韓國數學敎育學會誌 시리즈 E
<數學敎育 論文集>
제 24집 제 4호, 2010. 11. 877-889

J. Korean Soc. Math. Ed. Ser. E:
Communications of Mathematical Education
Vol. 24, No. 4, Nov. 2010. 877-889

신종 인플루엔자의 수학적 모델링

이 상 구 (성균관대학교)
고 래 영 (성균관대학교)+
이 재 화 (성균관대학교)

수학적 모델링은 현실 상황을 재해석하고 주변의 실제 문제들을 해결하는데 유용한 방법이다. 본 논문에서는 수학적 모델링에 대한 일반 이론을 소개하고, 신종 인플루엔자에 대한 수학적 모델링을 엑셀을 이용하여 개발한다. 이 모델을 분석하고, 이런 모델이 적절한 예측과 그에 따른 정책을 결정하는데 어떤 역할을 할 수 있는지를 보인다.

Ⅰ. 서 론

사회가 복잡하게 발전하면서 우리 주변의 상황을 보다 과학적으로 분석해야할 필요가 대두되었다. 상품의 수요에 대한 조사, 신종 질병의 전파 상황과 그에 따른 대책 수립, 태풍이나 기후 변화의 예측, 컴퓨터 시뮬레이션 등 현실 세계를 과학적으로 설명해줄 수 있는 모델의 연구는 다른 무엇보다 필수적이다. 그리고 수학적 모델링이란 바로 실생활의 문제에서 시작하여 주어진 상황을 수학적 기호로 형식화 및 수학적 모델을 구성하고, 문제를 해결하여 그 결과를 현실 상황에 재해석하는 일련의 과정을 의미한다.

본 논문에서는 수학적 모델링과 그 구체적인 예를 다룬다. Ⅱ절에서는 수학적 모델링의 개념을 설명하고 Ⅲ절에서는 신종 인플루엔자의 수학적 모델링을 실제로 구현하여 이 과정이 미래의 적절한 예측과 정책을 결정하는데 중요한 역할을 할 수 있음을 설명한다. Ⅳ절은 본 논문의 결론이다.

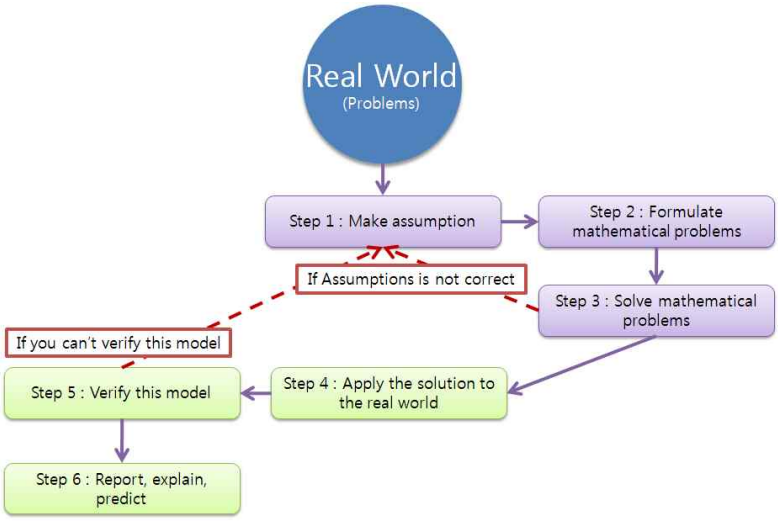
Ⅱ. 수학적 모델링이란

수학적 모델링이란 하나의 수학 이론이라기보다 우리 주변의 실제 문제들을 해결하는 과정에서 나타나는 개념이다. Niss는 수학적 모델을 현실의 문제 상황 S, 수학적 대상관계, 구조들의 모임 M,

* 접수일(2010년 9월 10일), 심사(수정)일(2010년 10월 26일), 게재확정일자(2010년 11월 8일)
* ZDM 분류 : M15, M65, F95, N85
* MSC2000 분류 : 97B40, 00A71, 03C98, 92D30, 65D10
* 주제어 : 수학적 모델링, 전염병 모델, 신종 인플루엔자, SEIR-BD 모델, 엑셀
* 본 논문은 BK21 수학적 모델링 사업단의 활동 성과임.
+ 교신저자

그리고 S에서 M으로의 대응 f로 이루어진 순서쌍 (S, M, f)로 정의하였다. 즉, 고려하고 있는 분야에 속하는 어떤 대상들과 그 대상들 사이의 관계와 구조를 선택하여 그것을 수학적인 형태로 바뀌었을 때 바뀐 대상이 수학적 모델이라 할 수 있다(홍정희, 1995). 또 Swetz는 이론적인 모델은 관찰자의 마음속에 있는 어떤 현상을 정확하게 묘사하는 원리나 규칙들의 모임이고, 이 원리나 규칙들이 수학적인 것으로 관심 있는 현상의 특징을 잘 나타내는 수학적 구조를 수학적 모델이라 하며, 이러한 수학적 모델을 고안하는 활동적인 과정을 수학적 모델링이라고 정의하였다(Swetz, 1989).

이러한 수학적 모델링은 주위의 현실 상황으로부터 시작하여 그 상황을 표현하는 적절한 수식이 존재한다고 가정하고, 그 수식을 찾아내는 것으로 나타난다. 예를 들면 문장으로 주어진 어느 연립방정식 문제에서 미지수를 확정하고 문장을 수식으로 표현한 후, 그 식이 원래 상황을 근사하게 표현하도록 계수 등을 확정하는 것이다. 수학적으로 표현한 문제를 해결하는 과정에서 구한 수식을 실제 문제에 대응시켜 구한 수학적 모델이 맞는지 확인한다. 만약 이 확인 단계에서 실제 문제와의 오차 범위가 기대치보다 크다면 다시 처음 단계로 돌아가서 다른 형태의 수식을 이용하여 이전 단계를 반복한다. 만약 적합하면 이를 가지고 앞으로 이 모델이 어떻게 변해 나갈 것인지를 예측해 나갈 수 있다(<그림 1>[1] 참조). 이러한 문제는 손으로 풀 수 있는 것들도 있겠지만 현실 사회의 실제 문제는 그 복잡도(complexity)에 따라 계산량이 많아 대부분 다양한 수학적 프로그램을 사용하게 된다(장은수, 2002), (황혜정, 2007).



<그림 1> 수학적 모델링의 과정

1) "수학적 모델링 입문", 2009년 2학기 성균관대학교 수학과 강의 (http://matrix.skku.ac.kr/MT2010/MT2010.htm/)

Ⅲ. 신종인플루엔자의 수학적 모델링

Ⅲ-1. 전염병 모델 (Epidemic Model)

전염병을 이해하기 위한 의미 있는 전염병 모델링의 시작은 스위스의 수학자 다니엘 베르누이(Daniel Bernoulli)[2]부터 시작되었다고 알려져 있다. 1766년 확률이론을 이용, 천연두를 연구하여 이 전염병 때문에 사람들이 얼마나 죽었는지 분석한 결과를 발표했으며, 이 연구를 통하여 약한 천연두균을 이용하여 인체 면역력을 갖게 하므로 천연두를 예방할 수 있다는 주장을 뒷받침하게 되었다. 그 이후 전염병 모델을 체계적으로 연구하기 시작한 것은 20세기 초부터이다. 영국의 수학자 하머(W. H. Hamer)는 영국 런던에서 발생했던 홍역이 어떻게 유행하는지에 대한 모델을 제시했고(Hamer, 1906), 병리학자 로날드 로스(Ronald Ross)[3]는 말라리아를 옮기는 기생충을 발견하고 그 확산 모델로 1902년에 노벨상을 받았었다. 1972년 스코틀랜드 수학자 윌리엄 컬맥(William Kermack)과 예방역학자인 앤더슨 맥켄드릭(Anderson McKendrick)은 전염병이 유행하기 위한 초기 조건과 전염병의 확산 정도를 예측하는 SIR모델을 제시했다[4]. 이 모델은 감염 가능성이 있는 사람들의 모임(Suspectible), 감염된 사람들의 모임(Infectious), 회복된 사람들의 모임(Removed) 사이에서 전염병이 어떻게 퍼지는지 보여준다. 이들은 이 모델을 이용해 1905년부터 1년 동안 인도 봄베이와 1665년 영국의 한 마을에서 홍역으로 사망한 사람의 수를 정확히 예측했다. 그 후 수학자들은 1918년과 1919년에 걸쳐 유행했던 스페인 독감도 전염병 모델로 환자수를 계산해 보았었는데, 당시 스페인독감으로 세계인구의 2%에 해당하는 약 5000만 명이 죽었다. 이처럼 과거의 전염병을 다시 연구하여 수학 모델을 세우는 이유는 독감 바이러스는 전파 형태가 비슷하기 때문에 앞선 사례를 잘 파악하고 분석하면 앞으로 다가올 새로운 독감의 대유행에 대비할 수 있고 정책 결정을 내리는 데 근거가 되기도 하기 때문이다[5]

---

2) 다니엘 베르누이(Daniel Bernoulli, 1700. 2. 9. - 1782. 3. 17)는 네덜란드에서 태어난 스위스의 수학자이다. 요한 베르누이의 아들로 1725년 페테르부르크 대학 수학 교수를 지냈다. 그 후 바젤 대학 물리학 교수가 되었다. 1738년 <유동체 역학>이라는 책을 내어, 액체의 운동에 관하여 유명한 '베르누이 정리'를 발표하였다.

3) 로널드 로스(Sir Ronald Ross, 1857. 5. 13. - 1932. 9. 16.)는 영국의 병리학자·기생충학자이다. 인도에서 출생하여 성 바돌로매 병원에서 공부한 후, 인도에서 군의관으로 근무 중에 말라리아 병을 연구하였다. 1892년 말라리아는 모기가 옮기는 병이라는 것을 알아내고, 아노펠레스 모기를 연구하였다. 1893년 모기의 타선(침샘)에서 말라리아 병원충을 발견하고, 그 생활환경을 연구하였다. 만년에는 리버풀 대학 열대위생연구소 교수를 거쳐, 런던 대학 부속 병원 열대병 의사, 이어서 로스 연구소 및 열대병 병원 주임이 되었다. 1902년 노벨 생리학·의학상을 받았다.

4) http://mathbio.colorado.edu/mediawiki/index.php/APPM4390:Population_Biology_of_Infectious_Diseases

5) 수학동아 2009.11월호 [특별기획1] 신종플루, 수학이 막는다!

Ⅲ-2. 신종 인플루엔자(Influenza a virus subtype H1N1)란?

신종 인플루엔자는 인플루엔자 바이러스의 일종으로 사람, 조류, 돼지 인플루엔자 바이러스의 유전물질이 혼합되어 나타난 새로운 종류의 바이러스로서 이름 자체에서 보이듯이 새로운 종류의 인플루엔자 바이러스이다. 이 바이러스는 현재까지 알려진 바로는 확산속도는 빠르지만, 대다수 환자들이 경미한 증상만이 나타나고, 계절 인플루엔자와 비슷한 수준의 치명률을 보인다. 하지만 대부분의 사람들이 새로운 바이러스에 대한 면역력을 가지고 있지 않아 대규모 유행의 가능성이 있다. 감염증상으로는 대부분 전형적인 인플루엔자 유사질환(influenza-like illness, ILI)의 양상으로 건강한 사람의 경우 항바이러스제 치료가 없이도 일주일 이내에 자연 치유가 되는 것이 보통이며, 임상양상은 전형적 ILI를 포함하여 중증 폐렴, 패혈증, 다발성 장기부전에 이르기까지 다양한 스펙트럼을 나타내며, 열이 없는 경우도 있었다고 한다. 확진환자의 경우에는 발열, 오한, 두통, 상기도 증상(기침, 인후통, 콧물, 호흡곤란), 근육통, 관절통, 피로감, 구토 혹은 설사 등의 증상을 나타나며, 계절인플루엔자와는 다르게 약 25%의 환자에게서 구토 혹은 설사 등의 소화기증상을 동반하는 것으로 나타났다. 그리고 소수의 환자에서는 신종인플루엔자가 빠르게 중증 폐렴, 급성호흡부전으로 진행해 사망에까지 이를 수 있음을 확인 할 수 있었다. 치사율은 국가마다 다르지만, 현재까지 선진국에서는 0.2%이하로 매우 낮고, 중증질환 및 사망으로 진행되는 환자는 60-70%가 만성질환, 임신부, 영유아 등 고위험군에 속해있었고, 나머지 30-40%는 기저질환이 없는 평소 건강하던 사람에서 발생함으로써 계절인플루엔자와는 차이를 나타내고 있다. 감염자들의 성별 차이는 없으며, 감염자의 연령 중앙값은 14-20세로서 약 70%가 5-30세 연령대에서 주로 발생하고 있다. 하지만 전 세계적으로 65세 이상 노인은 감염자의 전체의 약 1%를 차지할 정도로 노인층에서의 발생률은 낮은 편이다.

신종인플루엔자는 호흡기 비말(droplet)[6]전파와 접촉전파가 주된 전파 경로로 계절인플루엔자 바이러스의 전파양상과 유사하게 감염된 사람이 기침이나 재채기를 할 때 입에서 배출되는 바이러스를 가진 작은 비말들이 보통 1-2미터를 날아가 다른 사람의 손에 묻거나 직접 호흡기 또는 눈으로 들어가 감염이 된다. 하지만 바이러스가 묻은 물체의 표면에 손이 닿고, 다시 손에 묻은 바이러스가 호흡기나 눈으로 들어가서 전파되기도 한다. 외부로 배출된 신종인플루엔자 바이러스의 생존 가능기간은 고체이고 딱딱하며 구멍이 없는 표면에서는 약 72시간까지 생존하지만, 감염 위험을 일으킬 정도의 바이러스 양은 24시간까지만 생존한다고 한다. 그리고 옷이나 이불, 손수건, 책자 등 부드러운 물체의 표면에서는 12시간까지 생존하지만 감염 위험을 일으킬 정도로는 15분간만 생존 가능한 것으로 알려져 있다. 일단 손에 바이러스가 묻으면 손에서는 5분 이하로 생존하며, 손을 물과 비누로 씻으면 즉시 바이러스가 파괴되며 알코올 성분의 손 세척제를 사용하면 30초 내에 바이러스가 파괴된다. 바이러스는 비말에 포함되어 나오기 때문에 비말의 크기에 따라 공기에서의 생존 정도가 달라진다. 비말의 크기가 100㎛[7]이면 10초간 부유한 후 가라앉고 5㎛이면 1시간 동안 부유한 후 표면에 떨어지

6) 날아 흩어지거나 튀어 오르는 물방울.

게 된다. 바이러스의 생존은 바이러스를 포함한 비말이 물체 표면에 도착 한 후 약 2시간에서 8시간 동안 생존하는 것으로 알려져 있다.

신종인플루엔자가 기존의 인플루엔자 바이러스 보다 위험한 이유는 합병증 때문이다. 가벼운 호흡기질환에서부터 하기도 증상, 탈수 혹은 폐렴, 급성호흡부전, 패혈증[8], 다발성 장기부전[9] 등 다양한 합병증을 나타날 수 있으며, 심하면 사망에까지 이를 수 있다. 평소에 갖고 있던 만성내과질환, 즉, 천식, 당뇨병, 만성폐쇄성폐질환[10], 만성심부전, 만성신부전, 기타 심혈관질환 등이 악화될 수 있다. 그리고 기타 합병증으로 2차 세균폐렴(폐구균, 황색포도구균 등), 라이 증후군(Reye syndrome)[11], 중추신경계합병증(뇌막염, 뇌염), 신부전, 심근염, 횡문근 융해증(Rhabdomyolysis)[12] 등이 발생할 수 있다. 특히 임산부의 경우에는 신종인플루엔자 감염 시 합병증 발생 위험이 높으며, 감염 시 태아 조산, 호흡부전 및 사망의 위험이 상대적으로 높다[13].

Ⅲ-3. SEIR-BD 모델을 통한 신종인플루엔자의 수학적 모델링

질병관련 여러 모델들이 있지만, 그 중에서도 신종인플루엔자 바이러스의 경우에 정확히 잠복기가 확인되지는 않았지만, 1-7일 사이로 추정되고 있고, 완치도 가능하기 때문에 SIR 기본모델에서 잠재기(Exposed)를 고려한 SEIR 모델이 적합하다고 판단된다. 보다 현실과의 유사성을 주기 위하여 자연적인 출산과 사망자를 포함하는 것이 보다 현실과 비슷하게 모델링을 할 수 있다고 판단되어 SEIR-BD 모델을 선택하여 모델링을 하였다. 여기서 S는 감염대상군(Susceptible), E는 잠재기(Exposed(but not infectious)), I는 감염군(Infectious), R은 회복군(Recovery)을 의미한다.(Neuwirth, E. & Arganbright, D., 2004).

<그림 2>는 SEIR-BD 모델을 도식화 한 모습이다. S에서 E로 넘어가는 것은 접촉률과 S와 I에

---

7) ㎛ : 마이크로미터, 1㎛은 1m의 백만분의 일.

8) 혈액 중에 세균이 침범하여 번식하면서 생산되어진 독성물질에 의해 중독 증세를 나타내거나 전신에 감염증을 일으키는 질병을 말한다.

9) 몸속 장기들이 제 기능을 하지 못하고 멈추거나 심하게 둔해지는 상태를 뜻한다.

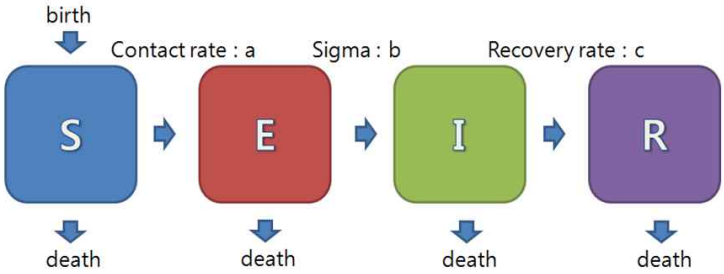
10) 만성 기관지염과 폐기종을 가리키며 보통 이 둘이 허파에 공존하여 숨길이 좁아지는 현상을 가리킨다.

11) 대게 독감과 같은 바이러스감염이나 수두 후에 발생하는 것으로 아스피린 복용과 연관이 있는 것으로 의심되는 병. 발생되기 전에 열을 동반한 바이러스성 상기도염이나 수두를 앓은 병력이 있는 것이 보통이다. 그런 병이 다 나아갈 때쯤에 구토, 기면, 혼동, 환각, 흥분, 혼수, 경련 등의 증상이 갑자기 나타나면서 불과 몇 시간 내지 며칠 사이에 뇌염과 간부전증이 생기고 그로 인해 사망할 수 있다. 때로는 이 증후군은 경미하게 나타나기도 하고 완전 회복하기도 한다.

12) 골격근의 손상으로 근육 내 세포의 내용물이 순환계로 유리되어 발생하는 임상 증후군으로서, 1911년 독일의 문헌에서 근육통, 마비, 갈색의 소변을 보인 임상적 증후군을 Meyer-Betz disease로 명명하였다. 1941년 Bywaters 등에 의하여 횡문근 융해의 합병증으로서 급성신부전이 기술되었다.

13) 질병관리본부 www.cdc.go.kr

비례하여 잠복기를 거치게 된다. 그리고 S의 숫자를 결정하는 것은 접촉률 뿐만 아니라 출생과 사망도 영향을 미치게 된다. 즉 평균 출생률을 α, 평균 사망률을 β로 두고, 접촉률을 a로 둔다면, 시간에 따른 S의 변화량은



<그림 2> SEIR-BD 모델

$$\frac{dS}{dt} = \alpha S - \beta S - aSI$$

이 됨을 알 수 있다. 마찬가지로 E를 결정하는 것은 감염대상군 S에서 바이러스에 감염된 사람들의 수가 늘어나고, 자연 사망과 확진환자로 전환되는 숫자만큼 줄어 들 것이다. 이를 통하여 감염상태에서 확진 환자로 전환될 확률을 잠복률(latent rate)로 보고 이를 상수 b로 한다면, E의 시간에 따른 변화는

$$\frac{dE}{dt} = \alpha SI - \beta E - bE$$

가 된다. I의 경우는 E에서 확진환자로 발전되는 수에 따라 증가 할 것이고, 자연 사망자 수, 치유되는 환자 수, 치명률에 의한 사망자 수에 따라 감소할 것이다. 이를 식으로 표현하면

$$\frac{dI}{dt} = bE - \beta I - cI - \delta I$$

이 된다. 그리고 R의 경우에는 확진 환자에서 치료되는 숫자만큼 늘어 날 것이고, 자연 사망자의 수만큼 줄어 들것이다. 이에 따라 식으로 표현 하면

$$\frac{dR}{dt} = cI - \beta R$$

이 됨을 알 수 있다. 여기서 한 가지 더 확인해야 할 것이 있다. 그것은 자연적으로 사망하는 경우와 확진 환자에서 사망하는 경우를 분류해야 병에 의한 치사자 수를 확인 할 수 있기 때문이다. 이를 식으로 표현하면

$$\frac{dD}{dt} = \delta I$$

이다. 위의 내용을 통하여 SEIR-BD 모델에서 필요한 수식들과 상수들은 다음 <표 1>과 같다[14].

<표 1> SEIR-BD모델에서 필요한 수식

$$\frac{dS}{dt} = \alpha S - \beta S - aSI$$

$$\frac{dE}{dt} = \alpha SI - \beta E - bE$$

$$\frac{dI}{dt} = bE - \beta I - cI - \delta I$$

$$\frac{dR}{dt} = cI - \beta R$$

$$\frac{dD}{dt} = \delta I$$

α : mean birth rate
β : mean death rate
δ : morbidity
a : contact rate
b : mean latent rate
c : recovery rate

먼저 지난 5년간의 평균인구와 일별 출생률(birth rate)과 사망률(death rate)을 국가 통계 포털[15]의 통계를 통하여 알아볼 수 있다(<그림 3> 참조).

기본항목별	2005	2006	2007	2008	2009
출생아수(명)	435,031	448,153	493,189	465,892	445,200
사망자수(명)	243,883	242,266	244,874	246,113	246,700
자연증가건수(명)	191,148	205,887	248,315	219,779	198,500
조출생률(천명당)	8,9	9,2	10,0	9,4	9,0
조사망률(천명당)	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
자연증가율(천명당)	3,9	4,2	5,1	4,4	4,0
합계출산율(명)	1,076	1,123	1,250	1,192	1,150

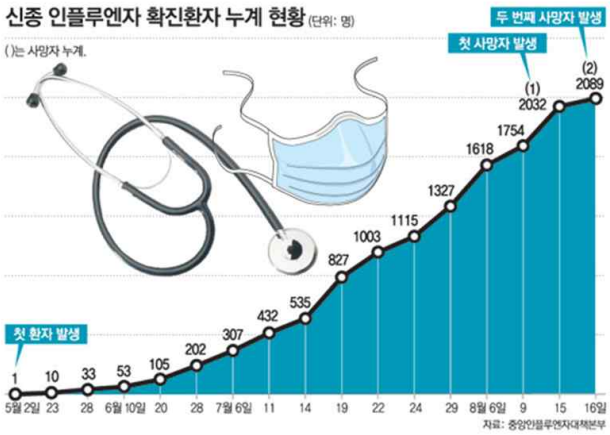
<그림 3> 지난 5년간의 출생자 및 사망자 수

위의 통계를 통하여, 일별 평균 출생자는 1253명, 일별 평균 사망자는 671명임을 알 수 있다. 치사율(morbidity)은 인플루엔자 설명에서 나오는 선진국의 치사율인 0.2%로 설정하였고, 완치율(Recovery rates)과 잠복률(latent rate)은 이전에 질병관리본부에서 신종인플루엔자 유행초기에 발표했던 완치율 70%, 잠복률 80%로 설정하였다. 마지막으로 접촉률(contact rate)을 구하기 위해서 생각해야 할 것이, 2009년 10월 이후부터 시행되었던 다음과 같은 정부의 적극적인 신종인플루엔자 억제 대책[16]에 대해서 생각해 봐야 한다.

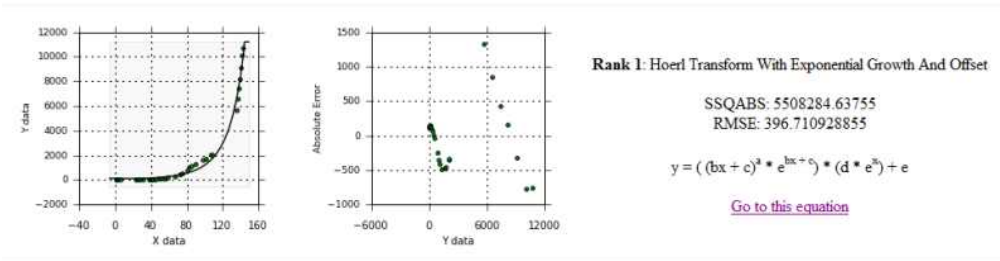
14) Mathematical modeling in Epidemiology(2007) 경기대학교 함윤미 교수님 강연 (http://matrix.skku.ac.kr/mmd/index.html)
15) 국가통계포털 www.kosis.kr
16) 질병관리본부 www.cdc.go.kr

인플루엔자 예방책 대국민 홍보 인플루엔자와 유사 증상을 보이는 환자에게도 타미플루 처방 인플루엔자에 노출이 심한 그룹과 고위험군부터 예방백신접종.

위의 정책들이 실행된 이후의 접촉률은 이미 억제 정책에 따라 바뀌게 된 접촉률이기 때문에, 신종인플루엔자 바이러스가 퍼지기 시작한 초기의 접촉률보다 낮아 질 수밖에 없을 것이다. 그래서 위 정책들이 실행되기 이전의 초기의 접촉률을 사용해야 오차가 적을 것이라 판단되어 그 때의 접촉률을 사용하였다. 그 접촉률을 구하기 위하여 중앙인플루엔자 대책본부의 확진환자 누계현황(<그림 4> 참조)의 값을 이용하여 Curve fitting 사이트[17]에서 날짜별 누적 확진환자수에 가장 적합한 곡선을 다음과 같이 얻었다(<그림 5> 참조).



<그림 4> 인플루엔자 확진환자 누계 현황



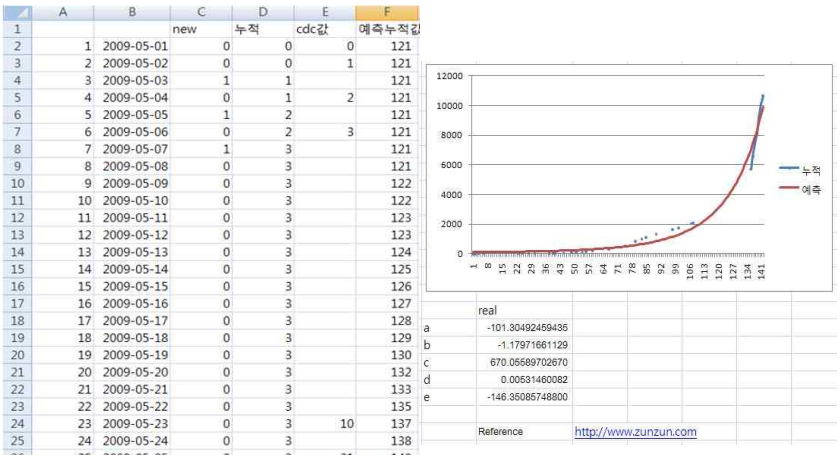
<그림 5> zunzun.com에서 가장 적합하다고 나온 결과

17) http://zunzun.com/

위의 사이트에서 나온 결과로 $y = \left((bx+c)^a \times e^{bx+c}\right) \times \left(d \times e^x\right) + e$라는 식과 다음과 같은 근사 계수값들을 얻었다.

$$a = -101.30492459435,\ b = -1.17971661129232,\ \ c = 670.055897026704,$$
$$d = 0.00531460082052627,\ e = -146.350857487995$$

위에서 얻은 곡선을 가지고 시뮬레이션을 통하여 초기 접촉률을 구했다(<그림 6> 참조).

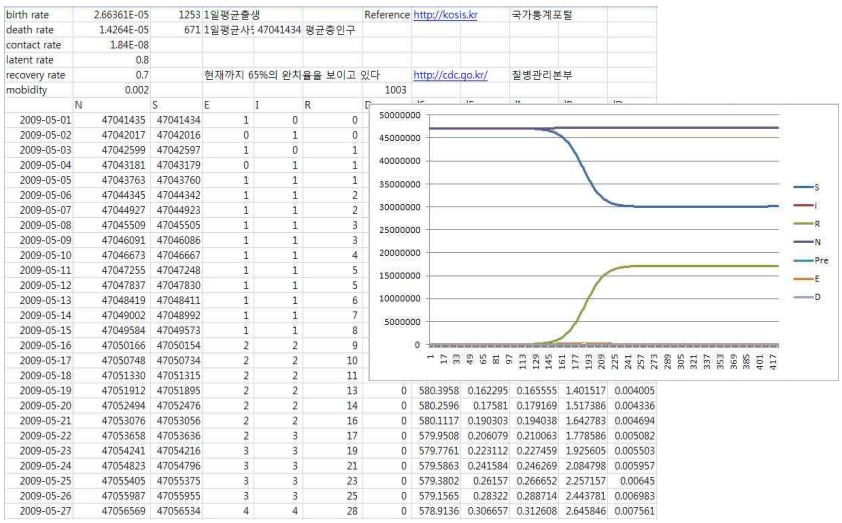


	A	B	C	D	E	F
1			new	누적	cdc값	예측누적값
2	1	2009-05-01	0	0	0	121
3	2	2009-05-02	0	0	1	121
4	3	2009-05-03	1	1		121
5	4	2009-05-04	0	1	2	121
6	5	2009-05-05	1	2		121
7	6	2009-05-06	0	2	3	121
8	7	2009-05-07	1	3		121
9	8	2009-05-08	0	3		121
10	9	2009-05-09	0	3		122
11	10	2009-05-10	0	3		122
12	11	2009-05-11	0	3		123
13	12	2009-05-12	0	3		123
14	13	2009-05-13	0	3		124
15	14	2009-05-14	0	3		125
16	15	2009-05-15	0	3		126
17	16	2009-05-16	0	3		127
18	17	2009-05-17	0	3		128
19	18	2009-05-18	0	3		129
20	19	2009-05-19	0	3		130
21	20	2009-05-20	0	3		132
22	21	2009-05-21	0	3		133
23	22	2009-05-22	0	3		135
24	23	2009-05-23	0	3	10	137
25	24	2009-05-24	0	3		138

	real
a	-101.30492459435
b	-1.17971661129
c	670.05589702670
d	0.00531460082
e	-146.35085748800
Reference	http://www.zunzun.com

<그림 6> Curve fitting을 통하여 contact rate를 구한 엑셀 파일

지금까지 구한 각각의 상수들을 이용해서 <그림 7>과 같이 엑셀을 통하여 SEIR-BD모델을 구현하였다.



birth rate	2.66361E-05	1253	1일평균출생			Reference	http://kosis.kr	국가통계포털		
death rate	1.4264E-05	671	1일평균사망	47041434	평균총인구					
contact rate	1.84E-08									
latent rate	0.8									
recovery rate	0.7		현재까지 65%의 완치율을 보이고 있다				http://cdc.go.kr/	질병관리본부		
mobidity	0.002					1003				
	N	S	E	I	R	D				
2009-05-01	47041435	47041434	1	0	0					
2009-05-02	47042017	47042016	0	1	0					
2009-05-03	47042599	47042597	1	0	1					
2009-05-04	47043181	47043179	0	1	1					
2009-05-05	47043763	47043760	1	1	1					
2009-05-06	47044345	47044342	1	1	2					
2009-05-07	47044927	47044923	1	1	2					
2009-05-08	47045509	47045505	1	1	3					
2009-05-09	47046091	47046086	1	1	3					
2009-05-10	47046673	47046667	1	1	4					
2009-05-11	47047255	47047248	1	1	5					
2009-05-12	47047837	47047830	1	1	5					
2009-05-13	47048419	47048411	1	1	6					
2009-05-14	47049002	47048992	1	1	7					
2009-05-15	47049584	47049573	1	1	8					
2009-05-16	47050166	47050154	2	2	9					
2009-05-17	47050748	47050734	2	2	10					
2009-05-18	47051330	47051315	2	2	11					
2009-05-19	47051912	47051895	2	2	13	0	580.3958	0.162295	0.165555	1.401517	0.004005
2009-05-20	47052494	47052476	2	2	14	0	580.2596	0.17581	0.179169	1.517386	0.004336
2009-05-21	47053076	47053056	2	2	16	0	580.1117	0.190303	0.194038	1.642783	0.004694
2009-05-22	47053658	47053636	2	3	17	0	579.9508	0.206079	0.210063	1.778586	0.005082
2009-05-23	47054241	47054216	3	3	19	0	579.7761	0.223112	0.227459	1.925605	0.005503
2009-05-24	47054823	47054796	3	3	21	0	579.5863	0.241584	0.246269	2.084798	0.005957
2009-05-25	47055405	47055375	3	3	23	0	579.3802	0.26157	0.266652	2.257157	0.00645
2009-05-26	47055987	47055955	3	3	25	0	579.1565	0.28322	0.288714	2.443781	0.006983
2009-05-27	47056569	47056534	4	4	28	0	578.9136	0.306657	0.312608	2.645846	0.007561

<그림 7> Excel로 구현한 SEIR-BD 모델과 그에 따른 그래프

위의 과정을 통하여 1일 평균 출생자는 1253명, 1일 평균 사망자는 671명, 그리고 총인구수를 47041434로 하여 1일 평균 출생률과 1일 평균 사망률을 구하여 적용하였고, 시뮬레이션을 통하여 구한 접촉률은 0.0000000184, 잠복률과 회복률은 주어진 대로 각각 0.8, 0.7로 설정하였다. 그리고 치명률은 일반적인 치명률로 0.002로 설정하였다. 이렇게 구해진 상수를 <표 1>에 주어진 식에 대입하여 모델링을 수행하였다.

Ⅲ-4. 수행한 모델링의 적합성

수행한 모델에 따르면 <그림 8>과 같이 신종인플루엔자는 작년 11월초에 가장 전염성이 강하게 되며 그 이후로 다시 감소하는 추세를 보이게 된다. 이는 <그림 9>와 같이 실제 진행 상황과 매우 흡사하다. 그리고 SEIR-BD 모델에서 정부정책이 실행되지 않았다고 하였을 때, 일반적인 morbidity인 0.2%로 설정 하면 사망자수는 약 1009명 정도에 이를 것이라 예상할 수 있었다.

	N	S	E	I	R	D	dS	dE	dI	dR	dD
2009-11-01	47154654	39968886	425096	471170	6290424	921	-345887	6428.916	9308.376	329729.6	942.3402252
2009-11-02	47154213	39622999	431529	480478	6620154	942	-349680	5073.409	7916.896	336240.8	960.9569774
2009-11-03	47153746	39273319	436598	488395	6956395	961	-352315	3644.136	6417.849	341777.8	976.79077
2009-11-04	47153255	38921004	440242	494813	7298172	977	-353751	2158.825	4827.736	346265.5	989.6264688
2009-11-05	47152743	38567253	442401	499641	7644438	990	-353961	636.9318	3165.657	349640	999.2819417
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
2009-11-07	47151673	37860353	442137	504259	8345929	1006	-350691	-2433.31	-287.769	352863	1008.518987
2009-11-08	47151121	37509662	439704	503972	8698792	1009	-347244	-3939.08	-2032.4	352656.5	1007.94345
2009-11-09	47150562	37162418	435765	501939	9051448	1008	-342640	-5397.51	-3756.89	351228.8	1003.878646
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
2009-11-11	47149440	36482843	423578	492745	9751271	996	-330202	-8096.39	-7051.64	344782.8	985.4898355
2009-11-12	47148884	36152641	415481	485693	10096054	985	-322522	-9303.75	-8578.4	339841.7	971.386557
2009-11-13	47148335	35830119	406178	477115	10435895	971	-313990	-10398.4	-9999.24	333832	954.2297546
2009-11-14	47147797	35516129	395779	467116	10769727	954	-304704	-11370.5	-11298.4	326827.8	934.2312684
2009-11-15	47147272	35211425	384409	455817	11096555	934	-294769	-12213	-12463.2	318914.3	911.6344978
2009-11-16	47146764	34916656	372196	443354	11415470	912	-284295	-12921.8	-13484.2	310185.5	886.7081785
2009-11-17	47146274	34632361	359274	429870	11725655	887	-273387	-13496	-14355.6	300742.2	859.7397574
2009-11-18	47145804	34358974	345778	415514	12026397	860	-262153	-13937.1	-15074.5	290689	831.0286365
2009-11-19	47145357	34096821	331841	400440	12317086	831	-250696	-14249	-15641.6	280132.7	800.8795439
2009-11-20	47144933	33846125	317591	384798	12597219	801	-239111	-14437.9	-16060.2	269179.5	769.5962624

<그림 8> SEIR-BD 모델을 morbidity 0.2%로 설정 하였을 때의 모델

항바이러스제 투약현황(8.21~11.21, 단위:명분)

기 간	9.21~27	9.28~10.4	10.5~10.11	10.12~10.18	10.19~10.24	10.25~10.31	11.1~11.7	11.8~11.14	11.15~11,21
일평균 처방 건수	1,396*	1,781*	1,950*	3,492*	15,378*	67,894*	100,322*	87,613*	48,182*

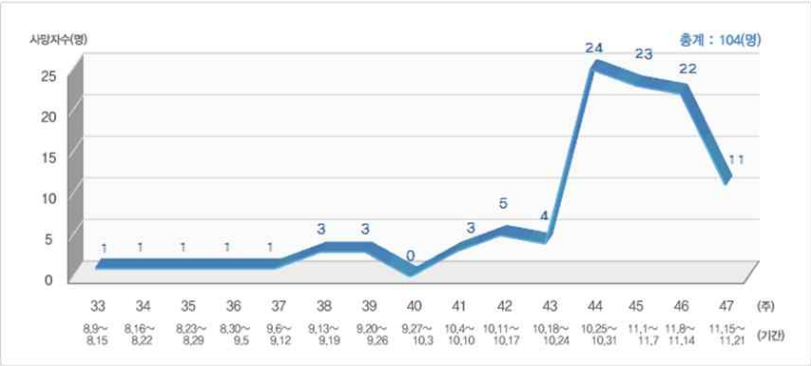
※ *09.8.21~11.21일까지 총 2,318,859명 분 투여 : 감소 추세

인플루엔자의사환자 분율(ILI)

주(Week)	40 (9.27~ 10.3)	41 (10.4~10.10)	42 (10.11~10.17)	43 (10.18~10.24)	44 (10.25~10.31)	45 (10.25~10.31)	46 (11.8~11.14)
발생분율 (/1,000)	7.26	5.69	9.26	20.29	41.73	44.96	37.71
전주 대비 변화율	1.3%↑	21.6%↓	62.9%↑	119.1%↑	105.7%↑	7.7%↑	16.1%↓

<그림 9> 실제 항바이러스제 투약현황 및 인플루엔자 환자수 분율

하지만 <그림 10>[18]과 같이 정부에서 공표한 실제 사망자 수는 모델링에서 나오는 수치와는 많이 다름을 알 수 있다. 이는 위에서 언급하였던 국가의 적극적인 신종인플루엔자 억제정책이 효과적으로 감염자 및 사망자 수를 줄인 것이라고 생각된다.



<그림 10> 실제 신종인플루엔자 환자의 사망 현황

	N	S	E	I	R	D	dS	dE	dI	dR	dD
2009-10-28	47169363	40675262	414302	455530	5624358	88	-340294	9482.762	12472.72	318791	91.10599776
2009-10-29	47169812	40334967	423784	468003	5943149	91	-346704	8300.949	11325.35	327517.4	93.60054131
2009-10-30	47170249	39988263	432085	479328	6270666	94	-352057	7007.528	10035.94	335440.5	95.86561186
2009-10-31	47170674	39636206	439093	489364	6606107	96	-356277	5615.662	8614.654	342460.8	97.8727996
2009-11-01	47171086	39279929	444709	497979	6948568	98	-359301	4141.277	7075.081	348486.2	99.5957305
2009-11-02	47171486	38920628	448850	505054	7297054	100	-361081	2602.739	5434.03	353433.8	101.0107467
2009-11-03	47171874	38559547	451453	510488	7650488	101	-361586	1020.411	3711.236	357232.6	102.0975527
2009-11-04	47172251	38197961	452473	514199	8007720	102	-360804	-583.89	1928.905	359825.4	102.8397999
2009-11-05	47172617	37837157	451889	516128	8367546	103	-358739	-2187.52	111.1465	361170.5	103.2255809
2009-11-06	47172972	37478418	449702	516239	8728716	103	-355414	-3767.68	-1716.7	361243.2	103.2478102
2009-11-07	47173316	37123004	445934	514522	9089960	103	-350871	-5302.1	-3528.79	360036.4	102.9044470
2009-11-08	47173651	36772132	440632	510994	9449996	103	-345167	-6769.72	-5299.56	357561.1	102.1987136
2009-11-09	47173976	36426965	433862	505694	9807557	102	-338375	-8151.27	-7004.51	353846.3	101.1388009
2009-11-10	47174292	36088590	425711	498689	10161403	101	-330581	-9429.85	-8620.87	348938.1	99.73789884
2009-11-11	47174600	35758009	416281	490069	10510341	100	-321881	-10591.3	-10128.3	342898.6	98.01372449
2009-11-12	47174900	35436128	405690	479940	10853240	98	-312379	-11624.5	-11509.3	335803.9	95.9880657
2009-11-13	47175193	35123749	394065	468431	11189044	96	-302187	-12521.6	-12749.9	327742.6	93.6861958
2009-11-14	47175479	34821561	381544	455681	11516786	94	-291418	-13277.8	-13839.5	318812.9	91.13620987
2009-11-15	47175759	34530143	368266	441842	11835599	91	-280187	-13891.8	-14771.1	309120.8	88.36831221
2009-11-16	47176033	34249956	354374	427070	12144720	88	-268604	-14364.8	-15541.6	298776.6	85.41408506

<그림 11> SEIR-BD 모델을 morbidity 0.02%로 설정 하였을 때의 모델

다양한 예방홍보와 적극적인 치료를 통하여 morbidity를 $\frac{1}{10}$수준인 0.02% 수준으로 낮춘 것이다. 이 과정을 다시 SEIR-BD모델을 통하여 계산해보면 <그림 11>와 같이 현재와 비슷한 사망자 수를 얻을 수 있음을 확인할 수 있다. 결론적으로 이런 예측을 근거로 심각성을 파악하고 현실에서는 학

18) 질병관리본부 www.cdc.go.kr

계와 정부, 시민 모두가 노력하여 morbidity를 $\frac{1}{10}$ 수준으로 낮추고자 한 정책의 실행이 적절한 효과를 본 것으로 판단할 수 있다.

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 수학적 모델링에 대하여 소개하였다. 그 중 질병모델의 역사에 대하여 알아보고, 최근 유행하였던 신종 인플루엔자에 대하여 SEIR-BD 모델로 Excel을 이용하여 모델링을 하였다. 수행하였던 모델링의 결과가 실제 신종 인플루엔자의 전염의 확산과 사망자의 수가 거의 일치함을 알 수 있었고, 정부의 정책적 개입이 없는 상태였을 경우 얼마나 더 악화될 수 있는지 예측할 수 있었다. 이러한 결과를 통하여 그 당시 상황에서 정부의 정책적 개입이 얼마나 효과적이었는지도 확인 할 수 있었다.

수학적 모델링은 실제 사례를 모델화하여 미래를 보다 합리적으로 예상할 수 있도록 도움을 줄 수 있다는데 그 중요성이 있다. 또한 본 논문에서 수행한 신종 인플루엔자 모델링 과정에서 볼 수 있듯이, 수학적 모델링은 더 이상 전문가들만의 영역이 아닌 우리가 학습한 수학적 내용과 함께 주변에서도 쉽게 구할 수 있는 도구들을 활용하여 수행할 수 있다.

참 고 문 헌

장은수 (2002). 수학적 모델링 활용에 관한 연구, 성균관대학교 석사학위논문.

황혜정 (2007). 수학적 모델링의 이해 : 국내 연구 결과 분석을 중심으로, 대한수학교육학회지 <학교수학> 9(1), 65-97.

홍정희·송순희(1995). 수학적 모델링을 활용한 수학 탐구수업 효과의 고찰, 한국수학교육학회지 시리즈 A <수학교육> 34(1), 83-96.

Hamer, W. H. (1906). *Epidemic disease in England*, Lancet, 1, 733-739.

Neuwirth, E., & Arganbright, D. (2004). *The Active Modeler: Mathematical Modeling with Microsoft Excel*, Belmont : Thomson Brooks/Cole.

Swetz, F. (1989). *Mathematical modeling in the school curriculum*, National Science Foundation project TEI-8550425.

Mathematical Modelling of the H1N1 Influenza

Sang-Gu Lee
Department of Mathematics, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea
E-mail : sglee@skku.edu

Rae Young Ko+
Department of Mathematics, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea
E-mail : hero2001@skku.edu

Jae Hwa Lee
Department of Mathematics, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea
E-mail : jhlee2chn@skku.edu

Mathematical modelling is a useful method for reinterpreting the real world and for solving real problems. In this paper, we introduced a theory on mathematical modelling. Further, we developed a mathematical model of the H1N1 influenza with Excel. Then, we analyzed the model which tells us what role it can play in an appropriate prediction of the future and in the decision of accompanied policies.

* ZDM Classification : M15, M65, F95, N85
* 2000 Mathematics Subject Classification : 97B40, 00A71, 03C98, 92D30, 65D10
* Key Words : Mathematical Modelling, Epidemic Model, H1N1 Influenza, SEIR-BD Model, Excel
* This work was supported by BK21 Math. Modeling HRD Project.
+ Corresponding author