

委託營農을 위한 機械化 전문가 시스템 개발⁺

Development of an Expert System for Mechanization of Entrusted Farming

장동일* 김성래* 김만수*
D. I. Chang S. R. Kim M. S. Kim

Summary

In this study, an expert system named ESMEF (Expert System for Mechanized Entrusted Farming) was developed. The function of ESMEF is to provide the various data and informations for entrusted farming such as farm machinery management data, mechanization systems by farm sizes, number of units and sizes of machinery needed, machinery replacement analysis, mechanization costs analysis.

Mechanization systems were selected by ESMEF for different farming sizes of Chungnam Province and an economic analysis was conducted as an example. The results showed that the farm machinery purchasing costs were 1,344~4,829 thousand won per ha and there was no significant difference for farm sizes above 60 ha. The total annual machinery costs were 3,595~4,537 thousand won per ha, and a minimum cost was appeared for farm size of 100ha at first. According to this analysis, an optimum entrusted farming size would be 100ha by the present available farm machinery systems.

Keywords : Expert System, Entrusted Farming, Mechanization systems

1. 서론

현재 농업노동력의 부족으로 일손을 구하지 못해 농사일에 허덕이고 있는 많은 경작농민들이 영농을 위해 궁여지책으로 위탁영농을 선호하고 있다. 이로 인해 농촌에는 못자리에서부터 이앙, 병충해 방제등 수확에 이르기까지 부분 또는 완전 농사일을 도맡아 해주는 위탁영농회사까지 등장하여 농촌일손 부족의 심각성 속에 새로운 농업시대가 열리고 있음을 보여주고 있다.

그리고 농림수산부에 따르면 농어촌발전특별조치법 시행과 관련하여 농업노동력의 부족으로 농업경영이 곤란한 농가의 영농편의와 농업생산성 향상을 도모하기 위해 94년까지 전국 시군에 위탁영농회사를 1개소 이상씩 설치하여 운영키로 하고 시범적으로 기계화 영농과 위탁영농 경험이 풍부한 기존의 기계화영농단을 중심으로 위탁영농회사 설립을 유도, 농기계 구입자금과 시설운영자금등을 우선적으로 지원해주었다.

그런데 대부분의 영농에서 농업기계는 주요

⁺ 본 연구는 1991년도 한국농업기계학회 산학협동연구비 지원에 의해 수행되었음.

* 충남대학교 농과대학 농업기계공학과

투자항목이 된다. 그러므로 농장의 크기, 노동력의 공급과 단계별 작업시스템에 알맞는 농업기계와 그의 부속작업기의 적정선택은 영농의 이윤발생에 큰 역할을 담당하게 된다. 그러나, 영농의 기계화란 의욕만 가지고 이루어지지 않으며, 특히 위탁영농은 전문가에 의한, 이를 뒷받침할 수 있는 기계화 기술의 개발 및 이윤을 발생시킬 수 있는 경영기술을 절대적으로 필요로 한다. 이와같은 기술은 많은 영농기계화 관련자료의 축적과 농업기계의 이용기술에 대한 풍부한 지식을 필요로 하며, 복잡한 계산 및 적정 기계선택 알고리즘을 필수로 하고 있다. 현재 미국 등 선진국에서는 이와같은 필요를 충족시키고자 컴퓨터를 이용하는 기술을 계속 개발해 왔으며, 최근에는 침부의 참고문헌과 같이 기계화 전문가 시스템을 개발하여 그의 활용을 활발하게 시도하고 있다(Barett et al., 1989; Clarke et al., 1990; Freeman et al., 1989; Huggins et al., 1986; Jones, 1985; Jones et al., 1986; Morrow et al., 1989; Perry et al., 1990; Whittaker et al., 1987). 그리고 우리의 영농도 이제는 이와같은 전문가 시스템을 절실히 필요로 하고 있다.

그러므로 본 연구에서는 위탁영농이 필요로 하는 각종 기계화 관련 자료, 영농규모별 기계화 체계 모형, 기종의 크기 및 수량결정, 기계교체 분석, 기계화 영농 이용비용 분석 등을 제공할 수 있는 전문가 시스템(Expert system)의 개발을

연구 목적으로 하였으며, 다음의 기능을 구체적인 목표로 한다.

- (1) 농업기계의 기종에 따라 규격, 제작회사, 모델, 구입가격, 용자지원액을 제공한다.
- (2) 영농규모에 따라 경운 정지용 기계, 이앙기, 방제기, 콤바인, 곡물건조기의 구체적인 모형, 기종의 크기, 수량등을 선정하여 적정 기계화 체계를 제시하고, 기계화 체계에 대한 손익분기 위탁수수료를 결정한다.
- (3) 적정 기계화 체계에 대한 이용비용을 분석한다.
- (4) 선정된 농기계에 대한 최적교체주기 분석을 실시한다.

2. 위탁영농회사의 임작업료

위탁영농회사는 지역의 특성에 따라 수도작의 전작업을 위탁받아 영농을 대행하는 경우와 부분작업을 대행하는 경우가 있는데, 농촌의 노동력 부족과 노동력의 고령화와 부녀화가 가속됨에 따라 전반적으로 전작업을 대행하는 경우가 증가는 추세이다. 위탁영농회사의 영농작업 대행에 따른 수수료는 전작업 대행과 부분작업 대행에 따라 다른데 일반적으로 부분작업의 수수료가 더 높은 경향이다. 표 1은 충남지방의 위탁영농회사의 작업별 수수료 요율을 보여준다.

Table 1. Rate of operation expenses of entrusted farming company of Chungnam province (unit : ₩/200pyung)

Operation	Whole entrusting	Partial entrusting
Plowing & tilling	10,000	14,000
Leveling	10,000	12,000-16,000
Raising seedlings	32,000	32,000
Transplanting	20,000	20,000
Spraying	12,000(2 times)	12,000(2 times)
Harvesting	30,000	22,000-33,000
Drying	1,500(₩/sack)	--

3. 전문가 시스템 개발

가. 전문가 시스템의 개요

본 연구의 연구목적을 달성하고자 전문가 시스템을 개발하고 이 프로그램의 이름을 ESMEF (Expert System for Mechanized Entrusted Farming)라고 명명하였다. ESMEF의 개발조건은 다음과 같다.

(1) 프로그램 언어는 Microsoft FORTRAN 을 사용한다.

(2) 사용방법은 메뉴식을 이용한다.

(3) 수도작 위주의 기계화 시스템을 설계하도록 하며, 선정되는 농업기계는 트랙터와 플라우 및 로타베이터, 동력이앙기, 동력분무기, 콤바인, 곡물건조기가 되도록 한다.

(4) 기계화 체계 선정을 위한 필요 데이터는 BLOCK DATA 서브루틴을 이용하여 입력한다.

(5) 전문가 시스템은 농기계의 가격정보 제공, 적정 기계화 시스템 선정, 최적교체주기 분석, 이용비용 분석을 수행할 수 있는 각각의 모듈로 구성되도록 한다. 시스템의 구성은 그림 1과 같다.

(6) 영농규모에 따른 적정기종의 선정, 선택된 농기계의 교체주기분석, 적정 기계화 체계의 이용비용을 출력하도록 한다.

(7) ESMEF는 ESPRI와 ESMCH로 구성되며, ESPRI는 농기계의 가격정보를 제공하는 시스템 이고, ESMCH는 적정 기계화 체계 분석을 제공하는 시스템이다.

나. 전문가 시스템의 알고리즘

기계화 체계는 다음과 같은 두가지의 선정조건을 만족할 때 적정 기계화 체계로 선정되도록 하였다.

(1) 적기작업 조건 - 주어진 영농규모에서 가능한 작업가능 기간중에 소요작업을 완료할 수 있어야 한다. 연간작업가능일수는 영농작업 별로 전문가 시스템의 사용자가 영농지역의 특

성에 맞게 입력하도록 하였으며, 사용자의 편의와 참고를 위하여 충남지방의 연간작업가능일수를 작업별로 기존자료(Default value)로 입력하여 사용시에 수정할 수 있도록 하였다. 트랙터의 경우 정지 작업중 정지작업은 이양작업의 원만한 진행을 달성하기 위하여 작업기간을 이양작업 기간과 같게 하고, 방제작업은 연간 평균적으로 5회 실시하는 것으로 가정하였다.

포장작업기체인 트랙터, 이앙기, 방제기, 콤바인의 포장작업성능은 다음의 식 (1)에 의하여 계산되는데(정 등, 1993), 여기서 D가 연간작업가능일수이다. 적기작업 조건을 수식으로 표현하면 식(3)~(6)과 같이 기계대수와 연간부담면적의 곱이 영농규모보다 크거나 같아야 한다.

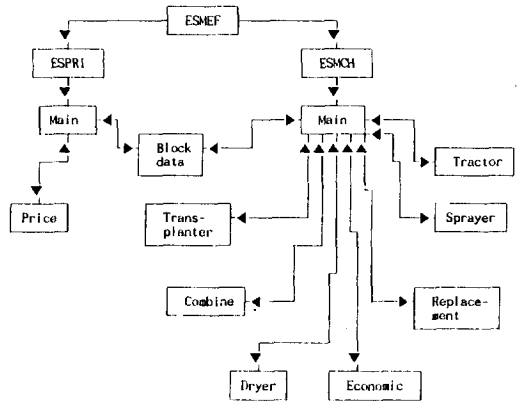


Figure 1. Program system chart of ESMEF.

곡물건조기의 작업성능은 식(2)와 같이 계산되는데(정 등, 1993), 건조기의 적기작업 조건을 수식으로 표현하면 식(7)과 같다.

$$A = 0.1 \times E_f \times E_u \times E_d \times S \times W \times U \times D \dots (1)$$

여기서,

A = 연간부담면적(ha/unit-yr)

E_f = 포장작업효율(decimal)

E_u = 실작업시간율(decimal)

E_d = 작업가능일수율(decimal)

S = 이론작업속도(m/sec)

W = 이론작업폭(m)

$$\begin{aligned}
 U &= 1일작업시간(h/day) \\
 D &= 연간작업가능일수(day/yr) \\
 Q &= Q_r / (DT + MTC/DR) \times E_u \times E_d \times U \times D \\
 \dots \dots \dots (2)
 \end{aligned}$$

여기서,

- Q = 연간건조량(kg/unit-yr)
- Q_r = 1회건조용량(kg/unit)
- DT = 건조준비시간(h)
- MTC = 건조될 총합수율(%, w.b.)
- DR = 건조율(% w.b./h)
- E_u = 실작업시간율(decimal)
- E_d = 작업가능일수율(decimal)
- U = 1일작업시간(h/day)
- D = 연간작업가능일수(day/yr)

$$\begin{aligned}
 Ntr \times Atr &\geq Ap \dots \dots \dots (3) \\
 Npl \times Apl &\geq Ap \dots \dots \dots (4) \\
 Nsp \times Asp &\geq Ap \dots \dots \dots (5) \\
 Ncb \times Acb &\geq Ap \dots \dots \dots (6) \\
 Ndr \times Q &\geq Ap \times Pr \dots \dots \dots (7)
 \end{aligned}$$

여기서,

- N = 소요기계대수(unit)
- A = 연간부담면적(ha/unit-yr)
- tr = 트랙터
- pl = 이앙기
- sp = 방제기
- cb = 콤바인
- dr = 건조기
- Ap = 영농규모(ha/yr)
- Pr = 단위생산량(kg/ha)

(2) 최소비용 조건-농기계의 연간이용비용은 식(8)-(11)과 같이 고정비와 변동비의 합으로 계산되는데, 적기작업을 수행할 수 있는 농기계 체계중에서 연간이용비용이 최소가 되어야 한다.

(3) 손익분기 임작업료 분석-농기계의 연간 이용비용 분석과 함께 필요한 분석은 손익분기 분석인데 여기서는 식(12)-(14)와 같이 손익분기 임작업료를 계산하도록 하였다. 그리고 연간변동비 계산에 필요한 유지보수비, 연료비, 운

활유비, 노임은 식(15)-(19)에 의하여 계산하도록 하였다.

$$\begin{aligned}
 C_y &= C_f + C_v \dots \dots \dots (8) \\
 C_f &= FC \times P \dots \dots \dots (9) \\
 C_v &= (RM + F + O + L) \times Ap / MC \dots \text{for field} \\
 &\quad \text{machinery} \dots \dots \dots (10) \\
 C_v &= (RM + F + O + L + E) \times Q / DC \dots \text{for dr-} \\
 &\quad \text{yer} \dots \dots \dots (11) \\
 C_r &= C_y / Ap \dots \dots \dots (12) \\
 C_r &= FC \times P / Ap + (RM + F + O + L) / MC \dots \\
 &\quad \text{for field machinery} \dots \dots \dots (13) \\
 C_r &= FC \times P / Ap + (RM + F + O + L + E) \times Q / \\
 &\quad (DC \times Ap) \dots \text{for dryer} \dots \dots \dots (14)
 \end{aligned}$$

여기서,

- C_y = 연간이용비용(Won/yr)
- C_f = 연간고정비(Won/yr)
- C_v = 연간변동비(Won/yr)
- FC = 고정비비율(decimal/yr)
- P = 기계구입가격(Won/yr)
- Ap = 영농규모(ha/yr)
- RM = 유지보수비(Won/h)
- F = 연료비(Won/h)
- O = 윤활유비(Won/h)
- L = 노임(Won/h)
- MC = 포장기계성능(ha/h)
- E = 전기료(Won/h)
- Q = 연간건조량(kg/yr)
- DC = 건조기성능(kg/h)
- C_r = 손익분기임작업료(Won/ha)

$$\begin{aligned}
 RM &= RM_p \times P \dots \dots \dots (15) \\
 F &= Fr \times F_c \dots \dots \dots (16) \\
 O &= O_p \times F \dots \dots \dots (17) \\
 L &= L_r \times L_c \dots \dots \dots (18) \\
 E &= E_r \times E_c \dots \dots \dots (19)
 \end{aligned}$$

여기서,

- RM_p = 유지보수비 계수(%/h-unit)
- Fr = 연료소모율(g/h-unit or L/h-unit)
- (Tractor-Diesel, Transplanter-Ga-

soline, Combine-Diesel, Dryer-Ke-rosine)

- Fc = 연료비(Won/g)
- Op = 유회유소모 계수(decimal)
- Lr = 소요노동력(man/unit)
- Lc = 노임(Won/man-h)
- Er = 전기소요량(kWh/h-unit)
- Ec = 전기요율(Won/kWh)

(4) 교체주기 분석방법-교체주기 분석이란 구입하여 사용되고 있는 기계의 연간 유지보수비와 기계의 잔존가치를 합하여 연평균전체비용이 최소가 되는 점을 구하고, 이 값을 기계의 최적교체주기로 결정하는 분석으로서 다음의 식(20)에 의하여 결정된다(장 등, 1993). 여기서 기계의 잔존가격은 기계구입가격의 10%로 가정한다.

$$n^* = [2 \times (P - V_s) / m]^{0.5} \dots\dots\dots (20)$$

여기서,

- n* = 최적교체주기(yr)
- P = 기계의 구입가격(Won/unit)
- Vs = 기계의 잔존가격(Won/unit)
- m = 연간유지보전비의 증가액(Won/yr)

다. 입력자료와 데이터 베이스

ESMEF의 입력자료로는 다음과 같이 4종류의

입력자료가 필요하다.

- (1) 영농자료
- (2) 농기계 모델선정자료
- (3) 포장작업성능 관련자료
- (4) 이용비용 관련자료

영농자료로는 영농규모(ha/yr), 단위면적당의 예상수확량(조곡)(kg/10a), 그리고 작업별 연간작업가능일수(day/yr)가 프로그램 사용자에게 의하여 입력된다. 이들 입력자료는 본 연구에서는 사용자의 편리를 위하여 단위면적당의 예상수확량은 농업기계연감(1992)에 의하여 640 kg/10a을 Default value로, 작업별 작업가능일수는 충남지방의 값을 Default value로 입력하였으며, 필요시 변경하여 입력할 수 있도록 프로그램 하였다.

농기계 모델선정자료는 트랙터와 부속작업기(플라우, 로타베이터), 동력이앙기, 방제기, 콤파인, 곡물건조기에 대한 자료로서 자세한 내용은 다음의 표 2, 3, 4, 5, 6과 같다. 여기에서 사용한 농기계의 모델별 구입가격은 농기구공업협동조합에서 발간한 농기계공급가격표(1993)를 사용하였고, 농기계의 작업성능 관련자료 입력에는 본 연구의 연구결과와, 농업기계검사연보(국립농업자재검사소, 1987, 1989, 1991, 1992), 장 등(1990), 이 등(1991)을 이용하였다.

Table 2. Models and data of tractor and its implement

Power No.	Maker (PS)	Part	Model	Price (1000 Won)	Loan (1000 Won)
1.	25 DongYang	Main	TL2450-P	7500	6000
		Plow	SHP-65	900	600
		Rotavator	DAR1460	1070	800
2.	35 KukJe	Main	KTE390-4WD	9395	7500
		Plow	SHP-75ACE	950	600
		Rotavator	KR1600F	1311	900
3.	40 Asia	Main	S435	13700	10000
		Plow	SHP-75ACE	950	600
		Rotavator	SHR-1720A	1400	900

委託營農을 위한 機械化 전문가 시스템 개발

4.	45	KukJe	Main	F455D	14990	13200
			Plow	SHP110ACE	1050	600
			Rotavator	G180N	1750	1100
5.	51	GoldStar	Main	GT510D	17900	14000
			Plow	YTM-3000	1100	700
			Rotavator	R/180/M	1800	1100
6.	55	Asia	Main	S455	17500	14000
			Plow	YTP4-1000N	1150	600
			Rotavator	YTR180NA	2370	1100
7.	64	DaeDong	Main	F4630	23400	18700
			Plow	UJ3PS	1600	1200
			Rotavator	TL1205A	2950	1100
8.	74	KukJe	Main	2450K	26400	18700
			Plow	3835	1700	1200
			Rotavator	G205T	3300	1100
9.	80	GoldStar	Main	80-66D	24700	18700
			Plow	YTM-4000	1800	1200
			Rotavator	ZC/205/PG	3300	1100
10.	85	DongYang	Main	895XL	31000	18700
			Plow	YTM-4000	1800	1200
			Rotavator	E230C	3580	1100
11.	105	DaeDong	Main	F7810	37400	18700
			Plow	UJ4PS	2000	1200
			Rotavator	ARMKII230A	3600	1100

Table 3. Models and data of rice transplanter

No. row	No. of	Maker	Operation method	Model	Price (1000 Won)	Loan (1000 Won)
1.	4	DaeDong	Broadcasting	DP470	1680	1400
2.	4	DaeDong	Side fertilizing	DP407F	2095	1800
3.	6	DaeDong	Riding	SI-600R	7760	6700
4.	2	Kukje	Drilling	LT-2F-D3S	1460	1300
5.	4	Kukje	Drilling	LT-4F-D2S	1848	1400
6.	4	Kukje	Broadcasting	KP-400N	1760	1400
7.	6	Kukje	Riding	RR-60	7770	6700
8.	4	DongYang	Broadcasting	PF455	1772	1400
9.	6	DongYang	Riding	PA600D-P	7455	6700
10.	4	Asia	Broadcasting	MSP-4U	1690	1400
11.	4	GoldStar	Broadcasting	GP401	1710	1400
12.	6	GoldStar	Riding	GPR680	4630	4100

Table 4. Models and data of power sprayer

Cap No. (L)	Maker	Operation method	Model	Price (1000 Won)	Loan (1000 Won)
1. 400	JungAng	Tractor-mounting	TM-400	1810	1250
2. 600	JungAng	Tractor-mounting	TD-600	2319	1600

Table 5. Models and data of combine

No. of No. row	Maker	Operation method	Model	Price (1000 Won)	Loan (1000 Won)
1. 2	DaeDong	Riding	RX1400-D	7190	5300
2. 2	DaeDong	Riding	R1-191	9090	5300
3. 3	DaeDong	Riding	R1-241A	13990	12500
4. 4	DaeDong	Riding	R1-43	21900	17000
5. 2	KukJe	Riding	CA10HWL	5950	5300
6. 3	KukJe	Riding	TC1710L	8680	7600
7. 3	KukJe	Riding	TC2000L	9490	7600
8. 3	KukJe	Riding	KC300	16500	12500
9. 4	KukJe	Riding	KC435	21900	17000
10. 2	DongYang	Riding	HL1050	6580	5300
11. 3	DongYang	Riding	HL2010	8550	7600
12. 3	DongYang	Riding	HL2500S	14780	12500
13. 4	DongYang	Riding	HL3700A	19998	17000
14. 4	DongYang	Riding	HL4500	22256	17000
15. 2	GoldStar	Riding	GC1590	8300	5300
16. 3	GoldStar	Riding	GC3220	11000	7600
17. 3	GoldStar	Riding	MC1950	9150	7600
18. 4	GoldStar	Riding	GC4290	20800	17000

Table 6. Models and data of grain dryer

Cap. No. (suk)	Maker	Operation method	Model	Price (1000 Won)	Loan (1000 Won)
1. 21	HanSung	Circulation	HSD-21T	3193	2500
2. 36	HanSung	Circulation	HSD-36T	3423	2800
3. 42	HanSung	Circulation	HSD-42T	3744	2800
4. 46	HanSung	Circulation	HSD-46S	4071	2800
5. 52	HanSung	Circulation	HSD-52S	4523	4000
6. 60	HanSung	Circulation	HSD-60S	5960	4000
7. 21	ShinHeung	Circulation	NCD-21	2985	2500
8. 36	ShinHeung	Circulation	NCD-36N	3329	2800
9. 41	ShinHeung	Circulation	NCD-41	3707	2800
10. 45	ShinHeung	Circulation	NCD-45	3914	2800

농기계의 포장작업 성능은 식(1)에 의하여 평가되는데 이 방정식에 있는 모든 변수가 표 7, 8, 9, 10에 있는 것처럼 입력자료로 사용되었다.

곡물건조기의 작업성능은 식(2)에 의하여 평가되는데 이 방정식에 있는 모든 변수가 표 11에 있는 것처럼 입력자료로 사용되었다.

Table 7. Operational data of modeled tractor and their implements

TRACTOR			S	W	Ef	U	Eu	D	Ed
1.	25-DY Main	TL2450-P							
	Plow	SHP-65	4.5	0.65	0.71	12.	0.67	45	0.82
	Rotavator	DAR1460	1.84	1.46	0.78	12.	0.70	45	0.82
2.	35-KJ Main	KTE390-4WD							
	Plow	SHP-75ACE	4.5	0.75	0.71	12.	0.67	45	0.82
	Rotavator	KR1600F	1.62	1.60	0.78	12.	0.70	45	0.82
3.	40-AA Main	S435							
	Plow	SHP-75ACE	4.5	0.75	0.71	12.	0.67	45	0.82
	Rotavator	SHR-1720A	2.34	1.72	0.78	12.	0.70	45	0.82
4.	45-KJ Main	F455D							
	Plow	SHP110ACE	3.96	1.08	0.71	12.	0.67	45	0.82
	Rotavator	G180N	2.34	1.80	0.78	12.	0.70	45	0.82
5.	51-GS Main	GT510D							
	Plow	YTM-3000	4.32	1.10	0.71	12.	0.67	45	0.82
	Rotavator	R/180/M	2.48	1.80	0.78	12.	0.70	45	0.82
6.	55-AA Main	S455							
	Plow	YTP4-1000N	4.0	1.0	0.71	12.	0.67	45	0.82
	Rotavator	YTR180NA	2.34	1.8	0.78	12.	0.70	45	0.82
7.	64-DD Main	F4630							
	Plow	UJ3PS	4.0	1.22	0.71	12.	0.67	45	0.82
	Rotavator	TL1205A	1.94	2.05	0.78	12.	0.70	45	0.82
8.	74-KJ Main	2450K							
	Plow	3835	4.0	1.12	0.71	12.	0.67	45	0.82
	Rotavator	G205T	2.34	2.05	0.78	12.	0.70	45	0.82
9.	80-GS Main	80-66D							
	Plow	YTM-4000	4.43	1.40	0.71	12.	0.67	45	0.82
	Rotavator	ZC/205/PG	2.48	2.05	0.78	12.	0.70	45	0.82
10.	85-DY Main	895XL							
	Plow	YTM-4000	4.43	1.40	0.71	12.	0.67	45	0.82
	Rotavator	E230C	2.16	2.30	0.78	12.	0.70	45	0.82
11.	105-DD Main	F7810							
	Plow	UJ4PS	5.0	1.22	0.71	12.	0.67	45	0.82
	Rotavator	ARMK11230A	2.16	2.30	0.78	12.	0.70	45	0.82

Table 8. Operational data of modeled rice transplanters

RICE TRANSPLANTER			S	W	Ef	U	Eu	D	Ed
1.	4-DD BC	DP470	1.45	1.20	0.65	12.3	0.67	20	0.86
2.	4-DD SF	DP407F	1.45	1.20	0.65	12.3	0.67	20	0.86
3.	6-DD RD	S1-600R	1.52	1.80	0.54	12.3	0.67	20	0.86
4.	4-KJ DR	LT-4F-D2S	1.45	1.24	0.65	12.3	0.67	20	0.86
5.	4-KJ BC	KP-400N	1.45	1.24	0.65	12.3	0.67	20	0.86
6.	6-KJ RD	RR-60	1.52	1.86	0.54	12.3	0.67	20	0.86
7.	4-DY BC	PF455	1.45	1.20	0.65	12.3	0.67	20	0.86
8.	6-DY RD	PA600D-P	1.52	1.86	0.54	12.3	0.67	20	0.86
9.	4-AA BC	MSP-4U	1.45	1.20	0.65	12.3	0.67	20	0.86
10.	4-GS BC	GP401	1.45	1.20	0.65	12.3	0.67	20	0.86
11.	6-GS RD	GPR680	1.52	1.86	0.54	12.3	0.67	20	0.86

Table 9. Operational data of modeled power sprayers

POWER SPRAYER			S	W	Ef	U	Eu	D	Ed
1.	400-JA Tr-mounting	TM-400	1.80	14.4	0.60	6.1	0.68	2	1.00
2.	600-JA Tr-drawing	TD-600	1.80	14.4	0.60	6.1	0.72	2	1.00

Table 10. Operational data of modeled combines

COMBINE			S	W	Ef	U	Eu	D	Ed
1.	2-DD RX1400-D		2.59	0.80	0.84	10.6	0.67	30	0.72
2.	2-DD R1-191		2.59	0.79	0.84	10.6	0.67	30	0.72
3.	3-DD R1-241A		2.95	1.18	0.83	10.6	0.67	30	0.72
4.	4-DD R1-43		3.74	1.44	0.82	10.6	0.67	30	0.72
5.	2-KJ CA10HWL		2.15	0.77	0.84	10.6	0.67	30	0.72
6.	3-KJ TC1710L		1.76	1.05	0.83	10.6	0.67	30	0.72
7.	3-KJ TC2000L		1.76	1.05	0.83	10.6	0.67	30	0.72
8.	3-KJ KC300		2.88	1.15	0.83	10.6	0.67	30	0.72
9.	4-KJ KC435		3.85	1.42	0.82	10.6	0.67	30	0.72
10.	2-DY HL1050		2.09	0.75	0.84	10.6	0.67	30	0.72
11.	3-DY HL2010		1.87	1.07	0.83	10.6	0.67	30	0.72
12.	3-DY HL2500S		2.70	1.08	0.83	10.6	0.67	30	0.72
13.	4-DY HL3700A		3.96	1.40	0.82	10.6	0.67	30	0.72
14.	4-DY HL4500		3.96	1.40	0.82	10.6	0.67	30	0.72
15.	2-GS GC1590		2.59	0.80	0.84	10.6	0.67	30	0.72
16.	3-GS GC3220		2.70	1.06	0.83	10.6	0.67	30	0.72
17.	3-GS MC1950		2.70	1.06	0.83	10.6	0.67	30	0.72
18.	4-GS GC4290		3.85	1.43	0.82	10.6	0.67	30	0.72

Table 11. Operational data of modeled grain dryers

RICE DRYER			Qr	DT	MTC	DR	U	Eu	D	Ed
1.	21-HS	HSD-21T	2100	0.48	6.8	1.06	24	0.90	32	0.72
2.	36-HS	HSD-36T	3600	0.83	9.1	0.95	24	0.90	32	0.72
3.	42-HS	HSD-42T	4200	0.97	7.3	0.79	24	0.90	32	0.72
4.	46-HS	HSD-46S	4600	1.06	9.3	0.75	24	0.90	32	0.72
5.	52-HS	HSD-52S	5200	1.20	8.9	0.80	24	0.90	32	0.72
6.	60-HS	HSD-60S	6000	1.38	9.4	0.83	24	0.90	32	0.72
7.	21-SH	NCD-21	2100	0.48	6.8	1.06	24	0.90	32	0.72
8.	36-SH	NCD-36N	3600	0.83	9.8	0.85	24	0.90	32	0.72
9.	41-SH	NCD-41	4100	0.94	7.6	0.86	24	0.90	32	0.72
10.	45-SH	NCD-45	4500	1.04	7.8	0.87	24	0.90	32	0.72

이용비용은 방정식(8)-(11)에 의하여 계산되는데 방정식의 변수들이 관련자료로 표 12-17과 같이 입력되었다.

라. 출력내용

이상과 같은 입력자료가 사용되어 ESMEF 프로그램이 수행되면 다음과 같은 내용이 출력된다.

- (1) 영농규모 (ha/yr)
- (2) 예상 단위수확량 (kg/10a)
- (3) 트랙터와 플라우 및 로타베이터 선정
- (4) 동력이앙기의 선정
- (5) 동력분무기의 선정
- (6) 콤바인의 선정
- (7) 곡물건조기의 선정
- (8) 선정된 농기계의 이용비용 분석결과
- (9) 선정된 농기계의 최적교체주기 결정 분석결과

농업기계의 선정내용에는 기계의 고유자료인 규격, 제작회사, 모델과, 기계이용관련자료인 연간작업가능일수, 손익분기 임작업료와, 선정결과인 선정기계의 대수, 구입가격, 고정비, 변동비, 총이용비용이 출력된다.

선정된 농기계의 이용비용 분석결과에는 선정

된 농기계의 대수, 구입가격, 고정비, 변동비, 총이용비용, 손익분기 임작업료, 그리고 각 비용에 대한 연간총계 및 ha당 총계가 출력된다.

마. 영농규모에 따른 기계화 시스템

1) 적정 기계화 시스템

ESMEF 프로그램에 의하여 기계화 체계를 선정할 때에는 첫번째로 사용자가 영농규모(ha/yr)를 입력하도록 되어있다. 그 다음 예상 단위수확량을 입력하여야 하는데 이때 시스템은 기존입력 값으로 조곡 640kg/10a을 보여주며 이 값의 변경필요 여부를 묻고 필요시 변경된 값을 입력하면, 각 작업단계별로 연간작업가능일수의 기존입력 값을 보여주며 값의 확인 및 변경단계를 거쳐 작업단계별 적정 농기계를 선정하게 된다. 따라서 본 연구에서는 연구의 목적상 전국에 대한 기계화 체계를 제시하지 않고, 출력에 대한 하나의 실례로 충남지방의 연간작업가능일수를 사용하여 100ha의 영농규모에 대하여 적정 기계화 체계를 선정하였으며, 그 결과 중 선정된 적정 기계화 체계의 경제성 분석 결과와 선정된 농기계의 교체주기 분석 결과를 표 18, 19에 각각 제시하였다.

2) 경제성 분석 결과

충남지방에 대한 영농규모별 적정 기계화 체계를 선정 한 후 경제성 분석을 실시한 결과는 표 20과 같다. 분석결과에 의하면, 기계구입가격의 범위는 ha당 1,344천원에서 4,829천원 까지로 나타났다으며, 위탁영농규모 60ha 이상에서는 큰차이가 없는 것으로 분석되었다. 그리고 총이용비용은 연간 ha당 3,595천원에서부터 4,537천원까

지 소요되는 것으로 나타났는데, 위탁영농규모 100ha에서 첫번째 최소이용비용이 나타났으며, 전체적으로는 200ha의 규모에서 최소이용비용이 나타났다. 이 결과에 의하면, 현재 국내에 보급된 농업기계에 의한 최적 기계화 체계는 100ha 규모의 위탁영농으로 분석되었다.

Table 12. Costs data of modeled tractors and their implements

TRACTOR			FC	Rmp	Fr (L/h)	Lr
1.	25-DY Main	TL2450-P	0.16	0.014		
	Plow	SHP-65	0.22	0.027	4.56	1
	Rotavator	DAR1460	0.22	0.025	4.37	1
2.	35-KJ Main	KTE390-4WD	0.16	0.014		
	Plow	SHP-75ACE	0.22	0.027	5.23	1
	Rotavator	KR1600F	0.22	0.025	6.38	1
3.	40-AA Main	S435	0.16	0.014		
	Plow	SHP-75ACE	0.22	0.027	5.23	1
	Rotavator	SHR-1720A	0.22	0.025	7.11	1
4.	45-KJ Main	F455D	0.16	0.014		
	Plow	SHP110ACE	0.22	0.027	3.13	1
	Rotavator	G180N	0.22	0.025	7.80	1
5.	51-GS Main	GT510D	0.16	0.014		
	Plow	YTM-3000	0.22	0.027	8.67	1
	Rotavator	R/180/M	0.22	0.025	8.02	1
6.	55-AA Main	S455	0.16	0.014		
	Plow	YTP4-1000N	0.22	0.027	9.35	1
	Rotavator	YTR180NA	0.22	0.025	8.42	1
7.	64-DD Main	F4630	0.16	0.014		
	Plow	UJ3PS	0.22	0.027	10.24	1
	Rotavator	TL1205A	0.22	0.025	10.04	1
8.	74-KJ Main	2450K	0.16	0.014		
	Plow	3835	0.22	0.027	11.84	1
	Rotavator	G205T	0.22	0.025	10.84	1
9.	80-GS Main	80-66D	0.16	0.014		
	Plow	YTM-4000	0.22	0.027	12.00	1
	Rotavator	ZC/205/PG	0.22	0.025	12.29	1
10.	85-DY Main	895XL	0.16	0.014		
	Plow	YTM-4000	0.22	0.027	12.75	1
	Rotavator	E230C	0.22	0.025	12.29	1

委託營農을 위한 機械化 전문가 시스템 개발

11. 105-DD Main	F7810	0.16	0.014		
Plow	UJ4PS	0.22	0.027	13.65	1
Rotavator	ARMKII230A	0.22	0.025	11.75	1

Table 13. Costs data of modeled rice transplanters

RICE TRANSPLANTER		FC	Rmp	Fr (g/h)	Lr
1.	4-DD BC DP470	0.19	0.050	888.7	3
2.	4-DD SF DP407F	0.19	0.050	888.7	3
3.	6-DD RD SI-600R	0.19	0.050	2164.6	4
4.	4-KJ DR LT-4F-D2S	0.19	0.050	734.7	3
5.	4-KJ BC KP-400N	0.19	0.050	734.7	3
6.	6-KJ RD RR-60	0.19	0.050	1044.7	4
7.	4-DY BC PF455	0.19	0.050	697.3	3
8.	6-DY RD PA600D-P	0.19	0.050	1750.3	4
9.	4-AA BC MSP-4U	0.19	0.050	736.1	3
10.	4-GS BC GP401	0.19	0.050	764.1	3
11.	6-GS RD GPR680	0.19	0.050	2107.4	4

Table 14. Costs data of modeled power sprayers

POWER SPRAYER		FC	Rmp	Fr (L/ps-h)	Lr
1.	400-JA Tr-mounting TM-400	0.22	0.080	0.24	4
2.	600-JA Tr-drawing TD-600	0.22	0.080	0.24	4

Table 15. Costs data of modeled combines

COMBINE		FC	Rmp	Fr (g/h)	Lr
1.	2-DD RX1400-D	0.17	0.042	3018.6	2
2.	2-DD RI-191	0.17	0.042	3449.8	2
3.	3-DD RI-241A	0.17	0.042	5041.1	3
4.	4-DD RI-43	0.17	0.042	8411.0	4
5.	2-KJ CA10HWL	0.17	0.042	2663.3	2
6.	3-KJ TC1710L	0.17	0.042	3339.4	3
7.	3-KJ TC2000L	0.17	0.042	5431.0	3
8.	3-KJ KC300	0.17	0.042	5083.0	3
9.	4-KJ KC435	0.17	0.042	8633.8	4
10.	2-DY HL1050	0.17	0.042	2288.2	2
11.	3-DY HL2010	0.17	0.042	3929.2	3

12.	3-DY HL2500S	0.17	0.042	4770.2	3
13.	4-DY HL3700A	0.17	0.042	8912.3	4
14.	4-DY HL4500	0.17	0.042	7907.0	4
15.	2-GS GC1590	0.17	0.042	4229.9	2
16.	3-GS GC3220	0.17	0.042	5732.7	3
17.	3-GS MC1950	0.17	0.042	5732.7	3
18.	4-GS GC4290	0.17	0.042	9926.4	4

Table 16. Costs data of modeled grain dryers

RICE DRYER		FC	Rmp	Fr (L/h)	Lr	Er (kW/h)
1.	21-HS HSD-21T	0.16	0.004	3.24	2	2.40
2.	36-HS HSD-36T	0.16	0.004	5.32	2	2.50
3.	42-HS HSD-42T	0.16	0.004	5.60	2	2.55
4.	46-HS HSD-46S	0.16	0.004	5.04	2	2.90
5.	52-HS HSD-52S	0.16	0.004	6.01	2	3.10
6.	60-HS HSD-60S	0.16	0.004	7.30	2	3.40
7.	21-SH NCD-21	0.16	0.004	4.48	2	2.40
8.	36-SH NCD-36N	0.16	0.004	3.10	2	2.40
9.	41-SH NCD-41	0.16	0.004	3.10	2	2.60
10.	45-SH NCD-45	0.16	0.004	2.79	2	2.80

Table 17. Economical data (October 1993)

Item	Costs
Diesel oil	180.59 ₩/L
Kerosene	230.91 ₩/L
Gasoline	292.49 ₩/L
Operator	41,203. ₩/man-day
Electricity	950. ₩/kW (Basic)
	32.4 ₩/kW (Usage)

4. 결론

본 연구에서는 위탁영농이 필요로 하는 각종 기계화 관련 자료, 영농규모별 기계화 체계 모형, 기종의 크기 및 수량결정, 기계교체분석, 기계화 영농 이용비용 분석 등을 제공할 수 있는 전문가

시스템(Expert system)으로 ESMEF를 개발하였다.

ESMEF를 이용하여 충남지방에 대한 영농규모별 적정 기계화 체계를 선정한 후 경제성 분석을 실시한 결과에 의하면, 기계구입가격의 범위는 ha당 1,344천원에서 4,829천원 까지로 나타

委託營農을 위한 機械化 전문가 시스템 개발

났으며, 위탁영농규모 60ha 이상에서는 큰 차이가 없는 것으로 분석되었다. 그리고 총이용비용은 연간 ha당 3,595천원 에서부터 4,537천원까지 소요되는 것으로 나타났는데, 위탁영농규모 100ha에서 첫번째 최소이용비용이 나타났으며, 전

체적으로는 200ha의 규모에서 최소이용비용이 나타났다. 이 결과에 의하면, 현재 국내에 보급된 농업기계에 의한 최적 기계화 체계는 100ha 규모의 위탁영농으로 분석되었다.

Table 18. Economic analysis for the selected machinery systems

UNIT : 1000 WON

Item	No. of unit	Price	Fixed costs	Variable costs	Total costs
Entrusted farming area of paddy field (ha/yr) : 100.0					
Production of paddy rice (kg/10a) : 640.0					
Tractor	2	49400.0	7904.0		31402.3
Plow	2	3600.0	792.0	10023.5	10815.5
Break-even point of custom work(WON/ha-unit) :				72.8	
Rotavator	2	6600.0	1452.0	11230.8	12682.8
Break-even point of custom work(WON/ha-unit) :				84.2	
Planter	7	12320.0	2340.8	106800.4	109141.2
Break-even point of custom work(WON/ha-unit) :				155.9	
Sprayer	8	14480.0	3185.6	54712.6	57898.2
Break-even point of custom work(WON/ha-unit) :				72.4	
Combine	2	39996.0	6799.3	38564.8	45364.1
Break-even point of custom work(WON/ha-unit) :				226.8	
Dryer	3	17880.0	2860.8	114733.0	117593.8
Break-even point of custom work(WON/ha-unit) :				392.0	
Break-even point of custom work(WON/kg) :				184	
Total costs (WON/yr)		144276.0	25334.5	336065.1	361399.7
(WON/ha-yr)		1442.8	253.3	3360.7	3614.0

Table 19. Replacement analysis of farm machinery systems

UNIT : 1000 WON

Item	No. of unit	Price	Total costs	Optimal replacement period(yr)
Entrusted farming area of paddy field (ha/yr) : 100.0				
Production of paddy rice (kg/10a) : 640.0				
Tractor 80 PS GoldStar	2	49400.0	31402.3	4

80-66D Plow	2	3600.0	10815.5	3
YTM-4000 Rotavator	2	6600.0	12682.8	3
ZC/205/PG				

Planter 4 row Kukje KP-400N Broadcasting	7	12320.0	109141.2	4

Sprayer 400 liter JungAng TM-400 Tractor-mounting	8	14480.0	57898.2	3

Combine 4 row DongYang HL3700A Riding	2	39996.0	45364.1	4

Dryer 60 surk HanSung HSD-60T Circulation	3	17880.0	117593.8	7

Table 20. Costs of optimum machinery systems for different farming areas
(unit: 1000₩/ha-yr)

Farming area (ha/yr)	Purchasing costs	Fixed costs	Variable costs	Total costs	Remark
5	4828.8	842.9	3694.1	4537.0	
10	2619.0	454.2	3654.9	4109.1	
20	2544.4	441.6	3412.9	3854.6	
40	1848.9	322.9	3362.0	3684.8	
60	1493.5	260.7	3396.1	3656.8	
80	1736.8	303.3	3360.7	3664.0	
100	1442.8	253.3	3360.7	3614.0	*
120	1545.1	270.8	3360.7	3631.4	
140	1492.7	261.6	3360.7	3622.3	
160	1377.0	241.9	3360.7	3602.6	
180	1409.4	247.3	3360.7	3608.0	
200	1334.0	234.7	3360.7	3595.3	**

참 고 문 헌

1. 국립농업자재검사소. 1992. 농업기계검사연보.

2. 국립농업자재검사소. 1991. 농업기계검사연보.

3. 국립농업자재검사소. 1989. 농업기계검사연보.

4. 국립농업자재검사소. 1987. 농업기계검사연보.
5. 이운룡, 김성래, 정두호, 장동일, 이동현, 최광재. 1991. 농기계 투입모형 설정 및 기계이용비용 분석연구-수학적 모델 개발. 농시논문집(잡업, 농기계, 농이편) 33(2) : 40-50.
6. 이운룡, 김성래, 정두호, 장동일, 이동현, 김유학. 1991. 농기계 투입모형 설정 및 기계이용비용 분석연구-PC용 프로그램 개발. 한국농업기계학회지 16(4) : 284-298.
7. 장동일, 김성래, 정두호. 1990. 기계화 영농단의 규모별 적정기종 선정 연구. 한국농업기계학회 15(3) : 244-256.
8. 장동일, 김성래, 김만수. 1993. 위탁영농을 위한 기계화 전문가 시스템 개발. 산학협동연구보고서. 한국농업기계학회.
9. 정창주, 류관희, 장동일, 조성인, 이충용. 1993. 농업기계이용효율 제고를 위한 경지정리의 기초설계기술개발에 관한 연구. 연구보고서. 농림수산부, 농어촌진흥공사.
10. 한국농기구공업협동조합. 1993. 농기계공급가격표
11. 한국농업기계학회. 1994. 농업기계연감.
12. Barrett, J.R. and D.D. Jones. 1989. Knowledge Engineering in Agriculture. ASAE Monograph No.8, ASAE, St. Joseph, MI.
13. Clarke, N.D., G.E. Miles, J.R. Barrett, E.P. Christmas and D.H. Doster. 1990. Coupled expert system and simulation to assess crambie production. Applied Engineering in Agriculture 6(5) : 661-666.
14. Freeman, S.A. and P.D. Ayers. 1989. An expert system for tractor selection. Applied Engineering in Agriculture 5(2) : 123-126.
15. Huggins, Larry F., John R. Barrett and Don D. Jones. 1986. Expert systems : concepts and opportunities. Agricultural Engineering 67(1) : 21-23.
16. Jones, James W. 1985. Using expert systems in agricultural models. Agricultural Engineering 66(7) : 21-23.
17. Jones, Pierce and Jack Haldeman. 1986. Management of a crop research facility with a microcomputer-based expert system. Transactions of the ASAE 29(1):235-242.
18. Morrow, C.T., P.N. Walker, P.H. Heine-mann, J.M. Carson, and C.A. Zuritz. 1989. An expert system for selecting grain bins. ASAE Paper No. 89-7040. ASAE. St. Joseph, MI.
19. Perry, C.D., D.L. Thomas, M.C. Smith and R. W. McClendon. 1990. Expert system-based coupling of SOYGRO and DRAINMOD. Transactions of the ASAE 33(3) : 991-997.
20. Whittaker, A.D., D.D. Jones, R.H. Thieme and J.R. Barrett. 1987. Guidelines for getting started with expert systems. Agricultural Engineering 68(5) : 24-27.