

## 시뮬레이티드 어닐링을 이용한 젖소의 급이량 산정

### Determination of Dairy Cow Food Intake using Simulated Annealing

허은영      김동원      한병성      김용준      이수영  
정희원      정희원  
E. Y. Heo    D. W. Kim    B. S. Han    Y. J. Kim    S. Y. Lee

#### ABSTRACT

The daily food intake for dairy cows has to be effectively controlled to breed a sound group of cows as well as to enhance the productivity of the cows. But, feed stuffs are fed in the common bulk for a group of cows in most cases despite that the individual food intake has to be varied. To obtain the feed for each cow, both the nutrient requirements and the nutrient composition of feed have to be provided in advance, which are based on the status of cows such as weight, marginal weight, amount of milk, fat concentration in milk, growth and milking stages, and rough feed ratio, etc. Then, the mixed ration for diet would be computed by the nutrient requirements constraints. However, when TMR (Total Mixed Ration) is conventionally supplied for a group of cows, it is almost impossible to get an optimal feed mixed ration meeting the nutrient requirements of each individual cow since the constraints are usually conflicting and over-constrained although they are linear.

Hence, addressed in this paper is a simulated annealing (SA) technique to find the food intake for dairy cows, considering the characteristics of individual or grouped cows. Appropriate parameters for the successful working of SA are determined through preliminary experiments. The parameters include initial temperature, epoch length, cooling scheduling, and stopping criteria. In addition, a neighborhood solution generation method for the effective improvement of solutions is presented. Experimental results show that the final solution for the mixture of feed fits the rough feed ratio and some other nutrient requirements such as rough fiber, acid detergent fiber, and neutral detergent fiber, with 100 percent, while fulfilling net energy for lactating, metabolic energy, total digestible nutrients, crude protein, and undegraded intake protein within average five percent.

**Keywords** : Daily food intake, Nutrient requirements, TMR, Simulated annealing.

---

This study was conducted by the research fund supported by Ministry of Agriculture and Forestry. The paper was submitted for publication in June 2002, reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in September 2002. The authors are D. W. Kim, professor, Dept. of Industrial and System Engineering, B. S. Han, Professor, and S. Y. Lee, Assistant Professor, Division of Electronics and Information, Y. J. Kim, Professor, Dept. of Veterinary Medicine, Chonbuk National University. The corresponding author is E. Y. Heo, Researcher, Dept. of Industrial and System Engineering, Chonbuk National University, Chonju, 561-756, Korea. e-mail: <bat30@hanmail.net>.

### 1. 서 론

일반적인 인식과는 달리 젖소의 사료 급여량은 상당히 복잡한 과정을 거쳐 계산된다. 같은 젖소라도 젖소의 출산회수, 유지율, 우유 생산량, 체중, 등, 젖소의 상태에 따라서 영양소 요구량(Table 1)이 달라진다. 또한, 이론대로 영양소 요구량을 산출한다 해도, 실제 영양소 요구량에 꼭 맞는 사료 급여량을 구한다는 것은 매우 어려운 일이다. 건강한 우군을 유지하고 젖소의 생산성을 제고시키기 위해서는 적정량의 사료를 급여 해야 하는바, 이는 적기에 적량의 사료를 급여 하도록 하는 것이다.

급여할 사료의 양을 구하기 위해서는 젖소가 얼마나 섭취할 수 있는 가를 먼저 결정해야 하며, 이는 사료 섭취량을 사료의 건물량으로 환산하여 구하게 된다. 건물(DM: Dry Matter)이라 함은 일반적으로 사료 중의 수분 함량을 제외한 부분을 지칭하며 고형물이라고도 한다. 젖소의 상태에 따른 적정량을 급여하기 위해서는 사료의 성분(Table 2)이 중요한 요소가 된다.

청초나 사일리지 같은 다즙 사료는 수분함량이 많기 때문에 섭취량을 계산하기 위하여 건물량을 측정하여야 하며 일반 풍건 상태에서 건조된 조사

료도 건물량이나 가소화 에너지 총량(TDN:Total Digestible Nutrients), 단백질(CP:Crude Protein) 함량 등을 알 수 있어야 적정 급여 기준을 설정할 수 있다. 또한 젖소의 반추위 내 산도를 유지하기 위해 급여 하는 총 사료에 일정량의 섬유질이 포함 되어야 하는바, 이를 위해서는 성장단계 및 비유 단계에 따라서 적절한 조사료와 농후사료의 비율을 유지하여야 한다.

젖소의 반추위 내 산도를 조절하기 위해 농후사료 다회급여 방법(김, 2001)을 사용하지만, 젖소의 경제수명을 연장하고, 번식관련 질병을 감소시키기 위해서는 적절한 사료 급여량을 구하는 것이 필요하다. 사료 급여량에 관해서는 지금까지 주로 축산농가의 경험에 의존하였고 많은 연구가 이루어지지 않았다. 기존의 급여 사료량 산정 방식(Ensminger 등, 1994)에서는 젖소의 상태에 따른 영양소 요구량을 조사료와 농후사료로 만족시키게 되는데, 필요한 영양소 요구량에서 미리 정한 조사료의 양으로 충족되는 영양소량을 뺀 나머지 영양소량을 농후사료로 공급하게 된다. 이 방법에서 조섭유는 농후사료와 조사료의 총 건물량 중 16% 이상이 포함되어야 하는데 만족하지 못할 경우, 반복 계산하게 된다. 따라서 계산방법이 비교적 쉽다는 점 외에, 일부 영양소량이 과다하거나 반

Table 1 Nutrient requirements of dairy cows

Live Weight kg	Energy			TDN kg	Total Crude Protein g	Minerals		Vitamin	
	NEL Mcal	ME	DE			Ca	P	A	D
Maintenance of mature lactating cows									
500	8.46	14.20	16.32	3.70	364	20	14	38	15
550	9.09	15.25	17.52	3.97	386	22	16	42	17
600	9.70	16.28	18.71	4.24	406	24	17	46	18
650	10.30	17.29	19.86	4.51	428	26	18	49	20
Maintenance plus Last 2 months of gestation of mature dry cows									
500	11.00	18.04	21.55	4.90	978	33	20	38	15
550	11.81	19.37	23.14	5.27	1,027	36	22	42	17
600	12.61	20.68	24.71	5.62	1,074	39	24	46	18
650	13.39	21.96	26.23	5.97	1,120	43	26	49	20
Milk production - nutrients/kg of milk of difference fat percentages									
3.0	0.64	1.07	1.23	0.280	78	2.73	1.68	-	-
3.5	0.69	1.15	1.33	0.301	84	2.97	1.83	-	-
4.0	0.74	1.24	1.42	0.322	90	3.21	1.98	-	-
4.5	0.78	1.32	1.51	0.343	96	3.45	2.13	-	-

Table 2 Nutrient composition of dairy feed

Stuff name	DM	Energy			TDN	UIP	CP	Fiber	Ca	P
		NEm	NEg	NEl						
	%	Mcal/kg			%					
Alfalfa	89.97	1.3	0.73	1.32	58.67	5.7	18.46	23.28	1.22	0.26
Compound feed	87.5	1.9	1.26	1.69	74	7	18	15	0.07	0.33
Corn silage	33	0	0	0.45	23.1	0.83	2.67	7.8	0.076	0.07
Oats	89	1.77	1.19	1.56	68	2.5	12	15	0.07	0.33
Ryegrass hey	90	1	0.5	1.08	48.6	1.29	5.85	32.4	0.55	0.28
Rye silage	27.7	0.51	0.33	0.45	19.94	1	3.04	6.96	0.07	0.06
Sudangrass hey	91.53	0.94	0.39	1.1	50	2.3	5.97	33.12	0.34	0.15
Orchardgrass	88.14	0.91	1.42	1.02	45.93	3.55	9.6	33.41	0.21	0.31
Timothy hey	89.35	1.12	0.56	1.21	54.3	4	12	25	0.47	0.22
Corn	85	2.23	1.58	1.86	80.07	4.2	8	1.7	0.1	0.24
rice straw	88	0.54	0.07	0.81	37.5	0.9	4.49	28.3	0.33	0.12
Bermuda hey	92.03	1.36	0.78	1.35	60	3.57	8.07	28.4	0.39	0.22
cottonseed	89.02	2.16	1.51	1.83	79	7.4	17.3	28.5	0.18	0.54

복계산으로 계산시간이 증가하게 되고, 적절하지 못한 사료 급이로 인한 사료비용이 증가하게 된다. 또한, 젖소 한 마리에 대하여 계산할 때는 크게 문제가 되지 않겠지만, 우군을 대상으로 급이하게 되는 경우에는 개별 젖소의 상태에 따른 적절한 급이량을 할 수 없게 된다.

이러한 문제점을 개선하기 위해 영양소 요구량, 급이할 사료의 성분, 성장단계 등의 요소들을 정리하여 일련의 선형 제약식을 만들고, 선형방정식을 통하여 급이량을 계산하는 방법이 있다(한 등, 1995). 이 방법에서는 일반적으로 변수의 개수보다 제약식이 많고(over-constrained), 대부분 등식으로 이루어져 일반적인 선형계획법의 접근방식으로는 적용하기 곤란하다. 즉, 대개의 경우, 실행 불가능 해가 얻어지게 되므로 일부 영양소만을 만족시키는 해(사료량)를 구하게 된다. 그러므로 현장에서 실제 활용하기 위해서는 주어진 제약조건을 최대한 만족시키는 해를 얻어낼 필요가 있다. 본 논문에서는 비선형 공간탐색(non-linear space searching)이나 비정형 설계(non-standard design) 분야에 활발히 응용되고 있는 시뮬레이티드 어닐링(SA: Simulated Annealing) 탐색기법을 사용하여, 적절한

사료 급이량을 산정 하고자 한다.

본 논문의 2장에서는 사료 급이 방법과 영양소 요구량 및 급이량 계산의 필요성에 대하여 살펴보고, 3장에서는 기존의 급이량 계산 방법 및 문제점에 대하여 살펴보고, 4장에서는 기존 방법의 문제점을 보완할 수 있는 탐색기법에 대하여 자세히 살펴보고, 이에 대한 실험결과를 분석하였다.

## 2. 사료 급이 방법 및 영양소 요구량

### 가. 완전혼합사료(TMR: Total Mixed Ration)

사료는 청초, 건초, 사일리지와 같은 조사료와 영양소를 농축하여 만든 농후사료로 구분한다. 젖소의 영양소 요구량은 체유지, 우유 생산량, 일당 증체량, 비유단계, 번식관계, 계절 등에 따라서 달라진다. 이러한 변동 요인을 감안하여 젖소가 하루 동안 필요로 하는 영양소 요구량을 충족할 수 있도록 조사료와 농후사료, 첨가제 등을 한꺼번에 섞어 급이하는 혼합사료를 완전혼합사료(TMR)라 한다. 가장 이상적인 완전혼합사료는 반추동물의

영양생리에 맞으면서 생산을 최대화 할 수 있도록 균형 있는 영양소 공급을 가능케 하는데, 이를 위해서는 개체·우군별 사료의 영양소 조성과의 균일도가 중요하다. TMR의 영양소 조성을 결정하기 위해서는 먼저 젖소에 필요한 건물, 에너지, 단백질, 그리고 섬유질의 요구량을 알아야 한다.

본 연구에서는 사료 급이 방법으로 농후사료의 일부를 자동 급이기를 통해 급이하고 나머지 사료 및 첨가제를 혼합하여 급이하는 완전혼합사료 급이 방식에 대하여 다루고자 한다. 완전혼합사료를 사용한 사료 급이 방식에는, 우군에 대하여 공통적으로 급이한 완전혼합사료를 소들이 평균적으로 나눠 먹는다는 것을 가장하고 있다. 즉, 20두의 젖소에 완전혼합사료 100kg을 급이할 경우, 20두의 소는 똑같이 5kg씩 섭취한 것을 가정한다. 따라서 급이된 완전혼합사료를 모두 섭취한다고 가정할 때, 우군에 적절한 완전혼합사료의 급이와 자동 급이기를 통해 급이되는 농후사료 양을 조절하여 영양소 요구량을 최대로 만족하는 사료 배합을 구하고자 한다.

#### 나. 영양소 요구량 및 급이량 계산의 필요성

젖소의 사양관리 목표는, 젖소가 유전적으로 가지고 있는 우유 생산능력을 최대로 발휘할 수 있도록 체유지 및 우유 생산에 필요한 양분을 충분히 공급해 주며, 사료의 기호성을 좋게 하여 급이한 양을 남기지 않고 모두 섭취하도록 해야 한다. 동시에 급이 하는 영양소 단위당 비용이 최소화 되도록 사료를 급이 하여야 한다.

급이량 계산을 위해서는 첫째, 대상우의 영양소 요구량을 알아야 한다. 이는 젖소의 산차, 체중, 일당 증체량, 우유 생산량, 유지율 및 임신 상태 등을 기초로 계산하며, NRC(National Research Council) 사양표준에 의해 구할 수 있다(Table 1). 충족시켜야 할 영양소의 종류로는 정미에너지(NE: Net Energy), 가소화 영양소 총량(TDN: Total Digestible Nutrients), 단백질(CP: Crude Protein), 섬유질(Fiber), 광물질(Mineral) 등이 있다. 정미에너지는 착유우인 경우, 체유지를 위한 정미에너지(NEm: Net Energy for Maintenance), 우유 생산을 위한 정미에너지(NEL: Net Energy for Lactating), 일당 증체량을 위한 정미에너지(NEg: Net Energy for body Gain)로 구분되어진다. 사료 중의 단백질은 반추위 내의 미생물에 의해 분해되는 분해단백

질(DIP: Degraded Intake Protein)과 반추위 내에서 분해되지 않는 우회단백질(UIP: Undegraded Intake Protein)로 구분되어진다. 섬유질은 산성세제 불용 섬유소(ADF: Acid Detergent Fiber)와 중성세제 불용 섬유소(NDF: Neutral Detergent Fiber)로 구분되어지며, 광물질로는 칼슘(Ca: Calcium), 인(P: Phosphorus), 마그네슘, 칼륨, 황, 소금, 철, 비타민, 등이 있다.

따라서 본 연구에서 급이량 계산에 사용하는 에너지 및 영양소로서 정미에너지, 가소화 영양소 총량, 조단백질, 분해단백질, 미분해 단백질, 섬유질, 산성세제불용 섬유소, 중성세제 불용 섬유소, 칼슘, 인 등에 대한 영양소 요구량을 구하고, 이에 따른 착유우의 급이량을 계산하고자 한다.

둘째로는 각 사료의 영양소 함량(Table 2)을 알아야 한다. 착유우에 급이하는 사료의 영양소 함량은 사료 성분표(Ensminger 등, 1994)를 통해 알 수 있다. 그러나 자가생산 또는 구입 조사료의 성분을 정확히 알기 위해서는 필요시마다 분석해야 한다. 이들 성분은 수확하는 시기에 따라, 그리고 품종 및 재배방법이나 기후, 토양조건, 가공방법, 저장방법 등에 따라 달라지기 때문에 이미 나와 있는 성분표보다 실제 분석한 자료를 이용하는 것이 좋다.

셋째로 영양소 요구량과 사료 성분표를 통하여 급이 계획을 세워야 한다. 젖소의 사료섭취능력과 비유단계별 영양소 요구량을 무시하고 사료를 급이하는 일은 매우 비합리적이다. 젖소의 사료 섭취능력은 건물섭취능력으로 표현되고, 섭취능력을 좌우하는 가장 큰 요인은 소화기관의 용적이지만 그 외에 체중, 산유량에 따른 비유단계별 영양소 요구량 또한 중요한 요소이다. 산유주기(Fig. 1)에 따른 변화를 보면, 분만시 가장 섭취량이 낮고 점차 증가하여 5개월경에서 가장 높으며 그 이후 서서히 줄어든다. 따라서 젖소의 건물섭취 능력과 영양소 요구량을 만족시키는 급이량 계산이 필요하다.

마지막으로, 사료 급이 계획을 세울 때에는, 그 지역 또는 농가에서 가장 경제적으로 충분한 양을 확보할 수 있는 조사료를 정한 다음 이 조사료를 통해 가능한 많은 양의 영양소를 섭취하도록 하는 것이다. 또한 농가 비용의 대부분을 차지하는 사료 구매비용을 최소로 하기 위해 급이하는 영양소 단위당 비용을 최소로 하는 급이량 계산이 필요하다.

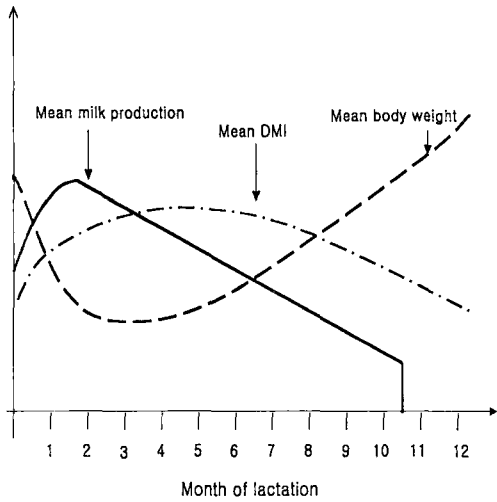


Fig. 1 Amount of milk, intake, and weight by lactating stages.

### 3. 현 사료 급이량 계산방법

#### 가. 사료 급이량 계산

앞서 언급한 바와 같이 젖소가 필요한 사료의 급이량을 산출하려면 먼저 젖소가 필요로 하는 영양소 요구량을 알아야 한다. 개체별 영양소 요구량이 구해지면 개체의 상태, 비유단계, 성장단계에 따라서 조사료와 농후사료의 건물량이 계산되고, 적절한 급이량을 계산한다. 적절한 사료 급이량은 개체별로 섭취 가능한 건물량을 기준으로, 가소화 에너지 총량 또는 단백질과 같은 영양소 요구량에 대한 사료배합을 선형방정식을 이용하여 계산한다.

선형방정식을 사용한 예로 체중=600kg, 일당 증체량=330g, 유지율=3.0%, 산유량= 20kg, 조사료: 농후사료 비율=40:60의 착유우에 대한 사료 급이량 계산을 보기로 한다. 먼저 NRC사양표준에서 영양소 요구량을 구하면 표 3과 같다.

표 3에서 만족해야 하는 건물량과 영양소량을

옥수수사일리지, 벣짚, 알파파 등의 조사료와, 농후사료를 통해 영양소 요구량을 만족시키고자 할 때, 건물량 및 영양소에 대한 제약식을 만들 수 있다. 또한 건물 요구량 중 40%에 해당하는 6.48 kg을 조사료로 만족해야 하며, 21%, 27%의 산성 세제불용 섬유소와 중성세제 불용 섬유소로 3.402 kg, 4.374kg을 만족해야 한다. 선택한 사료의 양을 결정하고자 하므로 이를 변수로 놓고 영양소 요구량 및 건물량, 조사료 합량 등에 관한 제약식을 나타내면 다음과 같다.

#### 변수

- $x_1$  = 옥수수사일리지 급이량
- $x_2$  = 벣짚 급이량
- $x_3$  = 알파파 급이량
- $x_4$  = 농후사료 급이량

#### 제약식

DM =	$x_1 +$	$x_2 +$	$x_3 +$	$x_4 =$	16.2
NEI = 0.45	$x_1 + 0.81$	$x_2 + 1.32$	$x_3 + 1.69$	$x_4 =$	24.18
TDN= 0.231	$x_1 + 0.375$	$x_2 + 0.5867$	$x_3 + 0.74$	$x_4 =$	10.67
UIP = 0.0083	$x_1 + 0.009$	$x_2 + 0.057$	$x_3 + 0.07$	$x_4 =$	0.845
CP = 0.0267	$x_1 + 0.0449$	$x_2 + 0.1846$	$x_3 + 0.18$	$x_4 =$	2.39
Ca = 0.0008	$x_1 + 0.0033$	$x_2 + 0.0122$	$x_3 + 0.0007$	$x_4 =$	0.079
	!	!	!	!	
	!	!	!	!	

조사료비율  $0.6(x_1 + x_2 + x_3) \geq 6.48$

비음조건  $x_1, x_2, x_3, x_4 \geq 0$

#### 나. 선형방정식을 이용한 급이량 산정 시 애로사항

##### (1) 목적함수 및 제약식

위의 선형방정식에는 목적함수가 없으며 단지 제약조건에 맞는 해만을 요구하고 있다. 사료 급이량은 건물량 뿐 아니라, 정미에너지, 가소화 에너지, 단백질, 섬유질, ... 등의 영양소를 만족시켜야 하는데 모든 영양소를 만족시키는 사료 급이량

Table 3 Example of nutrient requirements

DM (kg)	NE (Mcal)	TDN (kg)	UIP (g)	DIP (g)	CP (g)	CA (g)	P (g)	Vitamin A (1000IU)	Vitamin D (1000IU)
16.2	24.18	10.67	845	1375	2390	79	51	45.6	18

계산은 현실적으로 불가능하다고 할 수 있다. 또한, 일부 선택한 영양소에 대한 제약식을 연립방정식으로 풀어야 하는데, 영양소에 대한 연립방정식을 풀더라도 이 제약식의 등호를 만족해야 되므로 항상 가능해(feasible)를 보장하지 않는다(Katta, 1983).

NRC 사양표준이 모든 사양환경에 대한 절대적 표준이 아니기 때문에 영양소 요구량 중의 일부 영양소 양에 대하여 오차범위를 줄 수 있고, 제약식의 등호를 부등호로 바꾸어, 즉, 최소·최대 값과 같이 일정한 범위를 주어서, 해를 찾을 수 있는 기회를 좀더 보장하기도 하지만, 선형방정식 자체로서는 모든 영양소 요구량을 만족하는 해를 구할 수 없다.

(2) 해의 질(quality)에 대한 평가 기준

선형방정식을 통하여 계산된 급이량은 필요한 영양소 중 일부만을 통해 계산된 급이량인므로, 계산된 해가 젓소 개체에 대하여 가장 좋은 급이량인지 확인할 수 없다. 비유초기의 고능력우는 많은 양의 에너지와 단백질이 필요하게 되는데, 젓소의 상태에 따라서 적절한 영양소를 선택하여 연립방정식의 해를 구했는지 확인이 불가능하다. 즉 비유단계 및 성장단계에 따라서 영양소별 중요도가 달라지는데 이러한 내용을 반영하지 않은 경우, 바람직한 사료 급이량인지 판단하기 어렵게 된다.

(3) 완전혼합사료(TMR) 급이의 문제점

영양소 요구량이 각기 다른 젓소에 대하여 일괄적인 TMR 사료를 급이하게 되는 경우 일부 영양소가 결핍되거나 과다하게 급이되는 것을 피할 수 없다. 실험실 수준의 개체별 급이가 가능하다면 문제가 되지 않지만, 대부분의 경우 일정량의 TMR을 공통적으로 우군에 급이하고 개체별 농후 사료의 일부를 자동 급이기를 통해 급이하는 방식으로 조절하기 때문이다. 따라서 선형방정식을 이용하여 개체별로 일부 영양소 요구량을 충족시키는 사료량을 우군에 대해 TMR 사료로 급이하게 된다면, 개체별로 꼭 필요한 영양소가 결핍되거나 과다하게 급이될 수 있다.

4. 탐색기법을 이용한 급이량 선정

주어진 사료 배합 문제를 선형방정식으로 풀 수

있다면, 선형방정식에 의해 탐색되는 해는 휴리스틱으로 탐색하는 해에 비해 양질의(최적) 해를 출력한다. 또한 계산시간에서도 월등히 적다. 그러나 앞서 지적한 바와 같이, 현재 사료배합 문제를 선형방정식을 이용할 경우 대부분 불가능(infeasible) 해가 예상되고, 일부 영양소의 요구량을 만족하는 해를 구했다 하더라도 좋은 해라는 보장이 없다.

따라서 계산시간이 문제되지 않는다면, 최적해는 아니지만 보다 많은 해들의 비교를 통해서, 이들 중 가장 좋은 해로 출력하는 탐색기법을 사용할 필요가 있다. 또한 영양소별 오차를 목적함수로 하고, 사양환경을 반영하기 위해 영양소별로 가중치와 오차범위를 부여함으로써 해를 구하게 된다면, 개체별 또는 우군별로 적절한 사료 급이량을 구할 수 있다.

가. 시뮬레이티드 어닐링(Simulated Annealing)

본 연구에서 사용하는 탐색기법은 시뮬레이티드 어닐링(SA: Simulated Annealing)이고, 일반적인 형식은 임의의 초기해(X)로 시작하여 인접해 발생 규칙에 의해 인접해(Y)를 발생시킨 후, 인접해와 기존의 해간의 목적함수 값의 차  $\Delta (=cost(Y) - cost(X))$ 를 구한다.

목적함수를 최소화하는 문제이므로 만일,  $\Delta < 0$  이면, 새로운 해 Y로의 이동이 이루어진다. 만일,  $\Delta \geq 0$  이면, 미리 규정한 확률 값에 의해 확률적으로 해의 이동이 일어나게 되는데, 이 확률 값 P는 주로 함수  $\exp(-\Delta/T)$ 로 주어진다. 여기서, T는 알고리즘의 유연성(Flexibility)을 조절하는 제어 변수로서 일반적으로 온도(Temperature)라고 부르며, 확률 값 P는 온도 T가 작아질수록 작아지게 된다.

목적함수 값이 나빠지는 쪽으로의 이동을 허용하는 것은, 시뮬레이티드 어닐링이 국부 최적해에 빠졌을 경우 이를 탈출하여 계속 다른 해들을 찾아나갈 수 있도록 하기 위함이다. 시뮬레이티드 어닐링의 구동에 있어서 초기에는 높은 온도에서(T값을 크게 하여) 전체 해집합을 광범위하게 탐색하도록 하여 국부 최적해에 빠지는 것을 방지하고, 시간이 지남에 따라서 온도를 낮추어줌으로써 어떠한 특정해로 수렴하도록 해준다. 일반적인 시뮬레이티드 어닐링 알고리즘은 그림 2와 같다.

시뮬레이티드 어닐링 알고리즘의 해는 부분 최적해(local optima)일 수도 있으며 전체 해공간에서

```

Initialize (X, T, L)
Repeat
  for i=1 to L do
    Y=Perturb(X);
    if (cost(Y) ≤ cost(X) ) or
      ( Exp( cost(X) - cost(Y)/T ) > random(0,1) ) then
      X=Y ; //accept the movement
    endif;
  endfor;
Update(T, L)
until(stop-criterion)
    
```

Fig. 2 Simulated annealing algorithm.

의 최적해(global optima)일 수도 있는데, 전체 최적해가 되기 위한 조건은 다음과 같다. 이는 Aarts 등(1987)이 마코프 체인(Markov chain)을 통해 분석한 결과로서, 다음 조건이 만족되면 확률 1로서 최적해들 중의 하나로 수렴한다.

- 1) 제어변수인 온도 T 값이 0으로 수렴하고,
- 2) 각각의 온도 T에서 발생되어지는 마코프 체인의 길이가 무한하며,
- 3) 인접해 발생 방법을 통해 모든 가능해를 발생시킬 수 있다.

위의 세 가지 조건을 모두 만족하여야만 시뮬레이티드 어닐링을 통해 얻은 해가 최적해임을 보장한다. 그러나 실제의 경우 세 가지를 모두 만족시키는 것이 불가능하다. 따라서 최적해를 보장받을 수는 없을 지라도 최적해에 가까운 해를 얻을 수 있도록 효과적인 시뮬레이티드 어닐링 알고리즘 구현이 필요하게 된다.

종료 조건으로는 1)실행시간이 제한시간을 초과하였거나, 2)현재까지 찾은 가장 좋은 해보다 더 좋은 해를 몇 번의 루프를 반복하여도 발견하지 못하였거나, 3)온도 T가 너무 낮아서 나쁜 해로의 이동이 거의 발생하지 않을 정도로 확률 P값이 작아졌거나, 4)미리 정해 놓은 수만큼의 단계를 반복하거나, 5)혹은, 앞의 네 가지 완료조건 중 몇 가지를 복합하여 사용하는 방법이 있다.

#### 나. 사료 배합문제를 위한 SA 변수 및 파라미터 정의

시뮬레이티드 어닐링 방법은 이론적으로 최적해에 수렴하는 방법이지만 실제 문제에 적용할 때는

수렴속도를 가속하기 위하여 이론적인 조건을 만족하지 않게 되어 근사해를 얻게 된다. 즉, 0으로 수렴하는 온도 T에 대하여, 임의의 온도 T에서 충분히 큰 반복회수를 갖고, 모든 가능한 해를 탐색하게 된다면 최적해에 수렴할 수 있지만, 비효율적인 계산시간을 필요로 한다. 따라서 계산시간을 줄이기 위해 수렴속도를 가속화시킬 필요가 있고 최적해는 아니지만 이에 근사한 해에 만족할 필요가 있게 된다. 수렴속도를 가속하는 방법으로 최적해에 가까운 초기해에서 출발함으로써 수렴속도를 가속화 할 수 있고, 초기온도와 냉각 스케줄링, 내부 루프의 반복회수, 종료조건 등에 따라서 가속화 정도가 달라지게 되며, 알고리즘 가속화를 위해 사용한 파라미터에 따라서 근사해의 정밀도가 달라지게 된다.

본 연구에서는 시뮬레이티드 어닐링을 통하여 사료급이량을 계산할 때, 최적 사료배합을 구하고 알고리즘을 가속화하도록 관련 변수 및 파라미터를 다음과 같이 결정한다.

#### (1) 목적함수

사료배합 문제에서는 선택한 사료의 양이 적합한지 검사할 목적함수가 없다. 따라서 시뮬레이티드 어닐링 알고리즘을 적용시키기 위해 적절한 목적함수가 필요하며, 본 연구에서는 목적함수로서 가중치가 부여된 영양소별 오차의 제곱 합을 사용하고자 한다. 영양소 성분 중, 산성세제불용(ADF), 중성세제 불용(NDF), 섬유소(FIBER), 조사료 비율(Ratio) 등은 영양소 요구량의 최소 값만 만족하면 되므로 이들 영양소 양이 부족한 경우에 대해서만 목적함수 값을 증가시키도록 한다.

$$\min Z$$

$$Z = \sum_i \sum_j (Ex)^2 \times W_j \quad (1.1)$$

$$\text{if } \frac{N_{i,j}}{Re_{i,j}} \leq 1,$$

$$Ex = \max \left\{ \left( 1 - T_j - \frac{N_{i,j}}{Re_{i,j}} \right), 0 \right\} \times 100 \quad (1.2)$$

else if  $\left( \frac{N_{i,j}}{Re_{i,j}} > 1 \right)$  and  $(j \neq \text{ADF, NDF, Fiber, Rratio})$  then

$$Ex = \max \left\{ \left( \frac{N_{i,j}}{Re_{i,j}} - T_j - 1 \right), 0 \right\} \times 100 \quad (1.3)$$

else

$$Ex = 0$$

여기서  $Re_{i,j}$  =  $i$ 번째 짚소의 영양소  $j$ 의 요구량  
 $N_{i,j}$  = 이웃해  $I$ 로 짚소  $i$ 에 공급할 수 있는 영양소  $j$ 의 총량  
 $W_j$  = 영양소  $j$ 의 가중치  
 $T_j$  = 영양소  $j$ 의 오차범위

(2) 해집합, 이웃해, 가중치, 오차범위

사료 배합 문제에서, 선택한 사료를 변수로 정의하고, 해집합은  $X = \{x_1, x_2, x_3, x_4, \dots\}$ 라 정의한다. 주어진 문제는 연속된 실수공간상의 해집합을

탐색해야 됨으로, 이웃해는 현재해에 적절한 변화를 줌으로써 생성할 수 있다. 초기온도에서는 전체적으로 탐색할 수 있도록 변화량을 크게 주고, 온도가 냉각됨에 따라서 국부최적해를 탐색할 수 있도록 변화량을 조절한다. 식 (2.1), (2.2)과 같이 이웃해를 정의할 수 있고, 여기서  $\delta$ 는 상수,  $I$ 는 온도변화에 따라 24, 19, 14, 9, 4의 값으로 온도가 냉각됨에 따라서 감소한다.

$$x_i = x_i + \delta \cdot I \quad (2.1)$$

$$x_j = x_j - \delta \cdot I \quad (2.2)$$

여기서

$$x_i, x_j \in X,$$

$$I = 5 \times [ 5 \cdot (\text{현재온도}/\text{초기온도}) ] - 1 \quad (2.3)$$

$\delta$  = 최소 변화량

기존 급이량 계산 방식과 다르게 본 연구에서는 시뮬레이티드 어닐링을 통하여 모든 영양소를 고려한 사료 급이량을 구하고자 한다. 사양환경의 변화에 따라서 개체·우군별 특성에 맞는 사료배합을 구하기 위해 모든 영양소에 대하여 가중치와 오차범위를 입력 받는다. 영양소별 가중치는 영양소들과 건물량에 대하여 0~100사이의 값으로, 조사료의 비율을 %로 사용자로부터 입력 받는다.

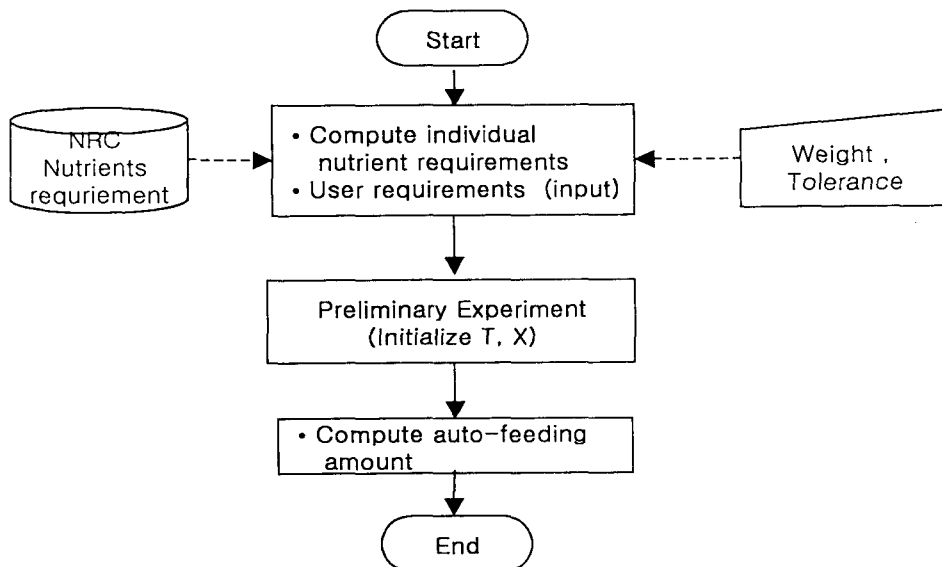


Fig. 3 Simulated annealing process for the determination of feed mixed ration.



시뮬레이티드 어닐링을 이용한 젓소의 급이량 산정

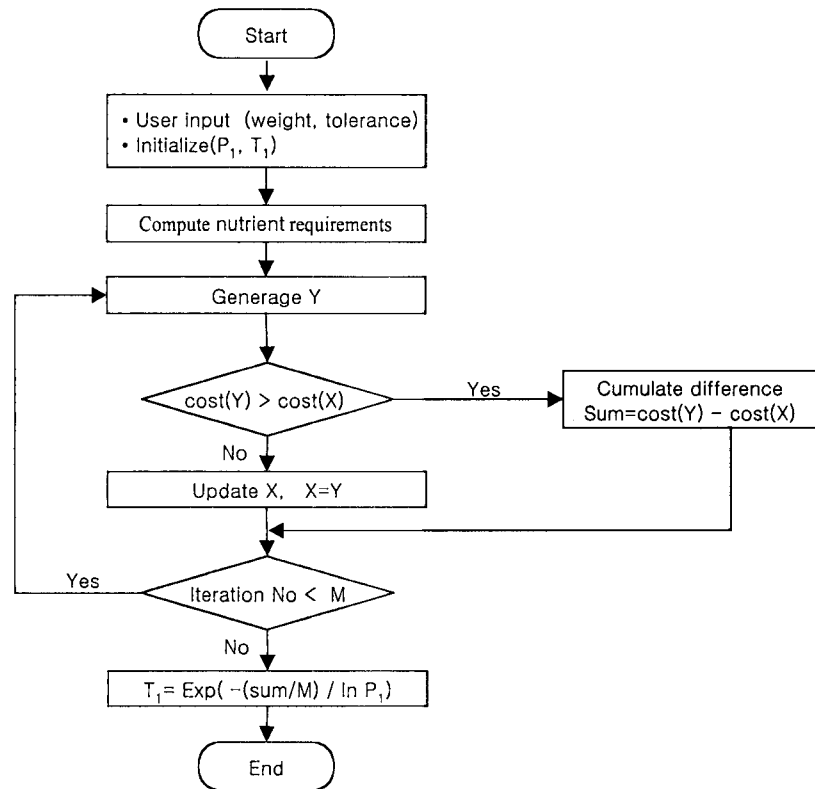


Fig. 4 Initialization of simulated annealing.

(3) 초기온도, 냉각 계획

초기온도는 Kirkpatrick 등(1983)의 방법을 사용하여 초기온도에서 나쁜 해로 전이할 확률,  $P_1$ 을 0.9~0.95사이의 값으로 설정한다. 일정회수(100회)의 초기실험을 통하여 나쁜 해로 전이하는 경우의 평균 목적함수의 변화량,  $\Delta$ 를 계산하고, 초기온도를  $T_1 = -\Delta / \ln P_1$  식을 사용하여 구한다. 온도냉각은 비선형 방법으로  $T_k = \alpha T_{k-1}$ ,  $\alpha=0.95$ 인 식을 사용하고, 알고리즘을 가속화시키기 위해 임의의 온도에서 해를 개선한 경우에만 온도를 냉각하는 방법을 사용한다(윤 등, 1996).

(4) 종료 기준

현재까지 찾은 가장 좋은 해보다 더 좋은 해를 몇 번의 루프를 반복하여도 발견하지 못하였거나, 온도  $T$ 가 너무 낮아서 나쁜 해로의 이동이 거의 발생하지 않을 정도로 확률  $P$ 값이 작아졌을 경우, 프로그램을 종료한다.

(5) 시뮬레이티드 어닐링을 이용한 급이량 산정 절차

시뮬레이티드 어닐링을 이용한 급이량 산정 절차는 다음과 같다. 여기서 일반적인 시뮬레이티드 어닐링과 다른 점은 온도를 냉각함에 있어서 최선해를 개선할 때만 온도를 냉각한다. 이렇게 함으로써 임의의 온도에서 인접해를 탐색할 수 있는 충분한 기회를 보장하고, 임의의 온도에서 일정회수 이상 최선해를 개선하지 못한 경우 종료함으로써 알고리즘을 가속화하고 있다. 또한 반복의 처음 시점에서 현재해를 최선해에서 시작함으로써 국부탐색 능력을 향상시켰다.

시뮬레이티드 어닐링 알고리즘은 그림 3과 같은 흐름도를 갖고, 개체별 특성에 따른 영양소 요구량과 사용자에게 따른 영양소별 가중치와 오차범위를 입력받아 예비실험을 통하여 초기해와 초기온도를 구하게 된다. 다음으로 가속화 시뮬레이티드 어닐링을 사용하여 개체별 자동급이량을 구하게 된다. 예비실험의 초기해는 모든 개체의 건물량에

서 주어진 자동급이량(농후사료의 %)을 제한한 건물량을 누적하고, 각각의 변수에 TMR/n으로 초기해를 구한다. 초기온도는 4. 나. (3)의 방법에 따라서 결정한다(Fig. 4). 다음으로 예비실험에서 탐색한 해들 중에서 가장 좋은 해를 선택하고, 이때의 평균 TMR(TMR/n)로 부족한 개체별 건물 요구량을 자동급이량으로 재 할당한다. 재 할당 과정을 통하여 모든 개체의 건물 요구량을 100% 만족하는 사료 배합을 구할 수 있다.

시뮬레이티드 어닐링의 초기화 과정이 끝나면,

사료배합 계산을 위한 시뮬레이티드 어닐링 알고리즘(Fig. 5)의 1~9과정을 반복하여 최선해를 구하고 최선해(사료배합)와 개체별 자동급이량을 출력한다.

다. 실험 결과 및 분석

제안한 알고리즘은 펜티엄 IV, 1.4GHz에서 C++를 사용하여 구현하였다. 개체별 영양소를 충족시킬 사료로는 옥수수사일리지, 볏짚, 알파파 건조.

```

step 0: Initialize variables and parameters;
        • Set( X, T1 ) = INITIALIZE(M);
        • Xbest = X;
step 1: Calculate objective value and flags
        • CostOld=cost(X);
        • Check=0, Counter1=0, Counter2=0, iteration=0;
step 2: Generate neighbor(Y)
step 3: if (cost(Y)<cost(X)) or( Exp( -(cost(X)-cost(Y)/T ) ) > random(0,1) ) then
        X=Y ; //accept the movement
endif
step 4: if(cost(X) < cost(Xbest) then
        Xbest=X;
        Counter2=0;
        Check=1;
    else
        Counter2=Counter2+1;
    endif;
    Iteration=Iteration+1;
step 5: if (Iteration No<epoch length) then
        goto step 2;
step 6: CostNew=cost(X);
step 7: UPDATE(T, CostNew, CostOld, Check)
step 8: if(CostNew=CostOld) then
        Counter1=Counter1+1;
    else
        Counter1=0;
    endif
step 9: if (Counter1>M or Counter2 >N) then
        goto step 1;
step10: end;

UPDATE(T, CostNew, CostOld, Check)
    if( Check=1 or CostNew <CostOld) then
        T=aT; //Temperatrue Cooling
    endif;
    
```

Fig. 5 Simulated annealing for the determination of food intake.



농후사료, 오차드그라스를 선택하였고, 각 사료의 양을 각각 변수,  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5$ 라 놓는다. 개체별 영양소 요구량은 표 4와 같다. 사료의 성분 중 DIP와 비타민A, 비타민D는 표 2의 사료 성분표에서 함량 분석이 나타나지 않아, 이들 영양소에 대한 가중치를 0으로 부여하였다.

먼저 임의의 온도에서, 개체수 30두, 50두에 대하여 반복회수(epoch length)를 20회, 30회, 50회, 100회로 변화시켜가며 목적함수 값의 변화를 살펴 보았다(Table 5, Fig. 6). 표 5에서 대각 셀의 값은 반복회수 별 평균과 표준편차를 나타내고, 나머지 셀은 반복회수 쌍에 대한 평균 차의 95% 신뢰구간과 T 검정력 함수 값을 나타내고 있다. 표 5에서 볼 수 있듯이 모든 반복회수 쌍에 대하여 유의수준 5%에서 유의하지 않음을 알 수 있다. 따라서 주어진 사료배합 문제에 가속화 시뮬레이티드 어닐링을 적용할 때 계산시간의 단축을 위해 적은 수의 반복회수를 사용하여도 무방함을 알 수

있다.

그림 6의 박스위스커 상자(box-whisker plot)는 자료집단의 분포 정도를 그림으로 볼 수 있는 방법으로, 상자 하단의 선분은 제 1사분 위수, 박스 중간 선분은 제 2사분 위수(중앙값), 상단의 선분은 제 3사분 위수를 나타낸다. 상자 상·하단에 수직으로 놓인 선분의 길이를 통하여 전체 데이터의 분포를 알 수 있고, \*은 특이점을, ·은 평균값을 나타낸다. 그림 6에서 보면 30두에 비하여 50두의 온도당 반복회수 값들이 넓게 분포되어 있음을 알 수 있다.

다음으로 임의의 온도에서 반복회수가 30인 경우에 대하여 변동량을 변화시켜 가며 목적함수 값의 차를 비교하였다. 그림 7에서 볼 수 있듯이 초기온도에서 변동량( $\delta \cdot l$ )이 0.105~0.42일 때 평균적으로 좋은 값을 출력하는 것을 볼 수 있다. 또한, 매우 작은 경우 국부 최적해에서 빠져나오지 못하고, 매우 큰 경우에는 광범위한 탐색으로 인

Table 5 T-test results for 30 and 50 cows ( $\delta = 0.02$ )

	30 cows				50 cows			
	L=20	L=30	L=50	L=100	L=20	L=30	L=50	L=100
L=20	428.7 / 18.3	(-5.58, 4.21) 0.783	(-4.70, 4.13) 0.900	(-5.11, 4.16) 0.840	668.0 / 21.0	(-8.72, 3.49) 0.399	(-6.60, 4.46) 0.703	(-4.26, 6.89) 0.642
L=30	(-5.58, 4.21) 0.783	429.4 / 17.0	(-3.80, 4.61) 0.850	(-4.23, 4.65) 0.926	(-8.72, 3.49) 0.399	670.6 / 23.0	(-4.28, 7.38) 0.601	(-1.94, 9.81) 0.188
L=50	(-4.70, 4.13) 0.900	(-3.80, 4.61) 0.850	429.0 / 13.1	(-4.09, 3.70) 0.922	(-6.60, 4.46) 0.703	(-4.28, 7.38) 0.601	669.1 / 18.8	(-2.88, 7.65) 0.373
L=100	(-5.11, 4.16) 0.840	(-4.23, 4.65) 0.926	(-4.09, 3.70) 0.922	429.2 / 14.9	(-4.26, 6.89) 0.642	(-1.94, 9.81) 0.188	(-2.88, 7.65) 0.373	666.7 / 19.2

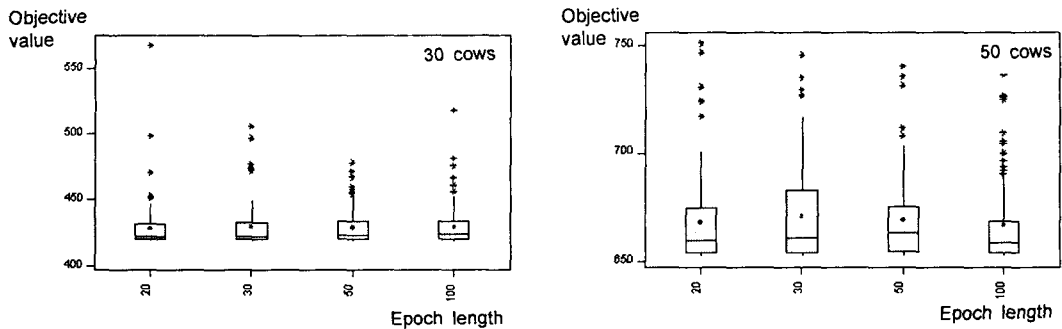


Fig. 6 Distribution of objective values by the epoch length.

시뮬레이티드 어닐링을 이용한 젖소의 급이량 산정

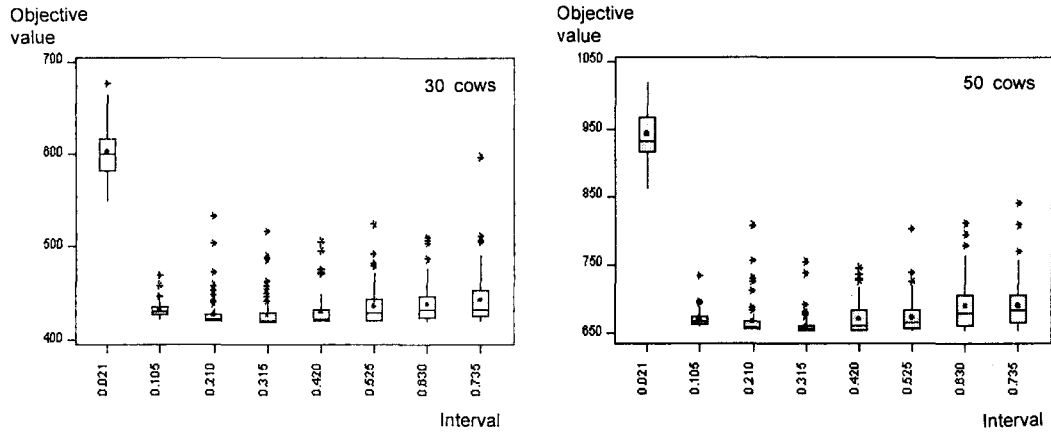


Fig. 7 Distribution of objective values by the minimum variation ( $\delta \cdot l$ ).

Table 6 Final solutions for 30 and 50 cows

Cow No	TMR amount	Individual auto-feeding
30 cows	$x_1 = 147.528, x_2 = 0.001$	4.25 3.17 3.64 4.48 3.46 5.31 2.56 5.90 7.65 5.60
	$x_3 = 58.015, x_4 = 53.353$	4.29 3.15 6.34 7.25 6.37 6.57 5.06 7.51 7.25 3.90
	$x_5 = 175.329$	3.94 4.73 4.79 3.21 2.50 4.77 4.06 4.30 6.08 4.50
50 cows		3.55 3.64 4.10 5.96 5.30 6.83 4.57 6.96 6.24 5.78
	$x_1 = 254.654, x_2 = 0.003$	3.79 2.64 3.58 4.32 3.72 3.96 2.29 3.33 4.92 5.03
	$x_3 = 96.689, x_4 = 88.621$	3.79 4.92 4.96 4.33 3.36 3.68 5.35 5.60 5.64 4.06
		4.48 2.89 5.00 5.64 6.06 8.86 7.23 6.35 6.77 4.72
	$x_5 = 291.232$	5.97 6.31 5.10 6.80 6.45 5.42 5.50 6.77 5.02 3.60

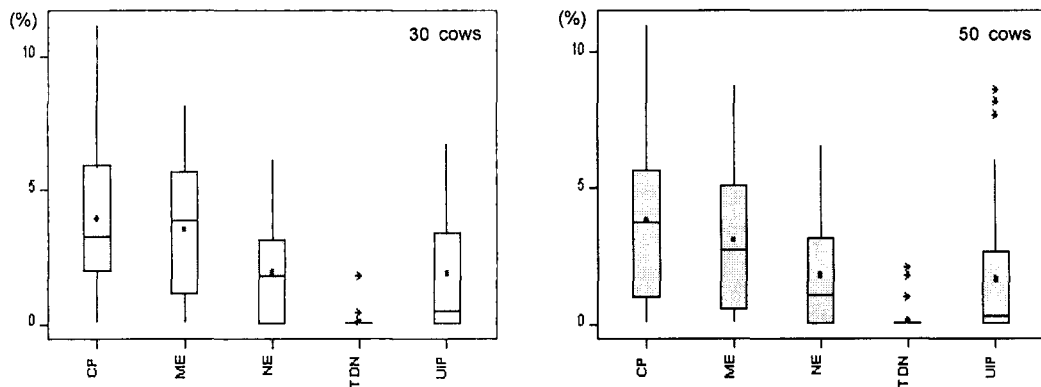


Fig. 8 Satisfaction level of nutrients in the final solution.

Table 7 Satisfaction level of nutrient requirements for 30 cows

Cow No	rough stuff satisfaction (requirement/feeding)	Nutrient satisfaction (requirement/feeding)									
		NE	ME	TDN	UIP	CP	ADF	NDF	FIBER	CA	P
30 Cows	0.430/0.678	28.50 27.94	44.96 43.85	12.55 12.84	1039.96 963.51	2919.77 2670.39	3931.00 4696.15	5241.00 7699.83	3182.00 4359.84	98.44 120.31	60.69 77.88
	0.450/0.720	27.03 25.86	41.63 40.33	11.90 11.93	929.45 877.11	2653.42 2448.22	3705.00 4597.41	4940.00 7502.35	2999.00 4273.44	87.30 107.97	56.02 70.48
	0.430/0.701	27.91 26.76	42.76 41.86	12.28 12.32	962.33 914.71	2747.97 2544.90	3803.00 4640.38	5071.00 7588.29	3078.00 4311.04	90.03 113.34	57.70 73.70
	0.500/0.670	28.87 28.39	43.57 44.60	12.72 13.03	962.74 981.91	2782.11 2717.70	3978.00 4717.18	5304.00 7741.89	3220.00 4378.24	92.10 122.94	59.18 79.46
	0.430/0.708	27.34 26.42	43.27 41.27	12.04 12.17	911.10 900.31	2628.30 2507.88	3766.00 4623.92	5021.00 7555.37	3048.00 4296.64	92.10 111.29	59.18 72.47
	0.550/0.642	30.20 29.99	48.79 47.30	13.30 13.74	982.24 1048.31	2865.87 2888.45	4153.00 4793.06	5537.00 7893.66	3362.00 4444.64	105.47 132.43	67.82 85.15
	0.560/0.745	27.41 24.68	43.60 38.34	12.03 11.41	983.69 828.31	2772.29 2322.73	3577.00 4541.64	4769.00 7390.80	2895.00 4224.64	93.76 101.00	59.61 66.29
	0.540/0.623	33.03 31.13	52.82 49.22	14.49 14.24	1124.59 1095.51	3241.52 3009.82	4278.00 4847.01	5704.00 8001.55	3463.00 4491.84	116.97 139.17	74.35 89.20
	0.500/0.574	36.63 34.51	58.57 54.92	16.04 15.72	1224.59 1235.51	3560.96 3369.82	4645.00 5007.01	6194.00 8321.55	3760.00 4631.84	131.82 159.17	83.60 101.20
	0.460/0.633	31.94 30.55	51.14 48.24	14.02 13.98	1071.92 1071.51	3101.09 2948.10	4214.00 4819.58	5619.00 7946.69	3412.00 4467.84	113.01 135.74	72.03 87.14
	0.470/0.677	30.44 28.02	48.71 43.98	13.35 12.87	1031.38 966.71	2970.19 2678.62	3938.00 4699.81	5251.00 7707.15	3188.00 4363.04	108.59 120.77	68.95 78.16
	0.480/0.721	27.42 25.82	44.25 40.26	12.06 11.91	924.19 875.51	2656.74 2444.10	3700.00 4595.58	4933.00 7498.69	2995.00 4271.84	96.23 107.74	61.53 70.34
	0.480/0.610	35.16 31.98	58.31 50.65	15.37 14.61	1181.53 1130.71	3425.89 3100.33	4369.00 4887.24	5826.00 8082.00	3537.00 4527.04	132.77 144.20	83.98 92.21
	0.490/0.585	36.56 33.74	59.14 53.62	15.99 15.38	1233.39 1203.51	3575.66 3287.53	4561.00 4970.44	6082.00 8248.40	3692.00 4599.84	133.36 154.60	84.41 98.45
	0.520/0.609	34.27 32.04	56.71 50.75	15.01 14.63	1172.87 1133.11	3378.53 3106.50	4375.00 4889.98	5834.00 8087.49	3542.00 4429.44	126.76 144.54	80.46 92.42
	0.530/0.603	34.12 32.42	54.87 51.40	14.96 14.80	1168.87 1149.11	3365.51 3147.65	4418.00 4908.26	5891.00 8124.06	3576.00 4545.44	121.10 146.83	77.02 93.79
	0.550/0.650	32.45 29.51	52.17 46.49	14.21 13.52	1135.63 1028.31	3242.84 2837.02	4101.00 4770.21	5468.00 7847.95	3320.00 4424.64	115.10 129.57	72.92 83.44
	0.420/0.578	37.25 34.24	61.09 54.47	16.29 15.60	1258.23 1224.31	3647.88 3341.02	4616.00 4994.21	6155.00 8295.95	3737.00 4620.64	138.21 157.57	87.43 100.24
	0.580/0.585	36.34 33.74	59.49 53.62	15.90 15.38	1226.32 1203.51	3554.03 3287.53	4560.00 4970.44	6080.00 8248.40	3691.00 4599.84	134.29 154.60	85.07 98.45
	0.570/0.691	29.32 27.27	46.54 42.71	12.87 12.54	1006.19 935.51	2882.29 2598.39	3858.00 4664.15	5144.00 7635.83	3123.00 4331.84	101.90 116.31	64.87 75.48
	0.440/0.690	29.09 27.34	46.11 42.84	12.78 12.58	1005.41 938.71	2872.66 2606.62	3866.00 4667.81	5154.00 7643.15	3129.00 4335.04	99.74 116.77	63.62 75.76
	0.460/0.661	30.43 28.87	50.11 45.41	13.36 13.25	1020.71 1001.91	2949.03 2769.13	4031.00 4740.04	5375.00 7787.60	3263.00 4398.24	111.05 125.80	70.82 81.17
	0.500/0.659	31.59 28.98	49.92 45.61	13.84 13.30	1075.62 1006.71	3096.13 2781.48	4044.00 4745.52	5392.00 7798.57	3273.00 4403.04	111.10 126.49	70.46 81.59
	0.420/0.718	28.86 25.93	45.32 40.46	12.65 11.96	996.01 880.31	2846.45 2456.45	3713.00 4601.06	4950.00 7509.66	3005.00 4276.64	100.16 108.43	63.51 70.75
	0.470/0.748	26.96 24.56	41.67 38.15	11.84 11.36	932.27 823.51	2656.66 2310.39	3564.00 4536.15	4752.00 7379.83	2885.00 4219.84	90.54 100.31	57.62 65.88
	0.480/0.660	32.58 28.95	50.96 45.54	14.25 13.28	1101.70 1005.11	3181.33 2777.36	4040.00 4743.69	5387.00 7794.92	3270.00 4401.44	114.57 126.26	72.37 81.45
	0.570/0.685	29.76 27.57	48.28 43.23	13.06 12.68	1041.70 948.31	2966.70 2631.30	3891.00 4678.78	5188.00 7665.09	3150.00 4344.64	105.27 118.14	66.99 76.58
	0.560/0.676	30.18 28.04	49.75 44.01	13.24 12.88	1053.38 967.51	3004.06 2680.68	3942.00 4700.72	5256.00 7708.97	3191.00 4363.84	108.98 120.89	69.36 78.23
	0.580/0.618	33.46 31.48	53.77 49.81	14.67 14.39	1155.92 1109.91	3317.17 3046.85	4316.00 4863.46	5754.00 8034.46	3494.00 4506.24	118.35 141.23	75.22 90.43
	0.420/0.669	30.93 28.42	50.30 44.66	13.55 13.05	1084.40 983.51	3090.27 2721.82	3982.00 4719.01	5310.00 7745.55	3224.00 4379.84	110.43 123.17	70.13 79.60

시물레이티드 어닐링을 이용한 젖소의 급이량 산정

Table 8 Satisfaction level of nutrient requirements for 50 cows

Cow No	rough stuff satisfaction (requirement/feeding)	Nutrient satisfaction (requirement/feeding)									
		NE	ME	TDN	UIP	CP	ADF	NDF	FIBER	CA	P
0 430/0 681	28 33	44 78	12 46	983.48	2803.87	3815.00	5087.00	3088.00	95.49	61.07	
	26 80	41 83	12 36	910.96	2538.02	4673.98	7649.98	4337.70	112.65	73.37	
0 520/0 722	28 31	43 80	12 45	979.00	2794.26	3834.00	5113.00	3104.00	92.76	59.39	
	26 98	42.13	12 43	918.16	2556.54	4682.21	7666.44	4344.90	113.68	73.99	
0 510/0 704	29 19	44 94	12 84	1010.89	2886.89	3930.00	5241.00	3182.00	95.49	61.07	
	27 86	43 62	12 82	954.96	2651.17	4724.27	7750.55	4381.70	118.93	77.14	
0.430/0.673	32 31	49 43	14 20	1090.34	3149.82	4321.00	5761.00	3498.00	106.95	68.34	
	31 46	49 68	14 40	1103.76	3033.79	4894.32	8090.67	4530.50	140.19	89.90	
0 550/0.711	31 47	50 31	13 82	1066.70	3074.41	4182.00	5576.00	3385.00	109.92	70.17	
	30 18	47 53	13 84	1050.96	2898.02	4833.98	7969.98	4477.70	132.65	85.37	
0.460/0.645	33 64	54 65	14 78	1114.22	3242.13	4504.00	6005.00	3646.00	120.32	76.98	
	33 14	52 52	15 13	1173.36	3212.77	4973.87	8249.75	4600.10	150.13	95.86	
0.440/0.748	32 53	52 39	14 22	1149.10	3271.77	4030.00	5374.00	3262.00	115.59	73.07	
	28 77	45 15	13 22	992.56	2747.85	4767.24	7836.49	4419.30	124.31	80.37	
0 480/0 626	35 86	57 68	15 70	1214.46	3514.55	4532.00	6043.00	3669.00	129.23	81.92	
	33 39	52 94	15 24	1183.76	3239.51	4985.75	8273.52	4610.50	151.62	96.76	
0.420/0 577	33 69	53 52	14 78	1131.71	3278.08	4380.00	5840.00	3545.00	118.98	75.68	
	32 00	50 59	14 63	1126.16	3091.39	4919.92	8141.87	4552.90	143.39	91.82	
0 480/0 636	32 68	52 40	14 34	1097.01	3175.46	4284.00	5713.00	3468.00	116.22	74.01	
	31 11	49 10	14 24	1089.36	2996.77	4877.87	8057.75	4516.10	138.13	88.66	
0 490/0 680	29 66	47 37	13 01	1006.22	2894.03	3866.00	5154.00	3129.00	105.14	66.82	
	27 27	42 61	12 56	930.16	2587.39	4695.92	7693.87	4356.90	115.39	75.02	
0 510/0 723	26 68	42 98	11 74	896.50	2576.97	3624.00	4832.00	2934.00	92.97	59.52	
	25 04	38 87	11 59	838.16	2350.82	4590.78	7483.58	4264.90	102.25	67.13	
0 520/0 613	29 11	47 94	12 78	990.72	2844.95	3821.00	5095.00	3093.00	106.32	67.67	
	26 86	41 93	12 38	913.36	2544.19	4676.72	7655.47	4340.10	112.99	73.58	
0 530/0 588	30 11	48 07	13 22	1026.94	2950.07	3977.00	5303.00	3219.00	105.33	67.12	
	28 29	44 34	13 01	972.56	2696.42	4744.38	7790.78	4399.30	121.45	78.65	
0 480/0 612	28 77	47 29	12 64	981.17	2814.48	3852.00	5136.00	3118.00	103.00	65.81	
	27 13	42 39	12 50	924.56	2572.99	4689.52	7681.07	4351.30	114.59	74.54	
50 cows 0 470/0 606	28 77	45 73	12 66	976.93	2806.30	3901.00	5202.00	3158.00	98.11	62.84	
	27 59	43 17	12 71	943.76	2622.37	4711.47	7724.95	4370.50	117.33	76.18	
0 420/0 653	26 52	42 01	11 65	933.15	2642.96	3550.00	4734.00	2874.00	89.67	57.24	
	24 37	37 73	11 29	810.16	2278.82	4558.78	7419.58	4236.90	98.25	64.73	
0 510/0 581	28 06	45 33	12 33	955.28	2739.35	3769.00	5026.00	3051.00	98.35	62.85	
	26 38	41 12	12 17	893.36	2492.77	4653.87	7609.75	4320.10	110.13	71.86	
0 580/0 588	31 32	50 88	13 74	1064.64	3065.30	4103.00	5471.00	3322.00	112.49	71.62	
	29 45	46 29	13 52	1020.56	2819.85	4799.24	7900.49	4447.30	128.31	82.77	
0 570/0 694	32 23	51 52	14 12	1101.38	3168.34	4126.00	5502.00	3340.00	114.55	72.68	
	29 66	46 65	13 61	1029.36	2842.48	4809.30	7920.61	4456.10	129.56	83.52	
0 570/0 692	29 09	46 11	12 78	1005.41	2872.66	3866.00	5154.00	3129.00	99.74	63.62	
	27 27	42 61	12 56	930.16	2587.39	4695.92	7693.87	4356.90	115.39	75.02	
0 530/0 664	31 18	51 38	13 68	1046.76	3025.60	4104.00	5472.00	3322.00	114.31	72.83	
	29 45	46 29	13 52	1020.56	2819.85	4799.24	7900.49	4447.30	128.31	82.77	
0 500/0 662	32 35	51 22	14 17	1098.62	3167.08	4111.00	5481.00	3327.00	114.41	72.50	
	29 53	46 42	13 55	1023.76	2828.08	4802.90	7907.81	4450.50	128.76	83.04	
0 550/0 721	31 92	50 58	13 96	1086.51	3128.68	3979.00	5306.00	3221.00	113.58	71.79	
	28 31	44 37	13 02	973.36	2698.48	4745.30	7792.61	4400.10	121.56	78.72	
0 420/0 751	29 26	45 60	12 83	1006.33	2880.39	3776.00	5035.00	3057.00	100.60	63.82	
	26 43	41 21	12 20	895.76	2498.94	4656.61	7615.24	4322.50	110.48	72.07	
0 480/0 663	30 26	46 97	13 26	1036.04	2972.97	3843.00	5124.00	3111.00	104.36	66.07	
	27 05	42 26	12 47	921.36	2564.77	4685.87	7673.75	4348.10	114.13	74.26	
0 420/0 688	33 06	53 93	14 47	1152.28	3296.25	4193.00	5591.00	3394.00	119.39	75.70	
	30 28	47 70	13 88	1054.96	2908.31	4838.55	7979.12	4481.70	133.22	85.72	
0 430/0 679	33 48	55 40	14 66	1164.80	3335.25	4245.00	5661.00	3437.00	123.11	78.08	
	30 76	48 51	14 09	1074.96	2959.74	4861.41	8024.84	4501.70	136.08	87.43	
0 450/0 621	32 80	52 64	14 38	1133.70	3251.06	4255.00	5674.00	3444.00	115.53	73.48	
	30 84	48 64	14 13	1078.16	2967.97	4865.07	8032.15	4504.90	136.53	87.70	
0 440/0 672	30 27	49 17	13 27	1062.10	3024.01	3922.00	5229.00	3175.00	107.60	68.39	
	27 79	43 49	12 79	951.76	2642.94	4720.61	7743.24	4378.50	118.48	76.87	

Table 8 (continued)

Cow No	rough stuff satisfaction (requirement/feeding)	Nutrient satisfaction (requirement/feeding)									
		NE	ME	TDN	UIP	CP	ADF	NDF	FIBER	CA	P
50 Cows	0.410/0.112	30.54 28.60	49.32 44.86	13.40 13.15	1041.95 985.36	2994.15 2729.34	4011.00 4759.01	5348.00 7820.04	3247.00 4412.10	108.62 123.28	69.17 79.75
	0.470/0.112	28.06 25.53	44.37 39.68	12.32 11.80	982.38 858.16	2792.32 2402.25	3677.00 4613.64	4903.00 7529.29	2977.00 4284.90	96.42 105.11	61.33 68.85
	0.430/0.136	31.13 29.60	49.00 46.56	13.67 13.59	1044.09 1026.96	3018.63 2836.31	4120.00 4806.55	5494.00 7915.12	3335.00 4453.70	107.88 129.22	68.77 83.32
	0.420/0.112	32.47 30.84	51.79 48.64	14.25 14.13	1078.99 1078.16	3132.94 2967.97	4253.00 4865.07	5671.00 8032.15	3443.00 4504.90	115.52 136.53	73.53 87.70
	0.480/0.112	33.54 31.65	52.72 50.01	14.71 14.48	1125.24 1111.76	3260.41 3054.37	4342.00 4903.47	5789.00 8108.95	3515.00 4538.50	117.35 141.33	74.57 90.58
	0.490/0.879	39.26 37.06	62.21 59.13	17.18 16.85	1296.44 1335.76	3791.80 3630.37	4931.00 5159.47	6575.00 8620.95	3992.00 4762.50	140.82 173.33	89.22 109.78
	0.460/0.112	35.03 33.91	55.33 53.82	15.37 15.47	1190.60 1205.36	3439.10 3295.05	4589.00 5010.44	6119.00 8322.89	3715.00 4632.10	121.34 154.71	77.33 98.61
	0.570/0.112	33.84 32.21	55.13 50.95	14.84 14.73	1149.12 1134.96	3317.15 3114.02	4404.00 4929.98	5872.00 8161.98	3565.00 4561.70	122.25 144.65	77.81 92.57
	0.460/0.112	35.28 33.02	55.89 52.32	15.45 15.08	1199.30 1168.56	3464.79 3200.42	4491.00 4968.38	5988.00 8238.78	3636.00 4595.30	124.31 149.45	78.86 95.45
	0.520/0.112	30.27 29.06	47.27 45.64	13.31 13.35	1022.21 1004.56	2946.30 2778.71	4061.00 4780.95	5414.00 7863.92	3287.00 4431.30	102.44 126.02	65.47 81.40
	0.570/0.371	32.79 31.48	51.42 49.71	14.40 14.41	1113.16 1104.56	3210.90 3035.85	4324.00 4895.24	5766.00 8092.49	3500.00 4531.30	112.44 140.31	71.68 89.97
	0.530/0.371	34.83 32.13	55.03 50.82	15.25 14.69	1182.12 1131.76	3415.90 3105.79	4395.00 4926.32	5861.00 8154.67	3558.00 4558.50	122.86 144.19	77.83 92.30
	0.580/0.879	32.78 29.80	52.30 46.88	14.35 13.67	1120.92 1034.96	3225.54 2856.88	4141.00 4815.70	5522.00 7933.41	3352.00 4461.70	116.74 130.36	73.93 84.00
	0.520/0.879	34.99 33.08	55.77 52.42	15.34 15.11	1167.52 1170.96	3392.96 3206.59	4498.00 4971.12	5998.00 8244.27	3642.00 4597.70	125.08 149.79	79.44 95.66
	0.530/0.112	35.62 32.40	57.08 51.28	15.58 14.81	1183.83 1142.96	3446.43 3134.59	4425.00 4939.12	5900.00 8180.27	3582.00 4569.70	129.75 145.79	82.04 93.26
	0.520/0.878	32.96 30.41	52.66 47.92	14.44 13.94	1116.84 1060.56	3223.73 2922.71	4208.00 4844.95	5610.00 7991.92	3406.00 4487.30	117.70 134.02	74.65 86.20
	0.500/0.876	32.33 30.57	51.47 48.18	14.18 14.01	1093.34 1066.96	3156.13 2939.17	4225.00 4852.27	5634.00 8006.55	3420.00 4493.70	113.80 134.93	72.42 86.74
	0.480/0.876	34.26 33.02	53.90 52.32	15.04 15.08	1136.82 1168.56	3307.84 3200.42	4492.00 4968.38	5989.00 8238.78	3636.00 4595.30	119.81 149.45	76.30 95.45
	0.470/0.876	32.45 29.64	51.29 46.62	14.21 13.60	1093.29 1028.56	3160.13 2840.42	4124.00 4808.38	5498.00 7918.78	3338.00 4455.30	115.05 129.45	72.89 83.45
	0.440/0.876	29.08 26.90	45.37 42.00	12.77 12.40	1006.93 914.96	2875.51 2548.31	3825.00 4678.55	5100.00 7659.12	3096.00 4341.70	98.60 113.22	62.76 73.72

하여 최적해에 수렴하지 못하는 결과를 보여주고 있다. 따라서 사료배합 문제에서 인접해 생성을 위한 변동폭으로 초기온도에서 변동량을 0.105~0.42의 값을 사용하는 것이 적절하다.

다음으로 초기온도에서 변동량( $\delta \cdot I$ )이 0.315인 경우, 개체수 30두, 50두에 대한 근사해(Table 6)를

구하여 영양소별 충족도를 살펴보았다. 표 7, 8에서 모든 개체에 대해 주어진 조사로 비율을 100% 만족하는 것을 볼 수 있다. 또한 ADF, NDF, FIBER의 영양소 요구량을 100% 만족하는 것을 볼 수 있다. 나머지 영양소(NE, ME, TDN, UIP, CP)의 경우 요구량에 비하여 약간의 과·부족량이



발생하는 것을 볼 수 있다. 이들 영양소에 대하여 주어진 오차 범위를 벗어나는 과·부족량을 각각의 요구량에 비한 퍼센트로 표현한 그림 8에서 보면, CP, ME의 경우, 제 3사분 위수가 10% 이내에, NE, TDN, UIP는 7% 이내에서 만족하고, 이들 영양소 평균이 5%이내에서 존재하는 것을 볼 수 있다.

## 5. 결과 및 고찰

젖소의 영양소 요구량에 맞는 사료배합을 구하기 위한 기존 방법은 문제 특성상 일부 영양소만을 만족시키는 해를 출력할 수 밖에 없고, 더욱이 젖소의 개체별 특성을 만족하는 우군별 사료배합을 구한다는 것이 거의 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 완전혼합사료를 사용하는 젖소의 급이 방식에 있어서, 개체·우군별 특성과 영양소 요구량을 만족시키기 위한 적절한 사료배합을 구하기 위하여 시뮬레이티드 어닐링 기법을 적용하였다. 목적함수로는 부여된 영양소별 오차의 제곱 합을 사용하여 영양소 요구량을 만족시키고자 하였으며, 가중치를 부여하여 사용자 의도를 반영하였다. 산성세제불용 섬유소(ADF), 중성세제 불용 섬유소(NDF), 섬유소(FIBER), 조사료 비율(Ratio) 등은 영양소 요구량의 최소값만 만족하면 되므로, 이들에 대해서는 영양소 양이 부족한 경우에 대해서만 목적함수 값을 증가시키도록 하였다. 시뮬레이티드 어닐링을 효과적으로 적용하기 위해서 사전 실험을 통하여 문제의 특성에 적합한 알고리즘의 파라미터를 설정하였고, 사료배합 문제와 같이 해 공간이 연속된 실수인 경우에 적합한 이웃해 생성 방식을 정의하였다.

실험결과 이웃해 생성을 위한 변동량은 온도냉각에 따라서, 초기에 큰 변동량을 통하여 전체적으로 탐색하고, 단계적으로 줄여주는 것이 보다 좋은 결과를 보였고, 초기온도에서 변동량이 0.105~0.42일 때 계산시간 및 평균 목적함수 값이 좋은 결과를 나타내었다. 본 연구에서 적용한 알고리즘은 반추위 동물인 젖소의 생리에 중요한 조사료 비율을 만족시킨다. 또한, 섬유소, 산성세제 불용 섬유소, 중성세제 불용 섬유소 등의 영양소를

100% 만족시키고, 정미 에너지, 단백질, 총 가소화 에너지 등의 영양소를 평균적으로 5%이내에서 만족시킴을 보여준다.

한편, 본 연구의 결과는 미국 NRC 사양표준의 영양소 요구량과 완전혼합사료(TMR)를 사용하는 기존의 급이방식이 갖는 가정에 기초하고 있고, 주어진 사료를 젖소가 모두 섭취한다고 가정하고 있다. 따라서 본 연구의 실험결과를 직접 적용할 경우에는 실제 영양소 섭취량과 오차가 발생할 수 있다. 본 연구의 알고리즘을 현장·적용하기 위해서는 개체별 특성에 맞는 데이터를 지속적으 로 얻어야 하고, 이를 위해서는 개체·우군별 특성에 따른 데이터를 자동으로 수집·분석할 수 있는 개체관리 지원시스템이 필요할 것이다. 향후 연구로서는, 개체별 특성에 따라 영양소별 가중치를 차별화한 사료배합과 사료비용을 고려한 사료 배합을 찾는 연구가 필요할 것으로 본다.

## 참 고 문 헌

1. Arts, E. H. L. and P. J. M. van Laarhoven. 1987. Simulated Annealing : A Pedestrian Review and J. Kittler. Pattern Recognition. Theory and Applications. Springer Verlag. Berlin.
2. Ensminger, M. E., J. E. Oldfield and W. W. Heinemann. 1994. 사료와 영양. 한국영양사료 학회 편:959~1037.
3. Johnson, D. S., C. R. Aragon, L. A. Mcgeoch and C. Schevon. 1989. Optimization by simulated annealing : an experimental evaluation (Part I. graph partitioning). Operations Research. 37:865-8892.
4. Katta, G. Murty. 1983. Linear Programming. John Wiley and Sons.
5. Kirkpatrick, S., Gelatt, Jr. and M. P. Vecchi. 1983. Optimization by simulated annealing. Science 220:671-680.
6. Lundy, M. and A. Mees. 1986. Convergence of an annealing algorithm. Math Prog. 34:111-124.
7. McGill, R., J. W. Tukey and W. A. Desarbo.

1978. Variations on box plots. Am. Stat. 32(1):12-16.
8. 기광석, 권용기, 군두중, 김현섭, 채현석, 이기중. 1996. 완전혼합사료 급여와 농후사료다회 급여가 착유우의 우유생산에 미치는 영향. 농촌진흥청 농업과학논문집. 38:716-722.
9. 김여근, 윤복식, 이상복. 1997. 메타 휴리스틱. 영진문화사.
10. 김현섭. 2001. 사료급여와 착유회수가 젖소 생산성에 미치는 영향. 낙농육우. 21(3):116-122.
11. 미국사료곡물협회. 1997. 젖소 사양관리 가이드.
12. 윤복식, 조계연. 1996. Simulated Annealing의 가속화와 ATM망에서의 가상경로 설정에의 적용. 한국경영과학회지. 21(2):125-140.
13. 한인규, 이택원, 고영사, 윤재인, 박경규. 1995. 사료학. 선진문화사.
14. 한인규, 하종규. 1989. 사양관리 핸드북. 한국사료협회(한국영양사료학회).