

# 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](https://github.com/mshin77/2022ksse)  [mshin77.net](http://mshin77.net)

2022 한국특수교육학회 동계학술대회 발표

2022. 12.3. 국립특수교육원

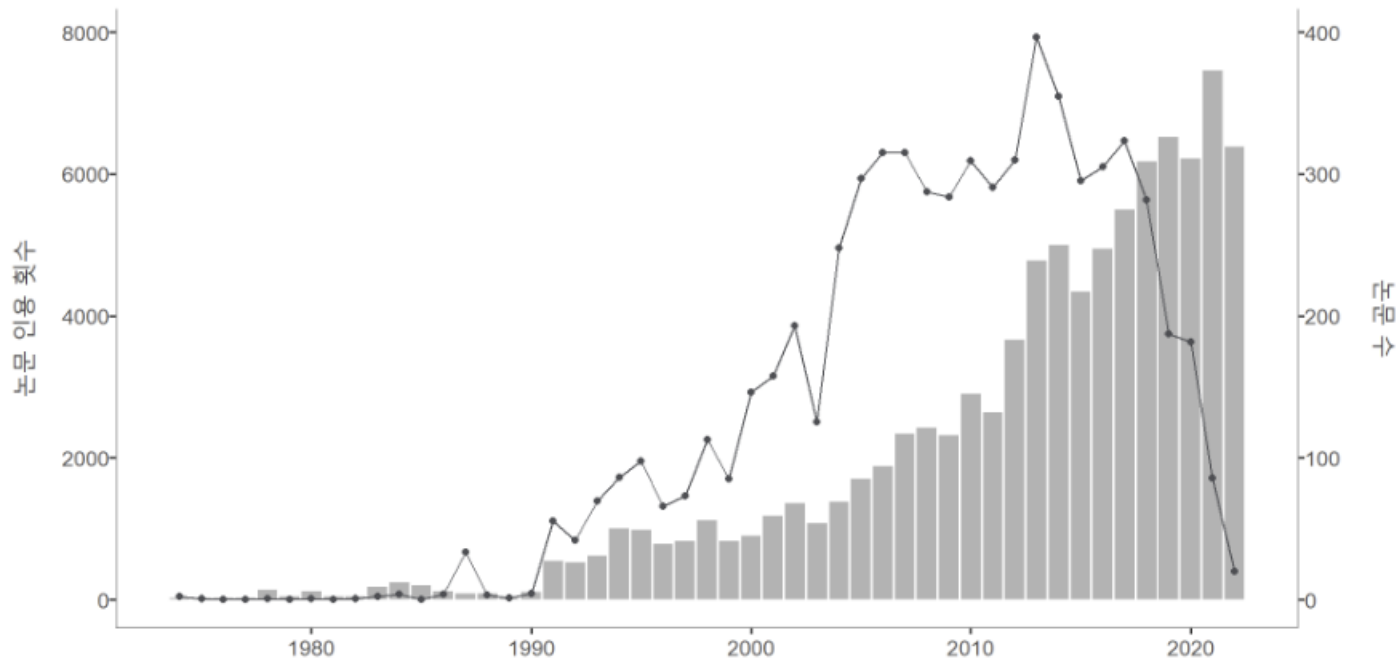
# 목차

- 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 문헌분석 연구 동향

## ▶ Code

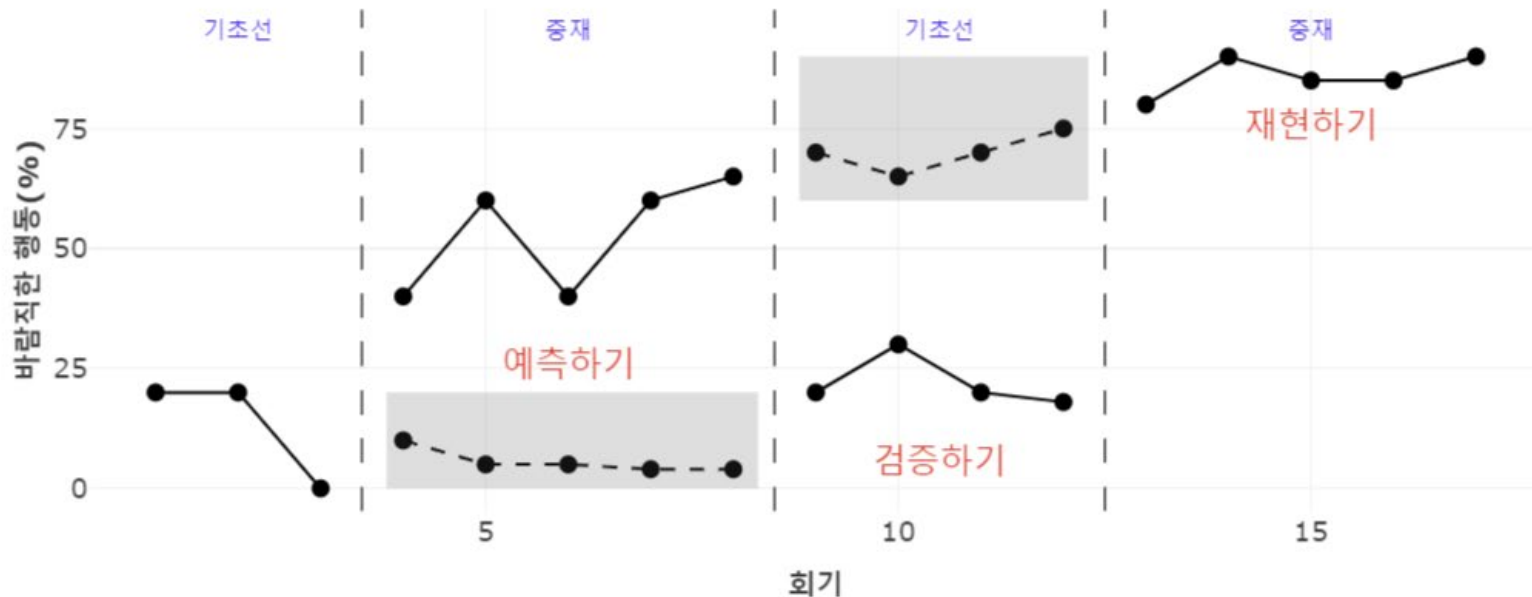


데이터베이스: Web of Science, 1970-2022, 총 4,679편 (“single case” OR “single subject” OR “N of 1” OR “small N” OR “multiple baseline” OR “multiple probe” OR “alternating treatment” OR “reversal design” OR “withdrawal design” OR “changing criterion” ) AND (“meta-analysis” OR “synthesis” OR “review”)

# 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

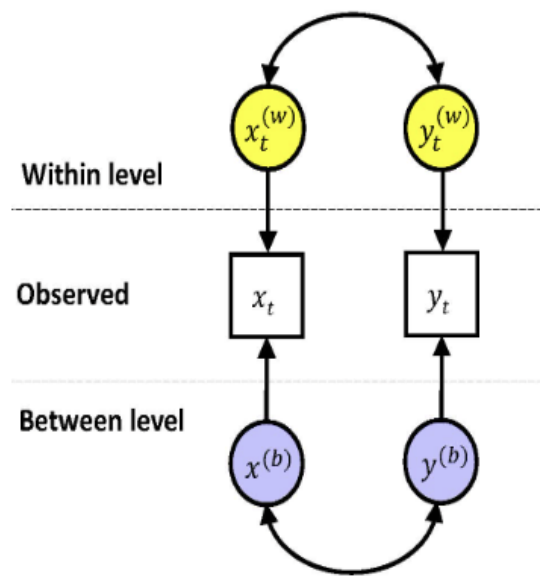
## ▶ Code



## 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

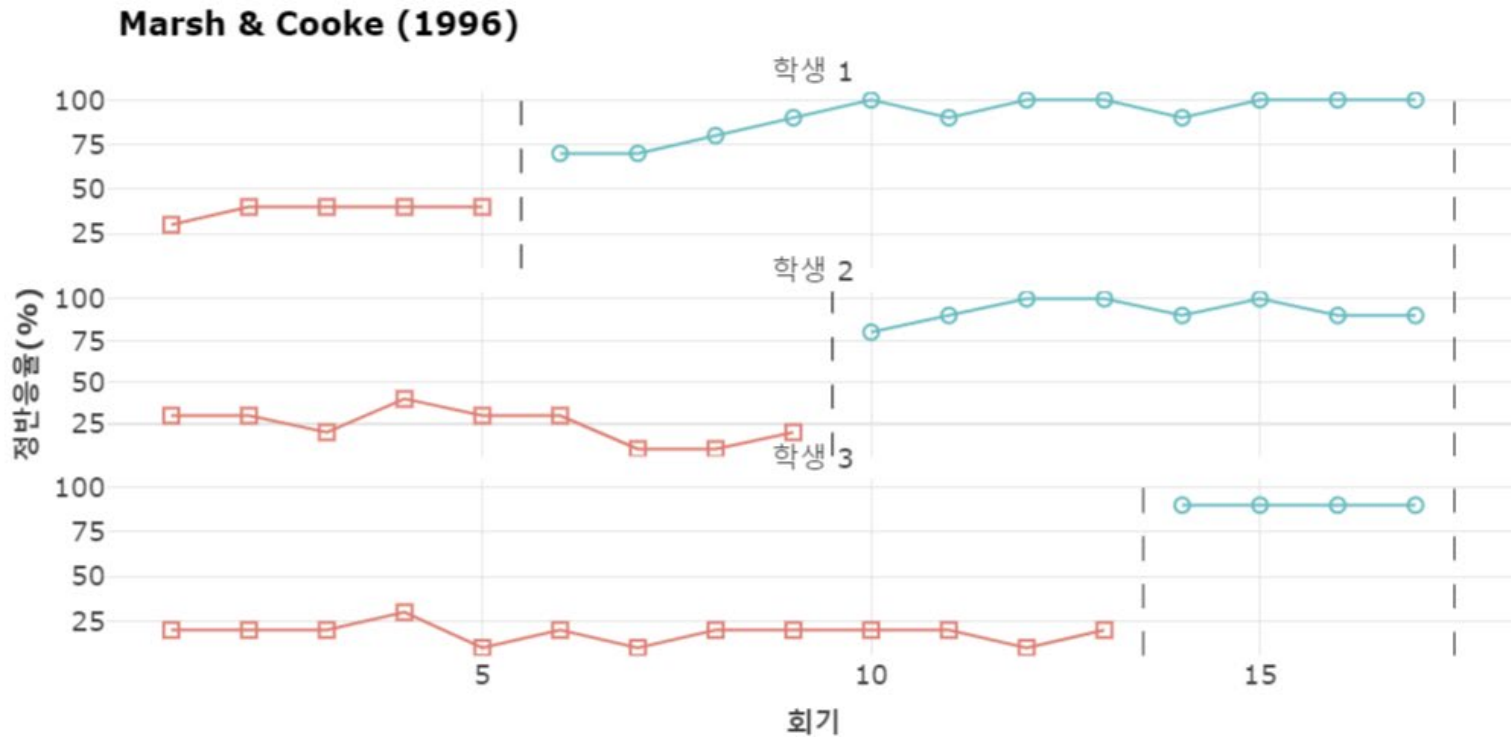
author_year	case	session	time	outcome	phase	Baseline	Intervention
Marsh & Cooke (1996)	1	1	0	30	Baseline	1	0
Marsh & Cooke (1996)	1	2	1	40	Baseline	1	0
Marsh & Cooke (1996)	1	3	2	40	Baseline	1	0
Marsh & Cooke (1996)	1	4	3	40	Baseline	1	0
Marsh & Cooke (1996)	1	5	4	40	Baseline	1	0
Marsh & Cooke (1996)	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

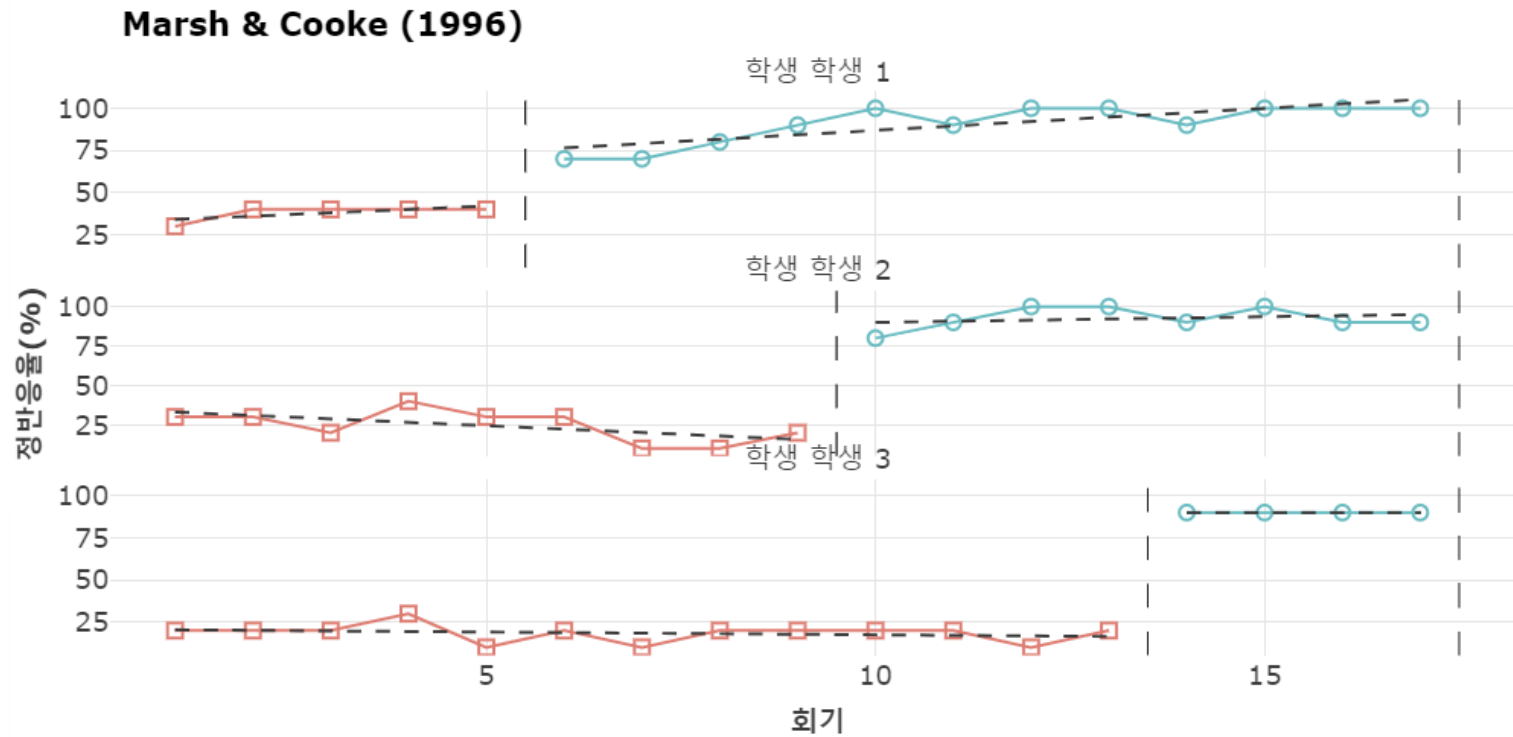


# 대상자간 중다기초선 설계 그래프

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(%)

$\text{Time}'_{ijk}$  중재 첫 회기로 중심화

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

$\beta_{0jk}$  기초선 평균 수준(절편)

$\beta_{1jk}$  즉각적인 중재 효과

$\beta_{2jk}$  중재 구간에서의 변화 추세

$e_{ijk}$  잔차, 공분산 구조를 가지고 있음

$\Sigma_e$  서로 독립적일 수도 있고, 자기상관관계를 가질 수 있음

- 2수준 ( $j$  학생)

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

$\theta_{00k}$   $k$  번 연구의 평균 기초선 수준

$\theta_{10k}$   $k$  번 연구의 즉각적인 중재 효과

$\theta_{20k}$   $k$  번 연구의 중재 구간에서의 변화 추세

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

$\Sigma_u$  공분산은 0인 대각 행렬 또는 비구조적인 행렬 등

- 3수준 ( $k$  연구)

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

$\gamma_{000}$  전체 연구 간 평균 기초선 수준

$\gamma_{100}$  전체 연구 간 즉각적인 중재 효과

$\gamma_{200}$  전체 연구 간 중재 구간에서의 변화 추세

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

$\Sigma_v$  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

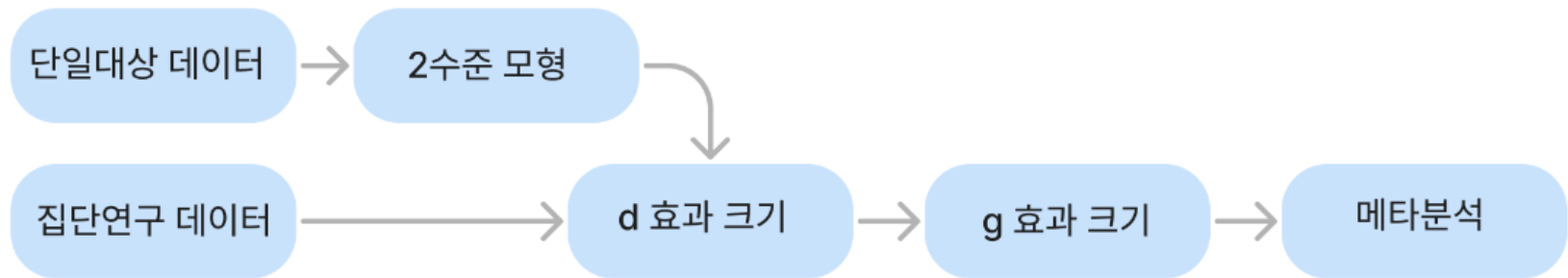
조절 변수와 중재구간에서의 중재 변화 추세와의 관계

## ▼ 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



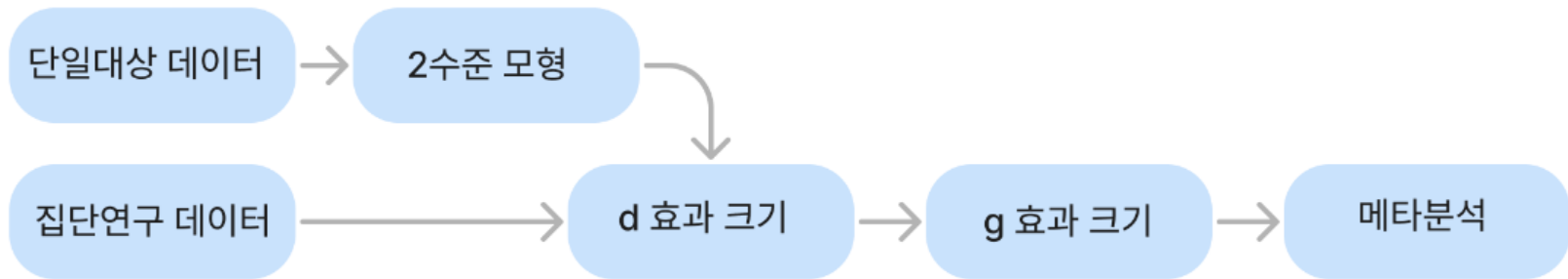
1단계

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



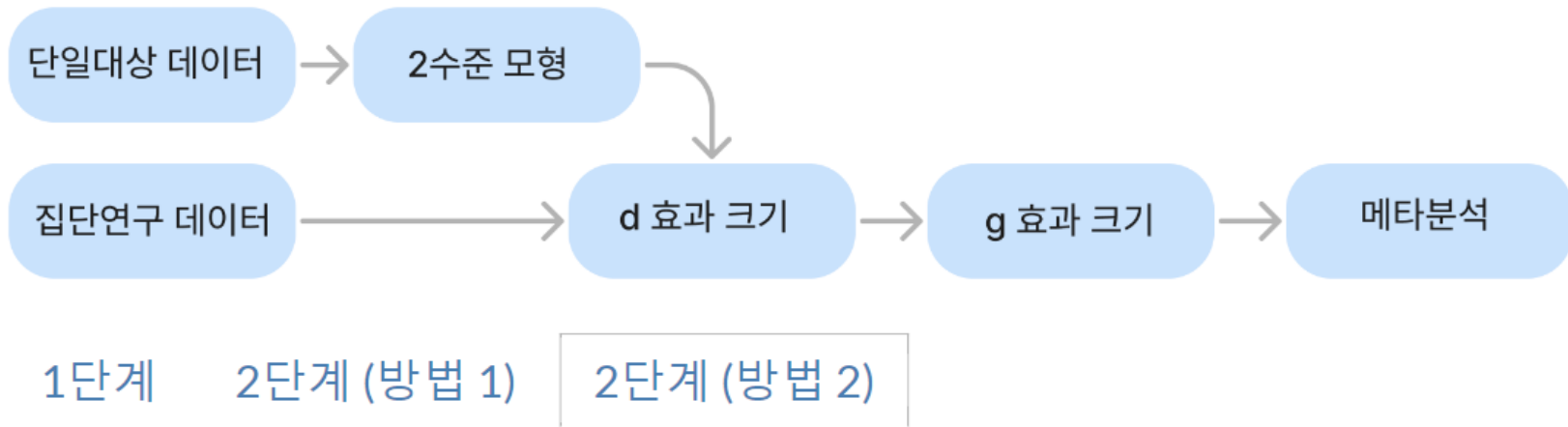
1단계

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
- **scdhlmm**  
<https://jepusto.shinyapps.io/scdhlmm>
- `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

