

การหาปริมาณสารเมทแอมเฟตามีนและแอมเฟตามีนในปัสสาวะโดยใช้เทคนิคเฮดสเปต
แก๊สโครมาโตกราฟี ด้วยตัวตรวจวัดเฟลมไอออไนเซชันและไนโตรเจนฟอสฟอรัส

สุภาพรณ ทิมะสุข

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเคมี

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา

มิถุนายน 2548

ISBN 974-502-561-5

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบปากเปล่าวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณา
วิทยานิพนธ์ของสุภาพรรณ ทิฆะสุข จบนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมี ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

..... ๐/๕ ✓ ประธาน
(รองศาสตราจารย์ ดร. อรุณี เทอดเทพพิทักษ์)
..... ๐๑/๐๑ ๐/๕ ✓ กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ศิริไชย)
..... ๐/๕ ๐/๕ กรรมการ
(ดร. ชุตีพร พุฒเนวล)

คณะกรรมการสอบปากเปล่า

..... ๐/๕ ✓ ประธาน
(รองศาสตราจารย์ ดร. อรุณี เทอดเทพพิทักษ์)
..... ๐๑/๐๑ ๐/๕ ✓ กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ศิริไชย)
..... ๐/๕ ๐/๕ กรรมการ
(ดร. ชุตีพร พุฒเนวล)
..... ๐๑/๐๑ ๐/๕ กรรมการ
(ดร. จงกลณี จงอร่ามเรือง)
..... ๐/๕ กรรมการ
(ดร. สุชนา ผ่องใส)

บัณฑิตวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมี ของมหาวิทยาลัยบูรพา

..... ๐/๕ คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. ประทุม ม่วงมี)
วันที่ ๒๔ เดือน สิงหาคม พ.ศ. ๒๕๕๘

ประกาศคุณูปการ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาให้คำปรึกษาและช่วยแนะนำแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ อย่างดียิ่งจากรองศาสตราจารย์ ดร.อรุณี เทอดเทพพิทักษ์ ซึ่งเป็นประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ ดร.สมศักดิ์ ศิริไชย และดร.ชุตีพร พุฒนวล กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์ ซึ่งทำให้ผู้วิจัยได้รับแนวทางในการศึกษาค้นคว้าหาความรู้และประสบการณ์อย่างกว้างขวางในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ จึงขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.จงกลณี จงอร่ามเรือง และ ดร.สุชนา ผ่องใส คณะกรรมการสอบปากเปล่า ที่ได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ภก.วรวิทย์ กิตติวงศ์สุนทร ผู้อำนวยการศูนย์วิทยาศาสตร์การแพทย์ อุบลราชธานี ที่ให้คำปรึกษาและสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จด้วยดี

ขอขอบพระคุณทุก ๆ ท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จด้วยดี

ขอขอบคุณที่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ทุกคน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จด้วยดี

คุณประโยชน์จากวิทยานิพนธ์ ขอมอบเป็นเครื่องบูชาพระคุณบิดามารดาและครูอาจารย์ ที่กรุณาอบรมสั่งสอนให้ความรู้และสิ่งดีงามแก่ผู้วิจัย

สุภาพรรณ ทิมะสุข

การวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนและส่งเสริมวิทยานิพนธ์ ระดับบัณฑิตศึกษา

จากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา

ประจำปีภาคต้น ปีการศึกษา 2546

43910645 : สาขาวิชา : เคมี ; วท.ม. (เคมี)

คำสำคัญ : เมทแอมเฟตามีน/ แอมเฟตามีน/ แก๊สโครมาโตกราฟี/ สารเสพติด/ เครื่องแฮดสเปส/ ปัสสาวะ

สุภาพรรณ ทิมะสุข : การหาปริมาณสารเมทแอมเฟตามีนและแอมเฟตามีนในปัสสาวะโดยใช้เทคนิคแฮดสเปสแก๊สโครมาโตกราฟี ด้วยตัวตรวจวัดฟเลมไอออไนเซชันและไนโตรเจนฟอสฟอรัส

(DETERMINATION OF METHAMPHETAMINE AND AMPHETAMINE IN URINE BY HEADSPACE GAS CHROMATOGRAPHY WITH FLAME IONIZATION AND NITROGEN PHOSPHORUS

DETECTORS) อาจารย์ที่ปรึกษา : อรุณี เทอดเทพพิทักษ์, Ph.D., สมศักดิ์ สิริไชย, Ph.D., ชูเกียรติ พุฒนวล, Ph.D.

115 หน้า. ISBN 974-502-561-5

การศึกษาและพัฒนาวิธีวิเคราะห์หาปริมาณสารเสพติดเมทแอมเฟตามีนและแอมเฟตามีนในปัสสาวะโดยใช้เทคนิคแฮดสเปสแก๊สโครมาโตกราฟี ด้วยตัวตรวจวัดฟเลมไอออไนเซชันและไนโตรเจนฟอสฟอรัส โดยใช้คอลัมน์คอลลัมน์ยาว 30 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.32 มิลลิเมตร เคลือบด้วย 5% Phenyl Polysiloxane หน้า 0.25 ไมโครเมตร (BP-5) สำหรับตัวตรวจวัดฟเลมไอออไนเซชัน และคอลัมน์คอลลัมน์ยาว 30 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.32 มิลลิเมตร เคลือบด้วย Dimethyl Polysiloxane หน้า 0.25 ไมโครเมตร (BP-1) สำหรับตัวตรวจวัดไนโตรเจนฟอสฟอรัส และทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของเครื่อง Headspace sample และปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อวิธี นำตัวอย่างปัสสาวะมา 3 มิลลิตร บรรจุลงในขวดขนาด 10 มิลลิตร เติมน้ำเค็มเชื่อมคาร์บอนเนต จำนวน 2 กรัม เป็น salting-out และเติมเบนซิลเอมีน 100 ไมโครลิตร เป็น internal standard นำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Headspace sample ตั้งสภาวะของเครื่องที่ความดัน ประมาณ 25 psi เวลาที่สารเข้าสู่สมุด 30 นาที อุณหภูมิที่ 90°C เวลาที่ให้ความดันของแก๊สเข้าในขวด 0.2 นาที เวลาที่สารเข้า sample loop 0.01 นาที เวลาของสารเข้าสู่สมุดใน sample loop 0.05 นาที และเวลาที่สารจาก sample loop หนีเข้าสู่เครื่อง 2 นาที ซึ่งจากการตรวจสอบความถูกต้องของวิธีพบว่าวิธีนี้ไม่มีการรบกวนจากสารอื่นที่มีอยู่ในตัวอย่าง ช่วงความเป็นเส้นตรงของตัวตรวจวัดฟเลมไอออไนเซชันของเมทแอมเฟตามีนและแอมเฟตามีนในปัสสาวะอยู่ในช่วงความเข้มข้น 1-20 ไมโครกรัมต่อมิลลิตร สำหรับค่าสัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์ คือ 0.9990-0.9993 และช่วงความเป็นเส้นตรงของตัวตรวจวัดไนโตรเจนฟอสฟอรัสของเมทแอมเฟตามีนและแอมเฟตามีนในปัสสาวะอยู่ในช่วงความเข้มข้น 0.025-20 ไมโครกรัมต่อมิลลิตร ค่าสัมประสิทธิ์ของความสัมพันธ์คือ 0.9988-0.9995 ความถูกต้องของวิธีแสดงในรูปร้อยละของการกลับคืนของสารโดยเติมของสารมาตรฐานลงในตัวอย่างพบว่าให้ค่า 99.49-101.78% ของตัวตรวจวัดฟเลมไอออไนเซชัน และ 99.39-101.82% ของตัวตรวจวัดไนโตรเจนฟอสฟอรัส ค่าขีดจำกัดของการตรวจวัดและค่าขีดจำกัดของการตรวจปริมาณวิเคราะห์ของเมทแอมเฟตามีนในปัสสาวะด้วยตัวตรวจวัดฟเลมไอออไนเซชันและไนโตรเจนฟอสฟอรัส อยู่ในช่วงความเข้มข้น 0.004, 0.002 และ 0.025, 0.01 ไมโครกรัมต่อมิลลิตร ตามลำดับ และแอมเฟตามีนในปัสสาวะด้วยตัวตรวจวัดฟเลมไอออไนเซชันและไนโตรเจนฟอสฟอรัสอยู่ในช่วงความเข้มข้น 0.03, 0.006 และ 0.1, 0.025 ไมโครกรัมต่อมิลลิตร ตามลำดับ จากการศึกษาและพัฒนาความถูกต้องของวิธีพบว่าวิธีนี้สามารถที่นำไปใช้ในการตรวจวิเคราะห์หาสารเสพติดเมทแอมเฟตามีนและแอมเฟตามีนในปัสสาวะ

43910645 : MAJOR : CHEMISTRY ; M.Sc. (CHEMISTRY)

KEYWORDS : METHAMPHETAMINE/ AMPHETAMINE/ GAS CHROMATOGRAPHY/
SIMULTANEOUSLY/ HEADSPACE SAMPLE/ URINE

MISS SUPAPAN TEEKASOOK : DETERMINATION OF METHAMPHETAMINE
AND AMPHETAMINE IN URINE BY HEADSPACE GAS CHROMATOGRAPHY WITH
FLAME IONIZATION AND NITROGEN PHOSPHORUS DETECTORS. THESIS ADVISORS
:ARUNEE THERDTEPPITAK, Ph.D., SOMSAK SIRICHAJ, Ph.D., CHULEEPORN
PUTTNUAL, Ph.D. 115 P. ISBN 974-502-561-5

An analytical method of methamphetamine and amphetamine in urine using headspace gas chromatography techniques with dual detectors flame ionization and nitrogen phosphorus detector simultaneously was studied and developed. The method could be performed easily using capillary BP-5, 5% Phenyl Polysiloxane column of 30 m x 0.32 mm I.D., 0.25 μ m film thickness for flame ionization detector and BP-1, Dimethyl Polysiloxane column of 30 m x 0.32 mm I.D., 0.25 μ m film thickness for nitrogen phosphorus detector. The appropriate headspace sample condition was checked for the influence factor of salting effect equilibration time, oven equilibration temperature, pressurization time, loop fill time, loop equilibration time and inject time. The urine sample of 3 mL was pipetted into a vial, and 2 g of potassium carbonate and 100 μ l of benzylamine for internal standard were added. The vial was heated at 90°C for 30 min, pressurization at 25 psi, pressurization time for 0.2 min, loop fill time for 0.01 min, loop equilibration time for 0.05 min and inject time for 2 min. The validation for this method showed that there is no interference peak due to sample matrix, which signified the specificity of the method. The linear working range was 1-20 μ g/mL and 0.025-20 μ g/mL for flame ionization detector and nitrogen phosphorus detectors, respectively. The correlation coefficients were 0.9988-0.9995. The accuracy of the method was shown by % recovery of spiking standard to sample at difference levels of 99.49-101.78% for flame ionization detector and 99.39-101.82% for nitrogen phosphorus detector. The results show that the limit of detection and limit of quantification for methamphetamine by flame ionization and nitrogen phosphorus detectors were 0.004, 0.002 μ g/mL and 0.025, 0.01 μ g/mL, respectively, and those of amphetamine by flame ionization and nitrogen phosphorus detectors were 0.03, 0.006 μ g/mL and 0.1, 0.025 μ g/mL, respectively. Validation studies proved that developed method could be used in determining methamphetamine and amphetamine in urine simultaneously.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	จ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญภาพ.....	ญ
 บทที่	
1 บทนำ.....	1
วัตถุประสงค์.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
ขอบเขตในการศึกษา.....	3
สถานที่ทำการทดลอง.....	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
ความหมายของยาเสพติดให้โทษ.....	4
ประเภทของยาเสพติดให้โทษ.....	4
เมทแอมเฟตามีนและแอมเฟตามีน.....	5
หลักการพื้นฐานของแก๊สโครมาโตกราฟี-เทคนิคแมสสเปคโตร.....	10
ชนิดตัววัดสัญญาณ.....	12
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	14
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	33
อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	33
สารเคมี.....	34
วิธีดำเนินการ.....	35

บทที่

หน้า

การคำนวณ.....	48
4 ผลการทดลอง.....	50
ผลของการศึกษาสภาวะในการแยกที่เหมาะสมของการวิเคราะห์เมทแอมเฟตามีนและแอมเฟตามีนโดยแก๊สโครมาโตกราฟี-เฟลมไอออไนเซชัน (GC-FID) และแก๊สโครมาโตกราฟี-ไนโตรเจนฟอสฟอรัส (GC-NPD).....	50
ผลของการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของเครื่อง Headspace sample และปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อวิธีการวิเคราะห์.....	55
ผลการศึกษาเวลาที่สารเข้าสู่สมดุล.....	55
ผลการศึกษาปริมาณเกลือที่เหมาะสม.....	55
ผลการศึกษาอุณหภูมิที่สารเข้าสู่สมดุล.....	55
ผลการศึกษาเวลาที่ให้ความดันของแก๊สเข้าในขวดที่เหมาะสม.....	56
ผลการศึกษาเวลาของแก๊สจากส่วนเฮดสเปซของขวดที่ผ่านเข้าไปใน sample loop และผ่านออก	56
ผลการศึกษาเวลาของสารที่ต้องการวิเคราะห์เข้าสู่สมดุลใน sample loop...	56
ผลการศึกษาเวลาที่สารจาก sample loop ฉีดเข้าสู่เครื่อง.....	56
ผลของการศึกษาความถูกต้องของวิธีวิเคราะห์.....	80
ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารแอมเฟตามีนและเมทแอมเฟตามีนในตัวอย่างปัสสาวะ.....	92
5 สรุปและอภิปรายผลการทดลอง.....	95
สรุปและอภิปรายผลการทดลอง.....	95
วิจารณ์การทดลอง.....	102
บรรณานุกรม.....	103
ภาคผนวก.....	111
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....	115

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3-1 ตารางการชั่งสารมาตรฐานชนิดต่าง ๆ.....	36
3-2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนในวันเดียวกัน.....	42
3-3 คำนวณการวิเคราะห์ความแปรปรวนในวันเดียวกัน.....	43
4-1 ช่วงความเป็นเส้นตรงของแอมเฟตามีนและเมทแอมเฟตามีน (n=7).....	81
4-2 ความแม่นยำของการวิเคราะห์พิจารณาในเทอมของร้อยละความเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมพัทธ์ของพื้นที่ใต้พีคของตัวตรวจวัด FID (n=7).....	82
4-3 ความแม่นยำของการวิเคราะห์พิจารณาในเทอมของร้อยละความเบี่ยงเบนมาตรฐาน สัมพัทธ์ของพื้นที่ใต้พีคของตัวตรวจวัด NPD (n=7).....	82
4-4 ความแม่นยำของการวิเคราะห์ระยะเวลา 5 วัน ภายในห้องปฏิบัติการเดียวกัน ของ ตัวตรวจวัด FID และ NPD พิจารณาในเทอม F-test (n=7).....	83
4-5 ความถูกต้องของการวิเคราะห์พิจารณาในเทอมค่าร้อยละการกลับคืนของสาร สำหรับตัวตรวจวัด FID (n=7).....	84
4-6 ความถูกต้องของการวิเคราะห์พิจารณาในเทอมค่าร้อยละการกลับคืนของพื้นที่ใต้ พีคสำหรับตัวตรวจวัด NPD (n=7).....	84
4-7 แสดงค่าความสามารถในการแยกของสารละลายมาตรฐานผสมที่ความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร internal standard ที่ความเข้มข้น 1,000 ไมโครกรัมต่อ มิลลิลิตร.....	89
4-8 แสดงความจำเพาะของการวิเคราะห์พิจารณาจากเวลาการแยกของสารเคมี จำนวน 12 ชนิด สภาวะของการทดลอง คือ ความร้อนของเฮดสเปสที่ 90°C นาน 30 นาที Injection port 260°C, Detector temp. 260°C, He flow rate 2 mL/min	90
4-9 แสดงขีดจำกัดของการตรวจวัด.....	91
4-10 แสดงขีดจำกัดของการตรวจปริมาณวิเคราะห์.....	91
4-11 แสดงค่าคงที่การแพร่กระจายของสาร (n=7).....	92
4-12 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารแอมเฟตามีนและเมทแอมเฟตามีนในตัวอย่าง.....	93

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1 แสดงสูตรโครงสร้าง สูตรโมเลกุล น้ำหนักโมเลกุล จุดเดือดหรือจุดหลอมเหลว ของยาเสพติดและยา จำนวน 12 ชนิด.....	6
2-2 วิธีเมตะบอไลต์ของแอมเฟตามีนในมนุษย์.....	9
2-3 วิธีเมตะบอไลต์ของเมทแอมเฟตามีนในมนุษย์.....	9
2-4 ภาพแสดงเครื่องมือแก๊สโครมาโตกราฟี.....	11
2-5 ภาพตัดขวางตัววัดสัญญาณชนิดฟิล์มไอออไนเซชัน.....	12
2-6 แสดงตัววัดสัญญาณชนิดในโครเจน-ฟอสฟอรัส.....	13
2-7 แสดงลักษณะบริเวณเหนือ jet ของตัววัดสัญญาณในโครเจน-ฟอสฟอรัส.....	14
3-1 การวิเคราะห์เมทแอมเฟตามีน แอมเฟตามีนและยาในตัวอย่างปัสสาวะ.....	46
3-2 การทดสอบตัวอย่างปัสสาวะเบื้องต้นด้วย Immunoassay.....	47
3-3 การเตรียมตัวอย่างในการวิเคราะห์เมทแอมเฟตามีน แอมเฟตามีนและยาในตัวอย่าง ปัสสาวะ.....	47
3-4 การเตรียมสารละลาย blank ในการวิเคราะห์เมทแอมเฟตามีน แอมเฟตามีนและยา ในตัวอย่างปัสสาวะ.....	48
4-1 โครมาโตแกรมของสารมาตรฐานของเมทแอมเฟตามีนและแอมเฟตามีนที่ความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร สภาวะการทดลองคือ อุณหภูมิของเฮดสเปสที่ 80°C นาน 10 นาที ความดันที่ 25.1 psi, FID = Flame ionization detector, NPD Nitrogen phosphorus detector, IS = internal standard, A = Amphetamine, B = Methamphetamine.....	53
4-2 โครมาโตแกรมเวลาที่สารเข้าสู่สมมูลสำหรับตัวตรวจวัด FID ของสารละลาย มาตรฐานเมทแอมเฟตามีนและแอมเฟตามีนที่ความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อ มิลลิลิตรและเบนซิลเอมีนเป็น internal standard สภาวะการทดลองคือ ความร้อน ของเฮดสเปสที่ 80°C ความดัน 25.1 psi, Injection port 260°C, Detector temp. 260°C, He flow rate 2 mL/min, blank = urine negative, IS = internal standard, A = Amphetamine, B = Methamphetamine.....	57

- 4-3 โคโรมาโตแกรมเวลาที่สารเข้าสู่สมดุสำหรับตัวตรวจวัด NPD ของสารละลายมาตรฐานเมทแอมเฟตามีนและแอมเฟตามีนที่ความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรและเบนซิลเอมีนเป็น internal standard สภาวะการทดลองคือ ความร้อนของเฮคสเปสที่ 80°C ความดัน 25.1 psi, Injection port 260°C, Detector temp. 260°C, He flow rate 2 mL/min, blank = urine negative, IS = internal standard, A = Amphetamine, B = Methamphetamine..... 59
- 4-4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่สารเข้าสู่สมดุและพื้นที่ใต้พีคของสารละลายมาตรฐานเมทแอมเฟตามีนและแอมเฟตามีนที่ความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และเบนซิลเอมีนเป็น internal standard สภาวะการทดลองคือ ความร้อนของเฮคสเปสที่ 80°C ความดันที่ 25.1 psi, Injection port 260°C, Detector temp. 260°C, He flow rate 2 mL/min, Amp = Amphetamine, Meth = Methamphetamine. 61
- 4-5 โคโรมาโตแกรมปริมาณเกลือโปแตสเซียมคาร์บอเนตที่เหมาะสมสำหรับตัวตรวจวัด FID ของสารละลายมาตรฐานเมทแอมเฟตามีนและแอมเฟตามีนที่ความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และเบนซิลเอมีนเป็น internal standard สภาวะการทดลองคือ ความร้อนของเฮคสเปสที่ 80°C ความดันที่ 25.1 psi, Injection port 260°C, Detector temp. 260°C, He flow rate 2 mL/min, IS = internal standard, A = Amphetamine, B = Methamphetamine..... 62
- 4-6 โคโรมาโตแกรมปริมาณเกลือโปแตสเซียมคาร์บอเนตที่เหมาะสมสำหรับตัวตรวจวัด NPD ของสารละลายมาตรฐานเมทแอมเฟตามีนและแอมเฟตามีนที่ความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และเบนซิลเอมีนเป็น internal standard สภาวะการทดลองคือ ความร้อนของเฮคสเปสที่ 80°C ความดันที่ 25.1 psi, Injection port 260°C, Detector temp. 260°C, He flow rate 2 mL/min, IS = internal standard, A = Amphetamine, B = Methamphetamine..... 63
- 4-7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเกลือและพื้นที่ใต้พีคของสารละลายมาตรฐานเมทแอมเฟตามีนและแอมเฟตามีนที่ความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร และเบนซิลเอมีนเป็น internal standard สภาวะการทดลองคือ ความร้อนของเฮคสเปสที่ 80°C ความดันที่ 25.1 psi, Injection port 260°C, Detector temp. 260°C, He flow rate 2 mL/min, Amp = Amphetamine, Meth = Methamphetamine. 64

- 4-8 โครมาโตแกรมอุณหภูมิที่สารเข้าสู่สมดุสำหรับตัวตรวจวัด FID ของสารละลายมาตรฐานเมทแอมเฟตามีนและแอมเฟตามีนที่ความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรและเบนซิลเอมีนเป็น internal standard สภาวะการทดลองคือ ความร้อนของเฮคสเปส นาน 30 นาที ความดันที่ 25.1 psi, Injection port 260°C, Detector temp. 260°C, He flow rate 2 mL/min, IS = internal standard, A = Amphetamine, B = Methamphetamine..... 65
- 4-9 โครมาโตแกรมอุณหภูมิที่สารเข้าสู่สมดุสำหรับตัวตรวจวัด NPD ของสารละลายมาตรฐานเมทแอมเฟตามีนและแอมเฟตามีนที่ความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรและเบนซิลเอมีนเป็น internal standard สภาวะการทดลองคือ ความร้อนของเฮคสเปส นาน 30 นาที ความดันที่ 25.1 psi, Injection port 260°C, Detector temp. 260°C, He flow rate 2 mL/min, IS = internal standard, A = Amphetamine, B = Methamphetamine..... 66
- 4-10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่สารเข้าสู่สมดุและพื้นที่ใต้พีคของสารละลายมาตรฐานเมทแอมเฟตามีนและแอมเฟตามีนที่ความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรและเบนซิลเอมีนเป็น internal standard สภาวะการทดลองคือ ความร้อนของเฮคสเปส นาน 30 นาที ความดันที่ 25.1 psi, Injection port 260°C, Detector temp. 260°C, He flow rate 2 mL/min, Amp = Amphetamine, Meth = Methamphetamine 67
- 4-11 โครมาโตแกรมเวลาที่ให้ความดันของแก๊สเข้าขวดสำหรับตัวตรวจวัด FID ของสารละลายมาตรฐานเมทแอมเฟตามีนและแอมเฟตามีนที่ความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรและเบนซิลเอมีนเป็น internal standard สภาวะการทดลองคือ ความร้อนของเฮคสเปสที่ 90°C นาน 30 นาที ความดันที่ 25.1 psi, ปริมาณแก๊สไปแคสเซียมคาร์บอเนต 2 กรัม, Injection port 260°C, Detector temp. 260°C, He flow rate 2 mL/min, IS = internal standard, A = Amphetamine, B = Methamphetamine..... 68

- 4-12 โคโรมาโตแกรมเวลาที่ให้ความดันของแก๊สเข้าขวดสำหรับตัวตรวจวัด NPD ของสารละลายมาตรฐานเมทแอมเฟตามีนและแอมเฟตามีนที่ความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรและเบนซิลเอมีนเป็น internal standard สภาวะการทดลอง คือ ความร้อนของเฮคสเปสที่ 90°C นาน 30 นาที ความดันที่ 25.1 psi, ปริมาณเกลียวโปแตสเซียมคาร์บอเนต 2 กรัม, Injection port 260°C, Detector temp. 260°C, He flow rate 2 mL/min, IS = internal standard, A = Amphetamine, B = Methamphetamine..... 69
- 4-13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ให้ความดันของแก๊สเข้าขวดและพื้นที่ใต้พีคของสารละลายมาตรฐานเมทแอมเฟตามีนและแอมเฟตามีนที่ความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรและเบนซิลเอมีนเป็น internal standard สภาวะการทดลอง คือ ความร้อนของเฮคสเปสที่ 90°C นาน 30 นาที ความดันที่ 25.1 psi, ปริมาณเกลียวโปแตสเซียมคาร์บอเนต 2 กรัม, Injection port 260°C, Detector temp. 260°C, He flow rate 2 mL/min Amp = Amphetamine, Meth = Methamphetamine 70
- 4-14 โคโรมาโตแกรมเวลาของแก๊สจากส่วนเฮคสเปสของขวดที่ผ่านเข้าไปใน sample loop และผ่านออก สำหรับตัวตรวจวัด FID ของสารละลายมาตรฐานเมทแอมเฟตามีนและแอมเฟตามีนที่ความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรและเบนซิลเอมีนเป็น internal standard สภาวะการทดลองคือ ความร้อนของเฮคสเปสที่ 90°C นาน 30 นาที ความดันที่ 25.1 psi, ปริมาณเกลียวโปแตสเซียมคาร์บอเนต 2 กรัม, เวลาที่ให้ความดันของแก๊สเข้าขวดที่ 12 วินาที, Injection port 260°C, Detector temp. 260°C, He flow rate 2 mL/min, IS = internal standard, A = Amphetamine, B = Methamphetamine..... 71
- 4-15 โคโรมาโตแกรมเวลาของแก๊สจากส่วนเฮคสเปสของขวดที่ผ่านเข้าไปใน sample loop และผ่านออก สำหรับตัวตรวจวัด NPD ของสารละลายมาตรฐานเมทแอมเฟตามีนและแอมเฟตามีนที่ความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรและเบนซิลเอมีนเป็น internal standard สภาวะการทดลองคือ ความร้อนของเฮคสเปสที่ 90°C นาน 30 นาที ความดันที่ 25.1 psi, ปริมาณเกลียวโปแตสเซียมคาร์บอเนต 2 กรัม, เวลาที่ให้ความดันของแก๊สเข้าขวดที่ 12 วินาที, Injection port 260°C, Detector temp. 260°C, He flow rate 2 mL/min, IS = internal standard, A = Amphetamine, B = Methamphetamine 72

4-16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาของแก๊สจากส่วนเฮดสเปซของขวดที่ผ่านเข้าไปใน sample loop และผ่านออกและพื้นที่ใต้พีคของสารละลายมาตรฐาน เมทแอมเฟตามีนและแอมเฟตามีนที่ความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรและเบนซิลเอมีนเป็น internal standard สภาวะการทดลองคือ ความร้อนของเฮดสเปซที่ 90°C นาน 30 นาที ความดันที่ 25.1 psi, ปริมาณแก๊สโครมาโตแกรมคาร์บอน 2 กรัม, เวลาที่ให้ความดันของแก๊สเข้าขวดที่ 12 วินาที, Injection port 260°C, Detector temp. 260°C, He flow rate 2 mL/min, Amp = Amphetamine, Meth = Methamphetamine 73

4-17 โครมาโตแกรมเวลาของสารที่ต้องการวิเคราะห์เข้าสู่สมมูลใน sample loop สำหรับตัวตรวจวัด FID ของสารละลายมาตรฐานเมทแอมเฟตามีนและแอมเฟตามีนที่ความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรและเบนซิลเอมีนเป็น internal standard สภาวะการทดลองคือ ความร้อนของเฮดสเปซที่ 90°C นาน 30 นาที ความดันที่ 25.1 psi, ปริมาณแก๊สโครมาโตแกรมคาร์บอน 2 กรัม, เวลาที่ให้ความดันของแก๊สเข้าขวดที่ 12 วินาที, เวลาของแก๊สจากส่วนเฮดสเปซของขวดที่ผ่านเข้าไปใน sample loop และผ่าน ออก 0.6 วินาที, Injection port 260°C, Detector temp. 260°C, He flow rate 2 mL/min, IS = internal standard, A = Amphetamine, B = Methamphetamine 74

4-18 โครมาโตแกรมเวลาของสารที่ต้องการวิเคราะห์เข้าสู่สมมูลใน sample loop สำหรับตัวตรวจวัด NPD ของสารละลายมาตรฐานเมทแอมเฟตามีนและแอมเฟตามีนที่ความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรและเบนซิลเอมีนเป็น internal standard สภาวะการทดลองคือ ความร้อนของเฮดสเปซที่ 90°C นาน 30 นาที ความดันที่ 25.1 psi, ปริมาณแก๊สโครมาโตแกรมคาร์บอน 2 กรัม, เวลาที่ให้ความดันของแก๊สเข้าขวดที่ 12 วินาที, เวลาของแก๊สจากส่วนเฮดสเปซของขวดที่ผ่านเข้าไปใน sample loop และผ่าน ออก 0.6 วินาที, Injection port 260°C, Detector temp. 260°C, He flow rate 2 mL/min, IS = internal standard, A = Amphetamine, B = Methamphetamine 75

- 4-19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาของสารที่ต้องการวิเคราะห์เข้าสู่สมมูลใน sample loop และพื้นที่ใต้สารละลายมาตรฐานเมทแอมเฟตามีนและแอมเฟตามีน ที่ความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรและเบนซิลเอมีนเป็น internal standard สภาวะการทดลองคือ ความร้อนของเสตสเปสที่ 90°C นาน 30 นาที ความดันที่ 25.1 psi, ปริมาณแก๊ส โปแตสเซียมคาร์บอเนต 2 กรัม, เวลาที่ให้ความดันของแก๊ส เข้าสู่ขวดที่ 12 วินาที, เวลาของแก๊สจากส่วนเสตสเปสของขวดที่ผ่านเข้าไปใน sample loop และผ่านออก 0.6 วินาที, Injection port 260°C, Detector temp. 260°C, He flow rate 2 mL/min Amp = Amphetamine, Meth = Methamphetamine 76
- 4-20 โคโรนาโคแกรมเวลาที่สารจาก sample loop เข้าสู่เครื่อง สำหรับตัวตรวจวัด FID ของสารละลายมาตรฐานเมทแอมเฟตามีนและแอมเฟตามีนความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรและเบนซิลเอมีนเป็น internal standard สภาวะการทดลองคือ ความร้อนของเสตสเปสที่ 90°C นาน 30 นาที ความดันที่ 25.1 psi, ปริมาณแก๊ส โปแตสเซียมคาร์บอเนต 2 กรัม, เวลาที่ให้ความดันของแก๊สเข้าสู่ขวด ที่ 12 วินาที, เวลาของแก๊สจากส่วนเสตสเปสของขวดที่ผ่านเข้าไปใน sample loop และผ่านออกที่ 0.6 วินาที, เวลาของสารที่ต้องการวิเคราะห์เข้าสู่สมมูลใน sample loop ที่ 3 วินาที, Injection port 260°C, Detector temp. 260°C, He flow rate 2 mL/min, IS = internal standard, A = Amphetamine, B = Methamphetamine 77
- 4-21 โคโรนาโคแกรมเวลาที่สารจาก sample loop เข้าสู่เครื่องสำหรับตัวตรวจวัด NPD ของ สารละลายมาตรฐานเมทแอมเฟตามีนและแอมเฟตามีนความเข้มข้น 10 ไมโครกรัม ต่อมิลลิลิตรและเบนซิลเอมีนเป็น internal standard สภาวะการทดลองคือ ความร้อน ของเสตสเปสที่ 90°C นาน 30 นาที ความดันที่ 25.1 psi, ปริมาณแก๊ส โปแตสเซียม คาร์บอเนต 2 กรัม, เวลาที่ให้ความดันของแก๊สเข้าสู่ขวดที่ 12 วินาที, เวลาของแก๊ส จากส่วนเสตสเปสของขวดที่ผ่านเข้าไปใน sample loop และผ่านออกที่ 0.6 วินาที, เวลาของสารที่ต้องการวิเคราะห์เข้าสู่สมมูลใน sample loop ที่ 3 วินาที, Injection port 260°C, Detector temp. 260°C, He flow rate 2 mL/min, IS = internal standard, A = Amphetamine, B = Methamphetamine 78

4-22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจาก sample loop เข้าสู่เครื่องและพื้นที่ใต้สารละลายมาตรฐานเมทแอมเฟตามีนและแอมเฟตามีนที่ความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตรและเบนซิลเอมีนเป็น internal standard สภาวะการทดลองคือ ความร้อนของเฮกซ์เพสที่ 90°C นาน 30 นาที ความดันที่ 25.1 psi, ปริมาณแก๊สโพรแพนคาร์บอน 2 กรัม, เวลาที่ให้ความดันของแก๊ส เข้าขวดที่ 12 วินาที, เวลาของแก๊สจากส่วนเฮกซ์เพสของขวดที่ผ่านเข้าไปใน sample loop และผ่านออก 0.6 วินาที, เวลาของสารที่ต้องการวิเคราะห์เข้าสู่สมดุลใน sample loop ที่ 3 วินาที, Injection port 260°C, Detector temp. 260°C, He flow 2 mL/min, Amp = Amphetamine, Meth = Methamphetamine	79
4-23 โคโรมาโตแกรมของสารละลายมาตรฐานเมทแอมเฟตามีนและแอมเฟตามีนที่ระดับความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร สภาวะการทดลองคือ ความร้อนของเฮกซ์เพสที่ 90°C นาน 30 นาที Injection port 260°C, Detector temp. 260°C, He flow rate 2 mL/min	85
4-24 โคโรมาโตแกรมของสารละลายมาตรฐานดี-เฟนฟูรามีนและเฟนเทอร์มิน ที่ระดับความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร สภาวะการทดลองคือ ความร้อนของเฮกซ์เพสที่ 90°C นาน 30 นาที Injection port 260°C, Detector temp. 260°C, He flow rate 2 mL/min.....	86
4-25 โคโรมาโตแกรมของสารละลายมาตรฐานอีฟีดรีนและซูโดอีฟีดรีนที่ระดับความเข้มข้น 50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร สภาวะการทดลองคือ ความร้อนของเฮกซ์เพสที่ 90°C นาน 30 นาที Injection port 260°C, Detector temp. 260°C, He flow rate 2 mL/min...	87
4-26 โคโรมาโตแกรมของสารละลายเบนซิลเอมีนที่ระดับความเข้มข้น 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร สภาวะของการทดลองคือ ความร้อนของเฮกซ์เพสที่ 90°C นาน 30 นาที Injection port 260°C, Detector temp. 260°C, He flow rate 2 mL/min.....	88
4-27 โคโรมาโตแกรมของสารละลาย blank (ปัสสาวะที่ปราศจากยาอื่นเจือปน).....	88
4-28 โคโรมาโตแกรมสารละลายมาตรฐานผสมที่ความเข้มข้น 10 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร A = Amphetamine B = Phentermine C = Methamphetamine D = D-Fenfluramine IS = internal standard (Benzylamine ที่ความเข้มข้น 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร) E = Ephedrine และ Pseudoephedrine (ที่ความเข้มข้น 50 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร).....	89
4-29 โคโรมาโตแกรมของตัวอย่างปัสสาวะ.....	92