



รายงานผลการประดิษฐ์
ทุนอุดหนุนโครงการสิ่งประดิษฐ์

เรื่อง

เครื่องทดสอบขอบเขตการระเบิดของฝุ่นผง

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดย

วิวัฒน์	ตัมพะพานิชกุล
วิจิตรา	จงวิศาล
ธวัชชัย	ชรินพานิชกุล
วรัญ	แต่ไพสิฐพงษ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โครงการสิ่งประดิษฐ์

รายงาน



เครื่องทดสอบขอบเขตการระเบิดของฝุ่นผง

โดย

ศาสตราจารย์ ดร. วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิจิตรา งามวิศาล

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธวัชชัย ชรินพานิชกุล

อาจารย์ ดร. วรัญ แต่ไพสิฐพงษ์

กันยายน 2539



กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอแสดงความขอบคุณ Dr. Koichi Iinoya, Dr. Toei Matsuda และ Dr. Ikuo Tamori ที่ได้ช่วยชี้แนะและให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์อย่างมากเกี่ยวกับการพัฒนาเครื่องทดสอบขอบเขตการระเบิดของฝุ่นผงชนิดที่หนึ่ง

ขอขอบคุณ บริษัทเนชั่นเนลสตาร์ช จำกัด และบริษัทไทยอีพอกซี จำกัด ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องของตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ

ขอขอบคุณคณะผู้ช่วยวิจัย อันประกอบด้วย นายทรงชัย วิริยะอำไพวงศ์ นายวฑูญ อมาตยกุล นายยุทธนา กุสินทรประเสริฐ และนายยุทธนา วนพฤกษา ที่ช่วยดำเนินการประกอบติดตั้งเครื่องทดสอบ และทำการทดลองเก็บข้อมูลต่าง ๆ จำนวนมากจนโครงการนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ และขอบคุณนางสาวเนาวรัตน์ พึ่งชื่น ที่ได้ช่วยจัดเตรียมรายงานฉบับสมบูรณ์นี้

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ ฝ่ายวิจัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนมอบทุนโครงการสิ่งประดิษฐ์แก่นงานวิจัยนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชื่อโครงการ เครื่องทดสอบขอบเขตการระเบิดของฝุ่นผง
 ชื่อผู้ดำเนินงาน วิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล, วิจิตรา จงวิศาล
 ธวัชชัย ชรินพานิชกุล, วรณัฏ์ เต๋ไพลีฐพงษ์
 เดือนและปีที่ทำวิจัยเสร็จ กันยายน 2539

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์หลักของโครงการวิจัยนี้คือ การพัฒนาปรับปรุงเครื่องต้นแบบชุดที่สอง สำหรับทดสอบคุณสมบัติการระเบิดของวัสดุฝุ่นผง ทำการศึกษาวัดค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ระเบิดได้ (Lower Explosion Limit, LEL) ของตัวอย่างฝุ่นผงประเภทต่าง ๆ ภายในประเทศ และทำการศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคเฉลี่ย และปริมาณความชื้นที่มีต่อค่า LEL ตลอดจนเสนอแนวทางป้องกันและแนวทางควบคุมความเสียหายจากการระเบิดของฝุ่นผงในโรงงานอุตสาหกรรม

ตัวอย่างฝุ่นผงส่วนใหญ่จะผ่านการเตรียมตัวอย่างตามขั้นตอนที่ระบุไว้ก่อนทดสอบการระเบิดจากการศึกษาเบื้องต้นพบว่า ตัวอย่างฝุ่นผง 4 ชนิด (lycopodium, HDPE, dextrin และ sulfur) ให้ค่า LEL ใกล้เคียงกับค่า LEL ที่มีตีพิมพ์ในต่างประเทศ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า เครื่องทดสอบคุณสมบัติการระเบิดชุดที่สองนี้ให้ค่าที่ถูกต้องและน่าเชื่อถือภายหลังจากปรับแต่งและสอบเทียบด้วยตัวอย่างมาตรฐาน ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าไม่เพียงค่า LEL จะเพิ่มขึ้นตามขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นของแต่ละส่วนย่อยของผง แต่ยังรับอิทธิพลจากสัดส่วนของอนุภาคละเอียดสุดที่มีอยู่ในแต่ละส่วนย่อยที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเดียวกัน ในด้านของประเภทของแป้งพบว่า ค่า LEL จะเรียงตามลำดับจากน้อยไปมากดังนี้ แป้งข้าวเจ้า < แป้งข้าวสาลี < แป้งข้าวโพด < แป้งมันสำปะหลัง ส่วนฝุ่นผงอื่น ๆ ที่ทำการทดสอบมีลำดับของค่า LEL เรียงจากน้อยไปมากดังนี้ คริมเทียม C < คริมเทียม K < ผงซีลี้อยไม้สัก < น้ำตาลไอซิ่ง อนึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่า LEL ของคริมเทียมทั้งสองชนิดนี้ พบว่า ค่า LEL ของคริมเทียม K สูงกว่า ทั้งนี้เนื่องจากมีส่วนประกอบที่ต่างกันคือสัดส่วนของนมผงขาดมันเนย

ดังที่คาดไว้ความชื้นที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความว่องไวต่อการจุดชนวนลดลง นั่นคือให้ค่า LEL สูงขึ้น การทดลองยังพบว่าแป้งมันสำปะหลังชนิดเดียวกันแต่ผลิตโดยบริษัท 2 แห่ง ให้ค่า LEL แตกต่างกัน สาเหตุหลักไม่ใช่เพราะความแตกต่างของส่วนประกอบทางเคมีแต่เป็นเพราะความแตกต่างของอนุภาคละเอียดสุดที่มีอยู่ในส่วนย่อยที่นำมาเปรียบเทียบกัน การทดลองกับผงหมึกที่ใช้ในเครื่องถ่ายภาพเอกซเรย์ แสดงให้เห็นว่าค่า LEL ของผงหมึกจะเพิ่มสูงขึ้นหลังจากได้ผ่านขั้นตอนการถ่ายภาพเอกซเรย์แล้ว

นอกจากการพัฒนาปรับปรุงเครื่องต้นแบบชุดที่สอง และผลการทดสอบขอบเขตด้านต่ำของการระเบิดของวัสดุฝุ่นผงแล้ว โครงการนี้ยังได้เสนอแนะมาตรการป้องกันการระเบิดของฝุ่นผง และมาตรการควบคุมความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการระเบิดในโรงงานด้วย

Project Title	Dust Explosive Limit Tester
Name of the Investigator	Wiwut Tanthapanichkoon, Vichitra Chongvisal Tawatchai Charinpanitkul, Varun Taepaisitphongse
Year	September 1996

Abstract

The main objectives of the present invention project are to develop and improve the second prototype of the dust explosibility tester, to measure the Lower Explosion Limit (LEL) concentrations of several Thai domestic dusts, and to study the effect of the average particle size and moisture content of dust samples on the LEL values as well as to recommend dust explosion prevention measures and measures for minimizing damages.

Before the explosion tests, most dust samples were pretreated as indicated. From the preliminary work, it was found that all the four types of dust samples (lycopodium, HDPE, dextrin and sulfur) show LEL values close to the published ones. Thus it was concluded that the second prototype tester was accurate and reliable after undergoing adjustment and calibration. The experimental results reveal that the LEL concentration not only increased with the nominal average particle size of a dust fraction but also was influenced by the proportion of finest particles existing within each fraction of the same average particle size. With respect to the type of flour, the following sequence of increasing LEL concentrations has been found: rice flour < wheat flour < corn flour < cassava flour. Tests on another series of samples gave the sequence of increasing LEL values as follows: creamer C < creamer K < saw dust < sugar icing. Comparison between creamer K and creamer C reveals that the former had higher LEL concentration than the latter because of the difference in the composition of skimmed milk.

As expected, an increase in the moisture content contributed to reduce ignition sensitivity and thus higher LEL values. It was found also that the same type of cassava flour but produced by two different companies gave different LEL values mainly not because of difference in chemical composition but because of different proportions of finest particles in comparable fractions. Tests on the toner used in a copying machine showed that its LEL value increased after the toner had passed through the copying process.

In addition to the development and improvement of the second prototype and the test results on the LEL values of numerous dusts, the present project also recommends measures for dust explosion prevention and measures for minimizing explosion damages in a factory.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ii
บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	iii
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	iv
รายการตารางประกอบ.....	ix
รายการภาพประกอบ.....	x
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 วัตถุประสงค์.....	1
1.2 ผลงานวิจัยในอดีต.....	1
1.3 ข้อมูลสถิติในอดีตเกี่ยวกับอุบัติเหตุการระเบิดของฝุ่นผง.....	6
2. ทฤษฎี.....	8
2.1 สภาพะในการเกิดการระเบิดของอนุภาคที่เป็นฝุ่นผง (Dust Explosion).....	8
2.2 การแพร่กว้างของเปลวไฟในส่วนผสมของฝุ่นผงกับอากาศ.....	10
2.3 อันตรายและความเสียหายจากการเกิดระเบิดในอุตสาหกรรม.....	12
2.4 อิทธิพลของปัจจัยต่างๆ ต่อการระเบิดของอนุภาคที่เป็นฝุ่นผง.....	13
2.4.1 ผลของขนาดอนุภาค และธรรมชาติของวัสดุ.....	13
2.4.2 ผลของความชื้น.....	14
2.5 การประเมินค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการระเบิด.....	15
2.5.1 ความจำเป็นในการประเมิน.....	15
2.5.2 ความเข้มข้นต่ำสุดที่ระเบิดได้ (Minimum Explosible Concentration, MEC).....	16
2.5.3 อุณหภูมิต่ำสุดของการจุดระเบิด (Minimum Ignition Temperature, MIT).....	17
2.5.4 พลังงานการจุดระเบิดต่ำสุด (Minimum Ignition Energy, MIE).....	17
2.5.5 ความเข้มข้นของออกซิเจนสูงสุดที่ยอมรับได้ (Maximum Permissible Oxygen Concentration).....	18

2.5.6 ความดันและอัตราสูงสุดของการเพิ่มความดันจากการระเบิด (Explosion Pressure and Maximum Rate of Pressure Rise).....	18
2.6 การทดสอบความสามารถในการระเบิดได้ของผงอนุภาค.....	19
2.6.1 เหตุผลในการทดสอบ.....	19
2.6.2 การเลือกผงสารตัวอย่าง.....	20
2.7 มูลเหตุของอุบัติเหตุการระเบิดของฝุ่นผง.....	20
3. การทดสอบหาค่าความเข้มข้นต่ำที่สุดของฝุ่นผงที่สามารถระเบิดได้.....	22
3.1 อุปกรณ์การ.....	22
3.2 วิธีการ.....	30
3.2.1 สภาวะในการทดสอบ.....	30
3.2.2 อนุภาคที่จะทดสอบ.....	30
3.2.3 การวัดค่าขอบเขตด้านต่ำของการระเบิดหรือความเข้มข้นต่ำสุด ที่จะเกิดระเบิดได้.....	30
3.2.4 การเทียบมาตรฐานของอุปกรณ์ทดสอบความสามารถในการระเบิด ได้ของอนุภาค.....	32
3.2.5 การตัดแยกขนาดอนุภาค.....	32
4. การประดิษฐ์เครื่องทดสอบความสามารถในการระเบิดได้ของอนุภาค.....	34
4.1 ครุภัณฑ์ (Hardware).....	34
4.2 ละมุนภัณฑ์ (Software).....	34
4.3 ผลการสอบเทียบและปรับปรุงเครื่องทดสอบ.....	43
4.3.1 การปรับปรุงเครื่องทดสอบการระเบิดได้ของวัสดุฝุ่นผง.....	43
4.3.2 การเปรียบเทียบค่า LEL ที่วัดได้จากการทดลองกับค่ามาตรฐาน.....	47
5. ผลการทดสอบและวิจารณ์ผล.....	50
5.1 สารตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ.....	50
5.2 ผลการทดสอบ.....	51
5.2.1 ผลของขนาดอนุภาคเฉลี่ยต่อค่า LEL	51
5.2.2 ผลของปริมาณความชื้น.....	59
5.2.3 ผลของแหล่งที่มาของผงแป้ง.....	60
5.2.4 การเปรียบเทียบระหว่างค่า LEL ของผงหมึกถ่ายเอกสาร ที่ยังไม่ผ่านการใช้งานกับที่ผ่านการใช้งานแล้ว.....	60
5.2.5 องค์ประกอบของสาร.....	61

5.3 การสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่าง LEL กับขนาดของอนุภาค.....	62
6. แนวทางป้องกันอุบัติเหตุการระเบิดของวัสดุฝุ่นผงในอุตสาหกรรม.....	64
6.1 มาตรการป้องกันการระเบิดของฝุ่นผงในอุตสาหกรรม.....	64
6.1.1 แนวคิดพื้นฐานของมาตรการป้องกันการระเบิด.....	64
6.1.2 การกำจัดฝุ่นผงที่ติดไฟได้.....	65
6.1.3 การป้องกันการเกิดของหมอกฝุ่น.....	66
6.1.4 การเดินสารเฉื่อย.....	66
6.1.5 การกำจัดแหล่งจุดชนวน.....	67
6.2 มาตรการควบคุมความเสียหายจากการระเบิดของฝุ่นผง.....	69
6.2.1 การจัดวางโรงงาน.....	69
6.2.2 โครงสร้างทนระเบิดของเครื่องจักรอุปกรณ์.....	70
6.2.3 ช่องระบายความดันระเบิด.....	70
6.2.4 อุปกรณ์ปิดกั้นการแพร่ของการระเบิด.....	71
6.2.5 อุปกรณ์ระงับการระเบิด.....	72
7. สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ.....	73
บรรณานุกรม.....	78
ภาคผนวก.....	84
ภาคผนวก 1.....	85
ภาคผนวก 2.....	88
ภาคผนวก 3.....	176
ภาคผนวก 4.....	179
ภาคผนวก 5.....	188

รายการตารางประกอบ

	หน้า
ตารางที่ 4.1 การวัดค่า LEL ของผงไลโคโปเดียม (ไม่มีการดูดความชื้นจากลมอัด).....	44
ตารางที่ 4.2 การวัดค่า LEL ของผงไลโคโปเดียม (หลังจากปรับปรุงโดย การใช้ซิลิกาเจลเพื่อดูดความชื้นจากลมอัด).....	44
ตารางที่ 4.3 ผลของเวลาหน่วงก่อนการสปาร์ก (เวลาการปล่อยสปาร์ก 3 วินาที).....	45
ตารางที่ 4.4 ผลของความสูงของช่องทางลมไหล.....	45
ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบเมื่อทำการปรับช่องว่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด.....	46
ตารางที่ 4.6 ผลของจำนวนแผ่นของกระดาษกรอง (Whatman no. 93).....	46
ตารางที่ 4.7 วิธีการเตรียมตัวอย่างฝุ่นผงที่จะใช้ทดสอบ.....	47
ตารางที่ 4.8 การเปรียบเทียบค่า LEL ที่ได้จากการทดลอง กับค่ามาตรฐาน.....	48
ตารางที่ 5.1 ตัวอย่างผงแป้งชนิดต่าง ๆ ซึ่งถูกแยกโดยการคัดขนาด.....	52
ตารางที่ 5.2 ผลของขนาดอนุภาคของแป้งมัน FI ต่อค่า LEL.....	53
ตารางที่ 5.3 ผลของขนาดอนุภาคต่อค่า LELของแป้งแต่ละชนิด.....	54
ตารางที่ 5.4 ความสัมพันธ์เชิงคุณภาพระหว่างสมบัติของตัวอย่างแป้งกับค่า LEL.....	56
ตารางที่ 5.5 ค่า LEL ของสารตัวอย่างแต่ละชนิดและช่วงขนาดของอนุภาค.....	58
ตารางที่ 5.6 อิทธิพลของปริมาณความชื้นต่อค่า.....	60
ตารางที่ 5.7 การเปรียบเทียบระหว่างผงหมึกถ่ายเอกสารที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน และที่ผ่านการใช้งานแล้ว.....	61
ตารางที่ 5.8 ค่าคงที่ของสมการความสัมพันธ์สำหรับสารแต่ละชนิด.....	62
ตารางที่ 7.1 ค่า LEL ที่ได้จากการศึกษานี้ และจากนักวิจัยอื่นที่ตีพิมพ์ไว้.....	76
ตารางที่ 7.2 ค่า LEL ของตัวอย่างผงแป้งชนิดต่าง ๆ ในประเทศที่ได้ทำการศึกษา.....	77

รายการภาพประกอบ

	หน้า
รูปที่ 2.1 สามเหลี่ยมการเผาไหม้ และ การก่อดตัวของฝุ่น.....	8
รูปที่ 2.2 ขอบเขตต่ำสุดของการระเบิดของโพลิเอทรีลีนกับขนาดเฉลี่ยของอนุภาค.....	11
รูปที่ 2.3 ลักษณะการระเบิดของฝุ่นผง.....	12
รูปที่ 2.4 ค่า LEL ของเม็ด MMA ซึ่งแสดงถึงผลของขนาดอนุภาค.....	13
รูปที่ 2.5 อิทธิพลของส่วนที่ระเหยได้ต่อค่า LEL ของผงถ่านหิน.....	14
รูปที่ 2.6 ความรุนแรงของการระเบิดสามารถถูกทำให้ลดลงด้วยปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นในฝุ่นผง การจุดระเบิดที่ช้าลงมีความสัมพันธ์กับสภาวะความปั่นป่วนของกลุ่มหมอก กล่าวคือ ถ้าความปั่นป่วนมีค่าลดลง จะทำให้มีการจุดชนวนที่ช้าลง.....	15
รูปที่ 2.7 เปลวไฟจากการระเบิดของผงซิลิกอน.....	16
รูปที่ 2.8 การกำหนดลักษณะสมบัติของค่าสูงสุดของการระเบิดของฝุ่นผง.....	19
รูปที่ 3.1 ไดอะแกรมของเครื่องทดสอบการระเบิด ได้ของฝุ่นผง.....	23
รูปที่ 3.2 ห้องจุดระเบิด.....	23
รูปที่ 3.3 แท่นรองท่อแก้ว.....	23
รูปที่ 3.4 ถ้วยบรรจุสาร.....	24
รูปที่ 3.5 แผ่นค้ำยันแท่งสกรู หมวกรูปเห็ด และท่อสำหรับให้ลมอัดไหลผ่านเข้าท่อแก้วเพื่อให้เกิดการฟุ้งกระจาย.....	24
รูปที่ 3.6 แผ่นยึดถ้วยบรรจุสาร.....	24
รูปที่ 3.7 แผ่นค้ำยันแท่งสกรู หมวกรูปเห็ด ท่ออากาศ และแผ่นยึดถ้วยบรรจุสาร.....	26
รูปที่ 3.8 ส่วนจ่ายลมอัด.....	26
รูปที่ 3.9 ภาพถ่ายของเครื่องทดสอบการระเบิด ได้ของวัสดุฝุ่นผง.....	27
รูปที่ 3.10 ภาพถ่ายของส่วนห้องการระเบิด (ท่อไฟเร็กซ์ทางซ้ายมือ) กระจบอกเก็บลมอัด (ตรงกลาง) และแผงควบคุมและแสดงผลทาง (ขวามือ).....	27
รูปที่ 3.11 ภาพถ่ายขยายของห้องการระเบิด และกระจบอกลมอัด.....	28
รูปที่ 3.12 ภาพถ่ายของสภาพการระเบิดที่เกิดขึ้นกับผงแป้งที่ความเข้มข้นสูงกว่าค่า LEL.....	28
รูปที่ 3.13 ภาพถ่ายของแผงควบคุม ด้านบนของภาพคือเครื่องคำนวณแบบโปรแกรม ซึ่งจะคำนวณและรายงานผลการทดสอบจากข้อมูลที่ป้อนเข้า และเก็บข้อมูลไว้ในหน่วยความจำของเครื่อง.....	29

รูปที่ 4.1	การเปรียบเทียบค่า LEL ที่ได้จากการทดลอง กับค่ามาตรฐาน.....	48
รูปที่ 5.1	(a) ผลของขนาดอนุภาคของแป้งมันต่อค่า LEL (b) การกระจายขนาดอนุภาคของแป้งมัน.....	53
รูปที่ 5.2	(a) ผลของขนาดอนุภาคของแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวโพด และแป้งข้าวสาลี ต่อค่า LEL (b) การกระจายขนาดอนุภาคของตัวอย่างแป้ง F3 F4 และ F5.....	55
รูปที่ 5.3	ค่า LEL ที่ได้จากการทดสอบของตัวอย่างในกลุ่มที่ 2.....	59
รูปที่ 5.4	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า LEL ที่ได้จากการทดสอบ กับขนาดของอนุภาค.....	63



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ



1.1 วัตถุประสงค์

- 1) พัฒนาออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบขอบเขตการระเบิด (ความเข้มข้นต่ำสุดที่ระเบิดได้) ของวัสดุประเภทฝุ่นผง
- 2) ทดลองและปรับปรุงการทำงานของเครื่องทดสอบจนได้ประสิทธิภาพทัดเทียมกับต่างประเทศ
- 3) ทดสอบหาขอบเขตการระเบิดของวัสดุประเภทฝุ่นผงที่ใช้กันในอุตสาหกรรมสาขาต่าง ๆ ของประเทศไทย เช่น แป้ง ผงลิกไนต์ ผงหมึกถ่ายเอกสาร ชี้อ้อย ผงพลาสติก เป็นต้น
- 4) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าขอบเขตต่ำของการระเบิดกับขนาดของอนุภาคของวัสดุชนิดต่าง ๆ
- 5) เสนอแนวทางพื้นฐานในการประเมินอันตรายของการระเบิดของอนุภาคของวัสดุประเภทฝุ่นผง

1.2 ผลงานวิจัยในอดีต

ในบรรดาอุตสาหกรรมเคมีทั้งหมด สารจำพวกพลาสติก ฝุ่น เชื้อเพลิง และยา ที่พบเห็นในชีวิตประจำวัน มักจะถูกอบแห้งเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่อยู่ในสภาพที่เป็นอนุภาค (เม็ดหรือฝุ่นผง) เมื่อสารจำพวกนี้ฟุ้งกระจายอยู่ในอากาศ หรือบรรยากาศที่มีออกซิเจน จะสามารถเกิดการระเบิดที่ส่งภัยอันตรายต่อชีวิตและทรัพย์สินขึ้นได้

เป็นการยากที่จะนิยามความเสี่ยงที่เกิดจากการระเบิด ในปฏิบัติการที่เกี่ยวข้องกับวัสดุที่มีศักยภาพในการระเบิด แต่เนื่องจากมีอุบัติเหตุการระเบิดเกิดขึ้นบ่อยครั้ง ดังนั้นควรจะคาดการณ์หาวิธีป้องกัน และเลือกเครื่องมืออุปกรณ์ต่าง ๆ อันได้แก่ อุปกรณ์ดักจับฝุ่นผง สายพานขนส่ง ถังเก็บ เครื่องขนถ่ายเมล็ดพืช และอุปกรณ์ลดขนาดอนุภาค (grinders, crushers and pulverizers)

อุปกรณ์ทดสอบการระเบิดแบบตั้ง (vertical tube apparatus) ของ Hartmann ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อทดสอบหาค่าความเข้มข้นต่ำสุดของการระเบิด (LEL) ความดันสูงสุดของการระเบิด และ

อัตราการเพิ่มขึ้นของความดันของตัวอย่างฝุ่นผง การศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงอุปกรณ์ทดสอบ การระเบิดของฝุ่นผงยังคงมีเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ หัวข้อนี้ได้รวบรวมพัฒนาการของอุปกรณ์ทดสอบไว้ดังนี้

ในปี ค.ศ. 1875 Vital เป็นผู้ริเริ่มทดสอบเทียบเคียงเพื่อประมาณอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นจากการระเบิดของฝุ่นผงหลาย ๆ ชนิด เขาได้ทดลองโดยเป่ากลุ่มหมอกฝุ่นผง (dust cloud) ผ่านเปลวไฟเข้าไปในท่อยาว ซึ่งมีลูกกลมของไม้จุกอยู่ปลายท่ออีกด้านหนึ่ง จากผลการทดสอบ เขาประมาณอันตรายของฝุ่นผงที่ทดสอบโดยสังเกตรูปร่างและความยาวของเปลวไฟที่เกิดจากการระเบิด เพื่อหาความเข้มข้นที่สามารถผลักดันลูกบอลไม้ให้หลุดออกจากปลายท่อได้พอดี

ในเวลาไล่เลี่ยกัน R. Weber (ปี ค.ศ. 1875) ได้ทำการทดสอบผงแป้ง โดยใช้อุปกรณ์ทดสอบแบบตะแกรงสั้น ฝุ่นผงทดสอบจะถูกกักอยู่บนตะแกรง เมื่อมีการสั้น ฝุ่นผงก็จะลอยตกลงไปในภาชนะที่มีแหล่งกำเนิดชนวนระเบิด

ต่อมาในปี ค.ศ. 1968 Steinbrecher ได้พัฒนาอุปกรณ์ทดสอบ สำหรับหาความเข้มข้นต่ำสุดของการระเบิดของฝุ่นผงตัวอย่างในอุตสาหกรรมที่แตกต่างจากอุปกรณ์อื่นที่กล่าวมาก่อนหน้านี้ กล่าวคือ การทำให้ฝุ่นผงฟุ้งกระจายโดยเป่าด้วยลมอัด ส่วนห้องที่เกิดการสันดาปจะประกอบด้วยท่อแก้วทรงกระบอกที่มีปลายปิดเป็นรูปครึ่งทรงกลม ปริมาตร 0.135 ลิตร ด้านข้างของท่อแก้วจะเจาะรูสำหรับแหล่งกำเนิดชนวนระเบิด และสำหรับสวิตช์เทอร์โมคัปเปิล

ในขั้นตอนการทดสอบ ฝุ่นผงตัวอย่างจะถูกกองไว้ตรงทางเข้าห้องสันดาป จากนั้นจะถูกเป่าด้วยลมอัดความเร็วสูงพัดพาเข้าไปฟุ้งกระจายในท่อทรงกระบอก แล้วทำการจุดชนวนระเบิด การทดสอบนี้มีบ่อยครั้งที่ทำให้ท่อแก้วแตกเสียหาย

Chemisch-Technische Reichsaustalt ในช่วงปี ค.ศ. 1933 ถึง 1935 ได้ใช้อุปกรณ์สำหรับหาความสามารถในการระเบิดได้ของของผสมระหว่างฝุ่นผงกับอากาศ เริ่มแรกฝุ่นผงจะถูกกองไว้ที่ด้านล่างของอุปกรณ์ และจะถูกเป่าให้ลอยขึ้นด้วยลมอัดผ่านหัวฉีด และใช้ขดลวดนำความร้อนเป็นแหล่งจุดชนวน ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่าผง zirconium สามารถระเบิดได้ในช่วงความเข้มข้นที่กว้างมากอย่างเห็นได้ชัด

ในปี ค.ศ. 1979 Eckhaff ได้ใช้เปลวของก๊าซ oxyacetylene ในการจุดชนวน สำหรับทดลองหาความสามารถในการระเบิดของฝุ่นผง เพื่อที่จะลดความเสี่ยงของการพิจารณาตัดสินผิดพลาด

อันตรายจากฝุ่นผงที่ติดไฟได้นั้น ไม่ได้กำหนดจากความสามารถในการระเบิด และช่วงกว้างของความเข้มข้นที่ระเบิดได้เพียงอย่างเดียว แต่ยังกำหนดจากค่าความดัน และความรุนแรงของการสันดาปของฝุ่นผงนั้น ๆ อีกด้วย นอกจากนี้ ความดันสูงสุดของการระเบิด และอัตราเร็ว

ที่เพิ่มความดันก็เป็นประเด็นที่สำคัญเช่นกัน การทดสอบหาพารามิเตอร์เหล่านี้ ต้องทำในอุปกรณ์ที่เป็นระบบปิดมิดชิด ซึ่งจะเห็นได้ว่าอุปกรณ์ที่กล่าวมาข้างต้นยังไม่เหมาะสมกับการทดลองนี้

ในปี ค.ศ. 1987 US Bureau of Mines ได้พัฒนาอุปกรณ์ทดสอบขึ้น เรียกว่า "Hartmann apparatus" อุปกรณ์นี้มีห้องที่เกิดการระเบิดเป็นรูปทรงกระบอกปิดมิด ปริมาตร 1.2 ลิตร ผุ่นผงที่จะทดสอบ จะถูกทำให้ฟุ้งกระจายทั่วห้อง และจุดชนวนอย่างต่อเนื่องด้วยประกายไฟหรือขดลวดนำความร้อน ค่าความดันและอัตราการเพิ่มขึ้นของความดันจะบันทึกด้วยเครื่องตรวจวัดเชิงกลหรือเครื่องแปลงสัญญาณความดันเป็นสัญญาณไฟฟ้า

ก่อนหน้านี้นี้ ในปี ค.ศ. 1971 J. Lutof ได้สร้างอุปกรณ์อย่างง่ายแบบ Hartmann และได้มีการดัดแปลงกันต่อมาเรื่อย ๆ จนเป็นที่รู้จักกันดี คือ "modified Hartmann apparatus" ซึ่งทำจากแก้วไฟเร็กซ์ และความรุนแรงจากการระเบิดจะกำหนดได้ 2 ระดับ ขึ้นอยู่กับมุมของบานพับที่ปิดอยู่ด้านบนของอุปกรณ์ซึ่งถูกผลักให้เปิดออกโดยแรงดันของการระเบิด

ปี ค.ศ. 1989 W. Bartknecht ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อค่า LEL พบว่า การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจะไปลดค่า LEL ให้น้อยลง นอกจากนี้เขายังศึกษาผลของความดันเริ่มแรก และอุณหภูมิเริ่มแรกที่มีต่อความดันสูงสุดของการระเบิด เขาสังเกตพบว่า หากความดันเริ่มแรกเพิ่มขึ้นเป็นทวีคูณ ความดันสูงสุดของการระเบิดก็จะเพิ่มขึ้นเป็นทวีคูณเช่นกัน ข้อมูลการทดสอบการระเบิดที่ได้เพิ่มเติมนี้ได้มาจากการทดลองในช่วงความเข้มข้นของผุ่นผงสูง ๆ อนึ่งเขาพบว่าการระเบิดไม่สามารถจะเกิดขึ้นได้ที่ความดันต่ำกว่า 1 มิลลิบาร์ ส่วนผลของอุณหภูมิเริ่มแรก พบว่าความดันของการระเบิดจะลดลงเป็นเชิงเส้นเมื่ออุณหภูมิสัมบูรณ์เริ่มแรกเพิ่มขึ้น

ปี ค.ศ. 1980 Bodurtha รายงานว่า ความดันสูงสุด และอัตราการเพิ่มขึ้นของความดันสำหรับผุ่นผงต่าง ๆ จะเกิดขึ้นภายในช่วงความเข้มข้น 200 ถึง 1000 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่ใดก็ตามที่ใช้เก็บผุ่นผงที่ติดไฟได้ จำเป็นที่จะต้องทดสอบหาข้อมูลของการระเบิดที่น่าเชื่อถือ และประเมินระดับอันตรายที่จะเกิดขึ้น

ถ้าผุ่นผงอยู่ในบรรยากาศของไอที่ติดไฟได้ที่เรียกว่า "hybrid mixtures" จะจุดติดไฟได้ง่ายกว่าผุ่นผงที่ปราศจากไอนี้ พลังงานต่ำสุดที่ใช้จุดชนวนระเบิด (Lower Minimum Ignition Energy, LMIE) ของกลุ่มหมอกผุ่น คือพลังงานต่ำสุดของแหล่งจุดชนวนที่ต้องใช้ในการทำให้เกิดการแพร่กว้างของเปลวยาว 10 เซนติเมตร หรือมากกว่า ในอุปกรณ์ทดสอบยาว 20 เซนติเมตร ปริมาตร 1.2 ลิตร ขนาดอนุภาคก็มีผลต่อค่า LMIE เช่นกัน กล่าวคือผุ่นผงที่ละเอียด จะจุดระเบิดได้ง่ายกว่าผุ่นผงที่หยาบ

จากงานวิจัยของ Hertberg et al ในปี ค.ศ. 1977 มีรายงานค่า LEL ของผงถ่านที่คล้ายคลึงกับถ่านพีท (%VM ประมาณ 35%) ว่าอยู่ในช่วงความเข้มข้น 5 ถึง 310 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร

Tapping Sieve Method เป็นอีกเทคนิคหนึ่ง que พัฒนาค้นมานานกว่า 30 ปี โดย Ishihama ในปี ค.ศ. 1961 และยังคงมีใช้อยู่เรื่อยมา เพราะให้ข้อมูลค่า LEL ที่น่าเชื่อถือ Ishihama ได้คิดค้นระบบนี้ขึ้นจากการวิจัยวัดค่า LEL ของผงถ่านซึ่งขึ้นอยู่กับ ขนาดของอนุภาค เกรดของถ่านหิน ความเข้มข้นของมีเทน และเปอร์เซ็นต์ผงเศษหินที่ปนอยู่ อย่างไรก็ตามข้อเสียของระบบนี้ก็คือ เป็นระบบเปิด จึงไม่สามารถวัดค่าความดันที่เกิดขึ้นจากการระเบิด นอกจากนี้ความเข้มข้นสูงสุดของกลุ่มหมอกฝุ่นที่อุปกรณ์นี้สามารถทำการวัดค่า LEL ได้นั้นถูกจำกัดเพียง 350 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร จึงไม่เพียงพอที่จะศึกษาการระเบิดของฝุ่นผงบางชนิด ซึ่งมีค่า LEL สูงกว่านี้

ต่อมาในปี ค.ศ. 1964 Ishihama, Okada และ Yoshida ได้ร่วมกันทดลองศึกษาผลของของแข็งที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ ต่อค่า LEL โดยปกติผงถ่านจะประกอบด้วย ของแข็งที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ที่เราเรียกกันดี คือขี้เถ้า ดังนั้นพวกเขาจึงทดลองเติมผงอิฐละเอียดที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้เหมือนกันลงไปในส่วนต่าง ๆ กัน พบว่าผงอิฐที่เติมเข้าไปมีอิทธิพลต่อค่า LEL น้อยกว่าขี้เถ้าที่เป็นส่วนประกอบตามธรรมชาติของผงถ่าน

ในปี ค.ศ. 1982 Ishihama, Enomoto และ Sekitomo พบว่า ขนาดของอนุภาคและองค์ประกอบที่เป็นสารระเหยมีผลต่อค่า Upper Explosion Limit (UEL) กล่าวคือความละเอียดและเกรดของผงถ่านหินมีผลทำให้ค่า UEL เปลี่ยนแปลงในช่วงกว้างมาก เมื่อเทียบกับผลกระทบที่มีต่อค่า LEL หนึ่งค่า UEL ของผงถ่านปิทมินัส ส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงความเข้มข้น 3000 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่า UEL ที่ 3000 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรนี้ถือว่าไม่สูงมากนักเมื่อเทียบกับค่า UEL ของผงพลาสติก ผลิตภัณฑ์ทางเกษตร หรือผงโลหะ ยกตัวอย่างเช่น UEL ของผงแป้งมัน (Ishihama ปี ค.ศ. 1979) ผงอะลูมิเนียม (Ishihama ปี ค.ศ. 1975) และผงแมกนีเซียม (Ishihama ปี ค.ศ. 1975) มีค่าสูงกว่า 8000 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ในปี ค.ศ. 1980 Ishihama และ Enomoto ได้หาความสัมพันธ์ระหว่าง UEL และ LEL กับเปอร์เซ็นต์ของผงเศษหินที่ปนอยู่ในผงถ่าน พบว่าถ้าเปอร์เซ็นต์ของผงเศษหินที่ปนอยู่สูงขึ้น จะให้ค่า LEL สูงขึ้น แต่ค่า UEL กลับลดลง และในปี ค.ศ. 1983 พวกเขาได้สรุปผลการทดลองระหว่างเปอร์เซ็นต์ของผงเศษหินที่ปนอยู่กับขอบเขตของความเข้มข้นที่สามารถระเบิดได้ไว้เป็นสมการ

NFPA68 ได้ประเมินผลการทดสอบโดยแบ่งระดับความรุนแรงของการระเบิด (Explosion Class) เป็น 3 ระดับ ได้แก่ Class St1, Class St2 และ Class St3 และแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับความรุนแรงของการระเบิดกับค่า K_{st} ไว้อีกด้วย ฝุ่นผงบางครั้งก็จะระบุเป็นระดับความ

รุนแรงของการระเบิด ตัวอย่างเช่น Class St3 จะรวมฝุ่นผงจำพวกที่มีคุณลักษณะการระเบิดที่รุนแรงไว้ด้วยกัน

การเปลี่ยนแปลงของปริมาตรของภาชนะปิดมิด จะเป็นสาเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอัตราการเพิ่มขึ้นของความดัน ในขณะที่ความดันสูงสุดยังคงเดิมไม่เปลี่ยนแปลง โดยทั่วไปแล้ว การทดสอบจะทำกันในอุปกรณ์ขนาดเล็กที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ กฎยกกำลังสาม (Cubic law) เป็นกฎที่ใช้สำหรับนำเอาผลการทดลองจากระดับห้องปฏิบัติการไปประยุกต์ใช้กับกรณีของอุปกรณ์ หรือระบบที่ใช้งานจริงในระดับอุตสาหกรรม ซึ่งค้นพบโดย Barknecht ในปี ค.ศ. 1971

ในปี ค.ศ. 1982 Matsuda T. et al ตั้งเกิดการระเบิดของฝุ่นผงในระบบขนถ่ายด้วยลม ท่อขนถ่ายด้วยลมนี้เป็นระบบท่อปิดมิด ซึ่งมีทั้งประเภทที่ใช้ลมที่มีความดันมากกว่าและที่น้อยกว่า ความดันบรรยากาศ

จากข้อมูลการทดลองเกี่ยวกับการแพร่กว้างของเปลว ที่เกิดขึ้นกับการไหลของฝุ่นผงกับอากาศในท่อเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็ก 5-10 เซนติเมตร Matsuda พบว่ามีโอกาสน้อยที่เปลวไฟจะถูกเร่งให้มีความเร็วสูง ๆ ดังการระเบิดของวัตถุระเบิด (detonation) นอกจากนี้ Matsuda ยังแสดงให้เห็นว่าขอบเขตของความเข้มข้นที่สามารถระเบิดได้ โดยเฉพาะค่า UEL จะมีค่าอยู่ในช่วงแคบ ๆ หนึ่งเมื่อความเร็วของอากาศที่ใช้ขนถ่ายในท่อเพิ่มขึ้นถึงระดับวิกฤติค่าหนึ่ง แม้มีประกายไฟเป็นแหล่งจุดชนวนระเบิดก็ตาม ก็พบว่าไม่มีเปลวแพร่กว้างที่ความเข้มข้นใด ๆ เลย

Lunn G.A. ปี ค.ศ. 1985 ได้ทำการศึกษาหาข้อมูลการระเบิดของผงยาแอสไพรีน เขาได้แสดงความสัมพันธ์ของ อัตราการเพิ่มของความดันจากการระเบิด (dp/dt) ความดันสูงสุด และค่า K_{st} กับค่าความเข้มข้นของผงนี้ ข้อมูลการทดสอบโดยใช้ภาชนะทรงกลมปริมาตร 20 ลิตร และผงตัวอย่างที่มีความชื้น 1.2% ให้ค่าสูงสุดของ K_{st} เท่ากับ 190 (bar)(m)/(s) แสดงว่าผงยาแอสไพรีนนี้เป็นฝุ่นที่มีระดับความรุนแรงการระเบิดใน Class St2

1.3 ข้อมูลสถิติในอดีตเกี่ยวกับอุบัติเหตุการระเบิดของฝุ่นผง

ความหายนะจากการระเบิดของฝุ่นผงที่ร้ายแรงที่สุดในประวัติศาสตร์โลกเกิดจากการระเบิดในเหมืองถ่านหินใต้ดิน ความสูญเสียอย่างใหญ่หลวงในภาคอุตสาหกรรมในอดีต ซึ่งมีผู้เสียชีวิตมากกว่า 500 คนต่อครั้ง จะมีเหตุการณ์ของการระเบิดของผงถ่านหินรวมอยู่ด้วยหลายครั้ง แต่เมื่ออุตสาหกรรมได้หันมาใช้น้ำมันเป็นแหล่งพลังงานแทนถ่านหิน อุบัติภัยจากการระเบิดของผงถ่านหินก็เริ่มหมดไป

จากสถิติที่ T.Matsuda (1995) เก็บรวบรวมไว้สำหรับช่วงปี ค.ศ. 1952 ถึง 1990 ประเทศญี่ปุ่นมีอุบัติเหตุจากการระเบิดของฝุ่นผงในอุตสาหกรรมต่างๆ ในช่วง 39 ปีข้างต้นทั้งหมด 248 กรณี รวมผู้บาดเจ็บเสียชีวิตทั้งหมด 616 คน (เสียชีวิต 94 คน) จากประสบการณ์ส่วนตัวเขาเชื่อว่าสถิติที่เก็บได้โดยทางการของหน่วยราชการญี่ปุ่นนั้นยังต่ำกว่าที่เกิดขึ้นจริงอยู่มาก

ในกรณีของประเทศเยอรมนี ซึ่งมีระบบการเก็บสถิติด้านอุบัติเหตุที่สมบูรณ์ดีถ้วน จำนวนอุบัติเหตุของการระเบิดของฝุ่นผงจะเกิดขึ้นปีละประมาณ 300 กรณีหรือเฉลี่ย 1 ครั้งต่อวันทำการ

ในกรณีของประเทศอังกฤษ ในช่วงเวลา 19 ปีจากปี ค.ศ. 1962 ถึง ค.ศ. 1980 ปรากฏว่ามีอุบัติเหตุการระเบิดของฝุ่นผง 485 กรณี และอภิศักจากฝุ่นผง 715 กรณี

ในกรณีของประเทศสหรัฐอเมริกา อุตสาหกรรมเมล็ดธัญพืชเพียงสาขาเดียว ซึ่งรวมทั้งอุตสาหกรรมแปรรูปธัญพืชก็ได้เกิดการระเบิดและอภิศักจากฝุ่นผงจำนวนบ่อยครั้ง เช่น ในปี ค.ศ.1977 ถึง 1978 ได้เกิดการระเบิดของฝุ่นผง 21 กรณี ซึ่งผู้เสียชีวิตรวมทั้งสิ้น 65 คน และผู้บาดเจ็บอีก 84 คน แม้แต่หลังจากนั้นอุบัติเหตุ ณ คอมเพล็กซ์ของเมล็ดธัญพืชก็ยังเกิดขึ้นเป็นระยะ ๆ เช่นในช่วง 8 ปีจาก ค.ศ. 1979 ถึง ค.ศ. 1986 ได้เกิดอุบัติเหตุการระเบิดของฝุ่นผงในโรงงานประเภทนี้จำนวน 160 กรณี โดยมีผู้เสียชีวิตรวมทั้งสิ้น 50 คน และผู้บาดเจ็บอีก 224 คน

อุบัติเหตุการระเบิดของฝุ่นผงที่มีความสูญหายนะมากในระยะหลัง ได้แก่ การระเบิดในโรงงานทอผ้าที่เมืองฮาร์บิน ประเทศจีน ซึ่งมีผู้เสียชีวิตครั้งนั้น 58 คน และบาดเจ็บอีก 177 คน

ในกรณีของประเทศไทย ผู้เขียนยังไม่เคยเห็นรายงานเกี่ยวกับสถิติการระเบิดของฝุ่นผง แต่ก็ได้ทราบจากทางหนังสือพิมพ์บ้าง จากบุคคลที่ทำงานในอุตสาหกรรมต่าง ๆ บ้าง ว่ามีอุบัติเหตุประเภทนี้เกิดขึ้นบ่อยพอสมควร ยกตัวอย่างในต้นปี 1992 ก็มีอุบัติเหตุการระเบิดของฝุ่นผงลิกไนต์ในโรงงานผลิตปูนซีเมนต์ ที่จังหวัดสระบุรี ซึ่งมีผู้บาดเจ็บและเสียชีวิตด้วย ปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งที่ได้ประสบคือ ผู้ปฏิบัติงานจำนวนไม่น้อยในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ของไทยไม่ทราบว่าจะดูแลสุขภาพหลัก ๆ ในโรงงานของตนเองนั้นสามารถระเบิดได้ในเงื่อนไขที่เหมาะสม

จากการวิเคราะห์สถิติอุบัติเหตุการระเบิดในประเทศญี่ปุ่นในช่วงปี ค.ศ. 1952 ถึง 1990 โดยแยกตามประเภทของวัสดุฝุ่นผง Matsuda พบว่า ฝุ่นผงประเภทโลหะและโลหะผสมมีสัดส่วนการเกิดอุบัติเหตุการระเบิดสูงสุดคือ 24% ของกรณีทั้งหมด (โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อะลูมิเนียมและโลหะผสมของอะลูมิเนียม) ตามมาเป็นอันดับสองโดยมีเคมีภัณฑ์อินทรีย์ (19%) สารหลัก ๆ ที่ตกลงมาได้แก่ กำมะถัน, พลาสติก, ผงอาหารสัตว์, ผงไม้ และ phthalic acid anhydride ตามลำดับ สิ่งที่น่าสังเกตคือ ประเภทของฝุ่นผงที่เกิดอุบัติเหตุการระเบิดนั้น จะแปรผันตามยุคสมัยและวิวัฒนาการของสาขาอุตสาหกรรม เช่นในอดีต กำมะถันและ phthalic acid anhydride จะเกิดอุบัติเหตุบ่อยในประเทศญี่ปุ่น แต่ในระยะหลังสุดนี้จะแทบไม่เกิดเลย ในทางกลับกันสัดส่วนของอุบัติเหตุที่เกี่ยวข้องกับผงโลหะนั้นมีสูงถึง 43% ในช่วงปี ค.ศ.1981 ถึง 1990 (10 ปี) และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เหตุที่เป็นเช่นนั้นเพราะในระยะหลังมีความนิยมใช้วัสดุที่เป็นโลหะชนิดเบาเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เพราะมีน้ำหนักเบา, แปรรูปได้ง่ายและทนการผุกร่อนได้ดี

เมื่อจำแนกสถิติข้างต้นตามประเภทของเครื่องจักรอุปกรณ์ที่เกิดอุบัติเหตุการระเบิด Matsuda พบว่า เครื่องบดย่อยชนิดต่าง ๆ และเครื่องเก็บฝุ่นชนิดต่าง ๆ มีสัดส่วนเท่ากันคือ 21% ตามมาด้วยเครื่องอบแห้ง เครื่องขนย้าย ระบบและถังเก็บ ห้องเผาไหม้ตามลำดับ จุดที่น่าสังเกตคือได้มีการ พัฒนาการของมาตรการป้องกันการระเบิดของกระบวนการเก็บฝุ่น และคัดแยกอนุภาคกันมากในระยะหลัง ผลก็คือสัดส่วนของอุบัติเหตุการระเบิดในกระบวนการนี้ในช่วง 10 ปีจาก ค.ศ. 1981 ถึง 1990 ได้ลดลงถึง 3% ในทางกลับกันอาจเป็นเพราะว่ากระบวนการอบแห้งเวชภัณฑ์และเคมีภัณฑ์มักจะมีตัวทำละลายอินทรีย์ที่ติดไฟได้, ใช้อุณหภูมิสูง และเกิดประกายไฟฟ้าสถิตได้ง่าย เนื่องจากการไหลเสียดสีของวัสดุผง ดังนั้นอุบัติเหตุของเครื่องอบแห้งจึงมีเกิดขึ้นอยู่เนื่อง ๆ

เมื่อจำแนกสถิติข้างต้นของประเทศญี่ปุ่นตามประเภทของแหล่งจุดชนวน (ignition source) Matsuda พบว่า แหล่งจุดชนวนประเภทการขัดสีและการกระแทกจะมีสัดส่วนสูงสุด (กว่า 30%) ตามมาด้วยไฟฟ้าสถิต, สะเก็ดไฟจากการเชื่อมโลหะและหลอมตัดโลหะ และการลุกติดไฟขึ้นเองเป็นต้น จุดที่น่าสังเกตคือการค้นหาต้นตอแหล่งจุดชนวนที่แท้จริงนั้นทำได้ค่อนข้างลำบาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระยะหลังซึ่งกระบวนการเกี่ยวกับวัสดุฝุ่นผงจะเป็นระบบอัตโนมัติเพิ่มมากขึ้นในประเทศญี่ปุ่น

แม้ว่าโครงสร้างของอุตสาหกรรมและประเภทของกระบวนการที่ใช้กันในประเทศไทยจะแตกต่างกับของประเทศญี่ปุ่นพอสมควร แต่ผู้เขียนก็คิดว่าสถิติและผลการศึกษาวิเคราะห์โดย Matsuda (1995) นั้นจะเป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์พอสมควร อนึ่งเมื่อเปรียบเทียบสถิติการเกิดอุบัติเหตุจากระหว่างประเทศไทยกับประเทศญี่ปุ่นซึ่งต่ำกว่าของไทยมาก ผู้เขียนมีความเห็นว่าสถิติอุบัติเหตุการระเบิดของฝุ่นผงของไทยน่าจะสูงกว่าของประเทศญี่ปุ่นพอสมควร



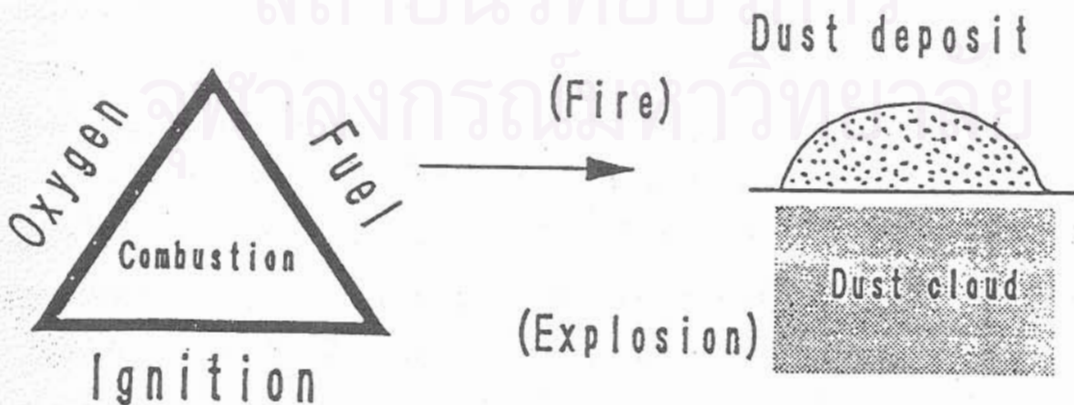
บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับการระเบิดของวัสดุฝุ่นผง

การระเบิดเป็นปฏิกิริยาการเผาไหม้ ที่ก่อให้เกิดพลังงานความร้อนและแรงดันสูงขึ้นในเวลาอันสั้น นอกเหนือจากการระเบิดของก๊าซ วัตถุระเบิด สารไวไฟต่าง ๆ ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีอยู่แล้ว อนุภาคเล็ก ๆ ที่มีลักษณะเป็นฝุ่นผงละเอียดของสารทั่วไปในชีวิตประจำวันก็สามารถเกิดการระเบิดได้ โดยเฉพาะฝุ่นของสารอินทรีย์ ซึ่งมีอยู่มากในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น เมล็ดธัญพืชที่แตกหัก แป้งต่าง ๆ ถ่านหินผง โพลีเมอร์ผง เป็นต้น นอกเหนือจากนี้สารอนินทรีย์บางอย่าง เช่น ผงสี ผงซัลเฟอร์ ผงโลหะ ก็สามารถระเบิดได้เช่นเดียวกัน

2.1 สถานะในการเกิดการระเบิดของอนุภาคที่เป็นฝุ่นผง (Dust Explosion)

Dust ในความหมายที่เกี่ยวข้องกับการเกิดระเบิดและการเผาไหม้ จะหมายถึงอนุภาคฝุ่นผงที่ติดไฟได้ ซึ่งสามารถลอยฟุ้งกระจายในอากาศ และโดยทั่วไปมีขนาดอนุภาคน้อยกว่า 500 ไมครอน วัสดุที่เป็นเส้นใยขนาดเล็ก หรืออนุภาคเล็ก ๆ ของเส้นใยสังเคราะห์และเส้นใยธรรมชาติ ซึ่งมีความยาว 0.5-1.5 มิลลิเมตร ก็จัดว่าเป็นสิ่งที่สามารถเกิดการระเบิดได้ เช่น ได้มีการรายงานในปี 1987 ในเมืองฮาร์บินของจีน ว่ามีเหตุการณ์ระเบิดของเศษผงเส้นใยลินิน ทำให้มีผู้เสียชีวิต 58 คน บาดเจ็บอีก 177 คน



รูปที่ 2.1 สามเหลี่ยมการเผาไหม้ และการก่อตัวของฝุ่น

โดยทั่วไปแล้ว ในการเกิดการลุกไหม้ จำเป็นต้องมี 3 องค์ประกอบของ เชื้อเพลิง ออกซิเจน (หรืออากาศ) และแหล่งพลังงาน ซึ่งประกอบเป็นแผนภาพสามเหลี่ยมดัง รูปที่ 2.1 ถ้า องค์ประกอบใดองค์ประกอบหนึ่งขาดไปจากนี้ ก็จะไม่ทำให้เกิดการลุกไหม้หรือการระเบิดขึ้นได้ การเผาไหม้ของอนุภาคฝุ่นผงจะเริ่มต้นเมื่อมีเชื้อเพลิงอยู่ในชั้นหรือกองฝุ่นผง แม้ว่าการเผาไหม้ ของฝุ่นผงกับการระเบิดจะมีความแตกต่างกันชัดเจน แต่ในที่นี้จะไม่ขอกล่าวถึงการเผาไหม้ของ ฝุ่นผงซึ่งอยู่นอกขอบเขตการศึกษา

สำหรับการระเบิดของฝุ่นผง เชื้อเพลิง (ผงของวัสดุติดไฟได้) จะต้องกระจายอยู่ในอากาศ ในลักษณะกลุ่มหมอกในสัดส่วนที่เหมาะสม และจะต้องมีแหล่งพลังงานจุดชนวนขึ้น แม้ว่าการ ระเบิดของอนุภาคฝุ่นผงกับของก๊าซจะมีความคล้ายคลึงกัน แต่สภาวะ 3 อย่างต่อไปนี้ จะต้อง ประกอบกันครบจึงจะทำให้เกิดการระเบิดของฝุ่นผงได้

1. ฝุ่นผงต้องฟุ้งกระจายและผสมกับอากาศ
2. ความเข้มข้นของฝุ่นผงที่ฟุ้งกระจายต้องมีค่าเกินค่าความเข้มข้นต่ำสุดของการ ระเบิด
3. แหล่งพลังงานจุดชนวน ซึ่งมีพลังงานเพียงพอในการกระตุ้นการแพร่ขยายกว้างของ เปลวไฟออกไปจะต้องสัมผัสกับฝุ่นที่แขวนลอยอยู่

เงื่อนไขข้อ 1 เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติในการฟุ้งกระจายและแขวนลอยของฝุ่นผง ความง่าย ในการฟุ้งกระจายขึ้นอยู่กับหลาย ๆ ปัจจัยของลักษณะเฉพาะของฝุ่นผง เช่น ความหนาแน่น เส้น- ผ่านศูนย์กลาง รูปร่าง และคุณสมบัติในการยึดเหนี่ยวและการรวมตัวกันของฝุ่นผง ตลอดจน ความชื้น ในสภาวะอุตสาหกรรมการแขวนลอยของฝุ่นผงจะเกิดขึ้นโดยการกระทำทางกล เช่น ใน การจัดการหรือขนส่งฝุ่นผง โดยปกติแล้วจะต้องมีการไหลของอากาศเพื่อที่จะให้เกิดการไหลของ ของผสมระหว่างฝุ่นผงกับอากาศ แต่ก็ไม่ง่ายที่จะรักษาให้ฝุ่นผงแขวนลอยในอากาศอย่างสม่ำเสมอ กันเป็นเวลานาน เนื่องจากการตกลงของอนุภาคฝุ่นผง กองฝุ่นที่ถูกลมพัดให้ฟุ้งกระจายและ แขวนลอยในลักษณะดังกล่าว ในสภาวะการณ์ในอุตสาหกรรม ก็มีอันตรายที่จะเกิดการระเบิดของ ฝุ่นผงได้ ซึ่งเป็นตามเงื่อนไขข้อ 1

การแพร่กว้างของเปลวไฟจะเกิดขึ้นได้ในกลุ่มหมอกของฝุ่นผง ถ้าความเข้มข้นของฝุ่นผง สูงเกินค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่จำเป็นต่อการทำให้เปลวไฟคงอยู่ ซึ่งเป็นตัวกำหนดค่าขอบเขตต่ำสุด ของการระเบิดนั่นเอง โดยทั่วไปความเข้มข้นของฝุ่นผงจะแตกต่างกันไปตามพื้นที่และเวลา ดังนั้น เงื่อนไขข้อที่ 2 ส่วนใหญ่จึงขึ้นอยู่กับกระบวนการทางอุตสาหกรรม ถ้ามีเงื่อนไขข้อ 1 อยู่แล้ว จำเป็นที่จะต้องทำการระวังป้องกันโดยการคาดการณ์ถึงความเป็นไปได้ที่จะเกิดเงื่อนไขข้อ 2 ใน บางกรณี ในอุตสาหกรรม การไหลของฝุ่นผงอย่างคงที่สม่ำเสมอจะมีอยู่ในระบบการขนส่งด้วยลม

ซึ่งเป็นการหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะเกิดกลุ่มหมอกของฝุ่นผงอยู่ในช่วงความเข้มข้นที่เกิดการระเบิดได้ ในส่วนบนของท่อแนวราบหรือในตอนเริ่มต้นหรือหยุดการทำงานของระบบของหลาย กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับฝุ่นผงจะช่วยเพิ่มการแขวนลอยของฝุ่นแบบไม่สม่ำเสมอ และทำให้ไม่สามารถควบคุมให้ความเข้มข้นของการฟุ้งกระจายอยู่นอกขอบเขตความเข้มข้นที่ระเบิดได้ตลอดเวลา ตัวอย่างทั่วไป เช่น การเคาะหรือเขย่าแผ่นกรองในหน่วยกรองแบบถุง การมีเนื้อที่ว่างอยู่ใน ส่วนประกอบของเครื่องกรองทำให้เกิดการแขวนลอยของฝุ่นผงในช่วงความเข้มข้นที่ไม่สามารถ ควบคุมได้ ซึ่งมักอยู่ในช่วงที่สามารถระเบิดได้ ฝุ่นผงที่สะสมอยู่บนแผ่นกรองส่วนใหญ่จะละเอียด ซึ่งหมายถึงอันตรายจากการระเบิดก็จะยิ่งมากขึ้นด้วย

เงื่อนไขข้อ 3 คือแหล่งพลังงานจุดชนวน แหล่งพลังงานจุดชนวนที่พบเห็นกันทั่วไปได้แก่ เปลวไฟ พื้นผิวร้อน การลุกไหม้อย่างช้า ๆ ที่ให้ความร้อนหรือแสงออกมาแต่ไม่มีเปลวไฟหรือควัน การเกิดความร้อนขึ้นเอง การเชื่อมตัด แรงเสียดทานและการกระทบเสียดสีกัน สปาร์กกระแสไฟฟ้า และสปาร์กของประจุไฟฟ้าสถิต แม้ว่าจะพยายามไม่ให้เกิดแหล่งพลังงานจุดระเบิดในทุกกระบวนการ ที่จัดการกับฝุ่นผง ก็ยังเป็นการยากที่จะกำจัดแหล่งจุดชนวนให้ได้ทั้งหมด เนื่องจากอาจเกิดขึ้น ได้จากการชำรุดขัดข้องหรือความผิดพลาด อย่างไรก็ตามการใช้ความระมัดระวังต่าง ๆ ก็สามารถ ป้องกันการเกิดระเบิดได้

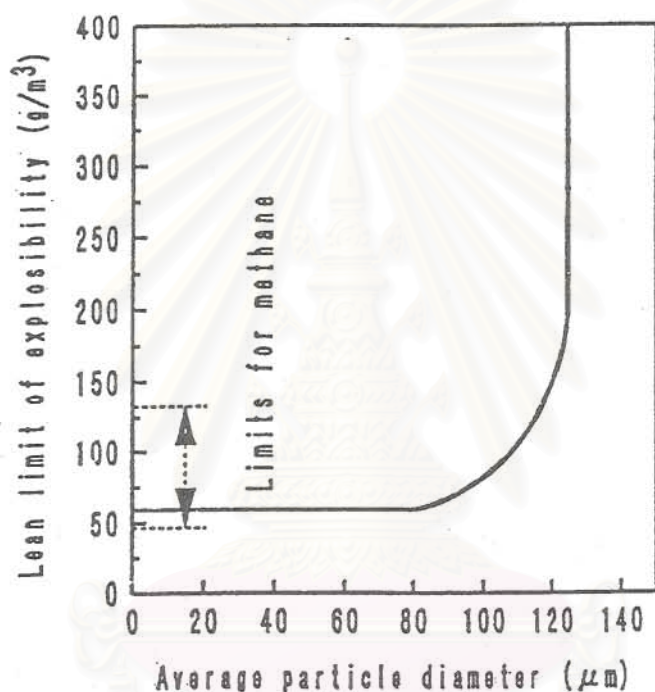
2.2 การแพร่กว้างของเปลวไฟในส่วนผสมของฝุ่นผงกับอากาศ

เราไม่สามารถที่จะอธิบายกลไกการเกิดระเบิดของฝุ่นผงด้วยทฤษฎีได้ทั้งหมด เพราะว่ามี หลายตัวแปรอยู่ในปรากฏการณ์การระเบิด ความซับซ้อนอาจเกิดขึ้นจากความหลากหลายมากของ วัสดุ กลไกการแพร่กว้างของเปลวไฟของฝุ่นผงและผลกระทบจากทางอากาศพลศาสตร์ แม้ว่าคำ อธิบายง่าย ๆ ของส่วนประกอบทางเคมีของฝุ่นผงจะไม่สามารถเป็นแนวทางอธิบายที่เพียงพอต่อ พฤติกรรมการระเบิดของฝุ่นผง ในส่วนแรกจะพิจารณาถึงฝุ่นผงที่ติดไฟได้ของวัสดุอินทรีย์ทั่ว ๆ ไปก่อน

เมื่อฝุ่นผงถูกจุดระเบิด ก็จะมีสารระเหยเกิดขึ้นจากอนุภาคด้วยการแตกสลายทางความร้อน (thermal decomposition) มากกว่าการระเหยด้วยตัวเอง

สารระเหยที่เกิดขึ้นจะผสมกับอากาศ ซึ่งนำไปสู่การลุกไหม้ของส่วนผสม ถ้าหากอัตราการ เกิดขึ้นและความเข้มข้นของสารระเหยยังคงมีอยู่ ความร้อนจากการลุกไหม้ของส่วนผสมจะทำให้ เกิดการแตกสลายทางความร้อนของอนุภาคข้าง ๆ ต่อไป กระบวนการถ่ายโอนมวลและความร้อน ระหว่างอนุภาคก็คือกลไกการแพร่กว้างของเปลวไฟ ในระบบที่มีฝุ่นผง ซึ่งอนุภาคของฝุ่นที่

แขวนลอยอยู่ก็จะเกิดการแตกสลายทางความร้อนจากการกระทำของเปลวไฟที่แพร่กว้างนี้ แม้ว่าโครงสร้างการไหลของก๊าซที่เกิดขึ้นโดยเปลวไฟจะมีบทบาทสำคัญในการแพร่กว้างของเปลวไฟ ก็ยังเป็นการยากที่จะบรรยายให้เห็นภาพของโครงสร้างของเปลวไฟทั่วไป ซึ่งจะขึ้นกับอุปกรณ์ของระบบอย่างมาก เช่นเดียวกันก็เป็นการยากที่จะแยกบทบาทนั้นว่าเป็นการถ่ายโอนความร้อนโดยการนำหรือการพาความร้อน แม้ว่าการแผ่รังสีความร้อนจะมีความสำคัญในการแพร่กว้างของเปลวไฟ ผลของอนุภาคฝุ่นผงรอบ ๆ ที่มีต่อการแผ่รังสีความร้อนระหว่างอนุภาคก็จัดเป็นกลไกโดยรวมด้วย



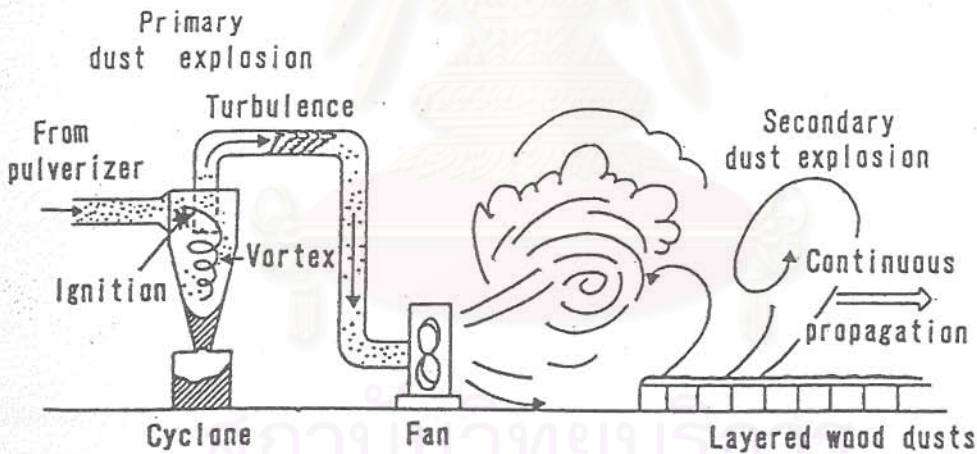
รูปที่ 2.2 ขอบเขตต่ำสุดของการระเบิดของโพลีเอทิลีนกับขนาดเฉลี่ยของอนุภาค

พฤติกรรมของการแตกสลายทางความร้อนจะแตกต่างกันอย่างชัดเจนในฝุ่นผงที่แตกต่างกัน และยังได้รับอิทธิพลจากการถ่ายโอนความร้อนของอนุภาค นอกจากนั้นการแตกสลายทางความร้อนจะขึ้นอยู่กับเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคได้บางส่วนหรือทั้งหมด ดังนั้นอนุภาคที่มีความหยาบกว่าจะไม่มีอันตรายของการระเบิดของฝุ่นผง ถ้าอนุภาคนั้นไม่สามารถปลดปล่อยสารระเหยในอัตราที่เพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยาในเฟสก๊าซในช่วงที่มีการผ่านของเปลวไฟ ในทางตรงกันข้าม อนุภาคฝุ่นผงละเอียดที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบจะระเหยหมดที่อุณหภูมิของเปลวไฟ ทำให้เกิดการลุกไหม้ในเฟสก๊าซ ความสัมพันธ์ของกระบวนการแตกสลายด้วยความร้อน ต่อขนาดของอนุภาค แสดงโดยการทดลองวัดค่าขอบเขตต่ำสุดของการระเบิดกับขนาดต่าง ๆ ของอนุภาค

ดังรูปที่ 2.2 สำหรับโพลีเอทิลีน ซึ่งทำนายได้ว่าขอบเขตต่ำสุดของอนุภาคที่ระเหยได้ทั้งหมดเกือบจะเหมือนกับส่วนผสมของก๊าซที่สามารถระเบิดได้ เช่น ส่วนผสมของมีเทนกับอากาศ แม้ว่าจะมีกระบวนการแตกสลายทางความร้อนที่เกิดขึ้นเพิ่มเติมในการลุกไหม้ของอนุภาคฝุ่นผงก็ตาม

2.3 อันตรายและความเสียหายจากการระเบิดในอุตสาหกรรม

เหตุการณ์ที่แสดงไว้ใน รูปที่ 2.3 เป็นตัวอย่างของภัยอันตรายที่เกิดจากการระเบิดของผงไม้ที่ประเทศญี่ปุ่น ในปี ค.ศ. 1986 โดยไม่ทราบสาเหตุแน่ชัด การจุดติดไฟได้เกิดขึ้นในไซโคลนซึ่งใช้ดักจับผงไม้จากเครื่องทำผง (pulverizer) การระเบิดขั้นแรก (ปฐมภูมิ) เกิดขึ้นในไซโคลนซึ่งมีการฟุ้งผสมของอากาศและผงไม้ คลื่นแรงดันของการระเบิดและเปลวไฟนี้จะถูกส่งผ่านออกไปจากพัดลมดูดออก และไปเป่าให้ชั้นของผงไม้ที่สะสมอยู่ด้านหน้าของพัดลมฟุ้งกระจายเป็นหมอกฝุ่น ซึ่งนำไปสู่การระเบิดขั้นที่สอง (ทุติยภูมิ) อุบัติเหตุนี้ชี้ให้เห็นถึงภัยอันตรายที่เพิ่มขึ้นจากการระเบิดในขั้นที่สองและขั้นต่อ ๆ ไป



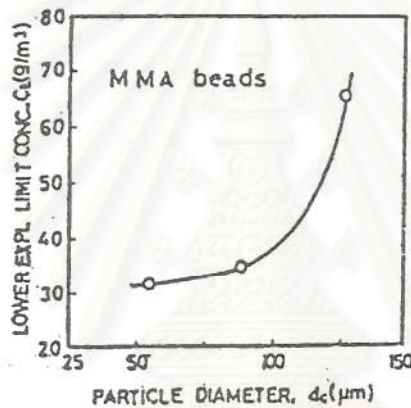
รูปที่ 2.3 ลักษณะการระเบิดของฝุ่นผง

การระเบิดของฝุ่นในขั้นแรกบ่อยครั้งเป็นการระเบิดที่ไม่รุนแรง แต่เมื่อเกิดการระเบิดในขั้นต่อ ๆ มาเป็นห่วงลูกโซ่จะมีอำนาจทำลายล้างสูงกว่าเดิมมาก ๆ

2.4 อิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ ต่อการระเบิดของอนุภาคที่เป็นฝุ่นผง

2.4.1 ผลของขนาดอนุภาคและธรรมชาติของวัสดุ

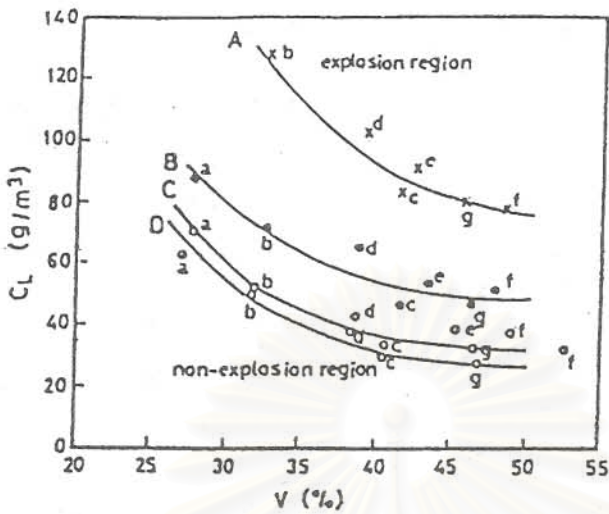
รูปที่ 2.4 แสดงตัวอย่างของผลของขนาดของอนุภาคที่มีต่อค่า LEL ของสาร MMA beads จะเห็นได้ว่า เมื่ออนุภาคมีขนาดละเอียดมากกว่าค่าหนึ่ง ค่า LEL จะไม่ขึ้นกับความละเอียดอีก และเมื่อ MMA beads มีความหยาบ ความเข้มข้นที่จะเกิดการระเบิดได้ก็จะสูงขึ้น แต่หากมีความหยาบสูงเกินค่าหนึ่ง กลุ่มหมอกก็จะไม่เกิดการระเบิด จากรูปที่ 2.4 ค่า LEL ของ MMA beads จะไม่ขึ้นกับความละเอียดของอนุภาค เมื่อขนาดอนุภาคเล็กกว่า 80 ไมครอน



รูปที่ 2.4 ค่า LEL ของเม็ด MMA ซึ่งแสดงถึงผลของขนาดอนุภาค

โดยปกติแล้ว ฝุ่นผงที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ จะมีส่วนที่ระเหยได้เป็นส่วนประกอบอยู่ รูปที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ของค่า LEL กับส่วนประกอบที่ระเหยได้

ในกรณีของการระเบิด ที่แสดงในรูปที่ 2.5 ที่เปอร์เซ็นต์ของสารระเหยเดียวกัน อนุภาคที่หยาบจะปลดปล่อยสารระเหยในฝุ่นออกมาได้น้อยกว่าอนุภาคที่ละเอียดกว่า ดังนั้นการลดลงในขนาดของอนุภาคก็จะลดค่า LEL ลง นอกจากนั้นที่ขนาดอนุภาคเดียวกัน (200-270 mesh) ในช่วงที่เปอร์เซ็นต์สารระเหยเท่ากับ 25-45 การเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์สารระเหยจะทำให้ค่า LEL ลดลง และค่า LEL จะไม่ขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์สารระเหย เมื่อเปอร์เซ็นต์สารระเหยมากกว่า 45%



รูปที่ 2.5 อิทธิพลของส่วนที่ระเหยได้ต่อค่า LEL ของผงถ่านหิน

A : 80 100 mesh, B : 100-150 mesh, C : 150-200 mesh, D : 200-270 mesh;

a : Kayanuma No. 5, b : Kayanuma No. 1&2, c : Kayanuma No. 3&4,

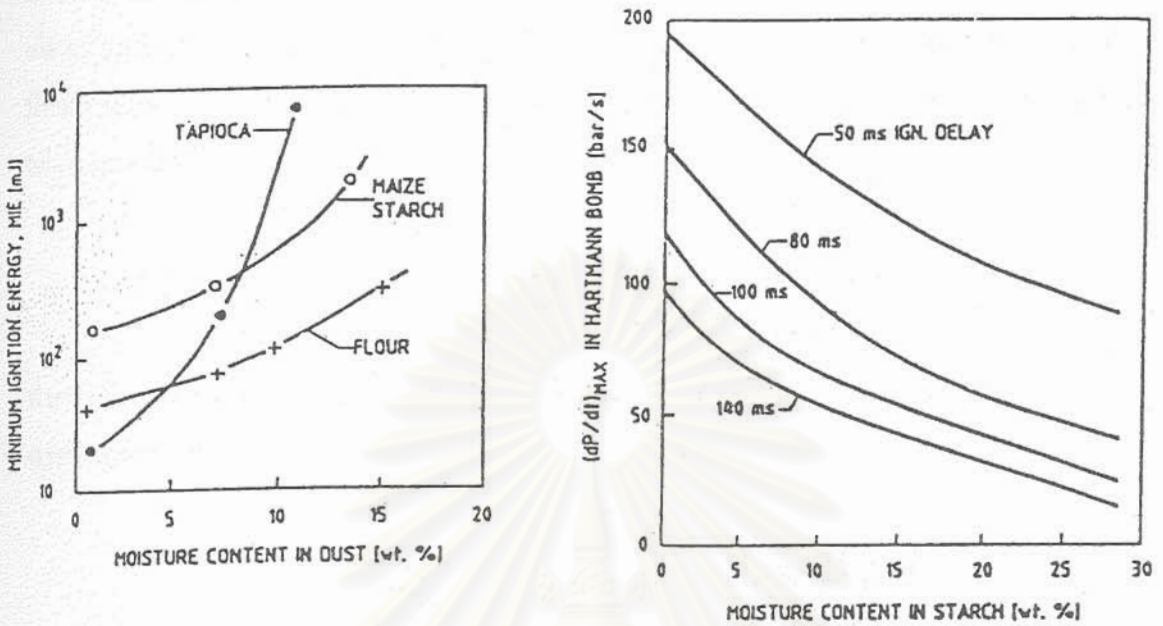
d : Ohyubari, e : Nisso-Teshio, f : Taiheiyo, g : Chikubetsu

2.4.2 ผลของความชื้น

พบว่าแป้งที่มีความชื้น 14% มีค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่จะระเบิดได้เท่ากับ 470 °C ส่วนแป้งที่แห้งมีค่าเท่ากับ 440 °C สำหรับ starch ที่แห้งสนิทจะมีค่าอุณหภูมิต่ำสุด 400 °C และถ้ามีความชื้น 13% จะมียค่าอุณหภูมิต่ำสุด 460 °C

อิทธิพลของความชื้นในฝุ่นผงที่มีต่อค่า MIE มีแสดงในรูปที่ 2.6 พบว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำในฝุ่นจะทำให้ค่า MIE เพิ่มขึ้น และปริมาณน้ำมีผลอย่างมากต่อการจุดชนวน ดังนั้นพฤติกรรมการจุดระเบิดของฝุ่นผงต้องทำการทดสอบในสภาวะที่แห้ง

บทบาทของความชื้นที่มีต่อความไวของการระเบิด และความรุนแรงของการระเบิดของกลุ่มหมอกของฝุ่นผงอินทรีย์นั้นมีความซับซ้อน อย่างแรกคือ การระเหยน้ำและการให้ความร้อนแก่น้ำ อย่างที่สองคือ ไอน้ำจะผสมกับก๊าซที่ถูกแตกสลายทางความร้อนในโซนอุ่น (Preheating zone) ของคลื่นการลุกไหม้ และทำให้ส่วนผสมของก๊าซมีความว่องไวต่อปฏิกิริยาน้อยลง อย่างที่ 3 คือความชื้นจะเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคของฝุ่นผงและทำให้เกิดการฟุ้งกระจายแขวนลอยยากขึ้น



รูปที่ 2.8 ความรุนแรงของการระเบิดสามารถถูกทำให้ลดลงด้วยปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นในฝุ่นผง การจุดระเบิดที่ช้าลงมีความสัมพันธ์กับสภาวะความปั่นป่วนของกลุ่มหมอก กล่าวคือ ถ้าความปั่นป่วนมีค่าลดลง จะทำให้มีการจุดชนวนที่ช้าลง

2.5 การประเมินค่าพารามิเตอร์ ที่มีผลต่อการระเบิด

2.5.1 ความจำเป็นในการประเมิน

ในการผลิตและจัดการฝุ่นผงที่ติดไฟได้ในอุตสาหกรรม จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทราบว่าฝุ่นผงเหล่านั้น ระเบิดได้ในเงื่อนไขใดบ้าง เพราะที่ฝุ่นผงที่ติดไฟได้ทุกชนิดจะสามารถเกิดการระเบิดได้เสมอ การทดสอบการระเบิดแสดงให้เห็นถึงระดับอันตรายจากการระเบิดของสารและความรุนแรงของการระเบิด ซึ่งการทดสอบในหลาย ๆ ประเทศมีบางสิ่งบางอย่างคล้ายคลึงกัน

เมื่อทำการทดสอบฝุ่นผงชนิดหนึ่ง ๆ และพบว่าระเบิดได้ ก็ควรจะมีการวัดพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการระเบิดนั้น เพื่อประเมินความเสี่ยงของการระเบิด พารามิเตอร์ดังกล่าวแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ ประเภทแรกเกี่ยวข้องกับความยากง่ายในการจุดระเบิด และประเภทหลังเกี่ยวข้องกับความรุนแรงของการระเบิด ปัจจัยแรกเรียกว่า “ความไวต่อการจุดชนวน (ignition sensitivity)” ประกอบด้วยค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ทำให้ระเบิดได้ อุณหภูมิต่ำสุดในการจุดชนวน พลังงานต่ำสุดในการจุดชนวน และค่าความเข้มข้นต่ำสุดของออกซิเจน ตามลำดับ ในส่วนของ

ปัจจัยหลังได้แก่ ค่าความดันสูงสุดจากการระเบิดและอัตราสูงสุดของการเพิ่มความดัน ปัจจัยเหล่านี้เกี่ยวข้องกับมาตรการป้องกันการระเบิด อนึ่งผลการทดสอบอาจใช้ในการตัดสินใจว่า มาตรการป้องกันที่เลือกจะใช้การได้หรือไม่ หรือว่าวัสดุชนิดใหม่จะใช้ในกระบวนการในอุตสาหกรรมได้อย่างปลอดภัยหรือไม่

2.5.2 ความเข้มข้นต่ำสุดที่ระเบิดได้ (Minimum Explosible Concentration, MEC)

ขอบเขตด้านต่ำของการระเบิดคือค่าความเข้มข้นของหมอกฝุ่นซึ่งถ้ามีความเข้มข้นต่ำกว่านี้ ฝุ่นจะไม่ระเบิด รูปที่ 2.7 แสดงให้เห็นเปลวจากการระเบิดที่รุนแรงของผงซิลิกอน ได้มีการนำอุปกรณ์ที่เรียกว่า Sieve Lapping เพื่อช่วยให้หมอกฝุ่นสม่ำเสมอขึ้น



รูปที่ 2.7 เปลวไฟจากการระเบิดของผงซิลิกอน

เกณฑ์การตัดสินการระเบิดคือ ต้องสังเกตเห็นเปลวไฟยาว 10 เซนติเมตรเป็นอย่างน้อยพุ่งขึ้นจากแหล่งจุดชนวน แม้ว่าการทดสอบจะดูเหมือนธรรมดา แต่เป็นการยากที่จะได้ค่าที่มีความแม่นยำสูง เนื่องจากหมอกฝุ่นไม่สม่ำเสมอหรือเป็นหมอกฝุ่นปั่นป่วน อย่างไรก็ตาม ถ้าทดสอบแล้วไม่ระเบิด จะต้องระมัดระวัง ถ้าจะใช้แหล่งพลังงานที่จุดชนวนด้วยพลังงานสูงขึ้น การทดสอบมักกระทำที่อุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศ ผลของอุณหภูมิมักจะไม่มากนักจนถึง 100°C

ค่าที่ “แท้จริง” ของขอบเขตด้านต่ำของการระเบิดของไลโคโพลีเอทและผงอินทรีย์ทั่วไปคือ 70 g/m^3 (mg/litre) เมื่อวัดในท่อทดสอบแนวตั้งขนาดใหญ่ (เส้นผ่านศูนย์กลาง 22.5 เซนติเมตร ยาวประมาณ 2 เมตร)

2.5.3 อุณหภูมิต่ำสุดของการจุดชนวน (Minimum Ignition Temperature, MIT)

อุณหภูมิต่ำสุดของการจุดชนวนวัดได้โดยใช้เครื่องมือทดสอบการระเบิด เมื่อใดก็ตามที่สังเกตเห็นเปลวไฟ อุณหภูมิของอากาศจะถูกปรับให้ลดลง จนกระทั่งฝุ่นไม่สามารถติดไฟเป็นเปลวได้ที่ความเข้มข้นใด ๆ ค่าที่วัดได้แสดงถึงความง่ายในการจุดระเบิดของฝุ่นชนิดต่าง ๆ

2.5.4 พลังงานต่ำสุดในการจุดชนวน (Minimum Ignition Energy, MIE)

ค่าพลังงานต่ำสุดในการจุดชนวนวัดได้จากค่าความจุไฟฟ้าที่ใช้ผลิตสปาร์คที่ขั้วอิเล็กโทรด ค่าพลังงานนี้หาได้จาก $E = 0.5CV^2$ เมื่อ C คือความจุไฟฟ้า และ V คือค่าความต่างศักย์ วิธีการที่ก้าวหน้าในการวัดค่าพลังงานต่ำสุดในการจุดระเบิดอาจใช้การอินทิเกรตผลคูณระหว่างกระแสกับความต่างศักย์ระหว่างขั้วอิเล็กโทรดในระยะเวลาที่มีการสปาร์ค อย่างไรก็ตาม ยังเป็นที่ถกเถียงกันว่า การวัดค่าพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดเป็นการวัดพลังงานในการจุดชนวน ฝุ่นบางชนิดมีค่า MIE ต่ำเท่ากับก๊าซ [ไฮโดรเจน 0.02 มิลลิจูล, มีเทน 0.3 มิลลิจูล, ไลโคโพลีเอท (31 ไมครอน) 5-15 มิลลิจูล, แอนทราควิโนน (18 ไมครอน) 2-6 มิลลิจูล, โพลีเอทิลีนไทรเรต (27 ไมครอน) 2-6 มิลลิจูล]

ค่าพลังงานต่ำสุดนี้นำไปประยุกต์ใช้กับอันตรายที่เกิดขึ้นจากไฟฟ้าสถิต ในการขนส่งฝุ่นผงในโรงงาน เป็นไปได้มากที่เกิดไฟฟ้าสถิต ดังนั้นส่วนที่เป็นโลหะทุกส่วนจึงควรต่อสายดิน เพื่อลดการสะสมของไฟฟ้าสถิต

2.5.5 ความเข้มข้นของออกซิเจนสูงสุดที่ยอมให้มีได้

(Maximum Permissible Oxygen Concentration)

เมื่อลดความเข้มข้นของออกซิเจนในอากาศลงเรื่อย ๆ โดยการเพิ่มก๊าซเฉื่อย จะถึงจุดที่ฝุ่นผงไม่สามารถจุดระเบิดได้อีกต่อไป ค่าความเข้มข้นนี้คือขอบเขตความเข้มข้นของออกซิเจนเพื่อป้องกันการระเบิดของฝุ่นผงแต่ละชนิด ตามปกติจะใช้ก๊าซไนโตรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ หรืออาร์กอน แทนที่ออกซิเจน หนึ่งอาจใช้ก๊าซจากการเผาไหม้หรือไอน้ำก็ได้ ถ้าไม่ทำปฏิกิริยากับฝุ่นนั้น ๆ

การเติมก๊าซเฉื่อยเป็นวิธีที่ใช้ได้ดีที่สุดวิธีหนึ่งในการป้องกันการระเบิดของฝุ่นผงในอุตสาหกรรม แม้ว่าจะต้องใช้ค่าใช้จ่ายเพิ่ม และจะต้องมีการบำรุงรักษาอุปกรณ์ควบคุมความเข้มข้นของออกซิเจนที่ดีพอ ในทางปฏิบัติยอมให้มีความเข้มข้นของออกซิเจนสูงสุดต่ำกว่าค่าขอบเขตอีก 2% เพื่อเหตุผลด้านความปลอดภัย

2.5.6 ความดันการระเบิดและอัตราสูงสุดของการเพิ่มของความดันจากการระเบิด

(Explosion Pressure and Maximum Rate of Pressure Rise)

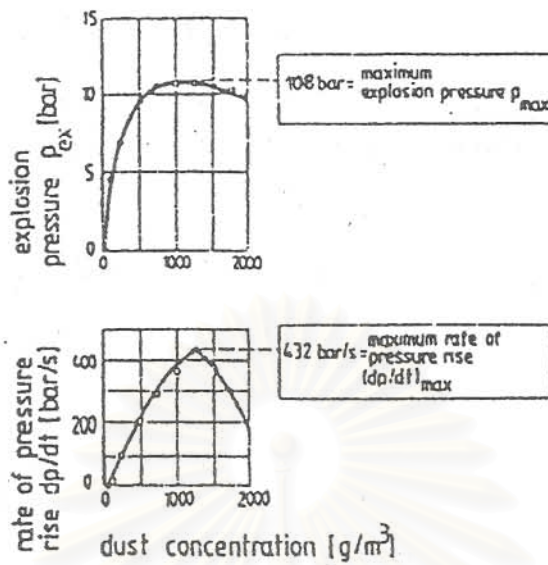
ถ้าเกิดการระเบิดของฝุ่นผงขึ้นในโรงงานอุตสาหกรรม ภัยอันตรายและความสูญเสียจะเกิดขึ้นสูง ถ้าการระเบิดเกิดแรกเริ่มภายในโครงสร้างที่ปิดมิดชิดหรือในอุปกรณ์ที่มีโครงสร้างไม่แข็งแรงพอที่จะทนความดันสูงเต็มที่ของการระเบิด อัตราสูงสุดของการเพิ่มความดันจะบอกถึงความรุนแรงจากการระเบิด ส่วนความดันสูงสุดของการระเบิดเป็นตัวบอกให้ทราบว่าโครงสร้างล้อมรอบจะต้องแข็งแรงเท่าไร จึงจะทนแรงระเบิดได้โดยไม่พังเสียหาย ค่าสูงสุดที่สำคัญคือ

1. อัตราสูงสุดของการเพิ่มความดัน $(dP/dt)_{max}$
2. ความดันสูงสุดของการระเบิด (P_{max})

โดยที่ P คือความดัน และ t คือเวลา

โดยปกติค่าสูงสุดทั้งสองนี้ของฝุ่นผง จะเกิดขึ้นที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน ค่าสูงสุดนี้ หาได้จากการทดลองตลอดช่วงกว้างของความเข้มข้น ดังแสดงในรูปที่ 2.8

ความปั่นป่วนของของผสมระหว่างฝุ่นผงกับอากาศ ณ เวลาจุดชนวนมีผลอย่างมากต่ออัตราการเพิ่มความดัน ค่าของความดันสูงสุดของการระเบิดจะไม่ขึ้นกับปริมาตรของภาชนะ ถ้าภาชนะมีรูปร่างคล้ายคลึงกัน ตัวอย่างเช่น การทดลองในภาชนะทรงกลมจะให้ความดันสูงสุดสูงกว่าในภาชนะรูปทรงกระบอก ในทางตรงข้ามปริมาตรของภาชนะมีผลมากต่ออัตราสูงสุดของการเพิ่มความดัน



รูปที่ 2.8 การกำหนดลักษณะสมบัติของค่าสูงสุดของการระเบิดของฝุ่นผง

2.6 การทดสอบความสามารถในการระเบิดได้ของผงอนุภาค

2.6.1 เหตุผลในการทดสอบ

เนื่องจากเราจำเป็นต้องที่จะต้องทราบว่าผงอนุภาคที่ต้องจัดการ หรือผลิตขึ้นในอุตสาหกรรมระเบิดได้หรือไม่ในเงื่อนไขอย่างไร แต่ไม่สามารถทำนายเงื่อนไขจากองค์ประกอบ หรือพลังงานจากการเผาไหม้ของฝุ่นได้ ดังนั้นการทดสอบการระเบิดโดยตรงจึงยังคงจำเป็นตราบเท่าที่ยังไม่มีวิธีใดดีกว่า

การทดสอบในห้องปฏิบัติการในหลาย ๆ ประเทศ ทำให้เราสามารถศึกษาพฤติกรรม และลักษณะของการระเบิดของผงอนุภาค ขั้นตอนการทดสอบในแต่ละประเทศจะแตกต่างกันไป เนื่องจากได้รับการพัฒนาขึ้นมาจากคนละแหล่ง อย่างไรก็ตาม ได้มีการกำหนดมาตรฐานสากลในการทดสอบ (ISO) ขึ้นในระยะหลัง

การทดสอบของแต่ละประเทศก็มีจุดร่วมบางประการ อาทิ การศึกษาคุณสมบัติการระเบิดได้ของผงตัวอย่างปริมาณน้อย ๆ ที่ฟุ้งกระจายในบริเวณที่มีแหล่งจุดชนวน บางประเทศยังทดสอบการจุดติดไฟของกองฝุ่นด้วย แม้ว่าจะมีการทดสอบโดยอุปกรณ์ขนาดใหญ่ เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการแผ่กว้างและการควบคุมการระเบิด แต่การทดสอบความสามารถที่จะระเบิดได้ของผงอนุภาค มักจะทำในระดับห้องปฏิบัติการ ซึ่งทดสอบผงฝุ่นปริมาณน้อย ๆ ได้ การทำเช่นนี้สำคัญมากในแง่อุตสาหกรรม เนื่องจากฝุ่นผงบางชนิดมีราคาแพง บ้างก็ผลิตได้ในปริมาณที่

น้อยมาก การทดสอบในห้องปฏิบัติการจึงช่วยลดข้อจำกัดนี้ และย่นระยะเวลาได้มาก ทั้งยังลดปัญหาที่อาจเกิดขึ้น เนื่องจากฝุ่นผงที่จะทดสอบมีพิษหรือคุณสมบัติอื่นที่ไม่พึงประสงค์

การทดสอบนี้สามารถทำให้การประเมินอันตรายของวัสดุแปลกใหม่ ส่วนผสมของวัสดุชนิดต่าง ๆ หรือวัสดุที่ผลิตด้วยกรรมวิธีใหม่ เป็นไปอย่างรวดเร็ว ผลการทดสอบอาจนำไปใช้ได้โดยตรงหรือนำไปเปรียบเทียบกับผลอื่น ๆ ที่เคยทดสอบแล้ว นอกจากนี้ ในแง่ของความปลอดภัย กระบวนการหนึ่งอาจไม่เหมาะสมถ้าเสี่ยงต่อการระเบิด เนื่องจากยังขาดมาตรการป้องกันที่ดีพอ

2.6.2 การเลือกผงสารตัวอย่าง

เพื่อให้แน่ใจว่าจะได้การทดสอบที่มีประโยชน์ ควรเลือกสารที่เป็นตัวแทนของวัสดุที่สนใจ องค์ประกอบทางเคมีของฝุ่นผงมักหาได้จากผู้ผลิตหรือผู้จำหน่าย การสุ่มตัวอย่างปริมาณน้อย ๆ ให้เป็นตัวแทนของระบบอนุภาคขนาดใหญ่เป็นเรื่องที่ทำได้ยาก อาจใช้วิธีแบ่งเป็นส่วนย่อย ถ้าไม่มีวิธีอื่นที่ดีกว่า แต่วิธีนี้ขึ้นอยู่กับผู้ปฏิบัติการมาก โดยทั่วไป ผงตัวอย่างควรเป็นตัวแทนกระบวนการหรือสภาวะที่ผงนั้นมีอยู่และมีโอกาสระเบิดได้มากที่สุด น่าจะเลือกทดสอบอนุภาคขนาดเล็ก ๆ มากกว่าที่จะทดสอบผลิตภัณฑ์มาตรฐาน สารที่จะทดสอบควรจะเป็นสารที่ผลิตขึ้นมาใหม่ ๆ เพราะความสามารถในการระเบิดได้จะลดลง เมื่อเวลาผ่านไป (เนื่องจากการออกซิไดซ์ของผิวอนุภาค) และควรเป็นอนุภาคแห้งสนิท

2.7 มูลเหตุของอุบัติเหตุการระเบิดของฝุ่นผง

จากสถิติข้างต้นของกรณีของประเทศญี่ปุ่น จะเห็นได้ว่าอุบัติเหตุการระเบิดของฝุ่นผงนั้นได้เคยเกิดขึ้นกับสารชนิดต่าง ๆ ที่ติดไฟได้ ณ กระบวนการชนิดต่าง ๆ ถึงแม้จะทราบว่าอุบัติเหตุการระเบิดนั้นมักเกิดขึ้นที่เครื่องมือชนิดใดและมีอะไรเป็นแหล่งจุดชนวน แต่ถ้าเงื่อนไขภายในระบบนั้นไม่ตรงกับเงื่อนไขที่จำเป็นสำหรับการระเบิดของฝุ่นผงแล้ว อุบัติเหตุก็ย่อมเกิดขึ้นไม่ได้ พุคอีกนัยหนึ่งคือมูลเหตุของการเกิดอุบัติเหตุการระเบิดส่วนใหญ่ในกระบวนการผลิตนั้นมักเริ่มขึ้นจากเหตุขัดข้อง (trouble) อย่างใดอย่างหนึ่งก่อน แล้วจึงลามต่อเนื่องไปจนเกิดเป็นอุบัติเหตุการระเบิด

เหตุขัดข้องนั้นมีหลายประเภทและมีระดับสเกลต่างๆ กันก็จริง แต่ถ้าจำแนกตามสาเหตุหลักแล้วอาจแบ่งได้เป็น สาเหตุของลักษณะสมบัติเฉพาะของฝุ่นผงเอง และสาเหตุของเครื่องจักร-อุปกรณ์ หนึ่งรูปแบบของการถูกลามเป็นอุบัติเหตุการระเบิดก็ยังแบ่งได้เป็น 2 กรณี ในกรณีแรก

เหตุขัดข้องอย่างหนึ่งจะนำไปสู่เหตุขัดข้องอีกอย่างหนึ่ง แต่เมื่อดำเนินมาตรการแก้ไข ก็ก่อให้เกิดเหตุขัดข้องอันใหม่ขึ้น ซึ่งเหตุการณ์ดังกล่าวจะเพิ่มความเสี่ยงขึ้นเป็นลูกโซ่จนนำไปสู่อุบัติเหตุการระเบิดเฉพาะบริเวณ ในกรณีที่สอง เหตุขัดข้องตั้งแต่สองอย่างขึ้นไปซึ่งเกิดขึ้นในเวลาพร้อมกัน จะนำไปสู่อุบัติเหตุการระเบิดเฉพาะบริเวณ

จากแนวคิดดังกล่าวข้างต้นจะเห็นได้ว่าสิ่งที่สำคัญคือการแก้ไขเหตุขัดข้องที่เกิดขึ้นเดี่ยว ๆ ให้หมดหายไปโดยเร็วในขณะที่ยังเป็นเรื่องเล็ก ๆ อยู่ นอกจากนี้ ต้องทำความเข้าใจอย่างถ่องแท้กับลักษณะสมบัติเฉพาะของฝุ่นผง และกับเครื่องจักรอุปกรณ์ที่ใช้ เพื่อสามารถดำเนินการป้องกันที่เหมาะสมไว้ล่วงหน้า



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การทดสอบหาค่าความเข้มข้นต่ำที่สุดของฝุ่นผงที่สามารถระเบิดได้

3.1 อุปกรณ์การทดสอบ

ลักษณะทั่วไปและการใช้งาน

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองชุดนี้ เรียกว่า “ชุดเครื่องมือทดสอบความสามารถในการระเบิดได้ของผงอนุภาค จุฬาฯ 2” (CU Dust Explosibility Tester # 2) ซึ่งพัฒนาขึ้นจากเครื่องต้นแบบชุดแรก โดยใช้หลักการทำงานของเครื่องทดสอบการระเบิดแบบฮาร์ทแมนน์ รูปที่ 3.1 แสดงไดอะแกรมของเครื่องทดสอบนี้ ซึ่งประกอบด้วยส่วนหลัก 2 ส่วนได้แก่

1. ส่วนห้องจุระเบิด (Explosion Chamber Section)
2. ส่วนจ่ายลมอัด (Compressed Air Supply Section)

1. ส่วนห้องจุระเบิด มีอุปกรณ์หลักดังนี้

1.1 ห้องจุระเบิด

ส่วนต่าง ๆ ของท่อแก้วที่ใช้ทำห้องจุระเบิดพร้อมขนาด มีแสดงไว้ในรูปที่

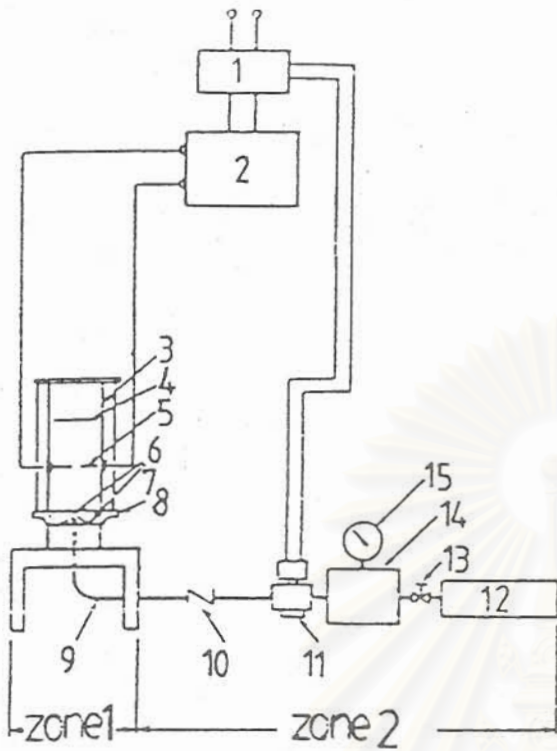
3.2 ท่อแก้วที่ใช้เป็นแก้วไพเร็กซ์ (Pyrex) ผนังท่อหนา 5 มิลลิเมตร ตั้งอยู่บนแท่นรอง ยึดไว้ด้วยแท่งโลหะ 4 แท่ง ด้านบนเป็นฝาครอบโลหะยึดกระดาดทรงชนิดวัตต์แมน เบอร์ 93 มีช่องเสียบแท่งอิเล็กโทรดสำหรับการจุดชนวนที่ผนังด้านข้างทั้ง 2 ด้าน และมีขีดสังเกตเปลวไฟที่ความสูง 100 มิลลิเมตร เหนือขั้วอิเล็กโทรด

1.2 แท่นรองท่อแก้ว

ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.3 ทางด้านล่างต่ออยู่กับถ้วยบรรจุสาร แท่นนี้ได้รับการออกแบบให้รองรับห้องจุระเบิดอย่างมั่นคงแนบแน่น

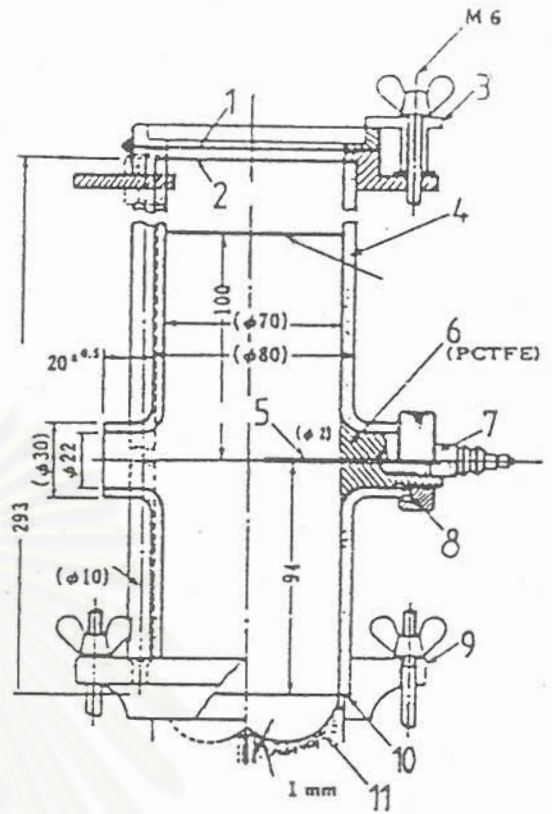
1.3 ถ้วยบรรจุสาร และหมวกรูปเห็ด

มีแสดงไว้ในรูปที่ 3.4 และ 3.5 ตามลำดับ ถ้วยบรรจุสารใช้วางรับสารที่ซังมา ลมอัดจากคอมเพรสเซอร์จะผ่านเข้าไปในท่อแก้ว ผ่านช่องรูวงแหวนตรงกลางด้วย ลมที่ผ่านขึ้นมาจะปะทะกับหมวกรูปเห็ดแล้วไหลตกลง เพื่อช่วยให้มีการกระจายของอากาศดีขึ้น ทำให้อนุภาคที่นำมาทดสอบฟุ้งกระจายอย่างสม่ำเสมอ



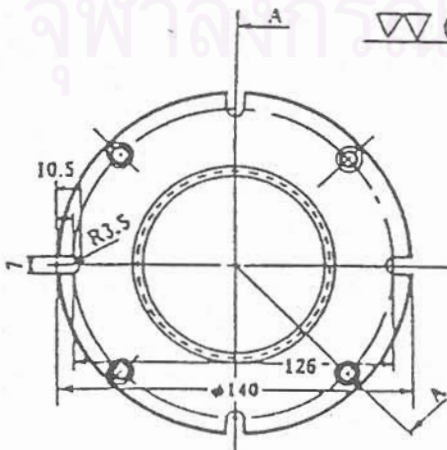
รูปที่ 3.1 โค้ดแกรมของเครื่องทดสอบการระเบิดได้ของฝุ่นผง

1. TIMER
2. NEON TRANSFORMER
3. EXPLOSION CHAMBER
4. CENTER SCALE
5. ELECTRODE
6. DUST CUP
7. EXPLOSION TUBE SUPPORT PLATE
8. EXPLOSION CHAMBER SUPPORT PLATE
9. AIR PIPE
10. CHECK VALVE
11. ELECTROMAGNETIC VALVE
12. AIR COMPRESSOR
13. BALL VALVE
14. AIR TANK
15. PRESSURE GAUGE

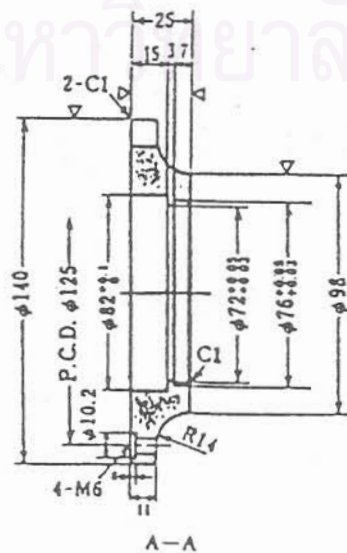


รูปที่ 3.2 ห้องจุดระเบิด

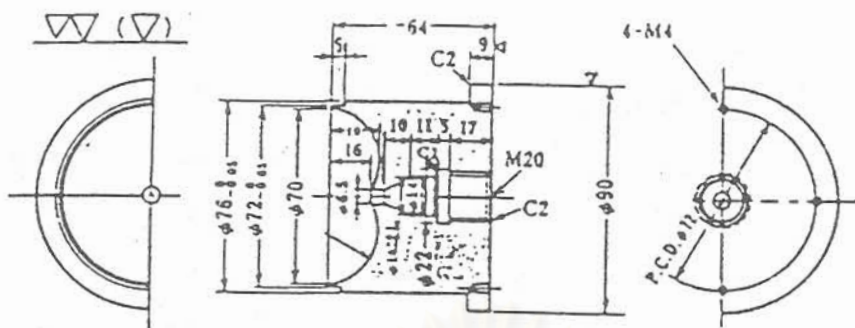
1. FILTER PAPER
2. TEFLON PACKING
3. STOPPER
4. PYREX GLASS CYLINDER
5. ELECTRODE
6. ELECTRODE HOLDER
7. ELECTRODE SUPPORTER
8. O-RING
9. EXPLOSION TUBE SUPPORT PLATE
10. TEFLON PACKING
11. DUST CUP



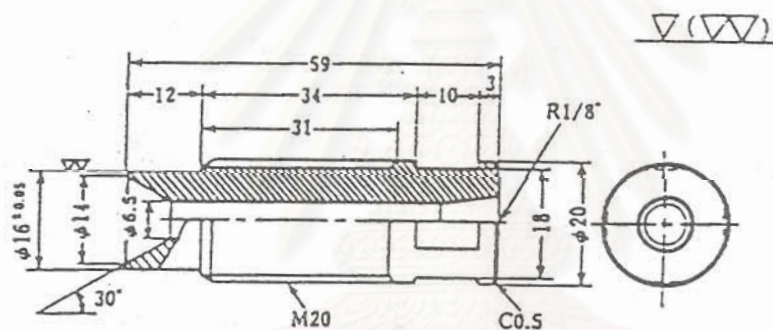
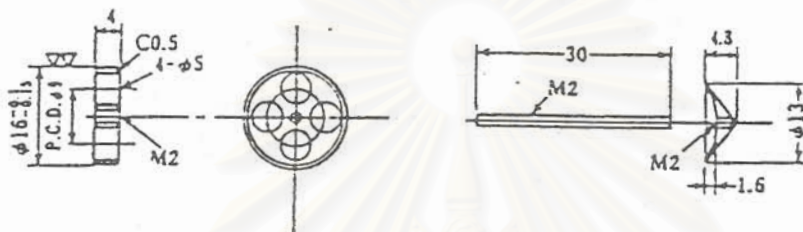
รูปที่ 3.3 แท่นรองท่อแก้ว



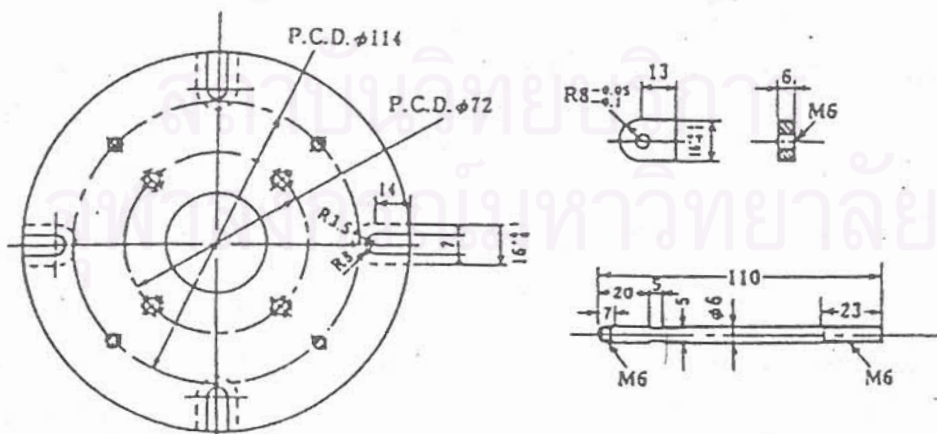
A-A



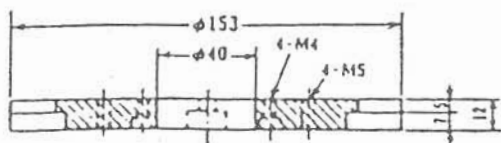
รูปที่ 3.4 ถ้วยบรรจุสาร



รูปที่ 3.5 แผ่นค้ำยันแท่งสกรู หมวกรูปเห็ด และท่อสำหรับให้ลมอัดไหลผ่านเข้าท่อแก้ว เพื่อให้เกิดการฟุ้งกระจาย



รูปที่ 3.6 แผ่นยึดด้วยบรรจุสาร



1.4 ขั้วอิเล็กโทรด

ขั้วอิเล็กโทรดต่อกับหม้อแปลงแรงดันและอุปกรณ์หน่วงเวลา ขั้วอิเล็กโทรดทำจากแท่งทังสเตนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ที่เจียรขอบปลายแท่งให้เป็นรูปครึ่งวงกลม ใช้ระยะห่างระหว่างปลายขั้ว 4-6 มิลลิเมตร กระแสที่ใช้คือ 20 มิลลิแอมแปร์ ที่ศักย์ไฟฟ้า 15 กิโลโวลต์ เวลาหน่วงก่อนการสปาร์คควบคุมได้โดยอุปกรณ์หน่วงเวลา โดยที่มักจะตั้งค่าเวลาหน่วงไว้ที่ 0.1 ถึง 0.5 วินาที หลังจากที่ว่าลัวแม่เหล็กไฟฟ้า เปิดให้ลมอัดไหลผ่านเข้ามาทำให้ผงอนุภาคฟุ้งกระจาย ระยะเวลาของการปล่อยสปาร์คก็สามารถตั้งได้ด้วย

1.5 ตัวยึดแผ่นรอง

ใช้ยึดส่วนห้องจุกระเบิดทั้งหมด ดังในรูปที่ 3.6 และ 3.7

2. ส่วนจ่ายอากาศอัด

รูปที่ 3.8 แสดงส่วนจ่ายอากาศอัด ซึ่งมีอุปกรณ์หลักดังนี้

2.1 คอมเพรสเซอร์

ทำหน้าที่จ่ายลมอัดความดัน 5 บาร์ ก่อนปรับลดความดันลมเหลือ 1-2 บาร์ เพื่อให้สารฟุ้งกระจายภายในห้องจุกระเบิด

2.2 ถังพักอากาศ และมาตรวัดความดัน

ใช้พักเก็บสะสมลมอัดก่อนผ่านเข้าห้องจุกระเบิด และใช้วัดความดันลมที่ต้องการ (0-300 กิโลปาสคาล, 0-3 บาร์)

2.3 วาล์วแม่เหล็กไฟฟ้าและเช็ควาล์ว

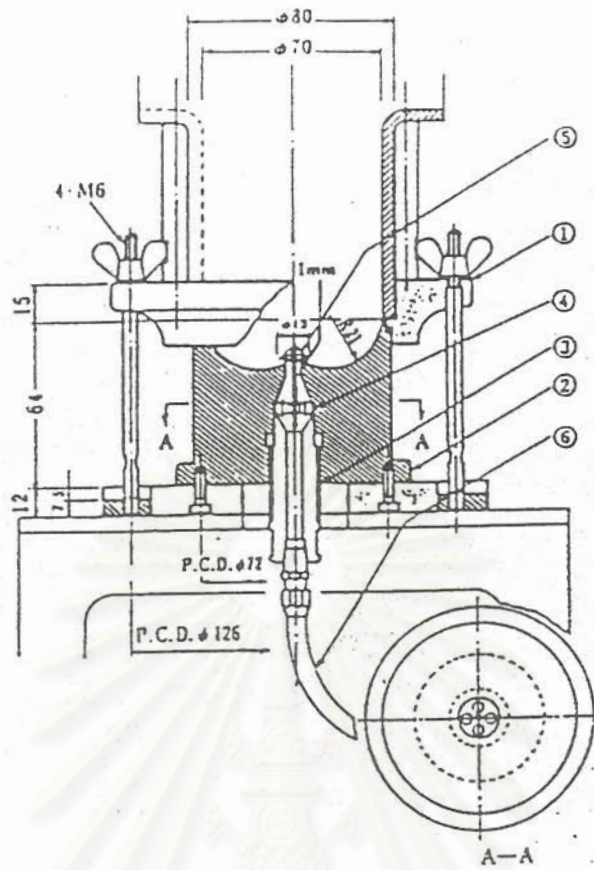
ใช้เปิดให้ลมอัดที่กักเก็บไว้ในถังพักผ่านออกไปและปิดเมื่อถึงเวลา ในขณะที่เช็ควาล์วจะกั้นการไหลย้อนกลับของอากาศ เนื่องจากความดันจากการระเบิด หรือการย้อนกลับของเปลวไฟ

2.4 ท่อลม

เป็นท่อทองแดงเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 6.5 มิลลิเมตร

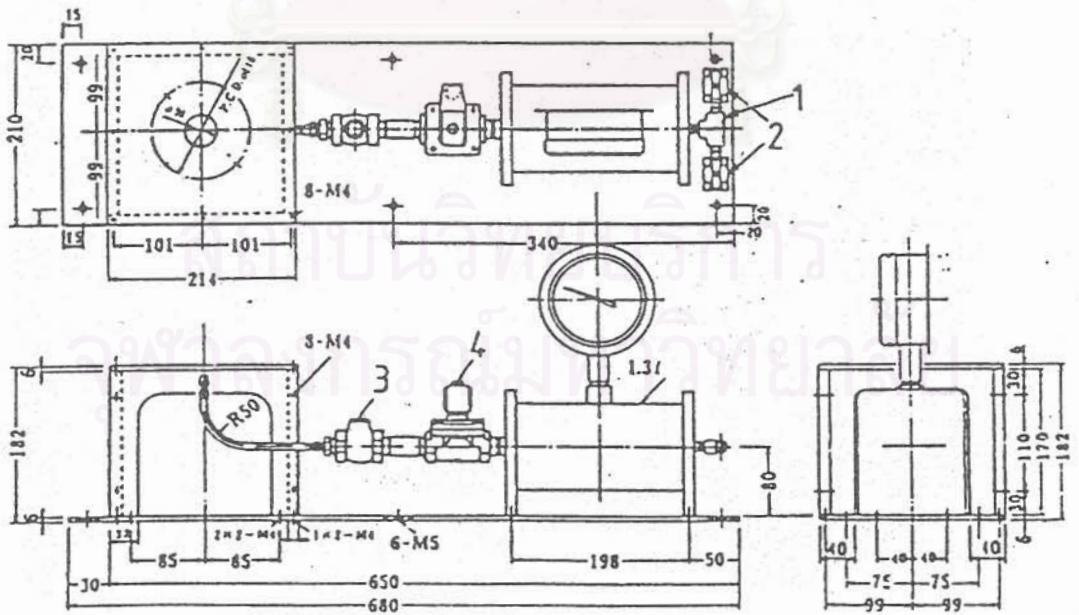
รูปที่ 3.9-3.13 แสดงภาพถ่ายของเครื่องทดสอบความสามารถในการระเบิดได้

ของผงอนุภาค จุฬาฯ 2



รูปที่ 3.7 แผ่นค้ำยันแท่งสกรู หมวกรูปเห็ด ท่ออากาศ และแผ่นยึดด้วยบรรจุสาร

- | | | |
|---------------------------------|---------------------|----------------------|
| 1. EXPLOSION TUBE SUPPORT PLATE | 2. DUST CUP | 3. AIR FLOW CYLINDER |
| 4. SCREW ROD SUPPORT | 5. MUSHROOMLIKE CUP | 6. AIR PIPE |



รูปที่ 3.8 ส่วนจ่ายลมอัด

- | | |
|----------------|--------------------------|
| 1. COMPRESSOR | 2. BALL VALVE |
| 3. CHECK VALVE | 4. ELECTROMAGNETIC VALVE |



รูปที่ 3.9 ภาพถ่ายของเครื่องทดสอบการระเบิดได้ของวัสดุฝุ่นผง



รูปที่ 3.10 ภาพถ่ายของส่วนห้องการระเบิด (ท่อไพโรเร็กซ์ทางซ้ายมือ)

กระบอกเก็บลมอัด (ตรงกลาง) และแผงควบคุมและแสดงผลทาง (ขวามือ)



รูปที่ 3.11 ภาพถ่ายของห้องการระเบิด และระบบกักลมอัด



รูปที่ 3.12 ภาพถ่ายของสภาพการระเบิดที่เกิดขึ้นกับผสมแก๊สที่มีความเข้มข้นสูงกว่าค่า LEL.



รูปที่ 3.13 ภาพถ่ายของแผงควบคุม ด้านบนของภาพคือเครื่องคำนวณแบบโปรแกรม ซึ่งจะคำนวณและรายงานผลการทดสอบจากข้อมูลที่ป้อนเข้า และเก็บข้อมูลไว้ในหน่วยความจำของเครื่อง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 วิธีการทดสอบ

3.2.1 สภาพะในการทดสอบ

- อุณหภูมิ ควรอยู่ระหว่าง 15 ถึง 25 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิห้อง)
- ความชื้นสัมพัทธ์ ประมาณ 55 ถึง 75%

3.2.2 อนุภาคที่จะทดสอบ

ต้องมีการเตรียมการดังนี้

3.2.2.1 การเก็บ

เพื่อคงสภาพอนุภาคไว้ตามเดิม จึงต้องเก็บไว้ในภาชนะที่มีชนิดอากาศและอุณหภูมิไม่สูง ถ้ามีโอกาสสูงที่จะเกิดการเปลี่ยนสภาพระหว่างการเก็บรักษา ก็ควรทดสอบผงอนุภาคนั้นทันทีที่ได้รับมา

3.2.2.2 การเตรียม

ก) เนื่องจากความสามารถในการระเบิดจะขึ้นกับขนาดของอนุภาค จึงควรมีการร่อนโดยใช้ตะแกรงเพื่อคัดขนาด โดยเฉพาะในกรณีของผงละเอียด ซึ่งมีอนุภาคขนาดใหญ่มาปนมาด้วย

ข) ผงชนิดใดก็ตามที่มีปริมาณความชื้นสูงหรือดูดความชื้นได้ง่าย ควรจะอบแห้งก่อนและระมัดระวังมิให้เปลี่ยนสภาพ ความชื้นที่เหลือควรจะต่ำกว่า 1-2%

ค) สารตัวอย่างที่จะนำมาทดสอบ ถ้าหากว่าฟุ้งกระจายได้ยาก สามารถเติมสารช่วยกระจายตัว แล้วผสมให้เข้ากัน อาทิเช่น เติมนินแห้ง (fuller earth) ไลโคโพลีเอทเมกนีเซียมออกไซด์เบา หรือ ซิลิกอนไดออกไซด์ เมื่อใดก็ตามที่มีการเติมสารช่วยการกระจายตัว จะต้องมีการระบุสารที่เติมและปริมาณ หรืออัตราส่วนผสมอย่างชัดเจน อนึ่งควรจะเติมไม่เกิน 2% โดยน้ำหนัก

ง) อนุภาคที่จะนำมาทดสอบจะเก็บไว้ในภาชนะดูดความชื้น (dessicator)

3.2.3 การวัดค่าขอบเขตด้านต่ำของการระเบิด (Lower Explosibility Limit, LEL) หรือความเข้มข้นต่ำสุดที่จะเกิดระเบิดได้ (Minimum Explosible Concentration)

3.2.3.1 การเตรียมก่อนการทดสอบ

หลังจากที่ได้ตรวจสอบการทำงานของชุดอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว จะต้องปฏิบัติ

1) บรรจุสารตัวอย่างที่จะนำมาทดสอบ

ก) ปริมาณสารตัวอย่างที่จะนำมาทดสอบขึ้นอยู่กับปริมาตรที่แท้จริงของห้องจุลระเบิด (1225 ลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งหาจากการคำนวณปริมาตรของท่อแก้ว หักปริมาตรแห่งอิเล็กโทรด บวกปริมาตรด้วยบรรจุสารที่หาได้โดยการแทนที่น้ำ) ใช้เครื่องชั่งที่มีความละเอียดสูงชั่ง (0.0001 กรัม) โดยใช้กระดาษที่มีลักษณะที่มีผิวมัน (กระดาษชั่งสาร)

ข) เทสารตัวอย่างลงในถ้วยบรรจุสาร ในขั้นตอนนี้อาจต้องใช้เข็มหมุดบดผงสารตัวอย่างที่อาจเกาะตัวบางส่วนเพื่อให้การฟุ้งกระจายดีขึ้น แต่ทั้งนี้ต้องระวังมิให้สารตัวอย่างติดมาที่ปลายเข็ม จากนั้นจึงติดตั้งท่อแก้วและแผ่นกระดาษกรองวัดด์แมน เบอร์ 93 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 11 เซนติเมตร

2) ปรับความดันลมอัด

ความดันที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบหาได้จากการทดสอบเบื้องต้นตามปกติใช้ประมาณ 50 กิโลปาสกาลเกจ หรือประมาณ 0.5 บาร์เกจ

3) ทดสอบเบื้องต้น

การทดสอบเบื้องต้น กระทำเพื่อหาค่าความดันที่เหมาะสมโดยอาศัยการสังเกตสภาพการก่อตัวของหมอกฝุ่น ซึ่งการทดสอบนี้ทำได้หลังจากการทำตามข้อ 1 และ 2 แล้ว ปฏิบัติดังต่อไปนี้

ก) กดปุ่มทดสอบเบื้องต้น เพื่อให้วาล์วแม่เหล็กไฟฟ้าทำงาน แล้วสังเกตการฟุ้งกระจายของหมอกฝุ่น โดยไม่มีการจุดชนวน

ข) ปรับเปลี่ยนความดันที่ใช้จนความเข้มข้นของหมอกฝุ่นสม่ำเสมอทั่วทั้งห้องจุลระเบิด

ภายหลังการทดสอบทุกครั้งจะต้องทำความสะอาดท่อแก้วให้ทั่วถึง แล้วจึงทำตามขั้นตอนข้างต้นใหม่

3.2.3.2 การทดสอบค่าขอบเขตการระเบิด

หมอกฝุ่นที่ก่อตัวขึ้นที่ความดันหนึ่ง ๆ จะถูกจุลระเบิดโดยการสปาร์คของอิเล็กโทรด ให้สังเกตให้ดีว่าเกิดการระเบิดหรือไม่ ค่าขอบเขตด้านต่ำของการระเบิดหาได้จากการทดสอบซ้ำที่ค่าความเข้มข้นต่าง ๆ ใกล้เคียงกัน ขั้นตอนสรุปได้ดังนี้

1. หลังจากทำการทดสอบเบื้องต้นแล้ว ให้ตั้งค่าเวลาหน่วงแล้วกดปุ่ม 'START' เพื่อเปิดวาล์วทำให้เกิดหมอกฝุ่น

2. การสปาร์กจะเกิดขึ้นหลังจากเวลาผ่านไปตามที่ตั้งไว้ จากนั้นให้สังเกตการจุดติดไฟหรือการระเบิดของหมอกฝุ่น เวลาหน่วงมักใช้ประมาณ 0.100, 0.300 หรือ 0.500 วินาที ตามแต่ประเภทและลักษณะของฝุ่น

3. เกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินว่าเกิดการระเบิด ก็คือ ต้องมีเปลวไฟต่อเนื่องสูงขึ้นอย่างน้อย 100 มิลลิเมตรจากขั้วอิเล็กโทรด ในระหว่างการทดสอบ

3.2.4 การสอบเทียบเครื่องทดสอบความสามารถในการระเบิดได้ของอนุภาค

1. ใช้ผงเสตรคอกไมล์ไลโคโพเดียม ของ APPIE (Association of Powder Process Industry and Engineering) เป็นสารมาตรฐานในการทดสอบ

2. ต้องเก็บผงไลโคโพเดียมในภาชนะดูความชื้นอย่างน้อย 1 วัน ก่อนใช้ทดสอบ

3. ตั้งค่าเวลาหน่วง 0.100 วินาที แล้วทำการทดสอบตามวิธีทดสอบข้างต้นเพื่อหาค่าขอบเขตด้านต่ำของการระเบิด

4. ถ้าการทดสอบให้ค่าขอบเขตด้านต่ำของการระเบิดอยู่ในช่วง 45 ± 5 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะถือว่า อุปกรณ์นั้นทำงานได้มาตรฐาน

3.2.5 การคัดขนาดอนุภาค

3.2.5.1 ตะแกรงคัดขนาดมาตรฐาน

ชุดของตะแกรงคัดขนาดมาตรฐาน ประกอบด้วย ตะแกรงขนาด 180, 150, 106, 75, 53 ไมครอน

3.2.5.2 กลไกในการสั่นของเครื่องคัดขนาดอนุภาค

ประกอบด้วย เครื่องตั้งเวลา ซึ่งจะเป็นเครื่องกำหนดช่วงเวลาในการร่อนคัดขนาด และจะมีกลไกการสั่นโดยใช้สปริงโดยสามารถปรับความถี่ของการสั่นได้

3.2.5.3 ขั้นตอนการคัดขนาดของอนุภาค

การวัดค่าการกระจายขนาดของอนุภาค จะทำที่อุณหภูมิห้อง (25-30 องศาเซลเซียส) และความดันบรรยากาศ

ขั้นแรก เริ่มที่การชั่งน้ำหนักของตะแกรงคัดขนาดทุกชั้นในสภาพว่างเปล่า บันทึกค่าน้ำหนักไว้เป็นน้ำหนักตะแกรงเปล่า นำตะแกรงวางซ้อนกัน โดยเรียงลำดับจากขนาดเล็กไปใหญ่จากล่างขึ้นบน ใช้อุณหภูมิผงตัวอย่างประมาณ 100 กรัมในการคัดขนาดแต่ละครั้ง วางอนุภาคสารตัวอย่างที่ชั่งน้ำหนักแล้วบนตะแกรงบนสุด (ขนาด 180 ไมครอน) จากนั้นทำการปิดฝา

ตั้งเวลาไว้ประมาณ 5 นาที และความถี่ในการสั่นที่ 5 เฮิร์ตซ์ หลังจากการสั่นเสร็จสิ้นลง นำตะแกรงที่มีฝุ่นผงอยู่บนตะแกรงทุกๆ ขนาดไปชั่ง ทีละตะแกรง นำค่าน้ำหนักนี้มาหักลบด้วยน้ำหนักของตะแกรงเปล่าขนาดเดียวกันนั้น ก็จะได้ค่าน้ำหนักอนุภาคที่ค้างอยู่บนตะแกรง ซึ่งนำไปประมาณค่าการกระจายขนาดของอนุภาคได้

ในทางปฏิบัติ จะทำการหาค่ามัธยฐานของขนาดอนุภาค (M) นั่นคือค่าที่อนุภาคมีปริมาณสะสมเท่ากับ 50% โดยน้ำหนักของการกระจายขนาดอนุภาค อนุภาคของไลโคโปเดียม ซึ่งเป็นสารทดสอบมาตรฐาน มีค่า M ประมาณ 32 ไมครอน ขณะที่อนุภาคผงเซลลูโลส มีค่า M ประมาณ 22 ไมครอน ซึ่งจัดว่าอนุภาคของสารทั้งสองมีขนาดเล็กมาก

ค่ามัธยฐานของขนาดอนุภาคนี้เป็นเพียงการประมาณในเชิงบรรยาย และมีค่าไม่แน่นอน อนุภาคฝุ่นผงที่ได้มาจากแหล่งเดียวกันและมีค่ามัธยฐานเท่ากัน อาจจะมีลักษณะการสุก-ไหม้ต่างกัน เนื่องจากสัดส่วนของอนุภาคขนาดเล็กและขนาดใหญ่แตกต่างกัน และค่าการกระจายขนาดก็ต่างกัน อย่างไรก็ตาม พบว่าความแตกต่างนี้ถือว่าละเอียดได้ ถ้าค่ามัธยฐานของขนาดอนุภาคเล็กกว่า 63 ไมครอน



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การประดิษฐ์เครื่องทดสอบความสามารถในการระเบิดได้ของอนุภาค

ในส่วนการพัฒนาเครื่องนี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ

1. *Hardware* พัฒนาตัวเครื่องในจุดต่าง ๆ ให้ใช้งานง่าย สะดวกขึ้น
2. *Software* พัฒนาโปรแกรมการจัดเก็บข้อมูลดิบจากการทดลองและคำนวณค่าขอบเขตด้านต่ำของการระเบิดที่ยืดหยุ่น

4.1 ครุภัณฑ์ (Hardware)

1. ขั้วอิเล็กโทรด ใช้จุกหัวเทียนของรถจักรยานยนต์ในการยึดและถอดแท่งอิเล็กโทรดแทนการขันสกรู ทำให้ใช้งานได้สะดวกรวดเร็วขึ้น
2. รูปลักษณะ ใช้วัสดุที่คงทน มีการติดตั้งล้อเลื่อนเพื่อให้เคลื่อนย้ายชุดทดสอบได้สะดวก
3. ปะเก็นยาง แก้ปัญหาการรั่วของผงอนุภาค ซึ่งเกิดจากผิวสัมผัสระหว่างแก้วกับฐานรองพลาสติกไม่เรียบแน่นสนิท แม้จะใช้กระดาษทรายขัดขอบแก้วให้ได้จากแล้วพบว่าผิวสัมผัสยังไม่เรียบสนิทพอ เกิดการรั่วไหลของผงอนุภาคได้บางส่วน จึงนำแผ่นยางหนา 1 มิลลิเมตรมาตัดเป็นปะเก็นพบว่าใช้แก้ปัญหาการรั่วได้ผลดีมาก แต่ถ้าขนาดของแผ่นปะเก็นไม่พอดีจะทำให้เกิดการกักตัวของผงอนุภาคภายในท่อแก้วเอง ผลก็คือความเข้มข้นไม่เป็นไปตามที่คำนวณจากน้ำหนักสาร เนื่องจากการฟุ้งกระจายของฝุ่นผงไม่หมด

4.2 ละมุนภัณฑ์ (Software)

โปรแกรมในการจัดเก็บข้อมูลและคำนวณค่า LEL

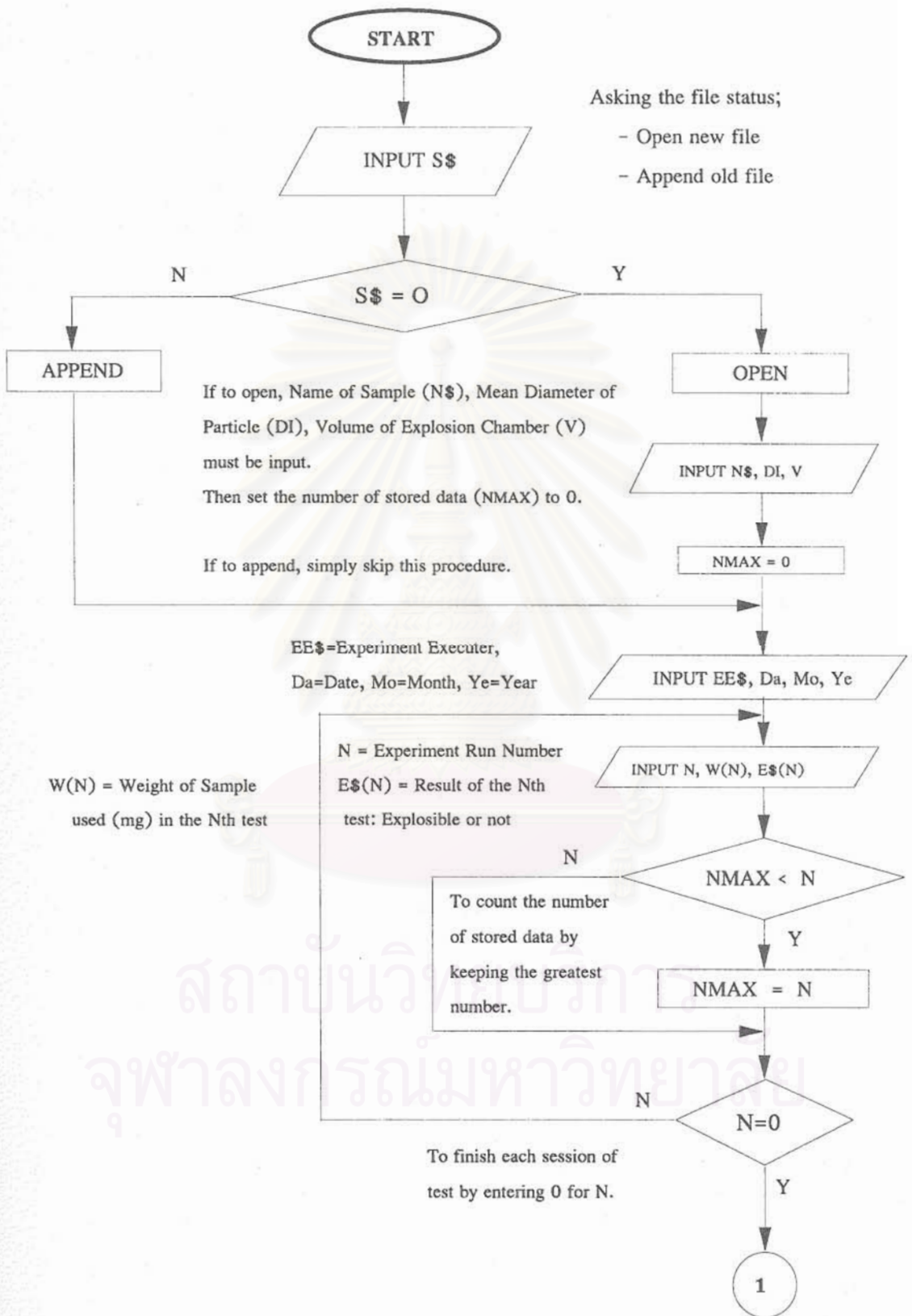
เนื่องจากการทดลอง ข้อมูลที่ได้ควรจะมีการจัดเก็บอย่างเป็นระบบ เพื่อใช้อ้างอิงในอนาคตได้สะดวก และวิเคราะห์แสดงผลการทดสอบอย่างอัตโนมัติ จึงได้พัฒนาการจัดเก็บข้อมูลโดยใช้เครื่องคำนวณที่มีภาษาคอมพิวเตอร์ลักษณะคล้ายภาษาเบสิก เครื่องคำนวณที่ใช้คือ เครื่องคำนวณขนาดกระเป๋า pocket computer SHARP รุ่น PC-E500

แนวทางการพัฒนาสามารถศึกษาได้จากโฟลว์ชาร์ตดังจะแสดงในหน้าถัดไป ซึ่งอธิบายได้ดังนี้

- ช่วงแรก เป็นการบันทึกข้อมูลเบื้องต้นของการทดลอง อาทิ ชื่อของสารที่ทำการทดสอบ วันเดือนปีที่ทดสอบ และข้อมูลดิบ
- ช่วงที่สอง เป็นช่วงที่ใช้หาค่าช่วงข้อมูลที่จะนำไปคำนวณค่า LEL โดยอาศัยแนวคิดที่ว่า เมื่อเกิดการระเบิดจะต้องลดปริมาณสารที่ใช้ทดสอบลงเรื่อย ๆ จึงมีการกำหนดค่าต่ำสุด (ค่าเดาแรกเริ่ม) ไว้ที่ 1000 mg ซึ่งจะถูกแทนที่ด้วยค่าการทดสอบจริงที่ต่ำสุด ที่ทำให้เกิดการระเบิดและจะบันทึกค่าต่ำสุดไว้เป็นขีดจำกัดล่าง
- ช่วงที่สาม เป็นการถามค่าสัมประสิทธิ์ขอบเขต เพื่อหาขีดจำกัดบน แล้วทำการคำนวณค่า LEL โดยอาศัยข้อมูล โดยคือค่าเฉลี่ยของน้ำหนักสารที่อยู่ในช่วงขีดจำกัดบนและล่าง คึงกล่าว และแสดงผลการคำนวณ

หน้าต่อไปจะแสดงถึงโปรแกรมที่เขียนจากโฟลว์ชาร์ตนี้ ซึ่งอธิบายโปรแกรมได้ดังนี้

- บรรทัดที่ 1 ถึง 100 ประกาศขนาดของอะเรย์ในครั้งแรกแล้วเข้าสู่โปรแกรม (ในกรณีที่เคยประกาศขนาดไว้เรียบร้อยแล้วจะประกาศซ้ำอีกไม่ได้ จึงต้องข้ามไป)
- บรรทัดที่ 110 ถึง 200 เริ่มเข้าสู่โปรแกรม โดยมีเพลงมหาจุฬาลงกรณ์ประกอบ
- บรรทัดที่ 210 ถึง 240 เตือนผู้ใช้ให้บันทึกข้อมูลเก่าเก็บให้เรียบร้อยก่อน ถ้ายังมีได้บันทึกใส่ความจำไว้
- บรรทัดที่ 250 ถึง 280 ถามว่าจะใช้เพิ่มข้อมูลเดิมหรือจะเปิดเพิ่มข้อมูลใหม่ แล้วทำตามนั้น
- บรรทัดที่ 300 ถึง 340 บันทึกข้อมูลเบื้องต้นของการทดลอง
- บรรทัดที่ 350 ถึง 480 บันทึกข้อมูลดิบ
- บรรทัดที่ 500 ถึง 600 หาค่าน้ำหนักสารต่ำสุดที่ทำให้เกิดการระเบิด ถ้าสารนี้ไม่สามารถระเบิดได้ก็จะแสดงผลแล้วยุติการทำงาน
- บรรทัดที่ 610 เข้าสู่ menu เพื่อถามว่าจะทำอะไรต่อระหว่าง (1) เพิ่มหรือแก้ไขข้อมูลการทดสอบ (2) ดูข้อมูลเก่าในความจำ (3) จบการทำงาน
- บรรทัดที่ 700 ถึง 800 ถามสัมประสิทธิ์ขอบเขต เพื่อกำหนดขีดจำกัดบน แล้วคำนวณค่า LEL พร้อมแสดงผล
- บรรทัดที่ 820 ถึง 880 menu และการกระโดดไปยังบรรทัดที่จะทำงานต่อไป
- บรรทัดที่ 900 ถึง 999 การสิ้นสุดการทำงานและการเตือนผู้ใช้ให้บันทึกข้อมูลใส่ความจำไว้
- บรรทัดที่ 1000 ถึง 1380 การแสดงผลข้อมูลทั้งหมด แล้วกลับเข้าสู่ menu



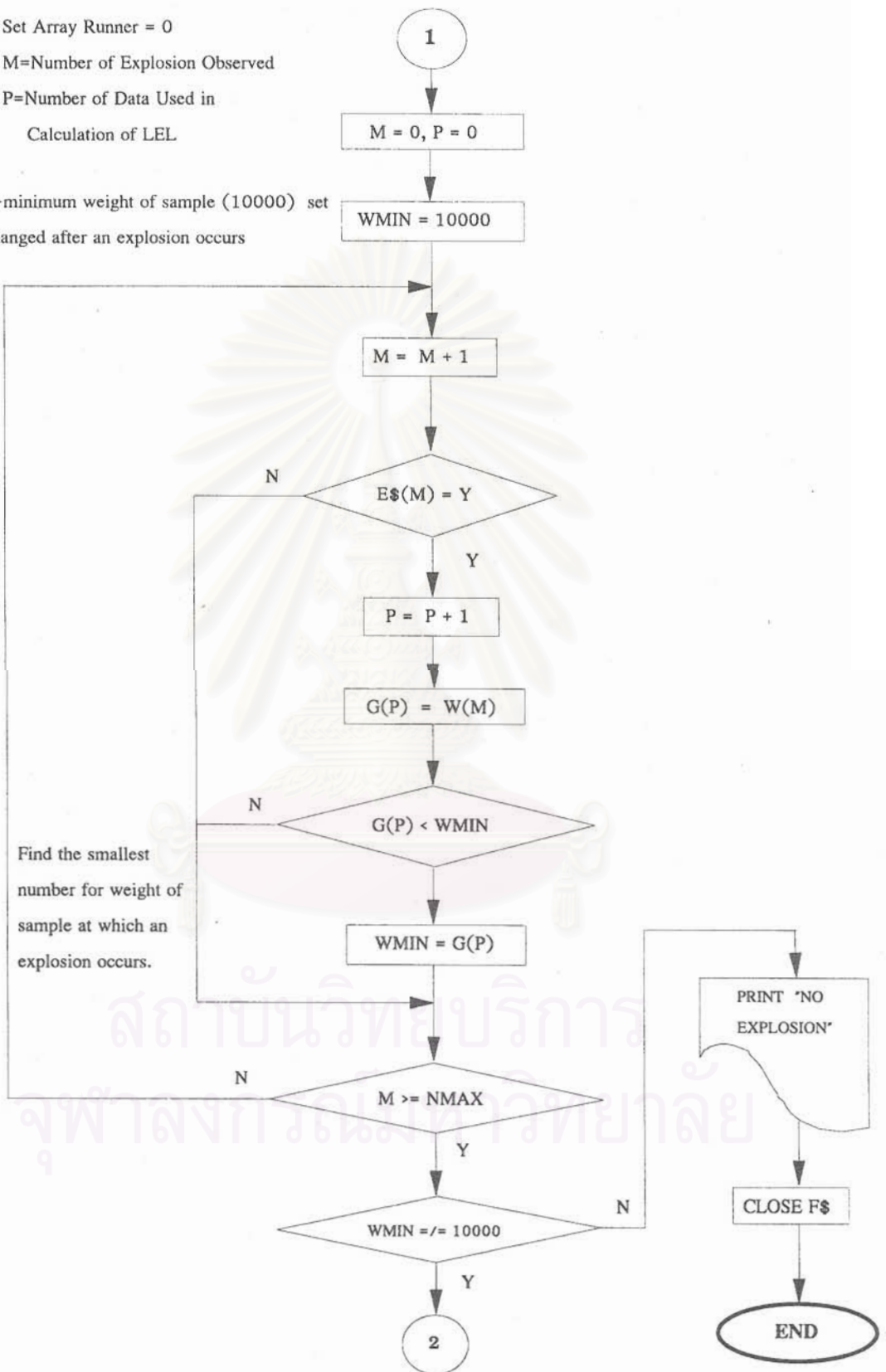
Set Array Runner = 0

M=Number of Explosion Observed

P=Number of Data Used in

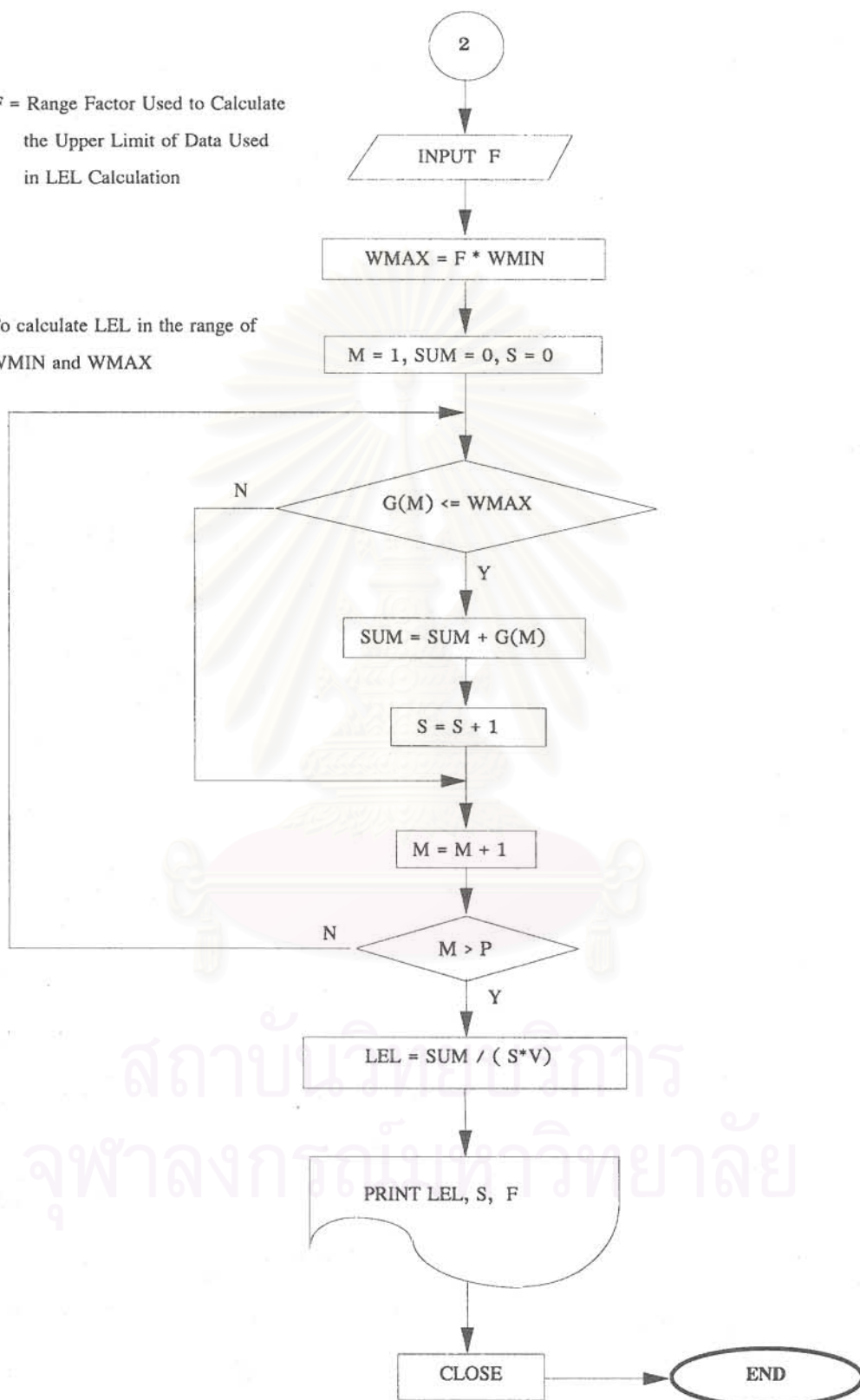
Calculation of LEL

Pseudo-minimum weight of sample (10000) set
to be changed after an explosion occurs



F = Range Factor Used to Calculate
the Upper Limit of Data Used
in LEL Calculation

To calculate LEL in the range of
WMIN and WMAX



โปรแกรมที่เขียนจากโฟลว์ชาร์ตดังกล่าวเป็นดังนี้

DUST EXPLOSION LEL-DATABASE BASIC PROGRAM

```

1: AUTOGOTO 100
10: DIM W(50), E$(50), G(50)
100: *DUST1
110: CLS :PRINT " ":
120: PRINT "    WELCOME TO CU LEL-DATABASE !"
130: BEEP 1,18:BEEP 1,26:BEEP 1,18
140: BEEP 1,42,350:BEEP 1,26:BEEP 1,32,450
150: BEEP 1,32,1550:BEEP 1,18:BEEP 1,26
160: BEEP 1,42,350:BEEP 1,26,450:BEEP 1,32
170: BEEP 1,50,350:BEEP 1,50,830
200: CLS
210: PRINT "    Make sure to save your last file.":FOR A=0 TO 1800:NEXT A
220: PRINT "If you would like to save it,"
230: PRINT "press BREAK now and follow"
240: PRINT "the instructions in the manual.":FOR A=0 TO 2800:NEXT A
250: INPUT "Open new file with new sample or Append to add more data?
(O/A):    ";A$
260: IF A$ = "O" THEN 270 ELSE 280
270: OPEN "F:DUMMY1.DAT" FOR OUTPUT AS #1:NMAX=0:GOTO 300
280: OPEN "F:DUMMY1.DAT" FOR APPEND AS #1:GOTO 330
300: INPUT "NAME OF SAMPLE: ";N$
310: INPUT "MEAN DIAMETER (MICRON): ";DI
320: INPUT "VOLUME OF CHAMBER (LITRE): ";V

```

```

330: INPUT "EXPERIMENT EXECUTER :";EE$
340: INPUT "DATE (1..31): ";DA,"MONTH (1..12): ";MO,"YEAR (1996 etc): ";YE
350: CLS
360: PRINT "NUMBER OF DATA IN MEMORY = ";NMAX:
      FOR A=0 TO 1000:NEXT A
370: PRINT "ENTER 0 AT THE END OF FILE.": FOR A=0 TO 500:NEXT A
400: INPUT "NEXT EXPERIMENT RUN NUMBER (1, 2, ...) = ";N
410: IF NMAX < N THEN NMAX = N
420: IF N=0 THEN 500
430: PRINT "W(N) = WEIGHT OF SAMPLE (mg) USED"
440: PRINT "      IN THE Nth EXPERIMENT"
450: PRINT "W(";N;") = ";
460: INPUT W(N)
470: INPUT "DID AN EXPLOSION OCCUR? (Y/N): ";E$(N)
480: GOTO 400
500: M = 0, P = 0
510: WMIN = 10000
520: M = M+1
530: IF E$(M) <> "Y" THEN 580
540: P = P+1
550: G(P) = W(M)
560: IF G(P) >= WMIN THEN 520
570: WMIN = G(P)
580: IF M < NMAX THEN 520
590: IF WMIN <> 10000 THEN 700 ELSE 600
600: PRINT "NO EXPLOSION"
610: GOTO 820

```

```
700: PRINT "RECOMMENDED RANGE FACTOR = 1.1"  
710: INPUT "RANGE FACTOR = ";F  
720: WMAX = F*WMIN  
730: M = 1, SUM = 0, S = 0  
740: IF G(M) > WMAX THEN 770  
750: SUM = SUM+G(M)  
760: S = S+1  
770: M = M+1  
780: IF M <= P THEN 740  
790: LEL = SUM/(S*V)  
800: PRINT "LEL OF";N$;" = ";LEL;"mg/litre"  
820: PRINT "WHAT NEXT?  1) ADD OR CORRECT DATA"  
830: PRINT "          2) SEE STORED DATA"  
840: PRINT "          3) FINISH"  
850: INPUT "YOUR CHOICE IS "; CH  
860: IF CH=1 GOTO 350  
870: IF CH=2 GOTO 1000  
880: IF CH=3 GOTO 900  
900: CLS : CLOSE  
910: PRINT "DO NOT FORGET TO SAVE THIS FILE."  
920: PRINT "DO NOT USE THE COMMAND /RUN/."  
999: END  
1000: *SEEDATA  
1120: CLS  
1130: PRINT "NAME OF SAMPLE: ";N$  
1140: PRINT "MEAN DIAMETER = ";DI;" MICRON"  
1150: PRINT "VOLUME OF CHAMBER = ";V;"LITRE(S)"
```



```
1160: INPUT "NEXT PAGE, PRESS ENTER ...";ENTERS$
1170: CLS
1180: PRINT "EXPERIMENT EXECUTER: ";EE$
1190: PRINT "DATE/MONTH/YEAR =";DA;"/";MO;"/";YE
1200: PRINT "NUMBER OF DATA IN MEMORY =";NMAX
1210: INPUT "NEXT PAGE, PRESS ENTER ...";ENTERS$
1220: CLS
1230: FOR N = 1 TO NMAX STEP 2
1240: PRINT "W(";N;") =";W(N);
1250: LOCATE 16:PRINT E$(N)
1260: IF N+1 <= NMAX LOCATE 21:PRINT "W(";N+1;") =";W(N+1);
1270: IF N+1 <= NMAX LOCATE 37: PRINT E$(N+1)
1280: FOR A = 0 TO 1000: NEXT A
1290: NEXT N
1300: FOR A = 0 TO 1500: NEXT A
1310: PRINT " "
1320: IF WMIN=10000 THEN 1330 ELSE 1340
1330: LOCATE 0,3:PRINT "THERE IS NO EXPLOSION.":GOTO 1380
1340: INPUT "NEXT PAGE, PRESS ENTER ...";ENTERS$
1350: PRINT "RANGE FACTOR =";F
1360: PRINT " No OF DATA USED IN CALCULATION =";S
1370: PRINT "LEL OF ";N$;L" =";LEL;"mg/litre": FOR A = 0 TO 2000: NEXT A
1380: GOTO 820
```

4.3 ผลการสอบเทียบและปรับปรุงเครื่องทดสอบ

4.3.1 การปรับปรุงเครื่องทดสอบการระเบิดได้ของวัสดุฝุ่นผง

4.3.1.1 การใช้ชิลิกาเจลเพื่อลดความชื้นจากอากาศอัด

จากที่กล่าวมาแล้วว่า ในการทดสอบนั้นจะใช้คอมเพรสเซอร์ทำหน้าที่จ่ายลมอัดเพื่อทำให้ฝุ่นผงฟุ้งกระจายในห้องจุดระเบิด โดยทั่ว ๆ ไป อากาศในห้องจะมีความชื้นอยู่ปริมาณหนึ่ง เมื่อถูกอัดและทำให้เย็นลง น้ำจะควบแน่นออกมาและสะสมอยู่ในคอมเพรสเซอร์ และในท่อขนส่งลมอัด เมื่อวาล์วเปิดออก อากาศที่อัดตัวไปด้วยความชื้นอาจนำน้ำปริมาณเล็กน้อยเข้าไปสู่ห้องจุดระเบิด ความชื้นที่เข้าไปนี้จะมีผลต่อค่าความสามารถระเบิดได้ของวัสดุฝุ่นผง

ในตารางที่ 4.1 ผงไลโคโปเดียมถูกใช้เป็นสารสอบเทียบการทำงานของเครื่องทดสอบ โดยลดความเข้มข้นลงมาเรื่อย ๆ จาก 70 g/m^3 ถึง 40 g/m^3 แต่กำหนดระยะห่างของขั้วอิเล็กโทรดและความกว้างของช่องลมไหลผ่านไว้ที่ค่าคงที่ 6 มิลลิเมตร และ 2 มิลลิเมตร ตามลำดับ ค่า LEL ของผงไลโคโปเดียมที่ทดสอบได้อยู่ในช่วง 54.5 g/m^3 ถึง 54.8 g/m^3 ซึ่งยังสูงกว่าค่ามาตรฐานของ APPIE

หลังจากมีการเติมชิลิกาเจลลงไปในห้องอากาศเพื่อลดความชื้นจากลมอัด ผลการทดสอบมีแสดงไว้ในตารางที่ 4.2 ค่า LEL ที่ได้อยู่ในช่วง 50.5 g/m^3 ถึง 50.8 g/m^3

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการใช้ชิลิกาเจลใส่ลงไปในท่อส่งลมช่วยลดความชื้น และทำให้การลุกไหม้ดีขึ้น และให้ค่า LEL (50.6 g/m^3) ใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานของ APPIE ($45 \pm 5 \text{ g/m}^3$) ยิ่งขึ้น

4.3.1.2 การปรับเปลี่ยนเวลาหน่วงก่อนการสปาร์ค

เวลาหน่วงก่อนการสปาร์ค เป็นเวลาที่นับจากจังหวะที่วาล์วแม่เหล็กไฟฟ้าของถังลมอัดเปิดออกจนกระทั่งมีการจ่ายกระแสไฟฟ้าเพื่อจุดชนวนหมอกฝุ่น

ตามวิธีการทดสอบมาตรฐาน (ADS002-1991) นั้น เวลาหน่วงก่อนการสปาร์คที่เหมาะสมเป็นสามค่านี้คือ 0.1, 0.3 และ 0.5 วินาที ผลของเวลาหน่วงก่อนการสปาร์คต่อค่า LEL ถูกสรุปไว้ในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.1 การวัดค่า LEL ของผงไลโคโปเดียม (ไม่มีการดูดความชื้นจากลมอัด)

Test date	2-Feb	Name	Songchai
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1		
Name of test powder	Lycopodium		
Type of test powder	APPIE Standard test powder		
Particle size	25 microns ⁺		
Pretreatment	Kept in a dessicator more than 1 day		
Drying condition	no	Temperature: C, Time: h, (Moisture: %)	
Atmospheric temperature and humidity	Temperature: 28 ^o C, Relative humidity: 58%		
Spark delay time	0.1 seconds		
Width of air flow channel	2 mm		
Distance of sparking electrode	5 mm		
Compressed air	1.8 kg/cm ³ G		
Filter paper	1 piece(s)	Type:	Whatman No. 93
Number of measurements	3 Times		
Sample	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)	Remarks
1	0.0673	54.8	
2	0.0670	54.6	
3	0.0669	54.5	
Average		54.6	
Evaluation (reference)	Explosibility: High		

Note + : Mass-average particle size was measured by micron photo sizer

ตารางที่ 4.2 การวัดค่า LEL ของผงไลโคโปเดียม (หลังจากปรับปรุงโดยการใช้ซิลิกาเจลเพื่อดูดความชื้นจากลมอัด)

Test date	4-Feb	Name	Songchai
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1		
Name of test powder	Lycopodium		
Type of test powder	APPIE Standard test powder		
Particle size	25 microns ⁺		
Pretreatment	Kept in a dessicator more than 1 day		
Drying condition	no	Temperature: C, Time: h, (Moisture: %)	
Atmospheric temperature and humidity	Temperature: 28 ^o C, Relative humidity: 60%		
Spark delay time	0.1 seconds		
Width of air flow channel	2 mm		
Distance of sparking electrode	5 mm		
Compressed air	1.8 kg/cm ³ G		
Filter paper	1 piece(s)	Type:	Whatman No. 93
Number of measurements	3 Times		
Sample	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)	Remarks
1	0.0624	50.8	
2	0.0624	50.8	
3	0.0620	50.5	
Average		50.7	
Evaluation (reference)	Explosibility: High		

Note + : Mass-average particle size was measured by micron photo sizer

ตารางที่ 4.3 ผลของเวลาหน่วงก่อนการสปาร์ค (เวลาการปล่อยสปาร์ค 3 วินาที)

Powder name	Spark delay time (seconds)	Average LEL (g/m ³)
Lycopodium	0.1	50.6
	0.3	56.0
	0.5	63.9

ผลการทดสอบข้างต้นแสดงให้เห็นว่า ค่าเวลาหน่วงก่อนการสปาร์คที่ 0.1 วินาที ให้ค่า LEL โดยเฉลี่ยใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน (45 ± 5 g/m³)

4.3.1.3 การปรับเปลี่ยนความสูงของช่องทางลมไหล

การปรับความสูงของช่องทางลมไหล เป็นสิ่งที่จำเป็นเพื่อจะปรับปรุงการฟุ้งกระจายฝุ่นผงของเครื่องทดสอบ ความสูงของช่องทางลมไหลระหว่างด้วยบรรจุนสารและหมวกรูปเห็ดมีผลโดยตรงกับการฟุ้งกระจายของอนุภาคฝุ่นผงในห้องจุกระเบิด

การปรับช่องทางลมไหลทำได้โดยการหมุนสกรูของหมวกรูปเห็ด จนกระทั่งได้ค่า LEL ที่ดีที่สุด ผลการทดสอบถูกสรุปไว้ในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลของความสูงของช่องทางลมไหล

Powder name	Height of air flow channel (mm)	Average LEL (g/m ³)
Lycopodium	2.0	50.6
	1.5	47.9
	1.0	47.2
	0.5	47.7

ตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่า เมื่อความสูงของช่องทางลมไหลลดลงจะทำให้ค่า LEL ต่ำลงจนเข้าสู่ค่าคงที่ แต่เห็นได้ชัดว่า ค่าความสูงที่ 1 มิลลิเมตรเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด

4.3.1.4 การปรับช่องว่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า แหล่งจุดชนวนเป็นอีกองค์ประกอบหนึ่งที่ สำคัญเพื่อทำให้เกิดการระเบิด แหล่งจุดชนวนซึ่งเป็นการเริ่มต้นในการแผ่กว้างของเปลวไฟจะต้องมีการสัมผัสกับหมอกฝุ่นที่แขวนลอยอยู่

การปรับช่องว่างทำได้โดยหมุนสกรูของด้ามจับของอิเล็กโทรดแต่ละข้าง
วิธีการทดสอบตาม ADS002-1991 แนะนำไว้ว่า ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดควรอยู่ในช่วง 4
มิลลิเมตร ถึง 6 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.5 แสดงผลของระยะห่างนี้ (4 มิลลิเมตร, 5 มิลลิเมตร และ 6
มิลลิเมตร) ต่อค่า LEL พบว่าในช่วง 4 ถึง 5 มิลลิเมตร ค่า LEL โดยเฉลี่ยยังคงคงที่ ในขณะที่ที่
ช่องว่างมากกว่า 5 มิลลิเมตร ค่า LEL จะเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบเมื่อทำการปรับช่องว่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรด

Powder name	Gap between the sparking electrodes (mm)	Average LEL (g/m ³)
Lycopodium	6	47.6
	5	47.2
	4	47.2

ที่ช่องว่างเท่ากับ 4 มิลลิเมตร ค่า LEL ของผงไลโคพอดียมที่ทดสอบได้
จะใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน (45±5 g/m³)

4.3.1.5 การแปรเปลี่ยนจำนวนแผ่นของกระดาษกรองที่ใช้

วัตถุประสงค์ คือเพื่อปรับปรุงการทำงานของเครื่องทดสอบ กระดาษ
กรองที่ใช้จะต้องยอมให้ลมไหลผ่านได้อย่างเหมาะสม อัตราการไหลของลมอัดผ่านกระดาษกรองสู่
บรรยากาศสามารถควบคุมได้ด้วยจำนวนแผ่นของกระดาษกรอง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อค่า LEL ที่
วัดได้ด้วย

ตารางที่ 4.6 ผลของจำนวนแผ่นของกระดาษกรอง (Whatman no. 93)

Powder name	Numbers of paper (pieces)	Average LEL (g/m ³)
Lycopodium	1	47.2
	2	48.0

ตามที่เห็นจากตารางที่ 4.6 เมื่อใช้กระดาษกรองแผ่นเดียว ค่า LEL ที่วัด
ได้จะต่ำกว่าเมื่อใช้ 2 แผ่น ดังนั้นจึงใช้กระดาษกรองเพียงแผ่นเดียวในการทดสอบทุกครั้ง

4.3.2 การเปรียบเทียบค่า LEL ที่ได้จากการทดลองกับค่ามาตรฐาน

นอกจากฝุ่นผงมาตรฐานของ APPIE (นั่นคือ พงไลโคโพลีเดียม) จะถูกนำมาทดสอบเพื่อใช้สอบเทียบการทำงานของเครื่องทดสอบแล้ว ยังมีการทดสอบตัวอย่างฝุ่นผงชนิดอื่นอีก เช่น HDPE , dextrin และผงกำมะถัน (Sulfur) เพื่อเปรียบเทียบค่า LEL ที่ได้จากการทดสอบกับค่าที่นักวิจัยอื่นได้ตีพิมพ์ไว้ พง HDPE ได้มาจากโรงงานผลิตโพลีเอทิลีน ส่วนผง dextrin และกำมะถันได้มาจากห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ของภาควิชาวิศวกรรมเคมี

ตัวอย่างฝุ่นผงแต่ละชนิดถูกเตรียมตามขั้นตอนต่อไปนี้

(1) เนื่องจากการระเบิดของฝุ่นผงขึ้นกับการกระจายขนาดของอนุภาค ดังนั้น ฝุ่นผงที่จะนำไปทำการทดสอบ จะถูกนำมาคัดขนาดก่อน โดยใช้ตะแกรงคัดขนาดมาตรฐาน (ตะแกรงขนาด 45 ไมครอน)

(2) นำฝุ่นผงที่ผ่านการคัดขนาดแล้วเก็บไว้ในภาชนะดูดความชื้นเป็นเวลาอย่างน้อย 1 วัน ตารางที่ 4.7 แสดงวิธีการเตรียมตัวอย่างฝุ่นผงที่จะนำมาทดสอบในการสอบเทียบนี้

ตารางที่ 4.7 วิธีการเตรียมตัวอย่างฝุ่นผงที่จะใช้ทดสอบ

Powder name	Sub-class by using sieve no. (microns)	Pretreatment (Kept in a dessicator)
Lycopodium	-	Yes
HDPE	under portion, sieve no. 45	Yes
Dextrin	under portion, sieve no. 45	Yes
Sulfur	under portion, sieve no. 45	Yes

หลังจากการเตรียมข้างต้นแล้ว จะทำการวัดขนาดอนุภาคเฉลี่ยโดยมวลของตัวอย่างแต่ละชนิดโดยใช้ Micron Photo Sizer (Seishin Enterprise Model SKC-2000)

ตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบค่า LEL ที่ได้จากการทดลองกับค่ามาตรฐานของฝุ่นผงทั้ง 4 ชนิด

เนื่องจากตัวอย่างฝุ่นผงทั้งสี่ชนิดให้ค่า LEL ที่ทดสอบได้ใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน อาจสรุปได้ว่า เครื่องทดสอบการระเบิดได้ของวัสดุฝุ่นผงที่ใช้อยู่นี้มีความแม่นยำและให้ค่าทดสอบได้ถูกต้อง หลังจากทำการสอบเทียบแล้ว

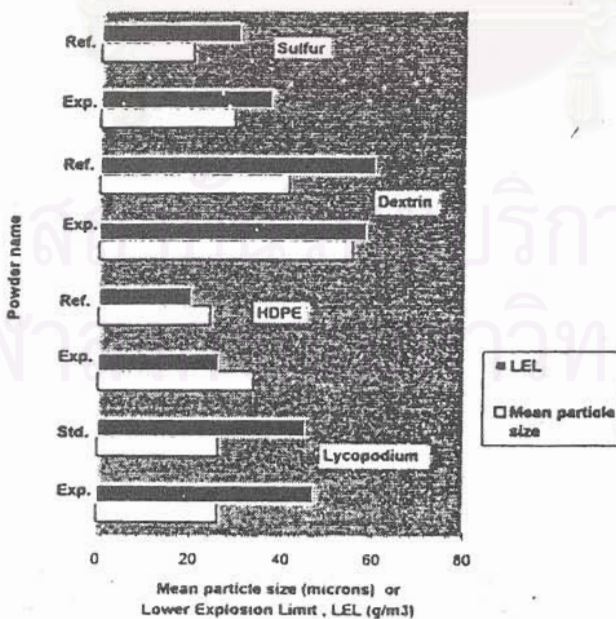
ตารางที่ 4.8 การเปรียบเทียบค่า LEL ที่ได้จากการทดลอง กับค่ามาตรฐาน

Powder name	Experiment/ Standard	Mean particle size (microns)	Lower limit conc. (g/m ³)
Lycopodium	Experiment	26	47
	Standard	35	45
HDPE	Experiment	33.6	26
	Reference	24	20
Dextrin	Experiment	55	58
	Reference	41	60
Sulfur	Experiment	29	37
	Reference	20	30

Note : 1) See Appendix 2 for details

2) The mass-average particle size was measured using the micron photo sizer (Seishin Enterprise Model SKC-2000).

3) Reference above three test samples obtained from NFPA68 (1988).



รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบค่า LEL ที่ได้จากการทดลอง กับค่ามาตรฐาน

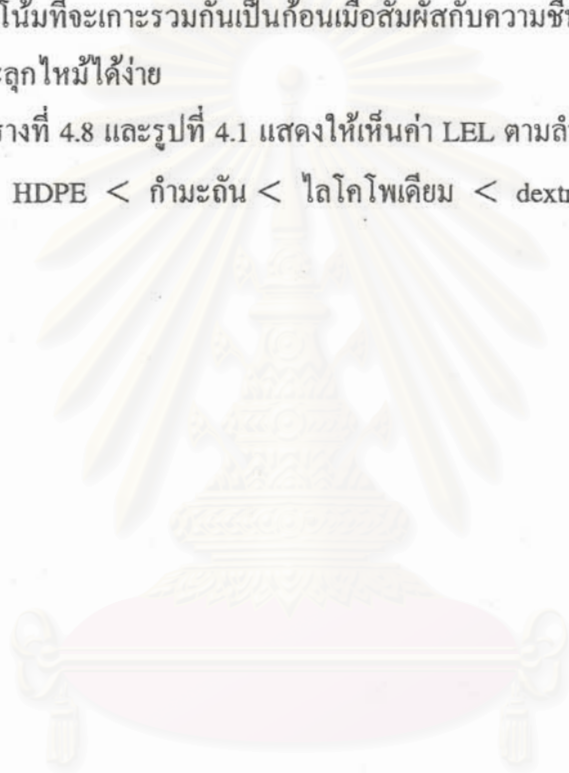
ในการศึกษาฝุ่นผงทั้งสี่ชนิด ผงไลโคโปเดียมถูกใช้เป็นฝุ่นผงทดสอบมาตรฐาน ด้วยขนาดอนุภาคเฉลี่ย 26 ไมครอน ค่า LEL ที่วัดได้ใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน ($45 \pm 5 \text{ g/m}^3$)

HDPE เป็นฝุ่นผงโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงซึ่งมีสารระเหยได้ปนอยู่ เมื่อขนาดอนุภาคของมันเล็กลง พื้นที่ผิวสัมผัสจะมากขึ้น และการปล่อยสารระเหยจะเร็วขึ้น ดังนั้นจึงทำให้ค่า LEL ที่ได้ลดลง อันที่จริงแล้วฝุ่นผง HDPE จัดว่าเป็นสารที่สามารถระเบิดได้ง่าย

สำหรับ dextrin นั้นเป็นฝุ่นผงที่ระเบิดได้ยากที่สุดในจำนวนสารตัวอย่างทั้ง 4 ชนิด ผงกำมะถันมีแนวโน้มที่จะเกาะรวมกันเป็นก้อนเมื่อสัมผัสกับความชื้นในอากาศ ในทางเคมี ผงกำมะถันจุดติดไฟและลุกไหม้ได้ง่าย

จากตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นค่า LEL ตามลำดับที่มากขึ้น คือ

$$\text{HDPE} < \text{กำมะถัน} < \text{ไลโคโปเดียม} < \text{dextrin}$$



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

ผลการทดสอบและวิจารณ์ผล

5.1 สารตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ

ตัวอย่างกลุ่มที่ 1

1. แป้งมัน
 - แป้งมันท้าวยายม่อม (ใช้ชื่อ F1)
 - แป้งมันตราปلامังกร (F2)
2. แป้งข้าวเจ้า (F3)
3. แป้งข้าวโพด (F4)
4. แป้งข้าวสาลี (F5)
5. ผงหมักถ่ายเอกสาร

ตัวอย่างกลุ่มที่ 2

1. ครีมเทียมบริษัท C
เป็นครีมเทียมสำหรับใส่กาแฟตามท้องตลาด มีส่วนผสมดังนี้

กลูโคส	58 %
ไขมันปาล์ม	33 %
เคซีน	2 %
2. ครีมเทียมบริษัท K
เป็นครีมเทียมสำหรับใส่กาแฟตามท้องตลาด มีส่วนผสมดังนี้

กลูโคส	53 %
ไขมันปาล์ม	36 %
นมผงขาดมันเนย	5 %
โซเดียมเคซีน	2.2 %
3. ผงจี๋เลื่อย
เป็นผงจี๋เลื่อยไม้สัก จากการใช้เลื่อย กบ และสว่านไฟฟ้า

4. น้ำตาลไอซิ่ง

เป็นน้ำตาลทรายบดละเอียด ใช้สำหรับทำขนมอบ

5.2 ผลการทดสอบ

5.2.1 ผลของขนาดอนุภาคเฉลี่ยต่อค่า LEL

5.2.1.1 ตัวอย่างผงแป้งจากกลุ่มที่ 1

ในการศึกษาถึงผลของขนาดอนุภาคต่อการแพร่กว้างของเปลวไฟในหมอกฝุ่น ซึ่งประกอบด้วยอนุภาคที่มีรูปทรงที่ไม่แน่นอน มักประมาณว่าอนุภาคเป็นทรงกลม ตามปกติแล้ว เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคถูกบอกรไว้ในเทอมของ ช่องเปิดของตะแกรงมาตรฐาน โดยทั่ว ๆ ไปแล้วมีแนวโน้มที่ว่า ค่า LEL ของฝุ่นผงที่มีขนาดเดียวกันจะลดลง และเข้าสู่เส้นอะซิมป์โทต (asymptote) เมื่อขนาดอนุภาคเล็กลงเรื่อย ๆ ความสัมพันธ์ระหว่างค่า LEL และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของอนุภาคของเม็ด MMA (Enomoto and Matsuda, 1985) แสดงไว้ในรูปที่ 2.4 (บทที่ 2)

จากตารางที่ 5.1 ฝุ่นผงตัวอย่าง 5 ชนิด คือ F1 ถึง F5 ถูกนำมาทดสอบเพื่อศึกษาถึงผลของขนาดอนุภาค พร้อม ๆ กับการศึกษาถึงผลของความแตกต่างของแหล่งที่มาของผงแป้งต่อค่า LEL ขนาดอนุภาคที่ทำการศึกษายู่ในช่วง <45 ถึง >180 ไมครอน โดยทำการวัดค่า LEL ตามวิธีทดสอบมาตรฐานของ APPIE

ก่อนทำการทดสอบการระเบิด ผงแป้งตัวอย่างแต่ละชนิดจะผ่านการเตรียมตามขั้นตอนต่อไปนี้คือ

(a) เพื่อที่จะศึกษาถึงผลของขนาดอนุภาค จึงจำเป็นที่จะต้องแยกตัวอย่างแป้งโดยใช้ตะแกรงคัดขนาดมาตรฐาน ตารางที่ 5.1 แสดงให้เห็นถึงการแยกผงแป้งโดยใช้ตะแกรงมาตรฐานขนาด 45, 53, 75, 106, 150 และ 180 ไมครอน

(b) ผงแป้งตัวอย่างที่ถูกแยกแล้ว จะถูกนำไปอบแห้ง โดยใส่ไว้ในเตาอบไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 1 วัน

(c) นำตัวอย่างที่แห้งแล้วเก็บไว้ในภาชนะดูดความชื้น (dessicator)

หลังจากขั้นตอนการเตรียมข้างต้นแล้ว ฝุ่นผงตัวอย่างนี้ก็จะนำไปใช้ในการทดสอบการระเบิดได้ในลำดับต่อไป

ตารางที่ 5.2 แสดงค่า LEL ที่วัดได้ของตัวอย่างแป้ง Cas-1, Cas-2 และ Cas-3 ของแป้งมัน F1 โดยแสดงเป็นฟังก์ชันของขนาดอนุภาคเฉลี่ย (ผลการทดสอบอย่างละเอียดอยู่ใน

ตารางที่ 5.1 ตัวอย่างผงแป้งชนิดต่าง ๆ ซึ่งถูกแยกโดยการคัดขนาด

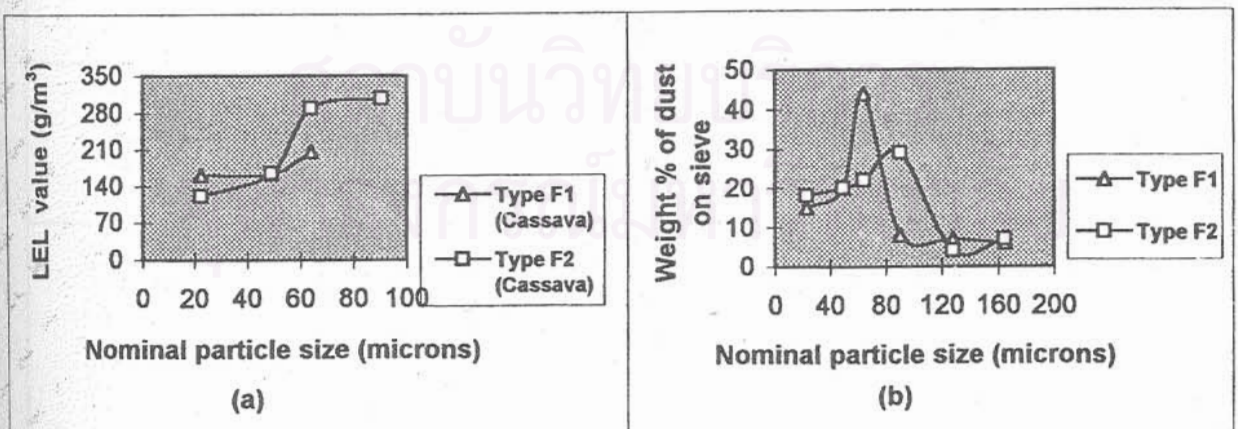
Types of dust sample	Fraction	Pretreatment step undergone	Particle size (microns)
F1 (Cassava flour) Tradename : Tauyaymom	Cas-1	(a), (b), (c)	<45
	Cas-2	(a), (b), (c)	45-53
	Cas-3	(a), (b), (c)	53-75
	Cas-4	(b), (c)	as bought (dried)
	Cas-5	None	as bought (undried)
F2 (Cassava flour) Tradename : Dragon Fish	Cas-6	(a), (b), (c)	<45
	Cas-7	(a), (b), (c)	45-53
	Cas-8	(a), (b), (c)	53-75
	Cas-9	(a), (b), (c)	75-106
	Cas-10	(b), (c)	as bought (dried)
	Cas-11	None	as bought (undried)
F3 (Rice flour) Tradename : Erawan	Rice-1	(a), (b), (c)	106-150
	Rice-2	(a), (b), (c)	150-180
	Rice-3	(a), (b), (c)	>180
	Rice-4	(b), (c)	as bought (dried)
	Rice-5	None	as bought (undried)
F4 (Corn flour) Tradename : Tamfood	Corn-1	(a), (b), (c)	<45
	Corn-2	(a), (b), (c)	45-53
	Corn-3	(a), (b), (c)	53-75
	Corn-4	(a), (b), (c)	75-106
	Corn-5	(a), (b), (c)	106-150
	Corn-6	(a), (b), (c)	150-180
	Corn-7	(b), (c)	as bought (dried)
	Corn-8	None	as bought (undried)
F5 (Wheat flour) Tradename : Australian Wheat	Wheat-1	(a), (b), (c)	106-150
	Wheat-2	(a), (b), (c)	150-180
	Wheat-3	(a), (b), (c)	>180
	Wheat-4	(b), (c)	as bought (dried)
	Wheat-5	None	as bought (undried)

ภาคผนวก 2) ตามที่คาดไว้ ค่า LEL จะเพิ่มขึ้นตามขนาดของอนุภาค ซึ่งแสดงเป็นกราฟได้ในรูปที่ 5.1(a) ในกรณีของแป้งมัน F1 ซึ่งมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ในช่วงระหว่าง 22.5 ถึง 64 ไมครอน เห็นได้ชัดเจนว่าค่า LEL ของแป้งมัน F1 แทบจะไม่ขึ้นกับขนาดของอนุภาคเมื่ออนุภาคมีขนาดเล็กลงกว่า 49 ไมครอน แต่จะมีค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ เมื่ออนุภาคมีขนาดโตกว่า 49 ไมครอน

ในทำนองเดียวกัน ตารางที่ 5.2 แสดงผลของขนาดอนุภาคของแป้งมัน F2 ที่มีต่อค่า LEL ซึ่งดังที่คาดไว้ มีแนวโน้มเหมือนกับกรณีของ F1 แต่ค่า LEL เพิ่มขึ้นอย่างมากระหว่าง 49 และ 64 ไมครอน (รูปที่ 5.1)

ตารางที่ 5.2 ผลของขนาดอนุภาคของแป้งมัน F1 ต่อค่า LEL

Tradename	Powder name	Nominal particle size (microns)	Average LEL (g/m ³)
F1	Cas-1	22.5	161.6
	Cas-2	49	164.1
	Cas-3	64	207.2
F2	Cas-6	22.5	121.9
	Cas-7	49	165.6
	Cas-8	64	289.7
	Cas-9	90.5	307.5



รูปที่ 5.1 (a) ผลของขนาดอนุภาคของแป้งมันต่อค่า LEL

(b) การกระจายขนาดอนุภาคของแป้งมัน

รูปที่ 5.1 แสดงให้เห็นชัดว่า แม้ว่าตัวอย่างแป้งมันที่มีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยเท่ากัน ก็อาจให้ค่า LEL ที่ต่างกัน (พิจารณาเปรียบเทียบ Cas-1 กับ Cas-6 และ Cas-3 กับ Cas-8) ความแตกต่างของค่า LEL สามารถอธิบายได้ 2 แนวทาง ในแนวทางแรก รูปที่ 5.1(b) แสดงให้เห็นว่าแป้งชนิด F1 มีการกระจายขนาดอนุภาคแคบกว่าและขนาดอนุภาคเฉลี่ยก็เล็กกว่ากรณีของ F2 ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของอุปกรณ์การผลิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งวิธีการคัดแยกผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงพอที่จะสันนิษฐานว่าตัวอย่าง Cas-6 ของ F2 มีสัดส่วนของอนุภาคละเอียดละเอียดมากกว่าของ Cas-1 ของ F1 แม้ว่าตัวอย่างทั้งสองชนิดนี้จะมีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยเท่ากัน ค่า LEL ของ Cas-6 (121.9 mg/l) จึงต่ำกว่าของ Cas-1 (161.6 mg/l) ในทำนองเดียวกัน ค่า LEL ของตัวอย่าง Cas-8 ของ F2 ก็มีค่าสูงกว่าของ Cas-3 ของ F1 เพราะตัวอย่างหลังมีสัดส่วนของอนุภาคหยาบมากกว่าเนื่องจากการกระจายขนาดอนุภาคกว้างมาก

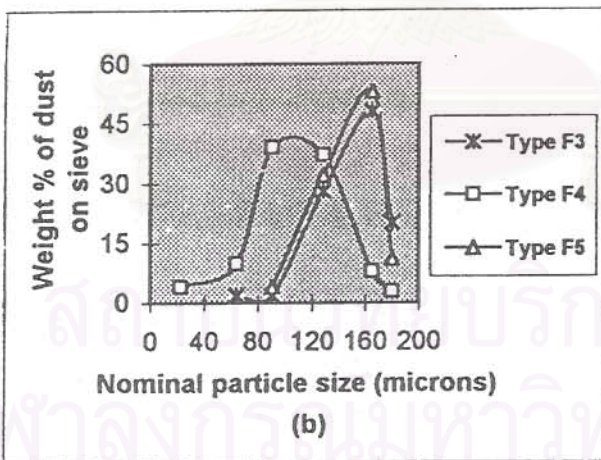
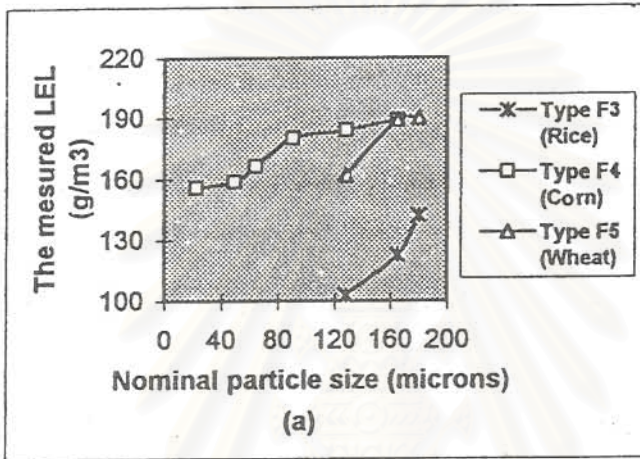
ในแนวทางที่สอง อาจอธิบายค่า LEL ที่แตกต่างกันโดยตั้งสมมติฐานว่า F1 และ F2 จะมีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน เนื่องจากมีแหล่งที่มา (โรงงานและหัวมัน) ที่ไม่เหมือนกัน อย่างไรก็ตาม สมมติฐานนี้ไม่สามารถอธิบายได้ว่าเหตุใด Cas-6 ของ F2 จึงให้ค่า LEL ที่ต่ำกว่าใน Cas-1 ของ F1 แต่ Cas-8 ของ F2 กลับให้ค่า LEL ที่สูงกว่าใน Cas-3 ของ F1 ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่า แม้อาจมีลักษณะสมบัติทางเคมีที่แตกต่างกันบ้างของตัวอย่างแป้ง F1 และ F2 ความแตกต่างดังกล่าวก็มีผลกระทบต่อค่า LEL น้อยกว่าผลกระทบจากการกระจายขนาดอนุภาค

ตารางที่ 5.3 ผลของขนาดอนุภาคต่อค่า LEL ของแป้งแต่ละชนิด

Type	Fraction	Nominal particle size (microns)	Average LEL (g/m ³)
F3	Rice -1	128	103
	Rice -2	165	122.6
	Rice -3	>180	142
F4	Com-1	22.5	155.9
	Com-2	49	158.6
	Com-3	64	166.3
	Com-4	90.5	180
	Com-5	128	183.9
	Com-6	165	189.1
F5	Wheat-1	128	162
	Wheat-2	165	188.9
	Wheat-3	>180	190.1

ตารางที่ 5.3 สรุปผลของขนาดอนุภาคต่อค่า LEL ในกรณีต่าง ๆ คือ แป้งข้าวเจ้า (ชนิด F3), แป้งข้าวโพด (ชนิด F4) และแป้งสาลี (ชนิด F5) (ผลการทดสอบโดยละเอียดอยู่ในภาคผนวก 2)

รูปที่ 5.2(a) แสดงให้เห็นว่าผลของขนาดอนุภาคต่อค่า LEL นั้นมีแนวโน้มสูงขึ้นในทุก ๆ กรณี รูปที่ 5.2(b) แสดงถึงการกระจายขนาดอนุภาคของผงแป้งตัวอย่างทั้งสามชนิด ซึ่งวัดโดยใช้ตะแกรงมาตรฐาน



รูปที่ 5.2 (a) ผลของขนาดอนุภาคของแป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวโพด และแป้งข้าวสาลี ต่อค่า LEL

(b) การกระจายขนาดอนุภาคของตัวอย่างแป้ง F3 F4 และ F5

จากรูปที่ 5.2(a) และ (b) พบว่าในกรณีของแป้งข้าวโพด ซึ่งมีการกระจายขนาดอนุภาคที่กว้างมาก (22.5-180 ไมครอน) นั้น ค่า LEL ที่วัดได้มีการเพิ่มขึ้นค่อนข้างสูง ที่ขนาดอนุภาคในช่วง 49 ถึง 90.5 ไมครอน ส่วนของแป้งที่มีขนาดเล็กกว่า 49 ไมครอน ค่า LEL จะ

ก่อนข้างคงที่ที่ $155-160 \text{ g/m}^3$ ทั้งนี้เนื่องมาจากความจริงที่ว่า ค่า LEL โดยทั่วไปแล้วจะเข้าสู่ asymptotic minimum เมื่ออนุภาคมีขนาดละเอียดขึ้นเรื่อย ๆ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าเมื่อขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้นจะเกิด “take-off” region ที่ซึ่งค่า LEL จะเพิ่มขึ้นสูงอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งถึงขนาดที่ใหญ่ที่สุดที่ไม่สามารถเกิดการระเบิดได้ ผลจากการทดลองในกรณีของแป้ง F4 แสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นที่น้อยของค่า LEL เมื่อขนาดอนุภาคโตขึ้นจาก 90.5 ถึง 165 ไมครอน ซึ่งบอกให้ทราบว่าค่า LEL ที่วัดได้ของแต่ละตัวอย่างถูกกำหนดได้โดยส่วนของอนุภาคที่ละเอียดที่สุด ซึ่งมีอยู่ในแต่ละตัวอย่าง

ในกรณีของแป้งข้าวเจ้า (F3) และแป้งข้าวสาลี (F5) ทั้งสองชนิดมีการกระจายขนาดของอนุภาคที่ค่อนข้างแคบ จึงพบว่าค่า LEL ของตัวอย่างเหล่านี้เพิ่มขึ้นอย่างค่อนข้างสูง ในช่วงของ 128 ถึง >180 ไมครอน ซึ่งอาจถือว่าเป็น “take-off” region ได้

ต่อไปเราจะมาพิจารณาเปรียบเทียบค่า LEL ของแต่ละส่วนที่เปรียบเทียบกันได้ในระหว่างแป้งทั้ง 4 ชนิด จากตารางที่ 5.2 และ 5.3 ซึ่งให้เห็นถึงลำดับของค่า LEL ที่เพิ่มขึ้นเป็นดังนี้

LEL ต่ำ LEL สูง
 แป้งข้าวเจ้า < แป้งข้าวสาลี < แป้งข้าวโพด < แป้งมัน

เนื่องจากองค์ประกอบโดยทั่ว ๆ ไปของแป้งแต่ละชนิด (ดูข้อมูลอย่างละเอียดจากภาคผนวก 3) ทำให้อาจพอสรุปสหสัมพันธ์เชิงคุณภาพได้ตามตารางที่ 5.4 ดังนี้

ตารางที่ 5.4 ความสัมพันธ์เชิงคุณภาพระหว่างสมบัติของตัวอย่างแป้งกับค่า LEL

Flour type	% carbohydrates	% proteins	% lipids	LEL value
Cassava	highest	lowest	lowest	highest
Corn	2 nd highest	2 nd lowest	2 nd lowest	2 nd highest
Wheat	2 nd lowest	2 nd highest	2 nd highest	2 nd lowest
Rice	lowest	highest	highest	lowest

อาจสรุปได้ว่าองค์ประกอบด้านเคมีของแป้งแต่ละชนิดมีอิทธิพลในการกำหนดค่า LEL ถ้าเปอร์เซ็นต์ของไขมันและโปรตีนยิ่งสูง ค่า LEL ที่วัดได้จะยิ่งต่ำ

อย่างไรก็ตามเรายังไม่อาจทราบแน่ชัดว่าปริมาณขององค์ประกอบไขมันและโปรตีนของแป้งแต่ละชนิดมีอิทธิพลต่อค่า LEL มากน้อยเพียงใด และเพราะเหตุใด

เนื่องจากค่า LEL เป็นตัวบ่งชี้ถึงความสามารถในการระเบิดได้ของวัสดุฝุ่นผง ค่านี้อาจจะไม่ขึ้นอยู่กับค่าความร้อน (calorific (heating) value) ของตัวอย่างแป้งแต่ละชนิด เพราะค่าความร้อนน่าจะมีผลกระทบต่อความรุนแรงของการระเบิด (โดยเฉพาะความดันสูงสุดจากการระเบิด) เมื่อมีการระเบิดเกิดขึ้น หรืออีกนัยหนึ่ง ค่าพลังงานอิสระของกิบส์ของแป้งแต่ละชนิดน่าจะมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของความดันสูงสุดจากการระเบิด (ความรุนแรงของการระเบิด)

5.2.1.2 ตัวอย่างสารในกลุ่มที่ 2

สารตัวอย่างทุกชนิดทำการคัดขนาดโดยใช้เครื่องคัดขนาดแบบสั่นโดยสปริงโดยใช้ชุดตะแกรงร่อนเดียวกับในหัวข้อที่ผ่านมา ได้สารตัวอย่างที่มีขนาดช่วงต่าง ๆ เพื่อนำมาทดสอบ (ยกเว้นส่วนที่มีขนาดใหญ่กว่า 180 ไมครอน) สำหรับผงที่เล็ยพบว่า อนุภาคขนาดเล็กกว่า 53 ไมครอน มีอยู่น้อยมากเมื่อเทียบกับขนาดอื่น ๆ จึงไม่ทำการทดสอบในช่วงเล็กสุดนี้

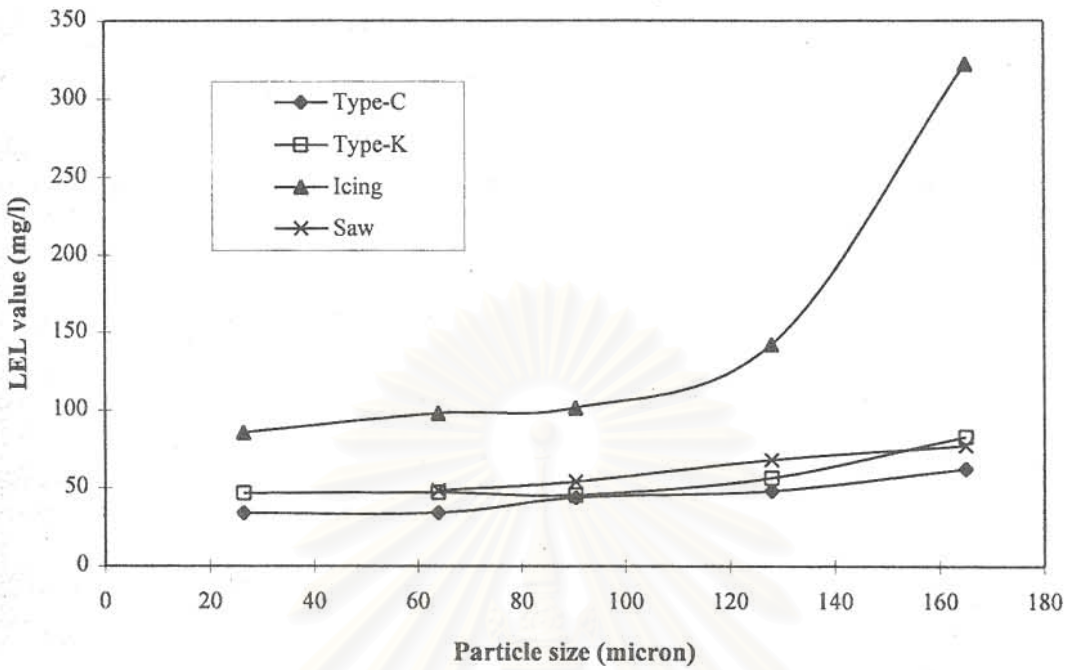
ตารางที่ 5.5 แสดงผลการทดสอบหาค่า LEL ของตัวอย่างในกลุ่มที่ 2 เมื่อพิจารณาถึงแนวโน้มที่ขนาดอนุภาคมีต่อค่า LEL พบว่า อนุภาคที่นำมาทดสอบทุกชนิดมีความสอดคล้องกัน คือ ค่า LEL จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออนุภาคมีขนาดโตขึ้น ทั้งนี้อธิบายได้ว่า อนุภาคที่มีขนาดเล็ก จะยังมีพื้นที่ผิวในการสัมผัสทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศได้มากกว่า จึงเกิดการระเบิดได้ง่ายกว่า ทำให้ค่า LEL ต่ำกว่า

แต่จากกราฟในรูปที่ 5.3 จะพบว่า ตัวอย่างทุกชนิดเมื่อมีขนาดอนุภาคเล็กมาก ๆ จะมีค่า LEL ก่อนข้างคงที่ ซึ่งตรงกับทฤษฎีที่ว่า LEL จะไม่ขึ้นกับความละเอียดของอนุภาค เมื่ออนุภาคมีขนาดเล็กกว่าความละเอียดค่าหนึ่ง ซึ่งจากผลทดสอบคือเล็กกว่าประมาณ 80-100 ไมครอน

จากการเปรียบเทียบค่า LEL ของสารต่าง ๆ ที่ไม่ได้ทำการแยกขนาด (LEL_{mix}) กับของที่คัดขนาดไว้ดังกราฟแสดงการกระจายขนาดของอนุภาค (ในภาคผนวก) พบว่าวัสดุผงที่มีส่วนที่เป็นอนุภาคขนาดใหญ่ (มากกว่า 180 ไมครอน) อยู่เป็นจำนวนมาก เช่น คริมเทียม C และ คริมเทียม K จะมีค่า LEL_{mix} สูงกว่าค่า LEL ของช่วงขนาด 150-180 ไมครอน เพราะมีอิทธิพลของอนุภาคขนาดใหญ่กว่า 180 ไมครอน อยู่มาก แต่น้ำตาลไอซิ่ง ซึ่งการกระจายขนาดมีอนุภาคเล็กในอัตราส่วนค่อนข้างสูง จะมีค่า LEL_{mix} อยู่ในช่วงเฉลี่ยระหว่างค่า LEL ของอนุภาคช่วงเล็ก และช่วงใหญ่ที่ได้มีการคัดขนาดไว้ทดสอบ (ดูตาราง 5.5 ประกอบ)

ตารางที่ 5.5 ค่า LEL ของสารตัวอย่างแต่ละชนิดและช่วงขนาดของอนุภาค

สารตัวอย่าง	ขนาดอนุภาค (ไมครอน)	Code	LEL (mg/litre)
ครีมเทียม C	น้อยกว่า 53	C-1	33.9
	53-75	C-2	34.1
	75-106	C-3	43.8
	106-150	C-4	48.2
	150-180	C-5	62.2
	As received	C-6	98.9
ครีมเทียม K	น้อยกว่า 53	K-1	46.7
	53-75	K-2	47.2
	75-106	K-3	45.4
	106-150	K-4	56.4
	150-180	K-5	83.0
	As received	K-6	111.7
น้ำตาลไอซิ่ง	น้อยกว่า 53	I-1	85.7
	53-75	I-2	98.1
	75-106	I-3	101.6
	106-150	I-4	142.2
	150-180	I-5	322.5
	As received	I-6	170.3
ผงขี้เลื่อย	53-75	S-1	48.3
	75-106	S-2	54.0
	106-150	S-3	68.0
	150-180	S-4	77.3



รูปที่ 5.3 ค่า LEL ที่ได้จากการทดสอบของตัวอย่างในกลุ่มที่ 2

5.2.2 ผลของปริมาณความชื้น

ในหัวข้อนี้เราจะพิจารณาถึงอิทธิพลที่ปริมาณความชื้นมีต่อค่า LEL ของตัวอย่างฝุ่นผงแต่ละชนิด กล่าวคือ แป้งมันสำปะหลัง แป้งมันตราปلامังกร แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวโพด และแป้งสาลี ตัวอย่างที่จะนำมาทดสอบได้เอามาจากถุงบรรจุโดยตรง ดังนั้นการกระจายขนาดของอนุภาคจึงเป็นไปตามผลิตภัณฑ์จากห้องตลาด

ทำการเตรียมตัวอย่างซึ่งผ่านการอบแห้งตามวิธีที่อธิบายไว้ในตารางที่ 5.1 ส่วนตัวอย่างที่มีความชื้น (ไม่ผ่านการอบแห้ง) ได้มาจากถุงบรรจุโดยตรง

ตารางที่ 5.6 แสดงผลของปริมาณความชื้นที่มีต่อค่า LEL ตามที่คาดไว้ ตาราง 5.6 แสดงให้เห็นว่า ค่า LEL ที่ได้ของตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งมีค่าต่ำกว่าของตัวอย่างที่มีความชื้นอยู่เสมอ ตัวอย่างเช่น ค่า LEL โดยเฉลี่ยของแป้งข้าวโพดแห้ง (ความชื้นประมาณ 0%) และแป้งข้าวโพดชื้น (ความชื้น 3.7%) เท่ากับ 192.6 และ 356.8 g/m^3 ตามลำดับ (ผลการทดสอบอย่างละเอียดมีแสดงไว้ในภาคผนวก 2)

ตารางที่ 5.6 อิทธิพลของปริมาณความชื้นต่อค่า LEL

Type (Average size)	Sample name	% Moisture content	Average LEL (g/m ³)
F1 (52 microns)	Cas-4	0	114.6
	Cas-5	2.8	120.4
F2 (57 microns)	Cas-10	0	251.7
	Cas-11	3.9	259.7
F3 (140 microns)	Rice-4	0	128.6
	Rice-5	6.6	137.0
F4 (60 microns)	Corn-7	0	192.8
	Corn-8	3.7	356.8
F5 (138 microns)	Wheat-4	0	165.1
	Wheat-5	4.8	183.0

โดยทั่วไป ไม่เพียงค่า LEL เท่านั้นที่ลดลงแต่ยังรวมถึงความรุนแรงของการระเบิดด้วยที่ลดลงเมื่อปริมาณความชื้นของฝุ่นผงเพิ่มขึ้น เพราะว่าความชื้นจะไปลดทั้งความว่องไวในการจุดชนวนและความรุนแรงของการระเบิดของหมอกฝุ่นอินทรีย์ (Van Larr และ Zeeuwen, 1985)

5.2.3 ผลของแหล่งที่มาของผงแป้ง

แป้งมันชนิด F1 และ F2 ได้มาจาก 2 แหล่งที่แตกต่างกัน ผลของแหล่งที่มาของผงแป้งต่อค่า LEL ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 5.2 ตามที่ได้อธิบายไปแล้วในหัวข้อ 5.2.1 ว่าการกระจายขนาดอนุภาคดูเหมือนว่าจะมีผลอย่างเด่นชัดต่อค่า LEL ในขณะที่ความแตกต่างกันขององค์ประกอบทางเคมีดูเหมือนว่าจะมีผลเพียงเล็กน้อย หรือกล่าวอีกอย่างหนึ่งว่าถ้าการกระจายขนาดอนุภาคและเงื่อนไขอื่น ๆ (เช่น ปริมาณความชื้น) เหมือนกันแล้ว แหล่งที่มาที่แตกต่างกันของตัวอย่างแป้งชนิดเดียวกันจะมีผลกระทบเพียงเล็กน้อยต่อค่า LEL

5.2.4 การเปรียบเทียบระหว่างค่า LEL ของผงหมึกถ่ายเอกสารที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน กับที่ผ่านการใช้งานแล้ว

ผงหมึกซึ่งใช้ในเครื่องถ่ายเอกสารเป็นผงอินทรีย์ ในขั้นตอนของการถ่ายเอกสารผงหมึกจะถูกหลอมเหลวบนกระดาษโดยที่ผงหมึกบางส่วนที่เกินพอจะถูกกวาดทิ้งและถูกเก็บไว้ในถาดผงหมึก นี่คือนผงหมึกที่เรียกว่าผงหมึกที่ผ่านการใช้งานแล้ว (used (once-through) toner) จุดมุ่งหมายของการศึกษาในหัวข้อนี้คือ เพื่อพิจารณาว่าค่า LEL จะเพิ่มขึ้นหรือลดลง สำหรับผงหมึกก่อนและหลังผ่านกระบวนการถ่ายเอกสาร

ตัวอย่างผงหมึกถ่ายเอกสารที่ยังไม่ผ่านการใช้งานและที่ผ่านการใช้งานแล้ว ถูกเตรียมและอบแห้งตามวิธีที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.3.2 แล้วนำมาคัดขนาดเพื่อให้ได้ส่วนที่เล็กกว่า 45 ไมครอนสำหรับการใช้ในการทดสอบ ตารางที่ 5.7 เปรียบเทียบค่า LEL ที่วัดได้

ตารางที่ 5.7 การเปรียบเทียบระหว่างผงหมึกถ่ายเอกสารที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน และที่ผ่านการใช้งานแล้ว

Powder name	Average particle size (microns)	Average LEL (g/m ³)
Fresh toner	19.4	40.3
Used toner	22.8	47.5

ค่า LEL ของผงหมึกถ่ายเอกสารที่ยังไม่ผ่านการใช้งานมีค่าต่ำกว่าเมื่อผ่านการใช้งานแล้ว ขณะที่ขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยของตัวอย่างแรกเล็กกว่าของตัวอย่างหลัง เนื่องจากผงหมึกถ่ายเอกสารที่เกินพอนั้นได้รับผลกระทบจากการหลอมเหลว ทำให้ผงหมึกที่ผ่านการใช้งานแล้วมีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยโตกว่าผงหมึกใหม่ (ผลอย่างละเอียดแสดงไว้ในภาคผนวก 2) ดังนั้นผงหมึกที่ผ่านการใช้งานแล้วจึงมีค่า LEL ที่สูงกว่า

5.2.5 องค์ประกอบของสาร

จากผลการทดสอบตัวอย่างกลุ่มที่ 2 ซึ่งได้แสดงไว้ในตารางที่ 5.5 เมื่อทำการเปรียบเทียบค่า LEL ของครีมเทียม 2 ชนิด พบว่า ครีมเทียมชนิด K มีค่า LEL สูงกว่า ครีมเทียมชนิด C ที่ทุก ๆ ขนาดของอนุภาค เมื่อพิจารณาถึงส่วนผสมของครีมเทียมทั้งสองยี่ห้อ พบว่ามีส่วนผสมหลักคือ ไขมันปาล์ม และกลูโคส ในปริมาณใกล้เคียงกัน แต่ครีมเทียม K จะมีนมผงขาดมันเนย ซึ่งเป็นโปรตีนเพิ่มขึ้นมา 5% ซึ่งอีกยี่ห้อหนึ่งไม่มี ทั้งนี้สามารถสันนิษฐานได้ว่า นมผงซึ่งเป็นสารประเภทโปรตีน ทำให้ค่า LEL มีค่าสูงขึ้น

นอกจากนี้ ค่าของสารที่ต่างชนิดกันก็มีค่า LEL แตกต่างกันด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำตาลไอซิ่ง มีค่า LEL สูงกว่าสารอื่นที่นำมาทดสอบมาก สำหรับค่า LEL ของสารต่าง ๆ ในกลุ่มนี้เรียงตามลำดับจากน้อยไปมาก ดังนี้

ครีมเทียม C < ครีมเทียม K < ผงซีลี้อยไม้สัก < น้ำตาลไอซิ่ง

5.8 การสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่าง LEL กับขนาดของอนุภาค

ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า LEL ที่ได้จากการทดสอบ กับขนาดของอนุภาคของตัวอย่างแต่ละชนิดที่ศึกษาไว้ข้างต้น จะใช้ความสัมพันธ์ที่ได้อยู่ในรูปสมการโพลิโนเมียล คือ

$$Y = a + bX + cX^2 + dX^3 + eX^4 \quad (5.1)$$

เมื่อ Y แทน ค่า LEL ที่วัดได้ (g/m^3)

X แทน ขนาดของอนุภาค (μm)

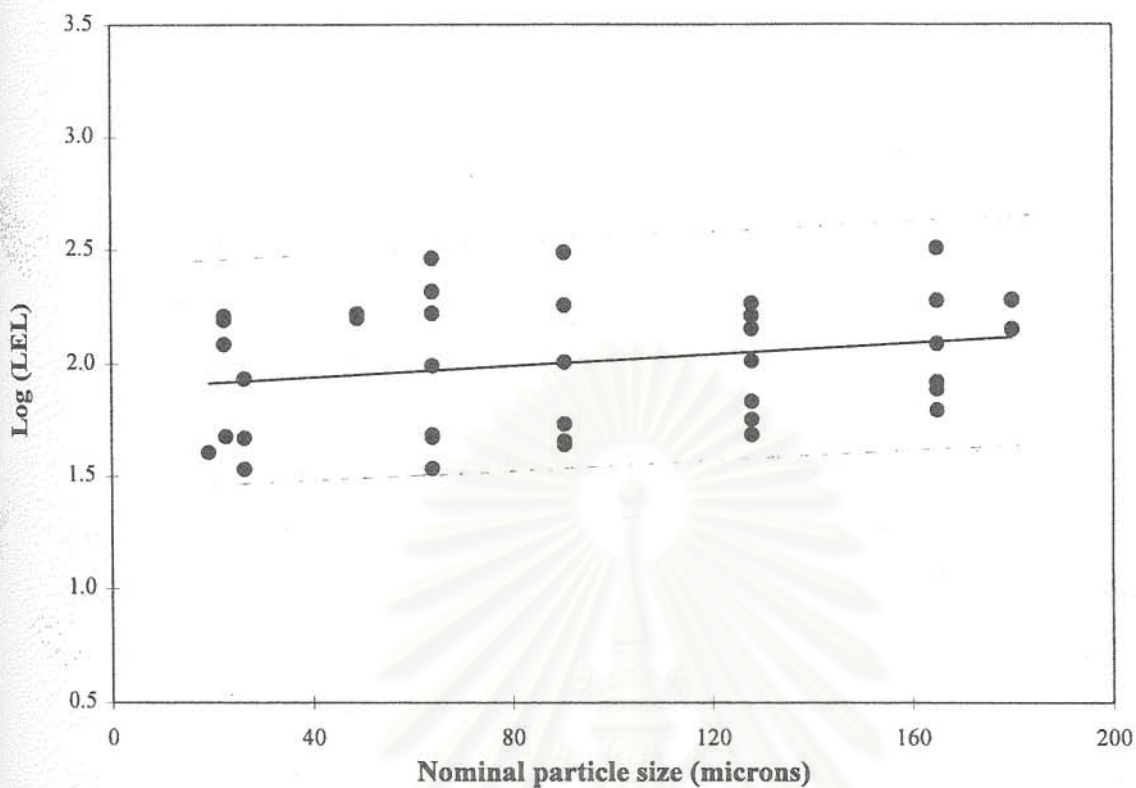
a, b, c, d และ e เป็นค่าคงที่ซึ่งได้จากการฟิตสมการให้เส้นกราฟการทดสอบ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5.8 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก 4)

ตารางที่ 5.8 ค่าคงที่ของสมการความสัมพันธ์สำหรับสารแต่ละชนิด

สารตัวอย่าง	a	b	c	d	e	C.C. (R^2)
แป้งมันท้าวขยำม่อม	233.3	-4.6936	0.0670	-	-	1
แป้งมันตราปلامังกร	616.48	-38.39	0.8427	-5.041E-03	-	1
แป้งข้าวเจ้า	345.34	-3.7729	0.0147	-	-	1
แป้งข้าวโพด	185.49	-2.3426	0.0547	-4.256E-04	1.095E-06	0.9998
แป้งข้าวสาลี	-193.85	4.3728	-0.0124	-	-	1
ครีมเทียมชนิด C	81.403	-3.1429	0.0625	-4.664E-04	1.206E-06	1
ครีมเทียมชนิด K	43.354	0.2465	-0.0051	3.074E-05	-	0.9971
น้ำตาลไอซิ่ง	18.891	3.8401	-0.0578	2.765E-04	-	0.9995
ผงจีเลอ	79.022	-1.2073	0.0140	-4.069E-05	-	1

จะเห็นได้ว่า สมการ (5.1) สามารถฟิตผลการทดสอบได้ดี

เมื่อนำข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการทดสอบสารตัวอย่างทุกชนิดในงานวิจัยนี้มารวมกันเพื่อพิจารณาถึงขอบเขตของการระเบิดโดยทั่ว ๆ ไป ผลที่ได้เป็นดังกราฟในรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า LEL ที่ได้จากการทดสอบ กับขนาดของอนุภาค

กราฟเส้นกลางในรูป แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า LEL กับขนาดเฉลี่ยของอนุภาคของวัสดุผงทั้งหมดที่ได้รายงานไว้ในที่นี้

$$\log (Y) = 1.8891 + 0.00126X \quad (5.2)$$

เส้นขอบเขตด้านบนและด้านล่างในรูป คำนวณได้จาก

$$\log (Y_{\max}) = 2.4054 + 0.00126X \quad (5.3)$$

$$\log (Y_{\min}) = 1.4054 + 0.00126X \quad (5.4)$$

ในกรณีที่ต้องประเมินค่า LEL ของวัสดุฝุ่นผงชนิดใหม่ เพื่อกำหนดมาตรการความปลอดภัยล่วงหน้า อาจใช้สมการ (5.4) ทำนายค่าความเข้มข้นต่ำสุดได้อย่างคร่าว ๆ แน่นอนที่เดียว ความน่าเชื่อถือของสมการ (5.4) จะยิ่งสูงขึ้น ถ้าทำการสะสมผลการทดสอบของวัสดุฝุ่นผงไว้ยิ่งมากขึ้นในรูป 5.4

บทที่ 6

แนวทางป้องกันอุบัติเหตุการระเบิดของวัสดุฝุ่นผงในอุตสาหกรรม

6.1. มาตรการป้องกันการระเบิดของฝุ่นผงในอุตสาหกรรม

ในการพิจารณามาตรการป้องกันภัยอันตรายจากการระเบิดและจากอัตรากษัยของฝุ่นผงนั้น เราจำเป็นต้องพิจารณาแยกเป็น 2 แนวทาง ในแนวทางแรก เราจะดำเนินมาตรการต่าง ๆ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการระเบิดและการติดไฟของฝุ่นผง นั่นคือ **มาตรการป้องกันการระเบิดของฝุ่นผงในหัวข้อนี้** ในแนวทางที่สอง เนื่องจากแนวทางแรกไม่สามารถป้องกันอุบัติเหตุการระเบิดได้อย่างสมบูรณ์ แต่ในทันทีทันใดที่เริ่มเกิดการระเบิดหรือการติดไฟขึ้น เราจะรีบดำเนิน **มาตรการควบคุมความเสียหาย** เพื่อให้เกิดผลกระทบเฉพาะบริเวณที่จำกัด และเพื่อป้องกันภัยอันตรายต่อชีวิตและทรัพย์สิน (เครื่องจักรอุปกรณ์ อาคาร ฯลฯ)

แน่นอนทีเดียว ถ้าเราสามารถดำเนินมาตรการป้องกันการระเบิดได้อย่างสมบูรณ์แน่นอน เราก็ไม่มีความจำเป็นต้องดำเนินมาตรการควบคุมความเสียหายเลย โดยทั่วไปเนื่องจากมาตรการควบคุมความเสียหายนั้นจำเป็นต้องใช้เงินลงทุนสูง เพื่อให้เครื่องจักรอุปกรณ์สามารถทนความดันสูงและอุณหภูมิสูงที่เกิดขึ้นเวลาเริ่มระเบิดได้ ดังนั้น การดำเนินมาตรการป้องกันจึงใช้เงินลงทุนน้อยกว่า และควรให้ความสำคัญเป็นอันดับแรก

6.1.1 แนวคิดพื้นฐานของมาตรการป้องกันการระเบิด

ถ้าเราสามารถกำจัดเงื่อนไขใดเงื่อนไขหนึ่งที่เป็นสำหรับการระเบิดของฝุ่นผงได้ อุบัติเหตุการระเบิดย่อมเกิดไม่ได้ สรุปแล้ว แนวทางหลักในการป้องกันการระเบิดมีดังนี้

- กำจัดฝุ่นซึ่งติดไฟได้
- ป้องกันการเกิดของหมอกฝุ่น (dust cloud)
- เดิมผสมสารที่ไม่ติดไฟ (รวมถึงการกำจัดก๊าซออกซิเจน)
- กำจัดแหล่งจุดชนวน

จะเห็นได้ว่า มาตรการอย่างหนึ่งของการป้องกันการระเบิด คือการใช้วัสดุที่เป็นเม็ดขนาดใหญ่ หรือการอัดผงให้เป็นก้อนใหญ่เพื่อการจัดการฟุ้งลอยของฝุ่นผง แต่ต้องระวังและแน่ใจว่าในระหว่างการปฏิบัติการ เม็ดและก้อนเหล่านี้จะไม่กระแตกหรือเสียดสีกันบางส่วนเป็น



ละเอียดซึ่งติดไฟได้ หนึ่งในกระบวนการผลิตทั่วไป การกำจัดออกซิเจน(อากาศ)นั้นมักทำได้ลำบาก ดังนั้นมาตรการสำคัญที่ใช้ป้องกันการระเบิดคือการแยกฝุ่นผงที่ติดไฟได้ และแหล่งจุดชนวนออกห่างจากกัน ซึ่งในทางปฏิบัติก็ทำได้ไม่มากนัก

6.1.2 การกำจัดฝุ่นผงที่ติดไฟได้

ฝุ่นผงมีอันตรายของการระเบิดสูงเมื่ออยู่ในสภาพแขวนลอย (ฟุ้งกระจาย) ในอากาศ แต่แรงลมที่เกิดจากการระเบิดปฐมภูมิขนาดเล็กๆ ก็สามารถพัดฝุ่นผงที่กองสะสมอยู่ให้ลอยตัวขึ้น และนำไปสู่การระเบิดต่อเนื่องเป็นลูกๆ (การระเบิดทุติยภูมิ) จนในที่สุดกลายเป็นการระเบิดใหญ่ที่ก่อความเสียหายทั่วทั้งโรงงาน ดังนั้นจึงต้องป้องกันการกองสะสมของฝุ่นผงที่ติดไฟได้ให้มีน้อยที่สุด โดยการทำการกำจัดฝุ่นผงที่ร่วออกจากเครื่องจักรอุปกรณ์อย่างรวดเร็วและไม่ปล่อยให้แพร่กระจายในวงกว้าง

(1) โครงสร้างตัวอาคาร

เพื่อป้องกันการไหม้ลุกลามมาจากที่อื่น ตัวอาคารควรสร้างจากวัสดุที่ไม่ติดไฟ โครงสร้างด้านในของอาคารควรออกแบบให้เกิดการกองสะสมของวัสดุผงได้ลำบาก และเอื้ออำนวยต่อการทำความสะอาดและการกำจัดฝุ่นผงที่อาจเกิดการสะสมขึ้น

(2) เครื่องจักรอุปกรณ์

เครื่องจักรอุปกรณ์ และท่อทางต่าง ๆ ทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับวัสดุฝุ่นผงที่ติดไฟได้จะต้องสร้างขึ้นจากวัสดุที่ไม่ติดไฟ และออกแบบโครงสร้างให้เป็นแบบป้องกันฝุ่น ยกตัวอย่างเช่น เพื่อป้องกันการรั่วไหลของฝุ่นผงออกสู่ภายนอก อาจปรับตั้งความดันภายในระบบให้ต่ำกว่าความดันบรรยากาศเล็กน้อย เป็นต้น เนื่องจากท่อทางของระบบวัสดุฝุ่นผงมักจะเป็น เส้นทางแพร่กระจายของการระเบิดและของเปลวเพลิง ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงการเชื่อมโยงกับท่อทางสายอื่น ๆ โดยให้มีน้อยที่สุด และติดตั้งช่องเปิดที่โตและมีจำนวนเพียงพอต่อการทำความสะอาดภายในท่อทาง

(3) การทำความสะอาดสถานที่ปฏิบัติการ

เพื่อหลีกเลี่ยงการกองสะสมของวัสดุฝุ่นผงในสถานที่ปฏิบัติการ มีความจำเป็นต้องหมั่นทำความสะอาดเป็นประจำ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง มักจะมองข้ามการสะสมของฝุ่นผงบนพื้นห้อง, บนเสาคาน และบนตัวเครื่องจักร เป็นต้น ซึ่งจะนำไปสู่การระเบิดทุติยภูมิได้

6.1.3 การป้องกันการเกิดของหมอกฝุ่น (dust cloud)

ทุกคนคงเคยเห็นการเกิดขึ้นทันทีที่ทันใจของหมอกฝุ่นที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ โดยการกระทำของกระแสลม หรือความดันลมต่อกองหรือชั้นของวัสดุฝุ่นผง ในกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับวัสดุฝุ่นผง การป้องกันการล่อฟูงของฝุ่นผงอย่างสมบูรณ์นั้นมักทำได้ลำบาก และยกเว้นกรณีพิเศษแล้ว (เช่น การขนส่งวัสดุอนุภาคด้วยลมในท่อ เป็นต้น) การควบคุมความเข้มข้นของหมอกฝุ่นก็ทำแทบไม่ได้ แต่โดยการออกแบบโรงงานและการเลือกกระบวนการที่เหมาะสม เราสามารถควบคุมการเกิดของหมอกฝุ่นและลดปริมาณของมันให้เหลือน้อยที่สุดได้

ยกตัวอย่าง การเติมป้อนของไหลผสมวัสดุฝุ่นผงเข้าที่ยอดบนของถังเก็บและไซโล จะก่อให้เกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นผงขึ้นทั่วปริมาตรด้านในของภาชนะ แต่ถ้าทำการเติมใส่จากปากทางป้อนที่เหมาะสมบนผนังด้านข้าง การเกิดของหมอกฝุ่นจะน้อยลงมาก ถ้าทำได้ควรออกแบบถังเก็บและไซโลให้มีปริมาตรโตเพียงเท่าที่จำเป็น และอาจแยกออกเป็นจำนวนใบเล็กหลายใบแทน ขึ้นกับประเภทของกระบวนการและประเภทวัสดุฝุ่นผง ถ้าใช้กระบวนการแบบชั้นแทนแบบแห้งได้ นอกจากจะช่วยกำจัดความเสี่ยงจากการระเบิดของฝุ่นผงโดยการป้องกันการเกิดของหมอกฝุ่นแล้ว ยังช่วยกำจัดความเสี่ยงจากการลุกไหม้ของฝุ่นผงด้วย

อนึ่ง ในบริเวณที่เกิดการฟุ้งกระจายของฝุ่นผง ควรดำเนินมาตรการกำจัดหมอกฝุ่นโดยเร็ว เช่น โดยการติดตั้งเครื่องเก็บฝุ่นไว้ที่ถังเก็บและที่ไซโล ข้อควรระวังคือ ต้องไม่ปล่อยให้วัสดุฝุ่นผงค้างสะสมเป็นจำนวนมากในฮอปเปอร์ของเครื่องเก็บฝุ่น

ในกรณีของเหมืองถ่านหิน การควบคุมการฟุ้งกระจายของฝุ่นถ่านหินทำได้ผลดีโดยการโปรยผสมผงหินซึ่งไม่ติดไฟ โดยทั่วไปฝุ่นผงถ่านหินจะมีประจุไฟฟ้าสถิตค่าลบ ส่วนผงหินจะมีค่าบวก ดังนั้นจึงเกาะรวมตัวกันเป็นอนุภาคที่โตและหนัก ซึ่งจะตกตะกอนลงบนพื้นอย่างรวดเร็ว

6.1.4 การเติมสารเฉื่อย (inert materials)

(1) การเติมผสมก๊าซเฉื่อย

ในการป้องกันการระเบิดของฝุ่นผง มาตรการความปลอดภัยที่แน่นอนคือการเติมก๊าซเฉื่อยเพื่อลดความเข้มข้นของออกซิเจนในอากาศรอบๆ ให้เหลือต่ำกว่าความเข้มข้นวิกฤตของการระเบิด โดยปกติจะนิยมใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือก๊าซไนโตรเจน แต่ในบางกรณี ผงอินทรีย์บางชนิด และโลหะเบาบางชนิด อาจทำปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แล้วเกิดเป็นสารออกไซด์ได้ ดังนั้นก๊าซไนโตรเจนมักจะปลอดภัยกว่า อย่างไรก็ตาม ผงโลหะบางชนิดก็ยังสามารถถูกติดไฟได้ในก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือก๊าซไนโตรเจน ดังนั้นจะต้องใช้ความระวังในเรื่องนี้

การใช้ก๊าซเฉื่อยจะเหมาะกับเครื่องมืออุปกรณ์ที่สามารถปิดได้มิดชิด เช่น เครื่องบดย่อย, เครื่องกวนผสม, เครื่องอบแห้ง และถังเก็บ เป็นต้น ในกรณีดังกล่าว จะต้องไม่ลืม มาตรการป้องกันอุบัติเหตุที่เกิดจากการที่ร่างกายคนได้รับออกซิเจนไม่เพียงพอด้วย

(2) การเติมสารไม่ติดไฟ

ถ้าทำการเติมผสมวัสดุผงที่ไม่ติดไฟ เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต, diatom earth, ซิลิกาเจล และเกลืออนินทรีย์ เป็นต้น ลงในวัสดุผงที่ติดไฟได้ นอกจากจะช่วยทำลาย คุณสมบัติติดระเบิดได้โดยอาศัยผลของการระบายความร้อนแล้ว ยังช่วยควบคุมการฟุ้งลอยได้ด้วย ยกตัวอย่างเช่น ถ้าเติมผง CaSO_4 (ขนาดอนุภาคเฉลี่ย $< 15 \mu\text{m}$) ลงในผง methyl cellulose (ขนาดอนุภาคเฉลี่ย $70 \mu\text{m}$) ในจำนวนสูงกว่า 70% แล้ว ผงผสมนี้จะไม่สามารถระเบิดได้

6.1.5 การกำจัดแหล่งจุดชนวน

โดยทั่วไปพลังงานของแหล่งจุดชนวนที่จำเป็นต่อการจุดระเบิดฝุ่นผงที่ติดไฟได้ จะสูงเป็น 10-100 เท่าของพลังงานที่จำเป็นต่อการจุดระเบิดก๊าซหรือไอที่ติดไฟได้ซึ่งต้องการพลังงานจุดชนวนต่ำสุด ประมาณ $0.02 \sim 0.5 \text{ mJ}$. อย่างไรก็ตามฝุ่นบางชนิดหรือฝุ่นที่มีขนาดเล็ก เยอะมาก ๆ ก็อาจเพียงต้องการพลังงานจุดชนวนในระดับเดียวกับกรณีของก๊าซได้

แหล่งชนวนจุดระเบิดนั้น สามารถจำแนกได้เป็น เปลวไฟทั่วไป, ประกายไฟ (สปาร์ก) จากเครื่องใช้ไฟฟ้า, ประกายไฟฟ้าสถิต, สะเก็ดไฟที่เกิดจากการเสียดสี, การกระทบหรือ การร่อนจัดเฉพะจุดของอุปกรณ์เชิงกล, การติดไฟเองโดยธรรมชาติ และการฉายรังสีความร้อน เป็นต้น

(1) เปลวไฟทั่วไป

ที่พบเห็นบ่อย คือ

- บุหรี่, เปลวไฟเปิด และเตาปิ้ง (stove) เป็นต้น
- สะเก็ดไฟจากการเชื่อม (welding) และการตัดโลหะ

สาเหตุหลังนี้ มักเกิดขึ้นในเวลาที่ทำกรซ่อมบำรุงภายในโรงงาน ดังนั้น จึงควรมีมาตรการป้องกันอย่างเหมาะสม

(2) ประกายไฟ และการร่อนจัดของเครื่องมืออุปกรณ์ไฟฟ้า

สาเหตุต่อไปนี้ พบเห็นกันบ่อยในโรงงาน จึงควรให้ความระมัดระวังเป็น

- ประกายไฟจาก slip ring ของมอเตอร์
- ประกายไฟที่เกิดขึ้นจากการเปิดปิดอุปกรณ์จำพวกสวิตช์
- การลัดวงจร (short circuit) และการรั่วของไฟฟ้าที่เกี่ยวกับฟิวส์,

สายไฟ และสายเสียบ เป็นต้น

- สะเก็ดไฟที่เกิดจากการแตกระเบิดของหลอดไฟ
- ส่วนร้อนจัดของมอเตอร์ และเครื่องมือให้แสงสว่าง เป็นต้น
- การลุกไหม้ของไอน้ำมันที่บรรจุอยู่ในหม้อแปลงไฟฟ้า และสวิตช์

ชนิดบรรจุน้ำมัน เป็นต้น

(3) การเกิดประกายไฟโดยไฟฟ้าสถิต

ในปฏิบัติการที่เกี่ยวข้องกับวัสดุฝุ่นผง การเสียดสีระหว่างฝุ่นผงกับโลหะ และระหว่างฝุ่นผงกับอากาศ เป็นต้น จะก่อให้เกิดประจุไฟฟ้าสถิตได้ง่าย ปฏิบัติการที่ก่อให้เกิดประกายไฟฟ้าสถิตได้ง่ายมากคือ ปฏิบัติการบดขยี้, ปฏิบัติการคัดแยกขนาด และปฏิบัติการขนย้าย โดยอาศัยกระแสลมหรือการตกตัว เป็นต้น เพื่อป้องกันอันตรายดังกล่าว จะต้องใช้สายเหล็กหรือแปรงโลหะ เป็นต้น เชื่อมโยงข้ามบริเวณที่เป็นฉนวนไฟฟ้าของภาชนะ และเครื่องจักรอุปกรณ์ (ท่อทาง, สายพานลำเลียง, เครื่องเก็บฝุ่น และถังเก็บรักษา เป็นต้น) ซึ่งมีโอกาสเกิดการสะสมของไฟฟ้าสถิตได้ง่าย แล้วทำการต่อสายดินให้ดี

อนึ่ง ในกรณีของฝุ่นผงที่ติดไฟได้ซึ่งมีค่าพลังงานติดไฟต่ำสุดน้อยกว่า 30 mJ จำเป็นจะต้องใช้พื้นที่ห้องทำงานแบบนำไฟฟ้าและให้พนักงานสวมรองเท้าและเสื้อผ้าชนิดป้องกันการสะสมของไฟฟ้าสถิต

(4) การร้อนจัดเฉพาะจุดของเครื่องจักรอุปกรณ์และประกายไฟที่เกิดจากการกระทบหรือการเสียดสี

ก. จุดร้อนจัดเนื่องจากการเสียดสี

ที่พบเห็นบ่อยคือ การร้อนจัดของดรัมลูกปืนโลหะ (metal bearing) ถ้าการเติมน้ำมันหล่อลื่นและการทำความสะอาดดรัมลูกปืนไม่ดีพอ จะทำให้ฝุ่นแทรกเสียดลอดเข้าไปในดรัมได้ การหล่อลื่นจะผิดปกติ และอุณหภูมิของดรัมหรือเพลลาจะสูงขึ้นผิดปกติ จนเกิดการหลอมติดของโลหะได้ นอกจากนั้นฝุ่นผงที่เกาะสะสมอยู่บนดรัมลูกปืนยังช่วยเก็บอมความร้อนไว้ด้วย จึงเป็นแหล่งจุดชนวนที่ดี

ข. ประกายไฟที่เกิดจากการกระทบหรือการเสียดสี

ตัวอย่างที่พบเห็นกันบ่อยเกี่ยวกับประกายไฟที่เกิดจากการกระทบหรือการเสียดสี ได้แก่ การหลุดเข้ามาของวัตถุแปลกปลอมในเครื่องผลิตแป้ง, เครื่องบดขยี้ และเครื่อง

คัดขนาด เป็นต้น การสัมผัสระหว่างใบพัดหรือชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ของเครื่องจักรกับแผ่นป้องกันอันตราย (guard) เป็นต้น และการใช้เครื่องมือเครื่องมือ (หมอนเหล็ก และ ไขควง เป็นต้น)

6.2 มาตรการควบคุมความเสียหายจากการระเบิดของฝุ่นผง

โดยทั่วไป มาตรการควบคุมความเสียหายที่เหมาะสมย่อมขึ้นกับความน่าจะเป็น (probability) และระดับภัยอันตรายที่จะเกิดจากการระเบิดของฝุ่นผง ซึ่งจะถูกกำหนดร่วมกันโดยประเภทและคุณสมบัติเฉพาะของวัสดุฝุ่นผง, เครื่องจักรอุปกรณ์ และกระบวนการ เป็นต้น ในกรณีที่ทราบแน่ชัดตั้งแต่ต้นถึงภัยอันตรายจากการระเบิดของวัสดุฝุ่นผงที่ต้องใช้ เป็นการสำคัญที่จะต้องคำนึงถึงวิธีการป้องกันและควบคุมภัยตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบโรงงานและกระบวนการผลิต

มาตรการควบคุมความเสียหายจากการระเบิดประกอบด้วย การจัดวางโรงงาน (plant layout) อย่างเหมาะสม, การสร้างเครื่องจักรอุปกรณ์ให้สามารถทนแรงระเบิดที่เกิดขึ้น, การปล่อยระบายความดันระเบิดออกสู่สถานที่ปลอดภัย, การระงับความดันระเบิดที่เกิดขึ้นไม่ให้ขึ้นสูงเกินไป และการปิดกั้นไม่ให้การระเบิดแพร่กระจายจากจุดกำเนิดไปยังส่วนอื่น ๆ เป็นต้น

สรุปแล้ว มาตรการหลัก ๆ คือ การผ่อนบรรเทาภัยอันตรายจากการระเบิด และการจำกัดบริเวณที่ได้รับผลกระทบ อย่างไรก็ตาม เป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องเลือกใช้มาตรการเหล่านี้ หรือเลือกใช้หลายมาตรการร่วมกันอย่างเหมาะสม

6.2.1 การจัดวางโรงงาน (plant layout)

ในแต่ละขั้นตอนของการออกแบบโรงงาน, การจัดวางโรงงาน และการพิจารณาอาคารและเครื่องจักรอุปกรณ์ จะต้องตรวจสอบระดับภัยอันตรายของวัสดุฝุ่นผงที่ใช้งาน เพื่อกำหนดจุดวางเครื่องมืออุปกรณ์ที่มีความเสี่ยงสูงด้านการระเบิดและอ็อกซิเจนไว้นอกตัวอาคาร แม้ในกรณีที่จำเป็นต้องกำหนดจุดวางไว้ภายในอาคาร ก็ควรดำเนินมาตรการควบคุมความเสียหายที่เหมาะสม เช่น วางตำแหน่งไว้ใกล้กับผนังอาคาร และติดตั้งช่องระบายความดันระเบิด (explosion vent) ในทิศที่หันออกนอกอาคาร เป็นต้น

อนึ่งเพื่อควบคุมปริมาณของฝุ่นผง (หมอกฝุ่น) ที่อาจจะเกิดการระเบิด (นั่นคือเพื่อควบคุมปริมาณพลังงานที่ปลดปล่อยโดยการระเบิด) และเพื่อระงับการแพร่กระจายของการระเบิดไปทั่วทั้งโรงงาน เป็นการสมควรอย่างยิ่งที่จะแยกแต่ละหน่วย (unit) ของโรงงานออกจากกัน โดยการติดตั้งแต่ละหน่วย ๆ ในอาคารของมันเอง และเว้นระยะห่างอย่างเหมาะสมระหว่างกันและกัน นอกจากนี้จะช่วยป้องกันภัยจากการระเบิดแล้ว ยังป้องกันอ็อกซิเจนได้ดีด้วย

ในกรณีของปฏิบัติการที่มีความเสี่ยงจากการระเบิดสูง ควรทำการกั้นแยกออกจากส่วนอื่น ๆ โดยใช้กำแพงทนระเบิด ในกรณีที่ทำเป็น อาจต้องทำการออกแบบและจัดวางโรงงาน โดยคำนึงถึงความปลอดภัยของชุมชนและเส้นทางคมนาคมรอบ ๆ โรงงานจากภัยระเบิดด้วย

6.2.2 โครงสร้างทนระเบิดของเครื่องจักรอุปกรณ์

โครงสร้างทนระเบิด หมายถึง โครงสร้างของภาชนะ และเครื่องจักรอุปกรณ์ เป็นต้น ที่มีความแข็งแรงพอที่จะทนความดันระเบิดที่คาดการณ์ไว้ซึ่งเกิดจากการระเบิดภายในภาชนะ และเครื่องจักรอุปกรณ์นั้น ๆ ความดันระเบิดที่คาดการณ์ไว้ หมายถึง ค่าสูงสุดของความดันจากการระเบิด หรือค่าที่ต่ำลงของความดันระเบิดที่ขึ้นจนสูงสุดโดยการใช้ช่องระบายความดันระเบิด หรืออุปกรณ์ระงับการระเบิด (explosion suppression device) โครงสร้างทนระเบิดของภาชนะ และเครื่องจักรอุปกรณ์ ต้องสามารถทนความดันกระแทก (shock pressure) และความดันระเบิดที่คาดการณ์ได้ โดยไม่มีการเสียรูปทรง

โดยทั่วไป ค่าความแข็งแรงที่ใช้ออกแบบจะเป็น 1.5 เท่าของค่าสูงสุดของความดันระเบิดที่คาดการณ์ไว้ (สัมประสิทธิ์ความปลอดภัย 50%) อย่างไรก็ตาม การออกแบบและการสร้างภาชนะความดัน (pressure vessel) ยังจำเป็นต้องปฏิบัติตามมาตรฐานการออกแบบที่เกี่ยวข้องอย่างเคร่งครัด ในกรณีที่ทำเป็น จะต้องทำการทดสอบความแข็งแรงที่ทนความดันระเบิดโดยองค์การตรวจสอบด้วย นอกจากนี้ เครื่องมือเครื่องใช้ที่ติดตั้งกับภาชนะและเครื่องจักรอุปกรณ์เหล่านี้ จะต้องสามารถทนความดันระเบิดสูงสุดที่คาดการณ์ไว้ได้ด้วย

ในทางตรงข้าม การใช้โครงสร้างทนระเบิดจะไม่สามารถทำได้ในกรณีที่คาดการณ์ได้ว่าจะนำไปสู่ความดันระเบิดที่สูงขึ้นผิดปกติ ยกตัวอย่างเช่น กรณีที่ความดันแรกเริ่มภายในภาชนะค่อนข้างสูงกว่าความดันบรรยากาศ (โดยทั่วไปสูงกว่า 2 บาร์) หรือกรณีที่ภาชนะมีอัตราส่วนระหว่างความยาวกับเส้นผ่านศูนย์กลาง (L/D) มากกว่า 5 และมีท่อทาง (pipe, duct) ขนาดใหญ่เชื่อมต่อระหว่างภาชนะเช่นนี้ 2 ใบขึ้นไป แน่นอนที่เดียวควรพยายามเลี่ยงเงื่อนไขดังกล่าวในขั้นตอนการออกแบบ แต่ถ้าเลี่ยงไม่ได้ ก็จำเป็นต้องเลือกใช้มาตรการอื่น ๆ เช่น ช่องระบายความดันระเบิด และอุปกรณ์ระงับการระเบิด เป็นต้น

6.2.3 ช่องระบายความดันระเบิด (explosion vent)

เมื่อเกิดการระเบิดและการพุ่งขึ้นสูงของความดันระเบิดภายในภาชนะ และเครื่องจักรอุปกรณ์ ช่องระบายความดันระเบิดจะทำงาน(เปิดออก)ทันที เพื่อระบายปล่อยความดันและเปลวเพลิงทิ้งออกสู่ภายนอก และจำกัดความเสียหายไว้เฉพาะบริเวณที่เกิดการระเบิด (localization)

ตำแหน่งที่ติดตั้งช่องระบายความดันระเบิดจะต้องสอดคล้องกับภัยอันตรายจากการระเบิดของฝุ่นผง และสถานะของเครื่องจักรอุปกรณ์ โดยกำหนดทิศทางปล่อยออกและบริเวณโล่งว่างที่จะปล่อยออก อย่างปลอดภัย เช่น บนผนังด้านหลัง, บนผนังด้านข้าง หรือบริเวณเพดาน เป็นต้น

ในกรณีที่เชื่อมต่อท่อทาง (duct) ไว้ให้กับช่องระบายความดันระเบิด ท่อทาง ดังกล่าวจะต้องมีความแข็งแรงเท่ากับของตัวเครื่องจักรอุปกรณ์ และควรพยายามใช้ท่อทางที่มีความ ยาวสั้นที่สุดที่เป็นไปได้ หนึ่งพื้นที่ภาคตัดของท่อทางจะต้องกำหนดให้สอดคล้องกับความยาว (ยิ่งโต ถ้ายิ่งยาว) นอกจากนี้ในกรณีที่ช่องระบายช่องเดียวให้พื้นที่เปิดระบายออกไม่เพียงพอ จะ ต้องติดตั้งช่องระบายหลายช่องรวมกัน

ในอดีต การคำนวณพื้นที่เปิดของช่องระบายจะนิยมใช้ nomograph ซึ่งกำหนด โดยมาตรฐานอุตสาหกรรมของเยอรมนี ซึ่งจะอ่านค่าได้จากกราฟทันที แต่ในระยะเวลาหลังมาตรฐาน VDI 3673-1994 ได้มีการพัฒนาสมการคำนวณแทน เนื่องจากหน้ากระดาษของบทความนี้มีจำกัด จะ ไม่กล่าวถึงรายละเอียดของสมการคำนวณในที่นี้

6.2.4 อุปกรณ์ปิดกั้นการแพร่ของการระเบิด

มาตรการที่ดีในการระงับการแพร่ของการระเบิด คือการวางแยกแต่ละหน่วย ภายในโรงงานให้ห่างออกจากกัน แต่ในแง่ของการผลิตแล้ว การเชื่อมโยงระหว่างหน่วยต่าง ๆ และการวางใกล้กันจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต ในกรณีดังกล่าว อุปกรณ์จำพวกโรตารีวาล์ว และสกรูคอนเวเยอร์ จะทำหน้าที่เปรียบเสมือนอุปกรณ์ปิดกั้นการแพร่ของการระเบิดได้ แต่ในกรณีที่ มีอนุภาคที่คุ้หมัดติดมากับวัสดุอนุภาคที่ถ้าเล็กลงน้อย การปิดกั้นจะไม่ได้ผล จึงมีอันตรายจาก การเกิดอ็อกซิภัยได้

เพื่อปิดกั้นการระเบิดอย่างได้ผลยิ่งขึ้น ได้มีการพัฒนาติดตั้งอุปกรณ์เฉพาะชนิด ต่าง ๆ เช่น วาล์วปิดกั้นรวดเร็ว (quick shut-off valve), วาล์วหยุดรวดเร็ว (quick stop valve) (หรือวาล์วป้องกันการระเบิด) และวาล์วฉีดพ่นสารดับเพลิง เป็นต้น ในกรณีที่เกิดการระเบิดและ ไฟไหม้ เพื่อป้องกันการแพร่ลุกลามผ่านท่อทางไปยังเครื่องจักรอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อไว้ จะติดตั้งวาล์ว เหล่านี้ไว้ระหว่างกลางของท่อทางเพื่อปิดกั้นความดันและเปลวไฟ (หรือเพื่อดับเพลิง) ระบบวาล์ว ดังกล่าวจะประกอบด้วยส่วนตรวจจับ (detector), ส่วนควบคุม (controller) และส่วนขับเคลื่อน- วาล์ว (actuator) (หรือส่วนฉีดโปรยสารดับเพลิง)

สิ่งสำคัญในการใช้วาล์วปิดกั้นรวดเร็วคือ จะต้องติดตั้งช่องระบายความดันระเบิด ที่มีประสิทธิภาพให้กับเครื่องจักรอุปกรณ์นั้น ๆ เสมอ

6.2.5 อุปกรณ์ระงับการระเบิด

หลักการทำงานของอุปกรณ์ระงับการระเบิดคือ ตรวจจับคลื่นความดัน เป็นต้น ที่เกิดขึ้นในระยะแรกเริ่มสุดของการระเบิดของฝุ่นผงภายในเครื่องจักรอุปกรณ์ เป็นต้น แล้วทำการฉีดโปรยสารระงับด้วยความเร็วสูงเพื่อดับเพลิงระยะแรกเริ่มนี้ ผลก็คือ สามารถป้องกันการพุ่งขึ้นสูงของความดันระเบิดไม่ให้เกินกว่าความดันที่เครื่องจักรอุปกรณ์สามารถทนได้

ถ้าเปรียบเทียบกับช่องระบายความดันระเบิด ซึ่งเมื่อทำงานจะปล่อยเปลวไฟ, ก๊าซ-สันดาป และฝุ่นผงที่ยังลุกไหม้ไม่หมด เป็นต้น ออกนอกภาชนะพร้อมกับเสียงดังของการระเบิด อุปกรณ์ระงับการระเบิดมีจุดเด่นคือ จะสามารถปิดเก็บการระเบิดไว้ภายในภาชนะได้ ดังนั้นจึงนิยมใช้กันในกรณีที่ภาชนะสามารถทนความดันระเบิดได้ไม่ค่อยสูง หรือในกรณีที่เสียงระเบิดที่เกิดจากการปล่อยทิ้งนอกภาชนะจะก่อปัญหาไม่พึงปรารถนา

การทำงานของอุปกรณ์ระงับการระเบิดจะไม่ได้ผล ถ้าการทำงานของอุปกรณ์นี้ล่าช้าเกินไป หรือถ้าสารระงับที่ฉีดโปรยมีไม่เพียงพอ หรือถ้าความเร็วของการฉีดโปรยสารระงับไม่รวดเร็วพอ ดังนั้นการเลือกขนาดและการติดตั้งอุปกรณ์ดังกล่าวจะต้องกระทำอย่างเหมาะสมถูกต้อง นอกจากนี้ควรเลือกใช้อุปกรณ์ของผู้ผลิตที่ไว้วางใจได้ และมีระดับเทคโนโลยีดีพอ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 7

สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ

จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบการระเบิดของวัสดุประเภทฝุ่นผง พัฒนาปรับปรุงและสอบเทียบเครื่องทดสอบนี้จนกระทั่งสามารถให้ผลการทดสอบที่ถูกต้องและแม่นยำ โดยสอบเทียบด้วยผงมาตรฐาน ทดสอบหาค่า LEL ของวัสดุฝุ่นผงที่พบเห็นกันทั่วไป และศึกษาอิทธิพลของขนาดอนุภาคของตัวอย่างฝุ่นผงต่อค่า LEL

ผลการศึกษาทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

7.1 การปรับปรุงเครื่องทดสอบการระเบิดฝุ่นผง

- 1) มีความจำเป็นต้องติดตั้งสารดูดซับซัลฟิวเรตในท่อนำลมอด เพื่อช่วยลดความชื้นในลมอด และทำให้การเผาไหม้ดีขึ้น ผลที่ได้คือ ค่า LEL ของผงมาตรฐานที่วัดได้โดยเฉลี่ยลดลงเป็น 50.7 g/m^3 ซึ่งใกล้เคียงมากกับค่ามาตรฐานของ APPIE ($45 \pm 5 \text{ g/m}^3$)
- 2) ถ้าเวลาหน่วงก่อนการสปาร์คนานกว่า 0.1 วินาที ค่า LEL เฉลี่ยจะยิ่งสูง เวลาหน่วงก่อนการสปาร์คที่ 0.1 วินาที ให้ค่า LEL ที่ดีที่สุด (50.6 g/m^3) ซึ่งใกล้เคียงมากกับค่ามาตรฐาน ($45 \pm 5 \text{ g/m}^3$)
- 3) ความสูงของช่องอากาศไหลผ่านที่ลดลง ทำให้ค่า LEL ลดลงจนเข้าสู่ค่าคงที่ จากการทดลองดูถูก พบว่าความสูงที่ 1 มิลลิเมตร เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด ค่า LEL เฉลี่ยเท่ากับ 47.2 g/m^3 ซึ่งอยู่ในช่วงค่ามาตรฐาน ($45 \pm 5 \text{ g/m}^3$)
- 4) ระยะห่างระหว่างขั้วอิเล็กโทรดทั้งสองเท่ากับ 4 มิลลิเมตร จะให้ค่า LEL เฉลี่ยเท่ากับ 47.2 g/m^3
- 5) กระดาษกรองหนึ่งแผ่น (Whatman no. 93) ให้ค่า LEL ที่ต่ำกว่ากรณีที่ใช้กระดาษกรองชนิดเดียวกันซ้อนกันสองแผ่น ดังนั้นในการทดสอบแต่ละครั้งของงานวิจัยนี้จึงใช้กระดาษกรองเพียงแผ่นเดียว

7.2 การเปรียบเทียบค่า LEL จากการทดลองกับค่าอ้างอิงของฝุ่นผง 4 ชนิด

เนื่องจากผลการทดสอบตัวอย่างฝุ่นผงทั้ง 4 ชนิดให้ค่า LEL ที่ใกล้เคียงกับค่าอ้างอิงที่นักวิจัยอื่นได้รายงานไว้ (ดูรูปที่ 4.1) จึงเป็นการยืนยันว่าเครื่องทดสอบการระเบิดของฝุ่นผงที่ประดิษฐ์ขึ้นนี้ มีความแม่นยำและเชื่อถือได้ หลังจากผ่านการปรับปรุงและสอบเทียบข้างต้นแล้ว

7.3 ขนาดอนุภาคที่มีผลต่อค่า LEL ของฝุ่นผงชนิดต่าง ๆ

โดยทั่วไป ในกรณีที่สารฝุ่นผงชนิดเดียวกันประกอบด้วยอนุภาคขนาดใกล้เคียงกันหมด เมื่อขนาดอนุภาคโตขึ้น ค่า LEL จะสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนไม่เกิดการระเบิดที่ขนาดโตค่าหนึ่ง อย่างไรก็ตาม แม้ว่าขนาดอนุภาคเฉลี่ยจะเท่ากัน สารชนิดเดียวกันก็อาจให้ค่า LEL ที่แตกต่างกัน ถ้ามีความแตกต่างของสัดส่วนอนุภาคละเอียดในแต่ละช่วงขนาด

7.4 สำหรับแป้งข้าวโพด (ชนิด F4) ซึ่งมีการกระจายขนาดอนุภาคที่กว้างมาก (เล็กกว่า 22.5 ถึง สูงกว่า 180 ไมครอน) ค่า LEL ที่วัดได้จะเพิ่มขึ้นค่อนข้างสูงในช่วงขนาดอนุภาค 49 ถึง 90.5 ไมครอน ส่วนช่วงขนาดที่เล็กกว่า 49 ไมครอน จะมีค่า LEL ค่อนข้างคงที่ที่ 155-160 g/m³ ในกรณีของแป้งข้าวเจ้า (F3) และแป้งข้าวสาลี (F5) ทั้งสองชนิดมีการกระจายขนาดอนุภาคที่ค่อนข้างแคบ ทำให้ค่า LEL ที่วัดได้เพิ่มขึ้นอย่างสูงในช่วงขนาดของ 128 ถึง >180 ไมครอน

7.5 ลำดับการเพิ่มขึ้นของค่า LEL ของแป้งแต่ละชนิด เป็นดังนี้

ค่า LEL ต่ำ	ค่า LEL สูง
แป้งข้าวเจ้า < แป้งข้าวสาลี < แป้งข้าวโพด < แป้งมัน	

7.6 ผลการทดสอบตัวอย่างแป้งทั้ง 4 ชนิด ยืนยันความจริงที่ว่าปริมาณความชื้นที่สูงขึ้น จะลดความว่องไวของการระเบิด (ค่า LEL สูงขึ้น)

7.7 ค่า LEL ของผงหมึกถ่ายเอกสารจะลดลงเมื่อเคยผ่านกระบวนการถ่ายเอกสารแล้ว

7.8 จากผลการทดสอบครีมเทียมทั้งสองชนิด พบว่าถ้าส่วนประกอบของสารต่างกัน มีผลทำให้ค่า LEL ต่างกันด้วย กล่าวคือค่า LEL ของครีมเทียมชนิด K สูงกว่าของครีมเทียมชนิด C เพราะมีส่วนประกอบที่แตกต่างกันคือนมผงขาดมันเนย

7.9 ค่า LEL ของฝุ่นผงตัวอย่างในกลุ่มที่ 2 สามารถสรุปเรียงจากน้อยไปมากได้ดังนี้

ค่า LEL ต่ำ	ค่า LEL สูง
ครีมเทียม C < ครีมเทียม K < ผงซีเลื่อยไม้สัก < น้ำตาลไอซิ่ง	

7.10 สมการ (5.4) สามารถใช้ทำนายค่า LEL ที่ปลอดภัยของฝุ่นผงส่วนใหญ่ได้

7.11 ตารางที่ 7.1 สรุปค่า LEL ที่ได้จากการศึกษานี้ และที่ได้จากนักวิจัยอื่นที่ตีพิมพ์ไว้

7.12 ตารางที่ 7.2 สรุปค่า LEL สำหรับตัวอย่างผงแป้งในประเทศชนิดต่าง ๆ ที่ได้ทำการศึกษา

7.13 เมื่อเปรียบเทียบกับราคาขายของเครื่องทดสอบที่เหมือน ๆ กันในประเทศญี่ปุ่น เครื่องต้นแบบที่เสนอมานี้ ถูกสร้างขึ้นด้วยราคาเพียงประมาณหนึ่งในเจ็ด (ไม่รวมค่าแรง)

ข้อเสนอแนะ

ค่า LEL ในงานวิจัยนี้ (ตารางที่ 7.1 และ 7.2) ได้จากการวัดค่าตามวิธีการทดสอบมาตรฐานของ APPIE โดยใช้เครื่องทดสอบการระเบิดของฝุ่นผงที่ประดิษฐ์ขึ้น ซึ่งมีความแม่นยำและให้ผลการทดลองที่ถูกต้องและเชื่อถือได้ ในงานลำดับต่อไปควรจะทำการวัดค่า LEL ของตัวอย่างฝุ่นผงชนิดอื่น ๆ เพิ่มเติม เพื่อให้ได้ข้อมูลมากขึ้น และรวบรวมเป็นฐานข้อมูล นอกจากนี้ยังควรทำการศึกษาเพิ่มเติมถึงผลของปริมาณความชื้น และผลของขนาดอนุภาคต่อค่า LEL ให้ละเอียดขึ้น เพราะเป็นที่รู้กันดีว่าช่วงของความเข้มข้นที่สามารถเกิดการระเบิดได้ของฝุ่นผงแต่ละชนิดได้รับอิทธิพลจากหลาย ๆ พารามิเตอร์ เช่น ขนาดอนุภาค รูปทรงของอนุภาค ปริมาณความชื้น ตำแหน่งและธรรมชาติของแหล่งจุดชนวน ตลอดจนเงื่อนไขอื่น ๆ ของกระบวนการจริง ๆ ตัวอย่างเช่น เครื่องอบแห้ง

ด้วยเหตุนี้ ประเทศไทยจึงไม่ควรเพียงแต่เก็บรวบรวมข้อมูลที่บอกถึงลักษณะความสามารถในการระเบิดได้ของฝุ่นผงตามที่มีการตีพิมพ์เผยแพร่กัน เพื่อจัดทำเป็นฐานข้อมูลของตนเองเท่านั้น แต่ควรที่จะเพิ่มเติมข้อมูลที่ได้จากการทดสอบเองภายในประเทศด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง โดยการทดสอบกับผลิตภัณฑ์ในประเทศ ภายใต้สภาวะของท้องถิ่น

สถาบันวิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7.1 ค่า LEL ที่ได้จากการศึกษานี้ และจากนักวิจัยอื่นที่ตีพิมพ์ไว้

Powder name	Experiment/ Standard	Mean particle size (microns)	Lower limit Conc. (g/m ³)
Lycopodium	Experiment	26	47
	Standard ⁽¹⁾	26	45±5
HDPE	Experiment	33.6	26
	Reference ⁽²⁾	24	20
Dextrin	Experiment	55	58
	Reference ⁽²⁾	41	60
Sulfur	Experiment	29	37
	Reference ⁽²⁾	20	30
Corn starch (Absorbo HP)	Experiment	26.5	133.4
	Reference ⁽²⁾	-	60
Cassava starch (CATO-304)	Experiment	20.7	134.3
	Reference ⁽²⁾	-	60
Cassava starch (CATO-3210)	Experiment	24.3	128.2
	Reference ⁽²⁾	-	60
Cassava starch (Purity-4)	Experiment	20.9	127.4
	Reference ⁽²⁾	-	60
Fresh toner	Experiment	19.4	40.3
	Reference ⁽²⁾	<10	60
Used toner	Experiment	22.8	47.5
	Reference	-	-
Bisphenol-A	Experiment	21	106.3
	Reference	-	-

1) APPIE Standard Powder (APS 002-1991)

2) NFPA 68, Report of Important Dust Explosions, (1957), National Fire Protection Association, USA.

ตารางที่ 7.2 ค่า LEL ของตัวอย่างผงแป้งชนิดต่าง ๆ ในประเทศที่ได้ทำการศึกษา

Fraction name	Particle size (microns)	LEL (g/m ³)
Cas-1	<45	161.6
Cas-2	45-53	164.1
Cas-3	53-75	207.2
Cas-4	as bought (dried)	114.6
Cas-5	as bought (undried)	120.4
Cas-6	<45	121.9
Cas-7	45-53	165.9
Cas-8	53-75	289.7
Cas-9	75-106	307.5
Cas-10	as bought (dried)	251.7
Cas-11	as bought (undried)	259.7
Rice-1	106-150	103
Rice-2	150-180	122.6
Rice-3	>180	142
Rice-4	as bought (dried)	128.6
Rice-5	as bought (undried)	137.0
Corn-1	<45	155.9
Corn-2	45-53	158.6
Corn-3	53-75	166.3
Corn-4	75-106	180
Corn-5	106-150	183.9
Corn-6	150-180	189.1
Corn-7	as bought (dried)	192.8
Corn-8	as bought (undried)	356.8
Wheat-1	106-150	162
Wheat-2	150-180	188.9
Wheat-3	>180	190.1
Wheat-4	as bought (dried)	165.1
Wheat-5	as bought (undried)	183.0

บรรณานุกรม

- Anonym : DIN IEC 31H (Co)3, November 1982, zugleich : VDE 0170/0171, Teil 102.
- APPIE Standards/APS-001, Dust Explosion Relief Venting for Bag Filters, The Association of Powder Process Industry and Engineering, Kyoto, Japan, 1983, (in Japanese).
- APPIE/APS-002, Testing Methods of Dust Explosibility, "The Association of Powder Process Industry and Engineering," Kyoto, Japan, 1991.
- ASTM Standards E-789-89 : "Standard Test Method for Pressure and Rate of Pressure Rise for Dust Explosions in a 1.2-Litre Closed Cylindrical Vessel", American Society for Testing and Materials, 1988.
- ASTM Standards E-1226 : Standard Test Method for Pressure and Rate of Pressure Rise for Combustible Dusts, American Society for Testing and Materials, 1988.
- Bartknecht W., "Explosionsunterdrückung von Staubexplosionen in Behältern," Staub Reinhalt, Luft, H. 31, Nr. 3, März 1971, pp. 112-121.
- Bartknecht W., Dust Explosions, Springer-Verlag, Berlin etc., 1989
- Berggewerkschaftliche Versuchsstrecke: 75 Jahre Berggewerkschaftliche Versuchsstrecke, Festschrift 1968.
- BIA : Dokumentation Staubexplosionen (Analyse und Einzeldarstellung), Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit - Report 4/82.
- Bodurtha, Frank T., Engineering Dept., Du Pont, Industrial Explosion Prevention and Protection, Mc Graw-Hill, 1980.
- Brown K.C., and James G.J. (1962), Safty in Mines Research Report, 201.
- Chemische-Technische Reichsanstalt : Jahresbericht 1933-1935 S. 372-388.
- Deshmukh R.T. and Kejriwal B.K. (1966), Indian J. mines Metals and Fuels 14, 335-45.
- Dorsett H.G., Jacobson M., Nagy J. and Williams R.P. (1960), US Bureau of Mines RI 5624.
- Dorsett H.G., Nagy J. (1968), US Bureau of Mines RI 7132.

- Eckhoff R.K., Dust Explosions in the Process Industries, Butterworths, 1991.
- Enomoto H. and Matsuda T., Dust Explosibility in Pneumatic Systems, in Encyclopedia of Fluid Mechanics, Volume 4, Solids and Gas-Solids Flows, Gulf Pub. Co., 1985.
- Essenhugh R.H. and Perry M.G., Combustion and Gasification: A Review, Institution of Fuel Conference on "Science in the use of Coal," 1958, pp. D1, Inst. Fuel (London).
- Gliwitsky W. : Uber Staubexplosionen, ihre Grundlagen und Verfahren zu- ihrer Untersuchung, Elektrotechnische Zeitschrift, 59. Jahrgang, Heft 43, 1938.
- Grumer J., "Recent Research Concerning Extinguishment of Coal Dust Explosions," 15th Symposium (International) on Combustion, The Combustion Institute, 1975, pp. 103-114.
- Hertzburg M. and Cashdollar K.L., Flammability Limits and Ignition Energies of Heterogeneous Coal/air Mixture, Presented at 17th International Conference on Coal Mine Safty Research, Bulgaria, 1977.
- HMSO, Dust explosions in factories. Classified list of dusts that have been tested for explosibility in the form of a dust cloud. Dept. of Employment and Productivity HM Factory Inspectorate SHW 830, London, 1968.
- Ishihama W., Studies on the Lower Critical Explosive Concentration of Coal Dust Cloud, Present at 11th International of Conference of Directors of Safty in Mines Research, Poland, 1961.
- Ishihama W., Okada T. and Yoshida Y., "Studies on the Lower Critical Explosive Concentration of Coal Dust cloud (Part 2)," Mining and Safty, Vol.10, No.3, 1964, pp.111-121 (in Japanese).
- Ishihama W., Enomoto H. and Sekitomo S., "Upper Explosion Limits of Coal Dust-Methane-Air Mixture," J. of the Mining and Metallurgical Institute of Japan, Vol.98, No.1135, Sept.1982, pp.933-937 (in Japanese).

- Ishihama W., Takagi H. and Enomoto H., "Explosion Characteristics of Coal Dust-Methane-Air Mixture," Proc. 18th International Conference on Scientific Research in the Field of Safty at Work in Mining Industry, Yugoslavia, 1979, pp. 179-194.
- Ishihama W. and Enomoto H., "Experimental Study on the Explosion Characteristics of Metal Dust Clouds," 15th Symposium (International) on Combustion, The Combustion Institute, 1975, pp. 479-487.
- Ishihama W. and Enomoto H., "Explosion Characteristics of Coal Dust-Rock Dust Mixtures (Part I)," J. of the Mining and Metallurgical Institute of Japan, Vol. 96, No. 1107, May 1980, pp. 319-324 (in Japanese).
- Ishihama W. and Enomoto H., "Consideration on the Explosion Limit of Coal Dust-Rock Dust Mixtures in the Low Concentration Region," J. of the Mining and Metallurgical Institute of Japan, Vol. 99, No. 1149, Nov. 1983, pp. 971-975 (in Japanese).
- ISO 6184/1 : Explosion Protection Systems, Part 1, determination of Explosion Indices of Combustible Dusts in Air, International Standard Organization, Geneva.
- Jacobson M., Nagy J., Cooper A.R. and Ball F.J. (1961), US Bureau of Mines RI 5753.
- Jacobson M., Nagy J. and Cooper A.R. (1962), US Bureau of Mines RI 5971.
- Jacobson M., Nagy J. and Cooper A.R. (1964), US Bureau of Mines RI 6516.
- Leuschke G. (1966), Staub, 26, 2, 49-57.
- Lunn G.A., "The Venting of Dust Explosions in a Dust Collector," Journal of Hazardous Materials, 12, 1985.
- Lutolf J. (1971), Staub-Reinhaly (English Version), 31, 3, 1-6.
- Lutolf J. : Untersuchungen von Stauben auf Brand- und Explosionsgefahr, VDI-Berichte, Band 165, 1971.

- Marks L.S. (1958), Marks Mechanical Engineers Handbook, 6th Edn, McGraw Hill, New York.
- Mason B., Taylor S. : Ind. Engng. Chem. 29, S. 626, 1937.
- Matsuda T., et al., "Some Observations on Dust Explosibility in a Pneumatic Transport System," J. Powder & Bulk Solids Tech., Vol. 6, No. 4, 1982, pp. 22-28.
- Matsuda T., "Case Histories and Countermeasures for Dust Explosion," Powder Science and Engineering, Vol.27, No.1, 1995 (in Japanese).
- Morozzo, Count (1795), The Repertory of Arts and Manufactures, 2, 416-32.
- Nagy J., Dorsett H.G. and Jacobson M. (1964), US Bureau of Mines RI 6543.
- Nagy J., Cooper A.R. and Stupar J.M. (1964), US Bureau of Mines RI 6561.
- Nagy J., Dorsett H.G. and Cooper A.R. (1965), US Bureau of Mines RI 6597.
- Nagy J., Cooper A.R. and Dorsett H.G. (1968), US Bureau of Mines RI 7208.
- Nettleton M.A., "Shock-Wave Chemistry in Dusty Gases and Fogs: A Review," Combustion and Flame, Vol. 28, No. 1, pp. 3-16.
- NFPA, Report of Important Dust Explosions, (1957), National Fire Protection Association, Boston, USA.
- NFPA 68, Venting of Deflagrations, National fire Protection Association, Battery-march Park, Quincy, Ma 02269, 1968.
- O'Shaughnessey, Dan M., The Dow Chemical Company, Midland, MI, Unpublished Data, July 6, 1992.
- Palmer K.N., "Dust Explosions and Fires", Chapman and Hall Pub. Co. Ltd., London 1973, pp. 20-22.
- Palmer K.N., "Dust Explosion Hazards in Pneumatic Transport", Fire Research Note No. 992, October 1973.
- Price D.J. and Brown H.H. (1992), Dust Explosions, National Fire Protection Association, Boston, USA .
- Propov E.I. (1968), Poroshkovaya Metallurgiya, 72, 12, 91-4.

- Rae D., "Initiation of Weak Coal-Dust Explosions in Long Galleries and the Importance of the Time-Dependence of the Explosion Pressure," 14th Symposium (International) on Combustion, The Combustion Institute, 1973, pp. 1225-1234.
- Rafferty, Monica M. (1968), Fire Research Technical Paper, 21, London, HMSO.
- Richmond J.K., and Liebman I., "A Physical Description of Coal Mine Explosions," 15th Symposium (International) on Combustion, The Combustion Institute, 1975, pp. 115-126.
- Richmond J.K., et al., "A Physical Description of Coal Mine Explosions Part II," 17th Symposium (International) on Combustion, The Combustion Institute, 1979, pp. 1257-1268.
- Selle H. and Zehr J. : Experimentaluntersuchungen von Staubbrennungsvorgängen und ihre Betrachtung vom reaktionsthermodynamischen Standpunkt, VDI-Berichte, Band 19, 1957.
- Selle H., : Die chemischen und physikalischen Grundlagen der Verbrennungsvorgänge von Stauben, VDI-Berichte, Band 19, 1957.
- Siwek R. and Cesana C., "Ignition Behavior of Dusts: Meaning and Interpretation, Process Safety Progress", Vol. 14, No. 2: April 1995.
- Smelkov G.I., Fetisov P.A. and Verevkin V.N. (1968), Tsentralnyi nauchno-issledovatel'skii institut protivopozharnoi oborony MOOP. SSSR, 22, 1-18 ; (1969), Nat. Lend. Lib. Boston Spa, Yorks. RTS 5035.
- Tanaka T., Funtai Purosesu Nyumon (Introduction to Powder Processing), Tokyo: Kogaku Tosho Co., 1981, pp. 162-173 (in Japanese).
- Tanthapanichakoon W., Wiriyaumpaiwong S. and Charinpanitkul T., "Investigation on Lower Explosible Limits of Various Thai Flours Using a Prototype Dust Explosibility Tester," Chemical Engineering Symposium, Chulalongkorn University, 1995.

VDI-Kommission Reinhaltung der Luft : Internationaler Erfahrungsaustausch :
 "Sichere Handhabung brennbarer Staube" am 20. und 21.6.1979,
 Dusseldorf, S. 25 (Ab Manuskript gedruckt : 1981).

VDI-Richtlinien 3673 : Pressure Release of Dust Explosions, VDI-Handbuch
 Reinhaltung der Luft, Band 6, Beuth Verlag, Berlin, 1983.

Vital : Annales des mines, Ser. 7 Vol. 20, S. 180, 1875.

Wiriyaumpaiwong S., "Development and Construction of Tester and Testing of
 -Lower Explosion Limit of Particulate Materials", Chulalongkorn University,
 1993.

Zeeuwen J.P., van Laar G.F.M. : Ignition sensitivity of Flammable Dust-Air
 Mixtures, prins Maurits Laboratorium TNO (Holland), 1985.

วัญญู อมาตยกุล, ยุทธนา กุลินทรประเสริฐ, ยุทธนา วนพฤกษา, "การทดสอบความสามารถใน
 การระเบิดได้ของฝุ่นผงชนิดต่าง ๆ ในประเทศไทย" ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะ
 วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2539.

วิวัฒน์ ตันตะพานิชกุล, "อันตรายจากการระเบิดของฝุ่นผงในอุตสาหกรรมเกษตรและเคมีภัณฑ์"
 การประชุมใหญ่วิชาการทางวิศวกรรม ประจำปี 2539 สมาคมวิศวกรรมสถานแห่ง
 ประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ 15-18 สิงหาคม 2539 หน้า 493-508.

สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก 1

DUST HAZARD CLASS (1988 Edition NFPA68)

Table D-1 Agricultural Products

Material	Median	Lower	P_{max} bar ga	$(dP/dt)_{max}$ bar/sec	K_{St} bar-m-sec	Dust Hazard Class
	particle size (microns)	Explosion Limit (LEL) (g/m^3)				
Cellulose	33	60	9.7	229	229	2
Cellulose, pulp	42	30	9.9	62	62	1
Cork	42	30	9.6	202	202	2
Corn	28	60	9.4	75	75	1
Egg White	17	125	8.3	38	38	1
Milk, powdered	83	60	5.8	28	28	1
Milk, non-fat, dry	60	-	8.8	125	125	1
Soy Flour	20	200	9.2	110	110	1
Corn Starch	7	-	10.3	202	202	2
Rice Starch	18	60	9.2	101	101	1
Wheat Starch	22	30	9.9	115	115	1
Sugar	30	200	8.5	138	138	1
Sugar, milk	27	60	8.3	82	82	1
Sugar, beet	29	60	8.2	59	59	1
Tapioca	22	125	9.4	62	62	1
Whey	41	125	9.8	140	140	1
Wood Flour	29	-	10.5	205	205	2

Table D-2 Carbonaceous Dusts

Material	Median	Lower	P_{max} bar ga	$(dP/dt)_{max}$ bar/sec	K_{St} bar-m-sec	Dust Hazard Class
	particle size (microns)	Explosion Limit (LEL) (g/m^3)				
Charcoal activated	28	60	7.7	44	44	1
Charcoal, wood	14	60	9	10	10	1
Coal, bituminous	24	60	9.2	129	129	1
Coke, petroleum	15	125	7.6	47	47	1
Lampblack	<10	60	8.4	121	121	1
Lignite	32	60	10	151	151	1
Peat, 15 % H ₂ O		58	60	10.9	157	1
Peat, 22 % H ₂ O		46	125	8.4	69	1
Soot, pine	<10	-	7.9	26	26	1

Table D-3 Chemical Dusts

Material	Median particle size (microns)	Lower Explosion Limit (LEL) (g/m ³)	P _{max} bar ga	(dP/dt) _{max} bar/sec	K _{St} bar-m-sec	Dust Hazard Class
Adipic Acid	<10	60	8	97	97	1
Anthraquinone	<10	-	10.5	364	364	3
Ascorbic Acid	39	60	9	111	111	1
Calcium Acetate	92	500	5.2	9	9	1
Calcium Acetate	85	250	6.5	21	21	1
Calcium Stearate	12	30	9.1	132	132	1
Carboxy-methyl cellulose	24	125	9.2	136	136	1
Dextrin	41	60	8.8	106	106	1
Lactose	23	60	7.7	81	81	1
Lead Stearate	12	30	9.2	152	152	1
Methyl-cellulose	75	60	9.5	134	134	1
Paraform-aldehyde	23	60	9.9	178	178	1
Sodium Ascorbate	23	60	8.4	119	119	1
Sodium Stearate	22	30	8.8	123	123	1
Sulfur	20	30	6.8	151	151	1

Table D-4 Metal Dusts

Material	Median particle size (microns)	Lower Explosion Limit (LEL) (g/m ³)	P _{max} bar ga	(dP/dt) _{max} bar/sec	K _{St} bar-m-sec	Dust Hazard Class
Aluminum	28	60	7.7	44	44	1
Bronze	14	60	9	10	10	1
Iron Carbonyl	24	60	9.2	129	129	1
Magnesium	15	125	7.6	47	47	1
Zinc	<10	60	8.4	121	121	1
Zinc	32	60	10	151	151	1

Table D-5 Plastics Dusts

Material	Median particle size (microns)	Lower Explosion Limit (LEL) (g/m ³)	P _{max} bar ga	(dP/dt) _{max} bar/sec	K _{St} bar-m-sec	Dust Hazard Class
(poly)Acrylamide	10	250	5.9	12	12	1
(poly)Acrylonitrile	25	-	8.5	121	121	1
(poly)Ethylene (Low Pressure Process)	<10	20	8	156	156	1
Epoxy Resin	26	30	7.9	129	129	1
Melamine Resin	18	125	10.2	110	110	1
Melamine, molded (Wood flour and Mineral filled Phenol- Form-aldehyde)	15	60	7.5	41	41	1
Melamine, molded (Phenol-Cellulose)	12	60	10	127	127	1
(poly)Methyl Acrylate	21	30	9.4	269	269	2
(poly)Methyl Acrylate, Emulsion Polymer	18	30	10.1	202	202	2
Phenolic Resin	<10	15	9.3	129	129	1
(poly)Propylene	25	30	8.4	101	101	1
Terpene Phenol Resin	10	15	8.7	143	143	1
Urea-Formaldehyde/ Cellulose, Molded	13	60	10.2	136	136	1
(poly)Vinyl Acetate/ Ethylene Copolymer	32	30	8.6	119	119	1
(poly)Vinyl Alcohol	25	60	8.9	128	128	1
(poly)Vinyl Butyral	65	30	8.9	147	147	1
(poly)Vinyl Chloride	107	200	7.6	46	46	1
(poly)Vinyl Chloride/ Vinyl Acetylene Emulsion Copolymer	35	60	8.2	95	95	1
(poly)Vinyl Chloride/ Ethylene/Vinyl Acetylene Suspension Copolymer	60	60	8.3	98	98	1

ภาคผนวก 2

Table Lyco-1 Measurement of LEL for lycopodium powder

(without drying of compressed air)

Test date	2-Feb	Name	Songchai	
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1			
Name of test powder	Lycopodium			
Type of test powder	APPIE Standard test powder			
Particle size	25 microns ⁺			
Pretreatment	Kept in a dessicator more than 1 day			
Drying condition	no	Temperature: C,	Time: h,	(Moisture: %)
Atmospheric temperature and humidity	Temperature: 28 ⁰ C, Relative humidity: 58%			
Spark delay time	0.1 seconds			
Width of air flow channel	2 mm			
Distance of sparking electrode	5 mm			
Compressed air	1.8 kg/cm ³ G			
Filter paper	1 piece(s)	Type:	Whatman No. 93	
Number of measurements	3 Times			
Sample no.	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)	Remarks	
1	0.0673	54.8		
2	0.0670	54.6		
3	0.0669	54.5		
Average		54.6		
Evaluation (reference)	Explosibility: High			

Note +: Mass-average particle size was measured using the micron photo sizer

Table Lyco-2 Measurement of LEL for lycopodium powder

(after improvement by installation of silica gel to dry compressed air)

Test date	4-Feb	Name	Songchai
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1		
Name of test powder	Lycopodium		
Type of test powder	APPIE Standard test powder		
Particle size	25 microns ⁺		
Pretreatment	Kept in a dessicator more than 1 day		
Drying condition	no	Temperature: C, Time: h, (Moisture: %)	
Atmospheric temperature and humidity	Temperature: 28 ^o C, Relative humidity: 60%		
Spark delay time	0.1 seconds		
Width of air flow channel	2 mm		
Distance of sparking electrode	5 mm		
Compressed air	1.8 kg/cm ³ G		
Filter paper	1 piece(s)	Type:	Whatman No. 93
Number of measurements	3 Times		
Sample no.	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)	Remarks
1	0.0624	50.8	
2	0.0624	50.8	
3	0.0620	50.5	
Average		50.7	
Evaluation (reference)	Explosibility: High		

Note +: Mass-average particle size was measured using the micron photo sizer

Table Lyco-3 Measurement of LEL for lycopodium powder
(after improvement by varying of spark delay time)

Test date	5-Feb	Name	Songchai
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1		
Name of test powder	Lycopodium		
Type of test powder	APPIE Standard test powder		
Particle size	25 microns ⁺		
Pretreatment	Kept in a dessicator more than 1 day		
Drying condition	no	Temperature: C, Time: h, (Moisture: %)	
Atmospheric temperature and humidity		Temperature: 29 ^o C, Relative humidity: 63%	
Spark delay time	0.1 seconds		
Width of air flow channel	2 mm		
Distance of sparking electrode	5 mm		
Compressed air	1.8 kg/cm ³ G		
Filter paper	1 piece(s)	Type:	Whatman No. 93
Number of measurements	3 Times		
Sample no.	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)	Remarks
1	0.0623	50.7	
2	0.0621	50.6	
3	0.0620	50.5	
Average		50.6	
Evaluation (reference)	Explosibility: High		

Note + : Mass-average particle size was measured using the micron photo sizer

Table Lyco-4 Measurement of LEL for lycopodium powder

(after improvement by varying of spark delay time)

Test date	6-Feb	Name	Songchai
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1		
Name of test powder	Lycopodium		
Type of test powder	APPIE Standard test powder		
Particle size	25 microns ⁺		
Pretreatment	Kept in a dessicator more than 1 day		
Drying condition	no	Temperature: C, Time: h, (Moisture: %)	
Atmospheric temperature and humidity	Temperature: 28 ^o C, Relative humidity: 56%		
Spark delay time	0.3 seconds		
Width of air flow channel	2 mm		
Distance of sparking electrode	5 mm		
Compressed air	1.8 kg/cm ³ G		
Filter paper	1 piece(s)	Type:	Whatman No. 93
Number of measurements	3 Times		
Sample no.	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)	Remarks
1	0.0690	56.2	
2	0.0688	56.0	
3	0.0685	55.8	
Average		56.0	
Evaluation (reference)	Explosibility: High		

Note + : Mass-average particle size was measured using the micron photo sizer

Table Lyco-5 Measurement of LEL for lycopodium powder

(after improvement by varying of spark delay time)

Test date	7-Feb	Name	Songchai
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1		
Name of test powder	Lycopodium		
Type of test powder	APPIE Standard test powder		
Particle size	25 microns ⁺		
Pretreatment	Kept in a dessicator more than 1 day		
Drying condition	no	Temperature: C, Time: h, (Moisture: %)	
Atmospheric temperature and humidity		Temperature: 30 ⁰ C, Relative humidity: 65%	
Spark delay time	0.5 seconds		
Width of air flow channel	2 mm		
Distance of sparking electrode	5 mm		
Compressed air	1.8 kg/cm ³ G		
Filter paper	1 piece(s)	Type:	Whatman No. 93
Number of measurements	3 Times		
Sample no.	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)	Remarks
1	0.0790	64.4	
2	0.0783	63.8	
3	0.0780	63.5	
Average		63.9	
Evaluation (reference)	Explosibility: High		

Note + : Mass-average particle size was measured using the micron photo sizer

Table Lyco-6 Measurement of LEL for lycopodium powder

(after improvement by adjusting the air flow channel)

Test date	10-Feb	Name	Songchai
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1		
Name of test powder	Lycopodium		
Type of test powder	APPIE Standard test powder		
Particle size	25 microns ⁺		
Pretreatment	Kept in a dessicator more than 1 day		
Drying condition	no	Temperature: C, Time: h, (Moisture: %)	
Atmospheric temperature and humidity	Temperature: 31 ^o C, Relative humidity: 60%		
Spark delay time	0.1 seconds		
Width of air flow channel	1.5 mm		
Distance of sparking electrode	5 mm		
Compressed air	1.8 kg/cm ³ G		
Filter paper	1 piece(s)	Type:	Whatman No. 93
Number of measurements	3 Times		
Sample no.	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)	Remarks
1	0.0590	48.1	
2	0.0589	48.0	
3	0.0586	47.7	
Average		47.9	
Evaluation (reference)	Explosibility: High		

Note + : Mass-average particle size was measured using the micron photo sizer

Table Lyco-7 Measurement of LEL for lycopodium powder

(after improvement by adjusting the air flow channel)

Test date	11-Feb	Name	Songchai
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1		
Name of test powder	Lycopodium		
Type of test powder	APPIE Standard test powder		
Particle size	25 microns ⁺		
Pretreatment	Kept in a dessicator more than 1 day		
Drying condition	no	Temperature: C, Time: h, (Moisture: %)	
Atmospheric temperature and humidity	Temperature: 32 ^o C, Relative humidity: 55%		
Spark delay time	0.1 seconds		
Width of air flow channel	1.0 mm		
Distance of sparking electrode	5 mm		
Compressed air	1.8 kg/cm ³ G		
Filter paper	1 piece(s)	Type:	Whatman No. 93
Number of measurements	3 Times		
Sample no.	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)	Remarks
1	0.0580	47.2	
2	0.0580	47.2	
3	0.0577	47.0	
Average		47.2	
Evaluation (reference)	Explosibility: High		

Note + : Mass-average particle size was measured using the micron photo sizer

Table Lyco-8 Measurement of LEL for lycopodium powder

(after improvement by adjusting the air flow channel)

Test date	12-Feb	Name	Songchai
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1		
Name of test powder	Lycopodium		
Type of test powder	APPIE Standard test powder		
Particle size	25 microns ⁺		
Pretreatment	Kept in a dessicator more than 1 day		
Drying condition	no	Temperature: C, Time: h, (Moisture: %)	
Atmospheric temperature and humidity		Temperature: 32 ^o C, Relative humidity: 55%	
Spark delay time	0.1 seconds		
Width of air flow channel	0.5 mm		
Distance of sparking electrode	5 mm		
Compressed air	1.8 kg/cm ³ G		
Filter paper	1 piece(s)	Type:	Whatman No. 93
Number of measurements	3 Times		
Sample no.	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)	Remarks
1	0.0587	47.8	
2	0.0585	47.7	
3	0.0584	47.6	
Average		47.7	
Evaluation (reference)	Explosibility: High		

Note + : Mass-average particle size was measured using the micron photo sizer.

Table Lyco-9 Measurement of LEL for lycopodium powder

(after improvement by adjusting the gap between the sparking electrode)

Test date	14-Feb	Name	Songchai	
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1			
Name of test powder	Lycopodium			
Type of test powder	APPIE Standard test powder			
Particle size	25 microns ⁺			
Pretreatment	Kept in a dessicator more than 1 day			
Drying condition	no	Temperature: C,	Time: h,	(Moisture: %)
Atmospheric temperature and humidity	Temperature: 32 ^o C, Relative humidity: 60%			
Spark delay time	0.1 seconds			
Width of air flow channel	1 mm			
Distance of sparking electrode	6 mm			
Compressed air	1.8 kg/cm ³ G			
Filter paper	1 piece(s)	Type:	Whatman No. 93	
Number of measurements	3 Times			
Sample no.	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)	Remarks	
1	0.0585	47.7		
2	0.0584	47.6		
3	0.0583	47.5		
Average		47.6		
Evaluation (reference)	Explosibility: High			

Note + : Mass-average particle size was measured using the micron photo sizer

Table Lyco-10 Measurement of LEL for lycopodium powder

(after improvement by adjusting the gap between the sparking electrode)

Test date	15-Feb	Name	Songchai
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1		
Name of test powder	Lycopodium		
Type of test powder	APPIE Standard test powder		
Particle size	25 microns ⁺		
Pretreatment	Kept in a dessicator more than 1 day		
Drying condition	no	Temperature: C, Time: h, (Moisture: %)	
Atmospheric temperature and humidity	Temperature: 31 ^o C, Relative humidity: 58%		
Spark delay time	0.1 seconds		
Width of air flow channel	1 mm		
Distance of sparking electrode	4 mm		
Compressed air	1.8 kg/cm ³ G		
Filter paper	1 piece(s)	Type:	Whatman No. 93
Number of measurements	3 Times		
Sample no.	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)	Remarks
1	0.0580	47.2	
2	0.0579	47.2	
3	0.0578	47.1	
Average		47.2	
Evaluation (reference)	Explosibility: High		

Note + : Mass-average particle size was measured using the micron photo sizer

Table Lyco-11 Measurement of LEL for lycopodium powder

(after improvement by varying the number of filter paper)

Test date	17-Feb	Name	Songchai
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1		
Name of test powder	Lycopodium		
Type of test powder	APPIE Standard test powder		
Particle size	25 microns ⁺		
Pretreatment	Kept in a dessicator more than 1 day		
Drying condition	no	Temperature: C, Time: h, (Moisture: %)	
Atmospheric temperature and humidity	Temperature: 32 ^o C, Relative humidity: 62%		
Spark delay time	0.1 seconds		
Width of air flow channel	1 mm		
Distance of sparking electrode	4 mm		
Compressed air	2.2 kg/cm ³ G		
Filter paper	2 piece(s)	Type:	Whatman No. 93
Number of measurements	3 Times		
Sample no.	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)	Remarks
1	0.0592	48.2	
2	0.0588	47.9	
3	0.0586	47.7	
Average		48.0	
Evaluation (reference)	Explosibility: High		

Note + : Mass-average particle size was measured using the micron photo sizer

Table HDPE-1 Measurement of LEL for HDPE powder

Test date	20-Feb	Name	Songchai
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1		
Name of test powder	HDPE		
Type of test powder	Plastic powder		
Particle size	33.6 microns ⁺		
Pretreatment	Kept in a dessicator more than 1 day		
Drying condition	no	Temperature: C, Time: h, (Moisture: %)	
Atmospheric temperature and humidity	Temperature: 32 ^o C, Relative humidity: 60%		
Spark delay time	0.1 seconds		
Width of air flow channel	1 mm		
Distance of sparking electrode	4 mm		
Compressed air	1.8 kg/cm ³ G		
Filter paper	1 piece(s)	Type:	Whatman No. 93
Number of measurements	4 Times		
Sample no.	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)	Remarks
1	0.0338	27.5	
2	0.0335	27.3	
3	0.0300	24.4	
4	0.0300	24.4	
Average		25.9	
Evaluation (reference)	Explosibility: High		

Note + : Mass-average particle size was measured using the micron photo sizer

Table Dextrin-1 Measurement of LEL for Dextrin powder

Test date	22-Feb	Name	Songchai	
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1			
Name of test powder	Dextrin			
Type of test powder	Agricultural powder			
Particle size	55 microns ⁺			
Pretreatment	Kept in a dessicator more than 1 day			
Drying condition	no	Temperature:	C,	Time: h, (Moisture: %)
Atmospheric temperature and humidity	Temperature: 31.5 ⁰ C, Relative humidity: 62%			
Spark delay time	0.1 seconds			
Width of air flow channel	1 mm			
Distance of sparking electrode	4 mm			
Compressed air	1.8 kg/cm ³ G			
Filter paper	1 piece(s)	Type:	Whatman No. 93	
Number of measurements	5 Times			
Sample no.	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)	Remarks	
1	0.0745	60.7		
2	0.0725	59.1		
3	0.0707	57.6		
4	0.0704	57.3		
5	0.0696	56.7		
Average		58.3		
Evaluation (reference)	Explosibility: High			

Note + : Mass-average particle size was measured using the micron photo sizer

Table Sulfur-1 Measurement of LEL for Sulfur powder

Test date	26-Feb	Name	Songchai	
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1			
Name of test powder	Sulfur			
Type of test powder	Chemical powder			
Particle size	29 microns ⁺			
Pretreatment	Kept in a dessicator more than 1 day			
Drying condition	no	Temperature: C,	Time: h,	(Moisture: %)
Atmospheric temperature and humidity		Temperature: 33 ^o C, Relative humidity: 65%		
Spark delay time	0.1 seconds			
Width of air flow channel	1 mm			
Distance of sparking electrode		4 mm		
Compressed air	1.8 kg/cm ³ G			
Filter paper	1 piece(s)	Type:	Whatman No. 93	
Number of measurements		5 Times		
Sample no.	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)		Remarks
1	0.0464	37.8		
2	0.0455	37.1		
3	0.0449	36.6		
4	0.0448	36.5		
5	0.0442	36.0		
Average		36.8		
Evaluation (reference)		Explosibility: High		

Note + : Mass-average particle size was measured using the micron photo sizer

Table Toner(F)-1 Measurement of LEL for fresh toner (new) powder

Test date	10-Mar	Name	Songchai	
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1			
Name of test powder	Toner (Virgin)			
Type of test powder	XEROX powder			
Particle size	19.4 microns ⁺			
Pretreatment	Kept in a dessicator more than 1 day			
Drying condition	no	Temperature: C,	Time: h,	(Moisture: %)
Atmospheric temperature and humidity	Temperature: 34 ^o C, Relative humidity: 64%			
Spark delay time	0.1 seconds			
Width of air flow channel	1 mm			
Distance of sparking electrode	4 mm			
Compressed air	2.0 kg/cm ³ G			
Filter paper	1 piece(s)	Type:	Whatman No. 93	
Number of measurements	3 Times			
Sample no.	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)	Remarks	
1	0.0497	40.5		
2	0.0495	40.3		
3	0.0492	40.1		
Average		40.3		
Evaluation (reference)	Explosibility: High			

Note + : Mass-average particle size was measured using the micron photo sizer



Table Toner(U)-2 Measurement of LEL for used toner (once-through) powder

Test date	11-Mar	Name	Songchai	
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1			
Name of test powder	Toner (Waste)			
Type of test powder	XEROX powder			
Particle size	22.8 microns ⁺			
Pretreatment	Kept in a dessicator more than 1 day			
Drying condition	no	Temperature: C,	Time: h,	(Moisture: %)
Atmospheric temperature and humidity	Temperature: 33 ^o C, Relative humidity: 58%			
Spark delay time	0.1 seconds			
Width of air flow channel	1 mm			
Distance of sparking electrode	4 mm			
Compressed air	2.0 kg/cm ³ G			
Filter paper	1 piece(s)	Type:	Whatman No. 93	
Number of measurements	3 Times			
Sample no.	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)	Remarks	
1	0.0614	50.0		
2	0.0582	47.4		
3	0.0555	45.2		
Average		47.5		
Evaluation (reference)	Explosibility: High			

Note + : Mass-average particle size was measured using the micron photo sizer

Table Cas-1 Measurement of LEL for cassava flour powder

Test date	14-Mar	Name	Songchai	
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1			
Name of test powder	Cassava flour (towyaymom)			
Type of test powder	Agricultural powder			
Particle size	<45 microns [@]			
Pretreatment	Kept in a dessicator more than 1 day			
Drying condition	yes	Temperature: 50 C, Time: 24 h, (Moisture: 8.7 %)		
Atmospheric temperature and humidity		Temperature: 31 ⁰ C, Relative humidity: 61%		
Spark delay time	0.1 seconds			
Width of air flow channel	1 mm			
Distance of sparking electrode	4 mm			
Compressed air	1.7 kg/cm ³ G			
Filter paper	1 piece(s)	Type:	Whatman No. 93	
Number of measurements		4 Times		
Sample no.	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)	Remarks	
1	0.2028	165.2		
2	0.1979	161.2		
3	0.1965	160.1		
4	0.1962	159.8		
Average		161.6		
Evaluation (reference)		Explosibility: Medium		

Note @ : Mass-average particle size was measured using the standard sieve

Table Cas-2 Measurement of LEL for cassava flour powder

Test date	15-Mar	Name	Songchai	
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1			
Name of test powder	Cassava flour (towyaymom)			
Type of test powder	Agricultural powder			
Particle size	45-53 microns [@]			
Pretreatment	Kept in a dessicator more than 1 day			
Drying condition	yes	Temperature: 50 C, Time: 24 h, (Moisture: 7.8 %)		
Atmospheric temperature and humidity	Temperature: 32.5 ⁰ C, Relative humidity: 59%			
Spark delay time	0.1 seconds			
Width of air flow channel	1 mm			
Distance of sparking electrode	4 mm			
Compressed air	1.7 kg/cm ³ G			
Filter paper	1 piece(s)	Type:	Whatman No. 93	
Number of measurements	5 Times			
Sample no.	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)	Remarks	
1	0.2049	166.9		
2	0.2023	164.8		
3	0.2000	162.9		
4	0.1986	161.8		
5	0.1970	160.5		
Average		164.1		
Evaluation (reference)	Explosibility: Medium			

Note @ : Mass-average particle size was measured using the standard sieve

Table Cas-3 Measurement of LEL for cassava flour powder

Test date	16-Mar	Name	Songchai
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1		
Name of test powder	Cassava flour (towyaymom)		
Type of test powder	Agricultural powder		
Particle size	53-75 microns [@]		
Pretreatment	Kept in a dessicator more than 1 day		
Drying condition	yes	Temperature: 50 C, Time: 24 h, (Moisture: 7.1 %)	
Atmospheric temperature and humidity		Temperature: 31.5 ^o C, Relative humidity: 64%	
Spark delay time	0.1 seconds		
Width of air flow channel	1 mm		
Distance of sparking electrode	4 mm		
Compressed air	1.8 kg/cm ³ G		
Filter paper	1 piece(s)	Type:	Whatman No. 93
Number of measurements	3 Times		
Sample no.	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)	Remarks
1	0.2547	207.5	
2	0.2545	207.3	
3	0.2539	206.8	
Average		207.2	
Evaluation (reference)	Explosibility: Low		

Note @ : Mass-average particle size was measured using the standard sieve

Table Cas-4 Measurement of LEL for cassava flour powder

Test date	18-Mar	Name	Songchai
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1		
Name of test powder	Cassava flour (dragon fish brand)		
Type of test powder	Agricultural powder		
Particle size	<45 microns [@]		
Pretreatment	Kept in a dessicator more than 1 day		
Drying condition	yes	Temperature: 50 C, Time: 24 h, (Moisture: 9.2 %)	
Atmospheric temperature and humidity		Temperature: 31.5 ⁰ C, Relative humidity: 62%	
Spark delay time	0.1 seconds		
Width of air flow channel	1 mm		
Distance of sparking electrode	4 mm		
Compressed air	1.8 kg/cm ³ G		
Filter paper	1 piece(s)	Type:	Whatman No. 93
Number of measurements	3 Times		
Sample no.	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)	Remarks
1	0.1410	114.9	
2	0.1409	114.8	
3	0.1402	114.2	
Average		114.6	
Evaluation (reference)	Explosibility: Medium		

Note @ : Mass-average particle size was measured using the standard sieve

Table Cas-5 Measurement of LEL for cassava flour powder

Test date	18-Mar	Name	Songchai	
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1			
Name of test powder	Cassava flour (dragon fish brand)			
Type of test powder	Agricultural powder			
Particle size	45-53 microns [@]			
Pretreatment	Kept in a dessicator more than 1 day			
Drying condition	yes	Temperature: 50 C, Time: 24 h, (Moisture: 8.9 %)		
Atmospheric temperature and humidity		Temperature: 31.5 ⁰ C, Relative humidity: 62%		
Spark delay time	0.1 seconds			
Width of air flow channel	1 mm			
Distance of sparking electrode	4 mm			
Compressed air	1.8-1.9 kg/cm ³ G			
Filter paper	1 piece(s)	Type:	Whatman No. 93	
Number of measurements	5 Times			
Sample no.	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)	Remarks	
1	0.1554	126.6		
2	0.1523	124.1		
3	0.1456	118.6		
4	0.1430	116.5		
5	0.1425	116.1		
Average		120.4		
Evaluation (reference)	Explosibility: Medium			

Note @ : Mass-average particle size was measured using the standard sieve

Table Cas-6 Measurement of LEL for cassava flour powder

Test date	19-Mar	Name	Songchai
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1		
Name of test powder	Cassava flour (dragon fish brand)		
Type of test powder	Agricultural powder		
Particle size	53-75 microns [@]		
Pretreatment	Kept in a dessicator more than 1 day		
Drying condition	yes	Temperature: 50 C, Time: 24 h, (Moisture: 8.7 %)	
Atmospheric temperature and humidity		Temperature: 33 ^o C, Relative humidity: 60%	
Spark delay time	0.1 seconds		
Width of air flow channel	1 mm		
Distance of sparking electrode		4 mm	
Compressed air	1.9-2.0 kg/cm ³ G		
Filter paper	1 piece(s)	Type:	Whatman No. 93
Number of measurements		4 Times	
Sample no.	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)	Remarks
1	0.1532	124.8	
2	0.1513	123.2	
3	0.1475	120.1	
4	0.1464	119.3	
Average		121.9	
Evaluation (reference)		Explosibility: Medium	

Note @ : Mass-average particle size was measured using the standard sieve

Table Cas-7 Measurement of LEL for cassava flour powder

Test date	20-Mar	Name	Songchai	
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1			
Name of test powder	Cassava flour (dragon fish brand)			
Type of test powder	Agricultural powder			
Particle size	75-106 microns [@]			
Pretreatment	Kept in a dessicator more than 1 day			
Drying condition	yes	Temperature: 50 C, Time: 24 h, (Moisture: 9.0 %)		
Atmospheric temperature and humidity		Temperature: 33.5 ^o C, Relative humidity: 56%		
Spark delay time	0.1 seconds			
Width of air flow channel	1 mm			
Distance of sparking electrode	4 mm			
Compressed air	2.4 kg/cm ³ G			
Filter paper	1 piece(s)	Type:	Whatman No. 93	
Number of measurements		5 Times		
Sample no.	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)	Remarks	
1	0.2128	173.3		
2	0.2090	170.2		
3	0.2016	164.2		
4	0.1965	160.1		
5	0.1964	160.0		
Average		165.6		
Evaluation (reference)	Explosibility: Medium			

Note @ : Mass-average particle size was measured using the standard sieve

Table Cas-8 Measurement of LEL for cassava flour powder

Test date	2-Apr	Name	Songchai	
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1			
Name of test powder	As bought (dried) Type F1 cassava flour			
Type of test powder	Agricultural powder			
Particle size	<45-180 microns#			
Pretreatment	Kept in a dessicator more than 1 day			
Drying condition	yes	Temperature: 50 C, Time: 24 h, (Moisture: 4.5 %)		
Atmospheric temperature and humidity		Temperature: 34 ⁰ C, Relative humidity: 65%		
Spark delay time	0.1 seconds			
Width of air flow channel	1 mm			
Distance of sparking electrode	4 mm			
Compressed air	2.2 kg/cm ³ G			
Filter paper	1 piece(s)	Type:	Whatman No. 93	
Number of measurements	3 Times			
Sample no.	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)	Remarks	
1	0.3600	293.2		
2	0.3560	290.0		
3	0.3510	285.9		
Average		289.7		
Evaluation (reference)	Explosibility: Low			

Note # : untreated (As bought flour)

Table Cas-9 Measurement of LEL for cassava flour powder

Test date	3-Apr	Name	Songchai
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1		
Name of test powder	As bought (undried) Type F1 cassava flour		
Type of test powder	Agricultural powder		
Particle size	<45-180 microns#		
Pretreatment	No pretreatment		
Drying condition	no	Temperature: C,	Time: h, (Moisture: %)
Atmospheric temperature and humidity	Temperature: 35 ^o C, Relative humidity: 62%		
Spark delay time	0.1 seconds		
Width of air flow channel	1 mm		
Distance of sparking electrode	4 mm		
Compressed air	2.2 kg/cm ³ G		
Filter paper	1 piece(s)	Type:	Whatman No. 93
Number of measurements	3 Times		
Sample no.	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)	Remarks
1	0.3800	309.5	
2	0.3775	307.5	
3	0.3750	305.5	
Average		307.5	
Evaluation (reference)	Explosibility: Low		

Note # : untreated (As bought flour)

Table Cas-10 Measurement of LEL for cassava flour powder

Test date	4-Apr	Name	Songchai
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1		
Name of test powder	As bought (dried) Type F2 cassava flour		
Type of test powder	Agricultural powder		
Particle size	<45-180 microns#		
Pretreatment	Kept in a dessicator more than 1 day		
Drying condition	yes	Temperature: 50 C, Time: 24 h, (Moisture: 3.9 %)	
Atmospheric temperature and humidity	Temperature: 34.5 ^o C, Relative humidity: 55%		
Spark delay time	0.1 seconds		
Width of air flow channel	1 mm		
Distance of sparking electrode	4 mm		
Compressed air	2.2 kg/cm ³ G		
Filter paper	1 piece(s)	Type:	Whatman No. 93
Number of measurements	3 Times		
Sample no.	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)	Remarks
1	0.3110	253.3	
2	0.3100	252.5	
3	0.3060	249.3	
Average		251.7	
Evaluation (reference)	Explosibility: Low		

Note # : untreated (As bought flour)

Table Cas-11 Measurement of LEL for cassava flour powder

Test date	5-Apr	Name	Songchai	
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1			
Name of test powder	As bought (undried) Type F2 cassava flour			
Type of test powder	Agricultural powder			
Particle size	<45-180 microns#			
Pretreatment	No pretreatment			
Drying condition	no	Temperature:	C,	Time: h, (Moisture: %)
Atmospheric temperature and humidity		Temperature: 35 ^o C, Relative humidity: 63%		
Spark delay time	0.1 seconds			
Width of air flow channel	1 mm			
Distance of sparking electrode	4 mm			
Compressed air	2.2 kg/cm ³ G			
Filter paper	1 piece(s)	Type:	Whatman No. 93	
Number of measurements	3 Times			
Sample no.	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)		Remarks
1	0.3250	264.7		
2	0.3160	257.4		
3	0.3145	256.2		
Average		259.4		
Evaluation (reference)	Explosibility: Low			

Note # : untreated (As bought flour)

Table Rice-1 Measurement of LEL for Rice flour powder

Test date	21-Mar	Name	Songchai	
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1			
Name of test powder	Rice flour (Erawan brand)			
Type of test powder	Agricultural powder			
Particle size	106-150 microns [@]			
Pretreatment	Kept in a dessicator more than 1 day			
Drying condition	yes	Temperature: 50 C, Time: 24 h, (Moisture: 6.5 %)		
Atmospheric temperature and humidity		Temperature: 33 ^o C, Relative humidity: 61%		
Spark delay time	0.1 seconds			
Width of air flow channel	1 mm			
Distance of sparking electrode		4 mm		
Compressed air	2.2 kg/cm ³ G			
Filter paper	1 pieces	Type:	Whatman No. 93	
Number of measurements		3 Times		
Sample no.	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)		Remarks
1	0.1278	104.1		
2	0.1260	102.6		
3	0.1254	102.1		
Average		103.0		
Evaluation (reference)		Explosibility: Medium		

Note @ : Mass-average particle size was measured using the Standard sieve

Table Rice-2 Measurement of LEL for Rice flour powder

Test date	22-Mar	Name	Songchai	
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1			
Name of test powder	Rice flour (Erawan brand)			
Type of test powder	Agricultural powder			
Particle size	150-180 microns [@]			
Pretreatment	Kept in a dessicator more than 1 day			
Drying condition	yes	Temperature: 50 C, Time: 24 h, (Moisture: 6.8 %)		
Atmospheric temperature and humidity		Temperature: 32 ^o C, Relative humidity: 59%		
Spark delay time	0.1 seconds			
Width of air flow channel	1 mm			
Distance of sparking electrode		4 mm		
Compressed air	2.6 kg/cm ³ G			
Filter paper	1 pieces	Type:	Whatman No. 93	
Number of measurements		3 Times		
Sample no.	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)		Remarks
1	0.1530	124.6		
2	0.1495	121.8		
3	0.1490	121.4		
Average		122.6		
Evaluation (reference)		Explosibility: Medium		

Note @ : Mass-average particle size was measured using the Standard sieve

Table Rice-3 Measurement of LEL for Rice flour powder

Test date	23-Mar	Name	Songchai	
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1			
Name of test powder	Rice flour (Erawan brand)			
Type of test powder	Agricultural powder			
Particle size	>180 microns [@]			
Pretreatment	Kept in a dessicator more than 1 day			
Drying condition	yes	Temperature: 50 C, Time: 24 h, (Moisture: 6.2 %)		
Atmospheric temperature and humidity		Temperature: 33 ^o C, Relative humidity: 65%		
Spark delay time	0.1 seconds			
Width of air flow channel	1 mm			
Distance of sparking electrode		4 mm		
Compressed air	2.7 kg/cm ³ G			
Filter paper	1 pieces	Type:	Whatman No. 93	
Number of measurements		3 Times		
Sample no.	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)		Remarks
1	0.1750	142.5		
2	0.1740	141.7		
3	0.1740	141.7		
Average		142.0		
Evaluation (reference)		Explosibility: Medium		

Note @ : Mass-average particle size was measured using the Standard sieve

Table Corn-1 Measurement of LEL for Corn flour powder

Test date	24-Mar	Name	Songchai	
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1			
Name of test powder	Corn flour (Tamfood brand)			
Type of test powder	Agricultural powder			
Particle size	<45 microns [@]			
Pretreatment	Kept in a dessicator more than 1 day			
Drying condition	yes	Temperature: 50 C, Time: 24 h, (Moisture: 4.2 %)		
Atmospheric temperature and humidity		Temperature: 32 ^o C, Relative humidity: 56%		
Spark delay time	0.1 seconds			
Width of air flow channel	1 mm			
Distance of sparking electrode		4 mm		
Compressed air	1.7 kg/cm ³ G			
Filter paper	1 pieces	Type:	Whatman No. 93	
Number of measurements		3 Times		
Sample no.	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)		Remarks
1	0.1920	156.4		
2	0.1921	156.5		
3	0.1900	154.8		
Average		155.9		
Evaluation (reference)		Explosibility: Medium		

Note @ : Mass-average particle size was measured using the Standard sieve

Table Corn-2 Measurement of LEL for Corn flour powder

Test date	25-Mar	Name	Songchai	
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1			
Name of test powder	Corn flour (Tamfood brand)			
Type of test powder	Agricultural powder			
Particle size	45-53 microns [@]			
Pretreatment	Kept in a dessicator more than 1 day			
Drying condition	yes	Temperature: 50 C, Time: 24 h, (Moisture: 4.0 %)		
Atmospheric temperature and humidity		Temperature: 33.5 ^o C, Relative humidity: 60%		
Spark delay time	0.1 seconds			
Width of air flow channel	1 mm			
Distance of sparking electrode		4 mm		
Compressed air	1.8 kg/cm ³ G			
Filter paper	1 pieces	Type:	Whatman No. 93	
Number of measurements		3 Times		
Sample no.	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)		Remarks
1	0.1959	159.6		
2	0.1943	158.3		
3	0.1940	158.0		
Average		158.6		
Evaluation (reference)		Explosibility: Medium		

Note @ : Mass-average particle size was measured using the Standard sieve

Table Corn-3 Measurement of LEL for Corn flour powder

Test date	26-Mar	Name	Songchai	
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1			
Name of test powder	Corn flour (Tamfood brand)			
Type of test powder	Agricultural powder			
Particle size	53-75 microns [@]			
Pretreatment	Kept in a dessicator more than 1 day			
Drying condition	yes	Temperature: 50 C, Time: 24 h, (Moisture: 3.95 %)		
Atmospheric temperature and humidity		Temperature: 32 ^o C, Relative humidity: 58%		
Spark delay time	0.1 seconds			
Width of air flow channel	1 mm			
Distance of sparking electrode		4 mm		
Compressed air	1.8 kg/cm ³ G			
Filter paper	1 pieces	Type:	Whatman No. 93	
Number of measurements		3 Times		
Sample no.	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)		Remarks
1	0.2052	167.1		
2	0.2039	166.1		
3	0.2035	165.8		
Average		166.3		
Evaluation (reference)		Explosibility: Medium		

Note @ : Mass-average particle size was measured using the Standard sieve

Table Corn-4 Measurement of LEL for Corn flour powder

Test date	27-Mar	Name	Songchai	
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1			
Name of test powder	Corn flour (Tamfood brand)			
Type of test powder	Agricultural powder			
Particle size	75-106 microns [@]			
Pretreatment	Kept in a dessicator more than 1 day			
Drying condition	yes	Temperature: 50 C, Time: 24 h, (Moisture: 3.83 %)		
Atmospheric temperature and humidity		Temperature: 33 ^o C, Relative humidity: 62%		
Spark delay time	0.1 seconds			
Width of air flow channel	1 mm			
Distance of sparking electrode	4 mm			
Compressed air	1.9 kg/cm ³ G			
Filter paper	1 pieces	Type:	Whatman No. 93	
Number of measurements	3 Times			
Sample no.	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)		Remarks
1	0.2220	180.8		
2	0.2216	180.5		
3	0.2195	178.8		
Average		180.0		
Evaluation (reference)		Explosibility: Medium		

Note @ : Mass-average particle size was measured using the Standard sieve

Table Corn-5 Measurement of LEL for Corn flour powder

Test date	27-Mar	Name	Songchai	
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1			
Name of test powder	Corn flour (Tamfood brand)			
Type of test powder	Agricultural powder			
Particle size	106-150 microns [@]			
Pretreatment	Kept in a dessicator more than 1 day			
Drying condition	yes	Temperature: 50 C, Time: 24 h, (Moisture: 3.80 %)		
Atmospheric temperature and humidity		Temperature: 33 ^o C, Relative humidity: 62%		
Spark delay time	0.1 seconds			
Width of air flow channel	1 mm			
Distance of sparking electrode	4 mm			
Compressed air	2.0 kg/cm ³ G			
Filter paper	1 pieces	Type:	Whatman No. 93	
Number of measurements		3 Times		
Sample no.	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)		Remarks
1	0.2260	184.1		
2	0.2258	183.9		
3	0.2255	183.7		
Average		183.9		
Evaluation (reference)		Explosibility: Medium		

Note @ : Mass-average particle size was measured using the Standard sieve

ble Corn-6 Measurement of LEL for Corn flour powder

Test date	28-Mar	Name	Songchai	
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1			
Name of test powder	Corn flour (Tamfood brand)			
Type of test powder	Agricultural powder			
Particle size	150-180 microns [@]			
Pretreatment	Kept in a dessicator more than 1 day			
Drying condition	yes	Temperature: 50 C, Time: 24 h, (Moisture: 3.68 %)		
Atmospheric temperature and humidity		Temperature: 31 ^o C, Relative humidity: 57%		
Spark delay time	0.1 seconds			
Width of air flow channel	1 mm			
Distance of sparking electrode	4 mm			
Compressed air	2.2 kg/cm ³ G			
Filter paper	1 pieces	Type:	Whatman No. 93	
Number of measurements	3 Times			
Sample no.	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)	Remarks	
1	0.2332	190.0		
2	0.2316	188.7		
3	0.2315	188.6		
Average		189.1		
Evaluation (reference)	Explosibility: Medium			

te @ : Mass-average particle size was measured using the Standard sieve

Table Rice-4 Measurement of LEL for Rice flour powder

Test date	6-Apr	Name	Songchai	
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1			
Name of test powder	As bought (dried) Type F3 rice flour			
Type of test powder	Agricultural powder			
Particle size	53-180 microns#			
Pretreatment	Kept in a dessicator more than 1 day			
Drying condition	yes	Temperature: 50 C, Time: 24 h, (Moisture: 6.6 %)		
Atmospheric temperature and humidity		Temperature: 34.5 ^o C, Relative humidity: 65%		
Spark delay time	0.1 seconds			
Width of air flow channel	1 mm			
Distance of sparking electrode	4 mm			
Compressed air	2.5 kg/cm ³ G			
Filter paper	1 pieces	Type:	Whatman No. 93	
Number of measurements		3 Times		
Sample no.	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)		Remarks
1	0.1585	129.1		
2	0.1580	128.7		
3	0.1570	127.9		
Average		128.6		
Evaluation (reference)		Explosibility: Medium		

Note # : untreated (as bought flour)

Table Rice-5 Measurement of LEL for Rice flour powder

Test date	7-Apr	Name	Songchai	
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1			
Name of test powder	As bought (undried) Type F3 rice flour			
Type of test powder	Agricultural powder			
Particle size	53-180 microns#			
Pretreatment	No pretreatment			
Drying condition	no	Temperature:	C,	Time: h, (Moisture: %)
Atmospheric temperature and humidity	Temperature: 34.5 ⁰ C, Relative humidity: 61%			
Spark delay time	0.1 seconds			
Width of air flow channel	1 mm			
Distance of sparking electrode	4 mm			
Compressed air	2.5 kg/cm ³ G			
Filter paper	1 pieces	Type:	Whatman No. 93	
Number of measurements	3 Times			
Sample no.	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)		Remarks
1	0.1705	138.9		
2	0.1675	136.4		
3	0.1666	135.7		
Average		137.0		
Evaluation (reference)	Explosibility: Medium			

Note # : untreated (as bought flour)

Table Corn-7 Measurement of LEL for Corn flour powder

Test date	8-Apr	Name	Songchai	
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1			
Name of test powder	As bought (dried) Type F4 corn flour			
Type of test powder	Agricultural powder			
Particle size	<45-180 microns#			
Pretreatment	Kept in a dessicator more than 1 day			
Drying condition	yes	Temperature: 50 C, Time: 24 h, (Moisture: 3.7 %)		
Atmospheric temperature and humidity	Temperature: 34.5 ⁰ C, Relative humidity: 59%			
Spark delay time	0.1 seconds			
Width of air flow channel	1 mm			
Distance of sparking electrode	4 mm			
Compressed air	2.2 kg/cm ³ G			
Filter paper	1 pieces	Type:	Whatman No. 93	
Number of measurements	3 Times			
Sample no.	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)	Remarks	
1	0.2375	193.5		
2	0.2365	192.6		
3	0.2360	192.2		
Average		192.8		
Evaluation (reference)	Explosibility: Medium			

Note # : untreated (as bought flour)

Table Corn-8 Measurement of LEL for Corn flour powder

Test date	9-Apr	Name	Songchai	
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1			
Name of test powder	As bought (undried) Type F4 corn flour			
Type of test powder	Agricultural powder			
Particle size	<45-180 microns#			
Pretreatment	No pretreatment			
Drying condition	no	Temperature:	C,	Time: h, (Moisture: %)
Atmospheric temperature and humidity	Temperature: 35 ^o C, Relative humidity: 66%			
Spark delay time	0.1 seconds			
Width of air flow channel	1 mm			
Distance of sparking electrode	4 mm			
Compressed air	2.2 kg/cm ³ G			
Filter paper	1 pieces	Type:	Whatman No. 93	
Number of measurements	3 Times			
Sample no.	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)	Remarks	
1	0.4560	371.4		
2	0.4441	361.8		
3	0.4140	337.2		
Average		356.8		
Evaluation (reference)	Explosibility: Low			

Note # : untreated (as bought flour)

Table Wheat-1 Measurement of LEL for Wheat flour powder

Test date	11-Apr	Name	Songchai	
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1			
Name of test powder	Wheat flour (Australian wheat)			
Type of test powder	Agricultural powder			
Particle size	106-150 microns [@]			
Pretreatment	Kept in a dessicator more than 1 day			
Drying condition	yes	Temperature: 50 C, Time: 24 h, (Moisture: 5.2 %)		
Atmospheric temperature and humidity	Temperature: 36 ^o C, Relative humidity: 60%			
Spark delay time	0.1 seconds			
Width of air flow channel	1 mm			
Distance of sparking electrode	4 mm			
Compressed air	2.2 kg/cm ³ G			
Filter paper	1 pieces	Type:	Whatman No. 93	
Number of measurements	3 Times			
Sample no.	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)		Remarks
1	0.2064	168.1		
2	0.1952	159.0		
3	0.1950	158.8		
Average		162.0		
Evaluation (reference)	Explosibility: Medium			

Note @ : Mass-average particle size was measured using the Standard sieve

Table Wheat-2 Measurement of LEL for Wheat flour powder

Test date	12-Apr	Name	Songchai	
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1			
Name of test powder	Wheat flour (Australian wheat)			
Type of test powder	Agricultural powder			
Particle size	150-180 microns [@]			
Pretreatment	Kept in a dessicator more than 1 day			
Drying condition	yes	Temperature: 50 C, Time: 24 h, (Moisture: 4.96 %)		
Atmospheric temperature and humidity	Temperature: 36 ⁰ C, Relative humidity: 64%			
Spark delay time	0.1 seconds			
Width of air flow channel	1 mm			
Distance of sparking electrode	4 mm			
Compressed air	2.3 kg/cm ³ G			
Filter paper	1 pieces	Type:	Whatman No. 93	
Number of measurements	3 Times			
Sample no.	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)	Remarks	
1	0.2358	192.1		
2	0.2305	187.8		
3	0.2294	186.9		
Average		188.9		
Evaluation (reference)	Explosibility: Medium			

Note @ : Mass-average particle size was measured using the Standard sieve

Table Wheat-3 Measurement of LEL for Wheat flour powder

Test date	13-Apr	Name	Songchai	
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1			
Name of test powder	Wheat flour (Australian wheat)			
Type of test powder	Agricultural powder			
Particle size	>180 microns [@]			
Pretreatment	Kept in a dessicator more than 1 day			
Drying condition	yes	Temperature: 50 C, Time: 24 h, (Moisture: 4.68 %)		
Atmospheric temperature and humidity		Temperature: 35.5 ⁰ C, Relative humidity: 59%		
Spark delay time	0.1 seconds			
Width of air flow channel	1 mm			
Distance of sparking electrode		4 mm		
Compressed air	2.4 kg/cm ³ G			
Filter paper	1 pieces	Type:	Whatman No. 93	
Number of measurements		3 Times		
Sample no.	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)		Remarks
1	0.2350	191.4		
2	0.2325	189.4		
3	0.2325	189.4		
Average		190.1		
Evaluation (reference)		Explosibility: Medium		

Note @ : Mass-average particle size was measured using the Standard sieve

Table Wheat-4 Measurement of LEL for Wheat flour powder

Test date	14-Apr	Name	Songchai	
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1			
Name of test powder	As bought (dried) Type F5 wheat flour			
Type of test powder	Agricultural powder			
Particle size	45-180 microns#			
Pretreatment	Kept in a dessicator more than 1 day			
Drying condition	yes	Temperature: 50 C, Time: 24 h, (Moisture: 4.78 %)		
Atmospheric temperature and humidity	Temperature: 34 ⁰ C, Relative humidity: 64%			
Spark delay time	0.1 seconds			
Width of air flow channel	1 mm			
Distance of sparking electrode	4 mm			
Compressed air	2.2 kg/cm ³ G			
Filter paper	1 pieces	Type:	Whatman No. 93	
Number of measurements	3 Times			
Sample no.	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)	Remarks	
1	0.2041	166.3		
2	0.2040	166.2		
3	0.2000	162.9		
Average		165.1		
Evaluation (reference)	Explosibility: Medium			

Note # : untreated (as bought flour)



Table Wheat-5 Measurement of LEL for Wheat flour powder

Test date	15-Apr	Name	Songchai	
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1			
Name of test powder	As bought (undried) Type F5 wheat flour			
Type of test powder	Agricultural powder			
Particle size	45-180 microns#			
Pretreatment	No pretreatment			
Drying condition	no	Temperature: C, Time: h, (Moisture: %)		
Atmospheric temperature and humidity		Temperature: 34.5 ^o C, Relative humidity: 60%		
Spark delay time	0.1 seconds			
Width of air flow channel	1 mm			
Distance of sparking electrode	4 mm			
Compressed air	2.2 kg/cm ³ G			
Filter paper	1 pieces	Type:	Whatman No. 93	
Number of measurements	3 Times			
Sample no.	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)		Remarks
1	0.2290	186.5		
2	0.2250	183.3		
3	0.2200	179.2		
Average		183.0		
Evaluation (reference)		Explosibility: Medium		

Note # : untreated (as bought flour)

Table Modi-starch-1 Measurement of LEL for Modified starch powder

Test date	22-Apr	Name	Songchai	
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1			
Name of test powder	CATO-304(Cassava starch)			
Type of test powder	Agricultural powder			
Particle size	20.7 microns ⁺			
Pretreatment	Kept in a dessicator more than 1 day			
Drying condition	no	Temperature: C, Time: h, (Moisture: %)		
Atmospheric temperature and humidity		Temperature: 34 ^o C, Relative humidity: 53%		
Spark delay time	0.1 seconds			
Width of air flow channel	1 mm			
Distance of sparking electrode	4 mm			
Compressed air	1.8 kg/cm ³ G			
Filter paper	1 pieces	Type:	Whatman No. 93	
Number of measurements		3 Times		
Sample no.	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)		Remarks
1	0.1650	134.4		
2	0.1648	134.2		
3	0.1650	134.4		
Average		134.3		
Evaluation (reference)		Explosibility: Medium		

Note + : Mass-average particle size was measured using the micron photo sizer

Table Modi-starch-2 Measurement of LEL for Modified starch powder

Test date	23-Apr	Name	Songchai	
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1			
Name of test powder	CATO-3210(Cassava starch)			
Type of test powder	Agricultural powder			
Particle size	24.3 microns ⁺			
Pretreatment	Kept in a dessicator more than 1 day			
Drying condition	no	Temperature: C, Time: h, (Moisture: %)		
Atmospheric temperature and humidity		Temperature: 32.5 ^o C, Relative humidity: 60%		
Spark delay time	0.1 seconds			
Width of air flow channel	1 mm			
Distance of sparking electrode	4 mm			
Compressed air	1.8 kg/cm ³ G			
Filter paper	1 pieces	Type:	Whatman No. 93	
Number of measurements		3 Times		
Sample no.	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)		Remarks
1	0.1606	130.8		
2	0.1560	127.1		
3	0.1557	126.8		
Average		128.2		
Evaluation (reference)		Explosibility: Medium		

Note + : Mass-average particle size was measured using the micron photo sizer

Table Modi-starch-3 Measurement of LEL for Modified starch powder

Test date	24-Apr	Name	Songchai	
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1			
Name of test powder	Purity-4(Cassava starch)			
Type of test powder	Agricultural powder			
Particle size	20.9 microns ⁺			
Pretreatment	Kept in a dessicator more than 1 day			
Drying condition	no	Temperature: C, Time: h, (Moisture: %)		
Atmospheric temperature and humidity	Temperature: 34 ^o C, Relative humidity: 56%			
Spark delay time	0.1 seconds			
Width of air flow channel	1 mm			
Distance of sparking electrode	4 mm			
Compressed air	1.8 kg/cm ³ G			
Filter paper	1 pieces	Type:	Whatman No. 93	
Number of measurements	3 Times			
Sample no.	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)	Remarks	
1	0.1577	128.5		
2	0.1560	127.1		
3	0.1556	126.7		
Average		127.4		
Evaluation (reference)	Explosibility: Medium.			

Note + : Mass-average particle size was measured using the micron photo sizer

Table Modi-starch-4 Measurement of LEL for Modified starch powder

Test date	25-Apr	Name	Songchai	
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1			
Name of test powder	Absorbo HP(Corn starch)			
Type of test powder	Agricultural powder			
Particle size	26.5 microns ⁺			
Pretreatment	Kept in a dessicator more than 1 day			
Drying condition	no	Temperature: C, Time: h, (Moisture: %)		
Atmospheric temperature and humidity		Temperature: 34 ^o C, Relative humidity: 61%		
Spark delay time	0.1 seconds			
Width of air flow channel	1 mm			
Distance of sparking electrode	4 mm			
Compressed air	1.8 kg/cm ³ G			
Filter paper	1 pieces	Type:	Whatman No. 93	
Number of measurements	3 Times			
Sample no.	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)		Remarks
1	0.1653	134.6		
2	0.1631	132.9		
3	0.1630	132.8		
Average		133.4		
Evaluation (reference)	Explosibility: Medium.			

Note + : Mass-average particle size was measured using the micron photo sizer

Table Bisphe-1 Measurement of LEL for Bisphenol-A powder

Test date	8-May	Name	Songchai	
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1			
Name of test powder	Bisphenol-A			
Type of test powder	Chemical powder			
Particle size	32.4 microns ⁺			
Pretreatment	Kept in a dessicator more than 1 day			
Drying condition	no	Temperature:	C,	Time: h, (Moisture: %)
Atmospheric temperature and humidity	Temperature: 32.5 ⁰ C, Relative humidity: 53%			
Spark delay time	0.1 seconds			
Width of air flow channel	1 mm			
Distance of sparking electrode	4 mm			
Compressed air	2.4 kg/cm ³ G			
Filter paper	1 pieces	Type:	Whatman No. 93	
Number of measurements	3 Times			
Sample no.	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)	Remarks	
1	0.1310	106.7		
2	0.1300	105.9		
3	0.1305	106.3		
Average		106.3		
Evaluation (reference)	Explosibility: Medium			

Note + : Mass-average particle size was measured using the micron photo sizer

Table Bisphe-2 Measurement of LEL for Bisphenol-A powder

Test date	9-May	Name	Songchai	
Instrument	C.U. Explosibility Tester #1			
Name of test powder	Bisphenol-A			
Type of test powder	Chemical powder			
Particle size	32.4 microns ⁺			
Pretreatment	No pretreatment			
Drying condition	no	Temperature: C, Time: h, (Moisture: %)		
Atmospheric temperature and humidity		Temperature: 33 ^o C, Relative humidity: 58%		
Spark delay time	0.1 seconds			
Width of air flow channel	1 mm			
Distance of sparking electrode	4 mm			
Compressed air	2.4 kg/cm ³ G			
Filter paper	1 pieces	Type:	Whatman No. 93	
Number of measurements		3 Times		
Sample no.	Weight of dust sample (g)	Lower Explosion Limit (g/m ³)		Remarks
1	0.1808	147.3		
2	0.1808	147.3		
3	0.1820	148.3		
Average		147.6		
Evaluation (reference)		Explosibility: Medium		

Note + : Mass-average particle size was measured using the micron photo sizer

ตารางที่ TC-1

การทดสอบเพื่อหาค่า LEL ของ

ครีมเทียม C

(ขนาดอนุภาค น้อยกว่า 53 ไมครอน)

วันที่ทำการทดลอง	วันที่ 2 มีนาคม 2539	ผู้ทดลอง	วทัญญู-ยุทธนา-ยุทธนา	
อุปกรณ์ในการทดลอง	เครื่องทดสอบความสามารถในการระเบิดได้ของฝุ่นผง จุฬาฯ 2			
ชื่อของผงวัสดุที่ทดสอบ	Non-Dairy Cream C- 1			
ชนิดของผงวัสดุที่ทดสอบ	ครีมเทียมชนิดผง C			
ขนาดอนุภาค	น้อยกว่า 53 ไมครอน			
การเตรียม	เก็บไว้ในภาชนะสุญญากาศ เป็นเวลามากกว่า 1 วัน			
สภาวะการอบแห้ง	ไม่อบ			
อุณหภูมิในการทดลอง	อุณหภูมิ 25 °C			
Spark delay time	0.1 วินาที			
ความกว้างของช่องอากาศ	1.0 มิลลิเมตร			
ระยะห่างของอิเล็กโทรด	4 มิลลิเมตร			
ความดันอากาศอัด	1.5 kg/cm ² G			
กระดาษกรอง	1 แผ่น	ชนิด	วัตแมน เบอร์ 93	
จำนวนครั้งที่นำมาเฉลี่ย	4 (เป็นจำนวนครั้งที่อยู่ในช่วง 5 % ของค่าต่ำสุด)			
ครั้งที่	น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)	ความเข้มข้นต่ำสุดที่ระเบิดได้ (กรัม/ลบ.ม.)		หมายเหตุ
1	42	34.4		
2	41.2	33.8		
4	41.6	34.1		
3	40.4	33.1		
เฉลี่ย		33.9		

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ TC-2

การทดสอบเพื่อหาค่า LEL ของ
(ขนาดอนุภาค 53-75 ไมครอน)

ครีมเทียม C

วันที่ทำการทดลอง	วันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2539	ผู้ทดลอง	วาทัญญู-อุทธนา-อุทธนา	
อุปกรณ์ในการทดลอง	เครื่องทดสอบความสามารถในการระเบิดได้ของฝุ่นผง จุฬาฯ 2			
ชื่อของผงวัสดุที่ทดสอบ	Non-Dairy Cream C- 2			
ชนิดของผงวัสดุที่ทดสอบ	ครีมเทียมชนิดผง C			
ขนาดอนุภาค	53-75 ไมครอน			
การเตรียม	เก็บไว้ในภาชนะสุญญากาศ เป็นเวลามากกว่า 1 วัน			
สภาวะการอบแห้ง	ไม่อบ			
อุณหภูมิในการทดลอง	อุณหภูมิ 25 °C			
Spark delay time	0.1 วินาที			
ความกว้างของช่องอากาศ	1.0 มิลลิเมตร			
ระยะห่างของอิเล็กโทรด	4 มิลลิเมตร			
ความดันอากาศอัด	1.5 kg/cm ² G			
กระดาษกรอง	1 แผ่น	ชนิด	วัตแมน เบอร์ 93	
จำนวนครั้งที่นำมาเฉลี่ย	4 (เป็นจำนวนครั้งที่อยู่ในช่วง 5 % ของค่าต่ำสุด)			
ครั้งที่	น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)	ความเข้มข้นต่ำสุดที่ระเบิดได้ (กรัม/ลบ.ม.)		หมายเหตุ
1	42.0	34.4		
2	41.7	34.2		
3	41.6	34.1		
4	41.3	33.9		
เฉลี่ย		34.1		

สถาบันวิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ TC-8 การทดสอบเพื่อหาค่า LEL ของ ครีมเทียม C
(ขนาดอนุภาค 75-106 ไมครอน)

วันที่ทำการทดลอง	วันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2539	ผู้ทดลอง	วศัญญา-อุทธนา-อุทธนา
อุปกรณ์ในการทดลอง	เครื่องทดสอบความสามารถในการระเบิดได้ของฝุ่นผง จุฬาฯ 2		
ชื่อของผงวัสดุที่ทดสอบ	Non-Dairy Cream C- 3		
ชนิดของผงวัสดุที่ทดสอบ	ครีมเทียมชนิดผง C		
ขนาดอนุภาค	53-75 ไมครอน		
การเตรียม	เก็บไว้ในภาชนะสุญญากาศ เป็นเวลามากกว่า 1 วัน		
สภาวะการอบแห้ง	ไม่อบ		
อุณหภูมิในการทดลอง	อุณหภูมิ 25 °C		
Spark delay time	0.1 วินาที		
ความกว้างของช่องอากาศ	1.0 มิลลิเมตร		
ระยะห่างของอิเล็กโทรด	4 มิลลิเมตร		
ความดันอากาศอัด	1.6 kg/cm ² G		
กระดาษกรอง	1 แผ่น	ชนิด	วัตแมน เบอร์ 93
จำนวนครั้งที่นำมาเฉลี่ย	5 (เป็นจำนวนครั้งที่อยู่ในช่วง 5 % ของค่าต่ำสุด)		
ครั้งที่	น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)	ความเข้มข้นต่ำสุดที่ระเบิดได้ (กรัม/ลบ.ม.)	หมายเหตุ
1	51.5	42.2	
2	54.6	44.8	
3	54	44.3	
4	53.8	44.1	
5	53.3	43.7	
เฉลี่ย		43.8	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ TC-4

การทดสอบเพื่อหาค่า LEL ของ

ครีมเทียม C

(ขนาดอนุภาค 106-150 ไมครอน)

วันที่ทำการทดลอง	วันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2539	ผู้ทดลอง	วชิรญา-ยุทธนา-ยุทธนา
อุปกรณ์ในการทดลอง	เครื่องทดสอบความสามารถในการระเบิดได้ของฝุ่นผง จุฬาฯ 2		
ชื่อของผงวัสดุที่ทดสอบ	Non-Dairy Cream C- 4		
ชนิดของผงวัสดุที่ทดสอบ	ครีมเทียมชนิดผง C		
ขนาดอนุภาค	106-150 ไมครอน		
การเตรียม	เก็บไว้ในภาชนะสุญญากาศ เป็นเวลามากกว่า 1 วัน		
สภาวะการอบแห้ง	ไม่อบ		
อุณหภูมิในการทดลอง	อุณหภูมิ 25 °C		
Spark delay time	0.1 วินาที		
ความกว้างของช่องอากาศ	1.0 มิลลิเมตร		
ระยะห่างของอิเล็กโทรด	4 มิลลิเมตร		
ความดันอากาศอัด	1.6 kg/cm ² G		
กระดาษกรอง	1 แผ่น	ชนิด	วัตแมน เบอร์ 93
จำนวนครั้งที่นำมาเฉลี่ย	5 (เป็นจำนวนครั้งที่อยู่ในช่วง 5 % ของค่าต่ำสุด)		
ครั้งที่	น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)	ความเข้มข้นต่ำสุดที่ระเบิดได้ (กรัม/ลบ.ม.)	หมายเหตุ
1	60.2	49.3	
2	58.8	48.2	
3	58.6	48.0	
4	59.2	48.5	
5	57.2	46.9	
เฉลี่ย		48.2	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ TC-5

การทดสอบเพื่อหาค่า LEL ของ

ครีมเทียม C

(ขนาดอนุภาค 150-180 ไมครอน)

วันที่ทำการทดลอง	วันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2539	ผู้ทดลอง	วชิญญ-ยุทธนา-ยุทธนา
อุปกรณ์ในการทดลอง	เครื่องทดสอบความสามารถในการระเบิดได้ของฝุ่นผง จุฬาฯ 2		
ชื่อของผงวัสดุที่ทดสอบ	Non-Dairy Cream C- 5		
ชนิดของผงวัสดุที่ทดสอบ	ครีมเทียมชนิดผง C		
ขนาดอนุภาค	150-180 ไมครอน		
การเตรียม	เก็บไว้ในภาชนะสุญญากาศ เป็นเวลามากกว่า 1 วัน		
สภาวะการอบแห้ง	ไม่อบ		
อุณหภูมิในการทดลอง	อุณหภูมิ 25 ⁰ C		
Spark delay time	0.1 วินาที		
ความกว้างของช่องอากาศ	1.0 มิลลิเมตร		
ระยะห่างของอิเล็กโทรด	4 มิลลิเมตร		
ความดันอากาศอัด	1.6 kg/cm ² G		
กระดาษกรอง	1 แผ่น	ชนิด	วัตแมน เบอร์ 93
จำนวนครั้งที่นำมาเฉลี่ย	6 (เป็นจำนวนครั้งที่อยู่ในช่วง 5 % ของค่าต่ำสุด)		
ครั้งที่	น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)	ความเข้มข้นต่ำสุดที่ระเบิดได้ (กรัม/ลบ.ม.)	หมายเหตุ
1	76.9	63.0	
2	76.1	62.4	
3	76	62.3	
4	75.7	62.0	
5	75.2	61.6	
6	75.4	61.8	
	เฉลี่ย	62.2	

ตารางที่ TC-6

การทดสอบเพื่อหาค่า LEL ของ

ครีมเทียม C

(ยังไม่ได้ทำการแยกขนาด)

วันที่ทำการทดลอง	วันที่ 21 กุมภาพันธ์ 2539	ผู้ทดลอง	วศัญญา-ยุทธนา-ยุทธนา	
อุปกรณ์ในการทดลอง	เครื่องทดสอบความสามารถในการระเบิดได้ของฝุ่นผง จุฬาฯ 2			
ชื่อของผงวัสดุที่ทดสอบ	Non-Dairy Cream C- 6			
ชนิดของผงวัสดุที่ทดสอบ	ครีมเทียมชนิดผง C			
ขนาดอนุภาค	ไม่ได้ทำการแยกขนาด			
การเตรียม	เก็บไว้ในภาชนะสุญญากาศ เป็นเวลามากกว่า 1 วัน			
สภาวะการอบแห้ง	ไม่อบ			
อุณหภูมิในการทดลอง	อุณหภูมิ 25 °C			
Spark delay time	0.1 วินาที			
ความกว้างของช่องอากาศ	1.0 มิลลิเมตร			
ระยะห่างของอิเล็กโทรด	4 มิลลิเมตร			
ความดันอากาศอัด	1.5 kg/cm ² G			
กระดาษกรอง	1 แผ่น	ชนิด	วัตแมน เบอร์ 93	
จำนวนครั้งที่นำมาเฉลี่ย	5 (เป็นจำนวนครั้งที่อยู่ในช่วง 5 % ของค่าต่ำสุด)			
ครั้งที่	น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)	ความเข้มข้นต่ำสุดที่ระเบิดได้ (กรัม/ลบ.ม.)		หมายเหตุ
1	125.2	102.6		
2	120.1	98.4		
3	118.8	97.4		
4	119.2	97.7		
5	119.7	98.1		
	เฉลี่ย	98.9		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ TK-1 การทดสอบเพื่อหาค่า LEL ของ ครีมเทียม K
(ขนาดอนุภาค น้อยกว่า 53 ไมครอน)

วันที่ทำการทดลอง	วันที่ 2 มีนาคม 2539	ผู้ทดลอง	วศัญญา-ยุธธนา-ยุธธนา
อุปกรณ์ในการทดลอง	เครื่องทดสอบความสามารถในการระเบิดได้ของฝุ่นผง จุฬาฯ 2		
ชื่อของผงวัสดุที่ทดสอบ	Non-Dairy Cream K- 1		
ชนิดของผงวัสดุที่ทดสอบ	ครีมเทียมชนิดผง K		
ขนาดอนุภาค	น้อยกว่า 53 ไมครอน		
การเตรียม	เก็บไว้ในภาชนะสุญญากาศ เป็นเวลามากกว่า 1 วัน		
สภาวะการอบแห้ง	ไม่อบ		
อุณหภูมิในการทดลอง	อุณหภูมิ 25 °C		
Spark delay time	0.1 วินาที		
ความกว้างของช่องอากาศ	1.0 มิลลิเมตร		
ระยะห่างของอิเล็กโทรด	4 มิลลิเมตร		
ความดันอากาศอัด	1.5 kg/cm ² G		
กระดาษกรอง	1 แผ่น	ชนิด	วัตแมน เบอร์ 93
จำนวนครั้งที่นำมาเฉลี่ย	3 (เป็นจำนวนครั้งที่อยู่ในช่วง 5 % ของค่าต่ำสุด)		
ครั้งที่	น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)	ความเข้มข้นต่ำสุดที่ระเบิดได้ (กรัม/ลบ.ม.)	หมายเหตุ
1	56.5	46.3	
2	58.3	47.8	
3	56.3	46.1	
	เฉลี่ย	46.7	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ TK-2

การทดสอบเพื่อหาค่า LEL ของ
(ขนาดอนุภาค 53-75 ไมครอน)

ครีมเทียม K

วันที่ทำการทดลอง	วันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2539	ผู้ทดลอง	วทันัญญา-อุทรรณา-อุทรรณา
อุปกรณ์ในการทดลอง	เครื่องทดสอบความสามารถในการระเบิดได้ของฝุ่นผง จุฬาฯ 2		
ชื่อของผงวัสดุที่ทดสอบ	Non-Dairy Cream K- 2		
ชนิดของผงวัสดุที่ทดสอบ	ครีมเทียมชนิดผง K		
ขนาดอนุภาค	53-75 ไมครอน		
การเตรียม	เก็บไว้ในภาชนะสุญญากาศ เป็นเวลามากกว่า 1 วัน		
สถานะการอบแห้ง	ไม่อบ		
อุณหภูมิในการทดลอง	อุณหภูมิ 25 °C		
Spark delay time	0.1 วินาที		
ความกว้างของช่องอากาศ	1.0 มิลลิเมตร		
ระยะห่างของอิเล็กโทรด	4 มิลลิเมตร		
ความดันอากาศอัด	1.5 kg/cm ² G		
กระดาษกรอง	1 แผ่น	ชนิด	วัตแมน เบอร์ 93
จำนวนครั้งที่นำมาเฉลี่ย	5 (เป็นจำนวนครั้งที่อยู่ในช่วง 5 % ของค่าต่ำสุด)		
ครั้งที่	น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)	ความเข้มข้นต่ำสุดที่ระเบิดได้ (กรัม/ลบ.ม.)	หมายเหตุ
1	58.3	47.8	
2	57.6	47.2	
3	56.9	46.6	
4	56.9	46.6	
5	57.7	47.3	
เฉลี่ย		47.1	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ TK-3

การทดสอบเพื่อหาค่า LEL ของ
(ขนาดอนุภาค 75-106 ไมครอน)

ครีมเทียม K

วันที่ทำการทดลอง	วันที่ 2 มีนาคม 2539	ผู้ทดลอง	วศัญญา-ยุทธนา-ยุทธนา
อุปกรณ์ในการทดลอง	เครื่องทดสอบความสามารถในการระเบิดได้ของฝุ่นผง จุฬาฯ 2		
ชื่อของผงวัสดุที่ทดสอบ	Non-Dairy Cream K- 3		
ชนิดของผงวัสดุที่ทดสอบ	ครีมเทียมชนิดผง K		
ขนาดอนุภาค	75-106 ไมครอน		
การเตรียม	เก็บไว้ในภาชนะสุญญากาศ เป็นเวลามากกว่า 1 วัน		
สภาวะการอบแห้ง	ไม่อบ		
อุณหภูมิในการทดลอง	อุณหภูมิ 25 °C		
Spark delay time	0.1 วินาที		
ความกว้างของช่องอากาศ	1.0 มิลลิเมตร		
ระยะห่างของอิเล็กโทรด	4 มิลลิเมตร		
ความดันอากาศอัด	1.5 kg/cm ² G		
กระดาษกรอง	1 แผ่น	ชนิด	วัตแมน เบอร์ 93
จำนวนครั้งที่นำมาเฉลี่ย	5 (เป็นจำนวนครั้งที่อยู่ในช่วง 5 % ของค่าต่ำสุด)		
ครั้งที่	น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)	ความเข้มข้นต่ำสุดที่ระเบิดได้ (กรัม/ลบ.ม.)	หมายเหตุ
1	56.2	46.1	
2	56	45.9	
3	55.5	45.5	
4	54.8	44.9	
5	54.5	44.7	
เฉลี่ย		45.4	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ TK-4

การทดสอบเพื่อหาค่า LEL ของ ครีมเทียม K
(ขนาดอนุภาค 108-150 ไมครอน)

วันที่ทำการทดลอง	วันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2539	ผู้ทดลอง	วศัญญา-ยุทธนา-ยุทธนา
อุปกรณ์ในการทดลอง	เครื่องทดสอบความสามารถในการระเบิดได้ของฝุ่นผง จุฬาฯ 2		
ชื่อของผงวัสดุที่ทดสอบ	Non-Dairy Cream K- 4		
ชนิดของผงวัสดุที่ทดสอบ	ครีมเทียมชนิดผง K		
ขนาดอนุภาค	106-150 ไมครอน		
การเตรียม	เก็บไว้ในภาชนะดูความชื้น เป็นเวลามากกว่า 1 วัน		
สถานะการอบแห้ง	ไม่อบ		
อุณหภูมิในการทดลอง	อุณหภูมิ 25 °C		
Spark delay time	0.1 วินาที		
ความกว้างของช่องอากาศ	1.0 มิลลิเมตร		
ระยะห่างของอิเล็กโทรด	4 มิลลิเมตร		
ความดันอากาศอัด	1.6 kg/cm ² G		
กระดาษกรอง	1 แผ่น	ชนิด	วัดแมน เบอร์ 93
จำนวนครั้งที่นำมาเฉลี่ย	6 (เป็นจำนวนครั้งที่อยู่ในช่วง 5 % ของค่าต่ำสุด)		
ครั้งที่	น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)	ความเข้มข้นต่ำสุดที่ระเบิดได้ (กรัม/ลบ.ม.)	หมายเหตุ
1	70.5	57.8	
2	68.9	56.5	
3	67.7	55.5	
4	68.5	56.1	
5	69.5	57.0	
6	67.4	55.2	
เฉลี่ย		56.4	

ตารางที่ TK-5

การทดสอบเพื่อหาค่า LEL ของ ครีมเทียม K
(ขนาดอนุภาค 150-180 ไมครอน)

วันที่ทำการทดลอง	วันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2539	ผู้ทดลอง	วัญญู-ยุทธนา-ยุทธนา
อุปกรณ์ในการทดลอง	เครื่องทดสอบความสามารถในการระเบิดได้ของฝุ่นผง จุฬาฯ 2		
ชื่อของผงวัสดุที่ทดสอบ	Non-Dairy Cream K- 5		
ชนิดของผงวัสดุที่ทดสอบ	ครีมเทียมชนิดผง K		
ขนาดอนุภาค	150-180 ไมครอน		
การเตรียม	เก็บไว้ในภาชนะสุญญากาศ เป็นเวลามากกว่า 1 วัน		
สถานะการอบแห้ง	ไม่อบ		
อุณหภูมิในการทดลอง	อุณหภูมิ 25 °C		
Spark delay time	0.1 วินาที		
ความกว้างของช่องอากาศ	1.0 มิลลิเมตร		
ระยะห่างของอิเล็กโทรด	4 มิลลิเมตร		
ความดันอากาศอัด	1.6 kg/cm ² G		
กระดาษกรอง	1 แผ่น	ชนิด	วัตแมน เบอร์ 93
จำนวนครั้งที่นำมาเฉลี่ย	4 (เป็นจำนวนครั้งที่อยู่ในช่วง 5 % ของค่าต่ำสุด)		
ครั้งที่	น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)	ความเข้มข้นต่ำสุดที่ระเบิดได้ (กรัม/ลบ.ม.)	หมายเหตุ
1	102	83.6	
1	101	82.8	
1	101.2	83.0	
1	100.6	82.5	
เฉลี่ย		83.0	

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ TK-6

การทดสอบเพื่อหาค่า LEL ของ
(ยังไม่ได้ทำการแยกขนาด)

ครีมเทียม K

วันที่ทำการทดลอง	วันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2539	ผู้ทดลอง	วทัญญู-อุทรนา-อุทรนา	
อุปกรณ์ในการทดลอง	เครื่องทดสอบความสามารถในการระเบิดได้ของฝุ่นผง จุฬาฯ 2			
ชื่อของผงวัสดุที่ทดสอบ	Non-Dairy Cream K- 6			
ชนิดของผงวัสดุที่ทดสอบ	ครีมเทียมชนิดผง K			
ขนาดอนุภาค	ไม่ได้ทำการแยกขนาด			
การเตรียม	เก็บไว้ในภาชนะสุญญากาศ เป็นเวลามากกว่า 1 วัน			
สภาวะการอบแห้ง	ไม่อบ			
อุณหภูมิในการทดลอง	อุณหภูมิ 25 °C			
Spark delay time	0.1 วินาที			
ความกว้างของช่องอากาศ	1.0 มิลลิเมตร			
ระยะห่างของอิเล็กโทรด	4 มิลลิเมตร			
ความดันอากาศอัด	1.5 kg/cm ² G			
กระดาษกรอง	1 แผ่น	ชนิด	วัตแมน เบอร์ 93	
จำนวนครั้งที่นำมาเฉลี่ย	5 (เป็นจำนวนครั้งที่อยู่ในช่วง 5 % ของค่าต่ำสุด)			
ครั้งที่	น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)	ความเข้มข้นต่ำสุดที่ระเบิดได้ (กรัม/ลบ.ม.)		หมายเหตุ
1	137.7	112.9		
2	136.1	111.6		
3	135.2	110.8		
เฉลี่ย		111.7		

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ TS-1 การทดสอบเพื่อหาค่า LEL ของ ผงขี้เลื่อย
(ขนาดอนุภาค 53-75 ไมครอน) (ผสมไลโคโปเดียม 2% โดยน้ำหนัก เพื่อเพิ่มการไหลตัว)

วันที่ทำการทดลอง	วันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2539	ผู้ทดลอง	วัญญู-ยุธนา-ยุธนา
อุปกรณ์ในการทดลอง	เครื่องทดสอบความสามารถในการระเบิดได้ของฝุ่นผง จุฬาฯ 2		
ชื่อของผงวัสดุที่ทดสอบ	Saw dust - 1		
ชนิดของผงวัสดุที่ทดสอบ	ผงขี้เลื่อยไม้สัก		
ขนาดอนุภาค	53-75 ไมครอน		
การเตรียม	เก็บไว้ในภาชนะสุญญากาศ เป็นเวลามากกว่า 1 วัน		
สถานะการอบแห้ง	อบ	อุณหภูมิ 100 °C , เวลา 24 ชั่วโมง	
อุณหภูมิในการทดลอง	อุณหภูมิ 25 °C		
Spark delay time	0.1 วินาที		
ความกว้างของช่องอากาศ	1.0 มิลลิเมตร		
ระยะห่างของอิเล็กโทรด	4 มิลลิเมตร		
ความดันอากาศอัด	1.6 kg/cm ² G		
กระดาษกรอง	1 แผ่น	ชนิด	วัตแมน เบอร์ 93
จำนวนครั้งที่นำมาเฉลี่ย	5 (เป็นจำนวนครั้งที่อยู่ในช่วง 5 % ของค่าต่ำสุด)		
ครั้งที่	น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)	ความเข้มข้นต่ำสุดที่ระเบิดได้ (กรัม/ลบ.ม.)	หมายเหตุ
1	60.6	49.7	
2	59	48.4	
3	58.6	48.0	
4	58	47.5	
5	58.5	48.0	
	เฉลี่ย	48.8	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ TS-2

การทดสอบเพื่อหาค่า LEL ของ

ผงซีลี้อย

(ขนาดอนุภาค 75-108 ไมครอน)

วันที่ทำการทดลอง	วันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2539	ผู้ทดลอง	วทีชญุ-ยุทธนา-ยุทธนา	
อุปกรณ์ในการทดลอง	เครื่องทดสอบความสามารถในการระเบิดได้ของฝุ่นผง จุฬาฯ 2			
ชื่อของผงวัสดุที่ทดสอบ	Saw dust - 1			
ชนิดของผงวัสดุที่ทดสอบ	ผงซีลี้อย ไม้สัก			
ขนาดอนุภาค	75-106 ไมครอน			
การเตรียม	เก็บไว้ในภาชนะสุุดความชื้น เป็นเวลามากกว่า 1 วัน			
สภาวะการอบแห้ง	อบ	อุณหภูมิ 100 °C , เวลา 24 ชั่วโมง		
อุณหภูมิในการทดลอง	อุณหภูมิ 25 °C			
Spark delay time	0.1 วินาที			
ความกว้างของช่องอากาศ	1.0 มิลลิเมตร			
ระยะห่างของอิเล็กโทรด	4 มิลลิเมตร			
ความดันอากาศอัด	1.6 kg/cm ² G			
กระดาษกรอง	1 แผ่น	ชนิด	วัตแมน เบอร์ 93	
จำนวนครั้งที่นำมาเฉลี่ย	5 (เป็นจำนวนครั้งที่อยู่ในช่วง 5 % ของค่าต่ำสุด)			
ครั้งที่	น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)	ความเข้มข้นต่ำสุดที่ระเบิดได้ (กรัม/ลบ.ม.)		หมายเหตุ
1	67.2	55.1		
2	65	53.3		
3	66.6	54.6		
4	65.4	53.6		
5	65.5	53.7		
เฉลี่ย		54.0		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ TS-8

การทดสอบเพื่อหาค่า LEL ของ
(ขนาดอนุภาค 106-150 ไมครอน)

ผงซีลี้อย

วันที่ทำการทดลอง	วันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2539	ผู้ทดลอง	วศัญญา-ยุทธนา-ยุทธนา	
อุปกรณ์ในการทดลอง	เครื่องทดสอบความสามารถในการระเบิดได้ของฝุ่นผง จุฬาฯ 2			
ชื่อของผงวัสดุที่ทดสอบ	Saw dust - 1			
ชนิดของผงวัสดุที่ทดสอบ	ผงซีลี้อยไม้สัก			
ขนาดอนุภาค	106-150 ไมครอน			
การเตรียม	เก็บไว้ในภาชนะสุญญากาศ เป็นเวลามากกว่า 1 วัน			
สถานะการอบแห้ง	อบ	อุณหภูมิ 100 °C, เวลา 24 ชั่วโมง		
อุณหภูมิในการทดลอง	อุณหภูมิ 25 °C			
Spark delay time	0.1 วินาที			
ความกว้างของช่องอากาศ	1.0 มิลลิเมตร			
ระยะห่างของอิเล็กโทรด	4 มิลลิเมตร			
ความดันอากาศอัด	1.7 kg/cm ² G			
กระดาษกรอง	1 แผ่น	ชนิด	วัตแมน เบอร์ 93	
จำนวนครั้งที่นำมาเฉลี่ย	6 (เป็นจำนวนครั้งที่อยู่ในช่วง 5 % ของค่าต่ำสุด)			
ครั้งที่	น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)	ความเข้มข้นต่ำสุดที่ระเบิดได้ (กรัม/ลบ.ม.)		หมายเหตุ
1	85.1	69.8		
2	82.6	67.7		
3	83	68.0		
4	82.7	67.8		
5	82.2	67.4		
6	82.4	67.5		
เฉลี่ย		68.0		

ตารางที่ TS-4

การทดสอบเพื่อหาค่า LEL ของ ผงซีลี้อย
(ขนาดอนุภาค 150-180 ไมครอน)

วันที่ทำการทดลอง	วันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2539	ผู้ทดลอง	วศัญญา-บุษรนา-บุษรนา
อุปกรณ์ในการทดลอง	เครื่องทดสอบความสามารถในการระเบิดได้ของฝุ่นผง จูฬาฯ 2		
ชื่อของผงวัสดุที่ทดสอบ	Saw dust - I		
ชนิดของผงวัสดุที่ทดสอบ	ผงซีลี้อยไม้สัก		
ขนาดอนุภาค	150-180 ไมครอน		
การเตรียม	เก็บไว้ในภาชนะสุญญากาศ เป็นเวลามากกว่า 1 วัน		
สภาวะการอบแห้ง	อบ	อุณหภูมิ 100 °C, เวลา 24 ชั่วโมง	
อุณหภูมิในการทดลอง	อุณหภูมิ 25 °C		
Spark delay time	0.1 วินาที		
ความกว้างของช่องอากาศ	1.0 มิลลิเมตร		
ระยะห่างของอิเล็กโทรด	4 มิลลิเมตร		
ความดันอากาศอัด	1.8 kg/cm ² G		
กระดาษกรอง	1 แผ่น	ชนิด	วัตแมน เบอร์ 93
จำนวนครั้งที่นำมาเฉลี่ย	6 (เป็นจำนวนครั้งที่อยู่ในช่วง 5 % ของค่าต่ำสุด)		
ครั้งที่	น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)	ความเข้มข้นต่ำสุดที่ระเบิดได้ (กรัม/ลบ.ม.)	หมายเหตุ
1	96.7	79.3	
2	94.4	77.4	
3	93.7	76.8	
4	94	77.0	
5	93.6	76.7	
6	93.5	76.6	
เฉลี่ย		77.3	

ตารางที่ TI-1

การทดสอบเพื่อหาค่า LEL ของ น้ำตาลไอซิ่ง
(ขนาดอนุภาค น้อยกว่า 53 ไมครอน)

วันที่ทำการทดลอง	วันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2539	ผู้ทดลอง	วศัญญา-ยุทธนา-ยุทธนา	
อุปกรณ์ในการทดลอง	เครื่องทดสอบความสามารถในการระเบิดได้ของฝุ่นผง จุฬาฯ 2			
ชื่อของผงวัสดุที่ทดสอบ	I-1			
ชนิดของผงวัสดุที่ทดสอบ	น้ำตาลไอซิ่งชนิดผง			
ขนาดอนุภาค	น้อยกว่า 53 ไมครอน			
การเตรียม	เก็บไว้ในภาชนะสุญญากาศ เป็นเวลามากกว่า 1 วัน			
สถานะการอบแห้ง	ไม่อบ			
อุณหภูมิในการทดลอง	อุณหภูมิ 25 °C			
Spark delay time	0.1 วินาที			
ความกว้างของช่องอากาศ	1.0 มิลลิเมตร			
ระยะห่างของอิเล็กโทรด	4 มิลลิเมตร			
ความดันอากาศอัด	1.6 kg/cm ² G			
กระดาษกรอง	1 แผ่น	ชนิด	วัดแมน เบอร์ 93	
จำนวนครั้งที่นำมาเฉลี่ย	7 (เป็นจำนวนครั้งที่อยู่ในช่วง 5 % ของค่าต่ำสุด)			
ครั้งที่	น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)	ความเข้มข้นต่ำสุดที่ระเบิดได้ (กรัม/ลบ.ม.)		หมายเหตุ
1	106.3	87.1		
2	105.9	86.8		
3	103.5	84.8		
4	105.1	86.1		
5	104.2	85.4		
6	103.8	85.1		
7	103.4	84.8		
	เฉลี่ย	85.7		

ตารางที่ TI-2

การทดสอบเพื่อหาค่า LEL ของ น้ำตาลไอซิ่ง
(ขนาดอนุภาค 53-75 ไมครอน)

วันที่ทำการทดลอง	วันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2539	ผู้ทดลอง	วาทัญญู-ยุทธนา-ยุทธนา	
อุปกรณ์ในการทดลอง	เครื่องทดสอบความสามารถในการระเบิดได้ของฝุ่นผง จุฬาฯ 2			
ชื่อของผงวัสดุที่ทดสอบ	I- 2			
ชนิดของผงวัสดุที่ทดสอบ	น้ำตาลไอซิ่งชนิดผง			
ขนาดอนุภาค	53-75 ไมครอน			
การเตรียม	เก็บไว้ในภาชนะสุญญากาศ เป็นเวลามากกว่า 1 วัน			
สภาวะการอบแห้ง	ไม่อบ			
อุณหภูมิในการทดลอง	อุณหภูมิ 25 °C			
Spark delay time	0.1 วินาที			
ความกว้างของช่องอากาศ	1.0 มิลลิเมตร			
ระยะห่างของอิเล็กโทรด	4 มิลลิเมตร			
ความดันอากาศอัด	1.5 kg/cm ² G			
กระดาษกรอง	1 แผ่น	ชนิด	วัตแมน เบอร์ 93	
จำนวนครั้งที่นำมาเฉลี่ย	6 (เป็นจำนวนครั้งที่อยู่ในช่วง 5 % ของค่าต่ำสุด)			
ครั้งที่	น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)	ความเข้มข้นต่ำสุดที่ระเบิดได้ (กรัม/ลบ.ม.)		หมายเหตุ
1	121	99.2		
2	120	98.4		
3	119.3	97.8		
4	119	97.5		
5	119.6	98.0		
6	119.2	97.7		
เฉลี่ย		98.1		

ตารางที่ TI-8

การทดสอบเพื่อหาค่า LEL ของ
(ขนาดอนุภาค 75-106 ไมครอน)

น้ำตาลไอซิ่ง

วันที่ทำการทดลอง	วันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2539	ผู้ทดลอง	วัญญู-ยุธนา-ยุธนา
อุปกรณ์ในการทดลอง	เครื่องทดสอบความสามารถในการระเบิดได้ของฝุ่นผง จุฬาฯ 2		
ชื่อของผงวัสดุที่ทดสอบ	I- 3		
ชนิดของผงวัสดุที่ทดสอบ	น้ำตาลไอซิ่งชนิดผง		
ขนาดอนุภาค	75-106 ไมครอน		
การเตรียม	เก็บไว้ในภาชนะสุญญากาศ เป็นเวลามากกว่า 1 วัน		
สภาวะการอบแห้ง	ไม่อบ		
อุณหภูมิในการทดลอง	อุณหภูมิ 25 °C		
Spark delay time	0.1 วินาที		
ความกว้างของช่องอากาศ	1.0 มิลลิเมตร		
ระยะห่างของอิเล็กโทรด	4 มิลลิเมตร		
ความดันอากาศอัด	1.5 kg/cm ² G		
กระดาษกรอง	1 แผ่น	ชนิด	วัตแมน เบอร์ 93
จำนวนครั้งที่นำมาเฉลี่ย	5 (เป็นจำนวนครั้งที่อยู่ในช่วง 5 % ของค่าต่ำสุด)		
ครั้งที่	น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)	ความเข้มข้นต่ำสุดที่ระเบิดได้ (กรัม/ลบ.ม.)	หมายเหตุ
1	126.9	104.0	
2	125.1	102.5	
3	122.4	100.3	
4	122.8	100.7	
5	122.6	100.5	
เฉลี่ย		101.8	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ TI-4

การทดสอบเพื่อหาค่า LEL ของ น้ำตาลไอซิ่ง
(ขนาดอนุภาค 106-150 ไมครอน)

วันที่ทำการทดลอง	วันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2539	ผู้ทดลอง	วทัญญู-ยุทธนา-ยุทธนา	
อุปกรณ์ในการทดลอง	เครื่องทดสอบความสามารถในการระเบิดได้ของฝุ่นผง จุฬาฯ 2			
ชื่อของผงวัสดุที่ทดสอบ	I- 4			
ชนิดของผงวัสดุที่ทดสอบ	น้ำตาลไอซิ่งชนิดผง			
ขนาดอนุภาค	106-150 ไมครอน			
การเตรียม	เก็บไว้ในภาชนะสุญญากาศ เป็นเวลามากกว่า 1 วัน			
สภาวะการอบแห้ง	ไม่อบ			
อุณหภูมิในการทดลอง	อุณหภูมิ 25 °C			
Spark delay time	0.1 วินาที			
ความกว้างของช่องอากาศ	1.0 มิลลิเมตร			
ระยะห่างของอิเล็กโทรด	4 มิลลิเมตร			
ความดันอากาศอัด	1.7 kg/cm ² G			
กระดาษกรอง	1 แผ่น	ชนิด	วัตแมน เบอร์ 93	
จำนวนครั้งที่นำมาเฉลี่ย	5 (เป็นจำนวนครั้งที่อยู่ในช่วง 5 % ของค่าต่ำสุด)			
ครั้งที่	น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)	ความเข้มข้นต่ำสุดที่ระเบิดได้ (กรัม/ลบ.ม.)		หมายเหตุ
1	175.1	143.5		
2	173.8	142.5		
3	173	141.8		
4	173	141.8		
5	172.5	141.4		
เฉลี่ย		142.2		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ TI-5

การทดสอบเพื่อหาค่า LEL ของ น้ำตาลไอซิ่ง
(ขนาดอนุภาค 150-180 ไมครอน)

วันที่ทำการทดลอง	วันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2539	ผู้ทดลอง	วชิญญา-ยุธนา-ยุธนา	
อุปกรณ์ในการทดลอง	เครื่องทดสอบความสามารถในการระเบิดได้ของฝุ่นผง จุฬาฯ 2			
ชื่อของผงวัสดุที่ทดสอบ	I- 5			
ชนิดของผงวัสดุที่ทดสอบ	น้ำตาลไอซิ่งชนิดผง			
ขนาดอนุภาค	150-180 ไมครอน			
การเตรียม	เก็บไว้ในภาชนะสุญญากาศ เป็นเวลามากกว่า 1 วัน			
สถานะการอบแห้ง	ไม่อบ			
อุณหภูมิในการทดลอง	อุณหภูมิ 25 °C			
Spark delay time	0.1 วินาที			
ความกว้างของช่องอากาศ	1.0 มิลลิเมตร			
ระยะห่างของอิเล็กโทรด	4 มิลลิเมตร			
ความดันอากาศอัด	1.8 kg/cm ² G			
กระดาษกรอง	1 แผ่น	ชนิด	วัตแมน เบอร์ 93	
จำนวนครั้งที่นำมาเฉลี่ย	4 (เป็นจำนวนครั้งที่อยู่ในช่วง 5 % ของค่าต่ำสุด)			
ครั้งที่	น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)	ความเข้มข้นต่ำสุดที่ระเบิดได้ (กรัม/ลบ.ม.)		หมายเหตุ
1	395.6	324.3		
2	393.2	322.3		
3	392.4	321.6		
4	392.6	321.8		
	เฉลี่ย	322.5		

สถาบันวิจัยบวการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ TL-6

การทดสอบเพื่อหาค่า LEL ของ
(ยังไม่ได้ทำการแยกขนาด)

น้ำตาลไอซิ่ง

วันที่ทำการทดลอง	วันที่ 2 มีนาคม 2539	ผู้ทดลอง	วทัญญู-ยุทธนา-ยุทธนา	
อุปกรณ์ในการทดลอง	เครื่องทดสอบความสามารถในการระเบิดได้ของฝุ่นผง จุฬาฯ 2			
ชื่อของผงวัสดุที่ทดสอบ	I-6			
ชนิดของผงวัสดุที่ทดสอบ	น้ำตาลไอซิ่งชนิดผง			
ขนาดอนุภาค	ไม่ได้ทำการแยกขนาด			
การเตรียม	เก็บไว้ในภาชนะสุญญากาศ เป็นเวลามากกว่า 1 วัน			
สภาวะการอบแห้ง	ไม่อบ			
อุณหภูมิในการทดลอง	อุณหภูมิ 25 °C			
Spark delay time	0.1 วินาที			
ความกว้างของช่องอากาศ	1.0 มิลลิเมตร			
ระยะห่างของอิเล็กโทรด	4 มิลลิเมตร			
ความดันอากาศอัด	1.6 kg/cm ² G			
กระดาษกรอง	1 แผ่น	ชนิด	วัตแมน เบอร์ 93	
จำนวนครั้งที่นำมาเฉลี่ย	5 (เป็นจำนวนครั้งที่อยู่ในช่วง 5 % ของค่าต่ำสุด)			
ครั้งที่	น้ำหนักสารตัวอย่าง (กรัม)	ความเข้มข้นต่ำสุดที่ระเบิดได้ (กรัม/ลบ.ม.)		หมายเหตุ
1	165.7	135.8		
2	163.2	133.8		
3	162.8	133.4		
4	163.1	133.7		
5	165	135.2		
	เฉลี่ย	134.4		

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Particle size Analysis (Standard sieve)

Table ana-cas1 Particle size distribution of cassava flour group F1
(Tradename : tawyaymom)

Nominal particle size (microns)	Weight of dust on sieve (g)	% Weight on sieve (g)	% cumulative
22.5	14.31	15	15
49	18.23	20	35
64	40.43	44	79
90.5	7.64	8	87
128	6.84	7	94
165	5.23	6	100
	92.68	100	

Weight 50 % Average 52 microns

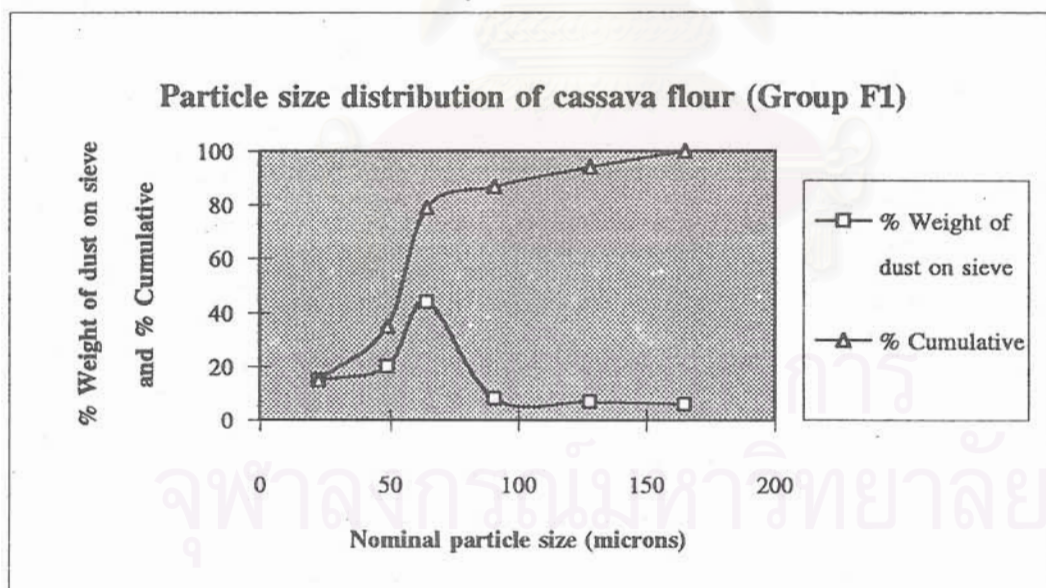




Table ana-cas2 Particle size distribution of cassava flour group F2
(Tradename : dragon fish)

Nominal particle size (microns)	Weight of dust on sieve (g)	% Weight on sieve (g)	% cumulative
22.5	17.51	18	18
49	19.34	20	37
64	21.56	22	59
90.5	29.17	29	88
128	4.39	4	93
165	7.10	7	100
	99.07	100	

Weight 50 % Average 57 microns

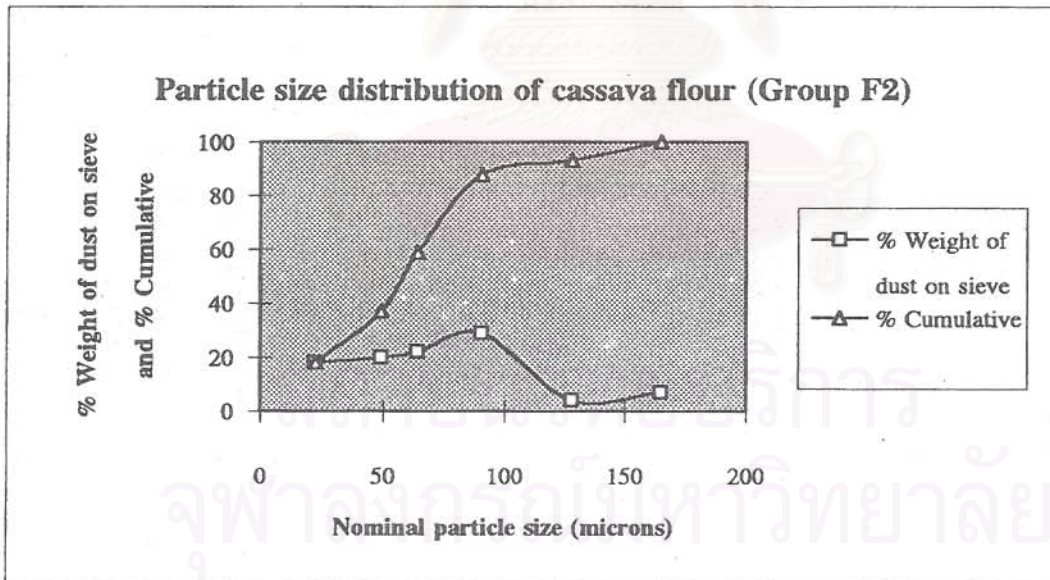


Table ana-rice Particle size distribution of rice flour group F3
(Tradename : Erawan)

Nominal particle size (microns)	Weight of dust on sieve (g)	% Weight on sieve (g)	% cumulative
64	2.47	2	2
90.5	1.74	2	4
128	27.92	28	32
165	47.44	48	80
180	19.97	20	100
	99.54	100	

Weight 50 % Average 140 microns

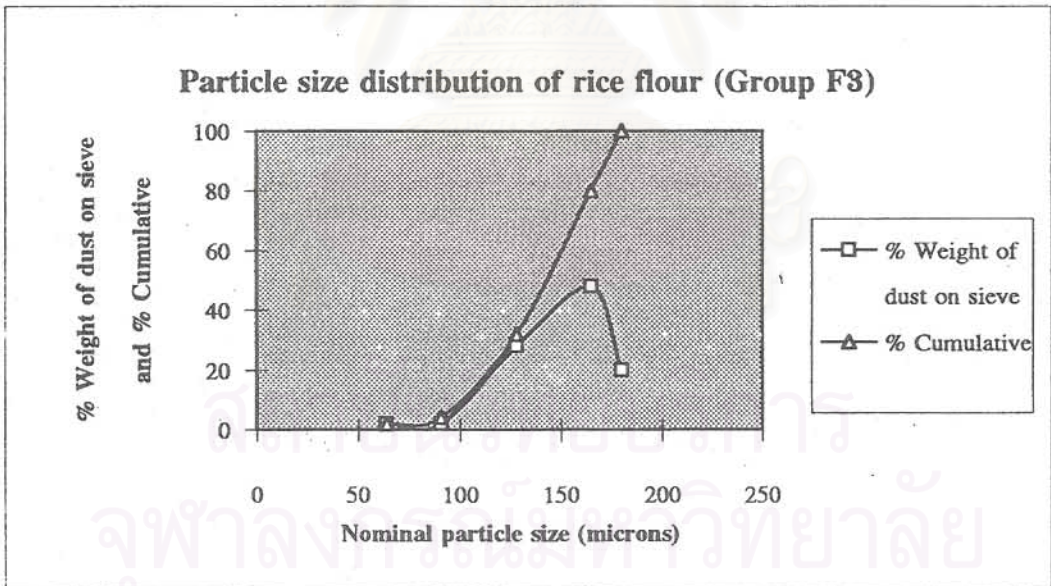


Table ana-corn Particle size distribution of corn flour group F4
(Tradename : Tamfood)

Nominal particle size (microns)	Weight of dust on sieve (g)	% Weight on sieve (g)	% cumulative
22.5	3.33	4	4
49	8.92	10	13
64	36.02	39	52
90.5	34.34	37	89
128	7.28	8	97
165	2.75	3	100
	92.64	100	

Weight 50 % Average 60 microns

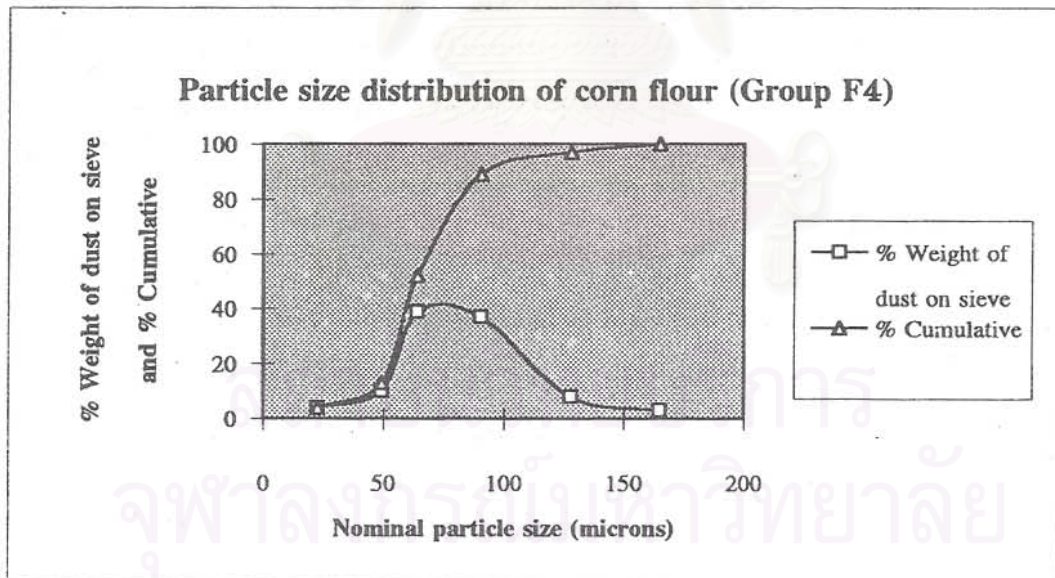
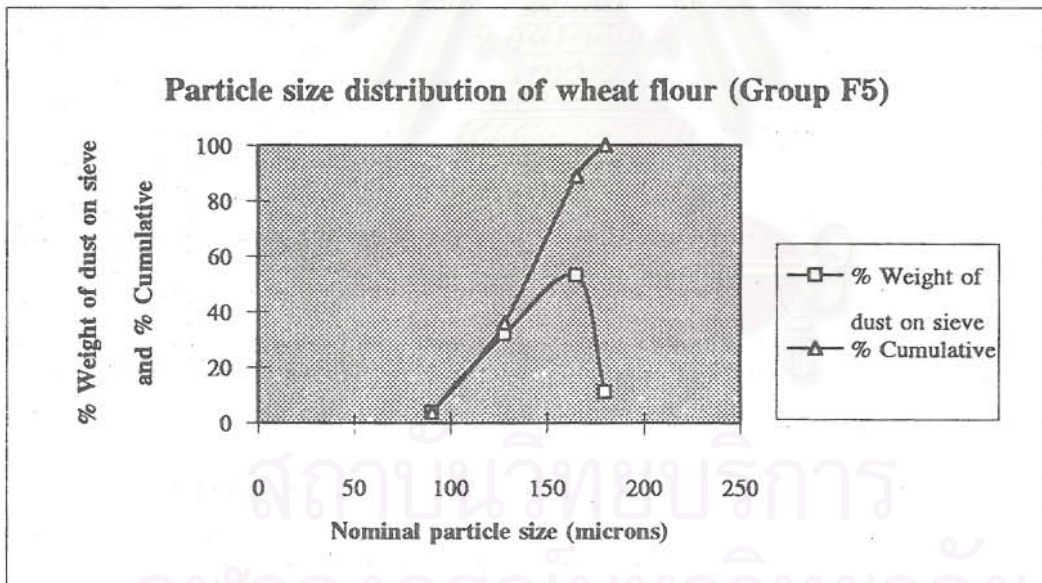


Table ana-wheat Particle size distribution of wheat flour group F5
(Tradename : Australian wheat)

Nominal particle size (microns)	Weight of dust on sieve (g)	% Weight on sieve (g)	% cumulative
90.5	3.94	4	4
128	29.69	32	36
165	50.06	53	89
180	10.03	11	100
	93.72	100	

Weight 50 % Average 138 microns



Particle Size Analysis

Table ana-lyco-1 Particle size distribution of lycopodium

Sample	Lycopodium
Sample Density, g/cc.	1.05
Dispersion Medium	Ethanol
Medium Density, g/cc.	0.789
Medium Viscosity, cp	1.135
Room Temperature, C	23
Medium Temperature, C	23
Dispersion Method	S-K Disperser
Date	9/2/95
Maximum Size, microns	70

Range (microns)	Weight of dust (g)	Accumulate Weight (g)	% by weight (Accumulation)
0<8	0.116	0.116	0.86
8<16	1.768	1.884	14.0
16<18	1.872	3.756	27.9
18<20	2.278	6.034	44.8
20<25	0.231	6.265	46.5
25<35	2.486	8.751	64.9
35<50	3.247	12.00	89.0
50<70	1.482	13.48	100

Weight 50% Average 26 microns

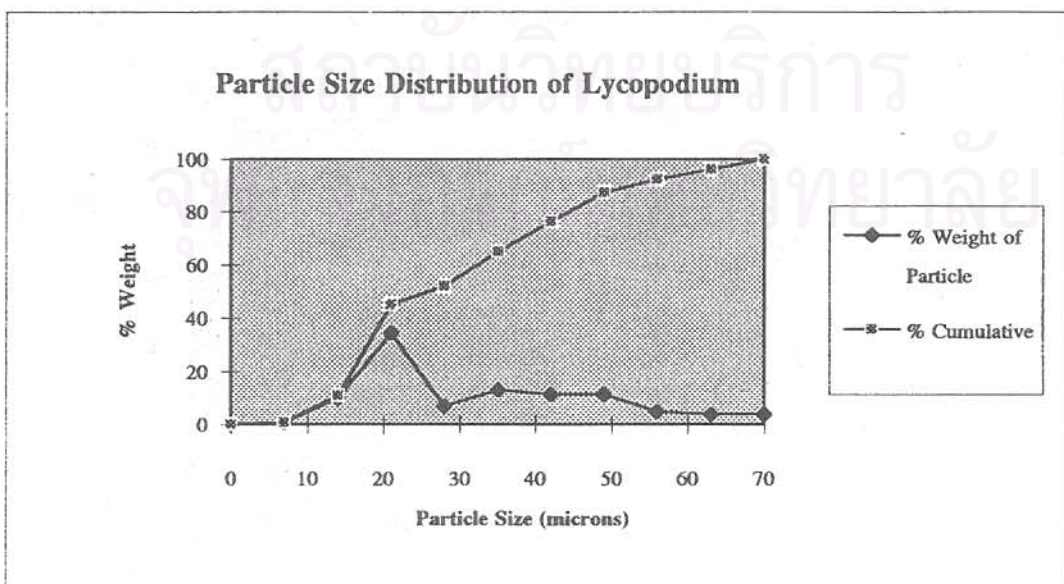


Table ana-HDPE-1 Particle size distribution of HDPE

Sample	HDPE
Sample Density, g/cc.	0.96
Dispersion Medium	Ethanol
Medium Density, g/cc.	0.789
Medium Viscosity, cp	1.115
Room Temperature, C	24
Medium Temperature, C	24
Dispersion Method	S-K Disperser
Date	28/04/1995
Maximum Size, microns	70

Range (microns)	Weight of dust (g)	Accumulate Weight (g)	% by weight (Accumulation)
0<4	0.031	0.031	0.18
4<8	0.057	0.088	0.50
8<16	1.151	1.239	7.02
16<20	1.755	2.994	17.0
20<25	2.076	5.070	28.7
25<30	1.805	6.875	38.9
30<35	2.681	9.556	54.1
35<40	0.916	10.472	59.3
40<50	3.425	13.897	78.7
50<70	3.762	17.659	100

Weight 50% Average 33.6 microns

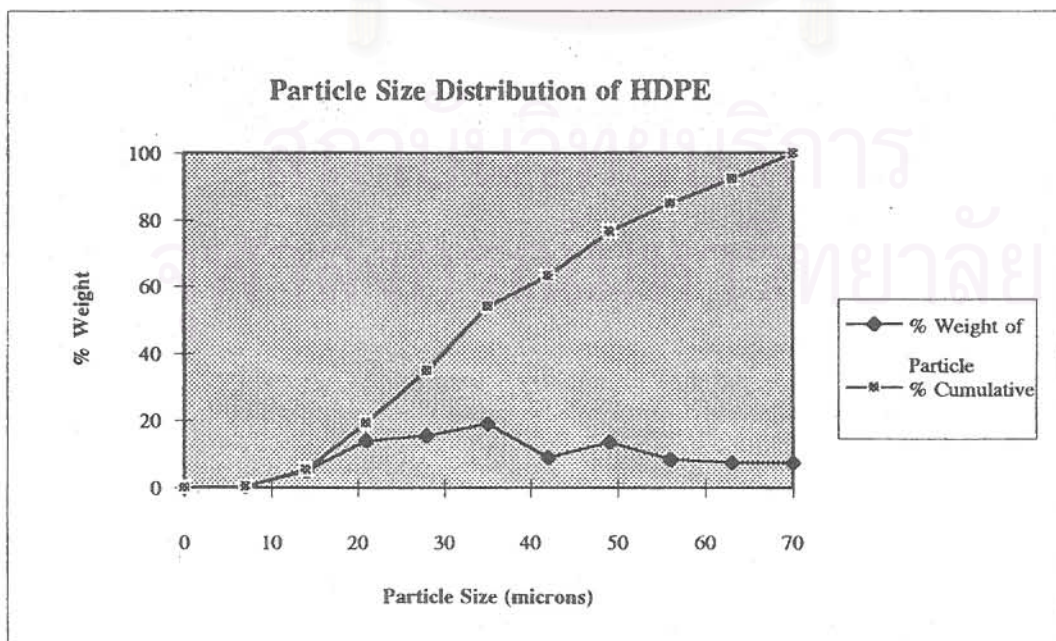


Table ana-dext-1 Particle size distribution of Dextrin

Sample	Dextrin
Sample Density, g/cc.	1.038
Dispersion Medium	Ethanol
Medium Density, g/cc.	0.789
Medium Viscosity, cp	1.075
Room Temperature, C	25
Medium Temperature, C	26
Dispersion Method	S-K Disperser
Date	15/03/1995
Maximum Size, microns	120

Range (microns)	Weight of dust (g)	Accumulate Weight (g)	% by weight (Accumulation)
0<6	0.026	0.026	0.09
6<12	0.052	0.078	0.28
12<25	1.481	1.559	5.55
25<35	2.000	3.559	12.7
35<60	12.64	16.20	57.6
60<90	11.17	27.37	97.4
90<120	0.738	28.11	100

Weight 50% Average 55 microns

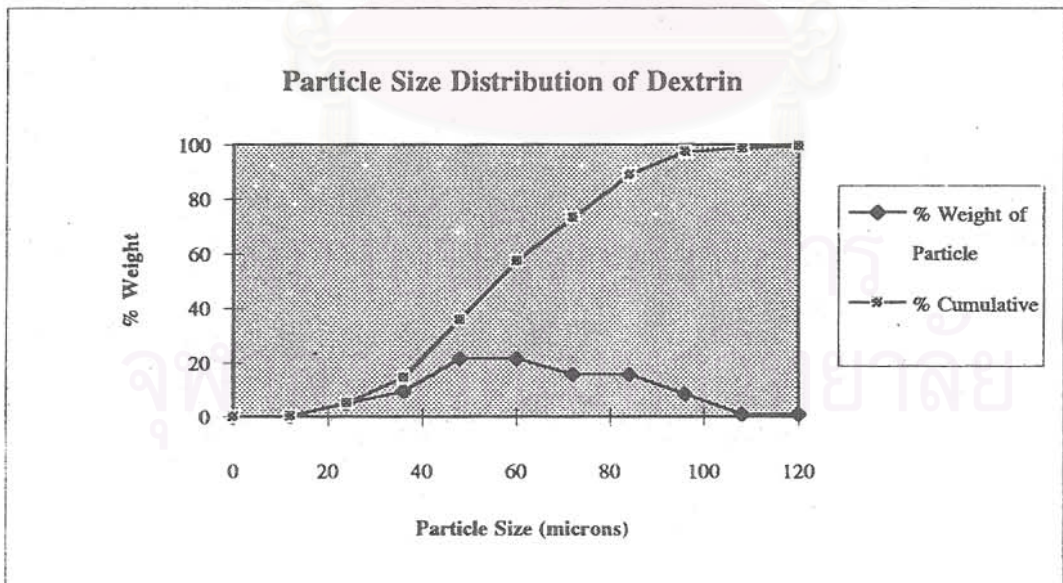


Table ana-sulfur-1 Particle size distribution of Sulfur

Sample	Sulfur
Sample Density, g/cc.	2.046
Dispersion Medium	Iso Butanol
Medium Density, g/cc.	0.805
Medium Viscosity, cp	3.29
Room Temperature, C	25
Medium Temperature, C	26
Dispersion Method	S-K Dispenser
Date	14/03/1995
Maximum Size, microns	80

Range (microns)	Weight of dust (g)	Accumulate Weight (g)	% by weight (Accumulation)
0<4	0.183	0.183	1.60
4<8	0.136	0.319	2.79
8<18	1.487	1.806	15.8
18<25	2.145	3.951	34.5
25<30	1.88	5.830	50.9
30<40	3.02	8.848	77.3
40<60	2.334	11.18	97.7
60<80	0.269	11.45	100

Weight 50% Average 29 microns

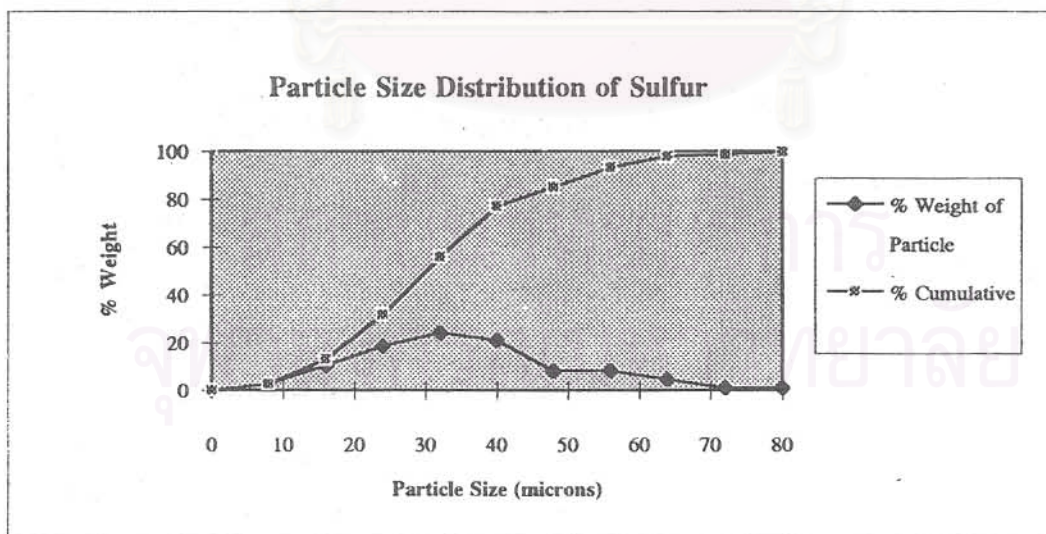


Table ana-modi-1 Particle size distribution of cassava modified starch

Sample	CATO-304
Sample Density, g/cc.	1.50
Dispersion Medium	Ethanol
Medium Density, g/cc.	0.789
Medium Viscosity, cp	1.035
Room Temperature, C	28
Medium Temperature, C	28
Dispersion Method	S-K Disperser
Date	24/04/1995
Maximum Size, microns	75

Range (microns)	Weight of dust (g)	Accumulate Weight (g)	% by weight (Accumulation)
0<8	0.232	0.232	2.65
8<16	2.684	2.916	33.3
16<20	1.279	4.195	47.9
20<30	2.438	6.633	75.8
30<50	1.190	7.823	89.4
50<75	0.926	8.749	100

Weight 50% Average 20.7 microns

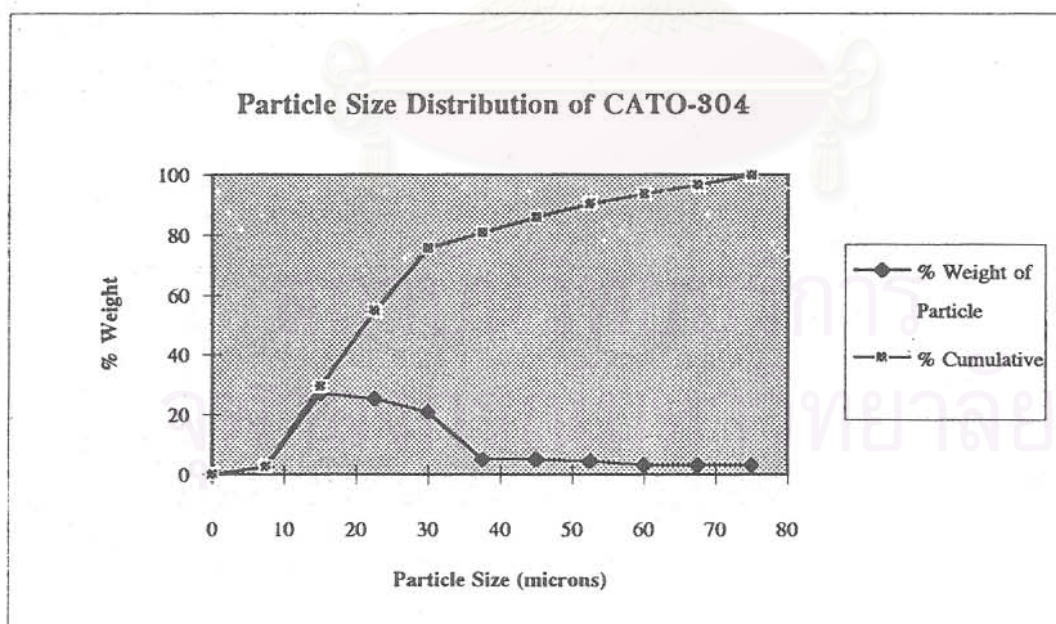


Table ana-modi-2 Particle size distribution of cassava modified starch

Sample	CATO-3210
Sample Density, g/cc.	1.50
Dispersion Medium	Iso Butanol
Medium Density, g/cc.	0.805
Medium Viscosity, cp	3.19
Room Temperature, C	27
Medium Temperature, C	27
Dispersion Method	S-K Disperser
Date	26/4/1995
Maximum Size, microns	80

Range (microns)	Weight of dust (g)	Accumulate Weight (g)	% by weight (Accumulation)
0<4	0.043	0.043	0.37
4<9	0.340	0.383	3.31
9<18	2.290	2.673	23.1
18<20	0.070	2.743	23.7
20<25	3.583	6.326	54.6
25<30	1.415	7.741	66.8
30<40	2.257	9.998	86.3
40<50	0.905	10.903	94.2
50<60	0.357	11.26	97.2
60<80	0.320	11.58	100

Weight 50% Average 24.3 microns

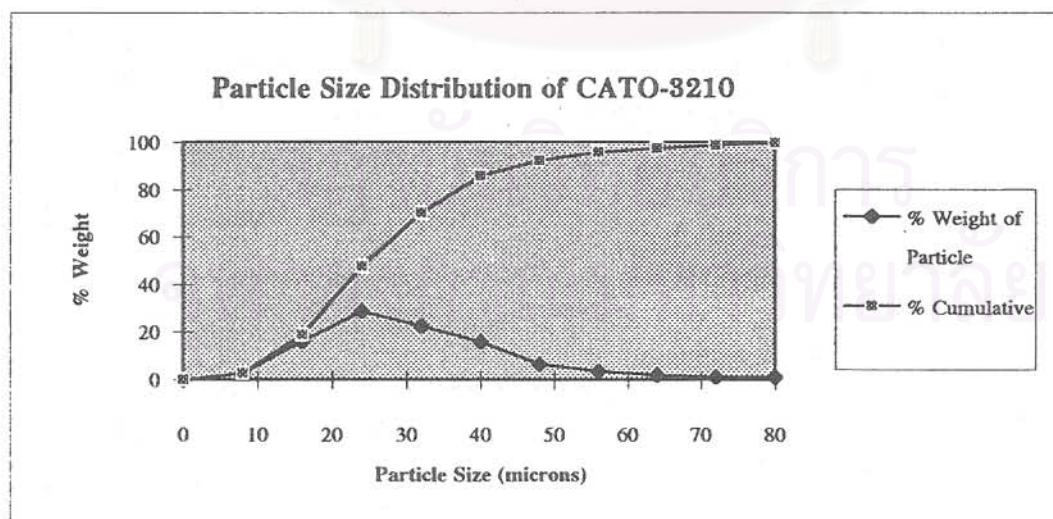


Table ana-modi-3 Particle size distribution of cassava modified starch

Sample	Purity-4
Sample Density, g/cc.	1.50
Dispersion Medium	Iso Butanol
Medium Density, g/cc.	0.805
Medium Viscosity, cp	3.09
Room Temperature, C	28
Medium Temperature, C	28
Dispersion Method	S-K Disperser
Date	25/04/1995
Maximum Size, microns	120

Range (microns)	Weight of dust (g)	Accumulate Weight (g)	% by weight (Accumulation)
0<6	0.097	0.097	0.86
6<12	0.376	0.473	4.19
12<25	7.487	7.960	70.5
25<40	1.413	9.373	83.1
40<60	0.955	10.33	91.5
60<90	0.414	10.74	95.2
90<120	0.541	11.28	100

Weight 50% Average 20.9 microns

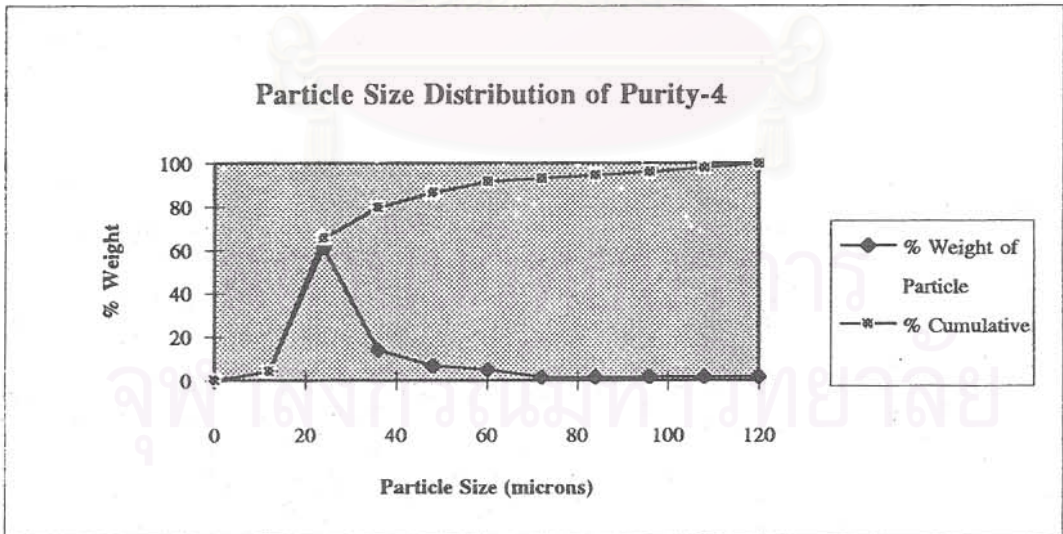


Table ana-modi-4 Particle size distribution of Corn modified starch

Sample	Absorb HP
Sample Density, g/cc.	1.38
Dispersion Medium	Iso Butanol
Medium Density, g/cc.	0.805
Medium Viscosity, cp	3.38
Room Temperature, C	25
Medium Temperature, C	25
Dispersion Method	S-K Disperser
Date	27/04/1995
Maximum Size, microns	60

Range (microns)	Weight of dust (g)	Accumulate Weight (g)	% by weight (Accumulation)
0<3	0.064	0.064	0.57
3<7	0.399	0.463	4.12
7<14	0.549	1.012	9.01
14<16	1.953	2.965	26.4
16<20	2.095	5.060	45.0
20<25	0.740	5.800	51.6
25<35	3.546	9.346	83.2
35<45	0.627	9.973	88.8
45<60	1.259	11.23	100

Weight 50% Average 26.5 microns

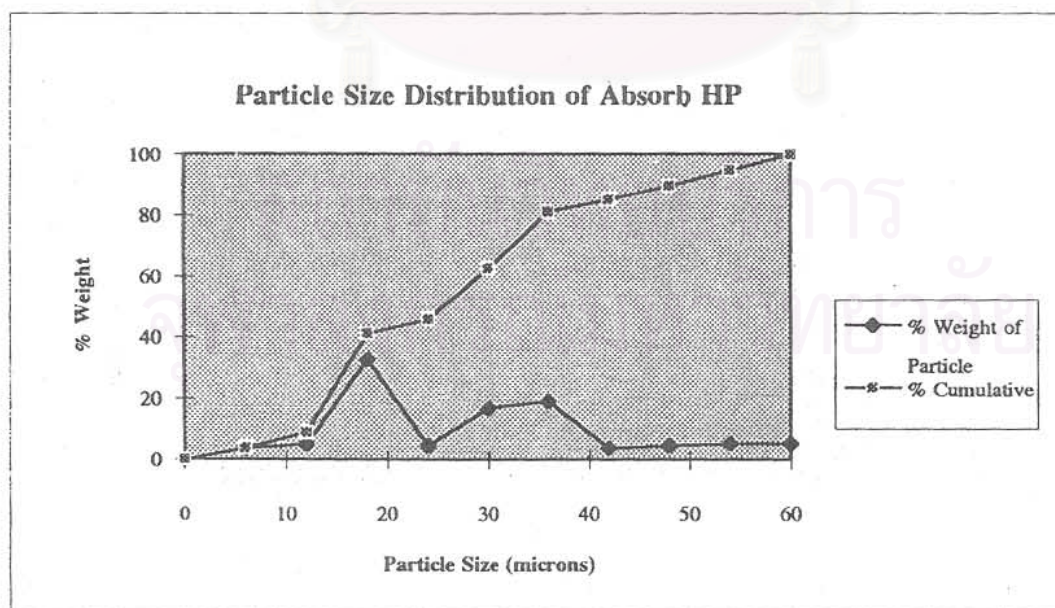


Table ana-Toner(V) Particle size distribution of Virgin Toner

Sample	Virgin Toner
Sample Density, g/cc.	0.903
Dispersion Medium	Ethanol
Medium Density, g/cc.	0.789
Medium Viscosity, cp	1.035
Room Temperature, C	28
Medium Temperature, C	28
Dispersion Method	S-K Disperser
Date	25/04/1995
Maximum Size, microns	75

Range (microns)	Weight of dust (g)	Accumulate Weight (g)	% by weight (Accumulation)
0<5	0.091	0.091	1.15
5<10	1.041	1.132	14.3
10<20	3.016	4.148	52.3
20<25	2.018	6.166	77.7
25<30	0.553	6.719	84.7
30<40	0.433	7.152	90.1
40<50	0.449	7.601	95.8
50<75	0.333	7.934	100

Weight 50% Average 19.4 microns

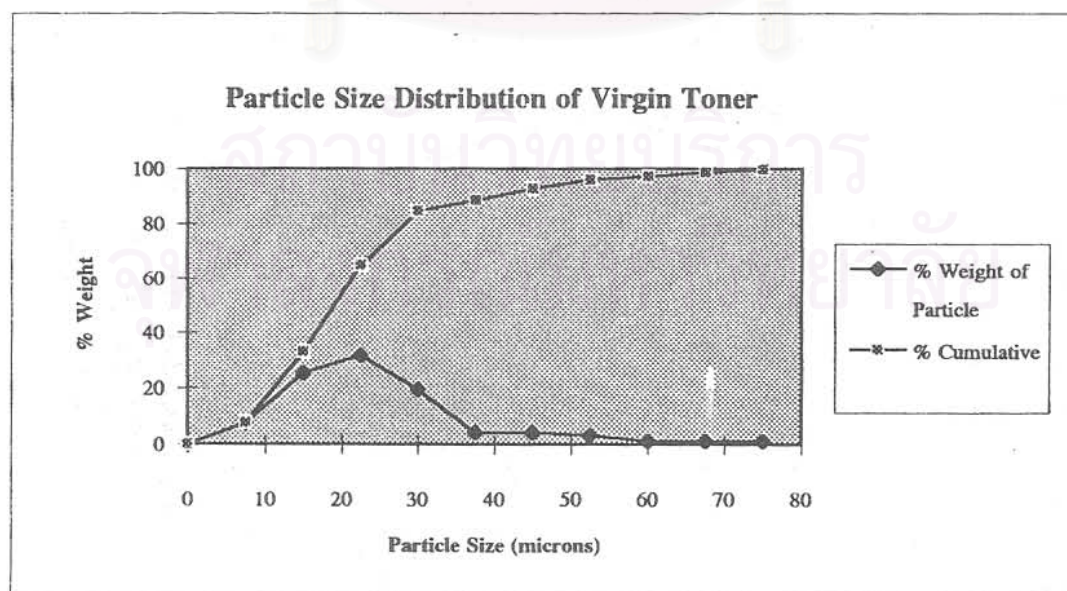
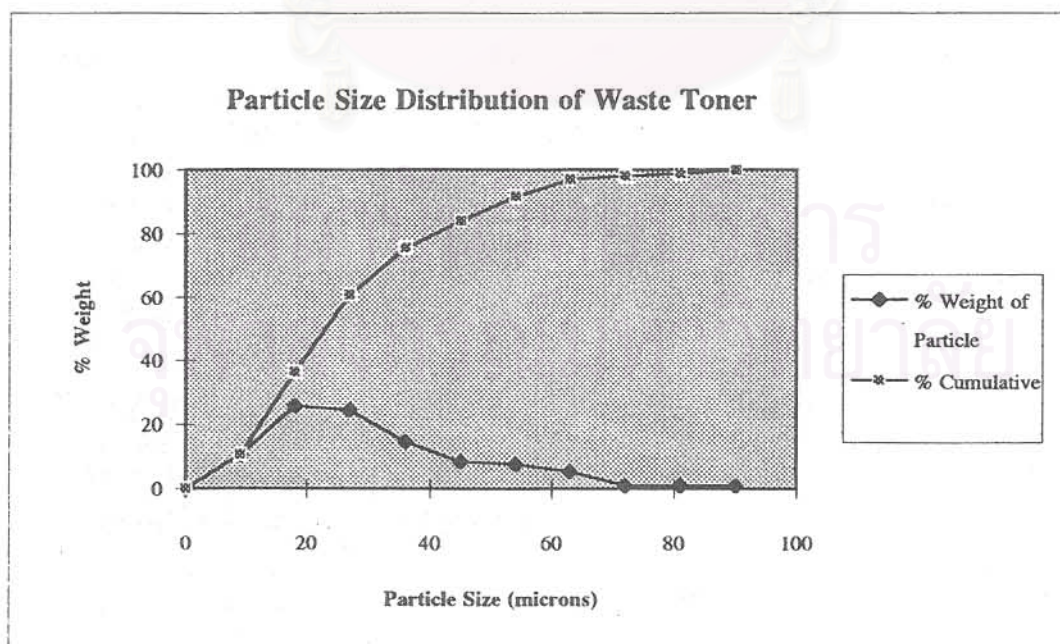


Table ana-Toner(W) Particle size distribution of Waste Toner

Sample	Waste Toner
Sample Density, g/cc.	0.903
Dispersion Medium	Ethanol
Medium Density, g/cc.	0.789
Medium Viscosity, cp	0.997
Room Temperature, C	30
Medium Temperature, C	30
Dispersion Method	S-K Disperser
Date	25/04/1995
Maximum Size, microns	90

Range (microns)	Weight of dust (g)	Accumulate Weight (g)	% by weight (Accumulation)
0<5	0.012	0.012	0.14
5<11	1.406	1.418	16.0
11<22	2.823	4.241	48.0
22<25	0.639	4.88	55.2
25<30	1.254	6.134	69.4
30<40	0.918	7.052	79.8
40<60	1.511	8.563	96.9
60<90	0.273	8.836	100

Weight 50% Average 22.8 microns



ภาคผนวก 3

Information of chemical composition of Flour and Starch

Table inform-1 Lipids in various cereal starches

	Wheat	Com ^a (maize)	Amyllo- maize ^a	Waxy maize ^a
	(% or mg/100g) ^b			
<i>Nonpolar lipids</i>	6%	60%	73%	88%
Sterol esters	2	3	9	7
Triacylglycerils	15	5	16	12
Diacylglycerals	7	3	16	6
Monoacylglycerols	8	12	13	5
Free fatty acids	27	380	650	105
<i>Glycolipids</i>	5%	1%	5%	6%
Sterol glycosides	3	7	13	3
Monogalactosyldiacryl- glycerols	4			1
Monogalactosylmono- acylglycerols	10		18	
Digalactosyldiacyl- glycerols	11			2
Digalactosylmono- glucerols	24		17	3
<i>Phospholipids</i>	89%	39%	22%	6%
Lyso-phosphatidyl ethanolamines	104	17	16	1
Lyso-phosphatidyl glycerols	23	6	7	trace
Lyso-phosphatidyl cholines	783	226	183	8
Lyso-phosphatidyl serines,inositols	26	8	6	trace
Total lipids	1047	667	964	153

^a Amylose content in starch amounts to 23% (corn), 70% (amylomaize) and 5% (waxy maize cultivars)

^b Results for lipid classes are expressed as % of total lipids present in starch, and for individual lipid Compounds as mg/100g starch dry matter.

Table inform-2 Average composition of wheat-and rye flours^a

A. Wheat flour	Type				
	405	550	812	1,050	1,700 ^b
	Flour extraction rate ^c				
	40-56%	64-71%	76-79%	82-85%	100%
Starch	84.2	81.8	78.4	78.2	66
Protein (N*6.25)	11.7	12.3	13	13.3	14.8
Lipids	1	1.2	1.5	1.9	2.3
Dietary fiber ^d	3.7	3.7		4.9	10.9
Minerals (ash)	0.41	0.55	0.81	1.05	1.7

B. Rye flour	Type				
	815	997	1,150	1,370	1,740
	Flour extraction rate ^c				
	62-72%	75-78%	79-83%	84-87%	90-95%
Starch	77.5	74.6	72.2	69.3	62.8
Protein (N*6.25)	9.6	10.1	10.6	11.2	12.4
Lipids	1.1	1.1	1.3	1.5	1.5
Insoluble pentosans	3.8	4.3	4.8	5.2	6.5
Soluble pentosans	1.4	1.5	1.6	1.7	1.9
Minerals (ash)	0.82	1	1.15	1.37	1.74

^a Weight-% per dry matter of wheat and rye flours. Flour average moisture content is 13 weight-%

^b Whole wheat flour.

^c Approximate data.

^d Indigestible carbohydrates (water soluble and insoluble), lignin.

Table inform-3 Protein content of wheat flours as affected by flour particle size

Particle size (microns)	As portion of flour (weight %)	Protein content (weight %)
0.-13	4	19
13-17	8	14
17-22	18	7
22-28	18	5
28-35	9	7
>35	43	11.5

Table inform-4 Average composition of vegetables (as % of fresh edible portion)

Vegetable	Dry matter	N-Com- pounds	Carbo- hydrates	Lipids	Crude fiber	Ash
<i>Mushrooms</i>						
Champignon (cultivated)						
<i>Agaricus arvensis,</i> <i>campestirs</i>	10	4.8	3.5	0.2	0.8	0.8
Chanterelle	8.5	2.6	3.5	0.8	1	0.7
Edible boletus (<i>Boletus edulis</i>)	13	5.4	5.2	0.4	1	1
<i>Rooty vegetables</i>						
Carrots	11.8	1.1	8.7	0.2	1	0.8
Radish (<i>Raphanus</i> <i>sativus</i> , elongated white freshy root)	5.5	1	2.9	0.2	0.7	0.8
Viper's grass, <i>scorzonera</i>	21.4	1.4	16.3	0.4	2.3	1
Parsley	12	2.9	2.3	0.6	0.8	1.6
<i>Tureros vegetables (sprouting tubers)</i>						
White (Irish) potato	22.2	2	18.9 ^a	0.2	1.3	1.1
Celery (root)	11.6	1.8	7.2	0.3	1	1
Knhlrabi	9.7	2	5.6	0.1	1.1	1
Rutabaga	13	1.1	9.9	0.2	0.8	0.8
Radish (<i>Raphanus sativus</i> , reddish fleshy root)	5.6	1.1	3.5	0.1	0.9	0.9
Red beet, beetroot	12.7	1.6	9.1	0.1	0.8	1.1
<i>Tureros root vegetable</i>						
Sweet potato	30.8	1.6	26.6 ^b	0.6	0.7	1.1
Cassava (manioc)	35	0.9	32	0.4	0.6	0.4
Yam	28	1.8	23.8	0.2	1.3	1
<i>Bulbous root vegetables</i>						
Onion	10.9	1.5	8.1	0.3	0.5	0.6
Leek	14.6	2.2	9.9	0.3	0.7	0.9
Vegetable fennel	14	2.4	9.1	0.3	0.7	1.7
<i>Flowerhead (calix) vegetables</i>						
Artichoke	14.5	2.9	8.2	0.1	2.4	0.8
Cauliflower	9	2.7	4.2	0.3	1	0.9
Broccoli	10.9	3.6	4.4		1.5	1.1

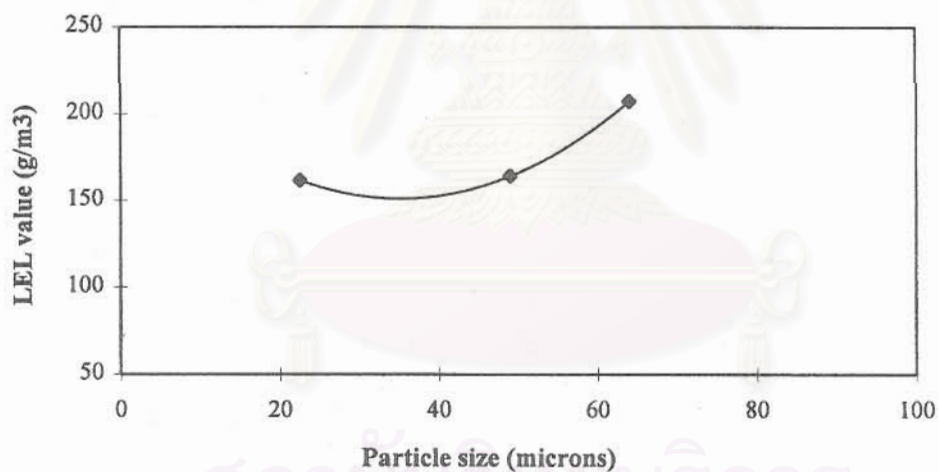
^a Starch content 14.1%.

^b Starch and saccharose contents 19.6 and 2.8 %, respectively.

ภาคผนวก 4

Figure correlate-1 Correlation between particle size and LEL value for Cassava flour type F1

Type	Fraction	Particle size (microns)	Average LEL (g/m ³)
F1	Cas-1	22.5	161.6
	Cas-2	49	164.1
	Cas-3	64	207.2

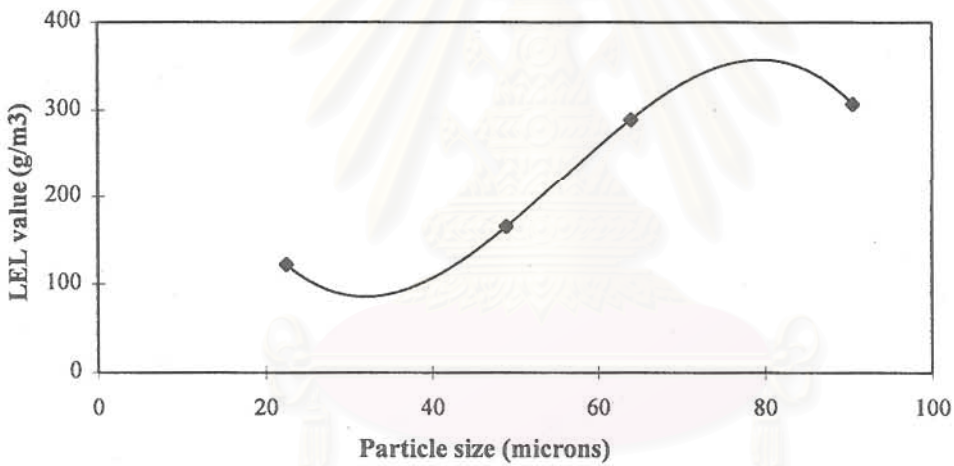


$$y = 0.0670x^2 - 4.6936x + 233.3048$$

$$R^2 = 1.0000$$

Figure correlate-2 Correlation between particle size and LEL value for Cassava flour type F2

Type	Fraction	Particle size (microns)	Average LEL (g/m ³)
F2	Cas-6	22.5	121.9
	Cas-7	49	165.6
	Cas-8	64	289.7
	Cas-9	90.5	307.5

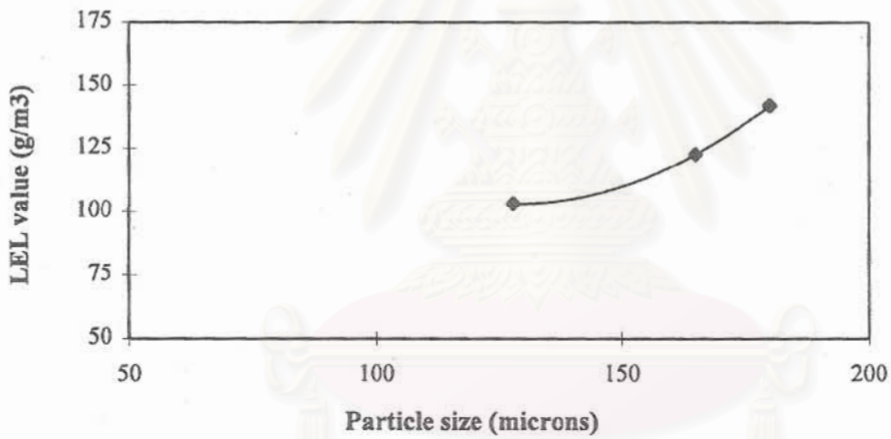


$$y = -0.0050x^3 + 0.8427x^2 - 38.3896x + 616.4767$$

$$R^2 = 1.0000$$

Figure correlate-3 Correlation between particle size and LEL value for rice flour type F3

Type	Fraction	Particle size (microns)	Average LEL (g/m ³)
F3	Rice-1	128	103
	Rice-2	165	122.6
	Rice-3	180	142

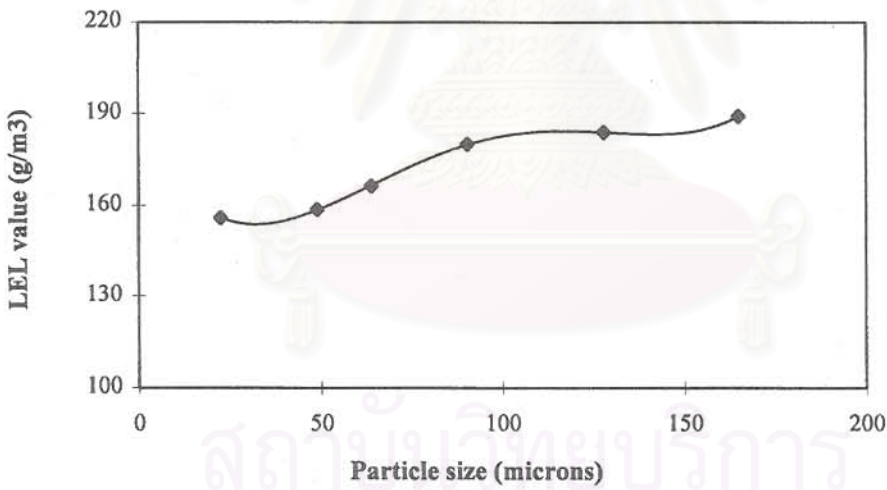


$$y = 0.0147x^2 - 3.7729x + 345.34$$

$$R^2 = 1.0000$$

Figure correlate-4 Correlation between particle size and LEL value for corn flour type F4

Type	Fraction	Particle size (microns)	Average LEL (g/m ³)
F4	Corn-1	22.5	155.9
	Corn-2	49	158.6
	Corn-3	64	166.3
	Corn-4	90.5	180
	Corn-5	128	183.9
	Corn-6	165	189.1

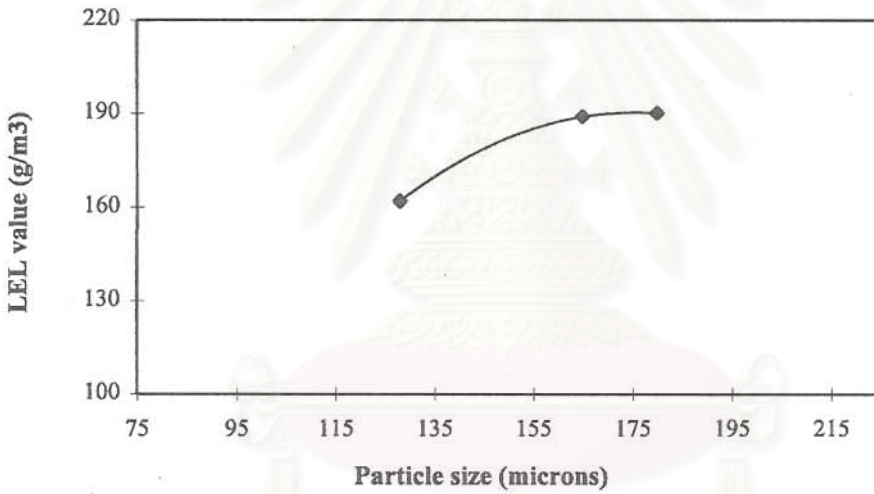


$$y = 0.0000x^4 - 0.0004x^3 + 0.0547x^2 - 2.3426x + 185.4889$$

$$R^2 = 0.9998$$

Figure correlate-5 Correlation between particle size and LEL value for rice flour type F5

Type	Fraction	Particle size (microns)	Average LEL (g/m ³)
F5	Wheat-1	128	162
	Wheat-2	165	188.9
	Wheat-3	180	190.1

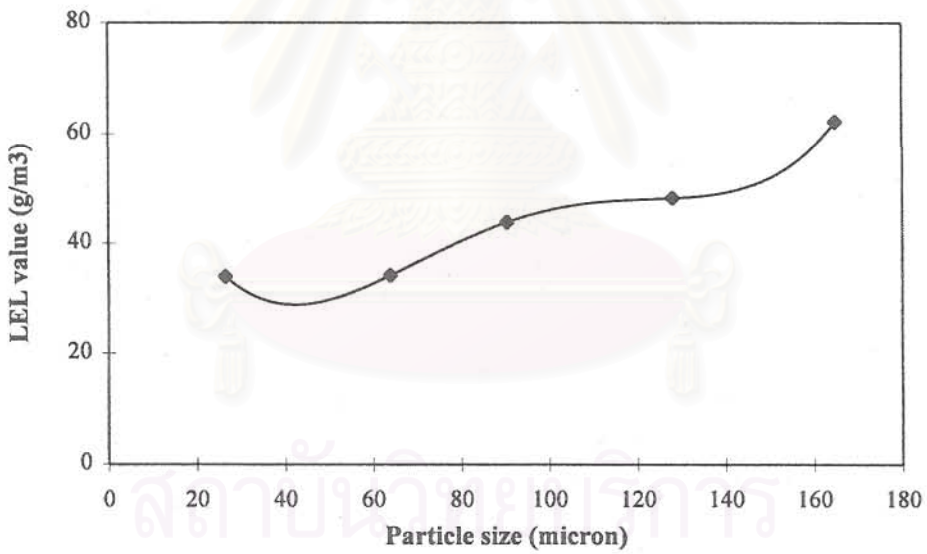


$$y = -0.0124x^2 + 4.3728x - 193.85$$

$$R^2 = 1.0000$$

Figure correlate-6 Correlation between particle size and LEL value for non-dairy creamer type C

Type	Fraction	Particle size (microns)	Average LEL (g/m ³)
Creamer-C	C-1	26.5	33.9
	C-2	64	34.1
	C-3	90.5	43.8
	C-4	128	48.2
	C-5	165	62.2

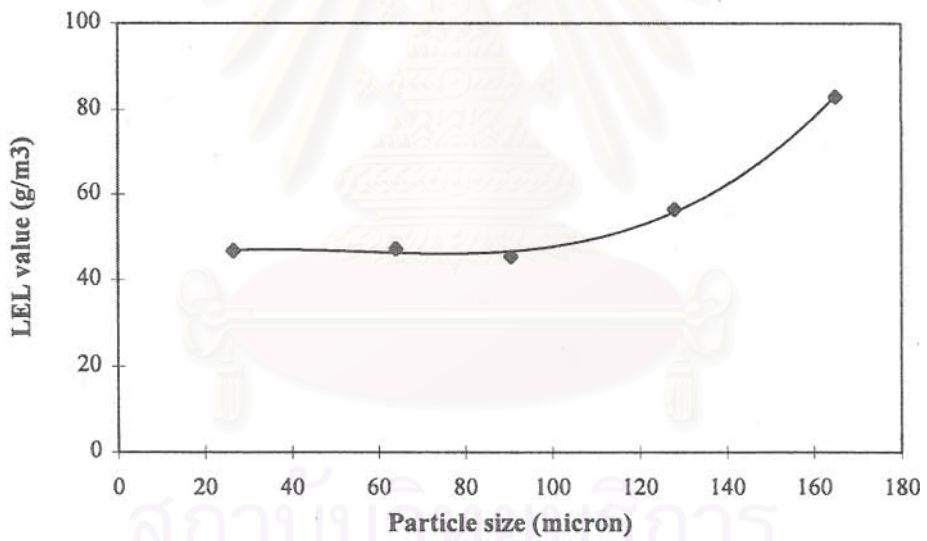


$$y = 1.0e-06x^4 - 0.0005x^3 + 0.0625x^2 - 3.1429x + 81.4030$$

$$R^2 = 1$$

Figure correlate-7 Correlation between particle size and LEL value for non-dairy creamer type K

Type	Fraction	Particle size (microns)	Average LEL (g/m ³)
Creamer-K	K-1	26.5	46.7
	K-2	64	47.2
	K-3	90.5	45.4
	K-4	128	56.4
	K-5	165	83.0

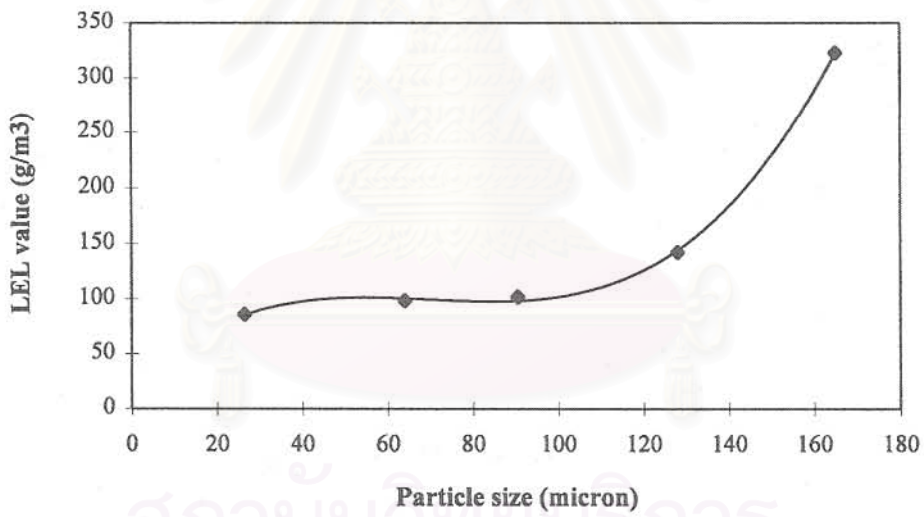


$$y = 3.0e-05x^3 - 0.00510x^2 + 0.24651x + 43.35449$$

$$R^2 = 0.99714$$

Figure correlate-8 Correlation between particle size and LEL value for icing sugar

Type	Fraction	Particle size (microns)	Average LEL (g/m ³)
Icing sugar	I-1	26.5	85.7
	I-2	64	98.1
	I-3	90.5	101.6
	I-4	128	142.2
	I-5	165	322.5

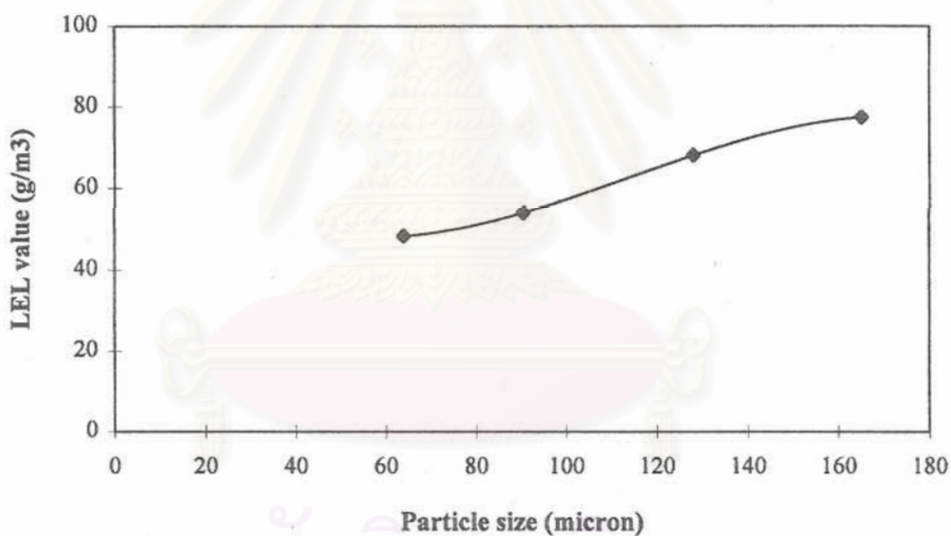


$$y = 0.0003x^3 - 0.0578x^2 + 3.8401x + 18.8908$$

$$R^2 = 0.9995$$

Figure correlate-9 Correlation between particle size and LEL value for saw

Type	Fraction	Particle size (microns)	Average LEL (g/m ³)
Wood	S-1	64	48.3
	S-2	90.5	54.0
	S-3	128	68.0
	S-4	165	77.3



$$y = -0.00004x^3 + 0.01397x^2 - 1.20730x + 79.02218$$

$$R^2 = 1.00000$$

ภาคผนวก 5

USER MANUAL

After you turn on the calculator, you will normally see the message

WELCOME TO CU LEL DATABASE !

if there is other message displayed, it means you left the program before you finish the session.

You may further your work, if the program is still on. If not, you have to run the program again using the command `/goto 100/` in run mode.

When you totally finished your experiment, and would like to save the data file, you have to use the command `/NAME "F:DUMMY1.DAT" AS "New Filename"/`.

In case that you would like to see or correct or add the stored data in other files, you have to change that filename to DUMMY1.DAT again using the same format of `/NAME "F:Filename" AS "DUMMY1.DAT"/`. Make sure to save your last file under the name of DUMMY1.DAT before doing this.

Providing that you misprint the "Experiment Run Index", especially overvalue it, you can simply type `/NMAX = X/` while $X = \text{Number of Data really exists}$.

If you do not input anything, the old value is maintained.

The forbidden filenames include "DUMMY1.DAT" and "DUST1.BAS". They should never be employed before a slight modification in the main program is made.

Error Messages is listed in Appendix A of the Operation Manual.

Common Errors and Trouble Shooting

Error Message	When?	Trouble Shooting
File already open	After open a file and an error occurs then without closing that file start that file again.	On run mode, type /close/.
File not found	Try to append an old file after changing the file name from dummy1.dat to other name.	On run mode, change the filename to dummy1.dat.
Duplicate Definition or Illegal function call	Use /RUN/ instead of /GOTO/ or use /GOTO10/ instead of /GOTO100/	Turn off and turn on again.
Division by Zero	Mistype Range Factor or Chamber Volume to be 0.	Reenter the right number.

Program Limitation

1. Only 1 file can be opened at a time.
2. If the tests of a sample is carried out on different days, only the latest date can be stored as well as the experiment executer's name or the like.

Notation

$W(N)$ = Weight of sample used (mg) in the Nth experiment.

Range Factor = the factor used for LEL calculation; the values between the lowest $W(N)$ that an explosion occurs or a flame propagation is observed and the product of $W(N)$ and F will be summed to obtain the average LEL.

Normal Operation Example

1. Turn on and you will see the following message:

WELCOME TO CU LEL DATABASE !

Make sure to save your last file.
If you would like to save it,
press BREAK now and follow
the instructions in the manual.

2. Then you will see:

OPEN new file with new sample
or APPEND to add more data? (O/A): _

Answer O ↵ if you would like to open brand new file.

If you are not sure whether you have already saved your last file or not, using /A/ for Append and choose /2/ in the menu to see stored data before making any alteration.

3. You will be asked to input:

```

NAME OF SAMPLE: C3 ↵
MEAN DIAMETER (MICRON): 90.5 ↵
VOLUME OF CHAMBER (LITRE): 1.22 ↵
EXPERIMENT EXECUTER: YUTHANA ↵
DATE (1..31): 21 ↵
MONTH (1..12): 2 ↵
YEAR (1996 etc): 1996 ↵

```

4. Then the display will show:

```

NUMBER OF DATA IN MEMORY = 0
ENTER 0 AT THE END OF FILE.
NEXT EXPERIMENT RUN NUMBER = 1 ↵

```

5. Each Run Number requires a weight of the sample used (mg) or $W(N)$ and an explosibility of the air-sample mixture.

```

W(N) = WEIGHT OF SAMPLE USED (mg) in Nth EXPERIMENT
W( 1 ) = _
DID AN EXPLOSION OCCUR? (Y/N): _
NEXT EXPERIMENT RUN NUMBER = _

```

6. Input the data from experiment and enter 0 when you finish each session.

You will be asked to input RANGE FACTOR:

RECOMMENDED RANGE FACTOR = 1.1

RANGE FACTOR = 1.05 ↵

7. After the Range Factor is input, the LEL will be calculated.

LEL OF C3 = 43.5655733 mg/litre

8. The menu will be shown as follows:

WHAT NEXT? 1) ADD OR CORRECT DATA

2) SEE STORED DATA

3) FINISH

YOUR CHOICE IS _

9. If you choose 1 ↵, you will see the same display of item 4 above.

NUMBER OF DATA IN MEMORY = 0

ENTER 0 AT THE END OF FILE.

NEXT EXPERIMENT RUN NUMBER = 1 ↵

If you choose 2 ↵, you will see:

NAME OF SAMPLE: (sample name)

MEAN DIAMETER = 90.5 MICRON

VOLUME OF CHAMBER = 1.22 LITRE(S)

NEXT PAGE, PRESS ENTER ..._

EXPERIMENT EXECUTER: YUTHANA

DATE/MONTH/YEAR = 21 / 2 / 1996

NUMBER OF DATA IN MEMORY = 10

NEXT PAGE, PRESS ENTER ..._

W(1) = 60 Y W(2) = 50 N

W(3) = 51.5 Y W(4) = 54.6 Y

W(5) = 52.6 N W(6) = 53.2 N

W(7) = 54.0 Y W(8) = 53.8 Y

W(9) = 53.3 Y W(10) = 52.8 N

NEXT PAGE, PRESS ENTER ... _

RANGE FACTOR = 1.05

No OF DATA USED IN CALCULATION = 4

LEL OF C3 = 43.5655733 mg/litre

NEXT PAGE, PRESS ENTER ... _

If you choose 3 ↵, you will see:

DO NOT FORGET TO SAVE THIS FILE.

DO NOT USE THE COMMAND /RUN/.

>