

Corrugated Board의 최적내형설계 소프트웨어 개발

박종민

밀양대학교 기계공학과

Development of a Optimum Inward Design Software for Corrugated Board

Jong-Min Park

Dept. of Mechanical Engineering, Miryang National University

Abstract

Software summarized packaging technology related is needed for low cost and high efficiency in production and packaging design of corrugated board, and in development of these softwares, distribution and packaging environment of one's country must be reflected well. In domestic occasion, software related to corrugated board packaging don't's exist nearly, and in many industrial fields, the more higher role and importance of packaging in various industrial field is, the more higher necessity of that is.

In this study, on the base of preceeding studies(Park, 2001; 2003; 2003), software to optimize board combination that is most importance and sensitivity in composition of cost elements in production and packaging design of corrugated board was developed.

This software was composed of input module, output module, database and management module, and calculation module, and efficiency of this software was analyzed on the both sides of sensitivity in design result and effectiveness in a case analyse.

In the inward design results having same strength, board combination balance, bursting strength, box weight, and cost were greatly different. Therefore, optimum inward design according to user's design specifications is possible, and in a case analysis for actual products, obtained the more profitable results than before design.

Key words : packaging, corrugated board, software, corrugated board combination, compression strength

서론

Corresponding author : Jong-Min Park, Professor, Dept. of Mechanical Engineering, Miryang National University, 1025-1 Nei-dong, Miryang-si, Kyungnam, 627-702, Korea. E-mail: <parkjssy@mnu.ac.kr>.

선진 외국에서는 오래전부터 corrugated board에 대한 다각적인 연구와 전문 소프트웨어의 개발을 통해 corrugated board의 생

산과 사용에 있어 저비용·고효율화를 이루려는 노력을 계속해 왔다(Jönson, 1993; Maltenfort, 1989; Patel et al., 1997; Nordstrand, 1995; Nordstrand and Carlsson, 1997).

우리나라의 경우도 corrugated board의 품질 향상과 부가 가치를 높이기 위한 제반 연구들이 최근 진행되고 있으나 아직 매우 부족한 실정이며, 더구나 선진 외국과는 corrugated board 원지 자체의 품질 특성과 물류 및 포장 환경이 다르기 때문에 외국에서 개발된 기술들을 국내의 포장 설계에 적용하는 데는 분명한 한계를 가지고 있다.

따라서 우리의 여건에 맞는 corrugated board 포장에 관한 전문 소프트웨어의 부재로 인해 경험에 의한 설계로 그 동안 과대 또는 과소 강도를 갖는 corrugated board를 설계·생산하여 왔다.

현재, 보급되어 활용되고 있는 corrugated board 포장관련 소프트웨어에는 CAPE (CAPE Systems, Inc)와 TOPS (TOPS Engineering Corporation)가 대표적이다. 이들 소프트웨어는 날포장, 겹포장의 공간과 재료를 최대한으로 활용하는 쪽으로 팰리트 패턴(pallet pattern)을 구성하고, 경제성 분석, 강도분석 등을 통해 최적 포장설계하는 것을 주요 내용으로 하고 있고, 운영체제 면에서 서로 비슷하다.

이들 소프트웨어들의 국내 포장환경과의 호환성에 있어서의 가장 큰 문제점은, 사용단위와 국내 corrugated board 원지와 호환성 등 국내의 포장 환경을 충분히 반영할 수 없다는 데 있다.

우리의 포장 환경에 맞고, 특정 강도에 맞는 단순한 내형설계(원지구성)에서 보다 강도적으로 유리하고, user의 의도하는 목적에 가장 근접하는 설계 결과를 제공할 수 있는 전문 소프트웨어의 개발이 시급하다.

따라서 본 연구의 목적은 앞선 연구 결과들(Park, 2001; 2003; 2003)을 바탕으로 corrugated board의 생산과 (포장)설계에

있어 가장 중요하고, 원가 구성에 가장 민감한 적정 강도를 갖는 corrugated board의 최적 내형설계를 위한 소프트웨어를 개발하려는 것이다.

소프트웨어의 알고리즘

Corrugated board 원지에 대한 물성 분석과 데이터베이스

Corrugated board의 내형(원지구성)과 정보 설계(강도, 중량, 원가 등)시 설계 결과의 신뢰성 확보에 가장 중요한 요소는 국내 유통 corrugated board 원지에 대한 지종별 평량, 두께, 과열강도, 링크라쉬(ring crush), 영률(Young's modulus) 및 수급 동향에 대한 정확한 자료를 확보하여 데이터베이스(database)를 구축하는 일이다.

본 연구에서 데이터베이스의 구축에 적용된 원지의 물성 값들은 Park(2001)이 이전에 발표했던 자료를 활용하였고, 원지의 수급 동향과 가격에 대한 정보는 그때 그때의 값들로 database를 갱신하는 방식을 택하였다.

내형과 정보설계의 알고리즘

본 연구에서 corrugated board의 최적 내형설계의 조건을 필요 압축강도에 맞고 가장 경제적이면서 휨강성(flexural stiffness) 면에서 강도적으로 유리한 것으로 설정하였다(Hanlon, 1984; Maltenfort, 1989; Jönson, 1993; 五十嵐清一, 1996).

따라서 먼저 식(1)의 Wolf 식(Wolf, 1974)을 활용해 외형 설계조건과 필요 압축강도에 맞는 내형설계를 한 다음, 이 결과로부터 경제적인 요소와 강도적 요소를 이용해 최적의 내형설계 결과를 선발해 내는 방법을 택하였다.

$$BCT_w = \frac{5.2426F \sqrt{Z} (0.3228\beta - 0.1217\beta^2 + 1)}{D^{0.041}} \quad (1)$$

또한, 정보설계의 요소로써 corrugated board의 원가는 한국 골판지포장공업협동조합의 표준 방법(2003)이, 그리고 corrugated board의 파열강도는 한국산업규격 KS A1502에 따라 아래의 식(2)가 적용되었다.

$$BS = 0.95 \times \sum BS_L \quad (2)$$

강도적 선별 변수의 알고리즘

식(1)의 Wolf 식으로부터 역설계해낸 동일한 압축강도를 갖는 여러 내형설계 결과 중 corrugated board 구조물의 구조역학적 측면에서 강도적으로 가장 유리한 내형설계 결과를 선별(sorting)해 내기 위해 본 연구에서는 강도적 선별 변수로 휨발란스 조건을 적용하였다.

여기서 적용된 corrugated board 구조물의 휨발란스 조건은 Park(2001; 2003)의 연구 결과를 활용하며, Park은 이 연구에서 corrugated board의 구성 원지들 간의 강성 배치와 평량배분에 따른 휨발란스 분석을 통해 강도적 측면에서 유리한 원지구성의 최적 설계조건을 도출한 바 있다.

소프트웨어의 구성과 적용

소프트웨어의 구성

개발한 소프트웨어는 그림 1에서와 같이 입·출력 모듈, 데이터베이스 및 관리 모듈, 계산 모듈로 구성되어 있으며, 입력 모듈은 user 변수로 corrugated board box의 외형 설계사양과 필요 압축강도이다.

데이터베이스 및 관리 모듈은 설계의 기본이 되는 corrugated board 원지에 대한

물성, 가격 및 수급 동향에 대한 정보로 구성되어 있고, 결과 출력 모듈은 설계 결과를 출력하는 모듈로 외형 및 내형 최적설계 그리고 정보 설계의 결과가 sorting 변수들의 조합방법에 따라 여러 각도에서 재구성하여 출력이 가능케 해준다.

소프트웨어의 사용 환경은 windows 98 또는 NT 운영체제이며, 사용 언어는 MS사의 Visual Basic 6.0(신경환 등, 1999)이다.

개발한 소프트웨어의 전체 흐름도는 그림 2와 같다.

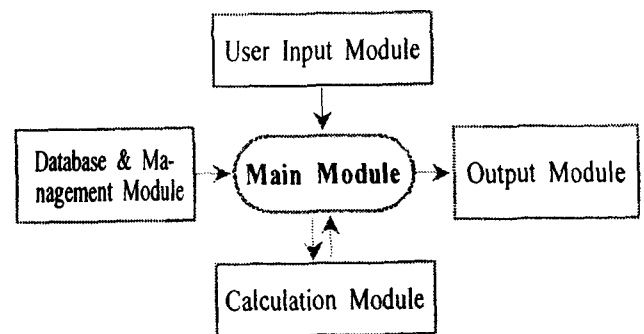


Fig. 1. Structure of the developed software

소프트웨어의 특성과 주요 윈도우

그림 3은 소프트웨어의 메인 Toolbox로써, 여기서는 우선 수시로 변화하는 corrugated board 원지의 물가와 수급 동향에 대한 정보와 물성에 대한 데이터베이스를 새롭게 갱신할 것인가에 대하여 판단해야 한다.

만일 새롭게 데이터베이스를 구축하려면 그림 4의 윈도우를 활용해야 하는데, 여기서 할수 있는 사항은 기존의 데이터베이스 화일에 새로운 원지의 추가, 원지에 대한 정보의 일부 수정 및 실행상의 지정, 또는 기존의 데이터베이스 화일에서 특정 원지를 삭제하는 일 등이다.

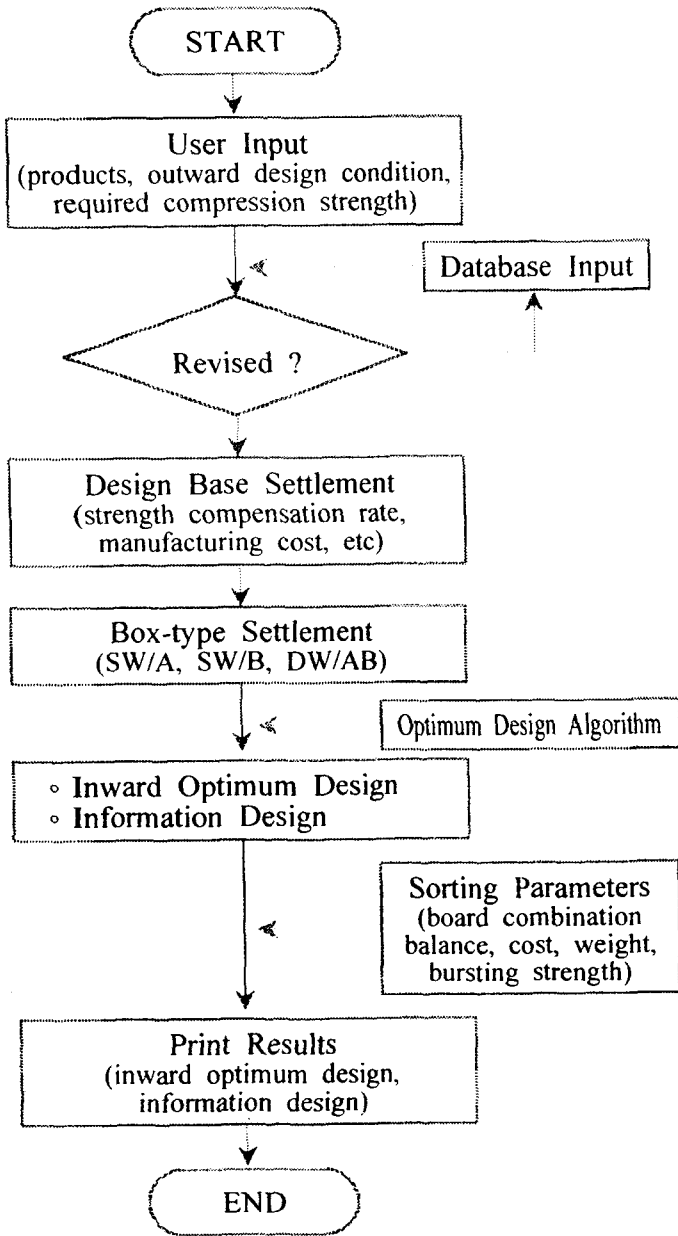


Fig.2 Flow chart of the developed software

이상과 같이 데이터베이스 화일을 보완하게 되면 보완한 시점이 최종 데이터베이스 업데이트 날이 되어 데이터베이스 화일에 자동적으로 기억되게 된다. 원지에 대한 물성 항목중, 특히 강성지수(stiffness index)는 원지 구성에 대한 적정 발란스 분석 결과를 corrugated board의 내형설계에 적용시키기 위해 본 연구에서 정의한 값으로,

원지의 MD 및 CD방향의 영률을 서로 곱한 값을 'K'원지를 100%로 보았을 때의 백분율로 나타낸다.

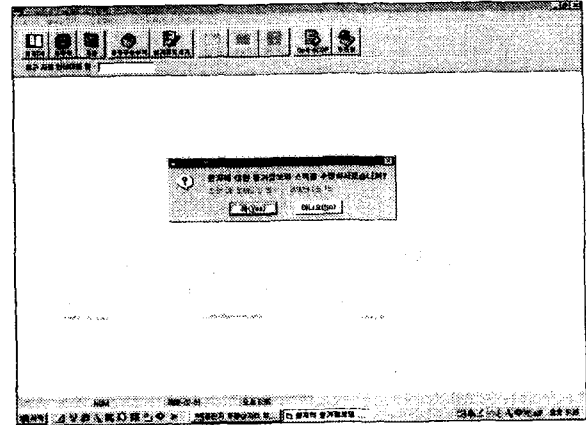


Fig.3 Main toolbox of the developed software

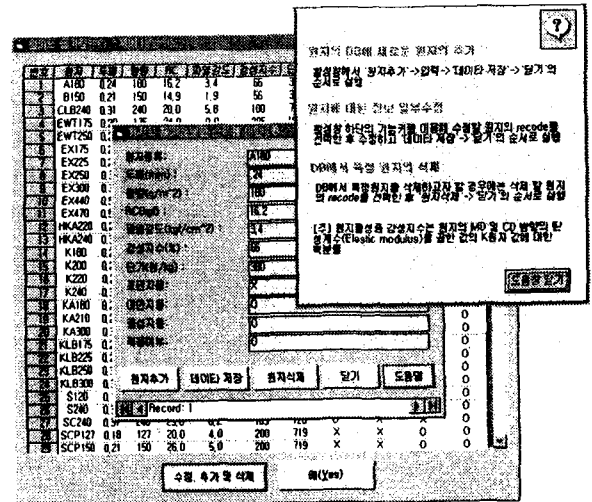


Fig.4 Database and management window

소프트웨어의 실행에 가장 기본이 되는 사용자 사용변수는 그림 5의 윈도우를 통해 입력할 수 있으며, 그림 6은 corrugated board의 내형과 정보설계시 필요한 강도보상률, 원단 loss율 및 가공비를 설정하기 위한 윈도우이다. 여기서, 이들 값들의 입력시에는 소프트웨어에 미리 설정된 값을 지정하거나 또는 입력창에서 'free'를 선택하여 임의의 값을 입력할 수 있다. 또한 원단

loss률도 표준 loss률과 자체 loss률을 user 임의로 선택하여 적용할 수 있다.

그림 5의 강도설계허용오차는 아래의 식 (3)에 나타낸 바와 같이, 설정한 필요압축강도에 인쇄압과 제작상의 강도 보상값을 더한 것을 기준으로 corrugated board의 내형설계 범위를 결정해 주는 중요한 값으로, 이 값의 범위는 컴퓨터 하드웨어의 메모리 와도 직접 관련된다.

$$(RCS + CS_p + CS_m) \sim (RCS + CS_p + CS_m + RCS \times E) \quad (3)$$

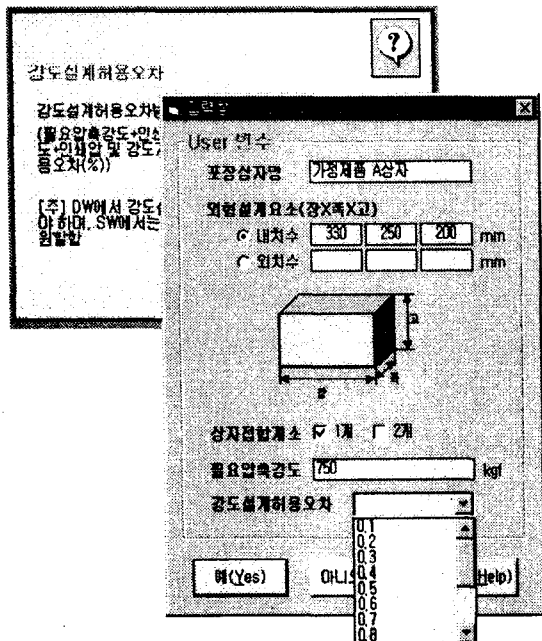
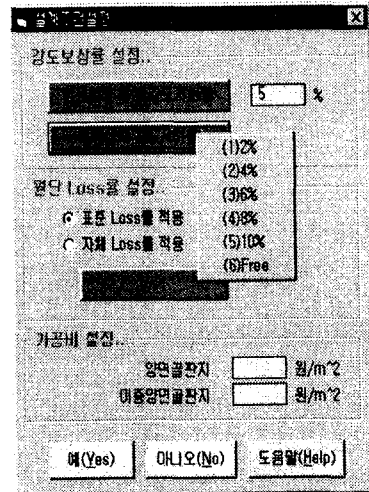
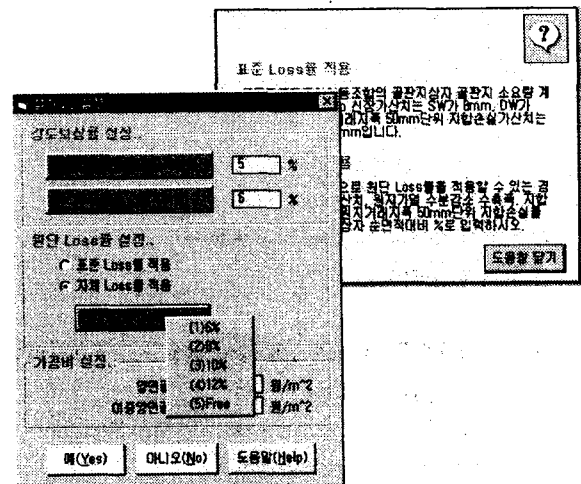


Fig.5 Input window of user variables

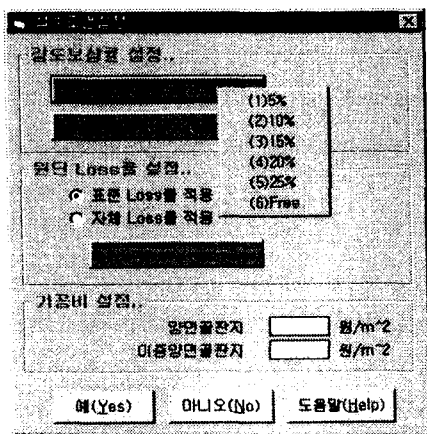


(B)



(C)

Fig.6 Design condition input window



(A)

그림 7은 사용자 입력사항과 설정한 설계 조건에 맞도록 설계된 내형설계 결과로부터 우선 힘발란스 조건의 적용 여부 그리고 상자원가, 파열강도 및 상자중량을 선발 변수로 하여, user가 설계 목적에 맞도록 이들 변수들의 조합 시킴으로써 설계 결과를 다양한 각도로 선발해 보여줄 수 있는 윈도우이다.

예를 들어, 힘발란스 조건을 적용하고 선발 변수를 상자원가→파열강도→상자중량의 순으로 지정하게 되면, 상자 원가가 작은것부터 큰 순으로 선발되고, 이어 같은

과를 도출할 수 있을 것으로 판단된다.

표 2에 나타낸 실제의 제품 11종(농산물 3종, 수산물 1종, 가전제품 5종, 생필품 2종)에 대하여, 이들 각 제품의 압축강도와 표면 라이너만을 동일한 것으로 지정한 상태에서 개발한 소프트웨어를 적용시켜 재설계한 결과를 표 3에 요약하여 놓았다.

11종의 제품중 8종은 원지구성 발란스의 적정성 범위에 속하는 것으로 분석되었으며, 각 제품별로 재설계 전과 동일한 강도 및 원가수준에서 파열강도는 0~50% 향상되었고, 상자 중량면에서는 0~13.1% 더 경량으로 설계되었다. 또한, 제품별로 재설계 전과 동일한 강도일 때, 상자 원가면에서도 적용전에 비해 약 2~30% 절감될 수 있는 내형설계 결과가 다양하게 나타났다.

결 론

Corrugated board의 생산과 포장 설계시 저비용·고효율화를 위해서는 관련 기술을 집약 시킨 전문 소프트웨어가 필요하며, 이러한 소프트웨어들의 개발시에는 그 나라의 물류와 포장환경이 잘 반영되어야 한다.

우리나라의 경우, corrugated board 포장과 관련된 소프트웨어는 거의 전무한 실정이며, 여러 산업분야에서 포장의 역할과 중요성이 더해짐에 따라 관련 소프트웨어의 필요성이 더욱 높아지고 있다.

본 연구에서는 앞선 연구 결과들을 바탕으로 corrugated board 생산과 포장 설계에 있어 가장 중요하고, 원가 구성에 가장 민감한 적정 강도를 갖는 corrugated board의 최적 내형설계(원지구성) 소프트웨어를 개발하였다.

개발한 소프트웨어는 입·출력 모듈, 데이터베이스 및 관리 모듈, 계산 모듈로 구성되어 있고, 소프트웨어의 효율성을 크게 2가지 측면, 즉 포장요건 변화에 따른 설계

결과의 민감성과 실제 제품에의 사례분석을 통한 효과 측면에서의 분석이었다.

동일한 강도를 갖는 내형설계 결과를 볼 때, 원지구성 발란스, 파열강도, 상자중량, 원가면에서 많은 차이를 나타내어 user의 설계 사양에 대하여 그 조건에 부합되는 최적 내형설계가 가능하고, 또한 실제의 제품에 대한 사례분석에서도 재설계 전에 비하여 여러 측면에서 유리한 결과를 얻었다.

문 헌

1. Jönson, G. 1993. Corrugated board packaging. Leatherhead. Pira International.
2. Maltenfort, G. G. 1989. Performance and evaluation of shipping containers. Plainview, N.Y. Jelmar Publishing Co.
3. Patel, P., T. Nordstrand, and L. A. Carlsson. 1997. Local buckling and collapse of corrugated board under biaxial stress. Composite Structures. 39(1-2): 93-110.
4. Nordstrand, T. M. 1995. Parametric study of the post-buckling strength of structural core sandwich panels. Composite Structures. 30(4): 441-451.
5. Nordstrand, T. M. and L. A. Carlsson. 1997. Evaluation of transverse shear stiffness of structural core sandwich plates. Composite Structures. 37(2): 145-153.
6. Park, J. M. 2001. Balance analysis and optimum design program in board combination of corrugated board. Ministry of Commerce,

Industry and Energy·Korea Institute of Packaging Development & Research Final Report.(In Korean)

7. Park, J. M. 2003. Buckling analysis of corrugated board using finite element method. Journal of the KSAM 28(2): 127-136.(In Korean)
8. Park, J. M. 2003. Development of a computer program for bulk-type container design using optimum design parameter analysis. Journal of the KSAM 28(4): 315-324.(In Korean)
9. Hanlon, J. F. 1984. Handbook of packaging engineering. McGraw-Hill. NY
10. 五十嵐清一. 1996. 段ボール包装技術. 日報
11. Wolf, M. 1974. Here's a quick way to calculate box compression strength. Package Eng. Feb.: 44-45
12. 한국골판지 포장 공업협동조합. 2003. 골판지포장 원가관리. 골판지포장·물류 제47호: 161- 163
13. KS A1502. Corrugated fibreboards for shipping containers.(In Korean)
14. 신경환, 이기영, 조준상. 1999. MS Visual Basic 6.0. 베스트북

Table 1. Results of efficiency verification for the developed software

Items	SW		DW	
	Consideration in BCB ³⁾	Not consideration in BCB	Consideration in BCB	Not consideration in BCB
No. of designable BC ¹⁾	108	192	89	425
Cost range (₩)	364~606	364~606	317~573	315~621
BC for lowest cost	KLB300/K220/ K220	KLB300/K220/ K220	SK180/B150/B150/ S120/ K200	SK180/K180/B150/S120/ B150
BS ²⁾ range (kgf/cm ²)	25~12	25~12	19~6	22~5
BC for max. BS	EX470/S120/ EX225	EX470/S120/ EX225	EWT175/S120/K180/ S120/EWT175	CLB240/S120/EWT175/ S120/EWT175
Box weight range (kgf)	589~791	589~836	731~862	707~935
BC for min. box weight	KLB250/SCP127/ KLB250	KLB250/SCP127/ KLB250	WT180/SCP127/S120/ S120/EWT175	EX175/SCP150/S120/ S120/S120

Notes : 1)board combination, 2)bursting strength, 3)board combination balance

Table 2. Corrugated board boxes applied an actual verification

Products	Dimensions L×W×D (mm)	Flute	Board combination
Agriculture A	440×330×275	AB/F	KA210/K200/S120/K200/K200
Agriculture B	440×320×230	AB/F	SK180/K200/S120/K200/K180
Agriculture C	400×330×160	AB/F	SK180/K200/S120/K200/K180
Fish A	358×238×168	AB/F	KA210/K200/B150/K200/SK180
Electric A	575×430×371	A/F	EX225/SCP127/EX225
Electric B	1019×409×741	AB/F	EX225/SCP127/EX225/SCP127/EX225
Electric C	905×441×730	AB/F	EX175/S120/EX175/S120/EX175
Electric D	660×615×460	AB/F	EX175/S120/K180/S120/EX175
Electric E	576×569×448	AB/F	EX175/K180/K180/SCP127/EX175
Cosmetic A	390×342×208	A/F	SK210/K200/SK180
Cosmetic B	344×314×302	AB/F	SK210/B150/B150/B150/K200

Table 3. Applied results of the developed software

Products	Before application				After application ³⁾		
	CS ¹⁾ (kgf)	BS (kgf/cm ²)	Weight (kgf)	Cost ²⁾ (₩)	Designable max. BS (kgf/cm ²)	Designable min. weight (kgf)	Rightness of PCB
Agriculture A	654(562)	10	1.083	449	12(20% ↑)	1.075(0.7% ↓)	○
Agriculture B	595(512)	7	0.929	367	11(50% ↑)	0.921(0.8% ↓)	○
Agriculture C	592(509)	7	0.796	314	11(50% ↑)	0.789(0.9% ↓)	○
Fish A	609(524)	11	0.572	250	14(23% ↑)	0.557(2.6% ↓)	×
Electric A	444(381)	17	1.072	897	17(—)	1.072(—)	○
Electric B	898(772)	26	3.220	2,937	32(25% ↑)	3.060(13.1% ↓)	×
Electric C	650(559)	20	2.836	1,849	19(5% ↑)	3.025(6.7% ↓)	×
Electric D	632(543)	16	2.482	1,379	16(—)	2.482(—)	○
Electric E	806(693)	16	2.339	1,478	21(31% ↑)	2.327(0.5% ↓)	○
Cosmetic A	346(298)	9	0.587	277	9(—)	0.587(—)	○
Cosmetic B	514(442)	11	0.846	347	11(—)	0.846(—)	○

Notes : 1)strength reduction rate (printing pressure 6%, manufacturing 8%), 2)paper loss rate 10% (price, October 10, 2001), 3)allowable tolerance in strength design (SW 2%, DW 1%)

Nomenclature

BCT_w	=Compression strength of box by Wolf's equation(lb)
BS	=Bursting strength of corrugated board(kgf/cm ²)
BS_L	=Bursting strength of liner(kgf/cm ²)
CS	=Compression strength of box(kgf)
CS_p	=Strength compensation value by printing pressure(kgf)
CS_m	=Strength compensation value by manufacturing(kgf)
E	=Allowable tolerance in strength design(%)
ECT	$=1.2 \times \{(\sum RC_L + \sum RC_f \cdot t_x) / 6\} = 1.2 \times P_x$ (lb/in)
F	$=\sqrt{T \times ECT}$
L, W, D	=Each length, width and depth of box(outer size) (in)
RC_L, RC_f	=Each ring crush of liner and corrugating medium(kgf)
RCS	=Required compression strength of container(kgf)
T	=Total thickness of corrugated board(in)
t_x	=Take-up factor[A/F=1.6, B/F=1.4, C/F=1.5]
Z	=Perimeter of box $[(L+W) \times 2]$ (in)
α	=W/L ratio
β	=L/W ratio(=1/ α)