파종기 설계를 위한 종자의 형태학적 분석

Morphological Analysis of Seed for Seeder Design

이중용 * 황진성 * 정창주 * 김학진 **

정회원 정회원 정회원 정회원

J.Y. Rhee J.S. Hwang C.J. Chung H.J. Kim

1. 서론

우리 나라는 수도작 기계화에 이어 본격적인 전작 기계화 단계로 접어들고 있으며 최근 각종 작목의 파종기나 이식기 개발에 대한 연구가 진행되고 있다. 파종기계를 설계하는 데 있어 홈롤러 방식과 종자판 방식, 진공파종방식, 호퍼와 게이트 방식 등 어느 경우에 있어서나 종자의 물리적 성질은 파종기계의 중요한 설계인자가 된다.

파종기 설계에 중요시되는 물리적 성질에는 종자의 입도분포, 형상, 안식각, 마찰계수 등이 있다. 이 중에서 특히 종자의 형상은 안식각과 마찰계수 등에 밀접히 관련되어 있으며 입도 측정뿐만 아니라 흐름성, 충전성, 부착성 등의 물성에도 영향을 미침이 밝혀졌다. 최근에는 입자 형상에 관한 연구가 많이 진행되고 있으며, 형태학적(morphological) 해석방법에 큰 관심이 모아지고 있다(강, 1995). 또한 입자의 형상은 종자를 공기운반하는 경우에 중요한 인자로 알려져 있으며(이, 1998), 농작업기계만이 아니라 농산가공 분야에서도 중요한 설계자료로 활용될 수 있다.

종자는 그 크기가 13cm 되는 야자로부터 길이가 0.7mm 이하이고 두께가 0.4mm정도 되는 담배까지 크기가 다양하며 형상에 있어서 대부분 구형이나 타원형이지만 매우 다양한 형태를 가지고 있다. 종자의 크기와 형상에 대하여 농산가공학이나 종자학, 분체공학, 광물학 등에서 언급되고 있지만 파종기 설계를 위한 종자에 대한 크기와 형상에 대한 자료는 부족한 형편이다.

본 연구에서는 다양한 입도의 정의를 소개하고 파종기 설계에 있어서 어떠한 형상인자를 적용하는 것이 바람직한지를 토론하며 주요 농작물의 종자에 대한 1차 , 2차, 3차원적 해석을 통하여 형상과 입도에 관한 자료를 제공하고자 수행되었다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험 재료

본 연구에서는 9개과 37종의 종자를 대상으로 형상과 입도를 구하였다.

*서울대학교 생물자원공학부 농업기계전공

**농촌진흥청 기계화연구소

화본과(Gramineae : 다산벼, 화성벼, 화선찰벼, IR 36, 동진벼, 대안벼, 주안벼, 일품벼, 밀양23호 ,겉보리, 쌀보리, 밀, 호밀, 옥수수, 수수), 콩과(Leguminosae : 검정콩, 다원콩, 단엽콩, 봄콩, 황금콩, 태광콩, 팥), 십자화과(Cruciferae : 배추, 무), 미나리과(Umbelliferae : 당근), 호박과(Cucurbitaceae : 오이, 참외, 호박), 가래과(Potamogetonaceae : 양파, 파, 긴파), 국화과(Compositae : 상치, 치마상치), 참깨과(Pedaliaceae : 참깨, 한성깨), 꿀풀과(Labiatae : 들깨)를 공시재료로 택했다.

2.2. 실험 방법

종자의 형상과 크기를 측정하기 위하여 칼라영상 현미경시스템(삼성전관, MICROWORLD MW-200)을 이용하였다. 실험 장치는 Fig. 1과 같으며 카메라의 배율을 10배로 하여 종자의 영상을 얻은 후 종자의 크기, 면적 등을 MATROX INSPECTOR 2.2 프로그램을 이용하여 측정하였다. 영상에서 크기를 얻기 위하여 문턱값을 이용한 이치화와 이치화된 영상에서 얻은 치수와 실제의 치수를 비교하기 위하여 캘리브레이션을 실시하였다. 오차는 0.05mm 이내로서 버니어 캘리퍼스를 이용하는 경우와 비슷한 오차를 가지나 실제 종자는 측정압력에 의해 변형되기 쉽다는 점을 고려하면 영상을 이용한 측정이 보다 정확하다고 판단된다.

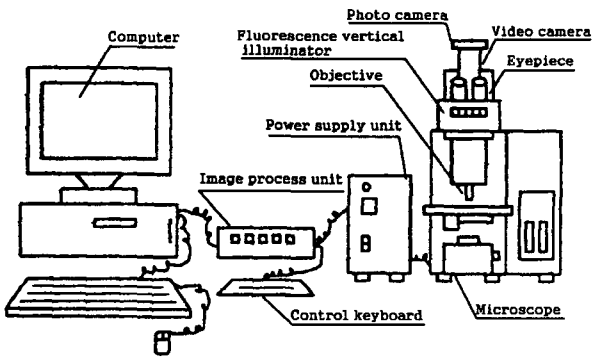

Fig. 1 Experimental set up for image grabbing

2.3. 입도의 정의

입도란 입자의 크기를 대표할 수 있는 길이 단위의 특성치를 말하며, 입자의 형상에 따라서 또는 응용분야에 따라서 다양한 입도를 정의한다. 일반적으로 투영된 영상에서 사용되는 입도에는 Martin 입도(d_M), Feret 입도(d_F), 최장입도(l_{max}), Heywood 입도(d_A) 등이 있다(강, 1995).

일반적으로 종자는 구형이나 디스크형, 타원형 등으로 단순하여 Fig. 2에서와 같이 복잡한 요철을 가지고 있지 않다. 본 연구에서는 투영면적의 가장자리에 접하는 가장 긴 선분인 Feret입도 즉 종자의 평면 이미지로부터 가장 긴축을 길이(l)로, 길이에 직교하는 축중 가장 긴 축을 폭(b)으로, 길이와 폭에 직교하는 축중 가장 긴 축을 두께(h)로 정하고, 이들을 측정하여 표 1에 정의된 입도를 측정하였다.

2.4. 형상 인자에 대한 정의

입자의 형상을 기술하는 인자들을 Table 2에 정리하였다(狩, 1995, 조, 1999). 일반적으로

형상을 정의하는 체계는 대상 입자의 종류의 생성원리에 따라 구분될 수 있다. 즉 결정질, 비결정질, 생물체(종자, 화분)에 따라서 여러 가지로 형상을 기술하고 있다.

생물체의 일부인 종자는 형상에 따라 타원(楕圓)형, 방추(方錐)형, 구(球)형, 방패(防牌)형, 능각(稜角)형, 접시(disk)형, 난(卵)형, 도란(倒卵)형, 난원(卵圓)형, 신장(腎臟)형 등으로 구분된다. 개별적으로 분리된 화분의 형상을 구분하는 경우에는 Aspect를 이용하여 형상을 분류하는데 1.00-1.14 까지를 球形(spheroidal), 1.14-1.33 까지를 亞扁球形(suboblate), 1.33-2.00 까지를 扁球形(oblate), 2.00 이상을 過扁形(peroblate)으로 정의한다(장, 1986).

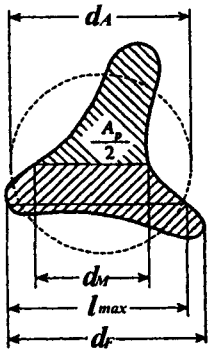

Fig. 2 Several particle size defined in projection area on microscope

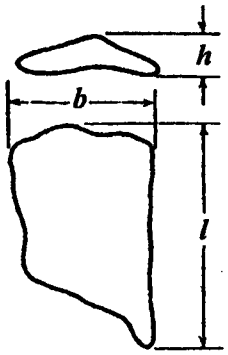

Fig.3 Length(l), breadth(b), thickness(h) model

Table 1 Particle diameter of single one

normal direction dia.	2-axis mean dia.	$(l+b)/2$
	3-axis mean dia.	$(l+b+h)/3$
	2-axis harmony mean dia.	$2/(1/l + 1/b)$
	3-axis harmony mean dia.	$3/(1/l + 1/b + 1/h)$
aerial equivalent dia.	2-axis gemetric mean dia.	$(lb)^{1/2}$
	surface mean dia.	$((2lb + 2bh + 2hl)/6)^{1/2}$
	sauare equivalent dia.	$s^{1/2}$
	circular equivalent dia.	$(4s/\pi)^{1/2}$
voluminal equivalent dia.	volume mean dia.	$3lbh/(lb + bh + hl)$
	3-axis geometric mean dia.	$(lbh)^{1/3}$
	cylinderical eauivalent dia.	$(sh)^{1/3}$

s : projected area
dia. : diameter

Table 2 Definition of shape features

$$Aspect = \frac{length\ of\ major\ axis}{length\ of\ minor\ axis}$$

$$Roundness = \frac{perimeter^2}{4 \times \pi \times area}$$

$$Compactness = \frac{100 \times area}{perimeter^2}$$

$$Elongation = \frac{length\ of\ major\ axis - length\ of\ minor\ axis}{length\ of\ major\ axis + length\ of\ minor\ axis}$$

$$PTB = \frac{perimeter}{2(length + width)}$$

$$LTP = \frac{length}{perimeter}$$

$$LTW = \frac{length}{width}$$

$$PTAL = \frac{perimeter^3}{100 \times area \times (length\ of\ major\ axis)}$$

3. 결과 및 고찰

이상적인 경우 입도는 입자의 필요한 정보를 대표해야 한다. 따라서 종말속도와 같이 공기의 저항을 고려하는 경우와 파종시 롤러의 저항력에 미치는 영향을 고려할 경우 어떤 인자가 영향을 미치는지 구분할 필요가 있다.

홈을 가진 롤러를 이용한 파종기나 종자통에서 종자가 흘러 나오는 경우에 종자의 형상은 안식각에 직접적인 상관을 가질 것으로 판단되며 이 때 롤러를 회전시킬 때 발생하는 저항이나 브러시와 롤러 간에 발생하는 힘은 종자가 길죽한 형상일수록 커다란 힘을 요구할 것으로 판단된다.

본 연구에는서는 어떤 입도정의가 파종기 설계에 영향을 미치는지 상호관계를 구명하지는 못하였다. 분명한 것은 종자의 형상은 품종에 따라 매우 다르며 농학에서 사용되는 모양을 기술하는 방법보다는 화분에 정의하는 Aspect에 의한 구분이 종자의 형상을 하나의 인자로 구분할 수 있다는 사실이다.

각종 종자의 입도를 조사하였다. 벼의 경우 평균 길이는 품종별로 달랐고 대체적 범위는 길이 8.42-11.01 mm 폭 2.86-4.04 mm, 두께 1.9-2.24 mm의 수치를 보였고 길이에서 가장 큰 치수변동폭을 보였다. 장립종인 IR36은 길이 대비 폭과 두께가 다른 품종에 비하여 작은 특성을 보였다. 쌀보리의 치수는 길이 10.54 mm, 폭 3.49 mm, 겉보리는 길이 8.34 mm 폭 3.61 mm, 두께 2.7 mm로 측정되었다. 콩의 경우 그 형상이 구형에 가까우며 길이는 7.55-10.47 mm 폭은 5.55 -9.08 mm로 측정되었다. 이 자료를 바탕으로 Table 3에 원상당지름을 구하였다. 구상의 단엽콩의 경우 정방향길이, 면적상당길이, 체적상당길이의 차이가 적었고 과편 구상의 경우 그 차이가 크게 나타났다. 구형, 아편구형, 편구형, 과편구형을 대표하는 종자의 모양을 Fig.4, Fig.5에 나타냈다. 종자의 형상인자와 기하학적특징을 구하였고, 각각 Table 4와 Table 5에 나타냈다.

4. 요약 및 결론

파종시 홈롤러에 작용하는 힘이나 종자통에서 종자가 빠져나오는 속도등에 미치는 형상인자를 찾기 위해 다양한 입도의 정의를 찾아서 종자의 입도를 측정하는 방법을 찾고 또한 다양한 종자의 입도를 분석하였다. 본 연구의 주요 결론은 다음과 같다.

1. 파종기 설계시 사용할 수 있는 형상인자는 신축비(Aspect=L/W)가 가장 적합하다.
2. 화본과, 호박과, 참깨과는 일반적으로 과편구상이며, 콩과, 십자화과는 일반적으로 구상에서 편구상의 형태이나 구상에 가깝고, 가지과 및 미나리과는 아편구상과 편구상을 나타낸다.
3. 신축비가 클수록 정방향 지름과, 면적상당지름과 체적상당지름간의 차이가 크게 나타났다. 종자의 형상 변화는 종자의 형상이 원에 가까울수록 Roundness, Compactness, PTB, PTAL이 높게 나타났고, Aspect, Elongation, LTP, LTW는 낮게 나타났다.

Table 3 Particle diameter of seed (unit: mm)

Items	normal direction diameter				areal equivalent diameter				voluminal equivalent diameter		
	2-axis mean dia.	3-axis mean dia.	2-axis harmony mean	3-axis harmony mean	2-axis geometic mean	surface area mean	squrare equivalent	circular equivalent	volume mean	3-axis geomeri mean	cylinderical equivalent mean
milyang 23ho(rice)	6.9140	5.3027	5.0157	3.4110	5.8889	4.5986	5.1871	5.8530	3.4110	4.1627	3.8251
dasan rice	6.8936	5.3094	5.4923	3.6092	6.1532	4.7392	5.3571	6.0448	3.6092	4.3279	3.9460
hwasung rice	6.2360	4.8990	5.4184	3.6650	5.8128	4.5291	4.9968	5.6382	3.6650	4.2205	3.8157
hwasun chal-rice	6.4022	4.9998	5.6129	3.6950	5.9946	4.6203	5.1204	5.7777	3.6950	4.2886	3.8608
IR36(rice)	6.9410	5.2623	4.5498	3.1104	5.6196	4.3979	5.0118	5.6552	3.1104	3.9183	3.6304
dongjin rice	6.2582	4.9388	5.4569	3.7439	5.8438	4.5803	5.0434	5.6909	3.7439	4.2826	3.8820
daean rice	6.4127	4.9985	5.4263	3.6170	5.8989	4.5690	5.0412	5.6884	3.6170	4.2267	3.8064
juan rice	6.2344	4.9046	5.4622	3.6964	5.8355	4.5477	5.0567	5.7059	3.6964	4.2442	3.8576
ilpum rice	6.3420	4.9780	5.6238	3.7496	5.9721	4.6262	5.1243	5.7821	3.7496	4.3133	3.8948
hulled barely	5.9775	4.8850	5.0438	3.9119	5.4908	4.5617	5.8558	6.6075	3.9119	4.3339	4.5239
hulless barely	7.2730	*	5.8000	*	6.4949	*	5.4342	6.1319	*	*	*
wheat	6.3465	*	5.4363	*	5.8738	*	5.2029	5.8708	*	*	*
rye	6.1205	*	4.7752	*	5.4062	*	5.0180	5.6622	*	*	*
corn	8.4947	*	8.3733	*	8.4338	*	7.2894	8.2253	*	*	*
kaoliang	5.0343	*	5.0040	*	5.0191	*	4.3675	4.9282	*	*	*
black-bean 1ho	10.2067	*	10.1997	*	10.2032	*	9.0167	10.1742	*	*	*
dawon bean	6.5531	*	6.4003	*	6.4762	*	5.8162	6.5629	*	*	*
danyub bean	8.0224	*	8.0208	*	8.0216	*	6.9015	7.7875	*	*	*
spring bean	12.1395	*	11.4739	*	11.8020	*	10.5594	11.9150	*	*	*
taegwang bean	8.7055	*	8.7040	*	8.7047	*	7.5473	8.5162	*	*	*
gold bean	9.8474	*	9.8368	*	9.8421	*	8.5651	9.6647	*	*	*
red-bean	6.7538	*	6.6128	*	6.6829	*	6.1571	6.9476	*	*	*
chinese cabbage	1.7967	1.7038	1.7931	1.6910	1.7949	1.7006	1.5861	1.7897	1.6910	1.6974	1.5631
radish	3.9314	3.2109	3.8672	2.7723	3.8992	3.1156	3.5564	4.0130	2.7723	2.9967	2.8184
young radish	3.8083	3.3299	3.7368	3.1360	3.7724	3.2815	3.4613	3.9056	3.1360	3.2323	3.0520
carot	2.0990	1.6400	1.9020	1.2312	1.9981	1.5301	1.7807	2.0093	1.2312	1.4232	1.3180
korean angelica root	5.7535	*	5.2345	*	5.4879	*	4.8031	5.4197	*	*	*
red-pepper	4.0913	*	4.0395	*	4.0653	*	3.7583	4.2408	*	*	*
cucumber	6.9964	5.2003	5.7890	3.1012	6.3642	4.5827	4.9454	5.5803	3.1012	4.0234	3.4006
melon	6.2130	*	5.6687	*	5.9346	*	4.8135	5.4315	*	*	*
onion	5.7215	*	5.7210	*	5.7213	*	4.9457	5.5806	*	*	*
walsh onon	3.4430	*	3.3277	*	3.3849	*	2.8577	3.2246	*	*	*
long walsh onion	2.5300	*	2.4176	*	2.4731	*	2.1156	2.3872	*	*	*
chima lettuce	2.7220	*	2.0465	*	2.3602	*	2.0112	2.2694	*	*	*
hansung sesame	2.4480	1.8867	2.2828	1.3730	2.3639	1.7634	2.0022	2.2593	1.3730	1.6223	1.4523

Table 4 Shape features of seed

item	danyub bean	corn	dawon bean	hansung sesame	ilpum rice	dasan rice	IR36
Aspect	1.0290	1.2715	1.3605	1.7020	2.0144	2.6422	3.8420
Roundness	2.1253	1.2830	1.1009	1.7520	1.2186	1.2198	1.1192
Compactness	5.8548	1.9862	1.3108	4.4860	1.9234	2.2068	2.3554
Elongation	0.0143	0.1195	0.1527	0.2598	0.3365	0.4509	0.5869
PTB	1.7026	2.1314	0.8998	1.4280	0.9910	1.0230	0.9808
LTP	0.1489	0.2626	0.3203	0.2205	0.3372	0.3546	0.4045
LTW	1.0290	1.2715	1.3605	1.7020	2.0144	2.6422	3.8420
PTAL	4.2085	1.1948	0.5134	2.2115	0.7139	0.7820	0.7297

Table 5 Geometrical features of seed

Items	L/W	W/T	compactness	roughness
milyang23ho(rice)	3.2015	1.5823	2.2790	1.1712
dasan rice	2.6420	1.7681	2.2068	1.2198
hwasung rice	2.1352	1.7879	2.2475	1.2819
hwasun chal-rice	2.0823	1.8926	2.0720	1.2524
IR36(rice)	3.8420	1.5050	2.3554	1.1192
dongjin rice	2.1145	1.7473	2.3106	1.3086
daean rice	2.2906	1.7961	2.1964	1.2458
juan rice	2.0862	1.7996	2.0842	1.2370
ilpum rice	2.0144	1.8701	1.9234	1.2186
unhulled barely	2.3071	1.3389	1.9130	1.1020
hulless barely	2.6366	*	3.3322	1.3925
wheat	2.2191	*	1.4280	1.0490
rye	2.7653	*	1.6860	1.0720
corn	1.2715	*	1.9862	1.2830
corn(a)	1.2891	*	8.3465	2.5890
kaoliang	1.1681	*	1.1710	1.0480
black-bean 1ho	1.0539	*	1.2164	1.0804
dawon bean	1.3605	*	1.3108	1.1009
danyub bean	1.0291	*	5.8548	2.1253
spring bean	1.6115	*	1.8500	1.2760
taegwang bean	1.0269	*	3.0688	1.6225
gold bean	1.0680	*	3.0613	1.6637
red-bean	1.3377	*	1.2080	1.0490
onion	1.0182	*	1.1790	1.0620
welsh-onion	1.4479	*	1.2725	1.0575
long welsh-onion	1.5342	*	1.3352	1.0600
chima lettuce	2.9854	*	7.3292	1.9820
hansung sesame	1.7020	2.3717	4.4860	1.7520
perilla	1.2358	*	1.1755	1.0455
chinese cabbage	1.0932	1.1309	1.1533	1.0465
radish	1.2930	1.9373	1.9024	1.3028
young radish	1.3176	1.3849	1.1794	1.0438
carot	1.8832	2.0166	1.6014	1.1246
korenaangelica root	1.8585	*	2.2565	1.3000
red pepper	1.2535	*	1.2720	1.0610
cucumber	2.4212	2.5435	20.3650	3.3593
melon	1.8409	*	3.7730	1.6230

* : unmeasued data

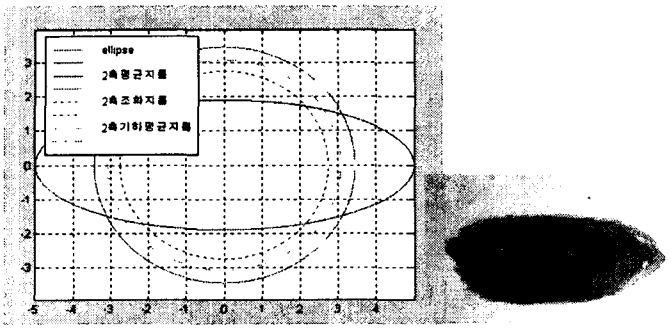

Fig. 4 Dasan rice(peroblate)

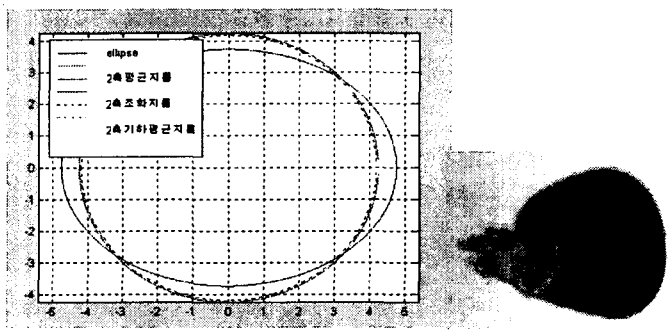

Fig. 5 Corn(suboblate)

5. 참고 문헌

1. 강석호. 1995. 분체공학. 희중당.

2. 이성호. 1998. 입제비료 및 농약의 공기역학적 성질. 한국농업기계학회지 vol.23(2):105-114.

3. Huang, J., Y. Li, M. F. Slavik, Y. Tao and G. R. Huff. 1999. Identification and Enumeration of Salmonella on Sample Slides of Poultry Carcass Wash Water Using Image Analysis with Fluorescent Microscopy. Trans. of the ASAE vol.42(1):267-273.

4. 荒非康夫 저. 김창은 외 3인 공역. 1994. 세라믹 분체재료학. 반도출판사.

5. 狩野武 저. 송광고 외 1명 공역. 1995. 분체전송기술. 안양:도서출판 기술.

6. 장남기. 1986. 한국동식물도감 식물편(화분류). 제29권. 문교부.

7. 조성인 외 2명. 1999. 기계시각을 이용한 잡초 식별. 한국농업기계학회지 24권(1)p. 59-66.

8. Jindal, V. K., N. J. Mohsenin and V. Husted. 1974. Surface Area of Selected Agricultural Seeds and Grains. Trans. of the ASAE. vol.17(4):720-728.