

우리나라의 낙농단지규모에 알맞는 사료가공시설의 모델개발(II)⁺ - TMR 지원시설의 모델 개발 -

Development of Farm Size Dairy Feedmill System in Korea(II) - Development of the TMR Main Center -

김태욱* 박경규*
T. W. Kim K. K. Park

Summary

Current commercial dairy feed has various problems in low feed productivity, inadequate formulation and higher feeding cost due to excessive capital investment and non-specialized system for the end product. To solve those problems, 6 TMR terminal models were developed in this study. The developed TMR terminal system consists of TMR terminal, TMR main center and combined system linked TMR terminal and TMR main center.

15 TMR main center models were developed to support 10, 20, 30, 40, 50 TMR terminal(30 ton/day basis) by 3 different types, and evaluated for capital investment and operation cost by the analysis of the newly developed computer program. Optimum model size is analyzed and suggested for each model.

Followings are summary of this study :

1. The capital investment costs of TMR main centers were 1,600 to 3,800 million won for type 1, 2,200 to 4,500 million won for type 2 and 2,200 to 4,800 million won for type 3. Also model MACE30 or bigger were justified as the economical models.
2. The feed production costs of TMR main center models were 3,166 to 4,824 won/ton for type 1, 3,816 to 6,182 won/ton for type 2 and 3,990 to 6,263 won/ton for type 3. So feed production cost range was 3,166 to 6,263 won/ton.
3. The bigger production capacity, the less TMR main center production cost. The feed production cost of the biggest model MACE50 was 62~65% of smallest model MACE10.

1. 서론

사료의 원료 배합비율은 신체를 유지하고 성장하면서 우유 또는 계란을 생산하는데 필요한 영양소의 요구량을 만족함과 동시에 사료비용을

최소화하는 선에서 이루어지게 된다. 이러한 계산은 선형계획법(linear program)에 의해 산출할 수 있는데 닭이나 돼지는 거의 100% 배합사료로 사육되지만 소 등과 같은 되새김(反芻胃) 동물은 배합사료 외에 목초, 사료작물, 산야초,

* 경북대학교 농업기계공학과

+ 본 연구는 한국학술진흥재단 지원으로 수행되었음.

벧짚과 같은 조사료를 필요로 하고 있다. 실제로 퇴사임 동물의 사료배합은 이와 같이 목장에서 공급되는 조사료의 조건(생산량, 생산비용, 영양소 함량) 등을 고려하여 사료곡물과 함께 배합비율을 결정하여야 하는데, 우리나라에서는 큰 공장에서 대량으로 생산하게 됨에 따라 지역적인 조건을 고려하지 않고 있어 문제가 되고 있다(박,1987).

이러한 여러가지 문제점 즉 공장의 비전문화에 따르는 젖소사료 생산효율의 저하, 가축 사육농가의 조사료 및 부산물 사료 공급량을 고려하지 않은 배합비율, 과도한 투자비용에 따르는 생산원가 상승 등의 문제들을 해결하기 위해 앞의 연구에서 낙농단지규모에 알맞는 TMR터미널을 개발하였다.

이와 같은 TMR터미널의 효율을 극대화하기 위해서는 TMR터미널의 지역특성 및 원료특성에 따르는 원료의 배합비율, 예비배합물 원료, 농축사료 및 특수가공사료를 공급하여 TMR터미널의 생산성을 향상시킬 수 있는 지원시설이 개발되어야 한다. 그리고 조사료 공급원 기지를 확보하여 보다 저렴한 가격으로 조사료를 TMR터미널에 공급할 수 있는 시설이 있어야 한다. 또한 TMR터미널과 TMR지원시설을 연계하여 운영함으로써 TMR터미널에 사양관리 및 사료관계 정보 뿐만 아니라 축산 제반정보를 제공할 수 있고, 원료의 품질 및 물성검사를 함으로써 양질의 원료를 제공할 수 있다. 그래서 본 연구에서는 TMR터미널에 조사료 및 원료곡물의 구입 저장 및 배급을 원활히 하여 TMR터미널을 효과적으로 지원할 수 있는 TMR지원시설의 모델을 개발하고 투자비용 및 이용비용의 분석을 통하여 그 경제성을 검토하여 대단위 축산단지별 적정 모델을 제시함에 있다.

2. 연구의 방법

TMR지원시설은 TMR터미널에서 수행할 수

없는 기능을 대규모로, 저렴하게 수행하는 것으로 그림 1은 TMR지원시설의 주요 기능을 나타내는 블록도이다. 이의 구체적인 내용은 주원료 및 기초원료를 수합 가공하여 TMR터미널에 효과적으로 공급하는 기능과 목장별 배합비율, 사양관리, 축산동향 등과 같은 정보를 제공하는 기능, 부산물을 파악하고 이에 대한 수급관계를 조정하는 기능, 예비배합물을 생산 제공하는 기능, 농축사료를 TMR터미널에 제공하는 기능, 국내 혹은 국외에 사료공급원 확충을 위한 정보 및 자료를 제공하는 기능 등으로 대별할 수 있다.

TMR터미널에 공급되는 사료는 TMR터미널에서 자체 공급할 수 있는 사료를 제외하면 거의 전부가 TMR지원시설로부터 공급받게 된다. 그러나 TMR터미널에서 자체 공급할 수 있는 사료는 벧짚 및 부산물 등 극히 일부분이다. 그래서 본 연구에서는 TMR터미널이 원료의 95%를 TMR지원시설로부터 공급받는 것으로 가정하였다.

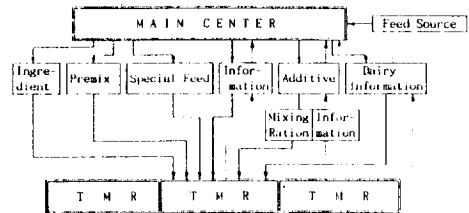


Fig. 1. Block diagram of the major function of the TMR main center.

TMR터미널을 효과적으로 지원하는 TMR지원시설의 가공공정은 TMR터미널의 수, TMR터미널당 가공규모, TMR지원시설이 공급하는 원료의 종류 및 가공정도 등에 따라 차이가 있으나 본 연구에서는 TMR터미널 1개의 생산규모를 TMR1000모델의 가동율을 80%로 하여 1일 30톤으로 가정하고 이를 10, 20, 30, 40 및 50개소를 지원할 수 있도록 TMR지원시설을 설계하였으며 모델명을 각각 MACE10, MACE20, MACE30, MACE40 및 MACE50으로 명명하였다. 그리고 각 모델을 가공형태별표 1과 같이 3가지 중

류의 구조를 갖는 것으로 하였다. 즉 모든 모델에 있어 생산제품은 예비배합사료 0.5% 및 농축사료 5%의 생산기준을 공통으로 적용하였으며 1형은 농축분말사료 5% 및 프레이크사료 10%를 생산하고, 2형은 농축사료 중 분말 50%, 펠렛 50%를 생산하고 전체원료 중 프레이크 20%를 생산하며, 3형은 농축사료를 100% 펠렛으로 생산하고 전체원료 중 프레이크를 20% 생산하도록

하였다. 따라서 본 연구에서는 총 15개의 모델에 대한 규모를 결정하고, TMR지원시설의 규모별 가공공정도 및 평면도를 작성하고, 투자비용 및 이용비용을 분석할 수 있는 컴퓨터 프로그램을 개발하여, 이 프로그램을 이용하여 TMR지원시설의 투자비용 및 이용비용을 분석하고, 최종적으로 TMR지원시설의 경제성을 향상시킬 수 있는 방안을 모색하였다.

Table 1. Classification of TMR main center based on the type of processing.

unit : %

Model	Process type	Premix	Concentrate		Flake	Ingredient	Total
			Mash	Pellet			
Type 1		0.5	5	0	10	84.5	100
Type 2		0.5	2.5	2.5	20	74.5	100
Type 3		0.5	0	5	20	74.5	100

가. 모델의 가공공정

TMR지원시설의 가공공정도는 그림 2와 같으며 이를 상세하게 설명하면 다음과 같다.

외부에서 반입되는 원료는 주로 산물상태로 트럭에 의해 반입되어 트럭계량기(1-1)에서 계량하여 반입물량을 기록한 후 반입호퍼(1-2)로 직접 투입하게 된다. 또한 부원료, 예비배합물 같은 일부 원료는 포대상태로 트럭에 의해 반입(3-4)되어 포크리프터로 예비배합물 창고(10-2) 혹은 평창고(10-1)에 저장되며, 당밀과 유지(fat)같은 액상원료는 탱크트럭으로 반입되어 펌프로 직접 액상탱크(9-1)에 저장된다.

주원료는 반입호퍼(1-2)을 거쳐 정선기(1-3)에서 이물질 제거 후 견인컨베이어(1-4)를 통해 반입승강기(1-5)를 거쳐 수평컨베이어(1-6)로 외부사일로(2-1)에 저장하게 된다. 외부 저장사일로(2-1)에 저장된 원료는 소요량에 따라 반출 수평컨베이어(2-2)를 통해 승강기(2-3)를 거쳐 밸브로 분쇄용빈(3-1) 및 프레이크빈(flake bin : 7-1)에 저장되거나 벌크상태로 TMR터미널에 원료를 직접 반출(2

-4)하기도 한다.

트럭으로 반입되어 약품창고(10-2)에 보관된 예비배합물은 엘리베이터(1-4)로 이송되어 예비배합빈(4-1)에 저장되며 평창고(10-1)에 저장된 부원료는 포크리프터(fork lifter)로 프로어 덤프핏(floor dump pit : 2-5)에 투입하여 승강기(2-6)를 거쳐 분배기(5-1A)를 통해 부원료빈(5-3)에 저장되어 농축사료 원료로 사용된다.

분쇄시설은 예비배합물을 가공하거나 농축사료의 첨가제(carrier)로 사용하기 위해 옥수수 등과 같은 알곡원료를 배합하기 전에 분쇄용빈(3-1)으로부터 공급받아 분쇄기(3-2)에서 분쇄한 후 승강기(3-3)를 거쳐 밸브를 통해 예비배합빈(4-1)에 저장되거나 분배기(5-1)를 거쳐 농축원료빈(5-2)에 저장된다.

예비배합빈(4-1)에 저장된 예비배합원료는 예비배합용 계량호퍼(4-3)로 계량하여 예비배합기(4-3)에 투입하고 배합이 완료된 예비배합물은 고농축 사료이므로 장기간 노출시 인체에 유해할 우려가 있으므로 배합공정이 끝남과 동시에 포장기(4-4)에서 소포장(小包裝)하여 예비배합물 창고(10-2)에 별도로 보관한 후

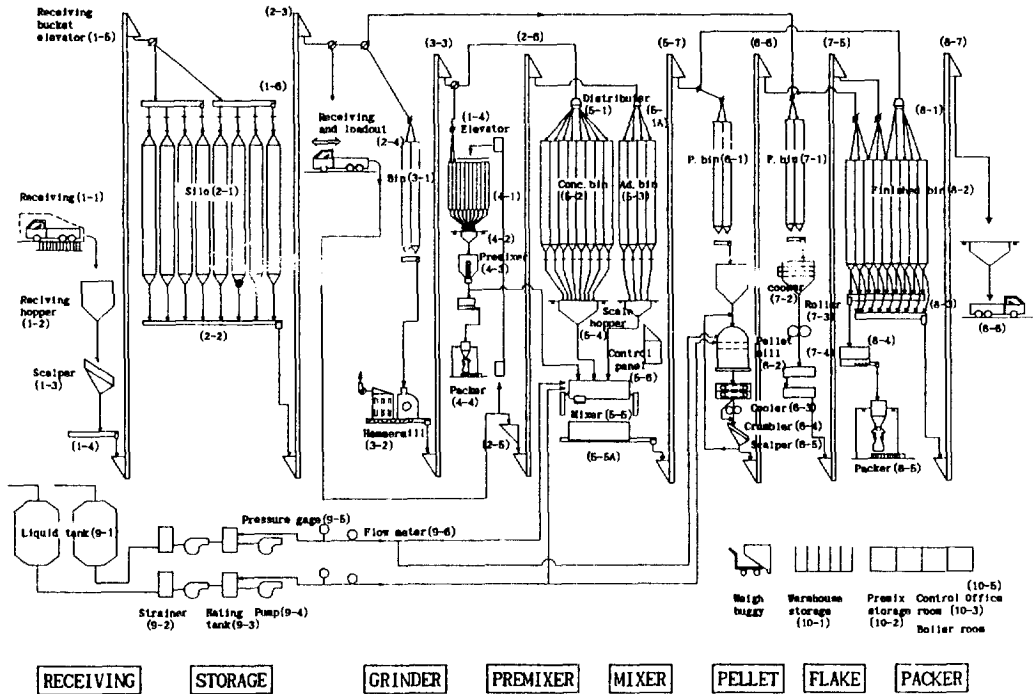


Fig. 2. The overall process flow of the model MACE50-2 and MACE50-3.

TMR터미널로 반출하거나 농축사료용 원료로 사용된다.

액상원료는 액상탱크(9-1)로부터 정선기(9-2)로 정선한 후 가열탱크(9-3)에서 가열하여 펌프(9-4)로 배합기(5-5)에 투입하거나 펠렛밀(6-2)에 투입한다.

배합시설은 농축사료를 가공하기 위해 사용하는 시설로 농축사료용빈(5-2) 혹은 부원료빈(5-3)에 있는 원료를 중력으로 계량호퍼(5-4)에 투입하여 계량한 후 배합기(5-5)로 보내어 예비배합 첨가제와 액상원료를 추가하여 배합을 하고 배합이 완료된 원료는 분말상태로 제품빈(8-2)에 저장되거나 농축사료 펠렛을 생산하기 위해 펠렛빈(6-1)에 저장한다.

펠렛 가공공정은 사료의 기호도를 증가시키고 품질을 향상시키며 이송중 재분리현상을 방지하기 위해 농축사료 미립자에 적당한 수분, 열, 압력을 가하여 단단한 덩어리로 만드는 과정으로 펠렛빈(pellet bin : 6-1)에서 원료를 공급받아

액상원료를 첨가하여 펠렛밀(6-2)에서 가공을 하며 배출된 펠렛은 고온 고습이므로 냉각기(6-3)에서 건조 및 냉각하여 크럼블러(crumblor : 6-4)에서 적당한 크기로 파쇄되고 정선기(6-5)에서 일정한 크기로 선별하여 승강기(6-6)를 통해 제품빈(8-2)으로 이송하거나 불완전한 제품은 펠렛밀에서 재가공된다.

프레이크 가공공정은 곡류에 증기 혹은 열을 가하여 높은 압력으로 압착하는 공정으로 프레이크빈(7-1)에 저장된 곡물원료를 cooker(7-2)에서 증기 혹은 열을 가한후 롤러(roller : 7-3)에서 압착하여 건조기(7-4)에서 건조 및 냉각과정을 거쳐 승강기(7-5)로 제품빈(8-2)에 저장된다.

제품빈(8-2)에 저장된 제품은 차량을 이용하여 벌크상태로 반출되거나 포장기를 거쳐 제품별로 포장되어 반출되며 TMR지원시설 제품은 TMR터미널을 지원하는 지원 원료이므로 주로 500kg이상의 대단위로 포장하여 반출하게 된

다.

이에 대한 모든 작동은 제어실(control room : 10-3)에 있는 제어 장치(control panel : 5-6)에 의해 작동되며 제어는 수동으로 직접 제어할 수도 있고 프로그램에 의해 완전자동으로 제어할 수도 있다.

나. 시설의 규모 및 기기성능

본 연구에서 개발된 15개의 모델 중 하나의

표본인 MACE50-3의 가공공정도는 그림 2와 같다. 그림에서와 같이 전체가공공정은 8개의 공정 즉 반입, 저장, 분쇄, 예비배합, 배합, 펠렛, 프레이크 및 포장공정으로 구분할 수 있으며 MACE50-3을 기준으로 각 시설의 규모와 기기 성능 및 용량을 설명하면 다음과 같으며 개발된 15개의 모델에 대한 주요 기기의 용량은 표 2와 같다.

1) 외부 저장시설

Table 2. The capacity of the TMR main center models.

Model	Class	Total capacity ton/day	Rec-eiv. 80% ton/hour	Sto- rage 600% ton	Gr- ind 5% ton/hour	Pre- mix 0.5% ton/hour	Mix 5% ton/hour	Pellet		Flake		Packing	
								ton/hour	%	ton/hour	%	ton/hour	%
MACE10-1		200	100	1200	3	0.5	2	0	0	4	10	5	7.5
MACE10-2		200	100	1200	3	0.5	2	1	2.5	8	20	10	12.8
MACE10-3		200	100	1200	3	0.5	2	2	5	8	20	10	12.8
MACE20-1		400	130	2400	5	1	3	0	0	8	10	10	7.5
MACE20-2		400	130	2400	5	1	3	2	2.5	16	20	10	12.8
MACE20-3		400	130	2400	5	1	3	4	5	16	20	10	12.8
MACE30-1		600	130	3600	10	1.5	5	0	0	12	10	10	7.5
MACE30-2		600	130	3600	10	1.5	5	3	2.5	24	20	15	12.8
MACE30-3		600	130	3600	10	1.5	5	6	5	24	20	15	12.8
MACE40-1		800	130	4800	10	2	8	0	0	16	10	15	7.5
MACE40-2		800	130	4800	10	2	8	4	2.5	32	20	20	12.8
MACE40-3		800	130	4800	10	2	8	8	5	32	20	20	12.8
MACE50-1		1000	130	6000	10	2	10	0	0	20	10	15	7.5
MACE50-2		1000	130	6000	10	2	10	5	2.5	40	20	30	12.8
MACE50-3		1000	130	6000	10	2	10	10	5	40	20	30	12.8

% : Ration of each quantity vs. total quantity

외부 저장사일로는 물량이 많은 벌크원료를 저장하기 위해 설치하는 것으로 건물 밖에 철제 혹은 콘크리트빈을 사용한다. 콘크리트빈은 내구성이 강하고 단열효과가 크나 설치비가 비싸고 유지보수가 어렵다. 철제빈은 설치비가 저렴하고 유지보수가 용이하나 단열이 어렵고 결로 등의 문제가 있으나 현재에는 제어장치가 우수하여 원료 저장에 큰 문제가 없다(박,1985). 그

래서 본 연구에서는 철제빈을 사용하였으며 용량은 반입주기를 6일로 가정하여 최대용량으로 산정하였고 빈 형태는 호퍼빈으로 설계하였다.

저장용량을 결정하기 위해서는 TMR터미널에서 1일 생산되는 제품의 무게를 TMR지원시설에서 공급하는 원료의 합수율 수준 무게로 환산하여야 하는데 TMR지원시설에서 TMR에 공급되는 원료의 무게는 식(1)과 같다.

$$S = P \times (1 - AS/100) \times (1 - MP/100) \times \left[1 + \frac{(MS/100)}{(1 - MS/100)} \right] \dots\dots\dots (1)$$

여기서,

S : TMR지원시설에서 공급되는 1일 원료의 양, ton/day

P : TMR터미널 1일 생산량, ton/day

AS : TMR터미널 생산제품 중 TMR터미널 자체 수급양, %

MP : TMR터미널 제품 함유율, %

MS : TMR지원시설 원료 함유율, %

예를 들어 MACE50-3은 TMR지원시설 원료의 함유율은 15%이고 TMR에서 생산되는 제품의 함유율은 40%일 경우 TMR터미널 자체에서 공급할 수 있는 원료를 5%로 할 경우 실제로 식(1)에 의하면 TMR지원시설에서 TMR터미널에 공급되는 원료의 양은 20.1톤이 되고 TMR터미널 50개를 지원할 수 있는 MACE50-3의 1일생산량은 1,000톤이 된다. 반입주기는 일반 사료공장에서 15일로 하지만 TMR지원시설의 주 목적은 자체 생산제품도 있으나 생산보다는 1차가공하여 TMR터미널에 신속히 원료를 공급함에 그 목적이 있으므로 반입주기를 6일로 하였다. 따라서 MACE50-3의 경우에는 6,000톤 규모의 저장시설이 필요하다.

저장사일로의 규모가 클수록 단위체적당 투자비용이 감소하지만 호퍼빈의 경우에는 사일로 직경에 대한 높이별 단가는 높이가 21m에서 경제성이 우수한 것으로 나타나 있어(Park,1982) 본 연구에서는 최대규모를 500톤으로 하였으며 또한 소요수량은 최소 4개로 하여 결정하였다.

2) 반입시설

반입시설의 트럭 계량기는 1회 최대 반입량 20톤에 트럭무게를 더하고 안전율을 고려 50톤 규모로 설계하였고, 반입호퍼는 원료의 비중을 0.7로 가정하여 2회 반입물량을 저장할 수 있도록 50m³의 용량으로 설계하였다. 벌크상태의 주원료의 포대로 반입되는 부원료 및 예비배합물

원료를 고려하여 1일 생산량 중 80%가 반입시설을 통과하는 것을 기준하여 설계하였다. 반입 성능은 실제 반입시간 및 안전율을 고려하면 되지만, 일반적으로 반입트럭이 일정시간에 짐중되기 때문에 시간당 성능은 1일 반입량의 50%로 결정하면 무난하지만 처리용량이 130ton/hr 이상일 경우에는 새로운 반입시설이 추가되기 때문에 본 연구에서는 최대용량을 130ton/hr로 하고 그 이하의 모델에서는 시간당 성능을 1일 반입용량의 50%를 기준으로 하였다. 본 시설과 관련되는 기기는 정선기(1-3)와 승강기(1-4)이다.

3) 분쇄시설

농축사료의 생산량을 전체 생산량 중 5%로 설정하고 이를 위한 분쇄기를 설치하도록 설계하였다. 고려한 분쇄기는 사료입자를 4.2mm입자로 분쇄하는 것으로서 작업시간은 정제시간과 안전율을 고려하여 1일 6시간 기준으로 설계하였다. 소요동력은 옥수수 4.2mm입자를 분쇄하는데 필요한 소요동력으로서 식(2)로 나타내었다. 1일 1,000톤을 생산하는 MACE50 모델의 경우 분쇄용량이 50톤이므로 시간당 약 10톤 용량의 분쇄기를 설치하는데 소요동력은 약 100마력이다. 본 시설과 관련되는 기기는 분쇄기(3-2)와 승강기(3-3)이다.

$$HHP = \frac{TPD \times RCPD}{WPD \times HCA \times WEFI \times HEFI} \dots\dots\dots (2)$$

여기서,

HHP : 분쇄기 소요마력, PS

TPD : TMR지원시설 1일 처리용량, ton/day

RCPD : TMR지원시설 1일 처리용량 중 농축사료 생산비율, decimal

WPD : 일 작업시간, hour

HCA : 분쇄성능, 0.14ton/PS-hr

WEFI : 작업효율, 0.8

HEFI : 분쇄효율, 0.8

4) 계량호퍼 및 배합기

배합시설은 농축사료를 생산하기 위한 시설이므로 원료곡물이 미세하고 예비배합물 원료 및 첨가물을 골고루 배합해야 하므로 수평 배치식(batch type) 배합기를 사용하도록 하였는데 이는 일반 배합기와 달리 1회 배합 소요시간이 10분 정도로 상당히 길다. 배합작업의 1사이클 소요시간은 자동화 정도에 따라 차이가 있으나 배합에 소요되는 시간을 10분, 기타 배출 투입 대기시간 등을 2분으로 하여 시간당 배치(batch) 수를 5회로 하여 설계하였으며 1일 생산량 중 농축사료 5%가 배합기를 통과하므로 MACE50 모델의 경우 1일 배합용량은 50톤이 되므로 정체시간 및 안전율을 고려하여 1일 배합 작업시간을 6시간으로 하면 시간당 8.3톤의 성능이 필요하며 용량은 2.07ton/batch가 계산되어 2톤 배합기를 설치한다. 계량호퍼에서 1회 계량된 원료가 배합기에 투입되므로 계량호퍼 역시 2ton/batch 용량이다. 본 시설과 관련되는 기기는 계량호퍼(5-6), 배합기(5-5) 및 승강기(5-7)이다.

5) 예비배합시설

예비배합은 미세한 원료를 배합하여 예비배합물을 생산하는 공정이므로 배합작업 1사이클 소요시간을 배합 25분, 배출 투입 및 대기시간 등을 5분으로 하여 시간당 배치(batch) 수를 2회로 설정하여 설계하였다. 1일 생산량 중 예비배합물이 0.5% 생산되므로 MACE50 모델에서의 예비배합기 1일 배합용량은 5톤이 되고 정체시간 및 안전율을 고려하여 1일 배합시간을 6시간으로 하면 시간당 0.8톤의 성능이 필요하다. 용량은 -TMR 터미널 모델 개발-편 식(1)로부터 0.5ton/batch가 계산되며 0.5톤 배합기를 설치한다. 예비배합 계량호퍼에서 1회 계량된 원료가 예비배합기에 투입되므로 예비배합 계량호퍼 역시 0.5ton/batch 용량이다. 본 시설과 관련되는 기기는 예비배합 계량호퍼(4-2) 및 예비배합 포장기(4-4)이다.

또한 약물중독 등을 피하기 위해 인력 투입을 최대한 억제하여 자동화시설을 채택하였다.

6) 펠렛시설

펠렛시설은 3형 모델의 경우 농축사료 전량을 펠렛으로 생산하는 공정이므로 배합기 성능과 동일한 성능을 갖도록 설계하였고, 농축사료 중 50%를 펠렛으로 생산하는 2형 모델은 배합기 성능의 0.5배로 설계하였다. 펠렛시설의 소요동력은 축산사료의 경우 5ton/hr에서 18ton/hr까지는 거의 직선적으로 증가하며 초기 5ton/hr일 경우 75마력 정도가 소요되며 1ton/hr당 14마력 정도가 추가되는 것으로 보고된 바 있다(Park, 1982).

MACE50-3의 경우 배합기 성능이 시간당 8.3톤이므로 정체시간 및 안전율을 고려하여 10ton/hr의 펠렛 가공시설이 설치되도록 하였으며 그에 따라 소요동력은 약 150마력 정도로 추산되었다. 본 시설과 관련되는 기기는 펠렛밀(6-3), 냉각기(cooler : 4-4), 클럼블러(6-4), 정전기(6-5) 및 승강기(6-6)이다.

7) 프레이크시설

프레이크시설은 1형의 경우 TMR지원시설의 1일 가공 생산량 중 10%를 프레이크 생산으로 가정하고 2형 및 3형 모델의 경우는 1일 가공 생산량 중 20%를 프레이크 생산으로 가정하였으며 안전율 및 정체시간을 고려하여 1일 6시간 작업기준으로 설계하였다. MACE50-3의 경우 1일 생산량 1,000톤 중 20%가 가공되므로 1일 가공 생산량은 200톤이 되며 시간당 처리성능이 33톤이 되는데 안전율을 고려하여 40ton/hr 성능의 프레이크밀을 설치하도록 설계하였다. 본 시설과 관련되는 기기는 cooker(7-2), 롤러(roller : 7-3) 및 승강기(7-5)이다.

8) 포장시설

TMR지원시설의 1일 생산량 중 50%는 벌크상태로 반출하고 50%는 포장상태로 반출하는

것으로 설계하였으며 1일 포장시간은 정제시간 및 안전을 고려하여 6시간으로 설정하였다. MACE50-3 모델의 경우 1일 생산량 1,000톤 중 농축펠렛사료 5%, 프레이크사료 20%를 생산하므로 농축펠렛사료와 프레이크사료의 1일 생산량은 250톤이 되며 이것 중에서 125톤이 포장되므로 시간당 21톤 성능의 포장기(8-5)의 설치가 요구된다.

9) 제품 저장빈

제품 저장빈의 용량은 농축분말사료 펠렛사료 및 프레이크사료 1일 전체 생산량으로 산정하였고, 제품 저장빈의 수량은 생산되는 제품의 종류를 고려하여 1형의 경우 6개, 2형 및 3형의 경우 9개의 사각빈으로 설계하였다. MACE50-3 모델의 경우 1일 생산량 1,000톤 중에서 농축분말사료 펠렛사료 및 프레이크사료의 생산량 비율의 합계가 25%이므로 250톤 규모의 제품 저장시설이 필요하며 MACE50-3은 3형 모델이므로 27톤 9기의 제품 저장빈으로 설계하였다.

10) 보일러 시설

보일러 시설은 주로 펠렛사료를 생산하기 위해 사용되는 기기로 소요동력은 일반적으로 펠렛 시스템 소요동력의 30% 정도로 보고된 바 있다(Park,1982).

예를 들어 MACE50-3의 경우 펠렛시설의 소요동력이 150마력이므로 보일러 시설은 45마력 정도가 소요된다.

11) 기타 작업빈

제품 저장빈 이외의 서비스용 작업빈은 각 작업별 1일 처리용량의 60%를 저장할 수 있는 시설로 설계하였다. 농축원료빈 및 예비배합물빈의 경우 여러가지 원료를 적절하게 배합하는 공정이므로 9개의 사각빈이 설치되며 부원료빈 또한 반입되는 부원료의 종류를 고려하여 4개의 사각빈을 설치하도록 하였다. 기타 서비스용 작업빈은 원료의 반입 흐름을 원활하게 하기 위해

최소 2개의 빈을 설치하고 최대규모를 30톤으로 설정하였다. MACE50-3 모델의 경우 분쇄빈은 분쇄물량이 50톤이므로 30톤을 저장하도록 15톤 2기의 사각빈을 설치 하였으며, 농축 원료빈은 1일 농축사료 가공량이 50톤이므로 30톤을 저장할 수 있도록 4톤 9기의 농축 원료빈을 설치하도록 하였다. 농축 원료는 10%의 부원료를 첨가하는 것으로 가정하였는데 1일 5톤의 부원료가 처리되므로 저장용량은 3톤이 되도록 0.8톤 4기를 설치 하였다. MACE50-3 모델의 프레이크 가공 비율이 20%이므로 1일 처리용량은 200톤이 되고 이중 60%를 저장하므로 120톤의 저장용량을 갖추도록 하기 위하여 30톤 4기의 프레이크빈을 설치하였다. MACE50-3은 농축사료 100%를 펠렛으로 가공하는데 이는 TMR지원시설 1일 전체 생산량 1,000톤 중 5%이므로 1일 가공량이 50톤이 되며 30톤의 저장용량을 갖추도록 하기 위하여 15톤 2기의 펠렛빈을 설치하였다.

다. 기계 및 시설의 기본 배치

MACE50-3의 모델의 평면도는 그림 3과 같이 그림의 좌측 부분이 벌크원료를 저장하기 위한 외부 저장사일로(2-1)이고, 하단 부분은 벌크 원료 반입시설(1-1), 부원료 반입시설 및 원료 반출시설(2-4)이다. 그림의 우측 부분은 포대제품을 저장하기 위한 창고(10-1)이다. 시설의 중앙 상단부에는 액상탱크(9-1)와 보일러실 등과 같은 작업실이 있으며 바로 아래에 공장전체를 제어하는 콘트롤룸(10-3)이 있다. 건물의 중앙 부분에 각 공정을 위한 기계시설을 배치하며 작업동선을 고려하여 타 공정에 지장을 주지 않는 범위에서 최대한 밀집시키거나 다층으로 배열함을 원칙으로 하여 설계하였다. 각 공정의 작업기는 분쇄, 예비배합, 펠렛, 프레이크 및 포장시설이 배합기를 중심으로 가공공정순으로 배치하며 작업빈은 각 공정의 상부에 설치하여 중력으로 작업기에 원료를 투입할 수 있도록

설계하였다. 하단부에 예비배합물 창고(10-2)가 있으며 우측에 부원료용 승강기(4-4)를 설치하고 예비배합물 창고 상단부에 예비배합용 작업빈(4-1)이 있으며 좌측 작은 사각형이 예비배합물 수송용 엘리베이터(1-4)이다. 예비배합용 작업빈 위에 4개의 작업빈은 프레이크빈(7-1)이며 위쪽이 프레이크용 승강기(7-5)이다. 프레이크용 승강기 우측에 2개의 펠렛빈(6-1)이 있고 펠렛빈 우측이 펠렛용 승강기(6-1)

이다. 펠렛용 승강기 밑에 농축사료용빈(5-2)이 9개 있으며 우측에 4개의 부원료빈(5-3)이 있고 위쪽에는 배합용 승강기(5-7)를 배치하였다. 농축사료용빈 밑에 2개의 분쇄용빈(3-1)이 있고 우측이 분쇄용 승강기(3-3)이며 펠렛빈 위쪽 9개의 제품빈(8-2)이 있고 좌측에 반입 및 반출승강기(2-3)가 있으며 제품빈 우측이 제품포장기(8-5)이다.

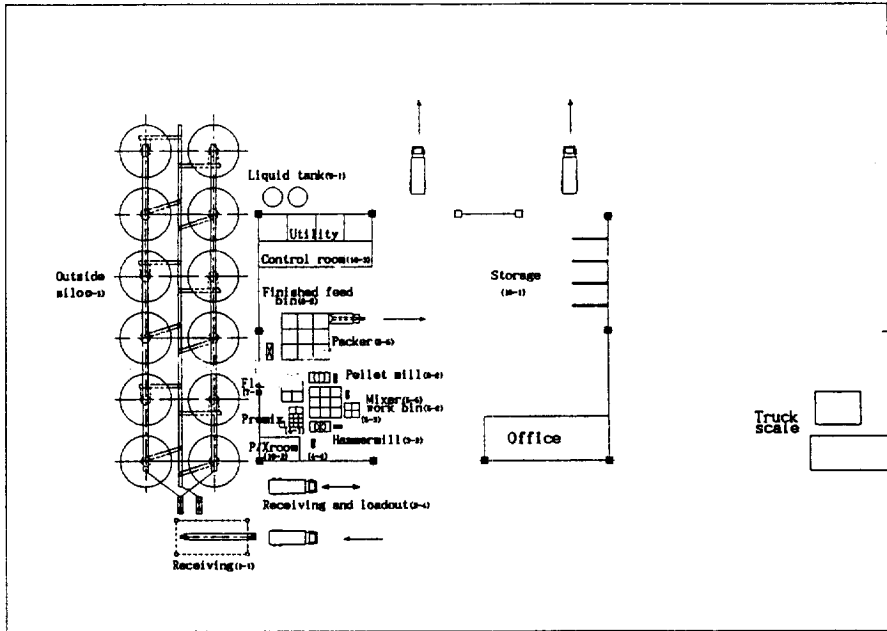


Fig. 3. Layout of the model MACE50-3.

3. 모델의 경제성 검토

가. 모델의 투자비용

본 연구에서 개발된 TMR지원시설 모델의 투자비용은 크게 기기 구입비용, 기계설치비, 설계감리비로 구분하여 산출하였다.

1) 기기류 구입비용

기기류 구입비용은 기기류 설치수량에 대한 단가의 합으로 식(3)와 같다.

$$TM_COST = \sum_{i=1}^n \{MECH_i \times MENO_i\} \dots (3)$$

여기서,

TM_COST : 기기류 총구입비용, won
n : 기기 종류

MECH : 기기 단가, won/unit
 MENO : 동일기기 수량, unit

에 대한 감리비 비율, decimal
 D_COST3 : 예비비, DRM3 : 총투자비용
 에 대한 예비비 비율, decimal

2) 기계설치비

기계설치비는 토목건축비, 기계공사비, 전기설비비 및 기타 공사비로 구분하였으며 기기류 총구입비용에 대해 토목건축비는 50%, 기계공사비 30%, 전기 설비비 35%, 기타 공사비 5%로 산정하였으며 산출방법은 식(4)와 같다

$$M_COSTK = \sum_{i=1}^n \{MECH_i \times MENO_i\} \times RM_k \dots\dots\dots (4)$$

여기서,

k : 1, 2, 3, 4

M_COST1 : 토목건축비, RM1 : 기기투입에 대한 토목건축비 비율, decimal

M_COST2 : 기계공사비, RM2 : 기기투입에 대한 기계공사비 비율, decimal

M_COST3 : 전기설비비, RM3 : 기기투입에 대한 전기설비비 비율, decimal

M_COST4 : 기타공사비, RM4 : 기기투입에 대한 기타공사비 비율, decimal

3) 설계 감리비

설계 감리비는 설계비, 감리비 및 예비비로 구분하였으며 총투자비용에 대해 설계비는 3%, 감리비 1%, 예비비 5%로 산정하였으며 산출 방법은 식(5)와 같다.

$$D_COSTK = \{TM_COST + \sum_{i=1}^4 (M_COST_i)\} \times DRM_i \dots (5)$$

여기서,

k : 1, 2, 3

D_COST1 : 설계비, DRM1 : 총투자비용에 대한 설계비 비율, decimal

D_COST2 : 감리비, DRM2 : 총투자비용

나. 모델의 이용비용 분석

1) 기기 사용시간

기기사용 시간은 전체 투입원료 중 실제로 가공기에 투입되는 중량비로부터 산출하였으며 이를 위해 기기 사용빈도계수를 사용하였다. 기기 사용시간을 산정하는 방법은 제품 중 원료가 차지하는 비율을 먼저 벌크 원료 : 포대(벌크 중 외부사일로에 저장 불가능한 것 포함) : 액상원료의 비율을 계산하고, 제품 중 분쇄가공 비율, 예비배합가공 비율, 펠렛가공 비율, 프레이크가공 비율, 포장 비율을 산정함으로써 각 원료가 기기를 통과하는 비율을 예측하여 기기의 연간 사용시간을 구하였다.

예를 들어 TMR지원시설에 반입되는 원료의 형태별 비율인 벌크 : 포대 : 액상원료의 제품비율이 80 : 15 : 5이면 트럭계량기(1-1), 반입정선기(1-3), 반입버킷엘리베이터(1-5), 외부사일로 수평컨베이어(2-2), 승강기(2-3)의 기기통과율은 0.8이 되고 부원료 반입용 승강기(2-6)의 기기통과율은 0.15이고 액상원료 첨가장치(9-6)의 기기통과율은 0.05가 된다.

MACE50-3의 경우 분쇄시설, 펠렛시설 및 배합시설은 전체원료의 5%을 가공하므로 기기통과율은 0.05이며 프레이크의 경우 20% 가공하므로 기기통과율은 0.2가 된다.

2) 인건비

TMR지원시설에서 가공에 소요되는 인원을 산출하는 방식은 식(6)과 같으며, 식(7)로부터 전체 가공물량 중 예비배합물, 농축사료, 프레이크 및 펠렛 사료와 같이 1차 가공하는 가공율을 계산하여 노동부하(PLA)를 1.2ton/man-hr를 적용하였고, 나머지는 원료를 반입, 저장 후 각

TMR터미널로 보급하는 역할을 담당하므로 노동부하(GAL)를 5ton/man-hr를 적용하여 계산하였다. 이중 사무직(OFMAN, 고정비) 30%, 현장(FIMAN, 변동비) 70%의 비율로 산정하였으며 산출방법은 식(8,9)와 같다. 배합비율 등의 소프트웨어 제공자(SUMAN, 고정비)를 TMR터미널 10개당 1명으로 산정하였으며 산출식은 식(10)과 같고, 포크리프트 운전인원은 TMR지원시설 1일 처리용량 200톤당 포크리프트 1대가 소요되는 것으로 하여 소요인원은 포크리프트 수량의 1.5배로 산정하였으며 산출방법은 식(11)과 같다.

예를 들어 MATE50-2의 경우 예비배합물 0.5%, 농축분말사료 2.5%, 농축펠릿사료 2.5%, 프레이크사료 20%를 생산하므로 1차 가공 비율은 25.5%이다. 전체 소요인원은 식(6)에 의해 46명이 소요되며 식(8) 및 식(9)에 의해 사무직 14명 현장 32명이 계산되고 식(10)에 의해 기술제공자가 5명이 계산된다. 포크리프트 운전인원은 식(11)에 의해 7명이 소요된다.

$$LAA = DP \times \left(\frac{PCE}{PAL \times DW} + \frac{1 - PCE}{GAL \times DW} \right) \dots\dots (6)$$

여기서,

LAA : TMR지원시설 가공에 소요되는 인원, man

DP : 1일 생산량, ton/day

PAL : 가공물량에 대한 1시간당 노동부하, ton/man-hr

GAL : 반입, 반출 물량에 대한 1시간당 노동부하, ton/man-hr

DW : 1일 평균작업 가능시간, hr/day

$$PCE = PX + MIX + PET + FLA \dots\dots\dots (7)$$

여기서,

PCE : TMR지원시설 1차 가공비율, decimal

PX : 예비배합물 생산비율, decimal

MIX : 농축사료 배합 생산비율, decimal

PET : 펠릿사료 생산비율, decimal

FLA : 프레이크사료 생산비율, decimal

$$OFMAN = LAA \times 0.3 \dots\dots\dots (8)$$

여기서, OFMAN : 사무원의 수, man

$$FIMAN = LAA \times 0.7 \dots\dots\dots (9)$$

여기서, FIMAN : 현장근무인원수, man

$$SEMAN = TMNO / 10 \dots\dots\dots (10)$$

여기서,

SEMAN : TMR터미널 정보전달 및 기술지도 인원수, man

TMNO : TMR터미널 지원수량, unit

$$FOMAN = (DP / 200) \times 1.5 \dots\dots\dots (11)$$

여기서, FOMAN : 포크리프트 운전인원, man

3) 감가상각비 및 이자

감가상각비는 고정비용이 투입되는 시설과 기구에 대해 직선법을 사용하였으며 이자는 차입금액에 대한 차입이자 및 일반이자로 구분되며, 산출방식은 차입금액에 대해서는 거치년수 이후부터 차입기간동안 고정비 투자액에서 기기류의 연간 감가상각을 공제하여 연간 차입이자를 적용하여 계산하였다. 차입기간 이후부터 기기류의 내구년수동안 발생하는 이자는 고정비 투자액에서 기기류의 연간 감가상각을 공제하고 연간 일반이자를 적용하여 계산하였다. 연평균 이자는 기기류 내구년수 동안의 대출이자와 일반이자를 합산하여 이를 내구연수로 나누어 계산하였으며 차입금액 공제순위는 기계구입비용, 기계공사비, 전기설비비, 토목건축비 순으로 적용하였다. 식(12)는 연간 총이자를 계산하는 수식을 나타낸 것이다.

$$INT = \sum_{i=1}^n \left\{ \sum_{j=a+1}^b MPi \times (1 - YSRi \times (j-1)) \times IL + \sum_{j=b+1}^{EYi} (1 - YSRi \times (j-1)) \times GI \right\} / EY \dots\dots\dots (12)$$

여기서,

INT : 연간 이자 합계, won/yr

n : 기기 수량 및 비용투입요소

a : 차입금액 거치년수, yr

b : 차입금액 상환년수, yr

IL : 차입이자, decimal

GI : 일반이자, decimal

4) 전기비

전기비는 고정비용 및 변동비용으로 구분하였는데, 고정비용은 투입기계에 대한 총마력수를 계산하여 총마력에 대한 월 고정전력비용이고, 변동비용은 실제로 사용한 kWh당 전기요금을 계산한 전력 사용비용이며 식(13)은 계약전력에 대한 고정비이고 식(14)는 사용전력에 대한 변동비를 나타낸 것이다.

$$FECOST = \sum_{i=1}^n \{MHP_i \times 0.75 \times KCPM \times 12\} \dots (13)$$

여기서,

FECOST : 연간 계약 전력비, won/yr

MHP : 기기류 소요마력, PS

KCPM : kWh당 월 계약전력비, 3, 280won /kW-month

$$VEECOST = \sum_{i=1}^n \{MHP_i \times 0.75 \times DP \times MWP \times 12 \times MPE \times KCPH / MCAP_i\} \dots (14)$$

여기서,

VEECOST : 연간 사용 전력비, won/yr

DP : 1일 생산량, ton/day

MWP : 월 평균 작업가능일수, day

MPE : 기기류 통과계수, decimal

KCPH : kWh당 사용전력비, 36won/kWh

MCAP : 기기류 작업성능, ton/hr

5) 연료비

연료비는 포크리프터, 보일러, 사무실 및 기타 기기의 연간 연료 사용량을 산출하여 구하였다. 포크리프터의 연간 사용시간은 연간 TMR지원 시설 생산량 중 포크리프터 통과계수를 곱하여 포크리프터 1대당 연간 처리용량을 계산한 후 포크리프터 시간당 처리성능으로 나누어 포크리프터 1대당 연간 사용시간을 산출하였다. 포크리프터 연간 총 연료사용량은 대당 연간 사용시간과 포크리프터 대수와 시간당 연료소모량을 곱하여 계산하였다.

보일러 연료 소모량은 보일러의 연료소모율인

1.13ℓ/PS-hr(Park, 1982) 그리고 펠렛 가공시간과 동일하게 산정한 보일러 사용시간을 이용하여 연간 연료소모량을 계산하였다.

6) 기타 비용

보험비는 총투자비용의 0.1%, 수리 및 수선비는 기계류 투입비용의 3%, 사무비 및 기타는 연간 변동비용의 2.1%를 적용하였다.

다. 비용분석을 위한 컴퓨터 프로그램

앞에서 설명한 TMR지원시설의 비용분석을 산출하기 위해서는 상당히 많은 요소들이 포함 되어 각각을 개별적으로 분석하는 것은 많은 노력을 요할 뿐만 아니라 잘못 계산할 가능성이 높다.

그래서 본 연구에서는 C언어를 이용하여 비용분석을 용이하게 할 수 있는 컴퓨터 프로그램을 개발하였는데 프로그램 전체를 제어하는 주함수의 흐름도는 그림 4와 같다. 프로그램의 특징은 화면창(pulldown 메뉴)을 사용하여 자료를 화면으로 확인하면서 키보드로 직접 입력하거나 디스켓으로부터 기존자료를 읽어들이는 방식이며 입력된 자료를 디스켓에 저장하여 유사 모델 분석 및 개발에 재 사용할 수 있도록 하여 유사 모델 분석시 입력절차를 간소화시켰다.

분석결과는 화면에서 직접 확인하거나 프린트로 출력할 수 있으며 디스켓에 저장하여 보관할 수 있도록 프로그램하였다.

라. 분석 결과

1) 투자비용

그림 5는 개발한 TMR지원시설의 형태별 생산량별 투자비용을 나타내는 것으로 1형의 경우 16억원에서 38억원, 2형의 경우 22억원에서 45억원 범위였으며, 3형의 경우 22억원에서 48억원 정도로 나타나 전체적으로 16억원에서 48억원 정도의 투자비용이 소요되는 것으로 나타났다.

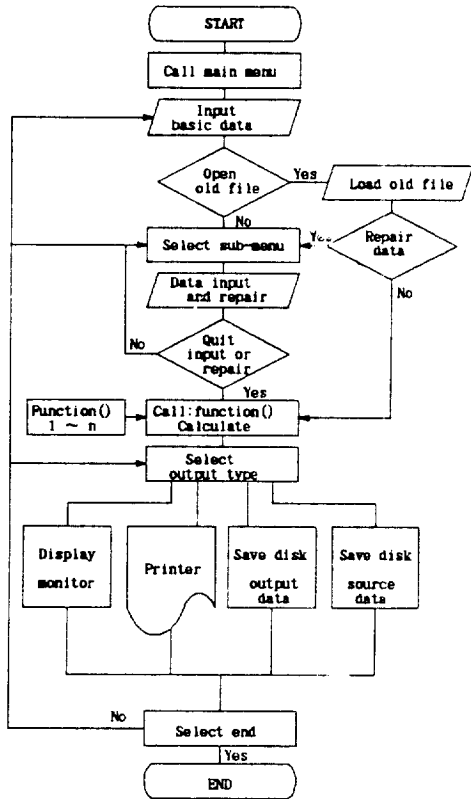


Fig. 4. Flow chart of main program for the cost analysis.

투자비용은 생산량 증가와 함께 직선적으로 상승하나 생산규모가 1일 600톤인 점을 기점으로 완만하게 상승하는 경향을 보여주고 있어 1일 600톤 생산규모 즉 MACE30모델 이상이 투자비용 측면에서 경제성이 우수한 것으로 나타났다.

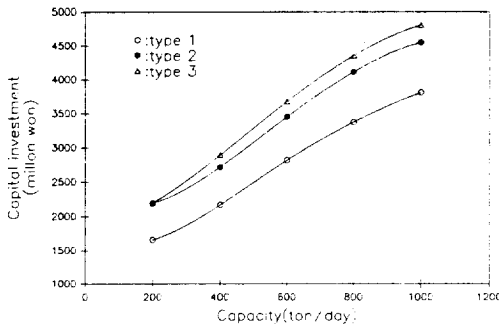


Fig. 5. Relation between productive capacity and capital investment of the TMR main center.

2) 경제성 분석

앞에서 개발한 프로그램을 이용하여 TMR지원시설의 이용비용을 분석한 결과 톤당 생산단가가 1형의 경우 4,824원에서 3,166원, 2형의 경우 6,182원에서 3,816원으로 나타났고 3형의 경우 6,263원에서 3,990원으로 나타났으며, 전체적으로 톤당 생산단가가 3,166원에서 6,263원으로 나타났다. TMR지원시설의 규모가 클 수록 톤당 생산단가가 낮게 나타났으며 규모가 가장 큰 MACE50 모델의 생산단가가 1형은 3,166원/톤이고 2형은 3,816원/톤이며 3형의 경우 3,990원/톤으로 나타나 규모가 가장 작은 MACE10 모델에 대한 톤당생산단가의 비율이 1형은 65%이고 2형은 62%이며 3형은 64%로 나타났다. 그림 6은 형태별 생산량별 톤당 생산단가를 나타내는 것으로 1형, 2형 및 3형 모두 MACE10 모델의 생산량인 200톤/일부터 MACE30 모델의 생산량인 600톤/일까지는 생산량 증가에 따라 톤당 생산단가가 급격히 하락하나 생산량이 600톤/일이상이 되면 생산단가는 완만하게 감소하는 경향을 보였다. MACE30 이상의 모델은 그 하위 모델에 비해 톤당 생산단가가 500~3,000원 정도 저렴한 것으로 나타났다.

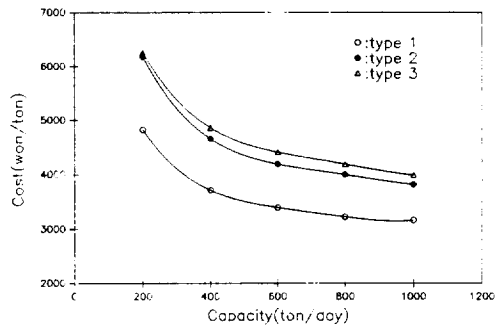


Fig. 6. Relation between productive capacity and production costs of the TMR main center.

마. 모델의 경제적 운영 방안

사료의 생산량 증가에 따른 사료 생산단가의 감소율이 완만하기 시작하는 사료 생산량 600톤

/일의 수준은 지역 TMR1000 모델을 30개 지원하는 MACE30 모델의 생산량으로서 사육하는 젖소 30,000두를 지원한다. 이것은 축산규모가 최소한 30,000두이상 집단화 되어 원료를 원활히 공급 받는 지역이 그 이하의 지역에서보다 사료 생산단가를 감소할 수 있음을 말한다. 이와 같이 사료생산규모가 MACE30 모델 이상의 모델이면 그 이하의 모델에 비해 투자비용 및 생산단가 측면에서 경제성이 우수한 모델로 나타났지만 사육규모가 집단화되지 않은 지역이거나 축산 규모가 적은 지역에 이 모델을 설치할 경우 가동율이 떨어져 오히려 생산단가를 상승시키는 요인이 되므로 지역 축산규모 및 지형조건 등을 고려하여 TMR지원시설이 지원할 수 있는 규모를 설정하여 지역특성에 맞는 모델이 선정되어야 할 것이다.

그러므로 TMR터미널 설치수량 및 TMR터미널에서 생산되는 사료의 형태는 TMR지원시설의 규모 및 형태와 밀접한 관계가 있어 기 설치된 TMR터미널 수와 앞으로 설치계획 중인 TMR터미널 수에 대한 정보를 수집하여 TMR지원시설의 설치규모 및 형태를 결정하여야 한다. 이와 같이 TMR터미널과 TMR지원시설은 서로 유기적인 관계를 가지고 운영되는 조직이므로 TMR터미널과 TMR지원시설을 연계한 통합시스템에 대한 연구의 필요성이 대두되었다.

4. 결론

본 연구에서는 TMR터미널 1개의 생산규모를 TMR1000모델을 기준하여 1일 30톤으로 가정하고 10, 20, 30, 40 및 50개소를 지원할 수 있도록 TMR지원시설을 설계하였으며 모델명을 각각 MACE10, MACE20, MACE30, MACE40 및 MACE50으로 명명하였다. 각 모델은 가공형태 별로 3가지 종류로 다시 분류하였다. 이 3가지 모델은 공통적으로 예비배합사료 0.5% 및 농축사료 5% 생산기준을 적용하였으며 이중 1형 모

델은 5%의 농축사료를 전량 분말사료로 생산하고 이 외에 프레이크사료 10%를 생산하도록 하였으며, 2형 모델에 있어서는 농축사료 5% 중 50%는 분말, 나머지 50%는 펠렛으로 생산하고 전체 원료 중 프레이크사료 20%를 생산하도록 하였으며, 3형 모델에 있어서는 5%의 농축사료를 전량 펠렛으로 생산하고 전체 원료 중 프레이크사료를 20% 생산하도록 하였다. 이러한 총 15개의 모델을 개발한 다음 이들에 대한 투자비용과 이용비용을 분석할 수 있는 프로그램을 개발하였으며 이 프로그램을 이용하여 각 모델을 분석한 결과를 요약 하면 다음과 같다.

1. 투자비용은 1형의 경우 16억원에서 38억원 정도이고, 2형의 경우 22억원에서 45억원 정도로 나타났으며 3형의 경우 22억원에서 48억원 정도로 나타나 전체적으로 16억원에서 48억원 정도의 투자비용이 소요되는 것으로 나타났으며 투자비용 측면에서 MACE30 이상 모델이 경제적으로 우수한 것으로 나타났다.
2. TMR지원시설의 이용비용은 톤당 생산단가가 1형의 경우 4,824원에서 3,166원, 2형의 경우 6,182원에서 3,816원으로 나타났고 3형의 경우 6,263원에서 3,990원으로 나타났으며 전체적으로 톤당생산단가가 3,166원에서 6,263원으로 나타났다.
3. 생산규모가 증가할수록 경제성이 우수하여 생산량이 가장 많은 MACE50 모델은 톤당 생산단가가 1형은 3,166이고 2형은 3,816원, 3형의 경우 3,990원으로 나타나 생산규모가 가장 작은 MACE10모델에 대한 톤당 생산단가의 비율이 1형은 65%이고 2형은 62%이며 3형은 64%로 나타났다.
4. TMR터미널과 TMR지원시설은 서로 유기적인 관계를 가지고 운영되는 조직이므로 TMR터미널과 TMR지원시설을 연계한 통합시스템에 대한 연구의 필요성이 대두되었다.

참 고 문 헌

1. 물가자료 : 1993, 월간물가자료, 한국물가협회.
2. 박경규, 정도섭, R.McEllhiney : 1983, 컴퓨터 프로그램에 의한 사료공장의 설계, 한국농업기계학회지 8(2), pp. 86~98.
3. 박경규 : 1985, 사료기술단기과정, 배합사료공장의 설계, 한국사료협회.
4. 박경규, 김태욱, 이정호 : 1987, 찻소의 적정 사료급여시스템 결정(I), 한국축산학회지 28(12) : 783-794.
5. 박경규, 김태욱, 장윤환 : 1987, 찻소의 적정 사료급여시스템 결정(II), 한국축산학회지 28(12) : 789-794.
6. 박경규, 김태욱 : 1993, 한국의 낙농단지규모에 알맞는 사료가공시설의 모델 개발, 한국학술진흥재단 연구보고서.
7. 박홍서 : 1992, TMR 터미널 운영사례, 월간서울우유 24(12) : 36-42.
8. 정인걸 : 1992, TMR 시스템, 알프스축산기술센터.
9. AFMA : 1985, Feed Manufacturing Technology III, AFMA, Arlington Va.
10. David W. Kammel : 1990, Stationary Mixer Systems for Total Mixed Rations, Dairy Feeding System, Proceeding from the Dairy Feeding Systems Symposium Harrisburg, Pennsylvania.
11. Henderson, S. M. and Perry R. L : 1976, Agricultural Processing Engineering, The Avi Publishing Company, Inc Westpoint, Connecticut.
12. MWPS-13 : 1974, For livestock and cash-grain farms, Midwest West Plan Service, ISBN 0-089373-007-6, ISU, Ames Iowa 50011.
13. Park, K. K. and Chung, D. S : 1982, Modeling and computer programing of feed mill, ASAE paper No.82-3020.
14. Park, K. K : 1982, Modeling and optimization of feed mill. Unpublished Ph D Dissertation, Dept. of Agr. Engineering, Kansas State University. Manhattan Kansas, 66056.
15. Park, K.K. and D.S.Chung : 1982, Modeling and Computer Programming of Feed Mill, ASAE Paper No.82-3020, ASAE St. Joseph, Mi. 49805.
16. Park, K.K. : 1982, Modeling and Optimization of Feed Mill, Ph.D Thesis, K.S.U.Manhattan Ks.
17. Vosloh, Carl J : 1976, Feed manufacturing cost and capital requirement, Agricultural economic report No. 335, United State Department of Agriculture, Washington D.C.