

การวิเคราะห์ข้อมูลตามทฤษฎีการสรุปอ้างอิงความน่าเชื่อถือของผลการวัด: การประยุกต์ใช้คอมไพเลอร์ออนไลน์

Data analysis in Generalizability Theory: An Application of Online R Compiler

ชยุตม์ มุทวงศ์^{1*}, จุฑาทิพย์ เงินบำรุง¹, พิษชานันท์ มหันตภาส¹, พิสิษฐ บรรจง¹ และ ณภัทร ชัยมงคล²
Chayut Mutuwong^{1*}, Jutathip Ngoenbamrung¹, Pitchanan Mahantagasi¹, Pisit Banchong¹
and Nhabhat Chaimongkol²

(Received: May 2, 2023; Revised: June 5, 2023; Accepted: June 8, 2023)

บทคัดย่อ

ทฤษฎีการสรุปอ้างอิงความน่าเชื่อถือของผลการวัด (Generalizability Theory: G-Theory) เป็นทฤษฎีที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของผลการวัดในสถานการณ์ของการวัดผลลักษณะต่าง ๆ ที่เป็นเป้าหมายของการนำเครื่องมือไปใช้การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของผลการวัดโดยทฤษฎีดังกล่าวสามารถตัดสินความน่าเชื่อถือของผลการวัดได้ 2 ลักษณะ คือ ความน่าเชื่อถือของคะแนนในการนำผลไปใช้เชิงสัมพัทธ์ (relative) เพื่อแปลผลเปรียบเทียบระหว่างบุคคล และความน่าเชื่อถือของคะแนนในการนำผลไปใช้เชิงสัมบูรณ์ (absolute) เพื่อแปลผลเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน ผ่านการศึกษา Generalizability Study (G-Study) และ Decision Study (D-Study) โดยโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์ทั่วไปเป็นการวิเคราะห์แบบออฟไลน์ซึ่งต้องติดตั้งโปรแกรมบนเครื่องคอมพิวเตอร์ให้เรียบร้อยก่อนดำเนินการวิเคราะห์ บทความนี้จึงได้นำเสนอการวิเคราะห์แบบออนไลน์ด้วยการประยุกต์ใช้คอมไพเลอร์ออนไลน์ผ่าน Posit Cloud โดยรายละเอียดในการวิเคราะห์ครอบคลุมคำสั่งพื้นฐานและแนวทางการเขียนรายงานผลการวิเคราะห์ข้อมูลซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์ที่เกี่ยวข้องกับการวัดและประเมินผลทางการศึกษา การประเมินทักษะการปฏิบัติ หรือการประเมินด้านอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

คำสำคัญ: ทฤษฎีการสรุปอ้างอิงความน่าเชื่อถือของผลการวัด คอมไพเลอร์ออนไลน์

¹ นิสิตระดับปริญญาโท ภาควิชาวิจัยและจิตวิทยาการศึกษา คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

² อาจารย์ ภาควิชาวิจัยและจิตวิทยาการศึกษา คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

¹ Master's degree student, Department of Educational Research and Psychology, Faculty of Education, Chulalongkorn University

² Lecture, Department of Educational Research and Psychology, Faculty of Education, Chulalongkorn University

* Corresponding Author E-mail: chayutmutuwong71@gmail.com

Abstract

Generalizability Theory, also known as G-Theory, is a theory used to analyze the reliability of measurement results in various measurement scenarios. It aims to assess the trustworthiness of measurement outcomes when using instruments to evaluate their reliability. The theory can determine the reliability of measurement results in two ways: the relative trustworthiness of scores for making comparative interpretations among individuals, and the absolute trustworthiness of scores by comparing them against standard criteria through G-Study and D-Study. Typically, the analysis is performed offline using specialized software installed on a computer. Therefore, this article presents an online analysis approach using the Posit Cloud application, an online R compiler. It covers the basics of analysis commands and guidelines for reporting analysis results, which can be helpful for analyzing educational measurement and evaluation outcomes, assessing performance skills, or other related assessments.

Keywords: Generalizability Theory, Online R Compiler

บทนำ

Cronbach et al. (1972) ได้เสนอทฤษฎีการสรุปอ้างอิงความน่าเชื่อถือของผลการวัด (Generalizability Theory: G-Theory) เป็นโมเดลของการศึกษาวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของผลการวัดหรือความเที่ยงในสถานการณ์หรือเงื่อนไขต่างๆ ของการวัด ทำให้ทราบและสามารถควบคุมแหล่งความคลาดเคลื่อนได้ตรงประเด็น เพื่อให้ผลการวัดมีความน่าเชื่อถือหรือมีความเที่ยงสูงถึงระดับที่ต้องการ เนื่องจากข้อจำกัดของทฤษฎีการทดสอบแบบดั้งเดิมที่ไม่สามารถศึกษารายละเอียดของแหล่งความคลาดเคลื่อนของการวัดในสถานการณ์หรือเงื่อนไขการวัดต่างๆ ได้ นอกจากนี้ทฤษฎีการสรุปอ้างอิงยังเป็นทฤษฎีทางด้านการวัดผลของการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของผลการวัดในสถานการณ์ลักษณะต่างๆ ที่เป็นเป้าหมายของการนำเครื่องมือไปใช้ ความน่าเชื่อถือของผลการวัด หมายถึง ความถูกต้องของการสรุปอ้างอิง (generalization) จากคะแนนที่สังเกตได้ไปยังคะแนนจริงของบุคคล โดยคะแนนจริงเป็นคะแนนเฉลี่ยที่พึงได้ของผู้สอบแต่ละคน จากการสอบภายใต้สถานการณ์หรือเงื่อนไขการวัดที่ยอมรับได้ทั้งหมด และได้เสนอวิธีวิเคราะห์ค่าสัมพัทธ์ของความแปรปรวนของคะแนนความคลาดเคลื่อนอย่างเป็นระบบจากแหล่งต่างๆ เช่น ความยาวของแบบสอบ ชุดของแบบสอบ จำนวนครั้งของการทดสอบ จำนวนผู้ตรวจ เป็นต้น รวมทั้งปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้สอบกับเงื่อนไขของการวัด เช่น ปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้สอบกับชุดของแบบสอบ ผู้สอบกับครั้งของการทดสอบ เป็นต้น จึงทำให้ทราบและสามารถควบคุมแหล่งความคลาดเคลื่อนได้ตรงประเด็น (Kanjawasee, 2020)

การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของผลการวัดโดยใช้ G-Theory ทำให้สามารถตัดสินความน่าเชื่อถือของผลการวัดได้ 2 ลักษณะ ได้แก่ ความน่าเชื่อถือของคะแนนในการนำผลไปใช้เชิงสัมพัทธ์ (relative) เพื่อแปลผลเปรียบเทียบระหว่างบุคคล และความน่าเชื่อถือของคะแนนในการนำผลไปใช้ในเชิงสัมบูรณ์ (absolute) เพื่อแปลผลเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน (Kanjanaawasee, 2020)

นอกจากนี้การประมาณค่าสัมประสิทธิ์การสุร่ออ้างอิงสำหรับการออกแบบการวัดมีหลายกรณี เช่น ฟาเซตเดียว สองฟาเซต และสามฟาเซต ซึ่งในบทความนี้นำเสนอการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การสุร่ออ้างอิงแบบสองฟาเซตที่มีการออกแบบการวัดทั้ง Cross Design และ Nested Design ซึ่งการนำเสนอแบบสองฟาเซตจะทำให้ผู้อ่านเข้าใจมากขึ้น ในกรณีฟาเซตเดียวและสามฟาเซตสามารถประยุกต์ใช้แนวทางและคำสั่งการวิเคราะห์ได้จาก Shavelson & Webb (1991) สำหรับการวิเคราะห์แบบสองฟาเซตมีรายละเอียดดังนี้ (Brennan, 1992; Kanjanaawasee, 2020)

1. การออกแบบ Two-Facet Crossed Design ($P \times L \times R$)

การศึกษา G-Study เป็นการศึกษาเชิงสุร่ออ้างอิงด้วยการออกแบบและวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนจริงและความแปรปรวนของคะแนนความคลาดเคลื่อนจากแหล่งต่างๆ ที่น่าสนใจ นักวัดผลทำการสุ่มตัวอย่างผู้เรียน P คน เพื่อให้ทำการทดลอง L การทดลอง และผู้ประเมินจำนวน R คน ในขณะที่การศึกษา D-Study เป็นการศึกษาเชิงตัดสินใจเลือกใช้การทดลองในสถานการณ์ที่สนใจ โดยกำหนดสถานการณ์ที่สนใจแล้วคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความน่าเชื่อถือของคะแนน (G-Coefficient) เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์และตัดสินใจเลือกสถานการณ์ที่เหมาะสม เมื่อนำไปใช้แล้วจะทำให้ได้คะแนนที่มีความน่าเชื่อถือถึงระดับที่ต้องการ

2. การออกแบบ Two-Facet Nested Design $P \times (L:R)$

การศึกษา G-Study เป็นการศึกษาเชิงสุร่ออ้างอิงด้วยการออกแบบและวิเคราะห์ความแปรปรวนของคะแนนจริงและความแปรปรวนของคะแนนความคลาดเคลื่อนจากแหล่งต่างๆ ที่น่าสนใจ นักวัดผลทำการสุ่มตัวอย่างผู้เรียน P คน เพื่อให้ทำการทดลอง L การทดลอง และผู้ประเมินจำนวน R คน ซึ่งแต่ละครั้งใช้ผู้ประเมินที่แตกต่างกัน ในขณะการศึกษา D-Study เป็นการศึกษาเชิงตัดสินใจเลือกใช้การทดลองในสถานการณ์ที่สนใจ โดยกำหนดสถานการณ์ที่สนใจแล้วคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความน่าเชื่อถือของคะแนน (G-Coefficient) เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์และตัดสินใจเลือกสถานการณ์ที่เหมาะสม เมื่อนำไปใช้แล้วจะทำให้ได้คะแนนที่มีความน่าเชื่อถือถึงระดับที่ต้องการ ข้อมูลที่ได้จากการ $P \times L \times R$ design สามารถนำข้อมูลชุดเดียวกันมาทำการวิเคราะห์สำหรับ $P \times (L:R)$ design ได้ การศึกษา G และ D องค์ประกอบความแปรปรวนและสูตรคำนวณสำหรับการออกแบบการศึกษา แสดงดังตาราง 1 และตาราง 2 (Brennan, 1992; Huebner & Lucht, 2019; Kanjanaawasee, 2020)

ตาราง 1 การศึกษา G และ D องค์ประกอบความแปรปรวนและสูตรคำนวณสำหรับการออกแบบการศึกษา

การออกแบบ	องค์ประกอบความแปรปรวน ของการศึกษา G	องค์ประกอบความแปรปรวนของการศึกษา D และสูตรคำนวณ
PXLXR	$\sigma^2(plr)$	$\sigma^2(pLR) = \sigma^2(plr)/n'_i n'_r$
	$\sigma^2(pl)$	$\sigma^2(pL) = \sigma^2(pl)/n'_i$
	$\sigma^2(pr)$	$\sigma^2(pR) = \sigma^2(pr)/n'_r$
	$\sigma^2(lr)$	$\sigma^2(LR) = \sigma^2(lr)/n'_i n'_r$
	$\sigma^2(p)$	$\sigma^2(p) = \sigma^2(p)$
	$\sigma^2(l)$	$\sigma^2(L) = \sigma^2(l)/n'_i$
	$\sigma^2(r)$	$\sigma^2(R) = \sigma^2(r)$
PX(L:R)	$\sigma^2(pl, plr)$	$\sigma^2(pL, PLR) = \sigma^2(pl, plr)/n'_i n'_r$
	$\sigma^2(l, lr)$	$\sigma^2(L, LR) = \sigma^2(l, lr)/n'_i n'_r$
	$\sigma^2(pr)$	$\sigma^2(pR) = \sigma^2(pr)/n'_r$
	$\sigma^2(p)$	$\sigma^2(p) = \sigma^2(p)$
	$\sigma^2(r)$	$\sigma^2(R) = \sigma^2(r)/n'_r$

ตาราง 2 การศึกษา D สูตรการคำนวณความแปรปรวนสัมพัทธ์ ($\sigma^2(\delta)$) และความแปรปรวนสัมบูรณ์ ($\sigma^2(\Delta)$)

การออกแบบ	error variance	สูตรคำนวณ
PXLXR	$\sigma^2(\delta)$	$\sigma^2(pL) + \sigma^2(pR) + \sigma^2(pLR)$
	$\sigma^2(\Delta)$	$\sigma^2(L) + \sigma^2(R) + \sigma^2(LR) + \sigma^2(pL) + \sigma^2(pR) + \sigma^2(pLR)$
PX(L:R)	$\sigma^2(\delta)$	$\sigma^2(pR) + \sigma^2(pL, pLR)$
	$\sigma^2(\Delta)$	$\sigma^2(R) + \sigma^2(L, LR) + \sigma^2(pR) + \sigma^2(pL, pLR)$

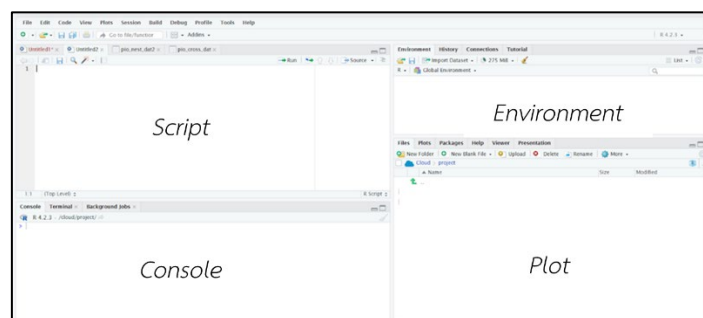
การศึกษา D ยังเกี่ยวข้องกับการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ความน่าเชื่อถือสองค่า ได้แก่ $E\hat{p}$, "generalizability coefficient" และ Φ , "index of dependability" มีสูตรการคำนวณดังนี้ (Huebner & Lucht, 2019)

$$E\hat{p}^2 = \frac{\sigma^2(\tau)}{\sigma^2(\tau) + \sigma^2(\delta)} \quad \Phi = \frac{\sigma^2(\tau)}{\sigma^2(\tau) + \sigma^2(\Delta)} \quad \text{เมื่อ } \sigma^2(\tau) = \sigma^2(p)$$

ทฤษฎีการสรุปอ้างอิงได้นำเสนอโมเดลของการศึกษาวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือหรือความเที่ยงของผลการวัด ทำให้ทราบและสามารถควบคุมแหล่งความคลาดเคลื่อนได้ตรงประเด็น เพื่อผลการวัดมีความเที่ยงสูงถึงในระดับที่ต้องการ ดังนั้น บทความนี้จึงนำเสนอการวิเคราะห์ข้อมูลตามทฤษฎีการสรุปอ้างอิงสำหรับการออกแบบ Cross Design และ Nested Design ผ่าน Posit Cloud

แนะนำโปรแกรม Posit Cloud

Posit Cloud¹ เป็นบริการบนเว็บไซต์ที่มีรูปแบบและลักษณะการทำงานที่คล้ายกับ Rstudio ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานสิ่งแวดล้อมการพัฒนาแบบเบ็ดเสร็จ (Integrated Development Environment: IDE) สำหรับผู้ใช้งานโปรแกรมอาร์และนักพัฒนา ด้วยเหตุนี้ Posit Cloud จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ข้อมูล มีจุดเด่นของโปรแกรม คือ สามารถวิเคราะห์ได้โดยไม่ต้องติดตั้งโปรแกรมเหมาะสำหรับอาจารย์หรือนักศึกษาในสถาบันการศึกษาที่ต้องการฝึกฝนการใช้งานโปรแกรมที่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลแบบออนไลน์ผ่านเว็บไซต์ได้ ส่วนข้อคำนึงในการใช้งาน คือ ควรมีระบบอินเทอร์เน็ตที่เสถียร ทั้งนี้การใช้งาน Posit Cloud มีรูปแบบและลักษณะการใช้งานเช่นเดียวกันกับโปรแกรม Rstudio (ดังภาพ 1) มีการแยกพื้นที่ในการใช้งานฟังก์ชันต่างๆ เช่น พื้นที่การเขียนคำสั่ง (Script) ส่วนแสดงผล (Console) ส่วนแสดงค่าหรือตัวแปร (Environment) และ ส่วนแสดงแผนภาพ (Plot) สำหรับบทความวิชาการฉบับนี้จะเป็นการสาธิตการวิเคราะห์ข้อมูลตามทฤษฎีการสรุปอ้างอิง สำหรับการออกแบบ Cross Design และ Nested Design ด้วยโปรแกรม Posit Cloud



ภาพ 1 พื้นที่การทำงานและรายละเอียดส่วนติดต่อกับผู้ใช้ของ Posit Cloud

บทความวิชาการนี้ใช้ความรู้พื้นฐานการใช้โปรแกรมอาร์มาประยุกต์ใช้ใน Posit Cloud เช่น การเตรียมชุดข้อมูล และการเขียนชุดคำสั่ง (syntax) ผู้ที่ยังไม่มีพื้นฐานการเขียนโปรแกรมอาร์สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จาก Chaimongkol & Kanjanawasee (2020) ซึ่งบทความนี้จะขอนำเสนอฟังก์ชันพื้นฐานที่จำเป็นในการวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ การติดตั้งแพ็คเกจด้วยฟังก์ชัน `install.packages()` การเรียกใช้แพ็คเกจด้วยฟังก์ชัน `library()` และเตรียมข้อมูลในการวิเคราะห์ตามทฤษฎีการสรุปอ้างอิง ดังนี้

```
#R01
install.packages("gtheory")
install.packages("lme4")
install.packages("Matrix")

#R02
library(gtheory)
library(lme4)
library(Matrix)
```

ภาพ 2 ฟังก์ชันติดตั้งแพ็คเกจ (#R01) และการเรียกใช้แพ็คเกจ (#R02)

¹ Posit Cloud สามารถเข้าถึงได้จาก <https://posit.cloud/>

1. การติดตั้งแพ็คเกจ (package installation) โดยการใช้ฟังก์ชัน `install.package()` และใส่ชื่อแพ็คเกจในเครื่องหมายอัฒภาค และเมื่อติดตั้งแพ็คเกจเรียบร้อยแล้วต้องเรียกใช้แพ็คเกจด้วยฟังก์ชัน `library()` โดยฟังก์ชันการติดตั้งและเรียกใช้แพ็คเกจ “gtheory” แสดงในส่วน #R01 และ #R02 ของภาพประกอบ 2 ตามลำดับ เมื่อติดตั้งแล้วจะต้องติดตั้งแพ็คเกจ “lme4” และ “Matrix” ดังนั้น เมื่อเรียกใช้แพ็คเกจ “gtheory” จึงต้องเรียกใช้อีกสองแพ็คเกจด้วยการทำงานจึงจะสมบูรณ์

2. การเตรียมและอัปโหลดข้อมูล (data preparation and upload) ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์จำเป็นต้องจัดกระทำข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่ Posit Cloud รองรับได้ นั่นคือ การจัดกระทำข้อมูลให้อยู่ในไฟล์ประเภท Comma Separated Value หรือนามสกุล .csv ซึ่งเป็นไฟล์สำหรับเก็บข้อมูลในรูปแบบตาราง โดยใช้เครื่องหมายจุลภาค (,) ในการแบ่งแต่ละคอลัมน์ ที่สามารถสร้างผ่านโปรแกรม Microsoft Excel เมื่อเตรียมไฟล์ .csv เรียบร้อยแล้วสามารถนำเข้าได้ โดยการอัปโหลดไปไว้ใน Cloud เพื่อนำเข้าข้อมูล ดังภาพ 3

	A	B	C	D
1	Person	Lab	Score	Rater
2	1	1	4	1
3	1	2	2	1
4	1	3	5	2
5	1	4	3	2
6	2	1	5	1
7	2	2	3	1
8	2	3	2	2

ภาพ 3 ตัวอย่างการเตรียมไฟล์ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ (ไฟล์นามสกุล .csv)

การวิเคราะห์สำหรับการออกแบบ Cross Design

1. การนำเข้าข้อมูล และการระบุโมเดลการวิเคราะห์

ในตัวอย่างนี้ชุดข้อมูลคะแนนการทดลองทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียนจำนวน 10 คน ที่ทำการทดลองทางวิทยาศาสตร์จำนวน 4 การทดลอง โดยมีผู้ประเมินจำนวน 2 คน แต่ละคนประเมินทุกการทดลอง มีรายละเอียดการวิเคราะห์ดังภาพ 4

```
#R02
library(gtheory)
library(lme4)
library(Matrix)

#R03
plr_cross_dat <- read.csv("Cross.csv", header = TRUE)
summary(aov(Score~Person*Lab*Rater, data = plr_cross_dat))
formula1 <- Score~(1|Person)+(1|Lab)+(1|Rater)+
  (1|Person:Lab)+(1|Person:Rater)+(1|Rater:Lab)
```

ภาพ 4 การเรียกใช้แพ็คเกจ (#R02) การนำเข้าข้อมูล และการระบุโมเดลการวิเคราะห์ (#R03)

#R02 เรียกแพ็คเกจ gtheory เพื่อใช้งาน โดยการเรียกแพ็คเกจ gtheory จะต้องติดตั้งและเรียกแพ็คเกจเสริม lme4 และ Matrix ขึ้นมาเพื่อใช้งานร่วมด้วย จึงจะทำให้การทำงานสมบูรณ์ โดยใช้ฟังก์ชัน `library()`

#R03 แสดงข้อมูลคะแนนจากไฟล์ที่ทำการอัปโหลดใน Cloud ประเภท .csv ชื่อไฟล์ว่า Cross.csv เก็บไว้ในตัวแปร plr_cross_dat โดยใช้ฟังก์ชัน read.csv จากนั้นเริ่มต้นด้วยการวิเคราะห์ ANOVA เพื่อกำหนด DF, SS และ MS โดยใช้ฟังก์ชัน summary() ผลการวิเคราะห์เป็นดังภาพประกอบ 5 แล้วระบุโมเดลการวิเคราะห์ Cross Design PXLxR โดยเก็บไว้ที่ตัวแปร formula1

```
> summary(aov(Score~Person*Lab*Rater, data = plr_cross_dat))
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
Person	1	15.92	15.917	8.725	0.00364 **	
Lab	1	0.00	0.000	0.000	1.00000	
Rater	1	0.90	0.900	0.493	0.48351	
Person:Lab	1	0.00	0.000	0.000	0.99277	
Person:Rater	1	0.63	0.632	0.347	0.55691	
Lab:Rater	1	5.45	5.445	2.985	0.08609 .	
Person:Lab:Rater	1	0.59	0.587	0.322	0.57125	
Residuals	152	277.29	1.824			

Signif. codes:	0	****	0.001 ***	0.01 **	0.05 .	0.1 ' ' 1

ภาพ 5 ผลการวิเคราะห์ ANOVA เพื่อกำหนด DF, SS และ MS

2. การศึกษา G และ การศึกษา D

ในการศึกษาคุณภาพของภาระงาน (task) ผู้ศึกษาต้องการทราบว่าสถานการณ์ของการใช้ภาระงานหรือเงื่อนไขการทดสอบที่สำคัญ 2 ปัจจัย ได้แก่ จำนวนการทดลอง (L) และจำนวนผู้ประเมิน (R) จะมีผลต่อความน่าเชื่อถือของผลการวัดเพียงใด จึงกำหนด G-Study และ D-Study สำหรับการออกแบบ Cross Design ดังภาพประกอบ 6

```
#R04
g1 <- gstudy(data = plr_cross_dat, formula1)
g1

#R05
d1 <- dstudy(g1, colname.objects = "Person",
             colname.scores = "Score", data = plr_cross_dat)
d1
```

ภาพ 6 การกำหนด G-Study และ D-Study สำหรับการออกแบบ Cross Design

#R04 ใช้ฟังก์ชัน gstudy() เพื่อระบุค่าประมาณของ variance component estimates และ percentage of total variation โดยบันทึกไว้ที่ตัวแปร g1 จากนั้นเรียกดูองค์ประกอบของ g1 ดังภาพ 7

#R05 ใช้ฟังก์ชัน dstudy() โดยใช้ข้อมูลจากตัวแปร g1 บันทึก col.name.objects เป็น Person colname.scores เป็น Score และ data จากตัวแปร plr_cross_dat โดยบันทึกไว้ที่ตัวแปร d1 จากนั้นเรียกดูองค์ประกอบของ d1 ดังภาพ 8

```
> g1
```

	source	var	percent	n
1	Person:Lab	9.098509e-10	0.0	1
2	Person:Rater	0.000000e+00	0.0	1
3	Person	4.351545e-01	22.7	1
4	Rater:Lab	3.919140e-02	2.0	1
5	Lab	0.000000e+00	0.0	1
6	Rater	0.000000e+00	0.0	1
7	Residual	1.441164e+00	75.2	1

ภาพ 7 องค์ประกอบของ g1

```
> d1
```

	source	var	percent	n	\$var.universe	\$dependability
1	Person:Lab	2.274627e-10	0.0	4	[1] 0.4351545	[1] 0.3569357
2	Person:Rater	0.000000e+00	0.0	2	\$generalizability	\$var.error.abs
3	Person	4.351545e-01	70.2	1	[1] 0.7072233	[1] 0.1850445
4	Rater:Lab	4.898924e-03	0.8	8	\$var.error.rel	\$sem.abs
5	Lab	0.000000e+00	0.0	4	[1] 0.1801455	[1] 0.430168
6	Rater	0.000000e+00	0.0	2	\$sem.rel	\$see.abs
7	Residual	1.801455e-01	29.0	8	[1] 0.4244356	[1] 0.3603249

ภาพ 8 องค์ประกอบของ d1

นอกจากนี้ คำสั่งที่ใช้ในการศึกษา D เพื่อกำหนดจำนวนการทดลอง และจำนวนผู้ประเมิน เป็นดังภาพประกอบ 9 ในกรณีนี้กำหนดให้จำนวนการทดลองเป็น 4 การทดลอง และจำนวนผู้ประเมินตั้งแต่ 1-5 คน

```
#R06
n1_L <- c(4,4,4,4,4)
n1_R <- c(1,3,4,5,6)

#R07
rel_err_var_1 <- g1$components[1,2]/n1_L +
  g1$components[2,2]/n1_R + g1$components[7,2]/(n1_L*n1_R)

#R08
abs_err_var_1 <- g1$components[5,2]/n1_L +
  g1$components[6,2]/n1_R + g1$components[4,2]/n1_L + rel_err_var_1

#R09
gen_coef_1 <- g1$components[3,2]/(g1$components[3,2] + rel_err_var_1)

#R10
dep_coef_1 <- g1$components[3,2]/(g1$components[3,2] + abs_err_var_1)

#R11
round(rel_err_var_1,2)
round(gen_coef_1,2)
round(abs_err_var_1,2)
round(dep_coef_1,2)
```

ภาพ 9 ชุดคำสั่งในการวิเคราะห์การศึกษา D

#R06 รวมข้อมูล (c) จำนวนการทดลอง (L) และจำนวนผู้ประเมิน (R) ทั้งหมดเก็บเป็นเวกเตอร์ ไว้ในตัวแปร n1_L และ n1_R ตามลำดับ

#R07 Relative error variance คำนวณได้จากสูตร $\sigma^2(\delta) = \sigma^2(pL) + \sigma^2(pR) + \sigma^2(pLR)$ โดยบันทึกไว้ในตัวแปร rel_err_var_1

#R08 Absolute error variance คำนวณได้จากสูตร $\sigma^2(\Delta) = \sigma^2(L) + \sigma^2(R) + \sigma^2(LR) + \sigma^2(pL) + \sigma^2(pR) + \sigma^2(pLR)$ หรือ $\sigma^2(\Delta) = \sigma^2(L) + \sigma^2(R) + \sigma^2(LR) + \text{rel_err_var_1}$ โดยบันทึกไว้ในตัวแปร abs_err_var_1

#R09 Generalizability coefficient คำนวณได้จากสูตร $E\hat{p}^2 = \frac{\sigma^2(\tau)}{\sigma^2(\tau) + \sigma^2(\delta)}$ เมื่อ $\sigma^2(\tau) = \sigma^2(p)$ โดยบันทึกไว้ในตัวแปร gen_coef_1

#R10 dependability coefficient คำนวณได้จากสูตร $\Phi = \frac{\sigma^2(\tau)}{\sigma^2(\tau) + \sigma^2(\Delta)}$ เมื่อ $\sigma^2(\tau) = \sigma^2(p)$ โดยบันทึกไว้ในตัวแปร dep_coef_1

#R11 ปิดเศษในตัวแปร round(rel_err_var_1,2), round(abs_err_var_1,2), round(gen_coef_1,2) และ round(dep_coef_1,2) ให้มีทศนิยมจำนวน 2 ตำแหน่ง โดยใช้ฟังก์ชัน round ผลการวิเคราะห์ D-study เป็นดังภาพประกอบ 10 (รายละเอียดการแปลผลการวิเคราะห์แสดงในส่วนการรายงานผลการวิเคราะห์ข้อมูลดังตาราง 4)

```
> round(rel_err_var_1,2)
[1] 0.36 0.12 0.09 0.07 0.06
> round(gen_coef_1,2)
[1] 0.55 0.78 0.83 0.86 0.88
> round(abs_err_var_1,2)
[1] 0.37 0.13 0.10 0.08 0.07
> round(dep_coef_1,2)
[1] 0.54 0.77 0.81 0.84 0.86
```

ภาพ 10 ผลการวิเคราะห์ D-study

การวิเคราะห์สำหรับการออกแบบ Nested Design

1. การนำเข้าข้อมูล และการระบุโมเดลการวิเคราะห์

ในตัวอย่างนี้ชุดข้อมูลคะแนนการทดลองทางวิทยาศาสตร์ของผู้เรียนจำนวน 10 คน ที่ปฏิบัติการทดลองทางวิทยาศาสตร์จำนวน 4 การทดลอง มีผู้ประเมินจำนวน 2 คน โดยผู้ประเมินคนที่ 1 ประเมินการทดลองที่ 1-2 และผู้ประเมินคนที่ 2 ประเมินการทดลองที่ 3-4 มีรายละเอียดการวิเคราะห์ดังภาพ 11

```
#R12
plr_nest_dat <- read.csv("Nested.csv", header = TRUE)
summary(aov(Score~Person*(Rater/Lab),data = plr_nest_dat))
formula2 <- Score~(1|Person)+(1|Person:Rater)+(1|Rater/Lab)
```

ภาพ 11 การนำเข้าข้อมูล และการระบุโมเดลการวิเคราะห์

#R12 แสดงข้อมูลคะแนนจากไฟล์ที่ทำการอัปโหลดใน Cloud ประเภท .csv ชื่อไฟล์ว่า Nested.csv เก็บไว้ในตัวแปร plr_nest_dat โดยใช้ฟังก์ชัน read.csv จากนั้นเริ่มต้นด้วยการวิเคราะห์ ANOVA เพื่อกำหนด DF, SS และ MS โดยใช้ฟังก์ชัน summary() ผลการวิเคราะห์เป็นดังภาพ 12 แล้วระบุโมเดลการวิเคราะห์ Nested Design Px(L:R) โดยเก็บไว้ที่ตัวแปร formula2

```
> summary(aov(Score~Person*(Rater/Lab),data = plr_nest_dat))
```

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
Person	1	2.03	2.0309	1.182	0.280
Rater	1	0.31	0.3125	0.182	0.671
Rater:Lab	1	0.72	0.7200	0.419	0.519
Person:Rater	1	0.53	0.5287	0.308	0.581
Person:Rater:Lab	1	0.74	0.7368	0.429	0.515
Residuals	74	127.16	1.7184		

ภาพ 12 ผลการวิเคราะห์ ANOVA เพื่อกำหนด DF, SS และ MS

2. การศึกษา G และ การศึกษา D

ในการศึกษาคุณภาพของภาระงาน (task) ผู้ศึกษาต้องการทราบว่าสถานการณ์ของการใช้ภาระงานหรือเงื่อนไขการทดสอบที่สำคัญ 2 ปัจจัย ได้แก่ จำนวนการทดลอง (L) และจำนวนผู้ประเมิน (R) ของ

การทดสอบเมื่อการทดลองแต่ละครั้งประเมินโดยผู้ประเมินแตกต่างกัน จะมีผลต่อความน่าเชื่อถือของผลการวัดเพียงใด จึงกำหนด G-Study และ D-Study สำหรับการออกแบบ Cross Design ดังภาพ 13

```
#R13
g2 <- gstudy(data = plr_nest_dat, formula2)
g2

#R14
d2 <- dstudy(g2,colname.objects = "Person",
             colname.scores = "Score",data = plr_nest_dat)
d2
```

ภาพ 13 การกำหนด G-Study และ D-Study สำหรับการออกแบบ Nested Design

#R13 ใช้ฟังก์ชัน gstudy() เพื่อระบุค่าประมาณของ variance component estimates และ percentage of total variation โดยบันทึกไว้ที่ตัวแปร g2 จากนั้นเรียกดูองค์ประกอบของ g2 ดังภาพ 14

#R14 ใช้ฟังก์ชัน dstudy() โดยใช้ข้อมูลจากตัวแปร g2 บันทึก col.name.objects เป็น Person colname.scores เป็น Score และ data จากตัวแปร plr_nest_dat โดยบันทึกไว้ที่ตัวแปร d2 จากนั้นเรียกดูองค์ประกอบของ d2 ดังภาพ 15

```
> g2
```

\$components				
	source	var	percent	n
1	Person:Rater	0.00000000	0.0	1
2	Person	0.29258884	17.4	1
3	Lab:Rater	0.01886415	1.1	1
4	Rater	0.00000000	0.0	1
5	Residual	1.36861083	81.5	1

ภาพ 14 องค์ประกอบของ g2

```
> d2
```

\$components					\$var.universe	\$ssee.rel
	source	var	percent	n	[1]	[1]
1	Person:Rater	0.00000000	0.0	2	0.2925888	0.3971371
2	Person	0.292588839	45.8	1		
3	Lab:Rater	0.004716038	0.7	4	\$generalizability	\$dependability
4	Rater	0.00000000	0.0	2	[1] 0.4609574	[1] 0.4575579
5	Residual	0.342152708	53.5	4	\$var.error.rel	\$var.error.abs
					[1] 0.3421527	[1] 0.5889556
					\$sem.rel	\$see.abs
					[1] 0.5849382	[1] 0.3983874

ภาพ 15 องค์ประกอบของ d2

นอกจากนี้ คำสั่งที่ใช้ในการศึกษา D เพื่อกำหนดจำนวนการทดลอง และจำนวนผู้ประเมินเป็นดังภาพประกอบ 16 ในกรณีนี้กำหนดให้จำนวนการทดลองเป็น 4 การทดลอง และจำนวนผู้ประเมินตั้งแต่ 3-4 คน

```
#R15
n2_L <- c(3,3,3,4,3)
n2_R <- c(1,3,2,3,4)

#R16
rel_err_var_2 <- g2$components[1,2]/(n2_R)+
  g2$components[5,2]/(n2_L*n2_R)

#R17
abs_err_var_2 <- g2$components[4,2]/(n2_R)+
  g2$components[3,2]/(n2_L*n2_R)+rel_err_var_2

#R18
gen_coef_2 <- g2$components[2,2]/(g2$components[2,2]+
  rel_err_var_2)

#R19
dep_coef_2 <- g2$components[2,2]/(g2$components[2,2]+
  abs_err_var_2)

#R20
round(rel_err_var_2,2)
round(abs_err_var_2,2)
round(gen_coef_2,2)
round(dep_coef_2,2)
```

ภาพ 16 ชุดคำสั่งในการวิเคราะห์การศึกษา D

#R15 รวมข้อมูล (c) จำนวนการทดลอง (L) และจำนวนผู้ประเมิน (R) ทั้งหมดเก็บเป็นเวกเตอร์ ไว้ในตัวแปร n2_L และ n2_R ตามลำดับ

#R16 Relative error variance คำนวณได้จากสูตร $\sigma^2(\delta) = \sigma^2(pR) + \sigma^2(pL, pLR)$ โดยบันทึกไว้ในตัวแปร rel_err_var_2

#R17 Absolute error variance คำนวณได้จากสูตร
 $\sigma^2(\Delta) = \sigma^2(R) + \sigma^2(L, LR) + \sigma^2(pR) + \sigma^2(pL, pLR)$
 หรือ $\sigma^2(\Delta) = \sigma^2(R) + \sigma^2(L, LR) + rel_err_var_2$ โดยบันทึกไว้ในตัวแปร abs_err_var_2

#R18 Generalizability coefficient คำนวณได้จากสูตร $E\hat{p}^2 = \frac{\sigma^2(\tau)}{\sigma^2(\tau) + \sigma^2(\delta)}$
 เมื่อ $\sigma^2(\tau) = \sigma^2(p)$ โดยบันทึกไว้ในตัวแปร gen_coef_2

#R19 dependability coefficient คำนวณได้จากสูตร $\Phi = \frac{\sigma^2(\tau)}{\sigma^2(\tau) + \sigma^2(\Delta)}$
 เมื่อ $\sigma^2(\tau) = \sigma^2(p)$ โดยบันทึกไว้ในตัวแปร dep_coef_2

#R20 ปิดเศษในตัวแปร round(rel_err_var_2,2), round(abs_err_var_2,2), round(gen_coef_2,2) และ round(dep_coef_2,2) ให้มีทศนิยมจำนวน 2 ตำแหน่ง โดยใช้ฟังก์ชัน round ผลการวิเคราะห์ D-study เป็นดังภาพ 17 (รายละเอียดการแปลผลการวิเคราะห์แสดงในส่วนการรายงานผลการวิเคราะห์ข้อมูล ดังตาราง 6)

```
> round(rel_err_var_2,2)
[1] 0.46 0.15 0.23 0.11 0.11
> round(abs_err_var_2,2)
[1] 0.46 0.15 0.23 0.12 0.12
> round(gen_coef_2,2)
[1] 0.39 0.66 0.56 0.72 0.72
> round(dep_coef_2,2)
[1] 0.39 0.65 0.56 0.72 0.72
```

ภาพ 17 ผลการวิเคราะห์ D-study

การรายงานผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลความแปรปรวนและองค์ประกอบความแปรปรวนในการศึกษา G สำหรับ
 การออกแบบ P X L X R

ตาราง 3 G Study สำหรับ P X L X R Design

Source of variance	Sum of Squares	df	Mean Square	Estimated variance components	Percentage of total variance
P	15.92	1	15.917	43.51545	22.7
L	0.00	1	0.000	0	0.0
R	0.90	1	0.900	0	0.0
PL	0.00	1	0.00	90.98509	0.0
PR	0.63	1	0.632	1	0.0
LR	5.45	1	5.445	391.9140	2.0
PLR,e	0.59	1	0.587	1.441164	75.2

จากตาราง 3 นำเสนอผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนขององค์ประกอบจากแหล่งความแปรปรวน 7 แหล่ง พบว่า ความแปรปรวนของปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้เรียน จำนวนการทดลอง และผู้ประเมิน ($\sigma_{PLR,e}^2$) มีค่ามาก คิดเป็นร้อยละ 75.2 นอกนั้นเป็นความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนจากแหล่งอื่นๆ จำนวน 6 แหล่ง ได้แก่ ความแปรปรวนของคะแนนจริง (σ_P^2) ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 22.7 ความแปรปรวนของปฏิสัมพันธ์ระหว่างจำนวนการทดลองและผู้ประเมิน (σ_{LR}^2) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงร้อยละ 2.0 รวมถึงความแปรปรวนของจำนวนการทดลอง (σ_L^2), ความแปรปรวนของผู้ประเมิน (σ_R^2), ความแปรปรวนของปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้เรียนกับจำนวนการทดลอง (σ_{PL}^2) และความแปรปรวนของปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้เรียนและผู้ประเมิน (σ_{PR}^2) มีค่าใกล้เคียงร้อยละ 0.0 เท่ากันตามลำดับ

จะเห็นได้ว่า ความแปรปรวนของจำนวนการทดลอง (σ_L^2), ความแปรปรวนของผู้ประเมิน (σ_R^2), ความแปรปรวนของปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้เรียนกับจำนวนการทดลอง (σ_{PL}^2) และความแปรปรวนของปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้เรียนและผู้ประเมิน (σ_{PR}^2) ทั้ง 3 มีค่าเข้าใกล้ร้อยละ 0 แสดงว่า ผู้ประเมินแต่ละคนให้คะแนนได้ไม่แตกต่างกัน ดังนั้น หากต้องการลดความคลาดเคลื่อนของการวัดในสถานการณ์ดังกล่าว ควรให้ความสำคัญกับจำนวนผู้ประเมินมากขึ้น นอกจากนี้ ความแปรปรวนของปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้เรียนจำนวนการทดลอง และผู้ประเมิน ($\sigma_{PLR,e}^2$) ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 75.2 แสดงให้เห็นว่า มีความคลาดเคลื่อนส่วนที่เหลือที่ไม่สามารถวัดได้ค่อนข้างมาก

ผลการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของผลการวัดการศึกษา D สำหรับการออกแบบ P X L X R เมื่อ R = 1-6 และ L = 4

ตาราง 4 D-Study สำหรับ P X L X R Design

	n'_L	4	4	4	4	4	4
	n'_R	2	1	3	4	5	6
Error variance	$\hat{\sigma}_\delta^2$	0.18	0.36	0.12	0.09	0.07	0.06
	$\hat{\sigma}_\Delta^2$	0.18	0.37	0.13	0.10	0.08	0.07
G - coefficient	ρ_δ^2	0.70	0.55	0.78	0.83	0.86	0.88
	ρ_Δ^2	0.70	0.54	0.77	0.81	0.84	0.86

จากผลการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของผลการวัดในตาราง 4 พบว่า มีค่าความเที่ยงสำหรับการตัดสินใจแบบอิงเกณฑ์หรือการตัดสินใจเชิงสัมบูรณ์ (ρ_Δ^2) ไม่ต่ำกว่า 0.7 ภายใต้อัตราการทดลอง (n'_L) 4 ครั้ง จะต้องใช้ผู้ประเมิน (n'_R) จำนวน 3 คนขึ้นไป และถ้ามีค่าความเที่ยงสำหรับการตัดสินใจแบบอิงกลุ่มหรือการตัดสินใจเชิงสัมพันธ์ (ρ_δ^2) ไม่ต่ำกว่า 0.8 ภายใต้อัตราการทดลอง (n'_L) 4 ครั้ง จะต้องใช้ผู้ประเมิน (n'_R) จำนวน 4 คนขึ้นไป

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลความแปรปรวนและองค์ประกอบความแปรปรวนในการศึกษา G สำหรับ การออกแบบ P X (L:R)

ตาราง 5 G Study สำหรับ P X L X R Design P X (L:R)

Source of variance	Sum of Squares	df	Mean Square	Estimated variance components	Percentage of total variance
P	2.03	1	2.0309	0.29258884	17.4
R	0.31	1	0.3125	0.00	0.0
L:R	0.72	1	0.7200	0.01886415	1.1
PR	0.53	1	0.5287	0.00	0.0
PL:R	0.74	1	0.7368	1.36861083	81.5

จากตาราง 5 นำเสนอผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนขององค์ประกอบจากแหล่งความแปรปรวน 5 แหล่ง พบว่า ความแปรปรวนของคะแนนจริง (σ_P^2) มีค่ามาก คิดเป็นร้อยละ 17.4 นอกนั้นเป็นความแปรปรวนของความคลาดเคลื่อนจากแหล่งอื่นๆ จำนวน 4 แหล่ง ได้แก่ ความแปรปรวนของผู้ประเมิน (σ_R^2) คิดเป็นร้อยละ 0.0 ความแปรปรวนของจำนวนการทดลองที่ตรวจให้คะแนนโดยผู้ประเมินที่แตกต่างกัน ($\sigma_{L:R}^2$) ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 1.1 ความแปรปรวนของปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้เรียนและผู้ประเมิน (σ_{PR}^2) ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 0.0 ความแปรปรวนของปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้เรียนและจำนวนการทดลองที่ตรวจให้คะแนนโดยผู้ประเมินที่แตกต่างกัน ($\sigma_{PL:R}^2$) ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 81.5

จะเห็นได้ว่า ไม่มีความแปรปรวนของผู้ประเมินมีค่าใกล้ร้อยละ 0 แสดงว่า ผู้ประเมินแต่ละคนให้คะแนนแตกต่างกัน ดังนั้น หากต้องการลดความคลาดเคลื่อนของการวัดในสถานการณ์ดังกล่าว ผู้จัดการทดสอบปฏิบัติการทดลองวิทยาศาสตร์ควรให้ความสำคัญกับจำนวนการทดลองมากกว่าจำนวนผู้ประเมิน นอกจากนี้ ความแปรปรวนของปฏิสัมพันธ์ระหว่างผู้เรียนและจำนวนการทดลองที่ตรวจให้คะแนนโดยผู้ประเมินที่แตกต่างกันซึ่งคิดเป็นร้อยละ 81.5 แสดงให้เห็นว่า มีความคลาดเคลื่อนส่วนที่เหลือที่ไม่สามารถวัดได้ค่อนข้างมาก

ตาราง 6 D-Study สำหรับ P X (L:R) เมื่อ L = 1-4 และ R = 3-4

	n'_R	1	3	3	3	4	3
	n'_L	3	1	3	2	3	4
Error variance	$\hat{\sigma}_\delta^2$	0.34	0.46	0.15	0.23	0.11	0.11
	$\hat{\sigma}_\Delta^2$	0.34	0.46	0.15	0.23	0.11	0.11
G - coefficient	ρ_δ^2	0.46	0.39	0.66	0.56	0.72	0.72
	ρ_Δ^2	0.46	0.39	0.65	0.56	0.72	0.72

จากผลการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของผลการวัดในตาราง 6 พบว่า มีค่าความเที่ยงสำหรับการตัดสินใจแบบอิงกลุ่มหรือการตัดสินใจเชิงสัมพัทธ์ (ρ_g^2) ไม่ต่ำกว่า 0.6 กรณีที่มีผู้ประเมินจำนวน 3 คน จะต้องประเมินจำนวนการทดลองคนละ 3-4 การทดลอง ส่วนกรณีที่มีผู้ประเมินจำนวน 3 คน จะต้องประเมินจำนวนการทดลองคนละ 3 การทดลอง

สรุป

ทฤษฎีการสรุปอ้างอิง ใช้สำหรับการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของผลการวัดในสถานการณ์ของการวัดลักษณะต่างๆ ที่เป็นเป้าหมายของการนำเครื่องมือไปใช้ ซึ่งสามารถตัดสินความน่าเชื่อถือของผลการวัดได้สองลักษณะ ได้แก่ ความน่าเชื่อถือของคะแนนในการนำผลไปใช้เชิงสัมพัทธ์ (Relative) เพื่อแปลผลเปรียบเทียบระหว่างบุคคล และความน่าเชื่อถือของคะแนนในการนำผลไปใช้ในเชิงสมบูรณ์ (Absolute) เพื่อแปลผลเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน ผ่านการศึกษา G-Study และ D-Study โดยในบทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์ข้อมูลตามทฤษฎีการสรุปอ้างอิงสำหรับการออกแบบ Cross Design และ Nested Design โดยการประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ออนไลน์ ผ่าน Posit Cloud ทั้งนี้ ได้แบ่งการนำเสนอเป็น 4 ตอน ได้แก่ (1) การแนะนำโปรแกรม จุดเด่นและข้อจำกัด (2) การวิเคราะห์และตัวอย่างคำสั่งที่ใช้สำหรับการออกแบบ Cross Design (3) การวิเคราะห์และตัวอย่างคำสั่งที่ใช้สำหรับการออกแบบ Nested Design และ (4) การแปลผลและรายงานผลการวิเคราะห์ข้อมูล

References

- Brennan, R.L. (1992). Generalizability Theory. *Educational Measurement: Issues and Practice*, 11, 27-34. <https://doi.org/10.1111/j.1745-3992.1992.tb00260.x>
- Cronbach, L.J., Gleser, G.C., Nanda, H., & Rajaratnam, N. (1972). *The dependability of behavioral measurements: Theory of generalizability for scores and profiles*. John Wiley.
- Huebner, A., & Lucht, M. (2019). Generalizability Theory in R. *Practical Assessment, Research, and Evaluation*, 24, 1-12. <https://doi.org/10.7275/5065-gc10>
- Posit Cloud. (n.d.). Posit Cloud Guide. <https://posit.cloud/learn/guide>
- Shavelson, E.L., & Webb, N.B. (1991). *Generalizability Theory: A Primer*. Sage Publications.

Translated Thai References

- Chaimongkol, N., & Kanjanawasee, S. (2020). The application of R programming for educational testing. *Journal of Research Methodology*, 33(1), 21-45. <https://portal.edu.chula.ac.th/pub/jrm/index.php/jrm/article/view/648>. (in Thai)
- Kanjanawasee, S. (2020). *Modern test theories* (5th ed.). Chulalongkorn University Press. (in Thai)