

การศึกษาเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของทีเอ็นที
ในกระบวนการขึ้นรูปทีเอ็นทีแท่ง
Comparative Study of The Physical Properties of
TNT (2,4,6-trinitrotoluene) in Molding Process

ร้อยเอกหญิง ดร.พนมวรรณ ปานสีทา

กองวิชาเคมี ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
E-mail: ppanseeta@yahoo.com

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติทางกายภาพของแท่งทีเอ็นทีที่แตกหักจากการขึ้นรูป โดยทำการวิเคราะห์ในเชิงคุณภาพและปริมาณ จากผลการวิจัยพบว่าแท่งทีเอ็นทีที่แตกหักจากการขึ้นรูปมีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 80.0-82.0 °C ซึ่งเป็นช่วงการหลอมเหลวที่กว้างกว่าสารตัวอย่างชนิดอื่น เมื่อวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทางโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง เทคนิค

โครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง และเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโคปี พบว่าแท่งทีเอ็นทีที่แตกหักจากการขึ้นรูปและผงทีเอ็นทีที่ได้จากการเจาะแกนกลางไม่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมี นอกจากนี้เมื่อนำสารทีเอ็นทีชนิดแท่งที่แตกหักจากการขึ้นรูปทำให้มีความบริสุทธิ์มากขึ้นโดยการละลายด้วยอะซิโตนและทำการกรองจะได้ปริมาณทีเอ็นทีบริสุทธิ์ร้อยละ 95.91 ของทีเอ็นทีที่แตกหักจากการขึ้นรูป ที่เหลือเป็นผงสีดำร้อยละ 4.09 อย่างไรก็ตาม การทดลองนี้ทำให้ทราบว่าแท่งทีเอ็นทีที่เกิดการแตกหักจากการขึ้นรูป ไม่ได้มีสาเหตุมาจากการสลายตัวของทีเอ็นทีที่ผ่านการอัดแท่งโดยใช้ความดัน แต่สาเหตุหลักมาจากการปนเปื้อนของผงแกรไฟต์ซึ่งทางโรงงานต้องใช้ในการเคลือบแบบก่อนทำการขึ้นรูปอัดแท่ง

คำสำคัญ: ทีเอ็นที, ทินเลเยอร์โครมาโทกราฟี, ไฮเพอร์ฟอร์แมนซ์ลิควิดโครมาโทกราฟี, นิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์

Abstract : The purpose of this research was to study physical properties of TNT (2,4,6-trinitrotoluene) in molding process by qualitative and quantitative analysis. It is found in this study that the broken TNT sticks from molding process have the range of the melting point between 80.0 and 82.0 °C which is wider than several samples. The analysis by means of Thin-Layer Chromatography (TLC), High Performance Liquid Chromatography (HPLC) and Nuclear Magnetic Resonance spectroscopy (NMR) suggested that the chemical conversion of the broken TNT sticks from molding and TNT powder obtained from the drill core did not convert into TNT isomers. Moreover, the broken TNT sticks were purified by dissolving with acetone and then filtered. The amount of pure TNT retrieved from the broken TNT sticks from molding process was 95.91% by volume and the remaining 4.09% was black powder. However, this experiment demonstrated that the broken of TNT sticks obtained from molding process was not due to the degradation of TNT bar, which was packed by the use of high pressure, but mainly from contamination of the graphite in factory process, which must be used in the coating before molding process.

Key words: TNT (2,4,6-trinitrotoluene), TLC, HPLC, Nuclear magnetic resonance spectroscopy

1. บทนำ

กองโรงงานวัตถุระเบิด ศูนย์อุตสาหกรรมสรรพาวุธ กรมสรรพาวุธทหารบก จังหวัดพระนครศรีอยุธยา เป็นโรงงานผลิตวัตถุระเบิดให้กับกองทัพบก ซึ่งภารกิจหนึ่งของโรงงานคือทำการอัดแท่งทีเอ็นที (2,4,6-trinitrotoluene) ให้กับหน่วยทหารเพื่อใช้ประโยชน์ในการฝึกศึกษาทางด้านการรบและใช้ทำลายวัตถุระเบิดชนิดอื่นๆ ปัจจุบันทีเอ็นทีที่ใช้ในโรงงานได้มาจากการสั่งซื้อจากต่างประเทศในปริมาณมากและทำการเก็บรักษาไว้ในคลังให้พ้นแสงแดดและความชื้นเพื่อคงสภาพของทีเอ็นทีไว้ เมื่อหน่วยทหารมีความต้องการใช้แท่งทีเอ็นที ทาง

โรงงานจะนำเกล็ดทีเอ็นทีนี้ไปทำการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดทีเอ็นทีให้มีรูปร่างตามที่ต้องการ โดยขนาดของแท่งทีเอ็นทีที่โรงงานทำการอัดแท่งมี 2 ขนาดคือ ขนาด ¼ และ ½ ปอนด์ จากนั้นจึงนำใส่กล่องที่มีสัญลักษณ์เพื่อง่ายต่อการตรวจรับในหน่วยทหาร ในกระบวนการขึ้นรูปแท่งทีเอ็นทีจะเริ่มจากการนำเกล็ดทีเอ็นทีซึ่งน้ำหนักตามขนาดที่ต้องการ (ขนาด ¼ ปอนด์ ชั่งน้ำหนัก 120-125 กรัม และ ½ ปอนด์ชั่งน้ำหนัก 230-250 กรัมต่อแท่งทีเอ็นที 1 แท่ง) จากนั้นเทลงในแบบขึ้นรูป (การอัดแท่งเพื่อขึ้นรูป 1 ครั้ง จะได้แท่งทีเอ็นที 4 แท่ง) นำแบบเข้าเครื่องอัดโดยใช้แรงดันประมาณ 80-120 บาร์ จากนั้น

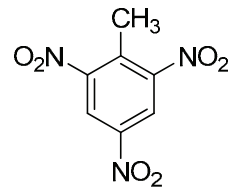
นำแท่งที่เอ็นทีออกจากเครื่องอัดและเจาะแกนกลางเพื่อใส่ขั้วจนระเบิดต่อไป โดยทางโรงงาน จะทำการทดสอบประสิทธิภาพของแท่งที่เอ็นที จากค่าความหนาแน่นและแรงระเบิด จากขั้นตอนกระบวนการขึ้นรูปข้างต้นพบว่าแท่งที่เอ็นที จะเกิดการแตกหักประมาณ 5% ของจำนวนแท่งที่เอ็นทีทั้งหมดที่ผลิตปริมาณการผลิตแท่งที่เอ็นทีที่จะอยู่ที่ประมาณ 30,000-40,000 แท่งต่อปีงบประมาณ โดยโรงงานได้นำชิ้นส่วนแท่งที่เอ็นทีเก่าที่เกิดการแตกหักบดใหม่และทำการผสมกับเกล็ดที่เอ็นทีเพื่อนำไปขึ้นรูปใหม่อีกครั้ง แต่ปัญหาที่เกิดขึ้นคือแท่งที่เอ็นทีที่เกิดจากการผสมนั้นจะแตกหักง่ายกว่าการอัดครั้งแรก ทำให้ต้องสูญเสียงบประมาณในส่วนนี้ไป เพราะฉะนั้นแท่งที่เอ็นทีที่ไม่สามารถอัดเป็นแท่งได้จะถูกนำไปทำลายทิ้งในหน่วยทหารที่รับผิดชอบ

ดังนั้นงานวิจัยนี้ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพของทีเอ็นทีในกระบวนการขึ้นรูปทีเอ็นที เพื่อหาสาเหตุของการแตกหักง่ายของแท่งที่เอ็นทีจากการขึ้นรูปใหม่ของสารทีเอ็นทีที่ผ่านการอัดแล้ว โดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและสมบัติทางกายภาพอื่นๆ ของทีเอ็นทีที่เกิดขึ้นหลังผ่านกระบวนการขึ้นรูปแบบอัดแท่ง เนื่องจากมีรายงานส่วนหนึ่งที่ระบุว่าไอโซเมอร์อื่นของทีเอ็นทีที่ผสมอยู่อาจส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพของทีเอ็นทีได้ งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ทีเอ็นทีเชิงคุณภาพและปริมาณวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคทางโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง (Thin-Layer Chromatography; TLC) เทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโกปี (Nuclear Magnetic Resonance spectroscopy; NMR) และเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High Performance

Liquid Chromatography; HPLC) ข้อมูลนี้จะ เป็นประโยชน์กับโรงงานวัตถุระเบิดทางทหารสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อพิจารณาปัญหาการแตกหักง่ายของแท่งที่เอ็นทีและเป็นแนวทางในการนำแท่งที่เอ็นทีที่แตกหักกลับมาใช้ใหม่ได้ กรณีที่เกิดการขาดแคลน

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

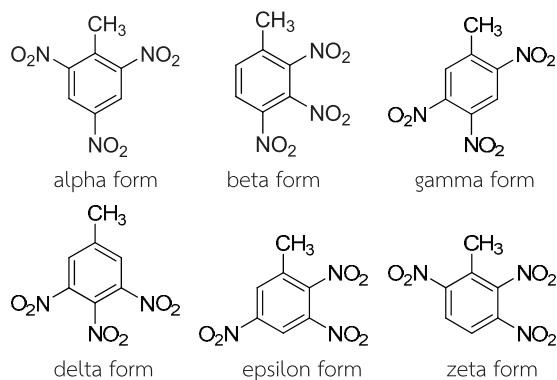
ทีเอ็นที (TNT) หรือ 2,4,6-ไตรโนโตรโทลูอิน (2,4,6-Trinitrotoluene) มีชื่อตามระบบ IUPAC คือ 2-เมทิล-1,3,5-ไตรโนโตรเบนซีน (2-methyl-1,3,5-trinitrobenzene) มีสูตรเคมีคือ $C_7H_5N_3O_6$ โครงสร้างของทีเอ็นทีดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 โครงสร้างของทีเอ็นที

บางครั้งอาจเรียกชื่อทีเอ็นทีเป็นแอลฟาไตรโนโตรโทลูอิน (Alpha-trinitrotoluene) ซิมไตรโนโตรโทลูอิน (Sym-tri nitrotoluene) โทรทิล (Trotyl) และโทไลต์ (Tolite) เป็นต้น ทีเอ็นทีเป็นของแข็งสีเหลืองอ่อน มีจุดเดือดที่อุณหภูมิ 240°C จุดหลอมเหลวที่ 82°C ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์เช่น อะซีโตน (Acetone) หรือเบนซีน (Benzene) แต่ละลายได้น้อยในน้ำ ทีเอ็นทีพบว่าเป็นวัตถุระเบิดที่มีความเสี่ยงระดับปานกลางเนื่องจากทีเอ็นทีจะเกิดการระเบิดได้ต้องมีแรงกระแทกหรืออยู่ในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 200°C ทีเอ็นทีสามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านอุตสาหกรรมเช่น การระเบิดเหมืองแร่และการผลิตสารย้อมสี เป็นต้น ด้านการทหารทีเอ็น

ที่เป็นวัตถุระเบิดแรงสูง (High Explosive) จึงนำมาหลอมเทในลูกระเบิดขี้น้ำและผลิตภัณฑ์วัตถุระเบิดชนิดอื่นๆ ซึ่งอาจนำมาใช้ในลักษณะของสารที่เอ็นทีบริสุทธิ์หรือที่เอ็นทีผสมได้ ที่เอ็นทีที่ใช้ในอุตสาหกรรมทั่วไปมีค่าความชื้นน้อยกว่า 10% น้อยกว่า 30% และมากกว่า 30% โดยน้ำหนัก แต่สำหรับที่เอ็นทีที่ใช้ในทางทหารต้องมีคุณสมบัติเฉพาะคือมีความชื้นไม่เกิน 0.1% มีจุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 80.2°C มีค่าความเป็นกรด (H_2SO_4) ไม่เกิน 0.02% ไม่มีความเป็นด่าง และมีสารเหลือจากการละลายในตัวทำละลายเบนซีนไม่เกิน 0.05% ดังนั้นที่เอ็นทีที่ใช้ในทางทหารจึงต้องมีความบริสุทธิ์สูงกว่าที่เอ็นทีที่ใช้ในอุตสาหกรรมทั่วไป ในกระบวนการผลิตที่เอ็นทีสามารถทำการสังเคราะห์ได้จากปฏิกิริยาไนเตรชัน (Nitration) ของโทลูอีน (Toluene) โดยใช้กรดไนตริก (HNO_3) กับกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) จากนั้นปฏิกิริยาจะเกิดอย่างต่อเนื่องและให้สารที่เอ็นทีเป็นไอโซเมอร์กับ 2,4,6-ไตรไนโตร-โทลูอีนป้อนออกมาด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำให้สารบริสุทธิ์มากขึ้นโดยวิธีการตกผลึก ไอโซเมอร์ที่เอ็นทีชนิดอื่นจะมีจุดหลอมเหลวสูงกว่า 2,4,6-ไตรไนโตรโทลูอีน สำหรับไอโซเมอร์ที่เอ็นทีมีทั้งหมด 6 ไอโซเมอร์คือ แบบแอลฟา (2,4,6-trinitrotoluene) แบบเบตา (2,3,4-trinitrotoluene) แบบแกมมา (2,4,5-trinitrotoluene) แบบเดลตา (3,4,5-trinitrotoluene) แบบเอฟซิลอน (2,3,5-trinitrotoluene) และแบบซีตา (2,3,6-trinitrotoluene) โครงสร้างสารไอโซเมอร์ที่เอ็นทีแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 โครงสร้างของสารไอโซเมอร์ที่เอ็นที

3. การดำเนินการวิจัย

ที่เอ็นทีที่ใช้ในการวิจัยมี 3 ตัวอย่างคือ เกล็ดที่เอ็นที แท่งที่เอ็นทีที่แตกหักจากการขึ้นรูป และผงที่เอ็นทีที่ได้จากการเจาะแกนกลางซึ่งได้มาจากกองโรงงานวัตถุระเบิด ศูนย์อุตสาหกรรมสรรพาวุธ กรมสรรพาวุธทหารบก จังหวัดอยุธยา เมื่อเดือนเมษายนปี 2554 ขั้นตอนในการวิเคราะห์เริ่มจากการศึกษาสมบัติทางกายภาพ เช่น สถานะ สี จุดหลอมเหลว และความสามารถในการละลายในตัวทำละลาย จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง (TLC) โดยใช้แผ่นอะลูมิเนียมสำริดรูป (Silica gel 60 F₂₅₄, Layer Thickness : 1.25 mm) ตรวจวัดด้วยรังสียูวีที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร เทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโคปี (NMR, Bruker Avance 300) ให้ข้อมูลเอ็นเอ็มอาร์สเปกตรัม (¹H, ¹³C และ 2D-NMR) โดยใช้ตัวทำละลายคลอโรฟอร์ม (CDCl₃) เป็นตัวทำละลาย รายงานในหน่วยเดลตา (δ) ที่มีเตตระเมทิล-ไซแลน (Tetramethylsilane; TMS) เป็นสารมาตรฐาน (Internal Standard)

และเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC, Waters600E) โดยใช้คอลัมน์ C-18 (Symmetry C-18 reversed phase, ขนาด 15 cm x 3.9 mm, ขนาดอนุภาค 0.5 μ m) ขับด้วยเมทานอล-น้ำ อัตราส่วน 55 ต่อ 45 โดยปริมาตร (Isocratic elution) อัตราการไหล (Flow rate) 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที ปริมาตรสารตัวอย่าง (Injection volume) 20 ไมโครลิตร ตรวจวัดด้วยรังสียูวีที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร ระยะเวลาในการวิเคราะห์ (Run time) ใช้เวลา 10 นาที

4. ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ การวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ ได้ผลการทดลองดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

สารตัวอย่างทั้งสามชนิดมีลักษณะเป็นของแข็งสีเหลืองเหมือนกัน แต่สารตัวอย่างแห่งที่เอ็นทีที่แตกต่างจากการขึ้นรูปมีสีเหลืองเข้มกว่าเมื่อนำไปทดสอบการละลายพบว่าสารตัวอย่างที่เอ็นทีทั้งสามชนิดไม่ละลายในตัวทำละลายเฮกเซนและน้ำกลั่น แต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายไดคลอโรมีเทน อะซีโตน และเมทานอล ยกเว้นสารตัวอย่างที่เอ็นทีที่แตกต่างจากการขึ้นรูปส่วนใหญ่ละลายได้ เหลือเพียงผงสีดําละเอียดอยู่ทั้งภาชนะ สอดคล้องกับผลการหาจุดหลอมเหลวของสารตัวอย่างเกล็ดที่เอ็นทีที่มีจุดหลอมเหลวที่ 80.0-80.5°C แห่งที่เอ็นทีที่แตกต่างจากการขึ้นรูปที่ 80.0-82.0°C ผงที่เอ็นทีที่ได้จากการเจาะแกนกลางที่ 80.0-81.0°C จะเห็นได้ว่าช่วงของ

การหลอมเหลวของแห่งที่เอ็นทีที่แตกต่างจากการขึ้นรูปมีช่วงการหลอมเหลวที่กว้างกว่าสารตัวอย่างอื่น แสดงว่ามีสารปนเปื้อนอยู่ในแห่งที่เอ็นที

4.2 ผลการวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ

4.2.1 ผลของเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง (TLC) พบว่าระยะทางการเคลื่อนที่ของสารตัวอย่างทั้ง 3 ชนิด มีระยะทางการเคลื่อนที่ของสารเท่ากันในระบบเฟสเคลื่อนที่เดียวกัน โดยมีระยะทางการเคลื่อนที่ของสารเทียบกับระยะทางของตัวทำละลายที่เคลื่อนที่ (R_f) มีค่าเท่ากับ 0.625 (ระบบ 80% ไดคลอโรมีเทน-เฮกเซน) และเท่ากับ 0.800 (ระบบไดคลอโรมีเทน)

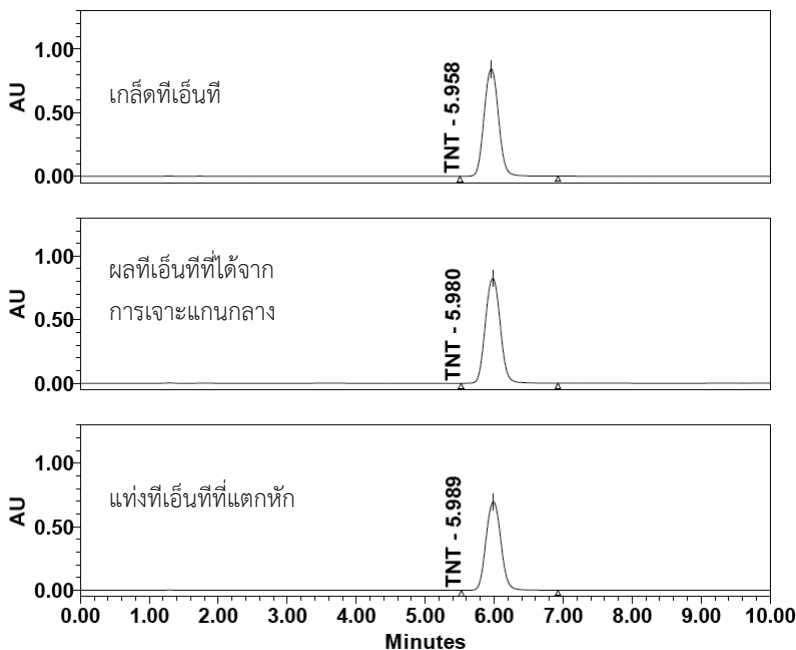
4.2.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนิวเคลียร์แมก-เนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโคปี (NMR) จากข้อมูลโปรตอนเอ็นเอ็มอาร์ของสารตัวอย่างเกล็ดที่เอ็นที พบสัญญาณของหมู่เมทิล (Methyl group) หนึ่งหมู่ ที่ δ_H 2.72 (3H, s) และพบสัญญาณของโปรตอนในตำแหน่งของวงอะโรมาติก (Aromatic proton) ที่สมมาตรกัน (Symmetry) ที่ δ_H 8.85 (2H, s) สำหรับข้อมูลสเปกตรัมของสารตัวอย่างแห่งที่เอ็นทีที่แตกต่างจากการขึ้นรูปพบสัญญาณของหมู่เมทิลหนึ่งหมู่ที่ δ_H 2.72 (3H, s) พบสัญญาณของโปรตอนของวงอะโรมาติกที่สมมาตรกันที่ δ_H 8.85 (2H, s) และข้อมูลของสารตัวอย่างผงที่เอ็นทีที่ได้จากการเจาะแกนกลางพบสัญญาณของหมู่เมทิลหนึ่งหมู่ที่ δ_H 2.72 (3H, s) และสัญญาณโปรตอนของวงอะโรมาติกที่สมมาตรกันที่ δ_H 8.85 (2H, s)

4.2.3 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) พบว่าโครมาโทแกรมของเกล็ดทีเอ็นทีที่มีค่ารีเทนชันไทม์ (Retention time; Rt) เท่ากับ 5.96 นาที ผงทีเอ็นทีจากการเจาะแกนกลางเท่ากับ 5.98 นาที และแท่งทีเอ็นทีที่แตกหักจากการขึ้นรูปเท่ากับ 5.99 นาที ตามลำดับ ดังตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าระยะเวลาที่ทีเอ็นทีเคลื่อนที่ออกจากคอลัมน์ใช้เวลาใกล้เคียงกัน แต่เมื่อ

คำนวณพื้นที่ใต้พีค (Area) ของสารตัวอย่างแท่งทีเอ็นทีที่แตกหักจากการขึ้นรูปพบว่ามีค่าน้อยกว่าสารตัวอย่างอื่นเมื่อทำการเทียบที่ความเข้มข้นเดียวกัน แสดงว่าปริมาณของสาร 2,4,6-ไตรโน-โตรโทลูอินในสารตัวอย่างที่เอ็นทีที่แตกหักจะมีค่าน้อยกว่าสารตัวอย่างอื่น โครมาโทแกรมแสดงดังภาพที่ 3

ตารางที่ 1 สรุปผลการวิเคราะห์สารตัวอย่างทีเอ็นทีด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง

สารละลายตัวอย่าง	ผลการวิเคราะห์		
	ค่ารีเทนชันไทม์ (นาที)	พื้นที่ใต้พีค (AU)	ความสูงของพีค (Height)
เกล็ดทีเอ็นที	5.96	12221631	841661
ผงทีเอ็นที	5.98	12351567	823536
ทีเอ็นทีที่แตกหัก	5.99	10407636	694325



ภาพที่ 3 โครมาโทแกรมเทคนิคเอชพีแอลซีของสารตัวอย่างทีเอ็นที

เมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ข้างต้น ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง เทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโคปี และเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลว สมรรถนะสูงพบว่าแท่งที่เอ็นทีที่แตกหักจากการขึ้นรูปไม่ได้เกิดการสลายตัวเป็นไอโซเมอร์อื่น ยังคงมี 2,4,6-ไตรโนโตรโทลูอินเป็นองค์ประกอบหลักในสารตัวอย่าง ดังนั้นการแตกหักของแท่งที่เอ็นทีน่าจะมาจากการปนเปื้อนของผงสีดำ จึงทำการทดลองแยกสารตัวอย่างที่เอ็นที (2,4,6-ไตรโนโตรโทลูอิน) ที่แตกหักจากการขึ้นรูปออกจากผงสีดำโดยใช้เทคนิคการกรอง

สารละลายในตัวทำละลายอะซีโตน (CH_3COCH_3) เป็นวิธีที่หนึ่ง เปรียบเทียบกับวิธีที่สองคือเทคนิคคอลัมน์โครมาโทกราฟี พบว่าเทคนิคการกรองได้ 2,4,6-ไตรโนโตรโทลูอินมีลักษณะเป็นของแข็งสีเหลืองน้ำหนัก 211.18 กรัม ส่วนผงสีดำที่ตกค้างบนกระดาษกรองมีน้ำหนัก 8.72 กรัมจากสารตัวอย่าง 220.0 กรัม ส่วนเทคนิคคอลัมน์โครมาโทกราฟีได้ผลึก 2,4,6-ไตรโนโตรโทลูอินน้ำหนัก 4.64 กรัม จากสารตัวอย่างน้ำหนัก 5.00 กรัม จากนั้นทำการวิเคราะห์ที่เอ็นทีที่แยกได้ในเชิงคุณภาพและปริมาณได้ผลการทดลองดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ที่เอ็นทีที่แยกได้จากสารตัวอย่างที่เอ็นทีชนิดแท่งที่แตกหักจากการขึ้นรูปเทคนิค

เทคนิค	ผลการวิเคราะห์		
	จุดหลอมเหลว ($^{\circ}\text{C}$)	พื้นที่ใต้พีค (AU)	ที่เอ็นทีที่แยกได้คิดเป็นร้อยละ
การกรอง	80.0-81.0	11872717	95.91
คอลัมน์			
โครมาโทกราฟี	80.0-80.5	12619328	92.79

5. สรุปผลการทดลอง

การวิเคราะห์สารตัวอย่างเกล็ดที่เอ็นที แท่งที่เอ็นทีที่แตกหักจากการขึ้นรูป และผงที่เอ็นทีที่ได้จากการเจาะแกนกลาง สรุปผลการวิจัยดังนี้

5.1 สมบัติทางกายภาพของสารตัวอย่างที่เอ็นทีทั้งสาม ตัวอย่าง มีสมบัติทางกายภาพที่ต่างกันคือ สี การละลาย และจุดหลอมเหลว โดยจุดหลอมเหลวของสารตัวอย่างแท่งที่เอ็นทีที่แตกหักจากการขึ้นรูปมีช่วงการหลอมเหลวที่กว้างกว่าสารตัวอย่างชนิดอื่น แสดงว่าแท่งที่เอ็น

ทีที่แตกหักจากการขึ้นรูปมีสารปนเปื้อนเจือปนอยู่ ซึ่งสอดคล้องกับผลของการละลายด้วยตัวทำละลายพบว่า มีผงสีดำที่ก้นภาชนะ

5.2 จากข้อมูลโครมาโทกราฟีแบบเยื่อบาง (TLC) และเทคนิคนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์สเปกโทรสโคปี (NMR) เทียบระหว่างสารตัวอย่างทั้งสามชนิด พบว่าแท่งที่เอ็นทีที่เกิดขึ้นจากกระบวนการขึ้นรูปแบบอัดแท่งและผงที่ได้จากการเจาะแกนกลางไม่มีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี

5.3 ผลจากการแยกสารทีเอ็นทีชนิดแห้งที่แตกหักจากการขึ้นรูปให้บริสุทธิ์โดยใช้เทคนิคการกรองสารละลายตัวอย่างพบว่า ได้สารทีเอ็นทีบริสุทธิ์คิดเป็นร้อยละ 95.91 ของทีเอ็นทีที่แตกหักจากการขึ้นรูป ที่เหลือเป็นผงสีดำติดที่กระดาษกรองคิดเป็นร้อยละ 4.09 อย่างไรก็ตามจากการทดลองนี้ทำให้ทราบว่าทีเอ็นทีชนิดแห้งที่แตกหักจนไม่สามารถขึ้นรูปได้อีกไม่ได้มีสาเหตุมาจากการสลายตัวของทีเอ็นทีที่ผ่านกระบวนการอัดแห้งโดยใช้ความดันจนกลายเป็นไอโซเมอร์ ชนิดอื่นปนกับแห้งทีเอ็นที แต่สาเหตุหลักของการขึ้นรูปทีเอ็นทีไม่ได้ น่าจะมาจากสารปนเปื้อนที่มีลักษณะเป็นผงสีดำผสมอยู่ในทีเอ็นที และจากการสอบถามขั้นตอนของการอัดแห้งทีเอ็นทีจากโรงงานวัตถุระเบิดโดยละเอียด ทำให้ผู้วิจัยสรุปได้ว่าผงสีดำละเอียดที่ปนเปื้อนมากับทีเอ็นทีชนิดแห้งที่แตกหักจากการขึ้นรูปนี้น่าจะเป็นผงแกรไฟต์ที่โรงงานต้องใช้ในการเคลือบแบบขึ้นรูปก่อนทำการอัดแห้งทีเอ็นทีเพื่อให้ง่ายต่อการนำแห้งทีเอ็นทีออกจากแบบอัด นอกจากนี้ผู้วิจัยได้นำทีเอ็นทีที่แยกผงแกรไฟต์ออกเรียบร้อยแล้ว ทำการอัดแห้งขึ้นรูปใหม่ พบว่าสามารถขึ้นรูปได้

5.4 ผลจากการแยกสารทีเอ็นทีชนิดแห้งที่แตกหักจากการขึ้นรูปให้บริสุทธิ์โดยใช้เทคนิคการกรองสารละลายตัวอย่างและเทคนิคคอลัมน์โครมาโทกราฟี พบว่าสารทีเอ็นทีที่ได้จากเทคนิคคอลัมน์โครมาโทกราฟีมีความบริสุทธิ์สูงกว่าโดยพิจารณาจากผลการวิเคราะห์สารด้วยจุดหลอมเหลวและพื้นที่ใต้พีคในโครมาโทแกรมด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง แต่ข้อเสียของการแยกด้วยเทคนิคคอลัมน์โครมาโทกราฟีคือใช้เวลาานกว่าและมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าเทคนิคการกรอง

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเงินทุนวิจัยจากกองทุนพัฒนาโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าในปี 2555 และขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการวิจัย พ.อ.ผศ.ดร.ประเวทย์ มงคลศิริ และ รศ.ดร. สุนิตย์ สุขสำราญ อาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร ขอขอบคุณกองโรงงานวัตถุระเบิด ศูนย์อุตสาหกรรมสรรพาวุธ กรมสรรพาวุธทหารบก จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนสารตัวอย่างทีเอ็นทีที่ใช้ในการวิจัย ขอขอบคุณอาจารย์และเจ้าหน้าที่ในกองวิชาเคมี ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือจนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

7. บรรณานุกรม

- [1] SMittt, G. C., 1918. Trinitrotoluenes and Mono-and Dinitrotoluenes their Manufacture and Properties. New York : D. Van Nostrand Company.
- [2] WHO, 1996. Printing Processes and Printing Inks, Carbon Black and Some Nitro Compounds. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Lyon; France, vol. 65.
- [3] Lide, D.R., et al., 1993. CRC Handbook of Chemistry and Physics, 74th Ed., Boca Raton, FL: CRC Press, p. 3-492.
- [4] Lewis, R. J., Sr., 1993. Hawley's Condensed Chemical Dictionary, 12th Ed., New York : Van Nostrand Reinhold Co., p. 1185.