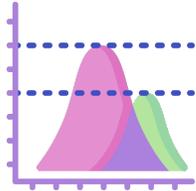


# CTR의 분산 추정 중 빠질 수 있는 함정 (feat. 수리통계학)

방태모 | 지마켓

# 본인 소개

통계학 전공



Data Scientist



Data Scientist



글쓰기



블로그  
요즘IT

 [taemobang@gmail.com](mailto:taemobang@gmail.com)

 [링크드인](#)



[깃허브](#)에서 공유 중인 자료

- 스터디 자료
- 실험 관련 질문, 고민 나누기 (issues)

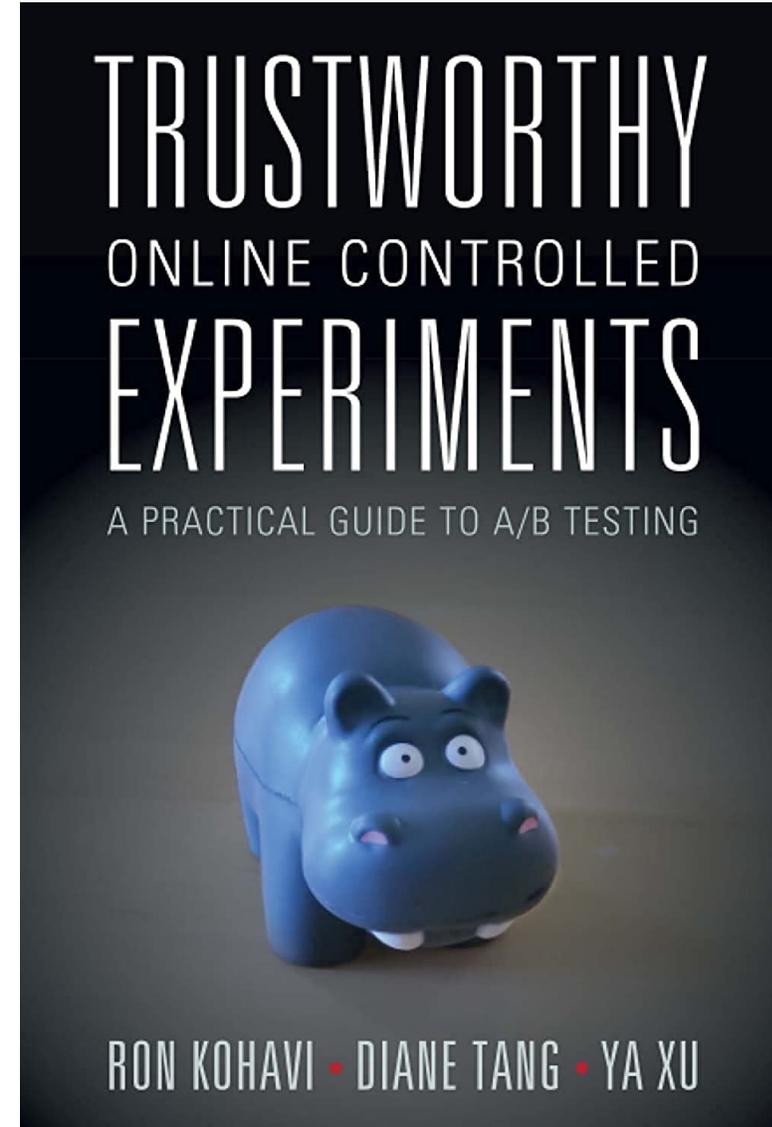


그림 1. 스터디 교재 (Source: [Kohavi et al. \(2020\)](#))

가짜연구소 인과추론 팀 <온라인 통제 실험 연구자로 거듭나기> 프로젝트 스터디 자료 모음

회차	날짜	발표자	주제	발표 자료
1회차	2024-03-13	<a href="#">방태모</a>	상반기 스터디 OT	<a href="#">링크</a>
2회차	2024-03-19	<a href="#">방태모</a>	온라인 통제 실험 소개 및 분석 기초	<a href="#">링크</a>
3회차	2024-03-26	<a href="#">방태모</a>	예제를 통한 A/B 실험의 과정 이해	<a href="#">링크</a>
4회차	2024-04-02	<a href="#">이재호</a>	조직 운영을 위한 지표	<a href="#">링크</a>
5회차	2024-04-09	<a href="#">양유승</a>	실험을 위한 지표와 종합평가기준	<a href="#">링크</a>
6회차	2024-04-16	<a href="#">조동민</a>	온라인 종합 대조 실험에 사용되는 통계 이론	<a href="#">링크</a>
7회차	2024-04-23	<a href="#">지서영</a>	분산 추정 및 민감도 개선: 함정 및 해결책	<a href="#">링크</a>
8회차	2024-04-30	-	쉬어가는 주	-
9회차	2024-05-07	<a href="#">박혜지</a>	A/A 테스트	<a href="#">링크</a>
10회차	2024-05-14	<a href="#">황의림</a>	민감도 향상을 위한 트리거링	<a href="#">링크</a>
11회차	2024-05-21	문정하	샘플 비율 불일치 및 기타 신뢰 관련 가이드라인 척도	<a href="#">링크</a>

[▶ 프로젝트 소개](#)

[▶ 스터디 요약, Discuss, Q&A](#) (Open, Closed 둘 다 참고하세요!)

[▶ 가짜연구소 인과추론팀 블로그](#)

[▶ 가짜연구소 블로그](#)

## References

[1] Kohavi, R., Tang, D., & Xu, Y. (2020). Trustworthy Online Controlled Experiments: A Practical Guide to A/B Testing. Cambridge University Press. <https://experimentguide.com/>

[2] Gupta, S., Ulanova, L., Bhardwaj, S., Dmitriev, P., Raff, P., & Fabijan, A. (2018). The Anatomy of a Large-Scale Experimentation Platform. 2018 IEEE International Conference on Software Architecture (ICSA), 1–109. <https://doi.org/10.1109/ICSA.2018.00009>

그림 2. [<온라인 통제 실험 연구자로 거듭나기 프로젝트> 깃허브](#)



오늘 할 이야기

두 지표 간 비율 지표에 관한 분산 추정



# 실험설계에서 알아두어야 할 기초 개념

## 관찰 단위

- 실험에서 최종 측정값이 나오는 최소 단위

퀴즈 1. 온라인 통제 실험의 관찰 단위는?

# 온라인 통제 실험의 관찰 단위

퀴즈 1. 온라인 통제 실험의 관찰 단위는?

사용자 (고객)

대조군, 실험군에 대한 무작위 배정 또한

사용자에 대해 이루어짐

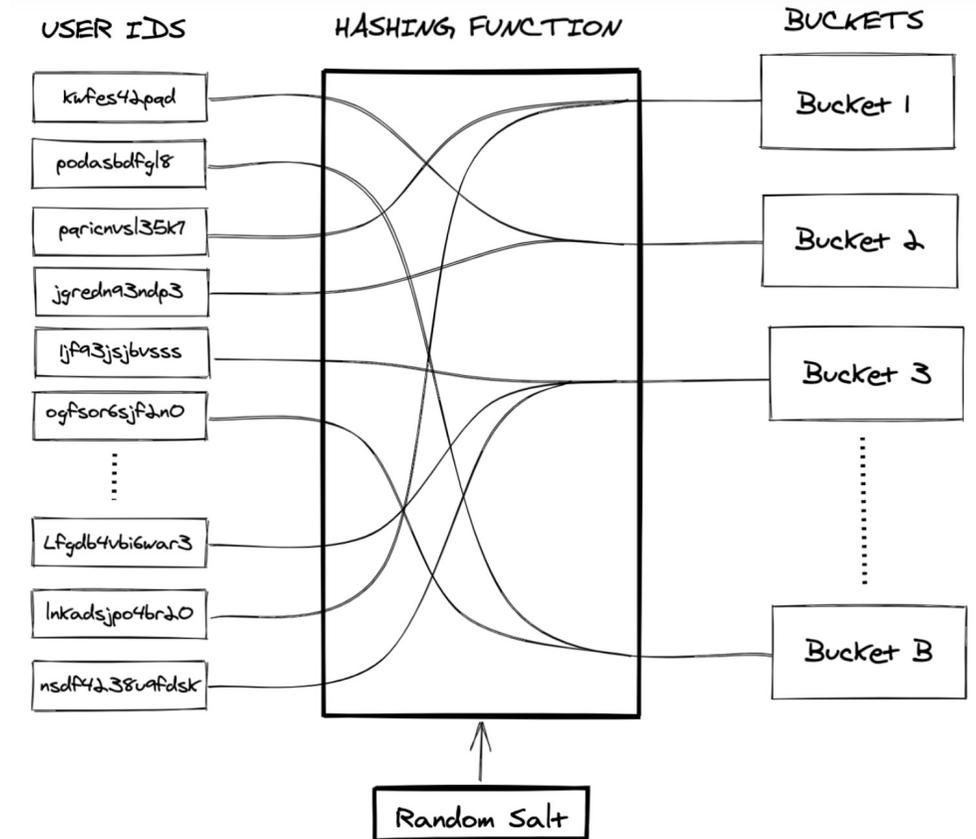


그림 2. 해시 알고리즘을 이용한 무작위화 및 고객 버킷팅 (Source: Spotify, [Schultzberg, Kjellin, and Rydberg 2021](#))

# 광고 타임

## 그림 2에 관한 자세한 설명이 궁금하시다면..

무작위 배정 방법 자세히 이해하기

테스트 그룹 분배

트래픽 할당 40% / 그룹분배 A(50) : B(50)

그림 6. 버젓팅에 기반한 실험 변형군 분배 (Source: Hackle Docs)

### [실무로 통하는 인과추론] 2-1. 온라인 통제 실험 소개 및 통계 분석 기초

인과추론의 데이터과학  
구독자 4.73천명

구독중

14

공유

공유

...

조회수 197회 1일 전

강의자료: <https://github.com/CausalInferenceLab...>

- 실무로 통하는 인과추론 with 파이썬 (한빛미디어, <https://product.kyobobook.co.kr/detail...>) ...더보기

[실무로 통하는 인과추론 특강 2-1 보러가기](#)

대조군, 실험군 간 **사용자들의 반응** 차이가 어떠한가?

- PV
- Click
- SE Conversion (add to cart, buy it now)
- Order
- GMV
- ...

그렇다면, 온라인 실험에서는 어떤 지표를 봐야할까?

- 관찰 단위도 사용자이며, 무작위 배정도 사용자 중심인데..

## 온라인 실험에서의 관심 지표

그렇다면, 온라인 실험에서는 어떤 지표를 봐야할까?

- 관찰 단위도 사용자이며, 무작위 배정도 사용자 중심인데..

먼저, 분석 단위라는 것을 정의해보자

- 분석 단위: 분석에 사용되는 지표의 단위

## 온라인 실험에서의 관심 지표

그렇다면, 온라인 실험에서는 어떤 지표를 봐야할까?

- 관찰 단위도 사용자이며, 무작위 배정도 사용자 중심인데..

먼저, 분석 단위라는 것을 정의해보자

- 분석 단위: 분석에 사용되는 지표의 단위

퀴즈 2. 그렇다면, 온라인 통제 실험에서 분석 단위는 무엇이 되어야할까?

# 온라인 실험에서의 관심 지표

그렇다면, 온라인 실험에서는 어떤 지표를 봐야할까?

- 관찰 단위도 사용자이며, 무작위 배정도 사용자 중심인데..

먼저, 분석 단위라는 것을 정의해보자

- 분석 단위: 분석에 사용되는 지표의 단위

퀴즈 2. 그렇다면, 온라인 통제 실험에서 분석 단위는 무엇이 되어야할까?

사용자

- PV per visitor
- Click per visitor
- Order per visitor
- Orderer per visitor (Conversion 개념)
- GMV per visitor
- ...

우리 프로젝트의 핵심 지표는 CTR인데요?..

## 관찰단위와 분석단위가 다르면 발생하는 상황

$$CTR = \text{Sum}(\text{Click}) / \text{Sum}(\text{PV})$$

- 분석 단위: PV
- 온라인 실험의 관찰 단위: 사용자
- 분석 단위  $\neq$  관찰 단위



## 분석 단위와 관찰 단위가 다르면 발생하는 문제

- 해당 관심 지표의 분산 추정에 주의를 기울이지 않으면 Bias가 생김
- 이에 따라, 통계적 가설 검정 시 잘못된 의사 결정을 할 수 있게됨

# 분석 단위와 관찰 단위가 다르면 발생하는 문제

관찰 단위와 일치하지 않는 분석 단위를 갖는 지표의 분산 추정에 Bias가 생기는 이유

- 확률표본(random sample)의 i.i.d. 가정이 깨지기 때문
  - Independent and identically distributed (i.i.d.)
  - Independent 가정이 깨짐

## 분석 단위와 관찰 단위가 다르면 발생하는 문제

다시 CTR로 돌아가보면..

- $CTR = \text{Sum}(\text{Click}) / \text{Sum}(\text{PV})$
- 관찰 단위는 사용자이나.. CTR의 분석 단위는 PV

# 분석 단위와 관찰 단위가 다르면 발생하는 문제

다시 CTR로 돌아가보면..

- $CTR = \text{Sum}(\text{Click}) / \text{Sum}(\text{PV})$
- 관찰 단위는 사용자이나.. CTR의 분석 단위는 PV

퀴즈 3. PV가 독립적이라고 할 수 있는가?

## 분석 단위와 관찰 단위가 다르면 발생하는 문제

다시 CTR로 돌아가보면..

- $CTR = \text{Sum}(\text{Click}) / \text{Sum}(\text{PV})$
- 관찰 단위는 사용자이나.. CTR의 분석 단위는 PV

퀴즈 3. PV가 독립적이라고 할 수 있는가?

No, 사용자가 해당 페이지에서 어떤 경험을 했는지에 따라 다음 PV 여부가 결정됨



그럼 이러한 지표들에 대한 분산 추정이 필요할때는  
어떻게 해야하나요?

CTR와 같은 지표를 **비율 지표(Ratio metric)**이라고 칭합니다.

- CTR
- GMV per order
- ...

$$CTR = \frac{\sum Click}{\sum PV}$$

## 비율 지표의 분산 추정

$$CTR = \frac{\sum Click}{\sum PV}$$

여기서 중요한 포인트

- 사용자로부터 측정되는 모든 지표들은 확률변수(random variable)
- 상수로 취급할 수 있는 값은 고유 사용자의 수 (표본 크기,  $N$ )

## 확률변수, 통계량, 추정량에 관한 개념을 잡고 싶으시다면..

무작위 배정 방법 자세히 이해하기



테스트 그룹 분배

트래픽 할당 40% / 그룹분배 A(50) : B(50)

그림 6. 버퍼링에 기반한 실험 변형군 분배 (Source: Hackle Docs)

### [실무로 통하는 인과추론] 2-1. 온라인 통제 실험 소개 및 통계 분석 기초

인과추론의 데이터과학  
구독자 4.73천명

구독중

14

공유

조회수 197회 1일 전  
강의자료: <https://github.com/CausalInferenceLab...>

- 실무로 통하는 인과추론 with 파이썬 (한빛미디어, <https://product.kyobobook.co.kr/detail...>) ...더보기

[실무로 통하는 인과추론 특강 2-1 보러가기](#)

## 비율 지표의 분산 추정

$$CTR = \frac{\sum Click}{\sum PV}$$

여기서 중요한 포인트

- 사용자로부터 측정되는 모든 지표들은 확률변수(random variable)
- 상수로 취급할 수 있는 값은 고유 사용자의 수 (표본 크기,  $N$ )

$$CTR = \frac{\sum Click}{\sum PV} = \frac{\frac{1}{N} \sum Click}{\frac{1}{N} \sum PV} = \frac{\bar{X}}{\bar{Y}} = M_{ctr}$$

## 비율 지표의 분산 추정

$$\text{Var}(M_{ctr}) = \text{Var}\left(\frac{\bar{X}}{\bar{Y}}\right)$$

두 표본평균의 비(i.e. 비율지표)에 관한 분산 추정이 필요한 상황..

- 사용자 단위 지표의 분산 추정은 굉장히 간단함 (*Click per visitor* =  $\bar{X}$ )

# 비율 지표의 분산 추정

$$Var(M_{ctr}) = Var\left(\frac{\bar{X}}{\bar{Y}}\right)$$

두 표본평균의 비(i.e. 비율지표)에 관한 분산 추정이 필요한 상황..

- 사용자 단위 지표의 분산 추정은 굉장히 간단함 (*Click per visitor* =  $\bar{X}$ )

$$Var(\bar{X}) = Var\left(\frac{1}{N} \sum X_i\right) = \frac{1}{N^2} Var(\sum X_i) = \frac{1}{N^2} \cdot N \cdot Var(X)$$

$Var(X) = \hat{\sigma}^2 = \frac{1}{N-1} \sum (X_i - \bar{X})^2$ 이라 하자:

$$\therefore Var(\bar{X}) = \frac{1}{N^2} \cdot N \cdot \hat{\sigma}^2 = \frac{\hat{\sigma}^2}{N}$$

## 비율 지표의 분산 추정

아무튼, 사용자 단위 지표의 분산 추정은 쉬운 것을 알겠고..

그래서, 비율 지표는 두 표본평균의 비에 관한 통계량에 해당하는데.. 이럴 때엔 분산 추정을 어떻게?..

$$\text{Var}(M_{ctr}) = \text{Var}\left(\frac{\bar{X}}{\bar{Y}}\right)$$

## 비율 지표의 분산 추정

아무튼, 사용자 단위 지표의 분산 추정은 쉬운 것을 알겠고..

그래서, 비율 지표는 두 표본평균의 비에 관한 통계량에 해당하는데.. 이럴 때엔 분산 추정을 어떻게?.

$$\text{Var}(M_{ctr}) = \text{Var}\left(\frac{\bar{X}}{\bar{Y}}\right)$$

- Delta Method ([Deng et al., 2018](#))
- 확률변수의 점근분포(asymptotic distribution)를 유도하는데에 사용되는 수리통계학적 방법론
- 두 표본평균의 비는 새로운 통계량이자 확률변수에 해당
- 두 표본평균의 비에 관한 분산 추정에도 Delta Method가 사용됨

$$\text{Var}(M_{ctr}) = \text{Var}\left(\frac{\bar{X}}{\bar{Y}}\right) = \frac{1}{\bar{Y}^2} \text{Var}(\bar{X}) + \frac{\bar{X}^2}{\bar{Y}^4} \text{Var}(\bar{Y}) - 2 \frac{\bar{X}}{\bar{Y}^3} \text{Cov}(\bar{X}, \bar{Y})$$

$$\text{Var}(M_{ctr}) = \text{Var}\left(\frac{\bar{X}}{\bar{Y}}\right) = \frac{1}{\bar{Y}^2} \text{Var}(\bar{X}) + \frac{\bar{X}^2}{\bar{Y}^4} \text{Var}(\bar{Y}) - 2 \frac{\bar{X}}{\bar{Y}^3} \text{Cov}(\bar{X}, \bar{Y})$$

$$\text{Var}(M_{ctr}) = \frac{\bar{Y}^2 \text{Var}(\bar{X}) - 2\bar{X}\bar{Y} \text{Cov}(\bar{X}, \bar{Y}) + \bar{X}^2 \text{Var}(\bar{Y})}{\bar{Y}^4}$$

Symmetric하게 예쁘게 식이 떨어짐

# 비율 지표의 분산 추정

$$Var(M_{ctr}) = Var\left(\frac{\bar{X}}{\bar{Y}}\right) = \frac{1}{\bar{Y}^2} Var(\bar{X}) + \frac{\bar{X}^2}{\bar{Y}^4} Var(\bar{Y}) - 2 \frac{\bar{X}}{\bar{Y}^3} Cov(\bar{X}, \bar{Y})$$

$$Var(M_{ctr}) = \frac{\bar{Y}^2 Var(\bar{X}) - 2\bar{X}\bar{Y} Cov(\bar{X}, \bar{Y}) + \bar{X}^2 Var(\bar{Y})}{\bar{Y}^4}$$

Symmetric하게 예쁘게 식이 떨어짐

여기서 생각해볼만한 재밌는 점은..

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum Click, \bar{Y} = \frac{1}{N} \sum PV$$

퀴즈 4. 두 지표 각각을 한마디로 정의해본다고 하면, 무엇이 떠오르시나요?

# 비율 지표의 분산 추정

$$Var(M_{ctr}) = Var\left(\frac{\bar{X}}{\bar{Y}}\right) = \frac{1}{\bar{Y}^2} Var(\bar{X}) + \frac{\bar{X}^2}{\bar{Y}^4} Var(\bar{Y}) - 2 \frac{\bar{X}}{\bar{Y}^3} Cov(\bar{X}, \bar{Y})$$

$$Var(M_{ctr}) = \frac{\bar{Y}^2 Var(\bar{X}) - 2\bar{X}\bar{Y} Cov(\bar{X}, \bar{Y}) + \bar{X}^2 Var(\bar{Y})}{\bar{Y}^4}$$

Symmetric하게 예쁘게 식이 떨어짐

여기서 생각해볼만한 재밌는 점은..

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum Click, \bar{Y} = \frac{1}{N} \sum PV$$

퀴즈 4. 두 지표 각각을 한마디로 정의해본다고 하면, 무엇이 떠오르시나요?

$\bar{X}$ 는 사용자 당 클릭,  $\bar{Y}$ 는 사용자 당 PV (즉, CTR은 사용자 단위의 두 지표 간 비율지표)

## 비율 지표의 분산 추정

$$Var(M_{ctr}) = \frac{\bar{Y}^2 Var(\bar{X}) - 2\bar{X}\bar{Y}Cov(\bar{X}, \bar{Y}) + \bar{X}^2 Var(\bar{Y})}{\bar{Y}^4}$$

사용자 단위 지표의 표본평균, 표본분산, 공분산 정보만 있으면 됨

→ CTR의 분산 추정이 굉장히 쉬워짐

→ 수리통계학의 아름다움

## 비율 지표의 분산 추정

$$\text{Var}(M_{ctr}) = \frac{\bar{Y}^2 \text{Var}(\bar{X}) - 2\bar{X}\bar{Y} \text{Cov}(\bar{X}, \bar{Y}) + \bar{X}^2 \text{Var}(\bar{Y})}{\bar{Y}^4}$$

필요 데이터는 이게 끝 -> 실험 기간 동안 관측된 개별 사용자의 클릭( $X$ ), PV( $Y$ ) 관측값

- 사용자 당 클릭, 사용자 당 PV 연산
- 사용자 당 클릭, 사용자 당 PV 각각의 표본분산 연산
- 사용자 당 클릭, 사용자 당 PV 간 표본 공분산 연산 ( $\text{Cov}(\bar{X}, \bar{Y}) = \frac{1}{n} \text{Cov}(X, Y)$ )



보너스. A/B 테스트의 최종 관심인 Delta %에 관한 분산 추정

# Delta %에 관한 분산 추정

$$\Delta\% = \frac{M_{trt} - M_{con}}{M_{con}}$$

$\Delta\%$ 는 대조군 대비 실험군에서 핵심 관심 지표( $M$ )의 변화율

# Delta %에 관한 분산 추정

$$\Delta\% = \frac{M_{trt} - M_{con}}{M_{con}}$$

$\Delta\%$ 에 대해 통계적 가설 검정을 한다고 해보자.

퀴즈 5.  $\Delta\%$  값 자체 외에 추가적으로 꼭 필요로 되는 값은?

# Delta %에 관한 분산 추정

$$\Delta\% = \frac{M_{trt} - M_{con}}{M_{con}}$$

$\Delta\%$ 에 대해 통계적 가설 검정을 한다고 해보자.

퀴즈 5.  $\Delta\%$  값 자체 외에 추가적으로 꼭 필요로 되는 값은?

→  $\Delta\%$ 의 분산

→ 표본평균의 계산은 쉬움.. 문제는 표본분산인  $Var(\Delta\%)$ 에 관한 추정

$$\text{Var}(\Delta\%) = \text{Var}\left(\frac{M_{trt} - M_{con}}{M_{con}}\right) = \text{Var}\left(\frac{M_{trt}}{M_{con}} - 1\right) = \text{Var}\left(\frac{M_{trt}}{M_{con}}\right)$$

또 한 번 비율 지표에 관한 분산 추정 필요

# Delta %에 관한 분산 추정

$$\text{Var}(\Delta\%) = \text{Var}\left(\frac{M_{trt} - M_{con}}{M_{con}}\right) = \text{Var}\left(\frac{M_{trt}}{M_{con}} - 1\right) = \text{Var}\left(\frac{M_{trt}}{M_{con}}\right)$$

또 한 번 비율 지표에 관한 분산 추정 필요

여기서 실험의 핵심 관심 지표  $M$ 을 앞서 구해둔 CTR이라 하자.

앞서 배운 Delta method를 그대로 적용하면:

$$\text{Var}\left(\frac{M_{trt}}{M_{con}}\right) = \frac{M_{con}^2 \text{Var}(M_{trt}) - 2M_{trt}M_{con} \text{Cov}(M_{trt}, M_{con}) + M_{trt}^2 \text{Var}(M_{con})}{M_{con}^4}$$

# Delta %에 관한 분산 추정

$$\text{Var}(\Delta\%) = \text{Var}\left(\frac{M_{trt} - M_{con}}{M_{con}}\right) = \text{Var}\left(\frac{M_{trt}}{M_{con}} - 1\right) = \text{Var}\left(\frac{M_{trt}}{M_{con}}\right)$$

또 한 번 비율 지표에 관한 분산 추정 필요

여기서 실험의 핵심 관심 지표  $M$ 을 앞서 구해둔 CTR이라 하자.

앞서 배운 Delta method를 그대로 적용하면:

$$\text{Var}\left(\frac{M_{trt}}{M_{con}}\right) = \frac{M_{con}^2 \text{Var}(M_{trt}) - 2M_{trt}M_{con} \text{Cov}(M_{trt}, M_{con}) + M_{trt}^2 \text{Var}(M_{con})}{M_{con}^4}$$

여기서 희소식은 공분산 항을 소거할 수 있다는 것!

퀴즈 6. 대조군과 실험군 각각의 관심지표에 관한 공분산은 어째서 소거가 될까?

# Delta %에 관한 분산 추정

$$Var(\Delta\%) = Var\left(\frac{M_{trt} - M_{con}}{M_{con}}\right) = Var\left(\frac{M_{trt}}{M_{con}} - 1\right) = Var\left(\frac{M_{trt}}{M_{con}}\right)$$

또 한 번 비율 지표에 관한 분산 추정 필요

여기서 실험의 핵심 관심 지표  $M$ 을 앞서 구해둔 CTR이라 하자.

앞서 배운 Delta method를 그대로 적용하면:

$$Var\left(\frac{M_{trt}}{M_{con}}\right) = \frac{M_{con}^2 Var(M_{trt}) - 2M_{trt}M_{con}Cov(M_{trt}, M_{con}) + M_{trt}^2 Var(M_{con})}{M_{con}^4}$$

여기서 희소식은 공분산 항을 소거할 수 있다는 것!

퀴즈 6. 대조군과 실험군 각각의 관심지표에 관한 공분산은 어째서 소거가 될까?

실험군과 대조군은 무작위 배정을 통해 독립적으로 할당되기 때문 (독립 -> 공분산 0, 단 역은 성립 안함)

$$\text{Var}\left(\frac{M_{trt}}{M_{con}}\right) = \frac{M_{con}^2 \text{Var}(M_{trt}) + M_{trt}^2 \text{Var}(M_{con})}{M_{con}^4}$$

결론적으로 필요한 데이터는 여전히 똑같다.

# Delta %에 관한 분산 추정

$$\text{Var}\left(\frac{M_{trt}}{M_{con}}\right) = \frac{M_{con}^2 \text{Var}(M_{trt}) + M_{trt}^2 \text{Var}(M_{con})}{M_{con}^4}$$

결론적으로 필요한 데이터는 여전히 똑같다.

실험 기간 동안 관측된 개별 사용자의 클릭( $X$ ), PV( $Y$ ) 관측값

- 실험군과 대조군 각각의 CTR 연산 ( $M_{trt}, M_{con}$ )
- 실험군과 대조군 각각의 CTR의 표본분산 연산 ( $\text{Var}(M_{trt}), \text{Var}(M_{con})$ )

# Delta %에 관한 분산 추정

$$\text{Var}\left(\frac{M_{trt}}{M_{con}}\right) = \frac{M_{con}^2 \text{Var}(M_{trt}) + M_{trt}^2 \text{Var}(M_{con})}{M_{con}^4}$$

결론적으로 필요한 데이터는 여전히 똑같다.

실험 기간 동안 관측된 개별 사용자의 클릭( $X$ ), PV( $Y$ ) 관측값

- 실험군과 대조군 각각의 CTR 연산 ( $M_{trt}, M_{con}$ )
- 실험군과 대조군 각각의 CTR의 표본분산 연산 ( $\text{Var}(M_{trt}), \text{Var}(M_{con})$ )

수리통계학의 아름다움



# 오늘 한 이야기 요약

- 사용자로부터 측정되는 모든 값은 확률변수
- 실험 기간 동안 관측된 사용자의 개별 관심 행동(e.g. Order, Order Conversion, Click)  
데이터만 있다면 사용자 단위 지표 외에도 실험에서 관심을 가질만한 거의 모든 통계량이  
계산 가능해짐
  - How? [Delta Method](#) 이용
    - CTR, GMV per order 등과 같은 비율 지표에 관한 분산 추정 가능
    - A/B 테스트의 최종 관심인  $\Delta\%$ 에 관한 분산 추정 가능

- [1] Deng, A., Knoblich, U., & Lu, J. (2018). Applying the Delta method in metric analytics: A practical guide with novel ideas (arXiv:1803.06336). arXiv. <http://arxiv.org/abs/1803.06336>
- [2] Bao, W. (2023, March 28). How to Size For Online Experiments With Ratio Metrics. Expedia Group Technology. <https://medium.com/expedia-group-tech/how-to-size-for-online-experiments-with-ratio-metrics-3d57362f1967>
- [3] Kohavi, R., Tang, D., & Xu, Y. (2020). *Trustworthy Online Controlled Experiments: A Practical Guide to A/B Testing*. Cambridge University Press. <https://experimentguide.com/>
- [4] [Metric Deltas | Statsig Docs](#)