UNISWAP

WITH PYTHON-IMPLEMENTED SIMULATOR

REFERENCE

- Zhang, Yi, Xiaohong Chen, and Daejun Park. "Formal Specification of Constant Product (x×y=k) Market Maker Model and Implementation." URL: https://github.com/runtimeverification/verifiedsmart-contracts/blob/uniswap/uniswap/xy-k.pdf, Accessed: December 30 (2018): 2019.
- https://github.com/lukepark327/uniswap-python
- https://medium.com/curg/유니스왑-이모저모-살펴보기-e2ee091f3aef

BACKGROUNDS

BACKGROUNDS: ERC20 TOKEN

- 토큰
  - 스마트 컨트랙트를 통해 저장되거나 수정된 상태는 신뢰할 수 있음
  - 이를 이용해 쉽게 암호화폐를 제작
  - 스마트 컨트랙트로 만들어진 암호화폐를 토큰(Token)이라고 칭함

BACKGROUNDS: ERC20 TOKEN

- ERC20
  - 이더리움 스마트 컨트랙트로 만드는 암호화폐인 토큰에 대한 표준 규격
  - ERC20 토큰 간에는 손쉽게 호환성을 제공할 수 있음
  - 구현의 간편함과 호환성을 위해,
    이더리움상에서 구현된 토큰 대다수가 ERC20 표준을 준수

BACKGROUNDS: DEFI

- 기존 금융 시스템은 은행과 같은 중앙 기관의 주도로 동작
  - 중앙 기관에서 시스템의 안전을 보장
- 디파이(DeFi)
  - 탈중앙화 금융(Decentralized Financial)의 약자
  - 중앙 기관이 없는 탈중앙화 환경에 기반하여 금융 시스템을 제공

BACKGROUNDS: DEFI

- 최근의 디파이
  - 효율성과 안전성을 위해 신뢰할 수 있는 환경인 블록체인에 기반
  - 암호화폐를 담보로 일정 금액을 대출받거나
  - 서로 다른 암호화폐간의 교환, 상품 거래, 스테이블 코인 발행 등
  - 금융 서비스를 제공

OVERVIEW

OVERVIEW

- 유니스왑(Uniswap)
  - 이더리움에서 자동화된 유동성 공급을 위한 프로토콜이자 디파이 서비스
  - 유니스왑에서는 ETH와 ERC20 토큰 간의 거래,
  - 혹은 ERC20토큰과 다른 ERC20 토큰간의 거래를 지원

OVERVIEW

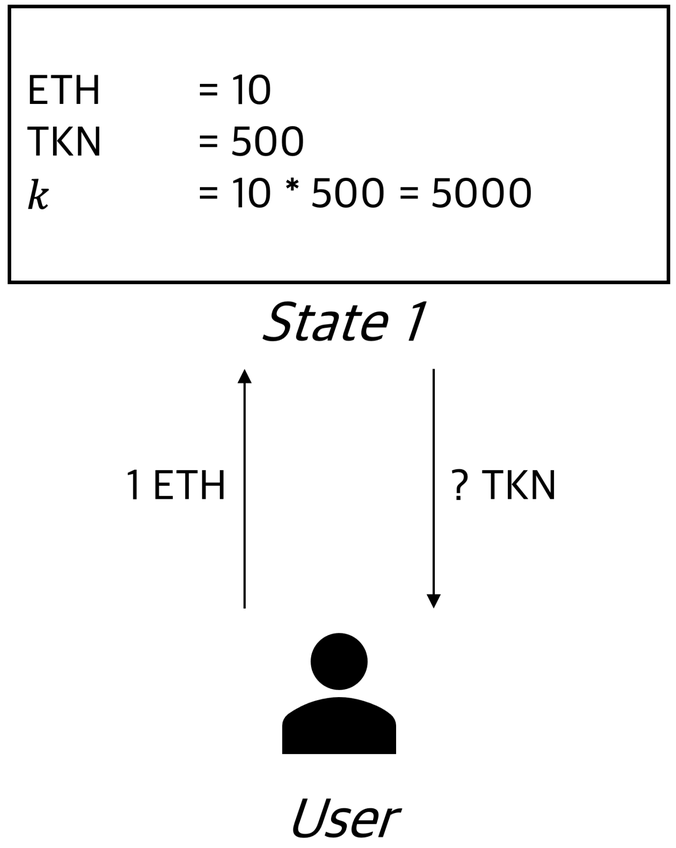
- 기존의 P2P(Peer-to-peer) 거래
  - 구매자와 판매자가 반드시 한 쌍 존재해야 함
  - 이들의 희망 매매가격이 일치하는 경우에만 거래가 성사
- 유니스왑에서는 판매자라는 주체가 요구되지 않음
  - 오직 구매자와 유동성 공급자만이 존재
  - 구매자는 ETH를 토큰으로 교환하거나, 토큰을 ETH 또는 다른 토큰으로 교환하는 행위를 판매자 없이 행할 수 있음
- 이렇게 함으로써 실시간 유동성이 없는 환경에서도 거래가 가능

OVERVIEW

- 풀(pool)이라는 개념 덕분
  - ETH풀은 다량의 ETH을 보유하고 있으며,
  - 토큰 풀은 토큰을 보유
- ETH를 토큰으로 교환하고자 하는 구매자
  - ETH 풀에 ETH를 전송
  - 프로토콜에 의해 계산된 양의 토큰을 받음
- 반대의 경우도 마찬가지

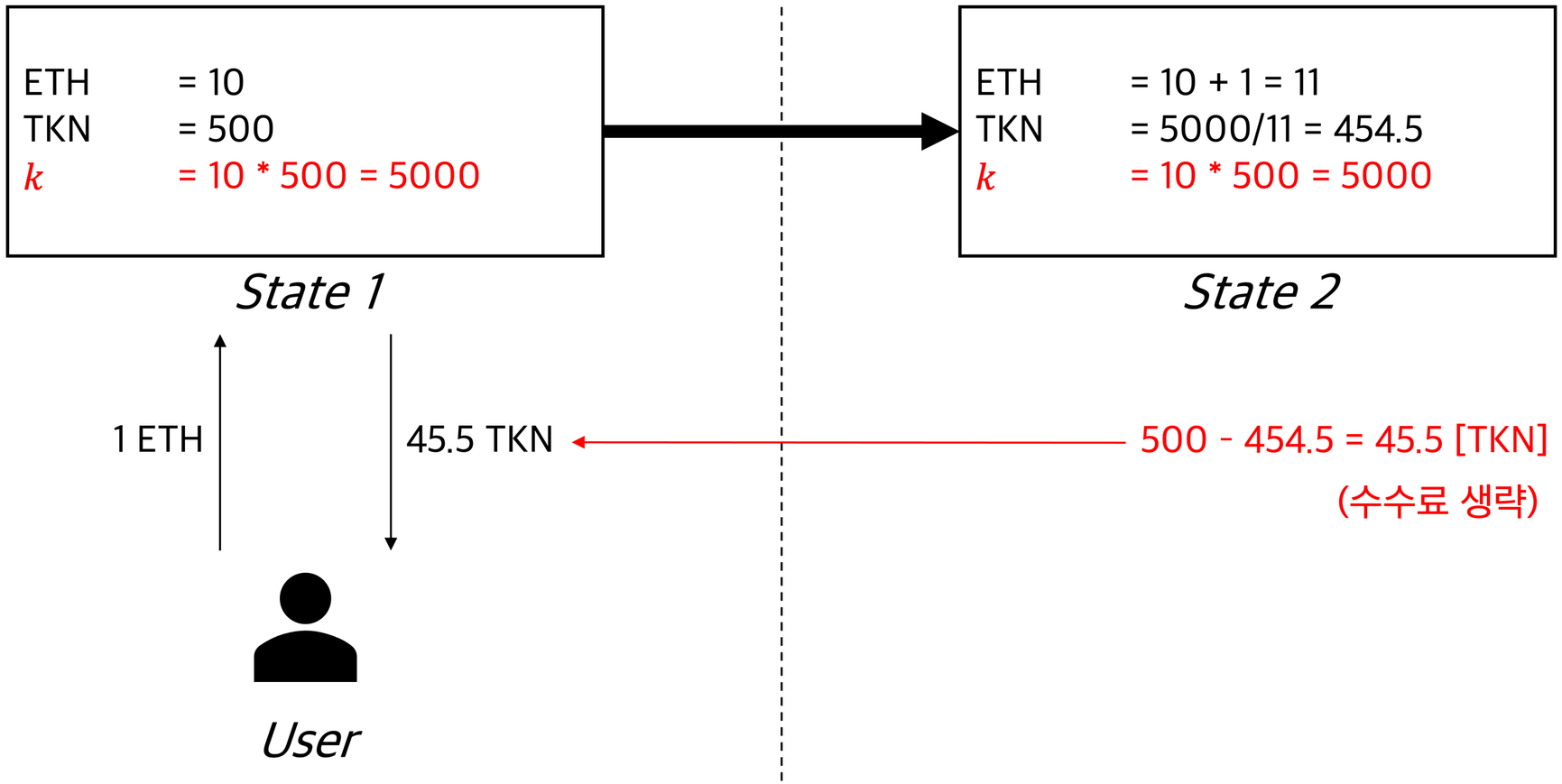
OVERVIEW

- ETH to TKN



OVERVIEW

- ETH to TKN



OVERVIEW

- 유동성 공급자
  - 거래로 인해 발생할 수 있는 풀의 불균형을 조율
  - 양 풀의 자금을 공급하는 역할을 담당
- 유동성을 공급하기 위해 자금을 묶어두는 대가로
  - 0.3%의 거래 수수료를 취함

$$x \times y \equiv k$$

MODEL

$x \times y = k$ MODEL

- 암호화폐 X와 Y 사이의 Swap
- X 풀의 수량 x, Y 풀의 수량 y
- X를 Y로 교환하는 경우를 주로 다룸
  - 그 역을 동일하게 계산 가능

$x \times y = k$ MODEL: SWAP

- 거래 수수료가 없는 상황에서, X와 Y사이의 거래는 다음을 만족
  - 거래 전과 후의 상태 모두 $x \times y = k$ 를 유지
  - 이러한 특성 때문에 k를 '상수 곱(constant product)'으로 칭함
- Δx개의 토큰 X를 Δy개의 토큰 Y와 거래하려는 상황
  - $x \times y = k = (x + \Delta x) \times (y - \Delta y)$

$x \times y = k$ MODEL: SWAP

- 거래 이후의 토큰 X의 개수 x' 과 Y의 개수 y'
  - $x' = x + \Delta x = (1 + \alpha)x = \frac{1}{1 - \beta}x$
  - $y' = y - \Delta y = \frac{1}{1 + \alpha}y = (1 - \beta)y$
  - 여기서 $\alpha = \frac{\Delta x}{x}$, $\beta = \frac{\Delta y}{y}$
    - 풀의 기존 잔액 대비 변화량의 비(ratio)

$x \times y = k$ MODEL: SWAP

- 거래 수수료를 고려
  - 풀의 유동성 공급을 촉진하고 균형을 맞추기 위해 '거래 수수료' 개념이 존재
  - 모든 유니스왑 거래에 일정 비율로 부과
  - 유동성 공급자들 각자가 풀에 기여한 지분만큼 분할 수여
- 수식에서 ρ 로 표기
  - 0.3%의 수수료는 $\rho = 0.003$에 해당
  - $0 \leq \rho < 1$

$x \times y = k$ MODEL: SWAP

- 거래 수수료를 고려
- $y' = y - \Delta y$ 계산 시 변화량의 비 $\alpha = \dfrac{\Delta x}{x}$ 에 대해 거래 수수료를 부과
  - α 대신에 $\alpha(1 - \rho)$ 를 사용
  - 단순화를 위해 $\gamma = 1 - \rho$ 기호를 사용

$x \times y = k$ MODEL: SWAP

- 거래 수수료를 고려
  - $y' = y - \Delta y = \frac{1}{1+\alpha\gamma} y = (1-\beta)$
  - $\Delta y = \frac{\alpha\gamma}{1+\alpha\gamma} y$
- α를 β에 대해 정리하면
  - $\alpha = \frac{\beta}{(1-\beta)\gamma}$

$x \times y = k$ MODEL: SWAP

- 거래 수수료를 고려
  - $x' = x + \Delta x = (1 + \alpha)x = (1 + \frac{\beta}{(1-\beta)\gamma})x$
  - $\Delta x = \frac{\beta}{(1-\beta)\gamma}x$

$x \times y = k$ MODEL: SWAP

- 거래 수수료가 없는 상황 $(\gamma = 1)$
  - $x \times y = x' \times y'$
- 거래 수수료가 있는 상황 $(0 < \gamma < 1)$
  - $x \times y < x' \times y'$
  - k 값이 소폭 증가
  - 이러한 기작으로부터 유동성 공급자가 유동성을 회수할 때 이익을 발생시킴

$x \times y = k$ MODEL: SWAP

- 교환 금액 계산
- Δx개의 토큰 X로 구매할 수 있는 토큰 Y의 개수 Δy
  - $\Delta y = \frac{\alpha\gamma}{1+\alpha\gamma} y \, , \, \alpha = \frac{\Delta x}{x}$
- Δy개의 토큰 Y를 사기 위해 필요한 토큰 X의 개수 Δx
  - $\Delta x = \frac{\beta}{(1-\beta)\gamma} x \, , \, \beta = \frac{\Delta y}{y}$

$x \times y = k$ MODEL: SWAP

- 교환 금액 계산
- 다음 상태 x', y', k' 의 변화
  - $x < x'$
  - $y > y'$
  - $k < k'$

$x \times y = k$ MODEL: LIQUIDITY

- 유동성 공급자
  - 특정 비율(가령 0.3%)의 거래 수수료
  - 유동성에 기여한 지분만큼 가져감
- 지분을 평가하기 위해
  - 유동성 토큰(Liquidity Token, LT)이라는 별도의 유틸리티 토큰을 활용
  - 유동성 토큰의 현재까지의 총 발행량을 l로 표기

$x \times y = k$ MODEL: LIQUIDITY

- 유동성 토큰 발행
  - 양측 풀에 유동성이 공급될 때 새로운 유동성 토큰이 발행
- 시스템 상태는 다음과 같이 전이
  - $(x, y, l) \rightarrow (x', y', l')$
  - $x' = (1 + \alpha)x, y' = (1 + \alpha)y, l' = (1 + \alpha)l$
  - $\alpha = \frac{\Delta x}{x}$

$x \times y = k$ MODEL: LIQUIDITY

- 유동성 토큰 발행
- 유동성 공급자
  - Δx와 $\Delta y = y' - y$를 풀에 묶어두고
  - 그 대가로 $\Delta l = l' - l$ 만큼의 유동성 토큰을 발행받음
  - 이때 비율 $x : y : l$ 은 유지
    - $x : y : l = x' : y' : l'$

$x \times y = k$ MODEL: LIQUIDITY

- 유동성 토큰 발행
- k는 $k = x \times y$ 에서 $k' = x' \times y'$ 으로 증가 $(k < k')$
- $\frac{k'}{k} = (\frac{l'}{l})^2$

$x \times y = k$ MODEL: LIQUIDITY

- 유동성 토큰 소각
  - 유동성 공급자가 묶어둔 돈을 다시 회수할 때 유동성 토큰이 소각
- 시스템 상태는 다음과 같이 전이
  - $(x, y, l) \rightarrow (x', y', l')$
  - $x' = (1 - \lambda)x, y' = (1 - \lambda)y, l' = (1 - \lambda)l$
  - $\lambda = \frac{\Delta l}{l}$

$x \times y = k$ MODEL: LIQUIDITY

- 유동성 토큰 소각
- 유동성 공급자
  - 유동성 토큰을 $\Delta\lambda$만큼 소각함으로써
  - $\Delta x = x' - x$와 $\Delta y = y' - y$를 출금
  - 이때 비율 $x : y : l$ 은 유지
    - $x : y : l = x' : y' : l'$

$x \times y = k$ MODEL: LIQUIDITY

- 유동성 토큰 소각
- k는 $k = x \times y$ 에서 $k' = x' \times y'$ 으로 감소 $(k > k')$
- $\frac{k'}{k} = (\frac{l'}{l})^2$

IMPLEMENTATION

IMPLEMENTATION

- 구현상의 이슈
- 정수로 다뤄야 함
  - Floor 또는 Ceil을 이용한 integer rounding
- 오차 발생
  - 없던 가치가 mint 되어서는 안 됨
  - 가치가 큰 폭으로 변동해서는 안 됨

IMPLEMENTATION

- _get_input_price
  - 입력한 수량에 맞는 상대 재화를 계산

```
32      def _get_input_price(self, delta_X, X, Y, bool_fee=True):
33          # Validity check
34          if (X == 0) or (Y == 0):
35              raise Exception("invalid X: {} or Y: {}".format(X, Y))
36
37          alpha = float(delta_X / X)
38          gamma = (1. - self.fee) if bool_fee else (1.)
39
40          delta_Y = floor(alpha * gamma / (1. + alpha * gamma) * Y)
41
42          # Validity check
43          if delta_Y >= Y:
44              raise Exception("invalid delta_Y. {} >= {}".format(delta_Y, Y))
45
46          return delta_Y
```

IMPLEMENTATION

- _get_output_price
  - 원하는 상대 재화에 필요한 입력값을 구함

```
48      def _get_output_price(self, delta_Y, Y, X, bool_fee=True):
49          # Validity check
50          if (X == 0) or (Y == 0):
51              raise Exception("invalid X: {} or Y: {}".format(X, Y))
52          if delta_Y >= Y:
53              raise Exception("invalid delta_Y. {} >= {}".format(delta_Y, Y))
54
55          beta = float(delta_Y / Y)
56          gamma = (1. - self.fee) if bool_fee else (1.)
57
58          delta_X = floor(beta / ((1. - beta) * gamma) * X) + 1
59          return delta_X
```

IMPLEMENTATION

- ETH_to_ERC20 (ERC20_to_ETH)

```
61      def ETH_to_ERC20(self, delta_ETH, bool_fee=True, bool_update=True):
62          ETH_prime = self.ETH + delta_ETH
63          delta_ERC20 = self._get_input_price(delta_ETH, self.ETH, self.ERC20, bool_fee=bool_fee)
64
65          if bool_update:
66              ERC20_prime = self.ERC20 - delta_ERC20
67              self._update(ETH_prime, ERC20_prime)  # Pool update
68          return delta_ERC20

79      def ERC20_to_ETH(self, delta_ERC20, bool_fee=True, bool_update=True):
80          ERC20_prime = self.ERC20 + delta_ERC20
81          delta_ETH = self._get_input_price(delta_ERC20, self.ERC20, self.ETH, bool_fee=bool_fee)
82
83          if bool_update:
84              ETH_prime = self.ETH - delta_ETH
85              self._update(ETH_prime, ERC20_prime)  # Pool update
86          return delta_ETH
```

IMPLEMENTATION

- ETH_to_ERC20_exact (ERC20_to_ETH_exact)

```
70      def ETH_to_ERC20_exact(self, delta_ERC20, bool_fee=True, bool_update=True):
71          delta_ETH = self._get_output_price(delta_ERC20, self.ERC20, self.ETH, bool_fee=bool_fee)
72          ETH_prime = self.ETH + delta_ETH
73
74          if bool_update:
75              ERC20_prime = self.ERC20 - delta_ERC20
76              self._update(ETH_prime, ERC20_prime)  # Pool update
77          return delta_ETH

88      def ERC20_to_ETH_exact(self, delta_ETH, bool_fee=True, bool_update=True):
89          delta_ERC20 = self._get_output_price(delta_ETH, self.ETH, self.ERC20, bool_fee=bool_fee)
90          ERC20_prime = self.ERC20 + delta_ERC20
91
92          if bool_update:
93              ETH_prime = self.ETH - delta_ETH
94              self._update(ETH_prime, ERC20_prime)  # Pool update
95          return delta_ERC20
```

IMPLEMENTATION

- required_ERC20_for_liquidity
  - 풀 양측 모두 유동성을 공급해야 하므로
  - ETH를 기준으로
  - 유동성 공급에 필요한 ERC20 토큰 수량 계산

```
 99      def required_ERC20_for_liquidity(self, delta_ETH):
100          alpha = float(delta_ETH / self.ETH)
101
102          ERC20_prime = floor((1. + alpha) * self.ERC20) + 1
103          return ERC20_prime - self.ERC20
```

IMPLEMENTATION

- _mint
  - 유동성 공급

```
137     def _mint(self, delta_ETH, delta_ERC20, bool_update=True):  # add_liquidity
138         alpha = float(delta_ETH / self.ETH)
139 
140         ETH_prime = self.ETH + delta_ETH
141         ERC20_prime = floor((1. + alpha) * self.ERC20) + 1
142         LT_prime = floor((1. + alpha) * self.LT)
143         delta_LT = LT_prime - self.LT
144 
145         if bool_update:
146             self._update(ETH_prime, ERC20_prime, LT_prime)  # Pool update
147         return delta_LT
```

IMPLEMENTATION

- _burn
  - 유동성 제거

```
149     def _burn(self, delta_LT, bool_update=True):  # remove_liquidity
150         alpha = float(delta_LT / self.LT)
151 
152         ETH_prime = ceil((1. - alpha) * self.ETH)
153         ERC20_prime = ceil((1. - alpha) * self.ERC20)
154         LT_prime = self.LT - delta_LT
155         delta_ETH = self.ETH - ETH_prime
156         delta_ERC20 = self.ERC20 - ERC20_prime
157 
158         if bool_update:
159             self._update(ETH_prime, ERC20_prime, LT_prime)  # burn LT
160         return delta_ETH, delta_ERC20
```

ARBITRAGE

ARBITRAGE

- 유니스왑에서의 거래
  - 한 풀의 총량을 증가시키고 반대 풀의 총량을 감소시키는 형태
  - 풀의 균형이 깨지는 것
- 많은 양의 편향된 거래로 인해 풀의 균형이 극심하게 깨진다면
  - 유니스왑을 통한 교환비(ratio)와 외부 거래소를 통한 교환비가 크게 차이나게 됨
  - 시세 차익을 이용해 이득을 취하는 차익 거래(arbitrage)가 가능

ARBITRAGE

- 차익 거래(Arbitrage)
- X 풀과 Y 풀의 균형이 깨졌을 경우
  - 차익 거래자들은 X또는 Y를 교환을 통해 확보하는 것으로 이득을 취함

ARBITRAGE

- 최고 이득으로 Y를 교환하기 위해 필요한 X의 양
  - X를 Y로 교환하는 상황

ARBITRAGE

- 최고 이득으로 Y를 교환하기 위해 필요한 X의 양
- 이득(Gain)
  - $Gain_{\Delta x} = \Delta y - \Delta x - fee_x$
  - X와 Y 가치의 단위를 맞춰준 후 진행

ARBITRAGE

- 최고 이득으로 Y를 교환하기 위해 필요한 X의 양
- $Gain_{\Delta x} = \Delta y - \Delta x - fee_x$
  - Δy와 Δx의 관계식을 이용, 변수로 Δx 만을 가지는 식으로 정리
  - Δx에 대해 미분한 후, 0이 되는 지점을 찾음
  - $$\Delta x = \frac{\sqrt{x}\sqrt{y}\sqrt{\gamma} - x}{\gamma}$$

ARBITRAGE

- 최고 이득으로 X를 교환하기 위해 필요한 Y의 양
- $Gain_{\Delta y} = \Delta x - \Delta y - fee_y$
  - Δy에 대해 미분한 후, 0이 되는 지점을 찾음
  - $\Delta y = \dfrac{\sqrt{x}\sqrt{y}\sqrt{\gamma} - y}{\gamma}$

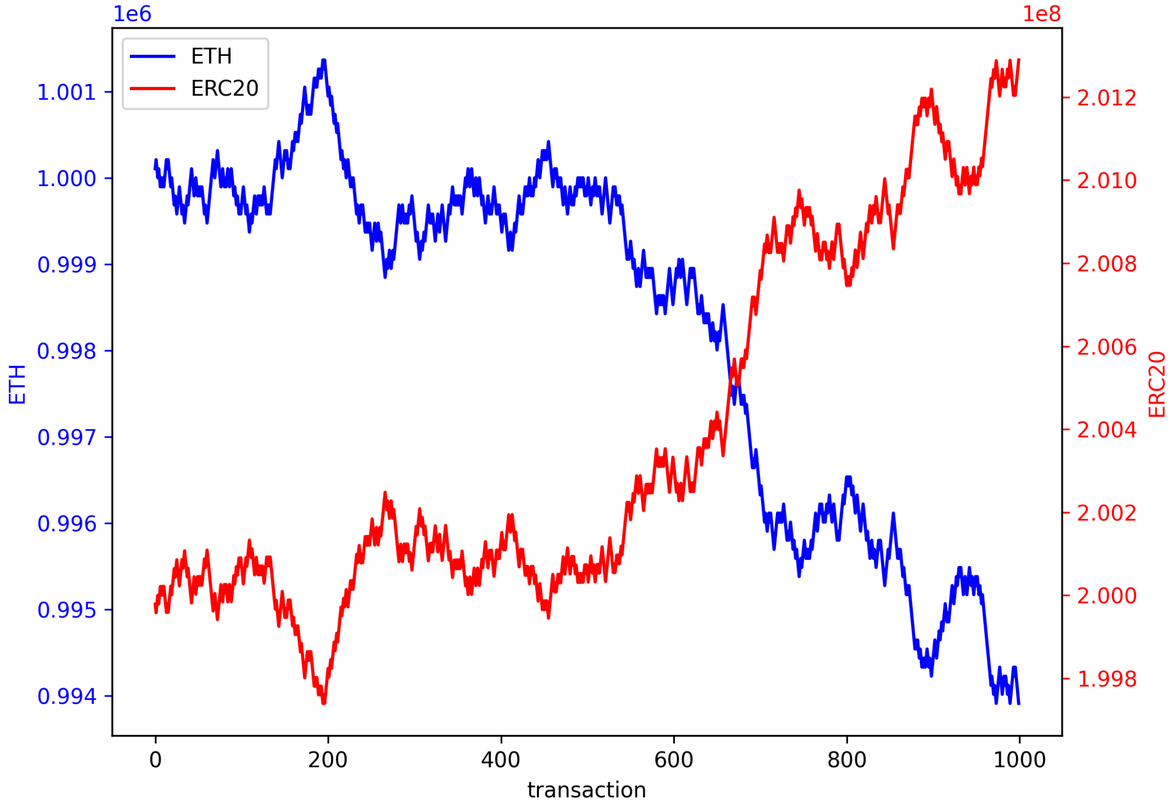
EVALUATION

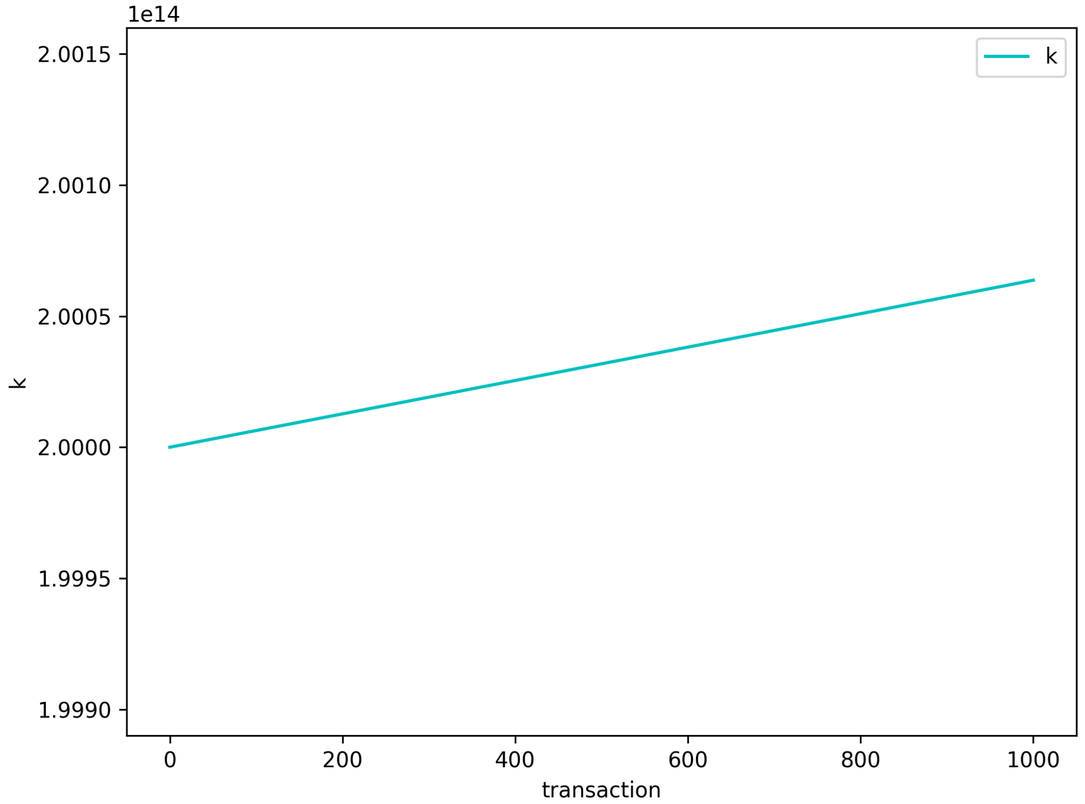
EVALUATION

- 실험 환경
  - 초기 X 풀의 수량은 1,000,000 개, 초기 Y 풀의 수량은 200,000,000 개
    - 블록체인 내부 환율은 $x : y = 1 : 200$ 으로 시작됨
  - 초기 유동성 토큰 발행량은 1,000,000
  - 거래 수수료는 0.3%
  - 차익 거래자는 1,000,000,000 Y의 가치에 해당하는 초기 자금을 가짐
  - 차익 거래자가 활용하는 외부 환율은 $x : y = 1 : 200$ 으로 시작됨

EVALUATION: UNISWAP PROTOCOL

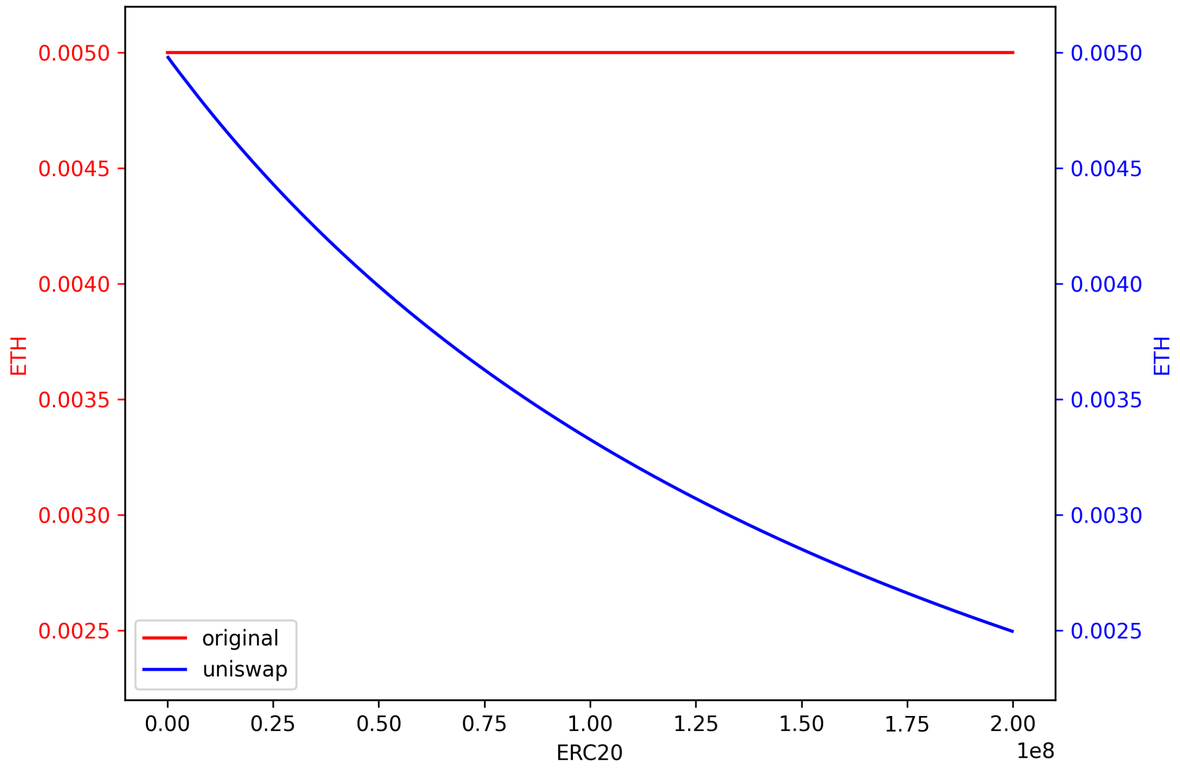
- 교환

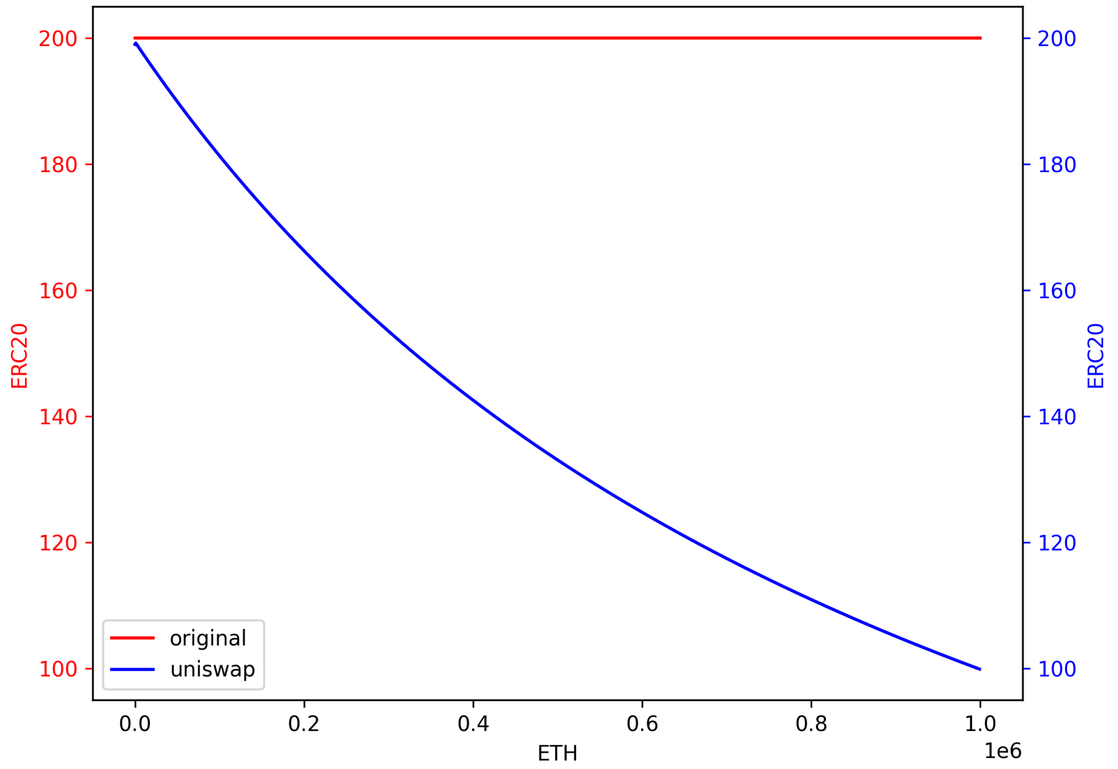




EVALUATION: UNISWAP PROTOCOL

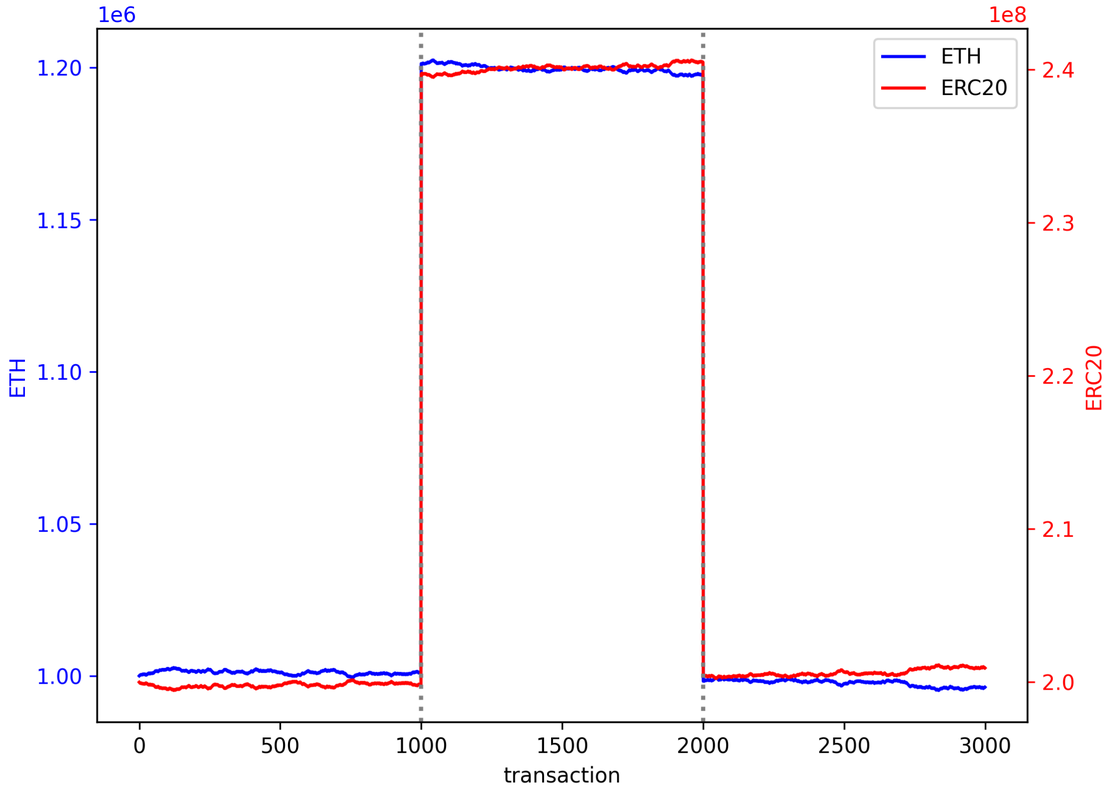
- 교환 수량에 따른 상대의 가치

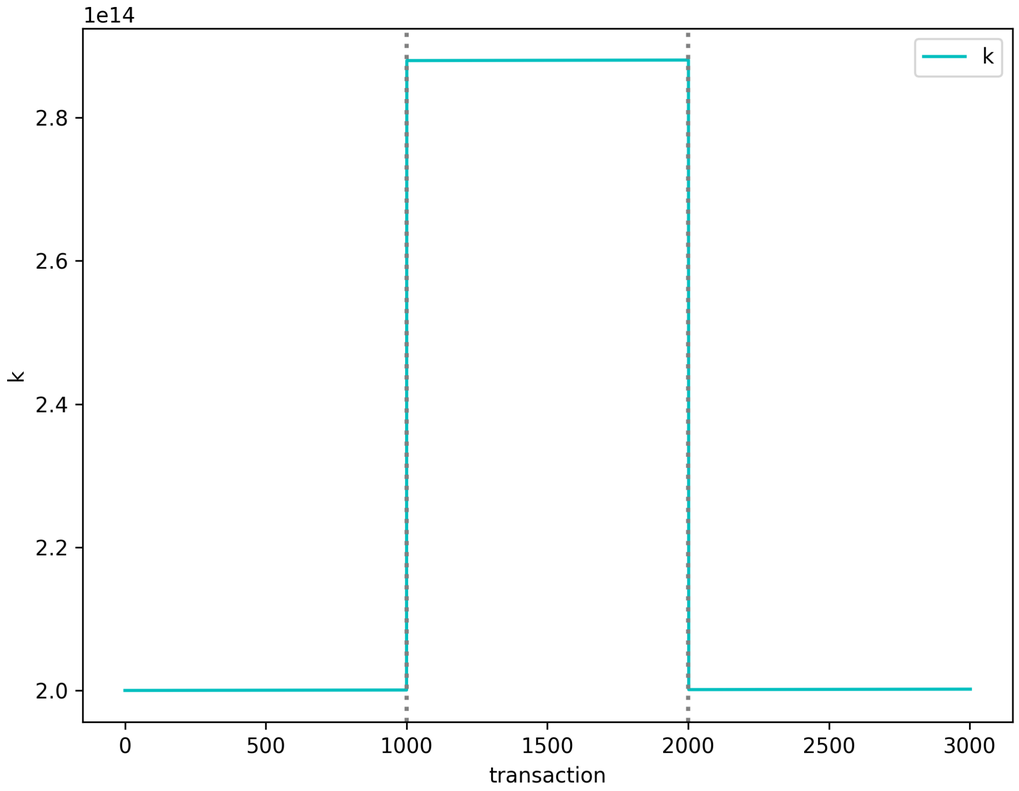




EVALUATION: UNISWAP PROTOCOL

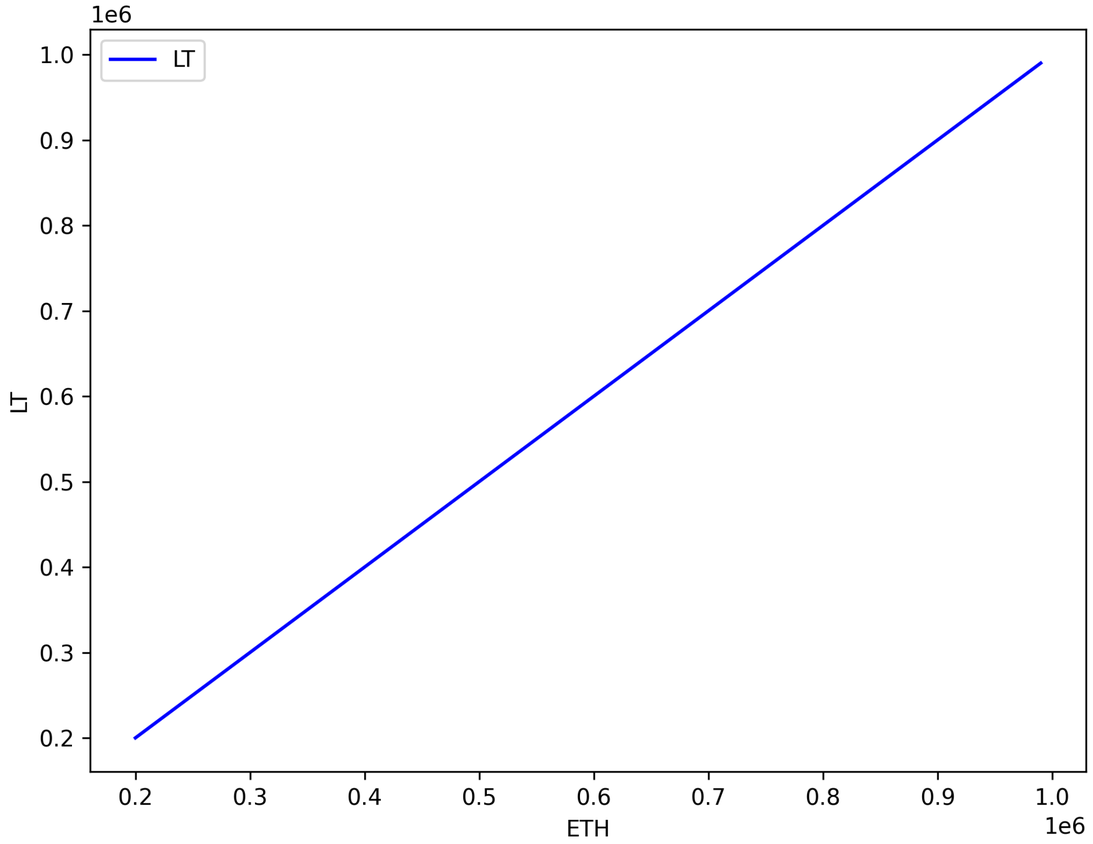
- 유동성 공급 및 제거





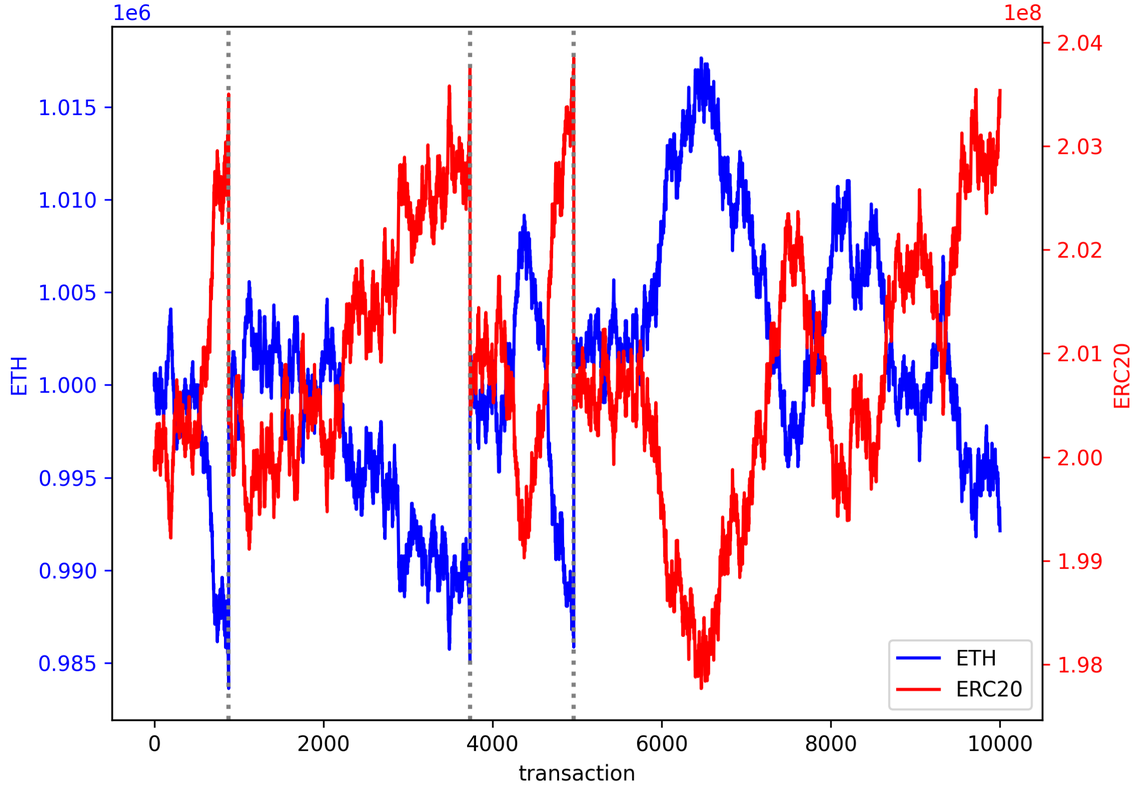
EVALUATION: UNISWAP PROTOCOL

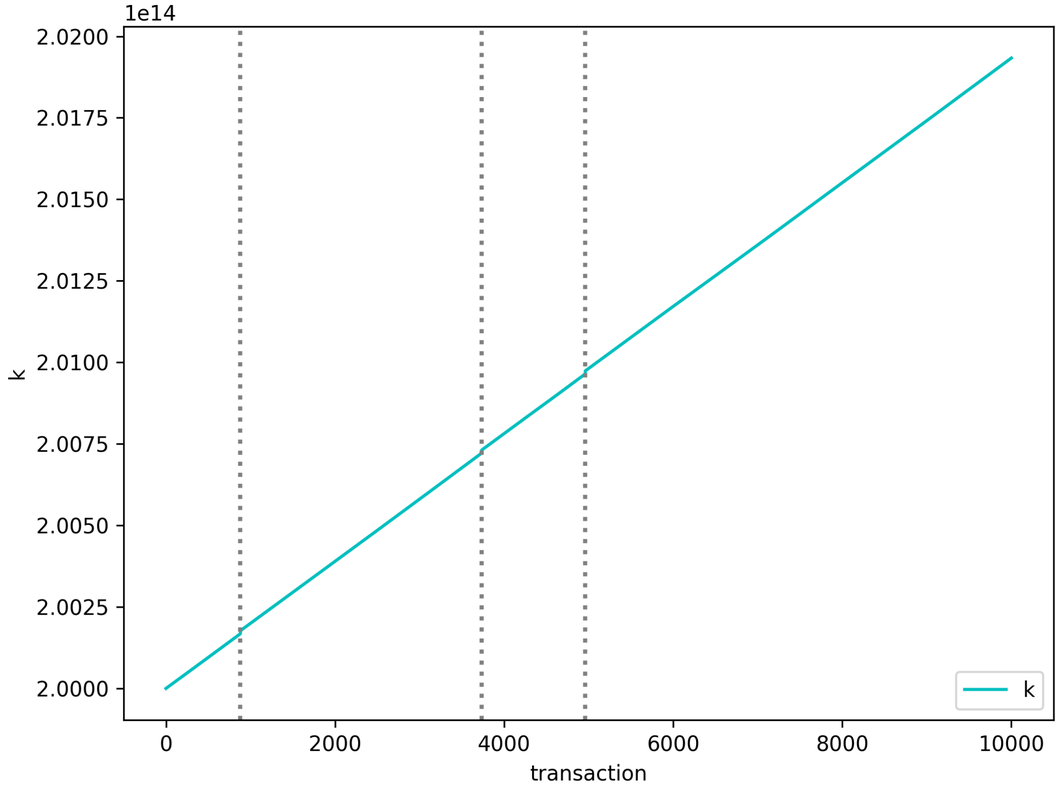
- 유동성 토큰 발행량



EVALUATION: ARBITRAGE

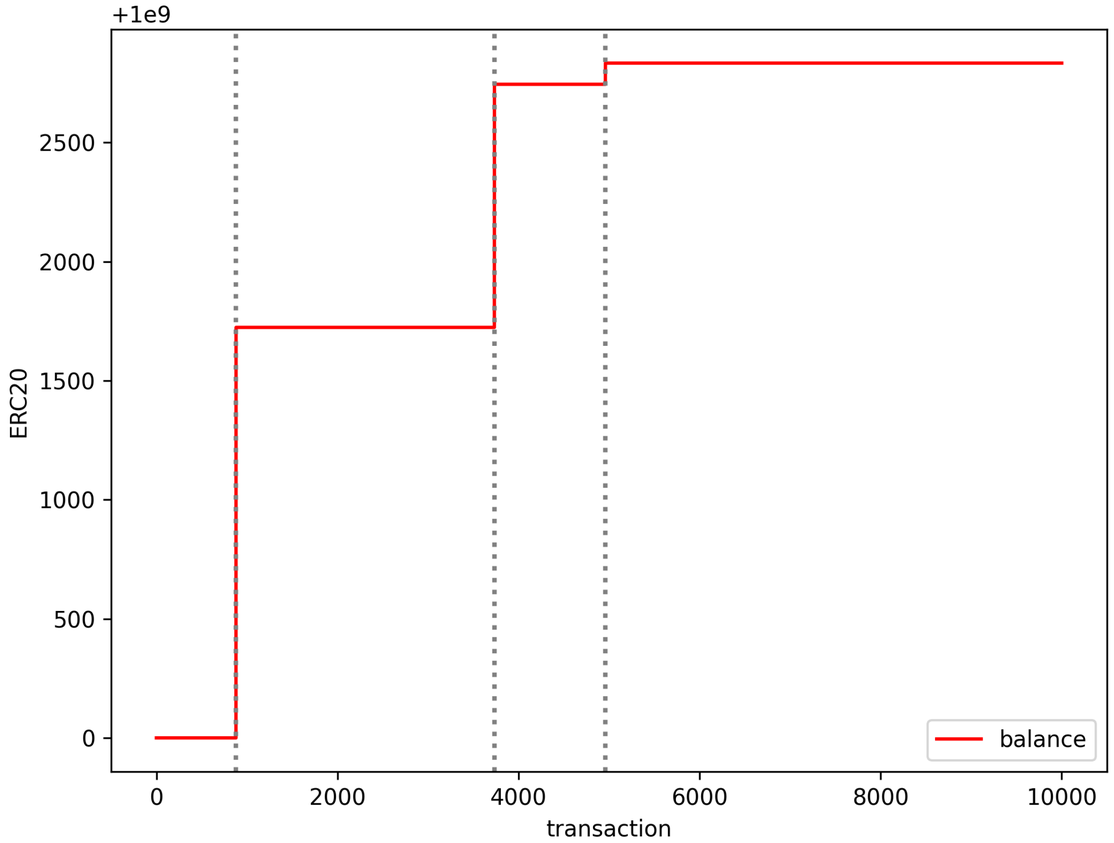
- 차익 거래 발생





EVALUATION: ARBITRAGE

- 차익 거래자의 자산



CONCLUSION

CONCLUSION

- 유니스왑 v1 프로토콜
  - 기존의 P2P 대출과는 달리 판매자가 필요 없음
  - 충분한 유동성(풀의 수량)만 공급되어 있다면
  - 어떤 시점에서든 알고리즘적으로 결정되는 가격에 교환을 수행할 수 있음
- 충분한 잔액을 갖춘 차익거래자의 존재를 가정하면,
  - 풀의 균형이 안정적으로 유지됨을 보장할 수 있음

UNISWAP

WITH PYTHON-IMPLEMENTED SIMULATOR