

เครื่องล้างอากาศแบบใช้น้ำอัตโนมัติ

Automatic Air Washer

โดย

นาย ภาณุรัช ดำรงไทย

นาย สยาม สงวนรัมย์

นาย สุทธิพงษ์ ศรีกรรรมณ์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร มงคล มงคลวงศ์โรจน์

ปริญญาานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

033180

ปีการศึกษา 2536

เครื่องล้างอากาศแบบใช้น้ำอัตโนมัติ

Automatic Air Washer

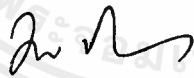
โดย

นาย ภาณุรัช คำจริงไทย 33100285

นาย สยาม สงวนรัมย์ 33100403

นาย สุกติพงศ์ ศรีกรรารมภ์ 33100429

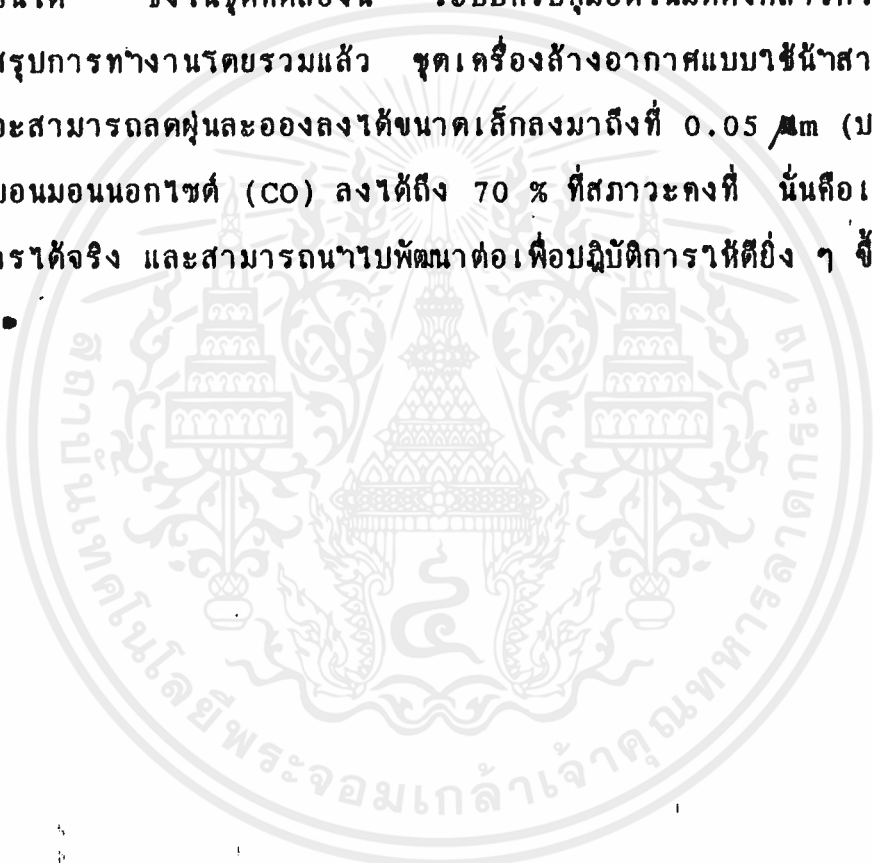
อาจารย์ที่ปรึกษา



(ผศ. ดร. มงคล มงคลวงศ์โรจน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานโครงการนี้ ได้ใช้อุปกรณ์การล้างอากาศในรูปแบบของ หอล้าง (Spray Tower) ซึ่งจะทำการฉีดน้ำเป็นละอองลงปะทะกับก๊าซที่ไหลย้อนขึ้นมาในหอล้าง การวิเคราะห์จะใช้ ทฤษฎีจลนศาสตร์เคมี (อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี) ทฤษฎีปรากฏการณ์การส่งถ่าย (Transport Phenomena) ที่รวมการส่งถ่ายรมเม้นต์ ความร้อน และมวลสารเข้าด้วยกัน ในการทดลอง ได้สร้างทดลองขึ้นมา และทำการบันทึกก๊าซเสียลง และเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ จนได้ข้อสรุปการออกแบบจุดทำงานมา และนอกจากนี้ ได้มีการทาระบบเป็นแบบอัตโนมัติด้วย (Automatic) คือจะทำงานทันทีที่คุณภาพอากาศเลวหรือมีความเข้มข้นของสารสูงถึงจุดที่ตั้งไว้ให้มีการบำบัดเกิดขึ้นได้ ซึ่งในชุดทดลองนี้ ระบบควบคุมอัตโนมัติดังกล่าวก็ได้ปฏิบัติการได้เป็นอย่างดีด้วย สรุปการทำงานโดยรวมแล้ว ชุดเครื่องล้างอากาศแบบใช้น้ำสามารถปฏิบัติการได้อย่างดีเยี่ยม จะสามารถลดฝุ่นละอองลงได้ขนาดเล็กลงมาจนถึงที่ 0.05 μm (ประสิทธิภาพ 80%) และลดก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ลงได้ถึง 70 % ที่สภาวะคงที่ นั่นคือเครื่องล้างอากาศนี้ น่าจะใช้ปฏิบัติการได้จริง และสามารถนำไปพัฒนาต่อเพื่อปฏิบัติการให้ดียิ่ง ๆ ขึ้นไปได้



บทคัดย่อ

วิทยากรโดย

1. นาย ภาณุรักษ์ คารงไทย
2. นาย สยาม สวงนรัมย์
3. นาย สุทธิพงษ์ ศรีกรรารมณ

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. มงคล มงคลวงศ์จรจน์

เครื่องสำอางอากาศด้วยน้ำแบบอัติโนมัติ

บทคัดย่อ

เนื่องด้วยในปัจจุบันนี้ ได้เกิดมลภาวะทางอากาศขึ้นมามากในระดับที่รุนแรงขึ้นเรื่อย ๆ มากขึ้นเป็นลำดับ ทางผู้ร่วมทำโครงการนี้ได้เสนอจัดทำโครงการนี้ขึ้นมา เพื่อที่จะช่วยบรรเทา ลดมลภาวะทางอากาศลงมาได้ส่วนหนึ่ง โดยอาศัยความรู้ วิชาการต่าง ๆ ที่ได้ศึกษามา นำมาซึ่ง านโครงการดังกล่าว เริ่มต้นจากใช้แนวความคิดที่ว่า จะนำเอาน้ำซึ่งเป็นสารที่หามาได้ง่ายและมีที่ว่างปริมาณที่มากพอสมควรมาใช้ เพื่อที่จะได้อุปกรณ์ที่สะดวก ประหยัด เมื่อนำใบล้างอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด การบำบัดอากาศ กระทำใน 2 แบบ คือ กากจัดฝุ่นละอองต่าง ๆ และละลายหรือทำปฏิกิริยากับก๊าซในอากาศ การกำจัดฝุ่นละอองคือการฉีดน้ำที่ละอองน้ำพุ่งชน ฝุ่นละออง และดึงดูดลงไปด้วยน้ำในที่เก็บ ส่วนการละลายก๊าซที่มากับสารธารการไหล ของอากาศ (Air stream) เป็นการเจือจางสารมลพิษลง และอาจมีการทำปฏิกิริยากันระหว่างน้ำและก๊าซ โดยอาจจะมีสารเร่งปฏิกิริยา (catalyst) อยู่ด้วยก็ได้ น้ำที่ทำการชะล้างจะหมุนเวียนกันอยู่ภายในระบบ เมื่อปฏิบัติการผลิตอากาศไปถึงจุด ๆ หนึ่งจึงค่อยระบายออก ระบายน้ำต่ออีกโรตหนึ่ง ซึ่งในขั้นนี้การบำบัดจะง่ายกว่าการบำบัดก๊าซมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Abstract

By:

1. Panurach Dumrongthai
2. Sayam Sanguanrum
3. Sutthiphong Srigrarom

Advisor:

Asst. Prof. Mongkol Mongkolwongrojn

Automatic Air Washer

Abstract

Today, air pollution is the major environmental problem that is being increased severely. The organizers proposes this project as for eliminating or alleviating those tragedic pollution ,utilizing various kind of scientific knowledge to manipulate. Beginning from using water that is found easily ,economically and conveniently, we spray it into air stream for 2 reasons for controlling air pollution as we wish to. One is to collect particiulates that come with air stream. The water droplet will attack and collect those particle within down to reservoir. Another is to react or absorb gas that contained in the air stream. That will be alleviating gas downto appreciable level. It maybe operates under catalytic environment with help from catalyst. The water would circulate around the system and would be drain out after suitable period of time. The way we treat waste water is easier than treating gas ,so to deal with waste water is less problem than gas's that being concerned in this project.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

In this project, we use the spray tower as for equipment. It sprays water downwards, and the water would confront with upward air stream and the treatment will occur. Analysis can be done by many fundamental methods :such as Kinetic Chemistry (Rate of reaction), Transport Phenomena which covers Momentum, Heat and Mass Transfer. In experiments, we build the tower and do many experiments ,varying parameters to find their effect and intensity. Moreover, we make it be automatic as well. That means it would operate immediately as soon as the air quality is under standard or set point. And, in this project it works effectively as well. Conclusively, the spray tower works at their excellent performance. It could eliminate particulate upto diameter of 0.05 μm (80% efficiency) and alleviate Carbon Monoxide (CO) upto 70 % efficiency at steady state condition. This mean the proposed project of air washer has been working at top ability ,and can be used in real field operations ,developed to more and more advance and effective than this in the future.

บทนำ (Introduction)

โครงการเครื่องล้างอากาศแบบใช้น้ำนี้ ได้มีการเริ่มต้นการทำงานด้วยการศึกษาหาข้อมูลตามหนังสือตำราต่าง ๆ และได้ทำการเลือกรูปแบบของอุปกรณ์ว่าเป็นลักษณะของหอล้าง (Spray Tower) จากนั้น ในส่วนแรก (ในภาคการศึกษาแรก) ได้ทำการทดลองหาคู่ออกแบบที่เหมาะสม และสภาวะการณที่ที่เหมาะสมในการปฏิบัติงาน ซึ่งทั้งหมดนั้นก็ได้รับความสะดวกสำเร็จที่จุดหนึ่งมาหาข้อมูลที่ต้องการได้ และได้ดำเนินการอย่างสมบูรณ์ตามที่คาดหมายเอาไว้ในภาคการศึกษาแรก

ในส่วนที่สองนี้ (ภาคการศึกษาที่ 2) ได้ทำการสร้างอุปกรณ์การทำงานจริง และได้มีการทำการทดลอง และติดตั้งระบบอัตโนมัติขึ้น ซึ่งก็ได้เสร็จสมบูรณ์ สามารถทำการทดสอบได้เนื้อหาต่างๆ ที่กล่าว ในหนังสือวิทยานิพนธ์เล่มนี้นั้น จะอ้างอิงถึงข้อมูลที่ทำการทดลอง และได้ศึกษามาเป็นหลัก ซึ่งพอจะสรุปหัวข้อได้เป็นดังนี้ ในส่วนแรกคือเรื่องของลักษณะมลภาวะอากาศทั่วไป ซึ่งอยู่ในบทที่ 1 เป็นการกล่าวนำเข้าใจในเนื้อหาโดยทั่วไปของมลภาวะอากาศก่อน จากนั้น บทที่ 2 เป็นการสรุปทฤษฎีล้างอากาศทางเคมี ซึ่งไม่ได้กล่าวเจาะลึกลงไปนัก เพราะจะเป็นเนื้อหาทางเคมีเกินไป เอาเฉพาะเท่าที่ใช้งานหลักเท่านั้น บทที่ 3 จะกล่าวถึง ชนิดของอุปกรณ์เครื่องล้างอากาศว่ามีอยู่ที่ชนิด และสาเหตุที่ได้เลือกรูปแบบของหอล้างอากาศ เป็นการศึกษาด้านอุปกรณ์การออกแบบระบบทำงาน ซึ่งก็ได้กล่าวไว้อย่างย่อเช่นกัน

บทที่ 4 เป็นเนื้อหาละเอียด เรื่องทฤษฎีการตกฝุ่นละออง เป็นการประยุกต์ใช้เนื้อหาวิชาการถ่ายเทรเมนตัมเป็นหลัก (มาจากวิชากลศาสตร์ของไหล Fluid Mechanics) จะเจาะจงการเก็บตกฝุ่นละออง บทที่ 5 เป็นเนื้อหาการส่งถ่ายมวลสาร (Mass Transfer) ซึ่งจะเจาะจงลงไปในเนื้อหาของ การละลายเชิงจางก๊าซ และการทำปฏิกิริยาของก๊าซ บทที่ 6 และบทที่ 7 เป็นโปรแกรมการคำนวณและข้อมูลจากการทดลอง ตามเนื้อหาของบทที่ 4 และ 5 โดยผลที่ได้ในส่วนนี้จะ เป็นผลทางทฤษฎีล้วน ๆ เนื่องจากการทดลองทำได้ลำบากมาก

ในบทที่ 8 จะเป็นผลการทดลองในการบำบัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ด้วยเครื่องล้างอากาศแบบใช้น้ำ และจะสรุปประสิทธิภาพของเครื่องนี้ในบทที่ 9 บทที่ 10 จะเป็นการอธิบายการทำงาน ของเครื่องล้างอากาศด้วยน้ำแบบอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุดท้ายจะเป็นเรื่องกิตติกรรมประกาศ ภาคผนวก ซึ่งเป็นข้อมูล ตารางและไดอะแกรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับบทความในเนื้อหา และสุดท้ายเป็นบรรณานุกรม

รศรงานนี้ อาจจะมีข้อผิดพลาด มีความไม่สมบูรณ์ต่าง ๆ ซึ่งขอบทประสงเหล่านี้ ทางคณะผู้จัดทำรศรงานยินดีรับฟังคำแนะนำ ข้อติชม วิจารณ์ต่าง ๆ ซึ่งจะเป็นการปรับปรุงเนื้อหาวิชาการต่อไป และผู้จัดทำขอขอบคุณคณาจารย์ และขออภัยงานขอบทประสงต่าง ๆ เหล่านี้ และหวังเป็นอย่างยิ่งว่า รศรงานนี้จะสามารถนำประโยชน์มาให้แก่ท่านผู้อ่านผู้เข้าชมมากก็น้อย ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้



สารบัญ (Index)

เรื่อง	หน้าที่
บทคัดย่อ (Abstract)	III
บทนำ (Introduction)	VIII
สารบัญ (Index)	X
บทที่ 1 ลักษณะและแหล่งของมลภาวะอากาศ และมาตรฐานควบคุมมลภาวะอากาศ (Introduction to Air pollution & Air Pollution control Standard)	1
บทที่ 2 ทฤษฎีการล้างอากาศทางเคมี (Theory of Chemical air washing)	30
บทที่ 3 ทฤษฎีเครื่องล้างอากาศแบบใช้น้ำ (Theory of particulate wet scrubber)	31
บทที่ 4 ทฤษฎีการดักฝุ่นละออง (Particulate collection theory)	33
บทที่ 5 ทฤษฎีการกำจัดสารมลภาวะ (Gaseous Pollutant Removal Theory)	54
บทที่ 6 การประยุกต์ใช้ทฤษฎีการดักฝุ่นละอองกับเครื่องล้างอากาศ (Application of Particulate Collection Theory to the Air washer)	74
บทที่ 7 การทำนายประสิทธิภาพการจับฝุ่นละอองต่อขนาดฝุ่นละออง ด้วยคอมพิวเตอร์ (Predicting dust collection efficiency per dust size by computer)	80
บทที่ 8 การทดลองสร้างเครื่องล้างอากาศด้วยน้ำ (Experiments for building Air Washer)	101

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 9	สรุปผล ปัญหาการทดลอง และแนวทางในการพัฒนา (Conclusion Problems and Development)	107
บทที่ 10	ระบบควบคุมการลดคาร์บอนมอนอกไซด์แบบอัตโนมัติ (The automatic control circuit of Air washer)	110
บทที่ 11	การทำนายอัตราการดูดซับสารมลภาวะทางอากาศ ด้วยคอมพิวเตอร์ (Prediction of Gaseous Air Pollutant Removal by Computer)	111
ภาคผนวก (Appendix)		
ก.	ค่าคงที่ต่าง ๆ และตัวแปลงหน่วย (Constants and Conversion factors)	120
ข.	กราฟที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณ (Some excerpt useful graphs)	124
ค.	รายละเอียดของอุปกรณ์ตรวจจับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (Details of the Carbon Monoxide gas detector)	136
กิตติกรรมประกาศ (Courtesy)		138
บรรณานุกรม (References)		140
ภาพถ่ายประกอบเพิ่มเติม (Additional Pictures)		142

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

ลักษณะและแหล่งของมลภาวะอากาศ และมาตรฐานการควบคุมมลภาวะอากาศ

Characteristics and Sources of Air Pollution &

Air Pollution Control Standard

1.1 นิยามของสิ่งรบกวนต่อสาธารณะและมลภาวะสิ่งแวดล้อม

คำว่า "สิ่งรบกวนต่อสาธารณะ (public nuisance)" หรือ "มลภาวะสิ่งแวดล้อม (environmental pollution)" มักใช้กันบ่อย แต่การนิยามความหมายของคำเหล่านี้ ไม่ใช่เรื่องง่ายไม่ว่าในแง่วิทยาศาสตร์หรือในแง่กฎหมาย สรุปแล้วคือ ในปัจจุบันยังไม่มีคำนิยามที่ยอมรับกันในระดับสากล

ในประเทศญี่ปุ่น คำว่า "สิ่งรบกวนต่อสาธารณะ" ถูกใช้เป็นครั้งแรกใน "กฎหมายแม่น้ำ" ซึ่งประกาศใช้ในปี 1896 ในกฎหมายฉบับนี้ คำว่า "สิ่งรบกวนต่อสาธารณะ" ถูกใช้เป็นคำตรงข้ามกับ "ผลประโยชน์ต่อสาธารณะ (public interest)" คำแรกหมายถึงสิ่งใด ๆ ที่มีผลกระทบต่อสาธารณะประโยชน์ส่วนคำหลังหมายถึง สิ่งใด ๆ ที่กระทำในแง่ดีต่อผลประโยชน์ของสาธารณะชน ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า "มลภาวะสิ่งแวดล้อม" ซึ่งนิยมใช้กันกว้างขวางในทุกวันนี้ได้รวมแนวความคิดของ "สิ่งรบกวนต่อสาธารณะ" ในแง่ที่ว่า มลภาวะสิ่งแวดล้อมก็เป็นสิ่งหนึ่งที่มีผลกระทบต่อผลประโยชน์ของสาธารณะ

รายงานเรื่อง "นโยบายหลัก สำหรับการควบคุมสิ่งรบกวนต่อสาธารณะ" ซึ่งสภาควบคุมมลภาวะสิ่งแวดล้อม (Council for Control of Environmental Pollution) ได้เสนอให้กระทรวงสาธารณสุขของญี่ปุ่นในปี 1966 ได้นิยามสิ่งรบกวนต่อสาธารณะไว้ดังนี้

"สิ่งรบกวนต่อสาธารณะ" รวมทั้งมลภาวะสิ่งแวดล้อมเป็นผลของกิจกรรมของมนุษย์และมีรูปแบบต่าง ๆ เช่น มลภาวะอากาศ มลภาวะน้ำ เสียงรบกวน การสั่นสะเทือน การทรุดของพื้นดิน กลิ่นเหม็น เป็นต้น รูปแบบเหล่านี้ของสิ่งรบกวนต่อสาธารณะหรือมลภาวะสิ่งแวดล้อมมีผลกระทบต่อสุขภาพและชีวิตของประชาชนโดยทางอ้อมและทีละน้อย รายงานนั้นยังได้กล่าวว่าสิ่งรบกวนต่อสาธารณะคือหน้าที่ละเมิดตลอดช่วงเวลาที่ยาวนาน โดยมีรูปแบบต่าง ๆ หรือรูปแบบที่ต้นกำเนิดจากสองสิ่งมากกว่ารวมกัน ดังนั้นจึงเป็นการลำบากที่จะชี้ให้เห็นเหตุและผลของสิ่งรบกวนต่อสาธารณะ อนึ่งสิ่งไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คิดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

รบกวนต่อสาธารณะหรือมลภาวะสิ่งแวดล้อมมีลักษณะพิเศษที่ว่าเป็นการยากที่จะพิสูจน์ว่าสิ่งรบกวนต่อ
สาธารณะหรือมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมเกิดมาจากการกระทำที่จงใจ หรือความผิดพลาด เหตุที่เป็น
เช่นนี้ เพราะกิจกรรมของมนุษย์ที่ก่อให้เกิดสิ่งรบกวนต่อสาธารณะหรือมลภาวะสิ่งแวดล้อมไม่เป็นสิ่ง
จงใจเสมอไป และในหลายกรณี สิ่งรบกวนต่อสาธารณะสิ่งแวดล้อมมีต้นตอได้มากกว่าหนึ่งแหล่ง

มีความคิดเห็นบางอัน ที่แตกต่างจากรายงานที่กล่าวถึงข้างต้น ในความคิดเห็นอันหนึ่ง
ปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่มีผลต่อสาธารณะชนสามารถแบ่งได้เป็น "สิ่งรบกวนต่อสาธารณะ" และ
"สิ่งรบกวนต่อเอกชน" ในความคิดนี้กรณีที่คุณคนไม่ระบุหลายคน ได้รับความเดือดร้อนซึ่งมีสาเหตุมา
จากแหล่งที่ไม่อาจพิสูจน์ได้หลายแหล่ง จะถือว่าเป็นสิ่งรบกวนต่อสาธารณะ ส่วนกรณีที่คุณคนจำ
นวนค่อนข้างจำกัดที่ซึ่งตัวได้รับความเดือดร้อนซึ่งหาต้นตอได้ จะถือว่าเป็นสิ่งรบกวนต่อเอกชน ใน
ความคิดเห็นนี้ กรณีแรกจะอยู่ภายใต้การควบคุมของสาธารณะ ส่วนกรณีหลังจะขึ้นอยู่กับกฎหมายแพ่ง
และสิ่งที่ต้องตกลงกันระหว่างบุคคลที่เกี่ยวข้อง วิธีการแบ่งผลร้ายต่อสภาวะความเป็นอยู่ของประชา
ชนเป็นสิ่งรบกวนต่อสาธารณะ และสิ่งรบกวนต่อเอกชนนี้ เป็นสิ่งที่ได้รับการเล่นขิ้นในประเทศญี่ปุ่น

คำนิยามของ "สิ่งรบกวนต่อสาธารณะ" และ "สิ่งรบกวนต่อเอกชน" ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันทั่วไป
ในประเทศอังกฤษ จะค่อนข้างแตกต่างกับของที่ยอมรับกันในประเทศญี่ปุ่น ยกตัวอย่างเช่น ในประ
เทศอังกฤษ สิ่งทั้งหมดที่ถือว่ามีผลกระทบต่อความเป็นอยู่ของสาธารณะชนจะตกอยู่ในหมวดของสิ่ง
รบกวนต่อสาธารณะ ส่วนสิ่งใด ๆ กระทบต่อความเป็นอยู่ของบุคคลใด ๆ โดยเฉพาะ จะถือว่าเป็น
สิ่งรบกวนต่อเอกชน ในกรณีของประเทศอังกฤษนี้ ทั้งสิ่งรบกวนต่อสาธารณะและสิ่งรบกวนต่อ
เอกชนสามารถกำหนดได้ โดยไม่ขึ้นกับว่าสามารถหาแหล่งเกิดของสิ่งรบกวนได้หรือไม่ สิ่งนี้หมายความว่า
การให้นิยามของสิ่งรบกวน ในประเทศอังกฤษ จะเน้นที่การปกป้องบุคคลที่ได้รับความ
เดือดร้อนนั้น

ในประเทศเยอรมันนิตะวันตกแนวความคิดของ "การละเมิดสิทธิ" • ได้ถูกใช้เป็นแนวความคิด
หลักสำหรับการควบคุมสิ่งรบกวน ดังนั้น สิ่งรบกวนต่าง ๆ เช่น มลภาวะอากาศ การสั่นสะเทือน
การใช้สิทธิในทางผิด จะอยู่ภายใต้ความควบคุมของกฎหมายแพ่งและกฎหมายควบคุมหน่วยธุรกิจ
อนึ่ง ในประเทศเยอรมันนิตะวันตกจะไม่ใช้ศัพท์วิชาการที่เทียบเท่ากับ "สิ่งรบกวนต่อสาธารณะ"
หรือ "มลภาวะสิ่งแวดล้อม" อย่างเป็นทางการ

เอกสารในประเทศฝรั่งเศส สิ่งซึ่งถือว่าเป็นสิ่งรบกวนต่อสาธารณะหรือมลภาวะสิ่งแวดล้อมจะมีนิยาม
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็น มลภาวะสิ่งแวดล้อมหรือการรบกวนต่อความเป็นอยู่ของสาธารณชน ซึ่งเกิดจากกิจกรรมอุตสาหกรรมของผู้คน แต่ที่ไม่มีกฏบัญญัติค้นคว้าการแน่ชัดซึ่งเทียบเท่ากับสิ่งรบกวนต่อสาธารณชนหรือ มลภาวะสิ่งแวดล้อม

ในสหรัฐอเมริกา การควบคุมสิ่งรบกวนต่อสาธารณชนหรือมลภาวะสิ่งแวดล้อมมีประวัติที่ยาวนาน อย่างไรก็ดี ทั้งกฎหมายของรัฐบาลกลางของแต่ละรัฐ ก็ไม่ได้ให้นิยามของสิ่งรบกวนต่อสาธารณชนหรือมลภาวะของสาธารณชน วิธีการที่ยอมรับกันทั่วไปในสหรัฐอเมริกา จะแบ่งสิ่งรบกวนเป็นสามหมวด คือ สิ่งรบกวนต่อสาธารณชน สิ่งรบกวนต่อเอกชนและสิ่งรบกวนผสม ในทำนองเดียวกันประเทศอังกฤษ ลักษณะพิเศษของวิธีการในสหรัฐอเมริกาคือการควบคุมสิ่งรบกวนจะได้รับการเน้นหนักที่การป้องกันบุคคลที่ได้รับความเดือดร้อนนั้น

เอกสารที่ยื่นต่อสภาเศรษฐกิจและสังคมของสหประชาชาติ (UNESCO) ในปี 1965 ได้นิยามมลภาวะสิ่งแวดล้อมไว้ดังนี้ "สิ่งแวดล้อมจะถือว่าเป็นมลภาวะเมื่อองค์ประกอบและเงื่อนไขของสิ่งแวดล้อมนั้น ได้ถูกเปลี่ยนแปลงไปโดยการกระทำของคน ซึ่งมีผลให้สิ่งแวดล้อมนั้นด้วยเหมาะสมสำหรับการใช้ประโยชน์โดยคน"

คำนิยามนี้ค่อนข้างมีประโยชน์ในการพิจารณาปัญหามลภาวะจากหลักทางวิทยาศาสตร์ คำนิยามนี้ไม่ระบุเงื่อนไขที่จะถือว่าเป็นสิ่งรบกวนหรือมลภาวะสิ่งแวดล้อม แต่การเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมในลักษณะที่ไม่พึงปรารถนาโดยคน สามารถถือว่าเป็นมลภาวะของสภาวะสิ่งแวดล้อม ดังนั้นมลภาวะอากาศ มลภาวะน้ำ เสียงรบกวน มลภาวะดิน มลภาวะจากยาฆ่าแมลง ยาฆ่าวัชพืช และมลภาวะเชิงความร้อน (thermal pollution) จะอยู่ในขอบข่ายของสภาวะสิ่งแวดล้อมซึ่งสหประชาชาติได้นิยามไว้

1.2 แหล่งของมลภาวะอากาศ (Source of Air Pollution)

มีมลสารในอากาศหลายชนิดที่มีผลร้ายต่อสุขภาพของมนุษย์ พืชและสัตว์ และทำลายสภาวะแวดล้อมธรรมชาติ สารตัวที่มีบทบาทสำคัญจะแปรเปลี่ยนจากสถานที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่ง มลสารที่ก่อปัญหาในพื้นที่กว้างขวางได้แก่ ควันที่เกิดจากการสันดาป ซึ่งมีส่วนประกอบที่มีพิษเช่น SO_x , NO_x , CO และสารอนภาคแขวนลอย (เช่น ฝุ่นละออง) ไฮโดรคาร์บอน (HC) ที่เกิดจากการใช้น้ำมัน สารไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิษจากขบวนการต่าง ๆ ที่กฎหมายระบุไว้ อนุภาคโลหะที่เกิดในการถลุงโลหะ และสารกลั่นเหม็นที่ เกี่ยวกับการแปรรูปอาหาร

นอกจากที่กล่าวข้างต้น มลสารทุติย (secondary pollutant) ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยา ระหว่างสารข้างต้นในอากาศก็ไม่อาจจะละเลยได้ ตัวอย่างที่เห็นง่ายอันหนึ่งคือ photochemical smog ซึ่งเกิดจาก NO_x และ HC ในไอเลียร์ถยนต์เมื่อถูกแสงแดดจ้าที่เมืองลอสแอนเจลิส

ต่อไปจะอธิบายกว้าง ๆ เกี่ยวกับการผลิตมลสารในอากาศและแหล่งของมลภาวะ

1.3 การเกิดและการกำจัดสารในอากาศ (Occurrence and Treatment)

ถ้าพูดอย่างกว้าง ๆ มลสารในอากาศมาจากแหล่งมนุษย์สร้างและแหล่งธรรมชาติ ในบางกรณี มลสารจากแหล่งมนุษย์สร้างจะถูกเปลี่ยนรูปในอากาศเป็นทุติยภูมิ ดังเช่น photochemical smog แหล่งของมลสารอากาศมีอยู่สองรูปแบบ คือ ก๊าซและแอโรโซล (aerosol) ในบางกรณี สารใน รูปก๊าซอาจเปลี่ยนเป็นแอโรโซลโดยกระบวนการเคมีและ/หรือกายภาพ แหล่งมลภาวะทั้งสามนี้มี อธิบายอยู่ข้างล่าง

1.3.1) แหล่งมนุษย์สร้าง

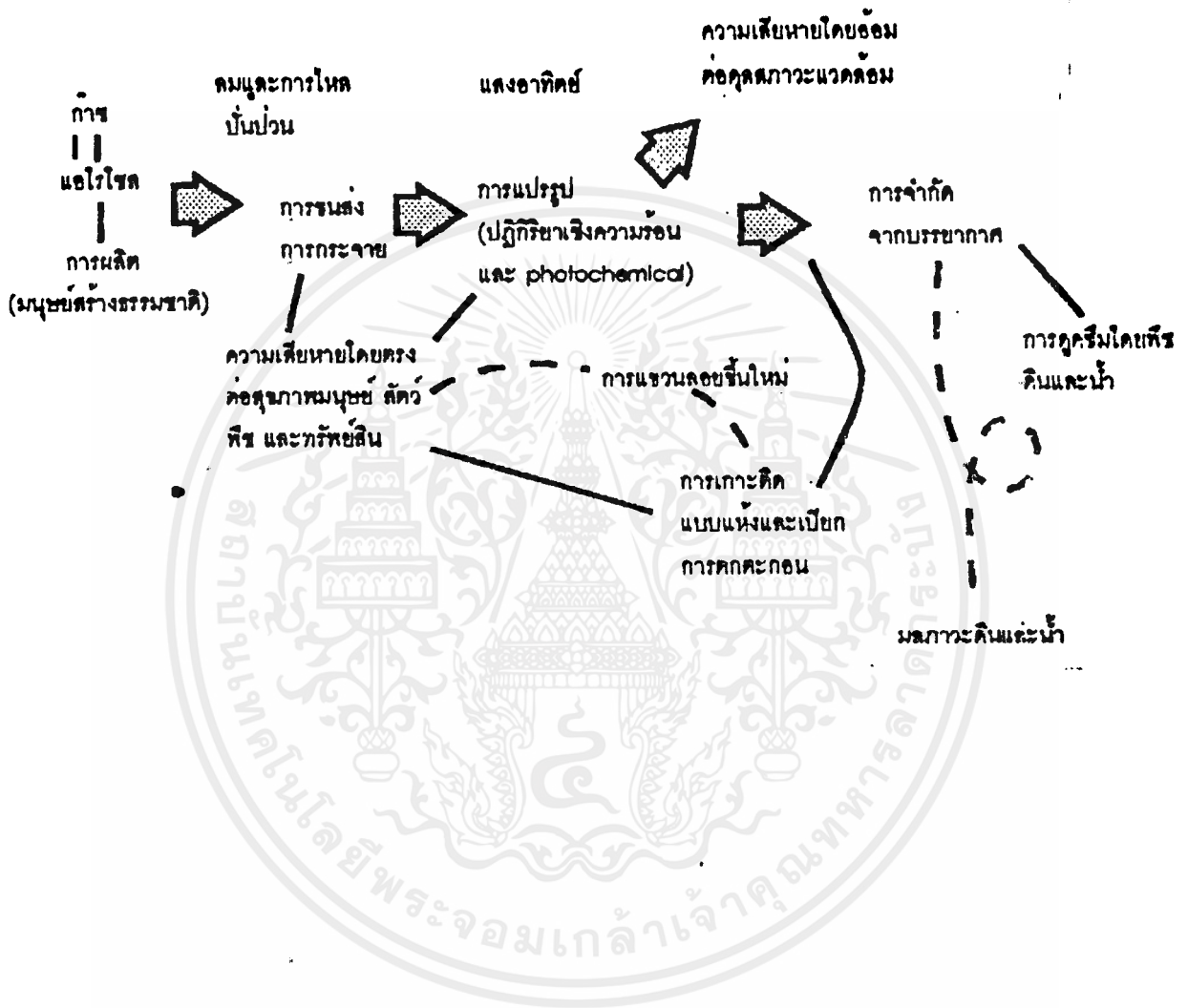
แหล่งที่เกี่ยวข้องกับการสันดาป : หม้อน้ำ เตาต่าง ๆ ในอุตสาหกรรม เครื่องยนต์สันดาป ภายใน การเผาไม้และพืช เป็นต้น อุปกรณ์ให้ความร้อน หุงต้ม ไฟไหม้และการระเบิด

แหล่งที่เกี่ยวข้องกับการผสม การทำผง และการเสียดถู : strip - mining ของถ่าน หินและหินปูน งานวิศวกรรมโยธา และการจราจรบนถนน

แหล่งที่เกี่ยวข้องกับการผลิตและการแปรรูป : heat treatment ของโลหะ การกลั่น การถลุง และกระบวนการผลิตต่าง ๆ

แหล่งที่เกี่ยวข้องกับการระเหยและการรั่ว : การรั่ว หรือการระเหยจากถังเก็บน้ำมัน สถานที่ทำสี โรงงานเคมี เป็นต้น การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 1.1 รูปแผนของวัฏจักรชีวิตของมลสารในอากาศ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.2) แหล่งธรรมชาติ

กิจกรรมของภูเขาไฟ ก๊าซมีพิษในธรรมชาติ ไฟไหม้ป่า การเผาป่า และการหมัก การปลิวกระจายของดิน การระเหยของยางพืชรubber การปลิวกระจายของเมล็ดพืชและสปอร์ (spore) ของพืช

1.3.3) แหล่งทุติย (แหล่งเชิงซ้อน)

Photochemical smog อนุภาคซัลเฟต และกรดไนเตรด acid rain (ฝนกรด) และ สารแขวนลอยใหม่ของสารพิษจากผิวดิน มลสารในรูปก๊าซและแอโรโซลที่ถูกละลายออกจากแหล่งเหล่านี้สู่อากาศจะถูกพาและแพร่กระจายโดยลมในระหว่างการเคลื่อนที่เช่นนี้ มลสารอาจเปลี่ยนแปลงสมบัติของมัน โดยกระบวนการเคมี และ Photochemical smog เมื่อเวลาผ่านไป มันอาจถูกจำกัดอากาศโดยกระบวนการต่อไปนี้ ถูกชะล้างออกโดยน้ำฝน เกาะเปียกติดกับฝน (wet deposition to rain) ดูดกลืน (absorption) ใน ดูดซับ (adsorption) ใน และ จับ เกาะบนพื้นดิน น้ำหรือพืช และการตกตัว (settling) ถึงแม้ว่ามลสารจะหายไปจากอากาศ แต่มันก็อาจทำให้ดินและน้ำมีมลทิน และทำความเสียหายต่อพืช

1.4 มลสารทั่วไปและแหล่งเกิด (General Pollutants and their sources)

1.4.1) กำมะถันออกไซด์ (SO_x)

กำมะถันออกไซด์เกิดจากการสันดาปหรือเผาเชื้อเพลิงหรือวัสดุที่มีกำมะถัน เช่น ถ่านหินและน้ำมัน กำมะถันออกไซด์ที่ปล่อยออกมาเกือบทั้งหมดจะเป็น SO₂ และบางส่วนเป็น SO₃ ภายในครึ่งวันถึงสองวัน SO₂ จะถูกออกซิไดซ์เป็น SO₃ เมื่อถูกแสงอาทิตย์ SO₃ จะถูกดูดกลืนอย่างรวดเร็วโดยฝนหรือเมฆและกลายเป็น H₂SO₄ ดังนั้น ก่อให้เกิดหมอกน้ำค้าง (mist) ของกรดกำมะถัน

แหล่งของ SO_x มีทั้งหม้อไอน้ำที่ใช้ถ่านหินหรือน้ำมันเป็นเชื้อเพลิง เตาให้ความร้อน เตาเผา ลินแร่เหล็ก เตาถ่านโค้ก (coke oven) เตาเผาขยะ และเครื่องยนต์ดีเซลของเรือและรถยนต์ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มข้นของ SO_x ในโอเลเชียจะสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณกำมะถันในเชื้อเพลิงนั้น

ค่าประมาณของกำมะถันออกไซด์ที่ปล่อยออก (สหรัฐอเมริกา) ปี 1940-1970 (ล้านตัน/ปี)

ประเภทของแหล่ง	1940	1950	1960	1968	1969	1970
การสันดาปเชื้อเพลิงของแหล่งอยู่นิ่ง	16.8	18.3	17.5	24.7	25.0	26.5
การขนส่ง	0.7	1.0	0.7	1.1	1.1	1.0
การกำจัดของทิ้งของแข็ง	neg	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2
ปริมาณสูญหนีจากกระบวนการอุตสาหกรรม	3.8	4.2	4.7	5.1	5.9	6.0
การเผาทางเกษตรกรรม	neg	neg	neg	neg	neg	neg
จิปาถะ	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.3
ยอดรวม	21.5	23.8	23.3	31.3	32.4	33.9
ยอดรวมที่ควบคุมได้	21.3	23.6	23.0	31.0	32.2	33.6

1.4.2) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x)

ออกไซด์ของไนโตรเจนที่มีอยู่ในอากาศ คือ $N_2O, NO, N_2O_3, N_2O_4, N_2O_5, NO$ และ NO_2 สารสองตัวสุดท้ายเป็นสารที่มนุษย์สร้างขึ้น ค่ารวมของความเข้มข้นของสารสองตัวดังกล่าวจะแสดงในรูป NO_x นั่นคือ ($NO + NO_2$)

NO_x เกิดขึ้นเมื่อมีการเผาถ่านหินหรือน้ำมัน NO_x ยังแบ่งเป็นจำพวกได้เป็น NO_x จากเชื้อเพลิง (fuel NO_x) ซึ่งมาจากสารประกอบไนโตรเจน ในเชื้อเพลิง และ NO_x เชิงความร้อน (thermal NO_x) ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อ N_2 ในอากาศถูกออกซิไดซ์ที่อุณหภูมิสูง NO_x ส่วนใหญ่ ในโอเลเชีย (ก๊าซทิ้ง) อุณหภูมิสูงจะอยู่ในรูป NO NO จะถูกออกซิไดซ์เป็น NO_2 อย่างรวดเร็ว เมื่อโอเลเชียถูกปล่อยสู่อากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารอนุภาคที่เส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 10 ไมครอน จะเรียกว่า สารอนุภาคแขวนลอย (suspended particulate matter) (SP) สารแขวนลอยจะตกลงบนพื้นจากบรรยากาศ โดยแรงโน้มถ่วง อย่างช้า ๆ และจะลอยอยู่บนอากาศเป็นเวลาค่อนข้างนาน

ตัวอย่างของอุปกรณ์ที่เกิดฟุ้ง (fume) ควันและฝุ่น

อุปกรณ์	ประเภทของที่ปล่อยออก
หม้อไอน้ำ เตาเผาซีเมนต์ (cement kiln) เตาเผาสินแร่	ถ่านไฟ ขี้เถ้าบิน (fly ash) ฟุ้ง และควัน ฝุ่นคลิงเกอร์ (clinker dust) ฝุ่น ออกไซด์ของโลหะ ขี้เถ้าบิน ผงแร่ธาตุ
Blast furnace เตาโลหะผสมของเหล็ก	ฟุ้ง ฝุ่น ผงแร่ธาตุผงโค้ก ฝุ่นขี้เหล็ก (slag dust)
Open-furnace สำหรับผลิตเหล็กกล้า เตาเผาเซรามิก	ฝุ่น SiO_2 ฝุ่น ออกไซด์ของเหล็ก ฝุ่น
Steel converter Cupola	ขี้เถ้าบิน ฝุ่น ฝุ่น
เตาอบโค้ก (coke oven) เตาโลหะซิลิคอน	ผง ฝุ่น ฝุ่น SiO_2
เตาคาร์บอนแบล็ค เตาเผาขยะ	ฝุ่น ฝุ่น ขี้เถ้าบิน
Coal carbonization furnace โรงงานกรดกำมะถัน	Tar mist หมอกน้ำค้างของกรดกำมะถัน
การชุบสังกะสี อุปกรณ์บัดผงแร่ธาตุร่อนขนาดกำจัดและขนส่ง	สังกะสีออกไซด์ ฟุ้งของแอมโมเนีย ฝุ่น ฝุ่นของผง
เตากำจัด วัสดุลาดถนน	ฝุ่น ฝุ่น SiO_2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 1.5 รวบรวมแหล่ง PM หลัก ซึ่งรวมทั้งโรงงานในประเทศญี่ปุ่น เครื่องเก็บฝุ่น (dust collector) มีใช้กันแพร่หลายในปัจจุบัน ดังนั้น ปริมาณ PM ที่ปล่อยออกบรรยากาศจึงมีจำนวนจำกัดในเขตตัวเมือง SP ที่ปล่อยออกโดยรถยนต์ โดยเฉพาะรถที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซล ควรจะได้รับความใส่ใจเป็นพิเศษ ในปัจจุบันการควบคุม SP จะใช้ความเข้มข้นเชิงน้ำหนักเป็นเกณฑ์ โดยไม่คำนึงถึงองค์ประกอบของ SP ประกอบด้วยองค์ประกอบเคมีหลายชนิด และระดับของผลกระทบต่อสุขภาพคนขึ้นอยู่กับองค์ประกอบแต่ละตัว ดังนั้น หัวข้อสำคัญที่ควรศึกษาในอนาคตคือ การทำความเข้าใจแหล่ง SP ตามองค์ประกอบเคมีที่เกิดขึ้น

1.4.5) ไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon)

ในอากาศ มีไฮโดรคาร์บอนหลายประเภท รวมทั้งสารพาราฟิน (parafins) สารแนฟทีน (naphthenes) สารโอเลฟิน (olefins) และสารอโรมาติก (aromatic compounds) สารเหล่านี้ส่วนใหญ่มีความเข้มข้นต่ำและไม่มีพิษภัย อย่างไรก็ตาม การสำรวจบางอันได้พบว่าไฮโดรคาร์บอนบางตัว เช่น 1,2,5,6-dibenzanthracene 3,4-benzpyrene, methylcholanthrene เป็นสารก่อโรคมะเร็ง (carcinogens) นอกจากนี้ เมื่อสารโอเลฟิน ผสมกับ NO_x จะสามารถทำปฏิกิริยาภายใต้รังสีเหนือม่วง เป็น photochemical oxidants OX แหล่งของ HC มีทั้งรถยนต์ สถานที่กักตุน ถังน้ำมัน และกระบวนการพ่นสี โดยเฉพาะในเขตตัวเมือง รถยนต์จะเป็นแหล่งปัญหาสำคัญ ตาราง 1.6 แสดงค่าประมาณของไฮโดรคาร์บอนที่ปล่อยออกในสหรัฐอเมริกา

(โปรดดูตารางในหน้าถัดไป)

ตาราง 1.6 ค่าประมาณของไอโครคาร์บอนที่ปล่อยออก (สหรัฐอเมริกา) ปี 1940-1970 (ล้านตัน/ปี)

ประเภทของแหล่ง	1940	1950	1960	1968	1969	1970
การสันดาปเชื้อเพลิงของแหล่งอยู่นิ่ง	1.4	1.3	1.0	1.0	0.9	0.6
การขนส่ง	7.5	11.8	18.0	20.2	19.8	19.5
การจำกัดของทิ้งของแข็ง	0.7	0.9	1.3	2.0	2.0	2.0
ปริมาณสูญหีนจากกระบวนการอุตสาหกรรม	3.3	5.2	4.3	2.8	2.8	2.8
การเผาทางเกษตรกรรม	1.9	2.1	2.5	2.8	2.8	2.8
จิปาถะ	4.5	4.2	4.4	4.9	5.0	4.5
ยอดรวม	19.1	25.6	31.6	35.2	35.2	34.7
ยอดรวมที่ควบคุมได้	14.7	21.4	27.2	30.3	30.2	30.3

1.4.6) คลอรีน (Cl) และไฮโครเจนคลอไรด์ (HCl)

คลอรีนจำนวนมากมีอยู่ในทะเลในสภาพของอออน Cl^- แต่อย่างไรก็ดี แหล่งมนุษย์สร้างที่ช่วยแพร่กระจายคลอรีนและไฮโครเจนคลอไรด์ด้วย เช่น โรงงานผลิตคลอรีน เตาเผาขยะ ในเขตตัวเมือง และโรงงานแก๊สน้ำเสีย

1.4.7) โลหะหนักและสารประกอบของโลหะหนัก

โลหะหนัก รวมทั้ง แคดเมียม (Cd) ตะกั่ว (Pb) โครเมียม (Cr) และสารประกอบของมัน ถูกปล่อยออกบรรยากาศ ส่วนใหญ่ในรูปของอนุภาค และจะตกตัวในน้ำ และดิน โดยการเกาะติดแบบแห้งและเปียก (dry and wet deposition) และก่อให้เกิดปัญหาน้ำและดินมีมลทิน (contamination) แคดเมียมมาจากโรงงานถลุงสังกะสี โรงงานผลิตตรงควัตถุแคดเมียม (cadmium pigment) เป็นต้น ตะกั่วถูกปล่อยออกจากโรงงานถลุงตะกั่ว โรงงานผลิตตรงควัตถุ (pigment) โรงงานแก้ว และรถยนต์ที่ใช้น้ำมันเติมสารตะกั่ว แหล่งโครเมียมได้แก่โรงงานไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มาไปใช้

ผลิตตรงควัตถุโครเมียม (chromium pigment) .

1.4.8) ฟลูออไรด์ (Fluoride)

ไฮโดรเจนฟลูออไรด์ (HF) และซิลิคอนฟลูออไรด์ (SiF₄) ทำความเสียหายต่อพืช และมีพิษภัยต่อปลั้วสัตว์ที่กินพืชเหล่านั้น. แหล่งของฟลูออไรด์มีทั้งโรงงานกลูบอะลูมิเนียม โรงงานเซรามิก (ceramic plants) สำหรับเครื่องชามและแก้ว ปุ๋ยซูเปอร์ฟอสเฟต (superphosphate fertilizers) กระบวนการจัดการผิวโลหะ (metal surface treatment) และโรงงานผลิตฟริออนและยางสังเคราะห์ฟลูออไรด์ (fluoride resins)

1.4.9) กลิ่นเหม็น

สารอินทรีย์ ซึ่งประกอบด้วยไนโตรเจนและกำมะถัน เช่น แอมโมเนีย methyl mercaptan และไฮโดรเจนซัลไฟด์ มักจะส่งกลิ่นเหม็น (offensive odors) กลิ่นเหม็นมาจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ โรงงานแปรรูปอาหาร โรงงานฟอกหนัง และโรงงานเคมีอื่น ๆ

1.4.10) มลสารเฉพาะชนิด

(โปรดดูตารางหน้าถัดไป)

1.4.3) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

CO เป็นผลผลิตของการสันดาปอย่างไม่สมบูรณ์ของคาร์บอนและสารประกอบคาร์บอนในอากาศ CO ที่ปล่อยออกจากแหล่งของการสันดาปเชื้อเพลิงฟอสซิล (fossil fuel) จะมีปริมาณมากกว่าที่ปล่อยออกจากแหล่งอื่นๆ ทั้งหมดรวมกัน ตาราง 1.3 รวบรวมค่าปริมาณของปริมาณ CO ที่ปล่อยในสหรัฐอเมริกา ทรยนต์เป็นแหล่งปล่อย CO แหล่งเดียวที่เหนือแหล่งอื่นๆ มาก

ตารางค่าประมาณของคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปล่อยออก (สหรัฐอเมริกา) ปี 1940-1970

ประเภทของแหล่ง	1940	1950	1960	1968	1969	1970
การสันดาปของแหล่งอยู่หนึ่ง	6.2	5.6	2.6	2.0	1.8	0.8
การขนส่ง	34.9	55.4	83.5	113.0	112.0	111.0
การกำจัดของทิ้งของแข็ง	1.8	2.6	5.1	8.0	7.9	7.2
ปริมาณสูญเสียจากกระบวนการอุตสาหกรรม	14.4	18.9	17.7	8.5	12.0	11.4
การเผาทางเกษตรกรรม	9.1	10.4	12.4	13.9	13.8	13.8
จิปาถะ	19.0	10.0	6.4	5.0	6.3	3.0
ยอดรวม	85.4	103.0	128.0	150.0	154.0	147.0
ยอดรวมที่ควบคุมได้	66.4	92.9	121.0	145.0	148.0	144.0

1.4.4) สารอนุภาค (Particle Matter)

มลสารในรูปสารอนุภาค (particulate matter) รวมทั้งฟุ้ง (fume) หมอกน้ำค้าง (mist) และควัน (smoke) ที่เกิดพร้อมกับกระบวนการสันดาปหรือให้ความร้อน และฝุ่นละอองที่เกิดจากกระบวนการผลิตขนส่งและจัดการวัสดุผง PM มีรูปแบบต่างๆ ส่วนใหญ่ของ PM ที่อยู่ใน อากาศจะมาจาก แหล่งธรรมชาติ ซึ่งรวมทั้งพื้นดิน มหาสมุทร และภูเขาไฟ (ดู ตาราง) อย่างไรก็ตาม อนุภาคที่ก่อตัวในเมือง มีแหล่ง PM ที่มนุษย์สร้างในจำนวนมากและอนุภาคที่มีภัยจำนวนมากจะเกิดจากแหล่งมนุษย์สร้าง

ไม่ทราบว่ากรณิใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ตารางค่าประมาณของอัตราการผลิต แอโรโซลในชั้นบรรยากาศ troposphere

แหล่ง	อัตราการผลิต	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
ก. แหล่งธรรมชาติ		
ชั้นประถม		
ฝุ่นที่ลมพัดมา	0.02 to 1	9.3
ลปรยของน้ำทะเล	3	28
ภูเขาไฟ	0.03	0.09
ไฟไหม้ป่า	0.4	3.8
ชั้นทุติยะ		
พืชผัก	0.5 to 1	28
วัฏจักรของกำมะถัน	0.1 to 1	9.3
วัฏจักรของไนโตรเจน	2	14.8
ภูเขาไฟ (ก๊าซ)	0.001	0.009
ยอดรวมย่อย	10	94
ข. แหล่งมนุษย์สร้าง		
ชั้นปฐม		
การสันดาปและกระบวนการอุตสาหกรรม	0.1 to 0.3	2.8
ฝุ่นจากการเผาปลุก	0.0001 to 0.001	0.009
ชั้นทุติยะ		
ไอของไฮโดรคาร์บอน	0.007	0.065
ซัลเฟต	0.3	2.8
ไนเตรต	0.6	5.6
แอมโมเนีย	0.003	0.028
ยอดรวมย่อย	0.67	6
ยอดรวม	10.7	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำ (033180

ตาราง 1.7 มลสารเฉพาะชนิด และอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง

ชื่อของสาร	สูตรเคมี	อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง
ไฮโดรเจนฟลูออไรด์	HF	อุตสาหกรรมปุ๋ย อุตสาหกรรมเซรามิก อุตสาหกรรมอะลูมิเนียม
ไฮโดรเจนซัลไฟด์	H ₂ S	โรงกลั่นน้ำมัน อุตสาหกรรมก๊าซ อุตสาหกรรมแอมโมเนีย โรงงานเยื่อกระดาษ
Selenium dioxide	SeO ₂	โรงถลุงโลหะ อุตสาหกรรมเคมี
ไฮโดรเจนคลอไรด์	HCl	อุตสาหกรรมโซดาไฟ กระบวนการพลาสติก
ไนโตรเจนไดออกไซด์	NO ₂	การผลิตดินประสิว อุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่มี การสันดาป
ซัลเฟอร์ไดออกไซด์	SO ₂	การผลิตกรดกำมะถัน อุตสาหกรรมใช้น้ำมันเตา เป็นเชื้อเพลิง อุตสาหกรรมโลหะ โรงงานเยื่อกระดาษ
คลอรีน	Cl ₂	อุตสาหกรรมโซดาไฟ อุตสาหกรรมเคมีอื่น ๆ
ซิลิคอนฟลูออไรด์	SiF ₄	อุตสาหกรรมปุ๋ย
ฟอสจีน	COCl ₂	อุตสาหกรรมย้อมสี การสังเคราะห์สารอินทรีย์
คาร์บอนไดซัลไฟด์	CS ₂	การผลิตคาร์บอนไดซัลไฟด์ ตัวทำละลาย การฆ่าเชื้อของพืช (plant fumigation)
ไฮโดรเจนไซยาไนด์	HCN	การผลิตกรด hydrocyanic การผลิตเหล็ก การฆ่าเชื้อของพืช
แอมโมเนีย	NH ₃	ปุ๋ย การชุบโลหะ เวชภัณฑ์อินทรีย์ และอนินทรีย์
ฟอสฟอรัสไตรคลอไรด์	PCl ₃	การผลิตเวชภัณฑ์ ฟอสฟอรัสไตรคลอไรด์
ฟอสฟอรัสเพนเตคลอไรด์	PCl ₅	ฟอสฟอรัสไตรคลอไรด์ ฟอสฟอรัสไดออกไซด์
ฟอสฟอรัสเหลือง	P ₄	การถลุงฟอสฟอรัสการผลิตสารประกอบฟอสฟอรัส
Chlorosulfuric	HSO ₂ Cl	การผลิตเวชภัณฑ์ การผลิตสีย้อม
ฟอร์มัลดีไฮด์	HCHO	การผลิตฟอร์มัลลิน หนักร ยางสังเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า (ยังมีต่อไปในหน้าถัดไป)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 1.7 (ต่อ) มลสารเฉพาะชนิด และอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง

ชื่อของสาร	สูตรเคมี	อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง
ไฮโดรเจนฟอสไฟด์	PH_3	การผลิตกรดฟอสฟอริก การผลิตปุ๋ยกรดฟอสฟอริก
เบนซีน	C_6H_6	โรงกลั่นน้ำมัน การผลิตฟอร์มาลิน อุตสาหกรรมสี
เมทานอล	CH_3OH	การผลิตเมทานอลการผลิตฟอร์มาลินอุตสาหกรรมสี ตัวทำละลายอินทรีย์
นิกเกิลคาร์บอนิก	$\text{Ni}(\text{CO})_4$	อุตสาหกรรมปิโตรเคมี โรงถลุงนิกเกิล
กรดกำมะถัน (มี SO_3)	H_2SO_4	การผลิตกรดกำมะถันอุตสาหกรรมปุ๋ย โรงงานสาร อินทรีย์
โบรมีน	Br_2	สีย้อม เวชภัณฑ์ สารเคมีเกษตร.
คาร์บอนมอนอกไซด์	CO	อุตสาหกรรมก๊าซ การถลุงโลหะการสันดาปภายใน
ฟีนอล	$\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$	อุตสาหกรรม tar ยาสีฟัน อุตสาหกรรมสี อุตสาหกรรมยางสังเคราะห์
Pyridine	$\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$	อุตสาหกรรมเภสัช เคมี เป็นต้น
Mercaptan	$\text{C}_2\text{H}_5\text{SH}$	น้ำมัน ปิโตรเลียม เภสัช
Acrolein	CH_2CHCHO	การผลิต acrylic acid ยางสังเคราะห์ การผลิตวาร์นิช (varnish)

สารที่มีรายชื่ออยู่ในตาราง 1.7 เป็นสารที่กฎหมายในประเทศญี่ปุ่นกำหนดเป็นมลสารเฉพาะชนิด ใน ตารางนี้ได้ระบุอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องไว้ด้วย

1.4.11) แอสเบสตอส (Asbestos)

แอสเบสตอสจำนวนมากถูกใช้เป็นวัสดุทนไฟ (refractory material) แอสเบสตอสยังใช้เป็นวัสดุบุเบรก (lining material of brakes) ของรถยนต์ อนุภาคของแอสเบสตอสจะก่อให้เกิดโรค asbestosis ซึ่งอาจลุกลามเป็นมะเร็งของปอด (pulmonary cancer) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4.12) ฮาโลคาร์บอน (Halocarbons)

ฮาโลคาร์บอน (halocarbons) เช่น CFCl_3 , CF_2Cl_2 , flon gases เป็นต้น ไม่มีพิษภัย แต่มีเสถียรภาพสูงและอยู่ในอากาศเป็นเวลานาน เมื่อสารเหล่านี้ลอยขึ้นถึงชั้น stratosphere มันจะถูกสลายตัวโดยรังสีเหนือม่วง (ultraviolet rays) ในแสงอาทิตย์ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะทำให้ลายโอโซน (ozone) ที่มีอยู่ในธรรมชาติ ผลก็คือ รังสีเหนือม่วงที่ตกลงถึงพื้นดินจะมีปริมาณเพิ่มขึ้น และเป็นสาเหตุให้เกิดมะเร็งผิวหนังง่ายขึ้น flon gases มีใช้กันแพร่หลายในตู้เย็น กระจ่างสปเรย์ เป็นต้น

1.5 อิทธิพลของมลภาวะอากาศ (Air Pollution Influence)

1.5.1) อิทธิพลต่อร่างกายมนุษย์

มลสารในอากาศรอบ ๆ สามารถเข้าสู่ร่างกายมนุษย์ได้หลายทาง และมีผลกระทบเป็นพิเศษต่อระบบหายใจ (respiratory system) เหตุที่เห็นเช่นนี้เพราะคนเราหายใจเอาอากาศเข้าและออกจากปอด วันละสองหมื่นถึงหลายหมื่นครั้ง หรือคิดเป็นอากาศประมาณวันละ 10 ลูกบาศก์เมตร

เมื่อเลือดไหลวนในเส้นเลือดฝอย (capillary vessels) ของถุงอากาศ (alveoli) ของปอด คาร์บอนไดออกไซด์จะออกจากเลือดเข้าไปในถุงอากาศ ในขณะเดียวกัน ออกซิเจนที่มีอยู่ในอากาศจะละลายเข้าไปในเลือด เลือดที่ได้รับออกซิเจนนี้จะไหลกลับไปหัวใจ และหัวใจจะสูบเลือดนี้ผ่านเส้นเลือดแดงใหญ่ (aorty) ไปหล่อเลี้ยงอวัยวะต่าง ๆ ทั่วร่างกาย ด้วยเหตุนี้ ถ้าอากาศมีมลสารอยู่ สารเหล่านี้จะมีผลร้ายต่อหลอดลมแยก (bronchi) และถุงอากาศ (alveoli) ซึ่งอาจนำไปสู่โรคหลอดลมแยกอักเสบ (bronchitis) หรือ pulmonary emphysema (ดูรูป

1.2)

1.5.1.1) ผลของมลสารชนิดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่มอบให้สำหรับการทำงานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่สามารถนำไปประกอบในเอกสารค่า ในจำนวนมลสารที่มีผลต่อสุขภาพของมนุษย์ ตัวที่สำคัญมากได้แก่ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ในโตรเจนไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เจนออกไซด์ โอโซน คาร์บอนมอนอกไซด์ และสารอนภาคแขวนลอย ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในทางหายใจจะสูงเกือบ 100% เนื่องจาก SO_2 และ H_2SO_4 สามารถละลายน้ำได้ดี สารเหล่านี้ส่วนใหญ่จะซึมผ่านผนังของส่วนบนของทางหายใจ นั่นคือ โพรงจมูก (nasal cavity) คอ และลิ้นไก่ (larynx) ผลก็คือ สารเหล่านี้จะมีผลร้ายต่อส่วนบนของทางหายใจ

ตาราง 1.8 ระดับและอิทธิพลของไนโตรเจน ไดออกไซด์

ระดับ NO_2 (ppm.)	อิทธิพล
0.11	ระดับต่ำสุดที่ดมกลิ่นออก
0.5	การลดขนาดของ mitochondria ใน alveocells และการเปลี่ยนแปลงใน mastocells ของหนูที่สัมผัสกับมลสารเป็นเวลา 4 ชั่วโมง เกิด pulmonary emphysema ในหนูที่สัมผัสกับมลสารเป็นเวลา 12 เดือน ติดเชื้อโรค (infection) ได้ง่ายขึ้น และมีความสามารถน้อยลงในการกำจัดแบคทีเรียที่สูดหายใจเข้า
0.8	เกิด epithelial hypertrophy ของหลอดลมย่อย (bronchiole) ในหนูที่สัมผัสกับมลสาร 3 เดือน
1.0	ชักนำให้เกิด lipid peroxide ในปอดของหนูที่สัมผัสกับมลสาร 4 ชั่วโมง
1.6-2.0	ความต้านทานต่อการไหลผ่านทางลมเพิ่มขึ้น และความดันย่อย (partial pressure) ของออกซิเจนในเลือดแดงลดลงในคน สุขภาพ แข็งแรง ที่ถูกสัมผัสกับมลสารนาน 2 ชั่วโมง โดยมีการเคลื่อนไหวเป็นครั้งคราว
13	เกิดการกระตุ้นของตาและจมูกและมีความรู้สึกไม่สบายในหน้าอก
25-75	เกิดโรคหลอดลมแยกอักเสบ และโรคปอดบวม ในตัวทดลองที่สัมผัสกับมลภาวะน้อยกว่า 1 ชั่วโมง
80	เกิดความรู้สึกหายใจไม่ออก (choked) ในหน้าอกของตัวทดลองที่สัมผัสกับมลสาร นาน 3-5 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 1.8 (ต่อ) ระดับและอิทธิพลของไนโตรเจน ไดออกไซด์

ระดับ NO ₂ (ppm.)	อิทธิพล
300-500	เกิดโรคหอบหืดแบบเฉียบพลัน หรือ pulmonary oedema ในตัวทดลองที่สัมผัสกับมลสารเป็นเวลาหลายนาที่ และนำไปถึงความตายของตัวทดลอง

ตารางที่ 1.9 ระดับและอิทธิพลของโอโซน

ระดับ O ₂ (ppm.)	อิทธิพล
0.02-0.05	มีกลิ่น
0.08-0.3	หนูที่สัมผัสกับมลสาร นาน 3 ชั่วโมงติดเชืโรค (infection) ได้ง่ายขึ้น
0.3-0.5	ความต้านทานของทางหายใจเพิ่มขึ้นในคนสุขภาพสมบูรณ์ที่สัมผัสกับมลสาร 2 ชั่วโมง และเคลื่อนไหวเป็นครั้งคราว
0.4-0.7	เกิด lipid peroxide ในปอดของหนูที่สัมผัสกับมลสาร นาน 4 ชั่วโมง
2.0	ไอรุนแรง และความสามารถที่สำคัญ (vital capacity) ลดลงในตัวทดลองที่สัมผัสกับมลสารนาน 2 ชั่วโมง
10	ชักนำให้หายใจลำบากและเกิด pulmonary oedema ในตัวทดลองที่สัมผัสกับมลสารหลายนาที่

ในทางตรงกันข้าม NO₂ หรือ O₃ (โอโซน) ละลายน้ำได้ในอัตราที่ช้ามาก จึงสามารถ ล่วงล้ำลงไปถึงส่วนลึกของระบบทางเดินหายใจได้โดยง่าย และมีผลกระทบต่อส่วนล่างของระบบ หายใจ ซึ่งรวมหลอดลมเล็ก (bronchioles) และถุงอากาศ (alveoli) ของปอดดังตารางที่ 1.8 และ ตารางที่ 1.9 ให้แสดงความเข้มข้นและผลกระทบของ SO₂, NO₂ และ O₃

ตามลำดับ ที่ความเข้มข้นเท่ากัน O_3 จะมีผลร้ายแรงน้อยกว่า SO_2 และ NO_2 มากกว่ามาก

เมื่อมลสารในรูปก๊าซและอนุภาคอยู่ร่วมกันมันจะมีผลกระทบที่ร้ายแรงเมื่อถูกหายใจเข้าไปในรูปของผลมมากกว่าในรูปก๊าซและอนุภาคแยกกัน นั่นคือ มลสารสองชนิดสามารถเพิ่มความรุนแรงของผลร้ายของแต่ละตัว ผลกระทบของสารอนุภาคต่อร่างกายมนุษย์ จะขึ้นกับขนาดของอนุภาค ตลอดจนความเข้มข้นและองค์ประกอบเคมีของมัน

อนุภาคขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตกว่า 5 ไมครอน ส่วนใหญ่จะถูกจับที่ส่วนบนของทางหายใจ และเกาะติดอยู่ที่นั่น ในทางตรงข้าม อนุภาคขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 ไมครอนจะเกาะติดที่ส่วนล่างของทางหายใจได้ง่ายกว่าที่ส่วนบนโดยเฉพาะอย่างยิ่ง อนุภาคขนาดประมาณ 1 ไมครอนจะเกาะที่ส่วนล่างของทางหายใจ

อนุภาคที่เกาะติดในถุงอากาศ (alveoli) ซึ่งไม่มีเส้นขน (cilia) จะบุกรุกเยื่อของปอดและบางครั้งก่อให้เกิดโรค pneumoconiosis

เนื่องจากคาร์บอนมอนอกไซด์มีคุณสมบัติยึดแน่นมากกับฮีโมโกลบิน (hemoglobin) ในเลือด ทำให้ฮีโมโกลบินนั้น ไม่สามารถทำหน้าที่ขนส่งออกซิเจนไปยังเนื้อที่มีชีวิต ดังนั้น จึงมีผลมากต่อระบบประสาทกลาง (central nervous system) ซึ่งอ่อนแอต่อการขาดออกซิเจนมากที่สุด เมื่อผลคูณของความเข้มข้นของ CO (ppm.) กับชั่วโมงที่สูดมัน มีค่าเท่ากับ 1,500 คนที่สูดอาจถึงแก่ความตายได้

1.5.1.2) การประเมินผลของมลสารต่อร่างกายมนุษย์และมาตรฐานของสภาวะแวดล้อม

ก่อนทำการประเมินอิทธิพลของมลสารต่อสุขภาพของมนุษย์ในทางวิทยาศาสตร์ มีความจำเป็นที่จะทำการศึกษาเชิงระบาดวิทยา (epidemiological) เพื่อค้นหาเหตุผล (causality) ของความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของมลภาวะอากาศ (ความเข้มข้น x เวลาที่สัมผัส) กับภัยต่อสุขภาพ จากข้อมูลบันทึกที่หาได้

องค์การอนามัยโลก WHO (World Health Organization) ได้แบ่งคุณภาพของอากาศเป็น 4 ระดับ ดังนี้นี้โดย ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับ 1 : มลสารที่มีอยู่ในอากาศ มีน้อยมาก (ต่ำกว่าค่า ๆ หนึ่งที่ระบุ) จนไม่มีผลกระทบโดยตรงหรือโดยอ้อม

ระดับ 2 : มลสารที่มีในอากาศ กระตุ้นอวัยวะการรับรู้ (sensory organs) มีอิทธิพลในแง่พิษภัยต่อพืช ลดทัศนวิสัย (visibility) และมีผลร้ายอื่น ๆ ต่อสิ่งแวดล้อม

ระดับ 3 : มลสารที่มีในอากาศ ก่อให้เกิดโรคเรื้อรัง หรือทำให้ช่วงชีวิต (life span) สั้นลง

ระดับ 4 : มลสารที่มีในอากาศก่อให้เกิดโรคเฉียบพลัน และฆ่าบางคนของกลุ่มคนที่มีความรู้สึกไวมากต่อสารนั้น

ในทันทีที่ได้พบความสัมพันธ์เชิงเหตุและผลที่ชัดเจนระหว่างปริมาณของมลสารและภัยต่อสุขภาพก้าวต่อไปคือการกำหนดความเข้มข้นที่ยอมรับได้ของมลสารแต่ละตัว และการตั้งมาตรฐานของสภาวะแวดล้อมเพื่อประยุกต์ใช้ ในการทำเช่นนั้น เป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องรู้ค่าขีดเริ่ม (threshold value) ของมลสารเฉพาะตัว นั่นคือ ปริมาณที่สิ่งมีชีวิตเริ่มมีปฏิกิริยาต่อมลสาร

ความเข้มข้นที่ยอมรับได้ คือค่าความเข้มข้นที่ไม่อาจเกินได้ โดยที่คนงานแทบทั้งหมดที่ได้รับมลสารนั้น จะคงอยู่ได้โดยปราศจากผลกระทบ ในทางตรงข้าม มาตรฐานของสภาวะแวดล้อมคือความเข้มข้นที่ต่ำพอที่จะคงการนิทกซ์สุขภาพของมนุษย์อย่างดี และปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมที่มีชีวิต

แม้ว่าความเข้มข้นที่ยอมรับได้จะคล้ายคลึงกับมาตรฐานสภาวะแวดล้อมในแง่ที่ว่า ทั้งสองสิ่งถูกกำหนดขึ้นปกป้องสุขภาพ แต่มันก็มีความหมายแตกต่างกัน เพราะประเภทของคน ระดับที่ได้รับมลสาร และเวลาที่ได้รับ จะกำหนดไว้ไม่เหมือนกัน โดยทั่วไปค่าความเข้มข้นที่ยอมรับได้ จะสูงกว่าค่ามาตรฐานสภาวะแวดล้อม และค่ามาตรฐานสภาวะแวดล้อมจะสูงกว่าค่าขีดเริ่ม (threshold value)

การกำหนดค่ามาตรฐานสภาวะแวดล้อมควรกระทำอย่างถูกหลักวิทยาศาสตร์ แต่ก็มีควมจำเป็นที่ต้องคำนึงถึงแง่มุมทาง การเมือง เศรษฐกิจ และ/หรือสังคมด้วย ดังนั้นจึงเป็นธรรมดาที่ค่ามาตรฐานของมลสารตัวหนึ่ง ในแต่ละประเทศย่อมแตกต่างกันได้

1.5.2) อิทธิพลต่อพืช

ในจำนวนมลสารที่มีผลกระทบต่อพืช ตัวสำคัญคือ SO_2 , ไฮโดรเจนฟลูออไรด์ (HF), O_3 , PAN (Peroxy Acetyl Nitrate), SO_2 ก่อให้เกิดความเสียหายต่อพืชมากที่สุด และที่รองมาคือ HF ในระยะหลังที่มีการเกิด photo chemical ความเสียหายที่เกิดจาก โอโซน หรือ PAN เริ่มปรากฏมากขึ้น

1.5.2.1) กลไกการเกิดความเสียหายต่อพืช

SO_2 ถูกดูดซึมผ่านรูหายใจเข้าไปในพืช และทำปฏิกิริยากับแอลดีไฮด์ ในพืช เกิดเป็น hydroacid fluoride ซึ่งทำปฏิกิริยาเป็น silicic acid และก่อให้เกิดความเสียหาย ระบบหายใจของพืชจะเปิดออกเมื่อได้รับแสงอาทิตย์ และเปิดกว้างขึ้นเมื่อความชื้นในอากาศมีสูงขึ้น ดังนั้น ความเสียหายจึงมักเกิดขึ้นทันทีหลังจากฝนตกในเวลากลางวัน

1.5.2.2) ลักษณะสมบัติของความเสียหาย

SO_2 มีแนวโน้มที่ก่อความเสียหายต่อใบเขียวที่เจริญเต็มที่ แต่ผลกระทบต่อใบอ่อนหรือใบแก่จะมีน้อยมากเว้นแต่กรณีที่มีความเข้มข้นของ SO_2 มีค่าสูงมาก เหตุที่เป็นเช่นนั้นเพราะใบที่เจริญเต็มที่ผลิตแอลดีไฮด์ปริมาณมาก และรูหายใจของใบก็ทำงานว่องไว แต่มควัน เกิดจาก SO_2 จะมีสีขาวหรือสีทองส้มฤกษ์และมีรูปกลม สีเหลืองมัจจุรัส และรูปอื่น ๆ

HF ก่อความเสียหายต่อพืชรุนแรงกว่า SO_2 มากผิดกับ SO_2 HF จะทำความเสียหายจะเกิดที่ยอดหรือขอบรอบของใบ

O_3 ก่อให้เกิดแถมสีขาว หรือสีขาวแกมเหลืองบนใบ PAN ก่อให้เกิดแถมสีเงินหรือสีทองหรือสีทองส้มฤกษ์บนใบ

1.6 ระบบควบคุมมลภาวะสิ่งแวดล้อม (Air Pollution Control Standard System)

การเกิดของนิคมอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ และการแออัดของประชากรในเมืองใหญ่ในประเทศญี่ปุ่น เริ่มขึ้นในครึ่งหลังของทศวรรษ 1940-1950 พร้อมกับความเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วทางเศรษฐกิจของประเทศ การเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็วเช่นนี้ในสังคมในที่สุดได้ก่อให้เกิดปัญหาสังคมที่ร้ายแรง เช่น มลภาวะน้ำ มลภาวะอากาศ แผ่นดินทรุด และเสียงรบกวน ผลก็คือ ทั้งรัฐบาลกลางและท้องถิ่นถูกรังเร้า ให้ออกกฎหมายและกฎบัญญัติเกี่ยวกับการควบคุมมลภาวะสิ่งแวดล้อมเหล่านี้ และให้บังคับใช้อย่างเข้มงวด

"กฎหมายอนุรักษ์คุณภาพน้ำ" และ "กฎหมายควบคุมมลภาวะสิ่งแวดล้อม" การออกหรือแก้ไขกฎหมายและกฎบัญญัติอื่นๆ เช่น "กฎหมายควบคุมมลภาวะอากาศ" , "กฎหมายควบคุมมลภาวะน้ำ" เป็นต้น ผลก็คือ เป็นการสถาปนาระบบของกฎหมายเกี่ยวกับกฎหมาย และกฎบัญญัติเกี่ยวกับการควบคุมมลภาวะนั้น

อย่างไรก็ตาม สถานการณ์ของมลภาวะสิ่งแวดล้อมก็แตกต่างจากเขตหนึ่งไปอีกเขตหนึ่ง รัฐบาลท้องถิ่นโดยเฉพาะท้องถิ่นที่มีเมืองอุตสาหกรรมในความดูแล ถูกรังเร้าให้ดำเนินมาตรการที่มีประสิทธิผลในการแก้ปัญหามลภาวะสิ่งแวดล้อม และรัฐบาลท้องถิ่นเหล่านี้ได้ออกกฎบัญญัติต่างๆ ของตัวเองตามลำดับ นอกจากนี้รัฐบาลท้องถิ่นจำนวนมากยังได้ทำข้อตกลงร่วมมือเกี่ยวกับควบคุมมลภาวะสิ่งแวดล้อม ซึ่งมีบทบัญญัติที่เข้มงวดและละเอียดมาก ผลก็คือ รัฐบาลท้องถิ่นเหล่านี้ ไม่เพียงแต่สามารถช่วยเสริมการบริหารงานควบคุมมลภาวะสิ่งแวดล้อมของรัฐบาลกลางเท่านั้น ยังสามารถดำเนินมาตรการที่มีประสิทธิผลซึ่งสอดคล้องกับสถานการณ์ของท้องถิ่นนั้นๆ ด้วย

กฎหมายควบคุมมลภาวะสิ่งแวดล้อมในประเทศญี่ปุ่นวางรากฐานอยู่บน "กมพินพื้นฐานสำหรับการควบคุมมลภาวะสิ่งแวดล้อม" ซึ่งกำหนดความรับผิดชอบและความจำเป็นพื้นฐานของทั้งรัฐบาลท้องถิ่นและกิจการธุรกิจเอกชนในการควบคุมมลภาวะสิ่งแวดล้อม รูปที่ 2.1 แสดงแผนภูมิการไหล (flow chart) ของระบบกฎหมายที่ว่า ดึงเห็นได้จากแผนภูมิ กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมมลภาวะสิ่งแวดล้อมสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม

(1) กลุ่มกฎหมายเกี่ยวกับการควบคุมมลภาวะ

(2) กลุ่มกฎหมายเกี่ยวกับการบังคับใช้กฎหมายควบคุมมลภาวะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบรรณาธิการ เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(๑) กลุ่มกฎหมายเกี่ยวกับมาตรการบรรเทาทุกข์

ประชาชนทุกคนมีสิทธิที่จะรักษาไว้ซึ่งมาตรฐานต่ำสุดของการใช้ชีวิตอย่างถูกสุขลักษณะ และมีอารยธรรม (ข้อกำหนดนี้บังคับให้รัฐบาลทำดีที่สุดในการส่งเสริมสวัสดิการของประชาชน) กฎหมายนี้ออกกฎบังคับทั่วไปเกี่ยวกับการควบคุมมลภาวะสิ่งแวดล้อม

มาตรา 25 ของรัฐธรรมนูญ

กฎหมายพื้นฐานสำหรับควบคุมมลภาวะสิ่งแวดล้อม

(การควบคุม)

กฎหมายควบคุมมลภาวะอากาศ กฎหมายควบคุมมลภาวะน้ำ กฎหมายควบคุมเสียงรบกวน กฎหมายการกำจัดขยะมูลฝอยและการทำความสะอาดสาธารณะ กฎหมายน้ำโสโครก กฎหมายป้องกันมลภาวะทะเล กฎหมายอนุรักษ์ทะเลที่ล้อมล้อมด้วยแผ่นดิน ชื่อเชโตะ กฎหมายป้องกันมลภาวะดินใช้ในการเกษตร กฎหมายป้องกันมลภาวะดินใช้ในการเกษตร กฎหมายเกี่ยวกับการควบคุมการสูบน้ำบาดาลสำหรับใช้ในอาคาร กฎหมายควบคุมกบิ่นเหม็น กฎหมายเกี่ยวกับการตรวจสอบ และการผลิตสารเคมี กฎหมายเหล่านี้เกี่ยวกับการตั้งมาตรฐานสำหรับป้องกันมลภาวะสิ่งแวดล้อมและบังคับให้รายงานแหล่งมลภาวะสิ่งแวดล้อม

(มาตรการสำหรับจูงใจการปฏิบัติตามกฎหมายควบคุม)

กฎหมายบรรษัทบริการด้านการควบคุมมลภาวะสิ่งแวดล้อม กฎหมายมาตรการภาษีพิเศษ กฎหมายภาษีท้องถิ่น กฎหมายเหล่านี้เกี่ยวกับการให้ความช่วยเหลือทางการเงิน และการลดหย่อนหรือยกเว้นภาษีเพื่อเป็นมาตรการจูงใจการปฏิบัติ ตามกฎหมายควบคุมมลภาวะโดยธุรกิจเอกชน กฎหมายลงโทษอาชญากรรมมลภาวะ กฎหมายสำหรับการสถาปนาองค์กรสำหรับควบคุมมลภาวะในโรงงานที่ระบุไว้ กฎหมายนี้ประกาศใช้เพื่อผูกมัดให้โรงงานทุกแห่งมีหน้าที่ต้องตั้งองค์กรสำหรับควบคุมมลภาวะ

(การรับภาระค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับงานควบคุมมลภาวะต่อสาธารณะ)

กฎหมายเกี่ยวกับการรับภาระค่าใช้จ่าย เกี่ยวกับงานควบคุมมลภาวะต่อสาธารณะโดยนักธุรกิจ กฎหมายนี้ผูกมัดให้นักธุรกิจทุกค้ำมีส่วนรับผิดชอบต่องานควบคุมมลภาวะสิ่งแวดล้อม ซึ่งดำเนินการโดยรัฐบาล และรัฐบาลท้องถิ่น เช่นจังหวัด อำเภอ ตำบล หมู่บ้าน จนถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(มาตรการบรรเทาทุกข์)

กฎหมายเกี่ยวกับการเจรจาตกลงข้อพิพาททางมลภาวะสิ่งแวดล้อม กฎหมายบชต.เซชความเสียหายต่อสุขภาพโดยมลภาวะ กฎหมายมาตรการพิเศษเกี่ยวกับการจัดเงินทุนสำหรับจ่ายค่าเสียหายต่อผู้ป่วยจากโรคที่เกิดจากปรอท กฎหมายเหล่านี้ประกาศใช้เพื่อสถาปนาระบบบรรเทาทุกข์ สำหรับผู้รับเคราะห์จากมลภาวะสิ่งแวดล้อม

1.7 กฎหมายควบคุมมลภาวะอากาศของญี่ปุ่น (มิถุนายน 1968)

จุดประสงค์ของกฎหมายนี้คือการควบคุมการปล่อยออกของมลสารในอากาศจากอุปกรณ์และกระบวนการในอุตสาหกรรม ตลอดจนไอเสียจากรถยนต์ เพื่อปกป้องสุขภาพของประชาชนและอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมที่ให้อยู่อาศัย

ขีดจำกัดของค่าปล่อยออกที่ยอมได้ของมลสารในอากาศมีกำหนดไว้ในกฎหมายนี้ ค่าขีดจำกัดเหล่านี้จะขึ้นกับประเภทของมลสาร และขนาดกำลังของอุปกรณ์และกระบวนการ เมื่อเทคโนโลยีก้าวหน้าขึ้น ค่ามาตรฐานปล่อยออกจะถูกเปลี่ยนให้เข้มงวดมากขึ้น ๆ

ค่าขีดจำกัดที่ยอมได้ของการปล่อยกำมะถันออกไซด์จาก อุปกรณ์แต่ละหน่วยถูกกำหนดโดยสมการต่อไปนี้ ซึ่งเรียกว่า "การควบคุมโดยค่า K"

q = K x 10⁻³ x He²(1.1)

He = Ho + 0.65 (Hm + Ht)(1.2)

Hm = [0.795 QV] / [1 + (2.58 / V)](1.3)

Ht = 2.01 x 10⁻³ Q (T - 288) (ln J + 1/J - 1)(1.4)

J = (1/QH) [1460 - { 296 V / (T-298)}] + 1

ในที่นี้

q : ขีดจำกัดที่ยอมได้ของค่าปล่อยออกของกำมะถันออกไซด์

K : ค่าคงที่ซึ่งขึ้นกับชนิดที่ตั้ง

ในกรณีของมาตรฐานปล่อยออกทั่วไป K มีค่า 16 ค่าตั้งแต่ 3.0 ถึง 17.5

ในกรณีของมาตรฐานปล่อยออกพิเศษ K มี 3 ค่าตั้งแต่ 1.17 ถึง 2.34
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอ้างอิงเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

H : ความสูงเชิงประสิทธิผลของปล่อง นั่นคือความสูงจริงของปล่อง บวกกับความสูงที่
คว้นลอยขึ้น (m)

H : ความสูงจริงของปล่อง (m)

G : ปริมาตรการไหลของก๊าซทิ้งที่ 15 องศาเซลเซียส

V : ความเร็วของก๊าซทิ้งที่พุ่งออกจากปล่องคว้น

T : อุณหภูมิสัมบูรณ์ของก๊าซทิ้ง (K)

1.8 กฎหมายควบคุมมลภาวะอากาศของประเทศไทย

พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2518 ได้กำหนดให้กำหนด
ให้มีคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ และสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ซึ่งมีอำนาจ
หน้าที่ต่าง ๆ เกี่ยวกับการส่งเสริมและอนุรักษ์คุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ และกระทรวงทบวงกรม
ที่รับผิดชอบ ได้ดำเนินการเกี่ยวมาตรฐานคุณภาพอากาศต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1.8.1 มาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศ

ตาราง รวบรวมค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศของประเทศไทย ซึ่งมีประกาศ
ไว้ในราชกิจจานุเบกษา ตอนที่ 197 (1ธค.2524) หน้า 4322-4323 อนึ่ง ราชกิจจานุเบกษา)
ฉบับเดียวกัน (หน้า 2497-4300) ยังได้กำหนดวิธีการวัดคุณภาพในบรรยากาศซึ่งอ้างอิงไว้ใน
ตาราง ด้วย

(โปรดดูตารางในหน้าถัดไป).

ตาราง พิกัดมาตรฐานคุณภาพอากาศในบรรยากาศ (ชั้นวาคม 2524)

ชนิดของมลสาร	ค่าเฉลี่ย ในเวลา ไม่เกิน 1 ชั่วโมง	ค่าเฉลี่ย ในเวลา ไม่เกิน 8 ชั่วโมง	ค่าเฉลี่ย ในเวลา ไม่เกิน 1 วัน	ค่าเฉลี่ย ในเวลา ไม่เกิน 1 ปี	วิธีการวัด
	หน่วย mg/Nm				
CO	50	20	-	-	Non-dispersive infrared detection
NO _x	0.32	-	-	-	Gas phase che- miluminescence
SO ₂	-	-	0.30	0.10	Pararosaniline
อนุภาคแขวน - ลอยรวม	-	-	0.33	0.10	Chemilumine - scence
Photochemi- cal Oxidant	0.20	-	-	-	Wet ashing
ตะกั่ว	-	-	0.01	-	

1.8.2 มาตรฐานอากาศเสียจากรถยนต์

ในปี 2523 กรมตำรวจได้ออกประกาศพนักงานจราจรทั่วราชอาณาจักร เรื่องการใช้เครื่อง
วัดควันและเสียงดังของรถยนต์และรถจักรยานยนต์ ลงวันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2523 ซึ่งสรุปใจความได้
ว่า เมื่อรถหยุดกับที่และเมื่อเร่งเครื่องพอสมควร ควันที่ออกมาจากท่อไอเสียของรถต้องมีค่าทดสอบ
เขม่าควันไม่เกินร้อยละ 40 ของเครื่องวัดควันระบบบ็อกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนึ่ง สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติได้ปรับปรุงมาตรฐานและวิธีการวัดอากาศเสียจากรถยนต์โดยปรับปรุงวิธีการวัดค่าควันดำ และเพิ่มการกำหนดค่ามาตรฐานและวิธีการวัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ดังนี้

ก. ประกาศสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ เรื่องกำหนดมาตรฐานค่าควันดำและค่าก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ที่ยินยอมให้ระบายออกจากท่อไอเสียของรถยนต์ (ประกาศ ณ วันที่ 14 ธันวาคม 2522 ลงในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 97 ตอนที่ 35 ลงวันที่ 4 มีนาคม 2523 หน้า 736-737) ได้กำหนดว่าค่าควันดำของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลต้องไม่เกินร้อยละ 40 ของเครื่องวัดระบบบ็อกซ์ หรือไม่เกินร้อยละ 52 ของเครื่องวัดระบบอาร์ทริดจ์ (Hartridge) และว่าค่าก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ของเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันเบนซินต้องไม่เกินร้อยละ 6 ของเครื่องวัดระบบ Non-Dispersive Infrared Detection.

ข. ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน เรื่องกำหนดวิธีการวัดไอเสียจากท่อไอเสียของรถยนต์ (ประกาศ ณ วันที่ 14 ธันวาคม 2522 ลงในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 97 ตอนที่ 35 ลงวันที่ 4 มีนาคม 2523 หน้า 715-719) ได้กำหนดวิธีการตรวจสอบควันดำ และวิธีการวัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์จากท่อไอเสียของรถยนต์ เมื่อรถยนต์จอดอยู่กับที่ และเมื่อแล่นอยู่บนทางเดินรถ เพื่อเป็นแนวทางในการยึดถือปฏิบัติ

1.8.3 มาตรฐานเสียงที่ปล่อยออกจากรถยนต์

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 4 (พ.ศ. 2514) ในหมวดที่ 14 "การประกอบกิจการโรงงานมิให้เกิดเหตุรำคาญ" ได้กำหนดเฉพาะค่ามาตรฐานความดังของเขม่าควันที่ปล่อยออกจากปล่องของโรงงานไว้ดังนี้

"ข้อ 77 โรงงานที่มีการใช้เตาหรือเครื่อง เครื่องจักรอื่นใด ซึ่งทำให้มีเขม่าควันออกสู่บรรยากาศต้องปล่อยออกทางปล่องที่มีความสูงตามความจำเป็นและเหมาะสม ความดังของเขม่าควันที่ปากปล่องต้องไม่เกินร้อยละสี่สิบของความดังมาตรฐานริงเกลมานน์ (Ringlemann Standard) เว้นแต่ในช่วงระยะเวลาสั้น ในขณะที่เริ่มติดเตาหรือติดเครื่องเย็บผ้า เป่าเขม่า หรือเกิดขัดข้องในระบบขจัดเขม่าควัน"

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อนึ่ง สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติได้จัดตั้งคณะกรรมการวิชาการเรื่อง
อากาศเสียจากอุตสาหกรรมขึ้นในปี 2523 เพื่อพิจารณาคำมาตรฐานของปริมาณมลสารที่ยอมให้ระ
บายออกสู่บรรยากาศจากแหล่งกำเนิดของอุตสาหกรรมแต่ละประเภท และวิธีการวัดมลสารดัง
กล่าว โดยแบ่งกลุ่มของมลสารไว้เป็น

- ก. สารอนุภาคและการปล่อยออกที่มองเห็นได้
- ข. หมอกน้ำค้าง (mist) ของกรดกำมะถัน และซัลเฟอร์ไดออกไซด์
- ค. โลหะหนัก
- ง. ไนโตรเจนออกไซด์ (NOx)
- จ. คาร์บอนมอนอกไซด์
- ช. กรดเกลือ และคลอรีน
- ซ. ตัวทำละลายอินทรีย์

ตาราง แสดงค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศเสียจากอุตสาหกรรมบางประเภท นอกจากนั้น
สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ยังได้มีนโยบายให้อุตสาหกรรมประเภทต่อไปนี้
เสนอรายงานการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่อสำนักงานฯ เพื่อขอความเห็นชอบก่อนที่จะเริ่ม
โครงการใหม่ นั่นคือ โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน อุตสาหกรรมปิโตรเคมี อุตสาหกรรมแยกหรือ
แปรสภาพก๊าซธรรมชาติ อุตสาหกรรมคลอรีน-แอลคาไล (Chlor-alkali) อุตสาหกรรมเหล็ก
และเหล็กกล้า อุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์ผง อุตสาหกรรมถลุงแร่หรือหล่อหลอมโลหะ อุต
สาหกรรม ผลิตเยื่อและกระดาษ และอุตสาหกรรมกลั่นน้ำมันดิบ

(โปรดดูตารางในหน้าถัดไป)

ตาราง มาตรฐานคุณภาพอากาศเสียจากอุตสาหกรรมบางประเภท

ประเภทอุตสาหกรรม	แหล่งกำเนิดมลสาร	ค่ามาตรฐานปริมาณมลสารที่ยอมให้ระบายออก ไม่เกิน			
		สารอนุภาค (ฝุ่น) (mg/Nm ³)	ตะกั่ว (mg/ Nm ³)	ความดำ ของควัน % opac.	CO (vol. %)
ถลุงและหล่อหลอม ตะกั่ว	เตาถลุงและเตา หลอม	100	30	40	-
เหล็ก และเหล็กกล้า	เตาถลุงและเตา หลอม	300	-	-	-
กลั่นน้ำมันดิบ	FFC Unit Catalyst Regen.	250	-	40	0.5

1.8.4 มาตรฐานอากาศเสียภายในสถานที่ประกอบการ

ประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่องความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม (สารเคมี) ณ วันที่ 30 พฤษภาคม 2520 (ลงในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 99 ตอนที่ 64 ลงวันที่ 12 กรกฎาคม 2520) ได้กำหนดค่ามาตรฐานของความเข้มข้นของฝุ่นละออง ก๊าซ หรือไอเคมีของมลสาร จำนวน 121 ประเภท เพื่อปกป้องสุขภาพของผู้ทำงานในสถานที่ประกอบการ

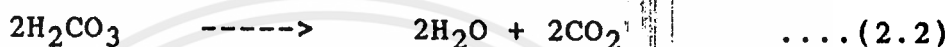
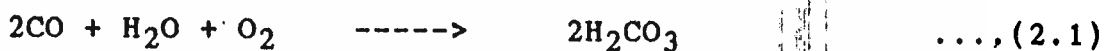
เท่าที่กล่าวมาในหัวข้อ 1.8.4 เป็นการแนะนำโดยสังเขปเกี่ยวกับกฎหมายควบคุมมลภาวะอากาศของประเทศไทย ผู้ที่สนใจรายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศอาจหาอ่านได้จากประกาศกระทรวงต่างๆ ข้างต้น

บทที่ 2

ทฤษฎีการล้างอากาศทางเคมี

(Theory of Chemical Air Washing)

คอนทฤษฏีแล้ว น้ำ (H₂O) และ ออกซิเจน (O₂) สามารถทำปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์ คือกรดคาร์บอนิก (H₂CO₃) ซึ่งเป็นกรดที่ไม่เสถียร จึงแตกตัวออกเป็นน้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เกือบทั้งหมด ดังสมการเคมี



ซึ่งสมการเคมีอาจเขียนโดยย่อได้เป็น



แต่เมื่อสารเร่งปฏิกิริยาเข้าแล้ว จะทำให้ปฏิกิริยาเป็นไปตามสมการเคมีที่ 3 เกิดได้เร็วยิ่งขึ้นดังสมการเคมีที่ 4



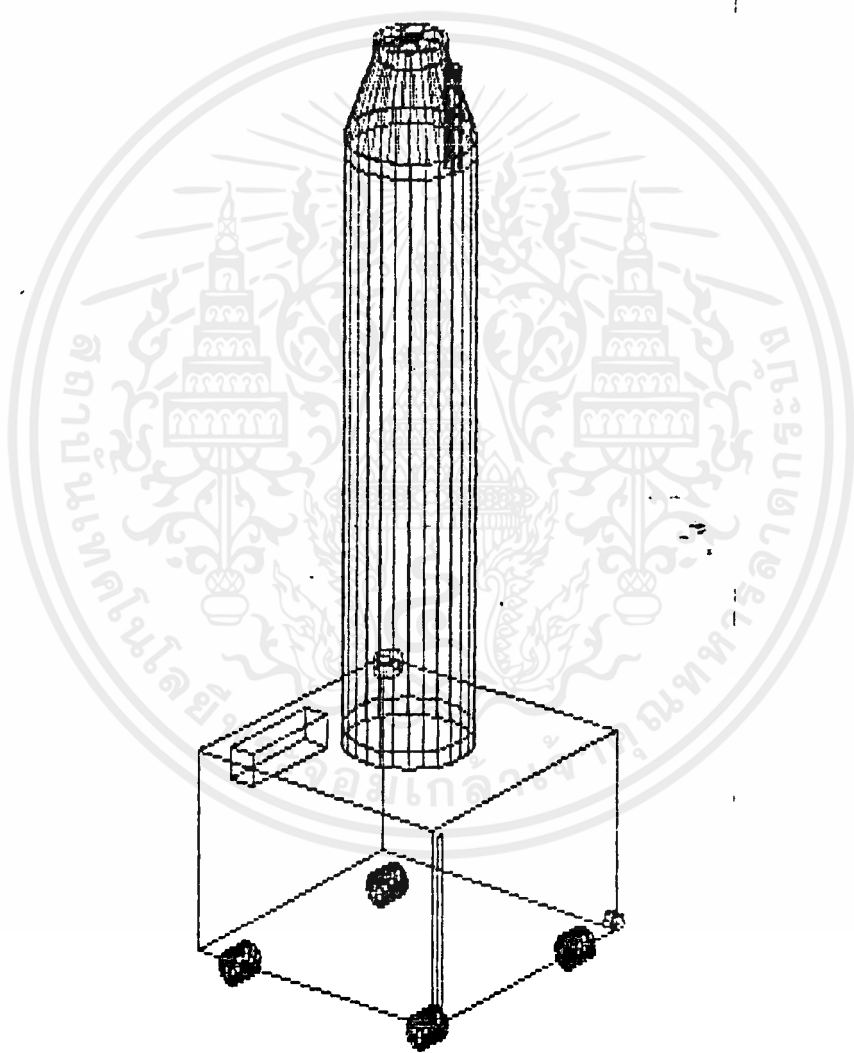
ซึ่งเราจะนำเอาสมการเคมีที่ 4 มาประยุกต์ทดลอง โดยการฉีดน้ำที่ผสมสารเร่งปฏิกิริยา ผ่านอากาศที่มีส่วนผสมของ CO ซึ่งถูกดูดเข้ามาด้วยพัดลม จากนั้น นำผลไปเปรียบเทียบกับสมการที่ 3 นี้ เพียงอย่างเดียว

นอกจากนั้น ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาข้างต้น ยังขึ้นอยู่กับโอกาสของละอองน้ำที่จะชนกับ CO และ O₂ ด้วย จึงมีการเปลี่ยนแปลงระยะห่างของหัวฉีด กับท่อทางเข้าของก๊าซแล้วนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกัน

สำหรับความเร็วของมวลอากาศที่ผ่านเข้าป็นั้น จะถูกควบคุมไว้คงที่ ที่ทางออกทั้งก่อนและหลังการฉีดน้ำ เนื่องจากหลังการฉีดน้ำแล้ว จะทำให้ความเร็วที่ทางออกของอากาศลดลง เพราะ

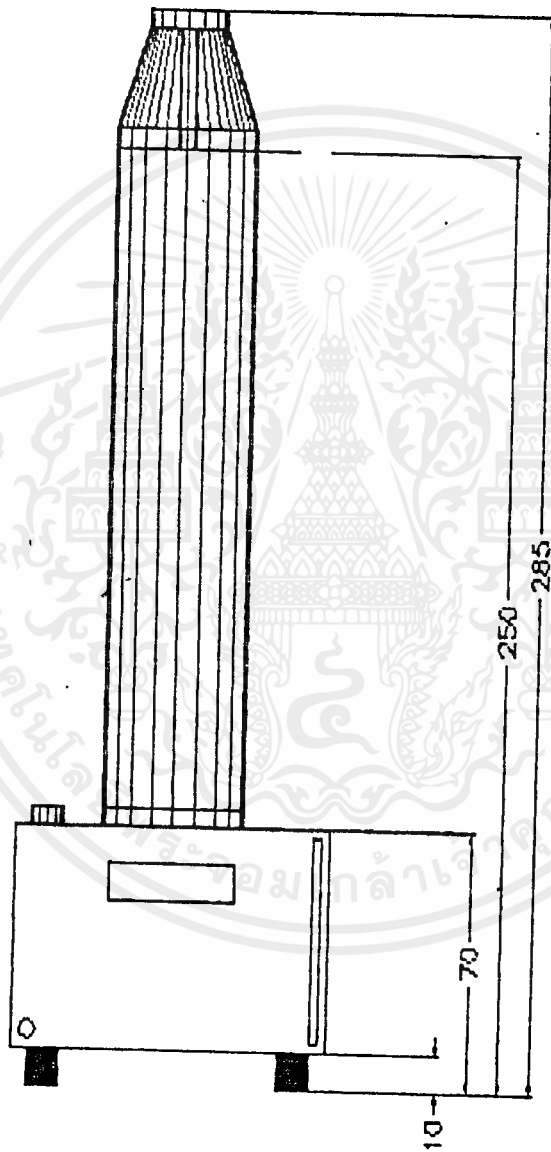
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ๑.๕ ไดอะแกรม 3 มิติของเครื่องล้างอากาศแบบใช้น้ำแบบหอล้าง (Spray Tower).

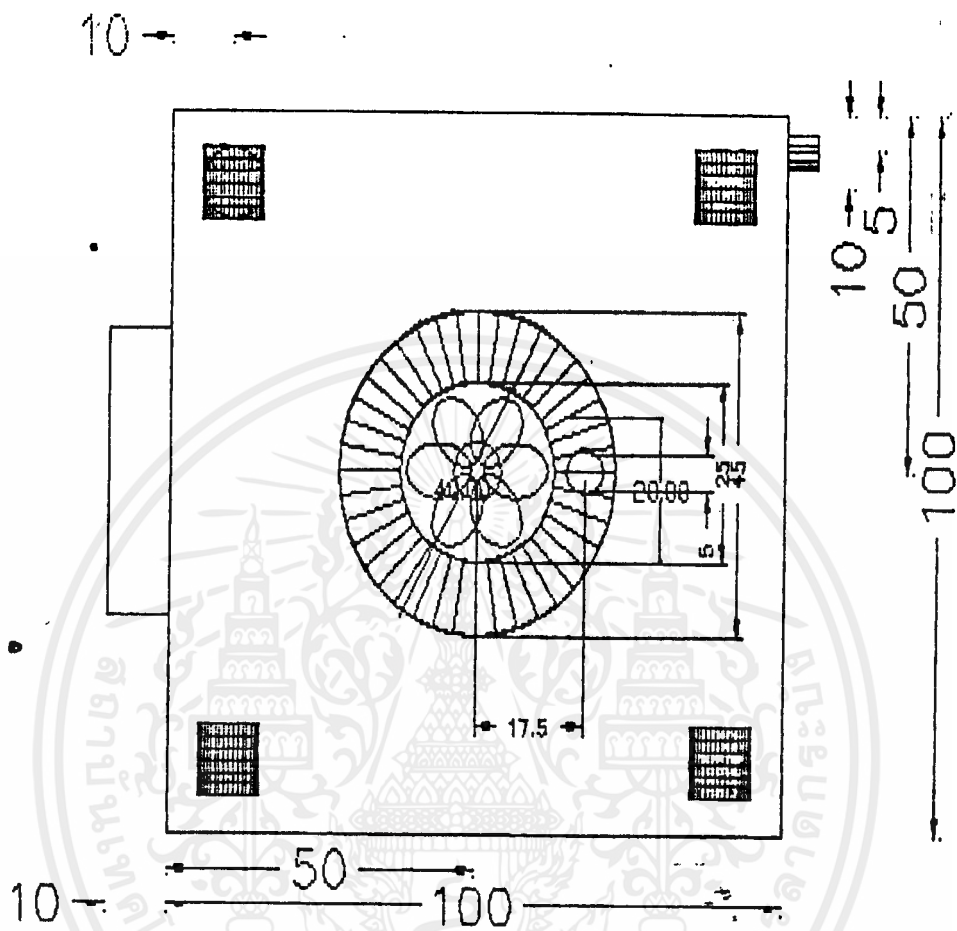


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.2 ขนาดและมิติของเครื่องล้างอากาศแบบใช้น้ำที่ใช้ในโรงงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ทฤษฎีของเครื่องล้างอากาศแบบน้ำ

(Theory of Air Washer)

ในส่วนนี้ เราจะพูดถึงเนื้อหาของเครื่องล้างอากาศแบบน้ำ (scrubber) ที่ได้รับการนำเอามาประยุกต์เป็นเครื่องล้างฝุ่นละออง เครื่องล้างอากาศสามารถขจัดเอาสารมลพิษต่าง ๆ ที่อยู่ในรูปก๊าซได้ เราได้พบว่ามีรูปแบบของเครื่องล้างอากาศอยู่มากมายที่มีใช้กันอยู่ทั่วไปในวงการอุตสาหกรรมปัจจุบัน เราจะมาพิจารณาเนิ่นถึงขบวนการต่าง ๆ (processes) ที่เกี่ยวข้องและมีชื่อในเครื่องล้างอากาศทั่วไป โดยเฉพาะเรื่องการเก็บดักฝุ่นละอองโดยละอองน้ำ (liquid drops) ขณะที่บรรดาฝุ่นละอองต่าง ๆ เหล่านั้น บลิวบมาอยู่ภายในแนวการไหลของมวลอากาศ

ในทุก ๆ เครื่องล้างอากาศแบบน้ำ ละอองของตัวกลางที่ล้าง ซึ่งก็คือน้ำ จะถูกก่อตัวขึ้น และโดยทั่วไปจะมีขนาดใหญ่มากกว่าฝุ่นละอองที่มุ่งหมายจะเก็บดักเอาไว้ มากกว่ามาก และฝุ่นละอองเหล่านี้จะกระจายอยู่ทั่วห้องทำความสะอาด จะเก็บดักเอาฝุ่นละอองนั้น ไปกับตัวกลางเอง ตัวกลางนอกจากน้ำแล้ว สารชนิดอื่น ๆ ก็สามารถนำมาใช้ได้แต่จะไม่นำมาพิจารณาในที่นี้ เครื่องล้างอากาศแบบน้ำนี้จะมีชนิดแตกต่างกันออกไป โดยแบ่งตามลักษณะการก่อตัวของละอองน้ำที่จะนำมาดักฝุ่นละออง และวิธีการที่จะให้น้ำและฝุ่นละอองมาเคลื่อนที่สัมพันธ์กัน ในทุก ๆ กรณีกลไกในการทำความสะอาดจะเกี่ยวข้องกับ การเกาะติดกันของฝุ่นละอองและละอองน้ำ (Attachment of the particulates to the droplets) ละอองที่เกิดจากการรวมตัวกันของสารทั้งสองชนิด จะถูกเก็บกักเอาไว้ในถังเก็บและรอการระบายออกไปกำจัดกันอีก ขั้นตอนหนึ่ง ซึ่งต้องการกระบวนการอื่น ๆ ที่จะแยกสารทั้งสองชนิดออกจากกัน เพื่อที่สามารถจะนำเอาน้ำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก

ชนิดของเครื่องล้างอากาศที่มีใช้กันทั่วไปแบ่งได้คร่าว ๆ คือ

1. หอล้าง (Spray Chamber or Spray tower)
2. เครื่องล้างแบบแรงหนีศูนย์กลางหรือแบบไซโคลน (Centrifugal or Cyclone Scrubber)

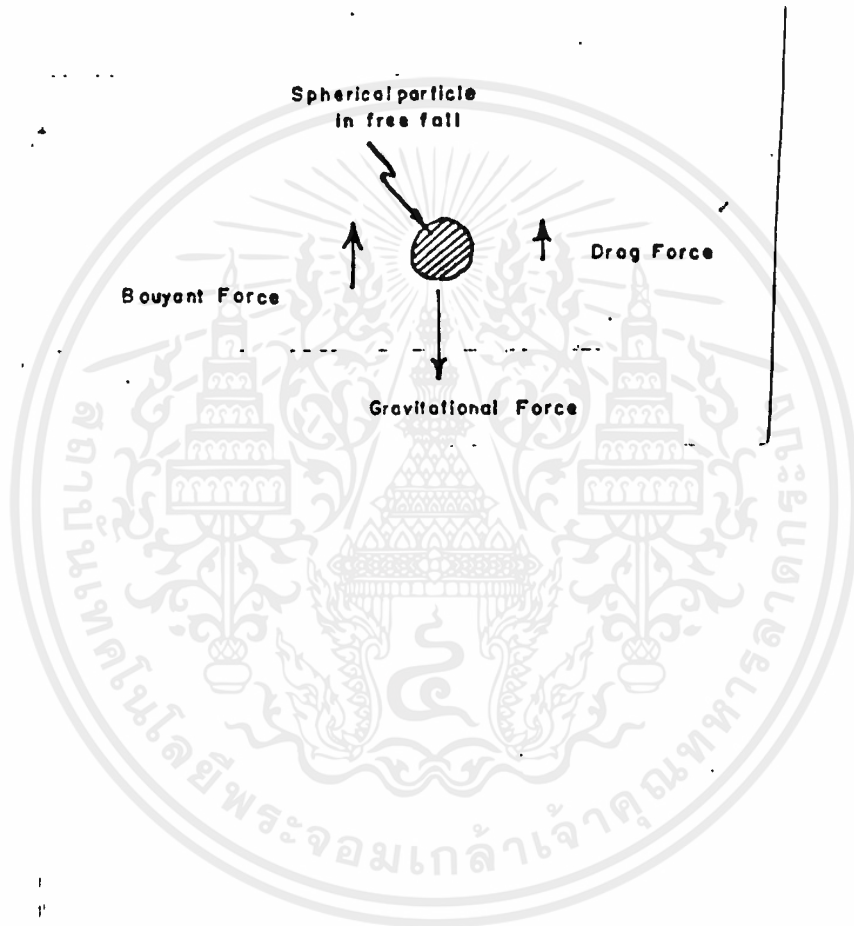
3. เครื่องล้างแบบออริฟิตหรือแบบเหนียวมาด้วยตนเอง (Orifice or Self-induced spray scrubber) และแบบเหนียวมาทางกล (Mechanically-induced spray)
4. เครื่องล้างแบบอิมพิงเจเมนต์และแพคเบด (Impingement-plated and packed-bed scrubber)
5. เครื่องล้างแบบแยกส่วน (Disintegrator scrubber)
6. เครื่องล้างแบบเวนจูรี (Venturi scrubber) ซึ่งยังแบ่งได้เป็นชนิด Vertical Throat, Flood Disk, Multiple Jet, Venturi Jet และ Vertical Venturi.
7. เครื่องล้างแบบไส้กรองเปียก (Wetted filters)
8. เครื่องกำจัดฝุ่นและหมอก (Dust, Mist Eliminators) ซึ่งยังแบ่งได้เป็นชนิด Fiber Filters, Wire mesh, Baffles and Packed-beds.

ชนิดของเครื่องล้างต่าง ๆ นี้ จะกล่าวเฉพาะแบบหอล้าง (Spray Chamber) เท่านั้น

เราพิจารณากลไกซึ่งละอองน้ำ เก็บดักเอาฝุ่นละอองไว้อยู่กับตัว ไม่ว่าฝุ่นนั้นจะมารูปแบบใดก็ตาม และจากนั้นก็ระบายมันออกจากมวลกระแสอากาศออกไป มีกลไกที่เกี่ยวข้องอยู่ 3 อย่างในกระบวนการนี้คือ การตัดกัน (Interception), การชนแบบเฉื่อย (Inertial impaction) และการแพร่ (Diffusion) ในแต่ละกลไกจะพิจารณาแยกกัน แล้วจากนั้นจะนำมาพิจารณารวมกันพร้อมกันสำหรับละอองน้ำเดี่ยว ๆ อันหนึ่ง จากนั้นจะพิจารณาผลที่มีละอองน้ำมากมายกวาดทั่วบริเวณมวลอากาศที่พิจารณา และเมื่อพิจารณาถึงจุดนั้นแล้ว จึงจะเริ่มประยุกต์เข้ากับเครื่องล้างอากาศแบบใช้น้ำชนิดสเปรย์ที่เราต้องการศึกษา

ซึ่งทั้งหมดนี้ เราจะมาพิจารณาวิเคราะห์ต่อไปในรายละเอียดในบทที่ 4 และ บทที่ 5

รูปที่ 4.1 แรงที่กระทำลงบนทรงกลมที่ตกลงอย่างอิสระ
(Force Acting on the falling sphere)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ทฤษฎีการตกฝุ่นละออง

(Particulate Collection Theory)

ในส่วนนี้จะมาพิจารณาโลกต่าง ๆ ที่มีใช้กันทั่วไปในการเก็บตกฝุ่นละออง ซึ่งไม่ได้เกี่ยวข้องกับแบบอย่างเฉพาะของเครื่องฟอกอากาศใด ๆ ตรงกันข้ามเป็นกฏกรล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่มีใช้ในเครื่องต่าง ๆ ที่มีในปัจจุบันเหล่านั้น และที่นำมาเป็นพื้นฐานพัฒนาใช้ในโครงการนี้

4.1 วิธีใช้แรงโน้มถ่วงของโลก (Gravitational Settling)

ฝุ่นละอองในบรรยากาศจะมาอยู่ภายใต้แรงกระทำ 3 แรง ดังแสดงในรูปภาพ 2 มิติที่ 4.1 แรงเหล่านั้นคือ แรงโน้มถ่วงของโลก แรงลอยตัว และแรงฉุด แรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งเท่ากับมวลคูณความเร่ง สำหรับวัตถุทรงกลม จะเท่ากับ

$$F_g = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_p g \quad (4.1)$$

ซึ่ง r = particle radius
 ρ_p = particle density
 g = acceleration of gravity

แรงลอยตัว ซึ่งกระทำโดยอากาศที่วัตถุแหวกผ่านไป จะเท่ากับ

$$F_b = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_a g \quad (4.2)$$

ซึ่ง ρ_a = density of air

แรงฉุดเป็นแรงที่กระทำต่อวัตถุ ในทิศทางที่ตรงกันข้ามกับทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุ สำหรับวัตถุที่ตกลงมา แรงนี้จะมีทิศทางขึ้น และสามารถหาค่าได้จากสมการแรงฉุดของนิวตัน ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีนำไปใช้

รูปที่ ๕.๒ ความสัมพันธ์ของค่า Drag Coefficient และ Reynold's Number

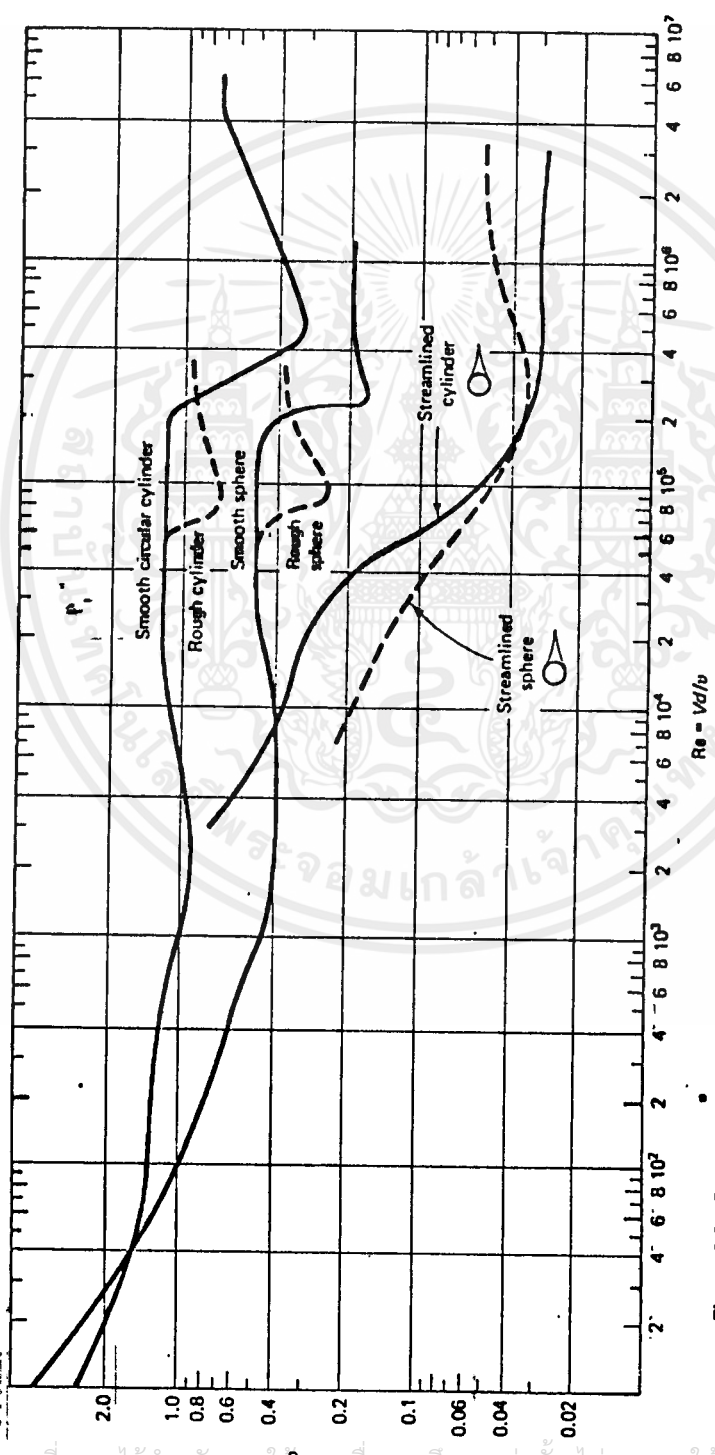


Figure 8.8 Drag coefficients for flow around a cylinder and a sphere. (See E. Achenbach, *J. of Fluid Mechanics*, V. 46, 1971, and V. 54, 1972.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Newton's Drag force)

$$F_D = (C_D \rho_a (v_o - v_u)^2 A) / 2 \tag{4.3}$$

ซึ่ง C_D = dimensionless drag coefficient

A = projected area ($= \pi r^2$,for a sphere)

สมมติแรงที่วัตถุขณะมีความเร็วตกปลาย (terminal free fall velocity) สมมติว่า ความเร็วของอากาศประมาณเป็น 0 จะได้ว่า

$$(C_D \rho_a v_o^2 \pi r^2) / 2 = 4/3 \pi r^3 (\rho_s - \rho_a) g \tag{4.4}$$

ค่าของ drag coefficient สามารถหาได้จากการประยุกต์ใช้สมการที่ 3 กับผลการทดลองต่าง ๆ ที่ได้มา รวมทั้งค่าพารามิเตอร์อื่นที่คำนวณได้ ทัวไปปกติค่า Drag coefficient นี้ หามาได้ในรูปแบบความสัมพันธ์กับเลขเรย์โนลด์ (Reynold's Number) ดังแสดงเห็นได้ในรูปที่ 4.2 เลขเรย์โนลด์นี้หามาได้จาก

$$Re_D = \rho_a (v_o - v_u) d / \mu_a \tag{4.5}$$

จะเห็นได้ว่ามีช่วงความสัมพันธ์อยู่หลายรูปแบบ ซึ่งแปรเปลี่ยนไปตามค่าของ Re แต่โดยปกติแล้ว การทำงานจะอยู่ในช่วง $Re < 800$ ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวค่อนข้างจะเป็นกราฟเส้นตรง

กฎของสโตกส์ (Stoke's law) สำหรับการไหลตามแนว (Streamlined flow) สามารถจะนำมาใช้ได้ เมื่อการไหลมีเลขเรย์โนลด์ (Reynold's number) ต่ำมาก ($Re < 0.1$) สำหรับเงื่อนไขการไหลนี้ สมการของสโตกส์จะให้อ่า

$$C_D = 24/Re \tag{4.6}$$

$$Re = (d v_{\infty} \rho_{\infty}) / \mu_{\infty} \quad (4.7)$$

เมื่อ d = particle diameter

μ_{∞} = viscosity of air

แทนค่า C_D และ Re ลงในสมการสมดุลแรง เราจะได้ ความเร็วปลายของวัตถุของสโตกส์ (Stoke's terminal settling velocity)

$$V_{\infty}^2 / (V_{\infty} - V_{\infty}) = d^2 (\rho_p - \rho_{\infty}) g / 18 \mu_{\infty}$$

$$V_{\infty} = \{ 2r^2 (\rho_p - \rho_{\infty}) g \} / (9 \mu_{\infty}) \quad (4.8)$$

$$V_{\infty} (v_{\infty} = 0) = \{ d^2 (\rho_p - \rho_{\infty}) g \} / (18 \mu_{\infty})$$

เมื่อ V_{∞} = terminal settling velocity of a particle

โปรดพิจารณาไว้ ณ ที่นี้ว่า สมการที่ 4.8 นี้ได้มา โดยมีข้อจำกัดที่ว่าความเร็วของอากาศนั้นน้อยมากจนละทิ้งได้ และค่าเลขเรย์โนลด์นี้มีค่าต่ำมาก ๆ ถ้ามีอากาศที่มีความเร็วที่มากพอเคลื่อนที่ในทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางของวัตถุ ความเร็วนี้ไม่สามารถละทิ้งได้ และต้องนำเอาพิจารณาในการคำนวณด้วย จะได้ว่า

$$V_{\infty} (v_{\infty} = 0) = \{ \beta^2 - \sqrt{(\beta^2 - 4\beta V_{\infty})} \} / 2 \quad (4.9)$$

เมื่อ $\beta = d^2 (\rho_p - \rho_{\infty}) / 18 \mu_{\infty}$ และ V_{∞} มีทิศทางสวนทางกับ V_{∞}

สมการความเร็วปลายของวัตถุนี้ ได้ให้ค่าที่เชื่อถือได้สำหรับกรณีการไหลที่มีค่าเลขเรย์โนลด์ สูงถึงระดับ 2.0 (ถ้าวัตถุอยู่ในตัวกลางอื่น ที่ไม่ใช่อากาศค่าเรย์โนลด์ จะเปลี่ยนแปลงไปเป็นค่าอื่นที่เหมาะสม) หรืออีกนัยหนึ่งคือ สมการชุดนี้สามารถประมาณกรณีการไหลแบบลามินาร์ได้ (Laminar Flow) ได้อย่างพอสมควร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับแรงดักกับวัตถุทรงกลมในกรณีนี้ จะได้เป็น

$$F_D = (24\mu / d v_p \rho_u) \times (\pi d^3 / 4) \times (\rho_u v_p^2 / 2)$$

$$= 3\pi d \mu v_p \quad (4.10)$$

ที่ค่าเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้นมามากกว่า 0.1 ค่าสัมประสิทธิ์การดึงจะค่อย ๆ เบี่ยงเบนออกจากความสัมพันธ์ในสมการ 4.6 ค่าสัมประสิทธิ์นี้จะเพิ่มขึ้นมามากกว่าที่คำนวณได้จากกฎของสโตกส์ (Stoke's Law) ผลของการเพิ่มค่านี้มาจากการที่เกิดความปั่นป่วน (Turbulence) ในของไหลที่อยู่รอบวัตถุ และโดยเฉพาะอย่างยิ่งคลื่นที่เกิดขึ้นตามมาข้างหลัง

ที่ค่าเลขเรย์โนลด์มากกว่า 2 ค่าสัมประสิทธิ์การดึง (drag coefficient C_D) ต้องคำนวณด้วย โดยวิธีทดลอง (empirical) สำหรับที่ค่าเลขเรย์โนลด์ในช่วง 2 ถึง 10^3 ($2 < Re < 10^3$) หรือในช่วงการไหลแบบเปลี่ยนแปลง หรือทรานสิชัน (Transition) ค่าสัมประสิทธิ์การดึงจะประมาณได้ว่า

$$C_D = (18.5) * (Re)^{-0.6} \quad (4.11)$$

ที่ระดับค่าเลขเรย์โนลด์สูง ๆ กว่านั้น การตกของวัตถุจะไม่ใช่เป็นการตกอย่างอิสระอีกต่อไป ซึ่งกรณีนั้น การพิจารณาจะแตกต่างกันออกไป

สำหรับในช่วงปั่นป่วน (turbulent) ซึ่งเกิดขึ้นที่เลขเรย์โนลด์สูง ๆ ในช่วง 10^3 ถึง $2*10^5$ ($10^3 < Re < 2*10^5$) ค่าสัมประสิทธิ์การดึงสามารถประมาณได้ว่าเป็นค่าคงที่เท่ากับ

$$C_D = 0.44 \quad (4.12)$$

นั่นคือ ค่าความเร็วปลายของวัตถุของสโตกส์ จะได้เป็น

$$v_p = \left[\frac{3.0303 d (\rho_u - \rho_s) g}{\mu} \right]^{0.5} \quad (4.13)$$

ซึ่งสมการที่ 4.13 นี้จะนำไปใช้ในการคำนวณในโครงการนี้ด้วย เนื่องจากได้สมมติฐานไว้ว่าการไหลของของไหลทั้ง 2 กระแสทั้งคู่ เป็นแบบปั่นป่วน (Turbulent) ตลอดเวลา

นอกจากนี้ ยังมีสมการความสัมพันธ์ที่ได้มาจากการทดลองอีกมาก ดังเช่นในต่อไปนี้ ซึ่งแต่ละสมการก็ได้ให้ค่าใกล้เคียงกับค่าที่แท้จริง ภายในช่วงขอบเขตของแต่ละสมการที่กล่าวถึงเอาไว้ สมการเหล่านี้แนะนำให้ใช้ในกรณีที่ $Re < 800$ แล้วจะได้ระดับความถูกต้องแม่นยำที่ประมาณ $\pm 2\%$ และได้ให้ความง่ายสะดวกต่อการแก้สมการด้วย (4.14)

Reynold's Number	Proposer	Drag Coefficient Relation
$Re < 0.1$	Stokes	$C_D = 24/Re$
$0.1 < Re < 0.5$	Oseen	$C_D = 24/Re + 4.5$
$0.5 < Re < 3.0$	Schiller & Naumann	$C_D = 24/Re + 3.60/Re^{0.518}$
$400 < Re < 800$		
$3.0 < Re < 400$	Klyachko	$C_D = 24/Re + 4/(Re^{1/3})$

เมื่อวัตถุมีขนาดเล็กมาก วัตถุจะเกิดการ "ไถล" ระหว่างโมเลกุลอากาศและ ด้วยเหตุผลจตุนี้ วัตถุจะตกลงมาเร็วขึ้น และเมื่อเหตุการณ์นี้เกิดขึ้น สมการของสโตกส์จะต้องได้รับการปรับปรุงแก้ไขด้วยค่าแก้ไขเป็น

$$C_D = 24/(C Re) \quad (4.15)$$

เมื่อ C = Cunningham correction factor, dimensionless

ค่าความเร็วปลายของวัตถุที่ถูกต้อง จะเป็น

$$V_{\text{corrected}} = V_{\text{C}} \quad (4.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าแก้ไขของ Cunningham (Cunningham Correction Factor) ได้มาจากสมการทั้งทางทฤษฎีและจากการทดลองว่า ค่านี้แปรผันตาม อัตราส่วนของเส้นทางการอิสระเฉลี่ยของโมเลกุลของก๊าซ (Mean Free path of Gas molecule) ต่อขนาดของวัตถุ ซึ่งเรียกอัตราส่วนที่ว่าเป็น เลขนูดเซน (Knudsen's Number) Kn ซึ่งเขียนเป็นสัญลักษณ์ได้เป็น

$$Kn = 2 \lambda / d_p \quad (4.17)$$

และความสัมพันธ์ของค่าแก้ไขของ Cunningham สามารถประมาณได้ ในรูปแบบดังนี้

$$C = 1 + A Kn \quad (4.18)$$

$$\text{เมื่อ } A = \alpha + \beta \exp(-\gamma / Kn)$$

ที่ค่า Kn ต่ำ ๆ , $Kn < 0.1$ นั่นคือ d_p ใหญ่ ก๊าซจะประพฤติตัวเป็นของไหลต่อเนื่อง (Continuum) เมื่อเทียบกับวัตถุ ค่าของ A จะเป็นค่าคงที่เท่ากับ α ในขณะที่ $C = 1$ สำหรับ $Kn > 10$ นั่นคือ d_p เล็ก ก๊าซจะไหลแบบโมเลกุลอิสระ (Free Molecular regime) และ ค่า A จะเข้าใกล้ค่าคงที่อีกครั้งเท่ากับ $\alpha + \beta$ และค่า C จะใหญ่มาก ช่วงการเปลี่ยนแปลง (Transition) จะอยู่ในช่วง $0.1 < Kn < 10$ สมการที่ประมาณจากการทดลองของ Milliken ประมาณค่า C ได้เท่ากับ

$$C = 1 + Kn [1.257 + 0.4 \exp(-1.10 / Kn)] \quad (4.19)$$

ซึ่งในที่นี้ $A = 1.257$ และ $\alpha + \beta = 1.657$

ค่าเส้นทางการอิสระเฉลี่ยของโมเลกุลของก๊าซ (Mean Free path of Gas Molecule) หาได้จากสมการของ Chapman-Enskog ดังนี้

$$\lambda = \mu / (0.499 \times 10^{-3} \rho u_{rms}) \quad (4.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
เมื่อ μ = viscosity of air (poises)
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

u_{rms} = mean molecular velocity (cm/sec) ซึ่งได้มาจากทฤษฎีจลน์ของก๊าซเป็น

$$u_{rms} = \sqrt{8RT/\pi M} \tag{4.21}$$

ดังนั้น สำหรับก๊าซ (ของไหล) ที่ประมาณได้ว่าเป็นก๊าซอุดมคติแล้ว

$$Kn = 0.226 \mu/d_p \sqrt{T/M} \tag{4.22}$$

- เมื่อ μ = gas viscosity ,poises
- T = absolute temperature ,Kelvin
- P = gas pressure, atm.
- d_p = particle diameter ,cm.
- M = Molecular weight
- R = gas constant, (8.31×10^7 erg/K mole)

ค่าแก๊วนี้ จะมีความสำคัญสำหรับวัตถุที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 1μ ($\leq 1\mu$)

วัตถุตามกฎของสโตกส์ ("Stokes Law Particle") ซึ่งบางตำราอ้างถึงนั้น มีความหมายกล่าวถึง วัตถุที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับหรือเทียบเท่ากับ วัตถุที่เคลื่อนที่ในเงื่อนไขที่กฎของสโตกส์สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ และขณะเดียวกันค่าแก๊วของ Cunningham (C) เท่ากับ 1 ในระดับความถูกต้องแม่นยำ +/- 1%

รูปที่ 4.2 เป็นเส้นกราฟแสดงค่าความเร็วปลายสัมพันธ์กับขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง สำหรับวัตถุทรงกลม ที่มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.0 ค่านี้ได้ปรับให้ถูกต้องกับอาการ "ไถล" สำหรับวัตถุขนาดเล็กด้วย รวมทั้งความแปรผันของเส้นผ่าศูนย์กลางในวัตถุที่ขนาดใหญ่กว่า เพราะผลมีการเปลี่ยนแปลงเลขเรย์โนลด์

มีหลายครั้งที่เราไม่สามารถประมาณว่า วัตถุเป็นทรงกลมได้ เมื่อเกิดเหตุการณ์เช่นนี้ขึ้น เราจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลงวัตถุจากความเป็นทรงกลม (sphericity) ถ้าค่าตัวแปรความไม่ทรงกลมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นทรงกลม (sphericity factor, K') ค่านี้วัดได้ สมการของสโตกส์ในย่านการไหลหนืด (region of viscous flow) จะเป็น

$$V(s) = K' d^2 (\rho_p - \rho_f) g / (18\mu) \tag{4.23}$$

สำหรับการไหลหนืดที่มีค่า Re น้อยกว่า 0.05

กลไกการตกตะกอน (Sedimentation) ใช้หลักการของแรงโน้มถ่วงของโลกนี้ โดยใช้ของเหลวแทนอากาศ เพราะว่า การก่ตัวของวัตถุในของเหลวนั้นมีค่าต่ำกว่ามาก ทำให้กลไกการแยกทำได้ง่ายยิ่งขึ้น อัตราการก่ตัวของวัตถุจะเหมาะสมในช่วงเลขเรย์โนลด์ต่ำกว่า 0.2 สมการที่ 4.8 สามารถนำมาใช้ได้โดยมีการแก้ไขเล็กน้อย บ่อยครั้งที่เราละทิ้งเทอมความหนาแน่นของอากาศ (air density) สมการที่ 4.8 แต่เมื่อเราแทนอากาศด้วยของเหลวแล้ว เราไม่สามารถละทิ้งเทอมสำคัญอันนี้ไปได้ในการตกตะกอน เส้นผ่าศูนย์กลางของวัตถุที่น้อยที่สุดที่สามารถใช้ในวิธีการตกตะกอนนี้ได้คือขนาด 3 ไมครอน ขณะที่ขนาดใหญ่ที่สุดที่สามารถจะให้ตกตะกอนได้ ที่ค่าเลขเรย์โนลด์หนึ่ง ๆ ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของวัตถุ เช่น กรณีใช้ของเหลวเป็นน้ำ จะได้ดังนี้

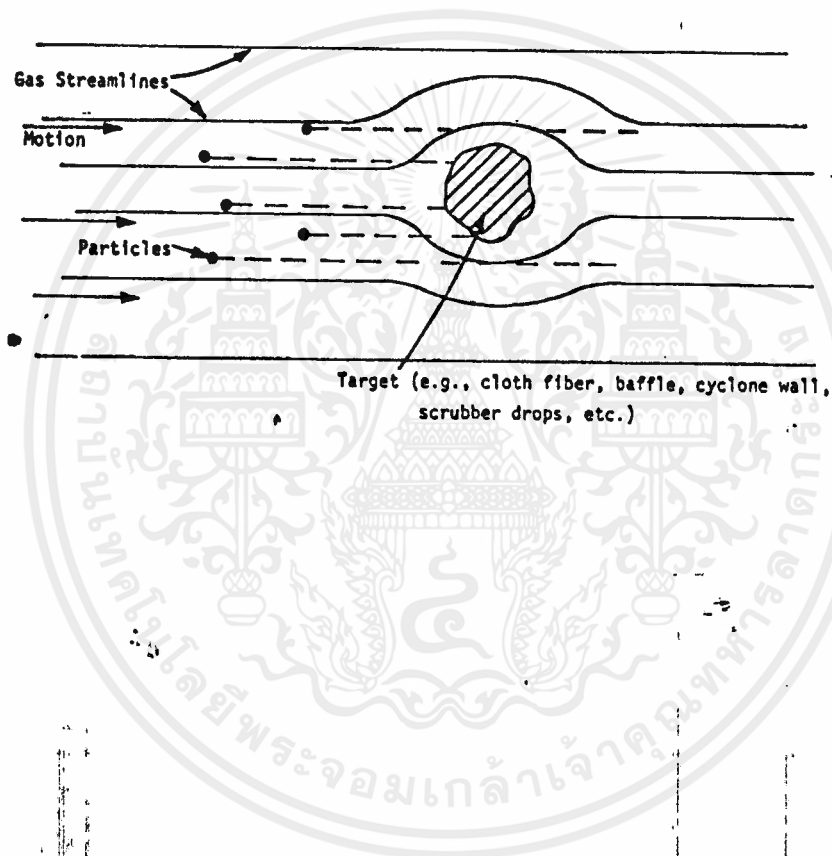
	$\rho, \text{g/cc}$	Limiting diameter, μ
Silica	2.5	50
Hematite iron ore	5.0	36
Lead	11.4	26

4.2 วิธีแยกสลายด้วยแรงเฉื่อย (Inertial Impaction)

4.2.1) การกระทบก (Impaction)

วัตถุเมื่อหยุดอยู่หนึ่ง จะพยายามที่จะอยู่นิ่งตลอดไป ขณะที่วัตถุที่กำลังเคลื่อนที่ก็จะพยายามเคลื่อนที่ต่อไป นั่นคือวัตถุจะต่อต้านการเปลี่ยนแปลง ตามกฎของนิวตัน ความเฉื่อย (inertia) คือการเปลี่ยนแปลงของการเคลื่อนที่ และเท่ากับแรงที่ใช้ในการพยายามเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.3 แสดงการเก็บดักด้วยวิธีการกระแทกวัตถุที่ลอยอยู่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้น คุณด้วยเวลาที่ใช้ในการกระทำเปลี่ยนแปลงดังกล่าว เขียนเป็นสมการได้เป็น

$$Inertia = \int d(mv) \tag{4.24}$$

การแยกสลายด้วยแรงเฉื่อย หรือความเฉื่อยนี้ เป็นการแยกสลายโดยการยิงฝุ่นละอองให้เข้าปะทะกับ "เป้าหมาย" (target) บางอย่าง ซึ่งอาจจะกำลังอยู่นิ่ง หรือเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่เปลี่ยนแปลง เช่นไฟเบอร์ผ้า หรือหยดละอองน้ำในโรงงานนี้ วัตถุหรือฝุ่นละอองที่อยู่ในมวลการไหลของก๊าซนั้น จะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่ประมาณว่า เท่ากับความเร็วของกลุ่มก๊าซรอบข้าง เพราะว่าวัตถุมีมวลน้อยมาก - ก๊าซจะมาเคลื่อนที่ล้อมรอบวัตถุอยู่ต่งแสดงด้วยเส้นการไหลของก๊าซ (gas streamline) ดังรูปที่ 4.3 วัตถุซึ่งยังคงมีความหนาแน่นที่มากกว่า จะมีความเฉื่อยอยู่มากกว่า ดังนั้นจะต่อต้านการเปลี่ยนแปลงของทิศทางเคลื่อนที่ ดังนั้น พวกวัตถุจะเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางตรงที่แสดงในรูป และอาจจะพุ่งเข้าชนกับเป้าหมายได้ วัตถุยิ่งใหญ่ขึ้นยิ่งมีความเฉื่อยมากขึ้น และยังต่อต้านการเปลี่ยนแปลงทิศทางเคลื่อนที่มากขึ้น นั่นคือจะมีวัตถุที่มีขนาดเล็กเพียงส่วนน้อยที่จะเคลื่อนที่ผ่านไปรอบ ๆ เป้าหมาย ขณะที่ วัตถุขนาดใหญ่จะวิ่งเข้าชนปะทะกับเป้าหมาย และวัตถุที่วิ่งเข้าชนไม่จำเป็นต้องหยุดอยู่นิ่งกับที่ วัตถุอาจจะกระเด็นกลับมาอยู่ในสารการไหลของอากาศใหม่หรือ อาจจะโดนวัตถุอื่นมาชนอีก แล้วกระเด็นไปมาอยู่รอบ ๆ เป้าหมายนั้น ก่อนที่จะหลุดไปในสารการไหลของอากาศ หรือเกาะติดค้างอยู่กับเป้าหมายในที่สุด ซึ่งเป็นจุดมุ่งหมายในการเก็บดักวัตถุด้วยวิธีการนี้

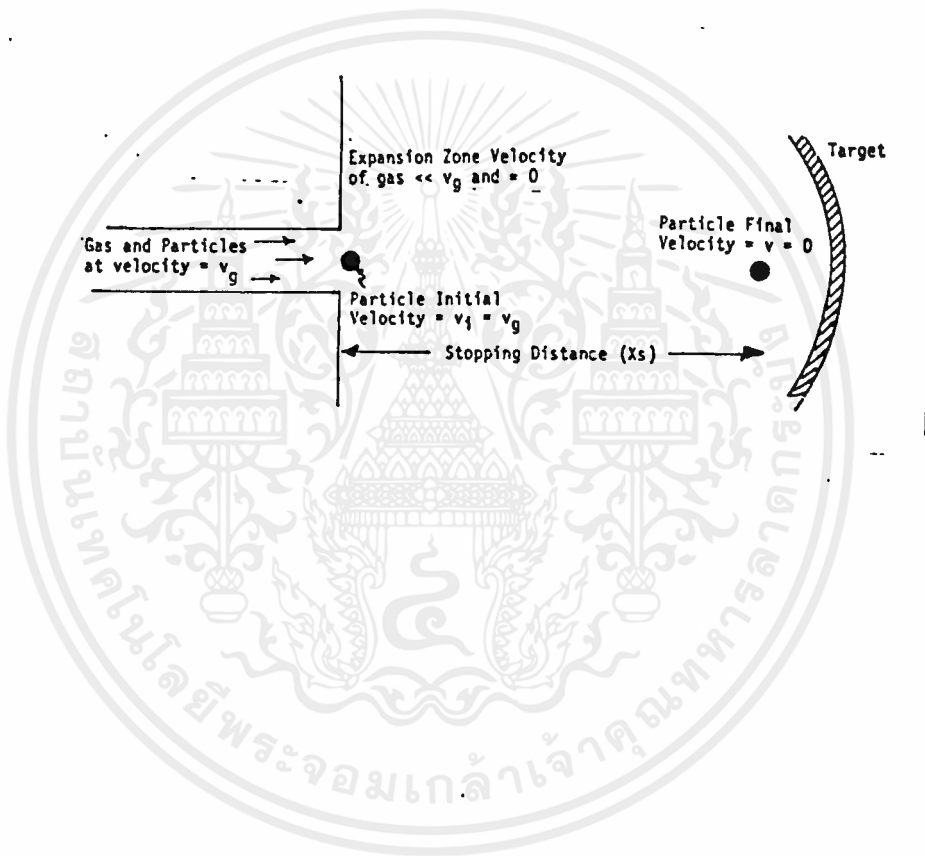
สมการแสดงประสิทธิภาพการเก็บดักฝุ่นละอองทั่วไป (Approximate Generalized target efficiency equation) โดยประมาณสำหรับอุปกรณ์ง่าย ๆ ที่มีเป้าหมายเพียงชั้นเดียวเช่น ฟิลเตอร์ ไซโคลน ฯลฯ เป็นดังนี้

$$\eta_{T,1} = \exp -[(0.018/R) \phi^{0.5+R} - 0.6 R^2] \tag{4.25}$$

- เมื่อ $\eta_{T,1}$ = Target impaction Efficiency
- R = d/D_c
- D_c = Collector diameter (in spraying case, $D_c = d_{lower}$)
- ϕ = dimensionless impaction parameter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.4- แสดงระยะหยุดของวัตถุ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

V_0 = velocity of particle relative to target

สมการนี้ ถูกต้องเหมาะสมในกรณีที่เลขเรย์โนลด์ตก อยู่ในช่วง 0.04 ถึง 1.4 ($0.04 < Re < 1.4$) ประสิทธิภาพจะเป็นค่าคงที่เท่ากับ 0.15 ที่ค่า ϕ ต่ำกว่า 0.15 เส้นผ่าศูนย์กลางของอุปกรณ์เก็บดัก (Collector diameter) สามารถเป็นค่าอะไรก็ได้ ตั้งแต่เส้นผ่าศูนย์กลางของฝักกรอง ไปถึงเส้นผ่าศูนย์กลางของห้องสเปรย์ (Spray chamber) และ เส้นผ่าศูนย์กลางหรือ ขนาดของหยดน้ำแต่ละหยดเฉลี่ย เพราะว่าการแยกสลายด้วยแรงปะทะของน้ำ เป็นหนึ่งในวิธีการแยกสลายด้วยแรงเฉื่อย

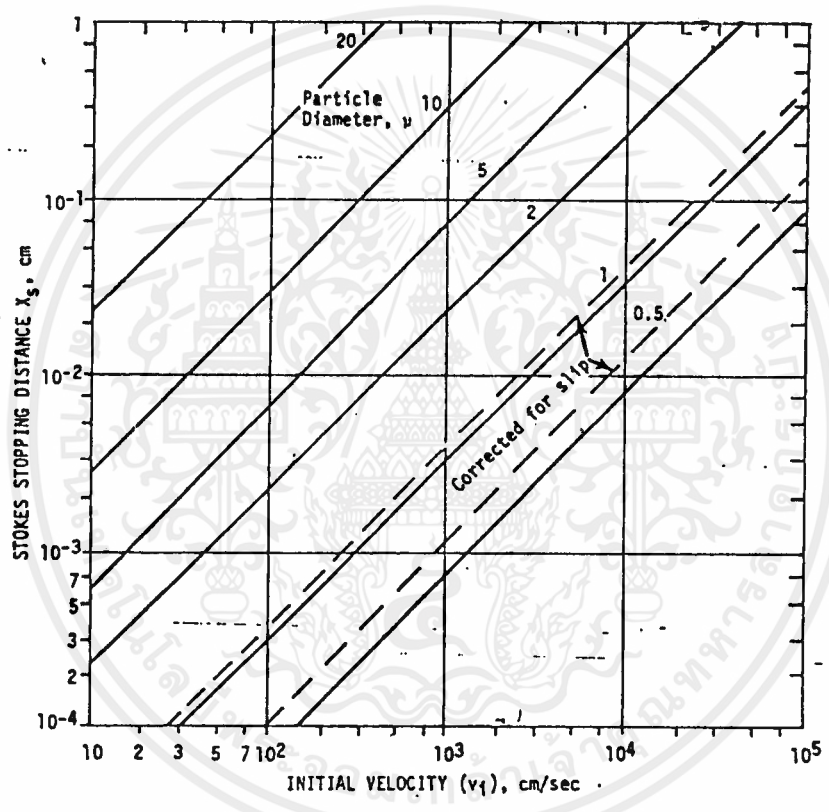
4.2.2) ระยะหยุด (Stopping distance)

มีอุปกรณ์ที่แยกตัวออกด้วยวิธีการลดแรงเฉื่อยของวัตถุลง วัตถุที่เข้ามาภายในอุปกรณ์ด้วยความเร็วเทียบเท่าความเร็วของอากาศ จะผ่านเข้ามาในเขตขยาย (expansion zone) ขณะที่กำลังขยายตัว ความเร็วของอากาศจะลดลงจนประมาณได้ว่าเท่ากับ 0 วัตถุหรือฝุ่นละอองจะอยู่ภายใต้แรงฉุด (drag force) ซึ่งจะหน่วงให้วัตถุเคลื่อนที่ช้าลง ระยะทางที่ใช้ในการหยุดวัตถุ (stopping distance) เป็นฟังก์ชันของพลังงานตั้งต้นของวัตถุและความต้านทานฉุด (drag resistance) การพิจารณาเรื่องระยะหยุดนี้ มีความจำเป็นเพราะว่า เมื่อเราได้ออกแบบใช้วิธีแยกด้วยแรงเฉื่อยแล้ว เราต้องมั่นใจว่า วัตถุจะไม่หยุดก่อนที่จะชนกับเป้าหมายตามที่ต้องการไว้ รูปที่ 4.4 แสดงไดอะแกรมการที่อากาศหรือแก๊สใด ๆ กับวัตถุเข้ามาทางซ้ายของไดอะแกรมด้วยความเร็ว V_0 ขณะที่เข้ามาในช่วงเขตขยาย ความเร็วก็จะมีค่าประมาณเป็น 0 ขณะที่วัตถุมีความเร็วตั้งต้นเป็น V_1 ซึ่งประมาณว่าเท่ากับ V_0 วัตถุจะเคลื่อนที่ช้าลงโดยแรงฉุด และระยะทางที่หยุดวัตถุ แสดงด้วย X_0 ละทิ้งแรงจากแรงโน้มถ่วงของโลกเป็นการชั่วคราว แรงที่ยังคงเหลืออยู่ซึ่งประกอบไปด้วยแรงฉุดของนิวตัน (Newton's Drag Force) สามารถทำให้เท่ากันได้ และใช้ความเร็วเป็นความเร็วเฉลี่ย (v_{av}) จะได้

$$- dv_{av}/dt = (9\mu (v_{av})^2) / (2\rho_p r^2) \quad (4.25)$$

อินทิเกรตตั้งแต่ V_1 ถึง $V=0$ และใช้หลักความจริงที่ว่า ระยะหยุด จะเท่ากับความเร็วเฉลี่ยคูณกับ เวลาที่ใช้ สมการการหยุดของสโตกส์ (Stoke's Stopping equation) จะได้ว่า เป็น
ไม่ว่ากรณีใด ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.5 กราฟระยะหยุดของสต็อกส์กับความเร็วเริ่มต้นในอากาศมาตรฐานของวัตถุขนาด 1 g/cm³



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$X_u = (2V_i \rho r^2) / (9\mu) \quad (4.26)$$

กรณีที่มีพัดลมช่วยดูด (Induced Fan) เช่นในกรณีของห้องล้างในโรงงาน จะได้ระยะหยุดใหม่ โดยคำนึงถึงความเร็วที่ได้จากพัดลมเหนี่ยวนำมาด้วย เป็น

$$X_u = [2(V_i + V_f) \rho r^2] / 9\mu \quad (4.27)$$

เมื่อ V_i = Induced Axial Velocity from induced fan

สมการนี้ ใช้สำหรับวัตถุทรงกลม ในการเคลื่อนที่แนวราบ และอยู่ภายใต้แรงจุดเพียงอย่างเดียว หรืออยู่ภายใต้แรงจุดและแรงดึงดูดเหนี่ยวนำจากพัดลมช่วยดูดเท่านั้น แรงจากแรงโน้มถ่วงของโลก แรงทางไฟฟ้าหรือแรงทางแม่เหล็กไฟฟ้า และแรงทางความร้อน ไม่ได้นำมา รวมด้วย

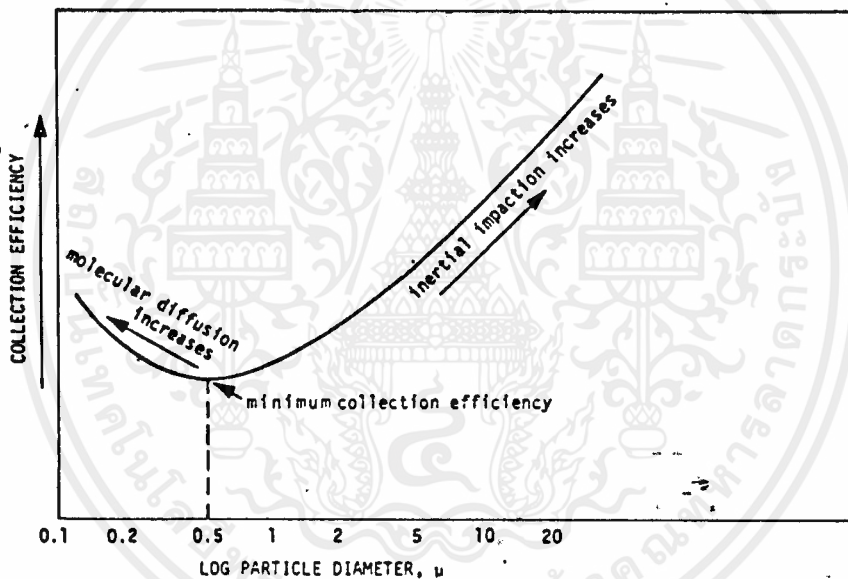
อาการการไหลของวัตถุกับอากาศ ที่เกิดขึ้นในลักษณะเดียวกันกับที่เกิดขึ้นในหัวข้อแรก ทำให้มีความจำเป็นต้องใช้ค่าแก้ไขของคันทิงแฮม (Cunningham's correction factor) เข้าช่วย ระยะหยุดที่แก้ไขถูกต้องแล้วจะเป็น

$$X_s (\text{corrected}) = X_u C \quad (4.28)$$

รูปที่ 4.5 แสดงกราฟที่พล็อตระหว่างระยะหยุดของสโตนส์กับความเร็วตั้งต้น ในอากาศสำหรับวัตถุทรงกลมที่เคลื่อนที่ในแนวระดับ ตั้งฉากกับแนวแรงโน้มถ่วงของโลก และวัตถุมีความหนาแน่นเท่ากับ 1 g/cm^3 กราฟสำหรับวัตถุที่มีขนาดเล็กกว่า 2 ไมครอน ต้องมีการปรับแก้ด้วยค่าแก้ไขของคันทิงแฮม เพื่อรวมผลของอาการไหลไว้ด้วย จะเห็นได้จากกราฟว่า สำหรับวัตถุขนาดเล็กกว่า 0.5 ไมครอน ค่าระยะหยุดที่แก้ไขแล้วและที่ยังไม่ได้แก้ไขมีความแตกต่างกันมากอย่างเด่นชัด ระยะหยุดสำหรับวัตถุที่มีความหนาแน่นอื่น ที่ไม่เท่ากับ 1.0 g/cm^3 หาได้จากการคูณค่าดังกล่าวจากกราฟด้วยความหนาแน่นของวัตถุที่กำลังพิจารณา (ในหน่วย g/cm^3)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ในทางทฤษฎีมีความจำเป็นที่ต้องพิจารณาแรงจากแรงโน้มถ่วงของโลกด้วย ก่อนที่จะสรุปค่า

รูปที่ 4.6 ประสิทธิภาพการเก็บกวัดฝุ่นทั่วไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แหล่งสุดท้ายของวัตถุ ถ้าวัตถุเดิมเคลื่อนที่ในแนวตั้งฉากกับแนวแรงโน้มถ่วงของโลก หรือแนวระดับ ระยะทางตกลงของวัตถุจะต้องนำไปรวมกับระยะหยุดที่คำนวณได้มา ด้วยวิธีการทางเวกเตอร์ด้วยเพื่อที่จะได้ตำแหน่งสุดท้ายที่ถูกต้องยิ่งขึ้น ถ้าวัตถุเคลื่อนที่ในแนวเดียวกับแรงโน้มถ่วงของโลก หรือแนวตั้ง ผลของแรงโน้มถ่วงโลกจะต้องนำมาบวกหรือลบ ตามแต่ทิศทางของการเคลื่อนที่กับสมการเริ่มต้น เพื่อที่จะได้หาระยะหยุดที่ถูกต้องยิ่งขึ้นเช่นกัน

4.3 การแพร่กระจายของวัตถุ (Diffusion of Particles)

รูปที่ 4.6 แสดงกราฟของประสิทธิภาพในการเก็บดักวัตถุทั่วไป กับเส้นผ่านศูนย์กลางหรือขนาดของวัตถุ กราฟนี้แสดงให้เห็นว่า วัตถุที่มีขนาดแตกต่างกัน จะถูกเก็บแยกด้วยวิธีการที่เหมาะสมแตกต่างกัน คือด้วยวิธีแยกด้วยแรงเฉื่อย และด้วยวิธีการแพร่กระจาย รูปดังกล่าว ได้ระบุว่าขนาดวัตถุที่เก็บแยกได้ยากที่สุดอยู่ในช่วง 0.2 ถึง 1.0 μm เมื่อขนาดของวัตถุลดลง อัตราส่วนพื้นผิวต่อมวลของวัตถุจะเพิ่มขึ้น เมื่อวัตถุมีขนาดเล็กลงมาถึงจุดหนึ่ง วัตถุจะโดนการปะทะจากโมเลกุลของอากาศหรือแก๊ส และถูกบังคับให้เคลื่อนที่เหมือนโมเลกุลในทิศทางสุ่ม หรือที่เรียกกันว่า การเคลื่อนที่แบบบราวเนียน (Brownian motion)

อัตราที่วัตถุแพร่กระจายสามารถคำนวณได้จากสมการต่าง ๆ เช่นสมการของสโตกส์-ไอสไตน์ (Stokes'-Einstein equation) ซึ่งนำไปใช้ต่อในเรื่อง การถ่ายเทมวลสาร (Mass Transfer) และในสมการประสิทธิภาพการแพร่กระจาย ในหัวข้อถัดไป

$$D_{PM} = CKT / 3\mu d \quad (4.29)$$

เมื่อ D_{PM} = Diffusivity of particle through continuous medium, cm^2/s

C = Cunningham slip correction factor (eqⁿ 7), dimensionless

K = Boltzmann's constant

$$= 1.38 \times 10^{-20} \text{ g m}^2 / \text{s}^2 \text{ molecule}^{-1} \text{ K}$$

T = absolute temperature, $^{\circ}\text{K}$

μ = medium viscosity (ใช้ของน้ำในกรณีโครงการนี้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 $= 1.8 \times 10^{-4} \text{ g / cm s for air at SC (Standard Condition)}$
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการนี้ ใช้ได้ทั้งวัตถุทรงกลมขนาดเล็กและขนาดใหญ่ และสมการนี้สามารถใช้ได้กับตัวกลางที่เป็นของเหลว เช่น น้ำ ได้ด้วย (ซึ่งต้องเปลี่ยนค่า μ ไปเป็นของน้ำตามกัน) รูป 7 ได้แสดงว่าประสิทธิภาพในการเก็บเพิ่มขึ้น เมื่อวัตถุมีขนาดเล็กยิ่งขึ้นในย่านของวัตถุขนาดเล็ก ซึ่งอธิบายได้ว่าเป็นเพราะมีการเพิ่มขึ้นของค่าความสามารถในการแพร่ (diffusivity) ทำให้ประสิทธิภาพนั้นเพิ่มขึ้นตามกัน ตัวอย่างค่าความสามารถในการแพร่ในตัวกลางอากาศ ของวัตถุหลายชนิดและสำหรับโมเลกุลของ SO_2 ได้แสดงไว้ข้างล่างนี้ ที่สภาวะมาตรฐาน (โมเลกุลของ SO_2 ในสภาวะก๊าซ มีขนาดอยู่ในช่วง 3×10^{-4} ไมครอน)

Particle d, micron	$D_{PM}, cm^2/s$	Schmidt No. $\mu D_{PM}/r$
0.5	6.4×10^{-7}	2.4×10^5
0.1	6.57×10^{-6}	2.3×10^4
0.01	4.44×10^{-4}	2.41×10^2
0.001	4.22×10^{-2}	3.59
SO_2 molecules	1.19×10^{-1}	1.28

การเก็บแยกวัตถุด้วยวิธีการแพร่นี้ อันที่จริงแล้ว ก็คือวิธีการแยกด้วยแรงเฉื่อยแบบการกระทบ (Impact Ion Mechanism) นั้นเอง เพราะว่าวัตถุจะถูกจับอยู่ที่เป้าหมาย ขณะที่เกิดการแพร่อยู่นั้น วัตถุซึ่งเคลื่อนที่อยู่ภายในกระแสอากาศ (หรือก๊าซ) จะมีความเร็วและทิศทางสุทธิตั้งแน่นอน การแพร่เกิดขึ้นในทุกทิศทาง แต่เราก็สามารถหาค่าความเร็วการแพร่เทียม (Pseudo-diffusional velocity) ได้ ด้วยการหารค่าความสามารถในการแพร่ด้วยปริมาตร และคูณด้วยพื้นที่หน้าตัดที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหล (normal cross sectional area) ถึงแม้ว่าความเร็วตามทิศทางเนื่องมาจากสสารก๊าซที่กำลังเคลื่อนที่อยู่ (v_g) นั้นจะเพิ่มความสามารถในการเก็บตก การเพิ่มนี้จะก่อให้เกิดผลตรงกันข้าม และลดความสามารถในการแพร่กระจาย ความเร็วตามทิศทางโดยทั่วไปจะมีค่าเดียวกับความเร็วการไหลของก๊าซ ความเร็วสัมพัทธ์ (v_r) คือผลต่างระหว่างความเร็ว v_g กับความเร็วของเป้าหมาย ซึ่งอาจจะไม่อยู่กับที่ก็ได้

Johnstone และ Roberts ได้ให้สมการสำหรับทำนาย ประสิทธิภาพในการเก็บตกแบบแพร่กระจาย สำหรับเป้าหมายแบบทรงกลมและทรงกระบอก โดยใช้ความเร็วสัมพัทธ์ช่วยพิจารณา สมการจะใช้ได้เมื่อค่าเลข Schmidt Number (Sc) มีค่าน้อยกว่า 2.4×10^5 (นั่นคือวัตถุมีขนาดเล็กกว่า $0.5 \mu m$ ในอากาศ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับทรงกระบอก:

$$\eta_{diff.} = 1 - (D_{PM}/D_c v_o) [1/\tau + 0.55 Sc^{1/3} Re^{1/2}] \times 10^6 \quad (4.30)$$

สำหรับทรงกลม:

$$\eta_{diff.} = 1 - (2D_{PM}/D_c v_o) [1/\tau + 0.55 Sc^{1/3} Re^{1/2}] \times 10^6 \quad (4.31)$$

เมื่อ $\eta_{diff.}$ = effective diffusional efficiency, fraction

D_{PM} = diffusivity (สมการที่ 14), m^2/sec

D_c = diameter of collector, m

v_o = relative velocity, m/sec

= Settling velocity (V_s)

Sc = Schmidt Number, dimensionless

= $\mu/\rho D_{PM}$

μ = medium viscosity, $g/(m \text{ sec})$

ρ = medium density, g/m^3

Re = Reynold's Number, dimensionless

ก๊าซในบรรยากาศสามารถเป็นนิวคลีเอตได้ ตัวอย่างเช่น SO_2 ก่อตัวเป็นกลุ่มของโมเลกุล 3.5 กลุ่มหรือมากกว่า ซึ่งมีรัศมีประมาณ 0.001 ไมครอน หรือใหญ่กว่า ครึ่งชีวิตของ SO_2 ในบรรยากาศโดยปกติอยู่ที่ 8 ถึง 10 ชั่วโมง แต่ก็อาจจะมากกว่านี้ได้จนถึงเป็นปี

4.4 การรวมตัวกันเป็นก้อน (Agglomeration)

มันเป็นไปได้ที่ วัสดุสามารถเปลี่ยนแปลงจากวัตถุขนาดเล็ก ซึ่งเก็บกักได้โดยวิธีการแพร่ กลายมาเป็นวัตถุขนาดใหญ่ ซึ่งจะสามารถเก็บกักได้ด้วยวิธีการของการกระทบ (Impaction) แอโรซอล (Aerosols) จะไม่คงขนาดเดิมอยู่ไว้เมื่อมันเข้ามาสู่ระบบ แต่มันจะก่อตัวขึ้นใหญ่ขึ้น ด้วยวิธีการรวมตัวกัน (Agglomeration) เมื่อวัตถุขนาดเล็กเคลื่อนที่ ด้วยวิธีการของการไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แพร่หรือความปั่นป่วนทางกล (Mechanical Turbulence) วัตถุจะชนกันและกัน และในขณะที่ชนกันนั้น บางครั้งวัตถุจะยังคงเชื่อมติดต่อกันอยู่ มีผลทำให้ลดจำนวนวัตถุลง เทียบกับปริมาณตั้งต้น (ควรสังเกตในที่นี้ว่า ของแข็งจะรวมตัวกันเป็นก้อนแบบ Agglomerate ส่วนของเหลวจะรวมตัวกันแบบ Coalesce

อัตราการรวมตัว (Agglomeration rate) จะแปรผันตามความเข้มข้นและประมาณได้ว่าไม่ขึ้นกับขนาด กระบวนการในการรวมตัวกันจะมีลักษณะเดียวกันกับสมการอัตราอันดับที่ 2 ทางเคมี (Second Order Chemical Rate Equation) ดังนี้

$$- dN/dt = kN^2 \tag{4.32}$$

เมื่อ N = Number of particles per unit volume at time t
k = rate constant

รูปแบบเมื่ออินทิเกรต จากเวลาเท่ากับ 0 (เวลาเริ่มพิจารณา) เมื่อวัตถุมีปริมาณความเข้มข้นอยู่เท่ากับ N_0 จนถึงเวลา t จะได้เป็น

$$1/N - 1/N_0 = kt \tag{4.33}$$

ค่าคงที่อัตรา (rate constant) จากการรวมตัวกันนี้ สามารถประมาณได้ทั้งในระบบสารเนื้อเดียวกันและระบบสารแยกเนื้อ (Homogeneous and Heterogeneous systems) ด้วยสมการข้างล่างนี้

สำหรับระบบเนื้อเดียวกัน $k \sim 4KTC/3\mu$ (4.34)

สำหรับระบบแยกเนื้อ $k = 1.5$ เท่าของค่าที่ได้จากสมการที่ 4.34

เมื่อ k = rate constant, cm^3/sec
ค่าคงที่อัตราของระบบเนื้อเดียวกันในอากาศที่ 20 °C คือ $3 \times 10^{-10} cm^3/sec$

วัตถุนาถใญ่ จะมึขนาดเพิ่มขึ้นจากการรวมตัวกับวัตถุนาถเล็กกว่า ด้วยเหตุผลนี้ ละ อองของหมอกจะพบได้ทีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่า 5 ไมครอน ตาราง แสดงวัตถุที่มี ความเข้มน้ามากกว่า 10^7 อันต่อลูกบาศก์ฟุต ที่รวมตัวกันภายในชั่วเวลาเพียง 2-3 นาที ดั่งนั้น ความเข้มน้าที่สูงกว่านี้จะไม่เสถียรในบรรยากาศ และมักจะไมคยอมึพบ เนื่องจากการต้องให้ เวลาในการวัดการกระจายขนาดนานเกินไป ซึ่งวัตถุได้รวมตัวกันเป็นการกระจายขนาดใหม่ เรียบร้อยแล้ว

ตาราง 4.1 อัตราการรวมตัวกันของวัตถุ (Particle Agglomeration Rate)

Number of Particles Per ft of air at S.C.	Final Conc. Initial Conc. (1/10 initial)	Agglomeration time to form Final from Initial Conc.
--	---	--

unstable	10^{10}	10^9	3 sec
at high Conc.	10^9	10^8	0.5 min (30 sec)
	10^8	10^7	5.0 min
relatively	10^7	10^6	50.0 min
stable	10^6	10^5	~9 hour (500 min)

ค่าของอัตราการรวมตัวกันของวัตถุสามารถเพิ่มขึ้นได้ โดยเพิ่มความดันและเพิ่มความ บั้นปนวน การเพิ่มความดันจะลดระยะทางลงระหว่างโมเลกุล ทำให้ง่ายขึ้นต่อการที่โมเลกุล จะมาชนกัน ความบั้นปนวนสามารถทำได้โดยทั้งวิธีการทางกลและด้วยกรเพิ่มพลังงาน เช่นการให้ คลื่นเสียงเข้าไปในระบบ อัตราการรวมตัวกันจะเพิ่มขึ้นได้อีกโดยวิธีการเพิ่มอุณหภูมิและ ลดความหนืดของตัวกลางลง ตามที่เห็นพิจารณาได้จากลมการที่ 4.34

เส้นผ่าศูนย์กลางของวัตถุ สามารถเปลี่ยนได้ด้วยแฟคเตอร์อื่นที่ไม่ใช่จากการรวมตัวกัน ทั้ง แบบ Agglomeration และแบบ Coalescence ละอองวัตถุแบบไฮโกรสโคปิก (Hygroscopic liquid particles) เช่น ละอองกรดซัลฟูริก นั้นมีขนาดเล็กมาก และจะ แอศสารเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่ออาศศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการดู เข้มน้ากว่าที่ความชื้นต่ำ เมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นความเข้มน้าจะลดลง และเส้นผ่าศูนย์กลางจะเพิ่มขึ้น ไม่ว้ากรณเด้า ทั้งนั้น อีกทั้งยังมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่นำารนาไปใช้

เนื่องจากกระบวนการ deliquescence (การกลายเป็นของเหลวของสารที่เกิดจากการดูดเอาความชื้นจากบรรยากาศรอบข้างในอากาศมารวมตัวกัน)

4.5 การตกลงด้วยความร้อน (Thermal Precipitation)

มันเป็นไปได้ที่จะเก็บดักวัตถุจากสารธารการไหลของก๊าซ บนพื้นผิวที่เย็นกว่าด้วยการอาศัยการตกลงด้วยความร้อน (Thermal Precipitation) แอโรซอลจะขยายตัวเมื่อเจอความร้อนและจะหดตัวเมื่อเจอความเย็น กรณีนี้สามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎีที่ว่าวัตถุจะถูกโจมตีบนด้านที่ร้อนกว่า ด้วยโมเลกุลของก๊าซที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ยที่สูง ซึ่งมีพลังงานจลน์สูงตามมาด้วย โมเลกุลด้านที่เย็นกว่าของแอโรซอล จะมีก๊าซที่เคลื่อนที่ช้ากว่าและมีพลังงานจลน์น้อยกว่าอยู่ ดังนั้นโดยรวมทั้งหมดแล้ว แอโรซอลจะเคลื่อนตัวไปตามแนวจากที่ร้อนไปที่เย็นกว่า Byers ได้อธิบายความสัมพันธ์การเก็บดักด้วยวิธีความร้อนนี้ ว่าเป็นฟังก์ชันตามขนาดของวัตถุและอุณหภูมิภายในของแอโรซอลเอง ซึ่งจะใช้ในการพิจารณาเกรเดียนต์ของอุณหภูมิด้วย ประสิทธิภาพในการเก็บดักที่สูงสุด แสดงด้วยเศษส่วนได้เท่ากับ 0.3 ที่ขนาดวัตถุเล็กกว่า 0.3 ไมครอน วิธีการนี้เป็นวิธีการที่ให้ประสิทธิภาพต่ำที่สุด แต่ถ้าปรับปรุงให้ดีขึ้นแล้ว สามารถใช้เพิ่มประสิทธิภาพในระบบอื่นได้ที่ระดับขนาดวัตถุนี้ ประสิทธิภาพจะตกลงอย่างรุนแรงลงมาถึง 0.05 เมื่อวัตถุมีขนาดเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเพียง 1.2 ไมครอน ประสิทธิภาพนี้สามารถเพิ่มขึ้นได้ด้วยการเพิ่มเกรเดียนต์ของอุณหภูมิ แต่การทดลองและการนำไปใช้จริงของวิธีการนี้เพียงอย่างเดียวไม่มี ทั้งนี้เนื่องจากประสิทธิภาพที่ต่ำนั่นเอง

Byers ได้แนะนำให้ใช้สมการข้างใต้เพื่อคำนวณหาแรงทางความร้อน สำหรับวัตถุขนาดต่าง ๆ ที่ระบุได้ด้วยเลขนูดเซน (Knudsen Number)

Range	Thermal Force Expression	Knudsen No.
Free molecular regime:		$\gg 1$
	$F_s = -(32 r^2 C) / (15 V_g) (dT/dX)$	(4.36)
Continuum regime:		$\ll 1$
	$F_s = -9\pi r (\mu^2 k_g) / [C T (2k_g + k_g)] (dT/dX)$	(4.37)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $F_t =$ Thermal Force, lbf

$C =$ translational part of gas thermal conductivity,
Btu/(hr ft $^{\circ}$ F)

$r =$ radius of particle, ft

$\mu =$ viscosity of gas, lb/(hr ft)

k_g & $k_p =$ thermal conductivity gas & particle, Btu/(hr ft $^{\circ}$ F)

$\rho =$ density of gas, lb/ft 3

$T =$ absolute temperature, $^{\circ}$ R

$X =$ distance, ft

$V_g =$ velocity of gas molecule, ft/hr

Knudsen No. = δ/r

$\delta =$ mean free path of molecules, ft

(air $\sim 3.25 \times 10^{-7}$ ft or 9.9×10^{-8} m at S.C.)

หมายเหตุ: สมการที่ 4.35 นี้ ไม่สามารถใช้ได้กับวัตถุที่มีค่าความนำความร้อนสูง ๆ (high thermal conductivity)

4.6 การฉีดละออง (Atomization)

การฉีดละอองของของเหลว มีส่วนสำคัญในการลดมลภาวะอากาศอย่างมาก ละอองของของเหลวที่ฉีดออกมา จะใช้เป็นเป้าหมายสำหรับวิธีเก็บแบบการชนกันแบบเฉื่อย (Inertial impaction type method) เพื่อแยกวัตถุออกได้ และใช้เป็นตัวดูดซับสำหรับสารมลภาวะแบบก๊าซที่ละลายน้ำได้ ของเหลวที่จะนำไปฉีดละอองสามารถฉีดได้ด้วยวิธีการต่าง ๆ กัน 5 วิธี

1. Spray nozzles

2. Pneumatic two-fluid atomization

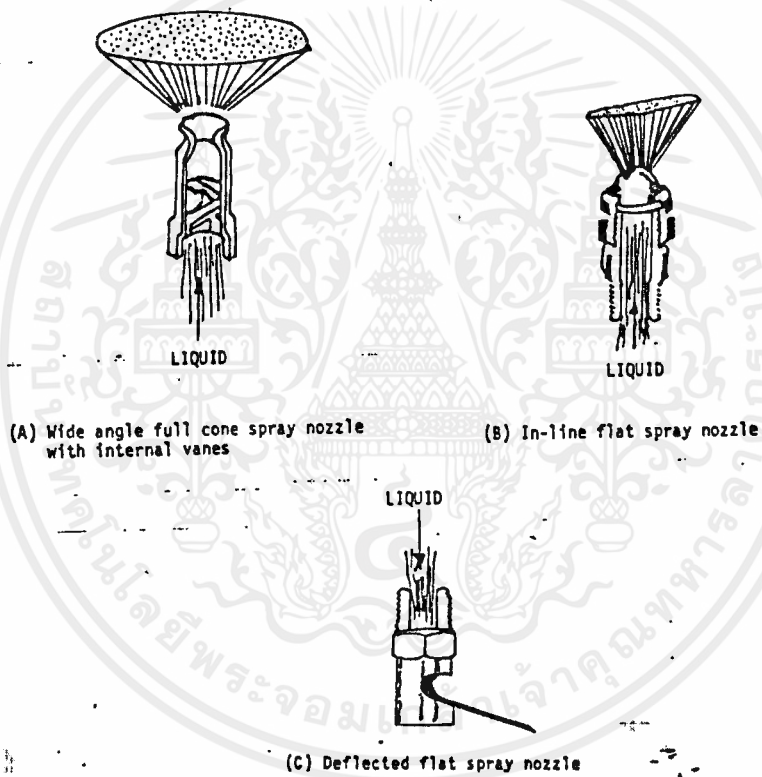
3. spinning disks or cups

4. impingement and

5. energy coupling

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด 5

รูปที่ ๔.๗ หัวฉีดชนิดต่าง ๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อของกลไกการฉีดของแต่ละวิธีได้ระบุถึงกลไกทางกายภาพ ซึ่งของเหลวถูกฉีดเป็นละอองออกมาเรียบร้อยแล้ว ซึ่งต่อไปจะพิจารณาเฉพาะแบบแรกคือ Spray nozzle เท่านั้น

การฉีดละอองแบบ Spray nozzle ได้รับการออกแบบมาเพื่อแตกของเหลวเป็นฝอยทางกล ด้วยการใส่แรงดันหัวฉีดภายใต้ความดัน หัวฉีดทางการค้าส่วนใหญ่จะออกแบบมาเพื่อให้มีการเคลื่อนที่ของของเหลว เป็นแบบเหวี่ยงหนีศูนย์กลางหรือหมุนวน (centrifugal or swirl) เพื่อให้ของเหลวที่พุ่งออกมาภายใต้ความดันและโมเมนตัมที่สูงอยู่แล้ว มีแรงปะทะแตกหักมากขึ้น (Fracturing force) ของเหลวที่ออกจากหัวฉีดมาจะกระจายออก ทั่วทั้งบริเวณที่มีความดันต่ำกว่า ส่วนทิศทางการกระจายจะขึ้นอยู่กับารออกแบบของหัวฉีดแต่ละแบบเฉพาะ รูปที่แสดงหัวฉีดแบบ Full cone ซึ่งมี internal offset, แผ่นที่ปรับได้สำหรับการฉีดแบบเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง หัวฉีดแบบนี้เหมาะสำหรับใช้ในการชะล้างมลสารที่เป็นก๊าซ รูปที่ 4.8 จะฉีดของเหลวออกมาเป็นเส้นตรง (in line) และฉีดเป็นระนาบเอียงทำมุมตั้งแต่ 17-84 องศา ทั้งคู่เหมาะกับงานชำระล้างอุปกรณ์และป้องกันการเกาะติดกันของฝุ่นกับอุปกรณ์

4.6.2) การทำนายขนาดของของเหลว (Droplet size Prediction)

การทำนายขนาดของละอองส่วนใหญ่จะอาศัยข้อมูลที่ได้จากการทดลอง (empirical data) ที่ผู้ผลิตหัวฉีดมีมาให้สำหรับหัวฉีดเฉพาะแบบต่าง ๆ ข้อมูลเหล่านี้มักจะมีมาในรูปแบบตารางที่แสดงรูปแบบการฉีดละออง (flow patterns) ขอบเขตการกระจาย ปริมาณของของเหลวที่ใช้ ความดันของของเหลว การไหลของก๊าซ และความดันที่ใช้งาน

สมการที่ได้จากการค้นคว้าวิเคราะห์สำหรับละอองขนาดเฉลี่ยปกติ (common average droplet) ที่มีใช้กันทั่วไป เป็นของ Nukiyama-Tanasawa ดังนี้

$$d_{x,v,v} = [585 / (v_g - v_l)] \sqrt{(T/\rho_l)} [\mu / (T\rho_l)]^{0.45} [(1,000 Q_g) / Q_l]^{1.5} \tag{4.38}$$

เมื่อ $d_{x,v,v}$ = Sauter mean drop diameter, microns

v_g = velocity of gas, m/sec

v_l = velocity of liquid, m/sec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีข้อตกลงที่แปดข้อซึ่งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ρ_L = density of liquid, g/m³
- μ_L = viscosity of fluid, g/(cm sec)
- Q_L = liquid volumetric flow rate, m³/sec
- Q_G = gas volumetric flow rate, m³/sec
- T = surface tension, erg/cm²

สมการนี้ ได้มีการลดรูปลงให้ง่ายขึ้น สำหรับระบบที่เป็นออกภาคกับน้ำ ที่อุณหภูมิและความดันใกล้เคียงกับบรรยากาศ และเมื่อความเร็วของน้ำค่อนข้างต่ำ ในระบบหน่วยอังกฤษจะได้เป็น

$$d_{x, \dots} = (16,400/v_u) + 1.45 (L')^{1.5} \tag{4.39}$$

- เมื่อ v_u = velocity of air, ft/sec
- L' = ratio of liquid to gas flow rate, gal/1000 ft³

ตัวอย่างเช่น เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยเซาเตอร์ของละออง (Sauter mean drop diameter) ของน้ำที่ฉีดออกมาเป็นฝอยละออง ที่ทำนายด้วยสมการนี้ คือ 83µm เมื่อความเร็วอากาศเป็น 245 ft/sec และปริมาณอัตราส่วนของเหลวต่อก๊าซเป็น 5 gal/1000ft³

ภายใต้สภาวะเดียวกัน ถ้าใช้การฉีดละอองของเหลวแบบหมอกควัน (Cloud-type Atomization) ซึ่งมีทางเข้าของเหลวที่โตกว่า จะได้ละอองของเหลวที่เป็นฝอยมากกว่าคือประมาณ 10µm แต่จากโดยรวมทั้งคู่และจากสมการที่ 4.36 เห็นได้ว่า การเพิ่มความเร็วของอากาศและการลดปริมาณของเหลวลงจะทำให้ได้ละอองน้ำที่เล็กลงยิ่งขึ้น

ละอองน้ำขนาดเล็กที่ฉีดออกมาเป็นฝอยด้วยวิธีฉีดเป็นหมอก จะติดกันด้วยแรงทางไฮโดรสแตติก (hydrostatic force) โดยไม่มีการเกาะติดกันแบบ coalescence ทำให้ได้ขนาดรัศมีที่ใหญ่ยิ่งขึ้น จากข้อมูลต่าง ๆ พบว่า ละอองน้ำจากการฉีดเป็นหมอกขนาดเล็กกว่า 10µm จะมารวมตัวกันจนได้ขนาดที่ 170µm ที่สภาวะความเร็วอากาศ 150 ft/sec และได้ขนาด 500µm ที่ความเร็วอากาศเป็น 290 ft/sec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อ A = solute (material dissolved)
 B = solvent (dissolving material)
 D_{AB} = liquid diffusivity, cm^2/sec
 μ = solution viscosity, centipoise
 T = absolute temp, 'K
 V_A = molar volume of solute as liquid at the normal boiling point, $\text{cm}^3/(\text{g mole})$
 α_B = a constant for the solvent
 = 2.6 for water, 1.9 for methanol, 1.5 for ethanol, 1.0 for Benzene, ether, heptane, and similar solvents

สมการที่ 5.2 นี้ มีค่าความสามารถในการแพร่กระจายในหน่วยเมตริกของพื้นที่ต่อหน่วยเวลา สมการในรูปแบบเดียวกันแต่อยู่ในหน่วยของอังกฤษของมวลต่อระยะทางต่อหน่วยเวลา สำหรับของเหลวเจือจางอุดมคติเป็น

$$D_{AB} = 1.6 \times 10^{-7} (\alpha_B / M_B)^{1/2} [\mu T / (\mu V_A^{0.6})] \quad (5.3)$$

- เมื่อ D_{AB} = liquid diffusivity, lb moles / (ft hr)
 ρ = solution density, lb/ft³
 T = absolute temperature, 'R

5.2 การถ่ายเทมวลสารและทฤษฎี 2 फिल्म (Mass Transfer and Two-film Theory)

เพื่อที่จะถ่ายเทมวลสารของก๊าซผสมภาวะในปริมาณที่กำหนดมาให้ จากก๊าซไปสู่ของเหลว เป็นการจำเป็นที่จะต้องศึกษาการถ่ายเทโมเลกุลผ่านขอบเขตบาง ๆ ที่เรียกกันว่า "ฟิล์ม" โมเลกุลจะถ่ายเทกลับไปกลับมาทั้ง 2 ทิศทางโดยวิธีการของการแพร่กระจาย บางส่วนจะมาจากฝั่งของก๊าซ บางส่วนจะมาจากฝั่งของของเหลว อัตราการถ่ายเทสุทธิจะขึ้นอยู่กับตัวแปรที่ใช้ผลักดันให้เกิดการถ่ายเทขึ้น เช่น อนุกรมวิธาน ความดัน ความเข้มข้น และความสามารถในการละลาย ความเข้มข้นของโมเลกุลของก๊าซ จะอยู่ภายใต้เงื่อนไขการแพร่กระจายทั้งแบบหมุนวนและแบบโม

4.6.2) ประสิทธิภาพการฉีดละออง (Atomization Efficiency)

ในการฉีดละอองของเหลวจะมีกรใช้พลังงานจลน์ จากสารการไหลของก๊าซเพียงเล็กน้อยมาก Hesketh ได้วางหลักการวัดประสิทธิภาพไว้ว่า ประสิทธิภาพในการฉีดละอองคือความสามารถในการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของสารการไหลของก๊าซ เช่น สำหรับการฉีดแบบหมอก จะเพิ่มพื้นที่ประมาณ 6.1% ในกรณีน้ำกับอากาศ Marshall ได้แสดงไว้ว่า ประสิทธิภาพในการฉีดแบบ Spray nozzle จะเท่ากับ 0.53% สำหรับน้ำ และเท่ากับ 0.17% สำหรับของเหลวที่เป็นสารอินทรีย์ (organic liquid) ที่มีความตึงผิวต่ำ ๆ หรือเพียง $1/3$ ของน้ำ โดยไม่ต้องคำนึงถึงความหนืดแต่อย่างใด ประสิทธิภาพนี้คำนวณได้โดยตรงจาก เส้นผ่าศูนย์กลางของละอองของเหลวที่ถูกฉีดออกมา และบ่งบอกเพียงความเข้มข้นของการฉีดละอองเท่านั้น ส่วนขอบเขตในการฉีดกระจายไม่ได้แสดงเอาไว้ ดังนั้นจะสมมติไว้ว่าของเหลวทั้งหมดถูกฉีดเป็นละอองอย่างทั่วถึง (ซึ่งไม่ค่อยตรงความเป็นจริงนัก)

การฉีดละอองเป็นวิธีการที่ทำได้หลายรูปแบบทางกล ซึ่งหลักการคือเพียงแต่ให้พลังงานเข้าไปในของเหลว เป็นผลให้ของเหลวพุ่งเข้าชนวัตถุและลดแรงยึดเหนี่ยวกันและกันของวัตถุ และรวมตัวไปกับของเหลว ให้ถ่ายระบายออกพร้อมกับของเหลวได้ในภายหลัง นอกจากวิธีการทางกลทั่วไปแล้ว วิธีการฉีดละอองแบบอัลตราโซนิค (ultrasonic) และแบบไฟฟ้า (electrical) ก็นำไปประยุกต์ใช้ได้ แต่ไม่ค่อยนำมาใช้ในการบำบัดมลภาวะทางอากาศมากนัก อัลตราโซนิคจะให้คลื่นเสียงที่มีความถี่และพลังงานสูงเข้าไปในของเหลว คลื่นเสียงซึ่งเป็นคลื่นตามยาวสามารถทำให้เกิดการฉีดละอองได้ ขณะที่คลื่นแสง คลื่นวิทยุ หรือคลื่นตามขวางอื่น ๆ ไม่สามารถกระทำได้ การจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้า (voltage potential) ให้กับหยดของเหลวที่ตกลงมาอยู่สามารถก่อให้เกิดแรงผลักไฟฟ้าสถิตย์ (electrostatic repulsion force) ซึ่งสามารถแตกหยดของเหลวนั้นให้เป็นละออง เหมือนกับการฉีดละอองได้ แต่ทั้งวิธีอัลตราโซนิคและวิธีไฟฟ้า ทั้งสองวิธียังอยู่ในขั้นการศึกษาและยังไม่มีการนำไปใช้เชิงพาณิชย์ในปัจจุบัน

บทที่ 5

ทฤษฎีการกำจัดก๊าซมลภาวะ

(Gaseous Pollutant Removal Theory)

สารมลภาวะทางอากาศที่ปรากฏอยู่ทั่วไปทุกวันนี้ มักจะอยู่ในรูปของก๊าซและไอ นอกจากนี้ยังพบว่ายังมีปนอยู่ในไอน้ำเล็ดลอด ๗ ด้วย ก๊าซไนโตรเจนเป็นก๊าซที่มีมากที่สุด ในอากาศ และโดยปกติปริมาณก๊าซมลภาวะในอากาศนั้นมีอยู่น้อยมาก แต่ว่าสารที่มีปริมาณและความเข้มข้นน้อยนี้จะแยกกำจัดออกได้ยากมาก ก๊าซมลภาวะจะไม่สามารถกำจัดออกไปได้หมดจด 100% แต่เราสามารถลดปริมาณของก๊าซมลพิษใด ๆ นี้ ลงมาในระดับที่เรายอมรับได้อย่างมีประสิทธิภาพ ถ้าหากมีงบประมาณอย่างเพียงพอไม่เป็นปัญหา

วิธีการที่ใช้ในการลดปริมาณก๊าซนี้ ก็เป็นกระบวนการทางเคมีพื้นฐานและมาตรฐานทั่วไป มีขั้นตอนในการทำงานที่แตกต่างกันอยู่เพียงเล็กน้อย นั่นคือ กระบวนการทางเคมีทั่วไปส่วนใหญ่จะพิจารณาอยู่กับสารที่มีปริมาณความเข้มข้นมาก ขณะที่ในกระบวนการกำจัดก๊าซมลพิษจะพิจารณาเกี่ยวกับก๊าซที่มีปริมาณความเข้มข้นน้อย วิธีการที่จะพิจารณาต่อไปในที่นี้ จะมาสนใจและทำความเข้าใจเกี่ยวกับวิธีการกลั่นทำให้ก๊าซบริสุทธิ์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไป

5.1 การแพร่กระจายของก๊าซ (Diffusion of Gas)

การแพร่กระจายของก๊าซทั่วไปจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติต่าง ๆ ทางกายภาพของสารนั้น ๆ เช่น ความเข้มข้น ความหนาแน่น ความหนืด และอุณหภูมิ และก็รวมไปถึงความปั่นป่วน (Turbulence) ของระบบนั้นด้วย การแพร่แบบหมุนเวียนในอากาศ (Eddy diffusion) เกือบจะขึ้นอยู่กับความเร็วทางกลเพียงอย่างเดียว และตัวแปรอื่น ๆ เช่น การแพร่กระจายโมเลกุล และความแตกต่างของความดัน (Pressure Gradient) ขณะที่การแพร่กระจายในบรรยากาศ (Atmospheric diffusion) จะแปรผันอยู่กับความปั่นป่วนของระบบเพียงอย่างเดียวเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการในทางเคมีที่มนุษย์ทำขึ้น (ซึ่งมีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับกระบวนการในทางธรรมชาติ) จะใช้ทั้งการกระจายในบรรยากาศและแบบหมุนเวียน โดยเกิดจากการปั่นป่วนของระบบเอง และเกิดจากสารต่าง ๆ ที่ทำปฏิกิริยากันภายในระบบด้วย ความปั่นป่วนจะก่อให้เกิดการแพร่กระจายแบบหมุนเวียน ซึ่งจะพาเอาโมเลกุลจากที่แกนกลางในของไหลไปประจำตำแหน่งอยู่ที่ขอบใกล้ ๆ ขอบเขตของของไหล จากจุดนี้ โมเลกุลที่เคลื่อนที่เข้า จะพาเอาโมเลกุลอื่นเคลื่อนที่ไปด้วย และทำหน้าที่ที่สำคัญนั่นคือพาเอาโมเลกุลเหล่านั้นผ่านผิวหรือชั้นของของเหลวที่ไม่มีการหมุนเวียน เนื่องจากผลของแรงลุดจากความหนืด

อัตราของการแพร่กระจายเชิงเส้น (Rate of Linear Diffusion) ของโมเลกุลของของไหลสามารถประมาณได้ด้วยสมการข้างล่างนี้ (พิจารณาของไหลที่เป็นก๊าซก่อน) สำหรับการไหลของก๊าซ ที่สถานะใกล้เคียงกับบรรยากาศ ความสามารถในการแพร่กระจายของก๊าซ (Gas Diffusivity) คำนวณจากสมการของ Gilland ที่ปรับปรุงแล้ว ดังนี้

$$D_{A,B} = 0.0325 (T^{1/2}) / (V_A^{1/2} + V_B^{1/2})^2 [(1/M_A) + (1/M_B)]^{1/2} \quad (5.1)$$

- เมื่อ $D_{A,B}$ = gas diffusivity, lb moldes/(ft hr)
- T = absolute temp, °R
- M = molecular weight
- V = molecular volume of the gas when a liquid at the normal boiling point, cm³/(g mole)

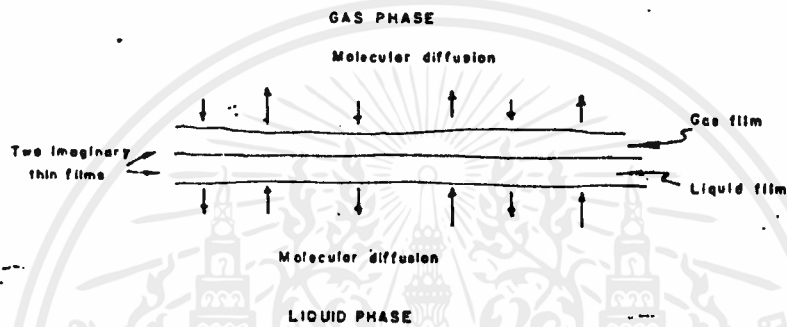
ค่าความสามารถในการแพร่กระจายของสาร A ไปที่สาร B ($D_{A,B}$) จะเท่ากับค่าความสามารถในการแพร่กระจายของสาร B ไปที่สาร A ($D_{B,A}$) ตารางที่ แสดงค่าความสามารถในการแพร่กระจายของสารบางชนิด

ค่าความสามารถในการแพร่กระจายของสารในของเหลว สามารถประมาณได้จากสมการของ Wilkie ซึ่งเกิดจากการปรับปรุงสมการของ Stokes-Einstein ได้เป็น

$$D_{A,B} = 7.4 \times 10^{-8} [(\mu M_B)^{1/2} T] / [\mu V_A^{0.6}]$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ (5.2) ราคาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ๖.1 การถ่ายเทโมเลกุลผ่านขอบเขตของฟิล์ม 2 ฟิล์ม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลขอุณหภูมิต่ำ โดยปกติแล้วการแพร่กระจายแบบหมุนวนจะได้รับการพิจารณามากกว่า เนื่องจาก การแพร่แบบนี้ มีผลในการรักษาความเข้มข้นทั่วถึงเท่ากันได้ภายในกลุ่มก้อนของก๊าซนั้นให้มีค่าเท่า กันตลอด การแพร่กระจายแบบโมเลกุลของก๊าซ จะพิจารณาเมื่อก๊าซมีการถ่ายเทมวลสารในระ หว่างฟิล์มชั้น ในฝั่งของของเหลวสถานการณ์เดียวกันกับก๊าซเกิดขึ้นที่นี้ การแพร่กระจายแบบ หมุนวนจะทำให้เกิดความเข้มข้นที่สม่ำเสมอเท่ากันตลอดทั่วทั้งช่องเหลว และการแพร่กระจายแบบ โมเลกุลจะใช้เมื่อถ่ายเทของเหลวผ่านชั้นฟิล์ม ถ้าโมเลกุลของก๊าซเคลื่อนที่ผ่านชั้นฟิล์ม เข้าไป ในของเหลว และทำปฏิกิริยากันทางเคมี หรือกลไกใด ๆ อื่น ๆ ที่จะป้องกันไม่ให้เกิดการไหลย้อนกลับทางมาผ่านฟิล์มอัตราการถ่ายเทมวลสารจากก๊าซไปสู่ของเหลวจะเพิ่มขึ้น

จะเป็นการสะดวกอย่างมากถ้าเราจะพิจารณา ขอบเขตที่เกิดขึ้นอยู่ระหว่างก๊าซและของเหลว ประกอบไปด้วยชั้นของฟิล์มบาง ๆ อยู่ 2 ชั้น ชั้นหนึ่งอยู่ในเขตของก๊าซและอีกชั้นหนึ่งอยู่ในเขตของของเหลว ทฤษฎีนี้รู้จักกันเป็นอย่างดีในชื่อว่า "ทฤษฎีฟิล์ม 2 ชั้น" (Two-Film Theory) และแสดงไดอแกรมได้ด้วยรูปที่ 5.1

ความต้านทานรวมของทั้งระบบ สามารถพิจารณาได้ว่า เกิดจากผลรวมจากก๊าซและจากของเหลวรวมกัน และเท่ากับส่วนกลับของผลรวมของส่วนกลับของความต้านทานของแต่ละส่วน และโดยปกติค่าความต้านทานของส่วนหนึ่งจะมากกว่าอีกส่วนหนึ่งอย่างเห็นได้ชัด จึงเป็นการสะดวกที่จะให้ค่าความต้านทานที่มากกว่ากับระบบ เช่นถ้าโมเลกุลสามารถผ่านไปน่านของก๊าซ ได้ดีกว่าน่านของเหลว ดังนั้นค่าความต้านทานต่อการถ่ายเทโมเลกุลจะเท่ากับค่าความต้านทานที่เกิดจากของเหลว ลักษณะนี้เรียกว่า "ควบคุมโดยของเหลว" (Liquid Phase Controlling) ถ้าความต้านทานส่วนใหญ่เกิดจากส่วนของก๊าซ จะเรียกลักษณะนั้นว่า "ควบคุมโดยก๊าซ" (Gas Phase Controlling) ซึ่งได้ละทิ้งความต้านทานที่เกิดจากของเหลวไป

อัตราการถ่ายเทมวลสารจากย่านหนึ่งไปอีกย่านหนึ่ง จะแปรผันกับค่าคงที่อัตราการถ่ายเท (Transfer rate constant) ค่าหนึ่งซึ่งเรียกกันว่า สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสาร (Mass transfer coefficient) (k) สมการความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นสามารถเขียนแยกกันได้ ตามแต่ละฟิล์ม สมการสำหรับฟิล์มก๊าซ จะเป็นดังนี้

$$N_A = k_g A (p_{Ag} - p_{A1}) \quad (5.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับฟิล์มของของเหลวสามารถเขียนได้เป็น

$$N_A = k_L A (c_{A_i} - c_{A_L}) \quad (5.5)$$

เมื่อ N_A = rate of transfer of A through the film, lb moles/hr

k_G = gas film coefficient, lb moles/(hr ft² atm)

k_L = liquid film coefficient, lb moles/(hr ft² lb moles/ft³)

A = surface area of mass transfer, ft²

p_{A_G} = partial pressure of A in gas phase, atm

p_{A_i} = partial pressure of A at vapor-liquid interface, atm

c_{A_i} = concentration of A at vapor-liquid interface,
lb moles/ft³

c_{A_L} = concentration of A in liquid phase, lb moles/ft³

แต่ละค่าของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสาร (k_G & k_L) สามารถหาได้จากข้อมูลการทดลอง เป็นการสะดวกกว่า ถ้าเราเอาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารทั้งสองเข้ามาสัมพันธ์กันเป็น สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารรวม (Overall Mass Transfer Coefficient) (K_G & K_L) ซึ่งสามารถใช้กับก๊าซและของเหลวอื่น ๆ ได้ด้วย

5.3 การดูดซับก๊าซ (Gas Absorption)

การดูดซับก๊าซ มีทั้งการดูดซับก๊าซและดูดซับไอระเหย โดยของเหลว ทั้งด้วยวิธีการทางกายภาพและวิธีการทางเคมี ในการดูดซับ วัสดุที่ถูกดูดซับขึ้นมาจะกระจายอยู่ไปทั่วตัวดูดซับ (ของเหลว) การดูดซับจะแตกต่างจากในกรณีของการดูดซับแบบ Adsorption ตรงที่ว่าชนิดหลังนี้ เป็นปรากฏการณ์พื้นผิว (Surface Phenomena) ซึ่งวัสดุที่ถูกดูดเข้ามาจะกระจายอยู่เพียงแต่ที่ผิวหน้าของตัวดูดซับเท่านั้น

เพื่อที่จะให้เกิดการดูดซับขึ้น โมเลกุลของก๊าซผสมภาวะ ต้องมีการแพร่กระจายเข้าไปในฟิล์มของของเหลว ผ่านทั้งฟิล์มของก๊าซและฟิล์มของของเหลว แล้วจากนั้นจึงค่อยถูกดูดซับเข้าไป

ในของเหลว นั้นหมายความว่า การถ่ายเทโมเลกุลสุทธิของทั้งสองสารนั้นเท่ากัน ดังนั้นเราสามารถนำเอาสมการที่ 5.4 และ 5.5 มาเทียบเท่ากันได้เป็นว่า

$$N_A = k_g A(p_{A_g} - p_{A_l}) = k_L A(c_{A_l} - c_{A_g}) \quad (5.6)$$

เนื่องจากการไม่สะดวก ในการที่จะหาค่าของความดันและค่าของความเข้มข้นที่บริเวณผิวรอยต่อ (interface) ดังนั้นเราจึงใช้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารรวม (Overall Mass Transfer Coefficient) ซึ่งใช้กับค่าของความดันและความเข้มข้นที่แสดงแนวโน้มการถ่ายเทระหว่างฟิล์มทั้งสองได้ สมการการถ่ายเทมวลสารโดยรวมที่ใช้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารรวมสามารถเขียนได้กับทั้งสองสมการเดิมที่สภาวะสมดุล เขียนได้เป็น

$$N_A = K_g A(p_{A_g} - p_{A_l}) = K_L A(c_{A_g} - c_{A_l}) \quad (5.7)$$

เมื่อ N_A = rate of absorption of A, lb moles/hr

A = surface area for absorption, ft^2

K_g = overall gas absorption coefficient,
lb mole/(hr ft^2 atm)

K_L = overall liquid absorption coefficient,
lb mole/(hr ft^2 lb mole / ft^3)

p_{A_l} = partial pressure of A if it were in equilibrium with a liquid solution having that concentration of A, atm

เทอมของ p_{A_l} และ c_{A_g} ต่างเป็นปริมาณเทียบ ในกรณีของค่าแรกเห็นได้อย่างชัดเจนแล้วว่า ไม่ใช่ค่า partial pressure ของ A ในของเหลว อย่างไรก็ตาม ค่า p_{A_l} เป็นค่าที่สภาวะที่ไอระเหยสามารถก่อตัวเกิดขึ้นได้ภายในของเหลว ส่วนค่าของ c_{A_g} ยังไม่มีคำอธิบายที่เหมาะสมที่พอพิจารณาได้ว่า เป็นความเข้มข้นของสาร A ในก๊าซในหน่วยของ lb mole/ ft^3 สมการที่ 5.7 สามารถใช้ในกระบวนการแยกสารได้ด้วย เมื่อเราทราบค่าอัตราเร็วในก๊าซแยกสารของก๊าซจากของเหลว ในกรณีนี้เครื่องหมายจะกลับตรงข้ามกันในทั้งสองส่วน เทอมของสมการที่ 5.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.1) กฎของก๊าซในอุดมคติ (Gas law)

เพื่อที่จะได้ทราบค่าของ $p_{A,L}$ เราจำเป็นต้องใช้กฎของก๊าซในอุดมคติ จากทฤษฎีพื้นฐานของก๊าซที่เราทราบกันดีว่า ผลคูณของความดันและปริมาตร หาคด้วยอุณหภูมิสัมบูรณ์ จะได้เท่ากับค่าคงที่หนึ่ง และความดันดังกล่าวนี้เป็นผลรวมของความดันย่อยที่มีมากจากส่วนผสมในก๊าซนั้น ๆ ไม่ว่าจะ เป็นก๊าซบริสุทธิ์หรือเป็นของผสมก็ตาม กฎความดันย่อยของดาลตัน กล่าวไว้ว่า ของผสมของก๊าซที่ไม่ทำปฏิกิริยาต่อกัน ต่างจะมีความดันเป็นของตนเอง และผลรวมของความดันของแต่ละส่วนผสมดังกล่าวจะเป็นความดันทั้งหมดของของผสมนั้น อากาศทั่วไปมักจะ เป็นตัวอย่างอย่างดีของของผสมดังกล่าวนี้ คือเป็นระบบ 2 ส่วน (Binary System) ที่สารทั้งสองไม่ทำปฏิกิริยาต่อกันคือ ออกซิเจนและไนโตรเจน สำหรับระบบใด ๆ ที่มีเพียงส่วนผสม 2 ส่วนเป็น A และ B กฎความดันย่อยของดาลตัน จะเขียนได้เป็น

$$p_{A,G} + p_{B,G} = p_T \quad (5.8)$$

เมื่อ p_T = Total Pressure

ถ้าก๊าซสามารถพิจารณาได้ว่าเป็นก๊าซอุดมคติแล้ว เราสามารถแทนสมการของก๊าซได้ออกมาสำหรับแต่ละส่วนผสมได้เป็น

$$p_{A,G} V = N_{A,G} RT \quad (5.9)$$

เมื่อ N = number of moles of gases

V = gas volume

R = Universal gas constant

หรือแทนสมการการของดาลตันเข้ากับระบบก็ได้

$$(p_{A,G} + p_{B,G}) V = (N_{A,G} + N_{B,G}) RT \quad (5.10)$$

จะมีอัตราส่วนความดันเท่ากับอัตราส่วนโมล กฎของอามาแกท (Amagat's Law) กล่าวไว้ว่า ปริมาตรรวมของก๊าซอุดมคติที่เป็นส่วนผสมกันและไม่ทำปฏิกิริยาต่อกัน จะเท่ากับผลบวกของปริมาตรของแต่ละส่วนผสมก๊าซบริสุทธิ์ภายในของผสมนั้น ถ้ารวมเอากฎของอามาแกทและกฎของก๊าซในอุดมคติจะได้ว่า อัตราส่วนปริมาตรของแต่ละส่วนผสมจะเท่ากับอัตราส่วนโมลของแต่ละส่วนผสมด้วย ความสัมพันธ์นี้สำคัญอย่างมากสำหรับก๊าซอุดมคติและระบบส่วนผสมของก๊าซทั่วไป เขียนออกมาเป็นสมการได้ดังนี้

$$V_{AG} / V_T = p_{AG} / p_T = N_{AG} / N_T \tag{5.11}$$

สมการรูปทั่วไปของความสัมพันธ์ตามกฎของดาลตันและกฎของก๊าซในอุดมคติ เขียนได้ดังนี้

$$p_{AG} = y_A P_T \tag{5.12}$$

เมื่อ y_A = mole fraction of A in the gas
 = moles of A / moles total gas

5.3.2 กฎของส่วนผสม (Solution LAws)

พฤติกรรมของส่วนผสม สามารถทำนายด้วยกฎของราอูลและกฎของเฮนรี (Raoult's Law & Henry's Law) กฎของราอูลใช้สำหรับก๊าซอุดมคติผสมที่เข้มข้น และส่วนผสมแต่ละส่วนไม่ได้ทำปฏิกิริยาต่อกัน ที่สภาวะสมดุล สมการนี้ สามารถเขียนออกมาได้เป็น

$$p_{AL} = x_A p_A' \tag{5.13}$$

เมื่อ x_A = mole fraction of A in solution
 = moles A / moles of total liquid
 p_A' = vapor pressure of pure A at the same temperature and pressure as the solution

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความดันไอของสารบริสุทธิ์ ที่อุณหภูมิและความดันต่าง ๆ มีแสดงไว้มากมายในตำราคู่มือทางเคมี ฟิสิกส์ และวิศวกรรมต่าง ๆ (สำหรับค่าความดันไอของน้ำ หาได้จากตารางไอน้ำ)

ตัวอย่างการใช้กฎของราؤولทำนายพฤติกรรมนี้ เช่นในกรณีของสารละลายกรีเซอริน 30% ในน้ำ ที่ 212 F' ซึ่งเป็นสารละลายเข้มข้น เศษส่วนโมลของน้ำเป็น

$$\begin{aligned} X_{\text{water}} &= (70/18) / (70/18 + 30/92) \\ &= 0.923 \end{aligned}$$

เราทราบอยู่แล้วว่า ความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ที่จุดเดือดของมันเท่ากับ ความดันบรรยากาศ ฉะนั้นความดันไอของน้ำในสารละลายนี้จึงเป็น

$$\begin{aligned} p_{\text{water}} &= (0.923)(14.7) \\ &= 13.6 \text{ psia} \end{aligned}$$

และเช่นเดียวกัน ความดันไอของกรีเซอรินที่อุณหภูมินี้เท่ากับ 0' ทำให้ผลรวมความดันทั้งหมดเท่ากับ 13.6 psia นั้นหมายความว่า สารละลายนี้จะยังไม่เดือดที่อุณหภูมิ 212 F' นี้ ในสภาวะความดันเท่ากับความบรรยากาศคือ 14.7 psia (สารละลายอยู่ในสถานะ subcooled liquid) ดังนั้นอุณหภูมิที่จะทำให้สารละลายนี้เดือดได้ ภายใต้ความดันบรรยากาศนี้ คืออุณหภูมิที่ทำให้น้ำมีความดันไอเท่ากับ $p_{\text{water}} = 14.7/0.923 \text{ psia}$ ซึ่งจะทำให้ความดันไอของสารละลายทั้งหมดเท่ากับ 14.7 psia สารละลายจึงจะเดือดทันที

กฎของเฮนรี (Henry's Law) ใช้สำหรับสารละลายอุดมคติที่เจือจาง ที่สภาวะสมดุล สามารถเขียนได้เป็น

$$p_{A,L} = C_{A,L} H \quad (5.14)$$

เมื่อ $p_{A,L}$ = equilibrium partial pressure of A over solution, atm
 $C_{A,L}$ = concentration of A in liquid phase, lb moles/ft³ ขึ้นด้านการค้า
 ไม่มีการใช้ H ที่อื่น Henry's Law constant, atm ft³ / (lb mole A) รังที่มีกรนำไปใช้

ค่าคงที่ในกฎของเฮนรี สามารถหามาได้จากการทดลองเท่านั้น กฎนี้เป็นเพียงรูปแบบเฉพาะของกฎของราอูล แต่จุดแตกต่างที่สำคัญของกฎทั้งสองนี้คือ กฎของเฮนรีใช้สำหรับสารละลายที่เจือจาง ขณะที่กฎของราอูลใช้กับสารละลายที่เข้มข้น กฎของเฮนรีสามารถเขียนได้ในหลายรูปแบบ เช่น $c_{A,L} = p_{A,L} H'$ และ $p_{A,L} = x_A H''$ เป็นต้น เมื่อรูปแบบลំการเปลี่ยนไป ค่าคงที่ H ก็ต้องเปลี่ยนค่าและหน่วยตามกันไปด้วย

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสาร (Mass Transfer Coefficient) สามารถนำมาสัมพันธ์กันได้ ที่สภาวะสมดุล เมื่อเราใช้กฎของเฮนรีเข้าช่วย แทนค่า N_A จากสมการที่ 5 และ 6 ข้างต้น จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$K_L = K_G H \tag{5.15}$$

$$1/K_G = 1/k_G + H/k_L \tag{5.16}$$

$$1/K_L = 1/k_L + 1/(HK_G) \tag{17}$$

ค่าเศษส่วนความต้านทานการถ่ายเทมวลสาร เนื่องมาจากฟิล์มของก๊าซ จะได้เป็น (Fractional total resistance to mass transfer due to gas film)

$$(1/k_G) / (1/K_G) = K_L / (HK_G) \tag{5.18}$$

และค่าเศษส่วนความต้านทานการถ่ายเทมวลสาร เนื่องมาจากฟิล์มของของเหลว ได้เป็น (Fractional total resistance to mass transfer due to liquid film)

$$(1/k_L) / (1/K_L) = HK_G / k_L \tag{5.19}$$

ค่าคงที่ตามกฎของเฮนรี สำหรับก๊าซบางชนิดที่ละลายอยู่ในน้ำ ที่สภาวะใกล้เคียงกับสภาวะปกติของห้อง (ที่อุณหภูมิห้อง และความดัน 1 บรรยากาศ) ค่านี้จะแปรผันตรงกับอุณหภูมิห้อง ค่าคงที่ตามกฎของเฮนรี สำหรับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ที่ละลายในน้ำจะได้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ (5.20) ารค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ H = Henry 's Law constant , atm ft³ / lb mole CO
 t = temperature , 'C

กราฟรูปที่ 10 แสดงค่าคงที่ตามกฎของเฮนรี สำหรับสารต่าง ๆ รวมทั้ง CO ด้วย ที่ละลายอยู่ในน้ำ ในช่วงอุณหภูมิ 0 'C ถึง 35 'C

5.3.3 พื้นที่ระหว่างผิวหน้าและความแตกต่างความดันเฉลี่ย (Interfacial Area & Average Pressure Difference)

พื้นที่ผิวหน้าที่ติดต่อกันระหว่างเฟสทั้ง 2 เฟส ในตัวอุปกรณ์ดูดซับ เป็นปริมาณที่วัดได้ยากมาก ในกรณีที่เป็นหอล้างเป็ยกธรรมชาติ ทำงานแบบมีฟิล์มของของเหลวไหลผ่านอย่างสม่ำเสมอ พื้นที่ผิวสัมผัส พอจะสามารถคำนวณออกมาได้ อย่างไรก็ตามสำหรับหอล้างแบบสเปรย์ของเหลว (Spray Tower) หรือที่มีใช้ในโรงงานนี้ ซึ่งมีผิวหน้าของของเหลวแตกต่างกันไปไม่สม่ำเสมอ การคำนวณพื้นที่นี้ เป็นได้อย่างยุ่งยากมาก และให้ความแม่นยำได้เพียงระดับหนึ่ง ๆ เท่านั้น ด้วยเหตุผลนี้ เราจะใช้ปริมาณอีกค่าหนึ่ง เป็นพื้นที่ผิวสัมผัสเทียม (pseudo-area quantity) ซึ่งนิยามว่า

$$a = A/V \tag{5.21}$$

เมื่อ a = interfacial are aper unit of bulk volume (pseudo-area quantity)

A = actual contact area

V = total volume of empty absorber

เมื่อได้พื้นที่ผิวสัมผัสเทียมแล้ว นำเอามาใช้กับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารรวม (Overall Mass Transfer Coefficient) และผลคูณของทั้งสองค่านี้ สามารถเปรียบเทียบกับค่าที่หามาได้จากการทดลองได้ สมการที่ 5.15 สามารถเขียนได้เป็นดังนี้

$$K_a a = K_g a H \tag{5.22}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และสมการที่ 5.7 สามารถเขียนได้ใหม่ โดยใส่ค่าพื้นที่ผิวสัมผัสเทียม a เข้าไปด้วยได้เป็น

$$\Delta N_A = K_G a V (p_{AG} - p_{AL}) \quad (5.23)$$

ในอุปกรณ์ดูดซับแบบไหลสวนทาง (Counter flow) ส่วนผสมที่ถูกดูดซับจากช่วงที่เป็นก๊าซ (Gas phase) จะมีความดันน้อยลงลง และทำให้ลดความดันน้อยลงในช่วงที่เป็นของเหลว (Liquid phase) ในขณะที่ก๊าซไหลผ่านและถูกดูดซับอยู่กับของเหลวในระบบด้วย (ในอุปกรณ์ดูดซับแบบไหลตามกัน Co-current flow จะมีผลตรงกันข้าม) จึงจำเป็นที่จะต้องหาความแตกต่างความดันย่อยเฉลี่ย (Average partial pressure difference) มาใช้แทนทั้งระบบ สำหรับกรณีที่มีความเปลี่ยนแปลงมาก ๆ เราใช้ความแตกต่างความดันย่อยเฉลี่ยแบบลอการิทึม (logarithmic mean partial pressure difference) และใช้ในสมการที่ 23 ได้ออกมาเป็นดังนี้

$$\Delta N_A = K_G a V (p_{AG} - p_{AL})_{lm} \quad (5.24)$$

เมื่อ $\Delta N_A =$ lb moles of absorbable material entering tower minus lb moles of absorbable material leaving tower per hour all in the gas phase (or equivalent in terms of liquid phase)

สมการที่แสดงความแตกต่างของความดันย่อยทั้งสองเฉลี่ย ที่ใช้ในสมการนี้หามาได้จาก

$$(p_{AG} - p_{AL})_{lm} = \frac{(p_{AG} - p_{AL})_1 - (p_{AG} - p_{AL})_2}{\ln [(p_{AG} - p_{AL})_1 / (p_{AG} - p_{AL})_2]} \quad (5.25)$$

ตัวห้อย lm หมายถึง ค่าเฉลี่ยความแตกต่างแบบลอการิทึม และใช้ลอการิทึมธรรมชาติ
ตัวห้อย 1 และ 2 หมายถึง ความดันย่อยที่ทางเข้าและทางออกตามลำดับ (ตัวเลข 1 หรือ 2 นี้ไม่เฉพาะเจาะจง เพียงแต่ค่าที่ใช้ในแต่ละจุด ต้องสอดคล้องกันเท่านั้น)

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์หรือการขังในเพื่อการค้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ขออนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.4 สภาวะสมดุลและแรงขับเคลื่อน (Equilibrium and Driving Force)

สมดุลระหว่างก๊าซและของเหลวได้มาเมื่อ อัตราการถูกดูดซับของส่วนผสมก๊าซด้วยส่วนผสมของเหลว เท่ากับอัตราการคายส่วนผสมก๊าซออกจากส่วนผสมของเหลว โดยทางทฤษฎีแล้ว สมดุลจะเกิดขึ้นได้ต่อเมื่อเวลาที่มีใช้ในการดูดซับเป็นอนันต์ แต่มันก็เป็นไปได้ที่จะเกิดสภาวะเข้าใกล้สมดุลระหว่างเฟสทั้ง 2 ในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ และสถานะเงื่อนไขหนึ่ง ๆ ได้ ค่าคงที่สมดุลของของเหลวและก๊าซ (vapor-liquid equilibrium constant) แสดงได้เป็นดังนี้

$$K_i = (y_A / x_A) \quad (5.26)$$

เมื่อ i = represent each individual specific concentration ratio at a given temperature and pressure

x_A = mole fraction of A in the solution

y_A = mole fraction of A in gas

ค่าของ K_i แปรผันตามความเข้มข้นและความดัน ข้อมูลความสมดุล สามารถนำมาสร้างกราฟความสมดุล (Equilibrium curves) ได้ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 5.2 ค่าความชันในแต่ละจุดบนเส้นโค้งนี้เท่ากับ K_i

กราฟความสมดุลนี้ สามารถประมาณได้ โดยการใช้รูปสมการทั่วไป (Generalized equation) แทนได้ทันที กฎของดาลตันสำหรับก๊าซอุดมคติ (สมการที่ 5.12) และกฎของราอูลสำหรับส่วนผสมอุดมคติ (สมการที่ 5.13) จะเหมือนกันและเท่ากันที่สภาวะสมดุล เขียนได้เป็น

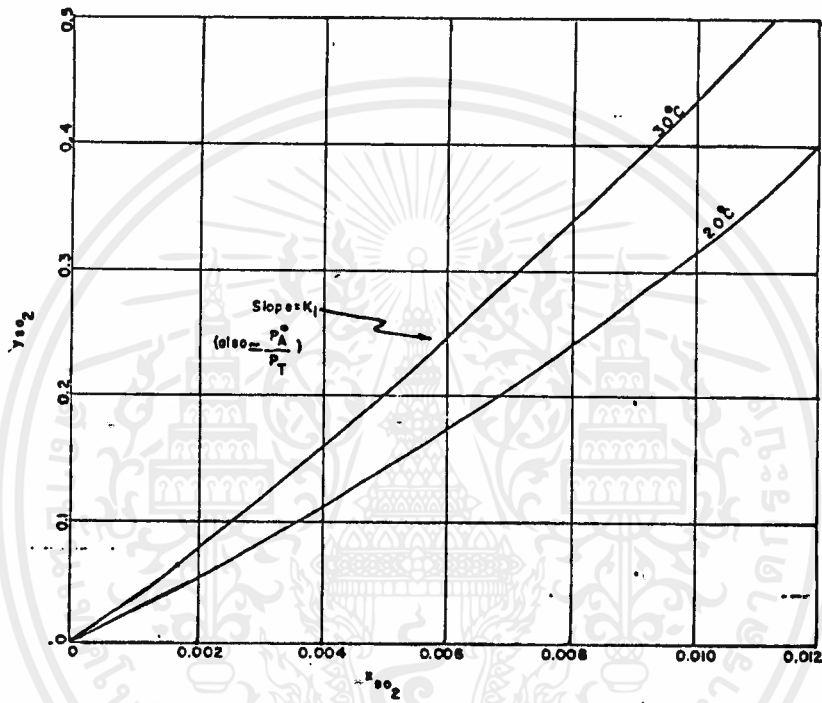
$$y_A P_T = x_A P_A^* \quad (5.27)$$

และสามารถจัดอยู่ในรูปแบบใหม่ได้ เพื่อที่จะได้ออกมารูปแบบสมการเส้นตรงตัดผ่านจุดกำเนิด (0,0) ได้เป็นดังนี้

$$y_A = (P_A^* / P_T) x_A \quad (5.28)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.2 กราฟแสดงความสมดุลของซิลเฟอร์ไดออกไซด์ในน้ำที่ 1 บรรยากาศ



อัตราส่วนความดันไอของส่วนผสมขณะที่เป็นสารบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิและความดันนั้น ต่อความดันรวมทั้งหมดของส่วนผสมที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน บางครั้งจะประมาณได้ว่าเท่ากับความชันของกราฟความสมดุล อย่างไรก็ตามจุดนี้เป็นเพียงแค่การประมาณค่าเท่านั้น และอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่ว่า เป็นส่วนผสมอุดมคติ เข้มข้นและเป็นก๊าซอุดมคติด้วย

สำหรับกรณีพิเศษที่กฎของเฮนรีได้ (เมื่อส่วนผสมเจือจาง สมการที่ 14) เราสามารถหาสมการความสัมพันธ์ใหม่ได้เป็น

$$y_A = (H/P_T) c_A \quad (5.29)$$

สำหรับส่วนผสมเจือจางที่มีแค่ 2 ชนิด เราสามารถใช้เศษส่วนโมลในการคำนวณได้เป็น

$$x_A = \left[\frac{c_A}{c_A + c_B} \right] \sim \frac{c_A}{c_B} \quad (5.30)$$

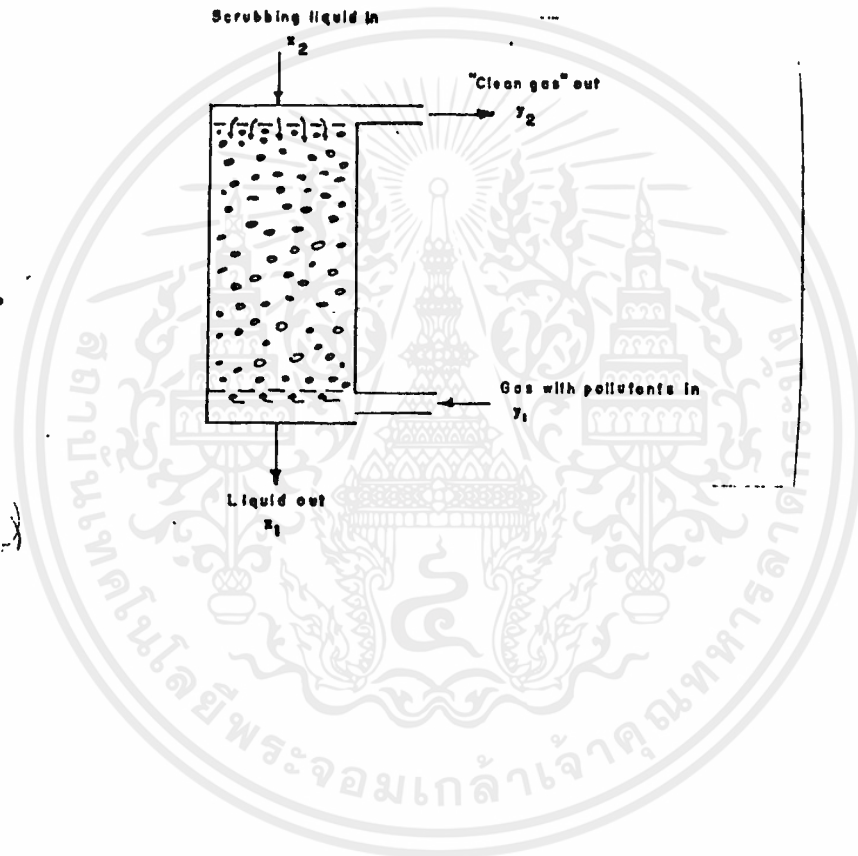
เพราะว่า $c_A \ll 1$ และ $c_B \sim 1$ ด้วยเหตุผลดังนี้ เราประมาณได้ว่า $x_A \sim c_A$ และทำให้ได้ว่า สำหรับกรณีพิเศษที่ส่วนผสมสาร 2 ชนิดเจือจางมาก ๆ จะมีสมการเป็น

$$y_A \sim (H/P_T) x_A \quad (5.31)$$

นอกเหนือจากการดูดซับทางกายภาพ (Physical) ของก๊าซเข้าไปในของเหลวแล้ว ยังมีความเป็นไปได้ ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาทางเคมีต่อกัน ระหว่างก๊าซกับของเหลวได้ ขบวนการนี้เรียกว่า *Chemisorption* ถ้าในระบบมี chemisorption มากถึงจุดหนึ่ง ๆ เราจะไม่สามารถประมาณได้ว่าส่วนผสมเป็นอุดมคติ เพราะผลของการปฏิบัติต่อกันระหว่างโมเลกุลของสารทั้ง 2 เฟส เช่นในกรณีของ ก๊าซ SO_2 ที่ถูกดูดซับโดยน้ำ โดยกลไกหลักแล้ว จะเป็นการดูดซับทางกายภาพ และยังมีปฏิกิริยาทางเคมีต่อกันอย่างเห็นได้ชัดด้วย (ยืนยันได้ เพราะว่ามีความร้อนจากปฏิกิริยา (Heat of Reaction) คายออกมา) เมื่อ Chemisorption เกิดขึ้น ส่วนผสมที่ถูกดูดซับจะไม่สามารถสร้างความดันย่อยของตัวเองได้ และสมการข้างต้น ๆ ก็ไม่สามารถนำไปใช้งานได้ด้วย ในทางตรงกันข้าม ด้วยปฏิกิริยาทางเคมีและการแพร่แล้ว เราสามารถดูดซับก๊าซได้มากขึ้น ซึ่งจะกล่าวต่อไปในหัวข้อ 5.3.7

รูปที่ 5.3 อุปกรณ์ดูดซับแบบไหลสวนทางกัน

Counter current absorber



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

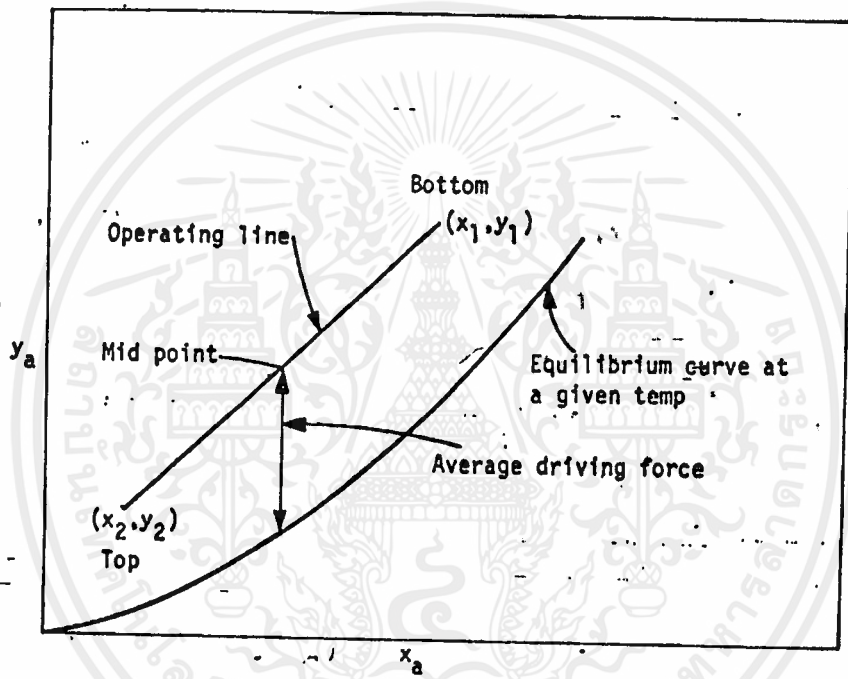
ชุดอุปกรณ์ดูดซับแบบไหลสวนทางกัน (Counter-current) เป็นชนิดที่ปฏิบัติงานได้มีประสิทธิภาพสูงสุด เราสามารถแสดงไดอะแกรมได้ดังรูปที่ ๕.๓ สำหรับอุปกรณ์แบบนี้ ของเหลวไหลจากด้านบนของชุดอุปกรณ์ลงมาด้านล่าง ด้วยผลจากแรงดันและแรงโน้มถ่วงของโลก ขณะที่ก๊าซไหลย้อนขึ้นข้างบน กระจายทั่วพื้นที่หน้าตัดของระบบ และถูกดูดซับโดยของเหลวจากด้านบนของอุปกรณ์ ก๊าซที่สะอาดจะไหลออกทางด้านบนของอุปกรณ์ และของเหลวที่ดูดซับก๊าซเสียจะไหลรวมกันอยู่ด้านล่าง เราสามารถแสดงความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับได้เป็น x_1, y_1 และที่ด้านบนได้เป็น x_2, y_2 ดังแสดงในรูปที่ ๕.๔ ระยะทางในแนวตั้งไม่ว่าจากจุดใดก็ตามในกราฟความสัมพันธ์ จะแทนค่าแรงดัน (Driving Force) ระยะทางที่มากขึ้นนั้นหมายถึงต้องใช้แรงดันที่ใช้ในการดูดซับมากขึ้นด้วย ความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับในช่วงของของเหลวและช่วงของก๊าซในจุดต่าง ๆ ของอุปกรณ์ดูดซับ สามารถแทนได้ด้วยเส้นตรงที่ลากผ่านจุด x_1, y_1 และ x_2, y_2 จึงเราเรียกว่า *Operating line* (ซึ่งอาจจะเป็นเส้นตรงหรือเส้นโค้งก็ได้) รูปที่ ๕.๔ แสดงตัวอย่างแรงดันในอุปกรณ์ดูดซับ แรงดันนี้เท่ากับระยะทางห่างระหว่างจุดตรงกลางของเส้น *Operating line* และเส้นกราฟความสัมพันธ์ ถ้ามีก๊าซที่มีความปริมาณในการละลายมากอยู่ภายในของเหลวและ/หรือ มีของเหลวในปริมาณที่มากเพียงพอที่จะละลายก๊าซได้หมด เราก็สามารถลดความเข้มข้นของก๊าซเสียลงไปได้มากยิ่งขึ้น เข้าใกล้จุดสมดุล เราช่วยให้เกิดสภาวะอย่างนี้ได้ ด้วยการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสอย่างมาก ๆ ไม่จำกัด (ซึ่งอาจจะใช้ระยะทางและระยะเวลาอันดี)

5.3.5 เส้นปฏิบัติงานของอุปกรณ์ดูดซับ (Absorber Operating Line)

เส้นการปฏิบัติงานของอุปกรณ์ดูดซับแบบไหลสวนทางกัน จะเป็นเส้นตรงตามที่แสดงได้ในรูปที่ ๕.๓ เรามีการใช้รูปนี้หลายครั้งมาก เพื่อที่จะทำนายความเข้มข้นของก๊าซและของของเหลวภายในอุปกรณ์ แต่ก็ยังมีหลายครั้ง เช่นกันที่การทำนายนี้ไม่ถูกต้อง เพื่อที่จะเข้าใจว่าเส้นปฏิบัติการนี้มาได้อย่างไร พิจารณาอุปกรณ์การดูดซับแบบไหลสวนทางกันในรูปที่ ๕.๕ L แทนจำนวนโมลทั้งหมดในช่วงของของเหลวในหน่วย lb moles/(ft² hr) และ G แทนจำนวนโมลทั้งหมดในช่วงของก๊าซ ในหน่วย lb moles/(ft² hr) ตัวห้อย 1 และ 2 ระบุว่าอยู่ที่ตำแหน่งข้างล่างและข้างบนของอุปกรณ์ตามลำดับ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ทำกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ๔.4 กราฟแสดงความสมดุลและแรงผลักดันสำหรับอุปกรณ์ดูดซับแบบไหลสวนทางกัน



กว่า เมื่อเทียบกับการควบคุมแบบช่วงของเหลว เพราะโมเลกุลของสารใด ๆ ก็ตาม จะมีการเคลื่อนที่ผ่านก๊าซได้ดีกว่าผ่านในของเหลว

Calvert ได้ตั้งกฎขึ้นมาว่า จะเกิดการควบคุมแบบก๊าซ ต่อเมื่อค่าของ k_g เข้าใกล้ค่าของ K_g (ค่าของ k_g มากกว่าค่าของ K_g , การควบคุมแบบช่วงก๊าซ จะเกิดที่ประมาณ $k_g \leq (1.1 \times K_g)$ ค่า k_g ที่ต่ำ ๆ หมายถึง มีการถ่ายเทมวลสารที่แย่มากในช่วงก๊าซ เกิดขึ้นที่ประมาณ $H \leq 3 \text{ atm ft}^3 / (\text{lb mole})$ การควบคุมแบบช่วงของเหลวจะเกิดขึ้นเมื่อ $k_g > (10 \times K_g)$ ค่า k_g ที่มาก ๆ หมายถึงการถ่ายเทมวลสารเกิดขึ้นได้ดีในช่วงก๊าซ มักจะเกิดที่ $H > 3000$

ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารที่แปรผันแตกต่างกันไปมากมายนั้น สามารถคำนวณได้จากค่าความสามารถในการแพร่ (diffusivity) สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารของแต่ละฟิล์มของก๊าซ สามารถคำนวณได้ในหน่วย $\text{lb moles} / (\text{ft}^2 \text{ atm hr})$ จาก

$$k_g = (14,800/RT) (D_{AB} / r t_g)^{1/2} \quad (5.35)$$

แต่สำหรับแต่ละฟิล์มของของเหลว คำนวณในหน่วย $\text{lb mole} / (\text{ft}^2 \text{ hr lb mole}/\text{ft}^3)$ ได้จาก

$$k_L = 236 (D_{AB} / r t_L)^{1/2} \quad (5.36)$$

เมื่อ t = contact time, sec

R = universal Gas constant = $82.05 \text{ atm cm}^3 / (\text{g mole } ^\circ\text{K})$

T = temperature, $^\circ\text{K}$

D_{AB} = diffusivity (properly chosen for gas or liquid phase), cm^2/sec

ค่าความสามารถในการแพร่สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 และ 2 ถ้าจำเป็น ต้องมีการแปลงหน่วยให้เหมาะสมกันด้วย เช่น ความหนาแน่นโมล (molar density) ซึ่งอยู่ในหน่วย $\text{lb moles total per ft}^3$ ค่าความสามารถในการแพร่ของก๊าซประมาณได้ว่า

เท่ากับ $0.1 \text{ cm}^2/\text{sec}$ สำหรับก๊าซที่มีความเข้มข้นต่ำมาก η ในบรรยากาศทั่วไป และค่าของความสามารถในการแพร่ในของเหลวของก๊าซ จะเท่ากับ $1.5 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{sec}$ สำหรับก๊าซความเข้มข้นต่ำมาก η ในน้ำ ช่วงเวลาที่สัมพัทธ์จะแปรผันไปอยู่ในช่วง 0.01 ถึง 0.5 วินาที ค่าของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารโดยรวม สามารถหาได้จากกฎของเฮนรี โดยใช้สมการที่ 5.16 และ 5.17

การเพิ่มเติมสารบางชนิดเข้าไปในของเหลว จะเป็นการเพิ่มความสามารถในการดูดซับ ด้วยวิธีการทางเคมี คือเพิ่มแรงดันเพื่อเพิ่มอัตราการดูดซับ ซึ่งอาจจะมองอีกรูปแบบได้ว่าเป็นการลดความดันย่อยที่ในช่วงปลาย η ทำให้ใช้ช่วงเวลาน้อยลง และอุปกรณ์มีขนาดเล็กลงในปริมาณการเก็บดักที่เท่ากัน กระบวนการ chemisorption นี้ อาจจะเพิ่มค่าของ k_c ขึ้นมาได้ถึง 12 เท่าของกรณีที่มีเพียงกระบวนการดูดซับทางกายภาพ (physical absorption) ธรรมดาเท่านั้นได้

5.4 กระบวนการเก็บดักสารด้วยวิธีการทางเคมีและกายภาพอื่น ๆ (Other Chemical & Physical gas removal processes)

5.4.1 การดูดซับแบบ Adsorption (Gas Adsorption)

การดูดซับแบบ Adsorption นี้ เป็นการเก็บเอาก๊าซหรือของเหลว หรือสารที่ละลายน้ำได้ใด ๆ ไปกับผิวของของแข็ง ที่ผิวของของแข็งนั้นอาจมีสารพิเศษบางชนิดเคลือบอยู่ เช่นถ่านคาร์บอนชนิดพิเศษ และซิลิกาเจล กระบวนการทั้งทางกายภาพและเคมี สามารถเกิดขึ้นได้ ขณะเกิดการดูดซับแบบนี้ และสามารถนำไปสู่การแบ่งชนิดการดูดซับ เป็นแบบทางกายภาพและแบบทางเคมี การดูดซับทางกายภาพ เกิดจากการที่ก๊าซโมเลกุลถูกดูดด้วยแรงทางไฟฟ้าสถิตย์ ซึ่งเกิดจากขั้วของโมเลกุลของก๊าซนั่นเอง กับขั้วของไอออนที่ผิวหน้าของของแข็งที่เป็นตัวดูดซับนั้น ส่วนการดูดซับแบบทางเคมี เกิดในลักษณะเช่นเดียวกับปฏิกิริยาทางทางเคมีในหัวข้อก่อนหน้านี และโดยทั่วไปแล้ว มักจะพิจารณาสนใจในการดูดซับแบบกายภาพมากกว่า เนื่องจากให้ประสิทธิภาพดีกว่าที่ขนาดวัตถุเล็กมาก ๆ

5.4.2 การใส่ปฏิกิริยาโดยตรง (Direct Reaction)

สารมลพิษที่เป็นก๊าซสามารถแยกเอาออกจากก๊าซได้ โดยวิธีการดีดสารทำปฏิกิริยาเข้าไปโดยตรง วิธีนี้ผลผลิตที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยามักจะตกตะกอนลง ซึ่งสามารถแยกเอาออกด้วยวิธีกำจัดแบบฝุ่นละอองต่อไปได้ สารเคมีที่ใช้มีในทุกรูปแบบไม่ว่าจะเป็นของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ ตัวอย่างของสารเคมีที่เป็นของแข็งเติมลงไป เช่น สลิกแคลเซียมออกไซด์ (หินปูน) ซึ่งปกติจะถูกดีดเข้าไปในก๊าซที่มีซัลเฟอร์ไดออกไซด์อยู่ เพื่อเปลี่ยน SO₂ เป็น แคลเซียมซัลเฟต (CaSO₄) เพอร์ไรต์ออกไซด์และโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ (Fe₂O₃ & KOH) ให้ผลการกำจัดคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) อย่างดีมาก ในฐานะที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalysts) สารเคมีที่เป็นของเหลวก็เช่น แอมโมเนีย เมื่อโปรยลงไปในบรรยากาศของซัลเฟอร์ไดออกไซด์แล้ว จะเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนเป็น แอมโมเนียมซัลไฟต์ ((NH₄)₂SO₃) หรือ แอมโมเนียมซัลเฟต ((NH₄)₂SO₄) ได้ ซึ่งจะตกตะกอนเป็นของแข็ง สามารถนำไปกำจัดได้อีกต่อหนึ่ง

5.4.3 การใส่ปฏิกิริยาที่มีการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion Exchange)

ปฏิกิริยาเคมีที่มีการแลกเปลี่ยนไอออน หรือ ปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox Reaction) เป็นปฏิกิริยาที่สำคัญมากในการบำบัดมลพิษของน้ำ แต่กลับไม่มีการประยุกต์ใช้งานมากนักกับการควบคุมมลพิษของอากาศ เพราะว่าในบรรยากาศ สสารมีประจุที่มีขนาดแตกต่างกันไปมากทั้งแบบบวกและลบหรือแม้แต่เป็นกลาง การแลกเปลี่ยนไอออนในอากาศเพื่อลดมลภาวะนี้ จึงเป็นเพียงแค่การทดลองวิจัยมากกว่า

5.4.4 การเจือจางสาร และการลวงกลิ่น (Dilution & Masking)

การทำให้เจือจางลง เป็นกระบวนการที่จัดว่าเป็นกลไกทางกายภาพ และมักใช้กับสารมลภาวะทางอากาศประเภท ไอร์เรหะเหม็น เนื่องจากว่าไอร์เรหะเหม็น สามารถรับรู้ได้จากประสาทสัมผัสทางจมูกของคน ซึ่งต่างก็มีความสามารถไม่เท่าเทียมกัน จึงไม่มีมาตรฐานวัดที่แน่นอน แต่ทว่า โดยทั่วไปสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นไอร์เรหะเหม็นอย่างรุนแรงนั้น สามารถเกิดกลิ่นได้ แม้ว่าจะมีปริมาณอยู่เพียงน้อยนิดมาก็ตาม จึงเป็นการเหมาะสมกว่า ที่จะระงับกลิ่นไอร์เรหะเหม็นที่จะกำจัดสารตัวนั้น ๆ ทิ้งไปเสีย เช่น แอมโมเนีย สามารถเกิดกลิ่นไอร์เรหะเหม็นได้ ที่ความเข้มข้นต่ำมากเพียงแค่ 47 ppm กรดบิวไทริก (Butyric acid) เอธิลเมอร์คัปตัน (Ethyl Mercaptan)

ทั้ง 2 สารนี้ สามารถก่อกลิ่นได้แม้มีความเข้มข้นเพียง 1 ppb (part per billion หนึ่งส่วนในหนึ่งพันล้านส่วน) ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ยิ่งส่งผลกระทบแรงกว่า ก๊าซนี้ก่อกลิ่นได้แม้ที่ความเข้มข้นน้อยกว่า 0.5 ppb เท่านั้น ที่ความเข้มข้นของสารต่ำมาก ๆ ขนาดนี้ จึงเป็นการสะดวกกว่าที่จะระงับผลกระทบ แทนที่จะกำจัดสารนั้น ๆ ออกไป วิธีการที่มีใช้อยู่ 2 วิธี คือ การทำสารให้เจือจางลงไปอีก (Dilution) และการลวงกลิ่นไอระเหย ด้วยสารที่มีกลิ่นไอระเหยที่ดีกว่า (Masking) กระทำโดยใส่สารที่มีกลิ่นไอระเหยดีกว่า และไม่ส่งผลกระทบใด ๆ ต่อระบบ ซึ่งมักจะจัดได้ว่า เป็นสารที่มีกลิ่นหอม (Perfume types) เข้าไปในมวลสารที่มีกลิ่นไอระเหยเดิมในปริมาณที่พอเหมาะ ขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่จะลดกลิ่นด้วย วิธีหลังนี้ เป็นวิธีการที่ปฏิบัติงานได้ง่ายและดีกว่าวิธีแรก และใช้งานกันทั่วไป ทั้ง 2 วิธี อยู่ในเพียงขั้นตอนการศึกษา เพราะกลิ่นสามารถวัดได้ด้วยเพียงประสาทสัมผัสทางจิต คือ จมูก เท่านั้น (Psychological or sensory perception) ซึ่งยากต่อการศึกษาอย่างละเอียด

5.4.5 การดูแลรักษาอย่างดี (Good Housekeeping)

ก่อนที่จะปล่อยสารก๊าซใด ๆ ออกไปในบรรยากาศ เราสามารถชี้แนะลงไปในที่นี้ได้เลยว่า วิธีการช่วยกำจัดลดก๊าซเสียที่ง่ายที่สุดนั้น คือการดูแลรักษาอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบ หรือเครื่องมือที่ใช้งานอยู่ ให้อยู่ในสภาพที่ดีและเป็นปกติควบคุมอยู่ได้ เป็นจุดที่เห็นได้ชัด แต่กลับถูกละเลยเป็นส่วนมากบ่อยครั้ง โดยผู้ใช้งานหรือปฏิบัติงาน การทำความสะอาดอุปกรณ์ การดูแลรักษา ฯลฯ สามารถตัดปัญหาทั้งหมดตั้งแต่ต้นเหตุลงได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด

การประยุกต์ใช้ทฤษฎีการดักฝุ่นละอองกับเครื่องล้างอากาศ
(Application of Particle Collection Theory to Air Washer)

ในเครื่องล้างอากาศแบบใช้น้ำ หลักการอย่างง่ายคือ การใช้การฉีดเป็นละอองของของเหลว (Fluid Atomization) ซึ่งในที่นี่ใช้น้ำ และอาศัยหลักการแพร่กระจาย (Diffusion of particles) และการชนกันแบบเฉื่อย (Inertial impaction) ตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น ตัวเครื่องล้างอากาศจะเปิดโอกาสให้ก๊าซที่ได้รับการเหนี่ยวนำไหลขึ้นมา ขณะที่มีการฉีดละอองน้ำสวนทางลงไป (Counter Current Flow) เมื่อกระแสการไหลของสารทั้งสองชนิดพบกันจะเกิดปฏิกิริยาขึ้น มีการชำระล้างฝุ่นละอองออกไป และในขณะเดียวกันก็จะละลายเอาก๊าซต่าง ๆ ออกไปด้วยพร้อมกัน (simultaneously) ต่อไปนี้จะมาพิจารณากระบวนการที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้น (layers) ขณะที่เกิดการชำระล้างดังกล่าว

6.1 การหาประสิทธิภาพรวม (Overall Efficiency)

จากรูป 15 จะเห็นได้ว่า ของเหลวถูกฉีดออกมาเป็นฝอยละออง ที่ทางด้านบนของหอล้าง (Spray Chamber) ฝอยหัวฉีด หยดน้ำจะตกลงมาอย่างอิสระ ด้วยความเร็วปลายที่ออกมาจากหัวฉีดเทียบกับก๊าซ (Terminal settling velocity relative to gas) โดยที่ก๊าซที่จะชำระล้างจะเข้ามาในหอล้างทางด้านล่าง ไหลผ่านมาน่านของละอองน้ำ และได้รับการชำระล้างสิ่งสกปรกออก ก๊าซที่สะอาดจะถูกพัดลมดูดออกทางด้านบนของหอล้าง ของเหลวที่ชะเอาฝุ่นละอองออกไปจากก๊าซมาอยู่กับตัวจะไหลไปรวมกันอยู่ด้านล่าง รอกว่ำไม่ระบายออกนำไปบำบัดอีกต่อไป และปกติจะใช้วิธีการกรองเพื่อน้ำสามารถนำกลับมาฉีดชำระล้างใหม่ เมื่อใช้ไปเวลานาน ๆ จึงค่อยเปลี่ยนน้ำในระบบใหม่

พิจารณาพื้นที่หน้าตัดขวางใด ๆ ของหอล้าง ที่มีความหนาเท่ากับ dz ตามที่แสดงไว้ในไดอะแกรม ละอองน้ำและก๊าซมีความเร็วและทิศทางที่ไหลตามที่แสดงเอาไว้ อาศัยข้อสมมติฐานต่อไปนี้เพื่อใช้วิเคราะห์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น หากมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ละอองน้ำทั้งหมดมีขนาดเดียวกันเท่ากับ D และตกลงมาด้วยความเร็วปลาย (Velocity of Liquid) V_L

2. ความเข้มข้นของละอองน้ำในอากาศ มีอย่างเจือจางมากเพียงพอจนกล่าวได้ว่า แต่ละละอองน้ำทำปฏิกิริยาอย่างอิสระต่อกัน และแต่ละปฏิกิริยาทำโดยละอองน้ำเพียงหยดเดียว

3. ปริมาตรรวมของน้ำที่ไหลเวียนในระบบมีเท่ากับ อัตราการไหลโดยปริมาตร (Volume Flow rate) Q_L และมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วถึง และทั่วทั้งบริเวณพื้นที่หน้าตัดขวาง A ที่พิจารณา จำนวนหยดละอองน้ำทั้งหมดที่ไหลเข้าไปในพื้นที่ A นั้นต่อหนึ่งหน่วยเวลาเท่ากับ

$$\text{Total number of droplet entering } A = 6Q_L / \pi D_{\text{tower}}^3 A$$

4. แต่ละเม็ดของฝุ่นละออง ถูกพัดพาลอยขึ้นข้างบนตามแนวการไหลของก๊าซ ที่ความเร็วเทียบกันภายนอกเท่ากับ

$$\text{velocity of particle} = V_p = V_{\infty} + V_i$$

เมื่อ V_{∞} = terminal settling velocity of dust particles (จากสมการที่ 6 ในทฤษฎีการตกฝุ่นละออง)

$$V_i = \text{Induced axial velocity from Induced fan}$$

5. ความเข้มข้นของฝุ่นละอองเกรด i มีการกระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งบริเวณพื้นที่ A และเท่ากับ n_i (number of particles per volume of gas) คุณด้วยประสิทธิภาพในการแพร่กระจาย ที่ได้จากสมการที่ 16 จากเรื่องทฤษฎีการตกฝุ่นละออง นั่นคือมีการผสมผสานกันอย่างสมบูรณ์สม่ำเสมอ ทั่วทุกระดับชั้นของฝุ่นละอองในแนวการไหลของก๊าซ และความเข้มข้นสุทธินี้เท่ากับ $n_i \sigma_{i, \text{total}}$

6. ตามความหมายของ ประสิทธิภาพการเก็บตกฝุ่นละอองของแต่ละหยดละอองน้ำ (single target total efficiency) σ_{T_i} แต่ละหยดละอองน้ำ สามารถเก็บตกฝุ่นละอองในหนึ่งหน่วยเวลาได้เท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{no. of collected particles} = \delta_{T_1} V_D n_1 \pi D^2 / 4$$

เมื่อ δ_{T_1} หาได้จากสมการที่ 9 ในทฤษฎีการเก็บดักฝุ่นละออง โดยที่ใช้ $D_0 =$ เส้นผ่าศูนย์กลางของหยดน้ำ

7. เวลาที่แต่ละละอองน้ำใช้ในการตกหรือเคลื่อนที่ ผ่านพื้นที่หน้าตัดความหนา dz เท่ากับ

$$\text{travel time through } dz = dz/u = dz/V_1$$

ปริมาณฝุ่นละอองที่ถูกเก็บดักทั้งหมดในพื้นที่ A (Total Collection of particles taking place in the section A) จะเท่ากับ จำนวนหยดน้ำ (droplet) ทั้งหมดที่ผ่านเข้าไปในพื้นที่ A ในหนึ่งหน่วยเวลา คูณด้วยเวลาที่ใช้เคลื่อนที่ผ่านชั้นความหนา dz และคูณด้วยจำนวนฝุ่นละอองที่แต่ละหยดน้ำเก็บดักเอาไว้ได้ (พิจารณาที่สถานะคงตัว Steady state)

Total Collection of particles taking place in the section A

= Total no. of drops entering section A per unit time x no. of collected particles x travel time through dz of each droplet

$$-dn_1 Q_D / A = (6Q_1 / \pi D^3 A) [\delta_{T_1} V_D n_1 \pi D^2 / 4] dz / u \quad (6.1)$$

หรืออินทิเกรตสมการที่ 1 จะได้

$$\int_{n_{1, \text{out}}}^{n_{1, \text{in}}} \frac{dn_1}{n_1} = \frac{3}{2} \int_0^H \left[(V_D / V_1) (Q_1 / DQ_D) \delta_{T_1} \right] dz \quad (6.2)$$

การอินทิเกรต จะใช้ข้อสมมติฐานที่ว่า ปริมาณทั้งหมดทางด้านขวาของสมการที่ 2 ต่างเป็นค่าคงที่และไม่ขึ้นกับค่า z ผลของการอินทิเกรตจะได้ว่า อัตราส่วนของปริมาณฝุ่นละอองที่เหลือต่อปริมาณฝุ่นละอองที่เข้ามาทั้งหมด ได้เท่ากับ

$$\eta_{out.}/\eta_{in.} = \exp [(3/2) (V_p/V_l) (Q_l/Q_g) (H/D) \delta_{Ti} \delta_{diff.}] \quad (6.3)$$

เมื่อนำไปหาปริมาณฝุ่นละอองที่ลดลงแล้ว จะได้สมการประสิทธิภาพการลดรวม (Overall Efficiency) ออกมาเป็น

$$\delta_{out.} = 1 - \exp [3/2 (V_p/V_l) (Q_l/Q_g) (H/D) \delta_{Ti} \delta_{diff.}] \quad (6.4)$$

- เมื่อ
- V_p = Velocity of particle in inlet gas
 - V_l = Velocity of spraying liquid at the exit
 - Q_l = Quantity of spraying liquid per unit time
 - Q_g = Quantity of particle in inlet gas
 - H = total Height of tower
 - D = Diameter of tower
 - δ_{Ti} = Target impaction efficiency (average)
 - $\delta_{diff.}$ = Effective diffusional efficiency

Hesketh ได้ทดลองและแนะนำให้ใช้สมการประสิทธิภาพรวม ที่ได้รับการปรับปรุงเพื่อใช้ร่วมกับสมการอื่น ๆ ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว และใช้กับฝุ่นละอองที่มีขนาดเล็ก ๆ ในระดับ 0.01 μm จนถึง 100 μm ดังนี้

$$\delta_{out.} = \frac{2 \{ \exp [(3/2) (V_p/V_l) (Q_l/Q_g) (H/D) \delta_{Ti} \delta_{diff.}] - 1 \}}{0.1} \times 10^{-4} \quad (6.5)$$

สมการที่ 5 เป็นสมการที่สำคัญที่สุด ในการคำนวณเรื่องการลดปริมาณฝุ่นละอองด้วยเครื่องล้างอากาศ ซึ่งต่อไปจะนำเอาสมการนี้ไปเขียนเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อทำการประมาณประสิทธิภาพของชุดอุปกรณ์ที่มีขนาดมิติต่าง ๆ เมื่อเปลี่ยนแปลงขนาดฝุ่นละอองที่ต้องการลดต่อไป (จะเห็นได้ว่า ประสิทธิภาพนี้ เป็นค่าที่แปรผันตามขนาดของหยดละอองน้ำ เพราะว่าประสิทธิภาพในการเก็บดักแบบกระแทก Target Impaction Efficiency แปรผันตามขนาดของหยดน้ำที่ออกมา $\delta_{Ti} \propto D_{droplet}$)

ในกรณีที่ขนาดของแต่ละละอองน้ำนั้นไม่เท่ากันไม่สม่ำเสมอ เราสามารถใช้ค่า D เป็นค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเซาเตอร์ (Sauter mean drop diameter) แทนกันได้ จากทฤษฎีการเก็บดักฝนละออง ด้วยสมการที่ 3

ที่ละอองน้ำขนาดเล็ก ๆ เราประมาณได้ว่า $v_t \propto D^2$ (Stoke's Law) และ $\sigma_{T,1}$ จะเพิ่มขึ้นเมื่อ D เพิ่มขึ้น ที่ขนาดปานกลาง $v_t \propto D$ และ $\sigma_{T,1}$ จะมีค่าคงที่ สำหรับที่ขนาดใหญ่ v_t จะเพิ่มขึ้นในอัตราที่ช้ากว่าการเพิ่มของ D และ $\sigma_{T,1}$ จะลดลง ดังนั้นจะมีจุด ๆ หนึ่งที่ค่า $\sigma_{T,1}$ เป็นค่าสูงสุด Stairman ได้ประมาณไว้ว่าค่า $\sigma_{T,1}$ สูงสุด จะอยู่ที่ประมาณ $D \sim 600 \mu\text{m}$ โดยไม่ต้องคำนึงว่าขนาดฝนละอองจะมีขนาดใดก็ตาม และจะมีค่ามากยิ่งขึ้นเมื่อฝนละอองมีขนาดใหญ่ขึ้น และจะเป็นยอดเรียบสม่ำเสมอในช่วง $200 \mu\text{m}$ ถึง $300 \mu\text{m}$ ตลอดทั้ง 2 ด้าน (มากกว่าและน้อยกว่า) ของ $D = 600 \mu\text{m}$

ผลกระทบของขนาดละอองน้ำ ที่มีต่อประสิทธิภาพรวม (Overall Efficiency) เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ของ v_t , $\sigma_{T,1}$ และ D ตามที่ปรากฏอยู่ในสมการที่ 2 และ 3 เนื่องจาก $\sigma_{T,1}$ ค่อนข้างคงที่เมื่อเปลี่ยนแปลง D ในบางช่วงที่กำหนด ซึ่ง $v_t \propto D$ ผลของกลุ่มตัวแปร $v_t n_T (u_{gs} - v_{gs})$ จะช่วยเพิ่มค่าประสิทธิภาพ ในช่วงที่ D ต่ำ ๆ นั้น คือในช่วง $300 \mu\text{m} < D < 400 \mu\text{m}$

6.2 อัตราส่วนการไหล (The L/G ratio)

อัตราส่วนการไหล หรือ อัตราส่วนของเหลวต่อก๊าซ (Liquid/Gas ratio; L/G ratio) เป็นค่าที่มีความสำคัญต่อสมรรถนะการทำงานของเครื่องล้างอากาศเป็นอย่างมาก ค่าอัตราส่วนนี้สามารถแสดงได้อย่างง่ายในรูปแบบของอัตราส่วนโดยมวล นั่นคือเท่ากับอัตราการไหลโดยมวลของของเหลว (น้ำ, M_L) ต่ออัตราการไหลโดยมวลของก๊าซ (M_G) เพื่อความสะดวก จะแสดงอัตราส่วนนี้ในรูปแบบอัตราส่วนโดยปริมาตร ที่สถานะที่เกิดขึ้นที่ทางเข้าของแต่ละสาร (Entrance conditions) ดังนั้นจะได้เป็น

$$M_L / M_G = \rho_L Q_L / \rho_G Q_G \quad (6.6)$$

สำหรับระบบของน้ำและอากาศ ที่ 20°C จะได้ว่า $\rho_w/\rho_g = 1/1.205 \times 10^{-3} = 830$
 ส่วนค่าของอัตราส่วน Q_w/Q_g มักจะอยู่ในหน่วย แกลลอนของน้ำ ต่อ ลูกบาศก์ฟุตจริงของ
 ก๊าซที่สถานะทางเข้า (gallons of water / actual cubic feet of gas at
 entrance condition) ค่านี้เรียกกันว่า อัตราส่วนการไหล L/G ratio จากเท่าที่ผ่านมา
 ค่านี้จะอยู่ในช่วง 2-20 gal ต่อ 1000 cu ft หรือในหน่วย SI คือ 0.27-2.7 litre
 /m³ (1 gal/Mft³ = 0.1337 litre/m³)

ค่าอัตราส่วนนี้ เป็นค่าที่แปรผันโดยตรงกับ จำนวนละอองน้ำต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของก๊าซ
 ต่อหนึ่งหน่วยเวลา นั่นคือ

$$6Q_w / \pi D^3 Q_g = 2.553 \times 10^8 (L/G) / D^3 \quad \text{drops/cm}^3 \quad (6.7)$$

โดยที่ D อยู่ในหน่วยไมครอน (μm) ค่าในตารางข้างล่างนี้ แสดงจำนวนละอองน้ำต่อลูก
 บาศก์เซนติเมตร ที่มีได้ที่ค่า L/G และ D ต่าง ๆ

L/G gal/Mft ³	Drops per cubic centimeter		
	2	10	20
D = 100 μm	511	2553	5106
200 μm	64	319	638
400 μm	8	40	80
800 μm	2	5	10

เป็นการชัดเจนที่ว่า ถ้ารวมเอาคุณลักษณะที่ว่า ค่า D ต่ำ ๆ เข้ากับ ค่าอัตราส่วนการไหล
 L/G ratio สูง ๆ ละอองน้ำจะอยู่กันอย่างหนาแน่นมาก จนกระทั่งการชนกันและการรวมตัวกัน
 แบบ Coalescence จะมีโอกาสเกิดขึ้นได้ สมมติฐานข้อที่ 2 ที่วางไว้ตั้งแต่ต้นก็จะเป็นไป
 ตามนั้นได้ การทำงานใด ๆ ก็ตามที่จะพยายามให้ขนาดละอองน้ำ D เล็กลง ก็จะได้ผลตรงกัน
 ข้าม คือขนาด D จะใหญ่โตขึ้น นิสัยการทำงานที่เหมาะสมก็จะไม่เป็นเส้นตรงตามที่คาดเอาไว้

บทที่ 7

การทำนายประสิทธิภาพการจับฝุ่นละอองต่อขนาดฝุ่นละอองด้วยคอมพิวเตอร์ (Prediction of Dust Collection Efficiency per Dust size by computer)

(โปรแกรมคอมพิวเตอร์ 1 ในหน้าถัดไปประกอบด้วย)

จากทฤษฎีการเก็บดักฝุ่นละอองที่ผ่านมาข้างต้น และจากทฤษฎีในหัวข้อการประยุกต์เข้าใช้กับเครื่องล้างอากาศนั้น เราสามารถนำมาเขียนเป็นโปรแกรมเพื่อคำนวณทำนายประสิทธิภาพการเก็บดักฝุ่นละอองได้ โดยเราสามารถปรับเปลี่ยนชนิดของฝุ่นละอองด้วยการเปลี่ยนค่าความหนาแน่นของฝุ่นละออง (Particle Density) และเปลี่ยนแปลงขนาดของฝุ่นละออง โดยทำการลุ่มที่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (Particle Diameter) ตั้งแต่ $0.01 \mu\text{m}$ ไปจนถึงขนาด $100 \mu\text{m}$ ขึ้นตอนต่าง ๆ ในการคำนวณโปรแกรมดังกล่าวนี้ มีดังนี้

1. หลังจากการประกาศโปรแกรมแล้ว เป็นการให้ค่าตัวแปรต่าง ๆ (input) ซึ่งมีดังนี้

- Quantity of water เป็นปริมาณอัตราการไหลของน้ำที่จะมาล้างอากาศ
- Quantity of air เป็นปริมาณอัตราการไหลของอากาศที่จะถูกชะล้าง
- Air density เป็นค่าความหนาแน่นของอากาศ ใช้เพื่อการคำนวณ
- Water density เป็นค่าความหนาแน่นของน้ำที่จะใช้ชะล้าง ซึ่งอาจจะมีค่าแตกต่างกันไป ถ้าหากมีการใส่สารเร่งปฏิกิริยา (Catalysts) เข้าไปด้วย
- Particle Diameter เป็นค่าความหนาแน่นของฝุ่นละอองที่เราสนใจ ซึ่งหมายความว่า เราสามารถเลือกประเภทของฝุ่นละอองที่เราสนใจจะเก็บดักได้ โดยการเปลี่ยนค่านี้
- Water Viscosity เป็นค่าความหนืดของน้ำ ใช้เพื่อการคำนวณ เช่นเดียวกับกับค่า water density ที่อาจจะมีค่าแตกต่างกันไป ถ้าหากมีการใส่สารเร่งปฏิกิริยา (Catalysts) เข้าไปด้วย
- Air Temperature เป็นค่าความหนาแน่นของอากาศ ใช้เพื่อการคำนวณ
- Tower Diameter เป็นค่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหอล้างของอุปกรณ์
- Tower Height เป็นค่าขนาดความสูงของหอล้างของอุปกรณ์

(บรรทัดที่ 10-100 ประกาศโปรแกรม, บรรทัดที่ 110-190 ให้ค่าตัวแปรต่าง ๆ)

2. ต่อจากการให้ค่าตัวแปรต่าง ๆ แล้ว จะเป็นการกำหนดค่าคงที่ต่าง ๆ ซึ่งในที่นี้คือ ขนาดพื้นที่ของพัดลมดูด (Fan Area) , พื้นที่คอคอดของหัวฉีดทั้ง 2 ตัวรวมกัน (Nozzle area) ค่าแรงตึงผิวของน้ำ (Surface Tension) ค่าพื้นที่ทั้ง 2 ค่า นั้น จะทำให้เราทราบค่า ของความเร็วของอากาศและน้ำที่ไหลอยู่ภายในอุปกรณ์ได้ โดยอาศัยหลักการของสมการความต่อเนื่อง (Continuity equation) ที่ว่าอัตราการไหล (ตามที่ได้ให้ค่าเอาไว้) จะต้องคงที่อยู่ เสมอ ไม่ว่าจะพิจารณาปริมาตรควบคุมใด ๆ ในระบบเปิด (any control Volume in open system) และท้ายสุดในช่วงนี้ คือเป็นการประกาศค่าตัวแปรและค่าคงที่ต่าง ๆ ที่ได้ให้ไป

(บรรทัดที่ 200-240 กำหนดค่าคงที่ , บรรทัดที่ 250-400 ประกาศค่าต่าง ๆ)

3. ขั้นตอนการคำนวณ เริ่มต้นจากการวางรูปแบบ แล้ววนรอบการคำนวณ โดยเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของวัตถุ (Particle Diameter) จาก 0.01 μm ไปจนถึง 100 μm โดยข้ามทีละ 2 μm (ค่าที่ข้ามนี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ละเอียดยิ่งขึ้น) วนวน การคำนวณเมื่อดังนี้ สมการต่าง ๆ ใช้จากทฤษฎีการเก็บดักฝุ่นละออง

- หาค่า Reynold's Number (Re) ตามสมการที่ 4.7
- หาค่า Delta (Δ) ตามสมการที่ 4.20 เพื่อใช้ใน Kundsen no. (Kn) เพื่อหาค่า Cunningham's Correction Factor (C)
- หาค่า Knudsen no. (Kn) ตามสมการที่ 4.17
- หาค่า Cunningham's Correction Factor (C) ตามสมการที่ 4.19
- กำหนดค่า τ และค่าคงที่ของ Boltzmann (Boltzmann's Constant)
- หาค่า ความสามารถในการแพร่กระจาย (Diffusivity D_{AB}) ตามสมการที่ 4.29
- หาค่า Schmidt's number (Sc) ตามสมการที่ 4.31
- หาค่า Terminal settling velocity (V_{ts}) โดยมีเงื่อนไขตามค่า Reynold's No. ตามตารางและสมการที่ 4.14 โดยทำงานที่โปรแกรมย่อย ในบรรทัดที่ 760-900 ตามช่วง ที่ใช้งานต่าง ๆ
- หาค่า ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของหยดละอองน้ำ (Water Droplet Diameter d_w) ตามสมการที่ 4.38
- หาค่า ประสิทธิภาพในการแพร่กระจาย (Diffusion Efficiency σ_{diff})

ตามสมการที่ 4.31

- หาค่า Impact no. (ϕ) ตามสมการที่ 4.25
- หาค่า Impact Efficiency (δ_{Impact}) ตามสมการที่ 4.25
- คำนวณค่า ประสิทธิภาพการเก็บดักวัตถุ (Overall Collection Efficiency, δ_{Overall}) ที่ต้องการทราบได้ ตามสมการที่ 5.4 ของทฤษฎีการประยุกต์ใช้กับเครื่องล้างอากาศ

หลังจากคำนวณเสร็จแล้ว จะนิม့်ผลออกมาตามขนาดวัตถุต่าง ๆ มีค่าออกมาเรียงกัน 4 ค่า คือค่า Diffusivity, Diffusion Efficiency, Impact Efficiency และ Overall Efficiency จากนั้นจึงวงวนเปลี่ยนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวัตถุ แล้วทำการคำนวณรอบใหม่ จนกว่าจะครบทุกขนาดวัตถุตามที่ต้องการ เป็นการจบโปรแกรมการทำงานคำนวณทำนายประสิทธิภาพการเก็บดักฝุ่นละอองที่ค่าความหนาแน่นหนึ่ง ๆ ตามที่ต้องการ (บรรทัดที่ 410-750)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

10 REM solving spray tower 's dust collection efficiency v.s. dust size
20 CLS : KEY OFF : LOCATE 2,5 : PRINT "SOLVING SPRAY TOWER'S DUST COLLECTION EFF
ICIENCY ACCORDING TO DUST SIZE"
30 PRINT : PRINT "      This program is used for evaluating Spray tower dust col
lection efficiency which depended on collected dust diameter. It is developed i
n HBASIC language, as a part of AIR WASHER project of 4th yr M.E. students, KMIT
'L."
40 LOCATE ,45 : PRINT "Sutthiphong Srigrarom 33100429"
50 LOCATE ,45 : PRINT "Panurat Dumrongthai 33100285"
60 LOCATE ,45 : PRINT "Sayam Sanguanrum 33100403"
70 LOCATE ,47 : PRINT "4th year M.E. students, KMIT'L"
80 REM declaration and input data
90 PRINT : PRINT " (This program we input various characteristic and size variab
les, and vary dust diameter for evaluation of overall efficiency of spray tower
in collecting dust of that size)"
100 PRINT : INPUT "press any key to continue";Q : CLS : PRINT "INPUT STAGE" : PR
INT
110 INPUT "input water volume flow rate (m^3/sec) please ";QTYWATER
120 INPUT "input air volume flow rate (m^3/sec) please ";QTYAIR
130 INPUT "input ambient air density (g/m^3) please ";RHOAIR
140 INPUT "input spraying water density (g/m^3) please ";RHOWATER
150 INPUT "input dust particle density (g/m^3) please ";RHOPART
160 INPUT "input spraying water viscosity (g/m sec) please ";MUWATER
170 INPUT "input ambient air temperature (Kelvin) please ";TAMBIENT
180 INPUT "input spray tower diameter (m) please ";DIATOWER
190 INPUT "input height of tower (m) please ";HIGTOWER
200 LET FANAREA = .0294524311#
210 LET NOZLAREA = .00000025#
220 LET SURFTENS = 72.8#
230 LET VELAIR = QTYAIR/FANAREA
240 LET VELWATER = QTYWATER/NOZLAREA : PRINT
250 CLS : PRINT "DECLARATION ,WHEN ALL VARIABLES ARE THE FOLLOWINGS" : PRINT
260 PRINT "QUANTITY OF WATER = ";QTYWATER;" m^3/sec"
270 PRINT "QUANTITY OF AIR = ";QTYAIR;" m^3/sec"
280 PRINT "AIR DENSITY = ";RHOAIR;" g/m^3"
290 PRINT "WATER DENSITY = ";RHOWATER;" g/m^3"
300 PRINT "PARTICLE DENSITY = ";RHOPART;" g/m^3"
310 PRINT "WATER DYNAMIC VISCOSITY = ";MUWATER;" g/m sec"
320 PRINT "AMBIENT AIR TEMPERATURE = ";TAMBIENT;" K"
330 PRINT "TOWER 'S DIAMETER = ";DIATOWER;" m"
340 PRINT "TOWER 'S HEIGHT = ";HIGTOWER;" m"
350 PRINT "AREA OF INDUCE FAN = ";FANAREA;" m^2"
360 PRINT "AREA OF WATER NOZZLE = ";NOZLAREA;" m^2"
370 PRINT "INLET AIR VELOCITY = ";VELAIR;" m/sec"
380 PRINT "INLET WATER VELOCITY = ";VELWATER;" m/sec"
390 PRINT "WATER SURFACE TENSION = ";SURFTENS;" erg/cm^2"
400 INPUT Q
410 REM calculation stage and result printing stage
420 CLS : PRINT "CALCULATION DATA"
430 PRINT : PRINT "*****"
440 PRINT " PARTICLE DIA. DIFFUSIVITY DIFFUSION EFF. IMPACTION EFF. OVERAL
L EFF."
450 PRINT "*****"
460 FOR I = 1 TO 10000 STEP 500
470 LET DIAPART = I*(10^(-8))
480 LET REYNOLD = (RHOWATER*VELWATER*DIAPART)/MUWATER
490 LET DELTA = MUWATER/(.004999*VELWATER)
500 LET KNUDSEN = 2*DELTA/DIAPART

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

510 LET CUNNING = 1+(KNUDSEN*(1.257+(.4*EXP(-1.1/KNUDSEN)))
520 LET PI = 3.141592654#
530 LET KBOLZMAN = 1.38*10^(-20)
540 LET DIFUSVTY = (CUNNING*KBOLZMAN*TAMBIENT)/(3!*PI*MUWATER*DIAPART)
550 LET SCHMIDT = MUWATER/(RHOWATER*DIFUSVTY)
560 LET G = 9.810001#
570 IF REYNOLD < .1 THEN 770 : REM laminar flow proposed by Stokes
580 IF REYNOLD > 1000 THEN 800 : REM turbulent flow proposed by Milliken
590 IF REYNOLD < .5 THEN 820 : REM transition proposed by Oseen
600 IF REYNOLD < 3! THEN 850 : REM transition proposed by Schiller & Neumann
610 GOTO 880 : REM 3.0 < Re < 1000 transition proposed by Kiyachko
620 LET DIAWATER = ((585!/(VELAIR-VELWATER))*SQR(SURFTENS/RHOWATER)+((MUWATER/(S
URFTENS*RHOWATER))^4.5)*(((1000!*QTYWATER)/QTYAIR)^1.5))*10^(-6)
630 LET DIFEFFCY = 1-((DIFUSVTY/(DIATOWER*VELSETTG))*2*((1/PI)+(.55*(SCHMIDT^(1/
3))*(REYNOLD^.5))))*10^6
640 LET IMPACT = SQR((CUNNING*RHOPART*VELSETTG*((DIAPART*10^7)^2))/(18!*MUWATER*
DIATOWER))
650 LET DIARATIO = DIAPART/DIATOWER
660 LET IMPEFFCY = 1-EXP((-1)*((.018/DIARATIO)*(IMPACT^(.5+DIARATIO))-(.6*(DIARA
TIO^2))))
670 LET OVRALEFF = (2*(EXP((3/2)*(VELAIR/VELWATER))*(QTYWATER/QTYAIR)*(HIGTOWER/D
IATOWER)*IMPEFFCY*DIFEFFCY)-1)*10^4)-.1
680 PRINT DIAPART,DIFUSVTY,DIFEFFCY,IMPEFFCY,OVRALEFF
690 NEXT I
700 PRINT "*****"
710 PRINT : LOCATE ,45 : PRINT "Sutthiphong Srigrarom 33100429"
720 LOCATE ,45 : PRINT "Panurat Dumrongthai 33100285"
730 LOCATE ,45 : PRINT "Sayam Sanguanrum 33100403"
740 LOCATE ,47 : PRINT "4th year M.E. students, KMIT'L"
750 END
760 REM subprogram for calculating setting velocities upon Reynold numbers
770 LET BETA = (DIAPART^2)*(RHOPART-RHOWATER)/(18*MUWATER)
780 LET VELSETTG = (CUNNING*((BETA^2)-SQR((BETA^2)-(4*BETA*VELWATER)))/2
790 GOTO 620
800 LET VELSETTG = CUNNING*SQR((3.0303*DIAPART*(RHOPART-RHOWATER)*G)/RHOWATER)
810 GOTO 620
820 LET CD = (24/REYNOLD) + 4.5
830 LET VELSETTG = CUNNING*SQR(((4/3)*DIAPART*(RHOPART-RHOWATER)*G)/(RHOWATER*CD
))
840 GOTO 620
850 LET CD = (24/REYNOLD) + (3.6/(REYNOLD^.313))
860 LET VELSETTG = CUNNING*SQR(((4/3)*DIAPART*(RHOPART-RHOWATER)*G)/(RHOWATER*CD
))
870 GOTO 620
880 LET CD = (24/REYNOLD) + (4/(REYNOLD^(1/3)))
890 LET VELSETTG = CUNNING*SQR(((4/3)*DIAPART*(RHOPART-RHOWATER)*G)/(RHOWATER*CD
))
900 GOTO 620

```

SOLVING SPRAY TOWER'S DUST COLLECTION EFFICIENCY ACCORDING TO DUST SIZE

This program is used for evaluating Spray tower dust collection efficiency which depended on collected dust diameter. It is developed in HBASIC language, as a part of AIR WASHER project of 4th yr M.E. students, KMIT'L.

Sutthiphong Srigrarom 33100429
 Panurat Dumrongthai 33100285
 Sayam Sanganrum 33100403
 4th year M.E. students, KMIT'L

(This program we input various characteristic and size variables, and vary dust diameter for evaluation of overall efficiency of spray tower in collecting dust of that size)

press any key to continue?

INPUT STAGE

input water volume flow rate (m³/sec) please ? 0.00291854
 input air volume flow rate (m³/sec) please ? 0.0424115
 input ambient air density (g/m³) please ? 1292.891
 input spraying water density (g/m³) please ? 999870
 input dust particle density (g/m³) please ? 1500000
 input spraying water viscosity (g/m sec) please ? 1.7921
 input ambient air temperature (Kelvin) please ? 305.15
 input spray tower diameter (m) please ? 0.45
 input height of tower (m) please ? 1.80

DECLARATION ,WHEN ALL VARIABLES ARE THE FOLLOWINGS

QUANTITY OF WATER	=	2.91854E-03	m ³ /sec
QUANTITY OF AIR	=	.0424115	m ³ /sec
AIR DENSITY	=	1292.891	g/m ³
WATER DENSITY	=	999870	g/m ³
PARTICLE DENSITY	=	1500000	g/m ³
WATER DYNAMIC VISCOSITY	=	1.7921	g/m sec
AMBIENT AIR TEMPERATURE	=	305.15	K
TOWER 'S DIAMETER	=	.45	m
TOWER 'S HEIGHT	=	1.8	m
AREA OF INDUCE FAN	=	2.945243E-02	m ²
AREA OF WATER NOZZLE	=	2.5E-07	m ²
INLET AIR VELOCITY	=	1.44	m/sec
INLET WATER VELOCITY	=	11674.16	m/sec
WATER SURFACE TENSION	=	72.8	erg/cm ²

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CALCULATION DATA

PARTICLE DIA.	DIFFUSIVITY	DIFFUSION EFF.	IMPACTION EFF.	OVERALL EFF.
1E-09	2.537261E-02	-11.4447	1	-11.7539
2E-09	6.343151E-03	-3.089182	1	-3.247125
3E-09	2.819178E-03	-1.290247	1	-1.414879
4E-09	1.585788E-03	-.5758915	1	-.76865098
5E-09	1.014904E-03	-.2058348	1	-.3098084
6E-09	7.047946E-04	1.697904E-02	1	-.0833107
7E-09	5.178082E-04	.1647714	1	6.689301E-02
8E-09	3.964469E-04	.2696335	1	.1741814
9E-09	3.13242E-04	.3478077	1	.2552437
1E-08	2.53726E-04	.4083288	1	.3148483
1E-08	2.53726E-04	.4083288	1	.3148483
2E-08	6.343153E-05	.662988	1	.5747246
3E-08	2.819179E-05	.7455361	1	.6605553
4E-08	1.585788E-05	.7883821	1	.7034706
5E-08	1.014904E-05	.8153766	1	.7296966
6E-08	7.047948E-06	.834286	1	.7487701
7E-08	5.178084E-06	.8484464	1	.7630753
8E-08	3.964471E-06	.8595481	1	.7749962
9E-08	3.132422E-06	.8685473	1	.7845329
.0000001	2.537262E-06	.8760298	1	.7916855
.0000001	2.537262E-06	.8760298	1	.7916855
.0000002	6.343157E-07	.9088126	1	.8250641
.0000003	2.819182E-07	.9206772	1	.836985
.0000004	1.585791E-07	.9280747	1	.8465218
.0000005	1.014907E-07	.9333074	1	.8512901
.0000006	7.047968E-08	.9372865	1	.8536743
.0000007	5.178102E-08	.9404583	1	.8584427
.0000008	3.964486E-08	.9430719	1	.8608269
.0000009	3.132435E-08	.9452795	1	.8632111
.000001	2.537274E-08	.9471799	1	.8655952
.000001	2.537274E-08	.9471799	1	.8655952
.000002	6.34322E-09	.958117	1	.8751319
.000003	2.819224E-09	.9634226	1	.8822845
.000004	1.585823E-09	.9667718	1	.8846687
.000005	1.014932E-09	.9691561	1	.8870529
.000006	7.048177E-10	.9709764	1	.8894371
.000007	5.178282E-10	.9724311	1	.8894371
.000008	3.964644E-10	.973632	1	.8918212
9.000001E-06	3.132575E-10	.9746477	1	.8918212
.00001	2.5374E-10	.9755231	1	.8942054

Sutthiphong Srigrarom 33100429
Panurat Dumrongthai 33100285
Sayam Sanganrum 33100403
4th year M.E. students, KMIT'L

QUANTITY OF WATER 0.002918 m³/sec
 QUANTITY OF AIR 0.042411 m³/sec
 AIR DENSITY 1292.891 g/m³
 WATER DENSITY 999870 g/m³
 WATER DYNAMIC VISCOSITY 1.7921 g/m sec
 AMBIENT AIR TEMPERATURE 305.15 kelvin
 TOWER DIAMETER 0.45 m
 TOWER HEIGHT 1.8 m

Calculation for overall efficiency while varying Particle Diamet

RHOPART (kg/m ³)	1500	2000	2500	3000	3500	4000
DIAPART (microns)						
0.01	0.314	0.4912	0.5699	0.6176	0.6486	0.6724
0.02	0.5747	0.6748	0.7201	0.7463	0.7654	0.7773
0.03	0.6605	0.7344	0.7678	0.7893	0.8036	0.8131
0.04	0.7034	0.7654	0.794	0.8107	0.8226	0.8298
0.05	0.7296	0.7845	0.8107	0.825	0.8346	0.8417
0.06	0.7487	0.7988	0.8202	0.8346	0.8441	0.8489
0.07	0.763	0.8083	0.8298	0.8417	0.8489	0.856
0.08	0.7749	0.8179	0.8369	0.8465	0.8536	0.8608
0.09	0.7845	0.825	0.8417	0.8512	0.8584	0.8632
0.1	0.7916	0.8298	0.8465	0.856	0.8632	0.8679
0.2	0.825	0.8536	0.8655	0.8727	0.8775	0.8799
0.3	0.8369	0.8608	0.8727	0.8775	0.8822	0.8846
0.4	0.8465	0.8679	0.8751	0.8822	0.8846	0.8894
0.5	0.8512	0.8703	0.8799	0.8846	0.887	0.8918
0.6	0.8536	0.8727	0.8822	0.887	0.8894	0.8918
0.7	0.8584	0.8751	0.8846	0.8894	0.8918	0.8942
0.8	0.8608	0.8775	0.8846	0.8894	0.8918	0.8942
0.9	0.8632	0.8799	0.887	0.8918	0.8942	0.8965
1	0.8655	0.8799	0.887	0.8918	0.8942	0.8965
2	0.8751	0.8894	0.8942	0.8965	0.8989	0.9013
3	0.8822	0.8918	0.8965	0.8989	0.9013	0.9037
4	0.8846	0.8942	0.8989	0.9013	0.9037	0.9037
5	0.887	0.8965	0.9013	0.9037	0.9037	0.9061
6	0.8894	0.8965	0.9013	0.9037	0.9061	0.9061
7	0.8894	0.8989	0.9013	0.9037	0.9061	0.9061
8	0.8918	0.8989	0.9037	0.9061	0.9061	0.9085
9	0.8918	0.9013	0.9037	0.9061	0.9061	0.9085
10	0.8942	0.9013	0.9037	0.9061	0.9085	0.9085

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

QUANTITY OF WATER	0.002918 m ³ /sec
QUANTITY OF AIR	0.042411 m ³ /sec
AIR DENSITY	1292.891 g/m ³
WATER DENSITY	999870 g/m ³
WATER DYNAMIC VISCOSITY	1.7921 g/m sec
AMBIENT AIR TEMPERATURE	305.15 kelvin
TOWER DIAMETER	0.45 m
TOWER HEIGHT	1.8 m

Calculation for overall efficiency while varying Particle Diameter and Pa

RHOPART (kg/m ³)	4500	5000	5500	6000	6500	7000	7500
DIAPART (microns)							
0.01	0.6915	0.7058	0.7177	0.7273	0.7368	0.744	0.7511
0.02	0.7893	0.7964	0.8036	0.8107	0.8155	0.8202	0.8226
0.03	0.8202	0.8274	0.8322	0.8369	0.8393	0.8441	0.8465
0.04	0.8369	0.8417	0.8465	0.8512	0.8536	0.856	0.8584
0.05	0.8465	0.8512	0.856	0.8584	0.8608	0.8632	0.8655
0.06	0.8536	0.8584	0.8632	0.8655	0.8679	0.8703	0.8727
0.07	0.8608	0.8632	0.8679	0.8703	0.8727	0.8751	0.8751
0.08	0.8656	0.8679	0.8703	0.8727	0.8751	0.8775	0.8799
0.09	0.8679	0.8703	0.8751	0.8751	0.8775	0.8799	0.8822
0.1	0.8703	0.8751	0.8775	0.8775	0.8799	0.8822	0.8846
0.2	0.8846	0.8846	0.887	0.8894	0.8894	0.8918	0.8918
0.3	0.887	0.8894	0.8918	0.8942	0.8942	0.8942	0.8965
0.4	0.8918	0.8918	0.8942	0.8965	0.8965	0.8965	0.8989
0.5	0.8918	0.8942	0.8965	0.8965	0.8989	0.8989	0.8989
0.6	0.8942	0.8965	0.8965	0.8989	0.8989	0.9013	0.9013
0.7	0.8965	0.8965	0.8989	0.8989	0.9013	0.9013	0.9013
0.8	0.8965	0.8989	0.8989	0.9013	0.9013	0.9013	0.9013
0.9	0.8965	0.8989	0.8989	0.9013	0.9013	0.9013	0.9037
1	0.8989	0.8989	0.9013	0.9013	0.9013	0.9037	0.9037
2	0.9013	0.9037	0.9037	0.9061	0.9061	0.9061	0.9061
3	0.9037	0.9061	0.9061	0.9061	0.9085	0.9085	0.9085
4	0.9061	0.9061	0.9085	0.9085	0.9085	0.9085	0.9085
5	0.9061	0.9085	0.9085	0.9085	0.9085	0.9085	0.9108
6	0.9085	0.9085	0.9085	0.9085	0.9085	0.9108	0.9108
7	0.9085	0.9085	0.9085	0.9108	0.9108	0.9108	0.9108
8	0.9085	0.9085	0.9085	0.9108	0.9108	0.9108	0.9108
9	0.9085	0.9085	0.9108	0.9108	0.9108	0.9108	0.9108
10	0.9085	0.9108	0.9108	0.9108	0.9108	0.9108	0.9108

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

QUANTITY OF WATER	0.002918	m ³ /sec
QUANTITY OF AIR	0.042411	m ³ /sec
AIR DENSITY	1292.891	g/m ³
WATER DENSITY	999870	g/m ³
WATER DYNAMIC VISCOSITY	1.7921	g/m sec
AMBIENT AIR TEMPERATURE	305.15	kelvin
TOWER DIAMETER	0.45	m
TOWER HEIGHT	1.8	m

Calculation for overall efficiency while varying Partic

RHO PART (kg/m ³)	8000	8500	9000	9500	10000
0.01	0.7583	0.763	0.7678	0.7726	0.7773
0.02	0.8274	0.8298	0.8322	0.8346	0.8369
0.03	0.8489	0.8512	0.8536	0.856	0.8584
0.04	0.8608	0.8632	0.8655	0.8655	0.8679
0.05	0.8679	0.8703	0.8727	0.8727	0.8751
0.06	0.8727	0.8751	0.8775	0.8775	0.8799
0.07	0.8775	0.8799	0.8799	0.8822	0.8822
0.08	0.8799	0.8822	0.8822	0.8846	0.8846
0.09	0.8822	0.8846	0.8846	0.887	0.887
0.1	0.8846	0.887	0.887	0.887	0.8894
0.2	0.8942	0.8942	0.8942	0.8965	0.8965
0.3	0.8965	0.8965	0.8989	0.8989	0.8989
0.4	0.8989	0.8989	0.9013	0.9013	0.9013
0.5	0.9013	0.9013	0.9013	0.9013	0.9037
0.6	0.9013	0.9013	0.9037	0.9037	0.9037
0.7	0.9013	0.9037	0.9037	0.9037	0.9037
0.8	0.9037	0.9037	0.9037	0.9037	0.9061
0.9	0.9037	0.9037	0.9037	0.9061	0.9061
1	0.9037	0.9037	0.9061	0.9061	0.9061
2	0.9061	0.9085	0.9085	0.9085	0.9085
3	0.9085	0.9085	0.9085	0.9085	0.9108
4	0.9085	0.9108	0.9108	0.9108	0.9108
5	0.9108	0.9108	0.9108	0.9108	0.9108
6	0.9108	0.9108	0.9108	0.9108	0.9108
7	0.9108	0.9108	0.9108	0.9108	0.9108
8	0.9108	0.9108	0.9108	0.9132	0.9132
9	0.9108	0.9108	0.9132	0.9132	0.9132
10	0.9108	0.9132	0.9132	0.9132	0.9132



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

QUANTITY OF WATER	0.002918	m ³ /sec
QUANTITY OF AIR	0.042411	m ³ /sec
AIR DENSITY	1292.891	g/m ³
WATER DENSITY	999870	g/m ³
PARTICLE DENSITY	1500	kg/m ³
WATER DYNAMIC VISCOSITY	1.7921	g/m sec
AMBIENT AIR TEMPERATURE	305.15	kelvin
TOWER HEIGHT	1.8	m

Particle Diameter Diameter of Tower

DIATOWER (m)	0.3	0.45	0.6
DIAPART (microns)			
0.01	0.007166	0.3148	0.3243
0.02	0.655	0.5747	0.4698
0.03	0.844	0.6605	0.5175
0.04	0.941	0.7034	0.5437
0.05	1	0.7296	0.558
0.06	1	0.7487	0.5699
0.07	1	0.763	0.5771
0.08	1	0.7749	0.5842
0.09	1	0.7845	0.589
0.1	1	0.7916	0.5937
0.2	1	0.825	0.6128
0.3	1	0.8369	0.6176
0.4	1	0.8465	0.6224
0.5	1	0.8512	0.6247
0.6	1	0.8536	0.6271
0.7	1	0.8584	0.6295
0.8	1	0.8608	0.6319
0.9	1	0.8632	0.6319
1	1	0.8655	0.6343
2	1	0.8751	0.639
3	1	0.8822	0.6438
4	1	0.8846	0.6438
5	1	0.887	0.6462
6	1	0.8894	0.6462
7	1	0.8894	0.6486
8	1	0.8918	0.6486
9	1	0.8918	0.6486
10	1	0.8942	0.651



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

QUANTITY OF AIR	0.042411	m ³ /sec
WATER DENSITY	999870	g/m ³
PARTICLE DENSITY	1500	kg/m ³
AIR DENSITY	1292.791	kg/m ³
WATER DYNAMIC VISCOSITY	1.7921	g/m sec
AMBIENT AIR TEMPERATURE	305.15	kelvin
TOWER DIAMETER	0.45	m
TOWER HEIGHT	1.8	m

Particle Diameter Quantity of water

QWATER m ³ /sec	DIAPART (microns)	0.001	0.002918	0.005
0.01	0.4531	0.3148	0.1717	
0.02	0.6963	0.5747	0.465	
0.03	0.7631	0.6605	0.5675	
0.04	0.7941	0.7034	0.6224	
0.05	0.8131	0.7296	0.6581	
0.06	0.8251	0.7487	0.6846	
0.07	0.8364	0.763	0.7034	
0.08	0.8418	0.7749	0.7177	
0.09	0.8465	0.7845	0.7273	
0.1	0.8513	0.7916	0.7344	
0.2	0.8751	0.825	0.7726	
0.3	0.8823	0.8369	0.7916	
0.4	0.8894	0.8465	0.8036	
0.5	0.8918	0.8512	0.8131	
0.6	0.8918	0.8536	0.8179	
0.7	0.8942	0.8584	0.8226	
0.8	0.8942	0.8608	0.8274	
0.9	0.8966	0.8632	0.8322	
1	0.8966	0.8655	0.8346	
2	0.9014	0.8751	0.8512	
3	0.9037	0.8822	0.8608	
4	0.9037	0.8846	0.8655	
5	0.9061	0.887	0.8703	
6	0.9061	0.8894	0.8727	
7	0.9061	0.8894	0.8751	
8	0.9085	0.8918	0.8775	
9	0.9085	0.8918	0.8775	
10	0.9085	0.8942	0.8799	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

QUANTITY OF WATER	0.002918	m ³ /sec
QUANTITY OF AIR	0.042411	m ³ /sec
AIR DENSITY	1292.891	g/m ³
WATER DENSITY	999870	g/m ³
PARTICLE DENSITY	1500	kg/m ³
WATER DYNAMIC VISCOSITY	1.7921	g/m sec
AMBIENT AIR TEMPERATURE	305.15	kelvin
TOWER DIAMETER	0.45	m

Particle Diameter Height of tower

HIGHTOWER (m)	1.5	1.8	2
DIAPART (microns)			
0.01	0.2457	0.3148	0.3625
0.02	0.4626	0.5747	0.651
0.03	0.5318	0.6605	0.7444
0.04	0.5699	0.7034	0.7916
0.05	0.5914	0.7296	0.8226
0.06	0.6081	0.7487	0.8441
0.07	0.62	0.763	0.8608
0.08	0.6295	0.7749	0.8727
0.09	0.6367	0.7845	0.8822
0.1	0.6438	0.7916	0.8918
0.2	0.6724	0.825	0.9275
0.3	0.682	0.8369	0.9418
0.4	0.6867	0.8465	0.9514
0.5	0.6915	0.8512	0.9561
0.6	0.6963	0.8536	0.9609
0.7	0.6987	0.8584	0.9633
0.8	0.701	0.8608	0.9681
0.9	0.7034	0.8632	0.9704
1	0.7034	0.8655	0.9728
2	0.713	0.8751	0.9848
3	0.7177	0.8822	0.9895
4	0.7201	0.8846	0.9943
5	0.7225	0.887	0.9967
6	0.7249	0.8894	0.9991
7	0.7249	0.8894	1.001
8	0.7273	0.8918	1.001
9	0.7273	0.8918	1.003
10	0.7273	0.8942	1.003



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

QUANTITY OF WATER	0.002918 m ³ /sec
QUANTITY OF AIR	0.042411 m ³ /sec
AIR DENSITY	1292.891 g/m ³
WATER DENSITY	999870 g/m ³
PARTICLE DENSITY	1500 kg/m ³
TOWER DIAMETER	0.45 m
TOWER HEIGHT	1.8 m

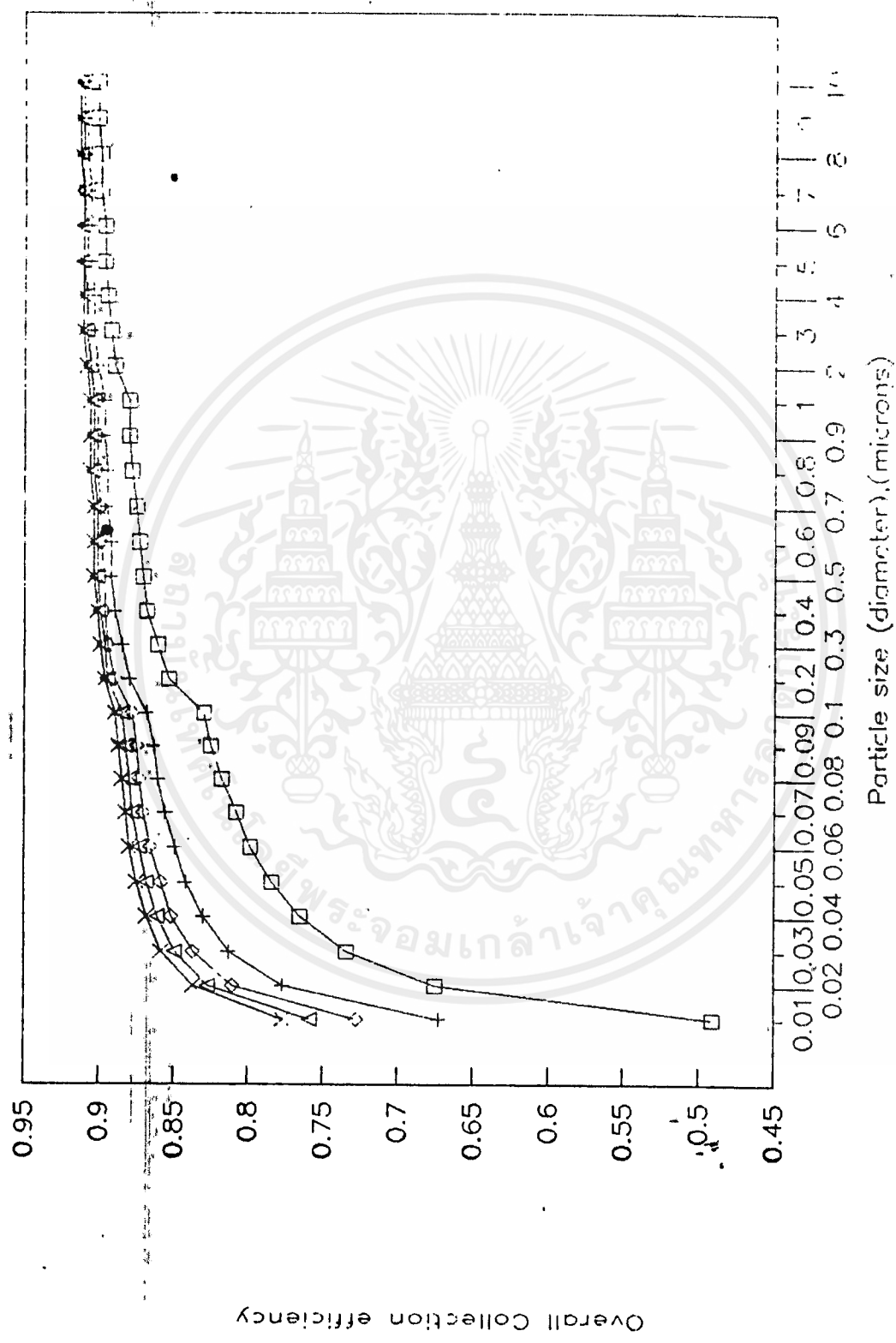
Particle Diameter Water Viscosity & Temperature

MUWATER (g/m sec)	1.5	1.6	1.7	1.7921	1.9	2
TAMBIENT (kelvin)	323.15	315.15	311.15	305.15	295.15	293.15
DIAPART (microns)						
0.01	0.1837	0.2361	0.279	0.3148	0.3601	0.3863
0.02	0.4984	0.5294	0.5532	0.5747	0.6009	0.6176
0.03	0.6009	0.6247	0.6414	0.6605	0.6796	0.6915
0.04	0.6534	0.6724	0.689	0.7034	0.7201	0.7296
0.05	0.6867	0.7034	0.7177	0.7296	0.7441	0.7535
0.06	0.7106	0.7273	0.7392	0.7487	0.763	0.7702
0.07	0.7273	0.7416	0.7535	0.763	0.7749	0.7845
0.08	0.7416	0.7559	0.7654	0.7749	0.7869	0.794
0.09	0.7535	0.7654	0.7749	0.7845	0.794	0.8012
0.1	0.763	0.7749	0.7845	0.7916	0.8012	0.8083
0.2	0.7988	0.8107	0.8179	0.825	0.8346	0.8393
0.3	0.8155	0.825	0.8322	0.8369	0.8441	0.8489
0.4	0.825	0.8322	0.8393	0.8465	0.8512	0.856
0.5	0.8322	0.8393	0.8465	0.8512	0.856	0.8608
0.6	0.8369	0.8441	0.8489	0.8536	0.8608	0.8632
0.7	0.8417	0.8489	0.8536	0.8584	0.8632	0.8655
0.8	0.8441	0.8512	0.856	0.8608	0.8655	0.8679
0.9	0.8465	0.8536	0.8584	0.8632	0.8679	0.8703
1	0.8489	0.856	0.8608	0.8655	0.8703	0.8727
2	0.8632	0.8679	0.8727	0.8751	0.8799	0.8822
3	0.8703	0.8751	0.8775	0.8822	0.8846	0.887
4	0.8751	0.8799	0.8822	0.8846	0.887	0.8894
5	0.8775	0.8822	0.8846	0.887	0.8894	0.8918
6	0.8799	0.8846	0.887	0.8894	0.8918	0.8942
7	0.8822	0.887	0.8894	0.8894	0.8918	0.8942
8	0.8846	0.8871	0.8894	0.8918	0.8942	0.8965
9	0.8846	0.8894	0.8918	0.8918	0.8942	0.8965
10	0.887	0.8894	0.8918	0.8942	0.8965	0.8965

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Particulate Collection Efficiency

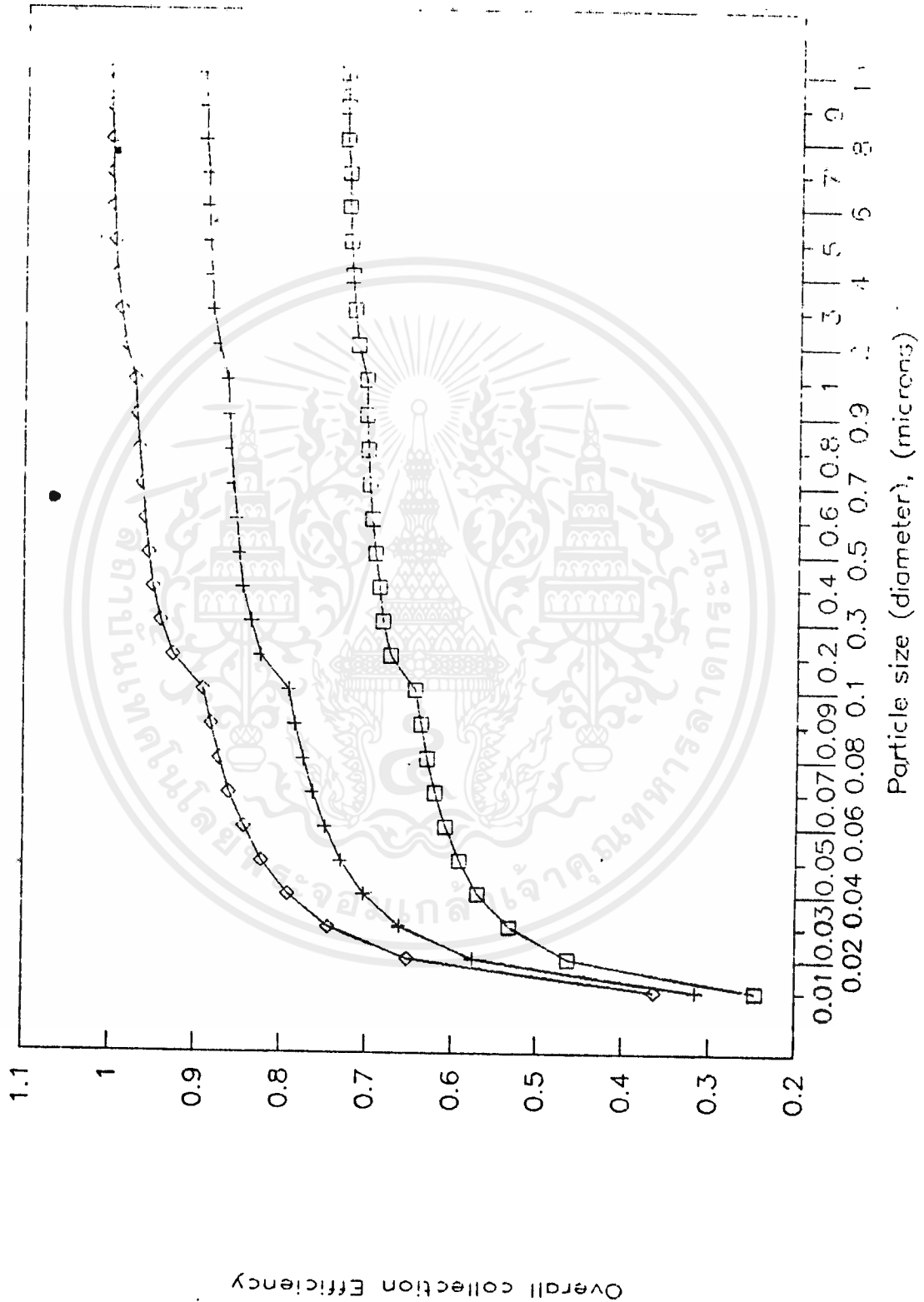
Particle density v.s. Particle diameter



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Particulate collection Efficiency

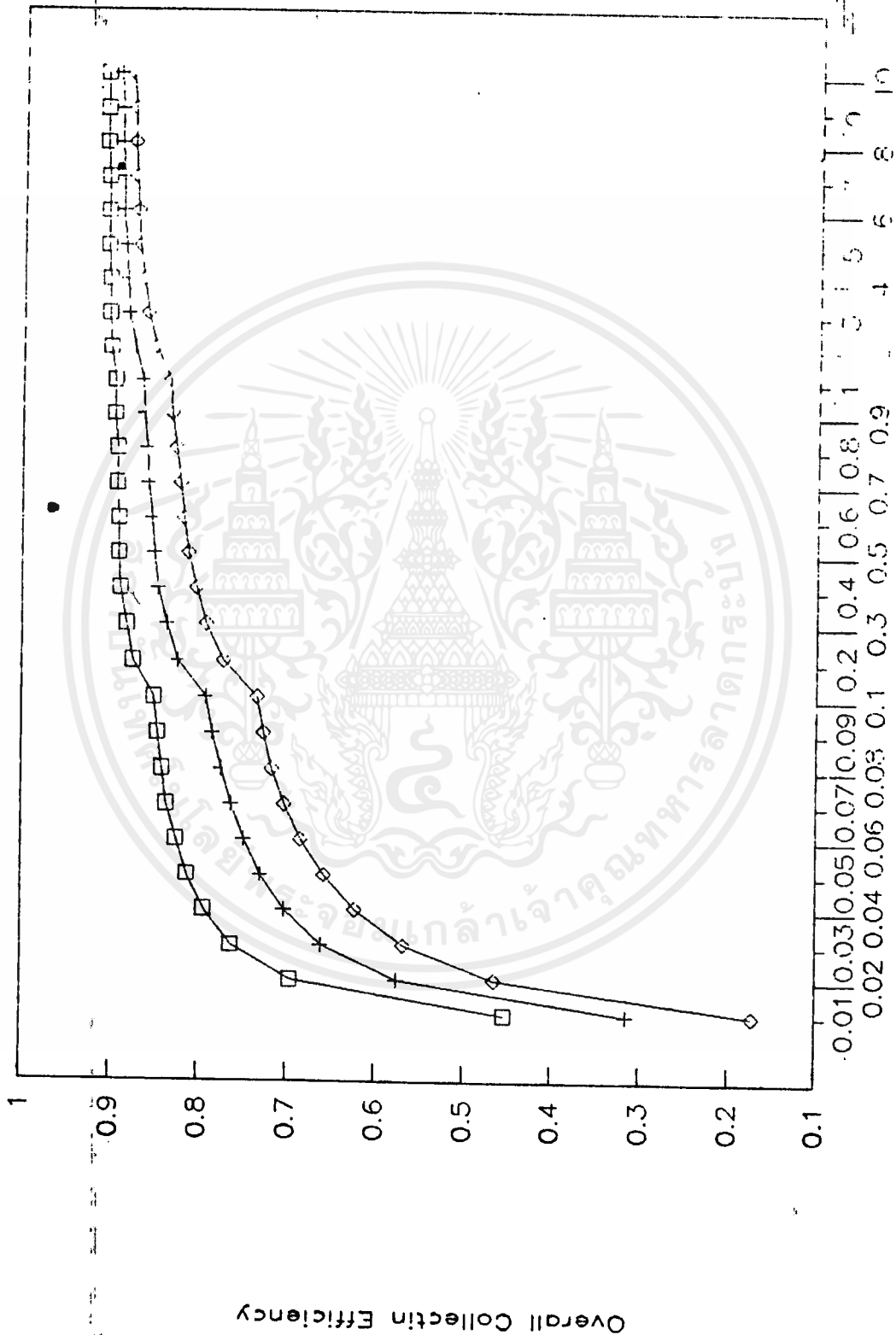
Particle diameter v.s. Tower's Height



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Particulate Collection Efficiency

Particle dia. v.s. Quantity of water



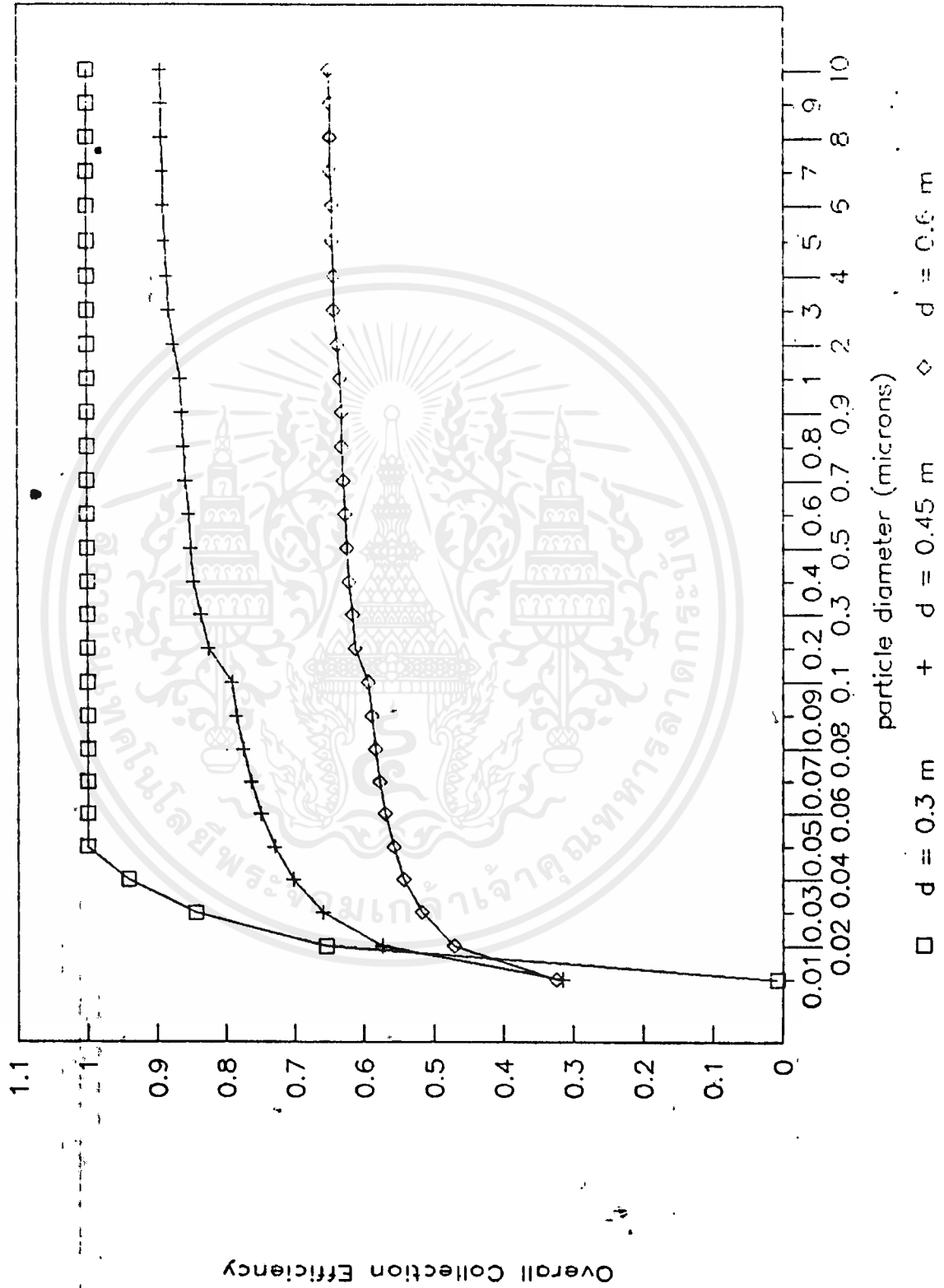
Particulate Diameter, (microns)

□ QW = 0.001 m³/s + QW = 0.00291 m³/s + QW = 0.005 m³/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Particulate Collection Efficiency

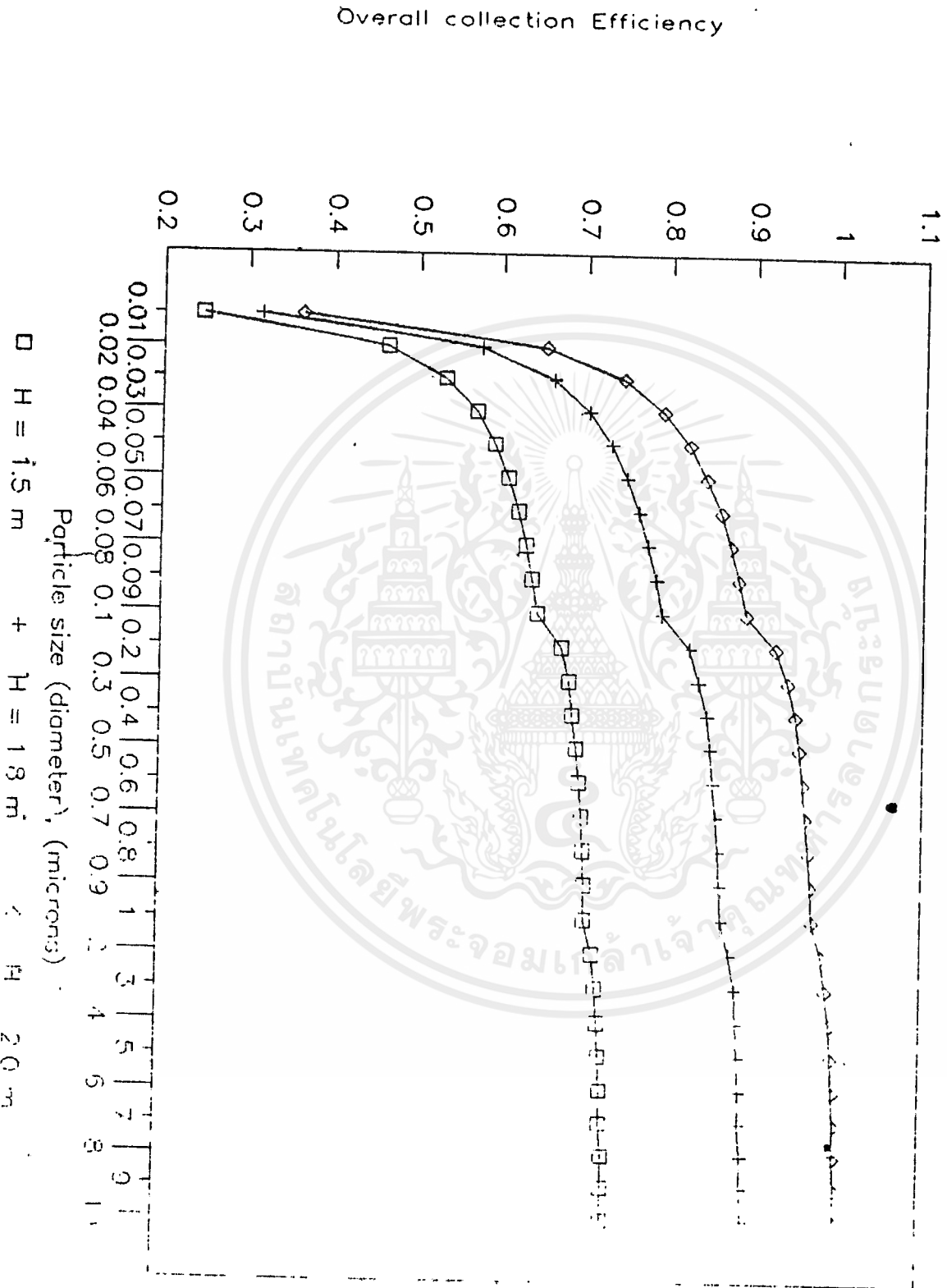
Particle diameter v.s. Tower Diameter



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Particulate collection Efficiency

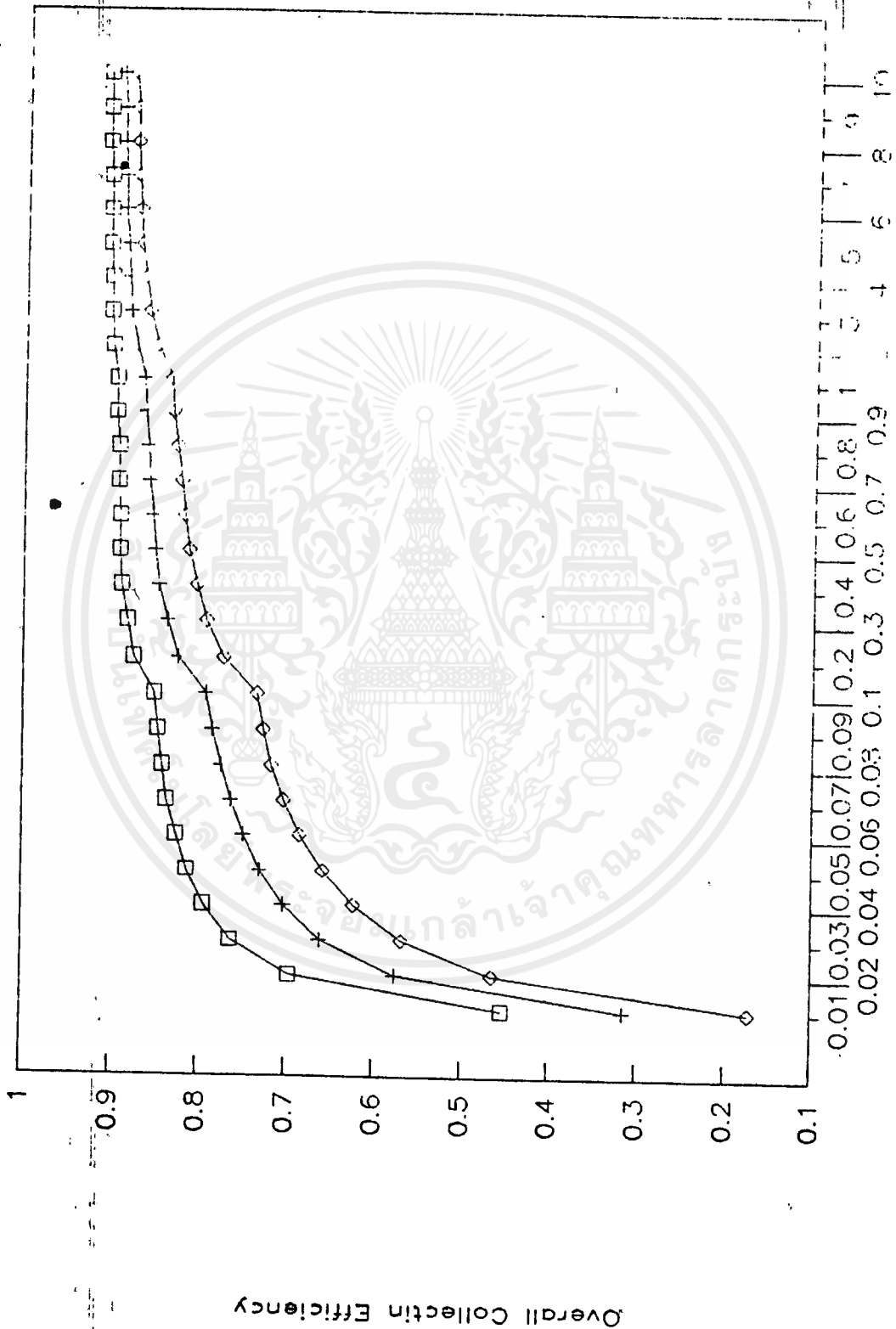
Particle diameter v.s. Tower's Height



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Particulate Collection Efficiency

Particle dia. v.s. Quantity of water



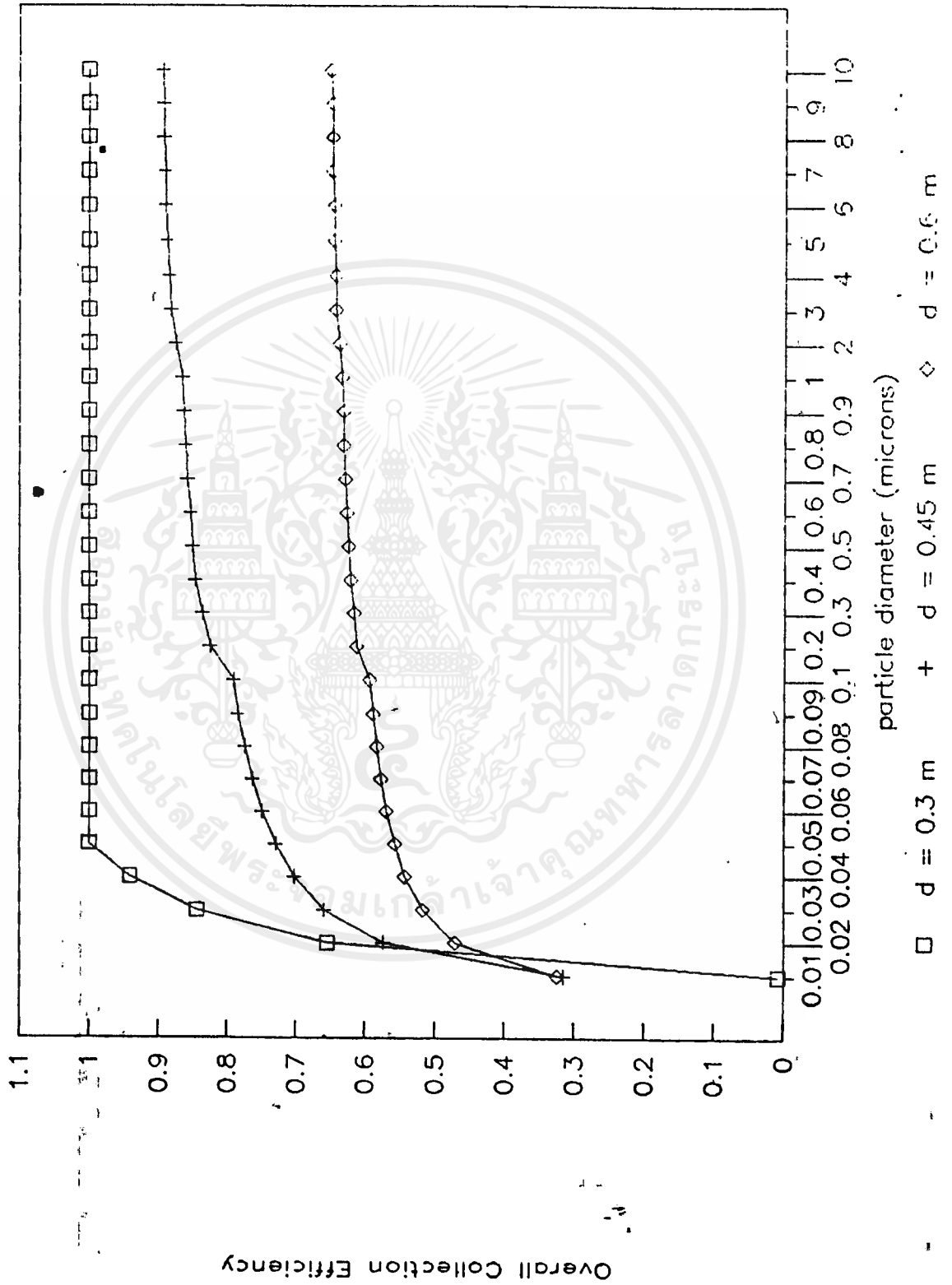
Particulate Diameter, (microns)

□ QW = 0.001 m³/s + OW = 0.00291 m³/s ◇ QW = 0.001 m³/s + OW = 0.005 m³/s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Particulate Collection Efficiency

Particle diameter v.s. Tower Diameter



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 8

การทดลองเพื่อสร้างเครื่องล้างอากาศด้วยน้ำ (Experiments for building Air Washer)

8.1 จุดประสงค์ (Objectives)

1. เพื่อที่จะควบคุมการปล่อยออก และลดผลของมลพิษในอากาศที่สำคัญ คือก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO), ไฮโดรคาร์บอนต่าง ๆ (HC) และก๊าซที่เป็นออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) โดยทั้งหมดพิจารณาเป็นในหน่วยของเปอร์เซ็นต์ของปริมาตร (โมล) ตั้งต้น

2. เพื่อที่จะพิจารณาการทำงานของเครื่องล้างอากาศจำลอง (performance) และคุณลักษณะต่าง ๆ เบื้องต้น ที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพ ในการทำงานของเครื่องล้างอากาศ (Characteristics) ซึ่งก็คือ

- ปริมาตรหอล้าง (volume of spray chamber)
- อัตราการไหล (CFM- Cubic Foot per Minute (volume flow rate))
- ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst type)
- ชนิดของหัวฉีด (nozzle type)
- อัตราส่วนของส่วนผสมของสารตั้งต้น (ratio of inlet gas mixture)

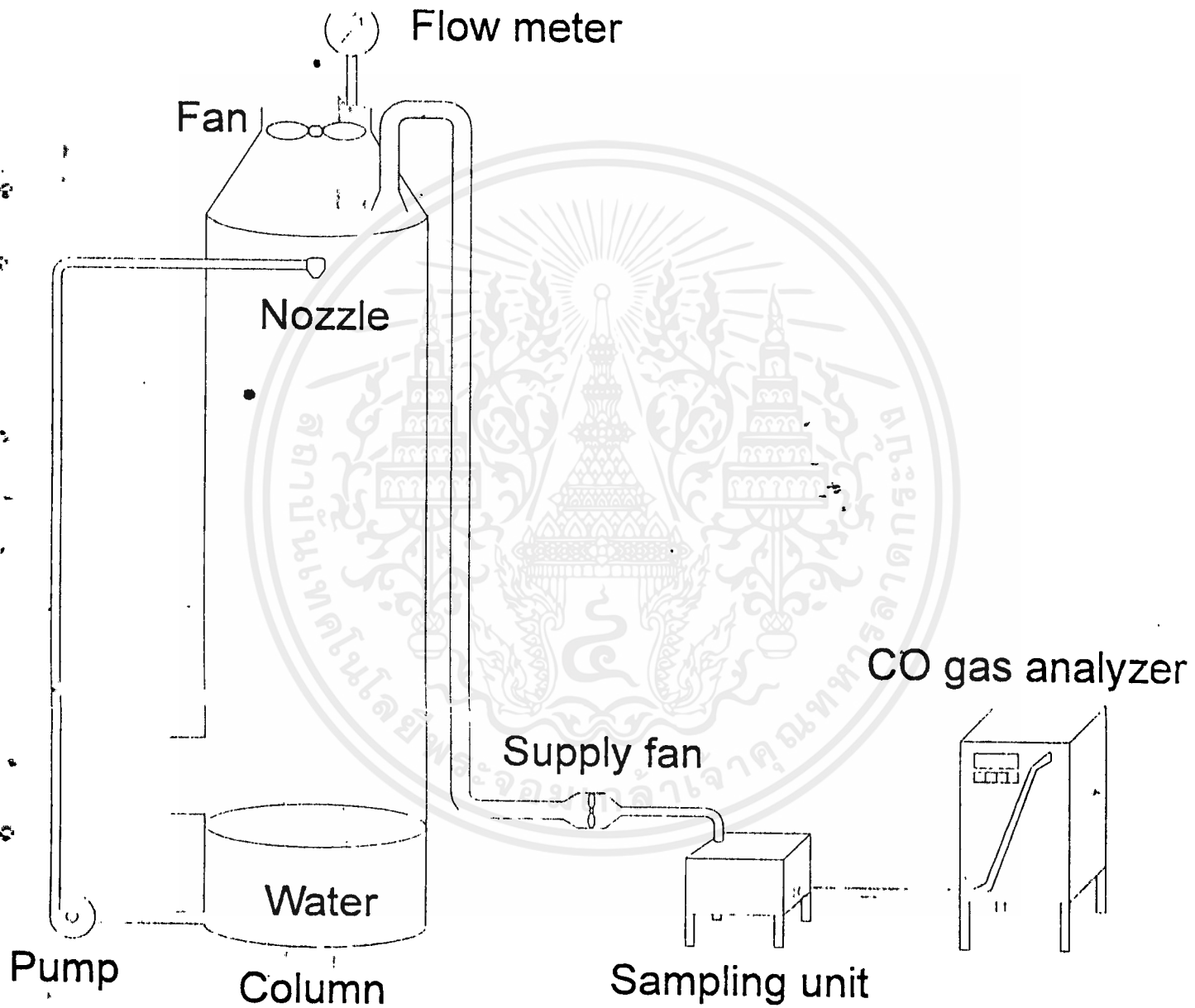
โดยทั้งหมดพิจารณาเป็นประสิทธิภาพของเครื่องล้างอากาศจำลอง ให้จุดที่สามารถลดสารได้ดีที่สุดเป็นเกณฑ์ที่ 100% และพิจารณาหาจุดทำงานดังกล่าว โดยอาศัยวิธีการทางคณิตศาสตร์ (การวิเคราะห์เชิงตัวเลข) เข้ามาช่วยพิจารณา

8.2 วัสดุอุปกรณ์ (Equipments)

1. เครื่องล้างอากาศจำลอง (Air washer model) และอุปกรณ์สนับสนุนต่าง ๆ ได้แก่

- เครื่องสูบน้ำแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal pump)
- เครื่องแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง (A/D Converter)

รูปที่ 8.1 แสดงลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ บนเครื่องลดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ด้วยน้ำแบบอัตโนมัติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ อัตราการไหล และความชื้นต่าง ๆ (Transducers)
(ดูรูปร่างแบบ และรูปที่ได้ออกแบบ 3 มิติไว้ประกอบ)

2. เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ (Gas Analyzer) ของ Shimadzu รุ่น URA-107 ซึ่งเป็น
เครื่องวิเคราะห์ก๊าซโดยใช้รังสีอินฟราเรด (Infrared Gas Analyzer)

3. เครื่องสุ่มตัวอย่างก๊าซ (Gas Sampling Unit) ของ Shimadzu รุ่น CFP-302

4. ต้นกำเนิดควันเสีย (Emissioner) เช่น เครื่องยนต์ดีเซล, จักรยานยนต์ที่มีเครื่อง
ยนต์ 2 จังหวะ ฯลฯ ซึ่งในการทดลองนี้ใช้ รถจักรยานยนต์ 4 จังหวะ ยี่ห้อ Kawasaki
Sunny Family , รถยนต์ Ford laser ปี 1990 และรถยนต์ Toyota Crown ปี 1983 เป็น
Emissioners

5. ระบบท่อทางต่าง ๆ (piping and connections)

6. น้ำ, สารเคมีลดความชื้นซิลิกาเจล (Silica gel) และสารเคมีเร่งปฏิกิริยาต่าง ๆ
ซึ่งในที่นี้ใช้ เฟอร์ริกออกไซด์ (Ferric Oxide, Fe_2O_3) และโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์
(Potassium Hydroxide, KOH) 2 ชนิดเท่านั้น

7. เครื่องวัดความเร็วลม (Air Flow meter)

8.3 วิธีการทดลอง (Experimental Methods)

1. ตรวจสอบความเรียบร้อยของเครื่องมือต่าง ๆ , ปรับแต่ง (calibration) และจัด
เครื่องมือและชุดทดลอง ตั้งค่าศูนย์ (Adjust Zero) ที่เครื่องวิเคราะห์ก๊าซ (ทำทุกครั้งที่ก่อน
การวัดครั้งใหม่ใด ๆ)

2. บันทึกค่าต่าง ๆ ของสภาวะเริ่มต้น สภาวะของสิ่งแวดล้อม อุณหภูมิ ความดัน ความชื้น
วัน เวลา สถานที่ ผู้ทำการทดลอง ค่าแก้ไขของข้อมูล (offsets)

3. เดินเครื่องล้างอากาศจำลอง ระวางการรั่วไหลที่จุดต่อต่าง ๆ และก่อนเริ่มการทำงานต่อไป ให้สวมหน้ากากป้องกันควันพิษเสียก่อน เพื่อสุขภาพของผู้ทำการทดลอง
4. ให้ต้นกำเนิดควันเสียทำงานที่ในสภาวะที่ควบคุมการปล่อยควันได้ และเดินเครื่องที่รอบและสภาวะการทำงานคงที่เดียวกันตลอด
5. บันทึก ความเข้มข้นหรือปริมาตร อุณหภูมิ ความชื้น และความดัน ของอากาศหรือควันเสียที่ทางเข้า ถ้าเป็นไปได้วัดอัตราส่วนส่วนผสมด้วย เพื่อใช้เป็นค่าเปรียบเทียบ
6. เลือกชนิดของหัวฉีด สารเร่งปฏิกิริยา และคอยเปลี่ยนความสูงของหัวฉีด (ปริมาตรของห้องล้าง) และอัตราการไหล เพื่อใช้เป็นข้อมูลสภาวะทำงาน
7. เลือก ปรับ และตั้งค่าแรงดันไฟฟ้าของลมดูด ทั้งที่ทางออกเครื่องล้างอากาศ และที่ทางเข้าเครื่องลุ่มตัวอย่างก๊าซ ให้ความเร็วสอดคล้องกัน และความดันทุกการทดลองเท่ากัน เพื่อให้ตัวอย่างอากาศ สามารถไหลเข้าเครื่องลุ่มตัวอย่างและเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ ได้อย่างเต็มที่เพื่อความถูกต้องแม่นยำของข้อมูลด้วย และควรตั้งไว้ให้เป็นค่าคงที่สำหรับสภาวะเริ่มต้นต่าง ๆ เพื่อเปรียบเทียบ
8. เลือกการทำงานเป็นชุด คือชุดแรกเมื่อเปลี่ยนหัวฉีดใหม่ ตัวแปรอื่น ๆ คงเดิมและเปลี่ยนความสูงและอัตราการไหลต่อไป จะได้ข้อมูลมาใช้พิจารณาในเรื่องของหัวฉีด และชุดหลังคือเมื่อเปลี่ยนสารเร่งปฏิกิริยา จะได้ข้อมูลมาใช้พิจารณาในเรื่องของสารเคมี
9. หมายเหตุงาน บันทึกข้อมูลต่าง ๆ ทุกชนิดเท่าที่เป็นไปได้ เช่น อุณหภูมิ ลี ฯลฯ และรักษาระดับของสารเคมีให้คงที่ เติม made-up agent ถ้าจำเป็น
10. หลังจากที่ได้ผลการทดลองแล้วนำมาวิเคราะห์ โดยเขียนกราฟต่าง ๆ และนำเอาการวิเคราะห์เชิงตัวเลขเข้ามาช่วยประกอบ หาจุดทำงานและจุดออกแบบที่ดีที่สุดทางกายภาพ (Physical optimum design and working points)

8.4 ผลการทดลอง (Experimental Data)

ในการทดลองโมเดลเครื่องล้างอวกาศแบบใช้น้ำนี้ เราได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ครั้ง เป็น 4 ตัวแปร คือ ชนิดของหัวฉีด ขนาดห้อง ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา ความเข้มข้นของตัวเร่งปฏิกิริยา ตัวแปรแรกได้พบว่า ชนิดหัวฉีดแบบWhirlJet หรือแบบฉีดทรงกระบอก จะมีความสามารถในการชำระล้าง ปฏิบัติการได้ดีกว่าแบบ Fullcone หรือแบบฉีดเต็มพื้นที่มากกว่า เพราะแบบ Fullcone เรากล่าวได้ว่าไม่ได้ช่วยชำระล้างดีขึ้นแต่อย่างใด (%CO reduction < 1.0)

ส่วนผลการทดลองที่ได้จากตัวแปรที่เหลืออีก 3 ตัว สามารถหาได้จากรายและแผนภูมิหน้าถัดไป ซึ่งขนาดของห้องนั้นจะเปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างหัวฉีดกับทางเข้าของก๊าซ (ความสูง) เท่านั้น

(โปรดดูแผนภูมิและรูปภาพต่าง ๆ ประกอบ)



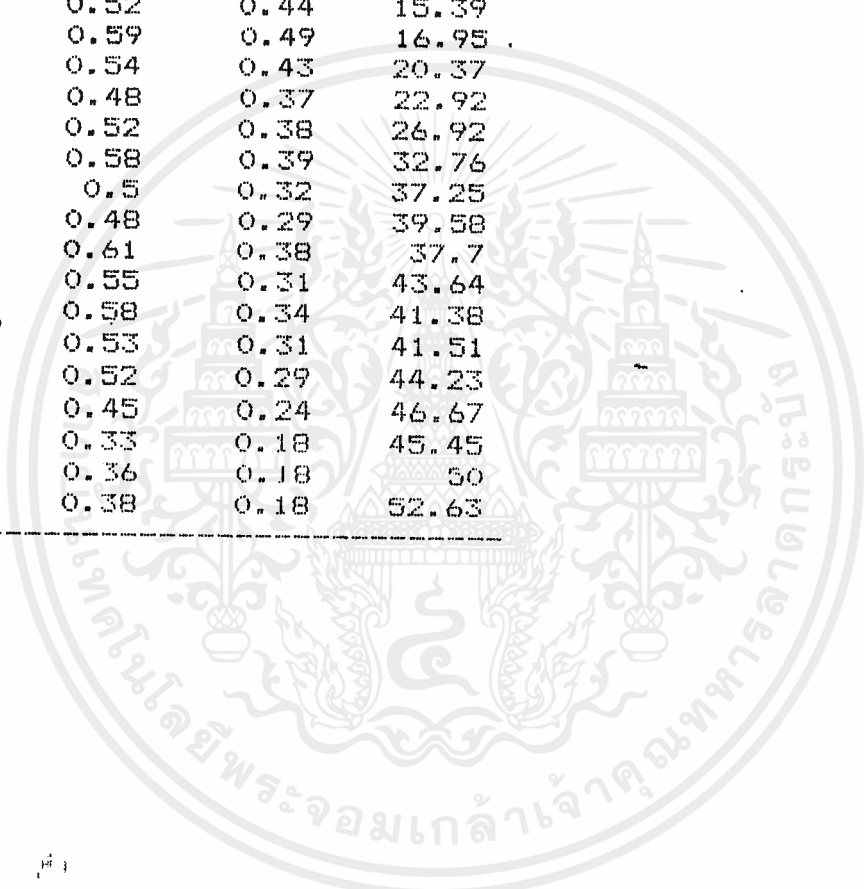
EXPERIMENTAL DATA

Height	Pure water			Water with Fe ₂ O ₃		
	% vol CO approx. inlet	% vol CO approx. outlet	% Reduc.	% vol CO approx. inlet	% vol CO approx. outlet	% Reduc.
0	0.43	0.42	2.33	0.61	0.59	3.28
10	0.52	0.51	1.92	0.55	0.52	3.64
20	0.49	0.47	1.68	0.54	0.5	5.56
30	0.55	0.53	3.64	0.36	0.32	11.11
40	0.46	0.44	4.35	0.48	0.44	8.33
50	0.48	0.47	2.08	0.53	0.48	9.43
60	0.51	0.49	3.92	0.63	0.57	9.52
70	0.45	0.44	2.22	0.64	0.55	14.06
80	0.43	0.42	2.33	0.66	0.56	15.15
90	0.55	0.53	3.64	0.45	0.37	17.78
100	0.53	0.51	3.77	0.48	0.36	25
110	0.54	0.51	3.55	0.56	0.42	25
120	0.59	0.57	3.51	0.48	0.33	31.25
130	0.61	0.58	4.92	0.47	0.31	30.04
140	0.54	0.51	5.55	0.46	0.28	39.13
150	0.48	0.44	8.33	0.46	0.25	45.65
160	0.52	0.47	9.62	0.45	0.24	46.67
170	0.48	0.41	14.58	0.48	0.22	54.17
180	0.55	0.48	12.73	0.38	0.17	55.26
190	0.52	0.43	17.31	0.35	0.13	62.86
200	0.59	0.46	22.03	0.31	0.11	64.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EXPERIMENTAL DATA

Height	Water with KOH		% Reduc.
	% vol CO approx. inlet	outlet	
0	0.5	0.46	8
10	0.47	0.42	4.64
20	0.52	0.46	11.54
30	0.53	0.45	15.09
40	0.52	0.44	15.39
50	0.59	0.49	16.95
60	0.54	0.43	20.37
70	0.48	0.37	22.92
80	0.52	0.38	26.92
90	0.58	0.39	32.76
100	0.5	0.32	37.25
110	0.48	0.29	39.58
120	0.61	0.38	37.7
130	0.55	0.31	43.64
140	0.58	0.34	41.38
150	0.53	0.31	41.51
160	0.52	0.29	44.23
170	0.45	0.24	46.67
180	0.33	0.18	45.45
190	0.36	0.18	50
200	0.38	0.18	52.63



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 9

สรุปผล ปัญหาการทดลอง และแนวทางในการพัฒนา (Conclusion Problems and Development)

9.1 สรุปผลการทดลอง (Conclusion from Experiments)

1. ชนิดของหัวฉีดแบบทรงกรวย (Whirljet) จะมีความสามารถในการลดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ดีกว่าแบบฉีดเต็มพื้นที่ (Fullcone) มากกว่ามาก
2. ตัวเร่งปฏิกิริยามีส่วนช่วยอย่างมากและเห็นได้ชัด ในการชะล้างอากาศ
3. ตัวเร่งปฏิกิริยาเฟอร์ริกออกไซด์ Fe_2O_3 มีประสิทธิภาพต่ำกว่า ตัวเร่งปฏิกิริยาโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ KOH ในช่วงแรกคือ 0-143 cms และจะสูงกว่าในช่วง 143 cms ขึ้นไป และจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าในช่วง 143 cms ขึ้นไป
4. จุดออกแบที่ได้จากการทดลอง (Optimum operation point) จะใช้ค่า H/D เท่ากับ 4.5 เมื่อ H เป็นความสูงของหอล้าง และ D เป็นความกว้างของหอล้าง ใช้เฟอร์ริก (III) ออกไซด์ (Fe_2O_3) ความเข้มข้น 0.7 โมล/ลิตร เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

9.2 สรุปผลจากการคำนวณทางทฤษฎี (Conclusion from Theoretical Calculation)

สำหรับข้อมูลต่าง ๆ ที่มิช้ในการคำนวณ จะได้จากการวัดโดยตรง ค่าคงที่บางตัวจะนำมาจากภาคผนวก ส่วนข้อมูลของเครื่องล้างอากาศก็จะนำมาจากสรุปผลการทดลอง

จากข้อมูลทั้งหมดสรุปได้ว่า

1. การนำเอาเครื่องล้างอากาศด้วยน้ำที่ออกแบบสำหรับลดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ มาใช้ในการบำบัดฝุ่นจะมีประสิทธิภาพสูงมาก โดยถ้าใช้ฝุ่นขนาด 0.1 ไมครอน เป็นเกณฑ์จะสา

มารรถได้มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์

2. ของเหลวหรือน้ำที่มีความหนืดสูงทำให้มีประสิทธิภาพในการลดฝุ่นมากขึ้น
3. ฝุ่นที่มีขนาดใหญ่ หรือมีความหนาแน่นมากทำให้มีประสิทธิภาพในการลดฝุ่นมากขึ้น
4. ฝุ่นที่วิ่งเข้าเครื่องล้างอากาศด้วยความเร็วสูงจะมีประสิทธิภาพในการลดฝุ่นมากขึ้น
5. ค่า H/D ที่สูงขึ้นทำให้ประสิทธิภาพในการลดฝุ่นมากขึ้น

9.3 ปัญหาการทดลอง (Problems from the experiment)

1. การวัดค่า CO ด้วยเครื่อง gas Analyzer ทำได้ช้า สาเหตุจากท่อทางเข้าเครื่อง มีขนาดเล็กมาก และระยะห่างระหว่าง ยอดทาวเวอร์ กับเครื่องมีความสูงมากพอสมควร ใช้วิธีการแก้ไขโดย ติดตั้งท่อตัดเอาอากาศเพียงบางส่วนจากยอดทาวเวอร์ ขนาด 1.5 นิ้ว มาเข้าพัดลมดูด (blower) ก่อนที่จะเข้า sampling unit ทำให้อากาศที่เข้าเครื่องมีปริมาณที่มากขึ้น
2. ปริมาณ CO ที่วัดได้หลังจากการฉีดน้ำ บางครั้งสูงกว่าก่อนฉีดน้ำ เนื่องจากหลังการฉีดน้ำแล้ว จะเกิดความดันทิศทางสวนกับที่พัดลมดูดขึ้นไป (backup pressure) ทำให้อัตราการไหลของก๊าซที่ออกไปจากเครื่องลดลง หนีไปเข้าท่อตัดอากาศไป sampling unit แทน ความเข้มข้นของก๊าซจึงเพิ่มขึ้น มีวิธีการแก้ไขคือ ปรับความเร็วรอบของพัดลม ก่อนและหลังฉีดน้ำให้เหมาะสม โดยใช้ flow meter วัดอัตราการไหลของก๊าซ ที่ทางออกของทาวเวอร์ทั้งก่อนและหลังฉีดน้ำให้คงที่
3. ก๊าซที่ใส่เข้าเครื่องทดสอบมีความเข้มข้นของ CO มีในปริมาณที่ไม่คงที่ เนื่องจากใช้เครื่องยนต์ยานยนต์เป็นต้นกำเนิด ซึ่งรอบเครื่องยนต์ไม่คงที่
4. ก๊าซที่ใส่เข้าเครื่องทดสอบมีความเข้มข้นของ CO มีน้อยเกินไป สาเหตุเนื่อง

จากความเร็วของพัดลมที่ใช้ดูดก๊าซเร็วเกินไป , ปริมาณก๊าซที่ออกจากท่อไอเสียน้อย และความเข้มข้นของ CO ที่ออกจากท่อไอเสียมีปริมาณน้อยอยู่แล้ว

9.4 การพัฒนาในอนาคต (Future Development)

1. จากการทดลองที่ได้ ค่าที่เหมาะสมในการนำมาออกแบบทาวเวอร์ คือ $H/D = 4.5$
2. นำค่าที่ได้ ไปสร้างทาวเวอร์ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 cms และสูง 225 cms
3. สร้างเครื่องล้างอากาศโดยใช้น้ำอัตโนมัติ (Automatic Air washer) อาศัยข้อมูลที่ได้ดังกล่าว โดยมีวิธีการควบคุมแบบเปิดปิด (On-off controlling) ที่ปั๊มและพัดลม ซึ่งมี CO sensor เป็นตัวควบคุม
4. วิเคราะห์การชะล้างที่นอกเหนือจาก CO ออกไปเป็นสารชนิดอื่น ๆ เช่น NO_x , Hydrocarbon, และฝุ่นละอองต่าง ๆ ตามที่กล่าวไว้ในทฤษฎีเครื่องล้างอากาศแบบใช้น้ำ

บทที่ 10

ระบบควบคุมการลดคาร์บอนนอกไซด์แบบอัตโนมัติ The Automatic Control Circuit of the Air Washer

จากผลการทดลองที่ได้จึงได้มีการสร้างเครื่องลดก๊าซคาร์บอนนอกไซด์ (CO) ขนาดดังที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยมีติดตั้งระบบควบคุมการลด CO เข้าไปด้วย ซึ่งจะกำหนดการทำงานของเครื่องคือ ถ้าสมิปริมาณ CO ในอากาศมากกว่ากำหนด เครื่องจะทำงานทันที และหลังจากที่เครื่องลด CO จนต่ำกว่าระดับที่กำหนดแล้ว เครื่องก็จะหยุดการทำงานโดยอัตโนมัติ

ระบบควบคุมที่ใช้เป็นแบบเปิด/ปิด มีรายละเอียดการทำงานดังนี้

1. จากรูปที่ 12.1 เซนเซอร์ HG20 ตรวจจับ CO ในอากาศที่เกินค่าที่ตั้งไว้ได้ จึงทำให้แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง (6 โวลท์) จ่ายไฟให้รีเลย์ 1. ได้
2. เมื่อมีไฟเลี้ยงรีเลย์ 1 แมกเนติกคอนแทรกเตอร์ก็จะทำงาน วงจรปั๊มพัดลมดูดอากาศครบวงจร การฉีดน้ำเพื่อบำบัด CO ก็เริ่มดำเนินขึ้น
3. หลังจาก CO ถูกลดลงไปถึงระดับหนึ่งที่ตั้งไว้ HG20 จะทำให้วงจรของรีเลย์ 1 เปิด แมกเนติกคอนแทรกเตอร์จึงกลับอยู่ในสภาพเดิมเพราะไม่มีไฟเลี้ยง ปั๊มและพัดลมดูดอากาศก็จะหยุดทำงานด้วย

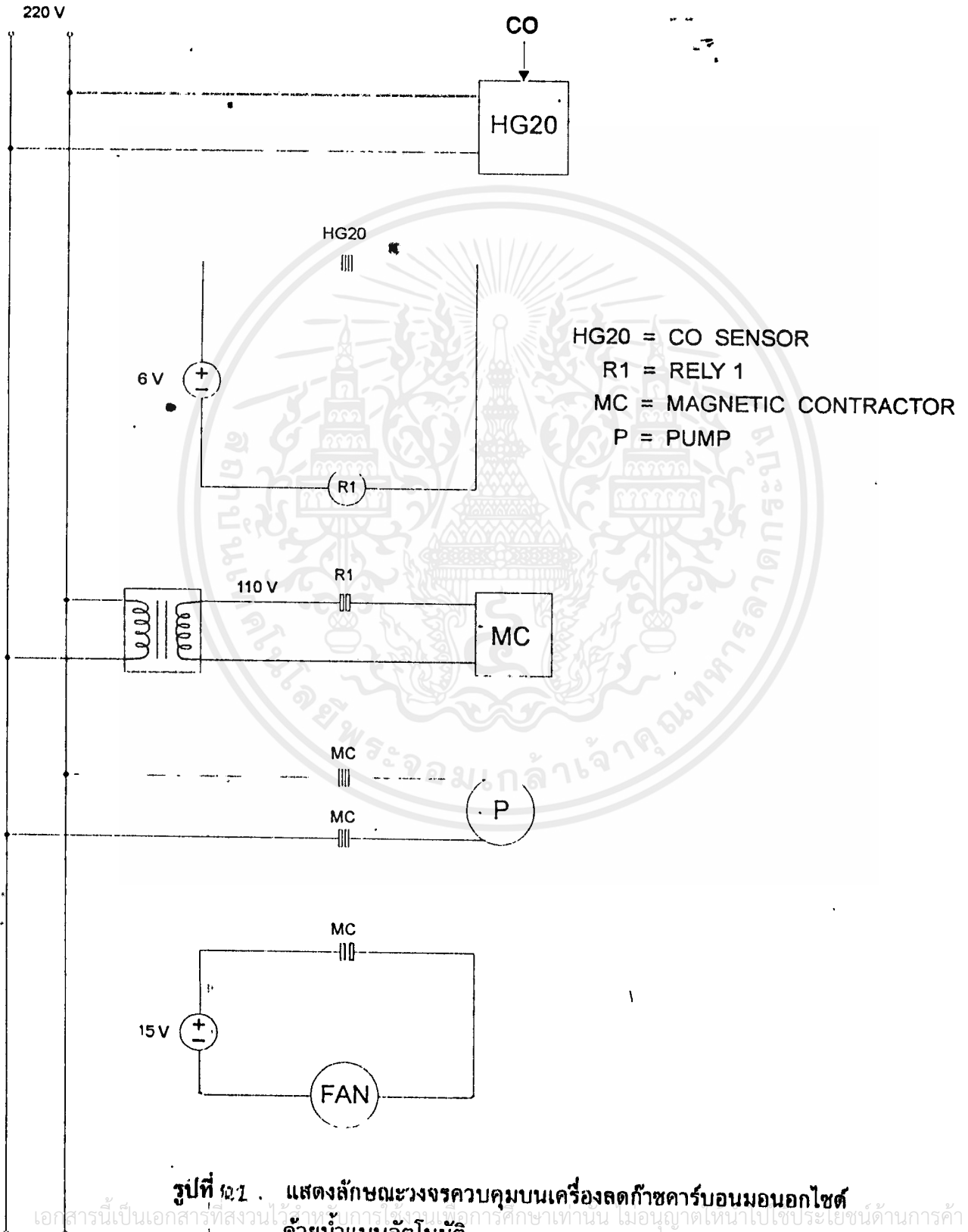
สำหรับรายละเอียดของอุปกรณ์ควบคุมสามารถดูได้จากเอกสารประกอบในภาคผนวก และสำหรับเซนเซอร์ CO ที่ใช้งานนี้ สามารถตั้งค่าได้ 5 ระดับ มาก/น้อยต่างกัน ทำให้เราสามารถตั้งความไวในการตรวจจับได้ 5 ระดับ ช้า/เร็วต่างกันด้วย

```

10 REM solving spray tower 's gaseous pollutant removal efficiency
20 CLS : KEY OFF : LOCATE 2,14 : PRINT "SOLVING SPRAY TOWER'S GASEOUS POLLUTANT
REMOVAL EFFICIENCY"
30 PRINT : PRINT "      This program is used for evaluating Spray tower Gaseous
Pollutant Removal efficiency. It is developed in HBASIC language, as a part of
AIR WASHER project of 4th yr M.E. students, KMIT'L."
40 LOCATE ,45 : PRINT "Sutthiphong Srigrarom 33100429"
50 LOCATE ,45 : PRINT "Panurat Dumrongthai 33100285"
60 LOCATE ,45 : PRINT "Sayam Sanganrum 33100403"
70 LOCATE ,47 : PRINT "4th year M.E. students, KMIT'L"
80 REM declaration and input data
90 PRINT : PRINT " (This program we input various characteristic and size variab
les, and vary dust diameter for evaluation of overall efficiency of spray tower
in collecting dust of that size)"
100 PRINT : INPUT "press any key to continue";Q : CLS : PRINT "INPUT STAGE" : PR
INT
110 INPUT "input inlet temperature (celcius,'c) please ";TEMPIN :
120 INPUT "input outlet temperature (celcius,'c) please ";TEMPOUT
130 INPUT "input concentration of A in gas phase at inlet (lb moles/ft^3) please
";CAGIN
140 INPUT "input concentration of A in liquid phase at inlet (lb moles/ft^3) ple
ase ";CALIN
150 INPUT "input concentration reduction percentage (%) please ";PCNREDUC
160 INPUT "input tower 's diameter (ft) please ";DIATOWER
170 INPUT "input tower 's height (ft) please ";HIGTOWER
180 INPUT "input water volume flow rate (m^3/sec) please ";QTYWATER
190 INPUT "input air volume flow rate (m^3/sec) please ";QTYAIR
200 INPUT "input molecular weight of solvent A (-) please ";MA
210 INPUT "input molecular weight of solute B (-) please ";MB
220 LET CAGOUT = (1-PCNREDUC)*CAGIN
230 LET RHOWATER = 999870! : REM find sprayed water diameter
240 LET NOZAREA = .00000025#
250 LET FANAREA = .0294524311#
260 LET SURFTENS = 72.8#
270 LET VELAIR = QTYAIR/FANAREA
280 LET VELWATER = QTYWATER/NOZAREA
290 LET DIAWATER = ABS(((585!/(VELAIR-VELWATER))*SQR(SURFTENS/RHOWATER)+((MUWATE
R/(SURFTENS*RHOWATER))^45)*(((1000!*QTYWATER)/QTYAIR)^1,5))^3.2804#)
300 LET MUWATER = 1#
310 LET TG = .5# : LET TL = .01#
320 CLS : PRINT "DECLARATION ,WHEN ALL VARIABLES ARE THE FOLLOWINGS" : PRINT
330 PRINT "inlet temperature = ";TEMPIN;" celcius"
340 PRINT "outlet temperature = ";TEMPOUT;" celcius"
350 PRINT "conc. of A in gas at inlet = ";CAGIN;" lb moles/(ft^3)"
360 PRINT "conc. of A in gas at outlet = ";CAGOUT;" lb moles/(ft^3)"
370 PRINT "conc. of A in liquid at inlet = ";CALIN;" lb moles/(ft^3)"
380 PRINT "tower diameter = ";DIATOWER;" ft"
390 PRINT "tower height = ";HIGTOWER;" ft"
400 PRINT "water density = ";RHOWATER;" g/m^3"
410 PRINT "water surface tension = ";SURFTENS;" erg/cm"
420 PRINT "velocity of air = ";VELAIR;" m/s"
430 PRINT "sprayed water droplet diameter = ";DIAWATER;" ft"
440 PRINT "molecular weight of solvent A = ";MA
450 PRINT "molecular weight of solute B = ";MB

```

THE AUTOMATIC CONTROL CIRCUIT OF THE AIR WASHER



รูปที่ ๑๒.1 . แสดงลักษณะวงจรควบคุมบนเครื่องสกัดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ด้ว้หน้าแบบอัตโนมัติ
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 11

การทำนายอัตราการดูดซับสารมลภาวะทางอากาศด้วยคอมพิวเตอร์ (Prediction of Gaseous Air Pollutant Removal by Computer)

(โปรดพิจารณาโปรแกรม 2 ในหน้าถัดไปประกอบด้วย)

จากทฤษฎีการกำจัดก๊าซมลภาวะ (Gaseous Pollutant Removal Theory) ที่กล่าวมาข้างต้นนั้น เราสามารถนำมาเขียนขั้นตอนการการคำนวณ เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ โดยที่เราจะให้ค่าตัวแปรต่าง ๆ เท่าที่จำเป็น ซึ่งหนึ่งในจำนวนตัวแปรเหล่านั้นมี ค่าความเข้มข้นที่ทางเข้า และอัตราการลดลงของก๊าซ ซึ่งค่าทั้งสองนี้จะได้มาจากการทดลอง เป็นผลสืบเนื่องนำมาคำนวณหาอัตราการดูดซับที่สถานะหนึ่ง ๆ ได้ สำหรับรายละเอียดขั้นตอนปลีกย่อยต่าง ๆ มีดังนี้

1. หลังจากการประกาศโปรแกรมแล้ว เป็นการให้ค่าตัวแปรต่าง ๆ (input) ซึ่งมีดังนี้
 - inlet temperature เป็นอุณหภูมิของอากาศที่ทางเข้าอุปกรณ์ หน่วยเป็นอุณหภูมิเซลเซียส
 - outlet temperature เป็นอุณหภูมิของอากาศที่ทางออกอุปกรณ์ หน่วยเป็นอุณหภูมิเซลเซียส
 - Concentration of A in Gas phase at inlet เป็นปริมาณความเข้มข้นของสาร A (สารใด ๆ) ในสถานะก๊าซ และวัดที่ทางเข้าของอุปกรณ์ เป็นค่าที่ได้มาจากการทดลอง
 - Concentration of A in liquid phase at outlet เป็นปริมาณความเข้มข้นของสาร A (สารใด ๆ) ในสถานะก๊าซ และวัดที่ทางออกของอุปกรณ์ เป็นค่าที่ได้มาจากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Concentration reduction percentage เป็นอัตราการลดลงของก๊าซมลภาวะ
เปรียบเทียบที่ทางเข้าและทางออกในสภาวะก๊าซ เป็นค่าที่วัดได้จากการทดลอง

- Tower's diameter เป็นค่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของอุปกรณ์

- Tower height เป็นค่าขนาดความสูงของอุปกรณ์ทรงกระบอก

- water volumetric flow rate เป็นค่าอัตราการไหลของน้ำ (ที่ถือว่าเป็นสารละลาย
ที่จะเข้ามาทำการชะล้างในที่นี้ (solute B))

- air volume flow rate เป็นค่าอัตราการไหลของอากาศที่เข้ามาในอุปกรณ์ (ที่ถือ
ว่าเป็นสารที่ถูกละลายที่ถูกดูดเข้ามาและมีสารมลภาวะทางอากาศเจือปนอยู่ (solvent A))

- molecular weight of solvent A & solute B เป็นปริมาณมวลโมเลกุล
ของสารที่เป็นตัวถูกละลาย (สารมลภาวะอากาศที่ถูกดูดเข้ามาฟอกล้าง เช่น CO) และสารที่
เป็นตัวทำละลาย เช่นน้ำ ค่ามวลโมเลกุลนี้ หาได้จากภาคผนวก ตารางแสดงค่าต่าง ๆ

(บรรทัดที่ 10-90 เป็นการประกาศโปรแกรม บรรทัดที่ 100-210 ให้ค่าตัวแปรต่าง ๆ)

2. เมื่อเราได้ให้ค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้นเข้าไปเรียบร้อยแล้ว จะเป็นการ
กำหนดค่าคงที่สำหรับตัวแปรเฉพาะต่าง ๆ สำหรับใช้ในอุปกรณ์ล้างอากาศแบบใช้น้ำ (Spray
Tower) ดังที่มีใช้ในโครงการนี้

- Concentration of A in Gas phase at outlet เป็นปริมาณความเข้มข้น
ของสาร A (สารใด ๆ) ในสภาวะก๊าซ และวัดที่ทางออกของอุปกรณ์ เป็นค่าที่ได้มาจากการ
ทดลอง

- Water density เป็นค่าความหนาแน่นของน้ำ ในที่นี้ใช้ที่ค่าที่อุณหภูมิห้อง ที่ 25 °C
ซึ่งจะได้เท่ากับ 999.870 kg/(m³) ใช้สำหรับคำนวณหาขนาดของละอองน้ำที่ถูกฉีดพ่นออกมา
ผ่านหัวฉีด

- nozzle area & fan area เป็นค่าขนาดพื้นที่หน้าตัดของทางออกหัวฉีด และที่พัดลม ใช้สำหรับคำนวณหาขนาดของละอองน้ำที่ถูกฉีดพ่นออกมาผ่านหัวฉีดเช่นกัน

- water surface tension เป็นค่าความตึงผิวของน้ำ ใช้ที่อุณหภูมิ 25 °c

- air velocity & water velocity เป็นค่าความเร็วของอากาศและของน้ำ (ความเร็วของน้ำเป็นความเร็วขณะที่ถูกพ่นออกมาจากหัวฉีด)

- water diameter เป็นค่าขนาดของละอองน้ำ ที่ใช้คำนวณต่อในเรื่องของพื้นที่สัมผัสผิวจริงของปฏิกิริยา (actual reactive contact area)

- water viscosity เป็นค่าความหนืดของน้ำ คำนวณที่อุณหภูมิ 25 °c ใช้ในการคำนวณด้านการแพร่ของสาร

- contact time in Gas & in liquid เป็นค่าเวลาที่ผ่านและทำปฏิกิริยากัน (บรรทัดที่ 220-310 เป็นการกำหนดค่าให้กับตัวแปร)

สำหรับค่าต่าง ๆ ที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ถ้าหากต้องการใช้ที่ค่าอุณหภูมิอื่น หาค่าได้จากในภาคผนวก ที่ตารางกราฟค่าต่าง ๆ

เมื่อได้ประกาศโปรแกรมออกมาเรียบร้อยแล้ว จะเป็นขั้นตอนของการแสดงค่าต่าง ๆ ที่ได้ให้ค่าเข้าไป (บรรทัดที่ 320-490)

3. ขั้นตอนต่อมา เป็นขั้นตอนของการคำนวณตามทฤษฎีที่ได้อธิบายมาข้างต้น ซึ่งเราต้องการพยายามหา อัตราการดูดซับสารมวลภาวะที่สภาวะหนึ่ง ๆ (Rate of absorption NA) ตามกฎของการส่งถ่ายมวลสารที่สภาวะคงที่ (Steady-state Mass Transfer theory) ตามสมการที่ 5.24 ในทฤษฎี ที่ว่า

$$NA = K_g a_c (p_{AG} - p_{AL})_{in} \tag{5.24}$$

ดังนั้นจึงต้องหาค่า K_G, a_c, p_{AG}, p_{AL} ออกมาลำดับในการคำนวณหาค่าต่าง ๆ ดังกล่าวมีดังนี้

- คำนวณค่าคงที่ตามกฎของเฮนรี (Henry 's Law Const. ,H) ตามสมการที่ 5.20
- คำนวณค่าความดันย่อยของแต่ละสาร (Partial pressure) ตามกฎของดาลตัน หรือตามสมการที่ 5.14
- คำนวณค่าความแตกต่างความดันย่อยเฉลี่ยแบบลอการิทึม (Logarithmic mean pressure difference) ตามสมการที่ 5.25

ต่อไปจะเป็นการคำนวณเพื่อหาค่าของ a_c (Actual contact area) เป็นการคิดอัตราส่วนพื้นที่เมื่อเทียบกับอัตราส่วนปริมาตรของละอองน้ำในอุปกรณ์ นั่นคือคิดว่า หาปริมาณจำนวนละอองน้ำทั้งหมดที่มีอยู่ในอุปกรณ์ แล้วคูณด้วยพื้นที่ผิวของแต่ละละอองน้ำนั้น ซึ่งจำเป็นที่จะต้องหาค่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของละอองน้ำที่ได้หาค่ามาข้างต้น นำมาใช้ในการคำนวณด้วย

ต่อไปเป็นการคำนวณหาค่า Overall Mass Transfer Coefficient K_G ซึ่งจะ เป็นผลรวมของค่า Mass Transfer Coefficients 2 ค่า คือ k_G และ k_L ค่าทั้งสองคือค่าคงที่การส่งถ่ายมวลสารที่ยานของก๊าซ (Gas layer) และที่ยานของของเหลว (Liquid layer) ในอุปกรณ์ตามลำดับ ซึ่งจะรวมค่ากันตามแบบสมการที่ 5.16 สำหรับค่า k_G และ k_L ทั้งสองค่านี้หาได้จากสมการที่ 5.35 และ 5.36 ตามลำดับ

เมื่อได้ค่าต่าง ๆ ทั้งหมดแล้วจึงนำไปคำนวณหาอัตราการดูดซับสารตามที่กล่าวไว้ข้างต้น

- บรรทัดที่ 510-630 คำนวณค่า log-mean pressure difference $(p_{AG}-p_{AL})_{lm}$
- บรรทัดที่ 640-680 คำนวณค่า actual contact area a_c
- บรรทัดที่ 690-760 คำนวณค่า Overall Mass Transfer coefficient , K_G
- บรรทัดที่ 770-860 คำนวณค่า rate of absorption NA แสดงผล และประกาศสิ้นสุดโปรแกรม)

116

```

160 PRINT "water viscosity = ";MUWATER;" centipoise"
170 PRINT "contact time in gas phase = ";TG;" sec"
180 PRINT "contact time in liquid phase = ";TL;" sec"
190 INPUT Q
200 REM calculation stage and result printing stage
210 CLS : PRINT "CALCULATION DATA" : PRINT
220 LET HAGIN = 263*TEMPIN + 10100 : REM find log mean pressure diff.(PLOGMN)
230 LET HAGOUT = 263*TEMPOUT + 10100
240 LET HALIN = HAGIN
250 LET HALOUT = HAGOUT
260 LET CALOUT = CALIN
270 LET PAGIN = CAGIN*HAGIN
280 LET PALIN = CALIN*HALIN
290 LET PAGOUT = CAGOUT*HAGOUT
300 LET PALOUT = CALOUT*HALOUT
310 LET PDIFIN = PAGIN-PALIN
320 LET PDIFOUT = PAGOUT-PALOUT
330 LET PLOGMN = ABS((PDIFIN-PDIFOUT)/(LOG(PDIFIN/PDIFOUT)))/10000
340 LET PI = 3.141592654# : REM find actual contact area (CNTACTAR)
350 LET VOLTOWER = PI*((DIATOWER/2)^2)*HIGTOWER
360 LET VOLWATER = (4/3)*PI*((DIAWATER/2)^3)
370 LET WTERSFAR = 4*PI*(DIAWATER/2)^2
380 LET CNTACTAR = (VOLTOWER/VOLWATER)*WTERSFAR/(10^11)
390 LET TK = TEMPIN+273.15 : REM find Kg (KGG)
400 LET TR = ((9/5)*TEMPIN)+460
410 LET DABG = .0325*(TR^.5)*(((1/MA)+(1/MB))^5)/(((VA^.5)+(VB^.5))^2)
420 LET DABL = 7.4*(10^(-8))*((2.6*MB)^5)*TK/(MUWATER*(VA^.6))
430 LET R = 82.05 : REM universal gas constant
440 LET KG = (14800/(R*TK))*(DABG/(PI*TG))^5
450 LET KL = 236*(DABL/(PI*TL))^5
460 LET KGG = 1/((10^9)*((1/KG)+(HAGIN/KL)))
470 LET NA = .1*KGG*CNTACTAR*PLOGMN : REM find rate of absorption (NA)
480 PRINT "log mean temperature difference = ";PLOGMN;" atm"
490 PRINT "contact area = ";CNTACTAR;" ft^2"
500 PRINT "overall mass transfer rate = ";KGG
510 PRINT "rate of absorption = ";NA;" %"
520 PRINT : LOCATE ,45 : PRINT "Sutthiphong Srigrarom 33100429"
530 LOCATE ,45 : PRINT "Panurat Dumrongthai 33100285"
540 LOCATE ,45 : PRINT "Sayam Sanguanrum 33100403"
550 LOCATE ,47 : PRINT "4th year M.E. students, KMIT'L"
560 END

```

SOLVING SPRAY TOWER'S GASEOUS POLLUTANT REMOVAL EFFICIENCY

This program is used for evaluating Spray tower Gaseous Pollutant Removal efficiency. It is developed in HBASIC language, as a part of AIR WASHER project of 4th yr M.E. students, KMIT'L.

Sutthiphong Srigrarom 33100429
Panurat Dumrongthai 33100285
Sayam Sanguanrum 33100403
4th year M.E. students, KMIT'L

(This program we input various characteristic and size variables, and vary dust diameter for evaluation of overall efficiency of spray tower in collecting dust of that size)

press any key to continue?

DECLARATION ,WHEN ALL VARIABLES ARE THE FOLLOWINGS

inlet temperature = 25 celcius
outlet temperature = 22 celcius
conc. of A in gas at inlet = .54 lb moles/(ft^3)
conc. of A in gas at outlet = .45036 lb moles/(ft^3)
conc. of A in liquid at inlet = .0001 lb moles/(ft^3)
tower diameter = 1.5 ft
tower height = 6 ft
water density = 999870 g/m^3
water surface tension = 72.8 erg/cm
velocity of air = 1.44 m/s
sprayed water droplet diameter = 1.402828E-03 ft
molecular weight of solute A = 28
molecular weight of solvent B = 18
water viscosity = 1 centipoise
contact time in gas phase = .5 sec
contact time in liquid phase = .01 sec
?

CALCULATION DATA

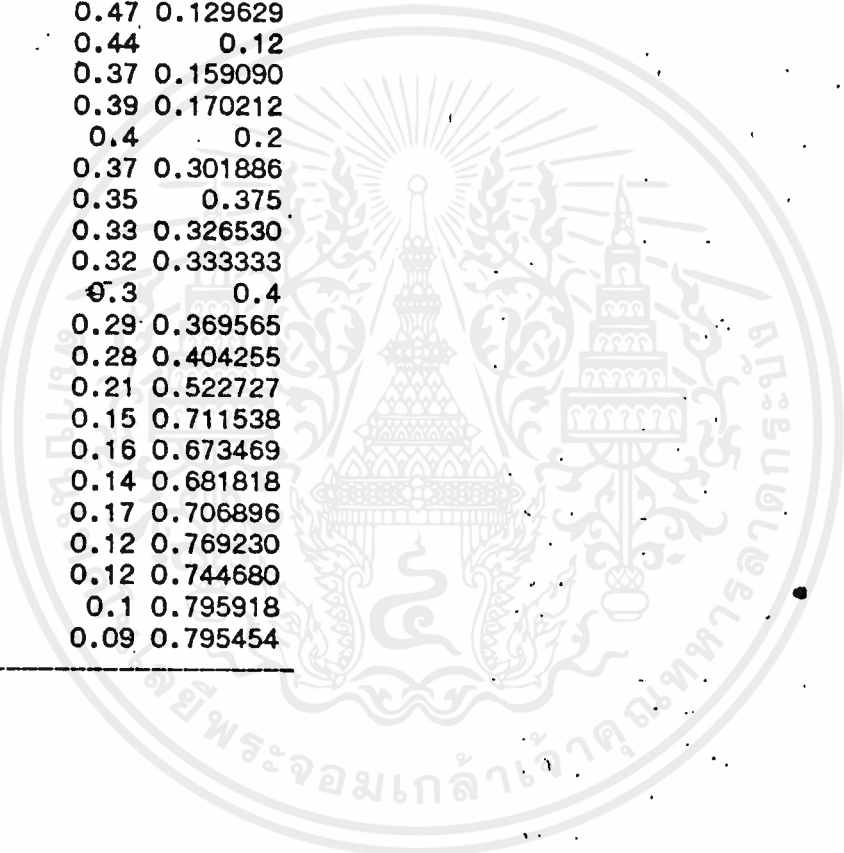
Division by zero
Division by zero
Overflow
log mean temperature difference = .8042398 atm
contact area = 4.534928E-07 ft^2
overall mass transfer rate = 1.793497E+08
rate of absorption = 6.541188 %

Sutthiphong Srigrarom 33100429
Panurat Dumrongthai 33100285
Sayam Sanguanrum 33100403
4th year M.E. students, KMIT'L

Ok

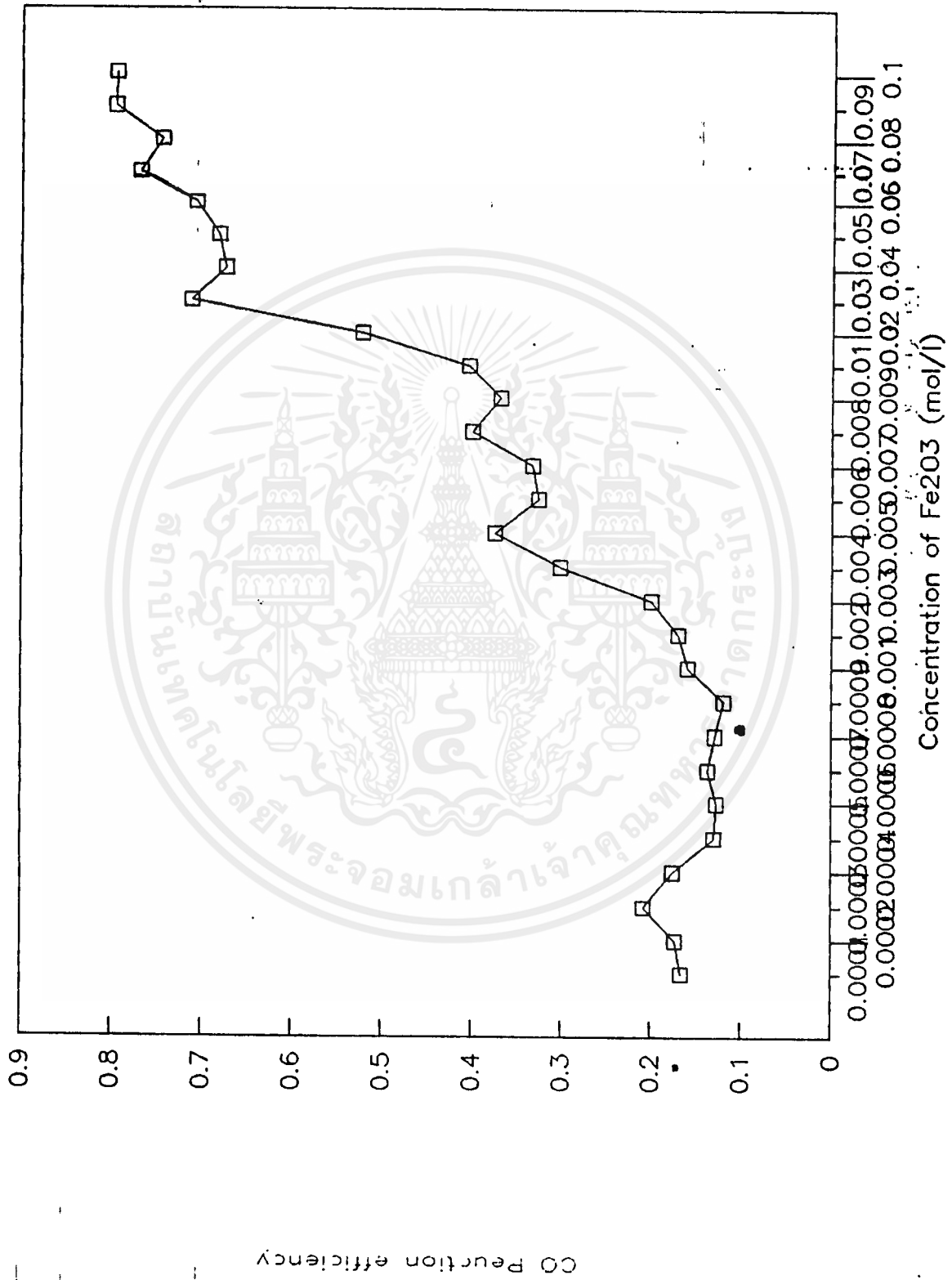
CO reduction efficiency
varying Fe₂O₃ Concentration
EXPERIMENTAL DATA

CO conc. (mol/l)	CO % vol	CO % vol	Efficienc
0.0001	0.54	0.45	0.166666
0.0002	0.52	0.43	0.173076
0.0003	0.48	0.38	0.208333
0.0004	0.51	0.42	0.176470
0.0005	0.46	0.4	0.130434
0.0006	0.47	0.41	0.127659
0.0007	0.51	0.44	0.137254
0.0008	0.54	0.47	0.129629
0.0009	0.5	0.44	0.12
0.001	0.44	0.37	0.159090
0.002	0.47	0.39	0.170212
0.003	0.5	0.4	0.2
0.004	0.53	0.37	0.301886
0.005	0.56	0.35	0.375
0.006	0.49	0.33	0.326530
0.007	0.48	0.32	0.333333
0.008	0.5	0.3	0.4
0.009	0.46	0.29	0.369565
0.01	0.47	0.28	0.404255
0.02	0.44	0.21	0.522727
0.03	0.52	0.15	0.711538
0.04	0.49	0.16	0.673469
0.05	0.44	0.14	0.681818
0.06	0.58	0.17	0.706896
0.07	0.52	0.12	0.769230
0.08	0.47	0.12	0.744680
0.09	0.49	0.1	0.795918
0.1	0.44	0.09	0.795454



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CO reduction efficiency varying with Fe2O3 concentration



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก (Appendix)

1. ค่าคงที่ต่าง ๆ และตัวคูณแปลงหน่วย (Constants and Conversion Factors)

Length:

- 1 inch = 2.54 cm
- 1 mile = 5280 ft = 1609 m
- 1 micron = 10^{-3} cm = 10^{-6} m
- 1 Angstrom = 10^{-8} cm = 10^{-10} m
- 1 m = 3.28 ft
- 1 ft = 0.305 m

Mass:

- 1 lb = 453.6 g = 7000 grains = 16 oz
- 1 ton = 2000 lb
- 1 grain/ft³ = 2.29 g/m³

Geometry:

- circle area = $\pi r^2 = \pi d^2 / 4$
- cylinder volume = $\pi r^2 \times \text{height}$
- sphere area = $4\pi r^2 = \pi d^2$
- sphere volume = $4/3 \pi r^3 = 1/6 \pi d^3$

viscosity:

- 1 poise = 1 g/(cm sec) = absolute viscosity
- 1 centipoise = 0.000672 lb/(ft. sec)
- 1 stoke = cm²/sec = poise/g = kinematic viscosity

Acceleration:

$g = 9.80665 \text{ m/sec}^2 = 32.174 \text{ ft/sec}^2$ at sea level

Pressure:

- 1 atm = 1.01325 bar = $1.01325 \times 10^5 \text{ Pa (N/m}^2)$
- = 14.696 Psi (lbf/in²)
- = 29.92 in Hg (32°F) = 760 mmHg (0°C)
- = 33.936 ft H₂O (60°F) = 760 torr
- = 407.2 in H₂O

Density of:

$$\text{air} = 1.2 \times 10^3 \text{ g/m}^3 = 7.43 \times 10^{-2} \text{ lb/ft}^3$$

(at standard condition, i.e. 0 °C, 1 atm)

$$\text{water} = 62.4 \text{ lb/ft}^3 = 10^6 \text{ g/m}^3 \text{ at } 4 \text{ °C}$$

$$\text{mercury} = 13.6 \times 10^6 \text{ g/m}^3 \text{ at } 4 \text{ °C}$$

$$\text{glass} = 2.2 \times 10^6 \text{ g/m}^3$$

$$\text{cement particle} = 1.5 \times 10^6 \text{ g/m}^3$$

$$\text{earth} = 1.5 \times 10^6 \text{ g/m}^3$$

$$\text{limestone} = 2.1 - 2.9 \times 10^6 \text{ g/m}^3$$

$$\text{sandstone} = 2.0 - 2.6 \times 10^6 \text{ g/m}^3$$

$$\text{coal} = 1.0 - 1.5 \times 10^6 \text{ g/m}^3$$

$$\text{iron ore} = 3.5 - 5.0 \times 10^6 \text{ g/m}^3$$

$$\text{iron slag} = 2.5 - 3.0 \times 10^6 \text{ g/m}^3$$

$$\text{fly ash} = 1.0 \times 10^6 \text{ g/m}^3$$

** (For other substances & conditions, more details see appendix diagrams)

Time:

$$1 \text{ hr} = 3600 \text{ sec}$$

$$1 \text{ work year} = 2000 \text{ hrs per person}$$

Rate:

$$1 \text{ cfm} = 1.6 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$1 \text{ gpm} = 0.227 \text{ m}^3/\text{hr}$$

Volume:

$$1 \text{ ft}^3 = 7.481 \text{ U.S. gal} = 28.32 \text{ l} = 0.0283 \text{ m}^3$$

$$1 \text{ gal} = 3.785 \text{ l} = 0.003785 \text{ m}^3$$

$$1 \text{ barrel} = 42 \text{ gal oil}$$

$$1 \text{ litre} = 1.057 \text{ quarts} = 0.2642 \text{ gal}$$

$$1 \text{ cm}^3 = 1 \text{ ml (millilitre)}$$

$$1 \text{ m}^3 = 35.314 \text{ ft}^3 = 1000 \text{ l}$$

$$1 \text{ gal}/1000 \text{ ft}^3 = 0.134 \text{ l/m}^3$$

$$1 \text{ dyne} = \text{g cm/sec}^2$$

$$1 \text{ lbf} = 1 \text{ lbm g/g}_c$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Energy:

$$1 \text{ erg} = \text{dyne cm}$$

$$1 \text{ joule} = 10^7 \text{ erg}$$

$$1 \text{ cal} = 4.184 \text{ joule (J)}$$

$$1 \text{ cal/g mole} = 1.8 \text{ Btu/lb mole}$$

$$1 \text{ Ton refrigeration} = 200 \text{ Btu/min}$$

$$1 \text{ Btu} = 252.2 \text{ cal} = 778.2 \text{ ft lbf}$$

$$1 \text{ kw hr} = 3412 \text{ Btu} = 1.341 \text{ hp hr}$$

$$1 \text{ hp hr} = 1.98 \times 10^6 \text{ ft lbf}$$

Power:

$$1 \text{ watt} = 1 \text{ Joule/sec} = 10^7 \text{ erg/sec}$$

$$1 \text{ hp (mech)} = 746 \text{ watt} = 33,000 \text{ ft lbf/min} = 2545 \text{ Btu/hr}$$

$$1 \text{ hp (boiler)} = 13.155 \text{ hp (mech)}$$

$$1 \text{ hp (boiler)} = 34.5 \text{ lb steam/hr} = 2.5 \text{ lb oil/hr}$$

(at 75% thermal efficiency)

Temperature:

$$^{\circ}\text{F} = 1.8 ^{\circ}\text{C} + 32 = 1.8 \times (^{\circ}\text{K} - 273.15) + 32$$

$$^{\circ}\text{R} = ^{\circ}\text{C} + 459.49 = 1.8 ^{\circ}\text{K}$$

$$^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273.16$$

Speed:

$$1 \text{ ft/sec} = 30.48 \text{ cm/sec} = 0.6818 \text{ mi/hr}$$

$$1 \text{ mi/hr} = 0.447 \text{ m/sec}$$

Constants:

$$g_c = 32.174 \text{ lbf/ft}/(\text{lbf sec}^2) = 9.8066 \text{ m/sec}^2$$

$$e = 2.7183$$

$$r = 3.14159$$

Boltzman's constant

$$K = 1.38 \times 10^{-23} \text{ g m}^2/(\text{s}^2 \text{ molecule } ^{\circ}\text{K})$$

$$= 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/}^{\circ}\text{K}$$

$$\text{Avogadro's number} = 6.02 \times 10^{23} \text{ atoms/g atom}$$

$$\text{Universal gas constant} = R = 1.987 \text{ cal}/(\text{g mol } ^{\circ}\text{K})$$

$$R = 82.05 \text{ atm cm}^3/(\text{g mol } ^{\circ}\text{K}) = 8.205 \text{ Pa m}^3/(\text{g mol } ^{\circ}\text{K})$$

$R = 4.968 \times 10^4 \text{ lbf} \cdot \text{ft}^2 / (\text{lb} \cdot \text{mole} \cdot \text{R})$

1 lb mole = 359 ft³ ideal gas at STP

1 g mole = 22.4 litre ideal gas at STP

Air at standard condition (0°c 1 atm):

$\mu_a = 1.832 \times 10^{-2} \text{ g}/(\text{cm} \cdot \text{sec})$

$= 3.76 \times 10^{-7} \text{ lbf} \cdot \text{sec}/\text{ft}^2$

$= 1.21 \times 10^{-5} \text{ lbf} / (\text{sec} \cdot \text{ft})$

$C_{p,air} = 0.26 \text{ Btu}/(\text{lbm} \cdot \text{R}) = 0.26 \text{ cal}/(\text{g} \cdot \text{K})$

$= 1.08784 \text{ J}/(\text{g} \cdot \text{K})$

$M_{air} = 28.96 \sim 29$

$k_a = 4.02 \times 10^{-6} \text{ Btu}/(\text{sec} \cdot \text{ft} \cdot \text{R})$

$\rho_a = 1.19 \times 10^{-3} \text{ g}/\text{m}^3 = 7.50 \times 10^{-2} \text{ lbf}/\text{ft}^3$

Composition ~ 21.0% O₂ and 79.0% N₂ by volume

~ 23.2% O₂ and 76.8% N₂ by mass

Conversion Factors for Air pollution:

Convert ppm to weight per volume ratio at Standard Condⁿ

general: (ppm) x M/0.0241 = $\mu\text{g}/\text{m}^3$

specific:

by listed value

multi ppm at SC

to obtain $\mu\text{g}/\text{m}^3$

CH ₄	663
CO	1160
CO ₂	1820
NO ₂	1910
O ₃	1990
SO ₂	2650

1 acre = 43,560 ft² = 0.00156 mi²

1 number/ft³ = 35.31 number/m³

1 ton/mi² = 3.125 lb/acre = 0.717 lb/ft²

1 g/m³ = 0.0283 g/ft³

1 lb/hr = 0.126 g/sec

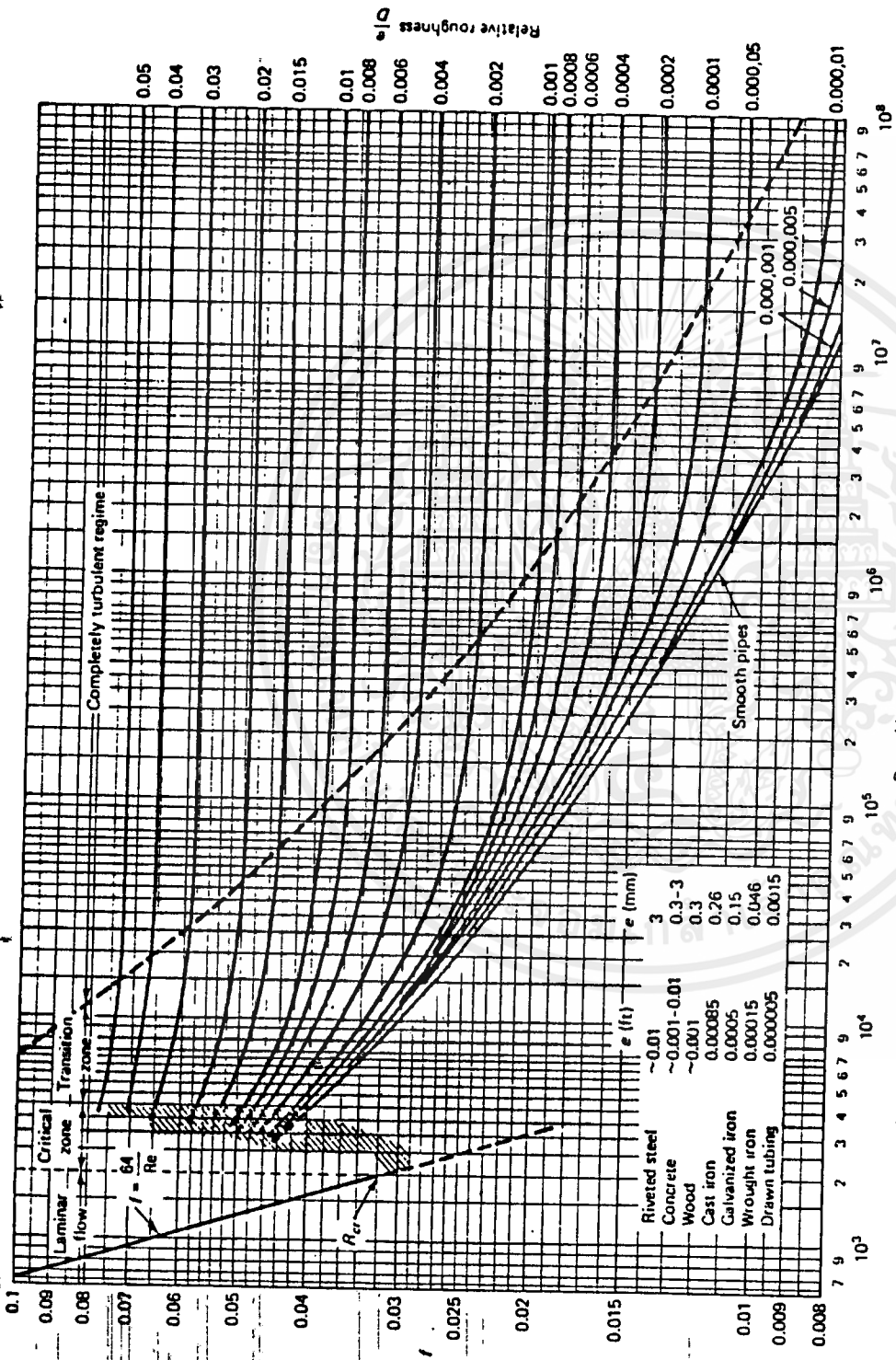
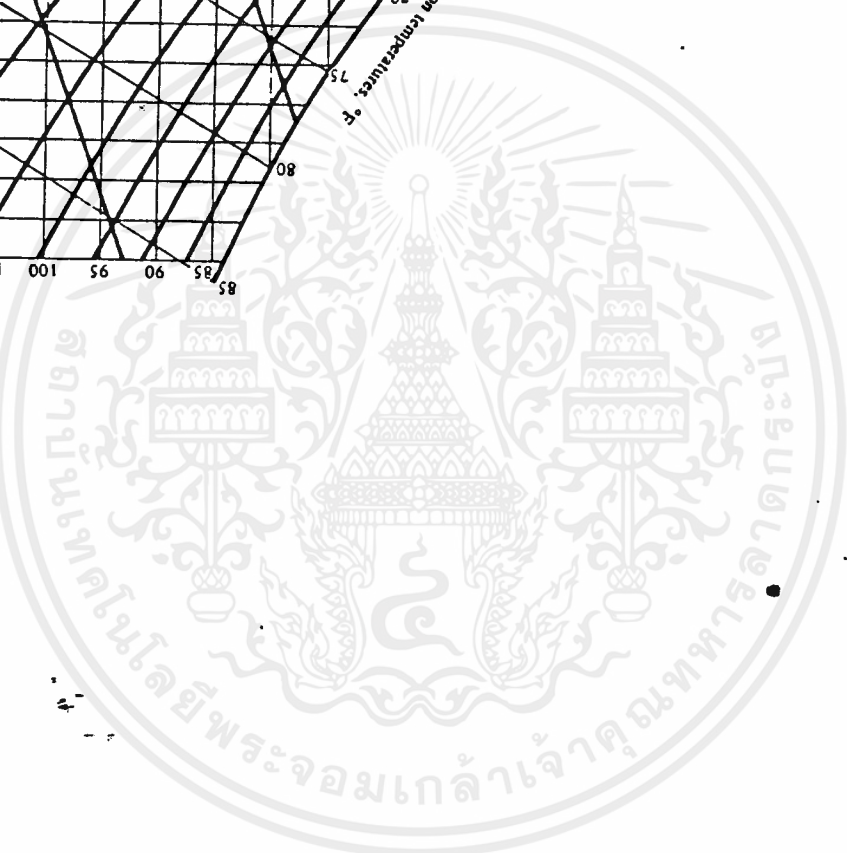
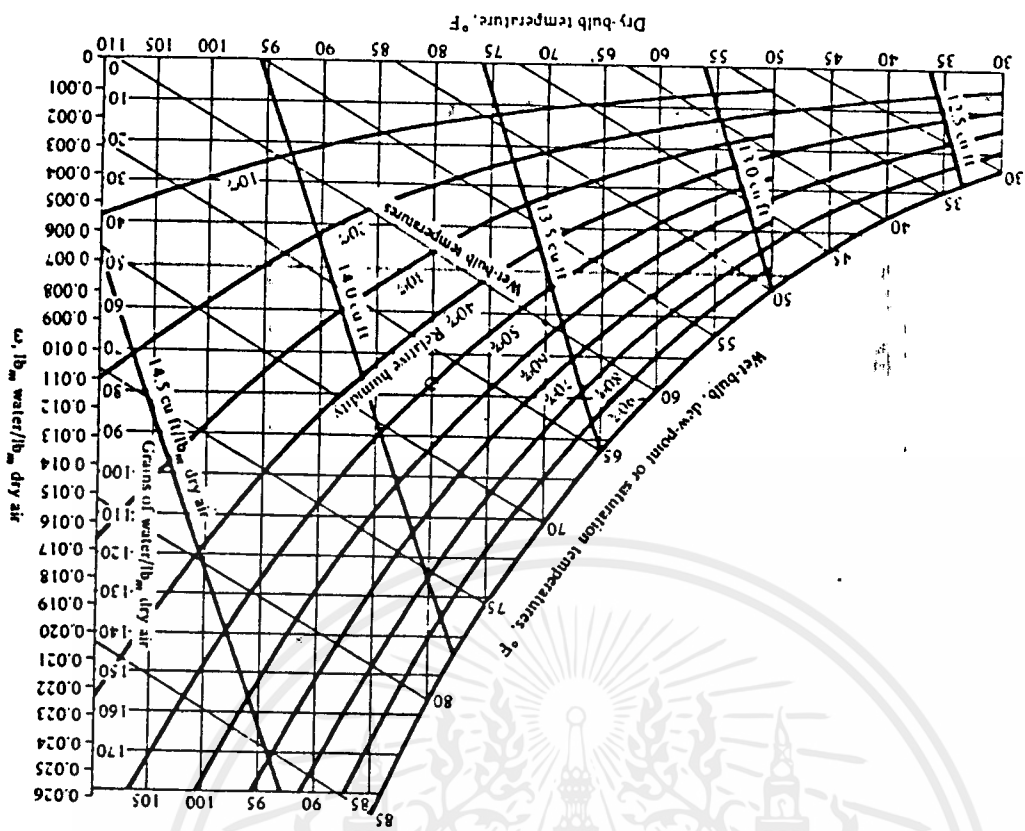


Figure 7.13 Moody diagram. (From L. F. Moody, *Trans. ASME*, Vol. 66, 1944.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Figure 31-1 Psychrometric chart at 1 standard atmosphere.



PSYCHROMETRIC CHART

APPENDIX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONVERSION FACTORS

Table N-1 Some SI basic and derived units of interest

Type	Unit	Symbol	Formula
Length	meter	m	
Mass	kilogram	kg	
Time	second	s	
Temperature	kelvin	K	
Force	newton	N	(kg) (m)/s ²
Pressure	pascal	Pa	N/m ²
Energy, work	joule	J	Nm
Power	watt	W	J/s

Table N-2 Prefixes of multiples and submultiples

Factor	Prefix	Symbol
10 ⁻¹⁸	atto	a
10 ⁻¹⁵	femto	f
10 ⁻¹²	pico	p
10 ⁻⁹	nano	n
10 ⁻⁶	micro	μ
10 ⁻³	milli	m
10 ⁻²	centi	c
10 ⁻¹	deci	d
10 ¹	deka	da
10 ²	hecto	h
10 ³	kilo	k
10 ⁶	mega	M
10 ⁹	giga	G
10 ¹²	tera	T
10 ¹⁵	peta	P
10 ¹⁸	exa	E

Table N-3 Length

Å	ft	in	light year	mil	micron	mi (statute)	m
3.280840	3.937008	3.937008	1.057021	3.937008	1.000000	6.213712	1.000000
E - 10	E - 09	E - 26	E - 06	E - 06	E - 04	E - 14	E - 10
3.048000	1.200000	3.221807	1.200000	3.048000	1.893939	3.048000	
E + 09	E + 01	E - 17	E + 04	E + 05	E - 04	E - 01	
2.540000	8.333333	2.684839	1.000000	2.540000	1.578283	2.540000	
E + 08	E - 02	E - 18	E + 03	E + 04	E - 05	E - 02	
9.460530	3.103848	3.724618		9.460530	5.878501	9.460530	
E + 25	E + 16	E + 17		E + 20	E + 12	E + 15	
2.540000	8.333333	1.000000	2.684839	2.540000	1.578283	2.540000	
E + 05	E - 05	E - 03	E - 21	E + 01	E - 08	E - 05	
1.000000	3.280840	3.937008	1.057023	3.937008	6.213712	1.000000	
E + 04	E - 06	E - 05	E - 22	E - 02	E - 10	E - 06	
1.609344	5.280000	6.336000	1.701114	6.336000	1.609344	1.609344	
E + 13	E + 03	E + 04	E - 13	E + 07	E + 09	E + 03	
1.000000	3.280840	3.937008	1.057023	3.937008	1.000000	6.213712	
E + 10	E + 00	E + 01	E - 16	E + 04	E + 06	E - 04	

Table N-4 Area

acre	barn	cm ²	ft ²	hectare	in ²	km ²	mi ²	m ²
1	4.046856	4.046856	4.356000	4.046856	6.272640	4.046856	1.562500	4.046856
	E + 31	E + 07	E + 04	E - 01	E + 06	E - 03	E - 03	E + 03
2.471054	1	1.000000	1.076391	1.000000	1.550003	1.000000	3.861022	1.000000
E - 32	1	E - 24	E - 27	E - 32	E - 25	E - 34	E - 35	E - 28
1.940761	1.000000	1	1.076391	1.000000	1.550003	1.000000	3.861022	1.000000
E - 08	E + 24	1	E - 03	E - 08	E - 01	E - 10	E - 11	E - 04
2.295684	9.290304	9.290304	1	9.290304	1.440000	9.290304	3.587007	9.290304
E - 05	E + 26	E + 02	1	E - 06	E + 02	E - 08	E - 08	E - 02
2.471054	1.000000	1.000000	1.076391	1	1.550003	1.000000	3.861022	1.000000
E + 00	E + 32	E + 08	E + 05	1	E + 07	E - 02	E - 03	E + 04
1.594225	6.451600	6.451600	6.944444	6.451600	1	6.451600	2.490977	6.451600
E - 07	E + 24	E + 00	E - 03	E - 08	1	E - 10	E - 10	E - 04
2.471054	1.000000	1.000000	1.076391	1.000000	1.550003	1	3.861022	1.000000
E + 02	E + 34	E + 10	E + 07	E + 02	E + 09	1	E - 01	E + 06
6.400000	2.589988	2.589988	2.787840	2.589988	4.014400	2.589988	1	2.589988
E + 02	E + 34	E + 10	E + 07	E + 02	E + 09	E + 00	1	E + 06
2.471054	1.000000	1.000000	1.076391	1.000000	1.550003	1.000000	3.861022	1
E - 04	E + 28	E + 04	E + 01	E - 04	E + 03	E - 06	E - 07	1

Table N-5 Volume

acre-ft	cm ³	ft ³	gal (US liquid)	gal (Imperial liquid)	in ³	L	pt (US liquid)	qt (US liquid)	m ³
1	1.233482	4.356000	3.258514	2.713283	7.527168	1.233482	2.606811	1.303406	1.233482
	E + 09	E + 04	E + 05	E + 05	E + 07	E + 06	E + 06	E + 06	E + 03
8.107132	1	3.531467	2.641721	2.199694	6.102374	1.000000	2.113376	1.056688	1.000000
E + 10	1	E - 05	E - 04	E - 04	E - 02	E - 03	E - 03	E - 03	E - 06
2.295684	2.831685	1	7.480520	6.228841	1.728000	2.831685	5.984416	2.992208	2.831685
E - 05	E + 04	1	E + 00	E + 00	E + 03	E + 01	E + 01	E + 01	E - 02
3.068883	3.785412	1.336806	1	8.326748	2.310000	3.785412	8.000000	4.000000	3.785412
E - 06	E + 03	E - 01	1	E - 01	E + 02	E + 00	E + 00	E + 00	E - 03
3.685572	4.546087	1.605435	1.200949	1	2.774192	4.546086	9.607592	4.803796	4.546086
E - 06	E + 03	E - 01	E + 00	1	E + 02	E + 00	E + 00	E + 00	E - 03
1.638706	1.638706	5.787037	4.329004	3.604653	1	1.638706	3.453204	1.731602	1.638706
E - 08	E + 01	E - 04	E - 03	E - 03	1	E - 02	E - 02	E - 02	E - 05
8.107132	1.000000	5.787037	2.641721	2.199694	6.102375	1	2.113376	1.056688	1.000000
E - 07	E + 03	E - 04	E - 01	E - 01	E + 01	1	E + 00	E + 00	E - 03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ (continued)

Table N-5 Volume (Continued)

acre-ft	cm ³	ft ³	gal (US liquid)	gal (Imperial liquid)	in ³	L	pt (US liquid)	qt (US liquid)	m ³
3.836104	4.731765	1.671007	1.250000	1.040844	2.887500	4.731765	1	5.000000	4.731765
E - 07	E + 02	E - 02	E - 01	E - 01	E + 01	E - 01		E - 01	E - 04
7.672308	9.463530	3.342014	2.500000	2.081687	5.775000	9.463530	2.000000	1	9.463530
E - 07	E + 02	E - 02	E - 01	E - 01	E + 01	E - 01	E + 00		E - 04
8.107132	1.000000	3.531467	2.641721	2.199694	6.102375	1.000000	2.113376	1.056688	1
E - 04	E + 06	E + 01	E + 02	E + 02	E + 04	E + 03	E + 03	E + 03	



Table N-6 Mass

amu	dram (avoirdupois)	gr	g	oz	lb _m	ton (long)	ton (metric)	ton (short)	kg
1	9.371957	2.562645	1.660566	5.857476	3.660921	1.634343	1.660566	1.830460	1.660566
	E - 25	E - 23	E - 24	E - 26	E - 27	E - 30	E - 30	E - 30	E - 27
1.067013	1	2.734375	1.771845	6.250000	3.906250	1.743862	1.771845	1.953125	1.771845
E + 24		E + 01	E + 00	E - 02	E - 03	E - 06	E - 06	E - 06	E - 03
3.902218	3.657143	1	6.479891	2.285714	1.428571	6.377551	6.479891	7.142857	6.479891
E + 22	E - 02		E - 02	E - 03	E - 04	E - 08	E - 08	E - 08	E - 05
6.022043	5.643834	1.543236	1	3.527396	2.304623	9.842065	1.000000	1.102311	1.000000
E + 23	E - 01	E + 01		E - 02	E - 03	E - 07	E - 06	E - 06	E - 03
1.707230	1.600000	4.375000	2.834952	1	6.250000	2.790179	2.834952	3.125000	2.834952
E + 25	E + 01	E - 02	E + 01		E - 02	E - 05	E - 05	E - 05	E - 02
2.731553	2.560000	7.000000	4.535924	1.600000	1	4.464286	4.535924	5.000000	4.535924
E + 26	E + 02	E + 03	E + 02	E + 01		E - 04	E - 04	E - 04	E - 01
6.118679	5.734400	1.568000	1.016047	3.584000	2.240000	1	1.016047	1.120000	1.016047
E + 29	E + 05	E + 07	E + 06	E + 04	E + 03		E + 00	E + 00	E + 03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ (continued)
ไม่ว่ากรณีใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table N-6 Mass (Continued)

amu	dram (avoirdupois)	gr	g	oz	lb _m	ton (long)	ton (metric)	ton (short)	kg
6.022043	5.643834	1.543236	1.000000	3.527396	2.204623	9.842065		1.102311	1.000000
E + 29	E + 05	E + 07	E + 06	E + 04	E + 03	E - 01	1	E + 00	E + 03
5.463107	5.120000	1.400000	9.071847	3.200000	2.000000	8.928571	9.071847		9.071847
E + 29	E + 05	E + 07	E + 05	E + 04	E + 03	E - 01	E - 01	1	E + 02
6.022043	5.643834	1.543236	1.000000	3.527396	2.204623	9.842065	1.000000	1.102311	
E + 26	E + 02	E + 04	E + 03	E + 01	E + 00	E - 04	E - 03	E - 03	1

Table N-7 Density

g/cm ³	g/L	lb _m /ft ³	lb _m /gal (US)	lb _m /gal (imperial)	lb _m /in ³	ton/yd ³	kg/m ³
1	1.000000	6.242795	8.345403	1.002240	3.612728	8.427773	1.000000
E + 03	E + 01	E + 00	E + 01	E - 02	E - 01	E - 01	E + 03
1.000000	1	6.242795	8.345403	1.002240	3.612728	8.427773	1.000000
E - 03	E - 02	E - 03	E - 02	E - 02	E - 05	E - 04	E + 00
1.601847	1.601847	1	1.368806	1.605435	5.787037	1.350000	1.601847
E - 02	E + 01	1	E - 01	E - 01	E - 04	E - 02	E + 01
1.198264	1.198264	7.480519	1	1.208949	4.329004	1.009870	1.198264
E - 01	E + 02	E + 00	1	E + 00	E - 03	E - 01	E + 02
9.977648	9.977648	6.228841	8.326750	1	3.644654	8.408933	9.977650
E - 02	E + 01	E + 00	E - 01	1	E - 01	E - 02	E + 01
2.767991	2.767991	1.728000	2.310000	2.774191	1	2.332800	2.767991
E + 01	E + 04	E + 03	E + 02	E + 02	1	E + 01	E + 04
1.186553	1.186553	7.407407	9.902264	1.189211	4.286694	1	1.186553
E + 00	E + 03	E + 01	E + 00	E + 01	E - 02	1	E + 03
1.000000	1.000000	6.242795	8.345403	1.002240	3.612728	8.427773	1
E - 03	E + 00	E - 02	E - 03	E - 02	E - 05	E - 04	1

Table N-8 Time (mean solar)

day	h	ms	min	hour	month	year	s
1	2.400000	8.640000	1.440000	3.386319	2.717909	8.640000	
E + 01	E + 10	E + 03	E - 02	E - 03	E - 03	E - 04	E + 04
4.166667	1	3.600000	6.000000	1.410966	1.140796	1.140796	3.600000
E - 02	1	E + 09	E + 01	E - 03	E - 04	E - 04	E + 03
1.157407	2.777778	1	1.666667	3.919351	3.168876	4.000000	
E - 11	E - 10	1	E - 08	E - 13	E - 14	E - 06	

(Continued)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table N-8 Time (mean solar) (Continued)

day	h	ms	min	sec	lunar month	year	s
6.944445	1.666667	6.000000			2.351611	1.901326	6.000000
E - 04	E - 02	E + 07				E - 05	E - 06 E + 01
2.953059	7.087341	2.551443	4.252405			8.085207	2.551443
E + 01	E + 02	E + 12	E + 04				E - 02 E + 06
3.652422	8.765813	3.155693	5.259488	1.236827			3.155693
E + 02	E + 03	E + 13	E + 05	E + 01			E + 07
1.157407	2.777778	1.000000	1.666667	-3.919351	3.168876		
E - 05	E - 04	E + 06	E - 02	E - 07	E - 08		

Table N-9 Speed

f/h	f/s	in/s	km/h	km	mi/h	mi/s	m/s
1	2.777778	3.333333	3.048000	1.645789	1.893939	5.260943	8.466667
E - 04	E - 03	E - 04	E - 04	E - 04	E - 04	E - 08	E - 05
3.600000	1.200000	1.097280	5.924841	6.818182	1.893939	3.048000	
E + 03		E + 01	E + 00	E - 01	E - 01	E - 04	E - 01
3.000000	8.333333		9.144000	4.937367	5.681818	1.578283	2.540000
E + 02	E - 02		E - 02	E - 02	E - 02	E - 05	E - 02
3.280840	9.113444	1.093613		5.399570	6.213712	1.726031	2.777778
E + 03	E - 01	E + 01		E - 01	E - 01	E - 04	E - 01
6.076112	1.687809	2.023371	1.851999		1.150779	3.196608	5.144444
E + 03	E + 00	E + 01	E + 00		E + 00	E - 04	E - 01
5.280000	1.466667	1.760000	1.609344	8.689766		2.777778	4.470400
E + 03	E + 00	E + 01	E + 00	E - 01		E - 04	E - 01
1.900800	5.280000	6.336000	5.793639	3.128316	3.600000		1.609344
E + 07	E + 03	E + 04	E + 03	E + 03	E + 03		E + 03
1.181102	3.280840	3.155693	3.600000	1.943845	2.236936	6.213712	
E + 04	E + 00	E + 04	E + 00	E + 00	E + 00	E - 04	

Table N-10 Acceleration

ft/h ²	ft/min ²	ft/s ²	free fall	in/s ²	km/h ²	km/s ²	mi/h ²	m/s ²
1	2.777778	7.716049	2.398221	9.259259	3.048000	2.351852	1.893939	2.351852
	E - 04	E - 08	E - 09	E - 07	E - 04	E - 11	E - 04	E - 08
3.600000		2.777778	8.633597	3.333333	1.097280	8.466666	6.818182	8.466666
E + 03		E - 04	E - 06	E - 03	E + 00	E - 08	E - 01	E - 05
1.296000	3.600000		3.108095	1.200000	3.950208	3.048000	2.454546	3.048000
E + 07	E + 03		E - 02	E + 01	E + 03	E - 04	E + 03	E - 01
4.169757	1.150266	3.217405		3.860886	1.270942	9.806650	6.093570	9.806650
E + 08	E + 05	E + 01		E + 02	E + 05	E - 03	E - 06	E + 00
1.080000	3.000000	8.333333	2.590079		3.291840	2.540000	2.045455	2.540000
E + 06	E + 02	E - 02	E - 03		E + 02	E - 05	E + 02	E - 02
3.280840	9.113444	2.531512	7.868180	3.037815		7.716049	6.213712	7.716049
E + 00	E - 04	E - 07	E - 06	E - 03		E - 08	E - 01	E - 05
4.251969	1.181102	3.280840	1.019716	3.937008	1.296000		8.052971	1.000000
E + 10	E + 07	E + 03	E + 02	E + 04	E + 07		E + 06	E + 03
5.280000	1.466667	4.074074	1.266261	4.888889	1.609344	1.241778		1.241778
E + 03	E + 00	E - 04	E - 05	E - 03	E + 00	E - 07		E - 04
4.251969	1.181102	3.280840	1.019716	3.937008	1.296000	1.000000	8.052971	
E + 07	E + 04	E + 00	E - 01	E + 01	E + 04	E - 03	E + 03	

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของกรมการขนส่งทางบก กระทรวงคมนาคม กรุงเทพมหานคร ห้ามมิให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

Table N-11 Volume flow rate

cm ³ /s	m ³ /s	ft ³ /min	gal(US)/min	gal(imperial)/min	L/min	m ³ /s
1	6.102374	2.118880	1.585032	1.319816	6.000000	1.000000
E - 01	E - 03	E - 03	E - 02	E - 02	E - 02	E - 06
1.638706	3.472222	2.597403	2.162792	9.832238	1.638707	
E + 01	E - 02	E - 01	E - 01	E - 01	E - 01	E - 05
4.719474	2.880000	7.480520	6.228841	2.831685	4.719474	
E + 02	E + 01	E + 00	E + 00	E + 01	E - 04	
6.309020	3.850000	1.336806	8.326748	3.785412	6.309020	
E + 01	E + 06	E - 01	E - 01	E + 00	E - 05	
7.576811	4.623650	1.605436	1.200949	4.546087	7.576811	
E + 01	E + 00	E - 01	E + 00	E + 00	E - 05	
1.666667	1.017062	3.531467	2.641721	2.199695	1.666667	
E + 01	E + 06	E - 02	E - 01	E - 01	E - 05	
1.000000	6.102374	2.118880	1.585032	1.319816	6.000000	
E + 06	E + 04	E + 03	E + 04	E + 04	E + 04	

Table N-12 Mass w rate

g/s	kg/h	lb _m /min	lb _m /h	ton(metric)/day	ton(short)/h	kg/s
1	3.600000	1.322774	7.936642	8.640000	3.968321	1.000000
E + 00	E + 00	E - 01	E + 00	E - 02	E - 03	E - 03
2.777778	3.674371	2.204623	2.400000	1.102311	2.777778	
E - 01	E - 02	E + 00	E - 02	E - 03	E - 04	
7.559873	2.721554	6.000000	6.531730	3.000000	7.559873	
E + 00	E + 01	E + 01	E - 01	E - 02	E - 03	

(continued)

Table N-12 Mass flow rate (Continued)

g/s	kg/h	lb _m /min	lb _m /h	ton(metric)/day	ton(short)/h	kg/s
1.259979	4.535924	1.666667	1	1.088622	5.000000	1.259979
E - 01	E - 01	E - 02	1	E - 02	E - 04	E - 04
1.157407	4.166667	1.530988	9.185928	1	4.592964	1.157407
E + 01	E + 01	E + 00	E + 01	1	E - 02	E - 02
2.519958	9.071847	3.333333	2.000000	2.177243	1	2.519958
E + 02	E + 02	E + 01	E + 03	E + 01	1	E - 01
1.000000	3.600000	1.322774	7.936642	8.640000	3.968321	1
E + 03	E + 03	E + 02	E + 03	E + 01	E + 00	

Table N-13 Force

dyn [g(m) · cm/s ²]	kg/force (or klb)	kip	lb-force lb _y	poundal (lb _m · ft/s ²)	N [(kg)(m/s ²)]
1	1.019716	2.248089	2.248089	7.233014	1.000000
E - 06	E - 09	E - 06	E - 06	E - 05	E - 05
9.806650	2.204623	2.204623	2.204623	7.093165	9.806650
E + 05	1	E - 03	E + 00	E + 01	E + 00
4.448222	4.535924	1	1.000000	3.217405	4.448222
E + 08	E + 02	1	E + 03	E + 04	E + 03
4.448222	4.535924	1.000000	1	3.217405	4.448222
E + 05	E - 01	E - 03	E + 01	E + 00	E + 00
1.382550	1.409808	3.108095	3.108095	1	1.382550
E + 04	E - 02	E - 05	E - 02	1	E - 01
1.000000	1.019716	2.248089	2.248089	7.233014	1
E + 05	E - 01	E - 04	E - 01	E + 00	E + 00

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของสำนักงานคณะกรรมการกฤษฎีกา ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ควรกรณใดที่ตน อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table N-14 Pressure

atm (normal)	bar	cm Hg (0°C)	dyn/cm ²	ft water (60°F)	in Hg (32°F)	in water (60°F)	kg/cm ²	lby-in ²	torr, mm Hg (0°C)	Pa, (N/m ²)
1	1.013250	7.600007	1.013250	3.393615	2.992129	4.072338	1.033227	1.469595	7.600007	1.013250
	E + 00	E + 01	E + 06	E + 01	E + 01	E + 02	E + 00	E + 01	E + 02	E + 05
9.869233	1	7.500624	1.000000	3.349238	2.953001	4.019085	1.019716	1.450377	7.500624	1.000000
E - 01		E + 01	E + 06	E + 01	E + 01	E + 02	E + 00	E + 01	E + 02	E + 05
1.315788	1.333222	1	1.333222	4.465279	3.937008	5.358355	1.359509	1.933676	1.000000	1.333222
E - 02	E - 02		E + 04	E - 01	E - 01	E + 00	E - 02	E - 01	E + 01	E + 03
9.869233	1.000000	7.500624	1	3.349238	2.953001	4.019085	1.019716	1.450377	7.500624	1.000000
E - 07	E - 06	E - 05		E - 05	E - 05	E - 04	E - 06	E - 05	E - 04	E - 01
2.946710	2.985754	2.239502	2.985754	1	8.816936	1.200000	3.044622	4.330470	2.239502	2.985754
E - 02	E - 02	E + 00	E + 04		E - 01	E + 01	E - 02	E - 01	E + 01	E + 03
3.342102	3.386385	2.540000	3.386385	1.134181	1	1.361017	3.453152	4.911537	2.540000	3.386385
E - 02	E - 02	E + 00	E + 04	E + 00		E + 01	E - 02	E - 01	E + 01	E + 03
2.455592	2.488128	1.866251	2.488128	8.333333	7.347447	1	2.537185	3.608725	1.866251	2.488126
E - 03	E - 03	E - 01	E + 03	E - 02	E - 02		E - 03	E - 02	E + 00	E + 02
9.678411	9.806650	7.355599	9.806650	3.284480	2.895905	3.941376	1	1.422334	7.355599	9.806650
E - 01	E - 01	E + 01	E + 05	E + 01	E + 01	E + 02		E + 01	E + 02	E + 04
6.804596	6.894757	5.171498	6.894757	2.309218	2.036023	2.771062	7.030696	1	5.171498	6.894757
E - 02	E - 02	E + 00	E + 04	E + 00	E + 00	E + 01	E - 02		E + 01	× 10 ³
1.315788	1.333222	1.000000	1.333222	4.465279	3.937008	5.358335	1.359509	1.933676	1	1.333222
E - 03	E - 03	E - 01	E - 03	E - 02	E - 02	E - 01	E - 03	E - 02		E - 02
9.869233	1.000000	7.500624	1.000000	3.349238	2.953001	4.019085	1.019716	1.450377	7.500624	1
E - 06	E - 05	E - 04	E + 01	E - 04	E - 04	E - 03	E - 05	E - 04	E - 03	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table N-15 Energy

Btu	cal (Int. table)	EV	erg (dyn · cm)	ft · lb _f	hp · h	kw · h	MeV	J, W · s or N · m
1	2.521403	6.585086	1.055056	7.781693	3.930148	2.930711	6.585086	1.055056
	E + 02	E + 21	E + 10	E + 02	E - 04	E - 04	E + 15	E + 03
3.968321	1	2.613173	4.186800	3.088025	1.559609	1.163000	2.613173	4.186800
E - 03		E + 19	E + 07	E - 00	E - 06	E - 06	E + 13	E + 00
1.518583	3.826765	1	1.602190	1.181715	5.968256	4.450528	1.000000	1.602190
E - 22	E - 20		E - 12	E - 19	E - 26	E - 26	E - 06	E - 19
9.478172	2.388459	6.241457	1	7.375622	3.725062	2.777777	6.241457	1.000000
E - 11	E - 08	E + 11		E - 08	E - 14	E - 14	E + 05	E - 07
1.285067	3.238315	8.462280	1.355818	1	5.050505	3.766160	8.462280	1.355818
E - 03	E - 01	E + 18	E + 07		E - 07	E - 07	E + 12	E + 00
2.544433	6.411864	1.675531	2.684519	1.980000	1	7.456997	1.675531	2.684519
E + 03	E + 05	E + 25	E + 13	E + 06		E - 01	E + 19	E + 06
3.412142	8.598454	2.246925	3.600000	2.655224	1.341022	1	2.246925	3.600000
E + 03	E + 05	E + 25	E + 13	E + 06	E + 00		E + 19	E + 06
1.518583	3.826765	1.000000	1.602190	1.181715	5.968256	4.450528	1	1.602190
E - 16	E - 14	E + 06	E - 6	E - 13	E - 20	E - 20		E - 13
9.478172	2.388459	6.241457	1.000000	7.375622	3.725062	2.777778	6.241457	1
E - 04	E - 01	E + 18	E + 07	E - 01	E - 07	E - 07	E + 12	

Table N-16 Energy Flux

Btu/(h·ft ²)	cal/(s·cm ²)	erg/(s·cm ²)	ft ² ·lb _f /(h·ft ²)	hp/ft ²	W/cm ²	W/m ²
1	7.534608	3.154589	7.781696	3.930150	3.154589	3.154589
	E - 05	E + 03	E + 02	E - 04	E - 04	E + 00
1.327209	1	4.186800	1.032794	5.216129	4.186800	4.186800
E + 04		E + 07	E + 07	E + 00	E + 00	E + 04
3.169984	2.388459	1	2.466785	1.245851	1.000000	1.000000
E - 04	E - 08		E - 01	E - 07	E - 07	E - 01
1.285067	9.682478	4.053860	1	5.050505	4.053859	4.053859
E - 03	E - 08	E + 00		E - 07	E - 07	E - 03
2.544432	1.917130	8.026641	1.980000	1	8.026641	8.026641
E + 03	E - 01	E + 06	E + 06		E - 01	E + 03
3.169984	2.388459	1.000000	2.466785	1.245851	1.000000	1.000000
E + 03	E - 01	E + 07	E + 06	E + 00		E + 04
3.169984	2.388459	1.000000	2.466785	1.245851	1.000000	1.000000
E - 01	E - 05	E + 03	E + 02	E - 04	E - 04	

Table N-17 Specific energy

Btu/lb _m	cal/g	kw/kg	MW · day/ton	J/kg (W · s/kg)
1	5.555556	6.461111	2.692136	2.326000
	E - 01	E - 04	E - 05	E + 03
1.800000	1	1.463000	4.845833	4.186800
E + 00		E - 03	E - 05	E + 03
1.547721	8.598452	1	4.166667	3.600000
E + 03	E + 02		E - 02	E + 06
3.714530	2.063618	2.400000	1	8.640000
E + 04	E + 04	E + 01		E + 07
4.299226	2.308459	2.777778	1.57407	1
E - 04	E - 04	E - 07		E - 08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานิติศาสตร์เท่านั้น ไม่สามารถนำออกนอกสถานที่ได้โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ควรคัดลอก ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table N-18 Power

Btu/h (0°)	cal/(s·cm²)	erg/s	eV/s	ft·lb/min	hp	kw	W (J/s)
6.999884	2.930711	1.829191	1.296948	3.930143	2.930711	2.930711	2.930711
E + 02	E + 06	E + 18	E + 01	E - 04	E - 04	E - 04	E - 01
4.186800	2.613173	1.852813	1.852813	5.614583	4.186800	4.186800	4.186800
E + 07	E + 19	E + 02	E + 02	E - 03	E - 03	E - 03	E + 00
2.380493	1.602190	1.000000	4.425367	1.341020	1.000000	1.000000	1.000000
E - 08	E - 12	E - 06	E - 11	E - 10	E - 10	E - 10	E - 07
3.814002	1.602190	1.000000	7.90278	2.148569	1.602190	1.602190	1.602190
E - 20	E - 12	E - 18	E - 18	E - 22	E - 22	E - 22	E - 19
5.397200	2.259700	1.410382	1	3.030303	2.259697	2.259697	2.259697
E - 03	E + 05	E + 17	E - 05	E - 05	E - 01	E - 02	E - 02
1.781076	7.457010	4.654261	3.300000	7.456999	7.456999	7.456999	7.456999
E + 02	E + 09	E + 21	E + 04	E - 05	E + 02	E + 02	E + 02
2.388459	1.000000	6.241457	4.425366	1.341020	1	1.000000	1.000000
E + 02	E + 10	E + 21	E + 04	E + 00	E + 03	E + 03	E + 03
2.388459	1.000000	6.241457	4.425366	1.341020	1.000000	1.000000	1
E - 01	E + 07	E + 18	E + 01	E - 03	E - 03	E - 03	E - 03

Table N-19 Power density

Btu/(h·ft²)	cal/(s·cm²)	MeV/(s·cm²)	W/cm² (kW/L)	W/m²
2.471986	6.439728	1.034971	1.034971	1.034971
E - 06	E + 07	E - 05	E - 05	E + 01
4.045330	2.683173	4.186800	4.186800	4.186800
E + 05	E + 13	E + 00	E + 00	E + 06
1.548033	3.826765	1.602190	1.602190	1.602190
E - 08	E - 14	E - 13	E - 13	E - 07
9.662106	2.388459	6.241457	6.241457	1.000000
E + 04	E - 01	E + 12	E + 12	E + 06
9.662106	2.388459	6.241457	6.241457	1.000000
E - 02	E - 07	E + 06	E + 06	E - 06

Table N-20 Specific power

Btu/(h·lb _m)	cal/(s·g)	ft ³ ·hp/(h·lb _m)	hp/lb _m	W/g (kW/kg)	W/kg
1.543210	7.781693	3.930148	6.461113	6.461113	6.461113
E - 04	E + 02	E - 04	E - 01	E - 01	E + 02
6.479999	5.042536	2.546735	4.186800	4.186800	4.186800
E + 03	E + 06	E + 00	E + 03	E + 03	E + 06
1.285067	1.984456	5.050505	8.302965	8.302965	8.302965
E - 03	E - 07	E - 07	E - 04	E - 04	E - 01
2.546136	3.929223	1.980000	1.643987	1.643987	1.643987
E + 03	E - 04	E + 06	E + 03	E + 03	E + 06
1.547721	2.388459	1.204389	6.082773	1.000000	1.000000
E + 00	E - 04	E + 03	E - 04	E + 03	E + 03
1.547721	2.388459	1.204389	6.082773	1.000000	1.000000
E - 03	E - 07	E + 00	E - 07	E - 07	E - 03

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินที่สงวนไว้เพื่อใช้ภายในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table N-21 Thermal conductivity

$Btu/(h)(ft)(F)$	$Btu \cdot in/(h)(ft^2)(F)$	$cal/(s)(cm)(C)$	$kcal/(h)(m)(C)$	$W/(m)(C)$
1	1.20000	4.131787	1.488163	1.730734
	$E + 01$	$E - 05$	$E + 00$	$E + 08$
8.333333	1	3.444823	1.240136	1.442279
$E - 02$		$E - 06$	$E - 01$	$E - 01$
2.419088	2.902906		3.600000	4.186800
$E + 04$	$E + 05$		$E + 04$	$E + 04$
6.719691	8.063629	2.777778	1	1.163000
$E - 01$	$E + 00$	$E - 05$		$E + 00$
5.77894	6.933473	2.388459	8.598452	1
$E - 01$	$E + 00$	$E - 05$	$E - 01$	

Table N-23 Specific heat and specific gas constant

$Btu/(lb_m)(F)$	$cal/(g)(C)$	$ft \cdot lb_f/(lb_m)(R)$	$kJ/(kg)(C)$
1	1.000000	7.835679	4.186800
	$E + 00$	$E + 02$	$E + 00$
1.000000	1	7.835679	4.186800
$E + 00$		$E + 02$	$E + 00$
1.276214	1.276214	1	5.343251
$E - 03$	$E - 04$		$E - 03$
2.388459	2.388459	1.871829	1
$E - 01$	$E - 01$	$E - 02$	

Table N-22 Heat-transfer coefficient

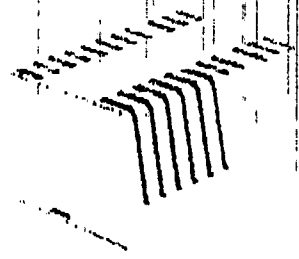
$Btu/(ft^2)(h)(F)$	$cal/(cm^2)(s)(C)$	$W/(cm^2)(C)$	$W/(m^2)(C)$
1	1.356229	5.678260	5.678260
	$E - 04$	$E - 04$	$E + 00$
7.373386	1	4.186800	4.186800
$E + 03$		$E + 00$	$E + 04$
1.761102	2.388459	1.000000	1
$E + 03$	$E - 01$	$E + 04$	
1.761102	2.388459	1.000000	1
$E - 01$	$E - 05$	$E - 04$	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HG 10/HG 20

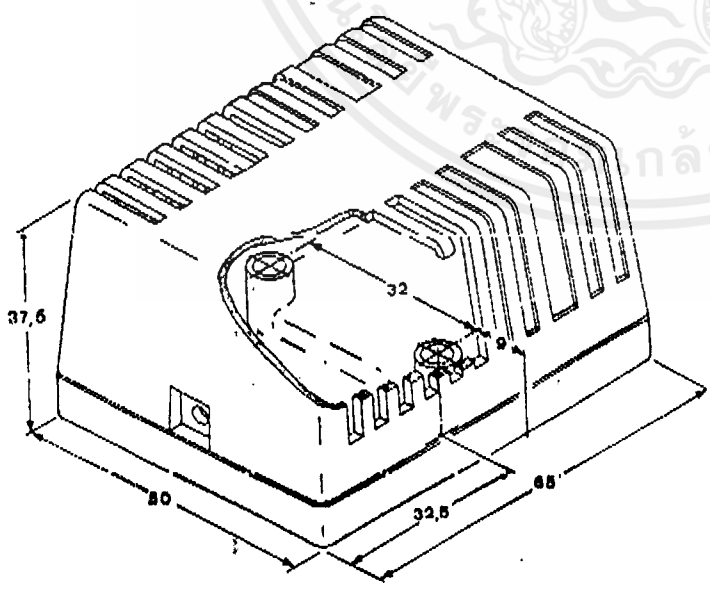
ตัวตรวจจับแก๊ส GAS DETECTORS

- ▲ ขั้วหน้าที่เป็นตัวตรวจจับแก๊ส
- ▲ HG 10 : สามารถตรวจจับแก๊ส propane, butane และ methane ฯลฯ
- ▲ HG 20 : สามารถตรวจจับ toxic gases และควัน ฯลฯ
- ▲ ใช้งานร่วมกับ SH 115 ของ ELECTROMATIC ให้เอาที่ทุรีเลยทำงานตาม ความเข้มข้นของแก๊สได้
- ▲ ใช้ไฟ 5 VDC (โดยต่อกับ SH 115)

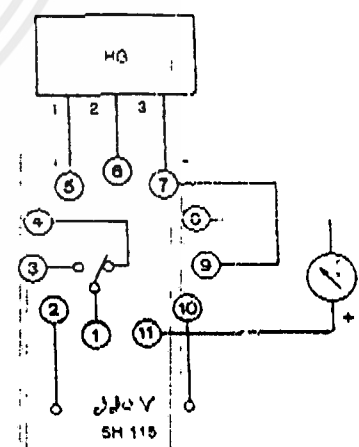


<p>ใช้ไฟ : 5 VDC</p> <p>อุณหภูมิใช้งาน : -10 ถึง +35°C</p> <p>ความเข้มข้นของแก๊ส : แก๊สที่จะตรวจจับได้ต้องมีความเข้มข้นอย่างน้อยที่สุด 500 PPM ($\pm 0.05\%$)</p> <p>ความชื้น : 30 ถึง 100% RH</p> <p>การติดตั้ง : HG 10 และ HG 20 สามารถติดตั้งกับผนัง, เพดานได้โดยง่าย</p> <p>ลักษณะภายนอก : วัสดุที่ใช้ทำ NORYL SE 1 - ตัวถังสีเทา</p>	<p>ตัวตรวจจับแก๊ส รุ่น HG 10/HG 20 จะใช้งานร่วมกับ SH-115 ชื่อ SH-115 จะจ่ายไฟ 5 VDC ให้กับตัวตรวจจับแก๊สด้วย จึงไม่ต้องใช้ไฟหลัหลายภายนอกเพิ่ม</p> <p>HG 10 - เหมาะที่จะใช้ในการตรวจจับแก๊สพวก ethane, methane, propane, butane และ hydrogen รวมทั้ง alcohol และ carbon monoxide</p> <p>HG 20 - เป็นตัวตรวจจับแก๊สจำพวก toxic gas (เช่น carbon monoxide, ammonia, sulphur dioxide) และพวก alcohol, benzene โดยเฉพาะอย่างยิ่งเหมาะที่จะใช้เป็นตัวตรวจจับควัน</p>
--	--

■ รูปร่างและขนาด



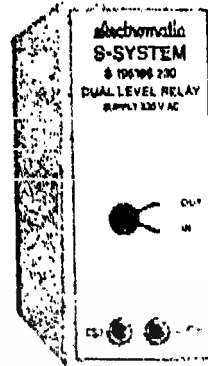
■ การต่อสาย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



คุณสมบัติของเครื่อง



- ควบคุมระดับของเหลว ใช้กันอิเล็กทรอนิกส์แบบ 2 หรือ 3 ภาได้ทุกที่ห้อง
- เช่นเข้าโพรบ S6 ของ SYRELEC หรือ VPC & VPP ของ ELECTROMATIC
- ควบคุมระดับสูง และต่ำ ใช้ charging/discharging
- มีสวิทช์ให้เลือก charging/discharging บนพานอลด้านหน้า
- S 195/S 295 : ความไวของเครื่องเข้าไว้แล้ว เหมาะใช้ไนโรงงาน
- S 196/S 296 : ความไวของเครื่องสามารถปรับได้
- เอาท์พุทเป็นรีเลย์ 10 แอมป์ แบบ SPDT
- 8 แอมป์ แบบ DPDT
- มี LED แสดงสถานะของไฟเลี้ยง และ เอาท์พุทไฟเลี้ยง AC

คุณสมบัติทางเทคนิค

● ความไว (S 195/S 295)

IN (CHARGING)
เมื่อค่าความต้านทานระหว่างขั้ว S-6(3-6) และ 7(9) มีค่าน้อยกว่า - 25K รีเลย์จะยังไม่ทำงาน จนกระทั่งค่าความต้านทานมีค่ามากกว่า 50K รีเลย์จึงจะทำงาน

● อนุบ (DISCHARGING)

เมื่อค่าความต้านทานระหว่างขั้ว S-6(3-6) และ 7(9) มีค่าน้อยกว่า -25K รีเลย์ทำงานต่อเนื่อง จนกระทั่งค่าความต้านทานมีค่ามากกว่า 50K รีเลย์จะหยุดทำงาน

● ค่าความต้านทานระหว่างแคร์กับกราวด์ต้องมีค่าน้อยกว่า 220K

● ความไว (S 196/S 296)

มีปุ่มปรับความไว บนสเกล
ON : 3.5 - 30K
OFF : 15 - 60 K

● ตัวตรวจวัดกระแสไฟ

สูงสุด 2.5 mA

● การต่อสายเคเบิล

ยาว 100 เมตร (สูงสุด)

● มีสวิทช์เลือก Charging/Discharging

● ตัวตรวจวัดแรงดันไฟ

สูงสุด 24 VAC

● อุปกรณ์ประกอบใช้งานร่วมกัน

ตัวตรวจวัดระดับ ชนิด VH, VPC, VPP, VN.

VNY, VNI, VT, VTI, VS

● วิธีการสั่ง

ปรับความไวไม่ได้

11 ขั้วกลม

S 195 156 XXX 10A SPDT

S 195 166 XXX 8A DPDT

11 ขั้วเหลี่ยม

S 295 156 XXX 10A SPDT

S 295 166 XXX 8A DPDT

ปรับความไวได้

11 ขั้วกลม

S 196 156 XXX 10A SPDT

S 196 166 XXX 8A DPDT

11 ขั้วเหลี่ยม

S 296 156 XXX 10A SPDT

S 296 166 XXX 8A DPDT

XXX = ไฟเลี้ยง

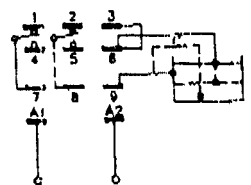
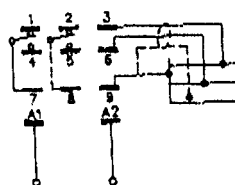
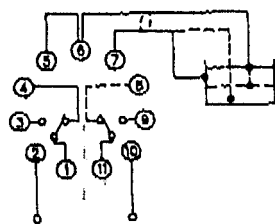
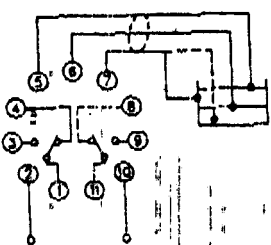
โตแกรมขั้วต่อ

ตัวอย่าง 1 และ 3

ตัวอย่าง 2 และ 4

ตัวอย่าง 1 และ 3

ตัวอย่าง 2 และ 4



กิตติกรรมประกาศ

Courtesy

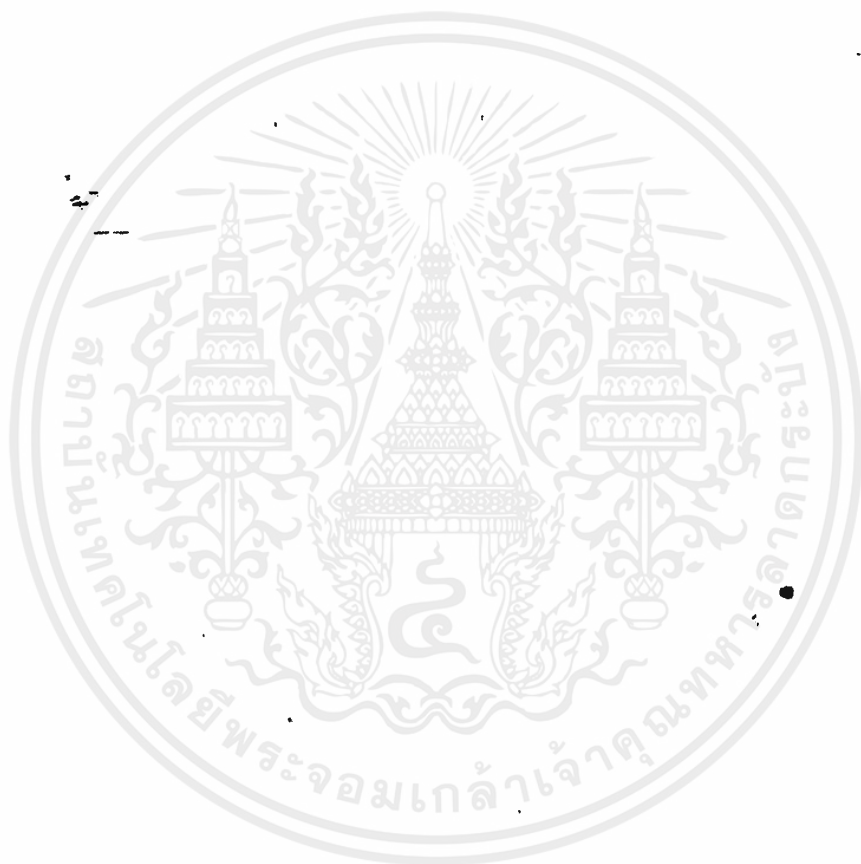
ในการทำงานโครงการเครื่องล้างอากาศแบบใช้น้ำส่วนแรกของเทอมนี้ นั้น ทีมงานนักศึกษาผู้ทำโครงการฯ ใครขอขอบพระคุณบุคคลต่อไปนี้ ที่ได้มีส่วนในการให้คำแนะนำ ความเห็น ให้ข้อมูล ให้ยืมเครื่องมือ เครื่องมือ ตลอดจนให้กำลังใจ และให้การสนับสนุน การทำโครงการนี้ขึ้นมาจนสำเร็จเป็นชิ้นเป็นอัน จนอาจกล่าวได้ว่าสามารถบรรลุเป้าหมายได้เกินกว่าที่คาดหวังเอาไว้เมื่อครั้งเริ่มต้นสำหรับภาคการศึกษานี้เป็นอย่างมาก พวกเราขอขอบพระคุณ

1. ผศ.ดร. มงคล มงคลวงศ์โรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษา ท่านได้ให้ความรู้ และอิสระในการทำงานอย่างมาก
2. อ. ธวัชชัย นาคพิพัฒน์ ท่านได้กรุณาให้ยืมและให้ใช้เครื่องมือทดสอบที่มีมูลค่าสูงต่าง ๆ ได้อย่างเต็มที่ รวมทั้งใช้สถานที่ห้องปฏิบัติการของท่านด้วย
3. อ. จำลอง ปราบแก้ว ผู้เป็นเจ้าของรถจักรยานยนต์ทดลองคันนั้น และท่านได้ให้ยืมรถยนต์ของท่านเป็นพาหนะในการไปจัดหาซื้ออุปกรณ์ต่าง ๆ เป็นประจำ และให้สถานที่ห้องของท่านในการทำรายงานต่าง ๆ ด้วย
4. คุณ ประสิทธิ์ เวียงตาลจันทรา บริษัท ภาวินเอ็นจิเนียริ่ง จำกัด ผู้ให้ข้อมูลเรื่องเครื่องล้างอากาศต่าง ๆ ข้อมูลของหัวฉีด และข้อมูลด้านการวางท่อด้วย
5. Mr. K. Sato, NKK Corporation (Japan) สำหรับข้อมูลมลภาวะทางอากาศทั้งหมด ส่วนหนึ่งของเครื่องล้างอากาศแบบต่าง ๆ และสรุปข้อมูลมลภาวะของประเทศญี่ปุ่น
6. คุณ มณฑา เทียมเมือง คุณ เมธี ลิ้มกุล และ คุณ พงษ์ศักดิ์ คำมูล สำหรับงานด้านปฏิบัติการ และเครื่องมือต่าง ๆ ทุกชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. อาจารย์ท่านอื่น ๆ เจ้าหน้าที่บริษัทต่าง ๆ เพื่อนภาคเครื่องกลทุกคนที่ได้เคยให้คำแนะนำ ให้ข้อมูล และให้กำลังใจในการทำงานแก่พวกเราตลอดมา

ด้วยความเคารพและซาบซึ้งในความกรุณาของท่านอย่างสูง ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้กล่าวมาอีกครั้ง ณ ที่นี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

References

1. B.Bretschneider and J.Kurfurst, *Air Pollution Control Technology ,Fundamental aspects of pollutioncontrol and environmentscience 8* (in Czech Republic), CVUT, Prague, 1967

2. Christie J. Geankoplis, *Transport Processes: Momentum, Heat and Mass*, Allyn and Bacon Inc., Newton, Massachusettes, 1983

3. C. O. Bennet & J.E. Myers, *Momentum Heat and Mass Transfer*, 3rd ed., McGraw-Hill, New York, 1988

4. Henry C. Perkins, *Air Pollution*, McGraw-Hill, New York, 1974

5. Homer W. Parker, *Air Pollution*, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs New Jersey, 1977

6. Howard E. Hesketh, *Understanding and Controlling Air Pollution*, 2nd ed., Ann-Arbor Science Publishers, Ann Arbor Michigan, 1974

7.M. M. El-Wakil, *Powerplant Technology*, McGraw-Hill, New York,1984

8. Robert W. Fox & Alan T. Fox, *Introduction to Fluid Mechanics*,3rd ed., John Wiley & Sons, New York, 1985

9. W. G. Breck, R.J.C. Brown and J.D. McCowan, *Chemistry for Science and Engineering*, 2nd ed., McGraw-Hill, Toronto, 1989

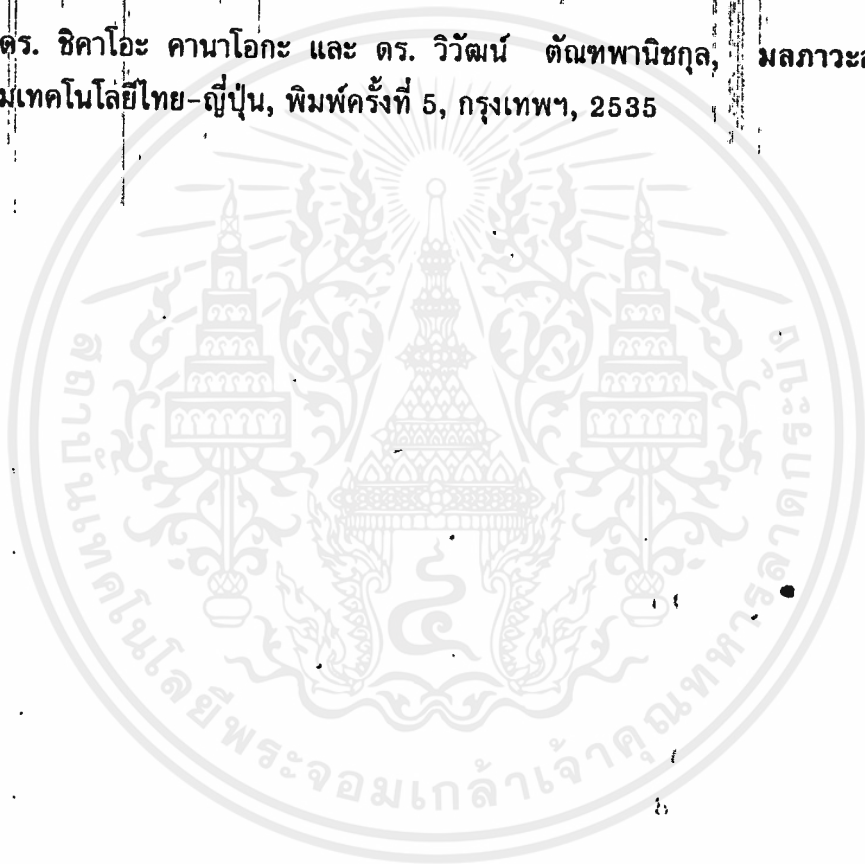
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. Warren T. McCabe, J. C. Smith, Peter Harriott; **Unit Operations of Chemical Engineering**, 5th ed., McGraw-Hill, New York, 1993

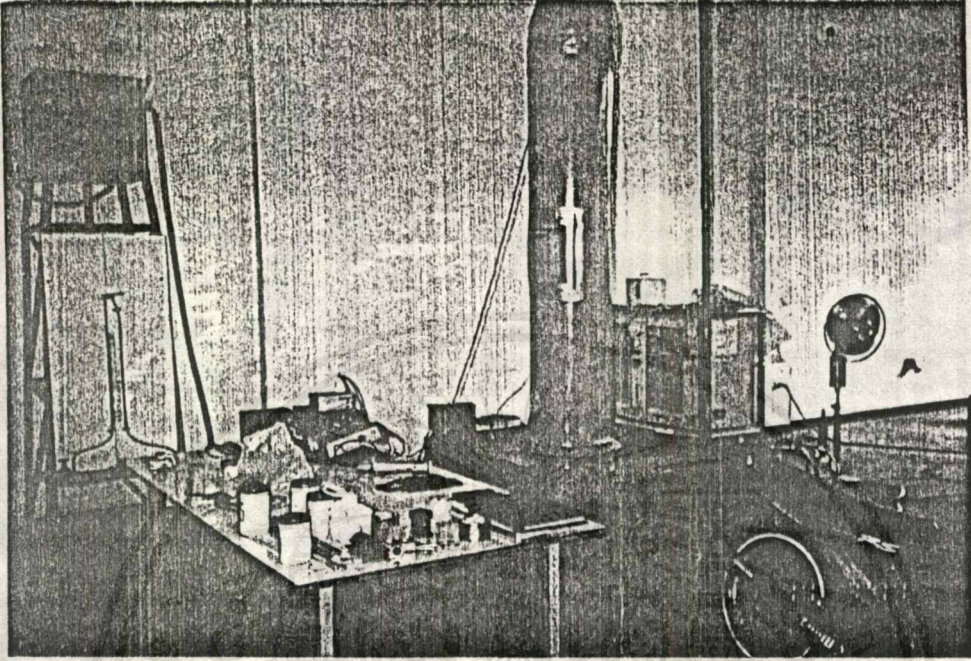
11. William Licht, **Air Pollution Control Engineering, Basic Calculations for particulate Collection**, 2nd ed., Marcel Dekker Inc., New York, 1988

12. ดร. ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์, หลักระเบียบ 1 และ 2, โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ, 2522

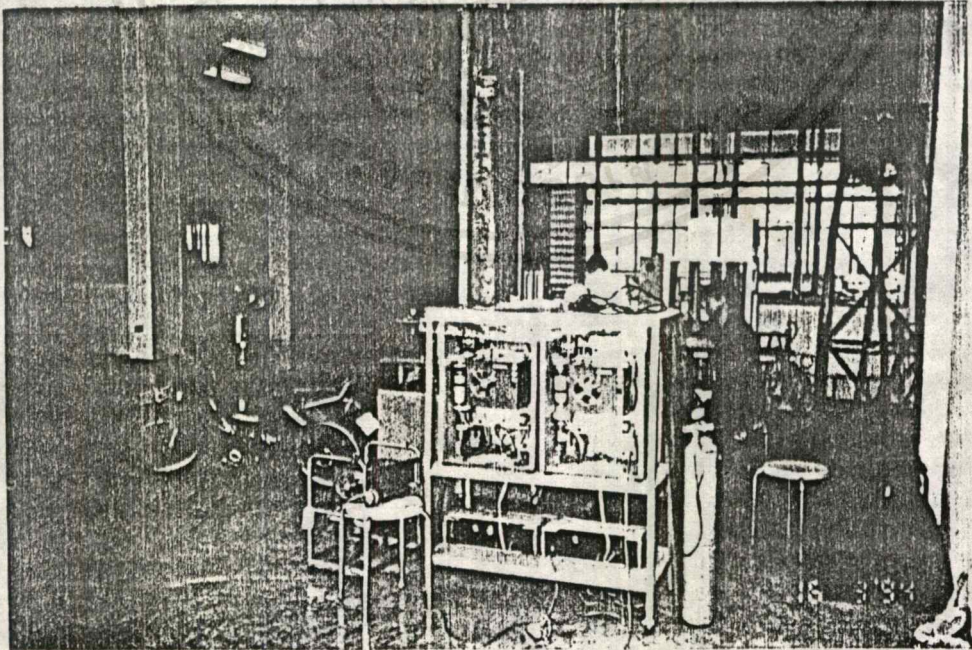
13. ดร. ชิดาโอะ คานาโอกะ และ ดร. วิวัฒน์ ตันตพานิชกุล, **มลภาวะอากาศ, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น, พิมพ์ครั้งที่ 5, กรุงเทพฯ, 2535**



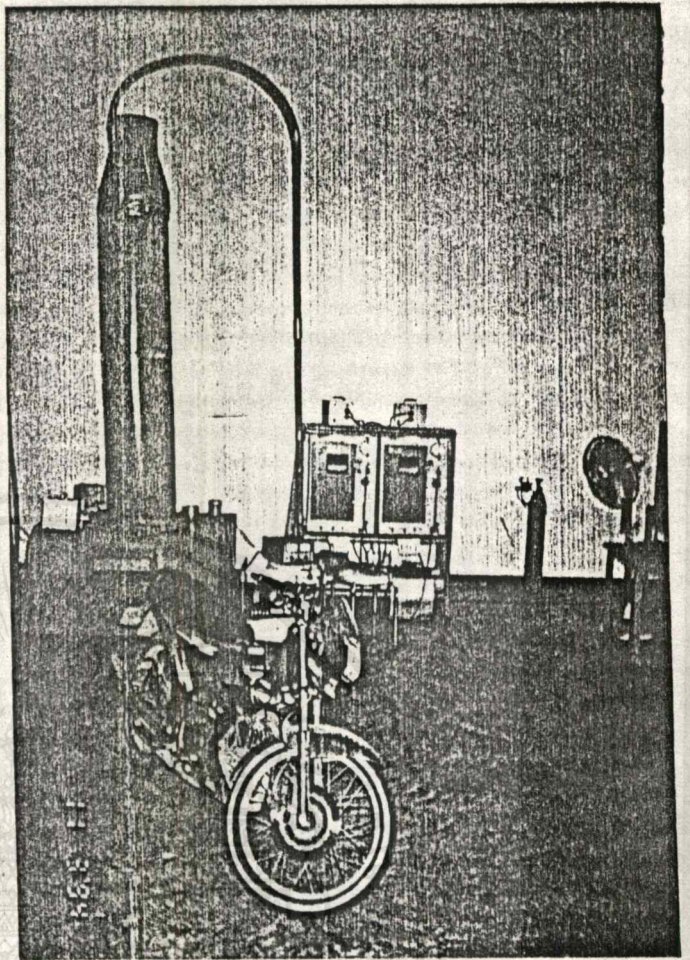
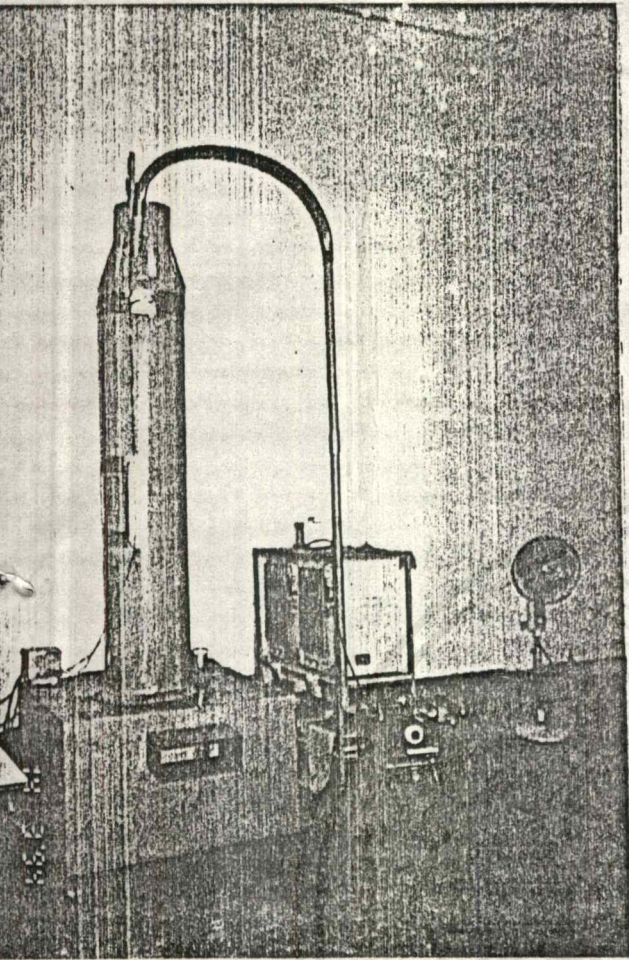
ภาพถ่ายประกอบเพิ่มเติม (Additional pictures)



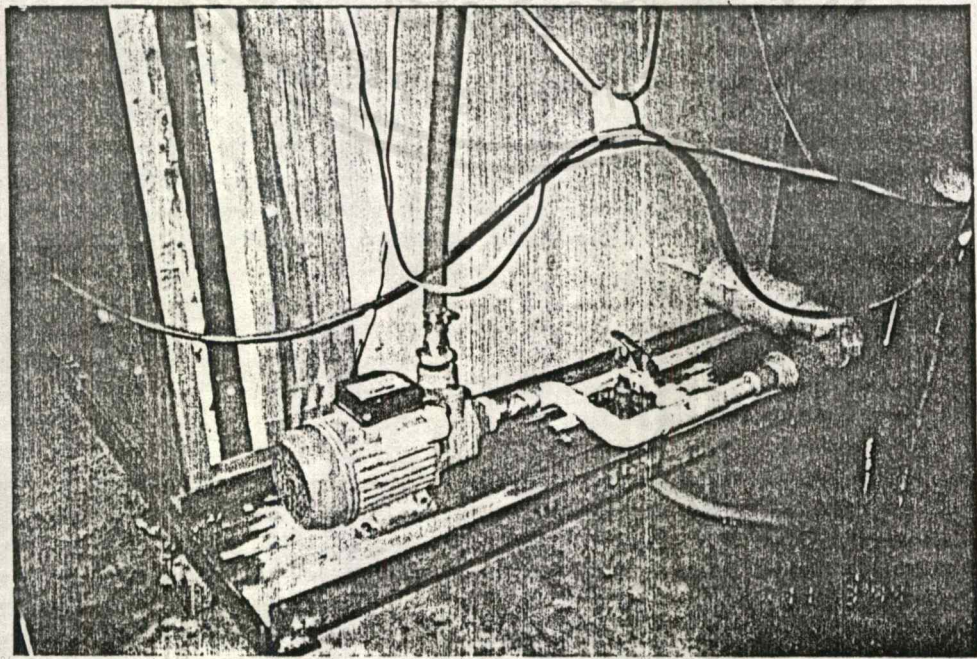
ภาพถ่ายการจัดอุปกรณ์การทดลอง



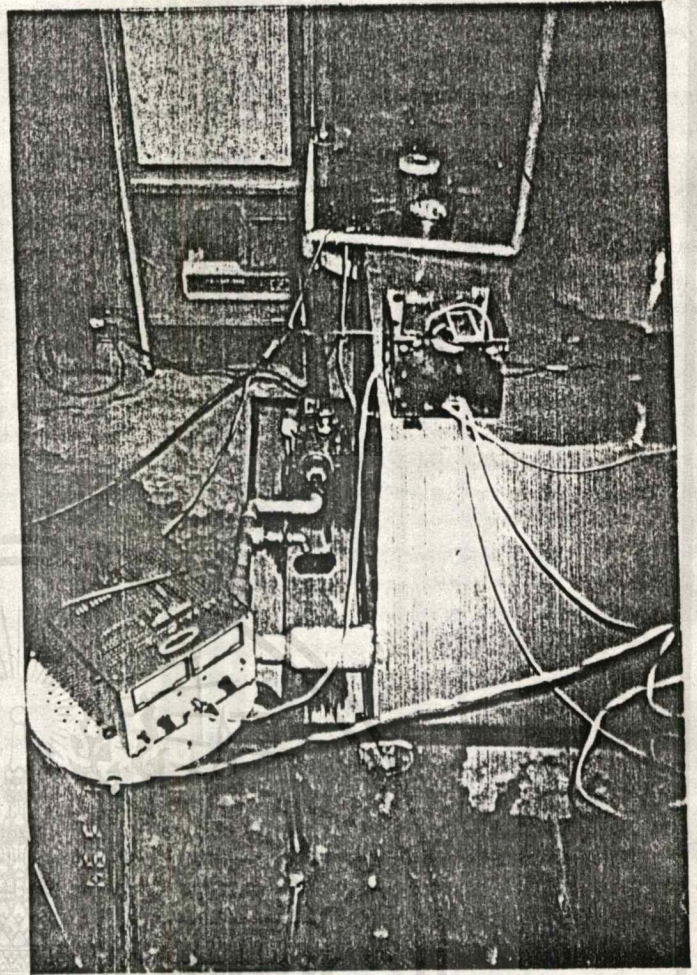
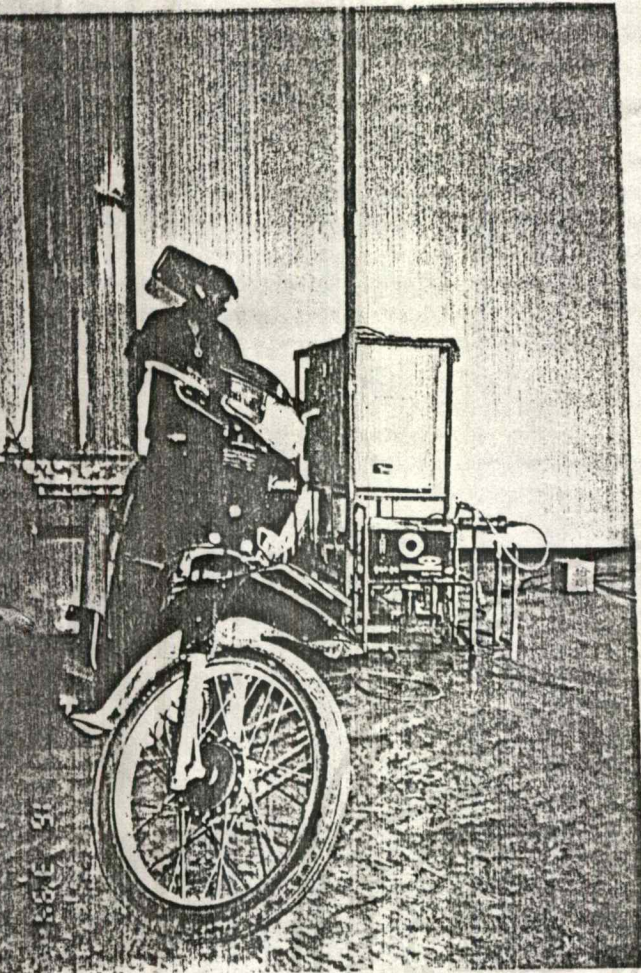
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบุคลากรทดลองอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เท่านั้น ไม่สามารถเผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่สามารถตีพิมพ์ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



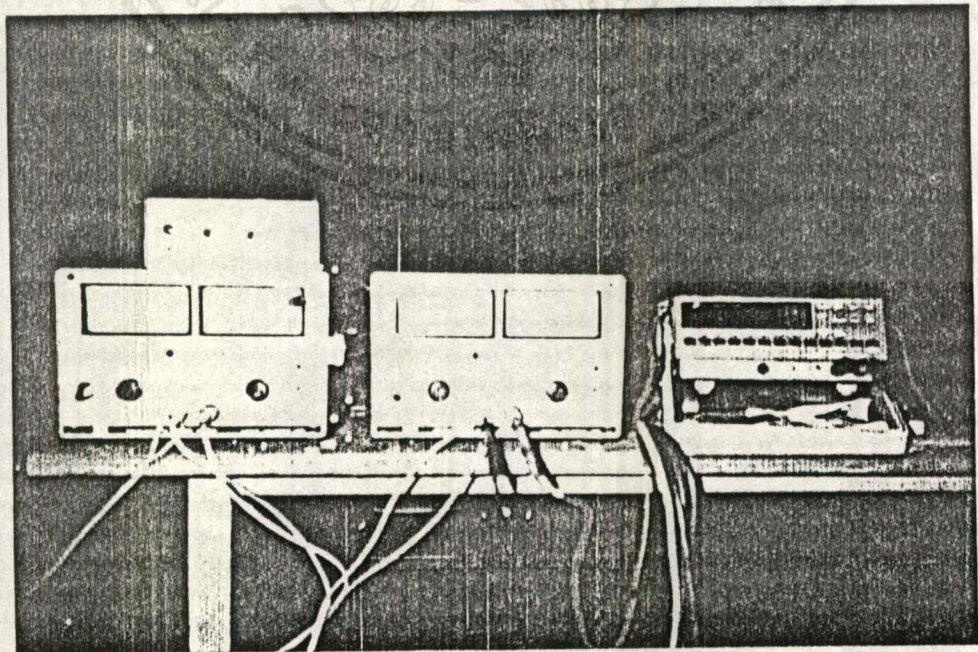
การจัดอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการทดลองกับรถจักรยานยนต์



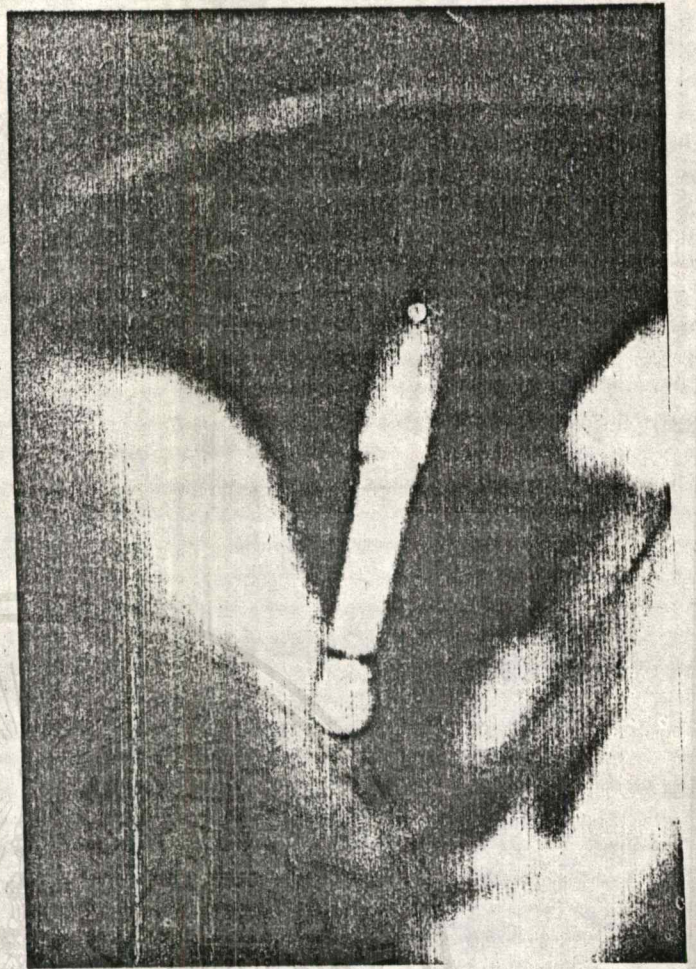
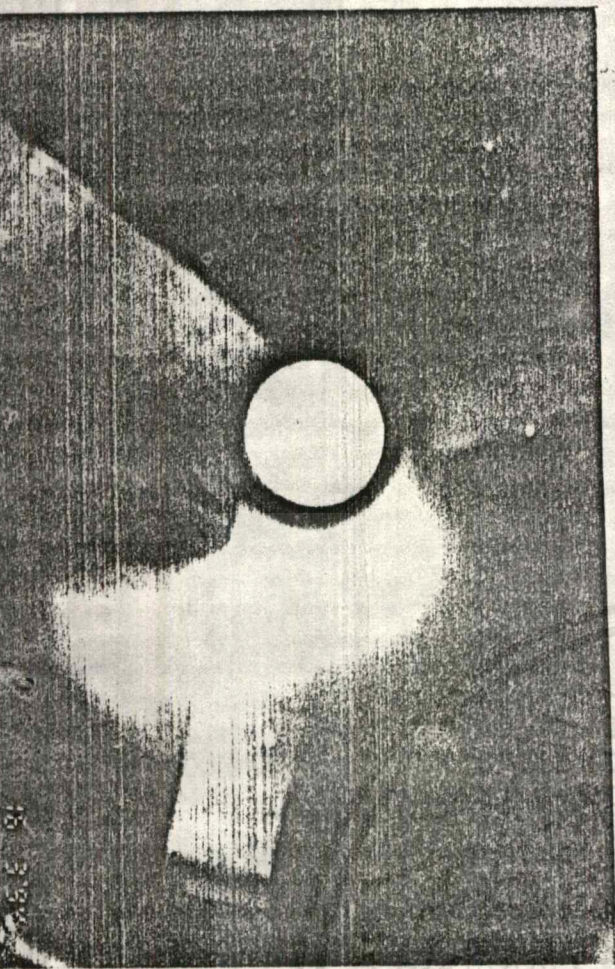
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่จากรณีใด ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีข้อตกลงว่าเนื้อหาและข้อมูลทั้งหมดนี้เป็นเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 การจัดทำจากวิกิมีเดียคอมมอนส์ภายใต้สัญญาอนุญาต



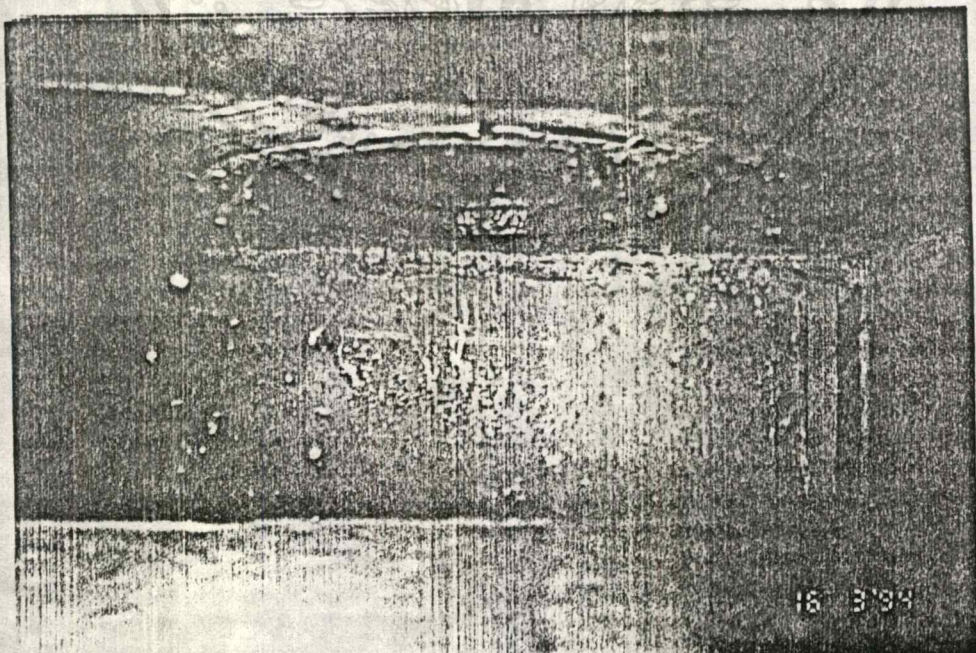
ขณะทำการทดลองกับรถจักรยานยนต์ และการจัดวางอุปกรณ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 มัลติมีเตอร์ (ขวาสุด) และชุดจ่ายไฟ ถวบกุมเหล็กมและอุปกรณ์ถวบกุม
 ไม่วางกรณีใดใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 เบบเรอร์เปิดิต

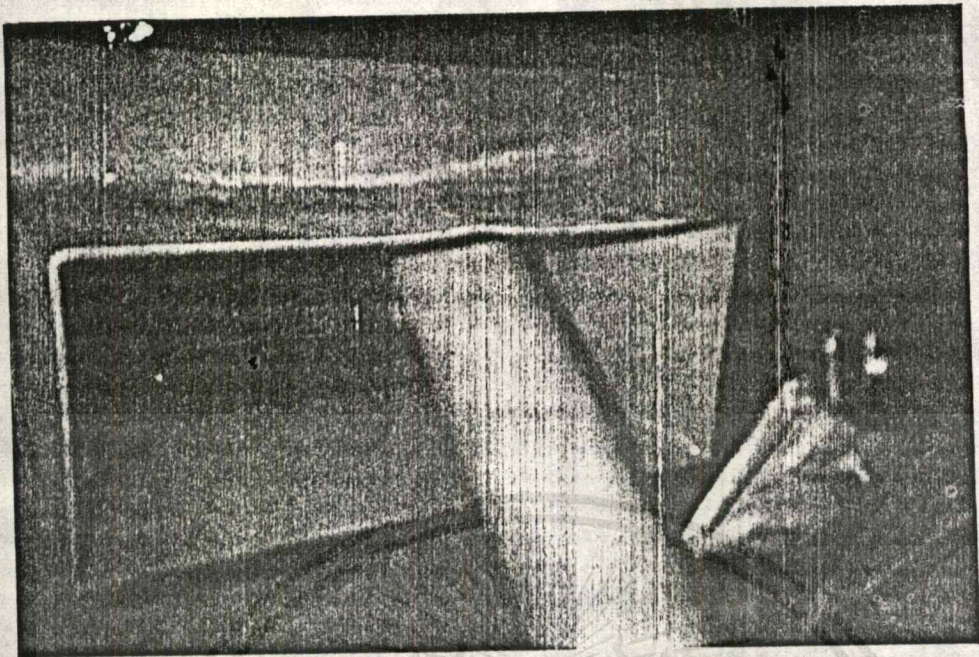


ซ้าย บนสุดของอุปกรณ์มีพัดลมเหนี่ยวนำอากาศให้มีการไหลเวียนเกิดขึ้น
ขวา ละอองน้ำถูกฉีดผ่านหัวฉีด 2 ตัวที่ด้านบน เพื่อให้มีการกระจายลงมา เต็มที่ซีที

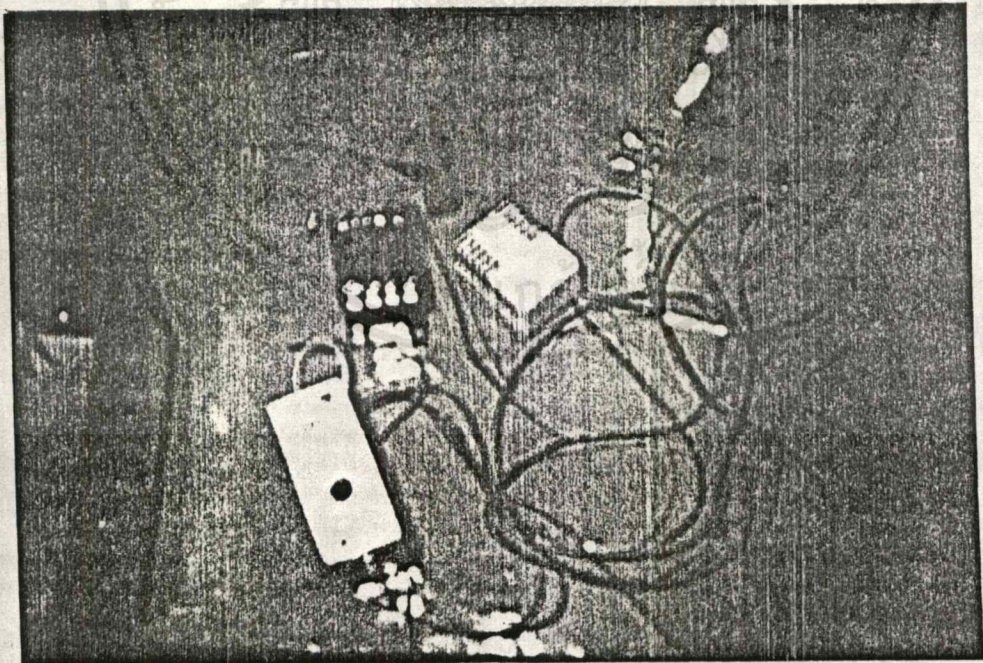


16 3'94

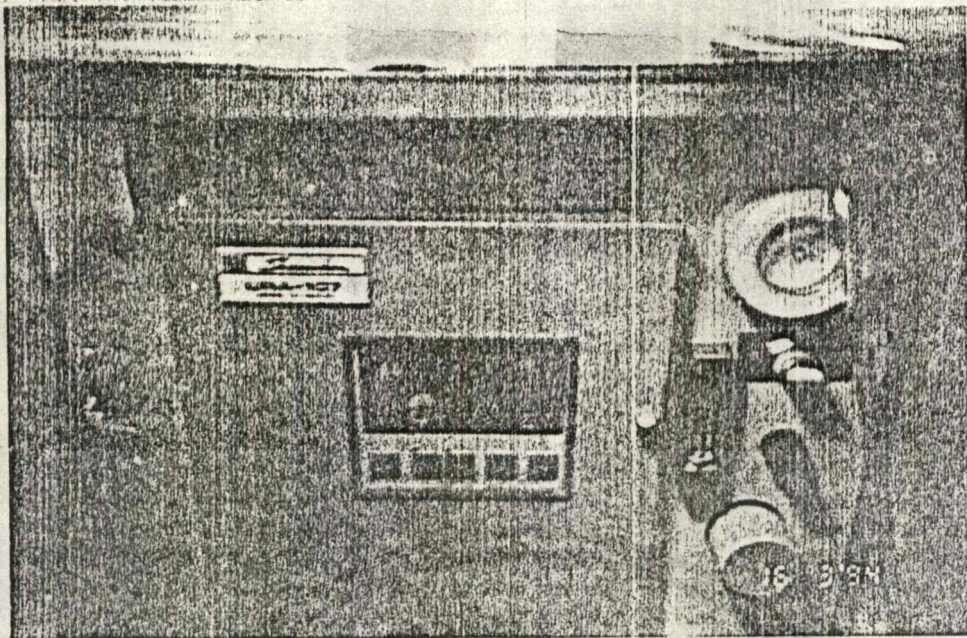
ภาพในดั่งเห็นน้ำภายในถัง ภาชนะจะถูกดูดไหลเข้าไปข้างบน
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ขณะนี้หัวฉีดถูกฉีดส่วนทางลงมา ภาชนะจะวางไว้ภาชนะอยู่ภายในถัง
ไม่ว่ากรณีใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ไอเสียจากท่อไอเสียจากรถจักรยานยนต์จะผ่านท่อเข้าอุปกรณ์



ชุดควบคุมอัตโนมัติ ขณะยังไม่ติดตั้ง ได้นักรี่เลย์ แบกเนติกคอนแทรคเตอร์ และเซนเซอร์วัดก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ มีสายต่อยาวเพื่อสะดวกต่อการวัดจุดต่าง ๆ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ถ้าเราเริ่ขนาดออกไป จะดูกับเลามาส่วนหนึ่ง เพื่อวัดค่าความเข้มข้นของสาร
 สารละลายชนิดใดก็ได้ ที่มีเครื่องวัดนี้



สารเร่งปฏิกิริยา เฮอร์ริคออกไซด์ ถูกจัด เพื่อใส่ให้ ความเร็วทันใจที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้