# การวิเคราะห์เส้นทาง (Path Analysis)

ดร. ธีรพงศ์ แก่นอินทร์

## บทคัดย่อ

*ในอดีต การวิเคราะห์เส้นทางใช้อยู่เฉพาะในกลุ่มของนักวิจัยที่ได้ศึกษาสถิติวิเคราะห์ขั้นสูงเท่านั้น เนื่องจากการคำนวณค่าสถิติต่าง ๆ มีความยุ่งยากซับซ้อนมาก แต่ในปัจจุบันการวิเคราะห์เส้นทางทำได้ง่ายและสะดวก เนื่องจากมีโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปที่ใช้ได้ง่าย ช่วยในการคำนวณค่าสถิติที่จำเป็นทั้งหมด บุคคลที่มีความรู้ทางการวิจัยขั้นพื้นฐาน จึงสามารถใช้การวิเคราะห์เส้นทางได้ บทความนี้ได้เสนอมโนทัศน์ที่จำเป็นและกระบวนการของ การวิเคราะห์เส้นทางทุกขั้นตอน โดยจะเริ่มจากการให้นิยาม ข้อตกลงเบื้องต้น กระบวนการวิเคราะห์ และตัวอย่างของการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปคำนวณค่าสถิติที่จำเป็น โดยหวังจะช่วยให้ผู้ที่สนใจสามารถใช้การวิเคราะห์เส้นทางได้อย่างสะดวกและมีประสิทธิภาพ*

## นิยาม

การวิเคราะห์เส้นทาง เป็นวิธีการสำหรับศึกษารูปแบบของความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลของตัวแปรชุดหนึ่ง

ผลจากการศึกษารูปแบบของความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลตามนิยามข้างต้นจะได้คำตอบที่สำคัญ 4 ประการ คือ

1. รูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลที่ทำการศึกษานั้นมีความสอดคล้องกับข้อมูลหรือไม่

2. ค่าสัมประสิทธิ์ผลกระทบ (effect coefficient) หรือค่าผลกระทบรวม (total effect) ของตัวแปรสาเหตุแต่ละตัวต่อตัวแปรผลมีค่ามากน้อยเพียงใด

3. ค่าผลกระทบทางตรง (direct effect) ของตัวแปรสาเหตุแต่ละตัวต่อตัวแปรผลมีค่ามากน้อยเพียงใด

4. ค่าผลกระทบทางอ้อม (indirect effect) ของตัวแปรสาเหตุแต่ละตัวต่อตัวแปรผลมีค่ามากน้อยเพียงใด

## ข้อตกลงเบื้องต้น (assumptions)

การวิเคราะห์เส้นทางมีข้อตกลงเบื้องต้นที่สำคัญ 5 ประการ (Pedhazur 1982 : 582) คือ

1. ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเป็นเส้นตรง (linear) เป็นความสัมพันธ์เชิงบวก (additive) และเป็นความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผล

2. ตัวแปรผิดพลาด (residual) ไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่เกิดขึ้นก่อนตามที่ระบุไว้ในรูปแบบ ตามแผนภูมิที่ 1 a ไม่มีความสัมพันธ์กับ 1 และ 2

3. ความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลระหว่างตัวแปรไม่มีการย้อนทิศทาง ตามข้อตกลงเบื้องต้นข้อนี้ เมื่อ X เป็นสาเหตุของ Y แล้ว Y จะเป็นสาเหตุของ X ด้วยไม่ได้

4. การวัดค่าตัวแปรทุกค่าจะต้องมีการวัดค่าในมาตราวัดอันตรภาค (interval scale)

5. การวัดค่าตัวแปรทุกค่าจะต้องไม่มีความผิดพลาด (error)

## กระบวนการวิเคราะห์เส้นทาง

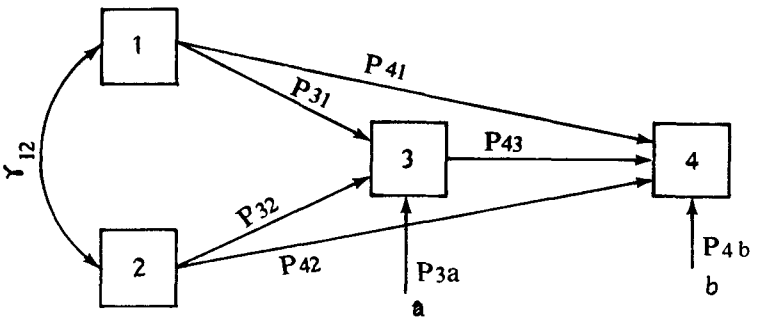
### 1. รูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผล (causal model)

ลักษณะของรูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผล

รูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลเป็นภาพแสดงความสัมพันธ์ในลักษณะสาเหตุและผลของกลุ่มตัวแปร

โดยทั่วไปแล้วรูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลประกอบด้วย ตัวแปร 2 ประเภท คือ

1. *ตัวแปรภายนอก (exogenous variables)* คือ ตัวแปรที่ค่าความแปรปรวนทั้งหมดถูกกำหนดโดยตัวแปรสาเหตุที่อยู่ภายนอกรูปแบบที่กำหนด นั่นคือผู้วิจัยไม่ประสงค์ที่จะอธิบายความแปรปรวนของตัวแปรภายนอก




แผนภูมิที่ 1 รูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลที่มีตัวแปรภายนอก 2 ตัว

ตามแผนภูมิที่ 1 ตัวแปรที่ 1 และตัวแปรที่ 2 เป็นตัวแปรภายนอกความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรภายนอกทั้งสองแสดงโดยเส้นโค้งที่มีหัวลูกศรทั้ง 2 ด้าน ซึ่งแสดงว่าผู้วิจัยไม่ทราบว่าตัวแปรใดเป็นสาเหตุตัวแปรใดเป็นผล

2. *ตัวแปรภายใน (endogenous variables)* คือตัวแปรที่ค่าความแปรปรวนถูกอธิบายโดยตัวแปรภายนอก หรือโดยตัวแปรภายในที่เกิดขึ้นก่อนตัวแปรนั้น ๆ

จากแผนภูมิที่ 1 ตัวแปรภายในได้แก่ ตัวแปรที่ 3 และตัวแปรที่ 4 สำหรับตัวแปรที่ 4 อาจจะเรียกโดยเฉพาะว่า "ตัวแปรตามท้ายสุด (ultimate dependent varible)" (ประชัย เปี่ยมสมบูรณ์ 2527 : 76)

เส้นทางความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ 1 และตัวแปรที่ 2 กับตัวแปรที่ 3 และตัวแปรที่ 4 แสดงโดยเส้นตรงที่มีหัวลูกศรเพียงด้านเดียว โดยกำหนดให้ตัวแปรที่อยู่ต้นลูกศรเป็นตัวแปรสาเหตุ และตัวแปรที่อยู่หัวลูกศรเป็นตัวแปรผล

เมื่อพิจารณาจากแผนภูมิที่ 1 จะพบว่าตัวแปรภายนอกเป็นได้เฉพาะตัวแปรสาเหตุเท่านั้น ในขณะที่ตัวแปรภายในสามารถจะเป็นได้ทั้งตัวแปรสาเหตุและตัวแปรผล (ตัวแปรภายนอกคือตัวแปรที่ 1 และตัวแปรที่ 2 เป็นสาเหตุของตัวแปรภายในตัวแปรที่ 3 และตัวแปรที่ 4 ในขณะที่ตัวแปรภายในตัวแปรที่ 3 เป็นตัวแปรสาเหตุของตัวแปรภายในตัวแปรที่ 4 และในขณะเดียวกันตัวแปรภายในตัวแปรที่ 3 ก็เป็นตัวแปรผลของตัวแปรภายนอกตัวแปรที่ 1 และตัวแปรที่ 2 ด้วย)

a และ b ในแผนภูมิที่ 1 เรียกว่าตัวแปรผิดพลาด (residual variables) เป็นตัวแปรที่มีผลกระทบต่อตัวแปรภายในแต่ไม่ได้รวมอยู่ในรูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลที่กำหนด

P คือ สัญลักษณ์แทนค่าสัมประสิทธิ์เส้นทาง (path coefficient) เป็นค่าที่แสดงถึงค่าผลกระทบทางตรง (direct effect) ของตัวแปรสาเหตุต่อตัวแปรผลสัญลักษณ์มาตรฐานได้แก่ $p_{ji}$ โดยที่ i หมายถึงตัวแปรสาเหตุ j หมายถึงตัวแปรผล

**การสร้างรูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลตามสมมติฐาน**

จุดเริ่มต้นที่สำคัญของกระบวนการวิเคราะห์เส้นทางได้แก่ การสร้างรูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลตามสมมติฐาน (hypothesized model)

รูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลตามสมมติฐาน เป็นรูปแบบที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นตาม *ทฤษฎีที่ต้องการศึกษา* การคัดเลือกตัวแปรและการจะกำหนดว่าตัวแปรใดเป็นสาเหตุ ตัวแปรใดเป็นผลนั้น ผู้วิจัยจะต้องใช้ทฤษฎีและผลการวิจัยที่เกี่ยวข้องเป็นตัวกำหนด ผู้วิจัยจะกำหนดขึ้นเองตามอำเภอใจไม่ได้ คุณค่าของการวิจัยประเภทการวิเคราะห์เส้นทางจะมีมากหรือน้อยเพียงใดจึงสามารถจะประเมินได้ตั้งแต่ต้น โดยพิจารณาว่ารูปแบบความสัมพันธ์ตามสมมติฐานมีทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสนับสนุนมากน้อยเพียงใด Pedhazur (1982) ได้เขียนตักเตือนไว้หลายครั้งหลายตอนเพื่อให้นักวิจัยตระหนักถึงความสำคัญของทฤษฎีในการสร้างรูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผล

การเขียนรูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลตามสมมติฐานมีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดชุดของตัวแปรที่เกี่ยวข้อง ชุดของตัวแปรจะมีกี่ตัวขึ้นอยู่กับทฤษฎีและผลการวิจัยที่เกี่ยวข้องเป็นสำคัญ

2. กำหนดตัวแปรภายนอก (exogenous variables) ที่เกิดขึ้นก่อนตัวแปรอื่น ๆ ตัวแปรภายนอกอาจจะมีเพียงหนึ่งตัวแปรหรือมากกว่าก็ได้ ถ้าตัวแปรภายนอกมีมากกว่าหนึ่งตัว

ผู้วิจัยจะต้องหาหลักฐานมายืนยันว่าตัวแปรเหล่านั้นมีความสัมพันธ์ต่อกันหรือไม่ ถ้าตัวแปรภายนอกคู่ใดมีความสัมพันธ์ต่อกัน ผู้วิจัยจะต้องลากเส้นโค้งที่มีหัวลูกศรทั้ง 2 ข้าง เพื่อแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรคู่นั้น (เป็นความสัมพันธ์ที่ไม่ทราบว่าตัวแปรใดเป็นสาเหตุตัวแปรใดเป็นผล)

3. กำหนดลำดับก่อนหลังของตัวแปรภายในที่เหลือ (ตามทฤษฎี)

4. ลากเส้นทางแสดงความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลจากตัวแปรสาเหตุไปสู่ตัวแปรผล การลากหรือไม่ลากเส้นทางจากตัวแปรสาเหตุไปสู่ตัวแปรผลคู่ใด ๆ ผู้วิจัยจะต้องมีทฤษฎีและผลการวิจัยที่เกี่ยวข้องมายืนยัน ผู้วิจัยจะตัดสินใจลากเส้นทางหรือไม่ลากเส้นทางใด ๆ โดยใช้สามัญสำนึกของตนเองไม่ได้

**2. การทดสอบรูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผล**

การทดสอบรูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผล เป็นการทดสอบเพื่อดูว่ารูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลตามสมมติฐานมีความสอดคล้องกับข้อมูลหรือไม่ โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

**2.1 ทดสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (linearity) ระหว่างตัวแปร** สาเหตุทุกตัวกับตัวแปรผลทุกตัว

การทดสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงโดยใช้คอมพิวเตอร์โปรแกรม SPSSX สามารถทำได้ง่ายมาก จึงไม่ขอกล่าวในรายละเอียดในที่นี้

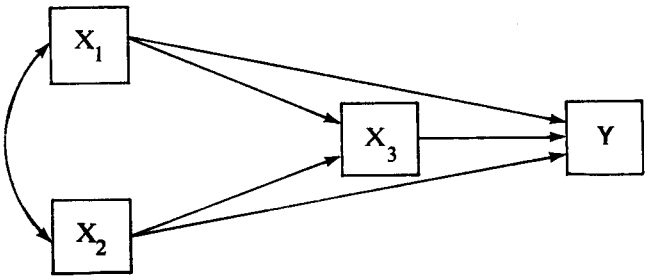
ถ้าผลการทดสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสาเหตุและผลคู่ใดไม่เป็นเส้นตรง ผู้วิจัยจะต้องแก้ไขโดยวิธีการทางสถิติก่อนจะดำเนินการวิเคราะห์ต่อไป (อาจจะใช้ polynomial regression)

**2.2 ทดสอบความสอดคล้องของรูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลตามสมมติฐานกับข้อมูลเชิงประจักษ์โดยวิธีการของ** Specht (1975 : 113–133) โดยดำเนินการดังนี้

*2.2.1 สร้างรูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลแบบเต็มรูป*

รูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลแบบเต็มรูปหมายถึง รูปแบบความสัมพันธ์ที่มีเส้นทางแสดงความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลทุกเส้นทางที่เป็นไปได้จากตัวแปรสาเหตุไปสู่ตัวแปรผล

ในกรณีที่รูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลมีตัวแปร 4 ตัว และมีตัวแปรภายนอก 2 ตัว รูปแบบความสัมพันธ์แบบเต็มรูปจะมีลักษณะดังแผนภูมิที่ 2




แผนภูมิที่ 2 รูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลแบบเต็มรูป

*2.2.2 หาค่า $R^2$ และ F-ratio ของรูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลแบบเต็มรูป โดยการวิเคราะห์ถดถอย (regression)* กล่าวคือตัวแปรภายในทุกตัว ของรูปแบบความสัมพันธ์แบบเต็มรูปจะถดถอยบนตัวแปรภายนอกและตัวแปรภายในที่มีผลกระทบทางตรงต่อตัวแปรภายในที่เป็นตัวแปรผล ซึ่งตามรูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลแบบเต็มรูปจากแผนภูมิที่ 2 จะต้องทำการวิเคราะห์ถดถอย 2 ครั้ง คือ

ครั้งที่ 1 Y ถดถอยบน $X_3$, $X_2$ และ $X_1$

ครั้งที่ 2 $X_3$ ถดถอยบน $X_2$ และ $X_1$

ผลจากการวิเคราะห์ถดถอยแต่ละครั้งจะได้ ค่า $R^2$, $p_{ji}$ (คือค่า Beta) และค่า F-ratio

คำสั่งคอมพิวเตอร์โปรแกรม SPSSX สำหรับการวิเคราะห์ถดถอยครั้งที่ 1 เป็นดังนี้

```
REGRESSION VARS = X1 X2 X3 Y
    /CRITERIA = TOL (001)
    /STATISTICS = F
    /DEP = Y/ENTER
```

คำสั่งคอมคิวเตอร์บรรทัดที่ 2 (/CRITERIA = TOL (001) ) เป็นคำสั่งบังคับให้คอมพิวเตอร์คำนวณค่า Beta ทุกค่าออกมาเพราะว่าโดยปกติแล้วคอมพิวเตอร์จะไม่คำนวณค่า Beta ที่ต่ำมาก ๆ (การทดสอบรูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลโดยวิธีนี้จำเป็นต้องทราบค่า Beta หรือ $p_{ji}$ ทุกค่า)

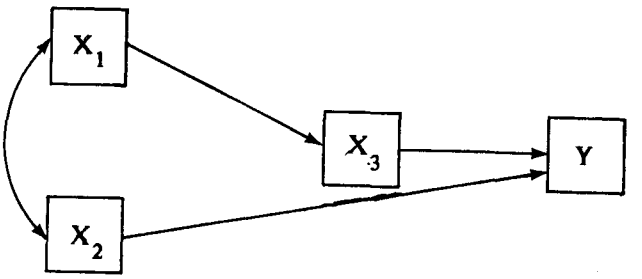
*2.2.3 หาค่า $R^2_m$ จากสูตร*

$$R^2_m = 1 - (1-R^2_{y1})(1-R^2_{y2}) \ldots (1-R^2_{yp})$$

เมื่อ $R^2_{yi}$ แทน Ordinary squared multiple correlation coefficient ของสมการที่ i ของรูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลแบบเต็มรูป

*2.2.4 หาค่า $R^2$, $P_{ji}$ และ F–ratio ของรูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลตามสมมติฐาน* โดยการวิเคราะห์ถดถอยเช่นเดียวกับ 2.2.2 จะแตกต่างจาก 2.2.2 อยู่บ้างก็คือจำนวนครั้งของการวิเคราะห์และจำนวนตัวแปรในแต่ละสมการ

สมมติว่ารูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลตามสมมติฐานมีลักษณะดังแผนภูมิที่ 3




แผนภูมิที่ 3 รูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลตามสมมติฐาน

จากแผนภูมิที่ 3 ผู้วิจัยจะต้องทำการวิเคราะห์ถดถอย 2 ครั้ง คือ

ครั้งที่ 1 Y ถดถอยบน $X_3$ และ $X_2$

ครั้งที่ 2 $X_3$ ถดถอยบน $X_1$

*2.2.5 หาค่า M จากสูตร*

$$M = 1-(1-R^2_1)(1-R^2_2)\ldots(1-R^2_p)$$

เมื่อ $R^2_i$ แทน Ordinary Squared multiple correlation coefficient ของสมการที่ i ของรูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลตามสมมติฐาน

M จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง $R^2_m$ เมื่อรูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลตามสมมติฐานมีความสอดคล้องกับข้อมูลอย่างสมบูรณ์ $R^2_m$ จะเท่ากับ M

*2.2.6 หาค่า Q ซึ่งเป็นค่าสถิติที่ใช้วัดความสอดคล้อง (measure of goodness of fit) ของรูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลตามสมมติฐานกับข้อมูลเชิงประจักษ์ จากสูตร*

$$Q = \frac{1 - R^2_m}{1 - M}$$

*2.2.7 หาค่า W ซึ่งเป็นค่าสถิติที่ใช้ทดสอบนัยสำคัญของ Q จากสูตร*

$W = -(N-d) \log_e Q$

เมื่อ W แทนค่าสถิติทดสอบที่มีการแจกแจงเป็น $\chi^2$ ซึ่งมี df = d

N แทนขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

d แทนจำนวนเส้นทางที่ถูกระบุว่ามีค่าเป็นศูนย์ (จึงไม่ได้ลากเส้นทางนั้นเข้าไว้ในรูปแบบ) ในรูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลตามสมมติฐาน ตามแผนภูมิที่ 3 d = 2

$\log_e$ แทน natural logarithm

สูตรนี้จะใช้ได้ก็ต่อเมื่อกลุ่มตัวอย่างมีขนาดใหญ่

ข้อสังเกต เมื่อ $M=R^2_m$ แล้ว Q จะเท่ากับ 1 และ natural logarithm ของ 1 เท่ากับ 0 ดังนั้น $\chi^2$ จะมีค่าเท่ากับ 0 ซึ่งแสดงว่ารูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลตามสมมติฐานมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์อย่างสมบูรณ์

*2.2.8 การพิจารณาความสอดคล้องของรูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลกับข้อมูลเชิงประจักษ์*

การพิจารณาความสอดคล้องของรูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลกับข้อมูลเชิงประจักษ์นั้น พิจารณาจากการทดสอบนัยสำคัญของค่า Q จากค่า W กล่าวคือถ้าค่า W ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติหมายความว่ารูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลตามสมมติฐานอธิบายระบบของความสัมพันธ์ได้ไม่แตกต่างจากรูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลแบบเต็มรูป ซึ่งแสดงว่ารูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลตามสมมติฐานมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ (เพราะว่ารูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลแบบเต็มรูปมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์เสมอ) แต่ถ้าค่า W มีนัยสำคัญทางสถิติหมายความว่า รูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลตามสมมติฐาน อธิบายระบบของความสัมพันธ์ได้แตกต่างจากรูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลแบบเต็มรูป ซึ่งแสดงว่ารูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลตามสมมติฐานยังไม่สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์

อนึ่งวิธีการทดสอบรูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลตามที่กล่าวมานี้ใช้ได้กับการทดสอบรูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลตามสมมติฐานที่มีลักษณะระบุเกินเท่านั้น (overidentified model)

รูปแบบความสัมพันธ์ที่มีลักษณะระบุเกิน คือรูปแบบความสัมพันธ์ที่จำนวนของสมการสำหรับประมาณค่าพารามิเตอร์ (parameter estimation) มีมากกว่าจำนวนค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการจะประมาณค่า รูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลที่มีเส้นทางไม่ครบทุกเส้นทาง (ไม่เป็นรูปแบบความสัมพันธ์แบบเต็มรูป) จึงเป็นรูปแบบที่มีลักษณะระบุเกิน

**3. การตกแต่งรูปแบบความสัมพันธ์เชงสาเหตุและผล**

ผลจากการทดสอบรูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผล ผู้วิจัยจะได้คำตอบว่ารูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลตามสมมติฐาน มีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์หรือไม่

ในกรณีที่รูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลตามสมมติฐานมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ (ค่า W ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ) ผู้วิจัยควรจะพิจารณาต่อไปว่ารูปแบบดังกล่าวนั้นเป็นรูปแบบที่มีลักษณะประหยัด (parsimony) มากที่สุดแล้วหรือยัง นั่นคือ ผู้วิจัยควรจะพิจารณาดูว่า ในรูปแบบที่ผ่านการทดสอบแล้วนั้นยังมีเส้นทางใดบ้างที่สามารถจะตัดออกได้โดยไม่ทำให้คุณค่าในการอธิบายของรูปแบบนั้นเปลี่ยนแปลงไป โดยปกติแล้ว เส้นทางของรูปแบบความสัมพันธ์ที่ค่า F–ratio ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ สามารถจะตัดออกจากรูปแบบได้โดยไม่ทำให้คุณค่าในการอธิบายของรูปแบบนั้นเปลี่ยนแปลงไป ในกรณีที่การวิจัยใช้กลุ่มตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่มาก ค่าสัมประสิทธิ์เส้นทาง (p) ที่มีขนาดต่ำมากก็อาจจะมีนัยสำคัญทางสถิติได้ ฉะนั้นเส้นทางใดที่มีค่าสัมประสิทธิ์เส้นทางขนาดต่ำกว่า .05 ก็สามารถจะตัดออกจากรูปแบบได้ หลังจากที่ได้ตกแต่งรูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลให้มีลักษณะประหยัดมากที่สุดแล้ว ผู้วิจัยควรจะทดสอบรูปแบบที่ตกแต่งใหม่ตามวิธีการในข้อ 2 อีกครั้งหนึ่งเพื่อจะได้เป็นที่แน่ใจว่า รูปแบบที่ตกแต่งใหม่ยังคงมีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์

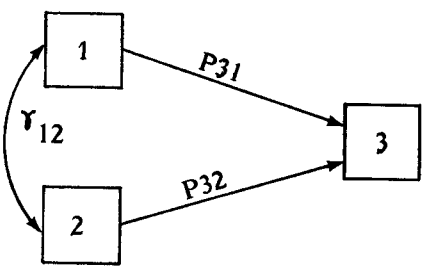
สำหรับกรณีที่รูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลตามสมมติฐานไม่มีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ (ค่า W มีนัยสำคัญทางสถิติ) ผู้วิจัยควรจะตกแต่งรูปแบบความสัมพันธ์ตามสมมติฐานเสียใหม่ให้มีความสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ โดยเปรียบเทียบเส้นทางของรูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลแบบเต็มรูปกับเส้นทางของรูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลตามสมมติฐาน กล่าวคือ เส้นทางใดของรูปแบบความสัมพันธ์แบบเต็มรูปค่า F–ratio มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ปรากฏว่าเส้นทางดังกล่าวไม่ปรากฏในรูปแบบความสัมพันธ์ตามสมมติฐาน

ก็จะเพิ่มเส้นทางดังกล่าวเข้าไปในรูปแบบความสัมพันธ์ตามสมมติฐาน เส้นทางใดค่า F–ratio ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติก็จะตัดออกจากรูปแบบความสัมพันธ์ ซึ่งผลจากการกระทำดังกล่าว *จะได้รูปแบบความสัมพันธ์ใหม่อันจะเป็นประโยชน์สำหรับการพัฒนาสมมติฐานหรือทฤษฎีนั้น ๆ ต่อไป* จากนั้นก็ควรจะทดสอบรูปแบบความสัมพันธ์ใหม่ตามวิธีการในข้อ 2 อีกครั้งหนึ่ง

**4. การแยกส่วนของความสัมพันธ์**

ข้อได้เปรียบที่สำคัญประการหนึ่งของการวิเคราะห์เส้นทางคือสามารถแยกส่วนของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรได้ การกระทำดังกล่าวจะทำให้เข้าใจรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรได้ชัดเจนมากขึ้น

รูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลนั้น สามารถจะแยกส่วนของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรภายนอกกับตัวแปรภายใน หรือระหว่างตัวแปรภายในด้วยกันเองออกเป็นส่วนต่างๆ ได้ 4 ส่วน ดังตัวอย่างจากแผนภูมิที่ 4–6




**แผนภูมิที่ 4 รูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลที่ตัวแปรภายนอกมีความสัมพันธ์กัน**

จากแผนภูมิที่ 4 จะพบว่า ตัวแปรที่ 1 และ 2 เป็นตัวแปรภายนอก ในขณะที่ตัวแปรที่ 3 เป็นตัวแปรภายใน

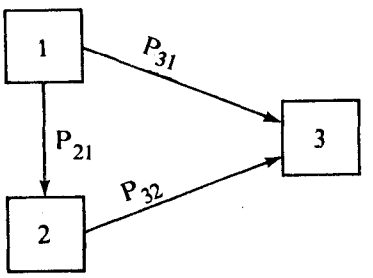
ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรภายนอกด้วยกัน ($r_{12}$) นั้น ไม่สามารถจะแยกส่วนได้ เนื่องจากค่าความแปรปรวนทั้งหมดของตัวแปรภายนอกถูกกำหนดโดยตัวแปรสาเหตุที่อยู่ภายนอกรูปแบบที่กำหนด ตามความหมายของตัวแปรภายนอกดังที่ได้กล่าวมาแล้วตอนต้น สำหรับความสัมพันธ์ระหว่าง 1 กับ 3 ($r_{13}$) นั้น สามารถจะแยกออกได้เป็นสองส่วน คือ

1) ผลกระทบทางตรงของ 1 ต่อ 3 ซึ่งแสดงโดย $p_{31}$ และ

2) ส่วนของ $r_{13}$ อันเกิดจากความสัมพันธ์ของ 1 กับ 2 ซึ่งแสดงโดย $r_{12}\ p_{32}$ หรือ อาจกล่าวได้ว่า ส่วนของ $r_{13}$ อันเกิดจากความสัมพันธ์แบบไม่มีทิศทางของตัวแปรสาเหตุ (due to correlated causes) เท่ากับ $r_{13} - p_{31}$ (เพราะว่า $r_{13} = p_{31} + r_{12}\ p_{32}$)

ในทัศนะของการอธิบายเชิงสาเหตุและผล (causal explanation) นั้น ส่วนของ $r_{13}$ อันเกิดจากความสัมพันธ์แบบไม่มีทิศทางถือว่าเป็นส่วนที่ยังไม่ได้วิเคราะห์ (is left unanalyzed) นั่นคือยังไม่มีวิธีการที่จะแปลความหมายในเชิงสาเหตุและผลขององค์ประกอบของความสัมพันธ์ในส่วนนี้ได้

ในการแยกส่วนของความสัมพันธ์ของ $r_{23}$ ก็คล้ายคลึงกับ $r_{13}$ นั่นคือ $p_{32}$ แสดงถึงผลกระทบทางตรงของ 2 ต่อ 3 และ $r_{12}\ p_{31} = r_{23} - p_{32}$ คือส่วนที่ยังไม่ได้วิเคราะห์




แผนภูมิที่ 5 รูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลที่มีตัวแปรภายนอกตัวเดียว

จากแผนภูมิที่ 5 จะพบว่าตัวแปรที่ 1 เป็นตัวแปรภายนอก ในขณะที่ตัวแปรที่ 2 และ 3 เป็นตัวแปรภายใน และจะพบว่าตัวแปรที่ 1 มีผลกระทบทางตรงต่อตัวแปรที่ 3 (แสดงโดย $p_{31}$) นอกจากนั้นตัวแปรที่ 1 ยังส่งผลกระทบต่อตัวแปรที่ 2 ในขณะเดียวกันตัวแปรที่ 2 ก็ส่งผลกระทบต่อตัวแปรที่ 3 เส้นทางจากตัวแปรที่ 1 ไปยังตัวแปรที่ 2 และ จากตัวแปรที่ 2 ไปยังตัวแปรที่ 3 นี้ เป็นเส้นทางที่แสดงผลกระทบทางอ้อม (indirect effect) ของตัวแปรที่ 1 ต่อตัวแปรที่ 3 ดังนั้น $r_{13}$ จึงสามารถแยกออกได้เป็น 2 ส่วนคือ

1. ผลกระทบทางตรงของ 1 ต่อ 3 และ
2. ผลกระทบทางอ้อมของ 1 ต่อ 3 โดยผ่านทาง 2

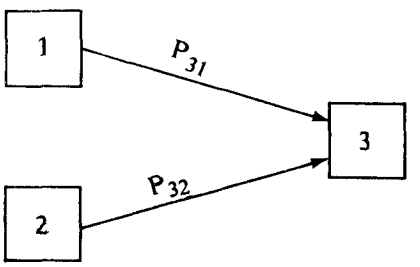
เมื่อรวมค่าผลกระทบทางตรงกับค่าผลกระทบทางอ้อมเข้าด้วยกันจะได้ค่าสถิติค่าใหม่เรียกว่า "ค่าสัมประสิทธิ์ผลกระทบ" (effect coefficient) ของตัวแปรสาเหตุต่อตัวแปรผล (Fox : 1980) สำหรับ Alwin และ Hauser (1975) เรียกค่าผลรวมของผลกระทบทางตรงกับผลกระทบทางอ้อมว่า "ค่าผลกระทบรวม" (total effect)

Pedhazur (1982 : 603) ได้กล่าวว่า "เมื่อต้องการจะระบุค่าการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรภายในที่เกี่ยวเนื่องกับการเปลี่ยนแปลง 1 หน่วย ของตัวแปรสาเหตุตัวใดตัวหนึ่ง ควรจะใช้ค่าสัมประสิทธิ์ผลกระทบของตัวแปรสาเหตุที่มีต่อตัวแปรผลนั้น ๆ" หรืออาจจะกล่าวว่า ค่าสัมประสิทธิ์ผลกระทบคือค่าที่จะบอกว่า เมื่อตัวแปรสาเหตุเปลี่ยนไป 1 หน่วย ค่าของตัวแปรผลที่เกี่ยวข้องกันจะเปลี่ยนไปกี่หน่วย

สำหรับ $r_{23}$ สามารถแยกออกได้เป็น 2 ส่วน ดังนี้

1. ผลกระทบทางตรงของ 2 ต่อ 3 และ

2. ความสัมพันธ์เก้ (spurious) เป็นความสัมพันธ์ที่เกิดจาก 2 และ 3 มีสาเหตุร่วมกัน (share a common cause) คือมีสาเหตุจาก 1 ร่วมกัน ส่วนของความสัมพันธ์เก้ แสดงโดย $p_{31}\ p_{21}$ หรือ $r_{23} - p_{32}$




**แผนภูมิที่ 6 รูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลที่ตัวแปรสาเหตุเป็นอิสระจากกัน**

จากแผนภูมิที่ 6 แสดงถึงรูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลที่ตัวแปรสาเหตุ เป็นอิสระจากกัน ในกรณีนี้ ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสาเหตุและตัวแปรผลเป็นความสัมพันธ์ อันเนื่องมาจากผลกระทบทางตรงของตัวแปรสาเหตุต่อตัวแปรผลเพียงอย่างเดียวเท่านั้นนั่นคือ $r_{13}$ จึงเป็นความสัมพันธ์อันเนื่องจากผลกระทบทางตรงของ 1 ต่อ 3 ซึ่งแสดงโดย $p_{31}$ และ $r_{23}$ เป็นความสัมพันธ์อันเนื่องมาจากผลกระทบทางตรงของ 2 ต่อ 3 ซึ่งแสดงโดย $p_{32}$

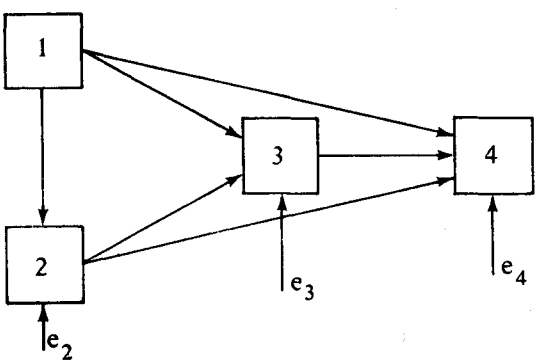
จากตัวอย่างการแยกส่วนของความสัมพันธ์ในแผนภูมิที่ 4–6 จะพบว่า ค่าสหสัมพันธ์สามารถจะแยกส่วนออกได้เป็น 4 องค์ประกอบคือ

1. ผลกระทบทางตรง (Direct Effect = DE)
2. ผลกระทบทางอ้อม (Indirect Effect = IE)
3. ส่วนที่ยังไม่ได้วิเคราะห์ (Unanalyzed = U) อันเกิดจากความสัมพันธ์แบบไม่มีทิศทางของตัวแปรสาเหตุ
4. ความสัมพันธ์เก๊ (Spurious = S) อันเกิดจากการมีสาเหตุร่วมกัน

และผลรวมของผลกระทบทางตรงกับผลกระทบทางอ้อม คือ ค่าสัมประสิทธิ์ผลกระทบหรือผลกระทบรวม นอกจากนี้จากตัวอย่างข้างต้นจะพบว่าค่าสหสัมพันธ์บางค่าไม่ได้ประกอบด้วยองค์ประกอบทั้ง 4

## พื้นฐานของการแยกส่วนของความสัมพันธ์และการคำนวณเมตริกสหสัมพันธ์จากค่าสัมประสิทธิ์เส้นทาง

เพื่อให้ผู้อ่านได้มีความเข้าใจถึงพื้นฐานความเป็นมาของผลกระทบทางตรง (DE) ผลกระทบทางอ้อม (IE) ส่วนที่ยังไม่ได้วิเคราะห์ (U) และความสัมพันธ์เก๊ (S) และการคำนวณเมตริกสหสัมพันธ์จากค่าสัมประสิทธิ์เส้นทางอันเป็นพื้นฐานของการทดสอบรูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผล จึงขอให้แผนภูมิที่ 7 เป็นแนวทางการอธิบาย ดังนี้




แผนภูมิที่ 7 รูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลที่มี 4 ตัวแปร

สมการโครงสร้าง (structural equation) สำหรับรูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผล ตามแผนภูมิที่ 7 เป็นดังนี้

$$z_1 = e_1 \quad \ldots\ldots (1)$$

$$z_2 = p_{21} z_1 + e_2 \quad \ldots\ldots (2)$$

$$z_3 = p_{31} z_1 + p_{32} z_2 + e_3 \quad \ldots\ldots (3)$$

$$z_4 = p_{41} z_1 + p_{42} z_2 + p_{43} z_3 + e_4 \quad \ldots\ldots (4)$$

ต่อไปนี้จะแสดงการแก้สมการเพื่อแยกส่วนความสัมพันธ์ และการคำนวณค่า r จากค่า p

$$r_{12} = \frac{1}{N} \Sigma z_1 z_2$$

แทนค่า $z_2$

$$r_{12} = \frac{1}{N} \Sigma z_1 (p_{21} z_1 + e_2)$$

$$= p_{12} \frac{z_1 z_1}{N} + \frac{z_1 e_2}{N}$$

$\therefore \frac{z_1 z_1}{N} = \frac{z_1^2}{N} = 1$ และ covariance ระหว่างตัวแปรที่ 1 กับ $e_2$ เท่ากับ 0 (ตามข้อตกลงเบื้องต้นข้อ 2)

$$\therefore r_{12} = p_{21} \quad \ldots\ldots (1a)$$

$$r_{13} = \frac{1}{N} \Sigma z_1 z_3$$

แทนค่า $z_3$

$$r_{13} = \frac{1}{N} \Sigma z_1 (p_{31} z_1 + p_{32} z_2 + e_3)$$

$$= p_{31} \frac{\Sigma z_1^2}{N} + p_{32} \frac{\Sigma z_1 z_2}{N} + \Sigma z_1 e_3$$

$$\therefore r_{13} = p_{31} + p_{32} r_{12} \quad \ldots\ldots (2a)$$

ถ้าหากแก้สมการดังตัวอย่างต่อไป ก็จะได้

$r_{23} = p_{31} r_{12} + p_{32}$ ..... (3a)

$r_{14} = p_{41} + p_{42} r_{12} + p_{43} r_{13}$ ..... (4a)

$r_{24} = p_{41} r_{12} + p_{42} + p_{43} r_{23}$ ..... (5a)

$r_{34} = p_{41} r_{13} + p_{42} r_{23} + p_{43}$ ..... (6a)

ส่วนประกอบของความสัมพันธ์จากสมการ 1a – 6a และการคำนวณค่า r จากค่า p จึงปรากฏดังนี้

1. $r_{12} = p_{21}$

DE

นอกจากตัวแปร $e_2$ แล้ว ตัวแปรที่ 2 ได้รับผลกระทบจากตัวแปรที่ 1 เท่านั้น ดังนั้น $r_{12}$ จึงเป็นผลมาจากผลกระทบทางตรง (DE) ของตัวแปรที่ 1 ต่อตัวแปรที่ 2 และเมื่อแทนค่า $p_{21}$ ลงไปในสมการ 1a ค่า $r_{12}$ ซึ่งแทนค่าโดย $p_{21}$ จึงเป็นค่า $r_{12}$ ใหม่ที่คำนวณมาจากค่า p

2. $r_{13} = p_{31} + p_{32} p_{21}$ (แทนค่า $r_{12}$ ด้วย $p_{21}$ ในสมการ 2a $\therefore r_{12} = p_{21}$)

DE IE

จากข้อ 2 จะเห็นว่า $r_{13}$ ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ผลกระทบทางตรงของ 1 ต่อ 3 ซึ่งแสดงโดย $p_{31}$ และผลกระทบทางอ้อมของ 1 ต่อ 3 โดยผ่านทาง 2 ซึ่งแสดงโดย $p_{32} p_{21}$ และถ้าแทนค่า p ทุกค่าลงในข้อ 2 ก็จะได้ค่า $r_{13}$ ใหม่ที่คำนวณมาจากค่า p

3. $r_{23} = p_{31} p_{21} + p_{32}$ (แทนค่า $r_{12}$ ด้วย $p_{21}$ ในสมการ 3a $\therefore r_{12} = p_{21}$)

จากข้อ 3 จะเห็นว่า $r_{23}$ ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ผลกระทบทางตรงของ 2 ต่อ 3 ซึ่งแสดงโดย $p_{32}$ และส่วนของความสัมพันธ์ (spurious) ซึ่งแสดงโดย $p_{31} p_{21}$ และถ้าแทนค่าทุกค่าลงในข้อ 3 ก็จะได้ค่า $r_{23}$ ใหม่ที่คำนวณมาจากค่า p

สำหรับสมการที่เหลือ การแยกส่วนความสัมพันธ์ก็ดำเนินการในทำนองเดียวกับข้อ 1, 2 และ 3

โดยหลักการพื้นฐานแล้ว ความสามารถในการคำนวณเมตริกสหสัมพันธ์จากค่าสัมประสิทธิ์เส้นทางเป็นคุณสมบัติพื้นฐานที่สำคัญของหลักการทดสอบรูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผล และเนื่องจากเป็นวิธีการที่ยุ่งยากจึงไม่ได้เสนอรายละเอียดของการทดสอบรูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลโดยวิธีการดังกล่าวไว้ในบทความนี้ (บทความนี้ได้เสนอวิธีการที่ง่ายกว่าไว้แล้วในตอนต้น)

เนื่องจากการแยกส่วนของความสัมพันธ์ตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นเป็นวิธีการที่ยุ่งยาก ซึ่งถ้าหากรูปแบบความสัมพันธ์มีความสลับซับซ้อนมากขึ้น การแยกส่วนของความสัมพันธ์ก็ยิ่งจะมีความยุ่งยากมากขึ้น และโอกาสที่จะผิดพลาดก็จะมีมากขึ้นด้วย ดังนั้นนักวิจัยหลายคนจึงได้พยายามคิดวิธีการแยกส่วนของความสัมพันธ์ที่สามารถจะใช้ได้สะดวกกับการคำนวณโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ ในบทความนี้จะเสนอการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ผลกระทบ และค่าผลกระทบทางอ้อมโดยใช้คอมพิวเตอร์โปแกรม SAS ตามวิธีการของ Fox (1980) ซึ่งผู้เขียนได้เคยใช้มาแล้ว และเห็นว่าสามารถใช้ได้ง่ายและได้ผลดี

ส่วนประกอบของความสัมพันธ์ที่มีคุณค่าต่อการแปลความหมายและการอธิบายปรากฏการณ์ตามธรรมชาติคือ ผลกระทบทางตรง ผลกระทบทางอ้อม และค่าสัมประสิทธิ์ผลกระทบ สำหรับส่วนที่ยังไม่ได้วิเคราะห์ (unanalyzed) และส่วนของความสัมพันธ์เก๊ (spurious) นั้น เป็นส่วนของความสัมพันธ์ที่ยังไม่มีวิธีการแปลความหมายดังได้กล่าวมาแล้ว ดังนั้นบทความนี้จึงเสนอวิธีการแยกส่วนของความสัมพันธ์โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์เฉพาะการคำนวณค่าผลกระทบทางตรง ผลกระทบทางอ้อมและค่าสัมประสิทธิ์ผลกระทบเท่านั้น

## วิธีการคำนวณค่าผลกระทบทางตรง ผลกระทบทางอ้อม และค่าสัมประสิทธิ์ผลกระทบโดยเครื่องคอมพิวเตอร์

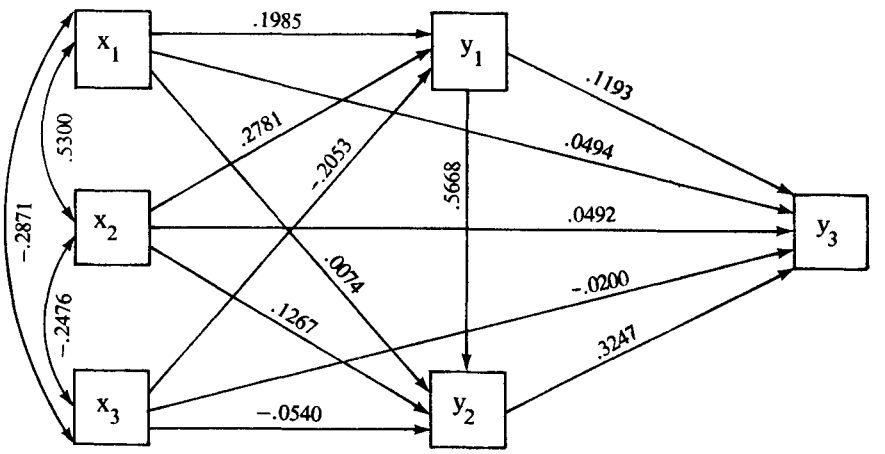
การใช้เครื่องคอมพิวเตอร์คำนวณค่าผลกระทบทางตรง ($p_{ji}$) ได้กล่าวในรายละเอียดไว้แล้วในข้อ 2.2.2 จึงไม่ขอกล่าวซ้ำอีก

การคำนวณค่าผลกระทบทางอ้อม และค่าสัมประสิทธิ์ผลกระทบโดยคอมพิวเตอร์โปรแกรม SAS นั้น ผู้วิจัยจะต้องหาค่าผลกระทบทางตรงของเส้นทางทุกเส้นทางที่ปรากฏในรูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลที่ตกแต่งแล้วตามวิธีการในข้อ 2.2.2 ก่อน จากนั้นจึงนำค่าผลกระทบทางตรงของเส้นทางทั้งหมดมาเขียนเป็นเมตริก 2 เมตริก คือ

1. เมตริกผลกระทบทางตรงของตัวแปรภายนอกต่อตัวแปรภายใน โดยให้ชื่อว่า $D_{yx}$

2. เมตริกผลกระทบทางตรงของตัวแปรภายในต่อตัวแปรภายใน โดยให้ชื่อว่า $D_{yy}$

เพื่อให้เข้าใจง่ายขึ้นจึงขอยกตัวอย่างประกอบโดยใช้ตัวอย่างตาม Pedhazur (1982 : 612) ดังนี้




**แผนภูมิที่ 8**

รูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลตามแผนภูมิที่ 8 สามารถเขียนเมตริก $D_{yx}$ และ $D_{yy}$ ได้ดังนี้

$$D_{yx} = \begin{bmatrix} y_1x_1 & y_1x_2 & y_1x_3 \\ y_2x_1 & y_2x_2 & y_2x_3 \\ y_3x_1 & y_3x_2 & y_3x_3 \end{bmatrix}$$

$$D_{yy} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ y_2y_1 & 0 & 0 \\ y_3y_1 & y_3y_2 & 0 \end{bmatrix}$$

ในการคำนวณจริง ให้เอาค่าสัมประสิทธิ์เส้นทาง ($p_{ji}$) ที่ได้คำนวณไว้ก่อนแล้วแทนค่าลงไปในเตริก $D_{yx}$ และ $D_{yy}$ ดังนี้ $y_1x_1$ คือค่าสัมประสิทธิ์เส้นทางจาก $x_1$ ไปสู่ $y_1$, $y_1x_2$ คือค่าสัมประสิทธิ์เส้นทางจาก $x_2$ ไปสู่ $y_1$ และเส้นทางอื่น ๆ ก็แทนค่าในทำนองเดียวกัน

ตามรูปแบบในแผนภูมิที่ 8 $D_{yx}$ และ $D_{yy}$ ที่แทนค่าแล้ว จะเป็นดังนี้

$$D_{yx} = \begin{bmatrix} .1985 & .2781 & -.2053 \\ .0074 & .1267 & -.0540 \\ .0494 & .0492 & -.0200 \end{bmatrix}$$

$$D_{yy} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ .5668 & 0 & 0 \\ .1193 & .3247 & 0 \end{bmatrix}$$

จากนั้นนำค่า จาก $D_{yx}$ และ $D_{yy}$ ไปเขียนใน Control Cards ดังนี้

```
/INC OSJE
SYSTEM='OS'
//ZAAC2222 JOB MSGCLASS=M, CLASS=I, MSGLEVEL=(2,0)
//        EXEC SAS
//SAS.FT11F001 DD SYSOUT=M
//SAS.FT12F001 DD SYSOUT=M
//SYSIN DD*
PROC MATRIX PRINT;
DYX=.1985 .2781 -.2053/ .0074 .1267 -.0540/.0494 .0492 -.0200;
DYY=0 0 0 / .5668 0 0 / .1193 .3247 0;
I    =1 0 0/0 1 0/0 0 1;
C    =-DYX;
B    =I-DYY;
EYX=-INV (B)* C;
IYX =EYX-DYX;
EYY=INV (B)-I;
IYY =EYY-DYY;
/*
//
```

Output จากคำสั่งคอมพิวเตอร์ข้างต้น จะเป็นตารางสำคัญ 4 ตาราง ดังนี้

Output

| EYX | COL 1 | COL 2 | COL 3 |
|---|---|---|---|
| ROW 1 | .1985 | .2781 | −.2503 |
| ROW 2 | .1199 | .2843 | −.1704 |
| ROW 3 | .1120 | .1747 | −.0998 |

เมตริกข้างบน (EYX) แสดงค่าสัมประสิทธิ์ผลกระทบของตัวแปรภายนอกต่อตัวแปรภายใน แถวแรกแสดงค่าสัมประสิทธิ์ผลกระทบของ $x_1$, $x_2$ และ $x_3$ ต่อ $y_1$ แถวที่สองแสดงค่าสัมประสิทธิ์ผลกระทบของ $x_1$, $x_2$ และ $x_3$ ต่อ $y_2$ แถวที่สามแสดงค่าสัมประสิทธิ์ผลกระทบของ $x_1$, $x_2$ และ $x_3$ ต่อ $y_3$ เช่น .1120 คือค่าสัมประสิทธิ์ผลกระทบของ $x_1$ ต่อ $y_3$

Output

| IYX | COL 1 | COL 2 | COL 3 |
|---|---|---|---|
| ROW 1 | 0 | 0 | 0 |
| ROW 2 | .1125 | .1576 | −.1164 |
| ROW 3 | .0626 | .1255 | −.0798 |

เมตริกข้างบน (IYX) แสดงค่าผลกระทบทางอ้อมของตัวแปรภายนอกต่อตัวแปรภายใน แถวแรกแสดงค่าผลกระทบทางอ้อมของ $x_1$, $x_2$ และ $x_3$ ต่อ $y_1$ แถวที่สองแสดงค่าผลกระทบทางอ้อมของ $x_1$, $x_2$ และ $x_3$ ต่อ $y_2$ และแถวที่สามแสดงค่าผลกระทบทางอ้อมของ $x_1$, $x_2$ และ $x_3$ ต่อ $y_3$ เช่น −.0798 คือ ค่าผลกระทบทางอ้อมของ $x_3$ ต่อ $y_3$

Output

| EYY | COL 1 | COL 2 | COL 3 |
|---|---|---|---|
| ROW 1 | 0 | 0 | 0 |
| ROW 2 | .5668 | 0 | 0 |
| ROW 3 | .3033 | .3247 | 0 |

เมตริกดังกล่าว (EYY) แสดงค่าสัมประสิทธิ์ผลกระทบของตัวแปรภายในต่อตัวแปรภายใน เช่น .3033 คือค่าสัมประสิทธิ์ผลกระทบของ $y_1$ ต่อ $y_3$

Output

| IYY | COL 1 | COL 2 | COL 3 |
|---|---|---|---|
| ROW 1 | 0 | 0 | 0 |
| ROW 2 | 0 | 0 | 0 |
| ROW 3 | .1840 | 0 | 0 |

เมตริกข้างบน (IYY) แสดงค่าผลกระทบทางอ้อมของตัวแปรภายในต่อตัวแปรภายใน เช่น .1840 คือค่าผลกระทบทางอ้อมของ $y_1$ ต่อ $y_3$

## สรุป

กระบวนการวิเคราะห์เส้นทางจะเริ่มต้นด้วยการสร้างรูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุและผลตามสมมติฐาน จากนั้นจะเป็นการทดสอบรูปแบบความสัมพันธ์ตามสมมติฐาน การตกแต่งรูปแบบความสัมพันธ์ การทดสอบรูปแบบความสัมพันธ์ที่ตกแต่งใหม่ และขั้นสุดท้ายจะเป็นการแยกส่วนของความสัมพันธ์ คอมพิวเตอร์โปรแกรม SPSSX และโปรแกรม SAS สำหรับการคำนวณค่าสถิติที่จำเป็นสำหรับการทดสอบ การคำนวณผลกระทบทางตรง ผลกระทบทางอ้อม และค่าสัมประสิทธิ์ผลกระทบ มีบริการที่สถาบันคอมพิวเตอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บรรณานุกรม

ธีรพงศ์ แก่นอินทร์. "รูปแบบความสัมพันธ์เชิงสาเหตุของตัวแปรบางตัวกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาภาษาอังกฤษของนักเรียนระดับมัธยมศึกษาตอนต้น" วิทยานิพนธ์ปริญญาครุศาสตรดุษฎีบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2532.

ประชัย เปี่ยมสมบูรณ์. *การวิเคราะห์เส้นโยงทางสังคมและพฤติกรรมศาสตร์*. กรุงเทพมหานคร : O.S. Printing House Co., Ltd., 2527.

สุชาติ ประสิทธิ์รัฐสินธุ์ และลัดดาวัลย์ รอดมณี. *เทคนิคการวิเคราะห์ตัวแปรหลายตัวสำหรับการวิจัยทางสังคมศาสตร์*. กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัดภาพพิมพ์, 2527.

สำเริง บุญเรืองรัตน์. *เทคนิคการวิเคราะห์ตัวแปรพหุคูณ*. กรุงเทพมหานคร : บริษัทศึกษาพร จำกัด, 2526.

Alwin, D.F. and Robert M. Hauser. "The Decomposition of Effects in Path Analysis." *American Sociological Review* 40 (February : 37-47) 1975.

Blalock, H.M. Jr. *Causal Inferences in Non-experimental Research*. Chapel Hill, North Carolina : University of North Carolina Press, 1964.

Duncan, O.D. *Introduction to Structural Equation Models*. New York : Academic Press Erlanger, H.S., and Winsborough, H.H. 1975.

Fox, J. "Effect Analysis in Structural Equation Models." *Sociological Methods and Research*. 9, 3-28., 1980.

Heise, D.R. *Causal Analysis*. New York : Wiley, 1975.

Kerlinger, F.N. and Pedhazur, E.J. *Multiple Regression in Behavioral Research*. New York : Holt, Rinehart, and Winston, 1973.

Pedhazur, E.J. *Multiple Regression in Behavioral Research*. New York : Holt, Rinehart and Winston, 1982.

Specht, D.A. "On the Evaluation of Causal Models" *Social Science Research*., 4, 113-133, 1975.