

배의 충격특성에 관한 연구

Impact Properties of Pears

김만수* 박종민** 정현모* 박일규* 황용수*
정회원 정회원 정회원
M. S. Kim J. M. Park H. M. Jung I. K. Park Y. S. Hwang

1. 서론

과실은 수확, 저장, 포장, 수송, 상하차 등의 유통과정에서의 취급여하에 따라 압축력 및 충격력 등의 기계적외력에 의해서 손상을 받음으로 인해 과실의 품질저하가 상당한 수준에 이르고 있으나, 이에 대한 관심은 매우 빈약한 실정이다.

과실이 가지고 있는 이러한 특성을 고려하여 수확, 포장 및 유통과정에서의 압축력 및 충격력 등의 기계적외력에 의해 발생하는 과실의 손상을 줄이고 상품가치를 높이기 위해서는 이러한 과실의 충격특성들이 철저히 구명되어야 한다. 과실의 충격특성이 구명되어지면 과실의 수확, 선별, 포장 및 가공기계와 시설을 해당 과실의 특성에 적합하게 설계, 개발 및 개량과 적정 작동조건 등을 설정 할 수 있게 되어 기계적외력에 의한 과실의 손상을 줄이는데 기여 할 것이다. 또한 이들 자료는 현재 사용중인 과실의 골판지상자와 포장재의 설계 및 적정두께를 결정하는 데 적용될 수 있을 것이다.

따라서 본 연구에서는 배에 대한 충격실험을 위한 계측시스템을 구성하고 계측용 컴퓨터 프로그램을 개발하였으며, 배에 대한 충격특성을 분석하고 UTM에 의한 배의 기계적특성과 배의 충격특성을 비교, 분석하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 실험재료

본 실험에서 사용되어진 과실은 우리 나라에서 많이 생산되어지고 있는 배(신고)로 1998년 10월 경에 일반 농가에서 수확하여 약 3개월간 저장(1°C, 90%rh)하였던 과실이었으며, 실험직전에 시료를 실험실의 환경조건에서 2~3시간 적응시킨 후 실험을 하였다.

나. 실험장치

충격실험장치는 [그림1]에서 보는 바와 같이 약 150kg_r의 concrete block 위에 설치하였다. 낙하 높이는 원하는 위치로 자유로이 조절할 수 있도록 하였으며 배를 자유낙하 시키기 위해서 진공펌프와 배에 손상을 입히지 않기 위해 고무 컵으로 잡도록 하였다. 진공펌프를 제어하기 위해서 SSR단자를 사용하였고, 충격력을 계측하기 위해서 8channel strain gage board와 하중변환기

*충남대학교 농과대학

**밀양대학교 기계공학과

(200kgf)를 사용하였고 이들을 제어하기 위해서 마이크로 컴퓨터를 사용하였다. [그림2]는 제작된 충격실험장치의 사진이다.

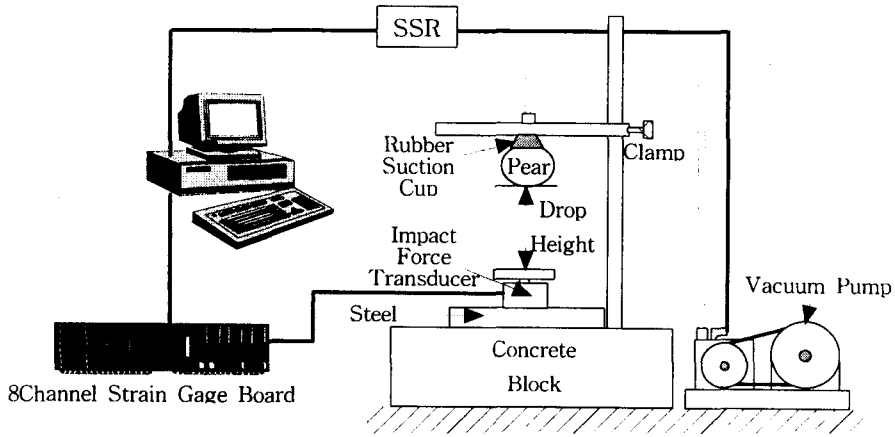


Fig. 1. Schematic diagram of the impact tester.

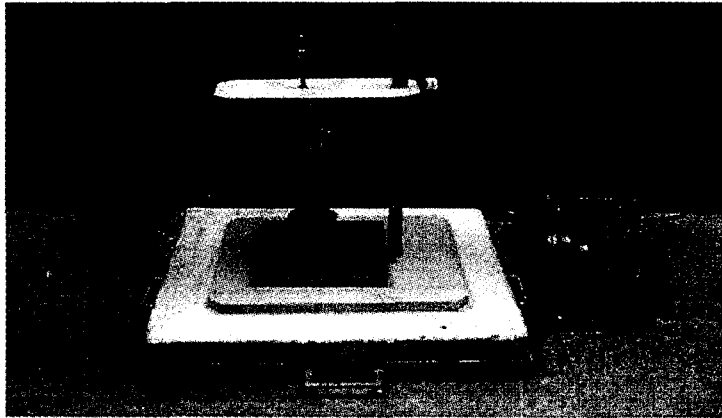


Fig. 2. General view of the impact tester.

본 시스템의 구동 및 계측컴퓨터 프로그램은 컴퓨터 프로그램 언어인 비주얼 베이직 5.0으로 작성하였다.

다. 실험방법

실험은 먼저 시료 각각의 질량과 체적을 측정하였으며 충격실험직후에 UTM으로 각 시료의 기계적특성(생물체항복점, 생물체항복강도, 탄성계수)을 측정하여 비교분석하였다.

충격실험은 낙하높이 5cm와 10cm에서 배를 자유낙하 시켰으며 배가 하중변환기에 충격을 가하는 순간부터 0.2ms 의 일정한 시간 간격으로 충격력을 측정하여 데이터 파일로 저장시켰다.

본 실험에서의 충격가속도, 속도 및 변위의 분석은 다음과 같은 일반적인 물체의 자유낙하식을 적용하였다.

$$\ddot{x} = a = g - \frac{F}{m} \quad \text{-----(2)}$$

$$\dot{x} = v = v_0 + \int_0^t \ddot{x} dt \quad \text{-----(3)}$$

$$x = \int_0^t \dot{x} dt \quad \text{-----(4)}$$

$$v_0 = \sqrt{2gh} \quad \text{-----(5)}$$

여기서, x= displacement, m
a= acceleration, m/s²
F= impact force, N
m= mass of fruit, kg
g= gravitational acceleration, 9.81m/s²
v= velocity, m/s
v₀= velocity of the pear at
the beginning of contact, m/s
h= drop height, m
t= time after contact, s

배를 자유낙하 시켜 프로그램에서 도시한 힘-시간곡선(Force-time curve)에서 측정될 수 있는 충격특성치들은 충격최고점(Peak force), 충격최고점에 이르는 시간(Time to peak force), 정지시간(Dwell time), 접촉시간(Contact time), 역적(Impulse)등이다. 힘-변위곡선(Force-displacement curve)에서는 충격 중 확산에너지와 충격 후 잔존에너지, 가속도-시간곡선(Acceleration-time curve)에서는 속도변화(Velocity change)를 출력하도록 하였다.

아래 [그림3]에서 보는 바와 같이 최고충격점(Peak force)은 힘이 최대인 지점을 말하며, 최고충격점에 이르는 시간(Time to peak force)는 충격시작점에서의 시간에서 최고충격점까지의 시간을 말하며, 정지시간(Dwell time)은 최고충격점의 1/2에 해당하는 접촉시간을 말하며, 역적(Impulse)은 힘-시간곡선(Force-time)의 면적으로 정의된다.

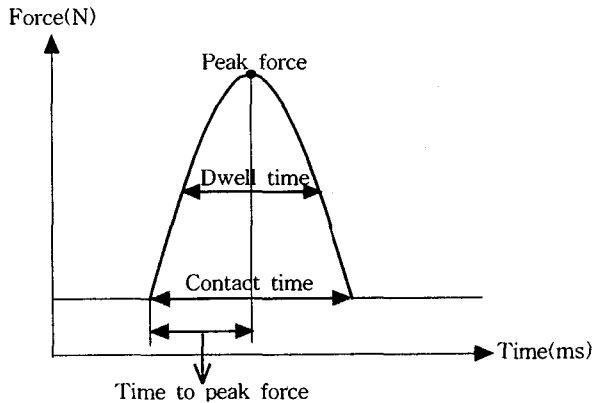


Fig. 3. Diagram of the impact force-time curve.

멍(bruise)은 충격실험 및 기계적특성을 측정한 후 실온에서 약 48시간이 지난 후에 멍 부분의 단면을 절단하여 직경과 깊이를 측정하며, 식(1)에 의해 멍의 체적을 계산하였다.

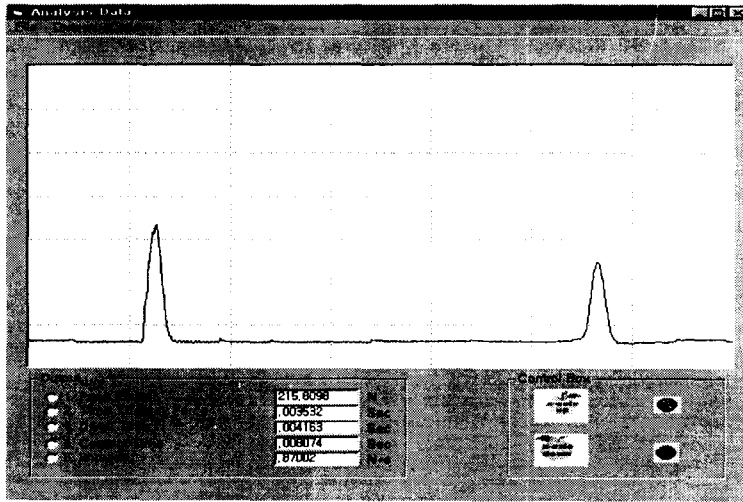
$$BV = \frac{\pi}{6} \cdot d [0.75D^2 + d^2] \quad \text{----- (1)}$$

여기서, BV= volume of bruise
D= surface diameter of bruise
d= depth of bruise at center

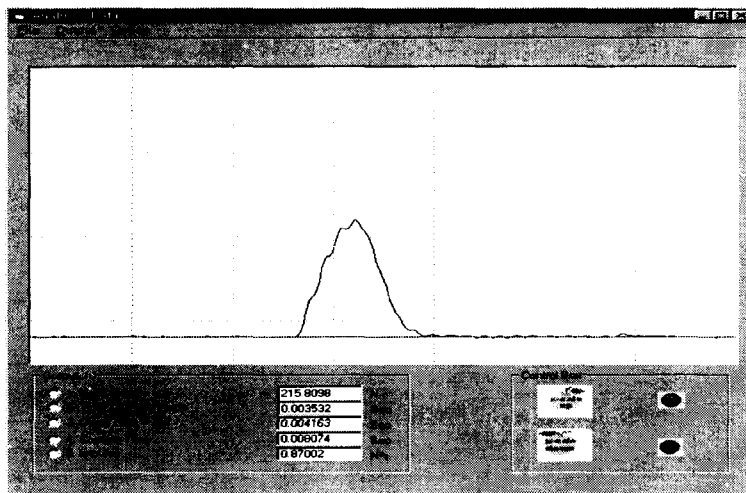
3. 결과 및 고찰

프로그램은 배가 자유낙하하기 시작하여 하중변환기에 1~2번 충격을 할 때까지 충격력과 시간을 측정하여 데이터 파일로 저장하는 부분과 저장된 데이터 파일을 불러들여 분석하는 프로그램으로 구성되어있다.

[그림4]은 저장된 데이터 파일을 불러들여 초기의 힘-시간 데이터를 도시한 것이다. 그림에서 위의 그림은 배가 하중변환기에 2번 충돌한 힘-시간 곡선(Force-time curve)을 나타낸 것이며 아래 그림은 첫 번째 충돌한 힘-시간곡선을 마우스로 클릭 하면 확대되도록 프로그램 한 것을 도시하였다.



a) Original force-time curve



b) Extended force-time curve for first impact

Fig. 4. Typical force-time for impact of the pear.

[그림4]의 아래그림에서 충격시작점, 최고점, 충격끝점을 마우스로 클릭 하면 최고충격력(Peak force), 충격기간(Duration of time) 또는 접촉시간(Contact time), 최고충격력까지의 시간(Time to peak force), 정지시간(Dwell time), 역적(Impulse)등을 계산하여 출력하도록 하였다.

속도와 변위곡선을 구하기 위해서는 힘-시간곡선을 적분하여야 하는데 이를 위해서는 힘-시간곡선의 식을 잘 선택하여야 한다. 힘-시간곡선에 대한 모델들은 여러 가지 형태가 있으나 식에 삼각함수, 지수함수, 대수 등이 포함되면 적분하는데 어려움이 있다. 따라서 여기에서는 주어진 힘-시간의 측정자료와도 잘 맞으면서 적분하는데 편리한 다음과 같은 시간에 대한 6차 다항식으로 표시하였으며 이들 식은 [그림5]에서 보는 바와 같이 모든 실험자료와 잘 일치하였다.

$$F=a_1+b_1t+c_1t^2+d_1t^3+e_1t^4+f_1t^5+g_1t^6 \quad - - - - (6)$$

여기서, F= impact force, N

t= time after contact, ms

a_1, b_1, \dots, g_1 =constants depending on impact test

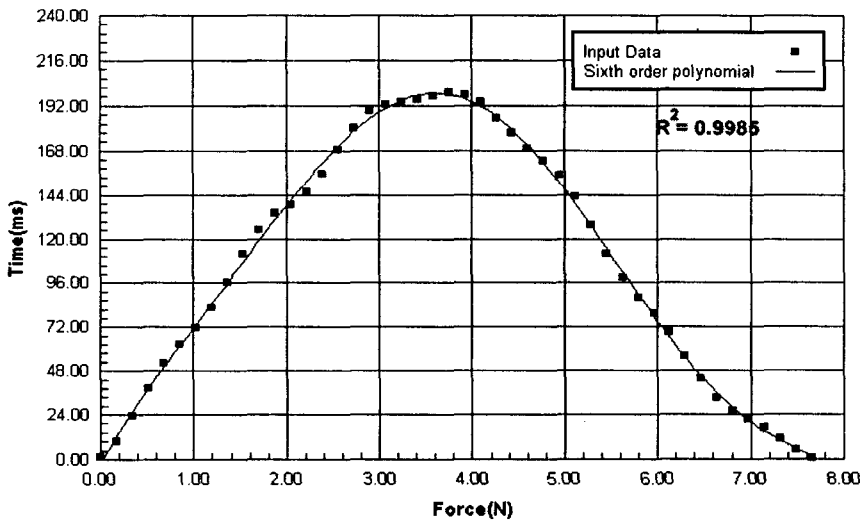


fig. 5. Curve fitting of the typical force-time data for impact of the pear.

각각의 배시료에 대한 힘-시간곡선의 식들을 6차 다항식으로 구한 후 식(2), 식(3) 및 식(4)를 적용하여 가속도, 속도, 변위를 계산하고 그 결과를 그래프로 나타낼 수 있도록 프로그램 하였으며 그 결과를 [그림6]에 나타내었다. 그림에서 실선은 충격력(Impact force), 일점쇄선은 속도(Velocity), 점선은 변위(Displacement)를 나타낸다. 횡축인 시간축은 세곡선이 공유하고 있으며 종축은 충격력, 속도, 변위를 서로 다른 세 축으로 표시하였고 그 크기도 스케일을 변화시킴으로써 자유로이 조정할 수 있도록 하였다.

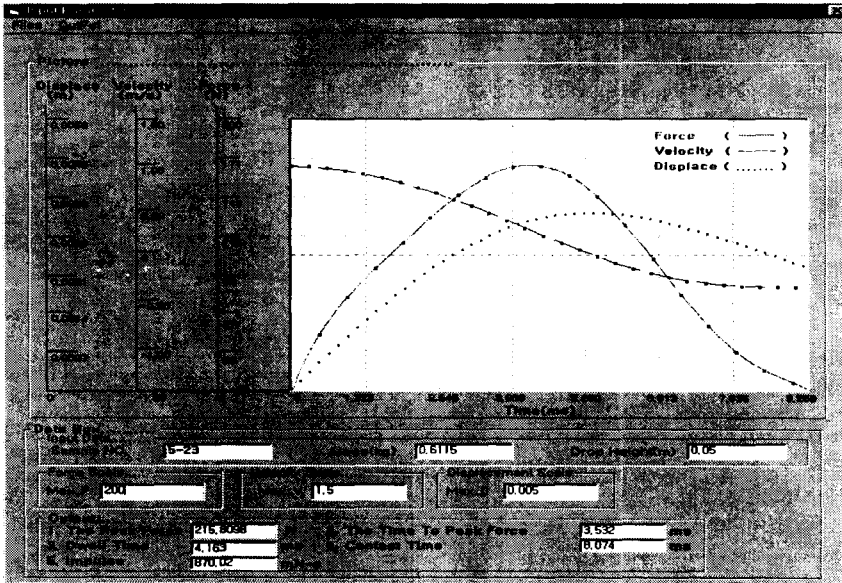


Fig. 6. The force, velocity and displacement curves of a typical pear dropping onto a rigid surface.

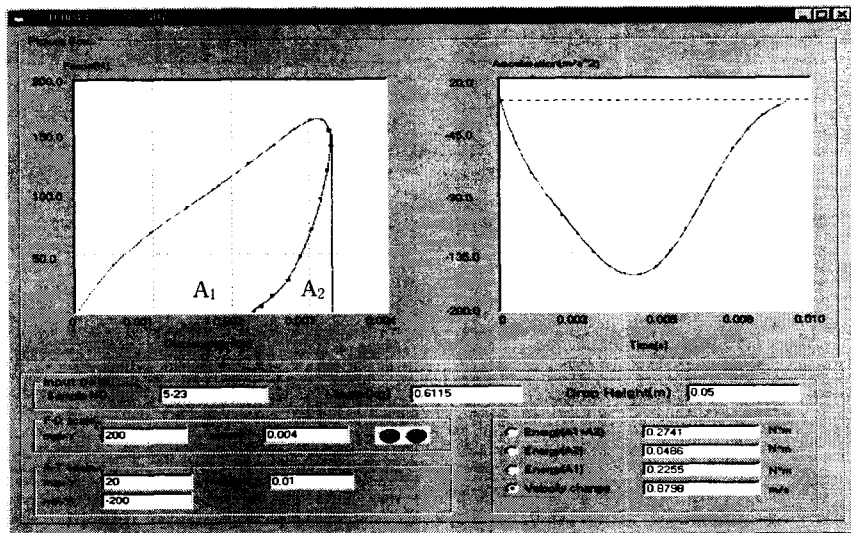


Fig. 7. Force-displacement curve and acceleration-time curve for a typical impact of the pear.

충격력 확산에너지(Energy dissipated during impact) 및 충격 후 잔속에너지(Energy remaining in the pear after contact)와 충격 중 속도변화(Velocity change)를 구하기 위하여 [그림7]과 같은 힘-변위곡선(Force-displacement curve)과 가속도-시간곡선(Acceleration-time curve)을 그리고 각각 확산에너지(A_1), 잔속에너지(A_2) 및 속도변화를 계산하여 출력하도록 하였다. 속도변화는 가속도-시간곡선을 적분한 값으로 나타내며 그 면적의 계산은 사다리꼴 공식을 적용하였다.

[표1] 및 [표2]에는 배시료 23개에 대하여 낙하높이 5cm와 10cm에서 충격 실험한 결과를 요약

한 것이다. 낙하높이 10cm에서는 5cm에서 보다 충격실험의 특성치들이 모두 크게 측정되었으며 특히 최고충격력(Peak force), 최고 G, C₁, C₂ 크게 나타났다. 그러나 배의 속도와 관계가 깊은 접촉시간(Contact time)은 별 차이가 없었다. 또한 충격후 배 멍(Bruise)의 직경 및 체적에서도 낙하높이 10cm의 경우에서 더 크게 나타났다.

배의 충격실험에서 고려하였던 물리량들과 UTM에서 측정한 생물체항복점, 생물체항복강도 및 탄성계수 또한 배의 기본물성인 밀도, 체적, 등가직경 등 총 18개의 물리량들의 상호관계를 분석하여 낙하높이 별로 각각 [표3] 및 [표4]에 나타내었다. 표들에서 보는 바와 같이 낙하높이에 상관없이 물리량들간에 상관관계가 높은 것들은 양쪽모두 거의 같은 경향을 보였다.

배의 충격에 의한 손상의 측도가 되는 멍의 상관계수는 그리 높지는 않았지만 최고충격력(PF), C₁, C₂, 생물체항복점 및 생물체항복강도 등과 관계가 있음을 알 수 있었다. 또한 많은 다른 연구자들은 멍의 체적을 측정하여 보고하였으나 멍의 체적은 멍(Bruise)의 깊이를 정확히 측정할 수 없기 때문에 멍의 직정보다는 측정오차가 큰 것으로 판단되었다.

충격에 의한 배의 멍(Bruise)은 속도변화에 따라 증가함을 알 수 있으며 질량에 따라서는 큰 변화가 없는 것으로 나타났다. 이것은 배의 시료가 균일한 질량의 시료이었기 때문일 것이다. 속도변화가 증가함에 따라 배 멍의 직경이 증가함을 확인할 수 있었으며 생물체항복점에 따라서도 멍의 직경은 증가하였다. 또한 C₁ 및 속도변화에 따른 멍의 직경은 증가하였다.

Table 1. Results of impact test for the pear at 5cm drop height

Sample NO	MA	VO	DN	DE	BD	BV	PF	PT	CT	PG	VC	C1	C2	BP	BS	E	A1	A2
2	0.5367	5.46	982.947	10.1406	26.0	2211.877	174.9072	3.962	9.178	33.202	0.7797	44.1209	11.1360	38.3404	159.4026	1156.606	0.1874	0.0486
3	0.5900	6.33	946.288	10.6529	36.0	10287.677	197.4233	4.210	7.999	33.598	0.8005	46.8653	11.1390	36.6943	148.7162	1200.619	0.2267	0.0402
4	0.5769	5.89	963.105	10.4586	38.5	6946.027	224.2301	3.233	7.847	39.632	0.8816	69.3761	21.4587	37.6682	156.6061	1297.451	0.1554	0.0742
5	0.3063	5.29	957.089	10.0332	33.1	9451.112	155.0128	4.555	8.983	31.210	0.7437	34.0313	7.4712	39.4620	164.0640	928.533	0.1755	0.0442
6	0.5487	5.77	985.615	10.3290	28.0	3065.604	186.1183	3.769	8.947	33.361	0.8136	48.9914	12.8958	46.2060	200.4190	888.210	0.2114	0.0434
7	0.4576	4.57	1001.313	9.5566	30.2	5407.619	162.0823	4.074	8.450	36.106	0.7098	36.7845	9.7654	53.8120	223.7230	1140.6520	0.1236	0.0540
8	0.5459	4.86	1123.250	9.1870	42.9	10348.974	215.8008	2.948	7.472	40.299	0.8706	73.2655	24.8122	41.4900	172.4530	1285.746	0.1067	0.0989
9	0.5376	5.38	989.257	10.0908	34.1	5089.942	196.0154	3.592	7.613	37.167	0.7585	54.7223	15.2770	30.6860	151.0130	1257.045	0.2017	0.0403
10	0.4635	5.11	907.045	9.9191	34.0	5819.971	169.1517	3.903	8.793	37.201	0.7155	43.3389	11.1040	36.3220	164.9960	1508.481	0.1263	0.0574
11	0.5634	5.59	1007.871	10.2204	32.2	5790.771	204.6387	4.158	8.206	37.000	0.8512	49.1820	11.8293	49.1030	204.1470	1349.618	0.1595	0.0681
12	0.4627	4.82	950.959	9.7278	28.0	4083.546	166.3239	3.832	7.791	36.643	0.6931	43.4040	11.3657	44.6190	185.5040	1097.851	0.1394	0.0403
13	0.5995	6.09	984.401	10.5169	37.0	4598.922	241.2586	3.562	7.734	41.023	0.9641	67.7315	19.1050	55.6050	231.1800	1376.198	0.1264	0.0638
14	0.5371	5.34	1065.805	10.0637	29.3	2581.012	198.8432	3.650	7.845	37.739	0.8009	54.4776	14.9253	47.9820	199.4890	1238.062	0.1652	0.0579
15	0.4512	4.70	960.000	9.6464	23.9	2843.646	215.8008	3.214	7.028	48.757	0.6764	67.1468	20.8920	39.1030	162.2000	921.590	0.1328	0.0501
16	0.4463	4.89	1014.928	9.7746	20.5	1809.097	176.2211	3.832	8.607	36.195	0.8057	45.9867	12.0007	65.4710	272.1960	1348.950	0.0602	0.0837
17	0.5613	5.72	981.294	10.2960	25.0	3654.351	186.1183	4.033	9.027	33.801	0.8670	46.1488	11.4428	38.3410	159.4030	1142.823	0.1610	0.0642
18	0.4305	4.35	989.655	9.4007	24.0	1762.957	153.3000	3.835	8.949	36.370	0.6607	40.0519	10.4437	50.0000	236.7730	1452.247	0.1190	0.0543
19	0.5900	6.53	897.397	10.7639	34.0	10288.761	162.0823	5.452	11.571	28.195	0.9288	29.7289	5.4528	25.7855	107.2010	947.784	0.1478	0.0827
20	0.4978	5.25	948.191	10.0089	29.5	3002.053	196.0154	3.863	7.339	40.139	0.7913	55.0141	15.4404	28.2510	117.4550	1119.532	0.1016	0.0787
21	0.6098	6.20	983.548	10.5794	32.2	5478.737	201.6700	4.054	8.607	33.712	0.9360	49.6237	12.2105	47.2350	196.3790	1154.164	0.1721	0.0708
22	0.6054	5.99	1010.684	10.4586	28.0	2804.395	231.4653	3.957	8.872	37.290	0.9472	58.8039	14.0728	45.2930	188.3000	1080.694	0.1550	0.0786
23	0.6115	6.52	937.883	10.7584	32.0	5793.285	215.8008	3.532	8.074	35.975	0.8572	61.1013	17.2493	29.5960	123.0480	952.191	0.2367	0.0416
24	0.5612	5.68	988.028	10.2750	23.2	3143.938	167.7378	4.493	9.688	30.468	0.8703	37.3331	8.3062	69.5070	288.9750	1078.452	0.1455	0.0724

Note: MA=Mass of the pear(kg)

VO=Volume of the pear(10⁻⁴ m³)

DN=Density of the pear(kg/m³)

DE=Equilibrium diameter of the pear(10⁻² m)

BD=Bruise diameter(10⁻³ m)

BV=Bruise volume(10⁻⁹ m³)

PF=Peak force(N)

PT=Time to peak force(ms)

CT=Contact time(ms)

PG=Peak G(g)

VC=Velocity change(m/s)

C1=PF/PT(kN/s)

C2=PF/PT²(MN/s²)

BP=Bioyield point(N)

BS=Bioyield strength(kPa)

E=Apparent elastic modulus(kPa)

A1=Energy dissipated during impact(J)

A2=Energy remaining after contact(J)

Table 2. Results of impact test for the pear at 10cm drop height

Sample NO	MA	VO	DN	DE	BD	BV	PF	PT	CT	PG	VC	C1	C2	BP	BS	E	A1	A2
2	0.5367	5.46	982.067	10.1406	36.0	6235.227	258.8123	4.200	9.800	48.777	1.2007	61.1457	14.5585	38.3404	159.4026	1155.606	0.2301	0.1578
3	0.5900	6.33	946.284	10.6529	47.0	16279.143	300.1230	3.645	8.574	52.607	1.2681	84.8082	23.2670	35.6503	148.7162	1200.619	0.3454	0.1353
4	0.5769	5.99	963.105	10.4586	41.5	13073.971	292.1504	3.486	8.392	51.623	1.1861	83.8003	24.0417	37.6682	156.1001	1207.451	0.3682	0.1150
5	0.5053	5.29	957.089	10.0332	38.6	14823.889	279.6344	3.783	7.862	56.200	1.0088	73.8658	19.6257	39.4620	164.0640	928.533	0.3561	0.0852
6	0.5487	5.77	965.015	10.3200	32.0	5065.350	302.0565	4.034	8.656	54.137	1.2697	74.4348	18.3427	48.2060	200.4190	888.210	0.2362	0.1725
7	0.4576	4.57	1001.313	9.5566	37.1	7937.069	276.6067	3.367	7.842	61.618	1.0111	82.1522	24.3992	53.8120	223.7230	1140.6520	0.2012	0.1294
8	0.5469	4.86	1123.230	9.1870	40.8	10588.589	270.9511	3.846	8.439	50.595	1.1101	69.7249	17.9426	41.4900	172.4530	1285.746	0.3774	0.0878
9	0.5376	5.38	969.257	10.0908	27.5	8909.335	317.6093	3.838	7.815	60.223	1.0517	82.3248	21.3387	39.6860	151.0130	1257.045	0.4081	0.0689
10	0.4635	5.11	907.045	9.9191	44.1	14481.006	227.1208	3.748	8.792	49.960	0.9574	60.5978	16.1680	36.3230	164.9600	1508.481	0.3033	0.0835
11	0.5634	5.59	1007.871	10.2204	51.2	7385.652	303.4704	3.139	7.709	54.990	1.1868	96.6774	30.7988	40.1030	204.1470	1340.618	0.3332	0.1223
12	0.4627	4.82	959.959	9.7278	35.5	17753.301	220.0514	4.109	9.392	48.749	0.9225	53.5535	13.0332	44.6190	185.5040	1067.851	0.3233	0.0832
13	0.5995	6.09	984.401	10.5169	46.0	14231.412	300.1230	4.376	9.179	52.563	1.3470	70.6412	16.1428	55.6950	231.1800	1376.188	0.2478	0.1813
14	0.5371	5.34	1005.805	10.0657	43.8	9750.049	317.6093	3.634	7.502	60.279	1.2199	87.3993	24.0504	47.9820	190.4860	1238.002	0.2067	0.1562
15	0.4512	4.70	900.000	9.6464	46.0	8724.463	249.7429	3.881	8.294	56.423	0.9416	64.3501	16.5808	39.1030	162.2000	921.580	0.2752	0.0939
16	0.4963	4.89	1014.928	9.7746	24.2	4140.089	227.1208	4.147	9.849	46.649	1.0150	54.7675	13.2065	65.4710	272.1960	1348.950	0.3341	0.0920
17	0.5613	5.72	981.294	10.2990	33.1	12783.688	256.8123	4.104	9.141	46.630	1.1728	62.5761	15.2475	38.3410	159.4030	1142.823	0.3420	0.1205
18	0.4905	4.35	980.655	9.4007	30.0	6059.542	253.9846	3.167	7.879	60.140	0.9154	80.1972	25.3227	50.0000	236.7730	1452.247	0.2267	0.1103
19	0.5800	6.53	897.397	10.7039	39.0	18715.773	273.7789	3.985	8.819	47.625	1.1783	68.7023	17.2402	25.7655	107.2010	947.784	0.4256	0.0851
20	0.4078	5.25	948.191	10.0489	32.0	4771.064	244.0874	3.717	7.186	49.983	1.0511	65.6678	17.6668	28.2510	117.4550	1119.532	0.2963	0.1055
21	0.6098	6.20	963.548	10.5794	40.5	14191.135	304.8843	3.332	8.480	50.996	1.1943	91.5018	27.4615	47.2350	196.3790	1154.164	0.4709	0.0725
22	0.6624	5.99	1010.684	10.4586	33.5	7757.246	319.9537	3.876	8.720	52.527	1.2369	80.4834	20.7645	45.2920	188.3000	1090.694	0.4151	0.0964
23	0.6115	6.52	937.883	10.7584	40.6	10214.495	319.9231	3.361	8.576	53.181	1.2828	94.9191	28.2413	29.5900	123.0480	952.191	0.3851	0.1213
24	0.5612	5.68	988.028	10.2750	35.0	7629.896	296.4010	3.648	7.769	53.839	1.1059	81.2502	22.2725	69.5070	288.9750	1078.452	0.4007	0.0948

Note: MA=Mass of the pear(kg)
 VO=Volume of the pear(10⁻⁴ m³)
 DN=Density of the pear(kg/m³)
 DE=Equilibrium diameter of the pear(10⁻² m)
 BD=Bruise diameter(10⁻³ m)
 BV=Bruise volume(10⁻⁹ m³)
 PF=Peak force(N)
 PT=Time to peak force(ms)
 CT=Contact time(ms)

PG=Peak G(g)
 VC=Velocity change(m/s)
 C1=PF/PT(kN/s)
 C2=PF/PT²(MN/s²)
 BP=Bioyield point(N)
 BS=Bioyield strength(kPa)
 E=Apparent elastic modulus(kPa)
 A1=Energy dissipated during impact(J)
 A2=Energy remaining after contact(J)

Table 3. Correlation coefficients of selected parameters for impact test of the pear at 5cm drop height

DN	MA	VO	DE	BD	BV	PF	PT	CT	PG	VC	C1	C2	BP	BS	E	A1	A2
DN	1.0000																
MA	0.0279	1.0000															
VO	-0.3575	0.9225	1.0000														
DE	-0.5176	0.8218	0.9606	1.0000													
BD	0.0388	0.2630	0.2481	0.0945	1.0000												
BV	-0.0782	0.3381	0.3708	0.2069	0.7788	1.0000											
PF	0.2712	0.5548	0.4042	0.3110	0.2884	0.0264	1.0000										
PT	-0.4752	0.1603	0.3417	0.4074	-0.1615	0.2675	-0.6035	1.0000									
CT	-0.3524	0.1842	0.3216	0.3377	-0.2243	0.1552	-0.5774	0.8636	1.0000								
PG	0.2439	-0.3182	-0.4003	0.4091	0.0545	-0.2851	0.6070	-0.8133	-0.8108	1.0000							
VC	0.1144	0.9192	0.8159	0.7020	0.2176	0.2778	0.5491	0.1827	0.2502	1.0000							
C1	0.4143	0.2423	0.0622	0.0549	0.3331	-0.0249	0.9010	-0.8613	-0.7495	0.7849	1.0000						
C2	0.4542	0.1210	-0.00617	0.1942	0.3609	0.0026	0.8120	-0.8940	-0.7496	0.7996	0.1371	1.0000					
BP	0.4671	-0.1158	-0.3022	0.2889	-0.3866	-0.4348	-0.1081	-0.0142	0.0003	0.0426	0.0198	-0.1239	1.0000				
BS	0.4325	-0.1850	-0.3525	0.3157	-0.4056	-0.4551	-0.1636	-0.0079	0.0317	0.0413	-0.0368	-0.1471	0.9871	1.0000			
E	0.2531	-0.1936	-0.2825	0.2969	0.2138	-0.1483	0.0856	-0.2827	-0.2240	0.2225	-0.0496	0.1583	0.1616	0.3332	1.0000		
A1	-0.2569	0.5456	0.6037	0.6081	0.1447	0.2708	0.1187	0.1506	0.0572	0.3688	0.1791	-0.0515	-0.1259	-0.3215	-0.3635	1.0000	
A2	0.3162	0.2330	0.1035	0.0665	0.0640	-0.0008	0.3005	-0.0015	0.1535	0.1060	0.5840	0.2258	0.2316	0.2259	0.2970	-0.6812	1.0000

Note: MA=Mass of the pear(kg)
 VO=Volume of the pear(10⁻⁴ m³)
 DN=Density of the pear(kg/m³)
 DE=Equilibrium diameter of the pear(10⁻² m)
 BD=Bruise diameter(10⁻³ m)
 BV=Bruise volume(10⁻⁹ m³)
 PF=Peak force(N)
 PT=Time to peak force(ms)
 CT=Contact time(ms)

PG=Peak G(g)
 VC=Velocity change(m/s)
 C1=PF/PT(kN/s)
 C2=PF/PT² (MN/s²)
 BP=Bioyield point(N)
 BS=Bioyield strength(kPa)
 E=Apparent elastic modulus(kPa)
 A1=Energy dissipated during impact(J)
 A2=Energy remaining after contact(J)

Table 4. Correlation coefficients of selected parameters for impact test of the pear at 10cm drop height

	DN	MA	VO	DE	BD	BV	PF	PT	CT	PG	VC	C1	C2	BP	BS	E	A1	A2
DN	1.0000																	
MA	0.0279	1.0000																
VO	-0.3575	0.9225	1.0000															
DE	-0.5098	0.8271	0.8627	1.0000														
BD	-0.1469	0.2462	0.2861	0.2322	1.0000													
BV	-0.4310	0.2361	0.3962	0.3497	0.4481	1.0000												
PF	0.1539	0.7405	0.6270	0.5822	0.2931	0.0154	1.0000											
PT	0.0149	0.0533	0.0416	0.0275	-0.2617	0.1407	-0.2008	1.0000										
CT	-0.0620	0.1383	0.1536	0.1409	-0.1544	0.2243	-0.3530	0.6560	1.0000									
PG	0.1883	-0.2697	-0.3263	-0.2866	0.0907	-0.2847	0.4447	-0.5062	-0.6886	1.0000								
VC	0.0553	0.9101	0.8256	0.7549	0.3152	0.1020	0.7323	0.1274	0.1608	0.1583	1.0000							
C1	0.1046	0.4913	0.1462	0.3947	0.3482	-0.0675	0.8379	-0.7600	-0.5703	0.5544	0.4444	1.0000						
C2	0.0682	0.3173	0.2689	0.2642	0.3387	-0.1041	0.6648	-0.8857	-0.5974	0.5427	0.2631	0.9642	1.0000					
BP	0.4671	-0.1158	-0.3022	-0.2548	-0.2153	-0.3846	0.0468	0.0124	0.0534	0.2111	-0.0717	0.0424	0.0458	1.0000				
BS	0.4325	-0.1850	-0.3525	-0.3016	-0.2093	-0.3900	-0.0159	-0.0431	0.0477	0.2193	-0.1287	0.0296	0.0584	0.9871	1.0000			
E	0.2531	-0.1936	-0.2825	-0.2927	0.0791	-0.0875	-0.1525	-0.1727	0.0347	0.0330	-0.1284	0.0068	0.0963	0.2735	0.3332	1.0000		
A1	-0.0491	0.5340	0.5233	0.4320	-0.0465	0.3644	0.2407	-0.0978	0.0367	0.3717	0.1389	0.2233	0.1772	-0.1803	-0.2323	-0.1816	1.0000	
A2	0.0544	0.2424	0.1979	0.2269	0.2412	-0.2083	0.3217	0.1808	0.1245	0.1447	0.6102	0.1306	0.0411	0.1374	0.1394	0.0273	-0.6817	1.0000

Note: MA=Mass of the pear(kg)

VO=Volume of the pear(10^{-4} m^3)

DN=Density of the pear(kg/m^3)

DE=Equilibrium diameter of the pear(10^{-2} m)

BD=Bruise diameter(10^{-3} m)

BV=Bruise volume(10^{-9} m^3)

PF=Peak force(N)

PT=Time to peak force(ms)

CT=Contact time(ms)

PG=Peak G(g)

VC=Velocity change(m/s)

C1=PF/PT(kN/s)

C2=PF/PT² (MN/s^2)

BP=Bioyield point(N)

BS=Bioyield strength(kPa)

E=Apparent elastic modulus(kPa)

A1=Energy dissipated during impact(J)

A2=Energy remaining after contact(J)

4. 요약 및 결론

배의 충격특성을 구명하기 위하여 계측시스템을 구성하였으며 시스템구동, 계측 및 분석용 컴퓨터 프로그램을 개발하였다.

배의 낙하높이 5cm 및 10cm에서 각각 충격실험을 하였으며, 낙하높이 10cm에서는 5cm에서 보다 충격특성치들이 대체로 크게 계측되었으며, 충격후 배 멍(Bruise)의 직경 및 체적도 낙하높이 10cm에서 더 크게 나타났다. 충격에 의한 배의 멍은 속도변화 및 C1에 따라 증가됨을 알 수 있으며 질량에 따라서는 큰 변화가 없는 것으로 나타났다. 충격특성, 기계적특성 및 멍(Bruise)의 크기 등에 대한 상관분석을 하였던 결과 멍의 직경과 속도변화, 생물체항복강도, C₁등의 상관관계가 높은 것으로 분석되었다.

5. 참고문헌

1. Franke, J. E., R. P. Rohbach. 1981. A Nonlinear Impact Model for a Sphere with a Flat Plate. Trans. of the ASAE 24(6) : 1683-1686.
2. Bruswitz, G. H., J. A. Bartsch. 1989. Impact Parameters Related to Post Harvest Bruising of Apples. Trans. of the ASAE 32(3) : 953-957.
3. Zapp, H. R., S. H.Ehlert. G. K. Brown. P. R.Armstrong. S. S. Sober. 1990. Advanced Instrumented Sphere for Impact Measurements. Trans. of the ASAE 33(3) : 955-960.
4. Delwiche, M. J. 1987. theory of Fruit Firmness Sorting by Impact Forces. Trans. of the ASAE 30(4) : 1160-1166.
5. Lichtensteiger, M. J., R. G. Holmes, M. Y. Hamdy, J. L. Blaisdell. 1998. Impact Parameters of Spherical Viscoelastic Objects and Tomatoes. Trans. of the ASAE 31(2) : 595-602.
6. Chen, Pictiaw., Margartia Ruisz, Fuming Lu, Adel A. Kader. 1987. Study of Impact and Compression Damage on Asian Pears. Trans. of the ASAE 30(4) : 1193-1197.
7. Diener, R. G., K. C. Elliott, P. E. Nesselroad, M. Ingle, R. E. Adams, S. H. Blizzard. 1979. Bruise Energy of Peaches and Apples. Trans. of the ASAE 22(2) : 287-290.
8. McGlone, V. A., R. B. Jordan, P. N. Schaare. 1997. Mass And Drop Height Influence On Kiwifruit Firmness by Impact Force. Trans. of the ASAE 40(5) : 1421-1428.