

Mixture of two infectious disease to increase reproductive number

목차



01
Research Motivation

02
목적 및 방법

03
SIR Model

04
Code

05
Result

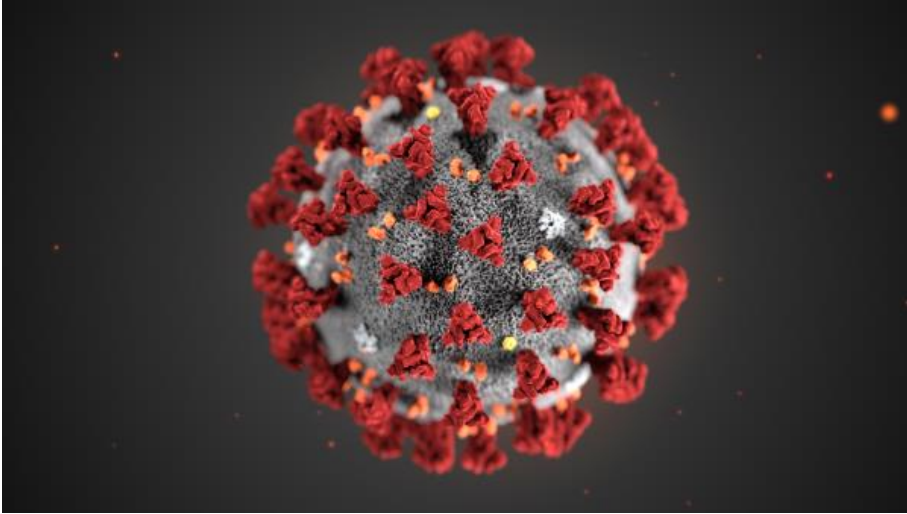
1) Research Motivation

치사율이 **100%**인 바이러스가 잘 퍼질 수 있을까?

그럴 수 없다

그렇다면 어떻게 퍼지게 할 수 있을까?

1) Research Motivation



출처 : 포토파크닷컴

코로나에 걸리면 기침 ↑



타액에 의한 감염병 전파 ↑

전염성이 강한 바이러스를 먼저 퍼트리고₁

앞선 바이러스와의 상호작용으로 전염성이 높아지는 바이러스를 퍼뜨리는 전략을 실험해보자₂

더 나아가 두 바이러스가 최고의 효율을 보이는 시간 T 를 최적화하여 찾자₃

2) 목적 및 방법

바이러스 **a** 전염성↑↑↑ 치사율 0%

바이러스 **b** 전염성↓ 치사율 100%

1. **a, b** 간의 상호작용 관찰

- 1) **a**와 **b**의 관계도 정의
- 2) 적절한 **a**와 **b**의 parameter 설정
($\beta_a, \gamma_a, \beta_b, \gamma_b$...etc)
- 3) `scipy.integrate.solve_ivp`를 활용하여 결과 도출
(**a, b** 동시 투입 가정)

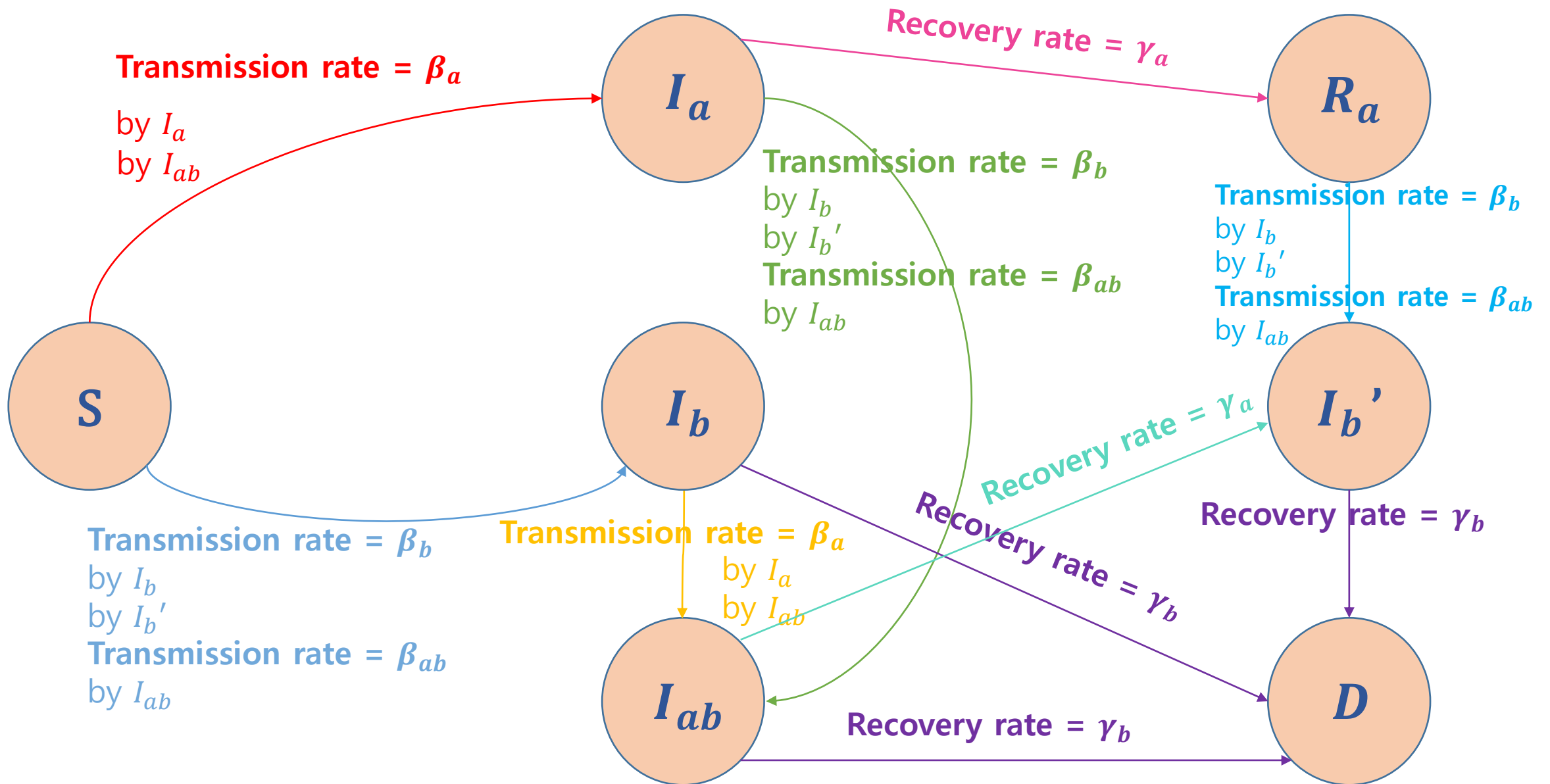
2. **a, b** 의 투입시간 최적화

- 1) 1.의 1), 2)와 동일한 절차 시행
- 2) **b** 투입 시간을 변화시키며 Death 집단의 수가 제일 커지는 시간 관찰

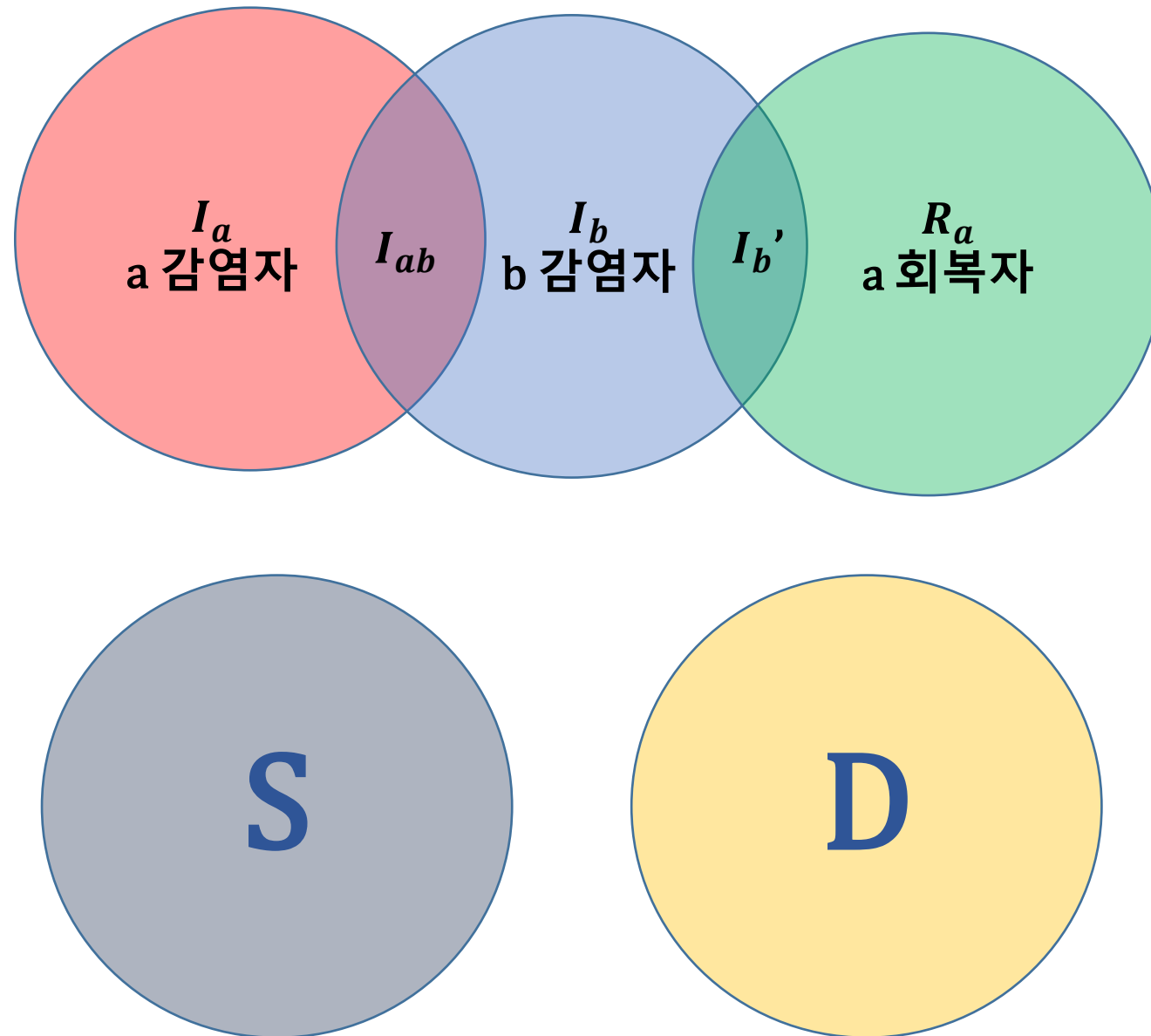


www.shutterstock.com · 1094978822

3) SIR model - Graph



3) SIR model



3) SIR model

$$R_a \text{ (감염재생산지수)} = 12$$

$$R_b \text{ (감염재생산지수)} = 0.6$$

$$R_{ab} \text{ (감염재생산지수)} = 2.5$$

$$\gamma_a \text{ (회복률)} = 1/14$$

$$\gamma_b \text{ (사망률)} = 1/8$$

$$\beta_a = R_a * \gamma_a$$

$$\beta_b = R_b * \gamma_b$$

$$\beta_{ab} = R_{ab} * \gamma_b \text{ (} \because \gamma_{ab} = \gamma_b \text{)}$$

- ◆ a 감염병은 covid - 19 오미크론 변이를 차용했다. 오미크론 코로나의 R_a (감염재생산지수) = 12 이고, 격리기간이 14일이기 때문에 $\gamma_a = 1/14$ 로 설정했다.
- ◆ b 감염병은 타액을 통해 전염되는 치사율 100% 감염병이다. 이 감염병이 R_b (감염재생산지수) = 0.6 , 사망률 $\gamma_b = 1/8$ 로 설정하였다.
- ◆ b 감염병은 타액을 통해 전염된다. a 감염병에 감염되면 일반적으로 기침을 하게 되므로 a , b 감염병에 둘다 감염된다면 b 감염병이 전파율이 증가한다. 그러므로 a , b 감염병에 감염된 사람의 b감염병의 R값을 R_{ab} (감염재생산지수) = 2.5 로 설정하였다.

3) SIR model

- **$S \text{ to } I_a = S \times \beta_a \times \frac{(I_a + I_{ab})}{N}$**

S를 a 감염병에 감염시키는 집단: I_a, I_{ab}

I_a 의 a 감염병 전파율: β_a

I_{ab} 의 a 감염병 전파율: β_a

(b 감염병의 감염이 a의 전파율에 영향을 미치지 않음)

- **$S \text{ to } I_b = S \times \frac{(\beta_b \times (I_b + I_b') + \beta_{ab} \times I_{ab})}{N}$**

S를 b 감염병에 감염시키는 집단: I_b, I_b', I_{ab}

I_b 의 b 감염병 전파율: β_b

I_b' 의 b 감염병 전파율: β_b

I_{ab} 의 b 감염병 전파율: β_{ab} ($\beta_{ab} > \beta_b$)

(a 감염병의 감염이 b의 전파율을 증가시킴)

- **$I_a \text{ to } R_a = \gamma_a \times I_a$**

a 감염병의 회복률 := 1/14

3) SIR model

- $I_a \text{ to } I_{ab} = I_a \times (\beta_{ab} \times I_{ab} + \beta_b \times (I_b + I_b')) \times \frac{1}{N}$

I_a 를 b 감염병에 감염시키는 집단: I_b, I_b', I_{ab}

I_b 의 b 감염병 전파율 : β_b

I_b' 의 b 감염병 전파율 : β_b

I_{ab} 의 b 감염병 전파율 : β_{ab} ($\beta_{ab} > \beta_b$)

(a 감염병의 감염이 b의 전파율을 증가시킴)

- $I_b \text{ to } I_{ab} = I_b \times \beta_a \times (I_{ab} + I_a) \times \frac{1}{N}$

I_b 를 a 감염병에 감염시키는 집단: I_a, I_{ab}

I_a 의 a 감염병 전파율 : β_a

I_{ab} 의 a 감염병 전파율 : β_a

b 감염병의 감염이 a의 전파율에 영향을 미치지 않음

- $I_{ab} \text{ to } I_b' = \gamma_a \times I_{ab}$

a 감염병의 회복률 := $1/14$

집단 I_{ab} 에서 a 감염병이 회복되면 집단 I_b' 로 이동

3) SIR model

- **$R_a \text{ to } I_b' = R_a \times (\beta_{ab} \times I_{ab} + \beta_b \times (I_b + I_b')) \times \frac{1}{N}$**

R_a 를 b 감염병에 감염시키는 집단: I_b, I_b', I_{ab}

I_b 의 b 감염병 전파율: β_b

I_b' 의 b 감염병 전파율: β_b

I_{ab} 의 b 감염병 전파율: β_{ab} ($\beta_{ab} > \beta_b$)

(a 감염병의 감염이 b의 전파율을 증가시킴)

- **$I_b \text{ to } D = \gamma_b \times I_b$**

b 감염병의 하루 사망률: $= 1/8$

- **$I_b' \text{ to } D = \gamma_b \times I_b'$**

b 감염병의 하루 사망률: $= 1/8$

- **$I_{ab} \text{ to } D = \gamma_b \times I_{ab}$**

b 감염병의 하루 사망률: $= 1/8$

3) SIR model

- $\frac{ds}{dt} = (-1) \times (S \text{ to } I_a + S \text{ to } I_b)$
- $\frac{dI_a}{dt} = (S \text{ to } I_a) - (I_a \text{ to } R_a) - (I_a \text{ to } I_{ab})$
- $\frac{dI_b}{dt} = (S \text{ to } I_b) - (I_b \text{ to } D) - (I_b \text{ to } I_{ab})$
- $\frac{dI_{b'}}{dt} = (R_a \text{ to } I_{b'}) + (I_{ab} \text{ to } I_{b'}) - (I_{b'} \text{ to } D)$
- $\frac{dI_{ab}}{dt} = (I_a \text{ to } I_{ab}) - (I_{ab} \text{ to } D) + (I_b \text{ to } I_{ab}) - (I_{ab} \text{ to } I_{b'})$
- $\frac{dR_a}{dt} = (I_a \text{ to } R_a) - (R_a \text{ to } I_{b'})$
- $\frac{dD}{dt} = (I_b \text{ to } D) + (I_{ab} \text{ to } D) + (I_{b'} \text{ to } D)$

4) Code for simultaneous case

total_population = 10,000

```
Ra= 12
Rb= 0.9
Rab = 2.5
gamma_a = 1/14
gamma_b = 1/8
beta_a = Ra*gamma_a
beta_b = Rb*gamma_b
beta_ab = Rab*gamma_b
```

a는 Covid-19 오미크론 변이의 R_0 , γ 을 차용

b는 미지의 감염병으로 $R<1$, 평균 사망기간 8일

a,b에 동시에 걸렸을 경우 $R_b = 2.5$ ($R_{ab} = 2.5$ 로 구현)

```
T = 1000.0
```

넉넉히 1000일의 시간을 두고 관찰

```
t_eval = np.arange(t_span[0], t_span[1] + 1)
sol = sp.integrate.solve_ivp(sirs, t_span, y1, t_eval=t_eval, args=(beta_a, beta_b, beta_ab, gamma_a, gamma_b))
```

Model의 정의에 따른 sirs함수를 만든 후 solve_ivp 함수를 실행

4) Code for Optimization

```
T = 1000.0
k = np.arange(0.0, T, 1.0)
```

1000일의 시간과 이를 1000등분한 list k

maximum = (0,0) 최대 사망자 수와 그 투입시간을 저장하는 tuple

```
for i in range(1, len(k)):
    t_span = (0.0, k[i])
    t_eval = np.arange(t_span[0], t_span[1] + 1)
    sol = sp.integrate.solve_ivp(sir, t_span, y0, t_eval=t_eval, args = (beta_a, gamma_a))

    y1 = np.array([total_population - sol.y[1,-1]-sol.y[2,-1]-1, sol.y[1,-1], 1.0, 0.0, 0.0, sol.y[2,-1], 0.0])

    t_span = (k[i], T)
    t_eval = np.arange(t_span[0], t_span[1] + 1)
    sol2 = sp.integrate.solve_ivp(sirs, t_span, y1, t_eval=t_eval, args=(beta_a, beta_b, beta_ab, gamma_a, gamma_b))

    if(maximum[0]<sol2.y[6][-1]):
        maximum = (sol2.y[6][-1], k[i])
```

a를 투입하는 코드, 0일부터 i일까지 a만 전파($1 \leq i \leq 1000$)

i일부터 무증상자 중 한 명에게 b 감염시키어 전파₁
가장 D집단의 수가 커지는 i와 그 때의 D집단의 수를 maximum에 저장₂

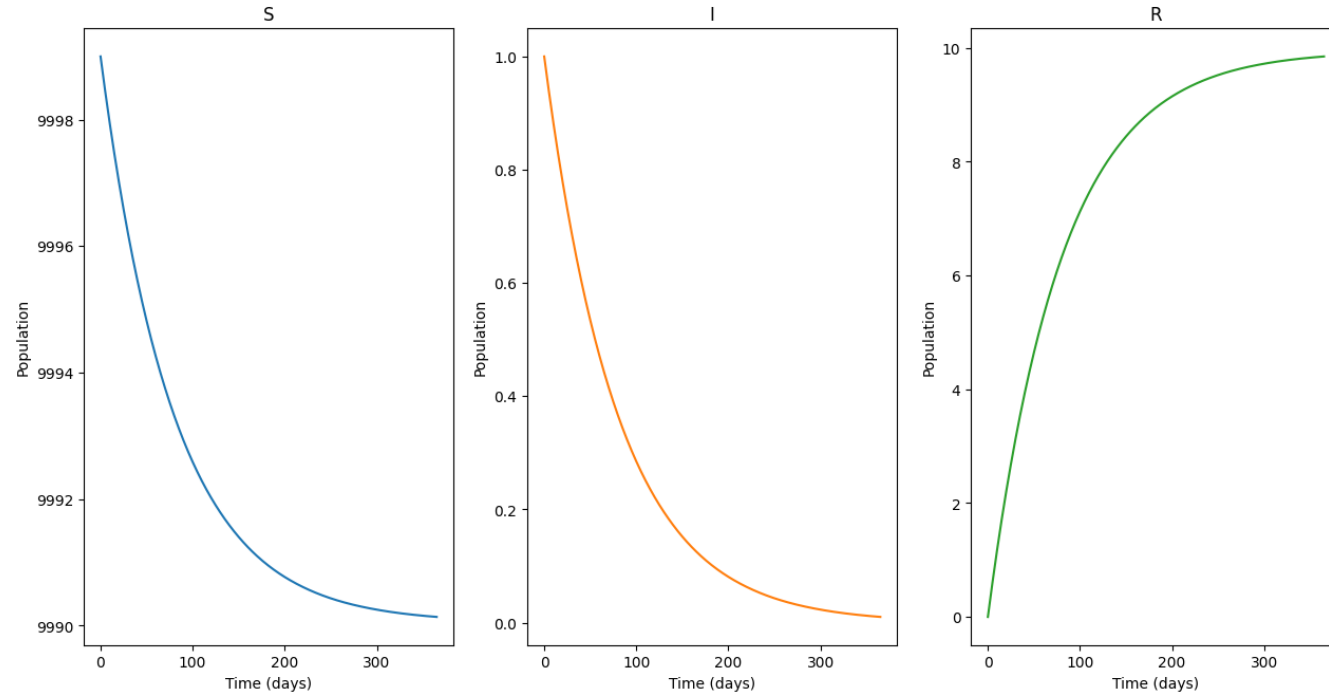
```
t_span = (0.0, maximum[1])
t_eval = np.arange(t_span[0], t_span[1] + 1)
sol = sp.integrate.solve_ivp(sir, t_span, y0, t_eval=t_eval, args = (beta_a, gamma_a))

y1 = np.array([total_population - sol.y[1,-1]-1-sol.y[2,-1], sol.y[1,-1], 1.0, 0.0, 0.0, sol.y[2,-1], 0.0])

t_span = (maximum[1], T)
t_eval = np.arange(t_span[0], t_span[1] + 1)
sol2 = sp.integrate.solve_ivp(sirs, t_span, y1, t_eval=t_eval, args=(beta_a, beta_b, beta_ab, gamma_a, gamma_b))
```

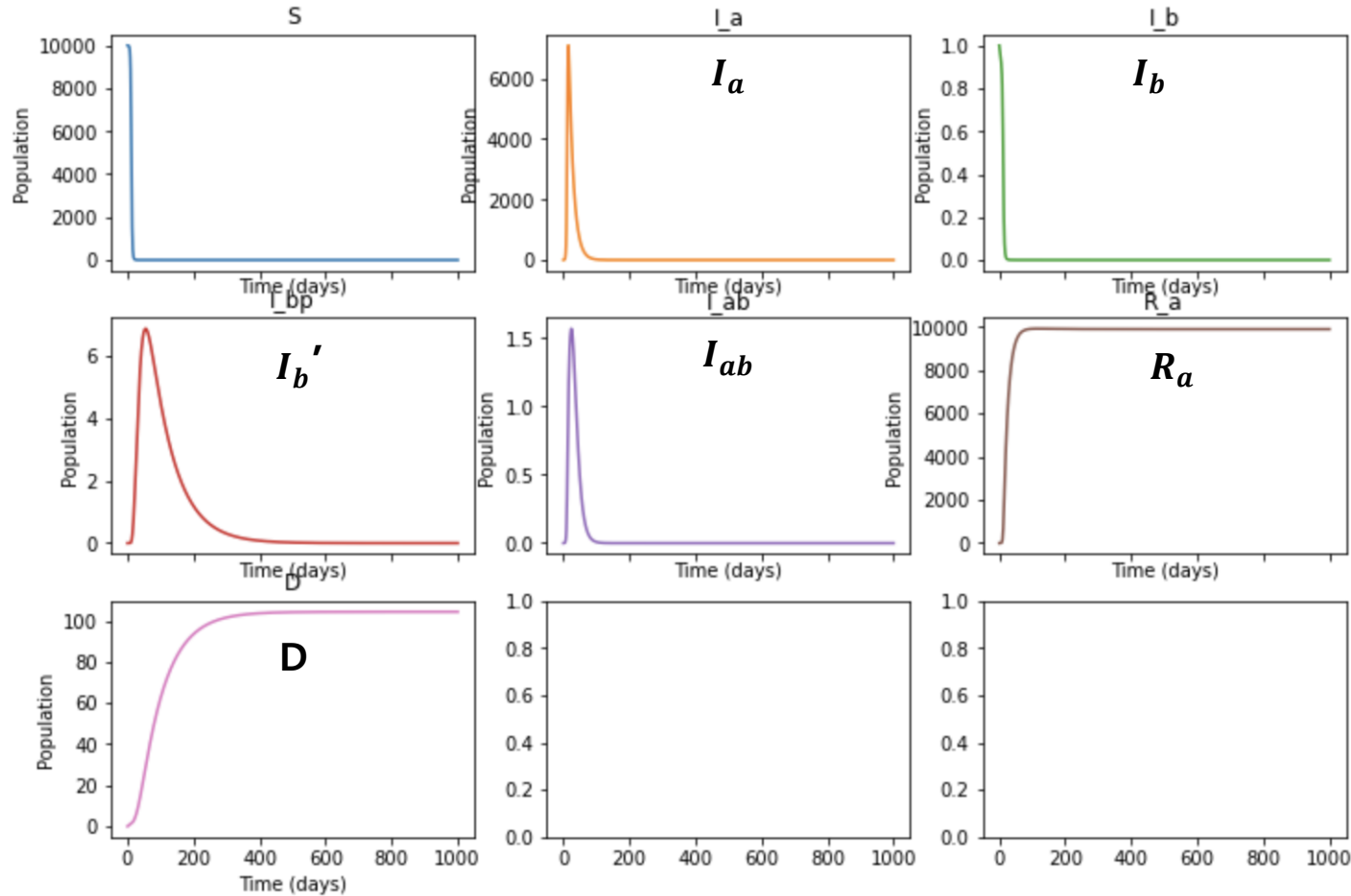
maximum에 따른 graph를 그림

5) Result – b 감염병만 퍼뜨린 경우



- b 감염병만을 퍼뜨린 경우
사망자 수 : $D_b = 10$ 명

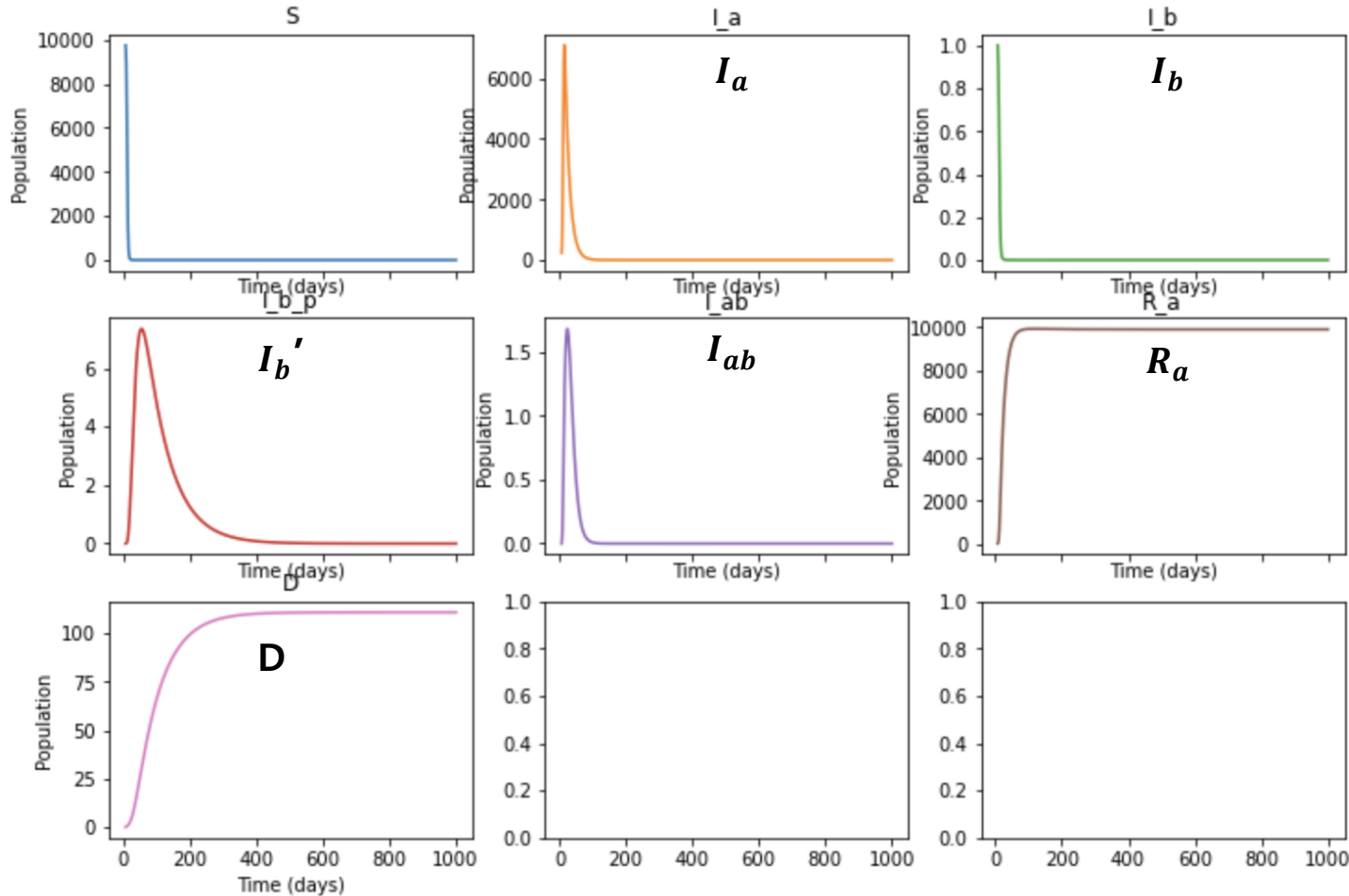
5) Result - a , b 감염병을 동시에 퍼뜨린 경우



- a , b 감염병을 동시에 퍼뜨린 경우
사망자 수 : $D_{ab} = 104$ 명

5) Result - a 감염병을 퍼뜨린 후 b감염병을 퍼뜨린 경우

(110.8668069984261, 7.0)

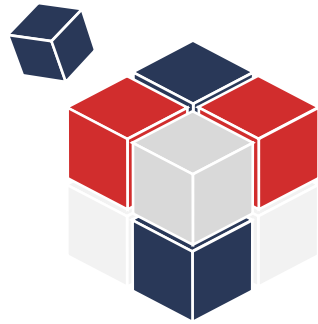


- a 감염병을 퍼뜨린 후에 b감염병을 퍼뜨린 경우

(Optimal time = 7일)

사망자 수 : $D_{abt} = 110$ 명

$$\therefore D_{abt} > D_{ab} > D_b$$



경청해주셔서
감사합니다
THANK YOU