

การวิเคราะห์แผนแบบการทดลองสปลิทพลอตด้วย SPSS และข้อควรระวัง

Analysis of Split Plot Designs with SPSS and Some Caveats

กมล บุขบา

ภาควิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ปทุมธานี 12121

kamon@mathstat.sci.tu.ac.th

1. บทนำ

โปรแกรม SPSS สำหรับวินโดวส์ (SPSS for Windows) เป็นโปรแกรมที่ใช้ได้ง่ายเนื่องจากในการทำงานกับโปรแกรมทำได้โดยใช้เมาส์เลือกเมนูต่างๆ และโต้ตอบกับกล่องข้อความ (dialog box) แทนการเขียนคำสั่ง โปรแกรม SPSS ชุดพื้นฐาน (base system) นั้นผู้ใช้สามารถจัดการกับข้อมูลได้หลายลักษณะ เช่น การดัดแปลงข้อมูล การเลือกบางรายการ รวมทั้งจัดการเกี่ยวกับแฟ้มข้อมูลและการให้น้ำหนักตัวแปรความสามารถในการวิเคราะห์ข้อมูลนั้นมีทั้งสถิติเบื้องต้นและสถิติขั้นสูง ทั้งสถิติประเภทที่อิงและไม่อิงพารามิเตอร์ นอกจากนี้ผู้ใช้ยังสามารถจัดการเกี่ยวกับผลลัพธ์ทั้งที่เป็นตารางและกราฟ รวมทั้งการส่งผลลัพธ์ไปใช้ในโปรแกรมอื่นๆ ได้หลายรูปแบบ [1]

จุดเด่นของโปรแกรม SPSS อยู่ที่การทำงานกับข้อมูลที่ได้จากการสำรวจทางสังคมศาสตร์ตามความหมายของชื่อโปรแกรม (SPSS : Statistical Package for the Social Sciences) ทำให้โปรแกรมสามารถจัดการกับข้อมูลที่มีจำนวนมากๆ ได้ โดยงานต่างๆ ที่ต้องการทำกับข้อมูลที่ได้จากการสำรวจสามารถใช้โปรแกรม SPSS ได้เกือบทั้งหมด จุดด้อยอย่างหนึ่งของโปรแกรม SPSS คือ การใช้โปรแกรมเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลจากแผนแบบการทดลอง (experimental designs) แบบต่างๆ [2] อย่างไรก็ตามนักวิชาการในประเทศไทยส่วนใหญ่มักยังใช้โปรแกรม SPSS กันอย่างแพร่หลายเนื่องจากความสะดวกและเสียค่าใช้จ่ายน้อยในการจัดหาโปรแกรม

2. แผนแบบการทดลองสปลิทพลอต

แผนแบบการทดลองสปลิทพลอตที่ใช้สำหรับการทดลองที่มีการออกแบบพหุพหุแฟกทอเรียล (factorial

treatment design) [3] ลักษณะที่สำคัญของแผนการทดลองแบบสปลิทพลอตได้แก่การมีการสุ่ม (randomization) เกิดขึ้นมากกว่าหนึ่งครั้งและการมีหน่วยทดลองที่มีขนาดแตกต่างกันมากกว่าหนึ่งขนาดในการทดลอง [4] ในกรณีที่มีปัจจัยที่สนใจศึกษาสองปัจจัย ปัจจัยหนึ่งจะถูกสุ่มให้กับหน่วยทดลองที่มีขนาดใหญ่กว่า เช่น ในการศึกษาสายพันธุ์ข้าวทนแล้ง ปัจจัยที่เหมาะสมกับแปลงทดลองที่มีขนาดใหญ่ได้แก่ วิธีการให้น้ำ (แบ่งเป็น ไม่มีการให้น้ำ ให้น้ำหนึ่งครั้งต่อวัน ให้น้ำสองครั้งต่อวันและให้น้ำท่วมขัง) ขณะที่อีกปัจจัยหนึ่งได้แก่ พันธุ์ข้าว (แบ่งเป็น พันธุ์ลูกผสม พันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ และพันธุ์ข้าวดอกพยอม) จะถูกสุ่มให้กับหน่วยทดลองที่มีขนาดเล็กกว่าภายในแปลงใหญ่นั้นๆ หรือในการศึกษาเกี่ยวกับคุณภาพทางกายภาพของเมล็ดข้าวกล้อง บล็อกหนึ่งๆ ของแปลงนาที่มีสี่แปลงนาใหญ่จะใช้ในการสุ่มอัตราการให้ปุ๋ยในโตรเจนที่มีสี่ระดับ (12, 18, 24, และ 30 กิโลกรัมต่อไร่) จากนั้นแต่ละแปลงนาใหญ่จะถูกแบ่งเป็นแปลงนาย่อย 5 แปลงเพื่อสุ่มอัตราเมล็ดพันธุ์ 5 อัตรา (15, 20, 25, 30, และ 35 กิโลกรัมต่อไร่) แปลงทดลองขนาดใหญ่กว่าแต่ละแปลงจะเรียกว่า “เมนพลอต หรือโฮลพลอต (main plot or whole plot)” ซึ่งจะมีการแบ่งออกเป็นแปลงย่อยๆ เรียกว่า “สปลิทพลอต หรือสับพลอต (split plot or subplot)” เพื่อสุ่มระดับของอีกปัจจัยหนึ่งในลักษณะที่แต่ละเมนพลอตมีจำนวนระดับของปัจจัยที่สองครบทุกระดับและไม่มีสองสับพลอตในเมนพลอตใดๆ ได้รับระดับของปัจจัยที่สองที่เหมือนกัน ลักษณะดังกล่าวเป็นการสุ่มแบบมีเงื่อนไข (restricted randomization) ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าแผนแบบการทดลองสปลิทพลอตคือการทดลองแบบแฟกทอเรียลที่ไม่สามารถทำการสุ่มลำดับของการรันส์ (runs) ได้อย่างสมบูรณ์ [4]

ตัวอย่างอื่นๆ ของแผนแบบการทดลองสลับพลอทได้แก่การศึกษาผลของวิธีการเตรียมเยื่อกระดาษที่ต่างกันสามวิธี และอุณหภูมิที่ใช้ต้มเยื่อกระดาษสี่ระดับที่มีต่อความเหนียวของกระดาษ ถ้าทำการทดลองสามวันและพิจารณาให้วันเป็นบล็อก โดยในแต่ละวันจะทำการเตรียมเยื่อกระดาษแต่ละวิธีในปริมาณมากๆ (ซึ่งจะถือเป็นแผนพลอท) จากนั้นเยื่อกระดาษที่เตรียมโดยวิธีหนึ่งๆ จะแบ่งเป็นสี่ส่วนย่อย (สับพลอท) เพื่อนำไปต้มที่อุณหภูมิแตกต่างกันสี่ระดับ และทำในลักษณะเดียวกันกับเยื่อกระดาษที่เตรียมโดยวิธีอื่นๆ จนครบทุกวิธี

การทดลองทางวิทยาศาสตร์การอาหารก็นิยมใช้แผนแบบการทดลองสลับพลอท เช่น ในการศึกษาผลของส่วนผสมและเวลาในการหมักที่มีต่อความเหนียวของก้อนแป้ง ปัจจัยที่กำหนดให้กับก้อนแป้งอันใหญ่ (เมนพลอท) ได้แก่สูตรหรือส่วนผสมของก้อนแป้งที่ต่างกัน 6 สูตร เมื่อเตรียมก้อนแป้งตามสูตรแต่ละสูตรแล้วจะทำการแบ่งเป็น 6 ก้อนเล็ก (สับพลอท) เพื่อหมักที่ 0, 30, 45, 60, 75, และ 120 นาที (ปัจจัยที่กำหนดให้แก่สับพลอทได้แก่ระยะเวลาในการหมัก)

จากการที่มีหน่วยทดลองที่มีขนาดแตกต่างกันสองขนาดในการทดลองทำให้ความคลาดเคลื่อนจากการทดลอง (experimental error) มีสองพวก พวกหนึ่งเกี่ยวข้องกับปัจจัย A (ที่กำหนดให้กับเมนพลอท) และอีกพวกหนึ่งเกี่ยวข้องกับปัจจัย B (ที่กำหนดให้กับสับพลอท) และการประกอบกันของปัจจัย A และ B การประมาณอิทธิพลของปัจจัย A จะประมาณจากเมนพลอท ส่วนการประมาณอิทธิพลของปัจจัย B และปฏิสัมพันธ์ AB จะประมาณจากสับพลอท การประมาณทั้งสองระดับนี้มีความแม่นยำ (precision) ที่ต่างกัน การประมาณที่ได้จากสับพลอทจะให้ความแม่นยำสูงกว่าการประมาณที่ได้จากเมนพลอท นั่นคือผู้ทดลองควรให้ความสนใจกับอิทธิพลของปัจจัย B และ ปฏิสัมพันธ์ AB มากกว่าปัจจัย A [4]

3. ความหลากหลายของแผนแบบสลับพลอท

ตัวอย่างข้างต้นเป็นตัวอย่างง่ายๆ ของแผนแบบการทดลองสลับพลอท กล่าวคือทริทเมนต์มีโครงสร้างแบบแฟกทอเรียลของปัจจัยสองปัจจัยและระดับของปัจจัยที่กำหนดให้กับเมนพลอทอาจจะกำหนดให้ในลักษณะของการสุ่มอย่างสมบูรณ์ (completely randomized) ถ้าเมนพลอทมีลักษณะสม่ำเสมอ

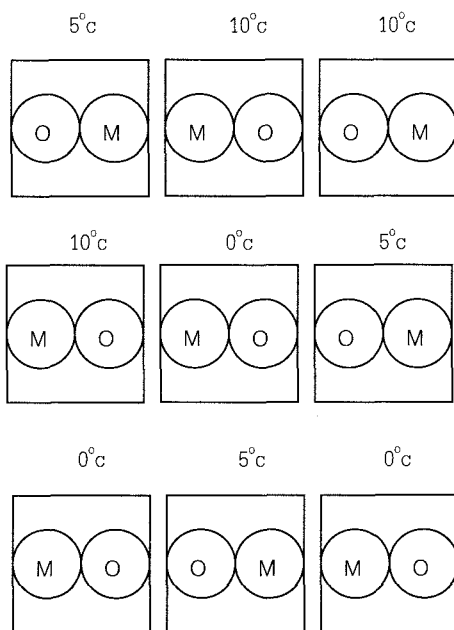
กัน หรือการจัดบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (randomized complete block) หรือการจัดบล็อกไม่สมบูรณ์ชนิดสมดุล (balanced incomplete block) หรือแม้แต่วิธีแบบจัตุรัสละติน (latin squares) ขึ้นกับลักษณะของเมนพลอทเป็นสำคัญ ส่วนระดับของปัจจัยที่กำหนดให้กับสับพลอทมักกำหนดให้ในลักษณะของการจัดบล็อกสุ่มสมบูรณ์ที่พิจารณาให้เมนพลอทเป็นบล็อกแต่อาจมีการจัดบล็อกเพิ่มขึ้นก็ได้แต่ไม่บ่อยนัก [4]

ทริทเมนต์ที่กำหนดให้กับเมนพลอท และ/หรือสับพลอทไม่จำเป็นต้องเป็นระดับของปัจจัยเพียงปัจจัยเดียว อาจเป็นการประกอบกันของปัจจัยตั้งแต่สองปัจจัยขึ้นไปก็ได้ ตัวอย่างเช่น อัตราการให้น้ำที่จะกำหนดให้กับแปลงนาใหญ่อาจเป็นการประกอบกันของ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม ส่วนทริทเมนต์ที่จะกำหนดให้กับแปลงย่อยๆ อาจประกอบด้วยพันธุ์ข้าวชนิดต่างๆ และระยะห่างระหว่างกอแบบต่างๆ เป็นต้น ดังนั้นจำนวนปัจจัยจึงไม่ใช่เป็นสิ่งที่ระบุถึงแผนการทดลอง แต่วิธีการสุ่มและขนาดของหน่วยทดลองต่างหากที่ใช้เป็นสิ่งที่ระบุแผนการทดลอง

4. การใช้ SPSS วิเคราะห์แผนแบบสลับพลอท

ตัวอย่างต่อไปนี้เป็นตัวอย่างกรณีที่มีปัจจัยที่สนใจศึกษาสองปัจจัยและมีการจัดรูปแบบของเมนพลอทด้วยแผนแบบการทดลองสุ่มสมบูรณ์ (ปรับปรุงจาก [3])

สมมุติว่านักวิจัยในบริษัทอาหารทะเลแห่งหนึ่งต้องการเปรียบเทียบจำนวนแบคทีเรียที่เกิดในหอยนางรม (O) และหอยแมลงภู่ (M) เมื่อเก็บไว้ในที่แช่เย็นที่ 0, 5, และ 10 องศาเซลเซียส สมมุติว่ามีที่แช่เย็นที่จะทำการทดลอง 9 หน่วย และแต่ละหน่วยมีถาดที่จะวางภาชนะได้จำนวนสองใบ ถ้าให้ที่แช่เย็นเป็นเมนพลอทและถาดในที่แช่เย็นเป็นสับพลอทแล้วทำการสุ่มอุณหภูมิ (ปัจจัย A) ที่มีสามระดับให้กับที่แช่เย็นระดับละสามหน่วย จากนั้นทำการสุ่มถาดในที่แช่เย็นว่าจะวางหอยชนิดใด (ปัจจัย B) และเนื่องจากสามารถควบคุมปัจจัยอื่นๆ ที่ไม่สนใจศึกษาที่จะมีผลต่อที่แช่เย็น (และจำนวนแบคทีเรีย) ได้ ดังนั้นจึงจัดรูปแบบการทดลองของเมนพลอทด้วยแผนแบบการทดลองสุ่มสมบูรณ์โดยมีจำนวนซ้ำ 3 ซ้ำ แผนผังการทดลองแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ผังการทดลองเพื่อเปรียบเทียบจำนวนแบคทีเรียใน หอยสองชนิดที่อุณหภูมิระดับต่างๆ

สมมุติว่านักวิจัยสนใจศึกษาหอยสองชนิดนี้และระดับ อุณหภูมิสามระดับนี้เท่านั้น นั่นคืออิทธิพลของปัจจัยทั้งสองเป็น อิทธิพลคงที่ (fixed effects) ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นค่า ลอการิทึมของจำนวนแบคทีเรียในหอยตัวอย่างแสดงในตาราง ที่ 1

การป้อนข้อมูลใน SPSS จะคล้ายกับการทดลองแบบ แฟกทอเรียลแต่จะต้องเพิ่มสมมติอีกสมมติหนึ่งที่ชี้แทนที่แช่ เย็นหรือเมนพลอที่ 1 ถึง 9 ดังนี้

ตารางที่ 1 ลอการิทึมของจำนวนแบคทีเรียในหอยสองชนิดที่ อุณหภูมิระดับต่างๆ

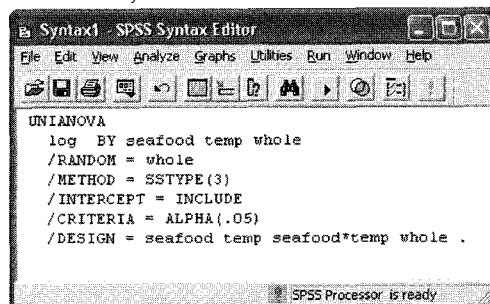
ซ้ำ ที่	อุณหภูมิ 0°C		อุณหภูมิ 5°C		อุณหภูมิ 10°C	
	O	M	O	M	O	M
1	3.688	0.356	7.195	5.017	9.784	10.135
2	1.828	1.702	9.322	7.952	6.470	5.048
3	5.233	4.578	7.420	6.386	9.444	11.033

log	seafood	temp	whole
3.688	O	0	1
0.356	M	0	1
7.195	O	5	2
5.017	M	5	2
9.784	O	10	3
10.135	M	10	3
...			
...			
7.420	O	5	8
6.386	M	5	8
9.444	O	10	9
11.033	M	10	9

จากนั้นให้เลือกเมนูตามขั้นตอนต่อไปนี้ **Analyze -->**

General Linear Model --> Univariate...

เมื่อปรากฏกล่องข้อความ ให้เลือกตัวแปรที่แทน ลอการิทึมของจำนวนแบคทีเรีย (ตัวแปร log) ใส่ในช่อง Dependent Variable จากนั้นระบุปัจจัยทั้งสองโดยการเลือกตัว แปร seafood และตัวแปร temp เข้าในช่อง Fixed Factor(s) แล้วเลือกตัวแปรที่แทนหมายเลขของแช่เย็นหรือเมนพลอ (ตัว แปร whole) เข้าในช่อง Random Factor(s).. จากนั้นคลิกปุ่ม Model... เพื่อระบุปัจจัยในตัวแบบ หลังจากปรากฏกล่อง ข้อ ความของ Model ให้เลือก Custom แล้วระบุตัวแปรต่างๆ เหล่า นี้ได้แก่ seafood, temp, seafood*temp, และตัวแปร whole เข้าในช่อง Model จากนั้นคลิกที่ปุ่ม Continue เมื่อกลับมาที่ กล่องข้อความเดิมให้คลิกปุ่ม Paste เพื่อให้โปรแกรมแสดงหน้า ต่างที่เรียกว่า Syntax Editor ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 หน้าต่าง Syntax Editor หลังจากกดปุ่ม Paste

ให้ผู้แก้ไขคำสั่ง DESIGN คำสั่งสุดท้ายตามนี้

/DESIGN = temp whole(temp) seafood
seafood*temp.

จากนั้นที่หน้าต่าง Syntax Editor ให้คลิกเมนู Run ตามด้วย All จะได้ผลลัพธ์ดังแสดงในภาพที่ 3 (เฉพาะตาราง ANOVA) อนึ่งแฟ้มที่เก็บคำสั่งนี้ผู้ใช้สามารถบันทึกเก็บไว้ใช้งานได้ในภายหลัง

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: LOG

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Intercept	704.263	1	704.263	95.921	.000
Error	44.053	6	7.342 ^a		
TEMP	107.654	2	53.827	7.331	.024
Error	44.053	6	7.342 ^a		
WHOLE(TEMP)	44.053	6	7.342	7.880	.012
Error	5.590	6	.932 ^b		
SEAFOOD	3.715	1	3.715	3.987	.093
Error	5.590	6	.932 ^b		
SEAFOOD * TEMP	2.649	2	1.324	1.421	.312
Error	5.590	6	.932 ^b		

a. MS(WHOLE(TEMP))

b. MS(Error)

ภาพที่ 3 ตาราง ANOVA ที่ได้จากโปรแกรม SPSS สำหรับการทดลองเพื่อเปรียบเทียบจำนวนแบคทีเรียในหอยสองชนิดที่อุณหภูมิระดับต่างๆ

จากผลลัพธ์ในภาพที่ 3 ปัจจุบันทั้งสองไม่มีปฏิสัมพันธ์กัน (p-value = .312) ส่วนการทดสอบอิทธิพลหลักถ้าใช้ระดับนัยสำคัญ .05 อุณหภูมิที่ต่างกันมีผลต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ส่วนชนิดของหอยนั้นไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย (p-value = .024 และ .093 ตามลำดับ) ผลลัพธ์ที่สามารถแสดงในรูปแบบของตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ใช้กันโดยทั่วไปดังนี้

แหล่งความผันแปร	df	SS	MS	F	p-value
อุณหภูมิ	2	107.654	53.827	7.33	.024
ค่าคลาดเคลื่อน (1)	6	44.053	7.342		
ชนิดหอย	1	3.715	3.715	3.99	.093
ปฏิสัมพันธ์	2	2.649	1.324	1.42	.312
ค่าคลาดเคลื่อน (2)	6	5.590	0.932		
ทั้งหมด	17	163.661			

เนื่องจากไม่มีปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและชนิดของหอย ดังนั้นหลังจากทำการทดสอบอิทธิพลหลักแต่ละประเภทแล้ว สามารถสรุปผลในรูปของค่าเฉลี่ยของลอการิทึมของจำนวนแบคทีเรียจำแนกตามอุณหภูมิและชนิดของหอยได้ หลังจากเพิ่มคำสั่งของ SPSS (ภาพที่ 4) ค่าเฉลี่ยที่ได้และค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานแสดงในภาพที่ 5 และ 6 ตามลำดับ

UNIANOVA log BY seafood temp whole

/RANDOM = whole

/METHOD = SSTYPE(3)

/INTERCEPT = INCLUDE

/EMMEANS = TABLES(seafood)

/EMMEANS = TABLES(temp)

/CRITERIA = ALPHA(.05)

/DESIGN = temp whole(temp) seafood
seafood*temp.

ภาพที่ 4 คำสั่ง SPSS ที่เขียนเพิ่มเติมให้แสดงค่าเฉลี่ยและค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยแสดงด้วยตัวเข้ม

1. SEAFOOD

Dependent Variable: LOG

SEAFOOD	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
M	5.801 ^a	.322	5.013	6.588
O	6.709 ^a	.322	5.922	7.497

a. Based on modified population marginal mean.

ภาพที่ 5 ค่าเฉลี่ยและค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยของตัวแปร LOG จำแนกตามชนิดของหอย

2. TEMP

Dependent Variable: LOG

TEMP	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
0	2.898 ^a	.394	1.933	3.862
5	7.215 ^a	.394	6.251	8.180
10	8.652 ^a	.394	7.688	9.617

a. Based on modified population marginal mean.

ภาพที่ 6 ค่าเฉลี่ยและค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยของตัวแปร LOG จำแนกตามระดับของอุณหภูมิ

5. ค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย

ถ้าให้ a แทนระดับของปัจจัย A และ b แทนระดับของปัจจัย B โดยที่ r แทนจำนวนซ้ำ ตัวแบบของแผนแบบสปีทพลอตเมื่อจัดรูปแบบการทดลองของเมนพลอตด้วยแผนแบบการทดลองสุ่มสมบูรณ์ ได้แก่

$$y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \varepsilon(1)_{ik} + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon(2)_{ijk}$$

โดยที่ $i = 1, 2, \dots, a$ ระดับ, $j = 1, 2, \dots, b$ ระดับ, และ $k = 1, 2, \dots, r$ ซ้ำ ในที่นี้ μ แทนค่าเฉลี่ยประชากร, α_i แทนอิทธิพลคงที่ของปัจจัย A, β_j แทนอิทธิพลคงที่ของปัจจัย B, $(\alpha\beta)_{ij}$ แทนปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยทั้งสอง, $\varepsilon(1)_{ik}$ และ $\varepsilon(2)_{ijk}$ แทนความคลาดเคลื่อนสุ่มที่เป็นอิสระกัน แต่ละเทอมมีค่าเฉลี่ย 0 และความแปรปรวน σ_1^2 และ σ_2^2 ตามลำดับ [6] ต่อไปให้พิจารณา

$$\begin{aligned} & Var(\bar{Y}_{i..}) \\ &= Var\left(\frac{1}{br} \sum_j \sum_k (\mu + \alpha_i + \varepsilon(1)_{ik} + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon(2)_{ijk})\right) \\ &= Var\left(\mu + \alpha_i + \frac{1}{r} \sum_k \varepsilon(1)_{ik} + \frac{1}{b} \sum_j \beta_j + \frac{1}{b} \sum_j (\alpha\beta)_{ij} + \frac{1}{br} \sum_j \sum_k \varepsilon(2)_{ijk}\right) \\ &= \frac{1}{r^2} \sum_k Var(\varepsilon(1)_{ik}) + \frac{1}{b^2 r^2} \sum_j \sum_k Var(\varepsilon(2)_{ijk}) \\ &= \frac{1}{r^2} r \sigma_1^2 + \frac{1}{b^2 r^2} br \sigma_2^2 \\ &= \frac{\sigma_1^2}{r} + \frac{\sigma_2^2}{br} = \frac{b\sigma_1^2 + \sigma_2^2}{br} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & Var(\bar{Y}_{.j.}) \\ &= Var\left(\frac{1}{ar} \sum_i \sum_k (\mu + \alpha_i + \varepsilon(1)_{ik} + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon(2)_{ijk})\right) \\ &= Var\left(\mu + \frac{1}{a} \sum_i \alpha_i + \frac{1}{ar} \sum_i \sum_k \varepsilon(1)_{ik} + \beta_j + \frac{1}{a} \sum_i (\alpha\beta)_{ij} + \frac{1}{ar} \sum_i \sum_k \varepsilon(2)_{ijk}\right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{a^2 r^2} \sum_i \sum_k Var(\varepsilon(1)_{ik}) + \frac{1}{a^2 r^2} \sum_j \sum_k Var(\varepsilon(2)_{ijk}) \\ &= \frac{\sigma_1^2}{ar} + \frac{\sigma_2^2}{ar} = \frac{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}{ar} \end{aligned} \quad (2)$$

จากนั้นจึงทำการประมาณค่าความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยข้างต้นโดยอาศัยค่าคาดหวัง ($E[\cdot]$) ของกำลังสองเฉลี่ยซึ่งสามารถแสดงได้ว่า [3] และ [6])

$$E[MSE(2)] = \sigma_2^2 \quad (3)$$

$$E[MSE(1)] = \sigma_2^2 + b\sigma_1^2 \quad (4)$$

เมื่อ MSE(1) และ MSE(2) คือผลบวกกำลังสองเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนที่สอดคล้องกับเมนพลอตและสับพลอตตามลำดับ ทำให้สามารถประมาณความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยด้วยวิธีการโมเมนต์ได้ดังนี้

$$\sigma_2^2 \approx MSE(2) \quad (5)$$

$$\sigma_1^2 \approx [MSE(1) - MSE(2)] / b \quad (6)$$

ดังนั้นสามารถประมาณความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยได้โดยอาศัยการแทนค่า (5) และ (6) ใน (1) และ (2) ทำให้ได้ว่า

$$\begin{aligned} Var(\bar{Y}_{i..}) &\approx \frac{MSE(1)}{br} \\ Var(\bar{Y}_{.j.}) &\approx \frac{[MSE(1) - MSE(2)] / b + MSE(2)}{ar} \\ &= \frac{MSE(1) + (b-1)MSE(2)}{abr} \end{aligned}$$

นั่นคือค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยจำแนกตามตามระดับของอุณหภูมิหรือปัจจัยที่กำหนดให้กับเมนพลอตคำนวณจาก

$$\begin{aligned} s_{\bar{Y}_{i..}} &= \sqrt{MSE(1) / br} = \sqrt{7.642 / 2(3)} \\ &= 1.1062 \quad (\text{SPSS ให้ค่าเท่ากับ } 0.394) \end{aligned}$$

และคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยจำแนกตามตาม

ชนิดของหอยหรือปัจจัยที่กำหนดให้กับสับพลอตคำนวณจาก

$$\begin{aligned} s_{\bar{Y}_{.j.}} &= \sqrt{[MSE(1) + (b-1)MSE(2)] / abr} \\ &= \sqrt{[7.342 + (2-1)(0.932)] / 3(2)(3)} \\ &= 0.6780 \quad (\text{SPSS ให้ค่าเท่ากับ } 0.322) \end{aligned}$$

6. ผลลัพธ์จากโปรแกรม SAS

เมื่อนำข้อมูลดังกล่าวไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SAS โดยใช้คำสั่ง Proc Mixed ดังนี้ [7]

```
Proc mixed data = split01;
class seafood temp whole;
model log = seafood temp seafood*temp;
random whole;
lsmeans seafood temp;
run;
```

ผลลัพธ์ที่ได้เฉพาะค่าเฉลี่ยและค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานแสดงในภาพที่ 7 ซึ่งจะเห็นว่าค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยจำแนกตามระดับของปัจจัยต่างๆ คือค่าที่ถูกต้อง

Least Squares Means					
Standard					
Effect seafood	Estimate	Error	DF	t Value	Pr > t
M	5.8008	0.6780	6	8.56	0.0001
O	6.7093	0.6780	6	9.90	<.0001

Standard					
Effect temp	Estimate	Error	DF	t Value	Pr > t
0	2.8975	1.1062	6	2.62	0.0396
5	7.2153	1.1062	6	6.52	0.0006
10	8.6523	1.1062	6	7.82	0.0002

ภาพที่ 7 ผลลัพธ์จากโปรแกรม SAS เฉพาะค่าเฉลี่ยแบบกำลังสองน้อยที่สุดและค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

7. บทสรุป

การวิเคราะห์แผนแบบการทดลองสลับพหุผลด้วยโปรแกรม SPSS นั้นทำได้โดยสะดวก ผู้ใช้เพียงแต่ปรับแก้ไขคำสั่งเพียงเล็กน้อยก็สามารถอ่านผลการวิเคราะห์จากตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนได้ โดยผู้ใช้จะต้องเข้าใจถึงเทอมต่างๆ ที่แทนแหล่งความผันแปรที่น่าเสนอในตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ได้จากโปรแกรม สำหรับในกรณีที่ต้องการนำเสนอค่าเฉลี่ยจำแนกตามปัจจัยต่างๆ เมื่อปัจจัยที่เกี่ยวข้องนั้นไม่มีปฏิสัมพันธ์กันจะต้องทำด้วยความระมัดระวังเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ยที่ได้จากการใช้คำสั่งย่อย

EMMEANS ของ SPSS นั้นไม่ถูกต้อง ผู้ใช้จะต้องทำการคำนวณเองด้วยมือหรือใช้โปรแกรมสำเร็จรูปชนิดอื่น ดังนั้นการนำผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูปมาใช้อย่างน่าเชื่อถือนั้น ผู้ใช้ควรมีความรู้ทางสถิติอย่างดีพอ และควรมีวิจารณญาณในการเลือกใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติและเลือกใช้ผลลัพธ์เพื่อนำเสนอในรายงาน

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ Dr. David D. Dickey ศาสตราจารย์ภาควิชาสถิติ มหาวิทยาลัยแห่งรัฐนอร์ทโรไลนา ประเทศสหรัฐอเมริกาที่ได้ช่วยกรุณาตรวจสอบการพิสูจน์สำหรับบทความชิ้นนี้

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] SPSS Inc., SPSS Base 10.0 User's Guide., SPSS Inc., Chicago, 537 p, 1999.
- [2] Currall, J., Choosing a Statistical Analysis Package., http://www.go2hill.com/ResearchDevelopment/Statistics/r_measure_4.htm., 1991.(August, 15, 2004)
- [3] Kuehl, R. O., Design of Experiments: Statistical Principles of Research Design and Analysis., 2 ed., Duxbury., Pacific Grove, 666 p, 2000.
- [4] Oehlert, G. W., A First Course in Design and Analysis of Experiments., W.H. Freeman and Company., New York, 659 p, 2000.
- [5] Montgomery, D. C., Design and Analysis of Experiments. 6 ed., John Wiley & Sons., New York, 684 p, 2001.
- [6] Giesbrecht, F. G., and Gumpertz, M. L., Planning, Construction, and Statistical Analysis of Comparative Experiment., John Wiley & Sons., Hoboken, 693 p, 2004.
- [7] Littell, R. C., Stroup, W. W., and Freund, R. J., SAS For Linear Models., 4 ed., SAS Publishing, Cary, 466 p, 2002.