

동물(젖소) 건강 Monitoring System 모델 개발 II. 동적인 모집단(젖소)의 질병 발생빈도 예측 측정 방법에 대하여

김종수¹ · 김용환 · 이효종 · 김곤섭 · 김충희 · 박정희 · 하대식* · 최민철**
경상대학교 수의과 대학(경상대학교 부설 동물의학연구소)
*경남보건환경연구원, **서울대학교 수의과 대학

Development of a Model for a National Animal Health Monitoring System in Gyeongnam

II. Methodological Issues in the Estimation of Frequencies of Disease in a Prospective Study of Multiple Dynamic Population

Jong-shu Kim¹, Yong-hwan Kim, Hyo-jong Lee, Gon-Sup Kim, Chung-hui Kim,
Jeong-hee Park, Dae-sik Hah* and Min-cheol Choi**

College of Veterinary Medicine, Gyeongsang National University (Institute of Animal medicine),
Chinju 660-701, Korea

*Gyeongnam provincial Government Institute of Health and Environment, Changwon 641-773, Korea

**College of Veterinary Medicine, Seoul National University, Seoul 152-742, Korea

ABSTRACT : We are proposed for the computation of disease frequency measures and of their associated variances from data collected through prospective study of multiple dynamic cohort (herds) with a National Animal Health Monitoring System (NAHMS) in Gyeongnam. We can be estimated and calculated the annual incidence density for a group of herds and the 1-month risk of disease from the same within herd measure of monthly incidence density. We are proposed that the choice of measure to be estimated depend on the intended use of the information. From results in this study, Our study demonstrate that risk estimates are appropriate for producers and clinic veterinarian making decisions at the animal or herd level. Incidence density measures are appropriate for extrapolation to reference populations used for state and regional-level decision making.

Key words : Monitoring, Methodological, Frequencies, Multiple dynamic population

서 론

동물 질병 예찰 제도(The National Animal Health Monitoring System: NAHMS)란 동물 건강과 관련하여 발생하는 각종 사항(data)을 수집하고, 분석하며 이렇게 수집 분석된 유익한 정보를 농가와 관련 단체에 통보하여 동물질병 발생 요인을 사전에 예방 할 수 있도록 동물 건강과 관련된 유익한 정보를 제공, 보도하는 하나의 정보 시스템이다. NAHMS는 축산물을 생산하는 양축가와 축산관련업체, 관련 대학의 전문

인 그리고 지역 관련 연구기관등의 상호 협력으로 수행되어지는 하나의 제도이다. 또한 이 제도는 일시적인 것이 아니라 동물건강과 관련된 사항과 그와 관련하여 발생하는 중요한 경제적인 평가 및 축산경영, 축산정책 개발등을 수립하여 축산농가의 경쟁력을 높이는 한 제도이다.

동물질병 예찰 활동이란 예찰의 목표와 예찰 방법 등 다양한 형태가 있을 수 있다². 도축장에서 동물을 도축시 질병을 관찰할 수 있으며^{17,27} 실험실 진단에 의해서도 질병발생 상황을 알 수있다⁶. Stephens 등²⁴, Bartlett 등¹과 Dohoo과 Stahlbaum⁸은 목장 경영관리와 질병관리 프로그램의 결과로서도 질병발생 상황을 예측 측정할 수 있었다고 한다. 그러나 Bea¹²은 이러한 단순한 프로그램을 통하여 관찰한 질병 예찰 방법은

이 논문은 농림부 농림 기술개발 연구비 지원에 의해서 수행되었습니다(ARPC;197015-2).

¹Corresponding author.

질병발생 빈도를 예측하는데 어려움이 있다고 하였다. Kleinbaum 등¹⁵과 Susser²⁵은 개체별이 아닌 목장을 한 단위로 하여 각종 질병항목을 측정하였고, Fliess 등¹³과 Rothman²²은 위험률(risk ratio), 비차비(odds ratio)와 같은 보다 효과적인 방법으로 질병예찰 방법을 시도하였다.

우리나라에서도 질병 예찰 활동이 수행되어져 왔다 그러나 우리나라에서 현재 행하여지고 있는 질병 예찰 활동 제도는 수동적이며, 그것도 전염병에 국한되어 있어 목장현장에서 발생하고 있는 비 전염성 질병과 각종 위해 요소 발생 현황을 예측할 수 없을 뿐만 아니라 특히 사육 두수가 수시로 변화는 동적인 요소가 많고, 젖소와 같이 개체별 관리가 필요한 축종에 있어서는 능동적이며, 전염성 비 전염성 질병은 물론 동물의 건강과 직결된 각종위해 요소를 사전에 파악 분석하여 질병 발생을 사전에 차단하여 농가의 손실을 줄이며 생산성을 증가 할 수 있는 새로운 질병발생 예찰 제도의 확립이 요구된다. 따라서 본 연구의 목적은 전 보고서에서 보고한 목장에서 빈발하는 질병을 자료화하기 위한 I. design, data collection, frequencies를 보고하였고 이 번호에서는 다만 질병발생 빈도를 평가하는데 관련된 문제들을 제시하며, 어떤 특정한 질병 발생빈도를 평가하는데 있어서 기준을 제시하며, 이러한 질병 발생빈도를 평가하는데 있어서의 변수(變數)와 샘플측정의 수치화를 위한 방법을 제시하는데 있다.

자료 및 방법

조사대상 목장 선정: 본 연구에서 모집단은 1997년 11월1일부터 1998년 10월31일 1년 동안 진주사천 일원의 낙농 농가 167농가를 샘플링틀로 하고 이 모집단중 표본은 본 연구에 동참하기를 동의하는 40농가를 랜덤하게 선택하여 조사 농가로 선정하였다.

자료수집

이 167목장이 경남지역의 모든 낙농농가를 대표할 수도 없는 결과를 나타낼 수도 있기 때문에 편이표본 추출법(便易標本抽出法: convenience sampling)으로 야기되는 문제인 편이(便易: bias)를 제거하기 위해서 167목장을 표본추출 단위가 유사하도록 층(stratum)으로 나누고 각층(stratum)에서 단순랜덤하게 표본을 추출하는 층화랜덤 표본추출법을 사용하였다. 사육 규모에 따라 층(stratum)을 5그룹으로 분류하였는데 제1그룹은 사육규모가 1~20두; 제2그룹은 21~40두; 제

3그룹은 41~60두; 제4그룹은 61~100두; 제5그룹은 100두 이상 사육규모를 가진 농가로 분류하였다. 외국의 경우 1~20두 사육 규모는 조사 대상에서 제외시켰지만 본 조사에서는 우리나라의 영세성을 감안하여 소규모 농장도 포함시켰다 한 목장을 샘플링 단위로 삼았고, 그 목장에 사육중인 모든 젖소에서 발생하는 질병을 조사하였다. 각 목장을 1년 동안 한 달에 한번씩 방문하여 한 달 안에 발생한 질병 종류와 횟수 그리고 치료비용에 관한 자료를 수집하였다. 질병으로부터 회복된 젖소에서 질병이 재발된 경우는 새로운 케이스(case)로 분류하였다. 매 월말 그 목장에서 도태되거나 폐사 또는 새로 구입하는 젖소의 숫자와 나이를 기록하였다. 젖소 개체별에 관한 정보 예를 들면 분만일, 산차수, 수정일, 질병발생 상황, 회복 상황, 치료 조치, 산유량 등의 정보도 기록하면서 자료로 수집하였다.

질병발생 빈도 평가방법

목장단위 질병발생 빈도 측정

어느 한 목장에서 정해진 한달 동안 발생한 질병 빈도 측정은 여러 가지 방법이 있으나, 관찰 기간동안 그 모집단이 고정되어 있느냐 아니면 유동적이냐에 따라 달라진다 만약 관찰기간 동안 모집단이 고정되었거나 현재 동물이 질병 상태에 있으면 cumulative incidence법으로서 측정하며 측정결과는 주어진 관찰 기간동안의 질병의 risk ratio를 나타낸다. 이 나타나는 risk는 그 목장에 관찰기간동안 젖소를 새로 입식하지 않았거나 단지 한 마리 젖소에 한 가지 질병이 발생하였다는 조건 하에서 성립될 수 있다. 하지만 본 연구와 같은 상황에서는 모집단의 규모가 관찰기간 동안 수시로 변화고 젖소가 한가지 이상의 질병에 노출 될 수 있기 때문에 이러한 여건 하에서는 incidence density 측정방법이 더 유용하다^{15,20}.

Incidence density 방법으로 측정한 결과가 가끔 어떤 특정한 질병에 대해서는 정상분포곡선 보다 낮게 잘못 결과가 나올 수 있다. 예를 든다면 어떤 특정한 질병을 예방하기 위해서 백신을 주사하였다면 백신을 접종 받은 젖소는 그 질병이 발생하지 않으므로 조사 대상에서 제외 시켜야 되는데 현실적으로 그 소만 제외시킬 수 없기 때문에 백신을 맞은 소를 조사 대상에서 제외시키지 않고 조사대상에 포함되어 있어서 결국 결과치가 낮게 나타나는 경향이 있다 또한 이 방법은 젖소 개체 한 마리 한 마리에 대한 자료를 정리함으로써 질병 발생 빈도를 효과적으로 측정할 수

있고, 개체 한 마리 한 마리에서 어떤 질병이 발생하였느냐를 확인하는데 보다 중요한 자료를 제공 해준다. 어떤 주어진 그룹(jth stratum)내 어떤 한 목장(ith herd)에서 한달 동안 한가지 질병 incidence density을 산출하는 공식은 Elandt-Johnson¹⁰의 공식(방법)을 이용하였다. Elandt-Johnson¹⁰의 공식은 다음과 같다

$$\text{Incidence density (ID}_{ijm}) = \frac{\text{no. of case}}{\text{animal - months}} \quad (1)$$

$$\text{ID}_{ijm} = \frac{\text{no. of cases of diseases (X) during current month}}{\left[\begin{array}{l} \text{no. of animals at risk at end of previous month} \\ \frac{1}{2} \text{ withdrawals} + \frac{1}{2} \text{ additions} \end{array} \right]}$$

여기서,

withdrawals = 매각수 + 다른 질병으로 인한 폐사수
+ 다른 나이 그룹으로 이동한 수

Additions = 구입한 수
+ 다른 나이 그룹으로부터 이동하여 온 수

목장의 연간 Incidence Density 측정

앞에서 언급 한 바와 같이 incidence density는 사료 프로그램이나, 백신접종 프로그램, 또는 이유시기 결정등 목장전체 경영 계획을 결정하는데 있어서 질병 발생 빈도를 측정하는데 가장 적합한 방법이다. 일년동안의 Incidence density은 일년동안 매달 관찰한 결과인 것이다. 따라서 monthly incidence density (ID_{ijm})에서 쉽게 일년동안의 incidence density를 유도해 낼 수 있다.

일년동안의 incidence density는 (annual incidence density: aID_{ij})로 표현하며 일년동안 매달 반복해서 관찰한 것들을 평균한 것이며 계절적인 요인은 고려하지 않았다.

$$\begin{aligned} \text{aID}_{ij} &= \text{"annual" incidence density for the } i\text{th} \\ &\text{herd in the } j\text{th stratum, expressed per} \\ &\text{100 animal-years} \\ &= \left(\frac{\sum_{m=1}^{12} \text{cases}}{\sum_{m=1}^{12} \text{animal - months}} \right) \times 12 \times 100 \quad (2) \end{aligned}$$

aID_{ij}는 한 목장의 일년간의 측정치이므로 사육규모에 따라 분류한 각각 그룹의 평균치 측정이 필요하다 어느 그룹의 일년간 평균치는 aID_j로 표시하며 이는 어

느 한 그룹 연간 aID_j의 가중평균치(加重平均値)이다.

$$\begin{aligned} \overline{\text{aID}}_j &= \text{estimate of the "annual" incidence density} \\ &\text{of the } j\text{th herd size stratum} \\ &= \sum_{i=1}^n W_{ij} \text{aID}_{ij} \quad (3) \\ W_{ij} &= \frac{\text{aNAR}_{ij}}{\sum_{i=1}^n \text{aNAR}_{ij}} \end{aligned}$$

여기서 n = 분류한 어느 일정한 그룹내의 목장 수

$$\text{aNAR}_{ij} = \text{no. of animal years} = \frac{\sum \text{animal-months}}{12}$$

일년 질병발생빈도의 분산 평가(Variance estimates of annual incidence)

만약 여러 차례에 걸쳐 수집한 샘플을 하나의 샘플로 간주한다면 그 분산(variance)은 한 단위 목장내에서의 목장과 목장사이에서 발생한 것이라고 한다^{2,12}. 그러나 그 목장의 모든 젖소를 관찰한 이상 목장자체내의 분산은 나타나지 않는다. Incidence density(aID_{ij})는 이항빈도(binomial proportion)도 아니며, 확률함수(probability function)의 변화 가능성을 나타내는 것도 아니므로 변량(variance)은 주어진 그룹 내에서 질병 발생 가능성에 대한 상관관계에 의해서 근사치로 추정할 수 있다.

일정한 기간 내에서 측정된 incidence density와 risk ratio 사이의 관계는 다음과 같이 표현할 수 있다

$$\text{Risk} = 1 - \exp(-\text{ID}) \quad (4)$$

이 함수를 분산 S²(aID_{ij})으로 나타내 적용하면

$$S^2 \text{aID}_{ij} = \frac{\text{aID}_{ij} \{1 - [1 - \exp(-\text{aID}_{ij})]\}}{\text{aNAR}_{ij}} \quad (5)$$

= 어느 일정한 그룹(stratum)내의 어떤 한 목장의 일년 동안의 위해율 변이의 표본 추정치

일정한 그룹(ith stratum)의 연간 incidence density S²(aID_j)의 분산은 일정한 가중평균치를 가한 한 단위 그룹분산 S²(aID_{ij})의 함수이며 이는 한 그룹과 한 그룹 사이의 분산으로서 (6)번 식과 같이 표현 할 수 있다.

$$S^2(\overline{\text{aID}}_j) = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{aID}_{ij} - \overline{\text{aID}}_j)^2}{n_j} + \sum_{i=1}^n W_{ij}^2 (\text{aID}_{ij}) \quad (6)$$

= sample estimate of the variance of the "annual" incidence density

여기서 n_j = 어느 그룹(stratum)내 목장의 수

위해율 측정(Risk estimation)

한 목장에서 질병발생의 확률 측정은 동물의 건강 체크 계획이나 경영상의 다른 어떤 변화등의 계획을 가지고 있는 축주의 도움을 받아야 만 한다. 위해요소 평가는 반듯이 어떤 특정한 기간 예를 들면 한달 혹은 1년간의 위해요소 나 혹은 비유기간내의 위해요소 측정과 같이 반듯이 일정한 정해진 기간을 설정하고 측정하여야 한다. 한 목장에서 1개월간의 risk는 그 목장의 1개월 incidence density로부터 유추할 수 있다. 만약 ID_{ijm} 의 값이 0.10 이하이며, 관찰기간이 짧으면 risk와 ID는 동일하다고 본다¹⁵. 본 연구에서도 이러한 결과가 유추되었지만 종종 송아지의 설사와 호흡기 질병발생으로 말미암아 ID가 1 이상으로 커지는 경우도 종종 있었다. 물론 이런 경우도 Incidence density로 간주하여야 한다고 한다²².

한 그룹의 1개월간 Risk(\bar{R}_{jm})과 분산 [$S^2(R_{ijm})$]은 이항빈도 처럼 risk estimation을 (7)~(10)번 방정식을 이용하여 산출해낼 수 있다^{10,19}.

$$R_{ijm} = 1 - \exp(-ID_{ijm}) \quad (7)$$

R_{ijm} = 1 month risk of disease(X) for the ith herd in the jth stratum, for the mth month

$$S^2(R_{ijm}) = \frac{R_{ijm}(1 - R_{ijm})}{m_{ijm} - 1} \quad (8)$$

$S^2(R_{ijm})$ = sample estimate of the variance of the risk from the ith herd in the jth stratum for the mth month

여기서

m_{ijm} = hypothetical no. of animals at risk in the ith herd in the jth stratum for the mth month

$$\bar{R}_{jm} = \sum_{i=1}^n W_{ijm} R_{ijm} \quad (9)$$

= mean 1month risk of disease(X) for the jth stratum for the mth month only

여기서

$$W_{ijm} = \frac{m_{ijm}}{\sum_{i=1}^n m_{ijm}}$$

$i=1$ to n ; n = no. of herds in the jth stratum

$$S^2(\bar{R}_{jm}) = \frac{\sum_{i=1}^n (R_{ijm} - \bar{R}_{jm})^2}{n_j} + \sum_{i=1}^n W_{ijm}^2 S^2(R_{ijm}) \quad (10)$$

= sample estimate of the variance of \bar{R}_{jm}

n_j = no. of herds in the jth stratum

일년동안 매월 평균 risk는 기중평균 risk치의 합을 관측한 개월 수로 나누는 방법도 있다. 하지만 이런 방법은 한 동물에서 한가지 질병만 발생하는 것이 아니고 두가지 이상의 질병이 발생 할 수 있다는 사실과 그 목장 전체 질병발생 율도 이 달에만 국한되는 것이 아니고 이 달에 발생한 질병이 회복되지 않고 다음달에도 계속 유지될 수 있기 때문에 바람직한 방법이 될 수 없다. 또한 Kleinbaum¹⁵ 등은 일년의 Risk 측정방법으로

$$\text{annR} = 1 - \prod_{m=1}^{12} (1 - \bar{R}_{jm}) \quad (11)$$

(11)번과 같은 방정식을 제시하였으나 이 측정방법은 12개월 계속 질병이 발생한 동물에 만 적용시킬 수 있어나, 어린 송아지가 성숙하여 질병에 저항성을 가지거나 분만시기가 가까운 동물에는 적용할 수 없는 단점이 있다.

고 찰

일반적으로 질병 발생 빈도 평가방법에는 두 가지 형태가 있는데 위해율(risk ratio)과 발생 빈도(incidence density)를 평가하는 방법이다^{3,12,15}. 어떤 방법을 택하여 평가하느냐의 선택은 기존 데이터의 형태에 근거하여 평가를 어떤 목적으로 이용할 것인가의 여부에 달려 있다. 국가 정책적인 차원에서 결정하는 조사대상 모집단이 광범위하거나 거시 경제학적인 차원에서 평가를 하는데는 발생빈도(incidence density) 평가 방법이 유용하며, 조사대상 모집단이 소규모이던지, 건강과 관련된 개체별 조사나, 적절한 처리를 한 분석이나, 미시경제학적인 차원에서 평가를 하는데는 위해율(risk ratio)평가 방법이 효율적이라고 한다⁴. 모집단 표본의 경험사례를 측정하는데는 incidence density 평가 법이 유용하며 이는 또한 보외법(補外法: extrapolation)을 실시하는데 보다 효과적이라고 한다²¹. 그러나 Leech¹⁶은 일반적으로 risk estimation보다는 incidence density법이 보다 유용하며 많이 이용되어진다고 하였다. Diesch⁷은 미국 미네소타주에서 동물 질병 예찰 프로그램을 시행하면서 Incidence density법을 이용하여 질병 예찰 프로그램을 수행하였고, Bendixen⁴ 등은 젖소 유방염 발생빈도 측정에 incidence density법을 이용하였다. 그러나 incidence density 법은 동물개체별 측정에 부적합하며 목장주나 임상가들이 이

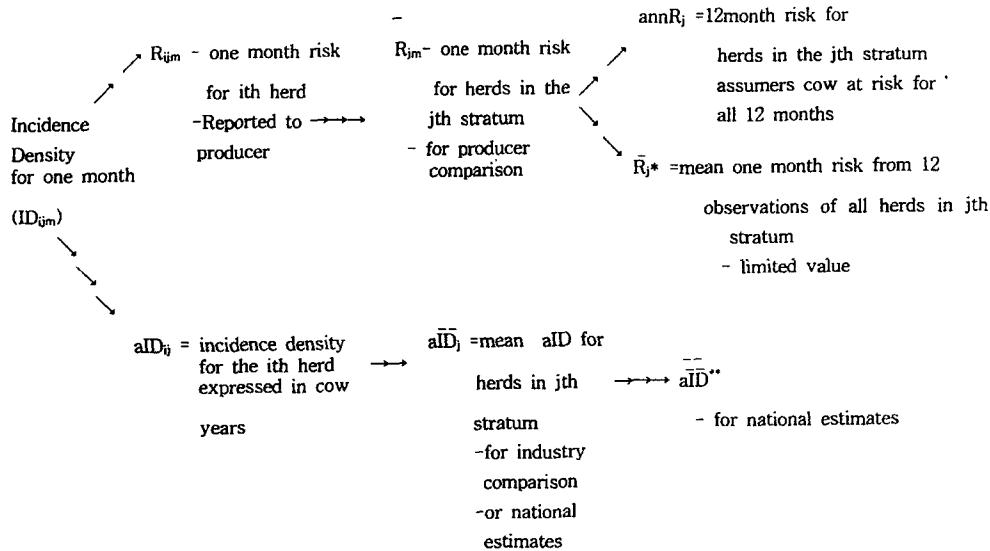


Fig 1. Flow chart of various disease frequency measures proposes, with definition and expected

용하기에도 부적합하다 고한다^{3,18}. 많은 연구자들이 젖소 질병 위험률(risk ratio)평가에 대해 보고하였는데^{1,3,5,8,9,11,18,20,23,26} 그중 일부 보고서는 “incidence rate”란 용어를 사용하였지만 실제로 그것은 risk ratio를 의미하는 것이다. 이러한 보고서들은 주로 낙농가나 임상가 또는 개개의 위험요소들이 동물질병 발생요소에 어떻게 영향을 미치는가를 목적으로 하였다. 이 위험률 평가(risk estimates)는 한 개체 동물이나 단위 목장에서 감염의 우려 때문에 반드시 고려해야 하는 예방접종 프로그램(vaccination program)의 실시를 결정하는데 있어서 매우 유익한 것이다. Benixen³은 자료 형태에 따라서 어떤 방법을 선택 할 것이냐의 보고서에서 risk(혹은 cumulative incidence)평가법은 평가 모집단이 고정되어 있거나 모집단이 다소 유동적이라도 측정기간이 일정하게 정해져 있을 때 유용하며, incidence density법은 질병발생이 어느 특정한 시기에 제한을 받지 않고 발생하는 유동적인 모집단을 평가할 때 유용하다고 하였다. 따라서 본 조사는 incidence density 방법을 이용하였다.

결 론

어떤 프로그램에서 질병발생 빈도 측정을 위하여 어느 방법을 선택하느냐는 원칙적으로 프로그램 사용자에 따라 다르다. 측정 모집단을 램덤하게 선택하고 일정한 기간 예를 들면 1년 동안 매달 정기적으로 관찰하여 incidence density(ID_{ijm})을 측정하는 방법으로

는 일반적으로 통계처리에 편리하고, 규격화, 표준화된 아래 Fig. 1과 같은 방법을 이용한다.

앞으로 더 연구해야 할 부분은 (1) ID_{ijm} 측정을 위한 방법 개선과 (2) 그룹 측정을 위한 가장 적절한 가중치 간격을 결정하는일 (3) 분산(variances) 계산이다.

참 고 문 헌

1. Bartlett P, Kaneene JB, Kirk J, Wilke M, Martenuik J. Development of a computerized dairy herd health data base for epidemiologic research. *Prev Vet Med* 1986; 4: 3-14.
2. Beal VC. The animal disease survey sampling and estimation problem. *Proceeding of 89th Annual Meeting of the U.S Animal Health Association, Milwaukee, WI, 27 October-1 November 1985*; 92-111.
3. Bendixen PH. Notes about incidence calculation in observational studies. *Vet Prev Med* 1987; 5: 151-156.
4. Bendixen PH, Vilson B, Ekesbo I, Astrand DB. Disease frequencies in dairy cows in Sweden. *V Mastitis Prev Vet Med* 1988; 5: 263-274.
5. Curtis CR, Erb HN, White ME. Descriptive epidemiology of calfhood morbidity and mortality in New York Holstein herd. *Pre Vet Med* 1988; 5: 293-307.
6. Davies G. Animal disease surveillance in Great Britain. *Proceedings of International Symposium on Animal Health and Disease Data Banks, 4-5 December 1978, Washington, DC, 1978*; 67-85.
7. Diesch SL. Animal disease surveillance in Minnesota.

- In: J.B. Kaneene and E.C. Mather (Editors), Cost Benefits of Food Animal Health, Thomson-Shore, Dexter, MI, 1982; 153-162.
8. Dohoo IR, Stahlbaum BW. Animal Production and Health Information Network (APHIN): Putting it all together. In: E.C. Mather and J.B. Kaneene (Editors), Economics of Animal Disease. McNaughton and Gunn, Saline, MI, 1986; 136-144.
 9. Dohoo IR, Martin SW, Meek AH, Sandals WCD. Disease, production and culling in Holstein-Friesian cows. I. The data. *Prev Vet Med* 1983; 1: 321-334.
 10. Elandt Johnson RC. Definition of rates: some remarks on their use and misuse. *Am J Epidemiol* 1975; 102 (4): 267-271.
 11. Erb HN, Smith D, Hillman RB, Powers PA, Smith MC, White ME, Pearson EG. Rates of diagnosis of six disease of Holstein cows during 15-day and 21-day intervals. *Am J Vet Res* 1984; 45(2): 333-335.
 12. Farver TB. Disease prevalence estimation in animal populations using two-stage sampling designs. *Prev Vet Med* 1987; 5: 1-20.
 13. Fleiss JL, Dunner DL, Stallone F, Fieve RR. The life table: A method for analyzing longitudinal studies. *Arch Gen Psychiat* 1976; 33: 107-112.
 14. Kaneene JB, Hurd HS. The National Animal Health Monitoring System in Michigan. I. Design, data, and Frequencies of selected dairy cattle disease. *Prev Vet Med* 1990; 8: 103-114.
 15. Kleinbaum D, Kupper L, Morgenstern H. *Epidemiologic Research: Principles and Quantitative Methods*. Van Nostrand-Reinhold, New York, 1982; 96-116.
 16. Leech FB. A critique of the methods and results of the British National surveys. *Br Vet J* 1971; 127: 511-522.
 17. Lloyd J, Schwab G. Swine health information management system: A brief description and preliminary slaughter check data. Research Report, Michigan State University Agricultural Experiment Station 1987; 487: 194-200.
 18. Martin SW, Schwab CW, Franti CE. Dairy calf mortality rate : characteristics of calf mortality rates in Tulare County, California. *Am J Vet Res* 1975; 36 (8): 1099-1104.
 19. Martin SW, Schwab CW, Meek AH, Willeberg P. *Veterinary Epidemiology: Principles and Methods*. Iowa State University Press Ames IA 1987; 23-34.
 20. Miettinen O. Estimability and estimation in case-referent studies. *Am J Epidemiol* 1976; 103(2): 226-235.
 21. Morgenstern H, Kleinbaum DG, Kupper L. Measure of disease incidence used in epidemiologic research. *Int J Epidemiol* 1980; 9(1): 97-104.
 22. Rothman KJ. *Modern Epidemiology*, Little, Brown, Boston 1986; 23-34.
 23. Simensen E. An epidemiologic study of calf health and performance in Norwegian dairy herds, I. Mortality: literature review, rates and characteristics. *Acta Agric Scand* 1982; 32: 411-419.
 24. Stephens AJ, Esslemont RJ, Ellis PR. A dairy herd information system for small computers. In: J.B. Kaneene and E.C. Mather (Editors), Cost Benefits of Food Animal Health. Thomson-Shore, Dexter, MI 1982; 117-152.
 25. Susser M. Epidemiology in the United States after World War II: The evolution of technique. *Epidemiol Rev* 1985; 7: 147-177.
 26. Waltner-Toews D, Martin SW, Meek AH, McMillan I. Dairy calf management, morbidity and mortality in Ontario Holstein herds. I. The data. *Prev Vet Med* 1986; 4: 103-124.
 27. Willeberg P. The Danish swine slaughter inspection data bank and some epidemiologic applications. Proceedings of International Symposium on Animal Health and Disease Data Banks, 4-6 December 1978, Washington, DC, 1978; 133-144.