

## 벼 펠릿 종자용 타격식 파종장치 개발

# Development of An Impact-Type Seed-Metering Device for Rice-Seed Pellets

최영수                      구경본                      유수남  
정회원                                           정회원  
Y. S. Choi                  G. B. Koo                  S. N. Yoo

### SUMMARY

An impact-type seed-metering device was developed for the planting of rice-seed pellets. In this study, new design of pellet-metering device focused on simplicity and precision seeding for the planting of rice-seed pellets. In addition to seed-metering device, several devices were also developed such as seed-guiding device, seed-supplying tube and furrow opener for precision pellet planting. Field test was conducted to estimate the planting performance of the developed metering device.

As a cam rotates, the impact bar of the metering device pushes a rice-seed pellet so that the seed can be discharged from the seed-supplying tube in the impact-type seed-metering device. Results of the tests showed that mean seeding spacing was 12cm at the traveling speed of 1.0m/s, corresponding to a target spacing for planting of rice-seed pellets. Also, both miss-seeded rate and damaged-seed rate were less than 2.0%, indicating acceptable levels for the precision planting. The developed mechanism of the impact-type metering device can be directly applied to the design of metering devices for the precision pellet planting of other crops.

**Keywords** : Rice-seed pellets, Impact-type seed-metering device, Planting, Seeding spacing.

## 1. 서      론

벼 재배의 생력화를 위한 우리 나라의 벼 직파 재배는 1986년부터 관련 연구를 시작하여 UR협상이 추진되면서 농산물 시장개방에 적극 대응하기 위하여 1992년부터 본격적으로 농가에 보급되기 시작하였다. 벼 직파재배 면적은 꾸준히 증가 추세를 보여 1995년에 전국적으로 12만여 ha를 최대로 1999년 현재 7.1만ha가 직파재배된 것으로 조사되었다.

벼 직파재배의 소요노동력은 25.3 시간/10a으로

조사되었는데, 이를 현행 종묘 기계이앙재배의 소요노동력인 35.7 시간/10a와 어린묘 기계이앙재배의 소요노동력인 32.1 시간/10a과 비교하면 각각 29%와 21%의 노동력절감 효과가 있고 벼 수확량 면에 있어서도 직파재배와 기계이앙재배의 경우가 별 차이가 없는 것으로 보고되고 있다. 또한 쌀의 직접생산비 면에서도 직파의 경우에 전국평균 쌀 생산비의 87% 수준으로 조사되어 벼 생산비 절감 효과도 큰 것으로 나타났다.

현행 보급된 벼 직파재배기술은 직파유형에 따라 차이가 있지만 발아율 및 입모율, 도복, 잡초방

The article was submitted for publication in February 2001, reviewed in February 2001, and approved for publication by the editorial board of KSAM in April 2001.

This study was conducted by the research fund supported by Ministry of Agriculture and Forestry. The authors are Yeong Soo Choi, Associate Professor, Gyeong Bon Koo, Research Assistant, Soo-Nam Yoo, Professor, Department of Biosystems and Agricultural Engineering, Chonnam National University, Kwangju Korea. The corresponding author: Y. S. Choi, Associate Professor, Department of Biosystems and Agricultural Engineering(Institute of Agricultural Science & Technology), Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea. E-mail:<sy-choi@chonnam.ac.kr>.

제, 종자손실 및 유동, 포장준비 및 재배관리 등의 기술적인 많은 문제점들이 있어, 이를 획기적으로 개선할 수 있는 방안이 요구되고 있다. 이를 위하여 벼 종자를 펠릿(pellet)형태로 조형한 벼 펠릿종자를 이용하여 현행의 직파재배를 대신한다면, 현행 직파재배의 여러 가지 문제점들을 해결할 수 있을 뿐만 아니라, 입모율 향상, 초기생육촉진 및 초기 병충해 방제, 시비기술의 혁신을 기할 수 있어 안정적인 직파재배 기술을 확립할 수 있을 것으로 기대된다. 벼 펠릿종자를 이용한 직파 시스템 구축을 위해서는 벼 펠릿종자 개발 및 재배 체계 구명, 벼 펠릿 제조기계 개발, 벼 펠릿 파종기 개발 등의 유기적인 연구가 필요하다.

직파기에 사용할 수 있는 점파용 배출장치에 관한 국내 연구는 아직 미흡한 상태이다. 류(1997) 등은 구조가 간단하고, 배출량을 쉽게 조절할 수 있으며, 고속 파종에 적합하고, 가격이 상대적으로 저렴한 장점이 있는 롤러식 종자배출장치를 이용한 점파용 정밀 종자배출장치를 설계하였다. 이(1996) 등은 종자의 상태에 따른 직파의 문제점과 종자배출장치의 문제점을 발견하였으며, 이(2000) 등은 파종기 설계를 위한 종자의 형태학적 분석에서 파종기의 설계시에 사용할 수 있는 형상인자는 신축비가 가장 적합하다는 결과를 얻었다. 그러나 현재 벼 펠릿종자를 이용한 직파는 본 연구에서 최초로 시도되는 것으로 국내외적으로 벼 펠릿종자용 파종기에 관한 연구는 현재 전무하다.

따라서, 본 연구에서는 벼 펠릿종자를 이용한 직파 시스템 구축의 일환으로 벼 펠릿종자를 직파할 수 있는 파종장치를 개발하고자 하였다. 이를 위하여 벼 펠릿종자용 파종장치의 핵심장치인 종자배출장치로서 타격식 종자배출장치를 개발하였으며, 포장실험을 통하여 그 성능을 평가하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 벼 펠릿종자

벼 펠릿종자용 정밀파종장치에 사용된 벼 펠릿종자로 동안벼를 사용하였으며, 펠릿당 3~4립의 벼 종자가 직경 12 mm 내외의 구형 펠릿 속에 포함되도록 제조하였다. 펠릿의 재료로는 산적토와 접합제로서 아라비아 고무와 젤라틴을 혼합한 용액을 이용하였으며, 이밖에 미량의 복합비료도 첨가하였다. 그림 1은 본 연구에 사용하기 위하여

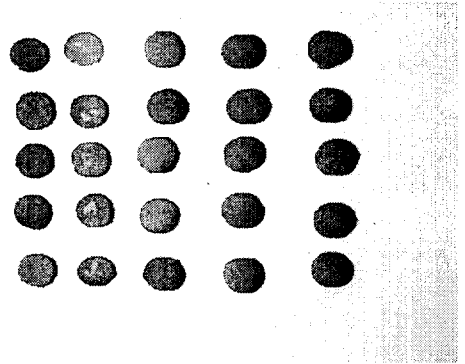


Fig. 1 View of rice-seed pellets.

펠릿종자 제조장치로 제조한 벼 펠릿종자를 나타낸 것이다.

### 나. 종자배출장치

종자배출장치는 종자통에서 공급받은 일정량의 종자를 파종하는 장치이며, 파종 후 종자는 구절기가 형성한 골을 따라 일정한 파종간격을 유지하여야 한다. 기존의 벼 직파용 종자배출장치는 약 30% 이내의 분산비 내에서 일정량의 종자가 배출될 수 있도록 설계되어 있다. 이에 반하여 벼 펠릿종자용 종자배출장치는 종자배출장치에서 정확히 한 개의 펠릿종자가 배출되어 12 cm의 일정한 파종간격을 유지할 수 있도록 설계하였다. 이는 벼 펠릿종자 재배실험 결과, 가장 이상적인 파종간격은 약 12 cm로 나타났기 때문이다.

개발된 타격식 종자배출장치에서는 종자공급관에 미리 대기하고 있는 펠릿종자를 타격봉이 단립의 펠릿종자만을 타격하여 배출되며, 타격봉은 캠에 의하여 직선왕복운동 하게 된다. 타격식 종자배출장치의 종자타격부는 원판캠, 종자타격봉, 임의배출방지용 브러쉬, 종자공급관 등으로 이루어져 있으며, 그림 2는 이를 도식화한 것이다.

### 다. 동력전달장치

종자배출장치의 동력은 파종기의 PTO축으로부터 얻게되며, PTO축은 헬리컬 베벨기어로 구성된 감속장치로 연결되어 회전 방향이 90° 변환되도록 하였다. 감속장치의 출력축은 다시 종자유도장치용 캠의 구동축과 연결되는데 이 연결에는 체인구동방식을 채택하였다.

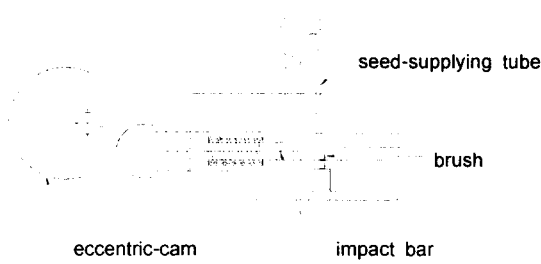


Fig. 2 Sketch of the designed impact-type metering device.

종자유도장치용 캠축과 종자타격장치용 캠축은 기어를 이용한 동력 전달 방식을 채택하였다. 구동축과 종자타격부 회전축의 회전비는 1 : 1이 되도록 구성하여 종자유도장치가 1 회 상하왕복운동을 할 때 타격봉도 1회 타격동작을 수행하도록 하였다.

### 라. 임의배출 방지용 브러쉬와 종자 공급관

펠렛종자가 종자통으로부터 종자타격부의 입구까지 도달하는 동안에 낙하 도중의 미소한 충격과 작업기 진동 등에 의해 파종장치에 진동이 발생하게 된다. 이 때문에 펠렛종자의 임의 배출, 펠렛종자가 종자공급관의 중심보다 앞쪽에 미리 이동하여 발생하는 펠렛종자 두 개의 동시 배출, 종자 파손 등의 문제가 발생한다. 이러한 펠렛종자의 임의 배출을 방지하기 위하여 브러쉬를 설치하였다. 브러쉬는 종자공급관 하단에 설치하였으며, 종자관에 노출되는 브러쉬의 길이는 타격장치에 의해 펠렛종자가 타격된 후에 용이하게 배출될 수 있도록 펠렛 직경의 약 30%인 4 mm 정도를 종자관 내부에 노출되도록 하였다. 브러쉬의 재질은 탄성과 내열성이 우수한 우레탄 브러쉬를 사용하였으며, 그림 3에는 개발한 타격식 종자배출장치의 전체 구성을 나타내었다. 종자공급관의 내경은 펠렛종자의 직경이 약 12 mm 임을 고려하여 15 mm로 제작하였으며, 종자공급관의 길이는 펠렛종자의 공급 여유를 주기 위해서 100 mm로 결정하였다.

### 마. 종자유도장치와 종자통

종자통 내의 펠렛종자는 종자공급관을 통해서 종자배출장치에 공급된다. 그런데, 펠렛종자의 주 재료로 상토가 사용되었기 때문에 종자간의 마찰이 커서 종자공급관 입구에서 펠렛종자끼리 서로 맞물리는 현상과 함께 종자공급관 입구를 막는 현상이 발생하게 된다. 종자공급관 입구에서 펠렛종자의 막힘을 해소하기 위하여 종자통의 하부에 종자유도장치를 설치하였다.

종자유도장치는 직경을 종자공급관 보다 약간 초과하여 종자공급관의 바깥쪽으로 끼워 넣어 상하운동을 하도록 설치하였다. 종자유도관은 작업기 본체와 연결된 구동축에 캠을 설치하여 구동축의 회전에 따라 종자유도관이 상하운동을 하도록 하였다. 캠기구에 의해 작동되는 종자유도관의 행정은 종자의 신속한 공급을 위해서 약 40 mm가 되도록 하였고, 종자유도관의 끝부분에 티오피어(tapper)를 주었다. 종자유도관의 상하운동을 위해 구동축에 설치한 캠기구는 두께 11 mm의 원형관에 편심을 주어 회전시에 발생하는 소음과 진동을 최소화하도록 하였다. 종자통의 형상은 펠렛종자가 손상을 입지 않고 종자공급관으로 원활히 공급될 수 있도록 하기 위하여 종자통의 하부를 경사지도록 설계하였으며, 종자통 하부의 경사면과 종자투입구 사이에 펠렛종자 한 개가 유지되도록 수평면을 형성하였다.

### 바. 종자배출장치 성능 평가 실험

#### (1) 실험 방법

펠렛종자 파종과 같은 점파 작업에서는 파종기의 작업속도 변화에 무관하게 일정한 파종간격이 유지되면서 파종되어야 한다. 즉, 파종기의 작업속도에 무관하게 일정한 파종간격을 유지하기 위해서는 종자배출장치에서 펠렛종자가 파종기의 주행속도에 비례하여 배출되어야 한다. 종자배출성은 주행거리 10 m에서 배출되는 펠렛종자의 배출량과 배출 후의 지면에 도달한 펠렛종자의 상태 등을 측정하여 파종간격, 종자의 미파종률 및 파손율 등으로 그 성능을 평가하였다.

타격식 종자배출장치의 펠렛종자의 크기의 변화에 따른 적응성과 작업속도의 변화에 따른 파종성능을 평가하기 위하여, 파종작업기의 작업속도와 펠렛종자 크기에 따른 요인실험을 포장에서 실시하였다. 파종작업기의 작업속도 수준은 일반적인 벼 직파기의 작업속도 수준인 0.4 m/s, 0.7 m/s.

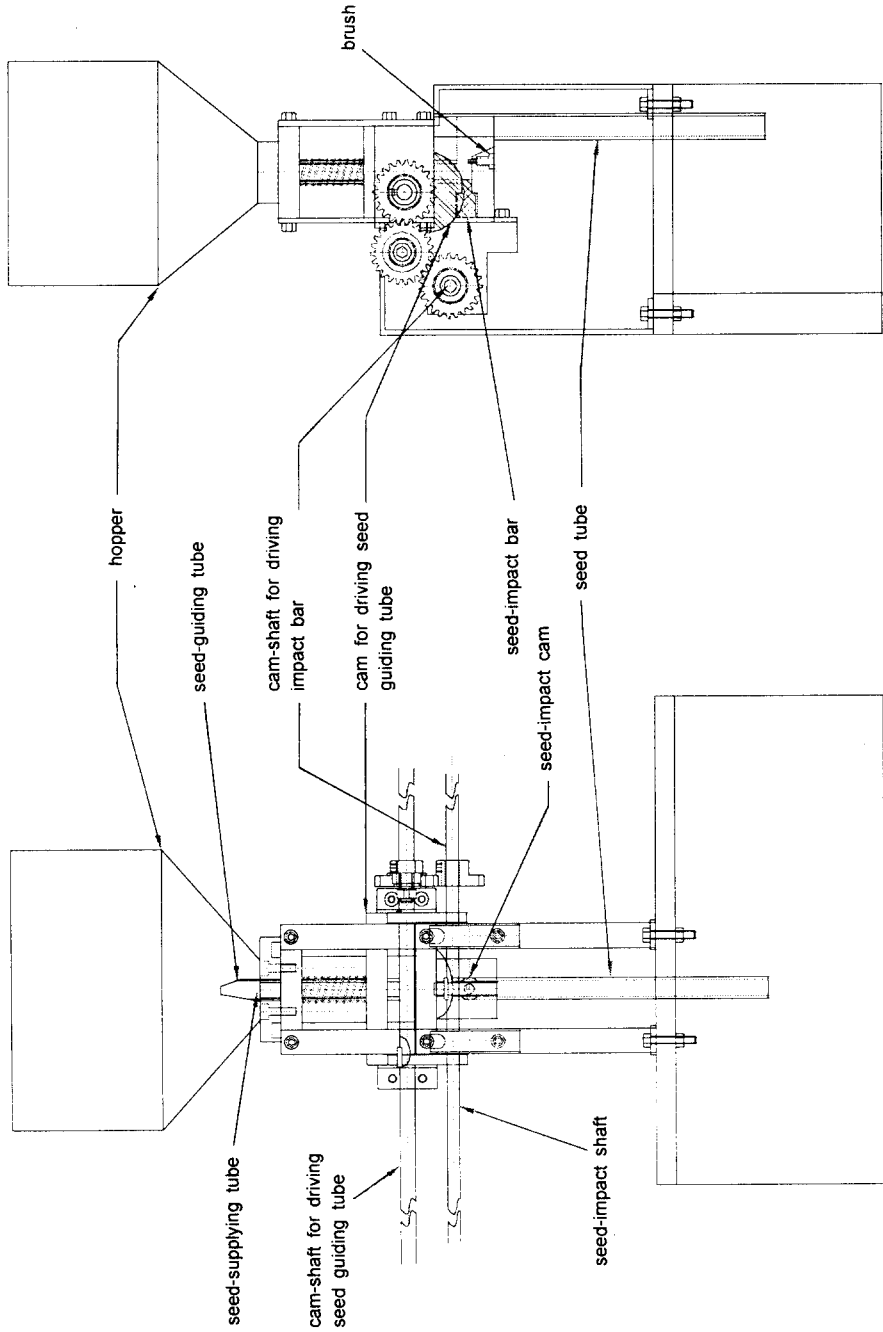


Fig. 3 Overview of the impact-type metering device.

1.0 m/s의 3 수준으로 하였으며, 펠릿종자의 크기는 각각 10.5~11.5 mm(평균 11 mm), 11.5~12.5 mm(평균 12 mm)의 두 가지 범위를 선택하였다. 이는 펠릿종자 재배 및 제조실험 결과 가장 적합한 벼 펠릿종자의 크기는 12 mm 내외인 것으로 판명되었기 때문이며, 예비실험에서 목표로 하는 펠릿의 직경 12 mm 보다 약간 큰 펠릿종자에서는 파종에 문제가 없었으나, 작은 경우에는 펠릿종자의 파손현상이 나타났기 때문이다. 왜냐하면 종자공급관의 내경을 펠릿종자의 원활한 배출을 위하여 펠릿종자의 직경보다 약간 큰 15mm로 설계하였고 타격봉의 지름은 12mm로 설계하였기 때문에 작은 펠릿의 경우에는 종자공급관에서 두 개의 펠릿이 겹쳐지는 경우가 발생하였다. 그 경우 타격봉에 의해 겹쳐진 펠릿이 타격당하여 펠릿에 손상이 발생하였으므로 크기가 작은 펠릿종자의 적용성을 알아보기 위해 평균직경 11 mm를 선택한 것이다. 포장 실험은 무논 상태에서 기존의 벼 직파작업과 이앙작업이 가능한 상태가 되도록 준비하였다.

(2) 종자배출장치 성능분석

타격식 종자배출장치의 파종성능은 파종작업속도별 최대파종간격, 최소파종간격, 평균파종간격, 미파종률, 파손율, 파종간격의 최빈수 등으로 분석하였다. 여기에서 미파종률 및 파손율은 다음의 식으로 환산하였다.

$$\text{미파종율} = \frac{\text{미배출종자수}}{\text{배출종자수} + \text{미배출종자수}} \times 100(\%) \dots\dots (1)$$

$$\text{파손율} = \frac{\text{파손종자수}}{\text{정상종자수} + \text{파손종자수}} \times 100(\%) \dots\dots (2)$$

3. 결과 및 고찰

가. 펠릿종자의 크기가 10.5~11.5 mm 인 경우

표 1은 펠릿종자의 크기가 10.5~11.5 mm(평균 11 mm)인 펠릿종자를 대상으로 작업속도의 변화에 따른 타격식 종자배출장치의 포장실험 결과를 나타낸 것이다.

작업속도 0.4 m/s, 0.7 m/s, 1.0 m/s의 세 가지 속도수준에서 모두 평가 항목간의 차이는 거의 나타나지 않았다. 평균파종간격은 약 12.0 cm로 나타났으며, 발생빈도가 가장 높은 파종간격은(Mode seeding spacing) 작업속도 0.4, 0.7, 1.0 m/s에서 12.0, 12.5, 11.5 cm로 각각 나타나 목표로 하는 파종간격을 정확히 얻을 수 있었다. 또한, 종자의 파손율은 전체적으로 1.2% 이하로 나타났으며, 미파종률과 결주율은 2% 미만으로 평균 배종률이 98% 이상인 것으로 나타났다. 따라서 펠릿종자 제조 및 재배실험에서 펠릿의 목표 크기인 12 mm 보다 작은 10.5~11.5 mm(평균 11 mm)의 펠릿종자에 대해서도 타격식 종자배출장치의 적용이 가능한 것으로 판단되었다.

Table 1 Performance of the impact-type metering device (pellet size : 10.5 ~ 11.5 mm)

	Traveling speed (m/s)		
	0.4	0.7	1.0
Maximum seeding spacing (cm)	13.0	13.0	14.0
Minimum seeding spacing (cm)	9.5	9.5	8.0
Mean seeding spacing (± σ, cm)	11.3(±1.023)	11.7(±1.094)	11.8(1.204)
Mode seeding spacing (cm)	12.0	12.5	11.5
Damaged-seed rate (%)	0.7	1.2	1.0
Miss-seeded rate (%)	1.0	1.7	0.8

\* σ: Standard deviation.

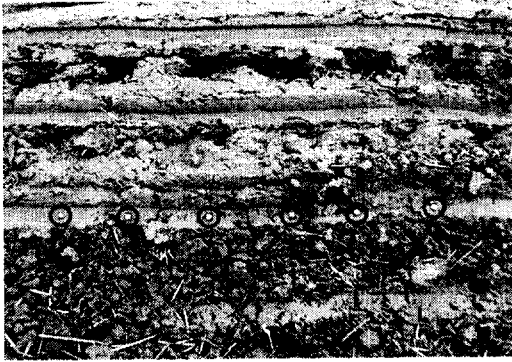


Fig. 4 View of seeded pellets.

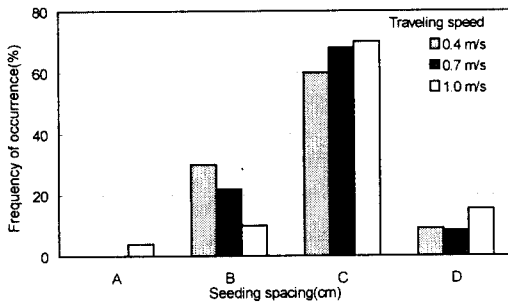


Fig. 5 Distribution of seeding spacing by the impact-type metering device (pellet size : 10.5~11.5 mm).

where, A : Seeding spacing 7.0~ 8.9 (cm)  
 B : Seeding spacing 9.0~10.9 (cm)  
 C : Seeding spacing 11.0~12.9 (cm)  
 D : Seeding spacing 13.0~14.9 (cm)

펠렛종자의 크기가 10.0~11.5 mm인 펠렛종자를 대상으로 각각의 작업속도 수준별 파종간격의 분포경향을 그림 5에 나타내었다. 본 연구에서 목표로 하는 벼 펠렛종자의 파종간격인 12 cm의 전후에 파종량의 60% 이상이 분포하였으며, 파종간격이 12 cm 이외의 범위에도 분포하였다. 이것은 종자배출장치에 종자가 배출되는 양상을 관찰한 결과, 파종작업 도중에 발생하는 충격과 진동에 의해 종자배출관에서 충돌이 발생한 것이 원인인 것으로 판단되었다.

나. 펠렛종자의 크기가 11.5~12.5 mm 인 경우

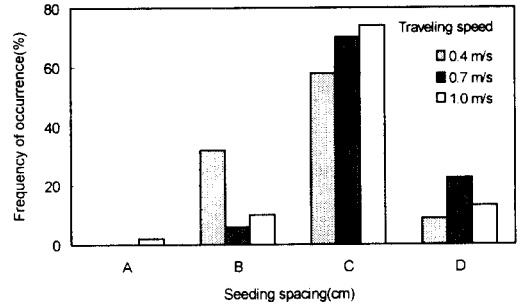


Fig. 6 Distribution of seeding spacing by the impact-type metering device (pellet size : 11.5~12.5 mm).

where, A : Seeding spacing 7.0~ 8.9 (cm)  
 B : Seeding spacing 9.0~10.9 (cm)  
 C : Seeding spacing 11.0~12.9 (cm)  
 D : Seeding spacing 13.0~14.9 (cm)

표 2와 그림 6은 펠렛종자의 크기가 11.5~12.5 mm인 펠렛종자를 대상으로 작업속도의 변화에 따른 타격식 종자배출장치의 포장실험 결과를 나타낸 것이다. 평균직경 12 mm인 벼 펠렛종자의 경우에도 작업속도 0.4 m/s, 0.7 m/s, 1.0 m/s의 세 가지 속도수준에서 모두 평가 항목간의 차이는 거의 나타나지 않았다. 평균파종간격은 역시 12 cm로 동일하게 나타났으며, 발생빈도가 가장 높은 파종간격(Mode seeding spacing)도 작업속도 0.4, 0.7, 1.0 m/s에서 12.0, 12.5, 12.5 cm로 각각 나타나 목표로 하는 파종간격을 정확히 얻을 수 있었다. 또한, 종자의 파손율은 전체적으로 1.8% 이하로 나타났으며, 미파종률과 결주율 또한 2% 미만으로 평균 배종률이 98% 이상인 것으로 나타났다. 따라서 펠렛종자 제조 및 재배실험에서 펠렛의 목표 크기인 12 mm인 펠렛종자에 대해서 타격식 종자배출장치의 우수한 파종성능을 얻을 수 있었다.

그림 6은 펠렛종자의 직경 11.5~12.5 mm(평균 직경 12 mm)에 대해 속도수준별로 종자배출 후의 파종간격의 분포를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 펠렛종자의 직경 10.5~11.5 mm(평균 직경 11 mm)의 펠렛종자와 마찬가지로 작업속도 변화와 무관하게 파종간격 12.0 cm의 범위에서 70% 정도의 분포를 이루고 있어 충격에 의한 종자

Table 2 Performance of the impact-type metering device  
(pellet size : 11.5 ~ 12.5 mm)

	Traveling speed (m/s)		
	0.4	0.7	1.0
Maximum seeding spacing (cm)	13.0	13.5	13.3
Minimum seeding spacing (cm)	9.0	9.0	8.0
Mean seeding spacing ( $\pm \sigma$ , cm)	11.4( $\pm 1.062$ )	12.2( $\pm 0.885$ )	12.0( $\pm 1.044$ )
Mode seeding spacing (cm)	12.0	12.5	12.5
Damaged-seed rate (%)	0.7	1.4	1.8
Miss-seeded rate (%)	1.2	1.4	1.0

\*  $\sigma$ : Standard deviation.

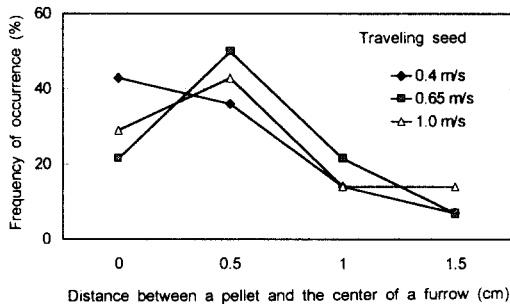


Fig. 7 Distribution of pellets in furrows.

운동의 불균일성을 고려한다면 타격식 종자배출 장치의 경우 평균직경 12 mm인 벼 펠렛종자에 대해 정확하고 균일한 파종간격을 얻을 수 있는 것으로 판단되었다.

#### 다. 종자배출관 성능

종자배출관은 종자배출장치에서 배출된 펠렛종자를 흩어짐이 없이 골까지 유도하는 역할을 한다. 본 연구에서는 내부가 정사각형 단면인 끈고 좁은 관을 종자배출관으로 사용하였으며, 종자배출관과 지면과의 높이는 약 100 mm의 높이를 유지하도록 하였다. 종자가 배출되는 양상은 타격봉에 의해 종자관으로 배출된 후 1~3회 종자배출관 벽에 충돌한 후에는 더 이상 충돌없이 종자배출관 밖으로 배출되는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 그

림 7은 펠렛종자가 골에 배출된 후, 골의 중심에서 종자의 중심까지 간격을 측정하여 그 간격의 빈도분포를 나타낸 것이다. 그림에서 나타난 바와 같이 모든 작업속도 범위에서 골의 중심으로부터 1.0 cm 이내에 벼 펠렛종자가 분포하였다. 따라서, 본 연구에서 선정된 종자배출관을 사용하였을 경우 골의 범위를 벗어나지 않고 정상적으로 골에 위치하는 것으로 나타났다.

#### 4. 요약 및 결론

벼 펠렛종자를 파종할 수 있는 파종장치 개발을 위하여 타격식 종자배출장치와 종자통, 펠렛종자 유도장치, 종자공급관, 종자배출관, 구절기 등을 개발하였다. 타격식 종자배출장치는 캠의 직선왕복운동을 함에 따라 타격봉이 단립의 펠렛종자를 타격하여 배출하는 형식으로 설계되었으며, 개발된 파종장치는 포장실험을 통하여 그 성능을 평가하였다. 성능 평가실험은 파종 작업속도 0.4~1.0 m/s 범위의 3 수준에서 실시하였으며, 파종간격, 최대 및 최소 파종간격, 파종간격의 범위분포, 미파종율, 펠렛종자 파손율 등을 측정하였다.

실험 결과, 개발된 타격식 종자배출장치는 파종간격이 본 연구에서 목표로 하는 12.0 cm의 범위에 70% 정도가 분포하였고, 최소파종간격과 최대파종간격은 각각 9.0 cm와 14 cm로 나타나 목표 파종간격을 정확히 얻을 수 있었으며, 미파종률과 펠렛 파손율도 전체 파종량의 약 2.0% 미만으로

고속의 작업속도 수준에서도 극히 우수한 성능을 나타내었다.

### 참 고 문 헌

1. Afzal. M. Tabassum and Abdul Shakoor Ahan. 1992. Development of A Test Rig for Performance Evaluation of Seed Metering Devices. *Agricultural Mechanization in Asia Africa and Latin America*. 23(4):53-56.
2. Javad. V. Jafari and K. James Fornstrom. 1972. A precision Punch-Planter Sugar Beets. *Transactions of the ASAE*. 569-571.
3. Kachman. S. D. and J. A. Smith. 1995. Alternative measures of accuracy in plant spacing for planters using single seed metering. *Transactions of the ASAE*. 38(2):379-387.
4. Wilson, J. M. 1980. The effect of release errors and the release point on the design of precision seed drills. *Journal of Agr. Engr. Research*. 25: 407-419.
5. 류일훈, 김경욱. 1997. 정밀파종용 롤러식 배종 장치의 설계. *한국농업기계학회지*. 22(4):401-410.
6. 이용국, 오영진, 이대원. 1996. 관리기용 다목적 파종기 개발. *한국농업기계학회지*. 21(1):3-9.
7. 이중용, 최영수. 1996. 벼 직파기계 설계이론 ( I ) - 직파기의 문제점과 개선점 -. *한국농업기계학회 학술발표대회논문집*. 1(1):7-11.