

การประเมินความคงตัวของดินปืนด้วยการตรวจวิเคราะห์ปริมาณสารรักษาต้านการลุกลาม

และสารรักษาความคงตัว

The Assessment of Chemical Stability of Propellant by Measuring Anti-Flash and Stabilizer Content

ธนพงษ์ ผุยบัวคือ (Thanapong Phuybuakor)* ดร.สุภาวดี ดาวดี (Dr.Supawadee Daodee)**

พ.ต.ท.จิรวรรณ ธนุรัตน์ (Pol.Lt.Col.Jirawat Tanoorat)*** ดร.วรรณิศา ศิริแสงตระกูล (Dr.Wanna Sirisangtragul)****

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความคงตัวของดินปืนที่เก็บรักษาในสภาวะเร่งที่อุณหภูมิ 75 °C เป็นเวลา 30 วัน ด้วยการวิเคราะห์ปริมาณของสารเติมแต่ง 2,4-DNT, MC, DPA และ EC ในดินปืนควันน้อย ด้วยเทคนิคโครมาโตกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) จากการวิเคราะห์ดินปืนจากกระสุนปืนจำนวน 13 ยี่ห้อ ตรวจพบสาร 2,4-DNT ในกระสุนทุกยี่ห้อ ส่วน DPA ตรวจพบในดินปืนจากกระสุนปืนจำนวน 9 ยี่ห้อ ในขณะที่ EC พบในดินปืนจากกระสุน 7 ยี่ห้อ และจากกระสุน 13 ชนิด มี 5 ยี่ห้อที่ตรวจพบทั้ง DPA และ EC คือ winchester 2, Thai Arms, RAI 12, PL และ TA และตรวจไม่พบ MC ในกระสุนทุกยี่ห้อ เมื่อเปรียบเทียบกับเวลาเริ่มต้น (T_0) พบว่าการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 75 °C เป็นเวลา 30 วัน (T_{30}) สารเติมแต่งมีปริมาณลดลงอย่างชัดเจนตามเวลา และอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมที่เพิ่มขึ้น ผลการทดลองที่ได้ชี้ให้เห็นว่าสารเติมแต่ง 2,4-DNT, DPA และ EC มีความจำเพาะต่อกระสุนในหลายยี่ห้อ และการเปลี่ยนแปลงของสารเติมแต่งดังกล่าวสามารถใช้เป็นตัวบ่งชี้เบื้องต้นถึงการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของดินปืนได้

ABSTRACT

This research aims to investigate the chemical stability of gunpowder which was storage in accelerated condition at 75 °C for 30 days. The quantity of additives substance in smokeless powder 2,4-DNT, MC, DPA and EC were analyzed using high performance liquid chromatography (HPLC). The 2,4-DNT have been found in all 13 brands of ammunition, whereas DPA have been found in 9 brands and EC in 7 brands of ammunition, respectively. There are five of them that were detected in both DPA and EC including Winchester 2, Thai Arms, RAI 12, PL and TA, while MC has not been found in all types of ammunition. When compared to day zero (T_0), the amount of additive substances were decreased when increased temperature to 75 °C and storage time to 30 days (T_{30}), respectively. This result indicated that additive substances 2,4-DNT, DPA and EC are specific to various types of ammunition, and alteration of these additive substances can be used as indicator of chemical stability of smokeless powder.

คำสำคัญ: ดินปืนควันน้อย สารเติมแต่ง โครมาโตกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง

Keywords: Smokeless powder, Additives substance, High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

* นักศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

** รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาเภสัชเคมี คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

*** พันตำรวจโท ศูนย์พิสูจน์หลักฐาน 4 จังหวัดขอนแก่น

**** อาจารย์ สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

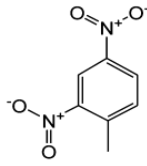
บทนำ

ดินส่งกระสุนปืน (gun powder) เป็นดินที่สามารถก่อให้เกิดการระเบิดได้จึงถูกนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการขับเคลื่อนลูกกระสุนปืนออกจากปากกระบอกปืน ดินส่งกระสุนปืนจัดจำแนกออกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ ดินดำ (black powder) ดินดำแบบใหม่ (pyrodex) และ ดินควันน้อย (smokeless powder) (Saferstein, 1988; Kubota, 2002) ปัจจุบันดินปืนชนิดที่มีการใช้งานอย่างกว้างขวางคือดินควันน้อย (smokeless powder) เนื่องจากคุณสมบัติที่ให้ควันน้อยกว่าดินดำ การสังเคราะห์ในระยะเริ่มต้นได้จากการนำ nitrocellulose (NC) หรือที่เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า gun cotton มาทำปฏิกิริยากับอีเทอร์หรือแอลกอฮอล์ เกิดเป็นสารคอลลอยด์ที่สามารถขึ้นรูปเป็นแผ่น (sheet) หรือแท่ง (rod, tube) เมื่อแห้งจะอยู่ในสภาพของแข็งที่ง่ายต่อการจัดการ (Heard, 2008; Tong et al., 2001) ในปัจจุบันผลิตได้จากการนำ cotton หรือ cellulose fiber มาทำปฏิกิริยาทางเคมีกับกรด สามารถจัดแบ่งชนิดออกได้ตามองค์ประกอบได้แก่ ดินปืนฐานเดี่ยว (single base) ที่มี nitrocellulose (NC) เป็นองค์ประกอบหลัก ดินปืนฐานคู่ (double base) ประกอบด้วยสาร NC และ สารกลุ่ม nitrate ester เช่น nitroglycerine (NG) และดินปืนฐานสาม (triple base) ที่มี NC, NG และ nitroguanidine (NQ) เป็นองค์ประกอบหลัก โดยมีการเติมสารเติมแต่ง (additive) ชนิดต่างๆ ในระหว่างขั้นตอนการผลิต เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของดินควันน้อยให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นเหมาะสมกับการใช้งาน เช่นการเติม diphenylamine ปริมาณน้อย เพื่อเป็นสารเพิ่มความเสถียร (stabilizer) แก่ NC ในดินฐานเดี่ยว หรือการเติม โพแทสเซียมซัลเฟต (K_2SO_4) หรือ โพแทสเซียมไนเตรต (KNO_3), dinitrotoluene (DNT) ในปริมาณน้อยเพื่อไม่ให้ติดประกายไฟได้ง่าย (anti-flash) และยังพบมีการเติมสารอื่นๆ อาทิ dibutyl phthalate (DBP) (Kubota, 2002) หรือการเติมสารเติมแต่งชนิดต่างๆ เช่น plasticizer และ stabilizer ได้แก่

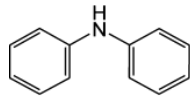
diphenylamine (DPA), ethyl centralite (EC), dinitrotoluene (DNT) หรือการเติม methyl centralite (MC) (โครงสร้างดังแสดงในภาพที่ 1) ในดินปืนฐานคู่ และดินปืนฐานสาม นอกเหนือจากนี้ยังพบมีการเติมสารชนิดอื่นๆ อาทิ dimethyl phthalate (DMP), diethyl phthalate (DEP), dibutyl phthalate (DBP) เป็นต้น (Dalby et al., 2010; Thomas et al., 2013)

โดยสารเติมแต่งเหล่านี้จะเป็นสารที่สามารถบ่งบอกลักษณะของดินปืนและคุณสมบัติทางเคมี เช่น ความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา หรือความเสถียรของดินควันน้อยได้ แต่เนื่องจากสารเหล่านี้เป็นสารอินทรีย์ที่สามารถสลายตัวได้ในสภาวะแวดล้อมต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ความชื้น การสัมผัสกับแสงอัลตราไวโอเลต (UV) และระยะเวลาในการเก็บรักษา (Farokhchek, Alizadeh, 2014) เช่น NC และ NG จะสลายตัวให้สารไนเตรท ที่มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นตามอายุของดินปืน และการเติม DPA และ EC เพื่อทำหน้าที่จับกับสารไนเตรท (nitrate scavenger) ที่เกิดขึ้น ทำให้การลดลงของสาร DPA สามารถใช้เพื่อบ่งบอกสภาพ และอายุของดินปืนได้ (Espinoza, Thornton 1994; Barzanjy, 2011)

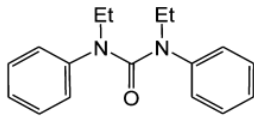
ดังนั้นการติดตามการลดลงของสารเติมแต่ง เช่นสาร anti-flash หรือ stabilizer ต่างๆ เพื่อเป็นตัวบ่งชี้การเสื่อมสภาพทางเคมีของดินปืนชนิดดินควันน้อยจึงน่าสนใจอย่างยิ่ง การศึกษานี้จึงมุ่งที่จะศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารเติมแต่งในดินควันน้อยที่เก็บรักษาในสภาพแรง ด้วยเทคนิคโครมาโตกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) โดยมุ่งเน้นการศึกษาสารเติมแต่ง ได้แก่ 2,4-DNT, MC, DPA และ EC ที่เป็นสารพื้นฐานที่นิยมใช้เพื่อช่วยรักษาสภาพของดินปืนในหลายยี่ห้อ ผลที่ได้จากการศึกษาสามารถนำมาใช้ในการควบคุมคุณภาพของดินควันน้อยภายหลังการผลิตได้ ด้วยการใช้สารเติมแต่งในดินปืนเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพทางเคมีของดินควันน้อย



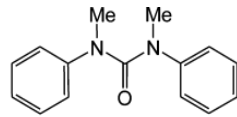
2,4-dinitrotoluene
(2,4-DNT)



diphenylamine
(DPA)



ethyl centralite
(EC)



methyl centralite
(MC)

ภาพที่ 1 โครงสร้างของสาร stabilizer ที่นิยมใช้ในการ
 ปรับปรุงประสิทธิภาพดินควันน้อย

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อตรวจวิเคราะห์ปริมาณของสารเติมแต่ง
 ในดินควันน้อย (smokeless powder) ที่เก็บรักษาใน
 สภาวะเร่งเปรียบเทียบกับสภาวะเริ่มต้น โดยใช้เทคนิค
 โครมาโตกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (high
 performance liquid chromatography, HPLC)

วิธีการวิจัย

วัสดุ อุปกรณ์และสารเคมี

สารมาตรฐาน 2,4-dinitrotoluene (2,4-DNT)
 เป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท Sigma Aldrich ประเทศจีน
 สารมาตรฐาน N,N-dimethyl carbanilide (MC) เป็น
 ผลิตภัณฑ์ของบริษัท MP Biomedicals ประเทศ
 ฝรั่งเศส สารมาตรฐาน diphenylamine (DPA) เป็น
 ผลิตภัณฑ์ของบริษัท Sigma Aldrich ประเทศอินเดีย
 และสารมาตรฐาน 1,3-diethyl-1,3-diphenylurea (EC)
 เป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท Sigma Aldrich ประเทศ
 สหรัฐอเมริกา สารอะซิโตไนล์ไตร์เป็นผลิตภัณฑ์ของ
 บริษัท SK chemical ประเทศเกาหลี และเมธานอล

(HPLC grade) เป็นผลิตภัณฑ์ของบริษัท Honeywell
 Burdick & Jackson ประเทศสหรัฐอเมริกา

กระสุนปืนที่ใช้ในการทดลองได้รับความ
 อนุเคราะห์จาก ศูนย์พิสูจน์หลักฐาน 4 จ. ขอนแก่น
วิธีการเตรียมสารมาตรฐาน

เตรียมสารมาตรฐาน 2,4-DNT, MC, DPA
 และ EC โดยการชั่งสารมาตรฐาน 10 mg ในขวดปรับ
 ปริมาตร 10 mL ปรับปริมาตรด้วยเมธานอลให้ความ
 เข้มข้นสุดท้ายเป็น 1 mg/mL เพื่อให้เป็น stock solution
 ส่วน working standard เตรียมด้วยวิธีการเจือจางสาร
 stock solution ด้วยวิธีที่เหมาะสมให้มีความเข้มข้นของ
 2,4-DNT, MC, DPA และ EC เป็น 100 µg/mL
 ตามลำดับ โดยใช้เมธานอลเป็นตัวทำละลายก่อนใช้
 งาน

การสกัดและการวิเคราะห์สารรักษาสภาพในดินปืน

ดินปืนจากการแกะกระสุนทั้ง 13 ยี่ห้อ แต่ละ
 ยี่ห้อนำมาแบ่งเป็นสองส่วน ส่วนที่หนึ่งนำมาวิเคราะห์
 หาปริมาณสาร stabilizer ด้วยการชั่งดินปืนแต่ละยี่ห้อ
 ปริมาณ 5 mg ใส่ลงใน eppendorf tube เดิมเมธานอล
 ปริมาตร 200 µL นำไป vortex เป็นเวลา 5 นาที แล้ว
 นำมา centrifuge ที่ความเร็วรอบ 10,000 rpm เป็นเวลา
 20 นาที เพื่อตกตะกอนดินปืน เมื่อครบเวลาเก็บส่วน
 supernatant เพื่อวิเคราะห์หา 2,4-DNT, MC, DPA และ
 EC ด้วยเทคนิค HPLC ต่อไป ปริมาณที่วิเคราะห์ได้คิด
 เป็นปริมาณ ณ เวลาเริ่มต้น (T_0)

ดินปืนส่วนที่สองนำไปอบที่อุณหภูมิ 75 °C
 เป็นเวลา 30 วัน เมื่อครบเวลา นำมาชั่ง และสกัดตามวิธี
 ที่กล่าวในข้างต้น แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค
 HPLC เพื่อหาปริมาณสารรักษาความคงตัวต่อไป
 ปริมาณที่วิเคราะห์ได้คิดเป็นปริมาณ ณ เวลา 30 วัน
 (T_{30})

วิธีวิเคราะห์

ตัวอย่างที่ได้จากการสกัดดินปืนแต่ละยี่ห้อ
 นำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง HPLC รุ่น Waters 1525
 binary HPLC pump และ Waters 2489 UV/visible
 detector ของบริษัท Waters ประเทศสหรัฐอเมริกา

วิธีการวิเคราะห์พัฒนาจากวิธีของ Thomas และคณะ (Thomas et al., 2013) โดยมีสภาวะดังนี้

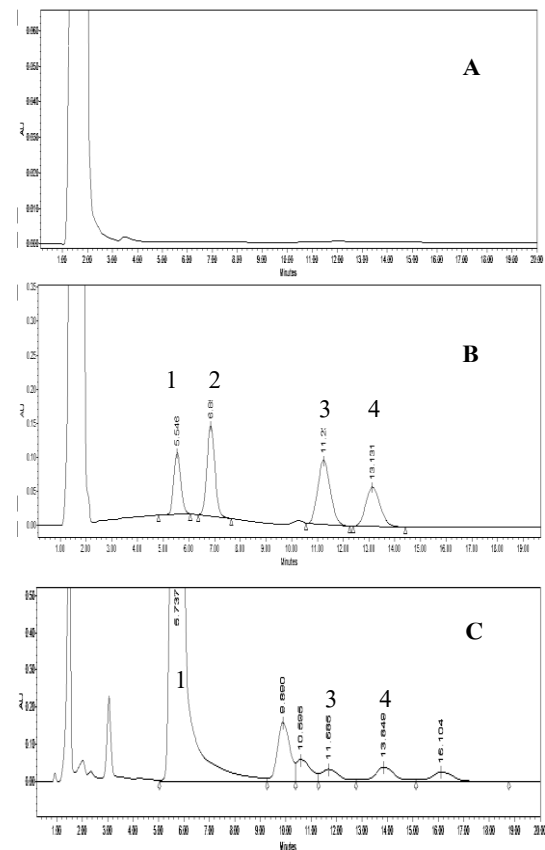
Column: Hypersil ODS C18 (5 μ m, 4 mm \times 250 mm, Agilent, USA)
 Flow rate: 1 mL/min
 UV detector: 210 nm
 Mobile phase: อะซิโตนไนไตรล์: น้ำ: เมทานอล (40:54:6, v/v/v)

ผลการวิจัย

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารรักษาสภาพในดินปืน ที่เก็บรักษาในสภาพแห้งด้วยการอบที่อุณหภูมิ 75 °C เป็นเวลา 30 วัน (T_{30}) เปรียบเทียบกับเวลาเริ่มต้น (T_0) โดยใช้เมทานอลเป็นตัวทำละลายในการสกัด และนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC เปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน 2,4-DNT, DPA, MC และ EC โดยใช้ดินดำ (black powder) ที่สกัดด้วยวิธีเดียวกัน เป็น matrix blank ระบบวิเคราะห์มีความจำเพาะและความสามารถในการแยกของสารมาตรฐานออกจากสารปนเปื้อนได้ดี ไม่มีพีครบกวนโครมาโตแกรมของ 2,4-DNT, MC, DPA และ EC พบที่เวลา 5.5, 6.8, 11.2 และ 13.1 ตามลำดับ (ภาพที่ 2) โดยตรวจพบ 2,4-DNT ในกระสุนทั้ง 13 ยี่ห้อ มีค่าเฉลี่ย 581.43 μ g/mL ปริมาณมากที่สุดที่เวลา T_0 พบในกระสุน Winchester 1 (1945.52 μ g/mL) และปริมาณน้อยที่สุดพบในกระสุนยี่ห้อ S&B (20.12 μ g/mL) หลังจากเก็บรักษาในสภาพแห้งที่อุณหภูมิ 75 °C เป็นเวลา 30 วัน (T_{30}) ปริมาณ 2,4-DNT มีค่าลดต่ำลง มีค่าเฉลี่ยที่ 295.55 μ g/mL หรือคิดเป็นร้อยละ 49.75 ยี่ห้อที่มีร้อยละการหายไปสูงสุดคือ P.M.C (59.68 %) และลดลงน้อยที่สุดคือยี่ห้อ ACP (12.56 %) ส่วนสาร MC ตรวจไม่พบในกระสุนทั้ง 13 ชนิด

สาร DPA ตรวจพบใน 9 ชนิดกระสุน โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 96.28 μ g/mL (T_0) และมีค่าลดลงเป็น 18.05 μ g/mL หรือลดลงคิดเป็นร้อยละ 78.98 ที่เวลา T_{30}

อุณหภูมิ 75 °C โดยยี่ห้อที่มีการลดลงสูงสุดคือ Thai Arms (95.24 %) และตรวจไม่พบในกระสุน 3 ยี่ห้อคือ n.n.y, M.E.F. และ ACP ตามลำดับ สำหรับสาร EC ตรวจพบในกระสุน 7 ยี่ห้อ และไม่พบ 5 ยี่ห้อคือ Winchester 1, S&B, P.M.C., G.F.L., SPEER และ ACP คือโดยพบเฉลี่ยที่เวลา T_0 เท่ากับ 115.32 μ g/mL และลดลงเป็น 64.00 μ g/mL ที่เวลา T_{30} และยี่ห้อที่ปริมาณลดลงสูงสุดคือ TA (72.26 %) และมี 5 ยี่ห้อกระสุนที่พบทั้ง DPA และ EC คือ Winchester 2, Thai Arms, RAI 12, PL และ TA และมี 1 ยี่ห้อที่ตรวจไม่พบสาร nitrate scavenger ทั้ง 2 ชนิด คือยี่ห้อ ACP ดังแสดงในตารางที่ 1



ภาพที่ 2 โครมาโตแกรมของ (A) matrix blank, (B) สารมาตรฐาน 2,4-DNT (1), MC (2), DPA (3) และ EC (4) ที่ค่า retention time (R_t) 5.5, 6.8, 11.2 และ 13.1 ตามลำดับ และ (C) ดินคั่ววันน้อยยี่ห้อ PL ที่เวลา T_0

ตารางที่ 1 ปริมาณสารเติมแต่งในดินคว้นน้อยของกระสุนปืน 13 ยี่ห้อ เปรียบเทียบกับเวลาเริ่มต้น (T_0) และเก็บรักษา
 ในสภาวะเร่ง 75°C เป็นเวลา 30 วัน (T_{30})

ยี่ห้อกระสุน	ปริมาณ ($\mu\text{g/mL}$)							
	2,4-DNT		MC		DPA		EC	
	T_0	T_{30}	T_0	T_{30}	T_0	T_{30}	T_0	T_{30}
Winchester 1	1945.52	801.19	N.D.	N.D.	15.89	4.99	N.D.	N.D.
Winchester 2	107.83	38.93	N.D.	N.D.	67.30	5.10	18.57	11.00
S&B	20.12	15.64	N.D.	N.D.	140.08	39.48	N.D.	N.D.
Thai Arms	14.92	7.28	N.D.	N.D.	39.90	1.90	35.06	23.00
RAI 12	29.12	12.81	N.D.	N.D.	210.77	18.93	254.67	N.D.
P.M.C	30.80	12.42	N.D.	N.D.	153.55	61.05	N.D.	N.D.
G.F.L	110.34	44.98	N.D.	N.D.	122.63	14.37	N.D.	N.D.
n.n.y	1287.36	548.60	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	200.19	157.00
M.E.F	1401.20	572.18	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	269.25	173.00
SPEER	97.61	50.40	N.D.	N.D.	122.39	14.27	N.D.	N.D.
ACP	1251.11	1093.99	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
PL	1191.46	607.55	N.D.	N.D.	14.29	6.91	22.32	18.00
TA	71.15	36.17	N.D.	N.D.	76.03	13.53	7.21	2.00

N.D. : ตรวจไม่พบ

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

การเปลี่ยนแปลงทางเคมีสามารถส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพดินปืน และการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวสามารถส่งผลต่อความปลอดภัยของผู้ใช้งาน ในการใช้งานอาวุธปืนและเครื่องกระสุน รวมทั้งความปลอดภัยในการเก็บรักษา เนื่องจากการเสื่อมสภาพของดินปืนอาจก่อให้เกิดการจุดระเบิดตัวเอง (self-ignition) ได้ เช่นการสลายตัวของ NC ที่เกิดขึ้นได้จากสภาพอุณหภูมิสูง ได้เป็นสารไนโตรเจนออกไซด์ (NO_2) (Kubota, 2002) ที่หากมีการสะสมในปริมาณมากสามารถเกิดการระเบิดที่ก่อให้เกิดอุบัติเหตุร้ายแรงได้ในระหว่างการเก็บรักษา ดังนั้นการติดตามการเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยการวิเคราะห์สารเติมแต่งต่างๆ เพื่อเป็นการประมาณอายุของดินปืนหรือประเมินการเปลี่ยนแปลงสภาพของดิน

ปืนจึงมีความสำคัญยิ่ง จากการตรวจติดตามปริมาณของสารเติมแต่งในดินคว้นน้อยจากดินปืนในกระสุนปืนจำนวน 13 ยี่ห้อ โดยวิเคราะห์หาปริมาณก่อนและหลังการอบที่อุณหภูมิ 75°C เป็นเวลา 30 วัน พบว่าสาร 2,4-DNT, DPA และ EC มีการเปลี่ยนแปลงลดลงของปริมาณอย่างชัดเจน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของดินปืน และประสิทธิภาพของดินปืน (Espinoza, Thornton 1994; Barzanjy, 2011) โดยสารที่ตรวจพบในทุกยี่ห้อของกระสุนปืน คือ 2,4-DNT ซึ่งเป็นสารเติมแต่งที่ใส่เพื่อเป็นตัวยับยั้งไม่ให้ดินปืนติดประกายไฟได้ง่าย (anti-flash) (Dalby et al., 2010) การลดลงของสารดังกล่าวตามเวลาที่เพิ่มขึ้น และอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่สาร DPA และ EC ที่มีคุณสมบัติเป็นสาร stabilizer ที่ทำหน้าที่ในการจับสารไนเตรทที่เกิดจากการสลายตัวของ

NC (Dalby et al., 2010; Tong et al., 2001) ก็อยู่ในลักษณะเดียวกันคือปริมาณลดลง เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น และเป็นที่น่าสังเกตคือมี 5 ยี่ห้อกระสุนที่พบมีการเติมสาร nitrate scavenger ทั้งสองชนิดคือ DPA และ EC คือ ยี่ห้อ winchester 2, Thai Arms, RAI 12, PL และ TA นอกจากนี้ในกระสุนปืน winchester 1 และ 2 ก็ยังมีความแตกต่างของสารเติมแต่งด้วยเช่นกัน ซึ่งความแตกต่างของชนิดสารเติมแต่งที่เกิดขึ้นอาจเกิดจากลักษณะการขึ้นรูปของดินปืนที่แตกต่างกัน (แบบแผ่นและแบบแท่งตามลำดับ) และทั้ง 13 ชนิดกระสุนไม่พบการเติมสาร MC

จากการศึกษาของ Barzanjy และคณะ (2011) ที่กล่าวถึงการใช้ DPA ซึ่งเป็นสาร stabilizer เพื่อเป็นสารบ่งชี้คุณภาพของดินปืนชนิด artillery powder โดยการติดตามการสลายตัวที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่าอัตราการสลายตัวของ DPA เพิ่มขึ้นในอุณหภูมิสูง และระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลานาน และส่งผลกระทบต่อการผลิต การเก็บรักษา (Espinoza and Thornton, 1994) ในขณะที่การศึกษาของ Mathis และ McCord (2002) และ Perez และคณะ (2012) มีการศึกษาเกี่ยวกับการจัดกลุ่มของดินปืนน้อย และสถานะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์โดยใช้สาร additive ที่เป็นองค์ประกอบในดินปืนเป็นตัวบ่งชี้สำคัญในการบ่งบอกคุณภาพของดินปืนได้แก่ DPA, EC, MC จากการศึกษาพบการลดลงของสารดังกล่าวซึ่งการเปลี่ยนแปลงในปริมาณของสารดังกล่าวส่งผลต่อคุณภาพของดินปืน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยนี้ที่ใช้สาร additive ทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ 2,4-DNT, MC, DPA และ EC เพื่อเป็นตัวบ่งชี้สำคัญในการตรวจวิเคราะห์และควบคุมคุณภาพของดินปืนน้อย โดยพบว่าสาร 2,4-DNT, DPA และ EC มีความจำเพาะต่อชนิดของดินปืนในกระสุนหลากหลายยี่ห้อมากกว่าสาร MC และการเปลี่ยนแปลงในเชิงปริมาณของสารเติมแต่งในการเก็บรักษาอุณหภูมิสูง และเวลาในการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวสามารถส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และส่งผลกระทบต่อคุณภาพ

ของดินปืนได้ แต่อย่างไรก็ตามก็ตามการศึกษาดังกล่าวเป็นการศึกษาในสภาวะเร่ง และเป็นการศึกษาติดตามการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเท่านั้น การจะประเมินคุณภาพ หรืออายุการเก็บรักษาของดินปืนยังต้องการการศึกษาทางกายภาพอื่นๆ เพื่อเป็นข้อพิจารณาร่วมด้วยเช่นกัน

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับทุนสนับสนุนจากทุนอุดหนุนและส่งเสริมการทำวิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น (รหัสทุน 57241103)

เอกสารอ้างอิง

- Barzanjy MJ. Kinetic Method Applied to the Assessment The Life Time of Artillery Powders. *International Journal of Engineering & Technology IJET-IJENS* 2011; 11(6): 187-191.
- Dalby O, Butler D, Birkett JW. Analysis of Gunshot Residue and Associated Materials-A Review. *Journal of Forensic Sciences* 2010; 55(4): 924-943.
- Espinoza E. O'N, Thornton JI. Characterization of smokeless gunpowder by means of diphenylamine stabilizer and its nitrated derivatives. *Analytica Chemica Acta* 1994; 288: 57-69.
- Farokhcheh A, Alizadeh N. Photochemically induced fluorescence studies of 1,3-diethyl-1,3-diphenylurea as stabilizer and its quantitative determination. *Forensic Science International* 2014; 240: 35-40.
- Heard BJ. *Hand book of firearms and ballistics; examination and interpreting forensic evidence.* 2nd ed. New Jersey: Wiley & Sons Ltd; 2008.



Kubota N. Propellants and Explosive:

Thermochemical Aspects of Combustion.

Germany: WILEY-VCH; 2002.

Mathis JA, McCord BR. Gradient reversed-phase
liquid chromatographic-electrospray ionization
mass spectrometric method for the comparison
of smokeless powders. *Journal of
Chromatography A* 2003; 988: 107-116.

Perez JJ, Flanigan PM, Brady JJ, Levis Robert.
Classification of Smokeless Powders Using
Laser Electrospray Mass Spectrometry and
Offline Multivariate Statistical Analysis.
Analytical Chemistry 2012; 85: 296-302.

Saferstein R. *Forensic Science Handbook volume II.*
USA: Prentice Hall; 1988.

Tong Y, Wu Z, Yang C, Yu J, Zhang X, Yang S,
et al. Determination of diphenylamine stabilizer
and its nitrated derivatives in smokeless
gunpowder using a tandem MS method.
Analyst 2001;126: 480-484.

Thomas JL, Lincoln D, McCord BR. Separation and
Detection of Smokeless Powder Additives by
Ultra Performance Liquid Chromatography with
Tandem Mass Spectrometry (UPLC/MS/MS).
Journal of Forensic Sciences 2013; 58(3):
609-615.