

골판지의 골 성형이 식품포장용 골판지 상자의 압축강도에 미치는 영향

김청 · 허재영 · 이광근*
동국대학교 식품공학과

Effect of Corrugation Fluting on the Compressive Strength of Corrugated Fiberboard Box for Food Packaging

Cheong Kim, Jae-Young Her, and Kwang-Geun Lee*

Department of Food Science and Technology, Dongguk University

Abstract

In this study, we performed corrugation fluting experiments to examine the relationship between high-low corrugation of a corrugated medium and compressive strength of corrugated containers for food packaging. A low-grade corrugated medium was found to suffer from weak tensile resistance and to be prone to stealing, which tends to produce low corrugation. In contrast, a medium with a large corrugation deviation often caused slimming during fluting and produced irregular corrugations. Experiments of high-low corrugation distribution according to corrugated medium grades indicate that a high grade medium shows a smaller ratio of low corrugation. The thickness of corrugated fiberboard is weakly correlated to the basis weight of medium, yet positively correlated to the medium thickness ($y=3.9732x+4.2712$, $R^2=0.8142$) and inversely proportional to the medium density ($y=-3.1213x+6.8736$, $R^2=0.9919$). Compressive strength of a corrugated fiberboard box is low, if made of corrugated medium with large low corrugation distribution. Compressive strength showed 13% variation with respect to medium grades and 21% variation for various test samples. The corrugation fluting of a corrugated medium is related to physical properties such as basis thickness and density.

Key words: food packaging, corrugated fiberboard, corrugated fiberboard box, high-low corrugation, compressive strength

서 론

식품 포장은 식품을 직접 포장하는 단위포장(날포장), 날포장을 보호포장 하는 내부포장(속포장), 그리고 내부포장을 골판지상자 등으로 바깥포장 하는 외부포장의 3종류가 있다. 식품의 외부 포장용으로는 포장 식품의 보호 보전성, 취급 편의성, 상품성, 유통성, 생산성, 경제성, 환경성 등의 측면에서 우수한 골판지상자가 가장 많이 사용되고 있다. 골판지상자는 골심지(corrugated medium)를 파도모양의 골(flute)로 성형하고 여기에 라이너(linerboard)를 골심지 골의 내·외에 접착시킨 골판지(corrugated fiberboard)로 제조한다(Kim, 2007). 골판지는 공학적 구조체(engineered

structure)로(Maltenfort, 1996; Park, 1998; Kim, 2003; Bronkhorst, 1997) 성형된 골의 구조 역학적 강도와 완충성에 의한 식품의 보호기능이 우수하며, 지류 소재의 장점인 재활용이 가능한 특성을 지니고 있어 자원순환형 사회인 오늘날 식품의 외부 포장용 재료로서 가장 널리 사용되면서 보편화되어 있다.

식품포장용 골판지상자의 포장설계 시에는 내용 식품의 품질 특성과 유통, 물류과정(수송 방법, 보관 장소, 적재 방법, 하역 방법, 수분, 물류 조건 등)에 적절한 요구 압축강도(compressive strength)를 고려하여 골판지상자의 가장 경제적인 재질 구성을 결정해야 한다(Boonyasarn et al., 1992; Ince & Urbanik, 1985; Peterson, 1980). 특히 환경친화적 포장을 요구하고 있는 현대산업 사회에서는 골판지의 경량화를 통하여 재료 절감과 함께 환경 보존을 기하는 추세에 있고, 결과적으로 골판지상자의 품질강도 기준으로, 특히 압축강도에 대한 설계상의 중요성이 강조되고 있다(Ince & Urbanik, 1985; Kim, 1997). 이러한 골판지상자의 압축강도는 골판지상자의 합리적 이용과 경제적 측면에서의 품질평가 기준으로 가장 중요시되고 있는 물성이다

Corresponding author: Kwang-Geun Lee, Department of Food Science and Technology, Dongguk University, Pil-dong, Jung-gu, Seoul 100-715, Korea
Tel: +82-2-2260-3370; Fax: +82-2-2285-3370
E-mail: kwglee@dongguk.edu
Received August 12, 2009; revised March 25, 2010; accepted March 31, 2010

(Boonyasarn et al., 1992).

골판지상자의 압축강도에 영향을 미치는 인자는 크게 나누어 유통 과정 중에서 일어나는 환경(온도, 습도), 낙하, 충격, 진동 등의 외부적 요인과, 사용 원지(라이너, 골심지)의 물성, 골판지의 물성, 플루트 프로파일(flute profile)의 성형 상태, 골판지상자의 구조 및 형상 등의 구조적 설계 특성, 제조 과정 및 기술 등의 내부적 요인으로 구분할 수 있다. 외부적 요인은 유통 상의 인자가 복잡하여 적절한 안전율을 사용하고 있지만, 내부적 요인은 분석과 예측을 통한 많은 이론적 연구방법이 정립되어 왔다. 이러한 점에서 골판지상자의 압축강도 향상 및 개량을 위한 제반 영향 인자 분석 등 연구를 통하여 자원절약과 환경대응, 원가절감을 기하고자 하는 추세에 있다.

골 성형에 직접 영향을 미치는 플루트 프로파일의 성형, 성형속도, 골 터짐과 하이로골 등은 골판지 가공공정에서의 생산성 향상을 위한 요인인 주행성(runnability)과 성형성(moldability)에 연결되고 균일한 성형을 위한 골판지의 생산능력을 나타낸다(McKee & Gander, 1967; McKee et al., 1971; Kim, 1997). 특히 골판지 제조공정 중에서 일어나는 하이로골(high-low corrugation)의 발생은 가장 많이 발생하는 트러블의 하나로써 골판지상자를 제조하는 인쇄 등 가공공정 등에서 불량(defects)의 원인이 될 뿐 아니라 골판지상자의 압축강도에 크게 영향을 미친다(Batelka, 1994; Kim, 2007; Nordman & Tori, 1989; Shioya, 1982). 골 성형 시에 저항되는 힘은 골 롤간의 압력에 의하여 주어지지만 골 성형(fluting)에서 생기는 변형저항력은 온도, 수분, 열, 평량(두께), 밀도, 섬유물질 등의 원지 특성 및 성형작업과 구조요인, 특히 코러게이터의 쌍방의 기능으로 결정되기 때문에(Kim, 1997) 골 성형 시 문제점으로써 하이로골이 큰 문제점이 되고, 상업적 레벨에 있어서의 하이로골 현상은 골 성형 시에 공급되는 힘과 소재의 변형에 대한 저항력의 불균형에 의하여 발생한다(McKee et al., 1971; Shioya, 1982; Jonson & Huteberg, 1976). 하이로골 현상은 이들 제반 요인의 상호작용의 결과이기 때문에 많은 상업적 레벨의 주행시험에 있어 다소 다른 결과가 나올 수 있다. 골 성형시의 하이로 골에 관한 공개된 문헌은 거의 골롤의 진동을 포함하는 조작상의 요인과 유의성에 관한 것(Brandenburg & Lee, 1985; Nordman & Tori, 1989; Shioya & Suzuki, 1982)이 주류이고 하이로 골을 형성하는 골심지의 물리적 특성과의 관계에 대하여 논한 것은 보이지 않는다. 그러므로 하이로골에 대한 골판지상자의 포장 성능에 대한 연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 골판지 제조공정 중에서 가장 많이 발생하고 있는 성형 가공 상의 문제점 중의 하나인 하이로골 성형이 식품포장용 골판지상자의 압축강도에 미치는 상관분석을 하기 위하여 골 성형 가공특성과 골심지의 물성에 따른 골판지 및 골판지상자의 강도에 대하여 실험

적 분석을 행했다.

실험재료 및 방법

시료 수집

우리나라에서 생산되고 있는 골판지 제조용 라이너와 골심지를 시료용으로 수집하여 필요 항목별로 분석하였으며 주요 국내 원지로는 라이너급으로 시판명 SK(KA)210 g/m²(A회사 제조), 골심지로는 수입골심지(SCP) 120 g/m²와 국내시판 메이커 별, 급수별 골심지 CM120 g/m²(SD회사, B회사 등이 생산한 골심지)를 수집하여 분석하고, 이들 원지를 사용하여 H회사에서 각 골심지 배합별 양면 골판지(A-flute)를 제조하여 실험용 시료로 사용했다.

시료의 샘플링 및 전처리

시료채취는 KSM ISO 186(종이 및 판지 - 평균 품질평가를 위한 시료채취)에 따르고 모든 시료는 비교분석을 위해 동일한 조건으로 전처리하였다. 전처리 방법은 KSM ISO 187(종이, 판지 및 펄프 - 조습처리 및 시험을 위한 표준상태와 그 표준상태의 관리 및 시료의 조습처리 절차)(전 KSM 7012)에 따랐다.

원지의 시험

평량(basis weight, grammage)측정은 KSM ISO 3039(골판지-골판지 원지의 평량측정)에 따랐다. 각 시료의 크기는 400 mm × 250 mm를 기준으로 했다. 시료 표본의 수(n)를 Machine Direction(MD), Cross-machine Direction(CD) 별로 10매 이상으로 하고 화학저울(model AS-120, OHAUS, Pine Brook, NJ, USA)의 정밀도는 ±0.2%로 했다.

두께측정은 KSM ISO 534(종이 및 판지 - 두께 및 겹보기 벌크 밀도 혹은 겹보기 시트 밀도의 측정)에 따르고, 원지시료를 2개의 평행된 판 사이에 끼우고 일정한 압력(0.55±0.05 kg/cm²) 범위하에서 측정하였으며, 측정기인 L&W Micrometer(code APP 250, type 973495, AB Lorentzon & Wettre, Kista, Sweden)의 평행도는 5 μm, 측정 정밀도는 0.1 μm, 측정범위 0-1.25 mm로 했다.

밀도 측정은 KSM ISO 534(종이 및 판지 - 두께 및 겹보기 벌크 밀도 혹은 겹보기 시트 밀도의 측정)에 따랐다.

원지의 압축강도 측정은 KSM ISO 12192(종이 및 판지 - 압축강도 시험 - 링크러시법)에 따르고, 시험편의 치수는 나비 12.70±0.08 mm, 길이 152.4±0.9 mm, 압축판의 평행도는 1/1,000로 하고, 시험편 받침틀은 안지름 50.00±0.08 mm, 깊이 6.35±0.08 mm(홈간격은 판지 두께의 125-200%)이며, 압축속도는 13±3 mm/min의 일정속도로 했다. 시험기는 만능재료시험기(Sangyo universal Tester, Tester Sangyo Co., LTD. Tokyo, Japan)를 이용하였으며 시험기의 조작조건(test type: compression, cross head speed: 12.5±2.5 mm, load cell :

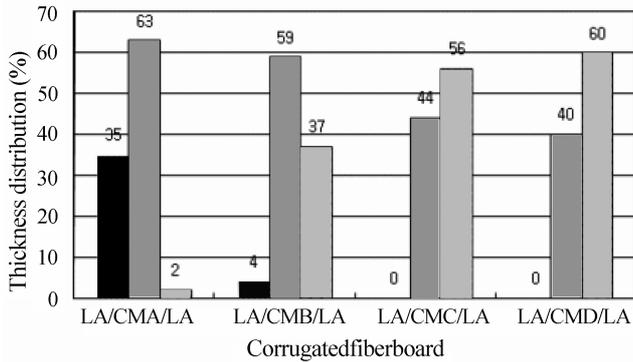


Fig. 1. Relation between various corrugated medium and percentage of thickness distribution of corrugated fiberboard: (■); high corrugation, (□); medium corrugation, (▴); low corrugation.

500 kg, rupture: 80%)으로 하여 원지의 링크러시강도를 측정했다.

골판지상자의 시험

골판지 시트의 두께는 KSM ISO 3034(골판지-두께 측정)으로 다이얼게이지 마이크로미터가 평면원형 모루(anvil)와 동심의 평면압력봉(plunger)이 있는 것, 모루와 압력봉 표면의 접촉면적은 약 10±0.2 cm², 그리고 측정표면은 평행도 편차가 1/1000 이내로 수평이고 압력봉에 의해 걸리는 압력은 20±0.5 kPa로 했다. L&W Micrometer의 측정범위는 0-10 mm, 정밀도는 1.0 μm로 하여 측정했다. 시료수(n)는 100으로 했다.

골판지상자의 압축강도는 KSA 1012(포장화물 및 용기의 압축 시험 방법)에 따랐으며 시험장치는 상하 2개 1조의 평행으로 이동하는 압축판 사이에 시료를 넣고 위쪽 또는 아래쪽의 압축판을 모터나 유압에 의해 이동해 가압하였다. 상자의 압축강도 시험기(model DS-411, Daekyung

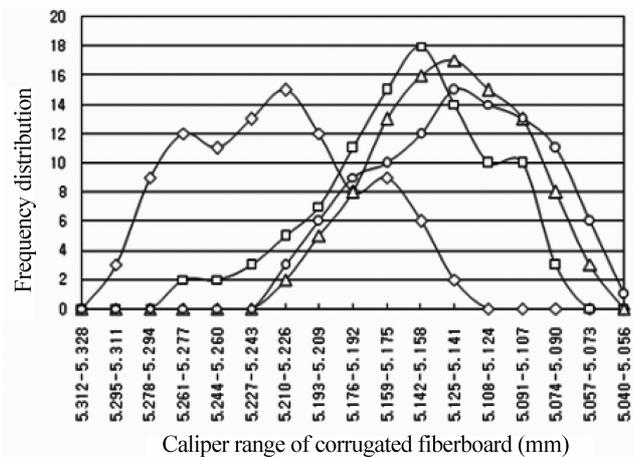
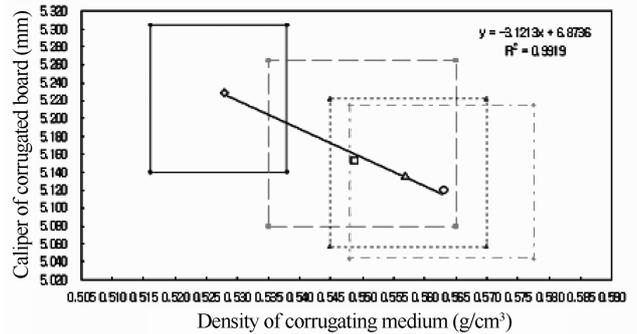
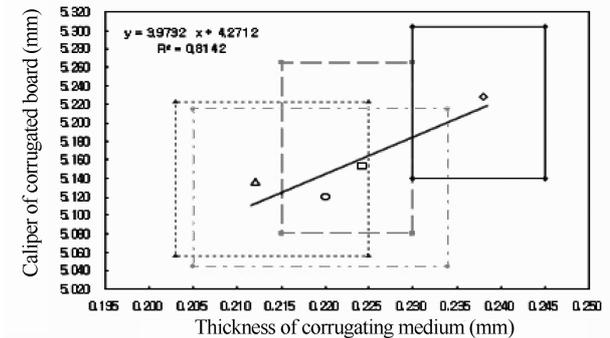


Fig. 2. Relation between distribution of thickness and its frequency distribution in each corrugated medium at NP. 4.5 kg/cm²: (◇); CM-A, (□); CM-B, (△); CM-C, (○); CM-D.



(a) Corrugated fiberboard thickness and medium density



(b) Corrugated fiberboard thickness and medium thickness

Fig. 3. Relation between distribution of thickness in corrugated fiberboard and density/thickness in each corrugated medium at nip pressure 4.5 kg/cm²: (◇); CM-A, (□); CM-B, (△); CM-C, (○); CM-D.

Machinery & Engineering Co. Ulsan, Korea)에서 압축속도는 매분 10±3 mm로 하여 측정했다(Fig. 3). 이때 시료는 불균형한 하중을 받지 않도록 정확하게 압축판의 중앙에 놓고 up-to-down 방식으로 하중을 가하여 압축 시 최대하중을 골판지상자의 압축강도로 나타냈다. 시험용 상자는 골롤 중앙축의 골판지 시트를 사용하여 바깥치수 길이 350 mm × 폭 250 mm × 높이 300 mm로 했다.

골판지상자의 날개는 조립 완성하여 날개부분을 테이프 로 붙이고, 이때 날개를 접을 때는 90도 이내로 하고 압축 강도 결과값의 차이를 줄이기 위해 안쪽날개를 고정하고 시험의 전처리를 일정하게 하여 평가하였다. 골판지상자에서 압축량 측정 시의 기점은 시험규정에 따라 양면 골판지상자의 경우는 20 kg(196 N), 이중양면 골판지상자의 경우 40 kg(392 N)의 초기하중을 가한점으로 했다. 시료는 각 10개 이상으로 하고 하중의 중점은 최대하중이 명료해지는 좌골점 이상으로 했다.

골판지의 골 성형과 평가시험

시험용 corrugator는 T회사에서 만들고 H회사에서 사용 중의 골판지 제조설비인 corrugator(기계 폭: 1450 mm, 최대 사용 지폭: 1400 mm, 설계속도: 120 m/min)를 시험용으

Table 1. Test operation conditions of corrugating process in the single facer

Conditions		Specification & setting	
Corrugating roll	Diameter (top & bottom)	(mm)	280
	Height	(mm)	4.80
	Tooth number	(ea.)	97
	Pitch (wave length)	(mm)	9.068
	Profile angle	(°)	54.50
	Radius of roll top	(mm)	1.50
	Radius of roll bottom	(mm)	1.80
	Flutes per 30 cm	(ea.)	33.08
	Take-up factor	(-)	1.555
Doctor roll clearance at single facer	(mm)	0.16	
Doctor roll clearance at double facer	(mm)	0.15	
Finger clearance	(mm)	0.25	
Rider roll clearance	(mm)	5.15	
Nip pressure	(N/cm ²)	0.76 and 0.46	
Steam pressure	(N/cm ²)	1.07-1.17	
Adhesive	(-)	corn starch by Stein-Hall process	
Machine speed	(m/min)	80	
Paper width	(mm)	1100	

로 사용하고, 골롤(corrugating roll, flute roll)은 S회사에서 제작한 상업적 레벨의 골 모양의 골롤을 사용했다.

실험용 corrugator와 주행 및 작업조건은 골판지 골의 성형에 있어서 하이로골의 현상과 평가를 위하여 H회사에서 사용 중인 finger type A-flute single facer를 택하였다. 작업 조건은 Table 1과 같이 했다. 다만 골롤의 님압력은 7.5 Kg/cm²(골심지 시료 CM-A)와 4.5 Kg/cm²(골심지 시료 CM-A, CM-B, CM-C, CM-D), 프레스 롤의 압력은 4.2 Kg/cm²로 했다. 접착제는 Stein-Hall법을 기본으로 하는 일반 전분제호법에 따랐다. 골 성형 시험을 위한 작업속도는 80 m/min(설계속도: 120 m/min)로 하고 일정 작업조건(Table 1) 상태에서 라이너는 동일한 라이너(LA: SK210 g/m²)를 사용하고, 골심지는 골심지(CM120 g/m²)의 그레이드별 샘플(CM-A,

CM-B, CM-C, CM-D)로 변화시켜 각 골심지 배합별 시트를 제조하여 실험용으로 샘플링 했다.

하이로골의 측정방법은 정밀한 시험관 위에 절단한 샘플 시트를 놓고 두께 측정 방법에 따라 각 골 꼭대기(flute tip)의 높이를 골롤의 구동조작측, 중앙측, 기어측 시트 별로 측정하고 분석자료는 중앙측 골판지 시트의 자료를 기준으로 했다.

결과 및 고찰

골심지 그레이드에 의한 골판지의 하이로골 발생

본 연구에 사용한 골판지의 두께 분포는 Fig. 1와 Fig. 2에 나타난 바와 같았다. 각 골심지 재료의 시료를 사용하여 만든 양면 골판지에 있어서 골판지 두께의 평균값 변화와 편차범위의 골판지 두께 차이의 양면을 조사하였으며 골심지의 물리적 특성치가 골 높이에 관계되기 때문에 상업적 레벨로 치환할 수 있는 특성치, 즉, 라이너와 골심지의 두께, 밀도, 평량 등의 대표적 특성치를 시험방법에 따라 Machine Direction(MD), Cross-machine Direction(CD) 별로 측정하여 그 평균값을 구했다. 실험용으로 사용한 각 골심지의 그레이드별 시료(CM-A, CM-B, CM-C, CM-D)와 라이너(LA)의 물리적 특성에 관한 분석 결과는 Table 2에 나타났다.

Fig. 1와 Fig. 2는 하이로골 분포의 비율을 각 골심지의 시료로 만든 양면 골판지의 두께 차이에 따라 나타난 것으로, 골 높이의 기준 치수를 골롤의 높이(h=4.8 mm)로 하고, 각 골심지의 시료에 따라 제조된 골판지의 두께를 높은 골(5.244-5.328 mm), 중간 골(5.142-5.243 mm), 낮은 골(5.040-5.141 mm)의 시트 두께로 분류하여 표시하였다. 여기에 의하면, 일반적으로 그레이드가 높은 골심지일수록 낮은 골 비율이 적었다. 그런데 성형트러블이 발생하는 하이로골의 현상은 골의 높고 낮음의 차이가 현저하게 발생할수록 높게 영향을 미치는 경향을 보였으며 CM-C, CM-D의 골심지로 제

Table 2. Testing results of physical properties of linerboard

Specimen grade	Nominal basis weight (g/m ²)	Basis weight (g/m ²)			Thickness (mm)			Density (g/cm ³)			Ring crush test (kg _r)			Moisture content (%)	
		Mean	Max.-Min.	SD	Mean	Max.-Min.	SD	Mean	Max.-Min.	SD	Mean	Max.-Min.	SD		Specific RCT
Medium CM-A	120	126.0	131-121	3.93	0.238	0.245-0.230	5.412 ×10 ⁻³	0.528	0.538-0.516	8.40 ×10 ⁻³	1358.8	1431.2-1284.1	46.09	1078.4	8.0
Medium CM-B	120	124.8	130-119	5.04	0.224	0.233-0.215	6.017 ×10 ⁻³	0.549	0.565-0.535	8.56 ×10 ⁻³	955.1	1047.2-891.3	48.56	765.3	7.8
Medium CM-C	120	117.6	125-110	5.06	0.212	0.225-0.203	7.419 ×10 ⁻³	0.557	0.570-0.545	8.73 ×10 ⁻³	878.7	977.1-814.3	54.88	747.3	8.3
Medium CM-D	120	123.8	132-115	6.28	0.220	0.234-0.205	9.531 ×10 ⁻³	0.563	0.576-0.548	9.06 ×10 ⁻³	851.6	940.6-762.0	59.32	687.8	9.0
Linerboard LA	210	210.4	220-200	5.24	0.289	0.301-0.276	6.436 ×10 ⁻³	0.726	0.734-0.704	7.30 ×10 ⁻³	2679.4	2862.3-2497.1	136.44	1273.5	8.2

SD: standard deviation.

Specific RCT: specific compression strength value by ring crush test. [(RC value / basis weight) ×100]

조한 골판지시트는 낮은 골 비율이 많고 골판지 시트 두께에 있어서 평균 시트 두께 측정치 보다 낮게 나타났다.

골판지 두께의 빈도 분포 결과와 Fig. 3에 나타난 원지의 두께와 밀도의 상관관계를 합하면 골심지 샘플의 원지 두께와 밀도, 골판지 시트의 두께 변동 등 물리적 특성치의 상관적 관계가 있음을 알 수 있다. 이는 역학적 특성치인 링크러시강도가 높은 골심지가 반드시 골 성형특성이 우수한 것은 아님을 의미한다.

각 골심지에 따른 골 높이의 분포상태를 나타낸 Fig. 2에 의하면 골심지 CM-A사양은 골 높이의 분포가 가장 높고, 다음으로 CM-B, CM-C, CM-D의 순서로 나타났다. 이 경우 골심지 CM-C사양과 CM-D사양은 CM-A, CM-B에 비하여 골판지 시트의 두께가 낮다. 결과적으로 골심지 비교 중 압축강도가 가장 낮은 값을 나타내어 골판지 시트의 두께가 감소하면 압축강도가 저하한다는 이론적 조건과 부합하였다(Crisp et al., 1968; McKee et al., 1963; Westerlind & Carlsson, 1992).

골심지의 특성에 의한 하이로골의 발생

얻어진 원지의 특성치와 골 성형된 골판지 두께의 관계에 대하여 구한 결과는 Fig. 3에 나타낸 바와 같았다. 여기에서 골심지 두께와 골판지 두께와의 관계는 $y = 3.9732x + 4.2712$ ($R^2 = 0.8142$)의 식(여기에서 y는 골판지의 두께(mm), x는 골심지의 두께(mm)이다.)으로 상관하며, 골심지의 밀도와 골판지 두께와의 관계는 $y = -3.1213x + 6.8736$ ($R^2 = 0.9919$)의 식(여기에서 y는 골판지의 두께(mm), x는 골심지의 밀도(g/m^3)이다.)으로 대단히 높은 역상관 관계에 있음이 밝혀졌다. 그러나 골심지의 평량은 골판지 두께와 무관하였다.

그리고 이러한 원지의 종류별 특성치는 골판지 시트 두께(골 높이)와의 관계에 있어서 순위상관도 성립함을 알 수 있었다. 이러한 결과는 하이로골 형성에 관한 골판지 휨강성(EI)의 중에서도 탄성률(E)의 기여율이 높다는 것을 나타내는 것으로 골심지 골의 성형성을 개선하는 방법으로서 두께(t)만을 증가하는 방법이 최선의 방법이 아니라는 것을 나타낸다.

그런데 이들 골심지의 특성치는 링크러시강도와와의 관계에 있어서 골판지 두께와 상관경향이 일치한다. 즉, 링크러시강도도 골심지 두께에 상관하고 골심지 밀도에 역상관한다는 것을 의미한다. 그러나 링크러시강도와 골판지 두께와의 관계에서 중요한 상이점은 상관경향이 일치하는 골심지와 성형가공을 통하여 얻는 파형의 골심지는 양자간의 순위상관이 일치하지 않는다는 것이다. 이는 열과 높은 압력을 매개로 얻어진 골심지는 Z방향의 공벽을 감소시키고 이어 영구 변형(permanent set)효과의 상이를 초래하며 공벽률이 높은 골심지일수록 영구변형 효과가 높다는 것을 의미한다.

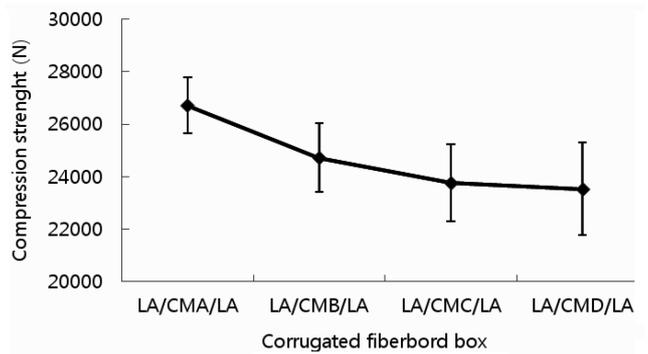


Fig. 4. Comparison of compressive strength test of corrugated fiberboard box (350×250×300 mm).

다음으로, 골심지 두께의 편차와 하이로골의 관계에 있어 CM-C, CM-D 사양의 골심지와 같이 두께 편차가 큰 골심지는 골롤 중앙의 성형 부분에 있어서 슬립현상을 발생하기 쉬운 경향이 있다(Kim, 2007). 그것은 골롤의 골 끝과 골심지의 동마찰계수 등 변동요인에 의하여 슬립 현상이 발생하고, 골이 눌러져 끌어당김으로써 불규칙한 골을 연속형성하는 것이다. 이 상호작용의 결과는 Fig. 2에 의하여 현상적으로 나타난 바와 같다. 따라서 골심지의 두께와 밀도의 관리는 골판지의 성형가공 특성상 대단히 중요한 관리항목이라 할 수 있다.

하이로골과 상자의 압축강도의 관계

골 성형의 영향을 검토하기 위해 패션을 넣지 않은 골판지상자의 압축강도를 조사한 결과를 Fig. 4에 나타냈다. 이에 의하면 하이로골에서 낮은 골(low corrugation) 분포를 나타낸(Fig. 1, 2) 골심지(CM-D)그레이드의 압축강도가 낮는데 압축강도의 크기는 CM-A골심지를 사용한 골판지상자가 가장 높고 CM-B, CM-C, CM-D의 순서였다. CM-A를 사용한 상자와 CM-D를 사용한 상자의 압축강도차이는 30.2 kg(296 N)로서 약 12%의 차이가 있으며 CM-B를 사용한 상자와 CM-D를 사용한 상자에 있어서도 압축강도차이가 13.1 kg(128 N)로서 6%의 차이가 있었다.

압축강도의 편차에 있어서도 CM-A를 사용한 상자가 35 kg(343 N)로 13%인데 비하여 CM-D를 사용한 상자는 50 kg(491 N)인 21%로 크다는 것을 알 수 있었다. 골심지 골은 원지의 두께 및 밀도 등 물리적 특성치의 변동과 재생지의 품질에 따라 크게 영향을 받게 된다(Nazhad & Paszner, 1994; Kim, 1997). 특히 두께 편차는 원지의 회분 등 이물질 함유량과 깊은 관련이 있고(Nazhad & Paszner, 1994) 미국의 Mayovsky의 보고서에서는 회분율이 미국의 원지가 1.7%인데 비하여, 한국의 원지는 10.6%의 높은 수치를 보이고 있어 이것이 두께 편차의 주요 요인이라고 분석했다(Mayovsky, 1995).

요 약

본 연구는 일정한 실험조건 하에서 골심지 시료에 따른 골 성형 실험을 행하여 골심지에 의한 하이로골의 발생과 골판지상자의 압축강도의 관계에 대하여 조사하였다.

골판지의 골 높이가 낮은 골(low corrugation)의 비율이 많은 골심지 그레이드는 장력 변동의 저항에도 약하며 골심지의 이탈력에 의한 강탈(stealing)이 일어나기 쉽고, 결과적으로 낮은 골 비율이 높아졌으며, 골심지 두께 편차가 큰 골심지는 골 성형 시에 슬립현상을 발생하기 쉽기 때문에 불규칙한 골을 연속 형성하는 경향이 있었다. 또한 골심지의 그레이드에 따른 하이로골 분포비율의 실험결과 일반적 경향으로는 그레이드가 높은 골심지 일수록 낮은 골 비율이 적었다. 골 성형된 골판지 시트의 두께의 경우는 원지 평량과의 상관성은 적고 골심지 두께와 상관하며 ($y = 3.9732x + 4.2712$, $R^2 = 0.8142$), 골심지의 밀도에 역상관한다 ($y = -3.1213x + 6.8736$, $R^2 = 0.9919$). 하이로골 중에서 낮은 골 분포를 크게 나타낸 골심지 재료의 골판지로 만든 골판지상자의 압축강도가 현저히 낮고 골심지 시료의 그레이드에 따라 13%의 차이가 있었으며 압축강도의 편차도 골심지의 시료에 따라 21%로 크며, 골심지 골은 원지의 두께 및 밀도 등 물리적 특성치의 변동과 관계한다.

참고문헌

- Batelka JJ. 1994. The effect of boxplant operations on corrugated board edge crush test. *Tappi J.* 77: 193-198.
- Boonyasarn A, Harte BR, Twede D, Lee JL. 1992. The effect of cyclic environments on the compression strength of boxes made from high-performance (fiber-efficient) corrugated fiberboard. *Tappi J.* 75: 79-85.
- Bronkhorst CA. 1997. Towards a more mechanistic understanding of corrugated container creep deformation behavior. *J. Pulp Paper Sci.* 23: 174-175.
- Crisp CJ, Scott RA, Tomlinson JC. 1968. Resistance of corrugated to flat crushing loads. *Tappi J.* 51: 80-83.
- Ince PJ, Urbanik TJ. 1985. Economics of fiber cost and compressive strength of single-wall corrugated boxes. *Tappi J.* 69: 102-105.
- Jonson P, Huteberg A. 1976. Compression Strength. *Paperboard Packaging* 61: 52-65.
- Kim C. 2007. *Corrugated fiberboard packaging*. Korea Packaging Industries Ltd., Seoul, Korea, pp. 148-152.
- Kim C. 2003. Effects of Flute Profile Conformation on the Material Mechanics of Corrugated Fiberboard. The Graduate School of Dongguk University, Seoul, Korea, pp. 51-55, 89-102.
- Kim SC. 1996. Technology of corrugated fiberboard. Yejin publishing Co., pp. 72-81.
- Maltenfort GG. 1996. Corrugated shipping containers-an engineering approach. Jelmar publishing Co., Inc., New York, USA, pp. 85-88, 148-150.
- Mayosky JE. 1995. An evaluation of Asian old corrugated containers. *Tappi J.* 78: 118.
- McKee RC, Whitsitt WT, Smith CN. 1971. Box performance. *Paperboard Packaging* 9:36-47.
- McKee RC, Gander JW, Wachuta JR. 1963. Compression strength formula for corrugated board boxes. *Paperboard Packaging* 48: 144-159.
- McKee RC, Gander JW. 1967. Properties of corrugating medium which influence runnability. *Tappi J.* 50: 35A-40A.
- Nazhad MM, Paszner L. 1994. Fundamentals of strength loss in recycled paper. *Tappi J.* 77: 171-179.
- Nordman L, Tori M. 1989. Factors contributing to High-Low Defects in Corrugated Board, Performance and Evaluation of Shipping Containers, Maltenfort G.G. Jelmar Publishing Co., Inc., New York, USA, pp. 269-273.
- Park JM. 1998. Studies of strength optimization of paperboard-stacked structure (I)(II)(III)-structural properties analysis. *J. Ind. Sci. Technol.* 6: 229-255.
- Peterson WS. 1980. Minimum-cost design for corrugated containers under top to bottom compression. *Tappi J.* 63: 143-146.
- Shioya YH. 1982. Studies on evaluation & performance of fingerless single facer for the corrugated fiberboard *The Monthly Paper Pulp Technol. Times*, Tokyo, Japan, pp.84-104.
- Shioya YH, Suzuki NA. 1982. Studies on sources of the vibration on single facer and the evaluation of high-low corrugation. *Japan Tappi J.* 36: 29-41.
- Urbanik TJ. 1997. Linear and nonlinear material effects on post-buckling strength of corrugated containers. *Mechanics of cellulosic materials*, CA, USA, pp. 103-105.
- Westerlind BS, Carlsson LA. 1992. Compressive response of corrugated board, *Tappi J.* 75: 145-154.