

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ



190794

การศึกษาค่าความถี่อันดีของดีเอ็นเอในโหนดบนเมล็ดโกโก้ที่จำหน่าย
DXS101 ในกลุ่มประชากรคนโอบลาดเหนือ

อุมุตรา คิคเจริญ

จิตวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีวิทยาศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
มีนาคม 2554



190794

การศึกษาค่าความถี่อัลลีลของดีเอ็นเอไมโครแซทเทลไลท์ที่ตำแหน่ง DXS101
ในกลุ่มประชากรคนไทยภาคเหนือ

อนุสรฯ ดิศเจริญ



วิทยานิพนธ์นี้เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัยเพื่อเป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถิติวิทยาศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
มีนาคม 2554

การศึกษาค่าความถี่อัลลีลของดีเอ็นเอ ไมโครแซทเทลไลท์ที่ตำแหน่ง DXS101
ในกลุ่มประชากรคนไทยภาคเหนือ

อนุสรณ์ คิศจรรย์

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



.....ประธานกรรมการ

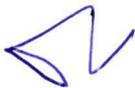
ศ. พญ. เลิศลักษณ์ ภูพัฒน์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์



.....

ศ. นพ. ชานินทร์ ภูพัฒน์



.....กรรมการ

ศ. นพ. ชานินทร์ ภูพัฒน์

พ.ศ.๑. 

.....กรรมการ

พ.ศ.๑. วันชัย จันทชล

18 มีนาคม 2554

© ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก ศาสตราจารย์ นพ. ธาณินทร์ ภูพัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ Dr. Heinrich F. Steger ผู้ซึ่งกรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา และตรวจแก้ไขจนวิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ พญ. เลิศลักษณ์ ภูพัฒน์ ที่กรุณารับเป็นประธานกรรมการ และ พ.ต.อ. วันชัย ฉันทชล ที่กรุณารับเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งให้คำแนะนำเป็นอย่างดีตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ไทพีศรีนิวัติ ภักดีกุล ที่ให้คำแนะนำ และ คำปรึกษา ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์เป็นอย่างดีตลอดมา

ขอขอบคุณ สวนดอกกัญพันธุศาสตร์ แผนกพยาธิวิทยาคลินิก ภาควิชาพยาธิวิทยา และภาควิชานิติเวชศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่กรุณาให้ยืมใช้สถานที่และ เครื่องมือสำหรับทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณสุทัศน์ ศรีดวงแก้ว และคุณพัชรินทร์ มหาวงค์ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ นิติพันธุศาสตร์ ภาควิชานิติเวชศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ขอขอบคุณ นางสาวจันจิรา สนิท และนางสาวปรัชญารัตน์ เทพประชุม มหาบัณฑิตนิติวิทยาศาสตร์ รุ่นที่ 1 ที่ช่วยกรุณาให้คำปรึกษาและช่วยแนะนำในการทำงานด้านปฏิบัติการให้สำเร็จด้วยดี และขอขอบคุณ คุณอัญญรัตน์ เอมศิรินันท์ เจ้าหน้าที่ประสานงาน สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ ที่คอยช่วยเหลือประสานงานกับทางบัณฑิตวิทยาลัย

ขอขอบคุณ ผู้เข้าร่วมการศึกษาทุกท่าน ที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี และได้เสียสละเวลา ในการเก็บตัวอย่างครั้งนี้

กราบขอบพระคุณบิดา และมารดา ผู้ให้กำเนิด ที่ได้ให้ชีวิต ให้ความรัก ความเข้าใจ และ ส่งเสริมสนับสนุนให้การศึกษาซึ่งเป็นสิ่งที่มีคุณค่าที่สุดแก่ผู้เขียน รวมทั้งน้องชาย ที่คอยเป็นกำลังใจ ตลอดมา และขอบคุณเพื่อน ๆ สาขานิติวิทยาศาสตร์ รุ่นที่ 2 ทุกคนที่ได้ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ท้ายที่สุดนี้ คุณประโยชน์ที่บังเกิดขึ้นจากการศึกษารั้วนี้ ขอมอบแด่ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องที่ส่งผลให้การทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี หากมีสิ่งขาดตกบกพร่องหรือผิดพลาดประการใด ผู้เขียนขออภัยเป็นอย่างสูงในข้อบกพร่องและความผิดพลาดนั้น และผู้เขียนหวังว่าวิทยานิพนธ์นี้คงมีประโยชน์บ้างไม่มากนักน้อยสำหรับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนผู้ที่สนใจที่จะศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับความถี่ของอัลลีลในตำแหน่งอื่น ๆ บนโครโมโซมเพศหญิง (X-chromosome) ต่อไป

อนุสรณ์ ดิศเจริญ

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์	การศึกษาค่าความถี่อัลลีลของดีเอ็นเอไมโครแซทเทลไลท์ที่ตำแหน่ง DXS101 ในกลุ่มประชากรคนไทยภาคเหนือ
ผู้เขียน	นางสาวอนุสรรา ดิศเจริญ
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (นิติวิทยาศาสตร์)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ศาสตราจารย์ นพ. ธาณิชทร ภูพัฒน์

บทคัดย่อ

มีการศึกษากันอย่างกว้างขวางเกี่ยวกับดีเอ็นเอไมโครแซทเทลไลท์บนโครโมโซมเพศหญิง เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในงานทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ เช่น การตรวจพิสูจน์บุคคลและการตรวจพิสูจน์ความเป็นบุพการี นอกจากนี้ ดีเอ็นเอไมโครแซทเทลไลท์บนโครโมโซมเพศหญิงยังมีประสิทธิภาพในการนำมาประยุกต์ใช้ในกรณีการตรวจพิสูจน์ความสัมพันธ์ระหว่างแม่กับลูกชาย พ่อกับลูกสาว และการพิสูจน์ความสัมพันธ์ระหว่างย่ากับหลานสาว

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความถี่อัลลีลของดีเอ็นเอไมโครแซทเทลไลท์ที่ตำแหน่ง DXS101 ของประชากรที่อาศัยอยู่ทางภาคเหนือของประเทศไทย จำนวน 137 คน ที่ไม่มีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกันทางสายเลือด โดยทำการเก็บตัวอย่างจากเซลล์เยื่อบุกระพุ้งแก้ม มาสกัดดีเอ็นเอโดยใช้ Chelex แล้วเพิ่มปริมาณสารพันธุกรรมโดยเทคนิค PCR ตรวจสอบ PCR product โดยวิธี Polyacrylamide gel electrophoresis จากนั้นย้อมเจลดด้วย Silver staining จนปรากฏแถบดีเอ็นเอ จากนั้นนำมาทำเป็น Allelic ladder แล้วนำไปหาลำดับเบสเพื่อกำหนดลักษณะของอัลลีลต่าง ๆ ตามแบบมาตรฐานสากล

ผลจากการศึกษาพบว่า ในตำแหน่ง DXS101 ของกลุ่มประชากรหญิงที่ศึกษา พบว่ามีจำนวน 11 อัลลีล โดยเริ่มจากอัลลีลที่ 19, อัลลีล 21 ถึง อัลลีล 30 ซึ่งประกอบด้วยชุดเบสซ้ำเป็นแบบ 3 เบส (Trinucleotide) มีจำนวน 2 ชนิด คือ ชนิด CTT และ ATT จากการคำนวณค่ากำลังการแยกแยะพบว่า มีค่ากำลังการแยกแยะในหญิง (PD_F) และค่ากำลังการแยกแยะในชาย (PD_M) เท่ากับ

0.9491 และ 0.8259 ตามลำดับ และ ผลจากการคำนวณค่ากำลังการคัดออก พบว่ามีค่า PE trio และ PE motherless เท่ากับ 0.8053 และ 0.6908 ตามลำดับ นอกจากนี้เมื่อทดสอบความเป็นอิสระต่อกัน ระหว่างตำแหน่ง DXS101 กับ ตำแหน่ง DXS7130 และ ตำแหน่ง DXS101 กับ ตำแหน่ง DXS7132 พบว่า ตำแหน่ง DXS101 มีการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมเป็นอิสระต่อกันกับตำแหน่ง DXS7132 ($p=0.376$) และตำแหน่ง DXS7130 ($p=0.242$)

Thesis Title	The Study of Allele Frequencies on Microsatellite DNA Locus DXS101 in the Northern Thai Population
Author	Miss. Anutsara Discharoen
Degree	Master of Science (Forensic Science)
Thesis Advisor	Prof. Tanin Bhoopat, M.D.

ABSTRACT

190794

The X-chromosomal Microsatellite DNA have been extensively studied for human identification and paternity testing. They proved to be especially useful in mother-son kinship, father-daughter and grandmother-granddaughter relationship testing.

Allele frequencies of the DXS101 locus were analyzed in 137 unrelated Northern Thai females. DNA from buccal swab was extracted using the chelex method and amplified using PCR. Amplicons were separated on polyacrylamide gels and silver stained. All found alleles were sequenced and combined to give an allelic ladder that was used as site standard for conventional genotyping.

Allele 19 and allele 21 to allele 30, in all eleven alleles were found. The polymorphic region consists two trinucleotide repeat motifs, i.e. CTT and ATT. The Power of Discrimination in Female (PD_F) and Power of Discrimination in Male (PD_M) were 0.9491 and 0.8259, respectively; the Power of Exclusion in trio (PE trio) and in motherless (PE motherless) cases were 0.8053 and 0.6908, respectively. No linkage of DXS101 with DXS7132 ($p=0.376$) and DXS101 with DXS7130 ($p=0.242$) was found.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	จ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ช
สารบัญ	๗
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
อักษรย่อและสัญลักษณ์	๗
บทที่ 1 บทนำ	
วัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษาเชิงทฤษฎีและ/เชิงประยุกต์	2
นิยามศัพท์เฉพาะ	2
ขอบเขตการศึกษา	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
โครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของกรดนิวคลีอิก	4
ดีเอ็นเอที่เป็นเบสซ้ำ (Repetitive DNA)	8
ประโยชน์และการประยุกต์ใช้ดีเอ็นเอในงานด้านนิติวิทยาศาสตร์	12
เทคนิค PCR กับการตรวจรูปแบบดีเอ็นเอ	15
การแยกขนาดดีเอ็นเอโดยวิธีอิเล็กโทรโฟรีซิส (Electrophoresis of DNA)	18
เจลพอลิอะครีลาไมด์ (Polyacrylamide gel)	20
ดีเอ็นเอในการวิเคราะห์ประชากร	20
สมดุลของฮาร์ดีและไวน์เบิร์ก (Hardy-Weinberg equilibrium: HWE)	21
การประมาณค่าความหลากหลายทางพันธุกรรม (Estimation of genetic diversity)	22
ค่ากำลังการแยกแยะ (Power of Discrimination: PD)	23
ค่ากำลังการคัดออก (Power of Exclusion: PE)	23
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	24

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง	
สถานที่ทำวิจัย	33
วัสดุและอุปกรณ์ในการทดลอง	33
สารเคมีในการทดลอง	34
วิธีการทดลอง	35
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
ผลการวิเคราะห์ลักษณะของอัลลีลต่าง ๆ ของดีเอ็นเอไมโครแซทเทลไลท์ ที่ตำแหน่ง DXS101 ในกลุ่มประชากรคนไทยภาคเหนือจำนวน 137 คน	40
ผลการวิเคราะห์ลักษณะทางพันธุกรรมของดีเอ็นเอไมโครแซทเทลไลท์ที่ ตำแหน่ง DXS101 ในกลุ่มประชากรคนไทยภาคเหนือ จำนวน 137 คน	48
ผลการหาค่าความถี่ของอัลลีลต่าง ๆ ของดีเอ็นเอไมโครแซทเทลไลท์และ การประเมินประสิทธิภาพของดีเอ็นเอไมโครแซทเทลไลท์ที่ตำแหน่ง DXS101	51
ผลการทดสอบความเป็นอิสระต่อกัน (Linkage equilibrium)	66
บทที่ 5 อภิปรายผลการทดลอง	83
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง	91
บรรณานุกรม	93
ภาคผนวก	98
ภาคผนวก ก ขั้นตอนการแยกแถบดีเอ็นเอ การย้อมดีเอ็นเอ ขั้นตอนการตกตะกอนดีเอ็นเอ และการเตรียมสารละลายในการ เพิ่มปริมาณสารพันธุกรรม	99
ภาคผนวก ข การคำนวณค่าสัดส่วนความน่าจะเป็นของการตรวจพิสูจน์ตามลักษณะ การถ่ายทอดโครโมโซมแบบ Single allele และ Female sibling	104
ภาคผนวก ค ลำดับเบสของดีเอ็นเอไมโครแซทเทลไลท์ที่ตำแหน่ง DXS101 ของอัลลีลที่ 19	118
ประวัติผู้เขียน	120

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1 แสดงช่วงการซ้ำของชุดเบสที่พบในแต่ละอัลลีลของดีเอ็นเอไมโครแซทเทลไลท์ที่ตำแหน่ง DXS101 ที่ตรวจสอบด้วยเครื่องอัตโนมัติ	42
2 แสดงลักษณะพันธุกรรมที่พบในตำแหน่ง DXS101 ของกลุ่มประชากรเพศหญิงที่อาศัยอยู่ในภาคเหนือของประเทศไทย จำนวน 137 คน	49
3 แสดงจำนวนและค่าความถี่ของแต่ละอัลลีลในดีเอ็นเอไมโครแซทเทลไลท์ที่ตำแหน่ง DXS101	52
4 แสดงค่าความถี่ที่ได้จากการคำนวณของแต่ละลักษณะที่พบในกลุ่มตัวอย่างของอาสาสมัครจำนวนทั้งหมด 137 คน ของดีเอ็นเอไมโครแซทเทลไลท์ที่ตำแหน่ง DXS101	54
5 แสดงสูตรการคำนวณและค่าที่ได้จากการคำนวณของกำลังการแยกแยะในผู้หญิง (PD_F) ของดีเอ็นเอไมโครแซทเทลไลท์ที่ตำแหน่ง DXS101	56
6 แสดงสูตรการคำนวณและค่าที่ได้จากการคำนวณของกำลังการแยกแยะในผู้ชาย (PD_M) ของดีเอ็นเอไมโครแซทเทลไลท์ที่ตำแหน่ง DXS101	57
7 แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณค่ากำลังการคัดออก (PE trio) ในกรณีที่เด็กหญิงมากับมารดาแท้ ๆ แล้วกล่าวหาว่าชายผู้ถูกกล่าวหาเป็นบิดาของตน ของดีเอ็นเอไมโครแซทเทลไลท์ที่ตำแหน่ง DXS101	59
8 แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณค่ากำลังการคัดออก (PE motherless) ในกรณีที่เด็กหญิงมากกล่าวหาว่าชายผู้ถูกกล่าวหาเป็นบิดาของตนและไม่มีมารดาตรวจด้วย ดีเอ็นเอไมโครแซทเทลไลท์ที่ตำแหน่ง DXS101	60
9 แสดงค่าที่ได้จากการคำนวณค่า Heterozygosity (H_{expected}) ของดีเอ็นเอไมโครแซทเทลไลท์ที่ตำแหน่ง DXS101	62
10 แสดงการคำนวณค่าสมดุลฮาร์ดี-ไวน์เบิร์ก (Hardy-Weinberg Equilibrium) โดยใช้ Chi-square test (X^2)	63
11 แสดงลักษณะทางพันธุกรรมระหว่าง ตำแหน่ง DXS101 กับ ตำแหน่ง DXS7130	67
12 แสดงการกระจายตัวของอัลลีลต่าง ๆ ที่พบ (Observed) ระหว่างตำแหน่ง DXS101 กับตำแหน่ง DXS7130 ในประชากรตัวอย่าง 83 ราย	71

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
13 แสดงการกระจายตัวของอัลลีลต่าง ๆ ที่คาดหวัง (Expected) ระหว่างตำแหน่ง DXS101 กับตำแหน่ง DXS7130 ในประชากรตัวอย่าง 83 ราย	72
14 ค่าที่ได้จากการคำนวณทางสถิติโดยใช้ Chi-square test (X^2) ระหว่างตำแหน่ง DXS101 กับ ตำแหน่ง DXS7130 ในประชากรตัวอย่าง 83 ราย	73
15 แสดงลักษณะทางพันธุกรรม ระหว่าง ตำแหน่ง DXS101 กับ ตำแหน่ง DXS7132	75
16 แสดงการกระจายตัวของอัลลีลต่าง ๆ ที่พบ (Observed) ระหว่างตำแหน่ง DXS101 กับ ตำแหน่ง DXS7132 ในประชากรตัวอย่าง 83 ราย	79
17 แสดงการกระจายตัวของอัลลีลต่าง ๆ ที่คาดหวัง (Expected) ระหว่างตำแหน่ง DXS101 กับตำแหน่ง DXS7132 ในประชากรตัวอย่าง 83 ราย	80
18 ค่าที่ได้จากการคำนวณทางสถิติโดยใช้ Chi-square test ระหว่างตำแหน่ง DXS101 กับ ตำแหน่ง DXS7132 ในประชากรตัวอย่าง 83 ราย	81
19 แสดงผลรวมของค่ากำลังการแยกแยะ (Power of Discrimination) และผลรวมของ ค่ากำลังการคัดออก (Power of Exclusion)	88
20 แสดงสูตรการคำนวณค่าสัดส่วนความน่าจะเป็นในการตรวจความสัมพันธ์แบบ Single allele	89
21 แสดงสูตรการคำนวณค่าสัดส่วนความน่าจะเป็นในการตรวจความสัมพันธ์แบบ Female sibling	90
22 แสดงการคำนวณโอกาสการถ่ายทอดลักษณะพันธุกรรมแบบต่าง ๆ ของแม่เทียบกับพ่อ	105
23 แสดงการคำนวณโอกาสการถ่ายทอดลักษณะพันธุกรรมแบบต่าง ๆ ของแม่เทียบกับชาย ๆ ทั่วไป	106

สารบัญภาพ

รูป	หน้า
1 โครงสร้างของนิวคลีโอไทด์ ประกอบด้วย น้ำตาล เบส และหมู่ฟอสเฟต	4
2 โครงสร้างเบสที่พบบนสายดีเอ็นเอ (ก) เบสพิริมิดีน (ข) เบสพิวรีน	5
3 สายนิวคลีโอไทด์ที่เชื่อมกันด้วยพันธะฟอสโฟไดเอสเทอร์แสดงทิศทางจากปลาย 5'→3'	6
4 โครงสร้างเกลียวคู่ของดีเอ็นเอ (ก) มีน้ำตาลและหมู่ฟอสเฟตเป็นแกน (ข) มีเบสภายในทำหน้าที่ยึดสายดีเอ็นเอเกลียวคู่ด้วยพันธะไฮโดรเจน (ค)	7
5 การเรียงตัวของเบสซัลลิกษณะต่าง ๆ	10
6 การทำเทคนิคพีซีอาร์เพื่อเพิ่มปริมาณ DNA ภายนอกเซลล์	16
7 แสดงปริมาณดีเอ็นเอที่เพิ่มขึ้นในลักษณะ 2 ⁿ โดยเทคนิคพีซีอาร์	17
8 แสดงลักษณะแถบดีเอ็นเอแต่ละอัลลีลของอัลลีลมาตรฐาน (Allelic ladders) ในดีเอ็นเอไมโครแซทเทลไลต์ที่ตำแหน่ง DXS101	41
9 แสดงลักษณะแถบดีเอ็นเอของตัวอย่างเมื่อเทียบกับอัลลีลมาตรฐาน (Allelic ladders) ในดีเอ็นเอไมโครแซทเทลไลต์ที่ตำแหน่ง DXS101 ที่สร้างไว้	41
10 แสดง Electropherogram DNA sequencing data ของอัลลีล 19 ในดีเอ็นเอไมโครแซทเทลไลต์ที่ตำแหน่ง DXS101	43
11 แสดง Electropherogram DNA sequencing data ของอัลลีล 21 ในดีเอ็นเอไมโครแซทเทลไลต์ที่ตำแหน่ง DXS101	43
12 แสดง Electropherogram DNA sequencing data ของอัลลีล 22 ในดีเอ็นเอไมโครแซทเทลไลต์ที่ตำแหน่ง DXS101	44
13 แสดง Electropherogram DNA Sequencing Data ของอัลลีล 23 ในดีเอ็นเอไมโครแซทเทลไลต์ที่ตำแหน่ง DXS101	44
14 แสดง Electropherogram DNA sequencing data ของอัลลีล 24 ในดีเอ็นเอไมโครแซทเทลไลต์ที่ตำแหน่ง DXS101	45
15 แสดง Electropherogram DNA sequencing data ของอัลลีล 25 ในดีเอ็นเอไมโครแซทเทลไลต์ที่ตำแหน่ง DXS101	45

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูป	หน้า
16 แสดง Electropherogram DNA sequencing data ของอัลลีล 26 ใน ดีเอ็นเอไมโครแซทเทลไลต์ที่ตำแหน่ง DXS101	46
17 แสดง Electropherogram DNA sequencing data ของอัลลีล 27 ใน ดีเอ็นเอไมโครแซทเทลไลต์ที่ตำแหน่ง DXS101	46
18 แสดง Electropherogram DNA sequencing data ของอัลลีล 28 ใน ดีเอ็นเอไมโครแซทเทลไลต์ที่ตำแหน่ง DXS101	47
19 แสดง Electropherogram DNA sequencing data ของอัลลีล 29 ใน ดีเอ็นเอไมโครแซทเทลไลต์ที่ ตำแหน่ง DXS101	47
20 แสดง Electropherogram DNA sequencing data ของอัลลีล 30 ใน ดีเอ็นเอไมโครแซทเทลไลต์ที่ตำแหน่ง DXS101	48
21 แสดงค่าความถี่ของแต่ละอัลลีลของดีเอ็นเอไมโครแซทเทลไลต์ที่ตำแหน่ง DXS101	52
22 แสดงที่ตั้งของดีเอ็นเอไมโครแซทเทลไลต์ที่ตำแหน่ง DXS101	119

อักษรย่อและสัญลักษณ์

°C	=	องศาเซลเซียส
g	=	กรัม
μl	=	ไมโครลิตร
μM	=	ไมโครโมลาร์
mM	=	มิลลิโมลาร์
ml	=	มิลลิลิตร
%	=	เปอร์เซ็นต์
bp	=	คู่เบส
kb	=	กิโลเบส
h	=	Gene Diversity
H _o	=	Observed Heterozygosity
H _e	=	Expected Heterozygosity
STR	=	Short Tandem Repeat
DNA	=	Deoxyribonucleic Acid
RFLP	=	Restriction Enzyme Fragment Length Polymorphism
PCR	=	Polymerase Chain Reaction
PD	=	Power of Discrimination
PE	=	Power of Exclusion
PI	=	Paternity Index
Pm	=	Matching Probability
dNTP	=	Deoxyribonucleotide Triphosphate
dATP	=	Deoxyadenosine Triphosphate
dTTP	=	Deoxythymidine Triphosphate
dCTP	=	Deoxycytidine Triphosphate
dGTP	=	Deoxyguanosine Triphosphate

ก.70	ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 34.93 mm. ท่อของเหลวขนาด 19.05 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 50 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือเอธานอล	76
ก.71	ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 34.93 mm. ท่อของเหลวขนาด 19.05 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 75 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือเอธานอล	76
ก.72	ผลการทดลองที่ใช้ท่อไอขนาด 34.93 mm. ท่อของเหลวขนาด 19.05 mm. สัดส่วนการเติมสารทำงาน 100 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรส่วนทำระเหย และสารทำงานคือเอธานอล	76
ค.1	แสดงคุณสมบัติทางความร้อนของอากาศที่ 1 บรรยากาศ	84
ค.2	แสดงคุณสมบัติทางความร้อนของน้ำ	85
ค.3	แสดงคุณสมบัติทางความร้อนของเอธานอล	85
ค.4	แสดงช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับสารทำงานต่างๆ	86

สารบัญภาพ

รูป	หน้า	
1.1	เทอร์โมไซฟอน	1
2.1	แสดงลักษณะของเทอร์โมไซฟอนแบบปิดผนึก	10
2.2	แสดงลักษณะของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ	10
2.3	เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบชนิดสองทาง	11
2.4	เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบชนิดทางเดียว	12
2.5	เทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบหลายๆ ชุดที่ต่อเรียงกัน	12
2.6	ขีดจำกัดในการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน	14
2.7	การแห้งเมื่อปริมาณการเติมสารทำงานน้อย	15
2.8	การแห้งเมื่อปริมาณการเติมสารทำงานมาก	16
2.9	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างบอนด์นัมเบอร์กับค่าปัจจัย f_1	17
2.10	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมเอียงของท่อกับ f_3	18
2.11	แสดงแบบจำลองการเดือดในแอ่งของส่วนทำระเหย	19
2.12	การควบแน่นของผิวในแนวตั้ง	19
2.13	แสดงลักษณะของคอยล์แบบท่อกลมและกริบชนิดแผ่นเรียบต่อเนื่อง	20
2.14	แสดงการจัดเรียงท่อแบบเหลื่อมกันในคอยล์แบบท่อกลมและกริบชนิดแผ่นเรียบต่อเนื่อง	21
3.1	แสดงคอยล์ที่จะนำมาสร้างเป็นเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ	26
3.2	ท่อทดสอบ	27
3.3	แสดงแท่นวางชุดทดสอบ	28
3.4	แสดงท่อกลม	28
3.5	แสดงคอยล์ที่ติดหน้าแปลนและตีกก่องด้านข้าง	29
3.6	แสดงคอยล์ที่เชื่อมติด Header ทั้งด้านบนและด้านล่าง	30
3.7	แสดงท่อส่วนกันความร้อน	30

3.8	แสดงวาล์วสามทาง	30
3.9	แสดงลักษณะการต่อคอยล์ส่วนทำระเหยเข้ากับคอยล์ส่วนควบแน่น	31
3.10	แสดงการทำสุญญากาศ	31
3.11	เครื่องบันทึกข้อมูลและเทอร์โมคัปเปิ้ล	32
3.12	ชุดเติมสารทำงาน	33
3.13	เครื่องวัดความเร็วอากาศ	33
3.14	ฮีตเตอร์ (Heater)	33
3.15	เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล	33
3.16	ระบบการทดลอง	34
3.17	ระบบแลกเปลี่ยนความร้อนของเทอร์โมไซฟอน	35
3.18	วิธีการทดลอง	37
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการเติมสารทำงานกับอัตราการถ่ายเทความร้อน เมื่อสารทำงาน คือ เอทานอล	39
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการเติมสารทำงานกับอัตราการถ่ายเทความร้อน เมื่อท่อไอและท่อของเหลวมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากันคือ 19.05 mm.	40
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางท่อไอกับอัตราการถ่ายเทความร้อน เมื่อสารทำงานคือ เอทานอล อัตราการเติมสารทำงาน 75 เปอร์เซ็นต์ของ ปริมาตรส่วนทำระเหย	41
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางท่อของเหลวกับอัตราการถ่ายเทความร้อน เมื่อสารทำงานคือ เอทานอล อัตราการเติมสารทำงาน 75 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตร ส่วนทำระเหย	42
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการเติมสารทำงานกับค่าประสิทธิผล ของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ เมื่อท่อไอและท่อของเหลวมีขนาดเท่ากัน ที่ 19.05 mm.	43
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนการเติมสารทำงานกับอัตราการถ่ายเทความร้อน ของเทอร์โมไซฟอนแบบวงรอบ เมื่อท่อไอและท่อของเหลวมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19.05 mm	44
ง.1	แสดงลักษณะคอยล์	88
ง.2	แสดงคอยล์มีฝาปิด	89
ง.3	แสดงโครงยึดอุปกรณ์ทดลอง	90

ง.4	แสดงทอสม	91
ง.5	แสดงการประกอบชุดอุปกรณ์เข้ากับโครงขี้ด	92
ง.6	แสดงชุดทดลอง	93

อักษรย่อและสัญลักษณ์

avg.	average	
A	พื้นที่	m ²
A _b	พื้นที่การถ่ายเทความร้อนของส่วนต่อส่วนที่ไม่ได้ติดครีบริบ หรือต่อส่วนที่เปลือย (Bare tube area)	m ²
A _f	พื้นที่การถ่ายเทความร้อนของครีบริบ (Fin area)	m ²
A _t	พื้นที่การถ่ายเทความร้อนรวม (Total heat transfer area)	m ²
A _{ff}	พื้นที่การไหลอิสระที่น้อยที่สุดที่ของไหลไหลผ่านคอยล์ (Minimum free-flow area)	m ²
A _{fr}	พื้นที่การไหลที่ผิวหน้าของคอยล์ (Frontal area)	m ²
C _p	ค่าความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่	J/kg-K
D	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง	m
D _i	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อ	m
D _o	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกของท่อ	m
F	อัตราส่วนการเติมสารทำงาน โดยมีปริมาตรเทียบกับส่วนระเหย	%
g	ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก	m/s ²
G	อัตราการไหลโดยมวลต่อพื้นที่	kg/s-m ²
h	ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน	W/m ² -K
H	ความยาวท่อภายในคอยล์	W/m ² -K
h _b	ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของของไหลที่ไหลผ่านต่อส่วนที่ ไม่ได้ติดครีบริบ	W/m ² -K
h _f	ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของของไหลที่ไหลผ่านครีบริบ	W/m ² -K
h _{co}	ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของของไหลภายนอกคอยล์ ส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอน	W/m ² -K
h _{ci}	ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของของไหลภายในคอยล์ ส่วนระเหยของเทอร์โมไซฟอน	W/m ² -K
h _{fg}	ค่าความร้อนแฝง	J/kg

k	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน	W/m-K
k_b	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของท่อ	W/m-K
k_f	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของครีบริบ	W/m-K
L	ความยาว	m
L_a	ความยาวส่วนกันความร้อน	m
L_c	ความยาวส่วนควบแน่น	m
L_e	ความยาวส่วนทำระเหย	m
L_t	ความยาวทั้งหมดของคอยล์	m
L_i	ความยาวของคอยล์ในช่วงที่เป็นครีบริบ	m
L_f	ความยาวของครีบริบ หรือ ความสูงของคอยล์	m
L_{fs}	ระยะห่างระหว่างครีบริบ (Fin spacing) หรือสัดส่วนกลับของจำนวนครีบริบต่อความยาว (Fin pitch)	m
L_{eff}	ความยาวประสิทธิผลของครีบริบ	m
\dot{m}	อัตราการไหลเชิงมวล (Mass flow rate)	kg/s
N_f	จำนวนแผ่นครีบริบทั้งหมดของคอยล์ (Number of fins)	
N_t	จำนวนท่อทั้งหมดของคอยล์ (Number of tubes)	
N_r	จำนวนท่อของคอยล์ในแนวการไหล หรือจำนวนแถวของคอยล์ (Number of tube rows)	
Nu	ตัวเลขนัสเซลท์ (Nusselt number)	
P_v	ความดันไอ	Pa
Pr	ตัวเลขพรานด์ต์ (Prandtl number)	
Q	อัตราการถ่ายเทความร้อน	W
S	พื้นที่ผิว	m ²
St	ตัวเลขสแตนต์ตัน (Stanton number)	
S_D	ระยะระหว่างจุดศูนย์กลางท่อของคอยล์ในระหว่างแถวในแนวทแยง (Diagonal tube pitch)	m
S_L	ระยะระหว่างจุดศูนย์กลางท่อของคอยล์ในแนวการไหล (Longitudinal tube pitch)	m
S_T	ระยะระหว่างจุดศูนย์กลางท่อของคอยล์ในแนวตั้งฉากกับการไหล (Transverse tube pitch)	m

$T_{c.in}$	อุณหภูมิเข้าส่วนควบแน่น	$^{\circ}\text{C}$
$T_{e.in}$	อุณหภูมิเข้าส่วนทำระเหย	$^{\circ}\text{C}$
$T_{c.out}$	อุณหภูมิออกส่วนควบแน่น	$^{\circ}\text{C}$
$T_{e.out}$	อุณหภูมิออกส่วนทำระเหย	$^{\circ}\text{C}$
ΔT	ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ	$^{\circ}\text{C}$ or K
t_f	ความหนาของครีป	m
t_w	ความหนาของผนังท่อ	m
W_f	ความกว้างของครีป หรือความหนาของคอยล์	m
v	ความเร็วของของไหล	m/s
\dot{V}	อัตราการไหลเชิงปริมาตร (Volume flow rate)	m^3/s
λ	ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ	kJ/kg
μ	ความหนืดเชิงจลน์	$\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ or $\text{kg}/\text{m}\cdot\text{s}$ or $\text{Pa}\cdot\text{s}$
ρ	ความหนาแน่น	kg/m^3
σ	ค่าแรงตึงผิว	N/m
η_f	ประสิทธิภาพครีป	
Eff	ประสิทธิภาพ	

ตัวกำกับล่าง

a	ส่วนกันความร้อน
c	ส่วนควบแน่น
e	สวามทำระเหย
in	ภายใน
l	ของเหลว
out	ภายนอก
v	ไอของสารทำงาน