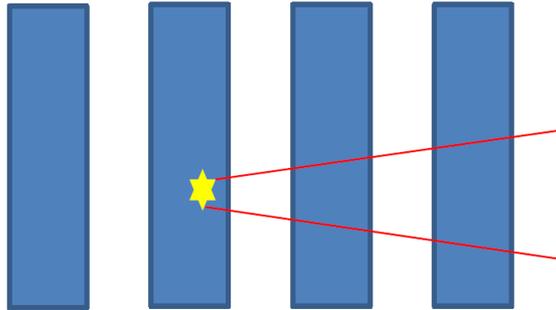


Neutron Detector Simulation

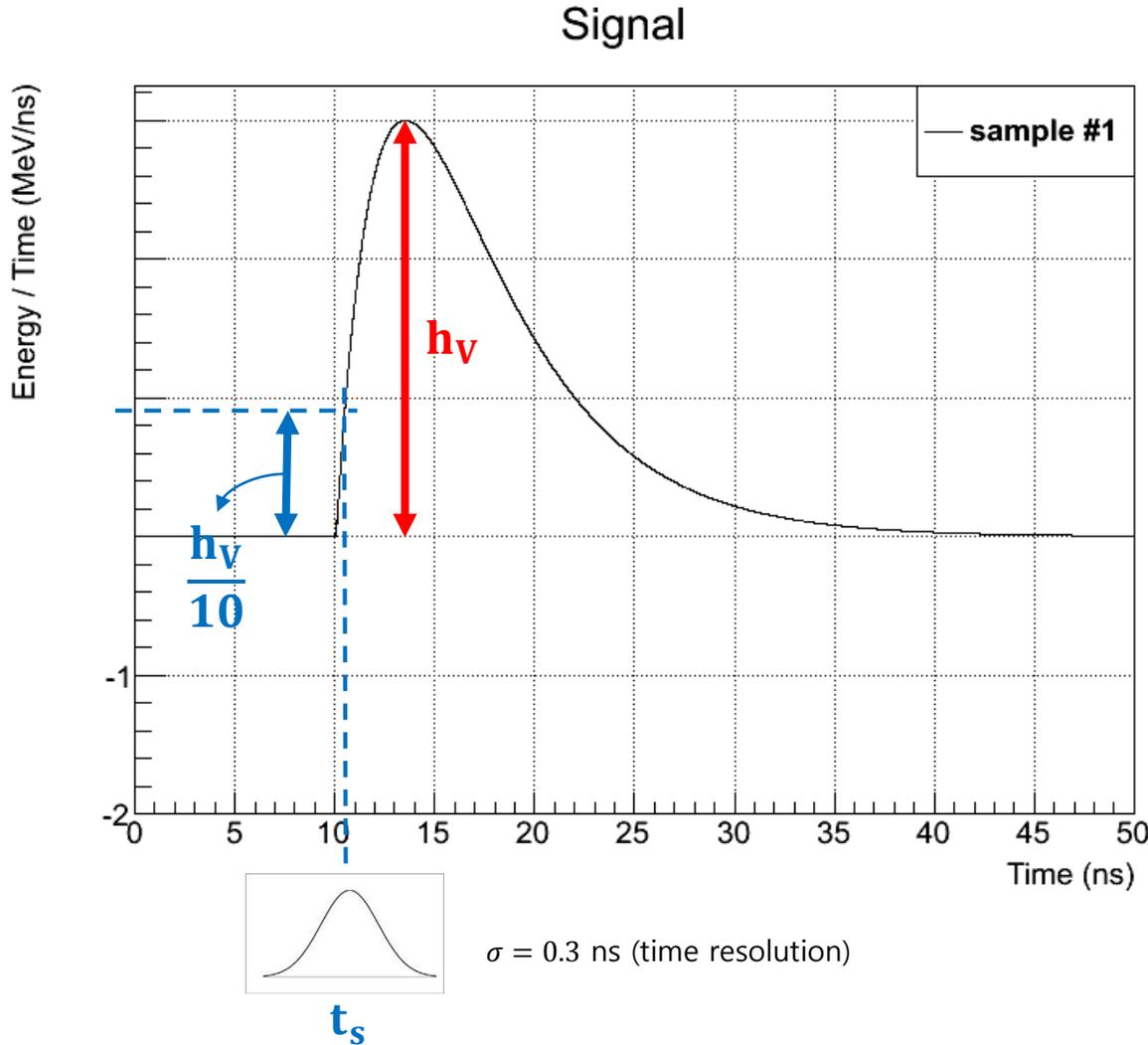
2015 / 02 / 16



Korea University
Nuclear Physics Lab.
BumGon Kim

Signal Simulation

❖ Signal hitTime t_s



h_V : height of the signal

t_s : signal hitTime

평균값 : $y = 0.1h_V$ 일 때의 t
표준편차 : 0.3 ns (시간분해능)
의 Gaussian random 분포에 따라
 t_s 를 정한다.

Signal Simulation

- **Gate time : 150 ns.**
- **Detector position : 10 m**
- Gate time 동안, 같은 bar detector 내에서 만들어진 signal 의 개수가 2개 이상임을 실험적으로 구분하기 위해서는
 - ✓ **두 signal 의 hitTime t_s 간격이 30 ns 이상이거나,**
 - t_s : bar detector 양쪽에서 측정되는 signal detection time 의 평균값
 - ✓ **두 signals 의 위치가 $3\sigma_s$ 이상**
 - σ_s : 위치분해능. 실험결과 약 **6 cm**
- 이어야 한다.
- 따라서, simulation 에서는 이 규칙에 따라 signal 들을 generate 하였다.

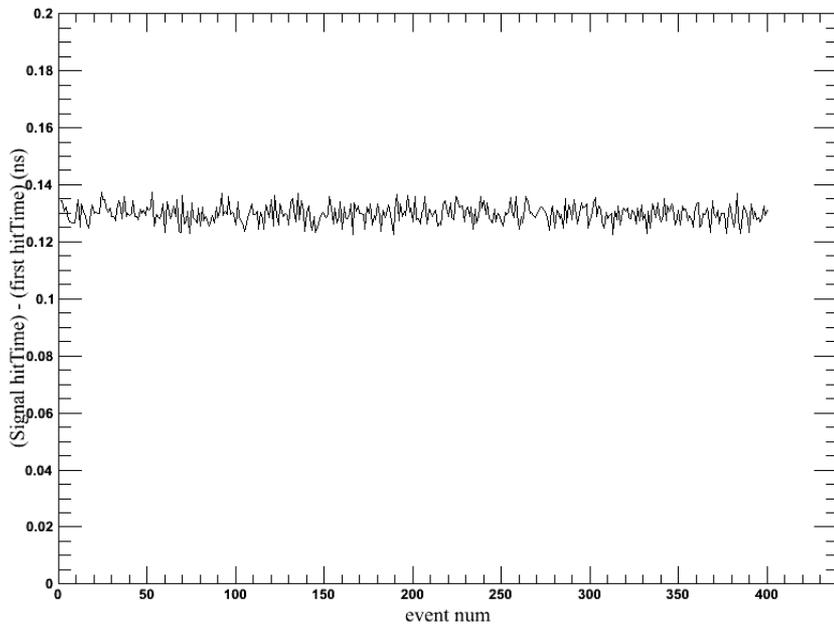
❖ Signal 의 위치

- X-axis 방향으로 정렬된 bar detector 내에 들어오는 signal 의 경우,
 - ✓ X-axis 상의 위치는 signal 을 구성하는 hit 들 중 시간상 가장 먼저 남겨진 hit 을 평균값으로, 위치분해능을 표준편차로 가지는 Gaussian random 분포에 따라 지정한다.
 - ✓ y-axis & z-axis 방향의 위치는 bar detector 의 위치와 같다고 본다.
- Y-axis 방향으로 정렬된 bar detector 내에 들어오는 signal 의 경우도 같은 방법으로 위치 정보를 저장한다.

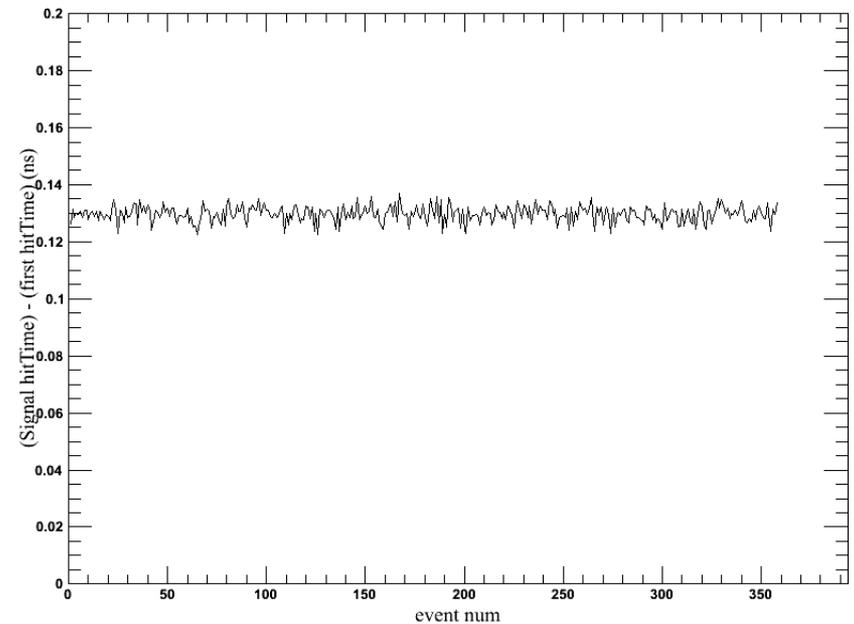
Average $\Delta t = (\text{Signal hitTime}) - (1^{\text{st}} \text{ hitTime})$

- Gap between the stacks : 40 cm

Neutron energy : 140 MeV



Neutron energy : 300 MeV



- Δt 는 입사하는 중성자의 energy 와는 거의 상관없이 약 0.13 ns 의 값을 가진다.

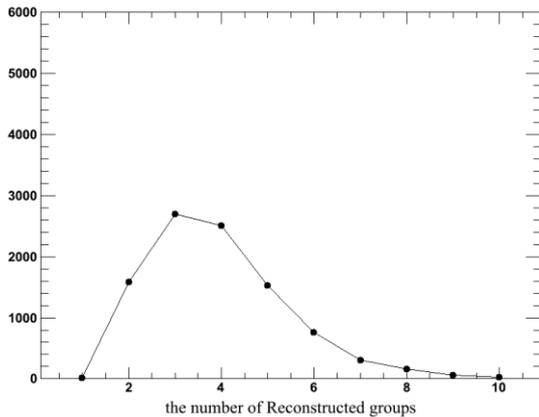
Separation Efficiency Using Signal Simulation

- 1개의 중성자가 발사되었을 때, detector에 1개 이상의 signal을 남길 확률 : 약 70 %
- 따라서, 2개의 중성자가 발사되었을 경우, 두 중성자 모두가 detector에 1개 이상의 signal을 남길 확률 : 약 49 %
- 300 MeV 중성자 2개를 일정 거리만큼 떨어뜨려서 10000 쌍 발생.
- Signal 의 시간 및 위치 정보 수집.
- 속도 조건, 시간 조건, 위치 조건을 이용하여, signal 들을 group 으로 분류.
 - ✓ **group : 같은 중성자에 의해 남겨진 것으로 추정되는 hit 들의 모임**
 - ✓ **(만들어진 Group 의 개수) = (algorithm 이 추정하는 발사된 중성자의 개수)**

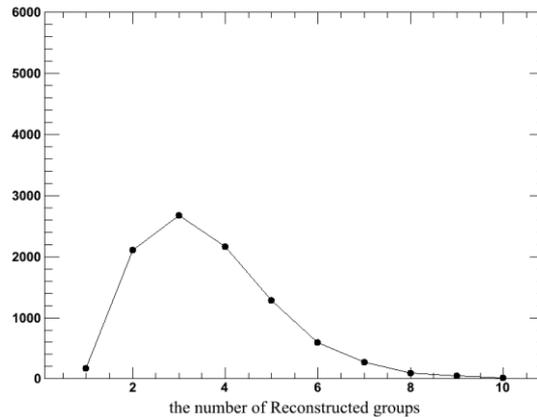
Separation Efficiency Using Signal Simulation

- ❖ Stack 간 gap 이 40 cm 일때, 두 중성자 **모두가 1개 이상의 signal** 을 남긴 경우, Simulation 에서 algorithm 에 의해 추정된, 발사된 중성자의 개수

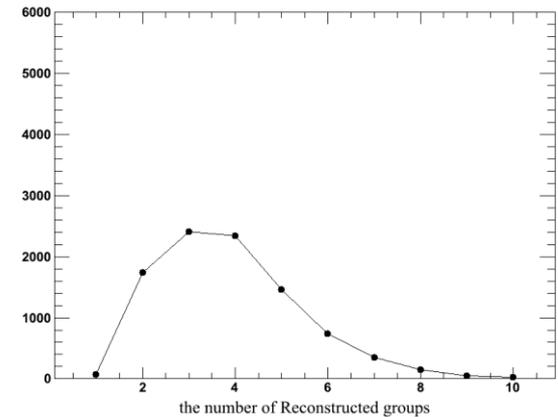
발사 위치 간격이 10 cm 일 때



발사 위치 간격이 40 cm 일 때



발사 위치 간격이 100 cm 일 때



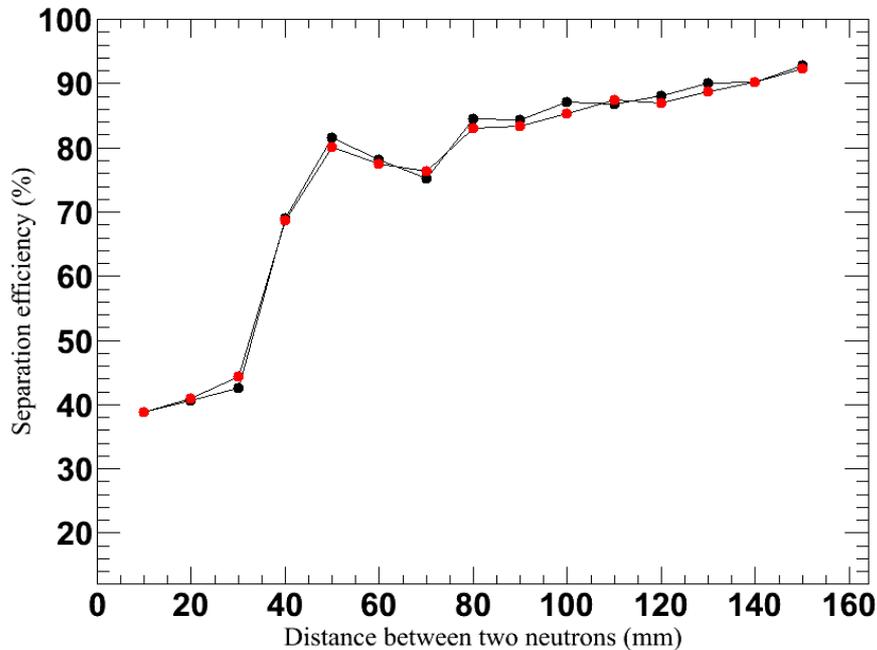
- ✓ 두 중성자 모두가 1개 이상의 signal 을 남기는 event pair 를 10000 개 generate.
- ✓ Event pairs 중 임의로 하나를 선택하여 algorithm 을 적용하였을 때, **algorithm 을 통한 reconstructed incident neutron 개수가 generated incident neutron 개수와 일치(2개)**할 확률 : 약 **20 %**
 - 너무 낮다.
 - Reconstructed incident neutron 개수가 3개 또는 4개로 계산될 확률이 더 높다.
 - Algorithm 의 개선 필요.

Separation Efficiency Using Signal Simulation

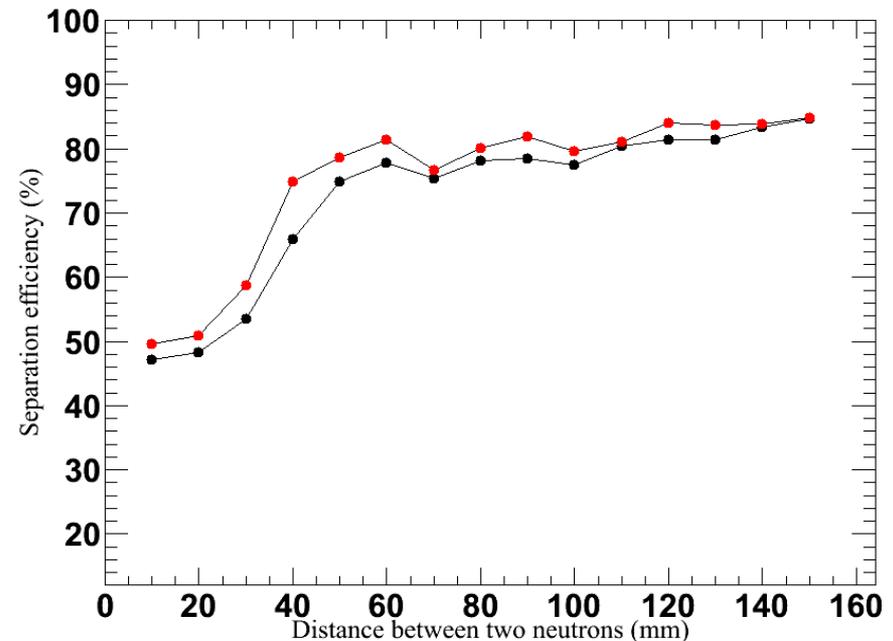
- **Separation Efficiency (for two incident neutrons case)**

- Algorithm 을 적용하여 만들어진 group 의 개수가 incident neutron 의 개수와 같은 경우(2개)에 대하여,
- 각 group 에 속한 signal 들이 모두 같은 중성자에 의해 남겨진 signal 인가?
- 각 group 은 모두 서로 다른 중성자에 의해 남겨진 signal 들의 모임인가?
- 위 2 가지 조건들을 만족한 경우, 중성자들을 올바르게 분류한 것으로 간주.

Without Signal Simulation Case



With Signal Simulation Case



Black :
Red : 60 cm gap

Two Neutron Efficiency Using Signal Simulation

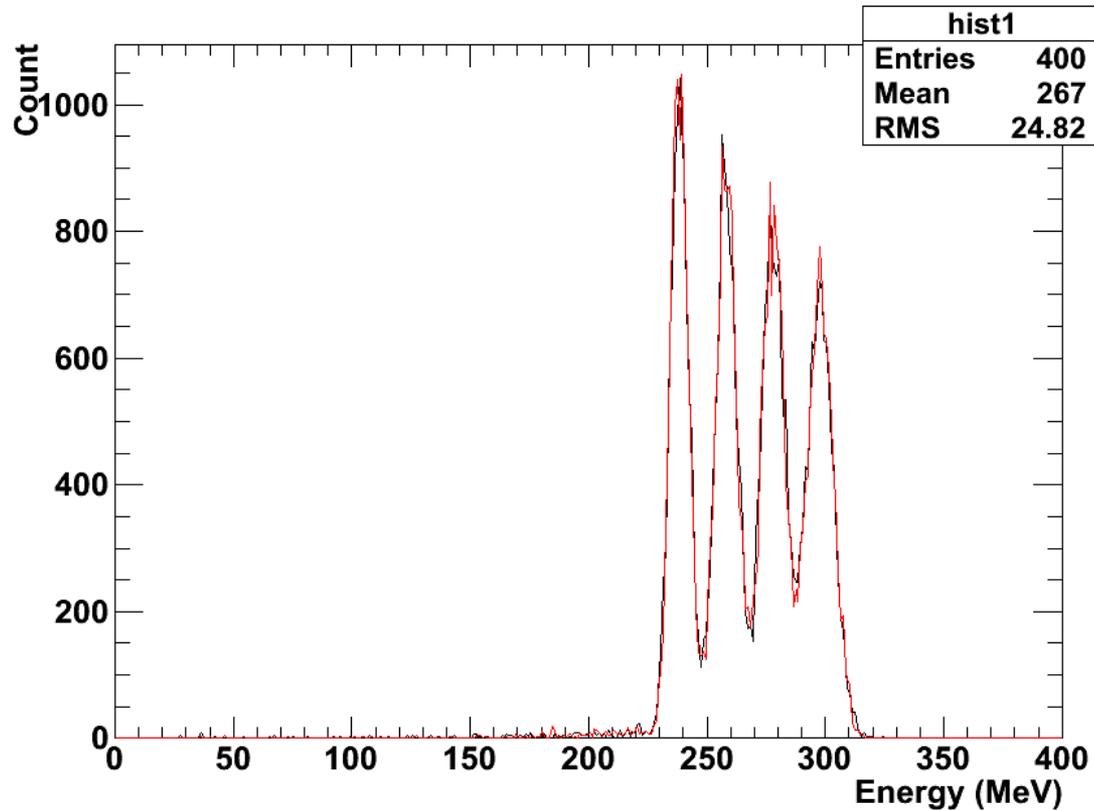
- ❖ 두 개의 중성자가 동시에 detector system 을 통과하였을 때, detector system 이 2개의 중성자가 통과하였다는 판단을 올바르게 내릴 확률
 - ✓ (두 중성자가 모두 최소 1개의 signal 을 만들어낼 확률) = 약 49 %
 - ✓ (위 조건하에 signal 들을 남긴 중성자의 개수가 2개라고 판단할 확률) = 약 20 %
 - ✓ (위의 두 조건을 모두 만족했을 때, 각각의 signal 들을 올바르게 분류할 확률) = 입사하는 두 중성자 간의 거리가 40 cm 이상일 때 평균적으로 약 80 %
- ❖ 종합하면, detector system 을 통과하기 전의 두 중성자 간의 거리가 40 cm 이상인 경우, 약 8 %의 확률로 완벽하게 구분할 수 있다.

Neutron Energy Reconstruction with E = 240, 260, 280, 300 MeV

- Neutron kinetic energy = $E - E_0 = (\gamma - 1)M_n$ ($M_n \approx 939.5656 \text{ MeV}/c^2$, $c = 1$)
- $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-v^2}} = \frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{L}{\tau}\right)^2}}$ $\tau = \text{1st signal hitTime}$
 $\sigma : 0.5$

Black : 40 cm gap

Red : 60 cm gap

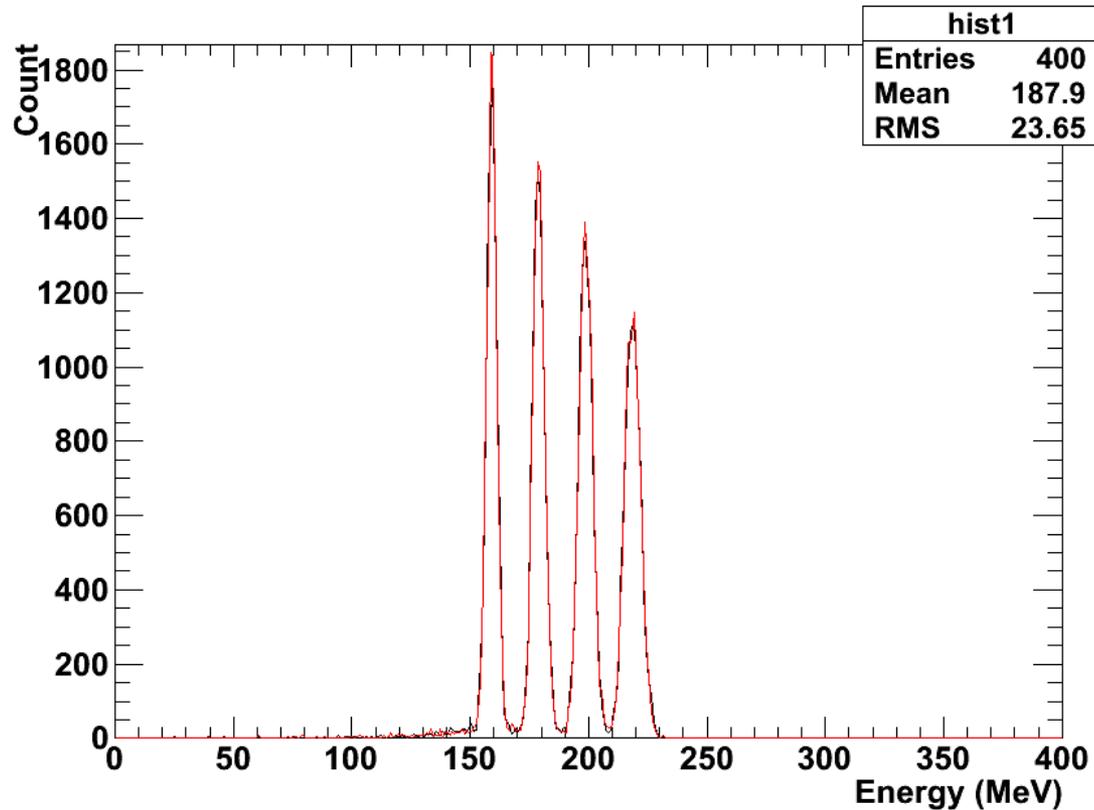


Neutron Energy Reconstruction with E = 160, 180, 200, 220 MeV

- Neutron kinetic energy = $E - E_0 = (\gamma - 1)M_n$ ($M_n \approx 939.5656 \text{ MeV}/c^2$, $c = 1$)
- $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-v^2}} = \frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{L}{\tau}\right)^2}}$ $\tau = 1^{\text{st}} \text{ signal hitTime}$
 $\sigma : 0.5$

Black : 40 cm gap

Red : 60 cm gap



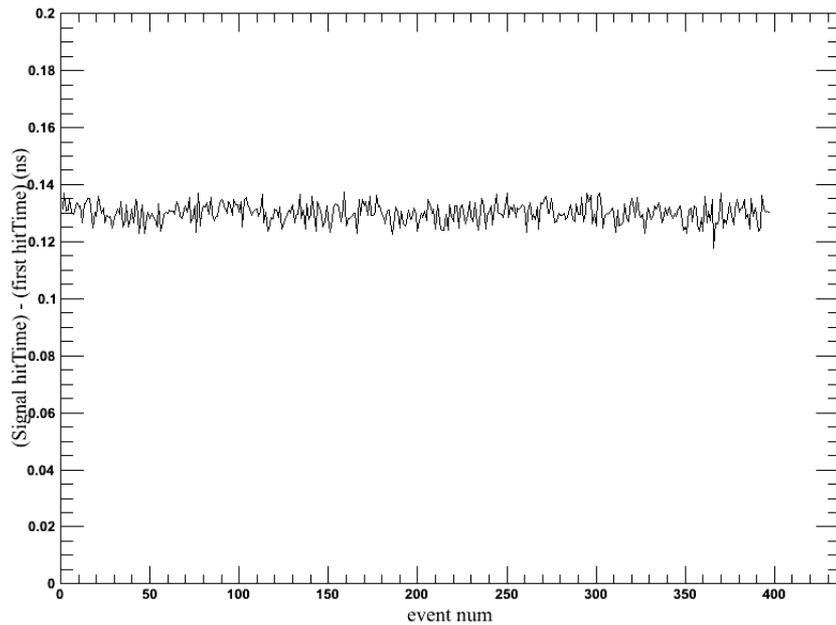
Next Step

- Algorithm 을 통한 reconstructed incident neutron 개수가 generated incident neutron 개수와 일치할 확률이 낮다.
 - Algorithm 개선 필요.
- 3개 이상의 중성자들이 동시에 detector system 에 입사했을 때의 efficiency 를 구해본다.
- 300 MeV 보다 낮은 energy(100~200 MeV) 를 가진 중성자의 경우는 어떻게 다른가?
- Detector position?

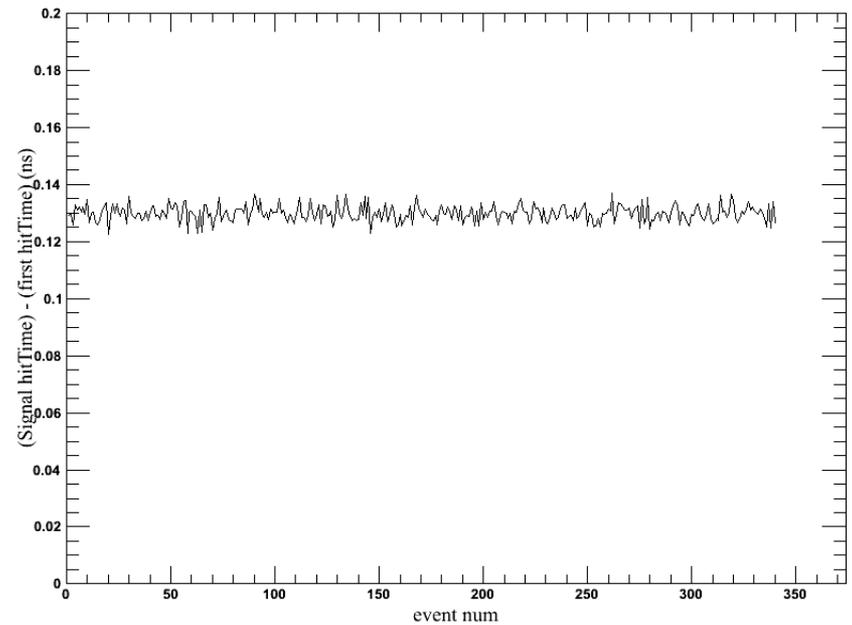
Average $\Delta t = (\text{Signal hitTime}) - (1^{\text{st}} \text{ hitTime})$

- Gap between the stacks : 60 cm

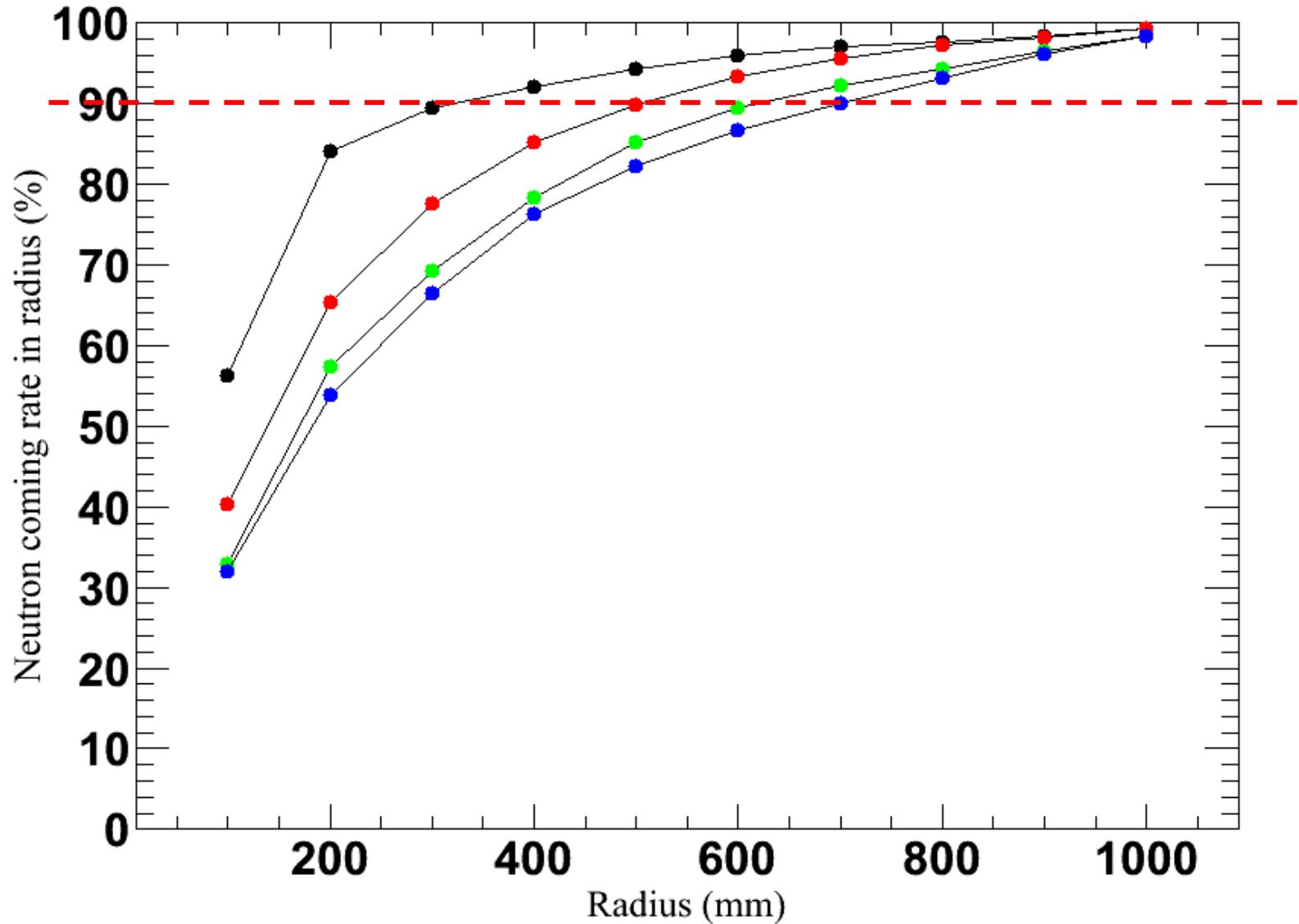
Neutron energy : 140 MeV



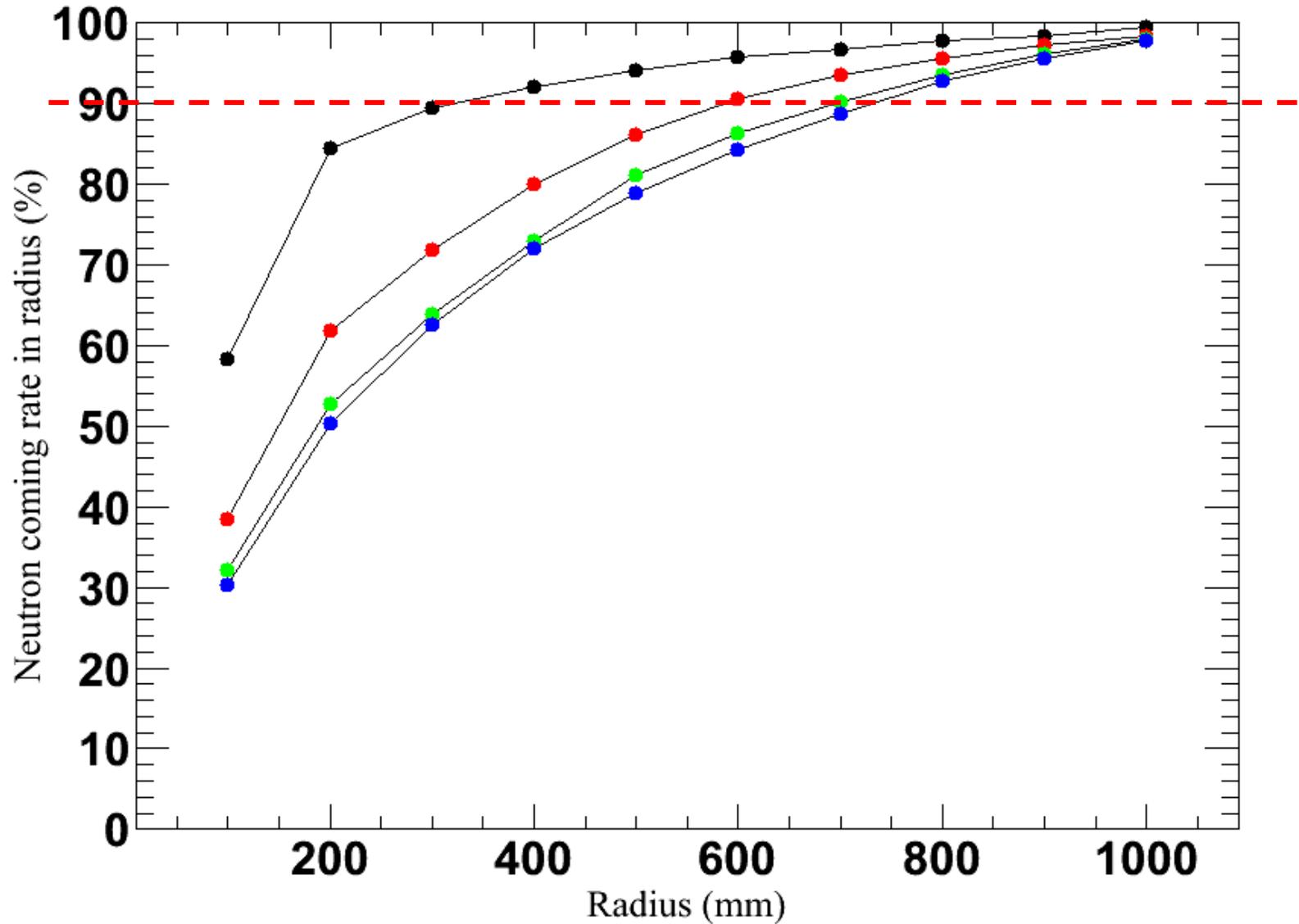
Neutron energy : 300 MeV



40 cm Gap



60 cm Gap



E = 160, 180, 200, 220, 240, 260, 280, 300 MeV

