

# HIV 감염과 AIDS의 전파 특성에 관한 기초적 연구

정형 환\* · 이광 우\*\*

=Abstract=

## A Preliminary Study of the Transmission Dynamics of HIV Infection and AIDS

Hyeng-Hwan Chong\* · Kwang-Woo Lee\*\*

This paper describes some preliminary attempts to formulate simple mathematical models of the transmission dynamics of HIV infection in homosexual communities. In conjunction with a survey of the available epidemiological data on HIV infection and the incidence of AIDS, the model is used to assess how various processes influence the course of the initial epidemic following the introduction of the virus.

Models of the early stages of viral spread provide crude methods for estimating the basic reproductive rate of the virus, given a knowledge of the incubation period of AIDS and the initial doubling time of the epidemic. More complex models are formulated to assess the influence of heterogeneity in sexual activity.

This latter factor is shown to have a major effect on the predicted pattern of the epidemic.

**Key words :** HIV infection, AIDS, Transmission dynamics, Model

### 서 론

인구집단의 건강과 질병을 연구하는 한 방법으로서 에이즈(Acquired Immunodeficiency Syndrome : AIDS) 모델을 구성하고 해석하는 것은 인간생활을 보다 효율적으로 개선하기 위한 중요한 자료를 제공할 것이다.

HIV(human immunodeficiency virus) 전파특성의 매우 간단한 수학적 모델은 Knox가 임질 등의 성병전파에 사용된 모델을 중심으로 하여 처음 제시하였고<sup>1)</sup>, 시스템 접근 방법을 이용하여서는 Bailey가 HIV 전염과 AIDS의 전파 특성에 관한 수학적 모델을 만들었다<sup>15)</sup>. 하지만 이 모델들은 인간 성행위가 복잡하고, 잠복기가 길면서 정확하지 않

고, AIDS로 발전되는 HIV 감염 비율을 모르고 그리고 여러 자료들이 불확실하여서 모델을 해석하지 못하고 있다.

요사이의 불확실한 파라메타 값에 관계없는 반사투영(back-projection)방법을 사용하여 AIDS 전파 통계적 모델은 Struthers가 처음 시도한 후<sup>16)</sup>, Becker와 Kim이 계속 연구하고 있다<sup>18, 19)</sup>. 뿐만 아니라 정확한 파라메타 값을 산정하기 위해서 Kalbfleisch가 꾸준히 노력하고 있다<sup>17)</sup>.

본 논문에서는 AIDS 초기 전파에 관한 역학 데이터를 가지고 이배화시간(doubling time), 잠복기(incubation period), AIDS 환자 생존 기간 및 성행위 특성을 살펴보고 그리고 매우 초보적인 동성애 모델(Homogeneous-mixing model)과 이성간 혼합 모델(heterogeneity-mixing model)을

\* 동아대학교 공과대학 전기공학과  
Dept. of Electrical Eng., Dong-A University

\*\* 부산 외국어대학교 컴퓨터공학과

통신저자: Hyeng-Hwan Chong, (604-083) 부산시 사하구 괴정3동 386-13, Tel. (051) 200-7733, Fax. (051) 200-7743

구성하였다. 그리고 이것을 처음으로 컴퓨터로 해석 하였다.

**역학자료 (Epidemiological data)**

지난 몇 년 동안 AIDS 바이러스의 역학과 생물학에 관련된 논문들이 급격히 증가하였다. 여기서는 개인 환자의 감염경로와 사회에서 감염의 퍼짐에 대한 양적인 자료 (quantitative data)에 초점을 맞춘다.

**1. HIV 감염과 AIDS<sup>12, 13)</sup>**

AIDS는 세포면역 기전에 결손을 나타내는 일련의 증후군을 말하며, 그 전형적인 예가 60세 이하에서의 카포시육종, 또는 뉴모시스티스 카리니 폐염에 의한 치명적 기회감염을 나타내는 경우로 정의하였다. 단 이런 질환은 면역억제 치료법 사용 또는 악성종양 등의 면역결핍을 나타낼 수 있는 기존의 기저질환이 없는 경우이어야 한다.

그러나 AIDS의 원인 병원체인 HIV의 존재가 밝혀지기 이전에 널리 통용된 내용이었으나, HIV에 대한 혈청학적 검사가 가능해진 이후 부터는 다음과 같이 재 정의하고 있다. HIV에 대한 혈청학적 또는 바이러스학적 검사소견이 양성인면서, 비만성 히스토플라즈마증, 만성설사를 일으키는 아이조스포라증, 기관지 칸디다증, 비호지킨스 임파종 내지는 B림프구형의 임파종 그리고 60세 이상에서의 카포시육종 중 일례의 증상을 나타내면 AIDS로 의심한다.

우리나라의 법적 AIDS 질병 감시에 있어서 특기할 것은 HIV 감염전체를 AIDS로 규정하고 있다.

**2. HIV 년도별 감염자 수**

1980년 미국에서 AIDS의 첫 환자가 보고된 이후 감염은 유럽과 개발도상국에서 급속히 퍼졌다. 우리나라에서는 1985년 첫 환자가 발생하였다. 아프리카에서 상태는 매우 복잡하였고, 얼마나 오래 지속적으로 번져 나갈지 아무도 모르고 있다. 발생은 지속적으로 누적되고 있으며, 반전할 기회는 조금도 없다.

우리나라에서 HIV 감염의 년도별 감염경로 및 양상은 표-1과 같고, 위험 요인별 HIV 감염 양상은 표-2와 같다<sup>13)</sup>.

표-1 과 표-2에서 AIDS 감염자수는, 실제로 HIV 감염자수를 우리나라에서는 이야기 하고 있다. 대부분의 감염자는 감염상태가 확인되기 수 년 전에 감염된 것으로 판단되며, 90~91년 경우 근년에 감염된 경우가 많은 것으로 보인다. 즉 사실상 HIV 감염은 지속되고 있다.

**표 1. 감염경로별 연도별 에이즈 감염자수**

(1991년 10월 31일 현재)

감염 경로	성별	발 전 연 도							총
		1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	
내국인끼리의 성접촉	남	-	-	1	3	10	22	10	46
	여	-	-	-	1	1	3	3	8
국외에서의 성접촉	남	1	1	-	12	21	27	16	78
	여	-	-	-	1	-	-	-	1
국내외국인과 성접촉	남	-	-	-	-	2	-	-	2
	여	-	3	5	3	-	1	-	12
수혈이나 혈액제제	남	-	-	3	2	2	1	6	14
	여	-	-	-	-	1	-	-	1
합	남	1	1	4	17	35	50	32	140
	여	-	3	5	5	2	4	3	22

**표 2. 위험요인별 에이즈감염자수 (1991년 10월 31일 현재)**

위험 요인	성별	에이즈감염자수
동성연애자/양성연애자	남	14(1)
	남 여	112(2) 21(3)
정맥주사 약물남용자		-
혈 우 병	남	4
	남 여	10(2) 1
총	남	140(5)
	여	22(3)

※ ( ) : 에이즈환자수, 현재 모두 사망

표-2에서 이성간 성 접촉(82%)이 위험요인으로 주도하고 있는 것으로 보이고, 동성애의 위험상태가 있었던 경우가 14례로 제시되었는데 이는 본인이 진술한 경우이다. 감염자 본인이 동성애 경험을 숨기는 경우가 상당히 있다고 추정 된다<sup>13)</sup>.

일반적으로 AIDS의 전파는 동성연애자들이 많으며, 이성간의 성교를 통해서도 전파되고 있는 경우도 있는 것이 밝혀지고 있다<sup>3, 14)</sup>.

표-1에서 유행초기단계에 있어서 이배화시간(doubling time) td은 12~14달 정도임을 알 수 있다.

**3. AIDS의 발생비율과 생존 기간**

AIDS환자에 대한 많은 연구에서 HIV 감염에서 AIDS로 발전하는 비율에 관한 정보를 보이고 있다.

Coedert et al가 표-3에서, 최고 34%에서 최저 8%까지

표-3. 3년 동안 AIDS로 발전하는 혈청 양성자 (%)

연구 그룹	%
USA, Manhattan: 동성 연애자	34.2%
USA, Washington: 동성 연애자	17.2%
Denmark: 동성 연애자	8.0%
USA, Queens: 약물 복용자	12.5%
USA, Hensley: 혈유병 환자	12.8%

HIV 감염자가 AIDS로 발전하는 것을 보이고 있으며<sup>3)</sup>, 미국 Sanfrancisco city clinic에서 6876명 동성연애자/양성연애자를 고찰한 결과 5년 이내에 약 1/3이 AIDS 환자가 되었다<sup>6)</sup>. 이상에서 일반적으로 HIV 감염자 중 30% 정도가 AIDS 환자로 발전함을 알 수 있다.

AIDS 환자 생존기간은 대략 몇달에서 몇년으로 짧다는 것이 일반적인 상식인데, Peterman은 AIDS 환자 생존기간을 대략 9~12달 되는 것을 짐작했다<sup>5)</sup>.

4. 잠복기 (incubation period)

감염후에 최초로 증상이 나타날 때 까지의 기간을 잠복기라고 하는데, 이는 아직까지 확실하게 밝혀져 있지 않다. 잠복기를 추정하는 보고서에서 연구대상자의 2/3가 잠복기는 1.5~5.0년이었으며, 나머지 1/3은 같은 기간내에 증상이 나타났거나 AIDS로 진행된다<sup>10)</sup>. 더욱 광범위한 연구에서, 샌프란시스코 시립병원 HIV 감염자 1/3이 5년이 넘어서 AIDS로 발전된다<sup>6)</sup>. 잠복기 (incubation period)은 30달이었으나, 혈청학적 감염이후 많은 변화를 보이고 있다.

감염되지 않는 잠복기 (latent period)은 수 주일에서 수 일이라고 생각되고, 약 4~5년의 잠복기를 가진 AIDS의 감염되는 잠복기 (infectious period)은 잠복기 기간보다 약간 짧다고 생각된다<sup>9)</sup>.

성별에 대한 연구로서 남자와 여자의 평균 잠복기는 약 5.6년과 8.77년이고, 59세 이상의 나이에서는 이것보다 약간 짧다. 수혈에 의한 HIV 감염자 수와 수혈 때문에 HIV 감염자가 AIDS로 진단되는 잠복기가 정확하지 않기 때문에 TA-AIDS 환자수를 정확하게 계산하지 못하고 있다<sup>17)</sup>.

AIDS의 잠복기 (incubation period)는 오스트레일러, 미국, 일본 등의 국가에 따라 많이 변하고 있다는 사실을 말해 주고 있다<sup>5)</sup>.

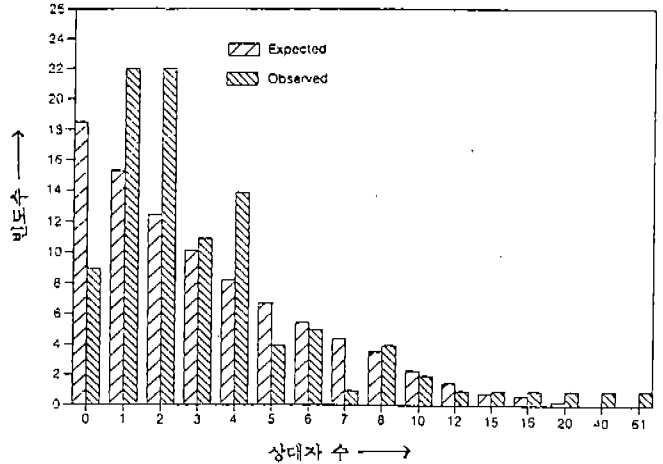


그림 1. 1986년 런던 성병 병원에 출석한 동성연애자 중에서 월간 성행위 상대자 수의 도수분포

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.

5. 성행위 (Sexual Activity)

전체 인구중에서 HIV감염에 잘 걸리는 소집단 (sub-group)이 있는데, 감염은 이 소집단 중의 개인 각자 행위에 매우 많이 좌우되는 줄 믿는다.

그래서 우리는 동성애 남자 (homosexual males)와 같은 감염이 많이 발생하는 집단에 초점을 맞춘다. 감염이 많이 발생하는 집단중에서, 감염이 되는 중요한 요소는 단위시간에 다른 성행위 상대자 수와 성행위 습관 (the nature of sexual practice)이다. 사실 이와같은 자료는 매우 찾기 힘들다.

발표되지 않는 Carne의 논문에서 동성 성행위에 관한 연구가 있었는데<sup>9)</sup>, 그림-1은 한 달 동안 한 동성애 남자가 성행위 상대자의 도수분포 자료이다.

여기서 평균치 (mean)와 변수 (variance)는 각각 4.28 과 57.9이고, 이 그림-1은 감마 분포 (gamma distribution)에 맞는 것을 알 수 있다. Mckusick etal 논문에서도 연간 동성연애자의 성행위 상대자수를 관찰하였는데 평균치는 4~6 정도임을 말해주고 있다<sup>10)</sup>.

동성혼합 (homogeneous mixing) 모델

여기서는 동성애 남성사회안에서 HIV 감염 전파특성을 반영시키는 수학적 모델 구성에 관한 연구이다. 이 독신의

그룹에 대한 제한적 단순한 모델을 얻을 수 있다.

다음 장의 복잡한 이성혼합모델 연구전에, 인구는 동성으로 혼합되어 있다고 생각하여서 간단한 뼈대로 시작한다. 이 지나치게 간단한 골격을 채택하는 이유는 여러 요소들이 병 퍼짐에 어떤 영향을 미치는가를 도움을 주기 때문이다.

여기와 다음장에서 우리는 아래 사항을 가정한다.

1. 감염가능자는 감염된 사람과 성 접촉에 의해서만 감염된다.
2. AIDS 환자는 인구 순환으로 부터 퇴출된다. 그래서 그들은 새로운 HIV 감염 환자를 만들 수 없다.
3. 감염된 사람은 잠복기 이후 p비율 만큼 AIDS로 발전되고, 1-p 만큼 혈청양성 즉 비 전염 그룹으로 남는다.
4. 전염되지 않는 잠복기 (latent period)는 잠복기 (incubation period)에 비하여 몹시 적으므로 무시한다.

1. 유행병의 초기 단계 (early stage)

t시간에 감염가능자 X(t)와 전염자(동성 연애자) Y(t)로 이루어진 밀폐된 인구 N을 생각한다.

전염 그룹의 이동을 u, 전염그룹에서 떠나 AIDS 환자 그룹으로 들어가는 비율 p로써 나타낸다. 그리고 유행의 초기 범위에서 AIDS에 관련된 사망자를 무시한다.

모델은 식 (3-1)과 같이 정의된다

$$\frac{dX}{dt} = -\lambda cX \tag{3-1a}$$

$$\frac{dY}{dt} = \lambda cX - vY \tag{3-1b}$$

여기서 c는 평균 성 상대자 (sexual partner) 수이고, λ는 불규칙한 상대자를 선택함으로써 얻은 감염에 대한 비율이다.

이 λ는 전파비율 β와 Y/N에 대해서 비례 관계가 있으므로, 식 (3-2)와 같이 정의 될 수 있다.

$$\lambda = \beta \frac{Y}{N} \tag{3-2}$$

유행의 초기 단계에서는 X=N 이고, 식 (4-1b)와 (3-2)에서 식 (3-3)을 유도한다.

$$\frac{dY}{dt} \simeq (pc-v)Y \tag{3-3}$$

전염자는 식 (3-4)로써 주어진다.

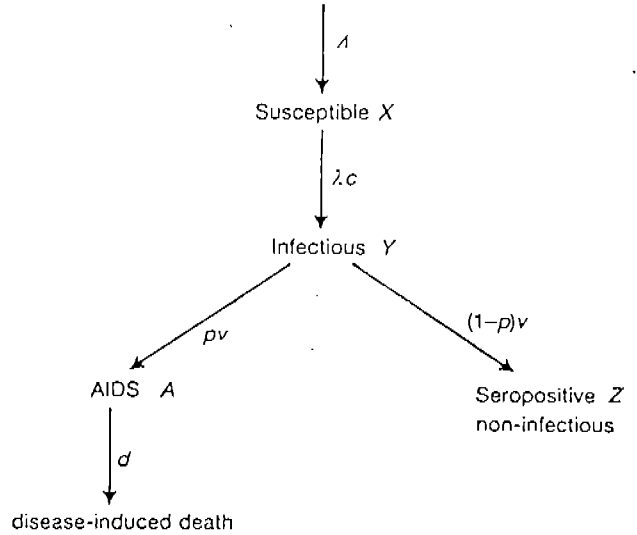


그림 2. 본문에서 설명된 모델 구성의 흐름도  
Fig. 2. Flow diagram of the model structure described in the text

$$Y(t) = Y(0) \exp [(\beta c - v)t] \tag{3-4}$$

여기서 AIDS 발생은 pvY(t)이다. 그림-2는 3. 1절에서 설명하는 모델 구성의 흐름도이다. 초기 단계에서, 식 (3-3)은 이배화시간 td를 준다

$$td = \frac{\ln 2}{(\beta c - v)} \tag{3-5}$$

매우 간단한 모델에도 불구하고, HIV 감염의 재생산율 (reproductive rate) R0는 전체 감염자 인구에서 처음 감염자에 의해 2차 감염을 일으키는 사람수로서 정의된다.

$$R_0 = \beta c D \tag{3-6}$$

여기서 D는 잠복기 (incubation period)이고, D=1/v 이다.

그러므로 식 (3-5)는 R0항으로 표시 될 수 있다.

$$td = \frac{(\ln 2)D}{(R_0 - 1)} \tag{3-7}$$

감염이 R0>1 이어야 유행이 시작된다. 식 (3-6)은 HIV 감염의 전파를 줄이는 데는 성행위 변화가 필요하다는 사

실을 말해주고 있다.

성행위 습관의 분포에서 새로운 평균행위  $\hat{c}$ 가 식 (3-8)과 같이 되는 것이 필요하다.

$$\hat{c} < \frac{c}{R_0} \quad (3-8)$$

td와 D의 값을 주므로써  $R_0$ 값을 찾을 수 있는 것을 식 (3-7)은 암시하고 있다.

td는 13개월이고, D=4.5년로 치면  $R_0$ 는 4.0 정도이다. 대체로  $\beta C \approx Yr^d$ 로 주면  $R_0 \approx D$ 가 된다.

### 2. 전주민 안에서 유행

위 3-1절에서 정의된 모델은 자연사 비율 와 출생 비율을 고려하여서 t시간에서 인구 N(t)속에 유행하는 유행병의 전체 흐름으로 확장할 수 있다.

AIDS에 걸린 사람은 사망을 d(여기서 1/d=9달~1년)로 죽는다고 가정 한다. t시간에서 감염가능자, 전염자, AIDS 환자 및 비-전염혈청양성자를 각각 X(t), Y(t), A(t) 및 Z(t)로 표시한다.

$$\frac{dX}{dt} = \pi - \mu X - \lambda c X, \quad \frac{dY}{dt} = \lambda c X - (v + \mu) Y \quad (3-9a, b)$$

$$\frac{dA}{dt} = p v Y - (d + \mu) A, \quad \frac{dZ}{dt} = (1-p) v Y - \mu Z \quad (3-9c, d)$$

여기서  $\lambda$ 은 (3-2)에서 정의되어 있고, 그리고  $N(t)=X(t)+Y(t)+A(t)+Z(t)$ 이다. 수치해석적 연구는  $R_0 > 1$ 을 주고, 시스템은 인구중에서 비교적 안전하게 HIV 감염을 나타내고 있다.

### 3. 컴퓨터에 의한 모델 해석

식 (3-9)로 확정된 모델의 컴퓨터에 의한 수치해석적 연구는 전체 감염가능자 동성연애 사회에서 HIV 감염으로 인한 유행양상을 잘 나타내 주고 있다.

이 연구에서 사용된 파라메타 값은 표-4에서 나타내고 있는데, 이 값들은 대략적인 값들이다.

인구크기는 단위법으로 하여서 1로 하였고, dt를 년(year)로 하면 편리하였다.  $\pi$ 와  $\mu$ 을 모두 1.2%와 1%로 하고,  $R_0=4.0, 4.5$ 로 하여 계산하여 보니 각각 그림-3, 4와 같다. 모두다 10~12년에서 최대값에 도달하고 35년 정도에서 유행이 종결됨을 알 수 있다.

그림-4는  $R_0$ 의 변화에도 불구하고 HIV 혈청양성자 유행은 그림 3과 유사함을 알 수 있다.

표-4. HIV 감염의 대략적인 파라메타값

파라메타	계 산
감염되지 않는 잠복기	몇 주
감염되는 잠복기	4.5~5년
잠복기	4.5~5년
AIDS 환자의 생존기간	9달~1년
2배화 시간	13개월
AIDS로 발전하는 비율	30%
평균 성행위 상대자수/달	2~5
성행위 버릇에서 분산(Variance)	57.9

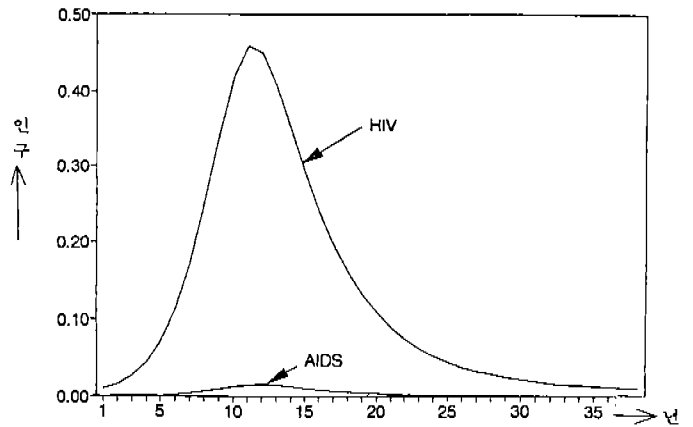


그림 3. 동성 연애자 모델의 시간적 해답, 파라메타값은  $R_0=4.0, D=4.5, d=1, p=0.3, N(0)=1.0, \pi=0.012$ 이다.

Fig. 3. Temporal solutions of the homogeneous-mixing model, Parameter values:  $R_0=4.0, D=4.5, d=1, p=0.3, N(0)=1.0, \pi=0.012$

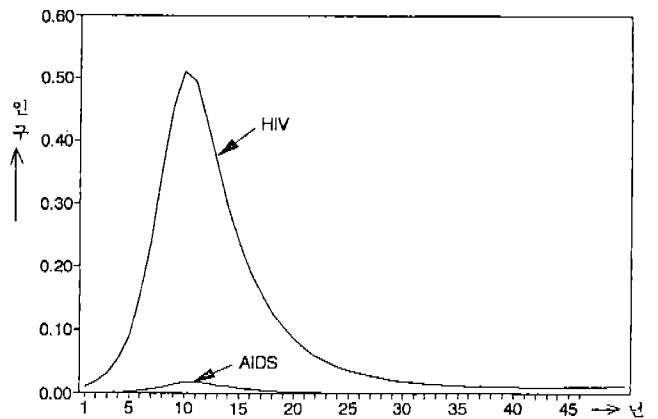


그림 4.  $R_0=4.5$ 을 제외하고는 그림 3과 동일함.

Fig. 4. Identical to Fig. 3. except  $R_0=4.5$

**이성 (heterogeneity)간의 성행위를 갖는 모델**

성 행위 (sexual activity)의 변화가 심한 인구속에서 복잡한 HIV 전파를 생각하자.

1. 유행병의 초기 단계

동성혼합 모델로 말하자면,우리는 먼저 이성간의 성행위에 있어서 재 생산율  $R_0$ 가 어떤 영향을 받는가를 유행병의 초기 단계에서 검사하는 것이다. 이 문제의 접근은 인구  $N$ 을 단위시간에 평균  $i$ 성행위 상대자를 갖는 개인으로 하는  $N_i$  소 그룹으로 나누는 것이다.

그래서  $N_i = NP(i)$ 이며,  $P(i)$ 은  $i$ 번째 등급이 전체인구에 대한 비율이다. 시간  $t$ 에서  $i$ 번째 등급에 있는 감염가능자와 전염자는 각각  $X_i(t)$ 와  $Y_i(t)$ 이다. 감염될 비율은 상대자 수  $i$ 와 감염가능자 개인이 감염된 상대자를 택할 확률  $\lambda$ 로써 구한다. 그래서 식 (4-1a, b)가 생긴다.

$$\frac{dX_i}{dt} = -i\lambda X_i, \quad \frac{dY_i}{dt} = i\lambda X_i - vY_i \quad (4-1a, b)$$

여기서  $v$ 은 감염기간에 좌우되는 일정한 값이다. 감염확률  $\lambda$ 은  $\beta$ 와 상대자가 전염되고 있는 확률에 의존한다.

성행위의 정도에 의한 상대자를 부가하여서, 식 (4-2)을 얻는다.

$$\lambda(t) = \beta \frac{\sum_i i Y_i(t)}{\sum_i i N_i(t)} \quad (4-2)$$

식 (4-1a)은 직접 식 (4-3)과 같이 적분할 수 있다.

$$X_i(t) = N_i \exp[-i \Psi(t)] \quad (4-3)$$

여기서  $\Psi(t) = \int_0^t \lambda(g) dg$  이다.

식 (4-1b)에 (4-3)을 대입하고, 그리고  $\lambda(t)$ 에 대한 미분방정식을 만들어 합하면 식 (4-4)와 같은 결과에 도달한다.

$$\frac{d\lambda}{dt} = \lambda [\beta (\sum_i i^2 e^{-i\Psi} P(i) / \sum_i i P(i)) - v] \quad (4-4)$$

유행병의 초기에서는  $X_i \approx N_i$ 이고,  $\Psi = 0$  이다. 그래서 (4-4)는 식 (4-5)로 주어진다.

$$\frac{d\lambda}{dt} = \lambda [\beta (m + \sigma^2/m) - v] \quad (4-5)$$

여기서  $m$ 은 상대자의 평균수(mean number)이고,  $\sigma^2$ 은 분산(variance)이다. 그러므로 감염자는  $\beta c - v$ 와 같이 지수적인 성장을 한다.

식 (3-3)에서  $c$ 는 이성간의 혼합모델에서 식 (4-6)과 같이 정의된다.

$$c = m + \sigma^2/m \quad (4-6)$$

HIV 감염의 기초 재생율 계산은  $c$ 가 식 (4-6)과 같이 정의되는 것을 제외하고는 같다. 이 식에서 성행위 분포의 평균치와 분산은 경험적인 자료로 비추어서 적당한 확률 분포의 파라메타 항으로 정할 수 있으며,  $P(i)$ 에 대한 감마 분포 (gamma distribution) 사용은 훨씬 나은 수치 관찰을 할 수 있다.

실현성에서 전염자가 다른 종류  $k$ 와 관계가 있을 수 있으므로 모델을 형식화시킬 수 있다. 식 (4-1a)은 같게 남아 있지만, 그러나 (4-1b)는 식 (4-7)이 된다.

$$\frac{dY_{i,k}(t)}{dt} = f_k i \lambda(t) X_i - v_k Y_{i,k} \quad (4-7)$$

여기서  $Y_{i,k}$ 은  $i$ 등급 성행위에서 전염등급  $k$ 의 전염자이고,  $f_k$ 은  $k$ 째 전염등급으로 되는 감염율이다. 그리고  $v_k$ 가 전염등급의 이탈율이다.

다른 전염그룹들은 단위시간에 능력이 다르게 전파 감염할 수 있다. 그래서 식 (4-2)은 식 (4-5)로 된다.

$$\lambda = \sum_k \beta_k (\sum_i i Y_{i,k}) / \sum_i i N_i \quad (4-8)$$

일반적인 모델의 수치해석은 전염등급과 성행위의 분포 자료를 주으로써 비교적 간단하게 된다. 그러나 중요한 문제는 파라메타의 정확성이다.

2. 전주민 안에서 유행

전체 경과 설명을 위해서는 1절에서 개요보다 더욱 복잡한 모델이 필요하다. 수학적 편리 때문에 우리는 성행위에서 분산 (variation) 한정에 대한 1절의 골격을 사용한다.  $X(t), Y(t)$ 을 시간  $t$ 에서 성행위  $s$ (단위 시간에 따른 상대자 수)를 갖는 각각 감염가능자, 전염자 수를 말한다.

각 개인은 감염가능자, 전염자로서 똑 같은 성행위를 유지한다고 가정하자. 또 전염자의 확률  $p$  만큼 AIDS 환자가 되고,  $(1-p)$  확률만큼은 비-전염 혈청 양성자가 된다고 가정한다.

모델은 식 (4-9)와 같다.

$$\frac{\partial X}{\partial t}(t, s) = \pi - sX(t, s)\lambda(t) - \mu X(t, s) \quad (4-9a)$$

$$\frac{dY}{dt}(t, s) = sX(t, s)\lambda(t) - (v + \mu)Y(t, s) \quad (4-9b)$$

$$\frac{dA}{dt} = \int_0^\infty p v Y(t, s) ds - (d + \mu)A \quad (4-9c)$$

$$\frac{dZ}{dt} = v \int_0^\infty (1-p) Y(t, s) ds - \mu Z \quad (4-9d)$$

여기서

$$\lambda(t) = \beta \int_0^\infty s Y(t, s) ds / \int_0^\infty s N(t, s) ds \quad (4-10)$$

이다. 이때 A(t), Z(t),  $\mu$ ,  $\nu$  그리고 d는 3.2절에서 확정하였다. N(t, s)는 성행위 s를 가진 전체 인구를 표시한다.

식 (4-9a)로부터 감염가능자수는 식 (4-11)이다.

$$X(t, s) = X_0(s) \exp(-\mu t - \int_0^t s \lambda(u) du) \quad (4-11)$$

여기서  $X_0(s)$ 은 t=0에서 성행위 s의 감염가능자 수이다. 시간t에서 전염자 수  $\bar{Y}(t)$ 라면 이  $\bar{Y}(t)$ 은 식 (4-12)와 같다.

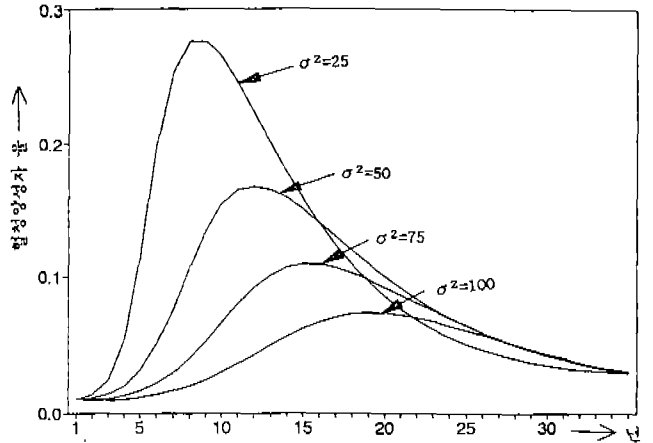
$$\bar{Y}(t) = \int_0^\infty Y(t, s) ds \quad (4-12)$$

그래서 식 (4-9b)는 Y에 대한 미분방정식으로 축소할 수 있다.

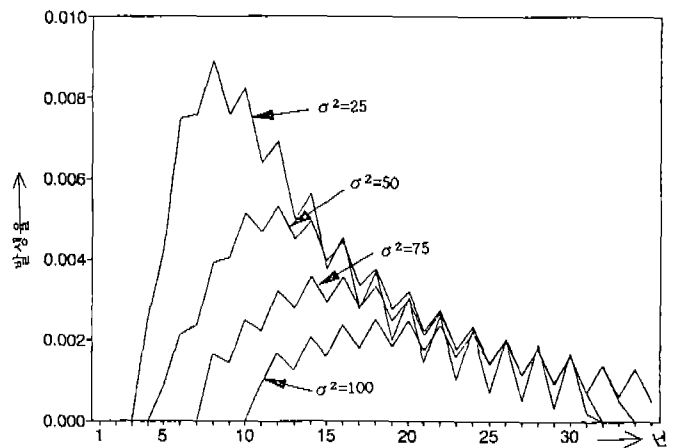
$$\frac{d\bar{Y}}{dt} = \lambda(t) \int_0^\infty s X(t, s) ds - (u + v)\bar{Y}(t) \quad (4-13)$$

성행위 분포는 평균치(m)와 변수( $m^2/\theta$ )를 가진 형태로 감마(gamma)이며, 그래서 식 (4-13)은 분포(m와  $\theta$ )의 파라메타 항으로 나타낼 수 있다. 이것의 특징은 수치절차를 사용하여 조사할 수 있다. 컴퓨터 문제의 크기는 단위시간에 성행위 상대자 수의 연속적 감마 분포를 이산 근사값(discrete approximation)으로 사용함으로 얼마간 축소할 수 있다.

성행위 상대자 등급(전체 n)의 연속은 연간 0-1, 1-5, 5-10, 10-50, 50-100 그리고 100이상 상대자를 가진 사람 등으로 확정하고, i번째 등급에의 상대자의 평균수  $s_i$ 는 모든 등급에 걸쳐서 평균치와 변수를 가진 감마 분포로부터 계



a) HIV 감염양성자



b) AIDS의 발생

그림 5. 이성간의 성접촉 모델의 시간적 해답. 파라메타  $R_0=0$ ,  $D=5.0$ ,  $d=1$ ,  $p=0.3$ ,  $N(0)=1$ ,  $\mu=0.01$ ,  $\pi=0.012$ 이다. 성행위 상대자 등급은 이산 감마분포 0-1, 1-5, 5-10, 10-50, 50-100, 100+로 하였다.

Fig. 5. Temporal solution of the heterogeneous-mixing model. Parameter values:  $R_0=4.0$ ,  $D=5.0$ ,  $d=1$ ,  $p=0.3$ ,  $N(0)=1$ ,  $\mu=0.01$ ,  $\pi=0.012$ . Sexual partner classes were defined in the discretizer of the gamma distribution: 0-1, 1-5, 5-10, 10-50, 50-100, 100+ parameters  $Yr^{-1}$ .

산할 수 있다. 각 성행위 상대자 등급내에서 동적으로 설명되는 방정식은  $s_i$ 를 갖는 식 (3-9)에서 정의되고 있다.

식 (4-10)의 감염율은 근사값으로 식 (4-14)와 같이 정의된다.

$$\lambda = \beta \sum_{i=1}^n s_i [Y(t, i)] / \sum_{i=1}^n s_i N(t, i) \quad (4-14)$$

식 (4-9)~(4-13)의 수치해석에 대한 이같은 방법의 편리

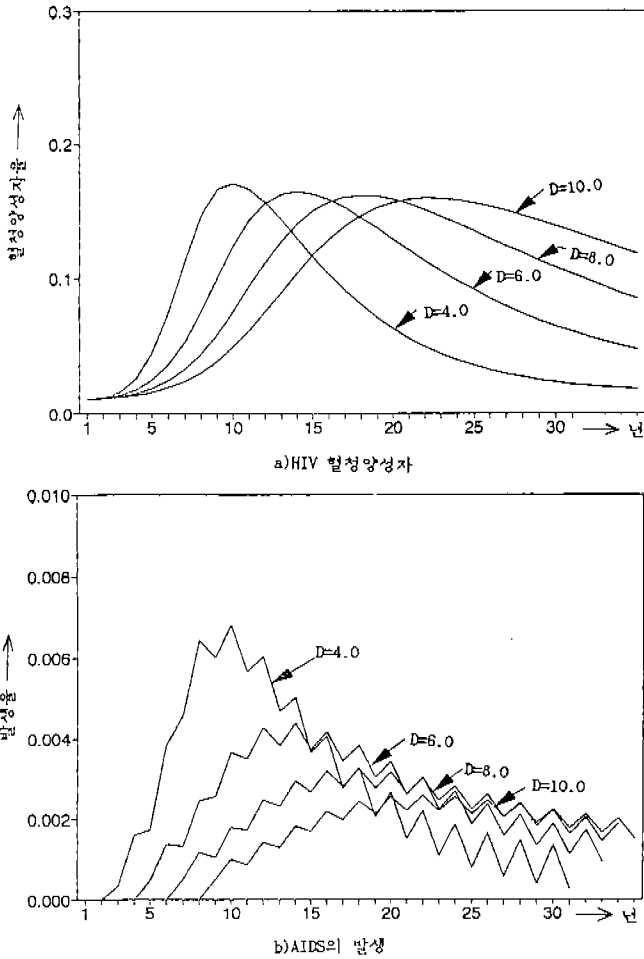


그림 6. 변화하는 잠복기에 대한 이성간의 성접촉모델의 시간적 해답. 파라메타  $\sigma^2 = 50$ 로서 그림 5와 같다.  
 Fig. 6. Temporal solutions of the heterogeneous-mixing model with variable incubation. Parameter values as defined for Fig. 5. but with  $\sigma^2 = 50$ .

는 감마분포의 이산 근사값이 동성연애의 습관 데이터를 잘 반영한다는 것이다.

3. 컴퓨터에 의한 모델해석

식 (4-9)~(4-13)의 이산 성행위 등급모델의 수치연구는 이성간의 성행위로 인한 양상을 잘 관찰할 수 있다. 평균치  $m=5.0$ 으로 하고 분산  $\sigma^2$ 을 변화시킬때 응답은 그림-5와 같다.

분산  $\sigma^2 = 50$ 로 일정하게 하고 잠복기를 변화시킬때 응답은 그림-6과 같다.

그림-5에서 이성간의 모델은 HIV 양성자 크기의 최대치는 줄어들고 AIDS의 환자 수는 감소되고 있음을 보이고

있다. 성행위 분산이 클수록 HIV 혈청 양성자는 작아지고 있다.

그림-6에서는 잠복기 변화에 따른 HIV 혈청 양성자의 크기와 최대치는 별로 변함이 없음을 보이고 있으며, 잠복기가 작을수록 최대치 값이 앞으로 당겨짐을 알 수 있다.

결 론

모델을 만드는데 구성 과정은 모호한 점이 많고, 또 HIV 감염경로가 정확하지 못해서 해석도 엉성하였다. 그렇지만 본 연구는 앞으로 HIV 감염 전파특성의 정확한 모델을 만들고, 해석하는데 유용하게 쓰일 줄 믿는다.

이와같은 모델을 만드는 또 다른 이유는 여러 파라메타가 어떻게 유행에 영향을 주는가를 조사하는 것이고, HIV 감염의 전파 특성을 이해하는데 도움을 주는 것이다.

본 연구는 확실한 AIDS의 발생을 정확하게 알려주지 못하고 있지만, 앞으로 AIDS 연구에 크게 공헌될 줄 믿는다.

참 고 문 헌

1. Barre-Sinoussi, F. et al: Isolation of a T-lymphotropic retrovirus from a patient at risk for acquired immune deficiency, Science 220, 868-87, 1983
2. 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. of MATH. & Bio., Vol. 3, pp. 229-263, 1986
3. Goedert, J. J. et al: Three year incidence of AIDS in five cohorts of HTLV-III-infected risk group members. Science 231, pp. 992-995, 1986
4. Hahn, B. H. et al: Genetic variation in HILV-111/LAV over time in patient with AIDS or at risk for AIDS. Science 232, pp. 1548-1553, 1986
5. Peterman, T. A.: Epidemiology of the acquired immunodeficiency syndrome (AIDS), Epidemiology Reviews 7, 1-21, 1985
6. C. D. C. M. M. W. R., Vol. 34, pp. 573-582, 1985
7. Lui, K. j. et al: A model-based approach for estimating the mean incubation period of transfusion-associated acquired immunodeficiency syndrome. Proc. Nat. Acad. Sci, Vol. 83, pp. 3051-3055, 1986
8. Medley G. F. et al: Incubation period of AIDS inpatient blood transfusion. Nature, Vol. 328, pp. 719-721, 1987
9. Carne, C. A. and Weller, I. V. D. et al: Rising prevalence of human T-lymphotropic virus type-III (HTLV-III) infection in homosexual men in London. The Lancet. 1261-1262, 1985
10. Mckusick, M. L. et al: AIDS and sexual behaviours reported by gay men in San Francisco. Am. J. Public Health. 75, 493-496, 1985



11. Knox, E. G.: *A Transmission MODEL FOR AIDS*, Eur. J. Epidemiol, Vol. 2, No. 3, pp. 165-77, 1986
12. 최성엽 : AIDS의 원인, AIDS현황과 예방관리, pp. 19-26, 보건사회부, 1987
13. 조병륜 : HIV감염 및 에이즈 환자 현황, AIDS 예방을 위한 의료인의 역할, pp. 8-13, 한국 여자 의사회(1991. 12)
14. 서 열 : AIDS의 역학, AIDS현황과 예방관리, pp. 9-19, 보건사회부, 1987
15. Bailey, N. T. J.: *Simplified Modelling of the Population Dynamics of HIV/AIDS*, J. R. Statist, SOC A. 151, Part. 1, pp. 31-43, 1988
16. Struthers, C. A. et al: *A mixture model for time to AIDS data with left truncation and an uncertain origin*, Biometrika, 76, 4, pp. 814-7, 1989
17. Kalbfleisch, J. D. et al: *Estimation of the incubation time distribution and the expected number of cases for transfusion-associated acquired immune deficiency syndrome*. Transfusion, 29, 672-6, 1989
18. Becker, N. G.: *A method of nonparametric back-projection and its application to AIDS Data*, Statistics in Medicine, Vol. 10, pp. 1527-43, 1991
19. Kim, M. Y.: *Analyzing Doubly Censored Data with Coveriates with Application to AIDS*, Biometrics, 49, 13-22, 1993
20. 정형환 : 인플루엔자 유행관리의 수학적 모델, 전기학회논문지, Vol. 30, No. 3, pp. 37-41, 1981
21. 정형환 : 인플루엔자 유행의 마르코프 모델해석, 전기학회논문지, Vol. 33, No. 11, pp. 16-21, 1984
22. 정형환, 주수원 : Pontryagin 최소원리를 이용한 최적접종에 관한 연구, 의공학회지, Vol. 9, No. 1, pp. 11-16, 1988
23. 정형환 : 초등급수 전개에 의한 유행병 모델의 해법에 관한 연구, 의공학회지, Vol. 12, No. 3, 1991
24. 정형환, 최부귀 : 전염병의 모델에 있어서 파라메타 값에 관한 수치해석적 연구, 의공학회지, Vol. 13, No. 4, pp. 307-311, 1992
25. 정형환, 주수원, 이광우 : 밀폐된 계층 인구에 있어서 유행병 모델, 의공학회지, Vol. 14, No. 4, pp. 365-369, 1993