



$B^0 \rightarrow J/\psi (\rightarrow e^- e^+) K_s$ 재구성에서 효과적인 energy difference cut 선택

Wansang Lee

2022.10.



목차



- Abstract
- Introduction
- Physics motivation
- 재구성(Reconstruction)
- Purity and Efficiency
- Conclusion
- Reference



Abstract



- $B^0 \rightarrow J/\psi(\rightarrow e^-e^+)K_s$ mode에 대해 MC 데이터를 재구성한 후, ΔE (energy difference) cut을 적용해 보고, purity와 efficiency의 비교를 통해 ΔE cut에 대해 분석해 보고자 한다.

- Belle II는 비대칭 전자-양전자 충돌기 SuperKEKB를 이용한 실험 프로젝트이다.
- 7GeV의 전자와 4GeV의 양전자가 충돌하여 B 메손과 anti-B 메손을 생성하고, 생성된 B 메손은 안정된 final state particles로 붕괴한다.
- 검출기(Detector)에서 final state particles의 종류와 에너지를 식별하고, B 메손으로 재구성(Reconstruction)함으로써 처음의 충돌로부터 생성된 B 메손의 정보를 얻게 된다.

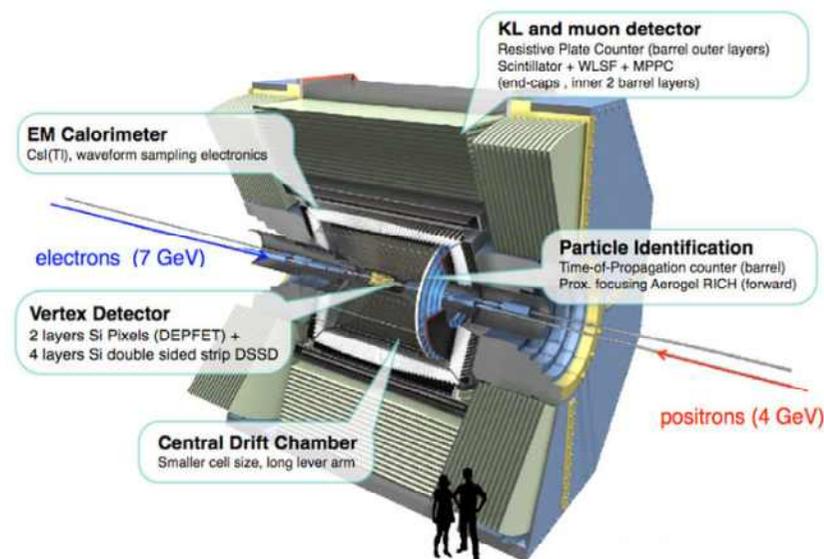


그림 1. SuperKEKB 검출기의 구조

- 최종적으로 얻어진 데이터가 신뢰성 있는 데이터인지, 혹은 새로운 유형의 데이터인지 여부를 판단하기 위해서는 기대치와의 비교가 필요하다. 이러한 기대치는 실제 검출기와 가깝게 동작하는 시뮬레이션을 수행함으로써 제작되고, 여기에는 MC(Monte Carlo)기법이 사용된다.
- 기대치와는 Purity, Efficiency의 두 가지 요소로 비교되며,
 - $\text{purity} = \frac{\text{correctly collected data}}{\text{collected data}}$
 - $\text{efficiency} = \frac{\text{correctly collected data}}{\text{correct data}}$ 로 정의된다.



Physics motivation



- B 메손은 CP violation 연구의 주요 대상 입자이며, Belle II 실험은 B 메손과 anti-B 메손을 생성하는 것이 주요 연구 프로세스이다.
- 그 중에서도 $B^0 \rightarrow J/\psi K_s$ mode는 B 메손 붕괴의 golden mode 중 하나로 new physics 발견을 위한 주요 mode이나, integrated luminosity가 $5 \sim 10 \text{ab}^{-1}$ 로 다른 mode에 비해 비교적 낮다. 그에 따라 올바르게 재구성하여 correct data를 얻는 것이 더욱 중요하다.
- 이 논문에서는 $B^0 \rightarrow J/\psi(\rightarrow e^-e^+)K_s$ mode에 대해 MC 데이터를 재구성해 보고, 보다 효과적으로 correct data를 얻는 방법에 대해 ΔE cut을 적용함으로써 확인할 것이다.



재구성 (Reconstruction)



- Belle II 실험에서는 basf2(Belle II Analysis Software Framework) 소프트웨어를 통해 데이터 처리 전반을 수행한다.
- basf2의 데이터 처리는 시뮬레이션 데이터 생성, 재구성 등의 작업을 포함하므로, 이 논문에서는 basf2에 대해 path를 만들어 이용하는 것을 기반으로 하였다.
- mdst(재구성한 mother particle의 목록 데이터)와 udst(mdst에 후보 입자를 추가한 목록 데이터)에서 beam background가 고려되지 않은 데이터 (BGx0)를 사용하였다.



재구성 (Reconstruction)



- 재구성 과정은 다음과 같다.
1. basf2 입자 분석 모듈 modulatrAnlaysia, stdV0s를 이용하여 daughter particle(e^- , e^+ , K_s)를 수집한다.
 2. 가져온 전자, 양전자를 J/ψ 입자로 재구성한다.
 3. J/ψ 입자와 K_s 입자를 B^0 입자로 재구성한다.

- 수집한 입자의 selection cut은 다음과 같다.

Particle	Selection cut
e-, e+	0.1 < electronID
	dr < 0.5, abs(dz) < 2
	17° < θ < 150°
Ks	0.468GeV < M < 0.528 GeV
J/ Ψ	dM < 0.11 (J/ Ψ →e-e+)
B0	4.2 < Mbc (B0→J/ Ψ (→e-e+)Ks)

표 1. 수집한 입자의 Selection cut

- 수집한 입자를 이용하여 재구성한 B0 후보(Candidate) 입자의 isSignal=0, isSignal=1 히스토그램은 다음과 같다. (No ΔE cut)

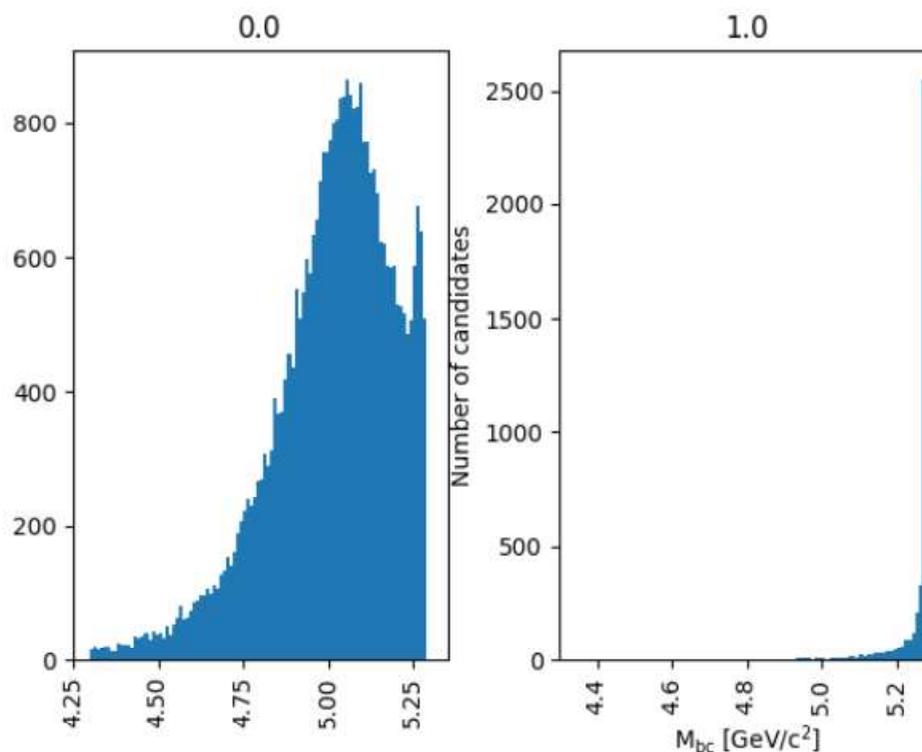


그림 II. Mbc-Candidate particles histogram (no ΔE cut)

- 재구성한 B0 후보 입자에 2.0GeV부터 0.1GeV 단위로 ΔE cut을 적용하였다.
- 아래는 2.0GeV부터 0.5GeV 단위로 ΔE cut을 적용한 Mbc-candidate particles histogram이다.

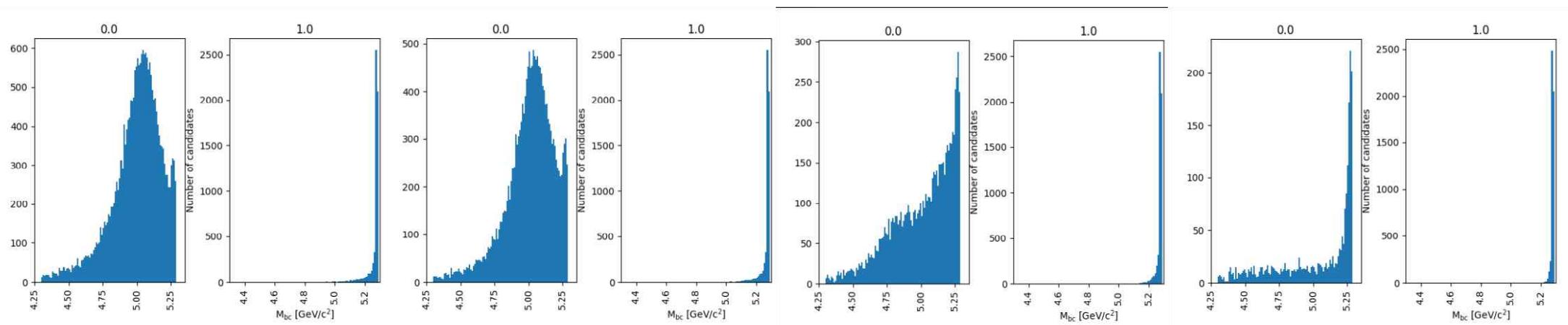


그림 III~VI. Mbc-Candidate particles histogram ($\Delta E < 2.0 \sim 0.5$)

- 재구성한 B0 후보 입자에 1GeV부터 0.1GeV 단위로 ΔE cut을 적용하였다.
- cut에 따라 candidate particles의 수(N)를 측정하고, 그에 따른 purity와 efficiency를 다음과 같이 계산하였다.

$$\text{purity} = \frac{N_{\text{isignal}=1}}{N_{\text{isignal}=0} + N_{\text{isignal}=1}}$$

$$\text{efficiency} = \frac{N_{\text{isignal}=1 (\text{cut})}}{N_{\text{isignal}=1 (\text{No cut})}}$$

- cut에 따른 candidate particles와 purity, efficiency 표는 다음과 같다.

N	Total Signal	isSignal=0	isSignal=1	purity	efficiency						
No cut	42497	34159	6016	0.1497	1						
$ \Delta E < 2.0$	29713	22534	5988	0.2099	0.9953	$ \Delta E < 1.0$	13710	7775	5565	0.4172	0.9250
$ \Delta E < 1.9$	28709	21606	5979	0.2167	0.9938	$ \Delta E < 0.9$	11749	5999	5470	0.4769	0.9092
$ \Delta E < 1.8$	27760	20737	5961	0.2233	0.9909	$ \Delta E < 0.8$	10199	4593	5381	0.5395	0.8944
$ \Delta E < 1.7$	26802	19861	5933	0.2300	0.9862	$ \Delta E < 0.7$	9080	3637	5265	0.5914	0.8752
$ \Delta E < 1.6$	25830	18968	5904	0.2374	0.9814	$ \Delta E < 0.6$	8119	2831	5134	0.6446	0.8534
$ \Delta E < 1.5$	24743	17965	5873	0.2464	0.9762	$ \Delta E < 0.5$	7229	2150	4950	0.6972	0.8228
$ \Delta E < 1.4$	23580	16907	5838	0.2567	0.9704	$ \Delta E < 0.4$	6442	1603	4736	0.7471	0.7872
$ \Delta E < 1.3$	21906	15361	5779	0.2734	0.9606	$ \Delta E < 0.3$	5692	1124	4485	0.7996	0.7455
$ \Delta E < 1.2$	19248	12899	5724	0.3074	0.9515	$ \Delta E < 0.2$	4928	724	4137	0.8511	0.6877
$ \Delta E < 1.1$	16288	10145	5650	0.3577	0.9392	$ \Delta E < 0.1$	3901	346	3513	0.9103	0.5839

표 II. ΔE cut에 따른 candidate particles와 purity, efficiency

- $|\Delta E| < 2.0 \sim 0.1$ 에서 계산된 purity와 efficiency를 plot으로 작성하였다.

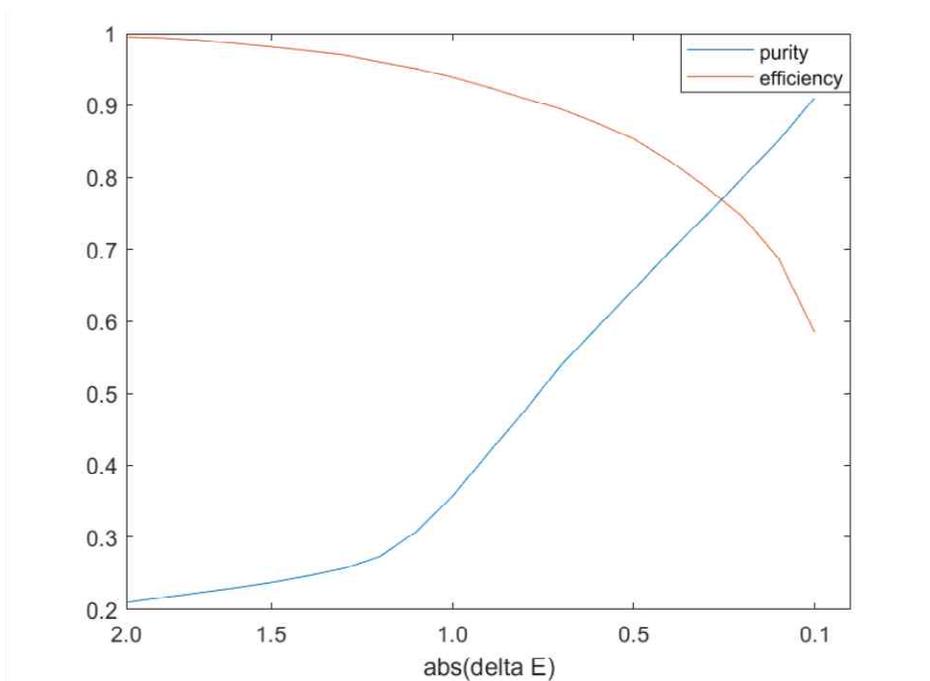


그림 VII. ΔE cut에 따른 purity와 efficiency plot

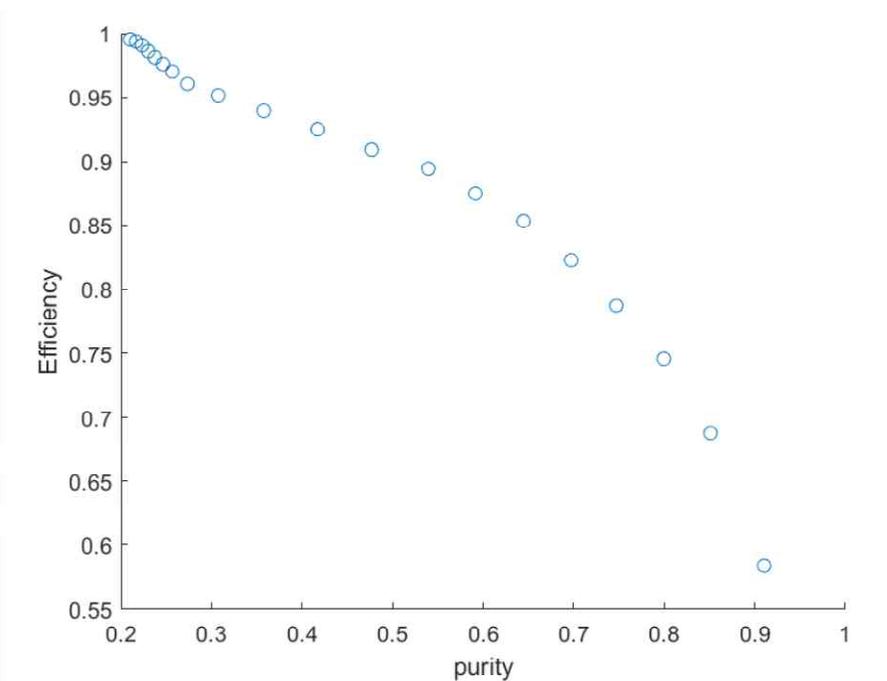


그림 VIII. purity-efficiency plot

- [그림 VII]의 ΔE cut에 따른 purity와 efficiency plot과 그 정의에서 알 수 있듯, purity와 efficiency는 서로 상호보완적 관계를 가지고 있으며, 반비례함을 알 수 있다.
- purity와 efficiency를 동시에 최대로 하는 재구성은 불가능하며, correct data를 높은 비율로 얻고자 하면 purity를, 많은 양으로 얻고자 하면 efficiency를 고려하여 ΔE cut을 정하는 작업이 필요하다.
- MC 데이터로 측정한 purity와 efficiency로써 실제 실험의 final state particles 데이터에서, ΔE cut에 대해 어느 정도의 correctly collected particles를 얻을 수 있는지 추정가능할 것이다.

- 작성한 purity-efficiency plot에서 확인할 수 있듯, $\Delta E < 0.2 \sim 0.1$ cut에서 efficiency가 급격히 감소함을 알 수 있다. [그림 IX]
- 따라서 $\Delta E < 0.2$ cut을 비교적 높은 purity와 동시에 efficiency가 적게 감소한 ΔE cut의 기준으로 정할 수 있다.

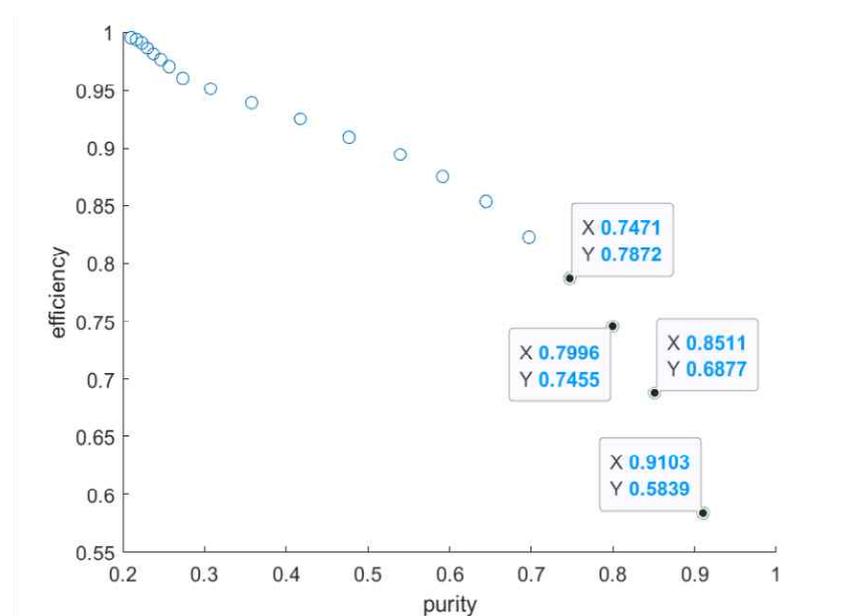


그림 IX. purity-efficiency plot II



Reference



- Belle II 공식 웹사이트 “SUPER KEKB AND BELLE II”
 - https://www.belle2.org/project/super_kekb_and_belle_ii/
- Emi Kou et al, “The Belle II Physics Book” Chap. 2, 3, 6
- Jolanta Brodzicka et al, “Physics Achievements from the Belle Experiment”
- Belle 2 software Documentation, “Data Taking”
 - https://software.belle2.org/sphinx/release-06-00-03/online_book/fundamentals/02-datataking.html
- Belle 2 software Documentation, “The basics”
 - https://software.belle2.org/sphinx/release-06-00-03/online_book/basf2/introduction.html
- Belle 2 software Documentation, “First steering file”
 - https://software.belle2.org/sphinx/release-06-00-03/online_book/basf2/first_steering_file.html



End

