สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องวัดปริมาณฝุ่นแบบพกพาด้วยวิธีควอตซ์คริสตอลไมโครบาลานซ์

PORTABLE DUST MONITORING UNIT USING QUARTZ CRYSTAL MICROBALANCE TECHNIQUE

T087118

ณรงค์ชัย ทองน้อย

NARONGCHAI TONGNOI

ฉพ.
ณ821ค
2551
เลขหมู่.......
เลขทะเบียน 87118
วัน,เดือน,ปี 30 ส.ค. 2552

b. 12038866
i. ....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2551

KMITL-2008-EN-M-040-171

PORTABLE DUST MONITORING UNIT USING QUARTZ CRYSTAL MICROBALANCE TECHNIQUE

NARONGCHAI TONGNOI

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRONICS ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2008
KMITL-2008-EN-M-040-171

COPYRIGHT 2008

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	เครื่องวัดปริมาณฝุ่นแบบพกพาด้วยวิธีควอตซ์คริสตอล ไมโครบาลานซ์
นักศึกษา	นายณรงค์ชัย ทองน้อย
รหัสนักศึกษา	48060454
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
พ.ศ.	2551
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.จิรวัฒน์ ปานกลาง

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอเครื่องตรวจเตือนปริมาณฝุ่นแบบรวดเร็วและราคาไม่แพง วัดมวลฝุ่นด้วยเทคนิคควอตซ์คริสตอลไมโครบาลานซ์(QCM) และแรงดันสูง สำหรับการวัดขนาดฝุ่นใช้วิธีคอนเวนชันนอล อิมแพคเตอร์ ระบบควบคุมการไหลของอากาศใช้ปั๊มชนิดไดอะแฟรมปั๊ม (Diaphragm pump) อุณหภูมิการทำงานของเครื่องเท่ากับ 20-40 องศาเซลเซียส วัดขนาดได้ 1-10 ไมโครเมตร วัดมวลได้ในหน่วยไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สามารถแสดงผลข้อมูลด้วยจอแบบผลึกเหลว 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด ทำงานได้นาน 3 ชั่วโมง

Thesis Title	Portable Dust Monitoring Unit Using Quartz Crystal Microbalance Technique
Student	Mr. Narongchai Tongnoi
Student ID.	48060454
Degree	Master of Engineering
Programme	Electronics Engineering
Year	2008
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Jirawat Panklang

Abstract

This thesis presents a low-cost Semi real-Time dust Monitoring system, which uses High voltage and Quartz Crystal Microbalance(QCM) for detecting the mass of particles. The average particle sizes was measured by impaction mechanism using a Conventional Impactor. The proposed system was maintained under the inlet airflow of 2 liter/minute by the diaphragm pump, and the temperature of 20-40 degrees centigrade. The mass concentration can be displayed in a unit of microgram/cubic meter for particle size of 1-10 micrometer. Data display by Liquid Crystal Display(LCD) 16x2. Battery life have 3 hours

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ต้องขอกราบขอบพระคุณผู้มีส่วนช่วยเหลือ ดังต่อไปนี้

รศ จิรวัฒน์ ปานกลาง ที่ให้ทั้งความรู้ทางด้านทำวิจัย ระบบการทำงาน วิชาการ

รศ อนุพงศ์ สรงประภา ที่ให้ความรู้วิชาการ

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ และฟิสิกส์ประยุกต์ ที่เป็นสถานที่ทำงานวิจัย

และทุกท่านที่มีส่วนช่วยเหลือที่ไม่ได้กล่าวไว้ในที่นี้

ขอขอบพระคุณ

ณรงค์ชัย ทองน้อย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ... II

กิตติกรรมประกาศ...III

สารบัญ...IV

สารบัญตาราง...VII

สารบัญรูป..VIII

บทที่ 1 บทนำ.. 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..1

1.1.1 การกรองด้วยกระดาษกรอง(Filter Paper)..2

1.1.2 เทคนิคการลดทอนของรังสีเบต้า (Beta Ray)..3

1.1.3 เทคนิคการสั่นของคานแบบบาง(Taper Element Oscillating Microbalance)..3

1.1.4 เทคนิคการกระเจิงแสงเลเซอร์ (Laser Scattering)..................................4

1.1.5. เทคนิคการเปลี่ยนแปลงความถี่ของผลึกควอทซ์ (Quartz Crystal Microbalance (QCM)) 5

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา...5

1.3 สมมติฐานของการศึกษา...5

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย..5

1.4.1 ศึกษาเทคนิคที่ใช้ในการวัดฝุ่น...6

1.4.2 ตัวกรอง..6

1.4.3 ศึกษาและทำการสร้างส่วนกำเนิดสัญญาณความถี่...................................6

1.4.4 ศึกษาและทำการสร้างวงจร ขยายสัญญาณ...6

1.4.5 ทำการสร้างส่วนแสดงผล..6

1.4.6 สร้างระบบปั๊มสุญญากาศแบบไดอะแฟรม...7

1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน..........................7

1.6 ขอบเขตการวิจัย..7

1.7 ขั้นตอนการศึกษา...7

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ...9

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.1 หลักการตรวจวัดฝุ่นละออง..9

2.2 ขนาดของอนุภาค...12

2.2.1 สถิติของขนาดอนุภาค..13

2.3 อิมแพคชัน...15

2.3.1 กลศาสตร์ของอนุภาค(Aerosol Mechanic)......................................17

2.3.2 ระยะการหยุดของอนุภาค(Particle impaction and stopping distance).......19

2.4 ผลึกควอตซ์..21

2.5 ปั๊มชนิดไดอะแฟรม...23

2.6 หลักการของแรงดันสูง...24

2.6.1หลักการทำงานทั่วไป...24

2.6.2 การเกิดอิออน (Ion production)..25

2.6.3 ปรากฏการณ์โคโรนา...28

บทที่ 3 วิธีดำเนินการสร้าง...31

3.1ขั้นตอนการออกแบบ..31

3.2 กำหนดการออกแบบ(Design Specification)..32

3.2.1 ส่วนระบบวงจรกำเนิดความถี่ของผลึกควอตซ์.....................................32

3.2.2 ส่วนระบบวงจรผสม และขยายสัญญาณ...35

3.2.3 ส่วนควบคุมอนุภาค...37

3.2.4 ส่วนระบบการควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ At89C4051..................38

3.2.4.2 ส่วนระบบไมโครคอนโทรลเลอร์.. 38

3.2.4.3 ส่วนแสดงผลเป็นตัวเลข...38

3.2.5 ส่วนการเปิด-ปิดมอเตอร์ ตัวกำเนิดความถี่และแรงดันสูง 39

3.2.6 ส่วนระบบวงจรแรงดันสูง..39

3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด...40

3.3.1อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดอัตราการไหลของอากาศ(ลิตร/นาที)........................40

3.3.2 ตัวอย่างแป้ง Calamineที่ใช้ในการทดลอง..41

3.4 ปั๊มชนิดไดอะแฟรม...43

3.5 แสดงโฟว์ชาร์ตการทำงานของเครื่องวัดฝุ่น...44

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่4 การทดลองและผลการทดลอง..46

4.1 ขั้นตอนการทดลอง..46

4.2ผลการทดลองของวงจรกำเนิดความถี่...47

4.2 1ผลการทดลองวงจรสมบูรณ์...50

4.3 ผลการทดลองผลึกควอตซ์กับอุณหภูมิ...50

4.3.1 ผลการทดลองผลึกควอตซ์กับอุณหภูมิต่ำ...51

4.3.2 ผลการทดลองผลึกควอตซ์กับอุณหภูมิสูง...51

4.4 ทดสอบวัดฝุ่นโดยกระดาษกรอง ทุกๆ 30 นาที ในห้องปิด.............................53

4.5 ผลการทดลองเมื่อใช้เครื่องดักฝุ่น(โดยในการทดลองนี้แยกเป็นใช้และไม่ใช้แรงดันสูง...54

4.6 ผลการทดลองในการหาระยะที่เหมาะสมของแรงดันสูง.................................56

4.7 ผลการทดลองเพื่อสอบเทียบเครื่องมือวัดฝุ่น...57

4.8 ผลการทดลองของแผ่นผลึกควอทซ์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)...59

4.9 ผลการทดลองวัดขนาดมวลฝุ่นที่ไหลผ่านอิมแพคเตอร์.................................60

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน...63

5.1สรุปผลการศึกษาการออกแบบเครื่องวัดละอองฝุ่นอย่างง่าย.............................63

5.2 ปัญหาที่พบ...64

5.3 ข้อเสนอแนะ...64

เอกสารอ้างอิง

ภาคผนวก ก. วงจรรวมที่ใช้ในเครื่องวัดปริมาณฝุ่นแบบผลึกควอตซ์.........................67

ภาคผนวก ข. โปรแกรมที่ใช้ในเครื่องวัดปริมาณฝุ่นแบบผลึกควอตซ์.........................69

ประวัติผู้เขียน..85

สารบัญตาราง

ตารางที่ ... หน้า

2.1 แสดงการแบ่งขนาดของอนุภาคโดยทั่วไปและการใช้กฎต่างในการอธิบายพฤติกรรมของอนุภาค[4]....13

2.2 แสดงตัวอย่างของค่า S , τ ภายใต้เงื่อนไขความเร็วต้นเท่ากัน....20

2.3 แสดงการใช้ค่าระยะห่างใน Conventional Impactor[2]....21

4.1 แสดงผลสัญญาณจากวงจรกำเนิดความถี่ที่แรงดัน 9 V....48

4.2 แสดงผลสัญญาณจากวงจรกำเนิดความถี่ที่แรงดัน 9 V....48

4.3 แสดงผลสัญญาณจากวงจรกำเนิดความถี่ที่แรงดัน 9V....49

4.4 แสดงผลการดักฝุ่นจากกระดาษกรอง โดยมีน้ำหนักฝุ่นเริ่มต้น 0.5 g....53

4.5 มวลกล่องที่ไม่ใส่กระดาษกรอง....53

4.6 แสดงผลการดักฝุ่นจากเครื่องทดลองขณะไม่มีแรงดันสูง....54

4.7 แสดงผลการดักฝุ่นจากเครื่องทดลองขณะมีแรงดันสูงที่ 20 นาที....54

4.8 แสดงผลการดักฝุ่นจากเครื่องทดลองขณะมีแรงดันสูงที่ 40 นาที....54

4.9 แสดงผลการดักฝุ่นจากเครื่องทดลองขณะมีแรงดันสูงที่ 70 นาที....55

4.10 แสดงผลการสอบเทียบครั้งที่ 1 และ 2....57

4.11 แสดงผลการสอบเทียบครั้งที่ 3 และ 4....58

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1.1 แผนภาพมาตรฐานขนาดของอนุภาคต่างๆ..2

1.2 แผนภาพของระบบการวัดมวลฝุ่นด้วยกระดาษกรอง....................................2

1.3 ภาพของระบบการวัดมวลฝุ่นด้วยรังสีเบต้า..3

1.4...ภาพของระบบการวัดมวลฝุ่นด้วยการสั่นของคานแบบบาง...........................4

1.5 แผนภาพของระบบการวัดมวลฝุ่นด้วยการวัดด้วยการกระเจิงแสง...................4

1.6 แผนภาพของระบบการวัดมวลฝุ่นด้วย Piezobalance 6

2.1 ภาพการทำงานของระบบการวัดมวลฝุ่นด้วย Piezobalance............................12

2.2 แสดงชนิดของมวลอากาศกับขนาดการกระจายอนุภาค: (a)การกระจายจำนวน

(b)การกระจายสะสมและ(c)การกระจายสะสมในรูป log-normal[1]......................14

2.3 แสดงลักษณะของอิมแพคเตอร์[4]...16

2.4 ธรรมชาติของอนุภาคเมื่อตกลงบนแผ่นขณะมีลม แสดงทิศทางของอนุภาคกับอากาศ[1].......17

2.5 แสดงผลกระทบของ Stokes number (Stk) ที่อนุภาคจะไหลไปชนผนัง[1].....................19

2.6 แสดงระยะของรัศมีของเพลทพวยพุ่ง(jet nozzle plate)..................................20

2.7 แสดงระยะต่างๆและการไหลของอนุภาคในเพลทพวยพุ่ง(jet nozzle plate)[4]................21

2.8 แสดงลักษณะรูปร่างของผลึกควอตซ์โดยการตัดแบบ AT cut[5]..........................22

2.9 แสดงลักษณะรูปร่างของผลึกควอตซ์ที่ใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์เมื่อผ่าฝา......................23

2.10 แสดงการทำงานปั๊มชนิดไดอะแฟรม[6]...23

2.11 แสดงขั้นตอนการทำงานของระบบไฟฟ้าสถิตดักจับละอองฝุ่น[2]..........................24

2.12 (a) ระบบ ESP แบบท่อกลม (b) แบบแผ่นขนาน[2]..25

2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้า[3]..26

2.14 หลักการของการแตกตัวแบบโคโรนา[4]..27

2.15 ระบบแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูงแบบพื้นฐานที่ใช้ไฟบ้าน[2].....................................29

2.16 ระบบแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูงที่ใช้หลักการ Switching Power Supply[2]......................30

3.1 ภาพการทำงานของระบบการวัดมวลฝุ่นด้วย Piezobalance...............................31

3.2 วงจรกำเนิดความถี่..32

3.3 วงจรลดสัญญาณรบกวนโดยใช้ JFet..33

3.4 แสดง Small-Signal JFet common drain...34

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.5 แสดงการต่อวงจรผสมสัญญาณกับวงจรกรองความถี่ต่ำ....35
3.6 แสดงวงจร Single-balanced mixer....35
3.7 แสดงวงจร Double-balanced mixers(วงจรภายในผสมสัญญาณ)....36
3.8 วงจรกำเนิดความถี่และวงจรเปรียบเทียบความต่างของความถี่....36
3.9 แสดงวงจรขยายระดับแรงดันให้เสมือนรูปสัญญาณสี่เหลี่ยม....37
3.10 รูปอิมแพคเตอร์....37
3.11 รูปวงจรการทำงานของ AT89C4051....38
3.12 รูปวงจรการต่อ LCDกับ AT89C4051....39
3.13 แสดงวงจรเปิดปิดมอเตอร์,ตัวกำเนิดความถี่และแรงดันสูง....39
3.14 รูปวงจรแรงดันสูง....40
3.15 Rota meter....41
3.16 แสดงภาพแป้ง Calamine มาตรฐานที่ใช้ในการวัด(โดยในภาพแป้งเกาะกลุ่มใหญ่)....41
3.17 ขนาดแป้งCalamine วัดโดย XRD....42
3.18 แสดงภาพไดอะแฟรมในเครื่องวัดฝุ่น....43
3.19 แสดงโฟว์ชาร์ตโปรแกรมวัดฝุ่น....44
4.1 แสดงรูปแบบการทดลอง....46
4.2 รูปแสดงชุดทดลองวัดความถี่....47
4.3 กราฟแสดงผลจากสัญญาณของวงจรกำเนิดความถี่ที่แรงดัน 9 V....49
4.4 กราฟแสดงผลจากสัญญาณของวงจรกำเนิดความถี่ที่แรงดัน 9 V(รูปสมบูรณ์)....50
4.5 กราฟแสดงผลจากสัญญาณของวงจรกำเนิดความถี่อุณหภูมิ 26 องศาเซลเซียส....50
4.6 กราฟแสดงผลจากสัญญาณของวงจรกำเนิดความถี่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส....51
4.7 กราฟแสดงผลจากสัญญาณของวงจรกำเนิดความถี่อุณหภูมิ 26 องศาเซลเซียส....51
4.8 กราฟแสดงผลจากสัญญาณของวงจรกำเนิดความถี่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส....52
4.9 การทดลองในกล่องปิด....53
4.10 แสดงผลการดักฝุ่นจากเครื่องทดลองขณะมีแรงดันสูง....55
4.11 ขณะยังไม่เกิดการสปาร์คในแรงดันสูง....56
4.12 ขณะเกิดการสปาร์คในแรงดันสูง....56
4.13 กราฟแสดงแรงดันสูงของแรงดันและกระแส....57

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.14 รูปกราฟสอบเทียบเครื่องวัดปริมาณฝุ่น..58

4.15 รูปผลึกควอทซ์ขณะไม่มีอนุภาคฝุ่นด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด............59

4.16 รูปผลึกควอทซ์ขณะมีอนุภาคฝุ่นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด....................60

4.17 รูปขนาดอนุภาคที่วัดได้เมื่อผ่านอิมแพคเตอร์ภาพจากกล้องจุลทรรศน์ดิจิตอล...............61

4.18 รูปขนาดอนุภาคขนาดขยายที่วัดได้เมื่อผ่านอิมแพคเตอร์..61

4.19 รูปเครื่องวัดฝุ่นที่สมบูรณ์เครื่องมีขนาดอยู่ในช่วงกว้าง 19 ซม. ยาว 24 ซม. สูง 6.5 ซม......62

บทที่ 1
บทนำ

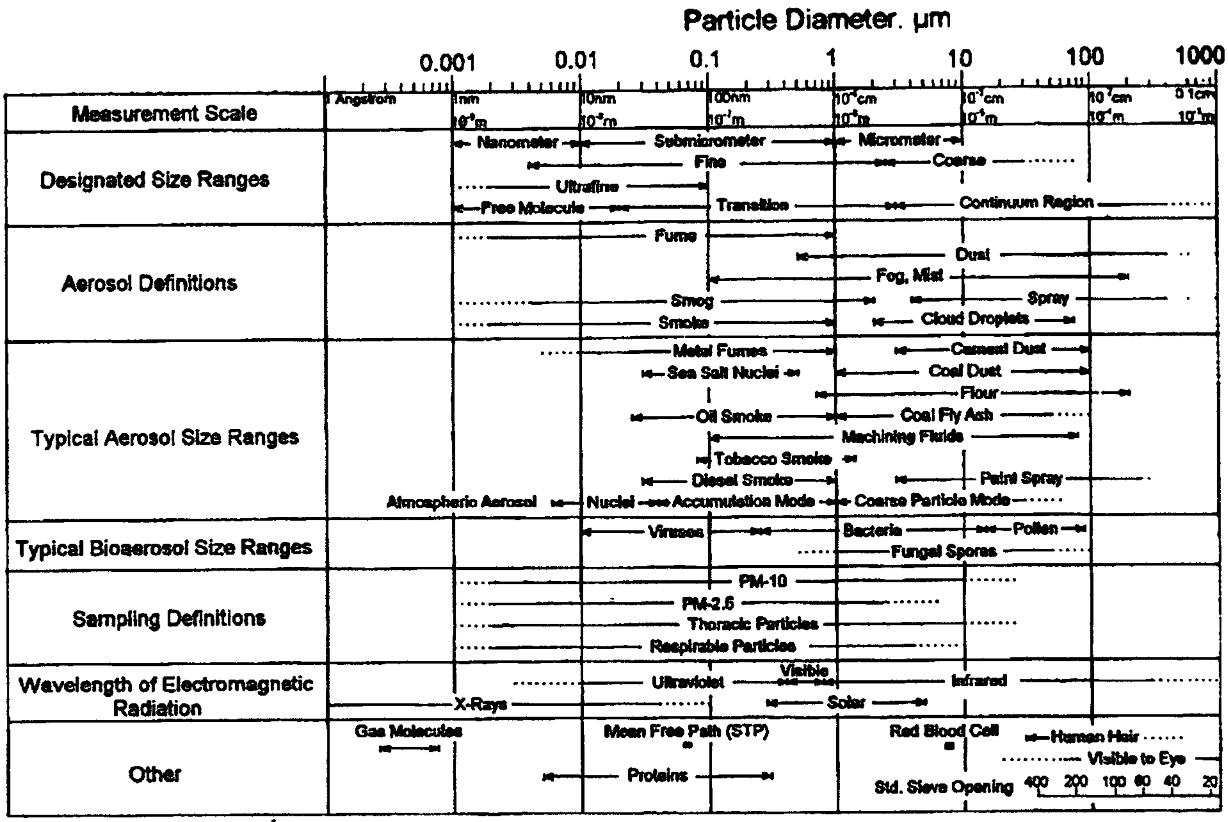
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โดยทั่วไปอากาศเป็นสิ่งที่มนุษย์เรามีความต้องการอากาศเพื่อหายใจเฉลี่ย 50 ปอนด์หรือประมาณ 25 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน ความต้องการอากาศในด้านคุณภาพ กล่าวคือ อากาศบริสุทธิ์ประกอบด้วย ไนโตรเจน 78.09% ออกซิเจน 20.94% ที่เหลืออีก 0.97% ประกอบด้วย อาร์กอน คาร์บอนไดออกไซด์ นีออน ฮีเลียม ก๊าซอินทรีย์ และก๊าซอนินทรีย์ ฯลฯถ้าอากาศมีการปนเปื้อนด้วยฝุ่นละออง หรือสารมีพิษชนิดอื่น ที่เป็นอันตรายและมีปริมาณมากพอ ฟุ้งกระจายในอากาศเป็นเวลานานๆ อาจเป็นสาเหตุให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ มลพิษที่เกิดมักก่อให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับระบบหายใจ เช่น หลอดลมอักเสบ ทั้งแบบเฉียบพลัน (acute effect) และแบบเรื้อรัง (chronic effect) ปอดอักเสบ (pneumoconiosis) โรคถุงลมโป่งพอง (pulmonary emphysema) อาการแน่นหน้าอก มะเร็งที่ปอด (lung cancer) อาการระคายเคืองตา เราสามารถแบ่งสารก่อมลพิษได้มากมายแต่ในที่นี้จะกล่าวเพียงที่พบได้บ่อย 4 ชนิด[7]

- ฝุ่นละออง
- สารตะกั่ว(Pb)
- ไนโตรเจนไดออกไซด์(NO_2)
- ซัลเฟอร์ไดออกไซด์(SO_2)

นอกจากนี้ในโรงงานที่ทดสอบวัสดุชิ้นส่วนเล็กๆ ขนาดไมครอน เช่น โรงงานผลิต Chip IC (Integrated Circuit) ในวงจรประเภท CMOS ต้องระมัดระวังมากเรื่องฝุ่นละอองที่จะไปเกาะจับชิ้นงานขนาดเล็กเสียหาย และไม่ทำงานตามต้องการ

สำหรับในชุมชนที่อยู่ห่างไกลจากตัวเมืองเช่น ชนบท ท้องถิ่นทุรกันดาร รวมถึงพื้นที่ๆเข้าข่ายมีสิ่งแปลกปลอมปนเปื้อนในอากาศเป็นจำนวนมากนั้น มลพิษที่เกิดขึ้นทางอากาศอาจเป็นสาเหตุให้เกิดการเจ็บป่วยของคนที่อาศัยอยู่บริเวณนั้น เช่นในกรณีที่จังหวัดเชียงใหม่เคยประสบเหตุการณ์ร้ายแรงจากสภาพอากาศ จากสาเหตุที่กล่าวมาข้างต้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องสร้างเครื่องตรวจวัดฝุ่นขึ้น ปัจจุบันในต่างประเทศได้มีการสร้างเครื่องมือตรวจวัดฝุ่นทั้งแบบที่พกพาได้และพกพาไม่ได้เพื่อขายในเชิงการค้า แต่ยังพบว่าเครื่องที่ขายมีราคาแพง จึงเป็นที่มาของโครงงานพิเศษจัดสร้างต้นแบบเครื่องมือวัดฝุ่นแบบพกพาได้ในราคาถูก และเหมาะแก่การนำไปใช้ในการวัดในเขตชุมชนทั่วไปและบริเวณที่เสี่ยงต่อพื้นที่อันตราย สามารถตรวจสอบขนาดของอนุภาคได้จากรูป 1.1 โดยต้องการอนุภาคจำพวกฝุ่นประมาณ 1- 10 ไมครอน

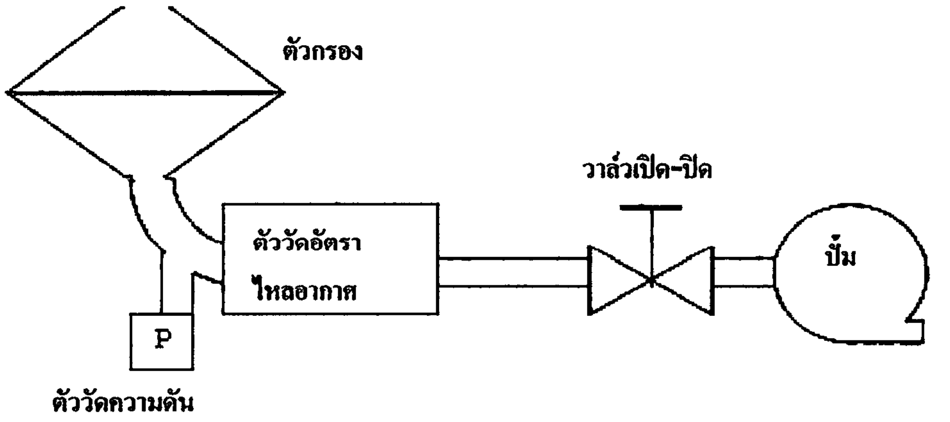


รูปที่ 1.1 แผนภาพมาตรฐานขนาดของอนุภาคต่างๆ[1]

ในจำนวนวิธีการวัดฝุ่นทั้งหมดในปัจจุบันนั้น มีอยู่ประมาณ 5 วิธีการ

1.1.1 การกรองด้วยกระดาษกรอง(Filter Paper)

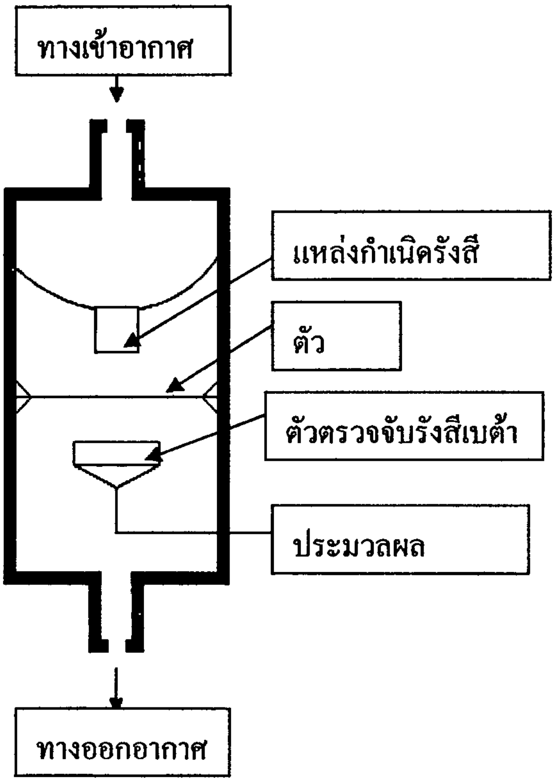
เป็นวิธีการที่ง่ายมากในการติดตั้งกับสถานที่ทดสอบแต่ต้องเสียเวลาในการรออนุภาคฝุ่นมาติดนานเป็นอาทิตย์อีกทั้งต้องนำกระดาษกรองมาชั่งหรือตรวจด้วยแสง และยังต้องเปลี่ยนกระดาษทำให้ยุ่งยาก



รูปที่ 1.2 แผนภาพของระบบการวัดมวลฝุ่นด้วยกระดาษกรอง

1.1.2 เทคนิคการลดทอนของรังสีเบต้า (Beta Ray)

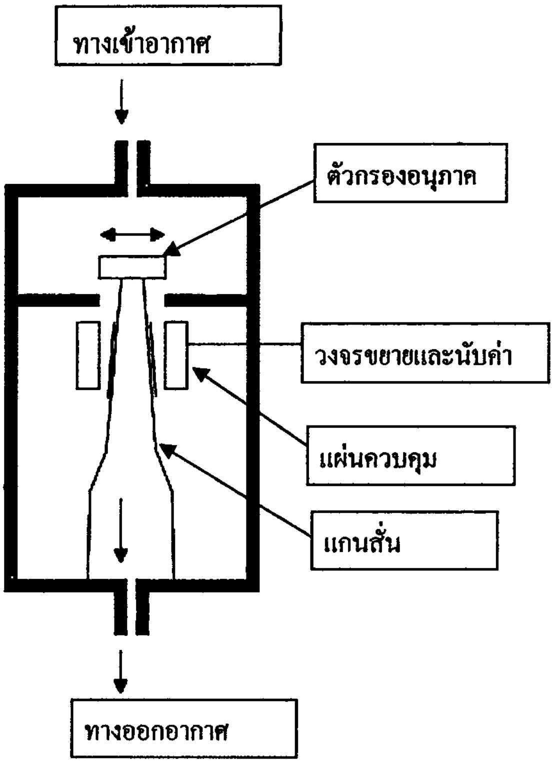
เป็นวิธีการที่ง่ายและเร็วกว่ากระดาษกรอง แต่มีข้อเสียสำคัญคือต้องระวังกัมมันตภาพรังสีที่สะสมกับผู้ใช้และผู้ที่เกี่ยวข้องในบริเวณนั้นด้วย



รูปที่ 1.3 ภาพของระบบการวัดมวลฝุ่นด้วยรังสีเบต้า

1.1.3 เทคนิคการสั่นของคานแบบบาง(Taper Element Oscillating Microbalance)

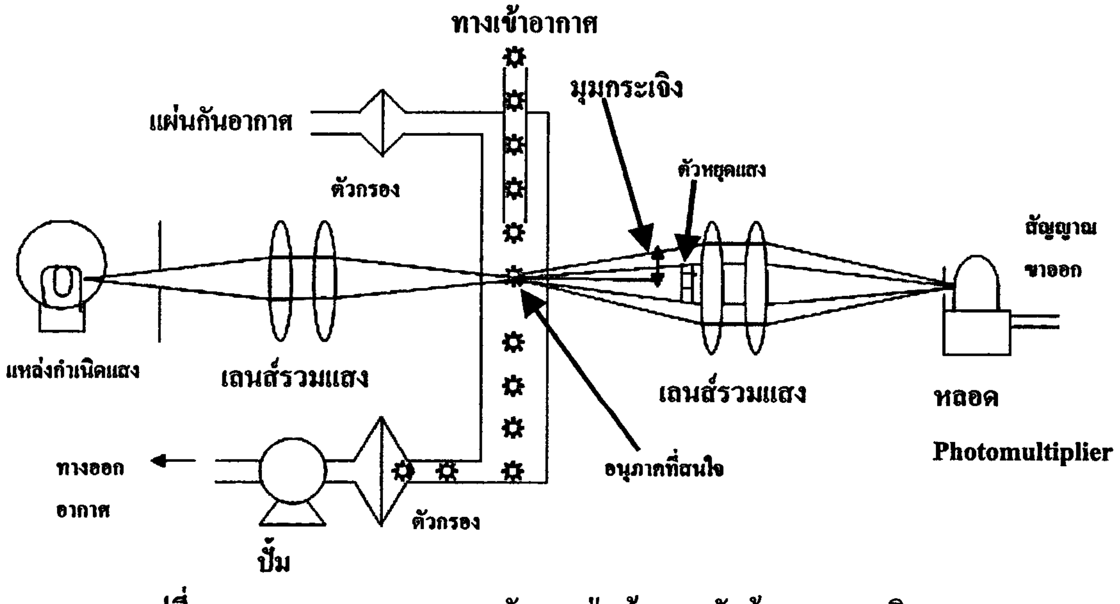
เป็นวิธีเสมือนกับการสั่นของ piezoelectric แต่ใช้แผ่นบางๆคอยดักจับมวลฝุ่นแทน ซึ่งเป็นวิธีการที่ทำเลียนแบบได้ยากมาก ผู้ผลิตไม่ได้บอกถึงรายละเอียดวัตถุและวิธีการทำที่แน่นอนด้วย



รูปที่ 1.4 ภาพของระบบการวัดมวลฝุ่นด้วยการสั่นของคานแบบบาง

1.1.4 เทคนิคการกระเจิงแสงเลเซอร์ (Laser Scattering)

เป็นวิธีการที่ดีวิธีหนึ่งแต่ยังมีราคาสูงกับอุปกรณ์ และยังไม่ใช่วิธีการวัดตรง(Direct Mass) กับอนุภาคฝุ่นแต่อาศัยการสอบเทียบกับเครื่องวัดปริมาณฝุ่นมาตรฐาน



รูปที่ 1.5 แผนภาพของระบบการวัดมวลฝุ่นด้วยการวัดด้วยการกระเจิงแสง

1.1.5. เทคนิคการเปลี่ยนแปลงความถี่ของผลึกควอทซ์ (Quartz Crystal Microbalance (QCM))

เป็นวิธีการที่ผู้จัดทำเลือกใช้เนื่องจาก Quartz crystal มีราคาถูก และเป็นวิธีการวัดฝุ่นแบบตรงจึงเห็นว่า ควรนำมาทำเป็นแบบพกพาราคาถูกสำหรับใช้งานทั่วไป

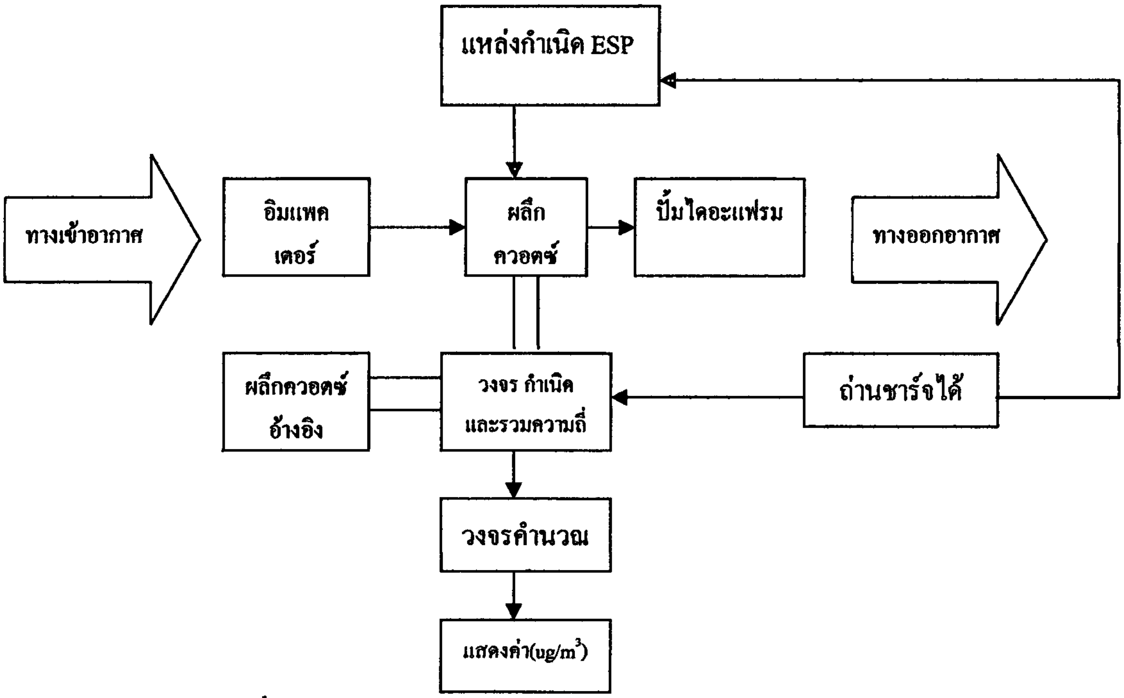
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งหวังเพื่อศึกษาระบบการทำงานของระบบการสั่นของผลึกควอทซ์ในการนำไปใช้เพื่อวัดมวลฝุ่นทั้งในภาคทฤษฎีและปฏิบัติ พิจารณาถึงการกักเก็บมวลฝุ่นสัมพันธ์กับความถี่ของผลึกควอทซ์ ระบบปั๊มที่ต้องการแบบพกพา การวัดขนาดอนุภาคโดยใช้อิมแพคเตอร์ การนำไปใช้ได้จริงแบบพกพา

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

เนื่องจากข้อด้อยของระบบการวัดตรง(Direct mass) ที่ต้องเก็บตัวอย่างฝุ่นเป็นเวลานาน จึงทำให้เสียเวลาเป็นอย่างมาก และ ตัวอย่าง ที่ต้องเปลี่ยนบ่อยครั้งมากไปทำให้ วิธี QCM เป็นวิธีที่น่าสนใจมาก จากมวลที่ได้นั้นจะทำการอ่านค่าความถี่เพื่อมาแปลงเป็นมวลโดยมีสมการที่เชื่อถือได้ ส่วนเรื่องการวัดขนาดของเม็ดฝุ่น ทำโดย Impactor ที่จะระบุขนาดเล็กสุดที่จะสามารถผ่านเข้าเครื่องมาได้และทำการสอบเทียบกับเครื่องมือที่ได้มาตรฐานด้วย

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย



รูปที่ 1.6 แผนภาพของระบบการวัดมวลฝุ่นด้วย Piezobalance

1.4.1 ศึกษาเทคนิคที่ใช้ในการวัดฝุ่น

คือ Quart Crystal Oscillating Microbalance Method

1.4.2 ตัวกรอง

สร้างตัวกรอง อนุภาคฝุ่นละอองขนาด 10 ไมครอนขึ้นมาเพื่อแยกออกจากอากาศทั่วไปที่มีอนุภาคหลายขนาดปะปนกันไปและทดสอบหาจำนวนอนุภาคที่มีอันตรายกับมนุษย์มากที่สุดก่อนผ่าน Conventional Impactor เพื่อคัดกรองละอองขนาดใหญ่

1.4.3 ศึกษาและทำการสร้างส่วนกำเนิดสัญญาณความถี่

Oscillator และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการวัดฝุ่น

1.4.4 ศึกษาและทำการสร้างวงจร ขยายสัญญาณ

จาก Frequency mixer SCM-1 ด้วย Op amp LM358

1.4.5 ทำการสร้างส่วนแสดงผล

โดยใช้ CPU ของ AT89C2051 ในการตรวจจับค่าความถี่ที่ออกมา และนำไปคำนวณแล้วทำการแสดงผลค่าปริมาณฝุ่นแสดงผลค่าปริมาณฝุ่นในหน่วย ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตรแบบแสดงผลเร็ว(Semi-Real time)

1.4.6 สร้างระบบปั๊มสุญญากาศแบบไดอะแฟรม

เพื่อให้ระบบมีการรั่วน้อยที่สุด และสามารถดักจับฝุ่นละอองมีค่าเท่ากับจำนวนที่ฟุ้งกระจายอยู่ในห้องที่ได้รับการทำการวัด

1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน

ในระบบการวัดตรงนั้นวิธีการที่มีมานานคือการเก็บฝุ่นด้วยกระดาษกรองแม้จะง่ายมาก แต่ต้องเก็บตัวอย่างฝุ่นเป็นวันๆ จึงทำให้เสียเวลาเป็นอย่างมาก และตัวอย่างที่ต้องเปลี่ยนบ่อยครั้งมากไปทำให้ วิธี QCM เป็นวิธีที่น่าสนใจมากเนื่องจากเวลาในการเก็บตัวอย่างฝุ่นสั้นลงและสามารถอ่านค่ามวลได้ในแบบแสดงผลเกือบเร็ว(Semi Real time) อีกทั้งยังไม่ต้องเปลี่ยนตัวอย่างบ่อยครั้งเนื่องจากการสั่นทำให้ฝุ่นเกาะตกค้างที่ผลึกน้อยลง ราคาของผลึกควอทซ์และระบบทั้งหมดยังถูกมากจนทุกครัวเรือนสามารถซื้อใช้ได้

1.6 ขอบเขตการวิจัย

โครงงานพิเศษนี้จัดทำเพื่อสร้างเครื่องต้นแบบวัดฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็ก สามารถนำไปใช้งาน ในการตรวจวัดได้จริงตามความเหมาะสมของระยะเวลาโครงงานพิเศษนี้ ซึ่งประกอบด้วย การทดลองวงจรกำเนิดสัญญาณ(Oscillator) วงจรผสมสัญญาณ วงจรสร้างแรงดันสูง(HighVoltage) และวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ ทดลองมอเตอร์ที่นำไปใช้งานในการทำปั๊มชนิดไดอะแฟรม รวมถึงการทดลองระบบที่ทำการออกแบบขึ้นภายใต้เงื่อนไขต่างๆ

1.7 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมติฐาน ทฤษฎีที่ใช้ ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย และพื้นฐานของระบบผลึกควอทซ์ พื้นฐานการใช้แรงดันสูง และพื้นฐานการใช้โปรแกรมกับวงจรในการควบคุมระบบทั้งหมด

บทที่ 3 กล่าวถึงวิธีการทดสอบใช้ปั๊มชนิดไดอะแฟรม ดูดอากาศเข้ามา ใช้ Impactor ในการเลือกขนาดฝุ่นวัดมวลโดยใช้โปรแกรมอ่านค่าความถี่ผลึกควอทซ์ 2 ข้าง และควบคุมวงจรสร้างแรงดันสูง เพื่อให้ฝุ่นที่เกาะมีค่าเป็นความจริงในแบบแสดงผลเกือบเร็ว มากที่สุด

บทที่ 4 กล่าวถึงผลการทดลองและสมรรถนะของระบบ และค่ามวลกับขนาดฝุ่นที่ได้จริงให้ตรงตามมาตรฐาน เพื่อแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอนั้นสามารถที่ช่วยให้ระบบมีสมรรถนะที่ดีขึ้น

บทที่ 5 เป็นบทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 หลักการตรวจวัดฝุ่นละออง

การตรวจวัดอนุภาคต่างๆเช่นฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นในบริเวณต่างๆทั้งที่เกิดโดยทั่วไปในอากาศ ในชั้นบรรยากาศ หรือเกิดจากกิจกรรมงานต่างๆไม่ว่าจะเป็นจากสิ่งไม่มีชีวิตเช่น ฝุ่นละอองที่ได้จากการเผาถางป่า จากยวดยานตามท้องถนน หรือจากสิ่งมีชีวิตก็ตามเช่นละอองเกสร เครื่องมือที่ใช้ในงานตรวจวัดโดยทั่วไปจำเป็นจะต้องมีความสามารถในการตรวจวัดได้ค่าอย่างต่อเนื่องและผู้ใช้สามารถใช้งานได้โดยง่าย โดยเครื่องมือที่มีใช้กันโดยทั่วไปนั้นมีตั้งแต่เครื่องมือที่วัดและแสดงผลแบบไม่มีความละเอียดมากนักเช่น กระดาษกรองใช้ในงานวัดฝุ่นทั่วไปตามท้องถนน ไปจนกระทั่งถึงเครื่องมือที่มีความละเอียดสูงในระดับไมครอน เช่นที่ใช้กันในห้องปลอดฝุ่นในโรงงานผลิตไอซี

เทคนิคของการวัดปริมาณอนุภาคที่ใช้กันในปัจจุบัน ที่เกี่ยวข้องกับการวัดเนื้อมวลของฝุ่นโดยตรง(Direct Mass)มีด้วยกัน 4 วิธีการ ดังนี้

1 Filter Paper Sampling Method (FPSM)

2 Beta Ray Attenuation Method (BAM)

3 Quartz Crystal Oscillating Microbalance Method (QCM)

4 Tapered Element Oscillating Microbalance Method (TEOM)

วิธีการแรก เทคนิคการวัดตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง(Filter Paper Sampling)ฝุ่นที่ลอยในอากาศหรือ ก๊าซจะถูกกรอง และ ถูกจับด้วยกระดาษกรอง เมื่อกระดาษกรองถูกเกาะด้วยฝุ่นที่ลอยในอากาศหรือก๊าซจะทำให้น้ำหนักของกระดาษกรองมีมากขึ้นแล้วนำกระดาษกรองนี้ไปวัดแล้วเทียบกับผลที่วัดก่อนที่จะมีฝุ่นมาเกาะ จะทำให้มองผ่านกระดาษกรองได้น้อยลง และมีรอยดำ วิธีนี้สามารถคำนวณหาความหนาแน่นของอนุภาคภายในอากาศบริเวณนั้นได้ ง่าย และ เป็นอีกวิธีหนึ่ง อย่างไรก็ตาม วิธีนี้จะทำให้เสียเวลาในการวัดเป็นอย่างมากอีกทั้งยังไม่สามารถวัดค่า ได้อย่างต่อเนื่องตลอดเวลา เพราะต้องรอผลประมาณ 1 สัปดาห์ จึงจะแม่นยำ

วิธีการที่2 เทคนิคการลดทอนของรังสีเบต้า(Beta Ray Attenuation)ฝุ่นที่ลอยในอากาศหรือก๊าซจะถูกกรอง และ ถูกจับด้วยกระดาษกรอง แล้วนำไปเข้าฉายโดยแหล่งกำเนิดรังสี beta แล้วทำการค่าการลดทอนของรังสี betaเทียบกับผลที่วัดก่อนที่จะมีฝุ่นมาเกาะ ก็จะสามารถคำนวณหาความหนาแน่นของอนุภาคภายในอากาศบริเวณนั้นได้ โดยการวัดความเข้มของรังสีที่ผ่านออกมาได้ แต่ด้วยวิธีการนี้จำเป็นจะต้องใช้เวลาในการวัดเป็นเวลายาวนานมาก นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้ทำการวัดเพราะแหล่งกำเนิดที่ใช้เป็นธาตุกัมมันตภาพรังสี ดังนั้นเพื่อลดอันตรายต่อผู้ทำการวัดจึงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้ แหล่งกำเนิดรังสีที่มีความเข้มต่ำ(ทั่วไปประมาณ100μCi

หรือน้อยกว่า)เช่นรังสีไอโซโทป C^{14} สิ่งที่ตามมาคือจำเป็นต้องใช้การเก็บ จำนวนฝุ่นตัวอย่างที่จะทำการวัดเป็นเวลานานและเป็นการยากต่อที่สะสมจำนวนฝุ่นตัวอย่างได้ในจำนวนที่เพียงพอกับการรับรังสี Beta ที่มีความเข้มต่ำลง เพื่อจะได้ผลการวัดที่แม่นยำต้องใช้เวลาการเก็บฝุ่นตัวอย่างมากเพื่อนำไปใช้ในการวัดเป็นเวลาหลายๆชั่วโมง ยิ่งไปกว่านั้นโอกาสที่จะวัดได้ผิดพลาดมากจะมีสูงมากขึ้นเพราะผลจากการที่รังสี Beta จะลดความเข้มลงเป็นอย่างมากในทุกๆนาทีที่ทำการวัด วิธีแก้ไขให้สามารถวัดค่าได้อย่างถูกต้องมากขึ้นก็อาจจำเป็นจะต้องใช้กระดาษกรองที่มีขนาดเล็กลงเพื่อจะได้ใช้เวลาในการเก็บตัวอย่างไม่นานมากนัก และวัดค่าได้อย่างถูกต้องมากยิ่งขึ้นถึงแม้การวัดอาจจะมีความถูกต้องมากกว่าวิธีแรกแต่ก็ยังไม่สามารถทำการวัดได้อย่างต่อเนื่องเพราะการวัดแต่ละครั้งต้องใช้เวลานานติดต่อกันหลายชั่วโมง

วิธีการที่3 เทคนิคการเปลี่ยนแปลงความถี่ของผลึกควอตซ์(Quartz Crystal Oscillating Microbalance)ส่วนที่ใช้ในการตรวจจับนี้จะใช้ แผ่นผลึกวงกลมที่ตัดจากตัว Quartz Crystal โดยที่ความถี่ธรรมชาติของ Crystal Oscillator นั้นเปลี่ยนแปลงขึ้นกับการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นมวลของอนุภาคที่ ถูกประจุด้วย

อิออนจากการแตกตัวของอากาศเป็นประจุไฟฟ้าเกาะตกลงสู่บริเวณขั้ว อิเล็กโตรดของผิวหน้า Crystal Oscillatorโดยเรียกวิธีนี้ว่าการรวมฝุ่นโดยไฟฟ้าสถิต การเปลี่ยนแปลงของมวลขึ้นอยู่กับอนุภาคที่ตรวจจับได้ด้วยสาเหตุนี้จึงสามารถคำนวณหาความหนาแน่นของอนุภาคภายในอากาศ อย่างไรก็ตามวิธีที่กล่าวมานี้ก็ยังมีข้อเสียอยู่

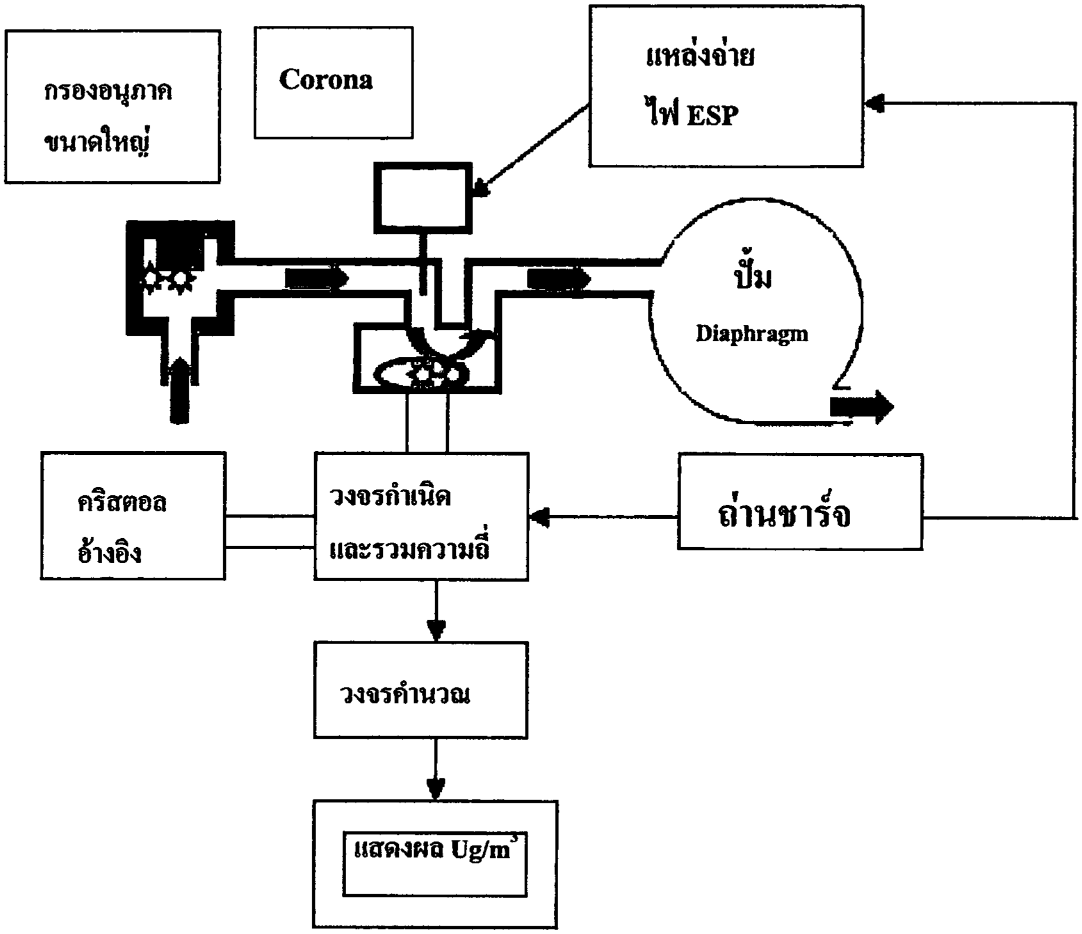
โดยวิธีนี้ตั้งอยู่บนพื้นฐานของสมมติฐานที่ว่าการตกลงของอนุภาคที่เกิดขึ้นบริเวณผิวของอิเล็กโตรดนั้นต้องคิดว่าเป็นเพียงชั้นบางๆแต่ในความเป็นจริงแล้วคุณสมบัติทางกายภาพของอนุภาคที่เกิดขึ้นบริเวณผิวของอิเล็กโตรด ทั้งขนาดของการกระจายของอนุภาคหรือสมบัติความต้านทานทางไฟฟ้าล้วนทำให้การเกาะของอนุภาคของฝุ่นเปลี่ยนแปลงไป

นอกจากนี้ความจุของฝุ่นที่จะเกาะเป็นชั้นบนผิวผลึกนั้นมีได้เพียงเล็กน้อย(10 μg) จึงเป็นสาเหตุทำให้ต้องทำให้เกิดความสะอาดบนขั้วอิเล็กโตรดอยู่เสมอ เนื่องจากในท้ายที่สุดขั้วนี้จะถูกปกคลุมด้วยชั้นของฝุ่นที่เกาะแน่นทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการการเปลี่ยนผลึกควอตซ์(Quartz crystal)ใหม่

วิธีการสุดท้ายคือ เทคนิคการสั่นของคานแบบแผ่นบาง(Tapered Element Oscillating Microbalance Method (TEOM))บางครั้งเรียกว่าcantilever oscillatorอุปกรณ์ที่ใช้เป็นแท่งมนมีการเจาะรูทะลุไปตามแนวพื้นที่หน้าตัด โดยด้านที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่าจะถูกยึดไว้และด้านที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กจะถูกปล่อยอิสระไว้ กระดาษที่จะใช้เก็บตัวอย่างจะไว้อยู่บนด้านนี้อนุภาคที่ลอยอยู่ในอากาศจะถูกกรอง และถูกจับอย่างต่อเนื่องเป็นผลให้เกิดการสั่นบนกระดาษที่จะใช้เก็บตัวอย่างและเป็นผลทำให้ความถี่ธรรมชาติลดลงตามมวลของอากาศที่เปลี่ยนไปตลอดเวลาที่ถูกจับเป็นผลทำให้สามารถคำนวณหาความหนาแน่นของอนุภาคภายในอากาศบริเวณ

นั้นได้ วิธีนี้เป็นวิธีที่มีความสามารถในการวัดได้อย่างต่อเนื่องตลอดเวลาใกล้เคียงกับสภาวะความหนาแน่นของอนุภาคภายในอากาศบริเวณนั้นได้ในเวลาช่วงนั้นๆแต่ไม่สามารถสร้างแผ่นบางได้เนื่องจากไม่บอกวิธีที่ชัดเจน อย่างไรก็ตามผลของการสั่นของกระดาษเก็บตัวอย่างเป็นผลมาจากก๊าซที่ผ่านกระดาษเก็บตัวอย่าง อนุภาคที่ถูกจับอยู่บนกระดาษกรองจะทำให้เกิดแรงขึ้นแล้วทำให้เกิดการสั่นนอกจากนี้บ่อยครั้งที่กระดาษเก็บตัวอย่างจะเกิดแรงสถิตและแรงจลน์ขณะที่ก๊าซเคลื่อนผ่านเข้ามาเป็นผลทำให้ความถี่ที่เกิดขึ้นอาจไม่ได้เป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของอนุภาคบนกระดาษเก็บตัวอย่าง แต่อาจมีผลมาจากการสั่นจากส่วนอื่นที่กล่าวมาข้างต้นทำให้ผลการวัดที่ได้อาจเกิดการผิดพลาด

หลังจากผู้จัดทำได้ทำการศึกษาถึงข้อดีข้อเสียของกรรมวิธีต่างๆแล้วได้ข้อสรุปโดยเลือกระบบผลึกควอตซ์(QCM)เนื่องจากสามารถวัดได้แบบการวัดตรงและราคาของผลึกควอตซ์ที่มาราคาถูกการทำงานที่สามารถแสดงผลเกือบเร็วทั้งไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้งาน โดยในระบบใช้ปรากฏการณ์โคโรนา(Corona discharge)เก็บดักมวลฝุ่นร่วมกับอิมแพคเตอร์(Impactor)ในการเลือกขนาดฝุ่นและการใช้ผลึกควอตซ์อ่านค่าความถี่ผลต่างแล้วนำค่าที่ได้เข้าไปในวงจรขยายสัญญาณ(amplifier)จากนั้นไปประมวลผลในระบบไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อให้ได้ค่ามวลฝุ่น เป็นส่วนหลักของการออกแบบเครื่องวัดต้นแบบ ซึ่งมีหลักการทำงานดังแผนภาพต่อไปนี้



รูปที่ 2.1 ภาพการทำงานของระบบการวัดมวลฝุ่นด้วย Piezobalance

2.2 ขนาดของอนุภาค

การแบ่งขนาดอนุภาคโดยทั่วไป แบ่งได้ 5 ช่วง ดังแผนภาพด้านล่างโดยการอธิบายพฤติกรรมไม่สามารถอธิบายได้ด้วยสมการใดได้เพียงสมการเดียว เงื่อนไขในการแบ่งขนาดของอนุภาคจริงๆนั้นไม่มีหลักเกณฑ์แน่นอน เนื่องจากคุณสมบัติทางแสงและทางกายภาพ ของฝุ่น

อากาศมีหลากหลาย จึงเป็นเหตุผลให้การวัดด้วยวิธีที่แตกต่างกันอาจทำให้ได้ผลการทดลองที่แตกต่างกัน

ตารางที่2.1แสดงการแบ่งขนาดของอนุภาคโดยทั่วไปและการใช้กฎต่างในการอธิบายพฤติกรรมของอนุภาค[4]

●——— ELPI ———●

1 nm nm) | 30nm | 1 µm (10^3 nm | 10 µm | 100 µm (10^5

Large molecules	⇔	Rigid bodies
Kinetic gas theory	⇔	Fluid mechanics
Diffusion charging	⇔	Field charging
Rayleigh scattering	⇔	Fraunhofer scattering

2.2.1 สถิติของขนาดอนุภาค

เมื่อทำการทดสอบปล่อยอากาศที่ประกอบด้วย 1 ขนาด ถูกเรียกว่า อนุภาคกระจายขนาดเดียว (mono disperse) อย่างไรก็ตามเมื่อ ทดสอบปล่อยอากาศที่ประกอบด้วยหลายขนาด ถูกเรียกว่า อนุภาคกระจายหลายขนาด(poly disperse)

สำหรับอนุภาคแสดงในรูปมิติเดียวได้ เรียกว่าเหมือนกันทั้ง 3 มิติ (isometric) ผลรวมของอนุภาคที่ตกลงมาในระยะ d ถึง $d+\mathrm{d}$ ได้ว่า[1]

$$dn = n(d)\mathrm{d}d \tag{2.1}$$

โดยที่

$$\int_0^\infty n(d)\,\mathrm{d}(d) = 1 \tag{2.2}$$

และจาก $n(d)$คือ ฟังก์ชันกระจายจำนวนความถี่(number frequency distribution function) ต่อมาจัดในรูป $m(d)$ฟังก์ชันกระจายมวล(mass frequency distribution function) ได้ว่า

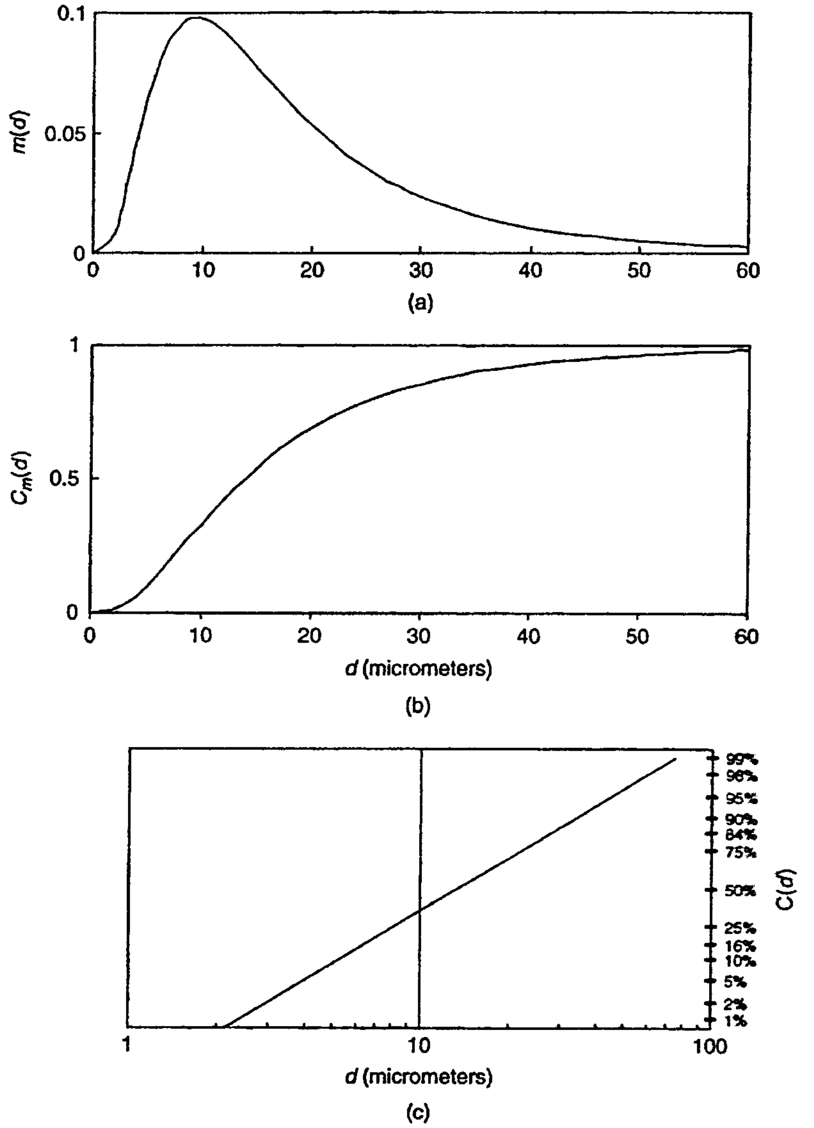
$$dm = m(d)\mathrm{d}d \tag{2.3}$$

ถัดมา

$$\int_0^\infty m(d)\,\mathrm{d}(d) = 1 \tag{2.4}$$

ในการขยายความขนาดการกระจายอนุภาคนั้นทั้งหมดสัมพันธ์กัน การทดลองขึ้นกับการวัดขนาดอนุภาค เช่น การนับจำนวน ขนาดอนุภาคภายใต้การกระจายแบบจุลภาค(microscopic) คือ $n(d)$ ขณะที่แรงโน้มถ่วง น้ำหนักของอนุภาคสะสมในการวิเคราะห์มวลอยู่ในรูป $m(d)$ กฎทั่วไปเมื่อจะอธิบายสิถิติขนาดอนุภาค บ่อยครั้งในการหาสถิติขนาดอนุภาคให้อยู่ในรูปกราฟการกระจายของมวลสะสม เช่น

อนุภาคมวลที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง d : $$C_m(d) = \int_0^d m(d)\,\mathrm{d}d \tag{2.5}$$



รูปที่ 2.2 แสดงชนิดของมวลอากาศกับขนาดการกระจายอนุภาค: (a)การกระจายจำนวน (b)การกระจายสะสมและ(c)การกระจายสะสมในรูป log-normal[1]

ชนิดการกระจายขนาดอนุภาคในรูป2.2[1]แสดง จำนวนมวลและการสะสมมวล $m(d)$ และ $C_m(d)$ อย่างแรกคือ เส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาคเฉลี่ย มวลที่ประกอบด้วยอนุภาคน้อยกว่า50% และมวลที่ประกอบด้วยอนุภาคมากกว่า50%สามารถดูได้จากการกระจายสะสมรูป2.2(b)และ(c) อย่างที่สอง การกระจายจำนวนรูป2.2(a) แสดงการไม่สมมาตรของ $m(d)$เทียบกับแกน d ที่น้อยกว่าค่าเฉลี่ย ส่วนลาดยาวลงมาได้ขยายการกระจายสัมพันธ์กับอนุภาคขนาดใหญ่ การกระจายจำนวนที่เบนไปดังแสดงในรูป2.2 สามารถแสดงในรูปแบบ log-normal function ได้ว่า

$$m(d_{ae}) = \frac{M}{d_{ae}\sqrt{2\pi \ln \sigma_g}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln d_{ae} - \ln MMAD}{\ln \sigma_g}\right)\right] \quad (2.6)$$

สำหรับการกระจายมวลในรูปกลศาสตร์ของอนุภาคเรียกMMADหรือชื่อเต็มว่าmass median aerodynamic diameterและ σ_g คือมาตรฐานการเบี่ยงเบนของการกระจาย(degree of polydispersity) ขณะที่ M คือมวลรวมที่บรรจุภายในการกระจายมวล การกระจายผิวและจำนวนอาจแสดงได้ในสมการที่ 2.7

$$\sigma_g = \frac{d_{84\%}}{MMAD} = \frac{MMAD}{d_{16\%}} \quad (2.7)$$

แต่สำหรับการคำนวณโดยเฉพาะ เมื่อการกระจายมวลสะสมในเชิงอินทิเกรตของ $m(d)$ ปรับสมการที่ 2.6 ได้ว่า

$$C_m(d_{ae}) = \frac{\exp[a + b \cdot \ln(d_{ae})]}{1 + \exp[a + b \cdot \ln(d_{ae})]} \quad (2.8)$$

เพื่อการประมาณผลดีที่สุดในสมการ log-normal ของการกระจายสะสมในรูปแบบง่ายที่สุดคือ

$$b = \frac{1.658}{\ln MMAD} \text{ and } \quad a = -b \cdot \ln(\sigma_g) \quad (2.9)$$

ในอากาศขนาดเดียว(monodisperse)ที่ดีที่สุด $\sigma_g = 1$ สำหรับอากาศที่พบในสภาวะทั่วไปจะมี σ_g ช่วง 2 ถึง 3

2.3 อิมแพคชัน

เป็นส่วนประกอบที่ใช้ในการเลือกขนาดอนุภาคโดยประกอบด้วยแผ่นเพลท 2 อันโดยแผ่นที่1(Jet Plate)จะทำการเจาะรูแบบหัวบ่า(nozzle) ขนาดเล็กๆ และแผ่นสะสม(Collection Plate)จะวางขนานอยู่ด้านล่างของเพลทแรกฝุ่นอากาศจะผ่านรูนี้ไปอย่างรวดเร็ว บางอนุภาคของฝุ่นอากาศจะผ่านช่องว่างระหว่างเพลททั้ง 2เพลทไปแต่อนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่าที่ช่องว่างที่กำหนด ก็จะถูกจับรวมลงสู่เพลทแผ่นที่2โดยในที่นี้จะเรียกขนาดของอนุภาคที่สามารถจับได้ที่ค่าρ%ของประสิทธิภาพในการจับได้ของระบบรวมว่า The cut -diameter (D_p) โดยค่านี้สำหรับกรณีρ=50 จะคำนวณได้ดังสมการ[4]

$$D_{50} = \sqrt{\frac{9\pi Stk\,\mu W^3}{4\rho_p CQ}} \quad (2.10)$$

D_{50} = cut - point diameter ของอนุภาคในหน่วย เซนติเมตร

Stk = Stokes number = $\frac{\tau U}{D}$ = 0.47

ρ_p = ความหนาแน่นของอนุภาค (g/cm^3)

Q = ปริมาตรการไหล (cm^3/s)

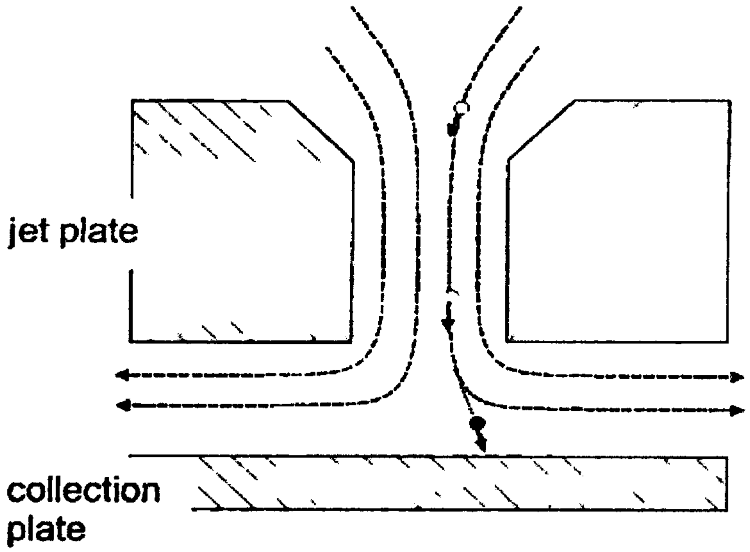
C_C =Cunningham slip correction

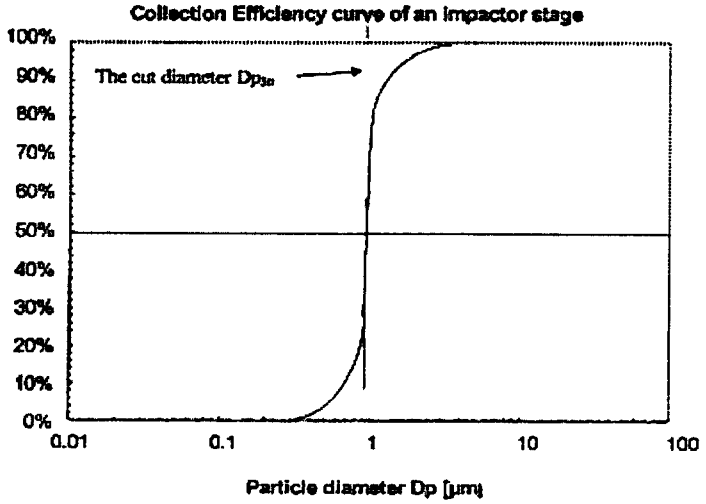
$$= 1 + 2.492\ \lambda/D_{50} + 0.84\ \lambda/D_{50}\ \exp\left(-0.435\ D_{50}/\lambda\right) \approx 1$$

λ = mean free path

μ = gas viscosity ($dyne*s/cm^2$)

W = Nozzle diameter (cm)





รูปที่2.3 แสดงลักษณะของอิมแพคเตอร์[4]

จากธรรมชาติของการเคลื่อนที่ของอนุภาคฝุ่นนั้นเป็นไปแบบไม่แน่นอน จึงมีการสร้างรูปแบบไว้หลากหลาย แต่ที่สนใจก็เป็นรูปแบบของการตกกระทบกับผนังเก็บฝุ่น(bluff body) หรือที่เรียกว่า การตกกระทบ(Impaction) เพื่อที่จะนำมาสร้างเป็น Impactor โดยจะวัดจากปริมาณของประสิทธิภาพการตกกระทบได้ของอนุภาคฝุ่นลงบนผนังเก็บฝุ่น ได้ดังสมการ

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

$$E = \frac{N_{imp}}{N_{inc}} \tag{2.11}$$

โดยที่ E = ประสิทธิภาพของอนุภาคฝุ่นที่จะตกลงบนผนังเก็บฝุ่น

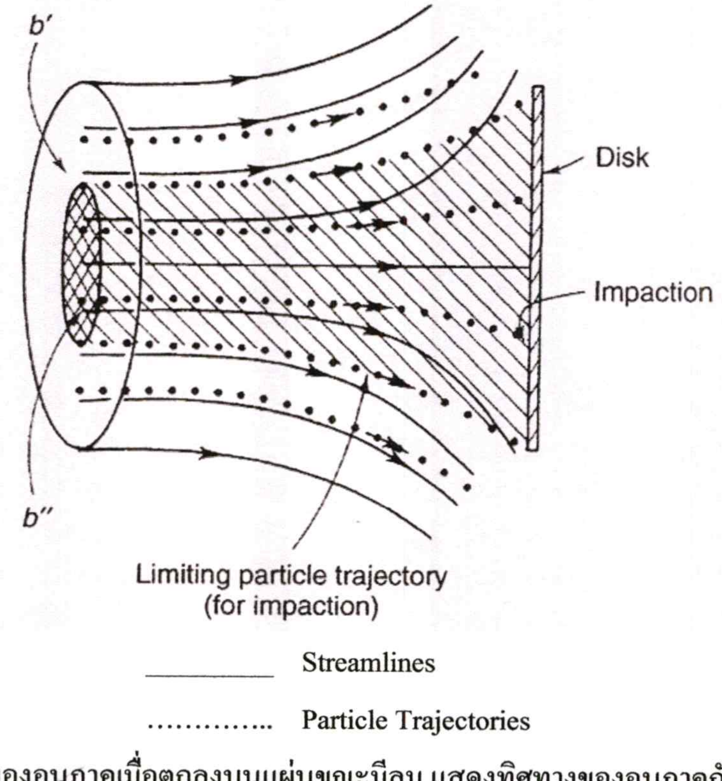
N_{imp} = จำนวนอนุภาคที่จะตกลงบนผนังในเวลาขณะนั้น

N_{inc} = จำนวนอนุภาคที่จะตกลงเลยผ่านผนังในเวลาเดียวกัน

จากรูปที่ 2.4 ทำให้ได้ว่า

$$E = \frac{b''}{b'} \tag{2.12}$$

จากการที่ b'' และ b' คือ ขอบเขตของวิถีทางที่จะตกกระทบบนผนัง โดยถ้าอนุภาคทั้งหมดพุ่งเข้ามาเกาะผนัง โดยหลุดจากทิศทางการไหลของอากาศ สมการที่ (2.12) จะแสดงประสิทธิภาพการสะสมอนุภาค



รูปที่2.4 ธรรมชาติของอนุภาคเมื่อตกลงบนแผ่นขณะมีลม แสดงทิศทางของอนุภาคกับอากาศ[1]

2.3.1 กลศาสตร์ของอนุภาค(Aerosol Mechanics)

สำหรับการเคลื่อนที่นั้น เนื่องจากปกติ

กรณีทั่วไป ต้องคิดแรงอากาศที่ไหลภายนอก ทำให้ได้สมการใหม่ว่า[1]

แรงทั้งหมด:

$$m\frac{dv}{dt} = F_D + F_E \tag{2.13}$$

87118

โดยที่ F_E = แรงที่กระทำจากภายนอก(External Force)

F_D = แรงเชิงกลจากการไหล(Fluid Mechanic Drag Force)

m = มวล(kg)

t = เวลา(s)

สามารถเปลี่ยนรูปสมการได้เป็น
$$m\frac{dv}{dt}+\left[\frac{C_D \operatorname{Re}_p}{24}\frac{3\pi d\eta v_y}{C_C(d)}\right]-mg=0 \tag{2.14}$$

โดย C_D = สัมประสิทธิ์เชิงกลจากการไหล(Drag Coefficient)

Re_p = Reynolds number

$v_y = (v-v_f)$ = ผลต่างความเร็วของอากาศและอนุภาค

η = ความหนืดของอากาศ(Gas Viscosity)

$C_C(d)$ = Cunningham slip correction factor

ในสมการที่ 2.14 จะเป็นจริงก็ต่อเมื่อเป็นอนุภาคทรงกลม

เนื่องจากต้องคิดแรงกระทำจากภายนอกและแรงจากอนุภาคในหนึ่งมิติเท่านั้นรูปสมการที่เหมาะสมได้เป็น
$$\frac{dv}{dt}+\frac{v_y}{\tau}-g=0 \tag{2.15}$$

จาก
$$\tau=\left[\frac{d^2\gamma C_C(d)}{18\eta}\right]\left(\frac{24}{C_D \operatorname{Re}_p}\right) \tag{2.16}$$

τ คือ เวลา γ คือ ความหนาแน่นของอนุภาค

แต่เนื่องจากได้ใช้ ปั๊ม Diaphragm ในการป้องกันอากาศภายนอกรบกวน ทำให้เหลือเพียงแรงเชิงกลจากการไหล(Fluid Mechanic Drag Force) เท่านั้น เกิดกรณีถัดมา

กรณีการเคลื่อนที่ของอนุภาคโดยไม่มีแรงภายนอก

กรณีนี้จะไม่คิด F_E หรือตัดพจน์ของ mg ทิ้งไปทำให้ลดรูปสมการที่ 2.13 ได้ว่า
$$\frac{dv}{dt}=-\frac{1}{\tau}(v-u) \tag{2.17}$$

สมการที่ 2.17 นั้น สามารถคิดแบบไม่มีมิติ ได้โดย ใส่ $\mathbf{U}=\mathbf{u}/U$, $\mathbf{V}=\mathbf{v}/U$ และ $\mathbf{X}=\mathbf{x}/D$ สำหรับทิศทาง x เหมือนกันในทิศทาง y และ z โดย U คือ ความเร็วเฉพาะของระบบ และ D คือ มิติเฉพาะ สมการ 2.17 ได้ว่า
$$\frac{U^2}{D}\frac{dV}{dt}=-\frac{U}{\tau}(\mathbf{V}\text{-}\mathbf{U}) \tag{2.18}$$

นำไปสู่
$$\frac{dV}{dt}=-\frac{D}{\tau U}(\mathbf{V}\text{-}\mathbf{U})=-\frac{C_D \operatorname{Re}_p}{24}\frac{1}{Stk}(\mathbf{V}\text{-}\mathbf{U}) \tag{2.19}$$

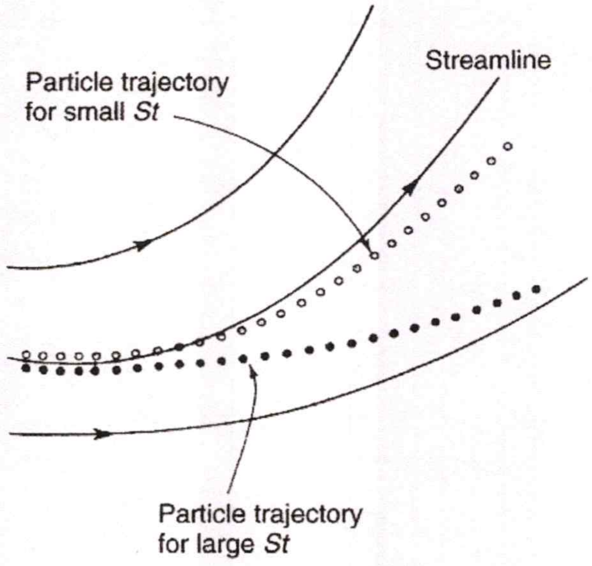
เมื่อคิดปริมาณแบบไม่มีมิติ ได้ว่า

$$Stk = \frac{d2\gamma UCC(d)}{18\eta D} \tag{2.20}$$

Stk ถูกเรียกว่า Stokes number เนื่องจากเป็นค่า Stokes ที่ขึ้นกับ Reynolds number ที่น้อยกว่า 1 $(Re_p < 1)$ อนุภาคจะเคลื่อนที่ขึ้นกับตามค่า Stk แต่ถ้า $Re_p > 1$ นั้น อนุภาคจะเคลื่อนที่ขึ้นกับตามค่า Re_p สำหรับ สภาวะไหลที่บิดเบือนปรากฏในรูปของ D/U ในสมการ(2.21)คือส่วนของเวลา เป็นลักษณะเฉพาะของการไหลที่บิดเบือน (τ_d) สำหรับ กรณีที่ง่ายที่สุด $Re_p < 1$ ได้ว่า

$$\frac{\tau U}{D} \rightarrow Stk = \frac{\tau}{\tau_d} \tag{2.21}$$

สำหรับกรณีนี้ ถ้า $\frac{\tau}{\tau_d}$ มีค่าน้อย อนุภาคจะโน้มเอียงเข้ากับทิศทางการไหลของอากาศ แต่เมื่อ $\frac{\tau}{\tau_d}$ มีค่ามาก อนุภาคจะโน้มเอียงออกจากทิศทางการไหลของอากาศ ดังนั้น ควรเลือกค่า Stk ที่มีค่าน้อย เนื่องจากจะเข้าใกล้ การไหลของอากาศมากที่สุด



รูปที่2.5 แสดงผลกระทบของ Stokes number(Stk) ที่อนุภาคจะไหลไปชนผนัง[1]

2.3.2 ระยะการหยุดของอนุภาค(Particle impaction and stopping distance)

อนุภาคที่เคลื่อนที่ผ่านระหว่างเพลทพวยพุ่ง(jet plate) และ เพลทสะสม (collector plate) ขึ้นอยู่กับแรงเฉื่อย(inertial force)ที่กระทำกับอนุภาค และแรงเสียดทาน(frictional force) ระหว่างอนุภาคกับก๊าซ ถ้าแรงเฉื่อย(inertial force) มากกว่าแรงเสียดทาน(frictional force)จะเกิดการพวยพุ่งของไอก๊าซทำให้เกิดการเบี่ยงเบนทิศทาง ถ้าการเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นนี้เพียงพอที่จะทำให้อนุภาคตกไปยังเพลทสะสม (collector plate) และถูกเก็บไว้ สามารถคำนวณระยะที่จะเกิดการหยุด (stopping distance) ได้ดังสมการ

$$S = v \times \tau \tag{2.22}$$

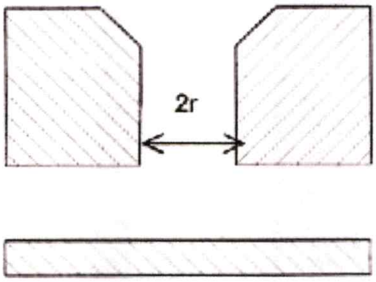
เมื่อ v เป็นความเร็วเริ่มต้น และ τ เป็นช่วงเวลาผ่อนคลาย (relaxation time) แสดงตัวอย่างค่าต่างๆเมื่อให้ความเร็วต้น 10เมตรต่อวินาทีได้ดังตาราง 2.2

ตารางที่2.2 แสดงตัวอย่างของค่า S , τ ภายใต้เงื่อนไขความเร็วต้นเท่ากัน

Particle diameter	Relaxation time (s)	Stopping distance	Time to travel 95% of Stopping distance (s)
10 nm	6.8×10^{-9}	68 nm	2.0×10^{-8}
100 nm	8.8×10^{-8}	880 nm	2.6×10^{-7}
1 µm	3.6×10^{-6}	36 µm	1.1×10^{-5}
10 µm	3.1×10^{-4}	2.3 mm	8.5×10^{-4}

ถ้าคำนวณอัตราส่วนระหว่าง ระยะที่จะเกิดการหยุด(Stopping distance)ของอนุภาคต่อรัศมีของเพลทพวยพุ่ง(jet nozzle plate)เราจะเรียกจำนวนนี้ว่า เลขสโตก (Stokes number (Stk))

$$Stk = S / r \tag{2.23}$$



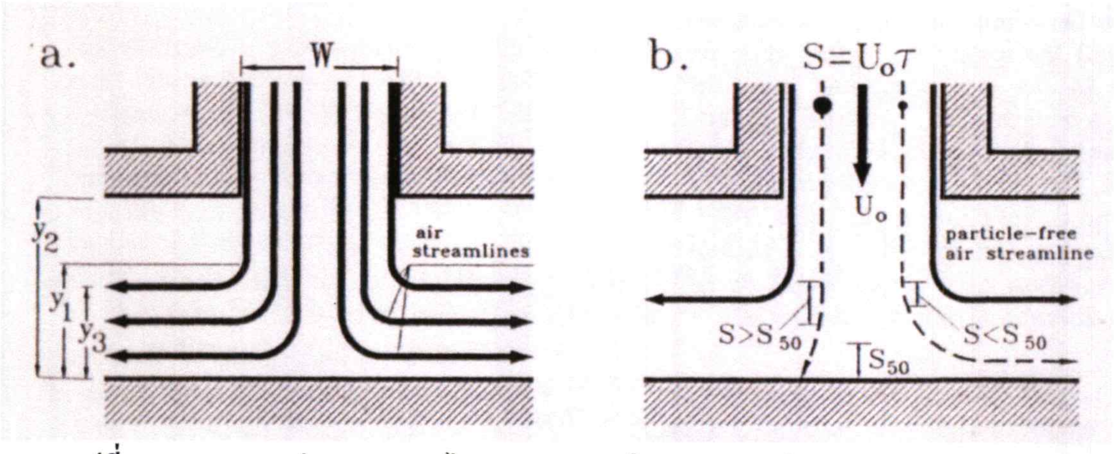
รูปที่2.6 แสดงระยะของรัศมีของเพลทพวยพุ่ง(jet nozzle plate)

ถ้า Stokes number มีค่าเท่ากับศูนย์ทุกอนุภาคจะสามารถผ่านเข้ามาได้หมด แต่ถ้า Stokes number มีค่ามากๆอนุภาคบางอนุภาคก็จะเกิดการเบี่ยงเบนออกจากก๊าซ และก็จะตกลงบนเพลทสะสมโดยทั่วไปจะประมาณค่า Stk มีค่าเท่ากับ 0.22 โดยเรียกค่านี้ คือ Stk_{50}

แต่จากการที่ค่า stopping distance นั้นเกิดจากการวัดเท่านั้น ทำให้ไม่สามารถหาค่าได้ทุกค่าจากสมการ ดังนั้น จึงมีการทดลองและสรุปเป็นตารางไว้เพื่อใช้งานแบบสำเร็จรูป

ตารางที่2.3 แสดงการใช้ค่าระยะห่างใน Conventional Impactor [2]

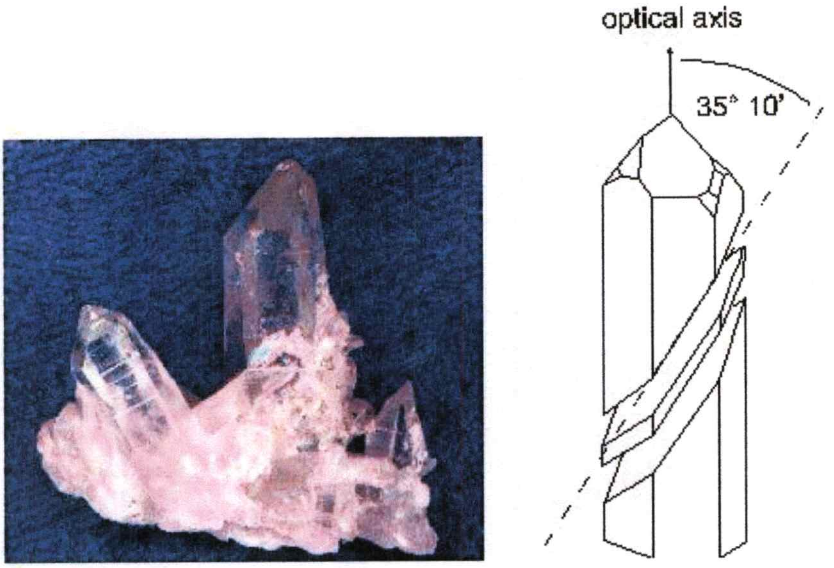
Parameter	Nozzle shape	
	Round	Rectangular
W	D_h	$D_h/2$
y_1	$\sim W/2=D_h/2$	$\sim W=D_h/2$
y_2	$>D_h/2$	$>D_h/2$
Optimal y_2	>1.0W	>1.5W
y_3	~1/10W	~1/2W
Stk_{50}	~1/4	~1/2
Stk'_{50}	~1/4	~1/4
S_{50}	~1/8W	~1/4W



รูปที่2.7 แสดงระยะต่างๆและการไหลของอนุภาคในเพลทพวยพุ่ง(jet nozzle plate)[4]

2.4 ผลึกควอตซ์

สิ่งประดิษฐ์จำพวก Electro Mechanical ได้ถูกพัฒนาขึ้นโดยตั้งอยู่บนแนวคิดที่ว่าความถี่ธรรมชาติเนื่องจากการสั่นของตัวออสซิลเลเตอร์(Oscillator)จะเปลี่ยนไปถ้ามวลของส่วนที่เกิดการสั่นเปลี่ยนไป เทคนิคที่กล่าวถึงนี้ใช้ในการวัดหามวลอนุภาคเป็นเวลากว่า 25 ปีมาแล้ว โดยวัสดุที่นำมาใช้ในส่วนที่ทำให้เกิดการสั่นนี้ได้แก่ วัสดุจำพวกผลึกที่สั่นเมื่อกระตุ้น(Piezoelectric Crystal)



รูปที่2.8 แสดงลักษณะรูปร่างของผลึกควอตซ์โดยการตัดแบบ AT cut [5]

เมื่ออนุภาคมาเกาะบนส่วนที่ทำให้เกิดการสั่น จะทำให้มวลรวมของวัสดุนั้นมีการเปลี่ยนไป และจะทำให้เกิดความถี่ของการสั่นขึ้นมาใหม่ โดยจะมีความสัมพันธ์กันดังสมการ

$$\Delta F = K_{\alpha} F_0^{\ 2} Q \Delta t \frac{C_m}{A} \qquad (2.24)$$

C_m = ความหนาแน่นของมวล(g)

ΔF = ความถี่ที่เปลี่ยนแปลง(s^{-1})

F_0 = ความถี่ธรรมชาติของควอทซ์ (s^{-1})

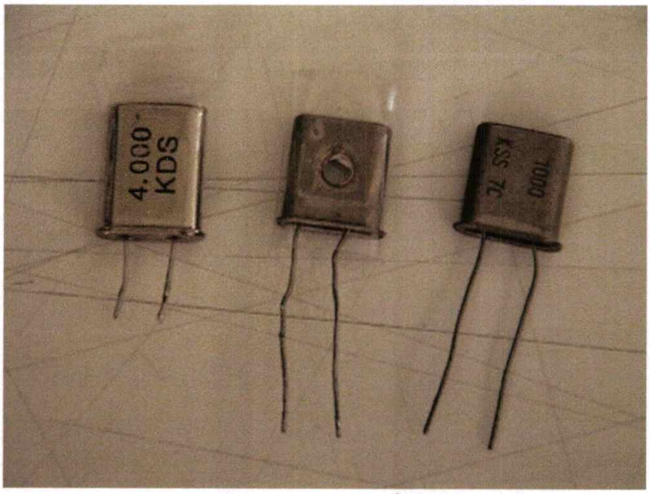
A = ระยะห่างระหว่างขั้ว(m^2)

Q = อัตราการดูดอากาศ(Lite/minute)

Δt = ระยะเวลาในการวัด(s)

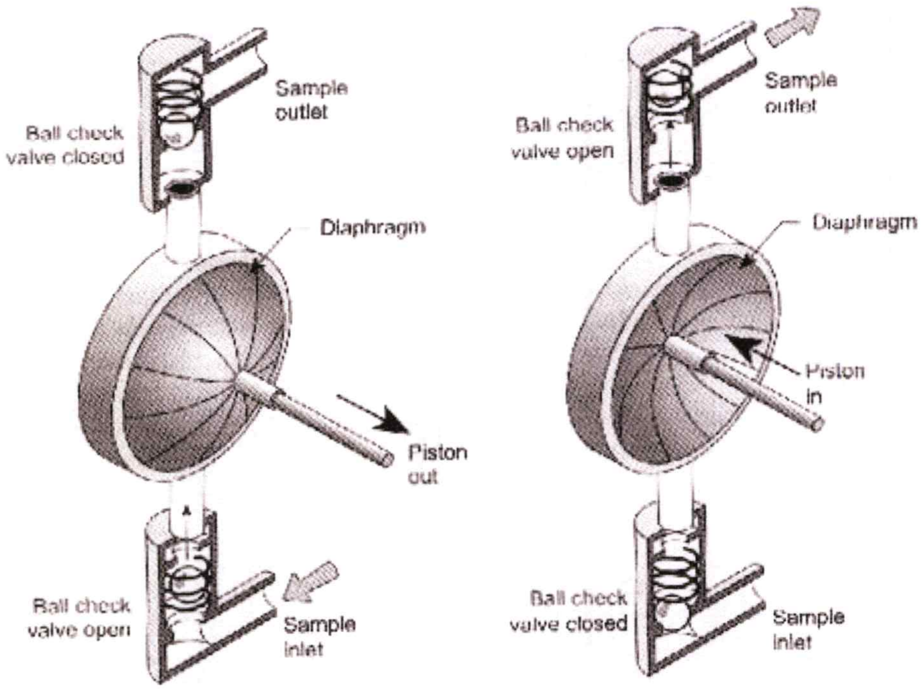
K_{α} = ค่าคงที่

ยังมีข้อสังเกตเกี่ยวกับการวัดด้วยวิธีนี้ ถ้าอนุภาคไม่ตกลงบนส่วนที่ทำให้เกิดการสั่นจะทำให้ข้อมูลที่วัดได้มีการผิดพลาดนอกจากนี้ถ้าส่วนที่ทำให้เกิดการสั่นมีอนุภาคมาเกาะมากเกินไปจะทำให้เป็นโหลดแก่ส่วนที่ทำให้เกิดการสั่น จึงมีความจำเป็นต้องมีการทำความสะอาด และท้ายที่สุดเมื่อมีการเกาะติดอย่างถาวรก็จะต้องปรับเปลี่ยนส่วนที่ทำให้เกิดการสั่น นอกจากนี้ยังมีความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากผลของอุณหภูมิ ในเวลากว่า20ปีมาแล้วที่มีการใช้เทคนิคนี้ในการทำการวัดก็ยังเกิดปัญหาในเรื่อง การทำความสะอาด และปรับเปลี่ยนส่วนที่ทำให้เกิดการสั่นวัสดุอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้มีราคาแพง โดยเฉพาะส่วนของผลึกQuartzซึ่งต้องยึดติดกับส่วนควบคุมอุณหภูมิ แต่ก็ยังมีบริษัทในต่างประเทศพยายามที่จะแก้ไขปรับปรุงเรื่อยมาเพื่อที่จะสามารถนำไปใช้ในการวัดที่มีความต่อเนื่องในสถานการณ์การวัดจริงได้อย่างถูกต้อง



รูปที่2.9 แสดงลักษณะรูปร่างของผลึกควอตซ์ที่ใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์เมื่อผ่าฝา

2.5 ปั๊มชนิดไดอะแฟรม



รูปที่ 2.10 แสดงการทำงานปั้มชนิดไดอะแฟรม[6]

การทำงานของไดอะแฟรมนั้นเริ่มจากการที่วาล์วที่ทางเข้าปิดอยู่และวาล์วทางออกเปิดอยู่ ทำการดึงแผ่นยางให้พอง ทำให้วาล์วทางเข้าเปิดอากาศถูกนำเข้ามาบริเวณด้านในในขณะนั้นวาล์วทางออกปิดอยู่ทำให้อากาศโดนกักไว้ในแผ่นยาง จากนั้นกดแผ่นยางทำให้วาล์วทางเข้าปิดแต่วาล์วทางออกเปิดทำให้อากาศจากภายในไหลเข้าสู่เครื่องต่อไปเนื่องจากปั้มโดยทั่วไปจะมีฝุ่นน้ำมันหรือ

สิ่งแปลกปลอมจำนวนมาก สำหรับแผ่นยางนั้นทำจากแผ่นยางบางมีฝุ่นเกาะน้อยจึงเหมาะแก่การนำมาใช้ในเครื่องวัดฝุ่น

2.6 หลักการของแรงดันสูง

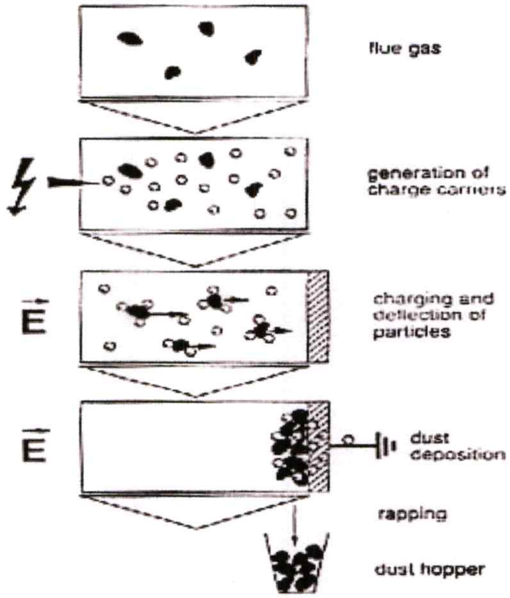
ระบบสุดท้ายเพื่อให้อนุภาคฝุ่นเกาะผลึกควอตซ์มากขึ้นจึงต้องเพิ่มส่วนของปรากฏการณ์โคโรนาจึงขอเริ่มทฤษฎีของการเกิดแรงดันสูง หรือในที่นี้เรียกปรากฏการณ์โคโรนา

2.6.1 หลักการทำงานทั่วไป

ในการดักจับละอองฝุ่นละออง เขม่าควัน ระบบไฟฟ้าสถิต(electrostatic precipitators) ESP มีขั้นตอนที่สำคัญดังรูปที่2 คือ

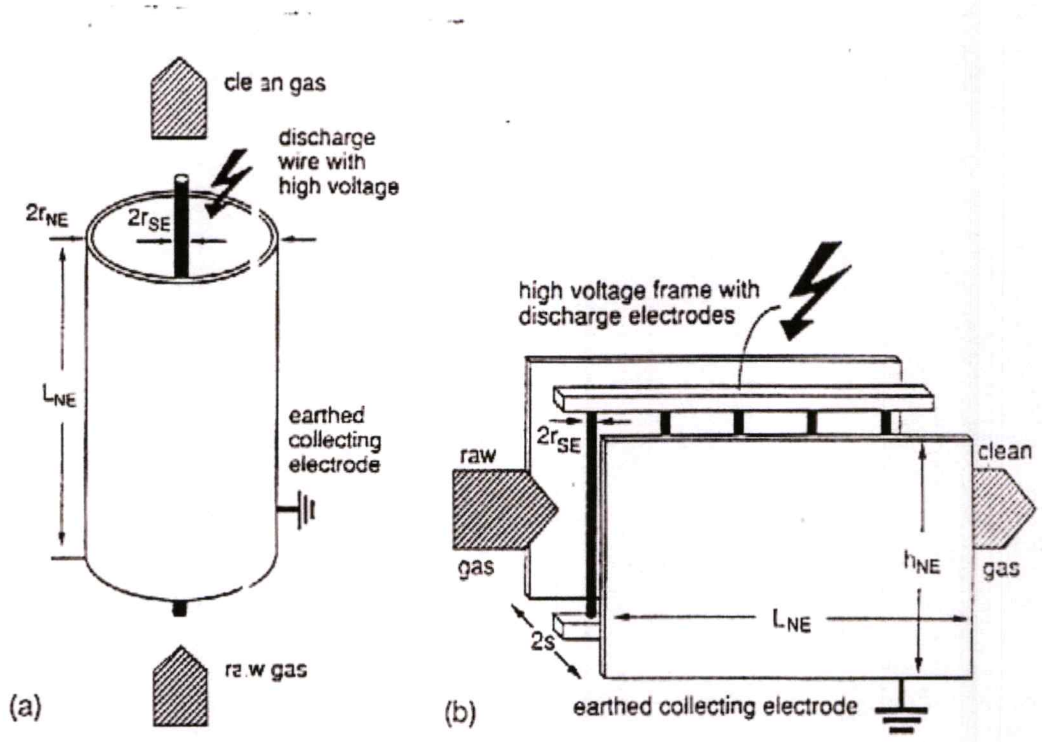
- การปริมาณประจุไฟฟ้าอิสระ(Generation of charge carriers)ในก๊าซ
- การประจุไฟฟ้าแก่อนุภาคละอองฝุ่น(Charging of the particles)ที่แขวนลอยอยู่ในก๊าซ
- การเบี่ยงเบนการเคลื่อนที่ และ แยกอนุภาคละอองฝุ่น(Deflection and seperation of particles)ออกจากก๊าซ
- การยึดเกาะของละอองฝุ่นจากขั้วไฟฟ้า(Dust deposition)

การกำจัดละอองฝุ่นจากขั้วไฟฟ้า(Dust removal)ซึ่งมักทำโดยอาศัยการสั่นสะเทือนด้วยการกระแทก(rapping)ทำให้ฝุ่นตกลงที่ภาชนะเก็บ



รูปที่2.11 แสดงขั้นตอนการทำงานของระบบไฟฟ้าสถิตดักจับละอองฝุ่น[2]

การออกแบบระบบอาจให้การประจุไฟฟ้ากับการยึดเกาะอยู่ในบริเวณเดียวกันหรือแยกจากกัน ลักษณะเป็นดังรูปที่ 3 ส่วนสำคัญของเครื่อง นอกเหนือจากส่วนจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงแล้วก็คือ โครงสร้างของขั้วไฟฟ้า ซึ่งตัวอย่างพื้นฐาน 2 แบบ ได้แก่ แบบท่อกลม(Tube – type)และ แบบแผ่นขนาน(Plate - type)โดยจะมีขั้วไฟฟ้าหนึ่งเป็นท่อโลหะและแผ่นโลหะขนานในแต่ละกรณี และมีเส้นลวดขึงตามแนวกึ่งกลางท่อ และ แผ่นขนาน เป็นอีกขั้วไฟฟ้าหนึ่งลักษณะดังรูป 2.2 (a) และ 2.2 (b) ตามลำดับ

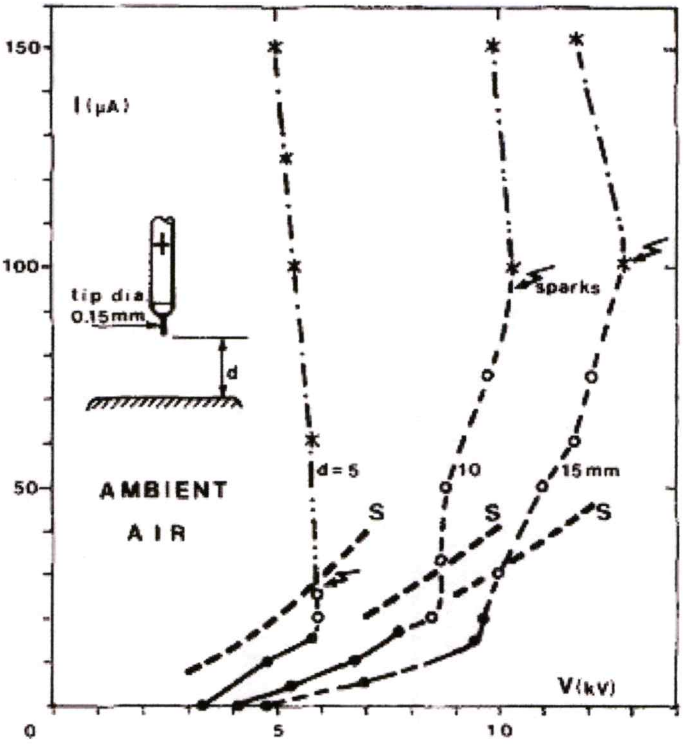


รูปที่2.12 (a) ระบบ ESP แบบท่อกลม (b) แบบแผ่นขนาน[2]

2.6.2 การเกิดอิออน (Ion production)

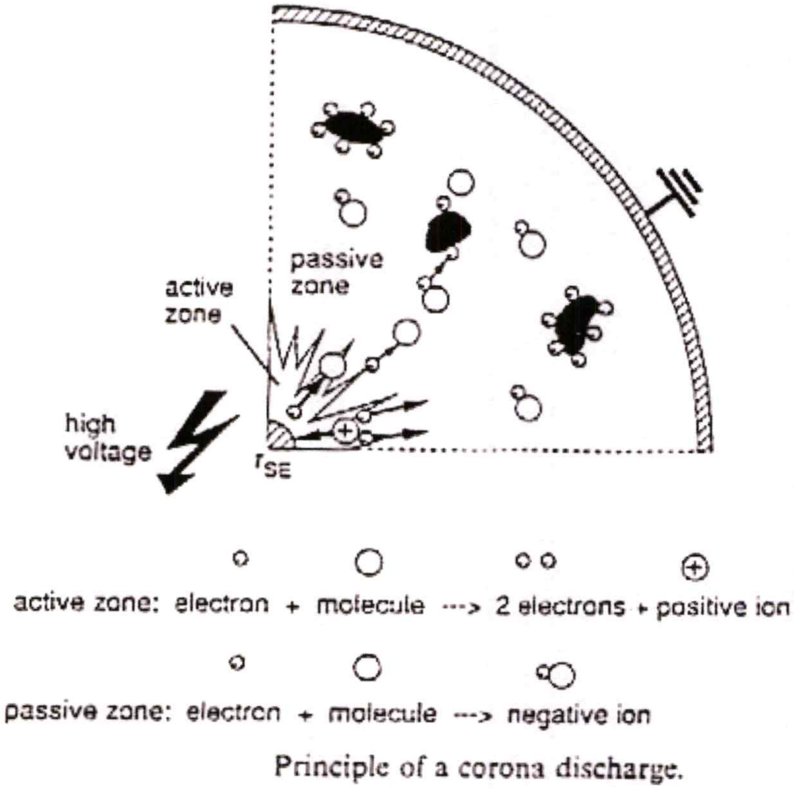
เพื่อจะให้เกิดประจุอิสระบริเวณในเนื้อก๊าซ จะต้องให้สนามไฟฟ้ามีความเข้มเกินค่าวิกฤตซึ่งทำโดยการป้อนแรงดันไฟฟ้าสูง เข้าที่คู่ของขั้วไฟฟ้าลักษณะที่ได้รับการออกแบบมาเป็นพิเศษ เมื่อแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเกินค่าๆหนึ่ง กระแสจะเริ่มไหลระหว่างขั้วทั้งสอง แสดงถึงจุดเริ่มต้น (Onset)ของการเกิดการแตกตัวแบบโคโรนา(corona discharge)ซึ่งจะมีการเรืองแสงเกิดขึ้นบริเวณใกล้ๆ กับขั้วไฟฟ้า เมื่อเพิ่มค่าแรงดันไฟฟ้าสูงขึ้นอีกกระแสก็จะเพิ่มขึ้นอย่างมากจนถึงเงื่อนไขของการ เบรกดาวน์ ทางไฟฟ้า (electric breakdown) ของก๊าซ เกิดการสปาร์ค (spark)ปรากฏเป็นแสง

ประกายไฟขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสกับค่าแรงดันไฟฟ้าก่อนเกิดการสปาร์ค มีลักษณะดัง รูปที่ 2.13



รูปที่2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้า[3]

กลไกการเกิดการแตกตัวแบบโคโรนา กับการเกิดสปาร์คมีความแตกต่างกันได้ ปกติก๊าซซึ่งมีโมเลกุลที่เป็นกลางในระดับ 10^{19}โมเลกุลต่อลูกบาศก์เซนติเมตรนั้นบางโมเลกุลจะมีการแตกตัวเป็นอิออนเนื่องจากได้รับพลังงานสูงจากกัมมันตภาพรังสี หรือรังสีคอสมิก(cosmic radiation)ในธรรมชาติแต่เมื่อเจอกับอิออนประจุตรงข้ามที่เกิดจากโมเลกุลข้างเคียงก็จะเกิดการรวมตัวกลับ(recombine)สู่สภาวะเป็นกลางอย่างรวดเร็ว สถานการณ์จะเปลี่ยนไปถ้ามีการให้สนามไฟฟ้าในบริเวณที่เกิดการแตกตัว อิเล็กตรอนจะถูกเร่งให้เคลื่อนแยกออกจากประจุบวกอย่างรวดเร็ว พิจารณากรณีการให้ศักย์ไฟฟ้าลบกับขั้วเส้นลวดเทียบกับแผ่นโลหะทรงกระบอกใน ESP แบบท่อกลมดังรูปที่ 2.12



รูปที่2.14 หลักการของการแตกตัวแบบโคโรนา[4]

สนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะมีความเข้มสูงในบริเวณใกล้ๆ กับผิวขั้วโลหะที่มีความโค้งสูงซึ่งก็คือในบริเวณรอบๆ ใกล้เส้นลวดถือได้ว่าเป็น (active zone) อิเล็กตรอนจะถูกเร่งให้มีพลังงานจลน์สูง ซึ่งถ้าเกินพลังงานอิออนไนเซชั่น (ionization energy) ก็มีโอกาสชนกับโมเลกุลอื่นที่เป็นกลางของก๊าซทำให้เกิดอิเล็กตรอนตัวที่ 2 และเป็นเช่นนี้ไปได้เรื่อยๆ ก็จะเป็นปรากฏการณ์ อะวาลานซ์ (avalanche) ทวีจำนวนอิเล็กตรอนให้มีความหนาแน่นเป็นอย่างมาก การรวมระหว่างฝูงอิเล็กตรอนที่สูญเสียพลังงานกับอิออนบวก และการคืนกลับสู่สภาวะพื้นของโมเลกุลที่เป็นกลางแต่ได้รับพลังงานจากการชนก็จะปรากฏเป็นแสงเรืองสีน้ำเงินอ่อนๆรอบเส้นลวดเป็นลักษณะของโคโรนา นอกเหนือไปจากเสียงซ่ารบกวนที่เกิดขึ้น เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ออกมาจากบริเวณแอกทีฟ สนามไฟฟ้าจะลดลงมากทำให้ไม่มีพลังงานจลน์มากพอที่จะให้โมเลกุลแตกตัวได้อีกจึงเรียกว่า เป็นบริเวณ แพสซีฟ (passive zone) อิเล็กตรอนเพียงถูกโมเลกุลของก๊าซพวกที่เป็น อิเล็กโตรเนกะทีฟ (electronegative) ได้แก่ O_2,SO_2,Cl_2 จับไว้เกิดเป็นอิออนลบส่วนหนึ่งก็ไปเกาะกับละอองฝุ่นทำให้เกิดประจุดลบสุทธิ และสนามไฟฟ้าผลักดันให้เคลื่อนที่เข้าไปจับ และเกาะกับขั้วโลหะที่มีศักย์สูงกว่า ในกรณีที่มีความต่างศักย์สูงมากเกินไป อิเล็กตรอนจะมีพลังงานมากจนสามารถกระแทกและทำให้โมเลกุลก๊าซแตกตัวเป็นอิออนได้ตลอดทั้งหมด กล่าวคือบริเวณแอกทีฟขยายไปจนสุด เกิด

สภาวะพังทลาย (breakdown) การทำให้เกิดปรากฏการณ์โคโรนามีความสำคัญต่อการสร้างเครื่อง ESP ซึ่งจะต้องมีวงจรแหล่งกำเนิดความต่างศักย์สูงอีกทั้งการออกแบบขั้วไฟฟ้าที่เหมาะสมอย่างไรก็ดีประสิทธิภาพของระบบก็ยังขึ้นกับตัวแปรอื่นมากเช่นส่วนผสมของก๊าซ ชนิดของละอองฝุ่น อัตราการไหล

2.6.3 ปรากฏการณ์โคโรนา

อากาศที่ผ่านอิมแพคเตอร์เข้ามาแล้วมาตกลงบนพื้นผิวควอทซ์ ฝุ่นจะเกิดการกระจาย จึงมีการสร้างแรงดันไฟฟ้าสูงเพื่อกักเก็บเม็ดฝุ่น อนุภาคฝุ่นจะถูกทำให้แตกเป็น อิออน กลายเป็นประจุและถูกดึงดูดลงบนผิวควอทซ์

หลักการของโคโรนาแบบบวก

ถ้ามีแรงดันที่เหมาะสมระหว่างขั้วไฟฟ้า จะทำให้เกิดโคโรนาสามารถหาช่วงการเกิดโคโรนาได้จากสมการข้างล่าง [3]

$$I_s = \frac{V^2}{d} \tag{2.9}$$

I_s = กระแสอิ่มตัวของโคโรนา (μA)

V^2 = แรงดันไฟฟ้าสูง (kV)

d = ระยะห่างของขั้ว (mm)

ถ้ามีศักย์ไฟฟ้า 3.5 kV และระยะระหว่างขั้ว 2 mm สามารถคำนวณหาการเกิด corona ที่กระแส เท่ากับ 6.125 μA

ถัดมาเนื่องจากระบบมีสนามไฟฟ้าเกิดขึ้นจากแรงดันไฟฟ้ากับระยะห่างของการเกิด Corona discharge สมการต่อมาเป็นของสนามไฟฟ้ากับประจุไฟฟ้า ได้ว่า

$$E = \frac{V}{d} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \tag{2.10}$$

เปลี่ยนรูปสมการที่ 2.10 ได้ว่า

$$q = \frac{4\pi\varepsilon_0 r^2 V}{d} \tag{2.11}$$

โดยที่ E = สนามไฟฟ้า

V = แรงดันไฟฟ้า

d = ระยะห่างระหว่างแผ่นขั้วบวกกับลบ

q = ประจุไฟฟ้า

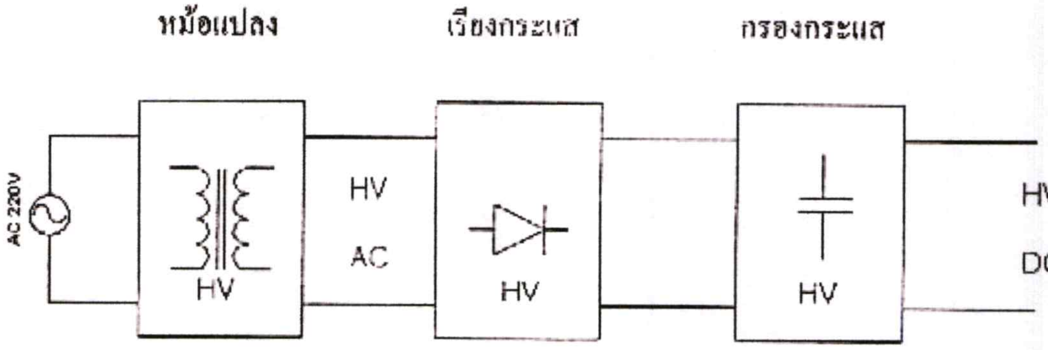
ε_0 = สภาพซึมซาบไฟฟ้าของสุญญากาศ

r = รัศมีของอนุภาค

จากสมการเมื่อแรงดันมีค่ามาก ส่วนระยะห่างระหว่างขั้วบวกกับลบมีค่าน้อยจะทำให้ประจุมีปริมาณมากขึ้นเรื่อยๆ จนเกิดการสปาร์ค ระยะที่เกิดการสปาร์คคือระยะที่เกิดการแตกตัวมากที่สุดที่จะนำมาใช้ในการดักจับอนุภาคฝุ่น

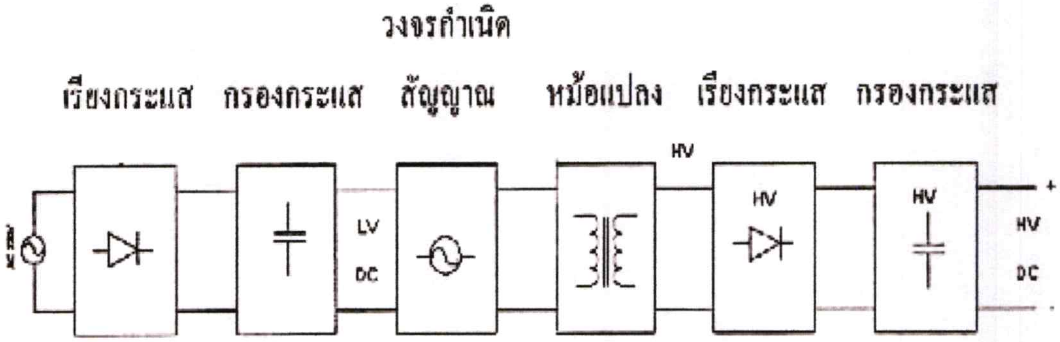
ส่วนสำคัญของการเกิดปรากฏการณ์โคโรนา(Corona discharge) ในระบบ ESP(Electrostatic Precipitator) พื้นฐานกรณีที่ใช้ไฟบ้าน 50 Hz มีลักษณะเป็นดังรูปที่ 6 กล่าวคือ มีหม้อแปลงแรงดันสูง เพื่อทำการยกระดับไฟสลับ (AC) จาก 220 V ขึ้นเป็นระดับกิโลโวลต์ ไฟสลับแล้วจึงทำให้เป็นไฟตรงด้วยวงจรเรียงกระแส (Rectifier) ที่ใช้ไดโอดแรงดันสูง และวงจรกรอง(filter)ที่ใช้ตัวเก็บประจุแรงดันสูง

ข้อเสียของระบบความถี่ไฟบ้านก็คือ หม้อแปลงแรงดันสูง มีขนาดใหญ่และตัวเก็บประจุต้องมีค่าโตมากและราคาสูงเพื่อจะทำให้ได้แรงดันที่เรียบ



รูปที่2.15 ระบบแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูง แบบพื้นฐานที่ใช้ไฟบ้าน[2]

สำหรับในปัจจุบันโดยเฉพาะอย่างยิ่งกับระบบที่มีขนาดเล็กแหล่งจ่ายไฟมักใช้หลักการของ Switching Power Supply ในกรณีไฟบ้านก็มีลักษณะดังรูปที่ 7 โดยทำการเรียงกระแสที่แรงดันต่ำ (Low Voltage) กรองให้เรียบแต่พอควรแล้วเอาไปเลี้ยงวงจร กำเนิดสัญญาณความถี่สูงระดับ 10-100 kHz นำไปเพิ่มขนาดแรงดันขึ้นโดยหม้อแปลงแรงดันสูง แล้วจึงเรียงกระแสและกรองอีกครั้งหนึ่งและเช่นกันสำหรับในระบบพกพาขนาดเล็กสามารถใช้ไฟตรงจากถ่าน มาเลี้ยงวงจรกำเนิดสัญญาณเพื่อจะสร้างแรงดันสูงได้

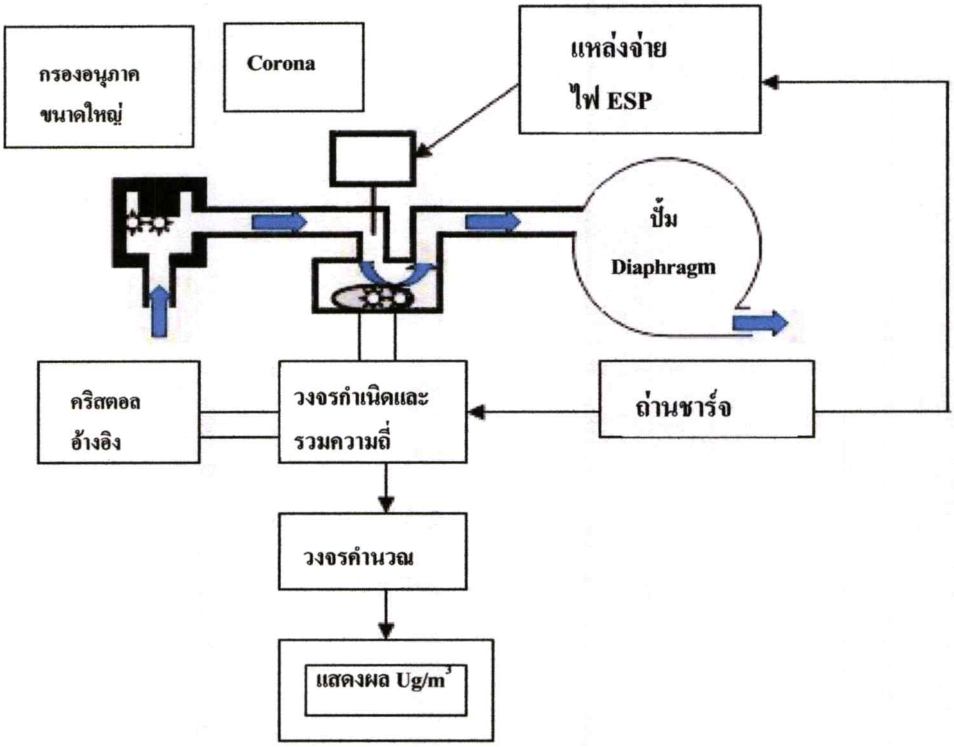


รูปที่2.16 ระบบแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูงที่ใช้หลักการ Switching Power Supply[2]

ในสถานการณ์จริงของเครื่อง ESP เมื่อภาระ (load) ของวงจรเปลี่ยนแปลงไปกับส่วนผสมของก๊าซ ปริมาณละอองฝุ่น และความหนาของเนื้อละอองฝุ่นที่ทับถมกันบนขั้ว เป็นต้น จำเป็นต้องมีการควบคุมแบบอัตโนมัติ (Automatic Control) ซึ่งอาจใช้หลักการควบคุมเช่น PI (Programmable Integral) PID (Programmable Integral Differential) หรือ Fuzzy เป็นต้น โดยตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของปริมาณไฟฟ้าที่โหลด อันได้แก่ กระแสหรือแรงดันที่ต้องการจะควบคุมให้คงที่กับเวลาป้อนกลับมาปรับกำลังไฟฟ้าที่จ่ายโดยวงจรทางด้านหน้า ตัวอย่างของระบบการควบคุมกระแสให้คงที่ก็มีลักษณะดังรูป ระดับความรุนแรงของสปาร์คที่อาจเกิดขึ้นได้ทุกเวลาก็จัดได้ว่าเป็นอีกสิ่งที่สำคัญที่จะต้องควบคุมอย่างอัตโนมัติเพื่อมิให้ระบบเกิดความเสียหาย และมีอายุการใช้งานที่ยืนยาว

บทที่ 3
วิธีดำเนินการสร้าง

ในงานที่เกี่ยวกับการวัดปริมาณฝุ่นที่เป็นระบบผลึกควอตซ์(QCM)นั้น เราจำเป็นต้องมีการสร้างวงจรกำเนิดความถี่โดยในช่วงความถี่ที่ใช้งานเป็นความถี่สูงในช่วงของ RF (Radio frequency) เพื่อหาผลต่างของความถี่นำมาคำนวณหาค่ามวลของฝุ่นโดยระบบที่ทดลองได้ใช้ผลึกควอตซ์ที่ 1 MHz เนื่องจากความถี่สูงสามารถหาได้ง่ายกว่าความถี่ต่ำและยังอ่านความถี่ต่างได้มากกว่าอีกด้วย ปั๊มชนิดไดอะแฟรม อุปกรณ์ในการดักจับฝุ่น วงจรในการอ่านค่าความถี่ และวงจรแรงดันสูงโดยหลักการทำงานของระบบจะกล่าวในรายละเอียดต่อไป



รูปที่ 3.1 ภาพการทำงานของระบบการวัดมวลฝุ่นด้วย Piezobalance

3.1ขั้นตอนการออกแบบ

ในโครงงานนี้ทำการศึกษาและออกแบบวงจรวัดปริมาณฝุ่นโดยใช้วงจรรวม(IC)ของ Atmel เบอร์ AT89C4051 โดยในการทำงานจะประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ของระบบ

1. ส่วนระบบวงจรออสซิสเลเตอร์ ของผลึกควอตซ์
2. ส่วนระบบวงจรผสมสัญญาณและวงจรขยายสัญญาณ

3. ส่วนระบบควบคุมอนุภาค

4. ส่วนระบบควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C4051

5 ส่วนการเปิด-ปิดมอเตอร์ ตัวกำเนิดความถี่ และวงจรแรงดันสูง

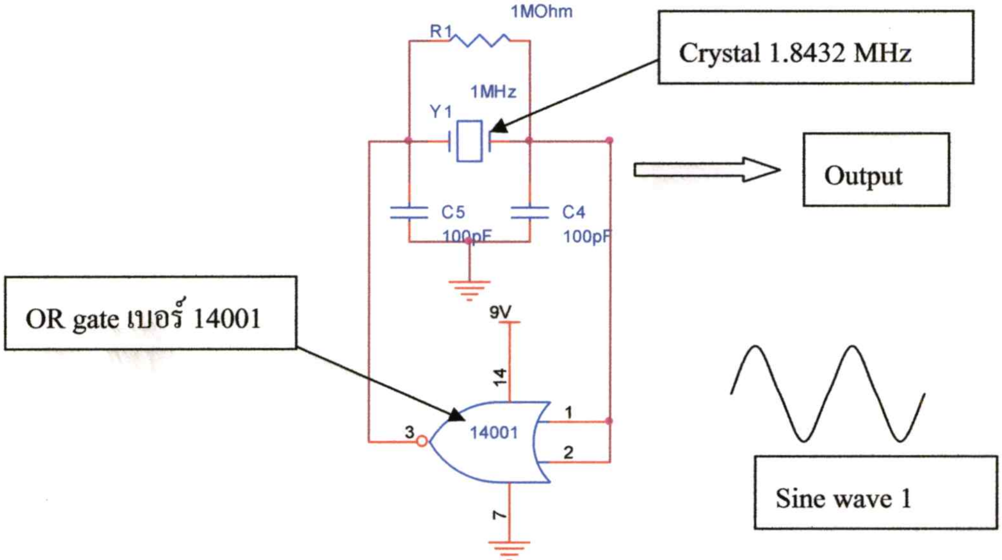
6. ส่วนระบบสร้างวงจรแรงดันสูง

3.2 กำหนดการออกแบบ(Design Specification)

แบ่งเป็น 6 ส่วนคือ

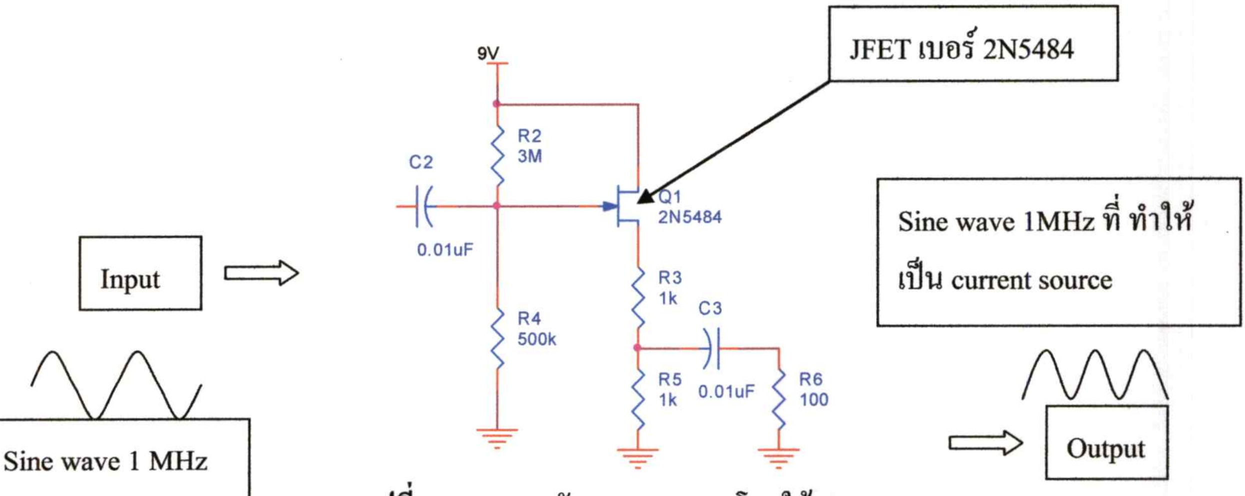
3.2.1 ส่วนระบบวงจร กำเนิดความถี่ของผลึกควอตซ์

จะใช้วงจรกำเนิดความถี่โดยในส่วนของการทำงานเป็นวงจรป้อนกลับสัญญาณ (Feedback) กำเนิดสัญญาณความถี่ที่ 1 MHz โดยเราจะทำการสร้างขึ้นมา 2 วงจรเพื่อแก้การเลื่อนของความถี่อันเนื่องมาจากสาเหตุอื่น เช่น อุณหภูมิ เพราะถ้าสภาพแวดล้อมเกิดการเปลี่ยนแปลง หรือมีสาเหตุอื่นผลึกควอตซ์ทั้ง 2 ตัว ก็จะเปลี่ยนพร้อมกันสามารถตัดสาเหตุนี้ไปได้ แสดงวงจรการทำงานดังรูป



รูปที่3.2 วงจรกำเนิดความถี่

จากรูปที่ 3.2 เป็นวงจรกำเนิด Oscillator โดยใช้ Quartz Crystal 1.8432 MHz การทำงาน เมื่อให้แรงดันไฟฟ้าไปที่ Quartz จะเกิดการถ่ายเทไฟฟ้าระหว่าง Quartz กับตัวเก็บประจุทั้ง 2 ตัว และ OR gate 14001 นั้นทำหน้าที่ Feedback กลับมาให้เกิดคลื่น sine wave ขึ้นที่ความถี่ 1.8432 MHz ตลอดเวลา



รูปที่3.3 วงจรลดสัญญาณรบกวนโดยใช้ JFet

จากรูปที่ 3.3 เป็นวงจรลดสัญญาณรบกวน โดยใช้ JFet เพื่อให้ค่าความต้านทานขาเข้ามีค่าสูง เพราะต้องการลด noise ใช้การต่อแบบ divider ที่ R3 และ R4 เพราะต้องการวงจรที่มีเสถียรภาพสูง วงจรมีการป้อนกลับกลับมาที่ input เพื่อให้ได้ค่ากระแสสูง ต่อแบบวงจร common source เพื่อต้องการความต้านทานขาเข้าสูงมาก ให้ขยายกระแส ส่งไปที่ output ให้มากที่สุด โดยไม่สนใจการขยายแรงดัน

<u>คำนวณ DC Analysis</u>

$$I_D = I_{DSS}\left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 \tag{3.1}$$

I_D = Drain Current

V_{GS} =Gate-source Voltage

V_P = Pinchoff Voltage

I_{DSS} = Zero-Gate-Voltage Drain Current

V_G = Gate Voltage

R_1, R_2 = Resistor Divider

V_{DD} = Voltage Source

$$V_G = \frac{R_2 V_{DD}}{R_1 + R_2} \tag{3.2}$$

แทนค่าสมการที่(3.2)ด้วย R_2 = 500kOhm, R_1 = 1MOhm และ V_{DD} = 9 V ได้ V_G = 3 V

$$V_{GS} = V_G - I_D R_S \tag{3.3}$$

แทนค่าสมการ(3.3)ด้วย V_G = 3V R_S= 523 Ohm

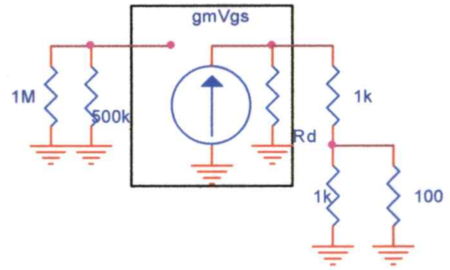
ถ้า $I_D = 0$ ได้ $V_{GS} = 3V$

ถ้า $V_{GS} = 0$ ได้ $I_D = 5.7$ mA

จากการสมมุติเส้นโค้ง ได้ว่า

$$I_D = \frac{I_{DSS}}{4}, V_{GS} = \frac{V_P}{2} \tag{3.4}$$

แทนค่าสมการที่(3.4)ได้ $I_{DSS} = 22.9$ mA และ $V_P = 6$ V



รูปที่3.4 แสดง Small-Signal JFet common drain

สามารถคำนวณหาอัตราขยายแรงดัน และ กระแสได้

จากสมการ gm ได้

$$g_{mo} = \frac{2I_{DSS}}{|V_P|} = \frac{2(22.9mA)}{6V} = 7.63mS \tag{3.5}$$

$$g_m = g_{mo}\left(1 - \frac{V_{GSQ}}{V_P}\right) = 7.63mS\left(1 - \frac{3}{6}\right) = 3.81mS \tag{3.6}$$

$$Z_{in} = \frac{1}{1M \times 500k} = 333kOhm \tag{3.7}$$

$$r_d = \frac{1}{y_{os}} = \frac{1}{75\mu S} = 13kOhm \tag{3.8}$$

$$A_V = \frac{Vo}{Vi} = \frac{g_m(R_S // r_d)}{1 + g_m(R_S // r_d)} \tag{3.9}$$

แทนค่าในสมการ(3.9)ด้วย $R_S = 1090$ Ohm ได้ Vo = 7.67V , Vi = 8.67 V

เพราะฉะนั้น Av น้อยกว่า 1 แน่นอน

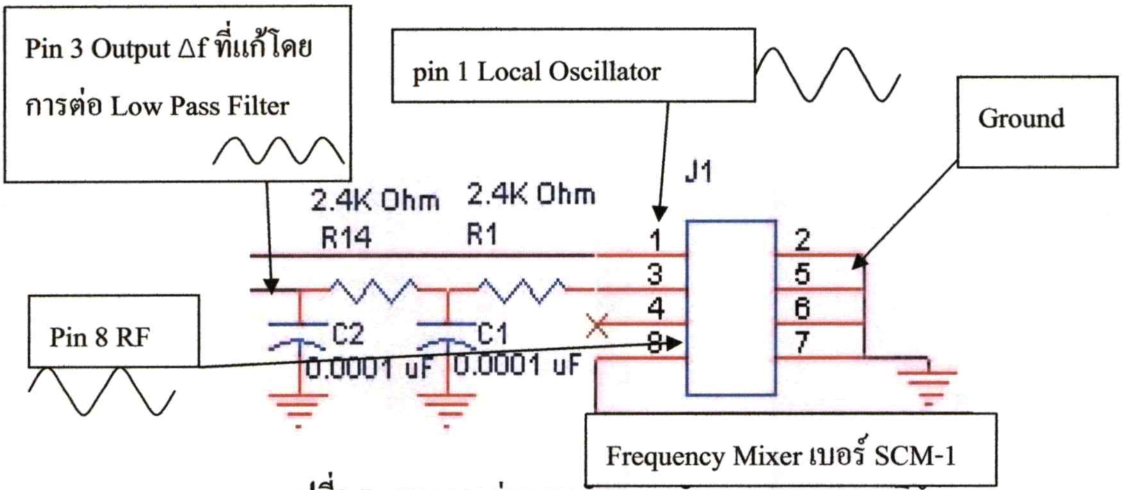
$$Z_{out} = R_S // rd = 1005.6Ohm \tag{3.10}$$

ดังนั้นจะได้ I out = 7.63 mA และ I in = 26uA

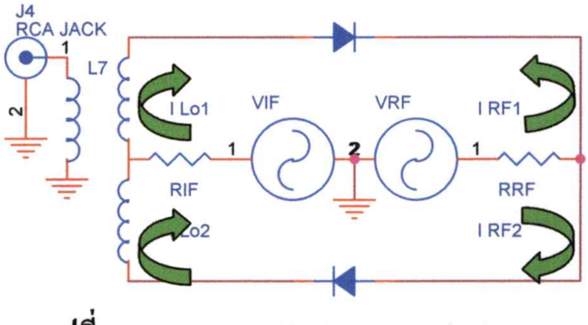
เกณฑ์ขยายกระแสมีค่าสูงมาก จึงเหมาะแก่การนำไปใช้งาน

3.2.2 ส่วนระบบวงจรผสม และขยายสัญญาณ

นำความถี่ที่ได้จากทั้ง 2 Crystal มารวมกันใน Frequency Mixer Outputที่ได้จะแสดงผลต่างของ Oscillator ออกมา เช่น 1000000 Hz กับ 1000200 Hz ทำให้ได้ค่า 200 Hz ออกมา ทำให้เราทราบ Δf (ความต่างของความถี่ได้เลย) โดยในการทำงานจะรับสัญญาณพื้นฐาน(Local Oscillator)กับ สัญญาณ RF มาเปรียบเทียบกัน และแสดงค่าผลต่างของ Oscillatorมาที่ ขา 3แต่เนื่องจากมีสัญญาณกวนในช่วงความถี่สูงจึงทำการต่อวงจรกรองความถี่ต่ำ ทำให้ได้สัญญาณรูปไซน์ ขนาดเล็ก



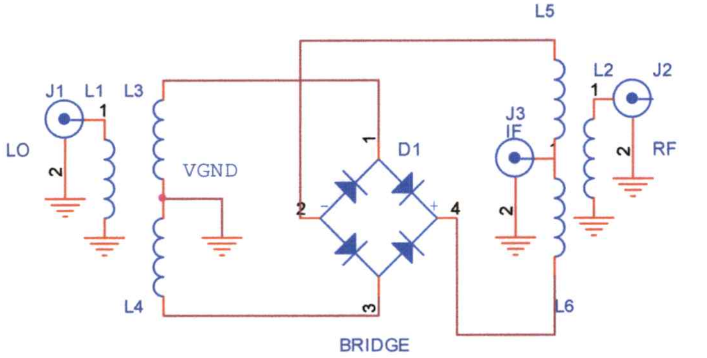
รูปที่3.5 แสดงการต่อผสมสัญญาณกับวงจรกรองความถี่ต่ำ



รูปที่3.6 แสดงวงจร Single-balanced mixer

แสดงรูปวงจร single-balanced mixer ซึ่งจากรูปนั้น จะได้ว่าอัตราการส่งผ่านจาก Local Oscillator ถึง Radio Frequency (RF) นั้นมีค่าดีมาก เนื่องจากกระแส I Lo_1 กับ I Lo_2 นั้นจะไม่มีการหักล้างกันเองภายใน แต่ อัตราการส่งผ่านของ Local Oscillator ถึง IF นั้นมีค่าแย่มาก เนื่องจากกระแส I RF_1 กับ I RF_2 นั้นจะมีการหักล้างกันเองภายในผ่าน Diode ได้ ทำให้สัญญาณที่ได้จริงนั้นมีค่าน้อยลงมาก จึงต้องทำการเพิ่มวงจรส่วนหลังให้ดีขึ้น และ ไม่ให้มีการหักล้างกันของกระแส จึง

เปลี่ยนเป็นวงจรดังรูปที่ 3.7 เรียกว่าวงจร Double-balanced mixers กระแส RF กับ IF จะไม่หักล้างกันได้อัตราส่งผ่านที่ดีมาก



รูปที่3.7 แสดงวงจร Double-balanced mixers(วงจรภายใน Frequency mixer)

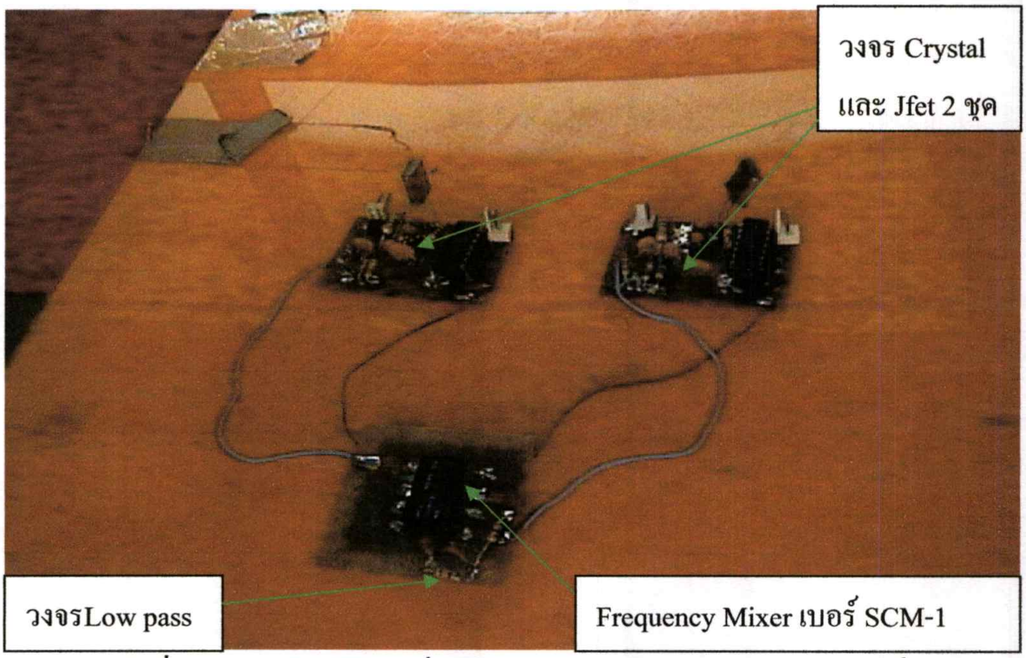
สามารถคำนวณหาค่า Low pass Filter ได้จากสมการ

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \tag{3.11}$$

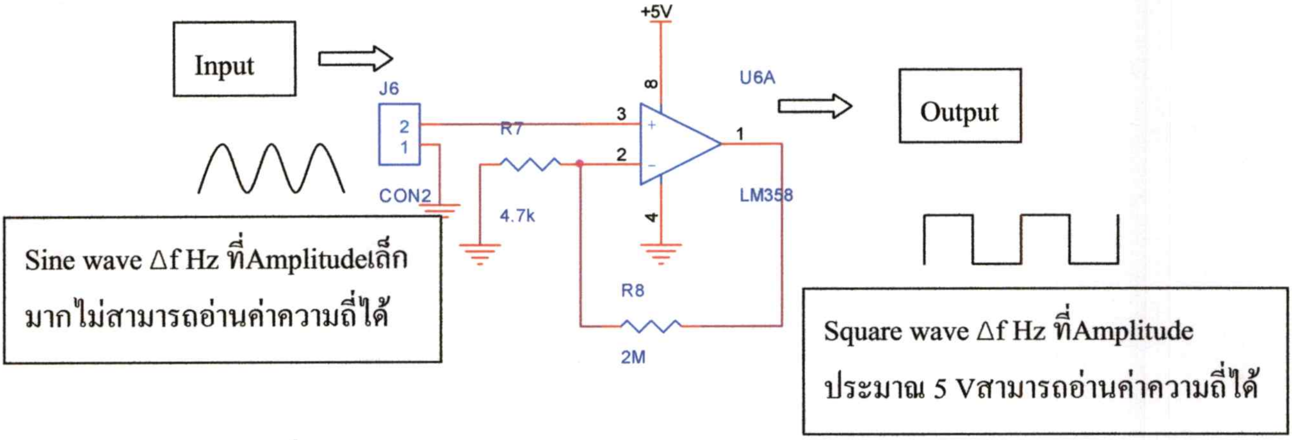
แทนค่า $f_c = \dfrac{1}{2\pi(2.4\times10^3)(100\times10^{-12})}$

จะได้ค่าความถี่ Low pass $f_c = 663KHz$

จะป้องกันสัญญาณรบกวนความถี่สูงจากตัวคริสตอล และในบรรยากาศ



รูปที่ 3.8 วงจรกำเนิดความถี่และวงจรเปรียบเทียบความต่างของความถี่



รูปที่3.9 แสดงวงจรขยายระดับแรงดันให้เสมือนรูปสัญญาณสี่เหลี่ยม

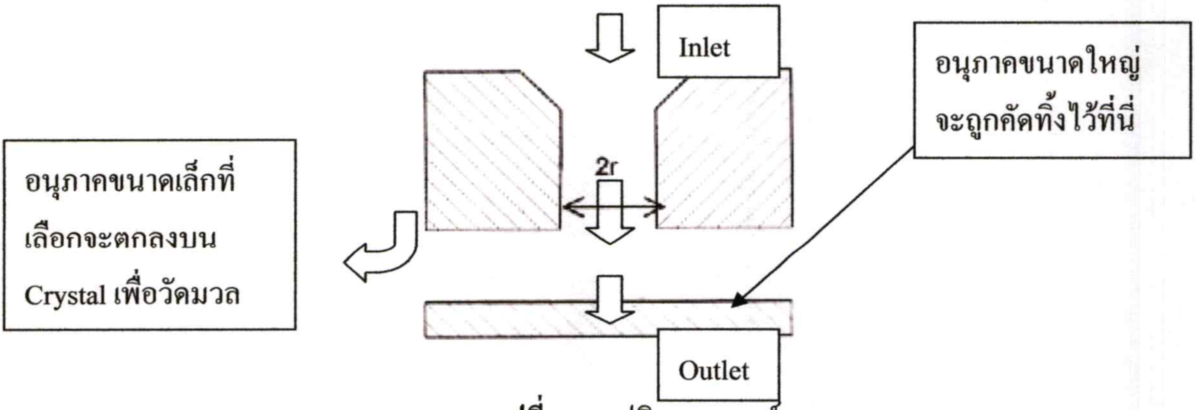
จากการที่สัญญาณผ่าน Frequency Mixer จนได้ค่าผลต่างของความถี่แล้วแต่ output ยังเป็นสัญญาณ Sine wave ที่มีขนาดเล็ก ซึ่ง Microcontroller ไม่สามารถอ่านค่าความถี่ได้ จึงต้องนำมาเข้าวงจรขยายและแปลงสัญญาณให้เป็น pulse สี่เหลี่ยม โดยใช้วงจร Opamp LM358 ต่อแบบ Non-Inverting Amplifier เพื่อให้ได้ประมาณ 5 Volt จะทำให้ Microcontroller สามารถอ่านค่าได้ โดยวงจรรูป 3.9 แสดงดังรูป สามารถคำนวณค่าแรงดันขาออกได้ จากสูตร

$$V_{out} = 1 + \frac{R_F}{R_{in}} \times V_{in} \qquad (3.12)$$

เมื่อ R_F= 2 MOhm และ R_{in}= 10 KOhm แทนค่า V_{in} = 100 mVได้

$$V_{out} = 1 + \frac{2\times10^6}{4.7\times10^3} \times 0.1 = 42.6 \quad V$$

3.2.3 ส่วนควบคุมอนุภาค



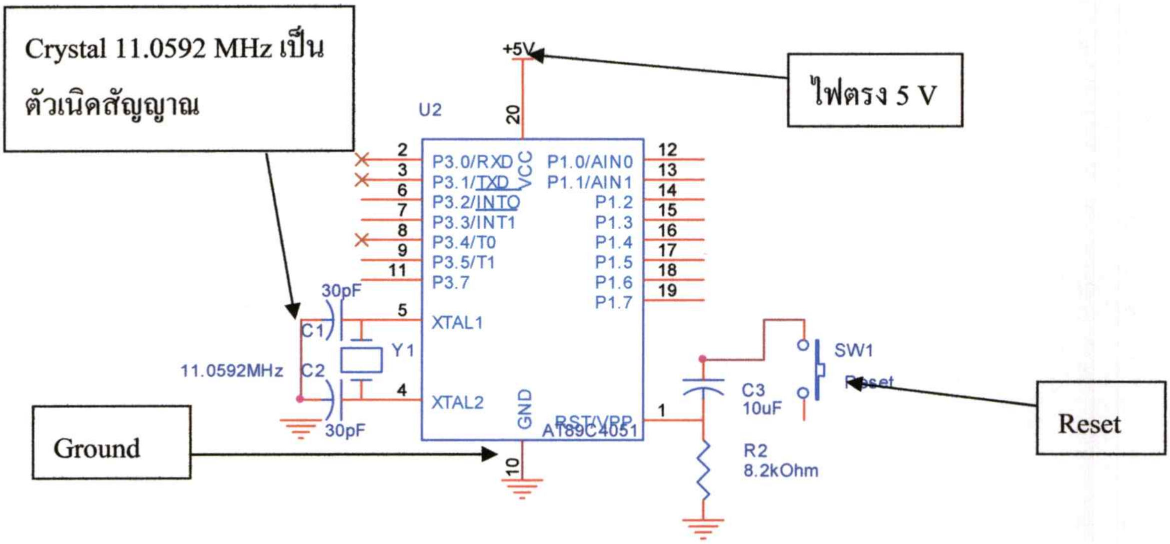
รูปที่3.10 รูปอิมแพคเตอร์

จะใช้เป็นอิมแพคเตอร์ เป็นตัวควบคุมขนาดอนุภาคฝุ่นให้สามารถตกลงบนผลึกควอตซ์ ได้ โดยจากขนาดของช่องกับระยะความสูงจะเป็นตัวกำหนดขนาดของอนุภาคที่จะตกลงบนผลึกควอตซ์ ถ้าอนุภาคมีขนาดใหญ่จะมีมวลมากทำให้ต้องตกลงบนผลึกควอตซ์ แต่ถ้าอนุภาคมีขนาดเล็กจะสามารถเลี้ยวหลบผ่านผลึกควอตซ์ ไปได้ จากการศึกษาทำให้ได้ว่าฝุ่นมีขนาดประมาณ 10 ไมครอน เราจึงสามารถสร้างอิมแพคเตอร์ ที่จะดักจับฝุ่นได้ แสดงดังรูปที่ 3.10

3.2.4 ส่วนระบบการควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C4051

3.2.4.1 ส่วนระบบไมโครคอนโทรลเลอร์

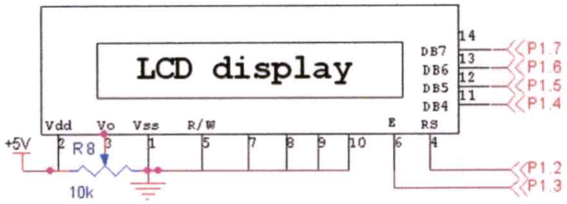
วงจรนี้ที่เรียกได้ว่าเป็นหัวใจของการประมวลผลทั้งหมด นั่นก็คือ CPU AT89C4051โดยในการใช้งานนั้นจะทำการต่อเพียง 3 ส่วนเพื่อให้สามารถทำงานได้ คือ แรงดันไฟตรง 5 Volt ,Resetและวงจรกำเนิดสัญญาณ(Crystal)



รูปที่3.11 รูปวงจรการทำงานของ AT89C4051

3.2.4.2 ส่วนแสดงผลเป็นตัวเลข

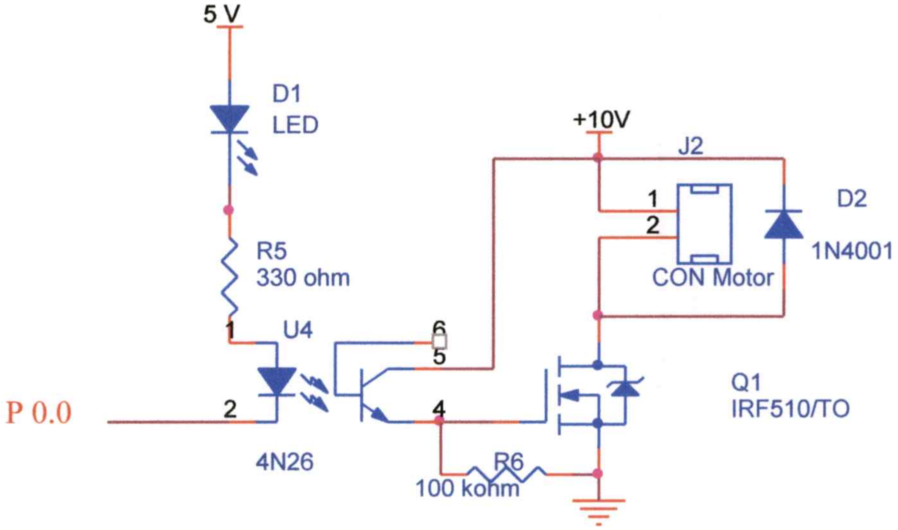
ตัวแสดงผลเราใช้จอผลึกเหลว(Liquid Crystal Display) เป็นตัวแสดงผล แบบ 16 ตัวอักษร 2 แถว ใช้วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวกำหนดการทำงานในการรับเอาสัญญาณขาออก ที่แปลงเป็นมวลแล้วมาแสดงผล



รูปที่3.12 รูปวงจรการต่อ LCDกับ AT89C4051

3.2.5 ส่วนการเปิด-ปิดมอเตอร์ ตัวกำเนิดความถี่ และแรงดันสูง

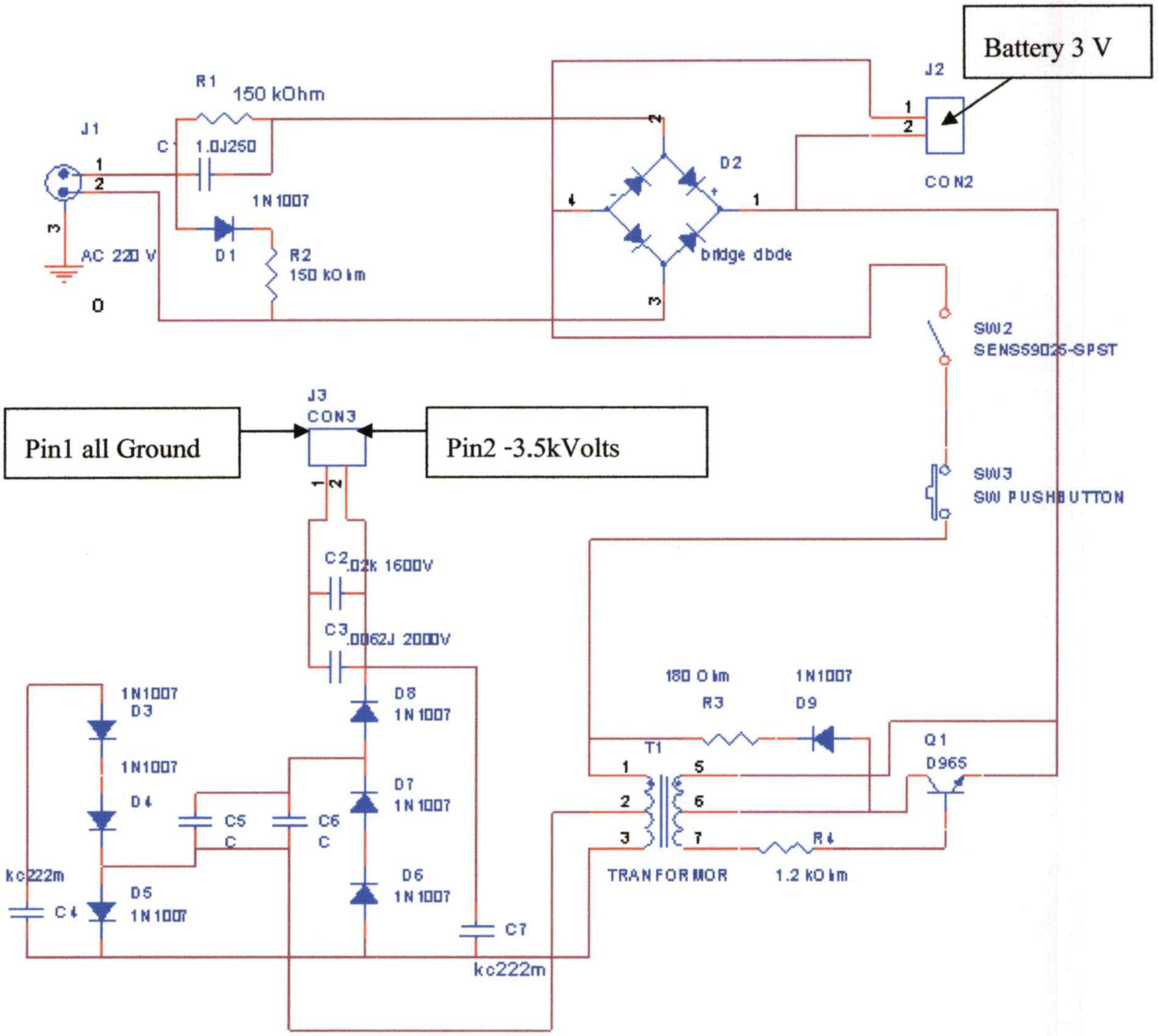
เนื่องจากในการทำงานจริงตัวกำเนิดสัญญาณออสซิเลตกับมอเตอร์ และแรงดันสูงจะต้องเปิด – ปิด คนละเวลากันเพื่อเป็นการประหยัดแบตเตอรี่ โดยการนำไปใช้งานจริงจะต้องเดินเครื่องทิ้งไว้ประมาณ ครึ่งชั่วโมง ถึง 1 ชั่วโมงเป็นอย่างต่ำ เวลาส่วนนี้จะทำการเปิดมอเตอร์ และ HIGH VOLT แต่ปิดตัวกำเนิดออสซิเลเตอร์เนื่องจากว่าเราไม่ต้องการอ่านค่าในเวลานั้นและเพื่อลดการทำงานของคอนโทรลเลอร์รวมถึงความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับวงจรด้วย โดยวงจรที่ใช้จะเป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์สวิตซ์ แบบง่ายๆ แสดงดังรูป เป็นรูปควบคุมมอเตอร์



รูปที่3.13 แสดงวงจรเปิดปิดมอเตอร์,ตัวกำเนิดความถี่และแรงดันสูง

3.2.6 ส่วนระบบวงจรแรงดันสูง

เราทำการออกแบบในส่วนของแรงดันสูง แสดงดังรูป 3.11



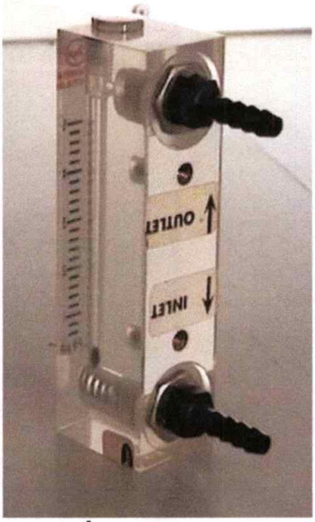
รูปที่3.14 รูปวงจรแรงดันสูง

เป็นวงจรสร้าง High Volt จาก 2 แหล่งจ่าย คือ 1 ไฟกระแสสลับถูกแปลงเป็นกระแสตรงหลังจากผ่าน Bridge Diode 2 ไฟกระแสตรงถูกส่งมาจากถ่าน จ่ายตรงมาที่หม้อแปลงเลย จากนั้นขดลวดได้ทำการยกระดับแรงดันขึ้นไปที่ ระดับ 3.5 kV แล้วจึงนำมาผ่าน diode และตัวเก็บประจุ เพื่อให้ได้แรงดันไฟตรง ประมาณ 3.5 kV

3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด

3.3.1 อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดอัตราการไหลของอากาศ(ลิตร/นาที)

คือ อุปกรณ์วัดอัตราการไหลมีชื่อเรียกว่า “Rota meter” แสดงดังรูป

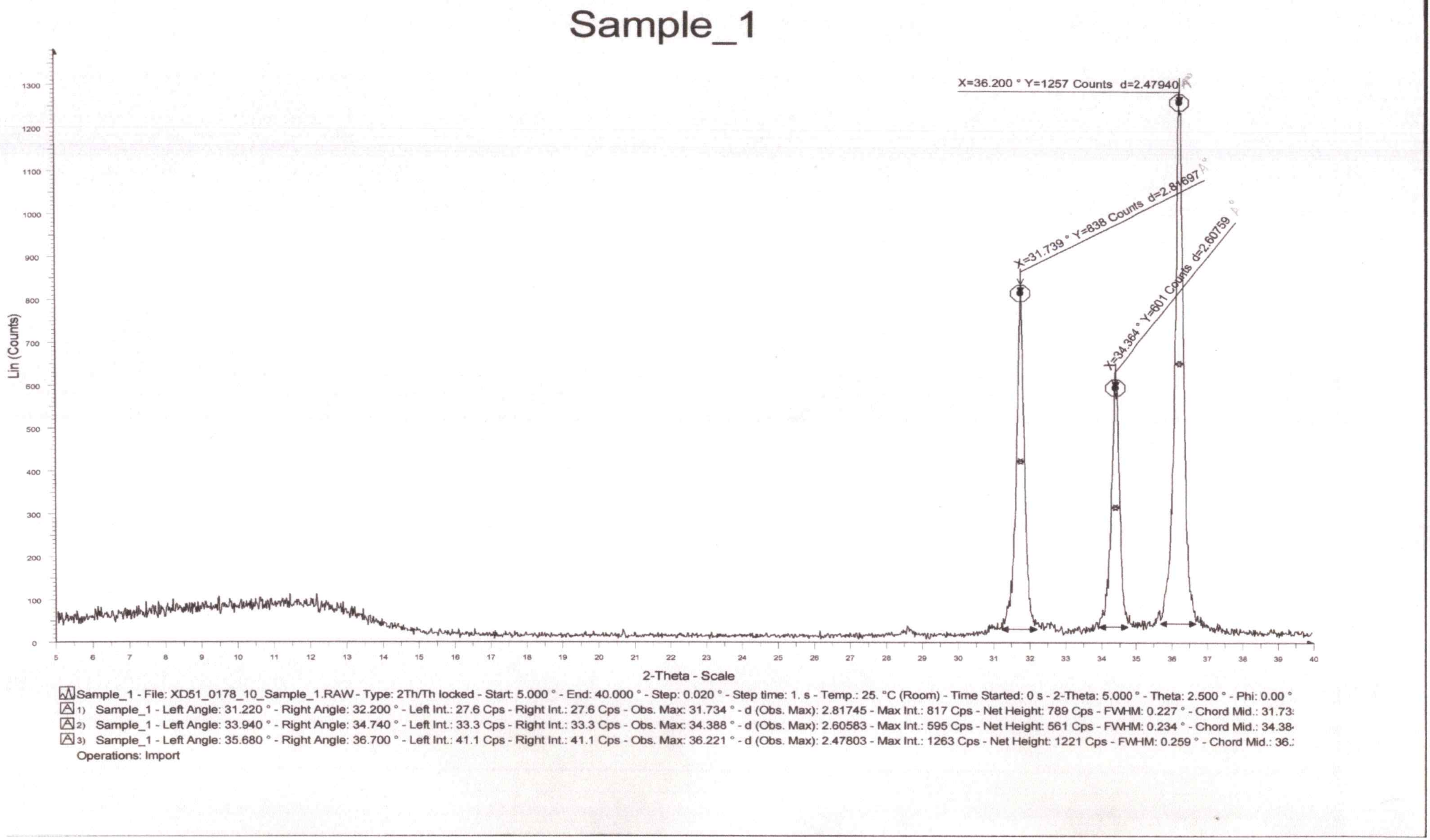


รูปที่3.15 Rota meter

3.3.2 ตัวอย่างแป้ง Talcumที่ใช้ในการทดลอง

เพื่อให้การทดลองมีความแม่นยำจึงต้องใช้อนุภาคที่มีความแน่นอนนั่นคืออนุภาคที่ทราบขนาดที่แน่นอนแล้ววัดจากเครื่องที่ได้มาตรฐานในที่ใช้แป้ง Calamine วัดกับเครื่องวัดรังสีเอกซเรย์ (XRD)

รูปที่3.16 แสดงภาพแป้ง Calamine มาตรฐานที่ใช้ในการวัดใช้กล้องดิจิตอลไมโครสโคปในการวัด (โดยในภาพแป้งเกาะกลุ่มใหญ่)



รูปที่ 3.17 ขนาดแป้งCalamine วัดโดย XRD

สูตร Scherrer equation ใช้สำหรับหาค่าขนาดของอนุภาคที่ทำการวัด(t) โดยใช้ความยาวคลื่น X-ray และ มุมที่กระเจิงกลับมา สามารถคำนวณได้ว่า

$$t = \frac{0.9\lambda}{B\cos\theta} \tag{3.13}$$

t : Thickness

λ : wavelength of x-rays(0.154 nm)

B : FWHM of diffraction peak

θ : angle corresponding to the peak

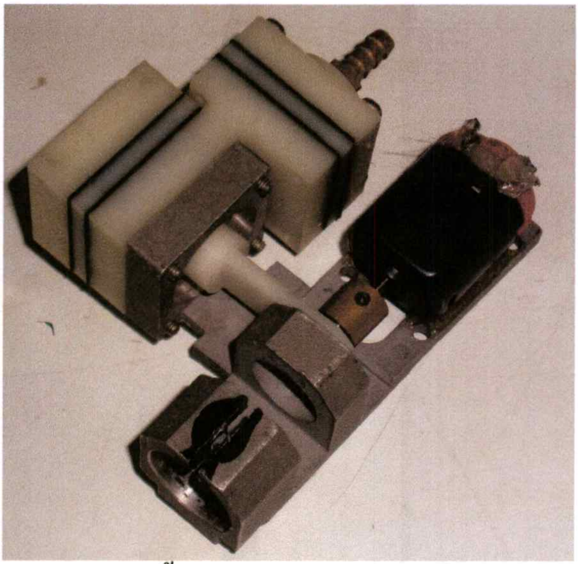
จาก peak ของกราฟทั้ง 3 จุด แทนค่าได้

$$t = \frac{0.9\times 0.154\times 10^{-9}}{0.259\times \frac{2\pi}{360}\times \cos 18^{\circ}} = 32.2 \text{ nm}$$

เฉลี่ย แล้ว อนุภาคแป้งมีค่า $\frac{32.2+35.52+36.36}{3} = 34.69nm$

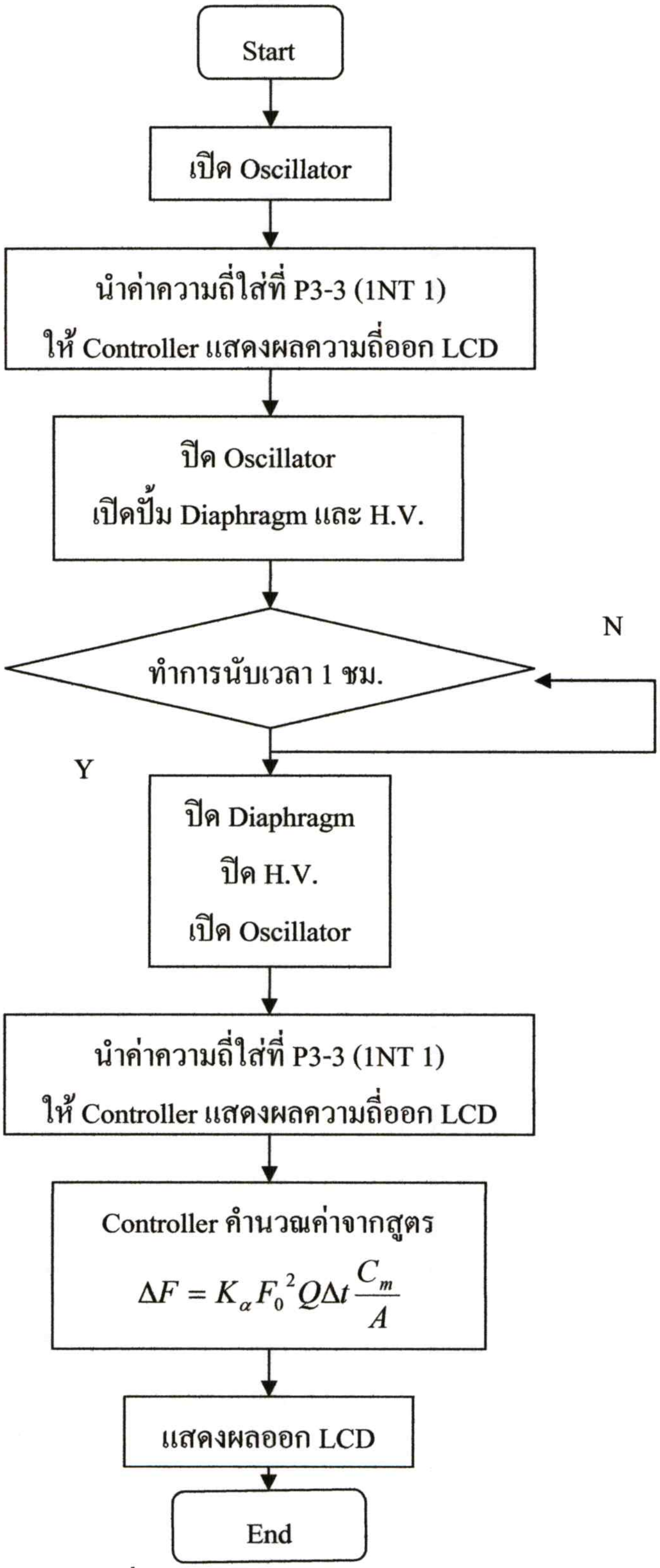
3.4 ปั๊มชนิดไดอะแฟรม

ในภาพคือปั๊มที่ทดลองด้วยอัตราการดูดอากาศ 2 lites/minute



รูปที่3.18 แสดงภาพปั๊มชนิดไดอะแฟรมในเครื่องวัดฝุ่น

3.5 แสดงโฟว์ชาร์ตการทำงานของเครื่องวัดฝุ่น



รูปที่3.19 แสดงโฟว์ชาร์ตโปรแกรมวัดฝุ่น

การทำงานเริ่มจาก ทำการเปิดวงจรกำเนิดความถี่(Oscilllator)แล้วระบบควบคุมขนาดเล็ก(MCU) นำค่าความถี่ที่อ่านได้ ออกมาที่จอผลึกเหลว ปิดวงจรกำเนิดความถี่ เปิดมอเตอร์ และ วงจรแรงดันสูงให้วงจรไม่โครคอนโทรลเลอร์ทำการใช้ฐานเวลา(Timer)ควบคุมเวลาทำงาน 1 ชั่วโมง ต่อมาปิดมอเตอร์และวงจรแรงดันสูง ทำการเปิดวงจรกำเนิดความถี่ เพื่ออ่านค่าความถี่หลังจากทำงานให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำงานคำนวณตามสูตร $\Delta F = K_{\alpha} F_0{}^2 Q \Delta t \frac{C_m}{A}$ แล้วแสดงผลทางจอผลึกเหลว

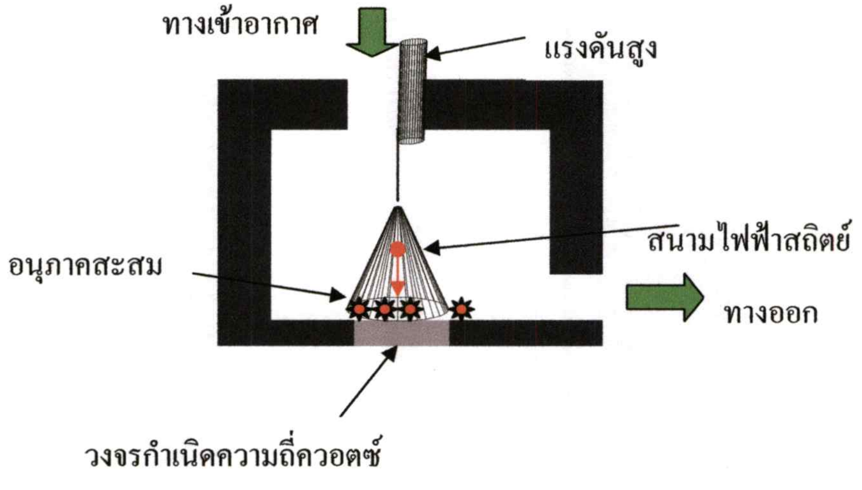
บทที่4

การทดลองและผลการทดลอง

สำหรับหัวข้อต่อไปนี้นั้นเป็นการแสดงการเตรียมการในบทที่ 3 มาทำการทดลองและหาเหตุผลในการสรุปถึงปัญหาของงานวิจัยโดยจะกล่าวเป็นส่วนๆของการวิจัยมีในส่วนของวงจรกำเนิดความถี่,มอเตอร์,วงจรแรงดันสูงและในการอ่านค่าความถี่และแปลงเป็นมวลต่อไป

4.1 ขั้นตอนการทดลอง

เริ่มแรก ทำการทดลองการกำเนิดสัญญาณความถี่ 1 MHz ถัดมาทำการทดลองอ่านค่าความต่างความถี่จากวงจรผสมสัญญาณเบอร์ SCM-1 ทดลองแปลงสัญญาณไซน์ เป็น สี่เหลี่ยม รับค่าการทดลองอ่านค่าความถี่จากวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C4051 แสดงผล LCD สั่งเปิด-ปิดวงจรกำเนิดความถี่,มอเตอร์,วงจรแรงดันสูง อัตโนมัติ สุดท้าย ทำการทดลองเปรียบเทียบกับมาตรฐาน

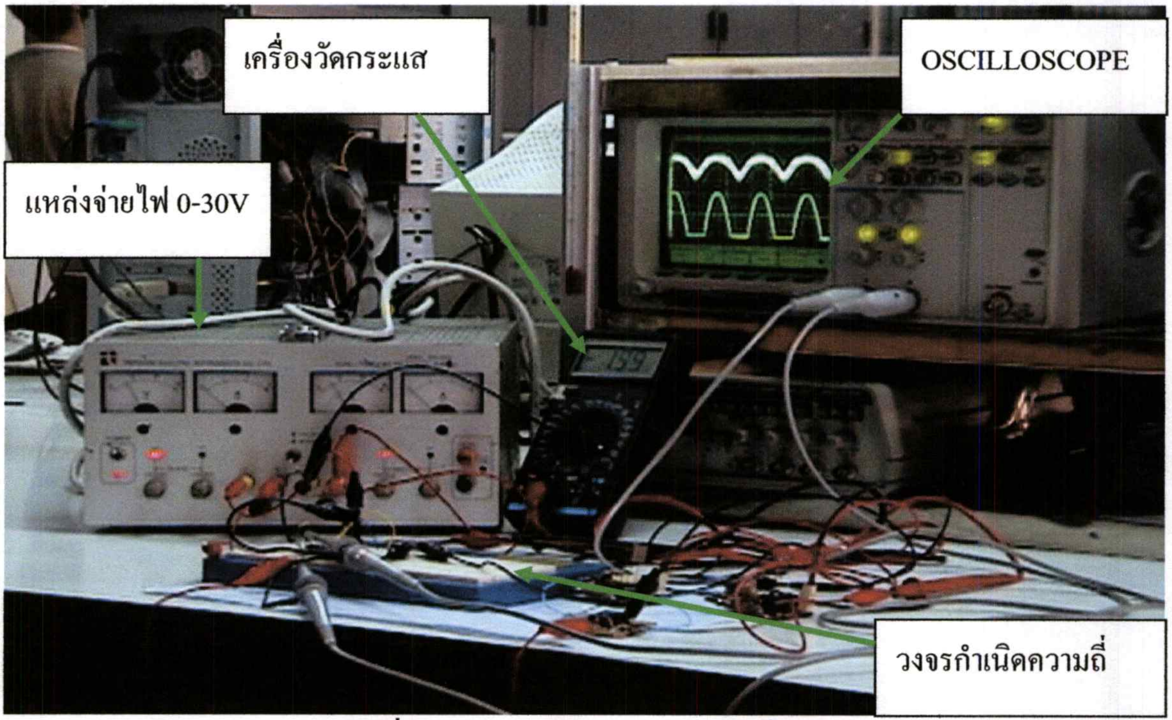


รูปที่4.1 แสดงรูปแบบการทดลอง

4.2 ผลการทดลองของวงจรกำเนิดความถี่

ในการทดลองนั้นเราต้องการอย่างแรกก็คือได้พยายามเปลี่ยนสัญญาณขาออก จากรูปไซน์ให้เป็นรูปสี่เหลี่ยม เพื่อให้วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถอ่านค่าได้นำมาคำนวณเป็นความถี่ จากนั้นแปลงค่าเป็นมวลและแสดงผลผ่านจอผลึกเหลว โดยในการทดลองต้องกำหนดการใช้แรงดัน และกระแสด้วยเพราะในการทำงานจริงเป็นแบบพกพา

โดยทดสอบแรงดันวงจรที่แรงดัน 9 V



รูปที่4.2 รูปแสดงชุดทดลองวัดความถี่

โดย T(c) คือ อุณหภูมิห้องวัดโดยเทอร์โมมิเตอร์

P-P1(mV) คือ สัญญาณของวงจรกำเนิดความถี่ก่อนเข้าวงจรผสมสัญญาณ

P-P2(mV) คือ สัญญาณของวงจรกำเนิดความถี่หลังผ่านวงจรผสมสัญญาณ

F(Hz)คือ ความถี่ของทั้งสองสัญญาณ

DC คือ แรงดันที่จ่ายให้กับวงจรกำเนิดความถี่

I (mA) คือ กระแสที่ใช้ของวงจรกำเนิดความถี่

ตารางที่4.1 แสดงผลสัญญาณจากวงจรกำเนิดความถี่ที่แรงดัน 9 V.

T (c)	P-P1(mV)	P-P2(V)	f(Hz)	DC	I(mA)
29	369	3.25	39.1	9	2.08
29	372	3.25	39.3	9	2.08
29	363	3.22	38.7	9	2.08
29	391	3.25	39.7	9	2.08
29	381	3.22	39.7	9	2.08
30	353	3.41	47.7	9	2.07
30	372	3.41	48.7	9	2.07
30	369	3.41	47.6	9	2.07
30	375	3.38	47.4	9	2.07
30	360	3.38	47.7	9	2.07

ตารางที่4.2 แสดงผลสัญญาณจากวงจรกำเนิดความถี่ที่แรงดัน 9 V.

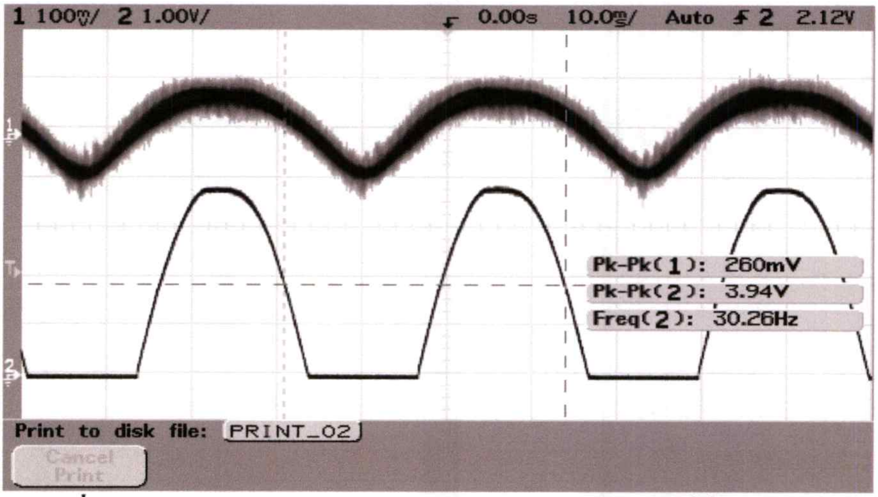
T (c)	P-P1(mV)	P-P2(mV)	f(Hz)	DC	I(mA)
29	356	3.38	46.9	9	2.06
29	360	3.38	46.7	9	2.06
29	363	3.38	46.5	9	2.06
30	369	3.38	49.9	9	2.06
30	350	3.38	46.3	9	2.07
30	366	3.38	46.5	9	2.07
30	360	3.38	46.8	9	2.07
30	347	3.38	46.5	9	2.07
30	363	3.38	46.6	9	2.07
30	369	3.38	46.7	9	2.07

ตารางที่4.3 แสดงผลสัญญาณจากวงจรกำเนิดความถี่ที่แรงดัน 9V.

T (c)	P-P1(mV)	P-P2(mV)	f(Hz)	DC	I(mA)
29	363	3.35	46.4	9	2.06
29	388	3.35	46.5	9	2.06
29	347	3.38	46.6	9	2.06
29	388	3.38	46.8	9	2.06
29	381	3.35	47.4	9	2.06
29	406	3.35	47.7	9	2.06
30	363	3.35	47.3	9	2.07
30	360	3.35	47.2	9	2.07
30	369	3.38	47.4	9	2.07
30	363	3.35	46.8	9	2.07

จากการทดลองนั้นเมื่อให้แรงดัน 9 V เข้าไปแล้วต่อวงจรขยายสัญญาณเข้าไปสัญญาณที่ได้วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถแยกแยะระดับสัญญาณสูง(Hi)และต่ำ(Lo)ได้อย่างหยาบๆ แล้วแต่ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมอาจเกิดกรณีผิดพลาดได้จึงทำการเพิ่มวงจรขยายให้มีค่าใกล้เคียงกับสัญญาณมากขึ้น

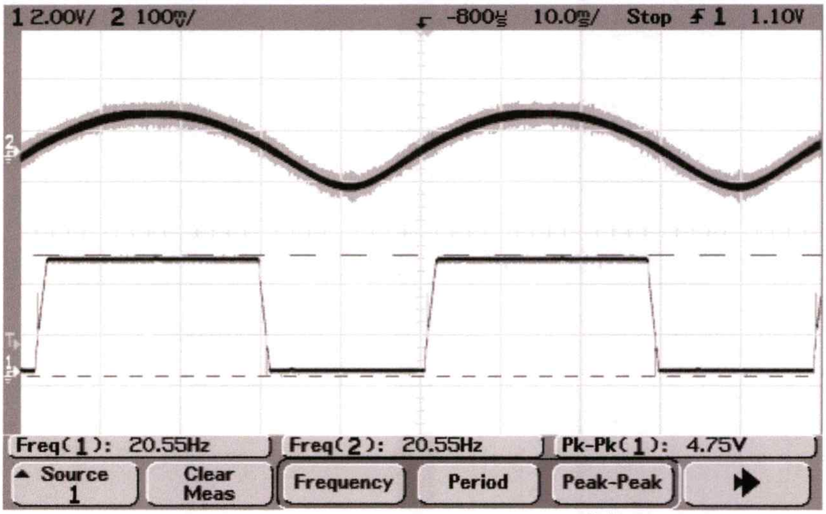
กระแสที่ใช้ในวงจรประมาณ 2 A/hour ทำให้ต้องใช้ถ่านชาร์จ 2 A ขึ้นไป



รูปที่4.3 กราฟแสดงผลจากสัญญาณของวงจรกำเนิดความถี่ที่แรงดัน9 V

4.2.1 ผลการทดลองวงจรสมบูรณ์

ผลจากการทดลองแรงดันที่ใช้คือ 9 โวลต์ ซึ่งจากรูปที่ได้มีการแยกความถี่กันอย่างชัดเจน มีความสูงพอเหมาะที่จะสามารถนำมาประมวลผลได้ และจะนำค่าที่ได้นั้นมาคำนวณหามวลฝุ่นต่อไป จึงใช้แรงดันนี้ในการทำงาน แต่ขอปรับให้ความชันมากขึ้นดังรูปถัดไป โดยการเพิ่มความต้านทานที่วงจรขยายเพื่อให้มีการขยายความถี่มากขึ้นดังนี้



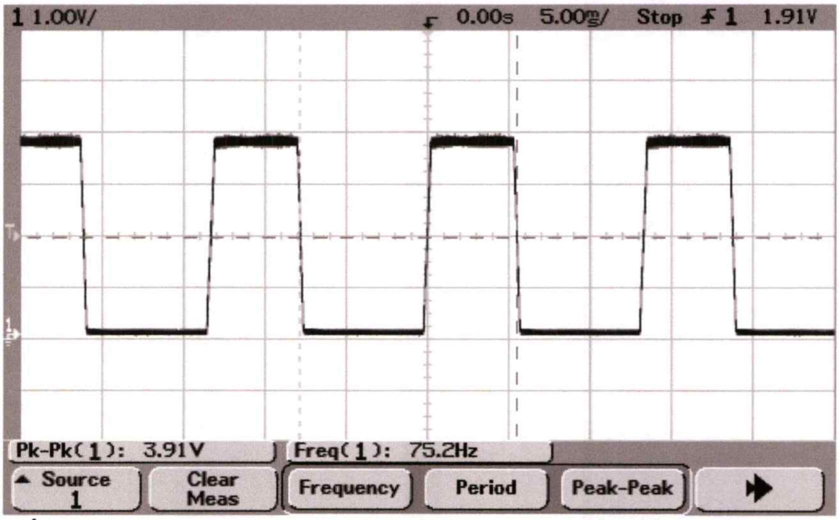
รูปที่4.4 กราฟแสดงผลจากสัญญาณของวงจรกำเนิดความถี่ที่แรงดัน 9 V(รูปสมบูรณ์)

เราได้แก้วงจรของการแปลงกราฟเป็นรูปสี่เหลี่ยมของวงจรขยาย(Opamp) เบอร์ LM 358 โดยการเพิ่มตัวต้านทานเข้าไปทำให้การขยายมากขึ้นกราฟไซน์ดันจนสูงกลายเป็น กราฟสี่เหลี่ยม วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถอ่านค่าของสัญญาณได้

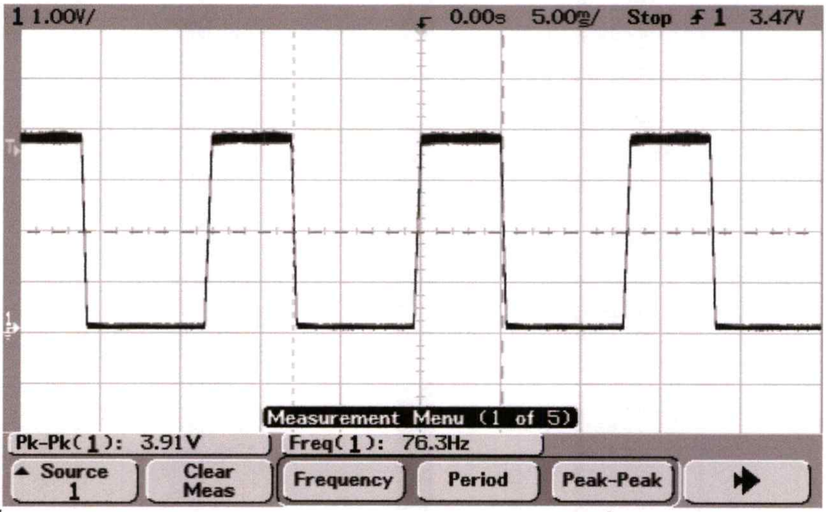
4.3 ผลการทดลองผลึกควอตซ์ กับ อุณหภูมิ

เนื่องจากค่าความถี่ของผลึกควอตซ์มีการเปลี่ยนแปลงกับอุณหภูมิ ดังนั้นจึงต้องใช้วงจรกำเนิดความถี่ 2 วงจรในการลดการเปลี่ยนแปลงนั้น เพื่อให้ผลึกควอตซ์อยู่ในสภาวะเดียวกัน ดังจากการแก้ไขดังกล่าว จึงทำการทดลองเพื่อให้ทราบว่าอุณหภูมิมีผลกับความถี่น้อยลง

4.3.1 ผลการทดลองผลึกควอตซ์กับอุณหภูมิต่ำ



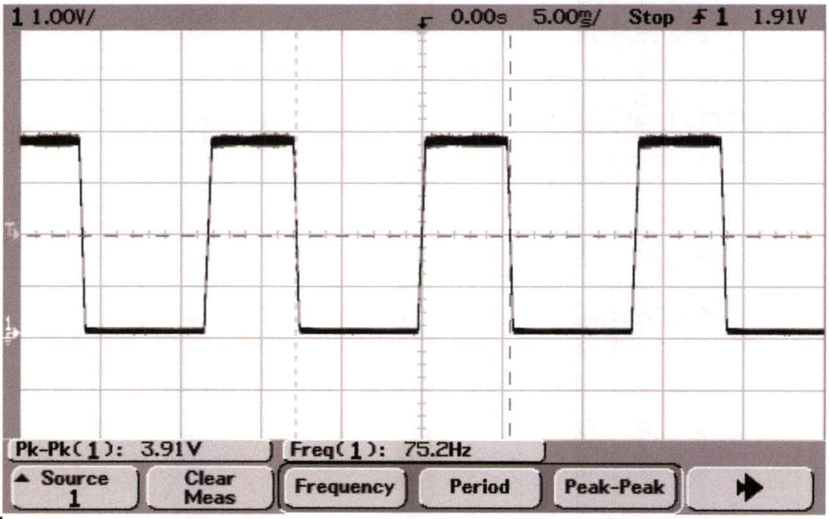
รูปที่4.5 กราฟแสดงผลจากสัญญาณของวงจรกำเนิดความถี่อุณหภูมิ 26 องศาเซลเซียส



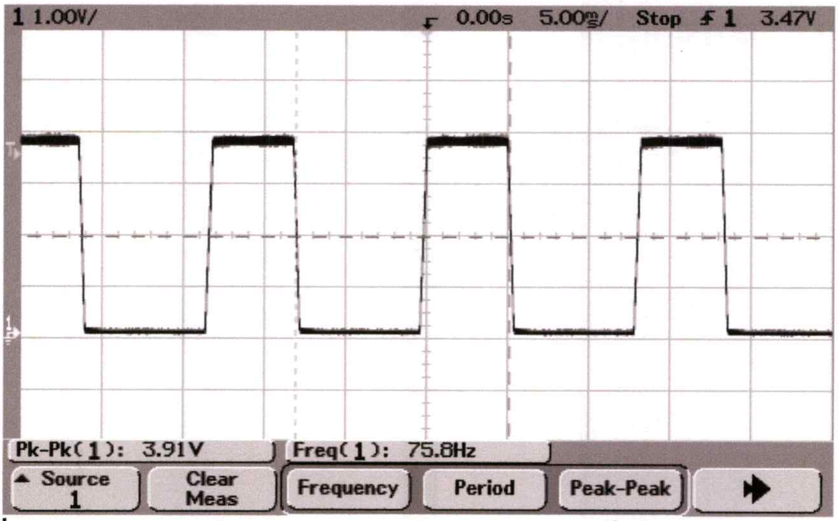
รูปที่4.6 กราฟแสดงผลจากสัญญาณของวงจรกำเนิดความถี่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

ผลที่ได้รับจากการลดอุณหภูมิจาก 26 องศา มาที่ 20 องศา ได้ค่าการเปลี่ยน แปลงความถี่มาประมาณ 1.1 Hz ซึ่งมีค่าน้อยกว่าการเปลี่ยนจากมวลมาก

4.3.2 ผลการทดลองผลึกควอตซ์กับอุณหภูมิสูง



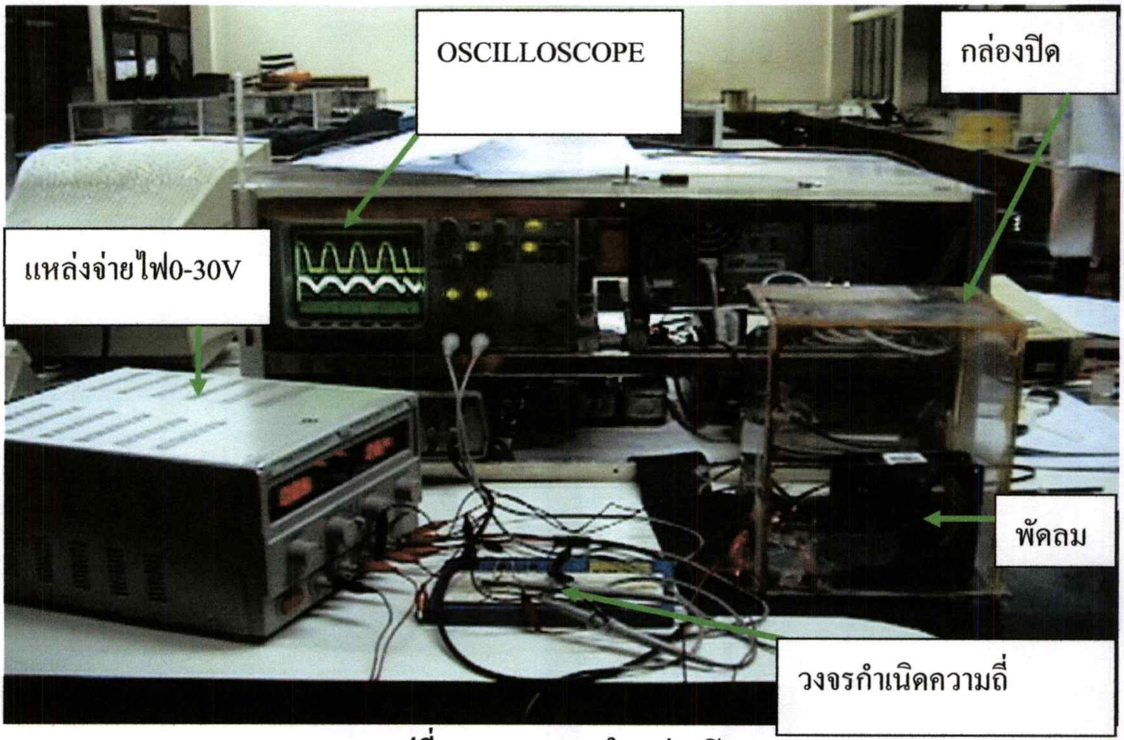
รูปที่4.7 กราฟแสดงผลจากสัญญาณของวงจรกำเนิดความถี่อุณหภูมิ 26 องศาเซลเซียส



รูปที่4.8 กราฟแสดงผลจากสัญญาณของวงจรกำเนิดความถี่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

ผลที่ได้รับจากการเพิ่มอุณหภูมิจาก 26 องศา มาที่ 40 องศา ได้ค่าการเปลี่ยนแปลงความถี่มาประมาณ 0.6 Hz ซึ่งมีค่าน้อยกว่าการเปลี่ยนจากมวลมาก จากความไวในการตอบสนอง (Sensitvity)ของมาตรฐาน คือ 180 Hz/microgram เพราะฉะนั้นถ้ามีการเปลี่ยนแปลง 1.1 Hz จะมีการเปลี่ยนแปลงมวลไปเพียง 0.0058 microgram แต่สำหรับความแม่นยำของเครื่องโดยทั่วไปจะอยู่ที่ 0.01 microgram เมื่อเทียบกันจึงอุณหภูมิจึงมีผลน้อยมาก

4.4 ทดสอบ วัดฝุ่นโดยกระดาษกรอง ทุกๆ 30 นาที ในห้องปิด



รูปที่4.9 การทดลองในกล่องปิด

ตารางที่4.4 แสดงผลการดักฝุ่นจากกระดาษกรอง โดยมีน้ำหนักฝุ่นเริ่มต้น 0.5 g

	มวล (g) ครั้งที่ 1	มวล (g) ครั้งที่ 2	มวล (g) ครั้งที่ 3
	16.66857	16.66839	16.66883
	16.6701	16.67074	16.6709
	16.67183	16.67273	16.67295
	16.67219	16.67319	16.67315
	16.6739	16.67452	16.67476
Average	16.671318	16.671914	16.672118

ตารางที่4.5 มวลกล่องที่ไม่ใส่กระดาษกรอง

16.61058	16.6111	16.61096

มวลสุทธิ =16.671783 - 16.61088 = 0.060903

จากการทดลองทำให้เราทราบว่า มวลที่ติดกับกระดาษกรอง 5 ไมครอนนั้นมีอยู่จริงและมวลนั้นก็คือฝุ่นที่กระจายอยู่รอบๆห้องปิดนั้น(เพราะฝุ่นมีขนาด 10 ไมครอน)แต่แบบนี้คือการวัดแบบตรงที่เสียเวลานานและ ไม่ค่อยสะดวกมากนัก ดังนั้นเราจึงทำต้องใช้วิธีการวัด โดยผลึกควอตซ์

4.5 ผลการทดลองเมื่อใช้เครื่องดักฝุ่น(โดยในการทดลองนี้แยกเป็นใช้และไม่ใช้แรงดันสูง

ตารางที่4.6 แสดงผลการดักฝุ่นจากเครื่องทดลองขณะ ไม่มีแรงดันสูง

ผลการทดลองไม่เปิดแรงดันสูง

ที่เวลา 120 นาที	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ความถี่	Hz	Hz	Hz
ก่อนทำการทดลอง	65.3	67.5	76.1
หลังทำการทดลอง	69.4	70.3	80.0
ผลต่างความถี่	3.9	3.8	3.9

ตารางที่4.7 แสดงผลการดักฝุ่นจากเครื่องทดลองขณะมีแรงดันสูงที่ 20 นาที

ผลการทดลองเปิดแรงดันสูง

ที่เวลา 20 นาที	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ความถี่	Hz	Hz	Hz
ก่อนทำการทดลอง	86.1	85.3	90.6
หลังทำการทดลอง	93.9	93.4	98.6
ผลต่างความถี่	7.8	8.1	8

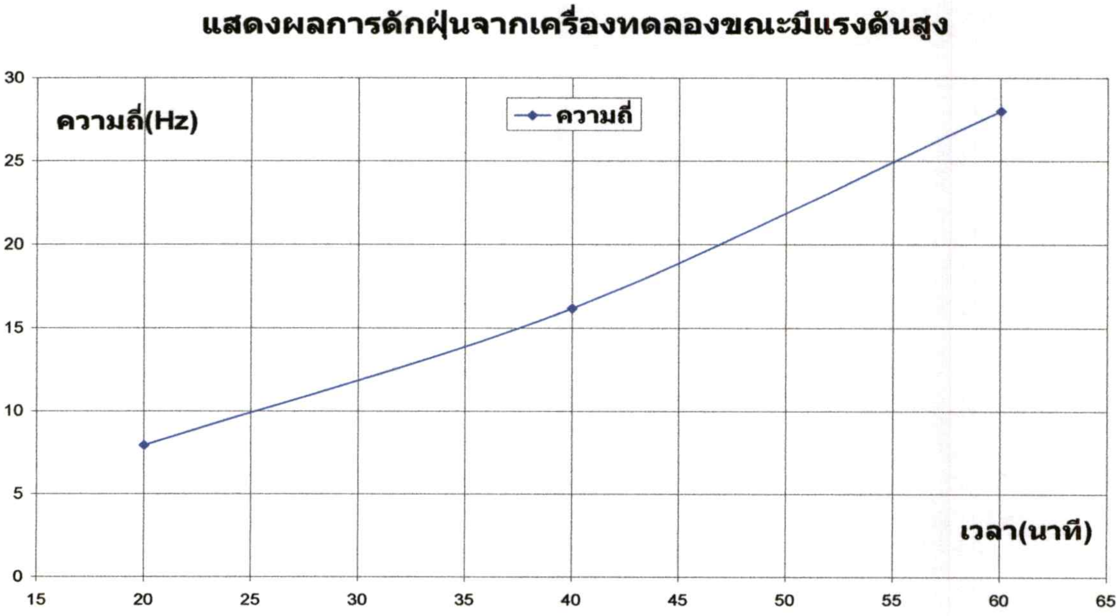
ตารางที่4.8 แสดงผลการดักฝุ่นจากเครื่องทดลองขณะมีแรงดันสูงที่ 40 นาที

ที่เวลา 40 นาที	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ความถี่	Hz	Hz	Hz
ก่อนทำการทดลอง	93.5	97.6	97.9
หลังทำการทดลอง	109.6	113.9	114.1
ผลต่างความถี่	16.1	16.3	16.2

ตารางที่4.9 แสดงผลการดักฝุ่นจากเครื่องทดลองขณะมีแรงดันสูงที่ 70 นาที

ที่เวลา 70 นาที	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ความถี่	Hz	Hz	Hz
ก่อนทำการทดลอง	111.4	115.3	116.4
หลังทำการทดลอง	139.2	143.4	144.5
ผลต่างความถี่	27.8	28.1	28.1

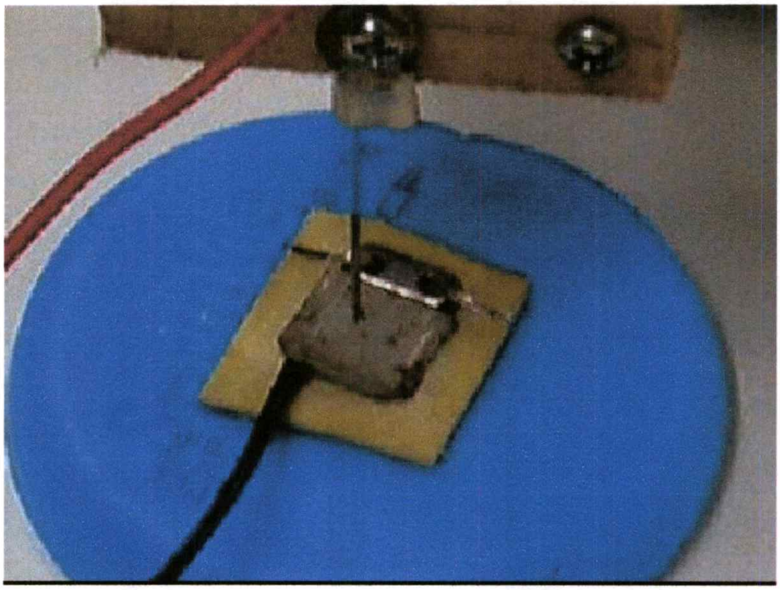
ผลการทดลองที่ได้ทำให้เราสามารถบอกได้ว่าในสภาพที่ไม่มีแรงดันสูง นั้น การที่มวลจะมาเกาะที่ผลึกควอตซ์นั้นมีค่าน้อยและอาจมีการหลุดจากการกระทบตามธรรมชาติทำให้ค่าความถี่ที่ได้มีค่าน้อยจากพื้นที่ห้องปิดที่มีจำนวนฝุ่นน้อยแต่จากการนำแรงดันสูงเข้ามาช่วยเพื่อให้ฝุ่นเกาะที่ผลึกควอตซ์มากขึ้นจาการทดลองที่ได้ถ้าเวลาในการใช้แรงดันสูงมากขึ้นก็จะทำให้ค่าความต่างความถี่ที่ได้มีค่าเพิ่มมากขึ้นซึ่งจากการทดลองที่ได้ควรใช้แรงดันสูง ร่วมกับอิมแพคเตอร์ด้วย ดังแสดงในรูปข้างล่าง



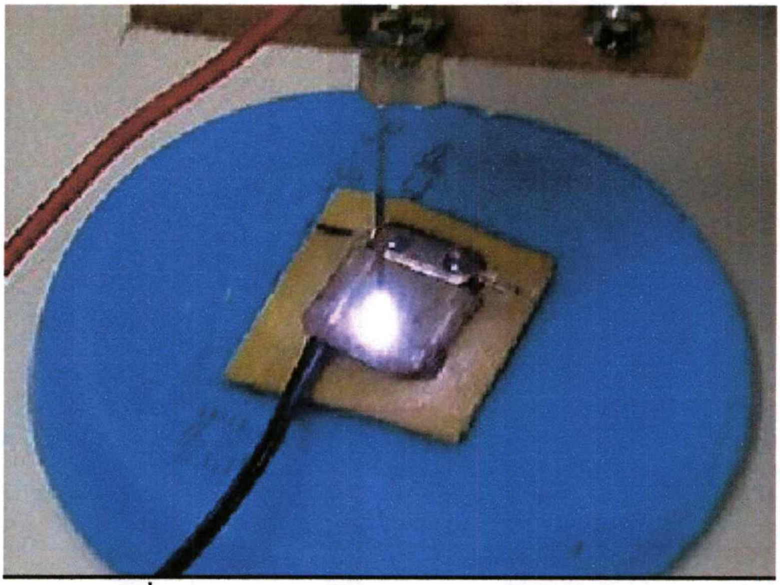
รูปที่4.10 แสดงผลการดักฝุ่นจากเครื่องทดลองขณะมีแรงดันสูง

4.6 ผลการทดลองในการหาระยะที่เหมาะสมของแรงดันสูง

จากภาพด้านล่างเพื่อให้เกิดการเก็บอนุภาคในควอตซ์ให้ได้มากที่สุด จึงต้องทดลองหาระยะที่เหมาะสมของการเกิดแรงดันสูงผลเป็นดังนี้



รูปที่4.11 ขณะยังไม่เกิดการสปาร์คในแรงดันสูง



รูปที่4.12 ขณะเกิดการสปาร์คในแรงดันสูง

รูปที่4.13 กราฟแสดงแรงดันสูงของแรงดันและกระแส

จากการทดลองแรงดันสูงนั้นทฤษฎีเป็นกราฟเส้นโค้ง จะเห็นได้ว่าช่วงที่ใช้งานนั้นคือช่วงที่มีการแตกตัวของอิออนมากที่สุดนั่นคือจุกที่มีการเรืองแสง จะต้องเกิดการสปาร์คที่รุนแรง โดยในที่นี้นั้นจากสมการเกิดแรงดันสูง จะหาช่วงของการเริ่มแตกตัวที่ 4 มม. แต่ที่ต้องการจะตรงกับช่วงที่มีกระแสเพิ่มขึ้น ดังนั้นช่วงที่เหมาะสมในการใช้งานคือ 1-2 มิลลิเมตร

4.7 ผลการทดลองเพื่อสอบเทียบเครื่องมือวัดฝุ่น

เมื่อได้ผลระยะที่เหมาะสมของแรงดันสูงแล้วทำการสอบเทียบเพื่อหาค่าคงที่ 4 ครั้งได้ว่า

ตารางที่4.10 แสดงผลการสอบเทียบครั้งที่ 1 และ 2

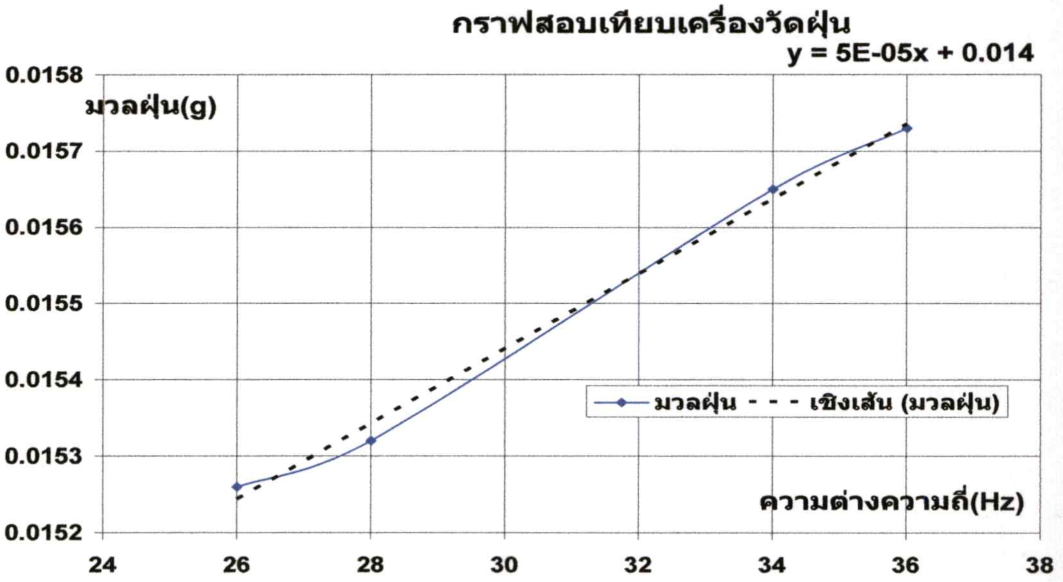
ครั้งที่1	
เวลา(นาที)	ความถี่Hz)
0	128
10	125
20	123
30	118
40	110
50	105
60	102
ส่วนต่าง	26
มวลก่อนทดลอง(g)	0.7632
มวลหลังทดลอง(g)	0.77846
	0.01526

ครั้งที่2	
เวลา(นาที)	ความถี่Hz)
0	130
15	124
30	119
45	113
60	105
75	101
80	96
ส่วนต่าง	34
มวลก่อนทดลอง(g)	0.76298
มวลหลังทดลอง(g)	0.77863
	0.01565

ตารางที่4.11 แสดงผลการสอบเทียบครั้งที่ 3 และ 4

ครั้งที่3	
เวลา(นาที)	ความถี่ Hz)
0	131
20	127
40	123
60	114
80	110
90	105
100	103
ส่วนต่าง	28
มวลก่อนทดลอง(g)	0.76318
มวลหลังทดลอง(g)	0.7785
	0.01532

ครั้งที่4	
เวลา(นาที)	ความถี่ Hz)
0	140
20	135
40	130
60	125
80	118
100	111
120	104
ส่วนต่าง	36
มวลก่อนทดลอง(g)	0.76299
มวลหลังทดลอง(g)	0.77872
	0.01573



รูปที่4.14 รูปกราฟสอบเทียบเครื่องวัดปริมาณฝุ่น

ในรูปกราฟสอบเทียบเส้นสีน้ำเงินแสดงค่าจริงส่วนเส้นประแสดงกราฟเชิงเส้น จากการคำนวณ ในสมการการหามวลเทียบกับความถี่ของควอตซ์ ได้ว่า

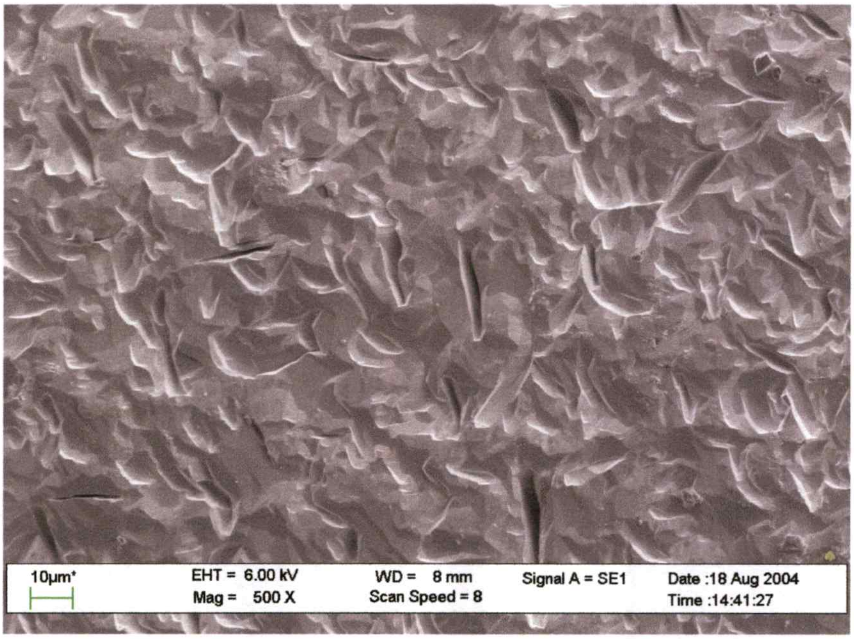
$$\Delta F = K_{\alpha} F_0^{\,2} Q \Delta t \frac{C_m}{A} \tag{4.1}$$

โดยให้ $Q = 2$ ลิตร/นาที , $F_0^{\ 2} = 1.8432$ MHz , $\Delta t = 120$นาทีและ $A = 0.5$ เซนติเมตร ได้ค่าคงที่สอบเทียบว่า $K_\alpha = 1.22 \times 10^{-13}$ นำไปใช้ในการกำหนดโปรแกรมคำนวณ

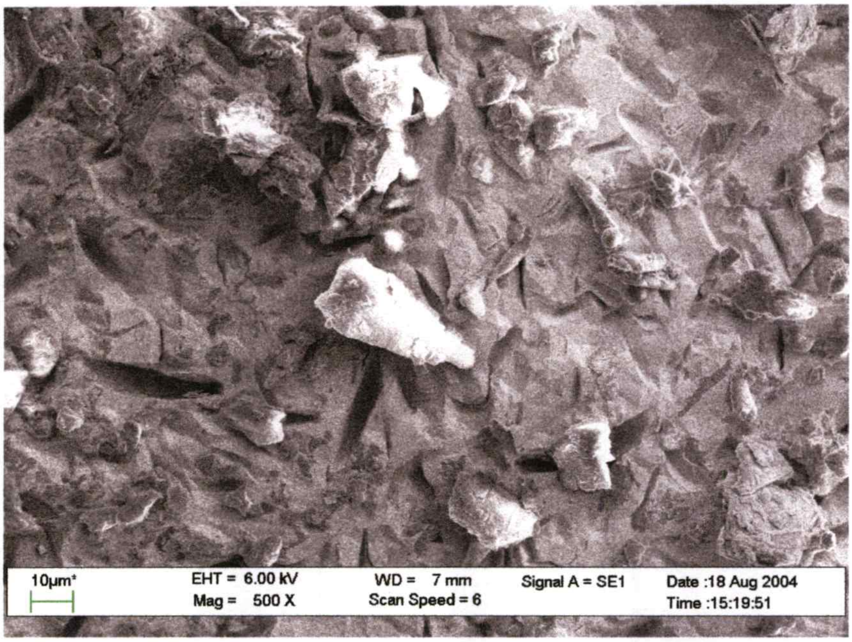
สำหรับกราฟที่ได้นั้นมีการผิดพลาดจากกราฟควรจะเป็นเส้นโค้งหงายลงเพราะเมื่อใช้ไปเวลานานๆ ค่าการเกาะติดฝุ่นจากแรงดันสูงจะมีค่าลดลง และการกระจายมวลฝุ่นมีค่าคงที่

4.8 ผลการทดลองของแผ่นผลึกควอทซ์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

เพื่อสร้างความเชื่อมั่นในการทดลองจึงขอตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดดังรูป



รูปที่4.15 รูปผลึกควอทซ์ขณะไม่มีอนุภาคฝุ่นด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด



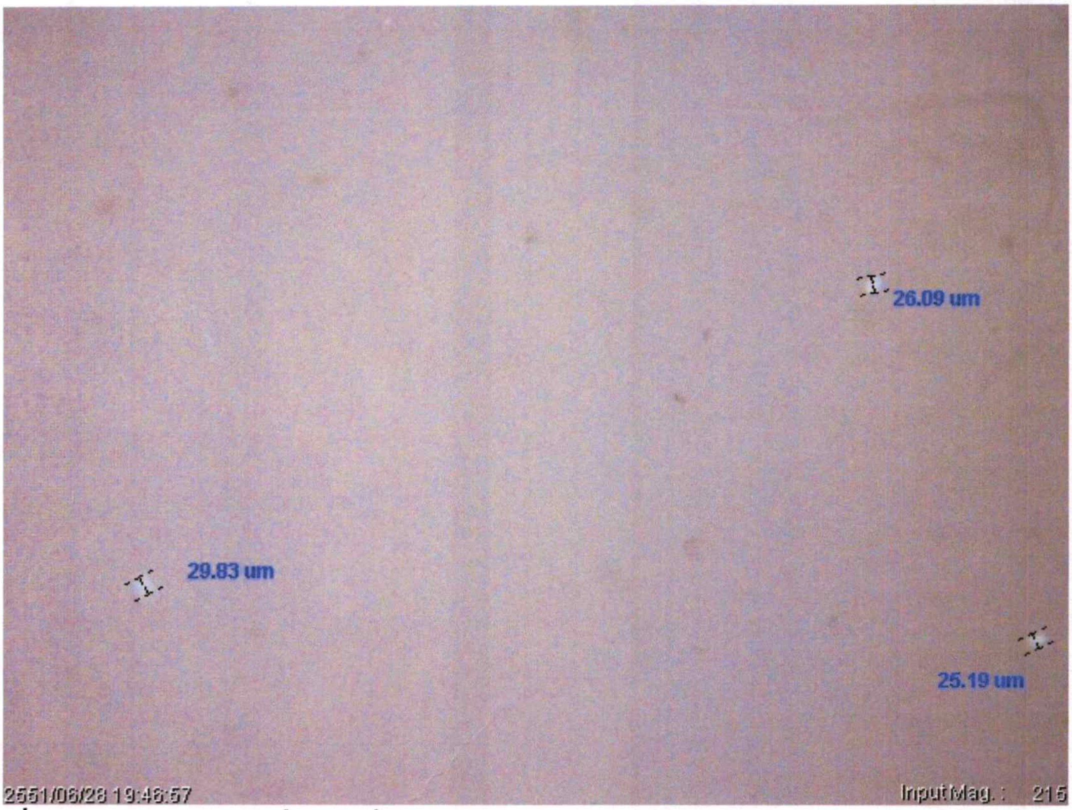
รูปที่4.16 รูปผลึกควอทซ์ขณะมีอนุภาคฝุ่นจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

4.9 ผลการทดลองวัดขนาดมวลฝุ่นที่ไหลผ่านอิมแพคเตอร์

จากการคำนวณในสูตร

$$D_{50} = \sqrt{\frac{9\pi Stk\,\mu W^{3}}{4\rho_p CQ}} \qquad (4.2)$$

ใช้ค่า Stk50 = 0.25 อนุภาค Diameter = 20 ไมครอน อัตราไหลอากาศ 2 liter/minute ได้ค่า W = 0.7 เซนติเมตร



รูปที่4.17 รูปขนาดอนุภาคที่วัดได้เมื่อผ่านอิมแพคเตอร์ภาพจากกล้องจุลทรรศน์ดิจิตอล

รูปที่4.18 รูปขนาดอนุภาคขนาดขยายที่วัดได้เมื่อผ่านอิมแพคเตอร์

จากการทดลองที่ได้ อ่านอนุภาคได้ 3 ตัว ประมาณ 25 ไมครอน ถือว่าใกล้เคียงกับการคำนวณ สามารถที่จะกรองขนาดอนุภาคได้

รูปที่4.19 รูปเครื่องวัดฝุ่นที่สมบูรณ์เครื่องมีขนาดอยู่ในช่วงกว้าง 19 ซม. ยาว 24 ซม. สูง 6.5 ซม.

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินงาน

5.1สรุปผลการศึกษาการออกแบบเครื่องวัดละอองฝุ่นอย่างง่าย

จากการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับเครื่องวัดฝุ่นแต่ละแบบที่มีการจัดทำมาใช้งานในปัจจุบัน แบ่งออกได้เป็น 4 แบบได้แก่ เทคนิคการวัดตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง,เทคนิคการลดทอนของรังสีเบต้า(BAM),เทคนิคการเปลี่ยนแปลงความถี่ของผลึกควอตซ์(QCM) และเทคนิคการสั่นของคานแบบบาง(TEOM) แล้วได้ศึกษาอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้ในงานจัดทำเครื่องวัดละอองฝุ่นในแต่ละส่วนเป็นอย่างดี โดยผู้จัดทำได้เลือกใช้งานเทคนิคการเปลี่ยนแปลงความถี่ของผลึกควอตซ์ซึ่งโดยปกติจะต้องทำการตัดแบ่งบางส่วนจากแท่งผลึกควอทซ์มาใช้งาน แต่ในที่นี้จะนำเอาตัวผลึกควอตซ์ของงานอิเล็กทรอนิกส์ที่มีขายอยู่ทั่วไปตามท้องตลาดนำมาตัดเปิดฝาออก เพราะภายในจะมีส่วนของผลึกควอทซ์อยู่ ซึ่งสามารถนำมาใช้แทนกันได้และฝากระป๋องของผลึกควอตซ์จะช่วยป้องกันในส่วนของไฟฟ้าสถิตย์อีกด้วย แต่ก็ยังมีข้อเสียจากการใช้ผลึกควอทซ์จากตัวกำเนิดความถี่ก็คือปริมาณในการใช้ตรวจวัดฝุ่นจะมีปริมาณน้อย จึงทำให้ต้องมีการเปลี่ยนแผ่นผลึกควอทซ์อยู่บ่อยๆ แต่สามารถแก้ไขในส่วนนี้ได้ เพราะในปัจจุบันราคาของผลึกควอทซ์นั้นค่อนข้างจะมีราคาถูกซึ่งไม่เป็นปัญหาต่อการเปลี่ยนบ่อย ๆ และส่วนในการเปลี่ยนผลึกควอตซ์นั้นก็ทำได้ง่ายจากการที่ผู้จัดทำได้ออกแบบให้มีการใช้งานได้ง่ายและสะดวกรวดเร็ว เราได้แก้ไขอุปกรณ์โดยให้ผลึกควอตซ์ 2 ตัวอยู่ที่สภาวะเดียวกัน และจากการเลือกวิธีการผลึกควอตซ์นี้ เราได้เพิ่มในส่วนของอิมแพคเตอร์ควบคู่ไปกับการใช้แรงดันสูงเพื่อให้มวลฝุ่นสามารถตรวจวัดฝุ่นได้เร็วขึ้นและไม่สูญเสียกำลังงานของเครื่องในขณะใช้งานจริงเพราะส่วนการสร้างแรงดันสูงและการบังคับของอิมแพคเตอร์จะทำให้ฝุ่นสามารถเกาะบนแผ่นผลึกควอทซ์ได้ง่ายขึ้นและไม่หลุดออกจากแผ่นผลึกควอทซ์จึงทำให้ค่าความถี่ที่ได้มีค่ามากขึ้นจาก 4 Hz เป็น 8 Hz 16Hz 28 Hz ที่เวลา 20 40และ70 นาทีตามลำดับและในส่วนของสัญญาณที่ได้ เราได้ทำทำการวัดสัญญาณที่ได้จากวงจรผสมสัญญาณในความถี่ต่ำน้อยกว่า 1 kHzแทน ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่าเมื่อเทียบกับการอ่านความถี่สูงช่วง 1 MHz สำหรับความไวการตอบสนองของเครื่องมืออยู่ที่ 0.01 Hz/ไมโครกรัม ใช้งานในช่วงอุณหภูมิ 20-40 องศาเซลเซียส วัดมวลได้ช่วง 0.01-10 มิลลิกรัม/ลูกบาศกเมตร วัดขนาดมวลได้ช่วง 10 ไมโครเมตร ปั๊มมีอัตราการไหล 2 ลิตร/นาที สามารถทำงานต่อเนื่องได้ 2 ชม. มีช่วงการวัด 6 แบบคือ 10,20,30,45,60 และ90 นาที

สำหรับวิธีการสอบเทียบแบบง่ายของการตรวจสอบว่าผลึกควอตซ์ยังสามารถใช้งานได้หรือไม่ สามารถใช้ระบบควบคุมส่งผลของความถี่ผ่านจอผลึกเหลวมาได้เลยถ้าค่าความถี่มีค่าไม่เกิน 1 MHz หรือ 10 มิลลิกรัม/ลูกบาศกเมตร ผลึกควอตซ์ยังสามารถใช้งานได้อยู่

ในส่วนท้ายนี้ผู้จัดทำหวังว่าในการศึกษารายละเอียดในแต่ละส่วนของเครื่องวัดละอองฝุ่นมีความเหมาะสมตรงกับการนำไปใช้งานในชีวิตจริงมากที่สุด

5.2 ปัญหาที่พบ

1. ตอนผ่าฝาผลึกควอตซ์ทำได้ยาก ทำให้ความถี่เปลี่ยนไปมาก ถ้ามีวัสดุอื่นตกลงไปทำให้ความถี่ผิดเพี้ยนไป

5.3 ข้อเสนอแนะ

ควรพัฒนาให้สามารถเก็บค่าภายในตัวเองและติดต่อกับอุปกรณ์เพื่อส่งค่าได้โดยง่ายอาจจะทำการพัฒนาเป็นอุปกรณ์ควบคุมระยะไกล (Remote Sensing) หรือแบบอัตโนมัติก็เป็นได้เพื่ออาจจะส่งข้อมูลได้อย่างรวดเร็วให้กับอุปกรณ์,สถานที่หรือบุคคลปลายทางได้

เอกสารอ้างอิง

[1]. Jame H. Vincent. **Aerosol Sampling**. John Wiley&Sons. 2007

[2] K.R.Parker. **Applied Electrostatic Precipitation**. Chapman & Hall. 1997

[3]. R S Sigmond. "Simple approximate treatment of unipolar space-charge-dominated coronas:The Warburg law and the saturation current". **J.Appl.Phys.**,Vol.53,No.2. February. 1982

[4]. Klaus Willeke. And. Paul A. Baron **Aerosol Measurement Principle,Technique, and Applications.** Van Nostrand Reinhold. 1993

[5].**"Quartz Crystal Microbalance(QCM)."** [Online]. Available : www.tau.ac.il/~phchlab/experiments/QCM/QCM.html. 1880

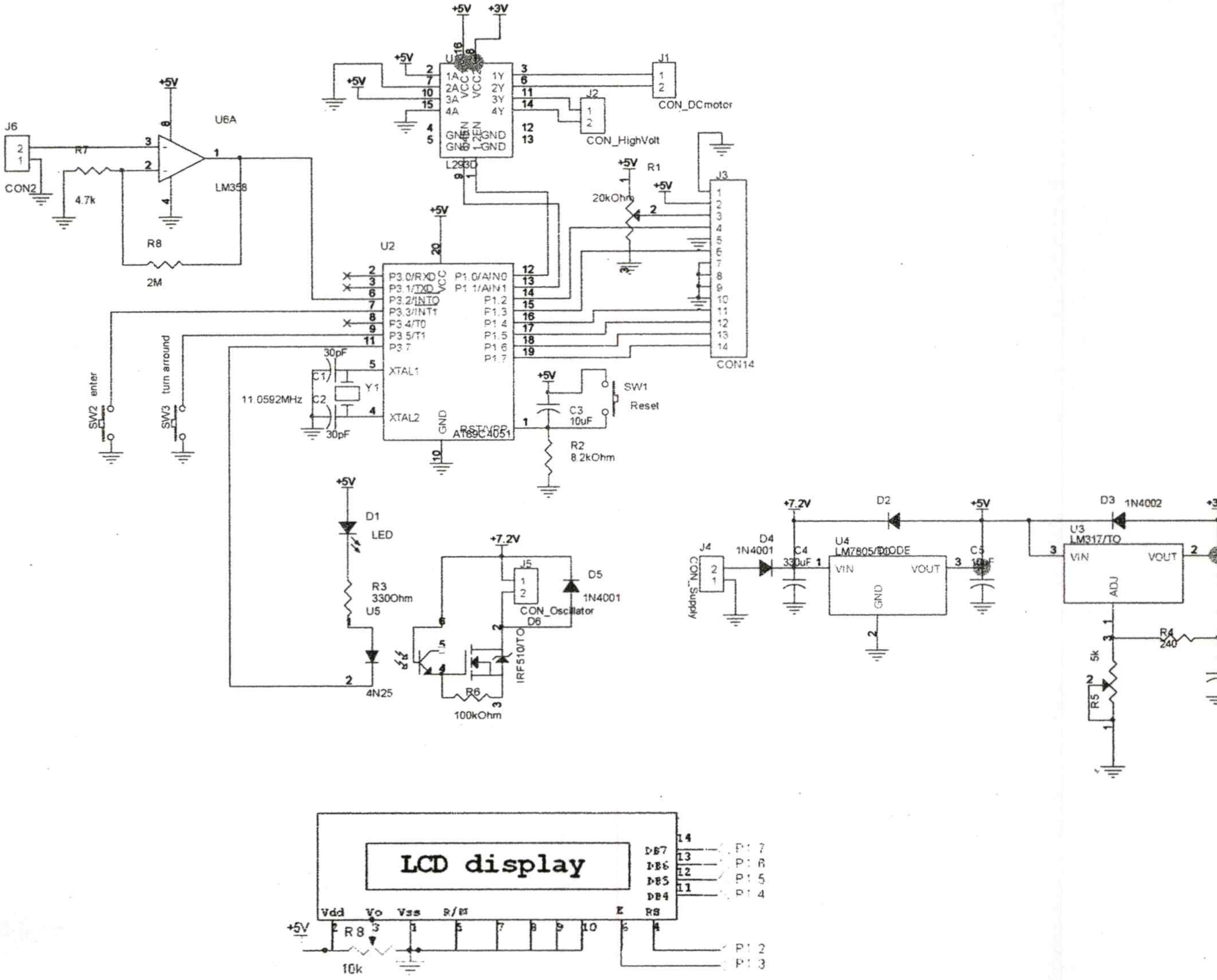
[6] James A.jahnke,Ph.D. **Continuous emission monitoring**. second edition. John Wiley&Sons. . 2000

[7] กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข .**คู่มือการตรวจวัดฝุ่นและก๊าซในสิ่งแวดล้อม**. พิมพ์ครั้งที่ 1. นนทบุรี. สามเจริญพาณิชย์จำกัด. 2544

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

วงจรของระบบเครื่องวัดปริมาณฝุ่นแบบผลึกควอตซ์



+5V
+3V
U1
L293D
1A
2A
3A
4A
1Y
2Y
3Y
4Y
VCC
GND
J1
CON_DCmotor
J2
CON_HighVolt
J6
CON2
R7
4.7k
U6A
LM358
R8
2M
U2
AT89C4051
P3.0/RXD
P3.1/TXD
P3.2/INT0
P3.3/INT1
P3.4/T0
P3.5/T1
P3.7
P1.0/AIN0
P1.1/AIN1
P1.2
P1.3
P1.4
P1.5
P1.6
P1.7
XTAL1
XTAL2
RST/VPP
30pF
C1
C2
Y1
11.0592MHz
SW2
enter
SW3
turn around
SW1
Reset
C3
10uF
R2
8.2kOhm
R1
20kOhm
J3
CON14
D1
LED
R3
330Ohm
U5
4N25
+7.2V
J5
CON_Oscillator
D5
1N4001
D6
IRF510/TO
R6
100kOhm
J4
CON_Supply
D4
1N4001
C4
330uF
U4
LM7805/DIODE
VIN
VOUT
C5
D2
D3
1N4002
U3
LM317/TO
ADJ
R4
240
5k
R5
LCD display
DB7
DB6
DB5
DB4
Vdd
Vo
Vss
R/W
E
RS
R 8
10k
P1.7
P1.6
P1.5
P1.4
P1.2
P1.3

ภาคผนวก ข.

โปรแกรมของระบบเครื่องวัดปริมาณฝุ่นแบบผลึกควอตซ์

```
///////////////////////////////include program for AT89C2051///////////////////////////

#include <reg51.h>      //register for AT89C4051

#include <stdio.h> //transmit and recieve character for AT89c4051


#define LINE1 0x80      // Define up line LCD

#define LINE2 0xC0      // Define down line LCD

#define lcd_delay(x) delay(x) //Define delay


sbit D7       = P1^7;     //lcd bit 3

sbit D6       = P1^6;     //lcd bit 2

sbit D5       = P1^5;     //lcd bit 1

sbit D4       = P1^4;     //lcd bit 0

sbit E       = P1^3;      // Bit control pluse command for LCD

sbit RS       = P1^2;     // Bit control command for LCD

sbit enable12  = P1^0;  //enable motor

sbit enable34  = P1^1;  //enable high volt

sbit oscillator= P3^7;  //enable oscillator

sbit choose    = P3^5;  // ^ button


char *Wel     =" Welcome QCM   ";

char *Welc     =" Portable Dust  ";

char *quest    =" Choose Time to ";

char *question =" Begin Keep Data";

char *blank1   ="                ";

char *ten      ="  10 Minute    ";

char *twenty   ="  20 Minute    ";

char *thirty   ="  30 Minute    ";

char *fourtyfiv="  45 Minute    ";

char *sixty    ="  60 Minute    ";

char *ninety   =" 1 Hour 30 Min  ";

char *wait     =" **Waiting**   ";
```

```
char *Freq    ="  Frequency  ";
char *mass    ="   Mass    ";

//////////////////////////variable data/////////////////////////////////////
unsigned char cputick,quit,q;
unsigned int pulse;
unsigned char seco,area;
unsigned int countup,k;
unsigned int Data1[3],Data2[3],Data3[2],Data4[2],Data5[2];
unsigned int time,time1; //time of measure(for example,10 minute)
unsigned int fo2,s,m,m1,m2,m3,DataOld,Datanew;
unsigned int Datanew2,DataOld2,DataOld1,Datanew1;
/////////////////////Interrupt Routeen//////////////////////
void timer0 (void) interrupt 1 using 1
{
        cputick++;
                TH0=0xDC;
                TL0=0;
}

void external0 (void) interrupt 0 using 0
{
     pulse++;
}

void external1 (void) interrupt 2 using 2
{
     quit=1;
}
/**************** Function delay 1 ms per unit ******************************/
void lcd_delay(unsigned int ms)
```

```
{
        unsigned int x,a;                    // Keep for counter loop
        for(x=0;x<ms;x++)
        {
                for(a=0;a<444;a++);      // Loop for delay 1 millisec per unit
        }
}
/***************** Function send command to LCD format 4 Bit *****************/
void lcd_command(unsigned char com)
{
        unsigned char buff;      // For Keep command send to LCD
        buff = com & 0xF0;
        RS = 0;                                                  // Write Command to LCD

        E = 1;                                                   //          start generate pluse
clock LCD
        P1 = (P1 & 0x0F)|buff ;    // Send data to LCD port
        lcd_delay(1);
        E = 0;
        lcd_delay(1);

        buff = (com & 0x0F)<<4;
        RS = 0;                                                  // Write Command to LCD

        E = 1;                                                   //          start generate pluse
clock LCD
        P1 = (P1 & 0x0F)|buff ;    // Send data to LCD port
        lcd_delay(1);
        E = 0;
        lcd_delay(1);
}
```

```
/****************************************************************************/
/*********************** Function send data to LCD format 4 Bit **************/
/****************************************************************************/
void lcd_text(char text)
{
        unsigned char buff;       // For Keep data send to LCD
        buff = text & 0xF0;
        RS = 1;                                                 // Write Command to LCD

        E = 1;                                                  //        start generate pluse
clock LCD
        P1 = (P1 & 0x0F)|buff ;   // Send data to LCD port
        lcd_delay(1);             // Delay for send command
        E = 0;
        lcd_delay(1);

        buff = (text & 0x0F)<<4;
        RS = 1;                                                 // Write Command to LCD

        E = 1;                                                  //        start generate pluse
clock LCD
        P1 = (P1 & 0x0F)|buff ;   // Send data to LCD port
        lcd_delay(1);
        E = 0;
        lcd_delay(1);
}
/****************************************************************************/
/***************** Function show string message ******************************/
/****************************************************************************/
void print_LCD(unsigned char line,char *p)
{
```

```
        lcd_command(0x02);       // Set origin address of LCD
        lcd_command(line);                          // Set address 00H of LCD
        while(*p)              // Check data pointer = 0?
        {
         lcd_text(*p);          // Send data to LCD
         p++;                 // Increase address 1 time
        }
}
/******************************************************************************/
/****************** Function set initial format LCD 4 Bit ******************/
/******************************************************************************/
void lcd_init()
{
        lcd_delay(5);              // Delay 5ms
        lcd_command(0x33);     // Command set format 4 bit
        lcd_command(0x32);              // Command set format 4 bit
        lcd_command(0x28);              // 2 line ,5*7 dot
        lcd_command(0x0C);     // Display ON , none curser
        lcd_command(0x01);              // Clear screen
}
///////////////////////Calculate///////////////////////////////////
void calculus(void)
{
        if(Data2[0]||Data2[1]||Data2[2]!=0)
                {       Datanew=(Data2[0]+Data2[1]+Data2[2])/3;
                        if(Data3[0]||Data3[1]!=0)
                        {       Datanew=(Datanew+Data3[0]+Data3[1])/3;   }
                        else{ Datanew=Datanew; }
                        if(Data4[0]||Data4[1]!=0)
                        {       Datanew=(Datanew+Data4[0]+Data4[1])/3;   }
                        else{ Datanew=Datanew; }
```

```
            if(Data5[0]||Data5[1]!=0)
            {       Datanew=(Datanew+Data5[0]+Data5[1])/3;   }
            else{ Datanew=Datanew; }
        }
            else
            {
                if(Data3[0]||Data3[1]!=0)
                {       Datanew=(Data3[0]+Data3[1])/2;   }
                else{ Datanew=Datanew; }
                if(Data4[0]||Data4[1]!=0)
                {
Datanew=(Data3[0]+Data3[1]+Data4[0]+Data4[1])/4;   }
                else{ Datanew=Datanew; }
                if(Data5[0]||Data5[1]!=0)
                {
Datanew=(Data3[0]+Data3[1]+Data4[0]+Data4[1]+Data5[0]+Data5[1])/6;   }
                else{ Datanew=Datanew; }
            }
        Datanew2=Datanew-DataOld;
        if(Datanew2>0)
        {       Datanew2=Datanew2*1;        }
        else{   Datanew2=Datanew2*-1;       }
        area=2;                     //area = 2x10-4 m2 distance electrode
        s=1;                        //s = constant
        fo2=34;                     //f0*2= default frequency = 1.843 MHz :3.4 THz
        q=2;                        //q = flow rate 2 liter/minute
        m=Datanew2*area/s;      //m = mass(ug/m3),Datanew2 = df
        m1=fo2*time;
        m1=m1*q;                            //formula m=df*a/s*fo2*q*t
        m=m/m1;
}
```

```
//////////////////////////////////Send Mass Message to LCD/////////////////////////
void send_lcd(void)
{
        print_LCD(0x80,mass);
        lcd_command(0xC0);
        m1=m%10000;
        m2=m%1000;
        m3=m%100;
        lcd_text(' ');
        lcd_text(m/10000+48);
        lcd_text(m1/1000+48);
        lcd_text(m2/100+48);
        lcd_text(m3/10+48);
        lcd_text(m2%10+48);
        lcd_text(' ');
        lcd_text(' ');
        lcd_text(' ');
        lcd_text(' ');
        lcd_text('u');
        lcd_text('g');
        lcd_text('/');
        lcd_text('m');
        lcd_text('3');
        lcd_text(' ');
        lcd_text(' ');
}
///////////////////////////////Send Before Frequency Message to LCD/////////////////////////
void send_lcd1(void)
{
        print_LCD(0x80,Freq);
        lcd_command(0xC0);
```

```
        DataOld1=DataOld%100;
        lcd_text(' ');
        lcd_text(DataOld/100+48);
        lcd_text(DataOld1/10+48);
        lcd_text(DataOld%10+48);
        lcd_text(' ');
        lcd_text(' ');
        lcd_text(' ');
        lcd_text(' ');
        lcd_text(' ');
        lcd_text(' ');
        lcd_text('H');
        lcd_text('z');
        lcd_text(' ');
        lcd_text(' ');
        lcd_text(' ');
        lcd_text(' ');
}
//////////////////////////////Send After Frequency to LCD//////////////////////////////
void send_lcd2(void)
{
        print_LCD(0x80,Freq);
        lcd_command(0xC0);
        Datanew1=Datanew%100;
        lcd_text(' ');
        lcd_text(Datanew/100+48);
        lcd_text(Datanew1/10+48);
        lcd_text(Datanew%10+48);
        lcd_text(' ');
        lcd_text(' ');
        lcd_text(' ');
```

```
        lcd_text(' ');
        lcd_text(' ');
        lcd_text(' ');
        lcd_text('H');
        lcd_text('z');
        lcd_text(' ');
        lcd_text(' ');
        lcd_text(' ');
        lcd_text(' ');
}
////////////////////////////////SubProgram MAIN/////////////////////////////////////
void submain(void)
{
        print_LCD(0x80,quest);
        print_LCD(0xC0,question);
        delay(1000);
                while(!quit)
                {
                        print_LCD(0xC0,blank1);
                        delay(50);
                        if(choose==0)
                        {
                                countup++;
                                delay(430);    // Debounce
                        }
                        else
                        {
                                switch(countup)
                                {
                                        case 0:print_LCD(0x80,ten);        time=10;
        break;
```

```
                                        case 1:print_LCD(0x80,twenty);     time=20;
        break;
                                        case 2:print_LCD(0x80,thirty);     time=30;
        break;
                                        case 3:print_LCD(0x80,fourtyfiv);  time=45;
        break;
                                        case 4:print_LCD(0x80,sixty);      time=60;
        break;
                                        case 5:print_LCD(0x80,ninety);     time=90;
        break;
                                        case 6:countup=0;
break;
                                }
                        }
                }
}
///////////////////////////////MAIN Program////////////////////////////////////
void main(void)
{
    IE=0x87;
    TMOD=0x01;
    IT0=1;
            IT1=1;
    TH0=0xDC;
    TL0=0;
    TR0 = 1;
    cputick=0;
    pulse=0;
            quit=0;
            countup=0;
```

```
lcd_init();
delay(500);
        print_LCD(0x80,Wel);
        print_LCD(0xC0,Welc);
        delay(1000);
                submain();
                enable12=0;                     //disable motor
                enable34=0;         //disable high volt
                oscillator=0;               //enable oscillator p3.7
                for(k=0;k++;k<3)            //storage three data
                {
                        if(cputick>100) //time 1 sec
                        {       cputick=0;
                                Data1[k]=pulse;
                        }       pulse=0;
                }
                DataOld=(Data1[0]+Data1[1]+Data1[2])/3;

        while(time!=0)
        {

        if(cputick>100)// check 1 second
        {       cputick=0;
                //delay(1000);
                if(++seco>59)// check 1 minute
                {       seco=0;

                        time--;//decrease time

                        time1=time%100;
                   lcd_command(0x80);
```

```
lcd_text(' ');
lcd_text(' ');
lcd_text(' ');
lcd_text(time/100+48);
lcd_text(time1/10+48);
lcd_text(time%10+48);
lcd_text(' ');
lcd_text('M');
lcd_text('i');
lcd_text('n');
lcd_text('u');
lcd_text('t');
lcd_text('e');
lcd_text(' ');
lcd_text(' ');
lcd_text(' ');

enable12=1;                    //enable motor
enable34=1;       //enable high volt
oscillator=1;              //disable oscillator p3.7
delay(1000);
if(time==59) // check dust for 59 minute
{
        for(k=0;k<2;k++)
        {
                enable12=0;                    //disable
motor
                enable34=0;       //disable high volt
                oscillator=0;              //enable oscillator
p3.7
                delay(1000);
```

```
if(cputick>100)
{       cputick=0;
        Data5[k]=pulse;
        pulse=0;
}
}
}

if(time==24) // check dust for 24 minute
{
        for(k=0;k<2;k++)
                {
                enable12=0;                     //disable
motor
                enable34=0;     //disable high volt
                oscillator=0;           //enable oscillator
p3.7
                delay(1000);
                if(cputick>100)
                {  cputick=0;
                        Data4[k]=pulse;
                        pulse=0;
                }
        }
}

if(time==9) // check dust for 9 minute
{
        for(k=0;k<2;k++)
        {
```

```
                                        enable12=0;                    //disable
motor
                                        enable34=0;     //disable high volt
                                        oscillator=0;            //enable oscillator
p3.7
                                        delay(1000);
                                        if(cputick>100)
                                        {       cputick=0;
                                                Data3[k]=pulse;
                                                pulse=0;
                                        }
                                }
                        }
                }
        }
}
        enable12=0;                     //disable motor
        enable34=0;     //disable high volt
        oscillator=1;           //disable oscillator p3.7
        delay(1000);
print_LCD(0x80,wait);
delay(100);
        for(k=0;k<3;k++)
        {
                enable12=0;                     //disable motor
                enable34=0;     //disable high volt
                oscillator=0;           //enable oscillator p3.7
                delay(1000);
                if(cputick>100)
                {       cputick=0;
                        Data2[k]=pulse;
```

```
                        pulse=0;
                }
        }
        enable12=0;                     //disable motor
        enable34=0;      //disable high volt
        oscillator=1;              //disable oscillator p3.7
        delay(1000);

        calculus();
        send_lcd1();
        delay(3000);
        send_lcd2();
        delay(3000);
        send_lcd();
        delay(3000);
}
///////////////////////////////////////////////END/////////////////////////////////////
```

ประวัติผู้เขียน

นายณรงค์ชัย ทองน้อย เกิดเมื่อวันที่ 16 สิงหาคม พ.ศ.2525 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ โซลิดสเตทอิเล็กทรอนิกส์ จากภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2546 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2547 โดยในปี พ.ศ. 2547 ได้เข้าทำงานในตำแหน่งเจ้าหน้าที่นักวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และในปีเดียวกันได้เข้าทำงานในตำแหน่งผู้ช่วยนักวิจัย ประจำห้องปฏิบัติการเครื่องมือทางการแพทย์และสิ่งแวดล้อม (Medical Environmental Equipment Research Lab.) ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ (APL) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง