

การพัฒนาสารเร่งดอกลำไยที่มีโพแทสเซียมคลอเรต
เป็นองค์ประกอบหลักในรูปแบบที่ปลอดภัยและ
สะดวกกับการใช้ของชาวสวนลำไย

Development of Potassium Chlorate Based Safety
Longan Flowering Stimulant and the Suitable Forms for
Farmer Application

ศูนย์วิจัยและบำรุงพันธุ์สัตว์เชียงใหม่

และ

สถาบันราชภัฏเชียงใหม่

เสนอต่อ

สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

14 กุมภาพันธ์ 2544

บทคัดย่อ

การพัฒนาสารผสมโพแทสเซียมคลอเรตที่ปลอดภัยจากการระเบิด เพื่อวัตถุประสงค์ในการนำไปใช้กระตุ้นการออกดอกของลำไย ทดแทนโพแทสเซียมคลอเรตบริสุทธิ์ ใช้วิธีการถ่วงการระเบิดของโพแทสเซียมคลอเรตด้วยสารอนินทรีย์ชนิดต่างๆ และหาระดับที่เหมาะสมที่จะทำให้สารผสมไม่สามารถระเบิดเมื่อถูกแรงกระแทก ตลอดจนไม่สามารถติดไฟ แต่ยังคงคุณสมบัติกระตุ้นการออกดอกของลำไยเทียบเท่าหรือดีกว่าโพแทสเซียมคลอเรตบริสุทธิ์ อีกทั้งศึกษาการจัดการใส่สารและดูแลลำไยเพื่อให้การออกดอกออกผลมีประสิทธิภาพที่สุด เมื่อใช้สารผสมโพแทสเซียมคลอเรตชนิดไม่ระเบิด

การพัฒนาอุปกรณ์ทดสอบการระเบิดเพื่อใช้ทดแทนเชื้อปะทุไฟฟ้า (electric detonator) ในการสร้างแรงกระแทกมาตรฐานที่จะใช้เป็นเกณฑ์คัดเลือกสูตรของสารผสมโพแทสเซียมคลอเรตที่ปลอดภัย ใช้หลักการตกของวัตถุจากที่สูงมากระทบพื้นโดยแรงดึงดูดของโลกและพบว่าแรงกระแทกที่ 61.3 นิวตันมีค่าเทียบเท่าเชื้อปะทุมาตรฐานเบอร์ 6 และแรงกระแทกที่ 112 นิวตันสามารถทำให้โพแทสเซียมคลอเรตบริสุทธิ์ระเบิดได้ จึงใช้แรงกระแทกที่ 112 นิวตันในการทดสอบการระเบิดของสารผสมทุกสูตรเพื่อให้มั่นใจในความปลอดภัยสูงสุด และใช้เสียงการตกกระทบที่มีระดับความเข้มของเสียงเกิน 17 dB เมื่อวางจุดรับเสียงห่างจากจุดกระทบ 30 เมตร เป็นเกณฑ์วัดการระเบิด

สารอนินทรีย์หลายชนิดที่นิยมใช้เป็นวัตถุระเบิดในการผลิตปุ๋ยเคมีของพืชโดยทั่วไป ทั้งรูปแบบวัสดุที่ละลายน้ำได้ดี และไม่ละลายน้ำที่มีคุณสมบัติถ่วงการระเบิดได้แก่ ปูนขาว ดินเหนียว โซดาไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) บอแรกซ์ ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) สามารถถ่วงการระเบิดของโพแทสเซียมคลอเรต (KClO_3) ได้ดีเมื่อใช้ในปริมาณตั้งแต่ 40 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไปยกเว้นปูนขาวที่ใช้เพียง 20 % ก็สามารถถ่วงการระเบิดได้ และสารที่มีคุณสมบัติเสริมการระเบิดได้แก่ ดินประสิว (KNO_3) ซึ่งถ้านำไปผสมในสูตรแล้วจะต้องเพิ่มปริมาณสารถ่วงและลดปริมาณโพแทสเซียมคลอเรตในสูตรลงจากการที่ NaHCO_3 และ $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ เป็นสารถ่วงการระเบิดที่ดี ดังนั้นเมื่อนำไปผสมกับ KClO_3 ในอัตราส่วน 26:12:62 จะได้สารผสมที่ไม่สามารถระเบิดได้เมื่อถูกแรงกระแทก จึงเหมาะสมที่จะใช้ทำเป็นสารชั้นต้นเพื่อเก็บในโรงงานและใช้ผสมสูตรสารเร่งดอกลำไยต่อไป

สารผสมโพแทสเซียมคลอเรตที่ปลอดภัยที่มีส่วนผสมของ KClO_3 กับสารกลุ่มไม่ละลายน้ำ ได้แก่ ไทโรแคลเซียมฟอสเฟต $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, ยิปซัม (CaSO_4), $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, KNO_3 และ Dolomite ในปริมาณ 15, 30, 19, 4, 4 และ 28% ตามลำดับ (สูตร NSM) จะไม่ติดไฟและไม่สามารถระเบิดเมื่อถูกแรงกระแทก นอกจากนั้นการใช้ KClO_3 ผสมกับ ดินเหนียว (สูตร NS) ในอัตราส่วน 25 และ

75 % หรือ KClO_3 ผสมกับ ดินเหนียว และโดโลไมท์ปริมาณ 25, 45 และ 30% ตามลำดับ (สูตร NSD) ก็จัดว่ามีความปลอดภัยเช่นกัน สำหรับสารถ่วงในกลุ่มละลายน้ำนั้นเมื่อใช้ KClO_3 ผสมกับ NaHCO_3 และ KNO_3 ปริมาณ 20, 60 และ 14% ตามลำดับ (สูตร WS) จะได้สารผสมที่ไม่ระเบิด และเมื่อทดสอบถึงความปลอดภัยของทุกสูตรที่กล่าวมาแล้ว โดยใช้เชื้อปะทุไฟฟ้าเบอร์ 6 พบว่ามีความปลอดภัยเช่นเดียวกับการทดสอบโดยใช้อุปกรณ์ใช้แรงตกกระทบ ถึงแม้ผสมกับกำมะถัน

การทดสอบผลการใช้กระตุ้นการออกดอกของลำไยพันธุ์ดอ พบว่าสารผสมสูตร NSM สามารถกระตุ้นการออกดอกภายใน 39 วัน ซึ่งไม่แตกต่างจากการใช้ KClO_3 บริสุทธิ์ โดยมีเปอร์เซ็นต์ช่อที่ออกดอก 89.8% และติดผล 63 ผลต่อช่อ ซึ่งดีเท่ากับเมื่อใช้ KClO_3 บริสุทธิ์ นอกจากนั้นยังมีคุณภาพผล คือ ขนาดผล , ความหนาเปลือก, ปริมาณน้ำตาล และน้ำหนักรสดี เท่ากับเมื่อใช้ KClO_3 กระตุ้นและเท่ากับผลที่ออกตามธรรมชาติ นอกจากนั้นสารผสมสูตร WS ก็สามารถใช้ได้ผลดีเช่นกัน โดยใช้ได้ทั้งวิธีใส่ทางดิน และพ่นใบ และวิธีใส่โดยการพ่นใบใช้ต้นทุนต่อต้นต่ำกว่าการใส่สารทางดิน

การพัฒนาสูตรสารผสมโพแทสเซียมคลอเรตเพื่อให้มีความเหมาะสมกับการผลิตในเชิงพาณิชย์โดยผลิตในรูปแบบเม็ด พบว่าดินเหนียวที่ใช้ผสมกับสารผสมสูตร NSM ในปริมาณ 40 และ 60% ตามลำดับและใช้น้ำเป็นตัวเชื่อม (สูตร NSMP) ทำให้เม็ดสารมีความคงทนและมีเปอร์เซ็นต์การแตกเม็ดเมื่อเขย่าเป็นเวลา 30 นาทีเพียง 5.4% ซึ่งดีกว่าการไม่ใส่ดินเหนียวเป็นตัวยึดเกาะหรือใช้ปริมาณมากกว่านั้น ส่วนสารผสมสูตรละลายน้ำ (WS) สามารถทำเป็นเม็ดได้เช่นเดียวกันโดยใช้น้ำปูนใสเป็นตัวเชื่อม และทำให้เป็นเม็ดโดยการกดผ่านตะแกรงขนาด 0.5 ซม. และทำให้แห้ง สำหรับการนำไปใช้ในสวนลำไยเพื่อกระตุ้นการออกดอก ได้มีการพัฒนาสูตรสารผสมชนิดละลายน้ำมีแร่ธาตุ (WSM) โดยใช้ ไตรโซเดียมฟอสเฟต (Na_2HPO_4) , แมกนีเซียมซัลเฟต MgSO_4 , และปูนขาว Ca(OH)_2 มาทดแทนสารชนิดไม่ละลายน้ำเพื่อรวมข้อดีของสูตร NSM และ WS เข้าด้วยกัน และนำมาเปรียบเทียบกับสูตรเม็ด (NSMP) และสูตร WS พบว่าสูตร WSM สามารถกระตุ้นให้ลำไยออกดอกนอกฤดูภายใน 30 วัน และลำไยจะออกดอกมากกว่าสูตร NSMP ตลอดจนดอกมีความยาวช่อ และมีการติดผลต่อช่อมากกว่าสูตรเม็ด และสูตรละลายน้ำ (WS) ซึ่งเมื่อใช้วิธีการ regression วิเคราะห์พบว่าปริมาณโพแทสเซียมคลอเรตที่เหมาะสมกับการกระตุ้นการออกดอกโดยวิธีใส่ทางดินของลำไยพันธุ์ดอที่ดีคือ 8-9 กรัมต่อพื้นที่ได้พุ่ม 1 ตารางเมตร ซึ่งเมื่อกำหนดเป็นปริมาณสารสูตรละลายน้ำมีแร่ธาตุแล้วจะเท่ากับ 53.7 กรัมต่อตารางเมตร

การใช้สารผสมสูตรละลายน้ำ (WS) พ่นใบลำไยโดยใช้ความเข้มข้น 10,000 ส่วนในล้าน หรือ 2 ก.ก. ละลายในน้ำ 200 ลิตร สามารถทำให้ลำไยออกดอกได้ดีเท่ากับเมื่อใช้โพแทสเซียมคลอเรตพ่นในความเข้มข้น 2,000 ส่วนในล้าน แต่พบอาการใบร่วงและขอบใบแห้ง และพบว่าการ

ใส่ปุ๋ย NPK 15-15-15 ในระยะที่ช่อดอกยาวประมาณ 10 ซม. จะช่วยให้การติดผลมากกว่าการไม่ใส่ปุ๋ยอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อใช้สารผสมสูตรละลายน้ำที่มีหรือไม่มีแร่ธาตุผสมที่เตรียมจากสารชั้นต้น (WSM1 และ WS1) พบว่าในในระดับความเข้มข้น 15,000 และ 10,000 ส่วนในล้านตามลำดับ พบว่าลำไยจะไม่ตอบสนองต่อการกระตุ้นการออกดอก (ออกดอกเพียง 7.1 และ 2.1% ของจำนวนต้นที่ทดลองตามลำดับ) ซึ่งน่าจะมาจากอิทธิพลของบอแรกซ์ที่ใช้ผสมในสูตรสารชั้นต้น และความไม่สมดุลย์ของแร่ธาตุต่างๆที่ใช้ผสมในสูตร ดังนั้นเมื่อลดปริมาณ $MgSO_4$ ลง 1% และเพิ่ม Na_3PO_4 อีก 2.8% ในสูตร WSM2 หรือตัด $Na_2B_4O_7$ ออกจากสูตร WS1 พบว่าเมื่อใช้พ่นที่ความเข้มข้น 5,000 ส่วนในล้าน จะทำให้ลำไยออกดอกได้ดีและมีช่อดอกที่สมบูรณ์

สารผสมโพแทสเซียมคลอเรตที่ปลอดภัยสูตรละลายน้ำมีแร่ธาตุ (WSM1) สามารถใช้ละลายน้ำในปริมาณ 1 ก.ก. ต่อน้ำ 200 ลิตร (5,000 ส่วนในล้าน) และพ่นใบลำไยหลังการเก็บเกี่ยวผลเพื่อเร่งการแตกใบและเพิ่มความสามารถของใบ โดยพบว่าต้นลำไยที่ถูกพ่นใบจะมีใบใหม่ที่มีพื้นที่ใบเพิ่มขึ้น 29% ซึ่งแตกต่างจากกลุ่มที่ไม่พ่นใบอย่างมีนัยสำคัญ ตลอดจนใบลำไยจะมีความสมบูรณ์ ใบสีเขียวเข้ม และมีเส้นใบหนา แตกต่างจากใบใหม่ของกลุ่มที่ไม่พ่นใบอย่างชัดเจน

รูปแบบของการจัดการใส่สารผสมสูตรที่ปลอดภัยและการดูแลจัดการหลังใส่สารฯ นับว่ามีความสำคัญ โดยลำไยที่ได้รับการใส่สารมีแร่ธาตุละลายน้ำโดยวิธีการราดดิน มีการออกดอกไม่ค่อยดีและออกช่อใบมากถ้าใส่ปุ๋ย NPK 15-15-15 หลังจากใส่สารฯ 1 สัปดาห์ ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากกลุ่มที่ไม่ใส่ปุ๋ยเสริมที่พบว่ามีความหนาแน่นการออกดอกมากกว่า ช่อดอกอวบกว่า มีความสม่ำเสมอของช่อดอกมากกว่า และช่อดอกมีแขนงมากกว่า นอกจากนั้นสารผสมสูตรละลายน้ำมีแร่ธาตุยังสามารถใช้พ่นใบโดยใช้ละลายน้ำ 15,000 ส่วนในล้าน (3 ก.ก. ละลายน้ำ 200 ลิตร) และใช้พ่นใบของลำไยดื้อสารที่ใส่โพแทสเซียมคลอเรตบริสุทธิ์ ครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 แล้วไม่ยอมออกดอกหรือออกดอกน้อย ให้กลับมาออกดอกได้ตามปกติ และมีคะแนนการออกดอกและความสมบูรณ์ของดอกที่อยู่ในเกณฑ์ดี ในการเพิ่มประสิทธิภาพการออกดอกของลำไยนอกฤดูกาลที่ใส่สารกระตุ้นการออกดอกของลำไยเป็นปีที่ 2 พบว่าเมื่อพ่นสารสูตรละลายน้ำมีแร่ธาตุ เพื่อบำรุงใบและใบใหม่แก่แล้ว การพ่นใบด้วยสารสูตรละลายน้ำในอัตราละลาย 3 ก.ก. ต่อน้ำ 200 ลิตร โดยพ่นกระตุ้นใบ 2 ครั้ง แล้วใส่สารผสมสูตรเดียวกันในอัตรา 53.7 กรัมต่อพื้นที่ได้พุ่ม 1 ตารางเมตร พร้อมกับปุ๋ย NPK 8-24-24 หลังจากใส่สารทางดินไปแล้ว 3 สัปดาห์ ส่งผลให้ลำไยออกดอกดีมาก ช่อดอกสมบูรณ์ และออกดอกสม่ำเสมอ ซึ่งแตกต่างจากลำไยที่ใส่สารทางดินอย่างเดียวที่พ่นสารบำรุงใบสูตรละลายน้ำแล้วอย่างมีนัยสำคัญ และลำไยที่ดูแลโดยวิธีดังกล่าวนี้จะมีใบและต้นสมบูรณ์แตกต่างจากลำไยที่ใส่สารโพแทสเซียมคลอเรตบริสุทธิ์หรือกลุ่มที่ไม่ใส่สารอย่างชัดเจน

เกษตรกรชาวสวนลำไยมีทัศนคติต่อการใช้สารเร่งดอกลำไยสูตรละลายน้ำมีแร่ธาตุในระดับที่ดี คือเห็นว่าสามารถกระตุ้นการออกดอกและความสมบูรณ์ของใบได้ดีกว่าโพแทสเซียมคลอไรด์บริสุทธิ์และขอรูปแบบของสารชนิดละลายน้ำและใช้ราดดินมากที่สุด รองลงมาคือแบบเม็ด และแบบผงที่มีจำหน่ายในท้องตลาด เกษตรกรมีความต้องการใช้สารผสมสูตรละลายน้ำมีแร่ธาตุต่อไปถึงแม้จะใช้ค่าใช้จ่ายต่อต้นมากกว่าโพแทสเซียมคลอไรด์บริสุทธิ์ โดยที่เกษตรกรไม่ทราบถึงอันตรายจากการระเบิดของโพแทสเซียมคลอไรด์ชนิดผง จึงต้องมีการให้ความรู้ด้านนี้โดยเร็วที่สุดโดยหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

Development of Potassium Chlorate Based Safety Longan Flowering Stimulant and the Suitable Forms for Farmer Application

Abstract

The development of method for producing potassium chlorate based safety Longan Flowering stimulant (SLFS) was carried out in order to find the alternative way to use potassium chlorate (KClO_3) more safety. The method was based on adding some materials to reduce the sensitivity of KClO_3 . The effectiveness of flowering due to SLFS stimulation and related management technique were also studied.

Equipment for detection the sensitivity of explosion was designed and compared to the shock force generated by an electric detonator. The momentum due to the crush of heavy material which fall by gravitation to the hard floor was used to replace the detonator. It was used for detecting explosion of all materials under this study. It was found that force at 61.3 Newton was equivalent to the shock force that generated by no.6 electric detonator. By increasing the momentum up to 112 Newton, pure KClO_3 was totally and strongly exploded. In order to investigate explosion carefully, sound was detected at 30 meters far apart from the origin and recorded in the cassette. The signal analyzer equipment was used for the measurement of sound intensity level of over 17 dB to represent explosion.

Materials that normally use for making chemical fertilizer were grouped as water soluble and non-water soluble. Materials for reducing explosive property (REM) was found to be slake lime (Ca(OH)_2), clay, baking soda (NaHCO_3) and borax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) when included in mixture of more than 40%. However, Ca(OH)_2 seemed to be superior to the other since the level in mixture can be reduced to 20%. However, explosion support materials such as potassium nitrate (KNO_3) required more REM and less KClO_3 when including KNO_3 in the mixture. Since NaHCO_3 and $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ were good water soluble REM, mixture of KClO_3 , NaHCO_3 and $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ may be safe for keeping in mixing plants than pure KClO_3 . The ratio of 62:12:26, respectively, was found effective, and this starting material (SM) can be easily used for further preparation.

Non soluble SLFS (NSM) consisted of KClO_3 , $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, CaSO_4 , $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, KNO_3 and dolomite by the ratio of 15: 30: 19: 4: 4: 28, respectively. It resisted to the shock even though sulfur was additional mixed with. The NSM mixture was also not combustible. Other non soluble forms consisted of 25% KClO_3 and 75% clay or 25% KClO_3 and 45% dolomite plus 30% clay were also good. For water soluble mixture (WS), the combination of 20% KClO_3 , 66% NaHCO_3 and 14% KNO_3 was chosen. The confirmation of explosion sensitivity of all SLFS forms was eventually conducted by using electric detonators. All formulas were found resistance to the shock.

The investigation of flowering stimulant effects was conducted using E-daw Longan trees. The results showed that NSM group flowered more profusely (89.8%) within 39 days, which did not differ from using pure KClO_3 . Number of fruits per panicle was not significantly different from those used pure KClO_3 . Moreover, fruit quality such as diameter, skin thickness, sugar content and weight of fruit of NSM group was not different from control and KClO_3 groups. The application methods of both on soil and leaves spraying gave similar results. Cost of application per tree was at the minimum when using spray method.

The commercial scale method for producing SLFS was furthermore developed in order to produce SLFS as pellets and increase the soluble minerals content. Clay was used by 40% as a binder for making pellets and mixed with 60% NSM mixture. The loss due to loose binding of pellets was lower than those excluded clay as a binder. However, for making pellets from WS mixture, slake lime water was used as a binder. In order to increase water soluble mineral contents (WSM mixture), Na_2HPO_4 and MgSO_4 was used to replace $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ and dolomite.

The application of WS, WSM and NSM pellets (NSMP) on Longan trees was performed. The results showed that WSM group flowered within 30 days and got better flowering score than the NSMP and WS groups. The suitable level of application was estimated by the regression method and found that rate at $8\text{--}9 \text{ g/m}^2$ KClO_3 equivalent or 53.7 g/m^2 canopy cover area of WSM promoted good flowering.

The use of WS mixture at the concentration of 10,000 PPM or 2 kg/200 liters of water was as good as KClO_3 in spraying leaves for flowering, but these mixtures

caused leaves to burn and dropped. However, the application of NPK 15-15-15 fertilizer at panicle growing stage (10 cm-long) significantly increased number of fruit per panicle compared to non fertilizer application. Nevertheless, when WS and WSM which were prepared from SM were used by spraying, fewer flowering response was detected. It might be due to the effect of boron or the imbalance of minerals in the mixtures. As seen, this WS mixture consisted of borax. Consequently, after removing borax from WS, or increasing P and reducing Mg levels in WSM, good flowering response was seen, although the concentration was reduced to 5000 PPM.

Water soluble SLFS which contained minerals (WSM) can be used for stimulating shoot growth and increase leaves area. After fruits harvest for 1 month, WSM mixture was sprayed at 5000 PPM dissolve rate, and leaves length and width were measured at the mature leaves stage. It was found that leaves area was significantly increased compared to non-sprayed group. Leaves color was found more deep green than the non-sprayed group. The leaves veins were found thicker in the sprayed group.

The management of Longan trees was important. The application of NPK 15-15-15 after 1 week of the WSM application depressed flower emergence significantly compared to those non-fertilizer application. Moreover, early application of NPK 15-15-15 significantly promoted leaf flushing prior to the panicles shoots. When WSM was sprayed to KClO_3 -resisted Longan trees at the concentration of 15,000 PPM and following by soil application of the same mixture, flowering of these trees was recovered. The most effective ways of flowering was seen when WSM was sprayed on the mature leaves for 2 times, and following by soil application at the rate of 53.7 g/m^2 canopy cover area. The NPK 8-24-24 fertilizer was applied at 1 week prior to the flower emergence. This management supported flowering very effectively. Panicles were produced directly from bud with regular flowering throughout the trees. Moreover, the length, thickness and branch in panicles were significantly different from those applied only on soil.

Finally, farmers in Chiangmai and Lumpoon provinces who have insufficient knowledge of using KClO_3 were trained and introduced SLFS for their own use. After a period of study, they have accepted that the use of SLFS showed better results in the second year application compared to pure KClO_3 . Although cost of application per tree

was higher than using KClO_3 , farmers preferred to continue using SLFS since good responses of flowering and trees condition were obviously seen.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญ	ณ
สารบัญตาราง	ฐ
สารบัญภาพ	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
ที่มาและความสำคัญของการวิจัย	1
วัตถุประสงค์	2
ข้อตกลงเบื้องต้น	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
ผู้ใช้ประโยชน์จากงานวิจัย	3
บทที่ 2 การดำเนินการทดลองและผลการทดลอง	4
การศึกษาที่ 1 การหาข้อมูลและสร้างอุปกรณ์พื้นฐานที่จำเป็น	
สำหรับการพัฒนาสูตร	4
1.ก การพัฒนาอุปกรณ์ทดสอบการระเบิดของสารผสมโพแทสเซียม	
คลอเรต	4
1.ข การทดสอบระดับที่ปลอดภัยของสารที่สามารถใช้	
ผสมโพแทสเซียมคลอเรตเพื่อประกอบเป็นสารเร่งดอกกล้วย	7
1.ค การศึกษาวิธีการเพิ่มความปลอดภัยในการเก็บโพแทสเซียม	
คลอเรตโดยทำเป็นสารชั้นต้น	12
1.ง การศึกษาเครื่องมือสำหรับใช้ผลิตสารผสมโพแทสเซียม	
คลอเรตที่ปลอดภัย	13
การศึกษาที่ 2 การพัฒนาสูตรสารเร่งดอกกล้วยที่ปลอดภัยจากการระเบิด	15
2.ก สารเร่งดอกกล้วยที่ปลอดภัยชนิดมีแร่ธาตุอาหารร่วมไม่ละลายน้ำ	
(NSM)	15
วัตถุประสงค์	15
การทดสอบเพื่อวัดการติดไฟและระเบิด	16

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ผลการทดลอง	16
สรุปผลการทดลอง	18
2.ข สารเร่งดอกกล้วยที่ปลอดภัยชนิดใช้สารถ่วงไม่ละลายน้ำ	
และไม่เป็นแหล่งของแร่ธาตุ (NS และ NSD)	18
วัตถุประสงค์และวิธีการ	19
การทดสอบเพื่อวัดการติดไฟและการระเบิด	19
ผลการทดลอง	20
สรุปผลการทดลอง	23
2.ค สารเร่งดอกกล้วยชนิดละลายน้ำ (WS)	23
วัตถุประสงค์และวิธีการ	23
ผลการทดลอง	24
สรุปผลการทดลอง	26
การศึกษาที่ 3 การทดสอบย้าเพื่อตรวจสอบการระเบิดของสารเร่งดอก	
ลำไยโดยใช้เชื้อปะทุไฟฟ้า	27
สรุปผลการศึกษา	28
การศึกษาที่ 4 การทดสอบผลของการใช้สารเร่งดอกกล้วยที่ปลอดภัย	
ต่อการออกดอกและต่อผลลำไย	28
วัตถุประสงค์และวิธีการ	29
ผลการทดลอง	30
สรุปผลการทดลอง	37
การศึกษาที่ 5 การพัฒนาสารผสมโพแทสเซียมคลอเรตชนิดไม่ระเบิด	
ที่เหมาะสมในเชิงพาณิชย์และวิธีการใช้ที่มีประสิทธิภาพ	38
5 ก. สารช่วยการทำเม็ดและส่วนประกอบของสูตรสำหรับการทำเม็ด	
ที่เหมาะสม	39
วัตถุประสงค์และวิธีการ	40
ผลการทดลอง	40
สรุปผลการทดลอง	43

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.๗. การพัฒนาสารผสมโพแทสเซียมคลอไรด์ที่ปลอดภัย	
สูตรละลายน้ำ	44
5.๗.1. การทดสอบผลของการใช้สูตรละลายน้ำที่ปลอดภัยเทียบกับโพแทสเซียมคลอไรด์บริสุทธิ์โดยวิธีการพ่นใบลำไยที่ปลูกบนดินเหนียว และน้ำใต้ดิน	44
วัตถุและวิธีการ	44
ผลการทดลอง	46
สรุปผลการทดลอง	48
5.๗.2. การพัฒนาสารผสมโพแทสเซียมคลอไรด์สูตรละลายน้ำมีแร่ธาตุผสม	49
วัตถุและวิธีการ	49
ผลการทดลอง	51
สรุปผลการทดลอง	55
5.๗.3. การพัฒนาสารผสมโพแทสเซียมคลอไรด์สูตรละลายน้ำมีแร่ธาตุผสมสำหรับใช้พ่นบำรุงใบ	56
วัตถุและวิธีการ	56
ผลการทดลอง	58
สรุปผลการทดลอง	60
5.๗.4 การพัฒนาสารผสมโพแทสเซียมคลอไรด์สูตรละลายน้ำมีแร่ธาตุผสมชนิดที่สามารถใช้กระตุ้นการออกดอกของลำไยโดยวิธีพ่นใบ	60
วัตถุและวิธีการ	61
ผลการทดลอง	63
สรุปผลการทดลอง	65
5.๗.5 วิธีการกระตุ้นการออกดอกของลำไยที่มีประสิทธิภาพโดยใช้สารผสมโพแทสเซียมคลอไรด์ที่ไม่ระเบิด	
สูตรละลายน้ำมีแร่ธาตุอาหาร	66

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
วัตถุประสงค์และวิธีการ	66
5.ข.5.1 ผลของการพ่นกระตุ้นใบและใช้ปุ๋ย NPK	
15-15-15 พร้อมกับใส่สารสูตรละลายน้ำมีแร่ธาตุ	67
ผลการทดลอง	68
สรุปผลการทดลอง	70
5.ข.5.2 การใช้สารผสมโพแทสเซียมคลอไรด์สูตรละลายน้ำ	
มีแร่ธาตุแก้ปัญหาลำไยดื้อสารโดยการพ่นใบและ	
การใส่ทางดินร่วมกัน	70
ผลการทดลอง	71
สรุปผลการทดลอง	74
5.ข.5.3 การเพิ่มประสิทธิภาพการออกดอกสูงสุดโดยใช้สาร	
ผสมโพแทสเซียมคลอไรด์สูตรละลายน้ำมีแร่ธาตุโดยวิธี	
พ่นใบ 2 ครั้งร่วมกับการใส่สารทางดิน	75
ผลการทดลอง	76
สรุปผลการทดลอง	78
การศึกษาที่ 6 ทักษะคิดและการยอมรับของเกษตรกรต่อสารเร่ง	
ดอกลำไยชนิดไม่ระเบิด	79
วัตถุประสงค์และวิธีการ	79
ผลการศึกษา	81
สรุปผลการศึกษา	84
บทที่ 3 บทสรุปทั่วไป	85
บรรณานุกรม	88

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 แรงกระทบ (นิวตัน) เมื่อยกวัตถุน้ำหนักต่างๆกันสูงจากพื้นเป็นระยะทางต่างๆ	5
ตารางที่ 2 เปอร์เซ็นต์ของสารที่ระเบิดจากกระดุนด้วยแรงกระแทกของอุปกรณ์ที่ระดับ โมเมนตัมต่างกัน เทียบกับเชื้อปะทุเบอร์ 6 (N=4)	5
ตารางที่ 3 การทดสอบการระเบิดของสารประกอบที่มีโพแทสเซียมคลอเรต บอแรกซ์ และโซดาไบคาร์บอเนตในระดับต่างๆ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของตัวอย่างต่อ ตัวอย่างทั้งหมดที่ใช้ทดสอบ (N=9)	12
ตารางที่ 4 สูตรของสารเร่งดอกลำไยชนิดมีแร่ธาตุรวมเพื่อใช้ทดสอบการติดไฟ และระเบิดคิดเป็นเปอร์เซ็นต์	15
ตารางที่ 5 ระยะเวลาที่สารผสมชนิดมีแร่ธาตุสูตรไม่ละลายน้ำติดไฟหรือ แปร สภาพ และระดับความเข้มของเสียงเมื่อสารถูกกระแทกระเบิด (N=3)	17
ตารางที่ 6 สูตรของสารเร่งดอกลำไยที่มีสารถ่วงไม่ละลายน้ำชนิดไม่มี แร่ธาตุเพื่อการทดสอบ	19
ตารางที่ 7 ระยะเวลาที่สารผสมชนิดไม่ละลายน้ำและไม่มีแร่ธาตุแปรสภาพ และระดับความเข้มของเสียงเมื่อสารถูกกระแทก (N=3)	20
ตารางที่ 8 สูตรของสารผสมโพแทสเซียมคลอเรตชนิดใช้สารถ่วง ไม่ละลายน้ำร่วมกับการปรับสภาพ	21
ตารางที่ 9 ส่วนประกอบของสารผสมโพแทสเซียมคลอเรตชนิดละลายน้ำ ได้เพื่อใช้ในการทดสอบ	24
ตารางที่ 10 ระยะเวลาที่สารผสมชนิดละลายน้ำติดไฟหรือแปรสภาพ เมื่อถูกเผาและระดับความเข้มของเสียงเมื่อสารถูกกระแทก (N=3)	25
ตารางที่ 11 สูตรของสารผสมโพแทสเซียมคลอเรตเพื่อทดลองในสวนลำไย (%)	29
ตารางที่ 12 ค่าเฉลี่ยของตัวแปรตาม จากผลของการใส่สารผสมโพแทสเซียมคลอเรต ชนิดที่ปลอดภัย ต่อการออกดอกและออกผลของลำไย (N=15)	32
ตารางที่ 13 สหสัมพันธ์ของลักษณะต่างๆของผลลำไยที่ใช้เป็นตัวบ่งชี้คุณภาพ (N=480)	34
ตารางที่ 14 ค่าใช้จ่ายรวมค่าแรงในการผลิตและใส่สารผสมโพแทสเซียมคลอเรต	37
ตารางที่ 15 สูตรสารผสมเพื่อทดสอบการทำเม็ด	40
ตารางที่ 16 การสลายตัวของเม็ดหลังกระบวนการผลิตและหลังการเขย่า (N=5)	41

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 17 ลักษณะของทรีทเม้นท์ในการทดลองพ่นสารเร่งดอกลำไยที่ไม่ระเบิดเทียบกับโพแทสเซียมคลอไรด์บริสุทธิ์	44
ตารางที่ 18 ค่าเฉลี่ยของตัวแปรตามจากผลของการใส่สารเร่งดอกลำไยชนิดไม่ระเบิดโดยวิธีพ่นใบเทียบกับโพแทสเซียมคลอไรด์บริสุทธิ์ (N=7)	45
ตารางที่ 19 ผลของการใส่ปุ๋ย NPK 15-15-15 ในระยะดอกยาว 10 ซม. เทียบกับการไม่ใส่และผลของวิธีการใส่และชนิดของสารผสมโพแทสเซียมคลอไรด์ต่อการออกดอกและผล	47
ตารางที่ 20 ส่วนประกอบของสารโพแทสเซียมคลอไรด์สูตรละลายน้ำมีแร่ธาตุ WSM 1	50
ตารางที่ 21 การออกดอกและติดผลของลำไยที่ใส่สารโพแทสเซียมคลอไรด์แบบเม็ดไม่ละลายน้ำแบบละลายน้ำ และแบบละลายน้ำมีแร่ธาตุ (N=19)	52
ตารางที่ 22 ปริมาณสารเร่งดอกลำไยและปริมาณโพแทสเซียมคลอไรด์ที่ต้นลำไยได้รับเมื่อใส่สารผสมแบบเม็ดไม่ละลายน้ำแบบละลายน้ำและแบบละลายน้ำมีแร่ธาตุโดยวิธีใส่ทางดิน	53
ตารางที่ 23 สหสัมพันธ์ของการออกดอกลำไยและคะแนนการติดดอก (N=29)	55
ตารางที่ 24 ผลของการใช้สารผสมโพแทสเซียมคลอไรด์สูตรละลายน้ำมีแร่ธาตุพ่นใบต่อการพัฒนาใบใหม่	58
ตารางที่ 25 ส่วนประกอบสูตรและแร่ธาตุในสูตรสารเร่งดอกลำไยชนิดละลายน้ำ	62
ตารางที่ 26 ผลการใส่สารเร่งดอกลำไยสูตรที่ปลอดภัยชนิดละลายน้ำมีแร่ธาตุในส่วนของเกษตรกร	63
ตารางที่ 27 คะแนนการออกดอกของลำไยที่พ่นด้วยสารผสมสูตรละลายน้ำมีแร่ธาตุผสม	65
ตารางที่ 28 ผลของการใส่ปุ๋ย NPK 15-15-15 ร่วมกับสารผสมโพแทสเซียมคลอไรด์ชนิดละลายน้ำมีแร่ธาตุ (N=16)	69
ตารางที่ 29 การตอบสนองของลำไยต่อโพแทสเซียมคลอไรด์บริสุทธิ์เมื่อใช้ในปีที่ 1 ปริมาณต้นละ 0.5 ก.ก. และในปีที่ 2 ต้นละ 1-1.5 ก.ก.	70

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 30 การตอบสนองของลำไยต้อสารมากต่อโพแทสเซียมคลอไรด์บริสุทธิ์ และต่อสารเร่งดอกลำไยชนิดไม่ระเบิดแบบมีแร่ธาตุ (WSM1) (N=9)	72
ตารางที่ 31 การตอบสนองของลำไยต้อสารปานกลางต่อโพแทสเซียมคลอไรด์บริสุทธิ์ และต่อสารเร่งดอกลำไยชนิดไม่ระเบิดแบบมีแร่ธาตุ (WSM1) (N=9)	72
ตารางที่ 32 ผลของการพ่นใบด้วยสารผสมโพแทสเซียมคลอไรด์สูตรละลายน้ำ มีแร่ธาตุเพื่อแก้ปัญหาลำไยต้อสาร โดยใช้ร่วมกับการใส่ สารผสมทางดิน (N=9)	73
ตารางที่ 33 การตอบสนองของลำไยที่ใช้วิธีการพ่นใบ 2 ครั้งร่วมกับการใส่สาร สูตรละลายน้ำมีแร่ธาตุทางดิน	77
ตารางที่ 34 คะแนนการออกดอกของลำไยที่ใช้วิธีพ่นสาร 2 ครั้งร่วมกับการ การใส่สารสูตรละลายน้ำทางดิน (N=6)	77
ตารางที่ 35 คะแนนเฉลี่ยของทัศนคติและความเข้าใจในการใช้ สารเร่งดอกลำไยของเกษตรกร (N=37)	82
ตารางที่ 36 อัตราการใช้สารผสมโพแทสเซียมคลอไรด์ชนิดไม่ระเบิด แบบละลายน้ำมีแร่ธาตุ	82

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปภาพที่ 1 การทดสอบการระเบิดของสารโพแทสเซียมคลอเรตโดยใช้อุปกรณ์	7
รูปภาพที่ 2 เชื้อปะทุไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบการระเบิดของสารโพแทสเซียมคลอเรต	7
รูปภาพที่ 3 การทดสอบการระเบิดของสารกลุ่มไม่ละลายน้ำผสมกับ โพแทสเซียมคลอเรตระดับต่างๆ	9
รูปภาพที่ 4 การทดสอบการระเบิดของสารกลุ่มละลายน้ำผสมกับ โพแทสเซียมคลอเรตระดับต่างๆ	9
รูปภาพที่ 5 การทดสอบการระเบิดของสารรีดิวซ์หรือสารติดไฟผสมกับ โพแทสเซียมคลอเรตระดับต่างๆ	10
รูปภาพที่ 6 record ของเสียงที่เกิดจากการระเบิดของสารเมื่อทดสอบ โดยอุปกรณ์ใช้แรงตกกระทบ เรียงลำดับจากรุนแรง ปานกลาง และไม่ระเบิด	11
รูปภาพที่ 7 การบด การร่อนผ่านตะแกรง เครื่องผสม และการผสมสาร ผสมโพแทสเซียมคลอเรตวิธีที่ปลอดภัย	14
รูปภาพที่ 8 ความเข้มของเสียงจากการที่สารผสม KClO_3 กับดินเหนียว และโดโลไมท์ถูกแรงกระแทก (N=9)	22
รูปภาพที่ 9 ความเข้มของเสียงจากการที่สารผสม KClO_3 กับดินเหนียว และโดโลไมท์ที่ผสมกับกำมะถันถูกแรงกระแทก (N=9)	22
รูปภาพที่ 10 การทดสอบการระเบิดของสารผสมโพแทสเซียมคลอเรต โดยใช้เชื้อปะทุไฟฟ้า	27
รูปภาพที่ 11 ผลการวิเคราะห์เกรซชั้นของน้ำหนักรวมและจำนวนผลลำไยต่อช่อ	35
รูปภาพที่ 12 การทำสารผสมโพแทสเซียมคลอเรตสูตรละลาย/ไม่ละลายน้ำมีแร่ธาตุ แบบเป็นเม็ด	43
รูปภาพที่ 13 ใบของลำไยที่ใช้สารผสมสูตรละลายน้ำมีแร่ธาตุ WSM1 พ่นใบเปรียบเทียบกับใบที่ไม่มีการพ่นใบ	59

บทที่ 1

บทนำ

ที่มาและความสำคัญของการวิจัย

ลำไยเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญในภาคเหนือ โดยสามารถส่งออกเป็นสินค้าเกษตรที่สำคัญทั้งในรูปผลสดและแบบอบแห้ง การผลิตลำไยมีปัญหาในระยะ 2-3 ปีที่ผ่านมาโดยการเปลี่ยนแปลงของภูมิอากาศทำให้อากาศไม่หนาวและลำไยไม่ออกดอก ทำให้มีการแสวงหาวิธีการทำให้ลำไยออกดอก และจากการค้นพบโดยบังเอิญของนักทำดอกไม้ไฟ ซึ่งมีสวนลำไยเทน้ำที่มีโพแทสเซียมคลอเรตละลายอยู่ลงโคนต้น ทำให้ลำไยออกดอกนอกฤดูกาล เมื่อมีผู้ทราบและนำไปใช้แล้วได้ผลจึงทำให้มีการใช้อย่างแพร่หลายในปี 2542 และเกิดการจำหน่ายโพแทสเซียมคลอเรตหรือผลิตในรูปสารผสมเร่งดอกในรูปธุรกิจ อย่างไรก็ตามเนื่องจากตัวโพแทสเซียมคลอเรตเมื่อผสมกับสารเชื้อเพลิงบางชนิด เช่น กำมะถัน ผงอลูมิเนียม ยูเรียและอื่นๆ สามารถระเบิดได้เมื่อมีประกายไฟ การกระแทก และจากคลื่น (สมคิด พรหมมา, 2542) สารผสมโพแทสเซียมคลอเรตจึงนับว่ามีอันตรายที่สุดในการเก็บรักษา และมีอำนาจเพลิงใกล้เคียงกับดินระเบิดอย่างแรง ดังตัวอย่างการเกิดระเบิดที่โรงงานหงไทยการเกษตรพัฒนา ที่อำเภอสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ แรงระเบิดได้ทำลายโครงสร้างโรงงานเสียหายโดยสิ้นเชิง มีผู้เสียชีวิตในที่นั้นไม่ต่ำกว่า 36 ศพ บาดเจ็บนับร้อยชีวิต และบ้านเรือนราษฎรในละแวก 1 กิโลเมตรเสียหายมากกว่า 100 หลัง สาเหตุเกิดจากการผสมโพแทสเซียมคลอเรต กำมะถัน ปุ๋ย NPK ปุ๋ยยูเรีย และวัตถุอื่นๆ เป็นสารเร่งสำเร็จรูป เพื่อจัดจำหน่ายและเก็บสะสมมากกว่า 20 ตัน และเกิดการเสียชีวิตของโลหะระหว่างการผสมทำให้เกิดการระเบิดอย่างรุนแรงทั้งหมด

หลังจากเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจึงทำให้เจ้าหน้าที่หลายฝ่ายที่มีหน้าที่กำกับดูแลหันมาสนใจสารโพแทสเซียมคลอเรต มีการตรวจจับหรือเข้มงวดกับผู้ที่มีและใช้หรือครอบครองสารนี้อย่างจริงจัง โดยเจ้าหน้าที่ของรัฐที่มีส่วนเกี่ยวข้องโดยตรงไม่เห็นด้วยกับการให้มีการใช้สารโพแทสเซียมคลอเรต อนึ่งสารโพแทสเซียมคลอเรตถูกจัดเป็นยุทธภัณฑ์อยู่ในการควบคุมดูแลของกรมอุตสาหกรรมทหาร กระทรวงกลาโหม ซึ่งมีกฎหมายห้ามมิให้ผู้ใดสั่งนำเข้ามาสผลิตหรือมีไว้ในครอบครองเว้นแต่ได้รับอนุญาตจากปลัดกระทรวงกลาโหม แต่เนื่องจากเกษตรกรส่วนใหญ่ยังต้องการใช้และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจึงหันไปซื้อจากผู้ทำดอกไม้ไฟที่มีใบอนุญาต และในปัจจุบันสามารถหามาครอบครองได้ง่ายขึ้น โดยรวมตัวกันเป็นกลุ่มและทำเรื่องร้องขอต่อกระทรวงกลาโหม

โดยใช้ลำเนาบัตรประชาชน ทะเบียนบ้าน หลักฐานแสดงการครอบครองที่ดิน และหนังสือรับรองจากเกษตรอำเภอ จังหวัด เพื่อนำมาใช้ได้เป็นกรณี

การที่โพแทสเซียมคลอไรด์สามารถหาได้ง่ายและมีผู้รู้แล้วถึงอำนาจและความร้ายแรง รวมทั้งทราบสารที่ผสมกับโพแทสเซียมคลอไรด์แล้วทำให้ระเบิดได้เมื่อเกิดการกระทบ ดังนั้นอาจมีผู้ไม่หวังดีนำสารเร่งดอกกล้วยมาผสมกับสารบางอย่างและนำไปก่อวินาศกรรม และทำให้เกิดความเสียหายในวงกว้าง ซึ่งจะส่งผลให้มีการห้ามใช้อย่างถาวรในที่สุด นอกจากนั้นแม้ในปัจจุบันเกษตรกรยังมีความยุ่งยากในการจัดซื้อ และต้องหลบซ่อนในกรณีที่ไม่มีใบอนุญาตหรือมีในความครอบครองเกินกว่าที่กำหนด ดังนั้นถ้าเราสามารถทำให้สารเร่งดอกกล้วยหมดคุณสมบัติการติดไฟ หรือระเบิดเมื่อถูกแรงกระทบ และไม่สามารถแยกกลับมาให้บริสุทธิ์ได้อีก สารเร่งดอกกล้วยก็จะมีสภาพเท่ากับปุ๋ยธรรมดาชนิดหนึ่งและไม่ผิดกฎหมายอีกต่อไป

รูปแบบของการใช้เท่าที่ปรากฏในปัจจุบันคือการใช้โพแทสเซียมคลอไรด์ล้วนๆ ละลายน้ำ และราดดินรอบๆ ต้นกล้วยได้พุ่ม การใช้โดยทำเป็นสารผสมกับสารอื่นๆ เพื่อโรยดินรอบลำต้นและใช้น้ำราด และการใช้โดยการละลายน้ำและสเปรย์ ดังนั้นสารเร่งดอกกล้วยสูตรที่ปลอดภัยจึงควรอยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้และใช้โดยการราดดินหรือพ่นใบ และรูปแบบที่ผสมเป็นปุ๋ยซึ่งควรมีแร่ธาตุสำคัญของพืชครบครัน และทำเป็นเม็ดเพื่อให้หว่านได้พุ่มกล้วยโดยมีคุณสมบัติไม่ติดไฟ ไม่ระเบิดเมื่อโดนแรงกระทบ สามารถเร่งการออกดอกเช่นเดียวกับโพแทสเซียมคลอไรด์ตามปกติ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาสารเร่งดอกกล้วยที่มีองค์ประกอบของสารโพแทสเซียมคลอไรด์ และสารถ่วง ในระดับความเข้มข้นที่มีความปลอดภัยต่อการนำไปใช้โดยไม่สามารถติดไฟ และไม่ระเบิดเมื่อถูกเสียดสีหรือแรงกระทบ
2. เพื่อพัฒนาสารเร่งดอกกล้วยที่ปลอดภัยในรูปแบบที่สะดวกกับการนำไปใช้คือ ชนิดเป็นเม็ดปุ๋ย ชนิดละลายน้ำราดดิน และชนิดละลายน้ำพ่นใบ
3. เพื่อทดสอบผลของการใช้สารเร่งที่ปลอดภัยต่อการออกดอกของกล้วย ผลต่อการติดผลและคุณภาพของผล
4. เพื่อทดสอบการยอมรับของเกษตรกรชาวสวนกล้วยต่อการใช้สารเร่งดอกที่ปลอดภัย

ข้อตกลงเบื้องต้น

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ผู้วิจัยใช้โพแทสเซียมคลอไรด์ที่ตรวจพบหรือจัดจำหน่ายในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่และจังหวัดลำพูน โดยเป็นชนิดที่บรรจุในถังโลหะขนาด 50 กิโลกรัม 2 ชนิดคือถังสีฟ้า ความเข้มข้นบริสุทธิ์ 99.8% กับชนิดบรรจุถังสีเขียว ความเข้มข้นบริสุทธิ์ 99.7% และชนิดบรรจุกระสอบๆละ 50 กิโลกรัม ความเข้มข้นบริสุทธิ์ 95.0%

ตัวแปรอิสระที่สำคัญคือการเน้นใส่สารต่างๆ ร่วมกับโพแทสเซียมคลอไรด์ในอัตราส่วนต่างๆ เพื่อจะได้สูตรสารเร่งที่ปลอดภัยโดยใช้สารที่หาง่าย ราคาถูก และเป็นแร่ธาตุอาหารหลักหรือเป็นธาตุอาหารรองหรือเป็นตัวถ่วงไม่ให้ติดไฟ ส่วนตัวแปรตามจะวัดค่าในเชิงปริมาณเช่นระยะเวลาที่เฝ้าโดยใช้ตะเกียงแอลกอฮอล์จนกระทั่งสารลุกติดไฟหรือเปลี่ยนสภาพไป คุณสมบัติอันพึงประสงค์คือไม่ลุกไหม้ติดไฟหรือเปลี่ยนสภาพ และการทดสอบการระเบิดโดยช็อคด้วยแรงมากกว่า 50.0 นิวตัน คุณสมบัติอันพึงประสงค์คือไม่ระเบิด ผลสำเร็จของการศึกษาคือได้สูตรสารเร่งดอกกล้วยที่ปลอดภัยโดยไม่สามารถระเบิดจากแรงกระแทก และไม่สามารถติดไฟ แต่ยังคงคุณสมบัติการเร่งดอกอยู่ และสามารถนำมาทำเป็นเม็ดเช่นเดียวกับปุ๋ย หรือละลายน้ำได้และไม่สามารถแยกกลับคืนได้อีก

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้วิธีการผลิตและสูตรสารเร่งดอกกล้วยที่ปลอดภัย
2. ได้รูปแบบสารเร่งดอกกล้วยที่ปลอดภัยและสะดวกกับการนำไปใช้
3. ได้วิธีการป้องกันการนำสารเร่งดอกกล้วยไปทำวัตถุระเบิดได้อีก
4. ได้ทางเลือกสำหรับผู้มีส่วนร่วมเกี่ยวข้องโดยตรงกับสารโพแทสเซียมคลอไรด์ โดยการแปรูปเป็นสารที่ไม่ใช่ยุทธภัณฑ์ควบคุมหรือวัตถุระเบิด
5. สร้างองค์ความรู้และนักวิจัยรุ่นเยาว์

ผู้ใช้ประโยชน์จากงานวิจัย

1. ผู้ผลิตสารเร่งดอกกล้วยในเชิงพาณิชย์หรือโรงงานทำปุ๋ยสำเร็จรูป
2. เกษตรกรชาวสวนกล้วยในภาคเหนือและในแหล่งที่ปลูกกล้วย
3. หน่วยราชการของกระทรวงเกษตรเช่น กรมวิชาการเกษตร กรมส่งเสริมการเกษตร
4. หน่วยราชการที่ควบคุมเช่น กระทรวงกลาโหม
5. ผู้บริหารในระดับนโยบาย

บทที่ 2

การดำเนินการทดลองและผลการทดลอง

การวิจัยและพัฒนาสารเร่งดอกกล้วยที่ปลอดภัย (Safety Longan Flowering Stimulant, SLFS) ใช้วิธีการทดลองเพื่อหาข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นสำหรับการพัฒนาสูตร กำหนดส่วนผสมและทดสอบคุณสมบัติการกระตุ้นและการกระตุ้นการออกดอกกล้วย ศึกษาการจัดการต้นกล้วยเพื่อให้ดอกออกอย่างสมบูรณ์และได้ผลกล้วยที่มีคุณภาพ รวมถึงการพัฒนาวิธีผลิตที่ปลอดภัยในเชิงพาณิชย์ และทดสอบการยอมรับของเกษตรกร โดยศึกษาทั้งในสถานที่ทดลองที่ศูนย์วิจัยและบำรุงพันธุ์สัตว์ เชียงใหม่ อำเภอสันป่าตอง และในสวนกล้วยของเกษตรกร จังหวัดเชียงใหม่ และ จังหวัดลำพูน ระหว่างปี พ.ศ. 2542-2544

การศึกษาที่ 1 การหาข้อมูลและสร้างอุปกรณ์พื้นฐานที่จำเป็นสำหรับการพัฒนาสูตร

1.ก การพัฒนาอุปกรณ์ทดสอบการระเบิดของสารผสมไพโรแทสเซียมคลอเรต

โดยที่วัตถุระเบิดส่วนใหญ่ใช้การระเบิดนำของเชื้อปะทุ (Detonator) ซึ่งจะส่งแรงกระแทก (Shock Wave) มากพอที่จะทำให้วัตถุระเบิดเกิดการระเบิดได้ และเชื้อปะทุที่นิยมใช้ในปัจจุบัน แบ่งเป็นขนาดต่างๆ ตั้งแต่ เบอร์ 6 ถึงเบอร์ 12 ซึ่งเบอร์ 12 จะมีความแรงมากที่สุด เชื้อปะทุเบอร์ 6 จัดเป็นขนาดมาตรฐานที่มีความแรงเพียงพอกับการใช้กับดินระเบิดแรงสูงทั่วไป แต่เนื่องจากเชื้อปะทุเป็นวัตถุต้องห้ามอันตรายที่ต้องมีการขออนุญาตเพื่อครอบครอง และมีอันตรายจากการระเบิดถ้ามีการใช้และเก็บรักษาไม่ถูกต้อง ดังนั้นในโครงการวิจัยนี้จึงได้มีการพัฒนาอุปกรณ์เพื่อสร้างแรงกระแทกที่เพียงพอที่จะทำให้ไพโรแทสเซียมคลอเรตระเบิด และใช้เป็นอุปกรณ์ทดสอบความปลอดภัยของสารในการทดลองแทนเชื้อปะทุเบอร์ 6 ถึงเบอร์ 8 ที่ใช้กันทั่วไป

การพัฒนาอุปกรณ์ทดสอบใช้หลักการตกของวัตถุโดยแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งเมื่อตกจากที่สูงในระดับพอเหมาะจะสามารถสร้างแรงกระแทกที่ต้องการได้ การคิดคำนวณแรงกระแทกใช้หลักการคำนวณความเร็วของวัตถุที่ตกสู่พื้น (V) จากสูตร $V^2 = U^2 + 2gS$ โดยที่ $U=0$, $g = 9.8$ เมตร/วินาที² S = ระยะทางเป็นเมตร และคำนวณแรงกระทบในรูปแบบของ momentum (F) มี

หน่วยเป็นนิวตัน (กิโลกรัมเมตร/วินาที) โดยมีสูตรคำนวณคือ $F = mV$ โดย m มีหน่วยเป็นกิโลกรัม ดังนั้นเมื่อยกวัตถุสูงจากพื้นในระดับต่างๆ จะได้แรงกระทบตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แรงกระทบ (นิวตัน) เมื่อยกวัตถุน้ำหนักต่างๆกันสูงจากพื้นเป็นระยะทางต่างๆ

S (เมตร)	1	2	3	4	5	6	8	10
น้ำหนัก (ก.ก.)								
8	35.4	50.1	61.3	70.8	79.2	86.8	100.2	112
12	53.1	75.1	92.0	106.3	118.7	130.1	150.3	168
16	70.8	100.2	122.7	141.7	158.4	173.5	200.4	224
20	88.5	125.2	153.4	177.1	198	216.9	250.4	280

จากตารางที่ 1 จะเห็นว่าการยกวัตถุสูงจากพื้นในระดับต่างๆ และปล่อยให้ตกกระทบผิวดินจะทำให้เกิดแรงกระแทกมากกว่า 50 นิวตัน เมื่อใช้วัตถุหนัก 12 ก.ก ยกสูงมากกว่า 1 เมตรขึ้นไป หรือวัตถุหนัก 8 ก.ก. ยกสูงมากกว่า 2 เมตร การใช้วัตถุที่หนักมากจะทำให้ยกลำบากและการยกที่ความสูงมากๆ จะทำให้ตั้งวัตถุขึ้นไปได้ยาก

การเปรียบเทียบแรงกระทบกับแรงจากเชื้อปะทุมาตรฐานเบอร์ 6 ที่ใช้ A.S.A และ P.E.T.N เป็นส่วนประกอบ โดยใช้โพแทสเซียมคลอเรตบริสุทธิ์ และโพแทสเซียมคลอเรตผสมผงกำมะถันอัตราส่วน 70:30 โดยน้ำหนักเป็นวัสดุทดสอบได้ผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เปอร์เซนต์ของสารที่ระเบิดจากกระตุ้นด้วยแรงกระแทกของอุปกรณ์ที่ระดับโมเมนต์ัมต่างๆกัน เทียบกับเชื้อปะทุเบอร์ 6 (N=4)

สิ่งทดสอบ	เชื้อปะทุเบอร์ 6	แรงกระทบ (นิวตัน) จากอุปกรณ์					
		50.1	61.3	70.8	86.8	100.2	112
โพแทสเซียมคลอเรต	0	0	25	50	75	100	100
โพแทสเซียมคลอเรตผสมผงกำมะถัน	100	75	100	100	100	100	100
โพแทสเซียมคลอเรตผสมน้ำ 1%	0	0	25	50	75	100	100

เมื่อพิจารณาจากผลตามตารางที่ 2 จะเห็นว่าโพแทสเซียมคลอไรด์ที่ผสมก้ามะถันทุกตัวอย่างจะระเบิดทั้งหมด (100%) เมื่อใช้เชื้อปะทุเบอร์ 6 ซึ่งเทียบเท่ากับแรงกระแทก 61.3 นิวตัน แต่แรงกระแทกจากอุปกรณ์หรือจากเชื้อปะทุในระดับนี้ ไม่สามารถทำให้โพแทสเซียมคลอไรด์บริสุทธิ์ระเบิดได้ทั้งหมด

เพื่อให้เกิดความปลอดภัยสูงสุดในการผลิตสารผสมโพแทสเซียมคลอไรด์ จึงควรใช้แรงกระแทกที่สามารถทำให้โพแทสเซียมคลอไรด์บริสุทธิ์ระเบิดได้ คือที่ 112 นิวตัน ขึ้นไป และใช้เป็นมาตรฐานในการทดสอบสูตรสารเร่งดอกกล้วยทุกสูตร ดังนั้นถ้าใช้วัตถุหนัก 8, 12, 16 และ 20 ก.ก. จะต้องยกสูงจากพื้นดิน 10, 5, 3 และ 2 เมตรตามลำดับ ส่วนถ้าใช้เชื้อปะทุควรใช้เบอร์ที่สูงกว่าเบอร์ 6 เช่น ถ้าใช้เบอร์ 8 จะให้แรงกระแทกสูงกว่าเบอร์ 6 ถึง 2 เท่า ซึ่งจะเท่ากับ $61.3 \times 2 = 122.6$ นิวตัน ซึ่งน่าจะทำให้โพแทสเซียมคลอไรด์บริสุทธิ์ระเบิดได้ ในทางปฏิบัติสำหรับผู้ผลิตสารเร่งดอกกล้วย การใช้อุปกรณ์ที่ใช้วิธีการตกกระแทกจะเป็นวิธีการที่ดีที่สุด และสะดวกปลอดภัยที่สุด

การทดสอบการระเบิดของสารโดยใช้อุปกรณ์จะใช้สารปริมาณ 1-2 กรัมห่อด้วยแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ให้เป็นก้อนกลม และติดที่ปลายของท่อนเหล็กตันทรงกระบอกลักษณะท่อนกลมด้านที่จะตกกระแทกพื้นและมัดปลายอีกด้านหนึ่งด้วยเชือกที่พาดผ่านรอกเดี่ยวตายตัว แล้วดึงเชือกให้วัตถุขึ้นไปสูงตามระยะที่ต้องการ ซึ่งในการทดลองใช้ท่อนเหล็กหนัก 8 ก.ก. ดึงขึ้นไปสูงจากพื้น 10 เมตร และปล่อยให้ตกอย่างอิสระมากระแทกแผ่นเหล็กหนา 2 ซม. ที่วางบนพื้นซึ่งไมเมนต์ัมที่จุดตกกระแทกจะมีค่าเท่ากับ 112 นิวตัน ตามที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งแรงในระดับนี้จะทำให้โพแทสเซียมคลอไรด์บริสุทธิ์ที่อยู่ในห่ออลูมิเนียมระเบิดอย่างรุนแรง อนึ่งจากการทดสอบพบว่าอลูมิเนียมฟอยล์ไม่มีส่วนเสริมการระเบิดหรือลุกไหม้ ซึ่งดีกว่าแผ่นกระดาษและแผ่นพลาสติกที่สามารถลุกไหม้เมื่อใช้ห่อตัวอย่างและถูกแรงกระแทก

จากตารางที่ 2 ทำให้ทราบว่าโพแทสเซียมคลอไรด์บริสุทธิ์สามารถระเบิดได้ถ้าถูกแรงกระแทกมากกว่า 100 นิวตัน ซึ่งชี้ชัดให้เห็นอันตรายของโพแทสเซียมคลอไรด์บริสุทธิ์ ที่เคยมีการเชื่อว่าจะไม่สามารถระเบิดได้ถ้าไม่มีการผสมสารรีดิวซ์หรือสารเสริมการระเบิด ผลจากการทดลองนี้ทำให้เห็นปัจจัยเสี่ยงในการเก็บรักษา และการขนส่งเพราะสารโพแทสเซียมคลอไรด์บริสุทธิ์พร้อมจะเกิดการระเบิดได้ตลอดเวลา เมื่อถูกวัตถุหนักตกกระแทกหรือเมื่อถูกกระแทกอย่างแรง ดังนั้นการระบับการครอบครองโพแทสเซียมคลอไรด์บริสุทธิ์โดยเกษตรกร หรือศึกษาการใช้สารถ่วงผสมกับโพแทสเซียมคลอไรด์เพื่อให้เก็บรักษาได้อย่างปลอดภัยจึงเป็นเรื่องที่จำเป็น

รูปภาพที่ 1 การทดสอบการระเบิดของสารโพแทสเซียมคลอเรตโดยใช้อุปกรณ์



รูปภาพที่ 2 เชื้อปะทุไฟฟ้าที่ใช้ทดสอบการระเบิดของสารโพแทสเซียมคลอเรต



1.ข.การทดสอบระดับที่ปลอดภัยของสารที่สามารถใช้ผสมโพแทสเซียมคลอเรตเพื่อประกอบเป็นสารเร่งดอกกล้วย

จากการที่โพแทสเซียมคลอเรตบริสุทธิ์สามารถระเบิดได้เมื่อถูกแรงกระแทกที่แรงพอสำหรับการศึกษาที่ 1.ก. ดังนั้นก่อนการประกอบสูตรจึงควรมีการทดสอบสารที่จะใช้ผสม ซึ่งได้แก่สารที่นิยมใช้เป็นแหล่งของธาตุอาหารต่างๆในการทำปุ๋ยเคมีหรืออาหารเสริมสำหรับพืช โดยนำมาผสมกับโพแทสเซียมคลอเรตในระดับต่างๆ เพื่อหาระดับที่มีความปลอดภัยในการนำไปปฏิบัติโดยแบ่งสาร

ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ละลายน้ำ และกลุ่มไม่ละลายน้ำเปรียบเทียบกับสาร reduce หรือสารติดไฟสารต่างๆ ที่มักใช้ในการทำวัตถุระเบิดหรือดอกไม้ไฟ สารที่นำมาศึกษาคือ

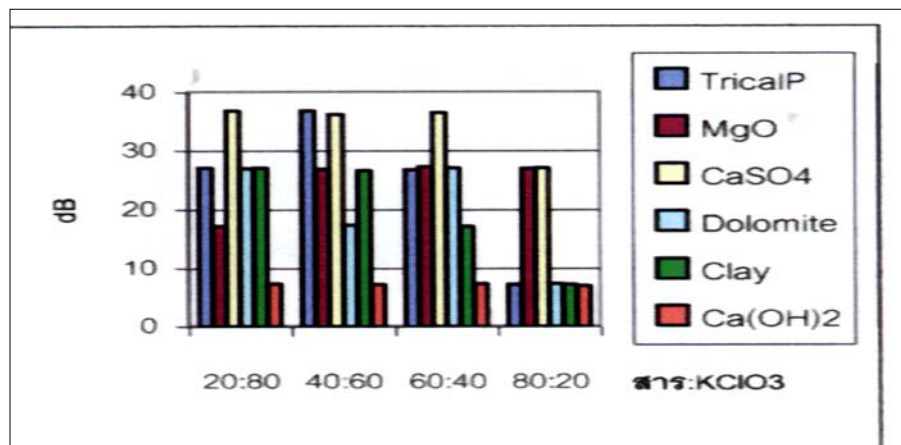
กลุ่มไม่ละลายน้ำ	กลุ่มละลายน้ำ	กลุ่มสารรีดิวซ์
1. Tri calcium phosphate ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$)	1. Disodium hydrogen phosphate (Na_2HPO_4)	1. Charcoal
2. Magnesium Oxide(MgO)	2. Magnesium sulfate ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	2. AL-powder
3. Gypsum($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	3. Potassium nitrate (KNO_3)	3. S-Powder
4. Dolomite ($\text{MgO}, \text{CaO}, \text{SiO}_2, \text{Fe}_2\text{O}_3$)	4. Urea (NH_2CONH_2)	4. Starch
5. ดินเหนียว (clay)	5. Sodium bicarbonate (NaHCO_3)	
6. ปูนขาว ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)	6. Sodium tetraborate ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)	
	7. Biuret ($\text{NH}_2\text{CONHCONH}_2$)	

การทดลองทำโดยผสมสารแต่ละชนิดกับโพแทสเซียมคลอเรตในปริมาณ 20, 40, 60, 80% โดยน้ำหนักและห่อเป็นก้อนกลมด้วยแผ่นอลูมิเนียม และนำไปทดสอบโดยอุปกรณ์ที่แรงกระแทก 112 นิวตัน ดังรูปภาพ

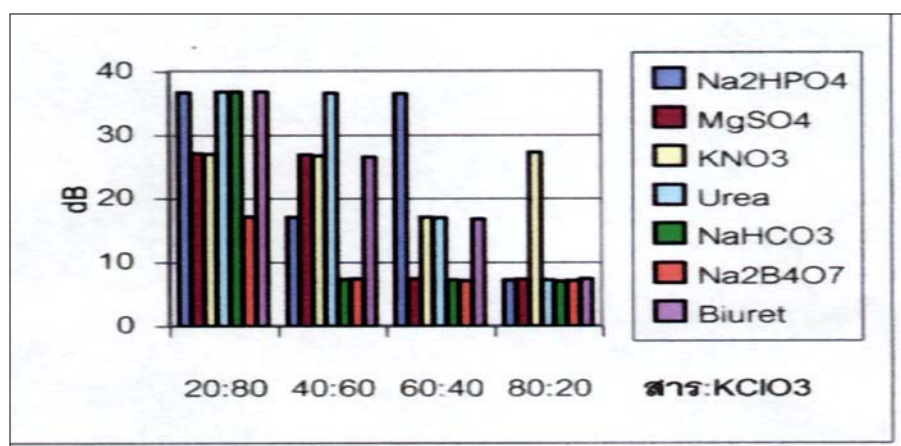


การอ่านผลใช้วิธีบันทึกเสียงจากการตกกระทบลงในเทป โดยวางไมโครโฟนรับเสียงให้ห่างจากจุดกระทบ 30 เมตร และนำเทปไปอ่านระดับความเข้มของเสียงเป็น desibell (dB) โดยใช้เครื่อง signal analysis workstation ผลิตโดย Kay elemetrics corporation model 5500 ของกองพิสูจน์หลักฐาน สำนักงานวิทยาการตำรวจ สำนักงานตำรวจแห่งชาติ ซึ่งพบว่าสารที่ระเบิดได้จะให้ระดับความเข้มของเสียง (β) ตอนตกกระทบมากกว่า 17 dB โดยสารที่เกิดการระเบิดอย่างรุนแรงจะเกิดเสียงที่มีความเข้มมากกว่า 35 dB

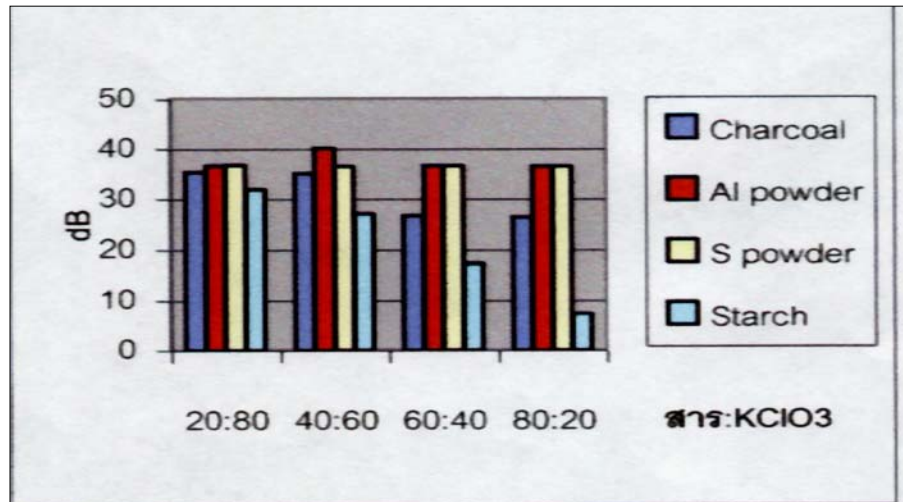
รูปภาพที่ 3 การทดสอบการระเบิดของสารกลุ่มไม่ละลายน้ำผสมกับโพแทสเซียมคลอเรตระดับต่างๆ



รูปภาพที่ 4 การทดสอบการระเบิดของสารกลุ่มละลายน้ำผสมกับโพแทสเซียมคลอเรตระดับต่างๆ



รูปภาพที่ 5 การทดสอบการระเบิดของสารรีดิวซ์หรือสารติดไฟผสมกับโพแทสเซียมคลอเรตระดับต่างๆ



จากรูปภาพที่ 3 จะเห็นว่าวัสดุที่นิยมใช้ทำปุ๋ยเคมีชนิดไม่ละลายน้ำหลายชนิดจะมีความปลอดภัยจากการระเบิดเมื่อใช้โพแทสเซียมคลอเรตผสมไม่เกิน 20% ยกเว้นเพียง MgO และ CaSO_4 ทั้งนี้เนื่องจาก Mg และ S ที่มีอยู่ในสารทั้งสองเป็นตัวยกปฏิกิริยา โดยทั่วไปธาตุ Mg และ S ทั้ง 2 ชนิดเมื่อผสมกับโพแทสเซียมคลอเรตแล้วสามารถติดไฟหรือระเบิดได้ง่ายโดยเฉพาะเมื่อเป็นผงละเอียด จึงนิยมใช้ทำดอกไม้ไฟชนิดต่างๆ (สมคิด พรหมมา, 2542) ดังนั้นการผสม MgO และ CaSO_4 กับโพแทสเซียมคลอเรตจึงต้องใช้สารตัวอื่นมาช่วยถ่วง ซึ่งเมื่อพิจารณาในรูปภาพที่ 3 แล้วจะเห็นว่า ดินเหนียว เป็นสารถ่วงที่ดีเมื่อใช้ผสมในสัดส่วนมากกว่า 60% ขึ้นไป และปูนขาวเป็นสารถ่วงที่ดีมากเพราะสามารถห้ามการระเบิดของโพแทสเซียมคลอเรตแม้จะใช้เพียง 20% ก็ตาม

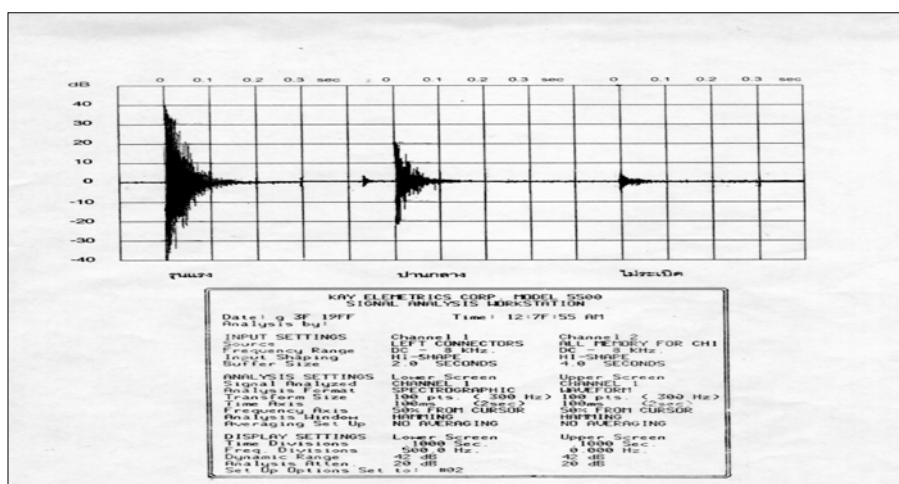
สำหรับสารกลุ่มละลายน้ำซึ่งนิยมใช้ผสมทำธาตุอาหารเสริมสำหรับพืช เมื่อนำมาผสมกับโพแทสเซียมคลอเรตระดับต่างๆ และทดสอบการระเบิดโดยวิธีเดียวกัน ได้ผลดังแสดงในรูปภาพที่ 4 จะเห็นว่าการใช้สารกลุ่มละลายน้ำเช่น Na_2HPO_4 , MgSO_4 , Urea, NaHCO_3 , $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, และ biuret มาผสมกับโพแทสเซียมคลอเรตโดยมีความเข้มข้นของโพแทสเซียมคลอเรตไม่เกิน 20 % จะมีความปลอดภัยจากการระเบิด ($\beta < 17\text{dB}$) ยกเว้น KNO_3 ทั้งนี้เนื่องจาก KNO_3 เป็นสารออกซิไดซ์ชนิดหนึ่ง ซึ่งนิยมใช้ทำดอกไม้ไฟชนิดต่างๆ และมีคุณสมบัติเสริมปฏิกิริยาการระเบิดของโพแทสเซียมคลอเรต นอกจากนั้นยังพบว่า เมื่อใช้ $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ และ NaHCO_3 ในปริมาณตั้งแต่ 40% ขึ้นไปผสมกับโพแทสเซียมคลอเรต จะช่วยลดการระเบิดของสารผสมได้ดีเช่นเดียวกัน

สารทั้ง 2 ชนิดนี้จึงเหมาะสมที่จะใช้ในการผสมกับโพแทสเซียมคลอไรด์เพื่อทำให้เกิดความปลอดภัยในการเก็บรักษาสารปริมาณมากในโรงงานก่อนขั้นตอนการนำมาผสมทำสารเร่งดอกกล้วย อย่างไรก็ตาม urea และ biuret แม้จะไม่ระเบิดเมื่อใช้ในปริมาณมากถึง 80% แต่สารผสมจะติดไฟง่าย จึงไม่ควรนำมาใช้ผสมในสูตรสารเร่งดอกกล้วย

เมื่อเทียบกับสาร reduce หรือสารติดไฟเช่น ผงถ่าน ผงอลูมิเนียม ผงกำมะถัน และผงแป้ง ดังผลในรูปภาพที่ 5 พบว่ามีเพียงแป้งเท่านั้นที่สามารถป้องกันการระเบิดเมื่อใช้ในปริมาณมากกว่า 60% ขึ้นไป ส่วนสารที่เหลือนี้จะระเบิดได้อย่างรุนแรงแม้จะใช้โพแทสเซียมคลอไรด์ผสมเพียง 20% สารเหล่านี้จัดเป็นกลุ่มสารที่มีอันตรายมากถ้าใช้อย่างไม่ระมัดระวังเมื่อผสมกับโพแทสเซียมคลอไรด์ ดังนั้นจึงไม่ควรนำมาผสมในสูตรสารเร่งดอกกล้วย ปัจจุบันมีผู้ผสมแป้งร่วมกับโพแทสเซียมคลอไรด์เพื่อผลทางการค้า ซึ่งแม้จะห้ามการระเบิดถ้าใช้แป้งผสมในปริมาณมากแต่สารผสมจะติดไฟง่ายมากและมีอันตรายเช่นกันจากการลุกไหม้ติดไฟ

ในการทดลองและทดสอบการระเบิดของสารทั้ง 3 กลุ่มนั้น ผู้วิจัยได้ใช้ค่าระดับความเข้มของเสียง ที่จุดสูงสุดของ sound record ซึ่งมีหน่วยเป็น dB มาเป็นตัวแทนในการคัดเลือกและทดสอบการระเบิด เพราะเมื่อนำค่าดังกล่าวมาทดสอบสหสัมพันธ์ (correlation) กับ peak area ซึ่งมีหน่วยเป็น dB m sec ที่ใช้บ่งบอกถึงพื้นที่ของเสียงจากการระเบิดทั้งหมด พบว่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์สูงมาก ($r = 0.999$) จึงใช้ค่า β ซึ่งมีหน่วยเป็น decibel มาเป็นตัวแทนของ peak area ทั้งหมด ค่า record ของการวัดโดยเครื่อง signal analyzer ของตัวอย่างที่มีการระเบิดอย่างรุนแรงปานกลางและไม่ระเบิดแสดงในรูปภาพที่ 6

รูปภาพที่ 6 record ของเสียงที่เกิดจากการระเบิดของสารเมื่อทดสอบโดยอุปกรณ์ใช้แรงตกระทบ เรียงลำดับจากรุนแรง ปานกลาง และไม่ระเบิด



1.ค การศึกษาวิธีการเพิ่มความปลอดภัยในการเก็บโพแทสเซียมคลอไรด์โดยทำเป็นสาร ขั้นต้น

จากผลการทดลองในข้อ 1.ข. ที่ทำให้ทราบว่าสารกลุ่มละลายน้ำได้แก่ บอแรกซ์ และ โซดาไบคาร์บอเนต สามารถถ่วงการระเบิดของโพแทสเซียมคลอไรด์เมื่อใช้บอแรกซ์ผสมปริมาณ ตั้งแต่ 20% ขึ้นไปและโซดาไบคาร์บอเนตตั้งแต่ 40% ขึ้นไป ดังนั้นการผสมสารทั้ง 2 ชนิดกับ โพแทสเซียมคลอไรด์จะทำให้สามารถเพิ่มความปลอดภัยในการเก็บรักษาปริมาณมากๆได้ ทั้งนี้ เพราะเนื้อสารโพแทสเซียมคลอไรด์ได้ถูกแทรกโดยสารถ่วงอย่างทั่วถึง สารทั้ง 2 ตัวและยังมี คุณสมบัติไม่ติดไฟ ดังนั้นการบดและร่อนโพแทสเซียมคลอไรด์โดยใช้ลูกกลิ้งบดและร่อนผ่านตะแกรง สแตนเลสขนาด 0.05 มม. ก่อนนำไปผสมจะทำให้สารถ่วงสามารถแทรกเข้าไประหว่างโพแทสเซียม คลอไรด์อย่างทั่วถึงและทำให้โพแทสเซียมคลอไรด์ไม่ติดกันเป็นกลุ่มก้อน การทดลองใช้โพแทสเซียม คลอไรด์ผสมกับสารทั้ง 2 ชนิดร่วมกันในอัตราส่วนต่างๆแล้วทดสอบการระเบิดโดยอุปกรณ์ที่ใช้แรง ตกกระทบและวัดระดับความเข้มของเสียงวิธีเดียวกับการทดลองที่ 1.ข. ได้ผลดัง ตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การทดสอบการระเบิดของสารประกอบที่มีโพแทสเซียมคลอไรด์ บอแรกซ์และ โซดาไบคาร์บอเนตในระดับต่างๆ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของตัวอย่างต่อตัวอย่าง ทั้งหมดที่ใช้ทดสอบ (N=9)

โพแทสเซียมคลอไรด์(%)	100	83.3	75.8	69	61.7	53.8	45.5
บอแรกซ์ (%)	-	16.7	15.2	13.8	12.3	10.8	9.0
โซดาไบคาร์บอเนต(%)	-	0	10.0	17.2	26.0	35.4	45.5
การระเบิด	100	0	0	0	0	0	0
ระดับความเข้มเสียง	36.8	27.1	17.1	7.4	7.4	7.4	7.4
การลุกไหม้จากการกระแทก	100	66.6	66.6	0	0	0	0

จากตารางที่ 3 จะเห็นว่าเมื่อใช้โพแทสเซียมคลอไรด์ไม่เกิน 62% ผสมกับบอแรกซ์ 12% และโซดาไบคาร์บอเนต 26% จะได้สารที่มีความปลอดภัยโดยไม่สามารถระเบิดจากแรงกระแทก 112 นิวตัน การใช้บอแรกซ์และโซดาไบคาร์บอเนตร่วมกันทำให้ใช้สารแต่ละตัวเป็นปริมาณลดลง กว่าถ้าใช้เดี่ยวๆเช่นการทดลองที่ 1.ข. ส่วนเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโพแทสเซียมคลอไรด์มากขึ้น พบว่าระดับความเข้มของเสียงจะเพิ่มขึ้นมากกว่า 17 dB และพบว่า 66.6 % ของตัวอย่างที่ทดสอบ จะมีควันกระจายขึ้นมาจากจุดกระทบ ซึ่งแสดงถึงการระเบิดในความรุนแรงระดับปานกลางซึ่งนับว่า

ยังไม่มีความปลอดภัยเช่นกัน เป็นที่น่าสังเกตว่าการเพิ่มระดับบอแรกซ์เพียงอย่างเดียวหรือลดปริมาณโซดาไบคาร์บอเนตและเพิ่มปริมาณบอแรกซ์ไม่สามารถลดคุณสมบัติการระเบิดของสารได้ อย่างไรก็ตามการลดความเข้มข้นของโพแทสเซียมคลอเรตมากกว่านี้ จะต้องใช้โซดาไบคาร์บอเนตมากขึ้นทำให้เปลืองพื้นที่สำหรับเก็บสารชั้นต้นมากขึ้นและทำให้ต้องใช้สารชั้นต้นปริมาณมากในการผสมสารเร่งดอกลำไยในแต่ละครั้ง ดังนั้นการใช้ความเข้มข้นของโพแทสเซียมคลอเรตสูงสุดที่ 62% จึงมีความเหมาะสม

อย่างไรก็ตามสารชั้นต้นดังกล่าวนี้ยังมีความเหมาะสมในการใช้เป็นสารเร่งดอกลำไย และกระจายสู่ผู้ใช้ ทั้งนี้เพราะเป็นขบวนการผลิตและทดสอบเพื่อความปลอดภัยภายในโรงงานโดยไม่รวมไปถึงการทดสอบโดยผสมกับกำมะถันหรือสารตัวอื่นๆ ซึ่งสารชั้นต้นนี้ถ้านำไปผสมกับสารรีดิวิหรือสารติดไฟจะสามารถระเบิดได้เมื่อถูกแรงกระแทก ดังนั้นจึงอาจมีผู้นำไปผลิตเป็นวัตถุระเบิด จึงควรเก็บสารชั้นต้นไว้เฉพาะในโรงงานเท่านั้น เพื่อรอการผลิตเป็นสารเร่งดอกลำไยโดยผสมกับสารตัวอื่นๆต่อไป

1.ง. การศึกษาเครื่องมือสำหรับใช้ผลิตสารผสมโพแทสเซียมคลอเรตที่ปลอดภัย

เนื่องจากโพแทสเซียมคลอเรตเป็นสารที่ไวต่อการแตกตัวเมื่อเกิดการเสียดสีโดยเฉพาะเมื่อผสมกับสารติดไฟชนิดต่างๆ (สมคิด พรหมมา, 2542) ดังนั้นในกระบวนการผลิตจึงต้องหลีกเลี่ยงจากการเสียดสีและแรงกระแทก โดยต้องไม่มีการใช้พลั่ว จอบ หรือภาชนะโลหะ ใดๆ ตักหรือคลุกผสมบนพื้นซีเมนต์ลักษณะเดียวกับการผสมปูน อาหารสัตว์ หรือปุ๋ย และโพแทสเซียมคลอเรตต้องผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงละเอียดเสียก่อนโดยใช้วิธีการดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 1.ค. การบดโพแทสเซียมคลอเรตต้องใช้ลูกกลิ้งทรงกระบอกบดทับ โดยใช้แผ่นพลาสติกปูบนพื้นซีเมนต์เรียบและบดสารบนแผ่นพลาสติก และต้องไม่มีการยกลูกกลิ้งมาวางบนกองแต่ใช้วิธีกลิ้งเข้าไปในกองแทน การบดบนพื้นจะสามารถตัดปัญหาการตกกระแทก ซึ่งวิธีการเหล่านี้โรงงานดอกไม้ไฟในประเทศญี่ปุ่นส่วนใหญ่ที่ใช้โพแทสเซียมคลอเรตเป็นส่วนผสมจะกำหนดให้นั่งทำงานบนพื้นเท่านั้น เครื่องบดทุกชนิดที่มีการเสียดสีหรือเกิดความร้อน เช่น เครื่องที่ใช้ในการบดปุ๋ยหรืออาหารสัตว์จะไม่สามารถนำมาใช้กับโพแทสเซียมคลอเรตได้

การร่อนผ่านตะแกรงโดยใช้โพแทสเซียมคลอเรตที่บดแล้วมาร่อนผ่านตะแกรงสแตนเลสขนาด 0.05 มม. และใช้แรงกดของฝ่ามือหรืออุปกรณ์เขย่าที่มีรอบไม่เกิน 50 รอบต่อนาทีจะทำให้ร่อนได้อย่างรวดเร็ว โดยที่โพแทสเซียมคลอเรตที่นำเข้าสู่ส่วนใหญ่มักลักษณะเป็นผงแต่มีการจับตัวเป็นก้อน

หลวมๆ ซึ่งสามารถแตกตัวโดยการบดและร่อนผ่านตะแกรง ในทางปฏิบัติพบว่าคน 2 คนสามารถบดและร่อนโพแทสเซียมคลอเรตโดยใช้มือได้ปริมาณ 50 ก.ก.(1ถัง) ในเวลา 1/2 ชั่วโมง

อุปกรณ์ผสมสารผสมโพแทสเซียมคลอเรตต้องไม่มีการเสียดสีระหว่างตัวถังและเกลียวสำหรับผสม ซึ่งจะมีอันตรายมากในกรณีที่มีเศษเหล็กหรือหินที่มีขนาดใหญ่กว่าระยะห่างระหว่างถังผสมและเกลียวผสมปะปนลงไปในสาร ดังนั้นเครื่องผสมชนิดที่มีเกลียวหรือพายผสมติดกับถังผสม เช่น เครื่องผสมปูนซีเมนต์สำหรับหล่อหรือเทพื้น จะมีความปลอดภัยที่สุด ซึ่งเครื่องผสมที่ใช้ในการผสมเชื้อเพลิงแข็งเพื่อขับเคลื่อนจรวด (solid propellant) ขององค์การนาซา ซึ่งใช้ ammonium perchlorate ผงอลูมิเนียม เหล็กออกไซด์ โพลีเมอร์และ epoxy เป็นส่วนประกอบ ใช้หลักการที่คล้ายคลึงกับเครื่องผสมปูน อย่างไรก็ตามการผสมในลักษณะนี้มักจะทำให้สารผสมจับกันเป็นก้อนหลวมๆ จึงต้องนำมาร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5-1 ซม. อีกครั้งหนึ่งให้ละเอียดสม่ำเสมอก่อนการบรรจุต่อไป

ในขั้นตอนการผสมสารขั้นต้นจะใส่บอแรกซ์และโซดาไบคาร์บอเนตลงไปในถัง และคลุกผสมให้เข้ากันก่อนแล้วจึงเติมโพแทสเซียมคลอเรตลงทีละน้อยไปจนครบปริมาณที่ต้องการ และหลังจากที่คลุกผสมเป็นเวลา 5 นาทีแล้วจึงนำมาผ่านตะแกรงขนาด 0.5-1 ซม. ก็สามารถนำไปเก็บได้

การผสมสารเร่งดอกลำไยจะใช้หลักการเช่นเดียวกัน โดยผสมสารอื่นๆลงไปในถังก่อน และคลุกผสมจนเข้ากันจากนั้นจึงทยอยเติมสารขั้นต้นลงไปจนครบและร่อนผ่านตะแกรงอีกครั้งหนึ่งก็สามารถนำมาบรรจุได้

รูปภาพที่ 7 การบด การร่อนผ่านตะแกรง เครื่องผสม และการผสมสารผสมโพแทสเซียมคลอเรตวิธีที่ปลอดภัย



การศึกษาที่ 2 การพัฒนาสูตรสารเร่งดอกกล้วยที่ปลอดภัยจากการระเบิด

2.ก. สารเร่งดอกกล้วยที่ปลอดภัยชนิดมีแร่ธาตุอาหารร่วมไม่ละลายน้ำ (NSM)

จากผลการทดลองในการศึกษาที่ 1 ทำให้ทราบว่าวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตปุ๋ยเคมีของพืชทั้งชนิดไม่ละลายน้ำและชนิดละลายน้ำได้ดีหลายชนิดสามารถใช้ผสมกับโพแทสเซียมคลอเรตไม่เกิน 20 % โดยไม่สามารถระเบิดเมื่อถูกกระแทกด้วยแรงมากกว่า 100 นิวตัน ดังนั้นสารเหล่านี้จึงจะนำมาผสมกับโพแทสเซียมคลอเรตเพื่อให้ได้สารผสมที่มีคุณสมบัติเร่งดอกกล้วยและให้แร่ธาตุอาหารที่จำเป็นกับต้นกล้วยในเวลาเดียวกัน ซึ่งจะทำให้การใช้สารเร่งมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นและยังเพิ่มความสมบูรณ์ของต้นและใบกล้วยอีกทางหนึ่ง

วัตถุดิบและวิธีการ

เลือกแหล่งของ N จาก KNO_3 แทนยูเรียหรือไบยูเรทซึ่งเป็นสารติดไฟเมื่อผสมกับโพแทสเซียมคลอเรตและใช้ tricalcium phosphate เป็นแหล่ง P, gypsum (CaSO_4) เป็นแหล่งของ S, dolomite เป็นแหล่งของ Mg และ Ca, MgO เป็นแหล่งของ Mg ,บอแรกซ์ เป็นแหล่งของ B และแปรระดับส่วนผสมดังกล่าวเป็น 13 สูตร ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สูตรของสารเร่งดอกกล้วยชนิดมีแร่ธาตุร่วมเพื่อใช้ทดสอบการติดไฟและระเบิดคิดเป็นเปอร์เซ็นต์

วัตถุดิบ	สูตรที่												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
KClO_3	100	50	50	50	50	50	50	50	25	25	20	20	15
$\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$	-	15	15	15	15	15	15	23	25	24	27	27	30
CaSO_4	-	8	-	28	-	8	-	8	17	14	17	14	19
$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$	-	4	4	4	4	4	4	4	4	10	4	10	4
MgO	-	3	3	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-
KNO_3	-	20	20	-	-	10	10	-	4	4	4	4	4
S powder	-	-	8	-	28	-	8	-	-	-	-	-	-
Dolomite	-	-	-	-	-	13	13	15	25	23	28	25	28

การผสมทำโดยบดสารแต่ละชนิดให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.05 ซม. แล้วชั่งตามสัดส่วนที่กำหนดในตารางที่ 4 โดยทำสูตรละ 100 กรัม และผสมในถุงพลาสติกใสขนาดเล็กและเขย่าจนเข้ากันแล้วจึงร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.05 ซม. อีกครั้งหนึ่งเพื่อให้เข้ากันทั่วถึง โดยแต่ละสูตรจะผสม 3 ซ้ำ (block) โดยใช้ชนิดของโพแทสเซียมคลอไรด์เป็นบล็อก ๆ ละ 1 ชนิด

การทดสอบเพื่อวัดการติดไฟและระเบิด

การทดสอบการติดไฟใช้ตัวอย่างแต่ละสูตรปริมาณ 2 กรัม ใส่ในข้อสอดแนสและลงข้างใต้ด้วยตะเกียงแอลกอฮอล์และบันทึกเวลาเมื่อสารติดไฟจนหมด หรือเปลี่ยนสภาพจนหมด

การทดสอบการระเบิดใช้วิธีการทดสอบโดยอุปกรณ์ใช้แรงตกกระทบ เช่นเดียวกับการทดสอบในการศึกษาที่ 1 และบันทึกเสียงเพื่อนำไปวัดระดับความเข้มของเสียงโดยใช้เครื่อง signal analysis workstation ของ Kay elemetrics corp model 5500

ผสมสารแต่ละสูตรกับผงกำมะถันในอัตรา 70:30 โดยน้ำหนัก แล้วทดสอบการระเบิดและวัดระดับความเข้มของเสียงโดยวิธีเดียวกันเพื่อทดสอบความปลอดภัยสูงสุด

แต่ละสูตร (treatment) มี 3 ซ้ำโดยใช้ชนิดของโพแทสเซียมคลอไรด์ชนิดบรรจุถังสีฟ้า ชนิดบรรจุถังสีเขียว และชนิดบรรจุถังเป็น block และ แต่ละหน่วยทดลองมี 2 ตัวอย่างเพื่อใช้หาค่าเฉลี่ยของหน่วยทดลอง วิเคราะห์หาความสัมพันธ์และความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของทรีทเม้นท์โดยวิธี Scheffe Multiple Contrast (SMC) เพื่อคัดเลือกสูตรที่ดีที่สุด 1 สูตร

ผลการทดลอง

ผลการทดสอบการติดไฟหรือแปรสภาพ และการระเบิดเมื่อผสม/ไม่ผสม กับผงกำมะถัน ได้ผลดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ระยะเวลาที่สารผสมชนิดมีแร่ธาตุสูตรไม่ละลายน้ำติดไฟหรือแปรสภาพและระดับความเข้มของเสียงเมื่อสารถูกกระแทกกระเปิด (N=3)

ตัวแปรตาม	สูตรที่													SEM
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
ไม่ผสมกำมะถัน														
ระยะเวลาติดไฟหรือแปรสภาพ (นาท)	1.3 ^b	1.4 ^b	0.2 ^a	2.3 ^c	0.1 ^a	1.4 ^b	0.2 ^a	1.5 ^b	2.4 ^c	2.4 ^c	2.4 ^c	2.5 ^c	2.3 ^c	0.1
ระดับความเข้มของเสียงเมื่อถูกกระแทก (dB)	31.6	22.8	36.8	27.0	36.8	27.4	36.8	30.2	17.7	18.6	18.6	17.2	15.9	4.3
ผสมกำมะถัน														
ระดับความเข้มของเสียงเมื่อถูกกระแทก (dB)	36.8 ^b	36.8 ^b	36.8 ^b	36.8 ^b	36.3 ^b	36.8 ^b	36.8 ^b	36.8 ^b	28.8 ^b	28.8 ^{ab}	26.0 ^{ab}	27.4 ^{ab}	16.7 ^a	2.9

ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรยกกำลังต่างกันในบรรทัดเดียวกัน คือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

SEM = Standard Error of Mean

สารผสมไฟแทสเชื่อมคลอเรตทั้ง 13 สูตรเมื่อนำไปเผาในช้อนสแตนเลสโดยใช้ตะเกียงแอลกอฮอล์สัน ได้ผลตามตารางที่ 5 จะเห็นว่าสารผสมสูตร 5, 7 และ 3 ซึ่งมีกำมะถันเป็นส่วนประกอบจะติดไฟอย่างรวดเร็วกว่าสูตรอื่นอย่างมีนัยสำคัญ โดยสูตร 1, 6, 2, และ 8 ซึ่งประกอบด้วยไฟแทสเชื่อมคลอเรตล้วนๆและไฟแทสเชื่อมคลอเรตผสมยิปซัมที่มีกำมะถันเป็นส่วนประกอบจะเปลี่ยนสภาพเป็นสีน้ำตาลแต่ไม่ลุกไหม้เป็นเปลวไฟในเวลา 1.3 – 1.5 นาที โดยสูตรดังกล่าวมีไฟแทสเชื่อมคลอเรตเป็นส่วนประกอบค่อนข้างมากคือ 50-100% สำหรับการลดเปอร์เซ็นต์ของไฟแทสเชื่อมคลอเรตลงมาที่ระดับ 15-25 % เช่นสูตร 9-13 จะทำให้สารผสมเปลี่ยนสภาพช้ากว่าสูตรที่เหลืออย่างมีนัยสำคัญ เมื่อพิจารณาถึงการนำสารผสมทั้ง 13 สูตรดังกล่าวมาทดสอบการระเบิดด้วยอุปกรณ์ใช้แรงตกกระแทกและวัดระดับความเข้มของเสียงจากการระเบิด (β) พบว่าทุกสูตรจะไม่แตกต่างกันโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 15.9-36.8 dB โดยสูตรที่มีค่า β มากกว่า 17 dB จะเกิดควันและไม่มีสารหลงเหลือจากการโดนกระแทก แสดงว่าเกิดการระเบิด จากการที่ข้อมูลมีความแปรปรวนค่อนข้างมาก (SEM=4.3) ทำให้ไม่สามารถตรวจสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย β ของแต่ละสูตรได้แต่เป็นที่น่าสังเกตว่าสูตร 5, 7 และ 3 ซึ่งติดไฟง่ายเพราะมีกำมะถันเป็น

ส่วนประกอบจะมีค่า β เท่ากับ 36.8 dB ซึ่งค่อนข้างสูงและสูตรที่ติดไฟยากเช่นสูตร 9, 13 จะมีค่า β ค่อนข้างต่ำ

เมื่อนำสารผสมทุกสูตรมาผสมกัมมะถันในอัตราส่วน 70:30 และทดสอบการระเบิดอีกครั้งหนึ่งพบว่าสูตรที่มีโพแทสเซียมคลอเรตเป็นส่วนประกอบมากกว่า 25% เช่นสูตร 1 ถึงสูตร 8 มีค่า β สูงกว่าสูตร 9 ถึงสูตร 13 อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งนับว่าไม่มีความปลอดภัยในการนำไปใช้เพราะอาจเกิดอุบัติเหตุร้ายแรงระหว่างการผสมหรือการขนส่งได้ **หรืออีกนัยหนึ่งอาจมีผู้ไม่หวังดีนำสารเร่งสูตรดังกล่าวมาผสมกับกัมมะถันหรือสารวัตถุอื่น ๆ และผลิตวัตถุระเบิดได้** เมื่อพิจารณาถึงสูตร 9 ถึงสูตร 13 ซึ่งมีโพแทสเซียมคลอเรต 15-20% ที่พบว่ามีค่า β ระหว่าง 16.7-28.8 dB ซึ่งไม่แตกต่างกันจะเห็นว่าเมื่อลดระดับโพแทสเซียมคลอเรตลง ค่า β มีแนวโน้มต่ำลงมาด้วย และจากการสังเกตการเกิดควัน พบว่ามีสูตร 13 เพียงสูตรเดียวที่ไม่เกิดควันและมีค่า β ต่ำสุด จึงเป็นสูตรที่ปลอดภัยที่สุด ในการศึกษาที่ 1 ได้ผลที่คล้ายคลึงกับการทดลองนี้โดยพบว่าระดับของโพแทสเซียมคลอเรตต่ำกว่า 20 % ที่ผสมกับบอแรกซ์ ไตรแคลเซียมฟอสเฟตหรือสารอื่น ๆ จะไม่ระเบิด แต่สูตร 9-13 ในการทดลองครั้งนี้มีการผสมดินประสิว และยิปซัมลงไปด้วย ดังนั้นปริมาณของโพแทสเซียมคลอเรตจึงต้องลดลงมาต่ำกว่า 20% ดังเช่นสูตรที่ 13 ที่มีโพแทสเซียมคลอเรตเพียง 15% และในการทดลองยังพบว่าความแตกต่างระหว่าง block ไม่มีนัยสำคัญ ($P>0.05$) ซึ่งหมายความว่าโพแทสเซียมคลอเรตทั้ง 3 ชนิดมีความรุนแรงและจัดว่ามีอันตรายเท่าๆกันหมด

สรุปผลการทดลอง

สารผสมโพแทสเซียมคลอเรตสูตรมีแร่ธาตุแบบไม่ละลายน้ำที่ปลอดภัยจากการระเบิดและลุกติดไฟ ประกอบด้วยโพแทสเซียมคลอเรต 15% ผสมกับไตรแคลเซียมฟอสเฟต ยิปซัม บอแรกซ์ ดินประสิว และโดโลไมท์ ปริมาณ 30, 19, 4, 4 และ 28% ตามลำดับโดยสารผสมสูตรนี้จะไม่ติดไฟและระเบิดเมื่อถูกแรงกระแทกมากกว่า 100 นิวตัน แม้จะผสมกับกัมมะถัน

2.ข. สารเร่งดอกลำไยที่ปลอดภัยชนิดใช้สารถ่วงไม่ละลายน้ำและไม่เป็นแหล่งของแร่ธาตุ (NS และ NSD)

จากผลการทดลองในการศึกษาที่ 1 ที่พบว่าวัสดุไม่ติดไฟบางชนิดเช่นดินเหนียว สามารถป้องกันการระเบิดของโพแทสเซียมคลอเรตได้เมื่อใช้ในอัตราส่วนมากกว่า 40% และสามารถป้องกันการระเบิดได้ดีขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณดินเหนียวมากขึ้น เมื่อพิจารณาถึงคุณสมบัติของดินเหนียวแล้ว

คาดว่าเป็วัสดุที่นำจะมีผลต่อต้นลำไยน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับสารตัวอื่น ตลอดจนไม่มีผลตกค้างในดิน อย่างไรก็ตามดินเหนียวส่วนใหญ่จะมีฤทธิ์ค่อนข้างไปทางกรด จึงมักจะต้องเติมสารที่มีลักษณะเป็นด่างเพื่อปรับปรุงสภาพของดินด้วย ดังนั้นการใช้วัสดุเช่น โดโลไมท์ ซึ่งประกอบด้วย MgO , CaO , SiO_2 และ Fe_2O_3 มาผสมกับดินเหนียวจะทำให้เกิดประโยชน์ต่อต้นลำไยและปรับปรุงสภาพดินในเวลาเดียวกัน การทดลองนี้จึงศึกษาการใช้ดินเหนียวในระดับต่างๆผสมกับโพแทสเซียมคลอไรด์เพื่อหาสัดส่วนที่ดีที่สุดที่ไม่สามารถติดไฟและระเบิดเมื่อถูกแรงกระแทก และดัดแปลงเป็นสูตรที่ใช้โดโลไมท์ผสมดินเหนียวที่มีความปลอดภัยและมีคุณค่าทางธาตุอาหารเพิ่มขึ้น

วัตถุประสงค์และวิธีการ

1. สูตรใช้ดินเหนียวเป็นสารถ่วง ใช้โพแทสเซียมคลอไรด์ผสมกับดินเหนียวอัตราส่วนต่างๆโดยบดสารทั้ง 2 ชนิดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.05 ซม. ก่อนนำมาผสมให้เข้ากันดังมีสูตรแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 สูตรของสารเร่งดอกลำไยที่มีสารถ่วงไม่ละลายน้ำชนิดไม่มีแร่ธาตุเพื่อการทดสอบ

วัตถุดิบ	สูตรที่								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$KClO_3$	50	45	40	35	30	25	20	15	10
Clay	50	55	60	65	70	75	80	85	90

การทดสอบเพื่อวัดการติดไฟและการระเบิด

ใช้วิธีการเช่นเดียวกับการศึกษาที่ 2 ก. ในการทดสอบคุณสมบัติการติดไฟและการระเบิดของสารผสมทุกสูตรและผสมสารกับผงกำมะถันในอัตรา 70: 30 เพื่อทดสอบความปลอดภัยสูงสุดในเวลาเดียวกัน โดยใช้แผนการทดลองแบบบล็อกและใช้โพแทสเซียมคลอไรด์ 3 ชนิดเป็นบล็อก ซึ่งแต่ละหน่วยทดลองใช้ตัวอย่าง 2 ขั้ว และใช้การวิเคราะห์วาเรียนซ์และทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี SMC โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS

ผลการทดลอง

การทดสอบคุณสมบัติการติดไฟและระเบิดของสารผสมโฟแทสเซียมคลอเรตชนิดใช้ดินเหนียวเป็นสารถ่วงการระเบิดในระดับต่างๆได้ผลตามตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ระยะเวลาที่สารผสมชนิดไม่ละลายน้ำและไม่มีแร่ธาตุแปรสภาพและระดับความเข้มของเสียงเมื่อสารผสมถูกกระแทก (N=3)

ตัวแปรตาม	สูตรที่									SEM
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
ไม่ผสมกำมะถัน										
ระยะเวลาติดไฟ หรือแปรสภาพ (นาทีก)	1.2	0.9	1.1	1.1	1.3	1.4	1.4	1.3	1.4	0.1
ระดับความเข้ม ของเสียงเมื่อถูก กระแทก (dB)	9.7	13.5	13.9	17.2	9.7	12.5	11.1	13.5	13.0	0.7
ผสมกำมะถัน										
ระดับความเข้ม ของเสียงเมื่อถูก กระแทก (dB)	36.8 ^c	36.8 ^c	33.1 ^{bc}	35.9 ^c	17.7 ^{abc}	13.5 ^{ab}	13.5 ^{ab}	7.9 ^a	13.9 ^{ab}	1.0

ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรยกกำลังแตกต่างกัน คือ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)

จากผลการทดสอบคุณสมบัติของสารทุกสูตร พบว่าสารผสมของโฟแทสเซียมคลอเรตกับดินเหนียวไม่มีการติดไฟแต่สามารถเปลี่ยนสภาพเมื่อถูกเผาเป็นเวลา 0.9 นาที่ขึ้นไป ซึ่งไม่พบความแตกต่างระหว่างแต่ละสูตร และเมื่อนำมาทดสอบความเข้มของเสียงจากการถูกกระแทกด้วยแรงมากกว่า 100 นิวตัน โดยอุปกรณ์ใช้แรงตกกระแทกพบว่าทุกสูตรไม่ระเบิดหรือเกิดควันโดยมีระดับความเข้มของเสียง (β) ระหว่าง 9.7-17.2 dB ซึ่งส่วนใหญ่ต่ำกว่าค่าของการระเบิดที่ 17dB จะเห็นว่าดินเหนียวมีความเหมาะสมที่จะใช้ทำสารถ่วงการระเบิดของโฟแทสเซียมคลอเรต ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการศึกษาที่ 1 ที่พบว่าถ้าใช้ดินเหนียวมากกว่า 40% ผสมกับโฟแทสเซียมคลอเรตจะ

สามารถห้ามการระเบิดของสารผสมได้ ซึ่งทั้ง 9 สูตรที่ทดสอบในครั้งนี้ใช้ดินเหนียวระหว่าง 50-90%

อย่างไรก็ดีเพื่อให้เกิดความปลอดภัยสูงสุด และเป็นการป้องกันการนำสารเร่งดอกกล้วยไปทำเป็นวัตถุระเบิดได้อีกจึงทดสอบโดยผสมสารเร่งทั้ง 9 สูตรกับกำมะถันในอัตรา 70:30 และทดสอบการระเบิดพบว่าเมื่อใช้ผงดินเหนียวผสมมากกว่า 70% ดังในสูตรที่ 6 ถึงสูตรที่ 9 จะไม่พบการระเบิดโดยมีค่า β อยู่ในช่วง 7.9-13.5 ซึ่งต่ำกว่าค่าของการระเบิด ดังนั้นการใช้ผงดินเหนียวในปริมาณ 75-90 % ผสมกับโพแทสเซียมคลอเรต 10-25% จึงมีความปลอดภัยจากการติดไฟหรือระเบิดและเมื่อเทียบกับผลจากการทดลองที่ 2.ก ที่ใช้สารซึ่งเป็นแหล่งของแร่ธาตุชนิดต่างๆผสมจะต้องใช้ระดับของโพแทสเซียมคลอเรต 15% จึงจะปลอดภัย จะเห็นว่าการใช้ผงดินเหนียวเป็นสารถ่วงจะทำให้สามารถเพิ่มปริมาณโพแทสเซียมคลอเรตขึ้นอีก 10%

อย่างไรก็ตามดินเหนียวตามปกติก็มีแร่ธาตุอาหารต่ำและบางครั้งจะมีความเป็นกรดจึงจำเป็นต้องใช้สารที่มีสภาพด่างและมีแร่ธาตุร่วมมาปรับสภาพ ดังนั้นในการทดลองนี้จึงใช้โดโลไมท์มาเป็นส่วนผสม โดยนำสูตรที่ดีจากการทดลองตามตารางที่ 7 คือสูตรที่ 6 ซึ่งใช้โพแทสเซียมคลอเรต 25 ส่วนผสมกับดินเหนียว 75 ส่วนโดยน้ำหนักมาศึกษา โดยใช้โดโลไมท์จำนวนเท่ากันคือ 75% มาแทนดินเหนียว เมื่อพิจารณาถึงผลการทดลองในการศึกษาที่ 1 ที่พบว่าโดโลไมท์ที่ผสมกับโพแทสเซียมคลอเรตในอัตรา 80:20 ไม่สามารถระเบิดเมื่อถูกแรงกระแทก จึงแปรระดับโพแทสเซียมคลอเรต โดโลไมท์ และดินเหนียวเพื่อหาสูตรที่มีความปลอดภัยที่สุด ดังตารางที่ 8

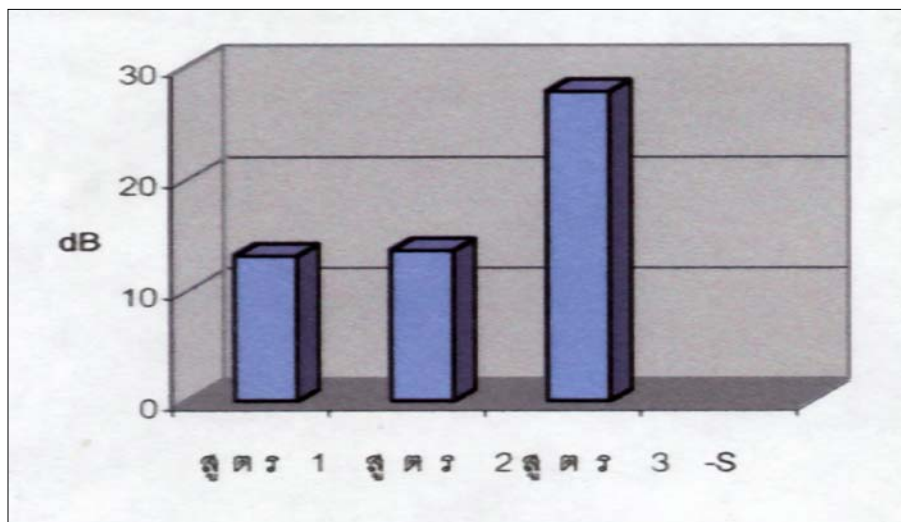
ตารางที่ 8 สูตรของสารผสมโพแทสเซียมคลอเรตชนิดใช้สารถ่วงไม่ละลายน้ำร่วมกับการปรับสภาพ

	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3
KClO ₃	25	25	25
Dolomite	-	45	75
Clay	75	30	-

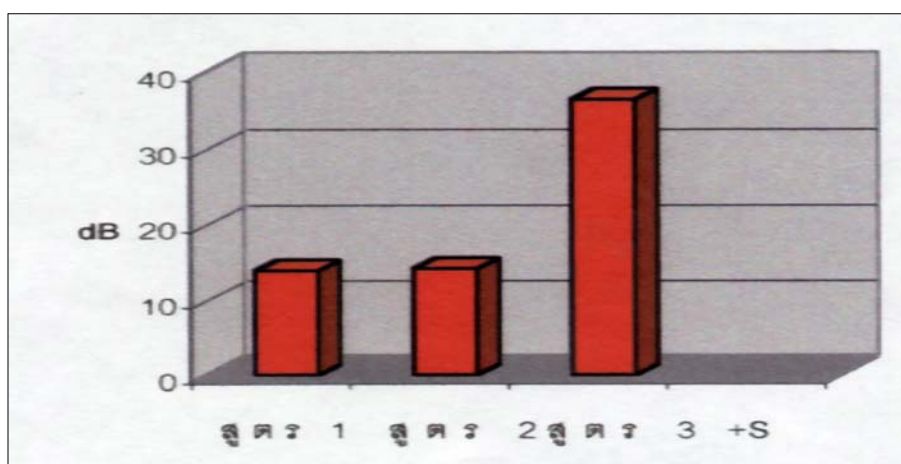
เมื่อนำสารผสมทั้ง 3 สูตรมาทดสอบการระเบิดโดยอุปกรณ์ใช้แรงตกกระทบได้ผลดังแสดงในรูปภาพที่ 8 และ 9 จะเห็นว่าสารผสมสูตรที่ 1 ซึ่งมีโพแทสเซียมคลอเรตกับดินเหนียวอัตรา 75:25 ให้ผลการทดสอบคล้ายคลึงกันผลจากตารางที่ 6 โดยไม่สามารถระเบิดเมื่อถูกแรงกระแทก 112 นิวตัน แม้จะผสมกับกำมะถันแล้วก็ตามแต่เมื่อแทนที่ดินเหนียวด้วยโดโลไมท์ ในปริมาณที่

เท่ากัน ดังสูตรที่ 3 และนำมาทดสอบพบว่าสารผสมจะระเบิดได้โดยมีค่า β เท่ากับ 27dB และเมื่อผสมกำมะถันแล้วจะได้ผลดังแสดงในรูปภาพที่ 8 คือมีค่า β ถึง 35dB ทั้งนี้เพราะโดโลไมท์มี MgO เป็นองค์ประกอบซึ่งในการศึกษาที่ 1 พบว่า MgO เป็นวัสดุชนิดหนึ่งที่ใช้ถ่วงการระเบิดไม่ค่อยได้ผล และต้องใช้ในปริมาณมากกว่า 80% ในสูตรจึงจะถ่วงได้ จะเห็นว่าเมื่อใช้ดินเหนียวซึ่งเป็นตัวถ่วงการระเบิดที่ดีกว่ามาแทนที่บางส่วนดังสูตรที่ 2 คือใช้โดโลไมท์เพียง 45% และดินเหนียว 30% จะได้สารผสมที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับสูตรที่ 1 มากที่สุด

รูปภาพที่ 8 ความเข้มของเสียงจากการที่สารผสม KClO_3 กับดินเหนียวและโดโลไมท์ ถูกแรงกระแทก (N=9)



รูปภาพที่ 9 ความเข้มของเสียงจากการที่สารผสม KClO_3 กับดินเหนียวและโดโลไมท์ที่ผสมกับกำมะถันถูกแรงกระแทก (N=9)



สรุปผลการทดลอง

การใช้สารถ่วงชนิดไม่ละลายน้ำและไม่เป็นแหล่งของแร่ธาตุได้แก่ดินเหนียวมาผสมกับ โปแทสเซียมคลอไรด์ทำให้ได้สารผสมที่ปลอดภัยจากการติดไฟหรือระเบิดเมื่อถูกแรงกระแทกที่ 112 นิวตัน โดยส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดคือใช้ดินเหนียว 75% ผสมกับโปแทสเซียมคลอไรด์ 25% ซึ่งสูตรดังกล่าวนี้จะไม่ระเบิดแม้จะผสมด้วยกำมะถันในอัตราส่วน 30% การใช้โดโลไมท์ซึ่งมีคุณสมบัติเป็น ด่าง และมีแร่ธาตุรวมมาแก้ไขสภาพของดินเหนียวเพื่อทำสารผสมโปแทสเซียมคลอไรด์ จะต้องใช้ โดโลไมท์ในปริมาณ 45% ดินเหนียว 30% ผสมกับโปแทสเซียมคลอไรด์ 25% จึงจะได้สารผสมที่ไม่ติดไฟและไม่ระเบิดเมื่อถูกแรงกระแทกที่ 112 นิวตัน

2.ค. สารเร่งดอกกล้วยชนิดละลายน้ำ (WS)

จากผลการทดลองในการศึกษาที่ 1 พบว่าสารอินทรีย์หลายชนิดซึ่งมีคุณสมบัติละลาย ได้ดีในน้ำสามารถใช้ผสมกับโปแทสเซียมคลอไรด์ในปริมาณ 20% โดยสารผสมที่ได้มีคุณสมบัติไม่ ระเบิดเมื่อถูกแรงกระแทกที่ 112 นิวตัน และเมื่อพิจารณาเป็นรายตัวจะเห็นว่าโซดาไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) ที่ใช้ระดับมากกว่า 40% ขึ้นไปสามารถถ่วงการระเบิดของโปแทสเซียมคลอไรด์ได้ ดี อย่างไรก็ตามในการกระตุ้นการแตกตาของพืชและลดระยะการพักตัวนั้น ดินประสิว (KNO_3) จะ สามารถใช้ได้อย่างได้ผลในพืชหลายชนิด (คณพล และคณะ, 2542) และ KNO_3 ยังเป็นแหล่งของ N แก่พืช แต่เมื่อพิจารณาถึงคุณสมบัติในการเป็นสารออกซิไดซ์ซึ่งช่วยให้สารติดไฟหลายชนิดลุกไหม้ ได้ ประกอบกับผลจากการศึกษาที่ 1 พบว่า KNO_3 ไม่สามารถถ่วงการระเบิดของโปแทสเซียมคลอไรด์ได้แม้ใช้สูงถึง 80% ในส่วนผสม ดังนั้นการใช้ KNO_3 จึงต้องใช้สารถ่วงที่มีประสิทธิภาพเช่น NaHCO_3 ร่วมด้วย และต้องทำการศึกษาถึงระดับของสารทั้ง 3 ชนิด เพื่อให้ได้สูตรที่ดีที่สุดสำหรับ นำไปทำเป็นสารเร่งดอกกล้วยชนิดละลายน้ำต่อไป

วัตถุดิบและวิธีการ

ใช้โปแทสเซียมคลอไรด์ โซดาไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) และดินประสิว (KNO_3) ที่บดและ ร่อนละเอียดแล้วมาผสมให้เข้ากันในอัตราส่วนต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ส่วนประกอบของสารผสมโพแทสเซียมคลอเรตชนิดละลายน้ำได้เพื่อใช้ในการทดสอบ

วัตถุดิบ	สูตรที่													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
KClO ₃	10	15	20	25	30	35	40	10	15	20	25	30	35	40
NaHCO ₃	90	85	80	75	70	65	60	74	70	66	62	58	54	50
KNO ₃	-	-	-	-	-	-	-	16	15	14	13	12	11	10

นำสารผสมทั้ง 14 สูตร มาทดสอบการติดไฟและการระเบิดโดยอุปกรณ์ฯ เมื่อผสม/ไม่ผสมกับกำมะถันโดยใช้ชนิดของโพแทสเซียมคลอเรต 3 ชนิดเป็น block แต่ละหน่วยทดลอง มี 2 ซ้ำ และทำการวิเคราะห์หาเงื่อนไขและทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยของสูตรแต่ละสูตรโดยวิธี SMC

ผลการทดลอง

การทดสอบการติดไฟและการระเบิดของสารผสมโพแทสเซียมคลอเรตชนิดละลายน้ำได้ผลดังตารางที่ 10 จะเห็นว่าสารผสมทั้ง 14 สูตรที่มีโพแทสเซียมคลอเรตเป็นส่วนผสม 10-40 % และโซดาไบคาร์บอเนตเป็นส่วนผสม 50-90% หรือมีดินประสิวเป็นส่วนผสม 10-16% เช่น ในสูตรที่ 8 ถึงสูตรที่ 14 มีคุณสมบัติไม่ติดไฟโดยใช้เวลาหลังจากเผาด้วยตะเกียงแอลกอฮอล์ 2.2-2.4 นาที จึงจะแปรสภาพเป็นของเหลว และเมื่อนำทุกสูตรมาทดสอบการระเบิดโดยอุปกรณ์ฯ ใช้แรงตกกระทบพบความเข้มของเสียงอยู่ระหว่าง 10.2 ถึง 15.3 dB ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์ของการระเบิด (17dB) และไม่พบการเกิดควันในทุกๆตัวอย่างที่ทดลอง ทั้งนี้เพราะ NaHCO₃ จะสลายตัวเมื่อถูกความร้อนจนถูกกระทบได้ก๊าซ CO₂ ซึ่งสามารถห้ามการลุกไหม้และระเบิดของโพแทสเซียมคลอเรตได้ ซึ่งได้ผลสอดคล้องกับการศึกษาที่ 1 ที่พบว่าการใช้ NaHCO₃ ในระดับ 40% ผสมกับโพแทสเซียมคลอเรต 60% สามารถห้ามการระเบิดได้ ในการทดลองนี้แม้จะมีการผสม KNO₃ ซึ่งเป็นสารที่สนับสนุนการระเบิดรวมเข้าไปในสูตร แต่ระดับของ NaHCO₃ ที่ใช้ก็สามารถป้องกันการระเบิดของสารผสมได้ดี อย่างไรก็ตามเมื่อนำส่วนผสมทั้ง 14 สูตรดังกล่าวมาผสมกับกำมะถันในอัตรา 70:30 และนำไปทดสอบการระเบิดพบว่าสารผสมสูตรที่ 6, 7, 13 และ 14 ซึ่งมีโพแทสเซียมคลอเรตผสมอยู่ 35-40% จะระเบิดได้โดยให้ค่า β มากกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับสูตรที่มีโพแทสเซียมคลอเรตผสมอยู่ 10-25% เช่นสูตร ที่ 1-4 และสูตร 8-11 จะได้ค่า β ระหว่าง 12.1-15.8 ซึ่งไม่แตกต่างกันและ

ไม่พบการเกิดควันทอนถูกแรงกระแทก อย่างไรก็ตามสูตรที่ใช้โพแทสเซียมคลอเรตผสม 30% เช่น สูตรที่ 5 และสูตร ที่ 12 แม้พบว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติจากสูตรที่ใช้โพแทสเซียมคลอเรตผสม 10-25% แต่สามารถสังเกตเห็นควันทอนเกิดขึ้นและได้ค่า β มากกว่า 17dB ซึ่งน่าจะปลอดภัย ดังนั้นเมื่อพิจารณาทุกสูตรแล้วสูตรที่ 10 จึงมีความปลอดภัยในการนำไปใช้มากที่สุดเพราะให้ค่า β ต่ำที่สุด (12.1dB)

ตารางที่ 10 ระยะเวลาที่สารผสมชนิดละลายน้ำติดไฟหรือแปรสภาพเมื่อถูกเผาและระดับความเข้มของเสียงเมื่อสารถูกกระแทก (N=3)

ตัวแปรตาม	สูตรที่													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ไม่ผสมกำมะถัน														
ระยะเวลาติดไฟหรือแปรสภาพ (นาที)	2.3	2.3	2.4	2.3	2.2	2.3	2.3	2.2	2.4	2.3	2.4	2.3	2.3	2.3
ระดับความเข้มของเสียงเมื่อถูกกระแทก (dB)	13.0	14.9	15.3	13.0	14.4	14.9	11.6	12.5	11.1	8.0	11.6	10.2	11.1	10.7
ผสมกำมะถัน														
ระดับความเข้มของเสียงเมื่อถูกกระแทก (dB)	14.9 ^{abc}	13.9 ^{ab}	17.2 ^{bcd}	16.7 ^{abc}	23.7 ^{abcde}	26.1 ^{cdef}	36.3 ^f	13.5 ^{ab}	13.5 ^{ab}	12.1 ^a	15.8 ^{abc}	25.1 ^{bcddef}	27.9 ^{def}	34.5 ^{ef}

ค่าเฉลี่ยที่มีอักษรยกกำลังแตกต่างกันคือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$)

สำหรับสารที่สามารถใช้ถ่วงการระเบิด ที่มีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดีอีกชนิดหนึ่งที่พบจากการศึกษาที่ 1.ข. คือ บอแรกซ์ ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) ซึ่งมีคุณสมบัติถ่วงการระเบิดได้ดีใกล้เคียงกับ NaHCO_3 และในการศึกษาที่ 1.ค. ยังได้ล่าวถึงสูตรของสารขั้นต้น ที่เป็นส่วนผสมของ NaHCO_3 บอแรกซ์ และโพแทสเซียมคลอเรตในปริมาณ 26, 12 และ 62% ตามลำดับ ซึ่งสารขั้นต้นจะช่วยเพิ่มความสะดวกและปลอดภัยในการผลิต ดังนั้นถ้าใช้สารขั้นต้นมาเตรียมสารผสมสูตรละลายน้ำที่ปลอดภัย คือสูตรที่ 10 ในการทดลองที่ 2.ค. โดยคำนวณให้มีโพแทสเซียมคลอเรต ระดับเท่าเดิมคือ 20% พบว่าต้องใช้สารขั้นต้นในปริมาณเท่ากับ $100/62 \times 20 = 32\%$ ซึ่งเมื่อคงระดับ KNO_3 ไว้ที่ 14% แล้วจะต้องเพิ่ม NaHCO_3 อีกเท่ากับ $100 - 32 - 14 = 54$ ก.ก. สูตรสารเร่งแบบละลายน้ำที่ปลอดภัยที่เตรียมจากสารขั้นต้นจะมีส่วนประกอบคือ

KClO ₃	20.0 %	— สารชั้นต้น 32%
Na ₂ B ₄ O ₇	3.8%	
NaHCO ₃	8.2%	
KNO ₃	14 %	
NaHCO ₃	54%	

และทำนองเดียวกันสูตรสารเร่งแบบไม่ละลายน้ำมีแร่ธาตุ (NSM) ที่ใช้สูตรที่ 11 จากการทดลอง 2.ก. มาปรับปรุงจะมีส่วนประกอบคือ

KClO ₃	18.6 %	— สารชั้นต้น 30%
Na ₂ B ₄ O ₇ ·10H ₂ O	3.6%	
NaHCO ₃	7.8%	
CaSO ₄ ·2H ₂ O	16%	
Dolomite	25%	
KNO ₃	4%	
Ca ₃ (PO ₄) ₂	25%	

ข้อดีอีกอย่างหนึ่งของการผสมบอแรกซ์ในสูตรของสารเร่งดอกกล้วยชนิดละลายน้ำคือ จะทำให้การแยกโพแทสเซียมคลอไรด์กลับคืนจากสารเร่งดอกกล้วยในรูปบริสุทธิ์ทำได้ยากโดยวิธีการทางฟิสิกส์ ทั้งนี้เพราะเมื่อนำสารเร่งสูตรนี้ไปละลายน้ำและทำให้ตกตะกอนใหม่ สารทุกตัวจะตกตะกอนออกมาพร้อมกัน แม้จะใช้คุณสมบัติแตกต่างกันโดยเฉพาะบอแรกซ์และโพแทสเซียมคลอไรด์จะมีคุณสมบัติคล้ายกันคือละลายได้ดีในน้ำอุ่นและละลายช้าหรือตกตะกอนง่ายในน้ำเย็น ดังนั้นจะได้สารทั้ง 2 ตัวนี้ออกมาควบคู่กัน ทำให้การแยกโพแทสเซียมคลอไรด์เพื่อนำไปใช้ในวัตถุประสงค์เพื่อเป็นวัตถุระเบิดทำได้ยากอันเป็นการป้องกันการนำไปใช้ในทางที่ผิดได้อีกทางหนึ่ง

สรุปผลการทดลอง

สูตรของสารเร่งดอกกล้วยชนิดละลายน้ำที่ปลอดภัยจากการติดไฟและระเบิดเมื่อถูกแรงกระแทกคือสูตรที่ใช้โพแทสเซียมคลอไรด์ผสมกับโซดาไบคาร์บอเนตและดินประสิวในอัตราส่วน 20:66:14 โดยน้ำหนักและถ้ามีการผสมบอแรกซ์ร่วมเพื่อจุดประสงค์ในการป้องกันการแยกกลับคืนและถ่วงการระเบิดแล้ว จะใช้สารชั้นต้น ที่มีโพแทสเซียมคลอไรด์ 62% บอแรกซ์ 12% และโซดาไบ

คาร์บอนต 26% ปริมาณ 32 ส่วนผสมกับโซดาไปคาร์บอนต 54 ส่วนและดินประสีว 14 ส่วน โดย
น้ำหนัก

บทที่ 3

บทสรุปทั่วไป

ได้มีการพัฒนาอุปกรณ์และวิธีการทดสอบการระเบิดของสารโพแทสเซียมคลอเรตโดยใช้หลักของการตกกระทบ จากการยกวัตถุสูงจากพื้นดินและปล่อยให้ตกลงมาอย่างอิสระโดยแรงดึงดูดของโลกมากระทบวัตถุที่ต้องการทดสอบ และบันทึกเสียงการระเบิดเพื่อใช้วัดระดับความเข้มของเสียงสำหรับใช้เป็นเกณฑ์ที่ชี้วัดการระเบิด ผลการทดสอบวัตถุต่างๆ คือโพแทสเซียมคลอเรตบริสุทธิ์ 3 ชนิด และวัตถุที่ใช้เป็นแหล่งแร่ธาตุในสารเสริมของพืชชนิดต่างๆ พบว่าโพแทสเซียมคลอเรตบริสุทธิ์ทุกชนิดสามารถระเบิดอย่างรุนแรงได้ เมื่อถูกกระทบด้วยแรง 112 นิวตัน และสารที่ถ่วงการระเบิดที่ดีคือ โซดาไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) ดินเหนียว , ปูนขาว , บอแรกซ์ ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) , และสารที่เสริมการระเบิดคือ ยิปซัม (CaSO_4) และ ดินประสิว (KNO_3) ทำให้การใช้สารเสริมการระเบิดในสูตรต้องมีการเพิ่มระดับสารถ่วงให้มากขึ้น โดยที่การผลิตสารผสมโพแทสเซียมคลอเรตในโรงงานจะต้องทำคราวละมากๆ ดังนั้นจึงต้องมีการเพิ่มความปลอดภัยในการเก็บรักษาโพแทสเซียมคลอเรตที่นำออกจากภาชนะบรรจุโดยนำมาผสมกับสารถ่วง คือ โซดาไบคาร์บอเนต และบอแรกซ์ ซึ่งจะสามารถป้องกันการระเบิดได้ และส่วนผสมนี้คือสารขั้นต้นที่จะสามารถนำไปเตรียมสารผสมสูตรต่างๆที่ต้องการต่อไป

สารผสมโพแทสเซียมคลอเรตสูตรต่างๆ ใช้วัตถุที่ใช้ทำปุ๋ยเคมีพืชที่ผ่านการทดสอบและทราบคุณสมบัติในการผสมกับโพแทสเซียมคลอเรตมาแล้ว มาผสมทำสูตรต่างๆเช่น สูตรไม่ละลายน้ำมีแร่ธาตุ สูตรใช้สารถ่วงชนิดไม่ละลายน้ำ ที่ผสมดินเหนียว และสูตรสารถ่วงชนิดละลายน้ำ ที่ผสมโซดาไบคาร์บอเนต พบว่าจะใช้โพแทสเซียมคลอเรตผสมได้ไม่เกิน 25% และในกรณีที่ใช้ KNO_3 ผสมร่วมในสูตรจะใช้ได้ไม่เกิน 20% และถ้าใช้ KNO_3 ร่วมกับ CaSO_4 จะใช้ได้ไม่เกิน 15% การใช้บอแรกซ์ผสมร่วมกับโพแทสเซียมคลอเรตและดินประสิว จะทำให้การแยกโพแทสเซียมคลอเรตบริสุทธิ์ออกจากของผสมทำได้ยาก ซึ่งจะสามารถป้องกันการนำไปใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นได้

การทดสอบผลต่อการออกดอกของลำไยพันธุ์ดอ เมื่อใช้สารผสมโพแทสเซียมคลอเรตชนิดไม่ระเบิดในรูปไม่ละลายน้ำมีแร่ธาตุ รูปละลายน้ำที่ใส่ทางดินหรือโดยการพ่นใบเทียบกับโพแทสเซียมคลอเรตบริสุทธิ์ที่ใส่ทางดิน พบว่าสูตรที่มีแร่ธาตุผสมทำให้การออกดอกและการติดผลตลอดจนคุณภาพของผลดีเท่ากัน และสารผสมสูตรละลายน้ำที่ใส่ทางดินหรือใช้พ่นใบจะทำให้ลำไย

ติดผลไม่มากเกินไปทำให้ผลมีคุณภาพดี และสารที่ผสมกับโพแทสเซียมคลอไรด์ทุกตัวไม่มีผลต่อการลดประสิทธิภาพการเร่งดอกของโพแทสเซียมคลอไรด์

ในการพัฒนาต่อเนื่อง เพื่อให้สารผสมโพแทสเซียมคลอไรด์ชนิดไม่ระเบิดมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น และมีความสะดวกในการผลิตและการนำไปใช้ของเกษตรกร จึงได้มีการผลิตในรูปแบบเม็ดโดยใช้ตัวยัดเกาะได้แก่ดินเหนียวและน้ำสำหรับสูตรไม่ละลายน้ำมีแร่ธาตุ และน้ำปูนใสสำหรับสูตรละลายน้ำ โดยใช้การกดผ่านตะแกรงและทำให้แห้ง การผลิตสารในรูปแบบเม็ดจะทำให้การนำไปใช้สะดวกยิ่งขึ้น นอกจากนั้นยังสามารถแต่งสีเพื่อเพิ่มความสวยงามของผลิตภัณฑ์

สารผสมโพแทสเซียมคลอไรด์สูตรละลายน้ำที่ใช้ฟอสฟอรัส 200 กรัม (2 ก.ก. ต่อน้ำ 100 ลิตร) สามารถกระตุ้นให้ลำไยออกดอกและติดผลได้ดีเท่าๆกับการใช้โพแทสเซียมคลอไรด์ฟอสเฟต แต่มีปัญหาทำให้ใบแห้งและใบไหม้บางส่วน การฟอสฟอรัสทำให้ลำไยออกดอกได้เร็ว แต่ถ้าไม่มีการเสริมปุ๋ย NPK 15-15-15 ในระยะที่ช่อดอกกำลังเจริญเติบโต (ยาวประมาณ 10 ซม.) จะทำให้ลำไยติดผลน้อย ปุ๋ย NPK 15-15-15 จึงมีความสำคัญในการช่วยการติดผลเมื่อใช้สารผสมโพแทสเซียมคลอไรด์ชนิดละลายน้ำฟอสฟอรัสหรือใส่ทางดิน

เพื่อให้สารผสมโพแทสเซียมคลอไรด์อยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้อย่างรวดเร็ว และเพิ่มประสิทธิภาพการออกดอกและให้ผลผลิตตลอดจนช่วยบำรุงใบ รากและต้น จึงมีการพัฒนาสารผสมสูตรละลายน้ำมีแร่ธาตุ โดยใช้วัตถุดิบซึ่งเป็นแหล่งแร่ธาตุชนิดที่ละลายน้ำได้ดีมาแทนสารชนิดไม่ละลายน้ำโดยเฉพาะแหล่งของ P, Mg โดยใช้ Na_2HPO_4 และ MgSO_4 และลดความเข้มข้นของ KClO_3 ในสูตรลงเหลือ 15% เพื่อขจัดปัญหาความไวต่อการระเบิด ซึ่งเมื่อนำไปทดสอบกับต้นลำไยในท้องที่ต่างๆ พบว่าสามารถกระตุ้นการออกดอกได้ดีเท่ากับสารผสมสูตรไม่ละลายน้ำมีแร่ธาตุ และปริมาณการใส่ที่ดีที่สุดจะเท่ากับ 53.7 กรัมต่อพื้นที่ได้พุ่ม 1 ตารางเมตร ซึ่งจะมีความเข้มข้นของโพแทสเซียมคลอไรด์บริสุทธิ์ 8 กรัมต่อตารางเมตร

สารผสมโพแทสเซียมคลอไรด์สูตรละลายน้ำแบบมีแร่ธาตุ เมื่อใช้ที่ความเข้มข้นระดับต่ำ (1 ก.ก. ละลายน้ำ 200 ลิตร) สามารถใช้ฟอสฟอรัสหลังเก็บเกี่ยวผล ซึ่งจะทำให้ใบที่ออกใหม่เจริญรวดเร็วมีสีเขียวเข้มและมีพื้นที่ใบมากกว่าใบที่ออกตามธรรมชาติ จากผลของแร่ธาตุอาหารที่อยู่ในสารแต่การกระตุ้นต้นลำไยให้ดอก โดยใส่สารดังกล่าวฟอสฟอรัสในระดับความเข้มข้นสูงกว่านั้น (3 ก.ก. ละลายน้ำ 200 ลิตร) กลับไม่พบการออกดอกของลำไยอันเนื่องมาจากอิทธิพลของสารบอแรกซ์ ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) ที่ผสมอยู่แต่สามารถแก้ไขโดยเพิ่มความเข้มข้นของ P ในสูตรและใช้ Na_3PO_4 มาแทน Na_2HPO_4 และลดปริมาณ MgSO_4 ที่ใช้ในสูตรลง หรือใช้สารที่มีส่วนผสมเพียง 3 ชนิด คือ KClO_3 , NaHCO_3 และ KNO_3 และใช้อัตราการละลายน้ำในอัตรา 5,000 ส่วนในล้าน ซึ่งสามารถ

ทำให้ลำไยออกดอกได้ดีโดยใช้วิธีพ่นใบ การใช้ Na_3PO_4 มาแทน Na_2HPO_4 ยังสามารถลดต้นทุนการผลิตได้เพราะมีราคาถูกกว่า

การใส่ปุ๋ย NPK 15-15-15 ในเวลาใกล้เคียงกับการใส่สารผสมสูตรละลายน้ำมีแร่ธาตุมีผลทำให้การออกดอกลดลง เนื่องจากได้รับ N จากดินมากเกินไปในขณะที่ได้รับ P และ K ซึ่งจำเป็นมากกว่าในการช่วยการออกดอกไม่เพียงพอ และยังทำให้ลำไยแตกช่อใบก่อนแล้วออกดอกตามทีหลังในระยะเพสลาด จึงทำให้ช่อดอกไม่สมบูรณ์ แต่ถ้าใส่ระยะใกล้ออกดอก (3 สัปดาห์หลังใส่สาร) จะไม่พบผลนี้

สารผสมโพแทสเซียมคลอไรด์สูตรละลายน้ำมีแร่ธาตุ สามารถใช้พ่นใบลำไยที่มีอาการดื้อสารโพแทสเซียมคลอไรด์ โดยใช้ในอัตราละลาย 3 ก.ก ต่อ น้ำ 200 ลิตร ร่วมกับการใช้สารสูตรเดียวกันใส่ทางดินในอัตรา 53.7 กรัมต่อ ตารางเมตร จะทำให้สามารถกระตุ้นการออกดอกได้ตามปกติ และการเพิ่มการพ่นใบเป็น 2 ครั้งร่วมกับการใส่สารทางดินจะทำให้ลำไยออกดอกได้ 100% และดีเทียบเท่ากับลักษณะการออกดอกเมื่อถูกกระตุ้นโดยโพแทสเซียมคลอไรด์บริสุทธิ์ในปีแรก โดยปุ๋ย NPK 8-24-24 ที่ใส่ร่วมในระยะหลังจากใส่สาร 3 สัปดาห์จะสนับสนุนให้การออกดอกเต็มที่ นอกจากนั้นลำไยที่ใส่สารโดยวิธีดังกล่าวและสูตรดังกล่าวนี้จะมีต้น รากและใบสมบูรณ์ ซึ่งจะทำให้สามารถใช้งานได้ยาวนานขึ้น

ในแง่ของเกษตรกรชาวสวนลำไย มีพื้นฐานความเข้าใจเรื่องการใช้สารโพแทสเซียมคลอไรด์ค่อนข้างน้อยและใช้ตามอย่างเพื่อนบ้าน และยังไม่ทราบอันตรายของโพแทสเซียมคลอไรด์บริสุทธิ์ที่สามารถระบิดได้ เกษตรกรทุกรายมีความสนใจและต้องการใช้สารเร่งดอกลำไยเพื่อเพิ่มผลผลิต ดังนั้นเมื่อมีการให้ความรู้ให้ชัดเจนโดยการอบรมเกี่ยวกับการใช้สารเร่งดอกลำไยชนิดไม่ระบิดแล้ว เกษตรกรที่นำไปใช้มีความพอใจต่อผลการกระตุ้นการออกดอกและการติดผลของลำไย และเห็นว่ามีคุณภาพดีเทียบเท่าหรือดีกว่าโพแทสเซียมคลอไรด์บริสุทธิ์ที่เคยใช้ และลำไยยังมีความสมบูรณ์ของต้นและใบ ซึ่งแม้ว่าราคาที่เกษตรกรซื้อ (70 บาท ต่อ ก.ก.) จะแพงกว่าสารบริสุทธิ์เล็กน้อยเมื่อคิดเป็นค่าใช้จ่ายต่อต้น แต่ก็ยังมีความต้องการใช้ต่อไปและต้องการให้มีการผลิตเชิงพาณิชย์โดยเร็วที่สุด เพื่อจะได้ซื้อหาได้สะดวก และอาจมีต้นทุนลดลง

การศึกษาที่ 3 การทดสอบยาเพื่อตรวจสอบการระเบิดของสารเร่งดอกกล้วยโดยใช้เชื้อปะทุไฟฟ้า

โดยที่วัตถุระเบิดส่วนใหญ่ เช่น TNT, Dynamite, AN-fo, AN-mo, Blasting gelatin หรืออื่นๆ ใช้การระเบิดนำด้วยเชื้อปะทุซึ่งสร้างแรงกระแทก (shock wave) ที่รุนแรงจากดินระเบิดกลุ่ม A.S.A, P.E.T.N, R.D.X. หรือ tetryl ที่บรรจุภายในหลอดอลูมิเนียม ซึ่งจะสร้างแรงกระแทกทำให้วัตถุระเบิดเกิดการระเบิดอย่างรุนแรง ดังนั้นเพื่อให้เกิดความมั่นใจในสูตรของสารเร่งดอกกล้วยที่ได้มาจากการทดลองในหัวข้อการศึกษาที่ 2 จึงจำเป็นต้องนำมาทดสอบยาโดยใช้เชื้อปะทุไฟฟ้าที่จุดด้วยไดนาโมเพื่อให้เกิดความมั่นใจที่สุด โดยเลือกเชื้อปะทุมาตรฐานเบอร์ 6 ที่ใช้ในอุตสาหกรรมเหมืองแร่มาทำการทดสอบ และได้รับความร่วมมือจากผู้เชี่ยวชาญของหน่วยเก็บกู้วัตถุระเบิดของกองกำกับการตำรวจตระเวนชายแดนที่ 33 จังหวัดเชียงใหม่เป็นผู้ทำการทดสอบ

ตัวอย่างของสารเร่งดอกกล้วยจากการทดลองที่ 2.ก. คือสูตรมีแร่ธาตุไม่ละลายน้ำ จากการทดลองที่ 2.ข. คือสูตรสารถ่วงชนิดไม่ละลายน้ำ จากการทดลองที่ 2.ค. คือสูตรละลายน้ำและโพแทสเซียมคลอเรตล้วนๆ โดยผสมสารทุกชนิดกับกำมะถันในปริมาณ 70:30 ส่วนโดยน้ำหนักแล้วบรรจุในท่อ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 ซม. ที่ปิดหัวท้ายด้วยปูนพลาสติก และทำรูขนาดเล็กเท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางของเชื้อปะทุไฟฟ้าเพื่อเสียบเชื้อปะทุ โดยทำ 3 ซ้ำต่อ 1 ตัวอย่าง

ผลการทดสอบพบว่า สารผสมโพแทสเซียมคลอเรตที่ได้จากการทดลองที่ 2.ก. 2.ข. และ 2.ค. ที่ผสมกำมะถันทุกสูตรจะไม่ระเบิดเมื่อระเบิดนำด้วยเชื้อปะทุไฟฟ้า แต่โพแทสเซียมคลอเรตบริสุทธิ์ที่ผสมกับกำมะถันจะระเบิดอย่างรุนแรงแต่น้อยกว่าดินระเบิดแบบซีโฟ ที่ใช้เปรียบเทียบกันแสดงว่าโพแทสเซียมคลอเรตผสมกำมะถันมีพลังระเบิดน้อยกว่าดินระเบิดมาตรฐาน แต่สามารถสร้างความเสียหายได้ถ้ามีปริมาณมาก ดังเช่นเหตุที่เกิดที่โรงงานหงษ์ไทยเกษตรพัฒนา จำกัด ที่ อ.สันป่าตอง จ.เชียงใหม่ เมื่อปี พ.ศ.2542

รูปภาพที่ 10 การทดสอบการระเบิดของสารผสมโพแทสเซียมคลอเรตโดยใช้เชื้อปะทุไฟฟ้า



สรุปผลการศึกษา

สารเร่งดอกลำไยชนิดมีแร่ธาตุแบบไม่ละลายน้ำ ชนิดใช้สารถ่วงไม่ละลายน้ำและชนิดละลายน้ำที่ค้นพบจากการทดลองมีความปลอดภัยโดยไม่สามารถติดไฟและระเบิดเมื่อถูกแรงกระแทก 112 นิวตัน หรือเมื่อระเบิดนำด้วยเชื้อปะทุไฟฟ้าเบอร์ 6 แม้จะผสมด้วยกำมะถันก็ตาม สารผสมโพแทสเซียมคลอเรตที่ปลอดภัยดังกล่าวจึงน่าจะนำไปทดสอบการออกดอกและติดผลของลำไยต่อไปเพื่อให้ได้ผลอย่างสมบูรณ์ตามที่ตั้งเป้าหมายไว้

การศึกษาที่ 4 การทดสอบผลของการใช้สารเร่งดอกลำไยที่ปลอดภัยต่อการออกดอกและต่อผลลำไย

จากผลการศึกษาที่ 2 และ 3 ทำให้ทราบสูตรของสารเร่งดอกลำไยที่ปลอดภัยโดยแยกเป็นสูตรมีแร่ธาตุอาหารแบบไม่ละลายน้ำ (non soluble plus mineral, NSM) สูตรใส่สารถ่วงไม่ละลายน้ำ (non soluble, NS) สูตรสารถ่วงไม่ละลายน้ำปรับสภาพ (non soluble plus dolomite, NSD) และสูตรละลายน้ำ (water soluble, WS) ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาถึงผลของการใช้สารชนิดต่างๆ ที่ใส่เข้าไปในสูตรเพื่อถ่วงการระเบิดของโพแทสเซียมคลอเรต ว่ามีผลต่อการลดประสิทธิภาพของโพแทสเซียมคลอเรตในการกระตุ้นการออกดอกของลำไยหรือไม่

การใช้สารโพแทสเซียมคลอเรตบริสุทธิ์เพื่อกระตุ้นการออกดอกของลำไยนั้น พาวิน และคณะ (2542) แนะนำระดับที่เหมาะสมสำหรับลำไยพันธุ์ดอ คือ 8 กรัมต่อพื้นที่ได้พุ่ม 1 ตารางเมตร โดยใช้วิธีการละลายน้ำราดได้พุ่ม นอกจากนั้น ชิตติ และคณะ (2542) ได้ทดลองใช้โพแทสเซียมคลอเรตบริสุทธิ์ละลายน้ำในอัตรา 1,000-3,000 มิลลิกรัมต่อลิตรพ่นใบ และพบว่าสามารถกระตุ้นการออกดอกลำไยได้ดี ดังนั้นสารเร่งดอกลำไยสูตรที่ปลอดภัยทั้ง 4 สูตรจึงน่าจะนำไปทดลองใช้โดยอาศัยระดับและวิธีการดังกล่าวเพื่อเป็นการทดสอบผลต่อการออกดอก ความสมบูรณ์ของดอก และเนื่องจากสารเร่งดอกลำไยสูตร NSM มีการผสมแร่ธาตุอาหารพืชที่จำเป็นร่วมกับโพแทสเซียมคลอเรต ซึ่งน่าจะส่งผลต่อการติดผลและคุณภาพของผลได้ ดังนั้นการทดลองจึงดำเนินการครอบคลุมไปถึงการวัดคุณภาพของผลด้วย ทั้งนี้เพื่อหาแนวทางสำหรับพัฒนาสูตรที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ต่อไป

วัตถุและวิธีการ

ผสมสารเร่งดอกกล้วยทั้ง 4 สูตร โดยบดวัตถุดิบและร่อนผ่านตะแกรงละเอียดขนาด 0.05 ซม. และผสมให้เข้ากัน สูตรของสารผสมทั้ง 4 สูตรแสดงในตารางที่ 11

ตารางที่ 11 สูตรของสารผสมโพแทสเซียมคลอไรด์เพื่อทดลองในสวนลำไย (%)

วัตถุดิบ	สูตร				
	NSM	NS	NSD	WS	KClO ₃
KClO ₃	15	25	25	20	100
Ca ₃ (PO ₄) ₂	30	-	-	-	-
CaSO ₄ 2H ₂ O	19	-	-	-	-
Na ₂ B ₄ O ₇ 10H ₂ O	4	-	-	-	-
KNO ₃	4	-	-	14	-
Dolomite	28	-	45	-	-
Clay	-	75	30	-	-
NaHCO ₃	-	-	-	66	-
ราคาต้นทุน(บาท/ก.ก)	21.8	20.8	21.2	38.2	80

ปริมาณสารที่ใช้กับต้นลำไย คำนวณโดยใช้อัตราส่วนเทียบเป็นโพแทสเซียมคลอไรด์บริสุทธิ์ 8 กรัมต่อพื้นที่ได้พุ่ม 1 ตารางเมตร ซึ่งเมื่อคำนวณตามความเข้มข้นของโพแทสเซียมคลอไรด์ในแต่ละสูตรแล้วพบว่าสูตร NSM ใช้ใส่ดินในอัตรา 53.3 กรัม/1 ตรม. สูตร NS และสูตร NSD ในอัตรา 32 กรัม/1ตรม. สูตร WS ในอัตรา 40 กรัม/1ตรม. และถ้าใช้สูตร WS ละลายแล้วพ่นในความเข้มข้น 2,000 ส่วนในล้านจะเท่ากับใช้ในอัตรา 2 ก.ก. ละลายในน้ำ 200 ลิตร

ในการทดลองใช้ต้นลำไยพันธุ์ดอที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางพุ่มมากกว่า 3 เมตร และอายุ 5 ปีขึ้นไปในท้องที่ อ.จอมทอง จ.เชียงใหม่ ซึ่งไม่เคยได้รับสารโพแทสเซียมคลอไรด์มาก่อนโดยเริ่มดำเนินการเมื่อวันที่ 17 พฤศจิกายน 2542 ลำไยทุกต้นอยู่ในสภาพสมบูรณ์และปลูกในบริเวณเดียวกันและใช้จำนวนทั้งหมด 81 ต้น โดยให้ได้รับ treatment ทั้งหมด 6 treatment คือ

T1 = NSM ในอัตรา 53.3 กรัม/ตรม.โดยวิธีโรยได้พุ่มและรดน้ำตาม