

최 중  
연구보고서

젖소의 생산성 향상을 위한 simulation  
model의 개발

Development of Simulation Model for Dairy  
Cattle to Improve Productivity  
in Korea

연 구 기 관

건국대학교

농 립 부

# 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “젓소 생산성 향상을 위한 Simulation model 개발에 관한 연구”  
과제의 최종보고서로 제출합니다.

2005 년11 월 14 일

주관연구기관명 : 건국대학교  
위탁연구기관명 : 서울대학교  
참 여 기 업 명 : (주)한일사료  
총괄연구책임자 : 이 상 락  
위탁연구책임자 : 하 종 규  
선 임 연 구 원 : 김 준 선  
선 임 연 구 원 : 김 명 화  
선 임 연 구 원 : 김 현 진  
선 임 연 구 원 : 성 하 균  
연 구 원 : 조 영 석  
연 구 원 : 임 중 수  
연 구 원 : 장 원 석

# 요 약 문

## I. 제목

젖소의 생산성 향상을 위한 simulation model의 개발

## II. 연구개발의 목적 및 필요성

우리나라의 낙농산업은 그간 젖소의 유전능력 향상과 사양관리 기술의 발전 등에 힘입어 연간 산유량이 7700kg에 달하고 농가당 사육두수가 50두를 상회(2004, 농림부)하는 등 크게 발전하여 왔다. 그러나 사육규모가 커지고 생산성이 증대됨에 따라 번식장애나 대사성 질병이 증가하고 생산 수명이 감소하는 등의 문제점도 점차 늘어나고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 젖소의 생산능력에 맞는 사양관리 기술이 꾸준히 개선되어야 할 것이다.

젖소는 다른 가축과 달리 일생동안 분만, 비유, 임신, 건유 등의 주기를 반복하며 저급한 영양원을 섭취하여 고급 영양원인 우유로 전환시켜야 하는 매우 힘든 생애를 살아야 한다. 따라서 젖소 사양가는 젖소의 비유주기에 맞추어 체내의 대사반응이 안정적으로 진행될 수 있도록 영양의 공급에 매우 유의하여 젖소를 사육하여야 한다. 그러나 젖소의 체내에서 진행되고 있는 각종 대사반응은 매우 복잡하여 일반 낙농가가 쉽게 이해하고 제어하기는 매우 어렵다. 이러한 관점에서 낙농가가 쉽게 사양관리에 응용할 수 있는 젖소의 사양관리 제어 model들이 개발되어져 왔다.

최근 발간된 National Research Council(NRC)의 Nutrient Requirement of Dairy Cattle 7<sup>th</sup> Revised Edition(2001)은 낙농 농가에서 생산성 향상을 위하여 주요하게 이용하고 있는 새로운 지식과 기술에 대한 정보를 반영하고, 가축의 영양소 요구량에 영향을 미치는 사양관리 및 환경적 요인을 고려한 실제 낙농 현장에서 적용 가능한 dairy cattle model(NRC2001)을 소개하고 있다. 이 NRC2001은 Holstein 착유우를 중심으로 1988년도부터 1998년도까지 미국낙농학회지(Journal of Dairy Science)에

발표된 자료와 Ohio 대학교와 Minnesota 대학교의 자료를 인용하여 단기간의 건물 섭취 요구량을 추정하기 위한 건물 섭취 요구량 추정공식을 새롭게 제시하는 등, 이전 개정판인 NRC1989보다 많은 부분이 보완되었다.

그러나 다양한 환경에서 사육되고 있는 착유우의 영양소 요구량 및 급여사료의 이용성을 추정할 때에는 많은 요인들이 영향을 미치기 때문에 NRC2001에서 제시하는 값들이 다양한 조건에 있는 모든 착유우의 영양소 요구량을 대표할 수는 없을 것이다. 특히 우리나라와 같이 상대적으로 농후사료의 급여량이 많고, 반추위 미생물들에 필요한 섬유소를 주로 비 조사료성 섬유소 공급원(non-forage fiber sources)에 크게 의존하는 사양관리 방식에는 NRC2001의 model이 정확하지 않은 경우가 많이 나타나고 있다.

따라서 본 연구에서는 국내에서 사육되고 있는 착유우를 대상으로 영양소 균형에 대한 실태를 조사하여 국내 사육환경에 맞는 ‘생산성 향상을 위한 simulation model’을 개발하고, 주요 젖소용 사료자원의 영양소함량 DB를 구축하고 이를 이용한 영양소함량 간이평가모델을 개발하며, 또한 반추위내 미생물의 발효에 관한 주요 sub-model들을 개발하여 최종적으로 이들을 통합한 ‘젖소 영양소 균형 평가 program’을 개발하고자 하였다.

### III. 연구개발 내용 및 범위

1. 국내 사육 젖소의 영양소 균형 실태 조사 및 생산성 향상을 위한 simulation model의 개발
  - 가. 건물섭취 및 영양소 균형 조사
  - 나. 환경온도에 따른 건물섭취 및 영양소 균형 조사
  - 다. 건물과 영양소 섭취조절에 의한 생산성 변화 조사
  - 라. 젖소의 생산성 향상을 위한 simulation model의 개발
  
2. 젖소용 사료자원의 영양소함량 DB구축 및 간이평가 model 개발
  - 가. 사료자원의 영양소함량 DB구축

나. 사료자원의 영양소함량 간이평가 model 개발

### 3. 반추위내 미생물 발효 model 개발

가. 반추위 pH의 변화에 따른 섬유소 분해의 pattern 규명

나. 섬유소의 공급에 따른 반추위 용적과 flow rate 상호관계 규명

다. 반추위 pH fluctuation model 개발

### 4. 젖소 영양소 균형 평가 program의 개발

## IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

### 1. 국내 사육 젖소의 영양소 균형 실태 조사 및 생산성 향상을 위한 simulation model의 개발

가. 건물 및 영양소 섭취 균형

12개 농가 407두를 대상으로 연중 조사한 국내 사육 착유우의 건물 및 영양소 섭취 균형은 사료 급여 관리 유형에 따라 크게 차이가 나타났으며, 농후사료 위주 관리 착유우군과 조사료 위주 관리 착유우군의 건물섭취량은 두당 각각  $24.57 \pm 3.37 \text{kg/day}$ ,  $22.78 \pm 3.21 \text{kg/day}$ 로 나타나 NRC2001이 추정하는 량보다 각각  $2.51 \pm 2.80 \text{kg/day}$ ,  $0.54 \pm 2.82 \text{kg/day}$ 가 높았다. 이에 따라 비유에 필요한 정미에너지 ( $NE_L$ ) 및 대사단백질(MP)의 섭취량도 NRC2001이 추정하는 요구량보다 높게 나타났으며,  $NE_L$  allowable milk yield 및 MP allowable milk yield 역시 실제 유생산량보다 높게 나타났다.

나. 환경온도에 따른 건물섭취 및 영양소 균형

24두의 착유우를 대상으로 조사한 저온환경 (평균  $-3.8 \text{ }^\circ\text{C}$ )에서의 젖소의 건물 및 각 영양소 섭취량은 상온 (평균  $17.4 \text{ }^\circ\text{C}$ )에서의 섭취량과 차이가 없었다.

#### 다. 건물과 영양소 섭취조절에 의한 생산성 변화

착유우의 건물 자유섭취 수준을 NRC2001이 추정하는 건물섭취량에 맞추어 영양 농도를 조절하여 급여한 결과, 유량은 변화가 없었으나 유지방 함량이 높게 나타난 반면 우유중 단백질, 요소태질소, 무지고형분, 총고형분의 함량은 낮아졌다.

#### 라. 젖소의 생산성 향상을 위한 simulation model의 개발

상기 1, 2 및 3의 연구결과에서 얻어진 각종 data set를 이용하여 NRC2001이 제시한 착유소의 건물섭취량의 추정식과 가소화영양소 총량의 discount variable의 상수를 조정하여 우리나라 착유소의 유생산 반응에 근접한 새로운 simulation model을 작성하고 그 적합성을 검증하였다.

### 2. 젖소용 사료자원의 영양소함량 DB구축 및 간이평가모델 개발

#### 가. 사료자원의 영양소함량 DB구축

우리나라에서 젖소용 사료원료로 가장 많이 이용하고 있는 원료 35가지를 선정하여 NRC 2001이 권장하는 영양소 성분을 반복 분석하여 국내에서 구축된 기존의 영양소 함량 DB를 개선하였다.

#### 나. 사료자원의 영양소함량 간이평가 model 개발

상기 연구 1에서 구축한 영양소 함량 DB를 바탕으로 섬유소와 단백질 fraction별로 영양성분간의 상관관계를 도출하여 쉽게 분석할 수 있는 영양 성분으로부터 분석하기 어려운 영양성분 함량을 예측할 수 있는 영양소함량 간이평가 model을 개발하였다.

### 3. 반추위내 미생물 발효모델 개발

#### 가. 반추위 pH의 변화에 따른 섬유소 분해의 pattern 규명

반추위내 pH가 cellulose의 분해에 미치는 영향과 그 분해 pattern을 분석하고, 반추위 발효성상과 영양소섭취 결과를 이용하여 반추위 pH를 예측할 수 있는

equation을 도출하였다.

나. 섬유소의 공급에 따른 반추위 용적과 flow rate 상호관계 규명

섬유소의 공급원에 따른 반추위 용적과 flow rate 상호관련성을 규명하였다.

다. 반추위 pH fluctuation model 개발

상기 1, 2의 연구결과를 바탕으로 사료의 조성에 따른 반추위내 pH변화를 시간경과에 따라 추정할 수 있는 pH fluctuation model을 개발하였다.

#### 4. 젖소 영양소 균형 평가 program의 개발

NRC2001의 영양소 균형평가 프로그램을 기초로 하고 상기 연구들에서 개발된 각종 model을 통합하여 국내 착유소의 사육환경에 맞는 젖소 영양소 균형 평가 program을 개발하였다.

#### 5. 연구개발 결과의 활용에 대한 건의

본 연구를 통하여 얻어진 조사 및 실험결과와 사료의 영양성분 DB, 개발된 각종의 model들은 우리나라의 젖소의 생산성 향상에 기여할 것으로 사료된다. 특히 젖소 영양소 균형 평가 program은 최근의 새로운 기술을 실제 농가에서 이용 가능한 형태로 쉽게 풀어서 구성한 것이어서 기대가 된다.

본 연구결과는 연구 참여기업으로 하여금 실제 사육농가에서 유용하게 활용하도록 유도하고, 사료 영양성분 DB와 영양소 균형 평가 program은 계속 수정, 보완해 나갈 것이다.

# Summary

## I. Title

Development of simulation model for dairy cattle to improve productivity in Korea.

## II. The need and purpose of research development

The dairy farming in Korea has been developed dramatically through the improvement in genetic and management, reaching the 305-day milk production of 7700kg and the mean herd size of over 50 cattle (2004, MAF). However the increase in size and productivity bring other negative effects, such as the increased incidence of metabolic disease, reproductive failure as well as the reduced economic life of dairy cattle. To overcome this negative effects, it is necessary to continuously develop the management skill, which can cover the improved productivity of dairy cattle.

Compare to the other type of animal production, dairy cattle has to go through various stages during its life, such as calving, lactating, being pregnant and drying-off and at the same time it has to convert the low quality of nutrients to the high quality of nutrients. It is therefore necessary that the dairy farmer must supply adequate nutrients to maintain stable metabolic status in dairy cattle.

However, it is too complicated for the dairy farmer to understand and control by himself and the many number of controlling model have been developed to help the farmers' easy application.

The recently published Nutrient Requirement of Dairy Cattle 7<sup>th</sup> Revised Edition(2001) by National Research Council(NRC) supplies the new knowledge and technical information to the dairy farmer, which leads to the improved farm management, as well as introduces the dairy cattle model(NRC 2001), which can be applicable in farm to determine the nutritional requirement in the given management and environment condition. This model has shown much improvement from the last edition(NRC 1989), such as supplying new equation, which estimates short term dry matter intake, using information supplied through

Journal of Dairy Science and other Universities (e.g. Ohio and Minnesota) during 1988 and 1998.

However, there are many different factors in determining nutrient requirement and efficiency in feed utilization when the dairy cattle is managed under different environment and all the figures used in the current model may not represent all situation. Especially it may be true that the model (NRC 2001) may not be directly applicable to the situation in Korea, where the use of concentrate is much high and the most of the fiber supply comes from non-forage-fiber sources.

It is therefore the objective of this study to develop 'simulation model for the productivity improvement', which can be applicable in Korean farm management, to establish the data base for the nutrient information of the feeds in Korea as well as developing simple evaluation model for the nutrient estimation, and to develop the sub-model for the microbial fermentation in the rumen, which is eventually used for the development of 'Evaluation program of nutrients balance in dairy cattle in Korea'.

### **III. Content and the range of research development**

1. Review of the current situation of nutrients balance in Korean dairy farm and Development of simulation model for the productivity improvement
  - A. Review the dry matter intake and nutrients balance
  - B. Review the dry matter intake and nutrients balance according to the environmental temperature
  - C. Review the productivity change to the change of dry matter and nutrients intake
  - D. Develop simulation model for the productivity improvement in dairy cattle
2. Establish data base of the feeds for dairy cattle and develop simple model for the nutrients evaluation of feeds
  - A. Establish nutrients data base of the feeds used in Korean dairy farm

- B. Develop simple model for the estimation of nutrients in feeds
3. Development of rumen model for the microbial fermentation
- A. Identify the fiber digestion according to the rumen pH
  - B. Identify the rumen capacity and flow rate according to the fiber supply in diet
  - C. Model development of rumen pH fluctuation
4. Development of 'Evaluation program of nutrients balance of dairy cattle in Korea'

#### **IV. Result and the recommendation to use of the research findings**

1. Review of the current situation of nutrients balance in Korean dairy farm and Development of simulation model for the productivity improvement

A. The balance of dry matter and nutrients intake

Reviewing the information from 407 heads of dairy cattle in 12 dairy farms for a year revealed that the dry matter and nutrients intake showed big variation according to the farm management. The dry matter intake came out to be  $24.57 \pm 3.37$  kg/day for the concentrated based diet and  $22.78 \pm 3.21$  kg/day for the forage based diet, which shows deference from the NRC 2001 estimation by  $2.51 \pm 2.80$  kg/day and  $0.54 \pm 2.82$  kg/day, respectively. The intake of Net Energy for Lactation ( $NE_L$ ) and Metabolizable Protein (MP) also showed the higher value, hence  $NE_L$  allowable milk yield and MP allowable milk yield showed higher value than the NRC estimation.

B. Dry matter intake and nutrients balance to the environmental temperature

From the data of 24 milking cows, there was not much difference in dry matter intake and nutrients balance between low temperature environment (av.  $-3.8^\circ\text{C}$ ) and the optimum temperature environment (av.  $17.4^\circ\text{C}$ ).

C. Change in productivity to the manipulation of dry matter and nutrients intake

The adjustment of ad libitum dry matter intake to the NRC 2001 estimation through manipulating nutrients density, showed no difference in milk yield. While milk fat % was increased, milk protein %, content of urea nitrogen, solid not fat and total solid showed some decrease.

D. Development of simulation model for the productivity improvement in dairy cattle

From the data collected from the above 1, 2, and 3, new simulation model, which shows close to the current production, has been developed through adjusting the equation of dry matter intake and applying discount variables to the intake of digestible nutrients. The model was then examined for its suitability to the dairy farm in Korea.

2. Establish data base of the feeds for dairy cattle and develop simple model for the nutrients evaluation of feeds

A. Establish data base of the feeds

The 25 feeds, most on use in Korea, were selected and analysed repeatedly for the nutrients composition of NRC 2001 recommendation and its data set were corrected with new values.

B. Development of simple model for the nutrients estimation of the feeds

Using the data set established 1, the relationship between nutrients composition was made for fiber and protein fraction, which is difficult to routinely measure. The model was then developed to estimate some fraction of nutrients from the existing analysis.

3. Development of rumen model for the microbial fermentation

A. Identify the fiber digestion according to the rumen pH

After reviewing the effect and its pattern of rumen pH to the cellulose

degradation, the equation for the estimation of rumen pH was drawn from the fermentation character and nutrients intake.

B. Identify the rumen capacity and flow rate according to the fiber supply in diet

The relationship between the source of fiber supply and its effect on the rumen capacity and flow rate in the rumen was identified.

C. Model development of rumen pH fluctuation

From the result of above 1 and 2, pH fluctuation model was developed to estimate the rumen pH change according to the composition of feeds and over the time after feeding.

4. Development of 'Evaluation program of nutrients balance of dairy cattle in Korea'

On the basis of NRC2001 program for the nutrients evaluation, 'Evaluation program of nutrients balance of dairy cattle in Korea' was developed from the model developed from the above researches.

5. the recommendation to use of the research findings

The research findings, nutrients data base of feeds and all the model developed through this study are believed to contribute to the improvement of dairy productivity. It is especially expected that the 'Evaluation program of nutrients balance of dairy cattle in Korea' can be easily applicable to dairy farm because of its easy content.

The result of this study will be practically utilized and its data base and evaluation program will be further studied and continuously updated by the participating industry.

# CONTENTS

<b>Chapter 1. Introduction</b> .....	18
Section 1. Object and necessity of this study .....	18
Section 2. Range of study .....	21
<b>Chapter 2. Present technical condition of domestic and outside</b> .....	22
<b>Chapter 3. Content and result of research and development</b> .....	24
Section 1. Review of the current situation of nutrients balance in Korean dairy farm and Development of simulation model for the productivity improvement .....	24
1. Review the dry matter intake and nutrients balance .....	24
2. Review the dry matter intake and nutrients balance according to the environmental temperature .....	43
3. Review the productivity change to the change of dry matter and nutrients intake .....	61
4. Development of simulation model for the productivity improvement in dairy cattle .....	75
Section 2. Establish data base of the feeds for dairy cattle and develop simple model for the nutrients evaluation of feeds .....	82
1. Establish nutrients data base of the feeds used in Korean dairy farm .....	82
2. Development of simple model for the estimation of nutrients in feeds .....	96
Section 3. Development of rumen model for the microbial fermentation .....	106
1. Rumen pH model .....	107
2. Identify the fiber digestion according to the rumen pH .....	110

3. Identify the rumen capacity and flow rate according to the fiber supply in diet .....	113
4. Model development of rumen pH fluctuation .....	121
Section 4. Development of 'Evaluation program of nutrients balance of dairy cattle in Korea' .....	128
<b>Chapter 4. Achievement of objectives and contribution to related area</b> ....	<b>135</b>
<b>Chapter 5. Application plan of research development results</b> .....	<b>138</b>
<b>Chapter 6. Overseas scientific technical information</b> .....	<b>139</b>
<b>Chapter 7. Reference</b> .....	<b>146</b>

# 목 차

요약문 .....	1
SUMMARY .....	6
CONTENTS .....	11
목차 .....	13
<b>제1장 연구개발 과제의 개요 .....</b>	<b>18</b>
<b>제1절 연구개발 필요성 및 목적 .....</b>	<b>18</b>
1. 영양 공급의 불균형으로 인한 대사성 질병 예방 필요성 .....	18
2. 복잡한 영양소 대사기전을 반영하는 simulation model의 필요성 .....	18
3. 젓소 사양 환경 요인 고려 필요성 .....	18
4. 영양소공급 수준과 방법에 대한 평가 시스템의 필요성 .....	18
5. 새로운 개념의 사료영양소 평가 system 필요성 .....	20
6. 반추위 미생물 발효 model 재정립 필요성 .....	20
7. 연구개발 목적 .....	20
<b>제2절 연구개발범위 .....</b>	<b>21</b>
1. 국내 사육 젓소의 영양소 균형 실태 조사 및 생산성 향상을 위한 simulation model의 개발 .....	21
2. 젓소용 사료자원의 영양소함량 DB구축 및 간이평가 model 개발 .....	21
3. 반추위내 미생물 발효 model 개발 .....	21
4. 젓소 영양소 균형 평가 program의 개발 .....	21

<b>제2장 국내·외 기술개발 현황</b> .....	22
1. 사료 첨가제에 의한 평가 부재 .....	22
2. 사양환경, 특히 사육 밀도 및 시설 환경에 대한 고려부재 .....	22
3. 사료급여방법에 대한 다양한 조건 제시 부재 .....	22
4. 영양소 평가 system의 정확성 문제 .....	22
5. 반추위 미생물 발효 model의 실용성 부재 .....	22
6. 영양소 공급의 불균형에 따른 젖소의 반응 (즉, 대사성 질병발생) 예측 부재 .....	23
7. 농가활용 가능한 simulation model이 아님 .....	24
 <b>제3장 연구개발 수행 내용 및 결과</b> .....	24
 <b>제1절 국내 사육 착유우의 영양소 균형 실태 조사 및 생산성 향상을 위한 simulation model의 개발</b> .....	24
1. 건물섭취 및 영양소 균형 조사 .....	24
가. 서 론 .....	24
나. 재료 및 방법 .....	26
1). 평가 자료 조사 .....	26
2). 영양소 균형 및 유생산성 평가 .....	27
3). 통계 처리 .....	28
다. 결과 및 고찰 .....	30
1). 조사 동물의 정보 및 급여 사료의 영양소 함량 .....	30
2). 영양소 균형 평가 .....	33
3). 유생산성 균형 평가 .....	38
라. 요약 .....	42
2. 환경온도에 따른 건물섭취 및 영양소 균형 조사 .....	43
가. 서 론 .....	43
나. 재료 및 방법 .....	44
1). 가축정보 및 사료평가 .....	44
2). 온도환경 및 기상조사 .....	45

3). 영양소 균형 및 유생산성 평가 .....	46
4). 통계처리 .....	46
다. 결과 및 고찰 .....	50
1). 가축정보, 유생산 및 조성 .....	50
2). 영양소 균형 평가 .....	51
3). 유생산성 균형 평가 .....	56
라. 요약 .....	60
3. 건물과 영양소 섭취조절에 의한 생산성 변화 조사 .....	61
가. 서론 .....	61
나. 재료 및 방법 .....	61
1). 가축정보 및 사료평가 .....	61
2). 영양소 균형 및 유생산성 평가 .....	63
3). 통계 처리 .....	63
다. 결과 및 고찰 .....	64
1). 조사 동물의 정보 및 급여 사료의 영양소 함량 .....	64
2). 영양소 균형평가 .....	65
3). 유생산성 균형 평가 .....	70
라. 요약 .....	74
4. 젖소의 생산성 향상을 위한 simulation model의 개발 .....	75
가. 서론 .....	75
나. 재료 및 방법 .....	76
1). 자료 .....	76
2). 계산식 .....	76
3). 상수조정 .....	77
다. 결과 .....	77
라. 요약 .....	81
<b>제2절 젖소용 사료자원의 영양소함량 DB구축 및 간이평가모델 개발 .....</b>	<b>82</b>
1. 사료자원의 영양소함량 DB구축 .....	82
가. 서론 .....	82

나. 재료 및 방법 .....	83
1). 공시재료 .....	83
2). 사료의 평가 방법 .....	83
다. 결과 및 고찰 .....	85
1). 화학적 평가 .....	85
2). 물리적 평가 .....	88
라. 요약 .....	89
2. 사료자원의 영양소함량 간이평가 model 개발 .....	96
가. 서론 .....	96
나. 재료 및 방법 .....	97
1). 공시재료 .....	97
2). 회귀식의 도출 .....	97
3). 통계처리 .....	97
다. 결과 및 고찰 .....	97
1). 섬유질 구성성분간의 상관관계 .....	97
2). 단백질 구성성분간의 상관관계 .....	99
라. 요약 .....	100
<b>제3절 반추위내 미생물 발효모델 개발 .....</b>	<b>106</b>
1. pH 모델 .....	107
2. 반추위 pH에 의한 섬유소 분해 model 개발 .....	110
3. 섬유소 공급과 반추위용적 및 flow rate 상호관계 .....	113
4. 반추위 pH fluctuation 예측 모델 .....	121
<b>제4절 젖소 영양소 균형 평가 program의 개발 .....</b>	<b>128</b>
1. 서론 .....	128
2. 재료 및 방법 .....	129
3. 결과 .....	129
가. KU2005 영양소 균형평가 프로그램의 화면구성 .....	129
1) 입력자료 .....	129

2) 결과요약 .....	130
4. 요약 .....	131
<b>제4장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도 .....</b>	<b>135</b>
1. 국내 사육 젖소의 영양소 균형 실태 조사 및 생산성 향상을 위한 simulation model의 개발 .....	135
2. 젖소용 사료자원의 영양소함량 DB구축 및 간이평가 model 개발 .....	136
3. 반추위내 미생물 발효 model 개발 .....	136
4. 젖소 영양소 균형 평가 program의 개발 .....	137
<b>제5장 연구개발 결과의 활용 계획 .....</b>	<b>138</b>
<b>제6장 해외과학 기술정보</b>	
1. 젖소 생산성 관련 simulation model .....	139
2. 젖소용 사료자원의 DB 및 간이평가 model .....	142
3. 반추위내 미생물 발효 model .....	143
4. 젖소 영양소 균형 평가 program .....	145
<b>제7장 참고문헌 .....</b>	<b>146</b>

## 제1장 연구개발 과제의 개요

### 제1절 연구개발 필요성 및 목적

우리나라의 낙농산업은 그간 젖소의 유전능력 향상과 사양관리 기술의 발전 등에 힘입어 연간 산유량이 7700kg에 달하고 농가당 사육두수가 50두를 상회(2004, 농림부)하는 등 크게 발전하여 왔다. 그러나 사육규모가 커지고 생산성이 증대됨에 따라 번식장애나 대사성 질병이 증가하고 생산 수명이 감소하는 등의 문제점도 점차 늘어나고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 젖소의 생산능력에 맞는 사양관리 기술이 꾸준히 개선되어야 할 것이다.

젖소는 다른 가축과 달리 일생동안 분만, 비유, 임신, 건유 등의 주기를 반복하며 저급한 영양원을 섭취하여 고급 영양원인 우유로 전환시켜야 하는 매우 힘든 생애를 살아야 한다. 따라서 젖소 사양가는 젖소의 비유주기에 맞추어 체내의 대사반응이 안정적으로 진행될 수 있도록 영양의 공급에 매우 유의하여 젖소를 사육하여야 한다. 그러나 젖소의 체내에서 진행되고 있는 각종 대사반응은 매우 복잡하여 일반 낙농가가 쉽게 이해하고 제어하기는 매우 어렵다. 이러한 관점에서 낙농가가 쉽게 사양관리에 응용할 수 있는 젖소의 사양관리 제어 model들이 개발되어져 왔다.

최근 발간된 National Research Council(NRC)의 Nutrient Requirement of Dairy Cattle 7<sup>th</sup> Revised Edition(2001)은 낙농 농가에서 생산성 향상을 위하여 주요하게 이용하고 있는 새로운 지식과 기술에 대한 정보를 반영하고, 가축의 영양소 요구량에 영향을 미치는 사양관리 및 환경적 요인을 고려한 실제 낙농 현장에서 적용 가능한 dairy cattle model(NRC2001)을 소개하고 있다. 이 NRC2001은 Holstein 착유우를 중심으로 1988년도부터 1998년도까지 미국낙농학회지(Journal of Dairy Science)에 발표된 자료와 Ohio 대학교와 Minesota 대학교의 자료를 인용하여 단기간의 건물 섭취 요구량을 추정하기 위한 건물 섭취 요구량 추정공식을 새롭게 제시하는 등, 이전 개정판인 NRC1989보다 많은 부분이 보완되었다.

그러나 다양한 환경에서 사육되고 있는 착유우의 영양소 요구량 및 급여사료의 이용성을 추정할 때에는 많은 요인들이 영향을 미치기 때문에 NRC2001에서 제시하는

값들이 다양한 조건에 있는 모든 착유우의 영양소 요구량을 대표할 수는 없을 것이다. 특히 우리나라와 같이 상대적으로 농후사료의 급여량이 많고, 반추위 미생물들에 필요한 섬유소를 주로 비 조사료성 섬유소 공급원(non-forage fiber sources)에 크게 의존하는 사양관리 방식에는 NRC2001의 model이 정확하지 않은 경우가 많이 나타나고 있다.

#### 1. 영양 공급의 불균형으로 인한 대사성 질병 예방 필요성

사육규모의 증가와 생산성의 증대 등 외형 및 젖소능력 향상과 함께 대두되고 있는 경제수명 단축과 번식 장애 등 영양 공급의 불균형으로 인한 대사성 질병 등이 증가되는 문제점이 발생되고 있다. 따라서 영양소 공급 불균형을 과학적으로 판단하고 예방 할 수 있는 평가 model이 필요하다.

#### 2. 복잡한 영양소 대사기전을 반영하는 simulation model의 필요성

젖소는 다른 가축과 달리 분만, 비유, 임신, 건유 등 복잡한 비유주기를 거치는 동안 항상 동일하고 일정한 체내 대사기전을 활용하지 않고 각 비유 단계에 따라 다양한 대사 반응과 영양소 요구량을 필요로 한다. 아울러, 각 비유 단계에 따른 영양소의 이용과 공급을 균형있게 조절하는 것은 매우 어려운 일이며, 젖소 개체에 따른 변이가 매우 복잡하게 나타날 수 있다. 예를 들어 일일 산유량이 30kg의 우유를 생산하더라도 우유의 영양성분, 즉 유지방과 유단백질 및 무기고형분 함량에 따라 영양소 공급이 이루어 져야한다. 따라서 젖소의 비유주기 및 상황에 따라 각기 다른 영양소 요구량을 설정하고 공급하는 급여관리 체계가 필요하다.

#### 3. 젖소 사양 환경 요인 고려 필요성

사육 시설 및 관리상태 등 다양한 환경 요인은 젖소의 생산성과 생산수명에 영향을 미친다. 젖소의 영양소 요구량을 결정과 공급방법의 균형 있는 조절을 통한 생산 효율 증대는 위에서 언급한 경제 수명을 연장시킬 수 있는 방안이라 할 수 있다. 그러나, 아직까지 국내에서 이들 환경요인 등을 고려한 요구량 설정 model이 없어 효율적 영양소 공급방법에 대한 제시가 이루어지지 않고 있는 실정이다.

#### 4. 영양소공급 수준과 방법에 대한 평가 시스템의 필요성.

젓소에게 급여하고 있는 사료의 적합성을 평가하는 방안으로는 사료 영양소의 평가 분석, 젓소의 혈액 내 대사 평가 및 우유 성분조성 평가 등이 있는데, 이들 평가를 통해 젓소 영양소 공급의 적합성을 판단하고 있다. 그러나, 이들 방법들의 단점으로 대두되고 있는 문제점들을 살펴보면, 분석 비용 문제와 분석 및 평가 개선에 필요한 시간이 상당히 소요된다. 뿐만 아니라 국내 낙농현장에 적절한 기준 설정이 아직 없다는 문제점도 가지고 있다. 따라서, 현재 급여하고 있는 영양소 공급 적합성을 신속히 판단하고 일련의 문제점들을 예측하여 개선 할 수 있는 방안을 제시하는 낙농 사양관리 지도 방법이 필요하다.

#### 5. 새로운 개념의 사료영양소 평가 system 필요성

사료의 화학성분 분석 결과만을 이용할 경우 사료의 종류에 따른 영향과 젓소의 반응 결과를 예측하는데 한계가 있어 영양소의 반추위내 이용량과 속도에 대한 개념 정립이 필요하며, 소장 내에서 이용 가능한 아미노산 개념을 도입함으로써 “Ideal amino acids”라는 개념을 반추가축에 적용 할 수 있다.

#### 6. 반추위 미생물 발효 model 재정립 필요성

젓소에게 급여되는 영양소는 반추미생물에 직접적으로 영향을 미치기 때문에 영양소 특성에 따라 큰 차이를 나타내게 된다. 젓소의 반추위 내 발효성상은 젓소의 생산성뿐만 아니라 유지방 및 유단백질 함량 등 생산물의 조성과 젓소 건강에 직접적인 영향을 미치며, 영양소 대사 반응 예측에 있어 가장 중요한 판단기준이라 할 수 있다. 반면, 기존 반추위 model들은 아직까지 이의 재현성과 정확성이 낮은 문제점을 나타내고 있기 때문에 반추위 미생물 발효에 관여하는 여러 요인들에 대한 재정립과 새로운 요인에 대한 설정을 통한 simulation model 개발이 필요하다.

#### 7. 연구개발 목적

본 연구에서는 국내에서 사육되고 있는 착유우를 대상으로 영양소 균형에 대한 실태를 조사하여 국내 사육환경에 맞는 ‘생산성 향상을 위한 simulation model’을 개발하고, 주요 젓소용 사료자원의 영양소함량 DB를 구축하고 이를 이용한 영양소함량 간이평가 모델을 개발하며, 또한 반추위내 미생물의 발효에 관한 주요 sub-model들을 개발하여 최종적으로 이들을 통합한 ‘젓소 영양소 균형 평가 program’을 개발하고자 하였다.

## 제2절 연구개발범위

1. 국내 사육 젓소의 영양소 균형 실태 조사 및 생산성 향상을 위한 simulation model의 개발
  - 가. 건물섭취 및 영양소 균형 조사
  - 나. 환경온도에 따른 건물섭취 및 영양소 균형 조사
  - 다. 건물과 영양소 섭취조절에 의한 생산성 변화 조사
  - 라. 젓소의 생산성 향상을 위한 simulation model의 개발
  
2. 젓소용 사료자원의 영양소함량 DB구축 및 간이평가 model 개발
  - 가. 사료자원의 영양소함량 DB구축
  - 나. 사료자원의 영양소함량 간이평가 model 개발
  
3. 반추위내 미생물 발효 model 개발
  - 가. 반추위 pH의 변화에 따른 섬유소 분해의 pattern 규명
  - 나. 섬유소의 공급에 따른 반추위 용적과 flow rate 상호관계 규명
  - 다. 반추위 pH fluctuation model 개발
  
4. 젓소 영양소 균형 평가 program의 개발

## 제2장 국내·외 기술개발 현황

젖소의 대사와 생산성을 예측하는 국내 simulation model은 아직까지 개발되어 있지 않으며, 국외에서 발표된 NRC model(2001)과 CNCPS(Cornell Net Carbohydrate and Protein System)에서는 젖소의 영양소 요구량과 공급량을 비교 평가하여 우유생산 가능량과 반추위내 영양소 분해 정도를 예측하여 평가하는 model을 발표하였으나, 이들 model들을 실제 적용할 때의 문제점을 간략하게 나열하면 아래와 같다.

### 1. 사료 첨가제에 의한 평가 부재

젖소용 사료첨가제로 이용되고있는 완충제, 효소제 및 미생물 제제에 대한 평가와 효과에 대한 simulation model이 없다.

### 2. 사양환경, 특히 사육 밀도 및 시설 환경에 대한 고려부재

국내 사양환경과 매우 밀접하게 고려해야할 사항으로 사육 밀도와 시설에 대한 젖소의 대사반응을 평가해야 한다.

### 3. 사료급여방법에 대한 다양한 조건 제시 부재

외국의 simulation model은 연속 사료 급여환경 하에서 개발된 model로서 실제 급여환경 즉 사료급여 횟수 및 급여 순서와 시간에 대한 고려 부재로 실제 사양조건과 일치하지 않는 경우가 발생 할 수 있다.

### 4. 영양소 평가 system의 정확성 문제

외국의 model에서 적용하고 있는 사료 영양소 평가 system에서는 사료의 종류에 따라 소장 내 amino acids의 흡수율과 반추위 우회 아미노산의 함량을 동일하게 평가하고 있다.

### 5. 반추위 미생물 발효 model의 실용성 부재

외국 rumen model들의 경우는 연속 사료 급여환경을 기준으로 정립된

model들로서 실제 사양환경 즉, 사료급여 순서 및 방법등을 고려한 실제 사양환경에서 실제 관측 결과와 상이한 결과가 나타날 수 있다. 또한 반추위 내에서 사료단백질의 미생물 체단백질로의 전환율이 과대 평가되는 결과를 초래하여 젖소의 우유 단백질 생산량 예측에 오차를 발생시킬 수 있다.

6. 영양소 공급의 불균형에 따른 젖소의 반응 (즉, 대사성 질병발생) 예측 부재  
영양소 공급 수준과 방법을 부재로 인한 젖소의 반추위 및 체내 대사과정의 문제점의 원인 규명이 어렵고, 이와 관련된 질병발생을 예측할 수 있는 simulation model이 아니다.

7. 농가활용 가능한 simulation model이 아님  
외국의 simulation model은 아직까지 국내에서 활용하기에는 복잡하고 국내 상황에서 정확히 검증된 결과가 없는 실정이다.

## 제3장 연구개발 수행 내용 및 결과

### 제1절 국내 사육 착유우의 영양소 균형 실태 조사 및 생산성 향상을 위한 simulation model의 개발

#### 1. 건물 및 영양소 섭취 균형 조사

##### 가. 서론

최근 발간된 National Research Council(NRC)의 Nutrient Requirement of Dairy Cattle 7<sup>th</sup> Revised Edition(2001)은 낙농 농가에서 생산성 향상을 위하여 주요하게 이용하고 있는 새로운 지식과 기술에 대한 정보를 반영하고, 가축의 영양소 요구량에 영향을 미치는 사양관리 및 환경적 요인을 고려한 실제 낙농 현장에서 적용 가능한 dairy cattle model(NRC2001)을 소개하고 있다(NRC, 2001).

NRC2001은 이전 개정판인 NRC1989보다 많은 부분이 보완되었다. 예를 들면, 착유우의 건물섭취 요구량을 추정할 때 이전 개정판에서는 가축의 에너지 요구량에 따라 산정됨에 따라 장기간의 건물 섭취 요구량 추정에는 이용될 수 있으나, 단기간의 추정에는 어려움이 있었다. 이를 보완하기 위하여 NRC2001은 Holstein 착유우를 중심으로 1988년도부터 1998년도까지 미국낙농학회지(Journal of Dairy Science)에 발표된 자료와 Ohio대학과 Minesota대학의 자료를 인용하여 단기간의 건물 섭취 요구량을 추정하기 위한 건물 섭취 요구량 추정공식을 제시하고 있다.

그러나 다양한 환경에서 사육되고 있는 착유우의 영양소 요구량 및 급여사료의 이용성을 추정할 때에는 많은 요인들이 영향을 미치기 때문에 NRC2001에서 제시하는 값들이 다양한 조건에 있는 모든 착유우의 영양소 요구량을 대표할 수는 없을 것이다. NRC2001은 착유우의 건물 섭취 및 영양소 요구량을 추정함에 있어 쉽게 조사될 수 있는 대사체중(metabolic body weight, MBW), 신체충실지수(body condition

score, BCS), 4%유지보정유량(4% fat corrected milk, 4%FCM), 비유일수(days in milk, DIM), 임신일수, 연령등과 같은 가축적 요인만을 고려하고 있어 다양한 상황에 있는 착유우의 영양소 균형 평가를 함에 있어 항상 정확할 수는 없을 것(NRC, 2001)이라고 생각한다.

한편 젖소에 있어서 NDF섭취는 reticulo-rumen의 용적에 의해 제한받기 때문에 반추 동물의 건물섭취량의 범위를 추정함에 있어서는 급여사료 내 NDF함량이 최고의 단일 화학적 요인이라고 주장하고 있다(Waldo등 1986; Mertens등, 1994). Allen등(2000)은 급여사료 중의 조사료를 non-forage fiber sources(NFFS)로 대체하였을 경우 건물섭취량은 증가할 것이고, 곡류사료를 NFFS로 대체하였을 경우 건물섭취량은 감소할 것이라고 주장하였다. 한국젖소사양표준(2002)은 국내의 조사료 수급 여건에서 조사료로부터 공급되는 NDF는 건물기준으로 평균 73%로서 75%를 권장한 NRC2001 보다 낮게 급여되고 있으나 최저 53%에서 최고 93%로서 변이가 상당히 심하다고 하였다.

NRC2001은 북미지역의 착유우를 실험동물로 이용한 실험의 결과를 바탕으로 만들어졌으며, 국내 사육 착유우의 사료급여 환경, 사양관리 및 환경은 북미지역과 다를 수 있다. 따라서 국내에서 사육되고 있는 착유우에게 NRC2001을 적용함에 있어서 그 타당성에 대한 검토가 필요하다고 생각된다.

이러한 관점에서 본 연구는 국내에서 사육되고 있는 착유우를 대상으로 하여 농후사료 위주 관리농가(농후사료65%DM이상 급여, enforced concentrate feeding farm, ECFF) 5개 농가와 조사료위주관리농가(농후사료 65%DM이하 급여, enforced roughage feeding farm, ERFFF) 7개 농가를 선정하여 건물섭취량과 영양소의 이용성을 알아보기 위하여 NRC2001의 영양소 균형 평가 프로그램을 이용하여 영양소의 균형 및 유생산성을 평가하였다.

## 나. 재료 및 방법

### 1) 평가항목

#### 가) 우군

경기도 일대 12개 낙농가에서 사육되고 있는 착유우 총 407두를 조사대상으로 하여 2003년 12월부터 2004년 5월까지 6개월 동안 조사하였다.

조사기간 중 이 지역의 월 평균 온도는  $4.6 \pm 7.6^\circ\text{C}$ 로  $-4.9^\circ\text{C} \sim 17.4^\circ\text{C}$ 의 범위를 나타내었다. 12개 농가 모두 자동 급이기를 이용한 개체 별 농후사료 제한 급여 관리를 실시하고 있었으며, TMR 배합기를 이용한 단미사료 원료 및 조사료를 배합한 자가 TMR 및 시판 TMR을 일일 2회 급여하고 있었고, 착유 형태는 파이프라인 2농가, 텐덤 8농가, 헤링본 2농가였다. 우사는 모두 톱밥발효 우사를 이용하고 있었다.

#### 나) 가축정보, 유생산 및 사료 섭취량

체중, 신체충실지수(body condition score, BCS), 개체 별 평균 TMR섭취량 및 개체 별 농후사료 섭취량은 월 1회 정기 방문을 통하여 조사하였고, 산차, 비유일수, 분만간격 및 월 평균 산유량과 유지방, 유단백, 무지고형분, 체세포수 및 우유중 요소태질소(milk urea nitrogen, MUN)는 한국 중축개량 협회 조사원이 월 1회 방문하여 조사한 한국중축개량협회의 등록 자료를 이용하였다.

#### 다) 사료 성분 조사

조사한 우군은 시판 농후사료, 시판 TMR(건, 습), 과옥쇄, 비트펄프, 맥주박, 면실, 옥수수 사일리지, 알팔파 건초, 클라인 그라스, 버뮤다 그라스, 톨 페스큐, 티모시, 오차드 그라스, 연맥, 벧짚 등을 이용하고 있었으며, 이를 종류 별로 샘플링하여 NRC2001이 요구하는 사료의 화학성분을 1회 이상 분석하였다.

Dry matter(DM), crude ash(Ash), crude protein(CP), ether extract(EE), acid detergent fiber(ADF), acid detergent lignin(ADL)은 A.O.A.C(1990)의 분석 방법을 이용하였고, heat-stable  $\alpha$ -amylase treated neutral detergent fiber(aNDF)는 Mertens등(2002)의 방법에 따라 분석 하였으며, neutral detergent insoluble crude

protein(NDICP), acid detergent insoluble crude protein(ADICP)는 Licitra등(1996)의 방법에 따라 분석하였다.

Concentrate(A, B), TMR(건, 습)의 화학성분을 추정하기 위하여 조사대상 농장에서 이용하고 있는 시판 농후사료 및 TMR(건, 습)의 배합비를 조사하였으며, 시판 농후사료 및 TMR(건, 습)의 배합에 이용된 단미사료원료의 화학성분은 건국대학교 환경학실험실에서 2003년도에 작성한 'NRC2001 TDN 계산 모델에 적용하기 위한 국내에서 주요하게 사용되고 있는 반추가축용 사료원료의 영양성분 매트릭스'를 이용하여 NRC dairy cattle program(version 1.0), 2001을 통하여 추정하였다. 조사대상 농가에서 이용한 사료 원료의 화학성분은 Table3-1에 나타내었다.

## 2) 영양소 균형 및 유생산성 평가

NRC Nutrients Requirement of Dairy Cattle Program(version 1.0), 2001을 이용하여 개체 별 건물 섭취량(dry matter intake, DMI), 정미 에너지(net energy for lactation, NEL), 대사 단백질(metabolizable protein, MP)의 균형 평가 및 유생산성 평가를 실시하였다.

가축정보 중 분만간격, 초산 분만 개월령 및 일당 증체량은 각각 12개월, 24개월 및 0g/일로 일률적으로 적용하였고, 체중, BCS, 산차, 비유일수, 임신일수, 유생산량, 유지방 및 유단백은 한국중축개량협회의 조사 자료를 이용하였다. 온도는 조사기간 동안의 평균 온도인 4.6℃를 일률적으로 적용하였다. 연령은 산차와 비유일수를 통하여 계산된 결과를 이용하였고, 착유우의 성숙 체중과 송아지 출생 시 체중은 NRC2001이 제시하는 자료를 이용하였다.

일반성분 및 aNDF, ADF, ADL, NDICP, ADICP는 본 연구의 분석 자료를 이용하였으며, processing adjustment factor(PAF), 단백질 분획(%CP), protein digestion rate(%hr), RUP digestibility(%), Fat digestibility(%), NDF digestibility(%)는 NRC2001의 feed library에 수록된 값을 이용하였다. NRC2001 사료 정보에 없는 원료들은 유사 원료의 값을 이용하였는데, 에너지, 단백질 사료 원료는 CP 및 NDF 함량을 우선순위로 고려하였고, 조사료 원료는 NDF 및 CP함량을 우선순위로 고려하여 유사 원료로 대체하여 계산에 이용하였다.

### 3) 통계 처리

농후사료위주 관리농가(농후사료65%DM이상 급여, enforced concentrate farm, ECFE)와 조사료위주 관리농가(농후사료 65%DM이하 급여, enforced roughage farm, ERFF)간의 결과는 SAS(Strategic Application Software) statistic package program(2001, release. 8.02 version)의 TTEST procedure를 이용하여 student t-test를 실시하여 유의성을 검정하였다.

실제 건물섭취량 및 실제 건물섭취량을 이용하여 NRC2001이 제시하는 계산 공식을 이용한  $NE_L$  및 MP 섭취량과 NRC2001이 추정하는 건물 섭취요구량,  $NE_L$  섭취 요구량 및 MP 섭취 요구량의 결과는 SAS의 TTEST procedure를 이용하여 paired t-test procedure를 이용하여 유의성을 검정하였으며, 자료의 분포 유형을 알아보기 위하여 scatter plotting을 실시하였다.

Table3-1. Chemical compositions of feedstuffs investigated in this study

	Dry Matter (%As-Fed)	CP (%DM)	Fat (%DM)	Ash (%DM)	NDF (%DM)	ADF (%DM)	Lignin (%DM)	NDFIP (%DM)	ADFIP (%DM)
Concentrate 1	89.34	21.66	3.49	4.14	26.87	11.91	3.31	2.87	0.42
Concentrate 2	90.67	16.86	14.32	3.08	20.91	6.96	1.77	1.84	0.27
TMR1-wet	61.97	15.47	5.44	8.51	45.95	30.96	4.66	3.13	0.52
TMR2-wet	71.49	16.20	4.11	4.56	39.32	22.70	6.01	2.96	0.76
TMR3-dry	87.48	12.69	4.52	9.58	54.70	38.68	6.25	1.89	0.47
By-pass fat	95.00	-	98.33	1.00	-	-	-	-	-
Cottonseed	90.37	20.95	18.45	4.13	44.44	34.18	13.41	1.94	1.13
Wheat bran	87.83	16.50	4.01	4.85	41.52	12.30	3.87	3.36	0.65
Beetpulp	87.87	9.89	1.23	6.03	47.77	31.19	2.68	5.80	0.74
Brewers grain, wet	20.88	22.73	6.65	3.84	33.42	15.84	7.11	9.59	2.75
alfalfa hay	89.83	18.54	2.13	9.43	42.49	35.33	12.65	3.04	1.36
Oat hay	90.66	7.84	2.49	6.53	57.58	39.09	8.40	1.40	0.58
Orchard grass hay	90.74	8.90	2.70	8.82	60.86	39.66	9.55	3.26	0.61
Klein grass hay	93.06	11.27	1.67	8.77	70.12	41.21	5.46	5.53	1.56
Bermuda grass hay	91.65	9.64	1.90	7.76	66.65	37.17	7.45	4.41	0.97
Tall fescue hay	90.50	6.28	1.03	5.87	63.03	44.07	5.46	5.53	1.56
Timothy hay	91.21	8.20	2.27	7.08	61.74	38.17	5.60	2.50	0.72
Sugarcane	84.40	10.80	2.00	7.00	69.10	41.60	5.90	7.40	1.10
Wheat straw	90.94	3.82	1.57	7.78	74.61	52.76	12.64	2.36	1.84
Rice straw	91.28	4.82	1.46	16.36	63.94	43.33	4.62	1.28	0.29
Corn silage	30.51	8.08	2.77	4.00	52.27	33.73	4.62	1.29	0.64

\*Chemical compositions were estimated from the investigated feed formula and feedstuffs matrix constructed by Lab. of animal environment in Konkuk university.

## 다. 결과 및 고찰

### 1) 조사 동물의 정보 및 급여 사료의 영양소 함량

12개 농가 407두의 착유우를 통하여 1,321건의 자료를 수집하였고, 농장의 사료 급여 농도 관리 유형에 따라 농후사료위주관리농가(농후사료65%DM이상 급여, enforced concentrate farm, ECFF)와 조사료위주관리농가(농후사료 65%DM이하 급여, enforced roughage farm, ERFF)로 우군을 분리 하였으며, 우군 별 가축정보 및 급여된 사료의 영양소 농도의 평균값을 Table3-2에 나타내었다.

조사한 착유우의 평균 체중은 ECFF우군이  $609.72 \pm 30.67\text{kg}$ , ERFF우군이  $623.24 \pm 33.94\text{kg}$ 으로 조사되었고, 산차는 ECFF우군이  $2.15 \pm 1.23$ , ERFF우군이  $2.92 \pm 1.80$ 으로 조사되었으며, 비유일수는 ECFF우군이  $193.22 \pm 137.91$ , ERFF우군이  $210.53 \pm 142.10$ 으로 조사되었다.

평균 유생산량은 ECFF우군이  $31.47 \pm 9.55\text{kg/day}$ , ERFF우군이  $30.70 \pm 9.38\text{kg/day}$ 로 조사되었고, 유지방은 ECFF우군이  $4.07 \pm 0.64\%$ , ERFF우군이  $4.16 \pm 0.64\%$ 으로 조사되었으며, 유단백은 ECFF우군이  $3.22 \pm 0.37\%$ , ERFF우군이  $3.40 \pm 0.38\%$ 로 조사되었다.

착유우에게 급여된 사료 영양소의 평균 농도는 건물기준으로 DM은 ECFF우군이  $80.67 \pm 7.40\%$ , ERFF우군이  $76.52 \pm 4.59\%$ 로 조사되었고, 농후사료 급여비율은 ECFF우군이  $66.95 \pm 6.93\%DM$ , ERFF우군이  $60.90 \pm 6.26\%DM$ 으로 조사되었고, CP는 ECFF우군이  $16.62 \pm 0.98\%DM$ , ERFF우군이  $15.98 \pm 0.81\%DM$ 로 조사되었다. NFC는 ECFF우군이  $38.13 \pm 1.78\%DM$ , ERFF우군이  $35.88 \pm 1.56\%DM$ 로 조사되었고, NDF는 ECFF우군이  $40.06 \pm 2.23\%DM$ , ERFF우군이  $42.47 \pm 2.35\%DM$ 로 조사되었고, 조사료 유래의 NDF는 ECFF우군이  $18.61 \pm 3.84\%DM$ , ERFF우군이  $22.29 \pm 3.45\%DM$ 로 조사되었고, ADF는 ECFF우군이  $23.67 \pm 2.35\%DM$ , ERFF우군이  $25.90 \pm 1.83\%DM$ 로 조사되었다.

NRC2001은 비유단계 별 착유우의 1일 유생산량이 25, 35, 40, 54.4kg일 때 급여 사료 중 NDF는 건물기준으로 최소 25% ~ 33%, NFC는 최대 36% ~ 44%로 일률적으로 권장하고 있으며, 급여사료의 NDF 중 76%가 조사료로부터 제공되어야 한다고 권장하고 있다. Kawas등(1991)은 비유단계 10주 ~ 26주 사이의 착유우에게 급여되는 사료의 NDF를 건물기준으로 28% ~ 31%로 권장하고 있으나, 비유

초기 착유우에게 급여되는 사료의 NDF는 25%로 최소화하도록 권장하고 있다.

본 조사연구에서 착유우에게 급여되는 사료의 NDF는 ECFF우군이  $40.06 \pm 2.23\%DM$ , ERFU 우군이  $42.47 \pm 2.35\%DM$ 로 NRC2001 권장안 보다 높았으며, NDF 중 조사료 유래의 NDF 비율은 ECFF우군이 약 46.46%, ERFU우군이 약 52.48%로 NRC2001 권장안 보다 낮았다. NFC는 ECFF우군이  $38.13 \pm 1.78\%DM$ , ERFU 우군이  $35.88 \pm 1.56\%DM$ 로 NRC2001의 최소 권장안과 유사하게 나타났다. 이는 조사 농장의 사료급여 환경에 있어 에너지 및 섬유소 공급원으로서 비트펄프, 면실 및 맥주 박과 같은 부산물이 조사한 착유우에게 급여되는 사료 전체의 약30%를 차지하고 있기 때문이라고 생각된다.

Table3-2. Descriptions of investigated Holstein lactating cows in this study

Items	ECFF <sup>1</sup>	ERFF <sup>1</sup>
Animal descriptions		
Number of cows		
Body Weight(kg)	609.72 ± 30.67 <sup>2</sup>	623.24 ± 33.94 <sup>**</sup>
Parity	2.15 ± 1.23	2.92 ± 1.80 <sup>**</sup>
Body condition score	3.10 ± 0.32	3.12 ± 0.20
Days in milk(days)	193.22 ± 137.91	210.53 ± 142.10 <sup>*</sup>
Milk yield and compositions		
Yield(kg/day)	31.47 ± 9.55	30.70 ± 9.38
Fat(%)	4.07 ± 0.64	4.16 ± 0.64 <sup>*</sup>
Protein(%)	3.22 ± 0.37	3.40 ± 0.38 <sup>**</sup>
Urea nitrogen(mg/dl)	17.01 ± 3.73	15.23 ± 3.20 <sup>**</sup>
Somatic cell count(10 <sup>3</sup> /ml)	96.01 ± 102.80	116.75 ± 95.59 <sup>**</sup>
Diet compositions		
Dry matter(%)	80.67 ± 7.40	76.52 ± 4.59 <sup>**</sup>
C:F ratio(%DM)	66.95 ± 6.93	60.90 ± 6.26 <sup>**</sup>
Crude protein(%DM)	16.62 ± 0.98	15.98 ± 0.81 <sup>**</sup>
Ether extract(%DM)	3.87 ± 0.35	3.92 ± 0.25 <sup>**</sup>
Nonfibrous carbohydrate(%DM)	38.13 ± 1.78	35.88 ± 1.56 <sup>**</sup>
Neutral detergent fiber(%DM)	40.06 ± 2.23	42.47 ± 2.35 <sup>**</sup>
Forage neutral detergent fiber(%DM)	18.61 ± 3.84	22.29 ± 3.45 <sup>**</sup>
Acid detergent fiber(%DM)	23.67 ± 2.35	25.90 ± 1.83 <sup>**</sup>
Acid detergent lignin(%DM)	5.56 ± 0.44	5.72 ± 0.40 <sup>**</sup>
Ruminally degraded protein(%DM) <sup>3</sup>	10.18 ± 0.66	9.41 ± 0.52 <sup>**</sup>
Ruminally undegraded protein(%DM) <sup>3</sup>	6.44 ± 0.74	6.58 ± 0.35 <sup>**</sup>
Net energy for lactation(Mcal/kgDM) <sup>3</sup>	1.54 ± 0.03	1.56 ± 0.03 <sup>**</sup>

<sup>1</sup> : ECFF-enforced concentrate feeding farm; ERFF-enforced roughage feeding farm.

<sup>2</sup> : Average±standard deviation.

<sup>3</sup> : The values were estimated by NRC nutrients requirement of dairy cattle program(version 1.0), 2001.

\* : Means within the same row are differ significantly(P<0.05).

\*\* : Means within the same row are differ significantly(P<0.01).

## 2) 영양소 균형 평가

조사대상 착유우의 실제 건물섭취량, 실제 건물섭취량을 이용하여 NRC2001이 제시하는 계산공식을 이용한  $NE_L$  및 MP섭취량과 NRC2001이 추정하는 건물섭취 요구량,  $NE_L$ 섭취 요구량 및 MP섭취 요구량의 결과를 Table 3에 나타내었다. 또한 Figure 1에는 조사한 착유우의 실제 건물섭취량과 NRC2001이 추정하는 건물섭취 요구량의 scatter plotting을 나타내었으며, Figure 2와 Figure 3에는 실제 건물섭취량을 이용하여 NRC2001이 제시하는 계산 공식을 이용한 착유우의  $NE_L$  및 MP섭취량과 NRC2001이 추정하는  $NE_L$  및 MP섭취 요구량의 scatter plotting을 각각 나타내었다.

### 가) 건물섭취(Dry matter intake)

Table3-3에 나타난 바와 같이 착유우의 실제 건물섭취량은 ECFF우군이  $24.57 \pm 3.37 \text{kg/day}$ , ERFU우군이  $22.78 \pm 3.21 \text{kg/day}$ 로 조사되었고, NRC2001이 추정하는 건물섭취 요구량은 ECFF우군이  $22.06 \pm 3.23 \text{kg/day}$ , ERFU우군이  $22.24 \pm 3.09 \text{kg/day}$ 로 조사되어 NRC2001이 추정하는 건물섭취 요구량보다 실제 건물섭취량이 ECFF우군이  $2.51 \pm 2.80 \text{kg/day}$ , ERFU우군이  $0.54 \pm 2.82 \text{kg/day}$ 이 높게 나타났다( $P < 0.05$ ). 또한 Figure3-1에 나타난 바와 같이 조사대상 착유우의 실제 건물섭취량과 NRC2001이 추정하는 건물섭취 요구량의 scatter plotting에서는 NRC2001이 추정하는 건물섭취 요구량 보다 ECFF우군은 81.62%, ERFU우군은 48.02%가 높게 섭취하는 것으로 조사되었다.

비유일수가 낮을수록 NRC2001이 추정하는 건물섭취 요구량 보다 실제 건물섭취량의 변이는 커지는 경향을 나타내었다.

본 연구의 결과에서 ECFF우군의 실제 건물섭취량이  $24.57 \pm 3.37 \text{kg/day}$ 으로 ERFU우군 보다 약  $1.79 \text{kg/day}$ 가 높게 나타났으며( $P < 0.01$ ), 이는 ECFF우군의 급여사료 내 농후사료 비율 66.95%DM으로 ERFU우군 보다 약 6.05%DM이 높으며( $P < 0.01$ ), ECFF우군의 조사료 유래 NDF농도는 18.61%DM으로 ERFU우군의 조사료 유래 NDF 농도 보다 약 3.68%DM이 낮기 때문이라고 생각한다.

### 나). 정미 에너지(Net energy for lactation, $NE_L$ )

Table3-3에 나타난 바와 같이 조사대상 착유우가 실제 섭취한 건물량을 이용하

여 NRC2001이 제시하는 계산식으로 추정된  $NE_L$  섭취량은 ECFF우군이  $37.78 \pm 4.37 \text{McalDM/day}$ , ERFU우군이  $35.47 \pm 4.46 \text{McalDM/day}$ 로 조사되었고, NRC2001이 추정된  $NE_L$  요구량은 ECFF우군이  $33.45 \pm 6.63 \text{McalDM/day}$ , ERFU우군이  $33.54 \pm 6.47 \text{McalDM/day}$ 으로 조사되어 ECFF우군은 NRC2001이 추정된  $NE_L$  요구량 보다  $4.33 \pm 3.91 \text{McalDM/day}$ 가 높았으며, ERFU우군은 NRC2001이 추정된  $NE_L$  요구량 보다  $1.93 \pm 3.43 \text{McalDM/day}$ 이 높은 것으로 조사되었다( $P < 0.01$ ). 또한 Figure3-2에 나타낸 바와 같이 조사대상 착유우가 실제 섭취한 건물량을 이용하여 NRC2001이 제시하는 계산식으로 추정된  $NE_L$  섭취량과  $NE_L$  요구량의 scatter plotting에서는 NRC2001이 추정하는  $NE_L$  요구량 보다 ECFF우군은 88.92%, ERFU우군은 80.90%가 높게 섭취한 것으로 조사되었다.

조사대상 착유우에 있어 NRC2001이 추정하는  $NE_L$  요구량 보다 ECFF와 ERFU가 공히 더 많이 섭취한 것은 NRC2001이 추정하는 건물섭취 요구량 보다 더 많은 건물을 섭취한 것이 원인이 될 수 있을 것으로 생각된다.

ECFF우군의 정미에너지섭취균형은  $4.33 \pm 3.91 \text{McalDM/day}$ 로 ERFU우군의  $1.93 \pm 3.43 \text{McalDM/day}$  보다 높게 나타났다( $P < 0.01$ ).

#### 다) 대사 단백질(Metabolizable protein, MP)

Table3-3에 나타낸 바와 같이 조사대상 착유우가 실제 섭취한 건물량을 이용하여 NRC2001이 제시하는 계산식으로 추정된 MP 섭취량은 ECFF우군이  $2647.04 \pm 440.71 \text{gDM/day}$ , ERFU우군이  $2400.30 \pm 436.17 \text{gDM/day}$ 로 조사되었고, NRC2001이 추정된 MP 요구량은 ECFF우군이  $2355.03 \pm 462.37 \text{gDM/day}$ , ERFU우군이  $2345.82 \pm 485.59 \text{gDM/day}$ 으로 조사되어 ECFF우군은 NRC2001이 추정된 MP 요구량 보다  $292.01 \pm 224.25 \text{gDM/day}$ 를 많이 섭취한 것으로 조사되었고, ERFU우군은 NRC2001이 추정된 MP 요구량 보다  $54.48 \pm 207.19 \text{gDM/day}$ 를 많이 섭취한 것으로 조사되었다( $P < 0.05$ ).

ECFF의 MP 섭취량이 ERFU의 MP 섭취량 보다 높으며, ECFF의 MP 섭취 균형은 DRF의 MP 섭취 균형 보다 크게 나타났다( $P < 0.01$ ).

Figure3-3에 나타낸 바와 같이 조사대상 착유우가 실제 섭취한 건물량을 이용하여 NRC2001이 제시하는 계산식으로 추정된 MP 섭취량과 MP 요구량의 scatter plotting에서는 NRC2001이 추정하는 MP 요구량 보다 ECFF우군은 87.70%, ERFU

우군은 66.61%가 높게 섭취한 것으로 조사되었다.

이와 같은 현상은 NRC2001이 추정한 건물 섭취 요구량 보다 건물섭취량이 더 큰 것이 원인이 될 수 있다. 본 실험을 통해서도 그 이유를 알 수는 없었으나 NRC2001이 추정하는 MP 요구량을 검증하기위한 특별한 실험이 필요하다는 것을 시사하고 있다.

Table3-3. Nutrient balances of investigated Holstein lactating cows raised in Korea estimated by NRC Nutrients Requirement of Dairy Cattle Program(2001)

Items		Intake	Requirement	Difference	P value <sup>2</sup>
Dry matter(kg/day)	ECFF <sup>3</sup>	24.57 ± 3.371 <sup>1</sup>	22.06 ± 3.23	2.51 ± 2.80	<0.05
	ERFF <sup>3</sup>	22.78 ± 3.21**	22.24 ± 3.09	0.54 ± 2.82**	<0.05
Net energy for lactation (Mcal/day)	ECFF	37.78 ± 4.37	33.45 ± 6.63	4.33 ± 3.91	<0.05
	ERFF	35.47 ± 4.46**	33.54 ± 6.47	1.93 ± 3.43**	<0.05
Metabolizable protein (kg/day)	ECFF	2647.04 ± 440.71	2355.03 ± 462.37	292.01 ± 224.25	<0.05
	ERFF	2400.30 ± 436.17**	2345.82 ± 485.59	54.48 ± 207.19**	<0.05

<sup>1</sup> : Average±standard deviation.

<sup>2</sup> : Provarbility between intake *versus* requiremnet in each row.

<sup>3</sup> : ECFF-enforced concentrate feeding farm; ERFF-enforced roughage feeding farm.

\* : Means within the same column in each items(dry matter, net energy for lactation and metabolizable protein) are differ significantly(P<0.05).

\*\* : Means within the same column in each items(dry matter, net energy for lactation and metabolizable protein) are differ significantly(P<0.01).

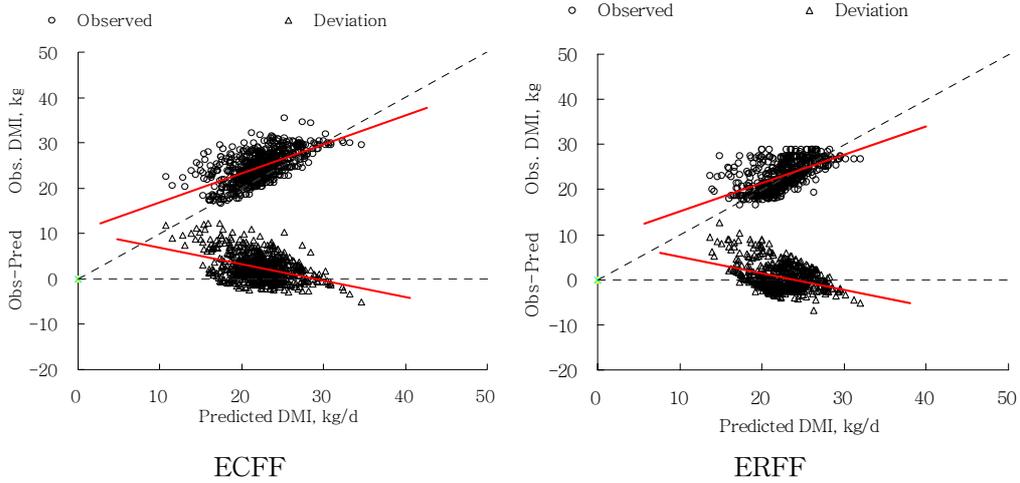


Figure3-1. Scatter plotting of actual dry matter(DM) intake *versus* DM requirement estimated by NRC Nutrients Requirement of Dairy Cattle Program(2001) in Holstein lactating cows raised in Korea. The dashed line represents  $y=x$ .

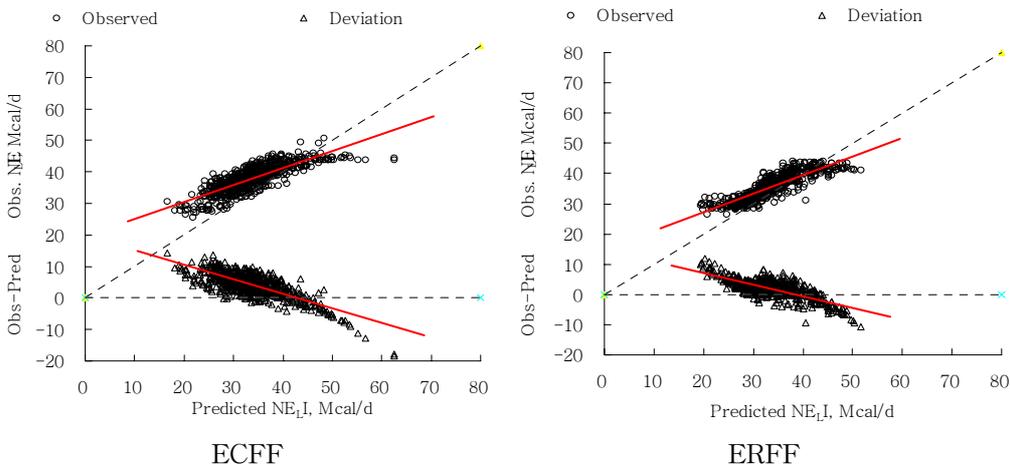


Figure3-2. Scatter plotting of net energy for lactation( $NE_L$ ) intake *versus*  $NE_L$  requirement estimated by NRC Nutrients Requirement of Dairy Cattle Program(2001) in Holstein lactating cows raised in Korea. The dashed line represents  $y=x$ .

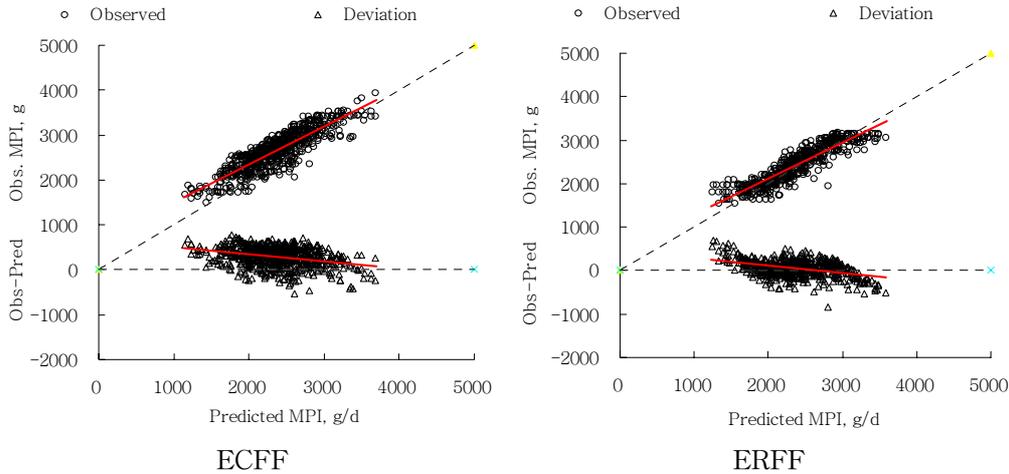


Figure3-3. Scatter plotting of metabolizable protein(MP) intake *versus* MP requirement estimated by NRC Nutrients Requirement of Dairy Cattle Program(2001) in Holstein lactating cows raised in Korea. The dashed line represents  $y=x$ .

### 3) 유생산성 균형 평가

조사대상 착유우의 실제 유생산량(actual milk yield)을 조사하였으며, NRC2001이 추정하는  $NE_L$  및 MP 섭취량으로부터 가축의 유지요구량, 임신요구량, 성장요구량을 공제한 에너지 및 단백질량으로부터 생산 가능한 유생산량(allowable milk yield, AMY)의 결과를 Table3-4에 비교하였고, Figure 4와 Figure 5에는 조사대상 착유우의 실제 유생산량과  $NE_L$  및 MP allowable milk yield 사이의 scatter plotting을 나타내었다.

Table3-4에 나타낸 바와 같이 ECFF우군의 실제 유생산량은  $31.47 \pm 9.55 \text{kg/day}$ 로 조사되었고,  $NE_L$  allowable milk yield는  $37.24 \pm 8.22 \text{kg/day}$ 로 나타나 실제 유생산량이  $NE_L$  allowable milk yield보다  $5.87 \pm 5.37 \text{kg/day}$ 가 낮았다( $P < 0.05$ ). ERF우군의 실제 유생산량은  $30.70 \pm 9.38 \text{kg/day}$ 로 조사되었고,  $NE_L$  allowable milk yield는  $33.29 \pm 7.80 \text{kg/day}$ 로 나타나 실제 유생산량이  $NE_L$  allowable milk yield보다  $2.60 \pm 4.48 \text{kg/day}$ 가 낮았다( $P < 0.05$ ). Figure3-4에서는 실제 유생산량과  $NE_L$  allowable milk yield의 scatter plotting을 나타내었는데, ECFF우군은 실제 유생산

량이  $NE_L$  allowable milk yield 보다 88.11%가 , ERFU 우군은 실제 유생산량이  $NE_L$  allowable milk yield 보다 69.54%가 낮게 나타났다.

Table3-4에 나타낸 바와 같이 ECFU우군의 실제 유생산량은  $31.47 \pm 9.55 \text{kg/day}$ 로 조사되었고, MP allowable milk yield는  $37.73 \pm 10.32 \text{kg/day}$ 로 나타나 실제 유생산량이 MP allowable milk yield보다  $6.37 \pm 5.00 \text{kg/day}$ 가 낮았다( $P < 0.05$ ). ERFU우군의 실제 유생산량은  $30.70 \pm 9.38 \text{kg/day}$ 로 조사되었고, MP allowable milk yield는  $31.97 \pm 9.10 \text{kg/day}$ 로 나타나 실제 유생산량이  $NE_L$  allowable milk yield보다  $1.28 \pm 4.15 \text{kg/day}$ 가 낮았다( $P < 0.05$ ). Figure3-5에서는 실제 유생산량과 MP allowable milk yield의 scatter plotting을 나타내었는데, ECFU우군은 실제 유생산량이 MP allowable milk yield 보다 87.70%가 , ERFU 우군은 실제 유생산량이 MP allowable milk yield 보다 59.55%가 낮게 나타났다.

Table3-4. Differences between actual milk yield and allowable milk yields of net energy for lactation( $NE_L$ ) and metabolizable protein(MP) estimated by NRC Nutrients Requirement of Dairy Cattle Program(2001) in Holstein lactating cows raised in Korea

Items		Actual milk (kg/day)	Allowable milk (kg/day)	Difference (kg/day)	P value <sup>2</sup>
$NE_L$ allowable milk	NCFE <sup>3</sup>	31.47 ± 9.55 <sup>1</sup>	37.24 ± 8.22	-5.87 ± 5.37	<0.05
	NRFF <sup>3</sup>	30.70 ± 9.38	33.29 ± 7.80**	-2.60 ± 4.48**	<0.05
MP allowable milk	NCFE	31.47 ± 9.55	37.73 ± 10.32	-6.37 ± 5.00	<0.05
	NRFF	30.70 ± 9.38	31.97 ± 9.10**	-1.28 ± 4.15**	<0.05

<sup>1</sup> : Average±standard deviation

<sup>2</sup> : Provarbility between actual milk *versus* allowable milk in each row

<sup>3</sup> : ECFF-enforced concentrate feeding farm; ERFF-enforced roughage feeding farm.

\* : Means within the same column in each items( $NE_L$  allowable milk, MP allowable milk) are differ significantly(P<0.05)

\*\* : Means within the same column in each items( $NE_L$  allowable milk, MP allowable milk) are differ significantly(P<0.01)

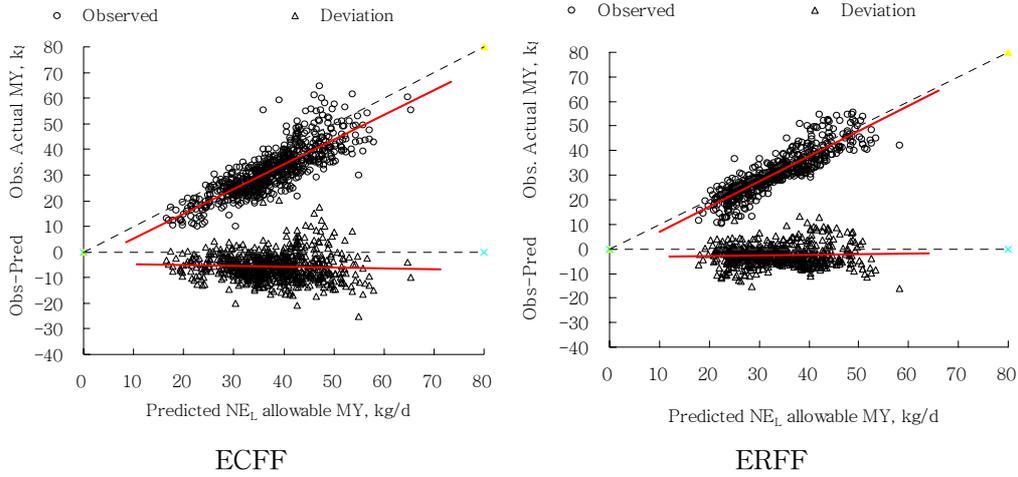


Figure3-4. Scatter plotting of actual milk yield *versus* net energy for lactation( $NE_L$ ) allowable milk yield estimated by NRC Nutrients Requirement of Dairy Cattle Program(2001) in Holstein lactating cows raised in Korea. The dashed line represents  $y=x$ .

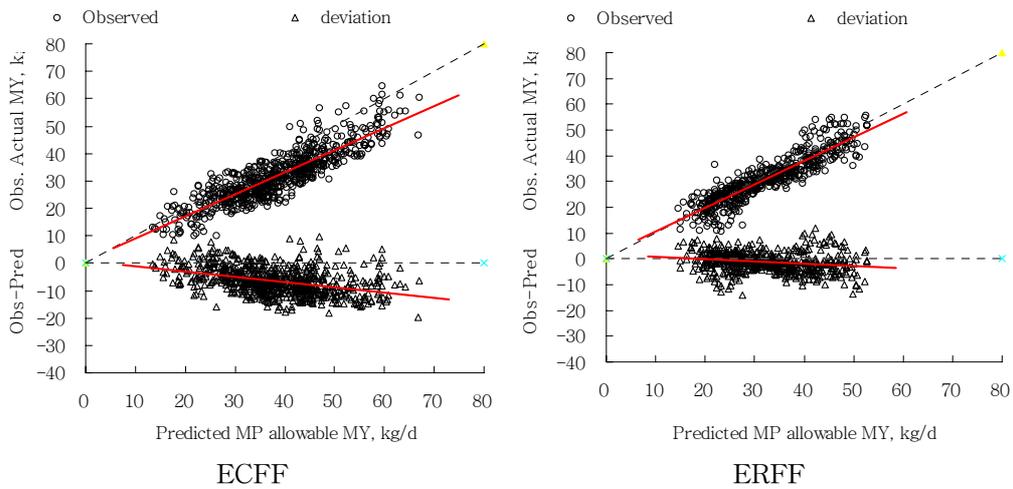


Figure3-5. Scatter plotting of actual milk yield *versus* metabolizable protein(MP) allowable milk yield estimated by NRC Nutrients Requirement of Dairy Cattle Program(2001) in Holstein lactating cows raised in Korea. The dashed line represents  $y=x$ .

## 라. 요약

국내에서 사육되고 있는 착유우를 대상으로 하여 농후사료위주관리농가(농후사료65%DM이상 급여, enforced concentrate farm, ECFE) 5개 농가와 조사료위주관리농가(농후사료 65%DM이하 급여, enforced roughage farm, ERFE) 7개 농가를 선정하여 건물섭취량과 영양소의 이용성을 알아보기 위하여 NRC2001 영양소 균형 평가 프로그램을 이용하여 균형 및 유생산성을 평가하였다.

ECFE우군과 ERFE우군의 건물섭취량의 변화와 영양소의 이용성 및 유생산성 평가결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) ECFE우군의 실제 건물섭취량은  $24.57 \pm 3.37 \text{kg/day}$ , ERFE우군의 실제 건물섭취량은  $22.78 \pm 3.21 \text{kg/day}$ 로 ECFE우군의 건물섭취량이 높았다( $P < 0.05$ ).
- 2) ECFE우군과 ERFE우군의 실제 건물섭취량은 NRC2001이 추정하는 건물섭취 요구량 보다 각각  $2.51 \pm 2.80 \text{kg/day}$ ,  $0.54 \pm 2.82 \text{kg/day}$ 가 높았다( $P < 0.05$ ).
- 3) ECFE우군과 ERFE우군 모두 실제 건물섭취량으로부터 계산한  $NE_L$  및 MP 섭취량은 NRC2001이 추정하는  $NE_L$  및 MP 요구량보다 높게 나타났으며, 또한  $NE_L$  allowable milk yield 및 MP allowable milk yield 역시 실제 유생산량 보다 높게 나타났다( $P < 0.05$ ). 이는 실제 건물섭취량이 NRC2001이 추정하는 건물섭취 요구량보다 높았기 때문이라고 생각한다.
- 4) ECFE우군의 유생산량은  $31.47 \pm 9.55 \text{kg/day}$ , ERFE우군의 유생산량은  $30.70 \pm 9.38 \text{kg/day}$ 로 유사하게 나타났으나, NRC2001 건물섭취량과 영양소 섭취량을 기준으로 볼 때 건물섭취균형,  $NE_L$ , MP 균형과 allowable milk yield 균형은 ECFE우군이 ERFE우군보다 크게 나타났다( $P < 0.01$ ).

위의 연구결과들로부터 국내 사육 착유우는 사료급여 관리 유형 즉 농후사료 위주관리와 조사료위주관리에 따라서 실제생산성은 비슷하게 나타났으나, allowable milk yield,  $NE_L$ , MP 균형을 고려하여 볼 때 영양소의 이용성에는 차이가 나타나고 있다.

## 2. 환경온도에 따른 건물섭취 및 영양소 균형 조사

### 가. 서론

착유우의 열적중성대(thermal neutral zone, TNZ zone)는 일반적으로 5~20℃의 범위이나 개체에 따라서는 차이가 있다. 대기온도가 TNZ zone의 범위를 벗어난 경우에는 착유우의 건물 섭취량 및 대사활력은 변하게 된다. 더위에 노출된 착유우는 건물 섭취량이 TNZ zone에서 보다 최대 55%까지 감소될 수 있으며, 유지에너지 요구량은 7 ~ 25% 가량 증가된다(NRC, 1981). 그리고 착유우는 열전도율, 기초 대사율 및 건물 섭취량을 증가시킴으로써 장기적인 추위에 적응한다고 한다(Young, 1983). 이러한 관점에서 볼 때, 기온 환경은 착유우의 대사 반응에 중요할 뿐만 아니라, 그 생산성을 추정함에 있어서도 간과할 수 없는 요인이라고 판단된다.

Eastridge et al.(1998)은 온도가 열적 중성대 범위를 벗어나는 경우에는 다음과 같은 변화가 발생한다는 것을 제시하였다.  $Temp > 20^{\circ}C$ 이면  $DMI \times (1 - ((^{\circ}C - 20) \times 0.005922))$ 이고,  $Temp < 5^{\circ}C$ 이면  $DMI \times (1 - ((5 - ^{\circ}C) \times 0.004644))$ 이다. 고온 스트레스 기간의 낮은 유생산량을 토대로 하여 DMI 추정식(1-2)을 이용하여 DMI를 추정함에 있어 Eastridge 등(1998)의 보정 요인을 적용하는 것은 극도로 낮은 DMI를 추정하는 결과를 낼 수 있다.

추운환경에 있는 착유우는 일반적으로 많은 양의 사료를 섭취함으로써 인하여 열 발생량이 높기 때문에 에너지 요구량의 변화는 아마도 적을 것이다(NRC2001). 자연적으로 공기 순환이 잘 되는 free-stall housing system에 있어서 만약 착유우가 건조한 상태를 유지하고, 바람에 직접 노출되지 않는다면, 추운환경에 대응하기 위한 에너지 섭취량이 증가할 것이라는 이론은 일치하지 않을 것이다(NRC2001). Young(1976)은 반추동물을 이용한 실험에서 대기 온도가 20℃이하인 조건에서 대기 온도가 10℃ 감소할 때마다 평균 1.8%의 건물 소화율의 감소가 나타난다고 하였다. 추운환경에서 이와 같이 낮아진 소화율은 소화관 내 사료의 증가된 통과속도와 관련이 있을 것이다(Kennedy et al., 1976). 소화율에 있어 낮은 온도가 미치는 영향 때문에, 극도로 추운 날씨 조건에서 사료의 에너지 값은 아마도 추정된 에너지 값 보다 낮을 것이다.

위와 같은 이유로 NRC2001 dairy model은 착유우의 건물섭취, 에너지 및 단백질 요구량을 권장함에 있어 가축적요인(대사체중, 4%지방보정유량, 비유일수 등)만 고려하고 있으며 환경적요인(온도, 급여사료의 조성 등)을 고려하지 않고 있다. 그러나 계절별 온도 및 기상변화가 뚜렷한 국내의 젖소 사육환경은 NRC2001 dairy model의 건물섭취 및 영양소 요구량 추정이 맞지 않을 수가 있다.

따라서 본 연구에서는 저온환경이 착유우의 건물 및 영양소 섭취량, 그리고 유생산성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 착유우 24두를 공시하여 LCT zone에 해당하는 2월달과 TNZ zone에 해당하는 4월과 5월에 본 실험을 수행하였고, NRC2001 영양소 균형 평가 프로그램을 이용하여 건물섭취 균형, 영양소 이용성 및 유생산성을 평가하였다.

## 나. 재료 및 방법

### 1) 가축정보 및 사료평가

#### 가) 공시동물

건국대학교 파주종합실습목장의 착유우 24두를 공시하였으며, 산차, 비유일수를 고려하여 12두씩 2개 구로 분리하였으며, 톱밥발효우사에서 사육하였다.

#### 나) 실험장소 및 기간

본 실험은 경기도 파주읍 삼방리에 위치한 건국대학교 파주종합실습목장에서 진행되었다. 하한임계온도(low critical zone, LCT zone)기간의 실험은 2005년 02월 18일부터 2005년 2월 24일, 열적중성대(thermoneutral zone, TNZ zone)기간의 실험은 2005년 4월 27일부터 2005년 5월 3일 까지 각각 7일 동안 수행하였고 본 실험전 individual electronic feeding gates와 실험사료의 적응을 위하여 2주 동안 예비실험을 실시하였다.

#### 다) 급여사료 정보 및 사료섭취량 측정

실험우에게 급여된 total mixed ration(TMR)의 배합비와 화학성분은 Table3-6

에 나타내었다. 급여된 TMR의 건물함량과 농후사료 비율은 각각 62.45%, 69.95%DM으로 나타났으며, NDF와 조사료 유래의 NDF는 각각 36.75%DM, 16.77%DM 이었고 CP와 EE는 각각 16.38%DM, 3.55%DM으로 나타났다. 급여사료의 NE<sub>L</sub> 농도는 1.51Mcal/kgDM으로 나타났다. 개체 별 사료 섭취량을 측정하기 위하여 individual electronic feeding gates(American Calan, Inc., North-wood, NH)를 이용하였고(Figure3-6), 급여사료는 오전 10와 오후 5시에 섭취량의 110%를 급여하였으며, 익일 오전 9시에 잔량을 측정하여 개체 별 사료섭취량을 측정하였다.

#### 라) 유생산 및 유조성 조사

실험우는 오전4시와 오후4시에 일일 2회 착유를 실시하였고, 유생산량은  $\alpha$ -Laval을 이용하여 기록하였다. 유성분은 오전 착유와 오후 착유의 sample 각각 채취하여 Milco-scan 'System 4300'을 이용하여 분석하였고 오전과 오후의 평균값을 산출하였다.

#### 마) 사료성분 분석

실험에 이용된 commercial concentrate, corn cracked, cottonseed, wheat bran, alfalfa hay, wheat straw, rye grass silage는 NRC2001이 요구하는 사료의 화학성분을 분석하였고 Table3-5에 나타내었다.

Dry matter(DM), Crude ash(Ash), Crude protein(CP), Ether extract(EE), Acid detergent fiber(ADF), Acid detergent lignin(ADL)은 A.O.A.C(1990)의 분석 방법을 이용하였고, Heat-stable  $\alpha$ -amylase treated neutral detergent fiber(aNDF)는 Mertens등(2002)의 방법에 따라 분석 하였으며, neutral detergent insoluble crude protein(NDICP), acid detergent insoluble crude protein(ADICP)는 Licitra등(1996)의 방법에 따라 분석하였다.

#### 2) 온도환경 및 기상조사

실험 기간 중 평균온도, 최고온도, 최저온도, 상대습도 및 풍속은 파주지역의 기상청 자료를 이용하였으며 Table3-7에 나타내었다. 평균온도는 LCT zone이  $-3.83\pm 3.64$  °C, TNZ zone이  $17.43\pm 2.57$  °C를 나타내었으며, 최고온도는 LCT zone

이  $0.99 \pm 3.33$  °C, TNZ zone이  $25.20 \pm 3.22$  °C를 나타내었고, 최저온도는 LCT zone이  $-8.37 \pm 4.70$  °C, TNZ zone이  $10.30 \pm 3.54$  °C를 나타내었다. 상대습도는 LCT zone이  $55.79 \pm 13.30\%$ , TNZ zone이  $59.74 \pm 16.76\%$ 를 나타내었다.

### 3) 영양소 균형 및 유생산성 평가

NRC Nutrients Requirement of Dairy Cattle Program(version 1.0), 2001을 이용하여 개체 별 건물 섭취량(dry matter intake, DMI), 정미 에너지(net energy for lactation, NE<sub>L</sub>), 대사 단백질(metabolizable protein, MP)의 균형 평가 및 유생산성 평가를 실시하였다.

가축정보 중 분만간격, 초산분만 개월령 및 일당 증체량은 각각 12개월, 24개월 및 0g/일로 일률적으로 적용하였고, 체중, BCS, 산차, 비유일수, 임신일수, 유생산량, 유지방 및 유단백은 한국중축개량협회의 조사 자료를 이용하였다. 착유우의 성숙 체중과 송아지 출생 시 체중은 NRC2001이 제시하는 자료를 이용하였다.

일반성분 및 aNDF, ADF, ADL, NDICP, ADICP는 본 연구의 분석 자료를 이용하였으며, processing adjustment factor(PAF), 단백질 분획(%CP), Protein Digestion Rate(%hr), RUP Digest(%), Fat Digest(%), NDF Digest(%), NRC2001의 feed library에 수록된 값을 이용하였다.

### 4) 통계처리

결과는 SAS(Strategic Application Software) statistic package program(2001, release. 8.02 version)의 TTEST procedure를 이용하여 student t-test를 실시하여 유의성을 검정하였다.

실제 건물섭취량 및 실제 건물섭취량을 이용하여 NRC2001이 제시하는 계산 공식을 이용한 NE<sub>L</sub> 및 MP 섭취량과 NRC2001이 추정하는 건물 섭취요구량, NE<sub>L</sub> 섭취 요구량 및 MP 섭취 요구량의 결과는 SAS의 TTEST procedure를 이용하여 paired t-test procedure를 이용하여 유의성을 검정하였으며, 자료의 분포 유형을 알아보기 위하여 scatter plotting을 실시하였다.



Figure3-6. Electronic feeding gate used for this study.

Table 3-5. Chemical compositions of feedstuffs in this experiment

Item	Dry Matter (%As-Fed)	CP (%DM)	Fat (%DM)	Ash (%DM)	NDF (%DM)	ADF (%DM)	ADL (%DM)	NDICP (%DM)	ADICP (%DM)
Concentrate	89.32	20.58	3.09	8.57	25.39	9.51	3.90	4.93	1.63
Corn cracked	87.46	8.59	2.77	7.05	19.99	2.99	2.30	1.82	0.19
Wheat bran	87.53	16.22	4.26	4.12	41.79	11.48	3.82	3.96	0.36
Cottonseed	90.62	18.21	15.83	3.67	58.40	41.73	10.83	1.49	0.69
Alfalfa hay	90.47	17.78	2.18	8.11	45.83	39.86	11.91	2.38	1.20
Wheat straw	91.40	4.88	1.64	5.04	79.23	52.85	12.18	0.94	0.35
Rye grass silage	19.98	8.02	1.32	8.55	67.34	43.18	9.18	2.37	1.04

Table3-6 Ingredient ratios and chemical composition for experimental diets

Item	TMR
Ingredient	
Concentrate(%DM)	41.28
Corn cracked(%DM)	13.47
Wheat bran(%DM)	9.68
Cottonseed(%DM)	5.73
Alfalfa hay(%DM)	15.01
Wheat straw(%DM)	2.53
Rye grass silage(%DM)	12.31
Diet compositions	
Dry matter(%)	62.45
C:F ratio(%DM)	69.65
Crude protein(%DM)	16.38
Ether extract(%DM)	3.55
Nonfibrous carbohydrate(%DM)	38.75
Neutral detergent fiber(%DM)	36.75
Forage neutral detergent fiber(%DM)	16.77
Acid detergent fiber(%DM)	19.49
Acid detergent lignin(%DM)	5.94
Ruminally degraded protein(%DM)*	11.41
Ruminally undegraded protein(%DM)*	4.97
Net energy for lactation(Mcal/kgDM)*	1.51

\* The values were estimated by NRC nutrients requirement of dairy cattle program(version 1.0), 2001.

Table3-7 Environmental conditions of experimental period

Item	LCT zone	TNZ zone
Mean Temperature, °C	-3.83 ± 3.64	17.43 ± 2.57
Lower Temperature, °C	-8.37 ± 4.70	10.30 ± 3.54
Upper Temperature, °C	0.99 ± 3.33	25.20 ± 3.22
Wind speed,	3.00 ± 0.71	2.37 ± 0.86
Relative Hummidity, %	55.79 ± 13.39	59.74 ± 16.76

## 다. 결과 및 고찰

### 1) 가축정보, 우유 생산 및 조성

실험우의 평균 체중은 LCT zone이  $656.19 \pm 63.54 \text{kg/day}$ , TNZ zone이  $637.75 \pm 89.69$ 로 LCT zone의 체중이 약 19kg이 높게 나타났으며, 평균 산차는 LCT zone이  $2.96 \pm 1.18$ , TNZ zone이  $2.67 \pm 1.31$ 로 유사하게 나타났다. 평균 비유일수는 LCT zone이  $203.42 \pm 69.56 \text{days}$ , TNZ zone이  $170.83 \pm 79.57$ 로 LCT zone이 약 33days 높게 나타났으며, 평균 임신일수는 LCT zone이  $100.86 \pm 28.52 \text{days}$ , TNZ zone이  $107.20 \pm 25.27$ 로 LCT zone이 약 7days 낮게 나타났다.

실험우의 평균 유생산량은 LCT zone이  $29.45 \pm 5.76 \text{kg/day}$ , TNZ zone이  $29.67 \pm 6.96$ 으로 유사하게 나타났으며, 평균 유지지방함량은 LCT zone이  $4.07 \pm 0.88\%$ , TNZ zone이  $3.65 \pm 0.74\%$ 로 LCT zone이 높게 나타났다. 평균 유단백함량은 LCT zone이  $3.52 \pm 0.31\%$ , TNZ zone이  $3.35 \pm 0.28$ 로 유사하게 나타났으며, 무지고형분은 LCT zone이  $10.81 \pm 0.49\%$ , TNZ zone이  $8.89 \pm 0.40\%$ 로 LCT zone이 높게 나타났다. 총 고형분은 LCT zone이  $15.26 \pm 1.30\%$ , TNZ zone이  $12.52 \pm 0.88\%$ 로 LCT zone가 높게 나타났으며, 우유 중 요소태질소는 LCT zone이  $19.75 \pm 2.34 \text{mg/dl}$ , TNZ zone이  $17.49 \pm 1.43 \text{mg/dl}$ 로 LCT zone이 높게 나타났다.

Table3-8. Animal descriptions and milk compositions of experimental Holstein lactating cows in this experiment

Items	LCT zone <sup>1</sup>	TNZ zone <sup>1</sup>
Animal descriptions		
Number of cows	24	24
Body Weight(kg)	656.19 ± 63.54 <sup>2</sup>	637.75 ± 89.69**
Parity	2.96 ± 1.28	2.67 ± 1.31*
Body condition score	2.92 ± 0.40	2.73 ± 0.46
Days in milk(days)	203.42 ± 69.56	170.83 ± 79.57**
Days pregnant(days)	100.86 ± 28.52	107.20 ± 25.27*
Milk yield and compositions		
Yield(kg/day)	29.45 ± 5.76	29.67 ± 6.96
Fat(%)	4.07 ± 0.88	3.65 ± 0.74**
Protein(%)	3.52 ± 0.31	3.35 ± 0.28**
Solid not fat(%)	10.81 ± 0.49	8.89 ± 0.40**
Total solid(%)	15.26 ± 1.30	12.52 ± 0.88**
Urea nitrogen(mg/dl)	19.75 ± 2.34	17.49 ± 1.43**
Somatic cell count(10 <sup>3</sup> /ml)	194.88 ± 309.37	224.85 ± 357.17

<sup>1</sup> : LCT zone-low critical temperature zone; TNZ zone-thermoneutral zone.

<sup>2</sup> : Average±standard deviation.

\* : Means within the same row are differ significantly(P<0.05).

\*\* : Means within the same row are differ significantly(P<0.01).

## 2) 영양소 균형 평가

실험우의 실제 건물섭취량, 실제 건물섭취량을 이용하여 NRC2001이 제시하는 계산공식을 이용한 NE<sub>L</sub> 및 MP섭취량과 NRC2001이 추정하는 건물섭취 요구량, NE<sub>L</sub>섭취 요구량 및 MP섭취 요구량의 결과를 Table3-8에 나타내었다. 또한 Figure3-7에는 실험우의 실제 건물섭취량과 NRC2001이 추정하는 건물섭취 요구량의 scatter plotting을 나타내었으며, Figure3-8과 Figure3-9에는 실제 건물섭취량을 이용하여 NRC2001이 제시하는 계산 공식을 이용한 착유우의 NE<sub>L</sub> 및 MP섭취량과 NRC2001이 추정하는 NE<sub>L</sub> 및 MP섭취 요구량의 scatter plotting을 각각 나타내었다.

가) 건물 섭취(Dry matter intake)

Table3-9에 나타낸 바와 같이 착유우의 실제 건물섭취량은 LCT zone이  $26.15 \pm 4.02 \text{kg/day}$ , TNZ zone이  $25.96 \pm 4.26 \text{kg/day}$ 로 나타났고, NRC2001이 추정 한 건물섭취 요구량은 LCT zone이  $23.15 \pm 3.09 \text{kg/day}$ , TNZ zone이  $21.89 \pm 2.69 \text{kg/day}$ 로 나타났으며, NRC2001이 추정 한 건물섭취 요구량보다 실제 건물섭취량은 LCT zone이  $3.00 \pm 3.64 \text{kg/day}$ , TNZ zone이  $4.07 \pm 3.30 \text{kg/day}$  높게 나타났다( $P < 0.05$ ). 또한 Figure3-7에 나타낸 바와 같이 실험우의 실제 건물섭취량과 NRC2001이 추정 한 건물섭취 요구량의 scatter plotting에서는 NRC2001이 추정하는 건물섭취 요구량 보다 LCT zone이 81.55%, TNZ zone이 90.48%가 높게 섭취하는 것으로 조사 되었다.

LCT zone의 실제 건물섭취량은  $26.15 \pm 4.02 \text{kg/day}$ , TNZ zone의 실제 건물섭취량은  $25.96 \pm 4.26 \text{kg/day}$ 로 유의차는 나타나지 않았다.

LCT zone 및 TNZ zone의 건물섭취량은 NRC2001이 추정하는 건물섭취 요구량 보다 공히 높게 나타났으며, 이는 실험우에게 급여된 사료의 농후사료 비율이 69.65%DM으로 낮으며, forage NDF가 16.77%DM으로 NRC2001의 최소 권장안 19.00%DM의 비율 보다 낮은것이 원인이라고 생각된다. 또한 TNZ zone의 건물섭취균형의 차이가 LCT zone의 건물섭취 균형의 차이보다 큰 것은 TNZ zone의 평균 유지방 함량이 LCT zone의 평균 유지방 함량보다 낮았기 때문이라고 생각한다.

나) 정미 에너지(Net energy for lactation,  $NE_L$ )

Table3-9에 나타낸 바와 같이 실험우의 실제 섭취한 건물량을 이용하여 NRC2001이 제시하는 계산식으로 추정 한  $NE_L$  섭취량은 LCT zone이  $39.26 \pm 5.23 \text{McalDM/day}$ , TNZ zone이  $39.20 \pm 5.67 \text{McalDM/day}$ 로 나타났고, NRC2001이 추정 한  $NE_L$  요구량은 LCT zone이  $33.30 \pm 5.64 \text{McalDM/day}$ , TNZ zone이  $31.54 \pm 4.90 \text{McalDM/day}$ 로 나타나 LCT zone은 NRC2001이 추정 한  $NE_L$  요구량 보다  $5.97 \pm 5.29 \text{McalDM/day}$ 가 높았으며, TNZ zone은 NRC2001이 추정 한  $NE_L$  요구량 보다  $7.66 \pm 5.35 \text{McalDM/day}$ 가 높은 것으로 나타났다( $P < 0.05$ ). 또한 Figure3-8에 나타낸 바와 같이 실험우가 실제 섭취한 건물량을 이용하여 NRC2001이 제시하는 계산식으로 추정 한  $NE_L$  섭취량과  $NE_L$  요구량의 scatter

plotting에서는 NRC2001이 추정하는 NE<sub>L</sub> 요구량 보다 LCT zone은 85.71%, TNZ zone은 91.67%가 높게 섭취한 것으로 나타났다.

본 실험의 결과 NRC2001이 추정하는 NE<sub>L</sub> 요구량 보다 LCT zone과 TNZ zone이 공히 더 많이 섭취한 것은 NRC2001이 추정하는 건물섭취 요구량 보다 더 많은 건물을 섭취한 것이 원인이 될 수 있을 것으로 생각된다. 또한 LCT zone과 TNZ zone 모두 NE<sub>L</sub> 섭취량은 유사하나 NE<sub>L</sub> 섭취 균형에 있어서 TNZ zone의 NE<sub>L</sub> 균형이 더 크게 나타난 것은 NRC2001이 추정하는 TNZ zone의 NE<sub>L</sub> 요구량이 LCT zone 보다 낮았기 때문이며, 이는 TNZ zone의 유지방함량이 LCT zone 보다 낮았기 때문이라고 생각한다.

#### 다) 대사 단백질(Metabolizable protein, MP)

Table3-9에 나타낸 바와 같이 실험우가 실제 섭취한 건물량을 이용하여 NRC2001이 제시하는 계산식으로 추정된 MP 섭취량은 LCT zone이 2,522.48±413.07gDM/day, TNZ zone이 2,513.79±427.71gDM/day로 조사되었고, NRC2001이 추정된 MP 요구량은 LCT zone이 2,455.39±353.80gDM/day, TNZ zone이 2,378.71±389.20gDM/day로 나타나 LCT zone은 NRC2001이 추정된 MP 요구량 보다 67.09±294.21gDM/day가 높은 것으로 나타났으며, TNZ zone은 NRC2001이 추정된 MP 요구량 보다 135.08±311.92gDM/day가 높은 것으로 나타났다.

Figure3-8에 나타낸 바와 같이 실험우가 실제 섭취한 건물량을 이용하여 NRC2001이 제시하는 계산식으로 추정된 MP 섭취량과 MP 요구량의 scatter plotting에서는 NRC2001이 추정하는 MP 요구량 보다 LCT zone은 58.93%, TNZ zone은 62.50%가 높게 섭취한 것으로 나타났다.

본 실험의 결과 NRC2001이 추정하는 MP 요구량 보다 LCT zone과 TNZ zone이 공히 더 많이 섭취한 것은 NRC2001이 추정하는 건물섭취 요구량 보다 더 많은 건물을 섭취한 것이 원인이 될 수 있을 것으로 생각된다. 또한 LCT zone과 TNZ zone 모두 NE<sub>L</sub> 섭취량은 유사하나 MP 섭취 균형에 있어서 TNZ zone의 MP 균형이 더 크게 나타난 것은 NRC2001이 추정하는 TNZ zone의 MP 요구량이 LCT zone 보다 낮았기 때문이라고 생각한다.

Table3-9. Nutrient balances of investigated Holstein lactating cows raised in Korea estimated by NRC Nutrients Requirement of Dairy Cattle Program(2001)

Items		Intake	Requirement	Difference	P value <sup>3</sup>
Dry matter(kg/day)	LCT zone <sup>1</sup>	26.15 ± 4.02 <sup>2</sup>	23.15 ± 3.09	3.00 ± 3.64	<0.05
	TNZ zone <sup>1</sup>	25.96 ± 4.26	21.89 ± 2.69**	4.07 ± 3.30**	<0.05
Net energy for lactation(Mcal/day)	LCT zone	39.26 ± 5.23	33.30 ± 5.64	5.97 ± 5.29	<0.05
	TNZ zone	39.20 ± 5.67	31.54 ± 4.90**	7.66 ± 5.35**	<0.05
Metabolizable protein(kg/day)	LCT zone	2522.48 ± 413.07	2455.39 ± 353.80	67.09 ± 294.21	<0.05
	TNZ zone	2513.79 ± 427.71	2378.71 ± 389.20	135.08 ± 311.92*	<0.05

<sup>1</sup> : LCT zone-low critical temperature zone; TNZ zone-thermoneutral zone.

<sup>2</sup> : Average±standard deviation.

<sup>3</sup> : Provarbility between intake *versus* requiremnet in each row.

\* : Means within the same column in each items(dry matter, net energy for lactation and metabolizable protein) are differ significantly(P<0.05).

\*\* : Means within the same column in each items(dry matter, net energy for lactation and metabolizable protein) are differ significantly(P<0.01).

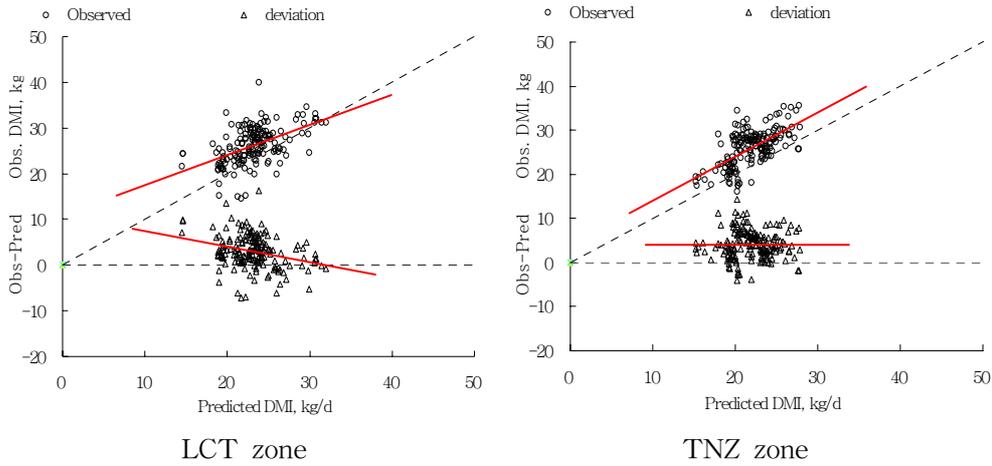


Figure3-7. Scatter plotting of actual dry matter(DM) intake *versus* DM requirement estimated by NRC Nutrients Requirement of Dairy Cattle Program(2001) in Holstein lactating cows raised in Korea. The dashed line represents  $y=x$  and  $y=0$ .

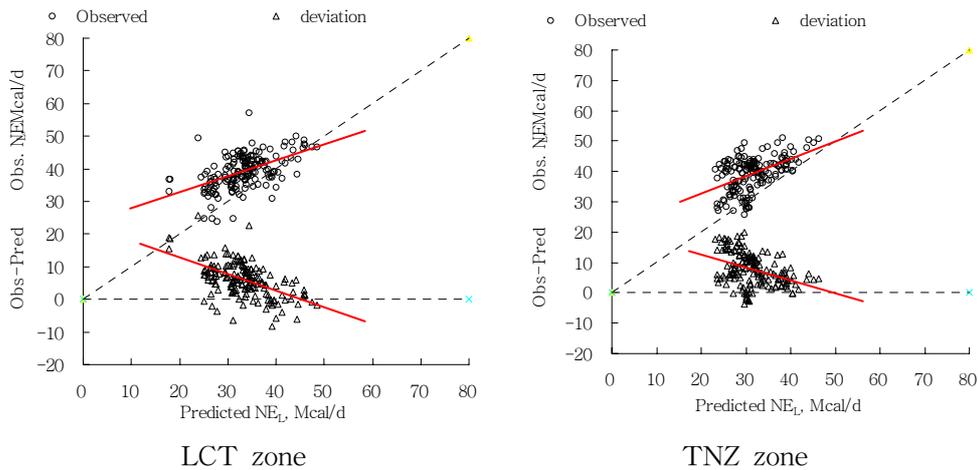


Figure3-8. Scatter plotting of net energy for lactation(NE<sub>L</sub>) intake *versus* NE<sub>L</sub> requirement estimated by NRC Nutrients Requirement of Dairy Cattle Program(2001) in Holstein lactating cows raised in Korea. The dashed line represents  $y=x$  and  $y=0$ .

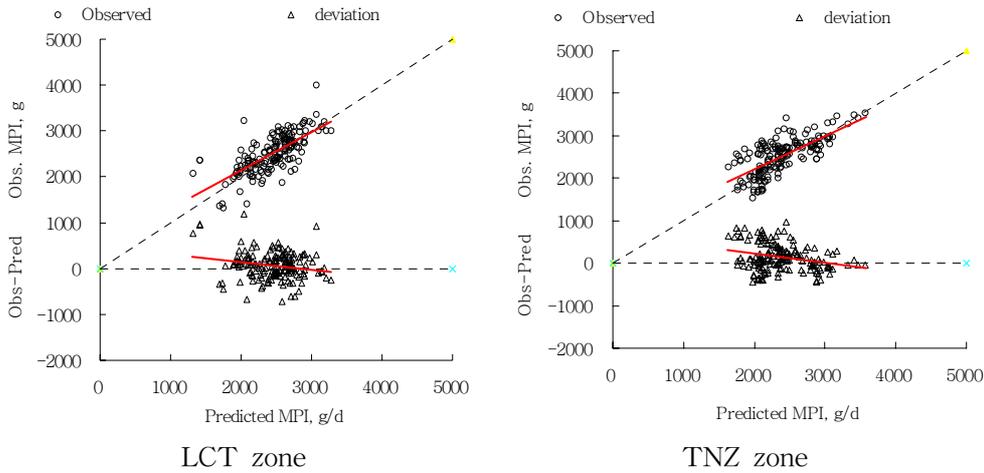


Figure3-9. Scatter plotting of metabolizable protein(MP) intake *versus* MP requirement estimated by NRC Nutrients Requirement of Dairy Cattle Program(2001) in Holstein lactating cows raised in Korea. The dashed line represents  $y=x$  and  $y=0$ .

### 3) 유생산성 균형 평가

실험우의 실제 유생산량(milk yield, MY)을 측정하였고, NRC2001이 추정하는  $NE_L$  및 MP 섭취량으로부터 가축의 유지요구량, 임신요구량, 성장요구량을 공제한 에너지 및 단백질량으로부터 생산 가능한 유생산량(allowable milk yield, AMY)의 결과를 Table3-10에 비교하였고, Figure3-10과 Figure3-11에는 실험우의 실제 유생산량과  $NE_L$  및 MP allowable milk yield 사이의 scatter plotting을 나타내었다.

Table3-10에 나타낸 바와 같이 LCT zone의 실제 유생산량은  $29.45 \pm 5.76 \text{kg/day}$ 로 나타났고,  $NE_L$  allowable milk yield는  $37.35 \pm 6.33 \text{kg/day}$ 로 나타나 실제 유생산량이  $NE_L$  allowable milk yield보다  $7.90 \pm 7.08 \text{kg/day}$ 가 낮았다( $P < 0.05$ ). TNZ zone의 실제 유생산량은  $29.67 \pm 6.80 \text{kg/day}$ 로 나타났고,  $NE_L$  allowable milk yield는  $40.19 \pm 7.31 \text{kg/day}$ 로 나타나 실제 유생산량이  $NE_L$  allowable milk yield보다  $10.52 \pm 7.31 \text{kg/day}$ 가 낮았다( $P < 0.05$ ). Figure3-10에서는 실제 유생산량과  $NE_L$  allowable milk yield의 scatter plotting을 나타내었는데, LCT zone은 실제 유생산량이  $NE_L$  allowable milk yield 보다 85.71%가, TNZ zone은 실제 유생산량이  $NE_L$

allowable milk yield 보다 91.67%가 낮게 나타났다.

Table3-10에 나타낸 바와 같이 LCT zone의 실제 유생산량은  $29.45 \pm 5.76 \text{kg/day}$ 로 나타났고, MP allowable milk yield는  $30.69 \pm 5.66 \text{kg/day}$ 로 나타나 실제 유생산량이 MP allowable milk yield보다  $1.24 \pm 5.59 \text{kg/day}$ 가 낮았다( $P < 0.05$ ). TNZ zone의 실제 유생산량은  $29.67 \pm 6.80 \text{kg/day}$ 로 나타났고, MP allowable milk yield는  $32.18 \pm 5.72 \text{kg/day}$ 로 나타나 실제 유생산량이 NE<sub>L</sub> allowable milk yield보다  $2.51 \pm 6.15 \text{kg/day}$ 가 낮았다( $P < 0.05$ ). Figure3-11에서는 실제 유생산량과 MP allowable milk yield의 scatter plotting을 나타내었는데, LCT zone은 실제 유생산량이 MP allowable milk yield 보다 58.93%, TNZ zone은 실제 유생산량이 MP allowable milk yield 보다 62.50%가 낮게 나타났다.

이상의 연구결과들로부터 국내 사육 착유우는 LCT zone과 TNZ zone에 있어 건물섭취량은 환경온도에 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 그러나 본 실험에서 그 차이가 나타나지 않은 이유로 첫째, LCT zone의 환경온도가 실제 국내의 혹한기를 대표할 만큼 춥지 않았으므로 LCT zone과 TNZ zone의 온도차이가 크게 나타나지 않았다는 것이며, 둘째, 실험에 사용된 착유우의 실제건물섭취량 자체가 높기 때문에 온도의 변화조건을 민감하게 받아들이지 않을 수 있다는 것이다. 유조성은 LCT zone 조건에서 더 높게 나타났으며, 환경온도에 따른 건물섭취량(DMI)의 변화와 유조성의 변화는 보다 환경제어가 잘 될 수 있는 조건에서 추가적인 연구가 필요하다고 생각한다.

Table3-10. Differences between actual milk yield and allowable milk yields of net energy for lactation( $NE_L$ ) and metabolizable protein(MP) estimated by NRC Nutrients Requirement of Dairy Cattle Program(2001) in Holstein lactating cows raised in Korea

Items		Actual milk (kg/day)	Allowable milk (kg/day)	Difference (kg/day)	P value <sup>3</sup>
$NE_L$ allowable milk	LCT zone <sup>1</sup>	29.45 ± 5.76 <sup>2</sup>	37.35 ± 6.33	-7.90 ± 7.08	<0.05
	TNZ zone <sup>1</sup>	29.67 ± 6.80	40.19 ± 7.31 <sup>**</sup>	-10.52 ± 7.31 <sup>**</sup>	<0.05
MP allowable milk	LCT zone	29.45 ± 5.76	30.69 ± 5.66	-1.24 ± 5.59	<0.05
	TNZ zone	29.67 ± 6.80	32.18 ± 5.72 <sup>*</sup>	-2.51 ± 6.15 <sup>*</sup>	<0.05

<sup>1</sup> : LCT zone-low critical temperature zone; TNZ zone-thermoneutral zone.

<sup>2</sup> : Average±standard deviation

<sup>3</sup> : Provarbility between actual milk *versus* allowable milk in each row

<sup>\*</sup> : Means within the same column in each items( $NE_L$  allowable milk, MP allowable milk) are differ significantly(P<0.05)

<sup>\*\*</sup> : Means within the same column in each items( $NE_L$  allowable milk, MP allowable milk) are differ significantly(P<0.01)

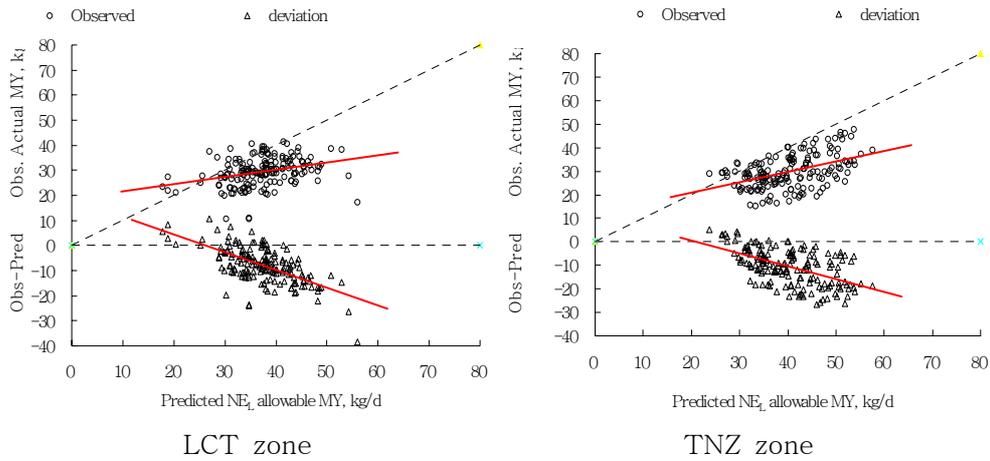


Figure3-10. Scatter plotting of actual milk yield *versus* net energy for lactation(NE<sub>L</sub>) allowable milk yield estimated by NRC Nutrients Requirement of Dairy Cattle Program(2001) in Holstein lactating cows raised in Korea. The dashed line represents  $y=x$  and  $y=0$ .

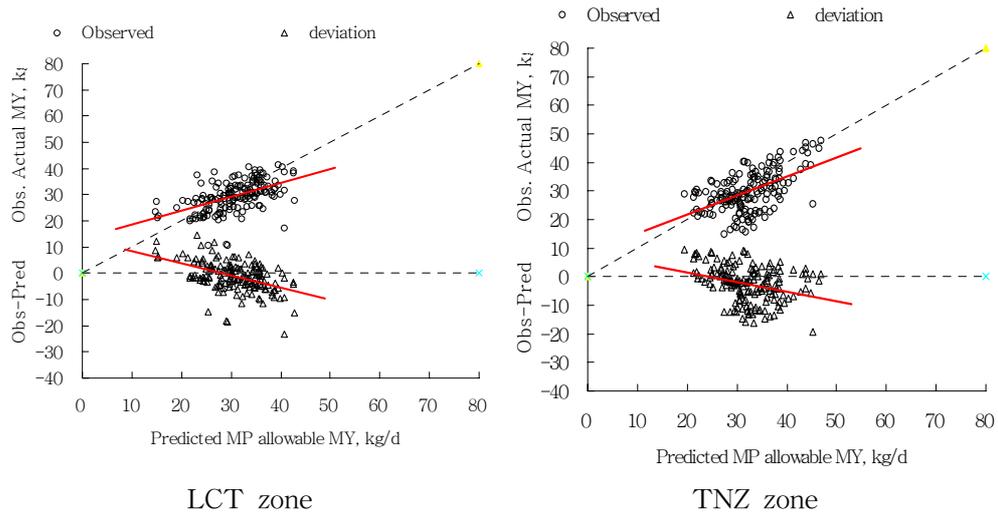


Figure3-11. Scatter plotting of actual milk yield *versus* metabolizable protein(MP) allowable milk yield estimated by NRC Nutrients Requirement of Dairy Cattle Program(2001) in Holstein lactating cows raised in Korea. The dashed line represents  $y=x$  and  $y=0$ .

## 라. 요약

본 연구는 계절 별 온도 및 기상변화가 뚜렷한 국내 사육환경에 있어 건물섭취량의 변화와 NRC2001 dariy model의 영양소권장안의 적용성을 알아보기 위하여 24두의 착유우를 공시하여 농후사료 비율이 69.65%DM이고, 조사료 유래의 NDF가 19.49%DM인 TMR을 급여시 착유우의 LCT zone에 해당하는 2월달과 TNZ zone에 해당하는 4월과 5월에 착유우의 건물섭취량의 변화와 영양소의 이용성 및 유생산성을 평가하였다.

LCT zone 및 TNZ zone의 착유우의 건물섭취 변화 및 영양소 이용 및 유생산성 평가 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) LCT zone의 평균 온도는  $-3.83\pm 3.64^{\circ}\text{C}$ 이고 평균 건물섭취량은  $26.15\pm 4.02\text{kg/day}$ 로 나타났으며, TNZ zone의 평균 온도는  $17.43\pm 2.57^{\circ}\text{C}$ 이고 평균 건물섭취량은  $25.96\pm 4.26\text{kg/day}$ 로 나타나 온도 차이에 따른 건물섭취량의 차이는 나타나지 않았다.
- 2) LCT zone과 TNZ zone 모두 NRC2001이 추정하는 건물섭취 요구량 보다 높게 나타났으며, 이는 급여 TMR의 농후사료 비율이 69.65%DM으로 높았고, 조사료 유래의 NDF가 19.49%DM으로 낮았기 때문이라고 생각한다.
- 3) LCT zone과 TNZ zone 모두 실제 건물섭취량으로부터 계산한  $\text{NE}_L$  및 MP 섭취량은 NRC2001이 추정하는  $\text{NE}_L$  및 MP 요구량보다 높게 나타났으며, 또한  $\text{NE}_L$  allowable milk yield 및 MP allowable milk yield 역시 실제 유생산량 보다 높게 나타났다( $P<0.05$ ). 이는 실제 건물섭취량이 NRC2001이 추정하는 건물섭취 요구량보다 높았기 때문이라고 생각한다.
- 4) LCT zone의 평균 유생산량은  $29.45\pm 5.67\text{kg/day}$ , TNZ zone의 평균 유생산량은  $29.67\pm 6.80\text{kg/day}$ 로 유의차는 나타나지 않았으나, LCT zone의 유지방, 유단백, 무지고형분, 총고형분, 요소태질소의 함량이 TNZ zone보다 높게 나타났다( $P<0.01$ ).

### 3. 건물과 영양소 섭취조절에 의한 생산성 변화 조사

#### 가. 서론

한국젖소사양표준(2002)에서는 국내의 조사료 수급 여건에서 조사료로부터 공급되는 NDF는 건물기준으로 평균 73%로서 75%를 권장한 NRC2001 보다 낮게 급여되고 있으나 최저 53%에서 최고 93%로서 변이가 상당히 심하다고 하였다. 국내 사육 착유우의 사료급여 환경은 조사료의 수급 여건에 따라 다양하게 변화되며, 현재 양질 조사료의 가격이 농후사료의 가격 보다 비싸다는 것을 고려하여 볼 때 국내 사육 착유우는 대부분이 농후사료 위주의 관리가 되고 있다고 생각한다.

상기 연구 1에서 국내 사육 착유우의 건물섭취량 및 유생산성 조사에서 농후사료 위주의 사양관리는 NRC2001 건물섭취 및 영양소 권장안 보다 많이 섭취하는 것으로 조사되었으며, 조사료위주의 사양관리와 유생산성은 비슷하나 조사료위주의 사양관리 보다 영양소의 이용성은 낮게 평가되었다.

따라서 본 연구에서는 농후사료 위주의 사양관리에 있어 실험우의 개체 별 건물섭취량을 조사하여, NRC2001이 제시하는 영양소 권장량을 실험우의 건물섭취 수준에 맞추어 급여하고, 그리고 NRC2001이 추정하는 건물섭취량에 맞추어 NRC2001이 제시하는 영양소 권장량을 급여함에 따른 영양소의 이용성과 유생산성을 평가하였다.

#### 나. 재료 및 방법

##### 1) 가축정보 및 사료평가

###### 가) 공시동물

건국대학교 파주종합실습목장의 24두 착유우를 공시하였으며, 산차, 비유일수를 고려하여 12두씩 2개 구로 배치하였으며, 톱밥발효우사에서 사육하였다.

###### 나) 실험장소 및 기간

본 실험은 경기도 파주읍 삼방리에 위치한 건국대학교 파주종합실습목장에서 2005

년 5월 6일부터 2005년 5월 17까지 2주 동안 진행되었다. 본 실험 전 individual electronic feeding gate와 실험사료 및 사료급여 방법에 대한 적응을 위하여 2주 동안 예비실험을 실시하였다.

다) 급여사료 정보 및 사료섭취량 측정

실험우에게 급여된 기본 TMR의 배합비 및 배합사료와 기본 TMR의 화학성분은 Table3-11에 나타내었다.

개체 별 사료 섭취량을 측정하기 위하여 individual electronic feeding gate (American Calan, Inc., North-wood, NH)를 이용하였고, 급여사료는 섭취량의 110%를 오전 10와 오후 5시에 2회 급여하였으며, 다음날 오전 9시에 잔량을 측정하여 개체별 사료섭취량을 측정하였다.

라) 건물섭취 및 영양소 급여수준

예비실험 2주 동안 individual electronic feeding gate를 이용하여 실험우의 개체별 자유섭취량을 측정하였고, 영양소 급여 수준은 실험우의 가속정보를 이용하여 NRC2001 영양소 균형 평가 프로그램을 통하여 산출하였으며, 대조구는 실험우의 자유섭취량을 기준으로 농후사료는 제한급여를 하였고, 기본 TMR은 자유채식토록 하였으며, 시험구는 NRC2001 건물섭취 권장안을 기준으로 농후사료 및 기본 TMR은 제한급여를 하였다.

마) 유 생산 및 유 조성 조사

실험우는 일일 2회 착유(오전4시, 오후4시), 유생산량은  $\alpha$ -Laval을 이용하여 기록하였다. 유성분은 오전 착유와 오후 착유의 sample을 각각 채취하여 Milco-scan 'System 4300'을 이용하여 분석하였고 오전과 오후의 평균값을 산출하였다.

바) 사료성분 분석

실험에 이용된 시판 배합사료, TMR의 Dry matter(DM), Crude ash(Ash), Crude protein(CP), Ether extract(EE), Acid detergent fiber(ADF), Acid detergent lignin(ADL)은 A.O.A.C(1990)의 분석 방법을 이용하였고, Heat-stable  $\alpha$ -amylase treated neutral detergent fiber(aNDF)는 Mertens등(2002)의 방법에 따라 분석 하였



Table3-11. Ingredient ratios and chemical composition for concentrate and TMR

Item	Concentrate	TMR
Ingredient		
Concentrate(%DM)		25.89
Corn cracked(%DM)		10.14
Wheat bran(%DM)		12.18
Cottonseed(%DM)		11.56
Alfalfa hay(%DM)		15.73
Wheat straw(%DM)		10.60
Rye grass silage(%DM)		13.90
Diet compositions		
Dry matter(%)	89.32	60.25
C:F ratio(%DM)	-	59.30
Crude protein(%DM)	20.58	15.05
Ether extract(%DM)	3.09	4.15
Nonfibrous carbohydrate(%DM)	42.37	32.07
Neutral detergent fiber(%DM)	25.39	44.01
Forage neutral detergent fiber(%DM)	-	24.27
Acid detergent fiber(%DM)	9.51	25.43
Acid detergent lignin(%DM)	3.90	7.25
Ruminally degraded protein(%DM)*	15.19	11.80
Ruminally undegraded protein(%DM)*	5.63	3.97
Net energy for lactation(Mcal/kgDM)*	1.88	1.57

\* The values were estimated by NRC nutrients requirement of dairy cattle program(version 1.0), 2001.

#### 다. 결과 및 고찰

##### 1) 조사 동물의 정보 및 급여 사료의 영양소 함량

실험우의 평균 체중은 대조구가 635.50±90.79kg/day, 시험구가 637.67±85.96로 나타났다, 평균 산차는 대조구가 2.58±1.26, 시험구가 2.75±1.37로 나타났다. 평균 비유일수는 대조구가 184.33±82.85days, 시험구가 190.33±76.26days로 나타났으며, 임신일수는 대조구가 117.83±19.76days, 시험구가 132.50±29.96로 나타났다.

실험우의 평균 유생산량은 대조구가 27.24±6.21kg/day, 시험구가 28.22±7.63kg/day로 유사하게 나타났으며, 평균 유지방함량은 대조구가 3.67±0.64%, 시험구가 4.04±0.91%로 시험구가 높게 나타났다(P<0.01). 평균 유단백함량은 대조구가

3.31±0.29%, 시험구가 3.18±0.17%로 control이 높았으며, 무지고형분은 대조구가 8.81±0.33%, 시험구가 8.67±0.36%로 대조구가 높게 나타났다(P<0.01). 총 고형분은 대조구가 12.63±0.78%, 시험구가 12.85±0.78%로 시험구가 높게 나타났으며(P<0.01), 우유 중 요소태질소는 대조구가 21.46±1.88mg/dl, 시험구가 19.64±2.46mg/dl로 대조구가 높게 나타났다(P<0.01).

Table3-12. Descriptions, milk yield and diet compositions of experimental Holstein lactating cows in this study

Items	Control	Treat
Animal descriptions		
Number of cows	12	12
Body Weight(kg)	635.50 ± 90.79 <sup>1</sup>	637.67 ± 85.96
Parity	2.58 ± 1.26	2.75 ± 1.37
Body condition score	2.75 ± 0.83	2.67 ± 0.75
Days in milk(days)	184.33 ± 82.85	190.33 ± 76.26
Days pregnant(days)	117.83 ± 19.76	132.50 ± 29.96 <sup>**</sup>
Milk yield and compositions		
Yield(kg/day)	27.24 ± 6.21	28.22 ± 7.63
Fat(%)	3.67 ± 0.64	4.04 ± 0.91 <sup>**</sup>
Protein(%)	3.31 ± 0.29	3.18 ± 0.17 <sup>**</sup>
Solid not fat(%)	8.81 ± 0.33	8.67 ± 0.36 <sup>**</sup>
Total solid(%)	12.63 ± 0.78	12.85 ± 0.78 <sup>**</sup>
Urea nitrogen(mg/dl)	21.46 ± 1.88	19.64 ± 2.46 <sup>**</sup>
Somatic cell count(10 <sup>3</sup> /ml)	211.38 ± 307.50	320.25 ± 474.61 <sup>**</sup>

<sup>1</sup> : Average±standard deviation

\* : Means within the same row are differ significantly(P<0.05)

\*\* : Means within the same row are differ significantly(P<0.01)

## 2) 영양소 균형평가

실험우의 실제 건물섭취량, 실제 건물섭취량을 이용하여 NRC2001이 제시하는 계산식을 이용한 NE<sub>L</sub> 및 MP섭취량과 NRC2001이 추정하는 건물섭취 요구량, NE<sub>L</sub>섭취 요구량 및 MP섭취 요구량의 결과를 Table3-13에 나타내었다. 또한 Figure3-12에는 실험우의 실제 건물섭취량과 NRC2001이 추정하는 건물섭취 요구량의 scatter plotting을 나타내었으며, Figure3-13과 Figure3-14에는 실제 건물섭취량을 이용하여

NRC2001이 제시하는 계산 공식을 이용한 착유우의  $NE_L$  및 MP섭취량과 NRC2001이 추정하는  $NE_L$  및 MP섭취 요구량의 scatter plotting을 각각 나타내었다.

가) 건물섭취(Dry matter intake)

Table3-13에 나타낸 바와 같이 착유우의 실제 건물섭취량은 대조구가  $23.82 \pm 4.00 \text{kg/day}$ , 시험구가  $22.8 \pm 3.13 \text{kg/day}$ 로 대조구가 높게 나타났고( $P < 0.01$ ), NRC2001이 추정하는 건물섭취 요구량은 대조구가  $21.15 \pm 2.72 \text{kg/day}$ , 시험구  $22.16 \pm 2.99 \text{kg/day}$ 로 시험구가 높게 나타났다( $P < 0.01$ ). NRC2001이 추정하는 건물섭취 요구량보다 실제 건물섭취량이 대조구가  $2.67 \pm 2.89 \text{kg/day}$ , 시험구가  $0.52 \pm 1.67 \text{kg/day}$ 이 높게 나타났다( $P < 0.05$ ). 또한 Figure 2에 나타낸 바와 같이 실험우의 실제 건물섭취량과 NRC2001이 추정하는 건물섭취 요구량의 scatter plotting에서는 NRC2001이 추정하는 건물섭취 요구량 보다 대조구가 84.31%, 시험구가 65.69%가 높은 것으로 나타났다.

나) 정미 에너지(Net energy for lactation,  $NE_L$ )

Table3-13에 나타낸 바와 같이 실험우의 실제 섭취한 건물량을 이용하여 NRC2001이 제시하는 계산식으로 추정하는  $NE_L$  섭취량은 대조구가  $36.34 \pm 5.41 \text{McalDM/day}$ , 시험구가  $35.04 \pm 4.47 \text{McalDM/day}$ 로 대조구가 높게 나타났고( $P < 0.01$ ), NRC2001이 추정하는  $NE_L$  요구량은 대조구가  $29.79 \pm 4.72 \text{McalDM/day}$ , 시험구가  $31.22 \pm 5.47 \text{McalDM/day}$ 로 시험구가 높았다( $P < 0.01$ ). 대조구는 NRC2001이 추정하는  $NE_L$  요구량 보다  $6.55 \pm 4.20 \text{McalDM/day}$ 를 많이 섭취한 것으로 나타났으며, 시험구는 NRC2001이 추정하는  $NE_L$  요구량 보다  $3.82 \pm 2.91 \text{McalDM/day}$ 를 많이 섭취한 것으로 나타났다( $P < 0.05$ ).

Figure3-12에 나타낸 바와 같이 실험우가 실제 섭취한 건물량을 이용하여 NRC2001이 제시하는 계산식으로 추정하는  $NE_L$  섭취량과  $NE_L$  요구량의 scatter plotting에서는 NRC2001이 추정하는  $NE_L$  요구량 보다 대조구는 96.08%, 시험구는 89.71%가 높게 섭취한 것으로 나타났다.

본 실험의 결과 NRC2001이 추정하는  $NE_L$  요구량 보다 대조구와 시험구가 공히 더 많이 섭취한 것은 NRC2001이 추정하는 건물섭취 요구량 보다 더 많은 건물을 섭취한 것이 원인이 될 수 있을 것으로 생각된다.

다) 대사 단백질(Metabolizable protein, MP)

Table3-13에 나타낸 바와 같이 실험우가 실제 섭취한 건물량을 이용하여 NRC2001이 제시하는 계산식으로 추정된 MP 섭취량은 대조구가  $2255.17 \pm 400.72 \text{gDM/day}$ , 시험구가  $2174.54 \pm 346.92 \text{gDM/day}$ 로 대조구가 높게 나타났고( $P < 0.05$ ), NRC2001이 추정된 MP 요구량은 대조구가  $2174.54 \pm 346.92 \text{gDM/day}$ , 시험구가  $2140.75 \pm 402.28 \text{gDM/day}$ 로 유사하게 나타났다. 대조구는 NRC2001이 추정된 MP 요구량 보다  $79.49 \pm 238.38 \text{gDM/day}$ 를 더 많이 섭취한 것으로 나타났고, 시험구는 NRC2001이 추정된 MP 요구량 보다  $33.80 \pm 192.01 \text{gDM/day}$ 를 더 많이 섭취한 것으로 나타났다( $P < 0.05$ ).

Figure3-14에 나타낸 바와 같이 실험우가 실제 섭취한 건물량을 이용하여 NRC2001이 제시하는 계산식으로 추정된 MP 섭취량과 MP 요구량의 scatter plotting에서는 NRC2001이 추정하는 MP 요구량 보다 대조구는 58.33%, 시험구는 57.35%가 높게 섭취한 것으로 나타났다.

본 실험의 결과 NRC2001이 추정하는 MP 요구량 보다 control와 treat가 공히 더 많이 섭취한 것은 NRC2001이 추정하는 건물섭취 요구량 보다 더 많은 건물을 섭취한 것이 원인이 될 수 있을 것으로 생각된다.

Table3-13. Nutrient balances of experimental Holstein lactating cows estimated by NRC Nutrients Requirement of Dairy Cattle Program(2001)

Items		Intake	Requirement	Difference	P value <sup>2</sup>
Dry matter (kg/day)	Control	23.82 ± 4.00 <sup>1</sup>	21.15 ± 2.72	2.67 ± 2.89	<0.05
	Treat	22.68 ± 3.13**	22.16 ± 2.99**	0.52 ± 1.67**	<0.05
Net energy for lactation (Mcal/day)	Control	36.34 ± 5.41	29.79 ± 4.72	6.55 ± 4.20	<0.05
	Treat	35.04 ± 4.47**	31.22 ± 5.47**	3.82 ± 2.91**	<0.05
Metabolizable protein (kg/day)	Control	2255.17 ± 400.72	2175.68 ± 349.39	79.49 ± 238.38	<0.05
	Treat	2174.54 ± 346.92*	2140.75 ± 402.28	33.80 ± 192.01*	<0.05

<sup>1</sup> : Average±standard deviation.

<sup>2</sup> : Provarbility between intake *versus* requiremnet in each row.

\* : Means within the same column in each items(dry matter, net energy for lactation and metabolizable protein) are differ significantly(P<0.05).

\*\* : Means within the same column in each items(dry matter, net energy for lactation and metabolizable protein) are differ significantly(P<0.01).

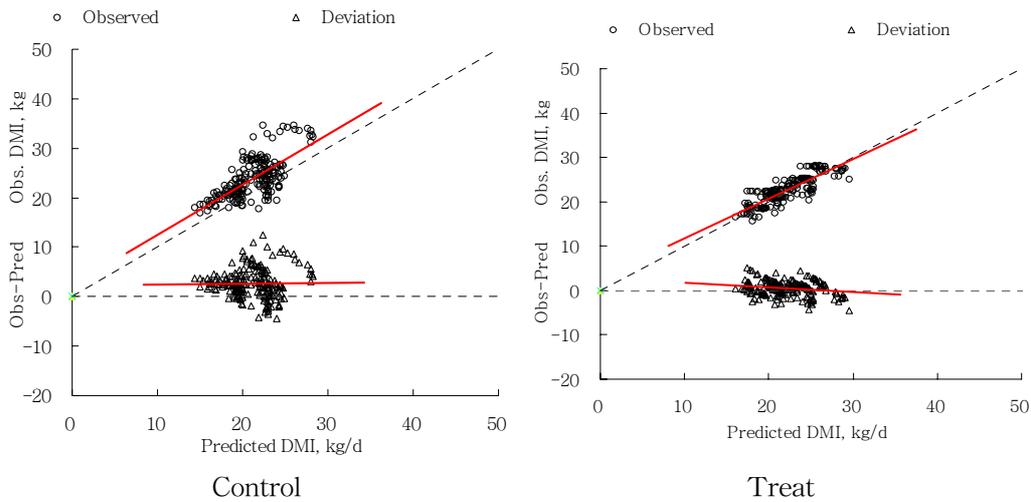


Figure3-12. Scatter plotting of actual dry matter(DM) intake *versus* DM requirement estimated by NRC Nutrients Requirement of Dairy Cattle Program(2001) in experimental Holstein lactating cows . The dashed line represents  $y=x$  and  $y=0$ .

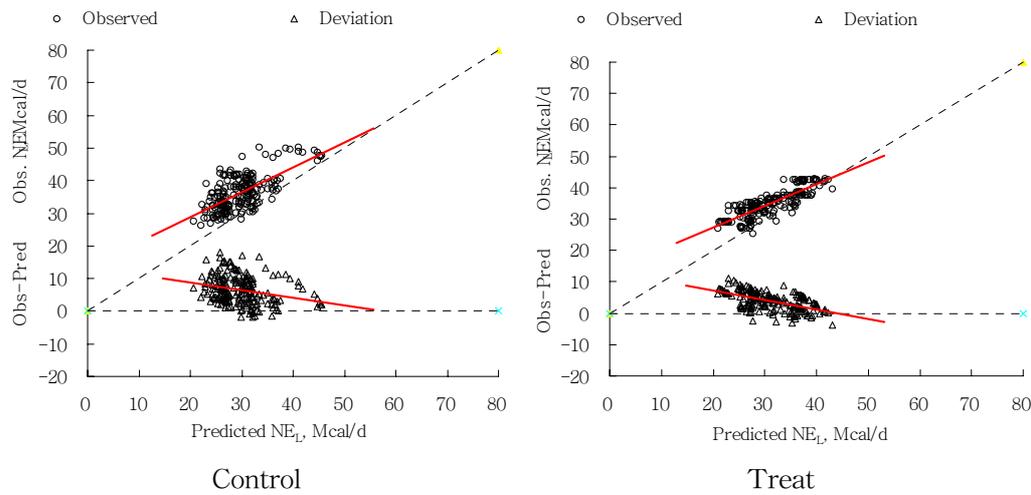


Figure3-13. Scatter plotting of net energy for lactation( $NE_L$ ) intake *versus*  $NE_L$  requirement estimated by NRC Nutrients Requirement of Dairy Cattle Program(2001) in experimental Holstein lactating cows. The dashed line represents  $y=x$  and  $y=0$ .

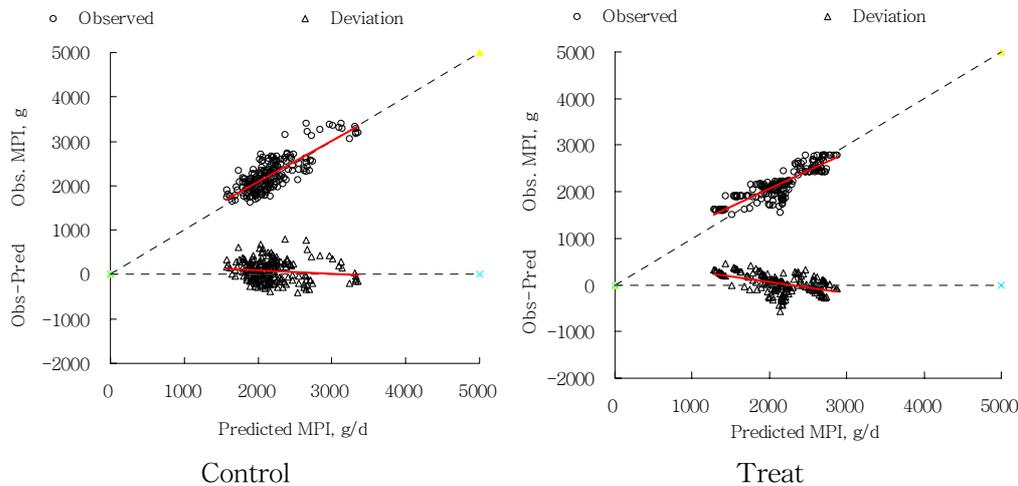


Figure3-14. Scatter plotting of metabolizable protein(MP) intake *versus* MP requirement estimated by NRC Nutrients Requirement of Dairy Cattle Program(2001) in experimental Holstein lactating cows . The dashed line represents  $y=x$  and  $y=0$ .

### 3) 유생산성 균형 평가

실험우의 실제 유생산량(milk yield, MY)을 측정하였고, NRC2001이 추정하는  $NE_L$  및 MP 섭취량으로부터 가축의 유지요구량, 임신요구량, 성장요구량을 공제한 에너지 및 단백질량으로부터 생산 가능한 유생산량(allowable milk yield, AMY)의 결과를 Table3-14에 비교하였고, Figure3-15와 Figure3-16에는 실험우의 실제 유생산량과  $NE_L$  및 MP allowable milk yield 사이의 scatter plotting을 나타내었다.

Table3-14에 나타낸 바와 같이 대조구의 실제 유생산량은  $27.24 \pm 6.21 \text{kg/day}$ 로 나타났고,  $NE_L$  allowable milk yield는  $36.19 \pm 6.27 \text{kg/day}$ 로 나타나 실제 유생산량이  $NE_L$  allowable milk yield보다  $8.95 \pm 5.56 \text{kg/day}$ 가 낮았다( $P < 0.05$ ). 시험구의 실제 유생산량은  $28.22 \pm 7.63 \text{kg/day}$ 로 나타났고,  $NE_L$  allowable milk yield는  $33.34 \pm 6.33 \text{kg/day}$ 로 나타나 실제 유생산량이  $NE_L$  allowable milk yield보다  $5.12 \pm 3.87 \text{kg/day}$ 가 낮았다( $P < 0.05$ ). Figure3-15에서는 실제 유생산량과  $NE_L$  allowable milk yield의 scatter plotting을 나타내었는데, 대조구는 실제 유생산량이  $NE_L$  allowable milk yield 보다 96.08%가, 시험구는 실제 유생산량이  $NE_L$  allowable

milk yield 보다 89.71%가 낮게 나타났다.

Table3-14에 나타난 바와 같이 대조구의 실제 유생산량은  $27.24 \pm 6.21 \text{kg/day}$ 로 나타났다, MP allowable milk yield는  $28.76 \pm 5.99 \text{kg/day}$ 로 나타나 실제 유생산량이 MP allowable milk yield보다  $1.52 \pm 4.82 \text{kg/day}$ 가 낮았다( $P < 0.05$ ). 시험구의 실제 유생산량은  $28.22 \pm 7.63 \text{kg/day}$ 로 나타났다, MP allowable milk yield는  $28.91 \pm 5.89 \text{kg/day}$ 로 나타나 실제 유생산량이 NE<sub>L</sub> allowable milk yield보다  $0.68 \pm 4.13 \text{kg/day}$ 가 낮았다( $P < 0.05$ ). Figure3-16에서는 실제 유생산량과 MP allowable milk yield의 scatter plotting을 나타내었는데, 대조구는 실제 유생산량이 MP allowable milk yield 보다 58.33%가, 시험구는 실제 유생산량이 MP allowable milk yield 보다 57.35%가 낮게 나타났다.

Table3-14. Differences between actual milk yield and allowable milk yields of net energy for lactation(NE<sub>L</sub>) and metabolizable protein(MP) estimated by NRC Nutrients Requirement of Dairy Cattle Program(2001) in Holstein lactating cows raised in Korea

Items		Actual milk (kg/day)	Allowable milk (kg/day)	Difference (kg/day)	P value <sup>2</sup>
NE <sub>L</sub> allowable milk	Control	27.24 ± 6.21 <sup>1</sup>	36.19 ± 6.27	-8.95 ± 5.56	<0.05
	Treat	28.22 ± 7.63	33.34 ± 6.33**	-5.12 ± 3.87**	<0.05
MP allowable milk	Control	27.24 ± 6.21	28.76 ± 5.99	-1.52 ± 4.82	<0.05
	Treat	28.22 ± 7.63	28.91 ± 5.89	-0.68 ± 4.13	<0.05

<sup>1</sup> : Average±standard deviation.

<sup>2</sup> : Provarbility between intake *versus* requiremnet in each row.

\* : Means within the same column in each items(NE<sub>L</sub> allowable milk, MP allowable milk) are differ significantly(P<0.05)

\*\* : Means within the same column in each items(NE<sub>L</sub> allowable milk, MP allowable milk) are differ significantly(P<0.01)

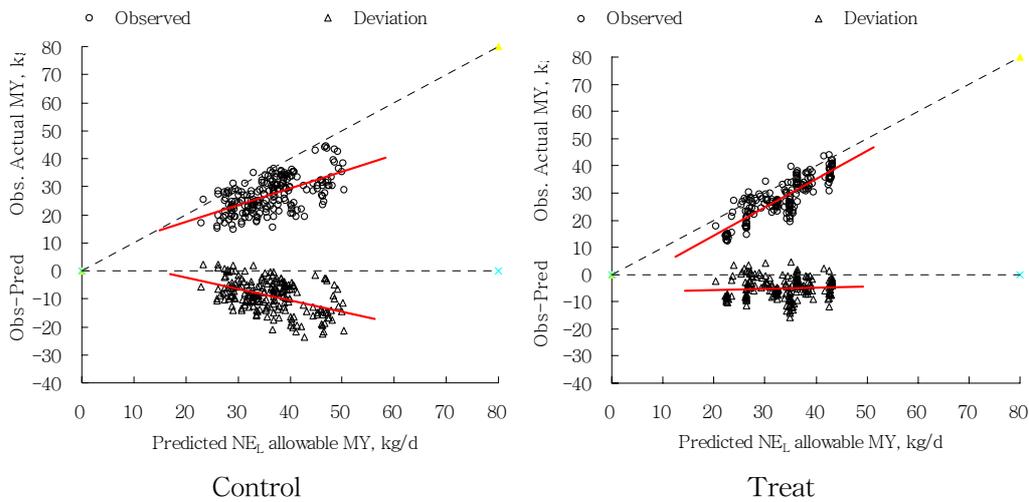


Figure3-15. Scatter plotting of actual milk yield *versus* net energy for lactation( $NE_L$ ) allowable milk yield estimated by NRC Nutrients Requirement of Dairy Cattle Program(2001) in experimental Holstein lactating cows . The dashed line represents  $y=x$  and  $y=0$ .

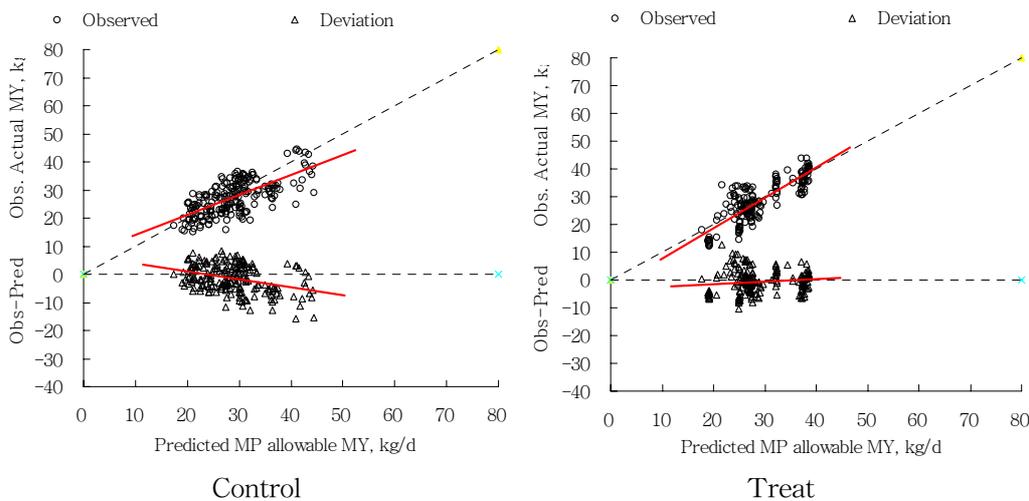


Figure3-16. Scatter plotting of actual milk yield *versus* metabolizable protein(MP) allowable milk yield estimated by NRC Nutrients Requirement of Dairy Cattle Program(2001) in experimental Holstein lactating cows. The dashed line represents  $y=x$  and  $y=0$ .

## 라. 요약

본 실험은 농후사료 위주의 사양관리에 있어 24두의 실험우의 개체 별 건물섭취량을 조사하여, NRC2001이 제시하는 영양소 권장량을 실험우의 건물섭취 수준에 맞추어 급여하고(대조구), 그리고 NRC2001이 추정하는 건물섭취량에 맞추어 NRC2001이 제시하는 영양소 권장량을 급여함(시험구)에 따른 영양소의 이용성과 유생산성을 평가하였다.

결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) NRC2001의 정미에너지(net energy for lactation,  $NE_L$ ) 권장량을 기준으로 대조구의  $NE_L$  섭취균형이 시험구의  $NE_L$  섭취균형 보다 크게 나타났다( $P<0.01$ ).
- 2) NRC2001의 대사단백질(metabolizable protein, MP) 권장량을 기준으로 대조구의 MP 섭취균형이 시험구의 MP 섭취균형 보다 크게 나타났다( $P<0.05$ ).
- 3) 대조구와 시험구 모두 actual milk yield와  $NE_L$  allowable milk yield의 차이는 음(-)의 균형을 나타내었으며, 대조구가 시험구 보다 더 큰 음의 균형을 나타내었다( $P<0.01$ ).
- 4) 대조구와 시험구 모두 actual milk yield와 MP allowable milk yield의 차이는 음(-)의 균형을 나타내었으며, 대조구와 시험구간의 유의차는 나타나지 않았다.
- 5) 대조구와 시험구의 유생산량의 비교에 있어 유의차는 나타나지 않았으나, 대조구에 비해 시험구의 유지방 함량은 높게 나타났으며, 유단백, 요소태질소, 무지 고형분, 총고형분 함량은 낮게 나타났다( $P<0.01$ ).

본 실험의 결과 NRC2001이 제시하는 영양소 권장량을 실험우의 건물섭취 수준에 맞추어 급여하고(대조구), NRC2001이 추정하는 건물섭취량에 맞추어 NRC2001이 제시하는 영양소 권장량을 급여함(시험구)에 있어 영양소의 균형에 있어서는 처리구 별 유의차가 나타났으나, 유생산에 있어서는 처리구 별 유의차가 나타나지 않았다.

#### 4. 착유우의 생산성 향상을 위한 simulation model의 개발

##### 가. 서론

NRC2001은 실제 섭취한 건물로부터 착유우에게 공급되는 에너지 및 단백질 공급량을 추정하고, 착유우의 건물섭취, 에너지와 단백질 요구량 추정값을 공급량으로부터 공제함으로써 착유우의 영양소 균형 평가를 통한 영양적 관리 지침을 제시하고, 또한 에너지와 단백질 공급량으로부터 가능한 유생산량을 추정하여 줌으로써 현재 급여하고 있는 사료를 통한 가축의 생산성을 평가하여 준다.

NRC2001의 dairy model은 건물섭취량을 추정함에 있어서 대사체중(metabolic body weight, MBW), 지방보정유량(4% fat corrected milk, FCM), 비유일수(days in milk, DIM)와 같은 가축적 요인만을 고려하며, 착유우의 건물섭취 균형은 실제 건물섭취량으로부터 NRC2001이 추정하는 건물섭취량을 공제함으로써 계산이 된다. 또한 NRC2001은 착유우의 에너지 요구량을 추정함에 있어서 유지에 필요한 정미에너지(net energy for maintenance, NEM), 임신에 필요한 정미에너지(net energy for pregnancy, NEp), 성장에 필요한 정미에너지(net energy for growth, ENg), 비유에 필요한 정미에너지(net energy for lactation, NEL)를 추정하고 이를 합산하여 계산한다. 또한 착유우의 단백질 요구량을 추정함에 있어서는 유지에 필요한 대사단백질(metabolizable protein for maintenance, MPm), 임신에 필요한 대사단백질(metabolizable protein for pregnancy, MPp), 성장에 필요한 대사단백질(metabolizable protein for growth, MPg), 비유에 필요한 대사단백질(metabolizable protein for lactation, MPl)를 추정하고 이를 합산하여 계산한다.

착유우에게 급여한 사료로부터 가축에게 공급된 에너지를 계산함에 있어서는 착유우가 유지섭취수준 이상의 건물을 섭취하는 경우에 있어서는 유지섭취수준 이상을 섭취한 비율에 따라서 급여사료로부터 계산되는 유지수준의 가소화영양소 총량(total digestible nutrients at 1X level, TDN<sub>1X</sub>)을 공제하고, 급여사료 내 지방함량에 따라서 지방의 소화율을 고려하여 착유우의 현재 건물섭취 수준에서의 에너지 공급량을 계산하게 된다. 그리고 착유우의 에너지 섭취 균형은 실제 건물섭취량을 통하여 NEL 섭취량을 추정한 값에서 에너지 요구량을 공제함으로써 계산된다.

착유우에게 급여한 사료로부터 가축에게 공급된 대사단백질을 추정함에 있어서는

공제된 TDN으로부터 추정되는 미생물 단백질, 반추위미분해단백질 그리고 내인성 단백질로부터 대사단백질 공급량을 추정하게 된다. 그리고 착유우의 대사단백질 섭취 균형은 대사단백질 공급량으로부터 대사단백질 요구량을 공제함으로써 계산된다.

앞 절에서 기술한 사료 급여유형에 따른 착유우의 건물섭취량 및 영양소 균형조사, 온도환경에 따른 건물섭취 및 영양소 균형 실험의 결과를 분석한 결과, 건물을 비롯한 에너지(net energy for lactation, NEI) 및 대사단백질(metabolizable protein, MP) 섭취량이 NRC2001에서 예측한 값보다 높게 나타났고, 유생산량은 낮게 나타났다. 착유우의 건물섭취량은 소화율에 영향을 미치며, NRC2001은 착유우의 건물섭취 수준에서 에너지와 단백질 섭취량을 추정하고 있다.

본 연구에서는 상기 1, 2 및 3의 연구결과에서 얻어진 각종 data set를 이용하여 NRC2001이 제시한 착유소의 건물섭취량의 추정식과 가소화영양소 총량의 discount variable의 상수를 조정하여 우리나라 착유소의 유생산 반응에 근접한 새로운 simulation model을 작성하고 그 적합성을 검증하였다.

## 나. 재료 및 방법

### 1) 자료

건물섭취 및 영양소 균형 조사, 환경온도에 따른 건물섭취 및 영양소 균형 조사 보고서에 이용된 1023건의 개체 별 자료를 이용하였다.

### 2) 계산식

건물섭취 균형 및 에너지와 단백질 균형 그리고 영양소 섭취량으로부터 생산 가능한 유생산량에 관련된 계산식을 아래에 나타내었다.

$$DMI = (0.0968 \times MBW + 0.372 \times FCM) \times (1 - \text{Exp}(-0.192 \times (DIM/7 + 3.67))) \quad \text{계산식 1}$$

$$TDN \text{ Discount variable} = ((0.18 \times TDNConc) - 10.3) \times (DMI \text{ to } DMIMaint - 1) \quad \text{계산식 2}$$

$$\text{Discount} = (TDNConc - \text{Discount variable}) / TDNConc \quad \text{계산식 3}$$

TDNConc : total digestible nutrients (%DM) at 1X Maintenance  
 DMI to DMIMaint : ratio of DMI to DMI required for maintenance

$$\text{EnergyAllowableMilk} = \text{MY} \times ((\text{NEL}_{\text{total}} - \text{NE}_{\text{maint}} - \text{NE}_{\text{preg}} - \text{NE}_{\text{growth}}) / \text{NELact}) \quad - \text{계산식 4}$$

$$\text{ProteinAllowableMilk} = \text{MY} \times (((\text{MP}_{\text{feed}} + \text{MP}_{\text{bact}} + \text{MP}_{\text{endo}}) - \text{MP}_{\text{maint}} - \text{MP}_{\text{preg}} - \text{MP}_{\text{growth}}) / \text{MP}_{\text{lact}}) \quad - \text{계산식 5}$$

### 3) 상수조정

이론적으로 비교적 객관성이 인정되는 계산식을 선정하고, 상수의 조정을 통한 영양소섭취 균형 및 생산 가능한 유생산량의 변화를 plotting과 분산 분석을 실시함으로써 최적의 조정된 상수를 도출하였다.

### 다. 결과

건물섭취 요구량 추정 계산식과 섭취수준에서의 에너지 공제 계산식의 상수와 조정된 상수를 Table3-15에 나타내었다.

Table3-16에는 건물섭취 균형, 에너지와 단백질 균형 및 실제 유생산량과 영양소섭취량으로부터 가능한 유생산량과의 균형에 있어 NRC2001을 통한 평가 결과와 조정된 상수를 이용한 평가 결과를 나타내었다. 건물섭취 균형에 있어 NRC2001 평가는 실제 건물섭취량이 2.84±3.12kg/day가 높았으며, 조정된 건물섭취 균형평가는 0.00±2.99kg/day로 나타났다. 에너지 섭취 균형에 있어 NRC2001 평가는 실제 에너지 섭취량이 5.05±4.59Mcal/day가 높았으며, 조정된 에너지 섭취 균형 평가는 실제 에너지 섭취량이 0.63±4.55Mcal/day가 높게 나타났다. 단백질 섭취 균형에 있어 NRC2001 평가는 실제 단백질 섭취량이 229.26±268.14g/day가 높았으며, 조정된 단백질 섭취 균형 평가는 106.48±276.81g/day가 높게 나타났다. 실제 유생산량과 에너지 섭취량으로부터 가능한 유생산량간의 균형에 있어 NRC2001 평가는 실제 유생산량이 6.85±6.27kg/day가 낮게 나타났으며, 조정된 균형 평가에서는 0.94±6.07kg/day가 낮게 나타났다. 실제 유생산량과 단백질 섭취량으로부터 가능한 유생산량간의 균형에 있어 NRC2001 평가는 실제 유생산량이 4.90±5.71kg/day가 낮게 나타났으며, 조

정된 균형 평가에서는 2.36±5.79kg/day가 낮게 나타났다.

Figure3-17과 Figure3-18에는 건물섭취 균형, 에너지와 단백질 균형 및 실제 유생 산량과 영양소 섭취량으로부터 가능한 유생산량과의 균형에 있어 NRC2001을 통한 평가 결과와 조정된 상수를 이용한 평가 결과의 plotting을 나타내었다.

Table 3-15. Corrected constant used for dry matter intake prediction equation and TDN discount variable established by NRC2001<sup>1</sup>

Constant	NRC2001	Corrected by this study
Dry matter intake		
A	0.0968	-
B	0.372	-
C	0.293	-2.127
D	-0.192	0.32
E	3.67	2.2
Discount variable		
W	0.18	0.21
X	10.3	8.3
Y	1.0	-
Z	1.0	-

<sup>1</sup> Dry matter intake =  $(A \times MBW + B \times FCM - C) \times (1 - e^{-(D \times (WOL + E))})$

MBW : metabolic body weight

FCM : 4% fat corrected milk

WOL : week of lactation

TDN Discount variable =  $((W \times TDNConc) - X) \times (Y \times DMI \text{ to DMIMaint} - Z)$

TDNConc : total digestible nutrients (%DM) at 1X Maintenance

DMI to DMIMaint : ratio of DMI to DMI required for maintenance

Table3-16. Balances between current and corrected nutrients intake and milk production prediction

Parameters	DMI <sup>1</sup> (kg/d)	Nutrients intake		Milk production	
		NE <sub>L</sub> <sup>2</sup> (Mcal/d)	MP <sup>3</sup> (g/d)	NE <sub>L</sub> allowable (kg/d)	MP allowable (kg/d)
Current					
Observed	25.11 ± 3.66	38.34 ± 4.72	2614.61 ± 433.23	31.02 ± 8.63	31.02 ± 8.63
Predicted	22.27 ± 3.12	33.29 ± 6.14	2385.45 ± 422.90	37.87 ± 7.77	35.92 ± 9.55
Balance	2.84 ± 3.12	5.05 ± 4.59	229.26 ± 268.14	-6.85 ± 6.27	-4.90 ± 5.71
Corrected					
Observed	25.11 ± 3.66	33.91 ± 4.93	2511.26 ± 439.46	31.02 ± 8.63	31.02 ± 8.63
Predicted	25.11 ± 3.21	33.29 ± 6.14	2404.78 ± 426.42	31.96 ± 7.72	33.38 ± 9.40
Balance	0.00 ± 2.99	0.63 ± 4.55	106.48 ± 276.81	-0.94 ± 6.07	-2.36 ± 5.79

<sup>1</sup> Dry matter intake, <sup>2</sup> Net energy, <sup>3</sup> Metabolizable protein, <sup>4</sup> Mean ± SD.

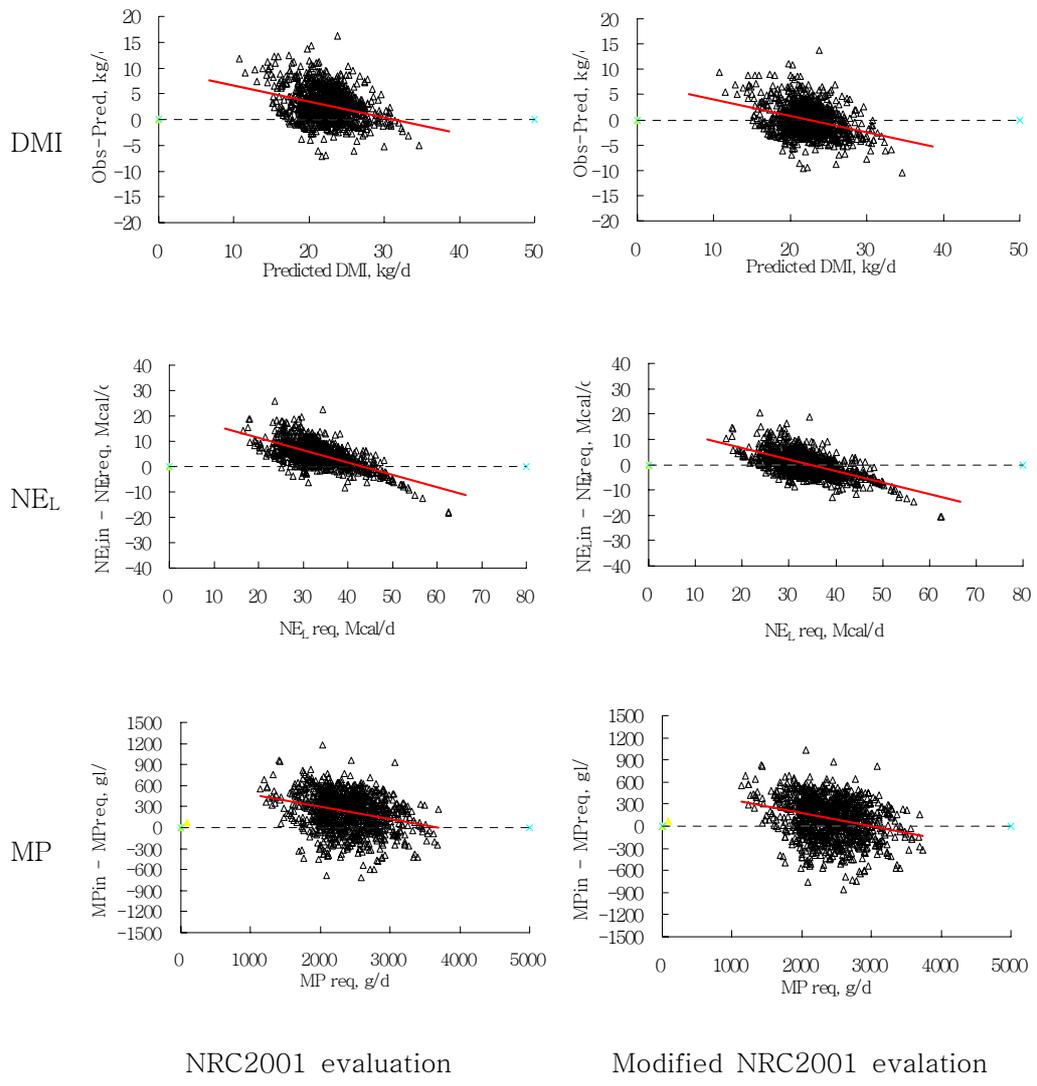


Figure3-17 Dry matter(DMI) intake, net energy for lactation(MEL), metabolizable protein(MP) balances evaluated by NRC2001 and modified NRC2001.

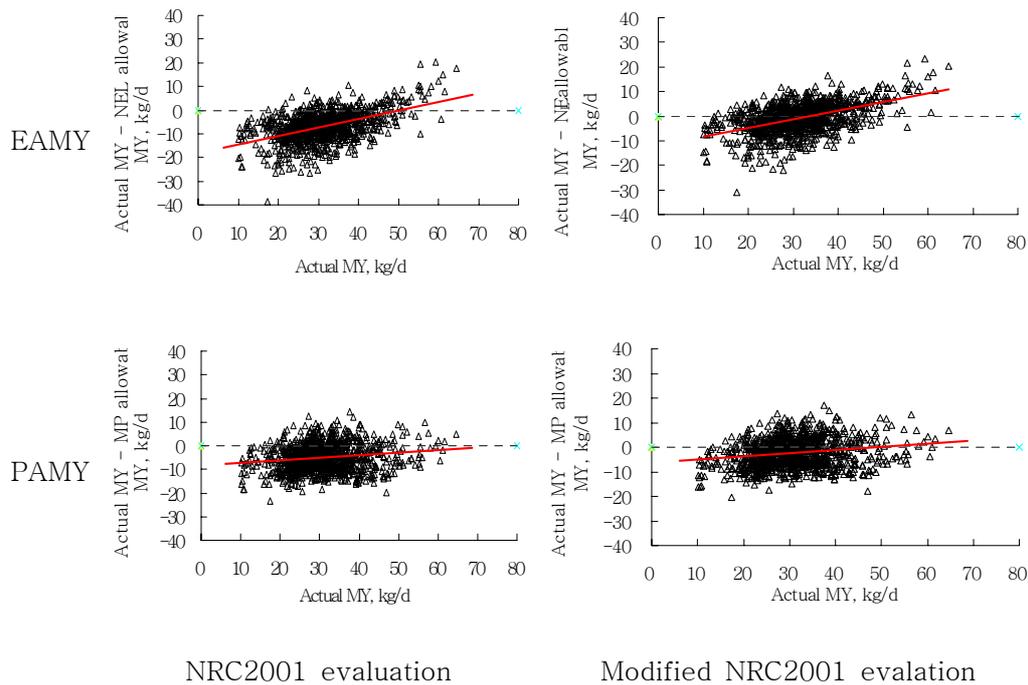


Figure3-18 Energy allowable milk yield(EAMY) and protein allowable milk yield(PAMY) balances evaluated by NRC2001 and modified NRC2001.

라. 요약

착유우의 건물섭취 균형은 조사자료의 실제 건물섭취량에 근거하여 건물섭취 추정 계산식의 상수를 조정하였다. 에너지와 단백질 섭취 균형 및 에너지와 단백질 섭취 유래의 생산 가능한 유생산량 균형은 건물섭취 수준에서의 소화율 감소를 추정하는 계산식의 상수를 조정한 결과 에너지 섭취 균형과 에너지 섭취 유래의 생산 가능한 유생산 균형은 실제 에너지 섭취량 및 유생산량과 유사하게 나타났으나, 단백질 섭취 균형은 실제 단백질 섭취량 보다 높게 나타났으며, 단백질 섭취 유래의 생산 가능한 유생산 균형은 실제 유생산량 보다 낮게 나타났다.

## 제 2 절 젖소용 사료자원의 영양소함량 DB구축 및 간이평가모델 개발

### 1. 사료자원의 영양소함량 DB구축

#### 가. 서론

젖소는 임신, 분만, 비유, 건유 등의 복잡한 생리과정을 거치면서 각 생리과정에 따라 적절한 대사 반응과 영양소 요구량이 달라진다. 따라서 젖소에게 급여하는 사료의 적합성을 평가하기 위해서는 각 원료사료가 함유하는 영양소의 정확한 평가가 이루어져야 한다.

국내에서 사용하고 있는 반추가축용 사료는 많은 양을 수입에 의존하고 있으며 수입되고 있는 사료의 종류 또한 무척 다양하다. 그 중 반추가축용으로 많이 이용되고 있는 사료원료로는 에너지 사료로서 옥수수, 소맥 등, 식물성 단백질 사료로 대두박, 면실박 등, 조사료로 티머시, 알팔파 건초, 옥수수 사일리지 등, 부산물 사료로 면실피, 미강 등, 동물성 지방, 단백질사료로는 어분 등 많은 종류가 있다.

사료는 수확시기, 수확방법, 유통기간, 저장기간, 저장방법 등에 따라 영양소 함량에 차이가 있는데, 국내에 수입되어 사용하고 있는 반추가축용 사료의 영양소 함량 평가는 주로 NRC 등 외국의 자료에 의존하고 있고, 수입되어 이용할 때까지의 유통기간이나 저장기간, 저장방법 등은 고려되지 않고 있는 실정이다. 이는 반추가축의 영양소의 결핍 혹은 과잉급여, 사료의 손실, 가축의 생산성 저하, 대사성질병 증가, 가축의 경제수명 단축 등으로 사육농가들에게 직접적인 경제적 손실로 연결된다.

2001년에 발간된 NRC의 nutrient requirements of daily cattle, 7th revised edition(NRC2001)은 사료 중의 영양소 함량을 평가하는 방법으로 nutrient requirements of beef cattle(NRC1996)에서 몇 부분이 개정되었다. 즉 neutral detergent fiber(NDF)의 분석이 새로운 분석방법으로 최근에 국제적으로 공인된 heat-stable  $\alpha$ -amylase treated neutral detergent fiber(aNDF) 분석방법을 권장하고 있으며(David, 2002), 사료의 에너지 함량을 계산할 때에도 neutral detergent insoluble crude protein(NDICP), acid detergent insoluble crude protein(ADICP),

acid detergent lignin(ADL) 및 crude ash의 성분들을 새롭게 이용하고 있다. 이들 새롭게 도입된 성분들은 반추위내에서 사료의 이용성과 분해속도를 보다 정확히 평가할 수 있는 항목으로 기존의 사료평가 개념을 크게 향상시킨 항목들이다. 현재까지 한국에서는 aNDF보다는 NDF를 적용하고 있고 또한 NDICP, ADICP의 개념은 적용하지 않고 있는 실정이다. 그러나 앞으로 우리나라에서도 NRC2001이 새롭게 제시한 사료의 화학적 평가방법을 도입하여 사료평가를 향상시켜야 할 것이라고 생각한다.

따라서 본 연구는 국내 젓소용 사료로 많이 이용하고 있는 원료사료 35가지를 선정하여 NRC 2001이 권장하는 영양성분을 분석하였고 이를 바탕으로 사료자원의 영양소함량 DB를 구축하였다.

## 나. 재료 및 방법

### 1) 공시재료

#### 가) 사료의 선정 및 입수 방법

본 DB구축에 이용 할 원료 사료는 서울우유 협동조합원 농장 50개소를 비롯한 국내 여러 낙농농가에서 주로 많이 사용하고 있는 원료사료 중에서 에너지 사료 5종류, 식물성 단백질 사료 9종류, 조사료 10종류, by-product 8종류, 동물성 지방, 단백질 사료 3종류, 합계 35종류를 선정하였다. 선정된 원료사료는 농장이나 사료 수입회사를 통해서 입수하여 수입국, 수입일, 입수일 등을 파악하였다.

#### 나) 사료의 평가 방법

##### (1) 화학적 평가

###### (가) 분석시료의 준비

채취한 시료는 비닐지퍼백에 넣어 수집한 날 실험실로 가져와 냉동보관하였으며 화학분석에 사용한 시료는 이를 실온에서 해동하여 Tomas-Wiley mill(Tomas scientific, Model4, New Jersey, U.S.A)을 이용하여 1mm 이하로 분쇄하여 화학분석

시까지 4℃ 냉장고에 보관하였다.

(나) 분석항목

분석항목은 일반 조성분으로 dry matter(DM), crude ash, crude protein(CP), ether extract(EE), crude fiber(CF)를, 섬유성 물질로는 heat-stable  $\alpha$ -amylase treated neutral detergent fiber(aNDF), acid detergent fiber(ADF), acid detergent lignin(ADL)를, 서서히 분해되는 단백질 분획으로 neutral detergent insoluble crude protein(NDICP), acid detergent insoluble crude protein(ADICP)과 다량광물질은 calcium(Ca), phosphorus(P), magnesium(Mg), kalium(K), natrium(Na), Chlorine(Cl) 및 sulfur(S)를 분석하였다.

(다) 분석방법

일반성분, ADF, ADL, 다량광물질은 A.O.A.C.(1990) 방법으로 분석하였으며, aNDF는 David(2002)의 방법에 따라 분석하였고, NDICP, ADICP는 각각 중성제제와 산성제제 불용성 물질중의 crude protein(CP)를 분석하는 Licitra등(1996)의 방법에 따라 분석하였다.

(라) Database 구축

젖소용 사료원료(35종)의 영양성분 database의 신뢰도를 높이기 위하여 추가로 약 100건의 사료원료 sample을 확보하여 aNDF, NDICP, ADICP등을 포함한 모든 영양성분을 반복수를 많이 하여 정밀 분석하였고, NRC 2001, 한국사료협회(KFIA), 축산연구소(NLRI), 동물자원연구센터(ARRC)등의 국내외 기관으로부터 분석자료를 확보하여 database(KKU)를 구축하였다. 또한 database의 update는 각 성분별로 각 분석기관의 분석 점수, standard deviation, 분석기술 신뢰도 등을 종합 고려하여 각 성분별로 가중치를 부여하여 최종 data로 확정하고, 추가적으로 분석 또는 조사를 통하여 확보한 data를 matrix에 입력하면 macro 기능에 의해 자동으로 update가 되도록 설계하였다.

(2) 물리적 평가(입자도 분석)

원료사료의 물리적인 평가는 electromagnetic siever shaker를 사용하여 분석하였다. 시료 500g을 체의 제일 윗부분에 올려놓고 5분 동안 진동시킨 후 각 체에

남아 있는 시료의 무게를 측정하여 비율을 구하였다. 체의 크기가 2.36mm 이상인 것은 대립자로, 1.19mm 이상, 2mm 이하인 것은 중립자, 0.85mm 이하는 소립자로 분리하였다.

#### 다. 결과 및 고찰

##### 1) 화학적 평가

Database 구축의 한 예를 Table 3-17.에 나타내었고 Table 3-18.와 3-19.에 본 연구에서 구축한 원료사료의 DB구축결과를 나타내었다.

Corn(미국산 옥수수)의 분석 값은 DM은 NRC와 축산연구소의 값보다 높았고, Ash, CP, EE는 낮았으며, NDF와 NDICP는 NRC의 값보다 높게, ADF와 ADICP는 낮게 나타났다. 중국산 옥수수도 NDF와 NDICP는 NRC보다 높았으나 다른 영양성분의 값은 낮은 경향이였다.

Wheat의 분석 값은 DM, CP, EE, CF는 NRC보다 낮은 값을 NDF, ADF는 높은 값을 나타내었다.

당밀의 DM과 Ash 값은 NRC의 값보다는 낮게 측정되었으나 축산연구소의 자료보다는 높은 값을 보였으며, Tapioca는 EE, CF값은 축산연구소의 분석 값보다 높았으나 DM, Ash, CP 값은 비슷한 경향이였고, NDF, ADF, Lignin, NDICP, ADICP의 값은 비교대상이 없어서 비교할 수 없었으며 앞으로 수입시기별로 분석 값이 축적되어야 한다고 생각한다.

Cottonseed의 분석 값은 DM, CF, NDF, ADF의 값은 NRC의 값과 비슷하였으나 Ash와 CP의 값은 낮은 경향이였으나 축산연구소의 분석 값보다는 높게 나타났다.

Soybean meal의 값은 DM은 낮은 경향을 Ash, CP, EE, Lignin, NDICP는 NRC와 축산연구소의 값보다 높게 나타났고, CF, NDF, ADF, ADICP는 낮게 나타났다.

Cottonseed meal은 DM, NDF, ADF, Lignin, ADICP의 값이 NRC보다 높은 경향이였으며, Ash의 값은 NRC와 축산연구소보다 낮은 값을, CP는 NRC보다는 낮은 값을 보였으나 축산연구소보다는 높은 값을 보였다. EE의 값은 1996 NRC와 비슷한 경향을 나타내었으나 2001 NRC와 축산연구소의 값이 비슷한 경향이였다. CF는 NRC와 축산연구소 모두 변이의 폭이 컸으며 NDICP는 NRC보다 낮은 값

을 보였다.

Corn gluten meal의 DM 값은 타 연구기관의 값보다 높았으며, Ash는 NRC보다는 낮은 값을 축산연구소보다는 높은 값을 보였으나 그 외의 성분은 모두 낮은 값을 보였다.

Corn germ meal의 Ash값은 축산연구소의 값보다 낮게 나타났으나 CP, EE, CF는 높게 나타났으며 특히 EE 값은 축산연구소보다 약3배 정도 높게 나타났다.

Lupin seed의 DM과 coconut meal의 CF는 축산연구소보다 낮은 경향을 보였으나 그 외의 영양성분은 비슷한 경향을 나타내었으나 coconut meal의 EE 값은 축산연구소보다 낮은 값을 보였다.

Rapeseed meal의 Ash와 CF는 축산연구소보다 높은 값을, EE는 낮은 값을 보였으며, palm meal은 DM, Ash, CP, EE, CF 모두 축산연구소보다 높은 값을 나타내었으며 특히 EE 값은 축산연구소보다 6배 이상 높은 값을 나타내었다.

Corn germ meal, lupin seed, coconut meal, rapeseed meal, palm meal의 NDF, ADF, Lignin, NDICP, ADICP의 값은 NRC와 축산연구소 모두 분석 값이 없어 비교할 수 없었다.

Timothy의 DM 값은 NRC, 축산연구소보다 높은 경향이었고, Ash, CP, EE의 값은 낮게 나타났으며, CP의 값은 NRC의 값이 본 연구의 약 3배정도 축산연구소이 약 2배 이상 높게 나타났다. EE의 값은 축산연구소의 값이 본 연구의 값보다 2배 정도 높았으며 Lignin은 NRC와 축산연구소 모두 본 연구의 값보다 2배 이상 높게 나타났다. NDICP와 ADICP의 값은 NRC의 값보다 월등히 낮게 나타났다.

Alfalfa hay의 DM값은 NRC와 축산연구소보다 높은 경향이였으며 CP, EE, CF의 값은 NRC와 축산연구소보다 낮은 값을 보였으나 특히 축산연구소의 값과는 차이가 많이 나타났다. NDF와 ADF는 NRC보다는 낮은 값을, 축산연구소보다는 높은 값을 나타내었고, NDICP와 ADICP는 timothy와 같이 NRC보다 월등히 낮게 나타났다.

Bermuda grass hay의 Ash값은 NRC와 축산연구소보다 높게 나타났고, 그 외 CP, EE, CF, NDF, ADF, Lignin, ADICP는 다른 연구보다 낮은 값을, NDICP는 NRC보다 높은 값을 나타내었다.

Oat hay의 DM은 축산연구소보다 높은 값을 CP는 NRC보다 낮은 값을 보였으며, EE는 다른 연구보다 낮은 값을, NDF와 ADF의 값은 NRC보다는 높게 축산연

구소보다는 낮게 나타났다.

Sheep grass는 DM, CF, NDF, ADF의 값이 축산연구소보다 높게, Ash, CP, EE 값은 낮게 나타났다.

Rice straw의 값은 DM은 축산연구소보다 높게 나타났으나 다른 영양성분은 모두 낮게 나타났으며 CF의 값은 비슷한 경향이였다.

Rye straw의 값도 DM과 CP는 축산연구소의 연구보다 높게 나타났으나, 다른 성분은 많은 차이로 낮게 나타났다. 그런가 하면 옥수수 사일리지와 수단 사일리지는 연구기관에 따라 성분함량에 많은 차이를 나타내었다. 사일리지는 재료의 숙기, 예취시기, 첨가물의 종류와 량 등에 따라 영양성분의 함량에 차이가 있으므로 연구기관에서 분석에 사용한 사일리지에 따라 제조방법이 다를 것이므로 영양성분 함량에 차이가 있다고 생각한다.

조사료는 예취시기에 따라 영양성분에 변이가 많기 때문에 조사료 제조시의 상황을 정확히 파악해 둘 필요가 있다. 연구 결과 본 연구에 사용한 조사료는 DM을 제외한 영양성분에서 다른 연구기관의 함량보다 대체적으로 낮은 경향이였다.

Rice bran solvented의 DM 값은 NRC와 축산연구소보다 낮게, Ash와 CP의 값은 NRC보다 높았으나 축산연구소과 비슷한 경향을 보였으며, EE의 값은 NRC와 축산연구소 모두 차이가 크게 나타났다. CF, ADF, ADICP의 값은 NRC보다 낮게 나타났으며 NDF, Lignin, NDICP는 NRC보다 높은 값을 보였다.

Soybean hull은 DM, CF, NDF, ADF, NDICP의 값이 다른 연구기관의 값보다 높게 나타났고, Ash는 NRC보다는 높았으나 축산연구소의 값보다는 낮은 값을 보였고 ADICP의 값은 NRC의 값보다 낮게 나타났다.

Rice bran-polish의 DM 값은 NRC보다는 낮게 평가되었으나 축산연구소의 분석 값과는 비슷하였고 Ash는 NRC, 축산연구소보다 낮은 값을, CP는 NRC와 축산연구소보다 높은 값을 보였고, EE는 NRC보다는 높게 평가되었으나 축산연구소의 값보다는 낮게 평가되었다. CF는 축산연구소보다 낮은 값을 보였고, NDF와 Lignin의 값은 NRC보다 높게 평가되었으며 ADF, NDICP, 및 ADICP는 NRC보다 낮은 값을 보였다.

Wheat bran의 값은 대체로 영양성분이 다른 연구기관보다 낮게 평가되었으나 DM, CP, CF는 축산연구소과 비슷한 값을 보였으며, Lignin의 값은 NRC보다 높게 평가되었다.

Brewer's grain의 DM 값은 NRC보다는 높은 값을, 축산연구소보다는 낮은 값을 보였고, Ash, CP, CF는 다른 연구기관보다 낮은 값을, EE는 높은 값을 나타내었으며, NDF와 NDICP는 NRC보다 높은 값을, Lignin과 ADICP는 낮은 값을 보였다.

Corn gluten feed의 값도 대체로 다른 연구기관보다 낮게 평가되었으며, 그 중에서 DM과 NDF의 값은 높은 값을 보였고 CP는 축산연구소와 비슷한 값을 나타내었으며, CF 값은 NRC와 비슷한 값을 나타내었다.

Sugar beet pulp의 DM 값은 다른 연구기관과 비슷한 경향을 Ash, CP, EE 값은 낮은 경향이었으나 CP 값은 NRC와 비슷하였고, 그 외 성분의 값은 다른 연구기관보다 높게 나타났다.

Cottonseed hull의 DM 값은 다른 연구기관과 비슷한 경향을, Ash, CP, ADICP는 높은 값을 나타내었고, 그 외의 성분은 낮은 값을 보였다.

Animal fat의 DM 값은 타 연구기관과 비슷하였으나 Ash는 축산연구소보다 낮게 평가되었다.

수입산 Fish meal은 DM, Ash, CF는 높은 값을, CP는 낮은 값을 보였으며, EE는 NRC보다 낮게 축산연구소보다 높게 평가되었고, 국내산의 DM, EE 값은 축산연구소보다 높게, Ash와 CP는 낮게 평가되었다.

## 2) 물리적 평가

Table 3-19에 에너지 사료, plant protein, by-product, animal protein 원료사료의 입자도 분석한 결과를 나타내었다.

옥수수는 미국산, 중국산 모두 대립자의 비율이 100%였으며, wheat는 대립자 94.9%, 중립자 5.1%를 tapioca는 대립자 93.7%, 중립자 5.7%, 소립자 0.6%를 나타내었다.

Soybean meal, corn gluten meal, coconut meal, rapeseed meal, palm meal는 대립자의 비율이 0-0.2%, 중립자의 비율은 10.7-20%, 대립자의 비율은 80-89.3%였으나, cotton seed meal은 대립자 25.7%, 중립자 39.3%, 소립자 35%로 각 입자의 비율이 비슷하였고, lupin seed는 대립자 90.3%, 중립자 0.3%, 소립자 9.4%로 중립자의 비율이 낮게 나타났다.

By-product 그룹에서 rice bran은 소립자의 비율이 93.7%, 98.7%로 높게 나타났

고, soybean hull은 중립자 39.7% 소립자 59.9%를 ,wheat bran은 중립자 30.1%, 소립자 67.4%를 나타내어 rice bran보다 중립자의 비율이 높게 나타났다.

Corn gluten feed 는 대립자 12.5%, 중립자 56%, 소립자 31.5%로 중립자의 비율이 가장 높았으나, sugar beet pulp와 cottonseed는 대립자 100%를 나타내었다.

사료 입자도는 반추위의 분해속도에 많은 영향을 미치는 요인으로 국내에 수입되어 낙농농가에 사용되고 있는 원료사료를 대상으로 지속적으로 수거하여 수입국, 수입시기 등에 따라 입자도가 일정한지의 여부를 분석하여 볼 필요가 있다고 생각된다.

#### 라. 요약

국내에서 젓소용 사료로 많이 이용하고 있는 원료사료 35가지를 선정하여 화학성분을 분석하였다. 본 연구 결과 원료사료를 평가한 연구기관에 따라 사료의 영양소 함량에 많은 차이가 나타났다. 본 연구에 의해 분석한 원료사료는 대체적으로 영양성분의 함량이 다른 연구기관의 값보다 낮은 경향이었으며, 특히 조사료 중에서 hay류와 straw류는 다른 연구기관보다 낮은 값을 나타내는 경향이며 silage도 연구에 따라 차이가 크게 나타났다. Database 구축은 NRC 2001, 한국사료협회(KFIA), 축산연구소(NLRI), 동물자원연구센터(ARRC)등의 국내외 기관으로부터 분석자료를 확보하여 database(KKU)를 구축하였으며 database의 update는 추가적으로 분석 또는 조사를 통하여 확보한 data를 matrix에 입력하면 macro 기능에 의해 자동으로 update가 되도록 설계하였다. 지속적으로 원료사료의 화학분석자료가 확보되어 입력한다면 각 원료사료에 대한 database가 더 확고하게 구축되리라 생각한다.

Table 3-17. An example of nutrient composition matrix for alfalfa hay

	This study	NRC 2001	KFIA	NLRI	ARRC	KKU
Feed Name	Alfalfa hay					
Category	Grass/L.F.					
I.F.N.	1-20-648					
Energy equation class	Forage					
Forage Description	Dry					
DM(%)	90.85	87.80	89.01	92.03	90.05	89.93
aNDF(%DM)	43.17	39.60				41.39
NDF(%DM)				49.87	40.50	45.19
ADF(%DM)	36.21	31.20		40.06	31.68	34.57
Lignin(%DM)		7.0				7.00
CP(%DM)	18.66	20.20	16.75	17.94	19.16	18.55
CF(%DM)	28.95		35.29	28.93	27.29	30.52
NDICP(%DM)	2.60	2.40				2.50
ADICP(%DM)	1.60	1.60				1.60
EE(%DM)	1.74	2.10	1.67	3.01	1.89	2.01
Ash(%DM)	8.87	10.0	9.74	8.70	9.61	9.36
Ca(%DM)	1.07	1.52	1.60	1.89	1.06	1.39
P(%DM)	0.29	0.26		0.27	0.30	0.28
Mg(%DM)	0.34	0.30	0.29	0.27	0.40	0.32
Cl(%DM)	0.56	0.74			0.57	0.63
K(%DM)	1.28	2.53	1.58	2.75	1.49	1.84
Na(%DM)	0.24	0.01		0.06	0.30	0.15
S(%DM)	0.19	0.25			0.24	0.22
In situ DMD(%)	1h	23.15				23.15
	2h	25.17				25.17
	8h	36.17				36.17
	16h	47.88				47.88
	24h	56.22				56.22
		59.49				59.49
In situ CPD(%)	1h	60.60				60.60
	2h	66.77				66.77
	8h	73.61				73.61
	16h	78.89				78.89
	24h					
		5.96				5.96
In situ NDFD(%)	1h	8.03				8.03
	2h	19.41				19.41
	8h	31.70				31.70
	16h	40.71				40.71
	24h					
Arginine		5.14				5.14
Histidine		1.95				1.95
Leucine		7.35				7.35
Lysine		5.08				5.08
Methionine		1.56				1.56

Table 3-18. Chemical compositions of crude, fiber fractions and insoluble crude protein in investigated feedstuffs<sup>1</sup>

Classification	Feed name	Crude component					Fiber and insoluble crude protein				
		DM	Ash	CP	EE	CF	NDF	ADF	ADL	NDICP	ADICP
		%	%DM	%DM	%DM	%DM	%DM	%DM	%DM	%DM	%DM
Energy	Corn	87.00	1.64	8.73	4.14	2.50	16.95	2.66	1.36	1.32	0.10
	Molasses	77.59	11.10	5.52	0.20	0.45	-	-	-	-	-
	Tapioca	88.79	5.40	2.33	0.72	10.18	34.04	18.21	4.92	1.32	0.30
	Wheat	88.49	1.82	14.10	1.74	2.19	20.54	4.79	1.34	1.65	0.02
Fats	Tallow	99.44	0.06	1.60	99.08	-	-	-	-	-	-
Animal protein	Fish meal	92.02	19.50	62.11	11.45	1.68	25.59	13.84	1.15	3.70	1.39
Plant protein	Coconut meal	88.97	7.58	23.36	2.96	9.25	69.68	34.92	11.80	13.63	0.93
	Corn germ meal	89.50	3.51	25.36	4.47	10.43	63.96	14.46	3.42	7.26	0.82
	Corn gluten meal	91.42	3.42	66.38	2.04	3.31	21.32	17.21	2.86	0.98	0.63
	Cottonseed	90.37	4.13	20.95	18.45	27.73	53.17	38.89	11.98	1.60	0.79
	Cottonseed meal	89.15	6.66	39.84	1.49	19.79	40.00	28.06	10.45	2.12	0.86
	Lupin seed	89.83	3.43	33.27	5.77	16.39	25.89	19.79	1.81	1.43	0.68
	Palm meal	90.95	5.10	16.21	8.69	12.28	74.53	43.81	17.17	3.09	1.48
	Rapeseed meal	90.27	8.69	40.78	1.04	9.89	40.22	24.30	9.49	7.66	1.67
	Soybean meal	88.45	7.17	50.09	2.13	5.73	19.24	10.82	1.87	2.16	0.13
By-product	Beetpulp	87.87	6.03	9.89	1.23	23.25	55.63	29.78	2.75	6.72	0.54
	Corn gluten feed	89.09	5.16	18.41	3.57	10.30	48.20	10.45	1.37	2.95	0.06
	Cottonseed hull	90.25	4.46	6.17	2.34	44.61	81.32	60.71	18.65	2.53	1.69
	Rice bran, polish	87.83	11.15	13.07	13.50	12.03	26.73	9.07	8.63	2.79	0.19
	Rice bran, solvated	88.73	13.59	17.73	4.14	11.97	35.04	11.38	6.47	4.78	0.30
	Soybean hull	90.30	5.12	13.76	2.77	32.00	66.84	44.40	2.34	0.93	4.11
	Wheat bran	87.83	4.85	16.50	4.01	9.80	39.57	11.24	3.49	3.32	0.24
Roughage	Alfalfa hay	89.83	9.43	18.54	2.13	29.48	43.03	36.33	8.64	2.52	1.51

-Continued

Classification	Feed name	Crude component					Fiber and insoluble crude protein				
		DM	Ash	CP	EE	CF	NDF	ADF	ADL	NDICP	ADICP
		%	%DM	%DM	%DM	%DM	%DM	%DM	%DM	%DM	%DM
	Bermuda grass hay	91.65	7.76	9.64	1.90	24.25	70.69	33.28	6.93	5.20	1.10
	Klein grass hay	93.06	8.77	11.27	1.67	30.27	68.70	36.09	5.46	5.53	1.56
	Oat hay	90.66	6.53	7.84	2.49	29.17	61.73	39.76	8.22	1.10	0.47
	Sheep grass hay	89.71	5.85	6.70	1.44	33.33	74.42	44.96	9.28	2.51	0.54
	Thimothy hay	91.21	7.08	8.20	2.27	29.90	63.52	39.44	5.06	1.95	0.76
Roughage	Orchard grass straw	91.29	6.43	4.30	1.46	35.80	74.16	47.22	7.76	1.21	0.55
	Rice straw	91.28	16.36	4.82	1.46	32.65	71.79	48.21	4.62	1.28	0.29
	Rye straw	91.77	5.19	4.95	1.16	38.05	73.38	44.84	10.46	1.22	0.29
	Tall fescue straw	91.78	6.71	5.68	1.17	36.43	70.77	44.28	8.38	1.30	0.49
	Corn silage	30.51	44.51	8.08	2.77	27.72	50.98	31.64	2.91	1.47	0.04
	Sudan grass silage	39.36	10.07	9.15	2.01	27.61	62.94	44.23	5.65	1.61	0.95

<sup>1</sup>: DM:Dry matter ; CP:Crude protein ; EE:Ether extract ; CF:Crude fiber ; NDF:Neutral detergent fiber ; ADF:Acid detergent fiber ;  
NDICP:Neutral detergent insoluble crude protein ; ADICP:Acid detergent insoluble crude protein.

Table 3-19. Chemical compositions of macro mineral in investigated feedstuffs

Classification	Feed name	Ca, %DM	P, %DM	Mg, %DM	Cl, %DM	K, %DM	Na, %DM	S, %DM
Energy	Corn	0.05	0.29	0.10	0.16	0.42	0.07	0.08
	Molasses	0.63	0.07	0.36	2.37	4.79	0.92	0.54
	Tapioca	0.54	0.05	0.10	0.48	0.07	0.09	-
	Wheat	0.06	0.40	0.14	0.17	0.31	0.10	0.13
Fats	Tallow	-	-	-	-	-	-	-
Animal protein	Fish meal	5.14	3.30	0.22	0.61	1.40	0.87	0.68
Plant protein	Coconut meal	0.15	0.64	0.27	1.40	0.20	0.58	0.14
	Corn germ meal	0.21	0.47	0.14	0.08	0.08	0.08	0.33
	Corn gluten meal	0.10	0.38	0.08	0.06	0.20	0.07	0.80
	Cottonseed	0.22	0.77	0.33	0.79	0.62	0.10	0.21
	Cottonseed meal	0.37	1.05	0.57	0.50	1.13	0.07	0.34
	Lupin seed	0.33	0.35	0.13	0.50	0.33	0.12	0.16
	Palm meal	0.49	0.68	0.26	0.59	0.01	0.10	0.13
	Rapeseed meal	0.89	1.08	0.35	0.66	0.05	0.28	-
Soybean meal	0.38	0.72	0.30	0.64	1.37	0.06	0.39	
By-product	Beetpulp	0.63	0.16	0.25	0.17	0.47	0.20	0.20
	Corn gluten feed	0.12	0.69	0.38	0.38	0.97	0.19	0.40
	Cottonseed hull	0.28	0.25	0.18	0.47	0.62	0.06	0.07
	Rice bran, polish	0.09	1.75	0.78	0.62	0.81	0.10	0.19
	Rice bran, solvented	0.11	1.68	0.91	1.51	0.06	0.24	-
	Soybean hull	0.77	0.21	0.23	0.92	0.49	0.08	0.12
	Wheat bran	0.11	1.08	0.48	0.37	0.96	0.11	0.19
Roughage	Alfalfa hay	1.40	0.27	0.35	1.06	0.99	0.42	0.25
	Bermuda grass hay	0.39	0.22	0.18	0.76	0.68	0.31	0.27
	Klein grass hay	0.38	0.22	0.35	1.29	0.10	1.32	0.13

*-Continued*

Classification	Feed name	Ca, %DM	P, %DM	Mg, %DM	Cl, %DM	K, %DM	Na, %DM	S, %DM
	Oat hay	0.19	0.19	0.14	0.69	0.65	0.64	0.10
	Sheep grass hay	0.23	0.13	0.16	0.43	0.18	0.23	-
	Timothy hay	0.38	0.22	0.13	0.93	0.41	0.32	0.09
	Orchard grass straw	0.26	0.18	0.09	1.16	0.03	0.19	0.06
Roughage	Rice straw	1.27	0.11	0.05	0.55	0.03	0.10	0.06
	Rye straw	0.19	0.05	0.10	0.56	0.12	0.30	-
	Tall fescue straw	0.31	0.14	0.15	0.99	0.23	0.66	0.09
	Corn silage	0.15	0.45	0.20	0.44	1.01	0.05	0.12
	Sudan grass silage	0.73	0.24	0.27	1.46	0.03	0.19	0.08

Table 3-20. Particle size of feedstuff

Items	Sieve No. mm	대립자			중립자				소립자				비율(%)		
		6 >3.35	8 2.36	소계	10 2	12 1.7	16 1.19	소계	20 0.85	25 <0.71	소계	가루	대립자	중립자	소립자
Corn, USA	1000			1000				0			0	0	100	0	0
Corn, China	1000			1000				0			0	0	100	0	0
Wheat	331	618	949		43	6	2	51	0	0	0	0	94.9	5.1	0
Tapioca	847	90	937		43	11	3	57	3	3	6	0	93.7	5.7	0.6
Soybean meal, domestic	0	0	0		1	13	186	200	235	157	392	408	0	20	80
Cotton seed meal	163	94	257		111	101	181	393	85	45	130	220	25.7	39.3	35
Corn gluten meal	0	0	0		0	3	104	107	156	134	290	603	0	10.7	89.3
Corn germ meal															
Lupin seed	898	5	903		1	0	2	3	3	0	3	91	90.3	0.3	9.4
Coconut meal	0	1	1		4	19	91	114	113	110	223	662	0.1	11.4	88.5
Rapeseed meal	0	1	1		4	18	114	136	120	99	219	644	0.1	13.6	86.3
Palm meal	0	2	2		11	30	115	156	123	102	225	617	0.2	15.6	84.2
Rice bran solvated	0	1	1		4	9	49	62	82	76	158	779	0.1	6.2	93.7
Rice bran polish	0	0	0		2	5	6	13	82	108	190	797	0	1.3	98.7
Soybean hull	2	2	4		15	65	317	397	225	91	316	283	0.4	39.7	59.9
Wheat bran	0	25	25		26	51	224	301	156	81	237	437	2.5	30.1	67.4
Corn gluten feed	15	110	125		170	150	240	560	135	60	195	120	12.5	56	31.5
Sugar beet pulp, dried	1000		1000					0			0	0	100	0	0
Cottonseed, whole with lint	1000		1000					0			0	0	100	0	0
Fish meal, foreign	2	5	7		3	7	20	30	33	37	70	893	0.7	3	96.3
Fish meal, domestic	0	2	2		7	12	56	75	104	101	205	718	0.2	7.5	92.3

## 2. 사료자원의 영양소함량 간이평가 모델 개발

### 가. 서론

사료의 영양소 함량의 평가는 화학적인 분석방법을 주로 이용하는데, 2001년에 발간된 NRC의 nutrient requirements of daily cattle, 7th revised edition (NRC2001)은 사료 중의 영양소 함량을 평가할 때 nutrient requirements of beef cattle(NRC1996)에서 몇 부분이 새롭게 개정되었다. 즉 neutral detergent fiber(NDF)의 분석이 새로운 분석방법으로 최근에 국제적으로 공인된 heat-stable  $\alpha$ -amylase treated neutral detergent fiber(aNDF) 분석방법을 권장하고 있으며(David, 2002), 사료의 에너지 함량을 계산할 때에도 neutral detergent insoluble crude protein(NDICP), acid detergent insoluble crude protein(ADICP), acid detergent lignin(ADL) 및 crude ash의 성분들을 새롭게 이용하고 있다. 이들 새롭게 도입된 성분들은 반추위내에서 사료의 이용성과 분해속도를 보다 정확히 평가할 수 있는 항목으로 기존의 사료평가 개념을 크게 향상시킨 항목들이다. 현재까지 한국에서는 aNDF보다는 NDF를 적용하고 있고 또한 NDICP, ADICP의 개념은 적용하지 않고 있는 실정이다. 그러나 앞으로 우리나라에서도 NRC2001이 새롭게 제시한 사료의 화학적 평가방법을 도입하여 사료평가를 향상시켜야 할 것이라고 생각한다. 그러나 aNDF, NDICP, ADICP 등은 화학분석방법이 매우 까다롭고 시간도 오래 걸리어 현장에서 쉽게 사용하기 어려운 점이 있으며, NRC 2001에서도 사료의 영양성분을 추정하고자 NRC의 영양소 함량을 이용하고자 한다면 표준편차와 분석점수를 점검해 보아야 한다는 전제 하에 몇 성분들은 추정값을 제시하고 있다.

사료의 영양성분을 평가할 때, 간단하고 쉬운 방법을 사용하기 위한 한국 내 연구 보고는 근적외선 분석에 관한 연구(이효원 등, 2001)가 있을 뿐이며, 외국의 연구는 주로 반추위 내에서의 소화율을 평가함으로써 사료가치를 평가하는 in vitro, in sacco, in vivo 등의 연구들(Weiss 등, 1992; Yu et al., 2004)과 조사료의 물리적인 특성으로부터 소화율과 영양성분을 예측(Mir 등, 1995)하고자 하는 연구는 많이 시도되었으나 현장에서 이들의 사용여부는 확인되지 않고 있다.

따라서 본 연구는 사료자원의 영양소 함량 DB구축을 바탕으로 영양성분간에 상관관계가 있는 섬유소와 단백질 fraction별로 영양성분간의 상관관계를 도출하여 쉽게 분석할 수 있는 영양 성분으로부터 분석하기 어려운 영양성분 함량의 예측가능성을

알아보았고 이를 바탕으로 사료자원의 영양소함량 간이평가 model을 개발하기 위하여 실시하였다.

## 나. 재료 및 방법

### 1) 공시재료

본 연구에 사용한 원료사료의 분석자료는 ‘사료자원의 영양소함량 DB구축’을 위해 분석하고 평가한 원료사료의 분석값을 이용하였다.

### 2) 회귀식의 도출

영양성분간에 상관관계가 있는 성분끼리 상관관계를 도출하여 쉽게 분석할 수 있는 영양 성분으로부터 분석하기 어려운 영양성분 함량의 예측가능성을 알아보기 위하여 원료사료의 섬유질 구성성분간의 상관관계와 단백질 구성성분간의 상관관계와 회귀식을 도출하였다. 영양성분간의 회귀식의 도출은 Statistical analysis system(SAS, ver 8.02)의 회귀식 도출방법을 이용하였다.

### 3) 통계처리

본 연구에 공시한 사료의 분석 결과는 Statistical analysis system(SAS, ver 8.02)을 이용하여 성분 간의 Pearson's 상관관계와 회귀식을 도출하였다.

## 다. 결과 및 고찰

### 1) 섬유질 구성성분간의 상관관계

섬유질 구성성분간의 Pearson's 상관계수 도출의 예를 Table 3-21.에 나타내었다. 특히 조사료에 있어서 NRC2001은 화본과 조사료와 콩과 조사료의 분류를 새롭게 하고 있다. 즉 각 조사료의 영양성분을 회사의 실험실자료, 문헌 자료, NRC1996의 자료와 대학실험실의 자료를 조사한 결과 조사료들은 서로 다른 종들간에 영양성분의 변이가 크지 않고(Cherney 등, 1993), 또한 일반 실험실과 논문화되어 있는 데이터들이 숙기에 대한 표기가 정확하지 않고 누락되어 있는 경우가

있는 점을 생각하여 표준 속기로 분류하지 않고, 조사료를 분류함에 있어 콩과, 화본과 및 혼과조합으로 분류하였고, 이를 다시 NDF의 함량으로 low NDF(<55% NDF), medium NDF(55-60% NDF), high NDF(>60% NDF)로 분류하고 있다 (NRC 2001).

본 연구에서는 국내에서 많이 사용하고 있는 조사료 7종류(콩과 Alfalfa hay, 화본과 bermudar grass hay, klein grass hay, oat hay, orchard grass straw, tall fescue straw, timothy hay)를 선정하여 회귀식을 도출하였고 이를 위해 이용한 화본과 조사료 6종류의 aNDF의 함량이 NRC2001의 high NDF에 해당되므로 종별로 나누지 않고 모두 합하여 영양성분간의 상관관계를 도출하였으며 이를 다시 각 초종별로 영양성분간의 회귀식을 도출하였다.

일반적으로 조사료에서 NDF, ADF와 crude fiber는 높은 상관관계가 있으나, 서로 다른 섬유소원을 함유하고 있는 혼합사료에서는 사료마다 섬유소의 함량이 서로 다르기 때문에 이들의 상관관계는 낮아진다. 예에 나타난 화본과 조사료의 CF와 aNDF의 상관계수는 0.459(P<0.05)를, CF와 ADF는 0.968(P<0.001)의 상관계수를 나타내었고 aNDF와 ADF는 0.459(P<0.05)의 상관계수를 나타내었다. Alfalfa의 CF와 aNDF, ADF의 상관계수는 각각 0.907(P<0.05), 0.971(P<0.001)의 높은 상관계수를 나타내었고, aNDF와 ADF는 0.926(P<0.05)의 상관계수를 나타내었다.

섬유질 구성성분간의 Pearson's 상관계수가 유의성있게 나타난 영양성분간의 선형 회귀식(linear regression) 및 35가지를(linear correlation;  $R^2$ )의 예를 Figure 3-19에 나타내었다. 화본과 조사료의 CF와 aNDF의 선형회귀식은  $y = 0.4678x + 54.012$  ( $x=CF$ ,  $y=aNDF$ ,  $P<0.05$ )를 나타내었으며 회귀식의 적합도를 분석한 결과 유의성이 인정되었다. Alfalfa의 선형회귀식은  $y = 1.0427x + 12.984$  ( $x=CF$ ,  $y=aNDF$ ,  $P<0.05$ )를 나타내었으며 회귀식의 적합도를 분석한 결과 유의성이 인정되었다. 화본과 조사료와 alfalfa의 CF와 ADF의 선형회귀식은 각각  $y = 1.0764x + 5.4546$  ( $x=CF$ ,  $y=ADF$ ,  $P<0.001$ )과  $y = 1.4013x - 4.3569$  ( $x=CF$ ,  $y=ADF$ ,  $P<0.001$ )를 나타내었으며 적합도 분석에서도 높은 유의성이 인정되었다.

이를 다시 각 초종별로 CF와 aNDF, CF와 ADF의 선형 회귀식(linear regression) 및 상관지수(linear correlation;  $R^2$ )를 Figure 3-20.와 3-21에 나타내었다. Alfalfa hay의 CF와 aNDF의 선형 회귀식의 상관지수는 0.8225, CF와 ADF는 0.9419로 높게 나타났으며 klein grass도 CF와 aNDF의 상관지수가 0.9331로 높게 나타났으나 CF와 ADF의 상관지수는 낮게 나타난 반면, oat hay는 CF와 ADF의

상관지수는 0.8591로 높았으나 CF와 aNDF의 상관지수는 낮게 나타났다. Orchard grass straw의 선형 회귀식의 상관지수는 CF와 aNDF, CF와 ADF는 낮게 나타났고, tall fescue straw는 CF와 aNDF, CF와 ADF의 상관지수는 각각 0.9606, 0.985로 높았으며 timothy hay는 CF와 aNDF, CF와 ADF의 상관지수가 각각 0.9955, 0.8994 모두 매우 높게 나타났다.

## 2) 단백질 구성성분간의 상관관계

화분과 조사료와 Alfalfa hay의 영양성분 중에서 단백질 구성성분간의 Pearson's 상관계수를 Table 3-22.에 나타내었다. 화분과 조사료의 CP와 NDICP, ADICP의 상관계수는 각각 0.717과 0.692를 나타내었고( $P < 0.001$ ), alfalaf의 상관계수는 각각 0.987과 0.982로 높은 상관관계를 나타내었다( $P < 0.01$ ). 또한 NDICP와 ADICP의 상관계수는 각각 0.801 ( $P < 0.001$ ), 0.989로( $P < 0.01$ ) 높은 상관관계를 나타내었다.

단백질 구성성분간의 Pearson's 상관계수가 화분과 조사료와 Alfalfa에서 높게 나타나 이들 성분 간의 선형 회귀식(linear regression)을 도출하였고 이의 예를 Figure 3-22.에 나타내었다. 화분과 조사료의 CP와 NDICP의 선형회귀식은  $y = 0.5161x - 1.3101$  ( $x=CP$ ,  $y=NDICP$ ,  $P < 0.001$ )로 도출되었고 적합도를 분석한 결과 높은 유의성이 인정되었다. alfalfa의 선형회귀식은  $y = 0.425x - 5.3371$  ( $x=CP$ ,  $y=NDICP$ ,  $P < 0.01$ )로 도출되었고 적합도를 분석한 결과 유의성이 인정되었다. CP와 ADICP의 선형회귀식은 화분과 조사료에서  $y = 0.1207x - 0.1494$  ( $x=CP$ ,  $y=ADICP$ ,  $P < 0.001$ )을 콩과 조사료는  $y = 0.2795x - 3.6157$  ( $x=CP$ ,  $y=ADICP$ ,  $P < 0.01$ )를 나타내었고 적합도 분석에서도 높은 유의성이 인정되었다.

이를 다시 각 초종별로 CP와 NDICP, CP와 ADICP의 선형 회귀식 및 상관지수를 Figure 3-23과 3-24에 나타내었다. Alfalfa hay의 CP와 NDICP, CP와 ADICP의 관계는 상관계수도 높게 나타났으며 따라서 선형 회귀식의 상관지수도 각각 0.9751, 0.9649로 높게 나타났다. 화분과 초종에서 CP와 NDICP의 상관지수는 oat hay가 0.9031, orchard grass straw가 0.9081, tall fescue straw가 0.9885로 나타났으며, CP와 ADICP의 상관지수는 oat hay가 0.954, timothy hay가 0.8341로 높게 나타났다.

일반적으로 사료의 영양소 함량은 생산된 지역의 토양성분, 수확 및 예취시기, 기후조건, 건조방법 등 여러 가지 조건에 의해 영향을 받는다는 것은(Cherney, 1993; Van Soest. 1994, 1996) 잘 알려져 있다. 특히 조사료의 화학성분의 변화는

숙기와 잎의 비율의 변화와 관련이 있고, 이러한 성분들은 입자도, 중량과 수화용량(hydration capacity)을 감소시키는데 영향을 미친다. 영양성분과 조사료의 섭취량과의 관계를 추정하는데 이러한 물리적인 특성을 이용하고자 하는 연구도 있었다(Cooke와 Morgan, 1987; Mir 등, 1990). 특히 콩과 조사료의 영양성분의 변화는 잎과 줄기 무게의 변화율에 영향을 받는데 이를 이용하여 알팔파의 잎의 비율로부터 영양성분과 in vitro 진소화율을 추정하는 연구보고도 있다(Kalu 등, 1988). 그러나 많은 양이 수입되고 있는 수입사료는 이러한 사료 종류별로 저장방법 및 건조방법과 같은 물리적인 자료, 생육환경, 수확 및 예취시기와 같은 생리적인 자료와 수입되는 과정에서 나타날 수 있는 환경적인 자료를 일일이 획득하는 것이 사실상 쉽지가 않은 것이 현실이다. 또한 NRC2001에서도 영양성분 분석에 사용한 조사료에 대한 자료가 불분명하고, 종들 간에 영양성분의 변이가 크지 않았기 때문에 화분과와 콩과 조사료를 종류별로 분류하지 않고 NDF 함량을 기준으로 분류하고 있으며 ADF, NDICP, ADICP의 농도를 회귀식에서 추정된 값을 사용하고 있는 것과 같이 본 연구에서 영양성분 간에 상관관계가 높게 나타난 성분들은 비교적 분석하기 쉬운 성분의 분석값으로부터 값을 추정할 수 있을 것으로 생각되며, 앞으로 화학분석으로 평가한 값과 회귀식으로 평가한 값의 비교연구가 필요하며 분석점수를 더 많이 할수록 회귀식의 완성도가 높아질 것으로 생각한다.

#### 라. 요약

상기 연구 1에서 구축한 영양소 함량 DB를 바탕으로 섬유소와 단백질 fraction 별로 영양성분간의 상관관계를 도출하여 쉽게 분석할 수 있는 영양 성분으로부터 분석하기 어려운 영양성분 함량을 예측할 수 있는 영양소함량 간이평가 model을 개발하였다.

Table 3-21. Pearson's correlation coefficients between fiber fraction of investigated roughages

Category	Observation	Item <sup>1</sup>	CF	aNDF	ADF	ADL
Legume	5	CF	...			
		aNDF	0.907 *	...		
		ADF	0.971 ***	0.926 *	...	
		ADL	0.609	0.335	0.636	...
Grasses	29	CF	...			
		aNDF	0.459 *	...		
		ADF	0.968 ***	0.459 *	...	
		ADL	0.306	0.233	0.323	...

<sup>1</sup> CF; crude fiber, aNDF; heat-stable amylase treated neutral detergent fiber, ADF; acid detergent fiber, ADL; acid detergent lignin.

\* P<0.05; \*\* P<0.01; \*\*\* P<0.001

Table 3-22. Pearson's correlation coefficients between protein fraction of investigated roughages

Category	Observation	Item <sup>1</sup>	CP	NDICP	ADICP
Legume	5	CP	...		
		NDICP	0.987 **	...	
		ADICP	0.982 **	0.989 **	...
Grasses	29	CP	...		
		NDICP	0.717 ***	...	
		ADICP	0.692 ***	0.801 ***	...

<sup>1</sup> CP; crude protein, NDICP; neutral detergent insoluble crude protein, ADICP; acid detergent insoluble crude protein.

\* P<0.05; \*\* P<0.01; \*\*\* P<0.001

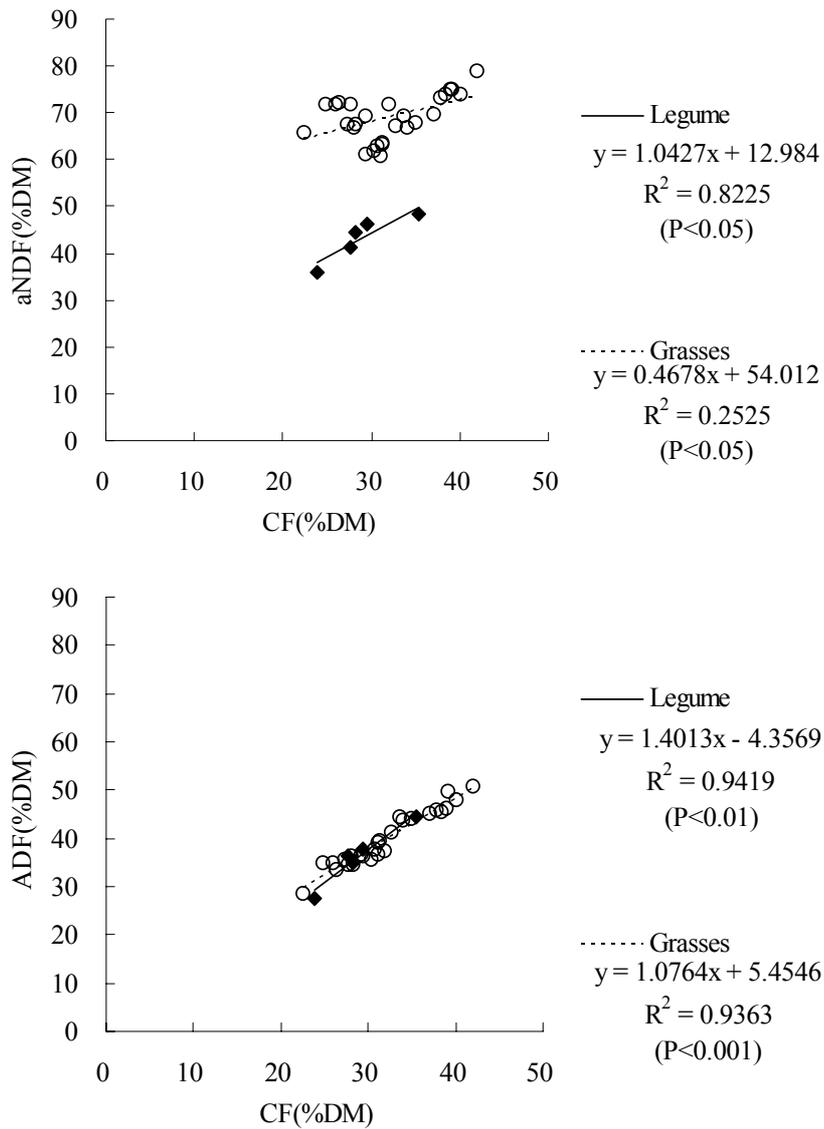


Figure 3-19. Plot of Crude fiber(CF) versus Heat stable □□-amylase treated neutral detergent fiber(aNDF) or Acid detergent fiber(ADF) of investigated roughage.

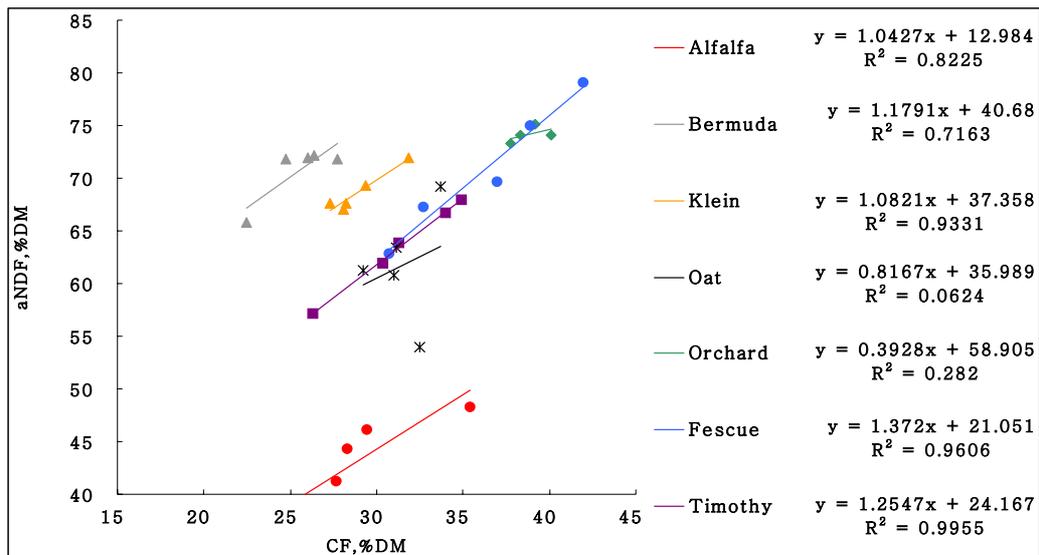


Figure 3-20. Linear regressions and  $R^2$  values between crude fiber(CF) concentration and heat-stable amylase treated neutral detergent fiber(aNDF) concentration of investigated roughages.

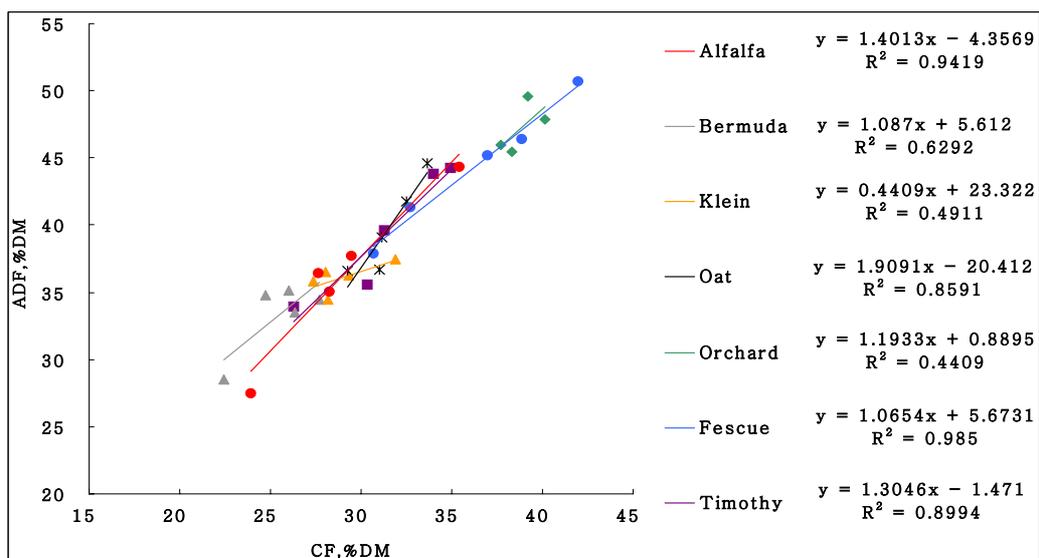


Figure 3-21. Linear regressions and  $R^2$  values between crude fiber(CF) concentration and acid detergent fiber(ADF) concentration of investigated roughages.

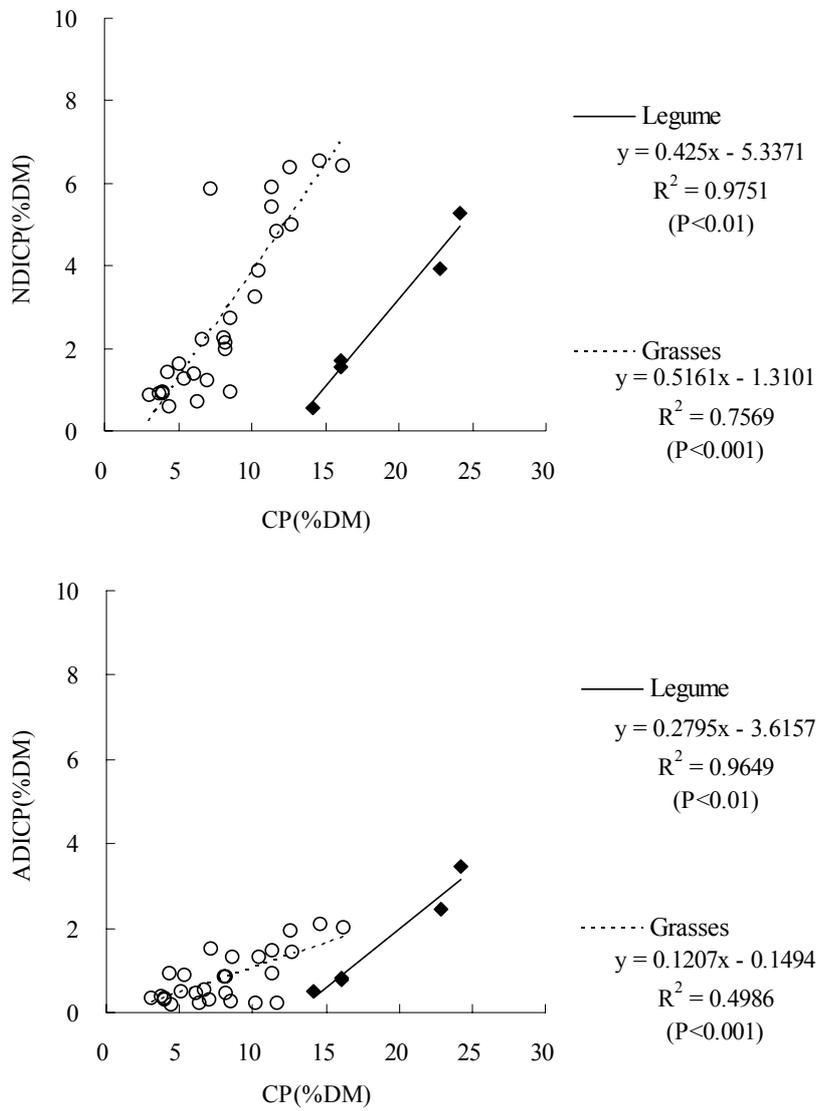


Figure 3-22. Plot of Crude protein(CP) *versus* Neutral detergent insoluble crude protein(NDICP) or Acid detergent insoluble crude protein(ADICP) of investigated roughage.

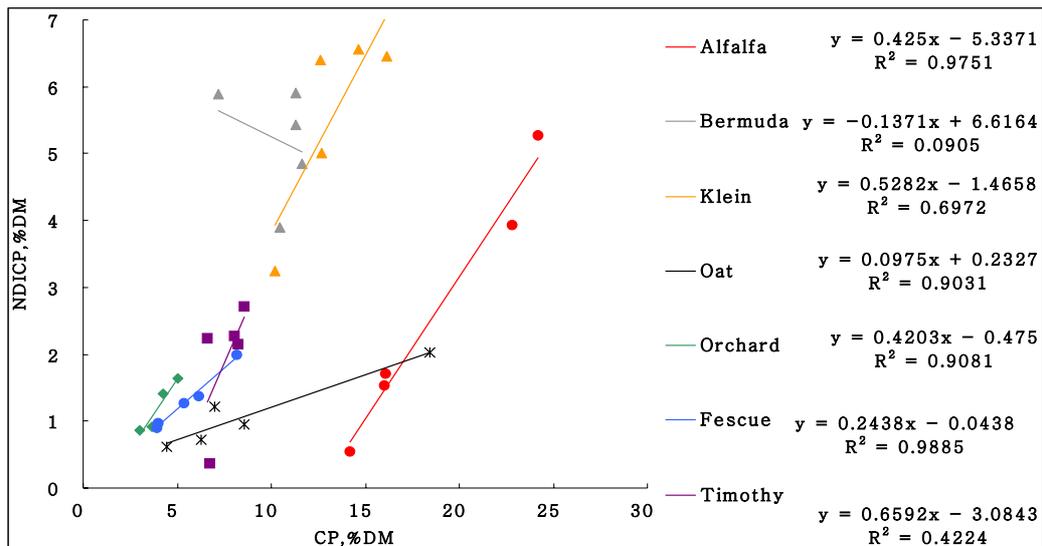


Figure 3-23. Linear regressions and R<sup>2</sup> values between crude protein(CP) concentration and neutral detergent insoluble crude protein(NDICP) concentration of investigated roughages.

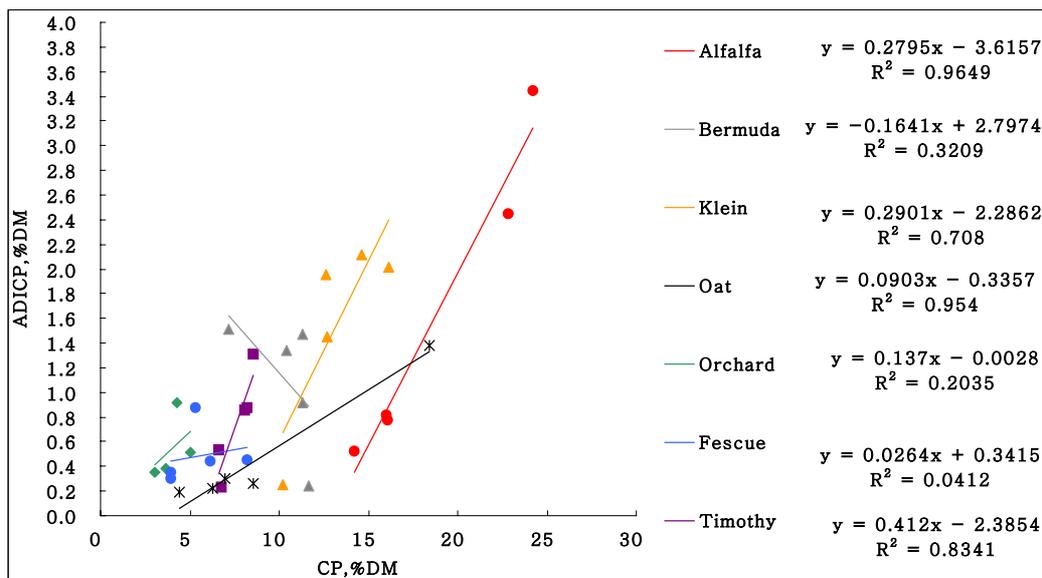


Figure 3-24. Linear regressions and R<sup>2</sup> values between crude protein(CP) concentration and acid detergent insoluble crude protein(ADICP) concentration of investigated roughages.

### 제3절 반추위내 미생물 발효모델 개발

반추위 simulation 모델은 Baldwin 등 (1970)의 최초 면양의 반추위 모델을 시발점으로 하여 보다 구체적이고 다양한 모델들이 지속적으로 연구 개발 되어오고 있다. 한편, 젖소 반추위 발효 모델은 1987년 Baldwin 등에 의하여 처음으로 개발되었는데, 이들 연구진들은 젖소에 있어 영양소 이용효율을 예측하기 위하여 노력하였다. CNCPS (Cornell net carbohydrate and protein system)은 소에 있어서 이용 가능한 영양소 흡수 평가와, 이와 더불어 사료배합 시 영양소 균형을 최적화하는데 유익하게 이용되고 있다. Russell 등 (1992)과 Sniffen 등 (1992)은 반추위 sub-model를 연구하였는데, 이 모델에는 반추위 사료 통과 속도와 분해율, 미생물 성장에 관한 equation들이 포함되어 있다. O'Connor 등 (1993)의 sub-model에는 아미노산 flow를 예측하는 equation이 기술되어 있다. 그리고 Pitt 등 (1996)은 반추위 pH와 VFA 생성량 예측에 관한 것을 서술하였으나, VFA molar proportion 예측에 대한 언급은 없었고, starch 분해 예측관하여 문제점도 지적되었다.

반추위 pH 가 사료의 종류에 의하여 영향을 받고 반추위 미생물 발효에 영향을 미치는 주요한 요인으로 인식하여 이를 예측하는 model 개발에 대한 많은 연구들이 수행되고 있으나 (Tamminga, 1988; Allen, 1997; Pitt 와 Pell, 1997; Mertens, 1997; Fox 등, 2000 ; Klover 와 de Veth, 2002), 대다수의 젖소 사양 표준은 반추위 pH의 미생물발효에 대한 영향을 언급하지 않고 있다 (INRA, 1989; NRC, 1989; AFRC, 1993). 젖소에게 급여된 사료로부터 반추위 pH를 예측하는 것은 반추위내 소화 및 영양소 공급을 최적화하고, acidosis 와 laminitis와 같은 반추위 대사장애 예방에 있어 중요하다 (Allen, 1997).

반추위 pH감소는 사료 내 높은 비율의 비구조탄수화물함량 때문이며, 따라서 반추위 pH는 급여되는 사료에 따라 영향을 상당히 받는다. Mould 등 (1983)과 Russell (1998)은 높은 비율의 농후사료 급여 후 사료 기질과 pH의 상호작용에 의하여 반추위 발효성상에 변화가 일어난 것을 조사하였다. 그 외 사료의 buffering capacity, saliva flow 및 ruminal outflow rate등이 반추위 pH와 관련한 미생물 발효에 영향을 끼치는 요인이라 할 수 있다. 그리고, 반추위 pH는 VFA 생성량, 반추위내 OM 분해율과 섭취량, 조사료 NDF 및 사료 입자도 (particle length index)와 상관이 있음이 보고된 바 있다 (Allen, 1997; Mertens, 1997).

## 1. pH 모델

조사료 NDF, 그리고 최근에는 eNDF (effective NDF) 와 peNDF (physically effective NDF)가 조사료와 농후사료를 급여한 젖소의 반추위 pH를 예측하는데 사용되고 있다(Pitt 등, 1996; Allen, 1997; Mertens, 1997). 사료입자도는 반추작용에 영향을 끼치는데(Welch, 1982), 사료를 분쇄하면 반추위 pH가 감소하는 경향을 보였다(Grant 등, 1990a, b).

사료 내 Physically effective fiber(peFiber) fraction은 저작활동(Chewing)을 자극한다. 즉, Chewing은 침분비(saliva secretion)를 촉진하고, 침 속에 있는 bicarbonate 와 phosphate buffer는 반추위 유기물(OM) 발효에 의하여 생성된 산(acid)들을 중화시킨다. 따라서 반추위 내에서 발효에 의하여 생성된 산과 buffer 분비와의 균형은 반추위 pH를 결정하는 아주 중요한 요인이다. 반추위 pH가 저하되었을 때는 건물섭취량, 섬유질 소화 및 microbial yield를 감소시키며 이로 인해 유생산 감소와 사료비용 증가의 불이익을 가져오게 된다.

사료급여(섭취) 횟수는 반추위와 혈중 대사에 영향을 끼치고(Sutton 등, 1986; Sutton 등, 1988), 사료급여 횟수의 상대적 감소는 유지방농도의 상대적 감소와 관련이 있다.

### 가. 재료 및 방법

최근 수행된 반추위 누관이 장착된 Holstein 착유우를 이용한 실험 중 처리구를 제외한 대조구(총 4회 12두)의 반추위 발효성상과 영양소섭취 결과를 이용하여 반추위 pH를 예측할 수 있는 equation을 도출하였다.

Sigma plot (ver 8.0)을 이용하여 각 요인에 따른 반추위 pH 예측을 위한 접근 방법으로서 polynominal(lineal, quadratic, cubic, inverse1, inverse2, inverse3), exponential (decay, rise to max 2p, rise to max 3p)과 3D plan을 이용하였다.

반추위 pH 예측 모델

1) Tamminga(1988)

$$\text{pH} = 7.18 - 0.014 \times \text{VFA (mM)} \dots\dots\dots [1]$$

2) Allen(1997)

$$\text{pH} = 6.56 + 0.0049 \times \text{VFA (mM)} \dots\dots\dots [2]$$

3) Pitt 와 Pell(1997)

$$\begin{aligned} \text{pH} &= \text{pH}_{\text{ss}} + (\Delta \text{Cacid}) / (d(\text{BC1}) / d(\text{pH})) \dots\dots\dots [3] \\ \text{Ds} &= -177.2 + 0.01638(\text{DMI}) + 4.706(\text{eNDF}) \dots\dots\dots [3-1] \\ \text{Cs} &= \text{Ds} / \text{VRUK1} \dots\dots\dots [3-2] \\ d(\text{BC1}) / d(\text{pH}) &= -\text{Cs} \left( \frac{381.8 \times 10^{(\text{pH}-6.4)}}{(1+10^{(\text{pH}-6.4)})^2} \right) \dots\dots\dots [3-3] \\ \Delta \text{CVFA} &= ((\text{VFA} - \text{VFAs}_{\text{ss}}) / 62 \text{VRU}) \times 1000 \dots\dots\dots [3-4] \\ \Delta \text{CL} &= ((\text{L} - \text{L}_{\text{ss}}) / 90 \text{VRU}) \times 1000 \dots\dots\dots [3-5] \\ \Delta \text{Cacid} &= \Delta \text{CVFA}(1 - f_{\text{VFA,u}}) + \Delta \text{CL}(1 - f_{\text{LU}}) \dots\dots\dots [3-6] \\ f_{\text{LU}} &= 1 / (1 + 10^{(\text{pH}-3.86)}) \dots\dots\dots [3-7] \end{aligned}$$

4) Mertens(1997)

$$\text{pH} = 6.67 - 0.143 \times (1 / \text{peNDF}) \dots\dots\dots [4]$$

5) Fox 등(2000)

$$\text{pH} = 5.425 + 0.04229 \times \text{eNDF}(\% \text{ DM}) \dots\dots\dots [5]$$

6) Klover 와 de Veth(2002)

$$\begin{aligned} \text{pH} &= 7.18 - 0.0081 \times \text{VFA (mM)} \dots\dots\dots [6] \\ \text{pH} &= 6.75 - 0.0022 \times \text{microbial N (gN/d)} \dots\dots\dots [7] \\ \text{pH} &= 5.84 + 0.0075 \times \text{NDF}(\% \text{ DM}) \dots\dots\dots [8] \end{aligned}$$

반추위 pH와 발효산물간의 상관관계 분석 결과를 Table3-23에 나타내었다. Pearson's Correlation 상관관계 분석 결과로부터 반추위 pH는 암모니아 농도 및 총 휘발성 지방산 농도, propionic acid, butyric acid 농도와 부(-)의 상관관계를 나타내었으며, acetic acid 농도와 정(+)의 상관관계를 나타내었다.

Table3-23. Pearson Correlation between rumen pH and fermentation parameters

Parameters		pH Mean	NH <sub>3</sub> -N	Acetate	Propionate	Isobutyrate	Butyrate	Isovalerate	Valerate	Total VFAs
pH Mean	Pearson Correlation	1.00	-0.72	0.09	-0.19	0.96	-0.15	0.27	1.00	-0.01
	Sig. (2-tailed)	.	0.49	0.94	0.88	0.19	0.90	0.83	0.06	0.99
NH <sub>3</sub> -N(mg/dl)	Pearson Correlation	-0.72	1.00	0.63	0.82	-0.89	-0.58	0.48	-0.78	0.71
	Sig. (2-tailed)	0.49	.	0.57	0.39	0.30	0.61	0.68	0.43	0.50
Acetate	Pearson Correlation	0.09	0.63	1.00	0.96	-0.21	-.998(*)	0.98	0.00	1.00
	Sig. (2-tailed)	0.94	0.57	.	0.18	0.87	0.04	0.11	1.00	0.07
Propionate	Pearson Correlation	-0.19	0.82	0.96	1.00	-0.47	-0.94	0.90	-0.27	0.99
	Sig. (2-tailed)	0.88	0.39	0.18	.	0.69	0.21	0.29	0.83	0.11
Isobutyrate	Pearson Correlation	0.96	-0.89	-0.21	-0.47	1.00	0.15	-0.03	0.98	-0.31
	Sig. (2-tailed)	0.19	0.30	0.87	0.69	.	0.91	0.98	0.13	0.80
Butyrate	Pearson Correlation	-0.15	-0.58	-.998(*)	-0.94	0.15	1.00	-0.99	-0.06	-0.99
	Sig. (2-tailed)	0.90	0.61	0.04	0.21	0.91	.	0.08	0.96	0.10
Isovalerate	Pearson Correlation	0.27	0.48	0.98	0.90	-0.03	-0.99	1.00	0.18	0.96
	Sig. (2-tailed)	0.83	0.68	0.11	0.29	0.98	0.08	.	0.89	0.18
Valerate	Pearson Correlation	1.00	-0.78	0.00	-0.27	0.98	-0.06	0.18	1.00	-0.10
	Sig. (2-tailed)	0.06	0.43	1.00	0.83	0.13	0.96	0.89	.	0.94
Total VFAs, mM	Pearson Correlation	-0.01	0.71	1.00	0.99	-0.31	-0.99	0.96	-0.10	1.00
	Sig. (2-tailed)	0.99	0.50	0.07	0.11	0.80	0.10	0.18	0.94	.

## 2. 반추위 pH에 의한 섬유소 분해 모델 개발에 관한 연구

반추위 simulation model을 확립하기에 앞서 사료 급여원 중 에너지원으로 가장 중요한 섬유소인 cellulose의 분해에 있어 pH가 얼마나 많은 영향을 미치며, 이러한 pH의 변화로 인하여 야기되어지는 섬유소 분해 양상의 변화에 대한 규명하였다.

### 가. 재료 및 방법

#### 1) 실험설계

배양에 필요한 반추위액은 조사료(톨페스큐)와 농후사료를 6:4의 비율로 급여한 누관이 설치된 holstein 거세 수소로부터 취하였으며, 배양기질로는 cellulose를 (sigmacell; S6790 Sigma)을 사용하였다. 3 처리구 (initial pH, 5.8, 6.3 및 6.8) x 3 반복으로 39°C에서 각각 0, 2, 4, 8, 12, 24 및 48 시간대의 배양시간을 두어 pH, VFA, DM 및 gas production을 측정하였다.

#### 2) 실험 및 분석 방법

실험 수행은 Tilley와 Terry (1963), Pell과 Schofield(1993)의 방법으로 0.5g의 기질을 125mL serum bottle에 넣고, 40mL의 in vitro solution(pH 5.2, 5.8, 6.8)과 10mL의 strained ruminal fluid를 첨가하였다. 반추위액은 아침 사료급여 전에 채취하였고, 채취시 4겹의 cheese cloth에 거른 후, 실험실에서 혐기상태를 유지하며 8겹의 cheese cloth로 여과한 후 39°C incubator에서 배양을 하였고, 전체 가스발생량은 배양 시간대별 serum bottle내의 head space에 축적된 가스에 의해 생성된 압력을 측정하였다. 배양이 끝난 bottle은 50mL centrifuge tube에 옮겨 pH를 측정 한 후, VFA 측정을 위하여 원심분리 후 상층액 중 일부(1ml)를 GC(HP6980)로 분석하였다. DM 분해율은 펠렛과 남은 상층액은 미리 무게를 잰 Whatman #541에서 거른 후, 건조 후의 무게를 측정 후 배양전 기질의 무게와의 차이로 계산을 하였다.

pH, DM 그리고 VFA 생성량의 배양시간대 별 처리구간 변화는 SAS program을 이용하여 99% 신뢰한계에서 유의성을 검정하였다. 가스 발생량은 exponential model equation으로 Marquardt의 방법으로 SAS program을 이용하여 nonlinear

regrassion을 행하여 equation의 parameter값을 정의하였고, gas 발생량 분석시 사용된 exponential model equation은 다음과 같다.

#### *Exponential Model*

$$V_t = V_{\max}(1 - e^{-K \times (T - L)})$$

$V_t$  : t(시간)에 따른 가스 발생량

$V_{\max}$  : 발생될 수 있는 최대 가스량(mL)

$K$  : gas production rate constant(hour<sup>-1</sup>)

$T$  : time(hour)

$L$  : lag time(hour)

#### 나. 결과

발효초기 반추위 pH 수준에 의한 반추위 pH의 변화와 건물 소화율 결과를 Table3-24와 Table3-25에 나타내었다. 초기 pH 수준이 높을수록 발효가 진행됨에 따라 높게 pH를 유지한 결과를 보였으며( $P < 0.001$ ), 건물소화율은 pH가 높은 처리구에서 유의하게 높았다( $P < 0.001$ ).

반추위 pH 수준의한 gas 생성량 결과를 보면, Table 4에 나타낸 바와 같이 소화율 결과가 반영되어 높은 생성량 결과를 보였고( $P < 0.0001$ ) 이는 Table 5에 나타낸바와 같이 반추위 pH가 높을 경우  $V_{\max}$ 가 유의하게 높은 결과 뿐만 아니라 lag time이 다른 처리구에 비해 짧아진 결과에 기인하였다. 이는 반추위 pH가 높은 경우 반추위 미생물의 사료입자 부착이 빠르게 진행된 결과이다.

Table3-24. Changes in pH

Time(h)	low pH		medium pH		high pH		SEM	P
	AVE	SD	AVE	SD	AVE	SD		
0	5.80 <sup>a</sup>	0.03	6.16 <sup>b</sup>	0.02	6.78 <sup>c</sup>	0.08	0.028	<0.0001
2	5.83 <sup>a</sup>	0.01	6.16 <sup>b</sup>	0.02	6.72 <sup>c</sup>	0.01	0.001	<0.0001
4	5.83 <sup>a</sup>	0.01	6.16 <sup>b</sup>	0.01	6.75 <sup>c</sup>	0.01	0.006	<0.0001
8	5.77 <sup>a</sup>	0.01	6.11 <sup>b</sup>	0.01	6.71 <sup>c</sup>	0.02	0.006	<0.0001
12	5.73 <sup>a</sup>	0.03	6.05 <sup>b</sup>	0.03	6.70 <sup>c</sup>	0.03	0.017	<0.0001
24	5.70 <sup>a</sup>	0.01	5.83 <sup>b</sup>	0.01	6.66 <sup>c</sup>	0.01	0.004	<0.0001
48	5.64 <sup>a</sup>	0.01	5.58 <sup>b</sup>	0.01	6.54 <sup>c</sup>	0.01	0.006	<0.0001

\* AVE - average; SD - standard deviation; SEM - standard error of means.

Table3-25. Dry matter digestibility

Time(h)	low pH		medium pH		high pH		SEM	P
	AVE	SD	AVE	SD	AVE	SD		
0	4.47 <sup>a</sup>	0.42	5.00 <sup>a</sup>	0.75	4.93 <sup>a</sup>	0.56	0.340	=0.5311
2	4.78 <sup>a</sup>	0.72	4.44 <sup>a</sup>	1.03	3.63 <sup>a</sup>	1.10	0.557	=0.3845
4	2.96 <sup>a</sup>	0.59	4.01 <sup>a</sup>	0.62	3.33 <sup>a</sup>	0.50	0.331	=0.1545
8	3.68 <sup>a</sup>	0.37	6.14 <sup>b</sup>	1.27	7.30 <sup>b</sup>	0.50	0.470	=0.0042
12	4.53 <sup>a</sup>	0.71	7.68 <sup>b</sup>	0.49	8.38 <sup>b</sup>	0.11	0.289	=0.0002
24	7.63 <sup>a</sup>	0.25	16.80 <sup>b</sup>	0.72	18.64 <sup>c</sup>	0.76	0.359	<0.0001
48	9.70 <sup>a</sup>	0.24	28.11 <sup>b</sup>	0.07	39.22 <sup>c</sup>	0.48	0.180	<0.0001

\* AVE - average; SD - standard deviation; SEM - standard error of means.

Table3-26. Gas production

Time(h)	low pH		medium pH		high pH		SEM	P
	AVE	SD	AVE	SD	AVE	SD		
0	-0.03 <sup>a</sup>	0.00	-0.03 <sup>a</sup>	0.00	-0.03 <sup>a</sup>	0.00	×	×
2	-0.02 <sup>a</sup>	0.02	0.05 <sup>a</sup>	0.21	0.47 <sup>b</sup>	0.06	0.073	=0.0065
4	1.25 <sup>a</sup>	0.03	1.31 <sup>a</sup>	0.17	1.82 <sup>b</sup>	0.12	0.071	=0.0023
8	1.96 <sup>a</sup>	0.08	2.38 <sup>b</sup>	0.07	2.88 <sup>c</sup>	0.04	0.039	<0.0001
12	2.47 <sup>a</sup>	0.13	3.63 <sup>b</sup>	0.03	4.02 <sup>c</sup>	0.08	0.052	<0.0001
24	3.00 <sup>a</sup>	0.07	6.87 <sup>b</sup>	0.12	7.64 <sup>c</sup>	0.21	0.268	<0.0001
48	3.72 <sup>a</sup>	0.12	9.70 <sup>b</sup>	0.15	14.14 <sup>c</sup>	0.12	0.078	<0.0001

\* AVE - average; SD - standard deviation; SEM - standard error of means

Table3-27. Exponential curve fitting on gas production

	low pH		medium pH		high pH	
	estimate	SDE	estimate	SDE	estimate	SDE
Vmax	3.6286	0.1540	12.5653	0.6305	42.4446	5.3312
K	0.0959	0.0116	0.0321	0.0030	0.0084	0.0013
L	0.6002	0.3187	0.9237	0.2570	0.0000	0.0000

\* Vmax - maximum volume of gas production(ml); K - gas production rate constant(hour<sup>-1</sup>);  
L - lag time(hour); estimate - estimated value by regression; SDE - standard error.

### 3. 섬유소 공급과 반추위용적 및 flow rate 상호관계

#### 가. 재료 및 방법

##### 1) 실험설계

젖소용 사료자원 기초 영양소 평가결과를 활용하여 조사료원으로서 볏짚, 알팔파 건초, 톨페스큐, 티모시, 오차드그라스를 이용하여 NDF 함량이 30, 35, 40% 수준이 되도록 볏짚, 알팔파, 톨페스큐 및 beet pulp의 수준을 다르게 배합하여 실험에 이용하였다.

##### 2) 실험동물

반추위 누관이 장착된 3두의 Holstein dairy cow를 이용하였으며, 3x3 latin square design으로 실험구를 배치하였다.

##### 3) 실험방법

총 시험 기간은 90일이었으며, 처음 15일간의 적응기간을 두어 가축이 사료변화에 대하여 충분히 적응하도록 하였다. 실험 개시 16일째에 반추위 용적 및 flow rate 계산(dye back fitting equation)을 위하여 Cr-EDTA 용액을 500ml을 반추위 누관을 통해 일시에 주입하여 5분 후 부터 2시간까지는 30분 간격으로, 2시간 이후에는 1시간 간격으로 반추위 누관을 통해 위액 30ml씩 총 24시간 동안 샘플을 채취하였다. 실험종료 시 2차년도 미생물아미노산 평가를 위하여 위액 1000ml을

채취하였고, 미생물을 분리하여 다음 분석에 이용하였다.

반추위의 pH 변화를 측정하기 위하여 반추위 내에 pH 전극을 장착하여 24시간 동안 연속 측정하였다.

실험 개시 20일 부터 30일까지 10일 동안 5일 간격으로 사료섭취량과 유량 및 유성분을 조사하였다. 오전 5시와 오후 7시에 유량계를 통하여 약 500ml의 우유를 채취하였으며, 채취한 sample은 5℃에 냉장 보관하였고, 유성분 분석에 이용하였다. 사료급여 수준은 실험 개시 전 7일간의 우유 생산량과 체중을 기준으로 NRC (1989) 표준에 준하도록 농후사료 및 실험사료를 고려하여 급여량을 결정하였다. 개체별 영양소 급여량을 기준으로 평균 산유량 및 체중에 대한 건물섭취 수준을 설정하여 1일 요구되는 총 농후사료 및 자동급이기로부터 급여되는 1회 농후사료량을 계산하였다.

#### 4) 분석항목

사료 및 건조한 분의 화학분석은 A.O.A.C (1984)의 방법에 따라서 시료의 고형물 (dry matter),과 조단백질 (crude protein), 조지방 (ether extract)을 분석하였다. Van Soest(1991)의 분석방법에 따라 NDF, ADF 및 ADL(acid detergent lignin)를 분석하였으며, 우유중의 fat, protein, lactose, solid not fat(SNF), total solid, 빙점, citric acid, milk urea nitrogen 및 somatic cell count 분석은 milkoscan을 이용하였다. Cr 분석은 회화 후 강산을 첨가하여 끓인 후 Atomicabsorption으로 분석하였다.

#### 나. 결과

Table3-28에는 실험사료의 영양소 함량을 나타내었다. 에너지 수준 및 화학적 영양성분 섭취량에는 eNDF수준에 따라 큰 차이를 나타내지 않았다. 본 실험은 영양소 섭취량을 제한하여 수행한 실험으로서 각 실험 동물간 차이를 고려하지 않았다. Table3-29에서 보여주는 바와같이 건물섭취량은 21.35kg/day로서 1일 비유량이 31kg인 젖소의 영양소 요구량을 충족하도록 설계하여 배합하였으며, 체중 kg당 약 3.44%의 건물을 섭취한 결과를 나타내었다. 기초사료의 DIP 수준은 총 단백질 함량의 62%가 되도록 배합하였다. eNDF수준에 따라 NDF 및 ADF 섭취량은 사료내 각 섬유소 함량에 따른 차이가 나타나지 않았으나, 조사료 섭취량을 체중비

로할 경우 eNDF 수준이 53%인 처리구에서 가장 높은 조사료 섭취 결과를 나타내었다. 그러나 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다.

Table3-30에는 eNDF수준에 따른 반추위 용적 및 Cr-EDTA를 이용한 반추위 내용물의 passage rate 결과를 나타내었다. 반추위 용적 및 조사료 섭취 결과를 보면 전체 사료중 약 36.4%의 조사료를 섭취한 결과로부터 반추위의 용적은 E33, E43 및 E53 처리구 각각 71.94, 78.14 및 68.11L로서 E43 처리구가 가장 높은 결과를 보였으며, passage rate는 E43처리구가 5.74%/hr로서 E53 처리구의 7.77%/hr보다 빠른 결과를 나타내었다. 이는 반추위의 용적과 사료섭취량과의 관계를 나타낸 것으로서 반추위 소화율 및 발효성상에 영향을 미칠 것으로 판단된다.

우유 생산량 결과를 Table3-31, Table3-32, Table3-33에 나타내었다. 우유 생산량은 E53, E43 및 E33 처리구 각각 30.67, 30.22, 27.91g/day로서 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았으며, milk fat 함량은 eNDF 수준이 높아짐에 따라 높아지는 결과를 나타내었다. Milk protein 함량은 eNDF 수준이 33%인 처리구가 다른 처리구에 비해 높아지는 결과를 나타내었으나 eNDF급여수준의 증가에 따른 일정한 경향을 나타내지 않았다. SNF와 TS함량 또한 처리구간 차이를 나타내지 않았으나 E33 처리구 급여시 높은 함량을 나타내었다. 우유생산량과 유성분 함량을 고려한 1일 유성분 생산량 결과를 보면, protein, SNF 및 TS생산량이 eNDF 33% 처리구에서 증가한 결과를 나타내었고 특히 protein 생산량은 E53, E43 및 E53 처리구 각각 0.83, 0.85 및 0.861kg/day 생산하여 eNDF 수준 증가에 따라 낮아진 결과를 나타내었다. MUN 농도는 eNDF 33% 처리구 급여시 다소 높게 유지되었으나 처리구간 일정한 결과를 나타내지 않았다. 유즙의 urea nitrogen에 미치는 영양적 요인을 보면, 우유 생성과 체유지 그리고 단백질은 체유지 및 성장 등 사료의 에너지 및 단백질 급여 수준 모두가 우유 생산량과 유성분에 절대적 영향을 준다.

Table3-34에는 반추위액의 총 휘발성 지방산 생산량 결과를 나타내었다. 처리구간 유의한 차이를 나타내지 않았으나, E33처리구가 다른 처리구에 비해 다소 높게 유지하였다.

Table3-28. Chemical composition of experimental diets

% of DM

Item	Treatments						SEM <sup>1</sup>
	E33	SE	E43	SE	E53	SE	
Concentrate	64.33	0.91	63.10	0.65	63.35	1.56	1.04
Forage	35.67	0.91	36.90	0.65	36.65	1.56	1.04
Dry Matter	78.18	0.17	78.63	0.18	78.52	0.42	0.26
NDF	47.19	0.44	47.60	0.29	47.49	0.72	0.48
Effective NDF	56.08	0.94	61.77	0.63	65.69	1.34	0.97
Crude Protein	15.49	0.09	15.35	0.07	15.31	0.14	0.10
Solubility	24.15	0.23	24.54	0.23	24.73	0.21	0.22
ADF Insoluble P	7.70	0.06	7.77	0.06	7.83	0.04	0.05
Fat	5.20	0.10	5.33	0.09	5.42	0.07	0.09
Ash	6.98	0.03	6.97	0.02	6.93	0.02	0.02
Starch	58.75	0.77	57.58	0.60	57.79	1.41	0.93
Lignin	8.82	0.03	8.83	0.02	8.83	0.05	0.03
NPN	76.30	0.72	75.43	0.68	74.79	0.70	0.70
NDF Insoluble P	22.40	0.12	22.44	0.05	22.46	0.17	0.11

<sup>1</sup>: Standard error of means.

Table3-29. Results of nutrient intake

kg/day

Item	Treatments						SEM <sup>1</sup>
	E33	SE	E43	SE	E53	SE	
As-Fed	26.92	0.71	28.08	0.33	27.00	0.58	0.54
Dry Matter	21.05	0.60	22.08	0.25	21.20	0.44	0.43
Organic matter	19538.79	555.09	20498.50	225.52	19687.60	403.22	394.61
Fat	1093.17	39.89	1174.93	20.22	1146.39	30.73	30.28
Ash	1465.58	44.15	1535.32	20.35	1465.14	31.30	31.93
NDF	7092.41	259.46	7506.50	110.75	7193.45	217.44	195.88
ADF	2101.30	82.81	2224.39	37.02	2130.71	74.66	64.83
NSC	6000.93	111.08	6209.46	65.13	5979.27	120.86	99.03
NDF, % of BW	1.53	0.06	1.62	0.02	1.55	0.05	0.04
ForageNDF, % of BW	0.79	0.05	0.86	0.02	0.82	0.05	0.04

<sup>1</sup>: Standard error of means.

Table3-30. Results of rumen liquid volume and passage rate

Item	Treatments						SEM <sup>1</sup>
	E33	SE	E43	SE	E53	SE	
Forage in ration	35.67	0.91	36.90	0.65	36.65	1.56	1.04
Liquid passage rate, % of hr	6.71	0.17	5.74	0.07	7.77	0.12	0.12
Liquid volume, L	71.94	2.04	78.14	2.78	68.11	2.96	2.59

<sup>1</sup>: Standard error of means.

Table3-31. Results of milk yield and composition(AM)

Item	Treatments						SEM <sup>1</sup>
	E53	SE	E43	SE	E33	SE	
Milk yield, kg/day	9.56	0.49	12.90	0.58	14.27	0.30	0.46
Fat, %	3.36	0.33	3.15	0.17	3.35	0.14	0.21
Protein, %	3.79	0.10	2.57	0.12	2.95	0.07	0.09
Lactose, %	6.45	0.06	4.39	0.06	4.80	0.06	0.06
SNF, %	71.80	0.10	7.66	0.15	8.56	0.12	0.12
SCC, X 1000	105.03	20.83	201.10	60.10	159.00	28.81	36.58
MUN, mg/dl	7.62	0.435	11.69	0.92	15.07	0.65	0.67
Fat yield, kg/day	0.51	0.048	0.45	0.03	0.48	0.02	0.03
Protein yield, kg/day	0.57	0.02	0.37	0.02	0.42	0.02	0.02
Lactose yield, kg/day	0.97	0.03	0.63	0.03	0.69	0.02	0.02
SNF, kg/day	1.29	0.04	1.10	0.05	1.22	0.03	0.04

<sup>1</sup>: Standard error of means.

Table3-32. Results of milk yield and composition(PM)

Item	Treatments						SEM <sup>1</sup>
	E53	SE	E43	SE	E33	SE	
Milk yield, kg/day	15.50	0.76	15.89	0.98	13.70	0.43	0.72
Fat, %	3.64	0.24	3.48	0.20	3.46	0.16	0.20
Protein, %	2.84	0.10	2.78	0.08	2.93	0.07	0.08
Lactose, %	4.68	0.06	4.86	0.06	4.79	0.07	0.06
SNF, %	8.25	0.11	8.42	0.11	8.51	0.11	0.11
SCC, X 1000	195.33	26.55	216.00	58.57	170.64	23.01	36.04
MUN, mg/dl	14.59	0.56	13.42	1.02	14.75	0.76	0.78
Fat yield, kg/day	0.56	0.04	0.55	0.05	0.47	0.02	0.04
Protein yield, kg/day	0.44	0.02	0.44	0.03	0.40	0.02	0.02
Lactose yield, kg/day	0.73	0.04	0.77	0.05	0.66	0.03	0.04
SNF, kg/day	1.28	0.06	1.34	0.08	1.17	0.05	0.06

<sup>1</sup>: Standard error of means

Table3-33. Results of milk yield and composition(Daily)

Item	Treatments						SEM <sup>1</sup>
	E53	SE	E43	SE	E33	SE	
Milk yield, kg/day	30.67	0.45	30.22	0.58	27.91	0.26	0.43
Fat, %	3.65	0.20	3.49	0.13	3.46	0.10	0.14
Protein, %	2.84	0.07	2.82	0.07	2.82	0.04	0.06
Lactose, %	4.69	0.04	4.87	0.04	4.80	0.04	0.04
SNF, %	8.26	0.07	8.47	0.09	8.56	0.08	0.08
SCC, X 1000	180.50	16.79	219.72	40.72	165.76	17.25	24.92
MUN, mg/dl	14.49	0.35	13.21	0.67	15.19	0.48	0.50
Fat yield, kg/day	0.56	0.03	0.53	0.03	0.48	0.02	0.03
Protein yield, kg/day	0.86	0.01	0.85	0.02	0.83	0.01	0.01
Lactose yield, kg/day	0.72	0.02	0.74	0.03	0.67	0.01	0.02
SNF, kg/day	2.53	0.04	2.56	0.05	2.39	0.03	0.04

<sup>1</sup>: Standard error of means

Table3-34. Results of total volatile fatty acid production(mM) in the rumen

Item	Treatments			SEM <sup>1</sup>
	E33	E43	E53	
Time, hr				
1	111.72	101.70	88.03	18.33
2	129.67	124.51	108.11	19.05
3	117.63	111.56	96.39	14.07
4	130.91	102.20	93.65	14.45
5	131.54	92.36	107.69	22.57
6	133.47	89.90	127.24	19.04
7	114.22	130.25	97.04	16.31
8	105.90	119.30	114.35	11.20
9	147.29	109.94	94.43	20.80
10	132.35	120.04	112.15	21.01
11	152.32	105.01	89.78	21.79
12	131.19	89.84	93.02	13.79
13	134.20	101.51	125.87	16.63
14	126.36	105.14	94.67	12.46
15	122.43	120.32	103.56	22.08
16	129.32	127.45	136.17	30.64
17	127.67	114.17	136.53	23.22
18	121.59	123.75	148.83	23.33
19	99.78	106.24	127.04	18.92
20	110.16	103.27	114.13	17.07
21	112.17	107.08	130.39	17.45
22	67.79	116.85	109.61	14.51
23	115.58	117.04	91.72	16.28
24	132.56	75.04	71.67	31.36
mean	122.41	108.94	108.84	19.02

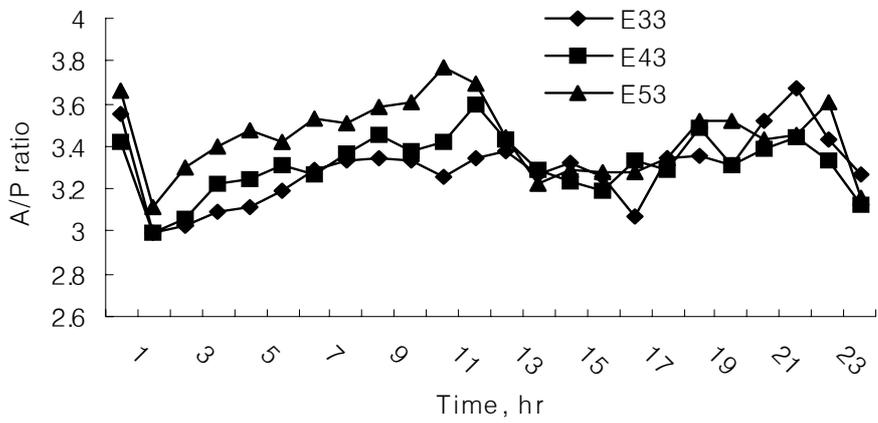
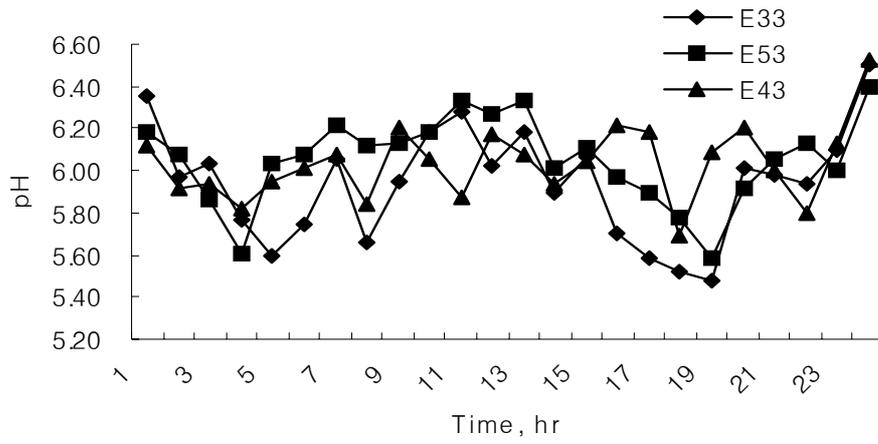


Figure 3-25. Effect of eNDF level on ruminal pH.

#### 4. 반추위 pH fluctuation 예측 모델

##### 가. 재료 및 방법

###### 1) 실험동물

반추위 누관이 장착된 3두의 Holstein dairy cow를 이용하였으며, 3x3 latin square design으로 실험구를 배치하였다.

###### 2) 실험방법

총 시험 기간은 30일이었으며, 처음 15일간의 적응 기간을 제공하여 가축이 사료 변화에 대하여 충분히 적응하도록 하였다. 반추위내의 pH 변화를 측정하기 위하여 반추위 내용물을 사료급여 후 12시간까지 1시간 간격으로 연속 측정하였다. 실험 개시 15일부터 30일까지 15일 동안 5일 간격으로 사료섭취량과 반추위액의 pH변화를 조사하였다.

개체 별 영양소 급여량을 기준으로 평균 산유량 및 체중에 대한 건물 섭취수준을 설정하여 1일 요구되는 총 농후사료 및 자동 급이기로부터 급여되는 1회 농후 사료량을 계산하였다.

###### 3) 통계분석

Sigma plot(ver 8.0)을 이용하여 각 요인과 사료급여 후 시간 경과에 따른 반추위 pH 예측을 위한 접근 방법으로서 polynomial(lineal, quadratic, cubic, inverse1, inverse2, inverse3), exponential (decay, rise to max 2p, rise to max 3p)과 3D plan 을 이용하였다.

##### 나. 결과

사료급여 후 시간에 따른 반추위 pH를 추정할 수 있는 pH fluctuation model을 아래와 같이 설정하였다.

$$Y_0=5.425+0.04229 \times \text{eNDF}(\% \text{ DM}) \dots\dots\dots[1]$$

$$\text{Rumen pH} = Y_0 + a \cdot \text{EXP}(-bt) + ct \dots\dots\dots [2]$$

- a: pH dropping rate(fast, 0.3649)
- b: pH dropping rate(slow, 2)
- c: pH recovery rate(0.0316)

Table3-35는 반추위 polynomial, exponential decay 공식을 이용한 pH 섭취한 사료의 영양성분과의 상관관계를 나타내었다. Polynomial 공식을 이용할 경우 섭취 영양성분 이용에 있어 단일 요인만을 적용해야하기 때문에 상관관계가 높으며, 다중 요인을 활용할 수 있는 exponential decay 3 parameter 공식을 활용하는 것이 타당하였다. Polynomial cubic 3rd 공식을 이용하는 경우 상관관계는 0.9824로서 반추위 탄수화물의 소화량과 매우 밀접한 관계를 나타내었으며, exponential decay 공식을 이용하는 경우에도 유사한 경향을 나타내었다. Table3-36은 다중요인을 이용한 exponential decay 공식을 이용하는 경우 반추위내에서 분해되는 available fiber(B2), Non-Starch(A+B1)를 요인으로 결정하는 경우 가장 높은 재현성을 나타내었으며, NDF와 Non-Starch(A+B1)를 요인으로 하는 경우 가장 낮은 재현성을 나타내었다. 기타 요인으로는 건물섭취량, 사료단백질함량 및 지방함량 등은 요인 결정과정에서 재현성이 낮아 제외되었다. 그러나 Y0를 결정하는 요인 결정과 관련하여 사료중 eNDF함량이 가장 크게 영향을 미치는 것으로 판단되어  $Y_0 = 5.425 + 0.04229 \times \text{eNDF}(\% \text{ DM})$ 로 결정하였다. Pearson's correlation coefficients 결과를 보면 Table3-37에 나타낸바와 같이 eNDF, NDF, dry matter intake, forage in ration, carbohydrate intake, grain passage rate 및 forage passage rate 등은 반추위 pH와 정(-)의 상관관계를 나타내었으며, available fiber(B2), concentrate intake, sugar(A), starch, non-structural CHO(A+B1) 및 unavailable CHO(C)의 경우 부(-)의 상관관계를 나타내어 반추위 평균 pH에 미치는 영양요인 결과와 유사한 경향을 나타내었다. Figure3-26은 본 실험에서 얻은 사료급여 후 반추위 pH에 대한 변화 결과와 fluctuation model에서 적용한 exponential decay 공식을 이용 예측한 결과와의 비교로부터 급여후 pH의 급격한 저하(a)에 영향을 미치는 요인과 서서히 감소(b)하는 데 영향을 미치는 요인, 그리고 반추작용에 의한 pH 상승(c)에 대하여 각각의 요인을 변화하였을 때 예측되는 pH 결과를 보여주고 있다. 본 실험으로부터 a 에 영향을 미치는 요인으로는 CNCPS(2004)에서 제시된 탄수화물의 분획과 각각의 반추위내 분

해속도에 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 이의 활용방법에 대하여는 다양한 접근 방법이 필요하다. 본 연구에서는 탄수화물 및 농후사료 섭취량이 a에 크게 영향을 미치는 것으로 나타났으나 반추 사료에 첨가되는 완충제의 효과를 제외하였다. 또한 eNDF, ADF수준 과 조사료 섭취량은 b와 c에 영향을 미치며, 특히 eNDF 수준(% of body weight)은 체중과 밀접하게 영향을 미치는 것으로 예측된다. 본 연구에서는 사료급여 간격 및 횟수에 대한적용하지 않았으나 제한된 급여사양 조건에서는 급여 후 반추위 pH의 변화를 시간 진행에 따라 예측가능할 수 있다.

Table3-35. Best fit equation for prediction of rumen pH fluctuation based on parameters

Item	CHO solubility	Available Fiber	NDF	NPN	Protein	Non Starch	eNDF
Polynomial							
Linear	0.9610	0.7854	0.7841	0.7668	0.6847	0.7809	0.2210
Quadratic	0.9630	0.7839	0.8863	0.8234	0.7283	0.7573	0.7694
Cubic	0.9835	0.9456	0.9596	0.9872	0.6166	0.8523	0.9162
Inverse 1st	0.9617	0.7833	0.7876	0.7092	0.7008	0.7712	0.2406
Inverse 2nd	0.9627	0.7846	0.8833	0.8162	0.7273	0.7616	0.8009
Inverse 3rd	0.9824	0.9467	0.9607	0.9807	0.6180	0.8569	0.9036
Exponential decay							
2 parameters	-	-	-	-	-	0.7741	-
3 parameters	0.9363	0.6387	0.6488	0.6134	-	-	-

Table3-36. Best fit equation for prediction of rumen pH fluctuation based on parameters

Exponential decay (modified)	R sqr.	y0	a	b
NDF, Non-Starch.(A+B1)	0.8220	4.5233	0.0153	0.1592
CHO solubility, NDF	0.9687	5.8156	0.2558	0.0463
Available Fiber(B2), Non-Str.(A+B1)	0.8508	7.1176	0.0435	0.0921
Available Fiber(B2), eNDF	0.8324	7.2731	0.1391	0.0168
Non-Str.(A+B1), eNDF	0.8221	6.1038	0.1435	0.0012

Table3-37. Pearson's correlation coefficients between rumen pH and intakes or diet characteristics

Parameters	pH model correlations
eNDF	0.602
NDF	0.884
Concentrate intake	-0.623
Dry matter intake	0.726
Forage in ration	0.623
Carbohydrate intake	0.601
Grain passage rate	0.751
Forage passage rate	0.751
Sugar (A)	-0.267
Starch	-0.267
Non-Structural CHO (A+B1)	-0.906
Available Fiber (B2)	0.885
Unavailable (C)	-0.487

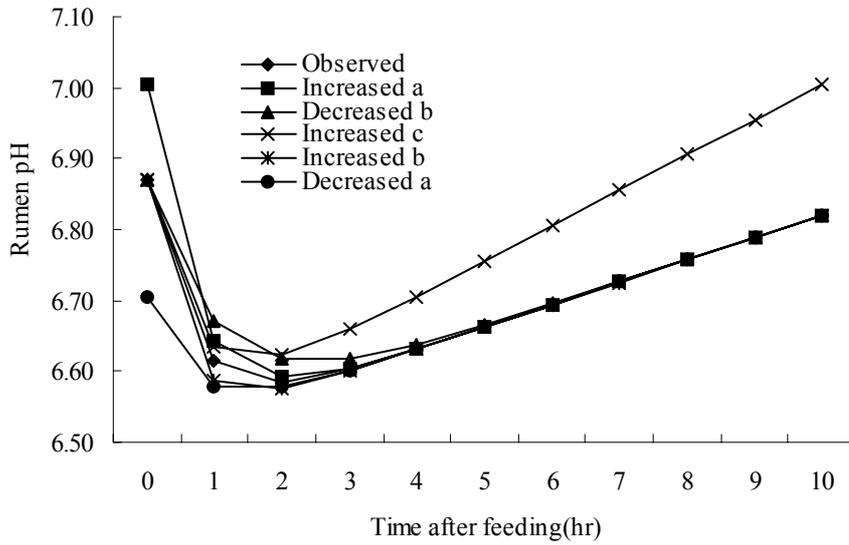
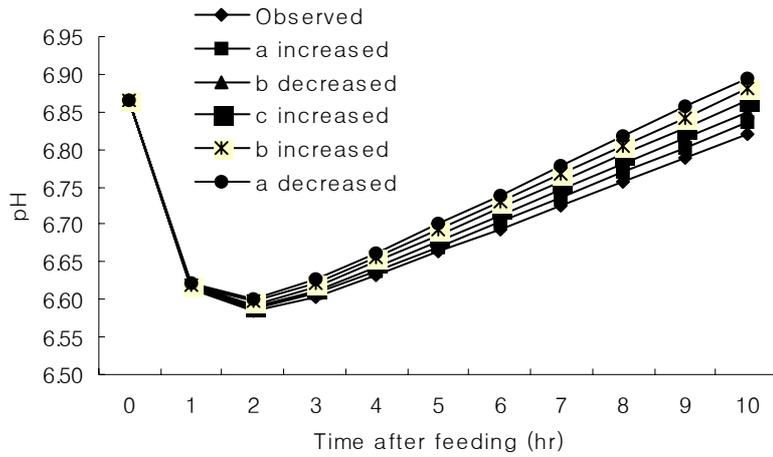


Figure3-26. Observed and predicted pH fluctuation for pH dropping and recovery rate (a = pH dropping rate(fast), b = pH dropping rate(slow), and c= pH recovery rate).

Table 3-38. Best fit equation for prediction of rumen pH based on parameters

Polynomial		Solubility	Avail.Fiber(B2)	NDF	NPN	True(B2)	Non-Str.(A+B1)	eNDF
Linear	R sqr.	0.96	0.79	0.78	0.77	0.68	0.78	0.22
	y0	0.95	1.65	-1.36	-0.87	330.99	12.30	4.43
	a	0.21	0.10	0.17	0.09	6.10	-0.15	0.03
Quadratic	R sqr.	0.96	0.78	0.89	0.82	0.73	0.76	0.77
	y0	-21.45	6.78	-235.06	-367.43	699.80	-81.22	-47.38
	a	2.06	-0.14	10.74	9.58	-25.31	4.18	1.79
	b	-0.04	0.00	-0.12	-0.06	0.23	-0.05	-0.02
Cubic	R sqr.	0.98	0.95	0.96	0.99	0.62	0.85	0.92
	y0	6571.05	8923.03	22602.43	34799.76	-44828.05	-12870.10	-1163.33
	a	-814.02	-638.06	-1538.83	-1350.91	2490.99	893.58	58.78
	b	33.63	15.21	34.92	17.48	-46.13	-20.66	-0.98
	c	-0.46	-0.12	-0.26	0.08	0.28	0.16	0.01
Inverse 1st	R sqr.	0.96	0.78	0.79	0.71	0.70	0.77	0.24
	y0	10.97	10.24	13.36	12.80	-8.12	0.34	7.59
	a	-121.03	-180.23	-325.84	-528.85	762.83	272.66	-93.81
Inverse 2nd	R sqr.	0.96	0.78	0.88	0.82	0.73	0.76	0.80
	y0	-5.21	25.60	-210.21	-348.83	655.05	-102.54	-43.63
	a	661.08	-1470.01	19435.38	55357.29	-71233.41	9107.61	5931.67
	b	-9444.78	27062.16	-436585.02	-2158607.79	1953942.01	-190883.03	-176769.25
Inverse 3rd	R sqr.	0.98	0.95	0.96	0.99	0.62	0.86	9063.00
	y0	-6205.09	-8975.91	-23176.42	-34596.88	49593.37	13162.81	875.23
	a	451428.82	1130792.83	3066047.74	8023418.54	-8040511.65	-1707785.97	-156290.55
	b	-10936361.78	-47435387.65	-135138059.12	-620034358.70	434520450.76	73867740.18	9357448.89
	c	88282837.21	663017238.91	1984973293.63	15969107955.09	-7826197194.92	-1064671437.41	-186544700.09

-Continued

Exponential		Solubility	Avail.Fiber(B2)	NDF	NPN	True(B2)	Non-Str.(A+B1)	eNDF
exp.decay.	R sqr.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.77	0.00
2 parameters	a	-167727.74	-1038.64	5.95	-4375316.59	6.11	17.18	5.95
	b	3.03	2.64	0.00	94.24	1.61	0.02	0.00
exp.decay.	R sqr.	0.94	0.64	0.65	0.61	0.00	0.00	
3 parameters	y0	8.29	7.97	8.91	8.97	5.95	5.97	
	a	-20.04	-16.92	-36.49	-29.26	-1.00	0.83	
	b	0.09	0.05	0.06	0.03	4.82	0.35	
exp.rise to	R sqr.	0.95	0.96	0.00	0.66	0.00	0.00	0.00
max	a	20.08	611.11	5.95	30.61	5.95	5.95	29452.44
2 parameters	b	0.0146	0.0002	0.9955	0.0028	1.6149	0.8276	0.0000
3D plane			R sqr.	y0	a	b		
NDF, Non-Str.(A+B1), pH			0.822	13.5233	-0.0153	-0.1592		
Solubility, NDF, pH			1.8156	1.8156	0.2558	-0.0463		
Available Fiber(B2),			0.8508	8.1176	0.0435	-0.0921		
Non-Str.(A+B1), pH								
Available Fiber(B2), eNDF, pH			0.8324	1.0731	0.1391	-0.0168		
Non-Str.(A+B1), eNDF, pH			0.8221	12.1038	-0.1435	0.0012		

## 제 4 절 젖소 영양소 균형평가 프로그램의 개발



KU2005 nutrients balancing program for dairy cattle

### 1. 서론

우리나라 낙농산업은 꾸준히 발전하고 있다. 특히 사양관리 방법 중 total mixed ration(TMR)의 도입은 농가단위에서 급여사료 배합비를 작성하고 이에 따라 TMR을 제조하여 젖소에게 급여하는 것으로 젖소의 영양소 요구량과 급여사료의 영양소 평가를 할 수 있는 프로그램을 요구한다.

현재 국내 사양가들이 접할 수 있는 프로그램은 축산기술연구소에서 발행한 농가 자가사료배합 프로그램과 농협중앙에서 발행한 낙농명품 프로그램 등이 있다. 이들 프로그램의 영양소 요구량 및 급여사료의 영양소 평가는 Nutrient Requirement of Dairy Cattle 6<sup>th</sup> Revised Edition(NRC1989)을 근간으로 하여 개발된 것이다. 최근

발간된 Nutrient Requirement of Dairy Cattle 7<sup>th</sup> Revised Edition(NRC2001)은 NRC1989에 비해 많은 부분이 수정 보완되었다. NRC2001은 현재의 가축정보와 유생 산량 및 환경요인을 고려하여 젖소의 영양소 요구량을 추정하며, 급여한 사료를 통하여 영양소 섭취량을 추정하며, 현재 상태에서 젖소의 영양소 균형평가를 한다. 또한 섭취한 에너지 단백질로부터 생산 가능한 유생산량을 추정할 수 있어, 사료섭취 수준에서의 급여사료 영양소의 이용성을 평가하고 있다.

NRC2001 영양소 균형평가 프로그램의 국내 사육 실정에 대한 적용성을 알아보기 위하여 국내 사육 젖소의 영양소 균형 실태를 조사하였고, 이를 통하여 국내 사육 실정에 맞게 조정된 sub-model을 도출하였다. 이를 통하여 최근 수정 보완된 NRC2001 영양소 균형평가 프로그램을 국내 실정에 맞게 조정하여 농가에서 쉽게 사용할 수 있는 프로그램을 만들고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

젖소 영양소 균형평가 프로그램을 개발하기 위하여 NRC2001 영양소 균형평가 프로그램 계산식과 수정 보완된 계산식을 이용하여 excel program과 visual basic(VBA) program을 이용하였다.

## 3. 결과

### 가. KU2005 영양소 균형평가 프로그램의 화면구성

#### 1) 입력자료

##### 가) 프로그램 정보

KU2005 영양소 균형평가 프로그램에 대한 정보와 사용설명서가 있는 창으로 구조는 Figure3-27에 나타나있다.

##### 나) 프로그램 선택

KU2005와 NRC2001 영양소 균형평가 프로그램 중 사용할 프로그램을 선택하

는 창으로 KU2005는 NRC2001 영양소 균형평가 프로그램에 탑재되어 있는 계산식을 근간으로하여 국내 사육 실정에 맞게 조정된 영양소 균형평가 프로그램이며, 구조는 Figure3-28에 나타내었다.

다) 가축정보

가축의 품종, 사육산계, 체중, 신체충실지수, 비유일수 등과 같은 젖소의 생리적 상태에 대한 정보, 유생산량 및 유질정보 그리고 사육환경에 대한 정보를 입력하는 창으로 입력된 자료는 젖소의 영양소 요구량을 계산함에 있어 주요한 변수로 이용된다. 변수 입력 창의 구조는 Figure3-29에 나타내었다.

라) 사료선택

젖소에게 급여되는 사료를 선택하는 창으로 급여사료의 영양소 함량 및 여러 가지 분류 기준에 의해 사료가 분류되어 있다. 사료원료를 선택하는 창으로 구조는 Figure3-30에 나타내었다.

마) 배합비

젖소에게 급여된 사료의 종류와 양을 통하여 영양소 섭취량을 추정하고, 가축정보의 입력변수들을 통하여 영양소 요구량을 추정하여 영양소 균형평가 결과를 제시하고 섭취 영양소로부터 생산 가능한 유량을 추정하여 주는 창으로 구조는 Figure 5에 나타내었다.

2) 결과요약

가축정보, 사료정보, 급여사료 배합비를 통하여 계산된 결과를 제시하는 창으로 에너지(net energy for lactation,  $NE_L$ ), 단백질(metabolizable protein, MP), 비타민, 다량·소량 광물질과 같은 영양소 요구량과 섭취량의 추정값 및 균형평가 값을 제시한다. 또한 섭취 영양소로부터 생산 가능한 유량 및 신체충실지수 변화 등과 같은 것을 추정하는 창으로 구조는 Figure3-31, Figure3-32에 나타내었다.

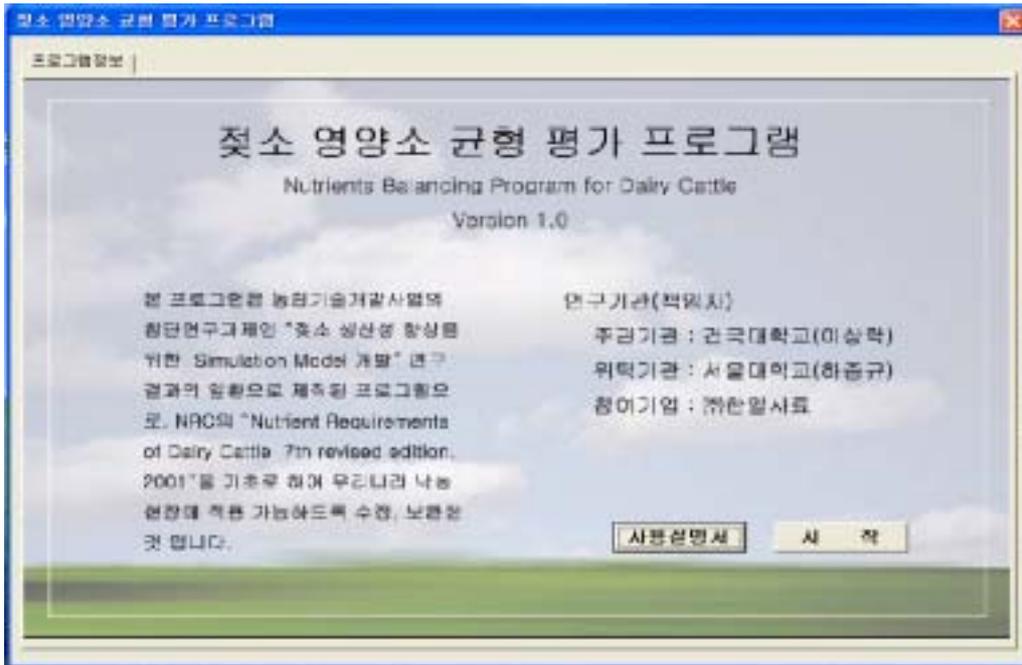


Figure3-27. Program information in KU2005 nutrient balancing program.



Figure3-28. Program setting in KU2005 nutrient balancing program.



Figure3-29. Animal description, production and environment in KU2005 nutrient balancing program.

The screenshot shows the 'Feed selection' window, which displays a table of feed ingredients and their nutrient compositions. The table has columns for 'No.', 'Feed Name', 'Category', 'Unit', 'Feed', 'Energy (MJ/kg DM)', 'CP (%)', 'NDF (%)', 'Starch (%)', 'Cellulose (%)', 'Lignin (%)', 'CP (%)', 'NDF (%)', 'ADF (%)', 'Fat (%)', and 'A (%)'. The table lists various feed ingredients such as '20 Tonsil Potash', '30 Wheat Bran', '31 Wheat middlings', '32 Baking Soda', '33 Corn Grain', '34 Corn Grain', '35 Corn Grain', '36 Corn Grain', '37 Corn Grain', '38 Corn Grain', '39 Corn Grain', '40 Corn Grain', '41 Corn Grain', '42 Corn Grain', '43 Corn Grain', '44 Corn Grain', '45 Corn Grain', '46 Corn Grain', '47 Corn Grain', '48 Corn Grain', '49 Corn Grain', '50 Hybrid Tallow', '51 Hybrid Tallow', '52 Tallow', '53 Vegetable Oil', '54 Wheat Stalk', '55 Corn Stalk', '56 Corn Stalk', '57 Corn Stalk', '58 Corn Stalk', '59 Oat Stalk', '60 Rye Stalk', '61 Sorghum Stalk', '62 Triticale Stalk', '63 Wheat Hay', '64 Wheat Hay', '65 Wheat Hay', '66 Sorghum Hay', '67 Sorghum Hay', '68 Sorghum Hay', '69 Sorghum Hay', '70 Sorghum Hay', '71 Sorghum Hay', '72 Sorghum Hay', '73 Sorghum Hay', '74 Sorghum Hay', '75 Sorghum Hay', '76 Sorghum Hay', '77 Sorghum Hay', '78 Sorghum Hay', '79 Sorghum Hay', '80 Sorghum Hay', '81 Sorghum Hay', '82 Sorghum Hay', '83 Sorghum Hay', '84 Sorghum Hay', '85 Sorghum Hay', '86 Sorghum Hay', '87 Sorghum Hay', '88 Sorghum Hay', '89 Sorghum Hay', '90 Sorghum Hay', '91 Sorghum Hay', '92 Sorghum Hay', '93 Sorghum Hay', '94 Sorghum Hay', '95 Sorghum Hay', '96 Sorghum Hay', '97 Sorghum Hay', '98 Sorghum Hay', '99 Sorghum Hay', '100 Sorghum Hay'.

Figure3-30. Feed selection in KU2005 nutrient balancing program.



Figure3-31. Ration in KU2005 nutrient balancing program.



Figure3-32. Result in KU2005 nutrient balancing program.



## 4장 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

### 1. 국내 사육 젖소의 영양소 균형 실태 조사 및 생산성 향상을 위한 simulation model의 개발

국내 사육 젖소의 생산성 향상을 위한 simulation model의 개발을 위한 건물섭취 및 영양소 균형 조사는 설정한 목표인 simulation model parameter 도출을 위하여 1, 2차 년도에 걸쳐서 12개의 집중 조사농가와 80개의 일반 조사농가를 대상으로 연중 조사되었다. 조사결과 국내 사육 착유우의 건물 및 영양소 섭취 균형은 사료 급여 관리 유형에 따라 크게 차이가 나타났으며, 농후사료 위주 관리 착유우군과 조사료 위주 관리 착유우군의 건물과 주요 영양소의 섭취량이 NRC2001이 추정된 량보다 크게 높은 것을 알 수 있었다.

또한 환경온도에 따른 건물섭취 및 영양소 균형 조사는 2차 년도에 정확한 실험설계에 의하여 24두를 대상으로 개체별 급여장치를 통하여 정밀하게 조사되었다. 이 조사에서 우리나라에서의 겨울철 한랭환경하에서는 젖소의 건물 및 각 영양소 섭취량이 봄가을의 상온에서의 섭취량과 차이가 없었으며, 따라서 생산성에 대한 영향도 거의 없는 것으로 분석되었다.

그리고 2차 년도에 실시한 건물과 영양소 섭취조절에 의한 생산성 변화 조사에서는 착유우의 건물 자유섭취 수준을 NRC2001이 추정하는 건물섭취량에 맞추어 영양농도를 조절하여 급여한 결과, 유량은 변화가 없었으나 유지방 함량이 높게 나타난 반면 우유중 단백질, 요소태질소, 무지고형분, 총고형분의 함량은 낮아진 것을 새롭게 알 수 있었다.

상기의 조사와 연구의 결과로 얻은 각종 기초 data를 이용하여 3차 년도에 NRC2001이 제시한 착유소의 건물섭취량의 추정식과 가소화영양소 총량의 discount variable의 상수를 조정하여 우리나라 착유소의 유생산 반응에 근접한 새로운 simulation model을 작성하여 simulation model을 개발하였다.

이러한 결과들은 당초의 연구목표를 충분히 달성하였을 뿐만아니라 관행적으로 사용해왔던 NRC model의 문제점을 개선하여 우리나라의 젖소 사육환경에 맞는 model을 제시함으로써 이 분야의 발전에 기여할 것으로 기대된다.

## 2. 젖소용 사료자원의 영양소함량 DB구축 및 간이평가 model 개발

국내에서 주로 사용하는 젖소용 사료자원의 영양소함량 DB를 구축하기 위하여 1, 2차 년도에 걸쳐 농가조사를 바탕으로 원료 35가지를 선정하여 NRC 2001이 권장하는 영양소 성분을 반복 분석하여 국내에서 구축된 기존의 영양소 함량 DB를 개선하였다.

또한 구축한 영양소 함량 DB를 바탕으로 3차 년도에 섬유소와 단백질 fraction별로 영양성분간의 상관관계를 도출하여 쉽게 분석할 수 있는 영양 성분으로부터 분석하기 어려운 영양성분 함량을 예측할 수 있는 영양소함량 간이평가 model을 개발하였다.

물론 국내에서 기존의 다양한 DB가 활용되고 있었으나 가장 최신의 기술을 반영하고 있는 NRC 2001의 model을 제대로 활용하기 위해서는 기존에 구축된 DB를 보강할 필요가 있었는데 이를 본 연구를 통하여 목표대로 달성하였다. 향후 이 DB는 국가연구기관을 통하여 계속 update되어야 할 것이다. 그리고 쉽게 분석할 수 있는 영양 성분으로부터 분석하기 어려운 영양성분 함량을 예측할 수 있는 영양소함량 간이평가 model의 개발은 학문적으로도 주목할 만한 결과이며 현장에서의 사료 영양성분의 평가에 매우 의미 있게 활용될 것으로 사료된다.

## 3. 반추위내 미생물 발효 model 개발

1, 2차 년도에 걸쳐 반추위내 pH가 cellulose의 분해에 미치는 영향과 그 분해 pattern을 분석하고, 반추위 발효성상과 영양소섭취 결과를 이용하여 반추위 pH를 예측할 수 있는 equation을 도출하였다.

또한 2차 년도에는 섬유소의 공급원에 따른 반추위 용적과 flow rate 상호관련성을 규명하였다.

그리고 이들 연구결과를 바탕으로 3차 년도에 사료의 조성에 따른 반추위내 pH변화를 시간 경과에 따라 추정할 수 있는 pH fluctuation model을 개발하였다.

반추위내 미생물의 발효는 무수히 많은 요인에 의하여 영향을 받기 때문에 수학적 model로 발전시키기 위해서는 많은 기초연구가 수행되어야 한다. 이러한 관점에서 본 연구에서는 주로 pH 요인에 중점을 두고 다양한 실험을 진행하여 대체로 연구목표를 달성하였다. 특히 연구결과 개발한 pH fluctuation model은 젖소 영양소 균형

평가 program에 적용함으로써 전문가의 젓소사료 formulation이나 농가지도에 활용  
토록 하였다.

#### 4. 젓소 영양소 균형 평가 program의 개발

상기 연구들에서 개발된 각종 model을 통합하여 최종적으로 국내 착유소의 사육  
환경에 맞는 젓소 영양소 균형 평가 program을 개발하였다.

이 program은 NRC2001의 영양소 균형평가 프로그램을 기초로 하여 최신의 기술  
을 실제 농가에서 용이하게 이용할 수 있도록 하였을 뿐만 아니라, NRC2001 model  
이 국내에서 맞지 않은 부분을 수정한 수정 model을 선택적으로 적용하게 함으로써  
그 활용성을 높였다. 또한 NRC의 프로그램이 한 번에 한 개체 또는 한 우군만 평가  
할 수 있도록 구성되어 있는 것에 비하여 본 연구팀이 개발한 프로그램에서는 수백  
또는 수천 개체의 영양소 균형을 동시에 평가할 수 있는 전문가용 mode를 추가하여  
그 활용성을 극대화하였다.

본 연구를 통하여 얻어진 조사 및 실험결과와 사료의 영양성분 DB, 개발된 각종  
의 model들은 우리나라의 젓소의 생산성 향상에 기여할 것으로 사료된다. 특히 젓소  
영양소 균형 평가 program은 최근의 새로운 기술을 농가나 전문가가 쉽게 활용할  
수 있도록 제작한 것이어서 우리나라 젓소의 생산성 향상에 크게 기여할 것으로 사  
료된다.

## 제5장 연구개발 결과의 활용계획

본 연구에서 수행 1차 년도에는 model 작제를 위한 기초자료를 도출하는데 중점을 두었기 때문에 연구결과를 바로 활용하는 데는 일정부분 어려움이 있었으나, 2 차년도 부터는 참여기업과 협조하여 연구개발 결과에서 활용 가능한 부분부터 사료설계 및 사양관리 지도에 활용하여 왔다. 그리고 그간의 연구결과 중 일부를 한국동물자원과학회, 한국초지학회 및 아시아태평양축산학회의 학술대회 등에 다수 발표하였다. 또한 참여기업과 협력기관을 대상으로 개발 기술 설명회와 seminar를 실시하여 개발 기술을 일부 이전하였다.

향후 확보된 각종 data와 주요 연구결과들은 국내외의 학술지에 발표할 것이며, 세부기술은 참여기업에 최종 이전하며, 개발된 '젓소 영양소 균형 평가 program'은 참여기업으로 하여금 관련 전문가나 젓소사육 농가에 널리 보급케 하도록 유도할 계획이다.

## 제6장 해외과학 기술정보

### 1. 젖소 생산성 관련 simulation model

젖소 생산성 관련 simulation model은 여러 종류가 다양하게 개발되어 왔다. Vadiveloo와 Holmes(1979)의 모델을 시작으로 해서 Lewis (1981), Milligan 등 (1981), Dulphy(1989) 그리고 Oldham등(1998)의 모델들이 있다. 그러나 전 세계적으로 현재 가장 보편적으로 화롱되고 있는 model은 National Research Council(NRC)의 최근 model(2001)과 Cornell Net Carbohydrate and Protein System(CNCPS, 2000)등을 꼽을 수 있다.

특히 최근 발간된 NRC의 Nutrient Requirement of Dairy Cattle 7<sup>th</sup> Revised Edition(2001)은 낙농 농가에서 생산성 향상을 위하여 주요하게 이용하고 있는 새로운 지식과 기술에 대한 정보를 반영하고, 가축의 영양소 요구량에 영향을 미치는 사양관리 및 환경적 요인을 고려한 실제 낙농 현장에서 적용 가능한 dairy cattle model(NRC2001)을 소개하고 있다(NRC, 2001).

NRC2001은 이전 개정판인 NRC1989보다 많은 부분이 보완되었다. 예를 들면, 착유우의 건물섭취 요구량을 추정할 때 이전 개정판에서는 가축의 에너지 요구량에 따라 산정됨에 따라 장기간의 건물 섭취 요구량 추정에는 이용될 수 있으나, 단기간의 추정에는 어려움이 있었다. 이를 보완하기 위하여 NRC2001은 Holstein 착유우를 중심으로 1988년도부터 1998년도까지 미국낙농학회지(Journal of Dairy Science)에 발표된 자료와 Ohio 대학교와 Minesota 대학교의 자료를 인용하여 단기간의 건물 섭취 요구량을 추정하기 위한 건물 섭취 요구량 추정공식을 제시하고 있다.

또한 NRC2001은 착유우의 건물 섭취 및 영양소 요구량을 추정함에 있어 쉽게 조사될 수 있는 대사체중(metabolic body weight, MBW), 신체충실지수(body condition score, BCS), 4%유지보정유량(4% fat corrected milk, 4%FCM), 비유일수(days in milk, DIM), 임신일수, 연령등과 같은 가축적 요인만을 고려하고 있어 다양한 상황에 있는 착유우의 영양소 균형 평가를 함에 있어 항상 정확할 수는 없을 것(NRC, 2001)이라고 생각한다.

한편 젖소의 NDF섭취는 reticulo-rumen(RR)의 용적에 의해 제한받기 때문에 건물 섭취량의 범위를 추정함에 있어서는 급여사료 내 NDF함량이 최고의 단일 화학적

요인이라는 주장이 있다(Waldo등 1986; Mertens등, 1994). Allen등(2000)은 급여사료 중의 조사료를 non-forage fiber sources(NFFS)로 대체하였을 경우 건물섭취량은 증가할 것이고, 곡류사료를 NFFS로 대체하였을 경우 건물섭취량은 감소할 것이라고 주장하였다.

그리고 착유우의 열적중성대(thermal neutral zone, TNZ zone)는 일반적으로 5~20℃의 범위이나 개체에 따라서는 차이가 있다. 대기온도가 TNZ zone의 범위를 벗어난 경우에는 착유우의 건물 섭취량 및 대사활력은 변하게 된다. 더위에 노출된 착유우는 건물 섭취량이 TNZ zone에서 보다 최대 55%까지 감소될 수 있으며, 유지에너지 요구량은 7 ~ 25% 가량 증가된다(NRC, 1981). 그리고, 착유우는 열전도율, 기초 대사율 및 건물 섭취량을 증가시킴으로써 장기적인 추위에 적응한다고 한다(Young, 1983). 이러한 관점에서 볼 때, 기온 환경은 착유우의 대사 반응에 중요할 뿐만 아니라, 그 생산성을 추정함에 있어서도 간과할 수 없는 요인이라고 판단된다.

Eastridge et al.(1998)은 온도가 열적 중성대 범위를 벗어나는 경우에는 다음과 같은 변화가 발생한다는 것을 제시하였다.  $Temp > 20^{\circ}C$ 이면  $DMI \times (1 - ((^{\circ}C - 20) \times 0.005922))$ 이고,  $Temp < 5^{\circ}C$ 이면  $DMI \times (1 - ((5 - ^{\circ}C) \times 0.004644))$ 이다. 그러나 고온 스트레스 기간의 낮은 유생산량을 토대로 하여 DMI 추정식을 이용하여 DMI를 추정함에 있어 Eastridge et al.(1998)의 보정 요인을 적용하는 것은 극도로 낮은 DMI를 추정하는 결과를 낼 수 있다. 추운환경에 있는 착유우는 일반적으로 많은 양의 사료를 섭취함으로써 인하여 열발생량이 높기 때문에 에너지 요구량의 변화는 아마도 적을 것이다(NRC2001). 자연적으로 공기 순환이 잘 되는 free-stall housing system에 있어서 만약 착유우가 건조한 상태를 유지하고, 바람에 직접 노출되지 않는다면, 추운환경에 대응하기 위한 에너지 섭취량이 증가할 것이라는 이론은 일치하지 않을 것이다(NRC2001). Young(1976)은 반추동물을 이용한 실험에서 대기 온도가 20℃이하인 조건에서 대기 온도가 10℃ 감소할 때마다 평균 1.8%의 건물 소화율의 감소가 나타난다고 하였다. 추운환경에서 이와 같이 낮아진 소화율은 소화관 내 사료의 증가된 통과속도율과 관계가 있을 것이다(Kennedy et al., 1976). 소화율에 있어 낮은 온도가 미치는 영향 때문에, 극도로 추운 날씨 조건에서 사료의 에너지 값은 아마도 추정된 에너지 값 보다 낮을 것이다.

위와 같은 이유로 NRC2001 dairy model은 착유우의 건물섭취, 에너지 및 단백질 요구량을 권장함에 있어 가축적요인(대사체중, 4%지방보정유량, 비유일수 등)만 고

려하고 있으며 환경적요인(온도, 급여사료의 조성 등)을 고려하지 않고 있다.

NRC2001은 실제 섭취한 건물로부터 착유우에게 공급되는 에너지 및 단백질 공급량을 추정하고, 착유우의 건물섭취, 에너지와 단백질 요구량 추정값을 공급량으로부터 공제함으로써 착유우의 영양소 균형 평가를 통한 영양적 관리 지침을 제시하고, 또한 에너지와 단백질 공급량으로부터 가능한 유생산량을 추정하여 줌으로써 현재 급여하고 있는 사료를 통한 가축의 생산성을 평가하여 준다. 그리고 NRC2001은 건물섭취량을 추정함에 있어 대사체중(metabolic body weight, MBW), 지방보정유량(4% fat corrected milk, FCM), 비유일수(days in milk, DIM)와 같은 가축적 요인만을 고려하며, 착유우의 건물섭취 균형은 실제 건물섭취량으로부터 NRC2001이 추정하는 건물섭취량을 공제함으로써 계산이 된다.

또한 NRC2001은 착유우의 에너지 요구량을 추정함에 있어서 유지에 필요한 정미에너지(net energy for maintenance, NEm), 임신에 필요한 정미에너지(net energy for pregnancy, NEp), 성장에 필요한 정미에너지(net energy for growth, ENg), 비유에 필요한 정미에너지(net energy for lactation, NEl)를 추정하고 이를 합산하여 계산한다. 또한 착유우의 단백질 요구량을 추정함에 있어서는 유지에 필요한 대사단백질(metabolizable protein for maintenance, MPm), 임신에 필요한 대사단백질(metabolizable protein for pregnancy, MPp), 성장에 필요한 대사단백질(metabolizable protein for growth, MPg), 비유에 필요한 대사단백질(metabolizable protein for lactation, MPl)를 추정하고 이를 합산하여 계산한다. 착유우에게 급여한 사료로부터 가축에게 공급된 에너지를 계산함에 있어서는 착유우가 유지섭취수준 이상의 건물을 섭취하는 경우에 있어서는 유지섭취수준 이상을 섭취한 비율에 따라서 급여사료로부터 계산되는 유지수준의 가소화영양소 총량(total digestible nutrients at 1X level, TDN<sub>1X</sub>)을 공제하고, 급여사료 내 지방함량에 따라서 지방의 소화율을 고려하여 착유우의 현재 건물섭취 수준에서의 에너지 공급량을 계산하게 된다. 그리고 착유우의 에너지 섭취 균형은 실제 건물섭취량을 통하여 NEI 섭취량을 추정한 값에서 에너지 요구량을 공제함으로써 계산된다.

착유우에게 급여한 사료로부터 가축에게 공급된 대사단백질을 추정함에 있어서는 공제된 TDN으로부터 추정되는 미생물 단백질, 반추위미분해단백질 그리고 내인성 단백질로부터 대사단백질 공급량을 추정하게 된다. 그리고 착유우의 대사단백질 섭취 균형은 대사단백질 공급량으로부터 대사단백질 요구량을 공제함으로써 계산된다.

## 2. 젓소용 사료자원의 DB 및 간이평가 model

2001년에 발간된 NRC의 nutrient requirements of dairy cattle, 7th revised edition(NRC2001)은 사료 중의 영양소 함량을 평가하는 방법으로 nutrient requirements of beef cattle(NRC1996)에서 몇 부분을 개정하였다. 즉 neutral detergent fiber(NDF)의 분석이 새로운 분석방법으로 최근에 국제적으로 공인된 heat-stable  $\alpha$ -amylase treated neutral detergent fiber(aNDF) 분석방법을 권장하고 있으며(David, 2002), 사료의 에너지 함량을 계산할 때에도 neutral detergent insoluble crude protein(NDICP), acid detergent insoluble crude protein(ADICP), acid detergent lignin(ADL) 및 crude ash의 성분들을 새롭게 이용하고 있다. 이들 새롭게 도입된 성분들은 반추위내에서 사료의 이용성과 분해속도를 보다 정확히 평가할 수 있는 항목으로 기존의 사료평가 개념을 크게 향상시킨 항목들이다.

사료의 영양성분을 평가할 때, 간단하고 쉬운 방법을 사용하기 위한 한국 내 연구 보고는 근적외선 분석에 관한 연구(이효원 등, 2001)가 있을 뿐이며, 외국의 연구는 주로 반추위 내에서의 소화율을 평가함으로써 사료가치를 평가하는 *in vitro*, *in sacco*, *in vivo* 등의 연구들(Weiss 등, 1992; Yu et al., 2004)과 조사료의 물리적인 특성으로부터 소화율과 영양성분을 예측(Mir 등, 1995)하고자 하는 연구는 많이 시도되었으나 현장에서 이들의 사용여부는 확인되지 않고 있다.

NRC2001은 화본과 조사료와 콩과 조사료의 분류를 새롭게 하고 있다. 즉 각 조사료의 영양성분을 회사의 실험실자료, 문헌 자료, NRC1996의 자료와 대학실험실의 자료를 조사한 결과 조사료들은 서로 다른 종들 간에 영양성분의 변이가 크지 않고(Cherney 등, 1993), 또한 일반 실험실과 논문화되어 있는 데이터들이 숙기에 대한 표기가 정확하지 않고 누락되어 있는 경우가 있는 점을 생각하여 표준 숙기로 분류하지 않고, 조사료를 분류함에 있어 콩과, 화본과 및 혼과조합으로 분류하였고, 이를 다시 NDF의 함량으로 low NDF(<55% NDF), medium NDF(55-60% NDF), high NDF(>60% NDF)로 분류하고 있다(NRC 2001).

그러나 쉽게 분석할 수 있는 영양 성분으로부터 분석하기 어려운 영양성분 함량을 예측할 수 있는 영양소함량 간이평가 model은 아직 국외에도 개발되지 않았다.

### 3. 반추위내 미생물 발효 model

젖소 반추위 발효 모델은 1987년 Baldwin 등에 의하여 처음으로 개발되었는데, 이들 연구진들은 젖소에 있어 영양소 이용효율을 예측하기 위하여 노력하였다. CNCPS는 소에 있어서 이용 가능한 영양소 흡수 평가와, 이와 더불어 사료배합 시 영양소 균형을 최적화하는데 유익하게 이용되고 있다. Russell 등(1992)과 Sniffen 등(1992)은 반추위 sub-model를 연구하였는데, 이 모델에는 반추위 사료 통과 속도와 분해율, 미생물 성장에 관한 equation들이 포함되어 있다. O'Connor 등(1993)의 sub-model에는 아미노산 flow를 예측하는 equation이 기술되어 있다. 그리고 Pitt 등(1996)은 반추위 pH와 VFA 생성량 예측에 관한 것을 서술하였으나, VFA molar proportion 예측에 대한 언급은 없었고, starch 분해 예측에 관하여 문제점도 지적되고 있다.

반추위 pH가 사료의 종류에 의하여 영향을 받고 반추위 미생물 발효에 영향을 미치는 주요한 요인으로 인식하여 이를 예측하는 model 개발에 대한 많은 연구들이 수행되고 있으나(Tamminga, 1988; Allen, 1997; Pitt 와 Pell, 1997; Mertens, 1997; Fox 등, 2000 ; Klover 와 de Veth, 2002), 대다수의 젖소 사양 표준은 반추위 pH의 미생물발효에 대한 영향을 언급하지 않고 있다(INRA, 1989; NRC, 1989; AFRC, 1993). 젖소에게 급여된 사료로부터 반추위 pH를 예측하는 것은 반추위내 소화 및 영양소 공급을 최적화하고, acidosis 와 laminitis와 같은 반추위 대사장애 예방에 있어 중요하다(Allen, 1997). 반추위 pH감소는 사료 내 높은 비율의 비구조탄수화물함량 때문이며, 따라서 반추위 pH는 급여되는 사료에 따라 영향을 상당히 받는다. Mould 등(1983)과 Russell(1998)은 높은 비율의 농후사료 급여 후 사료 기질과 pH의 상호작용에 의하여 반추위 발효성상에 변화가 일어난 것을 조사하였다. 그 외 사료의 buffering capacity, saliva flow 및 ruminal outflow rate등이 반추위 pH와 관련한 미생물 발효에 영향을 끼치는 요인이라 할 수 있다. 그리고 반추위 pH는 VFA 생성량, 반추위내 OM 분해율과 섭취량, 조사료 NDF 및 사료 입자도(particle length index)와 상관성이 있음이 보고된 바 있다(Allen, 1997; Mertens, 1997). 그리고 사료급여(섭취) 횟수도 반추위와 혈중 대사에 영향을 끼치고(Sutton 등, 1986; Sutton 등, 1988), 사료급여 횟수의 상대적 감소는 유지지방농도의 상대적 감소와 관련이 있는 것으로 알려져 있다.

반추위내 pHqus화를 예측하는 기존의 연구결과를 나열하면 다음과 같다.

1. Tamminga의 model(1988)

$$\text{pH} = 7.18 - 0.014 \times \text{VFA (mM)}$$

2. Allen의 model(1997)

$$\text{pH} = 6.56 + 0.0049 \times \text{VFA (mM)}$$

3. Pitt와 Pell의 model(1997)

$$\text{pH} = \text{pH}_{\text{ss}} + (\Delta \text{Cacid}) / (d(\text{BC1}) / d(\text{pH}))$$

$$D_s = -177.2 + 0.01638(\text{DMI}) + 4.706(\text{eNDF})$$

$$C_s = D_s / \text{VRUK1}$$

$$d(\text{BC1}) / d(\text{pH}) = -C_s \left( \frac{381.8 \times 10^{(\text{pH} - 6.4)}}{(1 + 10^{(\text{pH} - 6.4)})^2} \right)$$

$$\Delta \text{CVFA} = ((\text{VFA} - \text{VFAs}) / 62 \text{VRU}) \times 1000$$

$$\Delta \text{CL} = ((L - L_{\text{ss}}) / 90 \text{VRU}) \times 1000$$

$$\Delta \text{Cacid} = \Delta \text{CVFA}(1 - f_{\text{VFA,u}}) + \Delta \text{CL}(1 - f_{\text{LU}})$$

$$f_{\text{LU}} = 1 / (1 + 10^{(\text{pH} - 3.86)})$$

4. Mertens의 model(1997)

$$\text{pH} = 6.67 - 0.143 \times (1 / \text{peNDF})$$

5. Fox 등의 model(2000)

$$\text{pH} = 5.425 + 0.04229 \times \text{eNDF}(\% \text{ DM})$$

6. Klover 와 de Veth의 model(2002)

$$\text{pH} = 7.18 - 0.0081 \times \text{VFA (mM)}$$

$$\text{pH} = 6.75 - 0.0022 \times \text{microbial N (gN/d)}$$

$$\text{pH} = 5.84 + 0.0075 \times \text{NDF}(\% \text{ DM})$$

#### 4. 젖소 영양소 균형 평가 program

젖소의 영양소 균형 평가 program은 해외에서 다양한 형태로 개발되어 있다. Program들은 대부분 영양소 균형 평가 뿐만아니라 leaner programming을 적용하여 최소가격 사료배합이 가능케 하고 있다. 주요 program을 아래 표에 정리하였다.

Table 6-1. Nutrient evaluation and feed formulation program for dairy cattle

Program Name	System Requirements	Program Type
Dairy Ration System for Windows	Windows 3.1/95/98	Evaluation Least-cost
Dairy Ration System II	DOS 2.1 or higher	Evaluation Least-cost
Formulate2	DOS 6.0 or higher	Evaluation Multiple objectives
CPM Dairy	Windows 95/98/NT	Evaluation Least-cost
The Consulting Nutritionist	Windows 95/98/00/NT	Evaluation Least-cost
Brill Formulation Multi-Species Ration Balancer	Windows 95/98/00/NT	Evaluation Least-cost
Spartan Dairy Ration Evaluator/Balancer	DOS 2.1 or higher	Evaluation Least-cost
RationPro	Windows 3.1/95/98/00	Evaluation Least-cost
Ohio Dairy Ration Program	DOS 2.1 or higher	Evaluation Least-cost
DairyMax	DOS 2.1 or higher	Evaluation Least-cost
PCDairy-2	DOS 3.3 or higher	Evaluation Least-cost

## 제7장 참고문헌

1. A.O.A.C. 1990. Official Methods of Analysis 930.15 ; 942.05.
2. Allen, M. S. 2000. Effects of diet on short-term regulation of feed intake by lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 83:1598-1624.
3. Ames, D. R. 1980. Effect of environmental stress on nutritional physiology. In : *Digestive Physiology and Nutrition of Ruminants*. Vol.2. p.383-399. D.C. Church, O&B Books, Inc., Corvallis, Oregon.
4. Ames, D. R., Brink D. R. and Schalles R. R. 1975. Relationship of temperature and age. *J. Anim. Sci.* 41:263(Abstr.).
5. Archimède, H., Sauvant, D., Dorléans, M., Chapoutot, P. and Poncet, C. 1995. Influence of the nature of forage and concentrate on the digestive interactions measured in sacco and in vivo. *Anim. Feed Sci. Technol.* 54, 341-356.
6. Association of Official Analytical Chemists. 1990. Official methods of analysis. 15th ed. A.O.A.C., Arlington, VA.
7. Avila, C.D., DePeters, E.J., Perez-Monti, H., Taylor, S.J. and Zinn, R.A. 2000. Influences of saturation ratio of supplemental dietary fat on digestion and milk yield in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 83, 1505-1519.
8. Aydin, G., Grant, R.J. and O'Rear, J. 1999. Brown midrib sorghum in diets for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 82, 2127-2135.

9. Baldwin, R.L., France, J. and Gill, M. 1987. Metabolism of the lactating cow. Part II. Digestive elements of a mechanistic model. *J. Dairy Res.* 54, 107-131.
10. Baldwin, R.L., Koong, L.J. and Ulyatt, M.J. 1977. A dynamic model of ruminant digestion for evaluation of factors affecting nutritive value. *Agric. Syst.* 2, 255-288
11. Baldwin, R.L., Lucas, H.L. and Cabrera, R. 1970. Energetic relationships in the formation and utilization of fermentation end-products. In: A.T. Phillipson (Ed.), *Physiology of Digestion and Metabolism In the Ruminant*. Oriel Press, Newcastle, pp. 319-335.
12. Bannink, A. and De Visser, H. 1997a. Comparison of mechanistic rumen models on mathematical formulation of extramicrobial and microbial processes. *J. Dairy Sci.* 80, 1296-1314.
13. Bannink, A., De Visser, H., Dijkstra, J. and France, J. 1997c. Impact of diet-specific input parameters on simulated rumen function. *J. Theor. Biol.* 184, 371-384.
14. Bannink, A., De Visser, H., Klop, A., Dijkstra, J. and France, J. 1997d. Causes of inaccurate prediction of volatile fatty acids by simulation models of rumen function in lactating cows. *J. Theor. Biol.* 189, 353-366.
15. Bannink, A., De Visser, H. and van Vuuren, A.M. 1997b. Comparison and evaluation of mechanistic rumen models. *Brit. J. Nutr.* 78, 563-581.
16. Beauchemin, K.A. 1991. Effects of dietary neutral detergent fiber concentration and alfalfa hay quality on chewing, rumen function, and

- milk production of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 74, 3140–3151.
17. Beauchemin, K.A. and Buchanan-Smith, J.G. 1990. Effects of fiber source and method of feeding on chewing activities, digestive function, and productivity of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 73, 749–762.
  19. Beauchemin, K.A., Farr, B.I. and Rode, L.M. 1991. Enhancement of the effective fiber content of barley-based concentrates fed to dairy cows. *J. Dairy Sci.* 74, 3128–3139.
  20. Beauchemin, K.A., Farr, B.I., Rode, L.M. and Schaalje, G.B. 1994. Optimal neutral detergent fiber concentration of barley-based diets for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 77, 1013–1029.
  21. Berman, A. 2004. Tissue and external insulation estimates and their effects on prediction of energy requirements and of heat stress. *J. Dairy Sci.* 87:1400–1412.
  22. Bosch, M. 1991. Influence of stage of maturity of grass silages on digestion processes in dairy cows. PhD Thesis, Wageningen, The Netherlands, p. 150.
  23. Buxton, D. R. 1990. Cell-wall components in divergent germplasm of four perennial forage grass species. *Crop Sci.*, 29:213–219.
  24. Cameron, M.R., Klusmeyer, T.H., Lynch, G.L., Clark, J.H. and Nelson, D.R. 1991. Effects of urea and starch on rumen fermentation, nutrient passage to the duodenum, and performance of cows. *J. Dairy Sci.* 74, 1321–1336.
  25. Campbell, C. P., Marshall S. A., I. B. Mandell and Wilton J. W. Effects of source of dietary neutral detergent fiber on chewing behavior in beef cattle

- fed pelleted concentrates with or without supplemental roughage. *J. Anim. Sci.* 70:894-903.
26. Cannas, A. and van Soest, P.J. 2000. Simple allometric models to predict rumen feed passage rate in domestic ruminants. In: J.P. McNamara, J. France, D.E. Beever (Eds.), *Modelling nutrient utilization in farm animals*. CAB International, Wallingford, pp. 49-62.
  27. Cassida, K. A. and Stokes, M. R. 1986. Eating and resting salivation in early lactation dairy cows. *J. Dairy Sci.* 69:1282.
  28. Chan, S.C., Huber, J.T., Theurer, C.B., Wu, Z., Chen, K.H. and Simas, J.M. 1997. Effects of supplemental fat and protein source on ruminal fermentation and nutrient flow to the duodenum in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 80, 152-159.
  29. Charmley, E., Veira D. M., Butler, G., Aroeira, L. and Codagnone, H.C.V. 1991. The effect of frequency of feeding and supplementation with sucrose on ruminal fermentation of alfalfa silage given ad libitum or restricted to sheep. *Can. J. Anim. Sci.* 71:725.
  30. Cherney, D. J. R. 1993. In vitro digestion kinetics and quality of perennial grasses as influenced by forage maturity. *J. Dairy Sci.* 76:790-797.
  31. Chilibroste, P., Aguilar, C. and Garc'Ga, F. 1997. Nutritional evaluation of diets. Simulation model of digestion and passage of nutrients through the rumen-reticulum. *Anim. Feed Sci. Technol.* 68, 259-275.
  32. Christensen, R.A., Cameron, M.R., Klusmeyer, T.H., Elliott, J.P., Clark, J.H., Nelson, D.R. and Yu, Y. 1993. Influence of amount and degradability of dietary protein on nitrogen utilization by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 76,

3497-3513.

33. Christensen, R.A., Clark, J.H., Drackley, J.K. and Blum, S.A. 1998. Fatty acid flow to the duodenum and in milk from cows fed diets that contained fat and nicotinic acid. *J. Dairy Sci.* 81, 1078-1088.
34. Christopherson, R. J. 1976. Effects of prolonged cold and the outdoor winter environment on apparent digestibility in sheep and cattle. *Can. J. Anim. Sci.* 56:201.
35. Coblenz, W.K., Coffey, K.P., Turner, J.E., Scarbrough, D.A., Weyers, J.S., Harrison, K.F., Johnson, Z.B., Daniels, L.B., Rosenkrans Jr, C.F., Kellogg, D.W. and Hubbell III, D.S. 2000. Effect of maturity on degradation kinetics of sod-seeded cereal grain forage grown in northern Arkansas. *J. Dairy Sci.* 83, 2499-2511.
36. Cooke, R. J. and Morgan, A. G. 1987. Laboratory prediction of herbage feeding value—A review. *J. Nat. Inst. Agric. Bot.*, 17:283-301.
37. Counotte, G.H.M., Prins, R. A., Janssen, R.H.A.M. and deBie, M.J.A. 1981. Role of *Megasphaera elsdenii* in the fermentation of DL-[2-13C]lactate in the rumen of dairy cattle. *Appl. Environ. Microbiol.* 42:649.
38. Cunningham, K.D., Cecava, M.J. and Johnson, T.R. 1994. Flows of nitrogen and amino acids in dairy cows fed diets containing supplemental feather meal and blood meal. *J. Dairy Sci.* 77, 3666-3675.
39. Dado, R. G. and Allen M. S. 1995. Intake limitations, feeding behavior, and rumen function of cows challenged with rumen fill and dietary fiber or inert bulk. *J. Dairy Sci.* 78:118.

40. David, R. M. 2002. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beakers or crucibles: collaborative study. *JAOAC*, 85:6.
41. David, R. Mertens. 2002. Gravimetric Determination of Amylase-Treated Neutral Detergent Fiber in Feeds with Refluxing in Beakers or Crucibles: Collaborative Study. *Journal of AOAC International* vol. 85, No. 6. 1217-1240.
42. De Visser, H., Klop, A., van der Koelen, C.J. and van Vuuren, A.M. 1998. Starch supplementation of grass harvested at two stages of maturity prior to ensiling: intake, digestion, and degradability by dairy cows. *J. Dairy Sci.* 81, 2221-2227.
43. Dhanoa, M.S., France, J., Siddons, R.C., Lopez, S. and Buchanan-Smith, J.G. 1995. A non-linear compartmental model to describe forage degradation kinetics during incubation in polyester bags in the rumen. *Br. J. Nutr.* 73, 3-15.
44. Dijkstra, J. 1994a. Simulation of the dynamics of protozoa in the rumen. *Br. J. Nutr.* 72, 679-699.
45. Dijkstra, J. 1994b. Production and absorption of volatile fatty acids in the rumen. *Livest. Prod. Sci.* 39, 61-69.
46. Dijkstra, J. and Bannink, A. 2000. Analyses of modelling whole rumen function. In: M.K. Theodorou, J. France (Eds), *Feeding Systems and Feed Evaluation Models*. CAB International, Wallingford, pp. 299-322.
47. Dijkstra, J. and France, J. 1995. A comparative evaluation of models of

whole rumen function. *Methods in Modelling*.

48. Dijkstra, J., Mills, J.A.N. and France, J. 2002. The role of dynamic modelling in understanding the microbial contribution to rumen function. *Nutr. Res. Rev.* 15, 67-90.
49. Dijkstra, J., Neal, H., Beever, D. and France, J. 1992. Simulation of nutrient digestion, absorption and outflow in the rumen: model description. *J. Nutr.* 122, 2239-2256.
50. Doreau, M., Delacroix, A., Jouany, J.P., Durier, C. and Rémond, B. 1990. The influence of physiological state and dietary nitrogen supply on digestion in the dairy cow. *J. Anim. Sci.* 68, 3853-3860.
51. Doreau, M., Ferlay, A. and Elmeddah, Y. 1993. Organic matter and nitrogen digestion by dairy cows fed calcium salts of rapeseed oil fatty acids or rapeseed oil. *J. Anim. Sci.* 71, 499-504.
52. Doreau, M. and Rémond, B. 1982. Comportement alimentaire et utilisation digestive d'une ration de composition constante chez la vache laitière en fin de gestation et début de lactation. *Reprod. Nutr. Dev.* 22, 307-324.
53. Eastridge, M. L., Bucholtz H. F., Slater, A. L. and Hall, C. S. 1998. Nutrient requirements for dairy cattle of the National Research Council versus some commonly used software. *J. Dairy Sci.* 81:3049-3062.
54. Erdman, R. A. 1988. Dietary buffering requirements of the lactating cow: a review. *J. Dairy Sci.* 71:3246.
55. Espindola, M.S., DePeters, E.J., Fadel, J.G., Zinn, R.A. and Perez-Monti, H. 1997. Effects on nutrient digestion of wheat processing and method of

- tallow addition to the diets of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 80, 1160-1171.
56. Fischer, J.M., Buchanan-Smith, J.G., Campbell, C., Grieve, D.G. and Allen, O.B. 1994. Effects of forage particle size and long hay for cows fed total mixed rations based on alfalfa and corn. *J. Dairy Sci.* 77, 217-229.
  57. Fox, D.G. and Tylutki T. P. 1998. Accounting for the effects of environment on the nutrient requirements of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 81:3085-3095.
  58. Fox, D. G., Tylutki, T. P., Val Amburgh, M. E., Chase, L. E., Pell A. N., Overton, T. R., Tedeschi, L. O., Rasmussen, C. N. and Durbal, V. M. 2000. The Net. Carbohydrate and Protein System for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. Anim. Sci. Dep. Mimeo 213. Cornell Univ. Ithaca, NY.
  59. Fox, D., Sniffen, C., O'Connor, J., Russell, J. and van Soest, P. 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. Part III. Cattle requirements and diet adequacy. *J. Anim. Sci.* 70, 3578-3596. 128 *A. Offner, D. Sauvant / Animal Feed Science and Technology 112 (2004) 107-130*
  60. Fox, D., Tylutki, T., van Amburgh, M., Chase, L., Pell, A., Overton, T., Tedeschi, L., Rasmussen, C. and Durbal, V. 2000. The net carbohydrate and protein system for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. MOL version 4.0.31. Model Documentation, Department of Animal Science, Cornell University Press, Ithaca, N.Y., p. 236.
  61. Ghorbani, G. R., Jackson J. A. and Hemken R. W. 1989. Effects of sodium bicarbonate and sodium sesquicarbonate on animal performance, ruminal metabolism, and systemic acidbase status. *J. Dairy Sci.* 72:2039.

62. Grant, R.J., Haddad, S.G., Moore, K.J. and Pedersen, J.F. 1995. Brown midrib sorghum silage for midlactation dairy cows. *J. Dairy Sci.* 78, 1970-1980.
63. Greife, H.A., Rooke, J.A. and Armstrong, D.G. 1985. The digestion by cattle of silage-containing diets fed at two dry matter intakes. Part II. Digestion of total amino acids and of d-alanine and d-glutamic acid. *Br. J. Nutr.* 54, 483-492.
64. Hall, M. B., Lewis, B. A., Van Soest, P. J. and Chase, L. E. 1997. A simple method for estimation of neutral detergent-soluble fibre. *J. Sci. Food Agric.* 74:441.
65. Herbivore Nutrition. in: Proceedings of the Fourth International Symposium on the Nutrition of Herbivores. Paris, France.
66. Herrera-Saldana, R., Gomez-Alarcon, R., Torabi, M. and Huber, J.T. 1990. Influence of synchronizing protein and starch degradation in the rumen on nutrient utilization and microbial protein synthesis. *J. Dairy Sci.* 73, 142-148.
67. Hoffman, P.C., Brehm, N.M., Bauman, L.M., Peters, J.B. and Undersander, D.J. 1999. Prediction of laboratory and in situ protein fractions in legume and grass silages using near-infrared reflectance spectroscopy. *J. Dairy Sci.* 82, 764-770.
68. Hoover, W. H. 1986. Chemical factors involved in ruminal fiber digestion. *J. Dairy Sci.* 69:2755.
69. Isaacson, H., Hinds, F., Bryand, M. and Owens, F. 1975. Efficiency of energy utilization by mixed rumen bacteria in continuous culture. *J. Dairy*

Sci. 58, 1645-1659.

70. Islam, M. R., Ishidal, M., Andol, S., Nishidal, T., Yoshida<sup>2</sup>, N. and Arakawa<sup>3</sup>, M. 2004. Effect of variety and stage of maturity on nutritive value of whole crop rice, yield, botanical fractions, silage fermentability and chemical composition. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* Vol 17, 2:183-192.
71. Janicki, F.J. and Stallings, C.C. 1988. Degradation of crude protein in forages determined by in vitro and in situ procedures. *J. Dairy Sci.* 71, 2440-2448.
72. Joy, M.T., De Peters, E.J., Fadel, J.G. and Zinn, R.A. 1997. Effects of corn processing on the site and extent of digestion in lactating cows. *J. Dairy Sci.* 80, 2087-2097.
73. Kalu, B. A., Fick, G. W. and Van Soest, P. J. 1988. Agronomic factors in evaluating forage crops. 1. Predicting quality measures of crude protein and digestibility from crop leafiness. *J. Agron. Crop Sci.*, 161:135-140.
74. Kawas, J. R., Jorgensen N. A. and Danelon, J. L. 1991. fiber requirements of dairy cows: optimum fiber level in lucerne-based diets for high producing cows. *Livest. prod. Sci.* 28:108-119.
75. Kennedy, P. M., Christopherson R. J. and Milligan, L. P. 1976. The effect of cold exposure of sheep on digestion, rumen turnover time, and efficiency of microbial synthesis. *Br. J. Nutr.* 36:231.
76. Klusmeyer, T.H., McCarthy Jr, R.D., Clark, J.H. and Nelson, D.R. 1990. Effects of source and amount of protein on ruminal fermentation and passage of nutrients to the small intestine of lactating cows. *J. Dairy Sci.* 73, 3526-3537.

77. Knowlton, K.F., Glenn, B.P. and Erdman, R.A. 1998. Performance, ruminal fermentation, and site of starch digestion in early lactation cows fed corn grain harvested and processed differently. *J. Dairy Sci.* 81, 1972-1984.
78. Kohn, R.A., Boston, R.C., Ferguson, J.D. and Chalupa, W. 1995. The integration and comparison of dairy cows models. In: A. Danfaer, P. Lescoat (Eds), *Proceedings of the Fourth International Workshop on Modelling Nutrient Utilization in Farm Animals*. Foulum, Denmark, pp. 117-128.
79. Kung, J.R., Craig, W.M. and Satter, L.D. 1989. Ammonia-treated alfalfa silage for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 72, 2565-2572.
80. Le Liboux, S. and Peyraud, J.L. 1998. Effect of forage particle size and intake level on fermentation patterns and sites and extent of digestion in dairy cows fed mixed diets. *Anim. Feed Sci. Technol.* 73, 131-150.
81. Le Liboux, S. and Peyraud, J.L. 1999. Effect of forage particle size and feeding frequency on fermentation patterns and sites and extent of digestion in dairy cows fed mixed diets. *Anim. Feed Sci. Technol.* 76, 297-319.
82. Lee, Mu Hwan. 1982. The physical form of grain in balanced diet and its utilization by farm animal. *Korean J. Dairy Sci.*, (3) 161-166.
83. Lescoat, P. and Sauvant, D. 1994. Influence de la proportion de concentré dans la ration sur le profil ruminal des AGV. *Ann. Zootech.* 43 (1), 28.
84. Lescoat, P. and Sauvant, D. 1995. Development of a mechanistic model for rumen digestion validated using the duodenal flux of amino acids. *Reprod. Nutr. Dev.* 35, 45-70.

85. Leventini, M.W., Hunt, C.W., Roffler, R.E. and Casebolt, D.G. 1990. Effect of dietary level of barley-based supplements and ruminal buffer on digestion and growth by beef cattle. *J. Anim. Sci.* 68, 4334-4344.
86. Licitra, G., Hernandez, T.M. and van Soest, P.J. 1996. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Anim. Feed Sci. Technol.* 57, 347-358.
87. Licitra, G., Hernandez, T. M. and Van Soest, P. J. 1996. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. *Animal Feed Science Technology*, 57, 347-358.
88. Llamas-Lamas, G. and Combs, D.K. 1990. Effect of alfalfa maturity on fiber utilization by high producing dairy cows. *J. Dairy Sci.* 73, 1069-1080.
89. Luginbuhl, J.-M., Pond, K. R., Burns, J. C. and Russ, J. C. 1989. Eating and ruminating behavior of steers fed coastal bermudagrass hay at four levels. *J. Anim. Sci.* 67:3410-3418.
90. Luginbuhl, J.-M., Pond, K. R., Burns, J. C. and Russ, J. C. 1989. Effects of ingestive mastication on particle dimensions and weight distribution of coastal bermudagrass hay to steers at four levels. *J. Anim. Sci.* 67:538-546.
91. Lykos, T., Varga, G.A. and Casper, D. 1997. Varying degradation rates of total nonstructural carbohydrates: effects on ruminal fermentation, blood metabolites, and milk production and composition in high producing Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 80, 3341-3355.
92. Makoni, N.F., Shelford, J.A. and Fisher, L.J. 1991. The rate and extent of silage nitrogen degradation in the rumen as influenced by wilting and duration of regrowth. *Can. J. Anim. Sci.* 71, 245-248.

93. Maynard, L. A., Loosli, J. K., Hintz, H. F. and Warner, R. G. 1979. *Animal Nutrition*. (7th.). McGraw-Hill, Inc., New York, NY.
94. McCarthy Jr, R.D., Klusmeyer, T.H., Vicini, J.L., Clark, J.H. and Nelson, D.R. 1989. Effects of source of protein and carbohydrate on ruminal fermentation and passage of nutrients to the small intestine of lactating cows. *J. Dairy Sci.* 72, 2002-2016.
95. McDowell, R. E., Moddy, E. G., Van Soest, P. J., Lehman, R. P. and Ford, G. L. 1969. Effect of heat stress on energy and water utilization of lactating cows. *J. Dairy Sci.* 52:118.
96. McDowell, R. E., Hooven, N. W. and Camoens, J. K. 1976. Effect of climate on performance of Holstein in first lactation. *J. Dairy Sci.* 59:956.
97. McLeod, M. N. and Minson, D. J. 1988. Large particle breakdown by cattle eating ryegrass and alfalfa. *J. Anim. Sci.* 66:992-999.
98. Mertens, D.R. 1993. Rate and extent of digestion. In: J.M. Forbes, J. France (Eds), *Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism*. CAB International, Wallingford, pp. 13-51.
99. Mertens, D. R. 1994. Regulation of forage intake. Page 450-493 in *Forage Quality, Evaluation, and Utilization*, G. C. Fahey, Jr, M. Collins, D. R. Mertens, and L. E. Moser, ed., American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America, Madison, WI.
100. Mertens, D.R. and Ely, L.O. 1979. A dynamic model of fiber digestion and

- passage in the ruminant for evaluating forage quality. *J. Anim. Sci.* 49, 1085-1095.
101. Michalet-Doreau, B., Martin, C. and Doreau, M. 1997. Optimisation de la digestion des parois végétales dans le rumen: quantification des interactions digestives. *Renc. Rech. Ruminants* 4, 103-112.
  102. Michalet-Doreau, B. and Ould-Bah, M.Y. 1992. Influence of hay making on in situ nitrogen degradability of forages in cows. *J. Dairy Sci.* 75, 782-788.
  103. Mir, P. S., Mir, Z. and Hall, J. W. 1990. Physical characteristics of feeds and their relation to nutrient components and dry matter disappearance in sacco. *Anim. Sci. Technol.*, 31:17-27.
  104. Molly, 1999. Model Developed by R.L. Baldwin. Version. 2.0. University of California, Davis, CA.
  105. Morrison, S. R. 1983. Ruminant heat stress : Effect on production and means of alleviation. *J. Anim. Sci.* 57:1594.
  106. Murphy, M., Baldwin, R. and Koong, L. 1982. Estimation of stoichiometric parameters for rumen fermentation of roughage and concentrate diets. *J. Anim. Sci.* 55, 411-421.
  107. Murphy, M. R. 1982. Analyzing and presenting pH data. *J. Dairy Sci.* 65:161.
  108. National Research Council. 1981. Effect of Environment on Nutrient Requirement of Domestic Animals. National Academy Press. Washington, D. C.

109. National Research Council. 1989. Nutrient requirements of dairy cattle. 6th rev. ed. Natl. Acad. Sci., Washington, DC.
110. National Research Council. 1996. Nutrient requirements of Beef Cattle. 7th rev. ed. Natl. Acad. Predd, Washington, D.C.
111. National Research Council. 2001. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th rev. ed. Natl. Acad. Sci., Washington, DC.
112. Nocek, J. E. 1997. Bovine acidosis and its implication on laminitis. *J. Dairy Sci.* 80:1005.
113. Nocek, J. E. and Braund, D. G. 1985. Effect of feeding frequency on diurnal dry matter and water consumption, liquid dilution rate, and milk yield in first lactation. *J. Dairy Sci.* 68:2238.
114. Nocek, J.E. and Grant, A.L. 1987. Characterization of in situ nitrogen and fiber digestion and bacterial nitrogen contamination of hay crop forages preserved at different dry matter percentages. *J. Anim. Sci.* 64, 552-564.
115. Nocek, J.E. and Tamminga, S. 1991. Site of digestion of starch in the gastrointestinal tract of dairy cows and its effect on milk yield and composition. *J. Dairy Sci.* 74, 3598-3629.
116. Oba, M. and Allen, M.S. 2000a. Effects of brown midrib 3 mutation in corn silage on productivity of dairy cows fed two concentrations of dietary neutral detergent fiber. Part I. Feeding behavior and nutrient utilization. *J. Dairy Sci.* 83, 1333-1341.
117. Oba, M. and Allen, M.S. 2000b. Effects of brown midrib 3 mutation in corn

- silage on productivity of dairy cows fed two concentrations of dietary neutral detergent fiber. Part III. Digestibility and microbial efficiency. *J. Dairy Sci.* 83, 1350-1358.
118. O'Connor, J. D., Sniffen, C. J., Fox, D. G. and Chalupa, W. 1993. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: IV. Predicting amino acid adequacy. *J. Anim. Sci.* 71: 1298.
119. Offner, A. and Sauvant, D. 2003. Prediction of in vivo starch digestion in cattle from in situ data. in press. Offner, A., Bach, A., Sauvant, D., 2003. Quantitative review of in situ starch degradation in the rumen. *Anim. Feed Sci. Technol.* 106, 91-93.
120. Oliveira, J.S., Huber, J.T., Simas, J.M., Theurer, C.B. and Swingle, R.S. 1995. Effect of sorghum grain processing on site and extent of digestion of starch in lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 78, 1318-1327.
121. Ørskov, E.R. and McDonald, I. 1979. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *J. Agric. Sci. Camb.* 92, 499-503.
122. Overton, T.R., Cameron, M.R., Elliott, J.P., Clark, J.H. and Nelson, D.R. 1995. Ruminant fermentation and passage of nutrients to the duodenum of lactating cows fed mixtures of corn and barley. *J. Dairy Sci.* 78, 1981-1998.
123. Pantoja, J., Firkins, J.L., Eastridge, M.L. and Hull, B.L. 1994. Effects of fat saturation and source of fiber on site of nutrient digestion and milk production by lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 77, 2341-2356.
124. Pell, A. N. and Schofield, P. 1993. Computerized monitoring of gas

- production to measure forage digestion in vitro. *J. Dairy Sci.* 76:1063.
125. Pereira, M.N. and Armentano, L.E. 2000. Partial replacement of forage with nonforage fiber sources in lactating cow diets. Part II. Digestion and rumen function. *J. Dairy Sci.* 83, 2876-2887.
126. Petit, H.V. and Tremblay, G.F. 1992. In situ degradability of fresh grass and grass conserved under different harvesting methods. *J. Dairy Sci.* 75, 774-781.
127. Peyraud, J.L., Le Liboux, S. and Vérité, R. 1997. Effet du niveau et de la nature de l'azote dégradable sur la digestion ruminale d'un régime à base d'ensilage de maïs chez la vache laitière. *Reprod. Nutr. Dev.* 37, 313-328.
128. Phelps, A. and Drew, B. 1992. Vastly superior first lactations when heifers fed separately. *Feedstuffs.* 64(19):11.
129. Pitt, R., van Kessel, J., Fox, D., Pell, A., Barry, M. and van Soest, P. 1996. Prediction of the ruminal volatile fatty acids and pH within the net carbohydrate and protein system. *J. Anim. Sci.* 74, 226-244.
130. Poore, M.H., Moore, J.A., Swingle, R.S., Eck, T.P. and Brown, W.H. 1993. Response of lactating Holstein cows to diets varying in fiber source and ruminal starch degradability. *J. Dairy Sci.* 76, 2235-2243.
131. Ramangasoavina, B. and Sauvant, D. 1993. Validation comparée de 3 modèles de digestion ruminale pour prédire les flux azotés duodénaux microbiens. *Ann. Zootech.* 42, 164-165.
132. Ramond, B. 1988. Evolution du poids du contenu du réticulo-rumen chez les

- vaches laitières au cours des deux premiers mois de lactation. *Reprod. Nutr. Dev.* 28, 109-110.
133. Rayburn, E. B. and Fox, D. G. 1993. Chemical studies on the composition of fiber fractions and lignin determination residues. *J. Dairy Sci.* 76:120-128.
134. Robinson, P. H. 1989. Dynamic aspects of feeding management for dairy cows. *J. Dairy Sci.* 72:1197.
135. Robinson, P. H. and McQueen, R. E. 1992. Influence of rumen fermentable neutral detergent fiber levels on feed intake and milk production of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 75:520.
136. Robinson, P. H. and McQueen, R. E. 1994. Influence of supplemental protein source and feeding frequency on rumen fermentation and performance in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 77:1340.
137. Robinson, P.H., Fadel, J.G. and Tamminga, S. 1986. Evaluation of mathematical models to describe neutral detergent residue in terms of its susceptibility to degradation in the rumen. *Anim. Feed Sci. Technol.* 15, 249-271.
138. Rodney W. Hintz and David R. Mertens. 1996. Effects of sodium sulfite on recovery and composition of detergent fiber and lignin. *Journal of AOAC International* vol. 79, No. 1. 16-22.
139. Roseler, D. K., Fox, D. G., Chase, L. E., Pell, A. N. and Stone, W. C. 1997b. Development and evaluation of equations for the prediction of feed intake for lactating Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.* 80:878-893.

140. Russell, J. B. and Chow, J. M. 1993. Another theory for the action of ruminal buffer salts: decreased starch fermentation and propionate production. *J. Dairy Sci.* 76:826.
141. Russell, J. B. and Dombrowski, D. B. 1980. Effect of pH on the efficiency of growth of pure cultures of rumen bacteria in continuous culture. *Appl. Environ. Microbiol.* 39:604.
142. Russell, J. B., O'Connor, J. D., Fox, D. G., Van Soest, P. J. and Sniffen, C. J. 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: I. Ruminal fermentation. *J. Anim. Sci.* 71:1298.
143. Santos, J.E.P., Huber, J.T., Theurer, C.B., Nussio, L.G., Tarazon, M. and Santos, F.A.P. 1999. Response of lactating dairy cows to steam-flaked sorghum, steam-flaked corn, or steam-rolled corn and protein sources of differing degradability. *J. Dairy Sci.* 82, 728-737.
144. Sauvant, D. 1988. La modélisation de la digestion dans le rumen. *Reprod. Nutr. Dev.* 28 (1), 33-58. 130 *A. Offner, D. Sauvant / Animal Feed Science and Technology 112 (2004) 107-130.*
145. Sauvant, D. 1997. Rumen mathematical modelling. In: P.N. Hobson, C.S. Stewart (Eds), *The rumen microbial ecosystem*. Blackie Academic and Professional, Chapman and Hall, London, pp. 685-708.
146. Sauvant, D. and Mertens, D. 1999. Empirical modeling of digestive interactions in cattle. in: *Proceedings of the Fifth International Symposium on the Nutrition of Herbivores*, San Antonio, TX.
147. Sauvant, D., Meschy, F. and Mertens, D. 1999a. Les composantes de

- l'acidose ruminale et les effets acidogènes des rations. INRA Prod. Anim. 12, 49-60.
148. Sauvant, D., Meschy, F. and Mertens, D. 1999b. Empirical modelling of buffer recycling in cattle. J. Dairy Sci. 82 (1), 39.
149. Schofield, P. and Pell, A. N. 1995. Measurement and kinetic analysis of the neutral detergent-soluble carbohydrate fraction of legumes and grasses. J. Anim. Sci. 73:3455.
150. Schwab, C.G., Satter, L.D. and Clay, A.B. 1976. Response of lactating dairy cows to abomasal infusion of amino acids. J. Dairy Sci. 59, 1254-1270.
151. Shabi, Z., Bruckental, I., Zamwell, S., Tagari, H. and Arieli, A. 1999. Effects of extrusion of grain and feeding frequency on rumen fermentation, nutrient digestibility, and milk yield and composition in dairy cows. J. Dairy Sci. 82, 1252-1260.
152. Shaver, R.D., Nytes, A.J., Satter, L.D. and Jorgensen, N.A. 1986. Influence of amount of feed intake and forage physical form on digestion and passage of prebloom alfalfa hay in dairy cows. J. Dairy Sci. 69, 1545-1559.
153. Shaver, R.D., Satter, L.D. and Jorgensen, N.A. 1988. Impact of forage fiber content on digestion and digesta passage in lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 71, 1556-1565.
154. Shi, Y. and Weimer, P. J. 1992. Response surface analysis of the effects of pH and dilution rate on *Ruminococcus flavefaciens* FD-1 in cellulose-fed continuous culture. Appl. Environ. Microbiol. 58:2583.

155. Sniffen, C., O'Connor, J., van Soest, P., Fox, D. and Russell, J. 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. Part II. Carbohydrate and protein availability. *J. Anim. Sci.* 70, 3562-3577.
156. Stensig, T. and Robinson, P.H. 1997. Digestion and passage kinetics of forage fiber in dairy cows as affected by fiber-free concentrate in the diet. *J. Dairy Sci.* 80, 1339-1352.
157. Stokes, S.R., Hoover, W.H., Miller, T.K. and Blauwiel, R. 1991. Ruminal digestion and microbial utilization of diets varying in type of carbohydrate and protein. *J. Dairy Sci.* 74, 871-881.
158. Stokes, M. R., Vandemark, L. L. and Bull, L. S. 1986. Effects of sodium bicarbonate, magnesium oxide, and a commercial buffer mixture in early lactation cows fed hay crop silage. *J. Dairy Sci.* 69:1595.
159. St-Pierre, N.R. 2001. Invited review: integrating quantitative findings from multiple studies using mixed model methodology. *J. Dairy Sci.* 84, 741-755.
160. Sutton, J. D., Hart, I. C., Morant, S. V., Schuller, E. Simmonds, A. D. 1988. Feeding frequency for lactating cows: diurnal patterns of hormones and metabolites in peripheral blood in relation to milk-fat concentration. *Br. J. Nutr.* 60:265.
161. Sutton, J. D., Hart, I. C., Broster, W. H., Elliott, R. J. and Schuller, E. 1986. Feeding frequency for lactating cows: effects on rumen fermentation and blood metabolites and hormones. *Br. J. Nutr.* 56:181.
162. Sutton, J. D., Broster, W. H., Napper, D. J. and Siviter, J. W. 1985. Feeding frequency for lactating cows: effects on digestion, milk production and

- energy utilization. *Br. J. Nutr.* 53:117.
163. Teller, E., Vanbelle, M., Foulon, M., Collignon, G. and Matatu, B. 1992. Nitrogen metabolism in rumen and whole digestive tract of lactating dairy cows fed grass silage. *J. Dairy Sci.* 75, 1296-1304.
164. Theodorou, M.K. and France, J. 1993. Rumen microorganisms and their interactions. In: J.M. Forbes, J. France (Eds), *Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism*. CAB International, Wallingford, pp. 145-163.
165. Thomson, S. A., Beaver, D. E., Latham, M. J., Sharpe, M. E. and Terry, R. A. 1977. The effect of mineral salts in the diet on dilution rate, the pattern of rumen fermentation and composition of rumen microflora. *J. Agric. Sci. (Camb.)* 91:1.
166. Vasilatos, R. and Wangsness, P. J. 1980. Feeding behavior of lactating dairy cows as measured by time-lapse photography. *J. Dairy Sci.* 63:412.
167. Van Soest, P. J. 1994. *Nutritional Ecology of the ruminant* (2th Ed.). Cornell University Press, Ithaca, NY.
168. Van Soest, P. J. 1996. Environment and forage quality. *Proc. Cornell Nutr. Conf. for Feed Manuf.* p 1. Cornell Univ., Ithaca, NY.
169. Van Straalen, W.M., Odinga, J.J. and Mostert, W. 1997. Digestion of feed amino acids in the rumen and small intestine of dairy cows measured with nylon-bag techniques. *Br. J. Nutr.* 77, 83-97.
170. Van Vuuren, A.M., van der Koelen, C.J. and Vroons-de Bruin, J. 1993.

- Ryegrass versus corn starch or beet pulp fiber diet effects on digestion and intestinal amino acids in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 76, 2692-2700.
171. Vogel, G.J., Phillips, W.A., Horn, G.W., Ford, M.J. and McNew, R.W. 1989. Effects of supplemental silage on forage intake and utilization by steers grazing wheat pasture or bermudagrass. *J. Anim. Sci.* 67, 232-240.
172. Waldo, D.R. 1972. Model of cellulose disappearance from the rumen. *J. Anim. Sci.* 55, 125-129.
173. Waldo, D. R. 1986. Effect of forage quality on intake and forage concentrate interactions. *J. Dairy Sci.* 69:617-631
174. Warren, W. P., Martz, F. A., Asay, K. H., Hildenbrand, E. S., Payne, C. G. and Vagt, J. R. 1974. Digestibility and rate of passage by stress fed tall fescue, alfalfa and orchardgrass hay at 18 and 32°C ambient temperature. *J. Anim. Sci.* 39:93.
175. Wattiaux, M.A., Mertens, D.R. and Satter, L.D. 1991. Effect of source and amount of fiber on kinetics of digestion and specific gravity of forage particles in the rumen. *J. Dairy Sci.* 74, 3872-3883.
176. Weiss, W. P., Conrad, H. R. and St. Pierre, N. R. 1992. A theoretically-based model for predicting total digestible nutrient values of forages and concentrates. *Animal Feed Sciences and Technology.* 39:95-110.
177. West, J. W. 1994. Interactions of energy and bovine somatotropin with heat stress. *J. Dairy Sci.* 77:2091-2102.
178. West, J. W., Coppock, C. E., Nave, D. H. and Schelling, G. T. 1986. Effects

- of potassium buffers on feed intake in lactating dairy cows and on rumen fermentation in vivo and in vitro. *J. Dairy Sci.* 69:124.
179. Widyobroto, B.P. 1992a. Influence de la proportion et de la nature du concentré sur les sites et la dynamique de la digestion chez la vache haute productrice-Essai 1. PhD thesis, Université de Rennes I, France, pp. 26-48.
180. Widyobroto, B.P. 1992b. Influence de la proportion et de la nature du concentré sur les sites et la dynamique de la digestion chez la vache haute productrice-Essai 2. PhD thesis, Université de Rennes I, France, pp. 49-79.
181. Winter, K. A. and Collins, D. P. 1987. Fibrosity index as an estimate of forage digestibility. *Can. J. Plant. Sci.* 67:445-449.
182. Wolin, M.J. 1979. The rumen fermentation: a model for microbial interactions in anaerobic ecosystems. In: M Alexander (Ed.), *Advances in Microbial Ecology*. Vol. 3. Plenum Press, New York, pp. 49-77.
183. Yang, C.M.J. and Varga, G. A. 1989. Effect of sampling site on protozoa and fermentation end products in the rumen of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 72:1492.
184. Yang, W.Z., Beauchemin, K.A., Koenig, K.M. and Rode, L.M. 1997. Comparison of hull-less barley, or corn for lactating cows: effects on extent of digestion and milk production. *J. Dairy Sci.* 80, 2475-2486.
185. Yang, W.Z., Beauchemin, K.A. and Rode, L.M. 1999. Effects of an enzyme feed additive on extent of digestion and milk production of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 82, 391-403.
186. Yang, W.Z., Beauchemin, K.A. and Rode, L.M. 2000. Effects of barley grain

- processing on extent of digestion and milk production of lactating cows. J. Dairy Sci. 83, 554-568.
187. Young, B. W. 1976. Effects of cold environments on nutrient requirements of ruminants. Pp. 491-496 in Proc. 1<sup>st</sup> Int. Symposium on Feed Composition, Animal Nutrient Requirements, and computerization of diets, P. V.Fonnesbeck, L. F. Harris, and L. C. Kearl, des. Logan: Utah State University.
188. Young, B. A. 1983. Ruminant cold stress : Effects animal production. J. Anim. Sci. 57:1601-1607.
189. Yu, P., Christensen, D. A., McKinnon, J. J. and Soita, H. W. 2004. Using chemical and biological approaches to predict energy values of selected forages affected by variety and maturity stage: Comparison of three approaches. Asian-Aust. J. Anim. Sci. Vol 17, 2:228-236.
190. 2002년 농업협동조합통계.
191. 맹원재 외 공저. 1992. 사료 분석 및 실험. 선진문화사.
192. 이효원, 박형수, 김종덕. 2001. 사일리지용 옥수수의 근적외 분석에 관한 연구. 동물자원지 43(6) 981-988.
193. 축산기술 연구소. 2001. 사료 표준 분석 방법(2th ed).
194. 한국젖소사양표준. 2002. 농촌진흥청 축산기술연구소.
195. 한국표준사료성분표. 2002. 농촌진흥청 축산기술연구소.

## 주 의

1. 이 보고서는 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니됩니다.