

통기성 상자 구조물의 강도적 최적화 연구(I) - 실증 분석

박종민
밀양대학교 기계공학과

Strength Optimization of Ventilating Container(I) - Experimental Analysis

Jong-Min Park

Dept. of Mechanical Engineering, Miryang National University

Abstract

The design criteria of ventilating container is not provided yet in Korea. This caused strength reduction due to the ventilating hole and bad ventilating performance. The purposes of this study were to survey the present situation of ventilating container in Korea, to analyze the strength reduction on the atmosphere condition variation, and to provide the criteria for the optimum design of ventilating container. The ventilating area of container was 1.41~2.65%, and strength reduction due to the varied pattern, size and location of ventilating hole was 8.5~20.2%. The effect on the strength reduction from the pattern and location of ventilating hole was bigger than that from the ventilating area. Equilibrium arrival time of temperature and relative humidity was shorter as the ventilating area was bigger, and temperature reached to the equilibrium state earlier than the relative humidity. There was no significant difference on the ventilating hole pattern between equilibrium arrival time of temperature and relative humidity and equilibrium arrival temperature and relative humidity if the ventilating area was the same.

Key words : optimum design, ventilating container, ventilating hole, strength reduction, ventilating performance

서론

물류의 대형화, 기계화 및 현대화에 따라 물류의 시작단계인 포장에 있어, 골판지 상자의 압축강도에 대한 이해와 중요성이 점차 더해 가고있고, 골판지에 대한 여러 품질특성이 요구된다. 따라서 골판지 상자의 품질규격화, 강도 표준화 및 압축강도에 의한 명확한 품질관리가 매우 절실하다.

특히, 농수산물과 같이 통기성이 요구되는 제품 상자의 경우, 상자의 측면에 통기공을 가공하고 있는데, 이 통기공으로 인한 상자 압축강도의 저하가 매우 뚜렷하며, 이는 제품의 손상과 함께 상자의 재사용을 저해하므로써, 포장원가를 상승시키는 한 요인이 되고 있다.

일반적으로 골판지 상자의 압축강도 열화는 통기공과 같은 상자 제작상의 요인과 포장화물의 펄리트 패턴, 장기 적재로 인한 상자의 피로 및 온·습도와 같은 주위 환경조건 등의 취급상의 요인으로 나누어 볼수 있다.¹⁻¹⁵⁾

이와 관련된 선진 외국의 연구사례를 보면, 골판지 상자의 통기공과 공기에냉시간 및 압축강도 저하율과 상호 관련성

에 대한 연구^{11,12)}와 포장화물의 팽리트 패턴에 따른 상자 압축강도 저하와 팽리트 화물의 안정성에 대한 연구결과가 발표된 바 있다.^{1,14,15)} 또한, 팽리트 화물에 있어 팽리트와 상자 혹은 상하 상자 간의 불일치로 인한 상자 압축강도 저하에 대한 연구도 수행된 바 있다.^{1~3)}

골판지 상자의 압축강도는 상자 주변의 온·습도에 따라 서도 크게 열화되는 특성이 있는데, 여러 연구자들은 온도 보다는 습도에 의한 영향을 더 큰 것으로 보고하고 있고,^{4,10,16,17)} 상자 내·외부의 습도의 불일치도 열화요인으로 지적하고 있다.^{5,18)}

국내에서의 이 분야에 대한 연구는 매우 빈약한 형편이며, 선진 외국과는 물류 및 포장환경이 다르고, 방법에 있어서도 큰 차이가 있기 때문에 외국의 사례를 국내의 포장설계에 적용하는 데는 분명한 한계가 있다.

따라서, 본 연구는 현재 국내에서 유통되는 통기성 상자에 대한 실태분석과 온·습도 변화에 따른 압축강도 열화정도를 분석함으로써, 통기성 상자의 최적설계를 위한 설계 기준을 마련하고자 수행되었다.

수집된 단감 포장상자 50여종 중 상자의 규격, 통기공과 hand hole의 크기 및 형태별로 크게 분류하여 먼저 16종을 선별하고, 이중 포장단위가 15kg인 상자를 대상으로, 이와 동일한 치수를 갖는 무인쇄 DW 골판지상자(RSC, KL175/K200/KL175/K200/KL175)에 이들 상자와 각각 동일한 통기공과 손잡이를 제작하여 이로부터 압축강도 저하율을 분석하였다.

상자의 압축실험에는 ASTM D642¹⁹⁾ 시험규정을 적용하여, 하중재하속도는 $12.7 \pm 2.5 \text{ mm/min}$, 초기 작용하중은 45kgf로 하였다. 실험전 상자를 온도 $23 \pm 1^\circ\text{C}$, 상대습도 50%의 표준상태로 잘 조성된 대형 항온항습기내에서 48시간 이상 충분히 평형시킨 후 실험에 사용되었으며, 상자의 각 형태별로 5반복 실험하여 그 평균값을 취하였다.

통기공의 형태별 대기조건 변화에 따른 압축강도 저하율 분석에는 조사분석된 통기공 형태를 고려하여, Fig. 1에 듯한 바와같이, 상자의 측면적 대비 서로다른 면적 비율(#1: 2%, #2: 1.88%, #3: 1.42%, #4: 0.63%)을 갖는 4가지 형태의 통기성 상자를 제작하여 사용되었다.

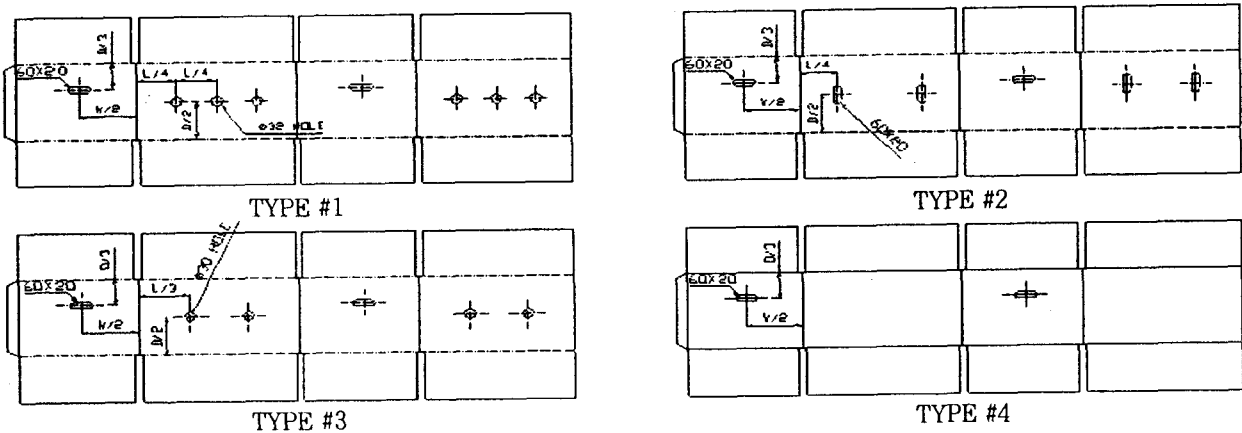


Fig. 1. Various ventilating containers used to analyze strength reduction according to the atmosphere conditions.

실험설계 및 방법

압축강도 변화율 측정

통기성 상자의 실태와 통기공 형태별 압축강도 저하율을 분석하기 위하여, 국내의 단감 포장상자를 기본 모델로 설정하였다.

통기성 측정

통기공의 형태별 통기성 분석에 적용된 상자는 통기공 형

제작한 상자의 크기는 $410 \times 300 \times 250 \text{ mm}$, 원지배합은 KA210/K200/K180/RH250/K200 이었으며, 적용한 온·습도 조건은 $2^\circ\text{C-rh } 90\%$, $12^\circ\text{C-rh } 70\%$, $23^\circ\text{C-rh } 50\%$ 의 3수준이었다.

태별 대기조건 변화에 따른 압축강도 저하율 분석에 적용했던 Fig. 1의 4가지 형태 이었다.

통기성 분석에는 2가지 방법이 적용되었는데, 하나는 정적상태의 대기조건에 대한 상자내부의 온·습도 평형도달 특성이고, 다른 하나는 동적인 대기조건에 대한 상자내부의 온·습도 민감성에 대한 분석이었다.

이 실험에는 PID 제어방식의 대형 향온향습기가 사용되었으며, 상자 내부의 중심위치에, Fig. 2에 도시한 바와같이, 온·습도 센서 한조를 설치하였다. 이때 향온향습기 내부의 공기 유동에 의한 직접적인 영향을 피하기 위하여, 상자의 측면으로 부터 30cm 둘레에 공기유동 차단막을 설치하였다.(Fig. 3)

온도 계측에는 T-type의 열전대가, 그리고 습도 계측용 센서로는 상대습도 30~95% 범위에서 직진성이 우수한 정전용량식(4~20mA)의 SHM-R(Philips사)이 사용되었다. 온·습도의 각 센서에서 출력되는 신호의 노이즈는 소프트웨어로 처리하였다.

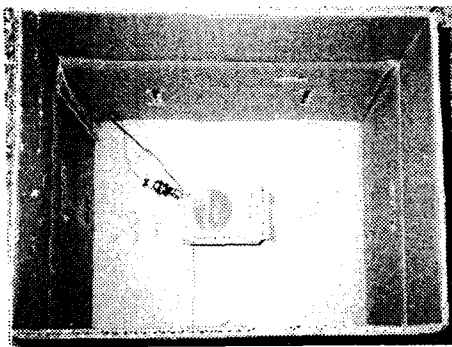


Fig. 2. Sensor location in the container.

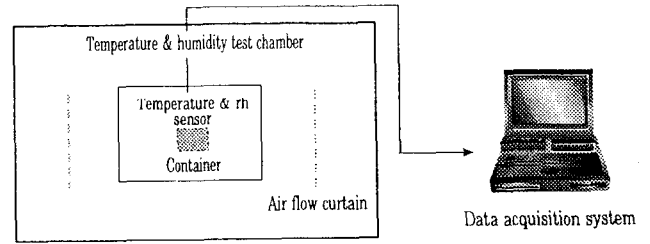


Fig. 3. Schematic diagram of the test apparatus and measuring system used to analyze ventilating performance.

실험결과 및 고찰

통기공 형태별 압축강도 저하율

조사된 단감 포장상자중 선발된 16종에 대한 형태를 분석하여 Table 1에 나타내었다. 상자의 측면적 대비 통기공의 면적 비율(hand hole의 면적 포함)은 1.41~2.65% 정도로 통기공의 형태, 크기 및 위치가 매우 다양하였다.

통기공의 형태는 대부분 원형으로 그 크기와 설치갯수는 $\phi 30$ 의 4개 혹은 6개, $\phi 25$ 의 4개를 상자의 앞뒤면(side panel)에 가공한 경우가 대부분 이었다. 또한 hand hole의 형태는 가로방향의 장원형으로 그 크기는 60×20 과 60×25 가 가장 많았고, 그 다음은 70×25 , 60×22 , 82×23 , 58×23 , 75×22 순이었다.(Fig. 4, Table 1)

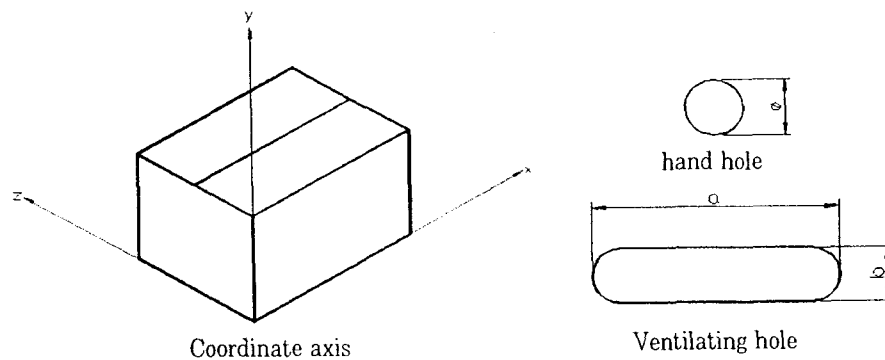


Fig. 4. Coordinate axes established.

Table 1. The results of analysis for conventional ventilating hole patterns

Types	Packaging unit, kg	Dimensions, L×W×D, mm	Ventilating hole		Hand hole		Ventilating area*, %
			Centroid location (x, y, z)	Size $\phi, a \times b$	Centroid location (x, y, z)	Size $\phi, a \times b$	
#01	15	410×295×245	(140,45,0), (140,200,0) (0,45,160)	40 45×20 45×20	(0,195,160)	60×20	2.37
#02	15	430×325×230	(100,45,0), (240,170,0) (350,70,0), (0,40,210)	30	(0,170,165)	60×20	1.86
#03	15	430×325×230	(80,145,0), (105,35,0) (240,145,0)	30	(0,145,155)	60×25	1.86
#04	15	415×300×250	(35,150,0), (210,35,0) (305,155,0)	30	(0,150,140)	60×25	1.87
#05	15	430×325×225	(185,110,0), (325,50,0) (380,165,0)	30	(0,170,160)	60×20	1.90
#06	15	410×295×255	(80,170,0), (305,40,0)	30	(0,165,145)	60×20	1.41
#07	15	430×325×230	(185,105,0), (220,45,0) (250,170,0)	30	(0,155,170)	60×25	2.01
#08	10	415×320×175	(170,50,0), (235,130,0)	30	(0,130,160)	60×25	2.16
#09	10	415×320×175	(120,30,0), (270,120,0)	25	(0,115,160)	60×20	1.63
#10	10	415×315×175	(85,120,0), (225,120,0)	30	(0,120,155)	80×25	2.65
#11	10	415×320×180	(130,30,0), (250,115,0)	25	(0,120,145)	60×25	1.77
#12	10	415×320×18	(70,70,0), (270,130,0)	30	(0,130,160)	70×25	2.29
#13	10	415×320×180	(105,20,0), (260,130,0)	25	(0,130,160)	75×20	1.91
#14	10	415×320×180	(170,55,0), (235,130,0)	30	(0,130,160)	60×25	1.77
#15	15	410×300×255	(100,40,0), (325,170,0)	30	(0,170,145)	70×25	1.67
#16	15	436×325×245	(180,55,0), (295,185,0)	30	(0,160,155)	60×25	1.49

(Note) *)ventilating area/side area

Table 1에 나타난 통기공의 형태별 압축강도 저하율을 분석하기 위하여, 이와 동일한 치수의 무인쇄 DW 골판지 상자(RSC, KL175/K200/KL175/K200/KL175)에 이들 상자와 각각 동일한 통기공과 손잡이를 제작하였다.

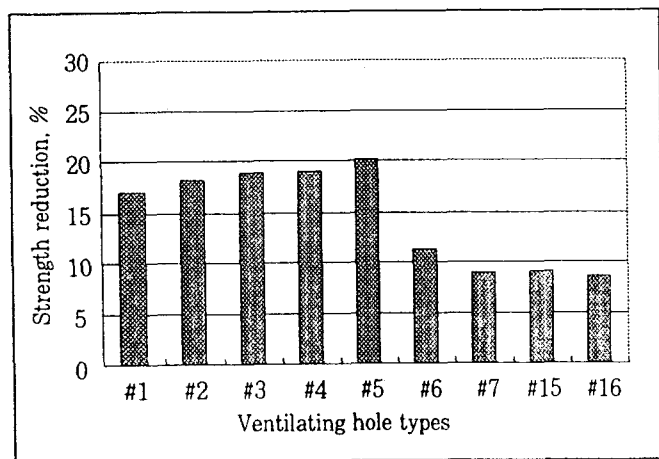


Fig. 5. Strength reduction according to various ventilating holes.

통기공의 형태별 압축강도 저하율 분석결과를 나타낸 Fig. 5에서 보는 바와 같이, 통기공 무가공상자 대비 최하 8.5%에서 최고 20.2%의 압축강도 저하율을 보였으며, 통기공의 면적비를 보다는 통기공의 형태와 위치가 상자의 압축강도 저하에 미치는 영향이 더 큰 것으로 분석되었다. 따라서 통기공의 적정위치 및 형태의 설계는 통기성 상자의 압축강도 저하를 막는 중요한 설계변수가 됨을 알 수 있다.

Fig. 1의 4가지 형태의 통기성 상자와 통기공과 hand hole이 전혀없는 온전한 상자를 대상으로 대기조건에 따른 압축강도 저하율 분석결과를 Fig. 6에 도시하였다. #01~#04의 수치는 #05의 온전한 상자 대비 압축강도 저하율을 나타낸 것으로, 온도 보다는 상대습도에 더 큰 영향을 받았으며, 상대습도가 높을수록 통기공의 형태별 압축강도 저하율은 더 큰 것으로 나타났다.

특히, #02는 #03에 비하여 통기공의 면적비율이 3% 이상 높음에도 불구하고, 상대습도가 70% 이하에서는 강도저하율이 서로 비슷하게 나타나, 원형의 통기공 보다는 수직

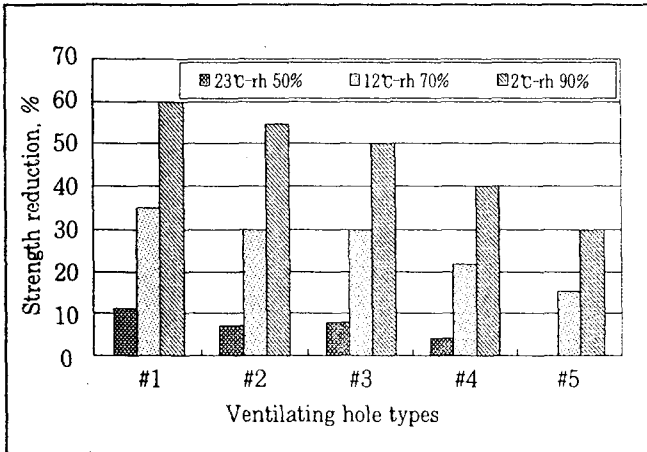


Fig. 6. Strength reduction according to various atmosphere conditions.

장원형 형태의 통기공이 더 바람직 한 것으로 분석되었다.

통기공 형태별 통기성

Fig. 1에 나타낸 통기공의 형태와 면적비율이 서로 다른 상자(상자 내부조건: 31°C-rh 40%)를 2°C-rh 40%로 조성된 대기조건에 놓았을 때의 상자 내부의 온도변화와 상자 내부조건을 23°C-rh 65%로 만들어, 23°C-rh 95%의 대기조건에 놓았을 때의 상대습도 변화를 각각 연속 측정하여,

평형도달시간과 그때의 온·습도를 분석하여 아래의 Table 2에 나타내었다. 이때, 온도와 상대습도의 평형도달시간은 온도 및 습도가 각각 분당 1% 미만의 변화를 보일 때의 시간으로 정하였다.

통기공의 면적비율이 클 수록 온도와 상대습도의 평형도달시간은 짧았으며, 온도가 상대습도에 비하여 더 빨리 형 평상태에 도달하였다. 또한, #01과 #02의 비교로부터, 통기공의 면적비율이 같은 경우, 통기공의 형태에 따른 온도 및 상대습도의 평형도달시간과 그때의 온·습도에 있어서 큰 차이가 없는 현상을 알수 있다.

Table 3은 대기조건을, 상대습도를 60%로 고정한 상태에서, 온도를 31°C→2°C→31°C로 변화시킬 때 상자 내부의 온도변화율과 같은 방법으로 온도를 20°C로 고정하고, 상대 습도를 32%→90%→32%로 변화시킬 때 상자 내부의 상대 습도 변화율을 각각 나타낸 것이다. 이때 사용된 실험설비의 성능은 온도와 상대습도의 1 사이클 변화시키는데 소요 되는 시간은 온도의 경우가 약 135분, 상대습도가 약 75분 정도이었다.

이와 같은 성능의 실험설비를 통해 분석된 결과만 놓고 보았을 때, 동적으로 변화하는 온·습도 조건에 대해 상대습도 보다는 온도의 민감성이 큰 것으로 나타났다. 대체로 동

Table 2. Temperature and relative humidity variation in the container for atmosphere conditions of 2°C-rh 40% and 23°C-rh 95%, respectively

Types	Temperature (31°C-rh40%→2°C-rh40%)		Relative humidity (23°C-rh65%→23°C-rh95%)	
	equilibrium arrival time, min	equilibrium arrival temperature, °C	equilibrium arrival time, min	equilibrium arrival relative humidity, %
#01	42	4	217	91
#02	43	4	220	91
#03	52	5	279	86
#04	68	7	307	82
#05	110	10	no	no

Table 3. Temperature and relative humidity variation in the container for cycling condition of temperature and relative humidity

Types	Temperature variation, %	Relative humidity variation, %
#01	94	62
#02	92	61
#03	87	52
#04	84	40
#05	79	12

적인 온·습도 대기조건에 대해 통기공의 면적비율에 따른 민감성에 있어서는 뚜렷한 차이가 있었으나, 동일한 면적 비율에서 통기공 형태에 따라서는 민감성의 차는 크지 않았다.

요 약

현재 국내에는 통기성 상자의 설계에 관한 기준이 마련되어 있지않아, 통기공으로 인한 상자 압축강도 저하와 통기성 면에서도 좋지않은 형편이다. 선진 외국과는 물류 및 포장환경이 다르고, 방법에 있어서도 큰 차이가 있기 때문에 외국의 사례를 국내의 포장설계에 적용하는 데는 한계가 있다.

따라서 본 연구는 현재 국내에서 유통되는 통기성 상자에 대한 실태분석과 온·습도 변화에 따른 압축강도 저하와 통기성을 분석하므로써, 통기성 상자의 최적설계를 위한 설계 기준을 마련하고자 수행되었다.

현행 유통되는 통기성 상자의 통기공의 면적 비율은 1.41~2.65% 였으며, 통기공의 형태, 크기 및 위치가 매우 다양하여, 이로인한 상자 압축강도 저하율은 8.5~20.2%의 범위에 있었다. 대체로 통기공의 면적비율 보다는 통기공의 형태와 위치가 상자의 압축강도 저하에 미치는 더 중요한 요인으로 분석되었다.

통기공의 면적비율이 클 수록 온도와 상대습도의 평형도달시간은 짧았으며, 온도가 상대습도에 비하여 더 빨리 평형상태에 도달하였으며, 또한 통기공의 면적 비율이 같은 경우, 통기공의 형태에 따른 온도 및 상대습도의 평형도달 시간과 평형도달 온·습도에 있어서는 큰 차이가 없었다.

참고문헌

1. Levans, U.I. : The effect of warehouse mishandling and stacking patterns on the compression strength of corrugated boxes. Tappi, 58(8), 108-111(1975).
2. Monaghan, J. and J. Marcondes : Overhang and pallet gap effects on the performance of corrugated fiberboard boxes. Trans. of the ASAE, 35(6), 1945-1947(1992).
3. Kellicutt, K.Q. : Effect of contents and load bearing surface on compressive strength and stacking life of corrugated containers. Tappi, 46(1), 151A-154A(1963).
4. 박종민, 권순홍, 권순구, 김만수 : 농산물 포장용 골판지箱子の層積耐久性的의 분석과 향상에 관한 연구 (I)-水分吸濕特性和壓縮強度劣化. 한국농업기계학회지, 19(4), 358-368(1994).
5. Levans, U.I. : The effect of ambient relative humidity on the moisture content of palletized corrugated boxes. Tappi, 60(4), 79-82(1977).
6. Carlson, T.A. : Factors affecting the compressive strength of fibre boxes. Fibre Containers, 26(3), 28, 32, 34-35(1941).
7. Gartaganis, P.A. : Strength properties of corrugated containers. Tappi, 58(11), 102-108(1975).
8. Maltenfort, G.G. : Corrugated shipping containers: an engineering approach. Jelmar Publishing Co.(1988).
9. Maltenfort, G.G. : Performance and evaluation of shipping containers. Jelmar Publishing Co. Inc.(1989).
10. Peleg, K. : Package product interaction in corrugated containers for flesh produce. Trans. of the ASAE, 24(4), 794-800(1981).
11. Mitchell, F.G. et al. : Commercial cooling of fruits and vegetables. CAGMAM, 43, 1-44(1972).
12. Baird, C.D., J.J. Gaffney, and M.T. Talbot : Design criteria for efficient and cost effective forced air cooling systems for fruits and vegetables. ASHRAE transaction, 94(1), 1434-1454(1988).
13. Peter, C.C. and K.Q. Kellicutt : Effect of ventilating and handholes on compressive strength of fiberboard boxes.
14. Carstens, R. and S. Mina : Lock' n' pop and strength wrap: Identifying the key decisions in packaging/material handling to make the best choice. J. of Packaging Technology, 2(3), 103-105(1988).
15. Hillenius, C. : Factors which influence the stacking resistance of corrugated containers. Paper presented at the european packaging federation congress in paris(1970).
16. Hanlon, J.F. : Handbook of packaging engineering. McGraw-Hill, New York(1984).
17. Peleg, K. : Produce handling packaging and distribution. AVI Publishing Company(1985).
18. 山口誠 : 골판지箱子の包裝強度設計 및 평가시험방법(3). 포장기술, 64호, 53-56(1993).
19. ASTM D642. Standard method for determining compressive resistance of shipping containers, components, and unit loads.