



โครงการ การพัฒนาตู้ไฟฟ้าพื้นบ้าน

โดย สมคิด พรหมมา และคณะ

31 ตุลาคม 2546

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การพัฒนาตู้ไฟฟ้าพื้นบ้าน

คณะผู้วิจัย

สังกัด

- | | |
|---------------------------|--|
| 1. ดร. สมคิด พรหมมา | ศูนย์วิจัยและบำรุงพันธุ์สัตว์เชียงใหม่ |
| 2. นายประสาน จิ๋นอยู่สุข | ศูนย์วิจัยและบำรุงพันธุ์สัตว์เชียงใหม่ |
| 3. นางเรณู เทพประการ | ศูนย์วิจัยและบำรุงพันธุ์สัตว์เชียงใหม่ |
| 4. นายดำรงค์เดช เทพประการ | ศูนย์วิจัยและบำรุงพันธุ์สัตว์เชียงใหม่ |

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทสรุปสำหรับผู้บริหาร

โครงการวิจัย การพัฒนาลูกไฟพื้นบ้าน

การเกิดปรากฏการณ์ลูกไฟขึ้นในลำน้ำโขง ซึ่งเรียกเป็นบังไฟพญานาค มีลักษณะเฉพาะคือเป็นลูกไฟสีแดงเรื่อ มีการพุ่งแบบไม่โค้งตกลงมา และขึ้นสู่ท้องฟ้าแบบลอยตัว โดยไม่มีเสียงดังประกายไฟ และควันไฟ ทำให้เกิดความตื่นตาตื่นใจต่อผู้พบเห็น การวิจัยครั้งนี้จึงอาศัยคุณสมบัติดังกล่าวมาเป็นตัวตั้งในการพัฒนากรรมวิธีสร้างลูกไฟที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน เพื่อให้ทราบส่วนประกอบ ลักษณะ กรรมวิธีผลิตตลอดจนเครื่องมือและอุปกรณ์ที่จำเป็น ที่ใช้ในกระบวนการผลิต รวมทั้งการจุดขึ้นสู่ท้องฟ้าโดยทำให้มองเห็นคล้ายกับการผุดจากใต้ท้องน้ำ และทดสอบความเห็นเชิงเปรียบเทียบโดยผู้ที่เคยชมปรากฏการณ์มาแล้ว

จากการทดลองผลิตและเปรียบเทียบระหว่างดอกไม้ไฟต่างๆที่ดัดแปลงมาจากดอกไม้ไฟที่มีปรากฏในประเทศไทยหรือเคยมีผู้พบเห็นในอดีต พบว่าเมื่อจุดดอกไม้ไฟเหล่านั้นเวลาใกล้ดินดอกไม้ไฟที่มีลักษณะคล้ายบอไฟว่อของภาคเหนือ มีเปลวไฟที่มีความคล้ายคลึงที่สุด โดยมีรูปทรงคล้ายลูกอมยี่มทรงกระบอก จึงได้มีการพัฒนาและทดสอบวัสดุสร้างลูกไฟภายใต้หลักการดังกล่าว โดยใช้ท่อลูมิเนียมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 ซม. ยาว 3 ซม. หรือหัวปิดพีวีซีขนาดเล็ก เป็นภาชนะบรรจุ โดยมีแกนทำด้วยเหล็กเส้นขนาดเล็กปักตรงจุดศูนย์กลางเป็นแกนหมุน และพุ่งขึ้นสู่ท้องฟ้าโดยแรงขับจากการเผาไหม้ของดินชนิดชนิดพิเศษผ่านรูไฟออกที่ทำมุม 60-70° กับแนวราบ ซึ่งทำให้เกิดการขับเคลื่อนและหมุนในเวลาเดียวกัน ดินขับที่ผ่านการทดสอบว่าดีที่สุดเป็นส่วนผสมที่บดละเอียดของ ดินประสีว ถ่านไม้กระถิน สตรอนเทียมไนเตรท และแมงกานีสไดออกไซด์ และอาจใช้สุราขาวและน้ำปูนใส เป็นสารช่วยในการอัด ซึ่งวัสดุสร้างลูกไฟผลิตตามกรรมวิธีดังกล่าวแบบใช้ท่อลูมิเนียมมีต้นทุนการผลิตลูกละ 7.36 บาท และแบบท่อพีวีซีมีต้นทุนลูกละ 9.62 บาท

การผลิตใช้อุปกรณ์ที่มีขายในท้องตลาด หรือพัฒนาดัดแปลงอุปกรณ์ขึ้นมา โดยใช้เครื่องมือแบบ edge runner mill สำหรับใช้บดดินขับ ในส่วนของการอัดใช้เครื่องอัดไฮดรอลิกไฟฟ้าที่ควบคุมแรงอัดให้คงที่และเดินได้ 2 ทางขึ้นลงซึ่งใช้สำหรับเปลี่ยนบรรจุพีวีซี โดยสามารถอัดได้ครั้งละ 8 ลูก หรือใช้อุปกรณ์ดกด้วยแกนเหล็กและค้อนสำหรับเปลี่ยนท่อลูมิเนียม รวมทั้งพัฒนาอุปกรณ์เจาะทางไฟออก ซึ่งมีที่ยึดส่วนไฟฟ้า และปรับมุมได้ตั้งแต่ 45-90 องศา โดยสามารถปรับเลื่อนขึ้นลงในมุมต่างๆได้อย่างสะดวก

ระยะทางสำหรับจุดวัตถุสร้างลูกไฟที่ไม่สามารถได้ยินเสียงคือมากกว่า 850 เมตร โดยขนาดทางไฟออกที่เหมาะสม ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1/3-1/3.2 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของภายในเปลือกบรรจุสามารถช่วยลดเสียงการพุ่งขึ้น นอกจากนั้นการทำทางระบายก๊าซที่ด้านข้างของวัตถุสร้างลูกไฟ ซึ่งมีทิศทางช่วยการหมุน สามารถลดเสียงได้ดีเช่นเดียวกัน

วิธีการจุดที่มองไม่เห็นผู้จุดคือใช้ชนวนถ่วงเวลาทำจากเทียนยากันยุงชนิดขดตัดให้มีมีความยาวประมาณ 4 ซม. นำมาแนบกับชนวนสี่เหลี่ยมชนิดที่ใช้ในงานดอกไม้ไฟ ที่ทำหน้าที่เป็นชนวนจริง โดยสามารถจุดทิ้งไว้และถ่วงเวลาได้ประมาณ 15 นาที การจุดโดยให้มองเสมือนขึ้นมาจากผิวน้ำนั้นใช้วางบนกระถางลอยน้ำ ที่สามารถบังแสงไฟจากการลุกไหม้ของชนวน โดยใช้กะละมังพลาสติกขนาดใหญ่สีดำสำหรับการจุดเป็นชุด หรือใช้กระป๋องนมผงใช้แล้วขนาดกลางสำหรับการจุดเดี่ยวๆ โดยภาชนะทั้งสองชนิดจะใส่ดินเพื่อทำหน้าที่ถ่วงให้ภาชนะจมน้ำบางส่วนและทำให้มีน้ำหนักเพียงพอที่จะทำให้กระถางทรงตัวได้ตอนที่วัตถุสร้างลูกไฟเริ่มพุ่งขึ้น

วิธีการจุดเพื่อทำให้มองเห็นว่าลูกไฟพุ่งออกมาจากได้น้ำ ใช้วิธีการวางวัตถุสร้างลูกไฟแช่อยู่ในน้ำลึกประมาณ 12 ซม. และใช้แผ่นฟิวเจอร์บอร์ดสีเหลี่ยมที่ทำเป็นช่องตรงกลางเพื่อติดท่อไม้ไผ่หรือพีวีซี สำหรับใช้เป็นเปลือกท่อแช่วัตถุสร้างลูกไฟ และมีรูเสียบแกนหมุนของวัตถุด้านล่างสุดของกระบอก ซึ่งอุปกรณ์ทั้งหมดจะลอยแนบผิวน้ำ การจุดใช้ชนวนที่ห่อหุ้มด้วยสายน้ำเกลือใช้แล้วซึ่งสามารถลุกไหม้ในน้ำโดยไม่ดับ การจุดเป็นชุดสามารถใช้หลักการเดียวกันคือใช้แผ่นฟิวเจอร์บอร์ดเป็นส่วนทำให้ลอยแนบผิวน้ำ และใช้กะละมังพลาสติกขนาดกลางที่เจาะรูให้น้ำเข้าโดยรอบและมีส่วนบังคับทิศทางวางด้านล่าง

ในส่วนของวัตถุสร้างลูกไฟที่จุดตัวในน้ำ การป้องกันน้ำซึมเข้าไปในช่องไฟปะทุในช่วงที่แช่น้ำเป็นเรื่องที่สำคัญที่สุด ดังนั้นจึงต้องงดการเจาะทางระบายก๊าซทางด้านข้างของวัตถุสร้างลูกไฟ และใช้กระดาษทิชชูอัดชนวนให้แน่นกับปากรูไฟออก พร้อมทั้งฉาบด้วยวาสลีนหล่อลื่นผิววนอกสุด ซึ่งเมื่อใช้เทียนยากันยุงยาว 4 ซม. และชนวนจุดชนิดทนน้ำยาว 30 ซม. วัตถุสร้างลูกไฟจะติดไฟและพุ่งขึ้นจากได้น้ำหลังจุดไปแล้ว 15-20 นาที

คุณสมบัติของลูกไฟจากการจุดวัตถุสร้างลูกไฟที่พัฒนาขึ้นมา จะมีสีแดงเรื่อ มีเปลวไฟเลือนๆจางๆ พุ่งขึ้นเป็นเส้นตรงแบบลอยตัวและมีความเร่ง ไม่มีหางหรือสะเก็ดไฟ มีการดับแบบวาบไฟเมื่อใช้เปลือกบรรจุทำด้วยพีวีซี และดับแบบค่อยๆเลือนหายเมื่อใช้เปลือกบรรจุทำด้วยท่ออลูมิเนียม ตลอดจนไม่สามารถมองเห็นควันเมื่อจุดในที่ที่มีความมืดหรือในชนบท และไม่ได้ยินเสียงเมื่อจุดห่างออกไปมากกว่า 400 เมตร การนำไปจุดในที่ที่มีเสียงน้ำไหล ในที่ชุมนุมชน หรือในงานมหรสพที่มีเสียงโห่ร้องจะทำให้ไม่ได้ยินเสียงการพุ่งขึ้นแม้จะอยู่ใกล้เพียง 100 เมตร

การพัฒนาลูกไฟพื้นบ้าน

โดย

สมคิด พรหมมา ประสาน จิงอยู่สุข เรณู เทพประการ และดำรงค์เดช เทพประการ¹

บทคัดย่อ

การศึกษากกรรมวิธีสร้างลูกไฟให้ผุดขึ้นจากท้องน้ำ เพื่อเลียนแบบปรากฏการณ์บั้งไฟพญานาค ใช้วิธีการวิจัยและพัฒนา โดยใช้องค์ความรู้ด้านดอกไม้ไฟท้องถิ่นของภาคเหนือ และดอกไม้ไฟสากล ร่วมกับการตั้งสมมติฐานที่น่าจะเป็นไปได้ และพิสูจน์สมมติฐานโดยใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์และสถิติ การวัดผลใช้ความเห็นของกรรมการที่ผ่านการทดสอบว่ามีมาตรฐานเดียวกันในรูปคะแนนเป็นเครื่องมือ ผลสัมฤทธิ์ของงานวิจัยใช้การให้ความเห็นของผู้เคยชมปรากฏการณ์มาแล้วและพัฒนาในส่วนที่ยังบกพร่อง เพื่อสร้างรูปแบบที่สมบูรณ์ในขั้นตอนสุดท้าย

การทดลองเปรียบเทียบดอกไม้ไฟที่มีรูปทรงและลักษณะ ซึ่งแตกต่างจากที่มีปรากฏในปัจจุบันคือแบบบั้งไฟหาง ลูกดาวยิงด้วยหนังสัตว์ ท่อทรงกระบอกปักแกนคล้ายลูกอมยิมที่คัดแปลงจากบั้งไฟของภาคเหนือ และแบบใช้ท่อยิงลูกดาวพร้อมที่เก็บเสียง พบว่า วัตถุสร้างลูกไฟรูปแบบคล้ายลูกอมยิมทำจากหัวอุดท่อพีวีซีเป็นเปลือกบรรจุ และใช้ดินดำที่เป็นส่วนผสมละเอียดของดินประสิวและถ่านเป็นเชื้อเพลิง สามารถสร้างลูกไฟที่มีลักษณะคล้ายบั้งไฟพญานาคได้ใกล้เคียงที่สุดโดยพุ่งขึ้นแบบลอยตัว มีเปลวไฟสีแดงส้ม ขึ้นเป็นเส้นตรง ไม่มีประกายไฟ หรือควัน และมีเสียงดังค่อยเมื่อจุดในที่ไม่มีเสียงแทรกซ้อน โดยวัตถุสร้างลูกไฟแบบลูกอมยิมใช้การพุ่งขึ้นแบบหมุนรอบตัว โดยใช้แกนที่ปักตรงจุดศูนย์กลางเป็นจุดหมุน การเจาะทางไฟออกที่ทำมุมกับด้านปิด 60-70 องศาทำให้เกิดการหมุนและขับเคลื่อนสู่ท้องฟ้าในเวลาเดียวกัน

การเปรียบเทียบส่วนประกอบของดินขับวัตถุสร้างลูกไฟแบบลูกอมยิม ซึ่งใช้สารออกซิไดซ์หลักคือดินประสิวและสารรีดิวซ์หลักคือถ่านไม้ที่มีน้ำหนักเบา และใช้สารเสริมคือสตรอนเทียมไนเตรท และ/หรือกำมะถัน พบว่าสตรอนเทียมไนเตรท ช่วยให้ลูกไฟมีสีแดงส้มดีขึ้น สตรอนเทียมไนเตรทที่เหมาะสมจึงประกอบด้วย ดินประสิว ถ่านไม้ และสตรอนเทียมไนเตรทปริมาณ 1000, 300, 100 กรัม ตามลำดับโดยนำมาบดรวมกันจนละเอียด และไม่จำเป็นต้องเคี้ยวดินประสิวก่อน

คำสำคัญ: ลูกไฟ ผุดขึ้นจากท้องน้ำ การสร้าง วิธีการพื้นบ้าน

¹ ศูนย์วิจัยและบำรุงพันธุ์สัตว์เชียงใหม่ 1 หมู่ 13 ถนนอำเภวยโธธา ต.ยูหว่า อ.สันป่าตอง

การศึกษาส่วนประกอบดินขับโดยเปรียบเทียบการใส่กำมะถัน สตรอนเทียมในเตรท และสภาพของดินขับแบบแห้งและแบบหมาดๆโดยใช้สุราขาวและน้ำปูนใสผสม พบว่า การใส่ สตรอนเทียมและใช้ดินขับหมาดๆทำให้ลูกไฟมีสีแดงส้มดีขึ้น มีการฟุ้งแบบลอยตัวดีขึ้น และมีเสียง การฟุ้งขึ้นค่อยลง การผสมสุราขาวและน้ำปูนใสจึงมีความจำเป็น ส่วนการใส่กำมะถันนั้นให้ผลใน ทางตรงกันข้ามคือทำให้เกิดหางของลูกไฟ

การศึกษานิดของไม้ที่เหมาะสมกับการทำถ่านโดยเปรียบเทียบระหว่างไม้จำฉา กระถิน มะม่วงและเพกา พบว่าถ่านจากไม้ทุกชนิดทำให้คุณสมบัติของลูกไฟที่เกิดขึ้นไม่แตกต่างกัน โดย ต้องเป็นไม้ที่ตัดในระยะที่ลำต้นไม่เป็นแก่นแข็ง มีเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 2.5 เซนติเมตร และเผา ในภาชนะที่เปิดปากเช่นกะทะหรือหลุมที่มีลักษณะเดียวกัน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบปริมาณที่ใช้ผสมใน สูตร พบว่า การใช้ถ่านปริมาณมากขึ้นมีผลทำให้ลูกไฟมีขนาดเล็กกลง และมีสีแดงส้มลดลง ตลอด จนแสดงแนวโน้มการเกิดประกายไฟมากขึ้น ดังนั้นการใช้ที่ระดับ 300 กรัมต่อน้ำหนักดินประสี 1 กก. จึงเหมาะสมที่สุด

การศึกษาวิธีการที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ยินเสียงการฟุ้งขึ้นเบาที่สุดพบว่า การจุดที่ระยะ 400 และ 600 เมตรในสภาพที่ไม่มีเสียงแทรกซ้อน ยังสามารถได้ยินเสียงการฟุ้งขึ้นเบาๆ แต่เมื่อจุด ที่ระยะ 1,000 เมตร ซึ่งยังคงมองเห็นลูกไฟชัดเจนแต่จะไม่ได้ยินเสียง และเมื่อนำข้อมูลมา วิเคราะห์ รีเกรสชัน พบว่าระยะต่ำสุดที่จะไม่ได้ยินเสียงคือ 850 เมตร การลดเสียงโดยเพิ่มขนาด ทางออกไฟ หรือเพิ่มทางระบายก๊าซจากการเผาไหม้ รวมทั้งใช้เปลือกบรรจุที่เหมาะสม จึงมีความจำ เป็น โดยพบว่า ขนาดทางออกไฟที่ทำให้เกิดเสียงเบาที่สุดคือขนาด $1/3-1/3.2$ เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลาง เปลือกบรรจุ (ϕ) และการเพิ่มทางระบายก๊าซที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง $1/9\phi$ โดยใช้เปลือกบรรจุ ขนาดเล็กมีความเหมาะสมที่สุด โดยลูกไฟมีคุณสมบัติพึงประสงค์ครบถ้วน

การพัฒนาอุปกรณ์สำหรับใช้ในการผลิตโดยใช้เครื่องบดแบบ edge runner mill ทำงาน ด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า ในการบดส่วนผสมดินขับซึ่งใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมงต่อดินขับน้ำหนัก 1.4 กก. และพัฒนาอุปกรณ์ไฮดรอลิกใช้ไฟฟ้าสำหรับอัดดินขับลงในเปลือกบรรจุพีวีซี ซึ่งทำได้ครั้งละ 8, 6 และ 3 ลูก สำหรับเปลือกขนาดเล็ก กลางและใหญ่ตามลำดับ และพบว่าแรงอัดที่เหมาะสมคิดเป็น ความดันวัดที่ท่อน้ำมันเท่ากับ 700 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ทำให้สามารถบรรจุดินขับได้ 18.1, 26.5 และ 50.9 กรัมตามลำดับ โดยมีความหนาแน่น 2.64 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สำหรับการพัฒนา อุปกรณ์เจาะรูทางออกไฟ และรูปักแกนหมุนนั้นใช้หลักการยึดสว่านไฟฟ้าติดกับรางเหล็กที่เลื่อน ขึ้นลงได้และปรับมุมได้ 45-90 องศา ซึ่งสามารถใช้ได้สะดวกและมีความแม่นยำมากกว่าการเจาะ ด้วยมือ

การจุดวัตถุสร้างลูกไฟตรงตำแหน่งที่ผิวหนัง และสูงจากผิวหนังทำให้ผู้ดูมองเห็นต่างกัน โดย พบว่าการจุดที่ผิวหนังทำให้มองเห็นว่าขึ้นมาจากน้ำชัดเจนกว่าการจุดที่ระดับสูงกว่าน้ำ แต่สามารถ คาดเดาตำแหน่งที่ขึ้นได้ง่ายจากการเกิดแสงสะท้อนของไฟจากชนวนกับผิวหนัง ดังนั้นเมื่อศึกษา

อุปกรณ์บังแสงที่ลอยน้ำคล้ายกระถางแบบต่างๆ ได้แก่กระป๋องนมผงใช้แล้วขนาดเล็กและกลางความจุ 1 ลูก ถึงน้ำพลาสติกเบอร์ 18 และกะละมังพลาสติกขนาดใหญ่ ที่จุ 4-9 ลูก และใช้ชนวนสีเขียวแบบกับเทียนยากันยุง เป็นตัวถ่วงเวลา พบว่ากระป๋องนมใช้แล้วขนาดกลาง และกะละมังพลาสติกขนาดใหญ่มีความเหมาะสมกับการจุดที่ละลูกและหลายลูกตามลำดับ

การทดสอบความเห็นของผู้ที่เคยชมบั้งไฟพญานาคมาแล้วพบว่า ลูกไฟทดลองมีความคล้ายคลึงบั้งไฟพญานาค แต่ควรมีการปรับปรุง เพื่อให้ ไม่มีการวาบไฟก่อนดับ ทำให้มองไม่เห็นควันชัดเจน และลูกไฟมีขนาดไม่โตนักแต่มีเปลวไฟสีเลือนๆจางๆ ไม่ได้ยินเสียงการพุ่งขึ้น มองเห็นลูกไฟลอยตัวและค่อยๆเลือนหายไปจนดับ และที่สำคัญคือการทำให้มองเห็นว่าพุ่งขึ้นมาจากได้น้ำจริงๆ

การพัฒนาเพื่อเพิ่มคุณสมบัติพึงประสงค์ของลูกไฟ ใช้การทดสอบผลการทดลองตามสมมติฐานที่ตั้งขึ้นและได้ผลคือ การใช้ดินเหนียวคั่นระหว่างดินขั้กับผนังด้านล่างของเปลือกบรรจุช่วยลดการวาบไฟได้ดีกว่าการไม่ใส่ดินเหนียว การใช้แมงกานีสไดออกไซด์ซึ่งเป็นตัว catalyst ในปริมาณ 100 กรัมต่อน้ำหนักดินประสีว 1 กก. ทำให้ลูกไฟมีควันน้อยลงและมีควันสีออกไปทางสีคราม ทำให้ไม่เห็นชัดในเวลากลางคืน ตลอดจนทำให้เปลวไฟมีสีจางลงและเห็นแสงเลือนๆ รวมทั้งทำให้เสียงการพุ่งขึ้นเบาลง ในการใช้เปลือกบรรจุที่ทำจากท่อลูมิเนียมมาแทนท่อพีวีซีและใช้การบรรจุดินโดยใช้ก้อนดอก พบว่าสามารถจุดดินขั้ได้ 16.3 กรัม มีความหนาแน่นเท่ากับ 2.04 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และมีต้นทุนลูกละ 7.36 บาท ซึ่งเมื่อจุดจะเกิดลูกไฟที่ดับแบบเลือนหาย และมีเสียงค่อยจนไม่สามารถได้ยินเมื่อจุดในระยะ 100 เมตรในสภาพที่มีเสียงแทรกซ้อนดังเช่นงานมหรสพ

การพัฒนากกรรมวิธีจุดเพื่อให้มองเห็นลูกไฟพุ่งออกมาจากได้น้ำ ใช้วิธีเปรียบเทียบระหว่างลูกไฟที่จุดในกระถางที่ลอยเหนือน้ำ กับการจุดได้น้ำโดยใช้กระถางแพทำด้วยแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดลอยแนบผิวน้ำและประคองวัตถุสร้างลูกไฟที่จมน้ำ 12 ซม. และใช้ชนวนกันไฟทำจากชนวนสีเขียวห่อหุ้มด้วยสายน้ำเกลือใช้แล้วและถ่วงเวลาด้วยเทียนยากันยุง รวมทั้งใช้วิธีป้องกันน้ำซึมเข้าในวัตถุสร้างลูกไฟตอนแช่น้ำโดยใช้วาสลีนหล่อลื่นพอรอบๆทางไฟออก พบว่าการใช้กระถางแพแนบน้ำสามารถทำให้ลูกไฟพุ่งจากได้น้ำ 100% โดยไม่สามารถคาดเดาตำแหน่งลูกไฟพุ่งขึ้นได้ ซึ่งสามารถใช้จุดเดี่ยวๆโดยใช้กระบอกไม้ไผ่เป็นตัวประคอง และจุดเป็นชุดโดยใช้กะละมังพลาสติกขนาดกลางที่เจาะรูให้น้ำเข้าได้เป็นตัวประคอง

Development the Local Sky-plunged Fireball

By

Somkid Promma, Prasan Juengyusook, Renu Theprakarn and Dumrongdej Theprakarn¹

Abstract

The study on method for making river to air plunged fireball was conducted in order to produce unexpected objects similar to Bang Fai Payanak (BFP). The research and development was done using the available knowledge of local northern firework production and the modern firework technology. The scientific and statistical methodologies were used to identify such a possible ways that lead the development successfully. The measurement of qualitative and quantitative achievements was done utilizing score judging from group of the well-trained and standardized persons. Consequently, the research results was shown to those who have seen BFP and collected the recommendations for the final product development.

The study was done with some high potential local firework which are not seen in the present practice A. long tail rocket-like firework, B. elastic shooting star, C. cylinder with rod holder firework (CRH) which was modified from the dead northern firework named Wor, and D. star shooting. It was found that the cylindrical shape with rod holder, made from PVC tube and potassium nitrate-carbon propellant, met the required properties; air bubble-like floating movement, red-orange color flame, non peak movement, non tail and smoke, and low noise. The principle of CRH is a rotational movement firework, which is powered by a non-vertical (60 –70 degree from horizontal line) thrust.

The composition of the particular propellant for CRH is based on potassium nitrate and light charcoal. The addition of strontium nitrate improved the red color flame significantly. The combination of 1,000: 300:100 potassium nitrate, charcoal and strontium nitrate was grounded together into a fine powder prior to use, and no special pre-treatment of potassium nitrate as dissolving in hot water is necessary.

Keyword: fireball, river to air plunging, production , local method

¹ Chiang Mai Livestock Research and Breeding Center, 1 moo 13 Amnuey-Yotha rd. Yuwaha, Sunpatong, Chiang Mai 50120

It was found that adding sulfur in the propellant increase fireball tail. Sulfur is ,therefore, not necessary for the CRH propellant. The adding of local whisky and lime water to get moist propellant supported better fire ball quality (more red color flame, increase air bubble-like movement and reduction the moving sound) than the dried.

Source of charcoal from different woods gave similar result on the quality of fireball . Among 4 woods, Kratin seemed to be superior to Mango Chumcha and Peka. However, method of charcoal preparation is more important. The tree should be cut at the required stage (less than 2.5 cm diameter stem) and dried before burning. The burning in pan-like shape container gave a good charcoal. Level of charcoal at 300 g/1 kg potassium nitrate showed better results than 250 and 400 g. Increasing charcoal level generated more flame tail, less flame diameter and less flame red color.

The distance of ignition affected the sound score. It was found that distance between 400-600 meters was not sufficient to minimize sound hearing. However, at 1,000 meter away, the moving sound was not heard. The regression analysis of the data showed that the minimum sound unhearing distance was 850 meter. More sound reduction was seen when increase the diameter of the thrust hole. The diameter at $1/3$ - $1/3.2$ time of container diameter (ϕ) reduced sound significantly. The additional exhaust gas hole made at the container side assisted the sound reduction, and the diameter was $1/9\phi$. Comparing with different sizes of container, the small (2.2 cm diameter) gave the best results.

Equipment for producing CRH were developed. The edge runner mill grinder was used for grinding the propellant materials, and the effective capacity was at 1.4 kg/h. The compaction of the propellant into containers with 2-ways electrical hydraulic equipment gave the best result when the oil pressure was set at 700 lb/in². More pieces of CRH can be produced in one compaction, 8 for small, 6 for medium and 3 for large. Weight of propellant packed at 2.64 g/cm³ found to be 18.1, 26.5 and 50.9 g, respectively. Moreover, tool for supporting the electric drill made from C-shape steel with adjustable angle and movement direction, gave more accurate work than those done only by hand.

The experiment on appropriate ignition levels was carried out and found that the ignition of CRH at water surface level gave better score in water surface spring up property than those ignited at above water levels. However, the ignition at water level is easily detectable due to the reflect of light to water surface. The hiding of fuse ignition using used infant milk powder can or plastic water containers was tested. It was found that, when leaving the hiding tools float on

water, medium size used milk powder could give a good results for the single shoot CRH, and the large size plastic container showed a good results for multi shooting (4-9 CRH/container). Nevertheless, the 15 minutes delay of the ignition fuse by the green color commercial firework fuse attached with 4 cm mosquito incense, supported the good results

The attitude of those who have seen BFP is important for the final development of CRH. Almost the show participants accepted that the experimental fireballs (EF) were partly similar to the BFP. However, some weak points of the EF are recommended as the sudden burn off at final stage, the detectable smoke, the large flame diameter, the non-blurred and non-paled flame, and the non-slowly disappearance at the end. The most important recommendation among others is the spring up from under water

The final solution for approaching the effective method for production the sky-plunged fireball (SPF), which can produce locally was periodically discovered. The correction of sudden burn off problem was done by placing a compacted wood clay layer between the propellant and the container wall, or replacement of the PVC container with the aluminium (Al) cylinder container. The addition of manganese dioxide in the propellant at the ratio of 100 g/ 1 kg potassium nitrate reduced the smoke and the moving sound. It could increase the blur-paled flame at significant level. The Al-SPF contains 16.3 g of propellant, which is packed by hand at 2.04 g/cm³, using a hammer. Cost of production of Al-SPF found to be 7.36 Baht/piece. The Al-SPF which were tested in the festival showed the undetectable noise, even the distance was only 100 meter.

The way to shoot the fireball from under water is discovered. The SPF should be placed 12 cm under water and being ignited by the water resistant fuse. The floating plate made from a piece of future board, 225 cm² area/1 SPF, was used to support the shooting part that laying under water. The delayed fuse made from the green firework fuse (30-100 cm length) that covered by the used saline tube, and attached with the mosquito incense. The penetration of water into the SPF is protected by fixing the fuse to the exhaust hole tightly, and sealed with melted paraffin. The test of under water spring off showed that 100% of the fireball was dramatically sprung off from water and the position was unexpected. The SPF can be shoot by individually or by multiple, using bamboo cylinder or large plastic container, respectively.

สารบัญ

	หน้า
บทสรุปสำหรับผู้บริหาร	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญ	ณ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฐ
บทที่ 1 คำนำ	1
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
ขอบเขตของการวิจัย	2
สมมติฐานของการวิจัย	3
บทที่ 2 การทบทวนองค์ความรู้ที่เกี่ยวข้อง	4
ลักษณะของบั้งไฟพญานาค	4
การเกิดเปลวไฟและสีของไฟ	4
การเกิดหางของเปลวไฟ	4
เปลวไฟที่ไม่มีควัน	5
การพุ่งขึ้นสู่ท้องฟ้า	5
ลักษณะของดินขับ ส่วนผสม และการบรรจุ	6
ภูมิปัญญาท้องถิ่นล้านนาในการทำบอไฟที่ขึ้นโดยการหมุน	7
บทที่ 3 ผลการวิจัย	8
การทดลองที่ 1 การพัฒนาวัตถุสร้างลูกไฟที่มีคุณสมบัติพึงประสงค์	8
ผลการทดลอง	10
การทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงแข็งและส่วนประกอบที่เหมาะสม	11
2.1 ส่วนประกอบดินขับที่เหมาะสม	11
ผลการทดลอง	12
2.2 สภาพของดินขับที่เหมาะสมกับการใช้สารเพิ่มคุณสมบัติ	13
ผลการทดลอง	14
2.3 ชนิดของถ่านไม้ที่เหมาะสมกับการทำดินขับวัตถุสร้างลูกไฟ	15
ผลการทดลอง	16

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

การทดลองที่ 3 การลดเสียงการพุ่งขึ้นโดยศึกษาระยะห่างการจุด ขนาดทางออกไฟ	
ขนาดภาชนะบรรจุ และสารช่วยลดเสียงที่เหมาะสม	19
3.1 ระยะห่างการจุด ขนาดภาชนะบรรจุ และขนาดทางออกของไฟ	
ที่เหมาะสม	19
ผลการทดลอง	19
3.1.1 การลดเสียงโดยวิธีเพิ่มทางระบายก๊าซ	21
ผลการทดลอง	22
3.2 สารเสริมเพื่อลดเสียงและขนาดภาชนะบรรจุที่เหมาะสม	23
ผลการทดลอง	23
การทดลองที่ 4 การพัฒนาอุปกรณ์ผลิตและขั้นตอนการผลิต	25
4.1 อุปกรณ์การบดดินขับ	25
4.2 อุปกรณ์การอัดดินขับในเปลือกบรรจุ	26
4.3 อุปกรณ์เจาะรูปักแกนหมุน ทางไฟออก ความปลอดภัย	
และลักษณะแกนหมุนที่เหมาะสม	28
การทดลองที่ 5 วิธีการจุดที่ทำให้คาดตำแหน่งและเวลาลุกไฟขึ้นไม่ได้	30
5.1 ระดับที่จุดวัดจากผิวหน้าและการคาดเดาตำแหน่งลุกไฟขึ้น	30
ผลการทดลอง	31
5.2 อุปกรณ์จุด ที่มีส่วนบังแสง สร้างจากวัสดุที่มีในท้องถิ่น	32
ผลการทดลอง	34
การทดลองที่ 6 ความเห็นของผู้เคยชมบั้งไฟพญานาคมาแล้ว	35
6.1 ความเห็นของผู้เคยชมบั้งไฟมาแล้วซึ่งมาจากภาคต่างๆ	36
ผลการทดลอง	36
6.2 ความเห็นของผู้ติดตามผลงานซึ่งเป็นตัวแทนผู้ให้ทุนวิจัย	38
7. การพัฒนาวัสดุสร้างลุกไฟขึ้นสุดยอด เพื่อให้ได้ลุกไฟที่เหมือนบั้งไฟพญานาคที่สุด	39
7.1 การใช้ดินเหนียวกันระหว่างเปลือกท่อยบรรจุและดินขับ	
เพื่อป้องกันการวาบไฟ	40
ผลการทดลอง	41
7.2 การใช้เปลือกบรรจุทำด้วยวัสดุทนไฟเพื่อป้องกันการวาบ	
ของลุกไฟก่อนดับ	41

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ผลการทดลอง	42
7.3 การใช้สารเร่งปฏิกิริยาการเผาไหม้และสารรีดิวซ์ เพื่อช่วยลดควัน เสียงและทำให้เปลวของตู้ไฟมีสีเลือนๆจางๆ และต้นทุน	
การผลิต	43
ผลการทดลอง	44
7.4 การพุ่งขึ้นจากได้นำ	47
ผลการทดสอบ	49
บทที่ 4 สรุปผลการวิจัย	51
บรรณานุกรม	54
ภาคผนวก	55
เอกสารเผยแพร่	56
ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางแผนไว้ และกิจกรรมที่ดำเนินการมา และผลที่ได้รับตลอดโครงการ	68

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยคะแนนการจุกตัวตุสร้างลูกไฟแบบต่างๆ (N=15)	10
ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยคะแนนการจุกตัวตุสร้างลูกไฟแบบลูกอมยิ้มที่ใช้ดินขับ แบบต่างๆ (N=4)	13
ตารางที่ 3 คะแนนเฉลี่ยของลูกไฟที่ใช้ส่วนผสมและสภาพต่างกัน (N=5)	14
ตารางที่ 4 คะแนนเฉลี่ยของลูกไฟที่ใช้ส่วนผสมของถ่านไม้และ ปริมาณต่างกัน (N=4)	16
ตารางที่ 5 คะแนนเฉลี่ยของลูกไฟที่เกิดจากดินขับที่ใช้ถ่าน 2 แบบ (N=13)	18
ตารางที่ 6 คะแนนเฉลี่ยลักษณะต่างๆของลูกไฟจากวัสดุขนาดและทางออกไฟต่างๆ และจุดที่ระยะทางต่างกัน (N=3)	20
ตารางที่ 7 ผลของการเพิ่มทางระบายก๊าซต่อคุณสมบัติของลูกไฟ(N=4)	22
ตารางที่ 8 คะแนนเฉลี่ยของลูกไฟจากดินขับที่ผสมสตรอนเทียมไนเตรท และบรรจุ ในเปลือกขนาดต่างๆกัน	24
ตารางที่ 9 น้ำหนักและความจุกดินขับเฉลี่ย (กรัม) ของวัตถุสร้างลูกไฟเตรียม จากเปลือกบรรจุขนาดต่างๆ (N=20)	27
ตารางที่ 10 ค่าเฉลี่ยมุม การเกิดประกายไฟ และการติดค้างกับฐานของวัตถุสร้างลูกไฟ ที่ใช้แกนหมุนทำจากวัสดุต่างกัน (N=9)	29
ตารางที่ 11 ค่าเฉลี่ย(mean) และความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของการให้คะแนน เปอร์เซ็นต์ของลูกไฟที่มองเห็นว่าขึ้นจากน้ำและคาดตำแหน่งขึ้นไม่ได้ (N=3)	31
ตารางที่ 12 คะแนนเฉลี่ยของลูกไฟจุดโดยใช้อุปกรณ์ที่ลายนํ้าแบบต่างๆกัน	34
ตารางที่ 13 คะแนนเฉลี่ยลักษณะของลูกไฟที่เกิดจากการใช้ดินเหนียวคั่นเสริม ทางออกไฟ (N=9)	41
ตารางที่ 14 คะแนนเฉลี่ยลักษณะของลูกไฟที่เกิดจากการใช้เปลือกบรรจุ 2 ชนิด(N=20)	43
ตารางที่ 15 คะแนนเฉลี่ยของลูกไฟเตรียมจากดินขับที่ผสมสารเร่งปฏิกิริยาการ ลุกไหม้ต่างกัน (N=8)	45

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 ลักษณะวัตถุสร้างลูกไฟแบบต่างๆ	9
ภาพที่ 2 การเตรียมถ่านไม้แบบเผาในถัง แบบเผาในกะทะ และการใช้ทรายกลบเพื่อดับถ่าน	15
ภาพที่ 3 ส่วนประกอบและลักษณะการเจาะทางไฟออกและทางระบายก๊าซ	23
ภาพที่ 4 เครื่องบดแบบ edge runner mill	26
ภาพที่ 5 เครื่องไฮดรอลิกอัดดินขับ และช่องบรรจุเปลือกพีวีซี พร้อมแกนเหล็กสำหรับอัด	27
ภาพที่ 6 ส่วนเจาะรูปกแกนหมุนและทางไฟออก พร้อมที่ตั้งมุม และความลึกของการเจาะ	28
ภาพที่ 7 อุปกรณ์จุดที่ลอยน้ำสร้างจากวัสดุในท้องถิ่นหรือของเหลือใช้	33
ภาพที่ 8 คะแนนเฉลี่ยความเหมือนของลูกไฟกับบั้งไฟพญานาค แยกตามกลุ่มผู้ให้ความเห็นที่มาจากภาคต่างๆ	37
ภาพที่ 9 เปอร์เซนต์ของผู้ให้ความเห็นในช่วงคะแนนต่างๆ	38
ภาพที่ 10 ท่อและฝาปิดอลูมิเนียมใช้ทำเปลือกบรรจุ และการเปรียบเทียบกับท่อพีวีซี	42
ภาพที่ 11 อุปกรณ์จุดจากได้นำ้ทำจากแผ่นพีวีเจอร็บอร์คและกระบอกไม้ไผ่	47
ภาพที่ 12 อุปกรณ์จุดลูกไฟจากได้นำ้แบบจุดเป็นชุดบรรจุที่หลายลูก	48
ภาพที่ 13 ลักษณะของวัตถุสร้างลูกไฟที่ปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพดีที่สุด	49

บทที่ 1

คำนำ

การเกิดปรากฏการณ์บั้งไฟพญานาคในลำน้ำโขง ที่เป็นสิ่งชวนพิศวงว่าเกิดจากปรากฏการณ์ธรรมชาติหรือเป็นฝีมือมนุษย์ ยังเป็นเรื่องที่ไม่สามารถพิสูจน์ได้อย่างชัดเจนว่าเกิดจากอะไรในกลุ่มผู้มีความเชื่อนั้นคิดว่าเกิดจากการบูชาไฟของพญานาคที่อยู่ใต้ท้องน้ำโขง ที่จะเกิดขึ้นในวันเพ็ญ 15 ค่ำเดือน 11 หรือวันออกพรรษา และเกิดขึ้นทุกๆปี นอกจากนั้นยังมีผู้บอกเล่าว่าเคยพบเห็นได้ตลอดปีตามที่แตกต่างกัน เช่น ตามหนองน้ำ ลำน้ำ พุงนา หรือที่ๆมีน้ำขัง ซึ่งมีผู้ให้เหตุผลสนับสนุนว่าเกิดจากการหมักหมมของตะกอนที่ได้ท้องน้ำและเกิดกระบวนการหมัก ทำให้เกิดก๊าซมีเทนและรวมตัวเป็นฟองก๊าซลอยสู่ผิวน้ำ เมื่อผ่านชั้นน้ำจะเกิดการสะสมพลังงานและติดไฟลอยขึ้นสู่ที่สูงจนดับในอากาศ และช่วงออกพรรษามีอุณหภูมิและสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมที่สุด ในการเกิดปรากฏการณ์ดังกล่าว

ด้วยคุณสมบัติพิเศษของบั้งไฟพญานาคคือเป็นลูกไฟที่พุ่งขึ้นจากท้องน้ำ มีสีแดงเรื่อเป็นธรรมชาติ มีการพุ่งขึ้นในแนวเส้นตรงไม่โค้งตกลงมา และพุ่งขึ้นสู่ท้องฟ้าแบบมีความเร่งและลอยตัว ตลอดจนไม่มีเสียงดัง และไม่มีประกายไฟหรือควันไฟพุ่งตามลูกไฟ จึงทำให้เกิดความตื่นตาตื่นใจต่อผู้พบเห็น ทั้งนี้เพราะมีลักษณะแตกต่างอย่างชัดเจนจากดอกไม้ไฟที่มีการผลิตหรือจำหน่ายในปัจจุบัน ดังนั้นการนำคุณสมบัติดังกล่าวมาเป็นตัวตั้งในการพัฒนาวัสดุที่สามารถทำให้เกิดลูกไฟที่คล้ายคลึงกัน โดยอาศัยภูมิปัญญาท้องถิ่นจึงเป็นเรื่องที่ควรกับการศึกษา และจะทำให้เกิดประโยชน์ในวงกว้างต่อไป

การวิจัยนี้จึงเป็นการประมวลความรู้ความเชี่ยวชาญทางด้านดอกไม้ไฟท้องถิ่น ดอกไม้ไฟสากลรวมทั้งพื้นฐานความรู้ทางเคมีและทางฟิสิกส์ ร่วมกับการได้ชมปรากฏการณ์บั้งไฟพญานาคมาแล้ว มาพัฒนาวัสดุที่สามารถทำให้เกิดลูกไฟคล้ายในลักษณะดังกล่าว โดยใช้การตั้งสมมติฐานและการวัดและประเมินผลทางสถิติ เพื่อให้ทราบส่วนประกอบ ลักษณะ กรรมวิธีผลิตตลอดจนเครื่องมือและอุปกรณ์ที่จำเป็น ที่ใช้ในกระบวนการผลิต รวมทั้งการจุดขึ้นสู่ท้องฟ้าโดยทำให้มองเห็นคล้ายกับการผุดจากท้องน้ำ หรือจากพื้นดิน

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อพัฒนาวัตถุที่สามารถสร้างลูกไฟซึ่งพุ่งขึ้นสู่อากาศด้วยความเร็ว เป็นเส้นตรงและดับกลางอากาศ โดยไม่มีวิถีโค้งหรือตกลงมาจากจุดที่ขึ้นไปสูงสุด
2. เพื่อสร้างลูกไฟที่ขึ้นสู่อากาศในลักษณะที่แตกต่างจากดอกไม้ไฟ พลุ่ ที่มีอยู่ในท้องตลาดในปัจจุบัน มีสีตามธรรมชาติ (ขาว-เหลือง-ชมพู) ไม่มีหางเป็นสะเก็ดไฟแบบดาวหางหรือดาวตก ไม่มีเสียงดังแบบจรวด บั้งไฟ หรือเสียงขับระเบิดแบบปืน และไม่เห็นควันไฟพุ่งตามลูกไฟ
3. เพื่อศึกษาวิธีการจุดลูกไฟขึ้นสู่อากาศ โดยสามารถมองเห็นเฉพาะลูกไฟลอยขึ้นจากจุดที่ไม่สามารถคาดหมายตำแหน่งและเวลาได้
4. เพื่อทดสอบความเห็นของผู้ที่เคยชมบั้งไฟพญานาค ต่อลูกไฟที่ประดิษฐ์ขึ้น และพัฒนารูปแบบสุดท้ายของวัสดุสร้างลูกไฟ เพื่อเผยแพร่ต่อไป

ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้รูปแบบและส่วนประกอบของวัตถุสร้างลูกไฟ ที่ยังไม่มีผู้รายงานว่าประดิษฐ์ได้มาก่อน
2. ได้องค์ความรู้ว่าลูกไฟที่คล้ายคลึงบั้งไฟพญานาคสามารถประดิษฐ์ได้โดยมนุษย์ โดยใช้วิธีการสร้างในลักษณะดอกไม้ไฟ และทราบวิธียิงขึ้น
3. ได้สิ่งประดิษฐ์ใหม่ที่นำไปจดทะเบียนสิทธิบัตรสิ่งประดิษฐ์ และสามารถดำเนินการผลิตในเชิงอุตสาหกรรมและพาณิชย์ เพื่อใช้ในงานประเพณีและวัฒนธรรมในท้องที่ต่างๆ
4. เพิ่มขอบเขตของข้อมูลข่าวสารทางเลือก เพื่อประกอบการลงความเห็นของคนทั้งประเทศ บนพื้นฐานความเป็นจริง และนำไปสู่การค้นหาสาเหตุของปรากฏการณ์ในลำน้ำโขงในวงแคบยิ่งขึ้น

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยมีขอบเขตเฉพาะการพัฒนาวัตถุที่ทำให้เกิดลูกไฟและวิธียิงขึ้น ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับลูกไฟที่เกิดในลำน้ำโขง (บั้งไฟพญานาค) โดยใช้การให้ความเห็นชอบของผู้ที่ได้ชมปรากฏการณ์มาแล้ว และอาศัยหลักการทำดอกไม้ไฟและบอกลไฟพื้นบ้านในการพัฒนา การทดลองทดสอบและวัดผล ทำเฉพาะในภาคเหนือโดยไม่ใช้การนำไปเปรียบเทียบกับของจริง สถานที่จริงและไม่นำไปสู่จุดสรุปภายใต้โครงการวิจัยนี้ว่าปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในลำน้ำโขงนั้นเป็นธรรมชาติหรือโดยฝีมือมนุษย์

สมมติฐานของการวิจัย

1. หากเป็นการสร้างโดยฝีมือมนุษย์ วัตถุที่ทำให้เกิดลูกไฟซึ่งเรียกเป็นขี้ไฟพญานาคเป็น ขี้ไฟ หรือดอกไม้ไฟ ที่ไม่มีผู้รู้จัก หรือคาดไม่ถึง ไม่อยู่ในสารบบของดอกไม้ไฟไทยหรือสากล มีลักษณะและรูปร่างแตกต่างจากของที่ทำ ใช้หรือจำหน่ายในท้องตลาดในปัจจุบัน โดยเป็นการค้นพบโดยบังเอิญ และถือเป็นความลับสุดยอด

2. วัตถุที่พุ่งขึ้นสู่ท้องฟ้าแบบมีความเร่ง และลอยตัว ควรเป็นการขึ้นในลักษณะหมุนรอบ แกนตั้ง และตัววัตถุจะมีขนาดกะทัดรัด คล้ายลูกปืน (bullet) ไม่มีปีก ไม่มีหาง ซึ่งน่าจะมีรูปร่าง ใกล้เคียงบอกลีวของภาคเหนือ และมีลักษณะคล้ายลูกอมของเด็ก (อมยิ้ม)

3. การพุ่งขึ้นสู่ท้องฟ้าของลูกไฟเกิดจากการขับของเชื้อเพลิงแข็ง ที่บรรจุอยู่ในตัววัตถุที่ทำให้เกิดลูกไฟ โดยเชื้อเพลิงแข็งนั้นจะติดไฟให้เปลวสีชมพูอ่อน มีควันน้อยจนมองไม่เห็น ไม่มีประกายหรือสะเก็ดไฟพุ่งตาม ซึ่งควรจะเป็นส่วนผสมของดินประสิว (KNO_3) กับถ่านไม้บางชนิด และอาจเพิ่ม $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ เพื่อให้ลูกไฟมีสีชมพูเข้มขึ้น

4. การมองไม่เห็นควันของลูกไฟ เกิดจากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์โดยใช้อัตราส่วนของสาร ออกซิไดซ์ (ดินประสิว) และสารรีดิวซ์ (ถ่านไม้) ตลอดจนชนิดของถ่านไม้ที่เหมาะสม และบดละเอียดเพียงพอ รวมทั้งความสว่างของลูกไฟต้องไม่มากพอที่จะส่องแสงให้เห็นควัน และต้องจุดในเวลากลางคืนเท่านั้น

5. การไม่ได้ยินเสียงการพุ่งขึ้นเกิดจากกรณีดังนี้

- ก. การหมุนของวัตถุอย่างรวดเร็ว และทิศทางการพุ่งออกของก๊าซจากการเผาไหม้ไม่อยู่ในแนวตั้ง ทำให้จุดกำเนิดของเสียงไม่อยู่ที่เดิมในแนวราบ และวัตถุมีการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง ทำให้เกิดเสียงที่แตกต่างกับขี้ไฟโดยทั่วไป
- ข. ตำแหน่งที่จุดอยู่ห่างจากผู้ดูมากพอที่ระดับความเข้มของเสียงมีค่าต่ำ จนไม่ได้ยินชัดเจน โดยระดับความเข้มของเสียงจะมากขึ้นเมื่ออยู่ใกล้จุดยิง
- ค. การลดการเสียดสีระหว่างก๊าซจากการเผาไหม้กับทางออกของก๊าซ ซึ่งเป็นส่วนเปลือกของวัสดุห่อหุ้มที่เป็นของแข็ง โดยการเพิ่มขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางทางออกของไฟ จนถึงระดับที่ทำให้เกิดเสียงการพุ่งขึ้นต่ำสุด ซึ่งการเพิ่มขนาดต้องไม่มีส่วนลดคุณสมบัติในการพุ่งขึ้นของลูกไฟ หรือใช้สูตรดินขับที่มีเสียงดังน้อยที่สุด
- ง. การมีเสียงแทรกซ้อนจากแหล่งอื่นที่มีระดับความเข้มของเสียงมากพอที่สามารถกลบเสียงการพุ่งขึ้น

บทที่ 2

การรื้อฟื้นความรู้ที่เกี่ยวข้อง

ลักษณะของบั้งไฟพญานาค

บั้งไฟพญานาคเป็นลูกไฟที่พุ่งขึ้นจากใต้แม่น้ำโขง พุ่งขึ้นเหนือน้ำขึ้นสู่อากาศและหายไป เกิดในช่วงเวลาหัวค่ำถึงสามทุ่ม พบจำนวนไม่แน่นอนตั้งแต่ 50-100 ลูก และพุ่งขึ้นสูงประมาณ 20-30 เมตร (มนัส กนกศิลป์, 2536) และมักเกิดในคืนวันออกพรรษา ลักษณะเป็นดวงไฟสีแดงเรื่อ ผุดลอยขึ้นบนฟ้าอย่างรวดเร็วเพียงเสี้ยววินาที (สุรินทร์ มุขศรี, 2538)

บั้งไฟพญานาคมีสีเดียวคือสีแดง มีจำนวนน้อยเท่านั้นเป็นสีอื่นเช่นเขียวหม่นสามารถเห็นเป็นสีแดงเรื่อเมื่อลอยสูงจากน้ำ 1-4 เมตร ขึ้นสู่ท้องฟ้าในลักษณะลอยตัวคล้ายฟองอากาศ ไม่มีเสียง ไม่มีลำแสงหรือควัน เมื่อขึ้นสูงสุดหรือเริ่มเฉแล้วจะดับหายไปโดยไม่มีการโถ่ตกลงมาให้เห็น การถ่ายภาพมักไม่ติดเพราะกล้องไม่ไวพอ (มนตรี บุญเสนอ, 2539)

การเกิดเปลวไฟและสีของไฟ

การเกิดสีของไฟเกิดจากการที่เกลือของธาตุบางชนิดถูกเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูง และทำให้เปลวไฟที่เกิดมีสีตามชนิดของธาตุดังเช่น สีแดงเกิดจากธาตุสตรอนเทียม (Sr) สีเขียวจากธาตุแบเรียม (Ba) สีเหลืองทองจากธาตุโซเดียม (Na) สีน้ำเงินจากธาตุทองแดง (Cu) หรืออาร์เซนิก (As) นอกจากนั้นยังมีธาตุบางชนิดที่สามารถทำให้เกิดสีได้เช่น แคลเซียมให้สีส้มอมชมพู แอนติโมนี (Sb) ให้สีขาวนวล โพแทสเซียม (K) สีม่วงอมชมพู นอกจากนั้นเปลวไฟที่เกิดจากการลุกไหม้ของสารที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบจะเป็นเปลวไฟสีเหลือง การเกิดสีของเปลวไฟจากการเผาเกลือของธาตุมักนิยมใช้โพแทสเซียมคลอเรต (KClO_3) เป็นสารหลักในการให้ออกซิเจน โดยโพแทสเซียมไนเตรท (KNO_3) หรือดินประสิวไม่สามารถช่วยให้เกิดความร้อนจนถึงจุดที่เกิดเปลวไฟสีได้ นอกจากนั้นเกลือของธาตุที่ให้เปลวไฟชัดเจนที่สุดเรียงตามลำดับคือเกลือ เปอร์คลอเรต (ClO_4^-) คลอเรต (ClO_3^-) และไนเตรท (NO_3^-) ส่วนเกลือจากกรดอื่นๆ เช่น ซัลเฟต (SO_4^{2-}) คลอไรด์ (Cl) คาร์บอเนต (CO_3^{2-}) จะมีประสิทธิภาพรองลงมา ส่วนออกไซด์ของธาตุจะมีคุณสมบัติการให้สีต่ำสุด (สมคิด พรหมมา, 2516)

การเกิดหางของเปลวไฟ

ตามปกติเปลวไฟเมื่อเกิดการเคลื่อนที่จะมีสะเก็ดไฟซึ่งเกิดจากละอองของสารที่มีขนาดเล็กซึ่งกำลังติดไฟหลุดออกมา ทำให้มองเห็นในลักษณะฝัฟุ้งได้ หรือดาวตก ซึ่งในกลุ่มของดอกไม้ไฟการเกิดหางมักพบในกรณีที่ใช้ดินประสิว (KNO_3) ถ่านหรือโลหะเช่นอะลูมิเนียม (Al) หรือ

แมกนีเซียม (Mg) เป็นส่วนผสมและใช้กำมะถัน (S) เป็นตัวช่วยการลุกไหม้ อย่างไรก็ตามในการทำดินปืนโดยใช้เพียงดินประสิว และไม่ผสมกำมะถันพบว่าเมื่อจุดจะเกิดเปลวไฟสีชมพูและไม่มีหางเมื่อมีการเคลื่อนที่ ในขณะที่การเพิ่มกำมะถันจะทำให้เกิดเปลวไฟสีขาวอมเหลืองและเกิดหางของเปลวไฟเมื่อเกิดการเคลื่อนที่ แต่มีข้อดีคือได้ดินปืนที่มีความเร็วและความแรงเพิ่มขึ้น (สมคิด พรหมมา, 2516)

เปลวไฟที่ไม่มีควัน

โดยทั่วไปการลุกไหม้ของก๊าซ LPG อะเซทิลีน หรือน้ำมัน ต้องมีการปรับสัดส่วนของอากาศเพื่อให้มีออกซิเจนเพียงพอ เพื่อให้เกิดการสันดาปที่สมบูรณ์ จะให้ความร้อนสูงและไม่มีควัน ในส่วนของของแข็งสารที่มีองค์ประกอบของกลุ่มไนโตร ($-NO_2$) อยู่ในตัวเช่น nitrocellulose จะติดไฟได้เปลวไฟสีเหลืองและไม่มีควัน ตลอดจนไม่มีเถ้าเหลืออยู่ จึงนิยมใช้ nitrocellulose เป็นดินขับของกระสุนปืนทุกชนิดเพราะแม้จะถูกติดไฟช้าๆ ในที่โล่งแต่ถ้าอยู่ในที่จำกัดจะติดไฟอย่างรวดเร็วและรุนแรงมาก นอกจากนั้นสารจำพวกที่มีกลุ่ม amide ($-NH_2$) เป็นองค์ประกอบบางชนิด เช่น urotropine สามารถติดไฟโดยไม่มีควันและเถ้าเช่นกัน จึงนิยมใช้บรรจุในถ้วยเพื่อจุดอุ่นอาหาร หรือใช้ทำสารตั้งต้นของดินระเบิดแรงสูงเช่น RDX (Hard and Schuetz, 1959)

การพุ่งขึ้นสู่ท้องฟ้า

การพุ่งขึ้นสู่ท้องฟ้าเกิดจากการที่มีแรงขับต่อวัตถุที่มีค่ามากกว่าน้ำหนักของวัตถุนั้นและอยู่ในทิศทางตรงข้ามกับแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งจะทำให้วัตถุทะยานขึ้นจากพื้น โดยมีความเร็วมากขึ้นตามขนาดของแรงขับโดยสมคิด พรหมมา (2516) ได้แยกเป็นประเภทคือ

1. วัตถุขึ้นเป็นทิศทางตรงมีหางหรือครีบหางบังคับทิศทาง โดยแรงขับนั้นมีค่าคงที่หรือมีอัตราเพิ่มขึ้นแต่วัตถุมิมีมวลลดลงเรื่อยๆ วัตถุมักมีลักษณะทรงกระบอกและขับก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ลงสู่พื้น และจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่ง ซึ่งหลักการดังกล่าวถูกนำมาใช้ในการสร้างจรวด บั้งไฟหรือบอไฟขึ้น บอไฟหางของภาคเหนือ ข้อดีของการขับเคลื่อนในระบบนี้คือสามารถเพิ่มน้ำหนักของวัตถุได้มากตามต้องการ และเป็นวิธีการหลักในการยิงวัตถุที่มีน้ำหนักมากออกพ้นวงโคจรของโลก หรือใช้เป็นขีปนาวุธ โดยสามารถใช้ได้ทั้งเชื้อเพลิงเหลวและเชื้อเพลิงแข็ง สำหรับเชื้อเพลิงแข็งภายในช่องบรรจุเชื้อเพลิงสามารถทำเป็นท่อกลวงเพื่อเพิ่มพื้นที่การเผาไหม้และเพิ่มแรงขับ

2. วัตถุขึ้นเป็นทิศทางตรงแต่ใช้การหมุนรอบแกนและใช้ปีกบังคับ โดยแรงขับมีค่าคงที่และวัตถุมิมีน้ำหนักลดลงเรื่อยๆ การขับก๊าซจากการเผาไหม้ทำให้เกิดการหมุนและขึ้นสู่ท้องฟ้าในเวลาเดียวกัน วัตถุในลักษณะนี้ต้องอาศัยแกนเป็นจุดหมุนและปีกในท่อบังคับทิศทาง ซึ่งมีความจำเป็นเฉพาะในระยะขับเคลื่อนจากพื้น หรืออาจต้องเหวี่ยงให้หมุนก่อนในกรณีที่ไม่มีการหมุน วัตถุลักษณะนี้จะมีขนาดกะทัดรัด น้ำหนักน้อย และขึ้นสู่ท้องฟ้าในทิศทางค่อนข้างตรงเนื่องจากการ

หมุน ตลอดจนไม่มีเสียงดังมากนัก การเพิ่มรอบของการหมุนจะเปลี่ยนเสียงในการพุ่งขึ้นแตกต่างจากบั้งไฟทั่วไป หลักการนี้ใช้ในการทำตะไล ซึ่งทำจากกระบอกไม้ไผ่หรือท่อพีวีซี และมีทางออกของก๊าซอยู่ด้านข้างในตำแหน่งที่ห่างจากแกนหมุนในระยะพอเหมาะซึ่งทำให้วัตถุขึ้นสู่ท้องฟ้าแบบมีความเร่งกึ่งๆการลอยตัว

3. วัตถุถูกขับเคลื่อนโดยใช้ดินขับและท่อยิง ซึ่งเป็นวิธีการเดียวกับลูกปืนและพลุโดยวิธีการดังกล่าวนี้ดินขับจะระเบิดครั้งเดียวตอนเริ่มยิง และเกิดก๊าซปริมาณมากและรวดเร็วเพื่อขับเคลื่อนวัตถุออกไป โดยใช้ท่อยิงในการจำกัดปริมาตรทำให้ต้องมีการขับออก วัตถุจะขึ้นไปได้สูงและมีความเร็วมากตามปริมาณของดินขับ การขึ้นของวัตถุจะมีความเร็วลดลงเรื่อยๆ และเมื่อถึงจุดสูงสุดแล้วมักมีการตกลงมา ส่วนใหญ่ของการขึ้นในลักษณะนี้มักเป็นเส้นโค้ง และมีเสียงดังระเบิดตอนขับเคลื่อน ในการทำดอกไม้ไฟสากลส่วนใหญ่ใช้หลักการนี้เช่นพลุ เทียนโรมัน และในทางทหารใช้กับพลุส่องสว่าง กระสุนนำวิถี โดยวัตถุจะมีตัวติดไฟด้วยเพื่อให้สามารถมองเห็นได้ชัดเจน การขับเคลื่อนในลักษณะนี้จะถูกกำหนดทิศทางโดยลำกล้องยิง และในลักษณะที่ต้องการให้พุ่งเป็นเส้นตรงจริงๆ จะใช้การหมุนของวัตถุเข้าช่วย โดยบีบวัตถุให้ผ่านลำกล้องที่มีลักษณะเป็นเกลียวซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้ทำลำกล้องปืนทั้งหลายในปัจจุบัน

ลักษณะของดินขับ ส่วนผสม และการบรรจุ

ดินขับหรือเชื้อเพลิงขับ (propellant) ที่นิยมใช้ในปัจจุบันแบ่งเป็นสองชนิดคือเชื้อเพลิงเหลว (liquid propellant) และเชื้อเพลิงแข็ง (solid propellant) โดยเชื้อเพลิงเหลวมักใช้กับการบรรจุทุกน้ำหนักมากและมักใช้กับจรวดที่มีขนาดใหญ่ โดยมักใช้เชื้อเพลิงที่ถูกติดไฟได้ดี และเกิดก๊าซปริมาณมากเช่น Kerosene ไฮโดรเจนเหลว แอลกอฮอล์ และอื่นๆมาผสมกับออกซิเจนเหลว ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และอื่นๆ และจุดให้สันดาปต่อเนื่องในห้องสันดาป ซึ่งจะเกิดก๊าซและความร้อนพุ่งออกมาก่อให้เกิดแรงอย่างมหาศาล ส่วนเชื้อเพลิงแข็งนั้นอาจใช้ส่วนผสมของโพแทสเซียมเปอร์คลอเรต ผงถ่าน และถั่ว หรือใช้ แอมโมเนียมเปอร์คลอเรต ผงอลูมิเนียม เหล็กออกไซด์ อีพอกซี และเรซิน หรืออาจใช้โพแทสเซียมเปอร์คลอเรตและยางเอสฟิลท์ ซึ่งใช้วิธีผสมให้เป็นของเหลวและหล่อในพิมพ์ซึ่งเป็นส่วนเปลือกของจรวด หรืออาจใช้พิมพ์แยกและนำมาบรรจุในส่วนเปลือกของจรวดทีหลัง

สำหรับเชื้อเพลิงแข็งที่ใช้กับบั้งไฟ บั้งไฟ บอกลไฟหาง ตะไลและอื่นๆซึ่งเป็นของท้องถิ่นในประเทศไทยนั้น นิยมใช้ดินประสิว(KNO_3) และถ่านไม้ มาผสมกันและบดให้ละเอียด โดยถ้าต้องการความแรงมากขึ้นในลักษณะดินขับพลุหรือดินปืน หรือต้องการให้มองเห็นประกายไฟมักผสมกำมะถันเข้าไปด้วย การบรรจุนิยมใช้การตอกหรืออัดด้วยแม่แรงลงในท่อทรงกระบอกซึ่งทำด้วยไม้ไผ่ พีวีซี หรือเหล็กบาง ปลายด้านหนึ่งปิด ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งปิดด้วยวัสดุที่กระด้างไม่ไหม้ไฟเช่นซีเมนต์ ขี้เถ้าไม้หรือดินเหนียว และคว้านรูตรงกลางท่อให้มีความยาวใกล้เคียงกับความ

ยาวเชื้อเพลิง หรือตามชนิดของบ็อกไฟโดยทำหลังจากขั้นตอนการบรรจุแล้ว สำหรับถ่านไม้นั้นได้มาจากไม้เนื้ออ่อนในระยะที่ยังไม่มีแก่น นำมาตากจนแห้งแล้วจึงเผา โดยสามารถใช้ไม้มะม่วง งามจรี ไมยราพยักษ์ พุทรา เพกา และอื่นๆ โดยไม้แต่ละชนิดจะทำให้เกิดควัน เปลวไฟ และประกายไฟของเชื้อเพลิงแข็งไม่เหมือนกัน (สมคิด พรหมมา, 2516)

ในส่วนของดินจับป็นั้นทำด้วยเซลลูโลสในเตรท ซึ่งเตรียมจากสำลีหรือเยื่อไม้ ทำปฏิกิริยากับกรดไนตริกและกรดซัลฟูริก และมักทำเป็นเกล็ดหรือเม็ดเล็กๆตามขนาดของลูกป็น การบรรจุมักใส่ด้านล่างสุดของปลอกลูกป็นด้านติดชนวน ในส่วนของพลุมักใช้ส่วนผสมของดิน ประสิว ถ่าน และกำมะถัน ที่บดละเอียดและทำเป็นเม็ดเล็กๆ โดยบรรจุด้านล่างของวัตถุที่ต้องการยิงและใส่ลงไปในถ้ำล้อยิง แล้วจุดชนวนจากด้านบนของถ้ำล้อยิงหรือจากด้านล่าง

ภูมิปัญญาท้องถิ่นล้านนาในการทำบ็อกไฟที่ขึ้นโดยการหมุน

การทำบ็อกไฟหมุนเป็นภูมิปัญญาท้องถิ่นล้านนา ที่ถ่ายทอดกันต่อเนื่องมาตั้งแต่บรรพบุรุษ บ็อกไฟหมุนนิยมใช้จุดในงานพิธีประชมเพลิงพระเถระชั้นผู้ใหญ่ ซึ่งสมคิด พรหมมา (ข้อมูลส่วนตัว) อ้างถึงงานประชมเพลิงพระครูจักรวุฒิสาร เจ้าอาวาสวัดพ่อนสร้อย จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อปี 2505 กล่าวถึงบ็อกไฟหมุนที่พบในพิธีว่ามี 2 ชนิด ได้แก่ บ็อกไฟจ๊กจ่า และบ็อกไฟว่อ บ็อกไฟทั้งสองชนิดกระบอกทำด้วยไม้ไผ่ ภายในบรรจุดินจับซึ่งเป็นส่วนผสมของดินประสิวและถ่านที่บดละเอียดอัตราส่วน 10:3-10:4 โดยน้ำหนัก และตอกในกระบอกไม้ไผ่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1-2 นิ้วซึ่งใช้เป็นแท่นบรรจุ ในปัจจุบัน บ็อกไฟจ๊กจ่ายังมีปรากฏอยู่ทั่วไปซึ่งนิยมเรียกว่าตะไล แต่บ็อกไฟว่อนั้นหายไปจากการใช้ในงานพิธีท้องถิ่น และไม่มีจำหน่ายในท้องตลาดมากกว่า 30 ปี ลักษณะของบ็อกไฟว่อนั้นคือใช้กระบอกไม้ไผ่เป็นท่อนยาวประมาณ 2 นิ้วเป็นเปลือกบรรจุและปิดด้วยส่วนผสมของเถ้าและกาวด้านหัวท้ายและเจาะทางไฟออกในแนวเฉียง โดยไม่ใช้ปีกและหางเป็นตัวบังคับทิศทาง แต่ใช้การปักหลักตรงจุดศูนย์กลางกระบอกในแนวตั้ง และใช้เสียบในหลอดกำหนดทิศทางเมื่อจุด บ็อกไฟว่อจึงมีขนาดกระทัดรัดและพุ่งขึ้นอย่างรวดเร็วและมักมีเสียงหวือจากการหมุน จากการที่บ็อกไฟว่อใช้จุดในเวลากลางวัน จึงทำให้คนในยุคนั้นมองไม่เห็นแสงและดวงไฟว่ามีลักษณะอย่างไร

บทที่ 3

ผลการวิจัย

การวิจัยแบ่งเป็นการทดลองย่อย 7 หัวข้อ ดำเนินการที่ศูนย์วิจัยและบำรุงพันธุ์สัตว์ เชียงใหม่ อำเภอสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ ระหว่างเดือน กุมภาพันธ์ – ตุลาคม 2546 โดยใช้วิธีการวิจัยและพัฒนาเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ และใช้วิธีให้คะแนนโดยกรรมการที่ผ่านการคัดเลือกว่ามีมาตรฐานเดียวกันจำนวน 3-5 คน หัวข้อของการให้คะแนนกำหนดขึ้นมาเพื่อให้สามารถทดสอบสมมติฐานของการทดลองนั้นๆ

การทดลองที่ 1 การพัฒนาวัสดุสร้างลูกไฟที่มีคุณสมบัติพึงประสงค์

การทดลองเป็นการพิสูจน์สมมติฐานการวิจัยที่ 1 โดยศึกษาจากรูปแบบดอกไม้ไฟที่มีลักษณะแตกต่างจากที่มีจำหน่ายในท้องตลาดในปัจจุบัน และสมมติฐานที่ 2 ซึ่งศึกษาจากรูปแบบของวัสดุคล้ายอมยิ้ม

ทำการเปรียบเทียบวัสดุสร้างลูกไฟ 3 แบบ (treatment) ที่แตกต่างจากรูปแบบที่ใช้กันตามปกติ ซึ่งเป็นตัวแปรต้น (independent variable) คือ

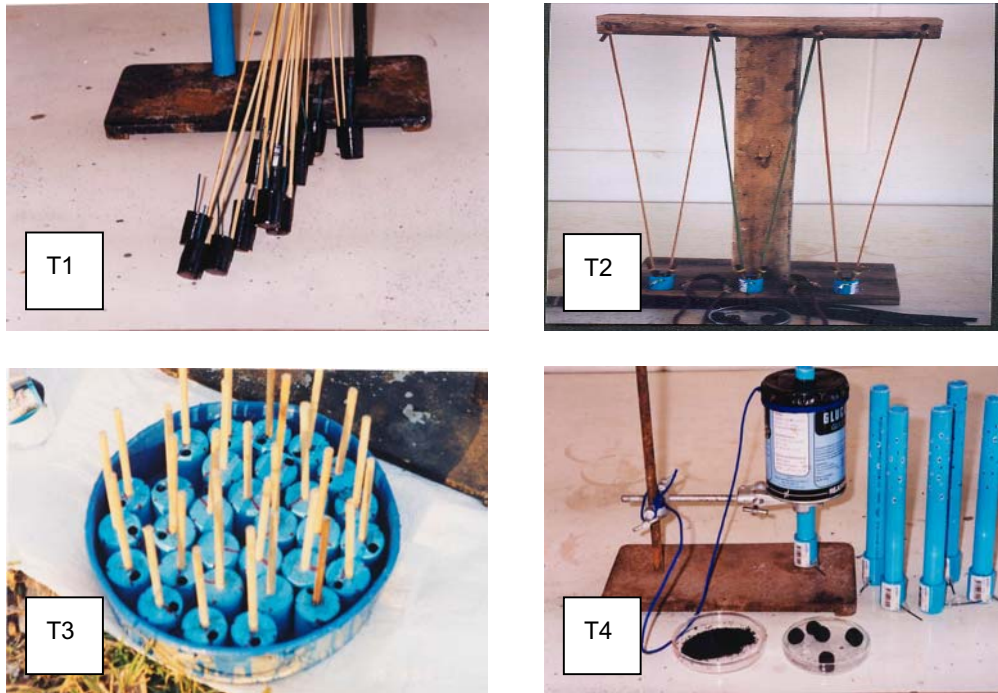
ก. แบบบ้องไฟลูกหนูแต่ใช้ดินขับพิเศษที่ลูกโซรมีสีชมพู และไม่มีส่วนบังคับทางออกที่กระด้างเพื่อลดเสียง ดินขับเป็นส่วนประกอบของ KClO_3 , $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$, S และ C อัตราส่วน 10:2:2:1 โดย น้ำหนัก ใช้แชลแลกเป็นตัวยึดเกาะ และอัดในหัวจุกขวดพลาสติก เจาะรูตรงกลาง โดยไม่ใช้วัสดุทนไฟปิดทางออก การจุดใช้เสียบในช่องบังคับทิศทาง (T1)

ข. แบบลูกดาวติดไฟเปลวสีชมพู และจุดขึ้นโดยใช้หลักการยิงแบบหงส์ตึก โดยลูกดาวมีลักษณะเป็นเม็ดกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 ซม. และบรรจุเม็ดเหล็กทรงกลมไว้ภายในเพื่อเพิ่มน้ำหนัก การทำเม็ดใช้วิธีอัดโดยใช้แชลแลกเป็นตัวยึดเกาะ โดยใช้ส่วนประกอบของ KClO_3 , $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$, S และ C อัตราส่วน 10:10:5:1 โดย น้ำหนัก เม็ดดาวจะถูกบรรจุในอุปกรณ์คล้ายหงส์ตึกที่ยัดไว้เต็มที่ และใช้ชนวนเป็นตัวปล่อยหงส์ตึกและจุดลูกไฟในเวลาเดียวกัน (T2)

ค. แบบลูกอมยิ้มเปลือกทำด้วยหัวปิดท่อ PVC ขนาด ½ นิ้ว และบรรจุดินขับซึ่งเป็นผสมของดินประสิวและถ่านไม้กระถินที่บดละเอียดในอัตราส่วน 10:3 โดยน้ำหนัก ใช้วิธีอัดด้วยแม่แรงไฮดรอลิกขนาด 1.5 ตัน และอัดปิดด้านท้ายด้วยดินเหนียว แกนหมุนทำด้วยไม้ไผ่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.3 ซม. ยาว 6-7 ซม. โดยปักตรงจุดศูนย์กลางด้านปิดของท่อ PVC ในแนวตั้งฉากกับด้านปิดของท่อ (ด้าน E) ทางไฟออกเจาะทำมุม 60° กับด้าน E และลึก 0.6 เท่าของความยาวท่อ การจุดจะใช้ปักในท่อขนาดเล็กซึ่งยึดแน่นกับพื้น (T3)

ง. แบบยิงลูกดาวจากลำกล้องและใช้ดินขับคล้ายพลุ โดยใช้ลูกดาวที่เตรียมตามวิธีดังกล่าว ข. และยิงโดยใช้ท่อ PVC ขนาด ½ นิ้ว ยาว 8 นิ้ว ที่ปิดตันด้านหนึ่ง การยิงใช้ดินขับชนิดที่ใช้กับปืนบรรจูด้านล่างสุด และทับด้วยลูกดาว และอัดแน่นด้วยกระดาษ และเสียบท่อยิงในกระป๋องเก็บเสียงเพื่อลดเสียงการยิงขึ้น การจุดจะใช้ชนวนที่เสียบด้านล่างท่อ (T4)

รูปแบบของวัตถุสร้างลูกไฟแบบต่างๆแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ลักษณะวัตถุสร้างลูกไฟแบบต่างๆ

แต่ละกลุ่มมี 15 ซ้ำ รวม 60 ลูก ใช้แผนการทดลองแบบ completely random design (CRD) และทำการวัดตัวแปรตาม (dependent variable) จากลูกไฟโดยคิดเป็นคะแนนรวม 100 คะแนน ดังมีรายละเอียดคือ

- การขึ้นเป็นเส้นตรง คะแนนเต็ม 15
- การไม่มีหางหรือสะเก็ดไฟ คะแนนเต็ม 10
- การที่ลูกไฟไม่ตกโถงลงมา คะแนนเต็ม 15
- การขึ้นแบบลอยตัว คะแนนเต็ม 15
- การขึ้นแบบมีความเร่ง คะแนนเต็ม 20
- การมองไม่เห็นควัน คะแนนเต็ม 5
- การไม่มีเสียงการพุ่งขึ้น คะแนนเต็ม 5
- การมีขนาดลูกไฟใหญ่ คะแนนเต็ม 5
- การเห็นลูกไฟเป็นสีแดง คะแนนเต็ม 10

ทำการจุดวัตถุทั้งหมดขึ้นสู่ท้องฟ้าที่ละลูกและเรียงตามลำดับซ้ำของ treatment แล้วให้คะแนนโดยกรรมการ 5 คน ซึ่งอยู่ห่างจากตำแหน่งที่จุด 100 เมตร

ทำการวิเคราะห์หว่าเรียนซ์ และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยแบบ Scheffe's multiple contrast (SMC) เพื่อคัดเลือกวิธีที่ดีที่สุดเพียง 1 วิธี

ผลการทดลอง

จากการจุดวัตถุทั้ง 4 แบบและให้คะแนนโดยกรรมการทั้ง 5 คน แล้วนำคะแนนของกรรมการทุกคนมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อใช้เป็นตัวแปรตามสำหรับวัดคุณสมบัติวัตถุสร้างลูกไฟแบบต่างๆ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยคะแนนการจุดวัตถุสร้างลูกไฟแบบต่างๆ (N=15)

รายการ	แบบลูกหนู ติดหาง	แบบยิงจาก หนังสือตึก	แบบลูกอม ยืม ท่อพีวีซี	แบบยิง คล้ายพลู
ขึ้นเป็นเส้นตรง	9.1 ^a	9.9 ^a	13.6 ^b	13.0 ^b
ไม่มีหางหรือสะเก็ดไฟ	5.7 ^a	8.3 ^b	9.3 ^c	8.8 ^{bc}
ลูกไฟไม่ตกโถงลงมา	9.5 ^b	4.7 ^a	14.2 ^c	10.5 ^b
ขึ้นแบบลอยตัว	9.4 ^a	10.1 ^b	12.6 ^d	11.8 ^c
ขึ้นแบบมีความเร่ง	12.0 ^b	10.2 ^a	18.6 ^d	14.7 ^c
มองไม่เห็นควัน	3.5 ^c	2.0 ^a	4.2 ^d	2.9 ^b
มีเสียงค่อย	3.1 ^c	4.8 ^d	2.5 ^b	1.7 ^a
ขนาดลูกไฟใหญ่	3.7 ^b	4.6 ^c	2.7 ^a	4.6 ^c
เห็นลูกไฟเป็นสีแดงส้ม	7.5 ^b	7.3 ^a	9.1 ^c	7.4 ^{ab}
คะแนนรวม	63.6 ^a	62.0 ^a	86.9 ^c	75.3 ^b

ค่าเฉลี่ยในบรรทัดเดียวกันที่มีอักษรยกกำลังต่างกันคือแตกต่างแบบมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากผลการทดลองพบว่าลูกไฟที่เกิดจากวัตถุที่ทำในลักษณะลูกอมยืม และบรรจุท่อพีวีซี เมื่อจุดขึ้นสู่ท้องฟ้าแล้ว จะขึ้นเป็นเส้นตรง ไม่มีหางหรือสะเก็ดไฟ และไม่โถงตกลงมา โดยได้คะแนนสูงแตกต่างจากวัตถุอีก 3 แบบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนั้นยังได้คะแนนการขึ้นแบบลอยตัวคล้ายฟองอากาศ และคะแนนความเร่ง มากกว่ากลุ่มอื่นอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน ในส่วนขององค์ประกอบอื่นๆที่สำคัญคือ การมองไม่เห็นควันจากการเผาไหม้ การเกิดประกายไฟที่มี

สีแดงส้ม ซึ่งเป็นคุณสมบัติสำคัญนั้น เปลวไฟจากวัตถุลักษณะลูกอมยิ้มก็ได้คะแนนสูงกว่ารูปแบบอื่นเช่นกัน ดังนั้นเมื่อคิดเป็นคะแนนรวมแล้วลูกไฟจากวัตถุคล้ายอมยิ้มจึงได้คะแนนสูงกว่าแบบอื่นอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามในส่วนของการคะแนนเสียงของการพุ่งขึ้นนั้นลูกไฟที่เกิดจากการยิงจากหนังสือก็ได้คะแนนสูงสุดเนื่องจากเป็นแรงกลซึ่งไม่มีเสียง แต่ลูกไฟจะขึ้นไม่สูงและโค้งตกลงมาเมื่อลอยไปถึงจุดสูงสุด สำหรับลูกไฟจากการยิงลูกดาวคล้ายพลุนั้นเกิดเสียงดังมากกว่าแบบอื่น และมีเสียงในลักษณะการระเบิดคล้ายปืน แม้จะใช้วิธีเก็บเสียงแล้วก็ตาม สำหรับวิธีสร้างลูกไฟโดยทำแบบลูกหนูนั้นจำเป็นต้องใช้ถ่านและกำมะถันเป็นส่วนผสม เพื่อให้เกิดแรงขับที่เพียงพอต่อการดันวัตถุพุ่งขึ้น ทำให้เกิดผลข้างเคียงคือเกิดประกายไฟและหางมากกว่าวิธีอื่นอย่างชัดเจนทำให้ได้คะแนนในส่วนนี้ต่ำสุด

จากผลการทดลองเป็นข้อพิสูจน์สมมติฐานที่ 1 และ 2 และ 4 ทำให้ทราบว่าลูกไฟที่มีคุณสมบัติคล้ายขี้ไฟพญานาคมากที่สุดเกิดจากการจุดวัตถุที่มีลักษณะคล้ายลูกอมยิ้มทรงกระบอก ใช้ท่อพีวีซีเป็นภาชนะบรรจุ ใช้แกนที่ปักตรงกลางเป็นจุดหมุน และพุ่งขึ้นสู่ท้องฟ้าโดยการขับของดินที่มีส่วนผสมของดินประสิวและถ่านในอัตราส่วน 10:3 โดยน้ำหนัก การทรงตัวของวัตถุเกิดจากการหมุนรอบตัวโดยทิศทางของแรงขับทำมุม 60° กับแนวราบซึ่งทำให้เกิดการขับเคลื่อนในเวลาเดียวกัน

การทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงแข็งและส่วนประกอบที่เหมาะสม

จากการที่เชื้อเพลิงดินขับที่ใช้กับวัตถุลักษณะลูกอมยิ้มจากการทดลองที่ 1 คือดินประสิวและถ่านไม้กระถิน สามารถทำให้เกิดลูกไฟที่มีลักษณะพึงประสงค์ได้ดี การทดลองเพื่อหาส่วนประกอบ ชนิดของวัตถุดิบ วิธีเตรียม และการเพิ่มสารเสริม จะทำให้ได้กรรมวิธีเตรียมดินขับที่มีประสิทธิภาพ

2.1 ส่วนประกอบดินขับที่เหมาะสม

การทดลองมุ่งศึกษาปัจจัยสำคัญ 3 อย่างคือ ปัจจัยที่ 1 (ผสมกำมะถัน) มี 2 ระดับ ปัจจัยที่ 2 (ผสมสตรอนเทียมไนเตรท $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$) มี 2 ระดับ ดังส่วนผสมโดยน้ำหนักคือ

	ดินประสิว	ถ่านไม้	กำมะถัน	$\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$
สูตร 1	1000	300	0	0
สูตร 2	1000	300	2.0	0
สูตร 3	1000	300	2.0	100
สูตร 4	1000	300	0	100

สำหรับปัจจัยที่ 3 (การเตรียมดินประสิว) มี 2 ระดับโดยพิจารณาการเคี้ยวและไม่เคี้ยวดินประสิว โดยใช้ดินประสิบบางชนิดที่ใช้เป็นปุ๋ยพืชสูตร 13-0-46 ตรา Kemira ผลิตภัณฑ์จากประเทศเคนมาร์ค ในการเตรียมทุกสูตร

ทำการบดส่วนผสมให้ละเอียดและตากให้แห้ง แล้วบรรจุลงในท่อหัวปิดพีวีซีโดยอาศัยวิธีการเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 โดยทำช่องทางออกของไฟทำมุม 60 องศากับพื้นผิวด้านปิดของท่อ และลึกเท่ากับความยาวเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อ ($\varnothing$) โดยมีทิศทางตามเส้นเชื่อมระหว่างจุดสัมผัสของเส้นแบ่งควอเตอร์กับผิวด้านในของท่อบรรจุ รูไฟออกมีขนาดเท่ากับ $1/3 \varnothing$ และจุดขึ้นสู่ท้องฟ้าโดยวิธีเดียวกับการทดลองที่ 1 และให้คะแนนโดยกรรมการ เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

ใช้แผนการทดลองแบบ $2 \times 2 \times 2$ factorial in CRD มีจำนวนซ้ำ 4 ซ้ำ รวมจำนวนทั้งหมด 32 ชุด ทำการวิเคราะห์หว่าเรียนซ์ หาปฏิสัมพันธ์ (interaction) ระหว่างปัจจัยและเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยแบบ Least Significant Difference (LSD) เพื่อคัดเลือกวิธีที่ดีที่สุดจากสูตรที่ 1-4 โดยเลือก/ไม่เลือกก่อนผสม เพื่อหาสูตรเชื้อเพลิงแข็งและวิธีเตรียมที่ดีที่สุดเพียง 1 แบบ

ผลการทดลอง

การทดลองทำวัสดุสร้างลูกไฟเพื่อศึกษาดินขับที่มีส่วนประกอบและวิธีการเตรียมต่างกัน เน้นการพิจารณาลักษณะพึงประสงค์สำคัญคือ ขนาดลูกไฟใหญ่ ความสูงของการพุ่งขึ้น การมีสีแดงส้ม ขึ้นแบบมีความเร่ง และไม่มีหางหรือสะเก็ดไฟ ซึ่งเป็นคุณสมบัติสำคัญแบบั้งไฟพญานาค และกรรมการมีความเห็นร่วมกันให้ตัดการให้คะแนนคว้นออกเพราะเมื่อจุดวัตถุชนิดนี้ในที่มืดในการทดลองที่ 1 จะมองไม่เห็นคว้น คะแนนลักษณะจะถ่วงน้ำหนักให้เท่ากันคือ 20 คะแนน ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 2 จะเห็นว่าคะแนนขนาดของลูกไฟที่ใช้ดินขับผสมกำมะถันและใช้ดินประสิวที่เกี่ยวข้องจะต่ำกว่าแบบอื่น ซึ่งหมายความว่าทำให้ลูกไฟมีขนาดเล็กลง และทุกปัจจัยที่ศึกษามีผลต่อการพุ่งขึ้นสูงของลูกไฟใกล้เคียงกัน การใส่สตรอนเทียมร่วมกับใช้ดินประสิวโดยไม่เกี่ยวข้อง ทำให้ลูกไฟมีสีแดงชัดกว่าแบบอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้เพราะสตรอนเทียมเมื่อเผาจะเกิดเปลวไฟสีแดงจึงใช้ทำดอกไม้ไฟที่มีเปลวไฟสีแดง (สมคิด พรหมมา, 2516) นอกจากนั้นยังพบว่าการเคี่ยวดินประสิวกทำให้ลูกไฟมีความเร่งน้อยลง อีกทั้งยังทำให้เกิดสะเก็ดไฟหรือหางมากขึ้น

การผสมกำมะถันเข้าไปในดินขับในอัตราเพียง 2 กรัมต่อดินประสิวก 1,000 กรัมส่งผลให้เกิดหางหรือประกายไฟแตกต่างจากการไม่ใส่อย่างมีนัยสำคัญ ตามปรกติดินขับที่ใช้ทำดอกไม้ไฟหรือพลุมักผสมกำมะถัน 100-200 กรัมต่อดินประสิวก 1,000 กรัมเพื่อเพิ่มความเร่ง แต่มักทำให้เกิดประกายไฟหรือสะเก็ดไฟชัดเจน (สมคิด พรหมมา, 2516) ดังนั้น การใส่กำมะถันจึงไม่มีความจำเป็นสำหรับใช้ทำดินขับของวัสดุสร้างลูกไฟ เมื่อคิดเป็นคะแนนรวมพบว่าลูกไฟที่มาจากสูตรดินขับที่ผสมกำมะถันหรือเคี่ยวดินประสิวกได้คะแนนต่ำกว่าการไม่ใส่กำมะถันหรือไม่เกี่ยวข้อง อนึ่งการเคี่ยวดินประสิวกทำให้เสียเวลามากขึ้นและมีความยุ่งยากมากขึ้น ในการวิเคราะห์ผลทางสถิติยังพบว่ามีลักษณะที่วัดบางประการ เช่น การพุ่งขึ้นสูง การมีสีแดงส้ม ความเร่งและการเกิดประกายไฟเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างการใส่/ไม่ใส่ กำมะถัน สตรอนเทียม และการเคี่ยว แสดงถึงผลของปัจจัยแต่

ละอย่างอาจเกิดในบางกรรมวิธี แต่อาจไม่เกิดในอีกกรรมวิธี ดังนั้นการศึกษาในรายละเอียดขององค์ประกอบจึงมีความจำเป็น

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยคะแนนการจตุสรางลูกไฟแบบลูกอมยืมที่ใช้ดินขับแบบต่างๆ (N=4)

รายการ/ปัจจัยหลัก	ผสมกำมะถัน		ผสมสตรอนเทียม		เคียวดินประสิว		Sig.ปฏิสัมพันธ์
	ไม่ผสม	ผสม	ไม่ผสม	ผสม	ไม่เคียว	เคียว	
ขนาดลูกไฟใหญ่	15.3 ^b	14.7 ^a	14.9	15.0	15.4 ^b	14.6 ^a	0.98
ความสูงของการพุ่งขึ้น	15.9	15.7	15.9	15.6	16.4	15.2	0.01
การมีสีแดงส้ม	14.7	14.6	14.4 ^a	14.9 ^b	14.9 ^b	14.4 ^a	0.002
ขึ้นแบบมีความเร่ง	16.2	16.1	16.3	16.1	16.6 ^b	15.7 ^a	0.008
ไม่มีหางหรือสะเก็ดไฟ	16.9 ^b	13.1 ^a	14.9	15.1	16.5 ^b	13.5 ^a	0.025
คะแนนรวม	79.4 ^b	72.9 ^a	75.2	77.1	79.0 ^b	73.3 ^a	0.267

ในบรรทัดเดียวกัน ค่าเฉลี่ยภายใต้ปัจจัยหลักเดียวกันที่มีอักษรยกกำลังต่างกันคือแตกต่างแบบมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ผลการทดลองเป็นข้อพิสูจน์สมมติฐานที่ 3 และ 4 ทำให้ทราบว่าดินขับของวัตถุสร้างลูกไฟลักษณะคล้ายอมยืมเป็นส่วนผสมของดินประสิว ถ่านไม้กระถิน สตรอนเทียมไนเตรท อัตราส่วน 1,000: 300:100 ที่บดให้ละเอียด โดยไม่จำเป็นต้องผสมกำมะถัน และยังสามารถเตรียมจากดินประสิวชนิดผงโดยไม่ต้องเคียวก่อน

2.2 สภาพของดินขับที่เหมาะสมกับการใช้สารเพิ่มคุณสมบัติ

จากการทดลองที่ 2.1 ที่พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยหลัก คือการใส่กำมะถัน หรือ การใส่สตรอนเทียมไนเตรท ร่วมกับข้อสังเกตในการทดลองที่ 2.1 ซึ่งพบว่าการเคียวดินประสิวทำให้น้ำบางส่วนหลงเหลือ ส่งผลให้ดินขับที่ได้มีความชื้นมากกว่าสูตรอื่นและเกิดผลดี จึงนำปัจจัยดังกล่าวมาศึกษาในรายละเอียด และให้คะแนนลักษณะสำคัญเพิ่มเติมคือ การมีเสียงค่อย และการขึ้นแบบลอยตัว อย่างละ 20 คะแนน รวมคะแนนเต็ม 140 คะแนน เพื่อให้สามารถแยกแยะได้แม่นยำยิ่งขึ้น การเตรียมวัตถุสร้างลูกไฟอาชีพกรรมวิธีเช่นเดียวกับการทดลองที่ 2.1 ปัจจัยที่ศึกษาคือ

ปัจจัยที่ 1 การใส่กำมะถัน มี 2 ระดับคือ ใส่ (2 กรัม/ดินประสิว 1 กก.) และไม่ใส่

ปัจจัยที่ 2 การใส่สตรอนเทียมไนเตรท มี 2 ระดับคือ ใส่ (100 กรัม/ดินประสิว 1 กก.)

และไม่ใส่

ปัจจัยที่ 3 สภาพดินขับ มี 2 ระดับคือ หมด (สุราขาว 55 มล.+ น้ำปูนใส 15 มล./

ดินประสิว 1 กก.) และแห้ง

ทุกสูตรใช้องค์ประกอบหลักคือ ดินประสิว 1 กก. และถ่านไม้กระถิน 300 กรัม
จำนวนชุดทั้งหมดที่เตรียม 40 ชุด และใช้วิธีวิเคราะห์ผลทางสถิติเช่นเดียวกันกับการทดลองที่ 2.1

ผลการทดลอง

ตารางที่ 3 คะแนนเฉลี่ยของลูกไฟที่ใช้ส่วนผสมและสภาพต่างกัน (N=5)

รายการ	ผสมกำมะถัน (S)		ผสมสตรอนเทียม(Sr)		สภาพของดินขับ		Sig.ปฏิสัมพันธ์
	ไม่ผสม	ผสม	ไม่ผสม	ผสม	หมวด	แห่ง	
ขนาดลูกไฟใหญ่	16.4	16.4	16.4	16.3	16.4	16.4	0.355
ขึ้นแบบลอยตัว	16.8 ^b	15.4 ^a	15.8 ^a	17.3 ^b	17.3 ^b	15.4 ^a	0.001
ความสูงของการพุ่งขึ้น	16.3	16.6	16.4	16.3	16.1	16.7	0.774
การมีสีแดงส้ม	15.9 ^b	15.4 ^a	15.6 ^a	15.8 ^b	15.8	15.7	0.083
มีเสียงค่อย	14.7	14.2	14.0 ^a	15.6 ^b	15.2 ^b	13.9 ^a	0.001
ขึ้นแบบมีความเร่ง	16.5 ^a	17.0 ^b	16.7	16.6	16.3	17.1	0.226
ไม่มีหางหรือสะเก็ดไฟ	15.5	16.1	15.7	15.7	16.2 ^b	15.2 ^a	0.873
คะแนนรวม	111.9	111.1	110.8	113.2	113.1	110.2	0.284

ในบรรทัดเดียวกัน ค่าเฉลี่ยภายใต้ปัจจัยหลักเดียวกันที่มีอักษรยกกำลังต่างกันคือแตกต่างแบบมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากผลการทดลองแสดงในตารางที่ 3 พบว่าแม้คะแนนรวมของลักษณะต่างๆ จากการใช้/ไม่ใช้ปัจจัยต่างๆ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่คะแนนของแต่ละลักษณะแสดงผลที่ค่อนข้างชัดเจนคือ การผสมกำมะถัน หรือการใช้ดินขับที่แห้ง มีผลทำให้คะแนนการลอยตัวลดลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่การผสมสตรอนเทียมในเตรทมีผลทำให้ลูกไฟมีการลอยตัวดีขึ้น ในส่วนของสีของลูกไฟนั้นได้ผลเช่นเดียวกับการทดลองที่ 2.1 คือ การใช้สตรอนเทียมในเตรททำให้ลูกไฟได้คะแนนสีแดงส้มมากขึ้นและมีเสียงการพุ่งขึ้นค่อยลง ซึ่งนับเป็นลักษณะพึงประสงค์หลักที่ต้องการ นอกจากนั้นการใช้ดินขับที่อยู่ในสภาพแห้งทำให้เสียงการพุ่งขึ้นแรงขึ้น การลอยตัวของลูกไฟน้อยลง แต่มีหางของลูกไฟเพิ่มขึ้น การใช้ดินขับแห้งจึงไม่มีความจำเป็น อนึ่งในทางปฏิบัติ การผสมสุราขาวและน้ำปูนใส ช่วยทำให้ดินขับจับตัวกันดีขึ้น และอัดได้ง่ายไม่ฟุ้งกระจาย ในการทดลองพบข้อสังเกตว่าดินขับที่ผสมน้ำปูนใสเมื่อจุดจะมีสีแดงส้มเพิ่มขึ้นซึ่งนับว่าเป็นประโยชน์ อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้ตรวจพบปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยหลักทั้ง 3 ชนิดในลักษณะการขึ้นแบบลอยตัว และการมีเสียงค่อย ทั้งนี้เนื่องมาจากดินขับบางสูตรที่ใช้สตรอนเทียมในเตรทซึ่งน่าจะมีสีแดงส้มแต่เมื่อ

ผสมกำมะถันร่วมด้วยทำให้สีแดงส้มลดลง รวมทั้งสูตรที่ใส่กำมะถันซึ่งน่าจะมีเสียงการพุ่งขึ้นดีขึ้น แต่เมื่อทำในลักษณะดินจับหมาดๆกลับมีเสียงดังค่อยลงเป็นต้น

ผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าสภาพดินจับที่เหมาะสมคือสภาพหมาดๆ โดยใช้สุราขาว 35 ดีกรีและน้ำปูนใส ผสม ซึ่งเมื่อใช้ร่วมกับสตรอนเทียมไนเตรทแล้วจะทำให้ลูกไฟมีสีแดงส้มดีขึ้น มีเสียงการพุ่งขึ้นลดลง ตลอดจนลูกไฟมีการลอยตัวดีขึ้น โดยไม่จำเป็นต้องผสมกำมะถัน หรือ ตากให้ดินจับอยู่ในสภาพแห้ง

2.3 ชนิดของถ่านไม้ที่เหมาะสมกับการทำดินจับวัตถุสร้างลูกไฟ

จากการทดลองที่ 2.1-2.2 ทำให้ทราบส่วนประกอบของดินจับที่เหมาะสมกับการทำวัตถุสร้างลูกไฟที่มีลักษณะคล้ายอมยิ้ม แต่ยังมีปัจจัยที่สำคัญที่สามารถส่งผลให้ดินจับนั้นมีคุณภาพดี (ความเร็วการเผาไหม้สูง ไม่มีสะเก็ดไฟ มีควันน้อยและมีเถ้าน้อย) ซึ่งได้แก่ชนิดของถ่านไม้ จึงทำการศึกษาโดยแปรปัจจัยต่างๆคือ

ปัจจัยที่ 1 คือชนิดของไม้มี 4 ชนิด คือไม้กระถิน ไม้มะม่วง ไม้จำฉา และไม้เพกา

ปัจจัยที่ 2 คือระดับของถ่านไม้ที่ใช้มี 3 ระดับคือ 250, 300 และ 400 กรัม ต่อดินประสิ่ว 1 กก.

การเตรียมถ่านไม้ ใช้ต้นและกิ่งกระถิน มะม่วง จำฉา และเพกา สภาพสด ที่ภายในลำต้นยังไม่เป็นแก่น มีเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 6 ซม. นำมาตัดเป็นท่อนๆและผ่า 1/2-1/4 ซีกแล้วกองทิ้งแดดประมาณ 1 เดือนจนแห้ง จากนั้นนำมาเผาในถังหรือกะทะโดยเปิดด้านบนให้ไฟลุกโชน เมื่อไม้กลายเป็นถ่านหมดแล้ว จึงกลับด้วยทรายแห้งและทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง จึงใช้ตะแกรงขนาด 1 ซม. แยกเอาทรายออกและนำมาทดลอง การเตรียมถ่านแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การเตรียมถ่านไม้แบบเผาในถัง แบบเผาในกะทะ และการใช้ทรายกลบเพื่อดับถ่าน

แต่ละสูตรใช้สตรอนเทียมไนเตรท สุราขาว และน้ำปูนใส ผสมในปริมาณ 100 กรัม 55 มล. และ 15 มล. ต่อน้ำหนักดินประสิ่ว 1 กก. ตามลำดับ และอัดในสภาพหมาดๆ

การจุดใช้วิธีเดียวกับการทดลองที่ 2.1 และ 2.2 และให้คะแนนโดยกรรมการ การวัดตัวแปรตามดำเนินการเหมือนการทดลองที่ 2 แต่ปรับการให้คะแนนและช่วงคะแนนตามความเห็นของ

คณะกรรมการเพื่อให้สามารถวัดผลได้ชัดเจนขึ้น โดยลดคะแนนเสียงและความสูงลงเหลือเพียงอย่างละ 10 คะแนนจากเดิม 20 รวมทั้งตัดการให้คะแนนความเร็วออก ทั้งนี้เพราะทราบผลที่ชัดเจนจากการทดลองที่ 2.2 แล้ว

ใช้แผนการทดลองแบบ 4x3 factorial in CRD มีจำนวนซ้ำ 4 ซ้ำ ทำการวิเคราะห์ทางสถิติเช่นเดียวกับการทดลองที่ 2.1

ผลการทดลอง

จากผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่า การใช้ถ่านที่เตรียมจากไม้ 4 ชนิด คือ กระถิน มะม่วง ลำสา เพกา ทำให้คะแนนคุณสมบัติของลูกไฟไม่แตกต่างกัน ถ่านไม้ดังกล่าวจึงสามารถใช้แทนกันได้ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาการเกิดหางหรือสะเก็ดไฟแล้วจะเห็นว่า การใช้ถ่านไม้ลำสาหรือถ่านไม้มะม่วง แสดงแนวโน้มของคะแนนมากกว่าไม้กระถินและเพกา โดยทั่วไปการทำดินขี้บั้งไฟหรือบอไฟขึ้น หรือ พลุนิยมใช้ไม้เพกาทำถ่าน เพราะผ่าเป็นซีกได้ง่าย บดให้ละเอียดได้สะดวก และเวลาจุดให้ควันเป็นสีขาว (สมคิด พรหมมา, 2516) แต่ไม้เพกาอาจไม่มีความเหมาะสมกับการใช้ในกรณีนี้เพราะทำให้เกิดประกายไฟ

ตารางที่ 4 คะแนนเฉลี่ยของลูกไฟที่ใช้ส่วนผสมของถ่านไม้ในปริมาณต่างกัน (N=4)

รายการ	ชนิดของถ่านไม้				ปริมาณถ่านไม้			Sig. ปฏิสัมพันธ์
	กระถิน	มะม่วง	ลำสา	เพกา	250	300	400	
ขนาดลูกไฟใหญ่	15.8	16.1	16.2	15.8	16.3 ^b	16.3 ^b	15.3 ^a	0.001
ขึ้นแบบลอยตัว	17.4	17.5	17.7	16.8	17.7	17.6	16.8	0.127
ความสูงของการพุ่งขึ้น	7.4	7.1	7.7	6.7	7.6	7.4	6.7	0.077
การมีสีแดงส้ม	17.0	17.0	17.1	16.9	17.0 ^{ab}	17.2 ^b	16.8 ^a	0.018
มีเสียงค่อย	7.5	7.3	7.5	7.4	7.4	7.5	7.5	0.001
ไม่มีหางหรือสะเก็ดไฟ	15.8	17.5	17.3	15.6	17.3	16.5	15.9	0.171
คะแนนรวม	81.0	82.4	83.5	79.3	83.2 ^b	82.5 ^{ab}	78.9 ^a	0.009

ค่าเฉลี่ยภายใต้ปัจจัยหลักเดียวกันในบรรทัดเดียวกัน ที่มีอักษรยกกำลังต่างกันคือแตกต่างแบบมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

เมื่อพิจารณาการใช้ถ่านปริมาณต่างๆในการทำลูกไฟ พบว่าการใช้ถ่านในส่วนผสมมากกว่า 300 กรัมต่อน้ำหนักดินประสี 1 กก. มีผลทำให้ขนาดของลูกไฟเล็กลง และมีสีแดงส้มน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนั้นการใช้ถ่านในส่วนผสม 400 กรัมยังแสดงแนวโน้มในการเกิดหางของลูกไฟมากขึ้น คะแนนรวมของลักษณะที่พึงประสงค์ที่ทิศทางไปทางเดียวกันคือ ไม่แตกต่างกัน

ระหว่างการใช้ถ่านปริมาณ 250 กรัมและ 300 กรัม แต่แตกต่างจากปริมาณ 400 กรัมอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อพิจารณาในลักษณะการเกิดเสียงค้อย แม้พบว่าการใช้ถ่านทั้ง 3 ระดับให้ผลไม่แตกต่างกัน แต่การใช้ถ่านปริมาณ 300 และ 400 กรัมมีแนวโน้มทำให้ได้คะแนนมากกว่า 250 กรัม อนึ่งในการเผาถ่านนั้นอาจมีความแปรปรวนของคุณภาพไม้ และความชื้นของไม้ก่อนการเผา โดยเฉพาะในฤดูฝน ทำให้ความหนาแน่นและความบริสุทธิ์ของถ่านแปรปรวนตามไปด้วยอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังนั้นการใช้ปริมาณที่มากกว่าจึงเป็นการป้องกันปัญหาดังกล่าว จากเหตุผลนี้ปริมาณถ่าน 300 กรัมต่อน้ำหนักดินประสี 1 กก. จึงมีความเหมาะสม

ในการทดลองพบการมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยหลักในหลายลักษณะเช่น ขนาดของลูกไฟ สีของลูกไฟ และเสียงการฟุ้งขึ้น ทั้งนี้เกิดขึ้นจากถ่านไม้บางชนิดให้ผลดีเมื่อใช้ปริมาณ 250 กรัม บางชนิดดีที่ 300 หรือ 400 กรัม เป็นต้น

โดยที่การทดลองนี้ใช้ไม้ที่ตัดจากต้นสดที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 6 ซม. และพบว่าในขั้นตอนการเตรียม การตัดและผ่าซีกไม้ทั้ง 4 ชนิดมีความยากเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยคือไม้กระถิน น้าฉะ มะม่วงและเพกา โดยไม้เพกามีเนื้ออ่อน มีรูกลวงข้างในจึงสามารถตัดหรือผ่าได้อย่างรวดเร็ว ส่วนไม้กระถินและไม้ฉะมีลำค่อนข้างแข็งและเหนียวจึงตัดและผ่าได้ยากกว่า อย่างไรก็ตามการตัดไม้กระถินหาได้ง่ายและสามารถเก็บรวบรวมได้มากกว่าไม้ชนิดอื่น ตลอดจนสามารถตากกิ่งก้านได้รวดเร็วหลังจากตัด ดังนั้นถ้าใช้กิ่งที่มีขนาดเล็กลงคือเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เกิน 2.5 เซนติเมตรจะทำให้ตัดจากต้นได้สะดวก และไม่จำเป็นต้องผ่าซีก เมื่อตากทิ้งไว้ 1-2 สัปดาห์ก็สามารถตัดเป็นท่อนๆและนำมาเผาได้ เป็นที่น่าสังเกตว่าในการเผาถ่านไม้ การเผาในถังหรือท่อทรงกระบอกที่เปิดด้านบนจะใช้เวลามากเพราะออกซิเจนสามารถเข้าไปช่วยการลุกไหม้เฉพาะจากด้านบนซึ่งควันและก๊าซร้อนจากการเผาไหม้ ออกในเวลาเดียวกัน แต่ได้ถ่านที่มีน้ำหนักดีและได้ปริมาณมาก เมื่อเทียบกับการเผาในภาชนะที่มีลักษณะเหมือนกะทะที่ปากกว้างและไม่ลึก พบว่าการเผาในกะทะจะใช้เวลาน้อยกว่าเพราะออกซิเจนเข้าไปช่วยการลุกไหม้ได้ง่าย และได้ถ่านที่มีน้ำหนักเบา ตลอดจนเมื่อกลบทรายแล้วสามารถนำเอาถ่านออกจากเตาได้รวดเร็วกว่า จึงทำการทดลองเปรียบเทียบระหว่างถ่านไม้กระถินที่เผาโดย 2 วิธี คือเผาในถังเปิดปาก และเผาในกะทะเปิด ดังภาพที่ 2 และนำมาทำดินขั้ววัตถุสร้างลูกไฟ เพื่อศึกษาผลที่มีต่อคุณสมบัติของลูกไฟ และวิเคราะห์สถิติโดยวิธี t-test ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 คะแนนเฉลี่ยของลูกไฟที่เกิดจากดินขับที่ใช้ถ่าน 2 แบบ (N=13)

รายการ	ถ่านเผาในถัง	ถ่านเผาในกะทะ
ขนาดลูกไฟใหญ่	16.5	16.5
ขึ้นแบบลอยตัว	16.9	16.8
ความสูงของการพุ่งขึ้น	7.9	7.4
การมีสีแดงส้ม	16.4	16.3
มีเสียงค่อย	6.2 ^a	6.5 ^b
ไม่มีหางหรือสะเก็ดไฟ	16.5	16.0
คะแนนรวม	81.3	81.6

ค่าเฉลี่ยในบรรทัดเดียวกันที่มีอักษรยกกำลังต่างกันคือแตกต่างแบบมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 5 จะเห็นว่าถ่านที่มาจากการเผาทั้ง 2 แบบนั้นให้ผลต่อลูกไฟไม่แตกต่างกัน ยกเว้นเสียงการพุ่งขึ้นของลูกไฟ ที่ถ่านเผาในกะทะได้คะแนนมากกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้เนื่องจากความหนาแน่นของถ่านจากการเผาในกะทะมีน้อยกว่า คือมีปริมาตรมากและน้ำหนักเบาทำให้เมื่อปลดแล้วดินขับมีความละเอียดมากกว่า และเข้ากันอย่างทั่วถึง เมื่อเทียบกับผลการทดลองในตารางที่ 4 ที่พบว่าการใช้ถ่านผสมปริมาณมากขึ้นมีแนวโน้มทำให้เสียงการพุ่งขึ้นลดลง ผลการทดลองเผาถ่านในกะทะในการทดลองนี้ก็ให้ผลในทำนองเดียวกัน ดังนั้นการใช้ถ่านที่มีความหนาแน่นน้อย และเบาซึ่งได้มาจากการเผาในกะทะจึงมีความเหมาะสม

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า ไม้ฉำฉา ไม้มะม่วง ไม้กระถิน และไม้เพกา ที่ตัดในระยะกิ่ง และต้นยังไม่เป็นแก่นแข็ง สามารถนำมาเผาเพื่อทำถ่านสำหรับใช้ทำลูกไฟได้ดีใกล้เคียงกัน การเผาไม้ในหลุมหรือภาชนะที่รูปทรงคล้ายกะทะและปล่อยให้ไม้ลุกไหม้จนหมดควัน และกลบด้วยทราย แล้วร่อนแยกทรายออก จะได้ถ่านที่ดี และใช้ในอัตราส่วน 300 กรัมต่อน้ำหนักดินประสีว 1 กก. สำหรับการทำดินขับของวัสดุสร้างลูกไฟ

การทดลองที่ 3 การลดเสียงการฟุ้งขึ้นโดยศึกษาระยะห่างการจุด ขนาดทางออกไฟ ขนาดภาชนะบรรจุ และสารช่วยลดเสียงที่เหมาะสม

3.1 ระยะห่างการจุด ขนาดภาชนะบรรจุ และขนาดทางออกของไฟที่เหมาะสม

จากการที่คุณสมบัติประการหนึ่งของบั้งไฟพญานาคคือไม่มีเสียงการฟุ้งขึ้น ซึ่งตามสมมติฐานของการวิจัยในส่วนของเสียงนั้นตั้งไว้หลายประเด็น เช่นระยะห่างของการจุดที่ไกลพอจนไม่ได้ยินเสียง หรือใช้ดินจับชนิดที่มีเสียงค่อย รวมทั้งการลดเสียงการเสียดสีระหว่างทางออกของไฟและก๊าซที่พุ่งออกมาจากการเผาไหม้เป็นต้น ในส่วนของดินจับนั้นผลการทดลองจากการทดลองที่ 2 แสดงให้เห็นว่าการผสมสตรอนเทียมไนเตรท ร่วมกับการทำดินจับให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม โดยการผสมด้วยสุราขาวและน้ำปูนใส มีผลทำให้เสียงการฟุ้งขึ้นของลูกไฟค่อยลง ดังนั้นการทดลองนี้จึงมุ่งศึกษาเพียงระยะห่างที่เหมาะสมในการจุดและการเพิ่มขนาดทางออกของก๊าซโดยใช้วิธีเตรียมวัตถุดิบสร้างลูกไฟเช่นเดียวกับการทดลองที่ 2.3 แต่ใช้ถ่านไม้กระถินในปริมาณ 300 กรัมต่อน้ำหนักดินประสี 1 กก. และใช้ส่วนผสมอื่นเช่นเดียวกับการทดลองที่ 2 คือสตรอนเทียมไนเตรท 100 กรัม สุราขาว 55 มล. และ น้ำปูนใส 15 มล. เพื่อศึกษาการลดเสียงการฟุ้งขึ้นให้เบาที่สุดโดยศึกษา 3 ปัจจัยคือ

ปัจจัยที่ 1 ระยะการจุด มี 3 ระดับคือ ห่างจากจุดที่ให้คะแนน 200 และ 400 เมตร

ปัจจัยที่ 2 ขนาดทางออกก๊าซ มี 5 ระดับ คือเท่ากับ Ø เปลือกบรรจุหารด้วย 4, 3.7, 3.2, 3 และ 2.8 ตามลำดับ

ปัจจัยที่ 3 ขนาดของเปลือกบรรจุ มี 3 ระดับคือ Ø 2.2, 2.6 และ 3.4 เซนติเมตร

ใช้แผนการทดลองแบบ 2x5x3 factorial in CRD โดยมีจำนวนซ้ำ 3 ซ้ำ วัดตัวแปรตามโดยใช้กรรมการให้คะแนนเหมือนการทดลองที่ 2 แต่เพิ่มลักษณะความเร็วเพราะมีการเปรียบเทียบเปลือกบรรจุที่มีขนาดใหญ่กว่าการทดลองที่ 2 อีก 2 ขนาด ส่วนการแบ่งน้ำหนักคะแนนจะเน้นที่ขนาดลูกไฟ สีของลูกไฟ เสียงค่อย โดยกรรมการเห็นพ้องว่าควรให้อย่างละ 20 คะแนน ส่วนลักษณะที่เหลืออย่างละ 10 คะแนน เพื่อให้สามารถบ่งชี้ลักษณะที่พึงประสงค์ได้ชัดเจน การวิเคราะห์ผลทางสถิติของตัวแปรตามทำในลักษณะเดียวกับการทดลองที่ 2

ผลการทดลอง

จากผลการทดลองดังตารางที่ 6 ในส่วนคะแนนของเสียงซึ่งเป็นลักษณะสำคัญที่ศึกษานั้นพบว่า การจุดที่ระยะ 200 และ 400 เมตรมีเสียงที่ไม่แตกต่างกันซึ่งสามารถได้ยินเบาๆ จากการที่งานทดลองดำเนินการที่ ต.ยูหว่า อ.สันป่าตอง ที่เป็นเขตชนบทซึ่งไม่มีเสียงแทรกซ้อน ทำให้สามารถได้ยินเสียงการฟุ้งขึ้นแม้เสียงนั้นจะค่อนข้างเบา เนื่องจากการทดลองนี้ไม่ได้วางแผนที่จะวัดระดับความเข้มของเสียงและช่วงความถี่ของเสียง จึงไม่สามารถบ่งบอรายละเอียดได้

ตารางที่ 6 คะแนนเฉลี่ยลักษณะต่างๆของลูกไฟจากวัสดุขนาดและทางออกไฟต่างๆและจุดที่ระยะทางต่างกัน (N=3)

รายการ	ระยะห่าง		ขนาดเปลือกบรรจุ (Ø)			ขนาดทางออกไฟ					Sig. ปฏิสัมพันธ์
	200	400	2.2	2.6	3.4	Ø/4	Ø/3.7	Ø/3.2	Ø/3	Ø/2.8	
ขนาดลูกไฟใหญ่	16.7 ^b	16.0 ^a	15.3 ^a	16.6 ^b	17.2 ^c	15.9 ^a	16.1 ^a	16.4 ^{ab}	16.5 ^{ab}	16.9 ^b	0.146
ขึ้นแบบลอยตัว	7.5	7.5	7.5	7.7	7.2	7.6	7.5	7.5	7.4	7.4	0.706
ความสูงของการพุ่งขึ้น	7.2	7.3	7.4	7.6	6.9	8.0	7.7	7.3	6.7	6.7	0.708
การมีสีแดงส้ม	16.9	16.9	16.8	17.0	16.8	17.1	17.1	16.8	16.8	16.8	0.380
มีเสียงค่อย	16.1	16.3	16.7 ^b	16.4 ^b	15.5 ^a	15.8 ^a	15.9 ^a	16.1 ^{ab}	16.4 ^{ab}	16.8 ^b	0.126
ความเร็วลูกไฟ	6.7 ^a	7.1 ^b	7.5	7.5	6.9	7.7 ^b	7.5 ^{ab}	7.4 ^{ab}	6.9 ^a	6.9 ^a	0.355
ไม่มีหางหรือสะเก็ดไฟ	8.2	8.4	8.8 ^{ab}	9.3 ^b	8.3 ^a	8.8 ^{ab}	8.9 ^{ab}	9.4 ^b	8.7 ^{ab}	8.1 ^a	0.02
คะแนนรวม	80.4	80.1	79.9 ^b	82.2 ^b	78.8 ^a	80.8	80.7	80.9	79.3	79.6	0.399

ค่าเฉลี่ยภายใต้ปัจจัยหลักเดียวกันในบรรทัดเดียวกัน ที่มีอักษรยกกำลังต่างกันคือแตกต่างแบบมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

เพื่อให้สามารถประมาณระยะทางที่ไม่สามารถได้ยินเสียงการพุ่งขึ้นจึงได้ทดลองจุดวัสดุสร้างลูกไฟอีกชุดหนึ่งจำนวน 15 ลูก โดยแยกเป็น 3 ขนาดและมีทางไฟออก 5 ขนาดเช่นเดียวกันและนำไปจุดที่ระยะ 1,000 เมตรและนำข้อมูลไปสมทบกับกับข้อมูลของระยะ 200 และ 400 เมตรเพื่อสร้างสมการรีเกรชันพบว่า สมการคะแนนเสียงลูกไฟ (Y) = $9.697 + 9.776 \times$ ระยะทาง (X) ($R^2 = 0.731$) จากการคำนวณ ถ้าต้องการให้เสียงการพุ่งขึ้นดังน้อยจนไม่ได้ยิน (ได้คะแนน 18 คะแนนขึ้นไป) ระยะการจุดจะต้องมากกว่า 850 เมตรซึ่งค่อนข้างไกลที่อาจทำให้มองเห็นลูกไฟไม่ชัดเจน ดังนั้นการศึกษาขนาดของเปลือกบรรจุและสารเสริมที่จะช่วยลดเสียงจึงเป็นสิ่งจำเป็น

ขนาดของเปลือกบรรจุมีผลต่อเสียงการพุ่งขึ้นโดยพบว่าเสียงของลูกไฟจากวัตถุที่เตรียมจากเปลือกบรรจุขนาดเล็ก ($\varnothing = 2.2$) ไม่แตกต่างจากขนาดกลาง ($\varnothing = 2.6$) แต่มีเสียงค่อยกว่าขนาดใหญ่ ($\varnothing = 3.4$) อย่างมีนัยสำคัญ โดยเปลือกบรรจุขนาดเล็กมีแนวโน้มการเกิดเสียงน้อยกว่าขนาดกลาง ดังนั้นการใช้เปลือกบรรจุขนาดเล็กจึงน่าจะมีความเหมาะสมที่สุด นอกจากนั้นขนาดของเปลือกบรรจุยังมีผลต่อการเกิดหางในทิศทางเดียวกันกับเสียง โดยเปลือกบรรจุขนาดใหญ่ทำให้เกิดหางมากกว่าอีก 2 ขนาดเช่นกัน เมื่อรวมคะแนนทุกลักษณะแล้วพบว่าคะแนนรวมของลูกไฟจากเปลือกบรรจุขนาดเล็กและขนาดกลางไม่แตกต่างกัน แต่ขนาดเล็กจะมีความเหมาะสมกว่าในแง่การประหยัดดินขับ และมีต้นทุนของท่อพีวีซีต่ำกว่า ขนาดกลางและขนาดใหญ่

ทางออกของไฟมีผลต่อเสียงค่อนข้างชัดเจน โดยพบว่า การเพิ่มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางทางออกของไฟมีผลต่อการลดเสียงอย่างมีนัยสำคัญ และทางออกไฟที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง $1/3.2 - 1/3$ เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเปลือกบรรจุ ($\varnothing$) จะเกิดเสียงค่อยใกล้เคียงกับขนาด $1/2.8 \varnothing$ ซึ่งมีเสียงค่อยที่สุด ดังนั้นการใช้ทางออกของไฟที่มี 2 ขนาดคือ $1/3.2 \varnothing$ ในช่วงของดินขับ และ $1/3 \varnothing$

ในช่วงของทางออกไฟ จึงน่าจะเหมาะสมที่สุดในการนำไปใช้ การใช้ทางออกของไฟที่มีขนาดใหญ่เช่นขนาด 1/2.8 Ø ส่งผลให้ความเร็วการพุ่งขึ้นของลูกไฟลดลง และทำให้เกิดหางหรือสะเก็ดไฟเพิ่มขึ้น ดังนั้นทางออกไฟจึงควรมีขนาดไม่เกิน 1/3 Ø

สำหรับองค์ประกอบอื่นๆเช่นขนาดของลูกไฟ พบว่าเมื่อจุดห่างมากขึ้นขนาดจะเล็กลงซึ่งเป็นไปตามกฎเกณฑ์ทางฟิสิกส์ ส่วนขนาดของเปลือกบรรจุที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจะจุดดับได้มากขึ้นและมีหางออกของไฟใหญ่ขึ้น ทำให้ลูกไฟมีขนาดใหญ่ขึ้น การทำทางออกของไฟกว้างขึ้นมีผลทำให้ขนาดของลูกไฟใหญ่ขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ผลของปัจจัยต่างๆคือระยะทางจุด ขนาดของภาชนะบรรจุ และขนาดทางออกของไฟ ไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อลักษณะของลูกไฟในส่วนของการขึ้นแบบลอยตัว ความสูงที่พุ่งขึ้น และสี ที่แตกต่างกัน

ผลการทดลองสรุปได้ว่าระยะทางที่สามารถจุดวัตถุสร้างลูกไฟที่ทำให้ไม่สามารถได้ยินเสียงคือมากกว่า 850 เมตร เปลือกบรรจุที่เหมาะสมคือหัวปิดทอพีวีซีขนาดเล็กที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.2 ซม. และเจาะรูทางไฟออกที่มีขนาดเท่ากับ 1/3-1/3.2 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของภายในเปลือกบรรจุ

3.1.1 การลดเสียงโดยวิธีเพิ่มทางระบายก๊าซ

จากการทดลองที่ 1-3 ใช้วิธีทำทางไฟออกเพียงรูเดียวโดยเจาะในทิศทางตามเส้นเชื่อมปลายของเส้นแบ่งควอเตอร์ และมีความลึก 0.6 เท่าของความลึกเปลือกบรรจุ ซึ่งวิธีการนี้จะทำให้ก๊าซมีทางออกเพียงทางเดียว และมีเสียงดังจากการเสียดสีของก๊าซกับผนังของเปลือกบรรจุที่เจาะเป็นช่องทางออก จะเห็นว่าความดังของเสียงขึ้นอยู่กับปริมาณก๊าซที่ผ่านออกและความเร็วของก๊าซ ดังนั้นการเพิ่มขนาดของทางออกก๊าซจะทำให้เสียงลดลง อย่างไรก็ตามผลจากการทดลองที่ 3.1 พบว่าการเพิ่มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางทางออกก๊าซมากกว่า 1/3 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางภาชนะบรรจุมีผลทำให้เกิดประกายไฟหรือหางเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงต้องเพิ่มทางระบายก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้ให้ออกอีกทางหนึ่งซึ่งมีขนาดเล็กกว่าทางไฟออกเดิม โดยมีทิศทางก๊าซออกเสริมการหมุนและการพุ่งขึ้น โดยน่าจะอยู่ด้านข้างของเปลือกตรงตำแหน่ง ควอเตอร์ถัดจากทางไฟออก ดังนั้นจึงเตรียมวัตถุสร้างลูกไฟโดยใช้เปลือกบรรจุขนาดเล็ก และใช้สูตรและวิธีการอัดเช่นเดียวกับการทดลองที่ 3.1 ส่วนการเจาะทางไฟออกใช้ขนาดเท่ากับ 1/3-1/3.2 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเปลือกบรรจุ (Ø) แต่เพิ่มทางระบายก๊าซด้านข้างที่มีขนาด 1/5.6Ø, 1/7Ø และ 1/9Ø

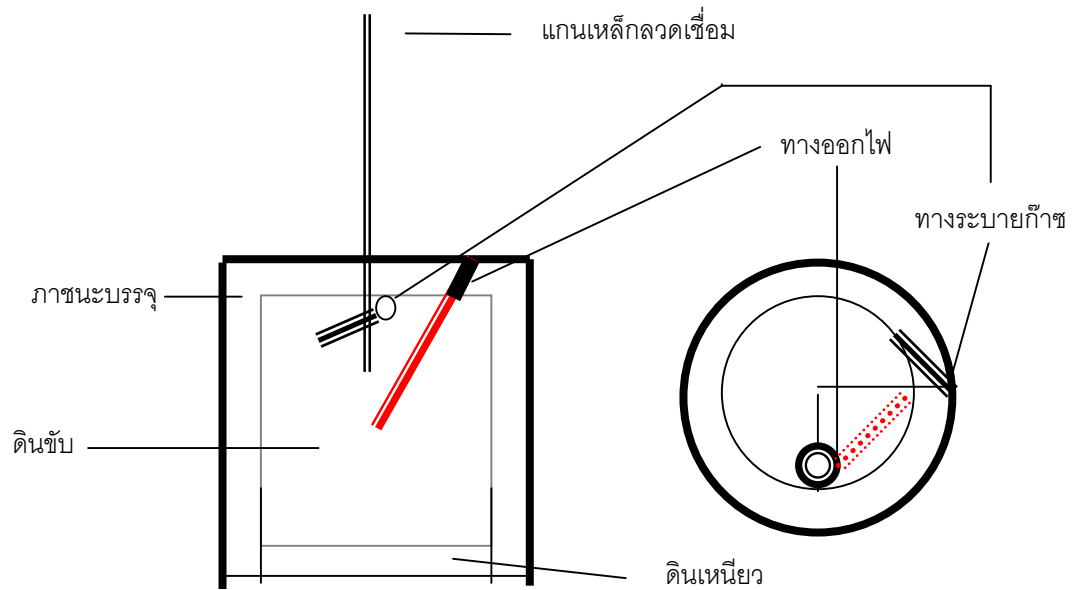
การทดลองใช้จำนวนซ้ำ 4 ซ้ำ รวมจำนวนตัวอย่าง 16 ตัวอย่าง และวัดมุมที่ลูกไฟพุ่งขึ้นวิธีเดียวกับการทดลองที่ 3.1 และใช้กรรมการให้คะแนนขนาดของลูกไฟ และเสียง ที่มีคะแนนเต็มอย่างละ 10 คะแนน การวิเคราะห์ผลใช้การวิเคราะห์หว่าเรียนซ์ในแผนการทดลองแบบ CRD ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลของการเพิ่มทางระบายก๊าซต่อคุณสมบัติของลูกไฟ (N=4)

รายการ	ไม่มีทางระบาย	มีทางระบาย		
		ขนาด 1/5.60	ขนาด 1/70	ขนาด 1/90
มุมการขึ้น องศา	82.5	83.1	72.3	80.4
ขนาดลูกไฟ	8.8 ^a	9.0 ^{ab}	9.1 ^{bc}	9.4 ^c
เสียงดังค่อย	9.3 ^a	9.5 ^{ab}	9.6 ^{ab}	9.9 ^b

ผลการทดลอง

การเพิ่มทางระบายก๊าซเพื่อลดแรงเสียดทานระหว่างขอบรูปของทางไฟออกกับก๊าซจากการเผาไหม้ ไม่ทำให้มุมการพุ่งขึ้นของลูกไฟเปลี่ยนแปลงไปจากการไม่มีทางระบาย การเพิ่มทางระบายก๊าซจึงไม่ทำให้เกิดผลเสียต่อมุมของการพุ่งขึ้น นอกจากนั้นทางระบายก๊าซที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/5.60- 1/90 ก็ไม่ส่งผลทำให้มุมของการพุ่งขึ้นแตกต่างกันทางสถิติ เมื่อพิจารณาในส่วนของคุณสมบัติของลูกไฟพบว่า ขนาดของลูกไฟที่เกิดจากการเจาะทางไฟออกอย่างเดียวมีขนาดเล็กกว่าการเจาะสองทางคือทางไฟออกตามปกติร่วมกับทางระบายก๊าซ ทั้งนี้เพราะเปลวไฟที่ออกเพิ่มจากทางระบายก๊าซช่วยเสริมให้ลูกไฟมีขนาดใหญ่ขึ้น เป็นที่น่าสังเกตว่าทางระบายก๊าซที่มีขนาดเล็กที่สุดคือเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 1/90 จะทำให้ลูกไฟมีขนาดใหญ่ที่สุดทั้งนี้เพราะรัศมีของเปลวไฟที่พุ่งออกจากรูขนาดเล็กจะพุ่งออกไปไกลกว่ารูขนาดใหญ่ทำให้ลูกไฟมีขนาดใหญ่ไปด้วย สำหรับเสียงการพุ่งขึ้นนั้นพบว่าลูกไฟที่เกิดจากทางออกไฟทางเดียวมีเสียงดังกว่าการออกสองทางอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นการทำทางระบายก๊าซเสริมจึงมีความจำเป็นและควรมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 1/90 ลักษณะการเจาะแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ส่วนประกอบและลักษณะการเจาะทางไฟออกและทางระบายก๊าซ

จากการทดลองสรุปได้ว่าการช่วยลดเสียงการพุ่งขึ้นให้ค่อยลงอีก สามารถทำได้โดยเพิ่มทางระบายก๊าซทางด้านข้างของวัสดุสร้างลูกไฟ ในทิศทางที่ช่วยการหมุน และมีขนาด $1/9$ เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางภายในเปลือกบรรจุ

3.2 สารเสริมเพื่อลดเสียงและขนาดภาชนะบรรจุที่เหมาะสม

เพื่อให้สามารถยืนยันความจำเป็นของการเพิ่มสตรอนเทียมในเตรท ในสูตรดินขับเพื่อช่วยลดเสียงซึ่งเป็นข้อค้นพบจากการทดลองที่ 2.2 ซึ่งศึกษากับเปลือกบรรจุขนาดเล็ก ดังนั้นจึงทำการศึกษากับเปลือกบรรจุขนาดกลางและขนาดใหญ่ โดยใช้จำนวนซ้ำ 8 ซ้ำ รวม 48 ตัวอย่าง ช่องทางออกของไฟทำเป็นสองขนาดคือในส่วนดินขับเท่ากับ $1/3.2 \varnothing$ และปากทางไฟออกตรงส่วนปิดของเปลือกบรรจุเท่ากับ $1/3 \varnothing$ และทางระบายก๊าซเท่ากับ $1/9 \varnothing$

ผลการทดลอง

จากผลการทดลองดังตารางที่ 8 แสดงให้เห็นผลของสตรอนเทียมในเตรทที่มีต่อการลดเสียง โดยกลุ่มที่ใช้ดินขับผสมสตรอนเทียมในเตรทจะมีเสียงน้อยกว่ากลุ่มที่ไม่ใส่อย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนั้นการผสมสตรอนเทียมในเตรทนอกจากทำให้ลูกไฟมีสีแดงเพิ่มขึ้นแล้ว ยังช่วยให้ลูกไฟขึ้นแบบลอยตัวได้ดีอีกด้วย ซึ่งได้ผลที่เหมือนกับการทดลองที่ 2.2 แม้จะใช้เปลือกบรรจุที่มีขนาดใหญ่ขึ้นก็ตาม จากการสังเกต ลูกไฟที่ขึ้นช้าๆแบบลอยตัวจะมีความแตกต่างจากการขึ้นของดอกไม้ไฟหรือพลุโดยทั่วไปที่ลูกไฟจะมีความเร็วลดลงเรื่อยๆ และมักไถ่ตกลงมาเมื่อขึ้นไปถึงจุดสูง นอกจากนั้นลูกไฟที่ขึ้นแบบลอยตัวมักมีเสียงดังค่อยควบคู่กัน เนื่องจากเหตุผลที่สตรอนเทียมในเตรท

เป็นสารออกซิไดซ์ชนิดหนึ่งที่เมื่อผสมรวมในดินขับและเผาจะไปถึงคาร์บอนจากถ่านที่ผสมด้วย เพื่อกลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้คาร์บอนที่เหลือสำหรับดินประสีซึ่งเป็นสารออกซิไดซ์หลักในดินขับมีจำนวนลดลง ดินขับจึงไหม้ช้าลงแต่ยังมีพลังขับเช่นเดิม ทำให้เสียงลดลงและลูกไฟมีการลอยตัวดีขึ้น

ในส่วนของการเลือกบรรจุภัณฑ์นั้นผลทำให้คะแนนบางลักษณะเช่นเสียงการพุ่งขึ้นแตกต่างจากการทดลองที่ 3.1 โดยเลือกบรรจุภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นมีผลทำให้เสียงการพุ่งขึ้นเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการทดลองนี้ใช้ทางออกของไฟที่มีเพียงขนาดเดียวคือ 1/3-1/3.2 Ø และทำเป็น 2 ช่วง ทำให้เสียงการพุ่งขึ้นดังเพิ่มขึ้นตามขนาดของวัตถุ ซึ่งเป็นไปตามรูปแบบปกติของดอกไม้ไฟทั่วไปที่จะมีเสียงดังมากขึ้นถ้ามีขนาดใหญ่ขึ้น ดังนั้นเลือกบรรจุขนาดเล็กจึงมีความเหมาะสมที่สุดเพราะมีเสียงดังน้อยที่สุด

ตารางที่ 8 คะแนนเฉลี่ยของลูกไฟจากดินขับที่ผสมสตรอนเทียมในเตรท และบรรจุในเปลือกขนาดต่างๆกัน (N=8)

รายการ	การผสมสตรอนเทียม		ขนาดเปลือกบรรจุ			Sig. ปฏิสัมพันธ์
	ไม่ผสม	ผสม	เล็ก	กลาง	ใหญ่	
ขนาดลูกไฟใหญ่	16.0	16.0	14.8	16.0	17.3	0.001
ขึ้นแบบลอยตัว	16.4 ^a	7.3 ^b	16.3 ^a	16.9 ^{ab}	17.5 ^b	0.001
ความสูงของการพุ่งขึ้น	7.5	7.4	7.7	7.3	7.3	0.036
การมีสีแดงส้ม	16.4 ^a	16.6 ^b	16.3 ^a	16.4 ^a	16.9 ^b	0.001
มีเสียงค่อย	6.5 ^a	6.9 ^b	6.8 ^b	6.5 ^a	6.7 ^{ab}	0.044
ไม่มีหางหรือสะเก็ดไฟ	15.6	16.8	15.4	17.0	16.2	0.771
คะแนนรวม	78.5	80.9	77.4	80.0	81.9	0.020

ค่าเฉลี่ยภายใต้ปัจจัยหลักเดียวกันในบรรทัดเดียวกัน ที่มีอักษรยกกำลังต่างกันคือแตกต่างแบบมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

สำหรับลักษณะอื่นเช่นการลอยตัว และสีของลูกไฟนั้นสามารถเห็นความแตกต่างระหว่างปัจจัยหลักที่ชัดเจนขึ้นดังเช่น การลอยตัวของลูกไฟจากเปลือกบรรจุขนาดใหญ่จะดีกว่าขนาดเล็กเนื่องจากขนาดใหญ่มีน้ำหนักมากทำให้ขึ้นอย่างช้าๆ ในขณะที่ลูกไฟจากเปลือกขนาดเล็กจะพุ่งขึ้นเร็วกว่า นอกจากนั้นการที่เปลวไฟมีขนาดใหญ่ขึ้นจากการใช้เปลือกบรรจุขนาดใหญ่ขึ้นยังทำให้สามารถมองเห็นสีแดงส้มเข้มขึ้น อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้พบปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยหลักในหลายลักษณะ ซึ่งเกิดขึ้นจากการที่บางปัจจัยได้คะแนนมากเมื่อผสมสารช่วยลดเสียงและบรรจุในเปลือกที่มีขนาดเล็กแต่เมื่อเพิ่มขนาดเปลือกบรรจุกลับได้คะแนนลดลง

ผลการทดลองสรุปได้ว่า สตรอนเทียมไนเตรทเป็นสารที่ช่วยลดเสียงการพุ่งขึ้นของลูกไฟ โดยให้ผลดีในการใช้กับเปลือกบรจุทั้งขนาดเล็ก กลางและใหญ่ แต่เมื่อใช้เสียงดังค่อยเป็นตัวกำหนดที่สำคัญ การใช้กับเปลือกบรจุขนาดเล็กจะมีความเหมาะสมที่สุด

การทดลองที่ 4 การพัฒนาอุปกรณ์ผลิตและขั้นตอนการผลิต

4.1 อุปกรณ์การบดดินขับ

การบดดินขับโดยใช้แรงงานดำในครกเป็นวิธีที่ปฏิบัติกันมาแต่โบราณ แต่ใช้เวลาและแรงค่อนข้างมาก โดยเฉพาะถ้าใช้ดินประสิวชนิดเป็นก้อนผลึก ดังนั้นจึงมักมีการละลายดินประสิวน้ำและตั้งไฟเคี่ยว และคนจนดินประสิวงเริ่มแห้งจึงเติมถ่านเป็นก้อนๆลงไป จึงสามารถนำไปบดได้ซึ่งจะใช้เวลาสั้นลงเพราะบดเฉพาะถ่านอย่างเดียว ปัจจุบันมีดินประสิวงที่มีลักษณะผงละเอียดจำหน่าย การเคี่ยวจึงมีความจำเป็นลดลง นอกจากนั้นการทดลองที่ 2 ยังพบว่าการเคี่ยวดินประสิวงนั้นไม่จำเป็นสำหรับการทำวัตถุสร้างลูกไฟ โดยที่การทดลองที่ 1-3 นั้นเตรียมดินขับโดยวิธีเดียวกันคือชั่งวัตถุดิบตามสูตรและดำในครกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 ซม. ลึก 25 ซม. ซึ่งสามารถตำดินขับคิดเป็นปริมาณดินประสิวงได้ครั้งละ 0.5-1.0 กก. แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 1 มม. จากนั้นตำอีกครั้งหนึ่งจนละเอียดคล้ายแป้งจึงนำมาใช้งานได้ ซึ่งดินขับที่เตรียมเสร็จแล้วจะมีสีดำ มีความเร็วสูงเมื่อจุด และมีเปลวไฟสีแดงส้ม มีควันเล็กน้อยและไม่มีเถ้าหลงเหลือ ดินขับจะมีลักษณะหมาดๆเพราะใช้สุราขาวและน้ำปูนใสผสม

ในการเตรียมดินขับที่มีปริมาณดินประสิวงมากกว่า 1 กก. การดำในครกจะไม่มีความสะดวกดังนั้นจึงต้องใช้เครื่องมือเข้ามาช่วย เนื่องจากดินขับเป็นสารที่ติดไฟง่ายเมื่อถูกประกายไฟ ดังนั้นอุปกรณ์บดจึงต้องมีรอบต่ำและไม่มีการเสียดสีหรือเกิดความร้อนระหว่างการบด เครื่องบดแบบ edge runner mill ดังภาพที่ 4 ที่ปรกติใช้บดแร่หรือยาแผนโบราณ จึงมีความเหมาะสมที่สุดเพื่อใช้ในการนี้ และเครื่องบดนี้มีขายทั่วไปโดยเฉพาะแถวเวียงนครเกษมและผลิตในประเทศไทย ซึ่งถ้าเป็นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 นิ้วจะมีราคาประมาณ 15,000 บาท การทำงานของเครื่องใช้ลูกกลิ้งซึ่งมีลักษณะเป็นจาน 2 แผ่นประกบกันและมีริมบางในลักษณะคมมีดทุ่ หมุนกลิ้งไปบนสิ่งที่ต้องการบด และมีรอบการหมุนต่ำเพราะมีเฟืองทดรอบจากมอเตอร์ลงมา 3-5 เท่า ทำให้มีแรงเสียดทานและความร้อนเกิดขึ้นระหว่างการบดน้อยมาก ในขณะที่จานหมุนดินขับจะถูกบดและคลุกผสมในเวลาเดียวกัน อย่างไรก็ตามการบดอย่างเดียวยังจะเสียเวลามาก ดังนั้นจึงต้องมีการร่อนแยกเอาส่วนที่ละเอียดออกและบดส่วนหยาบที่เหลือจนละเอียดเช่นเดียวกับการบดด้วยมือ จากนั้นจึงรวมกันและบดต่อจนละเอียดเป็นผงคล้ายแป้งจึงนำมาใช้ได้ การบดดินขับที่มีปริมาณดินประสิวง 1 กก. จะใช้เวลาประมาณ 60-90 นาที



ภาพที่ 4 เครื่องบดแบบ edge runner mill

4.2 อุปกรณ์การอัดดินขับในเปลือกบรจุ

การอัดดินขับเป็นขั้นตอนสำคัญในการทำบั้งไฟหรือบอไฟ โดยการอัดที่ไม่แน่นพอจะทำให้ดินขับลุกไหม้รวดเร็วมากเกินไปจนก๊าซที่เกิดขึ้นออกไม่ทันจึงเกิดการระเบิด นอกจากนั้นการอัดไม่แน่นยังทำให้เกิดการลุกไหม้ไม่สม่ำเสมอ การอัดแน่นช่วยให้สามารถบรรจุดินขับได้มากและยังช่วยให้ดินขับทำหน้าที่เปลือกภาชนะที่แข็งแรงไปในตัว การอัดดินขับในสมัยก่อนใช้วิธีการตอกโดยใช้แกนไม้หรือเหล็กกดดินขับ และใช้ฆ้อนหรือท่อนไม้หนักๆทุบแกน โดยมีกบบรรจุดินขับเป็นชั้นๆและตอกหลายๆครั้งติดต่อกัน (100-200 ครั้ง) จนแน่น แล้วบรรจุชั้นใหม่ (สมคิด พรหมมา, 2516) แต่ในระยะ 20 ปีหลังมานี้ได้มีการดัดแปลงใช้แม่แรงไฮดรอลิกชนิดที่ใช้กรรมมาอัดโดยเริ่มจากกลุ่มนักทำบั้งไฟแถบภาคอีสาน และพัฒนามาจนถึงปัจจุบันที่มีการใช้แม่แรงอัดเกือบทั้งหมด เนื่องจากแม่แรงที่ใช้มีขนาดเล็กและสามารถใช้อัดวัตถุสร้างลูกไฟได้ทีละอัน ตลอดจนถึงแม่แรงและปลดแม่แรงทุกครั้งเตรียม ทำให้ไม่สะดวกกับการผลิตปริมาณมาก เนื่องจากงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ให้มีการขยายผลงานวิจัยไปสู่การผลิตในรูปแบบอุตสาหกรรมรายย่อยและมีความรวดเร็ว แม่นยำในกระบวนการผลิต จึงต้องใช้เครื่องมือที่สามารถควบคุมแรงอัดให้คงที่ตลอดจนสามารถผลิตต่อเนื่องได้คราวละหลายๆ และมีความสม่ำเสมอของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงได้ดัดแปลงเครื่องอัดแร่ธาตุก้อนสำหรับโคนม ที่ทำงานโดยระบบไฮดรอลิกซึ่งปรับให้เดินขึ้นลงได้ 2 ทาง และสามารถตั้งแรงอัดสูงต่ำตามสเกลวัดความดันที่ติดอยู่กับสายส่งน้ำมันไฮดรอลิก ปัมไฮดรอลิกจะทำงานโดยมอเตอร์ไฟฟ้า และใช้คันโยกบังคับการขึ้นลงลักษณะเดียวกับระบบไฮดรอลิกของรถแทรกเตอร์ทั่วไป ซึ่งเครื่องนี้มีราคาประมาณ 60,000 บาทและออกแบบสร้างเองโดยผู้วิจัย เมื่อปี พ.ศ. 2527 การพัฒนาเครื่องให้สามารถใช้อัดดินขับของวัตถุสร้างลูกไฟทำโดยทำช่องเสริมภายในช่องอัดที่มีขนาด 10x20x25 ซม.³ จำนวน 8 ช่องสำหรับใช้กับเปลือกบรจุขนาดเล็ก 6 ช่องสำหรับเปลือกบรจุขนาดกลาง และ 3 ช่องสำหรับเปลือกบรจุขนาดใหญ่ เครื่องอัดแบบ 2 ทางแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 เครื่องไฮดรอลิกอัดดินขับและช่องบรรจุเปลือกพีวีซี พร้อมแกนเหล็กสำหรับอัด

ในการบรรจุจะใส่ดินขับลงในเปลือกพีวีซี แล้วอัดด้วยนิ้วมือจนเต็ม และนำมาใส่ในช่องอัดที่มีขนาดพอดีกับความกว้างด้านนอกของเปลือก และเพิ่มดินขับอีก $\frac{1}{2}$ ส่วน ของเปลือกบรรจุ เมื่อใส่จนครบทุกช่องแล้วจึงวางแกนอัดและอัดตามแรงที่ตั้งไว้ ซึ่งแรงที่เหมาะสมคือ 700 ปอนด์/ ตรน. ซึ่งจะทำให้บรรจุได้ตามปริมาตรที่ต้องการคือประมาณ 80% ของความลึกเปลือกบรรจุ โดยเปลือกบรรจุไม่มีการบวม จากนั้นจึงใช้ดินเหนียวแห้งที่บดละเอียดใส่ให้เต็มช่องว่างของเปลือกที่เหลือ และอัดให้แน่นอีกครั้งหนึ่ง จากการหาค่าเฉลี่ยของปริมาณดินขับที่สามารถบรรจุในเปลือกบรรจุทั้ง 3 ขนาดพบว่ามียาค่าดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 น้ำหนักและความจุดินขับเฉลี่ย (กรัม) ของวัสดุสร้างลูกไฟเตรียมจากเปลือกบรรจุ
ขนาดต่างๆ (N=20)

รายการ	นน.เปลือกบรรจุ	นน.ดินขับ	นน.ดินอุด	นน.รวม
ขนาดเล็ก	15.7	18.1	4.1	37.9
ขนาดกลาง	21.5	26.5	5.3	53.3
ขนาดใหญ่	30.4	50.9	9.8	91.1

จากตารางที่ 9 จะเห็นว่าเปลือกบรรจุขนาดที่พบว่ามีเหมาะสมจากการทดลองที่ 3 คือ ขนาดเล็ก สามารถบรรจุดินขับได้ 18.1 กรัม ที่ความหนาแน่น 2.64 กรัม/ลบ.ซม. ซึ่งสามารถยักวัตถุทั้งหมดหนัก 37.8 กรัมขึ้นสู่ท้องฟ้าและเกิดลูกไฟที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการ โดยเมื่อคิดเป็นอัตราส่วนของน้ำหนักยก/น้ำหนักดินขับจะมีค่าเท่ากับ $37.8/18.1=2.09$ และสำหรับเปลือกบรรจุขนาดกลางและใหญ่มีค่าเท่ากับ 2.01 และ 1.79 ตามลำดับ จะเห็นว่าประสิทธิภาพของดินขับจะดีที่สุดเมื่อใช้กับเปลือกขนาดเล็ก ทำให้ไม่ต้องใช้แรงขับมากเท่ากับขนาดกลางและขนาดใหญ่ ดังนั้นจึงสามารถลดแรงขับโดยเพิ่มขนาดทางออกของไฟ เพื่อช่วยให้เสียงการพุ่งขึ้นลดลง และลูกไฟมีขนาดใหญ่ขึ้นในเวลาเดียวกัน

4.3 อุปกรณ์เจาะรูปักแกนหมุน ทางไฟออก ความปลอดภัย และลักษณะแกนหมุนที่เหมาะสม

ปัจจัยสำคัญที่สุดในการทำให้วัสดุลักษณะคล้ายลูกอมยืมทรงกระบอกหมุน และพุ่งขึ้นสู่ท้องฟ้าในแนวตั้งฉากกับพื้นคือทางไฟออกและแกนหมุน รวมทั้งมุมและทิศทางของทางไฟออก ซึ่งหมายความว่าแรงที่เกิดจากการพุ่งออกของก๊าซจากการเผาไหม้ ต้องขับให้วัสดุพุ่งขึ้นจากพื้นและใช้การเหวี่ยงหมุนเพื่อทรงตัวให้ตั้งตรง ดังนั้นจุดหมุนที่อยู่ตรงจุดกึ่งกลางวงกลมด้านปิดของท่อพีวีซีจึงมีความสำคัญ และต้องตั้งฉากกับด้านปิดเพื่อไม่ให้ท่อหมุนแกว่ง การเจาะรูเพื่อปักแกนหมุนรวมทั้งทางไฟออกสามารถทำได้สะดวกโดยใช้สว่านไฟฟ้าเจาะ ซึ่งสว่านต้องตั้งอยู่บนแท่นที่สามารถบังคับทิศทางและกำหนดมุมได้อย่างแม่นยำ ในการเจาะรูเพื่อปักแกนหมุนและทางออกของไฟโดย ใช้ดินขับที่ติดไฟที่อุณหภูมิต่ำหรือลูกไหม้เมื่อถูกเสียดสีนับว่ามีอันตรายมากที่สุด ในกระบวนการผลิต เพราะจะเกิดการเสียดสีระหว่างดอกสว่านกับเปลือกบรรจุและดินขับ ดังนั้นดินขับจะต้องมีจุดติดไฟสูงซึ่งมีส่วนผสมดังเช่นที่ใช้ในการทดลองที่ 2-3 และต้องไม่มีการผสมโพแทสเซียมคลอเรต ไม่ว่ามากหรือน้อยลงในส่วนผสมดินขับอย่างเด็ดขาด เพราะโพแทสเซียมคลอเรตเมื่อผสมกับสารรีดิวซ์เช่นถ่านเมื่อเกิดการเสียดสีและเกิดความร้อนเพียงเล็กน้อยจะติดไฟและถ้าอยู่ในที่แคบหรือในเปลือกบรรจุจะเกิดระเบิดทันที นอกจากนั้นไม่ควรใส่ผงอลูมิเนียมร่วมกับกำมะถันลงในสูตร เพราะจะไวต่อการเสียดสีและติดไฟเช่นกัน สำหรับรอบการหมุนของสว่านนั้นจากการสังเกตพบว่าการเจาะโดยใช้รอบปานกลาง (700-800 รอบต่อนาที) จะทำให้ทางออกไฟเรียบและกลมกว่าการใช้รอบสูง ดังนั้นสว่านที่สามารถปรับรอบการหมุนได้จึงมีความเหมาะสมกับการใช้ในงานนี้ นอกจากนั้นความคมของดอกสว่านจะช่วยลดความร้อนจากการเสียดสีได้ดีจึงต้องมีการฝนดอกสว่านให้คมอยู่เสมอ จากการทดลองที่ 1-3 นั้นไม่พบปัญหาการลูกไหม้หรือเกิดควันระหว่างการเจาะ แสดงว่าสูตรดินขับที่ใช้มีความปลอดภัย

ในการทดลองนี้ได้มีการพัฒนาและปรับปรุงอุปกรณ์สำหรับยึดสว่านไฟฟ้า โดยสามารถปรับมุมได้ตั้งแต่ 45-90 องศา โดยสว่านสามารถเลื่อนขึ้นในตามมุมต่างๆได้อย่างสะดวก ลักษณะของอุปกรณ์เจาะซึ่งทำด้วยรางเหล็กและแท่นยึดแสดงในภาพที่ 6 ซึ่งมีราคาประมาณ 3,000 บาท



ภาพที่ 6 สว่านเจาะรูปักแกนหมุนและทางไฟออก พร้อมทั้งตั้งมุมและความลึกของการเจาะ

สำหรับแกนหมุนั้นในการทดลองที่ 1-3 ใช้แกนที่ทำจากไม้ไผ่แห้งที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.5 ซม. ยาว 9 ซม. ปีกลงในท่อลึกประมาณ 30% ของความยาวท่อ แต่พบปัญหาสำคัญในระหว่างการทดลองดังกล่าวคือ ลูกไฟบางส่วนติดคาอยู่กับฐานจุดและบางส่วนเมื่อขึ้นไปถึงจุดสูงสุดแล้วจะมีประกายไฟ ซึ่งปัญหาดังกล่าวเมื่อผู้วิจัยได้ตรวจสอบจากปัจจัยต่างๆแล้วพบว่าน่าจะเกิดจากแกนหมุนที่ทำด้วยไม้ไผ่ จึงทำการทดลองเปรียบเทียบกับแกนหมุนที่ทำจากวัสดุอื่นคือเส้นเหล็กกลวดเชื่อมขนาดเล็กมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.2 ซม. ชนิดที่ใช้กับก๊าซอะเซทิลีน ซึ่งหาได้ง่ายทั่วไป และมีราคาถูก (26 บาท/กก.) และทดสอบกับวัตถุสร้างลูกไฟที่เตรียมโดยวิธีเช่นการทดลองที่ 3 และใช้ความยาวของแกน 3 ระดับคือ 6, 7 และ 9 ซม. การวัดผลใช้วิธีวัดมุมที่ลูกไฟเคลื่อนที่โดยวัดจากภาพที่บันทึกโดยกล้องดิจิทัล โดยคิดเป็นมุมเงยจากแนวราบ และวัดเปอร์เซ็นต์วัตถุที่เกิดประกายไฟและติดค้างอยู่กับฐาน ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 10

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการใช้เหล็กกลวดเชื่อมมาแทนแกนไม้ไผ่มีผลต่อมุมการพุ่งขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเกิดจากการที่แกนไม้ไผ่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดใหญ่และมีผิวไม่เรียบตลอดจนโค้งงอได้ จึงเกิดการเสียดทานกับด้านในของหลักบังคับทิศทางของฐานจุด ทำให้มุมของการพุ่งขึ้นลดลง ตลอดจนบางตัวอย่างที่มีแรงเสียดทานมากๆ แกนจะติดกับผิวด้านในของแกนบังคับ ทำให้วัตถุสร้างลูกไฟไม่หมุน จึงติดค้างอยู่กับฐานจุด แต่เมื่อเปลี่ยนเป็นแกนเหล็กซึ่งมีผิวมัน มีความแข็ง และมีขนาดเล็กกว่า พบว่าไม่มีลูกไฟติดค้างอยู่กับฐาน

ตารางที่ 10 ค่าเฉลี่ยมุม การเกิดประกายไฟ และการติดค้างกับฐานของวัตถุสร้างลูกไฟที่ใช้แกนหมุนทำจากวัสดุต่างกัน (N=9)

วัสดุที่ใช้/ความยาว (ซม.)	มุมจากแนวราบ (องศา)	การเกิดหาง (%)		การติดค้างในฐานจุด (%)
		เกิด	ไม่เกิด	
ไม้ไผ่				
6	81.8	22.2	77.8	0.00
7	77.0	33.3	66.7	11.10
9	70.6	22.2	77.8	22.20
รวม	76.4 ^a	25.9	74.1	16.70
เหล็กกลวดเชื่อม				
6	88.2	0.00	100	0.00
7	87.4	0.00	100	0.00
9	80.3	0.00	100	0.00
รวม	85.3 ^b	0.00	100	0.00

ค่าเฉลี่ยมุมการพุ่งขึ้นที่มีอักษรยกกำลังแตกต่างกันคือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)

การใช้แกนหมุนที่ทำจากเหล็กลวดเชื่อมซึ่งไม่มีการลวกไหม้ ส่งผลให้ลูกไฟไม่เกิดหางก่อนที่จะดับ ซึ่งแตกต่างจากการใช้แกนไม้ไผ่ที่ความร้อนจากการเผาไหม้ของดินขี้บจะทำให้แกนเกิดการเผาไหม้กลายเป็นถ่านและติดไฟพุ่งออกมาทางรูไฟออกตามแรงขับของดินขี้บ จึงทำให้มองเห็นสะเก็ดไฟก่อนลูกไฟจะดับ จากการสังเกตพบว่าถ้าใช้แกนไม้ไผ่ยังไม่แห้งสนิทจะมองไม่เห็นสะเก็ดไฟ เพราะแกนลูกไฟมักกลายเป็นถ่านช้ากว่าระยะเวลาที่ดินขี้บไหม้หมด แต่เมื่อนำไม้ไผ่ที่ทำมาสำหรับใช้เสียบเนื้ออย่างที่มีขายตามท้องตลาดมาใช้ดังในการทดลองนี้พบว่า 24.5 เปอร์เซ็นต์ของลูกไฟจะเกิดประกายไฟหรือหางก่อนดับ ดังนั้นการใช้แกนหมุนที่ทำจากเหล็กจึงมีความจำเป็น

ในส่วนของความยาวของแกนนั้นพบว่าเมื่อใช้แกนยาวขึ้น ทำให้มุมการพุ่งขึ้นลดลงจากผลของแรงเสียดทาน และมีวัตถุสร้างลูกไฟติดค้างอยู่กับฐานมากขึ้น ดังนั้นการใช้แกนหมุนยาวเพียง 6 ซม. จะมีความเหมาะสมที่สุด

การทดลองที่ 5 วิธีการจุดที่ทำให้คาดตำแหน่งและเวลาลูกไฟขึ้นไม่ได้

5.1 ระดับที่จุดวัดจากผิวน้ำและการคาดเดาตำแหน่งลูกไฟขึ้น

ศึกษาการจุดโดยชนวนถ่วงเวลาและตำแหน่งที่จุด โดยศึกษาวิธีการจุด 3 วิธีคือ ใส่กระถางลอยน้ำ จุดริมฝั่งน้ำที่สูงไม่เกิน 30 ซม. จากผิวน้ำ และจุดบนฝั่งสูงเกิน 1 เมตรจากผิวน้ำ

อุปกรณ์จุดใช้ภาชนะอลูมิเนียม ที่มีความกว้างประมาณ 19 ซม. และลึก 18 ซม. และใช้หลักอลูมิเนียมเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.8 ซม. ยาว 12 ซม. ปักบนฐานไม้วางที่กั้นภาชนะเพื่อทำหน้าที่เป็นแกนบังคับทิศทาง อุปกรณ์นี้สามารถลอยน้ำได้

ชนวนถ่วงเวลาทำจากเทียนยากันยุงตราห่านฟ้าลักษณะเป็นขด นำมาตัดให้มีมีความยาว 4-5 ซม. ซึ่งเทียนยากันยุงจะมีความเร็ววัดตอนไม่มีลมพัดประมาณ 0.25 ซม./นาทิจึงจะใช้ลวดเส้นเล็กมัดเทียนยากันยุงแนบกับชนวนของวัตถุสร้างลูกไฟ โดยทุกวิธีจะใช้จุดในถังพลาสติกซึ่งวางในตำแหน่งที่ต้องการ

แต่ละวิธีจุดใช้วัตถุสร้างลูกไฟ 9 ลูกโดยดำเนินการผลิตตามวิธีการที่คัดเลือกมาจากผลการทดลองที่ 1-4 สำหรับชนวนใช้ชนวนสีเขียวชนิดที่ใช้กับงานดอกไม้ไฟ มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.1-0.2 ซม. ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน และมีจำหน่ายทั่วไปในราคาเมตรละประมาณ 8-10 บาท ชนวนเขียวมีความเร็วประมาณ 40 ซม./นาทิจึง

การวัดผลใช้กรรมการที่ผ่านการคัดเลือกมาให้คะแนนดีที่สุด จากการทดลองที่ผ่านมาจำนวน 3 คน และบันทึกจำนวนลูกไฟที่มองเห็นว่าขึ้นมาจากน้ำ และคาดเดาตำแหน่งที่ขึ้นไม่ได้ แล้วนำมาคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของลูกไฟจากแต่ละวิธีการ และหาค่าทางสถิติเชิง descriptive เพื่อใช้ตัดสินวิธีการจุดที่เหมาะสมต่อไป

ผลการทดลอง

คุณสมบัติการพุ่งขึ้นมาจากน้ำ และการคาดตำแหน่งและเวลาการขึ้นไม่ได้นับเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของบั้งไฟพญานาค ดังนั้นการพัฒนาวัตถุสร้างลูกไฟเพื่อให้คุณสมบัติใกล้เคียงจึงมีความสำคัญ โดยที่การทดลองที่ 1-4 มุ่งเน้นการพัฒนาวัตถุสร้างลูกไฟเป็นหลัก และได้รูปแบบส่วนประกอบ อุปกรณ์และกรรมวิธีผลิตที่มีความเหมาะสม การทดลองนี้จึงเป็นการศึกษาหาวิธีการนำไปจุด เพื่อให้ได้ลูกไฟที่มีองค์ประกอบที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ในส่วนของการทำให้มองไม่เห็นว่าใช้คนจุดนั้น การใช้ชนวนถ่วงเวลาที่ไม่ลุกไหม้เป็นเปลวไฟจะทำได้ง่ายที่สุด โดยผู้วิจัยได้นำเทียนยากันยุงที่สามารถลุกไหม้ต่อเนื่องและมองไม่เห็นแสงไฟเมื่ออยู่ในระยะเกิน 10 เมตรมาใช้ จากการเปรียบเทียบกับวัสดุอื่นเช่น ฐูปหรือบุหรืนั้นพบว่า ฐูปมีความแปรปรวนด้านความหนาของเชื้อไฟและแกนไม้ไผ่ ตลอดจนมักมีการหลุ่ร่วงทำให้ดับหรือมีความเร็วการลุกไหม้ไม่แน่นอน ส่วนบุหรืนั้นมักดับตรงจุดเชื่อมกับชนวนเขียวและมีราคาแพง การใช้เทียนยากันยุงจึงมีความเหมาะสมมากที่สุด ในการใช้งานสามารถจุดมาจากที่อื่นแล้วนำมาวางที่จุดที่ต้องการ ซึ่งถ้าเป็นเวลากลางคืนแล้วจะไม่สามารถมองเห็น และสามารถถ่วงเวลาได้ตามต้องการ นอกจากนั้นการจุดแล้ววางบนสิ่งที่ลอยน้ำได้เช่นกระทงและนำไปลอยในแม่น้ำ การถ่วงเวลาด้วยวิธีนี้จะทำให้กระทงลอยไปได้ไกล และจะไม่ทราบตำแหน่งที่จุด

ตารางที่ 11 ค่าเฉลี่ย (mean) และความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ของการให้คะแนนเปอร์เซ็นต์ของลูกไฟที่มองเห็นว่าขึ้นจากน้ำและคาดตำแหน่งขึ้นไม่ได้ (N=3)

ตำแหน่งจุด/รูปแบบการขึ้น	ขึ้นมาจากน้ำ		คาดตำแหน่งขึ้นไม่ได้	
	Mean	SD	Mean	SD
จุดสูงจากผิวน้ำ 100 ซม.	79.2	5.9	83.3	5.9
จุดสูงจากผิวน้ำ 30 ซม.	85.7	11.1	80.9	6.7
จุดบนผิวน้ำ	100.0	0.0	58.3	21.2

จากผลการทดลองในตารางที่ 11 แสดงให้เห็นว่าการจุดวัตถุสร้างลูกไฟโดยวางอุปกรณ์จุดบนผิวน้ำทำให้มองเห็นเหมือนขึ้นมาจากน้ำมากที่สุดโดยกรรมการทั้งหมดมีเสียงเป็นเอกฉันท์ 100% การจุดวัตถุสร้างลูกไฟจึงควรทำที่ระดับผิวน้ำ ส่วนการวางสูงจากผิวน้ำมากขึ้นนั้นส่งผลต่อความเห็นของกรรมการค่อนข้างชัดเจนว่ามีเปอร์เซ็นต์การเห็นพุ่งขึ้นจากผิวน้ำลดลง โดยวัตถุที่จุดสูงจากผิวน้ำ 100 ซม. นั้นกรรมการว่ามีเพียง 79% ของลูกไฟเท่านั้นที่เห็นเหมือนขึ้นมาจากผิวน้ำ และมีความเบี่ยงเบนของการให้ความเห็นคิดเป็นความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 5.9 ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสม ในส่วนของการจุดสูงจากผิวน้ำ 30 ซม. นั้นมีค่า SD เท่ากับ 11.1 ซึ่งมีค่ามากขึ้น

แสดงว่าความไม่แน่ใจของคนดูที่จะลงความเห็นว่าจะขึ้นมาจากน้ำมีมากขึ้น การจุดที่ระดับนี้จึงไม่มีความเหมาะสม ในส่วนของการคาดเดาดำแหน่งที่ถูกไฟขึ้นไม่ได้ นั่น จัดว่าเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญ ทั้งนี้เพราะจะทำให้เกิดความตื่นเต้น แปลกตา และ เสมือนเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติ ในการทดลองนี้พบว่า การจุดที่ระดับสูงจากพื้นส่งผลให้ผู้ดูให้ความเห็นว่า ลูกไฟกว่า 80% คาดเดาดำแหน่งและเวลาขึ้นไม่ได้ โดยมีความเบี่ยงเบนของการให้ความเห็นในช่วงที่เป็นปกติ อย่างไรก็ตาม เมื่อจุดที่ระดับผิวน้ำ กระบวนการให้ความเห็นว่ามีเพียง 58% ของลูกไฟเท่านั้นที่ไม่สามารถคาดเดาดำแหน่งหรือเวลาได้ ทั้งนี้เพราะเกิดแสงสะท้อนกับผิวน้ำตอนชนวนเริ่มลุกไหม้และวัตถุสร้างลูกไฟเริ่มยกตัว ทำให้มองเห็นแสงที่ผิวน้ำ 1-2 วินาที ก่อนที่ลูกไฟจะพุ่งขึ้นสู่ท้องฟ้า รวมทั้งทำให้เกิดความไม่แน่ใจค่อนข้างมากโดยมีค่า SD ถึง 21.2 ดังนั้นปัจจัยนี้จึงมีความสำคัญค่อนข้างสูงและจำเป็นต้องมีการวิจัยและพัฒนา เพื่อให้ได้วิธีการที่ไม่สามารถคาดเดาดำแหน่งและเวลาได้อย่างสมบูรณ์ โดยศึกษาการใช้อุปกรณ์จุดที่สามารถบังแสงไฟรูปแบบต่างๆ ตลอดจนพัฒนาวิธีการที่ทำให้ลูกไฟจุดตัวจากใต้น้ำต่อไป

การทดลองนี้จึงสรุปได้ว่า การจุดลูกไฟโดยมองไม่เห็นผู้จุดคือ จุดด้วยชนวนถ่วงเวลาทำจากเทียนยากันยุงชนิดขดตัดให้มีความยาวประมาณ 4 ซม. ซึ่งใช้แนบกับชนวน โดยสามารถถ่วงเวลาได้ประมาณ 15 นาที ส่วนการจุดโดยให้มองเห็นเสมือนขึ้นมาจากผิวน้ำนั้นควรจุดโดยวางบนกระแทกที่ลอยผิวน้ำ แต่ต้องมีการพัฒนาอุปกรณ์ที่สามารถบังแสงไฟจากการลุกไหม้ของชนวนได้ต่อไป

5.2 อุปกรณ์จุด ที่มีส่วนบังแสง สร้างจากวัสดุที่มีในท้องถิ่น

จากผลการทดลองที่ 5.1 ซึ่งใช้ภาชนะอลูมิเนียมที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 19 ซม. และลึก 18 ซม. เป็นส่วนบังแสงและใช้ลอยน้ำ ซึ่งพบว่าเมื่อจุดวัตถุสร้างลูกไฟแล้วทำให้มองเห็นในลักษณะขึ้นมาจากน้ำ แต่ยังสามารถคาดเดาดำแหน่งได้ประมาณ 40% ของตัวอย่างที่จุดเนื่องจากสามารถมองเห็นแสงสะท้อนกับพื้นน้ำเมื่อชนวนเริ่มติดไฟ ซึ่งอาจเนื่องจากภาชนะอลูมิเนียมสามารถสะท้อนแสงและมีเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่าวัตถุสร้างลูกไฟที่มีขนาดเพียง 2.8 ซม. การทดลองนี้จึงมุ่งใช้วัสดุที่บังแสงที่ลอยน้ำและมีสีดำ เช่น ถังน้ำพลาสติกและลดระยะห่างจากผนังภาชนะลงตลอดจนให้มีความลึกมากขึ้น และพิจารณาถึงการใช้ภาชนะจุดให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นโดยการใส่วัตถุสร้างลูกไฟมากกว่า 1 ชิ้นต่อภาชนะ 1 ใบ ภาชนะที่เลือกมาศึกษาและจำนวนที่ใส่ได้แก่

- ก. กระป๋องนมผงใช้แล้วขนาดเล็ก เส้นผ่าศูนย์กลาง 10 ซม. ลึก 12 ซม. และใส่วัตถุ 1 ชิ้น โดยอัดดินเหนียวด้านล่างประมาณ 3 ซม. เพื่อยึดท่อยับกับทิศทาง และถ่วงให้กระป๋องจมน้ำประมาณ 4 ซม.
- ข. กระป๋องนมผงใช้แล้วขนาดกลาง เส้นผ่าศูนย์กลาง 13 ซม. ลึก 18 ซม. และใส่วัตถุ 1 ชิ้น โดยอัดดินเหนียวในสัดส่วนเท่ากับข้อ ก.

- ค. กระป๋องนมผงใช้แล้วขนาดเล็กที่วางบนแผ่นโฟมเสริมไม้อัดปลายวัสดุและปักท่อบังคับทิศทางท่อโฟมโดยไม่ถ่วงดินเหนียว และใส่วัสดุ 1 ชั้น
- ง. ถังพลาสติกสีดำเบอร์ 18 เส้นผ่าศูนย์กลางก้น 20 ซม. ลึก 30 ซม. ถ่วงด้วยทรายหนาประมาณ 20 ซม. และวางทับด้วยฐานไม้ที่ปักท่อ และใส่วัสดุ 4 ชั้น
- จ. กระละมังพลาสติกสีดำ เส้นผ่าศูนย์กลาง 50 ซม. ลึก 20 ซม. ด้านล่างวางด้วยเหล็กเส้นที่ออกเชื่อมเป็นโครงยึดท่อบังคับทิศทาง และใส่วัสดุ 9 ชั้น
- ลักษณะของอุปกรณ์จุดที่ลอยน้ำได้ทำจากภาชนะทั้ง 5 แบบแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 อุปกรณ์จุดที่ลอยน้ำสร้างจากวัสดุในท้องถิ่นหรือของเหลือใช้

การวัดผลการทดลองใช้วิธีการให้คะแนนโดยกรรมการชุดเดียวกับที่ใช้ในการทดลองที่ 1-3 และพิจารณาเฉพาะลักษณะสำคัญ เพื่อให้บรรลุผลสำคัญคือการคาดเดาดำเนินงานขึ้นไม่ได้ คะแนน 10 คะแนน มุมที่ขึ้น และการมีเสียงดังค่อยคะแนน 10 คะแนน ทั้งนี้เพราะบางอุปกรณ์ที่ศึกษาบรรจุวัสดุสร้างลูกไฟมากกว่า 1 ลูกซึ่งอาจทำให้ได้ยินเสียงการพุ่งขึ้นดังแรงขึ้น ตลอดจน

อุปกรณ์บางแบบมีลักษณะทรงกระบอกซึ่งอาจเก็บเสียงได้ดีขึ้น การให้คะแนนจะเป็นการให้ต่อชุดอุปกรณ์และใช้จำนวนซ้ำเท่ากับ 4 การวิเคราะห์ผลทางสถิติใช้วิธีวิเคราะห์ variance ในแผน CRD

ผลการทดลอง

ผลการศึกษาอุปกรณ์จุดที่มีส่วนบังไฟและผลิตจากวัสดุพื้นบ้านหรือวัสดุที่ใช้แล้วแสดงในตารางที่ 12 จะเห็นว่าอุปกรณ์จุดแต่ละแบบมีผลต่อมุมการพุ่งขึ้นของลูกไฟแตกต่างกัน โดยกลุ่มที่จุดโดยใช้อุปกรณ์ทำจากกระป๋องนมผงขนาดเล็กและแบบถังน้ำพลาสติกเบอร์ 18 มีการขึ้นเงียงมากกว่าแบบใช้กระป๋องนมขนาดกลางและแบบใช้กะละมังพลาสติกอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้เนื่องจากการทรงตัวและน้ำหนักของอุปกรณ์ โดยกระป๋องนมขนาดกลางมีเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า และบรรจุดินน้ำมันมากกว่าขนาดเล็กในขณะที่บรรจุวัตถุสร้างลูกไฟจำนวน 1 ลูกเท่ากันจึงมีการทรงตัวมั่นคงและกินน้ำลึกกว่าแบบกระป๋องขนาดเล็กที่ใช้เฉพาะกระป๋องหรือใช้โพรมรองฐาน พื้นที่หน้าตัดของอุปกรณ์ที่สัมผัสกับน้ำจึงมีความสำคัญในการทำให้ฐานไม่แกว่งในขณะที่วัตถุสร้างลูกไฟเริ่มหมุนและถูกขับออกจากฐาน ในส่วนของถังน้ำพลาสติกนั้นมีพื้นที่หน้าตัดด้านล่างน้อยกว่าปากถังและมีความสูงมากกว่าอุปกรณ์อื่น ดังนั้นจึงมีการทรงตัวไม่ค่อยดีทำให้ลูกไฟขึ้นเงียงกว่าแบบกะละมังลอยน้ำดังที่ได้กล่าวมาแล้ว เพื่อให้มองเห็นความสำคัญของความกว้างพื้นที่อุปกรณ์ส่วนที่สัมผัสน้ำจึงได้คำนวณอัตราส่วนพื้นที่อุปกรณ์จุดต่อวัตถุสร้างลูกไฟ 1 ลูกพบว่าได้ผลที่สนับสนุนข้อวิจารณ์ดังกล่าว โดยอุปกรณ์ทำจากกระป๋องนมขนาดกลางและกะละมังพลาสติกมีค่ามากกว่าและกะละมังพลาสติกมีค่ามากที่สุด

ตารางที่ 12 คะแนนเฉลี่ยของลูกไฟจุดโดยใช้อุปกรณ์ที่ลอยน้ำแบบต่างๆกัน

รายการ	แบบกระป๋องเล็ก	แบบกระป๋องนมกลาง	แบบกระป๋องรองโพรม	แบบถังน้ำพลาสติกดำ	แบบกะละมังพลาสติก
ความจุ/อุปกรณ์	1	1	1	4	9
มุมที่ขึ้น องศา	82 ^a	88.6 ^b	84.0 ^{ab}	80.0 ^a	88.2 ^b
มีเสียงค่อย	7.7 ^a	9.2 ^b	8.0 ^a	9.0 ^b	9.0 ^b
คาดเดาดำแหน่ง					
ขึ้นไม่ได้	8.2 ^a	9.4 ^b	8.0 ^a	8.4 ^a	10.0 ^c
พื้นที่สัมผัสน้ำ/ วัตถุ 1 ชิ้น	78.6	132.8	78.6	78.6	218.3

ค่าเฉลี่ยในบรรทัดเดียวกันที่มีอักษรยกกำลังแตกต่างกันคือแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)

ในส่วนของการพุ่งขึ้นนั้น การใช้กระป๋องนมขนาดกลางซึ่งมีลักษณะเป็นท่อทรงกระบอกที่มีความสูง 18 ซม.สามารถช่วยเก็บเสียงลูกไฟตอนเริ่มพุ่งขึ้นได้ดีกว่ากระป๋องขนาดเล็กที่มีความสูง 12 ซม. ซึ่งได้ผลดีทำนองเดียวกับกะละมังพลาสติกที่มีความสูง 20 ซม. ซึ่งทั้งสองอุปกรณ์ทำให้ลูกไฟได้คะแนนเสียงค่อนข้างแตกต่างจากอีก 3 แบบอย่างมีนัยสำคัญ ความสูงของส่วนบังแสงซึ่งเป็นผนังด้านข้างของอุปกรณ์จึงมีความสำคัญต่อการช่วยเก็บเสียง เมื่อพิจารณาถึงความจุของอุปกรณ์ที่ทำจากกะละมังพลาสติกที่บรรจุได้ถึง 9 ลูกนั้นนอกจากจะทำให้ประหยัดจำนวนอุปกรณ์ที่ใช้แล้ว การพุ่งขึ้นของลูกไฟที่ขึ้นถี่ๆ กันหรือพร้อมหลายลูกยังไม่ทำให้เกิดเสียงดังเพิ่มขึ้นเมื่อใช้อุปกรณ์จุดในลักษณะนี้ การมีส่วนบังแสงที่มีความสูงเพียงพอจะทำให้สังเกตเห็นวัตถุตอนเริ่มติดไฟได้ไม่ชัดเจน ทำให้คาดเดาดำเนินการพุ่งขึ้นได้ยาก คะแนนการคาดเดาดำเนินการที่ลูกไฟพุ่งขึ้นของอุปกรณ์จุดทำจากกระป๋องนมขนาดกลางและกะละมังพลาสติกจึงได้มากกว่าอีก 3 แบบอย่างมีนัยสำคัญ

ผลการทดลองสรุปได้ว่าอุปกรณ์จุดวัตถุสร้างลูกไฟที่ใช้ลายน้ําแบบกระทง แบบใช้จุดหลายลูก ควรทำด้วยกะละมังพลาสติกขนาดใหญ่ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 ซม. และลึก 20 ซม. และถ้าจะใช้จุดทีละ 1 ลูกควรใช้อุปกรณ์ที่ทำจากกระป๋องนมผงใช้แล้วขนาดกลางที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 13 ซม. และลึก 18 ซม. โดยภาชนะทั้งสองชนิดจะใส่ดินเพื่อทำหน้าที่ถ่วงให้ภาชนะจมน้ํางานส่วนและทำให้มีน้ํานักพอเหมาะ และใช้ไม้หรือเหล็กเส้นทำเป็นโครงสำหรับยึดท่อบังคับทิศทาง และวางบนดินเพื่อใช้เสียบวัตถุสร้างลูกไฟ

การทดลองที่ 6 ความเห็นของผู้เคยชมบั้งไฟพญานาคมาแล้ว

จากวัตถุประสงค์หลักของโครงการวิจัย ที่ต้องการพัฒนาวัตถุสร้างลูกไฟที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับบั้งไฟพญานาค โดยโครงการสามารถพัฒนาวัตถุที่มีลักษณะคล้ายลูกอมยืมที่สามารถทำให้เกิดลูกไฟพุ่งขึ้นสู่ท้องฟ้าโดยมีสีแสงส้ม พุ่งขึ้นแบบลอยตัวแต่ไม่โค้งตกลงมาเมื่อขึ้นไปถึงจุดสูงสุดตลอดจนไม่มีหาง ประกายไฟ และควัน นอกจากนั้นยังมีเสียงค่อยจนไม่ได้ยินเสียงการพุ่งขึ้นเมื่อจุดห่างออกไปมากกว่า 400 เมตร ตลอดจนมองเห็นคล้ายๆ ขึ้นจากผิวน้ําโดยการใช้ชนวนถ่วงเวลาทำจากเทียนยากันยุง เพื่อให้มองเห็นไม่เห็นคนจุด และบรรจุในกระทงทำด้วยกระป๋องนมผงขนาดกลางที่ใช้แล้ว หรือใช้กะละมังพลาสติกสีดำขนาดใหญ่ การทดสอบความเห็นของผู้ที่เคยชมบั้งไฟพญานาคมาแล้วนับเป็นขั้นตอนสำคัญที่จะรวบรวมความเห็นจากคนนอกโครงการวิจัยเพื่อนำไปปรับปรุงแก้ไขวัตถุสร้างลูกไฟที่ดีที่สุดในขั้นตอนสุดท้ายต่อไป

การเตรียมวัตถุสร้างลูกไฟ ใช้กรรมวิธีที่เป็นผลจากการทดลองที่ 2-5 โดยใช้ท่อปิดพีวีซีขนาดเล็กเป็นภาชนะบรรจุ และใช้กะละมังสีดำขนาดใหญ่ที่มีที่เสียบวัตถุสร้างลูกไฟจำนวน 9 อัน วัตถุแต่ละอันจะใช้ชนวนเขียวยาว 5 ซม. ที่แบบเทียนยากันยุงยาว 4-5 ซม. สำหรับใช้ถ่วงเวลา

6.1 ความเห็นของผู้เคยชมบั้งไฟมาแล้วซึ่งมาจากภาคต่างๆ

ดำเนินการเตรียมวัสดุสร้างลูกไฟทั้งหมด 45 ลูก และอุปกรณ์จุด 5 ชุดที่จังหวัดเชียงใหม่ และนำไปทดสอบที่กรุงเทพฯ การจัดทำเป็นรายขึ้นโดยเผ่าส่วนที่เป็นเทียนยากันยูงให้ติดไฟก่อน และวางเสียบในท่อบังคับทิศทางจนครบ 9 ลูกต่อชุดจึงนำไปปล่อย

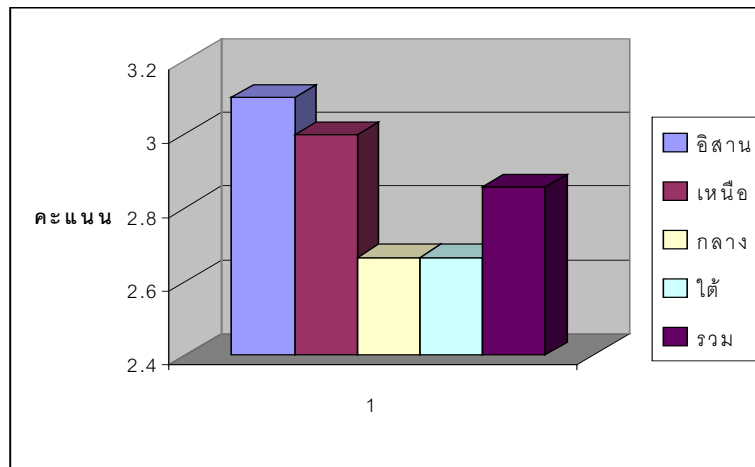
การทดลองทำในแม่น้ำเจ้าพระยา เมื่อคืนวันที่ 17 กรกฎาคม 2546 เวลา 20.30 น. โดยผู้ชมเป็นข้าราชการระดับสูงของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ระดับปลัดกระทรวง อธิบดี และหัวหน้าส่วนราชการระดับสูงของจังหวัดต่างๆทั่วประเทศจำนวน 150 คน ที่ร่วมงานเลี้ยงปิดการอบรมนักบริหารการพัฒนาการเกษตรและสหกรณ์ระดับสูง (น.บ.ส.) รุ่นที่ 41 จัดที่สโมสรกรมชลประทานริมแม่น้ำเจ้าพระยา สามเสน การจัดทำที่ทำเรือกรมฯ ฝั่งกรุงเทพฯ โดยใช้กะละมังสีดำขนาดใหญ่จำนวน 5 ใบบรรจุวัสดุสร้างลูกไฟที่จุดแล้ว 9 ลูกต่อใบ นำกะละมังไปวางเรียงรายบนหลังคาเรือหางยาวขนาดใหญ่ และแล่นตัดแม่น้ำจากฝั่งกรุงเทพฯ ไปจอดด้านตรงข้ามซึ่งเป็นฝั่งธนบุรี ซึ่งอยู่ห่างจากจุดที่ชมประมาณ 500 เมตร

การสอบถามความเห็นใช้วิธีเลือกสอบถาม จากผู้เข้าร่วมงานเฉพาะที่เคยชมบั้งไฟพญานาคที่จังหวัดหนองคายมาแล้ว โดยเลือกมาจำนวน 21 คน และให้แสดงความเห็นเชิงสเกลว่าลูกไฟที่ทดสอบมีความเหมือนบั้งไฟพญานาคมากน้อยแค่ไหน โดยใช้การให้คะแนนเป็นช่วง 1-4 คือ เหมือนที่สุด (4) เหมือนมาก (3) เหมือนปานกลาง (2) เหมือนเล็กน้อย (1) และไม่เหมือน (0) และสอบถามความเห็นและข้อเสนอแนะรวมรวมเป็นข้อๆ

ผลการทดลอง

จากการสอบถามผู้ที่ร่วมชมลูกไฟทดลอง โดยเลือกเฉพาะผู้ที่เคยชมบั้งไฟพญานาคมาแล้วจำนวน 21 คน โดยทั้งหมดเป็นผู้เข้ารับการศึกษา น.บ.ส. รุ่นที่ 41 และเป็นข้าราชการระดับ 8 ของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ มีอายุเฉลี่ย 51 ปี และมาจากส่วนต่างๆของประเทศคือภาคอีสาน 10 คน ภาคเหนือ 2 คน ภาคกลาง 6 คนและภาคใต้ 3 คน ผลการให้ความเห็นในลักษณะเชิงสเกลต่อเนื่อง มีช่วงคะแนน 0-4 แยกตามกลุ่มของผู้ให้ความเห็นที่อยู่ในภาคต่างๆแสดงในภาพที่ 8

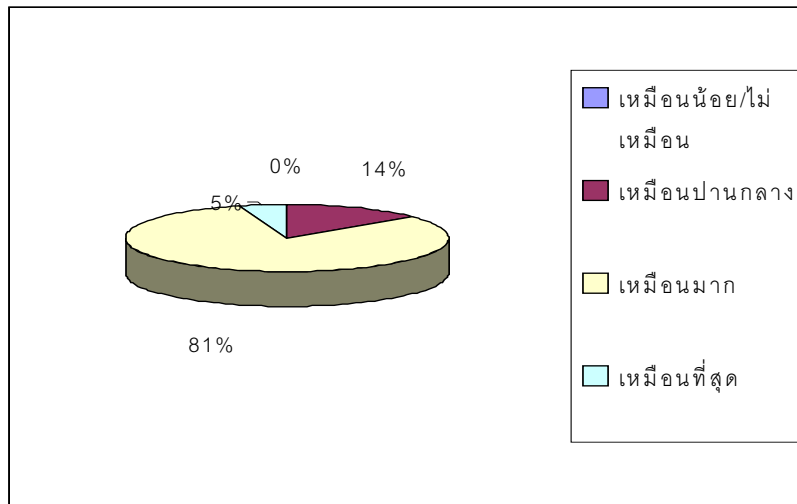
ภาพที่ 8 คะแนนเฉลี่ยความเหมือนของลูกไฟกับบั้งไฟพญานาค
แยกตามกลุ่มผู้ให้ความเห็นที่มาจากภาคต่างๆ



จากกราฟจะเห็นว่ากลุ่มผู้ที่มีมาจากภาคอีสานซึ่งเป็นพื้นที่ใกล้กับจุดที่มีปรากฏการณ์บั้งไฟพญานาคมากที่สุด ให้คะแนนความเหมือนเฉลี่ยเท่ากับ 3.1 และกลุ่มที่มีมาจากภาคเหนือให้คะแนนเฉลี่ย 3.0 ซึ่งอยู่ในช่วงเหมือนมาก ส่วนกลุ่มที่มีมาจากภาคใต้และภาคกลางให้คะแนนเฉลี่ยเท่ากันคือ 2.7 คะแนน ซึ่งเป็นช่วงคะแนนระหว่างเหมือนปานกลางไปจนถึงเหมือนมาก จากการที่กลุ่มที่มีมาจากภาคอีสานหลายคนเคยชมปรากฏการณ์บั้งไฟพญานาคหลายครั้ง และค่อนข้างจดจำลักษณะการพุ่งขึ้น ขนาด รูปร่าง และสีของลูกไฟได้ชัดเจน เมื่อได้มาชมลูกไฟจากการทดลองที่จุดเป็นชุดและขึ้นทีละหลายลูกติดต่อกัน จึงให้ความเห็นคิดในรูปของคะแนนสูงกว่ากลุ่มที่มีมาจากภาคอื่นที่ส่วนใหญ่เคยมาชมเพียงครั้งเดียวและเคยชมเมื่อหลายปีมาแล้ว เมื่อคิดเป็นคะแนนเฉลี่ยของกลุ่มที่มีมาจากทุกภาคได้เท่ากับ 2.9 ซึ่งถือว่าอยู่ในช่วงที่ดี

เมื่อแจกแจงเป็นจำนวนผู้ให้ความเห็นที่ให้คะแนนอยู่ในช่วงต่างๆดังแสดงในภาพที่ 9 พบว่ามีผู้ให้ความเห็น 1 ราย (คิดเป็น 5% ของผู้ให้ความเห็นทั้งหมด) ซึ่งทำงานอยู่ในพื้นที่ภาคอีสานให้ความเห็นว่าเหมือนที่สุด โดยอีก 14% ให้ความเห็นว่าเหมือนปานกลาง สำหรับผู้ให้ความเห็นส่วนใหญ่ (81% ของทั้งหมด) ให้ความเห็นว่าเหมือนมาก แสดงว่าผลการพัฒนาวัสดุสร้างลูกไฟและกรรมวิธีจุดจากน้ำนั้นประสบความสำเร็จในระดับที่ค่อนข้างดี

ภาพที่ 9 เปอร์เซ็นต์ของผู้ให้ความเห็นในช่วงคะแนนต่างๆ



ในส่วนของการเสนอแนะของผู้ให้ความเห็นนั้นกลุ่มผู้ที่ให้คะแนนน้อยกว่า 4 จะให้ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมถึงข้อแตกต่างจากบั้งไฟพญานาคคือ การมองเห็นควันจางๆของลูกไฟ ซึ่งให้ผลแตกต่างจากการทดลองที่ 1-4 ที่ไม่สามารถมองเห็นควันทั้งนี้เพราะในการทดลองที่ 1-4 นั้นทำในเขตชนบทที่ อำเภอสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งมีแสงไฟไม่มากจึงค่อนข้างมืด แต่ในการจุดในลำน้ำเจ้าพระยา โดยเฉพาะในช่วงฝั่งกรุงเทพฯและธนบุรี ตรงทำนบกมชลประทาน เขตสามเสน นั้นมีแสงไฟมากและค่อนข้างสว่างจึงทำให้มองเห็นควันจากการลุกไหม้ นอกจากนั้นยังมีผู้ให้ข้อเสนอแนะการมองเห็นลูกไฟในระดับสูงจากผิวน้ำมากเกินไป และลูกไฟไม่พุ่งออกมาจากผิวน้ำ ทั้งนี้เพราะวัตถุสร้างลูกไฟทั้งหมดจุดบนหลังคาเรือที่สูงจากผิวน้ำประมาณ 2.5 เมตร ซึ่งทราบกันเฉพาะผู้ดำเนินการทดลองแต่ผู้ชมไม่ทราบเพราะเรือลอยล่องอยู่ไกลกว่าที่จะสามารถมองเห็น ตลอดจนแม่น้ำเจ้าพระยามีเรือหลายประเภททั้งขนาดใหญ่และเล็กแล่นไปมา ตลอดเวลา ผู้ให้ความเห็นบางรายให้ข้อเสนอแนะว่าลูกไฟทดลองมีข้อแตกต่างจากบั้งไฟพญานาคตรงที่ลูกไฟทดลองมีการวาก่อนดับแต่บั้งไฟพญานาคจะค่อยๆเลือนหายไปและดับ ซึ่งคุณสมบัติข้อนี้ไม่ได้มุ่งเน้นในการทดลองที่ 1-4 ดังนั้นจึงต้องมีการทดลองและปรับปรุงในเรื่องนี้ต่อไป

6.2 ความเห็นของผู้ติดตามผลงานซึ่งเป็นตัวแทนผู้ให้ทุนวิจัย

การให้ความเห็นต่อผลการวิจัยโดยผู้ทรงคุณวุฒิ ซึ่งเป็นผู้แทนของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ซึ่งเคยได้ชมปรากฏการณ์บั้งไฟพญานาคที่ จ.หนองคายมาแล้ว ดำเนินการเมื่อคืนวันที่ 1 มิถุนายน 2546 ณ อ่างน้ำของศูนย์วิจัยและบำรุงพันธุ์สัตว์เชียงใหม่ อำเภอสันป่าตอง โดยเตรียมวัตถุสร้างลูกไฟโดยใช้เปลือกบรรจุทำด้วยท่อพีวีซี ขนาด เล็ก กลางและใหญ่อย่างละ 8 ลูก และบรรจุดินขับและใช้วิธีการอัดเช่นเดียวกับการทดลองที่ 6.1 ภาชนะจุดทำด้วยถังน้ำพลาสติกสีดำ

เบอร์ 18 และบรรจุวัตถุสร้างลูกไฟจำนวน 4 ลูกต่อถัง โดยใช้วิธีการจุดด้วยชนวนถ่วงเวลาเช่นเดียวกับการทดลองที่ 6.1

ความเห็นของผู้แทนของผู้ให้ทุนต่อลูกไฟที่แสดงในภาพรายนั้นเห็นว่า ลูกไฟจากวัตถุที่เตรียมจากเปลือกบรรจุขนาดเล็กมีความคล้ายคลึงกับไฟพญานาคมากกว่าอีก 2 ขนาดที่เหลือ เนื่องจากลูกไฟไม่มีสีจาง ขนาดเล็ก และไม่มีเสียงดัง ควั่น หรือสะเก็ดไฟ และให้ข้อเสนอแนะว่าลูกไฟนั้นควรมีเปลวไฟสีจางๆมองเห็นไม่ชัดเจนและแตกต่างจากเปลวไฟของดอกไม้ไฟทั้งหลาย นอกจากนั้นลูกไฟไม่จำเป็นต้องพุ่งขึ้นสูงแต่ต้องขึ้นในลักษณะค่อยๆลอยตัว และค่อยๆเลื่อนหายไปจนดับ แต่ลูกไฟจากการประดิษฐ์ส่วนใหญ่จะมีขนาดค่อนข้างใหญ่ มีการวาบไฟและดับทันทีซึ่งเป็นข้อแตกต่างจากกับไฟพญานาคที่ค่อนข้างชัดเจน นอกจากนั้นยังให้ข้อเสนอแนะว่าลูกไฟนั้นควรพุ่งขึ้นมาจากใต้น้ำ ซึ่งลูกไฟที่ประดิษฐ์นั้นมีบางลูกที่มีแสงไฟสว่างที่ผิวน้ำก่อนที่จะพุ่งขึ้น ซึ่งจะทำให้คนดูสามารถสังเกตเห็นตำแหน่งที่จะพุ่งขึ้นได้

สรุปผลการให้ความเห็นของผู้ที่เคยชมกับไฟพญานาคมาแล้วได้ว่า ลูกไฟที่ประดิษฐ์ขึ้นมามีส่วนคล้ายคลึงกับไฟพญานาค แต่ควรมีการปรับปรุงอีกระดับหนึ่งในรายละเอียดเพื่อให้ผู้ดูไม่สามารถมองเห็นควันชัดเจน เห็นลูกไฟมีขนาดไม่โดนัทและมีเปลวสีเลื่อนๆจางๆ ไม่ได้ยินเสียงการพุ่งขึ้น และเห็นลูกไฟลอยตัวและค่อยๆเลื่อนหายไปจนดับ รวมทั้งคุณสมบัติที่สำคัญคือการทำให้มองเห็นว่าพุ่งขึ้นมาจากใต้น้ำจริงๆ

การทดลองที่ 7 การพัฒนาวัตถุสร้างลูกไฟขั้นสุดยอด เพื่อให้ได้ลูกไฟที่เหมือนกับไฟพญานาคที่สุด

จากผลการทดลองที่ 6 ที่มีข้อเสนอแนะจากผู้ให้ความเห็น จึงมีการดำเนินการพัฒนาปรับปรุงคุณสมบัติลูกไฟที่ประดิษฐ์ขึ้นให้ครบถ้วน โดยแยกประเด็นและตั้งสมมติฐานเพื่อปรับปรุงในประเด็นนั้นๆ ดังมีรายละเอียดคือ

1. การแก้ปัญหาการวาบไฟก่อนดับ และทำให้มองเห็นลูกไฟลักษณะค่อยๆเลื่อนหายไปและดับ ซึ่งตั้งสมมติฐานว่าการวาบไฟว่าเกิดจากการขยายขนาดของทางออกไฟ ซึ่งเป็นผิวของท่อพีวีซีที่เผาไหม้จากความร้อนที่เกิดจากเปลวไฟและละลาย ทำให้ดินจับที่เหลือนหลุดออกมาเผาไหม้ทันทีจนหมด ซึ่งปัญหานี้จะหมดไปถ้ามีการคันระหว่างผิวท่อพีวีซีกับดินจับด้วยวัสดุทนไฟเช่นดินเหนียว หรือเปลี่ยนไปใช้วัสดุอื่นแทนท่อพีวีซี ซึ่งได้แก่ท่ออลูมิเนียมที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวเท่ากัน การป้องกันการลุกไหม้ของทางออกไฟยังน่าจะช่วยให้เปลวไฟมีขนาดเล็กลงและมีสีจางลงด้วย

2. การลดขนาดของลูกไฟ สามารถทำได้โดยการเพิ่มสารรีดิวซ์ที่ไม่ทำให้เกิดประกายไฟและใส่ในปริมาณน้อยแต่ให้พลังขับที่มากกว่าถ่านซึ่งได้แก่ผงอลูมิเนียม

3. การมองไม่เห็นควัน การมองเห็นควันเกิดจากควันของเชื้อเพลิงดินจับมีสีขาวทึบอันเกิดจากการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ ซึ่งเกิดจากการมีความชื้นของดินจับอันเนื่องจากการผสมน้ำปูนใส

และสุราขาว การตากให้แห้งน่าจะช่วยให้ควันลดลง หรือมีสีจางลง นอกจากนั้นอาจขาดตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) โดยทั่วไปการเตรียมออกซิเจนจากสารออกซิไดซ์นิยมใช้แมงกานีสออกไซด์เป็นตัวช่วยเร่งปฏิกิริยา ดังนั้นการผสมแมงกานีสออกไซด์ลงในดินจับจะทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ขึ้น ทำให้เกิดควันลดลง ตลอดจนควันมีสีค่อนข้างไปทางสีครามซึ่งจะทำให้มองไม่เห็นในเวลากลางคืน

4. การไม่ได้ยินเสียงการพุ่งขึ้น การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในข้อ 2 น่าจะทำให้ดินจับมีความเร็วการเผาไหม้ลดลง เพราะตัวเร่งปฏิกิริยาไม่ลุกไหม้หรือทำหน้าที่เป็นสารรีดิวซ์ซึ่งจะส่งผลให้เปลวไฟมีความเข้มของแสงลดลง แต่ไม่มีผลต่อการพุ่งขึ้นของลูกไฟ เมื่อความเร็วของก๊าซที่ผ่านรูไฟออกลดลง จะส่งผลให้เสียงการพุ่งขึ้นลดลง

5. การพุ่งขึ้นจากได้นำ การพุ่งขึ้นจากได้นำต้องเกิดจากการที่วัตถุสร้างลูกไฟจุดตัวได้พืชน้ำเท่านั้น โดยต้องใช้กระถางอีกลักษณะหนึ่งที่มีส่วนเสียบวัตถุสร้างลูกไฟแช่ในน้ำ และตัวกระถางต้องแบนและแนบพืชน้ำ ชนวนสามารถทนน้ำได้และต้องลุกไหม้ในน้ำได้เป็นเวลานานตามต้องการ การจุดชนวนอาจเริ่มต้นโดยใช้เทียนยกกันยุงที่อยู่เหนือน้ำและต่อด้วยชนวนกันน้ำที่ต่อลงไปหาวัตถุสร้างลูกไฟที่อยู่ใต้ลึกไม่เกิน 15 ซม. เพื่อลดแรงดันของน้ำ ตลอดจนน้ำที่ขังในช่องใส่วัสดุต้องเชื่อมต่อกับน้ำโดยรอบทางด้านกันหรือข้างช่อง เพื่อไม่ให้เกิดการพุ่งกระจายของน้ำตอนลูกไฟดับตัวขึ้น ตลอดจนระบายเสียงและควันให้น้ำภายนอกดูดซับในเวลาเดียวกัน

7.1 การใช้ดินเหนียวคันระหว่างเปลือกท้อบรรจุและดินจับเพื่อป้องกันการวาบไฟ

การทดลองใช้ภาชนะบรรจุทำด้วยหัวอุดท่อพีวีซีขนาดเล็ก และใช้ดินจับและกรรมวิธีเตรียมวัตถุสร้างลูกไฟเช่นเดียวกับการทดลองที่ 2-5 แต่มีการใช้ดินเหนียวอัดแน่นเป็นชั้นคันระหว่างดินจับและเปลือกบรรจุด้านทางไฟออก โดยมีความหนา 0.3 ซม. และทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติลูกไฟระหว่างการใส่เฉพาะเปลือกท้อพีวีซีซึ่งมีความหนา 0.2 ซม. เป็นทางไฟออกและใช้เปลือกท้อพีวีซีร่วมกับดินเหนียวที่รวมความหนาเท่ากับ 0.5 ซม. โดยใช้จำนวนซ้ำเท่ากับ 9 ลูก และใช้วิธีการให้คะแนนโดยกรรมการชุดเดียวกันกับการทดลองที่ 1-5 โดยพิจารณาถึงมุมที่พุ่งขึ้น การมีลูกไฟสีแดงส้ม การไม่วาบไฟก่อนหมดและเสียงการพุ่งขึ้น ซึ่งมีคะแนนเต็มอย่างละ 10 คะแนน ทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติโดยวิธี t-test ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 13

ตารางที่ 13 คะแนนเฉลี่ยลักษณะของลูกไฟที่เกิดจากการใช้ดินเหนียวคันเสริมทางออกไฟ
(N=9)

รายการ	ใช้เปลือกพีวีซีอย่างเดียว	ใช้เปลือกพีวีซี เสริมด้วยดินเหนียว
มุมที่พุ่งขึ้น, องศา	81.4	84.2
การที่ลูกไฟมีสีแดงส้ม	8.6 ^a	9.0 ^b
การดับแบบเลื่อนหาย-ไม่วาบ	7.1 ^a	9.1 ^b
การมีเสียงค่อย	9.4 ^b	8.5 ^a

ค่าเฉลี่ยในบรรทัดเดียวกันที่มีอักษรยกกำลังแตกต่างกันคือแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)

ผลการทดลอง

ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 13 พบว่าการเสริมทางออกไฟด้วยชั้นดินเหนียวอัดแน่นไม่ทำให้มุมการพุ่งขึ้นเปลี่ยนแปลงจากการใช้เฉพาะความหนาของเปลือกพีวีซีอย่างเดียว แต่มีผลต่อการเพิ่มสีแดงส้มของลูกไฟอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้เนื่องจากสามารถลดเปลวไฟสีเหลืองที่เกิดจากการเผาไหม้ของเปลือกพีวีซีรอบๆทางออกไฟ ทำให้เปลวของดินขับซึ่งมีสีแดงส้มสามารถเปล่งแสงได้เด่นชัดขึ้น การป้องกันการละลายและเผาไหม้ของปากทางออกไฟโดยใช้ดินเหนียวคัน ส่งผลให้ลูกไฟไม่ลุกวาบทำให้ได้คะแนนมากขึ้น ซึ่งการไม่วาบไฟและมีเปลวสีแดงเพิ่มขึ้นนั้นเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ อย่างไรก็ตามดินเหนียวที่อัดแน่นเป็นของแข็งที่มีความหนาถึง 0.3 ซม. มีผลทำให้เสียงการพุ่งขึ้นดังมากกว่าผนังเปลือกพีวีซีที่อ่อนและละลายได้จากความร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ อย่างไรก็ตามการใช้ดินเหนียวเสริมทางไฟออกมีข้อดีมากกว่า ซึ่งจำเป็นต้องหาสูตรดินขับที่มีเสียงค่อยลงกว่าที่ใช้อยู่มาทดแทน

ผลการทดลองจึงสรุปได้ว่า การใช้ดินเหนียวคันระหว่างเปลือกบรรจุกับดินขับเพื่อป้องกันการขยายตัวของทางออกไฟช่วยทำให้แก้ปัญหาการวาบไฟก่อนลูกไฟดับและทำให้เห็นเปลวไฟเป็นสีแดงส้มชัดเจนขึ้น

7.2 การใช้เปลือกบรรจุทำด้วยวัสดุทนไฟเพื่อป้องกันการวาบของลูกไฟก่อนดับ

การทดลองเป็นการเพิ่มคุณลักษณะของลูกไฟให้ดีขึ้นอีกขั้นหนึ่งจากการทดลองที่ 7.1 โดยการใช้เปลือกบรรจุที่ไม่สามารถลุกไหม้ได้ แต่ควรมีน้ำหนักเบาและมีความแข็งแรงตลอดจนเสาะหาได้ง่าย ซึ่งได้แก่ท่ออลูมิเนียมอย่างบางที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับเปลือกบรรจุขนาดเล็กคือ 2.5 ซม. และตัดเป็นท่อนยาว 3 ซม. พร้อมทั้งพับด้านหัวและใช้แผ่นอลูมิเนียมรูปกลมที่มีความหนาเท่ากัน ปิดและใช้ดินเหนียวอัดแน่นคันระหว่างดินขับและแผ่นอลูมิเนียมทั้งด้านหัวและท้าย เนื่องจากท่ออลูมิเนียมบางมีความแข็งแรงไม่เพียงพอที่จะทนแรงอัดในอุปกรณ์อัดที่ใช้ในการ

ทดลองที่ 4 ได้ ดังนั้นจึงใช้วิธีการตอกด้วยค้อนขนาดที่นิยมใช้ตอกตะปูในงานก่อสร้างแทน การบรรจุทำโดยตอกดินเหนียวด้านล่างก่อนโดยใช้แกนเหล็กที่มีขนาดพอดีกับท่ออลูมิเนียมและใช้ค้อนตอก 5 ครั้ง จากนั้นใช้นิ้วมืออัดดินขับให้แน่นและเติมท่อ และตอกต่ออีก 9 ครั้งจึงใส่ดินเหนียวทับพร้อมทั้งแผ่นอลูมิเนียมที่ใช้ปิดด้านหัวและตอกดินให้แน่นอีก 5 ครั้ง จากนั้นจึงพับหัวท่อเพื่อปิดยึดอีกรอบหนึ่ง และทำการเปรียบเทียบกับท่อพีวีซีที่เตรียมตามวิธีปกติโดยใช้แม่แรงไฮดรอลิกไฟฟ้าอัด และใช้ดินขับชนิดเดียวกัน วัตถุประสงค์สร้างลูกไฟทั้งสองแบบดังภาพที่ 10 จะใช้รูไฟออกที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากันคือ $1/3.2$ เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเปลือกบรรจุ (ϕ) มีความลึก 0.6 เท่าของความยาวเปลือกบรรจุ และเจาะให้มีความเอียง 60 องศา การวัดผลทำเช่นเดียวกับการทดลองที่ 7.1



ภาพที่ 10 ท่อและฝาปิดอลูมิเนียมใช้ทำเปลือกบรรจุ และการเปรียบเทียบกับท่อพีวีซี

ผลการทดลอง

ผลการทดลองดังในตารางที่ 14 พบว่าการใช้เปลือกบรรจุทำจากท่ออลูมิเนียมทำให้มุมของลูกไฟที่พุ่งขึ้นมีแนวโน้มเป็นแนวตั้งฉากกับพื้นราบ ซึ่งอาจเนื่องจากมีน้ำหนักเบาจึงทรงตัวได้ง่าย การใช้ท่ออลูมิเนียมซึ่งไม่ติดไฟนั้นทำให้ลูกไฟมีสีแดงเพิ่มขึ้นจากการใช้ท่อพีวีซีอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้เนื่องจากชั้นของดินเหนียวที่ใส่คั่นนั้นสามารถป้องกันการลุกลไหม้ของพีวีซีเฉพาะของทางออกไฟแต่ส่วนของผนังท่อนั้นยังสามารถลุกลไหม้ได้อยู่ ส่งผลให้เปลวไฟมีสีเหลืองเพิ่มขึ้นและเห็นสีแดงไม่ชัดเจน การป้องกันการละลายและขยายขนาดทางออกไฟโดยใช้ท่ออลูมิเนียมแทนส่งผลให้ลูกไฟไม่วบบก่อนดับและมีแสงค่อยๆ เลือนลง ซึ่งแตกต่างจากท่อพีวีซีอย่างมีนัยสำคัญ โดยไม่พบว่าท่ออลูมิเนียมที่ใช้ละลายที่อุณหภูมิเผาไหม้ของดินขับชนิดที่ใช้ทดลอง นอกจากนั้นการใช้ท่ออลูมิเนียมเป็นภาชนะบรรจุยังทำให้เสียงการพุ่งขึ้นดังค่อยลง เนื่องจากดินขับที่บรรจุในท่ออลูมิเนียมมีความหนาแน่นและความแข็งแรงน้อยกว่าดินขับที่อยู่ในท่อพีวีซี เพราะใช้วิธีตอก ทำให้เสียงที่เกิดจากการเสียดสีของก๊าซจากการเผาไหม้กับผิวดินขับน้อยลง การตอกด้วยค้อนเพียง 9 ครั้ง จึงพอเพียงสำหรับวัตถุประสงค์สร้างลูกไฟที่ใช้ท่ออลูมิเนียมบรรจุ และใช้เวลาในการผลิตประมาณ 5 นาทีต่อลูกซึ่งใกล้เคียงกับเวลาที่ใช้อัดท่อพีวีซีโดยใช้อุปกรณ์อัด อนึ่งในการทำบ้องไฟโดยทั่วไปที่มีขนาด

เดียวกันมักตอก 100-200 ครั้งต่อการบรรจุ ซึ่งถ้าบรรจุ 4 ครั้งต่อลูกจะต้องตอกถึง 400-800 ครั้ง การตอกวัตถุสร้างลูกไฟจึงมีความสะดวกกว่า

ตารางที่ 14 คะแนนเฉลี่ยลักษณะของลูกไฟที่เกิดจากการใช้เปลือกบรรจุ 2 ชนิด (N=20)

รายการ	ใช้เปลือกพีวีซี	ใช้เปลือกอลูมิเนียม
มุมที่พุ่งขึ้น องศา	85.8	88.6
การที่ลูกไฟมีสีแดงส้ม	8.6 ^a	9.0 ^b
การดับแบบเลื่อนหาย-ไม่วาบ	8.5 ^a	9.6 ^b
การมีเสียงค่อย	8.3 ^b	9.4 ^a

ค่าเฉลี่ยในบรรทัดเดียวกันที่มีอักษรยกกำลังแตกต่างกันคือแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)

ผลการทดลองสรุปได้ว่า ท่ออลูมิเนียมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 ซม. ยาว 3 ซม. สามารถนำมาใช้เป็นเปลือกบรรจุของวัตถุสร้างลูกไฟได้ดีกว่าท่อพีวีซีขนาดเล็ก โดยทำให้ลูกไฟมีสีแดงส้มมากขึ้น ไม่มีการวาบไฟก่อนดับแต่จะค่อยๆเลื่อนหายไป ตลอดจนทำให้เกิดเสียงการพุ่งค่อยลง

7.3 การใช้สารเร่งปฏิกิริยาการเผาไหม้และสารรีดิวซ์ เพื่อช่วยลดควัน เสียง และทำให้เปลวของลูกไฟมีสีเลือนๆจางๆ และต้นทุนการผลิต

จากสมมติฐานการทดลองที่ตั้งไว้ว่าสารช่วยเร่งปฏิกิริยา เช่น แมงกานีสไดออกไซด์ MnO_2 น่าจะมีส่วนในการลดควันเพราะทำให้เกิดการลุกไหม้ที่สมบูรณ์ ตลอดจนมีเปลวไฟเล็กลงหรือมีสีจางลง แต่การผสมสารดังกล่าวซึ่งไม่ติดไฟลงในดินขั้วอาจมีผลทำให้ดินขั้วมีความเร็วและพลังขับเคลื่อน จึงต้องมีการเสริมผงอลูมิเนียมซึ่งเป็นสารรีดิวซ์ที่นิยมใช้กันในการทำเชื้อเพลิงแข็งของจรวดขนาดใหญ่ เพื่อเพิ่มความแรงของดินขั้วนอกจากนั้นการใช้ดินขั้วที่แห้ง น่าจะช่วยให้การลุกไหม้ดีขึ้นและมีควันที่เกิดจากการเผาไหม้ลดลง ดังนั้นจึงทำการเตรียมดินขั้วโดยใช้สูตรที่ได้มาจากการทดลองที่ 2 และผสมสารช่วยปฏิกิริยาและผงอลูมิเนียมพร้อมทั้งใส่สารช่วยการอัดและบดคือสุราขาวและน้ำปูนใส เมื่อบดจนละเอียดด้วยเครื่องมือแบบ edge runner mill แล้วจึงนำไปตากจนแห้งซึ่งใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง และนำไปอัดในท่อพีวีซีโดยใช้เครื่องอัดไฮดรอลิก และอัดในท่ออลูมิเนียมโดยวิธีการตอก เช่นเดียวกับการทดลองที่ 7.2 โดยใช้จำนวนซ้ำ 8-16 ซ้ำ การจุดใช้ใส่ในแท่นจุดที่วางบนดิน และให้คะแนนโดยกรรมการชุดเดียวกัน แต่เพิ่มลักษณะการขึ้นแบบลอยตัวและถ่วงให้น้ำหนักคะแนนเท่ากันและมีคะแนนรวม 100 คะแนนเพื่อใช้เป็นเกณฑ์ตัดสิน การวิเคราะห์ทางสถิติใช้การวิเคราะห์ multiple analysis และหาค่า adjusted treatment mean และนำมา

เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD ปัจจัยที่ศึกษาคือสูตรดินขับซึ่งมี 3 สูตร เปรียบเทียบกับสูตรมาตรฐานดังมีส่วนประกอบและต้นทุนคือ

	สูตรมาตรฐาน(s)	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3
ดินประสีว กรัม	1,000	1,000	1,000	1,000
ถ่านไม้กระถิน กรัม	300	300	300	300
สตรอนเทียมไนเตรท กรัม	100	100	100	100
แมงกานีสไดออกไซด์ (MnO ₂) กรัม	-	-	100	100
ผงอลูมิเนียม(Al) กรัม	-	10	-	10
สุราขาว (มล.)	55	55	55	55
น้ำปูนใส (มล.)	15	15	15	15
ต้นทุนการผลิตบาท/กก.	54.8	57.9	58.0	60.8

ปริมาณของแมงกานีสไดออกไซด์และผงอลูมิเนียมที่ใช้ในสูตร เป็นระดับดีที่สุดซึ่งค้นพบจากการทำ pre-experiment โดยไม่ส่งผลในทางลบต่อการฟุ้งขึ้นของลูกไฟ

ในการหาค่าเฉลี่ยของน้ำหนักดินขับที่สามารถบรรจุในท่ออลูมิเนียมโดยการตอกพบว่าได้ 16.3 กรัม มีความหนาแน่น 2.04 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และวัสดุสร้างลูกไฟมีน้ำหนักรวม 32.8 กรัมและมีอัตราส่วนน้ำหนักทั้งหมดต่อน้ำหนักดินขับเท่ากับ 2.01

ผลการทดลอง

ผลการเสริมสารเร่งปฏิกิริยาและสารรีดิวซ์ลงในสูตรดินขับ เพื่อเพิ่มคุณสมบัติพึงประสงค์ของลูกไฟที่ประดิษฐ์ขึ้นมาแสดงในตารางที่ 15 จะเห็นว่าการผสมผงอลูมิเนียมไม่สามารถช่วยเพิ่มสีแดงส้มของลูกไฟ แต่การใช้แมงกานีสไดออกไซด์อย่างเดียว หรือใช้ร่วมกับผงอลูมิเนียมทำให้ลูกไฟมีสีแดงส้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนั้นการเพิ่มสารทั้งสองชนิดลงในสูตรยังช่วยลดควันจากการเผาไหม้ไม่ว่าจะใส่อย่างใดอย่างหนึ่งหรือใส่ร่วมกัน ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ เนื่องจากผงอลูมิเนียมเป็นสารรีดิวซ์ที่รุนแรงจึงสามารถใช้ผสมดินระเบิดหรือเชื้อเพลิงแข็งและใช้ในการทำดอกไม้ไฟหลายชนิด แต่การนำมาผสมในสูตรดินขับนั้นทำให้ลูกไฟมีเสียงดังเพิ่มขึ้น ซึ่งให้ผลตรงกันข้ามกับการใส่แมงกานีสไดออกไซด์ หรือแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับผงอลูมิเนียม ที่ทำให้เสียงลดลง

ในส่วนของคุณสมบัติการวาบไฟนั้น การใส่ผงอลูมิเนียมร่วมกับแมงกานีสไดออกไซด์ทำให้การวาบไฟลดลงกว่าวิธีอื่นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งอาจเนื่องจากแมงกานีสไดออกไซด์ทำให้การลุกไหม้สมบูรณ์และเมื่อมีผงอลูมิเนียมเป็นสารออกซิไดซ์ร่วมด้วย จึงทำให้การลุกไหม้ของดินขับเกิด

ขึ้นอย่างสม่ำเสมอและลามไปจนถึงผนังด้านในของเปลือกบรรจุในเวลาใกล้เคียงกันทั้งลูกจึงไม่ทำให้เกิดการลุกลามทั้งหมดและเห็นการวาบไฟ แต่ในทางกลับจะค่อยๆเลื่อนหายไปจนดับซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ต้องการ

ตารางที่ 15 คะแนนเฉลี่ยของลูกไฟเตรียมจากดินขั้วที่ผสมสารเร่งปฏิกิริยาการลุกไหม้ต่างกัน (N=8)

รายการ	สารที่ผสม				ภาชนะบรรจุ	
	ไม้ไผ่(s)	ผง Al(1)	MnO ₂ (2)	ผง Al + MnO ₂ (3)	พีวีซี	ท่อ Al
ลูกไฟมีสีแดงส้ม	17.4 ^a	17.5 ^a	18.4 ^b	18.6 ^b	17.4 ^a	18.6 ^b
ลูกไฟมีควันน้อย	18.4 ^a	19.6 ^b	19.5 ^b	19.5 ^b	19.1 ^a	19.4 ^b
ลูกไฟมีเสียงค่อย	17.6 ^b	15.7 ^a	18.2 ^c	18.2 ^c	16.6 ^a	18.8 ^b
ลูกไฟไม่วาบไฟ	18.0 ^b	17.6 ^a	17.8 ^a	19.1 ^b	17.0 ^a	19.3 ^b
ลูกไฟลอยตัว	17.0 ^b	15.6 ^a	18.5 ^c	17.8 ^c	16.9 ^a	17.5 ^b
รวม	88.4 ^a	86.4 ^a	92.4 ^b	93.9 ^b	87.0 ^a	93.7 ^b

ค่าเฉลี่ยภายใต้ปัจจัยหลักเดียวกันในบรรทัดเดียวกัน ที่มีอักษรยกกำลังต่างกันคือแตกต่างแบบมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

โดยที่คุณสมบัติสำคัญของบั้งไฟพญานาคคือการพุ่งขึ้นแบบลอยตัว ซึ่งพบว่าการใช้แมงกานีสไดออกไซด์อย่างเดียว หรือแมงกานีสไดออกไซด์ร่วมกับผงอลูมิเนียมทำให้ลูกไฟที่ประดิษฐ์พุ่งแบบลอยตัวดีขึ้น เนื่องจากดินขั้วถูกถ่วงด้วยสารทั้ง 2 ชนิดให้มีความเร็วลดลงถึงระดับที่พอเหมาะกับการหมุนและยกวัตถุสร้างลูกไฟขึ้นจากพื้นอย่างช้าๆแต่เป็นเส้นตรง แต่ในสูตรที่ไม่ใส่สารใดนั้นจะพุ่งเร็วขึ้น และสูตรที่ใส่เฉพาะผงอลูมิเนียมซึ่งเป็นสารรีดิวซ์จะพุ่งขึ้นเร็วที่สุด ทำให้ได้คะแนนการลอยตัวต่ำลงอย่างมีนัยสำคัญ

เมื่อคิดเป็นคะแนนรวมทั้งหมดแล้วจะเห็นว่าการใช้เฉพาะผงอลูมิเนียมเสริมลงในสูตรดินขั้วเพียงอย่างเดียวไม่ได้ผลดีเท่ากับการใช้แมงกานีสไดออกไซด์ หรือใช้สารทั้งสองเสริมรวมกัน

อย่างไรก็ตามจากการสังเกตระหว่างการทดลองโดยเตรียมดินขั้วทั้ง 4 สูตรและเก็บส่วนที่ใช้ไม่หมดจากการทดลองในถุงพลาสติกที่ปิดแน่น และเก็บไว้เป็นเวลา 1 สัปดาห์พบว่าสูตรที่ใช้ผงอลูมิเนียมผสมคือสูตรที่ 1 และ 3 นั้นไม่มีความเสถียร โดยมีความเร็วลดลงและสังเกตเห็นผงอลูมิเนียมเปลี่ยนเป็นสีขาว ซึ่งเมื่อนำมาทำวัตถุสร้างลูกไฟและจุดพบว่าลูกไฟพุ่งขึ้นสูงเพียง 10-15 เมตร จากที่เคยขึ้นสูงมากกว่า 30 เมตร โดยสูตรมาตรฐานและสูตรที่ 2 นั้นให้ผลดีเป็นปกติ จากเหตุผลของความไม่เสถียรของดินขั้วที่เกิดจากการแปรสภาพของผงอลูมิเนียม ดังนั้นสูตรที่ 2 ที่ใช้เพียงแมงกานีสออกไซด์ จึงมีความเหมาะสมที่สุด

สำหรับการพิจารณาเฉพาะผลของปัจจัยเฉพาะเปลือกบรรจุ 2 ชนิดคือท่อพีวีซีและท่ออลูมิเนียมพบว่าได้ผลเช่นเดียวกับการทดลองที่ 7.2 คือเปลือกบรรจุทำจากท่ออลูมิเนียมทำให้ลูกไฟที่เกิดขึ้นมีคุณสมบัติพึงประสงค์ดีกว่าเปลือกท่อพีวีซีอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะคุณสมบัติการวาวไฟนั้นเมื่อใช้เปลือกบรรจุอลูมิเนียม พบว่าสามารถยับยั้งการวาวไฟของทุกสูตรได้อย่างชัดเจน ดังนั้นจึงมีความเหมาะสมในการนำไปใช้มากกว่าท่อพีวีซีในกรณีที่ยึดถือคุณสมบัติของบั้งไฟพญานาคเป็นเกณฑ์คือค่อยๆ เลื่อนหายและดับ อย่างไรก็ตามในความเห็นของผู้ที่ได้ชมการทดลองมาตั้งแต่ต้น กรรมการให้คะแนน ตลอดจนผู้ที่ไม่เคยเห็นบั้งไฟพญานาคมาก่อนเห็นว่าลูกไฟจากวัตถุที่ใช้ท่อพีวีซีเป็นภาชนะบรรจุมีความสวยงาม ชัดเจน และลูกไฟมีขนาดใหญ่มากกว่า

สำหรับต้นทุนการผลิตของวัสดุสร้างลูกไฟนั้นส่วนใหญ่เป็นค่าแรงงาน โดยการผลิตมีหลายขั้นตอนเช่นการเตรียมดินขับ การเตรียมเปลือกบรรจุและการอัดดินขับ การเจาะรูปักแกนหมุน และการเจาะรูทางออกของไฟ ซึ่งต้องใช้แรงงานเป็นส่วนใหญ่ ตลอดจนต้องใช้ผู้มีความชำนาญและความเข้าใจโดยเฉพาะในขั้นตอนการเจาะทางไฟออก ซึ่งเมื่อคิดเป็นค่าแรงวันละ 200 บาทและผลิตวันละ 50 ลูก ต้องใช้ค่าแรงประมาณลูกละ 4 บาท ส่วนต้นทุนคงที่นั้นเมื่อประมาณการให้สามารถใช้ได้ 10 ปีจะมีต้นทุน 0.3 บาท/ลูก สำหรับต้นทุนจากค่าดินขับนั้นมีค่าไม่มากเมื่อคิดเทียบกับปัจจัยอื่น เมื่อรวมต้นทุนทั้งหมดแล้ววัสดุสร้างลูกไฟทำจากท่อพีวีซี จะมีราคาสูงกว่าท่ออลูมิเนียม เพราะเปลือกมีราคาแพงมากกว่า และจุดินขับมากกว่าเพราะใช้การอัด ต้นทุนการผลิตของวัสดุสร้างลูกไฟเมื่อเตรียมจากสูตร 2 โดยใช้เปลือกพีวีซีและอลูมิเนียมมีราคาลูกละ 7.36-9.62 บาท ดังรายละเอียดคือ

	แบบท่อพีวีซี	แบบท่ออลูมิเนียม
<i>ต้นทุนคงที่</i>		
ค่าเครื่องอัด	0.3	0
ค่าเครื่องเจาะ	0.03	0.03
<i>ต้นทุนผันแปร</i>		
ค่าดินขับ	1.04	0.93
ค่าเปลือกบรรจุ	3.0	1.55
ค่าชนวน	0.5	0.5
ค่าแกนหมุนเหล็ก	0.25	0.25
ค่าแรงงาน	4.0	4.0
ค่าไฟฟ้า	0.5	0.1
รวม	9.62	7.36

สรุปการใช้สารช่วยเร่งปฏิกิริยาการเผาไหม้ได้แก่แมงกานีสไดออกไซด์เสริมลงในอัตรา 100 กรัมต่อน้ำหนักดินประสิวในสูตร 1 กก. สามารถช่วยลดควัน เติง และทำให้เปลวของลูกไฟมีสีแดงส้มมากขึ้นตลอดจนมองเห็นเป็นแสงเลือนๆ รางๆ และค่อยๆ เลื่อนหายเมื่อขึ้นไปถึงจุดสูงสุด

ซึ่งจะได้ผลดีเมื่อใช้ท่ออูมิเนียมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 ซม. เป็นเปลือกบรรจุและทำเป็นลักษณะคล้ายลูกอมยืม โดยมีต้นทุนการผลิตลูกละ 7.36 บาท

7.4 การพุ่งขึ้นจากใต้น้ำ

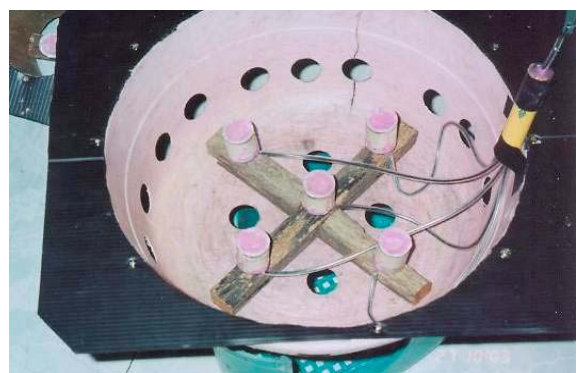
การพุ่งขึ้นของลูกไฟจากใต้น้ำนับเป็นคุณสมบัติหลักของบั้งไฟพญานาค ทั้งนี้เพราะเปลวไฟทั่วไปนั้นจะดับเมื่ออยู่ในน้ำ ตลอดจนการจุดตัวของลูกไฟจากใต้น้ำนั้นทำให้ไม่สามารถมองเห็นตำแหน่งการพุ่งขึ้นได้ ในการทดลองที่ 5.2 นั้นพบว่าอุปกรณ์จุดที่ทำจากกาวะมังพลาสติกสีดำหรือกระป๋องนมผงใช้แล้วขนาดกลางสามารถใช้บังคับแสงไฟจากการจุดตัวของชนวนและการเริ่มติดไฟได้ดี แต่เมื่อนำไปจุดเพื่อทดสอบความเห็นพบว่าผู้ชมบางส่วนสามารถมองเห็นแสงไฟก่อนที่ลูกไฟขึ้นได้ ดังนั้นการทำให้ลูกไฟจุดตัวในน้ำจึงเป็นเรื่องจำเป็น ในการนี้ผู้วิจัยได้แยกการพัฒนากระบวนการเป็น 2 อย่างคือ การสร้างอุปกรณ์จุดใต้น้ำ และชนวนจุดใต้น้ำ

ก. อุปกรณ์จุดจากใต้น้ำ เป็นการสร้างอุปกรณ์จุดชนิดใหม่ที่ลอยแนบผิวน้ำ และสามารถประกอบวัสดุสร้างลูกไฟให้จมในน้ำลึกประมาณ 12 ซม. ทั้งนี้เพราะผลจากการทำ pre-experiment ที่ใช้ชนวนระเบิดไดนาไมท์ที่สามารถกันน้ำได้จุดวัสดุสร้างลูกไฟโดยปล่อยให้จมลึก 1-10 เมตร และจุดเวลากลางวันเพื่อให้มองเห็นควันหลังการลุกไหม้ พบว่าวัสดุสร้างลูกไฟสามารถติดไฟได้แต่ไม่สามารถฝ่าแรงดันของน้ำขึ้นมา หรือบางส่วนจะพุ่งกลับไปด้านข้าง ดังนั้นจึงได้ลดความลึกให้มากที่สุดโดยไม่สามารถมองเห็นการปะทุ พบว่าระยะความลึก 12 ซม. มีความเหมาะสมที่สุด การทำกระทงให้ลอยแนบน้ำนั้นผู้วิจัยได้ใช้แผ่นฟิวเจอร์บอร์ดอย่างบางที่มีขนาด 15x15 ซม.² สำหรับแขวนและประกอบกระบอกยิงทำจากท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 ซม. หรือกระบอกไม้ไผ่ขนาดเดียวกันที่เปิดโล่ง 2 ด้านให้ลอยแนบผิวน้ำได้ดี โดยกระบอกยิงจะจมอยู่ใต้น้ำทั้งหมด และใช้ไม้ขนาด 2.5x2.5 ซม. ติดด้านล่างกระบอกยิงในแนวเส้นผ่าศูนย์กลาง พร้อมเจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.4 ซม. ตรงจุดศูนย์กลางเพื่อใช้เสียบแกนหมุนดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 อุปกรณ์จุดจากใต้น้ำทำจากแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดและกระบอกไม้ไผ่

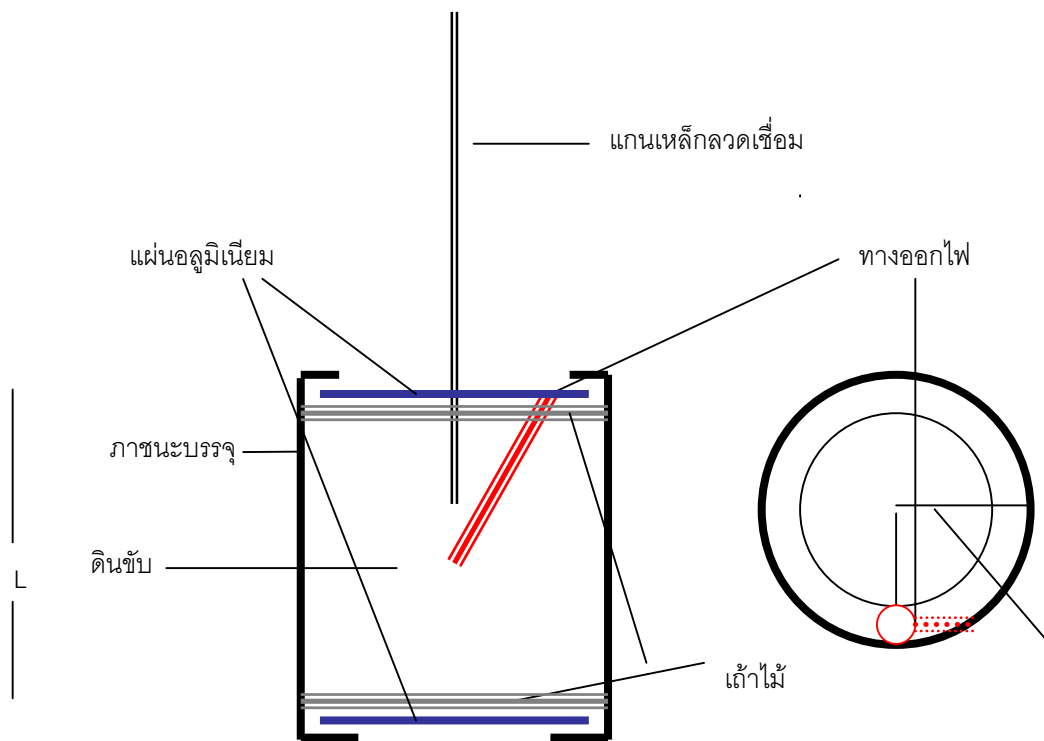
ข. ชนวนจุดจากได้น้ำ จากการที่ผู้วิจัยได้ทดลองใช้ชนวนไดนาไมท์ที่ลูกใหม่ในน้ำได้ทดลองจุดวัตถุสร้างลูกไฟได้ผลมาแล้ว แต่ชนวนไดนาไมท์หายากและยังเป็นวัสดุที่ใช้ประกอบวัตถุระเบิดและอยู่ภายใต้การควบคุมพิเศษ ดังนั้นจึงนำชนวนสีเขียวที่ใช้ตามปรกติและหาได้ทั่วไปนำมาดัดแปลง โดยหาท่อพลาสติกขนาดเล็กที่ขนาดพอดีกับชนวนมาหุ้มด้านนอกตลอดความยาวของชนวน ซึ่งวัสดุที่ดีที่สุดคือสายน้ำเกลือใช้แล้วซึ่งหาได้ง่ายจากโรงพยาบาล โดยนำมาทำความสะอาดโดยสับคือน้ำเกลือออกและนำไปแช่ในเมทิลแอลกอฮอล์ 99% ซึ่งสามารถดูน้ำที่เหลือแล้วนำมาผึ่ง 2-3 ชั่วโมงก็สามารถนำมาใช้ได้ การใช้ชนวนจุดจะคล้ายคลึงกับวิธีที่ใช้ในการทดลองที่ 5.1 โดยใช้ชนวนถ่วงเวลาทำจากเทียนยากันยุงยาวประมาณ 4-5 ซม. แนบกับชนวนสีเขียวยาวตั้งแต่ 30 ซม. ขึ้นไป และหุ้มด้านนอกชนวนเขียวด้วยท่อน้ำเกลือ โดยเว้นปลายที่ไม่หุ้มท่อประมาณ 1-1.5 ซม. เพื่อให้เสียบเข้าไปในรูไฟออก ส่วนปลายที่ติดเทียนยากันยุงจะยกให้สูงจากแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดประมาณ 5-9 ซม. ดังรูปภาพที่ 11 เพื่อให้ลอยอยู่เหนือน้ำซึ่งเมื่อจุดและปล่อยลงในแม่น้ำที่ไหล อุปกรณ์สามารถลอยห่างออกไปได้ไกลเพราะเทียนยากันยุงสามารถถ่วงเวลาได้ประมาณ 15 นาที แล้วจะเริ่มติดชนวนสีเขียวซึ่งจะเกิดประกายไฟเล็กน้อย เมื่อชนวนแล่นไปถึงส่วนที่แช่ในน้ำจะสามารถถ่วงเวลาได้อีกประมาณ 2-3 นาทีถ้าส่วนที่แช่ในน้ำมีความยาวประมาณ 1 เมตร ซึ่งจะไม่สามารถมองเห็นแสงของชนวนที่ลูกกลมได้น้ำ นอกจากฟองก๊าซที่ขึ้นปุดๆจากการลุกไหม้ของชนวน การถ่วงเวลาจากจุดที่เห็นประกายไฟไปอีก 2-3 นาทีนั้นผู้เห็นแสงครั้งแรกจะไม่สามารถคาดเดาคำแหน่งได้อีกเพราะกระแทกสามารถลอยตัวไปได้อีกเป็นระยะทางหลายเมตร โดยไม่มีส่วนใดโผล่พ้นน้ำที่จะสามารถมองเห็น เมื่อวัตถุสร้างลูกไฟติดจะเห็นเฉพาะลูกไฟพุ่งขึ้นมาจากได้น้ำอย่างชัดเจน ในการจุดเป็นชุดทีละหลายลูกก็สามารถทำได้โดยวิธีคล้ายคลึงกัน แต่ใช้ภาชนะที่บรรจุได้มากขึ้นโดยใช้แผ่นฟิวเจอร์บอร์ดเป็นส่วนทำให้ลอยแบบผิวน้ำ และใช้อัตราส่วนของพื้นที่ฟิวเจอร์บอร์ดเท่ากับ 225 ตารางเซนติเมตรต่อวัตถุสร้างลูกไฟ 1 ลูก และรวมชนวนมาแนบติดเทียนยากันยุงเพื่อจุดร่วมกัน 3-5 ลูกดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 อุปกรณ์จุดลูกไฟจากได้น้ำแบบจุดเป็นชุดบรรจุทีละหลายลูก

การป้องกันไม่ให้น้ำซึมเข้าไปในช่องที่เป็นทางออกของไฟเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่จะทำให้วัสดุสร้างลูกไฟติดไฟ การป้องกันน้ำทำโดยใช้กระดาษทึบชุบน้ำเกลือที่ใช้ห่อหุ้มขนวนและอัดให้แน่นกับขอบปากทางออกของไฟ แล้วใช้พาราฟินแข็งที่หลอมละลายทาทับด้านนอกกรอบปากทางไฟออก โดยมีรัศมีขยายออกไปด้านละประมาณ 0.5 ซม. และทาหนาประมาณ 0.1 ซม. รวมทั้งใช้พาราฟินหลอมละลายทาขอบด้านบนของวัสดุสร้างลูกไฟและขอบด้านล่างเพื่อกันน้ำซึมเข้า ในการจุดจะเสียบแกนหมุนของวัสดุสร้างลูกไฟลงในรูที่เจาะทะลุไม้ที่อยู่ด้านล่างท่อ ยิ่ง แล้วจึงจุดเทียนยกกันขยุงและปล่อยลงน้ำ

ในส่วนของวัสดุสร้างลูกไฟใช้วิธีการเตรียมเช่นเดียวกับการทดลองที่ 7.3 แต่ต้องป้องกันการซึมเข้าของน้ำให้มากที่สุดโดยใช้การเจาะทางออกของไฟเพียงรูเดียวคือทางออกหลักที่อยู่ด้านที่ปักแกนหมุน และไม่เจาะทางระบายก๊าซดังเช่นการทดลองที่ 3-5 ซึ่งจะส่งผลทำให้เสี่ยงการพุ่งขึ้นดังมากขึ้น แต่แก้ไขโดยใช้ถ้ำไม้แทนดินเหนียวเป็นทางออกไฟเพื่อลดเสียงจากแรงเสียดทาน นอกจากนั้นการที่วัสดุสร้างลูกไฟแช่อยู่ในน้ำ น้ำที่อยู่โดยรอบจึงสามารถช่วยซับเสียงได้อีกทางหนึ่ง การเพิ่มแรงขับเคลื่อนและแรงหมุนเพื่อฝ่าแรงต้านของน้ำ ทำโดยเพิ่มความยาวเปลือกบรรจุเป็น 4 ซม. พร้อมทั้งเพิ่มความลึกทางออกของไฟเป็น 2.2 ซม. และปรับทิศทางการเจาะให้ขนานกับเส้นแบ่งควอเตอร์ถัดไปเพื่อเพิ่มแรงหมุนตามหลักโมเมนต์ ซึ่งจะทำให้การทรงตัวของวัสดุสร้างลูกไฟในน้ำเป็นแนวตั้งฉากดีขึ้น ลักษณะวัสดุสร้างลูกไฟรูปแบบที่ปรับปรุงแล้วแสดงในภาพที่ 13



ภาพที่ 13 ลักษณะของวัสดุสร้างลูกไฟที่ปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพดีที่สุด

ผลการทดสอบ

การจุกวัตถุสร้างลูกไฟโดยใช้อุปกรณ์ที่สามารถจุกได้น้ำโดยใช้กระบอกไม้ไผ่เปิดสองด้าน และใช้แผ่นฟิวเจอร์บอร์ดเป็นส่วนใหญ่ที่ช่วยให้ลอยแนบกับผิวน้ำ เปรียบเทียบกับอุปกรณ์จุกที่ทำจากกระป๋องนมผงขนาดกลาง ใช้วัตถุสร้างลูกไฟอย่างละ 25 ลูก และคิดเปอร์เซ็นต์ของลูกไฟจากแต่ละอุปกรณ์ที่มองเห็นว่าขึ้นจากได้น้ำและไม่เห็นประกายไฟที่ผิวน้ำ พบว่าอุปกรณ์ที่ใช้การจุกจากได้น้ำทำให้มองเห็นว่าลูกไฟผุดขึ้นมาจากได้น้ำ 100% และมองไม่เห็นประกายไฟตอนเริ่มพุ่งขึ้นในระดับผิวน้ำทั้งหมด ในขณะที่การจุกในกระป๋องนมผงขนาดกลางที่ลอยพ่นน้ำนั้นกรรมการให้คะแนนว่ามีเพียง 20% เท่านั้นที่มองคล้ายกับผุดขึ้นมาจากได้น้ำ โดยเป็นตัวอย่างที่พุ่งขึ้นจากแท่นจุกค่อนข้างเร็วแต่ยังสามารถมองเห็นประกายไฟตอนเริ่มพุ่งขึ้นถึง 40% สำหรับการจุกเป็นชุดด้วยอุปกรณ์ที่วัตถุสร้างลูกไฟแช่ในน้ำดังภาพที่ 12 ชุดละ 5 และ 14 ลูก พบว่าได้ผลเหมือนกับการจุกเดี่ยว แต่มีวัตถุสร้างลูกไฟค้างอยู่ในฐาน 14-20% ซึ่งเกิดจากน้ำซึมเข้าชนวนจากผลของการกระชากของลูกไฟที่มัดชนวนติดรวมกัน อย่างไรก็ตามการแก้ปัญหาลูกไฟติดค้างนั้นสามารถทำได้โดยการรวมชนวนจุกรวมกันให้น้อยลง และยึดชนวนแต่ละเส้นกับฐานจุกเป็นอิสระแก่กัน ตลอดจนป้องกันน้ำซึมเข้าหัวชนวนโดยการใช้ยางรัดรอบนอกสายน้ำเกลือกับชนวนเขียวให้แน่น และใช้ลวดขนาดเล็กพันต่อจากยางรัดอีก 5-6 ซม. ก่อนสอดเข้าไปในทางไฟออก และทาด้วยวาสลินหล่อมเหลวอีกครั้งหนึ่ง

ผลการทดลองสรุปได้ว่าอุปกรณ์จุกที่ใช้วัตถุสร้างลูกไฟแช่อยู่ในน้ำทำจากแผ่นฟิวเจอร์บอร์ดและกระบอกไม้ไผ่ที่มีรูเสียบแกนหมุนของวัตถุด้านล่าง และจุกด้วยชนวนที่ห่อหุ้มด้วยสายน้ำเกลือใช้แล้วเพื่อป้องกันน้ำ สามารถทำให้เกิดลูกไฟที่ผุดออกมาจากได้น้ำ 100% โดยสามารถจุกเป็นชุดได้โดยใช้หลักการเดียวกันคือใช้แผ่นฟิวเจอร์บอร์ดเป็นส่วนใหญ่ที่ช่วยให้ลอยแนบผิวน้ำ และใช้กะละมังพลาสติกขนาดกลางที่เจาะรูโดยรอบและมีส่วนบังคับทิศทางวางด้านล่าง การป้องกันน้ำเข้าไปในช่องไฟปะทุทำได้โดยใช้กระดาษทิชชูอัดแน่นตรงปากรูไฟออกและฉาบด้วยสีโป้ว การถ่วงเวลาด้วยเทียนขากันยุงยาว 4 ซม. และชนวนจุกท่อน้ำยาว 30 ซม. สามารถทำให้เห็นลูกไฟขึ้นจากน้ำหลังจุกไปแล้ว 19-20 นาที

บทที่ 4

สรุปผลการวิจัย

การพัฒนาระบบวิธีสร้างลูกไฟที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับไฟพญานาค โดยใช้วัสดุอุปกรณ์ที่สามารถหาได้ในท้องถิ่น และใช้องค์ความรู้ที่เป็นของพื้นบ้านล้านนา มาผนวกกับวิธีการทางเคมีและฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องกับดอกไม้ไฟ การศึกษาใช้วิธีการวิจัยและพัฒนาแยกเป็นหัวข้อสำคัญคือการพัฒนาวัตถุดิบสร้างลูกไฟ ศึกษาองค์ประกอบของดินขับ หาระยะทางจุดที่ทำให้ไม่ไยดินเสี่ยงการพุ่งขึ้น พัฒนาอุปกรณ์ผลิต หาวิธีการจุดที่ทำให้มองเห็นเสมือนพุ่งขึ้นมาจากใต้ดิน และทดสอบความเห็นของผู้ที่เคยชมกับไฟพญานาคมาแล้ว แล้วนำข้อเสนอแนะเป็นตัวตั้งในการพัฒนาขั้นสุดท้าย

การพัฒนาระบบวิธีสร้างลูกไฟใช้คุณสมบัติของกับไฟพญานาคเป็นเป้าหมายหลักคือได้ลูกไฟที่ลอยขึ้นจากท้องน้ำ มีสีแดงเรื่อ พุ่งขึ้นแบบลอยตัวเป็นเส้นตรง ไม่มีประกายไฟ ควน และไม่มีเสียง และใช้การให้คะแนนของคณะกรรมการที่ผ่านการคัดเลือกและมีความเข้าใจร่วมกัน เป็นตัวชี้วัด

ผลการพัฒนาวัตถุดิบสร้างลูกไฟทำให้ทราบว่ามีรูปทรงคล้ายลูกอมยืมทรงกระบอก ซึ่งใช้ท่อพีวีซีเป็นภาชนะบรรจุ มีแกนที่ปักตรงจุดศูนย์กลางเป็นจุดหมุน และพุ่งขึ้นสู่ท้องฟ้าโดยการเผาไหม้ของดินขับ ที่ทำให้เกิดการหมุนรอบตัว โดยทิศทางของแรงขับทำมุม 60° กับแนวราบซึ่งทำให้เกิดการขับเคลื่อนในเวลาเดียวกัน ดินขับของวัตถุดิบสร้างลูกไฟเป็นส่วนผสมของดินประสิวผง ถ่านไม้ กระถิน และสตรอนเทียมไนเตรท อัตราส่วน 1,000: 300:100 โดยน้ำหนัก ที่ผ่านการบดให้ละเอียดแล้ว และใช้อัดในเปลือกบรรจุในสภาพหมาดๆ โดยใช้สุราขาว 35 ดีกรีและน้ำปูนใส ผสม การใช้สตรอนเทียมไนเตรทผสมในสูตรยังช่วยทำให้ลูกไฟมีสีแดงส้มดีขึ้น มีเสียงการพุ่งขึ้นลดลง ตลอดจนมีการลอยตัวดีขึ้น

ดินขับของวัตถุดิบสร้างลูกไฟใช้ถ่านไม้เป็นสารรีดิวซ์หลัก โดย ไม้จำปา ไม้มะม่วง ไม้กระถิน และไม้เพกา ที่ตัดในระยะกิ่งและต้นยังไม่เป็นแก่นแข็ง และนำมาเผาในหลุมหรือภาชนะที่รูปทรงคล้ายกะทะและปล่อยให้ไม้ลุกไหม้จนหมดควัน และกลบด้วยทราย แล้วร่อนแยกทรายออกซึ่งไม้กระถิน มีความเหมาะสมมากกว่าไม้ชนิดอื่น

ระยะทางที่สามารถจุดวัตถุดิบสร้างลูกไฟที่ทำให้ไม่สามารถได้ยินเสียงคือมากกว่า 850 เมตร โดยเปลือกบรรจุที่เหมาะสมคือหัวปิดท่อพีวีซีขนาดเล็กที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.2 ซม. และเจาะรูทางไฟออกที่มีขนาดเท่ากับ $1/3-1/3.2$ เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของภายในเปลือกบรรจุ การลดเสียงการพุ่งขึ้นให้มากขึ้นสามารถทำได้เพิ่มทางระบายก๊าซทางด้านข้างของวัตถุดิบสร้างลูกไฟ ซึ่งมีทิศทางช่วยการหมุน และมีขนาด $1/9$ เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางภายในเปลือกบรรจุ

อุปกรณ์ใช้ในการผลิตวัสดุสร้างลูกไฟ ที่มีความสำคัญได้แก่เครื่องอัดไฮดรอลิกใช้ไฟฟ้าซึ่งเดินได้ 2 ทาง โดยพัฒนาเครื่องให้สามารถอัดดินได้ 8 ลูกสำหรับเปลือกบรรจุขนาดเล็ก 6 ช่องสำหรับเปลือกบรรจุขนาดกลาง และ 3 ช่องสำหรับเปลือกบรรจุขนาดใหญ่ โดยแรงอัดที่เหมาะสมคือ 700 ปอนด์/ ตร.น. ซึ่งจะบรรจุดินขับที่ความหนาแน่นเท่ากับ 2.64 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร นอกจากนั้นอุปกรณ์เจาะทางไฟออกได้รับการพัฒนาให้มีที่ยึดส่วนไฟฟ้า และปรับมุมได้ตั้งแต่ 45-90 องศา โดยสามารถปรับเลื่อนขึ้นลงในมุมต่างๆได้อย่างสะดวก การเจาะในแนวตั้งมากใช้สำหรับปักแกนหมุน ซึ่งทำจากเหล็กหลอดเชื่อมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.2 ซม. และยาว 6 ซม.

การพัฒนากรรมวิธีเพื่อให้มองเห็นผู้จุดคือใช้ชนวนถ่วงเวลาทำจากเทียนยากันยุงชนิดขดตัดให้มีความยาวประมาณ 4 ซม. และนำมาแนบกับชนวนสีเขียวชนิดที่ใช้ในงานดอกไม้ไฟ โดยสามารถจุดทิ้งไว้และถ่วงเวลาได้ประมาณ 15 นาที ส่วนการจุดโดยให้มองเห็นขึ้นมาจากผิวน้ำนั้นใช้วางบนกระถางลอยน้ำ ที่สามารถบังแสงไฟจากการลุกไหม้ของชนวน โดยถ้าจุดแบบหลายลูก ใช้กะละมังพลาสติกขนาดใหญ่ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 ซม. และลึก 20 ซม. และถ้าจะใช้จุดทีละ 1 ลูก ใช้กระป๋องนมผงใช้แล้วขนาดกลางที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 13 ซม. และลึก 18 ซม. โดยภาชนะทั้งสองชนิดจะใส่ดินเพื่อทำหน้าที่ถ่วงให้ภาชนะจมน้ำบางส่วนและทำให้มีน้ำหนักเพียงพอที่จะทำให้กระถางทรงตัวได้ตอนทั่ววัสดุสร้างลูกไฟเริ่มพุ่งขึ้น

ผลการให้ความเห็นของผู้ที่เคยชมบั้งไฟพญานาคมาแล้วต่อสิ่งที่ประดิษฐ์ขึ้นมา ทำให้ทราบว่าลูกไฟที่ประดิษฐ์ขึ้นมามีส่วนคล้ายคลึงกับไฟพญานาค แต่ควรมีการปรับปรุงรายละเอียด ในส่วนของการลดควัน ลดการวาบของลูกไฟก่อนดับ ทำให้ลูกไฟมีขนาดไม่โตนักและมีเปลวสีเลือนๆจางๆ ไม่ได้ยินเสียงการพุ่งขึ้น และค่อยๆเลือนหายไปจนดับ รวมทั้งคุณสมบัติที่สำคัญคือการทำให้มองเห็นว่าพุ่งขึ้นมาจากใต้น้ำจริงๆ

การพัฒนากรรมวิธีขั้นสุดท้ายเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ ได้ผลว่าการใช้ดินเหนียวคันระหว่างเปลือกบรรจุกับดินขับเพื่อป้องกันการขยายตัวของทางออกไฟของท่อพีวีซี สามารถแก้ปัญหการวาบก่อนลูกไฟดับและทำให้เห็นเปลวไฟเป็นสีแดงส้มชัดเจนขึ้น แต่การทำให้ลูกไฟค่อยๆเลือนหายนั้นจำเป็นต้องเปลี่ยนมาใช้ท่อลูมินีเยมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 ซม. ยาว 3 ซม. เป็นเปลือกบรรจุ ซึ่งยังสามารถช่วยลดเสียงการพุ่งขึ้นได้ดีกว่าใช้ท่อพีวีซี ในส่วนของส่วนผสมดินขับการใช้สารช่วยเร่งปฏิกิริยาการเผาไหม้คือแมงกานีสไดออกไซด์ในอัตรา 100 กรัมต่อน้ำหนักดินประสี 1 ก.ก. สามารถช่วยลดควัน เสียง และทำให้เปลวของลูกไฟมีสีแดงส้มมากขึ้นตลอดจนมองเห็นเป็นแสงเลือนๆจางๆ และค่อยๆเลือนหายเมื่อขึ้นไปถึงจุดสูงสุด ซึ่งวัสดุสร้างลูกไฟผลิตตามกรรมวิธีดังกล่าวมีต้นทุนการผลิตลูกละ 7.36 บาท

อุปกรณ์จุดเพื่อทำให้มองเห็นว่าลูกไฟพุ่งออกมาจากน้ำ ใช้หลักการวางวัสดุสร้างลูกไฟแช่อยู่ในน้ำลึกประมาณ 12 ซม. และใช้แผ่นฟิวเจอร์บอร์ดที่มีพื้นที่ 225 ตร.ซม. ต่อวัตถุ 1 ชิ้น เป็น

ส่วนทำให้ลอยแนบนํ้าในลักษณะแพ โดยใช้และกระบอกไม้ไผ่เปิดปาก 2 ด้านยึดติดกับด้านล่างแผ่นแพ และมีรูเสียบแกนหมุนของวัตถุด้านล่างสุดของกระบอก การจุดใช้จำนวนที่ห่อหุ้มด้วยสายน้ำเกลือใช้แล้วซึ่งสามารถถูกไหม้ในนํ้าโดยไม่ดับ โดยใช้แนบกับเทียนยากันยุง ซึ่งวิธีการและอุปกรณ์ดังกล่าวสามารถทำให้เห็นลูกไฟที่พุ่งออกมาจากได้นํ้า 100% และสามารถจุดเป็นชุดโดยใช้หลักการเดียวกันคือใช้แผ่นฟิวเจอร์บอร์ดเป็นส่วนทำให้ลอยแนบนํ้า และใช้กาละมังพลาสติกขนาดกลางที่เจาะรูโดยรอบและมีส่วนบังคับทิศทางวางด้านล่าง เพื่อป้องกันนํ้าซึมเข้าไปในช่องไฟปะทุในช่วงแช่นํ้าจึงต้องตัดทางระบายก๊าซออกจากวัตถุสร้างลูกไฟ โดยเฉพาะทางไฟออกหลัก และใช้กระดาษทิชชูอัดชนวนให้แน่นกับปากรูไฟออก พร้อมทั้งฉาบด้วยสีโป๊วรถยนต์ด้านนอกสุด ซึ่งเมื่อใช้เทียนยากันยุงยาว 4 ซม. และชนวนจุดชนิดทนนํ้ายาว 30 ซม. จะมองเห็นลูกไฟขึ้นจากนํ้าหลังจุดไปแล้ว 15-20 นาที

บรรณานุกรม

- มนตรี บุญเสนอ, 2539. โด่ทฤษฎีมันัส บั้งไฟพญานาค ฝีมือนมนุษย์ ศิลปวัฒนธรรม
หน้า 86-93
- มันัส กนกศิลป์, 2536. บั้งไฟพญานาค สิ่งมหัศจรรย์แห่งลุ่มน้ำโขง มุมมองทางวิทยา-
ศาสตร์ ฉบับพิมพ์ครั้งที่ 1
- สมคิด พรหมมา, 2516. การทำดอกไม้ไฟและบั้งไฟของภาคเหนือ. เอกสารโรเนียว
- สมคิด พรหมมา, 2534. บันทึกการทดลองขั้นตอนการทำบั้งไฟพญานาคเทียม. เอกสาร
จดบันทึก
- สมคิด พรหมมา, 2545. บันทึกการทดลองขั้นตอนการทำบั้งไฟพญานาคเทียม-ความ
ก้าวหน้าปีที่ 5. เอกสารจดบันทึก
- สุรินทร์ มุขศรี, 2538. บันทึกปาฐกถา บั้งไฟพญานาค ศิลปวัฒนธรรม. หน้า 47
- Hard and Schuetz, 1959. **Organic Chemistry**, 2nd Edition, The Riberside Press,
Cambridge, Massachusetts

ภาคผนวก

การพลัดลูกไฟพุ่งบ้านล้านนา

Development the Local Sky- plunged Fireball

โดย

สมิตติ พรหมมา

ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจาก สทว.

จดทะเบียนสิทธิบัตรโดย สทว. ปี พ.ศ. 2546

เอกสารเผยแพร่ในการสอบ นส.41, 9 กค 46

บึงไฟพญานาค

- เกิดในวันขึ้น 15 ค่ำ เดือน 11 หรือวันออกพรรษา
- เป็นลูกไฟที่พุ่งขึ้นจากท้องน้ำ หรือพื้นดิน
- สีแดงเรื่อเป็นธรรมชาติ
- พุ่งขึ้นในแนวเส้นตรงไม่โค้งตกลงมา
- พุ่งขึ้นสู่ท้องฟ้าแบบแรงและลอยตัว
- ไม่มีเสียงดัง
- ไม่มีประกายไฟหรือควันไฟพุ่งตามลูกไฟ

- ถ้าจะทำได้ก็ต้องถึงขั้นไฟฟ้านาค

ทำอย่างไร

ถ้าทำได้



เลียนแบบ ธรรมชาติ ได้

กำหนดวัน เวลา สถานที่ได้

- จะจุดอย่างไรให้ขึ้นมาจากท้องน้ำ หรือ

ท้องทุ่ง

สมมติฐาน

บั้งไฟพญานาค อาจเป็นบั้งไฟ หรือ ดอกไม้ไฟ ที่ไม่มีผู้รู้จัก หรือคาดไม่ถึง ไม่ อยู่ในสารบบของดอกไม้ไฟไทยหรือสากล มีลักษณะและรูปทรงแตกต่างจากของที่ทำ ใช้หรือจำหน่ายในท้องตลาดในปัจจุบัน โดยเป็นการค้นพบโดยบังเอิญ และถือเป็นความลับสุดยอด

- การพุ่งขึ้นสู่ท้องฟ้าแบบมีความเร่งและลอยตัว ควรเป็นการขึ้นในลักษณะหมุนรอบแกนตั้ง และวัตถุจะมีขนาดกะทัดรัด คล้ายลูกป็น (bullet) ไม่มีปีก ไม่มีหาง ซึ่งควรมีลักษณะคล้ายกับลูกอมของเด็ก (อัมยิ้ม)

• การพุ่งขึ้นสู่ท้องฟ้าของลูกไฟเกิดจากการขับของเชื้อเพลิงแข็ง ที่บรรจุอยู่ในตัววัตถุทำให้เกิดลูกไฟ โดยเชื้อเพลิงแข็งนั้นจะติดไฟให้เปลวสีชมพูอ่อน มีควันน้อยจนมองไม่เห็น ไม่มีประกายหรือสะเก็ดไฟพุ่งตาม ซึ่งควรจะเป็นส่วนผสมของดินประสิว(KNO_3) กับถ่านไม้บางส่วนิด และอาจเพิ่ม $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ เพื่อให้ลูกไฟมีสีชมพูเข้มขึ้น

- การจุดโดยมองไม่เห็น ไม่ทราบตำแหน่ง และเวลา จะใช้เวลานานกว่าเวลาจุด และปล่อยทิ้งไว้^๙ให้^๙ขึ้นเอง
- การทำให้^๙ขึ้นจาก^๙น้ำ ใช้วางบนกระถางลอยน้ำ และมี ส่วนบังแสงไฟชนวน
- การ^๙ขึ้นแบบ^๙ทำโดย^๙นำ^๙กระ^๙ถาง^๙ไป^๙ทิ้ง^๙ไว้^๙ตาม^๙ที่^๙ต่าง^๙ๆ
- ชนวน^๙ถ่วง^๙เวลา^๙อาจ^๙เป็น^๙ เทียน^๙ยา^๙กัน^๙ยุง^๙ ฐูป^๙ หรือ^๙บุ^๙หรี^๙
- ปัญหา^๙ระบบ^๙นี้^๙คือ^๙ ฝน^๙ ถ้า^๙ไม่^๙มี^๙ที่^๙กัน^๙ฝน^๙จะ^๙ดับ

การไม่ได้ยินเสียงและมองเห็นคน

- การหมุนของวัตถุอย่างรวดเร็ว และทิศทางการพุ่งออกของก๊าซจากการเผาไหม้ไม่อยู่ในแนวตั้ง

- ตำแหน่งที่จุดอยู่ห่างจากผู้ดูมาก
- การมีเสียงแทรกซ้อนจากแหล่งอื่น คน นำไหล เครื่องขยายเสียง

- วัตถุพุ่งขึ้นด้วยความเร็ว

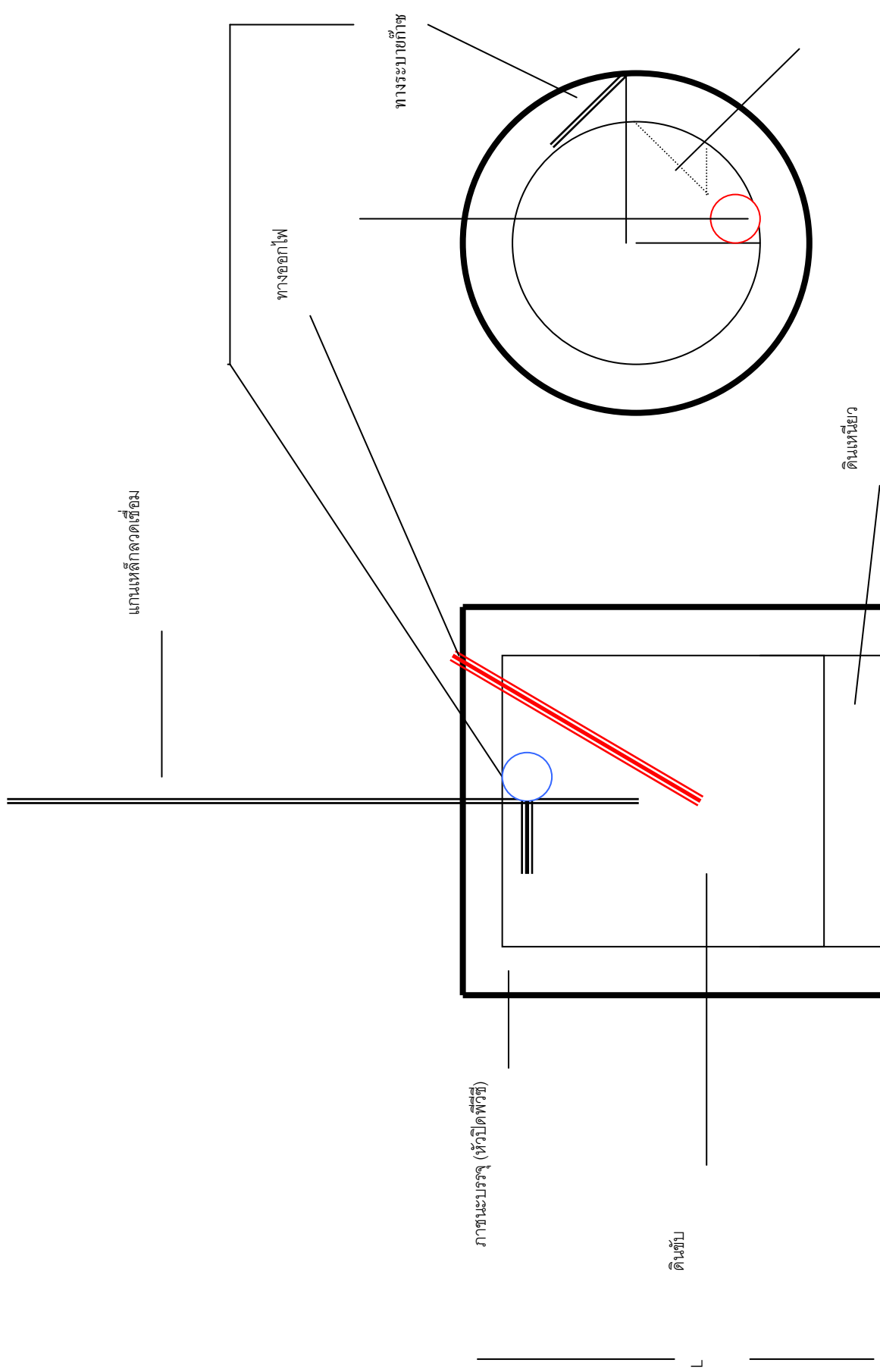
การวิจารณ์ความรู้ด้านนา

- เชียงใหม่มีบอกไฟฟ้่นเมืองชนิดหนึ่ง มีมาแต่โบราณ
- ลักษณะคล้ายอมยิ้ม
- ทำด้วยไม้ไผ่ บรรจุน้ำมันดำข้างใน
- เจาะรูไฟออกด้านข้าง และข้้นในลักษณะหมุน
- ชื่อเรียกตามภาษาพื้นบ้านว่า บอกไฟว้อ
- ผู้วิจัยพบเห็นครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2505 ในงานประชุมเพลิง

พระครูจักรวุฒิสาร เจ้าอาวาสวัดฟ่อนสร้อย จ.เชียงใหม่

ณ.สุสานหายยา อ.เมือง จ.เชียงใหม่





การสร้างตู้ไฟฟ้าจากทองน้ำสามารถทำ

โดยใช้ภูมิปัญญาท้องถิ่น

ซึ่งสามารถเรียกเป็น

ตู้ไฟฟ้าแม่ น้ำ ฟันบ้านถ่านนา

ตารางเปรียบเทียบวัตถุประสงค์ กิจกรรมที่วางไว้ และกิจกรรมที่ดำเนินการมา และผลที่ได้รับ

วัตถุประสงค์	กิจกรรมที่วางไว้	กิจกรรมที่ดำเนินการ	ผลที่ได้รับ
1. เพื่อพัฒนาวิद्यุที่สามารถสร้างลูกไฟที่พุ่งขึ้นสู่อากาศด้วยความเร็ว เป็นเส้นตรง และดับกลางอากาศโดยไม่มีวิถีโค้งหรือตกลงมาจากจุดที่ขึ้นไปสูงสุด	การทดลองที่ 1 รูปแบบวิद्यุสร้างลูกไฟที่แตกต่างกันจากปกติที่มีในปัจจุบัน การผลิตวิद्यุลักษณะคล้ายลูกปืนและขึ้นในลักษณะหมุน การไม่เห็นควัน การไม่มีเสียง	การทดลองที่ 1 การพัฒนาวิद्यุสร้างลูกไฟที่มีคุณสมบัติพึงประสงค์	1. ได้รูปแบบและส่วนประกอบของวิद्यุสร้างลูกไฟ ที่ยังไม่มีผู้รายงานว่าเป็นประดิษฐ์ได้มาก่อน โดยพบว่าเป็นวิद्यุสร้างลูกไฟลักษณะคล้ายลูกอมย้อม ขึ้นสู่ท้องฟ้าโดยการหมุน
2. เพื่อสร้างลูกไฟที่ขึ้นสู่อากาศในลักษณะที่แตกต่างจาก ดอกไม้ไฟ พลุ ที่มีอยู่ในท้องตลาดในปัจจุบัน โดยมีสีของไฟตามธรรมชาติ (ขาว-เหลือง-ชมพู) ไม่มีหางเป็นสะเก็ดไฟแบบดาวหางหรือดาวตก ไม่มีเสียงดังแบบจรวด บั้งไฟ หรือเสียงที่ระเบิดแบบเป็นและไม่เห็นควันไฟพุ่งตามลูกไฟ	การทดลองที่ 2 ชนิดของเชื้อเพลิงแข็งและส่วนประกอบ 2.1 องค์ประกอบดินขับที่เหมาะสม 2.2 ชนิดของถ่านไม้ การทดลองที่ 3 ระยะห่างที่เหมาะสม และการเพิ่มขนาดทางออกของก๊าซ	การทดลองที่ 2 เชื้อเพลิงแข็งและส่วนประกอบที่เหมาะสม 2.1 ส่วนประกอบดินขับที่เหมาะสม 2.2 สภาพของดินขับที่เหมาะสมกับการใช้สารเพิ่มคุณสมบัติ 2.3 ชนิดของถ่านไม้ที่เหมาะสมกับการทำดินขับวิद्यุสร้างลูกไฟ การทดลองที่ 3 การลดเสียงการพุ่งขึ้นโดยศึกษาระยะห่างการจุด ขนาดทางออกไฟ ขนาดภาชนะบรรจุและสารช่วยลดเสียงที่เหมาะสม	1. ได้องค์ความรู้ว่าลูกไฟที่คล้ายดอกไม้ไฟพญานาคสามารถประดิษฐ์ได้โดยมนุษย์ โดยใช้วิธีการสร้างในลักษณะดอกไม้ไฟ และทราบกรรมวิธีผลิตในรูปอุตสาหกรรมพื้นฐาน พร้อมทั้งอุปกรณ์ผลิต ต้นทุนการผลิต ส่วนประกอบของดินขับ 2. ได้สิ่งประดิษฐ์ใหม่ที่นำไปจดทะเบียนสิทธิบัตรสิ่งประดิษฐ์ และสามารถดำเนินการผลิตในเชิงอุตสาหกรรมและพาณิชย์ เพื่อใช้ในงานประเพณีและวัฒนธรรมในท้องถิ่นต่างๆ

		3.1 ระยะห่างการจุด ขนาดภาชนะบรรจุ และขนาดทางออกของไฟที่เหมาะสม 3.1.1การลดเสียงโดยวิธีเพิ่มทางระบายก๊าซ 3.2สารเสริมเพื่อลดเสียงและขนาดภาชนะบรรจุที่เหมาะสม การทดลองที่ 4 การพัฒนาอุปกรณ์ผลิตและขั้นตอนการผลิต 4.1 อุปกรณ์การบัดดินขับ 4.2 อุปกรณ์การอัดดินขับในบล็อกบรรจุ 4.3 อุปกรณ์เจาะรูปักแกนหมุน ทางไฟออก ความปลอดภัย และลักษณะแกนหมุนที่เหมาะสม	3.1 ระยะห่างการจุด ขนาดภาชนะบรรจุ และขนาดทางออกของไฟที่เหมาะสม 3.1.1การลดเสียงโดยวิธีเพิ่มทางระบายก๊าซ 3.2สารเสริมเพื่อลดเสียงและขนาดภาชนะบรรจุที่เหมาะสม การทดลองที่ 4 การพัฒนาอุปกรณ์ผลิตและขั้นตอนการผลิต 4.1 อุปกรณ์การบัดดินขับ 4.2 อุปกรณ์การอัดดินขับในบล็อกบรรจุ 4.3 อุปกรณ์เจาะรูปักแกนหมุน ทางไฟออก ความปลอดภัย และลักษณะแกนหมุนที่เหมาะสม	3. ได้สิ่งประดิษฐ์ใหม่สำหรับส่งเข้าประกวดสิ่งประดิษฐ์แห่งชาติในปี 2547 ของสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
3. เพื่อศึกษาวิธีการจุดลูกไฟขึ้นสู่อากาศ โดยสามารถมองเห็นเฉพาะลูกไฟลอยขึ้นจากจุดที่ไม่สามารถคาดหมายตำแหน่งและเวลาได้	การทดลองที่ 5 วิธีการจุดที่คาดตำแหน่งและเวลาลูกไฟขึ้นไม่ได้	การทดลองที่ 5 วิธีการจุดที่ทำให้คาดตำแหน่งและเวลาลูกไฟขึ้นไม่ได้ 5.1 ระดับที่จุดวัดจากผิวหน้าและการคาดเดาตำแหน่งลูกไฟขึ้น 5.2 อุปกรณ์จุด ที่มีส่วนบังแสง สร้างจากวัสดุที่ไม่มีทองถิ่น	1. ได้วิธีการจุดลูกไฟที่ไม่สามารถมองเห็นคนจุด ทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในกิจกรรมต่างๆที่ต้องการทำให้คนดูเกิดความตื่นตาตื่นใจ 2. ได้อุปกรณ์พื้นฐานที่สำคัญในการใช้สร้างปรากฏการณ์ที่มีแสงพุ่งขึ้นมาจากท้องฟ้าโดยใช้กระพวงเป็นตัวพาและปล่อยไปตามน้ำ	

4 เพื่อทดสอบความเห็นของผู้ที่เคยชมบั้งไฟพญานาค ต่อดูไฟฟ้าที่ประดิษฐ์ขึ้น และพัฒนารูปแบบสุดท้ายของวัสดุสร้างดูไฟเพื่อเผยแพร่ต่อไป	การทดลองที่ 6 ความเห็นของผู้เคยชมบั้งไฟพญานาค	การทดลองที่ 6 ความเห็นของผู้เคยชมบั้งไฟพญานาคมาแล้ว 6.1 ความเห็นของผู้เคยชมบั้งไฟมาแล้วซึ่งมาจากภาคต่างๆ 6.2 ความเห็นของผู้ติดตามผลงานซึ่งเป็นตัวแทนผู้ให้เหรียญ การทดลองที่ 7. การพัฒนาวัสดุสร้างดูไฟขั้นสุดยอด เพื่อให้ได้ดูไฟที่เหมือนบั้งไฟพญานาคที่สุด 7.1 การใช้ดินเหนียวคั่นระหว่างเปลือกท่อบรรจุและดินขับเพื่อป้องกันการรวบไฟ 7.2 การใช้เบรคบรรจุทำด้วยวัสดุทนไฟเพื่อป้องกันการรวบของดูไฟก่อนดับ 7.3 การใช้สารเร่งปฏิกิริยาการเผาไหม้และสารรีดิวซ์ เพื่อช่วยลดควัน เสี่ยง และทำให้เปลวของดูไฟมีสีเสียนๆจากๆ และต้นทุนการผลิตจากการใช้สารเสริม 7.4 การพุ่งขึ้นจากได้นำ	1. เพิ่มขอบเขตของข้อมูลข่าวสารทางเลือกเพื่อประกอบการลงความเห็นของคนทั้งประเทศ บนพื้นฐานความเป็นจริง และนำไปสู่การค้นหาลาเหตุของปรากฏการณ์ในลำนำไขว้ในวงแคบยิ่งขึ้น 2. ได้สิ่งประดิษฐ์ที่สามารถนำมาทดแทนหรือเป็นแบบจำลองที่มีความคล้ายคลึงปรากฏการณ์จริงมากที่สุด เพื่อนำไปแสดงแทนในที่สุด
---	---	--	--