

คพ. 03-089

เล่มที่ 1/3

รายงานสรุปสำหรับผู้บริหาร

โครงการศึกษาวิจัยและออกแบบจัดทำเครื่องมือตรวจวัดควัน
ระบบวัดความทึบแสงต้นแบบ (Opacity Meter) ระยะที่ 1



กรมควบคุมมลพิษ

กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม



มูลนิธิธรรมรัฐเพื่อการพัฒนาสังคม

และสิ่งแวดล้อม

ISBN 978-974-286-304-3

บทคัดย่อ

โครงการศึกษาวิจัยและออกแบบจัดทำเครื่องมือตรวจวัดคว้นระบบวัดความทึบแสง ระยะที่ 1 เป็นโครงการที่ศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาอุปกรณ์ในการตรวจวัดคว้นระบบวัดความทึบแสง ชนิดไหลผ่านทั้งหมดที่สามารถผลิตได้เองในประเทศไทยและได้มาตรฐานสากล โดยโครงการดังกล่าวนี้ได้แบ่งการศึกษาวิจัยออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 การศึกษารวบรวมข้อมูลการใช้งานเครื่องมือตรวจวัดคว้นเป็นการรวบรวมข้อมูลจากผู้ใช้เครื่องมือตรวจวัดคว้นทั้งหน่วยงานภาครัฐและเอกชน โดยได้รวบรวมและจัดทำเป็นฐานข้อมูลผู้ใช้เครื่องมือตรวจวัดคว้นในรูปแบบ Microsoft Access

และสำหรับการศึกษาในส่วนที่ 2 การทบทวนรายละเอียดด้านเทคนิคของเครื่องมือตรวจวัดคว้นระบบวัดความทึบแสง และส่วนที่ 3 การดำเนินการศึกษาวิจัยและออกแบบจัดทำเครื่องมือตรวจวัดคว้นระบบวัดความทึบแสงต้นแบบระดับงานวิจัยชนิดไหลผ่านทั้งหมดสามารถผลิตได้เองในประเทศไทย จะเริ่มจากการทบทวนรายละเอียดทางด้านเทคนิค เช่น สมบัติของแหล่งกำเนิดแสง สมบัติของตัวรับแสง และแนวทางเลือกของการพัฒนาเครื่องตรวจวัดคว้นระบบวัดความทึบแสง เช่น ชนิดของแหล่งกำเนิดและตัวรับแสง การจัดวางตัวและการลดทอนสัญญาณรบกวน เป็นต้น

หลังจากทราบข้อดีข้อเสียของวิธีการต่างๆแล้ว ทีมที่ปรึกษาจึงได้เลือกตัวแปรของระบบเบื้องต้นที่จะทำการทดสอบก่อนทำการพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบ โดยทำการทดลองระบบเบื้องต้นเทียบกับระบบของอุปกรณ์ที่กรมควบคุมมลพิษใช้อยู่ในปัจจุบัน คือ เครื่อง Wager Model 6500 ที่ใช้มาตรฐาน SAE J1667 ซึ่งเป็นมาตรฐานสากลเป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลายทั่วโลก ดังนั้นเครื่องวัดคว้นระบบวัดความทึบแสงต้นแบบที่พัฒนานี้ก็จะอ้างอิงกับมาตรฐาน SAE J1667 โดยมีจำนวนคู่แหล่งกำเนิดและตัวรับแสง การจัดวางแบบเดียวกับเครื่องวัดคว้นที่ใช้งานปัจจุบัน แต่ใช้อุปกรณ์ที่มีอยู่ในประเทศ ทั้งนี้สมบัติบางประการอาจไม่เทียบเท่ากับเครื่องนำเข้าจากต่างประเทศ เช่น เทคนิคในการลดทอนสัญญาณรบกวน และเสถียรภาพของเครื่อง ในการพัฒนาจะทำการทดลองเปรียบเทียบเน้นที่การใช้แหล่งกำเนิดแสง 3 ย่านความยาวคลื่น คือ จาก LED สีน้ำเงิน LED สีเขียวแก่ และ LED สีเขียวอำพัน เพื่อให้สามารถทำการวัดค่าได้ใกล้เคียงหรือเทียบเท่ากับเครื่องที่ใช้งานในปัจจุบัน

เมื่อได้ทำการค้นคว้าและศึกษาหลักการประกอบกับการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการนำไปสู่การพิจารณาเลือก 3 ย่านความยาวคลื่นเบื้องต้น จึงสร้างระบบเพื่อนำไปทดสอบเปรียบเทียบกับผลของเครื่องวัดมาตรฐานในภาคสนาม โดยแต่ละแหล่งกำเนิดมีองค์ประกอบของระบบร่วมกันในส่วนของอิเล็กทรอนิกส์ของวงจรขับกระแส วงจรรับและขยายสัญญาณแสง วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลและวงจรประมวลผล แต่มีแหล่งกำเนิดแสงที่แตกต่างกัน คือ LED สีน้ำเงิน ($\lambda \approx 400 \text{ nm}$), LED สีเขียวแก่ ($\lambda \approx 475 \text{ nm}$) และ LED สีเขียวอำพัน ($\lambda \approx 545 \text{ nm}$)

หลังจากได้ทำการทดสอบระบบภาคสนามเบื้องต้นกับเครื่องมาตรฐาน Wager Model 6500 ในการวัดคว้นค่าจากระยะตัวอย่างตามที่กรมควบคุมมลพิษจัดให้ที่ศูนย์ปฏิบัติการของกรมควบคุมมลพิษ จากผลการทดลองดังกล่าว พบความแตกต่างของทั้ง 3 ระบบ เพียงช่วงค่าความยาวคลื่นของ

แหล่งกำเนิดจะเห็นได้ว่าค่าความแตกต่างจากเครื่องมาตรฐานสำหรับการใช้ LED สีเขียวอำพันจะมีค่าน้อยกว่ากรณีของ LED สีน้ำเงิน และ LED สีเขียวแก่ ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากการชดเชยค่าแก้ของ path length ที่เนื่องจากความแตกต่างของความยาวคลื่นซึ่งมีช่วง bandwidth ที่กว้างมากน้อยไม่เท่ากัน

ดังนั้น เพื่อให้ระบบของอุปกรณ์ต้นแบบ ระยะที่ 1 ของการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ สามารถเปรียบเทียบได้โดยตรงกับเครื่องมาตรฐานในตัวแปรพื้นฐานหลัก คือ ขนาดเครื่องยนต์และขนาดท่อไอเสียในขั้นตอนนี้จึงเลือกใช้ระบบต้นแบบรุ่นที่ 1 เป็นระบบที่ใช้แหล่งกำเนิด LED สีเขียวอำพัน ที่มีสมบัติของสเปกตรัมทางแสงใกล้เคียงกับแหล่งกำเนิดที่ใช้ในเครื่องมาตรฐาน

เมื่อได้ข้อสรุปจากผลการทดลองภาคสนามเบื้องต้นจึงทำการออกแบบสร้างต้นแบบรุ่นที่ 1 ของเครื่องวัดควันดำระบบวัดควันทึบแสงแบบไหลผ่านทั้งหมด(Full Flow Opacity Meter) ขนาดพกพา ซึ่งใกล้เคียงกับเครื่องมาตรฐาน ที่ใช้แหล่งกำเนิด LED สีเขียวอำพัน โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงแบบ LED ที่มีช่วงของความยาวคลื่นตรงความเข้มแสงสูงใกล้เคียงกับ 570 nm ใช้ตัวรับแสงแบบโฟโตไดโอดชนิดธรรมดาและไม่มีแผ่นกรองแสง มีการมอดูเลทสัญญาณความเข้มแสง ไม่มีระบบการกรองสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ มีระบบการเฉลี่ยสัญญาณ การประมวลผล และการแสดงผลแบบดิจิทัล

สำหรับส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์ของเครื่องวัดควันดำระบบวัดความทึบแสงรุ่นที่ 1 ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 คือ ส่วนส่งสัญญาณแสงจะทำการส่งแสงเป็นแบบคลื่นความถี่ PWM (Pulse Width Modulation) ส่วนที่ 2 คือ ส่วนของ Photo Detector ที่ทำหน้าที่รับแสงจากตัว LED แล้วเปลี่ยนให้เป็นกระแส ส่งเข้าสู่วงจร Transresistance Amplifier ส่วนที่ 3 คือ หน่วยประมวลผลเป็นการนำค่าที่วัดได้จากส่วนที่ 2 มาวิเคราะห์

ผลการทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบรุ่นที่ 1 ที่ทำการพัฒนาขึ้นซึ่งได้ทดสอบภาคสนามที่ห้องปฏิบัติการตรวจวัดมลพิษจากยานพาหนะของกรมควบคุมมลพิษ เพื่อทดสอบวัดตัวเลขค่า Opacity ของควันดำจากรถกระบะเครื่องดีเซลใดๆ 1 คัน ที่กรมควบคุมมลพิษจัดหาไว้ ทั้งนี้ผลปรากฏว่าจากการทดลอง 270 ค่า เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากเครื่องมาตรฐาน Wager Model 6500 ซึ่งมีค่า% Opacity เฉลี่ยต่างกัน 0.2% สำหรับการวัดเปรียบเทียบแผ่นฟิลเตอร์มาตรฐานของ Wager ก็จะได้ค่าใกล้เคียงกัน โดย เครื่อง Wager วัดได้ 24.1% ส่วนเครื่องวัดควันดำระบบวัดความทึบแสงต้นแบบรุ่นที่ 1 ได้ 24.0% เมื่อได้ทำการวัดเพิ่มเติมโดยทดสอบกับรถกระบะที่มีควันดำมากกว่าเทียบกับเครื่อง Wager จำนวน 100 ครั้ง มีค่า% Opacity เฉลี่ยต่างกัน 7.0%

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	1
สารบัญ	3
สารบัญตาราง	4
สารบัญรูปภาพ	4
บทที่ 1 วัตถุประสงค์โครงการและขอบเขตการศึกษา	5
1.1 วัตถุประสงค์โครงการ	5
1.2 ขอบเขตการศึกษา	5
บทที่ 2 ผลการดำเนินโครงการ	7
2.1 การศึกษารวบรวมข้อมูลการใช้งานเครื่องมือตรวจวัดควัน	7
1) ทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง	
2) การเก็บรวบรวมข้อมูลของเครื่องมือตรวจวัดควันรูปแบบต่างๆ ที่มีการใช้งานอยู่ภายในประเทศในปัจจุบัน	
2.2 การทบทวนรายละเอียดด้านเทคนิคของเครื่องมือตรวจวัดควัน ระบบวัดความทึบแสง ที่มีการผลิตและจำหน่ายในปัจจุบัน	9
1) แนวทางเลือกของการพัฒนาเครื่องตรวจวัดควันระบบวัดความทึบแสง	
2) การดำเนินงานในส่วนของการทดลอง	
2.3 การดำเนินงานศึกษาวิจัยและออกแบบจัดทำเครื่องมือตรวจวัดควันระบบวัด ความทึบแสงต้นแบบระดับงานวิจัยชนิดไหลผ่านทั้งหมดที่สามารถผลิตได้เอง ในประเทศไทย	16
1) การออกแบบและสร้างอุปกรณ์ต้นแบบระยะที่ 1 สำหรับการใช้งานภาคสนาม	
2) ทดสอบประสิทธิภาพ (Performance Test) ของต้นแบบเปรียบเทียบเครื่องมือ ที่กรมควบคุมมลพิษใช้อยู่ในปัจจุบัน	
3) ข้อเสนอแนะในส่วนงานพัฒนาสร้างต้นแบบระยะที่ 1 และข้อเสนอแนะจาก คณะทีมศึกษาวิจัย	

.....

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 จำนวนเครื่องมือตรวจวัดควันจำแนกตามประเภทของเครื่องมือและหน่วยงาน	8
ตารางที่ 2 เครื่องมือตรวจวัดควันจำแนกตามประเภทเครื่องมือและหน่วยงาน ภาครัฐและเอกชน	8
ตารางที่ 3(a) ผลการวัดควันดำจากระบบระบายควันที่ 1 จากเครื่อง Wager	26
ตารางที่ 3(b) ผลการวัดควันดำจากระบบระบายควันที่ 1 จากเครื่องวัดควันดำระบบวัดความทึบ แสงต้นแบบรุ่นที่ 1	27
ตารางที่ 4(a) ผลการวัดควันดำจากระบบระบายควันที่ 2 จากเครื่อง Wager	28
ตารางที่ 4(b) ผลการวัดควันดำจากระบบระบายควันที่ 2 จากเครื่องวัดควันดำระบบวัดความทึบ แสงต้นแบบรุ่นที่ 1	28

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 1 ระบบพื้นฐานของการวัดความทึบแสงของควัน	9
รูปที่ 2 แหล่งกำเนิดแสงแบบต่าง ๆ	10
รูปที่ 3 การแจกแจงขนาดของฝุ่นละอองจากท่อไอเสียเครื่องยนต์ดีเซล	11
รูปที่ 4 ลักษณะการกระเจิงของแสงโดยเม็ดฝุ่น	12
รูปที่ 5 ตัวรับแสงแบบต่าง ๆ	13
รูปที่ 6 การเลือกตัวแปรของระบบเบื้องต้น	14
รูปที่ 7 เครื่องวัดควันดำจากท่อไอเสียรถยนต์ Wager Model 6500	15
รูปที่ 8 สเปคตรัมของแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในระบบต้นแบบ	17
รูปที่ 9 ระบบเบื้องต้นเพื่อการทดสอบภาคสนาม	17
รูปที่ 10(a) แบบโครงสร้างของเครื่องวัดควันดำระบบวัดความทึบแสงต้นแบบระยะที่ 1	19
รูปที่ 10(b) แบบโครงสร้าง 3 มิติของเครื่องวัดควันดำระบบวัดความทึบแสงต้นแบบระยะที่ 1	20
รูปที่ 11(a) วงจรและส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์ของภาคควบคุมการมอดูเลท การประมวลผล และแสดงผลของเครื่องวัดควันดำระบบวัดความทึบแสงต้นแบบระยะที่ 1	21
รูปที่ 11(b) วงจรและส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์ของภาคเซ็นเซอร์เครื่องวัดควันดำระบบ วัดความทึบแสงรุ่นที่ 1	22
รูปที่ 12 Flow chart โปรแกรมการทำงานของเครื่องวัดควันดำระบบวัดความทึบแสง	24
รูปที่ 13 เครื่องวัดระบบวัดความทึบแสงต้นแบบระยะที่ 1 รุ่นที่ 1A	25
รูปที่ 14 เครื่องวัดระบบวัดความทึบแสงต้นแบบระยะที่ 1 รุ่นที่ 1B	25

.....

บทที่ 1

วัตถุประสงค์โครงการและขอบเขตการศึกษา

1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการ

โครงการศึกษาวิจัยและออกแบบจัดทำเครื่องมือตรวจวัดควันระบบวัดความทึบแสงต้นแบบ (Opacity Meter) ระยะที่ 1 เป็นโครงการที่มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิจัยและออกแบบจัดทำเครื่องมือตรวจวัดควันระบบวัดความทึบแสงต้นแบบระดับงานวิจัยชนิดแบบไหลผ่านทั้งหมดให้ได้มาตรฐานสากล โดยได้กำหนดเป้าหมายของการดำเนินงานไว้ 2 ประการ คือ (1) เครื่องมือตรวจวัดควันระบบวัดความทึบแสงต้นแบบระดับงานวิจัยชนิดแบบไหลผ่านทั้งหมดที่สามารถผลิตได้เองในประเทศไทย (Prototype of Opacity Meter) และ (2) แบบพิมพ์เขียว (Blueprint) และรายละเอียดทางเทคนิคของเครื่องมือตรวจวัดควันระบบวัดความทึบแสงต้นแบบระดับงานวิจัยชนิดแบบไหลผ่านทั้งหมด

และหลังจากดำเนินการวิจัยเรียบร้อยแล้วในระยะเวลา 6 เดือน ผลที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ คือ เครื่องมือตรวจวัดควันระบบวัดความทึบแสงต้นแบบระดับงานวิจัยชนิดแบบไหลผ่านทั้งหมดที่ผ่านการทดสอบเปรียบเทียบกับเครื่องมือที่กรมควบคุมมลพิษใช้งานอยู่ในปัจจุบัน

1.2 ขอบเขตการศึกษา

สำหรับขอบเขตการดำเนินงานและแผนดำเนินโครงการดังต่อไปนี้

1) การศึกษารวบรวมข้อมูลการใช้งานเครื่องมือตรวจวัดควัน

ทำการศึกษารวบรวมข้อมูลการใช้งานเครื่องมือตรวจวัดควันแบบวัดความทึบแสงชนิดไหลผ่านทั้งหมดและชนิดไหลผ่านบางส่วน (Opacity smoke meter: Full Flow and Partial Flow Types) และแบบกระดาษกรอง (Black smoke meter: Filter Type) จากหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งภาครัฐบาลและเอกชน เพื่อจัดทำฐานข้อมูลผู้ใช้งานเครื่องมือตรวจวัดควัน พร้อมทั้งจัดทำฐานข้อมูลด้านอุปสงค์และอุปทานต่อเครื่องมือตรวจวัดควันระบบวัดความทึบแสง ชนิดไหลผ่านทั้งหมดและชนิดไหลผ่านบางส่วน

2) การทบทวนรายละเอียดด้านเทคนิคของเครื่องมือตรวจวัดควันระบบวัดความทึบแสงที่มีการผลิตและจำหน่ายในปัจจุบัน

ทำการทบทวนรายละเอียดด้านเทคนิคของเครื่องมือตรวจวัดควันระบบวัดความทึบแสงที่มีการผลิตและจำหน่ายในปัจจุบัน โดยเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของเครื่องมือตรวจวัดควันแต่ละชนิด รวมทั้งข้อเสนอแนะเพื่อใช้ในการพัฒนาและออกแบบเครื่องมือตรวจวัดควันระบบวัดความทึบแสงที่สามารถผลิตได้เองในประเทศไทย

3) การดำเนินงานศึกษาวิจัยและออกแบบจัดทำเครื่องมือตรวจวัดควันระบบวัดความทึบแสงต้นแบบระดับงานวิจัยชนิดไหลผ่านทั้งหมดที่สามารถผลิตได้เองในประเทศไทย

จัดทำกรอบแนวคิดของการศึกษาวิจัยและออกแบบจัดทำเครื่องมือตรวจวัดควันระบบวัดความทึบแสงต้นแบบระดับงานวิจัย ชนิดแบบไหลผ่านทั้งหมดที่สามารถผลิตได้เองในประเทศไทยและ

ทำการออกแบบและจัดทำเครื่องมือตรวจวัดควันระบบวัดความทึบแสงต้นแบบระดับงานวิจัยชนิดแบบไหลผ่านทั้งหมด จำนวน 1 เครื่อง และนำเสนอแบบพิมพ์เขียวและรายละเอียดทางเทคนิคของเครื่องมือที่ได้พัฒนาออกแบบขึ้นดังกล่าวให้กับกรมควบคุมมลพิษพิจารณาต่อไป ทั้งนี้ที่ปรึกษาจะต้องรายงานผลการทดสอบการใช้งานของเครื่องมือตรวจวัดควันระบบวัดความทึบแสงต้นแบบระดับงานวิจัยชนิดแบบไหลผ่านทั้งหมดตามหลักการในการออกแบบและเปรียบเทียบกับเครื่องมือตรวจวัดควันระบบวัดความทึบแสงชนิดแบบไหลผ่านทั้งหมดที่กรมควบคุมมลพิษใช้งานในปัจจุบันตามมาตรฐาน SAE J1667

4) การประชุมเพื่อรับฟังข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

จัดประชุมเพื่อรับฟังข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะในการศึกษาวิจัยและออกแบบจัดทำเครื่องมือตรวจวัดควันระบบวัดความทึบแสงต้นแบบชนิดแบบไหลผ่านทั้งหมดจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง 0.5 วัน จำนวน 2 ครั้ง จำนวนผู้เข้าร่วมอย่างน้อย 50 คน ภายใน 15 วัน หลังจากที่ กรมควบคุมมลพิษ ได้ให้ความเห็นชอบรายงานฉบับกลางเรียบร้อยแล้ว นอกจากนั้นจะนำข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการศึกษาวิจัยและออกแบบจัดทำเครื่องมือตรวจวัดควันระบบวัดความทึบแสงต้นแบบระดับงานวิจัยที่ได้จากการจัดประชุมมาปรับปรุงแบบพิมพ์เขียวและรายละเอียดทางด้านเทคนิคและเสนอต่อกรมควบคุมมลพิษ

.....

บทที่ 2

ผลการดำเนินงานโครงการ

2.1 การศึกษารวบรวมข้อมูลการใช้งานเครื่องมือตรวจวัดควัน

1) ทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดฝุ่นละอองและควันค่านั้น แม้จะยังไม่มีการศึกษาในลักษณะเปรียบเทียบประสิทธิภาพและประสิทธิผลของเครื่องมือทั้ง 2 แบบ คือ ระบบตรวจวัดควันดำแบบกระดาศกรองและระบบวัดความทึบแสงในเชิงเศรษฐศาสตร์ออกมาเป็นตัวเลขมูลค่าที่ชัดเจนในปัจจุบัน แต่ก็มีการศึกษาเปรียบเทียบในอดีตที่สามารถนำมาอ้างอิงได้ เช่น งานของคัทเลียา ตีลารัตน์ (2540) ได้ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบวิธีการตรวจวัดควันดำด้วยระบบกระดาศกรอง และระบบวัดความทึบแสงกับตัวอย่างรถยนต์ดีเซลใหม่จากสายการผลิตจากโรงงาน จากผลการศึกษาพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในการตรวจวัดควันดำจากเครื่องยนต์ดีเซลด้วยเครื่องมือตรวจวัดควันระบบกระดาศกรองเปรียบเทียบกับเครื่องมือตรวจวัดควันระบบวัดความทึบแสง เนื่องมาจากระบบวัดควันดำของเครื่องมือทั้ง 2 แบบที่แตกต่างกัน กล่าวคือ เครื่องตรวจวัดควันดำระบบกระดาศกรองนั้นใช้วิธีการตรวจวัดควันดำทางอ้อม ต้องใช้เจ้าหน้าที่ในการเก็บตัวอย่างลงบนกระดาศกรองแล้วนำมาวัดค่าซึ่งเป็นการเก็บค่าควันดำในช่วงระยะเวลาสั้นๆ ไม่ได้เป็นการตรวจวัดอย่างต่อเนื่อง ซึ่งแตกต่างจากระบบวัดความทึบแสงที่ทำการวัดควันดำทางตรง โดยให้ควันดำทั้งหมดไหลผ่านช่องวัดแสง ซึ่งเป็นระบบที่มีความต่อเนื่อง อีกทั้งระบบดังกล่าวมีการทำงานเองอัตโนมัติ โอกาสผิดพลาดของเครื่องมือระบบกระดาศกรองจึงมีมากกว่าระบบความทึบแสง

งานวิจัยของ สุมาลี อยู่รุ่งเรือง (2542) ที่ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้างเครื่องมือทดสอบควันดำและระดับเสียงรถยนต์ โดยได้ทำการสร้างเครื่องมือต้นแบบที่เป็นเครื่องตรวจวัดความทึบแสงแบบไหลผ่านทั้งหมด¹ และเครื่องวัดระดับเสียงรถยนต์ในเครื่องเดียวกัน และทำทดสอบกับกลุ่มตัวอย่างรถยนต์ดีเซล เปรียบเทียบกับเครื่องมือมาตรฐานของทางกรมขนส่ง ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบข้อมูลจากการวัดรถยนต์ตัวอย่าง ด้วยเครื่องมือที่สร้างขึ้นกับเครื่องมือมาตรฐานปรากฏว่า ได้ผลจากการวัดทั้งควันดำและระดับเสียง โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนจากการวัดเมื่อเทียบกับเครื่องมือมาตรฐานในการวัดค่าควันดำที่ 2.87% และมีค่าความคลาดเคลื่อนจากการวัดในการวัดค่าระดับเสียงเท่ากับ 1.06% โดยมีค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องต้นแบบเฉพาะค่าวัสดุ (ไม่รวมค่าแรงงานค่าออกแบบ) เท่ากับ 3,000 บาท

¹ เครื่องมือวัดควันดำระบบวัดความทึบแสงแบบไหลผ่านทั้งหมด (Full Flow Opacity) หมายความว่า เครื่องมือตรวจวัดควันดำที่ให้ควันดำทั้งหมดไหลผ่านช่องวัดแสงและวัดค่าของแสงที่ทะลุผ่านควัน โดยวัดค่าเป็นหน่วยร้อยละที่ระยะความยาวของทางเดินแสงที่ 76 มิลลิเมตรหรือเทียบเท่า ที่มา ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2540) เรื่อง กำหนดมาตรฐานค่าควันดำจากท่อไอเสียของรถยนต์ ที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซล

ซึ่งผลการศึกษการพัฒนาต้นแบบเทคโนโลยีต้นแบบที่แสดงให้เห็นว่าเครื่องต้นแบบที่สร้างมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับเครื่องมาตรฐานแต่มีราคาถูกกว่ามากเนื่องจากใช้วัสดุในการผลิตที่สามารถผลิตเองได้ภายในประเทศ โดยการออกแบบเน้นประโยชน์ในการใช้สอย สะดวกต่อการเคลื่อนย้าย และยังสามารถใช้เป็นแนวทางในการศึกษาเพื่อผลิตในเชิงพาณิชย์ได้

2) การเก็บรวบรวมข้อมูลของเครื่องมือตรวจวัดควันดำแบบต่างๆ ที่มีการใช้งานอยู่ภายในประเทศในปัจจุบัน

เป็นกิจกรรมที่ดำเนินการเพื่อรวบรวมข้อมูลและจัดทำเป็นฐานข้อมูลให้กับทางกรมควบคุมมลพิษ นั้น โดยได้ทำการรวบรวมข้อมูลจากหน่วยงานและบริษัทต่างๆ และได้จัดทำฐานข้อมูลโดยใช้โปรแกรม Microsoft Access ผลการสำรวจจำนวนเครื่องมือตรวจวัดควันดำจำแนกตามประเภทของเครื่องมือและหน่วยงานตามขอบเขตการศึกษา ได้สรุปไว้ในตารางที่ 1 และ ตารางที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 1 จำนวนเครื่องมือตรวจวัดควันดำจำแนกตามประเภทของเครื่องมือและหน่วยงาน

หน่วยงาน	ประเภทเครื่องมือ				ไม่ระบุประเภท	หมายเหตุ
	Filter	Full Flow Opacity	Partial Flow Opacity	Opacity		
กรมควบคุมมลพิษ	16	4	4	-	-	
กรมการขนส่งทางบก	71	30	6	-	-	
กรุงเทพมหานคร	33	10	1	-	4	
สำนักงานตำรวจแห่งชาติ	10	2	-	-	-	
สถาบันการศึกษา	5	1	1	-	-	
บริษัทผู้ผลิตรถยนต์	18	2	2	-	-	
สถานตรวจสภาพรถเอกชน	1651	-	-	30	-	
คลินิกไอเสีย	13	1	-	-	-	
อื่นๆ	2	2	6	2	-	

ตารางที่ 2 จำนวนเครื่องมือตรวจวัดควันดำจำแนกตามประเภทเครื่องมือและหน่วยงานภาครัฐและเอกชน

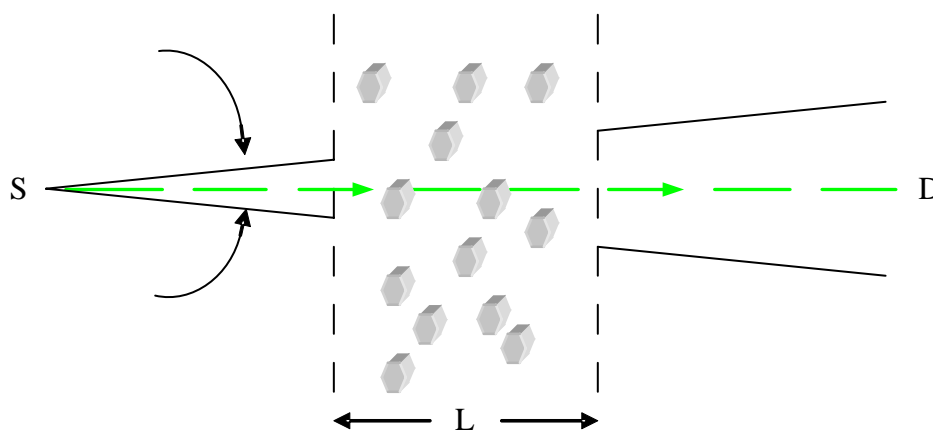
ประเภทเครื่องมือ	หน่วยงานภาครัฐ		หน่วยงานภาคเอกชน		อื่นๆ		รวม	
Filter	135		1,682		2		1,819	
Full Flow Opacity	43	59	3	35	2	10	48	104
Partial Flow Opacity	7		2		6		15	
Opacity	9		30		2		41	
ไม่ระบุประเภท	4		-		-		4	
รวม	198		1,717		12		1,927	

2.2 การทบทวนรายละเอียดด้านเทคนิคของเครื่องมือตรวจวัดควันระบบวัดความทึบแสงที่มีการผลิตและจำหน่ายในปัจจุบัน

ในการพัฒนาและสร้างเครื่องมือวัดควันระบบวัดความทึบแสงระบบไหลผ่านทั้งหมดหรือไหลผ่านบางส่วนของบริษัทต่างๆ ที่จำหน่ายอยู่ในปัจจุบัน เช่น Telonic Berkeley Inc., CalTest Instruments Inc., Red Mountain Engineering Inc., Robert Bosch Corp., Robert H. Wager Inc., ฯลฯ ส่วนใหญ่พัฒนาจากการใช้หลักการพื้นฐานเดียวกันในด้านหลักการกระเจิงแสงโดยละอองเขม่าควัน ประกอบกับการอิงตัวเลขและขั้นตอนการวัดกับหน่วยงานกำหนดมาตรฐานสากลนานาชาติต่างๆ เช่น ISO, SAE, ECE, ASTM, EPA เพื่อให้สอดคล้องกับการประยุกต์ใช้งานในแต่ละด้าน ดังนั้นเพื่อชี้ให้เห็นถึงรายละเอียดส่วนสำคัญของหลักการและปัญหาที่มีอยู่ ตลอดจนการปรับเปลี่ยนตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องก็นำไปสู่ความหลากหลายของการประดิษฐ์ จึงควรพิจารณาถึง **หลักการพื้นฐานของการตรวจวัดควันระบบวัดความทึบแสง** เนื่องจากการพัฒนาเครื่องตรวจวัดควันระบบวัดความทึบแสง มีความจำเป็นต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับแสงเป็นอย่างดี คณะผู้ทำการวิจัยจึงได้ทำศึกษาหลักการพื้นฐานที่เกี่ยวข้องสำคัญๆ ได้แก่ สมบัติของแหล่งกำเนิดแสง ธรรมชาติของเขม่าควัน อันตรกิริยาระหว่างคลื่นแสงกับอนุภาคฝุ่น และสมบัติของตัวรับแสง เพื่อใช้เป็นพื้นฐานในการตรวจวัดควันด้วยแสง

▪ หลักการพื้นฐานของการตรวจวัดควันระบบวัดความทึบแสง

พิจารณาในรูปที่ 1 ซึ่งมีการยิงลำแสงจากแหล่งกำเนิด S (Source) ไปยังตัวรับแสง D (Detector) โดยระหว่างทางมีกลุ่มเขม่าควันที่ฟุ้งอยู่ในอากาศ ขวางอยู่เป็นระยะทาง L



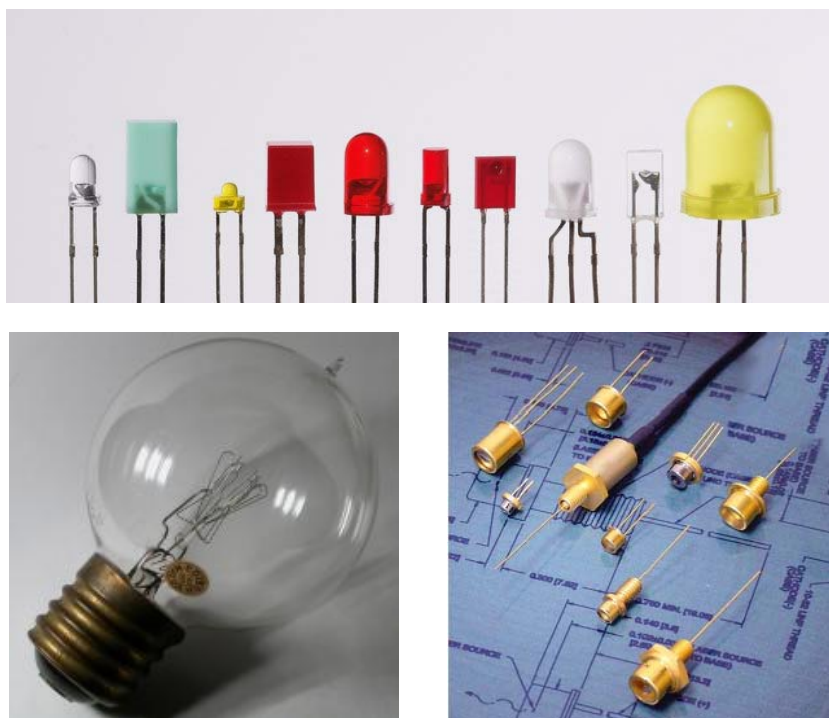
รูปที่ 1 ระบบพื้นฐานของการวัดความทึบแสงของควัน

จะสังเกตได้ว่าปริมาณแสงส่วนที่ไปถึงและมีผลต่อตัวรับนั้น นอกจากจะขึ้นกับธรรมชาติของกลุ่มควันอันตรกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างสิ่งต่างๆ ในกลุ่มควันกับคลื่นแสง ตลอดจนสมบัติของทั้งแหล่งกำเนิดและตัวรับแสงแล้ว ยังขึ้นกับปัจจัยข้างเคียง เช่น แสงรบกวนจากแหล่งกำเนิดอื่น ๆ การมีลมพัด การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ การมีสัญญาณรบกวนทางไฟฟ้าที่มีผลกับวงจรที่ต้องใช้ในระบบ

การวัดนี้ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นพลังงานแสงในส่วนของแหล่งกำเนิดและกรณีการเปลี่ยนปริมาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้าในกรณีของตัวรับแสง

- สมบัติของแหล่งกำเนิดแสง

ตัวแปรที่สำคัญ คือ ค่าความเข้มแสง $I_0(\lambda)$ ที่ปล่อยออกมาในแต่ละความยาวคลื่น λ หรือที่เรียกกันว่าสเปกตรัม (Spectrum) ลักษณะมุมบานออกมากน้อยของขอบเขตลำแสง θ โดยปัจจุบันสามารถที่จะเลือกใช้แหล่งกำเนิดที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานแสง ซึ่งมีทั้งแบบหลอดไฟไส้ ทังสแตน (Tungsten filament lamp) ไดโอดเปล่งแสง (Light Emitting Diode, LED) เลเซอร์ไดโอด (Laser Diode) ตามความเหมาะสม โดยคำนึงถึงสมบัติทางแสงที่ต้องการประสิทธิภาพของการแปลงพลังงาน เสถียรภาพ อายุการใช้งาน ขนาดหรือแม้แต่สนนราคา นอกจากนี้จะต้องพิจารณาเลือกวงจรไฟฟ้าแบบต่างๆ ในการขับพลังงานแสงแล้วยังอาจใช้อุปกรณ์ทางแสงอื่นๆ ที่จำเป็น ได้แก่ แผ่นกรอง (Filter) เลือความถี่แสง เลนส์ (Lens) โฟกัสแนวรูปแบบลำแสง ส่วนแยกลำแสง (Beam splitter) ฯลฯ มาประกอบก็กระทำได้

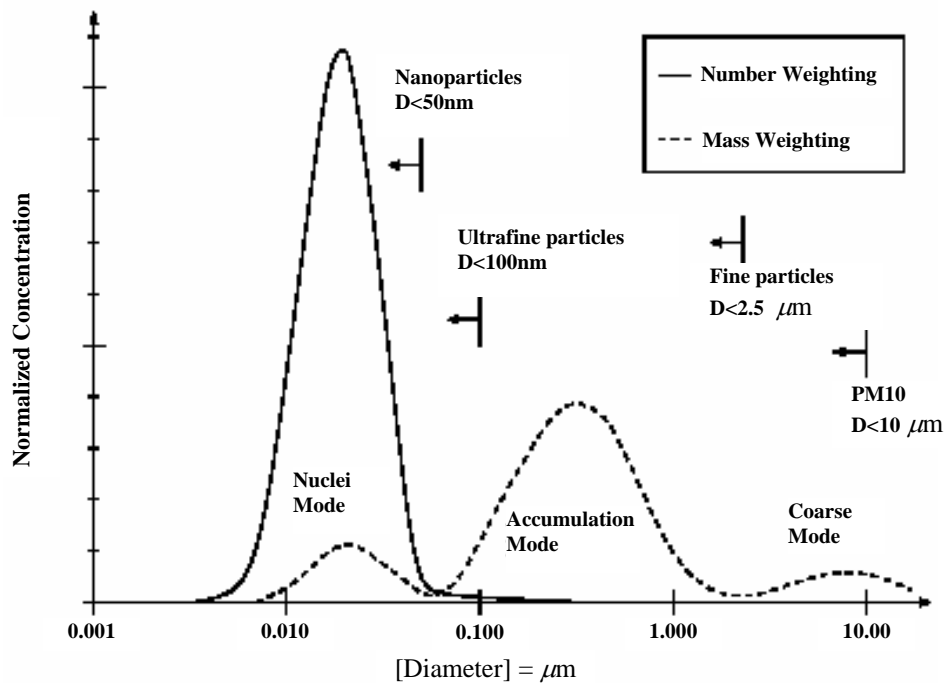


รูปที่ 2 แหล่งกำเนิดแสงแบบต่าง ๆ

- ธรรมชาติของเขม่าควัน

กลไกหรือสาเหตุที่ทำให้เกิดเขม่าควันในรูปแบบต่างๆ เป็นสิ่งกำหนดธรรมชาติของเขม่าควันนั้นๆ เช่น ในกรณีของควันดำจากท่อไอเสียรถยนต์เครื่องดีเซลซึ่งเกิดจากการสันดาปเผาไหม้น้ำมันดีเซลภายในกระบอกสูบ จากการมีผู้ศึกษาวิจัยมาแล้วนั้น พบว่านอกจากมีองค์ประกอบทั้งที่เป็นก๊าซร้อนของ CO_2 , CO , NO_x ฯลฯ ที่มองไม่เห็นแล้วก็มีส่วนที่ทำให้ตามนุษย์เราเห็นเป็นควันดำบดบังแสง

สว่างได้ ซึ่งเป็นส่วนของสารประกอบที่จับตัวกันเป็นของแข็งและหยดของเหลวในรูปอนุภาคฝุ่นละอองเล็กๆ กระจายโดยมีลักษณะการแจกแจงเป็นดังกราฟในรูปที่ 3



รูปที่ 3 การแจกแจงขนาดของฝุ่นละอองควันท่อไอเสียเครื่องยนต์ดีเซล

จะเห็นได้ว่าขนาดของเม็ดฝุ่นละอองส่วนมากมีค่าน้อยกว่า 100 นาโนเมตร ในขณะที่ปริมาณเนื้อมวลส่วนใหญ่ของฝุ่นละออง (จำนวนน้อย) กลับมีขนาดอยู่ในช่วง 100 – 1000 นาโนเมตร

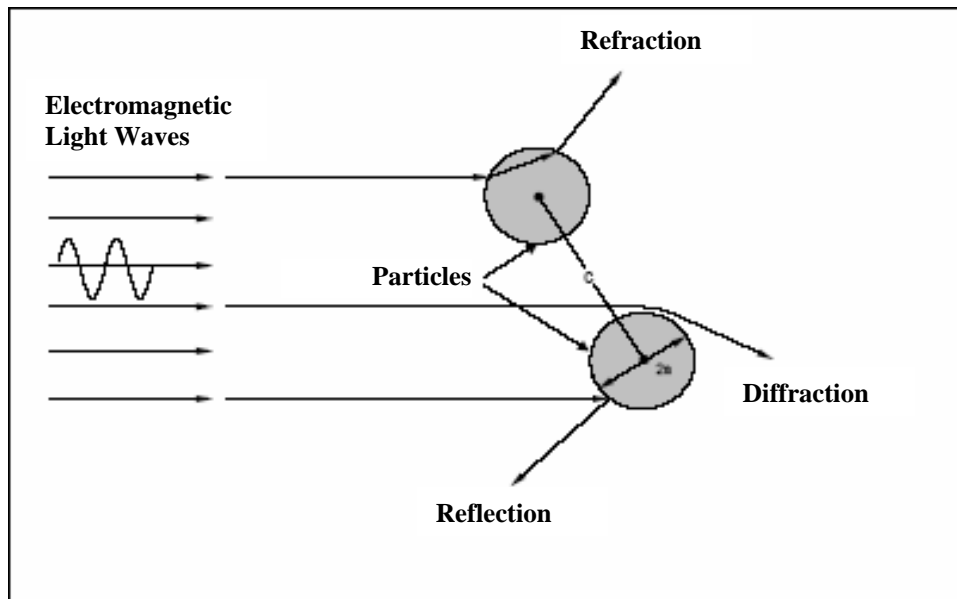
ชนิดของสารขนาดของโมเลกุลและอนุภาคละอองฝุ่นรวมถึงปริมาณค่าความหนาแน่นของแต่ละองค์ประกอบของควันทลอดจนขนาด อาณาบริเวณที่ฟุ้งกระจายเหล่านี้มีผลต่อแสงที่เดินทางผ่าน

- อันตรกิริยาระหว่างคลื่นแสงกับอนุภาคฝุ่น

พิจารณาในรูปที่ 4 ซึ่งแสดงถึงแนวทางเดินของคลื่นแสงจากแหล่งกำเนิดไปยังตัวรับ โดยมีเหล่าเม็ดฝุ่น (ทรงกลม) ขวางอยู่ระหว่างทางแสงที่ตกกระทบเม็ดฝุ่นจะเกิดอันตรกิริยา คือ มีได้ทั้งการดูดกลืนพลังงานแสง (Absorption) และการกระเจิงเปลี่ยนทิศทางของแสง (Scattering) ซึ่งมีทั้งกรณีของการสะท้อน (Reflection) การหักเห (Refraction) และการเลี้ยวเบน (Diffraction) ผลการกระเจิงขึ้นกับค่าสัดส่วน x ระหว่างขนาดของอนุภาค (d) กับขนาดความยาวคลื่นแสง (λ) เป็นไปตามทฤษฎีการกระเจิงของมี (Mie Scattering Theory) ในกรณีทั่วไปและสำหรับในกรณีเฉพาะของเรเลย์ (Rayleigh Scattering Theory) ซึ่งขนาดเม็ดฝุ่นเล็กมากเมื่อเทียบกับความยาวคลื่นของแสง ปริมาณความเข้มของแสงส่วนที่หายไป (ΔI) สัมพันธ์กับ λ คือ

$$\Delta I \propto \frac{1}{\lambda^4}$$

เมื่อพิจารณาถึงข้อเท็จจริงในส่วนนี้ประกอบกับข้อกำหนดมาตรฐานการวัดควันทำที่ใช้แสงสีเขียว ในย่าน 550 นาโนเมตร จะเห็นว่าเข้าข่าย ที่ขนาดของเม็ดฝุ่นส่วนใหญ่เล็กกว่าความยาวคลื่นของแสงที่ใช้ มากกว่า 5 เท่า พฤติกรรมการกระเจิงแสงจึงไม่ซับซ้อน สามารถอธิบายด้วยหลักทฤษฎีของเรเลย์ได้ อย่างไรก็ตามเมื่อเปลี่ยนจากการใช้แสงสีเขียวไปเป็นสีอื่นเช่น สีน้ำเงิน ซึ่งมีความยาวคลื่นสั้นลงมาก พฤติกรรมการกระเจิงแสงของฝุ่นเขม่าเครื่องยนต์จะเป็นไปตามทฤษฎีของมี (Mie) ซึ่งมีรูปแบบที่ ซับซ้อนมากขึ้น



รูปที่ 4 ลักษณะการกระเจิงของแสงโดยเม็ดฝุ่น

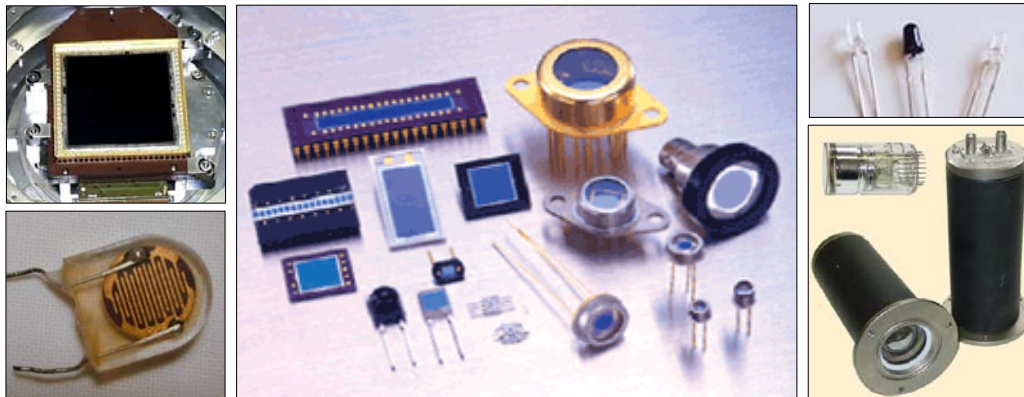
- สมบัติของตัวรับแสง

ตัวแปรที่สำคัญในส่วนนี้ก็คือ ค่าเซนซิวิตี (Sensitivity, $S(\lambda, \theta)$) ของการตอบสนองต่อความเข้มแสงในแต่ละความยาวคลื่น λ ที่มาตกกระทบในทิศทางทำมุม θ กับแกนสมมาตรอ้างอิงของตัวรับ แล้วแปรเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าในรูปของความต่างศักย์ไฟฟ้า (Voltage difference) หรือกระแสไฟฟ้า (Current) ซึ่งถ้ามีค่าน้อย ค่าของสัญญาณรบกวน (Noise) ทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นทั้งจากระบบภายในกลไกพื้นฐานของการรับแสงเองและจากภายนอกระบบ จะมีบทบาทในการเลือกพิจารณา รูปแบบของวงจรขยายและประมวลผลสัญญาณ

สำหรับตัวรับแสงมีหลายแบบ เช่น โฟโตไดโอด (Photo Diode) โฟโตทรานซิสเตอร์ (Photo Transistor) แอลดีอาร์ (Light Dependent Resistor) ซีซีดี (Charge - Coupled Device) หรือหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (Photomultiplier Tube) ในการเลือกใช้งานนั้น มีปัจจัยต่าง ๆ ที่ต้องคำนึงถึง คือ ขนาด ราคา เสถียรภาพและอายุการใช้งาน เป็นต้น

เครื่องตรวจวัดปริมาณควันทำระบบวัดความทึบแสงที่มีใช้ในปัจจุบันใช้การวิเคราะห์ปริมาณแสงที่ผ่านกลุ่มควันทำไปยังตัวตรวจรับ โดยคำนึงถึงขนาดของเครื่องยนต์ ท่อไอเสีย ซึ่งมีผลต่อความหนาแน่นของกลุ่มควันทำ ซึ่งแหล่งกำเนิดแสงและตัวรับแสงที่นิยม คือ ไดโอดเปล่งแสง (LED)

และโฟโตไดโอด (Photo Diode) ตามลำดับ เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่มีราคาถูกขนาดเล็กและสมบัติทางไฟฟ้าที่เหมาะสม โดยย่านความถี่แสงของแหล่งกำเนิดที่นิยมใช้ คือ ที่ 570 นาโนเมตร (ช่วงแสงสีเขียว)



รูปที่ 5 ตัวรับแสงแบบต่าง ๆ

1) แนวทางเลือกของการพัฒนาเครื่องตรวจวัดควมเร็วระบบวัดความทึบแสง

จากการค้นคว้า รวบรวมรูปแบบของระบบวัดความทึบแสงพอจะสรุปแนวความหลากหลายได้ในแง่มุมดังต่อไปนี้ ชนิดของแหล่งกำเนิดและตัวรับแสง (Type of Light source - Receiver) ช่วงความยาวคลื่นของแสงที่ใช้ จำนวนคู่ของแหล่งกำเนิดและตัวรับแสง (Number of Light Source – Receiver Pair) การจัดวางตัว (Alignment) เทคนิคการลดทอนสัญญาณรบกวน (Noise Reduction Technique) และเสถียรภาพ (Stability)

ด้วยปัจจัยและกรรมวิธีต่าง ๆ ที่มีความหลากหลาย คณะผู้ทำการวิจัยจึงได้เลือกจำกัด ขอบเขตของระบบเบื้องต้นที่จะทำการทดสอบก่อนทำการพัฒนาต้นแบบ ระยะที่ 1 ดังแผนภูมิในรูปที่ 6 กล่าวคือ ในส่วนของแหล่งกำเนิดแสงและตัวรับแสง ใช้ไดโอดเปล่งแสงแบบซูเปอร์ไบรท์ (LED Super bright) และโฟโตไดโอด (Photo Diode) ตามลำดับ เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่มีราคาถูก ขนาดเล็กและสมบัติทางไฟฟ้าที่เหมาะสม สำหรับความยาวคลื่นที่ใช้ในการศึกษา ใช้ในช่วงแสงสีเขียวซึ่งเป็นช่วงที่สอดคล้องกับมาตรฐานสากลและเครื่องที่มีขายทั่วไป และจะลองใช้ความยาวคลื่นที่ใกล้เคียงในช่วงแสงสีน้ำเงินซึ่งน่าจะเกิดการกระเจิงแสงได้ดี องค์กรประกอบที่เกี่ยวกับจำนวนคู่ของแหล่งกำเนิดและตัวรับแสง และลักษณะการจัดวาง ก็จะเป็นการใช้แหล่งกำเนิดและตัวรับแสง 1 คู่ จัดวางตัวในแบบ Transverse ที่มีตัวส่งและตัวรับแสงวางอยู่ในแนวตรงข้ามกัน ซึ่งเป็นแบบที่มีเสถียรภาพดี สามารถยึดอุปกรณ์ตายตัวได้ สะดวกกับการใช้งาน กรรมวิธีการลดทอนสัญญาณรบกวนทางแสงก็จะใช้เลนส์และสลิทคัดกรอง เลือกโฟกัส ให้แสงตกลงบนตัวรับเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของสัญญาณแสง จะมีการใช้เทคนิคลดทอนการรบกวนทางไฟฟ้าที่ประกอบด้วย การขยายและอ่านค่าสัญญาณไฟฟ้าตรงกับจังหวะสัญญาณความถี่อ้างอิง ซึ่งเป็นเทคนิคที่ไม่ซับซ้อนแต่สามารถลดปัญหาสัญญาณรบกวนได้ในระดับหนึ่ง ทั้งนี้จากการเลือกตัวแปรต่าง ๆ ทั้งหมดจะเห็นได้ว่า มีเทคนิคและ

สมบัติที่ไม่แตกต่างไปจากเครื่องมาตรฐานที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมากนัก ก็เพื่อทำให้การพัฒนาเครื่องต้นแบบในเบื้องต้น สามารถทำการทดสอบเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานกระทำได้สะดวก

เครื่องตรวจวัดควันทารบบวัดความทึบแสงที่ใช้งานในปัจจุบันนั้นได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เป็นไปตามมาตรฐาน SAEJ1667 ซึ่งเป็นมาตรฐานสากลเป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลายทั่วโลก แต่เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศจึงทำให้มีราคาสูง ดังนั้นเครื่องวัดควันทารบบต้นแบบเบื้องต้นที่ดำเนินการพัฒนานี้ก็จะอ้างอิงกับมาตรฐาน SAEJ1667 เช่นกัน โดยมีจำนวนคู่แหล่งกำเนิดและตัวรับแสง การจัดวาง แบบเดียวกับเครื่องวัดควันทารบบที่ใช้งานปัจจุบัน แต่ใช้อุปกรณ์ที่มีอยู่ในประเทศ ทั้งนี้สมบัติบางประการอาจไม่เทียบเท่ากับเครื่องนำเข้าจากต่างประเทศ เช่น เทคนิคในการลดทอนสัญญาณรบกวน และเสถียรภาพของเครื่อง ในการพัฒนาจะทำการทดลองเปรียบเทียบเน้นที่ใช้แหล่งกำเนิดแสง 3 ย่านความยาวคลื่น คือ จาก LED สีน้ำเงิน, LED สีเขียวแก่ และ LED สีเขียวอำพัน เพื่อให้สามารถทำการวัดค่าซึ่งสามารถเปรียบเทียบกับเครื่องที่ใช้งานในปัจจุบัน เพื่อระบุความถูกต้องของระบบในอันดับแรก

- **Type of Light source – Receiver**
 - LED (Super bright)
 - Laser
 - Photomultiplier
 - Photo transistor
 - Photo diode
- **Wavelength**
 - Blue (400 nm)
 - Green (475 nm)
 - Green (545 nm)
- **Number of Light Source – Receiver Pair**
 - 1 pair
 - Array
- **Alignment**
 - Transverse (Single pass)
 - Retro reflect (Double pass)
- **Noise Reduction Technique**
 - Optical Noise Reduction
 - Electrical Noise Reduction
 - Source Modulation + Passive Filter
 - Source Modulation + Phase Lock
 - Source Modulation + Digital Synchronous Processing
- **Stability**
 - Temperature Regulation
 - Reference Beam Detection

รูปที่ 6 การเลือกตัวแปรของระบบเบื้องต้น

2) การดำเนินงานในส่วนของการทดลอง ทดลองประกอบด้วย

ในส่วนของการศึกษาทดลองเพื่อให้สอดคล้องกับองค์ประกอบและตัวแปรของระบบในเบื้องต้นดังรูปที่ 1 ที่จะนำไปสู่การพัฒนาต้นแบบเครื่องมือวัดควันระบบวัดความทึบแสงต่อไป นั้น ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนแรกเป็นการศึกษาการทำงานของเครื่องวัดควันค่าจากท่อไอเสียรถยนต์ Model 6500 ส่วนที่ 2 เป็นการศึกษาพฤติกรรมของแต่ละชิ้นส่วน เพื่อนำไปสู่การกำหนดตัวแปรที่แน่นอนในการพัฒนาเครื่องมือวัดควันค่า ระบบวัดความทึบแสง ต้นแบบ ระยะที่ 1 ต่อไป โดยมีลำดับขั้นตอนดังนี้ คือ

- การศึกษาหลักการทำงานของเครื่องวัดควันค่าจากท่อไอเสียรถยนต์ Model 6500

เครื่องวัดควันค่าจากท่อไอเสียรถยนต์ Model 6500 (WAGER Digital Smoke Meter) เป็นเครื่องวัดควันค่าจากท่อไอเสียรถยนต์ ตามมาตรฐาน SAEJ1667 ที่สามารถใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลทุกชนิด เครื่องมีลักษณะดังรูปที่ 2 ซึ่งประกอบด้วย ชุดควบคุมการทำงาน ชุดหัวเซนเซอร์ สายเชื่อมต่อ



รูปที่ 7 เครื่องวัดควันค่าจากท่อไอเสียรถยนต์ Model 6500

หลักการในการวัดปริมาณควันค่าของเครื่องวัดควันค่าจากท่อไอเสียรถยนต์ Model 6500 ใช้ระบบการวัดความทึบแสง โดยการวิเคราะห์ปริมาณแสงที่ผ่านกลุ่มควันไปยังตัวรับ ทั้งนี้จะพิจารณาถึงผลของขนาดเครื่องยนต์และท่อไอเสียที่มีต่อความหนาแน่นของกลุ่มควันด้วย ดังนั้นลักษณะทำงานของเครื่อง คือ เมื่อเปิดให้เครื่องทำงาน ชุดหัวเซนเซอร์ที่ประกอบด้วยอุปกรณ์ 2 ส่วน คือ แหล่งกำเนิดแสงและตัวรับแสง ก็จะเริ่มทำงาน โดยจะต้องมีการกำหนดขนาดเครื่องยนต์และท่อไอเสียของรถยนต์ที่จะทำการวัด หลังจากนั้นแหล่งกำเนิดแสงของเครื่องจะปล่อยลำแสงสีเขียวที่มีความเข้มระดับหนึ่งออกมา ผ่านกลุ่มควันที่ลอยอยู่ระหว่างหัวเซนเซอร์ ไปยังตัวรับที่ทำหน้าที่วัดปริมาณความเข้มแสงที่ส่ง

มาถึงเปรียบเทียบกับในตอนปกติที่ไม่มีกลุ่มควัน ผลต่างของปริมาณทั้งสองเทียบกับค่าปกติจะมีการคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ค่าความทึบแสง (Opacity) ของกลุ่มควันนั้น

จากการศึกษาหลักการทำงานของเครื่องวัดควันดำจากท่อไอเสียรถยนต์ Model 6500 พบว่า ลักษณะของสัญญาณไฟฟ้าทางด้านตัวรับแสงของเครื่องมีลักษณะเป็นสัญญาณที่มีความถี่ 100 เฮิรตซ์ และมีค่าควิตซ์เกิด 10% และขนาดของสัญญาณมีความสัมพันธ์กับค่าความทึบแสงในลักษณะเกือบเป็นเชิงเส้น ส่วนสมบัติของแหล่งกำเนิดแสงของเครื่องนั้น พบว่า ลำแสงที่ได้มีลักษณะบานออก และมีปริมาณลดลงเมื่อระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดกับเครื่องมือวัดแสงมากขึ้น

- การศึกษาสมบัติของแหล่งกำเนิดแสงชนิดต่าง ๆ ที่จะนำมาใช้
- การศึกษาสมบัติของตัวตรวจวัดแสง (Detector) ที่สร้างขึ้น
- การสร้างระบบสำหรับทดสอบการส่งและรับแสงที่มอดูเลท
- การใช้ระบบเบื้องต้นในห้องปฏิบัติการศึกษาการกระเจิงของแสงจากหลอด LED สีต่าง ๆ โดยควัน

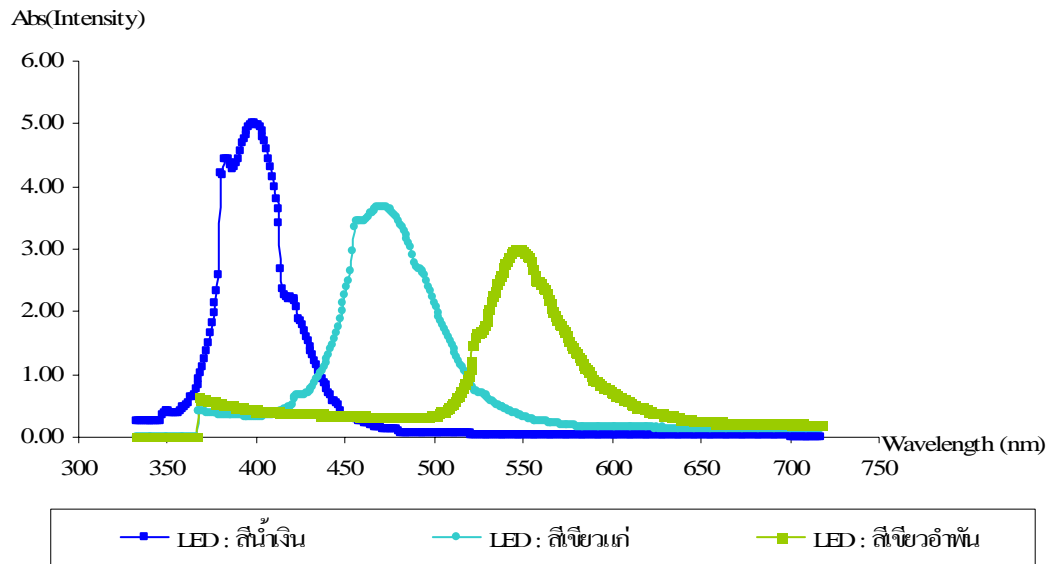
จากการศึกษาทดลองในส่วนที่เกี่ยวกับชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้นี้ พบว่า ส่วนประกอบและตัวแปรต่าง ๆ ที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในการพัฒนาต่อไป เป็นดังนี้ คือ แหล่งกำเนิดแสงใช้ LED ซึ่งมีสมบัติของสเปกตรัมทางแสงและการแผ่กระจายของแสงที่เหมาะสมและใกล้เคียงกับเครื่องมาตรฐาน ส่วนตัวรับแสงเป็นแบบโฟโตไดโอดที่มีช่วงการตอบสนองกว้าง รวมถึงระบบการส่งและรับแสงสัญญาณที่ใช้ต้องมีลักษณะใกล้เคียงกับเครื่องมาตรฐานและมีการลดทอนสัญญาณรบกวนทางแสงโดยใช้ระบบเลนส์ และในเบื้องต้นเพื่อให้เกิดความหลากหลายในการพัฒนาเครื่องมือ การพิจารณาเลือกสร้างระบบวัดความทึบแสงนี้ จะทำการเปรียบเทียบใน 3 ระบบ ซึ่งมีความแตกต่างกันที่แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ LED สีน้ำเงิน ($\lambda \approx 400 \text{ nm}$), LED สีเขียวแก่ ($\lambda \approx 475 \text{ nm}$) และ LED สีเขียวอำพัน ($\lambda \approx 545 \text{ nm}$) ซึ่งในกรณีหลังเป็นชนิดใกล้เคียงกับที่ใช้ในเครื่องมาตรฐาน โดยจะได้ศึกษาถึงโอกาสในการเกิดความคลาดเคลื่อนของการวัดความทึบแสงของควันรถยนต์ดีเซล ในสภาวะการทดลองจริงเทียบกับค่าที่วัดได้จากการใช้เครื่องมาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษ สำหรับแต่ละแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้

2.3 การดำเนินงานศึกษาวิจัยและออกแบบจัดทำเครื่องมือตรวจวัดควันระบบวัดความทึบแสงต้นแบบระดับงานวิจัยชนิดไหลผ่านทั้งหมดที่สามารถผลิตได้เองในประเทศไทย

งานในส่วนนี้จะเป็นขั้นต้นของการประกอบและทดสอบระบบต้นแบบ ระยะที่ 1 เพื่อพิจารณาค่าความคลาดเคลื่อนและข้อบกพร่องต่าง ๆ หาข้อสรุปและแนวทางในการพัฒนาต้นแบบระยะที่ 2 ในโครงการถัดไป

เมื่อได้ทำการค้นคว้าและศึกษาหลักการประกอบกับการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการนำไปสู่การพิจารณาเลือกแหล่งกำเนิดแสง 3 ชนิดเบื้องต้น ซึ่งควรทำการสร้างระบบเพื่อนำไปใช้ทดสอบเปรียบเทียบกับผลของเครื่องวัดมาตรฐานในภาคสนาม โดยมีองค์ประกอบของระบบ คือ ระบบ

ร่วมกันในส่วนของอิเล็กทรอนิกส์ของวงจรขับเคลื่อน วงจรรับและขยายสัญญาณแสง วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลและวงจรประมวลผล แต่มีแหล่งกำเนิดแสงที่แตกต่างกัน คือ LED สีน้ำเงิน ($\lambda \approx 400$ nm), LED สีเขียวแก่ ($\lambda \approx 475$ nm) และ LED สีเขียวอำพัน ($\lambda \approx 545$ nm) ซึ่งมีสเปกตรัมของแสงแตกต่างกันแสดงดังรูปที่ 3 จากนั้นทำการประกอบระบบเบื้องต้นที่สะดวกในการเคลื่อนย้ายเพื่อการทดสอบในภาคสนามโดยมีลักษณะเป็นดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 สเปกตรัมของแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในระบบต้นแบบ



รูปที่ 9 ระบบเบื้องต้นเพื่อการทดสอบภาคสนาม

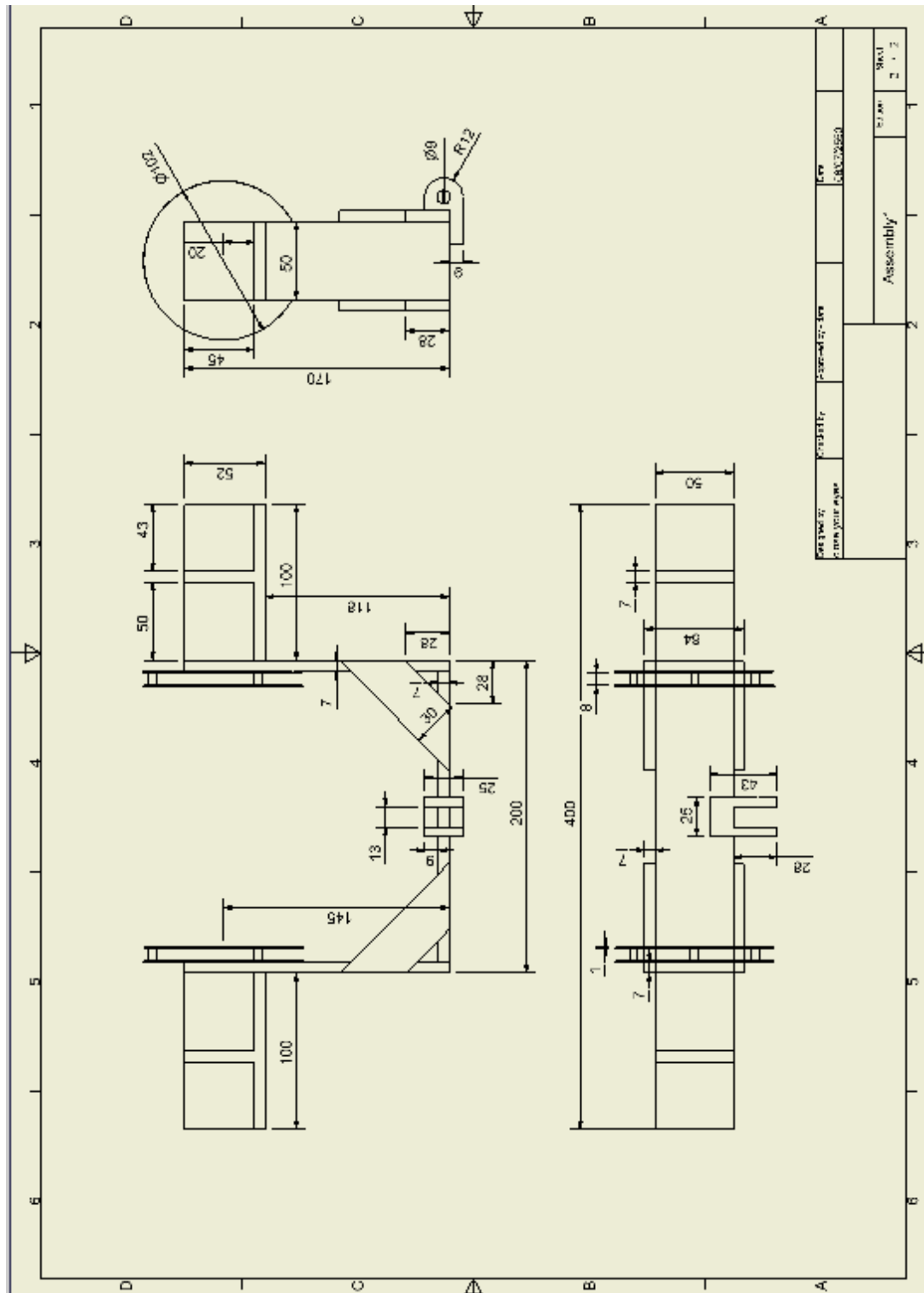
หลังจากนี้ทีมวิจัยได้ทำการทดสอบระบบเบื้องต้นภาคสนามด้วยแหล่งกำเนิดแสงทั้งสามชนิดกับเครื่องมาตรฐาน Wager Model 6500 ในการวัดควันท้าจากรถกระบะตัวอย่างตามที่กรมควบคุมมลพิษจัดให้ที่ศูนย์ปฏิบัติการของกรมควบคุมมลพิษ โดยนำผลขั้นต้นที่วัดด้วยเครื่องต้นแบบชดเชยด้วยแฟลคเตอร์เนื่องจาก path length ของแสงที่ต่างความยาวคลื่นไปจากแสงสีเขียวอำพันมาตรฐาน แล้วเปรียบเทียบกับผลค่าความทึบแสงจากเครื่องมาตรฐาน (Wager Model 6500)

จากผลการทดลองในส่วนนี้ซึ่งมีข้อแตกต่างของทั้งสามระบบเพียงช่วงค่าความยาวคลื่นของแหล่งกำเนิดจะเห็นได้ว่าค่าความแตกต่างจากเครื่องมาตรฐานสำหรับการใช้ LED สีเขียวอำพันจะมีค่าน้อยกว่ากรณีของ LED สีน้ำเงิน และ LED สีเขียวแก่ ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากการชดเชยค่าแก้ของ Path length ที่เนื่องจากความแตกต่างของความยาวคลื่นซึ่งมีช่วง Bandwidth ที่กว้างมากน้อยไม่เท่ากัน การใช้ค่าเฉลี่ยของความยาวคลื่นของแต่ละสี จึงไม่น่าจะมีความแม่นยำและอีกทั้งอาจจะมีผลที่เกิดขึ้นกับธรรมชาติที่แตกต่างกันของการกระเจิงแสงของแสงสีน้ำเงินและเขียวแก่ที่มีแนวโน้มไปทาง Mie Scattering ดังนั้นเพื่อให้ระบบต้นแบบ ระยะที่ 1 ของงานวิจัยนี้ สามารถเปรียบเทียบได้โดยตรงกับเครื่องมาตรฐานในแพลตฟอร์มพื้นฐานหลัก คือ ขนาดเครื่องยนต์และขนาดท่อไอเสีย ในขั้นตอนนี้จึงสมควรเลือกให้ระบบต้นแบบรุ่นที่ 1 เป็นระบบที่ใช้แหล่งกำเนิด LED สีเขียวอำพัน ที่มีสมบัติของสเปคตรัมทางแสงใกล้เคียงกับแหล่งกำเนิดที่ใช้ในเครื่องมาตรฐาน

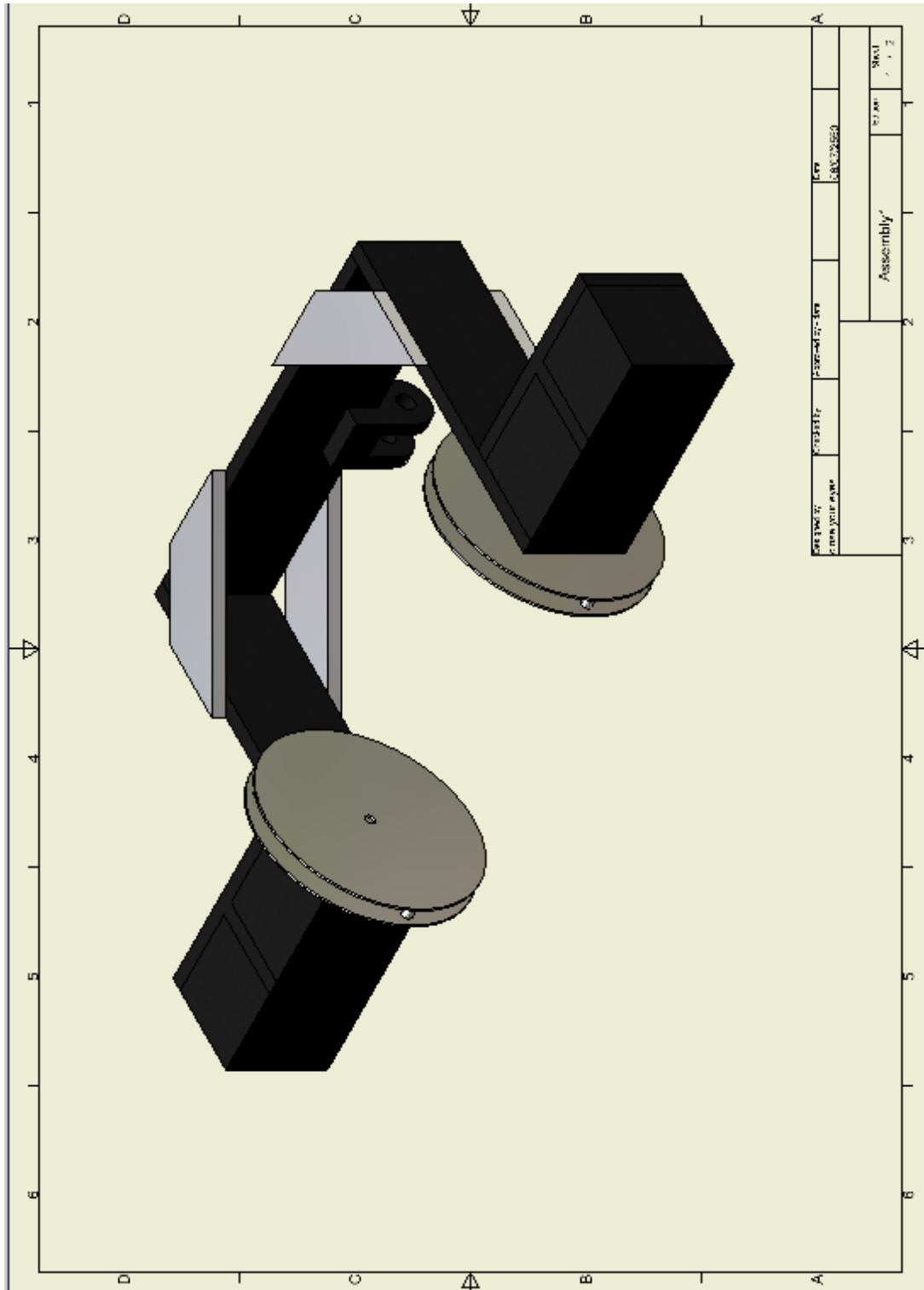
1) การออกแบบและสร้างอุปกรณ์ต้นแบบระยะที่ 1 สำหรับการใช้งานภาคสนาม

เมื่อได้ข้อสรุปจากผลการทดลองภาคสนามเบื้องต้นแล้ว จึงทำการออกแบบสร้างต้นแบบรุ่นที่ 1 ของเครื่องวัดควันดำระบบวัดความทึบแสงแบบ Full flow ขนาดพกพา ซึ่งใกล้เคียงกับเครื่องมาตรฐานที่ใช้แหล่งกำเนิด LED สีเขียวอำพัน โดยมีแบบพิมพ์เขียวโครงสร้าง ส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์ และ Flow chart โปรแกรมการทำงาน ตามลำดับดังนี้

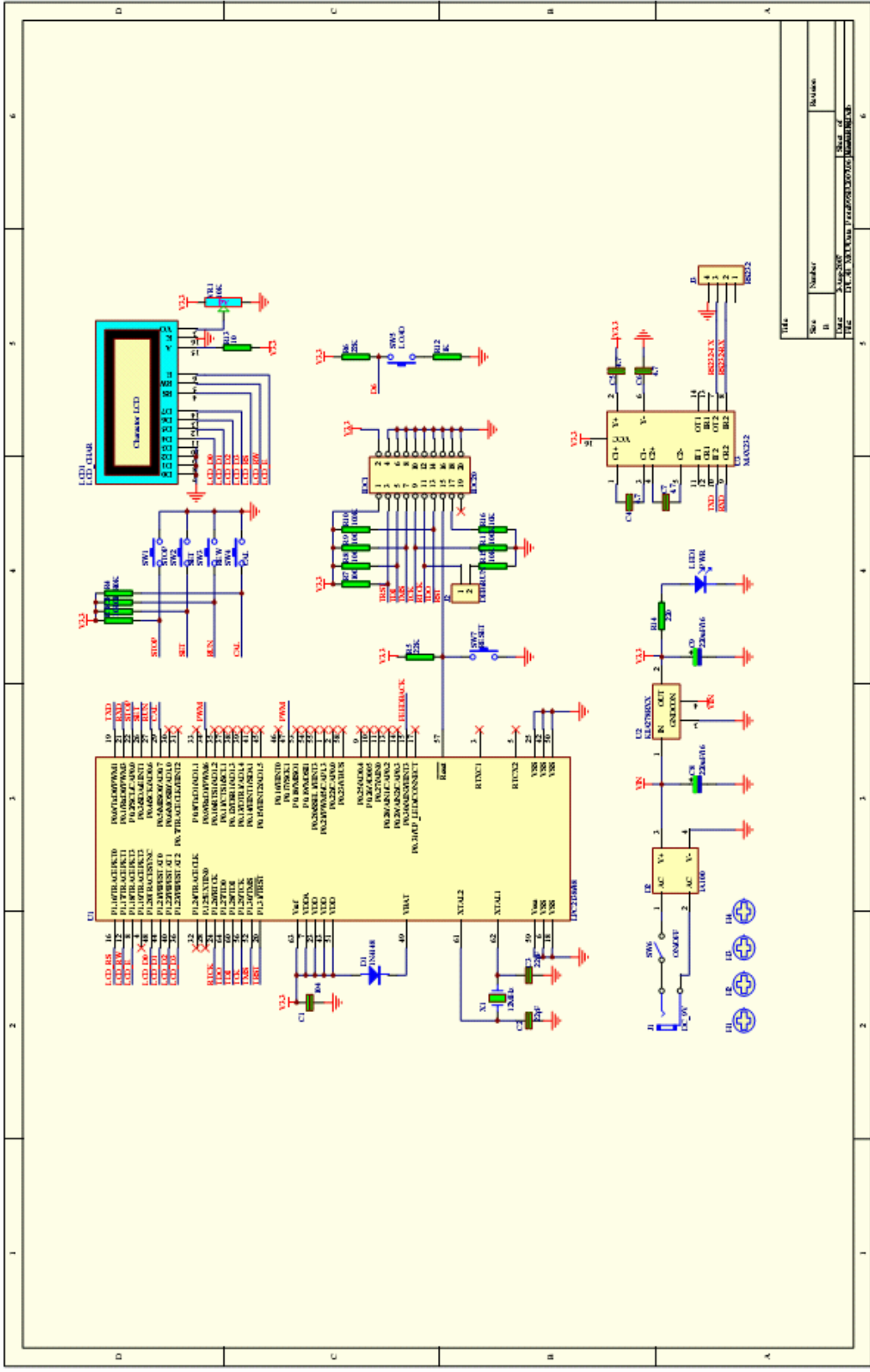
- 1) รูปที่ 10 (a) แบบโครงสร้างของเครื่องวัดควันดำระบบวัดความทึบแสงต้นแบบระยะที่ 1
- 2) รูปที่ 10 (b) แบบโครงสร้าง 3 มิติของเครื่องวัดควันดำระบบวัดความทึบแสงต้นแบบระยะที่ 1
- 3) รูปที่ 11 (a) วงจรและส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์ของภาคควบคุมการมอดูเลท การประมวลผลและแสดงผลของเครื่องวัดควันดำระบบวัดความทึบแสงต้นแบบระยะที่ 1
- 4) รูปที่ 11 (b) วงจรและส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์ของภาคเซนเซอร์เครื่องวัดควันดำระบบวัดความทึบแสงต้นแบบระยะที่ 1



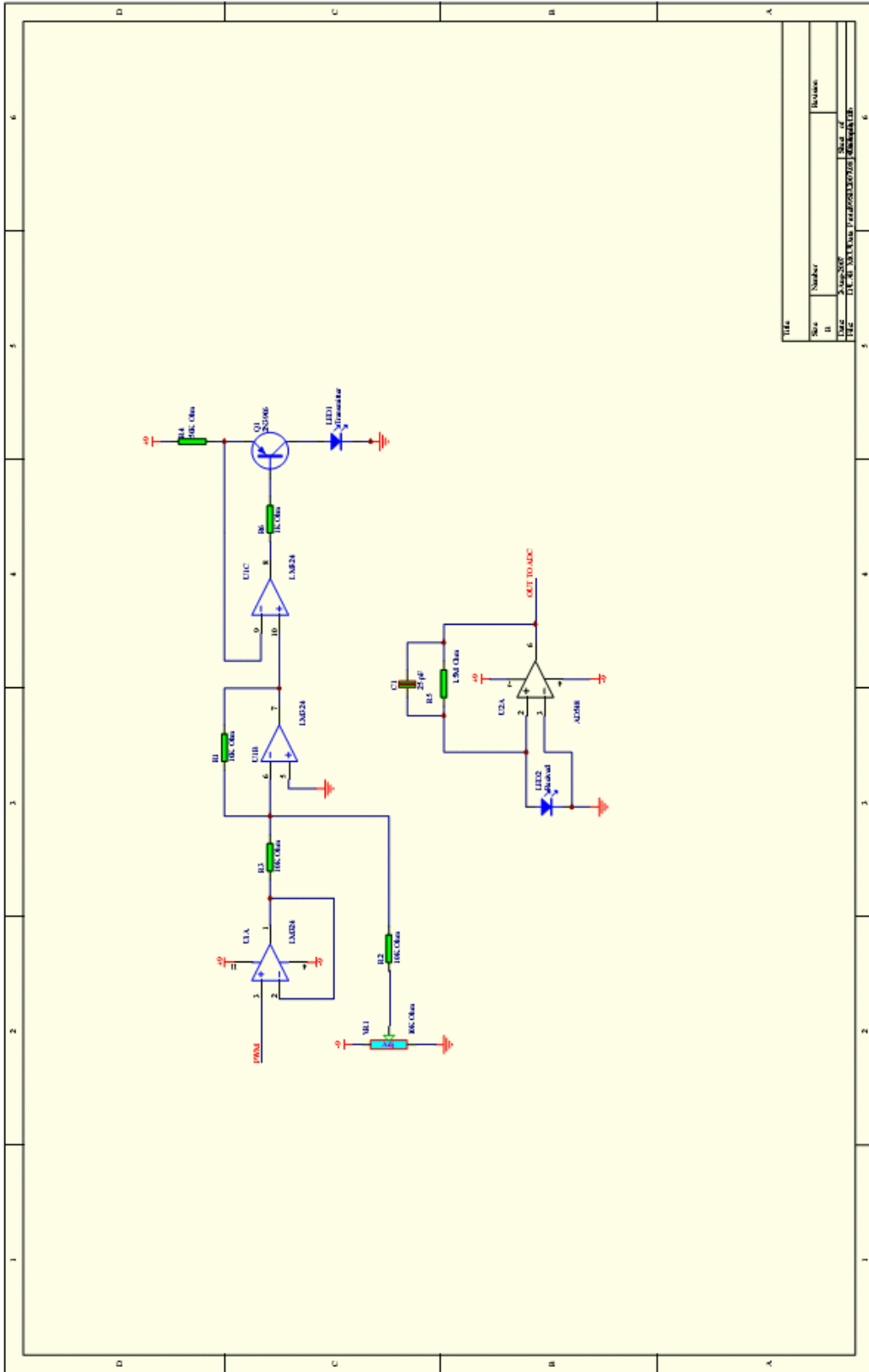
รูปที่ 10 (a) แบบโครงสร้างของเครื่องวัดความถี่แบบกระดาษที่ 1



รูปที่ 10(b) แบบโครงสร้าง 3 มิติของเครื่องวัดความถี่แบบระบบที่ 1



รูปที่ 11(a) วงจรและส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์ของภาคควบคุมการมอดูเลท การประมวลผลและแสดงผลของเครื่องวัดวันด้วยระบบวัดความถี่



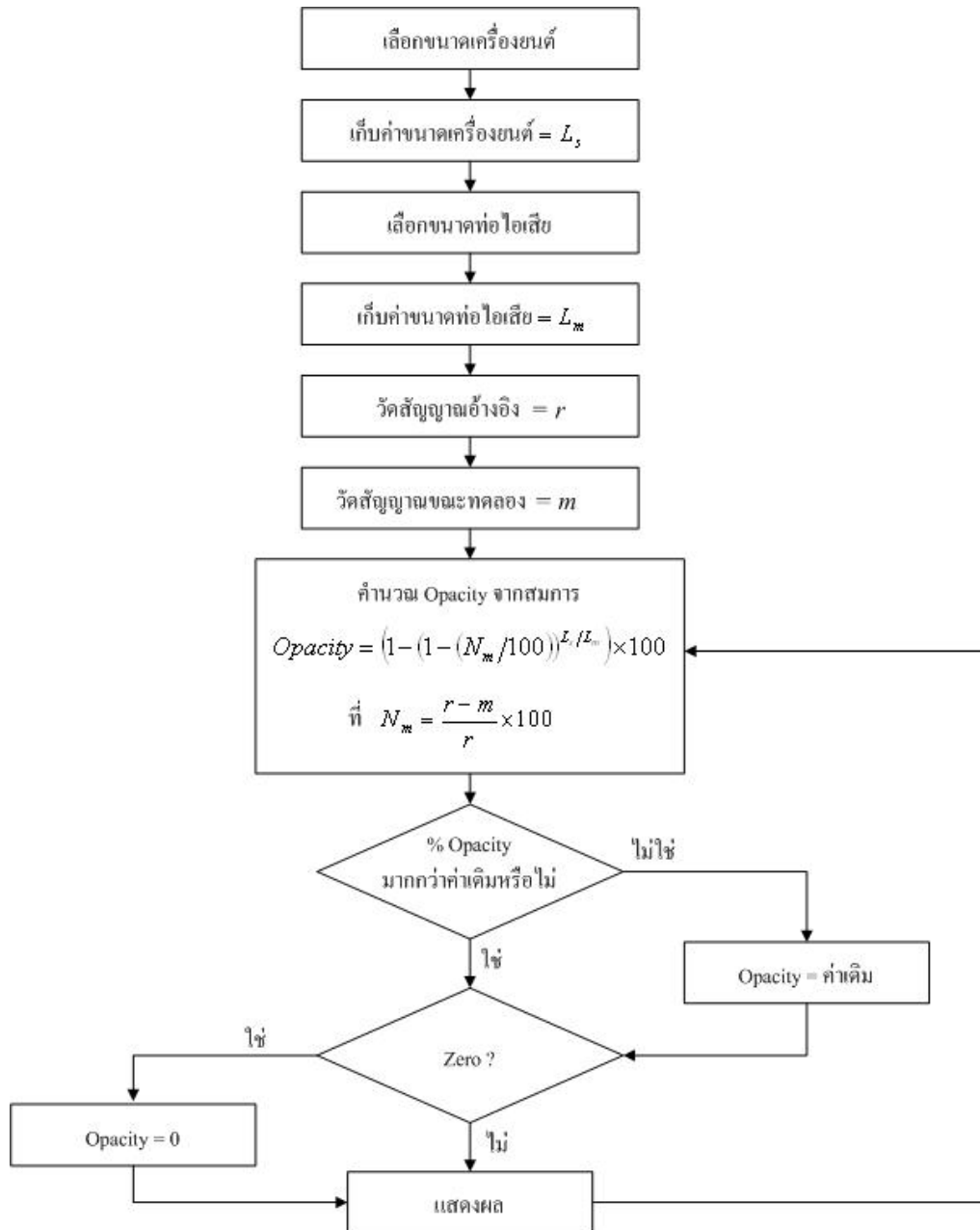
รูปที่ 11 (b) วงจรและส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์ของภาคเซนเซอร์เครื่องวัดวันคืนระบบวัดความถี่แบบแสงรุ่นที่ 1

- **ส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์** ประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่หนึ่ง คือ ส่วนที่ส่งสัญญาณแสงจะใช้การส่งแสงเป็นแบบคลื่นความถี่ PWM (Pulse wide Modulation) ส่วนที่สอง คือ ส่วนของ Photo detector ที่ทำหน้าที่รับแสงจากตัว LED แล้วเปลี่ยนให้เป็นกระแส ส่งเข้าสู่วงจร Transresistance amplifier ส่วนที่สาม คือ หน่วยประมวลผล เป็นการนำค่าที่วัดได้จากส่วนที่สองมาวิเคราะห์ โดยปกติแล้วสมบัติของแสง หากเป็นในกรณีที่ไม่มีควัน ค่าความทึบแสงที่วัดได้จะมีค่าเมื่อเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 0 % แต่เมื่อมีกลุ่มควันมาขวางระหว่างทางเดินของแสงจากแหล่งกำเนิดไปยังตัวรับทำให้ค่าความทึบแสงที่ได้เปลี่ยนไปตามสมบัติของกลุ่มควันนั้น

- **วงจรของส่วนประมวลผล** ประกอบด้วยส่วนที่เป็นแหล่งจ่ายไฟ แรงดันไฟฟ้า DC และ AC สามารถเลือกใช้ได้ทั้งสองแบบ แต่จะต้องมีขนาดไม่เกิน 9 ถึง 12 โวลต์ ที่กระแส 500 – 1000 มิลลิแอมแปร์ ผ่านตัว Bridge Diode หากแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามาเป็นไฟ AC ตัว D2 จะทำหน้าที่แปลงแรงดันจากแรงดันไฟฟ้า AC เป็น แรงดันไฟฟ้า DC แต่ถ้าหากเป็นแรงดันไฟฟ้า DC อยู่แล้วตัว D2 จะทำหน้าที่ป้องกันแรงดันไฟฟ้ากลับขั้ว หลังจากผ่านตัว D2 จะใช้ C8 เพื่อทำหน้าที่กรองแรงดันไฟฟ้าให้เรียบเพื่อการนำไปใช้งาน

- **ส่วนแสดงผล** เป็น LCD ขนาด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด จะใช้แสดงค่าสัญญาณความเข้มแสงในช่วงก่อนและเมื่อมีควันดำจากท่อไอเสียเพื่อเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง เพื่อผลการวิเคราะห์ว่า ลักษณะของควันที่เกิดขึ้นนั้นเกินมาตรฐานหรือไม่ สำหรับตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ เป็นการปรับความเข้มหรือจางของตัวอักษรที่ปรากฏบนหน้าจอ LCD สำหรับ Switch จะเป็นการเลือกค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่มีผลต่อการวัดควันดำ

ส่วนโปรแกรมการทำงาน ส่วนแรกจะทำการเก็บค่าขนาดเครื่องยนต์และขนาดท่อจากการกดสวิทช์ เช่น ถ้าต้องการเลือกขนาดเครื่องยนต์ที่มีขนาด น้อยกว่า 100 แรงม้า ให้กดสวิทช์ที่ 1 และถ้าต้องการเลือกขนาดท่อไอเสียเป็น 4 นิ้ว ก็กดสวิทช์ที่ 3 เพื่อใช้เป็นแฟลคเตอร์ในการคำนวณหาค่า Opacity ถัดจากนั้นจะทำการวัดสัญญาณอ้างอิง (Reference signal: r) ซึ่งเป็นสัญญาณขณะที่ไม่มีสิ่งใดมาบดบังทางเดินของแสงระหว่างตัวรับและตัวส่ง โดยในส่วนของ การวัดสัญญาณจะทำการวัดขณะที่ LED ทำงานเป็นจำนวน 150 ครั้ง ต่อหนึ่งลูกคลื่นสัญญาณ PWM ซึ่งจะทำการวัด 10 ลูกคลื่นสัญญาณ PWM เพื่อเก็บค่าสัญญาณอ้างอิงนี้ไว้ ถัดจากนั้นจะทำการวัดสัญญาณขณะมีควันผ่านเครื่องวัด (Measurement signal: m) โดยใช้หลักการเดียวกับการวัดสัญญาณอ้างอิง เมื่อได้ค่าสัญญาณขณะมีควันแล้ว จึงนำมาคำนวณหาค่า Opacity ตามสมการ



รูปที่ 12 Flow chart โปรแกรมการทำงานของเครื่องวัดวันดำระบบวัดความทึบแสง

เมื่อได้ค่า Opacity แล้วจะทำการตรวจสอบว่ามีค่าสูงกว่าค่า Opacity ที่วัดได้ก่อนหน้านี้หรือไม่ ถ้าไม่สูงกว่า ก็จะยังคงแสดงค่า Opacity เดิมไว้ (เป็นการแสดงค่าที่มากที่สุดของการวัด) แต่ถ้าค่าที่ได้สูงกว่าจะแสดงค่านั้น ในกรณีถ้าหากมีการกดปุ่ม Set Zero ค่า Opacity จะกลับไปอยู่ที่ 0%

2) ทดสอบประสิทธิภาพ (Performance Test) ของต้นแบบเปรียบเทียบเครื่องมือที่กรมควบคุมมลพิษใช้อยู่ในปัจจุบัน

ได้นำระบบต้นระยะที่ 1A ซึ่งเป็นแบบแรกของต้นแบบระยะที่ 1 ที่ได้ทำการพัฒนาสร้างขึ้นไปทำการทดสอบภาคสนามที่ห้องปฏิบัติการตรวจวัดมลพิษจากยานพาหนะของกรมควบคุมมลพิษ โดยตั้งเป้าหมายที่การทดสอบวัดตัวเลขค่า Opacity ของควันดำจากรถกระบะเครื่องดีเซลใด

ๆ 1 คัน ที่กรมควบคุมมลพิษจัดหาไว้ โดยได้ผลการทดลอง 270 ค่า เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จาก เครื่องมาตรฐาน Wager Model 6500 ซึ่งมีค่า% Opacity เฉลี่ย ต่างกัน 0.2% สำหรับการวัด เปรียบเทียบแผ่นฟิลเตอร์มาตรฐานของ Wager ก็จะได้ค่าใกล้เคียงกัน โดย เครื่อง Wager วัดได้ 24.1% ส่วนเครื่องวัดควันดำระบบวัดความทึบแสงต้นแบบรุ่นที่ 1A ได้ 24.0% เมื่อได้ทำการวัด เพิ่มเติมโดยทดสอบกับรถกระบะที่มีควันดำมากกว่าเทียบกับเครื่อง Wager จำนวน 100 ครั้ง ซึ่งมี ค่า% Opacity เฉลี่ย ต่างกัน 7.0% และได้ทำการพัฒนาเครื่องวัดความทึบแสงรุ่นที่ 1A ในส่วนของ ส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์ ให้มีขนาดกะทัดรัดและเป็นวงจรถ่ายสำหรับการทำงานของ เครื่องวัดความทึบแสง จึงได้เป็นเครื่องวัดความทึบแสงต้นแบบระยะที่ 1B ขึ้น ทำให้เครื่องมือที่มีความสวยงามและมีความสะดวกในการทำงานมากขึ้น โดยการนำปุ่มควบคุมการทำงานมาไว้ ภายนอก

อย่างไรก็ดี ผลการทดลองชุดนี้เป็นเพียงขั้นต้น ยังมีได้ครอบคลุมอีกหลาย เฟลคเตอร์ของ ตัวแปร ซึ่งจะได้มีการศึกษาพัฒนาในขั้นต่อไป



รูปที่ 13 เครื่องวัดควันดำระบบวัดความทึบแสงต้นแบบระยะที่ 1A



รูปที่ 14 เครื่องวัดควันดำระบบวัดความทึบแสงต้นแบบระยะที่ 1B

ตารางที่ 3 (a) ผลการวัดควันทำจากรถกระบะคันที่ 1 จากเครื่อง Wager

No.	%Opacity	No.	%Opacity	No.	%Opacity	No.	%Opacity	No.	%Opacity	No.	%Opacity
1	6.8	46	2.8	91	3.7	136	3.3	181	3.4	226	4.2
2	4.9	47	2.4	92	3.7	137	3.1	182	4.0	227	4.0
3	4.3	48	3.1	93	3.9	138	3.7	183	3.6	228	3.8
4	5.2	49	3.8	94	3.5	139	3.1	184	3.4	229	3.7
5	4.7	50	4.2	95	4.7	140	3.1	185	3.1	230	3.1
6	4.6	51	4.2	96	3.4	141	3.7	186	3.4	231	3.8
7	4.1	52	3.3	97	3.7	142	3.3	187	2.9	232	4.0
8	5.1	53	3.2	98	3.6	143	3.0	188	3.0	233	4.6
9	4.9	54	3.2	99	3.1	144	3.4	189	3.2	234	3.9
10	4.4	55	3.4	100	3.2	145	3.0	190	3.8	235	3.9
11	4.1	56	2.7	101	4.2	146	3.6	191	3.1	236	3.6
12	4.5	57	3.1	102	3.6	147	3.9	192	3.2	237	4.2
13	5.1	58	3.1	103	3.8	148	3.4	193	2.9	238	4.1
14	4.4	59	2.5	104	3.2	149	3.7	194	3.2	239	4.6
15	3.7	60	2.5	105	3.4	150	3.6	195	3.1	240	4.1
16	4.1	61	3.5	106	3.8	151	3.9	196	3.2	241	3.0
17	4.2	62	2.8	107	3.6	152	3.9	197	3.8	242	4.1
18	4.2	63	3.2	108	3.6	153	3.1	198	5.1	243	4.4
19	3.8	64	3.0	109	3.3	154	4.0	199	4.3	244	4.0
20	3.6	65	5.0	110	3.6	155	3.9	200	4.1	245	3.6
21	4.3	66	4.5	111	4.1	156	4.0	201	4.1	246	3.5
22	4.3	67	3.7	112	4.6	157	3.7	202	3.6	247	4.5
23	4.2	68	3.7	113	3.6	158	3.1	203	3.8	248	3.5
24	3.9	69	3.3	114	3.6	159	3.6	204	4.5	249	4.1
25	4.2	70	3.7	115	4.2	160	3.0	205	3.7	250	4.3
26	3.9	71	3.1	116	3.8	161	4.0	206	3.3	251	4.1
27	4.2	72	3.8	117	3.8	162	3.6	207	3.2	252	4.2
28	4.2	73	3.0	118	3.6	163	3.7	208	4.3	253	3.7
29	3.4	74	4.2	119	3.8	164	3.9	209	4.2	254	3.7
30	4.1	75	3.2	120	2.6	165	3.7	210	4.5	255	3.7
31	4.1	76	3.7	121	4.3	166	3.6	211	4.9	256	3.5
32	4.4	77	4.3	122	4.1	167	3.7	212	3.6	257	3.7
33	4.2	78	4.5	123	3.8	168	3.9	213	4.3	258	3.4
34	4.6	79	3.9	124	3.8	169	3.7	214	4.2	259	3.7
35	4.2	80	3.4	125	3.6	170	4.2	215	3.5	260	4.0
36	4.1	81	3.4	126	2.8	171	4.2	216	5.1	261	4.3
37	4.0	82	3.7	127	3.3	172	4.2	217	3.9	262	4.3
38	4.4	83	3.8	128	3.9	173	4.3	218	4.6	263	4.3
39	4.1	84	3.9	129	3.7	174	3.1	219	4.2	264	3.7
40	2.5	85	4.2	130	3.7	175	3.7	220	4.4	265	3.8
41	4.0	86	5.1	131	3.0	176	3.5	221	4.3	266	4.4
42	4.3	87	4.4	132	3.3	177	3.4	222	3.6	267	3.6
43	3.4	88	4.2	133	3.7	178	3.5	223	4.0	268	4.5
44	4.0	89	3.9	134	3.6	179	3.2	224	3.8	269	4.5
45	3.4	90	3.8	135	3.1	180	3.5	225	4.0	270	4.1

ค่า % Opacity เฉลี่ย ที่ได้จากการวัดเท่ากับ 3.8

ตารางที่ 3(b) ผลการวัดควันท้องฟ้าจากรถกระบะคันที่ 1 จากเครื่องวัดควันท้องฟ้าที่ติดตั้งแบบรุ่นที่ 1

No.	%Opacity	No.	%Opacity	No.	%Opacity	No.	%Opacity	No.	%Opacity	No.	%Opacity
1	4.3	46	5.9	91	2.8	136	4.9	181	2.6	226	3.6
2	3.2	47	5.3	92	3.2	137	4.7	182	3.0	227	3.1
3	4.0	48	5.1	93	2.9	138	5.5	183	2.7	228	3.6
4	2.6	49	5.1	94	2.8	139	4.7	184	2.6	229	3.2
5	2.9	50	4.5	95	1.7	140	4.7	185	2.3	230	3.7
6	3.0	51	6.2	96	3.7	141	5.5	186	2.6	231	3.5
7	2.5	52	5.2	97	3.3	142	4.9	187	2.2	232	3.2
8	3.1	53	5.3	98	2.1	143	4.4	188	2.3	233	3.7
9	3.2	54	4.7	99	3.5	144	5.1	189	2.4	234	3.6
10	2.5	55	5.9	100	2.9	145	4.4	190	2.8	235	3.6
11	3.1	56	5.4	101	5.8	146	5.3	191	2.3	236	2.5
12	1.4	57	5.5	102	4.8	147	5.8	192	2.4	237	3.8
13	3.4	58	4.2	103	5.3	148	5.1	193	2.2	238	3.3
14	4.3	59	4.4	104	3.6	149	5.5	194	2.4	239	3.7
15	3.0	60	5.6	105	4.0	150	5.3	195	2.3	240	3.1
16	3.9	61	5.1	106	4.7	151	5.8	196	2.4	241	2.2
17	2.9	62	3.8	107	5.1	152	5.8	197	2.9	242	3.0
18	2.0	63	5.2	108	4.4	153	4.7	198	3.8	243	3.5
19	1.8	64	5.2	109	4.7	154	6.0	199	3.2	244	3.2
20	3.1	65	5.0	110	7.0	155	5.8	200	3.1	245	2.6
21	3.1	66	5.6	111	6.3	156	6.0	201	3.1	246	3.3
22	3.7	67	3.7	112	6.3	157	5.5	202	2.7	247	4.2
23	4.2	68	5.5	113	5.1	158	4.7	203	2.8	248	2.4
24	3.1	69	5.0	114	4.9	159	5.3	204	3.4	249	2.7
25	3.5	70	6.0	115	4.4	160	4.4	205	2.8	250	3.9
26	3.7	71	6.7	116	4.7	161	6.0	206	2.5	251	3.3
27	3.7	72	7.4	117	4.4	162	5.3	207	2.4	252	3.8
28	2.7	73	5.2	118	4.4	163	5.5	208	3.2	253	3.4
29	3.4	74	6.2	119	6.8	164	5.8	209	3.2	254	3.5
30	3.1	75	5.7	120	4.4	165	5.5	210	3.4	255	3.4
31	2.4	76	5.9	121	5.9	166	5.3	211	3.7	256	3.2
32	2.0	77	3.4	122	5.1	167	5.5	212	2.7	257	3.7
33	4.1	78	3.0	123	4.7	168	5.8	213	3.2	258	3.8
34	2.9	79	3.0	124	4.2	169	5.5	214	3.2	259	3.7
35	4.6	80	2.6	125	5.3	170	6.2	215	2.6	260	3.8
36	3.7	81	2.7	126	4.2	171	6.2	216	3.8	261	4.2
37	4.0	82	3.5	127	4.9	172	6.2	217	3.0	262	4.2
38	3.6	83	2.7	128	5.8	173	3.2	218	3.5	263	4.7
39	6.4	84	3.2	129	5.5	174	2.3	219	3.2	264	3.5
40	5.1	85	3.3	130	5.5	175	2.8	220	3.3	265	3.9
41	4.2	86	4.4	131	4.4	176	2.6	221	3.8	266	4.1
42	5.4	87	4.0	132	4.9	177	2.6	222	3.0	267	3.9
43	6.8	88	2.6	133	5.5	178	2.6	223	3.4	268	4.9
44	4.8	89	3.3	134	5.3	179	2.4	224	2.6	269	4.8
45	4.8	90	3.7	135	4.7	180	2.6	225	3.3	270	3.6

ค่า % Opacity เฉลี่ย ที่ได้จากการวัดเท่ากับ 4.0

ตารางที่ 4(a) ผลการวัดควันท้าจากระยะชั้นที่ 2 จากเครื่อง Wager

No.	%Opacity	No.	%Opacity	No.	%Opacity	No.	%Opacity	No.	%Opacity	No.	%Opacity
1	31.6	18	30.6	35	29.7	52	30.0	69	26.3	86	27.7
2	28.8	19	30.9	36	29.3	53	28.6	70	26.0	87	26.5
3	32.1	20	31.4	37	28.7	54	27.6	71	25.7	88	26.1
4	29.7	21	26.2	38	28.5	55	28.3	72	26.8	89	26.2
5	30.0	22	26.9	39	30.4	56	28.2	73	26.3	90	25.8
6	29.6	23	30.0	40	27.6	57	28.8	74	24.4	91	27.4
7	29.5	24	38.8	41	24.4	58	28.6	75	24.4	92	27.0
8	31.2	25	28.8	42	25.6	59	28.3	76	26.4	93	26.6
9	31.1	26	28.2	43	25.7	60	28.1	77	25.5	94	26.1
10	31.0	27	29.9	44	26.7	61	24.0	78	27.1	95	26.3
11	31.5	28	28.2	45	26.7	62	24.5	79	25.0	96	27.6
12	31.2	29	25.6	46	26.3	63	25.3	80	27.3	97	27.4
13	35.1	30	27.3	47	27.6	64	23.9	81	24.1	98	27.7
14	30.2	31	27.3	48	27.3	65	25.2	82	25.6	99	28.8
15	32.7	32	28.3	49	27.6	66	25.3	83	25.7	100	27.8
16	31.6	33	29.6	50	27.7	67	25.2	84	25.8		
17	31.9	34	29.0	51	26.4	68	25.4	85	26.6		

ค่า % Opacity เฉลี่ย ที่ได้จากการวัดเท่ากับ 27.9

ตารางที่ 4(b) ผลการวัดควันท้าจากระยะชั้นที่ 2 จากเครื่องวัดควันท้าจากระบบวัดความทึบแสงต้นแบบรุ่นที่ 1

No.	%Opacity	No.	%Opacity	No.	%Opacity	No.	%Opacity	No.	%Opacity	No.	%Opacity
1	37.8	18	41.3	35	30.9	52	37.4	69	34.4	86	35.0
2	37.4	19	41.8	36	35.0	53	30.0	70	33.8	87	31.9
3	37.7	20	39.8	37	33.7	54	35.3	71	35.1	88	33.7
4	36.2	21	35.9	38	24.4	55	34.8	72	34.2	89	35.2
5	34.9	22	32.4	39	34.3	56	35.0	73	35.6	90	34.2
6	37.3	23	35.2	40	32.1	57	32.4	74	37.9	91	35.4
7	38.8	24	31.9	41	33.6	58	35.5	75	36.5	92	37.7
8	36.0	25	35.9	42	33.9	59	33.9	76	34.3	93	33.0
9	41.9	26	29.7	43	34.9	60	35.9	77	35.5	94	34.4
10	39.7	27	34.0	44	35.1	61	34.7	78	37.5	95	34.0
11	38.9	28	35.3	45	40.4	62	34.6	79	32.6	96	35.3
12	40.1	29	33.6	46	32.4	63	32.4	80	34.7	97	32.4
13	34.9	30	34.8	47	36.5	64	32.3	81	33.1	98	34.8
14	41.4	31	19.9	48	35.7	65	35.0	82	32.1	99	34.9
15	37.9	32	28.2	49	33.6	66	35.0	83	31.7		
16	38.3	33	30.3	50	38.1	67	33.6	84	33.5		
17	39.2	34	34.3	51	37.7	68	34.5	85	32.6		

ค่า % Opacity เฉลี่ย ที่ได้จากการวัดเท่ากับ 34.9

3) ข้อสรุปในรายงานพัฒนาสร้างต้นแบบ ระยะที่ 1 และข้อเสนอแนะจากคณะที่ปรึกษาวิจัย

จากการศึกษาและทดลองที่ได้ดำเนินการมาทำให้สามารถพัฒนาเครื่องวัดควันท้าจากระบบวัดความทึบแสง ต้นแบบระยะที่ 1 ได้ โดยเครื่องมีสมบัติและการทำงานดังนี้

(1) สมบัติของเครื่องต้นแบบที่พัฒนาขึ้น

- ใช้แหล่งกำเนิดแสงแบบ LED ที่มีช่วงของค่าความยาวคลื่นตรงความเข้มแสงสูงใกล้เคียงกับ 570 nm
- ใช้ตัวรับแสงแบบโฟโตไดโอดชนิดธรรมดาและไม่มีแผ่นกรองแสง

- มีการมอดูเลทสัญญาณความเข้มแสง
- ไม่มีระบบการกรองสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์
- มีระบบการเฉลี่ยสัญญาณ การประมวลผล และการแสดงผลแบบดิจิทัล

สมบัติของเครื่องที่พัฒนาขึ้นมีความใกล้เคียงกับเครื่อง WAGER ซึ่งเป็นเครื่องที่นิยมใช้ รวมถึงเป็นไปตามมาตรฐานสากล ทำให้สามารถเปรียบเทียบผลของการวัดได้สะดวก

(2) การทำงานของเครื่องต้นแบบ ระยะที่ 1

ผลการวัดความทึบแสงเทียบกับเครื่อง WAGER มีค่าไปในแนวทางเดียวกัน แต่ยังคงมีความคลาดเคลื่อน ซึ่งมีค่ามากขึ้นตามปริมาณความหนาแน่นละอองควัน

(3) แนวทางสำหรับการพัฒนาสร้างต้นแบบ ระยะที่ 2

- แก้ไขปัญหาความคลาดเคลื่อนของการวัดเครื่องต้นแบบ ระยะที่ 1

ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น อาจเป็นผลเนื่องมาจากสเปคตรัมของแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ และช่วงการตอบสนองของหัววัดยังไม่ตรงตามมาตรฐาน จึงต้องมีการปรับช่วงความยาวคลื่นของการตอบสนองของหัววัดแสง และแหล่งกำเนิดแสง อีกทั้งการปรับให้มีการกรองสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์ให้เป็นไปตามมาตรฐาน SAEJ1667 รวมถึงเพื่อให้สอดคล้องกับลักษณะการวัดของเครื่อง WAGER จึงต้องมีการจำกัดช่วงเวลาในการวัดของเครื่องไว้ด้วย การพัฒนาและแก้ปัญหาเหล่านี้คาดว่าจะใช้เวลาเพิ่มเติมอีกราว 8 เดือน

- ปรับให้มีรูปแบบการใช้งานที่สะดวก ตัวถังแข็งแรง เหมาะกับการใช้งานหนักในภาคสนามและการใช้งานจริง

.....

สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง คพ. 03-089 เล่มที่ 1/3
กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ตุลาคม 2550
เลขที่ 92 ซอยพหลโยธิน 7 ถนนพหลโยธิน แขวงสามเสนใน ISBN 978-974-286-304-3
เขตพญาไท กรุงเทพมหานคร 10400
โทร. 0-2298-2349-50 โทรสาร. 0-2298-2357
<http://www.pcd.go.th>

รายงานสรุปสำหรับผู้บริหาร

โครงการศึกษาวิจัยและออกแบบจัดทำเครื่องมือตรวจวัดควันระบบวัดความทึบแสงต้นแบบ
(Opacity Meter) ระยะที่ 1

ดำเนินการศึกษาโดย

มูลนิธิธรรมรัฐเพื่อการพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม (ที่ปรึกษาโครงการ)
8/16 ถนนกรุงเกษม แขวงวัดสามพระยา เขตพระนคร กรุงเทพมหานคร 10200
โทร. 0-2280-1812, 0-2280-0557 โทรสาร. 0-2282-8877
e-mail: gsei_thai@yahoo.com Website: www.gsei.or.th

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
เป็นเจ้าของกรรมสิทธิ์และลิขสิทธิ์ในเอกสารฉบับนี้