

산물형 포장상자의 최적설계 요인분석에 의한 설계 프로그램 개발

Development of a Computer Program for Bulk-type Container Design using Optimum Design Parameter Analysis

박 종 민
정회원
J. M. Park

ABSTRACT

If an optimum design technique is applied in the design of packaging container for bulk-type products, merits on the side of not only economic and compression performance but distribution efficiency are expected. Accordingly, minimum board area (mRBA), compression strength (CS) and compression strength per unit area (mCSPA) are important design parameters in optimum design of packaging container for bulk-type products. In this study, mathematical models for mRBA, CS and mCSPA of container as algorithm for optimum design program were developed. In order to develop these models, compression test by various dimensions of container and response surface analysis for mRBA, CS, and mCSPA of container were carried out. In the developed models, volume, W/L ratio and depth of container were principal independent variables. On the ground of these models, optimum design program having faculties of outward and inward optimum design and information design was developed. Though the packaging specifications are same, required board area, board combination and cost of the corrugated board required container manufacture were greatly different by boundary conditions in outward design. Moreover, about 6.3 ~ 10.1% in weight of container was lighter, and about 13.2 ~ 25.6% in cost of container was reduced when the program was applied for 2 kinds of bulk-type products.

Keywords : Bulk-type container, Bulk-type product, Packaging software, Corrugated board, Computer program.

1. 서 론

물적 유통은 포장, 수송, 하역, 보관 및 통신(정보) 등의 5가지 요소가 시스템화 됨으로써 성립되며, 이중 포장은 물류비 전체에 대한 비중은 그리 크지 않으나, 물적 유통의 다른 요소들과 직접적인 관련을 맺고 있어 무엇보다도 중요한 요소이다

(Hanlon, 1984).

제품의 포장 비용중 가장 큰 비중은 겉포장 상자로 부가 가치가 낮은 제품 일수록 그 비중은 커서 제품 가격의 20% 이상을 점하는 경우도 있으며, 보통 상자의 재료로는 환경 친화적인 corrugated board가 주로 사용된다.

공업, 농업 등 여러 산업분야에는 산물(bulk) 형

The article was submitted for publication in April 2003, reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in July 2003. The authors are Jong Min, Park, Associate Professor, Dept of Mechanical Engineering, Miryang National University, Korea. The corresponding author is Jong Min, Park, Associate Professor, Dept. of Mechanical Engineering, Miryang National University, 1025-1 Nei-dong, Miryang-si, Kyungnam, 627-702, Korea. E-mail:<Parkjssy@mnu.ac.kr>.

태로 취급되는 제품이 많이 있는데, 이러한 제품용 포장 상자의 경우, 같은 양을 포장하는데 있어 상자의 외형 치수비율에 따라 상자의 소요면적이 달라질 뿐만 아니라, 압축강도 면에서도 또한 큰 차이를 나타낸다(Maltenfort, 1989). 즉, 산물형 포장 상자의 최적설계 문제는 상자 제작상의 최소 소요면적, 강도적 특성 및 물류효율 측면(펠리트 및 차량 적재 효율) 등 여러 요인들이 복합되어 있다. 따라서 이들 요인 모두를 최대로 만족시키는 단일 조건은 있을 수 없으며, 어디까지나 이들 요인들에 대한 가중치의 적용이나 절충한 조건 만이 있을 수 있다. 이와 같이 경제적 조건과 강도적 특성이 함께 고려되어 최적 설계될 경우, 상자 제작상의 원단 소요량 절감과 강도 향상 또는 목적인 바에 따라서는 펠리트나 차량의 적재효율 향상을 가져와 물류비 절감 효과도 기대할 수 있다.

선진 외국의 경우는 제품의 포장 상자 설계시 최적화 기법이 어느정도 보편화되어, 포장 제품의 특성, 포장 중량 및 유통 환경 등을 고려해 포장 요건을 설정하고, 이를 분석 및 필요 압축강도를 구체적으로 수치화한 다음, 이에 맞는 설계가 이루어지고 있다(Hanlon, 1984; JÖnson, 1993). 뿐만 아니라 제품에 대한 상자의 설계부터 물류 합리화를 위한 제반 연구가 많이 진행되어, 여러 분야에서 다양한 소프트웨어들이 함께 개발되어져 왔다. 그러나 이러한 기술과 소프트웨어들은 국내의 포장 환경에 적용시키는데 있어, 국내 생산 원지의 적용, 사용단위 및 기술적인 내용 면에서의 호환성 문제로 그 적용의 한계를 보여왔다. 더구나 산물형 포장 상자의 최적설계에 대한 연구 결과와 개발된 소프트웨어는 국내외적으로 거의 전무한 실정이다.

따라서 이 연구에서는 산물형 포장 상자의 최적 설계요인 분석과 모형화를 통해 외형 최적설계, 내형 최적설계 및 정보 설계의 기능을 갖는 컴퓨터 프로그램을 개발하려고 한다.

2. 최적설계 요인 분석과 모형화

가. 최소 소요면적 요인

Fig. 1과 같이 RSC(regular slotted container)형 포장 상자(KS A1003)의 길이, 폭 및 높이를 각각 $L=x$, $W=ax$ ($a=W/L$), $D=y$ 라 놓으면, 형성되는 상자의 실제적(V)과 원단의 소요 면적(RBA)은 다음과 같이 각각 표현된다.

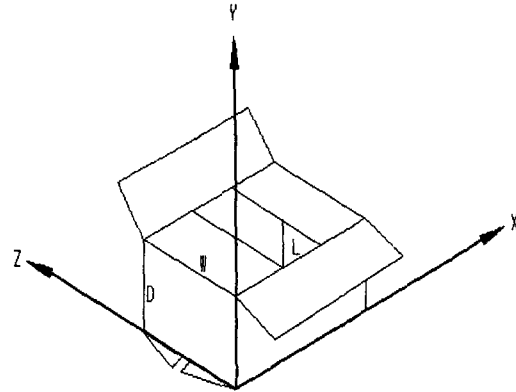


Fig. 1 Regular slotted container and coordinate system.

$$V = LWD = ax^2y \quad (1)$$

$$\begin{aligned} RBA &= 2(LD + DW) + 2(LW + W^2) \\ &= 2x(1+a)(y+ax) \end{aligned} \quad (2)$$

위의 두 식을 토대로 최소 소요면적(mRBA) 조건을 도출하기 위해 현재 수학, 물리 및 다양한 공학 분야에서 수치계산과 논리계산에 많이 사용되는 Mathematica(Brown et al., 1991) 소프트웨어를 활용하여 상자 체적 10,000 ~ 150,000cm³ 범위 내에서 각 체적별 반응표면 분석(RSA, response surface analysis)을 실시하였으며, 그 결과의 일부를 Fig. 2에 나타내었다.

Fig. 2를 보면, 동일한 체적을 형성하는데 필요한 소요 면적은 상자의 외형 치수비율에 따라 큰 차이를 나타내었다. 즉, 상자의 소요 면적은 상자의 높이가 클 경우에는 폭/길이 비에 따라 감소하였으나, 상자 높이가 작은 경우에는 이와 반대인 경향을 보였다. 그리고 상자의 폭/길이 비가 일정할 때, 체적이 작을 때는 상자의 높이에 따라 감소하다가 다소 증가하였으나, 체적이 클수록 높이에 따라 일률적으로 감소하는 경향이였다.

Fig. 2의 오른 쪽의 각 그림은 왼쪽의 반응 표면에서 일정 체적을 형성하는 최소 소요면적 조건만을 나타낸 것이며, 전체 체적에 대한 최소 소요면적 조건을 하나로 나타낸 것이 Fig. 3이다. 즉, Fig. 3의 (a)는 상자의 체적과 높이에 따른 최소 소요면적을, 그리고 (b)는 그 때의 폭/길이 비를 나타낸 것이다. 이를 프로그램의 알고리즘으로 활용하기 위해 수학적 모형화한 결과가 식(3)과 (4)이다.

산물형 포장상자의 최적설계 요인분석에 의한 설계 프로그램 개발

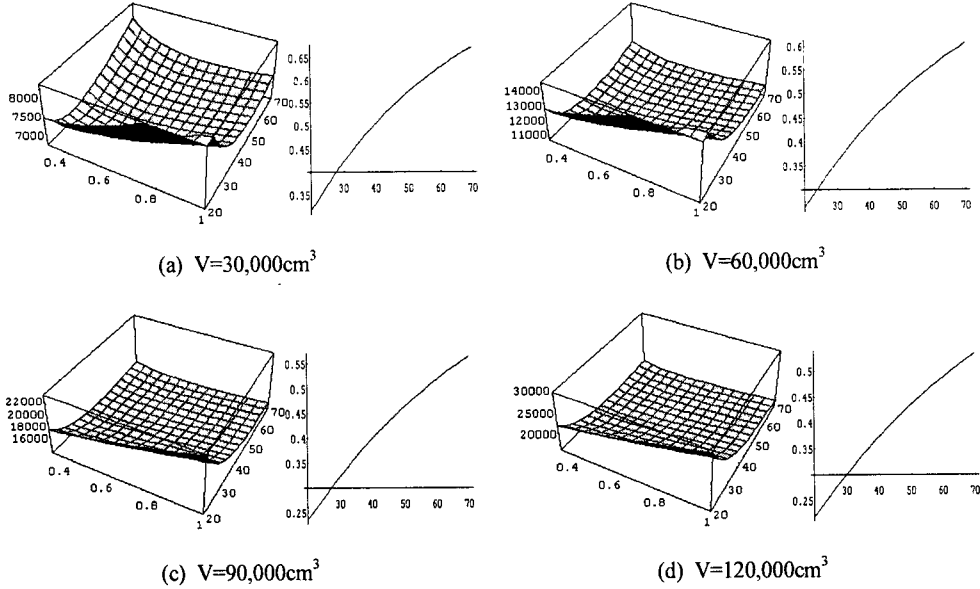
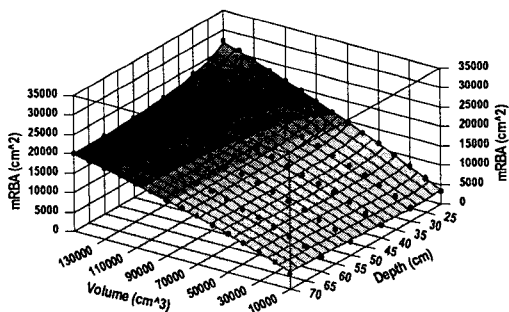
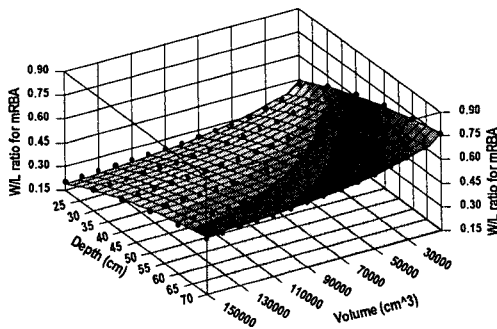


Fig. 2 RSA for RBA classified by volume of the container.



(a) mRBA



(b) W/L ratio for mRBA

Fig. 3 mRBA by volume and depth of the container (• actual value, — regression).

$$mRBA = 5.2089 \times 10^3 + 0.1253V - \frac{1.8854 \times 10^5}{D} - \frac{2.385 \times 10^{-7} V^2 + \frac{2.3331 \times 10^6}{D^2}}{1.5863 \left(\frac{V}{D} \right)}, r^2 = 0.9991 \quad (3)$$

$$\alpha_{mRBA} = -0.1245 + \frac{1.0916 \times 10^4}{V} - \frac{1.6435 \times 10^8}{V^2} + \frac{8.6302 \times 10^{11}}{V^3} + 0.0148D - 1.2499 \times 10^{-4} D^2 + 4.7753 \times 10^{-7} D^3, r^2 = 0.997 \quad (4)$$

Fig. 3에서 보면, 상자 체적 10,000 ~ 150,000cm³, 높이 20 ~ 70cm 범위 내에서 최소 소요면적은 체적이 클수록 상자 높이에 따라 감소하는 경향이 있으나, 최소 소요면적에 대한 폭/깊이 비는 체적에 관계 없이 상자의 높이에 따라 일률적으로 증가하였다.

나. 압축강도의 최적화 요인

산물형 상자의 압축강도를 최적화하는 외형 설계 인자 도출과 이의 모형화를 위해 2가지 방향으로 상자 압축실험이 수행되었다. 즉, 상자의 주변 길이가 일정할 때와 체적이 일정할 때의 각각에 대하여 외형 치수 비율에 따른 실험으로, 이 실험에 적용된 상자는 RSC형 DW로 원지 구성은 KA180/S120/K200/S120

/K200 이며, 상자의 압축실험 절차와 방법은 ASTM D642를 따랐다.

Fig. 4의 (a)는 상자의 주변 길이가 Z=132cm로 일정할 때, 상자의 폭/길이 비와 높이에 따른 압축강도를 폭/길이 비가 1인 L×W×D=33×33×30cm의 상자 압축강도에 대비해 그 변화율(CSV_Z)을 나타낸 것으로, 상자 압축강도는 상자의 높이 별로 폭/길이 비에 따라 증가하다 약 0.7 부근에서 다시 감소하였다. 또한 상자의 폭/길이 비 별로 상자 높이에 따라 감소하다가 약간 증가하는 경향을 보였다. 한편, Fig. 4의 (b)는 체적이 V=27,000cm³으로 일정할 때, 상자의 폭/길이 비와 높이에 따른 압축강도를 입방체 상자인 L×W×D=30×30×30cm에 대비해 그 변화율(CSV_V)을 나타낸 것으로, 상자의 높이 별로 폭/길이 비에 따른 압축강도 변화는 주변 길이가 같은 조건에 대한 경향과 비슷하였으나, 상자의 높이에 따라서는 일률적으로 크게 감소하는 경향이였다. 이와 같이 상자의 외형 치수비율에 따른 압축강도의 강도적 특성을 상자의 외형 설계조건으로 활용하기 위해서 이를 수학적 모형화한 결과가 식(5)와 (6)이다.

$$\begin{aligned}
 CSV_Z = & -39.25 - \frac{1.705 \times 10^3}{D} + \frac{2.94 \times 10^4}{D^2} \\
 & + 631.3889a - 704.1667a^2 \\
 & + 236.1111a^3, \quad r^2 = 0.9953
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

$$\begin{aligned}
 CSV_V = & -100.75 + \frac{2.054 \times 10^3}{D} - \frac{1.74 \times 10^4}{D^2} \\
 & + \frac{276.4}{a} - \frac{148.0533}{a^2} \\
 & + \frac{24.32}{a^3}, \quad r^2 = 0.9957
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

다. 단위 면적당 압축강도의 모형

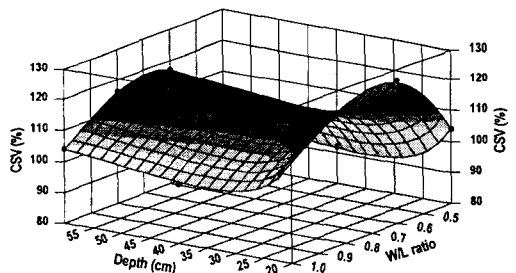
산물형 상자의 설계시 원단의 소요 면적과 압축강도가 각각 또는 동시에 설계 기준이 될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 상자의 소요 면적을 적게하면서 가능한 압축강도를 크게하기 위한 설계 조건을 도출하기 위해 상자의 단위 면적당 압축강도(CSPA)를 한 변수로 설정하였다.

앞에서의 소요 면적과 압축강도에 대한 모형을 토대로 단위 면적당 압축강도의 최적 조건(mCSPA)을 도출하기 위해 반응표면 분석을 실시하였으며, 그 결과의 대표적인 예를 Fig. 5에 나타내었다.

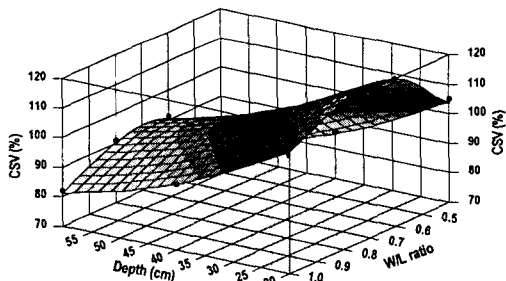
Fig. 5의 왼쪽의 각 그림은 일정 체적에 대하여 상자의 높이와 폭/길이 비에 따른 단위 면적당 압축강도를 나타낸 것이고, 오른쪽은 각 체적별 단위 면적당 압축강도의 최적 조건만을 도시한 것이다. 이를 전체 체적에 대한 단위 면적당 압축강도의 최적 조건을 하나로 나타낸 것이 Fig. 6이다.

Fig. 5를 보면, 단위 면적당 압축강도는 폭/길이 비에 따라 증가하다 약 0.52~0.62를 기점으로 다시 감소하였고, 폭/길이 비가 1에 가까울수록 상자의 높이에 따라 증가하다 약간 감소하는 경향을 보였다.

한편, 각 체적별 단위 면적당 압축강도의 최대값은 Fig. 6에서 보는 바와 같이 체적이 작을수록 상자 높이에 따라 감소하는 정도가 컸고, 상자 높이가 작을 수록 체적에 따른 감소 경향이 뚜렷하였다. 또한, 단위 면적당 압축강도를 최대로 하는 폭/길이 비는 동일한 체적에서는 상자 높이에 따라 증가하였고, 같은 상자 높이에서는 체적에 따라 감소하는 경향을 보였다. 이를 수학적 모형화한 결과가 식(7)과 (8)이다.



(a) Z=132cm; base, L×W×D=33×33×30cm



(b) V=27,000cm³; base, L×W×D=30×30×30cm

Fig. 4 CSV by W/L ratio and depth of the container(• measured value, — regression).

산물형 포장상자의 최적설계 요인분석에 의한 설계 프로그램 개발

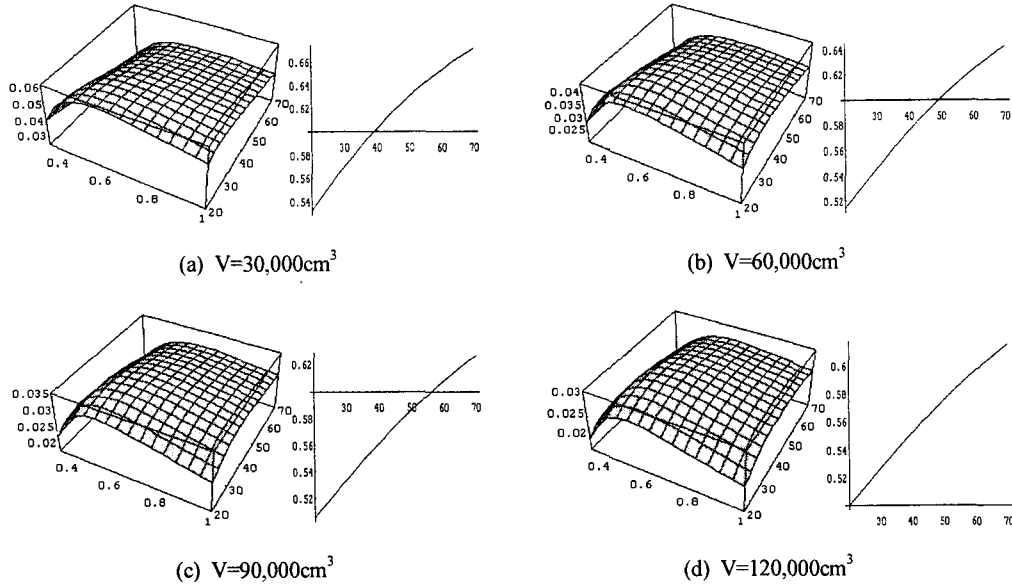
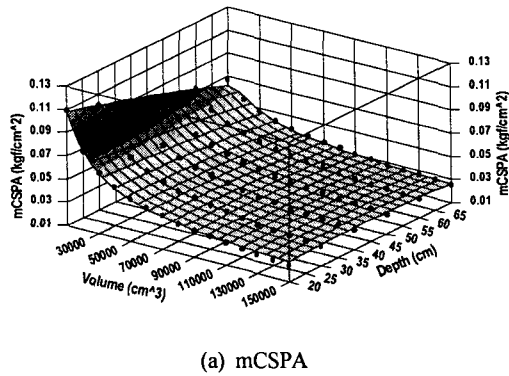
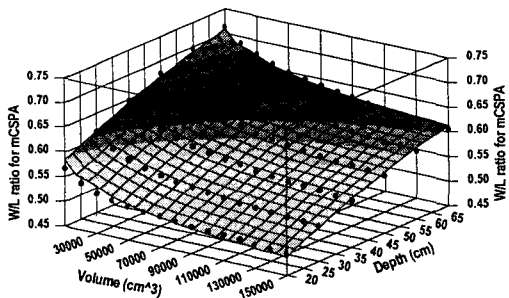


Fig. 5 RSA for CSPA classified by volume of the container.



(a) mCSPA



(b) W/L ratio for mCSPA

Fig. 6 mCSPA by volume and depth of the container (• actual value, — regression).

$$mCSPA = 0.0116 + \frac{1.7141 \times 10^3}{V} + 3.5633 \times 10^{-4} D - \frac{6.2043 \times 10^6}{V^2} - 3.4845 \times 10^{-6} D^2 - 9.4716 \left(\frac{D}{V} \right), r^2 = 0.9923 \quad (7)$$

$$\alpha_{mCSPA} = 0.3887 + \frac{4.0579 \times 10^3}{V} - \frac{5.9396 \times 10^7}{V^2} + \frac{3.0908 \times 10^{11}}{V^3} + 4.0399 \times 10^{-3} D - 1.6964 \times 10^{-5} D^2, r^2 = 0.9923 \quad (8)$$

3. 최적설계 프로그램 개발

가. 프로그램의 알고리즘

(1) 외형(치수) 설계

산물형 포장 상자의 외형 설계시에는 상자의 외형 치수에 특별한 제한을 두지 않는 경우, 자동화 포장 공정에서와 같이 상자의 높이만을 제한하는 경우 또는 포장후 팰리트(pallet)나 차량의 적재 효율을 고려해 상자의 길이와 폭이 미리 결정하는 3 가지 경우로 나누어 볼 수 있다. 또한 각 경우에 있어 상자의 최소 소요면적과 강도적 측면을 각각 또는 동시에 설계 기준으로 할 때, 각각의 경우에 대

Table 1 Algorithm in outward optimum design of the container

Base	①	Boundary conditions in outward design		
	②	none	D	L & W
mRBA	from Eq.(2) ~ (4) $\frac{\partial(RBA)}{\partial x} = 0, \frac{\partial(RBA)}{\partial y} = 0$ $\left. \frac{d(mRBA)}{dD} \right]_v = 0$		Eq.(1) & Eq.(4)	Eq.(1)
CS	from Eq.(6) $\frac{\partial(CSV)}{\partial D} = 0, \frac{\partial(CSV)}{\partial \alpha} = 0$		from Eq.(6) $\left. \frac{d(CSV)}{d\alpha} \right]_D = 0$	Eq.(1)
mRBA & CS	from Eq.(7) & Eq.(8) $\left. \frac{d(mCSPA)}{dD} \right]_v = 0$		Eq.(1) & Eq.(8)	Eq.(1)

Notes : ①classification, ②boundary conditions.

한 설계 알고리즘을 정리하면 Table 1과 같다.
Table 1에서 각 경우의 설계 조건들은 산물형 제품의 밀도와 포장 (실)중량으로부터 체적이 결정된 상태에서 도출된 것들이며, 외형 설계의 제한 조건이 많아 질수록 최적 설계의 의미는 없어진다.

(2)내형(원지구성)과 정보 설계

Corrugated board 원지구성의 최적설계시 외형설계 결과와 필요 압축강도에 맞는 가장 경제적이면서 휨강성(flexural stiffness) 면에서 강도적으로 유리한 것을 기준으로 판단하고(Hanlon, 1984; Maltenfort, 1989; JÖnson, 1993; 五十嵐清一, 1996), 본 연구에서는 먼저 식(9)에 나타난 Wolf 식(Wolf, 1974)을 활용하여 외형설계 결과와 필요 압축강도에 맞는 원지구성을 설계한 다음, 그 결과로부터 경제적인 요소와 강도적 측면으로 휨강성을 변수로하여 최적의 원지구성을 선발하는 방법을 택하였다. 여기서 적용된 corrugated board의 단위 면적당 단가 계산 방법과 원지구성의 휨강성 조건은 기존의 연구 결과(Park, 2001; Park, 2003)와 한국 골판지포장공업협동조합의 표준 방법(2003)을 적용하였다.

$$BCT_w = \frac{5.2426F\sqrt{Z} (0.3228\beta - 0.1217\beta^2 + 1)}{D^{0.041}} \quad (9)$$

상자의 무게와 corrugated board의 파열강도(BS) 또한 상자의 설계시 중요한 요소이므로, 이들을 상자에 대한 정보 설계의 항목으로 포함 시켰다.

이상의 상자에 대한 내형과 정보 설계시에 설계 결과에 대한 신뢰성을 확보하는데 있어 가장 중요

한 것은 국내 유통 corrugated board 원지에 대한 지종별 평량, 두께, 파열강도 및 링크라쉬에 대한 정확한 자료를 확보하는 것으로, 여기서는 Park(2001)에 의해 이미 발표된 것을 활용하였다.

나. 프로그램의 구성과 주요 윈도우

개발된 산물형 상자의 최적설계 프로그램은 Fig. 7에서와 같이, 입출력 모듈, 데이터베이스 및 관리 모듈, 계산 모듈로 구성되어 있으며, 입력 모듈은 피포장물의 포장 (실)중량, 밀도 및 필요 압축강도 등의 최소한의 기본 사양과 내포장 조건 입력 부분으로 구성되어 있다.

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 여러 각도에서 재구성하여 출력이 가능케 해준다.

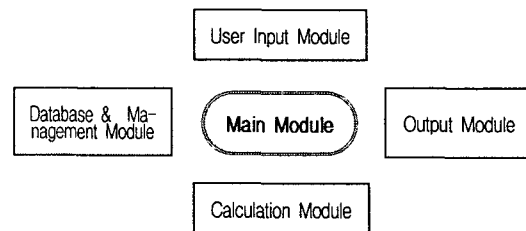


Fig. 7 Structure of the computer program developed.

산물형 포장상자의 최적설계 요인분석에 의한 설계 프로그램 개발

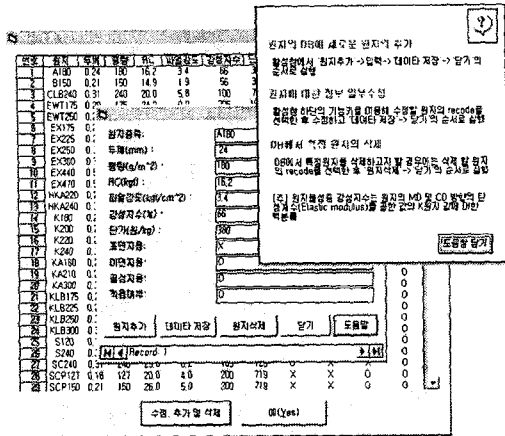
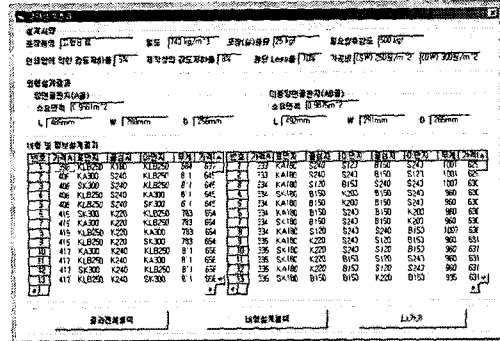
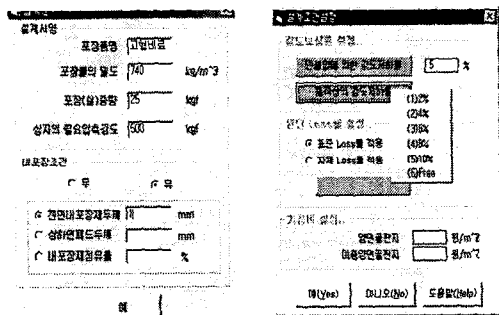


Fig. 8 Database and management window.

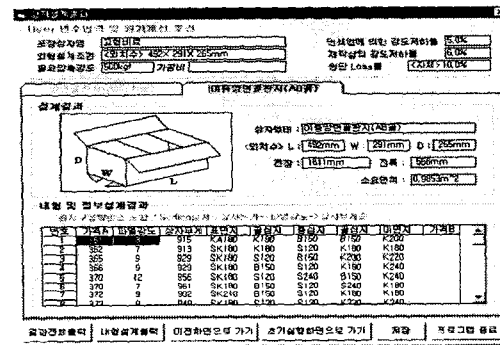


(a) Designation, 'SW/A+DW/AB'



(a) Design specification (b) Design condition

Fig. 9 Design specification and condition input window.



(b) Sorting variable, 'Cost/BS/Weight'

Fig. 10 Output window of design result.

다. 효율성 검증과 사례연구

개발된 프로그램의 효율성 검증에는 2가지의 방법이 적용되었다. 즉, 하나는 이 프로그램의 기능중 핵심 부분인 외형설계 제한 조건별로 외형 최적설계의 가능성에 대한 검증이고, 다른 하나는 실제의 산물형 제품 2 종류에 대하여 본 프로그램을 적용시켰을 때 기존 포장과의 차별성에 대한 검증이다. 외형설계 제한 조건별 외형 최적설계의 효율성 검증에는 다음과 같이 시설원예용 고품비료에 대한 자료가 활용되었으며, 설계 방향으로 소요 면적과 강도적 측면의 두 요소가 모두 고려했을 때, 설계 결과를 분석하여 Table 2에 나타내었다.

- 피포장물의 밀도 : 740kg/m³
- 포장 중량 : 25kgf
- 필요 압축강도 : 500kgf
- 인쇄압과 제작상의 강도 저하율 : 각각 5%, 6%
- 원단 손실률 : 10%
- 내포장 방법 : Polyethylen 전면포장 (두께 0.15mm)

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

Fig. 8은 수시로 변화하는 corrugated board 원지의 물가와 수급 동향에 대한 정보와 물성의 DB 구축을 위한 윈도우이며, Fig. 9의 (a)는 사용자 설계 사양 입력, (b)는 설계 조건으로 강도 보상률, 원단 손실률 및 가공비 등의 설정 윈도우이다.

Fig. 10은 사용자 입력 사항, 설정한 설계 조건과 설계상의 외형 제한 조건에 맞도록 최적 설계된 결과를 보여주는 윈도우로, (a)는 DW와 SW 모두를 대상으로 두 상자 형식간에 비교를 할 수 있는 윈도우이고, (b)는 DW에 대한 설계 결과로부터 원지 구성의 힘강성 조건과 선별 순서로 '상자 원가 → 파열강도 → 상자 무게'순으로 지정하였을 때 결과를 재구성하여 보여주는 윈도우이다.

Table 2 The results of optimum design by outward design boundary conditions

Type ¹⁾	Outward optimum design					
	② none		D		L & W	
	L×W×D, mm	mRBA, m ²	L×W×D, mm	mRBA, m ²	L×W×D, mm	mRBA, m ²
SW/A	489×288×256	0.9578	376×239×400	0.8957	400×400×226	1.1323
SW/B	487×286×253	0.9443	373×236×400	0.8829	400×400×221	1.1230
DW/AB	492×291×265	0.9893	378×242×400	0.9119	400×400×235	1.1521

Inward & information optimum design					
Limit, none		Limit, D		Limit, L & W	
Board combination ²⁾	Cost ³⁾ , ₩	Board combination ²⁾	Cost ³⁾ , ₩	Board combination ²⁾	Cost ³⁾ , ₩
KLB300/K220/KLB300	497	KLB300/K220/EX440	599	KLB250/K240/EX300	600
EX470/K180/EX470	757	impossible	—	EX440/K220/EX440	991
SK180/B150/S120/K220/K220	359	KA180/K200/B150/K200/K200	368	SK180/K180/S120/K180/K180	422

Notes : ① classifications, ② boundary conditions, ③ design items, 1) SW/A=A-flute single-wall, SW/B=B-flute single-wall, DW/AB=AB-flute double-wall, 2)board combination for lowest cost, 3) cost of the corrugated board required container manufacture(price, October 10, 2001).

Table 3 Applied results of the optimum design program for bulk-type products

Kinds	Design specifications			Present packaging situation	
	Density (kg/m ³)	Package(net) weight (kgf)	RCS ¹⁾ (kgf)	L×W×D (mm)	Board combination ²⁾
Refractory	2,700	25	290	250×250×180	KA180/S120/S120/S120/KA180
Cherry tomato	545	10	580	385×280×208	CLB240/RH250/S120/RH250/HKA240

Kinds	Present packaging situation		New packaging design			
	Weight (kgf)	Cost ³⁾ (₩)	L×W×D (mm)	Board combination ²⁾	Weight (kgf)	Cost ³⁾ (₩)
Refractory	0.377	159	289×175×226	WT180/S120/K180/S120/B150	0.339	138
Cherry tomato	0.805	398	390×231×244	SK180/K220/K200/K200K220	0.754	296

Notes : ① classifications, ② design items, 1) required compression strength, 2) Board combination for lowest cost, 3) cost of the corrugated board required container manufacture(price, October 10, 2001).

동일한 포장 사양에 대해 corrugated board의 소요 면적, 최저가의 원지구성 및 소요 원단가격 등이 외형설계 제한조건 별로 큰 차이를 나타내었다. 즉, 상자의 설계에 있어 외형설계 조건을 특별히 제한하지 않을때가 다른 경우에 비하여 가장 경제적으로 설계되었으며, 같은 포장 사양에 대하여 SW가 DW에 비해 소요 원단가격 면에서 항상 경제적인

것만은 아니고, 경우에 따라서는 DW가 SW 보다 더 경제적으로 설계되었는데, 이 경우는 포장 치수가 더 커지게 되는 것이 문제이다.

개발한 프로그램을 H사의 산물형 내화물과 G농협의 방울토마토 각각 1종에 대하여 Table 2에서와 같은 조건으로, 개발된 프로그램을 적용시켜 기존 포장과의 차이를 분석한 결과를 Table 3에 나타내

었다. 두 종류의 제품 모두에서 기존의 포장 보다 상자 무게 면에서는 내화물은 약 10.1%, 방울토마토는 약 6.3% 더 경량으로 설계되었고, 소요 원단의 가격면에서는 내화물은 약 13.2%, 방울토마토는 약 25.6% 더 경제적으로 설계되어, 그 만큼 포장 비용을 절감할 수 있을것으로 사료된다.

4. 결 론

포장은 물적 유통의 다른 요소들과 매우 긴밀한 관련을 맺고 있어 무엇보다도 중요한 요소이고, 포장 비용중 가장 큰 비중은 겉포장 상자가 차지하고 있다.

이 연구에서는 산물형 상자의 최적 설계인자로 최소 소요면적, 압축강도 및 이 두 요소가 모두 고려되었을 때의 각각에 대한 최적 설계조건외의 도출과 모형화를 통해 외형 최적설계, 내형 최적설계 및 정보설계의 기능을 갖는 최적설계 프로그램을 개발하였다. 주요 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 상자 체적 10,000 ~ 150,000cm³, 높이 20 ~ 70cm 범위 내에서 최소 소요면적은 체적이 클수록 상자 높이에 따라 감소하는 경향이였으며, 최소 소요면적에 대한 폭/길이 비는 체적에 관계없이 상자의 높이에 따라 일률적으로 증가하였다.
- 2) 상자의 주변 길이가 일정할 때, 상자 압축강도는 상자의 각 높이에서 폭/길이 비에 따라 증가하다 약 0.7 부근에서 다시 감소하였으며, 또한 상자의 폭/길이 비 별로 상자의 높이에 따라 감소하다 다시 약간 증가하는 경향을 보였다. 한편, 체적이 일정한 조건하에서의 상자의 압축강도 변화는 상자의 높이 별로 폭/길이 비에 따라서는 주변 길이가 같은 조건에 대한 경향과 비슷하였으나, 상자의 높이에 따라서는 일률적으로 크게 감소하였다.
- 3) 상자의 단위 면적당 압축강도는 폭/길이 비에 따라 증가하다 약 0.52 ~ 0.62를 기점으로 다시 감소하였고, 폭/길이 비가 1에 가까울수록 상자의 높이에 따라 증가하다 약간 감소하는 경향이였다. 한편, 각 체적별 단위 면적당 압축강도의 최대값은 체적이 작을수록 상자 높이에 따라 감소하는 정도가 컸고, 상자 높이가 작을수록 체적에 따른 감소 경향이 뚜렷하였다. 또한, 단위 면적당 압축강도를 최대로 하는 폭/길이 비는 동일한 체적에서는 상자 높이에 따라 증가하였고, 같은 상자 높이에서는 체적에 따라 감소하였다.
- 4) 개발된 프로그램에 대해 외형설계 제한 조건별로 외형 최적설계의 가능성과 실제 산물형 제품

2 종류에 대해 본 프로그램을 적용시켰을 때 기존 포장과의 차별성에 대한 각각의 검증 실시하였는바, 동일한 포장 사양에 대해 corrugated board의 소요면적, 최저가의 원지구성 및 소요 원단가격 등이 외형설계 제한조건 별로 큰 차이를 나타내었고, 산물형 제품 2종류에 대해 적용해본 결과, 상자의 무게와 소요원단 가격면에서 비교적 큰 효과를 보여 산물형 제품의 포장 비용을 절감하는데 기여할 수 있을것으로 사료된다.

Nomenclature

BCT_w	= Compression strength of container by Wolf's equation(lb)
BS	= Bursting strength of corrugated board(kgf/cm ²)
CS	= Compression strength of container(kgf)
$CSPA$	= Compression strength per unit area of container(kgf/cm ²)
CSV_z	= Compression strength variation at the constant perimeter(%)
CSV_v	= Compression strength variation at the constant volume(%)
ECT	= $1.2 \times \{(\sum RC_t + \sum RC_{rt})/6\} = 1.2 \times P_x(\text{lb/in})$
F	= $\sqrt{T \times ECT}$
L, W, D	= Each length, width and depth of container (inner size in Eq.(1) and (2); outer size in besides)(in, in Eq.(9); cm, in besides)
$mCSPA$	= Maximum compression strength per unit area of container(kgf/cm ²)
$mRBA$	= Minimum required board area of container(cm ²)
RBA	= Required board area of container(cm ²)
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]
V	= Net volume of container(cm ³)
Z	= Perimeter of container[=(L+W)×2](in, in Eq.(9); cm, in besides)
α	= W/L ratio
α_{mRBA}	= W/L ratio for minimum required board area
α_{mCSPA}	= W/L ratio for maximum compression strength per unit area
β	= L/W ratio(=1/α)

참 고 문 헌

1. ASTM D642. Standard method for determining compressive resistance of shipping containers, components, and unit loads.
2. Brown, D. P., H. Porta. and J. J. Uhi. 1991. Calculus & Mathematica. Basics, Tutorials and Literacy Sheets. Addison-Wesley Publishing Company.
3. Hanlon, J. F. 1984. Handbook of packaging engineering. McGraw-Hill. NY.
4. Jönson, G. 1993. Corrugated board packaging. Leatherhead. Pira International.
5. KS A1003. Type of corrugated fiberboard boxes and solid fiberboard boxes.(In Korean).
6. Maltenfort, G. G. 1989. Performance and evaluation of shipping containers. Plainview, N.Y. Jelmar Publishing Co.
7. 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).
8. Park, J. M. 2003. Buckling analysis of corrugated board using finite element method. Journal of the KSAM 28(1); in press.(In Korean).
9. Wolf, M. 1974. Here's a quick way to calculate box compression strength. Package Eng. Feb.: 44-45.
10. 신경환, 이기영, 조준상. 1999. Microsoft Visual Basic 6.0. 베스트북.
11. 한국골판지포장공업협동조합. 2003. 골판지포장원가관리. 골판지포장·물류 제47호: 161-163.
12. 五十嵐清一. 1996. 段ボール包装技術. 日報.