

性 활동 成分을 고려한 HIV感染과 AIDS의 傳播特性에 관한 數學的 모델化

論 文
50D-12-6

Mathematical Modeling for the Transmission Dynamics of HIV infection and AIDS with Heterogeneity in Sexual Activity

鄭 亨 煥*
(Hyeng-Hwan Chung)

Abstract - In the mathematical model for the transmission dynamics of HIV infection described in previous papers, the population under consideration is assumed to be homogeneous community of homosexual males for which the parameter λ represents the constant rate at which individual members of the population acquire new sexual partners. This is a gross oversimplification since it is well known that individuals vary widely in their levels of sexual activity and in this papers the heterogeneous model is modified to allow for this variation. The pattern on the epidemic character of HIV, the causative agent of AIDS, was analysed by heterogeneous-mixing model. The computer simulation was performed using real date.

Key Words : AIDS(acquired immunodeficiency syndrome), HIV(human immunodeficiency virus), gamma distribution, mathematical model, the number of sexual partner, heterogeneous-mixing model

1. 서 론

이미 필자는 HIV 감염과 AIDS의 전파의 수학적 모델을 상태 공간법으로 상세히 구하고, 이 모델의 시뮬레이터를 구성한 후 컴퓨터를 이용하여 처음으로 해석하였다[12]. 한테 단위시간에 동성애 남자의 성 행위 상대자 수 k 가 일정하다고 가정하였다. 실제 k 의 값은 개인에 따라 넓고 다양하기 때문에 일정하지 않다.

그래서 본 논문에서는 성 행위횟수가 개인에 따라 매우 다른 사실을 고찰함으로써, 전체 인구집단 내의 HIV의 복잡한 감염과 AIDS의 전파 특성을 연구하였다.

of sexual practice)이다. 사실 이와 같은 자료는 매우 찾기 어렵다.

발표되지 않은 C. Carne & I. Weller의 논문에서 동성 성 행위에 관한 연구가 있었다. 이것은 런던 STD병원에 입원한 남성 동성연애자가 성 행위를 한 다른 상대수를 조사한 것인데, 단위시간에 그림 1과 같은 도수 분포 (frequency distribution)를 보인다. 그림 1은 한달 동안에 한 동성연애 남자가 성 행위 상대수의 도수분포 자료를 연구한 결과로 평균치(mean)와 분산(variance)은 각각 4.28m-1과 57.9m-1인 감마분포(gamma distribution)에 근사함을 알 수 있었다[3].

2. 성 활동(sexual activity)의 고찰

사회를 구성하는 다양한 전체인구 집단을 HIV 감염의 위험에 따라 여러 소집단(subgroup)으로 나눌 수 있다. 이와 같은 소집단에는 남성 동성연애자들로 구성되는 집단도 하나로 볼 수 있는데, AIDS의 감염은 개인 각자 성 행위와 생활습관에 따라 매우 많이 좌우되는 것으로 사료된다. 따라서 감염이 많이 생기는 집단 즉 동성연애남자(homosexual males) 집단의 각 개인에 관심이 쏠리는 데, 중요한 요소(factor)는 단위시간에 감염된 동성애 남자 개인이 다른 성 행위 상대자 수(the degree of sexual activity)와 성 행위 습관(the nature

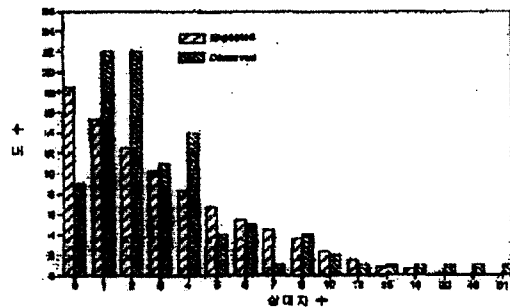


그림 1. 1986년 1월에 런던 STD병원에 입원한 동성 연애자 가운데서 성행위 상대자의 도수분포
FIG. 1. Frequency distribution of the number of sexual partners per month among a sample of homosexual males attending a London STD clinic in January, 1986

* 正 會 員 : 東亞大 電氣, 電子, 컴퓨터工學部 教授
接受日字 : 2001年 7月 14日
最終完了 : 2001年 11月 8日

발표된 Mckusick et al.의 논문에서도 샌프란시스코에서 단위시간동안 다른 성 행위 상대자는 그림 1과 유사한 자료를 가진 표 1을 제공하고 있다[4].

중요한 사실은 그림 1 보다는 높은 평균치와 큰 분산을 가졌다는 것이다. 이 자료는 persistent generalised Cymphadenopathy (PGL) 혹은 AIDS를 갖는 환자와 동성연애자로부터 모은 것이다. 그 자체로 평균치는 런던 전체 동성연애 인구로부터 불규칙하게 뽑은 표본보다도 대개는 많고 생각된다.

표 1 STD병원에 입원한 남자 동성연애자에 대한 성 상대자(월)

Table 1 Sex partners for homosexual males attending STD clinics(month)

Month/Year	San Francisco, USA		London, England	
	Mean	Variance	Mean	Variance
Nov 1982	6.8	---	---	---
May 1983	---	---	---	---
Nov 1983	4.8	---	---	---
May 1984	3.9	---	---	---
Nov 1984	2.6	---	---	---
1985	---	---	4.7	56.7

Data from McKusick et al.(1985), Weller & carne(unpub)

그렇지만 표 1에서 샌프란시스코에서는 대체적으로 런던보다 높은 평균치를 가진 것은 흥미로운 일이다. 이 연구는 1982년 11월부터 1986년까지 성 행위가 감소하고 있는 흔적이 나타나고 있는데, 이것은 HIV 감염이 있다는 소식이 세상에 넓게 알려졌기 때문으로 생각된다. Carne 및 Weller의 그림 1과 같은 도수분포는 마이너스 2항 확률분포 모델(negative binomial probability model)로 설명될 수 있고, 대체적으로 감마분포(gamma distribution)로 볼 수 있다.

3. 성 행위 비율을 고려한 유행병의 초기

필자가 이미 발표한 논문에서 동성연애 사회에서 동성연애 남자가 새로운 성 행위 상대자를 요구하는 비율 κ 는 일정하다고 가정하였지만[12], 개인은 성 행위에 있어서 매우 넓고 다양하기 때문에[6,7], 이와 같은 가정은 지나치게 간소하다. 각 개인의 성 행위 변화를 고려하여 모델을 수정한다.

성 행위 율(sexual activity rate)이 전체 인구에 걸쳐 불규칙하게 변한다고 생각하자. ($\kappa, \kappa + d\kappa$)사이에서 성 행위 율을 가진 감염 가능자 숫자는 약 $x(t, \kappa)d\kappa$ 이다. 동성연애 혼합모델에서 간단하게 하기 위해서 $v_A = v_{\bar{A}} = v$ 로 하면 미분방정식은 식(1)과 같다.

$$\frac{dx(t)}{dt} = -\kappa r(t)x(t) \tag{1a}$$

$$\frac{dy(t)}{dt} = \kappa r(t)x(t) - v y(t) \tag{1b}$$

여기서 함수 $r(t) = \beta y(t)/n(t)$ 이고, 이것은 시간 t에서 한 감염가능자가 성 행위 상대자를 불규칙하게 선택하므로 인해 감염되는 확률을 표현한 것이다. 간단히 하기 위하여, 유행 초기에는 자연사와 감염가능자의 이주를 무시하였다.

κ 를 일정하게 한 방정식에 일치하면서, 성 활동이 다른 경우에 대하여 식 (1)을 수정하면 식 (2)와 같다.

$$\frac{\partial x(t, \kappa)}{\partial t} = -\kappa r(t)x(t, \kappa) \tag{2a}$$

$$\frac{\partial y(t, \kappa)}{\partial t} = \kappa r(t)x(t, \kappa) - v y(t, \kappa) \tag{2b}$$

여기서 $r(t) = \beta \int_R \kappa y(t, \kappa) d\kappa / \int_R \kappa n(t, \kappa) d\kappa$ 이다.

이 고유함수는 성 행위 상대자가 비례적으로 섞여 있다는 가정으로 만들어진 것이다. $r(t)$ 에서 두 적분은 새로운 상대자가 감염을 얻을 수 있는 전체유풀과 전 인구에서 상대자의 전체 변화율을 나타내며, 이들의 비는 t에서 감염에 의해 만들어진 상대자 변화 비율이다.

식 (2a)에서 식 (3)을 둘 수 있다.

$$x(t, \kappa) = x(0, \kappa) \exp[-\kappa \Phi(t)] \tag{3}$$

여기서 $\Phi(t) = \int_0^t r(u) du$ 이다. 식 (2b)에 식 (3)을 대입하여 $r(t)$ 에 관한 미분방정식이 성립하도록 하면 결과적으로 식 (4)가 유도된다.

$$\frac{dr(t)}{dt} = r(t) \left[\beta \left(\frac{\int_R \kappa^2 e^{-\kappa \Phi(t)} x(0, \kappa) d\kappa}{\int_R \kappa n(t, \kappa) d\kappa} \right) - v \right] \tag{4}$$

유행 초기에 있어서 $n(t, \kappa)$ 는 고정되어 있고 식 (4)의 왼쪽은 $d \ln r(t) / dt$ 라고 가정할 수 있다.

그래서 $\Phi(t) \approx 0$ 과 $x(0, \kappa) \approx n(0, \kappa)$ 를 가지고 식 (4)의 오른쪽에서 식 (5)를 유도할 수 있다[5,7].

$$\frac{d \ln r(t)}{dt} \approx \beta (m_\kappa + \delta_\kappa^2 / m_\kappa) - v \tag{5}$$

유행이 시작하자 $r(t)$ 는 감염자 숫자에서와 같이 유사하게 지수적으로 증가한다. 고정된 κ 를 가진 동성애 혼합모델로 인해, 식 (5)에서 $m_\kappa = \kappa, \delta_\kappa^2 = 0$ 로 두면 이것은 식(6)으로 나타낸다[7].

$$\frac{dy(t)}{dt} \propto e^{(\beta \kappa - v)t} \tag{6}$$

그래서 모델에서 이성간의 성 행위를 포함한 $y(t)$ 의 영향은 κ 대신에 $m_\kappa + \delta_\kappa^2/m_\kappa$ 로 바뀌어진다. 만약 전 주민에서는 활동이 넓게 변화하므로, 분산지수 δ_κ^2/m_κ 가 크고, 그래서 $y(t)$ 의 초기 지수형태는 모든 개인이 κ 의 같은 값(m_κ)을 가진 것보다 더욱 빠른 비율로 늘어날 것이다. 그러므로 t 에서 $y(t) \approx y(0)\exp[\beta(m_\kappa + \delta_\kappa^2/m_\kappa) - \nu]t$ 이며, $t_d \approx [\beta(m_\kappa + \delta_\kappa^2/m_\kappa) - \nu]^{-1}\ln 2$ 로 주어진다.

그래서 $\beta(m_\kappa + \delta_\kappa^2/m_\kappa)$ 의 계산은 t_d 와 ν 를 이용하여서 구할 수도 있고, 위의 유도에서 κ 의 분포는 AIDS로 발전되는 사람과 그렇지 못한 사람은 같다.

4. 성 행위 비율을 고려한 전주민 유행 모델

수학적 편리를 위해서 변수라든지 혹은 AIDS의 유행기간 동안 기본 수학적 모델은 이미 저자가 발표한 논문에서 계속적으로 그대로 사용한다[12].

감염 가능자 이든지 감염자 이든지 간에 개인은 같은 행동(activity)을 한다고 가정한다. κ 를 고려하여 모델은 식(7)과 같은 형태로 수정한다.

$$\frac{\partial x(t, \kappa)}{\partial t} = \lambda(\kappa) - \kappa x(t, \kappa) \gamma(t) - \mu x(t, \kappa) \quad (7a)$$

$$\frac{\partial y_A(t, \kappa)}{\partial t} = p \kappa x(t, \kappa) \gamma(t) - (\nu_A + \mu) y_A(t, \kappa) \quad (7b)$$

$$\frac{\partial y_{\bar{A}}(t, \kappa)}{\partial t} = (1-p) \kappa x(t, \kappa) \gamma(t) - (\nu_{\bar{A}} + \mu) y_{\bar{A}}(t, \kappa) \quad (7c)$$

$$\frac{dz_A}{\partial(t)} = \nu_A \int_0^\infty y_A(t, \kappa) d\kappa - (d + \mu) z_A(t) \quad (7d)$$

$$\frac{dz_{\bar{A}}}{\partial(t)} = \nu_{\bar{A}} \int_0^\infty y_{\bar{A}}(t, \kappa) d\kappa - \mu z_{\bar{A}}(t) \quad (7e)$$

여기서,

$$\gamma(t) = \frac{\beta \int_0^\infty \kappa [y_A(t, \kappa) d\kappa + y_{\bar{A}}(t, \kappa)] d\kappa}{\int_0^\infty \kappa n(t, \kappa) d\kappa}$$

이다. 식(7a)로부터, $x(t, \kappa)$ 의 숫자는 식(8)이 된다.

$$x(t, \kappa) = x_0(\kappa) \exp(-\mu t - \int_0^t \kappa \gamma(u) du) + \lambda(\kappa) \int_0^t \exp(-\mu(t-\tau) - \int_\tau^t \kappa \gamma(u) du) d\tau \quad (8)$$

만약 $y(t)$ 을 시간 t 에서 감염자의 전체 숫자라고 정의한다면, $y(t)$ 는 식(9)와 같게 된다.

$$y(t) = \int_0^\infty [y_A(t, \kappa) + y_{\bar{A}}(t, \kappa)] d\kappa \quad (9)$$

그래서 식(7b, c)는 $y(t)$ 에 대한 미분방정식으로 줄일 수 있다.

$$\frac{dy}{dt} = \gamma(t) \int_0^\infty \kappa x(t, \kappa) d\kappa - (\nu + \mu) y(t) \quad (10)$$

여기서, $\nu_A = \nu_{\bar{A}} = \nu$ 이다.

만약 성 행위 분포가 평균치 m 와 변수 m^2/θ 를 갖는 형태로서 감마(gamma)라고 가정한다면, 식(10)은 파라메타 m 와 θ 항으로써 표시할 수 있다. 이와 같은 특성은 수치 해석 과정을 이용하여 연구할 수 있다.

컴퓨터 조작은 단위시간에 성 행위상대자 숫자의 연속 감마분포에 대한 이산 근사값을 사용하므로 얼마간 간단히 할 수 있다. 전체 n 의 성 행위 등급은 연간 0-1, 1-5, 5-10, 10-50, 50-100, 그리고 100이상 상대자를 가진 사람으로 확정하고, i 번째 등급에의 성 행위 상대자 숫자 평균 κ_i 는 감마 분포로부터 계산할 수 있다. 따라서 이산 성 행위 상대자 등급 근사값 r 는 식(11)과 같이 정의된다.

$$r = \beta \sum_{i=1}^n \kappa_i [Y_A(t, i) + Y_{\bar{A}}(t, i)] / \sum_{i=1}^n \kappa_i n(t, i) \quad (11)$$

식(7) ~ (10)까지 수치해석에 대한 이와 같은 방법의 좋은 점은 감마분포에 대한 이산 근사값이 성 행위 습관의 유용한 데이터를 나타낸다는 것이다. 이산 성 행위 상대자 등급 모델의 수치연구는 동성연애자 사회에서 성 행위의 다른 성분이 유행 모양에 영향을 주는 특징을 고찰할 수 있다.

5. 불규칙한 잠복기를 고려한 유행 모델

식(7)에서 각 개인 감염자들의 잠복기는 평균 $1/\nu_A$ 인 지수분포를 가지고 있다고 가정하였다. 이것은 경험적으로 적당하지 못하나 수학적으로는 편리하다. 하지만 $t=0$ 에 감염된 감염자에 대한 $t=\tau$ 에서 퇴거율을 $\nu_A(\tau)$ 와 $\nu_{\bar{A}}(\tau)$ 로 표시되어야 한다.

t 시간에서 감염자의 부류는 성 행위에 따른 감염시간으로 세분하지 않으면 안된다. 그래서 식(12)가 유도된다.

$$y(t, \kappa) = \int_R y(t, \kappa, \tau) d\tau \quad (12)$$

$y(t, \kappa, \tau)$ 와 $y_{\bar{A}}(t, \kappa, \tau)$ 는 AIDS로 발전하고, 그렇지 못할 경우에 감염자에 적용된다. 식(7)은 식(13)과 같이 수정하지 않으면 안된다.

$$\frac{\partial x(t, \kappa)}{\partial t} = \lambda(\kappa) - \kappa \gamma(t) x(t, \kappa) - \mu x(t, \kappa) \quad (13a)$$

$$\frac{\partial y_A(t, \kappa, \tau)}{\partial t} + \frac{\partial y_A(t, \kappa, \tau)}{\partial \tau} = -(\mu + \nu_A(\tau))y_A(t, \kappa, \tau) \quad (13b)$$

$$\frac{\partial y_{\bar{A}}(t, \kappa, \tau)}{\partial t} + \frac{\partial y_{\bar{A}}(t, \kappa, \tau)}{\partial \tau} = -(\mu + \nu_{\bar{A}}(\tau))y_{\bar{A}}(t, \kappa, \tau) \quad (13c)$$

$$\frac{dz_A(t, \kappa)}{dt} = \int_R \nu_A(\tau)y_A(t, \kappa, \tau)d\tau - (\mu + d)z_A(t, \kappa) \quad (13d)$$

$$\frac{dz_{\bar{A}}(t, \kappa)}{dt} = \int_R \nu_{\bar{A}}(\tau)y_{\bar{A}}(t, \kappa, \tau)d\tau - \mu z_{\bar{A}}(t, \kappa) \quad (13e)$$

여기서 식 (13b, c)의 경계조건은 식 (14)로 주어지고, $r(t)$ 은 식 (15)와 같다.

$$y_A(t, \kappa, 0) = p\kappa r(t)x(t, \kappa) \quad (14a)$$

$$y_{\bar{A}}(t, \kappa, 0) = (1-p)\kappa r(t)x(t, \kappa) \quad (14b)$$

$$r(t) = \frac{\beta \int_R \kappa y(t, \kappa) d\kappa}{\int_R \kappa n(t, \kappa) d\kappa} \quad (15)$$

컴퓨터에서 식 (15)는 식 (11)로써 구한다.

6. 컴퓨터에 의한 모델해석

인구 크기는 단위법으로 1로 하였고 dt 를 년 (year)으로 하였다. t_0 와 v 값을 줌으로써 R_0 값을 대략 얻을 수 있는 것을 암시하고, $\beta x \cong 1y_r^{-1}$ 이고 $R_0 \cong D$ 관계라는 사실을 이미 발표하였다[5,9].

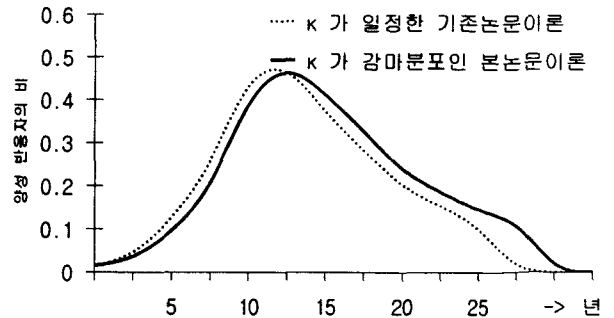
이 연구에서 $D = \frac{1}{v}$, $R_0 = D = 7 \sim 10$ 그리고 $\lambda = 0.0133$ y_r^{-1} 이면, 이배화 시간과 환자의 생존기간은 1년으로 하였고, AIDS로 발전되는 양성자 비율 p 는 30%으로 하였다[12].

유행특성을 컴퓨터에 의한 성 행위 비율을 고려한 식 (7) 모델을 해석하여, κ 가 일정하게 할 경우와 비교 고찰하였다.

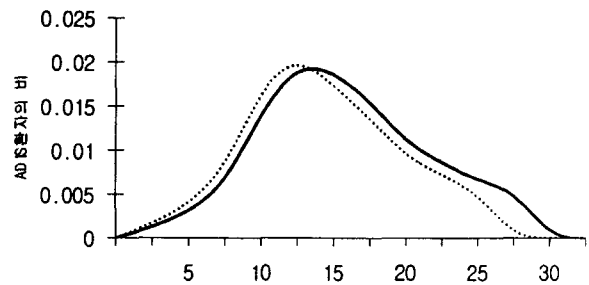
평균치 δ 는 5.0로 하고 분산 m_k 는 5, 25, 50 그리고 100으로 하였다. 발병초기의 $Y_A(0)$, $Y_{\bar{A}}(0)$ 는 일반적으로 적어서 1.0, 0.5%로 가정하였다.

$Y_A(0) = 0.01$, $Y_{\bar{A}}(0) = 0.005$, $X(0) = 0.985$ 를 대상으로 D 를 7에서 9까지 각각 R_0 가 5.0, 6.5 및 8.0 경우에 수치

계산을 하였다. D 의 변화에 따라서 R_0 를 변화시킬 경우에 수치해석한 결과로부터 AIDS 발생자 수를 그림으로 표시하면 그림2~4와 같다.



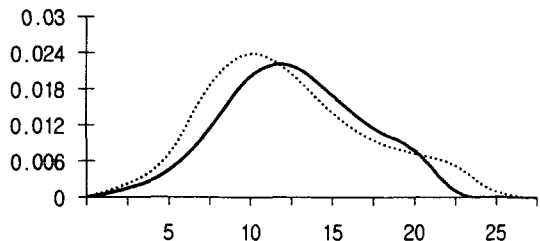
(a) HIV 감염자의 비율



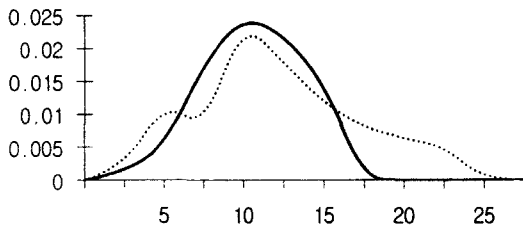
(b) AIDS 환자의 발생

그림 2. 본 논문 이론과 기존 이론의 응답 비교. 파라메타 값 : $D = 7$ 년, $RO = 5.0$, $d = 1.0$ /년, $P = 0.3$, $\mu = 0.02$ /년, $\lambda = 0.0133$ /년. x_i 값 평균치는 5년이고 변수는 5, 25, 50 그리고 100인 감마분포로 선정 하였다.

Fig. 2. Comparison of this paper and already being theory epidemic curves. Parameter Values: $D = 7_{yr}$, $RO = 5.0$, $d = 1.0_{yr^{-1}}$, $P = 0.3$, $\mu = 0.02_{yr^{-1}}$, $\lambda = 0.0133_{yr^{-1}}$. The x_i were chosen from gamma distributions with the mean number of partners fixed at $5_{yr^{-1}}$ and variances of 5, 25, 50 and 100.

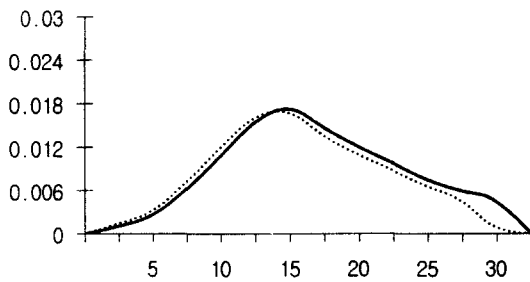


a) $R_0 = 6.5$ 인 경우

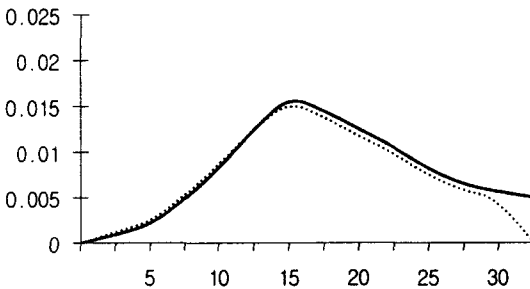


b) $R_0 = 8.0$ 인 경우

그림 3. $R_0 = 5.0$ 을 제외하고는 그림 2와 같음
Fig. 3 Identical to Fig. 2, expect $R_0 = 5.0$



a) $D = 8.0$ 인 경우



b) $D = 9.0$ 인 경우

그림 4. $D=7.0$ 을 제외하고는 그림 2와 같음
Fig. 4 Identical to Fig. 2, expect $D = 7.0$

그림2~4에서 x 를 일정할 경우와 x 의 감마분포를 고려한 경우의 곡선을 보면 HIV 양성자와 AIDS 환자의 곡선을 잘 나타내고 있다. D 와 R_0 에 의해서 AIDS 유행모양이 결정되므로, 가장 심하게 만연되는 기간은 AIDS의 최대치 X_{max} 50%를 나타내는 시간 T_L 로 하여 x 를 일정하게 할 경우와 x 가 감마분포인 경우 수치해석한 결과는 표 2와 같이 얻을 수 있다.

x 를 감마분포로 할 경우 이환율은 조금씩 줄고있음을 알 수 있고 T_L 와 T_m 은 조금씩 늘고, X_{max} 값은 조금씩 줄고 있다. 표 2는 x 의 변화에 대해서 그림 2~4까지 수치 결과를 요약한 것으로 다음과 같이 해석 할 수 있다.

x 가 일정할 경우 유행상태를 종합하여 보면 T_m 은 모두 10~14.7년 정도이면 X_{max} 은 1.8~2.45% 정도이고, 이환율은 24.77~26.23 정도가 된다. 하지만 x 를 감마분포로하면 T_m 은 모두 12~15년 정도이면 X_{max} 은 1.79~2.21%이고 전체 이환율은 19~27% 정도가 된다.

D 가 1씩 증가 할수록 X_{max} 는 0.3씩 감소하고 유행기간 T_L 의 기간도 1.0년씩 증가하는데 대해 x 가 감마분포로하면 X_{max} 는 0.245씩 감소하고 T_L 의 기간도 1.5년씩 증가한다. 이환율은 0.73%씩 감소하고 T_m 은 1.52년씩 증가하는데 대하여, x 가 감마분포로하면 이환율은 0.915%씩 증가하고 T_m 은 1년씩 증가한다. 즉 x 를 감마분포로 할 경우 x 를 일정하게 할 경우보다 이환율, T_m 와 T_L 은 증가한다고 말할 수 있다.

R_0 의 변화에 대해 살펴보면, 1.5씩 증가할수록 X_{max} 는 x 가 일정할적에 평균 0.315씩 증가하고 유행기간 T_L 은 0.85년씩 감소하는데 x 가 감마분포이면 X_{max} 는 평균 0.19씩 증가하고 T_L 는 마찬가지로 1.7년씩 감소한다. 이환율은 x 가 일정할적에 2.0%씩 증가하고 T_m 은 2.4년씩 감소하는 현상을 보이는데 대해서 x 가 감마분포이면 이환율은 4.0%씩 감소하고 T_m 은 1.5년씩 감소한다. 다시말해서 x 를 감마 분포로 할 경우 R_0 가 증가할수록 환자수는 감소되고, T_m 시기는 늦어진다.

x 를 일정하게 하는 것 보다 본 논문 이론에 따라 감마분포로하면, 대체적으로 T_L 은 조금 길어지는 경향을 보이는데, X_{max} 와 전체 이환율은 조금씩 작아지는 듯 하다.

7. 결 론

본 논문은 성 행위 상대자의 자료를 고려하여 HIV 감염과 AIDS의 전파 특성에 관한 수학적 모델을 구하고, 컴퓨터로 이 모델을 해석하였다. 뿐만아니라 유행에 성 행위 상대자 특성이 어떠한 영향이 있는가를 연구하였다.

본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 여기서 설명된 모델의 기초적인 구조와 이론은 만족하였다.
- (2) 재생율 R_0 가 증가할수록, AIDS의 발생자수는 감소하고 심하게 만연되는 시기는 빨라진다.
- (3) 잠복기 D 가 증가할수록 AIDS 발생자수는 증가하고 심하게 만연되는 시기는 늦어진다.
- (4) 성 행위의 감마분포는 유행기간 T_L 를 증가시킨다.

표 2 그림 2~4에서 X_{max} , T_L , T_m 및 이환율

Table 2 X_{max} , T_L , T_m & attack rate in Fig 2~4

a) x 가 일정한 경우

	Ro = 5.0				Ro = 6.5				Ro = 8.0				평균치			
	X_{max} (%)	T_L (년)	T_m (년)	이환율	X_{max} (%)	T_L (년)	T_m (년)	이환율	X_{max} (%)	T_L (년)	T_m (년)	이환율	X_{max} (%)	T_L (년)	T_m (년)	이환율
D=7.	2.08	11	13	25.7	2.50	9	11	26.3	2.78	8	9	26.7	2.45	9.33	11	26.23
D=8.	1.78	12	15	24.8	2.14	10	12	25.6	2.40	9	10	26.2	2.10	10.3	12.3	25.53
D=9.	1.55	13	16	24.0	1.86	13	13	25.1	2.10	11	11	25.2	1.84	12.3	13.3	24.77
평균치	1.80	12	14.7	24.8	2.17	10.17	12	25.67	2.43	9.33	10	26.0				

b) x 가 감마 분포인 경우

	Ro = 5.0				Ro = 6.5				Ro = 8.0				평균치			
	X_{max} (%)	T_L (년)	T_m (년)	이환율	X_{max} (%)	T_L (년)	T_m (년)	이환율	X_{max} (%)	T_L (년)	T_m (년)	이환율	X_{max} (%)	T_L (년)	T_m (년)	이환율
D=7.	2.06	12	14	27.7	2.30	10	12	22.9	2.49	9	11	18.1	2.28	10.3	12.3	22.9
D=8.	1.81	13	15	27.0	2.03	12	13	27.2	2.19	10	12	18.7	2.01	11.6	13.3	24.3
D=9.	1.61	16	16	26.4	1.81	13	14	26.7	1.95	12	13	20.2	1.79	13.6	14.3	24.43
평균치	1.83	13.7	15	27.0	2.05	11.7	13	25.6	2.21	10.3	12	19.0				

부 록

표기법

- k : 성 행위(sexual activity) 상대자비율(rate)
- $x(t)$: 시간 t 에서 감염 가능자 전체 수
- $y(t)$: 시간 t 에서 감염자 전체 수
- $x(t, \kappa)$: 시간 t 에서 k 를 가진 감염 가능자 수
- $y(t, \kappa)$: 시간 t 에서 k 를 가진 감염자 수
- $y_A(t, \kappa)$: 시간 t 에서 k 를 가지면 AIDS로 발전되는 감염자 수
- $y_{\bar{A}}(t, \kappa)$: 시간 t 에서 k 를 가지면 AIDS로 발전되지 않는 감염자 수
- $y(t, \kappa, \tau)$: $t - \tau$ 에서 감염되고 k 를 가진 t 에서 감염자
- $n(t)$: 시간 t 에서 전체 인구
- $n(t, \kappa)$: k 를 갖는 전체 사람 수
- $\lambda(\kappa)$: k 를 가진 동성연애자 보충
- $x_o(\kappa)$: $t = 0$ 에서 k 를 갖는 감염 가능자의 숫자
- β : 감염 가능자가 상대자로 전염되어지는 확률
- D : 잠복기

- ν : 잠복기의 역수
- ν_A : AIDS에 발전되는 혈청 양성자의 잠복기 역수
- $\nu_{\bar{A}}$: AIDS에 발전되지 않는 혈청 양성자의 잠복기 역수
- z_A : 비 전염 혈청 양성자
- $z_{\bar{A}}$: AIDS 환자
- m_κ : κ 의 분포에 대한 평균치
- δ_κ : κ 의 분포에 대한 분산
- t_d : 이배화 시간
- d : AIDS로 인한 사망률
- p : AIDS로 발전되는 양성자 비율
- μ : 자연 사망률
- R_o : 재생률
- T_L : AIDS가 심하게 만연되는 시기
- T_m : 이환율이 최대되는 시기

참 고 문 헌

[1] Bailey, N. T. J.: The Mathematical Theory of Infectious Diseases. London. Griffin, (1975)

[2] Peterman, T. A.: Epidemiology of the acquired immunodeficiency syndrome(AIDS), Epidemiology Reviews, Vol. 7, pp. 1-21, (1985)

[3] Carne, C. A., Weller, I. V. D., Sutherland, S., Cheinsong-Popov, R., Ferns, R. B., Williams, P., Mindel, A., Tedder, R., & Adler, M. S.: Rising prevalence of human T-lymphotropic virus type III(HTLV-III) infection in homosexual men in London. The Lancet I, 1261-1262. (1985)

[4] McKusick, M. L., Horstman, W., & Coates, T. J.: AIDS and sexual behaviour reported by gay men in San Francisco. Am. J. Public Health. 75, 493-496. (1985)

[5] Anderson R. M., Medley G. F., : "A preliminary study of the transmission dynamics of the human immunodeficiency virus(HIV), the causative agent of AIDS ", IMA J. Math. Med. & Biol., Vol. 3, pp. 229-263, (1986)

[6] May, R. M. and Anderson, R. M. : Transmission dynamic of HIV infection. Nature, 326. pp. 137-142, (1987)

[7] VALERIE ISHAM : Mathematical Modeling of the Transmission Dynamics of HIV.

[8] Becker, N. G. : A method of non-parametric back-projection and its application to AIDS data, Statistics in Medicine, Vol. 10. pp. 1527-43, (1991)

[9] 이광우, 정형환 :HIV감염과 AIDS의 전파 특성에 관한 기초적 연구, 의공학회지, Vol. 15, No. 3, pp. 295-303, (1994)

[10] Lipsitch-M, Nowak-MA :The evolution of virulence in sexually transmitted HIV/AIDS, J-Theor-Biol., Vol. 174, No. 4, pp. 427-40, (1995)

[11] 에이즈 연찬회 :AIDS 전망과 홍보정책, 보건복지부 방역과, (1996. 11)

[12] 정형환, 주석민, 이광우, 정문규, "HIV감염과 AIDS의 전파특성에 관한 수학적 모델화, 전기학회논문의 제 48권A, 제 1호 PP.89-95. (1999)

저 자 소 개



정 형 환 (鄭亨煥)

1941년 1월 19일 생. 1964년 연세대 공대 전기공학과 졸업. 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 현재 동아대 공대 전기공학과 교수

Tel : 051-200-7733

E-mail : hhchong@mail.donga.ac.kr