

콤바인 벼수확 작업의 작업가능일수율 분석

Analysis of the Percentages of Possible Working Days for Combine Rice Harvesting

최종백*	정창주*	조성인*
	정희원	정희원
J. B. Choi	C. J. Chung	S. I. Cho

ABSTRACT

The number of possible working days is one of the major factors for estimating the coverage area of a combine harvester. The percentages of possible working days at 24 locations were presented by analyzing the amount of rainfall during the working periods of rice harvesting from the end of September to the end of October for past 20 years. The percentages of possible working days ranged from 75% to 85% in most cases.

주요용어(Key Words) : 부담면적(Coverage area), 작업가능일수(Number of possible working days), 콤바인(Combine)

1. 서론

우리나라와 같이 호당 경지면적이 작은 소농 구조에서 농업기계화는 자본의 과잉투자의 원인이 될 수 있어 농가의 경영규모에 알맞는 적정 기계 투입 또는 보유기종의 이용도를 증진시킬 수 있는 방안의 연구가 시급한 실정이다. 농업기계의 적정규모를 비롯한 농업경영상 필요한 제 요인을 결정하는 연구가 많은 연구자들에 의하여 진행되어 왔다.^{1),2),3),4)} 농업기계화계획이나 농업기계이용비용분석에 있어 기초적인 요인으로서는 농업기계의 부담면적을 들 수 있다. 여기서, 농업기계의 부담면적은 기상지대별로 농업기계의 사용일수에 따라 크게 차이가 나며, 아울러 포장작업효율, 실작업률, 작업가능일수율 등도

부담면적의 결정에 있어 가장 기본적이며 중요한 요인이라고 할 수 있다. 이러한 요인들은 지역별로 차이가 크며 포장의 구획조건, 영농조건과 지형조건에 따라 다르다. 그러나, 현재까지 국내에서 진행된 연구들은 이러한 기본적인 요인들을 관련 문헌이나 외국의 분석자료를 그대로 인용하여 사용되어 왔다. 이러한 이유때문에 기존의 연구결과들은 국내의 영농실정에 적합하지 않다고 판단된다.

따라서, 본 연구에서는 콤바인 벼수확작업을 대상으로 하여 작업가능일수율을 분석할 수 있는 분석 모형을 개발하고, 또한 전국의 24개 주요 벼재배지역에 대하여 작업가능일수율을 분석 제시하고자 한다.

* 서울대학교 농업생명과학대학 농공학과

2. 작업가능일수

가. 작업가능일수의 정의

농작업이 주로 이루어지는 시기를 작업적기라고 한다. 본 연구에서는 각 지역별의 작업적기를 작업가능일수로 간주하였다. 또한, 기상조건 특히 강우로 인하여 작업을 수행하지 못하는 일수를 작업불가능일수로 규정하였으며, 작업가능일수에서 작업불가능일수를 제외한 일수를 실제작업일수로 규정하였다.

작업가능일수율이란 작업가능일수에 대한 실제작업일수의 비율을 의미한다.⁶⁾ 본 연구에서는 작업가능일수율을 분석하기 위하여 식 1과 같은 수학적인 모형을 개발하였다.

$$\epsilon_w = \left(\frac{D_w}{D}\right) \times 100 = \left(\frac{D - D_i}{D}\right) \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

여기서,

- ϵ_w : 작업가능일수율(%)
- D : 작업가능일수(일)
- D_w : 실제작업일수(일)
- D_i : 작업불가능일수(일)

우리나라는 남북으로 길게 뻗어져 있어 각 지역별로 기상조건이 큰 차이를 나타낸다. 따라서, 지역별로 수확적기가 조금씩 다르게 나타난다. 또한, 기계화 수확작업의 진전에 따라 강수로 인하여 그 작업이 불가능한 일수를 규정할 필요가 있으며, 지역별로 어떻게 변하는가 알 필요가 있다.

나. 작업가능일수의 결정기준

작업가능일수율을 분석하기 위해서는 우선 각 작업별로 하루의 작업을 수행하는 데 있어서 작업가능여부를 판단할 수 있는 기준이 있어야 한다. 물론, 이 기준은 작업마다 작업기의 특성이나 포장조건, 관행작업체계 등과 같은 작업조건에 따라서 달라질 수 있으나 본 연구에서는 작업당일의 기상조건을 기준으로 결정기준을 만들었다. 토양조건이나 작업기의 특성등을 모두 고려

하여야 하지만 모든 조건을 고려한다는 것은 현실적으로 불가능하다고 판단되어 본 연구에서는 기상조건을 기준으로 작업가능일의 결정기준을 만들었다.

수확작업가능일수율의 결정에 가장 큰 영향을 미치는 요인으로서 강수량을 들 수 있다.⁷⁾ 따라서, 기상자료중 일별강수량을 작업가능일수 결정의 가장 기본적인 자료로 채택하였다. 외국의 결정기준을 참조하고 우리나라의 지형 및 기상의 특수성을 고려하였으며 분석의 정확성을 기하기 위해서 실제작업을 수행하는 농민들의 의견도 조사하여 참조를 하였다.

(1) 외국의 결정기준

일본에서는 특정 농작업을 대상으로 하지 않고 모든 농작업에 대한 실의 작업가능 여부에 대하여 일강수량 1~10 mm 까지의 일수 혹은 10 mm 이상의 일수 및 적설 일수를 총합해서 월별 작업가능일수를 산정하고 이것을 각 월의 일수로 나누어서 각 월의 작업가능일수율로 표시하고 있다.^{8),9)}

미국에서는 Donaldson(1968)이 맥류의 콤바인 수확작업이 가능한 한계일강수량을 0.01 inch로 설정하였으며 Jeffers(1968)는 목초 수확이 가능한 한계일강수량을 당일은 0.05 inch 이하, 전일은 0.5 inch 이하로 규정하고 있다.

따라서, 미국의 경우는 하루의 강우가 어느 때 부터 시작되었든 일강우량이 '0.01 inch' 이상이면 그 날은 수확작업이 불가능하다고 가정하였다. 미국의 경우는 주로 맥류와 같은 전작의 경우가 대부분이었고 일본의 경우는 수확작업에 관하여 특수하게 정의하지 않고 농작업 전반의 작업가능일수를 분석한 것이다. 따라서, 외국의 기준을 그대로 우리나라에 적용할 수 없다고 판단된다.

(2) 작업가능일수의 결정기준

우리나라에서 관행적으로 이루어지는 콤바인 작업기준을 조사하기 위하여 수원시 서둔동, 화성군, 이천군, 충남 서산, 충북 옥천, 전북 김제 등에서 현장조사를 수행했으며 전국의 40여개

위탁영농 및 전업농을 대상으로 설문조사를 수행하였다.

설문조사결과 정지작업을 제외하고는 작업당 일 비가 올 경우에는 작업을 거의 하지 않는 것으로 나타났다. 특히, 콤바인 수확작업의 경우는 작업이 불가능하다는 의견이 100%로 나타나 다른 작업들에 비하여 강우에 민감한 것을 단적으로 나타내 주는 좋은 예라고 할 수 있다. 또한, 다음날 작업이 불가능한 한계 일강우량에 대한 분석결과를 보면, 수확작업의 경우는 20 mm이하일 때가 전체의 76.7%나 되어 수확작업이 다른 농작업에 비하여 강우에 민감한 것으로 나타났다.

콤바인 벼수확작업은 다른 농작업과는 달리 하루중 작업시작시각도 일반적으로 오전 10시로 조사되었다. 그것은 밤사이 내린 이슬이나 서리 등으로 인하여 곡물의 함수율이 높아져 탈곡 성능이 저하되어 아침 시간에는 수확작업을 수행할 수 없기 때문인 것으로 판단된다. 미국의 경우에는 수확작업 한계일강수량을 0.01 inch로 설정하였다. 우리나라의 정(1975)이 연구한 논문에서도 하루의 한계일강수량을 1 mm로 설정하였다. 본 연구에서도 한계일강수량을 1 mm로 하여 일작업가능결정기준을 제시하였다.

이 기준은 일본과 미국의 결정기준과 비슷하며 실제 수확작업에 대해 조사한 결과도 이와 비슷하게 나타났다. 강우량 1 mm의 의미는 하루중 강우의 유무의 판단기준이라고 할 수 있다. 또한, 연속강우의 경우는 고려하지 않고 1일 강우량에만 적용한다. 본 연구에서 개발한 수확작업의 작업가능일 결정모형을 표 1에 나타내었다.

여기에서, 주목해야 할 것은 1~2 mm 정도의 적은 양의 비가 내렸을 경우에 강우시각이 문제

가 될 수 있다. 실제 작업이 이루어지지 않는 새벽이나 한밤중에 비가 내렸다면 당일 작업은 가능할 수도 있다. 그와 반대로 연속강우시 첫날에 30 mm가 오고 그 다음 날에 10 mm의 비가 왔을 경우는 본 기준으로 보면 불가능일수는 총 2일 간이다. 첫날 강우량 30 mm만 고려해도 작업불가능일수는 2일간이 된다. 그러나, 그 다음 날의 계속된 강우로 인하여 실제로 그 다음 날도 작업을 할 수 없는 경우가 있다. 이 경우에 작업불가능총일수는 3일이 된다. 20개년 이상의 기상 데이터를 분석하기 때문에 전자의 경우와 후자의 경우가 서로 균형을 이루고 있다고 가정할 수 있다. 외국의 경우도 이와 같이 규정을 하고 있다.^{10),11)}

3. 작업가능일수율의 분석 방법

가. 대상지역의 선정

우리나라의 각 지역마다 수확적기가 다르다. 따라서, 대상지역은 수도작중심의 평야지 위주로 각 도별로 세 곳을 선정하였다. 또한, 본 연구에서는 제주도는 지역적인 특수성과 실제 주 재배 작물이 벼가 아니기 때문에 제외시켰다. 따라서, 농촌진흥청에서 조사된 전국의 지역구분을 기초로 하여 표 2에서 보는 바와 같이 전국을 도별로 각 3개 지역씩 총 24개 지역을 선정하였다.

나. 기상자료의 선정 및 획득

각 지역별로 1961년에서 1991년까지의 매해

Table 1. Limit precipitation for combine rice-harvesting

Daily rainfall	Decision on working	Impossible working days
less than 1mm	Possible	0
1mm~20mm	Impossible on the day	1
20mm~60mm	Impossible on the and next days	2
more than 60mm	Impossible on the and next two days	3

Table 2. Selected location by climate condition

Province	Location	Division by climate condition*	Province	Location	Division by climate condition*
Kyong Gi	Kimpo	④	Chun Buk	Yilee	⑤
	Pyongtaek	④		Kimje	⑤
	Ichon	③		Jungju	⑤
Kang Won	Kangreung	⑨	Chun Nam	Naju	⑦
	Chunchon	②		Youngkwang	⑧
	Wonju	③		Haenam	⑧
Chung Buk	Eumsung	③	Kyong Buk	Kyongsan	⑥
	Youngdong	③		Sunsan	⑥
	Chechon	③		Youngju	②
Chung Nam	Nonsan	⑤	Kyong Nam	Jinju	⑦
	Hongsung	⑤		Kimhae	⑧
	Seosan	⑤		Changryoung	⑦

〈주〉 농촌진흥청의 ‘도별 조사시군 지역구분’을 기초로 한 것임.

* 는 표 3의 지역구분을 의미함.

의 9월 21일부터 10월 30일까지의 일강수량 기상자료를 이용하였으며 지역별로 평균 20개년간의 기상자료를 이용하였다. 지역별 작업적기는 표 3에서 보는 바와 같이 9월 하순에서 10월 하순까지로 하였다. 일강수량 기상자료는 현재 농촌진흥청에 구축되어 있는 농업기상 데이터베이스를 이용하였다.

다. 작업가능일수의 분석 방법

지역마다 연도별로 분포되어 있는 기상자료를 수확적기에 해당하는 월별 및 순별로 세분하여 기상자료를 재구성하였다. 각 해당년도마다 순별로 세분화된 자료에서 순별로 작업가능일수를 산출하였다. 예를 들면 표 4는 논산지역 10월 상순에 대하여 '65~'84 년도의 작업가능일수를 나타낸 것이다.

Table 3. Available working days at different climate zones

Region	Proper working period	Number of possible working days
① Mountains-chill	9.20~10.5	15
② Mountains	9.20~10.5	15
③ Middle and northern inland	9.20~10.5	15
④ Middle and north-western coast	9.20~10.15	25
⑤ Middle and western coast	9.25~10.25	30
⑥ Middle and inland	9.20~10.15	25
⑦ South and inland	9.25~10.25	30
⑧ South coast	9.25~10.30	35
⑨ East coast	9.20~10.5	15

〈자료〉 : “식량작물지도교본 (1989, 각 도농촌진흥원)”

Table 4. Available working days at Nonsan(Oct. 1st term)

Year	'65	'66	'67	'68	'69	'70	'71	'72	'73	'74	Average ('65~'84)
Number of possible working days	10	9	10	5	10	10	9	7	6	7	8.25 days
Year	'75	'76	'77	'78	'79	'80	'81	'82	'83	'84	
Number of possible working days	7	8	10	10	7	6	9	9	8	8	

라. 작업가능일수율의 확률분포 분석

표 4를 보면 최소 작업가능일수가 5일임을 알 수 있다. 따라서, 10월 상순에서 작업가능일수가 1일에서 5일까지일 확률은 100%가 된다. 그 다음에 6일이 될 확률은 작업일수가 5일인 년도가 1개이므로 전체 총 합인 20에서 1을 뺀 19년이 6일간 작업을 할 수 있는 년도가 된다. 따라서, 확률은 19/20, 즉 0.95가 된다. 이러한 방법으로 일수별로 작업가능일수의 누적확률을 구하면 표 5에서 보는 바와 같다.

차수는 4차로 나타났으며 다른 모든 지역의 경우에서도 같은 결과를 나타냈다.

4. 작업가능일수율의 분석

가. 작업가능일수율의 누적확률분포곡선

전국의 24개 지역을 대상으로 하여 콤팩인 벼 수확작업의 순별 수확작업가능일수율을 그림 1~그림 8에서 보는 바와 같이 누적확률분포곡

Table 5. The cumulative probability of available working day at Nonsan(Oct. 1st term)

Number of possible working days	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cucumulative possibility	1	1	1	1	1	0.95	0.85	0.65	0.50	0.30

마. 일수별 확률분포의 통계 처리 방법

표 5에서 분석된 일수별 확률 데이터를 통계 처리하여 분석하였다. 본 연구에서는, 다항회귀 분석을 통하여 다항식의 차수를 증가시키면서 분석한 결과 4차의 경우가 오차가 가장 작게 나타났다. 따라서, 본 연구에서는 4차 다항회귀분석을 이용하여 데이터를 처리하여 누적확률곡선을 구하였다. 예를들면 표 6은 논산지역의 작업가능일수율의 누계분포다항식의 차수에 따른 R² 값을 나타낸 것이다. R²의 값이 1에 가장 근접한

선으로 나타내었다. 그림에서 1st, 2nd, 3rd는 초순, 중순, 하순을 각각 의미한다.

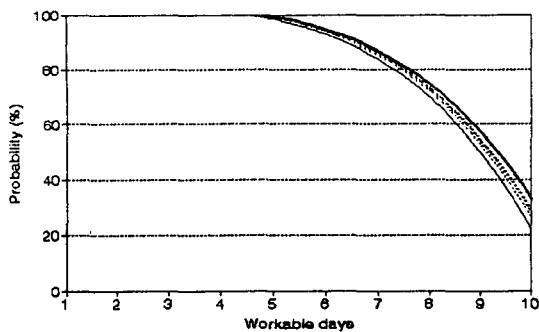
나. 지역별 순별 작업가능일수율

표 4를 보면 충남 논산 지역의 20년 동안의 작업가능일수의 평균이 8.25로 분석되었다. 이 평균작업가능일수 8.25일을 논산지역의 작업가능일수율의 누적확률분포곡선을 나타내는 그림 4-c에 대입하여 신뢰도를 추정하였을 때 약 65~68%가 됨을 알 수 있다. 이와 같은 방법으

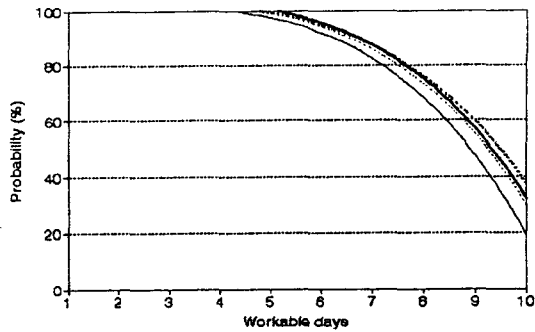
Table 6. The R² values of regression orders

Order	1	2	3	4	5
Coefficient					
R ²	0.86218	0.94685	0.98345	0.98542	0.96682

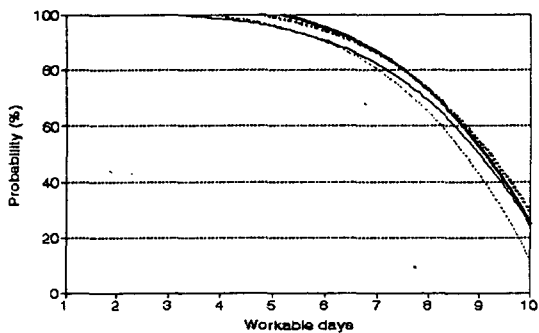
콤바인 벼수확작업의 작업가능일수를 분석



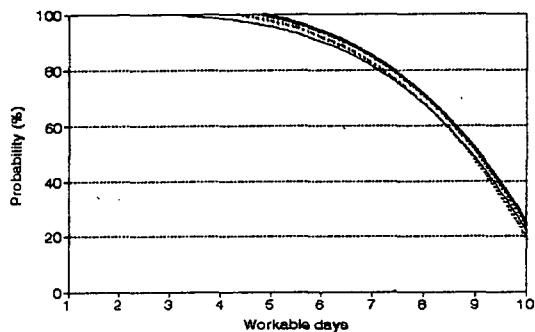
a) Pyungtaek



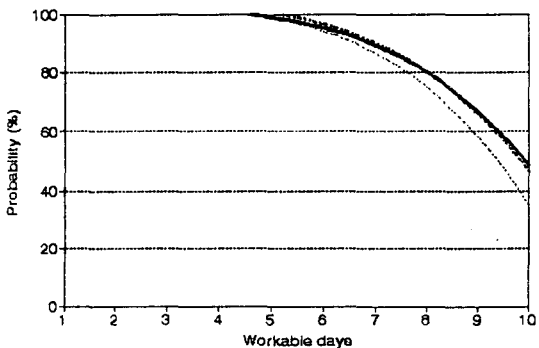
a) Chunchon



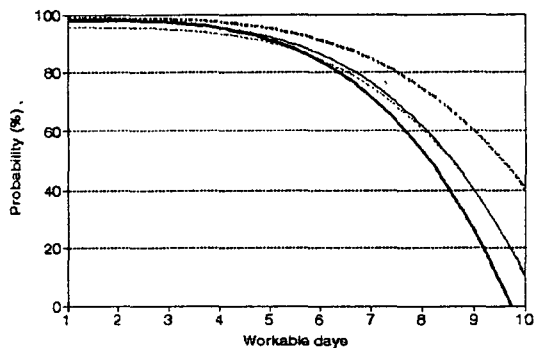
b) Ichon



b) Wonju



c) Kimpo



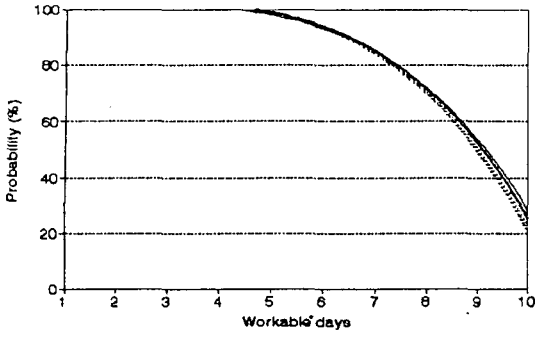
c) Kangreung

Fig. 1. The cumulative distribution of working days for combine harvesting at Kyong Gi Province :

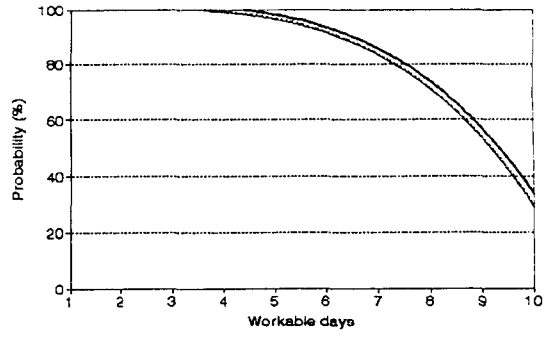
a) Pyungtaek, b) Ichon, c) Kimpo

Fig. 2. The cumulative distribution of working days for combine harvesting at Kang Wong Province :

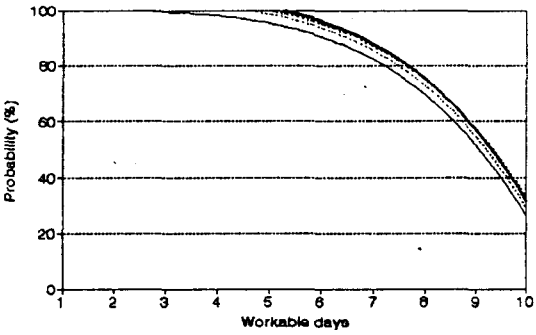
a) Chunchon, b) Wonju, c) Kangreung



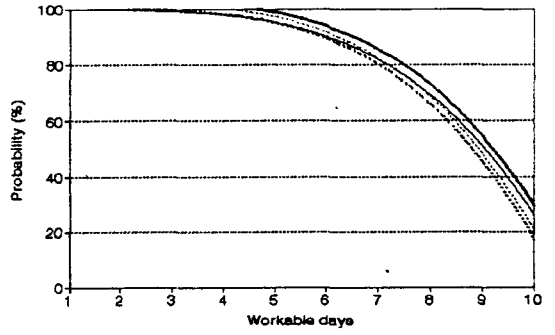
a) Eumsung



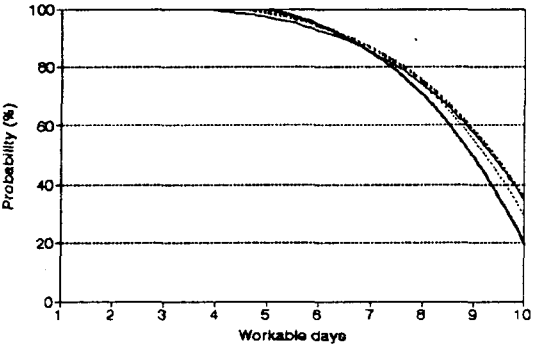
a) Hongsung



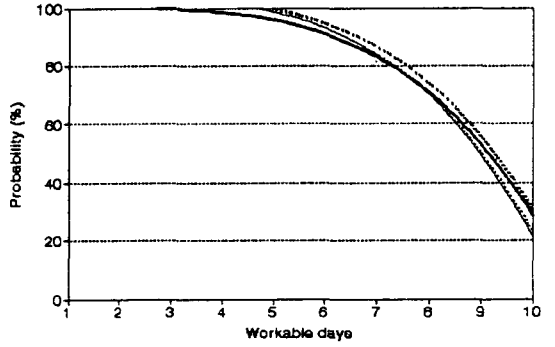
b) Youngdong



b) Seosan



c) Chechon



c) Nonsan

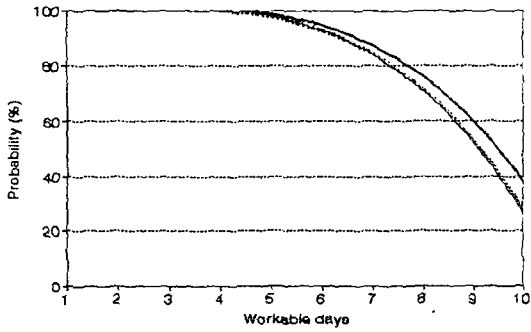
— Sep. 3rd ····· Oct. 1st - - - - Oct. 2nd - · - · Oct. 3rd

— Sep. 3rd ····· Oct. 1st - - - - Oct. 2nd - · - · Oct. 3rd

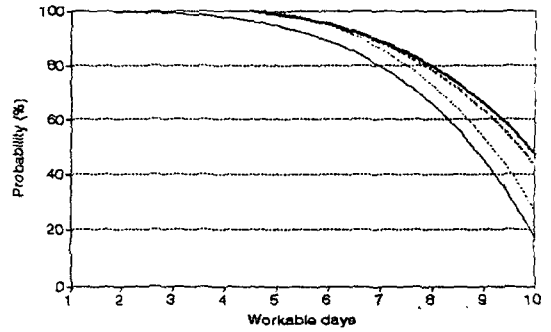
Fig. 3. The cumulative distribution of working days for combine harvesting at Chung Buk Province :
a) Eumsung, b) Youngdong, c) Chechon

Fig. 4. The cumulative distribution of working days for combine harvesting at Chung Nam Province :
a) Hongsung, b) Seosan, c) Nonsan

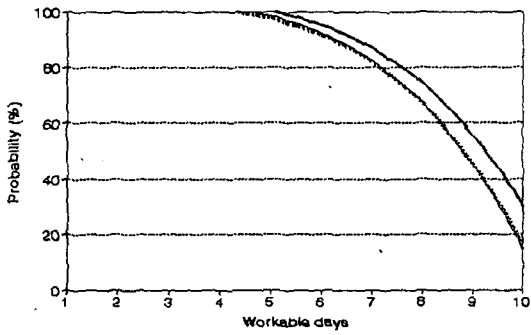
콤바인 벼수확작업의 작업가능일수를 분석



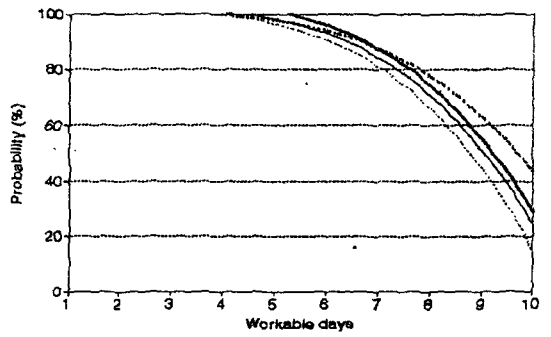
a) Yilee



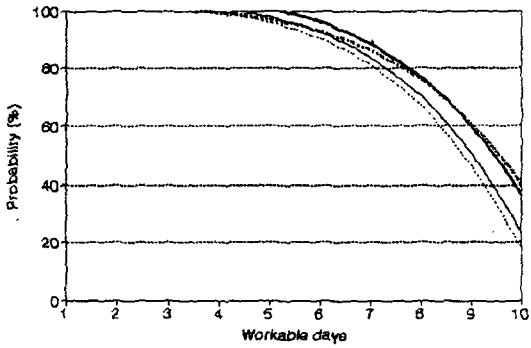
a) Naju



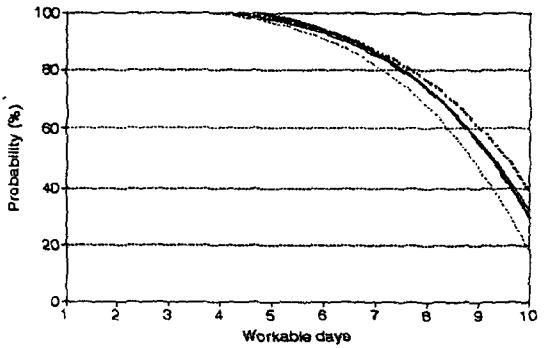
b) Kimje



b) Youngkwang



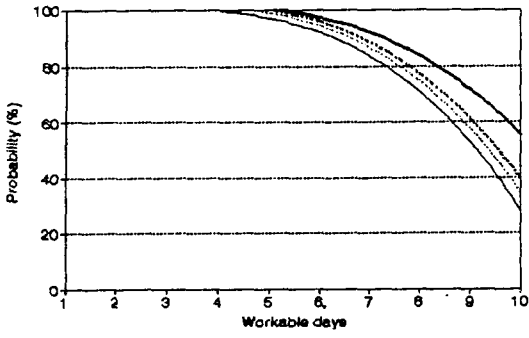
c) Jungju



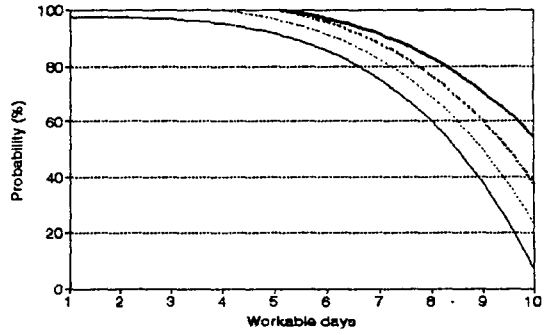
c) Haenam

Fig. 5. The cumulative distribution of working days for combine harvesting at Chun Buk Province :
a) Yilee, b) Kimje, c) Jungju

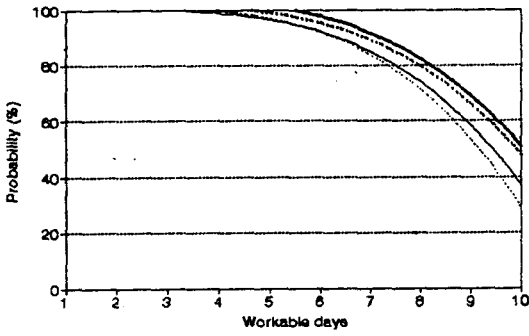
Fig. 6. The cumulative distribution of working days for combine harvesting at Chun Nam Province :
a) Naju, b) Youngkwang, c) Haenam



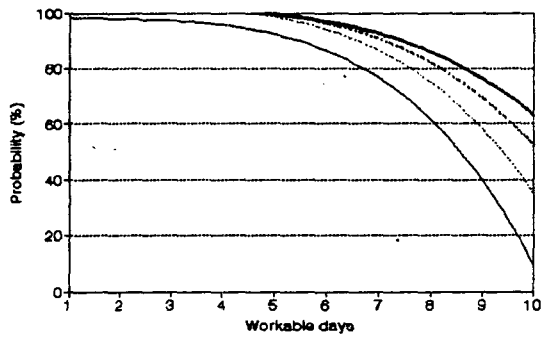
a) Kyongsan



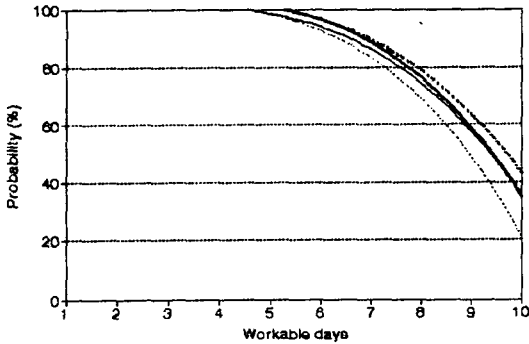
a) Jinju



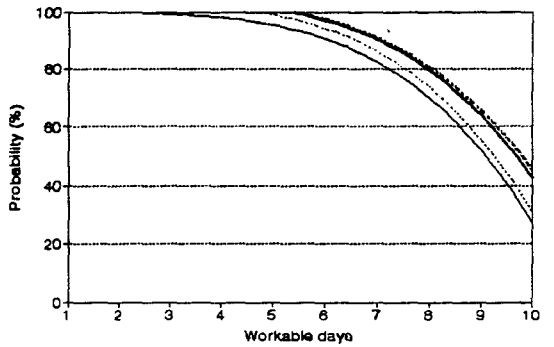
b) Sunsan



b) Kimhae



c) Youngju



c) Changnyoung

Fig. 7. The cumulative distribution of working days for combine harvesting at Kyong Buk Province :
a) Kyongsan, b) Sunsan, c) Youngju

Fig. 8. The cumulative distribution of working days for combine harvesting at Kyong Nam Province :
a) Jinju, b) Kimhae, c) Changnyoung

콤바인 벼수확작업의 작업가능일수를 분석

로 전국의 각 지역의 실제 평균작업가능일수를 분석하여 신뢰도를 추정하였을 때 전체적으로 약 64~68% 사이에 존재하는 것으로 나타났다. 따라서, 본 연구에서는 66%의 기대확률치를 적용하여 전국의 24개 지역에 대하여 수확작업의 작업가능일수율을 제시하였다. 또한, 강¹⁾(1978)

등의 연구에서도 신뢰도를 66%로 하여 제시한 바 있으며, 본 연구에서 제시한 결과와 거의 비슷하게 분포하는 것으로 나타났다.

본 연구에서 제시된 확률분포곡선에 입각하여 전국의 24개 지역의 순별작업가능일수율을 작업의 안정성을 고려하여 66%의 기대확률치를 적

Table 7. Percent of possible working days for combine rice harvesting at different regions
unit : %

Province	Location	September	October			Average
		third ten-days	first ten-days	second ten-days	third ten-days	
Kyong Gi	Pyongtaek	81.9	83.2	85.1	83.9	83.5
	Ichon	81.1	79.0	83.4	83.9	81.9
	Kimpo	89.8	85.4	90.2	89.6	88.8
	Average	84.3	82.5	86.2	85.8	84.7
Kang Won	Chunchon	80.9	84.1	85.1	86.3	84.1
	Wonju	80.9	82.3	82.9	81.0	81.8
	Kangreung	77.1	76.3	73.1	85.9	78.1
	Average	79.6	80.9	80.4	84.4	81.3
Chung Buk	Eumsung	83.4	82.3	83.0	81.8	82.6
	Youngdong	81.9	83.8	85.2	85.2	84
	Chechon	84.7	84.1	82.0	85.4	84.1
	Average	83.3	83.4	83.4	84.1	83.6
Chung Nam	Hongsung	83.0	83.1	88.3	83.2	84.4
	Seosan	81.8	81.2	83.9	79.7	81.7
	Nonsan	81.8	82.2	82.7	84.5	82.8
	Average	82.2	83.2	85.0	82.5	83.2
Chun Buk	Yilee	82.8	83.5	86.5	82.9	83.9
	Kimje	80.3	80.6	84.6	80.1	81.4
	Jungju	82.1	80.1	86.4	86.5	83.8
	Average	81.7	81.4	85.8	83.2	83
Chun Nam	Naju	82.3	79.6	84.4	87.9	83.5
	Youngkwang	79.4	83.6	89.6	88.1	85.2
	Haenam	84.2	80.4	84.1	86.5	83.8
	Average	82	81.2	86	87.5	84.2
Kyong Buk	Kyongsan	82.9	85.3	93.6	87.2	87.3
	Sunsan	85.3	83.1	91.6	89.8	87.5
	Youngju	85.1	81.6	86.1	88.4	85.3
	Average	84.4	83.3	90.4	88.5	86.7
Kyong Nam	Jinju	76.3	81.7	93.0	86.6	84.4
	Kimhae	77.0	85.4	97.6	91.8	88
	Changnyoung	82.1	84.3	88.5	89.5	86.1
	Average	78.5	83.8	93.0	89.3	86.2

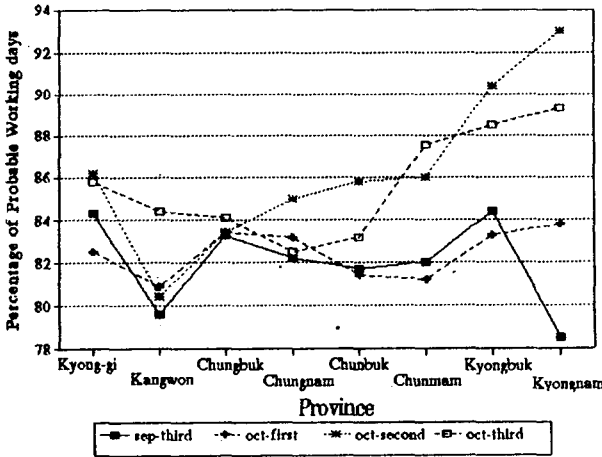


Fig. 9 Trends of probable working days

용하여 작업가능일수율을 결정하였으며 구체적인 결과는 표 7과 같이 제시하였다. 작업가능일수율의 확률분포를 분석했을 때 순별 작업가능일의 분포는 지역과 작업시기에 따라 차이가 있었다. 그림 9는 각 지역의 작업가능일수율의 평균값을 작업시기별로 표시한 것이다. 충북지역은 작업시기에 따라 작업가능일수율의 변화가 적었으며 경북 및 경남지역은 작업시기에 따라 작업가능일수율의 변화가 심하였다. 강원지역에서는 10월 중순까지의 작업가능일수율이 전국에서 제일 낮게 나타났으며 10월 하순에 약간 상승하였다. 전국적인 경향은 9월 하순보다는 10월에 들어 작업가능일수율이 상승하는 경향을 보였다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 콤바인 벼수확작업의 작업가능일수율을 분석할 수 있는 모형을 개발하였다. 개발된 모형을 이용하여 전국의 24개 지역에 대하여 벼수확 작업적기인 9월 하순에서 10월 하순까지 약 20개년의 일강우자료를 분석하여 작업가능일수율을 제시하였다.

작업가능일수율의 확률분포를 분석했을 때 순별작업가능일수율은 지역과 작업시기에 따라 큰 차이가 있었으며 일반적인 경향은 단적으로 표

시할 수 없을 정도로 극히 다양하게 분포하는 것으로 나타났으며, 그 결과 우리나라의 콤바인 벼수확작업의 작업가능일수율은 대체적으로 75~85%에 있는 것으로 나타났다. 충북지역에서 작업가능일수율의 변화가 제일 적었으며 경남지역에서 가장 많은 변화를 보였다.

참고 문헌

1. 강화석, 이종호, 정창주. 1978. 벼의 수확작업 체계별 수확적기 결정에 관한 연구. 한국농업기계학회지 3(2) : 88~99
2. 김성래, 장동일, 정두호. 1990. 기계화 영농단의 규모별 적정기종 선정연구. 한국농업기계학회지 15(3) : 244~256
3. 박승제, 박준걸, 서상룡, 유수남, 최영수. 1985. 농업기계 공동이용 시스템의 적정 기계화 수준. 한국농업기계학회지 10(2) : 27~35
4. 이운룡, 김성래, 정두호, 장동일, 이동현, 김유학. 1991. 농기계 투입모형 설정 및 기계이용 비용분석 연구 -PC용 프로그램 개발-. 한국농업기계학회지 16(4)
5. 이종호, 정창주. 1975. 벼 수확기계의 적정소요능력측정을 위한 작업가능일수율 분석. 한국농공학회지 17권.
6. 정창주. 1988. 농작업기계학. 서울대 출판부.
7. 정창주. 1991. 지역기계화계획 및 평가기법의 개발에 관한 연구.
8. 剛村俊民. 1991. 農業機械化の基礎. 北海島大學 研究報告 9. 日本農林統計協會 作業研究會. 1976. 農作業便覽.
10. Donaldson, G. F. 1968. Allowing for weather risk in assessing harvest machinery selection. Amer. J. Agric. Econ. 50 : 24~40.
11. Traffers, S. 1968. Minimum cost forage machinery selection related to rainfall probability. Trans. of ASAE : 563~565