

단일대상 메타분석을 위한 종단분석: R 활용

신미경

West Texas A&M University 교육학과(특수교육) 조교수

Longitudinal Analysis for Single-Case Experimental Design Meta-Analyses: Using R

Mikyung Shin (Assistant Professor, Dept. of Education)

 github.com/mshin77/2022ksse  mshin77.net

2022 한국특수교육학회 동계학술대회 발표

2022. 12.3. 국립특수교육원

목차

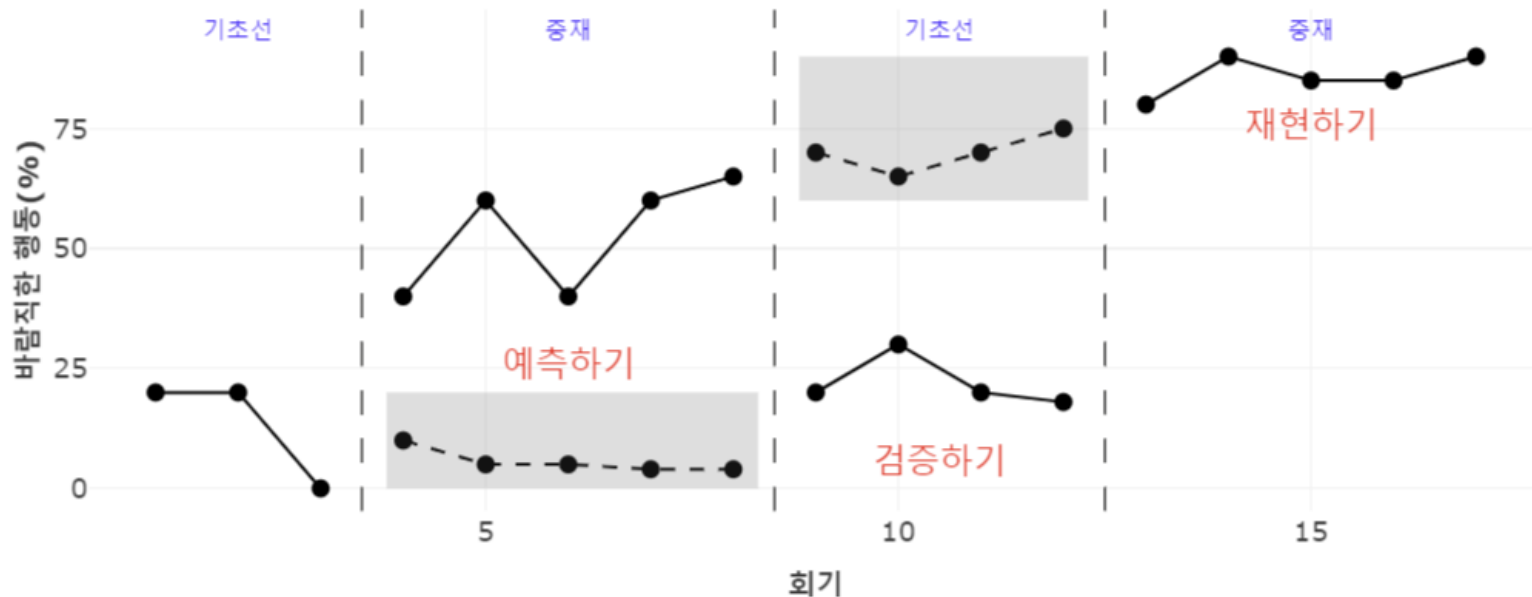
- 단일대상 실험설계 연구의 특성
- 왜 종단 자료인가?
- 다층 종단 자료 구조 및 코딩
- 대상자간 중다기초선 설계 그래프
- 3수준 및 2수준 다층 모형
- 논의 및 추후 연구에 대한 시사점



단일대상 실험설계 연구의 특성

- 개별 학생($N=1$) 또는 소집단을 대상으로 중재를 제공
- 행동의 예측, 검증, 재현 과정을 통하여 내적 타당도를 확인
- 그래프 데이터가 수집되어야 하며, 시각적인 분석이 이루어짐
- 연구설계에 따라서 기초선, 중재, 유지, 일반화 구간 등 설정

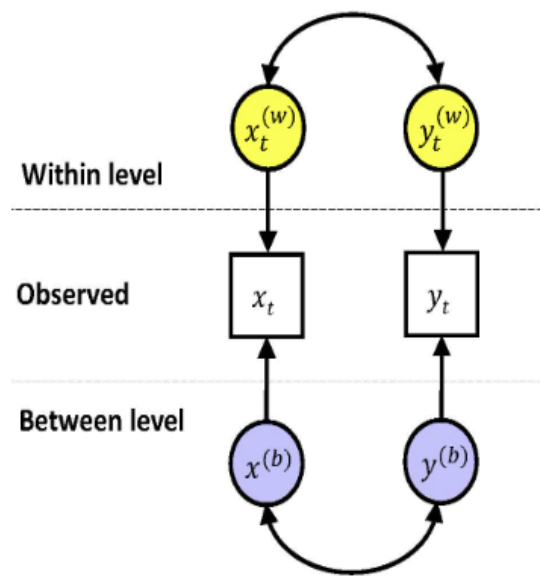
▶ Code



왜 종단 자료인가?

- 개인의 행동을 시간에 따라 반복적으로 측정
 - 조각별 성장모형을 통하여 구간 간의 행동 변화를 측정
 - t 시점의 관측치는 이전 시점의 관측치와 관련있음 (자기상관계수)
 - 패널조사 등의 종단 연구와 다르게 집중적이고 빈번하게 데이터를 측정
 - 반복측정에서 가까운 시점 간의 상관계수가 먼 시점 간의 상관계수보다 높음
- 개인 간 변화(시간에 따라 변하지 않는 개별 특성)와 개인 내 변화(시간에 따라 변하는 변수)를 동시에 측정

(Hamaker외, 2021)



다층 종단 자료 구조 및 코딩

► Code

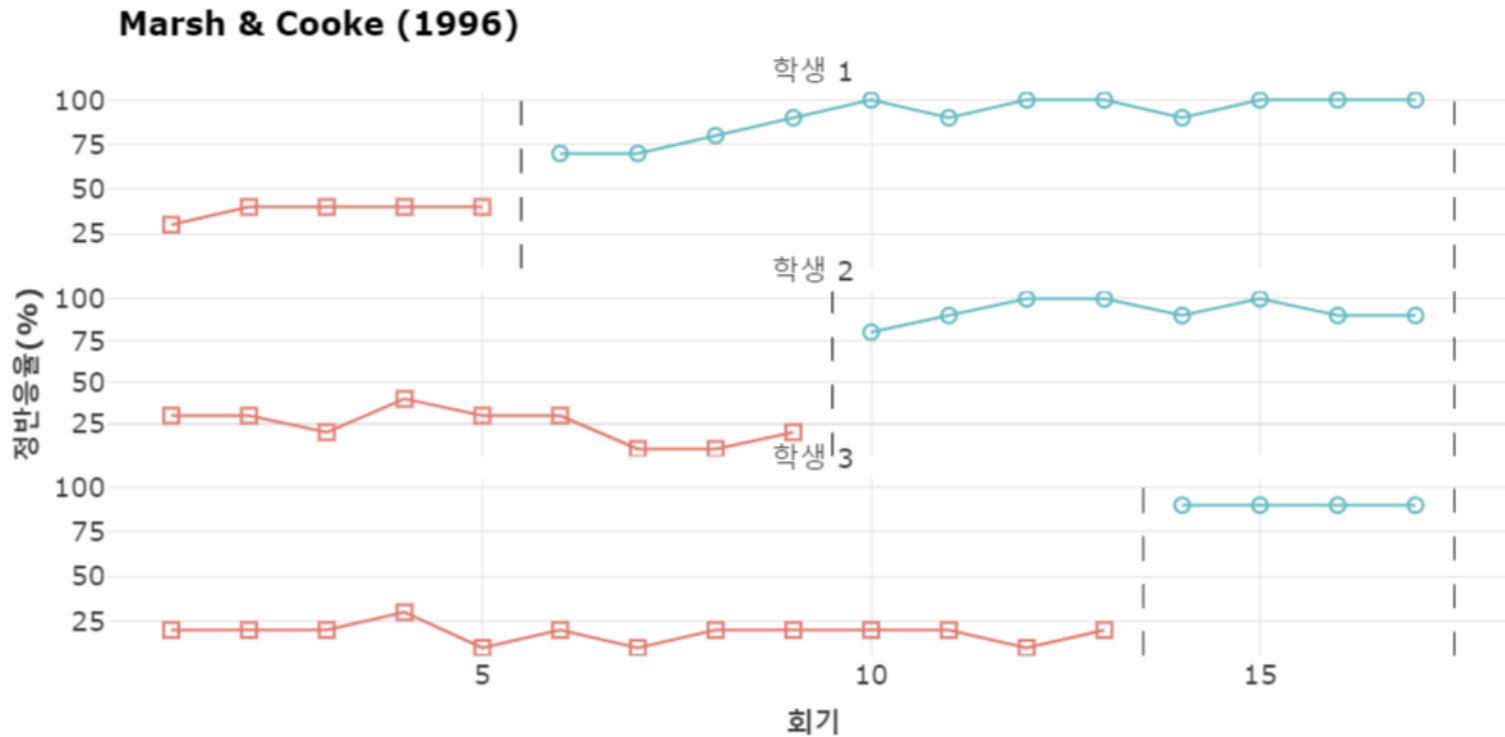
author_year	case	session	time	outcome	phase	Baseline	Intervention
Marsh & Cooke (1996)	1	1	0	30	Baseline	1	0
Marsh & Cooke (1996)	1	2	1	40	Baseline	1	0
Marsh & Cooke (1996)	1	3	2	40	Baseline	1	0
Marsh & Cooke (1996)	1	4	3	40	Baseline	1	0
Marsh & Cooke (1996)	1	5	4	40	Baseline	1	0
Marsh & Cooke (1996)	1	6	5	70	Intervention	0	1
Marsh & Cooke (1996)	1	7	6	70	Intervention	0	1
Marsh & Cooke (1996)	1	8	7	80	Intervention	0	1
Marsh & Cooke (1996)	1	9	8	90	Intervention	0	1
Marsh & Cooke (1996)	1	10	9	100	Intervention	0	1
Marsh & Cooke (1996)	1	11	10	90	Intervention	0	1
Marsh & Cooke (1996)	1	12	11	100	Intervention	0	1
Marsh & Cooke (1996)	1	13	12	100	Intervention	0	1
Marsh & Cooke (1996)	1	14	13	90	Intervention	0	1
Marsh & Cooke (1996)	1	15	14	100	Intervention	0	1
Marsh & Cooke (1996)	1	16	15	100	Intervention	0	1
Marsh & Cooke (1996)	1	17	16	100	Intervention	0	1

대상자간 중다기초선 설계 그래프

그래프

구간 별 선형회귀선

▶ Code

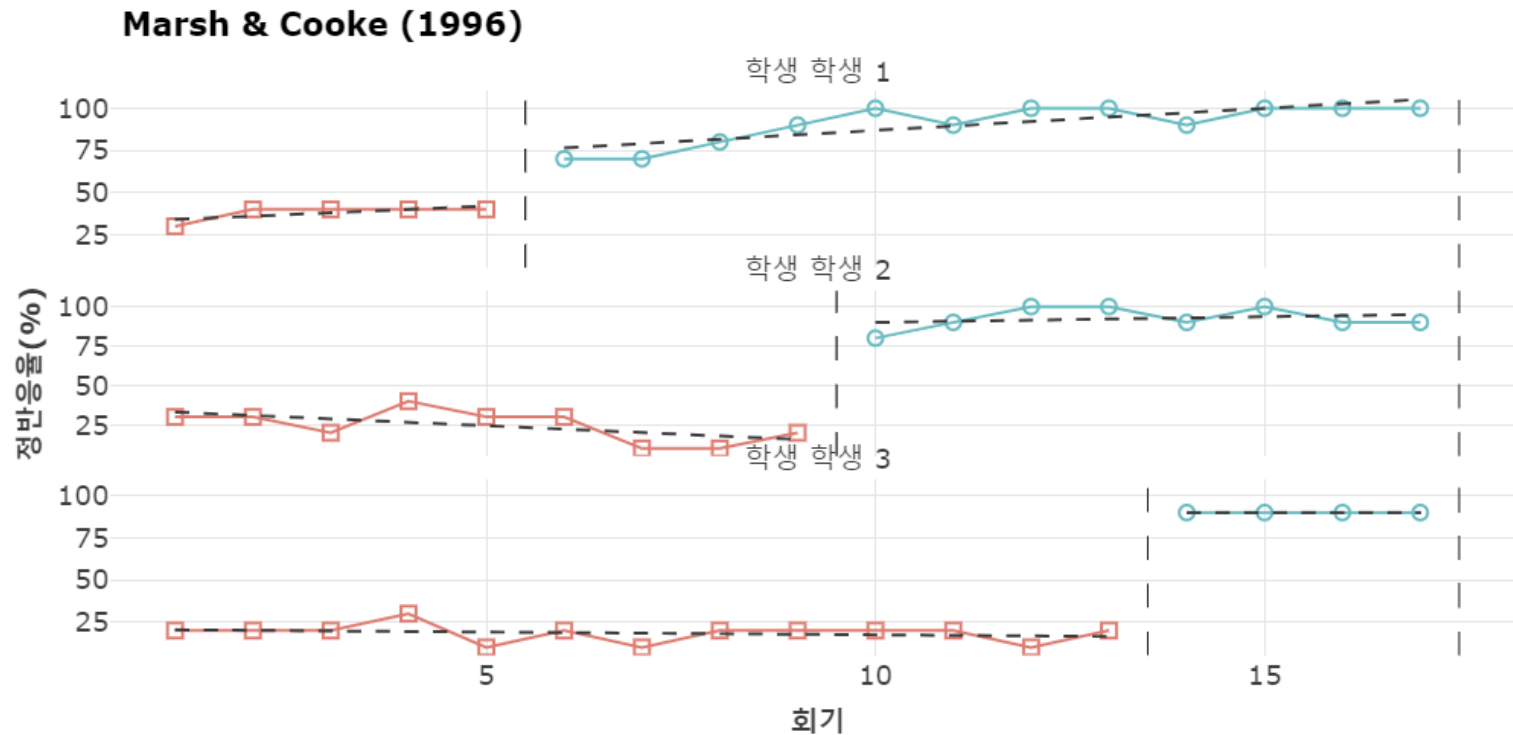


대상자간 중다기초선 설계 그래프

그래프

구간 별 선형회귀선

► Code



3수준 다층 모형

- 단일대상 실험설계 데이터만 포함하여 한 단계로 메타분석 실시.
- 연구질문 1 “장애학생들을 위한 가상조작물을 활용한 수학 중재는 어떠한 **즉각적인 중재 효과** 및 중재 구간에서의 **변화 추세**를 보였는가?”
- 연구질문 2 “**장애학생** 및 **연구 수준의 특성**에 따라 즉각적인 중재 효과 및 중재 구간에서의 변화는 어떻게 달라지는가?”

Shin, M., Park, J., Grimes, R., & Bryant, D. P. (2021). Effects of using virtual manipulatives for students with disabilities: Three-level multilevel modeling for single-case data. *Exceptional Children*, 87(4), 418–437. </>

- 1수준 (i 반복 측정 자료)

$$Y_{ijk} = \beta_{0jk} + \beta_{1jk} \text{ Intervention}_{ijk} \\ + \beta_{2jk} \text{ Time}'_{ijk} \times \text{ Intervention}_{ijk} + e_{ijk} \\ \text{with } e_{ijk} \sim N(0, \Sigma_e)$$

Y_{ijk} k 번 연구에서 j 번째 학생 ($j = 1, 2, \dots, J$)을 대상으로 i 번째 측정된 ($I = 0, 1, \dots, I$) 반복 측정된 수학 정확성(%)

Time'_{ijk} 중재 첫 회기로 중심화

$\text{Intervention}_{ijk}$ 기초선 0, 중재구간 1

β_{0jk} 기초선 평균 수준(절편)

β_{1jk} 즉각적인 중재 효과

β_{2jk} 중재 구간에서의 변화 추세

e_{ijk} 잔차, 공분산 구조를 가지고 있음

Σ_e 서로 독립적일 수도 있고, 자기상관관계를 가질 수 있음

- 2수준 (j 학생)

$$\begin{cases} \beta_{0jk} = \theta_{00k} + u_{0jk} \\ \beta_{1jk} = \theta_{10k} + u_{1jk} \\ \beta_{2jk} = \theta_{20k} + u_{2jk} \end{cases} \quad \text{with} \quad \begin{bmatrix} u_{0jk} \\ u_{1jk} \\ u_{2jk} \end{bmatrix} \sim N(0, \Sigma_u)$$

θ_{00k} k 번 연구의 평균 기초선 수준

θ_{10k} k 번 연구의 즉각적인 중재 효과

θ_{20k} k 번 연구의 중재 구간에서의 변화 추세

$u_{0jk}, u_{1jk}, u_{2jk}$ 2수준 공분산 행렬

Σ_u 공분산은 0인 대각 행렬 또는 비구조적인 행렬 등

- 3수준 (k 연구)

$$\begin{cases} \theta_{00k} = \gamma_{000} + v_{00k} \\ \theta_{10k} = \gamma_{100} + v_{10k} \\ \theta_{20k} = \gamma_{200} + v_{20k} \end{cases} \text{ with } \begin{bmatrix} v_{00k} \\ v_{10k} \\ v_{20k} \end{bmatrix} \sim N(0, \Sigma_v)$$

γ_{000} 전체 연구 간 평균 기초선 수준

γ_{100} 전체 연구 간 즉각적인 중재 효과

γ_{200} 전체 연구 간 중재 구간에서의 변화 추세

$v_{00k}, v_{10k}, v_{20k}$ 3수준 공분산 행렬

Σ_v 공분산은 0인 대각 행렬 또는 비구조적인 행렬 등

단일대상 실험설계 3수준 다층 모형

Model.1

Model.1 결과

Model.2

Model.3

`library(nlme)` `lme()` 함수

조절 변수 포함하지 않음

▼ Code

```
csv("https://raw.githubusercontent.com/mshin77/2022ksse/main/data/VM.csv")  
  
e)  
lme(Outcome ~ 1 + Intervention + Intervention_Time, #고정 효과  
    random = ~ 1 + Intervention + Intervention_Time | Study/Case, #무선 효과  
    data = VM,  
    correlation = corAR1(form = ~ 1 | Study/Case/Intervention), #AR(1) 자기상관계수  
    weights = varIdent(form = ~ 1 | Intervention), #개인 내 잔차 이질적 분산 고려  
    method = "REML",  
    na.action = "na.omit",  
    control = list(opt = "optim"))
```

3수준 다층 모형 분석

Model.1

Model.1 결과

Model.2

Model.3

► Code

Approximate 95% confidence intervals

Fixed effects:

	lower	est.	upper
(Intercept)	4.4242632	7.884960	11.345657
Intervention	63.6203497	70.948354	78.276358
Intervention_Time	0.9610925	1.729264	2.497435

Random Effects:

Level: Study

	lower	est.	upper
sd((Intercept))	7.7174060	10.0747655	13.15220440
sd(Intervention)	16.3821350	21.2860863	27.65802324
sd(Intervention_Time)	1.1722213	1.7433896	2.59286142
cor((Intercept), Intervention)	-0.6823465	-0.4547067	-0.14667826
cor((Intercept), Intervention_Time)	-0.8181543	-0.5835189	-0.18229385

3수준 다층 모형 분석

Model.1

Model.1 결과

Model.2

Model.3

조절 변수와 즉각적인 중재 효과 관계

▼ Code

```
lme(Outcome ~ 1 + Intervention + Intervention_Time +  
    # case-level (student characteristics) moderators  
    Middle*Intervention + High*Intervention +  
    ID*Intervention + ASD*Intervention + EBD*Intervention + OHI*Intervention  
    # study-level (intervention features) moderators  
    Devise.use*Intervention + Devise.use.instruct*Intervention +  
    Teacher.guided*Intervention + Teacher.led*Intervention +  
    Commercial*Intervention +  
    Computer*Intervention +  
    Single.represent*Intervention + Tutorial*Intervention + Game*Intervention  
    Area*Intervention + Linear*Intervention + Base.ten*Intervention + Algebra  
random = ~ 1 + Intervention + Intervention_Time | Study/Case,  
data = VM,  
correlation = corAR1(form = ~ 1 | Study/Case/Intervention),  
weights = varIdent(form = ~ 1 | Intervention),  
method = "REML",  
na.action = "na.omit",  
control = list(opt = "optim"))
```

3수준 다층 모형 분석

Model.1

Model.1 결과

Model.2

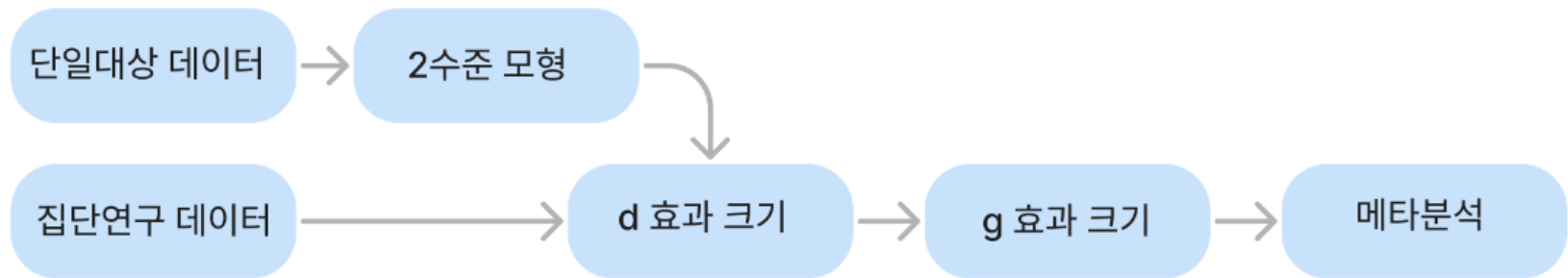
Model.3

조절 변수와 중재구간에서의 중재 변화 추세와의 관계

▼ Code

```
lme(Outcome ~ 1 + Intervention + Intervention_Time +  
  # case-level (student characteristics) moderators  
  Middle*Intervention_Time + High*Intervention_Time +  
  ID*Intervention_Time + ASD*Intervention_Time + EBD*Intervention_Time + C  
  # study-level (intervention features) moderators  
  Devise.use*Intervention_Time + Devise.use.instruct*Intervention_Time +  
  Teacher.guided*Intervention_Time + Teacher.led*Intervention_Time +  
  Commercial*Intervention_Time +  
  Computer*Intervention_Time +  
  Single.represent*Intervention_Time + Tutorial*Intervention_Time + Game*I  
  Area*Intervention_Time + Linear*Intervention_Time + Base.ten*Interventic  
random = ~ 1 + Intervention + Intervention_Time | Study/Case,  
data = VM,  
correlation = corAR1(form = ~ 1 | Study/Case/Intervention),  
weights = varIdent(form = ~ 1 | Intervention),  
method = "REML",  
na.action = "na.omit",  
control = list(opt = "optim"))
```

단일대상 실험설계 2수준 다층 모형



1단계

2단계 (방법 1)

2단계 (방법 2)

- 단일대상 데이터 원점수 혹은 표준화 변환 결과 변수로 2수준 다층 모형 실행
- `library(nlme)` `lme()` 함수
- `library(lme4)` `lmer()` 함수
- `library(scdhlm)` `g_mlm()` 함수. 연구설계 간 비교 가능한(design-comparable) Hedges' g 효과크기로 변환. 적은 표본 수를 위한 보정

단일대상 실험설계 2수준 다층 모형



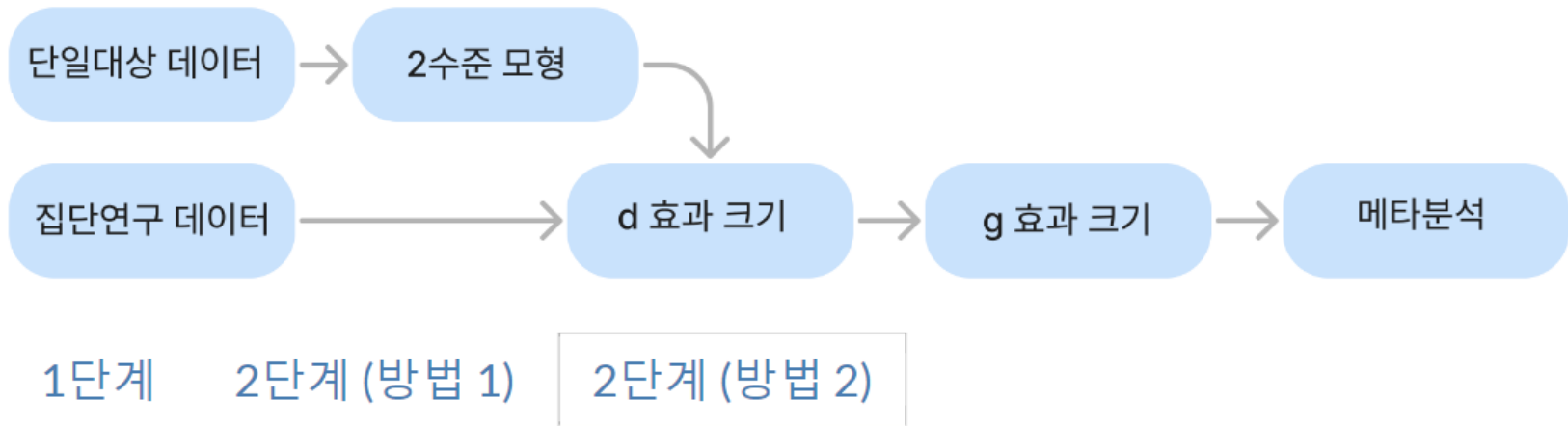
1단계

2단계 (방법 1)

2단계 (방법 2)

- 단일대상과 집단 연구의 효과크기로 함께 메타분석 실행
- `library(clubSandwich)` 2개 이상의 종속변인 효과크기 간 상관관계. robust variance estimation (RVE) 표준오차
- `library(metafor)` 연구 수준의 조절 변수 고려
- Kim, S. A., Bryant, D. P., Bryant, B. R., Shin, M., & Ok, M. W. (2022). A multilevel meta-analysis of whole number computation interventions for students with learning disabilities. *Remedial and Special Education*. Advance online publication. </>

단일대상 실험설계 2수준 다층 모형



- `library(robumeta)` robu() 함수
- 사례 단일대상 연구만 포함하여 2수준 다층 분석 후 메타분석
- Shin, M., Bryant, D. P., Powell, S. R., Jung, P. G., Ok, M. W., & Hou, F. (2021). A meta-analysis of single-case research on word-problem instruction for students with learning disabilities. *Remedial and Special Education*, 42(6), 398-411. </>

오픈 소스 기반 무료 웹 애플리케이션

- **MultiSCED**
<http://34.251.13.245/MultiSCED>
- **library(lme4)** lmer() 함수
- 예시 데이터 있음
- 1, 2, 3수준 모형 분석
- 원점수(결과 변수)를 표준화된 점수로 전환 가능
- **scdhlm**
<https://jepusto.shinyapps.io/scdhlm>
- **library(nlme)** lme() 함수
- 예시 데이터 있음
- 2수준 모형 분석
- 다양한 단일대상 실험설계 분석 가능
- 최근 자기상관계수 및 잔차 분산 이질성 모형 추가
- R 패키지 있음

논의 및 추후 연구에 대한 시사점

- 접근성이 쉬운 데이터 분석 웹 애플리케이션이 개발되고 공유되고 있음
- 단일대상 실험설계 데이터 및 그래프 시각화 웹 애플리케이션 소스 공유
- 시각적 분석 및 통계적인 접근법이 함께 고려되어야 함
- 데이터 분석 및 재현 연구를 통하여 연구 방법들이 지속적으로 검증되어야 함
- 오픈 소스 기반의 접근이 쉽고, 투명한 연구들이 협력적으로 이루어져야 함

