

수출용 배 골판지 상자의 강도 및 치수설계

Design of the strength and size of corrugated fiberboard box for the exported pear

김만수*	정현모*	박종민**	이영희***
정회원	정회원	정회원	정회원
M. S. Kim	H. M. Jung	J. M. Park	Y. H. Lee

1. 서론

수출용 농산물은 포장되어 보관, 하역 수송 등의 과정을 거쳐 목적지까지 보내어지는데, 보관, 수송 중에 포장 상자가 변형되어 결국 포장내용물인 농산물의 품질에도 영향을 미치는 여러 가지 요인들이 있다. 이러한 요인들에는 상자의 기초적 물성으로서 정적압축, 동적 물성인 진동충격, 전도, 낙하 등을 들 수 있는데 여기에 적합한 품질을 평가하여 설계하여야 하고 내용물에 따라서는 골판지 설계에서 구하고자 하는 강도 특성도 다르기 때문에 이점을 충분히 염두해 두고 설계하여야 한다.

즉 내용물의 내압강도가 강한 일반 농산물에 대해서는 상자 압축강도 보다도 내충격성, 핸들링성, 타이트성, 진동에 의한 손상 등이 중요하고, 내용물이 하중을 지탱하지 못하는 청과물 등은 내압강도를 중요시 한 설계 또는 내용물의 하중 분담을 고려한 합리적인 설계와, 요구되는 하중특성을 가미한 강도 및 치수설계가 필요하다.

현재 수출용 배의 경우에는 컨테이너에 적재되어, 트럭에 의하여 항만시설까지 운송된 후에 해상경로를 이용하여 동남아국가, 미국, 캐나다 등으로 수출되어지고 있다. 지금까지의 문제점은 냉동 컨테이너에 배 포장상자를 적재할 경우 적재효율만을 고려하여 펠리트를 사용하지 않고 높은 단수로 적재하기 때문에 하층에 있는 포장상자의 내압강도가 문제이고 또한 적재 및 하역에도 많은 인력이 소요되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 유통되고 있는 수출용 배 골판지 상자의 강도를 분석하고, 현재 국가 표준규격이며, 해상용 컨테이너에 적합한 T₁₁형 펠리트(1100mm×1100mm)를 기준규격으로 하여 수출용 배의 골판지 상자의 강도 및 치수 설계를 위한 컴퓨터 프로그램을 개발하고자 하였다.

2. 연구내용

골판지 상자의 설계에는 크게 상자의 강도 설계와 치수설계의 2단계로 구분되어지고, 설계시 상자의 내용품 특성과 물류과정을 파악, 확인하여 상자의 강도를 구한 후 상자의 형식, 구조결정과 안치수를 산출하여 골판지의

* 충남대학교 농과대학 농업기계공학과
** 밀양대학교 기계공학과
*** 농촌진흥청 농업기계화연구소

재질과 종류를 결정하여야 한다. 골판지 상자 강도설계에서 가장 필요한 강도특성은 수송 중의 진동과, 하역시의 낙하에 의한 충격에 견디는 수송하역상의 강도와, 기본적으로 상자의 압축강도로 결정되는 보관저장상의 강도가 고려사항이 된다. 그 중에서도 압축강도가 가장 중요한 인자가 되므로, 이에 기준하여 강도 설계를 하였다.

가. 조사된 수출용 배 포장상자의 제원

일반적으로 양면골판지(SW)의 경우 라이너지 2장과 골심지 1장 등 3장의 원지로 이루어져 있으며, 이중양면골판지(DW)는 라이너지 3장, 골심지 2장 도합 5장의 원지로 구성되어 있다. 모든 원지는 각각 품종과 평량으로 표시되는 것이 일반적이다. 표1은 나주, 천안, 안성 등에서 수출하는 배의 골판지 포장상자의 외포장재 제원이다.

표 1. 조사된 수출용 배 골판지상자의 외포장재 제원

포장중량(kg)	외포장재료	상자형태	원지배합	치수(mm)
5	DW 골판지	A-1형	WLK210/K200/K200/K200/KA210	475×335×125
10	DW 골판지	A-1형	WLK210/K240/K200/K240/KA210	485×345×220
15	DW 골판지	C-3형	WLK210/K200/S120/K200/KA210	535×390×230
			KA210/K200/K200/K200/KA210	520×380×225

조사된 수출용 배의 포장중량은 5kg과 10kg이 대부분을 차지하고 있으나 15kg, 5lb 포장중량도 전체수출량의 약 20%를 차지하고 있으며, 사용되는 외포장재는 골판지 상자이었으며, 포장중량 10kg 이하에서는 A-1형인 RSC(Regular Slotted Container)형 상자, 포장중량이 15kg에서는 한쪽면 날개가 없는 A-1형 상자 2개를 서로 덮어씌운 C-3형의 상자가 대부분 사용되고 있었다. 이처럼 포장중량에 관계없이 일률적으로 이중양면골판지를 사용하는 점, 포장중량이 큰 15kg에서 C-3형의 골판지를 적용하는 점, 또한 상자의 내부에 측면 골판지 패드(pad)를 대는 점은 모두 컨테이너내의 저온·다습한 조건에서의 상자의 압축강도 열화로 인한 압상과를 방지하기 위한 방법들이므로 분석되었다. 또한 조사된 수출용 배의 경우에는 펠리트에 적재되어 운송되지 않기 때문에 조사된 외포장재 치수의 경우에는 T₁₁형 표준펠리트에 적재할 경우 펠리트의 적재효율은 약 65~85% 정도로 낮음을 알 수가 있었다.

나. 골판지 상자의 압축강도 추정식

현재 알려져 있는 골판지 상자의 압축강도 추정식은 식1의 Kellicutt식 및 식2의 Wolf식 등이 있고, 골판지 상자의 압축강도를 계산으로 구하는 경우, 중요한 것은 사용하는 원지의 링크러쉬(Ring Crush) 강도 및 두께를 정확하게 파악해야 정확한 값을 산출할 수 있다.

$$P = P_x \left(\frac{(aX_2)^2}{\left(\frac{Z}{4}\right)^2} \right)^{\frac{1}{3}} \cdot J \cdot Z \quad \text{----- (1)}$$

여기서, P = 골판지상자의 압축강도(lbs), αX_2 = 골(flute)에 의한 정수

Z = 상자의 주변장(=(장+폭) $\times 2$)(in), J = 상자의 골(flute)에 의한 정수

P_x = 상자에 사용하는 구성원지(표면라이너, 골심지 및 이면라이너)의 압축강도
(1인치당의 Ring Crush 강도, RC)를 합산한 총합 Ring Crush 강도치(lbs/in)

$$P = \frac{5.2426 \cdot F \cdot Z^{0.5} (0.3228A - 0.1217A^2 + 1)}{D^{0.041}} \text{-----} (2)$$

여기서, P = 상자의 압축강도(lb), A = 상자의 장/폭 비율(L/W)

E = 골방향의 수직압축강도(End crush)(lb/in), D = 상자의 높이(in)

H = 시트의 두께(in), Z = 상자의 주변장(in), F = 상수(= $\sqrt{H} \times E$)

Kellicutt 및 Wolf식에서의 장(L), 폭(W), 고(D)는 상자의 외치수를 의미하고 있으며, 우리나라의 경우에는 한국 공업규격(KS)상 상자치수는 안치수 표시로 규정하고 있어 외치수 환산 표준공식을 이용하였다.

다. 골판지 상자의 압축강도를 최대화 하는 폭/길이 비

동일한 조건, 즉 상자의 체적이 일정할 때 압축강도를 최대화 하는 외형조건을 분석하기 위하여 표2와 같이 상자의 치수비율에 따른 압축강도를 측정하였다. 분석에 적용된 골판지 상자는 RSC형 이중양면골판지로 원지배합은 KA180/S120/K200/S120/K200이며, 상자의 압축실험은 ASTM D642를 참고하여, 하중재하속도는 12.7 \pm 2.5mm/min으로 하였다. 실험전 상자를 온도 23 \pm 1 $^{\circ}$ C, 상대습도 50%로 잘 조성된 대형 항온항습기내에서 48시간 이상 충분히 평형 시켰으며, 상자의 각 형태별로 5반복 실험하여 그 평균값을 취하였다. 표3은 일정한 체적과 높이에서 상자를 압축강도를 최대화 하는 폭/길이 비의 결과값이다.

표 2. 상자의 압축강도 실험에 적용된 외형치수(V=27,000cm³)

구분	W/L	상자높이, 20cm				상자높이, 30cm			
		0.4	0.6	0.8	1.0	0.4	0.6	0.8	1.0
L		58.10	47.44	41.08	36.74	47.44	38.73	33.54	30.00
W		23.24	28.46	32.86	36.74	18.97	23.24	26.83	30.00

구분	W/L	상자높이, 40cm				상자높이, 50cm			
		0.4	0.6	0.8	1.0	0.4	0.6	0.8	1.0
L		41.08	33.54	29.05	25.98	36.74	30.00	25.98	23.24
W		16.43	20.13	23.24	25.98	14.70	18.00	20.79	23.24

구분	W/L	상자높이, 40cm				상자높이, 50cm			
		0.4	0.6	0.8	1.0	0.4	0.6	0.8	1.0
L		33.54	27.39	23.72	21.21	30.05	25.36	21.96	19.64
W		13.41	16.43	18.97	21.21	12.42	15.21	17.57	19.64

표 3. 골판지 상자의 압축강도를 최대로 하는 폭/깊이 비

높이,cm	구분	체 적, cm ³														
		10,000	20,000	30,000	40,000	50,000	60,000	70,000	80,000	90,000	100,000	110,000	120,000	130,000	140,000	150,000
20		0.566	0.543	0.531	0.524	0.518	0.514	0.511	0.508	0.505	0.503	0.502	0.500	0.499	0.497	0.496
30		0.613	0.585	0.570	0.560	0.553	0.547	0.542	0.538	0.535	0.532	0.529	0.527	0.525	0.523	0.521
40		0.648	0.619	0.603	0.592	0.583	0.576	0.571	0.566	0.562	0.558	0.555	0.552	0.550	0.547	0.545
50		0.675	0.647	0.630	0.618	0.609	0.602	0.596	0.591	0.586	0.582	0.579	0.575	0.573	0.570	0.567
60		0.697	0.670	0.653	0.641	0.632	0.624	0.618	0.613	0.608	0.604	0.600	0.596	0.593	0.590	0.588
70		0.713	0.688	0.672	0.660	0.651	0.643	0.637	0.632	0.627	0.622	0.618	0.615	0.612	0.609	0.606

표3으로부터 상자의 체적에 대하여 압축강도를 최대로 갖는 상자의 외형조건을 찾기 위해서는 이들 자료에 대한 수학적 모형화가 필요하다. 따라서 통계 팩키지인 DataFit 7.1을 이용하여 모델링한 결과를 그림1에 나타내었으며, 이에 대한 수학적 모형은 식3과 같다.

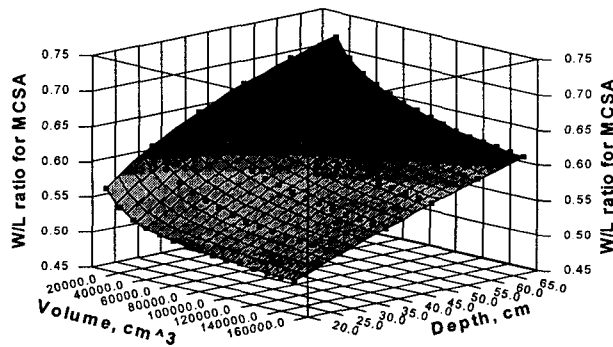


그림 1. 상자의 압축강도를 최대로 하는 폭/깊이 비

$$WL = a+b \times \log(D)+c \times \log(V)+d \times \log(D)^2+e \times \log(V)^2+f \times \log(D) \times \log(V)+g \times \log(D)^3+h \times \log(V)^3 +i \times \log(D) \times \log(V)^2+j \times \log(D)^2 \times \log(V) \text{ ----- (3)}$$

여기서, WL = W/L의 비, D = 상자의 높이(cm), V = 체적(cm³)

표 4. 식3의 계수

a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	R ²
0.4921	0.2177	-0.0505	-0.0109	0.0037	-0.0131	-0.0079	0.0004	-0.0037	0.0109	0.9999

R² = Coefficient of determination

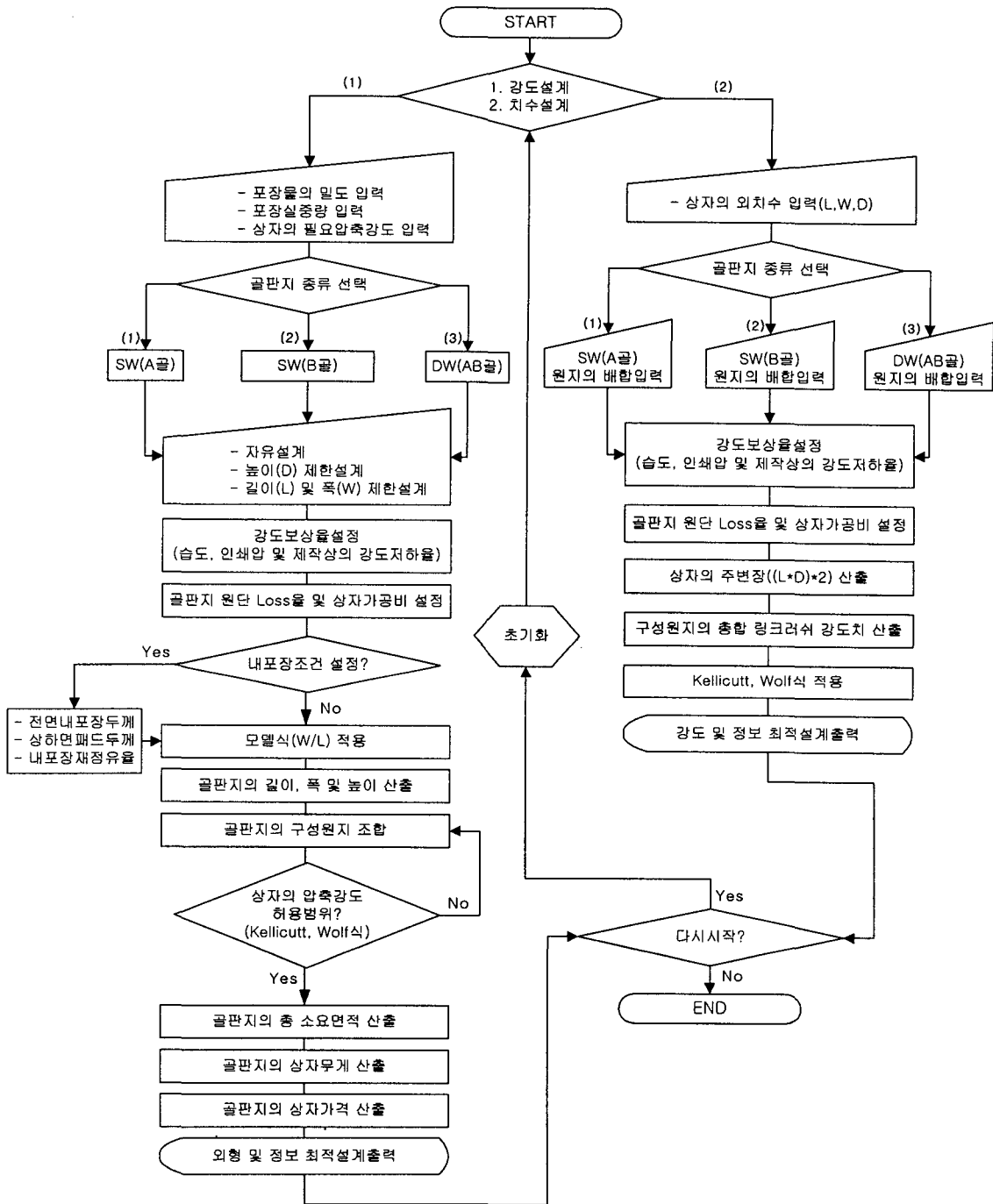


그림 2. 골판지 상자의 외형 및 강도설계를 위한 흐름도

라. 골판지 상자의 강도, 치수 및 구조설계 알고리즘

수출용 배의 골판지 상자의 적정 포장 설계를 위한 컴퓨터 프로그램을 개발하기 위하여 현재 수출용 배의 골판지 상자의 원지를 조사하여, 식3과 같이 개발된 모형식 및 표1에 나열된 원지의 배합을 통하여 같은 강도설계 수준에서의 원지의 배합, 최적가격 수준 및 골판지 상자의 외치수를 설계하고자 하였다. 그런 후에 포장상자의 적정치수 및 원지배합에 따른 강도설계를 하기 위하여 Kellicutt식 및 Wolf식을 이용하여 강도설계를 하였다. 또한 T₁₁형 표준펠리트를 선정하여 골판지 상자를 설계하기 위해서는 펠리트 적재효율이 높으며, 표준펠리트에 적합한 여러 개의 치수(길이 및 폭)를 선정하여 적정 강도설계를 위한 상자의 높이를 추정하고자 하였다.

그림2는 골판지 상자의 적정 강도에 대한 원지의 배합, 가격 및 상자의 외치수 설계 및 골판지 상자의 강도설계를 위한 흐름도(flow chart)이며, 양면골판지 및 이중양면골판지에 대하여 강도설계를 적용하였다.

3. 결과 및 고찰

수출용 배의 골판지 포장상자의 강도, 치수 및 구조설계를 위한 입력값은 각 포장상자의 중량에 대하여 펠리트 적재시 요구되는 필요압축강도(농산물출하규격집)와 펠리트 적재효율을 극대화하기 위한 길이 및 폭의 값을 입력하였고, 적재효율을 고려하지 않고 단지 압축강도 및 상자가격만을 고려하기 위하여 자유설계값을 입력하였다. 또한 인쇄압, 제작상 강도저하율 및 원단 Loss율을 범위 내에서 최대치를 입력하였다. 그리고 전면내포장두께, 상하면패드두께 및 내포장재점유율의 내포장조건에 대하여 고려하지 않으므로 불필요한 보강재의 사용을 최소화하고자 하였다.

표5는 수출용 배의 골판지 포장상자의 강도, 치수 및 구조설계의 결과 값으로 각 포장중량별 원지배합, 압축강도(Wolf식) 및 펠리트 적재효율을 나타내었다. 여기서 원지의 배합은 골판지의 가격을 최소화 할 수 있는 원지배합이다. 또한 상자의 길이와 폭을 제한한 외형설계의 경우 펠리트의 적재효율이 90%이상으로 유니트로드 시스템의 적용에 적합한 것으로 사료되었다. 하지만 길이, 폭 및 높이에 대한 자유설계시 적재효율이 낮음을 알 수가 있었다.

표 5. 골판지 포장상자의 원지배합 및 강도설계 결과값

포장중량 (kg)	원지배합(DW) (표면지/골심지/이면지/골심지/이면지)	압축강도(kgf) (wolf식)	적재효율 (%)
5	L, W 제한설계	KA180/S120/S120/K180/A180	96.0
	Free 설계	KA180/K200/S120/S120/S240	79.2
7.5	L, W 제한설계	SK180/K180/K180/K220/K180	91.0
	Free 설계	SK120/S240/S240/K200/S240	86.2
10	L, W 제한설계	SK180/S120/S120/K220/K180	96.0
	Free 설계	KA180/S120/K180/K220/S120	85.5
15	L, W 제한설계	KA180/K200/S240/K180/K180	99.8
	Free 설계	KA180/K220/S240/K180/K180	79.3

표6은 수출용 배의 골판지 포장상자의 원지배합 및 강도설계 결과 값을 나타내었다. 표5의 설계된 결과 값과 비교하였을 때, T11형 표준펠리트의 적재효율이 매우 낮음을 알 수 가 있었으며, 5 및 10kg 포장중량의 경우에는 과대포장에 의해서 필요압축강도의 값이 강도설계 된 포장상자보다 높은 것을 알 수 가 있었다.

표 6. 조사된 수출용 배의 골판지 포장상자의 원지배합 및 강도설계 결과값

포장중량 (kg)	원지배합(DW) (표면지/골심지/이면지/골심지/이면지)	필요압축강도(kgf) (wolf식)	적재효율 (%)
5	WLK210/K200/K200/K200/KA210	526	78.9%
10	WLK210/K240/K200/K240/KA210	563	83.0%
15	WLK210/K200/S120/K200/KA210	494	69.0%
	KA210/K200/K200/K200/KA210	565	65.3%

표7은 골판지 포장상자의 치수 및 구조설계 결과 값으로 각 포장중량별 치수, 골판지 소요면적, 상자중량 및 상자가격을 나타내었다. 여기서 상자가격은 이중양면골판지의 가공비를 포함시키지 않은 가격으로 원지의 가격만으로 산출된 가격이다.

표 7. 골판지 포장상자의 치수 및 구조설계를 위한 결과값

포장중량 (kg)		길이(L)×폭(W)×높이(D) (mm×mm×mm)	소요면적 (m ²)	상자중량 (g)	원지가격 (원)	적재효율 (%)
5	L, W 제한설계	314×235×258	0.6319	529	186	97.6
	Free 설계	394×233×235	0.6848	618	213	79.2
7.5	L, W 제한설계	510×360×150	1.0196	1041	376	91.0
	Free 설계	431×255×245	0.7960	956	340	86.2
10	L, W 제한설계	440×330×265	1.0577	943	334	96.0
	Free 설계	498×294×267	1.0260	916	324	85.5
15	L, W 제한설계	550×366×264	1.3259	1382	488	99.8
	Free 설계	554×328×294	1.2660	1351	477	79.3

표8은 현재 사용되고 있는 수출용 골판지 포장상자의 강도 및 치수에 대한 결과 값을 나타내었다. 설계된 골판지 포장상자에 비하여 소요면적, 상자중량 및 상자의 가격이 높게 나타났으며, 설계된 상자를 사용함으로써 과대포장의 방지 및 상자가격의 하락에 의한 경제성에 대한 기여가 매우 클 것으로 사료되었다.

표 8. 조사된 수출용 골판지 포장상자의 치수 및 구조설계를 위한 결과값

포장중량 (kg)	길이(L)×폭(W)×높이(D) (mm×mm×mm)	소요면적 (m ²)	상자중량 (g)	원지가격 (원)	적재효율 (%)
5	475×335×125	0.8578	934	378	78.9%
10	485×345×220	1.0789	1290	510	83.0%
15	535×390×230	1.3159	1339	613	69.0%
	520×380×225	1.2502	1361	578	65.3%

4. 요약 및 결론

현재 유통되고 있는 수출용 배 골판지상자에 대한 강도분석과 펠리트에 적재되는 배 포장상자의 합리적인 강도 및 치수설계를 위한 알고리즘과 컴퓨터 프로그램을 개발하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

국내의 몇몇 배 수출단지에서 사용하고 있는 골판지 포장상자는 농산물표준출하규격과도 맞지 않는 골판지 상자들이고 그 강도도 출하규격에서 규정하고 있는 압축강도 보다는 월등히 높은 압축강도로 골판지상자를 주문 제작하여 사용하고 있다. 이러한 이유는 배를 수출하기 위하여 컨테이너에 적재할 때 펠리트를 사용하지 않고 상자만을 높이 쌓을 경우 최하층 상자의 압상에 의한 손상을 줄이기 위함이고 이에 대한 합리적인 근거도 없이 포장상자의 강도만 높은 것을 선호하고 있는 듯 하며 이러한 여러 가지 문제점과 대안을 제시하더라도 관행방법을 고수하려는 경향이 뚜렷하다.

그러므로, 이 연구에서 강도 및 치수설계 된 상자의 경우에는 농산물표준출하규격의 압축강도하에서 최저의 가격과 표준펠리트의 적재효율을 최대화함으로써 배 수출시 유통비를 절감에 의한 경제성에 크게 기여할 것으로 사료된다.

5. 참고문헌

1. 한국표준협회. KS A1030. 포장용 완충재료의 정적 압축시험방법.
2. 한국표준협회. KS A1029. 포장용 완충재료의 동적 압축시험방법.
3. 김종경. 2000. 품질관리·포장물류. 경북과학대학 포장개발전공.
4. 김청. 2001. 골판지·지기 이야기. (주)포장산업.
5. ASTM D642. Standard method for determining compressive resistance of shipping containers, components, and unit loads.
6. ASTM D685. Practice for conditioning paper and paper products for testing.
7. ASTM D1164. Standard test method for ring crush of paperboard.
8. ASTM D2808. Standard test method for compressive strength of corrugated fiberboard.
9. Peleg, K. 1981. Package product interaction in corrugated containers for flesh produce. Trans. of the ASAE 24(4): 794-800.