101

# การพัฒนาสร้างเครื่องทดสอบและการทดสอบขอบเขตข้างต่ำของการระเบิดของวัสดุประเภทฝุ่นผง

นาย ทรงชัย วิริยะอำไพวงศ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2538

ISBN 974-632-798-4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I16453318

# DEVELOPMENT AND CONSTRUCTION OF TESTER AND TESTING OF LOWER EXPLOSION LIMIT OF PARTICULATE MATERIALS

Mr. Songchai Wiriyaumpaiwong

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Chemical Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
1993

ISBN 974-632-798-4

| | |
|---|---|
| Thesis Title | Development and Construction of Tester and Testing of Lower Explosion Limit of Particulate Materials |
| By | Mr. Songchai Wiriyaumpaiwong |
| Department | Chemical Engineering |
| Thesis Advisor | Professor Wiwut Tanthapanichakoon |

---

Accepted by the Graduate School, Chulalongkorn University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Master's Degree.

Santi Thoongsuwan

..... Dean of Graduate School

(Associate Professor Santi Thoongsuwan, Ph.D.)

Thesis Committee

..... Chairman

(Professor Piyasan Praserthdam, Dr.Ing.)

..... Thesis Advisor

(Professor Wiwut Tanthapanichakoon, Ph.D.)

..... Thesis Co-advisor

(Tawatchai Charinpanitkul, Dr. Eng.)

..... Member

(Assistant Professor Vichitra Chongvisal, Ph.D.)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

C616974 CHEMICAL ENGINEERING
# # : MAJOR
KEY WORD: DUST EXPLOSION / DUST EXPLOSIBILITY TESTER / FLAME PROPAGATION / LOWER EXPLOSION LIMIT (LEL)
SONGCHAI WIRIYAUMPAIWONG : DEVELOPMENT AND CONSTRUCTION OF TESTER AND TESTING OF LOWER EXPLOSION LIMIT OF PARTICULATE MATERIALS, THESIS ADVISOR : PROF. WIWUT TANTHAPANICHAKOON, Ph.D. THESIS CO-ADVISOR : TAWATCHAI CHARINPANITKUL, Dr. Eng. 183 pp., ISBN 974-632-798-4

The main objectives of the present research are 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 domestic flours (Cassava flour, Rice flour, Corn flour and Wheat flour) on the LEL. A prototype dust explosibility tester was successfully designed and constructed to carry out the experiments.

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 be concluded that the present prototype tester was accurate and reliable after the 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.

As expected, an increase in the moisture content contributes to reduced ignition sensitivity and thus higher LEL values. Finally the same type of cassava flour but produced by two different companies were found to give 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 shows that its LEL value increased after the toner had passed through the copying process.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา ..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

ทรงชัย วิริยะอำไพวงศ์ : การพัฒนาสร้างเครื่องทดสอบและการทดสอบขอบเขตข้างต่ำของการระเบิดของวัสดุประเภทฝุ่นผง
(DEVELOPMENT AND CONSTRUCTION OF TESTER AND TESTING OF LOWER EXPLOSION LIMIT OF PARTICULATE MATERIAL)
อ. ที่ปรึกษา : ศาสตราจารย์ ดร. วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล
อ. ที่ปรึกษาร่วม : อ. ดร. ธวัชชัย ชวินพาณิชกุล, 183 หน้า. ISBN 974-632-798-4

วัตถุประสงค์หลักของการวิจัยนี้คือ ทำการศึกษาวัดค่าความเข้มข้นต่ำสุดที่ระเบิดได้ (Lower Explosion Limit, LEL) ของตัวอย่างฝุ่นผงประเภทต่างๆภายในประเทศ และทำการศึกษาอิทธิพลที่ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของแป้งที่ใช้ในครัวเรือน (แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวโพด และแป้งข้าวสาลี) มีต่อค่า LEL เครื่องต้นแบบสำหรับทดสอบคุณสมบัติการระเบิดของฝุ่นผงได้ถูกออกแบบและสร้างขึ้นใช้ในการศึกษาทดลองนี้

ตัวอย่างฝุ่นผงส่วนใหญ่จะต้องผ่านการเตรียมตัวอย่างตามขั้นตอนที่ระบุไว้ก่อนทดสอบการระเบิด จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่า ตัวอย่างฝุ่นผง 4 ชนิด (lycopodium, HDPE, dextrin, sulfur) ให้ค่า LEL ใกล้เคียงกับค่า LEL ที่มีตีพิมพ์ในต่างประเทศ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า เครื่องทดสอบคุณสมบัติการระเบิดนี้ให้ค่าที่ถูกต้องและน่าเชื่อถือ ภายหลังการสอบเทียบด้วยตัวอย่างมาตรฐาน ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าไม่เพียงค่า LEL จะเพิ่มขึ้นตามขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นของแต่ละส่วนย่อยของผง แต่ยังรับอิทธิพลจากสัดส่วนของอนุภาคละเอียดสุดที่มีอยู่ในแต่ละส่วนย่อยที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเดียวกัน ในด้านของประเภทของแป้งพบว่า ค่า LEL จะเรียงตามลำดับจากน้อยไปมากดังนี้ แป้งข้าวเจ้า < แป้งข้าวสาลี < แป้งข้าวโพด < แป้งมันสำปะหลัง

ดังที่คาดไว้ความชื้นที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความว่องไวต่อการจุดระเบิดลดลง นั่นคือให้ค่า LEL สูงขึ้น สุดท้ายนี้พบว่าแป้งมันสำปะหลังชนิดเดียวกันแต่ผลิตโดยบริษัท 2 แห่ง ให้ค่า LEL แตกต่างกัน สาเหตุหลักไม่ใช่เพราะความแตกต่างของส่วนประกอบทางเคมีแต่เป็นเพราะความแตกต่างของอนุภาคละเอียดสุดที่มีอยู่ในส่วนย่อยที่นำมาเปรียบเทียบกัน การทดลองกับผงหมึกที่ใช้ในเครื่องถ่ายเอกสาร แสดงให้เห็นว่าค่า LEL ของผงหมึกจะเพิ่มสูงขึ้นหลังจากได้ผ่านขั้นตอนการถ่ายเอกสารแล้ว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต ทรงชัย วิริยะอำไพวงศ์
สาขาวิชา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล
ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

## ACKNOWLEDGEMENT

The author wishes to sincerely express his gratitude to his advisor, Professor Wiwut Tanthapanichakoon for his supervision, encouraging guidance, advice, disscussion and helpful suggestions throughout the course of this work.

The author would like to thank Dr. Tawatchai Charinpanitkul, the co-advisor, for his useful guidance. Special thanks are due to Professor Piyasan Praserthdam and Assistant Professor Vichitra Chongvisal for their stimulating comments and participation in the thesis committee.

The authors are indebted to Dr. Koichi Iinoya, Dr. Toei Matsuda and Dr. Ikuo Tamori for their helpful suggestions and encouragement. The National Starch Company and Thai Epoxy Company have provided the powder samples for this work.

Furthermore, the author wishes to convey his most sincere gratitude to his parents for thier moral support.

Finally, many thanks go to his friends and all those who have encouraged him over the years of his study.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CONTENTS


Page

ABSTRACT IN THAI ..... IV

ABSTRACT IN ENGLISH ..... V

ACKNOWLEDGEMENT ..... VI

LIST OF TABLES ..... IX

LIST OF FIGURES ..... X

Chapter

1. Introduction ..... 1
2. Literature Review ..... 3
3. Fundamentals of Dust Explosion ..... 9
   - 3.1 Historical Review ..... 9
     - 3.1.1 Definitions of dusts and dust explosions ..... 10
     - 3.1.2 Occurrence of dust explosions ..... 11
     - 3.1.3 Apparatus for the testing of airbone dusts ..... 16
     - 3.1.4 Explosible dusts and industries involved ..... 25
   - 3.2 Outline of Practicle Problem ..... 27
     - 3.2.1 Conditions for occuurence of dust explosions ..... 27
     - 3.2.2 Flame propagation in dust-air mixtures ..... 29
     - 3.2.3 Hazards in industries ..... 31
     - 3.2.4 Evaluation of explosion parameters ..... 32
     - 3.2.5 Influence of factors on dust explosions ..... 39
     - 3.2.6 Type of countermeasure for prevention ..... 43
   - 3.3 Test for Dust Explosibility ..... 43
     - 3.3.1 Reasons for tests ..... 43
     - 3.3.2 Selection of dust sample ..... 45
     - 3.3.3 Test methods in various countries ..... 46
     - 3.3.4 Special methods ..... 49
4. Experimental Apparatus and Procedure ..... 54
   - 4.1 Description of Dust Explosibility Tester ..... 54


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.1 Explosion chamber section..... 54
4.1.2 Compressed air supply section..... 55
4.2 Test Procedure for Dust Explosibility..... 56
4.2.1 Test conditions..... 56
4.2.2 Test powder..... 56
4.3 Measurement of Lower Explosion Limit (LEL)..... 57
4.3.1 Preparation before testing..... 57
4.3.2 Explosibility test..... 58
4.4 Calibration of the Dust Explosibility Test Apparatus..... 59
4.5 Measurement of Particle Size Distribution..... 60
4.5.1 Sieve measurement..... 60
4.5.2 Photo size measurement..... 61
5. Results and Discussion..... 68
5.1 Improvement of the Dust Explosibility Tester..... 70
5.1.1 Installation of silica gel to dry the compressed air..... 70
5.1.2 Varying the sparking delay time..... 70
5.1.3 Adjusting the air flow channel..... 72
5.1.4 Adjusting the gap between the sparking electrodes..... 73
5.1.5 Varying the number of pieces of filter paper..... 73
5.2 Comparison of the Experimentally Obtained LEL Values with Standard and Published Values..... 74
5.3 Effect of Median Particle Size on the LEL Values of Flour Dusts..... 76
5.4 Effect of Moisture Content..... 84
5.5 Effect of the Source of Flour Dust..... 85
5.6 Comparison between LEL Values of Fresh Toner and Used Toner..... 85
6. Conclusions and Recommendation..... 87
Reference..... 92
Appendix 1..... 98
Appendix 2.....101
Appendix 3.....166

LIST OF TABLES

Page

Table 3.1 Dust explosion..... 11
Table 3.2 Type of dusts involved in dust explosion in the USA..... 12
Table 3.3 Classification of level of hazards..... 37
Table 3.4 Summary of the information obtained from the tests..... 38
Table 5.1 Measurement of LEL for lycopodium powder (without drying of compressed air)..... 71
Table 5.2 Measurement of LEL for lycopodium powder (after improvement by installation of silica gel to dry compressed air)..... 71
Table 5.3 Effect of the spark delay time..... 72
Table 5.4 Effect of the height of the air flow channel..... 72
Table 5.5 Results of adjusting the gap between the sparking electrodes..... 73
Table 5.6 Effect of number of pieces of filter paper..... 73
Table 5.7 Preparation procedure of test powders..... 74
Table 5.8 Comparison of experimental and published LEL values..... 75
Table 5.9 Classified flour samples by sieving..... 77
Table 5.10 Effect of particle size of F1 cassava flour on the LEL value..... 79
Table 5.11 Effect of particle size on the LEL value for each type of flour..... 80
Table 5.12 Qualitative correlation between flour properties and LEL value..... 82
Table 5.13 Influence of moisture content on the LEL..... 84
Table 5.14 Comparison between fresh toner and used toner..... 86
Table 6.1 Summary of the measured LEL from experiment and standard/reference..... 90
Table 6.2 Summary of the LEL values for various types of domestic flour..... 91

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LIST OF FIGURES

Page

Figure 3.1 "Bremer Roland Mill" after a flour dust explosion..... 13
Figure 3.2 Frequency distribution of dust types involved in 357 dust explosion..... 14
Figure 3.3 Frequency distribution of types of equipment involved in 357 dust explosion..... 14
Figure 3.4 Effect of a grain dust explosion in a group of silos..... 15
Figure 3.5 Frequency distribution of ignition sources responsible for 357 dust explosion..... 15
Figure 3.6 Apparatus for the determination of the lower explosion limit, as per Weber..... 17
Figure 3.7 Apparatus for the determination of the lower explosion limit, as per R. Bauer..... 18
Figure 3.8 Apparatus for the determination of the lower explosion limit, as per Steinbrecher..... 18
Figure 3.9 Apparatus used by the Chemisch-Technische Reichsanstalt to investigate the explosibility of dust/air mixtures..... 19
Figure 3.10 Apparatus for the determination of the explosibility of dust/air mixture, as per Eckhoff..... 20
Figure 3.11 Apparatus for the determination of the pressure rise of dust explosions, as per Mason and Taylor..... 21
Figure 3.12 Apparatus for the determination of the pressure/time behavior of dust explosions, as per Trostel and Frevert..... 21
Figure 3.13 Apparatus for the determination of the pressure/time behavior of dust explosions, as per BAM..... 22
Figure 3.14 Improved BAM apparatus with a metallic sphere and optical recording unit for dust investigations..... 22
Figure 3.15 "Modified Hartmann apparatus" for dust investigations, as per Lutolf..... 23

Page

Figure 3.16 Apparatus for the determination of the explosion limits and the rate of pressure rise of dust explosions, as per Gliwitzky; a : equipment / b : ready for testing..... 24
Figure 3.17 Hazard triangle and the dust forms..... 28
Figure 3.18 Variation of lean limit of explosibility for polyethylene with average particle size..... 30
Figure 3.19 Characteristics of dust explosion..... 32
Figure 3.20 A silicone dust flame..... 34
Figure 3.21 Lower explosion limit of MMA beads as a function of particle size..... 39
Figure 3.22 Influence of volatile content on the LEL of coal dusts..... 40
Figure 3.23 Influence of dust moisture content on minimum electrical spark ignition energy (MIE) for three dusts..... 41
Figure 3.24 Influence of moisture content in maize starch on maximum rate of pressure rise in Hartmann bomb for various ignition delays..... 41
Figure 3.25 LEL of hybrid mixtures consisting of combustible dust and propane..... 42
Figure 3.26 Rate of pressure rise data for hybrid mixtures..... 42
Figure 3.27 Basic scheme of tests in the United Kingdom..... 51
Figure 3.28 Basic scheme of tests in the United State..... 52
Figure 3.29 Basic scheme of tests in the Federal German Republic..... 53
Figure 4.1 Diagram of dust explosibility tester..... 57
Figure 4.2 Explosion chamber..... 57
Figure 4.3 Explosion tube support plate..... 57
Figure 4.4 Dust cup..... 58
Figure 4.5 Screw rod supporting, mushroomlike cup, cylinder for air flow..... 58
Figure 4.6 Dust cup support plate..... 58
Figure 4.7 Mushroomlike cup, air pipe, dust cup support plate..... 59
Figure 4.8 Compressed air supply section..... 59

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Page

Figure 4.9 Micron photo sizer..... 65
Figure 5.1 Comparison of experimental and published LEL values..... 75
Figure 5.2 a) Effect of particle size of cassava flour on the LEL..... 79
Figure 5.2 b) Particle size distribution of cassava flour..... 79
Figure 5.3 a) Effect of particle size of rice, corn and wheat flour on the LEL.. 81
Figure 5.3 b) Particle size distribution of type F3, F4, F5..... 81



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย