเร็ว (Your Speed Sign) สัญญาณไฟจราจรสำหรับคนข้ามและยวดยาน ไฟฟ้าส่องสว่างบริเวณทางข้าม และเครื่องหมายจราจรเตือนก่อนถึงทางข้าม เป็นต้น โดยมีรายละเอียดของลักษณะทางกายภาพและอุปกรณ์เทคโนโลยีทางข้ามถนนอัจฉริยะ ดัง**รูปที่ 6.1-11** รวมทั้งการจัดทำแบบจำลองทางข้ามดังแสดงใน**รูปที่ 6.1-12**



รูปที่ 6.1-11 Conceptual Design ทางข้ามบนทางหลวงหมายเลข 407 ตอน 102 กม. 22+180

รูปที่ 6.1-12 แบบจำลองทางข้ามบนทางหลวงหมายเลข 407 ตอน 102 กม. 22+180

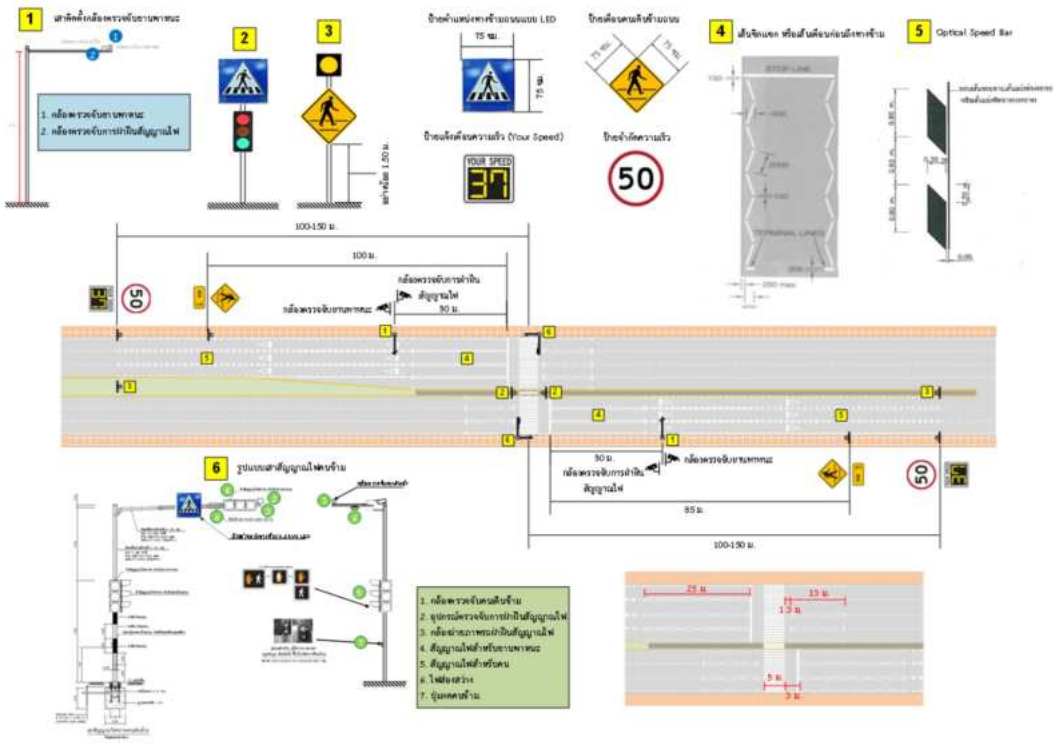
6.1.4. ทางข้ามถนนบนทางหลวงหมายเลข 3242 ตอน 100 กม.18+110

ทางข้ามถนนบนทางหลวงหมายเลข 3242 (ถนนเอกชัย) ตอน 100 กม. 18+110 เป็นทางข้ามที่มีรูปแบบ 6 ช่องจราจรแบบมีเกาะกลาง พื้นที่สองข้างทางเป็นทางเดินเท้าทั้งสองฝั่ง ไม่มีทางเดินลาดบริเวณเกาะกลาง มีป้ายจราจรเตือนคนเดินข้ามถนนติดตั้งก่อนถึงทางข้ามประมาณ 200 เมตร และไม่มีเครื่องหมายจราจรบนพื้นทางบริเวณทางข้ามนี้ ดังแสดงใน**รูปที่ 6.1-13** และ **รูปที่ 6.1-14**

รูปที่ 6.1-13 ทางข้ามบนทางหลวงหมายเลข 3242 ตอน 100 กม. 18+110

รูปที่ 6.1-14 ตำแหน่งทางข้ามบนทางหลวงหมายเลข 407 ตอน 102 กม. 22+180

จากการศึกษาพื้นที่สองข้างทางและอุปกรณ์เทคโนโลยีต่าง ๆ บริเวณทางข้าม มีความจำเป็นต้องปรับปรุงลักษณะทางกายภาพในส่วนของการขยายพื้นที่ทางเท้าสำหรับรอข้ามถนนทั้งสองฝั่ง ปรับปรุงขอบทางเท้าบริเวณทางข้ามให้เป็นทางเดินลาด (Curb Ramp) ในหมวดเทคโนโลยีกล้องและเซ็นเซอร์จะทำการติดตั้ง กล้องตรวจจับคนข้าม กล้องตรวจจับการฝ่าฝืนทั้งด้านหน้าและด้านหลัง และกล้องตรวจจับยวดยาน การปรับปรุงในหมวดอื่น ๆ จะพิจาณาติดตั้งเพิ่มอุปกรณ์ เช่น ป้ายตำแหน่งทางข้ามถนนแบบ LED บนเกาะกลาง ป้ายตำแหน่งทางข้ามถนนแบบ LED บนเสาแขวนสูง ป้ายจำกัดความเร็วและป้ายแจ้งเตือนความเร็ว (Your Speed) ป้ายเตือนคนเดินข้ามถนนพร้อมไฟกระพริบ สัญญาณไฟจราจรสำหรับคนข้ามและยวดยาน ไฟฟ้าส่องสว่างบริเวณทางข้าม และเครื่องหมายจราจรเตือนก่อนถึงทางข้าม เป็นต้น โดยมีรายละเอียดของลักษณะทางกายภาพและอุปกรณ์เทคโนโลยีทางข้ามถนนอัจฉริยะดัง**รูปที่ 6.1.4-15** รวมทั้งการจัดทำแบบจำลองทางข้ามดังแสดงใน**รูปที่ 6.1-16**



รูปที่ 6.1-15 Conceptual Design ทางข้ามบนทางหลวงหมายเลข 3242 ตอน 100 กม. 18+110

รูปที่ 6.1-16 แบบจำลองทางข้ามบนทางหลวงหมายเลข 3242 ตอน 100 กม. 18+110

6.2. แนวคิดการติดตั้งอุปกรณ์และระบบการทำงานของทางข้ามถนนอัจฉริยะ

แนวคิดการติดตั้งอุปกรณ์และระบบการทำงานของทางข้ามถนนอัจฉริยะเป็นการใช้หลักการทางวิศวกรรมในการออกแบบการติดตั้งอุปกรณ์ และพัฒนาระบบการทำงานของทางข้ามที่เหมาะสมกับพื้นที่ศึกษา โดยที่แนวคิดการติดตั้งอุปกรณ์ทางข้ามถนนอัจฉริยะนั้น ใช้หลักการออกแบบอ้างอิงมาจากมาตรฐานที่มีอยู่ในประเทศไทย เช่น การติดตั้งป้ายจราจร เครื่องหมายจราจรบนพื้นทาง เป็นต้น ผนวกกับการใช้การออกแบบและงานวิจัยในต่างประเทศในการเสนอแนวคิดการออกแบบระบบการทำงานของตัวกล้องตรวจจับทั้งในด้านของ รูปแบบสัญญาณไฟจราจรที่เหมาะสมกับทางข้ามถนนในพื้นที่ศึกษา การออกแบบตำแหน่งตรวจจับคนเดินเท้าและยวดยาน รวมไปถึงการบังคับใช้กฎหมาย และควบคุมพฤติกรรมผู้ขับขี่และกลุ่มผู้ข้ามถนน โดยมีรายระเอียดในหัวข้อต่าง ๆ ดังนี้

6.2.1. การปรับปรุงและติดตั้งอุปกรณ์เทคโนโลยีสำหรับทางข้ามถนนอัจฉริยะ

การปรับปรุงและติดตั้งอุปกรณ์เทคโนนยีทางข้ามถนนอัฉริยะที่เหมาะสมกับพื้นที่ศึกษานำร่องทั้ง 4 แห่ง มี 5 หมวดด้วยกัน ได้แก่

- หมวดกล้องเทคโนโลยีตรวจจับยวดยานและคนข้าม
- หมวดสัญญาณไฟจราจร
- หมวดป้ายจราจร
- หมวดงานไฟฟ้าส่องสว่าง
- หมวดเครื่องหมายจราจรบนผิวทาง

โดยที่การนำอุปกรณ์ในหมวดต่าง ๆ มาผสมผสานกัน ซึ่งช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพของทางข้ามถนนของคนเดินเท้าและผู้ขับขี่ยวดยาน รวมไปถึงช่วยส่งเสริมด้านความปลอดภัย โดยรายละเอียดการปรับปรุงติดตั้งอุปกรณ์เทคโนโลยีทางข้ามถนนอัจฉริยะในหหมวดต่าง ๆ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

6.2.1.1. หมวดกล้องตรวจจับยวดยานและคนข้าม

หมวดกล้องตรวจจับเป็นการเสนอแนวทางการติดตั้งกล้องตรวจจับใน 3 ส่วน ได้แก่ กล้องตรวจจับยวดยาน กล้องตรวจจับคนเดินข้ามถนน และกล้องตรวจจับพฤติกรรมการฝ่าฝืนสัญญาณไฟ เพื่อให้มีการใช้งานทางข้ามถนนของผู้ขับขี่ยวดยานและคนเดินเท้าได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย รวมไปถึงเป็นการบังคับใช้กฎหมาย เพื่อควบคุมพฤติกรรมของผู้ขับขี่และคนเดินข้ามถนน โดยการติดตั้งกล้องตวรจจับในส่วนต่าง ๆ มีรายละเอียดดังนี้

1. เทคโนโลยีกล้องและเซ็นเซอร์ตรวจจับยวดยาน

กล้องตรวจจับยวดยานเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญสำหรับระบบทางข้ามถนนอัจฉริยะ โดยทำหน้าที่ในการตรวจจับยวดยานเพื่อวิเคราะห์หาตำแหน่ง ความเร็ว ช่วงระยะห่างของเวลาระหว่างยวดยาน ซึ่งใช้ในการหาช่วงการข้ามถนนที่เหมาะสมและปลอดภัย โดยระบบจะนำข้อมูลและผลวิเคราะห์ดังกล่าวมาใช้ในการประมวลผลและควบคุมสัญญาณไฟทางข้ามถนนอัจฉริยะ ดังแสดงใน**รูปที่ 6.2-1** ในส่วนของตำแหน่งการติดตั้งกล้องตรวจจับยวดยาน จะทำการติดตั้งบนเสาที่มีความสูง 6 เมตร และมีแขนยื่นระยะไม่เกิน 4.5 เมตร ระยะห่างจากเส้นหยุด 30 เมตร

รูปที่ 6.2-1 กล้องตรวจจับยวดยาน
(ที่มา: https://www.flir.com/)

2. เทคโนโลยีกล้องและเซ็นเซอร์ตรวจจับคนข้าม

กล้องตรวจจับคนเดินเท้าเป็นอีกหนึ่งอุปกรณ์ที่มีความสำคัญต่อระบบการทำงานของทางข้ามถนนอัจฉริยะ มีหน้าที่ในการตรวจจับคนเดินเท้าที่ใช้งานทางข้ามในบริเวณพื้นที่รอข้าม และพื้นที่ทางข้าม เพื่อใช้ในการระบุตัวคนเดินข้ามถนนและส่งต่อไปยังระบบเพื่อประมวลผลต่อไป โดยกล้องที่นำมาติดตั้งเป็นกล้อง Traffione ดังแสดงใน**รูปที่ 6.2-2** ซึ่งมีความสามารถในการแยกทิศทางของคนเดินเท้าและสามารถกำหนดขอบเขตตรวจจับหรือการโซนนิ่ง เพื่อแบ่งเป็นช่วงการตรวจจับสำหรับตรวจจับคนยืนรอข้าม และคนข้ามถนน ในส่วนของตำแหน่งการติดตั้งจะติดตั้งบริเวณแขนของเสาแขวนสูงเหนือทางข้ามถนน 6 เมตร และตัวแขนยื่นออกไป 3 เมตร

รูปที่ 6.2-2 กล้องตรวจจับคนเดินข้าม
(ที่มา: https://www.flir.com)

3. เทคโนโลยีกล้องและเซ็นเซอร์ตรวจจับการฝ่าฝืนสัญญาณไฟ

กล้องตรวจจับการฝ่าฝืนสัญญาณไฟ ดังแสดงใน**รูปที่ 6.2-3** มีหน้าที่ในการตรวจจับยวดยานที่ฝ่าฝืนข้อบังคับการใช้กฎหมายบริเวณทางข้าม โดยการบันทึกภาพการฝ้าฝืนสัญญาณไฟพร้อมถ่ายภาพทะเบียนรถ เพื่อระบุตัวผู้ฝ่าฝืน และบันทึกข้อมูลการฝ่าฝืนสัญญาณไฟของผู้ขับขี่ยวดยานไว้ในฐานข้อมูล โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อควบคุมพฤติกรรมผู้ขับขี่ยวดยานและผู้ใช้ทางข้าม โดยติดตั้งบริเวณเสาสัญญาณไฟคนข้าม เพื่อเป็นการบันทึกป้ายทะเบียนจากด้านหน้า และบริเวณเสาติดตั้งกล้องตรวจจับยวดยาน เพื่อบันทึกป้ายทะเบียนจากด้านหลังของยวดยาน

รูปที่ 6.2-3 กล้องตรวจจับการฝ่าฝืนสัญญาณไฟ
(ที่มา: https://mgronline.com/)

6.2.1.2. หมวดสัญญาณไฟจราจร

หมวดสัญญาณไฟจราจรแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ สัญญาณไฟจราจรสำหรับยวดยาน และสัญญาณไฟจราจรสำหรับคนเดินข้ามถนน โดยมีหน้าที่ในการให้สัญญาณผู้ขับขี่ยวดยานและคนเดินข้ามในการสัญจรผ่านทางข้าม โดยการติดตั้งสัญญาณไฟจราจรทั้ง 2 ส่วน มีรายละเอียดดังนี้

1. สัญญาณไฟสำหรับยวดยาน

สัญญาณไฟสำหรับยวดยานจะทำการติดตั้ง 2 รูปแบบ ดังแสดงใน**รูปที่ 6.2-4** ได้แก่ ติดตั้งแบบแนวตั้งบนตัวเสาแขวนสูงที่ระยะ 3.5 เมตรจากระดับทางเท้า และบริเวณเกาะกลาง เพื่อให้ผู้ขับขี่สามารถสังเกตุเห็นสัญญาณไฟได้อย่างชัดเจน ในส่วนการติดตั้งอีกรูปแบบ คือ การติดตั้งแบบแนวนอนบริเวณแขนยื่นของเสาสัญญาณไฟคนข้าม เพื่อให้ผู้ขับขี่ยวดยานที่อยู่ห่างจากทางข้ามสามารถมองเห็นสัญญาณไฟทางข้าม

รูปที่ 6.2-4 สัญญาณไฟสำหรับยวดยาน

2. สัญญาณไฟสำหรับคนข้าม

สัญญาณไฟสำหรับคนเดินข้ามถนนจะใช้รูปแบบสัญลักษณ์สัญญาณไฟตามคำแนะนำของ MUTCD (2009) โดยมีอยู่ด้วยกัน 3 สัญลักษณ์ ได้แก่ สัญลักษณ์รูปมือแบบหยุดนิ่ง สัญลักษณ์รูปคนเดินข้ามถนน และสัญลักษณ์รูปมือแบบกระพริบ ดังแสดงใน**รูปที่ 6.2-5** โดยทำการติดตั้งโคมสัญญาณไฟบนเสาแขวนสูงหันหน้าเข้าหาทิศทางการข้ามถนน

รูปที่ 6.2-5 สัญญาณไฟสำหรับคนเดินข้าม
(ที่มา: MUTCD 2009)

3. ปุ่มกดทางข้าม

ปุ่มกดทางข้าม เป็นอุปกรณ์สั่งการใช้งานทางข้ามถนน ดังแสดงใน**รูปที่ 6.2-6** โดยที่ตัวปุ่มกดจะมีการแจ้งเตือนการทำงาน เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถรับรู้ได้ว่าระบบกำลังทำงาน และบริเวณแผงปุ่มกดจะมีวิธีการใช้งานเบื้องต้นเพื่อให้ผู้ใช้งานเข้าใจรูปแบบการทำงานของสัญญาณไฟ รวมไปถึงมีระบบการสั่งการใช้งานที่สะดวกต่อผู้พิการทางสายตา เช่น อักษณเบลล์ หรือเสียงแจ้งเตือนการทำงาน โดยตำแหน่งการติดตั้งจะอยู่ที่เสาสัญญาณไฟคนเดินข้ามและมีความสูงที่ 1.2 เมตรจากระดับทางเท้า

รูปที่ 6.2-6 ปุ่มกดทางข้าม
(ที่มา: https://azmag.gov/)

6.2.1.3. หมวดป้ายจราจร

หมวดป้ายจราจรเป็นการเสนอแนวทางการติดตั้งป้ายจราจรเพื่อให้มีการใช้งานทางข้ามถนนของผู้ขับขี่ยวดยานและคนเดินเท้าได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย โดยมีรายละเอียดการติดตั้งป้ายจราจรต่าง ๆ ดังนี้

1. ป้ายเตือนคนข้ามถนน ต.56

ป้ายเตือนคนข้ามถนน มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสตั้งมุมขึ้น ดังแสดงใน**รูปที่ 6.2-7** ใช้เพื่อเตือนผู้ขับขี่ให้ระมัดระวังว่าบริเวณทางข้างหน้ามีเส้นทางข้าม ขนาดป้าย 75 x 75 ซม. ซึ่งอ้างอิงตามคู่มือมาตรฐานป้ายจราจร กรมทางหลวง โดยทางข้ามทั้งหมดที่จะทำการปรับปรุง จัดอยู่ในกลุ่มที่ 2 และ 3 ทางหลวงแผ่นดินขนาด 4 ช่องจราจร และ 6 ช่องจราจร ขึ้นไป ตามลำดับ ดังแสดงใน**ตารางที่ 6.2-1** ทั้งนี้ป้ายเตือนคนข้ามถนนควรติดตั้งก่อนถึงบริเวณที่จะมีเส้นทางข้าม หรือคนข้ามทางไม่น้อยกว่า 125 เมตร และไม่มากกว่า 250 เมตร

รูปที่ 6.2-7 ป้ายเตือนคนข้ามถนน ต.56
(ที่มา: คู่มือมาตรฐานป้ายจราจร กรมทางหลวง (2561))

ตารางที่ 6.2-1 สัดส่วนขนาดป้ายจราจรตามคู่มือมาตรฐานป้ายจราจร กรมทางหลวง

รูปป้าย	รหัสป้าย	ชื่อป้าย	กลุ่มประเภททางหลวง		
			1	2	3
	ต.51	ป้ายเตือนจุดกลับรถซ้าย	60 x 60	75 x 75	90 x 90
	ต.52	ป้ายเตือนทางเดินรถสองทาง	60 x 60	75 x 75	90 x 90
	ต.53	ป้ายเตือนสัญญาณไฟ	60 x 60	75 x 75	90 x 90
	ต.54	ป้ายเตือนหยุดข้างหน้า	75 x 75	90 x 90	120 x 120
	ต.55	ป้ายเตือนให้ทางข้างหน้า	75 x 75	90 x 90	120 x 120
	ต.56	ป้ายเตือนระวังคนข้ามถนน	60 x 60	75 x 75	75 x 75
	ต.57	ป้ายเตือนโรงเรียนระวังเด็ก	60 x 60	75 x 75	75 x 75

อ้างอิงจาก: คู่มือมาตรฐานป้ายจราจร กรมทางหลวง (มีนาคม 2561)

2. ป้ายตำแหน่งทางข้าม น.6 แบบ LED บริเวณเกาะกลางและเสาแขวนสูง

ติดตั้งป้ายตำแหน่งทางข้าม (น.6) ดังแสดงใน**รูปที่ 6.2-8** ขนาด 75 x 75 ซม. บริเวณเกาะกลาง โดยขนาดของป้ายที่ทำการติดตั้ง จะแบ่งตามกลุ่มของทางหลวง ซึ่งอ้างอิงตามคู่มือมาตรฐานป้ายจราจร กรมทางหลวง โดยทางข้ามทั้งหมดที่จะทำการปรับปรุง จัดอยู่ในกลุ่มที่ 2 และ 3 ทางหลวงแผ่นดินขนาด 4 ช่องจราจร และ 6 ช่องจราจร ขึ้นไป ตามลำดับ ดังแสดงใน**ตารางที่ 6.2-2**

รูปที่ 6.2-8 ป้ายตำแหน่งทางข้าม น.6 แบบ LED
(ที่มา: คู่มือมาตรฐานป้ายจราจร กรมทางหลวง (2561))

ตารางที่ 6.2-2 สัดส่วนขนาดป้ายจราจรตามคู่มือมาตรฐานป้ายจราจร กรมทางหลวง

กลุ่มที่	รหัส	สัดส่วน
1	น.6-60	60 x 60
2,3	น.6-75	75 x 75

อ้างอิงจาก: คู่มือมาตรฐานป้ายจราจร กรมทางหลวง (มีนาคม 2561)

เสาแขวนสูงสำหรับติดตั้งป้ายตำแหน่งทางข้าม น.6 ดังแสดงใน**รูปที่ 6.2-9** ขนาด 75 x75 ซม. โดยจะใช้เพื่อแสดงให้ผู้ขับขี่และคนเดินเท้าทราบถึงตำแหน่งของ เส้นทางข้าม โดยตำแหน่งการติดตั้งป้ายควรอยู่ใกล้กับกับทางม้าลาย บริเวณแขนยื่นของเสาสัญญาณไฟคนข้ามที่มีความสูง 6 เมตร และมีแขนยื่นระยะไม่เกิน 4.5 เมตร

รูปที่ 6.2-9 ติดตั้งป้ายตำแหน่งทางข้าม น.6 แบบ LED แบบแขวนสูง
(ที่มา: https://pxhere.com/)

3. ป้ายจำกัดความเร็ว

ติดตั้งป้ายจำกัดความเร็วที่เหมาะสมกับพื้นที่ทางข้ามนำร่อง เช่น ที่ระดับความเร็ว 50 กม./ชม. ดังแสดงใน**รูปที่ 6.2-10** ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 75 ซม. บริเวณก่อนถึงทางข้าม 100-150 เมตร เพื่อช่วยให้ผู้ขับขี่ยวดยานสามารถชะลอความเร็วก่อนเข้าสู่ทางข้ามได้ตามที่มีการออกแบบไว้

รูปที่ 6.2-10 ป้ายจำกัดความเร็ว

4. ป้ายแจ้งเตือนความเร็ว (Your Speed Sign)

ติดตั้งป้ายแจ้งเตือนความเร็ว (Your Speed Sign) ดังแสดงใน**รูปที่ 6.2-11** เพื่อแจ้งเตือนความเร็วให้แก่ผู้ขับขี่ยวดยานให้ทราบถึงความเร็ว ณ ปัจจุบัน ทำให้ผู้ขับขี่ยวดยานมีการตระหนักถึงการใช้ความเร็วที่เกินกำหนด ส่งผลให้ผู้ขับขี่ชะลอความเร็วลงตามที่ป้ายจำกัดความเร็วกำหนดไว้ โดยติดตั้งควบคู่กับป้ายจำกัดความเร็ว

รูปที่ 6.2-11 ป้ายแจ้งเตือนความเร็ว (Your Speed)

6.2.1.4. หมวดงานไฟฟ้าส่องสว่าง

หมวดงานไฟฟ้าส่องสว่าง มีหน้าที่ในการเพิ่มการมองเห็นของผู้ขับขี่ยวดยานต่อทางข้าม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเวลากลางคืน ช่วยให้ผู้ขับขี่มองเห็นคนเดินข้ามถนน และเป็นการช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุในช่วงเวลากลางคืน โดยทำการติดตั้งโคมไฟ LED Flood Light ซึ่งมีลักษณะดังแสดงใน**รูปที่ 6.2-12** ในบริเวณพื้นที่รอข้ามและพื้นทางทางข้ามถนน

รูปที่ 6.2-12 โคมไฟ LED Flood Light
(ที่มา: https://www.traffictechnologytoday.com/)

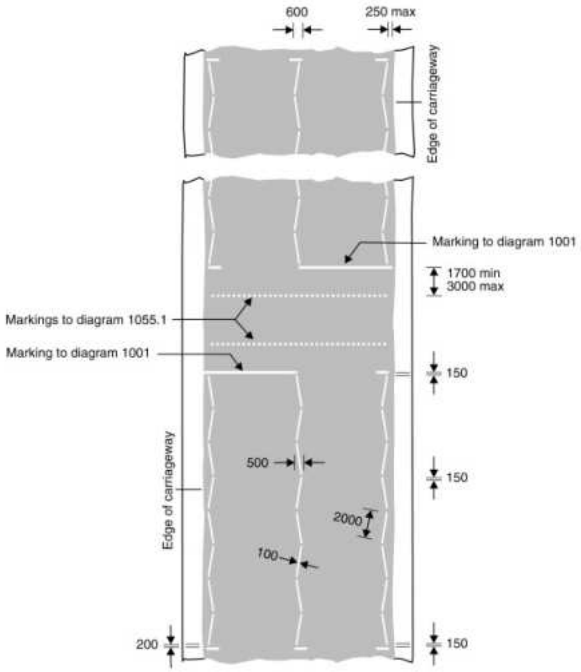
6.2.1.5. หมวดเครื่องหมายจราจรบนผิวทาง

หมวดเครื่องหมายจราจรบนพื้นทางเป็นการเสนอแนวทางการติดตั้งเครื่องหมายจราจรเพื่อให้มีการใช้งานทางข้ามถนนของผู้ขับขี่ยวดยานและคนเดินเท้าได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย โดยมีรายละเอียดการติดตั้งเครื่องหมายจราจรบนพื้นทางต่าง ๆ ดังนี้

1. เส้นซิกแซกหรือเส้นเตือนก่อนถึงทางข้าม

เส้นซิกแซกหรือเส้นเตือนก่อนถึงทางข้าม ดังแสดงใน**รูปที่ 6.2-13** มีหน้าที่ในการบ่งบอกถึงพื้นที่ควบคุมให้แก่ยวดยานที่มุ่งเข้าสู่ทางข้าม ทั้งในบริเวณก่อนถึงทางข้ามและออกจากทางข้าม เพื่อเตือนให้ผู้ขับขี่ยวดยานทราบว่ามีทางข้ามอยู่ข้างหน้าและชะลอความเร็วลงจนสามารถหยุดยวดยานได้อย่างปลอดภัยบริเวณก่อนเส้นหยุด โดยเกณฑ์ในการออกแบบจะอ้างอิงจากคู่มือการออกแบบพื้นที่ควบคุมบริเวณทางข้ามถนนจากสหราชอาณาจักร ซึ่งเป็นประเทศที่ริเริ่มการใช้งานและมีงานศึกษาวิจัยเกี่ยวกับเส้นซิกแซกก่อนถึงทางข้าม โดยระยะห่างเส้นหยุด 3 เมตร ซึ่งเป็นค่าสูงสุดของการออกแบบระยะห่างเส้นหยุดกับทางข้ามที่มีเส้นซิกแซกหรือเส้นเตือนก่อนถึงทางข้าม สำหรับรายละเอียดการออกแบบสามารถแสดงได้ดัง**รูปที่ 6.2-14** และ**ตารางที่ 6.2-3** ตามลำดับ

รูปที่ 6.2-13 เส้นซิกแซกหรือเส้นเตือนก่อนถึงทางข้าม
(ที่มา: https://www.thairath.co.th/)



รูปที่ 6.2-14 เส้นซิกแซกหรือเส้นเตือนก่อนถึงทางข้าม

(ที่มา: The Traffic Signs (Amendment) Regulations (Northern Ireland) 2005)

ตารางที่ 6.2-3 การออกแบบจำนวนคู่เส้นซิกแซกหรือเส้นเตือนก่อนถึงทางข้าม

ค่าความเร็วจำกัด (กม./ชม.)	จำนวนคู่เส้น Zig-zag	
	ทิศมุ่งเข้าสู่ทางข้าม	ทิศมุ่งออกจากทางข้าม
30	4	2
50	8	4
70	12	6

2. เส้น Optical Speed Bar

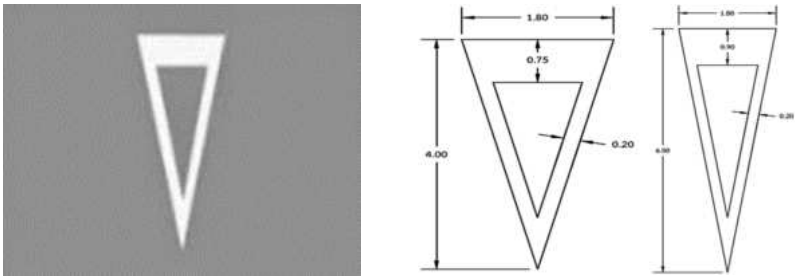
ติดตั้งเส้น Optical Speed Bar (OSB) ดังแสดงใน**รูปที่ 6.2-15** บริเวณก่อนถึงทางข้าม เพื่อทำให้ผู้ขับขี่ยานพาหนะสามารถควบคุมยานพาหนะให้ขับอยู่ในช่องทางของตนเอง รวมทั้งจะให้ความรู้สึกว่าถนนแคบลง ผู้ขับขี่ยวดยานจะได้ทำการชะลอความเร็วลง และหยุดยวดยานเมื่อถึงบริเวณทางข้ามได้อย่างปลอดภัย

รูปที่ 6.2-15 เส้น Optical Speed Bar

3. เครื่องหมายให้ทางบนผิวทาง

ติดตั้งเครื่องหมายให้ทาง ดังแสดงใน**รูปที่ 6.2-16** บริเวณก่อนถึงทางข้ามเพื่อเตือนให้ผู้ขับขี่ยวดยานเตรียมหยุด เมื่อเห็นว่ามีทางข้ามถนนอยู่บริเวณข้างหน้า ผู้ขับขี่ต้องทำการหยุดก่อนถึงเส้นให้ทาง โดยขนาดเครื่องหมายให้ทางขึ้นอยู่กับความเร็วออกแบบของถนน ดังนี้

- ความเร็วน้อยกว่า 70 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ใช้เครื่องหมายให้ทางสูง 4.0 เมตร กว้าง 1.8 เมตร
- ความเร็วตั้งแต่ 70 กิโลเมตรต่อชั่วโมงขึ้นไป ใช้เครื่องหมายให้ทางสูง 6.0 เมตร กว้าง 1.8 เมตร



รูปที่ 6.2-16 เครื่องหมายให้ทางบนผิวทาง
(ที่มา: คู่มือมาตรฐานป้ายจราจร กรมทางหลวง (2561) ดัดแปลงจาก MUTCD (2009))

6.2.2. การออกแบบสัญญาณไฟทางข้ามถนนอัจฉริยะ

สัญญาณไฟทางข้ามถนนอัจริยะแบ่งเป็นสัญญาณไฟสำหรับยวดยานและสัญญาณไฟสำหรับคนเดินข้าม โดยสัญญาณไฟสำหรับยวดยานจะเป็นโคมสัญยาณไฟ 3 สี ได้แก่ สีเขียว สีเหลืองอำพัน และสีแดง ส่วนสัญญาณไฟสำหรับคนเดินข้ามจะเป็นสัญญาณไฟ 3 รูปแบบได้แก่ สัญญาณไฟรูปมือแบบหยุดนิ่ง สัญญาณไฟรูปคนเดินข้ามถนน และสัญญาณไฟรูปมือแบบกระพริบ ดังแสดงใน**ตารางที่ 6.2-4**

ตารางที่ 6.2-4 สัญญาณไฟสำหรับคนเดินข้าม

ชื่อสัญญาณไฟ	ความหมายของสัญญาณไฟ	สัญลักษณ์ของสัญญาณไฟ
นิ่งอยู่กับที่ Steady	สัญญาณไฟรูปมือให้คนเดินเท้าหยุดรอ ห้ามข้ามถนน	
ขณะกำลังข้าม Walk Interval	สัญญาณไฟให้คนเดินเท้าที่กดปุ่มหรือยืนรอบริเวณทางเท้าเริ่มข้ามถนน	
กระพริบ Flashing	สัญญาณไฟรูปมือแบบกระพริบให้คนเดินที่อยู่ในพื้นที่ทางข้ามรีบข้ามถนน และห้ามเริ่มข้ามถนนในช่วงสัญญาณไฟนี้	

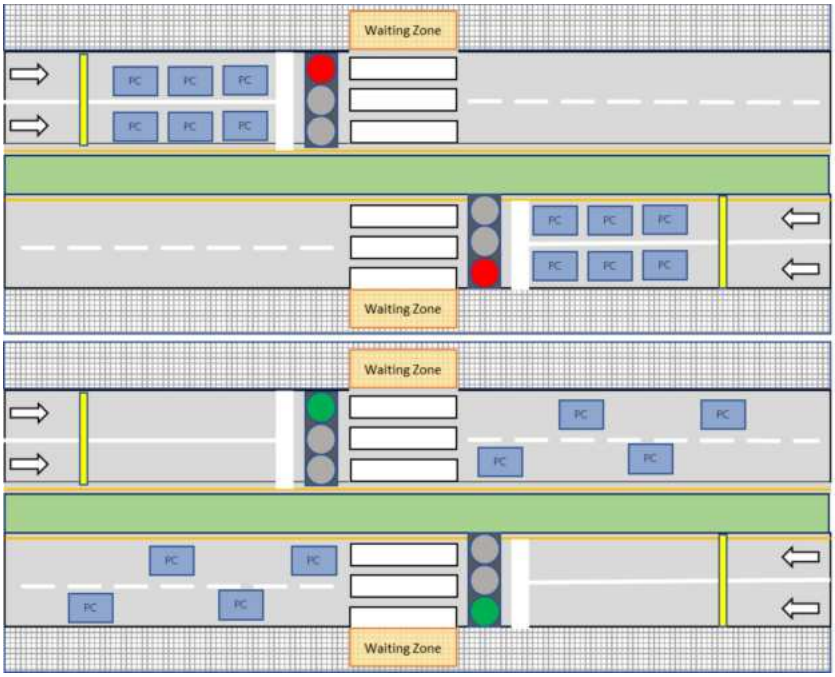
การออกแบบสัญญาณไฟทางข้ามถนนอัจฉริยะสามารถแบ่งส่วนของการออกแบบได้ 2 ส่วน ได้แก่ สัญญาณไฟสำหรับยวดยาน และ สัญญาณไฟสำหรับคนเดินข้ามถนน โดยการออกแบบสัญญาณไฟแต่ละส่วนมีรายละเอียดการออกแบบดังนี้

6.2.2.1. การออกแบบสัญญาณไฟสำหรับยวดยาน

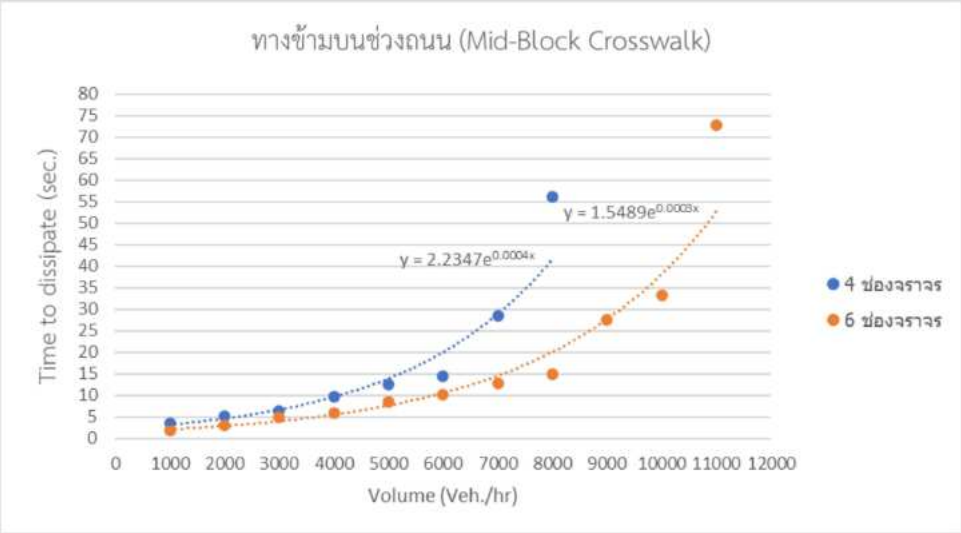
การออกแบบสัญญาณไฟสำหรับยวดยานบนทางข้ามถนนอัจริยะมีระยะเวลาสัญญาณไฟที่ต้องทำการออกแบบ ได้แก่ สัญญาณไฟเขียวน้อยที่สุดสำหรับยวดยาน (Minimum Green Time) และสัญญาณไฟเหลืองและไฟแดงของยวดยาน โดยการออกแบบระยะเวลาไฟสำหรับยวดยานทั้ง 2 มีรายละเอียดการออกแบบดังนี้

1. สัญญาณไฟเขียวน้อยที่สุดสำหรับยวดยาน (Minimum Green Time)

ระยะเวลาสัญญาณไฟเขียวน้อยที่สุดสำหรับยวดยาน สามารถออกแบบโดยใช้ระยะเวลาเคลียยวดยานที่หยุดรอสัญญาณไฟทางข้าม (Time to Dissipate) ของทางข้ามบนช่วงถนน 4 และ 6 ช่องจราจร ซึ่งเป็นระยะเวลาที่ยวดยานที่จอดรอสัญญาณไฟทางข้ามจนเกิดแถวคอย สามารถเคลื่อนที่ออกไปจนหมด ให้สภาพกระแสจราจรกลับมาเป็นปกติอีกครั้ง ดังแสดงใน**รูปที่ 6.2-17** โดยทางที่ปรึกษาได้ใช้แบบจำลองระดับจุลภาคในการวิเคราะห์หาระเวลาสัญญาณไฟเขียวน้อยที่สุดที่เหมาะสมสำหรับทางข้ามถนนบนช่วงถนน (Mid Block) โดยผลการวิเคราะห์สามารถดูได้จาก**รูปที่ 6.2-18** ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาเคลียรถที่หยุดรอสัญญาณไฟทางข้าม (Time to Dissipate) และปริมาณจราจรในหน่วย คันต่อชั่วโมง



รูปที่ 6.2-17 การเคลียยวดยานที่หยุดรอสัญญาณไฟทางข้าม (Time to Dissipate)



รูปที่ 6.2-18 ระยะเวลาที่ใช้ในการเคลียร์รถที่จอดรอสัญญาณไฟทางข้ามถนน

เมื่อนำกราฟดังกล่าวมาพิจารณาพื้นที่ทางข้ามคัดเลือกที่ 4 แห่ง ทำให้สามารถออกแบบระยะเวลาไฟเขียวน้อยที่สุดสำหรับยวดยาน (Minimum Green Time) ของแต่ละแห่งได้ดังแสดงใน**ตารางที่ 6.2-5**

ตารางที่ 6.2-5 สัญลักษณ์ของสัญญาณไฟคนข้ามถนน

พื้นที่ทางข้าม	จำนวนช่องจราจร	ปริมาณจราจร (คัน/ชม.)	Minimum Green Time (วินาที)
ทางข้ามถนนกาญจนวนิช ทล.407 กม.24+700	4	4676	12
ทางข้ามถนนเอกชัย ทล.3242 กม.11+625	4	4668	12
ทางข้ามถนนประชาราษฎร์ ทล.306 กม.4+975	4	4538	12
ทางข้ามถนนเอกชัย ทล.3242 กม.18+110	6	6124	11

2. สัญญาณไฟเหลืองและไฟแดงของยวดยาน (Intergreen)

สัญญาณไฟ Intergreen ของยานพาหนะอยู่ในช่วงการเปลี่ยนสัญญาณไฟยานพาหนะจากสัญญาณไฟเขียวเป็นสัญญาณไฟแดง โดยมีจุดประสงค์เพื่อเคลียยานพาหนะให้หมดจากพื้นที่ทางข้ามและทำให้ยานพาหนะที่มุ่งเข้าสู่ทางข้ามสามารถหยุดรถได้อย่างปลอดภัย โดยสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{ระยะเวลาสัญญาณไฟเหลือง } (Yellow\ interval) = t + \frac{v}{2a}$$

โดยที่ t = ระยะเวลาการตอบสนอง (Reaction time); 1 วินาที

v = ความเร็วยานพาหนะที่มุ่งเข้าสู่ทางข้าม; เมตร/วินาที

a = อัตราการหน่วงจากการหยุดรถ; 3.048 เมตร/วินาที^{2}

$$\text{ระยะเวลาสัญญาณไฟแดงทุกเฟส } (All - red\ interval) = \frac{w + L_v}{v}$$

โดยที่ w = ความกว้างของทางข้ามถนน; 5 เมตร

L_v = ความยาวของยานพาหนะ; 5 เมตร

v = ความเร็วยานพาหนะที่มุ่งเข้าสู่ทางข้าม; เมตร/วินาที

การออกแบบสัญญาณไฟ Intergreen ของพื้นที่ทางข้ามคัดเลือกทั้ง 4 แห่ง จะออกแบบให้มีสัญญาณไฟเหลือง 4 วินาที และสัญญาณไฟแดงทุกเฟส 1 วินาที เนื่องจากทำการออกแบบให้ ความเร็วยานพาหนะที่มุ่งเข้าสู่ทางข้ามมีความเร็วที่ 50 กม./ชม. ดังแสดงใน**ตารางที่ 6.2-6**

ตารางที่ 6.2-6 การออกแบบระยะเวลาสัญญาณไฟเริ่มข้ามถนน (Walk)

ความเร็วยานพาหนะ ที่เข้าสู่ทางข้ามถนน (กม./ชม.)	ระยะเวลาสัญญาณ ไฟเหลือง (วินาที)	ระยะเวลาสัญญาณ ไฟแดงทุกทิศทาง (วินาที)
30	3.0*	1.2
40	3.0*	0.9
50	3.3	0.7
60	3.8	0.6
70	4.2	0.5
80	4.7	0.5
90	5.2	0.4

*MUTCD (2003) แนะนำให้ ระยะสัญญาณไฟเหลืองน้อยที่สุดเท่ากับ 3 วินาที

ดัดแปลงมาจาก: https://ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop08024/chapter5.htm#5.3

6.2.2.2. การออกแบบสัญญาณไฟสำหรับคนเดินข้ามถนน

การออกแบบสัญญาณไฟสำหรับคนเดินข้ามถนนบนทางข้ามถนนอัจริยะมีระยะเวลาสัญญาณไฟที่ต้องทำการออกแบบ ได้แก่ สัญญาณไฟรูปคนเดินข้ามถนน (Walk) และสัญญาณไฟรูปมือแบบกระพริบ (Flashing Don't Walk) โดยการออกแบบระยะเวลาไฟสำหรับยวดยานทั้ง 2 มีรายละเอียดการออกแบบดังนี้

1. สัญญาณไฟรูปคนเดินข้ามถนน (Walk)

ระยะเวลาสัญญาณรูปคนเดินข้ามถนน (Walk) เป็นช่วงสัญญาณไฟที่ให้คนรอข้ามถนนทำการข้ามถนน โดยช่วงเวลานี้จะเป็นช่วงเวลาที่ออกแบบให้คนเดินข้ามสามารถมีเวลาในการเริ่มข้ามถนนได้ทัน ซึ่งคำนึงถึงระยะเวลาที่สูญเสียไปจากการเริ่มต้นการข้าม (Start-up lost time) การออกแบบสามารถพิจารณาจากข้อมูล ดังแสดงใน**ตารางที่ 6.2-7**

ตารางที่ 6.2-7 การออกแบบระยะเวลาสัญญาณไฟเริ่มข้ามถนน (Walk)

เงื่อนไข	ระยะเวลาสัญญาณไฟ Walk (วินาที)
พื้นที่มีปริมาณคนเดินข้ามถนนสูง (โรงเรียน, ย่านธุรกิจ, ศูนย์การกีฬา ฯลฯ)	10 ถึง 15
ปริมาณคนเดินเท้าโดยทั่วไป และมีรอบสัญญาณไฟที่ยาว	7 ถึง 10
ปริมาณคนเดินเท้าโดยทั่วไป และมีรอบสัญญาณไฟที่สั้น	7
ปริมาณคนเดินเท้าน้อย	4
เมื่อมีผู้สูงอายุ	ระยะจากกึ่งกลางถนนหารด้วย 0.914 เมตร/วินาที

อ้างอิงมาจาก: https://ops.fhwa.dot.gov/publications/fhwahop08024/chapter5.htm#5.3

2. สัญญาณไฟรูปมือแบบกระพริบ (Flashing Don't Walk)

สัญญาณไฟรูปมือแบบกระพริบเป็นสัญญาณไฟสำหรับให้คนเดินที่อยู่ในพื้นที่ทางข้ามรีบข้ามถนนและห้ามเริ่มข้ามถนนในช่วงสัญญาณไฟนี้ โดยระยะเวลาสัญญาณไฟรูปแบบนี้สามารถออกแบบจากระยะเวลาในการข้ามถนนเฉลี่ย และระยะเวลาสัญญาณไฟรูปมือแบบกระพริบสูงสุดสามารถออกแบบได้จากระยะเวลาในการข้ามถนนสูงสุด โดยสมการในการคำนวณมีรายละเอียดดังนี้

$$\text{ระยะเวลาในการข้ามถนนเฉลี่ย } (FDW) = \frac{D_c}{V_{avg}}$$

โดยที่ D_c = ระยะทางในการข้ามถนน; เมตร

V_{avg} = ความเร็วในการเดินข้ามถนนเฉลี่ย; เมตร/วินาที

$$\text{ระยะเวลาในการข้ามถนนสูงสุด } (FDW_{max}) = \frac{D_c}{V_{min}}$$

โดยที่ D_c = ระยะทางในการข้ามถนน; เมตร

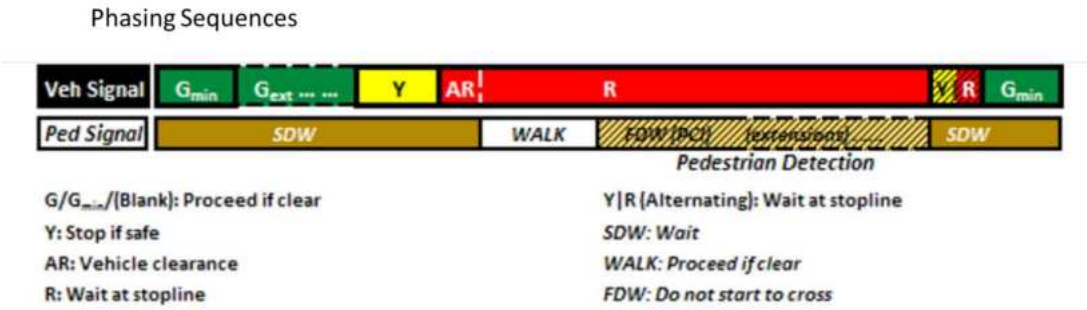
V_{min} = ความเร็วในการเดินข้ามถนนต่ำสุด; เมตร/วินาที

จากสมการที่ใช้ในการออกแบบระยะเวลาสัญญาณไฟรูปมือแบบกระพริบสามารถใช้ในการออกแบบสัญยาณไฟรูปแบบดังกล่าว บนพื้นที่ทางข้ามคัดเลือกทั้ง 4 แห่ง ได้ดัง**ตารางที่ 6.2-8**

ตารางที่ 6.2-8 การออกแบบระยะเวลาสัญญาณไฟรูปมือแบบกระพริบ (Flashing Don't Walk)

พื้นที่ทางข้าม	ระยะทางข้าม (เมตร)	ความเร็วในการข้ามเฉลี่ย (เมตร/วินาที)	ความเร็วในการข้ามต่ำสุด (เมตร/วินาที)	FDW (วินาที)	FDW_{max} (วินาที)
ทางข้ามถนนกาญจนวนิช ทล.407 กม.24+700	21.5	2.00	1.12	11	20
ทางข้ามถนนเอกชัย ทล.3242 กม.11+625	20	1.30	0.73	16	28
ทางข้ามถนนประชาราษฎร์ ทล.306 กม.4+975	14	1.10	0.61	13	23
ทางข้ามถนนเอกชัย ทล.3242 กม.18+110	22.5	1.70	1.00	14	24

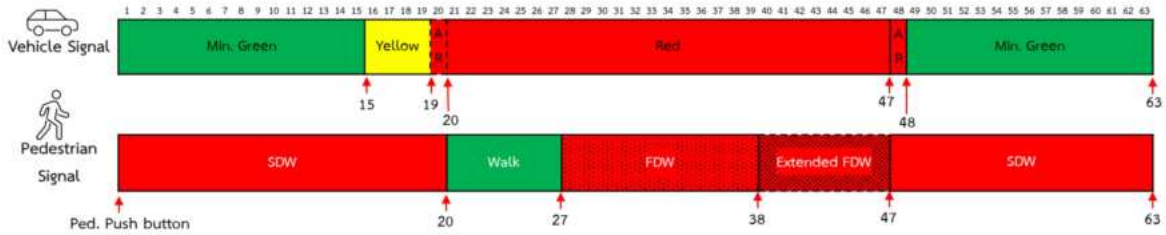
เมื่อได้ทำการออกแบบสัญญาณไฟของทางข้ามถนนอัจฉริยะสำหรับยวดยานและคนเดินเท้าสามารถกำหนดลำดับสัญญาณไฟของยานพาหนะและคนข้ามถนนของทางข้ามอัจฉริยะ (Smart Crosswalk) โดยแสดงดัง**รูปที่ 6.2-19**



รูปที่ 6.2-19 ลำดับสัญญาณไฟของยานพาหนะและคนข้ามถนน

เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการลงพื้นที่สำรวจทางข้ามคัดเลือกทั้ง 4 แห่ง และนำมาออกแบบรอบสัญญาณไฟตามหัวข้อก่อนหน้านี้ สามารถสรุปลำดับสัญญาณไฟของยานพาหนะและคนข้ามถนนในแต่ละทางข้ามคัดเลือกได้ดัง**รูปที่ 6.2-20** ถึง **รูปที่ 6.2-23**

- ทางข้ามถนนกาญจนวนิช ทล.407 กม.24+700

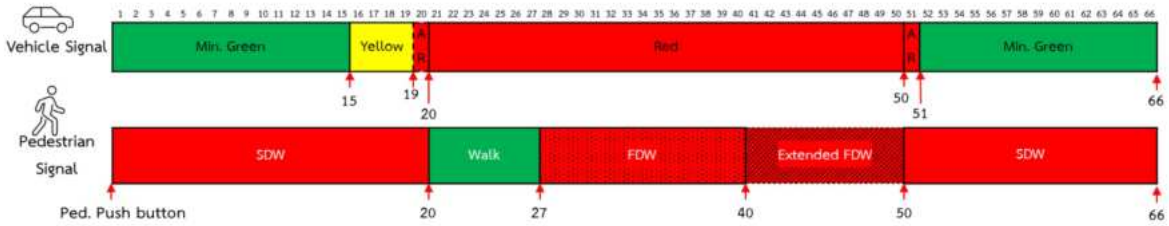


รูปที่ 6.2-20 ลำดับสัญญาณไฟของทางข้ามถนนกาญจนวนิช ทล.407 กม.24+700

- ทางข้ามถนนเอกชัย ทล.3242 กม.11+625

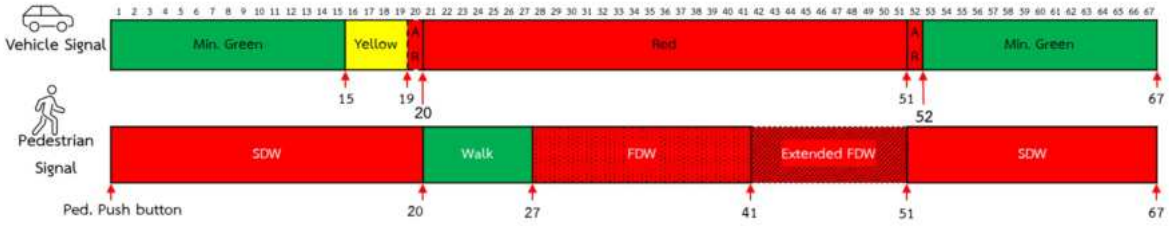
รูปที่ 6.2-21 ลำดับสัญญาณไฟของทางข้ามถนนเอกชัย ทล.3242 กม.11+625

- ทางข้ามถนนประชาราษฎร์ ทล.306 กม.4+975



รูปที่ 6.2-22 ลำดับสัญญาณไฟของทางข้ามถนนประชาราษฎร์ ทล.306 กม.4+975

- ทางข้ามถนนเอกชัย ทล.3242 กม.18+110



รูปที่ 6.2-23 ลำดับสัญญาณไฟของทางข้ามถนนเอกชัย ทล.3242 กม.18+110

6.2.3. การออกแบบตำแหน่งตรวจจับคนเดินข้ามและยานพาหนะ

การออกแบบตำแหน่งตรวจจับคนเดินข้ามและยวดยาน เป็นส่วนที่ใช้อุปกรณ์หรือเทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาช่วยในการทำให้ทางข้ามถนนมีประสิทธิภาพในการใช้งานและความสะดวกมากยิ่งขึ้นทั้งในส่วนของคนเดินข้ามถนนและผู้ขับขี่ยวดยวดยานที่ใช้เส้นทางผ่านทางข้าม โดยการออกแบบตำแหน่งตรวจจับของทั้ง 2 ส่วน สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

6.2.3.1. การออกแบบตำแหน่งตรวจจับคนเดินข้ามถนน

ตำแหน่งตรวจจับคนเดินข้ามถนนแบ่งออกได้เป็น 2 พื้นที่ ได้แก่ พื้นที่ตรวจจับคนเดินเท้าบริเวณจุดรอคอย ซึ่งมีหน้าที่ในการตรวจจับการมาถึงของคนเดินข้ามถนน และรอสัญญาณไฟเพื่อข้ามถนน อีกพื้นที่คือพื้นที่ตรวจจับคนเดินเท้าบริเวณพื้นที่ทางข้ามถนน โดยการออกแบบตำแหน่งตราจจับทั้งสอง มีรายละเอียดดังนี้

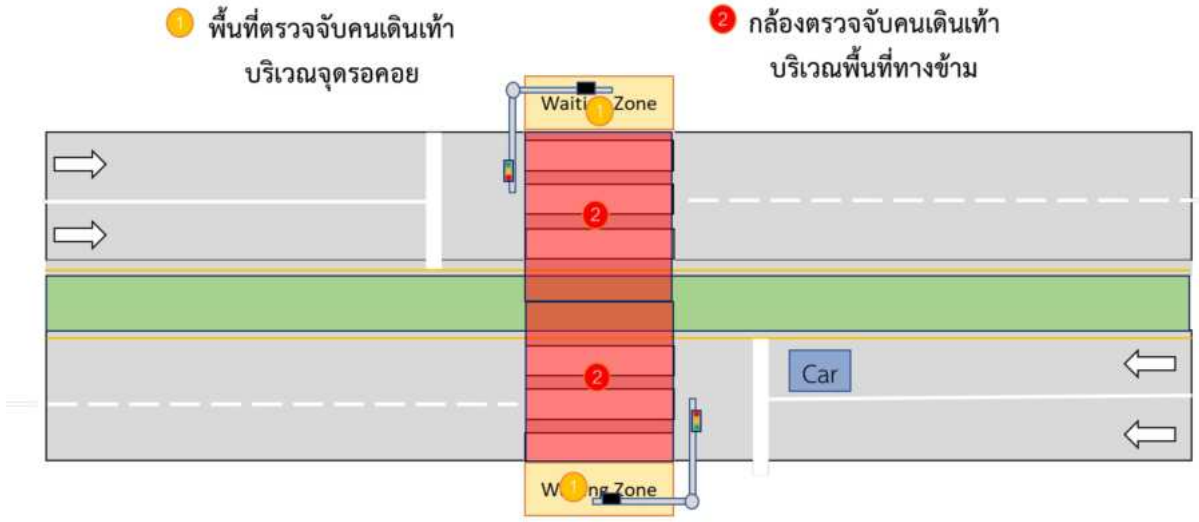
1. พื้นที่ตรวจจับคนเดินเท้าบริเวณจุดรอคอย

การตรวจจับบริเวณพื้นที่รอข้ามใช้ในการระบุว่ามีการใช้งานหรือมีคนรอข้ามถนนอยู่ เพื่อเริ่มการทำงานของระบบตรวจจับยวดยานเพื่อหาช่วงที่จะตัดสัญญาณไฟยวดยานได้อย่างเหมาะสมต่อไป โดยที่ระบบสัญญาณไฟและกล้องตรวจจับยวดยานจะทำงานต่อเนื่องก็ต่อเมื่อมีคนเดินเท้าอยู่บริเวณพื้นที่รอข้ามเท่านั้น แม้การเริ่มการทำงานของระบบจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อมีผู้ใช้กดปุ่มทางข้ามเท่านั้น แต่ถ้ามีผู้ใช้งานเดินออกจากพื้นที่ตรวจจับคนเดินเท้าบริเวณจุดรอข้ามถนน ระบบจะสั่งยกเลิกการทำงานทันที เพื่อให้การตัดสัญญาณไฟของยวดยานไม่เกิดขึ้น และทำให้ส่งผลต่อสภาพกระแสจราจรน้อยที่สุด อีกทั้งการตรวจจับที่บริเวณจุดรอข้าม สามารถช่วยในการวิเคราะห์ระยะเวลารอข้ามของคนเดินเท้าซึ่งเป็นหนึ่งในปัจจัยที่ใช้ในการเลือกช่วงเวลาตัดสัญญาณไฟยานพาหนะ โดยระยะเวลารอข้ามมากที่สุดสำหรับคนรอข้ามถนนคือ 30 วินาที

2. พื้นที่ตรวจจับคนเดินเท้าบริเวณพื้นที่ทางข้ามถนน

การตรวจจับบริเวณพื้นที่ทางข้ามถนนใช้ในการระบุว่าในช่วงการข้ามถนนของคนเดินเท้านั้น คนเดินเท้าข้ามถนนสิ้นสุดแล้วหรือไม่ หากสิ้นสุดสัญญาณไฟรูปมือแบบกระพริบ ซึ่งมีช่วงระยะเวลาสัญญาณไฟเท่ากับระยะเวลาที่คนเดินเท้าใช้ถนนเฉลี่ยในพื้นที่ศึกษานั้น แต่ยังมีคนเดินข้ามในพื้นที่ทางข้ามอยู่ ระบบจะทำการเพิ่มเวลาสัญญาณไฟเพื่อให้ผู้ข้ามถนนสามารถข้ามถนนแล้วเสร็จได้อย่างปลอดภัย ทั้งนี้การเพิ่มเวลาสัญญาณไฟรูปมือแบบกระพริบจะมีระยะเวลาเท่ากับระยเวลาข้ามถนนที่คนเดินข้ามถนนช้าที่สุดในพื้นที่ศึกษานั้น

เมื่อทำการออกแบบตำแหน่งตรวจจับคนเดินเท้าทั้ง 2 สามารถนำมาใช้งานร่วมกันเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ทำให้ทางข้ามมีความสะดวกในการใช้งานสำหรับคนเดินเท้า โดยตำแหน่งตรวจจับคนเดินเท้าทั้ง 2 พื้นที่สามารถแสดงได้ดัง**รูปที่ 6.2-24**



รูปที่ 6.2-24 ตำแหน่งตรวจจับคนเดินข้ามของทางข้ามถนนอัจฉริยะ

6.2.3.2. การออกแบบตำแหน่งตรวจจับยวดยาน

การออกแบบตำแหน่งตรวจจับยวดยานจะพิจาราณา 2 ปัจจัยได้แก่ ระยะหยุดรถปลอดภัย (Stopping Sight Distance) และ ช่วงระยะการตัดสินใจหยุดรถของผู้ขับขี่ยวดยาน (Dilemma Zone) โดยการออกแบบแต่ละส่วนสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

1. ระยะหยุดรถปลอดภัย (Stopping Sight Distance)

ระยะหยุดรถปลอดภัย หมายถึงระยะทางที่ผู้ขับขี่ใช้ในการหยุดรถเมื่อเห็นอุปสรรคข้างหน้า ซึ่งได้จาก ผลรวมของระยะทางที่เกิดช่วงของการรับรู้และตอบสนอง และระยะทางใช้ในการเปลี่ยนความเร็วจากที่วิ่งอยู่เป็นการหยุด แสดงได้ตามสมการดังนี้

$$\text{ระยะหยุดรถปลอดภัย } (SSD) = v_0 t_r + v_0 - \frac{1}{2} a t_s^2$$

โดยที่ V_0 = ความเร็วที่มุ่งเข้าสู่ทางข้าม; เมตร/วินาที
t_r = ระยะเวลาในการตอบสนอง; 2.5 วินาที
a = ความหน่วงเนื่องจากการเบรก; 3.4 เมตร/วินาที2
t_s = ระยะเวลที่ใช้ในการหยุดรถ; V0/a วินาที

เมื่อนำสมการที่ได้มาคำนวณในช่วงความเร็วต่าง ๆ ที่มุ่งเข้าสู้ทางข้าม สามารถแสดงระยะหยุดรถปลอดภัย (Stopping Sight Distance) ได้ดังแสดงใน**ตารางที่ 6.2-9**

ตารางที่ 6.2-9 ระยะหยุดรถปลอดภัย (Stopping Sight Distance)

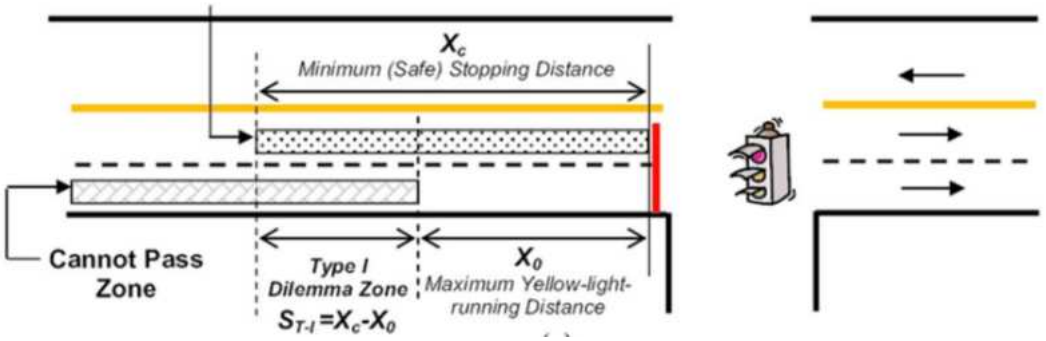
Design Speed (km/hr)	Brake Reaction Distance (m)	Braking Distance on Level (m)	Stopping Sight Distance	
			Calculated (m)	Design (m)
0	13.9	4.6	18.5	20
30	20.9	10.3	31.2	35
40	27.8	18.4	46.2	50
50	34.8	28.7	63.5	65
60	41.7	41.3	83.0	85
70	48.7	56.2	104.9	105
80	55.6	73.4	129.0	130
90	62.6	92.9	155.5	160
100	69.5	114.7	184.2	185
110	76.5	138.8	215.3	220
120	83.4	165.2	248.6	250
130	90.4	193.8	284.2	285

อ้างอิงมาจาก: AASHTO's A Policy on Geometric Design of Highway and Streets

ทางที่ปรึกษาได้ทำการออกแบบตำแหน่งตรวจจับยานพาหนะที่ระยะ 70 เมตร เนื่องจากตัวเสาที่ติดกล้องตรวจจับยานพาหนะสามารถติดตั้งห่างจากเส้นหยุดทางข้ามได้สูงสุดที่ระยะ 30 เมตร และระยะการตรวจจับยวดยานของตัวกล้องสามารถตรวจจับได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงในระยะไม่เกิน 40 เมตร จึงเป็นที่มาของระยะการออกแบบตำแหน่งตรวจจับยวดยานที่ 70 เมตร โดยนับตั้งแต่ตำแหน่งของเส้นหยุด ดังนั้นการออกแบบความเร็วที่มุ่งเข้าสู่ทางข้ามที่เหมาะสม มีค่าเท่ากับ 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งใช้ระยะที่ยวดยานสามารถหยุดได้อย่างปลอดภัยที่ 65 เมตร

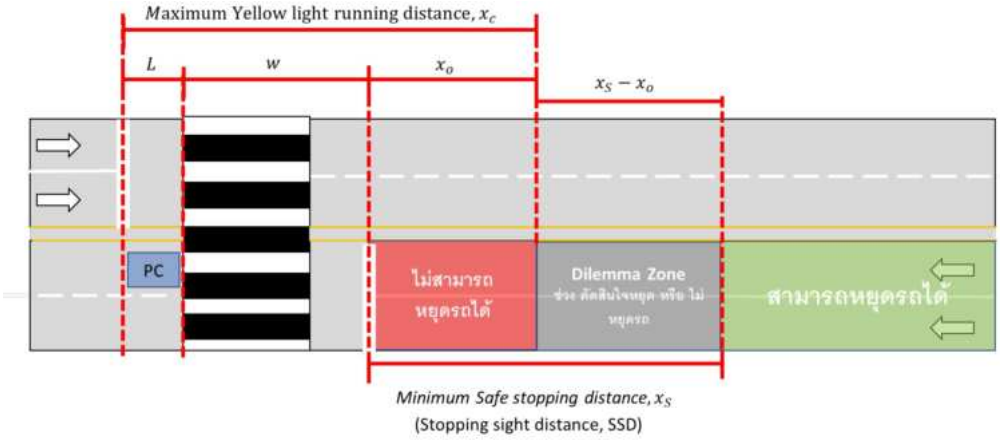
2. ช่วงระยะการตัดสินใจหยุดรถของผู้ขับขี่ยวดยาน (Dilemma Zone)

ช่วงระยะการตัดสินใจหยุดรถของผู้ขับขี่ยวดยาน คือช่วงระยะการตัดสินใจของผู้ขับขี่ยวดยานว่าจะหยุดหรือ ขับมุ่งตรงต่อไปในช่วงสัญญาณไฟเหลือง ซึ่งช่วงการตัดสินใจดังกล่าวอยู่ในช่วงระหว่างระยะหยุดปลอดภัยและระยะที่ยานพาหนะเคลื่อนที่ผ่านทางแยกในช่วงสัญญาณไฟเหลืองได้อย่างพอดี ดังแสดงใน**รูปที่ 6.2-25**



รูปที่ 6.2-25 ช่วงระยะการตัดสินใจหยุดรถของผู้ขับขี่ยวดยาน (Dilemma Zone)

ช่วงระยะการตัดสินใจหยุดรถของผู้ขับขี่ยวดยาน (Dilemma Zone) สามารถอธิบายระยะช่วงต่างๆ ดังแสดงใน**รูปที่ 6.2-26** และคำนวณระยะดังกล่าวได้จากสมการดังนี้



รูปที่ 6.2-26 การคำนวนระยะการตัดสินใจหยุดรถของผู้ขับขี่ยวดยาน (Dilemma Zone)

$$\text{ระยะหยุดรถปลอดภัย } (SSD); X_s = v_0 t_r + v_0 - \frac{1}{2} a t_s^2$$

โดยที่ V_0 = ความเร็วที่มุ่งเข้าสู่ทางข้าม; เมตร/วินาที

t_r = ระยะเวลาในการตอบสนอง; 2.5 วินาที

a = ความหน่วงเนื่องจากการเบรก; 3.4 เมตร/วินาที^{2}

t_s = ระยะเวลที่ใช้ในการหยุดรถ; V_0/a วินาที

$$X_c = v_0 t_c$$

โดยที่ V_0 = ความเร็วที่มุ่งเข้าสู่ทางข้าม; เมตร/วินาที

t_c = ระยะเวลาสัญญาณไฟเหลือง; 4 วินาที

$$X_o = X_c - (W + L)$$

โดยที่ X_c = ระยะที่รถต้องวิ่งเมื่อได้รับสัญญาณไฟเหลืองสูงสุด; เมตร

W = ระยะความกว้างทางข้าม; 5 เมตร

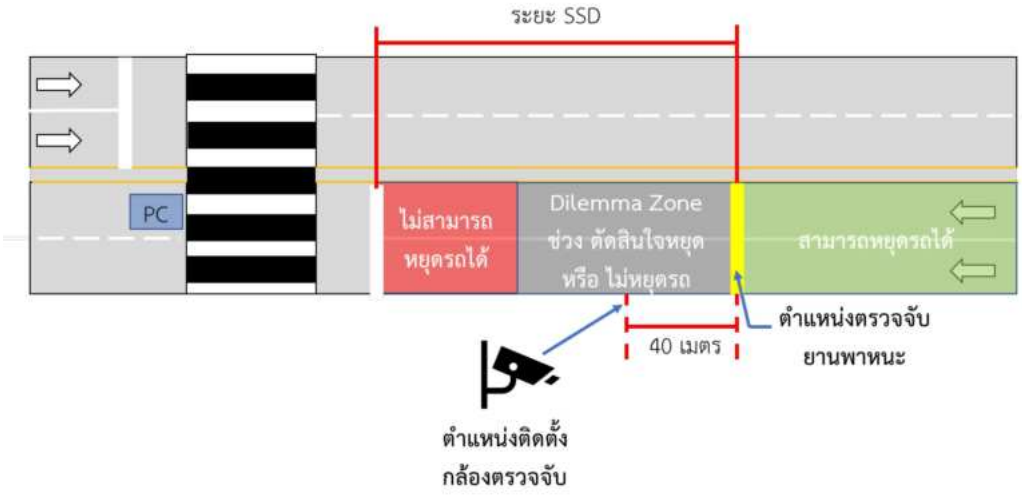
L = ความยาวยวดยานเฉลี่ย; 5 เมตร

เมื่อนำสมการที่ได้มาคำนวณในช่วงความเร็วต่าง ๆ ที่มุ่งเข้าสู้ทางข้าม สามารถแสดงช่วงระยะการตัดสินใจหยุดรถของผู้ขับขี่ยวดยาน (Dilemma Zone) ได้ดังแสดงใน**ตารางที่ 6.2-10**

ตารางที่ 6.2-10 ช่วงระยะการตัดสินใจหยุดรถของผู้ขับขี่ยวดยาน (Dilemma Zone)

ความเร็ว (km/hr)	ช่วงระยะห่างจากเส้นหยุด (เมตร)		
	ไม่สามารถหยุดรถได้ (X_o)	ช่วงตัดสินใจ หยุดหรือไม่หยุดรถ (Dilemma Zone)	สามารถหยุดรถได้ (ระยะ SSD)
30	0-23	23-31	>31
40	0-34	34-46	>46
50	0-46	46-63	>63
60	0-57	57-83	>83
70	0-68	68-104	>104
80	0-79	79-128	>128
90	0-90	90-154	>154

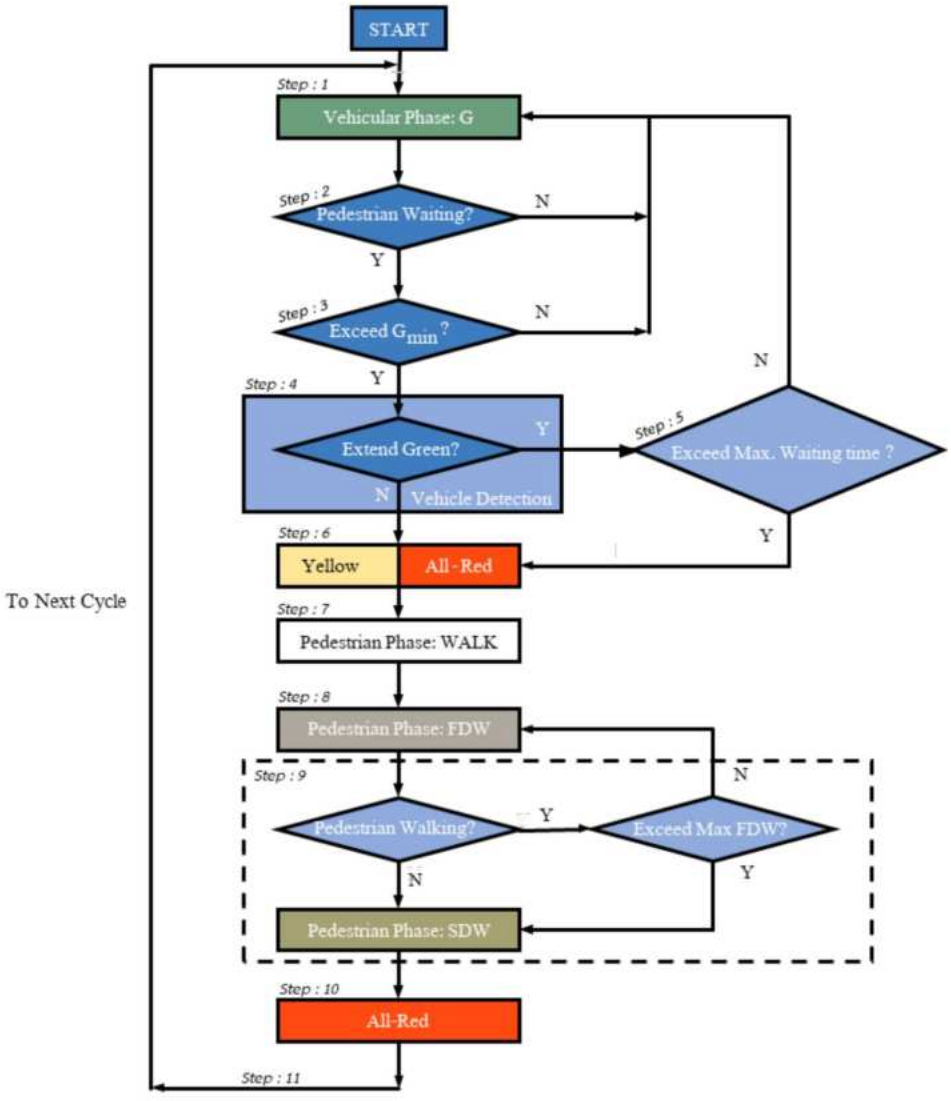
เมื่อนำทั้ง 2 ปัจจัยในการออกแบบตำแหน่งตรวจจับยวดยานมาวิเคราะห์ร่วมกัน ทำให้สามารถออกแบบตำแหน่งตรวจจับยวดยานที่ระยะ 70 เมตร ห่างจากเส้นหยุดรถ ซึ่งเป็นระยะหยุดรถปลอดภัย ที่ความเร็วมุ่งเข้าสู่ทางข้ามน้อยกว่าหรือเท่ากับ 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และเป็นช่วงตัดสินใจหยุดรถของผู้ขับขี่ยวดยานในช่วงสัญญาณไฟเหลืองได้อย่างปลอดดภัยอีกด้วย ดังแสดงใน**รูปที่ 6.2-27**



รูปที่ 6.2-27 ตำแหน่งการติดตั้งกล้องและตำแหน่งการตรวจจับยวดยาน

6.3. การออกแบบการทำงานของระบบทางข้ามถนนอัจฉริยะ

ทางข้ามอัจฉริยะ เป็นทางข้ามที่นำเอาอุปกรณ์หรือเทคโนโลยีแบบอัตโนมัติต่างๆ มาทำการติดตั้งบริเวณทางข้าม เพื่อช่วยอำนวยความสะดวก เพิ่มความปลอดภัยและประสิทธิภาพในการใช้งานทางข้ามให้มากขึ้น ดังนั้นหลักการทำงานโดยทั่วไปของทางข้ามอัจฉริยะ จึงจะต้องอาศัยอุปกรณ์ตรวจจับคนเดินเท้าร่วมกับอุปกรณ์ตรวจจับยานพาหนะบริเวณทางข้าม เพื่อประมวลผลความต้องการใช้ทางข้ามและวิเคราะห์ควบคุมสัญญาณไฟทางข้ามให้เกิดความปลอดภัยและมีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งพื้นฐานในการทำงานของทางข้ามอัจฉริยะนั้น ทางที่ปรึกษาสามารถนำมาสรุปในรูปของแผนผังลำดับขั้นตอนการทำงานได้ ดังแสดงใน**รูปที่ 6.3-1**

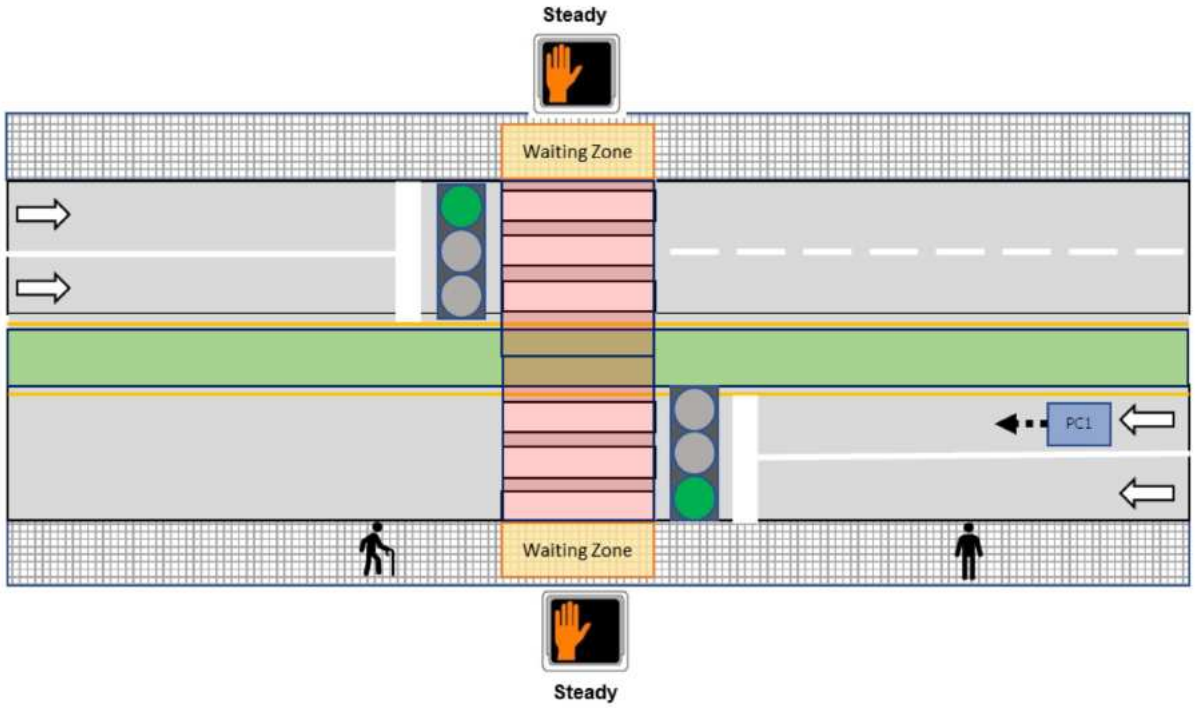


รูปที่ 6.3-1 ตรรกะของการควบคุมสัญญาณไฟทางข้าม (Signal Control Logic)

ขั้นตอนการทำงานของระบบสัญญาณไฟและอุปกรณ์ตรวจจับของทางข้ามอัจฉริยะ (Smart Crosswalk) สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

1. เริ่มรอบสัญญาณไฟ

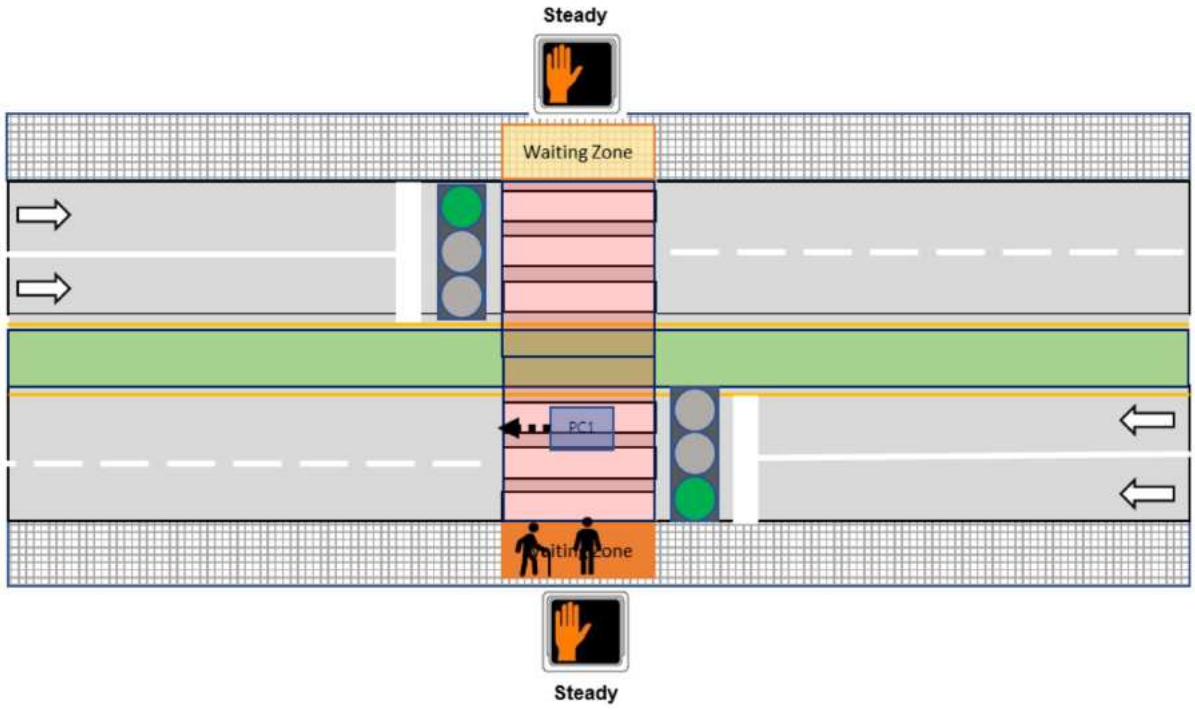
ในขั้นตอนแรกยานพาหนะจะได้รับสัญญาณไฟเขียวและสัญญาณไฟคนเดินข้ามเป็นรูปมือให้คนเดินเท้าหยุดรอ ห้ามข้ามถนน (Steady Don't Walk) จนกระทั่งมีการกดปุ่มเพื่อต้องการข้าม กล้องตรวจจับยานพาหนะและกล้องตรวจจับบริเวณพื้นที่รอข้ามเริ่มทำงาน



รูปที่ 6.3-2 เริ่มรอบสัญญาณไฟ

2. คนเดินข้ามถนนเริ่มการใช้งาน

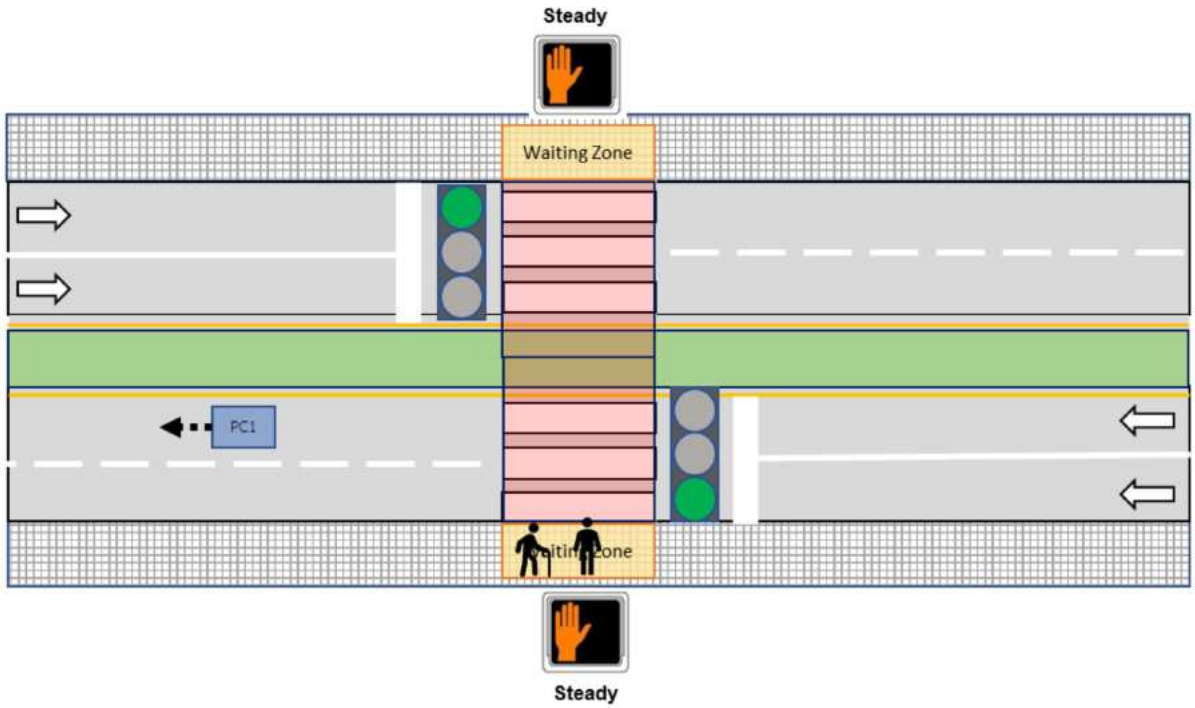
กล้องตรวจจับบริเวณพื้นที่รอข้ามตรวจจับว่ามีการยืนรออยู่บริเวณพื้นที่รอข้ามหรือไม่ หากมีระบบจะพิจารณาขั้นตอนต่อไป แต่ถ้าไม่มีการยืนรออยู่บริเวณทางข้าม (คนกดปุ่มตัดสินใจไม่รอข้าม) ระบบจะตัดการพิจารณา และให้สัญญาณไฟเขียวแก่ยานพาหนะต่อไป



รูปที่ 6.3-3 คนเดินข้ามถนนเริ่มการใช้งาน

3. พิจารณาระยะเวลาสัญญาณไฟเขียวที่ให้แก่ยานพาหนะ

เมื่อคนข้ามยังยืนรออยู่บริเวณทางข้าม ระบบจะพิจารณาระยะเวลาสัญญาณไฟเขียวที่ให้แก่ยานพาหนะว่าถึงระยะเวลา Minimum Green Time หรือไม่ ถ้าไม่ระบบจะให้สัญญาณไฟเขียวแก่ยานพาหนะต่อไป แต่ถ้าถึงระยะเวลา Minimum Green Time แล้ว ระบบจะพิจารณาในขั้นตอนต่อไป

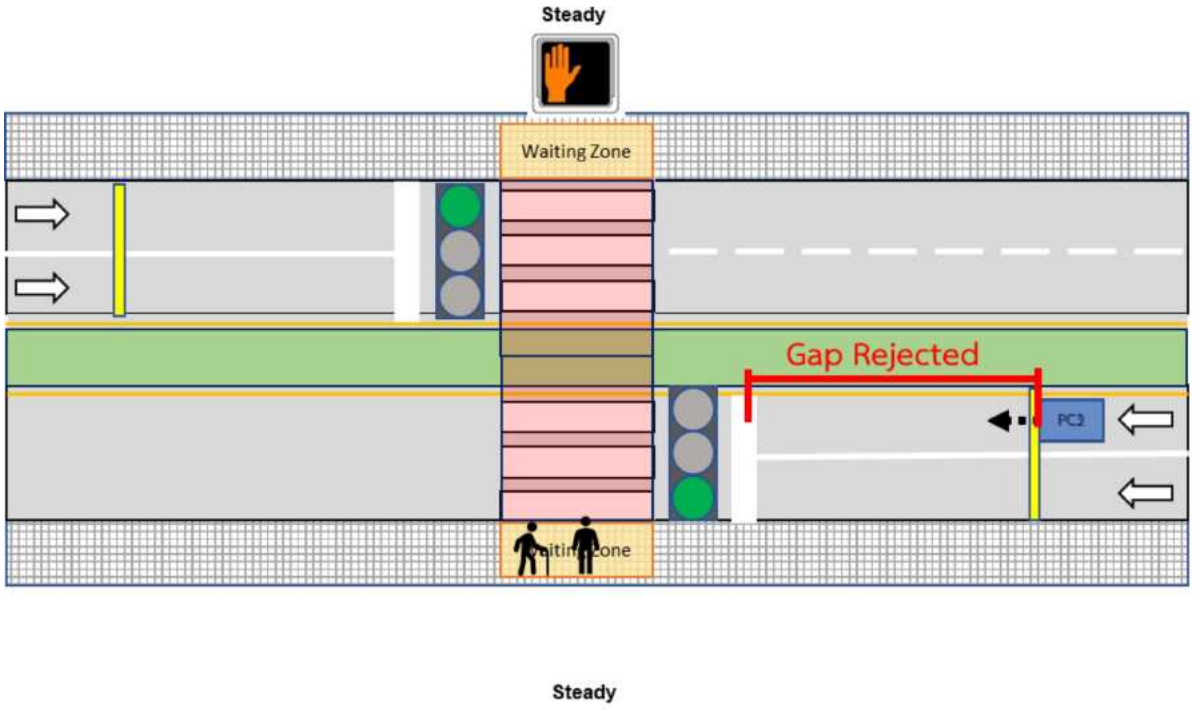


รูปที่ 6.3-4 พิจารณาระยะเวลาสัญญาณไฟเขียวที่ให้แก่ยานพาหนะ

4. พิจารณาการขยายระยะเวลาสัญญาณไฟเขียวยานพาหนะ

เมื่อระบบตรวจสอบว่าระยะเวลาไฟเขียวที่ให้แก่ยานพาหนะถึงระยะเวลา Min. Green Time แล้ว ระบบจะพิจารณาว่าการขยายสัญญาณไฟเขียวให้ยานพาหนะหรือไม่ โดยทำการพิจารณาจากความเร็วของยานพาหนะ และระยะห่างของยานพาหนะ (Gap) ที่สามารถยอมรับได้ โดยหลักการทำงานของกล้องตรวจจับยานพาหนะ คือ การตรวจจับยานพาหนะที่มุ่งเข้าสู่ทางข้ามในแต่ละทิศทางและทำการตรวจจับค่าความเร็วและระยะห่างของยานพาหนะ (Gap) ของยานพาหนะ ทุกช่องจราจรพร้อมกัน ทั้งสองทิศทาง โดยตำแหน่งการตรวจจับของยานพาหนะอยู่ในตำแหน่งเดียวกับระยะหยุดรถปลอดภัยทำให้ผู้ใช้เส้นทางสามารถหยุดรถได้อย่างปลอดภัย ในกรณีที่มีการตัดสัญญาณไฟเขียวยานพาหนะ สำหรับการวิเคราะห์การตัดสัญญาณไฟยานพาหนะของระบบ สามารถแสดงรายระเอียดดังนี้

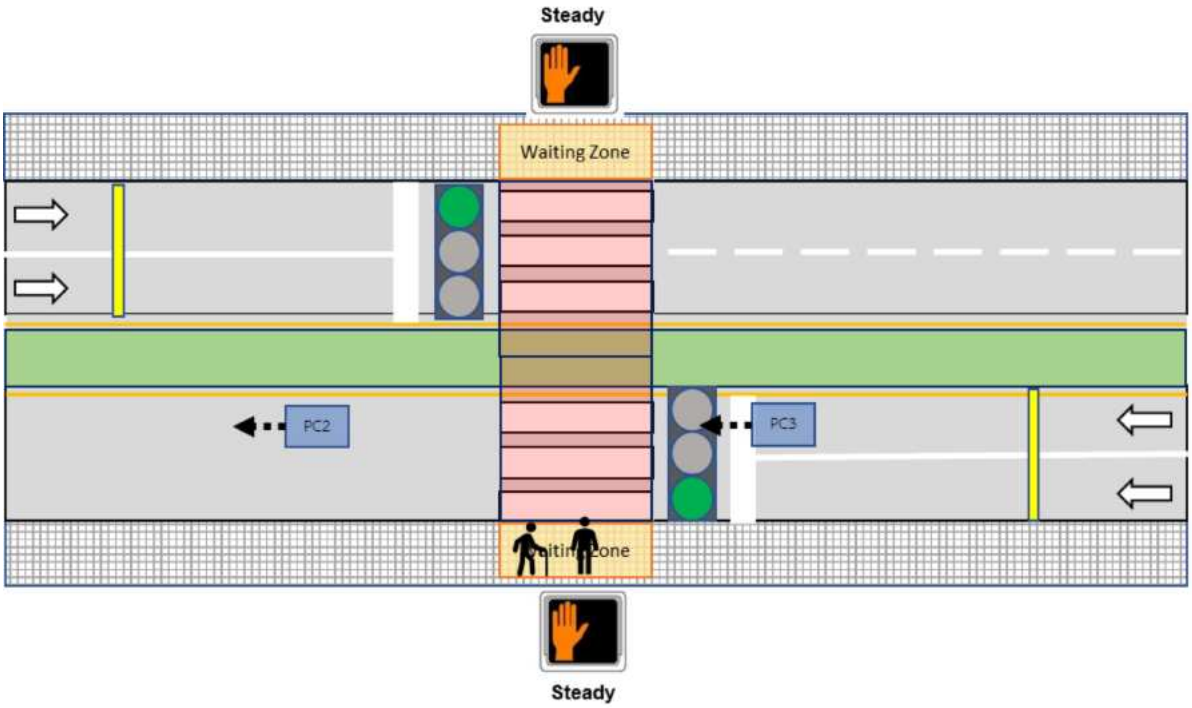
- ถ้าความเร็วยานพาหนะมากกว่า 50 กม./ชม. ให้ทำการให้สัญญาณไฟเขียวยานพาหนะต่อไป
- ถ้าความเร็วยานพาหนะน้อยกว่าหรือเท่ากับ 50 กม./ชม. แต่ Gap น้อยกว่า 3.5 วินาที ให้ทำการให้สัญญาณไฟเขียวยานพาหนะต่อไป
- ถ้าความเร็วยานพาหนะน้อยกว่าหรือเท่ากับ 50 กม./ชม. และ Gap มากกว่าหรือเท่ากับ 3.5 วินาที ให้ทำการตัดสัญญาณไฟเขียวยานพาหนะ



รูปที่ 6.3-5 พิจารณาการขยายระยะเวลาสัญญาณไฟเขียวยานพาหนะ

5. พิจารณาระยะเวลารอคอยของคนข้าม

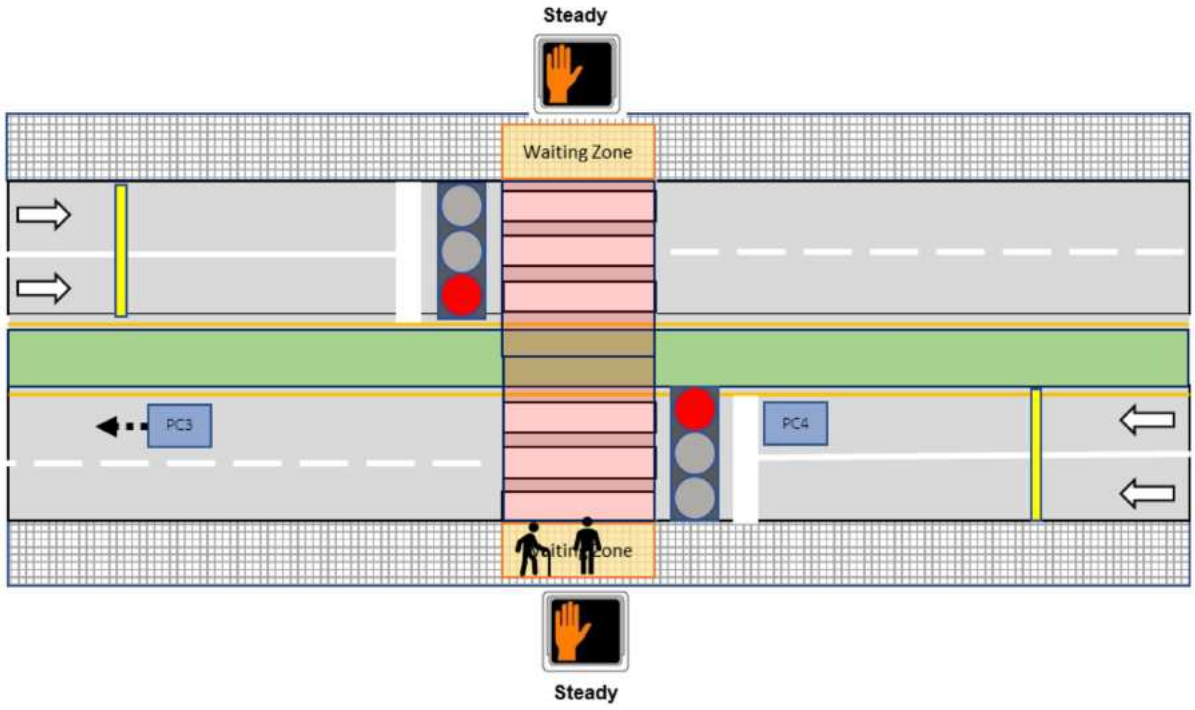
เมื่อตรวจสอบเงื่อนไขการขยายระยะเวลาสัญญาณไฟเขียวแล้วระบบจะทำการขยายระยะเวลาสัญญาณไฟ ขั้นตอนต่อไประบบจะทำการพิจารณาระยะเวลารอคอยของคนข้าม หากระยะเวลารอคอยของคนข้ามยังไม่เกินระยะเวลารอคอยสูงสุดที่คนข้ามสามารถรอได้ ระบบจะให้สัญญาณไฟเขียวยานพาหนะต่อไป แต่ถ้าระยะเวลารอคอยของคนข้ามเกินระยะเวลารอคอยสูงสุดที่คนข้ามสามารถรอได้ ระบบจะตัดสัญญาณไฟเขียวยานพาหนะ



รูปที่ 6.3-6 พิจารณาระยะเวลารอคอยของคนข้าม

6. สัญญาณไฟ Intergreen ของยานพาหนะ

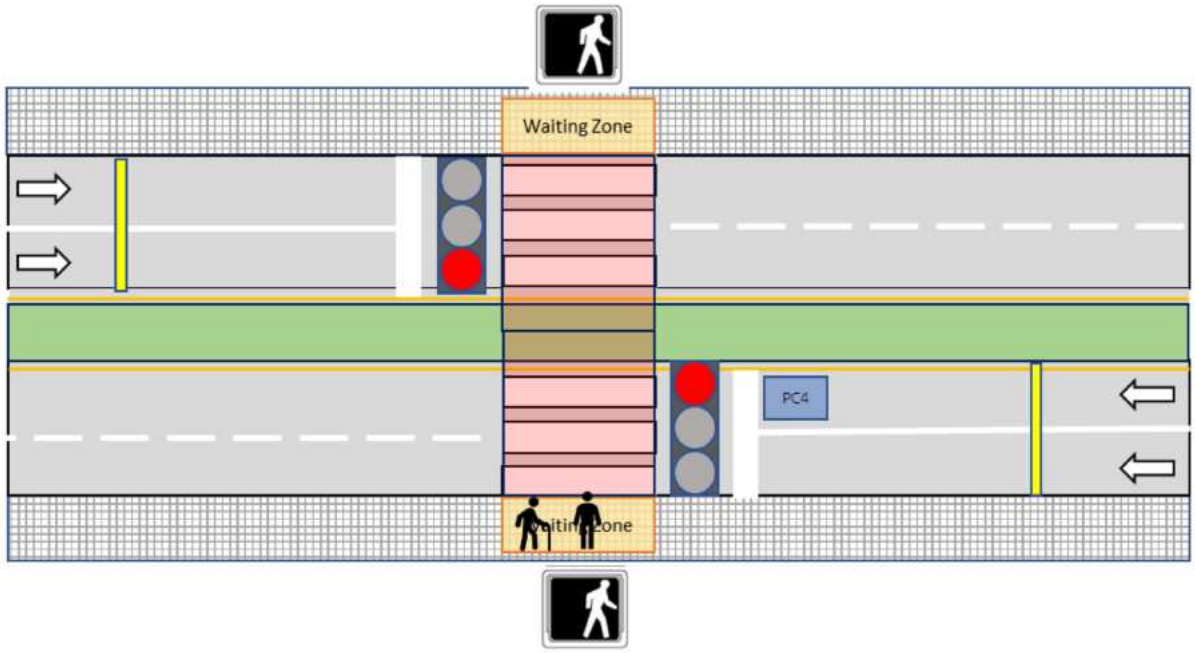
เมื่อระบบทำการตัดสัญญาณไฟเขียวยานพาหนะ ลำดับสัญญาณไฟเปลี่ยนเป็นสัญญาณช่วง Intergreen ของยานพาหนะ ได้แก่ สัญญาณไฟเหลือง 4 วินาที และสัญญาณไฟแดงทุกเฟส (All-Red) 1 วินาที ในช่วงเวลานี้สัญญาณไฟของคนเดินข้ามจะแสดงสัญญาณไฟรูปมือให้คนเดินเท้าหยุดรอ ห้ามข้ามถนน (Steady Don't Walk)



รูปที่ 6.3-7 สัญญาณไฟ Intergreen ของยานพาหนะ

7. สัญญาณไฟให้คนเดินเริ่มข้ามถนน (Walk Internal)

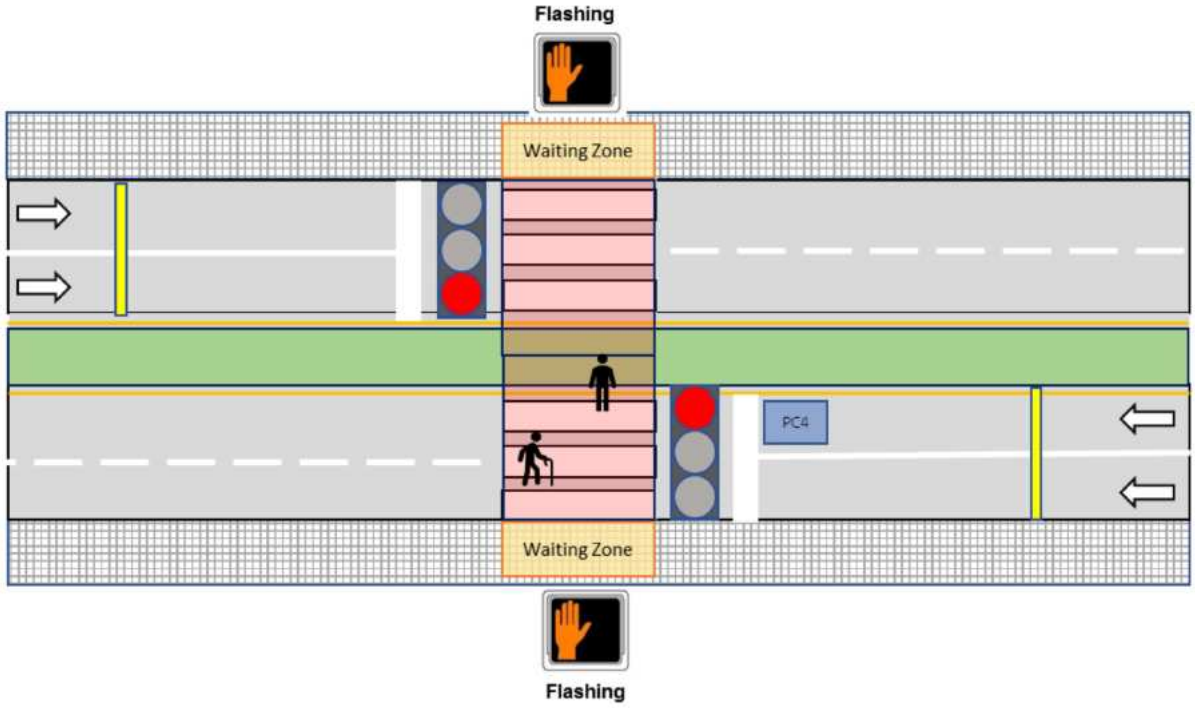
เมื่อสิ้นสุดสัญญาณช่วง Intergreen สัญญาณไฟของยานพาหนะเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟแดง ส่วนสัญญาณไฟคนเดินข้ามเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟให้คนเดินข้ามที่กดปุ่มหรือยืนรอบริเวณทางเท้าเริ่มข้ามถนน (Walk Internal) เป็นระยะเวลา 4 ถึง 7 วินาที ขึ้นอยู่กับการออกแบบ



รูปที่ 6.3-8 สัญญาณไฟให้คนเดินเริ่มข้ามถนน (Walk Internal)

8. สัญญาณไฟรูปมือแบบกระพริบ (Flashing Don't Walk)

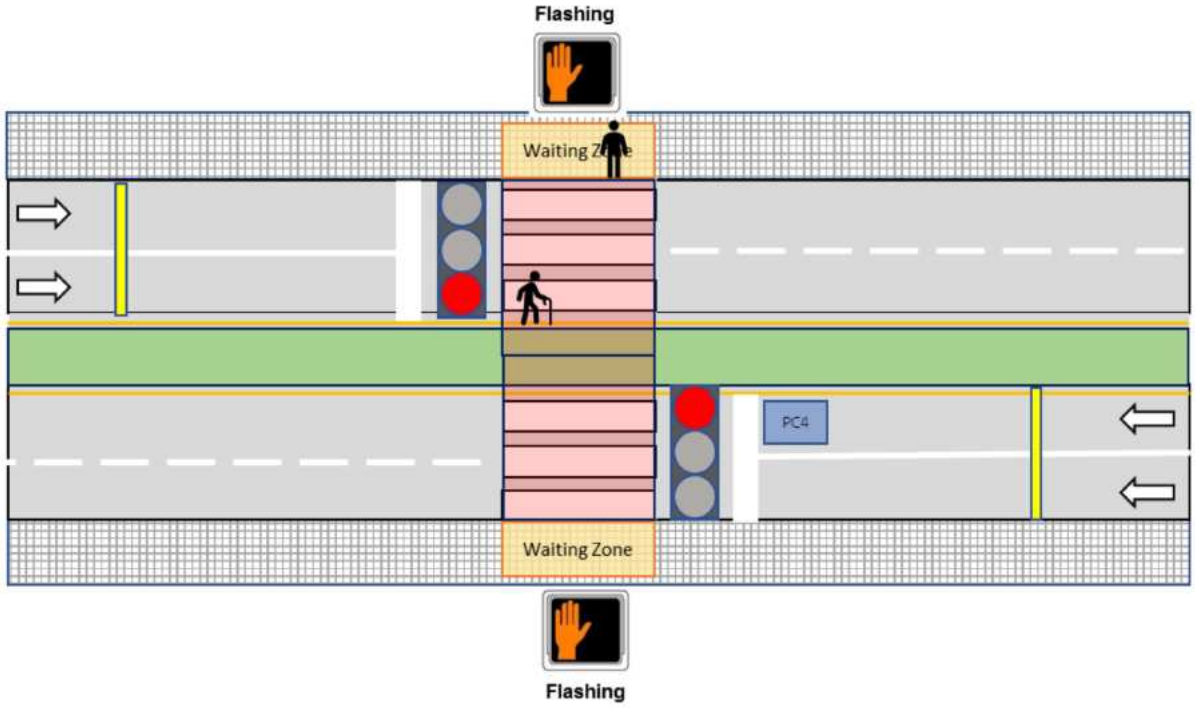
เมื่อสิ้นสุดสัญญาณไฟให้คนเดินข้ามที่กดปุ่มหรือยืนรอบริเวณทางเท้าเริ่มข้ามถนน (Walk Internal) สัญญาณไฟคนข้ามจะเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟรูปมือแบบกระพริบให้คนเดินที่อยู่ในพื้นที่ทางข้ามรีบข้ามถนน และห้ามเริ่มข้ามถนนในช่วงสัญญาณไฟนี้ (Flashing Don't Walk) โดยระยะเวลาของสัญญาณไฟคนข้ามเฟสนี้ จะเท่ากับระยะเวลาที่ใช้ในการข้ามถนนของคนเดินเท้าเฉลี่ยของพื้นที่ทางข้ามนั้น ๆ ในช่วงระยะเวลานี้สัญญาณไฟของยานพาหนะยังคงเป็นสัญญาณไฟแดง



รูปที่ 6.3-9 สัญญาณไฟรูปมือแบบกระพริบ (Flashing Don't Walk)

9. ตรวจจับคนเดินข้ามในบริเวณพื้นที่ทางข้าม

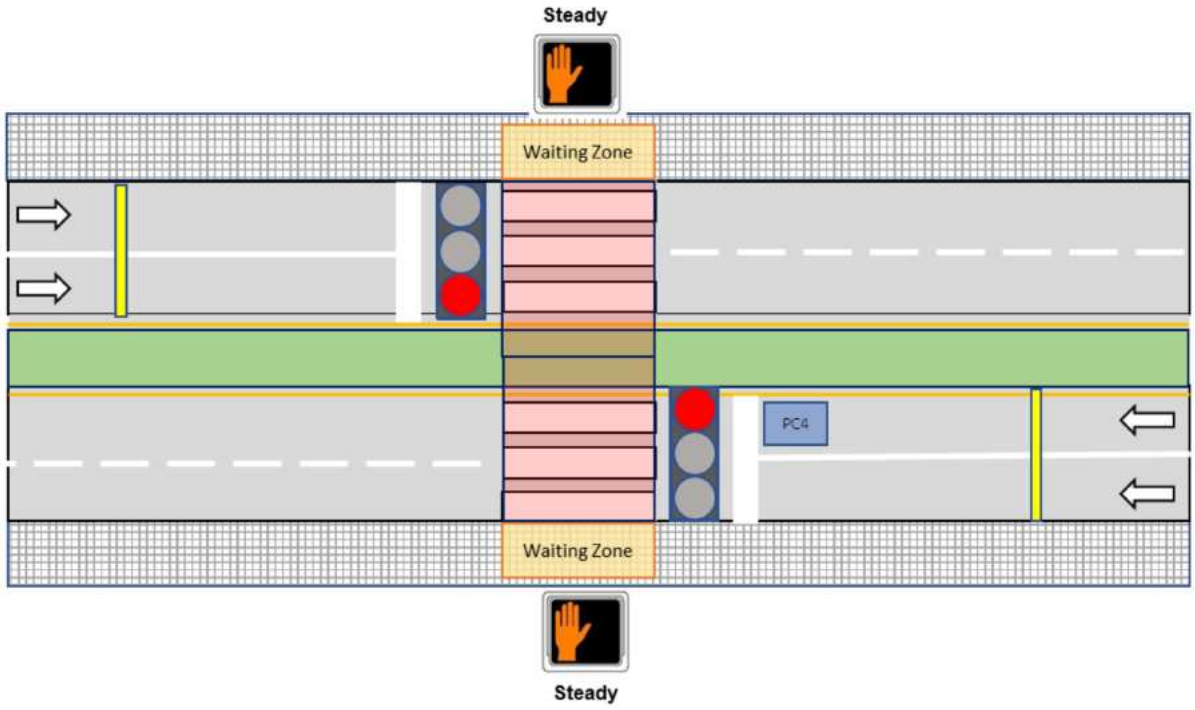
เมื่อเริ่มมีการข้ามทางข้าม กล้องตรวจจับบริเวณทางข้ามจะตรวจสอบพื้นที่ทางข้ามว่ามีคนข้ามอยู่ในบริเวณทางข้ามอยู่หรือไม่ ถ้ามีคนข้ามอยู่ในพื้นที่ทางข้าม ระบบจะเพิ่มระยะเวลาสัญญาณไฟรูปมือแบบกระพริบทุก ๆ 1 วินาที จนกระทั่งไม่มีคนเดินข้ามอยู่ในพื้นทีทางข้าม หรือ ระยะเวลาสัญญาณไฟคนข้ามเกินระยะเวลาที่ใช้ในการข้ามถนนสูงสุด จากนั้นสัญญาณไฟคนข้ามจะเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟรูปมือให้คนเดินเท้าหยุดรอ ห้ามข้ามถนน (Steady Don't Walk)



รูปที่ 6.3-10 ตรวจจับคนเดินข้ามในบริเวณพื้นที่ทางข้าม

10. สัญญาณไฟแดงทุกเฟส (All-Red)

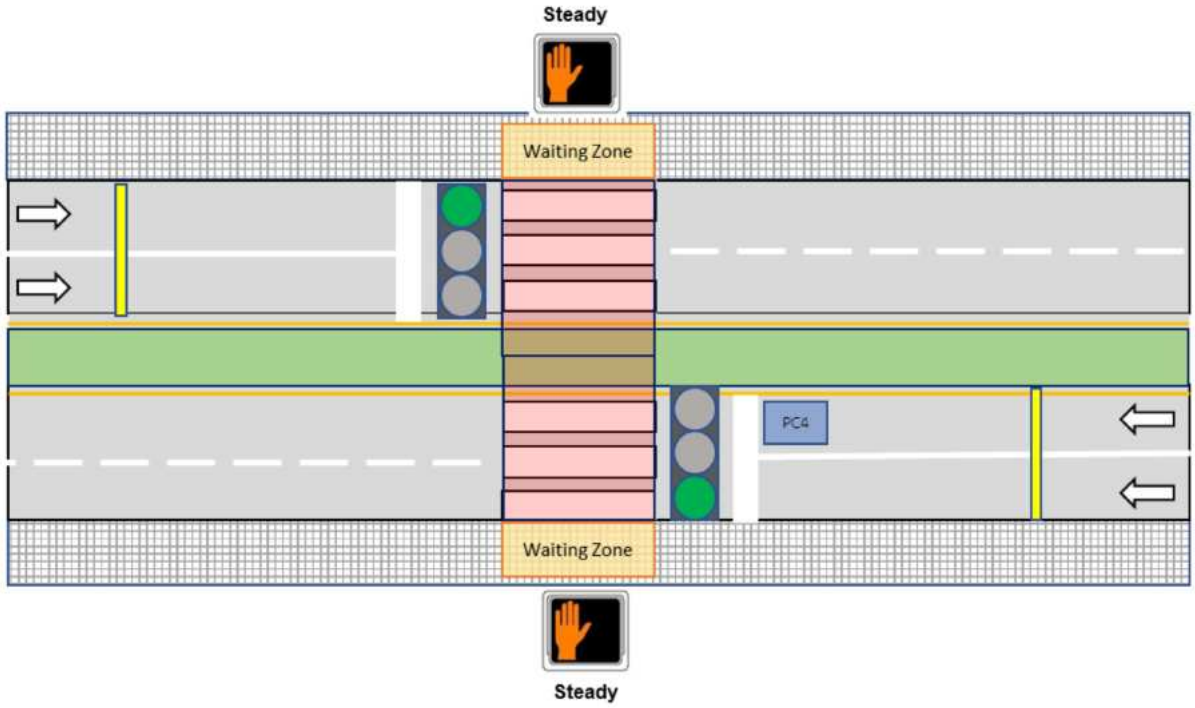
หลังจากที่ระบบตัดสัญญาณไฟคนข้าม (ไม่มีคนข้ามอยู่ในพื้นที่ทางข้าม) และเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟรูปมือให้คนข้ามหยุดรอ ห้ามข้ามถนน (Steady Don't Walk) สัญญาณไฟของคนเดินข้าม และสัญญาณไฟของยานพาหนะจะเปลี่ยนเป็นสัญญาณไฟแดงทุกเฟส (All-Red) 1 วินาที



รูปที่ 6.3-11 สัญญาณไฟแดงทุกเฟส (All-Red)

11. สิ้นสุดการทำงานของรอบสัญญาณไฟ

หลังจากสิ้นสุดระยะเวลาสัญญาณไฟแดงของทุกเฟส (All-Red) 1 วินาที ระบบจะเปลี่ยนสัญญาณไฟยานพาหนะให้เป็นสัญญาณไฟเขียว และเริ่มการทำงานในขั้นตอนแรก ต่อไป



รูปที่ 6.3-12 สิ้นสุดการทำงานของรอบสัญญาณไฟ