

# CKM matrix

2008년 노벨상 특집 물리학과 첨단기술 고병원 교수님 투고 참조

---

## Taegeun Song

*Department of Physics, Chungnam National University,  
Daejeon 305-764, Republic of Korea*



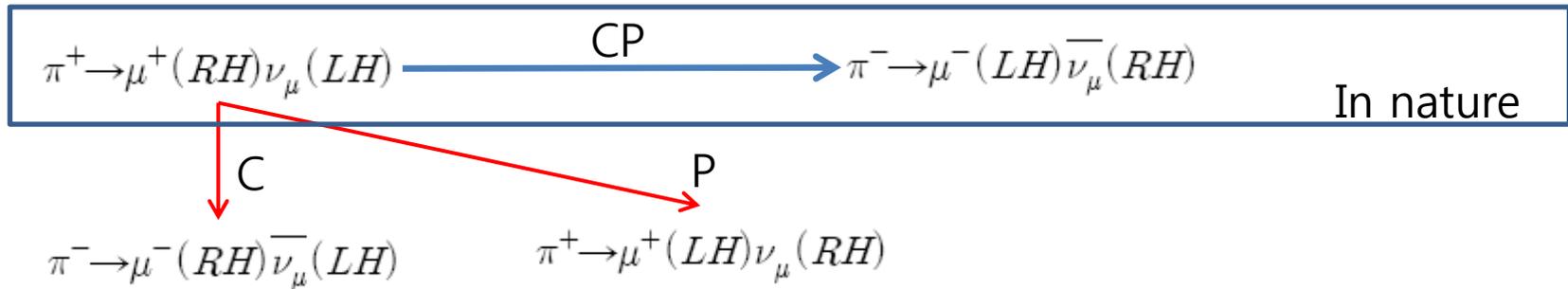
**Chungnam Nat. Univ.**

79 DAEHANGNO, DAEJEON 305-764, KOREA

# 1) Parity 붕괴

1956년 T.D. Lee and C.N. Yang 약한 상호작용에서 P 붕괴 제안

-> Madam Wu에 의해 실험적으로 확인 (Proposal; Phys. Rev. 104 254 (1956))



1964년  $K_L \rightarrow \pi\pi$  ;  $2 \times 10^{-3}$  정도로 CP 붕괴

여러 가지 원인을 규명하는 시도들이 있었지만 표준모형의 세 번째 세대가 발견되면서 여러 복잡성 때문에 CP붕괴에 대한 연구는 생기를 잃어가게 됨

고바야시와 마스카와의 제안, n개 세대를 기술하는 표준 모형의 경우 약한 상호작용 흐름은 n 차원의 단위 정방행렬로 나타낼 수 있으며 상호작용 라그랑지안은

$$L = \frac{g}{\sqrt{2}} \overline{U_{i,L}} V_{ij} \gamma^\mu (1 - \gamma_5) D_{j,L} W_\mu$$

CKM matrix (Unitary matrix)

$V^\dagger V = VV^\dagger = 1$  n 개의 관계식  $U_i$ 와  $D_j$ 의 위상 자유도 2n

세대 개수	자유도	혼합각	CP 위상
$n$	$(n-1)^2$	$\frac{n(n-1)}{2}$	$\frac{(n-1)(n-2)}{2}$
2	1	1	0
3	4	3	1
4	9	6	3

이 각도들과 위상을 어떻게 잡는지에 대해서는 많은 가능성이 있는데 그중에서 현상론에서 가장 많이 쓰이는 방법이 Wolfenstein parametrization이며<sup>[11]</sup> 이 경우 CKM 행렬은 다음과 같은 형태로 주어진다.

$$V_{CKM} = \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix} \approx \begin{pmatrix} 1 - \frac{1}{2}\lambda^2 & \lambda & A\lambda^3(\rho - i\eta) \\ -\lambda & 1 - \frac{1}{2}\lambda^2 & A\lambda^2 \\ A(1 - \rho - i\eta) & -A\lambda^2 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\lambda = \sin\theta_C \simeq 0.22, \quad A = 0.826 \pm 0.083$$

$(\rho, \eta)$  - 10년간 BaBar, Belle 등 B중간자 공정에서 값을 찾기 위한 노력

1974년 charm 쿼크 발견 (이휘소 박사 등이 예측한 질량 값을 가짐)  
 1977년 bottom 쿼크....등 등 등.....

세 개의 세대가 30여 년간 모두 발견됨

표준모형에서 CKM 행렬요소를 결정하는 일은 양자 전기역학에서 미세구조 상수를 결정하는 일과 같은 의의 !

CKM 행렬요소	관련 과정 예시	$ V_{ij} $ 의 대략적인 크기	$ V_{ij} $
$V_{ud}$	중성자 및 $\pi^\pm$ 붕괴	$\sim 1$	$0.97418 \pm 0.00027$
$V_{us}$	$K$ 중간자 붕괴	$\lambda = \sin\theta_C$	$0.2255 \pm 0.001$
$V_{ub}$	$B$ 중간자의 charm0이 없는 상태로의 붕괴 $b \rightarrow ul\nu$	$\sim \lambda^3$	$(3.93 \pm 0.36) \times 10^{-3}$
$V_{cd}$	$D$ 중간자 붕괴	$\sim \lambda$	$0.230 \pm 0.011$
$V_{cs}$	$D_S$ 중간자의 붕괴	$\sim 1$	$1.04 \pm 0.06$
$V_{cb}$	$B$ 중간자의 주요 붕괴	$\sim \lambda^2$	$(41.2 \pm 1.1) \times 10^{-3}$
$V_{td}$	$B_d - \bar{B}_d$ 섞임	$\sim \lambda^3$	$(8.1 \pm 0.6) \times 10^{-3}$
$V_{ts}$	$B_s - \bar{B}_s$ 섞임	$\sim \lambda^2$	$(38.7 \pm 2.3) \times 10^{-3}$
$V_{tb}$	$t \rightarrow bW$	$\sim 1$	$> 0.74$

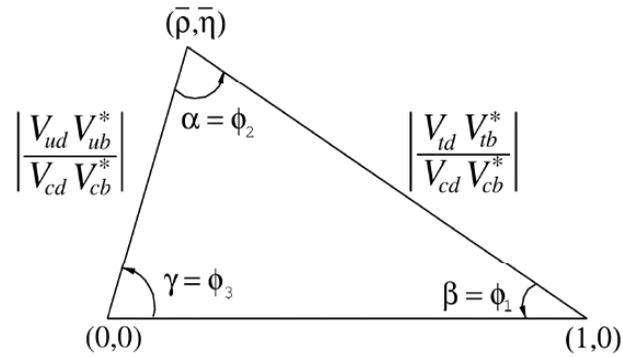


그림 1. CKM 행렬의 두 번째와 세 번째 행으로부터 얻어지는 유니타리 삼각형.

게이지 계층성, 암흑물질 등  
Electroweak scale에서  
새로운 물리법칙 암시!

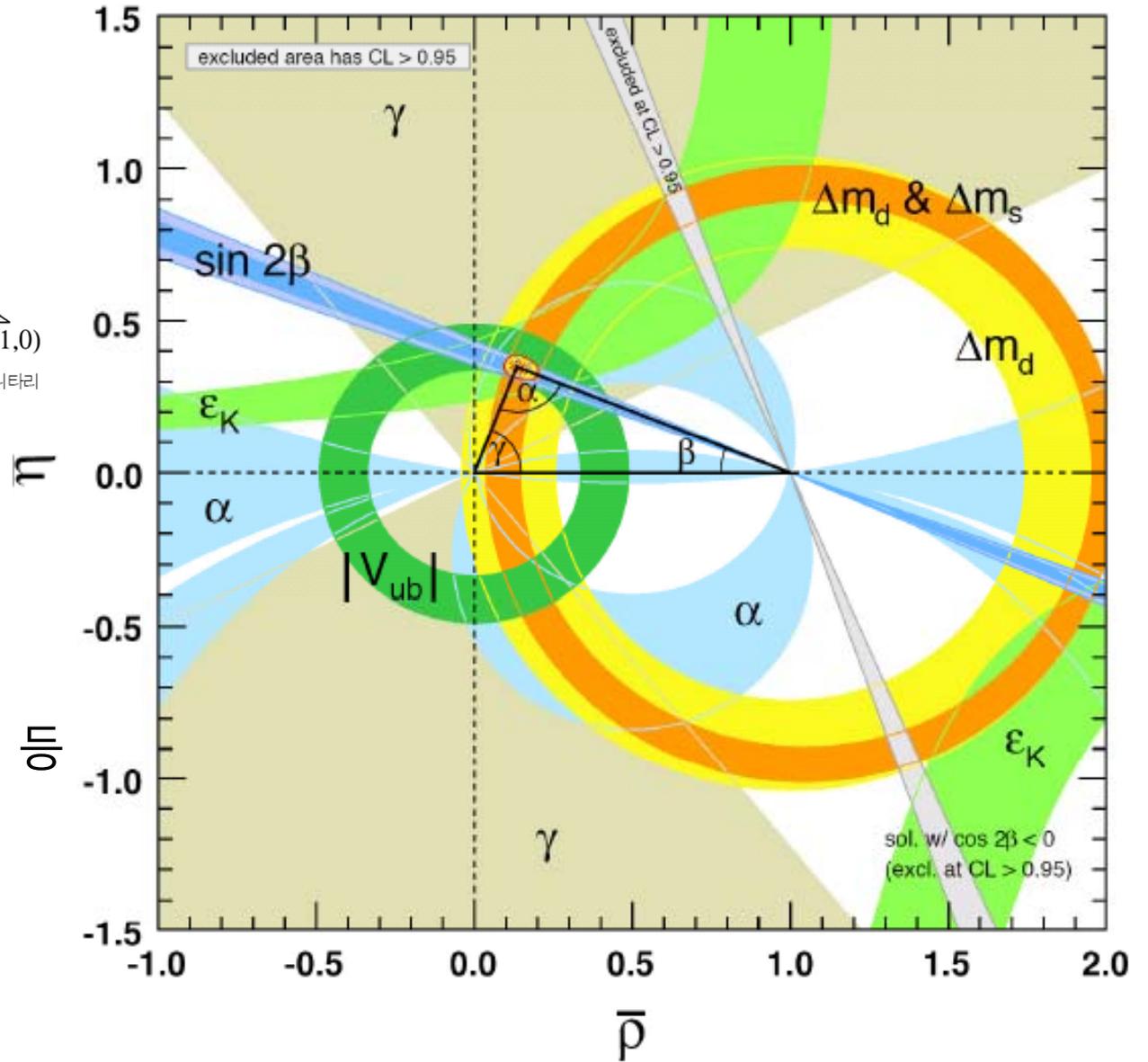


그림 2. 유니타리 삼각형 구축의 현재 상황과 관계된 관측량들 ( $\rho \approx \bar{\rho}$ ,  $\eta \approx \bar{\eta}$ ).







