

บทที่ 4

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การออกแบบ Lundgren impactor นั้นประสงค์ที่จะเก็บฝุ่นให้ได้ 8 ขนาด cut size คือ 10, 5, 2.5, 1.2, 0.6, 0.4, 0.2, และ 0.1 μm ตามลำดับ จากผลการทดสอบความเที่ยงตรงในบทที่ 3 พบว่า ขนาด cut size (ที่ 50% collection efficiency) ที่ได้คือ 11, 5.0, 2.48, 1.15, 0.63, 0.38, 0.18 และ 0.11 μm ตามลำดับ ซึ่งค่อนข้างใกล้เคียงกับที่ออกแบบไว้ ทั้งนี้ อัตราการสูญเสียอนุภาคให้กับผนังของเครื่องมือ (wall loss) ในชั้นต่างๆมีมากขึ้นเมื่ออนุภาคมีขนาดใหญ่ โดยพบว่าอนุภาคขนาด 3 μm มีการสูญเสียให้กับผนังของเครื่องมือ 7.6%, ขนาด 4.2 μm มีการสูญเสีย 13%, ขนาด 6 μm มีการสูญเสีย 20.1%, ขนาด 8.5 μm มีการสูญเสีย 23.8%, ขนาด 10.4 μm มีการสูญเสีย 25.2%, ขนาด 12 μm มีการสูญเสีย 35.2% และขนาด 14.3 μm มีการสูญเสียมากถึง 45.7% โดยส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นในชั้นที่หนึ่งและสอง ส่วนในชั้นที่สามนั้นพบเมื่ออนุภาคมีขนาด 3 μm และ 4.2 μm ซึ่งขึ้นกับว่า อนุภาคที่สังเคราะห์ได้นั้นมีขนาดอยู่ในช่วงของการกักเก็บในชั้นใด

สำหรับอนุภาคขนาด 6 μm พบว่าเมื่อใช้ความเข้มข้น 1% และ orifice size 10 μm ในการสังเคราะห์ อัตราการสูญเสียให้กับผนังมีค่าใกล้เคียงกับอัตราการกักเก็บบนแท่งรองรับเป็นอย่างมาก (29% ต่อ 25% ในชั้นที่ 2 และ 25% ต่อ 21% ในชั้นที่ 3) ซึ่งแตกต่างไปจากอนุภาคขนาดเดียวกันเมื่อใช้ความเข้มข้นอื่น ซึ่งเป็นไปได้ว่าอาจเกิดการปนเปื้อนจากแผ่น aluminum foil บนแท่งรองรับทรงกระบอกไปสู่ช่อง nozzle ของ impactor เวลาชักแท่งทรงกระบอกออกจากตัวเครื่องมือ ทำให้ปริมาณร้อยละของสาร fluorescence บนผนังมีค่ามากกว่าที่ควรจะเป็นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวเลขชุดอื่นในขนาดของอนุภาคเดียวกัน ทั้งนี้ ถ้าหากตัดข้อมูลของอนุภาคขนาด 6 μm ที่ใช้ความเข้มข้น 1% และ orifice size 10 μm ออก อัตราการสูญเสียอนุภาคให้กับผนังโดยรวมจะมีค่าเป็น 11.5% แทน ซึ่งในการแสดงผลประสิทธิภาพการกักเก็บของเครื่องมือในรูปที่ 31 ได้ใช้ร้อยละการกักเก็บฝุ่นบนแท่งรองรับที่ตัดตัวเลขในชุดที่สงสัยว่ามีความคลาดเคลื่อนนี้ออกไปแล้ว

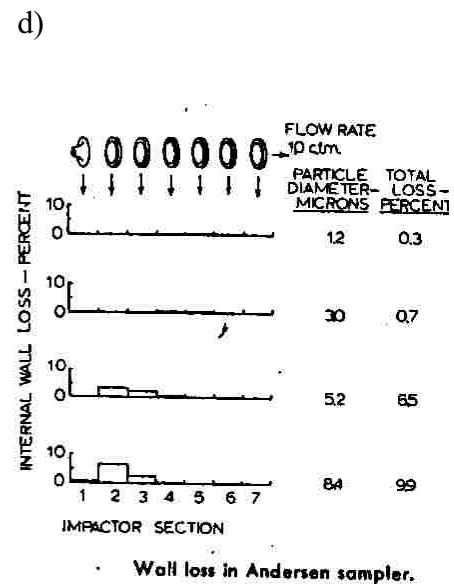
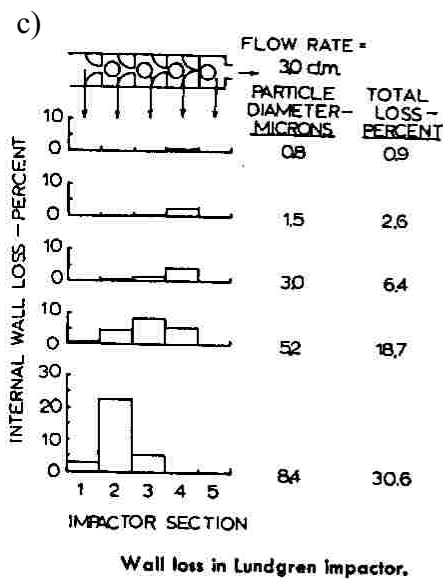
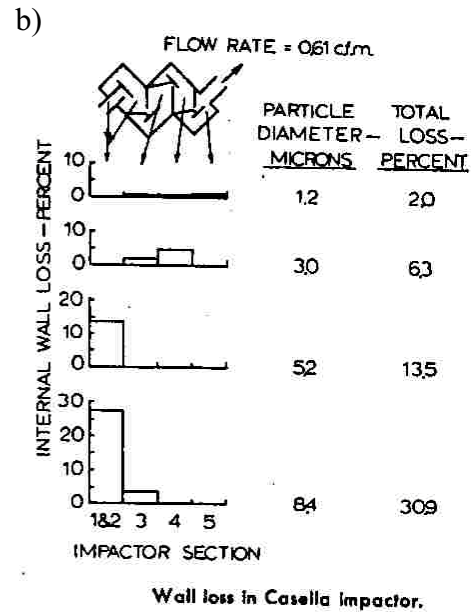
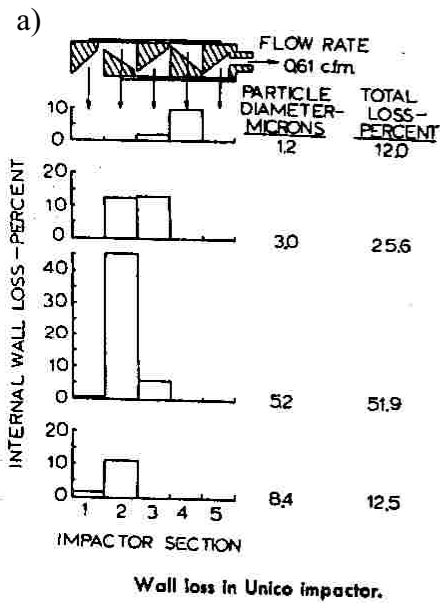
สาเหตุของการเกิด wall loss นั้นมาจากแรงเฉื่อยของอนุภาคเป็นสำคัญ อนุภาคสังเคราะห์ขนาดใหญ่ๆ เช่น 12 μm และ 14 μm ที่มีขนาดใหญ่กว่า cut size ของชั้นที่ 1 (cut size 10 μm) มีแนวโน้มที่จะไม่ตกกระทบลงบนแท่งรองรับ แต่จะตกตัวสะสมอยู่ที่บริเวณช่องทางเข้าและด้านหลังของช่องทางเข้า เนื่องจากอนุภาคไม่สามารถติดตามกระแสของอากาศไปจนถึงแท่งรองรับได้ ทำให้อัตราการกักเก็บอนุภาคลดลงเหลือเพียงประมาณครึ่งหนึ่งของอนุภาคที่เข้ามาทั้งหมด สำหรับอนุภาคสังเคราะห์ขนาดใกล้เคียงกับ cut size ขนาด 10.4 μm นั้น ก็ยังคงสะสมอยู่ที่ช่องทางเข้าของชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 ประมาณหนึ่งในสี่ส่วน อย่างไรก็ตาม อนุภาคสังเคราะห์ขนาด 10.4 μm นั้น ได้ทำการทดสอบเพียงครั้งเดียว จึงไม่มีผลเปรียบเทียบมายืนยันว่าแนวโน้มของการกักเก็บเป็นในรูปแบบนี้ทุกครั้ง ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่า อาจมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นในระหว่างทดสอบได้

เช่นการสัมผัสกันของแท่งรองรับกับช่องทางเข้าของอนุภาคระหว่างดิ่งแท่งรองรับออก รวมทั้งเป็นไปได้ว่า การสังเคราะห์อนุภาคมีปริมาณมากเกินไป อนุภาคที่ผ่านเข้ามาที่หลังไม่สามารถเกาะตัวบนผิวของแท่งรองรับได้เนื่องจากอนุภาคที่เข้ามาก่อนเกาะตัวอยู่อย่างหนาแน่นอยู่แล้ว อนุภาคที่เข้ามาที่หลัง จึงกระเด็นกลับ และสะสมอยู่ตามผนังของเครื่องมือ โดยรอบ

ทั้งนี้ ไม่เพียงแต่ Lundgren impactor ทั้งตัวดั้งเดิมและตัวปัจจุบันเท่านั้นที่มี wall loss เกิดขึ้นเป็นอย่างมากเมื่ออนุภาคมีขนาดใหญ่ เครื่อง impactor ชนิดอื่นเช่น Unico, Casella, Andersen และ MOUDI ล้วนแต่มี wall loss เกิดขึ้นทั้งสิ้น ใน Unico impactor การออกแบบกำหนดให้มีอัตราการดูดอากาศขนาด 0.61 cfm ผ่านเข้ามาในช่องทางเข้ารูปทรงสาม เหลี่ยม (รูปที่ 32 a) โดย wall loss เกิดขึ้นมากที่สุด 52% ในชั้นที่ 2 เมื่ออนุภาคมีขนาด 5.2 μm ซึ่งน่าจะมาจากการหักเหลงอย่างเฉียบพลันของกระแสเมื่อเข้าสู่ชั้นที่ 2 อนุภาคขนาดใหญ่ที่มีแรงเฉื่อยสูงจึงวิ่งเข้าปะทะเข้ากับผนังของเครื่องมือ ส่วน Casella impactor (รูปที่ 32 b) นั้น wall loss เกิดขึ้นมากในชั้นที่ 1 เมื่ออนุภาคมีขนาด 8.4 μm (30.9%) โดยอัตราการดูดอากาศนั้นเท่ากับ Unico impactor โดยการออกแบบก็มีลักษณะคล้ายคลึงกับ Unico impactor เช่นกัน กล่าวคือ อากาศจะหักเหไปมาด้วยแผ่นกัน baffle ซึ่งอากาศที่เข้ามาในช่องทางเข้าจะปะทะกับแผ่น baffle โดยตรงก่อนที่จะหักเหไปสู่ชั้นที่ 2 ซึ่งน่าจะเป็นสาเหตุให้อนุภาคขนาดใหญ่สะสมมากที่ในชั้น แรก สำหรับ Lundgren impactor ตัวดั้งเดิม มี wall loss เกิดขึ้นมากในชั้นที่ 2 ด้วยอัตราใกล้เคียง กับที่พบใน Casella impactor (30.6% สำหรับอนุภาคขนาด 8.4 μm) ถึงแม้ว่าอัตราเร็วในการดูด อากาศจะเร็วกว่ามาก (3 cfm) (รูปที่ 32 c) แสดงว่าอัตราการดูดอากาศไม่น่าจะเป็นปัจจัยสำคัญ เท่ากับลักษณะการออกแบบช่องทางเข้าของแต่ละชั้นที่ทำให้อนุภาควิ่งเข้าปะทะกับผนังของเครื่อง มือ ส่วน Andersen sampler นั้นพบว่า มี wall loss เกิดขึ้นน้อยที่สุด โดยอนุภาคขนาด 8.4 μm พบมากที่สุดที่ในชั้นที่ 2 เพียง 10%เท่านั้น ทั้งนี้ การออกแบบของ Andersen sampler มีการหักเหของ อากาศน้อยกว่า impactor ชนิดอื่น (รูปที่ 32 d) โดยอนุภาคที่ผ่านเข้ามาจากช่องทางเข้าจะตก กระทบลงบนแผ่นรองรับด้านล่าง อากาศจะเคลื่อนตัวไปยังชั้นต่อไปในช่องตรงกลาง การปะทะกับ ผนังจึงไม่เกิดขึ้นอย่างรุนแรง

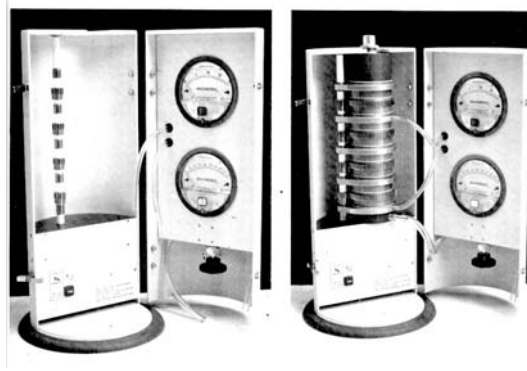
สำหรับ MOUDI (รูปที่ 33) พบว่าการสูญเสียอนุภาคระหว่างชั้นเกิดขึ้นมากที่สุดที่ในชั้นของช่องทางเข้าและลดลงมาในชั้นที่ 1 และ 2 ตามลำดับ (รูปที่ 34) ซึ่งในการทดสอบนั้น ได้ใช้อนุภาคสังเคราะห์ทั้งที่เป็นของแข็งและเป็นของเหลว โดยพบว่า การสูญเสียอนุภาคของแข็งนั้นมีน้อยกว่าอนุภาคของเหลว (20% สำหรับของแข็ง และ 35% สำหรับของเหลว เมื่ออนุภาคมีขนาด 15 μm) เนื่องจาก อนุภาคของแข็งนั้นสามารถกระเด็นกลับเข้าไปในกระแสนของอากาศและไปตกกระทบลงบนแผ่นรองรับของชั้นอื่น ขณะที่อนุภาคของเหลวเกาะติดบนพื้นผิวได้ง่ายกว่า ทั้งนี้ ปัจจัย

สำคัญที่ทำให้เกิดการสูญเสียอนุภาคขนาดใหญ่ คือ แรงเฉื่อยของอนุภาค ขณะที่อนุภาคขนาดเล็ก (ในชั้นที่ 9 และ 10) การสูญเสียนั้นมาจากแรง diffusion (Marple et al., 1991)



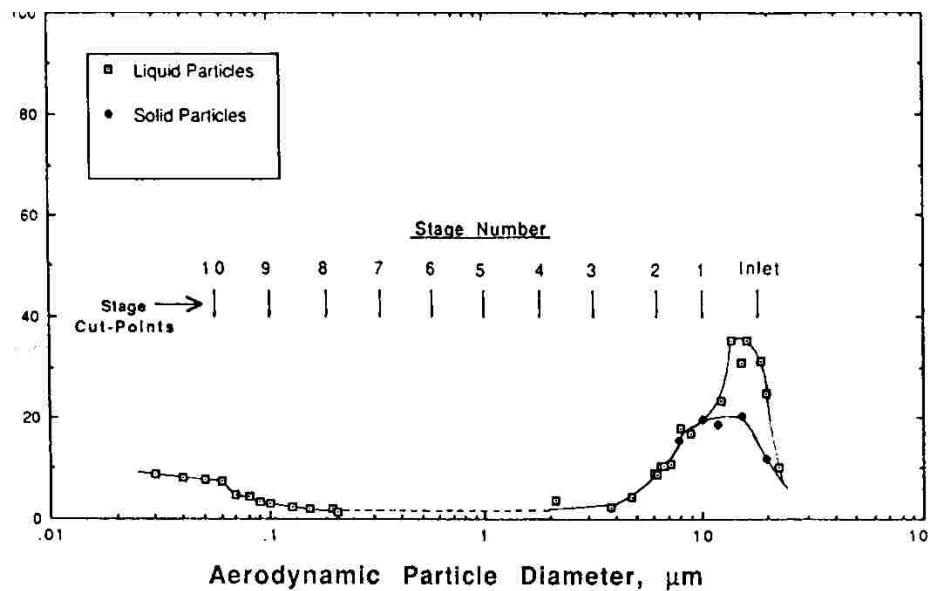
รูปที่ 32 Wall loss ใน impactor ชนิดต่างๆ a) Unico impactor b) Casella impactor

c) Lundgren impactor d) Andersen sampler (Lundgren, 1967)



รูปที่ 33 Micro-Orifice Uniform Deposit Impactor (MOUDI) (Marple et al., 1991)

Particle loss, %



รูปที่ 34 Particle loss ใน MOUDI (Marple et al., 1991)

สำหรับฝุ่นในขนาดกลาง ($3.0-1.0 \mu\text{m}$) นั้น ประสิทธิภาพการเก็บกักได้มาจากการใช้เครื่อง Aerosizer ซึ่งการรายงานผลนั้นเป็นค่าเฉลี่ยของการเก็บกักฝุ่นที่ละชั้นที่ทดสอบ ไม่ได้ใช้วิธีคิดเป็นสัดส่วนของฝุ่นแต่ละชั้นต่อปริมาณฝุ่นทั้งหมดที่เข้าเครื่องมีอดังในฝุ่นขนาดใหญ่ ฉะนั้นผลรวมของประสิทธิภาพการเก็บกักที่แสดงในตารางที่ 5 ถึง 8 จึงไม่เป็น 100% (เช่นเดียวกับฝุ่นขนาดเล็ก $<1.0 \mu\text{m}$) นอกจากนี้ ในตารางที่ 7 ประสิทธิภาพของการกักเก็บในชั้นที่ 3 และ 5 มีค่าเป็นลบหลังจากทำการเฉลี่ยตัวเลขทั้ง 5 ครั้ง โดยบางครั้งนั้น ปริมาณฝุ่นที่วัดจากช่องทางออกพบว่ามีมากกว่าที่วัดจากช่องทางเข้า ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากการตกค้างของฝุ่นในท่อสายยางที่ต่อเข้าเครื่อง Aerosizer หรือเป็นฝุ่นที่ตกค้างอยู่ในเครื่อง Aerosizer ก็เป็นไปได้ อย่างไรก็ตาม ความคลาดเคลื่อนนั้นมีเพียง 1-3% ซึ่งน่าจะเป็นตัวเลขที่ยอมรับได้

อนึ่ง ในรูปที่ 31 การสังเคราะห์อนุภาคนั้น ควรให้มีขนาดครอบคลุมในช่วงที่ต้องการศึกษาให้มากกว่านี้ ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้ว จำนวนจุดที่ทดสอบในแต่ละชั้นของ impactor มีเพียง 3-4 จุด ทั้งยังเป็นจุดที่อยู่ปลายบนและปลายล่างของเส้น efficiency curve อีกด้วย มีเพียงชั้นที่หนึ่งเท่านั้นที่มีจุดทดสอบอยู่ใกล้เคียงกับจุดที่ประมาณ 50% collection efficiency ถ้าในชั้นอื่นๆ ได้เพิ่มจุดทดสอบให้มากขึ้น โดยเฉพาะในช่วงกลางละแวก 50% collection efficiency ผลที่ได้น่าจะก่อให้เกิดความชัดเจนและมั่นใจได้มากกว่านี้ ข้อบกพร่องอีกประการหนึ่งคือ ในชั้นที่ 8 ขนาดฝุ่นที่เล็กที่สุดที่สังเคราะห์ได้ในที่นี่มีขนาด $0.13 \mu\text{m}$ ซึ่งยังไม่ครอบคลุมถึงปลายล่างของเส้น efficiency curve เพียงพอ ตัวเลข cut size จากรูปที่ 11 ($0.11 \mu\text{m}$) จึงเป็นเพียงการคาดคะเนจากความน่าจะเป็นด้วยการลากเส้นต่อไปให้ผ่านจุด 50% efficiency เท่านั้น

ทั้งนี้ ข้อบกพร่องดังกล่าว เป็นผลมาจากข้อจำกัดในเรื่องของเวลา ซึ่งการทดสอบความเที่ยงตรงนั้น ได้กระทำขึ้นในประเทศสหรัฐอเมริกาในช่วงภาคการศึกษาสุดท้ายที่ผู้วิจัยกำลังศึกษาอยู่ ซึ่งการสังเคราะห์ฝุ่นให้ได้ขนาดแต่ละขนาดตามที่ต้องการนั้น ต้องใช้เวลาในการปรับเครื่องมือแต่ละชนิดนานเกินกว่าที่คาดคะเนไว้มาก จนทำให้ล่วงเลยระยะเวลาที่ขออนุมัติอยู่ทำการศึกษาวิจัย จำนวนจุดทดสอบที่ปรากฏจึงไม่สามารถกระทำได้มากจุดเท่าที่ต้องการได้ นอกจากนี้ข้อมูลส่วนใหญ่ไม่ได้นำมาแปรผลถึงประสิทธิภาพการเก็บกักฝุ่นของเครื่องมือในทันทีด้วยเหตุผลทางด้านเวลาเช่นกัน ข้อบกพร่องดังกล่าวจึงไม่ได้ถูกค้นพบและทำการแก้ไขได้อย่างทันท่วงทีก่อนกลับสู่ประเทศไทย

สำหรับข้อเสนอแนะนั้น ใคร่จะกล่าวถึงการเลือกใช้วัสดุเป็นแท่งรองรับฝุ่น ซึ่งถ้าเป็นไปได้ ควรเลือกใช้พลาสติก เช่น แท่ง Teflon ซึ่งมีน้ำหนักเบาและคงที่ เนื่องจาก การใช้แท่งอลูมิเนียม ก่อนข้างจะมีปัญหาอยู่บ้างในเรื่องของการเปลี่ยนแปลงน้ำหนัก โดยเฉพาะเมื่อต้องการความละเอียดในระดับของไมโครกรัม ซึ่งจากประสบการณ์ที่ผ่านมา ค่า reproducibility ของแท่ง อลูมิเนียมเมื่อชั่งแท่งอลูมิเนียมเปล่าซ้ำๆ กันมากกว่า 20 ครั้งในแต่ละวันในเครื่องชั่งชนิด 5 ตำแหน่งนั้น มีค่ามากกว่า $\pm 10\%$ มิฉะนั้นห้องชั่งจำเป็นต้องมีการควบคุมระดับอุณหภูมิและความชื้นให้คงที่ตลอดเวลา หรืออาจจะต้องลอกแผ่น foil (หรือวัสดุอื่น) ที่หุ้มแท่งรองรับออกมาชั่งน้ำหนัก แทนที่จะชั่งทั้งแท่งรองรับ ซึ่งในกรณีหลังนี้ จำเป็นต้องใช้เครื่องชั่งที่มีความละเอียดสูงระดับ 6 ตำแหน่ง

กล่าวสรุปโดยรวม ผลของงานวิจัยนี้เป็นที่น่าพอใจในแง่ของความเที่ยงตรงของขนาดฝุ่นที่เก็บกักได้มีความใกล้เคียงกับที่ออกแบบไว้ค่อนข้างมาก เว้นแต่จำนวนข้อมูลที่ใช้อาจมีจำนวนไม่มากนัก ซึ่งการเก็บตัวอย่างจริงในบรรยากาศเปรียบเทียบกับเครื่อง impactor ชนิดอื่นที่ใช้กันอยู่ โดยทั่วไปน่าจะเป็นงานวิจัยที่ต่อเนื่องต่อไป แนวทางในการประดิษฐ์และวิธีการทดสอบความเที่ยงตรงที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ น่าจะมีประโยชน์เป็นอย่างสูงต่อผู้ที่มีความสนใจที่จะประดิษฐ์เครื่องมือ impactor ขึ้นใช้เองในประเทศ แต่ทั้งนี้ ข้อจำกัดในเรื่องของการไม่มีเครื่องมือสำหรับ

ใช้สังเคราะห์และวัดขนาดและปริมาณของอนุภาค สมควรจะต้องถูกแก้ไขก่อนเป็นอันดับแรก ซึ่งไม่เฉพาะแต่เครื่อง impactor เท่านั้นที่ต้องการเครื่องมือดังกล่าวในการทดสอบความเที่ยงตรง และประสิทธิภาพการใช้งาน อุปกรณ์เก็บฝุ่นทุกชนิด เช่น cyclone, PM-2.5 sampler, PM-10 sampler และอื่นๆ ล้วนต้องการการทดสอบในลักษณะเดียวกันทั้งสิ้น โดยถ้าผู้วิจัยในประเทศไทยสามารถประดิษฐ์หรือซื้อเครื่องมือในราคาถูกได้ งานวิจัยในด้านคุณภาพอากาศน่าจะมีความหลากหลายและเป็นที่ยอมรับขึ้นอีกมาก

เอกสารอ้างอิง

- Baron, P. (1993) Measurement of Asbestos and Other Fibers. In *Aerosol Measurement, Principle Techniques and Application*. Edited by Willeke, K and Baron, P., Van Nostrand Reinhold, N.Y., 876 p.
- Chuaybamroong, P. (2002) Composition, Particle Size, and Source of Ambient Aerosol in Alachua County, Florida. Ph.D. thesis, University of Florida, 307 p.
- EPA-600/P-95/001bF (1996) Air quality criteria for particulate matter. Vol II of III. Office of Research and Development, Washington, DC., p.8/1.
- Finlayson-Pitts, B. and Pitts-Jr., J. (1986) Atmospheric Chemistry: Fundamental and Experimental Techniques. John Wiley & Sons., N.Y., 1098 p.
- Hidy, G. (1984) Aerosols, An Industrial and Environmental Science. Academic Press, Inc., 774 p.
- Hinds, W. (1982) Aerosol Technology. John Wiley & Sons, N.Y., 424 p.
- Lehtimäki M. and Willeke K. (1993) Measurement Methods. In *Aerosol Measurement, Principle Techniques and Application*. (edited by K. Willeke and P.A. Baron), Van Nostrand Reinhold, NY., pp.112-129.
- Li, S-N. (1999) Field and Laboratory Evaluation of Six Inhalable Aerosol Samplers and Two Impactors. Ph.D. thesis, University of Florida, 185 p.
- Lundgren D.A. (1967) An aerosol sampler for determination of particle concentration as a function of size and time. *APCA Journal*. **17**, 225-228.
- Marple V.A. and Rubow K.L. (1986) Theory&Design Guidelines. In *Cascade Impactor, Sampling&Data Analysis*. A Publication of the American Industrial Hygiene Association, 79-101.
- Marple V.A., Rubow K.L., and Behm, S.M. (1991) A Microorifice Uniform Deposit Impactor (MOUDI): description, calibration, and use. *Aerosol Science and Technology* **14**, 434-446.
- Marple V.A and Willeke K. (1979) Inertial Impactors. In *Aerosol Measurement*. A University of Florida Book, FL., 90-107.
- Newhouse M.T. and Ruffin R.E. (1978) Deposition and fate of aerosolized drugs. *Chest* **73**, 936-943.
- Ning D-T., Zhong L-X., and Chung Y-S. (1996) Aerosol size distribution and elemental composition in urban areas of northern China. *Atmospheric Environment* **30**, 2355-2362.
- Patterson R.K. and Wagman J. (1977) Mass and composition of an urban aerosol as a function of particle size for several visibility levels. *J. Aerosol Sci.* **8**, 269-279.
- TSI, Inc. (1989) Model 3050 Vibrating Orifice Aerosol Generator Instruction Manual. St.Paul, MN., 117 p.
- TSI, Inc. (1990) Model 3068A Aerosol Electrometer Instruction Manual. St.Paul, MN., 59 p.
- TSI, Inc. (1992) Model 3071A Electrostatic Classifier Instruction Manual. St.Paul, MN., 119 p.

TSI, Inc. (1999) Model 3220 Aerosizer®DSP Particle Size Analyzer Instruction Manual. St.Paul, MN., 129 p.

Wark, K., Warner, G., and Davis, W. (1998) Air Pollution, Its Origin and Control. Addison Wesley Longman, Inc., CA., 573 p.

ภาคผนวก ก

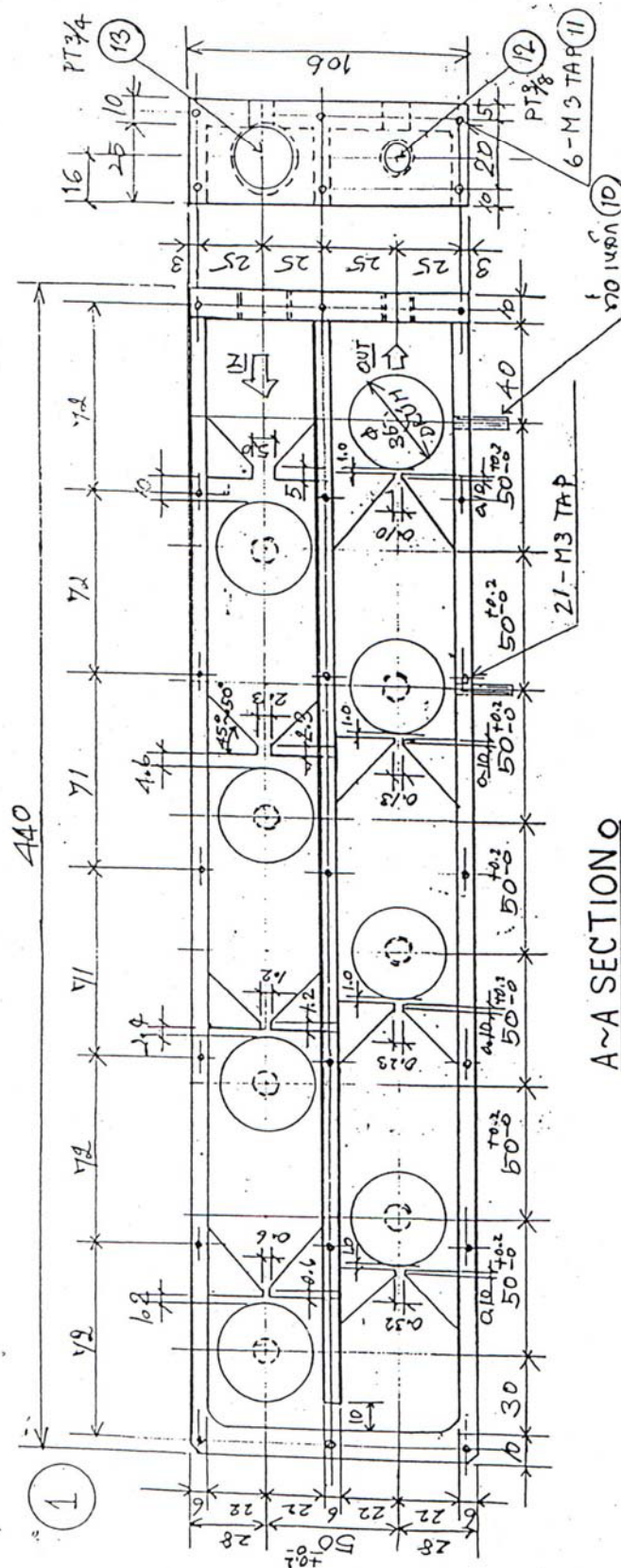
แบบร่างทางวิศวกรรมการประดิษฐ์เครื่องมือ Lundgren Impactor

คำอธิบายตัวเลขต่างๆในแบบแปลน

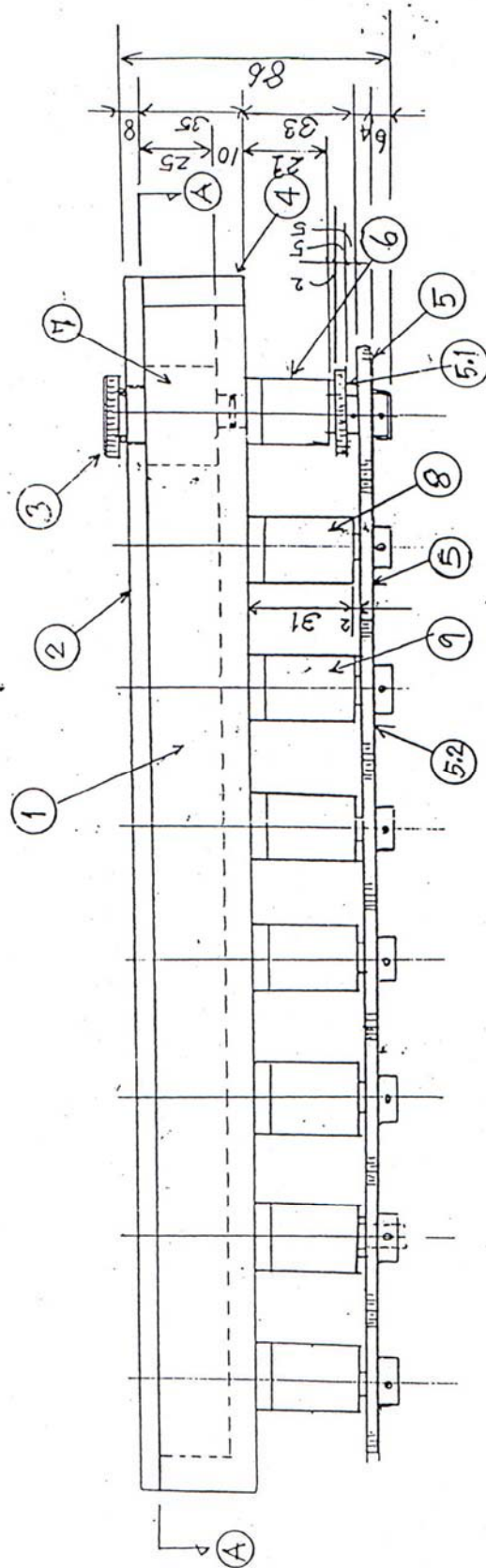
1. ตัว body impactor
2. แผ่นปิดด้านบน
3. ฝาเกลียวปิดช่องใส่ drum
4. แผ่นปิดด้าน inlet และ outlet
5. เฟืองตัวล่างสุดมีเส้นผ่าศูนย์กลางแกนภายใน 14 มิลลิเมตร
 - 5.1 เฟืองตัวบนมีเส้นผ่าศูนย์กลางแกนภายใน 6 มิลลิเมตร
 - 5.2 เฟืองตัวล่างสุด แต่สามารถใส่แกนได้สองขนาด คือ ตอนครึ่งบนใส่แกนเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตรและครึ่งล่าง 14 มิลลิเมตร
6. ปลอกหุ้มอุปกรณ์ที่ติดกับเฟืองและชุดแกนที่เสียบลูก drum
 - 6.1 ตัวประกบกับปลอก ใส่บนล่างเพื่อให้แกนหมุนแล้วไม่แกว่ง
7. ช่องแกนใส่ลูก drum
8. ปลอกหุ้มอุปกรณ์ที่ติดกับเฟืองและชุดแกนที่เสียบลูก drum
 - 8.1 ปลอกของแกนที่จับลูก drum
 - 8.2 แกนตัวล่างสุดของอุปกรณ์ชุดเฟืองจับลูก drum เส้นผ่าศูนย์กลาง 14 มิลลิเมตร
9. ปลอกหุ้มอุปกรณ์ที่ติดกับเฟืองและชุดแกนที่เสียบลูก drum

หมายเหตุ

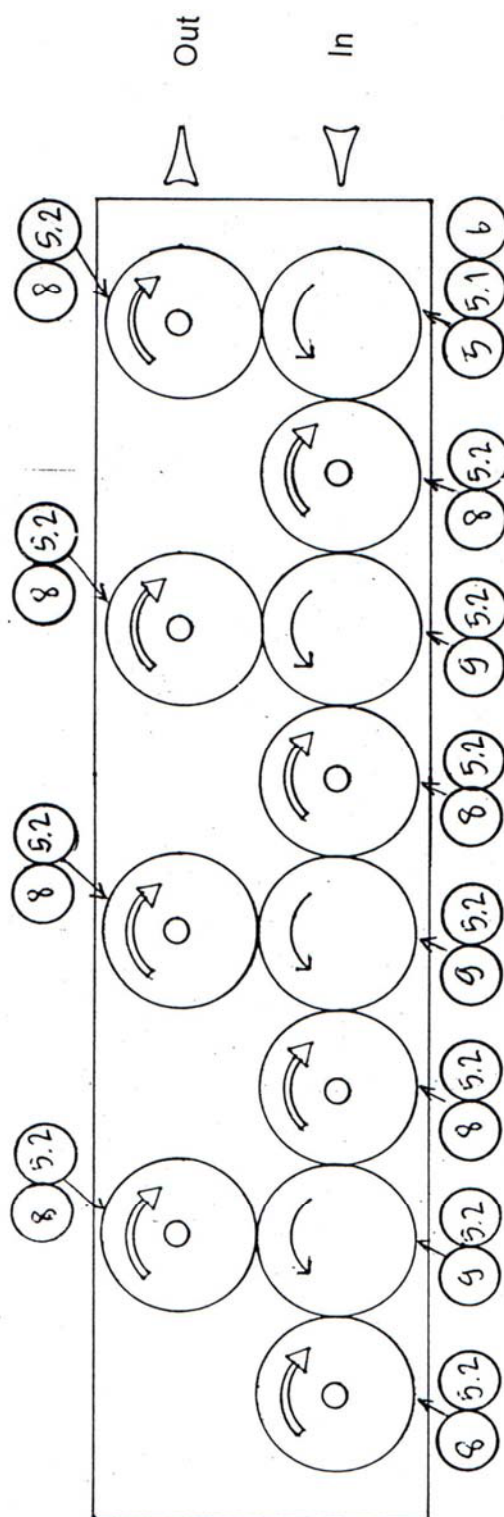
1. วัสดุที่ใช้เป็นอลูมิเนียม ส่วนวัสดุกันรั่วซึมใช้เส้นยาง o-ring
2. ตัวเลขที่ปรากฏมีหน่วยวัดเป็นมิลลิเมตร

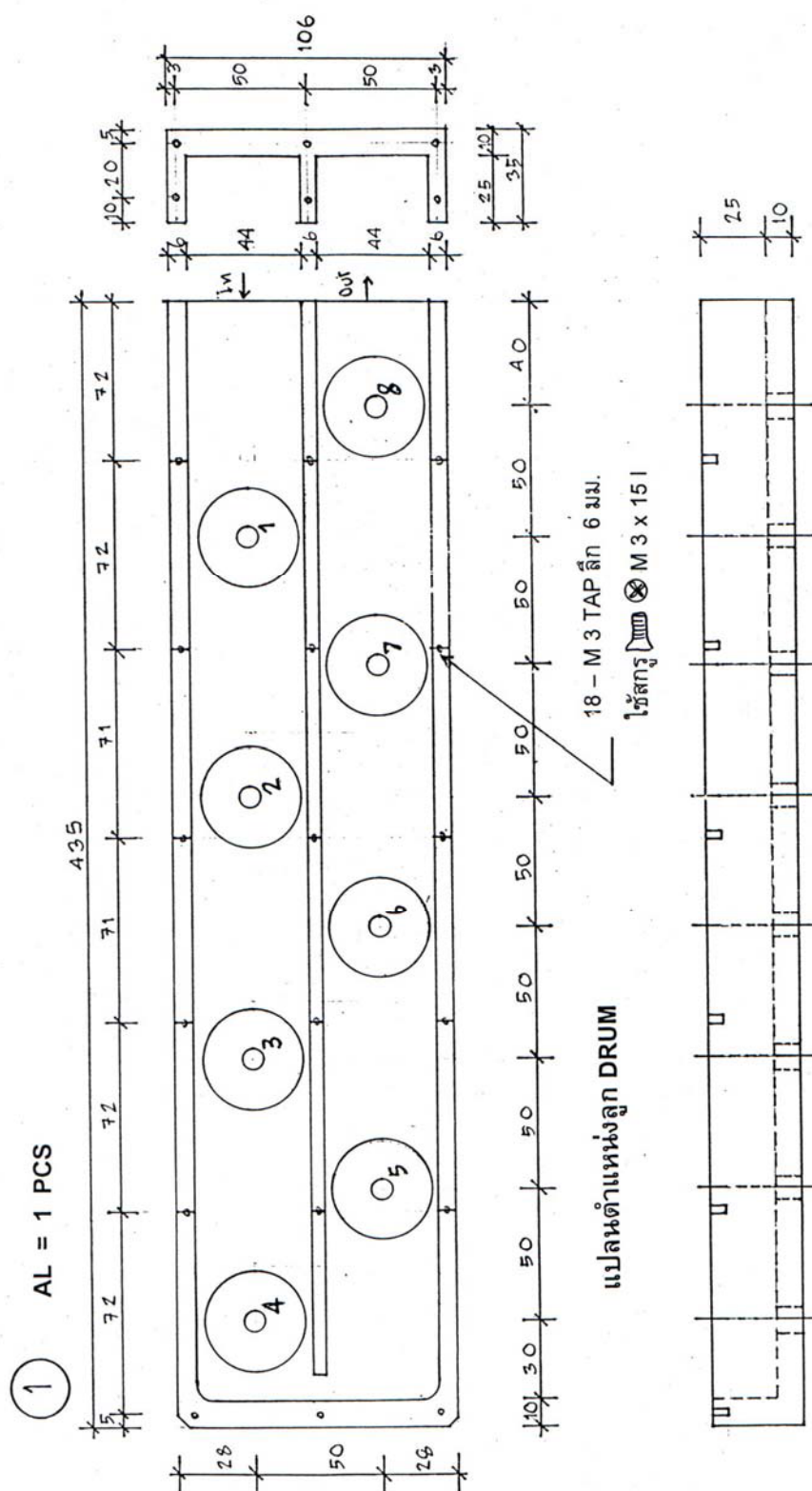


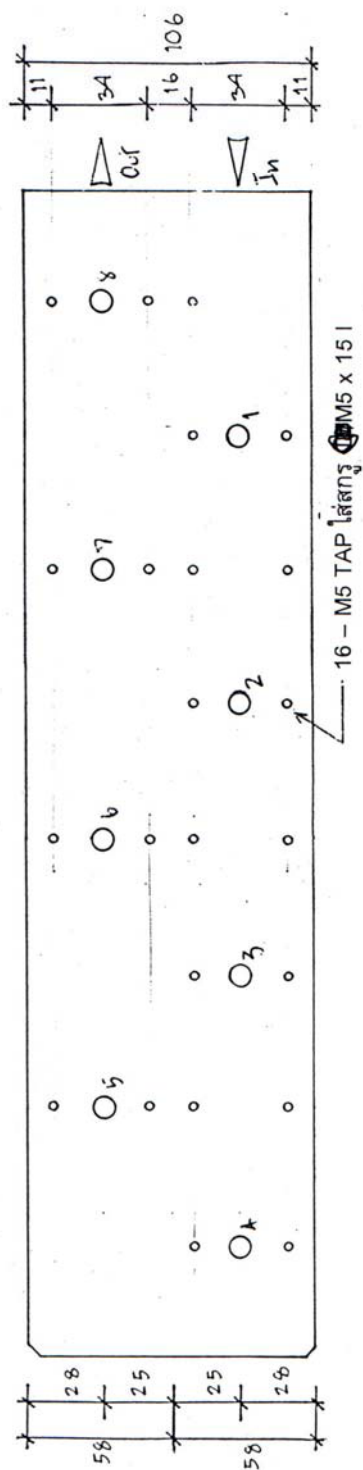
SIDE VIEW



การติดตั้งเฟืองให้ขั้วกันทุกตัว (GEAR ROTATION DESCRIPTION)

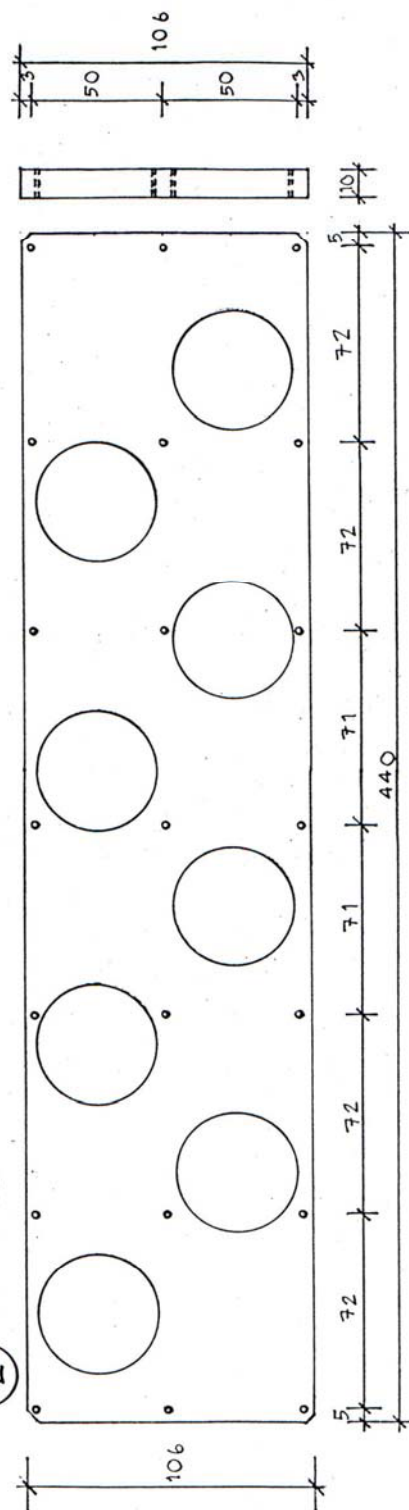




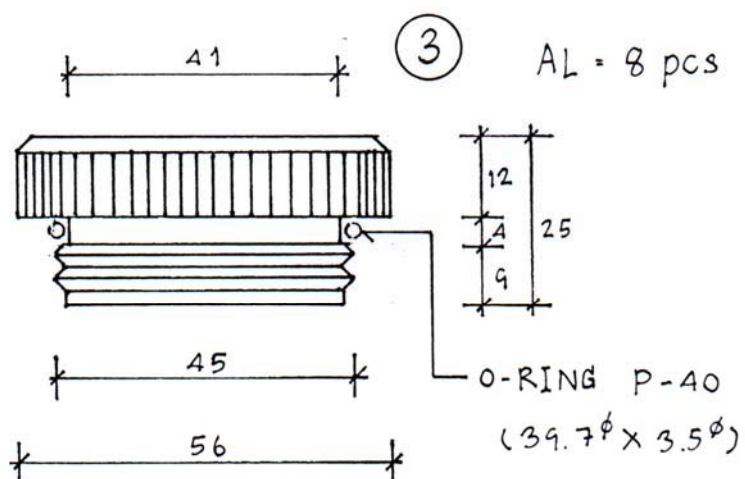


แปลนตำแหน่งสกรูด้านล่าง

② AL = 1 PCS

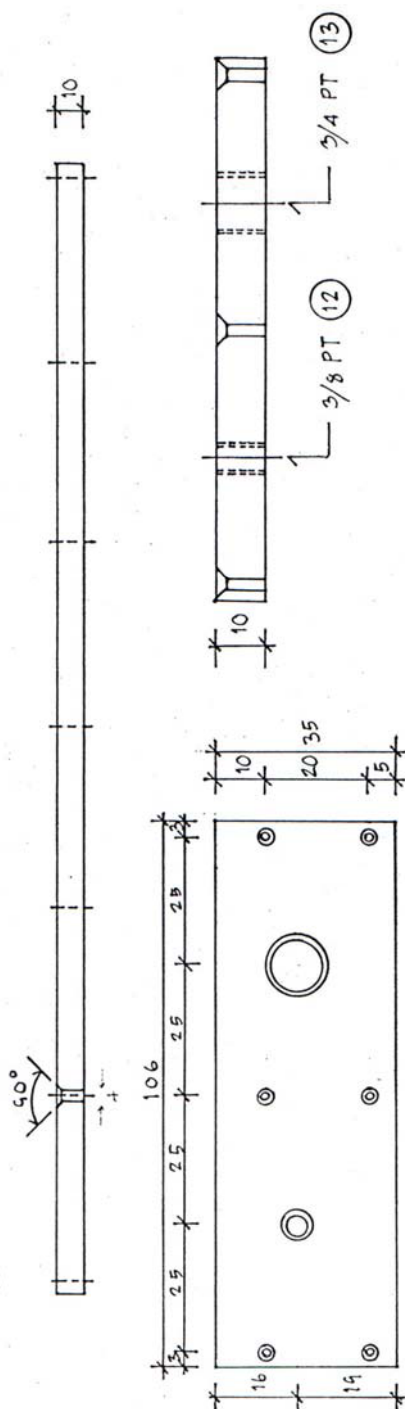


แบบขยายฝาปิดเกลียว

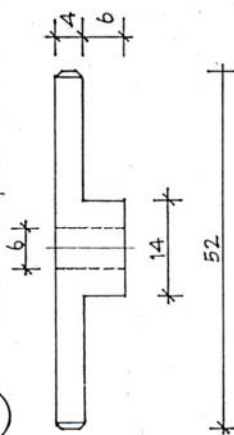


แบบขยายฝาปิดด้านข้าง

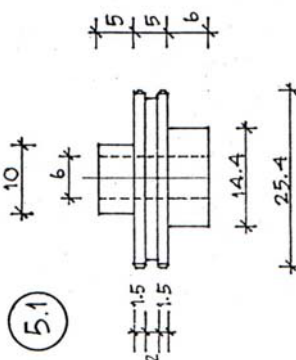
4 AL = 1 PCS



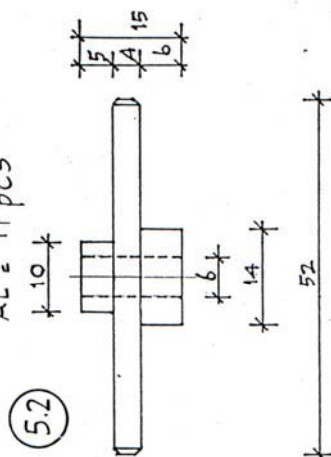
5 AL = 12 pcs



AL = 1 PCS



AL = 11 pcs



ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์ปริมาณสาร fluorescein ด้วยเครื่อง Fluorescence Spectrophotometer

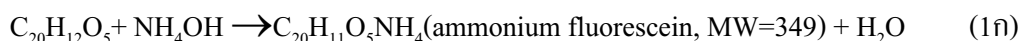
ตัวอย่างการเตรียมสารละลาย ammonium fluorescein ใน NH_4OH

สารละลายความเข้มข้น 28% (โดยปริมาตร)

สาร fluorescein ($\text{C}_{20}\text{H}_{12}\text{O}_5$) มี molecular weight 332 (g/g-mole)

NH_4OH มี molecular weight 35 (g/g-mole)

สารละลาย 2 ชนิด ทำปฏิกิริยากันดังสมการที่ 1ก



ammonium fluorescein มีความหนาแน่น 1.35 g/cm^3 ดังนั้น ใน 1 ml มีเนื้อสาร ammonium fluorescein 1.35 g ซึ่งในที่นี้ ต้องการเตรียมให้มีความเข้มข้น 28% โดยปริมาตร (เท่ากับ 280 ml/สารละลาย 1000 ml) จึงต้องใช้สาร ammonium fluorescein 378 g/สารละลาย 1 ลิตร

ในสาร ammonium fluorescein 349 g มีปริมาณ fluorescein อยู่ 332 g (จาก molecular weight) ดังนั้น สาร ammonium fluorescein 378 g มี fluorescein อยู่ 360 g ทั้งนี้ เพื่อต้องการให้สาร fluorescein ละลายได้อย่างสมบูรณ์ ปริมาตร NH_4OH ที่ใช้ จึงเพิ่มเป็นสอง เท่าจากในสมการข้างต้น ซึ่งจากสมการ 1ก สาร fluorescein 1 โมล ทำปฏิกิริยากับ NH_4OH 1 โมลเช่นกัน ดังนั้น จำนวนโมล NH_4OH ที่ใช้จึงเทียบได้จากโมลของสาร fluorescein ซึ่งเท่ากับ $(360/332) \times 2$ หรือ 1.08 g-mole และ NH_4OH ที่ใช้ในการเตรียมสารละลายนั้นมีความเข้มข้น 14.8 N (g-mole/L) ซึ่งหมายความว่า เนื้อสาร NH_4OH 14.8 g-mole ละลายอยู่ในสารละลาย 1 ลิตร ถ้าต้องการเนื้อสาร NH_4OH 1.08 g-mole ปริมาตรที่ต้องการจึงเท่ากับ $1.08/14.8 = 0.073 \text{ L}$ หรือ 73 mL

ดังนั้น การเตรียมสารละลาย ammonium fluorescein ให้มีความเข้มข้น 28% โดย ปริมาตร จึงต้องใช้สาร fluorescein 360 g ละลายใน NH_4OH 14.8 N ปริมาตร 73 mL จากนั้น ใช้น้ำกลั่นเติม จนมีปริมาตรสุดท้ายเป็น 1 ลิตร

การเตรียม calibration curve ซึ่งสารละลายมีความเข้มข้นเป็น mg/L นั้น กระทำโดยเทียบ ว่า $0.0001\% = 1 \text{ mg/L}$ และ $m_1 V_1 = m_2 V_2$

โดย m_1 คือ ความเข้มข้นเริ่มต้น

V_1 คือ ปริมาตรเริ่มต้น

m_2 คือ ความเข้มข้นสุดท้าย (หรือความเข้มข้นที่ต้องการ)

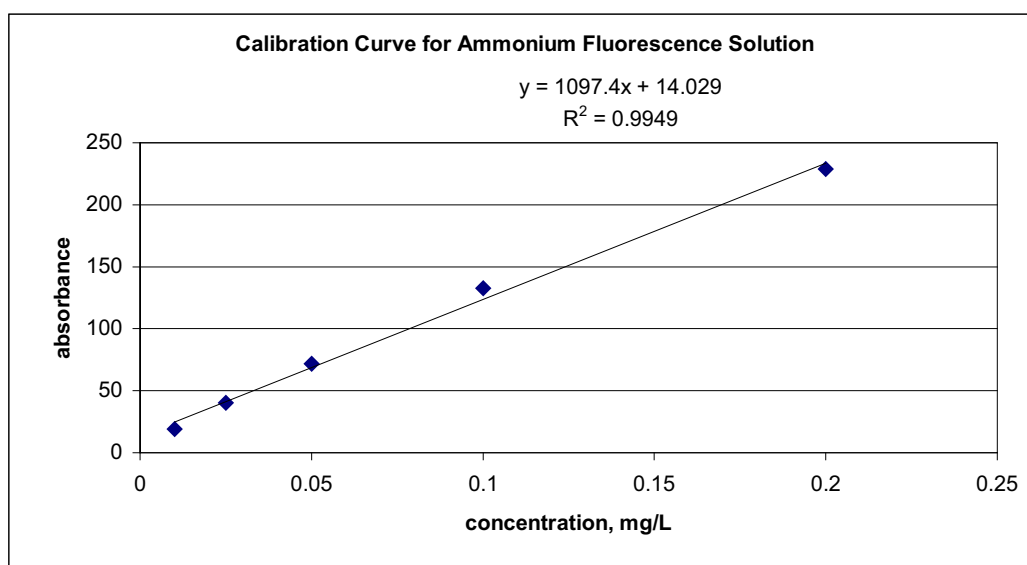
V_2 คือ ปริมาตรสุดท้าย

ในที่นี้ สารละลายเข้มข้น 28% ทำให้เจือจางเป็น 0.1% (1000 mg/L) ได้ ด้วยการเติมน้ำกลั่น 280 mL ลงไปในสารละลายปริมาตร 1 mL ($m_1 = 28\%$, $V_1 = 1 \text{ mL}$, $m_2 = 0.1\%$, $V_2 = (28\% \times 1 \text{ mL}) / 0.1\% = 280$

mL) ถ้าต้องการความเข้มข้น 0.2 mg/L จะต้องเจือจางต่อโดยใช้สารละลาย 1000 mg/L เป็นตัวตั้งต้น โดยนำมา 0.2 mL เติมน้ำกลั่น 1 ลิตร ก็จะได้สารละลายเข้มข้น 0.2 mg/L ดังต้องการ

Calibration Curve สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณ fluorescein

Sample	Concentration, mg/L	Absorbance
Standard 1	0.01	19.2
Standard 2	0.025	40.1
Standard 3	0.05	71.9
Standard 4	0.1	132.6
Standard 5	0.2	228.8
Blank filter 1		4.5
Blank filter 2		3.7
Blank foil 1		5.7
Blank foil 2		7.8



ภาคผนวก ก

คู่มือการใช้งาน Lundgren Impactor

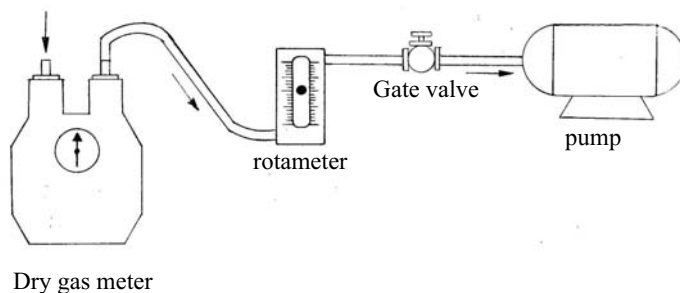
การเตรียมแผ่นรองรับ aluminum foil เคลือบด้วย grease

1. เตรียมสารละลาย grease ใน toluene ความเข้มข้น 10% โดยน้ำหนัก ด้วยการชั่ง Apiezon-L grease 10 mg (Fisher Scientific) และ toluene 90 mg คนจน grease ละลาย (ควรเตรียมใน hood และใส่ถุงมือทุกครั้ง)
2. ตัดแผ่น aluminum foil ชนิดหนา 0.011 มิลลิเมตร (Fisher Scientific) ขนาด 1×5 นิ้ว (ควรใส่ถุงมือชนิดไม่มีผงแป้งเพื่อป้องกันการปนเปื้อนลงบนแผ่น foil) หุ้มรอบแท่งทรงกระบอกและตรึงด้วยเส้นยาง o-ring (หรือวัสดุอื่นตามแต่จะเห็นสมควร) ในร่องที่เจาะเอาไว้ (ดูรูปที่ 15c ในบทที่ 2)
3. ใช้ฟู่กันสะอาดจุ่มสารละลาย grease ในข้อ 1 ทาแผ่น aluminum foil ให้ทั่ว พยายามเกลี่ยให้สารละลาย grease กระจายอย่างสม่ำเสมอด้วยความหนา-บางเท่าๆกัน (ควรเตรียมใน hood และใส่ถุงมือทุกครั้ง)
4. นำแท่งทรงกระบอกที่ได้จากข้อ 3 ไปอบที่อุณหภูมิ 100°C นาน 1 ชั่วโมง เพื่อไล่สาร volatile organic compound ที่ปนเปื้อนอยู่ในสารละลาย grease ให้ระเหยออกไป จากนั้นนำไปใส่ในตู้ desiccator นาน 24 ชั่วโมงเพื่อดูดความชื้น ก่อนจะนำไปชั่ง น้ำหนักในเครื่องชั่ง
5. หลังจากชั่งน้ำหนักเริ่มต้นแล้ว นำแท่งทรงกระบอกไปใส่ในเครื่อง Lundgren impactor เตรียมพร้อมที่จะเก็บตัวอย่าง

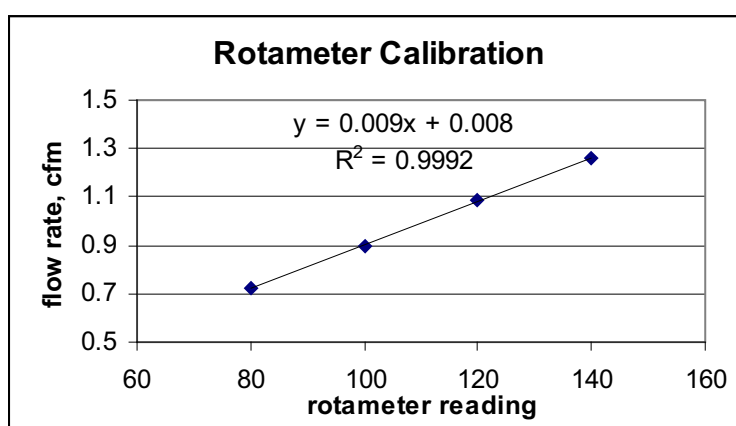
หมายเหตุ ในกรณีที่ต้องการนำฝุ่นบนแผ่น aluminum foil ไปวิเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมี และไม่ต้องทำให้มีการปนเปื้อนจาก grease การเตรียมแผ่นรองรับกระทำดังข้อ 3 ถึงข้อ 5 โดยไม่ต้องไปอบที่อุณหภูมิ 100°C ทั้งนี้ ปัญหาการกระเด็นกลับเข้าไปในกระแสน้ำของฝุ่นจะน้อยลง ถ้าในบรรยากาศมีความชื้นสูง

การเตรียมเครื่องมือและการเก็บตัวอย่าง

1. กำหนดจุดดูดอากาศบน rotameter ด้วย dry gas meter (หรือเครื่องมือมาตรฐานชนิดอื่น เช่น wet test meter, gillibrator) โดยต่อสายยางจากช่องทางออกของ dry gas meter ไปยังช่องทางเข้าของ rotameter และจากช่องทางออกของ rotameter ไปยัง pump ดังรูป

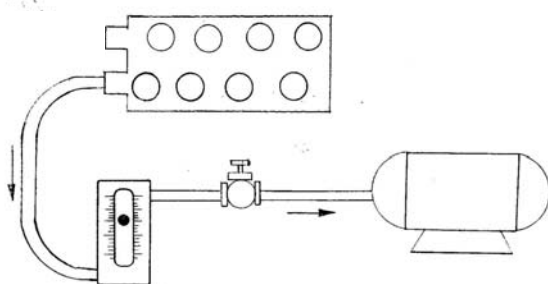


2. เปิดสวิตช์ pump และเปิด gate valve ให้อากาศผ่านออกด้วยอัตราต่ำๆก่อน โดยสังเกตจากระดับลูกบอลบน rotameter โดยในที่นี้จะใช้ 4 จุดในการทำ calibration curve ให้ ครอบคลุมอัตราเร็ว 30 ลิตรต่อนาทีดังข้อกำหนดของการใช้เครื่อง ซึ่งในจุดที่หนึ่งให้บันทึกตัวเลข ณ ตำแหน่งที่ลูกบอลปรากฏ จากนั้นกำหนดจุดเริ่มต้นจับเวลาบนหน้าปัด dry gas meter (เพื่อความสะดวก ควรใช้ตำแหน่ง 12 นาฬิกา) เมื่อเข็มนาฬิกาเคลื่อนมายัง ตำแหน่งที่กำหนด ให้เริ่มจับเวลา เมื่อเข็มเคลื่อนจนครบหนึ่งรอบให้หยุดจับเวลา อัตราเร็ว ของการดูดอากาศ ณ ตำแหน่งที่ลูกบอลลอยตัวอยู่นั้นจะเท่ากับ 1 ft³/เวลาที่ใช้ (กรณีนี้ dry gas meter มีขนาด 1 ft³/revolution) ซึ่งจุดอื่นๆให้กระทำในลักษณะเดียวกันโดยปรับ อัตราการดูดอากาศด้วย gate valve และในการจับเวลาแต่ละจุดควรกระทำซ้ำหลายๆครั้ง และใช้ค่าเฉลี่ยมาสร้างกราฟ
3. สร้าง calibration curve โดยให้แกนนอนเป็นตำแหน่งของลูกบอล แกนตั้งเป็นอัตราการ ดูดอากาศ (1 cfm = 28.3 lpm) หาดำแหน่งที่อัตราการดูดอากาศเท่ากับ 30 ลิตรต่อนาทีจากกราฟ โดยอาจทำเครื่องหมายไว้บน rotameter เพื่อความสะดวกเวลาเก็บตัวอย่างฝุ่นในบรรยากาศ



4. ในการเก็บตัวอย่าง ใช้สายยางต่อจากช่องทางออกของ filter holder (ไม่ได้แสดงในรูป ข้างล่าง แต่ดูได้จากในรูปที่ 15a ในบทที่ 2) ของเครื่อง impactor มายัง rotameter และ จาก rotameter ไปยัง pump ซึ่งใน impactor นั้นใส่แท่งทรงกระบอกที่เตรียมไว้ดังหัว ข้อแรก ส่วน filter holder ใส่แผ่นเยื่อกรองที่ดูดความชื้นออกแล้วจากใน desiccator (นาน 24 ชั่วโมง)

โมง) ก่อนชั่งน้ำหนักเริ่มต้น สำหรับชนิดของแผ่นเยื่อกรองที่ใช้ ขึ้นกับวัตถุ-ประสงค์ของการเก็บตัวอย่าง ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 2



5. ดำเนินการเก็บตัวอย่างนาน 24 ชั่วโมง (หรือตามความสนใจ) โดยเปิดสวิตช์ pump ให้ดูดอากาศขนาด 30 ลิตร/นาที ด้วยการปรับ gate valve ให้ลูกบอลใน rotameter อยู่ ณ ตำแหน่งที่ทำเครื่องหมายเอาไว้ และเสียบปลั๊กมอเตอร์ให้แท่งทรงกระบอกหมุนรอบตัว เอง ถ้าเครื่องมือไม่มีการอุดตันในช่อง nozzle ตัวเลขบน pressure gauge ในชั้นที่ 7 ควรใกล้เคียงกับ 350 mmHg และ 450 mmHg ในชั้นที่ 8
6. เมื่อครบเวลาที่กำหนด เอาแท่งทรงกระบอกออกจากเครื่องและนำไปใส่ใน desiccator นาน 24 ชั่วโมง เช่นเดียวกับแผ่นเยื่อกรองซึ่งนำออกมาใส่ใน petri dish และใส่ใน desiccator นาน 24 ชั่วโมง ก่อนจะชั่งน้ำหนักสุดท้าย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมาจากน้ำหนักเริ่มต้นคือน้ำหนักของฝุ่นละอองจากบรรยากาศ