

트랙터 부착용 유채파종기 개발

이충근 최 용 전현중 최덕규 김영주 이승규 문성동 한병희

Development of a Rapeseed Seeder Attached to Tractors

C. K. Lee Y. Choi H. J. Jun D. K. Choi Y. J. Kim S. K. Lee S. D. Moon B. H. Han

Abstract

Suitable rapeseed cultivation techniques of domestic agriculture are essential for stable security, supply and demand of rapeseed. This research developed a rapeseed seeder for bio-diesel and analyzed the seeding performance improving an existent granule fertilizer applicator.

The relational expression of metering groove size and discharge rate per time displayed high correlation with a coefficient of determination of 0.988. Also, the scattering types were analyzed by forwarding speed and discharge rate. Validity application width was decided as 7.0 m by analyzing application uniformity at application widths of 7.6 m, 6.6 m, 5.6 m. All average coefficients of variation values were less than 20%. The best application uniformity was obtained in the condition of a work speed of 1.3 m/s and a sowing rate of 19.0 g/s. It was better average coefficient of variation values under 10% at superposition application of rapeseed seeder. Also, scattering amount rates of right and left were within 0.89~1.0.

Keywords : Rapeseed, Rapeseed seeder, Bio-diesel, Paddy field

1. 서론

전보(Lee et al., 2009)에서 기존의 입제 비료 살포용으로 사용된 비료살포기를 유채파종기로서의 적응성을 분석하기 위해 유채 종자의 파종에 적합하도록 배종관을 개량 제작하여 살포성능을 분석하였다. 작업속도와 시간당 배종량에 관계없이 M자형의 살포유형을 보였고, 살포균등도가 70%이상의 큰 변이계수를 보였다. 또한, 유채 파종작업시 호퍼내의 교반기 축과 축을 고정하는 하우징 사이로 유채종자가 들어가 손상되는 현상, 호퍼와 배종장치 사이의 틈새, 상부 배종관과 하부 배종관 사이의 틈새를 통해 유채종자가 손실되는 현상을 보였다. 따라서 기존의 입제 비료살포기의 개선 없이 유채파종기로서의 사용은 어렵다고 판단하였고, 유채 종자의

파종용으로 사용하기 위해서는 종자통의 개선과 파종장치의 요동통과 살포분두를 개선해야 할 것으로 보고하였다. 국내에서 비료 살포를 위해 사용된 입제살포기에 대한 연구사례로 시비처방지도 기반 이양 동시 변량 측주시비기(Jung et al., 2006)와 봄형 공기이송 벼 답수산파기로 개발하여 살포 폭 7 m를 유지하기 위하여 두 개의 원심식 송풍기를 이용하여 분두 개수가 24개를 갖춘 산파기를 개발한 연구결과는 보고되었다(Kim et al., 2005). Ryu et al.(2006)은 정밀농업용 입제살포기의 시작기의 개념설계에 대한 설계지침과 제작을 보고하였고, Kim et al.(2006a)은 비료 살포량의 변화에 따른 분두의 개발과 살포시스템에 대하여 살포성능을 보고한 바 있다. Kim et al.(2006b)은 앞선 연구에서 벼의 기비와 분얼비, 수비를 모두 살포할 수 있게 개발된 정밀농업용 입제살포

This study was supported in part by the Development Program for Agriculture and Forestry, Ministry of Agriculture and Forestry, Republic of Korea. The article was submitted for publication on 2008-09-01, reviewed on 2008-11-28, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2009-05-06. The authors are Choung Keun Lee, Yong Choi, Hyun Jong Jun, Duk Kyu Choi, Agricultural Researcher, National Academy of Agricultural Science, RDA, Young Joo Kim, Researcher, KSAM member, Research Institute for Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seung Kyu Lee, Professor, Dept. of Biological Systems Engineering, Gyeongsang National University, Sung Dong Moon, Professor, Dept. of Industrial & Management Engineering, Kangwon National University, and Byung Hee Han, Asia technology Co. Ltd., Corresponding author: Y. J. Kim, Researcher, Research Institute for Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Seoul, Korea; E-mail: <ojoo2848@hotmail.com>.

기의 주 구조를 변경하지 않고 분두의 개수를 증가시켜 살포 균등도를 15% 이내로 개선한 것을 보고하였다.

그러나, 입체 비료살포기를 이용한 유채 파종에 대한 연구 결과와 는 포장을 대상으로 유채의 산과작업에 관한 연구결과 는 없다.

따라서, 본 연구의 목적은 전보에서 지적된 문제점들을 개선하기 위해 고속카메라를 이용하여 비료살포기의 분두에서 유채 종자의 살포유형을 정성적으로 분석하여 유채 파종에 적합한 살포분두를 설계·제작하고 유채 파종에 최적인 살포기를 제작하여 이를 이용한 살포 균등도 시험을 실시하여 그 효과를 분석하고 는 포장을 대상으로 유채 파종작업을 효율적으로 할 수 있는 트랙터 부착 유채파종기를 개발함에 있다.

2. 재료 및 방법

가. 고속카메라를 이용한 살포유형 분석

입체 비료살포용으로 개발된 비료살포기를 개량하여 유채 종자를 파종 작업에 적용한 결과 작업속도와 배종량에 관계 없이 모두 M자형의 살포유형을 보였으며 살포균등도가 70% 이상으로 포장에 균등하게 파종되지 않음을 알 수 있었다. 따라서 입체 비료살포기를 이용하여 유채 종자의 살포유형을 분석하여 유채파종기 개발을 위한 개선점을 얻고자 하였다. 이를 위해 그림 1과 같이 고속카메라(XS-4, IDT Co., USA)를 파종기 위에 설치하고, 바닥에는 흰 종이판을 배치하여 요동통 끝부분의 살포분두가 좌우 고속 운동할 때 파종되는 유채 종자의 궤적을 촬영하였다. 촬영속도는 1 초에 1,000 프레임, 해상도는 512×512 픽셀로 설정하였으며, 배종구멍 열림량을 66, 180, 219, 255, 294 mm²의 5단계와 PTO 회전수는 400, 450, 500 rpm으로 하여 유채 종자의 파종형태를 촬영하였다.

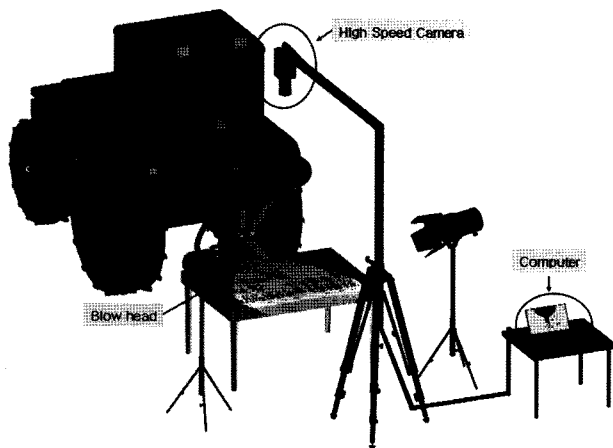


Fig. 1 Scene of rapeseed broadcasting test.

나. 파종장치부 개량 설계 및 제작

1) 살포분두 설계 및 제작

입체의 살포방식에는 낙하식, 원심식, 송풍식 등이 있다. 원심식은 넓은 범위를 살포할 수 있으나 중첩하여 살포해야만 균등한 살포가 가능하지만 포장 내에 균등한 살포를 위해서는 포장 외에 불필요한 지역에도 비료가 살포되는 문제점이 있다(Ryu et al., 2006). 원심식에는 입체 비료를 비산시켜 넓게 전면 살포하는 작업기로 살포장치는 회전날개식(spinner type)과 통요동식(spout type)이 있다. 본 연구에서는 원심식의 살포방식 중에서 통요동식의 살포장치를 채택하였다. 요동통과 살포분두는 종자통의 하부에 장착되어 입체를 분산시키는 장치로서 균등한 살포형을 가진 살포장치의 이론적 설계는 매우 어렵다.

살포분두에 있어서 유채종자의 살포유형을 고속카메라를 이용하여 정성적으로 관찰한 결과를 통해 얻어진 살포분두 측면 출구 면적의 개량을 위해 시행착오법을 거쳐 그림 2와 같이 기존의 살포분두 중심 출구부 면적(2,426 mm²)과 측면 출구부 면적(266 mm²)의 비가 9.12대 1인 것을 중심 출구부 면적(2,552 mm²)과 측면 출구부 면적(444 mm²)의 비를 5.75대 1로 감소시켜 측면 출구부 면적을 확대하여 개량 제작하였다.

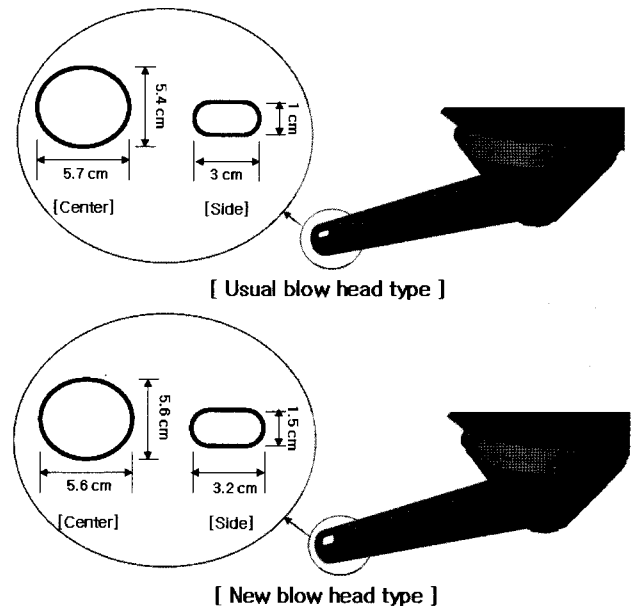


Fig. 2 The schematic of a usual and new blow head.

2) 배종판의 제작 및 배종량 실험방법

배종구멍 조절단수를 보다 세분화하여 목표 배종량 범위 내에서 다양한 시간당 배종량을 얻어야 할 필요성이 있어 배종판 배종구멍을 그림 3과 같이 직사각형 형상을 L자 형상으로 변경하고, 120°간격으로 3곳에 배치하여 제작하였고, 목표 배종량을 위한 배종구멍 면적을 시행착오법으로 산출한 결과

완전 개방 했을 때 1개의 배종구멍이 98 mm²로 3개의 배종구멍 총 면적은 294 mm²이 되게 하였다. 배종구멍 열림량을 66, 180, 219, 255, 294 mm²의 5단계와 PTO의 회전수 400, 450, 500 rpm의 3단계별로 하여 유체 종자의 배종성능을 실험하였다.

또한, 교반기 축과 하우징 사이의 틈새, 종자호퍼와 배종장치 사이의 틈새 그리고 상하부 배종판 사이의 틈새 발생으로 인해 유체 종자 손상 및 손실이 발생되어 개선할 필요가 있었다. 따라서 교반기 축과 하우징 사이의 틈새를 아래의 그림 4와 같이 기존의 틈새를 열적 안정성과 내화학성이 우수하여 오일계통과 화학장치 등의 패키징으로 많이 사용되고 있는 강화 테트라 에틸렌(Reinforced Tetrafluoethylene) 재질의 O링을 사용하여 틈새를 제거하였다. 종자호퍼와 배종장치 틈새에 의한 손실방지를 위해서 기존의 고무링 대신에 실리콘을 이용하여 틈새를 제거하였다. 그리고 상하부 배종판 틈새는 기존의 상하부 배종판 간극을 조절할 수 없게 고정되어 있는 것을 틈새를 조절할 수 있게 하였다. 이와 같이 개량한 결과 유체 종자의 손상율은 1% 이하로 방지할 수 있었다.

다. 파종성능 분석

시작기의 유체 파종성능 시험을 위해 개량한 유체 파종기를 트랙터(5320, John Deere co., USA)의 후방에 장착하였다. 시험에 이용한 유체 품종은 1대 집중인 선망으로서 종자

통에 유체 종자를 20 kg 이상 투입 하였으며 이때의 유체 종자의 함수율은 8.1%였다. 시작기 파종성능 분석을 위해 조사한 항목은 시작기 진행방향과 폭 방향의 살포량, 좌우 살포량비이다. 살포균등도는 살포높이 85 cm에서 작업속도와 시간당 파종량에 따라 변이계수로 평가하였다. 시험은 PTO축 회전수를 450 rpm으로 고정하고, 파종기 작업속도를 1.3, 1.7, 2.3 m/s의 3단계와 시간당 파종량은 12.1, 15.0, 19.0 g/s의 3단계로 하여 파종성능을 실시하였다.

그림 5는 시작기 종횡방향의 살포균등도를 분석하고자 수집통(pan)을 배치한 모습으로 시작기가 지나가는 중앙부분을 제외하고 살포폭 방향으로 50 cm 간격, 기계 진행방향으로 100 cm 간격으로 6열을 배치해 총 102개의 수집통을 설치하였다. 수집통은 플라스틱 용기로서 크기가 가로, 세로, 높이가 각각 34 × 26 × 20 cm였으며 유체 종자가 수집통 바닥의 반발력으로 밖으로 튕겨나가는 것을 방지하기 위해 수집통 바닥에 두께가 0.5 cm인 폴리에틸렌 재질의 완충재를 가로 32 cm, 세로 25 cm로 잘라 1장씩 깔아주었다. 살포성능 실험순서는 시간당 배종량과 작업속도를 설정한 후 출발과 함께 PTO 구동기어를 입력하고 트랙터를 주행시켰다. 각 시험에 있어서 1회 살포만으로는 살포량이 적어 무게 측정에 미소한 양으로 오차발생이 예상되어 4회 반복 살포를 하였다. 살포작업이 끝나고 나면 각 수집통에 살포된 유체 종자를 수집하여 정밀저울(AX200, SHIMADZU, Japan)로 각각의 무게를 측정하였고, ASAE S341.3(ASAE Standards, 2004)

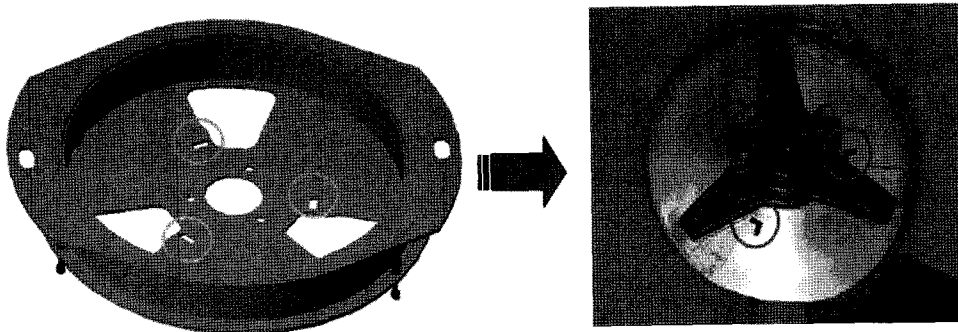


Fig. 3 Changing of hall shape for metering devices.

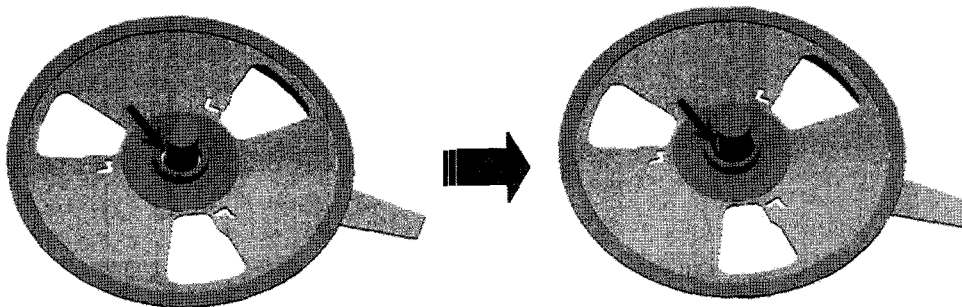


Fig. 4 View of metering devices.

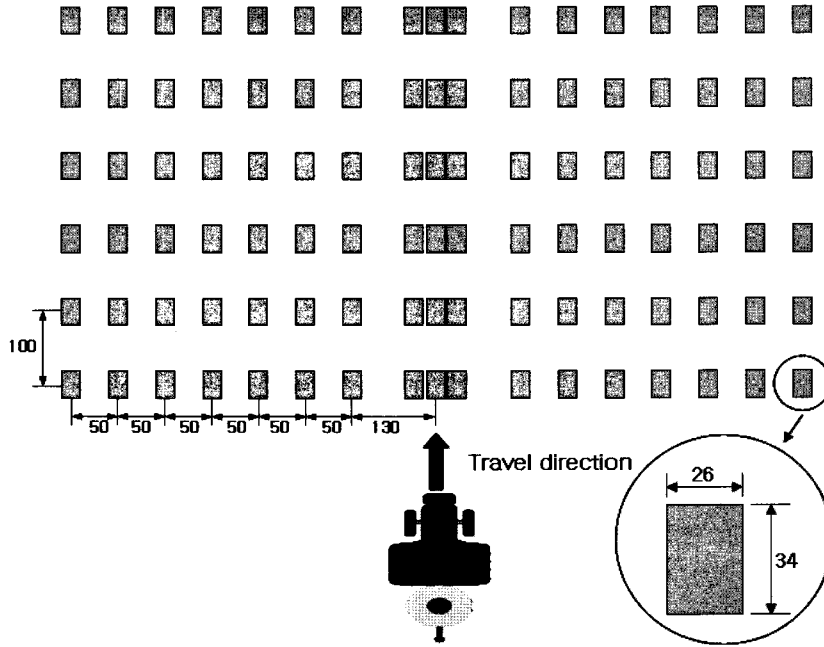


Fig. 5 Allocation of collection pan matrix in test(unit : cm).

의 절차에 따라 실험을 수행하였다. 또한, 유채 종자의 파종 실험 후 수집통에 수집된 양을 바탕으로 포장 내의 파종 형태를 입체적으로 가시화하기 위해 등고선 지도작성을 위해 3차원 입체화 프로그램인 Surfer Ver 8.0(Golden software Co., USA)를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 고속카메라를 이용한 살포형태 분석

고속카메라를 이용하여 살포분두의 끝부분에서 유채의 파종형태를 촬영한 결과 그림 2와 같이 나타났으며, 이를 근거로 유채의 파종형태를 개략적으로 도식화 한 것이 그림 6과 같다. 그림 6과 같이 유채 종자는 배종구멍에서 배종되어 좌우측 45°로 움직이는 요동통을 통과해 살포분두를 통해 포장에 살포된다. 살포분두가 좌우측 ±45°에 위치하여 반대 방향으로 전환하게 되면서 유채 종자가 살포 분두의 측면 출구 구멍을 통해 많은 양이 배출되어 살포유형이 M자형의 형태를 보임을 알 수 있었다. 살포분두가 좌우측 ±45°의 위치에 있다가 반대방향인 역방향으로 전환될 때 유채 종자는 살포 분두의 중앙출구가 아닌 측면출구에서 상대적으로 많은 양의 유채종자가 배출되었다. 이 유채 종자들은 그림 7의 살포분두 각도가 ±22.5°와 0°일 때의 살포형태를 보이며 살포기 중심쪽으로 살포되는 경향을 보였다. 그 결과, 현재 발생되고 있는 M자형 살포분포 형태의 원인은 비료살포기 중심부를 기준으로 보았을 때 측면보다 상대적으로 중앙부로의 살포량이 소량이기 때문이었다. 이러한 현상은 PTO 회전수 차이에

따라 영향을 받지 않고 모두 같은 경향을 보였다. 따라서 이러한 살포형태는 살포분두의 측면 출구 면적과 상관관계가 있다고 판단되었으며, 중앙부로의 살포량을 증대시키기 위해서는 측면 출구 면적을 확대할 필요가 있었다.

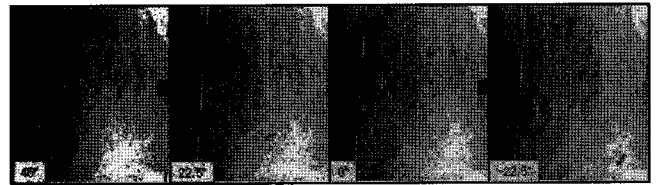


Fig. 6 Observation of the blow head behavior using high speed camera.

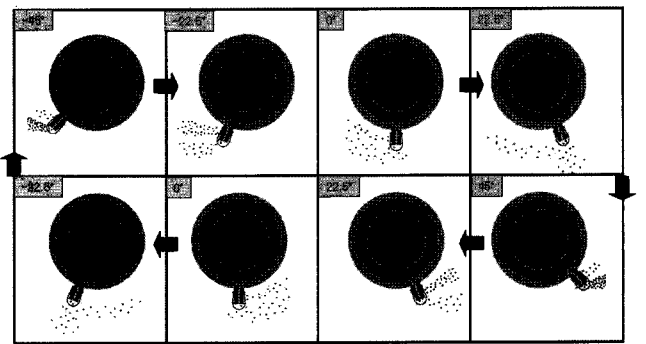


Fig. 7 Concept image of the blow head behavior using high speed camera.

나. 배종량 분석

그림 8은 배종구멍 크기 5수준(66, 180, 219, 255, 294

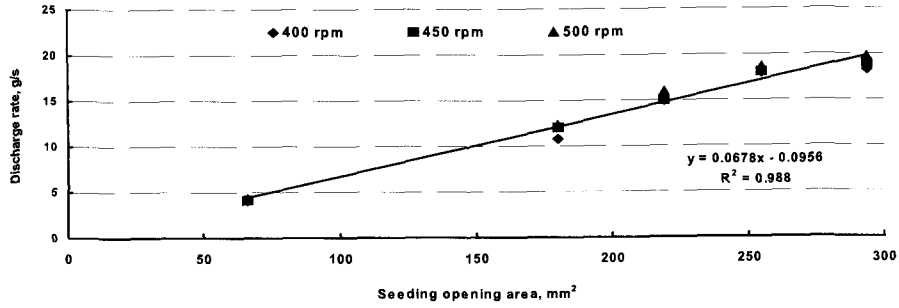


Fig. 8 Discharge rate by seeding opening area.

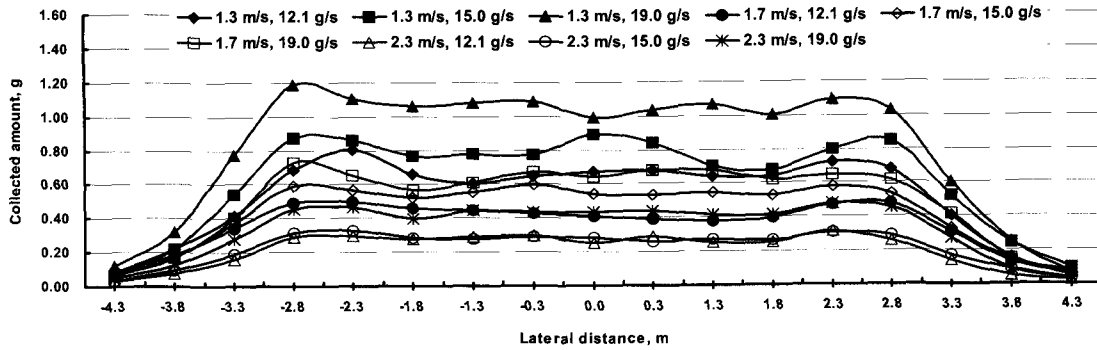


Fig. 9 Application patterns by forward speeds and seeding rates.

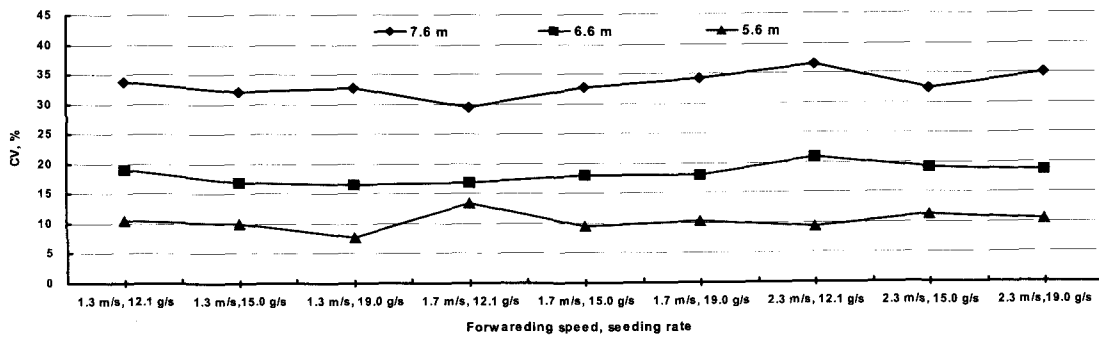


Fig. 10 Coefficient variation values by forward speeds and seeding rates.

mm²)과 PTO 회전수 별(400, 450, 500 rpm)로 유채 종자의 시간당 배종량을 실험한 결과를 나타낸 것이다. 배종구멍 크기와 시간당 배종량과는 결정계수로 0.988을 보여 매우 높은 상관관계를 보였으며, PTO 회전수에 관계없이 배종구멍에 따라 유채 종자의 배종량은 일정하게 나오고 있음을 알 수 있었다. 배종구멍 면적과 시간당 배종량의 관계를 식 (1)과 같이 나타낼 수 있었다. 권장 파종량 600~1,200 g/10a에서 작업속도와 살포폭을 고려한 시간당 파종량은 6.3~21 g/s로 배종구멍을 L자형으로 개선한 후에는 4.2~19.8 g/s로 권장 파종량에 적합하게 배종 가능함을 알 수 있었다.

$$Y = 0.068X - 0.096 \quad (1)$$

Where; Y: Discharge rate (g/s)
X: Seeding outlet area (mm²)

다. 살포균등도 분석

그림 9는 작업속도 1.3, 1.7, 2.3 m/s의 3수준과 시간당 파종량 12.1, 15.0, 19.0 g/s의 조건별로 유채 종자를 살포하였을 때의 살포유형을 나타낸 것이다. 5.6 m의 살포폭에서는 균등한 살포가 됨을 볼 수 있었다. 그림 10에서는 살포폭 5.6, 6.6, 7.6 m에 대해서 살포균등도를 정도를 평가하는 변이계수를 나타낸 것으로 7.6 m의 살포폭에서는 변이계수가 30% 이상의 값을 나타냈고, 6.6 m에서는 20% 이하를 보였으며, 작업속도 1.3 m/s와 시간당 파종량 19.0 g/s일 때 변이계수가 16.5%로 가장 좋은 살포균등도를 보였다. 기존의 입체 비료 살포기를 이용하여 유채 종자를 파종할 때 작업속도와 시간당 파종량에 따라 변이계수가 대부분이 70% 이상의 값을 보였으나, 개선된 유채파종기로 살포폭 6.6 m의 경우라면 전체

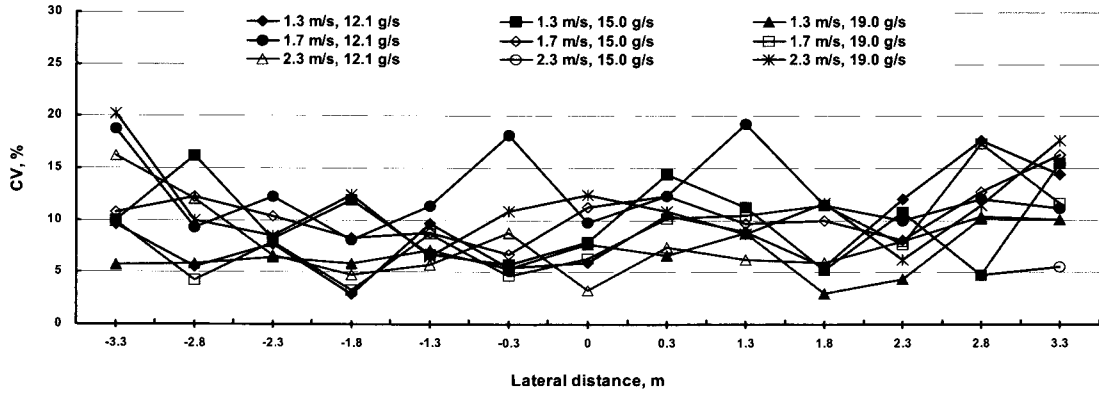
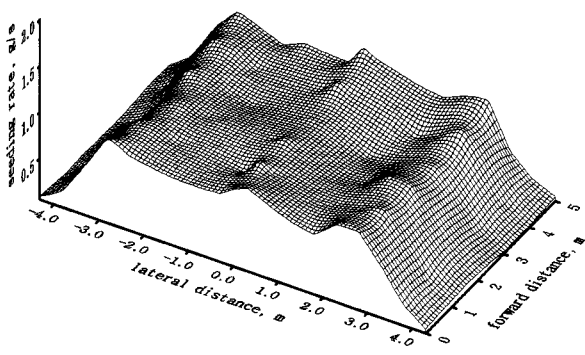
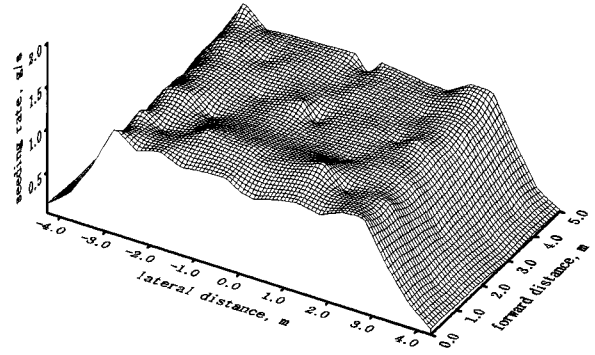


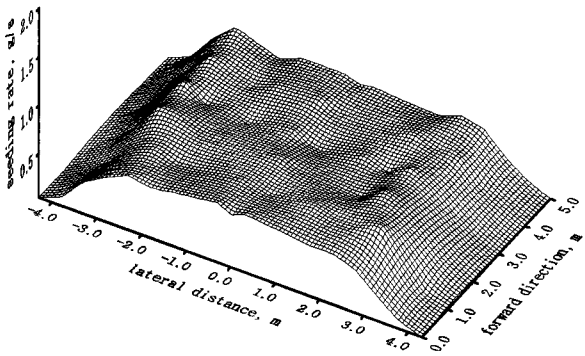
Fig. 11 Coefficient variation values along forwarding direction by forward speeds and seeding rates.



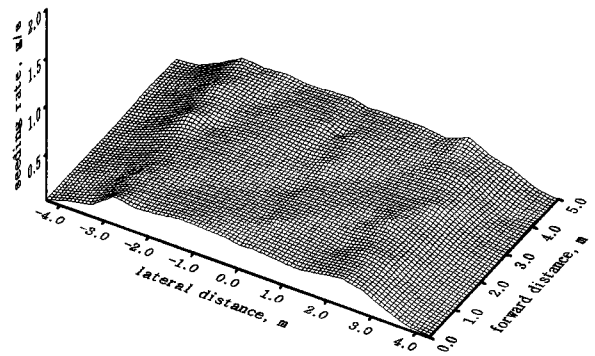
(a) 15.0 g/s of seeding rate, 1.3 m/s of forwarding speed



(b) 19.0 g/s of seeding rate, 1.3 m/s of forwarding speed



(c) 15.0 g/s of seeding rate, 1.7 m/s of forwarding speed



(d) 12.1 g/s of seeding rate, 2.3 m/s of forwarding speed

Fig. 12 Application distribution drawn by Surfer 3D using the collected data from the pan matrix.

적으로 변이계수가 20%이하로 양호하였다. 따라서 작업경로를 고려하여 중첩 파종을 한다면 개선된 유채파종기의 유효 살포폭은 7 m로 파종작업이 가능하리라 판단된다.

그림 11은 유채파종기 진행방향의 살포균등도를 나타내는 것으로 작업속도와 시간당 파종량에 따라 변이계수가 2.8~20.2%였으며 평균적인 변이계수는 10%이내의 값을 보였다.

그림 12는 작업속도와 시간당 파종량에 대해서 8.6 × 5.0 m의 크기의 포장에 파종되는 형태를 입체적으로 가시화 해 보았다. 그림 12-(a)와 (b)는 작업속도 1.3 m/s에서 시간당 파종량 15.0 g/s와 19.0 g/s의 파종 형태를 모습이며, (c)와 (d)

는 1.7, 2.3 m/s 작업속도에서 15.0, 12.1 g/s에서의 파종 형태의 모습이다. 그 결과 실제 유채 파종 형태의 공간적 변동을 시각적으로 잘 표현할 수 있었으며 파종형태가 잘 반영된 입체적 가시화 지도를 획득하였다.

라. 중첩 파종 분석

그림 13은 유효 살포폭 7.0 m로 하여 작업속도와 시간당 파종량에 따른 파종유형을 바탕으로 파종 작업을 실시하였고 가정하여 중첩 파종을 분석하였다. 그림에서 화살표는 유

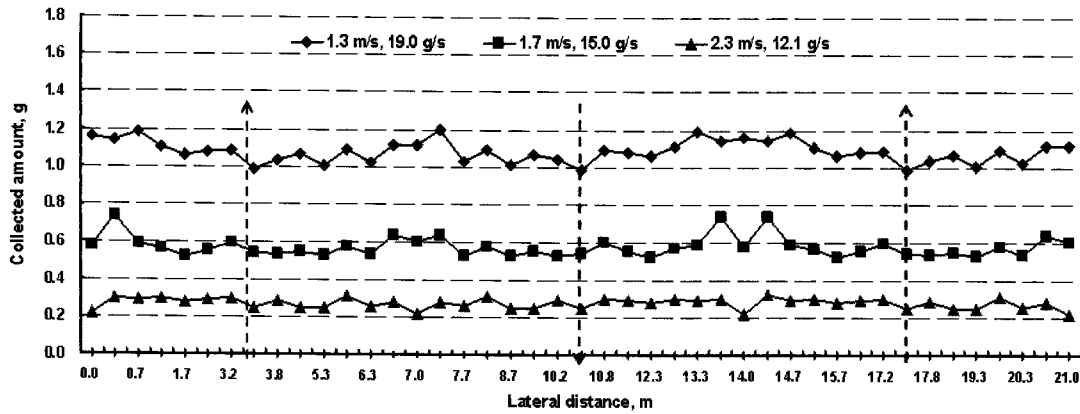


Fig. 13 Application patterns according to superposition application.

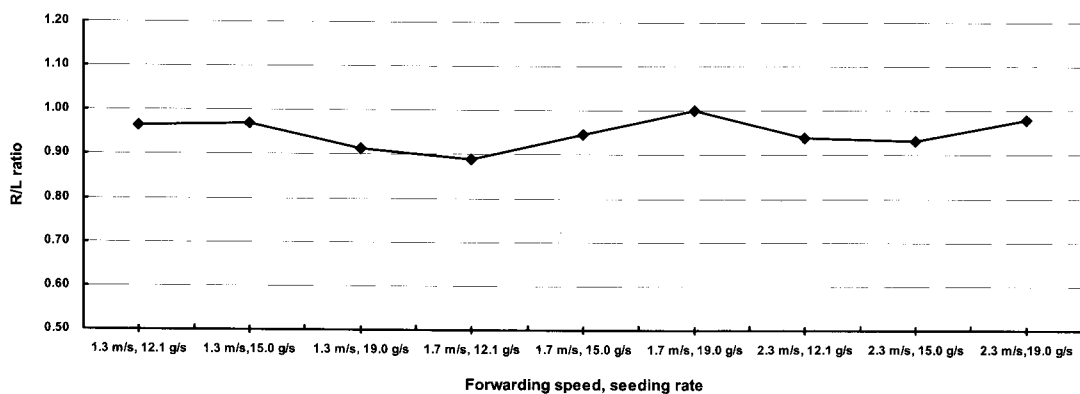


Fig. 14 Right/left ratio by forward speeds and discharge rates.

채파종기의 진행 방향을 나타낸 것이다. 작업속도 1.3 m/와 시간당 파종량 19.0 g/s에서는 변이계수가 5.2 %였고, 2.3 m/s의 작업속도와 시간당 파종량 12.1 g/s에서는 10.0%의 살포균등도를 보였다. 중첩 파종에 의한 평균적인 변이계수가 10%이하의 값을 보여 중첩 파종 작업이 1회 파종 작업보다 살포균등도가 더 좋아짐을 알 수 있었다.

우리나라의 경우 경지정리가 된 필지는 폭이 30 m, 40 m, 50 m, 100 m 이므로 살포폭은 5 m나 10 m 가 적당하나(Ryu et al., 2006), 개발한 트랙터 부착용 유채파종기의 유효 살포폭을 7.0 m로 논 재배에 사용하여도 좋을 것으로 판단하였다.

그림 14는 개발된 유채파종기의 좌우 살포량 비를 나타내는 것으로 작업속도 1.7 m/s와 시간당 파종량 12.1 g/s에서 가장 낮은 0.89 값을 보였으나, 작업속도와 시간당 파종량에 따라 0.89~1.0으로 좌우 살포량이 정확하게 파종됨을 알 수 있었다.

4. 요약 및 결론

기존의 입제 비료살포기의 파종장치부인 살포분두의 중심 출구부 면적과 측면 출구 면적을 개량하였고 또한 유채 종자

의 원활한 배종을 위해서 배종판의 형상을 개량하여 유채 파종에 적합하도록 유채파종기를 개발하였고, 그 파종성능을 분석한 결과, 아래와 같은 결과를 도출하였다.

- (1) 배종구멍 크기와 시간당 배종량과는 결정계수로 0.988로서 높은 상관관계를 보였다. 배종구멍 면적과 시간당 배종량 관계식을 구하였다.
- (2) 작업속도와 시간당 파종량에 따라 살포폭 5.6 m, 6.6 m, 7.6 m에 대해서 살포균등도를 분석한 결과, 살포폭 6.6 m에서 변이계수가 모두 20% 이하를 보였으며, 작업속도 1.3 m/s와 시간당 파종량 19.0 g/s 일때 16.5%로 가장 좋은 살포 균등도를 보였다.
- (3) 이 결과를 바탕으로 살포폭 7 m로 하여 중첩살포 분석을 실시한 결과, 평균적인 변이계수가 10% 이하의 값을 보여 유효 살포폭은 7 m로 하는 것이 적절할 것으로 판단하였다. 좌우 살포량 비는 0.89~1.0 범위였다.

참고 문헌

1. ASAE Standards. 2004. S341.3: Procedure for Measuring

- Distribution Uniformity and Calibrating Granular Broadcast Spreaders. ASABE, St. Joseph, Michigan, USA.
2. Jung, I. G., S. O. Chung, J. H. Sung and C. K. Lee. 2006. Development of map-based variable-rate applicator. *Proceeding of the KSAM 2006 Summer Conference* 11(2):345-348.
 3. Kim, C. K., J. Y. Kim, S. H. Park, D. K. Choi and T. Y. Kwak. 2005. Improvement research for flooded paddy seeder. 2005. Experiment and Research Report. pp. 149-157. Rural Development Administration(RDA), Suwon, Korea
 4. Kim, Y. J., H. J. Kim, M. Seo and J. Y. Rhee. 2006a. Development of variable rate granule applicator for environment-friendly precision agriculture(II)- development of pneumatic fertilizer blow head and its application uniformity -. *Journal of Biosystems Engineering* 31(6):474-481. (In Korean)
 5. Kim, Y. J., H. J. Kim, M. Seo and J. Y. Rhee. 2006b. Development of variable rate granule applicator for environment-friendly precision agriculture(III)- analysis of pneumatic conveying system and improvement of fertilizer application uniformity-. *Journal of Biosystems Engineering* 31(6):482-488. (In Korean)
 6. Lee, C. K., Y. Choi, H. J. Jun, C. S. Lee, Y. J. Kim, S. K. Lee and S. H. Oh. 2009. Adaptability analysis of granule fertilizer applicator for rapeseed broadcasting. *Journal of Biosystems Engineering* 34(2):106-113. (In Korean)
 7. Ryu, K. H., Y. J. Kim, S. I. Cho and J. Y. Rhee. 2006. Development of variable rate granule applicator for environment-friendly precision agriculture(I)- concept design of variable rate pneumatic granule applicator and manufacture of prototype -. *Journal of Biosystems Engineering* 31(4): 305-314. (In Korean)