

대 주 제

저비용 · 고효율 농업기계화의 추진방향

류 관 희 교수 / 서울대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부

저비용·고효율 농업기계화의 추진방향

류 관 희 교수

서울대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부

I. 서 언

우리나라는 1970년대 이후 급속한 경제성장으로 농촌노동력이 도시로 유출됨으로써 농가인구의 비율이 1950년대 50%에서 1997년말 현재 11%로 급격히 감소하였다. 그 동안 정부는 도시유출에 따른 농촌노동력의 부족에 대처하기 위하여 농업기계화를 적극적으로 추진하여 왔으며, 그 결과 현재 수도작의 농작업 기계화율은 건조 작업을 제외하고는 거의 100% 달성되었다.

그러나, 그 동안의 농업기계화는 수확 이전의 포장작업에만 치중하였으며, 기계화의 내용도 인력 또는 축력을 동력으로 대체한 것에 불과하며 노동생산성과 토지생산성이 선진국에 비하여 낮은 수준에 있다. 예를 들면, 수도작의 경우 1ha 당 노동투하량이 미국은 1.5시간인데 비하여 우리나라는 45시간으로 노동생산성이 매우 낮은 실정이다. 또한 토마토의 경우 네덜란드의 1 m² 당 연간 생산량이 42kg인데 비하여 우리나라는 4kg으로 토지생산성이 매우 낮다. 또한 수도작 이외의 전작, 과수, 채소, 시설농업, 축산 등에서의 기계화는 여전히 초기 단계에 머물고 있는 실정이다.

정부는 WTO체제의 출범에 따른 농산물 수입개방에 대처하기 위하여 1992년부터 농어촌구조개선사업의 일환으로 농업기계화 및 시설자동화를 적극 추진하여 왔다. 그러나, 1997년말 환율 폭등과 이에 따른 IMF 경제 한파로 농업생산비는 대폭 상승한 반면, 소비심리의 위축으로 농산물 가격은 오히려 하락함으로써 우리나라의 농업은 심각한 위기에 처해 있으며, 이에 따라 농업기계 산업도 큰 어려움에 직면하고 있다.

더욱이 리우선언 등 환경보전을 위한 국제규범이 발효되고 WTO 등에서는 환경과 무역을 연계시키려는 움직임이 본격화되고 있어 저투입·지속가능한 친환경 농업에 대한 관심이 국내외적으로 크게 확산되고 있는 추세에 있다.

따라서, 개방화·국제화의 국내외적 여건에서 우리나라의 농업이 다른 산업과 마찬가지로 국제적으로 경쟁력이 있는 산업으로 발전하기 위해서는 농업생산비를 감소시켜 농업경영수지를 개선함과 동시에 환경보전에 기여할 수 있는 저비용·고효율 농업기계화의 추진 방안을 모색할 필요가 있다.

II. 농업기계화의 의의

인류 역사에서 농업을 획기적으로 발전시킨 요소로 다음의 8가지를 열거할 수 있다. 즉, 관개수의 이용, 축력의 이용, 종자 및 생산물의 교역, 화학비료의 이용, 유전원리의 이용, 동력의 이용, 농약의 이용, 생물공학의 이용 등으로 농업은 혁신을 거듭해 왔다. 동력을 이용하면서부터 농업은 본격적으로 기계화되었으며, 기계화에 따라 다른 요소들도 더욱 효율을 높일 수 있게 되었다.

농업기계화의 의의는 토지생산성 및 노동생산성의 향상, 중노동의 탈피 등이 다.

1. 토지생산성의 향상

농업의 기계화는 토지생산성, 즉 단위 토지면적당 생산량을 증대하는데 기여한다. 예를 들면, 심경, 심층시비, 균일한 파종 및 관개배수에 의한 증산 효과, 약제살포를 효과적으로 실시함으로써 얻어지는 병충해방제의 효과, 수확작업의 능률화와 과학화를 통한 손실방지의 효과, 적기작업과 토지이용율의 증가에서 얻어지는 효과 등과 같이 기계화에 의해 얻을 수 있는 증산효과는 막대하다.

<표 1>은 1965년 이후 30년간의 논벼, 보리 및 콩에 대한 토지생산성(kg/10a)의 변화를 나타낸 것이다. 논벼의 10a당 수량은 정곡으로 1965년 289kg에서 1995년 54kg으로 54% 증가하였으며, 연평균 증가율은 1.8%에 이른다. 보리의 10a당 수량은 1965년 176kg에서 1995년 280kg으로 59% 증가하였으며, 연평균 증가율은 2.0%에 이른다. 또한, 콩의 10a당 수량은 1965년 57kg에서 1995년 152kg으로 무려 167% 증가하였으며, 연평균 증가율은 5.6%에 이른다.

<표 1> 주요 작물의 토지생산성(단위면적당 수량) 변화

구 분		1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995
논 벼	10a당 수량(kg)	289	330	386	289	456	451	445
	지 수	100	114	134	100	158	156	154
보 리	10a당 수량(kg)	176	195	217	241	254	254	280
	지 수	100	111	123	137	144	144	159
콩	10a당 수량(kg)	57	79	113	115	150	153	152
	지 수	100	139	198	202	263	268	267

자료 : 농림수산주요통계(1996)

주 : 정곡 기준

2. 노동생산성의 향상

농업의 기계화는 노동생산성, 즉 단위 노동력당 생산량을 높이는데 크게 기여한다. 농업의 기계화는 농작업의 능률화와 생력화를 통하여 단위노동력의 경영면적을 확대시킬 수 있다. 예를 들면, 한 사람이 축력으로 쟁기작업을 하는 경우와 트랙터로 폭이 넓은 쟁기를 사용하여 작업할 때, 후자가 노동생산성이 크다는 것을 알 수 있다.

<표 2>는 1965년 이후 30년간의 농업조수입 및 노동생산성의 변화 추세를 나타낸 것이다. 농업조수입은 30년 동안 138배 증가하여 연평균 증가율은 460%에 이른다. 반면, 노동생산성은 30년 동안 196배 증가하여 연평균 증가율은 650%에 이른다. 이와 같이 노동생산성의 증가율이 농업조수입의 증가율에 비하여 높은 것은 농업기계화의 효과에 기인한다.

노동생산성의 향상은 생산비를 절감하는데 기여한다. 경제발전에 따른 산업화와 도시화는 필연적으로 많은 농촌인구의 도시유출을 유발함으로써 농촌노동력이 부족해져 노임의 상승을 초래한다. 도시로 유출되는 노동력의 대부분이 젊은

층이므로 농촌노동력이 노령화, 부녀화됨으로써 노동력의 질적 감퇴를 초래한다. 인력이 주축인 재래 농업에서 인건비의 상승은 곧 농업경영비를 상승시키는 원인이 되어 결과적으로 농업수익을 감소시키게 된다. 이 경우 농업기계의 도입은 농업경영비를 감소시켜 생산비를 절감할 수 있다.

<표 2> 농업조수입 및 노동생산성의 변화

구 분		1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995
농 업 조수입	금액(원/농가)	115,991	248,064	890,954	2,342,169	5,476,908	9,077,953	16,011,701
	지 수	100	214	768	2,019	4,722	7,826	13,804
노 동 생산성	금액(원/시간)	48	121	511	1,274	2,318	4,932	9,387
	지 수	100	252	1,065	2,654	4,829	10,275	19,556

자료 : 농림수산부 농림수산주요통계(1996)

3. 중노동의 탈피

농업은 다른 산업에 비하여 힘든 육체적 노동이 필요하며, 먼지가 나고 무덥고 추운 자연 환경, 무논 등 악조건에서 중노동을 한다. 농업의 기계화는 작업자를 중노동으로부터 탈피시키며, 노동투하시간을 감소시켜 노동부담을 경감한다.

<표 3>은 주요 작물의 노동투하시간을 나타낸 것이다. 논벼의 농가당 노동투하시간은 1965년 837.35시간에서 1995년 265.07시간으로 무려 316% 감소하였으며, 연평균 감소율은 10.5%에 이른다. 보리의 농가당 노동투하시간은 1965년 382.71시간에서 1995년 11.26시간으로 무려 3,399% 감소하였으며, 연평균 감소율은 113.3%에 이른다. 콩의 농가당 노동투하시간은 1965년 119.93시간에서 1995년 44.35시간으로 270% 감소하였으며, 연평균 감소율은 9.0%에 이른다.

농업의 기계화는 잉여 농촌노동력을 타산업에 제공함으로써 경제발전에 기여한다. <표 4>는 1965년 이후 30년간의 총취업인구와 농림취업인구의 변화추세를 나타낸 것이다. 총취업인구는 1965년 811.2만명에서 1995년 2,037.7만명으로

151% 증가하여 연평균 증가율은 약 5%에 이른다.

반면, 농림취업인구는 1965년 453.8만명에서 1995년 242.4만명으로 거의 절반으로 감소하여, 연평균 감소율은 1.6%에 이른다. 즉 농림업에 종사하던 취업인구가 매년 7만명씩 타산업으로 유출되었음을 의미한다.

<표 3> 주요 작물의 노동투하량 변화(농가 평균)

구 분		1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995
논벼	노동투하시간(h/농가)	837.35	760.13	563.68	596.30	616.57	474.79	265.07
	지 수	100	-110	-149	-140	-136	-176	-316
보리	노동투하시간(h/농가)	382.71	293.78	224.55	101.23	60.47	38.77	11.26
	지 수	100	-132	-170	-378	-633	-987	-3,399
콩	노동투하시간(h/농가)	119.93	123.09	90.87	76.52	70.48	69.83	44.35
	지 수	100	103	-132	-157	-170	-172	-270

자료 : 농가경제통보(1966~1996)

<표 4> 취업인구의 변화(1965~1995)

구 분		1965	1975	1985	1995
총취업인구	인구(천명)	8,112	11,692	14,970	20,377
	지 수	100	144	185	251
농림취업인구	인구(천명)	4,538	5,041	3,554	2,424
	지 수	100	111	78	53

농림통계연보(1966~1996)

Ⅲ. 저비용·고효율 농업기계화의 필요성

1. 농업기계의 이용률 감소

우리나라는 1960년대 이후 지속적인 경제성장과 도시화로 많은 농촌인구가 도시로 유출됨으로써 농촌노동력의 부족과 노임 상승을 가져왔고, 더욱이 농촌노동력이 노령화, 부녀화됨으로써 노동력의 질적 감퇴를 가져왔다. 인력이 주축인 재래 농업에서 인건비의 상승은 곧 농업경영비를 상승시키는 원인이 되어 결과적으로 농업수익을 감소시키게 된다.

우리나라의 농업기계화는 1961년 동력경운기가 농가에 보급되면서부터 시작되었다고 할 수 있다. 1970년대 중반 이후 급속한 경제성장과 도시화로 인한 농촌노동력의 부족과 급격한 임금 상승을 극복하기 위해 동력경운기가 확대 보급되었고, 정부의 식량증산 정책의 일환으로 동력방제기, 양수기 등 재해대책 기종의 확대보급으로 농업기계화가 진전되었다. 1970년대 후반부터는 노동피크를 해소하기 위한 이앙기, 수확기가 보급되면서 1980년대에는 수도작의 일관 기계화가 크게 진전되었다. 그 결과, <표 5>에서 보는 바와 같이 벼농사의 경우 건조 작업을 제외한 농작업의 기계화율은 거의 100%에 이른다.

농업기계는 대형화, 고성능화될수록 노동비는 감소하는 반면 기계 비용은 증가하지만, 이 두 가지를 합한 비용은 대규모 경영일수록 감소하는 것이 일반적이다. 따라서, 1980년대말부터는 농업기계가 점차 승용화, 고속화, 대형화, 자동화되는 추세에 있다. 보행형 4조 이앙기가 승용형 6조 이앙기로, 저속 3조 콤바인이 고속 4조 콤바인으로 수요가 확대되고 있으며, 승용 트랙터도 30마력 내외에서 50마력 이상 100마력까지 대형화되고 있다.

그러나, 농업기계화가 진전됨에 따라 농업기계의 보급대수가 증가하여 농업기계의 대당 작업면적은 <표 5>에서 보는 바와 같이 1988년 이후 계속 감소함으로써 농업기계의 이용률이 저하하는 경향을 나타내고 있다.

<표 5> 주요 기계의 해당 작업면적과 주요 농작업의 기계화율

연 도	주요 기계의 해당 작업면적				주요 농작업의 기계화율				
	동력경운기	트랙터	이앙기	콤바인	경운정지	이 앙	방 제	수 확	건 조
1986	3.4	18.7	4.9	11.1	70	28	79	27	3
1988	3.9	22.7	5.3	15.9	80	54	87	53	10
1990	3.2	19.6	4.4	11.3	84	78	93	72	15
1992	2.6	18.5	4.3	11.5	91	89	92	84	18
1994	1.9	17.3	3.6	10.3	96	93	94	91	26
1995	1.6	16.6	3.5	9.7	97	97	97	95	32

자료 : 농림부 및 한국농기계공업협동조합

2. 기계 비용의 증가

농업을 기계화하면 농가경영비 중 노임비는 감소하는 반면 농기구비와 영농광열비가 증가함으로써 농가 경영규모가 기계의 부담면적보다 작아질수록 농가경영비가 증가하여 농가수익을 감소시킬 우려가 있다.

<표 6>에서 보는 바와 같이 1965년부터 1995년까지 30년 동안 농업조수입은 약 138배 증가한 반면, 농가경영비는 약 204배 증가하였다. 농가경영비의 증가비율이 농업조수입의 증가비율보다 높은 것은 농가수익률의 감소를 의미한다. 농가경영비에 대한 농기구비, 영농광열비 및 노임비의 비율을 살펴보면, 농기구비와 영농광열비는 계속 증가한 반면, 노임비는 오히려 감소하였음을 알 수 있다. 이는 기계화의 진전에 따라 노동력이 크게 절감된 반면 기계 비용과 에너지 비용은 오히려 증가하였기 때문이다. 따라서, 농가경영비를 감소하기 위해서는 농기구비를 낮추는 것이 중요한 과제임을 알 수 있다.

<표 6> 농업조수입, 농가경영비, 농기구비 및 광열비(농가 평균값)의 변화 추세

구 분		1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995
농 업 조 수 입	금 액	116,000	248,064	891,000	2,342,169	5,476,908	9,077,953	16,011,701
	지 수	100	214	768	2,019	4,722	7,826	13,803
농 가 경 영 비	금 액	27,179	54,027	176,116	587,353	1,777,972	2,814,064	5,542,643
	지 수	100	199	648	2,161	6,542	10,354	20,393
농기구비	금 액	439	1,773	8,244	42,566	158,256	332,558	807,367
	비 율	1.6	3.3	4.7	7.2	8.9	11.8	14.6
영 농 광 열 비	금 액	93	371	1,719	14,857	43,274	54,678	146,171
	비 율	0.3	0.6	1.0	2.5	2.4	1.9	2.6
노 임 비	금 액	7,565	13,604	37,150	107,023	206,597	281,448	441,107
	비 율	27.8	25.2	21.1	18.2	11.6	10.0	7.9

자료 : 농림통계연보(1966~1996)에서 발췌하여 작성한 것임.

주 : 비율은 농가경영비에 대한 농기구비, 영농광열비, 노임비의 비율임.

<표 7>에서 보는 바와 같이 트랙터는 크기가 대형일수록 단위면적당 연료소비량이 많을 뿐만 아니라, 기계가격이 비싸다. 따라서, 농가 경영규모가 트랙터의 부담면적보다 작을 경우 기계비용이 높아질뿐만 아니라, 연료비용이 증가하여 농업생산비가 증가할 우려가 있다.

따라서, 대형의 고성능 기계에 의한 농업기계화는 경지의 대규모화와 경영규모의 확대를 통한 기계이용율을 제고하여 농업생산비를 절감할 수 있도록 추진되어야 한다. 즉, 농업기계는 지역의 농업적 여건, 토양·지형적 조건, 사회·경제적 여건에 부합되어야 한다. 이러한 여건에 맞는 기계일 경우에 작업능률과 이용효율이 극대화되고 생산비가 절감된다.

<표 7> 경운정지 작업에서의 기계가격과 연료소비량

작업	작업기명	트랙터 유형	작업폭 (m)	작업능력 (ha/h)	연료소비량 (ℓ/ha)	기계가격 (천엔)	
						트랙터	작업기
경운	로터리	I	1.6	1/5.3	26	2,687	465
		II	1.8	1/4.1	32	3,357	576
		III	2.4	1/3.1	37	4,698	910
정지	균평 정지기	I	2.2	1/2.2	9	2,687	355
		II	2.8	1/1.9	11	3,357	520
		III	3.3	1/1.6	14	4,698	657
경운+ 정지	-	I	-	1/7.5(100)	35(100)	3,507(100)	
		II	-	1/6.0(125)	43(123)	4,453(127)	
		III	-	1/4.7(159)	51(146)	6,265(179)	

주 : 트랙터 유형 ; I = 30PS 급, II = 40~50PS 급, III = 60~80PS 급

3. 에너지 투입량의 증대

농업은 노동력, 기계, 농약, 비료 등의 간접 에너지와 연료 및 전기 등의 직접 에너지를 이용하여 농산물을 생산한다. 농산물의 산출 에너지를 총투입에너지로 나눈 에너지 효율은 농업의 기계화의 진전에 따라 높아지는 것이 아니라 오히려 감소하는 경향이 있다.

<표 8>은 미국 코넬대학교의 David Pimental 등이 발표한 미국의 옥수수 생산에서 에너지 분석 결과를 나타낸 것이다. 1945년부터 1970년까지 25년 동안 총투입에너지는 약 3배 증가한 반면, 산출에너지는 약 2.4배 증가하는데 그침으로써 에너지 효율은 1945년 3.23에서 1970년 2.52로 오히려 감소한 것으로 나타났다. 이는 다수확을 위해 질소질 비료를 많이 사용하고 기계의 대형화에 따라 기계의 간접에너지와 연료의 직접에너지가 증가하였기 때문이다.

따라서, 앞으로는 생산비의 절감은 물론 대기 및 토양오염, 이산화탄소에 의한 지구 온난화 등을 방지하기 위해 저투입·고효율 농업기계화 기술을 도입할 필요가 있다.

<표 8> 미국의 옥수수 생산에서의 에너지 투입(kcal/ha)

투 입	1945	1950	1954	1959	1964	1970
노동력	31,022	23,947	22,859	19,049	14,695	11,974
기계	444,600	617,500	741,000	864,500	1,037,400	1,037,400
연료	1,339,800	1,521,630	1,703,460	1,789,590	1,885,290	1,971,420
질소	140,800	299,200	528,000	809,600	1,144,000	2,200,000
인산	25,520	35,090	41,470	57,420	63,800	111,650
加里	13,200	24,200	44,000	74,800	101,200	147,400
중요	77,440	91,520	112,640	133,760	147,840	147,840
관개	103,740	128,440	148,200	170,430	187,720	187,720
농약	0	2,662	8,228	18,876	27,104	27,104
제조제	0	1,452	2,662	6,776	10,406	27,104
건조	9,980	34,580	74,100	163,020	247,000	296,400
전기	79,040	133,380	247,000	345,800	501,410	765,700
운반	49,400	74,100	111,150	148,200	172,900	172,900
총투입에너지	2,314,442 (100)	2,987,701 (129)	3,784,769 (164)	4,601,821 (199)	5,540,765 (239)	7,104,612 (303)
옥수수 수량 "산출에너지"	7,504,640 (100)	8,388,160 (112)	9,053,440 (121)	11,922,240 (159)	15,012,800 (200)	17,881,600 (238)
에너지 효율	3.24	2.81	2.39	2.59	2.71	2.52

주 : 1. 산출에너지는 옥수수 수량을 에너지로 환산한 값임.

2. 에너지 효율 = 산출에너지/총투입에너지

자료 : 고희균. 1983. 농작업 에너지의 효율적 이용

4. 농업용 유류 소비량의 증가

<표 9>에서 보는 바와 같이 1990년대에 들어 동력 농업기계의 보유대수가 연평균 4.4%씩 증가하여 왔다. 농업용 면세유의 사용량은 연평균 19.2%씩 증가하여 왔으며, 유류 가격의 인상으로 농업용 면세유의 공급액은 연평균 26.2%씩 증가하여 왔다.

1996년도 농업용 면세유 공급량은 1,837kℓ로 전체 에너지 소비량의 2.7%를 차지하고 있으며, 석유류의 인상으로 에너지 비용 부담이 크게 증가하고 있다. 참고로 경유의 가격은 1997년 8월 255원/ℓ 이던 것이 1997년말의 외환위기로 1998년 1월 589원/ℓ로 인상되어 인상율은 무려 131%나 되었으며, 최근에는 315원/ℓ로 안정되었으나 1997년 3월에 비해서는 24% 인상된 가격이다.

<표 9> 농업기계 보유대수 및 면세유 공급 실적

구 분	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	연평균 증가율 (%)
동력농기계(천대)	2,475	2,594	2,679	2,778	2,921	3,043	3,201	4.4
농업용 면세유 공급량 (천kℓ)	640	729	980	1,141	1,238	1,385	1,837	19.2
농업용 면세유 공급금액(억원)	1,048	1,246	1,747	2,270	2,268	2,688	4,243	26.2

자료 : 농림부 업무자료

<표 10>에서 보는 바와 같이 1992년 이후 온실 면적이 연평균 9.9%씩 증가하고, 겨울채소의 수요 증가로 온실 가온면적은 연평균 30.1%씩 증가하였으며, 온실 가온면적이 늘어남에 따라 온풍난방기 보급대수가 연평균 38.3%씩 증가하여 왔다. 시설원예의 유류 소비량은 연평균 40.2%씩 증가하였으며, 경유 가격의 인상에 따라 난방용 유류 공급금액은 연평균 46.9%씩 증가하여 왔다.

1996년도 온실난방용 유류 소비량은 737kℓ로서 농업용 면세유 소비량의 40%

를 차지할 정도로 큰 비중을 차지하고 있으며, 환율인상에 따라 가격이 크게 인상됨으로써 온실 가온용 에너지 대책이 시급한 실정이다.

우리나라 시설원예의 가온면적을 10,000ha로 보면 ha당 연간 평균 73kℓ가 소비된 것으로 현재의 경유 가격(315원/ℓ)으로 난방비용은 연간 2,300만원에 이른³⁴다.

<표 10> 시설원예의 가온면적과 유류 소비의 변화 추세

구 분	1992	1993	1994	1995	1996	연평균 증가율 (%)
온실 면적 (ha)	29,258	33,448	37,801	40,077	42,669	9.9
가온 면적 (ha)	2,794	4,538	6,194	6,858	8,007	30.1
온풍난방기 (대)	13,731	23,749	33,810	42,153	50,272	38.3
유류소비량(천ℓ)	191	343	491	614	737	40.2
유류 공급금액(억원)	301	605	823	1,103	1,400	46.9

자료 : 한국시설원예연구회, 1998. 시설원예 석유 대체 에너지 이용기술에 관한 세미나 발표문.

5. 환경보전 운동의 확산

저투입의 지속가능한 친환경농업의 중요성이 국내외적으로 확산되는 추세에 있으며, 리우선언 등 환경보전을 위한 국제규범이 발효되고 WTO 등에서는 환경과 무역을 연계시키려는 움직임이 본격화되고 있다. 우리나라에서도 환경농업 육성법이 1997년에 제정되었으며, 시행령 및 시행규칙이 1998년 12월 중에 공포될 예정이므로 이에 대한 대책이 필요하다.

친환경농업을 위해서는 농약, 비료 등 화학 약제의 투입을 최소화하고, 탄산가스 방출량을 최소화하여야 하므로 연료를 절감하고 청정 에너지를 이용할 수 있는 기계화 체계 및 기계의 개발이 필요하다.

IV. 저비용, 고효율 농업기계화 추진 방안

1. 기본 방향

(1) 기계 비용 및 에너지 비용 절감

농가소득을 증대하기 위해서는 농가경영비중 농업기계의 보급대수 증대에 의해 증가되고 있는 농업경영비 중 기계 비용 및 에너지 비용을 절감할 수 있어야 한다.

(2) 생활·노동 환경의 개선

저비용·고효율 농업기계화를 추진한다고 하여 생활 및 노동 환경의 후퇴가 초래되는 것은 피해야 한다. 즉, 보행 기계가 승용 기계보다 기계 비용이 싸다고 하여 보행 기계를 사용하게 한다면 노동환경의 질과 수준이 낮아지므로 사회·경제발전의 측면에서 받아들이기 곤란하다. 따라서, 생활 및 노동의 질적 향상을 도모하면서 기계 비용 및 에너지 비용을 절감할 수 있어야 한다.

(3) 지구 환경 보전

에너지 절감을 위한 생에너지 기술 및 시스템 개발은 2차적인 환경오염의 발생 등 역기능을 갖지 않아야 한다. 즉 종래의 기술과 시스템에 비하여 탄산가스나 환경오염 물질의 배출량을 감소시킬 수 있어야 한다. 현장에 적용되는 기술 및 시스템이 개별농가에게 생에너지 효과가 크더라도 지구 전체, 농업사회 전체에 미치는 환경파괴, 환경오염 등의 영향이 크다면 수용될 수 없다. 따라서, 생에너지 기기류가 폐기물이나 오염물질을 배출할 경우에는 그 회수 처리기술도 동시에 개발되어야 하며 소요비용도 반드시 고려되어야 한다.

(4) 자원 절약 및 재활용

에너지 절감을 위한 기계화 시스템은 자원의 재이용이나 재생가능한 자원의 이용을 도모할 필요가 있다. 이미 개발된 대체 열원, 자연 에너지 이용, 난방비

용 절감 시스템의 개발 등은 대부분 만족스럽지만, 재생·재이용이 환경 오염이나 사용 에너지 총량의 증대를 초래하고 있는 경우도 있다. 자원의 재활용에 있어 경제 원칙만을 주요 판단기준으로 고려하면 이 점이 간과될 수 있으므로 에너지와 자원 및 노동력의 절약과의 상호 연관성을 반드시 고려하여야 한다.

2. 추진 방안

(1) 저비용·고효율 기계화 기술체계의 도입

적정한 크기의 기계 도입, 기계의 효율적인 이용, 작업의 효율화 등 기계 비용을 절감하기 위한 저비용 기계화 기술체계의 도입을 추진한다.

(가) 기계화 체계는 전업농가의 상황, 포장조건 등에 따라 최적규모로 하며, 과잉투자를 막기 위하여 생산자 조직에 있어서도 필요에 따라 다른 경영체와 농업기계를 공유하거나 위탁영농회사를 활용한다.

(나) 작물의 종류, 경영규모 및 구획의 크기에 가장 효율적인 작업기의 조합에 의한 기계화 일관체계를 도입한다.

(다) 작업적기내에 농업기계를 효율적으로 이용하기 위하여 지역조건에 맞는 공동이용, 작업분담 등 농업기계 이용체제를 확립함과 동시에 보조 노동력을 포함시킨 노동력의 적정배치에 의해 계획적인 작업을 실시한다.

(라) 기계화 체계의 1일 작업 중 포장간 이동에 따른 손실을 제거하여 효율적인 가동에 지장이 없는 포장 구획이 확보되도록 영농단지화를 추진한다.

<표 11>은 일본에서 연구발표된 기계화 체계별 재배방법별 생산비를 비교하여 나타낸 것이다. 생산비 총액이 가장 적은 기계화 체계는 무경운 건답직파이며, 농기구비가 가장 적은 기계화 체계는 대구획 대형기계화 체계의 무경운 치묘이앙이다. 반면, 연료에너지 비용이 가장 적은 기계화 체계는 표준구획의 중형 기계화 체계의 치묘이앙이다. 이와 같이 기계 비용 및 연료에너지 비용은 기계화 체계별, 재배방법별로 차이가 많으므로, 지역 및 농가 또는 생산자 조직에 알맞는 기계화 체계 및 재배방법의 도입이 필요하다.

<표 11> 기계화 체계별 재배방법별 생산비 비교

(단위 : 엔/ha, 시간/ha)

구 분	대구획 대형기계화 (부담면적=30ha)		표준구획 중형기계화 (부담면적=7ha)	표준구획 중형기계화 (부담면적=10ha)	직 파 재 배	
	치묘이앙	무경운 치묘이앙	치묘이앙	유묘이앙	무 경 운 건답직파	경 운 무논직파
생산비 총액	890,109	805,132	976,016	1,099,790	789,613	935,355
생산비중 농기구비	393,719	357,699	525,986	586,769	498,431	634,039
생산비중 노동비	75,680	72,820	148,291	110,110	55,660	65,010
총작업시간	68.8	66.2	134.81	100.1	49.2	88.3
연료에너지비용	33,870	29,133	28,477	33,071	28,581	33,048

자료 : 일본 농업기계학회, 1995. “환경보전형 농업기술의 생산코스트”

<표 12>는 일본에서 연구발표된 병충해 방제 및 제초 작업체계의 기종별 기계 비용을 비교하여 나타낸 것이다. 배부식 동력살분무기가 가장 비용이 적게 드는 반면, 무인 헬리콥터가 가장 비용이 비싼 것으로 나타났다. 배부식 동력살분무기 다음으로는 승용관리기가 비용이 가장 싼 것으로 나타났다. 몇년전에 무인 헬리콥터의 개발보급에 관한 논란이 있었는데, 이 연구결과는 농업기계화의 추진에 타산지석이 되어야 할 것이다.

비용면에서는 배부식 동력살분무기가 가장 싸다고 하더라도 작업자의 노동부담과 건강을 함께 고려한다면 유인 헬리콥터나 무인 헬리콥터보다는 승용관리기가 더 적합하다고 할 수 있다.

<표 12> 기종별 관리작업 비용 비교

구 분	작 업 명	동력살분무기 (배부식)	승용관리기	무 인 헬리콥터	유 인 헬리콥터
노동시간 (인·시/ha)	추 비 (2회)	3.6	2.6	[3.6]	-
	제초제살포(1회)	0.9	0.8	1.7	-
	병충해방제(3회)	2.7	2.4	5.1	-
	계	7.2	5.8	10.4	-
기계가격(천엔)		116	2,500	7,500	-
고정비율 (%)		27.5	27.3	30.0	-
부담면적 (ha)		10	30	56	-
ha당 경비(천엔)		3	23	40	29

- 주 : 1. 무인헬리콥터에 의한 추비작업은 곤란하기 때문에 추비살포는 배부식동력살분무기로 하는 것으로 하였음.
 2. 무인헬리콥터만은 2인 1조로 작업하는 것으로 하였음.
 3. 무인헬리콥터의 부담면적은 작업능력 5ha/h를 기초로 1일 작업시간 4시간, 실작업률 70%, 1회 작업가능기간을 4일간으로 가정하여 산출하였음.
 4. 유인헬리콥터의 ha당 경비는 1995년 니가타현농림항공방제사업경비로부터 작업별 작업능률을 감안하여 산출하였음.

(2) 자원 및 에너지의 효율적 이용

(가) 트랙터의 에너지 효율적 운전

승용 트랙터와 동력경운기는 작업기의 부하에 따라 기관속도와 변속단수를 선택함으로써 연료를 절약할 수 있다. 즉, 부하가 적게 걸리는 경우에는 기관속도를 낮게 그리고 변속단수를 높게 설정함으로써 기관의 연료소비량을 절감할 수 있다.

<표 13>은 트랙터의 견인부하가 최대 견인부하의 50% 및 75%일 경우의 트랙터 시험성적을 토대로 트랙터를 효율적으로 이용할 수 있는 사례를 나타낸 것이다.

최대견인출력시 견인력의 75%가 소요되는 견인작업을 주행속도 7.5km/h로 수행할 경우 연료소비율은 기어단수를 중속 4단, 기관속도를 2,557rpm으로 하여

작업하면 연료소비율은 401g/kWh인 반면, 기어단수를 고속 1단으로 한 단 높이는 대신, 기관속도를 2,068rpm으로 낮추어 작업하면 연료소비율은 361g/kWh이다. 따라서, 기어단수를 중속 4단에서 고속 1단으로 한 단 높이는 대신 기관속도를 낮추어 주행속도를 7.5km/h를 유지하여 작업할 때 연료소비율이 10% 감소하여 10시간 작업할 경우 연료 절감량은 $(401 \times 11.31 \times 10) - (361 \times 11.37 \times 10) = 45,353 - 41,046 = 4,307\text{g}$ 이 된다.

한편, 최대견인출력시 견인력의 50% 소요되는 견인작업을 주행속도 7.5km/h로 수행할 경우 연료소비율은 기어단수를 중속4단, 기관속도를 2,613rpm으로 하여 작업하면 연료소비율은 481g/kWh인 반면, 기어단수를 고속 1단으로 한 단 높이는 대신, 기관속도를 2,095rpm으로 낮추어 작업하면 연료소비율은 416g/kWh이다. 따라서, 기어단수를 중속 4단에서 고속 1단으로 한 단계 높이는 대신 기관속도를 낮추어 주행속도를 7.5km/h를 유지하여 작업할 때 연료소비율은 13.5% 감소하여 10시간 작업할 경우 연료 절감량은 $(481 \times 7.73 \times 10) - (416 \times 7.66 \times 10) = 37,181 - 31,866 = 5,315\text{g}$ 이 된다.

위 사례는 30 PS 급의 중소형 트랙터에 대한 것으로 만일 트랙터가 이보다 대형일 경우 적절한 기어 선택과 기관속도의 설정에 의한 연료의 절감율은 더욱 증가한다.

<표 13> 트랙터의 OECD 트랙터 시험성적의 이용 사례

구 분	기 어 단 수	견인동력 (kW)	견인력 (kN)	주행속도 (km/h)	기관속도 (rpm)	구동륜 슬립 (%)	연료소비율 (g/kWh)
최대견인출력	중속 4단	14.01	7.26(100)	6.95	2,483	5.7	361
최대견인출력 시 견인력의 75%	중속 4단	11.31	5.49(75)	7.42	2,557	3.5	401(100)
	고속 1단	11.37	5.49(75)	7.45	2,068	3.0	361(90.0)
최대견인출력 시 견인력의 50%	중속 4단	7.73	3.63(50)	7.67	2,613	2.4	481(100)
	고속 1단	7.66	3.63(50)	7.60	2,095	2.4	416(86.5)

주 : 트랙터 모델 : FORD 1720-12x12 Synchro(4WD)

<표 14>는 우리나라의 승용 트랙터 및 동력경운기의 경유 소비량을 추정하여 나타낸 것이다. 승용 트랙터와 동력경운기의 연간 총연료소비량은 491,294kl이며, 현재의 경유 가격(315원/리터)을 적용하면 총 1,548억원에 이른다.

따라서 트랙터의 변속단수를 한 단계 잘못 선택하여 운전할 경우 <표 13>의 트랙터 시험성적으로부터 살펴본 바와 같이 연료가 10~13.5% 더 소비되므로 연료량은 연간 49,129~66,325킬로리터, 금액은 155~209억원이 낭비되는 결과를 초래한다.

<표 14> 트랙터의 연간 연료소비량 추정

기종	보유대수 (대)	평균 출력 (PS)	평균 부하율	연료소비율 (kg/PS·h)	연간사용시간 (h)	연료 소비량 (kl)
승용 트랙터	150,000	30	0.5	0.20	400	211,765
동력경운기	900,000	8	0.5	0.22	300	279,529
계	-	-	-	-	-	491,294

주 : 1. 경유의 비중은 0.84로 가정하여 리터로 산출하였음

2. 연료소비량 = 연료소비율(kg/PS·h) × 평균출력(PS) × 평균 부하율 × 연간 사용시간 × 보유대수 ÷ 비중

(나) 시설원예에서의 에너지의 효율적 이용

시설원예 난방용 연료의 소비량은 농업용 연료소비량의 40%를 차지할 정도로 매우 큰 비중을 차지한다. 야간에 실내온도를 낮게 설정하여 온도를 관리하는 변온관리는 에너지 절감에 매우 효과적이다. 야간온도를 작물생육에 영향을 주지 않는 한도내에서 생성물전환 촉진온도와 호흡소모 억제온도로 분리하여 변화시키면 채소류의 경우 10~20%의 연료를 절감할 수 있다.

또한, 일사량에 따라 실내 온도를 달리 설정하여 난방기나 천창·측창을 제어하는 복합환경제어 시스템도 에너지를 절감할 수 있는 효과적인 방안이다.

(다) 기계의 점검정비 및 중고 농기계 유통

농업기계는 계절성이 커서 사용 후 장기간 방치하게 되면 부식되어 성능이 크

계 저하함으로써 작업능률이 떨어져 기계 비용이 증가할뿐만 아니라 연료가 많이 소비되어 연료 비용이 증가한다. 따라서, 계절적인 사용이 끝난 후에는 반드시 세척하고 점검정비를 해서 보관하여야 한다.

또한, 중고 농기계에 대한 인식 부족과 정비 불량으로 많은 농업기계가 고장이 나서 흉물스럽게 방치되거나 폐기되는 사례가 많다. 그러므로, 중고 농기계를 거래하기 위한 정보관리 시스템을 개발 보급하고 농가 스스로 농기계를 점검정비할 수 있는 능력을 배양한다.

(3) 단순·염가의 자원·에너지 절약적 기계 개발

(가) 단순·염가의 기계 개발

현재 농가에 보급되고 있는 농업기계 중에는 불필요하게 많은 기능을 가지고 있어 기계의 가격이 비싸지는 경향이 있으므로 기본 성능을 중요시한 단순·염가의 농업기계를 개발 보급한다.

(나) 자원·에너지 절약적 기계 개발

자원 및 에너지가 절약될 수 있는 기계 또는 시스템을 개발한다. 에너지 절약적 기계 개발의 예로서는 부분경 파종기, 부분경 이앙기, 두둑성형·비닐피복 동시 작업기, 원적외선 건조기, 시설원예용 복합환경제어 시스템, 증발냉각법을 이용한 시설원예용 포그엔팬(fog and fan), 패드엔팬(fad and fan) 등이 있다. 자원 절약적 기계 개발의 예로서는 GPS와 GIS를 이용한 정밀농업용 시비파종기, 시각 센서를 이용한 약제 살포기 등이 있다.

농산물의 생산에 소비되는 에너지 중에서 큰 비중을 차지하고 있는 부분은 경운정지 작업에 이용되는 경운기 및 트랙터의 연료로 소비되는 에너지이다. 경운 작업은 특히 농작물의 파종, 또는 이식작업을 순조롭게 하고 발아를 촉진시키며 뿌리에 호흡과 영양흡수를 좋게 할 수 있는 토양환경을 만들어주는 중요한 농작업이다. 그러나 경운작업은 다른 작업에 비하여 많은 에너지가 소요되므로 경운작업을 최소로 줄이는 경작방법이 필요하게 된다. 다시 말하면, 일반적인 전면경운보다 작물이 자랄 곳만을 부분경운하여 파종하면 경운에 필요한 기계적 에너지와 노동력을 감소시킨다. 또한 기계의 통과회수를 줄임으로써 토양다짐을 감소시키며 토양의 수분보존과 토양의 유실 감소에도 이바지한다. 미국의 Easley

등은 버지니아주에서 14년간(1964~1973) 옥수수 재배실험을 실시한 실험결과 무경운재배가 관행의 경운재배에 비하여 수량이 16% 증가하였다고 보고한 바 있다.

에너지를 절약할 수 있는 작업기의 예로서는 최근 일본에서 「농업기계 등 긴급개발·실용화 촉진사업」의 일환으로 생물계특정산업기술연구추진기구(생연기구)」와 신농업기계실용화촉진주식회사(신농기주식회사)가 안마농기주식회사와 공동으로 개발한 고속경운 로터리가 있다. 이 고속경운 로터리는 작업정도를 유지하면서 작업속도를 0.75m/s에서 1.1m/s로 높여 작업능률은 20~30% 향상되고 연료소비량은 15~20% 절감할 수 있다

(4) 대체 에너지의 이용

에너지 소비가 많은 시설원예와 농산물 건조에 자연에너지 또는 미활용 에너지를 이용하는 방안이 있다.

현재 화석연료를 주로 사용하는 시설원예와 농산물 건조에 태양열, 지열 등 자연 에너지를 이용하는 시스템을 개발 보급한다. 예를 들면, 온실내의 잉여 태양 에너지를 축열하여 야간에 이용하는 시스템, 지하수 또는 지중열을 이용한 히트펌프 또는 히트 파이프 시스템을 도입한다.

미활용 에너지를 이용하는 방법에는 난방기의 폐열을 회수하여 이용하는 방법, 환기 중 손실되는 에너지를 재활용하는 방법, 왕겨 등 농산부산물 및 폐기물을 소각하여 열에너지로 활용하는 방법 등이 있다.

V. 결 언

대형·고성능 농업기계의 공급과 시설원예의 가온면적의 증가에 따라 농업경영비가 상승하고 농업기계의 오염물질과 이산화탄소의 발생으로 인하여 환경보전 운동이 확산됨에 따라 기계 비용 및 에너지 절약에 대한 중요성이 증대되고 있다.

특히, 1997년말 금융위기에서 비롯된 환율폭등과 IMF 관리하의 경제체제로

연료가격의 급등, 비료, 농약, 기계 및 자재의 가격 상승으로 농업생산비는 크게 상승한 반면, 소비심리 위축으로 농산물 가격은 오히려 하락하는 등 경영수지가 크게 악화되고 있어 저비용·고효율 농업기계화가 시급히 요구되고 있다.

저비용·고효율 농업기계화의 기본방향은 기계 비용 및 에너지 비용의 절감과 더불어 생활·노동 환경의 개선, 지구 환경의 보전, 자원의 절약 및 재활용에 두어져야 한다.

저비용·고효율 농업기계화의 추진방안에는 저비용·고효율 기계화 기술체계의 도입, 자원 및 에너지의 효율적 이용, 단순·염가의 자원·에너지 절약적 기계 개발, 대체 에너지의 이용 등이 있다.

저비용·고효율 농업기계화를 촉진하기 위해서는 기계별, 기계화 체계별 기계 비용은 물론 연료, 윤활유 및 전력 등의 직접 에너지 투입량과 비료, 농약, 기계 등의 제조에 소요되는 간접 에너지를 종합적으로 분석하여 저비용·고효율 농업기계화의 우선순위를 결정할 수 있는 연구가 시급히 이루어져야 한다. 아울러, 트랙터 및 시설원예용 난방기와 같이 에너지 소비가 많은 주요 농업기계에 대하여는 자동차와 마찬가지로 에너지 효율 등급제를 채택할 필요가 있으며, 에너지 절감효과가 큰 기계·설비의 개발 또는 대체에너지의 이용기술 개발에 대해서는 정부의 지원이 뒷받침되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 강정일. 1994. UR협상의 타결과 농기계 산업의 대응방안. UR타결과 농업기계화 토론회자료.
2. 고헌균. 1983. 농작업 에너지의 효율적 이용. 1983 농업과학 심포지움 “우리나라 농업자원의 효과적인 관리와 이용”. 한국농업과학협회. 123~137.
3. 농수축산신문, 한국농어민신문, 농축임업신문. 1997. 농업기계화 정책의 평가와 발전방향.
4. 농업기계화연구소. 한국농어민신문사. 1998. “농업용 에너지의 효율적 이용과 대체 에너지 개발” 심포지엄 발표문.

5. 류관희, 강정일, 강창용. 1994. 농업기계 산업의 활성화 방안. 한국농업기계학회.
6. 류관희. 1994. 농업기계화의 전망과 방향. UR타결과 농업기계화 토론회자료.
7. 한국농기계공업협동조합, 한국농업기계학회. 1997. 21C 일본 농업기계화 전략.
8. 한국농업기계학회. 1994. 농업기계의 효율적인 이용을 위한 지원방안.
9. 한국시설원예연구회. 1998. 시설원예 석유 대체 에너지 이용기술에 관한 세미나 발표문.
10. 허문회 1984. 식량증산과 농업기계화. 한국농업기계학회 세미나 “농업기계화 촉진에 관한 세미나” 발표문.
11. 홍지형 역. 1986. 농업에너지공학. 대광문화사.
12. 農業機械學會(일본). 1993. 環境保全機能向上のための農業生産技術-調査報告書-.
13. 農業機械學會(일본). 1994. 環境保全機能向上のための作業・作付體系-調査報告書-.
14. 農業機械學會(일본). 1995. 環境保全型農業技術の生産コスト-調査報告書-.
15. 木谷收. 1980. 農業におけるエネルギーの有効利用の研究.