

# 자 료

## 대규모 벼농사 기계화 작업체계 및 기술

-미국, 러시아, 한국의 예를 중심으로-

박 우 품\*

정회원

W. P. Park

### 1. 서 론

우리나라 벼농사 농작업의 대형기계화 추세에 따라 논 배미의 크기가 소규모에서 1 ha 이상 대규모로 재경지정리가 시작되고 있으며 3 ha이상의 벼농사 경영규모를 가진 농업인이 점점 증가하고 있는 경향이다. 그러나 우리나라에서는 아직까지 대규모 벼농사 기계화 작업체계와 기술이 확립되어 있지 않은 실정이다.

본고는 문헌 및 현지 출장으로 조사한 미국, 러시아, 우리나라의 사례를 통하여 대규모 벼농사에 있어서 최신 기계화 작업체계 및 작업기술을 살펴봄으로써 금후 우리나라 대규모 벼농사 작업체계 및 작업기술 수립에 기초자료를 제공하고자 하였다. 조사 목적을 달성하기 위하여 대표적인 5가지 작업체계 및 작업단계별 적용기술을 살펴 보았으며 작업단계별 적용기술은 미국을 중심으로 설명하였다.

### 2. 대규모 벼농사 기계화 작업체계

대규모 벼농사 기계화 농작업 체계는 파종방법, 벼농사 이어짓기 및 발작물 돌려짓기, 논두렁 조성 상태, 병·해충의 발생빈도 및 피해정도 등에 따라 다르게 나타난다. 대표적인 기계화 작업체계의 모형으로 5가지 형태가 조사되었으며, 모형 I은 벼농사 연작 담수 산파재배의 작업체계이며(미국, 캘리포니아주), 모형 II는 콩 재배후 벼 건답 조파의 작업체계이고(미국, 아칸소주), 모형 III은 휴경후 벼 건답 산파재배의 작업체계이며(미국, 텍사스주), 모형 IV는 건답직파 재배 작업체계이며(러시아, 연해주 항카호 주변), 모형 V는 담수 직파 작업체계(한국, 서산 현대농장)이다. 각 모형에 따른 작업체계를 작업단계 및 작업방법으로 나타내었다.

가. 벼농사 이어짓기 담수 산파재배의 작업체계(미국, 캘리포니아주)

캘리포니아주의 기상조건은 풍부한 일조시간, 큰 일교차로 벼농사에 알맞으며 병해충이 적어 단위면적당 벼 수확량이 약 0.94 ton/ha이다. 주요 벼농사 지역의 연 평균 강우량이 약 430mm로 적지만 겨울철 강우나 강설의 물을 댐에 저장하였다가 벼 재배시에 관개용수로 이용하고 있다. 벼를 재배하고 있는 논 토양은 불 투수성의 경반 또는 점질 충을 가지고 있어 보수성이 높으며 누수의 문제가 없다.

담수 직파로 적미(赤米)현상이 나타나지 않아 이어짓기가 가능하므로 대부분 항공 담수 직파를 실시하며 약 70%가 이어짓기, 휴경과 벼 농사를 조합하여 재배하고 있다. 호당 벼 재배면적은 100ha 정도로 경지는 구획정리가 잘 되어 있으며 논두렁이 직선이다. 구획의 크기는 장변 400~800m, 단변 100m 정도가 대부분이다.

가. 벼농사 이어짓기 담수 산파재배의 작업체계(미국, 캘리포니아주)

\* 농업기계화연구소

나. 콩 재배후 벼건담 조파의 작업체계(미국, 아칸소주) 및 휴경후 벼 건담 산파재배의 작업체계(미국, 텍사스주)

여름에 고온 다습하여 병·해충이 많아 수확량은 0.55~0.65 ton/ha이다. 두 지역의 월간 강우량은 연중 거의 일정하며 연평균 강우량은 아칸소주 지역은 1,200 mm 정도이며, 텍사스주 지역에서는 1,100 mm 정도이다. 아칸소주에서는 전체 관개용수의 약 85% 정도를, 텍사스에서는 약 40% 정도를 관정에서 충당하고 있으나 관개용수로의 정비가 진행되고 있다.

남부 아칸소주의 대표적인 재배양식은 벼-콩-콩의 3년 돌려짓기 체계이고, 텍사스 주의 대표적인 재배양식은 벼 재배와 휴경을 조합(3~4년)하고 있으며 물빠짐이 나쁜 논에서는 콩과 돌려짓는 체계도 있다. 대부분이 건담 직파이며 아칸소주에서는 대형 파종기에 의한 조파가 주류를 이루고 있으며, 텍사스주에서는 전체의 약 50%가 비행기에 의한 건담 산파를 채용하고 있다. 농가 1호당 벼의 평균 재배 면적은 윤작이 적은 텍사스 지역에서는 150 ha 정도이며, 윤작농가는 100 ha 정도다. 논 배미의 크기는 캘리포니아주 보다도 더 큰 배미가 많으며 표준 논 배미의 크기는 장변 1,600 m, 단변 100 m 정도이다. 논두렁은 벌써 파종후에 둥고선을 따라 조성되어진 곳이 많아 논두렁 조성후 논의 모양은 굽은 모양이다.

다. 건담직파 재배 작업체계(러시아, 연해주 항카호 주변)

러시아는 위도가 높아 벼농사 한계지역으로 적기 작업 일수율이 작을 뿐만 아니라 4~5년 주기로 냉해를 입는다. 파종, 수확 시기에는 건조한 기상조건으로 적기 작업 일수가 부족하며 토양 조사 결과 보고에 의하면 토양이 단단하여 토양 관련 작업기의 폭을 6m 이상으로 늘릴 수 없는 것으로 나타났다.

수직배수가 잘 되지 않아 농기계 주행이 나쁜 면적이 약 21%, 늪지가 5.3% 이기 때문에 케도형 트랙

터가 많이 이용되고 있다. 경운(쟁기) 작업은 가을에 20 cm 이상 1회, 섶토작업은 봄에 10~15 cm 깊이로 2~3회를 실시한다

논 배미의 크기는 1.5~3.0 ha 정도이며 경지 정리는 비교적 잘 되어 있었다.

라. 담수 직파 작업체계 (한국, 서산 현대농장)

충남 서산에 위치한 현대농장은 1980년부터 1993년도까지 간척사업으로 조성된 곳으로 면적은 10,300 ha 정도로 우리 나라 논 면적의 약 1/100정도를 차지하고 있다. 논 배미의 크기는 240 m×60 m, 330 m×60 m 2종류이다. 사용되는 주요 농기계로는 항공기 4대와 트랙터100 여대(80~120 ps)와 보통형 콤파인(예취폭, 약 6.6 m) 50대 등이며 그 외 다수의 농작업기도 사용되고 있다. 주요 병·해충은 도열병, 굴파리, 벼물바구미, 벼멸구 등이 있고, 벼의 생산량은 염해지역으로 발표되지 않고 있으나 외국의 대규모 벼농사 지역과 유사한 수준으로 생각된다.

3. 작업단계별 작업기술

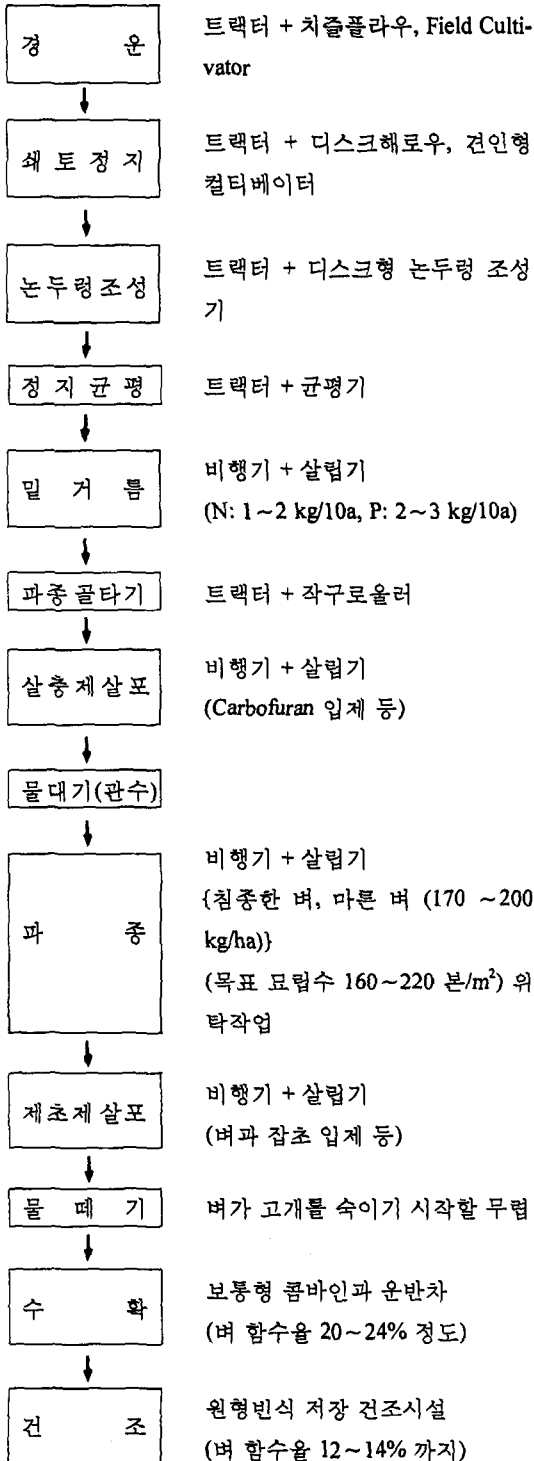
위에서 살펴 본 작업체계에 대하여 벼 재배중 작업단계별 주요 내용을 미국의 작업체계를 중심으로 살펴 보았다.

가. 벼짚 처리

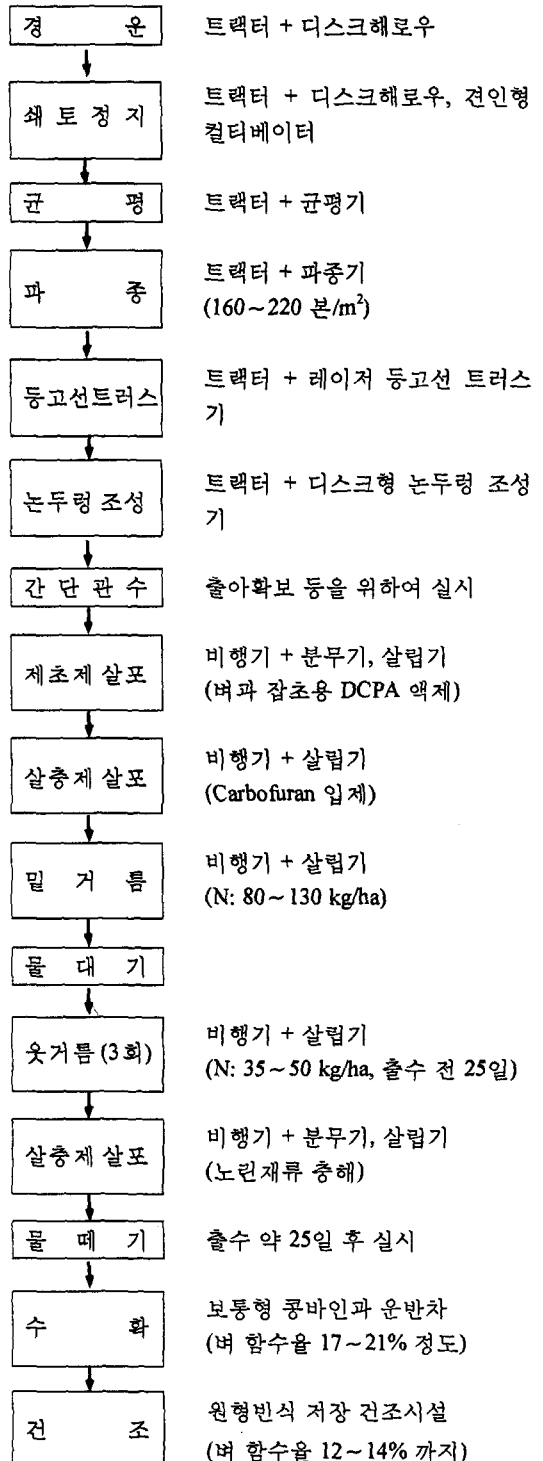
벼 이어짓기가 많은 캘리포니아에서는 약 70%의 논에서 벼짚을 소각시키고 있으나 2000년부터는 대기오염의 규제로 소각처리가 되지 않기 때문에 경운작업시 매몰시키거나, 논 밖으로 반출, 빨리 썩게 하기 위하여 겨울철에 논 배미에 물을 기두기도 한다. 돌려짓기가 많은 남부지방은 벼짚 또는 전작의 작물 수확 후 잔유물을 디스크 헤로우로 경운하면서 매몰하는 곳이 많다.

나. 경운·정지

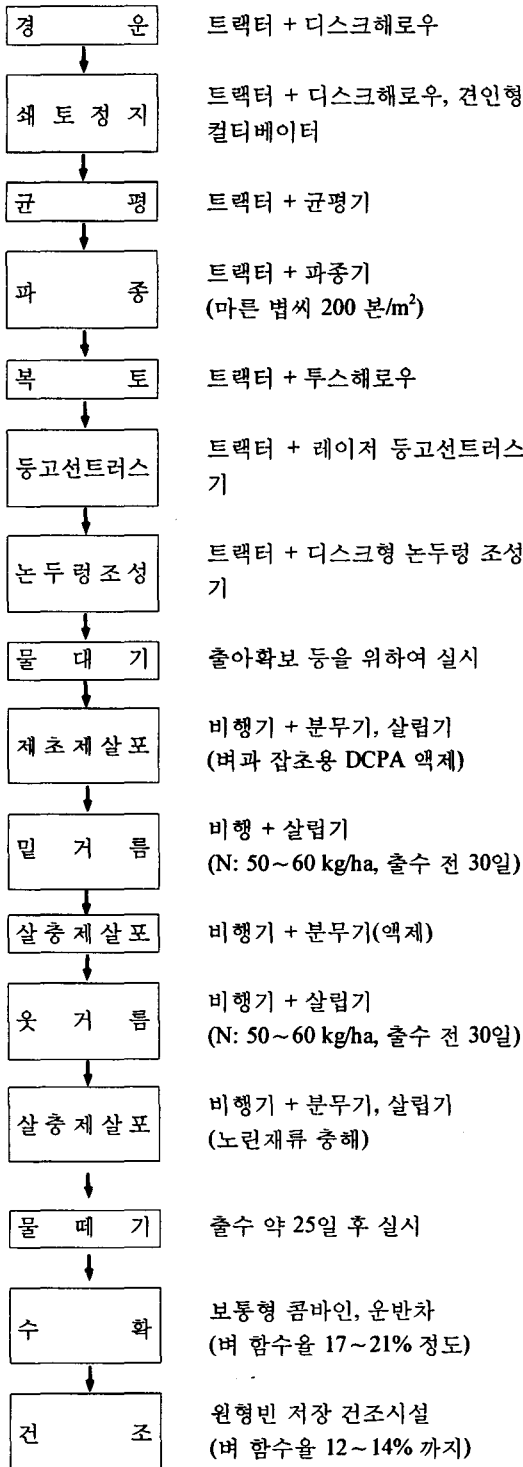
I. 벼농사 연작 담수 산파재배 작업체계 (캘리포니아주)



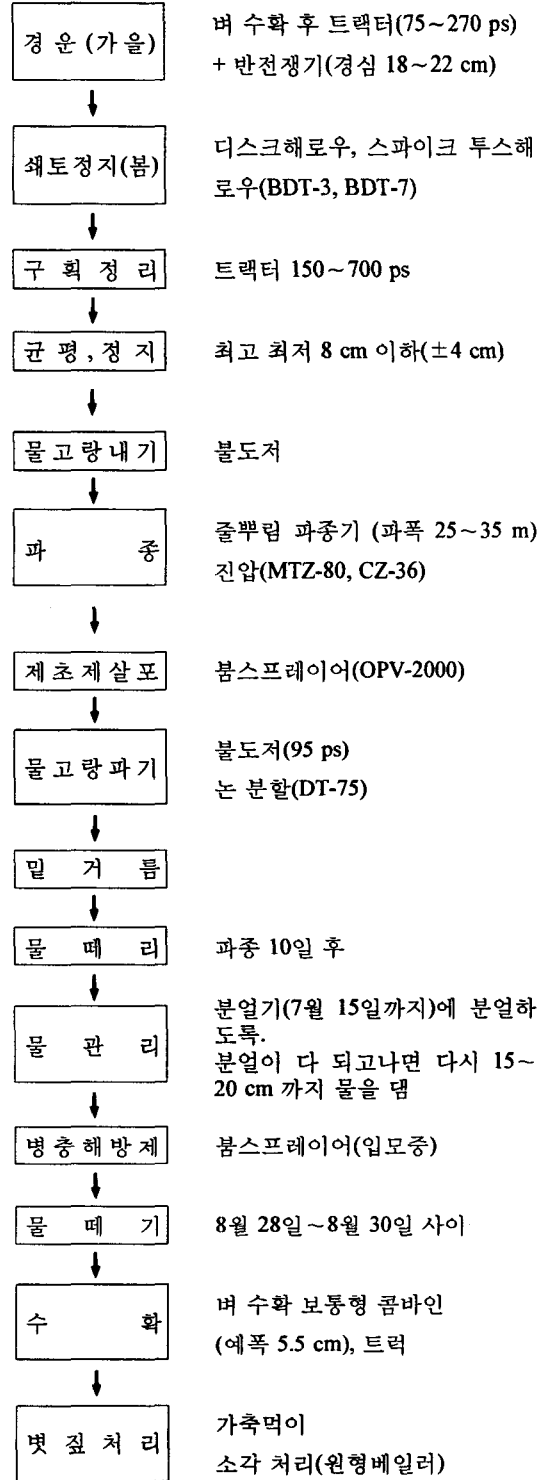
II. 콩 후작 벼농사 건답 조파재배의 작업 체계 (아칸소주)



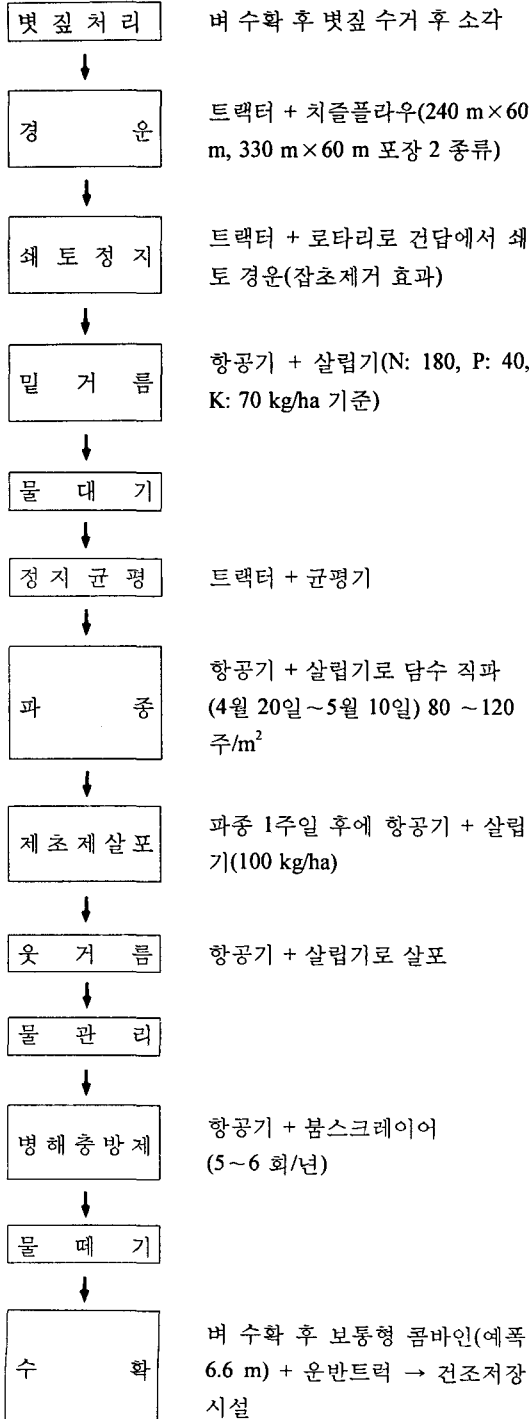
III. 휴경후 벼농사 건답 산파 재배의 작업 체계 (텍사스주)



IV. 러시아 연해주 벼농사 기계화 작업체계 (항카호 주변)



V. 서산 현대농장 벼농사 담수 직파 작업 체계



1차 반전 경운작업은 캘리포니아의 담수 직파에서는 치즐플라우 또는 Field Cultivator (날 끝의 폭이 좁은 견인형 경운날 부착)로 하며, 남부의 건답 직파에서는 디스크 헤로우로 경운한다. 경심은 전자에서는 15~20cm 정도, 후자는 10~15cm 정도가 많다. 가을부터 겨울동안 경운하도록 권장하고 있으나 봄에 경운하는 농가도 있다. 2차 쇄토 정지작업은 디스크 헤로우와 Field Cultivator를 이용한다. 토양조건에 따라 1~3회 정도 실시하고 롤러로 진압하는 곳도 있다. 담수 직파에서는 종자의 표류를 방지하기 위하여 직경 5~7cm 정도의 흙 덩어리가 남도록 쇄토작업을 지도하고 있다. 이들의 쇄토 작업에는 100~300 ps급의 트랙터가 많이 이용되고 있다. 캘리포니아에서는 100 ps정도의 철제 무한궤도 트랙터를 이용한다.

다. 균 평

균평작업은 작업폭이 10m이상인 Land Plain 또는 Dry Plain이라고 불리는 트랙터 견인식 균평기로 하고 있다. 레이저 균평기는 매년 사용되어 지는 것이 아니고 논두렁을 이동하는 경우, 균평정밀도가 나쁘게 된 경우, 고저 차가 큰 포장에서 사용되어지고 있다. 대량의 흙의 이동이 가능하도록 블레이드 후방에 흙을 담아 이동할 수 있도록 버킷이 부착된 기계가 많으며 레이저 균평기는 가격이 비싸서(약 \$15만) 위탁작업이 많다.

라. 파종 골타기

담수 직파에서는 종자의 표류를 방지하기 위하여 파종 전에 작구작업이 필요하다. 종전에는 투스헤로우로 작구작업을 했지만 최근에는 작구용 롤러로 약 15cm 간격으로 깊이 5~7cm 정도의 골을 내고 있다.

마. 논두렁 조성 및 관리

논두렁의 조성은 한 쪽에 4~5 매의 원판 쟁기가 부착된 디스크형 논두렁 조성기가 사용되고 있다.

캘리포니아에서는 표고차 3~8cm 간격으로 조성되어진 직선 고정 논두렁이 대부분이고 물을 깊이 대도록 권장하고 있기 때문에 폭 1.5~2.0m, 높이 50cm 정도 크기의 논두렁이 많다.

남부의 건담 직파에서는 수확 후에 논두렁 디스크로 논두렁을 붕괴시키고 후작물을 재배한다. 벼 농사는 파종후 마크를 부착한 트랙터 직장식의 레이저식 등고선 트러스기(표고 차 통상 6 cm 정도, 경사가 큰 포장 9~12cm)가 추천되고 있다. 논두렁 조성시 논두렁의 양측에 도랑이 만들어져 1 개의 게이트로 관개배수는 원활하게 되고 있다.

#### 바. 밀거름

벼 농사의 밀거름은 물거름(액비)과 싸락거름(입상)이 사용되어지고 있다. 물거름 사용에는 토중 5~10cm에 주입하는 액비 주입기가 이용된다. 캘리포니아주에서는 최근에 액비 주입과 골타기를 동시에 작업하는 기계도 일부에서 이용되고 있다. 입상비료는 비행기에 부착된 살포기와 트랙터 견인식 또는 자주식의 브로드캐스터로 살포한다. 시비작업은 지상 살포업자와 항공 살포업자에게 위탁하여 실시되고 있는 경우가 많다.

담수 직파시 밀거름의 경우 캘리포니아주에서의 벼농사 이어짓기 논에서는 110~170 kg/ha 정도의 요소가 밀거름으로 담수 직파전에 사용되고 있고, 밀거름만 주는 곳은 거의 없다. 요소비료의 형태로서는 암모니아수의 액비가 많다. 인산은 20~30 kg/ha 정도 사용 하지만 칼륨은 거의 사용하지 않으며, 기타 성분도 부족한 경우에만 사용하고 있다.

건담 직파시 밀거름의 경우 아칸소주의 콩 2기작 포장에서는 80~130kg/ha 정도의 질소가 밀거름으로서 물 대기전 4~5엽기에 항공 살포되어 진다.

#### 사. 씨 뿌리기(파종)

담수 직파의 경우 캘리포니아에서는 대부분이 종자, 입상비료, 입제의 살포를 하는 살포기를 부착한 비행기에 의하여 담수 산파한다. 살포 폭은 약

8~15 m, 종자의 적재량은 300~1,800 kg 정도이고, 1회 비행에 약 4~8 ha의 파종이 가능하다. 파종량은 마른 볍씨로 17~22 kg/10a 정도(480~700 립/m<sup>2</sup>)가 많다.

최적 입모수는 160~220 본/m<sup>2</sup> 이라고 하며, 일반적인 입모율은 30% 정도로 추정된다. 입모수가 50~80 본/m<sup>2</sup> 이하의 경우는 재파종이 권장되고 있다. 파종시기는 4월 중순부터 5월 하순이다.

건담 직파의 경우 아칸소주에서는 약 70%가 트랙터 견인식 파종기에 의하여 건담 직파되고, 나머지의 약 절반은 비행기 또는 트랙터 견인식의 브로드캐스터에 의하여 건담 산파후 투스 헤로우로 복토한다. 텍사스주에서는 약 50%가 비행기로 건담 직파, 약 40%가 트랙터 견인식 파종기에 의한 건담조파, 약 10%가 비행기에 의한 담수 산파다. 아칸소주, 텍사스주 양주 모두 무경운 포장의 트랙터 견인식 파종기가 일부 사용되어지고 있다. 파종기에 의한 건담 조파의 조간은 17~20 cm, 파종깊이 1.5 cm 알계 파종하고 파종 후 진압작업을 한다. 건담 직파에서 파종 후 비가 오지 않을 때에는 일반적으로 관수를 한다. 아칸소주에서는 건담 조파의 파종량 마른 볍씨로 90~120 kg/ha 정도(약 130 립/m<sup>2</sup>)이다. 파종시기는 4월 상순부터 5월 하순까지이며, 일반적인 입모율은 40~50% 정도다. 텍사스주에서는 건담 조파시 파종량은 마른 벼로 90 kg/ha 정도가 보통이지만 3월의 조기파종의 경우와 파종상의 흙 덩어리가 거친 경우는 100 kg/ha 정도가 권장되어지고 있다. 건담산파의 파종량은 110 kg/ha 정도이다. 최적 입모수는 200 본/m<sup>2</sup> 정도라고 말하며, 입모수가 90~100 본/m<sup>2</sup> 이하일 때에는 재파종이 권장되어지고 있다. 파종시기는 3월 중순부터 4월 하순까지이다.

#### 아. 웃거름

캘리포니아에서는 일반적으로 웃거름을 주지 않지만 남부 여러 주에서는 질소 웃거름으로 살포기를 부착한 비행기로 살포된다. 아칸소주의 콩 재배 포장에서는 출수 전 약 25일에 35~50 kg/ha, 그 후 7~11일 후에 35~50 kg/ha의 질소 웃거름으로 살포

한다. 또한 4~5엽기의 질소 밀거름 효과가 부족할 때에는 물을 댄 후 10~15일에 35 kg/ha 정도의 밀거름으로 살포된다. 텍사스주에 있어서는 3월 파종에서는 시비량 전체의 1/3을 요소비료로 물대기 직전과 출수 전 약 30일에, 4월 파종에서는 1/3의 질소를 이삭이 생길 때에 각각 시비하지만 5월 파종에서는 전량 밀거름으로 권장되어지고 있다.

#### 자. 물 관리

캘리포니아의 답수 직파에서는 5~10 cm의 수심에서 파종되어지고 잡초를 억제하기 위하여 활착기도 10~13 cm 정도의 수심을 유지하는 경우가 많다. 이삭 생긴 후에는 이삭을 야간 저온으로부터 보호하기 위하여 12~30 cm 정도로 물 관리가 이루어지고 있다. 캘리포니아주에 있어서 생육기간중의 물 사용량은 140~230 cm 정도이며 그 중 증산 부분이 90~110 cm, 지하 침투수 부분이 15~61 cm 정도로 보고되고 있다. 계속하여 답수를 하는 것은 초장 15~20 cm 정도인 4~5엽기 경 부터이고 5~10 cm의 얇은 물 관리가 경제 물 관리면 및 벼의 수확량면에서 유리하다고 권장되어지고 있다. 중간에는 벼물바구미의 발생이 많은 경우 등 필요할 때에 관수한다. 생육기간중의 물 사용량은 아칸소주에서는 150~260 cm 정도, 텍사스주에서는 260~300 cm 정도로 보고된다.

생육기간중 논 배수를 신속하게 하기 위하여 캘리포니아 및 남부에서는 철차륜을 부착한 물 관리용 트랙터가 배수구 조성에 이용되어지고 있다. 토양조건에 따라 다르지만 일반적으로 수확 7~10일 전에 물을 떼기를 시작한다. 텍사스주에서는 조립질 토양에서는 수확 10일 전까지 세립질 토양에서는 수확 15일 전까지 물을 떼도록 지도하고 있다.

#### 차. 병·해충 방제

잡초, 충해 및 병해의 방제는 농약살포를 주로 하고 있다. 농약살포는 살렵기 또는 분무기를 부착한 비행기로 항공살포 작업자에게 위탁하여 살포한다.

살포시 진입위치를 결정하기 위하여 GPS를 장착한 비행기가 이용되고 있다.

아칸소주 및 텍사스주에서는 고온 다습한 기후이기 때문에 병·해충 방제가 필요하다. 가장 많은 병해는 도열병과 문고병이며 필요에 따라 비행기를 사용하여 평균 1~2회 살균제를 살포하고 있다.

캘리포니아주에서는 충해도 거의 없지만 벼물바구미 및 노린재류 일종으로 벼의 묘를 굴취해 먹는 피해가 발생한다. 벼물바구미 방제를 위한 살충제는 일반적으로 입제를 물대기·파종전에 비행기로 살포하고 있다. 아칸소주 및 텍사스주에 있어서는 충해의 피해가 많고 벼물바구미가 두 번째 충해로 되어 있다. 피해가 심각한 지역에서는 비행기에 의한 약제 살포가 일반적으로 실시되고 (평균 2~3 회/년) 벼물바구미는 입제가, 벼멸구는 액제와 입제가 살포된다.

미국에서는 농약사용에 대한 규제가 많다. 캘리포니아주에서는 농약 판매업자와 농약 살포업자의 사무소에는 주정부에 등록 되어진 PCA(Pest Control Adviser)라고 불리는 방제전문가가 있고 농업인의 의뢰를 받아 방제적기의 판단, 약제의 선정, 작업계획 수립 등 지도를 하고 있어 살포작업의 가부를 결정하고 있다. 따라서 농업인 및 업자는 PCA의 허가 없이는 약제 살포가 불가능하다. 또한 농약판매, 살포업자 및 농약을 취급하는 농업인에 대하여는 주정부에서 발행한 면허가 필요하며 자기 눈에만 농약을 사용하는 농업인도 농약 취급면허가 필요하다.

#### 카. 수확

수확은 차륜식 보통형 콤바인을 이용하고 있다. 수확된 벼는 콤바인과 나란히 주행하는 트랙터 견인식 운반 차에 적재되어 도로까지 운반되며, 도로에서는 트럭에 다시 적재되어 운반된다. 입모탈곡 Header(Stripper)와 회전식 선별부가 장착된 콤바인이 일부에서 이용되어지기 시작하였고 고무 크롤러가 부착된 반케도형 콤바인도 시판되고 있다. 수확시 벼 수분함량은 캘리포니아주의 중립 중에서는 20~24%, 장립중에서는 18~21%, 아칸소주에서

17~21%, 텍사스주에서는 18~23%가 권장되고 있다. 수확시기는 캘리포니아주는 9월 상순부터 11월 하순, 아칸소주는 9월 상순부터 10월 하순, 텍사스주는 7월 하순부터 11월 중순이다. 수확작업은 오전 11시부터 오후 5시까지 한다.

타. 벼 수확후 건조·조제·저장

수확된 벼는 주로 원형빈식 저장 건조장치에 의하여 열풍 건조 또는 상온 통풍 건조를 하고 있다. 열풍 건조의 연료는 대부분 LPG가 사용된다. 캘리포니아주에서는 80% 정도가 남부에서도 반수 정도가 정미업자에게 건조작업을 위탁하고 있다. 열풍 건조시의 바람의 온도는 38℃ 이하가 권장되고 있고 저장에 적합한 벼의 수분함량은 12~14% 이지만 안전한 함수율은 13% 이하라고 한다. 정미는 생산자조합 또는 정미업자가 한다. 벼는 잡초종자의 혼입량, 열손립 혼입량, 적미 혼입량, 백아질립율, 색에 의하여 6등급으로 나뉘어지고 있다.

4. 요약 및 결론

가. 대규모 벼농사 재배지역에서의 농업기계화 작업체계 기술은 토성, 기상조건, 벼 품종 작부체계 등에 따라 건답 산파 또는 조파, 답수 산파 등 특성이 있어 조건에 알맞은 기계화 체계와 기술이 개발되어지고 있다.

나. 건답 산파 또는 건답 조파와 답수 산파의 작업 체계상 차이점은 논두렁 조성의 순서가 다르며 건답의 경우에는 파종후 진압을 하고 논두렁을 만들며, 답수의 경우에는 경운 쇄토작업후 파종전에 논두렁을 조성하고 있다.

다. 대규모 벼농사 체계에서는 우리나라의 로타리 작업기와 같은 구동형 쇄토기를 사용하지 않고 견인형 컬티베이터나 디스크 해로우같은 견인형 작업기를 사용하여 고속작업을 하고 있는 것으로 보아 금

후 대구획 논에서는 견인형 고속 쇄토정지기의 연구 개발이 필요하다.

라. 벼 수확 후 볏짚의 처리는 대부분 소각 처리하고 있으나 지구 환경문제가 있어 금후에는 토양에 환원하여 빨리 썩혀 유기물로 이용할 수 있는 기술 개발이 요구된다.

마. 비가 많은 우리 나라에서는 관개용수 확보면에서 유리하나 농작업면에서 불리하고 미국과 같이 비가 적은 지역에서의 대규모 벼 농사는 관개용수 확보가 앞으로 큰 문제로 남아 있으며 대규모 벼농사 기술은 물 관리의 정밀작업이 요구되며 신속한 배수처리 문제도 남아 있다.

바. 러시아 연해주의 대규모 벼농사 재배지역은 농사 한계 위도라서 냉해를 입을 우려가 많고 겨울 동안 땅이 2 m 깊이까지 얼어붙어 얼기전에 반전경운을 한 다음 이듬 해 지표면이 10 cm 정도 녹아 내리면서 쇄토 정지작업을 하고 파종하기 때문에 적기작업 가능일수가 부족하여 노동경합이 있으며, 수확 시기에 또한 겨울이 빨리 오기 때문에 대형기계의 합리적인 경영이 지적된다.

사. 대규모 벼농사 재배 지역에서는 농작업에 따라 항공기나 대형 농기계에 의한 레이저 균평작업, 비료농약 살포작업, 건조 저장시설 등 수·위탁작업을 하여 경영의 합리화를 하고 있어 우리 나라에서도 이에 대한 연구검토가 필요하다.

참 고 문 헌

1. 농촌진흥청. 1996. 해외영농기술지원단 현지조사보고서.
2. 농촌진흥청. 1995. 호주의 벼농사. 농촌진흥기판연수단 보고서.
3. 後藤隆志. 1996. 米國における稲作機械化技術の調査. 日本生研機構.
4. USDA. 1994. Rice. Situation and Outlook Report.
5. USA. 1996. Rice Council : Facts about USA Rice.