

## 참깨 과립종자 제조기 개발 ( I )

- 시작기 개발과 성능평가 -

## Development of a Pellet Seed Machine for Sesame ( I )

- Prototype and Its Performance -

李 仲 用\*

정희원

J. Y. Rhee

### ABSTRACT

Sesame was one of the economical crops in Korea. However, cultivation area of sesame has been decreasing rapidly due to the lack of mechanization for this crop and the opening of agricultural product market.

Sesame seed is so small that ordinary seeder can not seed properly. In rural practice, farmers seed sesame with hand and do thinning after shoot emerges. Seeding and thinning in sesame cultivation take more than 40% of total labor. To reduce labor in seeding and thinning, a pellet seed machine for sesame has been developed.

The pellet seed machine is very simple in structure. It utilizes the chemical reaction between alginate solution and  $CaCl_2$ . Two material forms a membrane when they meet. The uniqueness of the pellet seed machine for sesame were 1) a counter rotating roller for metering the mixture of activated carbon and alginate and 2) swinging plate for submerging seed into the mixture. The prototype machine can produce 30,000 pellets per hour and costs ₩6,891 per 1 kg sesame.

**주요용어 (Key Words):** 참깨(Sesame), 과립종자(pellet seed), 파종(seeding), 알진산(alginate), 활성화탄(activated carbon)

### 1. 서 론

과립종자란 종자에 증량제를 입혀서 씨앗의 크기를 크게 하고 형상을 구형화한 것을 말한다. 과립종자(pelleted seed)와 유사하게 분의 종자(coated seed)라는 용어가 있는데 분의된 경우에는 종자의 모양이나 크기에 그다지 변화를 주지 않은 경우이고 과립종자는 크기나 무게, 형상에 큰 변화를 준 것으로 구분하나 엄격한 구분은 없다(Taylor, 1990).

일반적으로 채소종자나 곡물종자의 형상을 보면

구형도 상당히 있으나 대부분 구형이 아니기 때문에 파종장치에서 파종불량을 일으켜 기계화하기 어렵다. 또한 많은 종류의 종자가 크기가 작아서 매우 정밀한 파종기가 아니면 파종이 어렵고 소형종자의 경우 포장에서 직접 사용할 수 있는 파종기계는 매우 제한적으로 존재하며 우리 나라에는 보급된 것이 없다.

파종작업에 있어서 종자의 크기와 형상의 문제점을 극복하기 위하여 다양한 원리를 이용한 파종기계가 개발되었다. 대표적인 예를 들면 tape seeding,

\* 전북대학교 농업기계공학과

seeding with sand, vacuum seeder, fluidics seeder(紫田洋一 등, 1989), corn seeder 등이 있다. 종자가 구형에 가깝고 크기가 4mm 이상 되면 일반적인 drill seeder로 파종할 때 문제가 없으며 다양한 원리의 파종장치가 존재한다.

조파나 산파는 점파에 비하여 수량에는 큰 차이가 없고 기계화하기에 편리하여 널리 사용되고 있으나 이상적인 파종형태는 점파로 알려져 있다. 점파로 파종하는 경우에 한 지점에 한 개 또는 여러 개의 종자를 파종한다. 분얼하는 식물의 경우에는 여러 개의 종자를 파종하여 수량증대를 도모하지만 중간이 존재하는 식물의 경우 한 지점에 두 개 이상의 식물이 자라던 도장하고 수형이 균형을 이루지 못해 도복에 약하고 결과적으로 수량을 증대하지 못한다. 따라서 양파, 참깨, 무, 고추 등의 종자에서는 여러 개의 종자를 한 지점에 심고 슈아 내거나 파종상에 산파한 후 우량 묘를 이식하는 방법으로 재배한다.

참깨는 80년대 중반까지만 하더라도 경제작물로 인정되어 널리 재배되었으나 농촌 노동력의 급감과 전작 기계화의 미비, 참깨 시장의 개방 등으로 재배면적이 크게 줄고 있는 실정이다. 특히 총 노동력투여량의 40%를 차지하는 파종과 수확작업은 참깨재배의 경쟁력을 약화시키는 주원인이 되고 있다. 참깨를 관행 손파종할 경우 한 지점에 7~12개의 종자가 파종되며 이후 2~3차례의 슈아내기를 통하여 그중에 한 종자만 남게 된다. 슈아내기는 파종보다 더 조심스러운 작업이어서 작업능률도 낮다.

과립종자 제조기는 종자의 크기와 형상을 개선하여 기존의 다양한 파종기에서 무리없이 파종할 수 있게 하는 것으로 이상적인 것은 1개 과립종자에 1개의 종자가 포함되어 있어야 하며 과립종자 제조비용이 저렴하고 기계의 비용도 저렴해야 한다. 또한 과립종자는 재배상 어려움이 없어야 하며 발아능력이 비슷하거나 우수해야만 한다. 이런 과립종자 제조기가 개발된다면 현재 직파되는 품종만이 아니고추나 양파와 같이 이식되는 품종들도 직파재배로 전환될 것으로 예상된다.

본 연구는 농가에서 쉽게 사용할 수 있는 저렴한 가격의 과립종자를 제조할 수 있는 기계를 개발하는

것으로서 과립의 크기는 4~5mm 정도를 목표로 하였다.

## 2. 연구사

과립종자를 만드는 방법에 대하여는 국내에서는 연구가 거의 전무한 실정이며 국내의 종묘회사들은 외국의 기계를 도입하여 film coating을 하여 종자를 생산판매하고 있는 실정이다. 과립종자 제조기술은 일본이나 미국에서 발표되고 있으며 기계개발 측면보다는 이용 및 재배생리에 관한 내용이 주를 이룬다(Burris et al., 1977; Robinson et al., 1975; Scott, 1989).

작은 종자를 과립종자로 만들 수 있는 원리는 증량제 속에 종자를 넣고 열이나 압력으로 찍어내는 방법, 캡슐 속에 종자를 넣는 방법, 증량제를 분사하면서 건조시키는 방법, 경사진 회전원판에서 증량제와 종자를 교반하면서 결합제를 분사시키는 방법, 증량제 속에 종자를 집어넣고 액적으로 만들어 표면을 경화시키고 이후 건조시키는 방법 등이 있다. 캡슐에 넣는 방법은 캡슐내부를 적절히 충전하지 못하는 경우 종자가 발아하기 위해 흡습하기에 곤란하므로 약품제조에서만 사용되고 파종에 이용되는 예는 없다. 분사장치와 건조기를 이용한 방법은 기계와 피복체가 고가이고 두텁게 피복시키기 위해서는 소요시간이 길고 불규칙한 형상의 과립종자가 되기 쉽다.

전동(轉動, rolling coating)방법은 종자를 원형경사판에 담고 30~35 rpm으로 회전시키면서 종자결합제를 수용액 상태로 분무하는 방식으로 종자의 형태가 구형이 되지 못하거나 종자간 결합이 발생하며 피복제를 두텁게 입히려고 하면 작업능률이 크게 떨어지며 1회 작업하는데 1시간에서 2시간이 소요된다. 이 방법은 벼에 칼파를 처리하는데 사용되거나 황토분비에 사용된다(中村喜彰, 1976).

유동(流動, slurry coating)방법은 일회에 2~3ℓ를 처리하며 결합용 수용제는 이류체노즐로 분사하고 피복용분체는 마그네틱공급기로 일정량씩 공급하며 수직원통판에서 종말 속도에 의해 부양된 종자에 부

확되도록 하는 것으로 바람에 의하여 건조되며 피복된다. 이 방법에는 다양한 피복제와 결합제가 사용되는데 미립종자에 주로 이용되며 입경이 3.2~3.5 mm 정도까지 만들 수 있다(失田貞美, 1983).

코팅에 일반적으로 사용되는 물질로는 점착제(sticker)로는 메칠 셀룰로스나 카복시메틸 셀룰로스, 전분 등이 있으며 중량제로는 모래, 톱밥, 점토, 버미큘라이트, 벤토나이트, 지오라이트, 폴크 등이 보고되고 있다.

최근 일본에서는 활성탄을 이용한 펠레팅 기계개발에 대한 연구보고가 있으나 아직까지 실용화와는 거리를 두고 있다. 그 원리는 이중 튜브를 가진 관의 내부로 진공과중기에서 공급되는 종자와 외부 관으로 일정량씩 공급되는 활성탄과 알진산 혼합액이 합쳐져서 기포를 가진 과립을 형성하게 하는 정밀한 기계로서 피복종자의 직경은 10mm 정도이며 시간당 1,800~6,000개의 과립을 만들 수 있다고 한다. 과립종자의 강도조절과 발아율 문제는 해결하지 못하고 있는데(河野靖司 외 3인, 1995) 그 이유는 이 방법으로는 소형의 외경 5mm 정도의 과립을 만들지 못하므로 발아력이 낮은 소립종자는 과립을 파괴하고 발아하지 못하기 때문으로 판단된다.

### 3. 재료 및 방법

#### 가. 과립제조 원리와 재료의 준비 방법

본 연구에서 채택한 과립제조 방법은 알진산 용액과  $CaCl_2$ 의 반응에 의해 막이 생기는 현상을 응용한 것이다. 알진산은 천연중합체(natural polymer)로서 공업용과 실험용에 따라 가격의 차이가 매우 큰 물질로서 해조류에서 추출되며 인공종자의 외피로서 이용되며 각종 점착제로도 사용된다. 알진산 용액은  $CaCl_2$  용액과 만나면 무기염류간에 결합이 일어나 피막을 형성하며 점도가 높기 때문에 과립 형상을 만들 수 있다.

과립의 크기와 형태는 과립제조 방법에 따라서 다르지만 중량제로 사용한 활성탄과 알진산 용액 반죽의 표면장력으로 만들 수 있으며 기계적으로 구형을

만들 수도 있다. 표면장력을 이용하는 경우에는 경사진 판이나 수직인 구멍에 돌기를 만들어 돌기 끝에서 액적(液滴)이 되도록 한다. 액적이  $CaCl_2$ 와 접촉하는 과정이 순간적이기 때문에 혼합액의 농도가 높을수록, 액적이 발생하는 부분의 크기가 클수록 커다란 과립이 형성된다.

알진산은 물에 녹지만 그 속도가 너무 빠르기 때문에 표면에 수막이 형성되어 용액을 만들기가 매우 힘들다. 본 연구에서는 Magnetic stirrer나 가열기를 사용하지 않고 물과 혼합한 후 잘 저어주고 상온에서 24시간 기다렸다가 사용하였다.

활성탄소는 알진산 용액에 넣어주면 비중의 차이로 인하여 혼합되지 않으므로 유리막대로 혼합하였으며 활성탄소 덩어리가 없어지도록 혼합한 후 20분 정도 기다린 후 다시 유리막대로 저어 사용하였다.

#### 나. 과립재료의 물리적 성질 측정과 과립의 품질평가 방법

과립재료인 활성탄소는 입도가 균일하지 않기 때문에 체분석방법을 이용하여 입도분포를 조사하였다. 14번, 18번, 25번, 35번, 45번, 60번, 170번 체를 이용하였으며 200g씩 투입하여 5분간 진동시키는 방식을 취하였다.

혼합액의 비중은 메스실린더와 정밀저울을 이용하여 측정하였으며 혼합액과 알진산 용액의 점성은 Bookfield digital viscometer Model DV-I에 의해 측정하였다. 알진산 용액은 2번 스피들을 이용하였으며 활성탄소 혼합액은 3번 스피들을 이용하였다. 알진산 용액은 점도측정 시간에 따라 점성의 변화가 거의 없었으나 혼합액의 경우는 시간이 지남에 따라서 증가하였으며 분당 4~5 cP(centi poise)씩 증가하였다. 그러나 전체적인 크기에는 별 차이가 없는 정도였으며 본 연구에서 제시하는 활성탄소 혼합액의 점도는 스피들이 회전하기 시작한 후 2분 후의 수치이다.

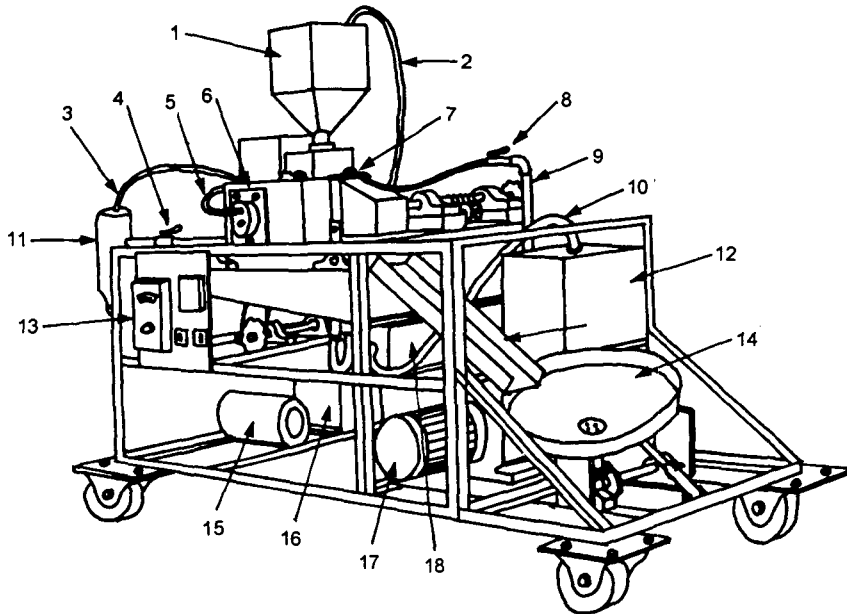
과립의 강도는 산중(山中)식 토양표면 경도계를 이용하였으며 수치는 원추가 밀려들어간 깊이로서 단위는 mm이다.

과립의 건조속도는 특별한 건조기를 이용하지 않고 실내에서 신문지 위에 방치하였을 경우 건조되는 시간으로서 과립의 양은 0.5kg 정도였다. 과립의 발아율은 페트리 디쉬 바닥에 물을 수심 2mm 정도되게 담고 과립을 깔아 넣은 후 150립 이상 넣은 후에 뚜껑을 덮어 실내의 양지에서 실험하였다. 과립을 만든지 1일 이상이 지나지 않은 경우는 종자는 침중에 의한 priming 효과가 있기 때문에 1-2일 내에 대부분이 발아되나 과립을 만들고 1일 이상 건조시킨 경우에는 3일정도 지나야 대부분 발아되었다. 페트리 디쉬의 조건은 종자 발아의 최상조건으로 볼 수 있는데 이 상태에서 3일까지 발아하지 못한 것은 포장에서는 더욱 큰 차이를 나타낼 것이므로 파종 후 3일의 결과를 가지고 발아율을 비교하였다.

#### 4. 결과 및 고찰

##### 가. 제 1차 시작기의 제작과 성능평가

제 1차 시작기는 그림 1에 나타난 것과 같이 진공과중기, 분무장치, 기어펌프, 회전 성형판, 평벨트 조합으로 구성되어 있다. 기계의 원리는 알진산과 활성탄의 혼합액을 고무벨트 위에 일정량씩 흘려 띠와 같은 형태를 취하게 하고 종자를 파중한 후에 CaCl<sub>2</sub> 용액을 분무하여 표면을 경화시키고 평벨트 끝에 왔을 때, 커터에 의해 띠 형태의 표면이 경화된 혼합액을 절단하면 모서리가 일그러진 육면체 형상이 되도록 하였다. 절단되는 동안에도 CaCl<sub>2</sub> 용액은 계속적으로 분무하도록 하였다. 6면체를 다시 회전 성형판에 올려 원판 안에서 미끄러지면서 원형이 되도록 설계되었다.



1. mixture tank, 2. mixture return tube, 3. tube for suctioning excess seed, 4. control knob for suction pressure, 5. vacuum tube for seeder, 6. vacuum seeder, 7. pellet cutter, 8. CaCl<sub>2</sub> flow control valve, 9. CaCl<sub>2</sub> tube, 10. CaCl<sub>2</sub> suction tube, 11. excessive seed collector, 12. CaCl<sub>2</sub> tank and pump, 13. control box, 14. rotation forming machine, 15. 1/2PS motor, 16. speed reduction gear box, 17. VS motor, 18. vacuum pump

Fig. 1 Structure of the 1st prototype sesame pellet machine.

시작기는 2개의 펄벨트 조합으로 초당 각 1개씩 과립을 생산하도록 설계되었으며 사용된 기어펌프는 소형 굴삭기용 펌프로서 회전당 배출량은 1cc/s가 되도록 기어의 회전속도를 맞추었다. 진공과중기에 진공펌프는 가정용 진공청소기용 펌프로서 설계된 진공과중기에서 압력을 실측한 결과 60kPa이하로 나타나 참깨중자가 과중기 흡에 억지로 끼워져 배출되어야 할 지점에서 배출되지 않는 문제점이 발견되었고 흡입 구멍에 1개 이상의 참깨가 부착되는 경우가 발견되었다. 이를 해소하기 위하여 공기유입구에 병렬로 별도의 외기 흡입구를 두어 흡입구 입구를 진공과중기 상부에 위치시켜 1개 이상 중자가 붙어 있는 경우는 빨아들여 회수시키도록 하였다.

1차 시작기를 성능시험한 결과 2조로 만들어진 활성탄 혼합액 공급 노즐의 유량이 시간에 따라 일정하지 않고, 두 개의 노즐에서 유출되는 양이 같지 않았다. 그 이유는 활성탄 혼합액의 점도가 부분적으로는 매우 상이하기 때문으로 판단되었다. 문제점에 대한 대책으로 첫 번째 노즐에서 유량의 변화는 원료인 활성탄소를 일정크기로 균일화하여 혼합액의 부분적인 점도차이를 줄이고 가능한 한도에서 호스의 길이를 짧게 하여 부분적인 점도차이에 의한 마찰손실을 적게 하는 것이었다.

과립의 표면에 형성되는 피막의 강도가 예상보다 강하지 못하여 고무벨트 위에서 절단날로 절단하는 경우에 피막이 터지면서 순간적으로 내부의 응고되지 못한 알진산이 흘러 나오는 경우가 발생하였다. 본래 6mm 정도 폭으로 일정하게 나오도록 설계되었지만 첫 번째 문제점으로 인하여 과도한 양이 나오는 경우 절단시 흘러나오는 용액이 분무되는 고정액에 의하여 벨트표면에 굳으면서 붙기 때문에 벨트를 정지시키고 청소해야 한다. 따라서 과립을 만들 경우 절단방식은 신뢰성이 없다고 판단되었다.

또한 굳은 후에 절단된 혼합액 덩어리가 회전 성형판에 공급되었을 때, 표면이 젖어있기 때문에 성형되지 않는다는 문제가 있었다. 즉 절단된 혼합액 덩어리가 원심력에 의해 가장자리로 밀리지만 성형 회전판에 붙는 성질이 강하여 성형판 내에서 구르지 못하기 때문에 구형으로 제조되지 않았다. 이에 대

한 해결책으로 육면체 형상의 덩어리를 CaCl<sub>2</sub> 용액에 넣어 휘젓는 방식을 검토하였는데 다소 형상이 구형에 가깝게 변하지만 불규칙한 모서리 부분이 제거되지 않고 용기의 가장자리에 침전되고 회전시키는 붓에 부딪치면 형상에 손상을 입기 때문에 이 방법도 적합하지 않았다.

마지막으로 혼합액을 일정량씩 배출하는 기어펌프의 유지가 어려웠다. 활성탄소 혼합액은 30분 이상 방치하면 비중선별이 일어나고 침착되는 성질이 있었다. 따라서 작업 후 물을 양수하여 내부를 청소했지만 침착된 활성탄소가 제거되지 않아 분해조립을 반복해야 했다. 따라서 기계의 유지관리 문제를 간단히 하기 위해서는 압력에 의한 배출방식으로 전환하기로 하였다. 1차 시작기에서 긍정적인 부분은 진공과중기가 과중불량 없이 작동이 원만하다는 것 뿐이었다.

#### 나. 간이 제조법의 표준화

1차 시작기의 문제점을 개선하기 위하여 간단하게 실험실에서 제조하는 방법을 연구하였다. 간이 제조 방법으로 2가지 형태가 고려되었는데 차이점은 종자의 공급방법이다.

간이제조 방법에서 원료의 조제순서는 다음과 같다. 우선 알진산을 물 1ℓ 당 3~5g 비율로 혼합한다. 알진산이 완전히 물에 풀렸을 때 활성탄소를 300~400g/ℓ 정도 혼합한다.

첫째 방법은 종자를 용액 1ℓ 당 80~150g 혼합하여 종자를 고르게 섞은 후 내경이 4mm 인 깔대기 위에 부어 방울로 떨어지게 하는데 이 때 혼합액 방울을 CaCl<sub>2</sub> 용액에 떨어뜨리면 과립 형태가 유지된 채로 굳어진다. 이 방법은 그림 2에 나타내었다.

둘째 방법은 배출구 내경이 8mm인 깔대기 내부에 동심위치에 내경 3mm 인 튜브를 넣어 튜브에서 간헐적으로 종자를 공급하여 주변에 있는 활성탄소 혼합액이 방울을 이루며 떨어질 때 그 내부에 들어 가도록 하면 (그림 3-a) 종자가 떨어지는 순간 표면 장력에 의해 종자가 안으로 빨려들어 가는 것(그림 3-b)이다. 이 방법의 원리는 종자의 공급방법만 다른

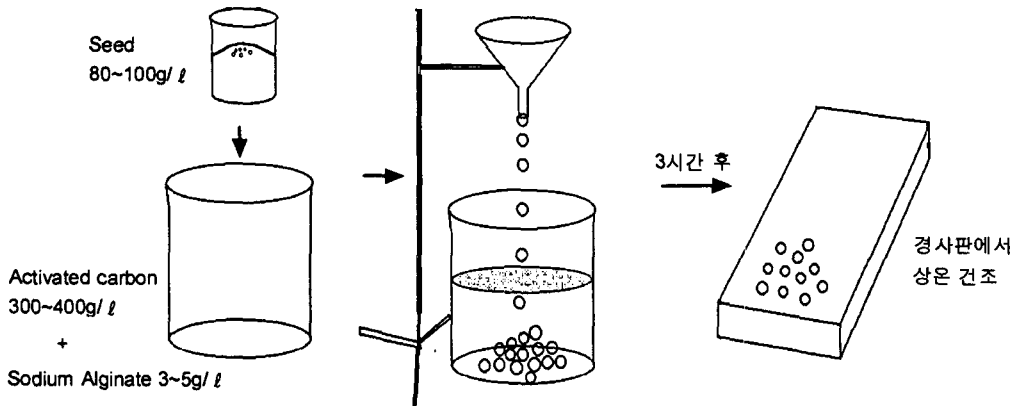


Fig. 2 Laboratory method of pellet forming. (1st method)

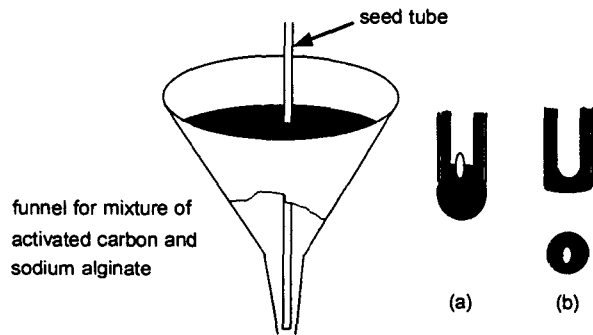


Fig. 3 Laboratory method of pellet forming. (2nd method)

것으로 종자가 묻히는 방법은 그림 2에 설명되었다.

두 방법 모두 정상적인 상황에서는 문제가 없으나 둘째 방법은 활성탄의 공급속도의 변화나 종자 공급량의 변화에 따라서 내부의 튜브가 막히는 결과가 초래되어 정밀하게 기계화되지 않는 한 간이 방법으로는 부적합하여 첫째 방법을 표준화하였다.

표준화하기 위하여 활성탄소 이외의 재료를 물색하여 보았다. 가능한 재료로 선택된 것은 규조토, 지오라이트, 밀가루였다. 이들 재료를 이용하여 적합성을 비교한 결과는 표 1과 같다.

활성탄소는 검은 가루이기 때문에 보기에 거부감이 있으나 펠릿을 만들기에 전반적으로 가장 우수했다. 밀가루는 구형성에 있어서 우수했으나 건조되는데 소요되는 시간이 길고 종자가 발아하기에 강도가

너무 강해서 시간이 길게 걸려 초기 생육에 불균형을 초래할 위험이 있으므로 제외되었다. 재료를 두 가지 이상 혼합하는 것도 고려해 보았으나 뚜렷한 개선이 보이지 않았기 때문에 증량제 재료로는 활성탄으로 고정되었다.

간이제조법에서 활성탄소량과 알진산 농도에 따른 과립 제조속도가 다르고 과립의 강도도 변화를 받는다. 1ℓ 용액에 종자를 90g 넣은 경우 알진산의 농도별 활성탄소의 혼합량별 제조속도를 조사한 결과를 표 2에 나타내었다.

제조된 과립종자는 파종기로 파종되거나 인력으로 파종되어야 하는데 강도가 너무 약하면 파종과정에서 파괴되고 너무 강하면 발아에 지장을 초래한다. 과립의 강도에 영향을 미치는 것은 알진산과

Table 1 Adaptability of various material for pellet production

| Item<br>material | Shape* | Hardness<br>(mm) | Drying Time**<br>(hour) | Emergence<br>of Shoot*** (%) |
|------------------|--------|------------------|-------------------------|------------------------------|
| activated carbon | 1.13   | 9.1              | 24                      | 99                           |
| diatom earth     | 1.18   | 8.2              | 24                      | 98                           |
| zeorite          | 1.42   | 13.5             | 24                      | 85                           |
| wheat flower     | 1.12   | 16.9             | 48                      | 65                           |

\*: Ratio of long diameter to short diameter

\*\*: In lab condition (relative humidity 70%, temperature 26 ± 3 °C)

\*\*\*: Shoot emergence ratio after 3 days in a petri-dish in lab condition.

Table 2 Pellet forming velocity(No. per minute) at various concentration of alginate and activated carbon (tested in room temperature of 25 °C)

| act. carbon(g/ ℓ)<br>alginate(%) | 350 | 360 | 370 | 380 | 390 | 400 |
|----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0.3                              | 120 | 90  | 62  | 49  | 33  | 20  |
| 0.4                              | 81  | 59  | 43  | 35  | 17  | 11  |
| 0.5                              | 63  | 42  | 28  | 18  | 10  | 6   |

CaCl<sub>2</sub>의 양외에도 CaCl<sub>2</sub> 용액에 담겨져 있는 시간에 민감하다. 0.7% CaCl<sub>2</sub> 용액에서 침적시간별 과립경도의 변화를 조사한 결과를 그림 5에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 침적후 3시간 이후가 되면 과립의 경도는 더 이상 증가하지 않았다.

과립의 형상은 구(球)형이 가장 이상적이나 불량한 경우가 발생되어 형상에 영향을 미치는 원인을 조사하였다. 0.5% 알진산 용액 1ℓ에 350g의 활성탄소를 혼합하여 실내온도 25°C에서 과립제조를 시도한 경우 과립형성부(깔대기 판의 끝)와 CaCl<sub>2</sub> 용액의 수면과의 높이에 따른 과립의 구형성을 보면 그림 5에 예시한 것과 같이 10mm 이하에서는 과립이 형성되지 못하고 길게 막대기 형상으로 연속적으로 혼합액이 굳어지기 쉬우며, 10~15mm에서는 구형으로 과립이 형성되나 15mm가 넘으면 과립이 수면에 부딪치면서 퍼지게 되어 넓적한 타원형을 만든다.

간이제조방법을 정리하면 알진산 용액 0.5% 용액에 1리터에 활성탄소 350g, 참깨종자 90g을 에서

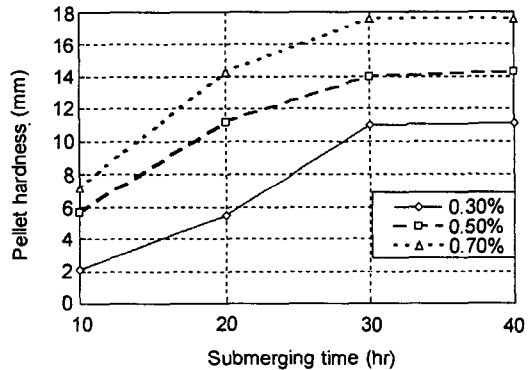


Fig. 4. Hardness of pellet seeds with alginate concentration and submerging time length (Hardness means the length of cone movement in the Yamanaka Soil Hardness-meter).

400g을 혼합하여 20분 정도 기다렸다가 다시 잘 혼합하여 내경이 4mm 인 깔대기 구멍을 통하여 0.7%

CaCl<sub>2</sub> 용액으로부터 10~15mm 높이에서 떨어지게 하면 구형의 과립종자를 얻을 수 있다. 단 활성탄의 양은 용액의 온도가 30도 정도로 높은 경우에는 400g으로 온도가 20도 정도인 경우 350g으로 하면 적당하다. CaCl<sub>2</sub> 용액에서 약 2시간이 지난 후 건조 시키되 건조온도를 40도 이상으로 해서는 곤란하고 수분을 충분히 빠지게 할 수 있는 약간 경사진 표면에 신문지 등을 깔아서 방치하면 4월~5월의 실내기 온에서 하루면 충분히 건조된다. 충분히 건조된 종자는 mesh 간격이 6~10mm 정도 되는 채로 치면 과립성형이 불량한 것들이 제거된다.

다. 제2차 시작기의 제작과 성능평가

2차시작기는 그림 6과 같이 활성탄소 혼합액의 물성을 이용한 것으로서 일정압력으로 혼합액을 밀어내는 방식으로 바꾸고 종자는 진동과중기에 의해 일정량씩 공급하되 튜브 내에서 혼합액과 종자가 만나서 튜브 끝에서 과립을 형성하면서 CaCl<sub>2</sub> 용액 속으로 빠져 과립을 형성하도록 하였다. 종자 공급방식을 바꾼 이유는 진동과중기가 가격면에서 저렴하고 성능상에서도 별 차이가 없을 것이라는 판단 때문이었다.

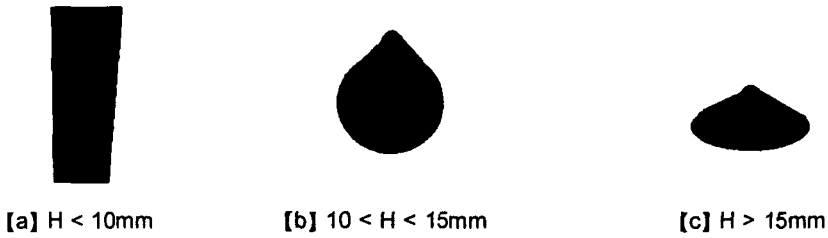


Fig. 5 Shape of pellet seeds at various dropping height.

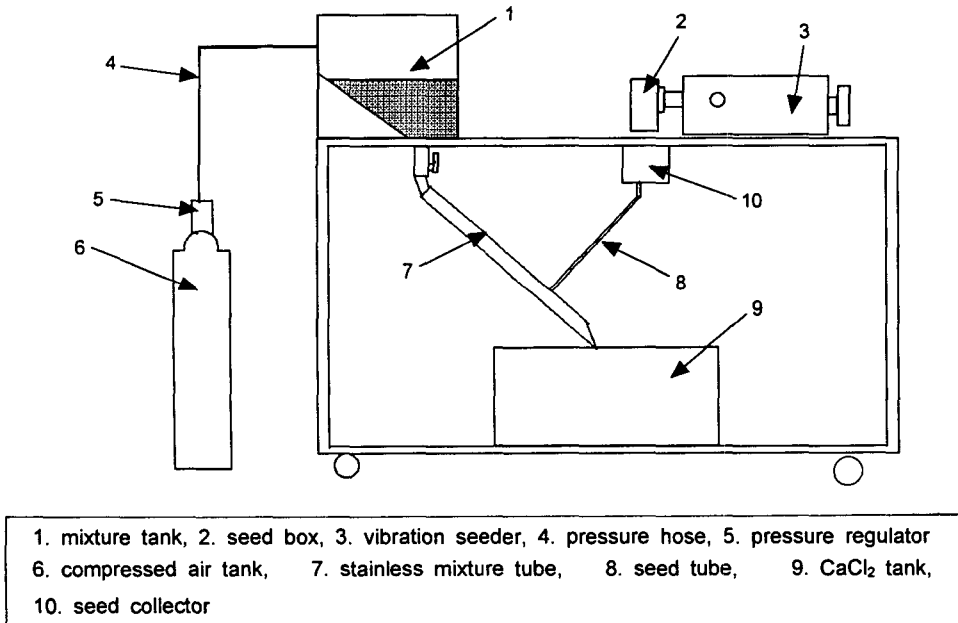


Fig. 6 Structure of the 2nd prototype sesame pellet machine.



활성탄소 혼합액을 담은 통은 밀봉 스텐레스 용기였고 용기 상부에는 정압배출 밸브를 통하여 50 Pa 압력으로 공기가 용액을 밀고 있으며 파종통에는 13조의 구멍이 있고 각 구멍 아래에는 내경 10mm의 스텐레스 판이 설치되어 혼합액이 흘러들게 하였다. 한편 파종부는 13조의 종자구멍을 가지고 있고 60Hz로 상하 진동하도록 설계되었으며 상하진폭은 0~2mm까지 조정이 가능하도록 설계하였다. 진동 파종기의 종자통은 구멍이 설치된 방향으로 3도 하향 경사지도록 하였으며 구멍은 높이 3mm, 폭 5mm로 제작되었다. 종자량을 조절하는 차단판은 하향바닥판에서 2mm 간극을 가지도록 하였으며 이 틈으로 밀려나온 종자가 진동에 의하여 진동파종기 아래에 설치된 수집기 구멍으로 들어가 수집기에 연결된 내경 5mm의 스텐레스 관을 통하여 활성탄소 혼합액이 지나가는 관과 만나도록 설계되었다.

2차 시작기를 시험운전한 결과 13조에 걸처서 혼합액량이 일정하게 유지하기 어려웠다. 그 이유는 ball valve의 열림 정도를 일정하게 조절하는 데 점도가 높고 소용량이기 때문에 조절한 결과를 보려면 3~4초의 시간차이가 존재하였기 때문이다. 따라서 밸브를 완전개방으로 수정하였는데 이 경우에는 용기 내에 담겨진 혼합액의 정수압만으로도 배출하고자 하는 유량이 충분하여 압력용기를 제거하였다.

2차 시작기는 참깨가 활성탄소 혼합액 내부로 충분히 침투해 들지 못한다는 점이였다. 일부 종자가 내부에 들어가는 하지만 그 비율은 20% 미만이었고 대부분 파립의 표면에 부착된 상태로 파립이 되었다. 파립을 건조한 후에 종자를 취급하는 경우 표면에 부착된 종자가 떨어져 나가 종자가 없는 파립이 70%를 넘었다. 그 원인으로는 알진산의 부착능력 부족이거나 활성탄소가 건조과정에서 수축되면

서 참깨종자와 이탈되는 것으로 판단되었다.

참깨종자의 파립표면으로부터 이탈을 막기 위하여 알진산 용액의 점도를 0.6%, 0.7%로 증가시켜도 이 현상이 계속 발견되었다. 참깨파립의 수축이 어느 정도인가를 알기 위하여 활성탄소 혼합액을 CaCl<sub>2</sub> 용액으로 고형화시킨 덩어리를 각 변의 길이가 5cm인 정육면체형태로 10개를 만들어 건조시켰다. 활성탄소 혼합액의 덩어리를 건조 실험한 결과는 표 3에 요약되었다. 윗면과 아랫면의 수축이 차이나는 이유는 건조과정 중에 수분이 위에서 아래로 이동하기 때문에 상부는 건조속도가 빠르데 비하여 하부는 건조속도가 느리기 때문으로 판단된다. 각 방향의 수축율은 10% 이상으로 증량제의 수축으로 표면에 있는 참깨가 이탈되는 것으로 판단되었다.

한편 진동파종기의 성능은 진공파종기처럼 만족스럽지 못하였다. 진동파종기를 이용하여 파종량의 균일도를 측정하여 보면 1분 단위로 측정해보면 균일한 파종량을 얻지만 초당 단위로 보면 파종량이 불균일 하다는 점이 발견되었다. 파종량을 측정하기 위하여 가로와 세로 1cm의 격자와 차단판 높이가 1cm인 종자받이를 만들어 파종부 3cm 지점에서 떨어지는 종자를 받았다. 초당 1cm의 속도로 종자받이를 이송하여 간 칸에 놓인 종자의 개수를 측정한 결과 초당 평균 2.5개로 적당하지만 최대 8개, 최소 0개로 종자량이 불균일하고 수초간 지속되다가 나오지 않다가 다시 파종되는 현상이 나타났다. 그 원인은 파종통에서 차단판의 틈새로 나오는 종자가 강제로 송출되지 않고 수동적으로 공급되기 때문에 순간적으로 차단판의 틈새에 공동(空洞)이 형성되었다가 진동에 의해 해체되는 것이 반복되는 것으로 판단되었다.

Table 3 Contraction\*(%) of alginate-activated carbon block in various direction

|                    | height | Width (top) | Width (bottom) | Depth (top) | Depth (bottom) |
|--------------------|--------|-------------|----------------|-------------|----------------|
| Average            | 12.26  | 12.54       | 11.34          | 12.28       | 11.18          |
| Standard deviation | 1.25   | 1.28        | 1.23           | 1.25        | 1.23           |

\* ratio of length before and after drying (%)

과중량의 순간적인 변화는 2차 시작기의 혼합액 스텐레스 관을 순간적으로 막히게 하는 원인이 되었으며 현재의 방식으로는 기계를 작동한지 수분 이상 지나게 되면 13개 조 중에 어느 곳에선가는 막히기 시작하기 때문에 근본적인 변화가 필요하였다.

라. 과립제조 기계화를 위한 기초실험

2차 시작기의 문제점을 해결하기 위하여 순간적인 종자량의 변화에 막히지 않으면서 종자를 혼합액 속에 빠트릴 수 있는 장치와 혼합액을 공급량의 불균일을 해소하고 여러 조에 균일한 혼합액을 공급하는 보다 정밀한 장치가 필요하였다.

재료의 균질성에 착안하여 활성탄소의 입도분포를 조사해 보았다. 활성탄소의 입도분포 결과는 그림 7에 나타내었다. 그림에서 보듯이 활성탄소에는 미연소된 목질이 그대로 있는 경우가 있었다. 활성탄소를 60번 채로 쳐서 통과된 것은 최대 입경이 250  $\mu\text{m}$ 이므로 비교적 균질한 활성탄소 혼합액을 얻을 수 있었다.

알긴산의 농도는 점도와 직접 상관이 있으므로 과립형성에 중요한 영향을 미친다. 또한 제조된 과립의 강도도 알긴산의 농도와 상관이 있으므로 과립제조에 적합한 알긴산 용액의 농도를 정할 필요가 있다.

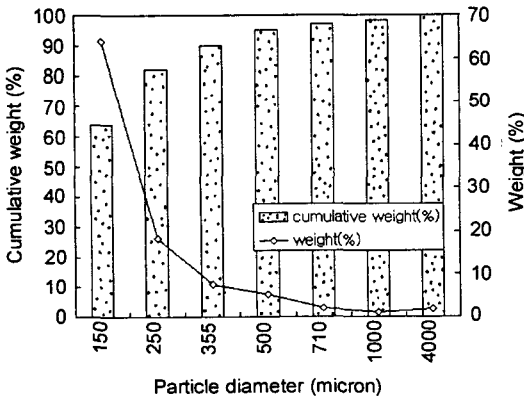


Fig. 7 Particle size distribution of activated carbon.

알긴산의 농도가 점도에 영향을 미치는 것을 확인하기 위하여 중량비율로 0.3%에서 0.7%까지 알긴산 용액을 조제하여 점도를 조사하였다. 용액의 온도는 20.5 $^{\circ}\text{C}$ 였다. 그림 8에서 보는 바와 같이 용액의 점도는 2차함수의 형태로 증가하고 있다. 용액의 점도를 조절하기 위해서는 알긴산의 농도를 조절하는 것이 가장 직접적인 방법으로 판단된다.

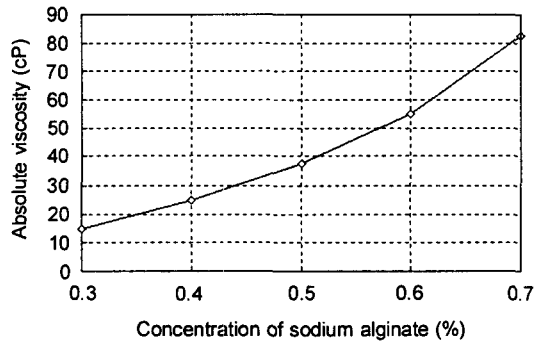


Fig. 8 Absolute viscosity of sodium alginate 0.5% solution.

혼합액의 점도의 변화는 활성탄소의 추가에 의해 더욱 크게 변화였다. 간이제조법에서 표준으로 제시한 0.5% 알긴산 용액 1 l 에 500 $\mu\text{m}$  채를 통과한 활성탄소 300, 350, 400, 450g을 넣어서 점도변화를 조사한 결과를 그림 9에 표시하였다. 그림 8과 비교해 보면 활성탄을 혼합함으로써 인하여 40~50배 정도의 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 한편 250 $\mu\text{m}$  채를 통과한 활성탄소를 이용하여 같은 실험을 한 경우 전체적으로 약 5배의 점도 증가가 있었다.

혼합액의 일정량 공급을 위하여 역회전 롤러를 구상하였다. 그 원리는 그림 10처럼 고점도의 혼합액의 담겨진 깊이를 일정하게 유지하면서 롤러와 경사판의 틈 사이로 혼합액이 흘러나가게 하는 것이다. 역회전 롤러가 필요한 이유는 정지된 차단판의 경우 혼합액의 완전히 풀리지 않은 덩어리가 존재할 경우에 막힘이 발생할 우려가 있으나 역회전 롤러는 막힘을 제거하는 효과가 있고 차단판의 경우에는 매우 작은 간격을 정밀하게 유지할 필요가 있으나 역회전 롤러를 사용할 경우 비교적 큰 간격으로 롤러

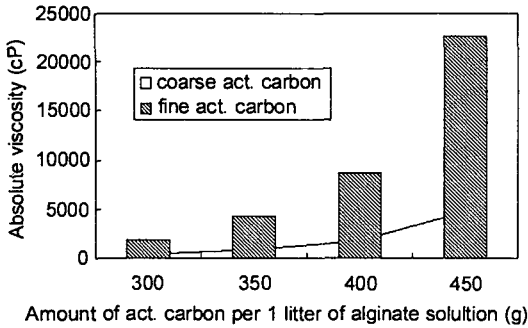


Fig. 9 Absolute viscosity of mixture. (sodium alginate 0.5% solution and activated carbon)

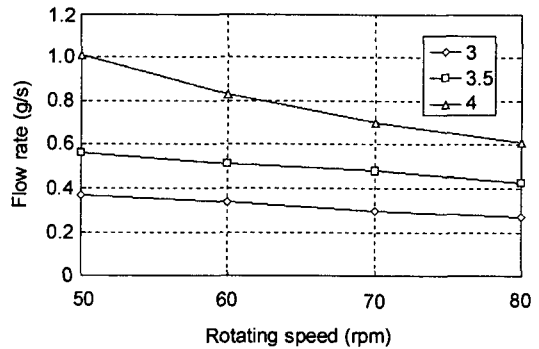


Fig. 11 Performance of the counter rotating roller metering device at various gap (unit mm) between inclined plate and the roller.

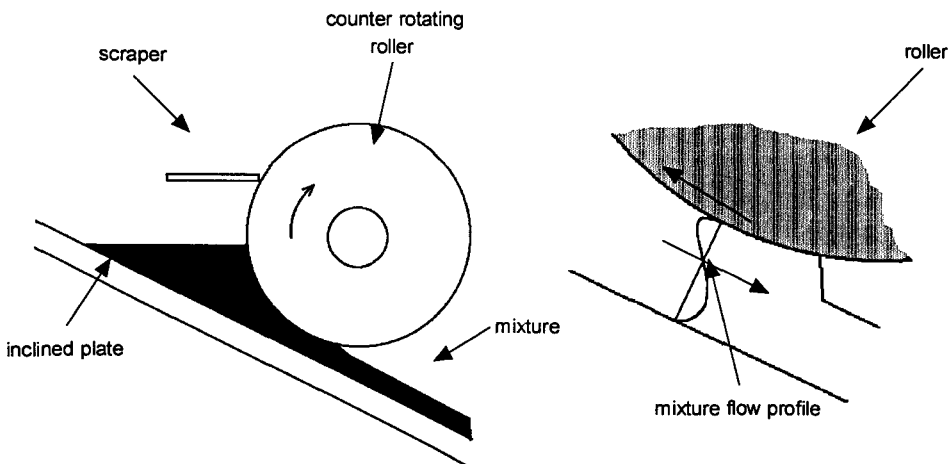


Fig. 10 Principle of a counter rotating roller metering device for alginate-activated carbon mixture.

의 회전속도에 의하여 실제로 하향류의 흐름을 제어할 수 있다는 점이다.

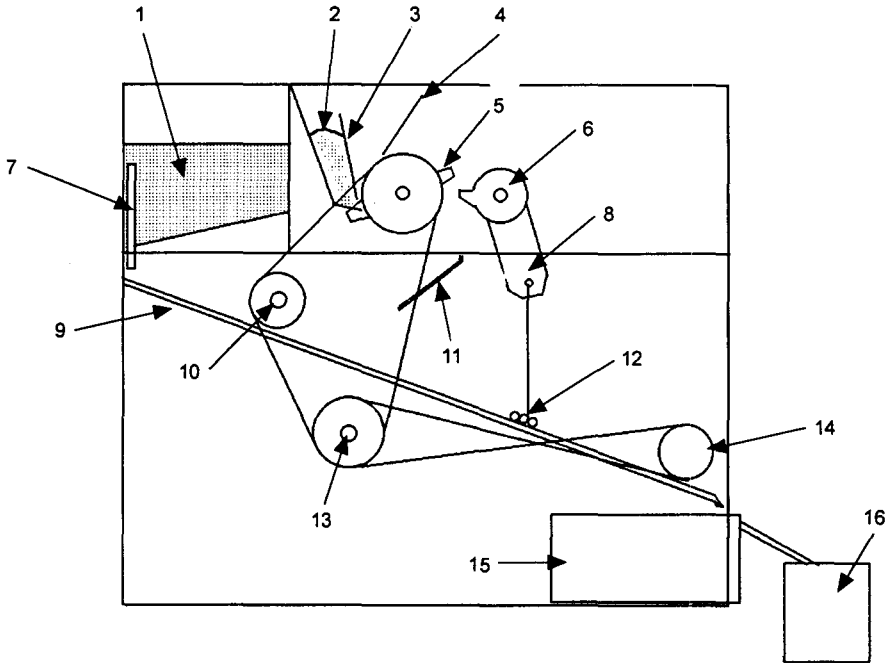
롤러간격과 롤러의 속도를 조절하면서 경사판의 폭이 12cm, 경사도 24도에서 실험한 결과를 그림 11에 나타내었다.

### 마. 3차 시작기의 제작과 성능평가

3차 시작기는 그림 12와 같은 구조를 가지고 있

다. 혼합액통은 혼합액의 공급량을 조절할 수 있는 손잡이 달린 배출부 개폐장치를 가진 단순한 박스형이고 종자 공급장치는 홈-롤러 방식으로 파종홈의 깊이 3mm, 길이 20mm, 폭 5mm인 홈에 종자가 들어가도록 하였다.

깊이와 폭을 결정한 것은 종자의 절단이 발생하지 않도록 하기 위함이었다. 혼합액을 경사판에 고르게 공급하기 위한 역회전 롤러 장치를 지나 혼합액이 경사판의 중간을 지나면 종자가 경사진 차단판에 뒤



1. mixture tank, 2. seed, 3. seed metering plate 4. cut-off, 5. knob for swinging motion  
 6. simple cam, 7. mixture metering gate, 8. swing arm, 9. inclined plate  
 10. counter rotating roller, 11. seed reflection plate, 12. push-down plate, 13. motor  
 14. subsidiary roller, 15. CaCl<sub>2</sub> tank, 16. tank for overflow

Fig. 12 Structure of the 3rd prototype sesame pellet machine.

거서 공급되어 홈-롤러 장치의 파종량이 시간적으로 불균일하더라도 낙하지점의 범위가 5cm 정도 되게 임의로 낙하되어 전체적으로는 균일하게 파종되었다. 파종이 완료되면 그 위에 외경 5mm의 비닐튜브 2개와 스텐레스 강봉 1개로 만들어진 누름판이 상하-좌우로 요동하면서 참깨종자를 누르게 된다. 참깨종자가 눌러지면서 아래로 흐르기 때문에 90% 이상 혼합액이 묻히게 되며 상부가 미쳐 묻히지 못한 것은 최종 롤러-스크레이퍼 조합에서 완전히 묻혀 과립이 형성되었다.

과립성형부는 아크릴판으로 만들어졌으며 후면의 경사도는 24도 전면의 경사도는 70도로 만들어졌으며 폭은 5mm였다. 평판을 위에서 아래로 볼 경우 과립성형부의 돌기부분의 좌우면이 이루는 각도는 71도였다.

시작기의 구동장치는 12V에서 60rpm으로 회전하

는 직류모터를 사용했기 때문에 제작속도나 종자공급량의 자동제어는 불가능하므로 설계된 목표를 달성했는가만을 검토하였다.

3차 시작기로 제작한 과립을 품질을 평가하면 1,000개를 조사한 결과 경도는 10~15mm 였고 종자가 들어가지 않은 과립종자의 발생율은 2.8%, 종자가 1개가 있는 경우는 48.4%, 종자가 2개인 경우가 32.7%, 종자가 3개인 경우가 12.2%, 3개 이상인 경우가 3.9%였다. 과립의 평균직경은 50개를 조사한 결과 4.86mm 표준편차는 0.133mm이며 눈으로 보기에 매우 균일하고 큰 직경과 작은 직경의 비율도 1.12로 구형으로 볼 수 있었다.

실험실에서 발아율을 조사한 결과 98% 이상이 얻어졌으며, 6조로 제작하는 경우 분당 500개가 제작이 가능했으며 1시간 연속 작업한다면 30,000개를 생산할 수 있어 저렴하게 대량 생산할 수 있음을 입

증하였다.

그러나 3차 시작기는 참깨에만 적용할 수 있으므로 다른 과립 종자를 만들려면 각 작동부의 간격과 회전속도, 종자공급장치 등을 개조해야만 한다. 또한 활성탄소 혼합액의 공급이 예상치 못한 순간 불균일해지는 경우가 발생하여 지속적으로 원료의 공급을 작업자가 감시해야 하므로 이 부분은 자동제어를 도입할 필요가 있다. 또한 활성탄소가 과립을 형성하면서 빠지는 경우에 혼합액의 비중이 1.21이므로 당연히 가라앉아야 하나 이유는 불분명하지만 일부는 가라앉지 못하고 떠 있게 된다. 손으로 물에 담그면 가라앉지만 그러기 전에는 계속 떠 있다가 과립이 떨어지는 곳에 모여들어 연속적으로 과립의 형성을 방해하는 경우가 가끔 발생한다. 또한 CaCl<sub>2</sub> 용액 그릇의 부피가 2.3 l 에 불과하여 연속적으로 대량을 생산하자면 batch 형식으로 작업해야 하는 번거로움이 있으므로 이를 문체는 실용기 제작에서 해결해야 될 것으로 판단된다.

본 연구에서는 저렴한 과립종자 제조를 목적으로 하기 때문에 과립제조용 원료를 공업용으로 사용하였다. 20kg의 활성탄소는 약 30,000원이며 알진산은 20kg에 약 30,000원, CaCl<sub>2</sub>은 20kg에 17,000원 정도이다. 참깨 과립제조에 들어가는 원료비만을 고려하면 참깨 종자 1kg에 활성탄소 4.5kg(6,750원), 알진산 55.5g(84원), CaCl<sub>2</sub> 66.7g(57원)으로 총 6,891원의 재료비용이 추가된다. 참깨 종자 1kg은 40만개의 종자로서 20만개의 과립을 만들 수 있으며 2개씩 점파한다고 하더라도 1,500평을 파종할 수 있다. 따라서 관행 방법으로 1,500평 작업시 종자사용량 2.5kg에 비하면 종자가 1.5kg 절약되므로 오히려 전체적인 비용은 줄게 된다.

파종작업에 소요되는 시간을 살펴보면 관행 인력 파종의 경우에 300평당 21.2시간 속음이 13.6시간 총 34.8시간인데 비하여 과립종자를 인력파종하는 경우는 300평당 4.4시간, 4.5시간으로 총 8.9시간에 불과하며, 점파기로 파종한 경우에는 1.1시간과 4.5시간 총 5.6시간으로 관행인력파종의 16.9% 밖에 노동력이 들지 않았다(김종태의 4인, 1995). 과립을 트랙터용 점파기로 파종할 경우에는 300 평당 파종시간

이 0.34시간, 속음이 4.5시간으로 총 4.84시간이 되어 관행에 비하면 13.9%에 불과한 노력으로 파종과 속음을 완료할 수 있어 참깨 재배의 생력화에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

## 5. 결 론

참깨는 80년대 중반까지는 고소득 작목으로 인정되었지만 적절한 전작기계 특히 파종과 수확기계의 부재와 농촌 노동력의 감소, 농산물 수입개방 등으로 인하여 급격히 감소하고 있다. 본 연구는 참깨 파종의 어려움을 해결하기 위하여 트랙터용 조파기나 점파기로 파종이 가능한 직경 4~5mm 정도의 참깨 과립 종자를 저렴한 가격으로 제작할 수 있는 기계를 개발하고 그 사용법을 확립하는 것이 목적이었다. 3차례의 시작기 개발이라는 시행착오를 거쳐 과립종자를 제조하는 간이제조법과 저렴한 가격에 과립을 제조할 수 있는 시작기가 개발하였다. 중요한 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 평균직경 4.86mm의 과립에 참깨 종자가 1~3개 씩 들어간 참깨 과립을 시간당 30,000개를 만들 수 있는 참깨 과립종자 제조기 시작기가 개발되었다. 참깨 과립제조의 재료비용은 참깨 1kg당 6,891원으로 매우 저렴하였다.

2. 참깨 과립제조기계를 사용할 경우 파종작업시간과 속음작업시간이 대폭 줄어서 트랙터용 점파기를 이용할 경우에 관행의 14% 수준으로 낮출 수 있다.

3. 개발된 참깨 과립종자제조기 시작기는 현재 참깨에만 사용할 수 있고, 과립당 종자수나 과립제조속도, 과립제조시 작업자의 연속적인 작업감시가 필요하므로 이를 자동화하는 추가적인 연구와 실용화기계를 개발할 필요가 있으며 참깨와 유사한 크기의 무, 배추, 양파 등 채소종자의 과립 종자제조가 가능하도록 추가적인 연구가 필요하다.

4. 본 연구에서는 불균질한 활성탄소 혼합액을 균일하게 배출할 수 있는 역회전 롤러방식을 개발하였으며 참깨를 혼합액 속에 밀어 넣을 수 있는 기계구조를 개발하였다. 또한 알진산 용액과 활성탄소 혼

합액의 점도를 일정하게 유지시키기 위한 기초적인 연구가 수행되었다.

### 참 고 문 헌

1. 강철환. 1993. 트랙터와 바인더로 파종수확작업을 생력화-참깨 생력기계화 재배기술. 연구와 지도 34권 2호(통권 157호) p. 33-36.
2. 김종태 외 4인. 1995. 참깨 고품질 다수성 품종 개발과 재배의 생력화 연구. 농촌진흥청 호남농업시험장 농업과학기술 시험연구보고서. p. 236-244.
3. 失田貞美. 1983. 野菜種子の被服整形に関する研究(第2報) -被服整形構造の解明- 일본농업기계학회지 45(3):319-326
4. 中村喜彰. 1976. 湛水直播用コチング 種子の基礎的研究. 일본농업기계학회지 38(1):75-78.
5. 紫田洋一 외 4인. 1989. 流體播種に用いられる 吸水性高分子物質に関する研究(第1報) -粘度の低下 について- 일본농업기계학회지 51(6): 77-81.
6. 河野靖司 외 3인. 1995. 被服種子の實用化に関する研究(第2報) -自動型被服加工装置と被服種子の物性- 일본농업기계학회지 57(5):41-46.
7. Burris, J. S., A. H. Wahab and O. T. Edje. 1977. Effect of seed size on seeding performance in soybeans. Proc. Amer. Soc. Crop. Sci. 11:492-496.
8. Robinson, F. E., K. S. Mayberry and J. Jr. Hunter. 1975. Emergence and yield of lettuce from coated seed. Transactions of ASAE 18(4):650-653.
9. Scott, J. M. 1989. Seed coating and treatments and their effects on plant establishment. Adv. Agron. 42:43-83.
10. Taylor, A. G. and G. E. Harmen. 1990. Concepts and technologies of selected seed treatments. Ann. Rev. Plantpathology 28:321-339.