

## 벌크화물용 포장용기의 최적 설계(Ⅱ)-프로그램 개발

박종민, 권순홍, 정성원  
밀양대학교 기계공학과

### Optimum Design of Packaging Container for Bulk Materials(Ⅱ)- Computer Program Development

Jong-Min Park, Soon-Hong Kwon, Sung-Won Chung  
Dept. of Mechanical Engineering, Miryang National University

#### Abstract

If optimum design technique is applied in the design of packaging container for bulk materials, merits on the side of not only economic and compression performance but distribution efficiency are expected. In this study, on the ground of the optimum models for required board area and compression strength performance, optimum design program having faculties of outward and inward optimum design and information design was developed. This program was composed of input module, output module, database and management module, and calculation module. Though the packaging specifications are same, required board area, board composition and cost of container were greatly different according to exterior packaging conditions. Also, about 12% in weight of container was lighter, and about 13~17% in cost of container was reduced when the program was applied for 2 kinds of bulk materials

**Key words :** bulk materials, packaging container, packaging software, optimum design

#### 서론

선진 외국에서는 제품의 포장상자 설계에 있어 최적화의 기법이 어느정도 보편화되어, 포장제품의 특성, 포장중량, 유통환경 등을 고려하여 포장요건을 설정하고, 이를 분석 및 필요압축강도(required compression strength)를 구체적으로 수치화한 다음 이에 맞는 포장상자의 설계와 원지배합이 어느정도 이루어지고 있다.<sup>(1)</sup>  
<sup>~3)</sup> 또한 제품에 대한 포장상자의 설계부터 물류합리화를 위한 제반연구가 많이 진행되어 여러분야에서 각종 포장 소프트웨어들이 개발되어져 왔다.

우리나라와 선진 외국과는 포장여건이 다르고 더구나 포장설계에 있어 가장 기본이 되는 원지의 품질과 분류방법 자체가 다르기 때문에 외국에서 개발된 소프트웨어를 국내의 포장설계에 적용하는데는 한계가 있다. 따라서 우리나라의 경우도 우리의 포장여건과 실정에 맞는 다양한 포장 소프트웨어를 개발하여 제품의 적정포장설계에 적용함으로써 제품의 부가가치 향상을 위해 노력해야 한다.

일정한 크기와 형태를 하고있지 않은 벌크화물용 포장상자의 설계에 공학적인 최적화 설계기법이 적용될 경우, 경제적 및 강도적 측면에서의 잇점 뿐만아니라, 포장치수의 단순화로 물류측면에서의 효율 향상을 기대할 수 있다.<sup>(4~8)</sup>

국내의 경우, 현재 벌크화물용 포장상자의 설계가 주

Corresponding author : Jong-Min Park, Dept. of Mechanical Engineering, Miryang National University, 1025-1 Neidong, Miryang-si, Kyungnam, 627-702, Korea

로 경험적인 방법으로 이루어지고 있어 경제적 및 강도적 측면에서의 적정설계가 이루어지지 않고 있는 실정이다. 따라서 이 연구의 목적은 앞선 연구결과인 벌크화물용 포장상자에 대한 소요면적과 강도적 특성에 대한 최적화 모형을 바탕으로<sup>(4)</sup>, 외형최적설계, 내형최적설계 및 정보설계의 기능을 갖는 최적설계 프로그램을 개발하는 것이다.

### 프로그램의 알고리즘

#### 외형설계

벌크화물의 포장중량(packaging weight)과 밀도로부터 이 제품 포장상자의 소요체적을 형성하는 소요면적과 압축강도 측면에서의 외형최적설계에 적용된 알고리즘은 앞선 연구결과인 다음과 같은 모형들이다.<sup>(4)</sup>

$$\begin{aligned} RMA &= f(V,D), \quad a_{RMA} = f(V,D), \\ MCSA &= f(V,D), \quad a_{MCSA} = f(V,D) \end{aligned} \quad (1)$$

이 모형들의 특징은 상자의 외형설계상의 아무런 제한조건이 없는 경우, 제품의 자동화 포장공정상의 상자의 외형치수가 제한되는 경우, 또는 팰리트(pallet)나 차량적재 효율을 우선 고려해 외형치수를 제한하는 경우 등이 선택적으로 고려되어 각 경우에 맞는 최적의 외형설계를 할 수 있다는 점이다.

#### 내형설계

외형최적설계의 결과와 입력한 제품의 사양에 맞는 가장 경제적인 원지배합 설계에 적용된 알고리즘은 실험을 통해 분석된 국내 유통 원지에 대한 물성 값과 상자압축강도 추정식으로 잘 알려진 식(2)의 Kellicutt식과 식(3)의 Wolf식이다.<sup>(6,9)</sup>

본 연구를 통해 분석된 원지의 종류별 평량, 두께 및 링크라쉬 등을 기본 data 파일로 하면서<sup>(10-15)</sup>, 여기에 이들 원지에 대한 물가정보, 사용조건 및 물성값들의 변화를 수시로 수정/삭제/추가할 수 있도록 하였다.

$$BCT_k = P_k \left\{ \frac{A_k^2}{\left(\frac{Z}{4}\right)^2} \right\}^{1/3} \cdot J \cdot Z \quad (2)$$

$$BCT_w = \frac{5.2426F\sqrt{Z} (0.3228A-0.1217A^2+1)}{D^{0.041}} \quad (3)$$

#### 정보설계

포장상자의 외형 및 내형설계에 무게와 가격 등과 같은 정보설계의 기능을 갖는 것이 실제 포장설계에 있어 매우 유용하다.

포장상자의 무게는 원단의 무게 계산식인 식(4)와 상자의 소요면적계산식 식(5) 또는 식(6)으로부터 식(7)의 방법으로 계산할 수 있다.<sup>(16)</sup>

$$WPA = \left\{ \sum BW_i + \sum BW_i \cdot t_i \right\} / 1000, \text{ kgf/m}^2 \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{1개소 접합: } TA &= \{2(L+W)+f\} / 1000 \times \\ & (W+D) / 1000 \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{2개소 접합: } TA &= \{2(L+W+f)\} / 1000 \times \\ & (W+D) / 1000 \end{aligned} \quad (6)$$

$$TW = (WPA) \times (TA), \text{ kgf} \quad (7)$$

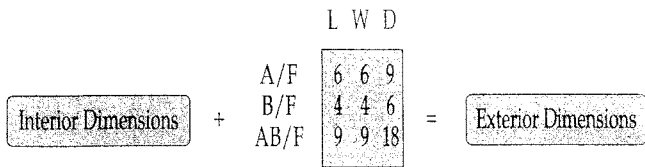
포장상자의 가격계산 방법은 적용 원단의 단위 면적당 원지가격을 식(8)로부터 먼저 계산하고, 식(5) 또는 식(6)에 원단 loss율을 적용한 식(9)에 의해 소요면적을 계산한 후, 식(10)으로 상자의 가격을 계산하였다.

$$\begin{aligned} PPA &= \left\{ \sum (BW_i \times PPW_i) + \sum (BW_i \cdot t_i \cdot PPW_i) \right\} \\ & / 1000, \text{ W/m}^2 \end{aligned} \quad (8)$$

$$RA = TA \times \left( 1 + \frac{LR}{100} m \right) \quad (9)$$

$$TP = (RA) \times (PPA) + (RA) \times (MPPA), \text{ W} \quad (10)$$

여기서, 원단 loss율에는 Flap 신장율, 원지가열 수분 감소 수축폭, 지합슬릿터 재단폭, 50mm단위 원지접합 손실량 등이 모두 포함되며, 상자의 내치수를 바깥치수로의 환산에 적용한 방법은 다음과 같다.<sup>(16)</sup>



**프로그램의 구성과 적용**

**프로그램의 구성**

본 연구를 통하여 개발된 벌크화물용 포장상자의 최적설계 프로그램은 Fig. 1에 나타난 바와같이 입력모듈, 결과출력모듈, 데이터베이스 및 관리모듈, 계산모듈로 구성되어 있다. 입력모듈은 포장 대상제품의 포장중량, 밀도 및 필요압축강도 등의 최소한의 기본 사양과 내포장 사양 입력부분으로 구성되어 있다.

데이터베이스 및 관리모듈은 설계의 기본이 되는 원지에 대한 물성과 가격정보로 구성되어 있으며, 결과출력 모듈은 입력자료를 활용하여 설계된 결과를 출력하는 모듈로 외형 및 내형최적설계 그리고 정보설계의 결과가 그래프와 함께 수치로 출력되도록 구성되어 있다.

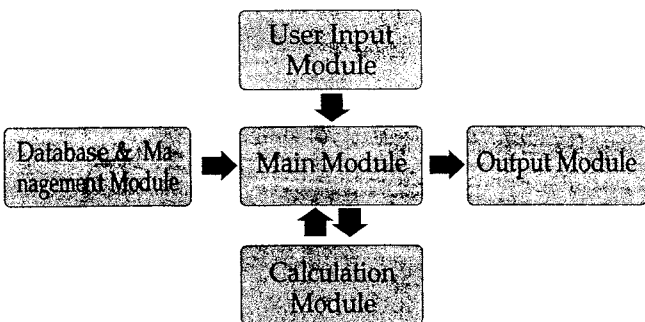


Fig. 1. Structure for the program

프로그램의 사용환경은 windows 95/98 및 windows NT 운영체제이며, 사용 언어는 visual basic 6.0 이었다.<sup>(17)</sup>

**프로그램의 특성**

개발한 프로그램의 전체 흐름도를 Fig. 2에 나타 내었다. Window 상에서 프로그램을 실행시키면 먼저 database화 되어있는 원지에 대한 물성(두께, 평량, 링크라쉬), 물가정보 및 적용여부 등에 대한 자료가 디스플레이 된다. 화면상에서 data의 수정/삭제/추가 등을 자유롭게 할 수 있으며, 항상 프로그램의 실행전의 자료에 의해 새로운 database가 구축된다(Fig. 3).

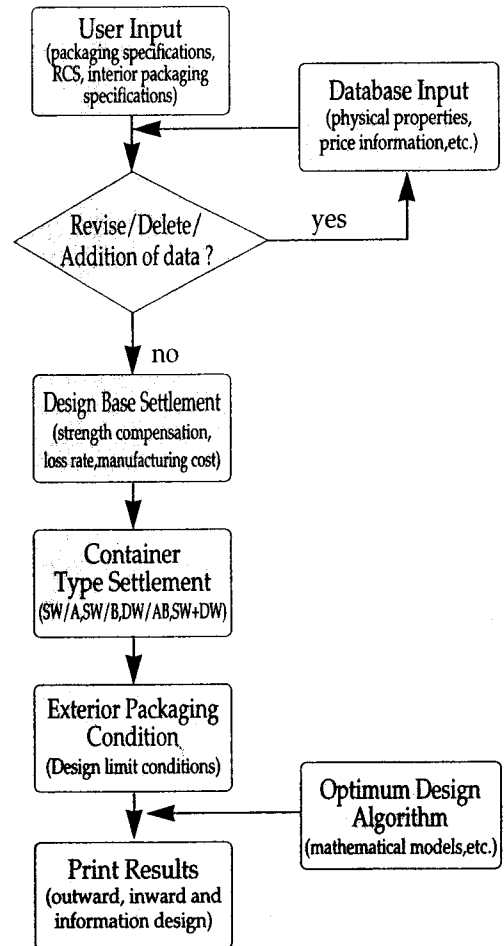


Fig. 2. Flow chart for the optimum design program of packaging container

자료입력 방법으로는 사용자가 입력화면을 통해 각 항목에 직접 입력하는 방식을 택하였고, 입력항목으로는 크게 포장제품에 대한 설계사양과 내포장 설계사양으로 구분된다. 내포장 설계사양 입력의 특징은 내포장재를 사용하지 않는 경우('무')와 사용하는 경우('유')로 크게 구분하여, 내포장 조건도 '전면내포장재', '상하패드' 또는 '내포장재 점유율' 등의 내포장 조건중 하나를 선택하여 그 값을 입력시킬 수 있도록 다양화 한 점이다(Fig. 4).

설계조건 입력항목으로는 Fig. 5에서 보는 바와같이 인쇄압 및 제작상의 강도 저하로 인한 강도 보상을, 원단 loss율 및 상자의 가공비 등이 있으며, 이들 값들의 입력방식은 프로그램 속에 미리 설정된 값을 지정할 수도 있고, 입력창에서 'free'를 선택하여 임의의 값을 입력할 수도 있다.

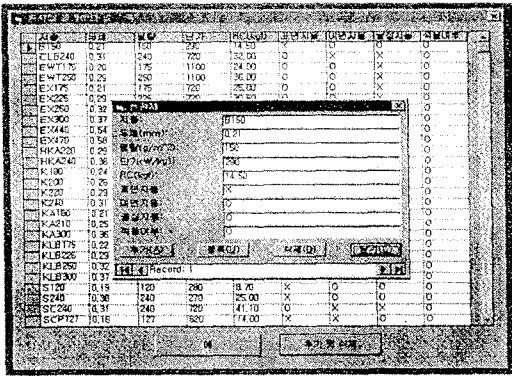


Fig. 3. Database and management window

양을 가지고 SW와 DW 포장상자 모두를 대상으로 설계할 수 있도록 하였다(Fig. 6).

상자의 형태에 대한 설정이 완료되면 그 다음에는 설정된 상자의 형태에 대한 외형설계 제한조건을 설정해야 한다. 즉, 외형설계 제한조건중 'Free'를 선택하는 경우는 상자의 외형 치수에 특별한 제한이 없는 경우로, 입력한 포장사양과 강도와 소요면적에 대한 최적화 알고리즘에 의해 상자의 외형최적설계가 이루어진다. '높이제한'을 선택할 경우는 제품의 자동화 포장공정상 상자의 높이를 일정하게 제한하는 경우로, 상자의 바깥높이를 고정해 놓은 상태에서, 강도와 소요면적에 대한 최적화 알고리즘에 의해 상자의 외형최적설계가 이루어진다. 또한 '길이 및 폭의 제한'을 선택하는 경우는 제품의 포장후 팔리트 적재효율이나 차량의 적재효율이 우선 고려되어 상자의 길이와 폭이 미리 결정되는 경우이다(Fig. 7).

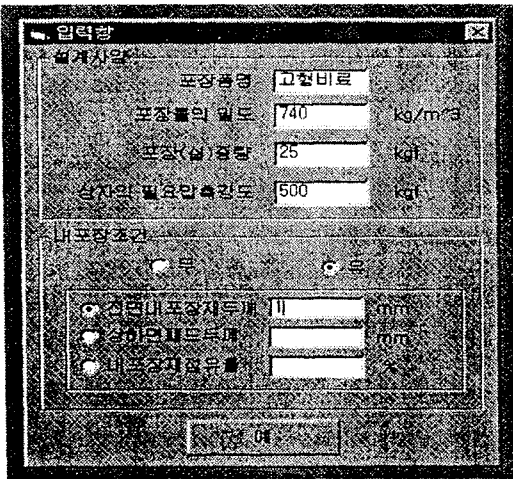


Fig. 4. Data input window

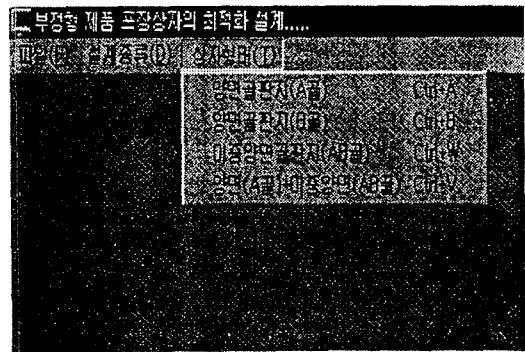


Fig. 6. Settlement window for packaging container type

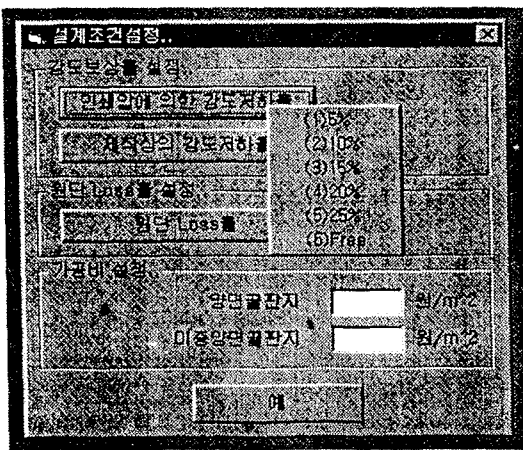


Fig. 5. Design condition settlement window

설계에 적용할 상자의 형태도 SW(A/F), SW(B/F), DW(AB/F) 중에서 하나를 선택할 수도 있고, 옵션중 마지막 항인 'A/F+AB/F'를 선택하므로써 주어진 사

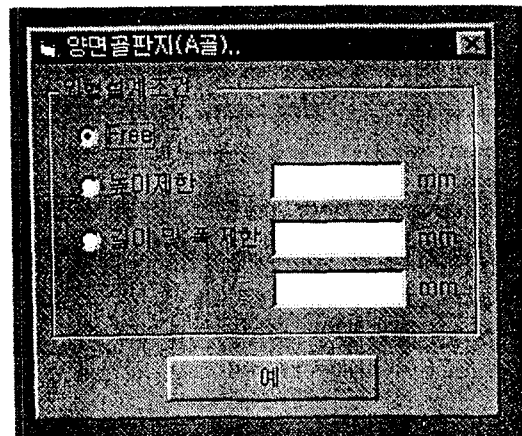


Fig. 7. Settlement window for outward design limit conditions

출력의 주요 항목으로는 입력한 설계사양, 외형최적 설계, 내형최적설계 및 정보설계의 결과 등이다. 특히, 내형 및 정보설계 결과에서는 상자의 생산단가 순서로 출력되도록 하여 원지배합의 선택에 있어 많은 도움이 되도록 하였다.

여기서, 내형설계 결과의 원지배합은 식(11)에 나타낸 바와같이 입력한 필요압축강도에 인쇄압 및 제작상의 강도저하로 인한 강도 보상값과 강도오차 범위 5%를 기준으로 설계된 값이다.

$$(RCS+CS_p+CS_m) \sim (RCS+CS_p+CS_m+RCS \times E) \quad (11)$$

내형 및 정보설계 결과의 '가격A'는 바깥치수 기준으로 L×W×D의 상자를 생산하는데 있어 원단 loss율을 감안한 원지가격이며, '가격B'는 '가격A'에 상자의 가공비가 까지 포함된 가격이다(Fig. 8, Fig. 9).

결과의 외부 출력장치로의 출력도 결과 전체를 출력하는 경우와 내형설계 결과만을 출력하는 경우로 나누어 프로그램의 사용상에 효율을 기하였다.

**효율성 검증과 사례연구**

개발된 프로그램의 효율성 검증에는 2가지의 방법이 적용되었다. 즉, 하나는 이 프로그램의 기능중 가장 중요한 외형설계 제한조건별로 각 조건에 맞는 포장상자의 최적설계의 가능성에 대한 검증이고, 다른 하나는 현행 벌크화물 2종류에 대하여 개발 프로그램의 적용하였을 때 현 포장실태와의 차별성 유무에 대한 검증이다.

외형설계 제한조건별 설계결과의 효율성 검증을 위해 다음의 자료가 활용되었으며, 강도와 소요면적의 두 요소가 모두 고려되어 설계된 결과를 Table 1과 Table 2에 나타내었다.

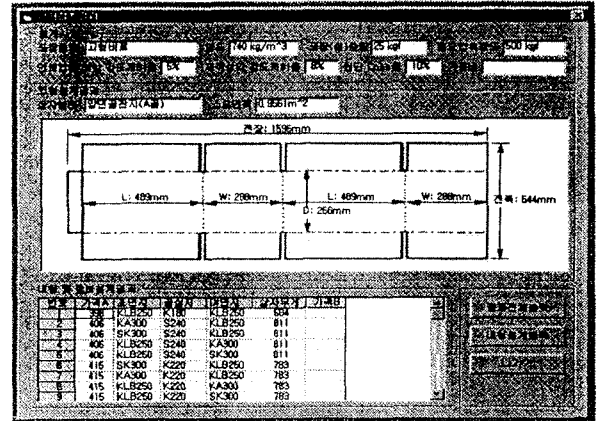


Fig. 8. Output window for container type 'A/F'

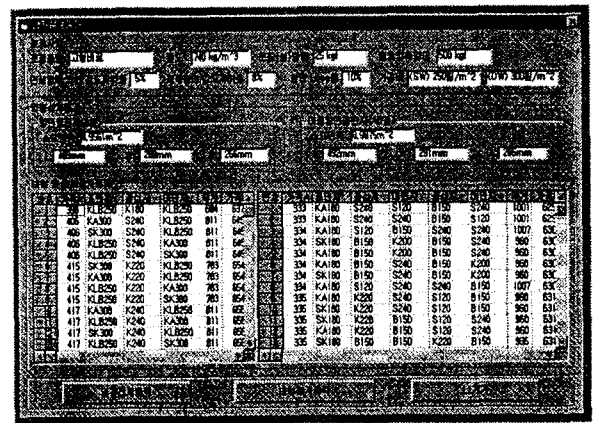


Fig. 9. Output window for container type 'A/F+AB/F'

- 포장제품의 밀도 : 740kg/m<sup>3</sup>
- 포장중량 : 25kgf
- 필요압축강도 : 500kgf
- 인쇄압에 의한 강도저하율 : 5%
- 제작상의 강도저하율 : 6%
- 원단 loss율 : 10%
- 내포장 방법 : 전면포장 (포장재 두께 0.15mm)

Table 1. The results of the outward optimum design for various exterior packaging conditions

Types	Exterior packaging conditions					
	Not limit		Limit of depth		Limit of length and width	
	Dimensions, mm	RMA, m	Dimensions, mm	RMA, m	Dimensions, mm	RMA, m
SW/A	489×288×256	0.9578	489×288×256	0.8957	489×288×256	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

(Note) \_ 각 조건에서 제한한 치수

Table 2. The results of the inward and information design for various exterior packaging conditions

Types	Exterior packaging conditions								
	Not limit			Limit of depth			Limit of length and width		
	Board composition (lowest cost)	Cost, ₩	RMA, m <sup>2</sup>	Board composition (lowest cost)	Cost, ₩	RMA, m <sup>2</sup>	Board composition (lowest cost)	Cost, ₩	RMA, m <sup>2</sup>
SW/A	KLB300/K220/KLB300	522	212	KLB300/K220/EX440	640	68	KLB250/K240/EX300	616	251
SW/B	EX470/K180/EX470	860	13	no	-	-	EX440/K220/EX440	994	15
DW/AB	SK180/S120/K220/B150/K220	407	2,057	KA180/K200/K180/B150/K200	408	7,624	SK180/S120/K180/K180/K180	462	1,794

Table 3. Application results of the optimum design program for bulk materials

Kinds	Design specifications			Present packaging situation				New packaging design			
	Density, kg/m <sup>3</sup>	Package(net) weight, kgf	RCS, kgf	Dimensions, mm	Board composition	Weight, kgf	Cost, ₩	Dimensions, mm	Board composition (lowest cost)	Weight, kgf	Cost, ₩
Material #1	2,700	25	289	250×250×180	KA180/S120/S120/S120/KA180	0.377	172	289×175×226	WT180/S120/K180/S120/B150	0.333	149
Material #2	2,200	25	286	250×250×230	KA180/S120/S120/S120/KA180	0.421	192	317×191×221	KA180/S120/B150/S120/B150	0.367	159

(Note) (1)강도저하율: 인쇄압 5%, 제작상 6%, 원단 loss율 10% (2)내포장 조건: 전면내포장(포장재 두께 0.15mm)

Table 1의 외형설계 결과와 Table 2의 내형 및 정보 설계 결과를 통해 볼 때, 동일한 포장사양에 대해 상자의 소요면적, 가장 경제적인 원지배합 그리고 가격 등이 외형설계 제한조건에 따라 큰 차이를 나타내었다. 즉, 상자의 설계에 있어 외형설계 조건을 특별히 제한하지 않을때가 다른 경우에 비하여 가장 경제적으로 설계되었으며, 같은 포장사양에 대하여 SW가 DW에 비하여 가격면에서 항상 유리한 하지만은 않고, 경우에 따라서는 DW가 SW 보다 더 저렴하게 설계되었는데 이 경우에는 상자의 치수가 더 커지게 된다.

개발한 프로그램을 H사의 부정형 내화물 2종류에 적용하여 현 포장실태와의 차이를 분석한 결과를 Table 3에 나타내었다. 현재의 포장실태 보다 2종류 제품 모두에서 상자의 무게에서는 약 12%, 소요 원단의 가격면에서는 적용 전에 비하여 약 13~17%가 더 유리하게 설계되어 그 만큼의 포장비용을 절감할 수 있을 것으로 사료된다.

### 결론

일정한 크기와 형태를 하고 있지않은 벌크화물의 포장상자 설계에 공학적인 최적설계 기법이 적용될 경우, 경제적 및 강도적 측면에서의 잇점 뿐만 아니라 포장 치수의 단순화로 물류측면에서의 효율 향상을 기대할 수 있다.

이 연구에서는 벌크화물용 포장상자에 대한 소요면적 과 강도적 특성에 대한 최적화 모형을 바탕으로, 외형최적설계, 내형최적설계 및 정보설계의 기능을 갖는 최적 설계 프로그램을 개발하였다.

개발된 최적설계 프로그램은 입력모듈, 결과출력모듈, 데이터베이스 및 관리모듈, 계산모듈로 구성되었다.

이 프로그램을 알고리즘의 효율성 측면과 부정형 내화물에 대해 프로그램의 적용 전후의 포장 차별성에 대한 분석을 통하여 그 효율성을 검증하였다. 즉, 동일한 포장 사양에 대해 상자의 소요면적, 가장 경제적인 원지배합 그리고 가격등이 외형설계 조건에 따라 큰 차이를 나타내었다. 또한 부정형 내화물 2종류에 개발된 프로그램을 적용해본 결과, 상자의 무게에서는 약 12%, 상자의 원단가격 면에서는 약 13~17% 더 유리하게 설계되었다.

## 기호설명

$A$  = 상자의 길이/폭 비(=L/W)  
 $A_x$  = 골상수(A/F=8.36, B/F=5, C/F=6.10, AB/F=13.36)  
 $a_{RMA}$  = 최소소요면적에 대한 폭/길이 비  
 $a_{MCSA}$  = 단위 소요면적당 최대압축강도에 대한 폭/길이 비  
 $BCT_k$  = Kellicutt식에 의한 상자압축강도, lb  
 $BCT_w$  = Wolf식에 의한 상자압축강도, lb  
 $BW_f$  = 골심지의 평량, g/m<sup>2</sup>  
 $BW_l$  = 라이너의 평량, g/m<sup>2</sup>  
 $CS_m$  = 제작상의 강도저하로 인한 강도 보상값, kgf  
 $CS_p$  = 인쇄압에 의한 강도저하 보상값, kgf  
 $D$  = 상자의 높이, cm [식(1)]  
 $D$  = 상자의 높이, in [식(3)]  
 $E$  = 강도 오차범위, %  
 $ECT = 1.2 \times \{(\sum RC_{sub} + \sum RC_l \cdot t_x)/6\}$   
 $= 1.2 \times P_x$ , lb/in  
 $F = \sqrt{T} \cdot ECT$   
 $f$  = 상자 접합부분의 폭(SW=40, DW=45)  
 $J$  = 상자의 상수(A/F=0.59, B/F=0.68, C/F=0.68, AB/F=0.55)  
 $L, W, D$  = 상자의 바깥치수로 각각 길이, 폭 및 높이, mm  
 $LR$  = 원단 loss율, %  
 $MCSA$  = 단위 소요면적당 최대압축강도, kgf/cm<sup>2</sup>  
 $MPPA$  = 상자의 가공비, W/m<sup>2</sup>  
 $PPA$  = 원단의 단위 면적당 가격, W/m<sup>2</sup>  
 $PPW_l, PPW_f$  = 각각 라이너와 골심지의 단위 무게당 가격, W/kg  
 $P_x = (\sum RC_{sub} + \sum RC_l \cdot t_x)/6$ , lb/in  
 $RA$  = 원단의 소요면적, m<sup>2</sup>  
 $RCS$  = 필요압축강도, kgf  
 $RMA$  = 최소소요면적, cm<sup>2</sup>  
 $T$  = 원단의 총 두께, in  
 $TA$  = 상자의 면적, m<sup>2</sup>  
 $TP$  = 포장상자의 가격, W  
 $t_x$  = 골조율(A/F=1.6, B/F=1.4, C/F=1.5)  
 $V$  = 상자의 소요체적, cm<sup>3</sup>  
 $WPA$  = 원단의 단위 면적당 무게, kgf/m<sup>2</sup>  
 $Z$  = 상자의 주변길이(=(L+W)×2), in

## 문헌

- Hanlon, J. F. 1984. Handbook of packaging engineering. McGraw-Hill. NY
- J nson, G. 1995. Corrugated board packaging. The Ipswich Book Company
- 五十嵐清一. 1996. 段ボール包装技術. 日報
- 박종민. 2000. 벌크화물 포장용기의 최적 설계( I)-알고리즘 개발. 한국포장학회 6(1): in press
- Maltenfort, G. G. 1961. Optimum package dimensions save board. Packaging Engineering 6(6): 88-99, 6(7): 76-94
- Maltenfort, G. G. 1989. Performance and evaluation of shipping containers, Jelmar Publishing Co., Inc.
- Wright, P. G. 1974. Minimizing board requirements while maximizing protection & shipping space. A system approach to package design. Paperboard Packaging 7-Part series.
- Peleg, K. 1985. Produce handling, packaging and distribution. AVI Publishing Company
- Wolf, M. 1974. Here's a quick way to calculate box compression strength. Package Eng. Feb. : 44-45
- ASTM E171. Standard specification for standard atmospheres for conditioning and testing materials
- Billard Handbook. Testing of corrugated board and its components
- TAPPI T411. Thickness(caliper) of paper, paperboard, and combined board
- TAPPI T804. Compression test of fiberboard shipping containers
- ASTM D1164. Standard test method for ring crush of paperboard.
- Tappi T818. Ring crush of paperboard.
- 한국골판지포장공업협동조합. 2000. 골판지포장 원가관리 자료. 골판지포장·물류 제31호: 105-108
- 신경환외 2. 1999. Microsoft Visual Basic 6.0. 베스트북